

# 一种能改善差动保护性能的辅助电流互感器

李磊<sup>1</sup>, 马杰<sup>2</sup>, 张玮<sup>3</sup>, 黄忠<sup>4</sup>

(1. 山东电力研究院电气所, 山东 济南 250002; 2. 山东电力调度中心, 山东 济南 250001;  
3. 鲁能积成电子股份公司, 山东 济南 250100; 4. 中能电力工业燃料公司, 北京 100761)

**摘要:** 由于微机保护的大量应用, 辅助电流互感器的性能优劣直接影响保护动作结果。文中提出一种新型辅助电流互感器, 利用其易饱和的特性来提高差动保护躲越区外故障能力, 通过对各种保护动作行为的分析, 从数学和物理概念两方面证明其不但能改善差动保护在区外故障时的特性, 而且不影响区内故障灵敏度, 完全可以代替全线性辅助电流互感器。

**关键词:** 差动保护; 不平衡电流; 饱和; 辅助电流互感器

**中图分类号:** TM452 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-4897(2003)11-0072-03

## 1 引言

从电力设备 TA 二次引出的电流可以被传统的纵差保护直接应用, 但对于微机保护的模数转换单元来说其值显然太大, 必须对其进行二次处理方可应用, 辅助电流互感器由此应运而生。它的出现使微机保护应用成为现实, 利用微机保护强大的数据运算及处理能力, 可以极大地提高保护的動作特性; 但同时它的引入也为保护增加了一个环节, 这个环节的好坏也直接影响了保护的動作行为。仔细分析辅助电流互感器的特性, 可以扬长避短, 化不利条件为有利条件, 从而更好地为微机保护服务。本文结合比率制动式微机纵差保护原理对此进行探讨, 从而得到了一种新型的辅助变流器, 能够提高差动保护的性能, 并从中得出了一些有益的结论。

## 2 比率制动式纵差保护的特点及分析

在目前应用的纵差保护中, 比率制动特性的纵差保护无疑是应用最广泛的, 它的原理早已为广大同行所熟知, 在此仅将其整定简介如下: A 点: 最小动作电流(差流起动值), 躲过正常运行时最大不平衡电流; B 点: 制动曲线拐点,  $I_{res} = I_N$ ; C 点: 最大动作电流, 躲过外部最大短路电流时的最大不平衡电流。

图 1 中折线 1 为比率制动式纵差保护的工作特性曲线; 曲线 2 为继电器感受的 TA 误差曲线。

如图 1, 设差动电流  $I_d = I_1 - I_2$ , 制动电流  $I_{res} = (I_1 + I_2) / 2$ 。传统比率制动式纵差保护的工况如下: 正常运行及外部远处短路时 ( $I < I_N$ ), 差动量小于起动值, 继电器不误动; 内部相间故障时, 此

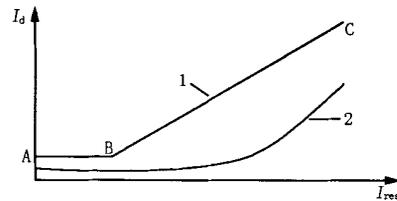


图 1 比率制动式纵差保护的工作特性  
Fig. 1 Characteristics of ratio - braking translay protection

时两侧电流不仅大小不同, 相位也不相同(接近反向), 差流很大, 而制动量却不大, 继电器可靠动作;

外部故障时, 此时一次电流为穿越性电流, 故继电器能感受到制动量, 但由于两侧 TA 特性存在差异, 致使继电器感受到的不平衡差流随故障电流的增大而增大(图 1 中曲线 2), 继电器有时会误动。

由此可以得出此类保护的特点:

(1) 正常运行及外部故障时, 根据基尔霍夫电流定律, 此时一次电流完全相同, 理论上差流为零, 但经过 TA 变换后, 其二次电流出现差流(当严重故障时差流还较大), 需要提高保护的動作值。同时由图 1 可知, 当穿越电流较小时, TA 的误差也较小。

(2) 内部故障时, 两侧电流相位接近反向, 動作量增大的同时制动量减小, 若比率制动系数设置得当, 保护不易拒动。

(3) 对于此类保护, 比率制动系数的设置至关重要。在发电机差动保护中, 当发生区外故障时, 由于受发电机次暂态电抗的限制, 故障电流不会很大; 同时发电机纵差保护只反应相间故障, 误动几率较小。但对于变压器差动保护, 穿越电流可能较大, 加上变压器差动保护所用 TA 必然不同, 从而加大了

继电器中的不平衡差流,为防止变压器差动保护误动,往往人为提高比率制动系数(图1中BC线的斜率),但这样做的同时也使保护反应内部轻微故障的能力降低,对变压器的安全不利。

