

转子一点接地保护误发信号原因分析

邵红权

(河南安峰电力有限公司,河南 郑州 451250)

摘要: 介绍测量对地导纳原理的 LD-3 型发电机转子一点接地继电器的保护原理. 分析了接地导纳型继电器运行中因接地碳刷与转子大轴接触不良引起一点接地信号误发的原因。

关键词: 接地保护; 误发; 发电机转子

中图分类号: TM772 文献标识码: B 文章编号: 1003-4897(2004)06-0060-05

0 引言

现在大型机组励磁保护多采用微机型保护,如三峡水电站一期工程的 14 台发电机组,转子一点接地保护采用西门子电子电气公司的叠加变性方波电压方案和 ABB 公司的外加 12.5 Hz 电压方案。但大多数旧机组仍采用电磁型或晶体管型保护。本文针对河南安峰电力有限公司 #3、#4 机组所用的 LD-3 型测量转子绕组对地导纳原理的一点接地保护继电器的保护原理进行分析,同时,对此继电器在运行中出现误发信号的原因进行初步分析并提出解决信号误发的办法。

1 转子一点接地的危害

发电机的励磁绕组高速旋转极易发生一点接地故障。发生一点接地后,无电流流过故障点,不形成电流通路,励磁电流仍保持正常,对发电机并无直接危害,但转子绕组对地已产生电压,当系统发生各种扰动时,电压可能出现较大值,极易造成另外一点接地,从而形成两点接地短路,一部分励磁绕组被短接,其后果是:(1) 转子磁场发生畸变,力矩不平衡,引起机体震动,无功出力降低;(2) 故障点流过很大的短路电流,接地电弧将烧坏励磁绕组和转子本体,接地电流可能使轴系和汽缸磁化;(3) 转子本体局部通过转子电流,引起局部发热,使转子发生缓慢变形,而形成偏心加剧机体震动。

过去对中小型发电机都设有转子一点接地绝缘检测装置和两点接地保护。现在都广泛采用转子一点接地保护装置代替原来的转子一点接地绝缘检测装置,当一点接地信号发出,同时判断为永久性接地故障后,人为投入转子两点接地保护作用于跳闸,或者人为安排停机处理。

LD-3 型转子一点接地继电器在实际运行中经

常出现信号误发。有人认为接地碳刷与转子大轴间有接触电阻只会使一点接地信号拒发,不可能引起误发,其原因是:接触电阻的存在使测量回路阻值增加,故对地电阻的测量值比实际的电阻值大。其实这种判断是错误的。下面进行分析。

2 测量对地导纳的 LD-3 型一点接地继电器的组成

一般的转子一点接地继电器是以转子接地电流作为测量判据,而 LD-3 型转子一点接地继电器是以转子的接地电导作为测量判据,即测量转子对地电阻并进行监视,理论上不受接地位置的限制,没有死区,且灵敏系数不受转子对地分布电容的影响。但是由于测量回路中存在电感电抗或调整不精确或接地碳刷与滑环间有接触电阻,因而受接地电容的影响。

图 1 为测量对地导纳的 LD-3 型一点接地继电器接线原理图,是属于叠加交流电压的一种接地保护,由整定回路、测量回路、比较回路和电源等组成。

测量回路为电流 i 流过的回路,即 50 Hz 交流电压 U 经 R_2 、 RP_2 、 L 、 C_1 、 C_2 、电抗变换器 2TAM 初级线圈、 R_4 叠加到励磁绕组与地之间构成的回路,其中 L 、 C_1 、 C_2 组成 50 Hz 带通滤波器。 C_1 、 C_2 接于正负两极,电容 C_1 、 C_2 可抑制转子回路高次谐波影响,另外还起着隔离交直流的作用。 RP_2 为整定电阻。

整定回路为电流 i_m 通过的 R 、 RP_1 、1TAM 初级线圈、2TAM 初级线圈和电流 i_n 通过的 R_1 、1TAM 初级线圈。其中 i_m 经可调电阻 RP_1 接入回路以得到不同的接地电阻整定值。

