

# 用于强非线性负荷的瞬时无功与谐波电流检测算法研究

王辉,李庆民,吴明雷

(山东大学电气工程学院, 山东 济南 250061)

摘要: 为解决强非线性与类随机性负荷下的瞬时无功与谐波补偿问题,综合应用  $i_p - i_q$ 法和  $p - q$ 法,提出了一种有效的瞬时无功与谐波电流检测算法。该算法适用于任意工况的三相电路,包括三相四线制电路、电压非对称正弦或含有谐波等情况。理论推导和仿真证明了该算法的正确性和有效性。同时,将该算法进行推广,可实现对任意次谐波正序或负序有功、无功电流的有效提取。

关键词: 无功与谐波检测; 瞬时补偿; 有源滤波器; 强非线性负荷

中图分类号: TM716; TM835 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2006)21-0018-06

## 0 引言

随着现代化工业技术的迅速发展,出现了许多具有强非线性特性的大功率用电设备,如炼钢电弧炉、电气化机车、矿山机械等,此类强非线性负荷将产生三相不平衡的谐波或高频电流注入电力系统,形成愈加严重的电能质量问题。这些负荷具有以下突出的特征:供电电压与负荷电流同时类随机性波动,谐波与无功问题相互关联,负荷容量大,三相严重不平衡。这就给解决电弧炉系统的谐波治理与无功补偿问题带来困难。

目前有源滤波技术中瞬时谐波与无功电流的检测主要依赖  $p-q$ 法和  $i_p - i_q$ 法<sup>[1~5]</sup>,但分析表明,这些方法适用的条件是有限的<sup>[6,7]</sup>,特别是在电压波形严重畸变的工况下,并不能实现正确的无功与谐波电流补偿。尽管有学者曾研究非理想电源电压下补偿电流的准确算法,但要么采用在物理上根本无法准确实现的90°移相算法<sup>[8]</sup>,要么不易确定在合成矢量的投影算法中所需的相位信息<sup>[9]</sup>,其对低通滤波器的响应特性非常敏感,易造成较大误差。再者,在几乎所有的文献报道中,都是采用锁相环来获得电压的频率与相位信息,而按照锁相环的工作原理,它只能准确跟踪单一频率的平稳信号,对于含有谐波畸变的非正弦信号,存在着跟踪误差。因此,现有的补偿电流检测算法,在电压与电流同时瞬变的类随机性负荷条件下,会产生较大误差。

本文基于正交数学变换,综合应用  $p-q$ 法和  $i_p - i_q$ 法,提出了一种有效检测三相电路中基波正序瞬时有功电流的方法,它可通用于任何工况的三相电路(包括三相三线制、三相四线制、电压与电流严

重不对称或含有谐波等),可较好地解决电压不对称正弦时强非线性负荷的瞬时无功与谐波电流补偿算法问题。

## 1 任何工况下瞬时无功与谐波电流检测算法

设检测到的三相电压和电流用矩阵相量分别表示为:  $u = [u_a \ u_b \ u_c]^T$ 和  $i = [i_a \ i_b \ i_c]^T$ 。无功与谐波补偿的最终目标,是将三相瞬时电流补偿为三相瞬时基波正序有功电流,因此,只要能准确检测出基波正序有功电流,则余下的电流皆为“有害”电流,可作为谐波和无功发生器的补偿指令电流。若将三相瞬时电流分解为基波正序有功电流  $i_{p1}$ 、基波正序无功电流  $i_{q1}$ 、基波负序电流  $i_2$ 、基波零序电流  $i_0$ 和谐波电流  $i_h$ ,即:  $i = i_{p1} + i_{q1} + i_2 + i_0 + i_h$ ,则补偿指令电流为  $i^* = i - i_{p1} = i_{q1} + i_2 + i_0 + i_h$ 。

通过具体分析可以证明,当三相电路的电压与电流皆为对称正弦时,三相瞬时基波有功功率恒等于三相瞬时功率,则此时可以利用  $p - q$ 法实现正确的无功补偿。为此,可先构造出这样一个理想的基波对称系统,使该三相系统的有功功率等于原来非理想三相电路的基波正序有功功率。

