

# 电力系统振荡闭锁判别方法的研究

金华烽 何奔腾 浙江大学电机系 杭州 (310027)

**【摘要】** 提出了以测量阻抗最小变化率来判别电力系统是否发生振荡的方法,该方法能较好地解决电力系统振荡时可能引起的距离保护误动问题,并对阻抗的测量及差分步长的取法作了论述。最后,用EMTP程序对所提方法进行了大量的仿真研究。

**【关键词】** 振荡闭锁 测量阻抗 距离保护 系统振荡

## 1 前言

电力系统振荡会引起距离保护的误动,如何防止振荡引起距离保护的误动一直是继电保护工作者的重要课题。四统一设计中采用保护起动后短时开放的方法,能有效地防止振荡引起保护的误动,但在某些原因引起保护起动后再发生区内故障,或发生转换性故障时,会将保护误闭锁而引起拒动。近年来,随着电气化铁道等冲击负荷的增多,短时开放的振荡闭锁方法已越来越不能满足系统对继电保护的要求。为此,提出了各种振荡闭锁的新方法<sup>[1][3]</sup>,期望在振荡闭锁期间能较快地切除故障。但目前提出的各种方法均不尽完善。事实上,随着电网的增强,系统发生振荡的机会已越来越小。因此,如果能实时检测出系统是否振荡,只有在系统真正发生振荡时才投入振荡闭锁,就能大大提高保护的性能。

本文将对电力系统振荡的实时检测方法及其在距离保护的应用方面进行深入的研究。

## 2 系统振荡时测量阻抗的变化率

如图1所示,当系统发生纯振荡时, $m$ 点的测量阻抗为:

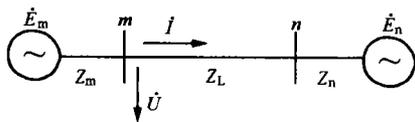


图1 双电源系统

$$Z = \frac{Z_{\Sigma} \dot{E}_N}{\dot{E}_m - \dot{E}_n} + Z_n + Z_L \quad (1)$$

其中  $Z_{\Sigma} = Z_L + Z_m + Z_n$  为系统总阻抗。

假设系统两侧电势大小相等,即满足

$$\dot{E}_m = \dot{E}_n e^{j\delta} \quad (2)$$

其中  $\delta$  为  $m$  侧电势超前于  $n$  侧的角度。

将式(2)代入式(1)可得

$$Z = \frac{-Z_{\Sigma}}{1 - e^{j\delta}} + Z_n + Z_L \quad (3)$$

对式(3)取一阶导数可得阻抗变化率

$$\frac{dZ}{dt} = \frac{-jZ_{\Sigma} e^{j\delta}}{(1 - e^{j\delta})^2} \cdot \frac{d\delta}{dt} \quad (4)$$

取二阶导数得

$$\frac{d^2 Z}{dt^2} = \frac{Z_{\Sigma} e^{j\delta} (1 + e^{j\delta})}{(1 - e^{j\delta})^3} \cdot \frac{d^2 \delta}{dt^2} \quad (5)$$

$$\text{令 } \frac{d^2 Z}{dt^2} = 0 \quad (6)$$

$$\text{得 } e^{j\delta} = -1 \quad (7)$$

也就是说,  $e^{j\delta} = -1$  是  $\frac{dZ}{dt}$  的极值点,不难验证,此时其模值达到最小值,并且

$$\left| \frac{dZ}{dt} \right|_{\min} = \frac{Z_{\Sigma}}{4} \left| \frac{d\delta}{dt} \right|_{\delta=180^\circ} \quad (8)$$

考虑实际系统最长振荡周期为3s,即使  $\delta$  不一定是时间的线性函数,也必定有

$$\left| \frac{d\delta}{dt} \right|_{\delta=180^\circ} \geq \frac{2\pi}{3} \quad (9)$$

将式(9)代入式(8)可得,当系统振荡时

$$\left| \frac{dZ}{dt} \right| \geq \frac{\pi Z_{\Sigma}}{6} \quad (10)$$

考虑到实际系统运行方式的多样性,式(10)中的系统总阻抗可取系统最大运行方式时的系统总阻抗。

## 3 振荡的微分方程判别法

系统正常运行时,测量阻抗为一定值,其变化率为零。实际系统发生振荡时,由式(10)可知,测量阻抗的变化率必须大于  $\frac{\pi Z_{\Sigma}}{6}$ 。因此,根据测量阻抗的变化率,即可判断出系统是否发生振荡。

本方案中采用微分方程法计算三相测量阻抗,然后用三相测量阻抗的变化率来判断系统是否发生振荡。

系统运行时,各相电压、电流满足

$$u_{\varphi} = L_{\varphi} \frac{di_{\varphi}}{dt} + R_{\varphi} i_{\varphi} \quad (11)$$

