

关于系统振荡中心偏移的探讨

夏成军,周良松,彭波,胡会骏

(华中理工大学电力工程系,湖北 武汉 430074)

摘要: 讨论了系统异步运行时振荡中心的分析计算及其随两侧系统功角差的变化情况,分析了振荡中心的变化对于解列装置的影响。

关键词: 振荡中心; 失步解列; 相角测量

中图分类号: TM712

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2002)03-0001-03

1 引言

所有国内外重大系统事故的发生,几乎都是因系统失稳而扩大,因无预定对策,发展为灾害性后果的。长期的运行实践证明,不管对系统稳定性的要求如何严格,措施如何完善,总可能因一些事先不可预料的偶然因素叠加,产生稳定破坏事故,如果处理不好,其后果是电力系统的长期大面积停电^[1]。通常将“失步解列”控制作为稳定控制的后备,是减轻失步造成的后果和防止系统大面积停电的重要措施^[2]。

利用振荡中心两侧电动势相量的相角差检测异步运行状态,是一种广泛使用的失步检测方式^[3]。采用这种方式,必须了解系统振荡中心的变化情况,以合理选择检测装置的安装地点及失步解列装置的整定值。本文详细分析了振荡中心的变化规律,及振荡中心的变化对解列装置的影响。

2 振荡中心的计算

电力系统失步时,一般可以将所有机组分为两个机群,用两机等值系统分析其特性。如图1所示两机等值系统接线图:

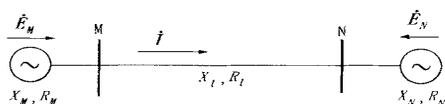


图1 两机等值系统接线图

在分析中采用简化条件,即:

发电机采用经典模型。

在频率的实际变化范围内,认为阻抗值不变。

线路阻抗全线均匀分布,并忽略分布电容。

分析中取 \dot{E}_N 为参考相量,使其相位角为0,令 $\dot{E}_N = 1$,认为M侧系统等值电势 \dot{E}_M 围绕N侧系统

等值电势 \dot{E}_N 旋转或摆动,即 $\dot{E}_M = k_e e^{j\theta}$, (k_e 为电势幅值比,为发电机 \dot{E}_M 相对于发电机 \dot{E}_N 的功角)。

由M侧流向N侧的电流 \dot{i} 为

$$\dot{i} = \frac{\dot{E}_M - \dot{E}_N}{Z_M + Z_L + Z_N} = \frac{k_e e^{j\theta} - 1}{Z_M + Z_L + Z_N}$$

此电流落后于电势差 $\dot{E}_M - \dot{E}_N$ 的角度为系统总阻抗角 ϕ_z

$$\phi_z = \arctg \frac{X_M + X_L + X_N}{R_M + R_L + R_N}$$

系统阻抗角分别为: $\phi_M = \arctg \frac{X_M}{R_M}$, $\phi_N = \arctg \frac{X_N}{R_N}$

线路阻抗角为: $\phi_l = \arctg \frac{X_L}{R_L}$

线路两侧母线的电压 \dot{U}_M 和 \dot{U}_N 分别为

$$\dot{U}_M = \dot{E}_M - \dot{i}Z_M$$

$$\dot{U}_N = \dot{E}_N + \dot{i}Z_N$$

两侧母线电压 \dot{U}_M 和 \dot{U}_N 的相角差为

$$\delta = \angle \dot{U}_M - \angle \dot{U}_N = \arg(\dot{U}_M / \dot{U}_N)$$

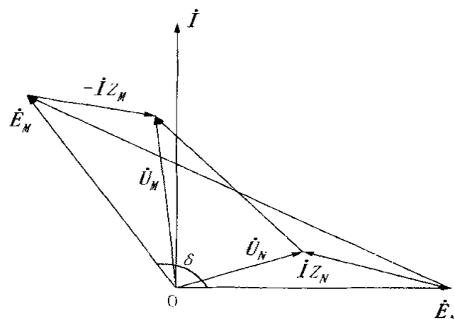


图2 阻抗角不相等时的相量图

当系统阻抗角和线路阻抗角不相等时,系统的相量图如图2所示。此时, $(\dot{U}_M - \dot{U}_N)$ 和 $(\dot{E}_M - \dot{E}_N)$ 不在一条直线上,振荡中心的计算非常复杂。通常在简化分析中,忽略线路和系统的电阻,仅考虑电抗 jX ,此时系统阻抗角和线路阻抗角相等,均为 90° 。

