

三段式阻抗继电器动作边界测试方法的研究

邵彬, 文劲宇, 王李东

(华中科技大学电气与电子工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 根据三段式阻抗继电器动作边界特性的不同, 分别给出了相应的动作方程, 并在此基础上提出了两种测试阻抗继电器动作边界的方法——跳跃法和边界法, 成功地解决了因三段式阻抗继电器有公共出口而导致测试过程过于繁琐的问题。这两种方法已经应用于投入使用的变电所二次设备微机全自动在线检测软件中, 取得了满意的效果。

关键词: 三段式阻抗继电器; 动作边界测试; 动作特性

中图分类号: TM77 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2005)06-0032-04

0 引言

近年来, 我国电气化铁道的建设取得了长足的发展, 总里程已达 17 422.6 km。从世界范围看, 电气化铁道的牵引方式主要分为直流和交流两种, 我国采用的是工频单相交流牵引方式^[1]。电气化铁路沿线的牵引变电所, 把电力系统送来的 110 kV 三相电力变成电力机车牵引用的 25 kV 工频单相交流电。为了增加供电的灵活性和可靠性, 在两个牵引变电所之间的供电区中常加设分区亭。在枢纽站, 通常还设有开闭所实现分组供电。为了保证供电的安全可靠性, 在这些变电所亭中使用了多种控制和保护装置, 构成了功能完善的二次控制保护回路。保护装置动作参数是否合格, 二次回路动作逻辑是否正确, 直接关系到行车的安全性。为了消除可能存在的隐患, 必须每年定期对其进行全面检测。

在电气化铁道供电系统中, 距离保护以其优良的性能得到了广泛的应用, 作为保护装置核心元件的阻抗继电器, 理所当然地受到重视。由于多边形动作特性灵敏度较高且躲过弧光电阻的能力强, 在馈线保护中多被采用。常规作阻抗继电器的动作区试验, 均采用电流、电压移相法来模拟短路故障。一般是维持电流 I 恒定, 在某指定相角下不断降低电压 U , 直到阻抗继电器达到临界动作状态, 并以此时测量到的阻抗:

$$Z \angle \phi = U / I \quad (1)$$

来描绘阻抗继电器的动作边界^[2]。

电气化铁道常采用三段式(分别用 Z_{I} 、 Z_{II} 、 Z_{III} 表示)距离保护, 它们的线路出口是相同的, 而动作区域是一种包含关系, 即 $Z_{I} \supset Z_{II} \supset Z_{III}$ 。按照通常的测试方法, 在测 Z_{I} 段动作特性时得不到 Z_{II} 段和 Z_{III} 段

的动作特性, 必须退出 Z_{I} 段动作特性测试后才能对 Z_{II} 段和 Z_{III} 段进行测试。这样既费时又费力, 根据四边形动作边界的不同特性^[2, 3], 本文提出了两种新的测试方法——跳跃法和边界法, 分别对四边形的不同动作边界进行测试, 郑武线(郑州至武昌)变电所亭二次设备的检测结果证明了方法的有效性。

1 跳跃法

1.1 跳跃法对应的四边形动作方程

如图 1 所示, 在 R 、 X 坐标平面上, K 点为电抗整定值点 $X_K = X_S$; L 点为电阻整定值点 $R_L = R_S$; KA 线为电抗下倾线, 斜率为 $m_1 = \tan \alpha$, 其边界方程可表示为:

$$X + m_1 R = X_S \quad (2)$$

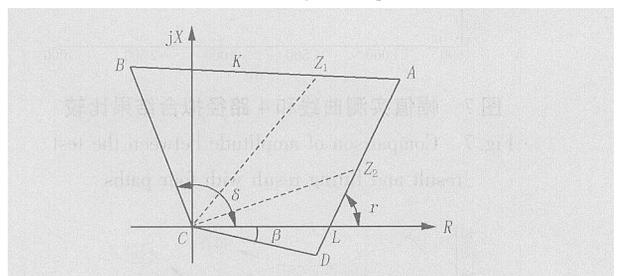


图 1 四边形动作边界图

Fig 1 Operation boundary of the quadrilateral

AL 线为电抗下倾线, 斜率 $m_2 = \tan \beta$, 其边界方程为:

$$X = m_2 (R - R_S) \quad (3)$$

A 点为方程 (1) 和方程 (2) 的交点, 可解出为:

$$R_A = \frac{X_S + m_2 R_S}{m_1 + m_2} \quad (4)$$

$$X_A = m_2 (R_A - R_S) \quad (5)$$

由图 1 可见, 为了求得微机保护中阻抗继电器

的动作边界,可以用移相法将电流电压之间的功角,从 α 开始,逐步提升到 β 为止,分段做出。

$$X = R \tan \phi \quad (6)$$

方程 (6) 和 KA 线相交的边界点称为 Z_1 , 即

$Z_1 \quad \phi_1 = R_1 + jx_1$, 它可用方程 (2)、(6) 联解得出:

$$R_1 = \frac{X_S}{m_1 + \tan \phi_1} \quad (7)$$

$$X_1 = \frac{X_S \tan \phi_1}{m_1 + \tan \phi_1} \quad (8)$$

$$Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_1^2} = \frac{X_S}{m_1 \cos \phi_1 + \sin \phi_1} \quad (9)$$

