

文章编号 1000-5013(2003)03-0310-04

自适应小波算法的电力有源滤波器

徐传忠 杨冠鲁

(华侨大学信息科学与工程学院, 福建 泉州 362011)

摘要 利用小波变换的正交线性性质, 设计基于小波算法自适应滤波器. 同时, 将它有效地应用于电力有源滤波器. Matlab 仿真结果表明, 基于自适应小波算法的电力有源滤波器, 在消除高次谐波、噪声和补偿工频无功电流方面, 具有较好的性能、较快的收敛速度.

关键词 有源滤波器, 小波变换, 归一化

中图分类号 TN 713+.802 TH 7

文献标识码 A

由于电力电子变流器件等非线性负荷的大量应用, 使电网受到谐波污染日益严重. 为了解决非线性负载所带来的谐波问题, 近年来, 提出了许多有源电力滤波方案, 并且逐步地得到应用. 电力有源滤波器的研究主要针对电力系统谐波污染的治理, 提高电力系统运行的稳定性. 与无源滤波相比, 有源滤波具有以下 3 个特点^[1]. (1) 不仅能抑制谐波, 还可以抑制闪变, 补偿无功, 有一机多能的特点. (2) 滤波器不受系统阻抗的影响, 可消除与系统阻抗发生谐振的危险. (3) 具有自适应的能力, 可自动补偿变化的谐波. 有源滤波器有着巨大的技术和性能优势. 随着电力电子工业的发展, 器件的性价比将不断提高, 有源滤波器必然会得到越来越广泛的应用. 本文将小波算法引入滤波器设计, 利用小波变换具有的特点, 设计出基于自适应小波算法的有源滤波器. 计算机仿真表明此滤波器具有收敛速度快、滤波效果好、工作稳定等特点.

1 有源滤波系统原理^[2,3]

有源滤波的基本思想是从补偿对象中检测出谐波电流, 由补偿装置产生一个与谐波电流大小相等、相位相反的补偿电流注入系统. 从而消除谐波电流, 达到抑制谐波的目的. 有源滤波的基本原理如图 1, APF(Active Power Filter) 并联在电网上. 负载电流可以写为

$$I_0 = \sum_{n=1} I_n \sin(n\omega t + \theta_n) = I_1 \cos\theta_1 \sin\omega t + I_1 \sin\theta_1 \cos\omega t + \sum_{n=2} I_n \sin(n\omega t + \theta_n). \quad (1)$$

令

$$I_1 \cos\theta_1 \sin\omega t = i_p \quad (2)$$

收稿日期 2003-03-07

作者简介 徐传忠(1969-), 男, 硕士研究生, E-mail: qzchuanzhong@hotmail.com

为基波有功分量, 而

$$I_1 \sin \theta_1 \cos \omega t = i_q \quad (3)$$

为基波无功分量, 以及

$$\sum_{n=2} I_n \sin(n\omega t + \theta_n) = i_n \quad (4)$$

为高次谐波电流. 那么, 此时有

$$i_0 = i_p + i_q + i_n, \quad i_0 = i_c + i_s. \quad (5)$$

在式(5)中, i_s 为电源电流, i_c 为 APF 提供的补偿电流, 采用适当的控制方式使 $i_c = i_q + i_n$, 则有 $i_s = i_p$. 这表明电源只需给负载提供基波有功电流, 补偿后的电源电流是与电源电压同相的纯正弦电流. 它达到了既补偿基波无功电流, 又抑制高次谐波的目的. 如果只需抑制高次谐波电流, 或只需补偿基波无功电流, 则只要使

$$i_c = i_n, \quad \text{或} \quad i_c = i_q. \quad (6)$$

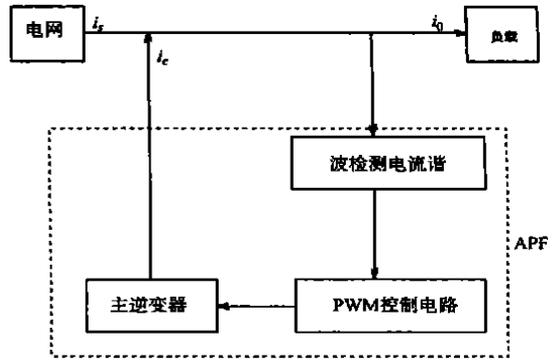


图 1 自适应小波算法

2 小波算法的自适应滤波器^[6-6]

小波分析作为一种新兴的理论是数学发展史上的重要成果. 小波分析是时频分析的一种工具, 具有在时域和频域同时局部化的特点. 它能够计算某一特定时间的频率分布, 尤其适合于非平稳信号的分析 and 处理. 在自适应 LMS 算法中, 当输入信号的相关性增加时, LMS 算法的收敛速度将下降. 如果能对输入信号先进行一次正交变换, 则可去其相关性或衰减其相关性. 然后, 将变换后的信号加到自适应滤波器实现滤波处理, 将加快收敛速度.

