

变压器涌流 Hamming 贴近度模糊识别原理分析

吴俊, 王磊, 黄佳霖, 庞远峰

(广州供电局变电一部, 广东 广州 510245)

摘要: 针对某一变电站变压器投运时继电保护装置的误动, 根据现场实测的故障录波波形和数据, 判断出误动是由于主二保护装置没有正确的进行励磁涌流闭锁造成的。在保护装置的技术说明文档中查明了主二保护装置励磁涌流闭锁原理后, 应用数学方法分析了此类型保护装置的励磁涌流判据, 指出了 Hamming 贴近度模糊识别原理的种种不稳定性因素。针对其缺陷, 提出了一种神经网络结构和 Hamming 贴近度模糊识别原理相结合的多隶属函数判别方法。

关键词: 差动保护; 励磁涌流; 模糊识别原理; 电力系统; 变压器

Analysis of transformer inrush current hamming close degree fuzzy recognition theory

WU Jun, WANG Lei, HUANG Jia-lin, PANG Yuan-feng

(Guangzhou Power Supply Bureau, Guangzhou 510245, China)

Abstract: Transformer relay protection equipment misoperated when the transformer was ready to run in a substation. According to the fault wave graphics and data, error action of transformer relay protection equipment is caused by loss of magnetic inrush current closedown of second relay protection equipment. After investigating the magnetic inrush current closedown elements of second protection equipment in the technology documents, this paper analyses the magnetic inrush current criterion by mathematics method, points out the instability of hamming close degree fuzzy recognition theory. Aiming at its bug, this paper puts forward a multi-subordinate function criterion solution based on the combination of nerve network framework and hamming close degree fuzzy recognition theory.

Key words: differential protection; magnetic inrush current; fuzzy recognition theory; power system; transformer

中图分类号: TM77

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2007)12-0001-04

0 引言

现阶段的变压器差动保护主要面临两个问题: 一是正确鉴别励磁涌流和内部故障短路电流, 进行正确的励磁涌流闭锁, 防止误动; 二是区分外部故障和内部故障^[1]。运行经验表明, 现阶段的差动保护在区分区内和区外故障上有很高的准确率, 而对励磁涌流和内部故障短路电流的区分上仍然准确度不高, 因此励磁涌流和内部故障短路电流的判别是变压器差动保护的关键问题。近年来, 国内外许多学者致力于变压器继电保护的研究, 提出了不少判别励磁涌流的新原理和新方法^[2]。其中基于模糊识别原理的变压器励磁涌流判据已经在一些保护装置得到了应用^[3]。

然而, 变电站的实际运行情况表明, 应用模糊识别原理的变压器差动保护并不能很好地鉴别励磁涌流和内部故障短路电流, 有一定的误动率。本文从实际出发, 通过对一起变电站事故的详细分析,

从理论上分析了 Hamming 贴近度模糊识别原理的缺陷, 对模糊识别原理的完善有一定的意义。

1 事故简介

1.1 事故描述以及相关报文

按照工作计划对某 220 kV 变电站#2 主变进行充电准备投运。充电过程中, #2 主变主二保护于当天 23:51:01 动作, 差动保护 B 相出口, 跳开高压侧开关, 导致送电失败。以下是相关报文:

.....

23:51:01 #2 主变主二保护启动

23:51:01 #2 主变主二差动保护 B 相出口

23:51:01 #2 主变主一保护启动

.....

在主二保护装置误动之前, 此站 220 kV、110 kV 电压等级部分均在正常运行方式下, #2 主变在热备用状态。系统一次接线简图如图 1。

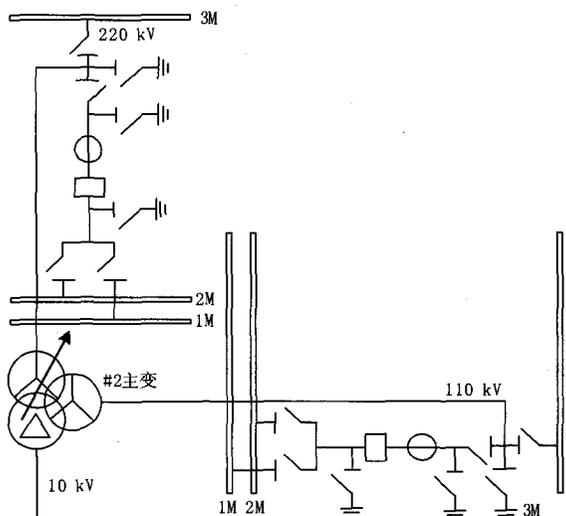


图1 系统一次接线图
Fig.1 Electric primary system

1.2 #2 主变保护说明

某变电站#2主变差动保护采用的是某公司的两套数字式变压器保护装置。主一保护和主二保护的区别只是差动主保护(CPU2)软件中励磁涌流的闭锁原理不同,主二保护采用 Hamming 贴近度模糊识别原理,分相闭锁。主一保护采用二次谐波制动原理。根据故障录波图形,初步认定可能是由于应用 Hamming 贴近度的模糊识别原理作为励磁涌流判据的主二保护没有躲开励磁涌流的影响进行了误判,误跳了高压侧开关。

