

谐波对矢量同步法线路 差动保护的影响

杨 强¹, 兰金波², 鹿启伟³, 顾 菁⁴

(1. 云南电力调度中心, 云南 昆明 650041; 2. 国电南京自动化股份有限公司,
江苏 南京 210003; 3. 徐州大屯煤电集团公司 电业分公司, 江苏 徐州 221611;
4. 张家港市供电公司, 江苏 张家港 215600)

摘要: 变压器励磁涌流带来的谐波会对采用矢量同步法的差动保护带来影响。分析矢量同步方法原理, 说明了变压器励磁涌流谐波对线路差动保护矢量同步方法带来的误差原因。理论分析了全波差分傅氏算法和半波差分傅氏算法的异同, 并采用这 2 种算法对同一组数据进行仿真验证。通过理论和实际两方面的对比总结出, 对使用矢量同步方法的线路差动保护采用全波差分傅氏算法后可以大大减小谐波带来的同步误差, 提高保护装置的可靠性。

关键词: 差动保护; 矢量同步; 谐波; 傅氏算法

中图分类号: TM 773

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2006)01-0086-03

近年来国内线路差动保护的应用越来越多, 变压器相邻线路使用差动保护的情况时有发生, 实际应用发生了空充变压器时差动保护误动的情况。由于变压器空充可能产生与短路电流可比拟的暂态励磁涌流, 励磁涌流中含有丰富的非周期分量和偶次谐波分量, 其中在 0~20 ms 时间内非周期分量可能达到基波分量的 913.2%, 二次谐波含量可能达到 102.3%^[1]。对使用采样时刻调整法^[2-5]的差动保护而言, 变压器空充不会带来影响。而对采用矢量同步法^[4-5]的线路差动保护而言, 需要深入分析非周期分量和偶次谐波分量带来的影响。

1 线路差动保护的矢量同步法

国内现有线路差动保护广泛采用的同步方法主要有以下 2 种:

a. 采样时刻调整法,通过设定一侧保护装置的采样时刻作为基准, 其余各侧的装置通过不断调整, 以使所有保护装置的采样时刻一致, 从而达到满足差动保护的要求;

b. 矢量同步法,也称采样数据修正法, 线路各侧的保护装置, 在各自的晶振控制下, 以相同的采样频率, 独立自由地进行采样, 然后, 在进行差动保护算法之前作同步修正处理。

矢量同步法简单的同步原理如图 1 所示, 线路两端保护不分主站和从站, 地位相同。它们在各自晶振控制下以相同的采样率独立采样, 采样点如图中所示。

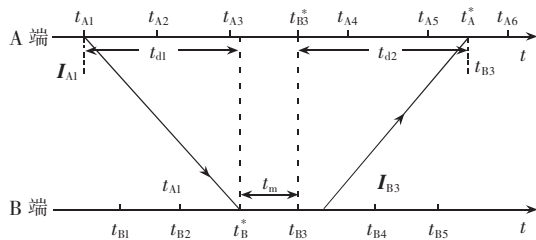


图 1 采样数据修正法

Fig.1 Sampling data modification method

设 t_{A1} 时刻 A 端保护发送一帧信息给 B 端, 信息中包括时间标签 t_{A1} , t_{A1} 时刻的电流采样数据 I_{A1} 以及其他状态和时间信息。该信息经通道延时 t_{d1} 后到达 B 端, 到达时刻为 t_{B*} 。经 t_m 延时后, B 端保护在 t_{B3} 时刻也向 A 端发送一帧信息, 该信息包括时间标签 t_{B3} 、对方刚送来的 t_{A1} 、延时 t_m ($t_m = t_{B3} - t_{B*}$) 以及 t_{B3} 时刻的采样数据 I_{B3} 。该信息经通道延时 t_{d2} 后到达 A 端, 到达时刻为 t_{A*} 。在发信和收信使用同一通道的情况下, A 端可由下式计算出通道延时:

$$t_d = t_{d1} = t_{d2} = (t_{A*} - t_{A1} - t_m) / 2$$

计算出 t_d 之后, B 端采样时刻 t_{B3} 在 A 端时间轴上所对应的时刻 t_{B3}^* 便可由下式计算出:

$$t_{B3}^* = t_{A*} - t_d$$

为满足差动判据需要同时刻电流数据的要求, 须将 t_{B3}^* 时刻的电流数据 I_{B3} 变换到 t_{A3} 或 t_{A4} 时刻的值。一般, 采用本方法进行数据传递时, 传送的是对应某一采样时刻经傅氏变换得到的基波电流向量。因此, 对应 t_{A3} 或 t_{A4} 时刻的 B 端电流向量可由 I_{B3} 乘以适当的旋转因子而得到。比如, 与 t_{A4} 时刻对应的 B 端电流向量为

$$I_{B4} = I_{B3} e^{j2\pi f(t_{A4} - t_{B3}^*)}$$

同理, 可计算出 t_{A3} 时刻对应的 B 端电流向量。

2 谐波对矢量同步法的影响

数字式继电保护目前广泛采用傅氏算法^[6]作为电力系统微机保护提取基波分量的算法。傅氏算法是数字信号处理的一个重要工具,它来源于傅里叶级数。对于工频量,傅氏算法的数据窗长度为 1 个周期 20 ms。为了缩短时间窗长度(加快保护动作时间),可采用半波傅氏算法^[7]。对信号中的基波分量,半波傅氏算法只需计算 $N/2$ 项,所得结果就是该式 N 项总和的一半。这就是采用半波傅氏算法的依据。

在全波算法时恒定的直流分量被消除,而半波计算时则不能,必须采取措施消除。半波算法也不能消除偶次谐波分量^[8]。

傅氏算法有很好的滤波能力,不但能完全滤除一切谐波分量,也能较好地滤除线路分布电容引起的高频分量。瞬时短路电流中含有按指数衰减的非周期分量,它具有连续的频谱,在低频密度最大。傅氏算法在此情况计算误差较大^[8]。先对输入信号施行一次减法滤波,然后进行傅氏计算,这是由于减法滤波能削弱非周期分量。由于这种算法简单,因此得到广泛应用^[9]。

在前置差分滤波以后,全波差分傅氏算法和半波差分傅氏算法分别变换为

$$A(k) = \frac{1}{N \sin(m \pi / N)} \sum_{i=1}^N (x_{k-N+i} - x_{k-N+i-m}) e^{-i\theta} \quad (1)$$

$$A(k) = \frac{2}{N \sin(m \pi / N)} \sum_{i=1}^{N/2} (x_{k-N/2+i} - x_{k-N/2+i-m}) e^{-i\theta} \quad (2)$$

为了分析衰减非周期分量对傅氏算法的影响,设电力系统故障电流有如下形式^[4]:

$$x(t) = x_0 e^{-\alpha t} + \sum_{j=1}^n x_j \sin(j \omega t + \varphi_j) \quad (3)$$

将 $x(t)$ 离散化代入全波傅氏算法式(1)中得到:

$$A(k) = \sum_{i=1}^N E(i) e^{-i\theta} + \sum_{i=1}^N X_1(i) e^{-i\theta} \quad (4)$$

$$E(i) = \frac{1}{N \sin(m \pi / N)} [e^{-\alpha(k-N+i)} - e^{-\alpha(k-N+i-m)}]$$

$$X_1(i) = \frac{2}{N \sin(m \pi / N)} \{x_1 \sin[\omega(k-N+i) + \varphi_1] - x_1 \sin[\omega(k-N+i-m) + \varphi_1]\}$$

将 $x(t)$ 离散化代入半波傅氏算法式(2)中得到:

$$A(k) = \sum_{i=1}^{N/2} E(i) e^{-i\theta} + \sum_{i=1}^{N/2} X_1(i) e^{-i\theta} + \sum_{i=1}^{N/2} X_j(i) e^{-i\theta} \quad (5)$$

$$E(i) = \frac{2}{N \sin(m \pi / N)} [e^{-\alpha(k-N/2+i)} - e^{-\alpha(k-N/2+i-m)}]$$

$$X_1(i) = \frac{2}{N \sin(m \pi / N)} \{x_1 \sin[\omega(k-N/2+i) + \varphi_1] - x_1 \sin[\omega(k-N/2+i-m) + \varphi_1]\}$$

$$X_j(i) = \frac{2}{N \sin(m \pi / N)} \left\{ \sum_{j=1}^n x_{2j} \sin[2j\omega(k-N/2+i) + \varphi_{2j}] - \sum_{j=1}^n x_{2j} \sin[2j\omega(k-N/2+i-m) + \varphi_{2j}] \right\}$$