当移相器的功角在 $\phi_A < \phi_1 < \beta$ 范围内,用极坐标表示的边界点,按式 (7) ~ (9) 计算。其中

$$\phi_A = \tan^{-1} \frac{X_A}{R_A} \quad (10)$$

是转折点 A 的幅角。

方程 (6) 和 AD 线相交的边界点称为 Z_2 , 即

$Z_2 \quad \phi_2 = R_2 + jx_2$, 它可用方程 (3)、(6) 联解得出:

$$R_2 = \frac{m_2 R_S}{m_2 - \tan \phi_2} \quad (11)$$

$$X_2 = m_2 (R_2 - R_S) = \frac{m_2 R_S \tan \phi_2}{m_2 - \tan \phi_2} \quad (12)$$

$$Z_2 = \frac{m_2 R_S}{m_2 \cos \phi_2 - \sin \phi_2} = \frac{X_2}{\sin \phi_2} \quad (13)$$

当移相器的功角为 $\alpha < \phi_2 < \phi_A$ 时,用极坐标表示的边界点,按式 (11) ~ (13) 计算。

1.2 跳跃法测试动作特性

段动作特性测试不受 α 段和 β 段的影响,因此,按照常规的电、电压移相法很快就能测出段的动作阻抗。设 Z_3 是 α 段保护在 AB 线上的一个整定值点,其对应的相角为 ϕ_3 ,由式 (9) 可以算出 Z_3 的值,再与式 (1) 联立可求得 Z_3 处的整定电压 U_3 。为了保证初始状态在 α 段保护动作区外,可以给出初始电压 $1.1U_3$,按步长 a 递减电压 (通常 a 值不宜过大,可取 $0.5V$),直到继电器动作便可测得动作阻抗。如果 Z_3 点在 AD 线上,则应该按式 (13) 来计算其整定值。

当测试 α 段动作阻抗时,就要避免 β 段保护动作。设三段保护的動作时间分别为 t_1, t_2, t_3 并且有 $t_1 < t_2 < t_3$,按上边的方法给定电压初值,使其对应的阻抗点在 α 段保护动作区外。跳变电压,使阻抗点向 α 段动作区域移动,跳变时间为 $(t_2 + t_3)/2$,步长为 b 。每测得一个阻抗值就判断一次阻抗点是否落到 α 段动作区内,如果不在,则继续跳变电压,此

时,电压回到初值,步长增加 b 。假设第 n 次跳变段保护动作而第 $n-1$ 次跳变段保护不动作,则停止递减电压,使电压回到初值,再跳变到 U_{n+1} ,其值为 $(U_n + U_{n+1})/2$ 。判断保护是否动作,如果保护动作,则下一个跳变值为 $(U_{n+1} + U_{n-1})/2$ 。如果保护不动作,则下一个跳变值为 $(U_{n+1} + U_n)/2$ 。依次进行下去,直到满足精度要求为止。这样,既避免了

β 段保护动作,又保证了一定的测试精度。同理可以测得 β 段的动作阻抗。各角度下测得的阻抗点一起构成了阻抗继电器的动作边界。

2 边界法

2.1 边界法对应的四边形动作方程

如图 1 所示, CD 线为右侧方向线,其方程为:

$$X = R \tan \alpha \quad (14)$$

BC 线为左侧方向线,其方程为:

$$X = R \tan \beta \quad (15)$$

2.2 边界法测试动作特性

在阻抗继电器边界动作区附近,其动作特性不再与 α 、 β 段有同样的规律。不同的阻抗角对应的动作阻抗可能相同,同一阻抗角可能对应多个不同的阻抗值。因此,不能用常规方法测试边界动作特性,而是在一个扇形区域内采用变换相位的方法来测试边界动作阻抗值,设 α 角对应的阻抗整定值为 Z_B (图 1 中线段 BC 的长),则扇形的半径取 Z_B 的 0.2 倍、 0.4 倍、 0.6 倍、 0.8 倍、 1 倍值等,圆心为 C ,圆心角从 $\alpha + 5^\circ \sim \alpha - 10^\circ$ 递减,步长为 1° ;当继电器动作时便可测出某个区域内的阻抗动作值。用同样的方法可测出 β 角对应的边界 CD 的动作阻抗值。