这里假定电网角频率  $\omega$  可以实时准确地跟踪和获得。首先对三相非对称正弦的瞬时电压  $u$ 和电流  $i$ 同时实施  $i_p - i_q$ 变换,将三相电流变换为两个正交分量  $i_p, i_q$ ,三相电压变换为两个正交分量  $u_p, u_q$ 。其中  $\bar{i}_p, \bar{i}_q$ 为  $i_p, i_q$ 中的直流分量,  $\bar{u}_p, \bar{u}_q$ 为  $u_p, u_q$ 中直流分量。

$$\begin{bmatrix} i_p \\ i_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{i}_p \\ \bar{i}_q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \tilde{i}_p \\ \tilde{i}_q \end{bmatrix} = C_{pq} i \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} u_p \\ u_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{u}_p \\ \bar{u}_q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \tilde{u}_p \\ \tilde{u}_q \end{bmatrix} = C_{pq} u \quad (2)$$

式中:

$$C_{pq} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} \sin t & \sin(t - \frac{2}{3}) & \sin(t + \frac{2}{3}) \\ \cos t & \cos(t - \frac{2}{3}) & \cos(t + \frac{2}{3}) \end{bmatrix} \quad (3)$$

取其中的直流分量(低通滤波)进行反变换,必然对应于原三相系统中电压和电流的基波正序分量(对称正弦)  $u_1$  和  $i_1$ 。

$$i_1 = \bar{i}_{p1} + \bar{i}_{q1} = \begin{bmatrix} \bar{i}_{a1} \\ \bar{i}_{b1} \\ \bar{i}_{c1} \end{bmatrix} = C_{pq}^T \begin{bmatrix} \bar{i}_p \\ \bar{i}_q \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$u_1 = \begin{bmatrix} u_{a1} \\ u_{b1} \\ u_{c1} \end{bmatrix} = C_{pq}^T \begin{bmatrix} u_p \\ u_q \end{bmatrix} \quad (5)$$

利用  $u_1$  和  $i_1$  构成一个基波对称正弦系统,则此系统的瞬时有功电流就是原三相系统的瞬时有功基波正序有功电流。为得到新的基波对称正弦系统的瞬时有功电流,可对此系统实施 p-q 变换,通过三相变两相的矩阵 C 做正交变换,可以得到  $\alpha$ - $\beta$  域的电压、电流和基波对称正弦系统瞬时有功功率  $p$  和无功功率  $q$ :

$$C = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} u \\ u \end{bmatrix} = C u_1 \quad (7)$$

$$\begin{bmatrix} i \\ i \end{bmatrix} = C i_1 \quad (8)$$

$$\begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u & u \\ -u & u \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i \\ i \end{bmatrix} \quad (9)$$

由于此三相对称正弦系统的瞬时功率等于其瞬时有功功率,满足 p-q 法进行无功补偿的严格条件,则瞬时有功电流可由式 (10) 获得,此值也就是原三相系统的基波正序有功电流分量。

$$\bar{i}_{p1} = C^{-1} \begin{bmatrix} u & u \\ -u & u \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} p \\ \theta \end{bmatrix} \quad (10)$$

则对应于原三相系统,谐波与无功发生器的补偿电流指令值  $i^*$  为:

$$i^* = i - \bar{i}_{p1} \quad (11)$$

在实际形成补偿算法时,上述过程可以简化如下:

$$p = u_1^T i_1 = \begin{bmatrix} \bar{u}_p & \bar{u}_q \end{bmatrix} C_{pq} C_{pq}^T \begin{bmatrix} \bar{i}_p \\ \bar{i}_q \end{bmatrix} = \bar{u}_p \bar{i}_p + \bar{u}_q \bar{i}_q \quad (12)$$

$$\bar{i}_{p1} = \frac{C^T}{u^2 + u^2} \begin{bmatrix} u & -u \\ u & u \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ \theta \end{bmatrix} = \frac{C^T}{u^2 + u^2} \begin{bmatrix} u \\ u \end{bmatrix} p =$$

$$\frac{C^T C u_1 p}{(C u_1)^T C u_1} = \frac{C^T C u_1 p}{u_1^T C^T C u_1} = \frac{C^T C C_{pq}^T \begin{bmatrix} \bar{u}_p \\ \bar{u}_q \end{bmatrix} p}{\begin{bmatrix} \bar{u}_p \\ \bar{u}_q \end{bmatrix}^T C_{pq} C^T C C_{pq}^T \begin{bmatrix} \bar{u}_p \\ \bar{u}_q \end{bmatrix}} \quad (13)$$

