

基于负序电压极化的自适应 阻抗继电器研究

杨 兰,曾祥君,陈 众,张艳平

(长沙理工大学 电气与信息工程学院,湖南 长沙 410076)

摘要: 提出了一种基于负序电压极化的自适应接地阻抗继电器方案,并对其动作特性进行了分析。该继电器可根据接地电阻的大小自动调整继电器的动作边界,对接地电阻有极强的自适应能力。同时,继电器不存在动作的“电压死区”,具有明确的方向性。通过 Matlab 仿真分析结果证明,该继电器具有优良的动作特性,在 500 kV 的高压线路上有良好的耐受过渡电阻能力。

关键词: 阻抗继电器; 自适应动作特性; 过渡电阻

中图分类号: TM 588.3

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2006)03-0025-03

高压输电线路中最常见的故障是单相接地,如何提高保护区内接地故障时允许的过渡电阻,保证动作的方向性是接地阻抗继电器的重要问题。常规的圆特性接地阻抗继电器灵敏度受接地过渡电阻的影响,且反方向出口单相接地时容易失去方向性^[1]。此外,为了消除在出口发生纯金属性接地短路时的电压“死区”,接地阻抗继电器广泛采用记忆电压和故障后的正序电压为极化电压^[2]。记忆电压极化的接地阻抗继电器由于动作边界是固定的,因此适应过渡电阻能力差;正序电压极化的接地阻抗继电器虽然动作有明确的方向性,且区内单相接地时允许的过渡电阻增大了,但很有限^[1]。本文在对各种接地阻抗继电器研究^[3-8]的基础上,提出了以故障后保护安装处的负序电压为极化量的自适应接地方向阻抗继电器,对其动态特性进行了分析研究。并对 3 种不同形式极化电压的阻抗继电器抗过渡电阻能力进行了 Matlab 仿真比较。

收稿日期:2005-08-01

1 自适应动作边界分析

以图 1 所示的双端电力系统为例,设在 K 点发生了经过渡电阻的单相接地(下文均以 A 相故障为例),电流正方向已在图中标出,故障时各故障量如图 2 所示, U_{KA} 为故障相 A 相短路处的电压,是一个随故障点过渡电阻的变化而变化的量,其变化轨迹如图; U_{OPA} 为 A 相工作电压,有 $U_{OPA} = U_A - (I_A + K3I_0)Z_{set}$,即为整定阻抗末端的电压(式中, U_A 为保护安装处 A 相电压; I_A, I_0 为流过保护安装处的 A 相电流和零序电流; $K = (Z_0 - Z_1) / (3Z_1)$, Z_0, Z_1 为线路的单位零序、正序阻抗)。从图 2 中可见,如果以 U_{KA} 为动作边界(动态动作边界),且靠阴影一侧为动作区,则保护区内故障时, U_{OPA} 总是在动作区,保护区外故障时, U_{OPA} 总是在非动作区,这样保护的动作特性就不受故障点过渡电阻的影响。但是,在保护安装处测量不到 U_{KA} ,因此要寻找一个能自动跟踪 U_{KA} 并可以测量的量。

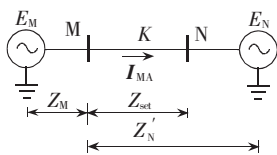


图 1 双端电力系统

Fig.1 Double-source power system

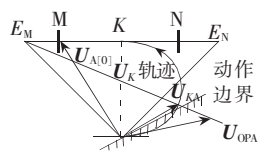


图 2 A 相接地时电压相量图

Fig.2 Voltage phasor with phase A grounded

目前记忆电压极化的阻抗继电器的判据为

$$90^\circ < \arg \frac{U_A - (I_A + K 3 I_0) Z_{set}}{U_{A[0]}} < 270^\circ$$

因 $U_{A[0]}$ 为故障前的记忆电压,故其动作边界是固定的,如图 2 中阴影所示,因此保护的動作区受故障点过渡电阻的影响。若用故障后保护安装处的负序电压 U_{A2} 作为极化电压,则可实现具有动态动作边界的自适应接地方向阻抗继电器。