到现场对#2主变主二保护装置及进行检查,结果表明,保护装置各项指标较好,对不是励磁涌流性质的差动电流能够正确动作。

2 故障波形分析

打印出故障录波分析装置录波图形报告见图2。

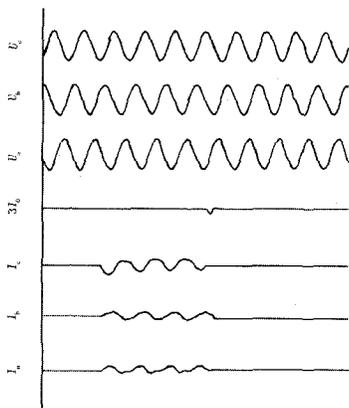


图2 故障波形
Fig.2 Fault wave graphics

记录下来#2主变变高套管 I_a, I_b, I_c 和#2主变变高 U_a, U_b, U_c 故障前二个周波和故障后八个周波有效值(二次侧)列于表1。

表1 故障数据
Tab.1 Fault data

I_a/A	I_b/A	I_c/A	U_a/V	U_b/V	U_c/V
0.064	0.062	0.018	60.11	60.28	60.25
0.527	0.241	0.723	59.84	60.13	59.65
1.893	2.533	4.168	59.43	59.44	58.77
1.727	2.112	3.437	59.39	59.36	58.76
1.684	1.999	3.184	59.31	59.25	58.67
1.483	1.982	3.187	59.63	59.32	58.98
0.328	1.088	1.737	60.09	60.19	60.18
0.056	0.440	0.813	59.95	60.15	60.02
0.017	0.139	0.370	59.88	60.04	59.98
0.050	0	0.171	59.9	60.02	60.06

通过对波形图和数据分析可知, #2主变变高套管 I_a, I_b, I_c 明显具有励磁涌流性质而不是故障时的电流。运用 Hamming 模糊识别原理制动的主二保护装置没有正确的进行励磁涌流闭锁, 仅仅闭锁了 A, C 两相, 差动保护 B 相出口误跳开关。运用二次谐波原理制动的#1保护装置则正确进行了励磁涌流闭锁。

3 模糊识别原理缺陷分析

近年来, 利用变压器的励磁支路^[4]非线性特性来鉴别励磁涌流的方法^[5]逐渐受到关注, 提出了许多基于神经网络、小波变换^[6]、模糊理论的鉴别方法, 并已经在电力变压器励磁涌流鉴别研究中得到了较大的进展, 其中, 基于模糊理论的模糊识别原理得到了一定的实际应用。

3.1 主二保护制动原理概述

主二保护装置说明书对其模糊识别原理的说明如下:

装置采用三相差电流的差流导数的比值作为励磁涌流闭锁判据, 制动判据如下:

设差流导数为 $I_{(k)}$, 每周的采样点数为 $2n$ 点, 对数列

$$X_{(k)} = \frac{|I_{(k)} + I_{(k+n)}|}{|I_{(k)}| + |I_{(k+n)}|} \quad k=0, 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

可认为 $X_{(k)}$ 越小, 该点所含的故障信息越多, 即故障的可信度越大; 反之, $X_{(k)}$ 越大, 该点所包含的涌流信息越多, 即涌流的可信度越大。适当取一个模糊隶属函数 $A[X_{(k)}]$ 来识别上述的可信度, 综合

半周信息, 对 $k=0, 1, 2, \dots, n$, 求得模糊贴近度为:

$$N = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n |A[X_{(k)}]| \quad (2)$$

