

# 基于模糊原理的牵引变压器差动保护

沈 军,姚晴林,丁 明

(合肥工业大学电气工程系,安徽 合肥 230009)

**摘要:** 在变压器保护的过程中经常会出现决策的不确定性,尤其是牵引变压器,传统的差动保护为了动作的选择性而牺牲其快速性,而模糊法则能最大优化地进行决策,从而使得基于模糊原理的差动保护的快速性和选择性得到最佳的组合。通过实验,证实该保护性能上优于传统的差动保护。

**关键词:** 模糊原理; 牵引变压器; 差动保护; 励磁涌流

**中图分类号:** TM772 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2000)12-0042-03

## 1 引言

由于牵引变压器承受单相不平衡牵引负荷,并且由于牵引机车频繁启动和加速,以及接触线故障的频繁性,使得牵引变压器比同容量、同电压等级电力变压器的工作条件要恶劣得多,因此给牵引变压器配置灵敏快速无误动的保护显得尤为重要。

目前牵引变压器以二次谐波制动的差动保护为主保护。但是,某些情况下二次谐波分量的内容并不能用于正确判定动作状态,在变压器发生内部故障期间也可能存在着较大的二次谐波;另外,当线路发生故障时,其暂态过程使得CT严重饱和,在饱和期间,差动电流可能使得差动保护动作。这些缺点使得传统的差动保护不能满足主保护速动性的要求,可能会引起故障进一步扩大化,带来严重的后果。采用基于模糊逻辑原理的牵引变压器差动保护能完美地解决这个问题,实验效果比较理想,无误动或拒动现象。

## 2 基于模糊原理的差动保护

### 2.1 模糊理论

模糊理论可以用来解决某些因素间相互存在的不确定的关系,在继电保护中可用来反映现象与原因之间的关系。设Y为原因,X为现象,其关系可用模糊关系矩阵R来表示, $R = X \times Y$ ,它是定义在 $X \times Y$ 的模糊关系子集:

$$R = X_i \begin{bmatrix} Y_1 & Y_2 & \dots & Y_j & \dots & Y_n \\ X_1 & r_{11} & r_{12} & r_{1j} & \dots & r_{1n} \\ X_2 & r_{21} & r_{22} & r_{2j} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_i & r_{ij} & r_{il} & r_{ij} & \dots & r_{in} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{(k-1)} & r_{(k-1)1} & r_{(k-1)2} & r_{(k-1)j} & \dots & r_{(k-1)n} \\ X_k & r_{k1} & r_{k2} & r_{kj} & \dots & r_{kn} \end{bmatrix}$$

元素 $r_{ij}$ 的值既可以是固定值,也可以是征兆数值变量 $T$ 的函数 $f(T)$ ,其数值区域为 $[0,1]$ ,当 $r_{ij} = 1$ 时,表示 $X_{ij}$ 的出现完全是由 $Y_j$ 导致的, $r_{ij} = 0$ 时表示 $X_{ij}$ 的出现完全与 $Y_j$ 无关,当 $r_{ij}$ 在 $(0,1)$ 之间时,则表示 $X_{ij}$ 的出现可能是由 $Y_j$ 导致的,其大小表示导致 $X_{ij}$ 出现时 $Y_j$ 存在的可能程度。

本文中,将排除非变压器内部故障的情况分为四种类型,即四个子系统,分别进行讨论。

### 2.2 保护判据的形成

如果保护启动,并且排除给变压器差动保护带来误决策的以下这四种情况,则认为是内部故障,微机保护发跳闸令。

(1) 保护虽启动,但可认为不是励磁涌流的情况( $Y_1$ )

—差动电流大于最大励磁涌流( $X_1$ );

—二次谐波分量小于基波分量的10%( $X_2$ );

—反映铁芯磁通量的电压半波积分量未达饱和值( $X_3$ );

—三相差动电流波形接近于零且持续时间不小于 $1/6$ 周波的情况<sup>[2]</sup>不存在(间断角原理)( $X_4$ );

(2) 保护虽启动,但可认为不是过励磁的情况( $Y_2$ )

—差动电流大于过励磁时应出现的电流值( $X_5$ );

—差流中五次谐波分量小于基波分量的30%( $X_6$ );

—电压积分量未达饱和值( $X_7$ );

(3) 保护虽启动,但可认为不是变压器外部短路引起的CT饱和的情况( $Y_3$ )

—在检测出较大的差动电流之前未出现很大的穿越电流( $X_8$ );

—差动电流大于外部短路时的短路电流( $X_9$ );