2 自适应特性分析

A 相接地时有(以 M 侧为例)^[9]

$$U_{KA} = (1 - \frac{Z_{\Sigma 1} + Z_{\Sigma 2} + Z_{\Sigma 0}}{3R_g + Z_{\Sigma 1} + Z_{\Sigma 2} + Z_{\Sigma 0}}) U_{KA[0]}$$

$$U_{A2} = \frac{-C_1 Z_{M1}}{3R_g + Z_{\Sigma 1} + Z_{\Sigma 2} + Z_{\Sigma 0}} U_{KA[0]}$$

图 3 为 A 相接地时 U_{A2} 与 U_{KA} 的端点变化轨迹,当 R_g 在 $(0 \sim \infty)$ 范围内变化, U_{KA} 的端点轨迹沿圆弧 1 逆时针变化, U_{A2} 的端点轨迹沿圆弧 2 逆时针变化。

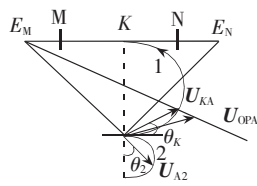


图 3 A 相接地时电压相量图

Fig.3 Voltage phasor with phase A grounded

$$\theta_K = \arctan \frac{3R_g + R_{\Sigma 1} + R_{\Sigma 2} + R_{\Sigma 0}}{X_{\Sigma 1} + X_{\Sigma 2} + X_{\Sigma 0}}$$

$$\theta_2 = \arctan \frac{3R_g + R_{\Sigma 1} + R_{\Sigma 2} + R_{\Sigma 0}}{X_{\Sigma 1} + X_{\Sigma 2} + X_{\Sigma 0}}$$

$$R_g = 0 \text{ 时, } \theta_{K[0]} = \theta_{2[0]} = \arctan \frac{R_{\Sigma 1} + R_{\Sigma 2} + R_{\Sigma 0}}{X_{\Sigma 1} + X_{\Sigma 2} + X_{\Sigma 0}};$$

$$R_g = \infty \text{ 时, } \theta_{K[\infty]} = \theta_{2[\infty]} = 90^\circ; R_g \text{ 变化时, } \frac{d\theta_K}{dR_g} = \frac{d\theta_2}{dR_g}.$$

因此, U_{A2} 偏转 -90° 后的动作边界与 U_{KA} 的动作边界完全相同。故零序电压极化的自适应阻抗继电器对高阻接地故障有高灵敏的反应。

3 动作方向性分析

负序电压极化的自适应接地方向阻抗继电器的动作方程可描述为式(1)或式(2)。

$$90^\circ < \arg \frac{U_A - (I_A + K 3 I_0) Z_{set}}{-U_{A2}} < 270^\circ \quad (1)$$

$$-90^\circ < \arg \frac{U_A - (I_A + K 3 I_0) Z_{set}}{U_{A2}} < 90^\circ \quad (2)$$

分析时以故障电流的方向为电流的正方向,同时为分析简便,设线路空载情况下发生金属性单相接地

且全系统有相同的序阻抗角,系统接线见图 1。

a. 正方向 K 点单相接地时:

$$U_{OPA} = U_A - (I_A + K 3 I_0) Z_{set} = (I_A + K 3 I_0) (Z_m - Z_{set}) \quad (3)$$

$$U_{A2} = \frac{-C_1 Z_{M1}}{Z_{\Sigma 1} + Z_{\Sigma 2} + Z_{\Sigma 0}} U_{KA[0]} = \frac{-C_1 Z_{M1}}{Z_{\Sigma 1} + Z_{\Sigma 2} + Z_{\Sigma 0}} E_{MA} = \frac{-C_1 Z_{M1}}{Z_{\Sigma 1} + Z_{\Sigma 2} + Z_{\Sigma 0}} (I_A + K 3 I_0) (Z_m + Z_{M1}) \quad (4)$$

