

基于感受阻抗的相间距离保护整定计算方法

蒋科, 吕飞鹏, 郭亮, 罗长亮
(四川大学电气信息学院, 四川 成都 610065)

摘要: 在分析传统相间距离保护速动段、配合段整定计算方法局限性的基础上, 针对传统整定方法整定多端线路存在的不足, 提出了基于感受阻抗的相间距离保护整定方法, 并给出了通用的整定计算公式。该方法不受网络拓扑结构的影响, 解决了整定线路、配合线路为多端线路时传统相间距离保护整定方法存在的问题, 能有效提高多端线路上相间距离保护的覆盖范围及灵敏度, 对于普通线路同样适用。通过算例, 比较分析了传统整定计算方法和基于感受阻抗整定计算方法的定值性能, 验证了所提方法的有效性。

关键词: 相间距离保护; 整定配合; 感受阻抗

Phase distance protection setting method based on detecting impedance

JIANG Ke, Lü Fei-peng, GUO Liang, LUO Chang-liang
(Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: Based on the analysis of the limitation on the first zone and the coordination zone of the conventional phase distance protection setting calculation method, a method based on the detecting impedance and universal setting formulae are proposed considering the shortage of conventional setting calculation method for multi-terminal lines. Using the proposed method, the problem of conventional setting calculation method for multi-terminal lines will be solved, the coverage and sensitivity of multi-terminal lines protection can be improved efficiently, and the influence of network topology structure will be removed. The method is validated through an example and the performance of settings is compared.

This project is supported by Application Basic Research Fund of Sichuan Province (No.2007JY085).

Key words: phase distance protection; setting and coordination; detecting impedance

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)13-0129-05

0 引言

相间距离保护是电力系统输电线路应用最为广泛的保护之一。近年来, 随着电力系统的发展和负荷密度的增长, 由于客观条件的限制或从节省投资等方面考虑, 在中低压和高压电力系统中存在三端或三端以上的多端输电线路, 这些线路又常常联系着大电厂或大系统, 发生故障后要求保护快速、可靠动作^[1-5]。对于多端线路相间距离保护, 采用传统整定计算方法可能造成保护定值过大或过小, 难以满足“四性”要求。

基于感受阻抗的整定方法根据距离保护动作原理^[6-7], 消除了传统方法的不足, 便于计算机实现。由于距离保护 II、III 段保护范围的不确定以及一些特殊网络结构的存在, 直接采用这种方法的可行性

较差。文献[8]提出了不受配合段保护范围影响的接地距离保护整定公式, 该公式仅适用于配合线路为普通线路的情况, 对于多端线路仍然存在较大的局限性。

本文在分析相间距离保护速动段、配合段传统整定计算方法局限性的基础上, 提出了基于感受阻抗的相间距离保护整定计算方法, 给出了具有通用性的整定公式, 解决了整定线路、配合线路为多端线路时传统方法存在的问题。通过算例对传统方法和基于感受阻抗整定方法的保护定值进行了比较分析。

1 传统相间距离保护整定方法

1.1 I 段定值的整定计算

相间距离保护 I 段定值按可靠躲过本线路末端相间故障整定, 一般整定为本线路正序阻抗的 80%~85%。这种方法完全适用于普通线路, 但对多端线路可能存在定值保护范围过小或过大的缺点。

基金项目: 四川省应用基础研究项目(2007JY085)