尽管  $C^T C$  不是单位矩阵,但可以证明:

$$C^T C C_{pq}^T = C_{pq}^T \quad (14)$$

$$C_{pq} C^T C C_{pq}^T = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (15)$$

则式 (13) 可以简化为式 (16),相应的无功与谐波的补偿算法流程如图 1 所示。尽管本文方法的数学基础中用到了 p-q 变换,但在具体的算法实现中并不需要 C 矩阵。

$$\bar{i}_{p1} = \frac{C_{pq}^T \begin{bmatrix} \bar{u}_p \\ \bar{u}_q \end{bmatrix} (\bar{u}_p \bar{i}_p + \bar{u}_q \bar{i}_q)}{\bar{u}_p^2 + \bar{u}_q^2} \quad (16)$$

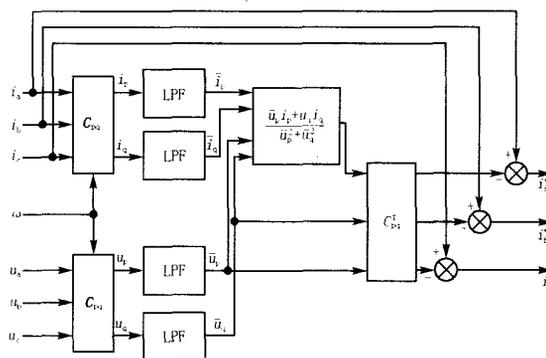


图 1 实现瞬时无功与谐波补偿的算法框图

Fig 1 Schematic diagram of the algorithm for instantaneous reactive power and harmonics compensation

## 2 仿真结果分析

为验证上述补偿电流检测算法的有效性,采用 Matlab/Simulink 软件进行了计算机仿真。不失一般性,仿真分析针对三相四线制系统;低通滤波器(LPF)采用性能较优的二阶 Butterworth 型 IIR 数字滤波器<sup>[10]</sup>。

### 2.1 三相电压非对称正弦,负载不平衡

设三相电源电压中含基波正序、基波负序、基波零序、三次谐波、五次谐波和七次谐波分量,如图 2

所示。设三相电压的表达式为:

$$u_a = 311 \sin t + 100 \sin \left( t + \frac{\pi}{6} \right) + 50 \sin \left( t + \frac{\pi}{6} \right) + 100 \sin 3 t + 10 \sin 5 t + 10 \sin 7 t$$

$$u_b = 311 \sin \left( t - \frac{2\pi}{3} \right) + 100 \sin \left( t + \frac{\pi}{6} + \frac{2\pi}{3} \right) + 50 \sin \left( t + \frac{\pi}{6} \right) + 100 \sin \left( 3 t - \frac{2\pi}{9} \right) + 10 \sin \left( 5 t - \frac{2\pi}{11} \right) + 10 \sin \left( 7 t + \frac{2\pi}{15} \right)$$

$$u_c = 311 \sin \left( t + \frac{2\pi}{3} \right) + 100 \sin \left( t + \frac{\pi}{6} - \frac{2\pi}{3} \right) + 50 \sin \left( t + \frac{\pi}{6} \right) + 100 \sin \left( 3 t + \frac{\pi}{9} \right) + 10 \sin \left( 5 t + \frac{\pi}{11} \right) + 10 \sin \left( 7 t - \frac{\pi}{15} \right)$$

仿真中取  $\omega = 50 \text{ Hz}$  负载取线性不平衡负载(阻、感性负载);低通滤波器截止频率取为  $10 \text{ Hz}$  采样频率为  $3 \text{ kHz}$ 。图 3 为计算得到的三相负荷电流。

