

文章编号: 1671- 251X(2010) 01- 0021- 05

一种煤矿电能质量控制装置谐波检测算法的 仿真及实现*

于广彬¹, 李太峰², 汪玉凤²

(1. 沈阳市建设工程施工图设计审查咨询中心, 辽宁 沈阳 110032;

2. 辽宁工程技术大学电气与控制工程学院, 辽宁 葫芦岛 125105)

摘要: 为满足煤矿电网动态补偿谐波时需要准确、实时检测出谐波电流的要求, 提出了一种基于坐标变换的离散傅立叶变换滑窗迭代电力谐波检测算法。该算法能够实时准确地检测出谐波参考指令电流, 提高了系统的实时性、抗干扰性及检测谐波的同步性, 而且具有计算量小、应用灵活、易于工程实现等特点。理论分析、仿真及 DSP 实现结果表明, 该算法能够准确、可靠、实时地提取谐波指令电流, 检测谐波效果理想。

关键词: 煤矿; 电网; 谐波检测; 坐标变换; 离散傅立叶变换; DFT

中图分类号: TD61 **文献标识码:** A

Simulation of a Harmonic Detection Algorithm of Power Quality Control Device for Coal Mine and Its Realization

YU Guangbin¹, LI Tai2feng², WANG Yu2feng²

(1. Shenyang Design, Review and Advisory Center of Construction Engineering Drawing,
Shenyang 110032, China.

2. Faculty of Electrical and Control Engineering of Liaoning Technical University, Huludao 125105, China)

Abstract: In order to meet the requirement of accurate and real2time harmonic current detection needed in dynamic harmonic compensation of power grid of coal mine, the paper proposed a power harmonic detection algorithm named DFT based sliding2window iterative algorithm based on coordinate transformation. The algorithm can detect harmonic reference instruction current real2timely and accurately, so as to improve performance of real2time, ant2interference and synchronization of harmonic detection, and the algorithm has characteristics of little calculation, flexibility application and easy engineering realization. The results of theoretical analysis, simulation and DSP realization showed that the algorithm can extract harmonic instruction current accurately, reliably and real2timely and has a good effect.

Key words: coal mine, power grid, harmonic detection, coordinate transformation, discrete Fourier transform, DFT

收稿日期: 2009- 09- 16

* 基金项目: 辽宁省教育厅创新团队基金项目(2008T079)

作者简介: 于广彬(1960-), 男, 辽宁沈阳人, 现主要从事电气工程智能化方面的工作。E2mail: ltf0322@126. com

0 引言

煤矿电网中提升绞车可控硅变流装置、电机车整流器等非线性元件及负荷的存在, 使煤矿电网产

性能[J]. 通信学报, 1999, 20(6): 91293.

[2] 赵 森. CPLD 在数字光端机中的应用[D]. 长春: 吉林大学, 2007.

[3] 季晓飞, 迟泽英, 游明俊, 等. 光纤双向传输系统中数字

光端机的研制[J]. 南京理工大学学报, 2001(4): 1822186.

[4] 许志荣, 李迎春, 陈 健. 多业务数字光端机 DIGITAL 2000 的应用[J]. 有线电视技术, 2000(19): 88295.

生大量的谐波, 直接影响煤矿电网的供电质量, 增加了煤矿的电损, 缩短了设备的使用寿命, 影响着煤矿的安全生产。采用有源滤波器是抑制煤矿电网谐波的重要途径, 而如何快速准确地检测出谐波电流则是其中的关键技术之一。现有的谐波电流检测方法有很多, 如基于瞬时无功功率理论的谐波检测方法、基于快速傅立叶变换的谐波检测方法、基于自适应干扰抵消原理的自适应闭环检测法及基于神经网络的谐波检测法等。基于瞬时无功功率理论的谐波检测方法由于其关键在于数字滤波器的实现, 而设计一个既能满足系统各项性能指标要求、又要尽量降低滤波器阶数以满足工程应用的数字滤波器有一定的难度。基于快速傅立叶变换的谐波检测方法存在计算量大、实时性差等缺点。将人工神经网络和信号处理中的自适应噪声抵消技术应用于有源滤波器的谐波电流检测中, 会使得谐波电流的计算准确度较高, 响应好, 但在实现上必须通过一系列复杂的计算过程, 计算量巨大, 不易在 APF 工程应用中实现。

