

# 关于采样值差动动作模糊区的若干问题的讨论

赵东, 黄益庄

(清华大学电机系, 北京 100084)

**摘要:** 在采样值差动中一般采用比较  $R$  点有  $S$  点满足条件则保护动作的判据, 采用该判据的保护动作边界不确定, 存在一定范围的模糊区, 分析了采样点的具体位置不同对差动保护常用两个判据动作情况的影响, 定量给出了模糊区内临界动作电流以及差流和制动电流比值的变化情况, 并在此基础上将相量计算判据引入采样值差动保护, 提出了基于正弦波的提高模糊区内采样值差动动作灵敏性的辅助判据, 静模和动模试验结果表明, 引入该辅助判据, 能有效地减少采样值差动的模糊区, 并提高模糊区内的动作灵敏性。

**关键词:** 采样值差动; 动作模糊区; 临界动作电流; 辅助判据

**中图分类号:** TM773 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2003)02-0018-05

## 1 引言

电流采样值差动保护是直接利用电流采样值构成的差动保护。它与常规的相量差动保护比较, 具有计算量少、速度快等特点, 尤其是在变压器差动保护中, 采样值差动具有一定避越涌流影响的能力, 因此很受保护工作者的关注。在采样值差动中, 为保证动作判据的可靠性, 通常采用多次重复判别的方法, 即连续  $R$  个采样点判别中有不少于  $S$  个符合动作条件, 则保护动作。该方法有其特殊的问题, 即保护的動作情况在一定范围内会受采样初始时刻的影响, 这就使得采样值差动保护存在一定的动作模糊区<sup>[1~3]</sup>, 从而给继电保护工作人员对采样值差动动作特性的门槛和斜率的测量与整定工作带来了不便, 本文将对采样值差动在模糊区内临界动作电流值的变化情况进行分析, 并在此基础上将相量算法引入采样值差动保护, 提出了一种改进的采样值差动判据, 以提高采样值差动在模糊区内的动作灵敏性。

## 2 采样值差动模糊区内临界动作电流幅值的变化情况分析

假设故障时采样的电流仅由基波分量构成, 即认为故障电流中的谐波分量和非周期分量已经滤去, 根据文献[1]的分析, 采样值差动的两个判据可以写作:

$$A \sin \theta > C \quad (1)$$

和

$$A \sin \theta > B \sin(\theta - \alpha) \quad (2)$$

式中:  $C$  为常数,  $A \sin \theta$  对应相量差动中的动作相量

$A \sin \theta$  对应相量差动中的制动相量  $B$ ;  $\theta$  为变量,  $\alpha$   $[0, \pi]$  为两相量的相角差。

设与采样值差动对应的相量差动的门槛值和斜率分别整定为  $I_{set}$  和  $K_{set}$ , 如果按照同样的值来整定采样值差动, 则应有  $C = I_{set}$ , 且临界动作时有  $B/A = K_{set}$ 。下面分析将采样值差动的门槛值和斜率整定为  $C$  和  $K_{set}$  的情况下, 采样值差动的模糊区内临界动作电流值以及差流和制动电流比值的变化情况。由于上述的判据都是以瞬时值的绝对值进行判别, 不等式两边的值都可以看作是以  $2\pi$  为周期, 为分析简单起见, 下述的讨论都在区间  $[0, \pi]$  上进行, 也就是说若每周期的采样点数为  $N$ , 则下述分析中认为  $R = N/2$ 。

