

· 电网运行与控制 ·

基于最小二乘矩阵束的励磁涌流识别方案

陈星宇^{1,2}

(1. 重庆大学电气工程学院 重庆 400044; 2. 国网重庆南岸供电公司 重庆 401336)

摘要:准确、快速地切除变压器故障直接影响电力系统能否持续安全稳定运行,励磁涌流的鉴别正是变压器保护中的重要一环。为了有效辨识励磁涌流与故障电流,避免变压器差动保护的不正确动作,利用变压器励磁涌流与短路故障电流频域信息的差异,提出了一种基于最小矩阵束算法的励磁涌流识别新方案,以变压器两侧的差动电流作为信号量,通过矩阵束算法分析采样信号中不同频率的分量,计算含衰减因数的电流能量信息熵识别励磁涌流。仿真试验证明了新判据具有原理清晰、抗干扰能力强等优点,能够正确区分励磁涌流和故障电流,为后续研究及工程应用提供借鉴和参考。

关键词:变压器;差动保护;励磁涌流;最小二乘矩阵束;信息熵

中图分类号:TM772

文献标志码:A

文章编号:2096-3203(2019)02-0044-06

0 引言

变压器作为输电网骨架中的枢纽变换节点,安全稳定运行能力受到了越来越多的关注。基于基尔霍夫电流定律的差动保护作为变压器主保护获得了广泛的应用,但实际上变压器的励磁支路并没有纳入差动电流的计算,在经历空载合闸或外部故障切除等暂态过程时,会在差动回路产生与短路故障电流极为相似的励磁涌流,保护装置感知到较大的差流,可能引起误动,变压器的主保护在快速性和可靠性方面经历严峻的考验^[1]。

目前,现场使用的主保护方案中主要依靠二次谐波制动原理和间断角制动原理来判别励磁涌流^[2],但是都存在一定的局限性。国内外学者陆续提供了许多变压器励磁涌流识别方案:一类从激发涌流的机理出发,研究变压器电路模型和参数^[3],提出了等效瞬时电感判据^[4-5]、磁通特性识别法^[6]、回路方程^[7]等,此类方案不再完全依赖涌流的波形,但是必须引入电压量,增加了互感器成本,保护配置的复杂化也使得电压二次回路断开、电压互感器饱和等异常情况的保护功能不可避免地受到限制。另一类方向主要为探讨励磁涌流与故障电流波形区分性^[8],提出了如二次谐波含量^[9]、间断角^[10]、波形正弦性^[11-13]等判据,利用不同方法挖掘可供区分的特征量。

文中在深入探讨涌流与故障电流波形特征的基础上,结合最小二乘矩阵法在精确提取电流各次分量的优势,提出了计算电流能量信息熵的方法,

利用正常空载合闸与内部故障时信息熵数值大小的不同,设定一个合理的动作门槛,从而区分励磁涌流与短路电流。该方案全面利用了波形的频域信息,能在各种工况下有效地判别故障与扰动,原理明晰、易于应用,大大优于传统的二次谐波制动,改善了差动保护的動作性能。

1 励磁涌流波形特征分析

图1为单相变压器的等效电路模型。图中 u_1 , i_1 分别为变压器一次侧端电压、电流,其中 $u_1 = U_m \sin(\omega t + \alpha)$; L_σ, R_σ 分别为变压器原边漏电感、漏电阻; L_m, R_m 分别为励磁支路的电感、电阻; Ψ_σ, Ψ_m 分别为原边漏磁链、励磁支路磁链,可列出合闸时原边侧的磁链方程为:

$$\Psi_\sigma + \Psi_m = i_1(L_m + L_\sigma) \quad (1)$$

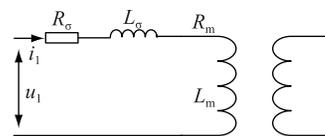


图1 单相变压器等效模型

Fig.1 Equivalent circuit of single-phase transformer

由电压与磁链的关系可以得到回路电压方程:

$$u_1 = i_1 R_\sigma + \frac{d\Psi_\sigma}{dt} + i_1 R_m + \frac{d\Psi_m}{dt} \quad (2)$$