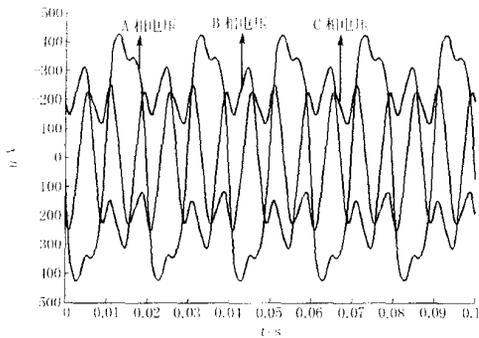


图 2 三相电压波形

Fig 2 Waveforms of the three-phase voltages

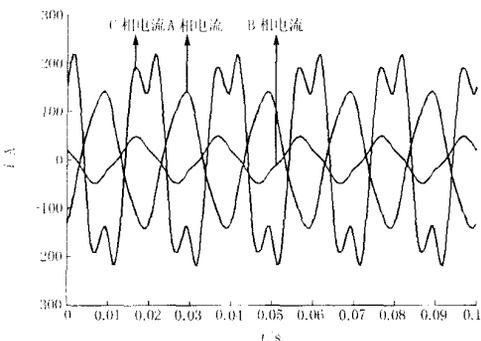


图 3 三相电流波形

Fig 3 Waveforms of the three-phase currents

则根据式 (16), 可以计算出三相基波正序有功

电流,如图 4所示。由图中可以看出,三相基波正序有功电流在稳态时,基本上是完全对称的。其过渡过程和少许误差源自于低通滤波器的动态特性。

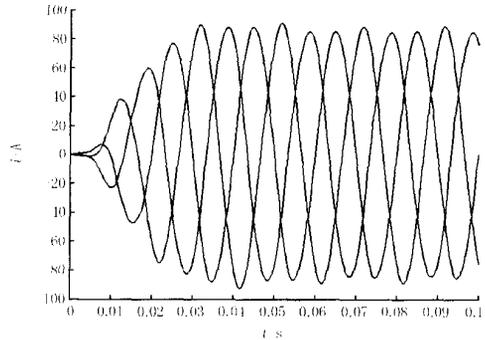


图 4 三相基波正序有功电流波形

Fig 4 Waveforms of the three-phase positive-sequence active power currents in base frequency

根据式 (11), 可以得到需要补偿的三相电流指令值,如图 5所示。在此情况下,可以将母线电流补偿到与基波正序电压波形完全同相,见图 6所示(以 A 相为例)。由此可见,在三相电压和电流非对称正弦的工况下,利用本文提出的算法可以实现正确的瞬时无功与谐波电流检测和补偿。

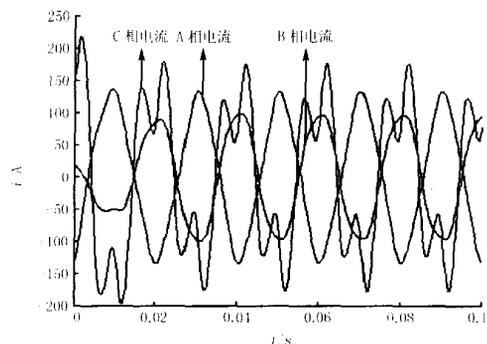


图 5 三相电流的补偿指令值曲线

Fig 5 Waveforms of the three-phase command currents for instantaneous compensation

## 2.2 三相电压与电流类随机性波动,负载不平衡

有些强非线性负载,如炼钢电弧炉,具有明显的类随机性畸变特征,针对这种情况也进行了仿真,以验证本文算法的暂态跟踪特性。在前述的三相电压信号中叠加上幅值在  $\pm 100$  以内变化的随机信号,以模拟类随机性负载时电压与电流的畸变特征,此时三相电压与电流的波形如图 7和图 8所示。仿真时低通滤波器的截止频率为  $10 \text{ Hz}$ ,采样频率仍为  $3 \text{ kHz}$ 。

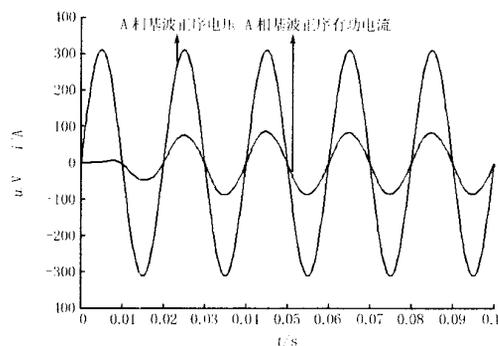


图 6 基波正序电压和有功电流波形 (A相)

Fig 6 Waveforms of the positive-sequence voltage and active power current in base frequency (phase A)

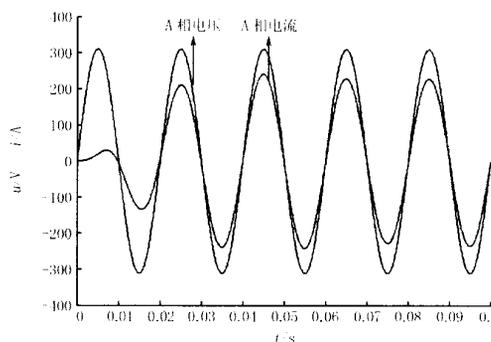


图 9 基波正序电压和有功电流波形 (A相)

