

# 一种基于负荷电流检测的电流互感器饱和识别辅助判据

陈丽艳, 何奔腾

(浙江大学电气工程学院, 浙江 杭州 310027)

**摘要:** 电流互感器饱和识别是电流差动保护亟待解决的难题之一。通过分析 CT 饱和电流特征, 指出目前提出的许多饱和识别方法主要是根据饱和电流的某个或多个特征来进行饱和识别的。而负荷电流由于其电流值比较小, 肯定不会引起 CT 饱和, 但是当 CT 流经负荷电流时, 有些 CT 饱和判别方法可能会失效。通过分析负荷电流的特征, 从 CT 肯定不会饱和的角度考虑, 提出了一种基于负荷电流检测的抗 CT 饱和方法, 该方法能准确识别负荷电流, 而且特征清晰、原理简单, 也比较容易实现, 可以作为目前提出的 CT 饱和判别方法的一个辅助判据。

**关键词:** 电流差动保护; 电流互感器饱和; 负荷电流; 谐波比

## An assistant criterion for distinguishing current transformer saturation based on the load current detection

CHEN Li-yan, HE Ben-teng

(School of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

**Abstract:** Distinguishing the current transformer saturation is one of difficulties for current differential protection. Therefore, many methods have been proposed to detect CT saturation based on one or more current transformer saturation characteristics, but some may not work reliably when the primary current is the load current, which does not result in current transformer saturation due to its small value. Based on the load current characteristics, a new anti-CT-saturation method for distinguishing load current is put forward in this paper, and it can be used as an assistant criterion for distinguishing current transformer saturation with clear characteristics and simple logic.

**Key words:** current differential protection; current transformer saturation; load current; harmonics ratio

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)18-0069-05

## 0 引言

电流互感器 (CT) 是电力系统中重要的测量元件。但是, 由于 CT 铁芯的非线性以及磁滞特性, 当较大的故障电流使 CT 工作在励磁特性的非线性区时, CT 进入饱和, 二次电流发生畸变, 不能准确传变一次电流, 从而产生了传变误差。由 CT 饱和引起的传变误差对继电保护带来了很不利的影响<sup>[1]</sup>, 尤其是对目前广泛应用的电流差动保护, 严重影响了电流差动保护动作的可靠性<sup>[2]</sup>。所以, 为了进一步提高保护的准确性, 必须要解决 CT 的饱和问题。

针对 CT 饱和, 一般采用比率制动特性加以克服。但是, 仅采用比率制动特性并不能保证在 CT 极度饱和情况下差动保护的可靠性, 必须要辅以其他鉴别 CT 饱和的措施。目前所提出的 CT 饱和鉴别方法主要有时差法<sup>[3]</sup>、谐波制动法<sup>[4]</sup>、小波检测

法<sup>[5]</sup>、差分法<sup>[6]</sup>、异步法<sup>[7]</sup>等等。另外, 最近又提出了一种基于数学形态学鉴别 CT 饱和的方法<sup>[8-9]</sup>, 即利用数学形态学提取 CT 饱和后的电流波形特征, 以区分内部故障和外部故障 CT 饱和。

上述提到的各种鉴别 CT 饱和的方法, 都是在 CT 发生饱和后根据饱和电流的某个或多个特征提出的。而本文从 CT 肯定不饱和的角度考虑, 提出了一种基于负荷电流检测的抗 CT 饱和判别方法。该方法能准确识别负荷侧电流, 而且特征清晰、原理简单, 主要作为上述 CT 饱和判别方法的辅助判据。

## 1 CT 饱和电流分析

较大的故障电流即一次电流  $i_1$  容易使 CT 发生饱和, 导致二次电流  $i_2$  不能准确传变一次电流, 而一次电流  $i_1$  中的非周期分量以及 CT 二次负载阻抗角  $\varphi$  是影响二次电流  $i_2$  缺损程度的重要因素。图 1

