

基于非饱和区波形正弦度的涌流识别算法研究

梁志坚¹, 古斌^{1,2}, 谭建成¹, 李啸聪¹

(1. 广西大学电气工程学院, 广西 南宁 530004; 2. 绍兴文理学院工学院, 浙江 绍兴 312000)

摘要: 提出了一种基于波形正弦度的改进算法来识别变压器励磁涌流和故障电流。该方法通过比较动态差流短数据窗波形覆盖面积的大小, 来确定短路故障或励磁涌流下变压器的差流非饱和区短窗波形, 并计算该短窗差流波形的非正弦度来识别励磁涌流和故障电流。理论分析及仿真实验表明该涌流识别方法在带故障空载合闸及变压器运行中发生故障时, 能够正确开放纵差保护; 在正常空载合闸时, 能可靠闭锁纵差保护。

关键词: 变压器差动保护; 励磁涌流; 内部故障; 波形正弦度; 非饱和区

Study for identification algorithm of inrush based on sine degree principle of differential current waveforms in non-saturation of transformer

LIANG Zhi-jian¹, GU Bin^{1,2}, TAN Jian-cheng¹, LI Xiao-cong¹

(1. Guangxi University, Nanning 530004, China; 2. Shaoxing University, Shaoxing 312000, China)

Abstract: An improved algorithm based on the sine degree principle of waveform is proposed. In the proposed algorithm, the non-saturation zone of transformer is decided by comparing the area in a short slide window of differential current waveform under magnetizing inrush and short-circuit fault, then the sine degree of the differential current waveform in the non-saturation zone is calculated to discriminate the inrush current and fault current. The theory analysis and the simulation experiment verify the algorithm based on the sine degree principle of waveform in the non-saturation zone of transformer can correctly switch on the differential protection for the internal short-circuit fault in operation and energizing with turn-to-turn short-circuit, and block reliably the protection during the magnetizing inrush.

This project is supported by National Natural Science Foundation of China(No.50747026).

Key words: transformer differential protection; inrush current; internal fault; waveform sine degree; non-saturation zone

中图分类号: TM772 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)09-0073-05

0 引言

如何正确区分励磁涌流和内部故障电流一直以来都是变压器纵差保护的一个难以回避的问题。目前工程上主要采用二次谐波制动原理来防止变压器空投和外部故障切除时保护的误动。由于现代变压器铁心材料的改进, 使其饱和点降低, 这使得变压器发生涌流时二次谐波含量减少^[1]。另一方面由于超高压长输电线路分布电容的谐振电流及串补电容谐振的影响, 故障电流中的二次谐波含量可能大大增加^[2]。这两方面原因使得二次谐波制动原理的整定值难以确定, 采用的闭锁方式在安全性和可靠性上也难以兼顾。资料表明, 220 kV 以上变压器保护正确动作率为 68.96%, 远低于发电机保护及线路保

护的平均正确动作率^[3]。为提高变压器保护的性能, 近年来国内、外学者进行了大量的研究^[4~15], 这些工作对变压器保护的发展起了极大的促进作用。

从变压器保护研究的最新进展可以看出, 进一步探索快速、准确的区分变压器励磁涌流和内部故障电流的新原理、新方法, 对提高变压器差动保护性能十分重要。文献[4]提出了一种基于波形正弦度的涌流识别算法, 该方法综合利用了波形特征, 且原理简单、直观, 易于实现, 值得进一步研究。基于波形正弦度的涌流识别方法在判别励磁涌流及变压器正常运行过程中发生故障的故障电流时, 有较好的效果。但是, 当变压器空投于轻微匝间故障时, 恰逢故障相发生涌流, 这时由于励磁涌流大, 故障电流小, 在铁心饱和阶段, 励磁涌流“淹没”了故障电流, 差流呈现出涌流特征, 在铁心非饱和阶段, 差流呈现为故障电流特征, 但由于励磁涌流远大于故障电流, 所以从一整个周期波形来看, 差流主要

基金项目: 国家自然科学基金(50747026); 广西研究生教育创新项目(2008105930808 D011)

