

一种基于波形相关原理新算法

杜玲¹, 李波²

(1. 新余高等专科学校数学与信息科学系, 江西 新余 338031; 2. 江西省赣西供电公司, 江西 新余 338031)

摘要: 提出了一种基于波形相关性的变压器励磁涌流鉴别新算法。新算法通过新的最大代数和法将采集到的一周波变压器差流分成两段等长度的波形, 由这两段波形的特殊相关系数和方差构成鉴别励磁涌流的判据。计算结果表明: 该算法的波形相关原理能准确识别各种励磁涌流。新算法使波形相关判据有更高的可靠性和灵敏度。

关键词: 变压器; 差动保护; 波形相关; 励磁涌流

A new algorithm based on symmetry principle of current waveforms

DU Ling¹, LI Bo²

(1. Department of Mathematics and Science, Xinyu College, Xinyu 338031, China;

2. Jiangxi Ganxi Power Supply Company, Xinyu 338031, China)

Abstract: A new algorithm of discrimination between inrush current and fault current of transformer based on symmetry principle of current waveforms is proposed in this paper. The wave of the transformer differential current can be divided to two parts by the largest algebraic sum of the sampling data, and the criterion to distinguish magnetizing inrush is made up by this two parts. Computer simulation show that all types of magnetizing inrush can be correctly identified with the proposed new algorithm and can quickly clear internal fault current of transformer. The new algorithm is more advanced than others.

Key words: transformer; differential protection; waveform correlation; magnetizing inrush

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)07-0022-04

0 引言

快速正确识别励磁涌流是变压器差动保护中的核心问题。二次谐波制动原理、间断角原理在差动保护中获得了广泛应用, 但存在缺陷。因此, 快速、正确、灵敏识别励磁涌流是继电保护工作者关心的问题。到目前为止, 已有多种不同原理识别涌流的方法。

工程上普遍采用的二次谐波制动和间断角原理越来越不能满足现代变压器差动保护的要求。采用三相二次谐波综合制动的方式来防止励磁涌流引起的误动作, 在合闸于内部故障时保护动作速度很慢。间断角原理的优点是能够快速切除合闸于内部故障。其缺点是 CT 饱和和间断角消失, 必须采取某些措施来恢复间断角, 增加了保护的复杂性。同时由于 CT 饱和的非线性, 要精确恢复间断角存在困难。有的间断角差动保护还采用波宽鉴别的辅助判据, 在带长线的变压器内部故障时, 丰富的谐波分量会延长保护的动作时间。

由于二次谐波制动原理和间断角原理存在局

限性, 近年来, 提出了一些利用波形形状、大小和变化率等多种特征来鉴别励磁涌流和故障电流的方法。比较波形前、后半周波形相似性或对称性识别励磁涌流的方法已在实践中应用, 并有较好的效果。采用前、后半周波形相关的算法识别励磁涌流也有不少文章阐述。如文献[1~6]介绍了多种波形相关原理, 但都存在一定的缺陷。本文对波形相关法原理进一步深入研究, 提出一种新的波形相关系数计算方法。该相关算法识别励磁涌流有灵敏、可靠的优点, 算法有新特点。

1 波形相关法基本原理

波形相关法是利用波形识别, 比较 1 周波数据窗内前半波波形的形状和大小来区别励磁涌流和故障电流。图 1 是利用 MATLAB 仿真得到的变压器典型的内部故障电流、对称性励磁涌流、非对称性励磁涌流波形图。从图 1 可以看出, 变压器故障电流波形的前半周期和后半周期有明显的相似性, 在不考虑直流分量的影响的情况下, 波形几乎相同。励磁涌流波形包含大量的二次谐波和高次谐波, 在波

形以间断角和波形不对称的形式出现, 电流波形的前半周期和后半周期表现不完全的不相似性。波形相关性原理正是利用了形状和大小这些特征来区分变压器励磁涌流和故障电流。

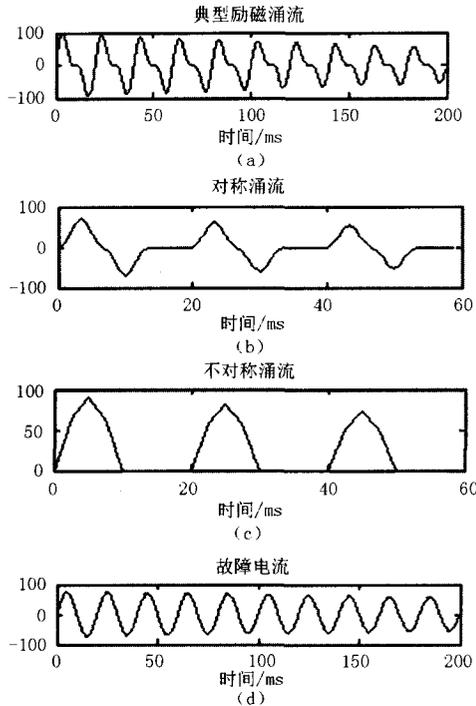


图1 各种励磁涌流波形和故障波形
Fig.1 Inrush current waves and fault waves

波形相关法原理有两个关键:

(1) 怎么确定相关性比较的一周波数据窗的起始点。

(2) 波形相关系数算法的确定。文献[1]和文献[6]都采用了最大面积法来确定一周波数据窗的起始点, 其原理是: 将1个周期采样数据等周期的延拖, 形成2个周期数据窗。但是由于直流衰减分量的影响, 人为地增加了波形的不对称性。

2 波形相关原理新算法

文章采用一种新的确定数据窗起始点的方法。设变压器差流每周期采样点数为 N , 取2个周期采样点数作为观测数据窗(长度 $2N$)。用于计算的短数据窗长度为 $N/2$ 。

首先, 判断观测数据窗中励磁涌流的方向。在观测数据窗中求得差流的最大值 $|I_{\text{Max}}|$ 和 $|I_{\text{Min}}|$ 。如果 $|I_{\text{Max}}| \geq |I_{\text{Min}}|$ 表示正向偏置差流; 如果 $|I_{\text{Max}}| < |I_{\text{Min}}|$ 则为负向偏置差流。

再确定进行相关性比较的一周波数据窗的起始

点。由观测数据的起始点开始, 依次向后移动一个采样点, 计算短数据窗内采样点的代数和 $S_{(M)}$, $M = 1 \cdots N/2$ 。比较 $N/2$ 个短数据窗内采样点代数和的大小。如果差流是正向偏置, 取 $\text{Max}S_{(M)}$; 如果差流是负向偏置取 $\text{Min}S_{(M)}$ 。此时获得 $S_{(M)}$ 最大值或最小值时刻的 K_s 就是要确定的起始点。

设变压器差流为 $i(k)$, 可以得到

$$S_{(M)} = \sum_{k=0}^{k=N/2} i(k), \text{ 共有 } N/2 \text{ 个代数和值, 比较它}$$

们就可以得到想要的的数据窗。此方法对励磁涌流和故障电流有很高的判别欲度, 使故障电流的波形系数很快达到整定值, 而且原理简单, 非常容易用软件实现, 运算时间为纳秒级的。

如图2所示: 根据上面的分析, 可以把一个周期分为等长的两部分, 将后半周期(后半虚框中数据)取反, 再与前半周期(前半框中数据)进行相关分析。

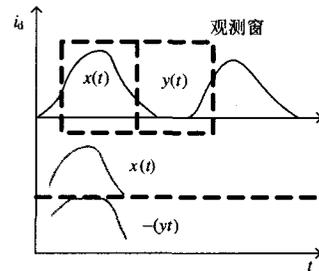


图2 励磁涌流

Fig.2 Inrush current

3 改进波形系数计算

文献[1]用变压器差流模拟信号提出了一种波形系数的算法。其主要原理如下:

将1周期长数据窗分成等长的2段, 分别为 $x(t)$, $y(t)$ 。将前半周波设为 $x(t)$ 并与 $-y(t)$ 做相关分析后得知: 如图所示励磁涌流, 数据窗内前后半周波形形状不相同, 大小和变化率也不相同, 即完全不相关。而故障电流仅含有直流分量, 其前半周与负后半周的波形形状是完全一致的, 即完全相关。

引进数学中的知识, 设:

$$E(Y) = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} y(t) dt \quad (1)$$

$$E(X) = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} x(t) dt \quad (2)$$

$$\sigma(X) = \sqrt{E(X - E(X))^2} \quad (3)$$

$$\sigma(Y) = \sqrt{E(Y - E(Y))^2} \quad (4)$$

$$\text{Cov}(X, Y) = E(XY) - E(X)E(Y) \quad (5)$$

相关系数反映了两个波形的相似程度，两个波形的形状越相似，其相关系数越大，反之亦然。当两个波形形状相同时相关系数等于 1。均方差则反映了波形偏离平均值的程度。波形的变化率越大、幅值越大，其均方差也越大。对非对称励磁涌流而言，当 CT 未充分饱和时，按照文献[1]的最大面积法确定一周波数据窗的起始点，其 $x(t)$ 与 $y(t)$ 的相关性较差；而对称性励磁涌流， $x(t)$ 与 $y(t)$ 的相关程度比起非对称性励磁涌流要高，当间断角较小时，相关性更强。但其与故障电流的情况仍有较明显的区别。