给出了分别考虑这两个因素后的  $i_1$ 、 $i_2$  电流波形。

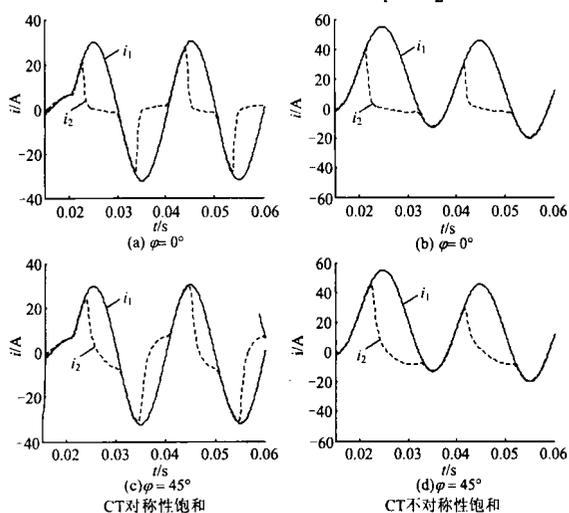


图 1 CT 饱和电流波形

Fig.1 Currents with CT saturation

根据图 1 所示的饱和电流波形, 不难发现 CT 饱和后具有以下几个特征:

(1) 故障发生与 CT 进入饱和存在一定的时间差, 时差法和异步法即是根据这一特点提出的, 只是两种方法使用的判据不同罢了。时差法根据故障发生与差流出现的时间差来区分内部故障和外部故障 CT 饱和, 而异步法则根据差流与制动电流的运动轨迹来区分内部故障和外部故障 CT 饱和。

(2) CT 饱和后, 二次电流出现波形缺损和畸变, 其等效于工频电流上叠加了谐波电流, 二次和三次谐波是其中主要的谐波成分。谐波法就是通过计算二次电流以及差流中的谐波分量来判断 CT 的饱和程度, 而谐波分量在电流中所占的比例可用谐波比  $\alpha$  来表示:

$$\alpha = \sqrt{\sum_{m=2}^n I_m^2} / I_1 \quad (1)$$

式(1)中:  $m$  为二次电流中所含的谐波次数;  $n$  为所考虑的谐波的最高次数;  $I_m$  为  $m$  次谐波幅值;  $I_1$  为基波幅值。

(3) CT 饱和后, 二次电流在进饱和点和退饱和点会发生突变, 所以可以借助某些数学公式来获得 CT 的进饱和点和退饱和点, 小波检测法和差分法就是基于这一特点来判别 CT 是否发生饱和。

(4) CT 饱和后, 二次电流值突然减小, 波形出现缺损, 尤其 CT 饱和比较严重时, 二次电流输出几乎为零。文献[10]提出的电流下降法就是根据保护启动后二次电流是上升还是下降来区分内部故障和外部故障 CT 饱和的。

(5) CT 饱和后, 由于一次电流中交流分量的负

向去磁作用, 在一次电流过零点附近, CT 总会有一段退出饱和的线性传变区能够正确传变一次电流, 所以在外部故障时, 差流波形中存在间断, 而内部故障时不存在间断。文献[9]就是基于该特征, 对差流波形进行数学形态梯度处理以判断差流波形中是否存在间断。

(6) 一次电流处于稳态时, 如图 1(a)、图 1(c) 所示, 一次电流中非周期含量为零, 二次电流在正负半周均发生饱和, 因此称之为对称性饱和; 而当一次电流处于暂态时, 如图 1(b)、图 1(d) 中一次电流非周期含量为 100%, 一次电流偏向时间轴的一侧, 所以 CT 只在半个周波发生饱和, 故称之为不对称性饱和。