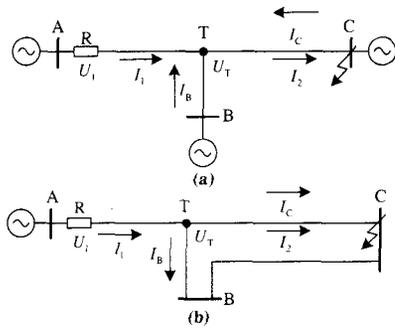


图 1 T 型接线结构

Fig.1 T type connection structure

对于图 1 所示的多端线路，按照相间距离保护传统整定方法，保护 R 的 I 段定值为：

$$Z_{dz,I} = K_K \min \{ Z_{AC}, Z_{AB} \} \quad (1)$$

式中： K_K 为可靠系数； Z_{AC} 、 Z_{AB} 分别为线路 AC、AB 的正序阻抗。

图 1 (a) 中，TC 线路末端相间故障时，保护 R 所感受到的阻抗 Z'_{AC} 为：

$$Z'_{AC} = \frac{U_1}{I_1} = \frac{U_{AT}}{I_1} + \frac{I_2 U_T}{I_1 I_2} = Z_{AT} + \frac{I_1 + I_B}{I_1} Z_{TC} = Z_{AC} + \frac{I_B}{I_1} Z_{TC} \quad (2)$$

式中， U_1 、 I_1 分别为保护感受到的电压、电流； U_{AT} 为线路 AT 上的电压降； U_T 、 I_2 、 I_B 分别为 T 节点电压和线路 TC、BT 电流； Z_{AT} 为线路 AT 正序阻抗； Z_{TC} 为线路 TC 正序阻抗。

同理，可得图 1 (a) 中 TB 线路末端相间故障时，保护 R 的感受阻抗 Z'_{AB} 为：

$$Z'_{AB} = Z_{AB} + \frac{I_C}{I_1} Z_{TB} \quad (3)$$

式中： I_C 为线路 CT 电流， Z_{TB} 为线路 TB 正序阻抗。

从式 (2)、(3) 可看出，图 1 (a) 中线路末端故障时保护 R 所感受到的阻抗大于线路的正序阻抗值。若按传统方法整定，其保护范围将缩短。

图 1 (b) 中，TC 线路末端相间故障时，保护 R 的感受阻抗 Z''_{AC} 为：

$$Z''_{AC} = \frac{U_1}{I_1} = \frac{U_{AT}}{I_1} + \frac{I_2 U_T}{I_1 I_2} = Z_{AT} + \frac{I_1 - I_B}{I_1} Z_{TC} = Z_{AC} - \frac{I_B}{I_1} Z_{TC} \quad (4)$$

TB 线路末端相间故障时，保护的感受阻抗 Z''_{AB} 为：

$$Z''_{AB} = Z_{AB} - \frac{I_C}{I_1} Z_{TB} \quad (5)$$

由于 $Z''_{AC} < Z_{AC}$ 、 $Z''_{AB} < Z_{AB}$ ，可见图 1 (b) 中，保护 R 所感受到的故障阻抗小于线路的正序阻抗。若保护按传统方法整定，保护范围将延长。

从上述分析可知，相间距离 I 段传统整定方法直接以线路的正序阻抗为计算参数，忽略了 T 接线对保护感受阻抗的影响，导致了多端线路中 I 段保护范围的不确定性：图 1 (a) 中，如果母线 A、B 之间的电气距离较近，则保护 R 的 I 段保护范围将很短，TC 线路的大部分将处于保护范围之外，保护性能较差；如果 A 侧为小电源，B 侧为大电源（即 $I_B \gg I_1$ ），从式 (2) 可知，保护感受阻抗将很大，保护范围将大幅度减小；图 1 (b) 中，保护 R 的 I 段定值保护范围又将延长，严重时可能伸出本线，保护动作失去选择性。

1.2 配合段定值的整定计算

对于多端线路配合段的整定，传统方法也存在保护范围不确定的问题。图 2 中，设 R2 的 I 段定值为 Z'_{DZ} ，R1 的 II 段定值按与 R2 的 I 段配合为：

$$Z_{dz-II} = K_K Z_L + K'_K K_Z Z'_{DZ} = K_K \min \{ Z_{AC}, Z_{AB} \} + K'_K K_Z Z'_{DZ} = K_K Z_{AC} + K'_K K_Z Z'_{DZ} \quad (6)$$