Fig 9 Waveforms of the positive-sequence voltage and active power current in base frequency (phase A)

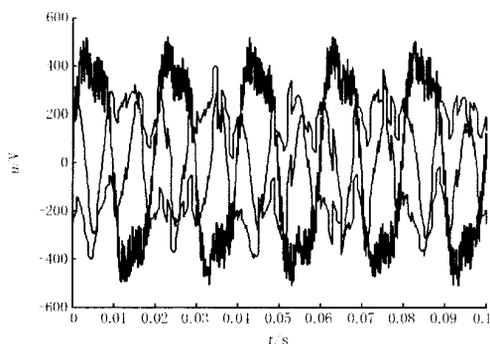


图 7 叠加随机信号的三相电压波形

Fig 7 Waveforms of the three-phase voltages superimposed with random signals

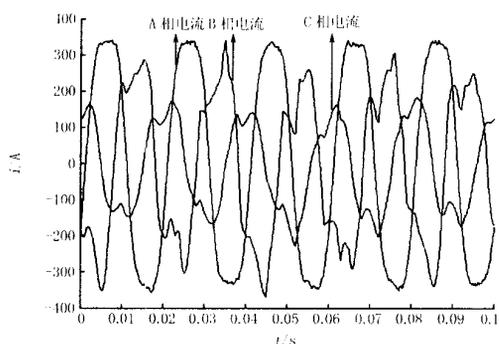


图 8 三相畸变电压产生的电流波形

Fig 8 Waveforms of the three-phase currents produced by the distorted voltages

将本文算法应用到上述三相类随机性电压和电流,同样可以得到与基波正序电压同相的基波正序有功电流,如图 9 所示(以 A 相为例)。由此可见,本文提出的检测算法对类随机性负荷具有很好的鲁棒性,能够正确地检测瞬时无功与谐波的补偿电

流。

### 3 算法的推广

利用前述的检测算法,可从强非线性负荷的电流中正确提取出基波正序有功电流。其实,本算法还可以推广应用,能实现任意次谐波正序或负序有功、无功电流的检测与分解。

#### 3.1 基波正序无功电流的检测

检测基波正序无功电流,同样需利用  $u_1$  和  $i_1$  构成的基波对称正弦系统。容易证明,此系统的瞬时无功电流就是原三相不平衡系统的瞬时基波正序无功电流。与求取基波正序有功电流相类似,采用式 (17) 可以得到原三相系统的基波正序无功电流分量。

$$i_{q1} = C^T \begin{bmatrix} u & u \\ -u & u \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ q \end{bmatrix} \quad (17)$$

在实际形成检测算法时,也可进行简化。根据

$$\begin{bmatrix} -u \\ u \end{bmatrix} = CC_{pq}^T \begin{bmatrix} -u_q \\ u_p \end{bmatrix} \quad (18)$$

可以得到:

$$q = \begin{bmatrix} -u & u \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i \\ i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\bar{u}_q & \bar{u}_p \end{bmatrix} C_{pq} C^T C C_{pq}^T \begin{bmatrix} \bar{i}_p \\ \bar{i}_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\bar{u}_q & \bar{u}_p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{i}_q \\ \bar{i}_p \end{bmatrix} \quad (19)$$

$$i_{q1} = \frac{C^T}{u^2 + u^2} \begin{bmatrix} u & -u \\ u & u \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ q \end{bmatrix} = \frac{C^T}{u^2 + u^2} \begin{bmatrix} -u \\ u \end{bmatrix} q = \frac{C_{pq}^T \begin{bmatrix} -u_q \\ u_p \end{bmatrix} (\bar{u}_q \bar{i}_p + \bar{u}_p \bar{i}_q)}{\bar{u}_p^2 + \bar{u}_q^2} \quad (20)$$