- 二次谐波分量小于基波分量的 20% ( $X_{10}$ ) ;
- (4) 保护虽起动,但可认为不是因变压器与 CT 变比不匹配且出现变压器外部短路或重载 (CT 未饱和) 的情况 ( $Y_4$ )
- 差动电流远远小于穿越电流 ( $X_{11}$ ) ;
- 差动电流大于因 CT 变比不匹配和变压器外部短路或重载 (CT 未饱和) 所引起的最大差流值 ( $X_{12}$ ) ;

注意,判据中有重复的情况,比如  $X_1$  与  $X_5$ ,但 由于是针对各种不同的情况,所以其整定值不相同 (显然,最大励磁涌流的整定值大于过励磁电流的整定值)。

### 2.3 基于模糊原理的差动保护

在传统的继电保护中,对状态的分析只会存在两个结果,即有内部故障与无内部故障,它缺少对边界或临界问题的考虑,从而导致保护的误动。在模糊理论中,则考虑到了这个问题,它用一关系函数  $u$  来表示区域的判断。当  $u=1$  时,表明有内部故障。当  $u=0$  时,无内部故障。当  $0 < u < 1$  时,表示在模糊区域内,根据与模糊整定值比较的结果作出动作的判断。该模糊整定值可以在线整定,它能够使得保护在动作速度与选择性之间达到最优配合。

在这里,进行评判时,正如上面所说,将要排除的外部故障情况分为四类,先对每一类进行综合评判,建立被评判对象的评判集,建立单因素评判,然后根据各个因素作用的大小,采用综合加权的方法<sup>[1]</sup>,算出由基本因素组成的模糊概念的隶属度。再对评判结果进行操作。

表 1 为涌流中二次谐波含量与故障诊断之间的关系,也即对  $Y_1$  情况中的第二个判据的隶属度 ( $r_{21}$ ) 进行分析。

表 1 二次谐波和隶属函数之间的关系

故障原因	二次谐波含量
确信内部故障	$T < 10\%$
可能是内部故障或涌流	$15\% > T > 10\%$
确信是涌流	$T > 15\%$

根据以上情况,可进行模糊处理如下(第二式由历史数据通过最小二乘法估计而得):

$$f(T) = \begin{cases} 1.0 & T < 10\% \\ 10.5 - 145T + 500T^2 & 10\% < T < 15\% \\ 0.0 & 15\% < T \end{cases}$$

函数图象表示如图 1。

在此文中,根据文献<sup>[1]</sup>中所提出的方法(加权系

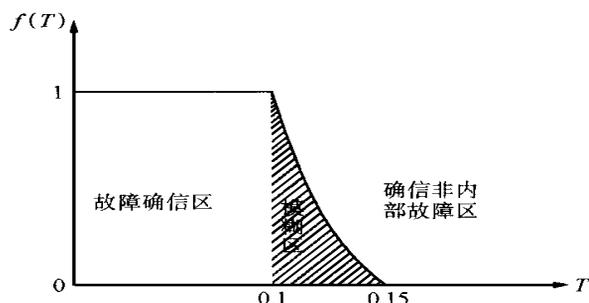


图 1 表达式函数  $f(T)$  图形曲线

数法),对第一种情况,即通过识别涌流状态的判据  $r_{11}$ 、 $r_{21}$ 、 $r_{31}$  与加权系数综合成排除涌流的假设  $Y_1$ , 如下所示:

$$Y_1 = W_1 r_{11} + W_2 r_{21} + W_3 r_{31} + W_4 r_{41}$$

式中,  $W_1$ 、 $W_2$ 、 $W_3$  为反映  $r_{ki}$  各个不同识别力的加权系数,并有如下约束条件<sup>[3]</sup>,

$$W_1 + W_2 + W_3 + W_4 = 1$$

其余三种情况类似。注意,以上情况都是分相判别的。

在情况确定的情况下,可以发现涌流使  $Y_1 = 0$ , 过励磁使  $Y_2 = 0$  等。如果测量值确定是模糊数,而整定值也是模糊数时,则每一判据的实现就可以认为是一个模糊数。

设模糊整定值为  $Bmh$ ,取  $A = \min(Y_1, Y_2, Y_3, Y_4)$ ,当差流大于门槛值时,启动故障判断子程序,如果  $A > Bmh$ ,则排除外部故障情况,确定是内部故障,启动跳闸装置;否则,推出故障判断子程序。程序流程图见图 2。

