

瑞典“RADSS”母差保护整定方法探讨

湖北省电力局中调所 龚序 刘江平

摘要

瑞典ASEA公司生产的“RADSS”型母线差动保护,是一种构成原理独特、先进的保护。由于该保护具有一系列突出的优点,因此国内许多省引进作为220~500千伏母线保护。但是该保护的整定计算,到目前为止还没有可依循的方法。本文从分析该装置各种运行状态入手,导出了有关参数的整定域、整定公式,并提出了整定方法,作了实例整定计算,给出了结论性的意见。

一 问题的提出

“RADSS”型母差保护(以下简称“装置”),由于构成原理独特、先进,并具有目前国内一些其它原理构成和母差保护不能比拟的优点:1)能反应各类型的相间及

四 结束语

本文提出的利用相关函数值变化情况来判别励磁涌流和内部故障的方法,经过计算机仿真证明是一种可行的微机保护方案,但未经过现场在线运行的检验,还有待于做进一步的工作。

参考文献

1. 应用相关理论构成的数字式差动保护程序 施怀瑾 继电器 1984. 1
2. 大型变压器的计算机保护 胡立华 重庆大学学报 1982. 3
3. 大型机组继电保护理论基础 高焕新 水利电力出版社 1982年12月 第一版
4. 变压器计算机保护 王维俭 侯炳蕴 东北工学院研究生院论文 1989 6
5. 变压器差动保护相关法的改进 高焕新 林文铮 辽宁电机工程学报 1989 1

接地故障，进行比率制动；2）动作速度快，大约 $8 \sim 13$ 毫秒就能接通开关跳闸线圈；3）当发生短路容量无穷大（MVA）及线路CT完全饱和的穿越性故障时，仍能保证足够的稳定；4）灵敏度高，据有关资料介绍，差动继电器的整定值低于最大线路负荷电流的20~60%；5）线路CT只要合乎设计标准，可以允许较差的特性和不同的变比；6）可以使用具有较大回路电阻的标准CT引线，等等。因此，我国许多省引进作为220~500千伏电网的母线保护。但是，装置有关整定值厂家只给出整定值表及推荐数值，而未见计算公式和理论说明，这就引起了运行部门对该装置在运行时能否正确动作的担心。这种担心是有道理的，正如在后面的实例计算中看到的，由于装置不管用于短路容量大，还是短路容量小的母线，若均按建议书的推荐值整定，在系统最小的运行方式下，母线故障时动作灵敏度不能满足要求，完全丧失了该装置动作灵敏度高的优点，因此有必要根据具体情况整定计算，以选取最佳的整定值。由此可见，导出该装置有关整定参数的整定域、整定公式并提出整定方法，不仅是理论上的需要，而且有明显的实用价值，

二 装置的动作原理及各种运行状态的简要分析

1. 动作原理及动作方程的推导：

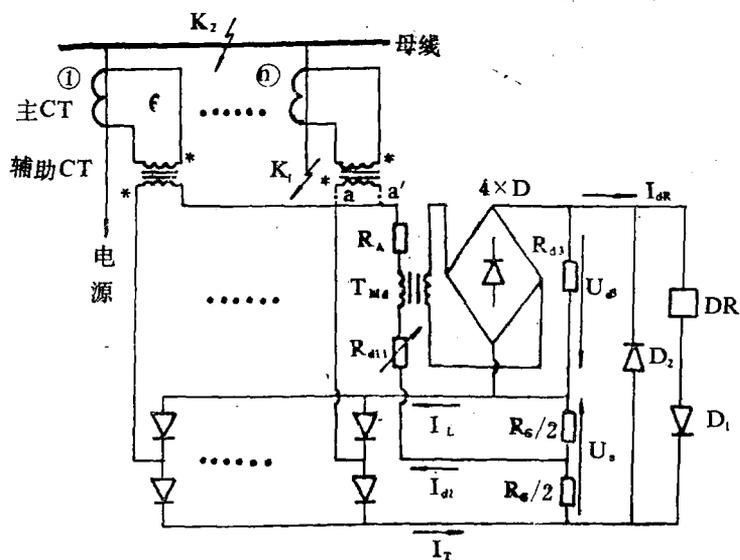


图 1

图 1 为装置原理简图（仅画出一相）。根据图 1 可知：

$$U_{d3} = U_s + I_{DRd2}R_{DR} + V_{D1} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} U_{d3} &= (n_d I_{d1(DR)} - I_{DRd2})R_{d3} \\ &= n_d I_{d1(DR)}R_{d3} - I_{DRd2}R_{d3} \end{aligned} \quad (2)$$

$$U_s = I_T \frac{R_s}{2} + (I_T - I_{d1(DR)}) \frac{R_s}{2} + I_{DRdz} R_s \quad (3)$$

