



零序电压移相极化的自适应 阻抗继电器研究

杨 兰,杨廷方,屈桂银,徐理英

(长沙理工大学 电气与信息工程学院,湖南 长沙 410076)

摘要:提出了一种基于自适应原理的新型接地阻抗继电器。在对零序电压极化的自适应阻抗继电器动作特性分析的基础上,通过对接地距离保护对过渡电阻自适应构成机理的分析,阐述了零序电压移相极化的自适应控制方法及移相原理。讨论了该继电器的动作判据,分析了其动作特性。初步理论分析表明所提继电器具有动作迅速、构成简单等良好性能。分析还表明,零序电压移相后的自适应阻抗继电器既进一步提高抗过渡电阻的能力,又不存在动作的电压死区,具有明确的方向性。同时,它还具有故障分量继电器所特有的不受负荷、系统振荡等因素影响的特点。Matlab 仿真分析结果表明,该继电器具有良好的动作特性。

关键词:接地阻抗继电器;零序电压移相极化;接地电阻;Matlab 仿真

中图分类号: TM 774

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2007)08-0047-04

0 引言

单相接地故障是高压电网故障的主要形式,提高接地阻抗继电器的性能对于减少电网故障引起的损失,提高电网运行的安全、稳定性有着重要意义。如何克服接地电阻对保护区的影响、如何保证动作的方向性是接地阻抗继电器需要解决的重要问题。传统的接地距离继电器由于过渡电阻的影响而易超越或拒动^[1-3],有关文献所提出的自适应阻抗继电器或超越现象严重^[4];或参数实时计算量大^[5-6];或将极化电压复杂化^[7];故障分量接地阻抗继电器由于故障

分量仅存在较短的时间,因此对后备保护无效^[8-10];为克服零序电抗继电器超越现象又需增加辅助判据^[8-11];文献[12]中动作电压的整定值对继电器的性能有很大的影响;反应负序分量的接地保护一般都要与零序保护配合使用^[13-14]。零序电压极化的自适应阻抗继电器由于其动作边界能随接地过渡电阻的变化而自动跟踪故障点的故障相电压 $U_{K\varphi}$ 所确定的动作边界,因此对接地电阻具有很好的自适应性。且继电器的动作特性不受负荷电流、系统振荡的影响,也不受继电器是位于送电侧还是受电侧的影响,特别是当保护出口发生接地故障时,继电器能高灵敏地动作,具有明确的方向性,因而继电器具有非常优良的综合特性。但零序电压极化的接地阻抗继电器在保护范围末端故障时,其耐受过渡电阻的能力略微不够。在

收稿日期:2006-10-10;修回日期:2007-03-06
基金项目:湖南省教育厅资助科研项目(06C127)

对零序电压极化的自适应阻抗继电器动作特性分析的基础上,现提出改进的自适应控制方法,以进一步加强继电器耐受过渡电阻的能力,并应用 Matlab 相位计算仿真分析的方法对零序电压移相极化的阻抗继电器的性能进行了分析。

1 零序电压极化的阻抗继电器自适应动作特性分析

为克服单相接地故障时过渡电阻对保护区的影响,应设法使接地阻抗继电器的动作特性适应过渡电阻的变化。以图 1 所示的双端电力系统为例,设在 K 点经过渡电阻 R_g 发生了单相接地(文中均以 A 相故障为例),规定电流正方向如图 1 所示,故障时各故障量如图 2 所示,图 2(a)为 M 侧向 N 侧送电,图 2(b)为 N 侧向 M 侧送电。 $U_{KA[0]}$ 为故障相 A 相故障点故障前的电压, I_{KA} 为故障点的短路电流, I_{KA} 随 R_g 从 $0 \sim \infty$ 的变化沿圆弧作逆时针变化。

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

U_{OPA} 为 A 相工作电压,即整定阻抗 Z_{set} 末端的电压。

$$U_{OPA} = U_A - (I_A + K 3 I_0) Z_{set} = 3 I_{KA0} R_g - (I_A + K 3 I_0) Z_{set} + (I_A + K 3 I_0) Z_1 l_K \quad (2)$$

$$I_A + K 3 I_0 = I_{loa, A} + \alpha I_{KA}$$

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; I_{KA0} 为故障电流零序分量; $I_{loa, A}$ 为 A 相负荷电流; α 为与网络结构、故障点位置有关的一个系数^[9]。

