

一种在线检测基波无功电流和 谐波电流的简便方法

陈秋明

(合肥工业大学电气与自动化工程学院, 安徽省 合肥市 230009)

A Simple On-line Method of Detecting Reactive Current and Harmonic Current

CHEN Qiu-ming

(Electric and Automation Engineering Department of Hefei University of Technology, Hefei 230009, Anhui Province, China)

ABSTRACT: Imaging the voltage of electrified wire netting is sine wave, this article gives two basic principles of on-line detecting reactive current and harmonic current: (1) The difference of active current from load current is reactive current and harmonic current; (2) If the voltage of electrified wire netting is sine wave, then the definite integral of the product of this voltage multiplied by reactive current and harmonic current is zero on the area of a basic term. On the basis of adaptive canceling technology, this article puts forward a simple on-line new method of detecting reactive current and harmonic current in according to these two principles. This new method uses a integer to calculate and needn't reference transformation or artificial neural network. This new method has the character of brief calculation, simple hardware, rapid response and high precision. This new method would have wide applications. Computer simulation has proved this new method advantageous through comparison.

KEY WORDS: power electronics; active power filter; current detection; adaptive canceling technology

摘要: 在电网电压为正弦波的前提下, 该文提出了在线检测基波无功电流和谐波电流的2条基本原理: ①负载电流减去基波有功电流, 剩下的就是基波无功电流和谐波电流之和; ②电网电压与基波无功电流和谐波电流之和的乘积, 在一个基波周期区间上的定积分为零。在自适应抵消技术的基础上, 根据这2条基本原理, 该文提出了一种简便的在线检测基波无功电流和谐波电流的新方法。这种新方法使用积分器进行计算, 不需要坐标变换, 也不需要人工神经网络, 具有计算简单、硬件简单、响应速度快和检测精度高的特点, 具有很大的实用价值。通过计算机仿真对比, 证明了新方法的优越性。

关键词: 电力电子; 有源电力滤波器; 电流检测; 自适应抵消技术

0 引言

当前, 有源电力滤波器在电力系统中的应用前景日益看好^[1-3]。有源电力滤波器分串联型和并联型2种。并联型有源电力滤波器的基本原理是: 从负载电流中检测出基波无功电流和谐波电流, 由补偿装置产生一个与该电流大小相等而极性相反的补偿电流, 注入电网, 从而使电网电流中只包含基波有功电流。显然, 能否快速而准确地检测出负载中的基波无功电流和谐波电流, 是并联型有源电力滤波器成功应用的前提条件。

关于基波无功电流和谐波电流的检测, 目前主要有2类方法: 一是基于瞬时无功功率理论的方法^[4-5], 二是基于自适应抵消技术的方法^[6-8]。此外, 还有其他一些非主流的方法, 如, 快速傅里叶变换的方法^[9], 小波变换的方法^[10-12]。

基于瞬时无功功率理论的方法的原理是: 检测负载三相电流和A相电压, 经坐标变换, 得到两相静止坐标系中的电流值, 算出瞬时有功电流 i_p 和瞬时无功电流 i_q , 再经过坐标变换, 得到三相基波有功电流, 最后用负载电流减去基波有功电流, 得到基波无功电流和谐波电流 i_{ah} 、 i_{bh} 、 i_{ch} 。原理框图见图1。

图1中, C_{32} 代表三相变两相的静止坐标变换; C 代表两相变两相的旋转坐标变换; LPF代表低通滤波环节; C_{23} 代表两相变三相的逆变换; PLL代表取电压与电流相位的差值; $\sin$ 和 $\cos$ 代表取该相位差值的三角函数。