(7) CT 饱和后, 二次电流波形缺损的形状以及电流的衰减速度受到二次负载的影响, 二次负载越接近纯阻性, 二次电流衰减越快, 波形缺损越严重。

上述即为 CT 饱和后, 饱和电流具有的几个比较典型的特征, 目前提出的许多 CT 饱和鉴别方法即是根据故障后二次电流是否具有 CT 饱和后某个或多个电流特征来判断 CT 饱和的。而 CT 饱和主要是由较大的故障电流引起的, 所以当电流值很小时 CT 一般不会发生饱和, 然而在这种情况下, 有些 CT 饱和鉴别方法可能会失效, 不能得出正确的结论。例如, 单侧电源系统发生内部故障, 负荷侧电流下降, 电流下降法将误判负荷侧 CT 发生饱和, 从而误闭锁电流差动保护; 而且如果负荷侧为电动机负荷, 由于电动机引起的暂态电流波形很复杂——含有较高的谐波分量, 也可能导致谐波法将其误判为 CT 饱和。所以, 为保证在 CT 不饱和的情况下不误判为 CT 饱和, 本文从 CT 肯定不会发生饱和的角度考虑, 提出了一种抗 CT 饱和的新方法, 即负荷电流检测法。

## 2 负荷电流检测法的基本原理

### 2.1 负荷电流分析

文中提到的负荷电流指的是系统在正常运行情况下, 负载所吸收的实际电流, 所以, 负荷电流的一个明显特征就是电流值比较小, 一般不会引起 CT 饱和。本文主要基于这一特点, 提出了一种负荷电流检测法抗 CT 饱和的新判据, 该判据主要作为 CT 饱和判别方法的辅助判据。

假设电力系统的负荷主要由恒阻抗负荷和电动机负荷构成。对于恒阻抗负荷, 其负荷电流波形一般为电流幅值比较小的正弦波(或余弦波), 即其电流满足下式:

$$|i| < I_{fh} \quad (2)$$

式(2)中,  $i$ 为二次电流瞬时值(为分析方便省略下标, 以下同);  $I_{fh}$ 为负荷电流门槛, 其整定原则为: 躲过负荷侧为恒阻抗时的最大负荷电流并小于不会造成CT饱和的最大电流。

显然, 恒阻抗负荷电流肯定满足式(2)。但是式(2)并不是负荷电流检测的充分必要条件。因为CT进入饱和后二次电流值也很小, 尤其当CT饱和比较严重时, 二次电流值几乎为零, 而且持续时间比较长。如图1(b)、图1(d)所示的CT不对称性饱和, 在CT初次饱和期间, 二次电流输出几乎为零的时间超过了1/2电流基波周期, 但肯定不会超过一个电流基波周期。所以, 为避免CT饱和的影响, 需要增加时间元件, 即如果在一个电流基波周期内,  $i$ 均小于 $I_{fh}$ , 就认为该电流为恒阻抗负荷电流。

对于有电动机的负荷侧, 由于其暂态电流波形比较复杂, 如故障发生后正常运行电动机的电流可能会比较大; 另外, 由于电动机本身结构的原因, 导致电动机负荷电流的谐波含量会比较高<sup>[11]</sup>。图2即显示了某输电线路发生金属性接地故障、非故障线路负荷侧的电流波形。

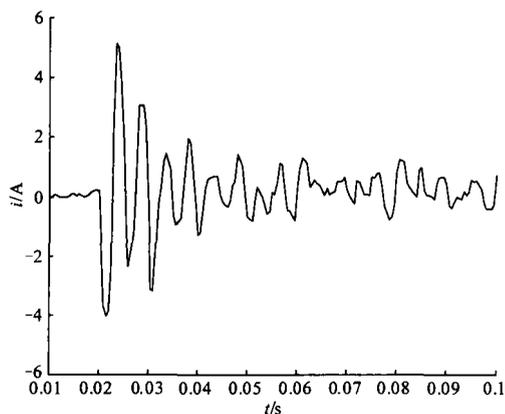


图2 电动机负荷电流  
Fig.2 Load current with motor

由图2可以发现, 当负荷侧为电动机负荷时, 故障前后负荷电流的谐波含量一直比较高, 尤其在故障刚发生后, 电流幅值突然增大, 甚至可能超过式(2)定义的负荷电流最大值 $I_{fh}$ , 但是相对于能够使CT发生饱和的故障电流而言, 其电流值还是要小很多。显然, 对于有电动机的负荷侧, 由于其电流值比较大, 而且含有较高的谐波电流, 式(2)可能会不成立, 因此需要增加另外的检测判据。

