

距离保护特性元件躲过渡电阻能力分析与研究

张晶晶, 曹锐

(合肥工业大学电气与自动化工程学院, 安徽 合肥 230009)

摘要: 对距离保护元件, 由于存在过渡电阻, 单侧电源线路经短线路出口故障或双侧电源的线路故障, 容易引起距离保护拒动或误动。分析了过渡电阻对距离保护工作的影响, 探讨了接地及相间距离继电器这种受过渡电阻影响较大的元件阻抗圆特性躲过渡电阻能力改进, 以及几种较好的躲过渡电阻特性, 指出将这些特性组合起来将具有很好的躲过渡电阻的能力。

关键词: 距离保护; 过渡电阻; 阻抗圆

中图分类号: TM773 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2004)06-0017-03

0 引言

电力系统中短路一般都不是金属性的, 而是在短路点存在过渡电阻。此过渡电阻的存在, 将使距离保护的测量阻抗发生变化, 可引起保护的超范围动作或使保护的测量范围缩短, 从而导致保护的误动或拒动。实际的距离保护装置通常需考虑过渡电阻引起的后果。本文对过渡电阻的影响以及各种较常用的距离保护元件如何躲开过渡电阻的影响进行了分析与研究。

1 过渡电阻对距离保护工作的影响

1.1 对单侧电源线路的影响

过渡电阻^[1]一般呈电阻性, 对单侧电源线路来说(图1所示), 保护装置距短路点越近, 受过渡电阻影响越大; 同时保护装置整定阻抗值越小, 受过渡电阻影响越大。因此, 短线路出口经过过渡电阻短路时, 由于继电器测量阻抗增大, 很可能使保护拒动。如图1所示, 母线A侧保护出口处经过过渡电阻 R_g 短路, 当 R_g 较大时, 测量阻抗超出特性圆范围, 保护拒动。

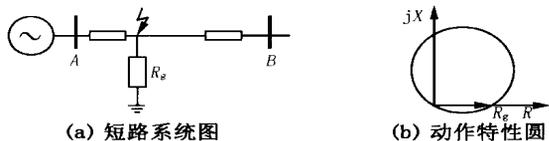


图1 单侧电源短线路出口处经 R_g 短路时的等效图及特性圆分析

Fig.1 Short circuit fault through R_g at the exit of short line of one-terminal power supply and its characteristic circle analysis

1.2 对双侧电源线路的影响

对双侧电源的线路(图2所示), 由于对侧电源的助增, 过渡电阻的影响呈容抗性, 可能使保护的测量阻抗减小, 进入保护的测量范围, 此为对侧电源助增引起的超越现象。设B母线出口处A相经过过渡电阻 R_g 接地短路, A母线保护测量阻抗为:

$$Z_I = U_A / (I_A + K \cdot 3 I_0) = Z_{AB} + I_d R_g / I_d = Z_{AB} + 3 I_{OF} R_g / (I_A + K \cdot 3 I_0) = Z_{AB} + Z \quad (1)$$

其中: $I_d = I_d + I_d'$, 设 I_d 滞后 I_d' , Z 呈容性, Z_I 进入保护的测量范围引起保护误动。

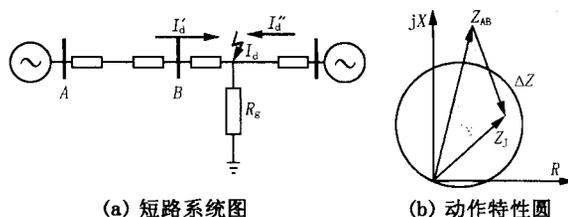


图2 双侧电源线路经 R_g 短路时等效图及特性圆分析

Fig.2 Short circuit through R_g on the line of two-terminal power supply and its characteristic circle analysis

2 受过渡电阻影响的元件躲过渡电阻能力改进^[2,3]

2.1 三段式接地距离继电器

2.1.1 一段接地距离继电器

$$\text{工作电压: } U_{op, \phi} = U_{\phi} - (I_{\phi} + K \cdot 3 I_0) Z_{zd}$$

$$\text{极化电压: } U_p, \phi = -U_{1\phi} \quad (2)$$

式中: $U_{1\phi}$ 为正序电压, ϕ 为A、B、C。该特性圆(如图3所示)是以 $|Z_s + Z_{zd}|$ 为直径的阻抗圆, 包含原

点,说明正方向出口经过渡电阻短路故障时能正确动作。

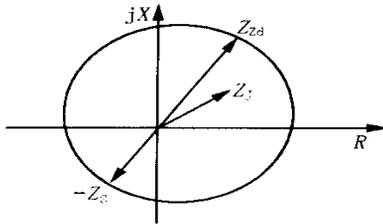


图3 接地距离继电器 段特性圆
Fig. 3 Section characteristic circle of grounded distance relay

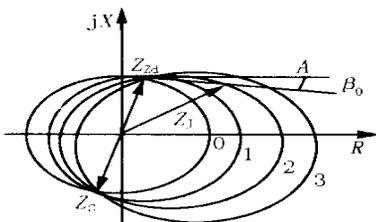


图4 接地距离继电器 段特性圆
Fig. 4 Section and Section characteristic circles of grounded distance relay