小波是平方可积函数空间上的一簇基函数. 任何平方可积的信号 $x(t)$ 均可由小波函数 $W(t)$ 的伸缩和平移来表示, 即

$$x(t) = \sum_{j,k} 2^{j/2} x_{j,k} W(2^j t - k). \quad (7)$$

小波变换相当于用不同中心频率但中心频率-带宽比值恒定的滤波器组, 对输入信号进行分解. 离散小波变换(DWT)是一种正交线性变换, 变换系统可以通过 Mallat 算法获得.

如图 2 所示自适应小波滤波器, 输入信号 $x(k)$ 经 DWT, 衰减其相关性, 形成新的输入信号.

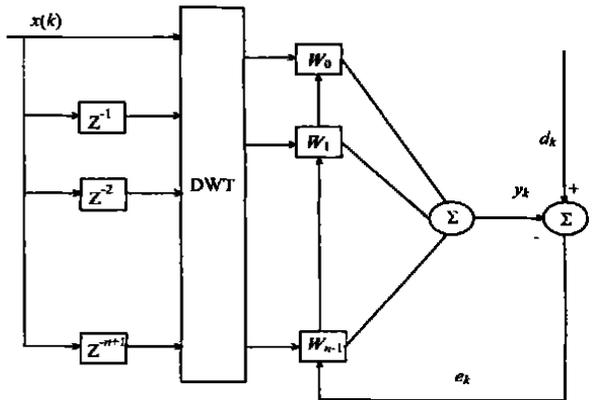


图 2 自适应小波算法

自适应滤波器的权向量 W , 对不同的频率成分进行单独调整, 构成最后的输出信号 $y(k)$. 设输入信号经小波变换后形成的新向量为 S_k , 则输出信号 $y_k = W^T S_k$, 误差信号 $e_k = d_k - y_k$. 根据自适应算法, 对输入信号实行正交变换, 并对变换输出的每个分量加以功率归一化措施. 这将使均方误差 (MSE) 曲面等值图在椭圆主轴方向的偏心矩变小, 有助于加快收敛过程. 滤波器权向量按功率归一化进行自适应调整的公式为

$$W_{k+1} = W_k + [\mu / (r + \sigma_i^2(k))] \times e_k \times S_k, \quad (8)$$

式中

$$\sigma_i^2(k) = \beta \sigma_i^2(k-1) + (1-\beta) \times P(W_k). \quad (9)$$

μ 为步长, r 为常数, β 为控制估计精度和跟踪能力的平滑系数 ($0 < \beta < 1$), $P(W_k)$ 为经小波变换后的信号 W_k 的功率.

3 有源滤波系统的电流补偿方案

在有源滤波系统中, 电网输出的基波有功电流、无功电流和高次谐波混合在一起. 因此, 在检测方案中根据负载电流的要求, 产生与有害电流分量相位相反电源无功电流和高次谐波. 利用自适应信号预测功能对该电流进行检测, 并将检测到的电流注入电网. 这样, 可实现对电网的实时电流补偿, 并输出基波有功电流到负载. 检测方案原理, 如图 3 所示.

4 系统仿真

本实验针对单相并联型有源滤波器, 利用 Matlab 函数编辑 M 文件, 实验对系统的仿真. 设理想信号由直流分量和工频交流分量组成, 即

$$X_p(t) = 1 + 3\sin(314t). \quad (11)$$

干扰信号为

$$P(t) = \cos(314t) + \sin(628t) + Nt, \quad (12)$$

其中 $\cos(314t)$ 为工频无功分量, $\sin(628t)$ 为二次谐波分量, Nt 为 $[-11]$ 之间均匀分布的白噪声. 图 4、5 是基于两种算法的电力有源滤波器的 Matlab 仿真结果. 图中 n, σ 分别表示迭代次

