

非周期分量对电流互感器暂态饱和的影响

李艳鹏, 侯启方, 刘承志

(西南交通大学 电气学院, 四川 成都 610031)

摘要: 电流互感器一次侧电流中含有非周期直流分量时, 会发生暂态饱和, 致使二次侧电流波形失真, 从而引起继电保护装置的误动或拒动。通过对非周期直流分量电流引起的电流互感器暂态饱和和励磁电流进行计算, 对电流互感器的暂态饱和特性进行了分析。利用 Matlab 仿真软件搭建了仿真实验模型, 通过改变一次侧电流中非周期直流分量的方向, 研究了非周期直流分量对电流互感器的饱和方向、入饱和时间的影响。最后, 通过仿真比较说明了在含有不同方向非周期分量时电流互感器的暂态饱和特性。

关键词: 电流互感器; 非周期分量; 暂态饱和; Matlab/PSB 仿真

中图分类号: TM 452

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2006)08-0015-04

0 引言

电流互感器能否真实有效地传变一次电流, 对继电保护的准确、快速动作有着决定性的作用。随着超高压、大容量电力网络的出现, 一方面, 由于传输容量的增大, 使一次回路的暂态时间常数变大; 另一方面, 为了系统稳定, 又要求保护迅速动作。这就要求继保装置在短路暂态过程中能对故障地点和性质做出准确判断, 因此电流互感器的暂态饱和特性成为继电保护必须考虑的问题^[1-3]。

在变压器纵差动保护及母线差动保护中, 由于电流互感器误差特别是暂态饱和的影响, 各个差动电流互感器达到饱和的时间不同, 致使差动回路中会产生数值较大的不平衡电流, 很容易使差动保护误动作。文献[3-7]对电流互感器的暂态饱和进行了计算仿真和分析, 并提出了用小波变换检测电流

互感器入饱和时刻, 从而有效地避免了电流互感器暂态饱和的影响, 提高了保护的准确性; 文献[8]通过仿真分析得出了电流互感器的最佳暂态数学模型。但以前文献的仿真和分析均建立在对电流互感器一次侧电流中所含非周期直流分量为正时分析二次侧电流波形的基础上, 没有考虑负非周期分量对电流互感器的暂态饱和特性的影响。

本文对正负非周期直流分量电流引起的电流互感器暂态饱和进行计算和对其暂态饱和特性进行分析, 并利用 Matlab/PSB 仿真模块进行仿真, 依据仿真结果分析了不同方向非周期分量对电流互感器暂态饱和特性的影响, 对今后研究电流互感器饱和对继电保护的影响有一定的指导意义。

1 电流互感器的暂态饱和特性

1.1 暂态饱和特性

电流互感器在达到饱和之前, 其铁芯工作在低

收稿日期: 2005-10-24; 修回日期: 2005-12-13

磁密条件下,励磁阻抗很大,相应的励磁电流则很小,这时可认为电流互感器线性传变一次电流,即二次电流不失真。由于电流互感器的铁芯具有非线性特性,当电流互感器一次侧通过大电流而使铁芯饱和时,其励磁电流大大增加;特别是当一次侧电流中包含有很大成分的非周期分量时,电流互感器的励磁电流中也包含有很大成分的非周期分量,使其波形偏于时间轴的一侧。一次电流的很大部分都用作励磁电流,以维持铁芯中的磁通,致使二次电流大大减小,其波形出现严重畸变。

暂态饱和引起的二次电流波形畸变将对继电保护的正确动作产生影响,可使继电保护动作延时、保护范围缩短,甚至引起保护误动。

1.2 暂态计算^[9-10]

短路电流中含有的非周期分量是引起电流互感器传变特性严重恶化的主要原因。这是因为电流互感器的励磁特性是按工频设计的,在传变等效频率很低的非周期分量时,铁芯磁通(即励磁电流)需要大大增加。下面将分析非周期衰减直流分量对暂态饱和的影响。