式中： Z_{AC} 、 Z_{AB} 分别为线路 AC、AB 的正序阻抗，假设 $Z_{AC} < Z_{AB}$ ； K_Z 为最小助增系数； K_K 、 K'_K 为可靠系数。

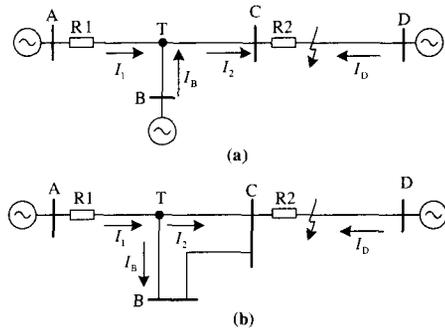


图 2 示例系统 1

Fig.2 Example system I

式 (6) 将 AC 线路正序阻抗 Z_{AC} 作为 Z_L 来计算，而根据 1.1 节的分析可知，图 2 (a) 中准确的 Z_L 应为 $Z_{AC} + \frac{I_B}{I_1} Z_{TC}$ ，因此按传统方法整定保护

R1 时, 会使保护灵敏度降低, 可能需要进行同段配合, 使保护动作时限增大; 而在图 2 (b) 中 Z_L 应为 $Z_{AC} - \frac{I_B}{I_1} Z_{TC}$, 按传统方法整定保护 R1 时, 保护的動作可能失去选择性。

综上所述, 传统方法在整定多端线路相间距离保护速动段、延时配合段时, 都可能出现定值取值过于保守导致灵敏度降低, 或不能保证保护动作具有选择性, 对于整定复杂网络存在较大的局限性。

2 基于感受阻抗的相间距离保护整定方法

2.1 I 段的整定计算

根据规程对相间距离保护 I 段的要求, 并考虑到某些多端线路上保护的感受阻抗与线路距离之间存在非线性关系, 相间距离保护 R 的 I 段定值可按本线路全长的 $\alpha\%$ (α 可取 80~85) 处相间故障时保护的感受阻抗整定。为保证选择性, 需要考虑系统方式变化, 取有关运行方式下的最小值作为定值:

$$\begin{cases} Z^i = \frac{U_{\alpha\%}^i}{I_{\alpha\%}^i} \\ Z_{DZ,i} = \min\{Z^1, \dots, Z^i, \dots, Z^{N-1}\} \end{cases} \quad (7)$$

式中: Z^i 、 $U_{\alpha\%}^i$ 、 $I_{\alpha\%}^i$ 分别为保护 R 距对侧第 i 个端点 $\alpha\%$ 处相间故障时, R 感受到的阻抗、电压、电流; $i=1, \dots, N-1$, N 为整定线路端点数; $Z_{DZ,i}$ 为保护 I 段定值。

2.2 配合段的整定计算

计算保护 R 的配合段定值时, 按照基于感受阻抗方法的整定思想, 故障点应选在配合保护配合段的保护范围末端, 准确的整定公式为:

$$Z_{DZ} = K_K \frac{U}{I} \quad (8)$$

式中, Z_{DZ} 为保护定值; K_K 为可靠系数; U 、 I 为保护感受到的电压和电流。

在国内, 由于后备保护普遍采用逐级配合的原则整定, 同时还可能出现不同原理保护间的配合, 这就使配合保护配合段的保护范围难以确定, 给准确计算式 (8) 带来了困难。为了克服这一困难, 下面以 R 与保护 j 配合为例, 对式 (8) 作进一步推导:

$$\begin{aligned} Z_{DZ} &= K_K \frac{U}{I} = K_K \frac{U - U_j}{I} + K_K \frac{U_j}{I} = \\ &K_K Z_{eq,j} + K_K \frac{I_j U_j}{I I_j} = K_K Z_{eq,j} + K_K \frac{I_j}{I} Z'_{DZ,j} \end{aligned} \quad (9)$$

式中: U_j 、 I_j 分别为保护 j 配合段保护范围末端相

间故障时, j 感受到的电压和电流; $Z_{eq,j}$ 为 R 与 j 之间的等效阻抗; $\frac{U_j}{I_j}$ 为配合保护 j 的定值 $Z'_{DZ,j}$ 。