由式(4)可以看出,采用矢量同步法线路两侧的保护装置由于不同步采样,造成全波傅氏算法数据窗不一致,式(4)中第 2 项 $\sum_{i=1}^N X_1(i) e^{-i\theta}$ 产生的相位偏差通过矢量同步法中旋转因子来调整。而式(4)中第 1 项 $\sum_{i=1}^N E(i) e^{-i\theta}$ 为非周期函数,产生的相位偏差会影响同步算法的效果,电流中衰减非周期分量越大时,对全波傅氏算法结果的影响就会越大。半波差分傅氏算法式(5)第 1 项 $\sum_{i=1}^{N/2} E(i) e^{-i\theta}$ 误差相对全波傅氏算法式(4)第 1 项误差要大一些,第 2 项 $\sum_{i=1}^{N/2} X_1(i) e^{-i\theta}$ 产生的相位偏差通过矢量同步法中旋转因子来调整,第 3 项 $\sum_{i=1}^{N/2} X_j(i) e^{-i\theta}$ 则是由于半波傅氏算法不能完全滤除偶次谐波所带来的误差。

以下的分析和仿真验算是基于式(1)和式(2),且取 $m=3$ 作出的。

3 试验/仿真计算结果

图 2 所示是某地区实际现场录波数据,当时区外 220 kV 变压器空充时线路差动保护发生误动(A 相),数据采样频率为 1 kHz。图中实线为 m 侧 A 相电流,虚线为 n 侧 A 相电流。

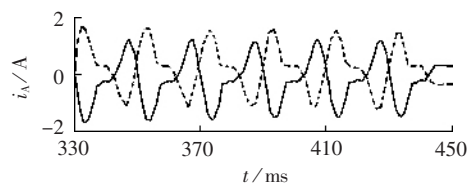


图 2 空充变压器时线路两侧 A 相电流
Fig.2 Transmission line phase A current as transformer closing without load

计算电流中各次谐波含量,见图 3。

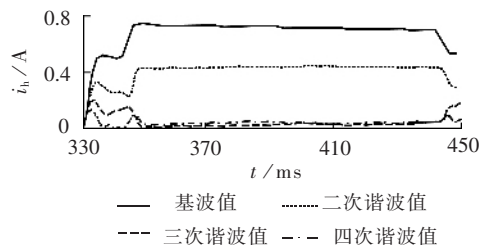


图 3 A 相电流含各次谐波

Fig.3 Harmonious wave in phase A current

采用半波傅氏算法计算后,进行矢量同步,计算差动动作判据^[10]得到结果,见图 4。

采用全波傅氏算法计算后,进行矢量同步,计算差动动作判据得到结果,见图 5。

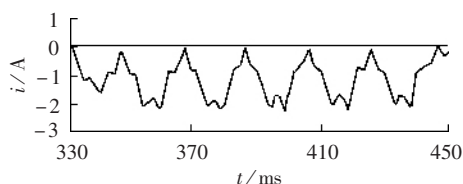


图4 采用半波傅氏算法的差动判据结果

Fig.4 The result of differential criterion using HFT

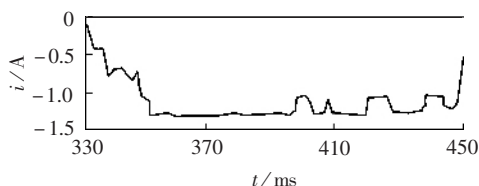


图5 采用全波傅氏算法差动判据示意图

Fig.5 The result of differential criterion using FFT

4 结语

本文分析了变压器励磁涌流谐波对线路差动保护矢量同步方法带来的误差,表明暂态衰减的直流分量和高次谐波分量是傅氏算法产生误差的直接原因,并从理论和实际比较了全波傅氏算法和半波傅氏算法的误差大小。通过试验仿真证明了采用全波傅氏算法,可以大大减小矢量同步方法由于暂态衰减的直流分量和高次谐波分量带来的同步误差。

