

# 基于故障分量的采样值电流差动保护研究 ——整定方法

袁荣湘<sup>1,2</sup>, 陈德树<sup>1</sup>, 马天皓<sup>2</sup>, 张哲<sup>1</sup>, 尹项根<sup>1</sup>

(1. 华中理工大学电力系, 湖北 武汉 430074; 2. 中兴通讯公司监控产品部, 深圳 518004)

**摘要:** 对基于故障分量的采样值电流差动保护制动特性曲线的整定方法进行了研究, 详细讨论了其制动系数和最小动作电流的整定方法, 同时对该保护在输电线路中的应用进行了初步的估算, 说明了该保护的优异性能。

**关键词:** 电流差动保护; 采样值; 整定方法

**中图分类号:** TM771 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2000)04-0020-04

## 1 引言

随着通讯技术的迅速发展, 电流差动保护作为高压输电线路的主保护将得到广泛应用。参考文献<sup>[1,2]</sup>对采样值电流差动保护应用的某些问题进行了讨论, 参考文献<sup>[3]</sup>对基于故障分量的采样值电流差动保护的原理进行了分析, 本文则在此基础上探讨基于故障分量的采样值电流差动保护的整定计算方法。

## 2 内部故障动作边界的确定

基于故障分量的采样值电流差动保护可以采用如图1所示的制动特性曲线<sup>[1,3]</sup>, 但是, 采样值电流差动保护存在动作边界变化区的特殊问题<sup>[2]</sup>, 那么, 图1中的折线由何方法确定呢?

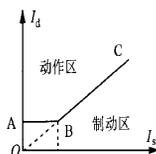


图1 采样值电流差动保护的制动特性

在内部故障时, 故障分量原理电流差动保护的差动量与制动量之比值由系统阻抗和故障点位置决定, 且不小于1, 其变化范围是<sup>[3]</sup>:

$$1 \leq \frac{\left| \frac{Z_m + Z_n + Z_L}{Z_m - Z_n - Z_L} \right| \cdot \left| \frac{\dot{I}_m + \dot{I}_n}{\dot{I}_m - \dot{I}_n} \right|}{\left| \frac{Z_m + Z_n + Z_L}{Z_m - Z_n - Z_L} \right|} \quad (1)$$

式中  $Z_m$ 、 $Z_n$  为被保护线路两侧系统等值阻抗,  $Z_L$

为被保护线路阻抗,  $\dot{I}_m$ 、 $\dot{I}_n$  为线路两侧电流的故障分量。

由于内部故障时差动量与制动量的比值最小值为1, 显然单侧供电时可取到极限值, 因此图1中制动特性曲线的BC段的斜率  $k_{BC}$  不宜大于1。

由于内部故障时, 故障分量原理的电流差动保护在原理上消去了电容电流的影响<sup>[3]</sup>, 故  $k_{BC}$  的最大值可以不考虑被保护线路分布电容电流的影响。但是, 采样值电流差动保护存在动作边界变化区, 因此, 基于故障分量的采样值电流差动保护的制动特性中须考虑其影响。

对于形如  $|A| > |B|$  的采样值电流差动保护动作边界变化区范围可表示如下<sup>[2]</sup>:

$$A/B \left( k, \frac{k \sin \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\pi}{N} \right)}{\sin \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\pi}{N} \right)} \right) \quad (2)$$

$$= \arctg \frac{\left[ \sin \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\pi}{N} \right) - \sin \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\pi}{N} \right) \right] k}{\sin \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\pi}{N} \right) + k^2 \sin \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\pi}{N} \right)} \quad (3)$$

式中  $k$  为比例系数,  $N$  为每周期中的采样点数,  $A$ 、 $B$  分别为动作量、制动量的幅值, 如图2所示。在图2中容易看出, 当原来保护的动作为直线  $OP$  时, 若考虑采样值电流差动保护的动作边界变化区后仍能保证保护的可靠动作, 须提高保护的动作为直线  $OQ$  作为差动保护的动作边界。对于基于故障分量的采样值电流差动保护, 设比例系数  $k_{BC}$  最大值  $k_{BC \max} = 1$ , 如果差动保护每周波采样12个点, 则考虑采样值电流差动保护的动作边界变化区后, 比例系数  $k_{BC}$  的最大值应为  $k_{BC \max} = 1/\sqrt{3} \approx 0.58$ ; 如果差动保护每周波采样40个点, 则考虑采样值电流差动保护的动作边界变化

