

微机型失步和失步预测保护

徐振宇¹, 张学深²

(1. 清华大学电机系, 北京 100084; 2. 许昌继电器研究所, 河南 许昌 461000)

中图分类号: TM772

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2000)07-0028-03

1 前言

根据三峡发电机组保护研究任务的要求, 采用 R 、 dR/dt 复合量作为判据, 研制了微机型失步和失步预测保护, 该保护的功能是:

- (1) 能正确区分短路故障与振荡。
- (2) 能预测发电机发生的是可恢复的摇摆, 还是不可恢复性的振荡。

在发电机发生可恢复性的摇摆时, 失步保护能可靠闭锁, 并发出信号, 提醒运行人员注意。当发电机发生不可恢复性的振荡时, 失步保护可靠动作。

2 微机型失步和失步预测保护的原理

采用 R 、 dR/dt 复合量作为判据所构成的失步和失步预测保护装置提高了继电保护装置的灵敏度, 保证装置在各种运行状态下能够正确动作。当装置测量到的 R 迅速减少, 而 $dR/dt < 0$ 时, 表示系统功角 δ 在迅速增加, 电压在迅速下降, 故希望装置在 $dR/dt < 0$ 时加速动作。 dR/dt 分量起反馈作用。在系统振荡过程中, 对大多数系统 R 、 dR/dt 随时间变化较为平稳, 用差分方法来计算, 只要采样周期足够小, 计算精度完全可以满足要求, 测量点的精度就可以有保证, 并可大大地减少计算的工作量, 且允许不一定将装置安装在振荡中心, 使方案在实现上变得简单, 同时也扩大了装置的适用性。

图1为一个两机等值系统图。

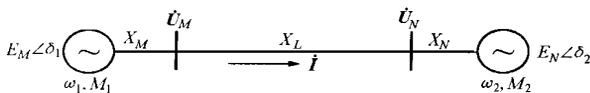


图1

两机等值系统的机械运动方程式如下:

$$M_1 \frac{d^2 \delta_1}{dt^2} = \frac{E_M E_N}{X} [\sin(\delta_{10} - \delta_{20}) - \sin(\delta_1 - \delta_2)] + \dots \quad (1)$$

$$M_2 \frac{d^2 \delta_2}{dt^2} = \frac{E_M E_N}{X} [\sin(\delta_{10} - \delta_{20}) - \sin(\delta_1 - \delta_2)] + \dots \quad (2)$$

其中 δ_1, δ_2 是扰动量。

令:

$$\delta = \delta_1 - \delta_2; \quad \delta_0 = \delta_{10} - \delta_{20}; \quad M = \frac{M_1 + M_2}{M_1 + M_2};$$

$$= \frac{M_2 \delta_1 - M_1 \delta_2}{M_1 + M_2}, \quad N \triangleq E / \sqrt{MX}$$

并设 $E_M = E_N = E, X = X_M + X_L + X_N$, 则可得两机等值系统功角 δ 的一阶微分方程式为

$$\dot{\delta} = \pm \sqrt{2} \left[\frac{2}{N} (\sin \delta_0 + \cos \delta_0) + \frac{1}{M} \int \dot{\delta} dt \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

对于故障来讲, δ 近似为一脉冲, 因此有

$$\frac{1}{M} \int \dot{\delta} dt = C \quad (4)$$

这样式(3)就成为

$$\dot{\delta} = \pm \sqrt{2} \left[\frac{2}{N} (\sin \delta_0 + \cos \delta_0) + C \right]^{\frac{1}{2}}$$

如图2所示, 对一 C 值, 设当 $\delta = \delta_K$ 时, $\dot{\delta} = 0$ 。

因此有 $C = - \frac{2}{N} (\delta_K \sin \delta_0 + \cos \delta_K)$ (5)

这样就有

$$\dot{\delta} = \pm \sqrt{2} \left[\frac{2}{N} (\cos \delta - \cos \delta_K) + (\delta - \delta_K) \sin \delta_K \right]^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

对于式(6), 由于取不同的 C 值, 就对应于不同的 δ_K 如图2所示, 恰当地选取 C 值, 亦即恰当地选取某种程度的扰动, 使得 $\delta_K = \delta_M = \delta_0$ 就得到实际系统的稳定边界为

$$\dot{\delta} = \pm \sqrt{2} \left[\frac{2}{N} (\cos \delta - \cos \delta_M) + (\delta - \delta_M) \sin \delta_M \right]^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

