

距离保护误差特性分析

刘 玮

(广东电网公司生产技术部, 广东 广州 510600)

摘要: 由于 CT、PT 的测量误差, 距离保护在应用于短线路时会带来较为严重的超越问题。分别分析了测量误差对接地距离和相间距离所带来的影响, 指出接地距离超越主要由幅值误差引起, 相间距离超越主要由相角误差引起。推导出距离保护 I 段适用线路长度与系统阻抗之间的关系, 其对于短线路距离保护是否投入具有指导意义。

关键词: 系统阻抗; 误差特性; 接地距离; 相间距离

Error analysis of distance protection

LIU Wei

(Production and Technology Department, Guangdong Power Grid Corporation, Guangzhou 501600, China)

Abstract: Because of the measuring error of current transformer (CT) and potential transformer (PT), the distance protection faces to the overreaching problem when it is used on the short transmission line. This paper analyzes the different influences to ground and inter-phase distance protection and reaches to the conclusion that the ground distance overreaching lies on the amplitude error while the inter-phase one dues to phase-angle error. A relationship between system impedance and the length of line applied zone I of distance protection is derived and it gives guidance for the use of distance protection on short line.

Key words: system impedance; error character; ground distance; inter-phase distance

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2008)20-0025-03

0 引言

距离保护是以距离测量元件为基础构成的, 动作性能取决于保护装置测量到的模拟量, 工频变化量距离及距离 I 段一般整定为线路全长的 80%~90%, 对于短线路, 由于 CT、PT 的测量误差, 容易造成保护的超越, 因此在线路很短时, 工频变化量距离及距离 I 段宜退出。

对于线路究竟多长时距离 I 段才需要退出, 目前尚无具体说明。文献[1]仅仅讨论了相间故障, 没有考虑接地故障以及电流测量误差。

本文从保护的原理入手, 考虑了距离保护的幅值测量误差、相位测量误差, 为了分析简单, 文中作了部分简化, 最后提出了距离保护适用的线路长度与系统阻抗的关系。

1 理论分析

设系统结构图如图 1, 图中, \dot{E} , Z_s , \dot{U}_j , \dot{I}_j 分别为 M 侧系统等值电势、阻抗、保护测量的相电压、相电流。在 F 点发生接地或相间故障, Z_k 为

短路阻抗, Z_L 为线路阻抗。

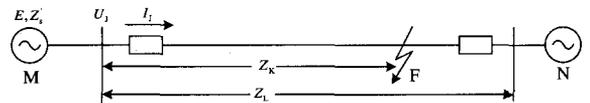


图 1 系统接线图

Fig.1 Diagram of power system

CT、PT 以及 A/D 采样回路对电压、电流的幅值测量误差为 δ, ξ , 测量后的电压电流夹角相位误差为 θ , 当在线路发生接地或相间故障, 线路首端距离继电器所测量阻抗为:

$$Z_j = \frac{\dot{U}_j}{\dot{I}_j} = \frac{(1+\delta)|\dot{U}|e^{j\varphi+\theta}}{(1+\xi)|\dot{I}|} \quad (1)$$

其中: 对于接地故障, $\dot{I}_j = (1+K)\dot{I}$, K 为接地补偿系数。

对于相间故障, $\dot{I}_j = 2\dot{I}$ 。

\dot{U} 、 \dot{I} 、 φ 分别为一次侧故障相或相间电压、电流及相角。

Z_j 、 U_j 、 I_j 分别为距离继电器测量到的故障阻抗、故障相或相间电压、电流。由公式 (1) 得继电器测量阻抗与实际短路阻抗 Z_K 的关系为：

$$Z_j = \frac{(1+\delta)e^{j\theta}}{(1+\xi)} Z_K \quad (2)$$

由公式 (2) 可得：

$$Z_j = \frac{(1+\delta)}{(1+\xi)} (\cos\theta + j\sin\theta) Z_K$$

由于 θ 一般比较小，因此上式可简化为：

$$Z_j = \left[\frac{(1+\delta)}{(1+\xi)} + j\theta \frac{(1+\delta)}{(1+\xi)} \right] Z_K \quad (3)$$

2 接地距离误差特性

从公式 (3) 可以看出，测量阻抗 Z_j 与实际阻抗 Z_K 的关系可用图 2 表示。对于 $j\theta \frac{(1+\delta)}{(1+\xi)} Z_K$ 误差，其中： Z_1 为 θ 小于零时的测量值， Z_2 为 θ 大于零时的测量值，测量值只会在 Z_K 的垂直线上，从图中可看出，相位测量误差只会导致测量阻抗的幅值增大，不会造成距离保护超越，因此可不考虑 θ 的误差。