2.1.2 段接地距离继电器

1) 正序电压极化的阻抗继电器

$$\text{工作电压: } U_{op, \phi} = U_{\phi} - (I_{\phi} + K \cdot 3 I_0) Z_{zd}$$

$$\text{极化电压: } U_{p, \phi} = -U_{1\phi} e^{j\alpha_1} \quad (3)$$

式中: $U_{1\phi}$ 为正序电压, 该极化电压引入移相角 α_1 , 短线路应用时, 将方向阻抗继电器特性向第一象限偏移, 以扩大允许过渡电阻的能力。 α_1 可取 $0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ (如图4特性圆0, 1, 2, 3所示)。由于在对侧电源助增下可能超越, 所以引入零序电抗继电器以防止超越。

2) 零序电抗继电器

$$\text{工作电压: } U_{op, \phi} = U_{\phi} - (I_{\phi} + K \cdot 3 I_0) Z_{zd}$$

$$\text{极化电压: } U_{p, \phi} = -I_0 Z_d \quad (4)$$

其比相方程变为:

$$90^\circ + \arg Z_d + \alpha_0 < \arg (Z_1 - Z_{zd}) < 270^\circ + \arg Z_d + \alpha_0 \quad (5)$$

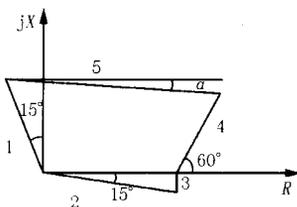


图5 五边形特性
Fig. 5 Pentagon characteristics

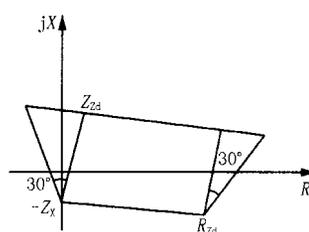


图6 四边形特性
Fig. 6 Quadrilateral characteristics

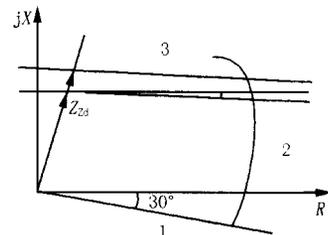


图7 类似杯形特性的特性
Fig. 7 Cupulatelike characteristics

其中: $\alpha_0 = \arg(I_0 / (I_{\phi} + k \cdot 3 I_0))$; 当 I_0, I_{ϕ} 同相时, 直线 A (如图4所示) 平行于 R 轴; 不同相时, 直线的倾角为 I_0 与 $(I_{\phi} + k \cdot 3 I_0)$ 的相角差。设 I_0 与过渡电阻上的压降同相位, 则直线 A 与过渡电阻上的压降呈现阻抗平行。因此, 该特性对过渡电阻具有自适应的特点。实际电抗特性减小 12° , 从而保证 I_0 与过渡电阻上压降不同相位时, 继电器仍不会超越。

当由正序电压极化的继电器和零序电抗继电器两特性阻抗继电器同时动作时, 段接地距离继电器动作, 该特性能测量很大的过渡电阻且不会超越。

2.2 三段式相间距离继电器

三段式相间距离继电器特性类似于三段式接地距离继电器, 下标 $\phi\phi$ 表示 AB, BC, CA, α_2 (偏移角) 可取 $0^\circ, 15^\circ, 30^\circ$, 也是在短线路应用时增加允许过渡电阻的能力。

$$\text{工作电压: } U_{op, \phi\phi} = U_{\phi\phi} - I_{\phi\phi} Z_{zd}$$

极化电压:

$$\text{段: } U_{p, \phi\phi} = -U_{I, \phi\phi}$$

$$\text{、段: } U_{p, \phi\phi} = -U_{I, \phi\phi} e^{j\alpha_2}$$

$$\text{电抗元件: } U_{p, \phi\phi} = -I_{\phi\phi} Z_d \quad (6)$$

3 几种较好的躲过渡电阻特性^[4]

3.1 多边形继电器特性

多边形继电器特性包括四边形及五边形特性及类似的特性, 它们具有较好的耐受过渡电阻的能力。对于图5五边形特性中线4为克服线路末端故障时过渡电阻的影响, 可在 R 轴方向独立移动以适应不同数值的过渡电阻。线2要保证出口经过渡电阻短路时能可靠动作。线值选择应能躲线路末端故障时的超越现象。对短线路, R 值较小, 易受过渡电阻影响, 可加大 R/X 比值, 增强其允许过渡电阻能力。图6特性类似于图5。对于图7所示特性, 线1为零序功率方向线, 线2为负荷阻抗圆, 线3采用改进型零序电流极化的电抗特性, 可解决超越、缩范围问题。