### 3 继电器误动的原因及传统辅助变流器的缺点

由以上分析可见,导致继电器误动作的不平衡差流产生的根本原因是:TA不能将一次电流完全对应转换成二次电流。传统辅助变流器(简称传统变流器)的功能仅仅是将TA二次电流线性地转换成适合微机保护模数转换单元的电压(电流),由此产生了以下的问题:

(1) 保护用的TA工作范围大。从正常运行时的小于额定电流到短路时的大短路电流,其范围可达十几倍,而微机保护的模数转换单元通常工作范围为20V,为保证保护在整个范围内的精度必须确保辅助电流互感器在整个范围内的线性,同时不得不采取适当措施,如降低额定工况下的A/D转换精度或提高A/D转换位数或使用程控增益放大器等,这必然要牺牲灵敏度或加大成本。

(2) 在保护的工作过程中增加了一个环节。加入辅助电流互感器,就必须考虑辅助变流器的引入带来的误差,如辅助变流器本身特性不一致、功耗是否合适、时间常数如何等等,增加了保护工作的不确定性。

(3) 无法根本上解决由于TA变换带来的误差。即使A/D转换工作区问题得到了解决,且不考虑引入辅助变流器同时带来的磁化特性是否一致、变比误差是否一致等问题,仅仅是辅助变流器将TA二次来的电流线性转换,我们不难发现:采用了这种传统变流器,我们无法克服不平衡电流产生的根本原因,即送入微机保护的数据,依然不能真实地反映TA的一次电流,从而无法保证保护的正确动作。

## 4 一种改进的辅助变流器

### 4.1 饱和特性辅助变流器

如上所述,保护采用比率制动原理是为防止在外部故障时差动保护误动作。此时一次电流为穿越性电流,产生差流是由二次环节导致,另外考虑到差动保护所选TA变比往往留有较大裕度,且由TA误差曲线得知:在较小电流时,TA误差也较小,完全可以由整定计算来考虑。从而我们得到启示:能否使用这样一种变流器:在电流较小TA能正确传变时,

其输出特性为线性;在电流较大TA误差增大时,其输出电压不再变化,为近似平顶波,从而保证在外部穿越故障电流较大时两侧TA经辅助变流器后的输出量仍基本一致,继电器感受到的差流较小,从而减少误动的几率。图2为辅助变流器输入输出特性图,其输入为电流,输出为电压,理想特性为:

$$I < 3 I_N, U = K(I / I_N);$$

$$I > 3 I_N, U = K(I / I_N) = K(3 I_N / I_N) = 3 K$$

在实际应用中,其可能的特性如图2所示,假设在 $15 I_N$ 时输出可近似不变则有:

$$I < 3 I_N, U = K(I / I_N);$$

$$3 I_N < I < 15 I_N, U = K[3 I_N + K_1(I - 3 I_N) / I_N]$$

$$(K_1: \text{饱和系数}, 0.02 \sim 0.05, \text{此处取} 0.05);$$

$$I > 15 I_N, U = K \frac{3 I_N + 0.05(15 I_N - 3 I_N)}{I_N} = 3.6 K$$

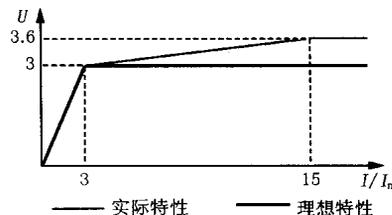


图2 辅助变流器输入输出特性图

Fig.2 Input - output characteristics of auxiliary current transformer

### 4.2 采用饱和特性辅助变流器的差动保护动作行为分析

采用饱和特性辅助变流器(简称饱和变流器)后,对差动保护行为分析如下:

(1) 正常运行及外部远方故障时, $I < 3 I_N$ ,此时TA、辅助变流器皆工作在线性区,误差很小,完全可由起动值和制动特性躲过;

(2) 外部严重故障导致穿越电流较大时,当保护两侧TA输出大于 $3 I_N$ 时,经饱和变流器后的输出量基本相同,保护感受到的差流很小,即使采用了较小的比率制动系数,保护也不会误动;

(3) 内部故障时,虽然保护两侧TA输出大于 $3 I_N$ 时,经饱和变流器后的输出量不再发生变化,使得保护感受到的差流要小于实际差流,但此时由于两侧电流反向,差动量远大于制动量,保护正确动作当无问题。

### 4.3 两种变流器的比较

为说明饱和变流器的优点,从以下两方面将其与传统变流器进行比较:

(1) 性价比高,制造简单。传统变流器大多要求

在  $0 \sim 15 I_N$  内保证线性(国外有些公司产品甚至要求  $100 I_N$  内不饱和),同型号变流器还必须满足磁化特性基本一致以保证在大故障电流下两侧变流器输出基本一致,从而使得变流器体积大、功耗高、要求工艺高、价格较贵;而饱和变流器仅需要在  $0 \sim 3 I_N$  内线性传变,工作范围小,当输入电流大于  $3 I_N$  时,对其输出只要求保持基本不变,从而对工艺的要求降低,有效降低了成本;同时,在满足应用的前提下,其铁芯较小,功耗小,发热量低,更适合微机保护应用。