其中,  $\varphi = a, b, c$ ,  $u_{\varphi}, i_{\varphi}$  为各相电压、电流瞬时值,  $R_{\varphi}, L_{\varphi}$  为各相测量电阻、测量电感。

对式(11)两边取傅氏,得

$$\dot{U}_{\varphi} = L_{\varphi} \dot{D}_{\varphi} + R_{\varphi} \dot{I}_{\varphi} \quad (12)$$

其中  $\dot{U}_{\varphi}, \dot{D}_{\varphi}, \dot{I}_{\varphi}$  分别为  $u_{\varphi}, \frac{di_{\varphi}}{dt}$  及  $i_{\varphi}$  所对应的傅氏变换结果。

由式(12)可得

$$L_{\varphi} = \frac{\text{Im}(\dot{U}_{\varphi} \dot{I}_{\varphi}^*)}{\text{Im}(\dot{D}_{\varphi} \dot{I}_{\varphi}^*)} \quad (13)$$

$$X_{\varphi} = 2\pi f L_{\varphi} \quad (14)$$

$$R_{\varphi} = \frac{\text{Im}(\dot{U}_{\varphi} \dot{D}_{\varphi}^*)}{\text{Im}(\dot{I}_{\varphi} \dot{D}_{\varphi}^*)} \quad (15)$$

其中  $f$  为系统频率。

对于测量阻抗变化率的计算,实际用差分来代替微分。设当前测量阻抗为  $R_{\varphi}, X_{\varphi}$ , 上一点为  $R_{\varphi 0}, X_{\varphi 0}$ , 两点时间间隔为  $\Delta T_{\varphi} = \frac{\Delta n_{\varphi}}{f_{\text{Sample}}}$ , 其中  $f_{\text{Sample}}$  为采样频率,  $\Delta n_{\varphi}$  为间隔的采样点数。由式(10)可以得出系统振荡时

$$\frac{\sqrt{(R_{\varphi} - R_{\varphi 0})^2 + (X_{\varphi} - X_{\varphi 0})^2}}{\Delta T_{\varphi}} > \frac{\pi Z_{\Sigma}}{6}$$

$$\varphi = a, b, c \quad (16)$$

本文根据振荡中心的电压变化来取差分步长。设两侧系统及线路阻抗角均为  $\varphi$ ,  $\dot{U}, \dot{I}$  为保护安装处电压、电流相量, 可得系统振荡时振荡中心电压<sup>[2]</sup>

$$U_z = \text{Re} \left( \frac{\dot{U} [\dot{I} e^{-j(90^\circ - \varphi)}]^*}{I} \right) \quad (17)$$

$$\text{另一方面, 设 } E_m = E_n e^{j\delta} \quad (18)$$

$$\text{有 } U_z = E_n \cos \frac{\delta}{2}$$

$$\text{(其中, } \delta = 2\pi f t + \delta_0) \quad (19)$$

当振荡频率一定时, 系统两侧电势角摆开  $180^\circ$  时, 振荡中心电压变化最快。而由式(7)可得, 此时测量阻抗变化率模值最小。因此, 可以根据振荡中心电压变化率来决定差分步长, 本文取振荡中心电压变化大于 10% 的额定电压时来计算测量阻抗的变化率。

实际系统中, 只要有一相满足式(16), 就可认为系统发生振荡。若系统在振荡过程中再发生故障, 需解除振荡闭锁。对于对称性故障, 由于故障电阻较小, 三相必然都不满足条件, 可有效地解除闭锁; 对于不对称故障, 可用  $I_2 + I_0 \geq m I_1$ <sup>[3]</sup> 来解除振荡闭锁。

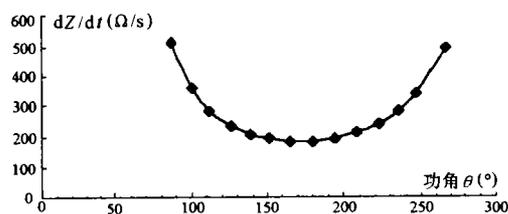


图2 测量阻抗变化率同功角的关系

#### 4 仿真计算

为了考察上述方法判别系统是否振荡的效果, 用 EMTP 程序对本文提出的原理进行了计算机仿真。系统结构如图 1 所示, 保护安装在  $m$  侧母线上, 线路和两侧系统阻抗均以集中参数表示。

考察系统发生纯振荡时测量阻抗变化率与两侧系统功角差之间的关系, 取系统阻抗为  $Z_m = Z_n = 0.90 + j14.70 (\Omega)$ , 线路阻抗  $Z_L = 1.98 + j32.34 (\Omega)$ , 即系统总阻抗为  $Z_{\Sigma} = 3.78 + j61.74 (\Omega)$ , 并且振荡中心在线路中间, 系统振荡频率为 2Hz。仿真结果如图 2 所示, 当两侧系统摆开  $180$  度时, 测量阻抗变化率最小。(其中横轴表示系统两侧功角差, 纵轴表示测量阻抗变化率, 最小阻抗变化率实测点为在  $\theta = 180.72^\circ$  上, 大小为 195.03, 对应于理论上最小变化率 194.33 的相对误差为 0.36%)