工程应用中, 可近似认为故障点选在配合线路末端与选在配合保护配合段保护范围末端, $Z_{eq,j}$ 、 $\frac{I_j}{I}$ 均不变, 可得基于感受阻抗的相间距离保护配合段整定公式:

$$\begin{cases} Z_j^i = K_K \left(\frac{U^i - U_j^i}{I^i} \right) + K'_K \frac{I_j^i}{I^i} Z'_{DZ,j} \\ Z_{DZ} = \min\{Z_1^1, \dots, Z_j^i, \dots, Z_n^{N-1}\} \end{cases} \quad (10)$$

式中: Z_j^i 、 U^i 、 I^i 、 U_j^i 、 I_j^i 分别为与保护 j 配合, 故障点选在 j 保护线路对侧第 i 个端点时的计算值、整定保护 R 感受到的电压和电流、配合保护 j 感受到的电压和电流; $j=1, \dots, n$, n 为配合保护个数; $i=1, \dots, N_j-1$, N_j 为 j 保护线路的端点数; K_K 、 K'_K 为可靠系数; $Z'_{DZ,j}$ 为配合保护 j 的定值。

式 (10) 中各参数只与整定保护和配合保护的感受量、配合保护定值有关, 公式形式统一。网络的拓扑结构及系统运行方式的变化均体现在保护的感受量中, 解决了保护与不相邻、不同原理保护配合时整定计算复杂以及配合保护保护范围不确定的问题。对于普通线路、多端线路该公式均适用, 具有通用性。

3 定值性能比较

以图 3 所示网络为例比较相间距离保护传统整定方法和基于感受阻抗方法的定值性能。图中, 各元件参数均为标么值。可靠系数 K_K 、 K'_K 均取 0.8, 检修方式为 $N-1$ 。

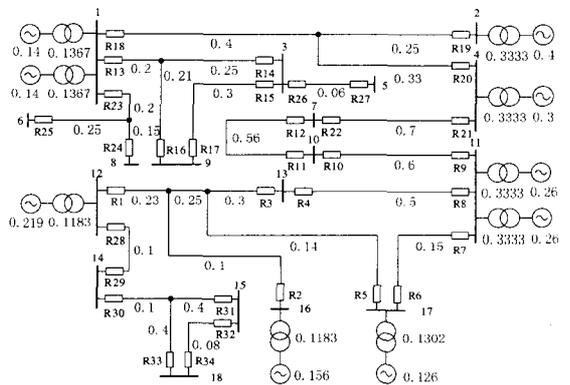


图 3 算例系统

Fig.3 Test system

3.1 I 段定值性能比较

表 1 给出了部分保护采用两种方法整定后的 I 段定值,在正常运行方式下的保护范围如图 4 所示。

表 1 部分保护的 I 段定值

Tab.1 Zone I settings for part of relays

保护编号	传统方法整定值	感受阻抗方法整定值
R5	0.352	0.429
R9	0.480	0.480
R13	0.328	0.306
R18	0.520	0.548
R23	0.280	0.280

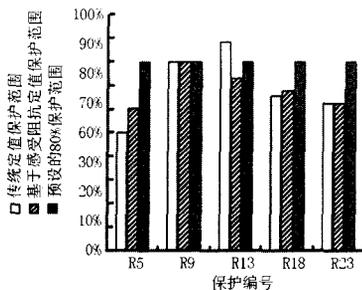


图 4 I 段定值保护范围

Fig.4 Percentage of zone I coverage

图 3 中, 保护 R9 所在线路为普通线路, 保护 R23 所在线路虽然为 T 接线, 但 T 接支路无电源点、无环网, 保护感受到的故障阻抗等于其与故障点间线路正序阻抗, 所以两种方法整定保护 R9、R23 的结果相同。