表现为涌流特征, 此时按文献[4]的方法计算其的非正弦度值较大, 可能导致变压器纵差保护闭锁, 须待涌流衰减后保护才能动作。基于上述认识, 本文提出通过比较动态差流短数据窗波形覆盖面积的大小来确定变压器非饱和工作区域, 并计算非饱和区域差流波形的非正弦度, 来区分励磁涌流和内部故障时的故障电流。理论分析及大量的仿真实验表明该涌流识别方法在带故障空载合闸及变压器运行中发生故障时, 能够正确开放纵差保护; 在变压器正常空载合闸时, 能可靠闭锁纵差保护。

1 改进的波形正弦度算法及判据

1.1 波形正弦度算法及判据^[4]

该原理主要思想是对差分后的变压器差动电流波形进行正弦度比较。对任意正弦波形存在:

$$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1; \quad \sin^2 \alpha + \sin^2(\alpha - 90^\circ) = 1.$$

设差分后差动电流某一点的瞬时值为 i_k , 前 1/4 周的瞬时值为 i_{k-90° 。

定义:

$$S = \sqrt{i_k^2 + i_{k-90^\circ}^2} \quad (1)$$

对于标准基波正弦电流, S 是常数, 设其数学期望为:

$$E(S) = \frac{1}{T} \int_0^T S(t) dt$$

式中: T 为工频周期。则 S 与其数学期望的相对均方差为:

$$\sigma_1 S(t) = \sqrt{E\{[S(t) - E(S)]^2\}} / E(S) \quad (2)$$

定义 $\sigma_1 S(t)$ 为差流波形的非正弦度, 则 $\sigma_1 S(t)$ 随着差流偏离正弦曲线程度的增大而增大, 如果差流是标准基波正弦曲线, 则 $\sigma_1 S(t)$ 为零, 可得涌流判据为:

$$\sigma_1 S(t) > \sigma Sed1 \quad (3)$$

式中: $\sigma Sed1$ 为判据门限值。

波形正弦度涌流识别算法原理简单, 易于实现, 它以差流全波波形作为处理对象, 在识别正常空投时的涌流和正常运行过程中发生故障时的故障电流方面效果显著。但在变压器空投于轻微匝间故障时, 差流全波波形总体表现为涌流特征, 对其计算所得的 $\sigma_1 S(t)$ 较大, 可能引起变压器差动保护延时动作。

1.2 变压器匝间短路分析^[5,6]

一台两绕组变压器发生匝间故障时, 故障部分绕组可用一第三绕组来等效, 这样一台匝间故障的两绕组变压器可用一发生端口故障的三绕组变压器来等效, 如图 1^[5,6] 为其 T 型通用等效电路 (已折

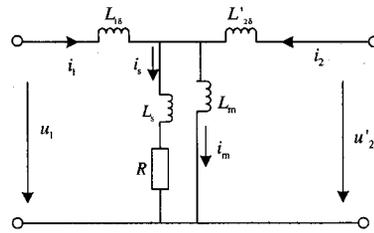


图 1 变压器 T 型等效电路图

Fig. 1 The T type equivalent circuit of transformers

算至一次侧, 不计绕组电阻及励磁支路电阻), $L_{1\sigma}$ 、 $L_{2\sigma}$ 为一、二次绕组漏感, L_s 为短路绕组漏感, L_m 为励磁电感, R 等效于短路绕组电阻及故障点电弧电阻。当变压器正常运行或正常空投时 L_s 及 R 为无穷大, 差流即为励磁电流 i_m , 空投时变压器铁心不断地进入饱和、再退出饱和, 对应变压器铁心非饱和区域的励磁电流 i_m 很小, 此部分电流波形与标准正弦波形相差很大^[7]; 当变压器正常运行过程中发生故障时 L_m 远大于 L_s 及 R , i_s 远大于 i_m ^[8], 差流表现为短路电流特征; 当变压器空投于轻微匝间故障时, L_m 剧烈变化, 在变压器铁心不饱和时 L_m 远大于 L_s 及 R , i_s 远大于 i_m , 差流表现为短路电流特征; 当变压器铁心饱和时, 磁化涌流 i_m 将“淹没”故障电流 i_s , 差流表现为涌流特征。因此, 变压器空投于轻微匝间故障时, 其差流全波波形对称性较差, 整体表现为涌流特征, 非正弦度的计算值较大。