因为现代变压器中绕组电阻及漏磁较低,忽略这2个因素的影响,整理上等式可得:

$$\Psi_m(t) = -\Psi_{ms} \cos(\omega t + \alpha) + (\Psi_r + \Psi_{ms} \cos \alpha) e^{-\frac{t}{\tau_m}} \quad (3)$$

式中: $\Psi_{ms} = L_m U_m / \sqrt{R_m^2 + (\omega L_m)^2}$, 为稳态磁链幅值; $\tau_m = L_m / R_m$, 为励磁支路的时间常数; Ψ_r 为铁

收稿日期:2018-11-30;修回日期:2019-01-12

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51577018)

芯中的剩磁,受变压器电压突变时刻的电压相量影响。再由变压器中磁链与磁通的关系 $\Psi_m(t) = N\Phi_m(t)$, 类似地,可以得到 $\Phi_m(t)$ 的表达式:

$$\Phi_m(t) = -\Phi_{ms} \cos(\omega t + \alpha) + \Phi_0 e^{-\frac{t}{\tau_m}} \quad (4)$$

式中: $\Phi_{ms} = \Psi_{ms}/N$; $\Phi_0 = (\Psi_r + \Psi_{ms} \cos\alpha)/N$; N 为原边匝数。可见变压器铁芯磁回路中的对应的磁通由不变的余弦工频磁通量和衰减的非周期磁通量构成。稳态时,磁通 Φ 一般不会超过饱和磁通门限值 Φ_{sat} , 若变压器空载合闸或者其他电压骤升,短时间内非周期磁通几乎无衰减,若该值为正,那么合成总磁通 Φ 数值可能会变得很大,如图 2 所示,继而产生励磁涌流。

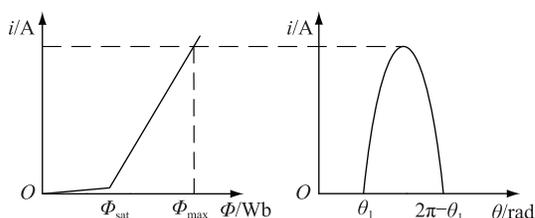


图 2 励磁涌流示意

Fig.2 Schematic diagram of inrush current

励磁磁通 Φ_m 值越过饱和磁通 Φ_{sat} 时,会激发很大的励磁涌流,当励磁磁通 Φ_m 降低到饱和磁通 Φ_{sat} 以下时,励磁电流恢复正常。如图 2 所示对变压器铁芯励磁曲线的饱和部分作线性近似,即假设饱和时励磁回路的电感为一恒定低值 L_{m1} , 得到近似的励磁涌流数学表达式:

$$i_m(t) = -i_{ms} \cos(\omega t + \alpha) + i_{i0} e^{-\frac{t}{\tau_m}} \quad (5)$$

另一方面,当变压器发生故障时,改变了等效电路的模型拓扑,以匝地短路为例,将短路部分视作额外的支路,由此将并联支路视作等效励磁支路,支路电感、电阻分别为 L_f 和 R_f , 如图 3 所示。

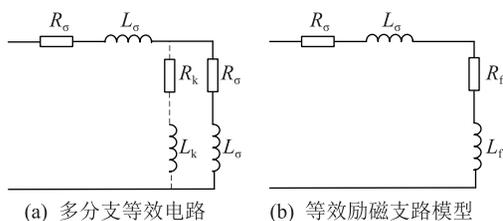


图 3 变压器内部故障不同等效电路

Fig.3 Different equivalent circuit of transformer with internal fault

据此可列出变压器故障时短路电流表达式为:

$$i_f(t) = -i_{fs} \cos(\omega t + \alpha) + i_{f0} e^{-\frac{t}{\tau_f}} \quad (6)$$

式中: i_{fs} 为故障电流的工频分量幅值; i_{f0} 为故障电流的衰减直流分量。可以看出与励磁涌流相似,故障电流同样由稳态分量和非周期分量两部分构成,

故障电流与励磁涌流的衰减特性就是两者的时间常数差异,将系统侧电感 L_s 、系统侧电阻 R_s 纳入回路方程,可以列出变压器空载合闸励磁涌流、内部故障时电流两者的衰减时间常数:

$$\tau_m = \frac{L_s + L_\sigma + L_m}{R_s + R_\sigma + R_m} \quad (7)$$

$$\tau_f = \frac{L_s + L_\sigma + L_f}{R_s + R_\sigma + R_f} \quad (8)$$

式中: τ_m, τ_f 分别为 2 种情况下的电流衰减时间常数。需要指出的是,变压器发生励磁涌流时候,铁芯其实在饱和态与不饱和态呈周期性变化,当铁芯不饱和时, L_m 数值很高,励磁支路接近断路,非周期分量衰减程度很小;当铁芯饱和时, L_m 剧烈降低,但是仍然具备一定数值,此时非周期分量发生明显衰减。而在变压器内部故障时,并联等效励磁电感相对很小,并且保持不变,此时的非周期分量在整个周波期间都有明显的降幅。故障情况下等效电阻与涌流情况下的等效电阻相差无几, τ_m, τ_f 的差异主要来自等效电感。由上述分析可以发现:

(1) 励磁涌流的非周期分量整个周波的平均衰减时间常数 τ_m 显著大于故障电流直流分量的衰减时间常数 τ_f 。

(2) 变压器励磁涌流的整个周波过程中,饱和时铁芯的磁通存在衰减,并且在进入不饱和区段时,铁芯的等效电感值升至正常高值,励磁涌流的稳态交流分量其实也存在降低和衰减。

(3) 变压器的故障回路等效总电感和等效总电阻不变,因此在切除变压器之前,短路电流的工频分量幅值并不会发生变化。

2 最小二乘矩阵束算法

频域分量提取方法是决定本保护方案性能的重要因素。矩阵束算法是 Hua 和 Sarkar 提出的一种利用子空间旋转不变性检测系统参数的算法^[14],用一系列衰减指数函数的线性组合表示待分析量,正好符合电力系统故障情况下,电气信号主要表现为恒定的工频基波分量、衰减的直流分量和各次谐波之和的形式,特别适用于电力暂态信号分析,在电力保护领域获得了广泛的应用。

指数函数线性组合中每一个衰减指数函数都可以视作待分析信号量 $x(t)$ 的一个分量,可得响应量的数学表达式如下:

$$y(t) = x(t) + n(t) \quad (9)$$

式中: $n(t)$ 代表系统噪声; $x(t)$ 为零噪声系统响应; $y(t)$ 为实际观测到的响应信号。上式的离散数

学形式为:

$$y(kT_s) = x(kT_s) + n(kT_s) = \sum_{i=0}^M R_i e^{ks_i T_s} + n(kT_s) \quad (10)$$

式中: $k = 1, 2, \dots, N - 1$, N 为一周期的采样点数; $n(kT_s)$ 代表系统噪声; $x(t)$ 是不含噪声的真实响应; M 是信号模型的阶数; 对第 i 个信号分量, R_i 代表复幅值, 包括信号的幅值 A_i 和初相 θ_i , 即 $R_i = A_i e^{j\theta_i}$, s_i 代表复频率, 包含衰减因子 α_i 以及相角频率 ω_i , 即 $s_i = -\alpha_i + j\omega_i$ 。以上参数都可以通过最小二乘矩阵束算法进行求解^[15]。

传统全周期傅氏算法滤波容易受到直流分量等衰减的暂态分量的影响, 精度不高, 而矩阵束算法通过衰减指数函数组合的形式模拟衰减信号更能准确地分析出故障暂态情况下电流中的各个分量, 并且利用噪声能量大大小于响应信号能量的特点确定信号阶数, 具有较强的抗干扰性能。

3 基于最小二乘矩阵束的励磁涌流识别

3.1 算法启动判据

保护装置实时监测差流, 当某个采样序列满足突变量启动条件时, 将第一个采样点确定为启动时刻, 启动判据采用差动电流的故障分量。启动判据为:

$$\max\{\Delta i_{\phi d}\} > i_{qdset} \quad (11)$$

式中: $\Delta i_{\phi d}$ 为差动电流故障分量, $\Delta i_{\phi d} = |\Delta i_{\phi d}(k) - \Delta i_{\phi d}(k - N)|$, $\phi = A, B, C$, N 为全周波采样点数; i_{qdset} 为启动门槛值。

