

文章编号:1671-251X(2012)02-0052-04

DOI:CNKI:32-1627/TP.20120113.1320.015

变压器主保护新判据的研究

何人望¹, 谢伟¹, 宋海燕², 吴迅¹

(1. 华东交通大学电气与电子工程学院, 江西 南昌 330013;

2. 湖南大学电气与信息工程学院, 湖南 长沙 410082)

摘要:针对传统的变压器主保护无法正确识别变压器励磁涌流与内部故障电流的问题,提出了一种基于差动电流间断角的变压器主保护新判据。该判据采用 sym4 小波变换对变压器励磁涌流及内部故障电流信号进行处理,得出两者在 d1 尺度下间断角的明显差异特征,从而可正确区分变压器励磁涌流与内部故障电流。仿真结果验证了该判据的有效性。

关键词:变压器主保护;小波变换;励磁涌流;故障电流;间断角

中图分类号:TD611.5 文献标识码:A 网络出版时间:2012-01-13 13:20

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20120113.1320.015.html>

Research of a New Criterion of Main Protection of Transformer

HE Ren-wang¹, XIE Wei¹, SONG Hai-yan², WU Xun¹

(1. School of Electrical and Electronic Engineering of East China Jiaotong University,

Nanchang 330013, China.

2. College of Electrical and Information Engineering of Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: In view of problems that traditional main protection of transformer cannot identify inrush current and internal fault current of transformer, the paper proposed a new criterion of main protection of

收稿日期:2011-09-26

基金项目:华东交通大学科研基金资助项目(09DQ08)

作者简介:何人望(1963-),男,江西信丰人,副教授,博士研究生,现主要从事电力系统及其自动化、继电保护等方面的研究工作。E-mail: freeman2he@126.com

4 结语

针对煤矿井下直流架线式电机车 PWM 整流系统易受电网电压不平衡影响的问题,研究了一种用于电网电压不平衡时抑制交流侧负序电流分量的控制策略,并将该控制策略应用到煤矿井下 10 t 直流架线式电机车上。仿真及现场实验结果表明,该控制策略消除了三相电压不平衡的影响,降低了谐波次数,减小了 PWM 整流系统的体积,节省了牵引变流所的占地空间,效果显著。

参考文献:

[1] 顾永辉,范廷璠.煤矿电工手册(修订本)第三分册:煤矿固定设备电力拖动[M].北京:煤炭工业出版社,1999.

[2] SOOD V K. HVDC and FACTS Controllers Applications of Static Converters in Power Systems [M]. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2004.

[3] WU Rusong, DEWAN S B, SLEMON G R. Analysis of an AC-to-DC Voltage Source Converter Using PWM with Phase and Amplitude Control [J]. IEEE Transactions on Industry Application, 1991(3): 355-364.

[4] 周永鹏,赵金程.三相电压型 PWM 整流的新型直接功率控制[J].电气传动,2011(3):40-42,47.

[5] 单栋梁,宋书中,马建伟,等.能量回馈式电压型 PWM 整流器的研究[J].工矿自动化,2010(6):77-80.

[6] 杨国清.电网电压不平衡双馈风力发电机改进控制方法[J].电力系统及其自动化学报,2011(4):76-81.

[7] 张崇巍,张兴. PWM 整流器及其控制[M].北京:机械工业出版社,2003.

transformer based on dead angle of differential current. The criterion uses sym4 wavelet transform to process inrush current and internal fault current of transformer and obtains obvious difference characteristics of dead angles of the both under d1 scale, so as to identify inrush current and internal fault current of transformer correctly. The simulation result validated effectiveness of the criterion.

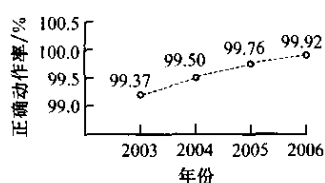
Key words: main protection of transformer, wavelet transform, inrush current, fault current, dead angle

0 引言

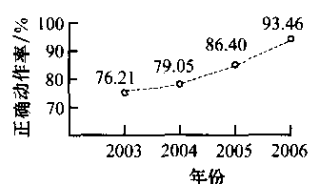
电力变压器是电网中最重要的设备之一,它承担着整个电网的电能传输和电压转换任务,因此,其安全稳定运行是实施智能电网的有效保障。2003—2006年全国继电保护的运行情况如图1所示。从图1可看出,线路保护正确动作率呈逐年上升的趋势,但变压器主保护正确动作率总体仍然偏低。变压器主保护从2003年的76.21%提高到2006年的93.46%,整体提高了17.25%,但与线路保护正确动作率相比仍然低6.46%^[1-3]。造成变压器主保护与线路保护差距的主要原因:

(1) 变压器两侧不是单纯的电气线性关系,由于铁芯与线圈的存在,变压器两侧还存在磁耦合关系。

(2) 变压器是静止的电动机,具有电动机的一切特性。因此,变压器在空载合闸瞬间存在励磁涌流,该电流一般可达到正常负荷电流的6~8倍^[4]。



(a) 220 kV及以上线路保护正确动作率



(b) 220 kV及以上变压器主保护正确动作率

图1 2003—2006年全国继电保护的运行情况

由于上述原因,变压器主保护一直以来在原理上不能准确区分励磁涌流与内部故障电流。如何区别励磁涌流和内部故障电流对进一步提高变压器主保护的正确动作率有着重大的理论和现实意义。

因此,探索新的变压器主保护原理是变压器主保护的发展需求,本文提出一种变压器主保护新判据。该判据从工程实现的角度出发,运用小波变换

实现对励磁涌流和内部故障电流信号的暂态识别。仿真结果表明,该判据原理简单、识别准确。

1 小波分析在励磁涌流和故障电流识别中的应用

小波分析是一种信号的时间—尺度分析方法,它具有多分辨率分析(Multi-Resolution Analysis, MRA)的特点,而且在时频两域都具有表征信号局部特征的能力,很适合于探测正常信号中夹带的瞬态反常现象。因此,利用小波变换对电网中的电气量进行动态暂态分析,具有良好的故障检测与诊断效果^[5-7]。

函数 $\Psi \in L^2(R)$ 称为二进小波,如果存在 2 个正数 A 与 B , $0 < A \leq B < \infty$, 使式(1)成立(其中 $\hat{\Psi}$ 是小波函数 Ψ 的傅里叶变换),则表明二进小波是稳定和完备的。

$$A \leq \sum_{j=-\infty}^{+\infty} |\hat{\Psi}(2^j \omega)| \leq B \quad (1)$$

式中: ω 为频率; 2^j 为二进序列尺度因子, j 为尺度因子的指数次方, $j \in \mathbb{Z}$, 2^j 的大小代表对应的小波在时间轴上的伸缩。

二进小波变换虽然是冗余的,但可以构造为用平移不变小波表示,即尺度 s 被离散化而平移参数 n 不能被离散化。为了简化数值计算,尺度沿着二进序列 $\{2^j\}$ 被采样。 $f \in L^2(R)$ 的二进小波变换定义为

$$Wf(u, 2^j) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \frac{1}{\sqrt{2^j}} \Psi\left(\frac{t-u}{2^j}\right) dt = f \times \hat{\Psi}_{2^j}(u) \quad (2)$$

式中: $Wf(u, 2^j)$ 为沿二进序列进行采样的小波变换; $\Psi(\frac{t-u}{2^j})$ 为母小波函数 $\Psi(t)$ 经过不同的尺度伸缩和不同的时间平移得到的; u 为时间平移参数,不同 u 值的小波沿时间轴移动到不同的位置。

其中

$$\hat{\Psi}_{2^j}(t) = \Psi_{2^j}(-t) = \frac{1}{\sqrt{2^j}} \Psi\left(-\frac{t}{2^j}\right) \quad (3)$$

采用卷积定义方式(式(2))更适合表达小波变

换对信号的滤波作用。因此,小波变换广泛用于电力系统中。

本文利用离散小波变换对励磁涌流及内部故障电流信号进行处理,即采用 sym4 小波变换后在 d1 尺度下,变压器励磁涌流及内部故障电流的间断角具有明显差异,从而可区分变压器励磁涌流与内部故障电流。