3 测试设备

以上两种方法应用于一套车载式检测系统中,该系统布置在一台中巴车内,通常称为检测车^[4],车内各设备布置如图 2 所示。

主机光隔箱安放了 InteB02i 工控机及其接口、光隔、继电器等设备,试验人员可就近对其操作。功放电源箱分 3 个箱体:电源箱、电压箱和电流箱。进线电源箱内安放了稳压电源和端子排。供插入 ASEA 进口继电器的各种插座和中间继电器放置在单体继电器箱内。3 根 62 芯电缆以及 2 根 36 芯电缆长 35 m,在对变电所控制室内的二次屏做试验时,经过这些电缆插至手提式中继箱。中继箱作为转换设备将所需电量加至被试屏或单个继电器上,

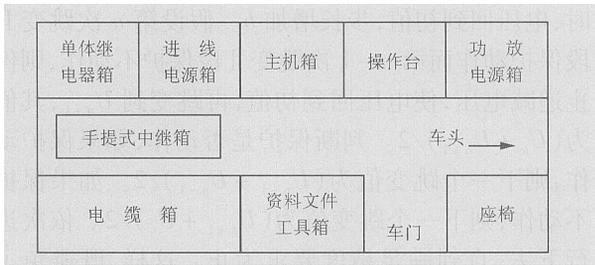


图 2 检测车内安排布置图

Fig 2 Inner arrangement of the detecting vehicle

当对继电器做定期检测或经综合联动试验及整组保护试验发现某个继电器有问题时,再将该继电器取下插至单体继电器箱内插座上进行试验。

4 测试方法应用实例分析

以上两种方法已经成功应用于郑武线(郑州至武昌)变电所亭二次设备全自动在线检测软件中,并通过了郑武线最具代表性的武汉江岸西变电所的全部试验工作。在测试过程中,阻抗角 ϕ 从 $0^\circ \sim 120^\circ$ 变化,步长为 10° ,动作边界在 130 和 -10 附近,分别测出相应的动作阻抗。试验数据如表 1 和表 2 所示,图 3 显示了在 R, X 坐标平面上的动作阻抗值,由外到内分别表示 I、II、III 段动作特性,直线表示理想状态下的动作特性,点表示在不同角度下测得的动作阻抗值。从图中可以看出,试验结果与理想状态的偏差很小,说明测试方法是有效的,其结果是比较准确的。

表 1 试验测得的 I、II、III 段阻抗值

Tab 1 Impedances of I, II and III sections measured from the test

| 角度 / (°) | 段阻抗 / | 段阻抗 / | 段阻抗 / |
|----------|-------|-------|-------|
| 0 | 11.89 | 10.90 | 7.25 |
| 10 | 13.10 | 12.00 | 12.10 |
| 20 | 8.44 | 10.03 | 14.14 |
| 30 | 6.12 | 10.47 | 17.47 |
| 40 | 20.93 | 19.12 | 19.22 |
| 50 | 3.84 | 7.49 | 30.24 |
| 60 | 3.40 | 6.54 | 37.69 |
| 70 | 3.05 | 5.86 | 30.96 |
| 80 | 2.91 | 5.56 | 29.31 |
| 90 | 2.88 | 5.44 | 28.74 |
| 100 | 2.88 | 5.44 | 32.19 |
| 110 | 2.88 | 5.71 | 30.41 |
| 120 | 2.99 | 6.17 | 32.72 |

表 2 试验测得的边界阻抗值

Tab 2 Boundary impedances measured from the test

| 角度 / (°) | 阻抗值 / |
|----------|-------|
| 126 | 3.18 |
| 127 | 9.68 |
| 127 | 16.13 |
| 127 | 22.58 |
| 127 | 29.03 |
| -12 | 2.25 |
| -12 | 5.62 |
| -12 | 9.00 |

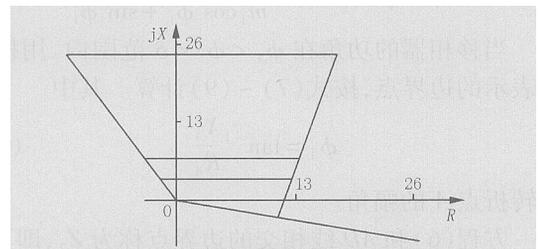


图 3 试验测出的继电器动作阻抗

Fig 3 Operation impedance of the relay measured from the test

5 结论

本文根据三段式四边形特性阻抗继电器动作边界的不同特性,提出了测试动作边界的两种新方法——跳跃法和边界法。这两种方法简化了测试三段式阻抗继电器的繁琐过程,提高了测试的效率和质量,已经成功应用于郑武线变电所亭二次设备的全自动在线检测软件中,结果是令人满意的。

参考文献:

[1] 赵乾钊. 我国电气化铁路的特点 [J]. 铁道知识, 1997, (3): 6-7.
ZHAO Qian-zhao The Characteristic of Electric Railway in China [J]. Railway Knowledge, 1997, (3): 6-7.