参考文献:

- [1] 王维俭. 电气主设备保护原理与应用[M]. 2版. 北京: 中国电力出版社, 1996.
- [2] 王尔寒, 王强, 文明浩, 等. 光纤纵差保护中数据同步的误差分析及补偿办法[J]. 继电器, 2003, 31(8): 43-45. WANG Er-han, WANG Qiang, WEN Ming-hao, et al. Analysis on errors of data synchronization and compensation methods for differential current protection based channel of optical fiber[J]. *Relay*, 2003, 31(8): 43-45.
- [3] 刘龙国, 焉峰. 数字电流纵差保护中数据采样的两种同步方法[J]. 山东电力技术, 2001(1): 40-41. LIU Long-guo, YAN Feng. Two sampling synchronization

methods in digital current differential protection[J]. *Shandong Electric Technique*, 2001(1): 40-41.

- [4] 高厚磊, 江世芳, 贺家李. 数字电流差动保护中几种采样同步方法[J]. 电力系统自动化, 1996, 20(9): 46-53. GAO Hou-lei, JIANG Shi-fang, HE Jia-li. Sampling synchronization methods in digital current differential protection[J]. *Automation of Electric Power Systems*, 1996, 20(9): 46-53.
- [5] 廖泽友, 鲍伟廉, 杨奇逊, 等. 数字式高压线路电流纵差保护的通信技术[J]. 电力系统自动化, 1999, 23(18): 25-27. LIAO Ze-you, BAO Wei-lian, YANG Qi-xun, et al. Actuality and perspective of current differential protection in HV transmission line[J]. *Automation of Electric Power Systems*, 1999, 23(18): 25-27.
- [6] 高婧, 郑建勇, 潘震东. 电力系统微机保护中改进傅氏算法综合性能研究[J]. 继电器, 2002, 30(10): 16-20. GAO Jing, ZHENG Jian-yong, PAN Zhen-dong. Study of improved Fourier algorithm for microprocessor-based protection in power system[J]. *Relay*, 2002, 30(10): 16-20.
- [7] 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.
- [8] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术[M]. 2版. 北京: 中国电力出版社, 1995.
- [9] 陈德树. 计算机继电保护原理与技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 1992.
- [10] 张保会, 尹项根. 电力系统继电保护[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.

(责任编辑: 李 玲)

作者简介:

杨 强(1966-), 男, 云南凤庆人, 高级工程师, 主要从事电力生产技术管理工作;

兰金波(1977-), 男, 江西吉安人, 工程师, 从事输电线路保护开发工作;

鹿启伟(1969-), 男, 江苏徐州人, 副科长, 工程师, 从事电力系统继电保护专业管理工作;

顾 菁(1973-), 女, 江苏苏州人, 工程师, 从事电力系统自动化方面的研究工作。

Influence of harmonic on line difference protection based on vector synchronization

YANG Qiang¹, LAN Jin-bo², LU Qi-wei³, GU Jing⁴

(1. Yunnan Electric Power Dispatch Center, Kunming 650041, China;

2. Guodian Nanjing Automation Co., Ltd., Nanjing 210003, China;

3. Electrical Company, Xuzhou Datun Coal & Power Group, Xuzhou 221611, China;

4. Zhangjiagang Electric Power Supply Company, Zhangjiagang 215600, China)

Abstract: The harmonic caused by the transformer magnetizing inrush will affect the difference protection based on vector synchronization. Through the principle analysis, reason of the caused errors is illuminated. The full-wave and half-wave Fourier transform algorithms are studied in their similarities and differences, and then applied to the same data for emulation test. The theoretic analysis and the practical application prove that using full-wave Fourier transform algorithm in line difference protection based on vector synchronization will reduce the synchronization error caused by harmonic greatly and improve the reliability of protection device.

Key words: difference protection; vector synchronization; harmonic; Fourier transformer algorithm