(2) 保护灵敏度提高。这可以从两方面得到证明:

首先,保护范围增大。由于采用饱和变流器,在整定计算中对 C 点不必再躲过  $3 I_N$  最大外部故障电流时保护感受到的差流,而只需要躲过  $3 I_N$  时保护中的差流,显然保护的比率制动系数可以降低,从而使得保护反应内部轻微故障的能力得到提高。从数学概念上,使用了饱和变流器后,在同样的情况下,将以上特性折算到同一坐标下,饱和变流器的制动特性为多折线(图 3)。

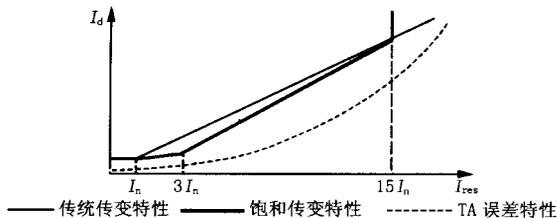


图 3 经两种辅助变流器后的比率制动特性

Fig. 3 Ratio-restraint characteristics between two kinds of auxiliary current transformer

由图 3 可以清楚看出:在同样的起动作值及制动系数下,当两侧 TA 均无饱和现象时,外部故障时双方均不会误动,但前者对内部故障的反应更灵敏,从物理概念上,多折线的比率制动特性更符合继电器感受到的 TA 误差特性。

另一方面,保护精度高。当电流较小时,若采用

相同位数的 A/D 转换器,由于传统变流器工作区 ( $0 \sim 15 I_N$  甚至更大) 远大于饱和变流器 ( $0 \sim 3 I_N$ ),后者 A/D 转换精度高,更有利于微机保护的显示和测量。举例如下:假设采用 10 位精度逐次逼近式 A/D 转换器,其输入量程  $0 \sim 5 V$ ,当被保护元件输入电流为  $0 \sim 3 I_N$  时,传统变流器输出电压范围为  $0 \sim 1 V (3 I_N / (15 I_N) \times 5 V)$ ,而饱和变流器输出电压范围为  $0 \sim 5 V (3 I_N / (3 I_N) \times 5 V)$ ,显然后者的精度是前者的 5 倍。在不增加成本的前提下,后者相当于采用了 12 位精度 A/D 转换器,有利于保护性能的优化。而当电流大于  $3 I_N$  时,如前所述,内部故障双方均正确动作,外部故障时后者能有效避免 TA 误差引起的误动。

综上所述,采用饱和特性辅助变流器的差动保护其性能要优于传统完全传变特性的差动保护。

## 5 结语

在实际工作中,并不是所有的饱和现象都会产生副作用,本文通过对饱和特性辅助电流互感器的分析,证明它不但能满足差动保护的要求,且由于其制造简单,性价比高,在性能方面还优于传统特性的电流互感器,完全可以取代传统的电流互感器。

## 参考文献:

- [1] 王维俭. 电气主设备继电保护原理及应用(第二版)[M]. 北京:中国电力出版社,2002.

收稿日期: 2003-05-01; 修回日期: 2003-10-09

## 作者简介:

李 磊(1974 - ),男,工程师,硕士,研究方向为电力系统继电保护;

马 杰(1963 - ),男,高级工程师,硕士,研究方向为电力系统继电保护;

张 玮(1973 - ),女,工程师,硕士,主要从事电力系统工程管理工作。

## An auxiliary current transformer which can improve performance of differential protection

LI Lei<sup>1</sup>, MA Jie<sup>2</sup>, ZHANG Wei<sup>3</sup>, HUANG Zhong<sup>4</sup>

(1. ShanDong Electric Power Research Institute, Jinan 250002, China; 2. ShanDong Electric Dispatching Center, Jinan 250001, China;

3. LuNeng Integrated Electronic System Co. Ltd. Jinan 250100, China; 4. ZHONGNENG Power Industry Fuel Co. Ltd., Beijing 100761, China)

**Abstract:** As to the widely employed digital protection the performance of auxiliary current transformer has a direct effect on the protection. So a new auxiliary current transformer is proposed. By this current transformer, differential protection can have better ability working under external accident via its easy-saturation characteristics. At the same time the sensitivity to internal accident is not lowered, which can be verified by the analysis of all involved protection actions and using the mathematical and physical terms. All the characteristics enables our new current transformer to take place of the complete linear auxiliary current transformer without any weakness.

**Key words:** differential protection; imbalance current; saturation; auxiliary current transformer