取门槛值为 K , 当 $N > K$ 时, 认为是故障, 当 $N < K$ 时, 认为是励磁涌流。下面对此原理进行分析。

3.2 对波形的分析

典型的变压器励磁涌流波形如图 3。

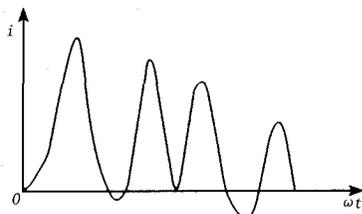


图 3 励磁涌流

Fig.3 Magnetic inrush current

典型的变压器故障电流如图 4。

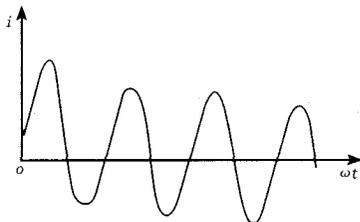


图 4 故障电流

Fig.4 Fault current

根据 3.1, 现将变压器的励磁涌流和故障电流分别进行差流微分, 每周的采样点数设为 $2n$ 点, 若差动电流第 i 个采样的微分为 $I_{(k)}$, 则后半波的差动电流微分为 $I_{(k+n)}$, 以数列 (1) 为研究对象, 由于经差流微分滤波后, 励磁涌流前半波与后半波的波形会呈现出很明显的不对称性, 而故障电流前半波与后半波的波形基本上是对称的, $X_{(k)}$ 的大小反映了波形的对称程度。其值越大, 说明波形越不对称, 是励磁涌流的可能性越大; 其值越小, 说明波形越对称, 是故障电流的可能性越大。根据此特点, 可以对采样电流进行差分滤波, 通过整定门槛值 K , 对其前半波与后半波作对称比较来辨识励磁涌流和故障电流, 将式 (2) 中 N 值与 K 进行比较来判断是否要闭锁差动保护。

3.3 对模糊识别原理的分析

模糊集合是指具有某个模糊概念所描述的属性的对象的全体^[7]。模糊集合理论是研究讨论模糊不确定性问题的方法。贴近度法是模糊模式识别的基本方法。模糊集合这一概念的出现使得数学的思

维和方法可以用于处理模糊性现象, 从而构成了模糊集合论的基础。近年来, 模糊集合理论在电力系统中得到了许多应用^[8]。

模糊集合可定义为: 设在论域 X 上给定了一个映射 $A: X \rightarrow [0, 1]$, $x \rightarrow A(x)$, 则称 A 为 X 上的模糊集, $A(x)$ 称为 A 的隶属函数。 $A(x)$ 值越大, x 属于 A 的可能性越大。 $A(x)$ 的值在 $[0, 1]$ 之间。贴近度是对两个模糊子集接近程度的一种度量。Hamming 贴近度的描述是, 对于模糊集合 A 和 B , 若 $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, 则贴近度为:

$$N(A, B) = 1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |A(x_i) - B(x_i)|$$

X 为闭区间 $[a, b]$ (3)

由此可见, 3.1 所述的模糊贴近度对应于 $B(x_i) = 1$ 的情况, 即:

$$N(A, 1) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |A(x_i)| \quad (4)$$

$N(A, 1)$ 的值在 $[0, 1]$ 之间, $N(A, 1)$ 的值越大, 则模糊集合 A 和 1 越接近, 由于对称的故障电流隶属函数接近于直线 $A(x_i) = 1$, 因此, N 越大, 说明装置采集到点包含的故障信息越多, 电流是故障电流的可能性越大; N 越小, 说明电流是励磁涌流的可能性越大。Hamming 贴近度模糊识别原理是判断变压器励磁涌流和故障电流的一种数学方法。

3.4 不稳定因素分析

由以上分析可知, 主二保护装置的模糊识别原理具有以下不稳定因素:

1) 选择正确的门槛值 K 具有一定的困难性。根据 3.3 的分析, 对于标准的对称正弦变化量, K 值可以取 1 左右。然而变压器在发生短路故障时, 故障电流同样含有很多的高频分量和非周期分量, 即使使用数学方法滤去部分非周期分量和高频分量, 故障电流波形仍然可能不对称于时间轴, 前后半波仍然存在不对称性, 受此影响, K 值可能会达到 0.6 以下。种种不确定性因素使得选取合适的 K 值是非常困难的。

2) 该原理的出发点是建立在处理过后的励磁涌流波形前后半周很不对称而故障电流总是非常对称的基础上。在实际运行中, 由于长输电线引起的高次谐波及电流互感器饱和等因素的影响, 使得非对称性励磁涌流间断角部分消失, 这时励磁涌流波形变得对称, 而故障电流的对称性会被严重削弱。这些不利因素都会使保护误动或延迟动作。

3) 隶属函数的选取直接影响到保护动作的准确率。隶属函数最好选取正态分布函数, 然而连续

量的正态分布函数并不易获得。面对随机性较强的各种短路故障,单靠固定的隶属函数是很难达到要求的。

3.5 解决方案

对于 3.4 所述的 1),可以建立浮动门槛的 K 值以适应各种实际情况的需要,满足灵敏性和可靠性的要求。

对于 3.4 所述的 2)和 3),经分析可知,仅仅靠单一判据是不可靠的,需要针对各种不同的故障特征信息,建立多重判据。

4 结论

综上所述,基于 Hamming 贴近度模糊识别原理的主二保护,由于实际故障电流和励磁涌流的复杂性以及判据的单一,误动的情况是有一定几率发生的。此种判别方式有待进一步的完善。