为使分析简化,不计电流互感器二次绕组的漏抗和铁芯损失,当二次负载为纯电阻时,在一次电流作用下有

$$\frac{L_{\mu}}{R_{\text{load}}} \frac{di_{\mu}}{dt} + i_{\mu} = i_1 \quad (1)$$

式中 i_1 为一次侧电流; i_{μ} 为励磁电流; L_{μ} 为励磁电感; R_{load} 为二次侧负载阻抗。

代入 $i_1 = I_m \cos(\omega t)$ 解得:

$$i_{\mu} = I_m \cos[\arctan(\omega \tau_2)] \times \cos[\omega t - \arctan(\omega \tau_2)] - I_m \cos^2[\arctan(\omega \tau_2)] e^{-t/\tau_2} \quad (2)$$

当传变非周期电流($i_1 = I_m e^{-t/\tau_1}$)时,代入式(1)解得:

$$i_{\mu} = \frac{\tau_1 I_m}{\tau_2 - \tau_1} (e^{-t/\tau_2} - e^{-t/\tau_1}) \quad (3)$$

式中 I_m 为一次电流幅值; $\tau_2 = L_{\mu}/R_{\text{load}}$ 为二次回路的时间常数; τ_1 为非周期电流衰减时间常数,即一次回路时间常数。

由计算可知,电流互感器传变非周期分量时所需的励磁电流幅值远大于传变周期分量电流时所需的励磁电流幅值,这是引起铁芯饱和的主要部分。当非周期分量为正时,励磁电流也为正;当非周期分量为负时,决定了所产生的励磁电流为负。因此,短路电流所含非周期直流电流决定了电流互感器的饱和方向,从而影响其饱和时间。电流互感器在正常工作条件下,其二次电流一般不会大于 5 A,其工作磁密约为几百高斯,理论上不存在剩磁问题。但在通过的短路电流被切除后,铁芯仍工作在高磁密条件下,接着铁芯磁密会按二次回路的时间常数作指数函数衰减,最后达到在该磁滞回线下的剩磁值。

在短路后的正常工作状态下,交变电流的幅值较小,不能对剩磁起有效的消磁作用,所以电流互感

器的铁芯往往存在剩磁,暂态磁通和剩磁磁通在数值上是代数相加的。暂态磁通不是由零增大到饱和值,而是从剩磁开始增大到饱和,若饱和方向不同,相同剩磁的铁芯将会有不同的饱和时间。如图 1 所示, a 点代表铁芯剩磁, b 点表示正向饱和点, c 点表示铁芯的负向饱和点,从图中可见,当铁芯含有正的剩磁通(a 点)时,从 a 点到达正向饱和点(b 点)比到达负向饱和点(c 点)要快。

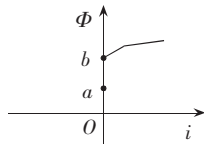


图 1 磁通与励磁电流
Fig.1 The flux and excitation current

2 仿真分析

本次仿真主要比较短路电流中非周期分量不同时,产生的励磁电流和电流互感器二次电流波形的异同,从中分析非周期分量对暂态饱和的影响。

2.1 仿真系统

仿真实验使用 Matlab/PSB 模块构建仿真模型,为了简化、合理建模,模型采用了单相线路结构,利用不同合闸时间 t 产生含有不同非周期分量的电流作一次侧实验电流,其模型如图 2 所示。