收稿日期: 1999-10-11

作者简介: 袁荣湘(1965-), 男, 博士, 主要从事电力系统继电保护与自动化的科研工作。

区后,比例系数  $k_{BC}$  的最大值应为:

$$k_{BC \max} = \sin\left(\frac{-}{4} - \frac{-}{40}\right) / \sin\left(\frac{-}{4} + \frac{-}{40}\right) = 0.85。$$

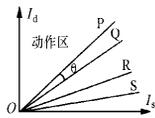


图2 制动特性曲线边界线 BC 的确定

### 3 外部故障制动边界的确定

当外部短路故障时,输电线路电流差动保护的制动特性曲线主要是考虑电流互感器(CT)误差所造成的不平衡电流的影响。如果电流差动保护的判据为:

$$| \dot{I}_m + \dot{I}_n | \quad k | \dot{I}_m - \dot{I}_n | \quad (4)$$

不妨设两侧 CT 的误差分别为  $e_m$ 、 $e_n$ , 则两侧电流为:  $\dot{I}_m(1 + e_m)$  和  $\dot{I}_n(1 + e_n)$ , 此时动作方程变为:

$$| \dot{I}_m(1 + e_m) + \dot{I}_n(1 + e_n) | \quad k | \dot{I}_m(1 + e_m) - \dot{I}_n(1 + e_n) | \quad (5)$$

外部故障时,如果不考虑被保护线路电容电流的影响,则有  $\dot{I}_m = -\dot{I}_n$ , 上式可简化为下面的形式:

$$| e_m - e_n | \quad k | 2 + e_m + e_n |$$

要使保护不误动,制动系数  $k$  则须满足以下条件:

$$k \quad | e_m - e_n | / | 2 + e_m + e_n | \quad (6)$$

由于输电线路电流差动保护所用电流互感器的型号一致,它们的幅值误差  $e_m$ 、 $e_n$  比较接近,在选取保证不误动的最小制动系数  $k_{BC \min}$  时,  $| e_m - e_n |$  的最大值可取为 0.05,  $e_m + e_n$  的最小值可取为  $-0.20^{[4]}$ , 则有:

$$k_{BC \min} = 0.05 / (2 - 0.20) = 0.028$$

由此可见,为满足外部短路时保护不误动所要求的制动系数是很小的,即使考虑最严重的情形,即  $| e_m - e_n |$  的最大值取为 0.20,  $e_m + e_n$  的最小值可取为  $-0.20$ ,  $k_{BC \min}$  也仅为 0.111。

由于外部短路时的故障电流一般来说远大于被保护线路电容电流,因此电容电流对电流差动保护的保证不误动的最小制动系数影响不大。

对于外部故障时电流互感器的严重饱和可能引起的差动保护误动,一般须采取辅助措施解决。

这是对常规电流差动保护保证不误动的最小制动系数的分析,故障分量原理的电流差动保护保证不误动的最小制动系数在理论上有着相同的结果。

对于基于故障分量的采样值电流差动保护,其保证不误动的最小制动系数同样需要考虑动作边界变化区的影响。假设最小制动系数选为 0.10,则对于每周波采样 12 个点的采样值电流差动保护来说,其最小制动系数应选为 0.17;对于每周波采样 40 个点的采样值电流差动保护来说,其最小制动系数应选为 0.12。

综合以上分析可知,基于故障分量的采样值电流差动保护具有相当高的可靠性,如果每周波采样 12 个点,则其制动系数  $k_{BC}$  可在考虑适当的可靠系数后在 0.17 至 0.58 之间选择;如果每周波采样 40 个点,则其制动系数可在考虑适当的可靠系数后在 0.12 至 0.85 之间选择。

### 4 最小动作电流的确定

对于基于故障分量的采样值电流差动保护的最小动作电流的整定,即如图 1 中直线 AB 的整定,须达到以下要求:(1)被保护线路内部发生高阻接地故障时电流差动保护可靠动作,(2)外部短路时保护可靠不误动。对于输电线路电流差动保护外部短路的误动主要由于以下三方面原因引起,即被保护线路电容电流的影响、两端电流采样时刻不同步(包括通道传输时间误差)的影响和电流互感器测量误差的影响。当外部短路时,一般故障电流较大,电流互感器测量误差的影响主要由制动系数  $k_{BC}$  的整定使制动项作用而使电流差动保护不误动;正常运行时不存在电流的故障分量,因此无须考虑 CT 的误差。两端电流不同步的影响同样是由制动系数  $k_{BC}$  的整定裕度保证差动保护的不误动。故为保证不误动的最小动作电流的确定主要是考虑电容电流的影响。因此故障分量原理的电流差动保护的最小动作电流的整定必须大于保证可靠不误动的外部短路时的最大可能的电容电流的故障分量,应该小于保证系统对被保护线路所要求的内部高阻接地故障时可靠动作的可能的动作电流故障分量的最小值。