5 前景展望

模糊理论已经在各个领域得到了越来越多的应用,虽然在现阶段,将模糊理论应用到变压器差动保护中尚处于摸索阶段,但是,它仍然在动作时间上要远远短于传统的二次谐波制动保护。如果将神经网络结构^[9]和 Hamming 贴近度模糊识别原理相结合,利用神经网络的学习计算功能来形成合适的隶属度和模糊推理规则,同时,针对各种故障特征量引入多个隶属函数^[10],采用模糊积分将各个判据按权重综合,这样就能够较好地克服该原理固有的缺陷。

参考文献

- [1] 王维俭.电气主设备继电保护原理与应用(第二版)[M].北京:中国电力出版社,2002.
WANG Wei-jian. Electric Equipment Relay Protection Theory and Application(Second Edition)[M]. Beijing:China Electric Power Press, 2002.
- [2] 吕志娟,刘万顺,肖仕武,等.一种快速识别变压器励磁涌流和内部故障的新方法[J].中国电机工程学报,2006,26(2): 47-51.
Lu Zhi-juan, LIU Wan-shun, XIAO Shi-wu, et al. A Novel Scheme to Fast Discriminate Inrush Current from Internal Fault of Power Transformer[J]. Proceedings of the CSEE, 2006,26(2): 47-51.
- [3] 王昕,朱成,宋永明,等.模糊理论在识别变压器励磁涌流中的探讨[J].继电器,2000,28(8): 46-47,58.
WANG Xin, ZHU Cheng-zhu, SONG Yong-ming, et al. Discussion on Application of Fuzzy Theory in Exciting
- Rush Current in Transformer[J]. Relay,2000,28(8): 46-47,58.
- [4] 郝治国,张保会,褚云龙,等.变压器空载合闸励磁涌流抑制技术研究[J].高压电器,2005,41(2): 81-84.
HAO Zhi-guo, ZHANG Bao-hui, CHU Yun-long, et al. Study on Inrush Current Restraining Technology when Energizing No-load Transformer[J]. High Voltage Apparatus,2005,41(2): 81-84.
- [5] 郝治国,张保会,褚云龙.变压器励磁涌流鉴别技术的现状和发展[J].变压器,2005,42(7): 23-27.
HAO Zhi-guo, ZHANG Bao-hug, CHU Yun-long. Trend and Situation of Distinguish Technology of Transformer Magnetizing Inrush Current[J]. Transformer,2005,42(7): 23-27.
- [6] 李贵存,刘万顺,贾清泉,等.一种利用小波原理防止变压器差动保护误动的新算法[J].电网技术,2001,25(7): 48-51.
LI Gui-cun, LIU Wan-shun, JIA Qing-quan, et al. A New Algorithm to Prevent Misoperation of Transformer Differential Protection Based on Principle of Wavelet Transform[J]. Power System Technology,2001,25(7): 48-51.
- [7] 高庆狮.新模糊集合理论基础[M].北京:机械工业出版社,2006.
GAO Qing-shi. New Fuzzy Aggregate Theory Basis[M]. Beijing: China Machine Press, 2006.
- [8] 黄登峰,郁惟镛.基于模糊集合理论的变压器匝间短路保护算法及仿真研究[J].电网技术,2002,26(1): 11-14.
HUANG Deng-feng, YU Wei-yong. A Fuzzy Set Theory Based Protection Algorithm for Turn to Turn Fault of Power Transformer and Its Simulation[J]. Power System Technology, 2002,26(1): 11-14.
- [9] 潘荣贞,都惟镛,蔡华嵘.运用模糊神经网络来区分变压器励磁涌流和内部故障[J].继电器,2001,29(12): 8-12.
PAN Rong-zhen, YU Wei-yong, CAI Hua-rong. Use Fuzzy Neural Network to Discriminate Transformer Magnetizing Inrush and Internal Faults[J]. Relay, 2001,29(12): 8-12.
- [10] 王昕,朱成,宋永明,等.模糊理论在识别变压器励磁涌流中的探讨[J].继电器,2000,28(8): 46-47,58.
WANG Xin, ZHU Cheng-zhu, SONG Yong-ming, et al. Discussion on Application of Fuzzy Theory in Discriminating Exciting Rush Current in Transformer[J]. Relay,2000,28(8): 46-47,58.

收稿日期:2007-01-15; 修回日期:2007-04-08

作者简介:

吴俊(1981-),男,硕士研究生,从事继电保护研究;

E-mail:wujun1981cn@yahoo.com.cn

王磊(1981-),男,硕士研究生,从事继电保护研究;

黄佳霖(1982-),男,工程师,从事电力系统运行工作。