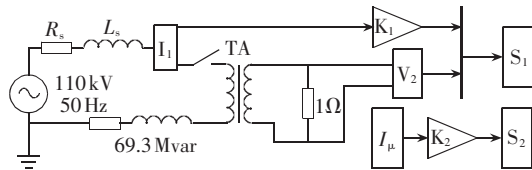


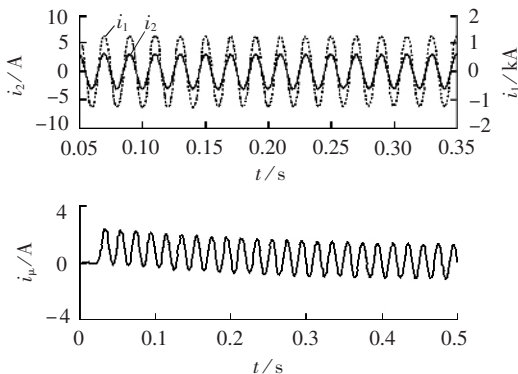
图 2 仿真模型

Fig.2 Simulation model

仿真参数设置如下:单相电源电压为 110 kV,频率为 50 Hz,初始相位为 0° ,电流互感器的变比为 2000 A/5 A,二次侧负载阻抗为 1 Ω 的纯电阻,示波器 S_1 输出一次侧电流 $I_1/200$ A 和二次侧电压 U_2 (数值上等于二次侧电流),示波器 S_2 输出励磁电流 $I_{\mu}/200$ A (电流互感器考虑了线圈的绕组和漏抗)。

2.2 仿真结果

a. 电流互感器不含剩磁时,一次电流 i_1 (图中用虚线表示)、二次电流 i_2 (与二次电压 U_2 相同) 以及励磁电流 i_{μ} 的仿真波形见图 3。



(a) 正常时仿真波形

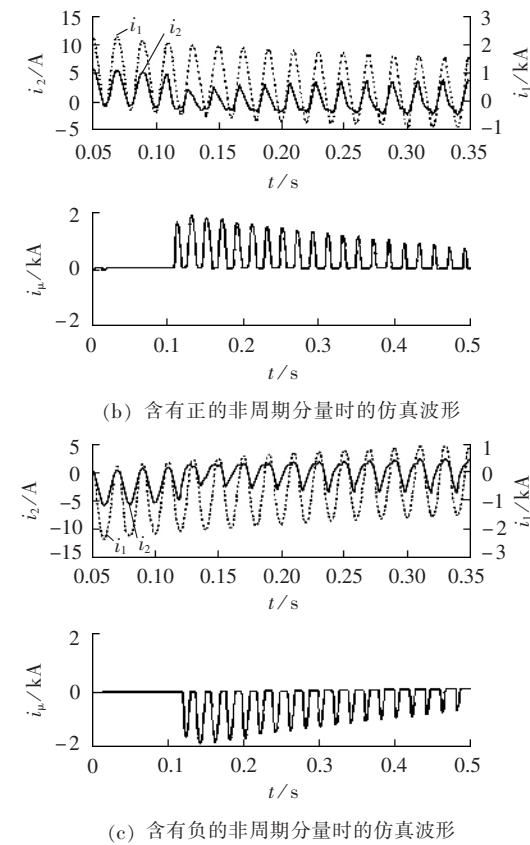
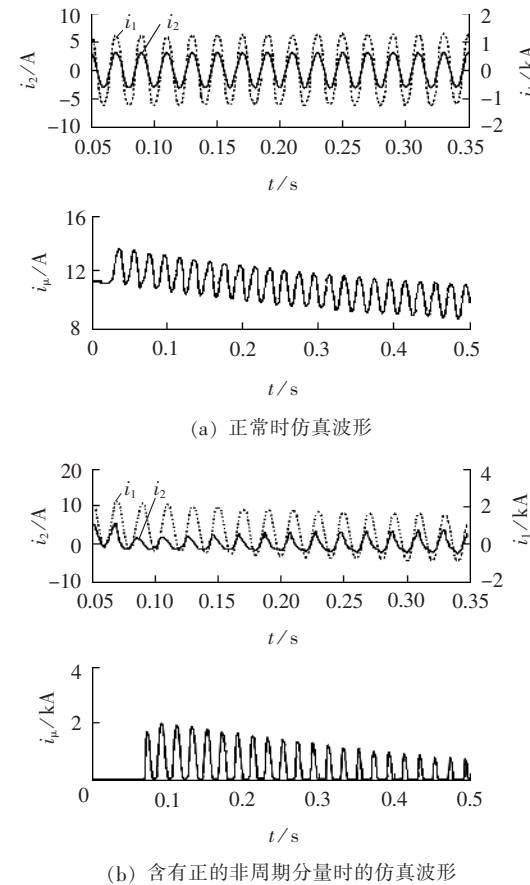