2 仿真模型建立与仿真分析

采用 Matlab 仿真软件分别搭建了变压器励磁涌流仿真模型和变压器内部故障电流仿真模型,如图 2 和图 3 所示。

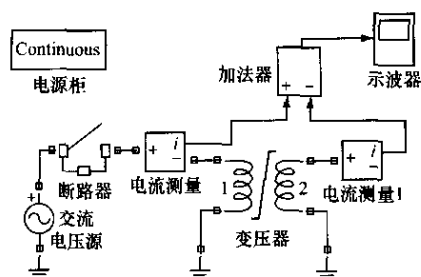


图2 变压器励磁涌流仿真模型

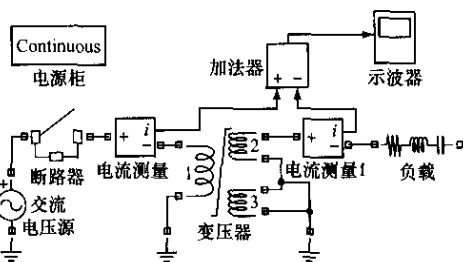


图3 变压器内部故障电流仿真模型

在 Simulink Power System 库中选用合适的电力模块,配置特定的参数:电源为 30 MV · A、50 Hz,变压器容量为 1 000 kV · A、50 Hz,11 kV/380 V,Y/△接线方式,变压器一次侧电阻和电感值(标么值)为 $R_1=0.002$, $X_1=0.08$,变压器二次侧电阻和电感值(标么值)为 $R_2=0.002$, $X_2=0.08$ 。上述参数是参考实际的变压器供电系统进行选取的,得到了较为准确的变压器励磁涌流和内部故障电流波形(见图 4 和图 5),最后通过 WAVEMENU 小波工具箱选用 sym4 离散二进小波对图 4、图 5 进行处理分析,分析结果如图 6 和图 7 所示。

从图 6 可看出,变压器励磁涌流波形经 sym4 小波变换后,在 d1 尺度下有明显的间断角;从图 7 可看出,变压器内部故障电流波形经 sym4 小波变换后,在 d1 尺度下无明显的间断角。因此,可利用上述规律,对其中的间断角进行量化,这样就可构成

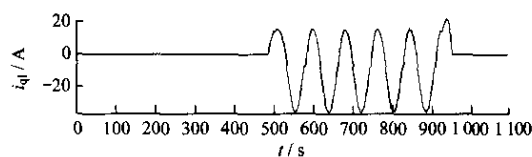


图4 变压器励磁涌流波形

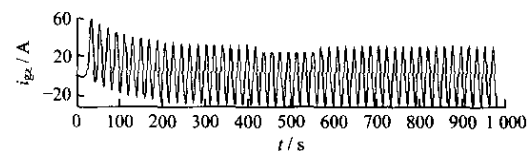
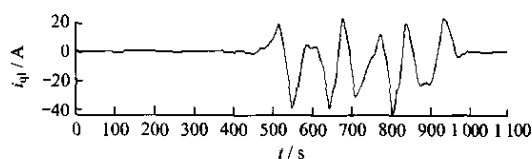
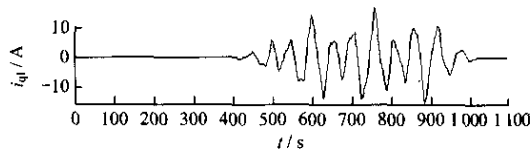