比较回路由 1TAM、2TAM 次级绕组、二极管 1~4 V、极化继电器 KP、电容 C_3 等组成。当转子对地绝缘电阻下降到一定值时极化继电器 KP 动作,

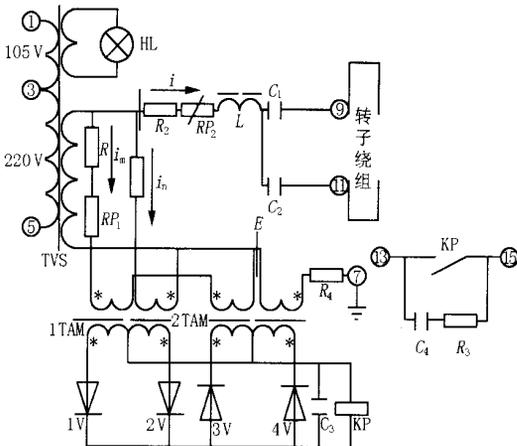


图1 继电器接线原理图

Fig. 1 Connection principle of the relay

发出接地信号。

TVS为电源变压器,取自发电机出口PT二次侧或厂用电,经隔离和降压后供给测量回路和整定回路。

3 测量对地导纳的LD-3型一点接地继电器的动作原理

为方便分析假定变抗器1TAM、2TAM的参数完全相同,变比为1,初级漏抗及电抗略去不计,次级回路对称,各回路有效电阻分别计入 R_b 、 R_m 、 R_n 中。其中 R_b 、 R_m 、 R_n 分别为测量回路及整定回路等效电阻。

1) 整定圆

图1中迭加交流电压 U 经两个回路加入本装置。一个回路为测量回路,其电流为 i ;另一个回路为整定回路,其电流为 i_m 和 i_n 。动作量 $i_{act} = |i_n - i_m|$ 接极化继电器的极性端产生动作力矩。

制动量 $i_{brk} = |i - i_m|$ 接极化继电器的非极性端产生制动力矩。

对于同一电压 U 则

$$\text{动作导纳为 } Y_{act} = |G_n - G_m|$$

$$\text{制动导纳为 } Y_{brk} = |Y - G_m|$$

用导纳表示临界条件 $|Y - G_m| = |G_n - G_m|$ 方程式在导纳复平面上为一圆。

设导纳整定值为 Y_{set} ,图2所示圆即为导纳整定圆,其圆心为 $Y_{cset} = G_m$,半径为 $Y_{rset} = |G_n - G_m|$ 。整定圆内为动作区,即转子绕组对地绝缘电阻 R_e 下降到一定值, $Y = 1/Z$ 进入圆内时, $|Y - G_m| < |G_n - G_m|$,保护装置动作发信号。

2) 等电导圆和等电纳圆

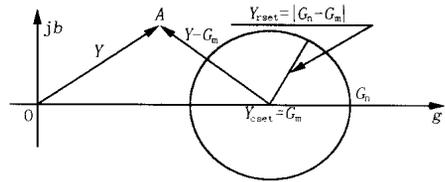


图2 动作边界(整定)圆

Fig. 2 Operating boundary(setting) circle

由图1中电流 i 流过的回路,可以作出如图3所示的等值回路。

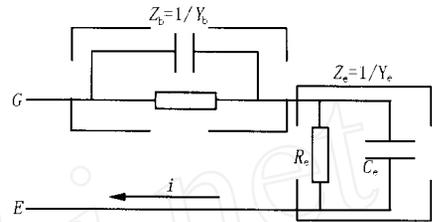


图3 GE端看到的测量导纳

Fig. 3 Measuring admittance from GE

励磁回路对地分布电导和分布电纳用集中参数 $G_e = 1/R_e$ 、 $B_e = 1/X_e = 2fC_e$ 表示 Y_e 为发电机转子回路对地电导和对地电纳组成的对地导纳即

$$Y_e = G_e + jB_e = 1/R_e + jC_e \quad (1)$$

Z_b 为调整(附加)阻抗,为GE端看到的阻抗,但不包含转子绕组对地电导和电纳,即

$$Z_b = R_b + jX_b = 1/Y_b = 1/(G_b - jB_b) \quad (2)$$

转子测量回路中滤波器、 RP_2 、 R_2 、 R_4 和2TAM初级绕组中的电阻都归入 R_b 中,这些回路中的电抗都归入 X_b 中。

从GE端看到的测量导纳

$$Y = 1/Z = 1/(Z_b + Z_c) = 1/[1/Y_b + 1/Y_c] = Y_b - Y_b^2/(Y_e + Y_b) \quad (3)$$