对于单侧供电系统,外部短路时最大可能的电容电流的故障分量的求取是考虑被保护线路无源侧母线处故障且电源侧处于最小运行方式时被保护线路分布电容中流过的电容电流的故障分量。对于双端供电系统,外部短路时最大可能的电容电流的故障分量的求取是考虑被保护线路大电源侧母线处故障且小电源侧处于最小运行方式时被保护线路分布电容中流过的电容电流的故障分量。

对于内部高阻接地故障时可能的动作电流故障

分量的最小值是考虑单端供电时无源侧出口处高阻接地故障且电源侧处于最小运行方式时差动保护动作电流的故障分量值;对于无单端供电运行方式的线路,则须计算在线路各处高阻接地故障时且两端均取最小运行方式时差动保护动作电流故障分量的可能最小值。

差动保护动作电流故障分量最小值的计算方法如图3所示,差动保护动作电流故障分量的计算公式如下:

$$I = \frac{U}{R_f + (Z_m + Z_L) // (Z_n + (1 - \alpha) Z_L)} = \frac{U (Z_m + Z_n + Z_L)}{R_f (Z_m + Z_n + Z_L) + Z_m Z_n + Z_m Z_L + Z_L (Z_n - Z_m + Z_L) - \alpha^2 Z_L^2} \quad (7)$$

从上式中容易看出,当两侧系统等值阻抗  $Z_m$ 、 $Z_n$  均取最大值时,电流  $I$  取最小值。对于变量则使用求极值法则容易得到当下式成立时,电流  $I$  取最小值。

$$= \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{Z_n - Z_m}{Z_L} \right) \quad (8)$$

由于  $0 < \alpha < 1$ , 因此可以知道,当  $Z_n > Z_m + Z_L$  时,则电流  $I$  的最小值在  $M$  侧出口处故障时取得,当  $Z_m > Z_n + Z_L$  时,电流  $I$  的最小值在  $N$  侧出口处故障时取得,当  $|Z_n - Z_m| < Z_L$  时,取得电流  $I$  最小值的故障位置由(8)式决定。

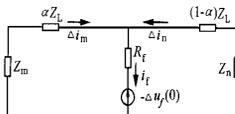


图3 内部高阻接地故障时可能的最小短路电流的计算示意图

对于基于故障分量的采样值电流差动保护最小动作电流的整定还需考虑动作边界变化区的影响。由于超高压线路分布电容大,线路距离长,故电容电流大,而对高阻接地故障的要求有很高(对超高压线路要求在接地的过渡电阻为  $300 \Omega$  时保护须可靠动作),基于故障分量的采样值电流差动保护是否能够满足要求呢?下面以我国  $500\text{kV}$  超高压线路——葛双线(葛洲坝电厂至双河变电站)为例,估算外部故障时的最大电容电流和高阻接地故障时的最小差动电流值。

葛双线全长  $124.4\text{km}$ ,完全换位,无补偿装置,同杆并架,该线路自阻抗为  $0.083 + j0.402 \Omega/\text{km}$ ,容纳

为  $3.0 \times 10^{-6}\text{s/km}$ ,最小运行方式时  $M$  侧自阻抗为  $39.14 \Omega$ ,  $N$  侧自阻抗为  $44.01 \Omega$ ,则每相最大可能电容电流为:

$$I_C = 3.0 \times 10^{-6} \times 124.4 \times 500 \times 10^3 / \sqrt{3} = 108\text{A} \quad (9)$$

忽略线路电阻,则线路自阻抗为  $0.402 \times 124.4 = 50 \Omega$ ,由(8)式可知  $0.5487$ ,故内部故障时可能最小的差动电流故障分量可由(7)式计算如下:

$$I = \frac{500 \times 10^3 / \sqrt{3}}{300 + \frac{(39.14 + 0.5487 \times 50.0) [44.01 + (1 - 0.5487) \times 50.0]}{39.14 + 44.01 + 50.0}} = 886\text{A} \quad (10)$$

对于形如  $|A| > C$  (其中  $C$  为常数)的采样值电流差动保护动作判据的动作边界变化区为<sup>[2]</sup>:

$$A \in \left[ \sqrt{2}C, \frac{C}{\sin\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\pi}{N}\right)} \right] \quad (11)$$