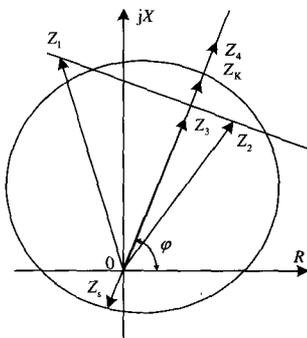


图 2 接地距离测量阻抗示意图

Fig.2 Measured impedance of ground distance relay

对于 $\frac{(1+\delta)}{(1+\xi)} Z_K$ 误差，当 $\frac{(1+\delta)}{(1+\xi)}$ 为 1 时，线路整定值末端故障时测量值即为线路阻抗值；当

$\frac{(1+\delta)}{(1+\xi)} > 1$ 时，测量值幅值变大，保护范围缩小；

当 $\frac{(1+\delta)}{(1+\xi)} < 1$ 时，测量值幅值变小，保护范围扩大。

上述最不利情况就是同时出现电压测量值负误差最大，而电流测量值正误差最大的情况。

设 $\delta = \frac{\alpha}{U_\varphi}$ ， $\xi = \frac{\beta}{I_\varphi}$ ，其中 α 、 β 分别为电压、电流回路测量的绝对误差，由于绝对误差基本不变，因此测量阻抗误差随着 U_φ 、 I_φ 的变化而变化。

令 $Z_S / Z_L = S$ ，当线路末端故障时有：

$$\begin{aligned} \dot{U}_P &= \frac{E}{1+S}, I_P = \frac{E}{(1+S)Z_L}, \varphi = \arg\left(\frac{\dot{U}}{I}\right), \\ \delta &= \frac{(1+S)\alpha}{E}, \xi = \frac{(1+S)Z_L\beta}{E} \end{aligned} \quad (4)$$

设 $Z_{zd} = \lambda Z_L$ ， λ 为比例系数，显然满足以下条件时距离保护可能会超越：

$$\frac{(1+\delta)}{(1+\xi)} < \lambda \quad (5)$$

公式 (4) 代入公式 (5) 后整理可得：

$$\lambda\beta(Z_L + Z_S) - \frac{Z_S}{Z_L}\alpha > \alpha + (1-\lambda)E \quad (6)$$

对于 220 kV 线路，设 PT 变比为 220 kV:100 V，CT 变比 1250/5，0.4 Ω /km，设 $\alpha = -0.1$ V， $\beta = 0.05$ A， $E = 57.7$ V，由公式 (6) 得接地距离保护 I 段适用的线路阻抗与系统阻抗的关系可用图 3 表示。

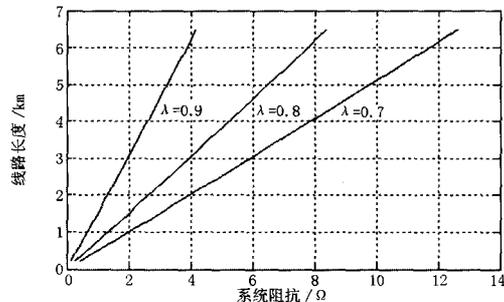


图 3 接地距离保护 I 段适用线路长度与系统阻抗的关系

Fig.3 Relationship between system impedance and the length of line applied zone I of ground distance protection

从图 3 可知，当系统阻抗越大，适用接地距离

保护 I 段的线路长度要求越长。当线路长度一定时, 如果系统阻抗越大, 距离保护就越容易超越; 当系统阻抗一定, 线路长度越短, 距离保护就越容易超越。

以上假设的是 PT、CT 绝对误差恒定情况下接地距离保护 I 段适用线路长度与系统阻抗比的关系。对于 PT、CT 的绝对误差, 可能会随着故障分量的大小而发生变化, 为简单计, 可取最严重的情况根据公式 (6) 来分析。需要注意的是以上分析 β 需考虑 $(1+K)I$ 整体误差。

3 相间距离误差特性

对于相间故障, 由于接入保护装置的模拟量均是按相接进, 相间电压、相间电流均是装置通过计算形成, 因此绝对误差又需要考虑一相模拟量正误差达最大, 另一相模拟量负误差达最大的情况。

