

发电机、电动机失步保护及其静态模拟试验方法

李亚萍, 陈新美, 赵丽萍

(许昌继电器研究所检测中心, 河南 许昌 461000)

摘要: 介绍了失步保护的基本原理, 提出了用于检验失步保护装置的静态模拟试验方法, 并通过试验进行验证, 取得了满意的试验结果。

关键词: 失步保护; 振荡阻抗; 透镜特性

中图分类号: TM774

文献标识码: B

文章编号: 1003-4897(2001)03-0054-03

1 前言

电力系统正常运行的一个重要标志, 是系统中的同步电机都处于同步运行状态。而当电力系统受到扰动后, 运行参数将发生变化, 其变化特性(动态响应)将导致电力系统的稳定性受到不同程度的影响。当电力系统的稳定性遭到破坏后, 会发生振荡。当振荡中心的位置位于发电机机端附近时, 就使得厂用电压周期性地严重下降, 电力系统的稳定运行受到严重威胁, 造成大量用户供电中断, 甚至造成整个系统瓦解^[1,2]。因此, 为保护电力系统的安全可靠运行, 需装设失步保护。

2 保护原理

简单的两机电力系统及其等值电路如图1所示

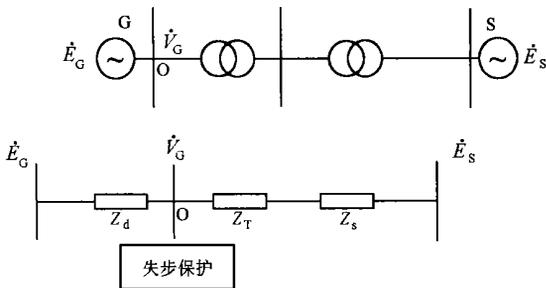


图1 简单电力系统及其等值电路

Z_d 为发电机等值电抗, Z_T 为变压器等值电抗, Z_s 为系统联系电抗。

$$Z = Z_d + Z_T + Z_s = Z_d + Z_{ST}$$

两机电势分别为 \dot{E}_G 及 \dot{E}_S , 系统正常运行或系统振荡时三相是对称的, 两电势间的相角差就是功率角。图1所示系统网络在以发电机机端“O”为座标原点的 R-X 阻抗平面上的各阻抗图如图2a

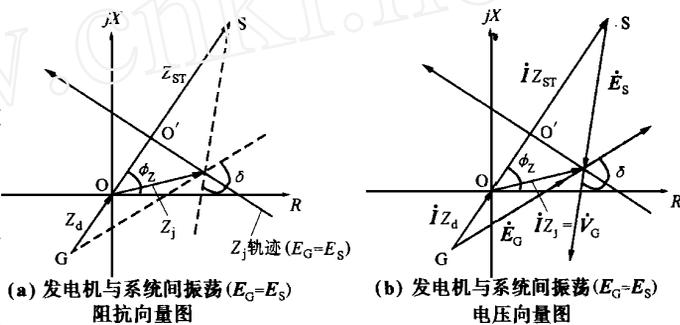


图2

所示, 将图2a中的各阻抗乘以电流 i , 就可以得到相应的各电压相量图, 如图2b所示。

当两个不变电势代表两个相互失步(或大幅度振荡)的等值发电机时, 将随时间由小到大不断变化, 的数学表达式为:

$$\frac{\dot{E}_G}{\dot{E}_S} = \frac{\dot{V}_G + \dot{I}Z_d}{\dot{V}_G - \dot{I}Z_{ST}} \quad (1)$$

线路振荡电流的数学表达式为:

$$\dot{I} = \frac{\dot{E}_G - \dot{E}_S}{Z_d + Z_{ST}} = \frac{\dot{E}_G - \dot{E}_S}{Z} \quad (2)$$

当 $E_G = E_S = E$ 时,

$$I = \frac{2E}{|Z|} \sin \frac{\delta}{2} \quad (3)$$

由式(3)可见, 当 $\delta = 180^\circ$ 时, 振荡电流最大, 滑极失步相当于 Z_j 的相量末端移动到图2a的O点, O点称为系统的振荡中心, $E_G = E_S$ 时的系统振荡中心恰巧为Z的中点。将机端电压与振荡电流之比定义为机端阻抗, 即

$$Z_j = \frac{\dot{V}_G}{\dot{I}}$$

当图1的系统发生振荡时, 由机端观察点O测得的振荡阻抗为^[1]:

$$Z_j = Z_d + Z \left/ \left[\frac{\dot{E}_G}{\dot{E}_S} e^{j\alpha} - 1 \right] \right. \quad (4)$$

当 $\dot{E}_G = \dot{E}_S$ 时, Z_j 的终端轨迹为直线, 当 $\dot{E}_G > \dot{E}_S$ 或 $\dot{E}_G < \dot{E}_S$ 时, 轨迹为圆。