按照煤矿实时动态补偿谐波时需快速准确检测出谐波的要求, 上述 3 种方法均不适用。因此, 本文提出一种基于坐标变换的离散傅立叶变换(Discrete Fourier Transform, 简称 DFT)滑窗迭代算法, 该算法对滑窗迭代算法做了进一步的改进, 降低了算法运算量, 提高了检测速度。通过理论分析、仿真及 DSP 实现, 结果证明了该算法的准确性、可靠性和快速性, 能够满足煤矿电网抑制谐波的要求。

1 DFT 滑窗迭代算法

傅立叶级数的三角形式为

$$f_T(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^N [a_n \cos(n\omega t) + b_n \sin(n\omega t)] \quad (1)$$

式中: $a_0 = \frac{2}{T} \int_0^T f_T(t) dt$;

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f_T(t) \cos(n\omega t) dt; \omega = \frac{2\pi}{T};$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f_T(t) \sin(n\omega t) dt。$$

将其转换为离散形式:

$$f_T(kS) = A_0 + \sum_{n=1}^N A_n \cos(n\omega kS) + B_n \sin(n\omega kS) \quad (2)$$

式中: $A_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} f_T(S_i)$;

$$A_n = \frac{2}{N} \sum_{i=0}^{N-1} f_T(S_i) \cos(n\omega iS); S = T/N;$$
$$B_n = \frac{2}{N} \sum_{i=0}^{N-1} f_T(S_i) \sin(n\omega iS)。$$

可以看出, 计算 A_n 、 B_n 需要对 1 个周期的 N 个采样数据进行 N 次相乘计算, 计算量相当大, 无法满足快速检测谐波的要求。

对原有的算法进行改进, 用 $N_{new} - N + 1$ 代替 $N - 1$, $i = N_{new}$ 代替 $i = 0$, 即每次运算加入一个最新的采样数据, 同时将最老的数据去除, 不需要经 1 个周期的采样后计算, 而是时时计算。这样便提高了该算法的实时性。改进后的 A_n 、 B_n 分别为

$$A_n = \frac{2}{N} \sum_{i=N_{new}}^{N_{new}-N+1} f_T(S_i) \cos(n\omega iS) \quad (3)$$

$$B_n = \frac{2}{N} \sum_{i=N_{new}}^{N_{new}-N+1} f_T(S_i) \sin(n\omega iS) \quad (4)$$

有源滤波器的谐波检测无需检测出各次的谐波含量, 只要快速地检测出谐波电流的总和即可, 这样只需用 DFT 算法检测出基波含量, 将基波含量与电网电流相减便可得出谐波电流, 即只需求出 A_1 、 B_1 即可。算法如下:

$$i_1(kS) = A_1 \cos(\omega kS) + B_1 \sin(\omega kS) \quad (5)$$

式中: i_1 为基波电流;

$$A_1 = \frac{2}{N} \sum_{i=N_{new}}^{N_{new}-N+1} i(S_i) \cos(\omega iS), i \text{ 为电网电流};$$

$$B_1 = \frac{2}{N} \sum_{i=N_{new}}^{N_{new}-N+1} i(S_i) \sin(\omega iS)。$$

可以看出, 每次计算 A_1 和 B_1 时需要 N 次乘和加运算, 这样随着采样个数的增加, 在快速计算上存在一定延时, 由此作进一步改进, 改进后的公式如式(6)和式(7)所示:

$$\sum_{i=N_{new}}^{N_{new}-N+1} i(S_i) \cos(n\omega iS) = \sum_{i=N_{new}-1}^{N_{new}-N} i(S_i) \cos(\omega iS) - i[(N_{new} - N)S] \cos[\omega(N_{new} - N)S] + i(N_{new}S) \cos(\omega N_{new}S) \quad (6)$$

$$\sum_{i=N_{new}}^{N_{new}-N+1} i(S_i) \sin(\omega iS) = \sum_{i=N_{new}-1}^{N_{new}-N} i(S_i) \sin(n\omega iS) - i[(N_{new} - N)S] \sin[\omega(N_{new} - N)S] + i(N_{new}S) \sin(\omega N_{new}S) \quad (7)$$

