



基于 ANCT 的谐波和基波无功电流检测方法的研究

张桔苹^{1,2}, 王继东², 王成山²

(1.天津科技大学电子信息与自动化学院,天津 300222; 2.天津大学电气与自动化工程学院,天津 300072)

摘要: 针对传统的检测方法存在计算量大、瞬时性差等缺点,采用自适应噪声抵消技术(ANCT)进行谐波和基波无功电流检测,并根据检测原理设计出检测电路.由于该方法具有计算量小、实现容易的特点,从而避免了采用其他方法进行大量计算带来的延时问题.仿真结果表明,采用 ANCT 技术响应速度快、检测精度高、自适应能力强.

关键词: 谐波电流;基波无功电流;检测;自适应抵消技术;仿真

中图分类号: TM714 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-6510(2008)04-0072-04

A Harmonic and Fundamental Wave Reactive Current Detection Method Based on Adaptive Canceling Technology

ZHANG Ju-ping^{1,2}, WANG Ji-dong², WANG Cheng-shan²

(1. College of Electronic Information and Automation, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300222, China; 2. School of Electrical Engineering and Automation, Tianjin University; Tianjin 300072, China)

Abstract: The traditional methods of harmonic detection have some disadvantages, such as the large calculation, instantaneous prolongation. To avoid those disadvantages, the method of harmonic and fundamental reactive current detection was adopted. It was also called adaptive noise canceling technology (ANCT). Circuit was designed according to principle of harmonic detection. The method has the characters of brief calculation, easy realization and able to avoid delay caused by the large complexity of calculation. The simulation results show that this detection method which is based on ANCT technology has the faster dynamic response, the higher detecting precision and the better adaptive following detecting ability.

Keywords: harmonic current; fundamental reactive current; detection; adaptive canceling technology; simulation

在电力电子技术飞速发展的今天,各种非线性电力电子装置得到了广泛的应用,这些装置在带给我们方便的同时也向电网注入了大量的谐波.当负载向电网注入谐波时,不仅使电网中的元件产生附加的谐波损耗,降低发电、输电和用电的效率,造成输电线路故障,而且还会引起输电线路阻抗上的压降发生畸变,影响各种电气设备的正常工作,甚至引起严重事故.为防止谐波的危害,应采取相应措施对其抑制或补偿^[1,2].有源电力滤波器(APF)是一种解决电力系统谐波问题的有效装置,而谐波检测作为 APF 的核心部分,不仅决定其补偿性能,而且影响 APF 的应

用范围,因此谐波信号的实时检测和补偿显得尤为重要.

传统的谐波检测方法有频域检测法、有功电流分离法、基于瞬时无功理论检测法等^[3-5],这些方法虽都能检测到谐波电流和无功电流信号,但有计算量大、瞬时性差、检测精度低等缺点.为了更有效的检测信号,本文采用了神经网络自适应谐波电流和无功电流检测方法,并分析了其工作原理.该方法应用自适应噪声抵消技术(ANCT),将基波有功电流作为噪声信号,从负载电流中滤除,从而得到要补偿的谐波和无功电流.

1 谐波电流补偿原理

谐波电流的检测是有源电力滤波器的重要组成部分. 有源电力滤波器的工作原理如图 1 所示.

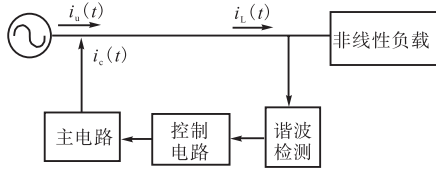


图 1 APF 原理图

Fig. 1 Principle diagram of APF

将非线性负载电流 $i_L(t)$ 用傅氏级数分解为^[6]

$$i_L(t) = \sum_{n=1}^{\infty} I_n \sin(n\omega t + \varphi_n) = i_1(t) + i_h(t) \quad (1)$$

式中: $i_1(t)$ 是基波电流, 包括基波有功电流 $i_{1p}(t)$ 和基波无功电流 $i_{1q}(t)$; $i_h(t)$ 是高次谐波电流. $i_L(t)$ 由电网电流 $i_u(t)$ 和 APF 输出电流 $i_c(t)$ 共同提供, APF 的原理就是, 检测并分离出 $i_L(t)$ 中的谐波电流分量, 通过适当控制方式, 使主电路的输出电流 $i_c(t)$ 与谐波分量相等, 方向相反, 即 $i_c(t) = -i_h(t)$, 根据上述变换关系, 则电网只含有基波电流 $i_u(t) = i_1(t)$. 若要同时补偿谐波和无功功率, 应使 $i_c(t) = -[i_h(t) + i_{1q}(t)]$, 则 $i_u(t) = i_{1p}(t)$, 补偿后的电网电流是和电网电压同相位的正弦波.