表 1 中, 保护 R5、R18、R13 的传统定值与基于感受阻抗方法的定值存在差异。从图 3 可知, 这些保护处在 T 接线带电源或带环网的线路中, 传统方法由于忽略了 T 接线助增或外汲电流对保护感受阻抗的影响, 导致了定值取值过小或过大。而基于感受阻抗的整定方法克服了这一缺点, 在保证选择性的前提下有效提高了 I 段定值的保护范围如图 4 所示。

3.2 II 段定值性能比较

表 2 给出了部分保护用两种方法整定后的 II 段定值, 其灵敏度对比如表 3 所示。图 5 为正常运行方式下保护 R28 的 II 段对保护 R30 所在线路的保护范围。

从表 2 可知, 对于整定线路和配合线路均为普通线路的保护如 R9, 两种方法的整定结果仍然相同, 而当整定线路或配合线路为 T 接线线路的保护如 R1、R22、R28, 两种方法整定结果的差异较大。

保护 R1、R22 的整定线路或配合线路为 T 接线带电源结构。如表 2 所示, 采用基于感受阻抗的整

定方法保护只与相邻保护 I 段配合即可满足灵敏度要求, 而不需进行同段配合, 降低了动作时限。保护 R28 的配合保护处在 T 接线带环网结构中, 从表 3 和图 5 可知, 基于感受阻抗的整定方法能有效消除传统方法保护范围过大的缺点, 在保证灵敏度要求的前提下, 同时保证了选择性。

表 2 部分保护的 II 段定值

Tab.2 Zone II settings for part of relays

保护编号	传统方法		感受阻抗方法	
	定值	最终配合保护	定值	最终配合保护
R1	1.051	与 R4 II 段配合	1.071	与 R6 I 段配合
R9	0.838	与 R11 I 段配合	0.838	与 R11 I 段配合
R22	0.931	与 R20 I 段配合	1.027	与 R20 I 段配合
R28	0.400	与 R30 I 段配合	0.318	与 R30 I 段配合

表 3 II 段定值灵敏度

Tab.3 Sensitivity of zone II settings

保护编号	传统方法	感受阻抗方法
	近后备灵敏度	近后备灵敏度
R1	1.35	1.37
R9	1.40	1.40
R22	1.33	1.47
R28	4.00	3.18

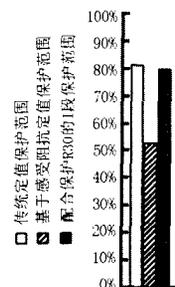


图 5 R28 对配合线路的保护范围

Fig.5 Percentage of remote line coverage of R28

4 结论

提出了不受网络拓扑结构影响的基于感受阻抗相间距离保护整定方法, 解决了传统方法整定多端线路时存在的问题。对于普通线路该方法同样适用, 具有通用性。随着电力系统通信能力不断增强, 继电保护在线整定已经具备了一定的客观条件, 若把基于感受阻抗的整定方法与在线整定技术相结合, 可提高电力系统安全运行水平。

参考文献

[1] 高中德. 超高压电网继电保护专题分析[M]. 北京: 水利电力出版社, 1990. 143-147.