## 2.2 谐波分析

由上述分析已知, CT饱和后的二次电流中也

含有一定程度的谐波分量, 图3即为CT分别发生对称性饱和和不对称性饱和( $\varphi = 0^\circ$ )时的基波以及前六次谐波图。

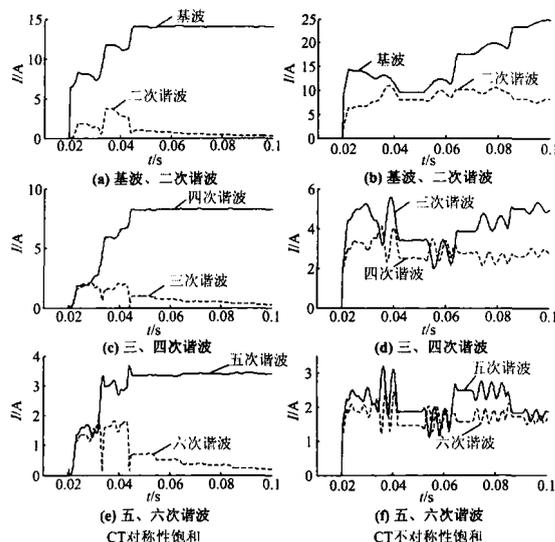


图3 CT饱和电流各次谐波

Fig.3 Harmonics of the saturated current

由图3可知, 在CT发生对称性饱和时, 谐波含量主要以奇次谐波为主, 尤其三次谐波所占比重最大, 偶次谐波含量比较小; 而CT发生不对称性饱和时, 谐波含量主要以二次谐波和三次谐波为主, 更高次的谐波含量相对较低。另外, 不论是对称性饱和还是不对称性饱和, 基波电流的幅值明显大于各次谐波电流幅值。

为尽可能的精确, 根据式(1)考虑直到六次谐波计算得到的CT分别发生对称性饱和和不对称性饱和( $\varphi = 0^\circ$ )时的谐波比 $\alpha$ 如图4所示。图中, 谐波比 $\alpha$ 值并不大, 只有在CT不对称性饱和时短暂出现了 $\alpha > 1$ , 而在其他时刻, 均满足 $\alpha < 1$ 。

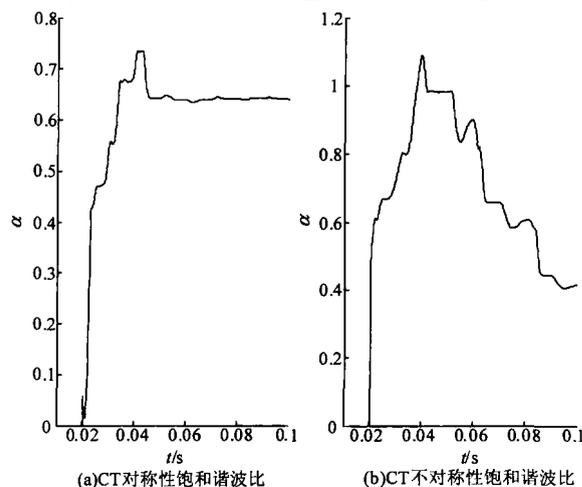


图4 CT饱和电流谐波比

Fig.4 Harmonics ratio of the saturated current

另外, 本文也对 CT 的各种饱和情况进行了 EMTP 仿真, 根据仿真结果发现, CT 饱和程度与谐波比  $\alpha$  遵循这样一条规律: CT 饱和越严重,  $\alpha$  值越大, 但当 CT 饱和达到一定程度后,  $\alpha$  反而又会减小, 但减小的程度并不大。而且根据仿真数据也发现, 即使考虑 CT 饱和比较严重的情况, 饱和电流的谐波比  $\alpha$  一般不会超过 2, 而且  $\alpha > 1.5$  的持续时间不会超过 10 ms。也就是说, 基波电流分量仍为饱和电流的主要成分。