### 2.1 $A \sin \theta > C$

如图1所示, 设差流的波形上满足判据(1)的对应的取值范围是  $[\theta_1, \theta_2]$ , 再设  $M = A/C$ , 则理论上有  $\theta_1 = [\arcsin(1/M), \pi - \arcsin(1/M)]$ , 下面再看实际的取值范围, 分析表明, 在采样值差动判据里  $R$  和  $S$  的值确定以后, 由于采样点位置的不同, 实际保护恰好动作时满足判据的点数既可能是  $S+1$  点也可能是  $S$  点, 如图1、图2, 这就使得保护恰好动作的临界电流波形上大于门槛值对应的  $\theta$  的取值范围是变化的, 若判据中取  $S=4$ , 在采样点位置如图1的情况下, 大于等于门槛值的点数刚好为5时, 保护恰好动作,  $\theta$  应该等于或者大于  $\theta_1$  才可以保证采样值差动保护可靠动作, 其中,  $\theta_1 = 2\pi/N$  为采样间隔角,  $N$  为每周采样点数; 而采样点位置如图2的情况下, 大于等于门槛值的点数为4时保护刚好动作,  $\theta$  只要等于或者大于  $(S-1)\theta_1$  就可以使采样值差动保护动作了。图1和图2是两种特殊情况,

一般情况下,应该有  $L = (S - 1) \cdot k + 1$ , 其中  $0 \leq k \leq 1, k$  的值将随着采样点在相应电流波形上的具体位置的变化而变化。

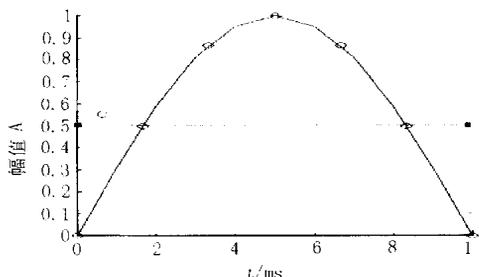


图1 S=4 时最不利于动作的临界情况

Fig.1 The most insensitive critical tripping condition as S equals to 4

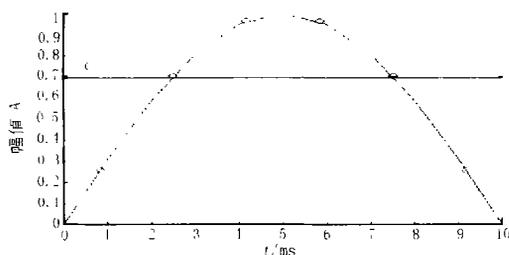


图2 S=4 时最有利于动作的临界情况

Fig.2 The most sensitive critical tripping condition as S equals to 4

由  $L = 1 - 2\arcsin(1/M)$  可以得出  $M = 1/\cos(L/2)$ , 即

$$M = 1/\cos(((S - 1) \cdot k + 1)/2) \quad (3)$$

其中:  $k \in [0, 1]$ 。

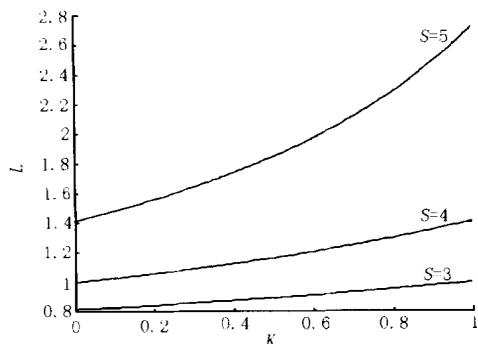


图3 S 取不同值时 L 随 k 的变化情况

Fig.3 The curves of L-k when S equal to different values

若令  $L = 0.707M$ , 则  $L$  反映了采样值差动中临界动作电流有效值和差动门槛值比值, 图3显示了每周采样12点, 在  $S$  分别取3、4、5的情况下  $L$  随  $k$  的变化情况, 也即各种情况下模糊区中临界动作电