保护方案采用三阻抗元件, 其动作特性如图 3 所示^[1]:

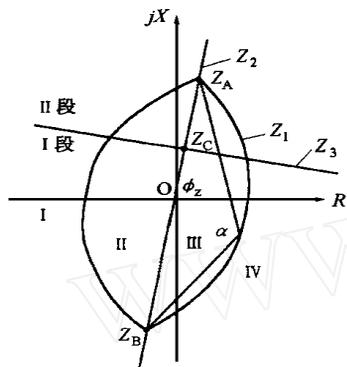


图 3 失步保护三阻抗动作特性

(1) 透镜特性的阻抗元件 Z_1

它将阻抗平面分为透镜内动作区(I、II)和透镜外不动作区(III、IV), 透镜内角为 α 。

(2) 阻挡器直线阻抗元件 Z_2

它将阻抗平面分为左半部分(I、II)和右半部分(III、IV), 其方向与透镜主轴相同, α 是透镜的倾角。

(3) 电抗线阻抗元件 Z_3

它垂直于透镜主轴, 其位置由 Z_C 决定, $Z_C = 0.9 Z_T$ 。电抗线将保护分为 I 段跳闸区和 II 段跳闸区。

当系统发生振荡并失步时, 若 \dot{E}_G 比 \dot{E}_S 快, 则振荡阻抗轨迹自右至左, 穿越透镜; 反之, 自左至右穿越, 穿越过程反映了两侧电势相位差 α 由小到大的全过程^[2]。

当振荡中心位于发变组内部时, II 段保护启动, 当位于外部时, I 段保护启动。实际中, II 段保护与 I 段保护经计数器就可以分别整定失步振荡阻抗轨迹穿越透镜的次数才出口跳闸。

3 试验方法

3.1 透镜特性测试方法

目前, 大多数生产厂家生产的基于三阻抗特性的失步保护装置, 其动作出口判据是根据整定滑极次数来作用于跳闸回路的, 而三阻抗的动作行为一般没有出口, 因此, 对三阻抗的动作边界考核就不能

用常规的动作值测试方法。我们用计算机监控装置监测模拟机端阻抗, 对于每一个要考核的动作阻抗边界, 观察机端阻抗在各区(I, II, III, IV)边界的变化情况, 记录各动作阻抗的边界值, 具体方法如下:

(a) 透镜边界 Z_1 的测定: 从 $0^\circ \sim 360^\circ$, 每隔 10° , 从 Z_1 不动作区进入动作区, 记录动作边界值, 在极坐标纸上作出透镜轨迹。

(b) 阻挡线 Z_2 的测定: 在最大灵敏角 α 下, 施加动作阻抗, 变化阻抗角, 记录从 I 区穿越 II 区时的边界阻抗角, 描绘的阻抗轨迹就反映阻挡线的位置。

(c) 电抗线 Z_3 的测定: 以最大灵敏角 α 为中心, 施加不同的角度, 记录机端阻抗由大到小从线上段穿越线下段的边界值。

试验逻辑图如图 4 所示:

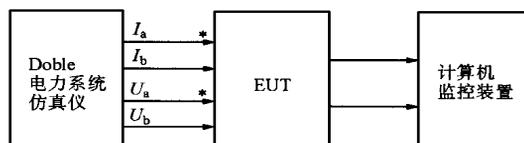


图 4 三阻抗特性试验线路逻辑图

实例: 整定 $Z_d = 10$, $Z_T = 5$, $Z_{ST} = 20$, $\alpha = 90^\circ$, $\alpha = 90^\circ$, 施加电流 2A

(1) 阻抗曲线 Z_1 的测定:

| | | | | | | | | | | |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 施加角度 ($^\circ$) | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 |
| 动作电压 (V) | 26.95 | 28.38 | 30.18 | 30.95 | 31.68 | 35.35 | 36.60 | 37.60 | 38.43 | 38.60 |
| 施加角度 ($^\circ$) | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 | 150 | 160 | 170 | 180 | 190 |
| 动作电压 (V) | 38.60 | 38.20 | 37.10 | 36.00 | 34.80 | 32.70 | 30.50 | 29.50 | 26.50 | 26.00 |
| 施加角度 ($^\circ$) | 200 | 210 | 220 | 230 | 240 | 250 | 260 | 270 | 280 | 290 |
| 动作电压 (V) | 24.60 | 23.10 | 22.00 | 20.50 | 20.10 | 19.70 | 19.50 | 19.00 | 19.00 | 19.30 |
| 施加角度 ($^\circ$) | 300 | 310 | 320 | 330 | 340 | 350 | 360 | | | |
| 动作电压 (V) | 19.80 | 20.20 | 21.00 | 22.20 | 23.20 | 24.30 | 26.95 | | | |

(2) 阻挡线 Z_2 的测定:

最大灵敏角测定: 施加阻抗 15, 动作角度 $\alpha_1 = 16.5^\circ$, $\alpha_2 = 167.5^\circ$

则最大灵敏角 $\alpha = 92^\circ$, 在最大灵敏角下, Z_2 的上最远点 19.45, 下最远点 9.7

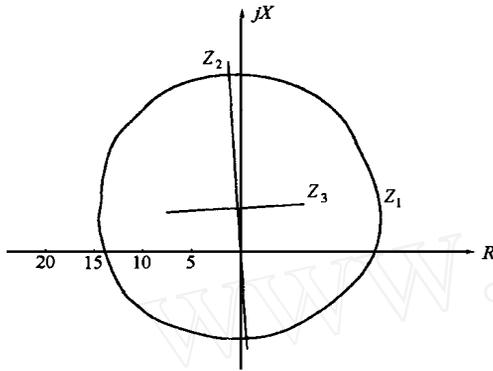
不同阻抗下, Z_2 的动作角度值

| | | | | | | |
|------------------------------|-------|-------|-------|------|------|------|
| 施加动作阻抗 (Ω) | 5 | 8 | 10 | 15 | 18 | 20 |
| 动作角度 α_1 ($^\circ$) | 92.0 | 93.0 | 93.5 | 94.0 | 93.5 | 93.5 |
| 动作角度 α_2 ($^\circ$) | 272.5 | 273.5 | 273.5 | | | |

(3) 电抗线 Z_3 的测定:

| 施加角度($^\circ$) | 30 | 45 | 60 | 75 | 90 | 105 | 120 | 135 | 150 |
|------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| 动作阻抗值 | 10.25 | 7.25 | 5.75 | 4.95 | 4.75 | 4.85 | 5.40 | 6.25 | 8.5 |

根据上述试验数据描绘透镜特性曲线如图5所示:



试验条件: $Z_d=10$, $Z_T=5$, $Z_{ST}=20$,
 $\alpha=90^\circ$, $\beta=90^\circ$, 施加电流 2A

图5 阻抗透镜特性曲线

3.2 滑极次数的整定

整定滑极次数 1~9, 在线上或线下四个不同的区域选择四个阻抗值, 模拟机端阻抗变化, 保护应按整定的次数跳闸。

实例: 整定滑极次数 5, $Z_d=10$, $Z_T=5$, $Z_{ST}=20$, $\alpha=90^\circ$, $\beta=90^\circ$, 在线上线下分别选择反映四个不同区域的阻抗值, 如下:

线上: $Z = 30 \angle 180^\circ$, $Z = 10 \angle 180^\circ$,
 $Z = 10 \angle 0^\circ$, $Z = 30 \angle 0^\circ$

线下: $Z = 30 \angle 0^\circ$, $Z = 1 \angle 0^\circ$,

$Z = 1 \angle 180^\circ$, $Z = 30 \angle 180^\circ$

试验条件: 固定电流 $I=1.0$ A, 按上述阻抗值变化电压及角度, 模拟机端阻抗, 加到保护的 PT 及 CT 端子。

试验仪器: double F2253 电力系统仿真仪。

试验结果: 当阻抗轨迹穿越透镜五次, 一段或二段保护发跳闸命令。

4 结束语

上述对失步阻抗特性的静态模拟试验, 适用于带自监控软件的失步保护系统。要推广应用到对各种失步保护特性的考核, 可以采用在 RTDS (Real-Time Digital Simulator) 上建立一单机对无穷大模拟振荡系统, 将其机端电压与振荡电流接入保护 PT 及 CT, 通过改变发电机及系统两侧滑差到极限滑差 (极限滑差与透镜整定内角有确定的关系), 观察动作出口来考核透镜整定内角及透镜轨迹, 这将在下一步的工作中进一步完善。

参考文献:

- [1] 王维俭. 电气主设备继电保护原理及应用. 北京: 中国电力出版社, 1996.
- [2] 何仰赞, 温增根, 汪馥瑛. 电力系统分析. 武汉: 华中理工大学出版社, 1996.

收稿日期: 2000-08-31

作者简介: 李亚萍 (1965-), 女, 博士, 主要研究方向为机电一体化; 陈新美 (1970-), 女, 大专, 工程师, 从事电气产品的检测工作; 赵丽萍 (1958-), 女, 大专, 工程师, 从事电气产品的检测工作。

The generator and motor out-of-step protection test method

LI Ya-ping, CHEN Xin-mei, ZHAO Li-ping

(Xuchang Relay Research Institute, Xuchang 461000, China)

Abstract: The basic principle of out-of-step protection is presented in this paper. The test method that is used in testing out-of-step protective equipment is proposed and proved by test.

Keywords: out-of-step protection; oscillation impedance; lens peculiarity

《继电器》全体同仁祝大家身体健康! 工作顺利!