对于有电动机的负荷侧, 其负荷电流中含有较多的谐波分量, 对图 2 所示的电动机负荷电流进行分析, 其各次谐波如图 5 所示。图 5 中, 电动机负荷电流的谐波分量比较高, 尤其前五次谐波, 甚至超过了基波分量。因此根据式 (1) 计算得到的谐波比  $\alpha$  通常会比较大。如图 6 所示的考虑直到六次谐波的电动机负荷电流的谐波比  $\alpha$ 。图 6 中, 虽然谐波比  $\alpha$  有明显的震荡, 但其值都比较大, 而且明显大于 CT 饱和后的谐波比。根据动模仿真数据, 电动机负荷电流的谐波比最小值一般不会小于 1.5。需要指出的是, 图 6 为更好地显示电动机负荷电流的谐波比与 CT 饱和电流的谐波比的差别, 其最大值部分并没有显示。

由上述分析不难发现, CT 饱和后, 饱和电流中会出现谐波电流, 但电流成分仍以基波电流为主, 即通常计算得到的谐波比  $\alpha < 1$ ; 而对于有电动机的负荷侧, 负荷电流中含有较多的谐波电流, 因此通常  $\alpha > 1$ ; 对于恒阻抗负荷侧, 其负荷电流中的谐波含量比较少,  $\alpha \approx 0$ 。

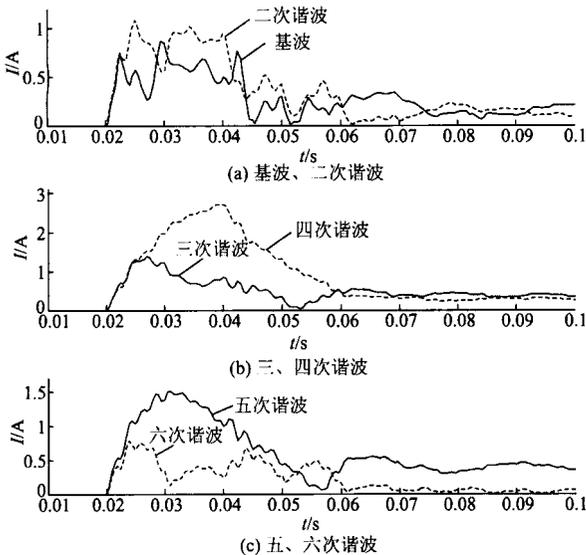


图 5 电动机负荷电流各次谐波  
Fig.5 Harmonics of the load current with motor

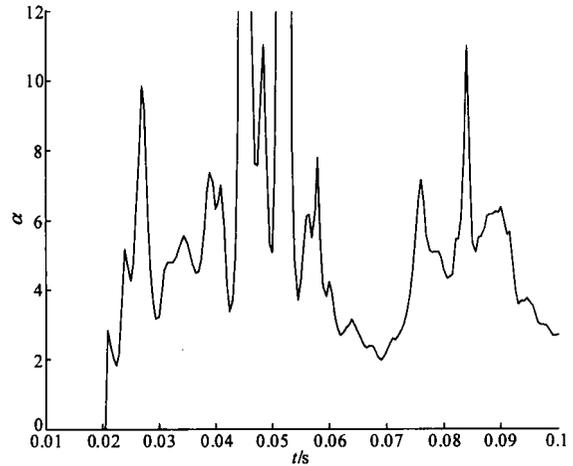


图 6 电动机负荷电流谐波比  
Fig.6 Harmonics ratio of the load current with motor

### 3 负荷电流检测法的实现方案

根据上述对 CT 饱和电流以及负荷电流的分析, 提出了负荷电流检测法的实现方案逻辑图, 如图 7 所示。图 7 中所示的实现方案按侧进行配置, 并且在故障后即被投入, 若检测到某侧为负荷侧后, 置该侧  $Y = 1$ , 认为该侧 CT 肯定不会发生饱和, 从而开放该侧的差动保护。

