

接地距离保护动作判据及试验方法

王伟¹, 傅润炜¹, 刘须杰²

(1. 国家继电器质量监督检验中心动模实验室, 河南 许昌 461000 2. 河南省商丘电业局, 河南 商丘 476000)

摘要: 对单相接地距离保护几种不同的动作判据作了简单的比较, 并提出其正确的试验方法。

关键词: 接地距离; 动作判据; 试验方法

中图分类号: TM773 文献标识码: B 文章编号: 1003-4897(2002)08-0065-03

1 前言

高压及超高压线路故障统计表明:单相接地故障占到总故障的85%以上。接地故障一般由杆塔上瓷瓶闪络和导线对树枝等物体放电引起,故障处接地电阻的存在对接地距离保护有直接的影响。因此,选用合适的动作判据,提高经电阻接地时距离保护的精度,是保护设计者要考虑的重要问题。

在做接地距离继电器动作特性曲线静态试验时,往往不考虑零序阻抗补偿系数,以及不同动作判据的影响。这样,对接地距离区别于相间距离最重要的环节得不到考核,也不能体现产品的设计特色,并会带来一定的误差。

2 保护原理

计算单相接地的通用公式是:

$$\dot{U}_\phi = Z_1 \left[\dot{I}_\phi + \frac{Z_0 - Z_1}{3Z_1} 3\dot{I}_0 \right] + \dot{U}_g$$

只要母线与短路点之间没有分支支路,在不考虑互感情况下,公式将永远成立。第一项表示母线到短路点的线路压降,第二项 \dot{U}_g 表示接地电阻上的压降。将公式化简可得:

$$\dot{U}_\phi = Z_1 \left[\dot{I}_\phi + K_Z 3\dot{I}_0 \right] + \dot{U}_g \quad (1)$$

$$\dot{U}_\phi = \left[R_1 \left[\dot{I}_\phi + K_R 3\dot{I}_0 \right] + jX_1 \left[\dot{I}_\phi + K_X 3\dot{I}_0 \right] \right] + \dot{U}_g \quad (2)$$

$$\dot{U}_\phi = X_1 \left[K_1 \left[\dot{I}_\phi + K_R 3\dot{I}_0 \right] + j \left[\dot{I}_\phi + K_X 3\dot{I}_0 \right] \right] + \dot{U}_g \quad (3)$$

式中: $K_Z = \frac{Z_0 - Z_1}{3Z_1}$, $K_R = \frac{R_0 - R_1}{3R_1}$,

$$K_X = \frac{X_0 - X_1}{3X_1}, \quad K_1 = \frac{R_1}{X_1}$$

以上公式均表达准确,没有误差,能精确反映保

护安装点到短路点的线路正序阻抗和短路点的接地电阻。公式中接地电阻上的压降 $\dot{U}_g = 3\dot{I}_0 \cdot R_g$,但 $3\dot{I}_0$ 是流经故障点接地电阻上的电流,为线路本侧及对侧零序电流之和,因对侧 $3\dot{I}_0$ 是一个未知量,不管对 $3\dot{I}_0$ 作何种假设,由于不同短路点两侧零序电流分支系数(复数,大小和相位)的变化,均会对 \dot{U}_g 计算产生不可避免的误差。

下面给出三种不同保护的动作判据,并对其原理特点及试验方法进行讨论。

判据1: $\dot{U}_\phi = Z_1 \left[\dot{I}_\phi + K_Z 3\dot{I}_0 \right]$

传统的晶体管、集成电路等接地距离保护,受技术条件限制动作判据一般选用公式(1)的前一项。不考虑接地电阻的影响,零序补偿系数也用实数表示。经电阻接地时,测量误差大,送端有较大超越;金属性接地短路也有实数补偿带来一定误差。

判据2: $\dot{U}_\phi = R_1 \left[\dot{I}_\phi + K_R 3\dot{I}_0 \right] + jX_1 \cdot$

$$\left[\dot{I}_\phi + K_X 3\dot{I}_0 \right]$$
$$\dot{U}_\phi = jX_1 \left[\dot{I}_\phi + K_X 3\dot{I}_0 \right] + 3\dot{I}_0 \cdot R_1$$