式中:

I_T ——输入至差动继电器的总电流

V_{D1} ——二极管 D_1 的正向导通电压

R_s ——制动电阻

I_{DRdz} ——差动继电器DR的动作电流

R_{DR} ——差动继电器DR的内阻

n_d ——差流变压器 T_{Nd} 的变比

R_{ds} ——差动回路电阻

$I_{d1(DR)}$ ——差动回路的动作电流

将(3)式和(2)式代入(1)式再经化简整理后得动作电流方程:

$$I_{d1(DR)} = [(R_s + R_{ds} + R_{DR}) I_{DRdz} + I_T R_s + V_{D1}] / (n_d R_{ds} + R_s / 2)$$

或:

$$I_{d1(DR)} = \frac{R_s}{n_d R_{ds} + R_s / 2} I_T + \frac{I_{DRdz} (R_s + R_{ds} + R_{DR}) + V_{D1}}{n_d R_{ds} + R_s / 2} \quad (4)$$

令:

$$S = R_s / (n_d R_{ds} + R_s / 2) \quad (5)$$

$$K = [I_{DRdz} (R_s + R_{ds} + R_{DR}) + V_{D1}] / (n_d R_{ds} + R_s / 2) \quad (6)$$

称“S”为整定的制动梯度。

则(4)式可写为:

$$I_{d1(DR)} = S I_T + K \quad (7)$$

从(7)式不难看出:制动梯度S取值越大,保护动作需要的电流就越大,区内故障灵敏度就越低,但防止区外故障误动能力就越强;制动梯度S取值越小,保护动作需要的电流就越小,区内故障灵敏度就越高,但防止区外故障误动能力就越差。

2. 各种运行状态的简要分析

1) 正常运行状态

假设流入装置差动继电器的总电流为 I_T ,流入差动回路的不平衡电流为 αI_T ($0 < \alpha < 1$),整定时只要选取适当的制动梯度S值,保证:

$$\alpha I_T < I_{d1(DR)}$$

$$\text{或: } \alpha I_T < S I_T + K \quad (8)$$

装置在该运行状态下就能稳定、可靠运行。

2) 区外故障运行状态:

A) 主CT未饱和

该运行状态的分析方法与结论与正常运行状态相同,这里不再赘述。

B) 主CT完全饱和:

在图1中,假设 K_1 点发生区外故障,第n个主CT严重饱和,以致从 a 、 a' 端看进去

完全可以忽略电抗，只用回路的直流电阻 R_L 来等效表示。见图2所示。

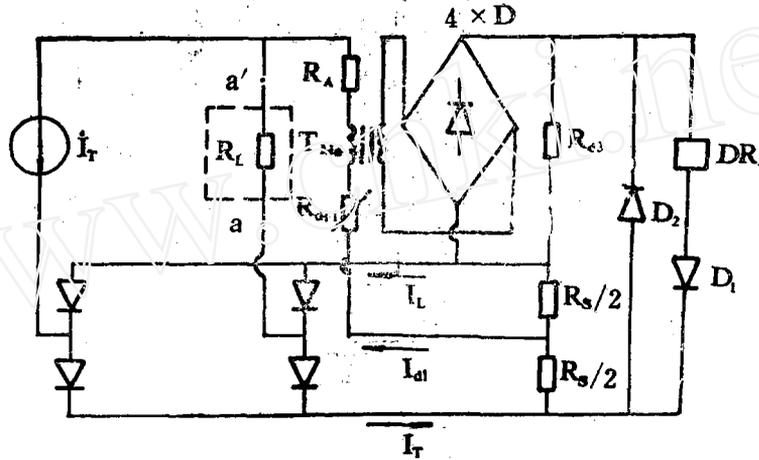


图2

则流入装置差动回路的电流为：

$$I_{d1} = I_T R_L / (R_L + R_T + R_s / 2) \quad (9)$$

式中：

R_T ——差动回路的总电阻。

令：

$$S'' = R_L / (R_L + R_T + R_s / 2) \quad \text{〔称为区外故障主CT饱和后的制动梯度。〕}$$

因为：

$$R_s / 2 \ll R_T + R_L$$

所以可以近似地认为：

$$S'' = R_L / (R_L + R_T) \quad (10)$$

则(9)式可写为：

$$I_{d1} = S'' I_T \quad (11)$$

整定时只要选取适当的制动梯度 S 值，保证：

$$I_{d1} < I_{d1(DR)}$$

$$\text{或： } S'' I_T < S I_T + K \quad (12)$$

装置在该运行状态下就能稳定、可靠运行。

3. 区内故障运行状态：

在图1中，假设在 K_2 点发生故障，流入装置差动继电器总电流为 I_T ，母线上有 n 回出线，用 j 表示母线上有可能出现的最少连络线数目，其它出线为馈电线或者检修线。在内部故障时馈线和检修线均按空载线路考虑，因此从其辅助CT二次侧看进去，可以用一个纯电抗 X_L 来等值表示。如图3所示。