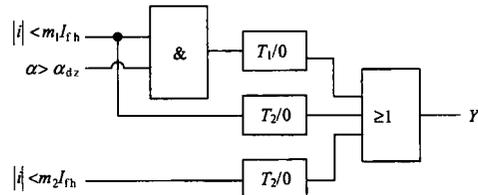


图 7 实现方案逻辑图  
Fig.7 Logic diagram of the scheme

对于由电动机构成的负荷侧, 可通过电流门槛判据和谐波比判据加以判断, 同时为提高可靠性, 增加时间元件  $T_1$  ( $T_1 = 10 \text{ ms}$ ), 即当式 (3) 和式 (4) 连续  $T_1$  时间都成立时, 即认为该侧为电动机负荷侧。

$$|i| < m_1 \cdot \sqrt{2} I_n \tag{3}$$

$$\alpha > \alpha_{dz} \tag{4}$$

式 (3) 为负荷电流门槛判据一,  $m_1$  ( $m_1 > 1$ ) 为可靠系数,  $I_n$  为 CT 二次侧额定电流,  $m_1 \cdot \sqrt{2} I_n$  的整定原则为躲过电动机负荷电流的最大值, 本文取  $m_1 = 4$ ; 式 (4) 为谐波比判据,  $\alpha_{dz}$  ( $\alpha_{dz} > 1$ ) 为谐波比  $\alpha$  的整定门槛, 本文取  $\alpha_{dz} = 1.5$ 。

显然, 对于有电动机的负荷侧, 检测判据能够可靠动作; 而对于 CT 饱和侧, 当 CT 饱和比较严

重时, 式(3)持续 $T_1$ 时间也可能成立, 但由于谐波比判据不会满足, 所以 CT 饱和侧不会被误开放。

对于由恒阻抗构成的负荷侧, 由于其电流值比较小, 所以, 当式(5)连续 $T_2$  ( $T_2 = 20 \text{ ms}$ ) 时间成立时, 即认为该侧为恒阻抗负荷侧。

$$|i| < \sqrt{2}I_n \quad (5)$$

式(5)为负荷电流判据二。显然, 对于恒阻抗负荷侧, 二次电流不会超过故障前的负荷电流, 当然也小于 $\sqrt{2}I_n$ ; 对于 CT 饱和侧, 由于在每个电流基波周期内 CT 总要退出饱和, 即式(5)成立的时间不会超过 20 ms, 判据也不会误动。

然而实际电力系统的负荷侧一般是由恒阻抗负荷和电动机负荷共同构成的, 由此谐波比判据可能会不满足, 从而导致负荷电流判据不能得出正确结论。针对这种情况, 可只依据电流门槛判据一, 同时提高时间元件的整定门槛来加以判断。即当式(3)连续 $T_2$  ( $T_2 = 20 \text{ ms}$ ) 时间都成立时, 也认为该侧为负荷侧。

另外需要指出的是, 本文提到的 CT 饱和主要是由较大的故障电流引起的, 而对于非周期分量衰减很慢的系统, 在电流比较小时也可能引起 CT 饱和, 但由于此时 CT 的初始饱和时间比较长, 并且饱和也不会太严重, 完全可以通过比率制动特性加以克服。

## 4 结论

本文通过分析 CT 饱和电流特征, 得知目前提出的 CT 饱和判别方法主要是根据 CT 饱和后的某个或多个电流特征来进行 CT 饱和判别的。而负荷电流由于其电流值比较小, 一般不会引起 CT 饱和, 但是由于负荷侧电流的特殊性以及复杂性, 有些 CT 饱和判别方法可能会失效。因此, 本文从 CT 肯定不会发生饱和的角度考虑, 提出了一种基于负荷电流检测的抗 CT 饱和方法, 该方法能准确识别负荷侧电流, 而且特征清晰、原理简单, 也比较容易实现, 可以作为目前提出的 CT 饱和判别方法的一个辅助判据。