1.3 非饱和区域长度确定

非饱和区域短数据窗应具有以下特点: 励磁涌流时, 对应包含非饱和区域的间断角部分; 空投于匝间故障时对应包含正弦波的故障电流部分。现代变压器多采用晶粒定向冷轧硅钢片宜取^[9]: $B_r = 0.7B_m$, $B_s = 1.15B_m$, 再考虑到现代大型变压器均采用单相变压器组, 对于单相变压器组, 三相之间不存在磁路的联系, 再计及三相电流的对应关系因而变压器三相剩磁之和接近于零^[10], 故取: $B_{rA} = 0.7B_m$; $B_{rB} = B_{rC} = -0.35B_m$; $B_s = 1.15B_m$; $\alpha_A = 0^\circ$ (α_A 为 A 相合闸角)。在此条件下所得涌流的间断角应较小, 二次谐波含量应较低, 变压器空投时的三相差流波形 (本文中差流通过测量各侧相电流计算) 如图 2(b)。从图中可看出在此不利条件下 A 相差流间断角最小, 约为 120° , 故非饱和区长度可定为 1/3 工频周期。

1.4 波形正弦度算法的改进

T 为工频周期, 每周期采样点数为 N , 取 4/3 周期长度的变压器差流采样值 $i_d(k)$ 作为观察数据

窗, 取短数据窗长度为 1/3 周期, 在保护启动后的 4T/3 内逐点向后截取 1/3 个周波的信号作为短数据窗, 并计算短数据窗差流波形的覆盖面积, 则总共可得 N 个面积, 其中的最小面积所对应的短数据窗区域即为非饱和区域。从 1.3 可知, 1/3 周期的短数据窗长度是根据对涌流识别较为不利的情况 (间断角小、二次谐波含量低) 得出的, 所以在一般情况下, 由 1/3 周期长度的滑动短数据窗最小面积法所确定的区域对应的是非饱和区域, 对正常空投而言, 该区域为铁心不饱和区; 对空投于轻微匝间故障而言, 该区域差流波形即为故障电流波形, 不包含涌流波形。

由 1.1 知, 波形正弦度算法是以差流全波为处理对象, 可较好地反应差流波形的全波特征, 对空投于轻微匝间故障的情况, 差流全波仍表现为涌流特征, 这有可能引起差动保护延时动作。对此, 本文作如下改进:

$$S(k) = \left(\frac{i_k^2 + i_{k-2}^2 - 2i_{k-1}^2 \cos 2\omega\Delta T}{2\sin^2 \omega\Delta T} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

i_k 为各相差流。对于一个标准正弦波, 式 (4) 为用任意连续三个时刻的采样值计算幅值的公式^[11], ΔT 为采样间隔。对于由最小面积法确定的 1/3 周期长度的非饱和区域短数据窗, 计算其各采样点幅值的数学期望:

$$E'(S) = \frac{3}{N} \sum_{j=k}^{k+\frac{N}{3}-1} S(j) \quad (5)$$

K 点为非饱和区域短数据窗起始点, 再计算非饱和区域短数据窗内 $S(j)$ 与 $E'(S)$ 的相对变化率:

$$\sigma_2 S(j) = \frac{|S(j) - E'(S)|}{E'(S)} \quad j \in \left[k, k + \frac{N}{3} - 1 \right] \quad (6)$$

$\sigma_2 S(j)$ 在三分之一周期非饱和区内的平均值为:

$$\overline{\sigma_2 S(j)} = \frac{3}{N} \sum_{j=k}^{k+\frac{N}{3}-1} \sigma_2 S(j) \quad (7)$$

比较式 (2)、(6)、(7) 可知, 式 (2) 表征了一周波内全波波形的平均非正弦度, 式 (6) 表征了非饱和区内某时刻的波形非正弦度, 式 (7) 表征了非饱和区内波形的平均非正弦度, 当变压器空投于轻微匝间故障时, 非饱和区域短数据窗为正弦形的故障电流, 此时 $S(j) = E'(S)$, $\sigma_2 S(j) = \overline{\sigma_2 S(j)} = 0$ 。当正常空投时, 非饱和区域短数据窗为非正弦的正常磁化电流, $S(j)$ 为一变化量, $\sigma_2 S(j)$ 亦为一变化