假设发生 BC 相间故障, 则 δ 、 ξ 表达式如下:

$$\delta = \left| \frac{\dot{U}_{JB} - \dot{U}_{JC} - (\dot{U}_B - \dot{U}_C)}{\dot{U}_B - \dot{U}_C} \right|$$

根据文献[1]并忽略幅值误差(相间故障时相电压较大, 从而相对幅值误差很小)可推导得如下公式(θ_{UB} 、 θ_{UC} 用度表示):

$$\delta = \frac{0.5038(\theta_{UB} - \theta_{UC})(1+S)}{E_{BC}} \quad (7)$$

同时,

$$\xi = \left| \frac{\dot{I}_{JB} - \dot{I}_{JC} - (\dot{I}_B - \dot{I}_C)}{\dot{I}_B - \dot{I}_C} \right|$$

$$\xi = \left| \frac{(1+\xi_B)\dot{I}_B e^{j\theta_B} - (1+\xi_C)\dot{I}_C e^{j\theta_C}}{\dot{I}_B - \dot{I}_C} - 1 \right|$$

显然, 当 $\theta_B = \theta_C = 0$ 时, ξ 误差最大为:

$$\xi = \frac{\xi_B + \xi_C}{2} = \frac{(\beta_B + \beta_C)Z_L}{E_{BC}} \quad (8)$$

以上推导中, θ_{UB} 、 θ_{UC} 、 δ_B 、 δ_C 分别为 B、C 相电压角度误差以及幅值误差; θ_B 、 θ_C 、 β_B 、

β_C 分别为 B、C 相电流的角度误差以及幅值误差。

将公式 (7)、(8) 均代入公式 (3) 可得相间故障时测量阻抗与故障阻抗的关系, 忽略虚部分量, 可得满足以下条件时相间距离保护 I 段可能会超越:

$$\frac{100 - 0.5038(\theta_{UB} - \theta_{UC})(1+S)}{100 + (\beta_B + \beta_C)Z_L} < \lambda$$

从而得:

$$0.5038(\theta_{UB} - \theta_{UC}) \frac{Z_S}{Z_L} + \lambda(\beta_B + \beta_C)Z_L > \quad (9)$$

$$100(1-\lambda) - 0.5038(\theta_{UB} - \theta_{UC})$$

对于 220 kV 线路, 设 PT 变比为 220 kV:100 V, CT 变比 1250/5, 0.4 Ω /km, $\beta = 0.05$ A, 按保守方法, 设 $\theta_{UB} = -\theta_{UC} = 1^\circ$, 根据公式 (9) 得相间距离保护 I 段适用的线路长度与系统阻抗的关系可用图 4 表示。

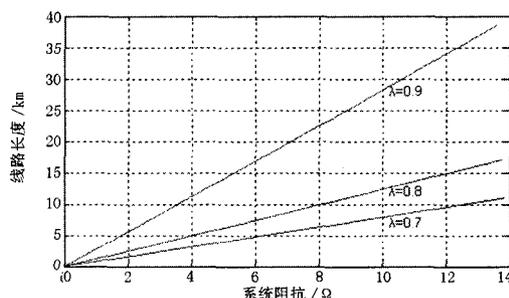


图 4 相间距离保护 I 段适用线路长度与系统阻抗的关系

Fig.4 Relationship between system impedance and the length of line applied zone I of inter-phase distance protection

从图 4 可知, 与接地距离一样, 当系统阻抗越大, 适用相间距离保护 I 段的线路长度要求越长。当线路长度一定时, 如果系统阻抗越大, 相间距离保护就越容易超越; 当系统阻抗一定, 线路长度越短, 相间距离保护就越容易超越。

同时, 当整定的定值与线路阻抗比值 (λ) 越小时, 其抗超越的性能就越强。但是, 这就可能不满足 5% 误差特性要求。因此, 在短线路进行定值校验时可能会出现不满足 5% 误差特性要求。

4 总结

以上幅值误差、相位误差均是保守估计, 实际上不可能同时出现一相幅值正误差最大、另一相幅

(下转第 32 页 continued on page 32)

Beijing: China Machine Press, 1994.

[2] Kidd A L, Scholes G H. Successful Selection and Operation of Overcurrent and Residual Current Protective Measures[A]. In: Proceedings of the International Conference on Installation Engineering Designing and Maintaining Successful Systems[C]. 1998.

[3] Nomura K, Hisalsune F, Yamada T. The Present State and Future Trends in Circuit Breakers and Earth Leakage Circuit Breaker[J]. Mitsubishi Denki Giho(Japan), 1995, 69 (4).