流值的变化情况。由图3知, 临界电流变化的范围对于不同的  $S$  值并不相同, 如果按照相量差动的门槛值来整定采样值差动的门槛值, 即  $C = I_{set}$ , 则在  $R$  取6的情况下, 若  $S$  取3,  $L$  在小于1的范围变化, 这种情况对于相量差动来说, 意味着故障电流有效值小于定值时保护也会动作;  $S$  取4时临界动作电流在比较接近相量差动定值的附近变化;  $S$  取5则临界动作电流的有效值和定值的比值在离1较远的范围变化, 也即这种情况下采样值差动保护动作的灵敏性最差, 而且此时的变化范围最大, 也即模糊区最大。显然  $R$  取6时,  $S$  取4最为合适, 这也又一次说明了  $R - S = 2$  的合理性<sup>[2,4,5]</sup>。

2.2  $A \sin(\omega t) + B \sin(\omega t - \alpha)$

设  $\alpha = A/B$ , 考虑等号成立的情况

$$\sin(\omega t) = \sin(\omega t - \alpha)$$

当  $\omega t \in [0, \alpha]$  时有

$$\sin(\omega t) + \sin(\omega t - \alpha) = 0$$

可得  $[0, \alpha]$  上的交点对应的角度满足

$$\tan \theta_1 = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha + 1} \quad (4)$$

当  $\omega t \in [\alpha, \pi]$  时有

$$\sin(\omega t) - \sin(\omega t - \alpha) = 0$$

可得  $[\alpha, \pi]$  上的交点对应的角度满足

$$\tan \theta_2 = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha - 1} \quad (5)$$

类似判据(1)的分析, 理论上满足判据(2)的角度范围是  $\theta_2 - \theta_1$ , 但在离散的情况下取  $S$  点满足判据对应的角度范围也是变化的, 图4和图5所示的两种情况下两曲线的两个交点恰好都是采样点, 如果仅有一个交点和采样点重合或者两个交点都没有和采样点重合, 则两交点之间的角度也应该在  $[(S - 1) \cdot k, S \cdot k]$  间变化, 因此对判据(2)来说, 临界动作电流波形上满足判据的角度范围也可以写作  $L = (S - 1) \cdot k + 1$ , 其中  $0 \leq k \leq 1$ 。由式

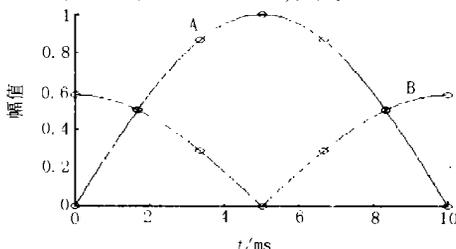


图4 S=4 时最不利于动作的临界情况

Fig.4 The most insensitive critical tripping condition as S equals to 4

(4)、(5),并考虑到  $\theta = \alpha - \beta$ ,可得:

$$= \frac{\tan((S-1)\theta + k)}{\sin \pm \sqrt{\sin^2((S-1)\theta + k)}} \quad (6)$$

式中的正负号当  $(S-1)\theta + k > \pi/2$  时取正号,当  $\pi/2 < (S-1)\theta + k < \pi$  时取负号。

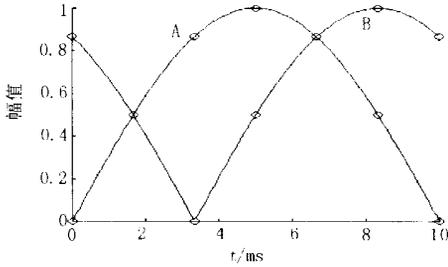


图5 S=4时最有利于动作的临界情况

Fig.5 The most sensitive critical tripping condition as S equals to 4

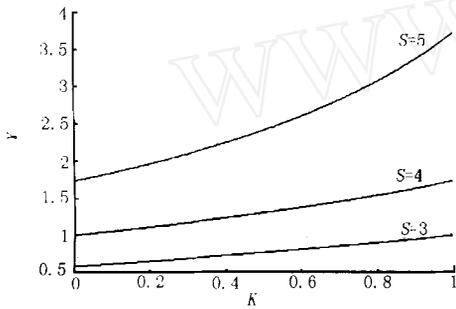


图6  $\theta = \pi/2$ , S取不同值时 y随k的变化情况

Fig.6 The curves of y - k when  $\theta$  equals to  $\pi/2$  and S equals to different values