量, $\overline{\sigma_2 S(j)}$ 为一定值, 涌流判据为:

$$\overline{\sigma_2 S(j)} > \sigma_{Sed2} \quad (8)$$

其中: σ_{Sed2} 为判据阈值。

2 仿真研究

利用 PSCAD/EMEDC 对 Y/Δ-11 三单相变压器组空载合闸励磁涌流、内部匝间故障及空投于匝间故障等情况进行了仿真并结合仿真结果对识别判据和识别效果进行分析。

图 2~4 中各差流非正弦度由式 (2) 计算所得。图 2(a)、(b) 及图 4(a)、(b) 中: $B_{1A} = 0.7B_m$; $B_{1B} = B_{1C} = -0.35B_m$; $B_2 = 1.15B_m$; $\alpha_A = 0^\circ$; 图 2(c)、(d) 及图 4(c)、(d) 及图 3 中: $B_{1A} = B_{1B} = B_{1C} = 0$; $B_2 = 1.15B_m$; $\alpha_A = 0^\circ$ 。图 2(a)、(b) 为对涌流识别较为不利的情况 (间断角小、二次谐波含量小), 由图 2 可见, 随间断角的增大, 差流非正弦度增加。

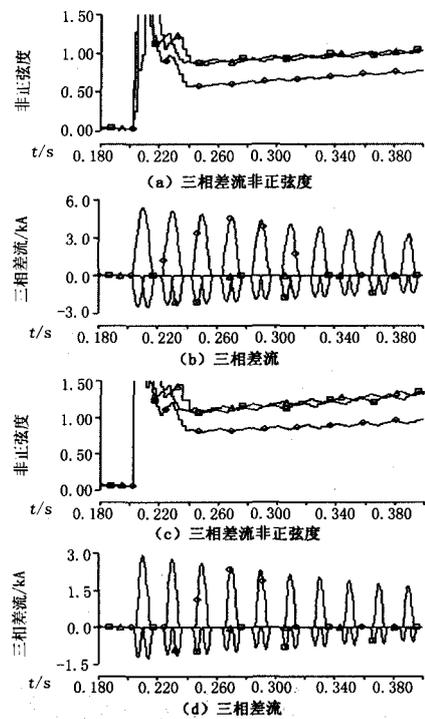


图 2 变压器空投时的波形

Fig.2 Waveforms when switching on a transformer without load

图 3 为变压器正常运行中发生 A 相 5% 匝间短路的情况, A 相差流为标准正弦波, 其非正弦度为零; B、C 两相差流为正常励磁电流, 其非正弦度较大。图 4 为合闸于 A 相 5% 匝间故障的情况, A

相差流在铁心饱和区表现为涌流特征,在铁心非饱和区表现为短路电流特征,对比图 4(c)及图 2(a)的 A 相差流非正弦度,在开始几周期内,空投于匝间故障的非正弦度甚至大于正常空投的非正弦度,此时基于全波正弦度的方法无法区分涌流和故障电流。图 5 为采用改进型波形正弦度算法的仿真图,(b)图依次为 B 相非饱和区差流幅值波形、B 相非饱和区差流幅值变化率波形,(c)图为 C 相差流相关波形,其中差流幅值采用式(4)计算,差流幅值变化率采用式(6)计算。由图 5 可见,A 相非饱和区差流完全表现为标准正弦波特征,其各时刻幅值不变;B、C 相差流则不然,它们的幅值变化剧烈,表现出明显的非正弦特征,据此可判别正常空投及空投于内部故障的情况。

