

基于不同傅里叶算法之间相似度的励磁涌流鉴别方法

陈俊, 严伟, 陈佳胜, 郭自刚, 沈全荣

(南京南瑞继保电气有限公司, 江苏省南京市 211100)

摘要: 利用半波傅里叶算法计算的差流基波幅值与绝对门槛值相比较来鉴别励磁涌流和内部故障电流, 存在定值整定困难的缺点。提出了一种改进算法, 利用全波和半波傅里叶算法计算的差流基波幅值之间的波形相似系数进行励磁涌流鉴别, 克服了原方法的上述不足。理论分析和大量动模试验表明: 该方法能够可靠区分励磁涌流和变压器内部故障电流, 并对对称性励磁涌流具有较好的识别效果, 在空载合闸于内部轻微匝间故障时, 差动保护仍能快速动作出口。

关键词: 励磁涌流; 内部故障电流; 相似度; 半波傅里叶算法

中图分类号: TM772; TM401.1

0 引言

长期运行经验表明纵差保护能够灵敏地区分变压器区内和区外故障, 但在变压器空投和外部故障切除后电压恢复时, 则可能会出现数值可与内部故障电流相比拟的励磁涌流, 导致差动保护误动。当前变压器差动保护的关键问题仍然是如何准确鉴别励磁涌流和内部故障电流。

目前, 变压器差动保护广泛采用二次谐波制动原理。但是, 随着现代变压器铁心材料的变化, 使得励磁涌流中的二次谐波含量降低, 保护容易误动; 而远距离长线路输电, 使得内部故障时暂态电流内的谐波含量增加, 延长了差动保护的動作时间^[1]。因此, 有必要进一步研究新的励磁涌流识别判据。

由于变压器保护的重要性和励磁涌流的复杂性, 促使了对励磁涌流问题的不断研究。目前已有多种励磁涌流识别方法, 其中基于波形特征识别的方法以其运算量小且能够反映差流波形的多种特征信息而备受关注^[2~6]。

本文在文献[5]的基础上, 提出了一种改进算法, 利用全波和半波傅里叶算法计算的差流基波幅值之间的波形相似系数(相对值)进行励磁涌流识别, 克服了文献[5]中绝对门槛值难以整定的缺点。理论分析和大量动模试验表明本文提出的判据能够可靠区分励磁涌流和内部故障电流, 且其运算量小, 定值整定简单, 具有实际应用价值。

1 理论基础

理论分析和大量动模试验表明, 变压器内部故

障电流具有类似于标准正弦波的波形; 而励磁涌流波形则畸变严重, 在波形上以间断角和波形不对称出现, 含有大量的谐波分量, 尤其以偶次谐波为主。

半波傅里叶算法以其数据窗短、响应速度快而被广泛应用, 但该算法只能滤除奇次谐波分量, 衰减非周期分量和偶次谐波分量是其误差源。而全波傅里叶算法具有良好的滤波性能, 不受偶次谐波的影响。半波傅里叶算法能够反映偶次谐波分量的影响, 而偶次谐波分量正是励磁涌流的一个重要特征, 因此可利用半波傅里叶算法来识别励磁涌流。

为了削弱衰减非周期分量对滤波算法的影响, 本文在用全波和半波傅里叶算法求取幅值之前, 均先对变压器差流进行一阶差分滤波, 差分公式如下:

$$\Delta i_d(k) = \frac{i_d(k) - i_d(k-1)}{2\sin \frac{\pi}{N}}$$

式中: N 为 1 个周期内的采样点数; $2\sin(\pi/N)$ 为一阶差分滤波基波补偿系数。

图 1 为动模试验获得的励磁涌流波形, 其中, i_d 为差流原始波形, I_d 为差流基波幅值, I_{m1} 和 I_{m2} 分别为差流采用全波傅里叶算法和半波傅里叶算法计算得到的基波幅值。本文中所有差流波形及其幅值的纵坐标均以额定电流 I_e 为单位。

可见, 用全波傅里叶算法计算得到的幅值基本上是一条比较平滑的线, 无法反映励磁涌流的尖顶波和间断角特性; 而用半波傅里叶算法计算得到的幅值随着励磁涌流波形的变化而剧烈变化。其根本原因是半波傅里叶算法能够反映励磁涌流中所含有的大量偶次谐波分量, 而全波傅里叶算法不受偶次谐波的影响。

