

RADSG型大型发电机快速差动保护 动作行为分析

密县电厂 范五辰 龙天佑

本文针对瑞典ASEA公司研制的大型发电机快速差动继电器在发电机差动保护中的应用,较详细地分析了RADSG型快速发电机差动保护的動作行用,为应用此产品的电力工作者提供方便之路。

一 导 言

随着科学技术的进步,大型机组的发展也相当迅速,单机容量也越来越大。由于大型机组比中小型机组有着明显的经济效益,所以电厂向大型化发展已成为一种必然的趋势。但是大型机组对系统影响较大,一旦保护装置拒动或误动,都将会造成严重的损失。所以这为继电保护工作者提出了新的课题,它要求我们必须提高保护的灵敏度和保证选择性、速动性。国内目前采用的BCH型发电机差动保护,虽然是在原来纵差动保护的基础上增设了速饱和中间变流器,避免了区外短路时,由于非周期分量引起的不平衡电流致使保护误动作,提高了保护的可靠性。但是随之又带来了另一个问题,它降低了保护动作的快速性。即内部发生故障瞬间,有非周期分量产生,速饱和变流器饱和,继电器二次绕组感应电势很小,BCH型差动保护执行元件延时动作。动作速度大约在10~30ms之间。

为了解决速动性问题,瑞典ASEA公司研制出了一种快速差动继电器,它的测量元件可在发生内部短路后的1ms以内动作。它的原理和动作行为已在《继电器译丛》1988年第2期《大型发电机的快速差动保护》一文中进行了论述和分析。但为了推广和应用RADSG型快速发电机差动保护,在这里有必要再对其动作行为进行详细的分析和补充,力求通俗易懂。

二 RADSG型快速发电机差动保护概述

RADSG型快速发电机差动保护特点就是保护动作速度领前于电流互感器饱和速度。当外部短路时,利用电流互感器的饱和特性(即CT饱和时,其二次阻抗变成一个

很小的电阻性阻抗)来减小差回路不平衡电流,从而使保护不误动。当内部短路时,保护利用电流互感器励磁阻抗(二次侧)呈现一个大的电感性阻抗,来提高差动继电器动作量的上升速度,保证可靠灵敏动作。

1. 保护技术性能:

①此保护在 1~2 ms 内进行故障检查,在 5~10ms 内作用于跳闸。

②此保护的最小灵敏度(即在发生内部故障时,快速差动继电器动作电流)为主电流互感器额定值的 3%。(即对应发电机额定电流的 3%)。

③此保护具有 20% 的制动特性,即制动特性斜率为 20%。

④此保护不受电流互感器饱和的影响。

2. 差动继电器的构造:

发电机快速差动继电器的典型电路图如图 1,以 A 相为例。

图中 T_A 、 T_{MA} ——主电流互感器和辅助电流互感器。

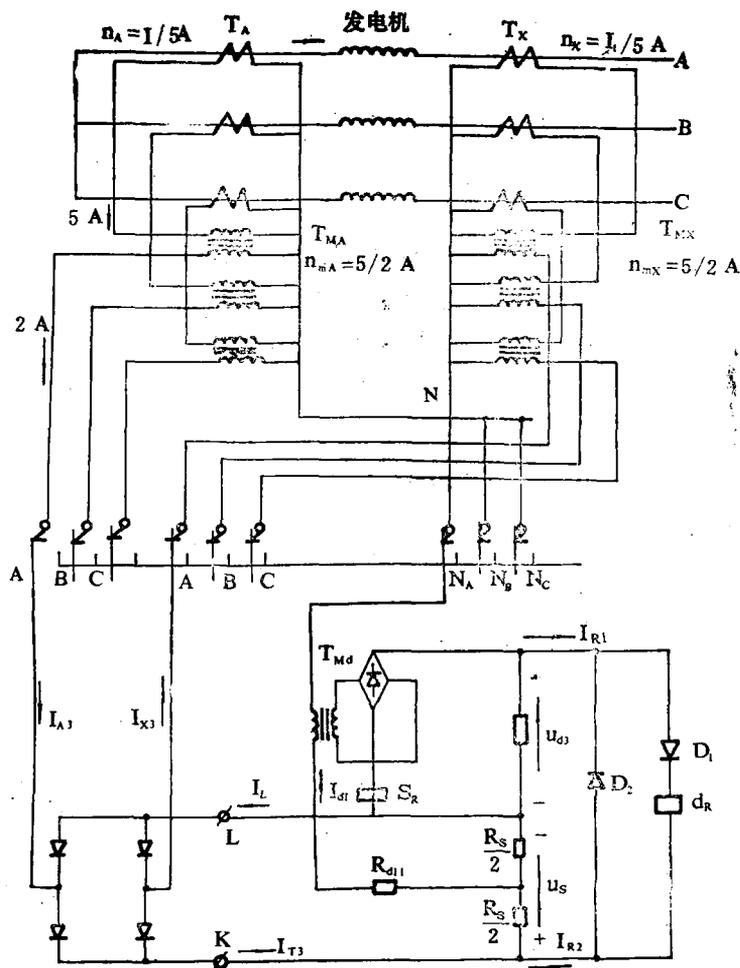


图 1 发电机快速差动继电器的典型电路图 (A 相)

- n_A, n_{MA} ——主电流互感器和辅助电流互感器变比, 分别为 $I_A / 5 \text{ A}$ 和 $5 / 2 \text{ A}$ 。
- S_R, d_R ——起动继电器和差动继电器元件
- T_{MA} ——差回路中间变流器(变比为 $10 / 1$)。
- u_s ——制动电压, 它通过调 R_s 阻值进行整定。
- u_{d3} ——动作电压, 它与 u_s 一起组成比较电压, 当 $(u_{d3} - u_s)$ 大于差动继电器 d_R 的门坎电压时, 差动继电器执行元件动作。
- I_{R1} ——差动继电器 d_R 的动作电流。
- I_{R2} ——差动继电器 d_R 的闭锁电流。
- R_s, R_{d3} ——比较回路中制动电压和动作电压的两电阻, 其阻值大小决定继电器的制动系数 S 。
- R_{d11} ——差动回路整定电阻
- I_{d1} ——差动电流
- I_{T3} ——流入继电器的电流
- I_L ——流出继电器的电流

三 RADSG型快速差动保护动作行为分析

1. 正常运行时:

由于 I_{T3} 、 I_L 即流入继电器与流出继电器的电流相等, 则差动电流 $I_{d1} = 0$, 保护不会动作, 再加上 R_s 两端的制动电压 u_s 对 d_R 继电器产生闭锁电流 I_{R2} 、 I_{R2} 则取道 D_2 , 对 d_R 继电器闭锁, 从而使 d_R 继电器可靠闭锁, 保护不动作。

2. 区外短路:

(1) 当 CT 未饱和时, 继电器等值电路如图 2, 从图 2 中可知当忽略 i_{A3} u_s 时:

$$u_{T3} = u_L$$

$$\therefore I_{T3} = I_L$$

考虑 u_s 时, 当 u_s 增大时, 制动电压增加, I_{R2} 也增加, 使 d_R 继电器可靠闭锁。

(2) CT 饱和情况下, 继电器等值电路如图 3 所示。

以 T_x 饱和为例: T_x 饱和, 二次侧输出电势等于零, 从 L、N 两端子看进去的 T_x 二次回路等效阻抗设为 R_{Lx} 。

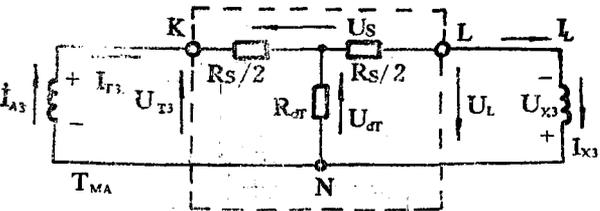


图 2 区外故障, CT 未饱和

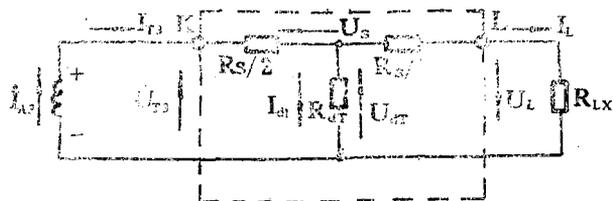


图 3 区外故障, CT 饱和时

流经 R_{LX} 的电流 I_L 应是 I_{T3} 在该支路上的分流,在差回路中电流应为 $I_{d1} = I_{T3} - I_L$,这样大的电流究竟能否使继电器误动作呢?当然是不会误动,原因有二:

a、因为 T_X 饱和,二次侧呈电阻性,低阻抗,流入差动继电器的电流 I_{T3} 大部分由 R_{LX} 分流,使 I_{d1} 很小。

b、差回路中的 I_{d1} 很小,它经变流器 T_{d1} 整流后输出电压 u_{d3} ,动作电压 u_{d3} 不足以克服制动电压 u_s 与差动继电器 d_R 的门坎电压。