## 参考文献

- [1] 袁季修, 盛和乐, 吴聚业. 保护用电流互感器应用指南[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
- [2] 陈建玉, 孟宪民, 张振旗, 等. 电流互感器饱和对继电保护影响的分析及对策[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(6): 54-56.  
CHEN Jian-yu, MENG Xian-min, ZHANG Zhen-qi, et al. Influence of the current transformer saturation on
- relay unit and its countermeasures in medium voltage power systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(6): 54-56.
- [3] 李岩, 陈德树, 张哲, 等. 鉴别 TA 饱和的改进时差法研究[J]. 继电器, 2001, 29(11): 1-5.  
LI Yan, CHEN De-shu, ZHANG Zhe, et al. Research of the improved time difference method to distinguish TA's saturation[J]. Relay, 2001, 29(11): 1-5.
- [4] 王志鸿, 郑玉平, 贺家李. 通过计算谐波比确定母线保护中电流互感器的饱和[J]. 电力系统及其自动化学报, 2000, 10(5): 19-24.  
WANG Zhi-hong, ZHENG Yu-ping, HE Jia-li. An algorithm to distinguish current transformer's saturation by calculating the harmonics ratio of branch current[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2000, 10(5): 19-24.
- [5] 曹豫宁, 李永丽, 张兴华, 等. 基于小波变换的电流互感器饱和实时检测新判据[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(10): 27-30.  
CAO Yu-ning, LI Yong-li, ZHANG Xing-hua, et al. A new on-line criterion for current transformer saturation based on wavelet transform[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(10): 27-30.
- [6] Kang Y C, Ok S H, Kang S H. A CT saturation detection algorithm[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2004, 19(1): 78-85.
- [7] 沈全荣, 严伟, 梁乾兵, 等. 异步法电流互感器饱和判别新原理及其应用[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(16): 84-86.  
SHEN Quan-rong, YAN Wei, LIANG Qian-bing, et al. Asynchronous method for the recognition of current transformer saturation and its application[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(16): 84-86.
- [8] 林湘宁, 刘沛, 高艳. 基于数学形态学的电流互感器饱和识别判据[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(5): 44-48.  
LIN Xiang-ning, LIU Pei, GAO Yan. A novel method to identify the saturation of the current transformer using mathematical morphology[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(5): 44-48.
- [9] 郑涛, 谷君, 黄少锋, 等. 基于数学形态梯度的变压器转换性故障识别新判据[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(22): 75-80.  
ZHENG Tao, GU Jun, HUANG Shao-feng, et al. A new algorithm to distinguish the transferring fault of transformer protection based on morphological gradient[J]. Proceedings of the CSEE, 2008, 28(22): 75-80.
- [10] 陈丽艳, 何奔腾, 钱国明, 等. 基于二次电流下降的电流互感器饱和判别方法[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(14): 59-63.

(下转第 83 页 continued on page 83)