上式可变写为:

$$S''I_T < SI_T$$

经整理得:

$$S > S'' \quad (17)$$

将(5)式、(10)式代入上式得:

$$R_s / (n_d R_{d3} + R_s / 2) > R_L / (R_L + R_T)$$

$$R_s R_L + R_s R_L > R_L n_d R_{d3} + R_L R_s / 2$$

$$R_s (R_L + R_T - R_L / 2) > R_L n_d R_{d3}$$

最后得:

$$R_s > R_L n_d R_{d3} / (R_T + 0.5 R_L) \quad (18)$$

注:

由于 αI_T 是正常运行状态下主CT励磁特性误差所引起的不平衡电流,它远小于 $S''I_T$,所以 R_s 整定下限仅考虑 $I_{d1(DR)} > S''I_T$ 这个条件。

2. 整定域上限

按保证内部故障该装置可靠动作。可靠动作的必要条件为:

$$\begin{cases} S'I_T > SI_T + K \\ I_{DR} = I_{DRdz} \end{cases} \quad (19)$$

假设取装置动作边界电流为:

$$I_T = I_{Dmi}$$

式中:

I_{Dmi} ——母线故障最小短路电流(折算到辅助CT二次侧)。

则上式可写为:

$$S'I_{Dmi} > SI_{Dmi} + K$$

将(5)(6)式代入上式有:

$$S'I_{Dmi} > \frac{R_s}{n_d R_{d3} + R_s / 2} I_{Dmi} + \frac{I_{DRdz} R_s + I_{DRdz} (R_{d3} + R_{DR}) + V_{D1}}{n_d R_{d3} + R_s / 2}$$

上式方程两边同乘以 $(n_d R_{d3} + R_s / 2)$ 得:

$$S'I_{Dmi} (n_d R_{d3} + R_s / 2) > I_{Dmi} R_s + I_{Dmi} R_s + I_{DRdz} (R_{d3} + R_{DR}) + V_{D1}$$

经整理得:

$$S'I_{Dmi} n_d R_{d3} - [I_{DRdz} (R_{d3} + R_{DR}) + V_{D1}] > R_s [I_{Dmi} (1 - S' / 2) + I_{DRdz}]$$

最后有:

$$R_s < \frac{I_{Dmi} S' n_d R_{d3} - [I_{DRdz} (R_{d3} + R_{DR}) + V_{D1}]}{[I_{Dmi} (1 - S' / 2) + I_{DRdz}]} \quad (20)$$

R_s 整定域为:

$$\frac{R_L n_d R_{d3}}{R_T + 0.5 R_L} < R < \frac{I_{Dmi} S' n_d R_{d3} - [I_{DRdz} (R_{d3} + R_{DR}) + V_{D1}]}{I_{Dmi} (1 - S' / 2) + I_{DRdz}} \quad (21)$$

3. 制动电阻 R_s 整定公式推导:

假设装置动作电流为 $I_{T(dz)}$, 按保证母线故障最小短路电流 I_{Dmin} 具有 β 以上的灵敏度整定, 根据灵敏度定义公式:

$$K_{lm} (\text{灵敏度}) = I_{Dmin} / I_{T(dz)}$$

则有:

$$K_{lm} \geq \beta \quad (22)$$

$$\text{或: } I_{Dmin} / I_{T(dz)} \geq \beta \quad (23)$$

(23) 式经变换得:

$$I_{T(dz)} \leq I_{Dmin} / \beta \quad (24)$$

根据内部故障装置临界动作必要条件:

$$\begin{cases} S' I_T = S I_T + K \\ I_{DR} = I_{DR(dz)} \end{cases}$$

将 $I_T = I_{T(dz)}$ 代入上式可得:

$$I_{T(dz)} = K / (S' - S) \quad (25)$$

将(25)式代入(24)式得:

$$K / (S' - S) \leq I_{Dmin} / \beta$$

$$\text{或: } \beta K \leq I_{Dmin} S' - I_{Dmin} S$$

将(5)、(6)式代入上式有:

$$\frac{\beta I_{DR(dz)} R_s + \beta I_{DR(dz)} (R_{d3} + R_{DR}) + \beta V_{D1}}{n_d R_{d3} + R_s / 2} \leq I_{Dmin} S' - I_{Dmin} \frac{R_s}{n_d R_{d3} + R_s / 2}$$