($R_1 > X_1/3$)

一些微机接地距离保护的动作判据选用公式(2),但根据不同情况忽略对保护动作影响不大的部分。采用判据2的两项判据,在金属性接地短路和接地电阻较小时采用判据2,当测量接地电阻较大($R_1 > X_1/3$)时,采用判据2。这样金属性短路测量精确,经接地电阻较小时忽略接地电阻上的压降 \dot{U}_g ,接地电阻较大时忽略线路正序电阻上的压降 $R_1 \left[\dot{I}_\phi + K_R 3\dot{I}_0 \right]$ 。

判据3: $\dot{U}_\phi = X_1 \left[K_1 \left[\dot{I}_\phi + K_R 3\dot{I}_0 \right] + j \left[\dot{I}_\phi + K_X 3\dot{I}_0 \right] \right] + 3\dot{I}_0 \cdot R_g$

某微机线路保护中单相接地距离的动作判据采用判据3。和公式(3)的区别是, $\dot{U}_g = 3\dot{I}_0 \cdot R_g$ 中的短路点电流 $3\dot{I}_0$ 用本侧零序电流 $3\dot{I}_0$ 代替。解出

X_1 、 R_g 。得到测量电抗为 X_1 ，测量电阻为 $X_1 \cdot K_1 + R_g$ 。保护在金属性接地短路，单侧充电线路经电阻接地短路时测量计算准确。比较三种判据，很明显判据 3 的计算精度最高。但并没有考虑双侧电源时对侧的助增影响，必然也存在误差。

(1) 测量电抗的误差

对电抗 X_1 的正确测量是建立在保护处 $3I_0$ 和故障点 $3I_0$ 同相位的基础之上， $3I_0$ 和 $3I_0$ 间的相位关系只决定于故障点两侧的零序阻抗，与系统功角、负荷电流、接地电阻的大小等均无关，用公式表示为 $3I_0 = C_0 \cdot 3I_0$ ， C_0 为本侧零序电流分支系数。随着短路点的变化， C_0 的大小和角度都会发生变化，当 C_0 角度为负时测量电抗增大，为正时测量电抗减小。由于线路两侧的系统阻抗角一般大于线路阻抗角，故一般有近端故障测量电抗增大，远端故障测量电抗减小，若两侧系统零序电抗完全对称，线路中点故障时测量电抗最准。远端故障测量电抗减少，将可能造成距离保护超越，但 C_0 角度不大，将继电器的电抗线下倾基本可以避免超越。

(2) 测量电阻的误差

由于对侧零序电流助增，必将使测量电阻 R_g 增大，约扩大了 $1/C_0$ 倍，这对提高保护的带接地电阻能力不利。顺便指出，采用判据 3 建立的阻抗保护，还有一个优点，就是在正常运行时，负荷阻抗不会造成保护误动。因为在负荷状态下， $3I_0$ 非常小，负荷阻抗角也不可能达到线路阻抗角，因此保护测量到的 R 分量会非常大，不会进入保护动作区，动模试验已经得到证明。这样采用四边形距离继电器，就可以适当放宽电阻定值的整定，以提高保护允许接地电阻能力，且没有负荷阻抗进入动作区误动的担心。

在做接地距离继电器动作特性曲线静态试验时，常规试验方法，是将零序补偿系数整定为 0，电流大小相位一定，电压相位从 $0^\circ \sim 360^\circ$ ，改变电压大小从阻抗不动区进入动作区，记录动作电压，电压除以电流得到动作阻抗，在坐标纸上作出阻抗特性曲线。试验步骤是正确的，但在计算保护动作阻抗的方法上存在问题，此方法仅限于采用判据 1 的接地距离保护，对于判据 2 的一项也成立。但对于判据 2 的一项和判据 3 由于没考虑 U_g 的影响，必然会使计算出来的动作阻抗和保护的实际动作阻抗不对应，作出的动作阻抗轨迹不能真实表达保护的動作特性。

