

文章编号:1671-251X(2012)03-0038-03

DOI:CNKI:32-1627/TP.20120307.1654.013

基于 FFT 算法的电网谐波检测方法

周雪峰

(中煤科工集团常州自动化研究院, 江苏 常州 213015)

摘要:针对传统电网谐波检测方法误差较大、运算速度慢的问题,提出了基于 FFT 算法的电网谐波检测方法;介绍了 DSP 芯片的定点运算、基于 FFT 算法的电网谐波检测方法的具体实现,并进行了仿真分析。该方法在高速定点 DSP 芯片 TMS320F2812 上实现 FFT 算法,将数据归一化为 Q15 格式进行计算;为减小频谱泄漏对检测结果造成的影响,采用加窗插值 FFT 算法进行谐波分析。该方法实现了对电网电压各次谐波的检测,保证了检测速度和精度。

关键词:电网;谐波检测;FFT;加窗插值;DSP 定点运算

中图分类号:TD611

文献标识码:A

网络出版时间:2012-03-07 16:54

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20120307.1654.013.html>

Harmonic Detection Method in Power Network Based on FFT Algorithm

ZHOU Xue-feng

(Changzhou Automation Research Institute of CCTEG., Changzhou 213015, China)

Abstract: In allusion to problems of big error and slow operation speed of traditional harmonic detection methods in power network, the paper proposed a detection method based on FFT algorithm, introduced fixed-point operation of DSP chip and specific implementation of harmonic detection method based on FFT algorithm, and did simulation analysis. The method realizes FFT algorithm using high-speed fixed-point DSP chip TMS320F2812, normalized the data to Q15 format to calculate, and used windowed interpolation FFT algorithm for harmonic analysis to reduce impact of spectral leakage on detecting result. The method realizes harmonics detecting of power network and ensures detection speed and accuracy.

Key words: power network, harmonic detection, FFT, windowed interpolation, fixed-point calculation of DSP

0 引言

随着电力电子技术的飞速发展及电力电子设备的广泛应用,电能质量污染问题日益严重,其中谐波问题尤为突出。谐波对电力系统安全、稳定运行构成了严重威胁,对电气环境造成了严重影响,因此谐波补偿至关重要,而谐波检测是设计谐波补偿装置的前提。电网谐波检测的方法主要有使用模拟低通滤波器并进行离散傅里叶变换的方法及小波分解方法等。低通滤波器结构简单,但误差较大,已逐渐被淘汰。小波分解方法精度较高,抗干扰能力强,但其

运算速度慢,不易实现。因此,本文采用离散傅里叶变换进行谐波检测,并采用先进的定点 DSP 芯片 TMS320F2812 实现 FFT 算法。

1 DSP 芯片定点运算

TMS320F2812 具有 32 位硬件乘法器和累加器,处理能力可达 150 MIPS,但它是一款定点处理芯片,用定点数进行数值运算,其操作数一般采用整型数来表示,不能直接处理小数。因此本文用 Q 格式^[3]表示操作数,并进行小数运算。在进行 FFT 运算时,把输入数据归一化为 Q15 格式来表示,既可

收稿日期:2011-12-16

作者简介:周雪峰(1977-),男,江苏姜堰人,工程师,现主要从事自动化控制产品的研究与推广工作。E-mail:zhouxuefeng77@126.com

使运算结果达到一定精度,又可以提高芯片 TMS320F2812 处理浮点数的速度。Q15 格式数据范围为 $[-65\ 536, 65\ 535]$ 。计算完成后,将 Q15 格式的所有结果转换为浮点数即得到正确结果。

浮点数 x_f 转换为定点数 x_q :

$$x_q = \text{int}(2^Q x_f) \quad (1)$$

定点数 x_q 转换为浮点数 x_f :

$$x_f = \text{float}(2^{-Q} x_q) \quad (2)$$

2 电网谐波检测方法实现

2.1 FFT 谐波检测一般步骤

用 FFT 进行谐波检测的步骤:(1) 采样电网电压信号并将其变换为离散序列。(2) 建立数据窗,忽略数据窗前后信号波形。(3) 进行 FFT 运算得到结果。在进行以上步骤时,必须满足以下要求:首先要满足采样定理,以免引起频谱混叠;其次采样频率必须与信号频率同步,整周期采样。