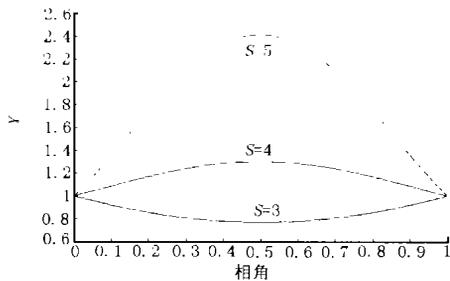


图7 k=0.5, S取不同值时 y随相角的变化情况

Fig.7 The curves of y - phase angle when k equals to 0.5 and S equals to different values

图6显示了当  $\theta = \pi/2$ , S分别取3、4、5时对应的 y随k的变化曲线,图7显示了当 k=0.5, S分别取3、4、5时, y随相角变化的曲线。若相量

差动保护的比率制动判据为  $I_d < KI_T$ ,其中 K值按照对应的相量差动保护整定为  $K_{set}$ ,则表示的是  $I_d/(I_T K_{set})$  的大小,值越大,说明保护恰好动作的  $I_d/I_T$  越大,所以图6和图7显示了在整定好一个固定的比率制动系数 K后保护恰好动作时差流和制动电流的比值的变化情况,由图中也可以看出,对于判据(2)来说,和判据(1)有着同样的结论,所不同的是对于判据(2),临界动作时差流和制动电流的比值变化不仅和采样点的位置有关,而且与差流和制动电流的相位差有关,当该相位差为0或者  $\pi$  时,采样值差动的判据(2)和相量差动的比率判据一致,不存在模糊区,这也和文献[2]的分析一致。

### 3 提高采样值差动保护动作模糊区内动作灵敏性的讨论

图8中,  $A_1, A_2, A_3, A_4$  幅值依次递减,讨论 S取4的情况,  $A_3$  是 S点满足判据(1)的最小幅值,在差流等于  $A_3$  时,仅在用“0”表示的采样位置情况下判据(1)才会满足,如果差流小于  $A_3$  则保护可靠不动作。类似地,如果差流大于  $A_1$ ,保护可靠动作,当差流处于  $A_1$  和  $A_3$  之间时,满足判据与否取决于采样点的位置如何,如果按照差流为  $A_3$  时恰好有四点满足判据(1)的情况整定 C,则差流为  $A_2$  时大于 C的点有可能是4个(“0”)也有可能是3个(“+”)。现在的问题就是当有三个点满足判据(1)时,如何把  $A_2$  和  $A_4$  区别开来,为此,我们考虑借助于相量计算,采样值差动舍弃相量计算的目的是为了使保护的動作速度提高,但是却造成了在模糊区内动作的不灵敏,因此,我们考虑将两者结合,充分利用相量差动动作明确可靠和采样值差动动作迅速的优点,即首先对电流的采样值进行采样值差动判别,如果记录到的满足判据的点数大于等于 S点,则保护直

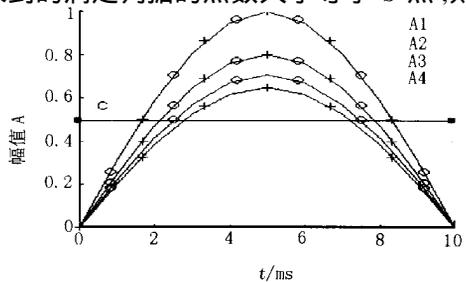


图8 S取4时差流幅值和采样点位置不同的几种情况

Fig.8 Several situations with different differential current amplitude and sample positions when S equals to 4