下面对接地距离保护的试验原理和方法进行分

析。

3 试验方法

对单相接地距离继电器的试验方法，总是通过改变试验源的单相电压电流实现。对于施加的故障相电压 \dot{U}_ϕ ，可以分解为故障线路上的压降 \dot{U}_L 和接地电阻上的压降 \dot{U}_R 。

$$\dot{U}_L = Z_1 \left(\dot{I}_\phi + K_Z \cdot 3I_0 \right), \quad \dot{U}_R = 3I_0 \cdot R_g$$

从而求出对应的线路正序电抗、正序电阻以及接地电阻。可以看出只要零序补偿系数确定，对任意电压电流，都可以分解为单侧充电线路上一点经一定电阻接地的试验模型。因此，静态试验时，完全可以考核到零序补偿系数和接地电阻对接地距离保护的影响。

(1) 确定保护的整定值

静态试验时，不考虑零序补偿系数，无非是为了简化计算，这对采用判据 1 建立的保护是适用的，因为在零序补偿系数整定为 0 时，判据 1 已经简化为 $\dot{U}_\phi = Z \cdot \dot{I}_\phi$ ，将保护动作电压除以电流就是动作阻抗。因此对采用判据 1 的保护为计算方便，可以将零序补偿系数整定为 0，虽然不能考核到保护的零序补偿回路，但这样的计算结果还是正确的。

对采用判据 2 和判据 3 建立的保护，动作阻抗的计算就不那么简单，不管对补偿系数怎么整定，动作阻抗都需要通过解方程求出。

对接地距离保护的零序补偿系数和线路正序阻抗角，可以按照 220kV 或 500kV（根据保护的应用范围）的典型线路参数确定。比如按 220kV、100km 线路，以下均为二次值。

$$Z_1 = 4 \quad 80^\circ, \quad Z_0 = 12 \quad 70^\circ$$

下面以判据 3 建立的多边形接地距离保护为例，进行整定并试验，见图 1。

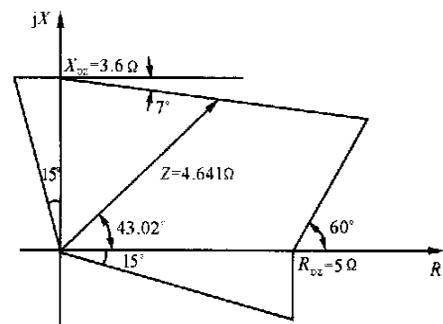


图 1 多边形特性接地距离继电器补偿系数的整定， $K_R = 1.64$ ， $K_X = 0.62$ ， $K_1 = 0.18$ 。

动作范围的整定,因为是静态试验可以没有动模试验或电力系统整定那么严格,这里取 $X_{DZ} = 3.6$, $R_{DZ} = 5$ 。

(2) 常规试验的步骤是正确的

电流恒定 $I_A = 3 I_0 = 5 \text{ 0\%}$ (额定电流),电压 U_A 相位从 $0^\circ \sim 360^\circ$,每 10° 一档(在说明问题,保证精度的前提下可适当调整),降低电压值从阻抗不动作区进入动作区,记录接地距离保护动作时的施加电压 U_A 。计算出动作阻抗,将试验结果列表,并在坐标纸上作出阻抗动作轨迹图。

这里特别指出的是,在计算保护动作阻抗时,一定要根据保护的不同动作判据分别对待。

对于采用判据 3 的保护计算过程如下:

$$\begin{aligned} \text{令 } K_1 \left(\dot{I}_\phi + K_R \cdot 3 \dot{I}_0 \right) + j \left(\dot{I}_\phi + K_X \cdot 3 \dot{I}_0 \right) &= \dot{I}_\phi \\ \dot{U}_\phi &= X_1 \dot{I}_\phi + 3 \dot{I}_0 \cdot R_g \\ U_{\phi(C)} + j U_{\phi(S)} &= X_1 \left\{ \dot{I}_{\phi(C)} + j \dot{I}_{\phi(S)} \right\} + \\ &R_g \left\{ 3 I_{0(C)} + j 3 I_{0(S)} \right\} \end{aligned}$$