将式(3)(4)代入式(1)可得正方向单相接地的动作方程式为

$$90^\circ < \arg \frac{Z_m - Z_{set}}{Z_m + Z_{M1}} < 270^\circ \quad (5)$$

动作特性如图 4 (a) 所示,圆内为动作区。

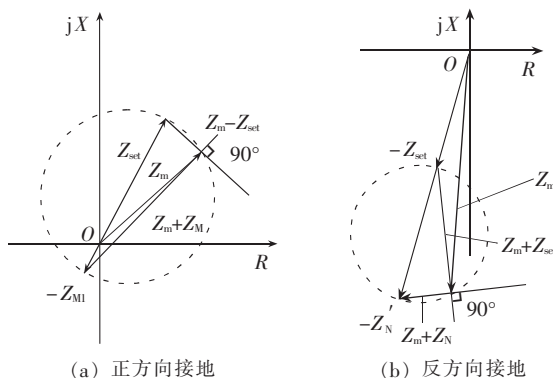


图 4 动作特性

Fig. 4 Operating characteristic

b. 反方向单相接地时:

此时的短路电流由 E_N 提供, Z_{set} 为负值。根据式(5)可得反方向单相接地的动作方程式为

$$90^\circ < \arg \frac{Z_m + Z_{set}}{Z_m + Z_N} < 270^\circ \quad (6)$$

动作特性如图 4(b) 所示,圆内为动作区。由动作特性可见,继电器对单相接地故障有明确的方向性。

4 动作特性 Matlab 仿真分析

为了验证负序电压极化的自适应阻抗继电器的优良动作性能,本文采用 Matlab 软件对一条长 300 km 的 500 kV 超高压线路进行了 A 相接地仿真计算,其中输电线路采用分布参数模型。系统接线如图 1 所示,仿真系统参数如下。

a. 系统参数: $Z_M = Z_N = 5.74 + j14.1 \Omega$ 。

b. 线路参数: $R_l = 0.027 \Omega / \text{km}$, $l_l = 0.86 \text{ mH} / \text{km}$, $C_l = 0.0123 \text{ MF} / \text{km}$; $R_0 = 0.1984 \Omega / \text{km}$, $l_0 = 3.6 \text{ mH} / \text{km}$, $C_0 = 0.0051 \text{ MF} / \text{km}$ 。

c. 线路两侧电源电势相位差 60° ,整定区为线路全长的 85 %。

同时对负序电压极化(U_{A2})和目前常用的记忆电压极化($U_{A[0]}$)及正序电压极化(U_{A1})的接地阻抗继电器的动作特性进行相位仿真,计算出 $\arg(U_{OP} / U_{POL})$ 的相位。继电器分别安装在送电侧和受电侧,故障点选取为保护反方向出口、正方

向出口、保护范围内 150 km 处、近保护范围末端 230 km 处、区外 300 km 处 5 个点,过渡电阻从 $0\ \Omega$ 变化到 $300\ \Omega$ (步长为 $10\ \Omega$),继电器动作特性均为 $90^\circ \leq \arg(U_{OP}/U_{POL}) \leq 270^\circ$ 。

从仿真结果可知:

a. 继电器无论是安装在送电侧和受电侧都能正确动作;

b. 在保护范围内发生接地故障时,负序电压极化的接地阻抗继电器有很强的抗过渡电阻能力,这是其他极化电压继电器所无法比拟的;

c. 保护出口处发生接地故障时,负序电压极化的继电器有最高的动作灵敏性,即不存在电压动作“死区”,解决了常规的接地阻抗继电器的“死区”问题;

d. 继电器动作具有明确的方向性,这是零序阻抗特性的继电器所不具备的;

e. 在受电侧近保护范围末端故障时,负序电压极化的接地阻抗继电器的动作特性会略微受到过渡电阻的影响,但若将负序极化电压向超前方向适当移相,则可以加强继电器在保护范围末端对过渡电阻的自适应能力,但要注意防止同相超越的问题^[10]。