算得到的谐波电流的均方差值。显然,改进后的新方法的响应速度和检测精度明显优于改进前。

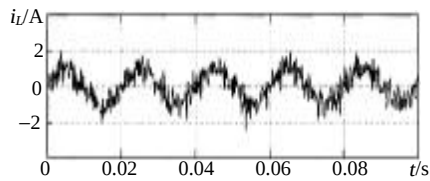


图 4 负载电流波形

Fig. 4 The waveform of load current

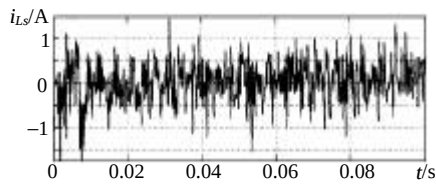


图 5 负载电流的谐波成分

Fig. 5 The harmonic parts of load current

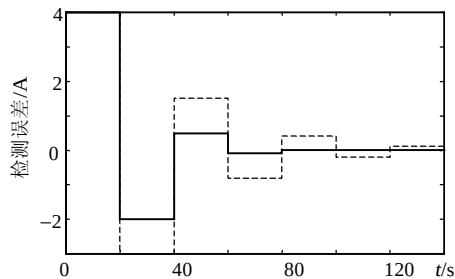


图 6 2 种方法误差的对比

Fig. 6 The error comparing of the two methods

不仅如此,当负载电流大小发生变化时,新方法的抗干扰能力也优于旧方法。图 7 就是 2 种方法抗干扰能力的对比,虚线代表基于自适应对消技术的误差的均方值,实线代表新方法的误差的均方值。开始时,系统处于稳态,2 种检测方法的精度大致相同。在时刻等于 40ms 时,负载大小突然发生变化,新方法能较快恢复稳定,而旧方法则需要较长的时间。

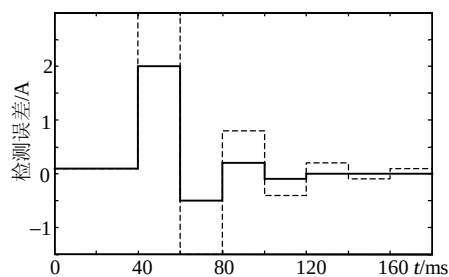


图 7 当负载扰动时 2 种方法误差的对比

Fig. 7 The error comparing of the two methods when load changes

3 结论

在自适应对消技术的基础上,根据 2 条基本原理,本文提出了一种改进的在线检测基波无功电流和谐波电流的简便方法。本方法使用积分器进行计算,不需要坐标变换,也不需要人工神经网络。本方法既适用于恒定负载的情况,也适用于变化的负载的情况。与文献[13]相比,本方法能同时检测出基波无功电流和谐波电流,与文献[14]相比,本方法非常简单、实用。本方法具有计算简单、硬件简单、响应速度快和检测精度高的特点,具有很大的实用价值。

本方法适用于电网电压为正弦波的情况(这种情况比较常见)。当电网电压含有谐波成分时,情况变得复杂,此时谐波电流既包含无功的成分,也包含有功的成分,而有功的成分只能来自于电源。这时,有源滤波器的作用是补偿基波无功电流和谐波中的无功电流成分,本方法不再适用,但本方法采用积分器进行计算的思路对今后这方面的研究仍然有启迪作用。

参考文献

- [1] Akagi H, Trends in active power line conditions[J]. IEEE Trans on Power Electron, 1994, 9(3): 263-268.
- [2] Akagi H, Kanazawa Y, Nabe A. Generalized theory of the instantaneous reactive power in three-phase circuits[C]. In: IEEE&JIEE. Proceedings IPEC. IEEE, Tokyo, 1983.
- [3] 谭甜源, 罗安, 唐顺, 等. 大功率并联混合型有源滤波器的研制[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(3): 41-45.
Tan Tianyuan, Luo An, Tang Xin, et al. Development of high-capacity hybrid power filter[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(3): 41-45(in Chinese).
- [4] 何益宏, 卓放. 一种基于瞬时无功功率理论谐波检测的离散滤波方法[J]. 电工电能新技术, 2002, 21(4): 13-15, 50.
He Yihong, Zhuo Fang. A discretized filtering method of harmonics detection based on instantaneous reactive power theory, Advanced Technology of Electrical Engineering and Energy, 2002, 21(4): 13-15, 50(in Chinese).
- [5] 刘开培, 陈艳慧, 张俊敏, 等. 基于 p-q-r 法的电力系统谐波检测方法[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(14): 25-29.
Liu Kaipei, Chen Yanhui, Zhang Junmin, et al. Harmonic detection method for power system based on p-q-r theory[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(14): 25-29(in Chinese).
- [6] 王群, 姚为正, 王兆安. 一种基于神经元的自适应谐波电流检测法[J]. 电力系统自动化, 1997, 21(10): 13-10.
Wang Qun, Yao Weizheng, Wang Zhaoan. An adaptive detection method of harmonic current based on neural unit[J]. Automation of Power System, 1997, 21(10): 13-10(in Chinese).
- [7] 占勇, 丁屹峰, 程浩忠, 等. 电力系统谐波分析的稳健支持向量机方法研究[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(12): 43-46.