### 3.2 基波负序有功、无功电流的检测

在上述算法中,为检测基波正序有功、无功电流,需要先构造出基波正序对称系统。同样,基波负序有功、无功电流的有效检测,也需先构造出一个基波负序对称系统。可以证明,只需将原算法中的变换矩阵  $C_{pq}$  变为式(21)所示的  $C_{pq}^-$ ,即可构造出基波负序对称系统,然后分别利用式(16)和式(20)就能实现基波负序有功和无功电流的分解,这里不再赘述。

$$C_{pq}^- = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} \sin t & \sin(t + \frac{2}{3}) & \sin(t - \frac{2}{3}) \\ \cos t & \cos(t + \frac{2}{3}) & \cos(t - \frac{2}{3}) \end{bmatrix} \quad (21)$$

### 3.3 任意次谐波正序或负序有功、无功电流的检测

$n$ 次谐波正序或负序有功、无功电流的检测,也需构造出一个  $n$ 次谐波的序或负序对称系统。易于证明,将上述针对基波算法的变换矩阵  $C_{pq}$  与  $C_{pq}^-$  分别换成式(22)和式(23)所示的  $C_{pq}^{n+}$  与  $C_{pq}^{n-}$ ,即可实现  $n$ 次谐波正序或负序有功、无功电流的正确分解,此处无需详述。

$$C_{pq}^{n+} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} \sin n t & \sin(n t + \frac{2}{3}) & \sin(n t - \frac{2}{3}) \\ \cos n t & \cos(n t + \frac{2}{3}) & \cos(n t - \frac{2}{3}) \end{bmatrix} \quad (22)$$

$$C_{pq}^{n-} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} \sin n t & \sin(n t + \frac{2}{3}) & \sin(n t - \frac{2}{3}) \\ \cos n t & \cos(n t + \frac{2}{3}) & \cos(n t - \frac{2}{3}) \end{bmatrix} \quad (23)$$

这种  $n$ 次谐波正序或负序有功电流与无功电流的分解算法,不仅对研究强非线性系统的有源滤波技术具有实用价值,同时也可进一步推广应用到其它领域。在高压电气设备的状态监测领域,例如电容性设备的介质损耗监测以及 ZnO 避雷器(非线性电阻)的泄漏电流监测,一般需要将基波、三次或高次谐波的阻性电流和容性电流分解开,以作为设备故障诊断的基本依据,此时,本文提出的算法将可能获得更大范围的应用。

## 4 结论

本文提出了一种准确检测三相瞬时基波正序有功电流的算法,在实时监测电网角频率的前提下,可选择任意时刻作为无功与谐波补偿的时间起点,不

需要获取三相电压或电流的相位信息。该算法适用于任意工况的三相电路,可有效解决电压不对称正弦时强非线性和类随机性负荷的瞬时无功与谐波补偿问题,如电弧炉系统、电力机车系统等。仿真分析结果验证了该算法的有效性和正确性。同时,对该算法进行适当拓展,可以实现对任意次谐波正序或负序有功电流、无功电流的分解或提取,这不仅对研究强非线性系统的有源滤波技术具有重要价值,而且可在高压电气设备的状态监测领域获得更大范围的应用。

### 参考文献:

- [1] 杨君,王兆安,邱关源. 不对称三相电路谐波及基波负序电流实时检测方法的研究[J]. 西安交通大学学报, 1996, 30(3): 94-100.  
YANG Jun, WANG Zhao-an, QU Guan-yuan. A Study on Real-time Detecting Method for Harmonic and Fundamental Negative Sequence Currents in Unbalanced Three-phase Circuits[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 1996, 30(3): 94-100.
- [2] 殷波,陈允平,邓恒,等. (-坐标系下瞬时无功功率与传统功率理论的统一数学描述及物理意义[J]. 电工技术学报, 2003, 18(5): 42-45.  
YN Bo, CHEN Yun-ping, DENG Heng, et al. Uniform Mathematical Description of Instantaneous Reactive Power Theory and Conventional Power Theory and Its Physical Meaning in (-Coordinates[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2003, 18(5): 42-45.
- [3] 何益宏,卓放,周新,等. 利用瞬时无功功率理论检测谐波电流方法的改进[J]. 电工技术学报, 2003, 18(1): 87-91.  
HE Yi-hong, ZHUO Fang, ZHOU Xin, et al. A Modified Method for Measuring Harmonic Current Based on Instantaneous Reactive Power Theory[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2003, 18(1): 87-91.
- [4] 李圣清,朱英浩,周有庆,等. 基于瞬时无功功率理论的四相输电谐波电流检测方法[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(3): 12-17.  
LI Sheng-qing, ZHU Ying-hao, ZHOU You-qing, et al. Four-phase Transmission Harmonic Current Detection Method Based on Instantaneous Reactive Power Theory[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(3): 12-17.
- [5] Mishra M. K, Joshi A, Ghosh A. A. New Algorithm for Active Shunt Filters Using Instantaneous Reactive Power Theory[J]. IEEE Power Engineering Review, 2000, 20(12): 56-58.
- [6] 王茂海,刘会金. 非正弦及不对称电路中功率现象的