5 结语

负序电压极化的自适应接地阻抗继电器不但对保护区内过渡电阻有很强的自适应性,而且在保护出口故障时具有动作的高灵敏性和明确的方向性,因此是综合性能非常优良的自适应接地距离继电器。若将极化电压适当移相,可更加完善继电器的综合性能。

参考文献:

- [1] 贺家李,宋从矩. 电力系统继电保护原理[M]. 3版. 北京:中国电力出版社,1991.
- [2] 王梅义. 电网继电保护应用[M]. 北京:中国电力出版社,1999.
- [3] 李岩,陈德树,尹项根,等. 新型自适应姆欧继电器的研究[J]. 中国电机工程学报,2003,23(1):80-84.
LI Yan, CHEN De-shu, YIN Xiang-gen, et al. Study on the new adaptive mho relay[J]. **Proceedings of the CSEE**, 2003, 23(1): 80 - 84.

- [4] 刘卓辉,张艳霞,沈勇环. 自适应接地距离继电器的研究[J]. 电力系统自动化,2005,29(10):21-25.
LIU Zhuo-hui, ZHANG Yan-xia, SHEN Yong-huan. Study on the adaptive earth fault distance relay[J]. **Automation of Electric Power Systems**, 2005, 29(10): 21-25.
- [5] 索南加乐,许庆强,宋国兵,等. 自适应接地距离继电器[J]. 电力系统自动化,2005,29(17):17-21.
SUONAN Jia-le, XU Qing-qiang, SONG Guo-bing, et al. Adaptive earth fault distance relay[J]. **Automation of Electric Power Systems**, 2005, 29(17): 17-21.
- [6] 毛鹏,杨立番,杜肖功. 基于零序分量的距离继电器[J]. 电力系统自动化,2003,27(10):60-66.
MAO Peng, YANG Li-fan, DU Xiao-gong. Study of the distance relay based on zero sequence components[J]. **Automation of Electric Power Systems**, 2003, 27(10): 60-66.
- [7] 李岩,詹奕,陈德树,等. 单相补偿接地距离继电器统一形式的研究[J]. 电力系统自动化,2002,26(10):28-31.
LI Yan, ZHAN Yi, CHEN De-shu, et al. The uniform formula of earth fault distance relay with single-phase compensation[J]. **Automation of Electric Power Systems**, 2002, 26(10): 28-31.
- [8] 张永浩,禹成七. 基于故障附加状态的测距式距离继电器[J]. 华北电力大学学报,1998,25(2):31-35.
ZHANG Yong-hao, YU Cheng-qi. Measuring distance relay based on additional fault state[J]. **Journal of North China Electric Power University**, 1998, 25(2): 31-35.
- [9] 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.
- [10] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术[M]. 3版. 北京:中国电力出版社,2005.

(责任编辑:康鲁豫)

作者简介:

杨 兰(1962-),女,湖南岳阳人,高级讲师,主要从事电力系统继电保护的研究(E-mail: y5218352@tom.com);
曾祥君(1970-),男,湖南邵阳人,教授,主要从事电力系统继电保护和变电站自动化的研究;
陈 众(1974-),男,湖南长沙人,讲师,博士后,从事电力系统运行与控制、人工智能等方面工作;
张艳平(1957-),女,湖南长沙人,实验师,从事电力系统继电保护的研究。

Study on adaptive impedance relay based on negative sequence voltage polarization

YANG Lan, ZENG Xiang-jun, CHEN Zhong, ZHANG Yan-ping
(Changsha University of Science and Technology, Changsha 410076, China)

Abstract: An adaptive impedance relay based on negative sequence voltage polarization is proposed, and its operating characteristic is analyzed. Its protective zone is adaptively changed according to different earth-fault resistance. There is no operative “voltage dead zone”, and the definite directionality exists. Simulative analysis with Matlab proves its good operating characteristic and strong adaptability to earth resistance on 500 kV line.

Key words: impedance relay; adaptive operating characteristic; transition resistance