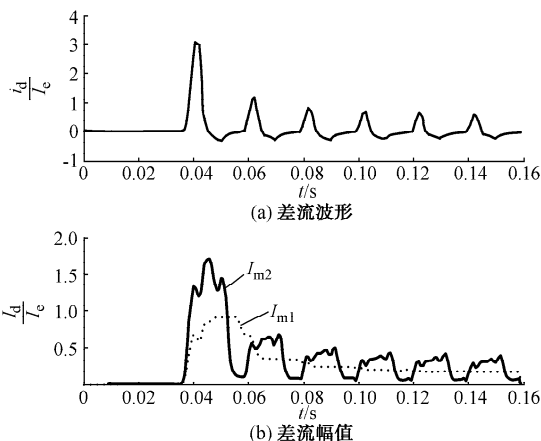


图 1 励磁涌流
Fig. 1 Magnetizing inrush current

图 2 为动模试验获得的变压器内部故障差流的波形,同样对差流分别采用全波和半波傅里叶算法进行幅值计算,由于变压器内部故障差流中的偶次谐波含量较少,全波和半波傅里叶算法的计算结果相近。

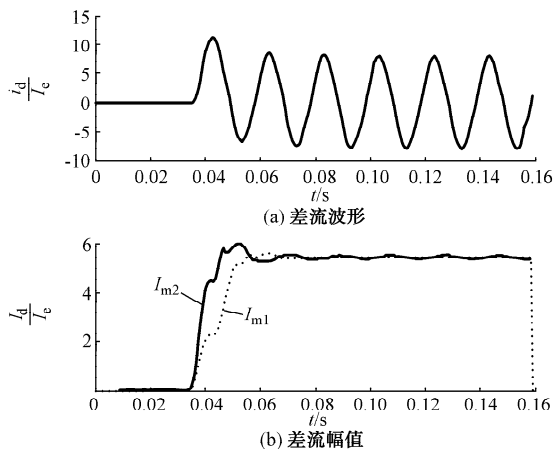


图 2 内部故障电流
Fig. 2 Internal fault current

根据以上分析,比较 2 种算法计算结果的相似程度,即可区分励磁涌流和内部故障电流。

2 变压器励磁涌流识别判据

为了评价全波和半波两种傅里叶算法计算结果的相似度,本文引入非参数相似系数的数学方法^[6],定义如下波形相似系数:

$$\rho(k) = \frac{\sum_{j=1}^N \min(I_{m1}(k-j), I_{m2}(k-j))}{\sum_{j=1}^N \max(I_{m1}(k-j), I_{m2}(k-j))}$$

式中: ρ 为波形相似系数; k 为当前采样点。

显然, $0 \leq \rho \leq 1$, ρ 越接近 1 表示相似程度越高。

对于变压器内部故障差流, ρ 接近于 1;而对于励磁涌流差流, ρ 为较小值。合理设置 ρ 的阈值 ρ_{zd} ,即可构成如下励磁涌流识别判据:

$$\begin{cases} \rho < \rho_{zd} & \text{判为励磁涌流} \\ \rho \geq \rho_{zd} & \text{判为内部故障} \end{cases}$$

由于空载合闸时三相励磁涌流的波形相似系数均低,为了能够快速切除空载合闸时的内部故障,采用分相制动方式。

3 动模试验数据验证

为了验证本文励磁涌流识别判据的可行性,用 MATLAB 数字仿真软件对大量的变压器动模试验数据进行分析。动模试验系统的接线如图 3 所示。

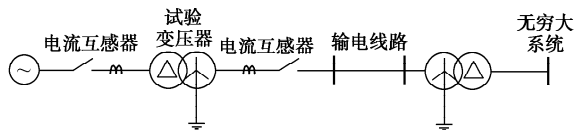


图 3 动模试验系统
Fig. 3 Dynamic simulation testing system

在图 3 所示的动模试验系统中,试验变压器为 Y,d 联接的三单相变压器组。单相变压器的参数为:额定容量 10 kVA,高压侧额定电压 1 kV,高压侧额定电流 17.32 A,低压侧额定电压 380 V,额定电流 45.58 A。保护装置的采样率为每周期 24 点。

变压器两侧电流互感器均采用全星形接线,由于 Y- Δ 相位校正的关系,任一相差动电流实际上是两相差流之差。动模试验包括空载合闸、内部故障以及空载合闸于内部匝间故障。各种工况下的动模试验结果如下。