3.2 保护算法方案

励磁涌流现象, 电流将呈现强烈的非正弦性, 铁芯饱和程度越高, 波形畸变越强, 而当变压器发生内部短路时, 回路等效励磁电感不再呈现变化特性, 所以两侧差流波形仍然接近正弦波, 两者具有明显的差异性质。考虑到故障时差动电流基本保持标准正弦波的特性, 可对采样得到的差动电流的基波、各次谐波分量的含量和衰减速率进行归算, 如果数值较低, 则认为是故障引起的差流, 如果数值较高, 则认为是铁芯饱和引起的励磁涌流, 作为是否开放差动保护的判断依据。

为了准确研判电流的三角函数特性, 对矩阵束得到的电流各分量信号进行能量的信息熵计算。根据矩阵束算法得到已经滤除噪声的各次电流分量:

$$i_k = \sum_{i=0}^M R_i e^{ks_i T_s} \quad (12)$$

式中: $k = 0, \dots, N - 1$, 定义电流能量 E_i 值为:

$$E_i = R_i^2 \sum_{k=0}^{N-1} e^{2ks_i T_s} \quad (13)$$

信息熵代表了信号的不确定性和事件发生的随机性程度, 文中用来检测电力信号的不规则度。定义 p_i 为各次电流能量分量所占比重:

$$p_i = E_i / \left(\sum_{j=0}^M E_j \right) \quad (14)$$

则信息熵的表达式如下:

$$H(Y) = - \sum_{i=0}^M p_i \ln p_i \quad (15)$$

电流能量熵值越大, 就表明电流畸变性越强。设定信息熵门槛值 H_{set} , 若电流信息熵 $H(Y) < H_{set}$, 判为内部故障, 若 $H(Y) > H_{set}$, 则判为励磁涌流。具体识别方法流程如图 4 所示。

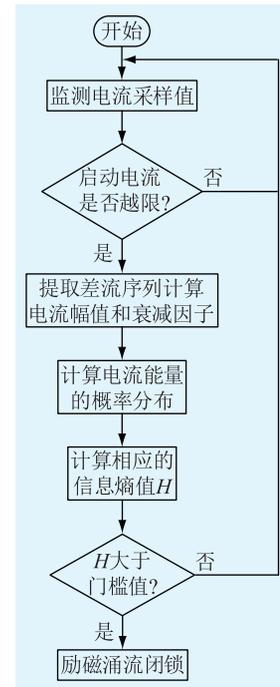


图 4 基于最小二乘矩阵束算法的励磁涌流识别流程
Fig.4 Flow chart of the identification criterion based on least-square matrix pencil algorithm

主要步骤如下:

(1) 用差动电流启动量作为启动判据, 保证非正常运行时启动, 避免对所有数据进行分析。启动后全周期采样, 形成序列化的离散数据;

(2) 用最小二乘矩阵束算法求出电流量中工频分量、非周期分量、各次谐波分量得到采样数据的电流量序列, 计算对应能量值。

(3) 电流能量数据转变为每个分量对应的概率分布, 结合相应的衰减因数计算信息熵, 根据整定阈值进行励磁涌流判断。

4 仿真与验证

为了分析所提出判据的性能,文中基于PSCAD/EMTDC建立图5的仿真模型,分别设置不同的空载合闸、短路故障状况进行仿真^[16-19]。三相变压器的变比是400 kV/220 kV,额定容量取315 MV·A,系统侧使用三相电源模型。根据IEC 61850规范,对试验过程每周波进行80点采样,即频率为4 kHz^[20]。

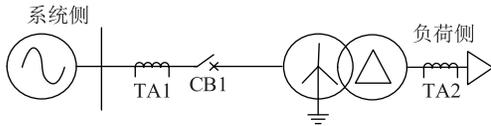


图5 仿真模型

Fig.5 Simulation model

仿真计算时,将二次侧电流归算到一次侧,形成变压器差动保护电流,闭锁门槛值 H_{set} 设为0.7。

4.1 励磁涌流仿真

当变压器0.1 s空载合闸,A相电压合闸角为 0° 时,涌流波形如图6所示。

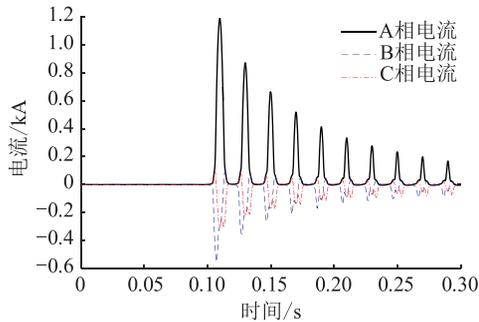


图6 励磁涌流波形

Fig.6 Waveform of inrush currents

励磁涌流正如理论分析所得,呈现出一个个不规则尖顶波波形,在连续的几个周期之内不断地衰减,可知整体趋势而言并不是一个纯粹的正弦函数。在最小二乘矩阵束算法的分解下,可以求出保护启动后工频周期内波形的拟合指数函数和,以A相为例,和原波形的对比如图7所示。