图 3 不含剩磁时的仿真结果

Fig.3 Simulation results without residual flux

b. 当电流互感器含有 40% 正方向剩磁时, i_1 、 i_2 、 i_u 的仿真波形见图 4。



(c) 含有负的非周期分量时的仿真波形

图 4 含剩磁时的仿真结果

Fig.4 Simulation results with residual flux

从图 3 可以看出,非周期分量是引起电流互感器暂态饱和的主要因素。当一次电流中含有非周期分量时,二次电流将产生畸变,二次电压幅值明显下降。当非周期分量为正时,电流互感器入饱和时二次电压波形变化显著,波形出现奇异点;而出饱和时变化相对缓慢。非周期分量的方向也决定励磁电流的方向,从而决定了电流互感器饱和方向。图 3(b) 电流互感器进入饱和的时间与图 3(c) 进入饱和的时间相差不大,可知,电流互感器不含剩磁时,非周期分量的方向并不影响电流互感器入饱和时间,只是饱和方向不同。

通过图 4 与图 3 仿真波形的比较,可以看到,在短路电流不含非周期直流分量时,一定量的剩磁对电流互感器的传变特性没有影响,二次侧的电流波形可认为是线性传变一次电流,励磁电流很小。当一次电流含有正的非周期分量时,图 3(b) 电流互感器进入饱和的时间比图 4(b) 进入饱和迟 2 个基波周期(图 3(b) 进入饱和的时间约是 0.12s;图 4(b) 进入饱和的时间约为 0.08s);同样可以看到,图 3(c) 电流互感器进入饱和的时间比图 4(c) 进入饱和早约 3 个基波周期(图 3(c) 进入饱和的时间约是 0.12s;图 4(c) 进入饱和的时间约为 0.18s)。分析可知,电流互感器含有剩磁时,非周期分量的正负将影响电流互感器的入饱和时间,非周期直流分量决定的饱和方向与电流互感器所含剩磁方向一起决定电流互感器的入饱和时间。从仿真结果可以看到,由于 40% 正方向剩磁的影响,含有正的非周期分量的一次电流使电流互感器进入饱和的时间(图 4(b))比含有负的非周期分量的一次电流使电流互感器进入饱和的时间(图 4(c))要早大约 5 个基波周期(约为 0.1s)。

需要指出的是:为了比较分析,文中计算和仿真都是在非周期分量的幅值为周期分量幅值的 100% 情况下进行的,这一情况是短路发生在电压过零点时才会出现。实际的运行经验表明,短路很少发生在电压靠近零值时,约有 95% 的短路是在电压峰值

之前的 40° 以内发生的,电压高于 100kV 的输电线的短路大都发生在离电压峰值 40° 的范围内。这时的非周期分量的幅值为周期分量幅值的 50% 。这就说明,受其幅值的限制,实际的非周期分量对电流互感器饱和的影响没有文中叙述的严重,但它对电流互感器暂态饱和影响的特性是相同的。

3 结论

a. 非周期直流分量是引起电流互感器暂态饱和的主要因素。电流互感器饱和时,二次电流发生畸变,波形出现奇异点。

b. 电流互感器入饱和二次电压模值变化明显,出饱和时变化缓慢,饱和时二次电压模值变小。

c. 非周期直流分量的方向决定励磁电流的方向,从而决定了电流互感器的饱和方向。非周期直流分量为正时,励磁电流为正,电流互感器发生正向饱和;非周期直流分量为负时,励磁电流为负,电流互感器发生负向饱和。

d. 电流互感器含有剩磁时,非周期直流分量的方向将会影响其入饱和时间。非周期直流分量决定的饱和方向若与电流互感器所含剩磁方向相同,则减小入饱和时间;反之,将增大入饱和时间。