该改进方法首先计算出 1 个周期采样数据的和, 以后的计算则只需在前一个周期和的基础上加上最新的数据再减去最老的数据即可, 即由原来的 N 次乘和加转换为 2 次乘、1 次加和 1 次减运算即

可,从而大大提高了运算速度。

2 基于坐标变换的 DFT 滑窗迭代算法

对于煤矿电网来说,需要检测三相电网的谐波电流。如果直接运用 DFT 滑窗迭代算法,就需要分别处理每一相的谐波电流,从整体上来看运算量比较大,必然影响检测速度与检测的同步性。因此,本文提出一种基于坐标变换的 DFT 滑窗迭代算法。该算法适用于三相电流的检测,进一步降低了运算量,增强了检测的同步性和快速性,可以提高有源滤波器的滤波性能,从而改善煤矿的供电质量。该算法的原理是利用坐标变换,首先将三相坐标转换成两相,如式(8)所示,对两相运用 DFT 滑窗迭代算法作滤波处理,提取基波成分,如式(9)所示,经 DFT 滑窗迭代算法处理后再将两相坐标转换为三相,如式(10)所示,最终运用式(11)获得反向谐波电流。

$$\begin{bmatrix} i_A \\ i_B \end{bmatrix} = C_{32} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \tag{8}$$

式中: $C_{32} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix}$ 。

$$\begin{bmatrix} i_A \\ i_B \end{bmatrix} \text{ y 滑窗迭代算法 y } \begin{bmatrix} i_{1A} \\ i_{1B} \end{bmatrix} \tag{9}$$

$$\begin{bmatrix} i_{1A} \\ i_{1B} \\ i_{1C} \end{bmatrix} = C_{23} \begin{bmatrix} i_{1A} \\ i_{1B} \end{bmatrix} \tag{10}$$

式中: $C_{23} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 \\ -1/2 \\ -1/2 \end{bmatrix}$ 。

$$\begin{bmatrix} i_{ha} \\ i_{hb} \\ i_{hc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_{1a} \\ i_{1b} \\ i_{1c} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \tag{11}$$

该检测算法的原理如图 1 所示。

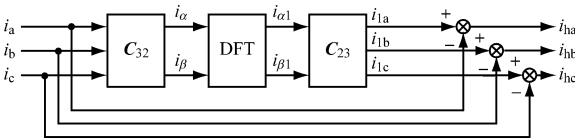


图 1 基于坐标变换的 DFT 滑窗迭代谐波检测算法的原理图

从图 1 可看出,在未进行坐标变换时,需要对三相电流分别做 DFT 运算。这样运算量较大,同步性较差;而经坐标变换后,只需对两相进行处理,大大减小了运算量,提高了谐波电流的检测速度及同步性能。

3 仿真分析

本文将基于坐标变换的 DFT 滑窗迭代算法与 i_p 、 i_q 谐波检测算法(简称 i_p 、 i_q 法)进行对比分析,且在模拟非线性负载、0.1 ms 时发生突变的情况下观察滤波及突变时电流的滤波情况,并分析 2 种检测算法的快速性及抗干扰性。基于坐标变换的 DFT 滑窗迭代算法仿真模型如图 2 所示, i_p 、 i_q 法仿真模型如图 3 所示。