- Zhan Yong, Ding Yifeng, Cheng Haozhong, et al. A robust support vector algorithm for harmonics analysis of electric power system [J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(12): 43-46(in Chinese).
- [8] 陶骏, 刘正之. 谐波及无功电流检测方法的研究[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(1): 31-34.
- Tao Jun, Liu Zhengzhi. Study on detection method of harmonic and reactive current[J]. Automation of Power System[J]. 2001, 25(1): 31-34(in Chinese).
- [9] 庞浩, 李东霞, 俎云霄, 等. 应用 FFT 进行电力系统谐波分析的改进算法[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(6): 50-53.
- Pang Hao, Li Dingxia, Zu Yunxiao, et al. An improved algorithm for harmonic analysis of power system using FFT technology [J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23(6): 50-53(in Chinese).
- [10] 张介秋, 梁昌洪, 陈观圃, 等. 基于卷积窗的电力系统谐波理论分析与算法[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(11): 48-51.
- Zhang Jieqiu, Liang Changhong, Chen Guanpu, et al. Power system harmonic theory analysis and algorithm based on convolution windows[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(11): 48-51(in Chinese).
- [11] 杜天军, 陈光禹, 雷勇, 等. 基于混叠补偿小波变换的电力系统谐波检测方法[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(3): 54-59, 134.
- Du Tianjun, Chen Guangyu, Lei Yong, et al. A novel method for power system harmonic detection based on wavelet transform with aliasing compensation [J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(3): 54-59, 134(in Chinese).
- [12] 李圣清, 周有庆, 朱英浩, 等. 基于加权一阶局域理论的综合电力滤波器谐波电流预测方法[J]. 2004, 24(6): 19-23.
- Li Shengqing, Zhou Yuqing, Zhu Yinghao, et al. Harmonic current prediction method of combined power filter based on weighted first-order local area theory [J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(6): 19-23(in Chinese).
- [13] 杨柳, 刘会金, 陈允平, 等. 三相四线制系统任意次谐波电流的检测新方法[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(13): 41-44.
- Yang Liu, Liu Huijin, Chen Yunping, et al. A new algorithm for random harmonic current detection in three phase four wire system[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(13): 41-44(in Chinese).
- [14] 李红雨, 吴隆辉, 卓放, 等. 一种新型的快速电流检测方法的研究

[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(13): 57-62.

Li hongyu, Wu Longhui, Zhuo Fang, et al. Study on the novel fast current detection method[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(13): 57-62(in Chinese).

附录

关于 2 条基本原理的证明

设电网电压 $u_a = C \sin \omega t$, 又设负载电流 i_a 为正负半波对称的周期性电流, 把 i_a 按傅里叶级数展开成:

$$i_a = A_1 \sin \omega t + B_1 \cos \omega t +$$

$$\sum_{k=1}^{\infty} [A_{2k+1} \sin(2k+1)\omega t + B_{2k+1} \cos(2k+1)\omega t]$$

式中 第 1 项就是基波有功电流, 第 2 项就是基波无功电流, 第 3 项就是谐波电流, 即

$i_a = i_{ap} + i_{aq} + i_{ah}$, 所以有 $i_a - i_{ap} = i_{aq} + i_{ah}$, 第 1 条原理得证。又

$$\begin{aligned} \int_0^T u_a (i_{aq} + i_{ah}) dt &= \\ \int_0^T C \sin \omega t \{ B_1 \cos \omega t dt + \sum_{k=1}^{\infty} [A_{2k+1} \sin(2k+1)\omega t + \\ B_{2k+1} \cos(2k+1)\omega t] \} dt &= \int_0^T C B_1 \sin \omega t \cos \omega t dt + \\ \sum_{k=1}^{\infty} \int_0^T C A_{2k+1} \sin \omega t \sin(2k+1)\omega t dt &+ \\ \sum_{k=1}^{\infty} \int_0^T C B_{2k+1} \sin \omega t \cos(2k+1)\omega t dt &= \\ 0 + 0 + 0 &= 0, \end{aligned}$$

第 2 条原理得证。

收稿日期: 2006-02-15。

作者简介:

陈秋明 (1963-), 男, 博士研究生, 讲师, 研究方向为电力电子与电力传动和人工神经网络, cqm123772@tom.com。

(编辑 王彦骏)