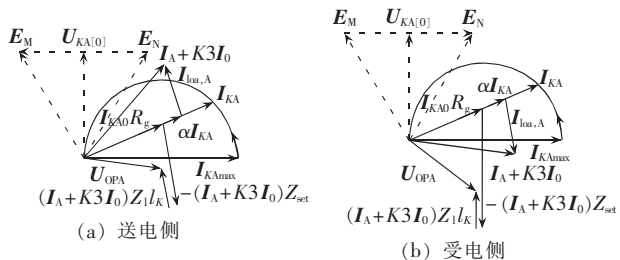


图 2 A 相接地时电压、电流相量图

Fig.2 Voltage and current phasor diagrams when phase A is grounding

从图 2 中可见,无论是在送电侧还是在受电侧,如果以 $I_{KA0} R_g$ 为动作边界(动态动作边界),滞后一侧为动作区,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、负荷电流的影响,也不受继电器是在送电侧还是受电侧的影响,其动作方程式为

$$180^\circ \leq \arg \frac{U_{OPA}}{I_{KA0} R_g} \leq 360^\circ \quad (3)$$

但是,在保护安装处测量不到 I_{KA0} ,因此要寻找一个能自动跟踪 I_{KA0} 的变化并可以测量的量。

若用 $I_0 Z_{br}$ 的相位($\varphi_{br} \approx 90^\circ$)代替 $I_{KA0} R_g$,则构成零序电压继电器,其动作方程式为

$$90^\circ \leq \arg \frac{U_{OPA}}{I_0 Z_{br}} \leq 270^\circ \quad (4)$$

它的保护范围不受过渡电阻的影响,但动作无方向性^[1]。

由于保护安装处的零序电压^[1] U_0 为

$$U_0 = -C_0 Z_{M0} I_{KA0} \quad (5)$$

C_0 为 M 侧零序故障电流分配系数, Z_{M0} 为 M 侧系统的零序等值电抗,因此,可用保护安装处的零序电压 $-U_0$ 相位代替 $I_{KA0} R_g$,构成零序电压极化的阻抗继电器,其动作方程式为

$$90^\circ \leq \arg \frac{U_{OPA}}{-U_0} \leq 270^\circ \quad (6)$$

继电器可以根据过渡电阻自动地调整其动作边界,因此具有极强的抗过渡电阻能力。同时,由于故障点零序电压最大,因此继电器不存在动作的电压“死区”。

2 零序极化电压的移相及继电器动作方向性分析

从式(5)可见 U_0 与 I_{KA0} 并不完全是相差 90° 的相位关系,因此式(6)决定的零序电压极化的自适应阻抗继电器还是会略微受到过渡电阻的影响,Matlab 仿真分析也说明了这点。为使继电器对过渡电阻具有更好的自适应特性,须使 U_0 与 I_{KA0} 刚好有 90° 的相位差。若系统各元件有相同的零序阻抗角(即 C_0 为实系数),则应使零序极化电压 U_0 根据 Z_{M0} 的阻抗角 φ_{M0} 的大小适当移相 θ 角,若 $\varphi_{M0} = 85^\circ$,则 U_0 前移 $\theta = 90^\circ - \varphi_{M0} = 5^\circ$ 。

零序电压极化的自适应接地方向阻抗继电器的动作方程如下:

$$90^\circ < \arg \frac{U_A - (I_A + K 3 I_0) Z_{set}}{-U_0 e^{j\theta}} < 270^\circ \quad (7)$$

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。

2.1 正方向 K 点单相接地

$$U_{OPA} = U_A - (I_A + K 3 I_0) Z_{set} = (I_A + K 3 I_0) (Z_m - Z_{set}) \quad (8)$$

$$U_0 = \frac{-C_0 Z_{M0}}{Z_{\Sigma 1} + Z_{\Sigma 2} + Z_{\Sigma 0}} U_{KA[0]} = \frac{-C_0 Z_{M0}}{Z_{\Sigma 1} + Z_{\Sigma 2} + Z_{\Sigma 0}} E_{MA} = \frac{-C_0 Z_{M0}}{Z_{\Sigma 1} + Z_{\Sigma 2} + Z_{\Sigma 0}} (I_A + K 3 I_0) (Z_m + Z_{M1}) \quad (9)$$

将式(3)(4)代入式(1)可得正方向单相接地的动作方程式为

$$90^\circ + \theta < \arg \frac{Z_m - Z_{set}}{Z_m + Z_{M1}} < 270^\circ + \theta \quad (10)$$

动作特性与 $\theta = 0^\circ$ 时相比,是以 $Z_{M1} + Z_{set}$ 为弦向 IV 象限偏移了 θ 的圆,如图 3 所示,圆内为动作区。