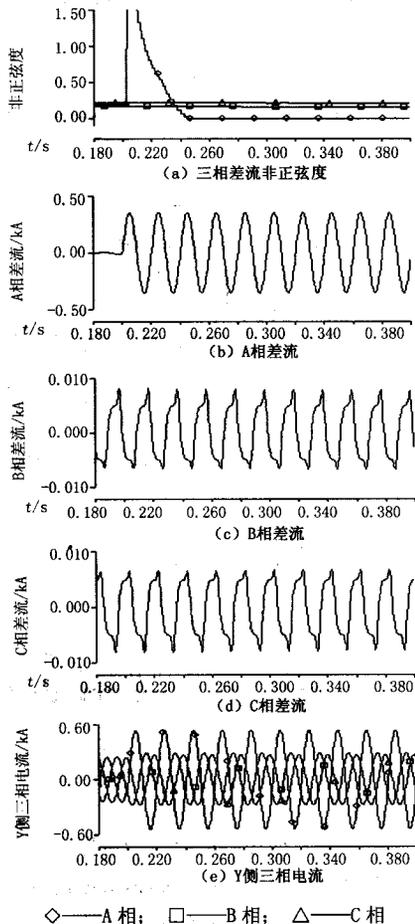


图 3 变压器正常运行过程中发生匝间故障时的波形
Fig.3 Waveforms for an operating transformer occurring 5% turn-to-turn fault in phase A

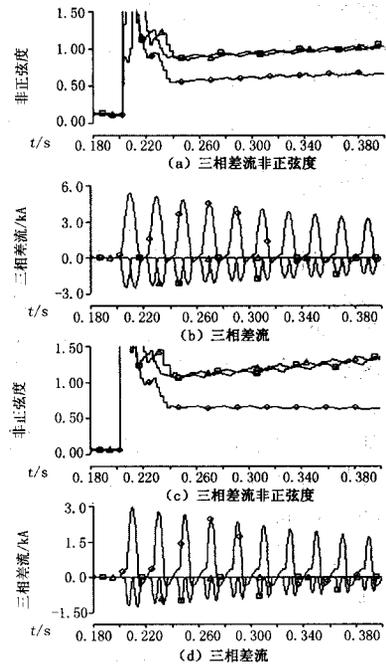


图 4 变压器空投于 A 相匝间故障时的波形
Fig.4 Waveforms for switching on a transformer without load and with 5% turn-to-turn fault in phase A

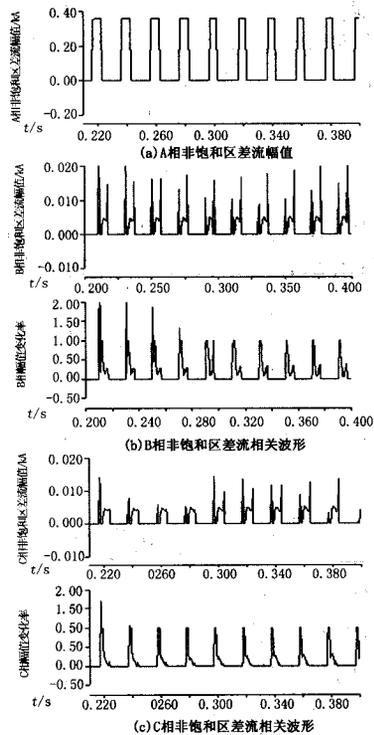


图 5 变压器空投于 A 相匝间故障时的波形
Fig.5 Waveforms for switching on a transformer without load and with 5% turn-to-turn fault in phase A

实际应用中可通过计算式(7)非饱和区幅值变化率的平均值 $\overline{\sigma_2 S(f)}$ (非饱和区的平均非正弦度)来有效区分正常空投及空投于内部故障,大量的仿真表明,当 $\overline{\sigma_2 S(f)}$ 大于0.1即取 σ_{Sed2} 为0.1时,可判为涌流。

3 结论

设计了一种计算变压器非饱和区差流波形正弦度的算法,该算法能有效判别内部故障电流和涌流特别是空投于匝间故障与涌流的情况,理论分析及大量的仿真实验表明,该涌流识别方法可有效区分各种情况下的励磁涌流及故障电流。