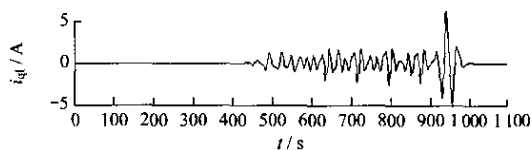
图5 变压器内部故障电流波形



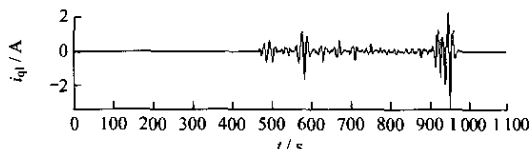
(a) 小波离散信号波形



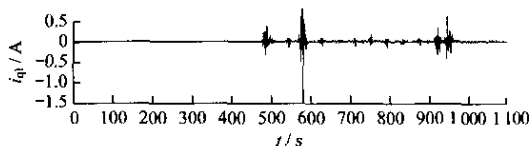
(b) d5 尺度下的波形



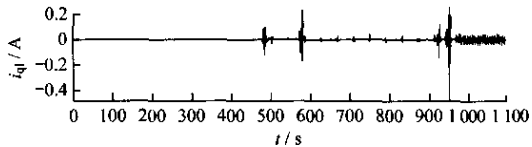
(c) d4 尺度下的波形



(d) d3 尺度下的波形



(e) d2 尺度下的波形



(f) d1 尺度下的波形

图6 采用二进小波分析变压器励磁涌流信号的结果

基于差动电流间断角的变压器主保护新判据,准确动作于变压器故障,进而大大提高变压器主保护的可靠性。

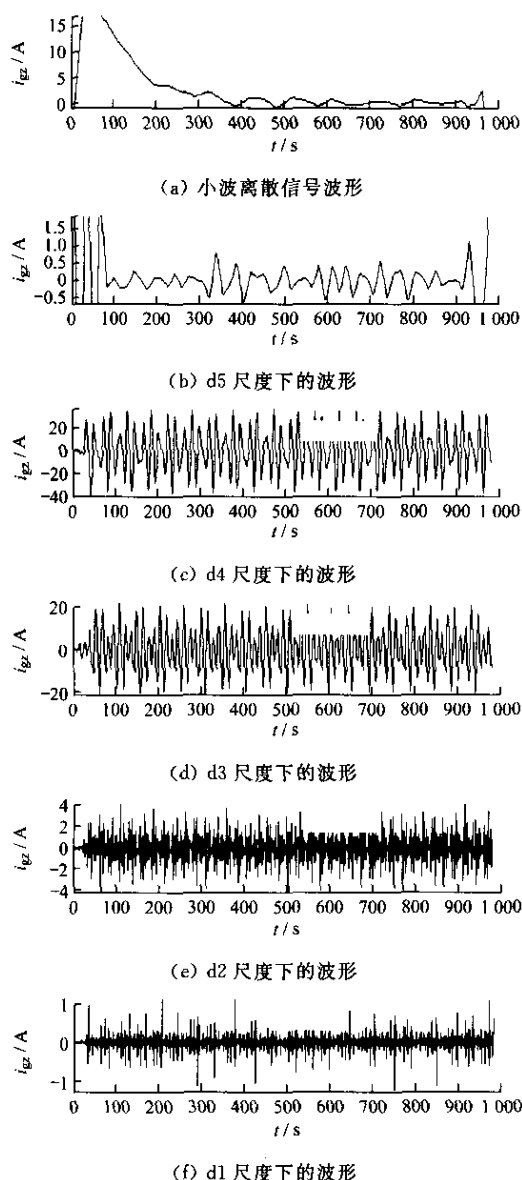


图7 采用二进小波分析变压器内部故障电流信号的结果

3 变压器主保护新判据的动作特性

根据仿真结果可得出变压器主保护新判据如下:

(1) 当差动电流间断角 $\phi_{cd} > \text{整定间断角 } \phi_{sd}$ 时, 变压器主保护闭锁, 属于励磁涌流。

(2) 当最小速断电流间断角 $\phi_{sd} < \phi_{cd} < \phi_{sd}$ 时, 属于间断角比率制动区域, 为轻微故障, 为避免误动, 在该区域内变压器主保护设有几毫秒的延时, 具体可根据现场要求设置。

(3) 当 $\phi_{cd} < \phi_{sd}$ 时, 属于速断区域, 变压器主保护无延时, 直接动作。

变压器主保护新判据的动作特性如图8所示, 其中 K_{br} 为动作时间系数, 由 ϕ_{sd} 和 ϕ_{cd} 决定。

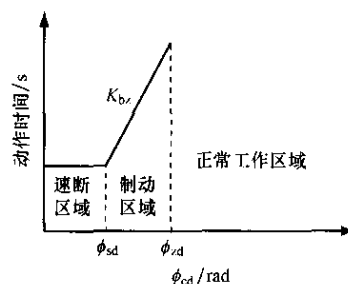


图8 变压器主保护新判据的动作特性

4 结语

通过 Matlab 及 WAVEMENU 分别对变压器励磁涌流和内部故障电流进行了仿真模型搭建及波形分析, 比较了变压器励磁涌流和内部故障电流在 sym4 小波变换下的暂态区别, 从而得出一种基于差动电流间断角的变压器主保护新判据, 并通过进一步分析, 得出了变压器主保护新判据的动作特性, 即把变压器运行的状态划分为 3 个动作区域: 励磁涌流闭锁区域; 带延时的间断角比率制动区域; 无延时的速断区域。所有区域的动作特性简单, 便于算法实现, 在工程应用中只需采样差动电流, 在处理器中固化 WAVEMENU, 然后对差动电流进行小波分解, 得出差动电流间断角即可准确判定是内部故障电流还是励磁涌流。

参考文献:

- [1] 国家电力信息网. 国网公司继电保护十年综述[EB/OL]. (2007-02-28)[2011-09-22]. http://www.sp.com.cn/rdzt/dljj/200702/t20070228_45015.htm.
- [2] 周玉兰, 王玉玲, 赵曼勇. 2004 年全国电网继电保护与安全自动装置运行情况[J]. 电网技术, 2005, 29(16): 42-48.
- [3] 刘涛, 曾祥利, 曾军. 实用小波分析入门[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006.
- [4] 王增平, 徐岩, 王雪, 等. 基于变压器模型的新型变压器保护原理的研究[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(12): 54-58.
- [5] 谢伟, 何人望, 宋海燕. 一种新型变压器差动保护启动元件[J]. 华东交通大学学报, 2010, 27(5): 58-62.
- [6] 陈琛, 张举, 成敬周. 基于分布式神经网络的变压器励磁涌流鉴别的研究[J]. 继电器, 2004, 32(24): 36-39.
- [7] 刘玉欢, 陆于平, 袁宇波, 等. 基于磁制动原理的特高压变压器励磁涌流快速识别[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(34): 52-57.