由此可以证明差动继电器处于可靠的制动状态。

(3) 制动特性:

由上面分析可知,要使保护保持稳定,通过 d_R 继电器的电流 I_{R1} 也必须为零。因此稳定性方程式可如下式所示。

$$I_{d1} = S I_{T3} \quad (1)$$

式中: S ——稳定系数(制动系数) S 的大小是由 R_s 、 R_{d3} 决定的。

当 d_R 继电器处于稳定状态时: $u_{d3} = u_s$, $I_{R1} = 0$ 而当 $u_{d3} > u_s$ 时, $I_{d1} > S I_{T3}$, d_R 继电器可能动作。

$u_{d3} < u_s$ 时, $I_{d1} < S I_{T3}$, d_R 继电器可靠制动。

图4标出了可靠制动区和可能动作区。

(4) 稳定条件的判定。

由上面分析和图4知, d_R 继电器不动作,必须满足 $u_{d3} \leq u_s$, 即 $I_{d1} \leq S I_{T3}$ 。

如果忽略 R_s , d_R 继电器的稳定条件应为:

$$I_{d1} \cdot R_{dT} = I_L \cdot R_{LX}$$

把 $I_{d1} = S I_{T3}$, $I_L = I_{T3} - I_{d1}$ 代入上式:

$$S I_{T3} \cdot R_{dT} = (I_{T3} - I_{d1}) \cdot R_{LX} = (I_{T3} - S I_{T3}) \cdot R_{LX} = (1 - S) I_{T3} \cdot R_{LX}$$

$$\text{所以 } R_{LX} = \frac{S}{1 - S} \cdot R_{dT} \quad (2)$$

(2)式叫稳定条件判别式。

(2)式含义: 如果外部故障时主电流互感器(T_X)完全饱和,以及电阻 R_{LX} 符合 $R_{LX} \leq \frac{S}{1 - S} \cdot R_{dT}$ 式时,可以保证差动继电器保持稳定,而与故障电流和直流分量的大小无关。

但是若 R_{LX} 增大,继电器是否稳定呢?由(2)式可知要使继电器稳定,必须改变稳定系数 S ,即增大 S 值。在新的 S 下,(2)式 R_{LX} 变小了。即:

$$R_{LX} \leq \frac{S}{1 - S} R_{dT} \quad (2)$$

但此时若区内短路时,保护灵敏度要降低。

3. 区内短路: 令发电机空载运行(即 $I = 0$)等值电路图如图5,从L、N看:

$$Z_L = \frac{u_L}{I_L} = Z_{LX}$$

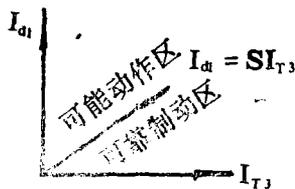


图4

Z_{LX} 代表 T_{MX} 的励磁阻抗。当CT饱和时， Z_{LX} 很大且呈电感性它又具有较大的时间常数（约200ms）。

$$\because Z_{LX} \gg R_{dT} \quad \therefore I_{d1} \gg I_L$$

若内部故障时发电机不接电网，电流 I_{A3} 通过差动回路，即 $I_{d1} = I_{A3}$ ；若发电机接到电网，则电流 I_{X3} 将会反向并通过差动回路。

因此 $I_{d1} = I_{A3} + I_{X3}$ 。

差动电流 I_{d1} 通过辅助电流互感器（ T_{Md} ）馈入全波整流器，电阻 R_{d3} 及起动继电器 S_R 。从 R_{d3} 上获得的电压 u_{d3} 将大于制动电压 u_S 与 d_r 的门坎电压。且 u_{d3} 的上升速度也远远大于 u_S 上升速度。因此 I_{R1} 通过二极管 D_1 ，使 d_R 继电器灵敏迅速动作。

d_R 继电器的工作原理可表示为：

$$u_{d3} - u_S = u_{D1} + I_{R1} R_{dR} \quad (3)$$

式中： u_{D1} —— D_1 式向压降， I_{R1} —— d_R 继电器的动作电流， R_{dR} —— d_R 继电器的电阻。

$u_{d3} = I_{d3} \cdot R_{d3} \approx (n_d I_{d1} - I_{R1}) R_{d3}$ ， n_d —— T_{Md} 的匝数比

$$u_S = I_{T3} \cdot \frac{R_S}{2} + (I_{T3} - I_{d1}) \frac{R_S}{2} + I_{R1} R_S$$