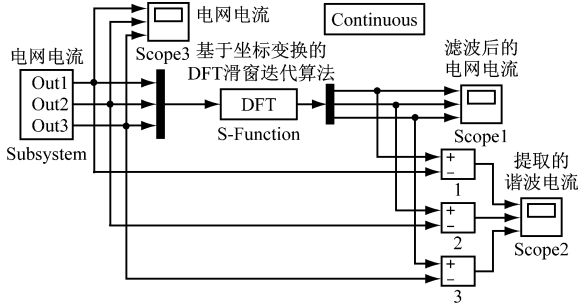


图 2 基于坐标变换的 DFT 滑窗迭代算法仿真模型图

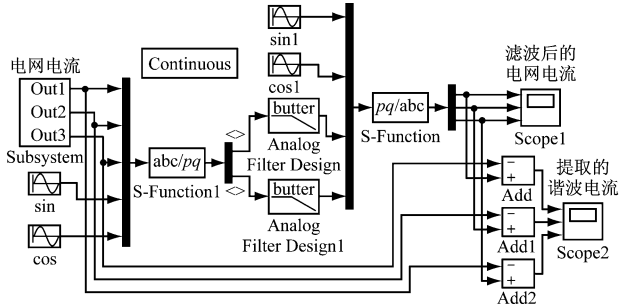
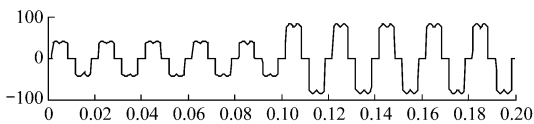
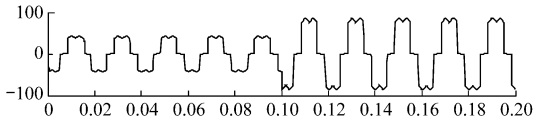


图 3 i_p 、 i_q 法仿真模型图

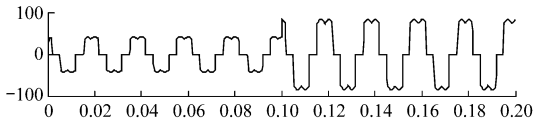
仿真得到的电网三相电流波形如图 4 所示,运用基于坐标变换的 DFT 滑窗迭代算法处理后得到的三相基波电流和三相谐波电流波形分别如图 5、图 6 所示,运用 i_p 、 i_q 法处理后得到的三相基波电流