如果采样值电流差动保护每周波采样 12 点的话,其动作边界变化区为  $A \in (\sqrt{2}C, 2C)$ ,故最小动作电流可整定在区间  $(108 \times \sqrt{2}, 886 \times \sqrt{2}/2)$  中,即区间  $(152.7, 626.5)$  中。如果采样值电流差动保护每周波采样 40 点的话,其动作边界变化区约为  $A \in (\sqrt{2}C, 1.54C)$ ,故最小动作电流可整定在区间  $(108 \times 1.54 / \sqrt{2}, 886 \times \sqrt{2} / 1.54)$  中,即区间  $(117.6, 813.6)$  中。

综合上述分析计算可知,基于故障分量的采样值电流差动保护虽然存在动作边界变化区影响该保护的整定,但是该保护仍然具有足够大的整定计算空间,也就是说完全能够保证基于故障分量的采样值电流差动保护的可靠性。当然,由于规程要求  $500\text{kV}$  超高压线路内部故障时须在  $300 \Omega$  过渡电阻时可靠动作,而此种情形故障时差动保护动作电流可能仅为  $886\text{A}$ ,因此若不采用故障分量原理构成电流差动保护,由于负荷电流的影响而使电流差动保护在内部故障时不能可靠动作。

## 5 结论

本文对基于故障分量的采样值电流差动保护的整定计算原则与方法进行了讨论,并对该保护在超高压输电线路上的应用进行了初步的估算,证实了该保护的可靠性、灵敏性,而它的快速性和选择性则显然得到了较一致的认可,因此本文的研究为基于故障分量的采样值电流差动保护在输电线路中的应用奠定了理论基础。

**参考文献：**

- [1] 陈德树等. 采样值电流差动微机保护的一些问题. 电力自动化设备. 1996, (4).
- [2] 袁荣湘, 陈德树, 马天皓, 尹项根, 张哲. 采样值电流差动保护原理的研究. 电力自动化设备, 2000, (1).
- [3] 袁荣湘, 陈德树, 马天皓, 尹项根, 张哲. 基于故障分量的采样值电流差动保护研究——原理分析. 继电器, 2000, (3).
- [4] 王维俭. 电气主设备继电保护原理与应用(第一版). 北京: 中国电力出版社, 1996, 1.

### Study on the current differential protection based on sampled values using fault component ——Setting scheme

YUAN Rong-xiang<sup>1,2</sup>, CHEN De-shu<sup>1</sup>, MA Tian-hao<sup>2</sup>, ZHANG Zhe<sup>1</sup>, YIN Xiang-gen<sup>1</sup>

(1. Central China University of Science and Technology, Wuhan 430074, China; 2. Zhongxing Telecom Ltd., Shenzhen 518004, China)

**Abstract:** In this paper, the setting scheme of the current differential protection based on sampled values using fault component is investigated. The setting schemes of the resistance coefficient and the least trip differential current are discussed in detail. The probable protection setting values for the HV transmission lines are described. It testifies the feasibility for the applications of the protection to the HV transmission lines.

**Keywords:** current differential protection; sampled value; fault component

(上接第 5 页)

**参考文献：**

- [1] Beiler G and H-T Neisius et al. SCADA oriented state estimation. IFAC / CIGRE Symposium on Control of Power Systems and Power Plants, 1997, 9:400-445
- [2] Clements K A and Costa A S. Topology error identification using lagrange multipliers. IEEE Transaction on Power Systems, 1998, 13(2) :347-353.
- [3] Abur A, H Kim, and M Celik. Identifying the unknown circuit breaker status's in power networks. IEEE Transaction on Power Systems, 1995, 10(4) :2029-2073.
- [4] Alvarado. Network topology determination using least absolute value state estimation. IEEE Transaction on Power Systems, 1995, 10(3) :1159-1165.
- [5] Souza J C S, A M Leite da Silva and A P Alves da Silva. Data debugging for real-time power system monitoring based on pattern analysis. 96 WM IEEE, 1996.
- [6] Zhou Suquan. An approach to single or multi topology error Identification. IFAC / CIGRE Symposium on Control of Power Systems and Power Plants, 1997, 9:433-439.

### A power system state estimation method based on innovation graph

ZHOU Su-quan, LIU Zhuo

(Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

**Abstract:** This paper presents a state estimation method based on the Innovation Graph. It can rapidly detect and identify topology error, proceed state estimation and provide an electric power system state free of bad data and topology error.

**Keywords:** state estimation; topology error; innovation vector; innovation graph