对故障电流有：

$$\text{Cov}(X, Y) = 1, \sigma(Y) = \sigma(X);$$

对励磁涌流则有：

$$\text{Cov}(X, Y) < 1, \sigma(X) > \sigma(Y).$$

继续分析得到：故障电流时，在衰减的非周期分量影响下，波形 $y(t)$ 的均方差比波形 $x(t)$ 的均方差大，即 $\sigma(Y) > \sigma(X)$ ；励磁涌流时， $\sigma(X)$ 很小，对间断角未消失的非对称涌流而言， $\sigma(X)$ 远大于 $\sigma(Y)$ 。

根据相关系数数学公式，综合考虑了 $\sigma(X)$ ， $\sigma(Y)$ 和误差量的大小，提出一种计算公式。

$$\rho_{XY} = \frac{\text{Cov}(X, Y)}{\sigma(X)\sigma(Y)} \quad (6)$$

$$J = \frac{\text{Cov}(X, Y)}{\sigma(X)\sigma(Y)} \times \frac{\sigma(Y)}{\sigma(X)} \quad (7)$$

进一步为了计算方便和进一步减少误差，最终将波形相关系数计算公式改为：

$$J = \frac{\text{Cov}(X, Y)}{\sigma^2(X)} \times \frac{\sigma^2(Y)}{\sigma^2(X)} \quad (8)$$

J 为波形系数，可以看到表达式中充分利用了 $\sigma(X)$ 、 $\sigma(Y)$ 所包含的信息，通过式 (8) 计算出的波形相关系数更精确，运算计算时间短，这些正是变压器保护最关键地方之一。

设 J_{zd} 为 J 的整定值，鉴别故障和励磁涌流的判据为：

$$|J| = \begin{cases} < J_{zd} & \text{为励磁涌流} \\ > J_{zd} & \text{为故障电流} \end{cases} \quad (9)$$

由于在实际保护装置中，经采样得到的电流、电压或其它数据是离散序列。可以根据数字信号处

理，得到式(8)的离散序列算法：

$$J = \frac{\sum_{k=0}^{k=N/2} x(k)y(k) - \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{k=N/2} x(k) \sum_{k=0}^{k=N/2} y(k)}{\sum_{k=0}^{k=N/2} x^2(k) - \frac{2}{N} \left(\sum_{k=0}^{k=N/2} x(k) \right)^2} \times \frac{\sum_{k=0}^{k=N/2} y^2(k) - \frac{2}{N} \left(\sum_{k=0}^{k=N/2} y(k) \right)^2}{\sum_{k=0}^{k=N/2} x^2(k) - \frac{2}{N} \left(\sum_{k=0}^{k=N/2} x(k) \right)^2} \quad (10)$$

4 模拟计算结果分析

根据前面图 1 给出的(a)(b)(c)三种励磁涌流波形和(d)所示的变压器内部故障波形，采用上面提出的新波形相关算法计算。一个周波内任意一点做观测数据窗的起始点，得出的波形相关系数分别如图 3 所示。

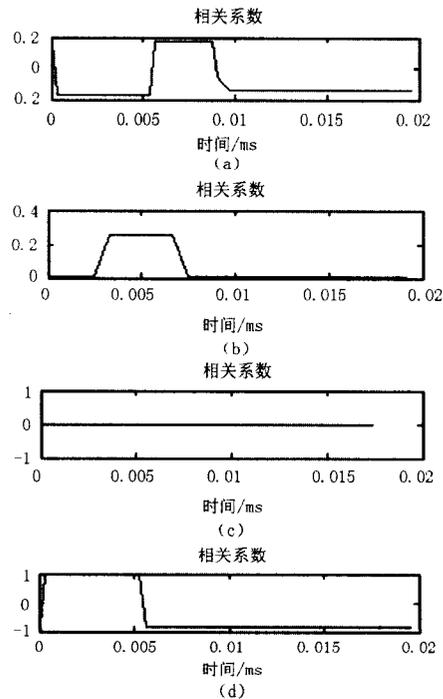


图 3 相关系数计算结果

Fig.3 Calculated results of correlation factor

四种电流波形的相关系数计算结果的范围如表 1 所示。

表 1 相关系数范围

Tab.1 Related coefficient range

故障类型	相关系数范围
典型励磁涌流	-0.1745~0.1716
对称涌流	0.0003~0.2520
不对称涌流	0
内部故障电流	-0.8450~0.9560