对电网信号 $x(t)$ 以频率 f_s 采样 N 个数据,得到一组序列 $x(n)$ ($n=0, 1, \dots, N-1$)。序列 $x(n)$ 实质上可理解为对连续信号 $x(t)$ 离散采样后,用长度为 N 的矩形窗截断的结果。由时域卷积定理可知,时域相乘在频域对应卷积,所以对原始信号进行 FFT 后得到的是原始信号的频谱与矩形窗频谱的卷积,这将造成大范围频谱泄漏^[5]。由于电网信号频率存在小范围内的漂移,所以在采样时不可能做到严格同步采样,对此时的采样结果进行频谱分析存在短范围频谱泄漏。为减小频谱泄漏对检测结果造成的影响,采用加窗插值 FFT 算法^[6]进行谐波分析。

2.2 数据采集模块设计

在实际测量中,必须对输入电压及电流进行必要的处理才能作为采样单元的输入。本文选择电压互感器 SPT204A 来获得精度高、线性度好的输出交流电压。SPT204A 是一款微安级精密电压互感器,其输入、输出额定电流均为 2 mA。它具有精度高、轻便、能直接焊于印刷线路板上等特点。电压互感及调理电路如图 1 所示,其中 U_{IN} 为电网电压信号。SPT204A 输出信号经过两个反向并联二极管 D_1 、 D_2 输入运算放大器^[4]。

由于电压互感及调理电路输出信号是峰值约为 3.3 V 的双极性交流信号,而所采用的 AD 转换器要求输入 0~3.3 V 的单极性信号,因此还需设计电压偏置电路来进行信号转换。电压偏置电路如图 2 所示,其主要器件是运算放大器。

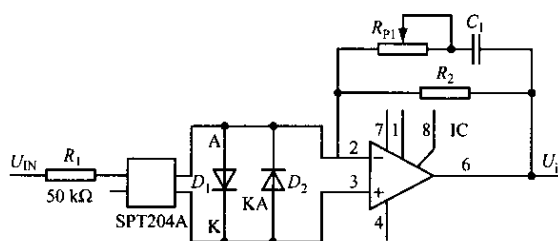


图 1 电压互感及调理电路

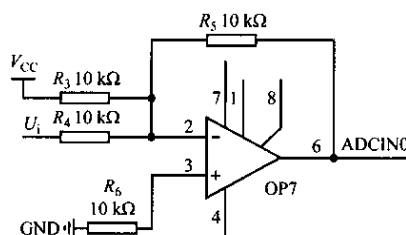


图 2 电压偏置电路

2.3 加窗插值 FFT 算法原理

加窗插值 FFT 算法常用的窗函数有汉宁 (Hanning) 窗、Blackman-Harris 窗等余弦窗。本文采用汉宁窗:

$$w(n) = 0.5 - 0.5 \cos \left(\frac{2\pi n}{N-1} \right) \quad (3)$$

对采样序列 $x(n)$ 进行加窗处理后得到 $x'(n)$:

$$x'(n) = x(n) w(n) \quad (4)$$

对 $x'(n)$ 进行 FFT 得到 $X'(k)$:

$$X'(k) = \text{FFT}[x'(n)] = \sum_{n=0}^{N-1} x'(n) e^{-j\frac{2\pi nk}{N}} \quad (5)$$

汉宁窗对应的 FFT 插值公式^[7]为

$$A_k = |X'(k)| \frac{2\pi\delta(1-\delta^2)}{\sin(\pi\delta)} \quad (6)$$

$$\Phi_k = \text{angle}[X'(k)] - \frac{\pi\delta(N-1)}{N} \quad (7)$$

式中: A_k 和 Φ_k 分别对应各次谐波的振幅和相位; $\delta = \frac{2a-1}{a+1}$, $a = \frac{|X'(k+1)|}{|X'(k)|}$ 。

2.4 谐波检测流程

基于 FFT 算法的谐波检测流程如图 3 所示。首先初始化 DSP 及各模块;然后利用内部定时器产生中断,以固定采样频率采集电压信号,经 AD 转换得到离散序列 $x(n)$;将 $x(n)$ 转换为 Q15 格式进行加窗、FFT 及插值处理,得到 Q15 格式的各次谐波幅值和相位;最后利用式(2)将结果转换为浮点数。