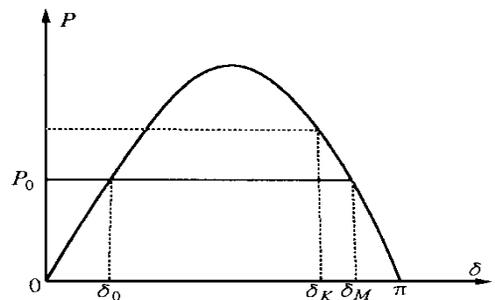


图2

~ 相平面图见图 3。

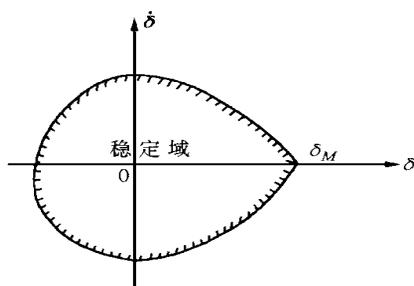


图 3

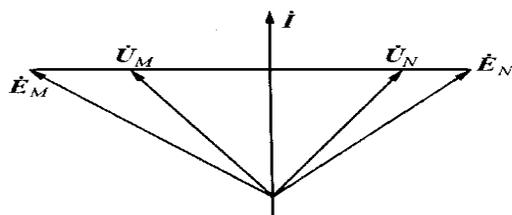


图 4

图 1 所示的两机等值系统,其电压相量图见图 4。此图是在忽略系统等值阻抗中电阻分量的条件下作出的。由图得

$$\begin{aligned} \dot{U}_M &= \dot{E}_M - \dot{I}Z_M \\ Z &= \frac{\dot{U}_M}{\dot{I}} = \frac{\dot{E}_M - \dot{I}Z_M}{\dot{I}} = \frac{\dot{E}_M}{\dot{I}} - Z_M \end{aligned}$$

因 $\dot{E}_M = \dot{E}_N + jIX$, 则

$$\frac{\dot{E}_M}{\dot{I}} = \frac{jIX}{1 - e^{-j}}$$

又因 $\frac{1}{(1 - e^{-j})} = \frac{1}{2} (1 - j \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2})$

将其代入上式得

$$\frac{\dot{E}_M}{\dot{I}} = \frac{1}{2} jX (1 - j \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}) \quad (9)$$

再将式(9)代入式(8)得

$$\begin{aligned} Z &= \frac{1}{2} jX (1 - j \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}) - jX_M = \\ &= \frac{1}{2X} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} + \frac{1}{2} j(X_L + X_H - X_M) \\ R &= \frac{1}{2} X \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} \quad (10) \end{aligned}$$

$$\dot{R} = \left[\frac{1}{2} (X \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}) \right] = \frac{1}{4} X \operatorname{csc}^2 \frac{\alpha}{2} \quad (11)$$

式(10)、(11)分别反映发电机输送功率率在阻抗分量及其变化率。它在 $R - \dot{R}$ 相平面上对应极圈和稳定边界近似于一折线 L_S , 如图 5 所示。

图 3 中 $\delta - \dot{\delta}$ 相平面上的 M 对应图 5 中 $R - \dot{R}$

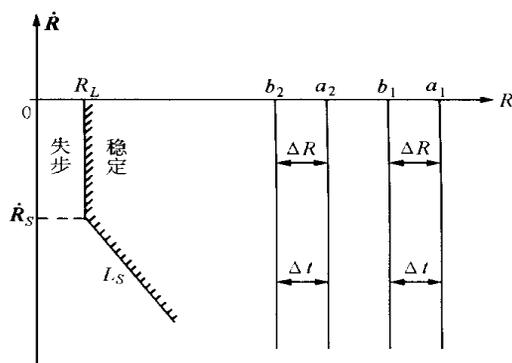


图 5

相平面上的 R_L , 因此有

$$R_L = \frac{1}{2} X \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} \quad (12)$$

在图 5 中,当振荡轨迹位于开关线 L_S 右侧时,系统是稳定的;而当轨迹位于左侧时,可以认为系统已经失去了稳定或即将失去稳定;增大开关线 L_S 折线的斜率,可以将较严重的失稳尽早预测出来,图 5 中 a_1, b_1, a_2, b_2 四道开关线是用于区别短路故障与振荡的, a_1, b_1 组成一个区间, a_2, b_2 组成另一个区间,当系统的振荡轨迹经过这两个区间的时间都大于某一给定值(例如 7.5ms)时则判定为系统发生振荡;若振荡轨迹进而又越过开关线 L_S , 则判定为发电机失步,失步保护正确动作;若前面的判据判定为系统振荡,但其轨迹未越过 L_S 开关线,则判定为发电机所发生的振荡为同步振荡。

以 $R - \dot{R}$ 相平面为基础,系统动作轨迹简化如下:

当发生故障或发生失步振荡时,某些特征量会发生鲜明的变化,借助于前人的研究和后人的不断探索,经过不断完善和改进,开发了现在的软件。在我们研制失步保护的设计中,其软件的设计,是利用解微分方程计算出 R 值的变化率 dR/dt (简称 \dot{R}),在计算方法上比前人用的方法简单、实用,并设计了 a_1, b_1, a_2, b_2 四道开关线。

当发生故障时,电阻变化比较迅速,在很短时间内就能通过 a_1, b_1 区间和 a_2, b_2 区间;而当它发生振荡时,电阻变化则较为缓慢,它们经过 a_1, b_1 区间和 a_2, b_2 的时间 t 相对较长,由此就可判断发电机是发生故障还是振荡,进而观察振荡是否为可恢复性,并提醒运行值班人员采取相应措施力争把损失降至最低限度。在软件设计中,之所以选用 a_1, b_1, a_2, b_2 两个区间,其目的:第一是为了争取可靠性,两次判断结果一致才能被确认,减少了误判的几率;第二是

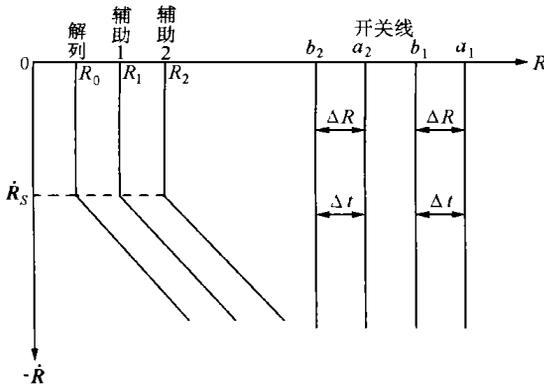


图6

为了区分转换性故障和失步振荡,以避免在发生转换性故障时可能出现误动。当一个转换性故障第一次结束后的视在电阻恰好停留在开关线中间,它与振荡已很难区分,这时另外再加上一道开关线,就能可靠将其屏蔽。

辅助1、辅助2为采取挽救措施预报警信号线,当一切措施均无效时,振荡轨迹越过解列线确定为不可恢复性失步振荡,见图6。发电机失步振荡较严重时 R 下降的速度很快,此时 $|\dot{R}|$ 较大在这种情况下应该尽早将系统解列,选取较少的 $|\dot{R}_s|$ 可以

满足这种要求,使辅助1、辅助2的开关线尽早倾斜,失步保护尽早作出判断。

3 运行情况总结

图6中,解列、辅助1和辅助2三条垂线是没有预测作用的失步保护,其动作判据为:

$$R - R_0, R - R_1, R - R_2$$

当 $\dot{R} > \dot{R}_s$ 时,动作判据为

$$(R - R_{00}) + T\dot{R} > 0$$

上式中 $T\dot{R}$ 项表示失步保护具有预测作用, T 值整定越大,预测作用越强。国内外运行经验表明:失步预测提前量越大,保护装置越可能误动。鉴于我国主设备保护误动作率高,大型发电机失步保护暂不宜有预测功能或预测提前量取较小值。

300MW及以上发电机的失步保护只有在下述情况下作用于跳闸:振荡中心位于发-变组内;失步持续相当长时间或经若干振荡周期,并且检查电流大小和电流变化率为负。

收稿日期: 2000-03-08

作者简介: 徐振宇(1965-),男,博士,从事电力系统继电保护的研究;张学深(1964-),男,硕士,从事电力主设备保护的设计、研究工作。

Microprocessor based out-of-step and out-of-step prediction protection

XU Zhen-yu¹, ZHANG Xue-shen²

(1. Tsinghua University, Beijing 100084; 2. Xuchang Relay Research Institute, Xuchang 461000, China)

(上接第19页)的全过程,以便于分析和查找事故原因。

参考文献:

[1] 王维俭. 电气主设备继电保护原理与应用. 北京: 中国电力出版社, 1996.

[2] 高景德,王祥珩,李发海. 交流电机及其系统的分析. 北京:清华大学出版社, 1993.

收稿日期: 2000-01-29

作者简介: 王豫川(1965-),男,大学本科,工程师,从事大机组保护的研究与应用。

Discussion on the feasibility of innovating the main protection against the internal fault in the stator winding of 300MW turbogenerator in Daba power plant

WANG Yu - chuan

(Ningxia Power Company, Yinchuan 750001, China)

Abstract: The primary and secondary innovation schemes for the main protection against the internal fault in the stator winding of 300MW turbogenerator are proposed in this paper based on the reality in Daba Power Plant.

Keywords: turbogenerator; stator winding; internal fault; main protection Principle and setting of out - of - step protection for high - rating generator