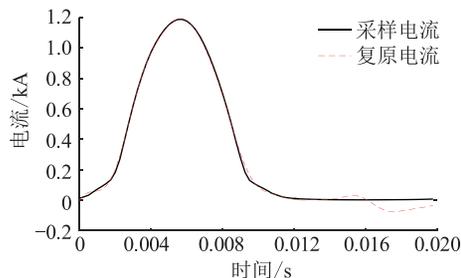


图7 复原的涌流波形

Fig.7 Waveform of the restored inrush current

对求解得到的电流表达式进行能量信息熵的计算,可知该值大于预先给定的分界值 H_{set} 。设置不同的初始条件,对不同合闸角下进行励磁涌流仿真,利用文中方法,通过矩阵束算法求解电流各次分量参数,计算此时电流各分量能量的信息熵,结果如表1所示。

表1 变压器空载合闸时信息熵计算值

Table 1 Information entropy when switching on a transformer without load

合闸角/ $^\circ$	H值		
	A相	B相	C相
0	1.033	1.043	1.105
30	1.001	1.027	1.001

由表1可知,当变压器发生励磁涌流时,根据差流计算得到的 H 值较高,符合励磁涌流情况下电流能量分散,含有多种分量,并且基波、各次谐波、非周期分量均带有衰减的频域特征,满足闭锁判据,识别为励磁涌流。

4.2 故障仿真

仿真模型中的变压器进行多种内部故障实验,典型故障波形如图8所示。

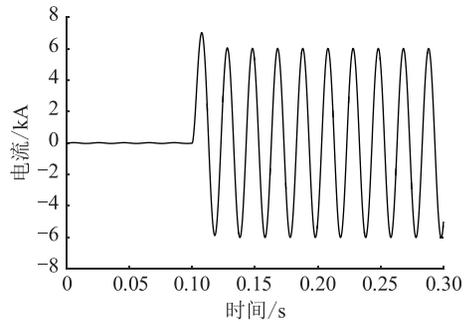


图8 典型故障仿真电流波形

Fig.8 Typical short current simulation waveform

由图8可知,当变压器发生内部短路故障,稳态差流的正弦度非常高,故障初始时刻带有一定的直流分量。当差动电流发生突变时开始基于该变压器故障相差流数据计算所对应信息熵,仿真结果如表2和表3所示。

表2 变压器匝间故障时信息熵计算值

Table 2 Information entropy when turn-to-turn fault

故障匝数比例/%	H值		
	A相故障	B相故障	C相故障
5	0.131	0.140	0.143
10	0.122	0.128	0.135

从表2和表3可得,即使短路时有着较大的非周期分量,但是在计及高衰减因子后,工频周波数

表3 变压器接地故障时信息熵计算值
Table 3 Information entropy when ground fault

故障匝数 比例/%	H 值		
	A 相故障	B 相故障	C 相故障
25	0.220	0.233	0.227
50	0.227	0.242	0.236

据的信息熵非常低,理想情况下甚至为 0 值。对比励磁涌流下的结果表 1 中电流能量分散的特征,可以看出,故障电流相对而言,信息熵数值低,表明故障电流的正弦度很高。

当变压器合闸于故障时,差动电流同时含有故障电流与励磁涌流分量,这时候有 2 种情况:(1) 如果发生较多绕组的故障接地时,波形基本只具有故障波形特征,励磁涌流特征被掩盖,本方案可以快速识别出区内故障;(2) 发生较少绕组的匝间故障时,在开始的时候波形涌流特征明显,正弦度较低,而后慢慢转变为区内故障特征,此时可以灵敏地识别出短路故障,虽然有所延时,但是比传统识别方法快很多。