3.1 空载合闸

变压器高压侧空载合闸的励磁涌流试验结果如图 4 所示。

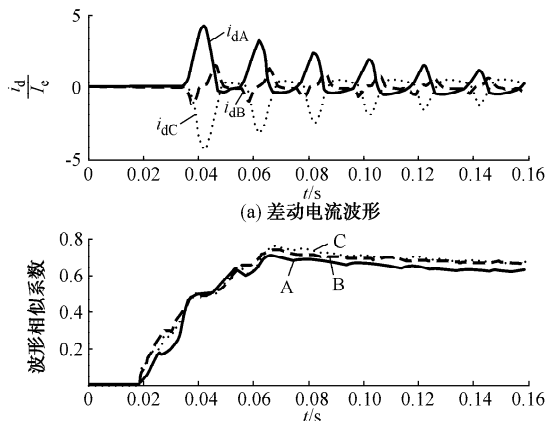


图 4 空载合闸
Fig. 4 Switching on transformer with no load

由图 4(b)可见,波形对称系数对单向励磁涌流和对称性励磁涌流的数值反映几乎是一致的,均在 0.8 以下,因此对对称性励磁涌流同样具有较好的识别效果。

3.2 内部故障

图 5 为变压器高压侧 A 相 5% 匝间故障时的动模试验结果。

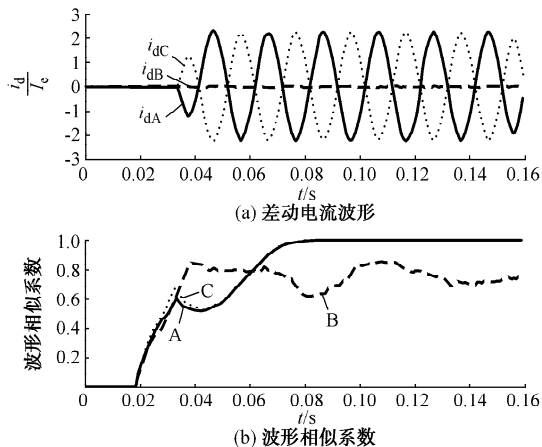


图 5 内部故障
Fig. 5 Internal fault

可见,故障特征相 i_{dA} 和 i_{dC} 的波形相似系数在故障后不到 1.5 个工频周期后超过 0.9, A 相和 C 相差动保护可在 1.5 个工频周期内动作出口。而 B 相差流仅仅是变压器正常运行时的励磁电流,不会超过差动保护动作门槛,其波形相似系数没有实际意义。

3.3 空载合闸于内部故障

变压器空载合闸于内部故障时,励磁涌流和故障电流可能同时存在。图 6 为变压器空载合闸于高压侧 A 相 2.5% 匝间短路故障的动模试验结果。

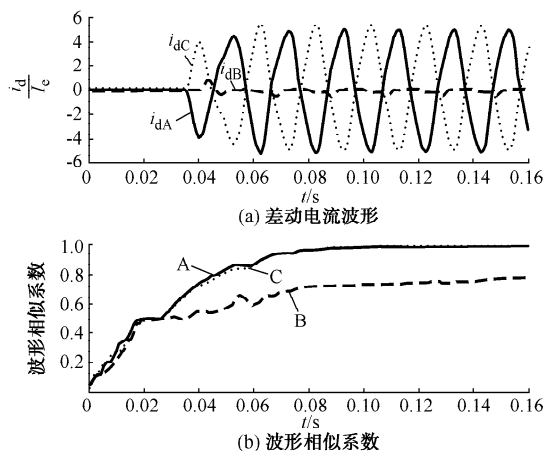


图 6 空载合闸于内部故障

Fig. 6 Switching on transformer with internal fault

可见, A 相和 C 相差流的波形相似系数在故障后不到 1.5 个工频周期后超过 0.9, A 相和 C 相差动保护快速动作出口。而 B 相差流为变压器的正常励磁电流或励磁涌流,其波形相似系数在 0.7 以下, B 相差动保护不会动作。

大量动模试验结果表明,变压器内部故障电流的波形相似系数接近 1,而励磁涌流的波形相似系数在 0.8 以下,考虑一定的可靠裕度,波形相似系数的门槛值可整定为 0.85,确保变压器空载合闸时差动保护可靠制动,而在内部故障或空载合闸于内部故障时差动保护快速动作。