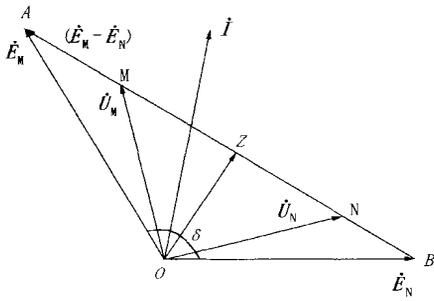


图3 系统阻抗角和线路阻抗角相等时的相量图

故在以下分析中,仅考虑线路阻抗角和系统阻抗角相等的情形。

当系统阻抗角和线路阻抗角相等,即 $\theta_M = \theta_N = \theta_l$ 时,系统的相量图如图3所示。由原点作直线 $(\dot{U}_M - \dot{U}_N)$ 的垂线,垂足 Z 即为切角为 δ 时的振荡中心^[4]。不难推导出

$$\frac{AZ}{AB} = \frac{k_e + k_e - \cos \delta}{k_e^2 - 2k_e \cos \delta + 1}$$

3 对振荡中心偏移的数学分析

考虑在振荡过程中振荡中心的变化情况,即考虑 AZ/AB 随 δ 的变化。为方便起见,令

$$f(\delta) = \frac{k_e + k_e - \cos \delta}{k_e^2 - 2k_e \cos \delta + 1}$$

以下分析 k_e 取不同值时,函数 $f(\delta)$ 的性态,也即是在两侧电动势比值不同时振荡中心的位置随 δ 的变化情况。

(1) 当 $k_e = 1.0$ 时, $f(\delta) = 1/2$, 振荡中心位于 AB 的中点。当两侧系统完全对称时,振荡中心同时也位于线路 MN 的中心。

(2) 当 $k_e > 1.0$ 时, $f(\delta) = \frac{k_e(k_e - \cos \delta)}{k_e^2 - 2k_e \cos \delta + 1}$, 显然 $f(\delta)$ 是一周期为 2π 的函数。现考虑 δ 在一个周期 $[-\pi, \pi]$ 内变化时, $f(\delta)$ 的性态。

由于 $\frac{df}{d\delta} = \frac{-k_e(k_e^2 - 1)\sin \delta}{(k_e^2 - 2k_e \cos \delta + 1)^2}$, 故

当 $\delta \in [0, \pi]$ 时, $\frac{df}{d\delta} < 0$, 函数单调减; 当

$\delta \in [-\pi, 0]$ 时, $\frac{df}{d\delta} > 0$, 函数单调增。易知,在 $\delta = 0$

时, $f(\delta)$ 取极大值, $f_{\max} = \frac{k_e}{k_e - 1}$; 在 $\delta = \pm \pi$ 时, $f(\delta)$

取极小值, $f_{\min} = \frac{k_e}{k_e + 1}$

仿真计算得到的曲线如图4(a)所示。

(3) 当 $k_e < 1.0$ 时, 考虑 δ 在一个周期 $[-\pi, \pi]$ 内变化, 又可分以下情况讨论:

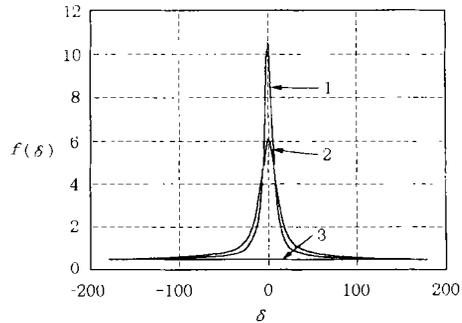
当 $\cos \delta < k_e < 1.0$, 即当

$\delta \in (-\arccos k_e, \arccos k_e)$ 时

$$f(\delta) = \frac{k_e(k_e - \cos \delta)}{k_e^2 - 2k_e \cos \delta + 1}$$

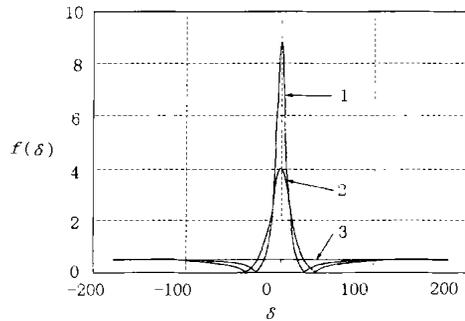
$$\frac{df}{d\delta} = \frac{-k_e(k_e^2 - 1)\sin \delta}{(k_e^2 - 2k_e \cos \delta + 1)^2}$$