当 $X_b = 0$ (Z_b 呈纯电阻性,即 L 、 C_1 、 C_2 对于50 Hz而言应完全补偿)时, $Y = G_b - G_b^2/(G_e + G_b + jB_e)$

若令 G_e 为常数, B_e 为变量,则所对应的测量导纳 Y 在导纳复平面上的轨迹为一圆

其圆心 Y_{co} 、半径 Y_{cr} 分别为: $G_b - G_b^2/[2(G_e + G_b)]$ 和 $G_b^2/[2(G_e + G_b)]$

对应一系列 G_e 可得一圆族,称为等电导圆组。图4(a)线圆所示。

若令 B_e 为常数, G_e 为变量,则所对应的测量导纳 Y 在导纳复平面上的轨迹亦为一圆。

其圆心、半径分别为: $G_b + jG_b^2/2B_e$ 和 $G_b^2/2B_e$ 。对应一系列 B_e 可得一圆族,称为等电纳圆组。

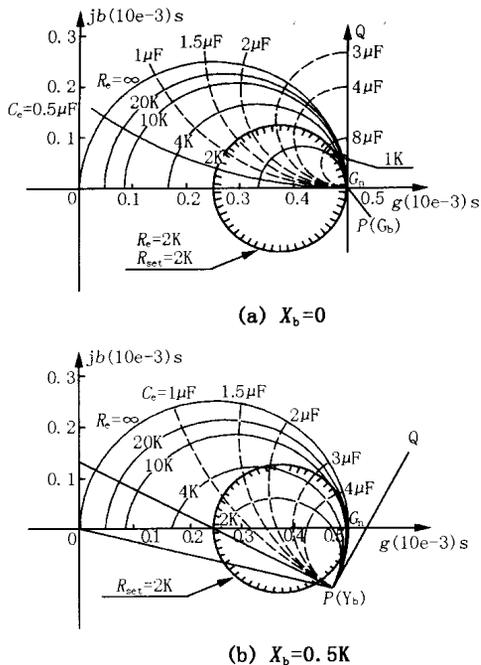


图4 $X_b = 0, 0.5 \text{ k}$ 下的导纳圆图

Fig. 4 Admittance circles when $X_b = 0$ and $X_b = 0.5 \text{ k}$

图4(a)虚线圆所示。

在正常情况下,测量导纳 Y 的端点 A 在图4(b)中所示的整定圆外。当转子绕组对地绝缘降低或接地时,对地电导变大,使 A 点沿等电纳圆向动作区偏移,当进入圆内(动作区)时,继电器动作发信号。

等电导圆的圆心落在 g 轴上,通过调整 RP_2 , RP_1 使整定圆与 $G_c = G_{set}$ 的等电导圆相重合时, C_c 在 $0 \sim \infty$ 的范围内变化,继电器的动作电导值不变,因此不必担心对地电容的影响。

图4(a)中阴影圆为 $R_{set} = 2 \text{ k}$ 的整定圆与 $R_c = 2 \text{ k}$ 的等电纳圆相重合。

4 继电器的调试方法

- 1) 极化继电器的校验;
- 2) 通过调整继电器 RP_2 值,满足 $R_b = R_n$ ($G_b = G_n$) 的要求;
- 3) 通过调整继电器 RP_1 值,改变动作特征圆半径,使之满足整定值的要求。

5 整定值不稳定或误动的原因

(1) 整定值 R_{set} 太大,造成动作区模糊

图4(a)所示,这种原理的继电器当 R_{set} 较小时(例如 $1 \sim 4 \text{ k}$) 动作区区分很清楚,但当 $R_{set} > 10 \text{ k}$ 时,动作区就模糊了, $R_{set} = 10 \text{ k} \sim \infty$ 的区域