4 结语

本文在对半波傅里叶算法的滤波特性进行深入研究的基础上,结合变压器励磁涌流和内部故障电流的波形特征,提出了一种基于全波和半波傅里叶算法之间相似度的变压器励磁涌流识别新方法,并用大量动模试验数据验证了其可行性。该方法具有以下特点:①充分利用了二次谐波以外的偶次谐波分量,具有较好的励磁涌流制动效果;②对对称性励磁涌流同样具有较好的识别效果;③基于该原理的变压器差动保护在空载合闸于内部轻微匝间故障的情况下,不受健全相的影响,保护仍然能够快速动作出口。

参考文献

- [1] 唐跃中,刘勇,郭勇,等.几种变压器励磁涌流判别方法的特点及其内在联系分析.电力系统自动化,1995,19(9):53—59.
TANG Yue-zhong, LIU Yong, GUO Yong et al. Analysis of Some Typical Methods for Checking Magnetizing Surge in Transformer. Automation of Electric Power Systems, 1995, 19(9): 53—59.
- [2] 孙志杰,陈云仑.波形对称原理的变压器差动保护.电力系统自动化,1996,20(4):42—46.
SUN Zhi-jie, CHEN Yun-lun. Transformer Differential Protection Based on the Characteristic Analysis of the First and Second Half Cycle of the Magnetizing Inrush Current. Automation of Electric Power Systems, 1996, 20(4): 42—46.
- [3] 李贵存,刘万顺,刘建飞,等.用波形拟合法识别变压器励磁涌流和短路电流的新原理.电力系统自动化,2001,25(14):15—18.
LI Gui-cun, LIU Wan-shun, LIU Jian-fei et al. New Principle of Discrimination Between Inrush Current and Fault Current of Transformer Based on Forecasted Waveform. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(14): 15—18.
- [4] 李贵存,刘万顺,滕林,等.基于波形相关性分析的变压器励磁涌流识别新算法.电力系统自动化,2001,25(17):25—28.
LI Gui-cun, LIU Wan-shun, TENG Lin et al. A New Algorithm of Discrimination Between Inrush Current and Fault Current of Transformer Based on Self-correlation Analysis. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(17): 25—28.

- [5] 韩正庆,高仕斌,李群湛. 基于半波傅里叶算法的励磁涌流识别方法. 电力系统自动化, 2005, 29(14): 60—63.

HAN Zheng-qing, GAO Shi-bin, LI Qun-zhan. New Method to Identify Inrush Current Based on Half-wave Fourier Analysis. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(14): 60—63.

- [6] 陈俊. 基于涌流识别新判据的变压器差动保护的研究: [硕士学位论文]. 南京: 东南大学, 2003.

CHEN Jun. Study on the Power Transformer Differential Protection Based on a New Method Used to Identify the Magnetizing Inrush, Thesis. Nanjing: Southeast University,

2003.

陈俊(1978—),男,硕士,主要从事电气主设备微机保护的研究与开发工作。E-mail: chenjun@nari-relays.com

严伟(1975—),男,硕士,工程师,主要从事电气主设备微机保护的研究与开发工作。

陈佳胜(1975—),男,硕士,工程师,主要从事电气主设备微机保护的研究与开发工作。

Novel Identification Method for Magnetizing Inrush Current Based on the Comparability of Different Fourier Algorithm

CHEN Jun, YAN Wei, CHEN Jia-sheng, GUO Zi-gang, SHEN Quan-rong
(Nari-Relays Electric Co Ltd, Nanjing 211100, China)

Abstract: It is difficult to set the value by comparing the amplitude of differential current from half-wave Fourier algorithm and absolute threshold value to identify magnetizing inrush current from inside fault current. Hence this paper presents an improved method to solve the problem, taking the advantage of similar coefficients of differential current magnitudes calculated by full-wave and half-wave Fourier algorithm. Theoretical analysis and dynamic simulation results indicate that the proposed method can distinguish magnetizing inrush current including symmetrical inrush current from internal fault current. The transformer differential protection based on the above criteria can trip rapidly and reliably even if transformer is switched on with slight internal turn-to-turn fault.

Key words: magnetizing inrush current; internal fault current; similar coefficient; half-wave Fourier algorithm