[4] 李奎, 陆俭国, 瞿建喜. 新型鉴相鉴幅漏继电器的研究[J]. 低压电器, 2001, (4):12-14.
LI Kui, LU Jian-guo, QU Jian-xi. Study on Intelligent Protective Relay with Discriminating Phase and Amplitude of Residual Current[J]. Low Voltage Apparatus, 2001, (4):12-14.

[5] 戴学安. 继电保护原理的重大突破—综论工频变化量继电器[J]. 电力系统自动化, 1995, 19(1): 41-47.

DAI Xue-an. A Brief Discussion on the Protection Relay Based on Power Frequency Variation Principle[J]. Automation of Electric Power Systems, 1995, 19(1):41-47.

[6] 苏斌, 贺家李, 董新洲, 等. 快速工频量高频方向保护的新方案[J]. 电力系统及其自动化学报, 2000, 12(6):37-40.
SU Bin, HE Jia-li, DONG Xin-zhou, et al. New Scheme of High Speed Power Line Carrier Protection based on Power Frequency Voltages and Currents[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2000, 12(6):37-40.

收稿日期: 2008-01-03; 修回日期: 2008-03-29
作者简介:

李奎(1965-), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为电器可靠性理论与试验技术、继电保护智能化理论与技术。E-mail:likui@hebut.edu.cn

(上接第 19 页 continued from page 19)

[6] 夏岩, 刘明波, 邱朝明. 带有复杂分支子馈线的配电系统可靠性评估[J]. 电力系统自动化, 2002, 25(4) : 40-44.
XIA Yan , LIU Ming-bo, QIU Zhao-ming. Reliability Assessment of Distribution Networks with Complex Subfeeders[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 25(4): 40-44.

[7] 谢开贵, 周平, 周家启. 基于故障扩散的复杂中压配电系统可靠性评估算法[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(4) : 45-48.
XIE Kai-gui, ZHOU Ping, ZHOU Jia-qi. Reliability Evaluation Algorithm for Complex Medium Voltage Radial Distribution Network Based on Fault-Spreading-Method[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(4):45-48.

[8] 李志民, 李卫星, 刘迎春. 辐射状配电系统可靠性评估的故障遍历算法[J]. 电力系统自动化, 2002, 25(20)

LI Zhi-min, LI Wei-xing, LIU Ying-chun. Fault-Traversal Algorithm of Radial-Distribution-System-Reliability Evaluation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 25(20).

[9] Billinton R, LI W Y. Reliability Assessment of Electric Power Systems Using Monte Carlo Methods[M]. New York and London: Plenum Press, 1994. 209-254.

收稿日期: 2008-01-31; 修回日期: 2008-03-23
作者简介:

方水平(1980-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为配网规划、电力系统稳定与控制等; E-mail:flevel@tom.com
管霖(1970-), 女, 教授, 博士, 主要研究方向为小波理论及其在电力系统中的应用、人工智能、电力系统稳定与控制。

(上接第 27 页 continued from page 27)

值负误差最大的情况, 或者两相相位误差同时达到最大的情况, 但这现象仍应当考虑。显然, 对于短线路, 相间距离 I 段需要考虑的条件比接地距离 I 段更加苛刻一些。

接地距离超越主要是由于幅值误差引起, 而相间距离超越主要是由于相位误差引起, 即引起它们误差的原因不同, 因此, 在校验保护特性时, 接地距离与相间距离均需要校验。

综上所述, 在确定线路具体多长才能投入距离保护的问题上, 不应当仅仅局限于线路的长度, 而要综合考虑系统的大小、即系统阻抗的大小, 然后根据公式(6)、公式(9)推导出适合的线路长度。

文中没有考虑经过渡电阻故障时, 因对侧电源助增所导致的超越问题, 这是通过零序电抗器来避

免超越, 因此, 不在文中考虑范围。

对于工频变化量距离继电器, 在定值 $<1/I_n$ 应退出, 此处不再详细推导。

参考文献

[1] 何奔腾, 周春霞. 短线路两相短路时距离保护误差分析[J]. 电力自动化设备, 2001, 21(11).
HE Ben-teng, ZHOU Chun-xia. Error Analysis of Distance Relay Protection in Phase-to-Phase Short Circuit Fault[J]. Electric Power Automation Equipment, 2001, 21(11).

收稿日期: 2008-06-02; 修回日期: 2008-07-26
作者简介:

刘玮(1973-), 男, 硕士, 主要从事电力系统继电保护管理工作。E-mail:liuweihyp@163.com