5 结语

文中对现有变压器保护原理中的励磁涌流识别方法进行了研究,在分析励磁涌流与故障电流含有特征不同的信号分量基础上,提出了一种采用矩阵束算法的检测励磁涌流的新判据,矩阵束算法在分析暂态信号方面具备的优势使得识别方法受暂态量的影响大大降低,利用非周期分量衰减速率在内部故障和铁芯饱和时不同的数值特征自适应判定阈值,在变压器不同工作情况下分析该方案的适应性,仿真实验结果表明能够准确的区分变压器内部故障和励磁涌流,优于传统的间断角和二次谐波制动判据,具有原理清晰、运算量低等良好的性能。

参考文献:

- [1] 周念成,李春艳,王强钢. 基于多变量多尺度熵的变压器励磁涌流识别方法[J]. 电工技术学报, 2018, 33(15): 3426-3436.
ZHOU Niancheng, LI Chunyan, WANG Qianggang. An algorithm to identify transformer inrush currents based on multivariate multiscale sample entropy[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2018, 33(15): 3426-3436.
- [2] LIN X, HUANG J, ZENG L, et al. Analysis of electromagnetic transient and adaptability of second-harmonic restraint based differential protection of UHV power transformer[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2010, 25(4): 2299-2307.
- [3] 郑玉平,何大瑞,潘书燕. 变压器铁芯饱和统一模型建立及其判别方法[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(24): 118-124.

- ZHENG Yuping, HE Darui, PAN Shuyan. Unified model development and identification method of transformer core saturation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2016, 40(24): 118-124.
- [4] 焦在滨,马涛,屈亚军,等. 基于励磁电感参数识别的快速变压器保护[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(10): 1658-1666.
JIAO Zaibin, MA Tao, QU Yajun, et al. A novel excitation inductance-based power transformer protection scheme[J]. Proceedings of the CSEE, 2014, 34(10): 1658-1666.
- [5] 郑涛,陆格野,赵彦杰,等. 基于虚拟等效电感的特高压调压变压器励磁涌流判别算法[J]. 电工技术学报, 2016, 31(7): 118-125.
ZHENG Tao, LU Geyu, ZHAO Yanjie, et al. A discriminating algorithm for identifying inrush of UHV voltage-regulating transformer based on virtual equivalent inductance. Transactions of China Electrotechnical Society, 2016, 31(7): 118-125.
- [6] 何源,李新,罗建. 利用磁滞回线辨识变压器励磁电感研究[J]. 电力系统保护与控制, 2013(14): 19-24.
HE Yuan, LI Xin, LUO Jian. Distinguishing magnetizing inductance of power transformer based on hysteresis loop[J]. Power System Protection and Control, 2013(14): 19-24.
- [7] 邓祥力,王传启,张哲. 基于回路平衡方程和励磁电感的特高压变压器保护[J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(1): 147-153.
DENG Xiangli, WANG Chuanqi, ZHANG Zhe. UHV transformer protection based on equivalent circuit equation and excitation inductance[J]. Proceedings of the CSEE, 2012, 32(1): 147-153.
- [8] 王雪,王增平. 基于波形时域分布特征的变压器励磁涌流识别[J]. 电工技术学报, 2012, 27(1): 148-154.
WANG Xue, WANG Zengping. Identification of transformer inrush currents based on waveform distribution characteristics[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2012, 27(1): 148-154.
- [9] 焦在滨,行武,王钊,等. 变压器励磁涌流负序二次谐波特征及机理[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(11): 146-151.
JIAO Zaibin, XING Wu, WANG Zhao, et al. Features and mechanism of negative-sequence second harmonics of magnetizing inrush current in transformers[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(11): 146-151.
- [10] 王业,陆于平,蔡超,等. 采用自适应数据窗电流的励磁涌流鉴别方法[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(4): 702-711.
WANG Ye, LU Yuping, CAI Chao, et al. A magnetizing inrush identification method applying adaptive data-window currents[J]. Proceedings of the CSEE, 2014, 34(4): 702-711.
- [11] 翁汉珺,刘华,林湘宁,等. 基于 Hausdorff 距离算法的变压器差动保护新判据[J]. 中国电机工程学报, 2018(2): 475-483.
WENG Hanli, LIU Hua, LIN Xiangning, et al. A novel crite-