将试验测量数据电压、电流分解为实部(c)和虚部(s)代入上式,可以解出:

线路正序电抗

$$X_1 = \frac{U_{\phi(C)} \cdot 3 I_{0(S)} - U_{\phi(S)} \cdot 3 I_{0(C)}}{I_{\phi(C)} \cdot 3 I_{0(S)} - I_{\phi(S)} \cdot 3 I_{0(C)}}$$

$$\text{接地电阻 } R_g = \frac{U_{\phi(C)} \cdot I_{\phi(S)} - U_{\phi(S)} \cdot I_{\phi(C)}}{3 I_{0(C)} \cdot I_{\phi(S)} - 3 I_{0(S)} \cdot I_{\phi(C)}}$$

得到测量电抗为 X_1 , 测量电阻为 $X_1 \cdot K_1 + R_g$ 。从而计算出动作阻抗。从以上的计算过程可以看出考虑不考虑零序补偿系数只对 \dot{I}_ϕ 的计算有影响,就是说将零序补偿系数整定为 0, 计算阻抗的过程也得不到多少简化,都要通过解方程求解。因此为了考核全面,建议试验时考虑零序补偿系数,并严格按照保护的判据进行阻抗计算。

这里列出一组试验数据,当施加电压角度为 50° 时,降低电压从保护的不动作区进入动作区,记录到保护动作电压是 33.5V。按照上面的计算方法得到保护动作阻抗是 $4.641 \angle 43.02^\circ$, 见图 1。

(3) 为检验保护的精度,根据保护的判据判

据和整定值,当施加电压角度确定后,可以计算出保护理论动作电压和动作阻抗。

比如,在上面的试验中施加电压角度为 50° 时,作进一步分析,可以计算出保护理论动作电压为 $33.66 \angle 50^\circ \text{ V}$, 理论动作阻抗为 $4.663 \angle 43.02^\circ$, 本次试验相当于模拟了单端电源供电线路的 80.75km 处,发生 A 相经 2.848 Ω 电阻接地故障,可以分解为线路压降 26.82V, 接地电阻上压降 14.24V, 向量图见图 2。

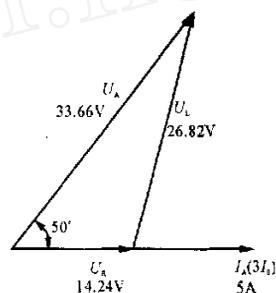


图 2 电压向量图

4 结束语

线路发生单相经高阻接地故障时,为提高保护的测量精度,微机保护一般采用了区别于常规保护的复杂判据。在静态试验,计算保护的阻抗时,一定要按照保护的判据进行,由于计算错误盲目认为保护在偏离灵敏角时误差大,是不正确的。对复杂的计算过程可借助于计算机实现。

参考文献:

- [1] 王梅义,等. 高压电网继电保护运行技术[M]. 北京:水利电力出版社,1984.

收稿日期: 2001-10-26

作者简介:

王伟(1972-),男,助工,从事电力系统动态模拟试验工作。

傅润炜(1973-),男,助工,从事电力系统动态模拟试验工作。

刘须杰(1965-),男,工程师,主要从事农电、用电的管理工作。

Operating criterion and test method of ground distance relay

WANG Wei¹, FU Run-wei¹, LIU Xu-jie²

(1. National Centre for Quality Supervision and Test of Relays and Protection Equipment, Xuchang 461000, China;

2. Shangqiu Power Bureau, Shangqiu 476000, China)

Abstract: Some different criteria of single-phase earthing distance protection were compared, and some correct test methods were provided in this paper.

Keywords: ground distance; operating criterion; test method