和 $R_{set} = 2 \sim 4 \text{ k}$ 的区域差不多,如果整定值为 20 k ,很可能由于整定动作界限模糊,有可能 $R_c < 15 \text{ k}$ 不动作,而 $R_c > 25 \text{ k}$ 就可能动作,造成动作值不确切。故该保护从原理上讲动作电阻就不可能整定太大,一般应取小于 10 k 。

(2) 继电器 Z_b 的电抗影响

继电器 Z_b 有一定的感性或容性电抗,使等电导圆的圆心不在 g 轴上

$Z_b = R_b$ 纯阻性时,当转子回路对地绝缘完好 ($R_c = \infty, G_c = 0$) 图4(a)中测量导纳为坐标原点 0 ,当发生转子绕组金属性接地 ($R_c = 0, G_c = \infty$) 故障时,测量导纳对应图4(a)中的 P 点,该点有 $G = G_b = 1/R_b$ 。

Z_b 中含有容抗或感抗时, $Y_b = 1/Z_b$ 为一复数, Y_b 不再在 g 轴上, X_b 感性时等电导圆的 OP 线偏离 g 轴而位于第四象限; X_b 容性时,等电纳圆的 OP 线偏离 g 轴而位于第一象限。但继电器的整定圆仍在原位置(对称于 g 轴),造成等电导圆与整定圆不能重合,测量对地导纳 Y 进入整定圆内而使继电器动作的 R_c 不再是 R_{set} 。

分析如下:由式(1)(2)(3)知

1) 测量导纳

$$Y = Y_b - Y_b^2 / [(G_b + G_c) - j(B_b - B_c)] = Y_b - Y_b^2 / [2(G_b + G_c)](1 + e^{j2\theta})$$

式中: $\theta = \arctan[(B_b - B_c)/(G_b + G_c)]$

若 Y_b, G_b 为常数, G_c (R_c) 取不同值, B_c (C_c) 变化(随 B_c 而变化), Y 的末端为一圆族(等电纳圆)。

在复平面上圆心 Y_{co} 半径 Y_{cr} 分别为 $Y_b - Y_b^2 / [2(G_b + G_c)]$ 和 $|Y_b^2 / [2(G_b + G_c)]|$

2) 测量导纳

$$Y = Y_b - j Y_b^2 / [(G_b + G_c) - j(B_b - B_c)] = Y_b - j Y_b^2 / [2(B_b - B_c)](1 + e^{j2\theta})$$

式中: $\theta = \arctan(G_b + G_c)/(B_b - B_c)$

若 Y_b, G_b 为常数, B_c (C_c) 取不同值, G_c (R_c) 变化(随 G_c 而变化), Y 的末端为一圆族(等电纳圆)。

在复平面上圆心半径分别为 $Y_b - j Y_b^2 / [2(B_b - B_c)]$ 和 $|Y_b^2 / [2(B_b - B_c)]|$ 。

图4(b)为 $X_b = 0.5 \text{ k}$ 时的测量导纳圆图。

若继电器整定值 $R_{set} = 2 \text{ k}$,而实际当 $C_c = 2 \mu\text{F}$ 时, R_c 下降到 4 k 时继电器就已经开始动作;当 $C_c = 4 \mu\text{F}$ 时, R_c 下降到 10 k 时继电器就已经开

始动作,故灵敏度受转子对地电容 C_e 的影响。

可见 Z_b 不为纯阻性时,动作值不再固定不变,且动作值与对地电容 C_e 密切相关。

(3) 接地碳刷与转子大轴间的接触电阻 R 对导纳继电器的影响

转子绕组与地(大轴)之间原有分布电导 G_e 和分布电容 C_e 相并联,进一步考虑接触电阻 R ,其等效测量阻抗

$$Z_e = R + Z_c = R + [R_e / (1/j C_e)] \quad (4)$$

设等效电纳

$$Y_e = 1/ Z_e = 1/ R_e + j C_e \quad (5)$$

式中 R_e 和 C_e 分别为考虑 R 后的转子绕组对地等效电阻和等效电容, R_e 与 C_e 相并联。

由(4)(5)式联合,经数学推导:

$$R_e = \frac{(R + R_e)^2 + (R R_e C_e)^2}{R + R_e + R R_e^2 C_e^2}$$

$$C_e = \frac{C_e}{(R + R_e)^2 + (R R_e C_e)^2}$$

表1为 $R_e = 100 \text{ k}$, R 及转子对地分布电容 C_e (μF) 变化时,测量电阻 R_e (k) 的计算值。注意表中每行划线的两个数一个大于 10K 另一个小于 10K 。由表知整定值为 10K ,接触电阻 R 变化时,测量电阻 R_e 可能小于整定值,此时继电器就会误发信号。

表1 R_e 的计算值

Tab.1 Values of R_e

	0	50	100	200	300	500	1000	1500	2000
0.5 μF	100	89.0	80.3	67.3	57.8	45.4	30.0	23	19
1 μF	100	67.0	50.48	33.8	25.6	17.4	<u>10.3</u>	<u>7.71</u>	6.90
1.5 μF	100	47.5	31.1	18.6	<u>13.4</u>	<u>8.8</u>	5.35	4.46	4.25
2 μF	100	33	20.3	<u>11.47</u>	<u>8.11</u>	5.35	3.50	3.2	
2.5 μF	100	24.6	<u>14.1</u>	<u>7.72</u>	5.45				
3 μF	100	18.4	<u>10.2</u>	<u>5.54</u>					

另外还可以把 R 看作是附加阻抗的一部分,即 $G_b = 1/ (R_b + R)$

测量导纳 $Y = G_b - G_b^2 / 2(G_e + G_b + jB_e)$

等电导圆心和半径分别为 $G_b^2 - G_b^2 / [2(G_e + G_b)]$ 和 $G_b^2 / 2(G_e + G_b)$,图5实线圆族。

等电纳圆心和半径分别为 $G_b + j G_b^2 / (2B_e)$ 和 $G_b^2 / (2B_e)$,图5虚线圆族。

而整定圆的圆心与半径仍为没有接触电阻时的整定圆的圆心与半径。

圆心: $G_b - G_b^2 / [2(G_{set} + G_b)]$

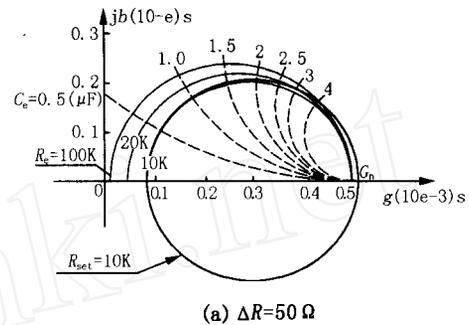
半径: $G_b^2 / [2(G_{set} + G_b)]$

画出整定圆和接触电阻(50、500)、 $R_b = 2\text{K}$ 、 R_e (100K、20K、10K)时的测量圆(等电导圆和等电纳圆)图5所示。

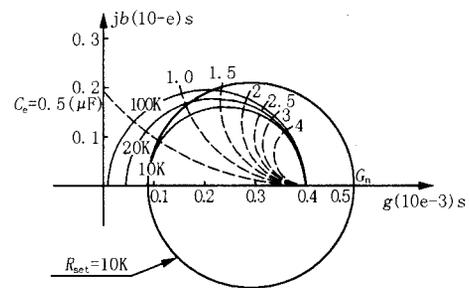
由表1和图5可知:

C_e 越大, R 对 R_e 的影响越大。

当 R 很小(例如小于50)时, C_e 2.5 μF , $R_{set} = 10 \text{ k}$ 的导纳继电器不会误动。



(a) $\Delta R=50 \Omega$



(b) $\Delta R=500 \Omega$

图5 接触电阻变化时的测量导纳

Fig.5 Measuring admittances under the changes of touch resistance

当 R 变大(例如大于500)时,保护装置测的 R_e 将远小于转子绕组实际对地电阻 R_e ,继电器极有可能误动作。随着 R 的增大保护装置测得的导纳圆将向左移动,当 R 大到一定值时测量导纳圆与整定圆没有相交点,此时继电器反而拒动。