仿真计算得到的曲线如图4(b)所示。



1— $k_e=1.1$ 2— $k_e=1.2$ 3— $k_e=1.0$

(a) $k_e \geq 1.0$ 时



1— $k_e=0.9$ 2— $k_e=0.8$ 3— $k_e=1.0$

(b) $k_e \leq 1.0$ 时

图4 k 对 $f(\delta)$ 曲线的影响

当 $\delta \in (-\arccos k_e, \arccos k_e)$ 时, $\frac{df}{d\delta} < 0$, 函数单调减

当 $\delta \in (\arccos k_e, \pi)$ 时, $\frac{df}{d\delta} > 0$, 函数单调增

当 $k_e \cos \delta < 1.0$ 时, 即

当 $\delta \in [-\arccos k_e, \arccos k_e]$ 时,

$$f(\delta) = \frac{-k_e(k_e - \cos \delta)}{k_e^2 - 2k_e \cos \delta + 1}$$

$$\frac{df}{d\delta} = \frac{k_e(k_e^2 - 1)\sin \delta}{(k_e^2 - 2k_e \cos \delta + 1)^2}$$

当 $\delta \in [-\arccos k_e, 0]$ 时, $\frac{df}{d\delta} > 0$, 函数单调增

当 $[0, \arccos k_e]$ 时, $\frac{df}{d\delta} < 0$, 函数单调减

4 振荡中心的偏移对解列装置的影响

以上从数学的角度分析了在振荡过程中, 振荡中心随功角 δ 的变化情况。表明: 在两侧系统完全对称条件下, 振荡中心在线路的中心, 且不随 δ 的变化而变化; 当两侧系统不对称时, 振荡中心会随着 δ 的变化而发生偏移, 且 k_e (两侧电动势幅值比) 超过一定范围时, 振荡中心跑到了线路外甚至两侧电动势外。在实际运行中, M 侧系统是送端系统, 因此可以仅考虑 $k_e > 1.0$ 的情况。此时, 在 $\delta = \pm \pi$ 时, $f(\delta)$ 取极小值, $f_{\min} = \frac{k_e}{k_e + 1}$ 。由图 2 可知, 当 $f_{\min} = \frac{k_e}{k_e + 1}$ 时, $\frac{AN}{AB} = \frac{Z_M + Z_I}{Z_M + Z_I + Z_N}$ 时, 对任何 δ , 振荡中心均位于线路 MN 的外侧。此时由于振荡中心始终在线路 MN 的外侧, 因此检测 M 侧和 N 侧母线相角差不能反映功角的变化情况。

对于本文采用的算例, 当 $k_e = 1.3254$ 时, 对于所有的 δ , 振荡中心均在两侧母线外侧。下面给出 $k_e = 1.1$ 和 $k_e = 1.4$ 时的 $\delta - \theta$ 曲线。

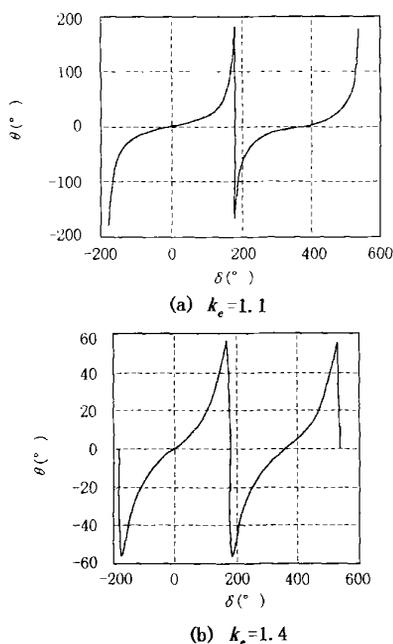


图 5 k_e 对 $\delta - \theta$ 曲线的影响

由图 5(a) 可知: 当 $k_e = 1.1$ 时, 在一个周期 $[-\pi, +\pi]$ 内, θ 是 δ 的单值映射, 且随 δ 的增加而单

调增加; 由 $d\theta/d\delta = \frac{d\theta/dt}{d\delta/dt} > 0$, 可知, θ 的变化率和 δ 的变化率 (即滑差) 同号。此时 θ 可以反映振荡过程中 δ 的变化情况。

由图 5(b) 可知, 当 $k_e = 1.4$ 时, $\theta - \delta$ 曲线发生了重要变化: 在一个周期 $[-\pi, +\pi]$ 内变化时, 始终在一定的幅值范围内波动, 不可能达到 $\pm \pi$; 且当 $\delta = \pm \pi$ 时, $\theta = 0^\circ$ 。此时 θ 不能反映振荡过程中的变化情况。

由此可以得出结论: 两侧系统电动势比值 k_e 会影响振荡中心的位置, 当 k_e 大于某一值时, 即使观测点取在线路两侧母线上, 振荡中心也在观测点范围之外, 而此时 $\theta - \delta$ 曲线的性质发生了重要变化, 在确定观测点和设定解列装置整定值时要充分考虑到这一点。