3.2 工频变化量方向元件

用测量电压、电流故障分量的相位角作为正、反方向元件测量相角。

正方向元件测量相角：

$$\phi_+ = \arg(U_{\phi\phi} - I_{\phi\phi}Z_{com}) / I_{\phi\phi}Z_d$$

反方向元件测量相角：

$$\phi_- = \arg(- U_{\phi\phi}) / I_{\phi\phi}Z_d$$

其中正方向故障时,满足下式该元件动作：

$$\phi_+ = \arg(- (Z_s + Z_{com}) / Z_d) = 180^\circ$$

$$\phi_- = \arg(Z_s / Z_d) = 0^\circ$$

式中:下标 $\phi\phi$ 可表示 AB、BC、CA,也可表示 12,12 表示该电气量为正、负序综合分量; Z_d 为模拟阻抗,其阻抗角与线路阻抗的相位角一致; Z_{com} 为补偿阻抗。

由于比相在系统正序阻抗和固定的继电器模拟阻抗间进行,而过渡电阻不影响方向元件的测量相角,所以这种比相方式基本不受故障点的过渡电阻和对侧电源助增作用的影响。另外,由于方向元件不受负荷电流的影响,因而该方向元件可允许测量很大的故障过渡电阻。

3.3 工频变化量距离元件

工频变化量距离元件动作方程式为：

$$| U_{op} | > U_z \quad (8)$$

对相间故障：

$$U_{op,\phi\phi} = U_{\phi\phi} - I_{\phi\phi}Z_{zd}$$

对接地故障：

$$U_{op,\phi} = U_{\phi} - (I_{\phi} + K 3 I_0) Z_{zd}$$

式中: U_z 为整定门槛,取故障前工作电压的记忆量; Z_{zd} 为整定阻抗,一般为 $0.8 \sim 0.85 Z_1$; Z_1 在阻抗平面上是以 $-Z_s$ 末端为圆心,以 $|Z_s + Z_{zd}|$ 为半径的圆。当 Z_1 末端落在圆内时动作,可见这种阻抗继电器有较大的允许过渡电阻的能力。且由于 I 一般与 I_n 同相位,过渡电阻影响始终呈电阻性,与 R 轴平行,因此不存在对侧电流助增引起的超越问题。

4 结束语

以上讨论了各种圆与直线的动作方程与特性。这些特性已普遍应用于 LFP, WXB, WXH 等各种装

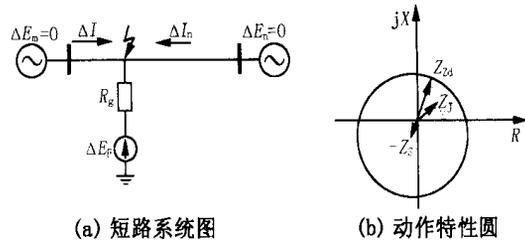


图 8 短路系统图及工频变化量距离元件动作特性圆

Fig 8 Diagram of fault system and operation characteristic circle of power-frequency-variable distance elements

置中,并已取得较好的效果。可见,将圆与直线特性结合起来,会取得很好的躲过渡电阻能力。在保护使用微机装置后,只需在软件中修改添加即可得到我们所需的功能,可对保护装置性能进行改善。过渡电阻是继电保护领域常见的一个元素,它对于保护的正确动作及故障正确测距起着重要作用。

参考文献：

- [1] 贺家李,宋从矩(HE Jia-li, SONG Cong-ju). 电力系统继电保护原理(Relay Protection Theory of Power Systemes) [M]. 北京:中国电力出版社(Beijing:China Electric Power Press), 1991.
- [2] 朱声石(ZHU Sheng-shi). 高压电网继电保护原理与技术(Theory and Technology of Relay Protection of HV Transmission System) [M]. 北京:中国电力出版社(Beijing:China Electric Power Press), 1995.
- [3] 涂光瑜(TU Guang-yu). 汽轮发电机及电气设备(Turbine-generator and Electric Equipment) [M]. 北京:中国电力出版社(Beijing:China Electric Power Press), 1999.
- [4] 葛耀中(GE Yao-zhong). 新型继电保护与故障测距原理(Theory of New Types of Protective Relaying and Fault Location) [M]. 西安:西安交通大学出版社(Xi'an:Xi'an Jiaotong University Press), 1996.