上式两边同乘以 $(n_d R_{d3} + R_s / 2)$ 并经整理得:

$$R_s [\beta I_{DR(dz)} + I_{Dmin} (1 - S' / 2)] \leq I_{Dmin} S' n_d R_{d3} - \beta [I_{DR(dz)} (R_{d3} + R_{DR}) + V_{D1}]$$

最后得 R_s 的整定公式为:

$$R_s \leq \frac{I_{Dmin} S' n_d R_{d3} - \beta [I_{DR(dz)} (R_{d3} + R_{DR}) + V_{D1}]}{\beta I_{DR(dz)} + I_{Dmin} (1 - S' / 2)} \quad (26)$$

四 差动回路总电阻 R_T 的求取

在求取 R_s 及其整定域时, 必须先求该装置差动回路总电阻 R_T 。因此, 我们根据图1可得:

$$R_T = n_d^2 R_{d3} + R_{Md} + R'_{Md} + R_A + 2 n_d V_D / I_{Dmin} + R_{d11} \quad (27)$$

式中:

R_{Md} ——差流变换器 T_{Md} 一次绕组的电阻;

R'_{Md} ——差流变换器 T_{Md} 二次绕组的电阻折算到其一次值;

R_A ——CT断线报警继电器的内阻;

$2 n_d V_D / I_{Dmin}$ —— T_{Md} 二次全波整流二极管的正向压降反映到差动回路的电阻;

R_{d11} ——可调整电阻；

五 装置灵敏度校验公式的推导

假设装置临界动作电流为 $I_{T(dz)}$ ，内部故障最小短路电流为 I_{Dmi} ，则该装置动作灵敏度为：

$$K_{lm} = I_{Dmi} / I_{T(dz)}$$

将(25)式代入上式最后得灵敏度的校验公式为：

$$K_{lm} = I_{Dmi} (S' - S) / K \quad (28)$$

将(8)式代入上式有：

$$K_{lm} = I_{Dmi} (S' - S) (n_d R_{d3} + R_s / 2) / [I_{DRdz} (R_s + R_{d3} + R_{DR}) + V_{D1}] \quad (29)$$

六 R 及其有关参数的整定方法

1. 计算前的准备：

应知： n_d 、 R_{d3} 、 R_{Md} 、 R'_{Md} 、 R_A 、 I_{Dmi} 、 j ；主CT变比 n_{CT} ；辅助CT变比 n_{fCT} ； I_{DRdz} 及 R_{DR} （实测或由厂家提供），并测取 R_L 和 X'_L 。

2. R_T 的整定：

R_T 按(27)式求取。整定时，先按调整电阻 $R_{d11} = 0 \Omega$ 考虑，使得内部故障时的制动梯度 S' 处于最大值，装置最灵敏。

3. R_s 的整定：

A) 用(21)式先求出 R_s 的整定域。

B) R_s 按(26)式求取。由于装置在区内故障时灵敏度较高，(26)式中的 β 通常按灵敏度 $K_{lm} \geq 2$ （即：取 $\beta \geq 2$ ）考虑，一般计算出来的 R_s 值均在其整定域内。

七 整定计算实例

例：某一变电站，220千伏双母线共有11回出线（其中母联开关按1回出线考虑），采用瑞典“RADSS”型母差保护，试用上述方法对该母差保护进行整定计算。

1) 已知：

$n_{CT} = 1200 / 5$ ； $n_{fCT} = 5 / 1$ ； $I_{Dmi} = 2.6A$ （折算到辅助CT二次侧值）； $j = 3$ ； $n_d = 10$ ； $R_{d3} = 1.1 \Omega$ ； $R_{Md} = 35 \Omega$ ； $R'_{Md} = 28 \Omega$ ； $R_A = 20 \Omega$ ； $V_D = V_{D1}$ 均取 $0.7V$ 。并测得： $R_L = 168 \Omega$ ； $X'_L = 9700 \Omega$ ； $I_{DRdz} = 0.03A$ ； $R_{DR} = 20 \Omega$ 。