将 u_{d3} 、 u_S 值代入（3）后整理：

$$I_{d1} = \frac{R_S}{n_d R_{d3} + \frac{R_S}{2}} \cdot I_{T3} + \frac{R_{d3} + R_S + R_{dR}}{n_d R_{d3} + \frac{R_S}{2}} \cdot I_{R1} + \frac{u_{D1}}{n_d R_{d3} + \frac{R_S}{2}} \quad (4)$$

令上式中的 $\frac{R_S}{n_d R_{d3} + \frac{R_S}{2}} = S$ 。

$$\frac{R_{d3} + R_S + R_{dR}}{n_d R_{d3} + \frac{R_S}{2}} I_{R1} + \frac{u_{D1}}{n_d R_{d3} + \frac{R_S}{2}} = K$$

所以内部故障时，继电器动作方程推导：

（4）式可变为：

$$I_{d1} = S I_{T3} + K \quad (5)$$

上式即是继电器动作方程的一般表达式，在图6上表示如下。

讨论：

（1） $I_{R1} = 0$ 时， $K = 0$ 。（5）式变为 $I_{d1} = S I_{T3}$ ，继电器属于稳定状态。

（2） $0 < I_{R1} < d_R$ 继电器的动作电流，（5）式变为 $S I_{T3} < I_{d1} < S I_{T3} + K$ ，继

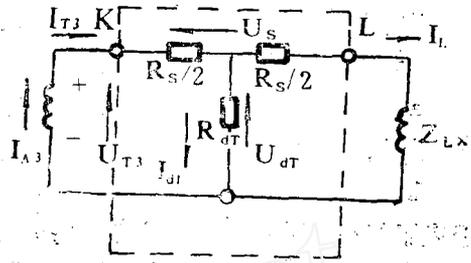


图5 区内短路

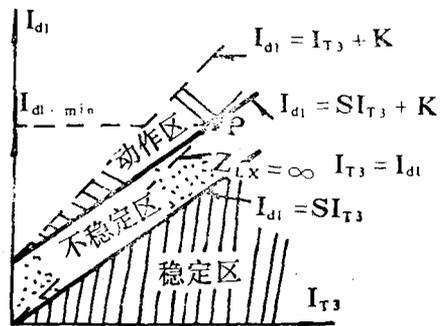


图6

电器处于不稳定区。

(3) $I_{R1} > d_R$ 继电器动作电流时, (5) 式变为 $I_{d1} > SI_{T3} + K$, d_R 继电器处于动作区。

(4) 当 CT (T_X) 励磁回路开路, $Z_{LX} = \infty$ 时 $I_{T3} = I_{d1}$ 。

当 CT 二次回路断线时, 图中在 P 点之上, 继电器将误动, 但并不说明 $S = 1$ 。

(5) 当 $n_d R_{d3} = \frac{R_s}{2}$ 时, 则 $S = \frac{R_s}{n_d R_{d3} + \frac{R_s}{2}} = 1$, (5) 式变为:

$I_{d1} = I_{T3} + K$, 这时继电器处于制动动态, 没有动作区, 因为 I_{d1} 不会大于 I_{T3} 。

(6) $R_s = 0$, 即 $S = 0$ 。(5) 式变为 $I_{d1} = K$ 。继电器动作最灵敏, 但区外故障时, 继电器要误动作。

如图 6 示出了继电器的动作区、不稳定区和稳定区。

继电器的最小动作电流 $I_{d1.min}$:

我们从原理图中可以看出, 只有当流入 (I_{T3}) = 差回路 I_{d1} 时, 继电器动作电流为最小。即 $I_{d1} = I_{T3} = I_{d1.min}$ 代入 (5) 式, 则有:

$$I_{d1.min} = SI_{d1.min} + K$$

$$\therefore I_{d1.min} = \frac{K}{1-S} \quad (6)$$

有上式可以说明: 在 K 值一定的情况下, 动作电流随稳定系数 S 的增大而增大, 随 S 减少而减小。

结束语

从《大型发电机的快速差动保护》一文中可以看出, 为了检查继电器的动作和稳定性性能, 瑞典 ASEA 公司也曾进行了大量的试验, 可以肯定在内部故障时, 继电器总是在第一个电流脉冲时动作。该脉冲出现在 CT 饱和以前, 这样 S_R 和 d_R 继电器的动作速度保证小于 1 ms。此外, 当最严重的穿越故障电流情况下, 此继电器总是保持非常稳定。因此该产品是完全可以信得过的。

由于水平有限, 仅作一简单分析, 望同行的老师们多加指教。