收稿日期: 2003-06-03; 修回日期: 2003-07-02

作者简介:

张晶晶(1977-),女,硕士,从事电力系统继电保护及调度自动化方面的教学与研究;

曹锐(1976-),男,研究生,研究方向为检测技术在电力系统中的应用等。

Analysis and research on the ability of distance protection element standing the influence of transition resistance

ZHANGJingjing, CAO Rui

(School of Electrical Engineering and Automation, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

(下转第 26 页 continued on page 26)

- 北京:水利电力出版社(Beijing:Hydraulic and Electric Power Press),1992.
- [2] 王维俭(WANG Weir-jian). 电气主设备继电保护原理与应用(Principle and Application of Main Electrical Equipment Relay Protection) [M]. 北京:中国电力出版社(BeiJing: China Electric Power Press),1996.
- [3] 杨奇逊(YANG Qi-xun). 微型机继电保护基础(Basis of Microcomputer Relay Protection) [M]. 北京:水利电力出版社(Beijing:Hydraulic and electric Power Press),1988.
- [4] Mallat S,Hwang W L. Singularity Dectection and Processing with Wavelets[J]. IEEE Trans on IT,1992,38(2):617-643.
- [5] 崔锦泰[CUI Jin-tai]. 小波分析导论(Wavelets Analysis Introduction) [M]. 西安:西安交通大学出版社(Xi an: Xi an Jiaotong University Press),1995.
- [6] 林湘宁,刘沛,等(LIN Xiang-ning,LIU Pei,et al). 基于小波包变换的变压器励磁涌流识别新方法(The New Method of Transformer Inrush Current Identifier Based Wavelet Packets Transform) [J]. 中国电机工程学报(Proceedings of the CSEE),1999,19(8):15-19,38.
- [7] 杨桦(YANG Hua). 小波分析及其在电力系统中的应用(Wave let Analysis and Application in Electric Power System) [M]. 重庆:重庆大学出版社(Chongqing: Chongqing University Press),1997.
- [8] Thomas D, et al. Multir neural Network Based Fault Area Estimation for High Speed Protective Relaying[J]. IEEE Trans on Power Delivery,1996,11(2).
- [9] Damir N, et al. Algorithms for Locating Faults on Series Compensated Lines Using Neural Network and Deterministic Methods[J]. IEEE Trans on Power Delivery,1996,11(4).
- [10] 叶昊,王桂增,等(YE Hao,WANG Guir-zeng,et al). 小波变换在故障检测中的作用(Application of Wavelet Transform to Fault Detection) [J]. 自动化学报(Automation Journal) 1997,23(6):736-741.
- [11] 全玉生,等(QUAN Yu-sheng, et al). 应用小波变换检测间断角的新方法(The New Method of Application Wavelets Transform Inspecting the Dead Angles) [J]. 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems),1998,22(1):33-35.
- [12] 杨行峻,郑君里(YANG Xing-jun,ZHENG Jun-li). 人工神经网络(Artificial Neural Network) [M]. 北京:高等教育出版社(Beijing: Higher Education Press),1992.

收稿日期: 2003-06-12; 修回日期: 2003-11-26

作者简介:

胡晓鹏(1955-),男,教授级高工,主要研究方向为电力自动化、自动控制及人工智能;

易理刚(1970-),男,工程师,硕士,主要研究方向为电力自动化、自动控制及人工智能。

A new method of applying artificial neural network based on preprocess of wavelets to realize computer-based transformer protection

HU Xiao-peng, YI Li-gang

(School of Civil Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: This paper presents a new method of computerized transformer protection. Using wavelets analyzed signal fantasticality inspection characteristic, it sets up the corresponding relationship between values of signal discontinuity and its modular partial maxima, and picks up state characteristics that needed. Using the characteristic of its time-frequency decomposing filter, it reduces the influence of imperiodic components and higher harmonic to fault direction identification in transient fault. Based on these, a three-layer feed-forward neural network model is presented and built in order to realize the computer-based transformer protection. Theoretical analysis and EMPT simulation test show that the method can effectively improve sensitivity and selectivity of conventional numerical protection principles and criteria without the effect of CT saturation.

Key words: wavelets transform; ANN (artificial neural network); computer-based transformer protection; inrush current

(上接第 19 页 continued from page 19)

Abstract: To distance protection elements, the existence of transition resistance may result in tripping missing or maloperation, when fault happens at the exit of short line of one-terminal power supply or on the line of two-terminal power supply. In view of that, the paper analyses the influences of transition resistance to distance protection, discusses the improvement of impedance circle characteristics of grounded distance relay and interphase distance relay whose standing transition resistance ability is inferior, and presents several impedance circle characteristics with better standing transition resistance ability. The paper draws a conclusion that distance protection will possess better standing resistance ability when the characteristics mentioned above combined together.

Key words: distance relay; transition resistance; impedance circle