参考文献:

- [1] 符杨,蓝之达,陈珩. 电流互感器暂态时域仿真[J]. 电力系统自动化,1995,19(3):25-31.
FU Yang,LAN Zhi-da,CHEN Heng. Simulation of transient in current transformer[J]. Automation of Electric Power Systems, 1995,19(3):25-31.
- [2] 陈三运. 一起CT饱和引起的继电保护拒动分析[J]. 电网技术,2002,26(4):85-87.
CHEN San-yun. Analysis of a misoperation of protection device caused by saturation of current transformer[J]. Power System Technology,2002,26(4):85-87.
- [3] 袁季修,盛和乐. 电流互感器的暂态饱和及应用计算[J]. 继电器,2002,30(2):1-5.

- YUAN Ji-xiu,SHENG He-le. The transient saturation of current transformer and its application calculation [J]. Relay,2002,30(2):1-5.
- [4] 胡晓光,于文斌. 电流互感器的暂态仿真及其铁芯饱和的小波分析[J]. 电网技术,2001,25(11):58-61.
HU Xiao-guang,YU Wen-bin. Transient simulation of current transformer and wavelet analysis of its core saturation[J]. Power System Technology,2001,25(11):58-61.
- [5] 胡晓光,王哲,于文斌. 电流互感器暂态过程的仿真与分析[J]. 电力系统及其自动化学报,2001,13(4):12-15.
HU Xiao-guang,WANG Zhe,YU Wen-bin. Transient simulation and analysis of current transformer[J]. Proceedings of the EPSA, 2001,13(4):12-15.
- [6] 舒光伟,臧雯,冯志彪. 电流互感器的数字实时仿真[J]. 电力系统及其自动化学报,2005,17(4):79-82.
SHU Guang-wei,ZANG Wen,FENG Zhi-biao. Real-time digital simulation for current transformer[J]. Proceedings of the EPSA, 2005,17(4):79-82.
- [7] 张新刚,王泽忠. 采用电压波形特征的电流互感器饱和和检测方法[J]. 电网技术,2005,29(14):59-63.
ZHANG Xin-gang,WANG Ze-zhong. A method detecting current transformer by utilizing features of secondary voltage waveform [J]. Power System Technology,2005,29(14):59-63.
- [8] 束洪春,林敏. 电流互感器暂态数学建模及其仿真的比较研究[J]. 电网技术,2003,27(4):11-14,26.
SHU Hong-chun,LIN Min. Comparative study on modeling and transient simulation of current transformer[J]. Power System Technology,2003,27(4):11-14,26.
- [9] 王春生,卓乐友,艾素兰. 母线保护[M]. 北京:水利电力出版社,1985.
- [10] 许正亚. 变压器及中低压网络数字式保护[M]. 北京:中国水利水电出版社,2004.

(责任编辑:柏英武)

作者简介:

李艳鹏(1982-),男,山西高平人,硕士研究生,主要研究方向为电力系统继电保护、变电站综合自动化(E-mail:kt0001@163.com);

侯启方(1982-),男,河南开封人,硕士研究生,主要研究方向为变电站综合自动化、绝缘在线监测。

Influence of non-periodic components on transient saturation of current transformer

LI Yan-peng,HOU Qi-fang,LIU Cheng-zhi

(Southwest Jiaotong University,Chengdu 610031,China)

Abstract: Transient saturation of CT(Current Transformer) will take place when its primary current contains DC component,which may cause distorted secondary current waveforms and incorrect operations of relay protections. By calculating the excitation current of CT caused by DC component,its transient saturation behavior is analyzed. Based on the simulation model established with Matlab,influences of DC component on the saturation direction and start time are studied by changing the direction of DC component. By comparing simulation results,the transient saturation behavior of CT caused by non-periodic components in different directions is explained.

Key words: current transformer; non-periodic component; transient saturation; Matlab/PSB simulation