- 探讨[J]. 电工技术学报, 2002, 17(3): 93-96
- WANG Mao-hai, LU Hui-jin Approach of Power Phenomenon in Nonsinusoidal and Asymmetrical Circuit[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2002, 17(3): 93-96
- [7] Czamecki L S On Some Misinterpretations of the Instantaneous Reactive Power  $p-q$  Theory [J]. IEEE Trans on Power Electronics, 2004, 19(3): 828-836
- [8] 贾君霞, 刘小河. 电弧炉电气系统的谐波及波动的检测方法研究[J]. 电气传动自动化, 2003, 25(3): 7-10
- JIA Jun-xia, LIU Xiao-he Research on Detecting Method of Harmonic and Undulate for Electric Arc Furnace[J]. Electric Drive Automation, 2003, 25(3): 7-10
- [9] 游小杰, 李永东, Vabuch V, 等. 并联型有源电力滤波器在非理想电源电压下的控制[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(2): 55-60
- YOU Xiao-jie, LI Yong-dong, Vabuch V, et al SAPF Control Strategy Under the Condition of Non-ideal Source Voltages[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(2): 55-60
- [10] 田大强, 蒋平, 唐国庆. 有源滤波器中数字低通滤波器设计及其实现[J]. 电工电能新技术, 2003, 22(3): 77-80
- TIAN Da-qiang, JIANG Ping, TANG Guo-qing Design and Implementation of Digital Filter in Active Power Filter [J]. Advanced Technology of Electrical Engineering and Energy, 2003, 22(3): 77-80

收稿日期: 2006-06-08

作者简介:

王辉(1974-),女,讲师,博士生,主要从事电力电子技术领域的教学与科研工作; E-mail: lqmeee@sdu.edu.cn

李庆民(1968-),男,教授,博导,主要从事高压电器技术、电力电子技术等领域的教学与科研工作。

### Investigation on a new algorithm for instantaneous reactive power and harmonics currents detection applied to intensively nonlinear loads

WANG Hui, LI Qing-min, WU Ming-lei

(School of Electrical Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China)

**Abstract:** To pursue an improved solution to instantaneous reactive power and harmonics compensation with intensively nonlinear and quasi-stochastic loads, an effective algorithm is presented by comprehensive integration of  $i_p-i_q$  and  $p-q$  methods to detect instantaneous reactive power and harmonic currents. The algorithm can theoretically be applied in three-phase circuit of any working conditions including three-phase four-wire circuit, asymmetric or harmonic voltage sources, etc. Both theoretical deduction and computer simulation demonstrate the accuracy and feasibility of the algorithm. Also, the above algorithm is expanded for further applications, which can effectively realize extraction and decomposition of the active or reactive components of either positive-sequence or negative-sequence currents with respect to any order harmonics.

**Key words:** reactive power and harmonics detection; instantaneous compensation; active power filter; intensively nonlinear loads

### 许继变压器公司核电厂用 1E 级干式变压器产品通过鉴定

2006年10月14日,受河南省科技厅委托,河南省信息产业厅在许昌主持召开了许继变压器公司核电厂用 1E 级干式变压器产品鉴定会。

鉴定委员会的专家听取了样机试制总结及试验大纲报告,查阅了样机图样、技术文件及样机试验报告,现场考察了变压器样机及生产现场并进行了部分项目测试。最后经过认真严格评议,一致认为:许继变压器有限公司研制的核电厂用 1E 级干式变压器,其技术性能达到国际同类产品先进水平。一致同意通过鉴定,可用于核电厂。

核电厂用 1E 级干式变压器用于核岛内 1E 级电气系统,技术要求很高。许继变压器公司成功研制开发核电厂用 1E 级 SCB10-HD 型干式变压器项目,满足国家核能项目的需求,可以有效替代进口产品,为核电设备国产化做出贡献,具有良好的技术、市场带动作用。