(a) A 相电流波形



(b) B 相电流波形



(c) C 相电流波形

图 4 电网三相电流波形

和三相谐波电流波形分别如图 7、图 8 所示。

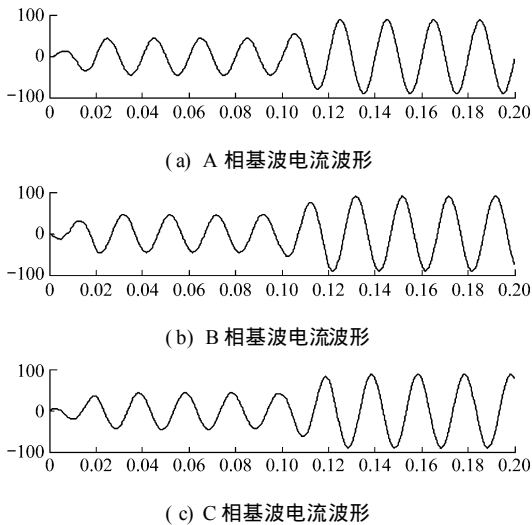


图 5 运用基于坐标变换的 DFT 滑窗迭代算法处理后得到的三相基波电流波形

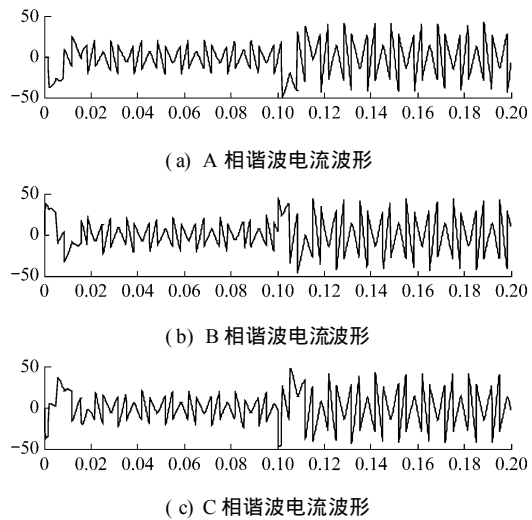


图 6 运用基于坐标变换的 DFT 滑窗迭代算法处理后得到的三相谐波电流波形

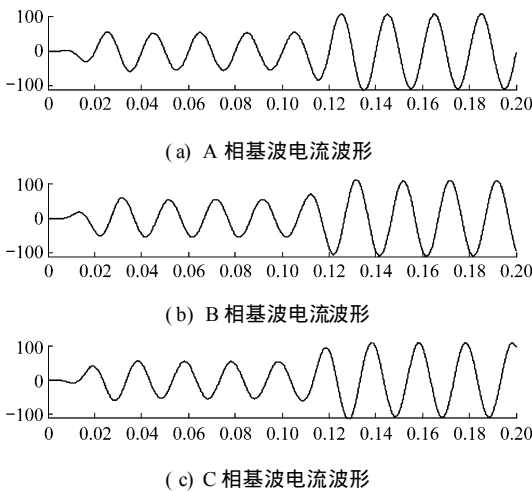


图 7 运用 i_p 、 i_q 法处理后得到的三相基波电流波形
从图 5 和图 7 可看出, 在稳定运行时, 2 种算法

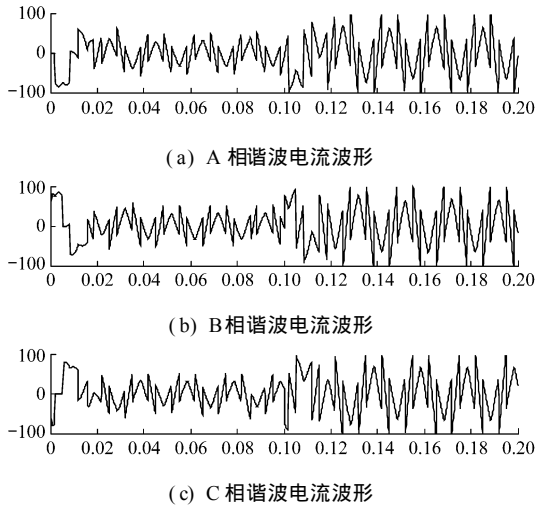


图 8 运用 i_p 、 i_q 法处理后得到的三相谐波电流波形

都能准确获得基波电流信号, 进而获得谐波成分。但在发生突变时, 由于 i_p 、 i_q 法中采用低通滤波器, 使得处理信号时有一定的滞后, 前半周期依然保持着突变前的状态, 可见低通滤波器在 i_p 、 i_q 法中起着重要的作用, 而设计一个理想的低通滤波器有一定的难度, 该方法不易实现。因此可看出, 本文提出的基于坐标变换的 DFT 滑窗迭代算法误差小, 实时性强, 易实现, 完全可以满足煤矿动态抑制谐波时需要实时快速检测谐波的要求。

4 试验分析

采用 TMSLF2407A DSP 芯片实现基于坐标变换的 DFT 滑窗迭代算法, 并对谐波信号进行处理。谐波源信号主要由 50 Hz 基波、5 次谐波和 7 次谐波构成。经示波器检测的谐波电流信号及频谱分析如图 9 所示。经 DSP 处理后得到的基波电流信号及频谱分析如图 10 所示, 经 DSP 处理后得到的谐波电流信号如图 11 所示。

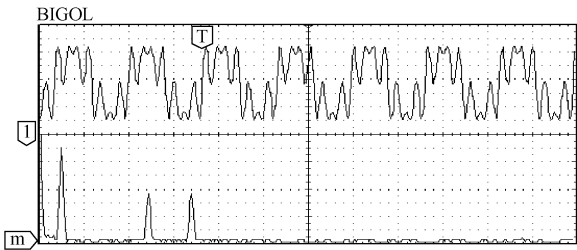


图 9 谐波电流信号及频谱分析图

从试验获得的信号波形中可看出, 基于坐标变换的 DFT 滑窗迭代算法可以快速准确地滤出基波信号, 从而获得谐波电流信号; 从图 11 可看出, 谐波源中的谐波成分基本上全部被检测出来, 证明了该算法的可行性。