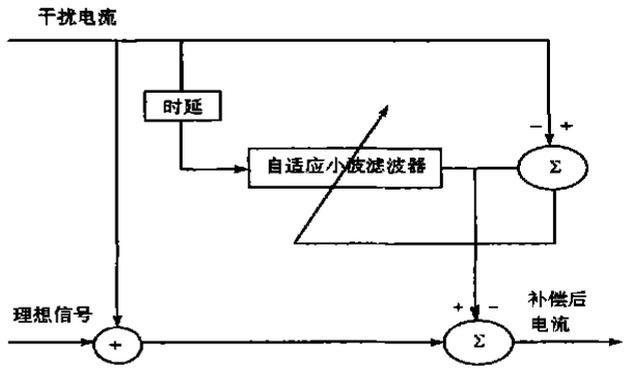
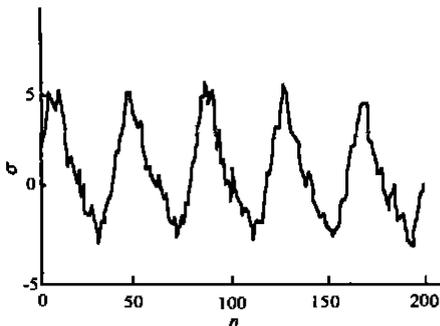
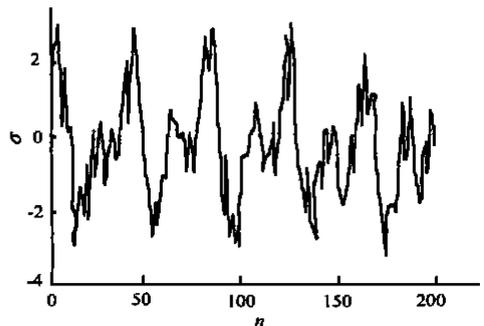


图 3 有源滤波电流补偿

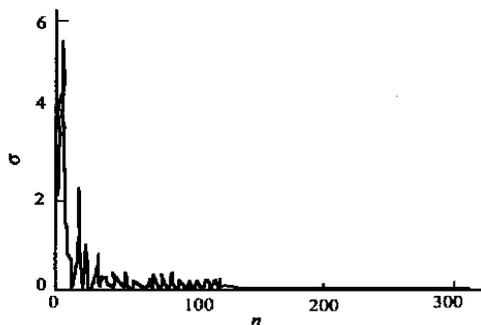


(a) 实际电流

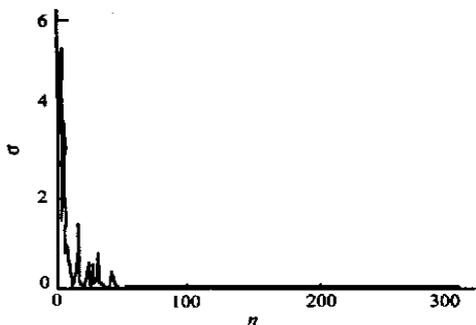


(b) 干扰电流

图 4 电流的仿真结果



(a) 自适应 LMS 滤波器的收敛性



(b) 自适应小波滤波器的收敛性

图 5 收敛性的仿真结果

数和误差. 结果表明, 自适应小波滤波器的收敛速度明显比自适应 LMS 滤波器的收敛速度快. 即前者迭代 50 次, 而后者要迭代 100 次.

5 结束语

本文利用小波变换是线性正交变换的特点, 应用自适应小波算法设计电力有源滤波器. 同时, 引入功率归一化进行权系数调整. 仿真结果证明了理论分析的正确性, 也表明此方法具有较快的收敛速度.

参 考 文 献

- 1 胡 铭, 陈 珩. 有源滤波技术及应用[J]. 电力系统自动化, 2000, 2(10): 66 ~ 70
- 2 钱照明, 叶忠明, 董伯藩. 谐波抑制技术[J]. 电力系统自动化, 1997, 2(10): 48 ~ 45
- 3 陈 燕, 刘涤尘. 基于 Matlab 的有源滤波系统电流补偿研究[J]. 电力建设, 2002, 6(6): 45 ~ 47
- 4 何振亚. 自适应信号处理[M]. 北京: 科学出版社, 2002. 31 ~ 52
- 5 杨福生. 小波变换的工程分析及应用[M]. 北京: 科学出版社, 1999. 42 ~ 62
- 6 胡昌华. 基于 Matlab 的系统分析及设计——小波分析[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1999. 210 ~ 225

A Power Active Filter Based on Self-Adapting Wavelet Algorithm

Xu Chuanshang Yang Guanlu

(College of Info. Sci. & Eng., Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou, China)

Abstract By applying orthogonal linearity of wavelet transformation, a self-adapting filter is designed on the basis of wavelet algorithm and is effectively applied to power active filter. As indicated by results of Matlab simulation, this power active filter based on self-adapting wavelet algorithm is fairly good in elimination high-order harmonic wave and noise and in compensating reactive current of power frequency, and it is fairly fast in convergence

Keywords active filter, wavelet transform, normalization