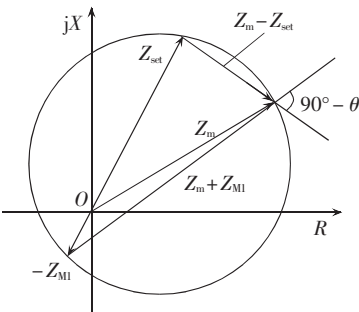


图 3 正方向接地时的动作特性
Fig.3 Operating characteristics of positive directional earthing

2.2 反方向单相接地

反方向单相接地时短路电流由 E_N 提供, Z_{set} 为负值。由式 (10) 可得反方向单相接地的动作方程式为

$$90^\circ + \theta < \arg \frac{Z_m + Z_{set}}{Z_m + Z'_N} < 270^\circ + \theta \quad (11)$$

动作特性如图 4 所示,圆内为动作区。

2.3 计及负荷电流的影响时

若保护安装在送电侧,正方向动作特性圆向四象限偏移 φ_f 角,反方向动作特性圆向二象限偏移 φ_f 角^[15]。

$$\varphi_f = \arg(E_A / U_{KA[0]}) \quad (12)$$

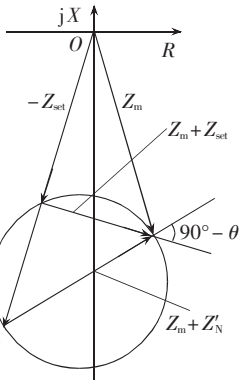


图 4 反方向接地时的动作特性
Fig.4 Operating characteristics of reverse directional earthing

若在受电侧,则偏移方向与上述相反。由动作特性可见,零序极化电压移相后,继电器仍有明确的方向性,且抗过渡电阻能力加强。

3 继电器动作特性的 Matlab 仿真分析

为了验证零序电压移相极化的自适应阻抗继电器的动作性能,应用 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。系统接线如图 1 所示,其中输电线路采用分布参数模型,仿真系统参数如下:

系统参数 $Z_M = Z_N = 5.74 + j14.1 \Omega$
线路参数 $R_1 = 0.027 \Omega / \text{km}$, $L_1 = 0.86 \text{ mH} / \text{km}$
 $C_1 = 0.0139 \text{ MF} / \text{km}$, $r_0 = 0.1984 \Omega / \text{km}$
 $L_0 = 3.6 \text{ mH} / \text{km}$, $C_0 = 0.00978 \text{ MF} / \text{km}$

线路两侧电源电势相位差 60° ,整定区为线路全长的 85%。

对零序电压移相极化的接地阻抗继电器动作特性进行相位仿真,计算出 $\arg[U_{OPA} / (U_0 e^{j5^\circ})]$ 的相位(单位为度)。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、保护范围外部 300 km 处 5 个点,过渡电阻从 0 变化到 300 Ω (步长为 30 Ω),继电器动作特性均为 $90^\circ \leq \arg(U_{OP} \div U_{POL}) \leq 270^\circ$,仿真计算结果见表 1。

从表 1 的仿真结果可见,无论是送电侧还是受电侧,在保护范围内部零序电压移相极化继电器都有很强的抗过渡电阻能力,且故障越靠近测量点,保护动作的灵敏度越高。

表 1 仿真分析结果
Tab.1 Results of simulation analysis (°)

R_g / Ω	送 电 侧					受 电 侧				
	反向出口	正向出口	150 km	230 km	300 km	反向出口	正向出口	150 km	230 km	300 km
0	-31.13	-164.10	-159.0	-148.50	21.53	29.58	166.6	163.9	-177.70	-48.08
30	-57.84	-157.67	-125.9	-120.22	-70.12	-9.27	-176.9	-140.6	-130.56	-79.02
60	-70.41	-152.43	-112.6	-110.91	-76.71	-34.12	-158.1	-112.1	-110.42	-82.65
90	-77.08	-148.31	-106.2	-97.98	-78.86	-46.64	-140.6	-101.0	-96.35	-84.13
120	-81.10	-145.03	-103.06	-96.05	-79.93	-53.53	-126.8	-95.61	-92.23	-85.01
150	-83.77	-142.37	-100.1	-94.37	-80.57	-57.78	-116.7	-92.42	-87.69	-85.61
180	-85.66	-140.17	-98.56	-90.91	-80.89	-60.32	-109.4	-90.35	-86.35	-85.90
210	-86.03	-138.33	-97.25	-87.69	-81.29	-62.41	-104.1	-88.89	-86.01	-86.18
240	-86.76	-136.77	-96.26	-87.26	-81.49	-63.96	-100.1	-87.81	-85.76	-86.34
270	-86.98	-135.43	-95.78	-87.25	-81.68	-65.38	-96.96	-87.02	-85.61	-86.50
300	-87.07	-132.98	-94.96	-87.13	-81.83	-66.32	-94.50	-86.32	-85.45	-86.61