文章编号: 1671- 251X(2010) 01- 0025- 04

一种矿用红外瓦斯传感器的检测模型

李一男¹, 刘永平², 王汝琳³

(1. 北京联合大学机电学院, 北京 100020; 2. 煤炭科学研究总院合肥研究院, 安徽 合肥 230001;
3. 中国矿业大学(北京), 北京 100083)

摘要: 建立了一种矿用红外瓦斯传感器的检测模型, 通过计算及曲线拟合的方法得到瓦斯浓度与红外瓦斯传感器输出电压的关系, 并对该检测模型进行了反演实验。实验结果表明, 该检测模型的测量精度满足现场要求。

关键词: 煤矿; 瓦斯传感器; 红外检测; 反演实验; 曲线拟合

中图分类号: TD712. 3 **文献标识码:** A

Detection Model of a Mine-used Infrared Gas Sensor

LI Y2nan¹, LIU Yong2ping², Wang Ru2lin³

(1. Dept. of Mechanical Engineering of Beijing Union University, Beijing 100020, China.

2. Hefei Research Institute of CCRI., Hefei 230001, China.

3. China University of Mining and Technology(Beijing), Beijing 100083, China)

Abstract: A detection model of mine-used infrared gas sensor was established. Through calculation and

收稿日期: 2009- 09- 01

作者简介: 李一男(1982-), 女, 硕士, 研究方向为检测及自动化

装置和虚拟仪器。E2mail: yinan11111@163. com

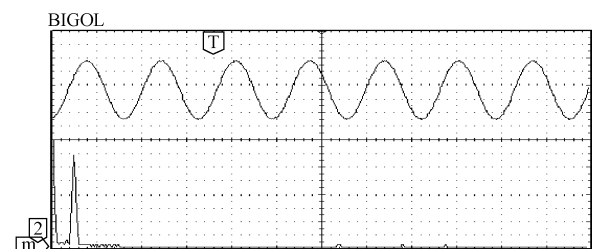


图 10 经 DSP 处理后得到的基波电流信号及频谱分析图

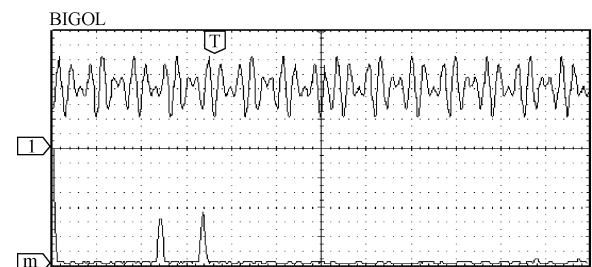


图 11 经 DSP 处理后得到的谐波电流信号及频谱分析图

5 结语

针对煤矿电网动态补偿谐波时需要快速准确检

测出谐波成分的要求, 本文提出了基于坐标变换的 DFT 滑窗迭代算法。该算法结构简单, 计算量小, 易于实现。理论和仿真分析及 DSP 试验验证了该算法的可行性。该算法能够快速地检测出谐波成分, 误差小, 抗干扰性强, 能够满足煤矿动态快速检测谐波的要求, 提高有源滤波器的滤波性能, 改善供电质量, 从而降低矿井电能损耗, 而且能延长设备使用寿命, 保证矿井的安全生产。

参考文献:

- [1] 王兆安, 杨 君, 刘进军. 谐波抑制与无功功率补偿 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1998.
- [2] 潘 文, 钱愈涛, 周 鹗. 基于加窗插值 FFT 的电力谐波测量理论窗函数研究 [J]. 电工技术学报, 1994, 9(1): 50254.
- [3] 李维波. MATLAB 在电气工程中的应用 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.
- [4] 刘开培, 张俊敏. 基于 DFT 的瞬时谐波检测方法 [J]. 电力自动化设备, 2003, 23(3): 1213.