可以得到:根据本文算法,变压器励磁涌流时的波形相关系数绝对值不大于0.6;变压器内部故障电流时的波形相关系数绝对值不小于0.8.这样就可以判断出励磁涌流和内部故障电流。

5 结论

文章对变压器励磁涌流和内部故障进行深入研究,在以前的波形相关系数理论的基础上,提出了一种最大代数和法来确定波形相关数据窗的起始数据点。并充分利用该数据窗波形的大小、形状和变化率等多种涌流特征量,进一步确定波形相关系数的计算表达式。本文的算法在理论上说,可快速正确、灵敏地识别各种形式的励磁涌流,模拟算例已证实了这点。

参考文献

- [1] 何奔腾,徐习东.波形比较法变压器差动保护原理[J].中国电机工程学报,1998,18(6):395-398.
HE Ben-teng,XU Xi-dong.Protection Based on Wave Comparison[J]. Proceedings of the CSEE, 1998,18(6): 395-398.
- [2] 林湘宁,刘世明,等.几种波形对称法变压器差动保护原理的比较研究[J].电工技术学报,2001,16(4):44-49.
LIN Xiang-ning, LIU Shi-ming, et al. Study on Comparisons Among Some Waveform Symmetry Principle Based Transformer Differential Protection[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2001,16(4):44-49.
- [3] 毕大强,张项安,等.基于非饱和区域波形相关分析的励

磁涌流鉴别方法[J].电力系统自动化,2006,30(6):16-20.

- BI Da-qiang,ZHANG Xiang-an, et al.Correlation Analysis of Waveforms in Non-saturation Zone Based Method to Identify Magnetizing Inrush in Transformer[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006,30(6): 16-20.
- [4] 许正亚.几个励磁涌流新判据分析[J].电力自动化设备,2002,22(1):23-28.
XU Zheng-ya. Analysis on Several New Criteria of Inrush Current[J]. Electric Power Automation Equipment, 2002,22(1):23-28.
- [5] 宋芸,乐秀璠,等.励磁涌流鉴别方法在变压器保护中的应用[J].继电器,2002,30(10):85-89.
SONG Yun,LE Xiu-fan, et al.The Application of Inrush Current Identification Method in Transformer Protection[J].Relay, 2002, 30(10):85-89.
- [6] 林湘宁,刘沛,等.利用改进型波形相关法鉴别励磁涌流的研究[J].中国电机工程学报,2001,21(5):56-60.
LIN Xiang-ning,LIU Pei, et al.Study for Identification of the Inrush Based on Improved Correlation Algorithm[J]. Proceedings of the CSEE, 2001, 21(5):56-60.

收稿日期:2008-05-28; 修回日期:2008-07-04

作者简介:

杜玲(1982-),女,研究生,从事数学与信息科学教学工作;E-mail: duling000@126.com

李波(1981-),男,硕士研究生,从事电力系统继电保护工作。

(上接第21页 continued from page 21)

CHEN Kui,TANG Yi, MENG Qing-hai. Detecting Single-phase-to-ground Faulted Feeder in Resonant Grounded Power Distribution System[J]. Journal of China University of Mining &Technology, 2006,35(1): 104-108.

- [14] 吕干云,程浩忠,翟海保,等.基于改进灰色关联分析的变压器故障识别[J].中国电机工程学报,2004,24(10):121-126.
Lü Gan-yun, CHENG Hao-zhong, ZHAI Hai-bao, et al. Fault Diagnosis of Power Transformer Based on Improved Grey Relation Analysis[J]. Proceedings of the CSEE, 2004,24(10):121-126.
- [15] 张慧芬,潘贞存,田质广.基于可辨识矩阵的单相接

地故障选线新方法[J].中国电力,2006,39(11):33-36.
ZHANG Hui-fen, PAN Zhen-chun, TIAN Zhi-guang. Discernable Matrix Method Based Method for Selecting Single Phase Grounding Feeder[J]. Electric Power, 2006,39(11):33-36.

收稿日期:2008-05-18; 修回日期:2008-06-30

作者简介:

梁睿(1981-),男,讲师,博士研究生,研究方向为供电安全、智能电器在电力系统的应用;E-mail: cumtlr@126.com

王崇林(1957-),男,博士,教授,博士生导师,从事供电安全、配网自动化等方面的研究。