则：

$$\begin{aligned} X_L &= X'_L / (n - j) \\ &= 9700 / (11 - 3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= 2 n_d V_D / I_{Dmi} \\ &= 2 \times 10 \times 0.7 / 2.6 \end{aligned}$$

$$= 1212.5\Omega$$

$$= 5.38\Omega$$

2) R_T 的选取:

先按调整电阻 $R_{d11} = 0\Omega$ 考虑。则:

$$\begin{aligned} R_T &= n^2 R_{d3} + R_{Md} + R'_{Md} + R_A + 2 n_d V_D / I_{Dmin} + R_{d11} \\ &= 10^2 \times 1.1 + 35 + 28 + 20 + 5.38 \\ &= 198.38\Omega \end{aligned}$$

取: $R_T = 200\Omega$

3) S' 的求取:

$$\begin{aligned} S' &= X_L / (X_L + R_T) \\ &= 1212.5 / (1212.5 + 200) \\ &= 0.86 \end{aligned}$$

4) R_S 的整定计算:

A) 按厂家推荐值 $S = 0.8$ 计算:

a) R_S 的求取:

由 (5) 式变换得:

$$\begin{aligned} R_S &= S n_d R_{d3} / (1 - S / 2) \\ &= 0.8 \times 10 \times 1.1 / (1 - 0.8 / 2) \\ &= 14.67\Omega \end{aligned}$$

b) 灵敏度校验:

$$\begin{aligned} K_{lm} &= I_{Dmin} (S' - S) (n_d R_{d3} + R_S / 2) / [I_{DRdz} (R_S + R_{DR} + R_{d3}) + V_{D1}] \\ &= 2.6 (0.86 - 0.8) (10 \times 1.1 + 14.67 / 2) / [0.03 (14.67 + 20 + 1.1) + 0.7] \\ &= 1.57 < 2 \quad \text{不能满足要求!} \end{aligned}$$

可见按厂家推荐值整定, 该装置动作灵敏度小于 2, 不能满足要求。

B) 按本文所述方法对该装置有关整定值重新计算:

a) 整定域的求取:

① 下限的求取:

$$\begin{aligned} R_S &> R_L R_{d3} n_d / (R_T + 0.5 R_L) \\ &= 168 \times 1.1 \times 10 / (200 + 0.5 \times 168) \\ &= 6.5\Omega \end{aligned}$$

② 上限的求取:

$$\begin{aligned} R_S &< \{ I_{Dmin} S' n_d R_{d3} - [I_{DRdz} (R_{d3} + R_{DR}) + V_{D1}] \} / [I_{DRdz} \\ &\quad + I_{Dmin} (1 - S' / 2)] \\ &= \{ 2.6 \times 0.86 \times 10 \times 1.1 - [0.03 (1.1 + 20) + 0.7] \} \\ &\quad + [0.03 + 2.6 (1 - 0.86 / 2)] \\ &= 15.39\Omega \end{aligned}$$

R_S 的整定域为:

$$6.5\Omega < R_S < 15.39\Omega$$

6) R_s 的整定:

$$R_s \leq \frac{I_{Dmin} S' n_d R_{d3} - \beta [I_{DRdz} (R_{d3} + R_{DR}) + V_{D1}]}{\beta I_{DRdz} + I_{Dmin} (1 - S' / 2)}$$

当取 $\beta = 2$ (即 $k_{lm} \geq 2$) 则:

$$R_s \leq \frac{2.6 \times 0.86 \times 10 \times 1.1 - 2 [0.03 (1.1 + 20) + 0.7]}{2 \times 0.03 + 2.6 (1 - 0.86 / 2)}$$

$$= 14.22 \Omega$$

取: $R_s = 12 \Omega$

则: $S = R_s / (n_d R_{d3} + R_s / 2)$

$$= 12 / (10 \times 1.1 + 12 / 2)$$

≈ 0.7

c) 灵敏度校验:

$$K_{lm} = I_{Dmin} (S' - S) (n_d R_{d3} + R_s / 2) / [I_{DRdz} (R_s + R_{d3} + R_{DR}) + V_{D1}]$$

$$= 2.6 (0.86 - 0.7) (10 \times 1.1 + 12 / 2) / [0.03 (12 + 1.1 + 20) + 0.7]$$

$$\approx 3.98 > 2 \quad \text{满足要求!}$$

八 结 论

综上所述可见,我国电力系统从瑞典AESA公司引进的“RADSS”母线差动保护,在投运前很有必要根据具体情况,对该保护有关推荐使用定值进行灵敏度核算(必要时重新整定计算),否则,母线故障有可能因其灵敏度不够而拒动,造成大面积停电事故,甚至威胁整个电网的安全稳定。