4 结论

零序电压移相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、动作有明确的方向性,而且还具有零序分量保护的一切优点^[9],因此是综合性能很好的自适应接地阻抗继电器。在实际应用中,为防止正常运行时不平衡电压的影响,可采用零序电压突变量作为启动元件^[16]。

参考文献:

[1] 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.
[2] 林湘宁,刘沛,井嵘. 基于 DSP 实现多边形阻抗特性最佳判据的选择[J]. 电力系统自动化,2003,27(14):62-68.
LIN Xiang-ning,LIU Pei,JING Rong. Optimal implementation of polygon impedance characteristics using DSP technique[J]. Automation of Electric Power Systems,2003,27(14):62-68.
[3] 陈朝晖,黄少锋,陶惠良,等. 新型阻抗选相方法[J]. 电力系统

- 自动化,2005,29(3):51-56.
- CHEN Zhao - hui,HUANG Shao - feng,TAO Hui - liang,et al. Research on the new phase selector based on impedance measurement[J]. Automation of Electric Power Systems,2005,29(3):51-56.
- [4] 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):80-83.
- 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):80-83.
- [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] 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.
- [7] 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.
- [8] 刘世明,陶惠良,杨春明. 两种新型故障分量电抗继电器[J]. 中国电机工程学报,2001,21(4):89-92.
- LIU Shi - ming,TAO Hui - liang,YANG Chun - ming. Two new earth-fault reactance relays based on fault component[J]. Proceedings of the CSEE,2001,21(4):89-92.
- [9] 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.
- [10] 戴学安. 综论工频变化量继电器[J]. 电力系统自动化,1995,19(4):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(4):41-47.
- [11] 叶萍,陈德树. 一种能克服 I_0 极化接地距离继电器区外稳态超越问题的新方案[J]. 中国电机工程学报,1995,15(3):199-203.
- YE Ping,CHEN De-shu. A new scheme of I_0 polarized earth - fault distance relay which can overcome the overreach problem [J]. Proceedings of the CSEE,1995,15(3):199-203.
- [12] 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.
- [13] 朱声石. 论微机负序距离继电器[J]. 电力自动化设备,2002,22(3):1-4.
- ZHU Sheng-shi. On microprocessor based negative sequence distance relay[J]. Electric Power Automation Equipment,2002,22(3):1-4.
- [14] 曾祥君,尹项根,张哲,等. 配电网接地故障负序电流分布及接地保护原理研究[J]. 中国电机工程学报,2001,21(6):84-89.
- ZENG Xiang-jun,YIN Xiang-gen,ZHANG Zhe,et al. Study for negative sequence current distributing and ground fault protection in middle voltage power systems[J]. Proceedings of the CSEE,2001,21(6):84-89.
- [15] 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,2005.
- [16] 曾祥君,尹项根,张哲,等. 零序导纳法馈线接地保护的研究[J]. 中国电机工程学报,2001,21(4):5-10.
- ZENG Xiang-jun,YIN Xiang-gen,ZHANG Zhe,et al. Study on feeder grounding fault protection based on zero sequence admittance[J]. Proceedings of the CSEE,2001,21(4):5-10.

(责任编辑:李玲)

作者简介:

杨 兰(1962-),女,湖南长沙人,副教授,主要从事电力系统继电保护及其自动化的研究(E-mail:y5218352@yahoo.com.cn);

杨廷方(1975-),男,湖南长沙人,博士,主要从事电力系统继电保护和变电站自动化的研究;

屈桂银(1957-),男,湖南长沙人,实验师,主要从事电力系统继电保护的研究;

徐理英(1972-),女,湖南长沙人,讲师,主要从事电力系统运行与控制的研究。

Study on adaptive impedance relay with zero sequence voltage phase shifting and polarization

YANG Lan,YANG Ting-fang,QU Gui-yin,XU Li-ying

(Changsha University of Science and Technology,Changsha 410076,China)

Abstract: A grounding impedance relay based on adaptive principle is proposed. Based on the characteristic analysis of the adaptive impedance relay with zero sequence voltage polarization,the adaptive control method of zero sequence voltage phase shifting and polarization and the principle of phase shift are explained by analyzing the adaptation mechanism of grounding distance protection to transition resistance. Its action criteria are given and its operating characteristics are demonstrated. The theoretic analysis shows that, the relay has better performance,such as quick response and simple composition. Tests show that,the relay enhances its ability of transition resistance adaptation and has explicit direction without voltage dead zone. As fault component relay,it is not affected by load components and power system vibration. Simulative analysis with Matlab proves that,it has excellent operating characteristics.

This project is supported by the Scientific Research Fund of Hunan Provincial Education Department (06C127).

Key words: grounding impedance relay; zero sequence voltage phase shifting and polarization; grounding resistance; Matlab simulation