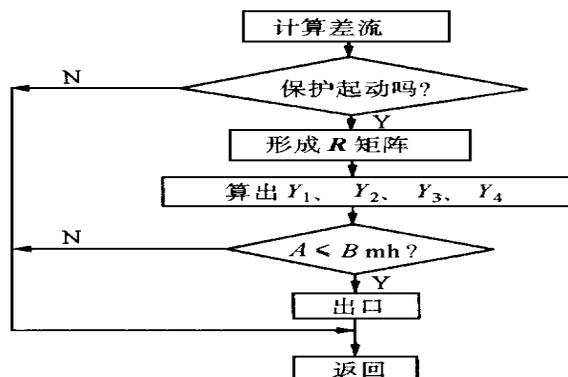


图 2 基于模糊原理的差动保护算法流程图

正如对  $R$  矩阵的确定一样,加权系数与跳闸阈值的整定可以是一个固定值,也可以是一个函数。由于函数法需要大量的故障统计数据以及较多的一手资料,然后进行概率计算,鉴于目前牵引变压器运行资料尚不集中的情况,只进行了一次概率计算(对

R 矩阵的计算),而对加权系数与跳闸阈值的整定则根据专家经验和运行标准来获得,即离线整定加权系数  $W$  与跳闸阈值  $B_{mh}$ 。该加权系数和跳闸阈值必须反复评估,使其在实际运行中更接近实际情况。

### 3 应用举例

为检验本方法的辨别故障的能力,针对一台 10000kVA、110/27.5kV、Y/d-11 型牵引变压器作了一系列试验,下边以变压器空载合闸于 A 相内部接地短路故障情况为例来说明,并将其与二次谐波制动的方法进行比较。共进行五次,其动作时间见表 2。

二次谐波制动法因为三相采用或门制动,所以 B 和 C 相涌流制动了 A 相故障出口,所以动作出口比较迟缓,甚至有过了 5 个周期还没有出口的情况,不能满足速动性的要求。而本文所述模糊法采用分相排除非内部故障情况来确定内部故障,虽然 B、C 相被确认为非内部故障,但 A 相则排除了非内部故障情况,确认为是内部故障,经过大约半个周期就能出口,不会造成拒动。

表 2 模糊法与二次谐波制动法动作时间比较(单位:ms)

次数	模糊法	二次谐波制动法
1	10.2	95.6
2	10.7	73.5
3	10.3	78.4
4	9.8	107
5	11.1	87.5
平均值	10.42	88.4

针对影响内部故障正确判别的四种情况,即非内部故障条件下励磁涌流、过励磁等分别作了试验,实验结果令人满意,无误动情况。

### 4 结论

本文利用模糊原理来识别牵引变压器内部与外

部故障,其仿真结果表明,与传统的二次谐波制动相比,基于模糊原理的差动保护有如下优点:

(1) 在明确的情况下,即是标准的布尔逻辑。

(2) 由于考虑了非确定性,所以即使在模糊不确定的情况下也能确定一个值(该值由系统实际情况确定),避免传统方法考虑选择性而带来的保护延时。比如空载合闸于内部故障或外部故障切除转化为内部故障等情况,前者就能快速而准确地动作。

(3) 该方法具有足够的准确性,比如对因外部故障的暂态过程而使 CT 严重饱和的情况下,本方法能准确识别。

(4) 对于工作在恶劣条件下的牵引变压器,更能体现该方法的优越性。

### 参考文献:

- [1] Wiszniewski A and Kasztenny B. A multi-criteria differential transformer relay based on fuzzy logic. IEEE Transactions on Power Delivery, 1995, 10(4): 1786 ~ 92.
- [2] Wiszniewski A. Digital algorithms for differential protection of power transformers. 1981, 9th Power System Computational Conference 1981, Butterworths: 725 ~ 731.
- [3] Kasztenny B, Rosolowski E, M M Saha and Hillstrom B. A self-organizing fuzzy logic based protective relay: An application to power transformer protection. IEEE Transactions on Power Delivery, 1997, 12(3): 1119 ~ 1127.
- [4] 杨伦标,高英仪.模糊数学原理及应用.广州:华南理工大学出版社,1993.
- [5] 贺威俊,简克良,等.电气化铁道供电工程.北京:中国铁道出版社,1986.

收稿日期: 2000-06-29

作者简介: 沈军(1975-),男,硕士研究生,从事电力系统及电气化铁道继电保护和自动化方面的研究; 姚晴林(1932-),男,教授,长期从事电力系统继电保护方面的研究; 丁明(1959-),男,教授,电气工程学院副院长,主要从事电力系统动态分析、故障计算及电力市场方面的研究和开发工作。

### Fuzzy theory based differential protection of traction transformer

SHEN Jun, YAO Qing-lin, DING Ming

(Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

**Abstract:** During the protection of transformer, the uncertainty of decision-making often occurs, especially for traction transformer. The traditional protection reduces the speed to gain selectivity. However, the fuzzy method can optimize the decision, and as a result the differential protection based on fuzzy theory can gain the optimal combination between speed and selectivity. By experiments, it proves that the fuzzy theory based differential protection is more excellent than the traditional differential protection in performance.

**Key words:** fuzzy theory; traction transformer; differential protection; energizing inrush current