- BP neural network to transformer fault diagnosis[J]. Transformer, 2009, 46 (1): 67-70.
- [3] 张建文, 赵大光, 董连文. 基于模糊数学的变压器故障诊断专家系统[J]. 高电压技术, 1998, 24 (4): 6-8. ZHANG Jian-wen, ZHAO Da-guang, DONG Lian-wen. An expert system for transformer fault diagnosis based on fuzzy mathematics[J]. High Voltage Engineering, 1998, 24 (4): 6-8.
- [4] 张启清. 电力变压器故障诊断专家系统的研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2002. ZHANG Qi-qing. Study on expert system for failure diagnosis of power transformer[D]. Chongqing: Chongqing University, 2002.
- [5] 吴立增, 朱永利, 苑津莎. 基于贝叶斯网络分类器的变压器综合故障诊断方法[J]. 电工技术学报, 2005, 20 (4): 45-51. WU Li-zeng, ZHU Yong-li, YUAN Jin-sha. Novel method for transformer faults integrated diagnosis based on Bayesian network classifier[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2005, 20 (4): 45-51.
- [6] 彭文季, 罗兴琦. 基于粗糙集和支持向量机的水电机组振动故障诊断[J]. 电工技术学报, 2006, 21(10): 117-122. PENG Wen-ji, LUO Xing-qi. Vibration fault diagnosis of hydro-turbine generating unit based on rough sets and support vector machine[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2006, 21 (10): 117-122.
- [7] GAO Ding, LIU Yuan-xiang, ZHANG Xiao-guang, et al. Binary-tree multi-classifier for welding defects and its application based on SVM[C]. //Proceedings of the 6th World Congress on Intelligent Control and Automation. Dalian (China): 2006.
- [8] HUA Chih-wei, LIN Chih-jen. A comparison of methods for multi-class support vector machines[J]. IEEE Trans on Neural Networks, 2002, 13 (2): 415-425.
- [9] 邓乃扬, 田英杰. 数据挖掘中的新方法—支持向量机[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [10] 莫娟, 王雪, 董明, 等. 基于粗糙集理论的电力变压器故障诊断方法[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(7): 162-167. MO Juan, WANG Xue, DONG Ming, et al. Diagnostic model of insulation faults in power equipment based on rough set theory[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24 (7): 162-167.
- [11] Yu G Y, Yang H. Decision table education based on conditional information entropy[J]. Chinese Journal of Computers, 2002 (7): 759-766.
- [12] 朱永利, 吴立增, 李雪玉. 贝叶斯分类器与粗糙集相结合的变压器综合故障诊断[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25 (13): 159-165. ZHU Yong-li, WU Li-zeng, LI Xue-yu. Synthesized diagnosis on transformer faults based on Bayesian classifier and rough set[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25 (13): 159-165.
- [13] 苏蓬, 苑津莎, 等. 基于粗糙集理论的变压器故障诊断方法[J]. 电力科学与工程, 2008, 24 (3): 56-59. SU Peng, YUAN Jin-sha, et al. Diagnosis method of transformer faults based on rough set theory[J]. Electric Power Science and Engineering, 2008, 24 (3): 56-59.
- [14] 耿兰芹, 王芳, 赵文清. SVM 回归与朴素贝叶斯分类相结合的变压器故障诊断[J]. 华北电力大学学报, 2006, 33 (6): 28-32. GENG Lan-qin, WANG Fang, ZHAO Wen-qing. Transformer diagnosis by naive Bayesian classifier combining with SVM regression[J]. Journal of North China Electric Power University, 2006, 33 (6): 28-32.

收稿日期: 2009-10-06; 修回日期: 2009-12-24

作者简介:

武中利 (1972-), 男, 博士研究生, 主要研究领域为人工智能及应用; E-mail: zyl2056@ncepubd.edu.cn

杨建 (1984-), 女, 硕士研究生, 主要从事人工智能技术在电力系统中的应用的研究;

朱永利 (1963-), 男, 教授, 博士生导师, 从事人工智能及电网调度自动化方面的研究。

(上接第 73 页 continued from page 73)

- CHEN Li-yan, HE Ben-teng, QIAN Guo-ming, et al. Detection method for current transformer saturation based on the dropping of the secondary current[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32 (14): 59-63.
- [11] 刘志成, 尹项根, 张哲, 等. 并联运行电动机短路故障仿真及保护对策[J]. 电力自动化设备, 2007, 27(4): 42-46. LIU Zhi-cheng, YIN Xiang-gen, ZHANG Zhe, et al.

Short-circuit simulation and protection scheme of parallel running motors[J]. Electric Power Automation Equipment, 2007, 27 (4): 42-46.

收稿日期: 2009-10-09

作者简介:

陈丽艳 (1981-), 女, 博士研究生, 研究方向为电力系统继电保护; E-mail: yuxin\_lili@sina.com

何奔腾 (1959-), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向为电力系统继电保护和电力系统控制、电能质量。