3 仿真分析

对普通电网基波频率为 50 Hz 的周期信号进行谐波检测,固定采样频率为 12.8 kHz,采集点数 $N=1\ 024$ 。

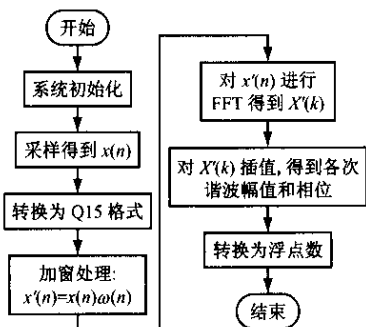


图 3 基于 FFT 算法的谐波检测流程

图 4 为采集到的电压原始波形。利用 Matlab 对采集到的数据进行算法仿真, 前 20 次谐波幅值结果如图 5 所示, 其中第 1 个点为直流分量, 第 2 个点为基波幅值, 以此类推。

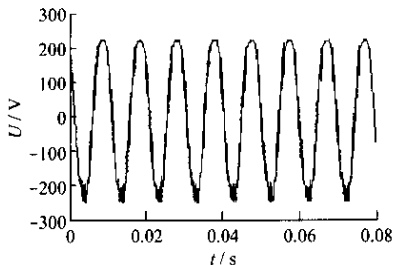


图 4 电压原始波形

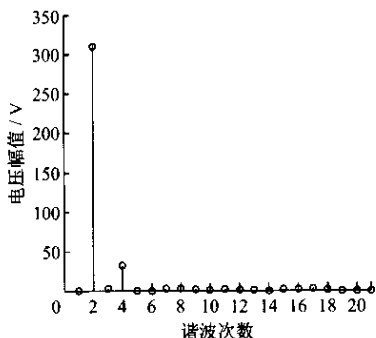


图 5 Matlab 仿真所得各次谐波幅值

采用 DSP 计算各次谐波幅值和相位, 结果如表 1 所示。从表 1 可看出, DSP 计算得到的基波分量为 309 V, 由于该信号为正弦信号, 可计算出其有效值为 218 V, 符合实际情况。对比 DSP 计算结果与 Matlab 仿真结果可知, 利用 DSP 实现的加窗插值 FFT 算法能准确地计算出各次谐波, 误差较小。

4 结语

介绍了基于 FFT 算法的电网谐波检测方法的具体实现及仿真分析。该方法在高速定点 DSP 芯片上实现 FFT 算法, 将数据归一化为 Q15 格式进

行计算, 并采用加窗插值 FFT 算法进行谐波分析, 既保证了检测速度, 又可使结果满足一定精度。

表 1 DSP 计算所得各次谐波幅值及相位

谐波次数	幅值/V	相位/(°)	所占比例
1(基波)	309.906 2	88.114 4	1.000 0
2	3.430 8	-4.435 8	0.011 0
3	32.698 2	73.704 1	0.105 5
4	0.727 7	0.106 6	0.002 3
5	0.253 5	0.057 4	0.000 8
6	3.651 5	0.908 9	0.011 8
7	3.125 5	5.388 4	0.010 1
8	2.292 7	3.690 2	0.007 4
9	1.329 7	0.719 7	0.004 3
10	2.483 5	-36.591 8	0.008 0
11	2.410 6	0.964 7	0.007 8
12	1.202 5	-0.713 2	0.003 9
13	0.546 5	-0.105 8	0.001 8
14	2.225 0	-0.910 6	0.007 2
15	2.299 2	4.792 6	0.007 4
16	2.895 9	-1.060 9	0.009 3
17	2.576 7	-0.980 7	0.008 3
18	0.635 5	1.284 9	0.002 1
19	1.119 2	-0.789 3	0.003 6
20	0.868 4	-7.399 5	0.002 8

参考文献:

- [1] 程佩清. 数字信号处理教程[M]. 2 版. 北京: 清华大学出版社, 2001.
- [2] 王艳芬, 王刚, 张晓光, 等. 数字信号处理原理及实现[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008.
- [3] 王璐钢, 陈林康, 曾岳南. DSP C2000 程序员高手进阶[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [4] 远坂俊昭. 测量电子电路设计——模拟篇[M]. 彭军, 译. 北京: 科学出版社, 2006: 17-23.
- [5] 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(6): 50-54.
- [6] 谢明, 丁康, 莫克斌. 频谱校正时谱线干涉的影响及判定方法[J]. 振动工程学报, 1998(1): 55-60.
- [7] 孙宏伟, 李梅, 袁建华, 等. 用于电力系统谐波分析的加窗插值 FFT 算法研究[J]. 高压电技术, 2004(8): 52-55.