接由采样值差动出口;如果保护记录到满足判据的  
点数为  $S - 1$ ,则对差电流进行相量计算,再利用算  
得的差流相量进行辅助判别,如果判别出故障处于  
动作模糊区,则保护也出口,这样就解决了故障处于  
采样值动作模糊区内时,由于采样点的位置导致记  
录到  $S - 1$  点而造成的保护拒动问题。由前面的分  
析可知,当  $R, S$  确定后,对应的模糊区的边界即可  
以确定,比如  $S = 4$  时判据(1)对应的模糊区上界差  
流幅值为

$$A_{\max} = A_1 = C/\cos(S/2) \quad (7)$$

模糊区下界对应差流幅值为:

$$A_{\min} = A_3 = C/\cos[(S-1)/2] \quad (8)$$

因此,可以根据相量计算的结果来判别故障是  
否处于模糊区。

对判据(2)来说,整定  $K$  值为  $K_{\text{set}}$ ,对记录到点  
数为 3 的情况作进一步判断,利用相量算法分别计  
算  $I_T$  和  $I_d$  的幅值,并将  $I_d/I_T$  的值和模糊区边界对  
应的  $K$  值  $K_{\max}$ 、 $K_{\min}$  相比较,如果在两者之间,则保护  
动作,如果大于  $K_{\max}$  或小于  $K_{\min}$ ,则不作额外处理。  
其中  $K_{\min}$  即为整定值  $K_{\text{set}}$ ,而模糊区真正的  $K_{\max}$  不仅  
和采样点的位置有关,而且和制动电流与差流的相  
角差有关。由于和上界比较的目的是为了避免脉冲  
干扰引起的误判,因此,  $K_{\max}$  的确定应遵循以下原  
则,即保证在  $I_d/I_T > K_{\max}$  时必有  $S \geq 4$ ,设在同时考  
虑采样点位置和被比较的两向量相角差的情况下,

的最大变化范围为  $[K_{\min}, K_{\max}]$ ,则应有  $K_{\max} = \max$   
 $K_{\min}/\min$ ,由图 6 和图 7 知  $K_{\min}$  的变化范围为  $[1,$   
 $1.732]$ ,因此可以取  $K_{\max} = 1.732 K_{\text{set}}$ 。上述的判别  
中如果相量计算的数据窗较长,受干扰的影响较小  
的话,和模糊区上界的判别可以省去。

为了考察改进的采样值差动的动作情况,我们  
在研制的变压器微机保护装置上进行了静模和动模  
实验。实验中为了滤除直流分量和抑制衰减的非周  
期分量,对采样值采取了简单的一阶差分滤波;在采  
样值差动记录满足判据的点数为  $S - 1$  时,采用全  
周积分计算出的相量进行辅助判别。首先分别对  
 $R = 6, S = 4$  和  $R = 10, S = 8$  的两种情况进行了静态  
模拟实验,记录到的保护的動作时间随差流的变化  
情况见图 9 和图 10,图中同时显示了对应的相量差  
动保护動作时间随差流的变化情况。

由图 9 可以看出,改进的采样值差动在动作模  
糊区内的动作灵敏性有明显提高。前述分析都是以  
 $R$  等于  $N/2$  为基础的,对于  $R$  不等于  $N/2$  的情况,给

出定量的分析比较困难,从图 10 可以看出,在  $R$  大  
于  $N/2$  的情况下,改进的采样值差动在动作模糊区  
内的灵敏性仍有提高,但效果没有图 9 对应的情况  
明显。

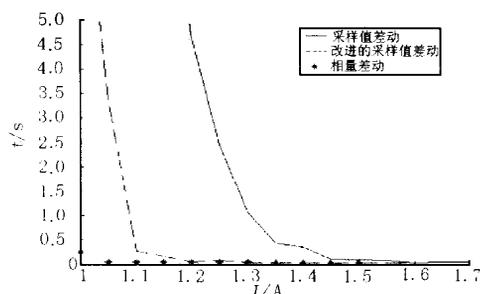


图 9 增加辅助判据后采样值差动  
动作时间的变化 ( $R = 6, S = 4$ )