理论上, 测量阻抗最小变化率同阻抗测量点无关, 只同振荡频率和系统总阻抗有关系。取振荡周期 3s, 考察不同振荡中心情况下, 测量阻抗最小变化率的变化情况。结果如表 1 所示, 其中 S/L 表示测量点反向系统阻抗同正向线路阻抗的比值, a, b, c 表示相别, 结果为实测阻抗最小变化率同理论值 (32.3883) 之比, 最大相对误差为 1.20%。

引起测量阻抗最小变化率误差的原因是多方面的, 如求测量电阻、电感时求各信号量的傅氏值所取基频对实际各信号基频的偏差, 振荡时由电感求电抗时频率的取值问题, 以差分代替微分求阻抗变化率等等。但仿真结果表明, 误差在工程允许范围之内, 对于式(16)表示的振荡判别式, 只要乘上一可靠系数, 就能实现对振荡的有效判别。(下转 31 页)

- 华中理工大学硕士论文,1997.
- 朱永利等. 专家系统在编写变电站倒闸操作票中的应用. 北京:中国电机工程学报,1988,6(8):61~65.
  - 陈功富,钟贤东. 计算机网络设计与实现. 北京:人民邮电出版社,1994.
  - 陈路资等. 计算机网络软件、开发与编程. 北京:科学出版社,1994.
  - 田莉芬等. 一种基于面向对象的图形生成与管理系统的.

保定:全国高校电自专业第十二届学术年会论文集(上册),1996.

收稿日期:1998—12—08

王少荣 男,1960年生,博士,现从事电力系统控制研究。

程时杰 男,1945年生,教授,博士生导师,从事电力系统分析、控制及人工智能应用研究。

ANTI-MALOPERATION SYSTEM BASING ON VISUAL NETWORK

Wang Shaorong, Cheng Shijie (Huazhong University of Science and Technology, 430074, Wuhan, China)

Tian Lifan (Singapore) Jiang Lin (U. K.)

Zhang Jianjie, Lu Guanghui (XJ Group Corporation, 461000, Xuchang, China)

**Abstract** This paper introduces the design thought of the anti-maloperation system basing on visual network and explains in detail its hardware realizing method and software configuration. It is proved from actual run that the anti-maloperation system features effective anti-maloperation, reliable run, perfect function, advanced technology, flexible usage and convenience.

**Keywords** Power system Anti-maloperation Visual network Artificial intelligence

(上接 25 页)

表 1 同一振荡频率、不同阻抗测量点下的测量阻抗最小变化率

S/L	A	B	C
1/9	0.9986	0.9998	1.0111
2/8	1.0120	1.0056	1.0050
3/7	1.0104	1.0089	1.0041
4/6	1.0065	1.0044	1.0067
5/5	1.0053	1.0051	1.0052

5 结论

本文提出了用最小测量阻抗变化率来判别系统是否发生振荡的方法。对同一振荡频率下测量阻抗变化率同功角之间的关系;以及同一振荡频率下,测量阻抗最小变化率同测量点之间的关系用 EMTP 进行了仿真,结果表明。

(1)系统振荡时,当两侧系统功角摆开 180°时,测量阻抗变化率最小;

(2)测量阻抗最小变化率只同系统总阻抗和系

统振荡频率有关,而同测量点无关。

本文所提出的方法,对实际系统可能发生的振荡,都能安全、快速地作出判断,有效地进行振荡闭锁;对于振荡时发生的对称性故障,能自动解除振荡闭锁;对于不对称故障,可通过判断故障的不对称度来解除振荡闭锁<sup>[3]</sup>。

参考文献

- 沈国荣等. 区分振荡与短路的新原理. 电力系统自动化,1990,(1):7~12.
- 何奔腾. 输电线路暂态能量法超高速方向保护原理. 浙江大学博士论文,1994,6.
- 朱声石. 高压电网继电保护原理与应用. 中国电力出版社,1995,8.

收稿日期:1998—07—06

金华峰 男,1972年生,博士生,从事电力系统及其自动化研究。

何奔腾 男,1959年生,副教授,博士,现从事于电力系统继电保护的研究。

SOME RESEARCH FOR DISCRIMINATING POWER SYSTEM OSCILLATION

Jin Huafeng, He Benteng (Zhejiang University, Hangzhou, 310027, China)

**Abstract** The discriminating for power system oscillation by detecting minimum change ratio of measuring impedance is presented in this paper. It can resolve some mal-operating during system oscillating. Then discussing the impedance measuring and the difference pace. At last, mass simulations by EMTP are given out for the method.

**Keywords** oscillating block measuring impedance distance protection system oscillation