为使继电器正确动作,必须确切保证接地碳刷与转子大轴间的接触电阻 R 50,为此应增加电刷与大轴间的压力,如更换碳刷,或改为均压刷架或增设一对碳刷(为防止刷架发生共振应与原碳刷位置相差 90°)。

6 解决实际中的问题

河南安峰电力有限公司 #3、#4 机组的发电机保护中的励磁一点接地保护继电器采用 LD-3 型接

地继电器,该继电器采用测量接地导纳原理.实际运行中,转子一点接地信号经常误发,严重影响机组安全运行,造成人心惶惶.在检查处理过程中,我们首先进行了励磁部分及发电机转子部分的绝缘检查,其间没有发现异常.其次,对二次回路绝缘全面检查,保护继电器复核校验,仍没有发现异常.最后,才找出真正的原因是由于接地碳刷与刷握之间配合过紧,造成接地碳刷磨损一段时间后与转子大轴接触不良,再加上转子大轴上方的油管对大轴的污染使接触电阻进一步变大,最终引起继电器误发信号.经更换接地碳刷,解决接地碳刷与刷握之间的配合,清擦转子大轴油污,信号就不再误发.经询问兄弟单位,也出现过此种讯号误发现象,望有关电力生产、设计、运行部门予以重视。

7 结论

本文针对测量接地导纳原理的LD-3型转子一点接地继电器在运行中经常出现的信号误发这一现象.分析了接地碳刷与转子大轴之间存在接触电阻引起误发信号的原因,同时指出了解决方案.经询问兄弟单位,也出现过此种信号误发现象,望有关电力生产、设计、运行部门加强对接地碳刷与转子大轴

之间接触电阻的监督以防止信号误发。

参考文献:

- [1] 李骏年(LI Jun-nian). 电力系统继电保护(Power System Relay Protection) [M]. 北京:中国电力出版社(Beijing: China Electric Power Press).
- [2] 国家电力调度通信中心(National Power Dispatch Communication Center). 电力系统实用技术问答(Manual of Power System Practical Technique) [A]. 北京:中国电力出版社(Beijing: China Electric Power Press).
- [3] 电力工业部安全监察及生产协调司组(Safety Supervision and Producing Coordination Group of Power Bureau). 新编保护继电器校验(New Edited Protecting Relay Proof) [A]. 北京:中国电力出版社(Beijing: China Electric Power Press),1997.
- [4] 山西省电力工业局(Shanxi Power Industry Bureau). 继电保护:中级工(Relay Protection: Intermediate Worker) [A]. 北京:中国电力出版社(Beijing: China Electric Power Press),1997.

收稿日期: 2003-06-02; 修回日期: 2003-08-20

作者简介:

邵红权(1974-),男,从事电力系统继电保护工作。

Analysis of misoperation of rotor one-point grounding protection

SHAO Hong-quan

(Henan Anfeng Electric Power Co., Ltd, Zhengzhou 451250, China)

Abstract: The paper introduces the principle of LD-3 rotor one-point grounding relay that measures the admittance against the ground. The reason for the misoperation of the rotor grounding relay is the unstable touch of the ground carbon brush with the rotor shaft.

Key words: ground protection; misoperation; generator rotor

(上接第 43 页 continued from page 43)

Discussion of open digitalized substation automation system

XU Li-bao¹, LIU Bao-zhi¹, HAO Yan-li²

(1. North China Electric Power University, Beijing 102206, China;

2. XI Group Corporation, Xuchang 461000, China)

Abstract: With the development of intelligent electronic device, especially the appearance of intelligent switch and optical sensor equipped with electrical components, great advancement happens in substation automation technology. In this paper, a unified framework of open digitalized substation automation system is proposed, and the problems of information sharing between IEDs in substation local network and SCADA, meanwhile, are mentioned. Then analysis about the possibility of applying IEC61850 to construct an open substation automation system is made. In the end, security problem in this system is discussed as well.

Key words: intelligent electronic device; open substation automation system; IEC61850; network security