参考文献

- [1] 何奔滕,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. The Principle of Transformer Differential Protection Based on Wave Comparison [J]. Proceedings of the CSEE, 1998, 18 (6): 395-398.
- [2] 林湘宁,刘沛,杨春明,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, YANG Chun-ming, et al. Studies for Identification of the Inrush Based on Improved Correlation Algorithm[J]. Proceedings of the CSEE, 2001, 21 (5) : 56-60.
- [3] 国家电力调度中心.“九五”期间全国电网继电保护统计资料汇编[Z].南京:国电网调度工作会议,2001.
State Power Dispatching Center. Statistical Material Summary of National Electric Network Relay Protection During the Ninth Five-year Plan[Z]. Nanjing: The National Electric Network Dispatching Work Conference, 2001.
- [4] 和敬涵,李静正,姚斌,等.基于波形正弦度特征的变压器励磁涌流判别算法[J].中国电机工程学报,2007,27(4):54-59.
HE Jing-han, LI Jing-zheng, YAO Bin, et al. A New Approach of Transformer Inrush Detected Based on the Sine Degree Principle of Current Waveform[J]. Proceedings of the CSEE, 2007, 27 (4) : 54-59.
- [5] 王维俭,侯炳蘊.大型机组继电保护理论基础[M].北京:水利水电出版社,1982.
- [6] GE Bao-ming, Anibal T, ZHENG Qiong-lin, et al. An Equivalent Instantaneous Inductance-based Technique for Discrimination Between Inrush Current and Internal Faults in Power Transformers[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2005, 20(4): 2473-2482.
- [7] 毕大强,张项安,杨恢宏,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, YANG Hui-hong, 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.
- [8] 宗洪良,金华烽,朱振飞,等.基于励磁阻抗变化的变压器励磁涌流判别方法[J].中国电机工程学报,2001,21(7):92-94.
ZONG Hong-liang, JIN Hua-feng, ZHU Zhen-fei, et al. Transformer Inrush Detected by the Variation of Magnetizing Impedance[J]. Proceedings of the CSEE, 2001, 21 (7) : 92-94.
- [9] 赵永彬,卢毅.主设备变压器保护谐波制动改进[J].电力自动化设备,2002,22(7):1-5.
ZHAO Yong-bin, LU Yi. Advancement of Central Equipment Transformer Protection's Harmonic Restraint[J]. Electric Power Automation Equipment, 2002, 22 (7) : 1-5.
- [10] 胡玉峰,陈德树,尹项根,等.虚拟三次谐波制动式变压器差动保护的仿真研究[J].电力系统自动化,2002,26(2):38-44.
HU Yu-feng, CHEN De-shu, YIN Xiang-gen, et al. Study on the Simulation of Transformer Differential Protection Based on Virtual Third Harmonic Theory [J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(2): 38-44.
- [11] 韩正庆,高仕斌,李群湛.基于差动电流正弦曲线拟合波形的变压器保护原理[J].电力系统自动化,2005,29(12):29-32.
HAN Zheng-qing, GAO Shi-bin, LI Qun-zhan. Transformer Protection Scheme Based on the Sine Curve Fitting of Differential Current[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29 (12) : 29-32.
- [12] 索南加乐,焦在滨,张悛宁,等.基于波形系数的变压器励磁涌流快速识别算法[J].电网技术,2006,30(11):71-76.
SUONAN Jia-le, JIAO Zai-bin, ZHANG Yi-ning, et al. A Fast Algorithm to Identify Inrush Current Based Waveform Factor[J]. Power Systems Technology, 2006, 30(11): 71-76.
- [13] 李富强,刘秀成,李东霞,等.基于虚拟磁通与差动电流特性识别变压器励磁涌流[J].电力系统自动化,2004,28(23):45-49.
LI Fu-qiang, LIU Xiu-cheng, LI Dong-xia, et al. Identification of Transformer Magnetic Inrush Current Based on Virtual and Differential Current Characteristics[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(23): 45-49.
- [14] 韩正庆,高仕斌,李群湛.基于半波傅立叶算法的励磁涌流识别方法[J].电力系统自动化,2005,29(14):60-63.