[2] 连晶晶, 赵志英. 四边形特性阻抗继电器探讨 [J]. 南昌水专学报, 1997, 16(1): 53-56
LIAN Jing-jing, ZHAO Zhi-ying Research on Impedance Relay of Quadrangle Characteristic [J]. Journal of Nanchang College of Water Conservancy and Hydroelectric Power, 1997, 16(1): 53-56

[3] 张旭俊, 谢美萍. 微机保护中阻抗继电器动作边界测试方法的探讨 [J]. 电力自动化设备, 1997, 17(1): 44-47.
ZHANG Xu-jun, XIE Mei-ping Approach to Test Methods of Operating Characteristic of Distance Relay in Microcomputer-based Protection [J]. Electric Power Automation Equipment, 1997, 17(1): 44-47.

- [4] 文劲宇,程时杰. 国产电气化铁路变电所亭二次设备检测车[J]. 电力自动化设备, 1995, 15(4): 52-54.
WEN Jin-yu, CHENG Shi-jie. Testing Vehicle Based on Secondary Equipment of Substation of Electric Railway in China[J]. Electric Power Automation Equipment, 1995, 15(4): 52-54.

作者简介:

邵彬(1979-),男,硕士研究生,研究方向为电力系统自动化; E-mail: taibin_student@sina.com

文劲宇(1970-),男,副教授,主要研究方向为电力系统的运行和控制;

王季东(1979-),男,硕士研究生,研究方向为电力系统自动化。

收稿日期: 2004-09-16; 修回日期: 2004-09-27

Study of test method about operation characteristic of impedance relay with three sections

TAIB in, WEN Jin-yu, WANG Li-dong

(School of Electrical & Electronic Engineering, Huazhong University Science & Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: According to the different operation characteristics of the distance relay with three sections, the corresponding operation equations are given, and two methods of skipping and boundary method to test the operation margin of the distance relay are proposed. These two methods simplify the test process and have been used in the software to test the secondary device of substation. Satisfactory results are obtained in practical applications.

Key words: impedance relay with three sections; test of the operation margin; operation characteristic

(上接第 31 页 continued from page 31)

- [3] 周明,孙树栋. 遗传算法原理及应用[M]. 北京:国防工业出版社, 1999.
ZHOU Ming, SUN Shu-dong. Genetic Algorithm Theory and Applications[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1999.
- [4] Philipps H. Modelling of Powerline Communication Channels[A]. Proceedings of the 1999 International Symposium on Power-line Communications and Its Applications Lancaster (UK): 1999. 14-21.
- [5] Zimmermann M, Dostert K. A Multipath Model for the Powerline Channel[J]. IEEE Trans on Communication, 2002, 50(4): 553-559.
- [6] 沈善德. 电力系统辨识[M]. 北京:清华大学出版社,

1993.

SHEN Shan-de. Power System Identification[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1993.

收稿日期: 2004-07-05; 修回日期: 2004-08-06

作者简介:

舒辉(1976-),女,硕士研究生,主要研究方向为电力系统智能控制计算方法; E-mail: shuhui-1025_student@sina.com

张有兵(1971-),男,博士后,主要研究方向为电力系统通信;

文劲宇(1970-),男,副教授,主要研究方向为电力系统优化、智能控制系统与决策。

GA multi-parameter identification of low-voltage powerline carrier communication channel model

SHU Hui¹, ZHANG You-bing², WEN Jin-yu¹, CAO Yi-jia², CHENG Shi-jie¹

(1. Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, China; 2. Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: The development of low-voltage powerline carrier communication system requires transfer model, which should be suitable for the performance simulation analysis of communication channel. This paper applies genetic algorithm to the multi-parameter identification of the low-voltage communication channel structure model based on the samples of measured data, and achieves a comparatively good multi-parameter identification performance, which lays a good foundation for studying and designing low-voltage power line carrier communication system.

Key words: low-voltage powerline carrier communication; genetic algorithm (GA); parameter identification