Fig. 9 The change of action time in the action fuzzy region  
after using the auxiliary criterion as  $R = 6$  and  $S = 4$

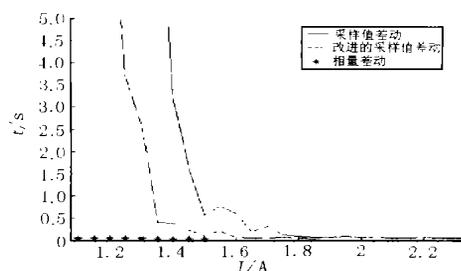


图 10 增加辅助判据后采样值差动  
动作时间的变化 ( $R = 10, S = 8$ )

Fig. 10 The change of action time in the action fuzzy region  
after using the auxiliary criterion as  $R = 10$  and  $S = 8$

针对  $R = 10, S = 8$  的变压器采样值差动保护进  
行了动模实验,在相同的无穷大系统和同样的变压  
器匝间短路比的情况下,分别对相同定值的相量差  
动、采样值差动以及改进的采样值差动进行多次重  
复实验,发现在某些相同的故障情况下,相量差动和  
改进的采样值差动都能够正确动作,而采样值差动  
却发生了拒动。

对模拟变压器又进行了多次空投实验,在  $S = 8$   
时没有发现改进的采样值差动保护误动。

#### 4 结语

针对采样值差动存在动作模糊区的问题,从  $R$   
取  $S$  点对应的实际的满足条件的相角范围入手,定  
量分析了模糊区内临界动作电流以及差流和制动电

流比值的变化情况,提出了基于正弦波的提高模糊区内采样值差动动作灵敏性的办法,理论分析和静模及动模试验结果都表明,本文提出的改进的采样值差动判据可以有效地减少采样值差动的动作模糊区,提高模糊区内动作的灵敏性。

#### 参考文献:

- [1] 袁荣湘,陈德树,马天皓,等. 采样值电流差动保护原理的研究[J]. 电力自动化设备,2000,20(1):1-3.
- [2] 胡玉峰,陈德树,尹项根,等. 采样值差动及其应用[J]. 电力系统自动化,2000,(5):40-44.
- [3] 林湘宁,何战虎,刘世明,等. 电流采样值差动保护若干问题的探讨[J]. 电力系统自动化,2001,(10):27-33.
- [4] 陈德树,马天皓,刘沛,等. 采样值电流差动微机保护的

一些问题[J]. 电力自动化设备,1996,(4):3-8.

- [5] 陈德树,尹项根,张哲. 再谈采样值差动保护的一些问题[J]. 电力自动化设备,2000,20(4):1-3.
- [6] 胡玉峰,陈德树,尹项根,等. 自适应采样值差动在变压器保护中的应用[J]. 电力系统自动化,2001,(5):31-34.

收稿日期: 2002-04-22; 修回日期: 2002-09-16

#### 作者简介:

赵东(1974-),男,硕士研究生,研究方向为微机保护;

黄益庄(1938-),女,教授,主要研究方向为电力系统自动化及微机继电保护。

### Study of several points on the action fuzzy region of sample value differential relay

ZHAO Dong, HUANG Yi-zhuang  
(Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract:** The sample value differential relay will trip if  $S$  out of  $R$  sample points satisfies the action criterion, and this causes the action fuzzy region. This paper analyzes how the sample positions affect the differential relay action, and the curves of the critical action current and the critical ratio of differential current to restraint current are also given. Based on that, vector computation is merged with sample value differential as an auxiliary criterion and a new method is presented in order to improve the sensitivity of the sample value differential protection in action fuzzy region. The statistic and dynamic simulation experiments show the new method can improve the sensitivity in a certain degree.

**Key words:** sample value differential; action fuzzy region; critical action current; auxiliary criterion