- [2] 郭征, 贺家李. 三端线路光纤保护的研究[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(10): 57-59.
GUO Zheng, HE Jia-li. Research of Relay Protection of Three-Terminal Power Transmission Lines Using Optical Fiber Channel[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003,27(10): 57-59.
- [3] 王亚强. 关于 T 接线路继电保护若干问题的研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2004. 1-4.
- [4] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术 (3 版) [M]. 北京: 中国电力出版社, 2005. 248-250.
- [5] 张武军, 王慧芳, 何奔腾. T 接线路行波差动保护[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(3): 61-66.
ZHANG Wu-jun, WANG Hui-fang, HE Ben-teng. Traveling Wave Differential Protection on Teed Transmission Lines[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007,31(3): 61-66.
- [6] Leung K W. Computer-Aided Setting Calculation for Distance Zone2 and Zone3 Protection[A]. in: IEE International Conference on Advances in Power System Control[J]. Operation and Management[C]. Hong Kong(China):1991.152-157.
- [7] Sidhu T S, Baltazar D S, Palomino R M, et al. A New Approach for Calculating Zone- 2 Setting of Distance Relays and Its Use in an Adaptive Protection System[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2004, 19(1): 70-77.
- [8] 李银红, 段献忠. 基于感受量的接地距离保护整定方法探讨[J]. 电网技术, 2003, 27(8): 64-67.
LI Yin-hong, DUAN Xian-zhong. A Discussion on Grounding Distance Protection Method Based on Detecting Impedance[J]. Power System Technology, 2003,27(8):64-67.
- [9] Elkateb M M. Seen Impedance by Impedance Type Relays During Power System Sequential Disturbances[J]. IEEE Trans on Power Delivery,1992,7(4): 1946-1954.
- [10] 电力工业部. 220~500kV 电网继电保护装置运行整定规程[M]. 北京: 中国电力出版社, 1994. 19-20.
- [11] 贺家李, 宋从矩. 电力系统继电保护原理, 第 3 版[M]. 北京: 中国电力出版社, 1994. 65-102.
- [12] 王广学. 电力系统接地距离保护零序补偿系数分析[J]. 电网技术, 1994, 18(1): 1-7.
WANG Guang-xue. Analysis of Zero-Sequence Current Compensation Coefficient for Ground-Fault Distance Protection in Power System[J]. Power System Technology, 1994,18(1): 1-7.
- [13] Pinto De Sa J, Afonso J, Rodrigues R. A Probabilistic Approach to Setting Distance Relays in Transmission Networks[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1997,12(2): 681-686.
- [14] 洪健山, 郝小欣, 吴斌. 自适应接地保护的研究[J]. 电网技术, 2001, 25(11): 50-54.
HONG Jian-shan, HAO Xiao-xin, WU Bin. A Study on Adaptive Ground Protection [J]. Power System Technology, 2001,25(11): 50-54.
- [15] 许正亚. 输电线路新型距离保护[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2002. 412-452.
- [16] 王广学, 俸玲, 李晓娟. 电力系统输电线路接地距离保护整定计算研究[J]. 电网技术, 2002, 26(2): 49-53.
WANG Guang-xue, FENG Ling, LI Xiao-juan. Research on Setting Calculation of Grounding Distance Protection of Transmission Line [J]. Power System Technology, 2002,26(2): 49-53.
- [17] FAN Chun-ju, LI Sheng-fang, YU Wei-yong, et al. Study on Adaptive Relay Protection Scheme Based on Phase Measurement Unit(PMU)[A]. in: Eighth IEE International Conference on Developments in Power System Protection[C].2004. 36-39.
- [18] 卢晓华. 距离保护可靠系数及 I 段最小保护范围研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2005. 5-9.
- [19] 蔡斌, 吴素农, 王诗明. 电网在线安全稳定分析和预警系统[J]. 电网技术, 2007, 31(2): 36-41.
CAI Bin, WU Su-nong, WANG Shi-ming. Power Grid On-Line Security and Stability Analysis and Forewarning System [J]. Power System Technology, 2007,31(2): 36-41.
- [20] 李晓明. III 段距离保护作为后备保护的性能分析[J]. 继电器, 2005, 33(15): 9-12.
LI Xiao-ming. Performance Analysis of III Section Distance Relay as the Backup Protection[J]. Relay, 2005, 33(15): 9-12.

收稿日期: 2008-09-01; 修回日期: 2008-09-16

作者简介:

蒋科(1983-), 男, 硕士研究生, 从事电力系统继电保护整定计算理论及相关软件技术研究; E-mail: jasonjiangke@gmail.com

吕飞鹏(1968-), 男, 博士, 教授, 从事电力系统继电保护和故障信息处理智能系统研究;

郭亮(1982-), 男, 硕士研究生, 从事电力系统继电保护研究。