5 结论

由于两侧系统的电动势不相等, 在振荡过程中, 振荡中心会随着功角 δ 的变化而发生偏移, 而且在两侧电动势比值超过一定范围时, 即使观测点取在联络线两侧母线, 振荡中心也不在观测点范围内, 此时的观测结果不能正确反映系统的运行状态, 在解列装置的配置和整定中要注意这一点。

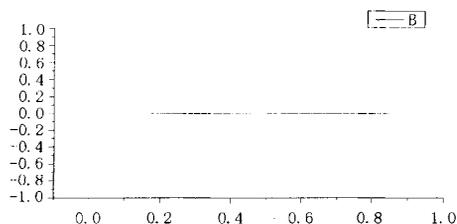
参考文献:

- [1] 王梅义, 吴竟昌, 蒙定中. 大电网系统技术[M]. 北京: 水利电力出版社, 1991.
- [2] 袁季修. 电力系统安全稳定控制[M]. 北京: 中国电力出版社, 1996.
- [3] 王维俭. 电气主设备继电保护原理与应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 1996.
- [4] 贺家李, 宋从矩. 电力系统继电保护原理 (第三版) [M]. 北京: 水利电力出版社, 1994.
- [5] 韩祯祥. 电力系统稳定[M]. 北京: 中国电力出版社, 1995.
- [6] 卢志刚, 赫玉山, 等. 电力系统实时相角监控系统结构研究[J]. 电网技术, 1998, 22(5).

收稿日期: 2001-09-10

作者简介: 夏成军 (1974 -), 男, 博士研究生, 主要研究方向为电力系统稳定与控制; 周良松 (1967 -), 男, 博士, 讲师, 主要研究方向为电力系统稳定与控制; 彭波 (1975 -), 男, 博士研究生, 主要研究方向为电力系统稳定与控制及管理信息系统。

(下转第 7 页)

图 11 纯振荡的 z_{out} 的变化规律图

5.2 用纯振荡样本进行训练

由图 11 可以看到本方法在对一种振荡情况的训练时得出的评判结果也是正确的。

5.3 用振荡中发生不对称故障的样本考核

通过对大量振荡中发生不对称故障样本的训练,我们发现,当采样点为故障相时,该方案能从振荡中识别出故障,如图 12。

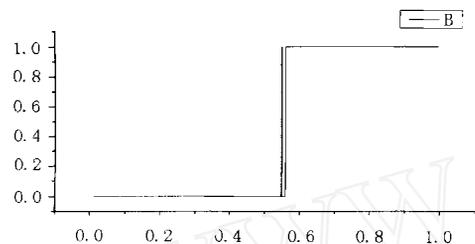


图 12 采样点为故障相的综合评判结果

6 结论

本文选取 $U\cos$, $dU\cos/dt$, dR/dt 三个特征量,利用基于模糊集合理论的方法来识别电力系统中振荡、短路及振荡伴随短路的情况。大量仿真表明,该方法效果比较理想,能够很准确地对上述情况加以识别。

参考文献:

- [1] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术[M]. 中国电力出版社, 1995.
- [2] 焦邵华, 刘万顺, 杨奇逊, 张振华. 用模糊集合理论识别电力系统振荡中的短路研究[J]. 中国电机工程学报, 1998.
- [3] 贺仲雄. 模糊数学及其应用[M]. 天津科学技术出版社, 1983.
- [4] 林湘宁. 微机保护新原理的小波理论应用研究[D]. 华中理工大学电力系统及其自动化专业博士学位论文, 1999.

收稿日期: 2001-09-26

作者简介: 郁惟镛(1940-),男,教授,博士生导师,从事电力系统继电保护及综合自动化方面的教学和研究工作; 范广军(1977-),男,硕士,从事人工智能在电力系统中的应用研究。

Study on the discrimination between faults and power swings based on fuzzy set theory

YU Wei-yong, FAN Guang-jun, CHI Zhong-jun

(Electric Department Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: This paper introduces the concept of fuzzy set theory into the discrimination between faults and power swings. By means of abstracting the proper characteristic parameters and endowing them with the proper weights, we can easily make comprehensive estimation on the three conditions: faults, swings and faults in swings. It is obvious that this method is highly effective from the result of much simulation.

Keywords: fuzzy set theory; relative membership; faults and power swings; simulations

(上接第 3 页)

Research on system oscillation center movement

XIA Cheng-jun, ZHOU Liang-song, PENG Bo, HU Hui-jun

(Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: This paper discusses the computation of oscillation center and analyzes the movement of oscillation center during asynchronous process. The effect of oscillation center movement on separation control has also been discussed.

Keywords: oscillation center; out-of-step separation; phasor measurement