- tion of the transformer differential protection based the Hausdorff distance algorithm [J]. Proceedings of the CSEE, 2018(2): 475-483.
- [12] 胡松, 江亚群, 黄纯. 基于偏度系数的变压器励磁涌流识别方法[J]. 电网技术, 2018, 42(6): 1954-1959.
HU Song, JIANG Yaqun, HUANG Chun. Identification method of transformer inrush current based on skewness coefficient [J]. Power System Technology, 2018, 42(6): 1954-1959.
- [13] 邵文权, 乔妮, 王建波. 基于波形互相关系数的变压器励磁涌流识别方法[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(23):14-20.
SHAO Wenquan, QIAO Ni, WANG Jianbo. A novel algorithm of identifying inrush current based on waveform cross-correlation coefficient [J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(23): 14-20.
- [14] SARKAR T K, PEREIRA O. Using the matrix pencil method to estimate the parameters of a sum of complex exponentials [J]. IEEE Antennas and Propagation Magazine, 1995, 37(1): 48-55.
- [15] 康小宁, 屈亚军, 焦在滨, 等. 基于最小二乘矩阵束算法的工频分量提取方法[J]. 电力系统自动化, 2014(21): 66-70.
KANG Xiaoning, QU Yajun, JIAO Zaibin, et al. Power-frequency phasor extraction based on least-square matrix pencil algorithm [J]. Automation of Electric Power Systems, 2014(21): 66-70.
- [16] 刘鹏辉, 黄纯, 江亚群, 等. 基于峭度系数的变压器励磁涌流识别方法[J]. 电网技术, 2015, 39(7):2023-2028.
LIU Penghui, HUANG Chun, JIANG Yaqun, et al. An approach to identify inrush current of transformers based on the kurtosis coefficient [J]. Power System Technology, 2015, 39(7): 2023-2028.
- [17] SHAH A M, BHALJA B R. Fault discrimination scheme for power transformer using random forest technique [J]. IET Generation Transmission & Distribution, 2016, 10(6): 1431-1439.
- [18] 陈从武, 朱月凯, 汤大海. 一种 YNd 系列变压器差动保护电流相位补偿方案[J]. 电力工程技术, 2016, 35(2): 34-38.
CHEN Congwu, ZHU Yuekai, TANG Dahai. A differential protection current phase compensation scheme for YHd series transformer [J]. Electric Power Engineering Technology, 2016, 35(2): 34-38.
- [19] 冯顺, 曲欣, 王毅, 等. 1 000 kV 特高压变压器调压原理及其仿真分析[J]. 电力工程技术, 2018, 37(1): 109-112,121.
FENG Shun, QU Xin, WANG Yi, et al. The principle of regulation-compensation transformer and its simulation analysis in 1 000 kV UHV substation [J]. Electric Power Engineering Technology, 2016, 37(1): 109-112,121.
- [20] 胡荣, 张喜铭, 李金, 等. 变电站 IEC 61850 第 2 版信息及服务模型探讨[J]. 电力工程技术, 2017, 36(6): 44-51.
HU Rong, ZHANG Ximin, LI Jin, et al. The discussion on information model and service model of IEC 61850 Ed2.0 used in smart substation [J]. Electric Power Engineering Technology, 2017, 36(6): 44-51.

作者简介:



陈星宇

陈星宇(1992),男,硕士在读,研究方向为电力系统保护(E-mail:1057238457@qq.com)。

Identification method for inrush current based on least-square matrix pencil algorithm

CHEN Xingyu^{1,2}

(1. School of Electrical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China;

2. State Grid Chongqing Nanan Power Supply Company, Chongqing 401336, China)

Abstract: Accurate and rapid removal of transformer faults is related to the safe and stable operation of power system. The identification of magnetizing inrush current is a vital problem in transformer protection. In order to detect internal fault current from inrush current correctly and prevent incorrect operations of relays. By analyzing and summarizing the difference characteristics in frequency domain between fault current and inrush current, this paper proposed a novel inrush currents identification criterion based on least-square matrix pencil, using transformer differential current as detection signal. The matrix pencil algorithm is used to calculate the harmonic component of transformer current. And then entropy of current content and decay factor is computed to discriminate the inrush current. Simulation results show this scheme reliability and effective, can precisely identify the inrush current from the inner fault current. On this basis, key issues in the field are provided for the further research and engineering applications.

Keywords: transformer; differential protection; inrush current; least-square matrix pencil; entropy

(编辑 方晶)