(下转第92页 continued on page 92)

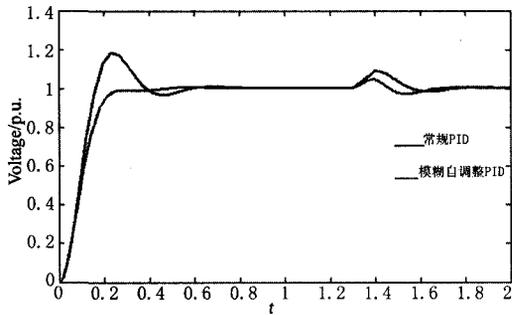


图 10 常规 PID 及模糊自调整 PID 仿真图

Fig.10 The simulation diagram of conventional PID and fuzzy self-regulation PID control

如图 10 所示:

(1) 在时间为 0 s 时, U_{ref} 发出幅值为 1 的阶跃信号(模拟机端电压), 此时常规 PID 调节时间 0.6 s, 而模糊自调整 PID 只用了 0.25 s 的时间。

(2) 在 1.3 s 时加入干扰 Disturbance 信号(幅值为 0.1 响应时间为 0.1 s 的方波脉冲信号), 可见模糊自调整 PID 调整效果明显优于常规 PID。

通过仿真比较发现,模糊自调整 PID 控制器调节速度快、超调量小、调节精度高, 较常规 PID 具有明显的优势。

4 结论

模糊自调整 PID 励磁控制器采用模糊推理方法对参数进行在线调整, 以满足不同工况对控制参数的不同要求, 仿真结果表明, 它与经典 PID 励磁控制器相比, 在改善系统动态品质、提高抗干扰能力及对模型改变时的鲁棒性^[5]均优于常规 PID 励磁控制器, 在实际应用中有一定的推广价值。

参考文献

[1] 韩英铎, 谢小荣, 崔文进. 同步发电机励磁控制研究的现状与走向[J]. 清华大学学报, 2001, 41(4/5):34-59.
HAN Ying-duo, XIE Xiao-rong, CUI Wen-jin. Status Quo and Future Trend in Research on Synchronous Generator Excitation Control[J]. J Tsinghua Univ (Sci &Tech), 2001, 41(4/5):34-59.

[2] 李国勇. 智能控制及其 Matlab 实现[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
LI Guo-yong. Intelligent Control and Realization by Matlab[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2005.

[3] 陶永华, 尹怡欣, 葛芦生. 新型 PID 控制及其应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 1998.
TAO Yong-hua, YI Yi-xin, GE Lu-sheng. The Control and Application of a New Kind of PID[M]. Beijing: China Machine Press, 1998.

[4] 谭文, 王耀南, 段峰. 一种参数自调整 PID 模糊控制器[J]. 基础自动化, 2001, 8(6).
TAN Wen, WANG Yao-nan, DUAN Feng. A Kind of Parameter with Self-regulation PID Control[J]. Basic Automatization, 2001, 8(6).

[5] 卢强, 孙元章. 电力系统非线性控制[M]. 北京: 科学出版社, 1993.
LU Qiang, SUN Yuan-zhang. Nonlinear Optimal Control of Electric Power Systems [M]. Beijing: Science Press, 1993.

收稿日期: 2008-05-09; 修回日期: 2008-11-03

作者简介:

揭海宝 (1984-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统稳定与控制; E-mail:48917549@qq.com

郭清滔 (1983-), 男, 硕士, 从事高压方面的研究工作;

康积涛 (1962-), 男, 教授, 主要研究方向为电力系统及其自动化。

(上接第 77 页 continued from page 77)

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

[15] 吕志娟, 刘万顺, 龚延萍. 利用电流波形特性识别变压器励磁涌流和故障电流[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(19): 53-56.

Lü Zhi-juan, LIU Wan-shun, GONG Yan-ping, et al. New Scheme to Discriminate Magnetic Inrush Current from Internal Fault of Power Transformer Based on the

Characteristic of Current Waveform[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(19): 53-56.

收稿日期: 2008-10-08

作者简介:

梁志坚 (1969-), 男, 博士研究生, 主要从事电力系统继电保护及安全稳定控制的研究工作; E-mail:lzhij@gxu.edu.cn

古斌 (1969-), 男, 博士研究生, 主要从事电力系统继电保护的研究;

谭建成 (1963-), 女, 教授, 博士生导师, IEEE 会员, 主要从事电力系统运行规划及继电保护的研究。