2 自适应检测法

自适应检测法是基于自适应噪声抵消技术, 把电压作为参考输入, 负载电流作为原始输入, 其中的基波电流作为干扰源, 谐波电流作为信号源, 构成一闭环连续调整的谐波和无功电流的自适应检测系统.

自适应噪声抵消技术原理如图 2 所示. 它有两个输入: 原始输入 $s + n_0$ 和参考输入 n_1 . 原始输入中除了信号 s 外还有噪声 n_0 . 自适应滤波器对 n_1 进行自适应滤波, 得到与原始输入 n_0 相同的噪声 n_0^* , 以抵消原始噪声 n_0 . 这里, 系统输出同时用作误差信号 e 来调节自适应滤波器参数.

APF 的谐波电流检测就是依据 ANCT 原理. 当同时补偿谐波和无功电流时, 把待检测电流 i_L 作为原始输入, 其中的谐波和无功分量 $i_c(t) = i_h(t) + i_{1q}(t)$ 看作需要检测出来的“信号”, 基波有功分量 i_{1p} 作为“噪声”, 并将与电网电压同相位的单位正弦信号

$u_s^* = \sin\omega t$ 作为参考输入, 经自适应滤波器处理后, 其输出在幅值和相位上逼近基波有功电流, 然后和负载电流相减, 实现 APF 谐波电流的检测.

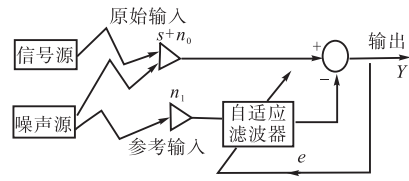


图 2 ANCT 的原理框图

Fig. 2 Principle diagram of ANCT

3 神经网络自适应谐波电流检测电路

应用神经网络的谐波检测电路如图 3 所示. w 是神经网络的权值, 变换函数 $f(\cdot)$ 选为线性函数, 经 ANN 处理后, 得到 i_r , 经权值的自适应调整, i_r 将最终逼近于 i_u . 滤除 i_u , 系统输出逼近 i_c , 得到 APF 要补偿的谐波电流. 同时, i_d 作为误差信号 e , 对权值 w 进行调节.

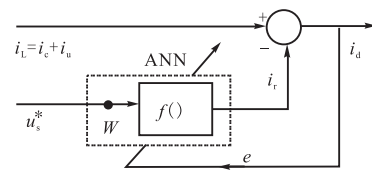


图 3 自适应神经网络谐波检测原理

Fig. 3 Principle of harmonic current detection circuit based on adaptive neural network

4 单个神经元的学习算法

单个神经元模型是一个多输入单输出的处理元件, 参考输入由电源电压 $u_s^*(k)$ 和它在现在时刻以前的若干时刻的值 $u_s^*(k-1)$ 组成 (k 为迭代次数). 输入矢量为

$$X(k) = [u_s^*(k), u_s^*(k-1), \dots, u_s^*(k-n+1)]^T \quad (2)$$

神经元的净输入为

$$s(k) = \sum_{j=1}^{n+1} w_j(k)x_j(k) + \theta(k) \quad (3)$$

神经元输出为

$$i_r(k) = f[s(k)] \quad (4)$$

式中: θ 为阈值; w_j 为连接权系数, j 为神经元输入量; $f(x)$ 为输出变换函数, 常用的函数有线性函数、分段函数、双曲线函数和 s 形函数等. 要使 i_r 与 u_s^* 的频率和相位一致, 只需调节 u_s^* 的幅度以使 i_r 逼近

i_u ，因此，神经元输入输出之间的映射关系不需要很复杂，本文 $f(x)$ 为线性函数，即 $f(x) = x$ 。则用于自适应谐波电流检测的神经元模型为

$$i_r(k) = \sum_{j=1}^{n+1} w_j(k)x_j(k) + \theta(k) \quad (5)$$

检测电路的输出为

$$i_d(k) = i_L(k) - i_r(k) \quad (6)$$

神经单元的学习采用 Delta 算法，通过 $e(k)$ 来调节 w 。调节公式为

$$w_j(k+1) = w_j(k) + \eta^* e(k) X_j(k) \quad (7)$$

$$\theta_j(k+1) = \theta_j(k) + \eta^* e(k) \quad (8)$$

式中： η^* 为网络的学习率， $0 < \eta^* \leq 1$ 。

5 神经元自适应谐波电流检测方法

将式 (7) 和式 (8) 两端除以输入信号的采样周期 T ，并把 η^* 和 T 合并成一项，记为 η 。如果 T 取得足够小，就能够把离散变量看作连续变量，离散变量 k 用连续变量 t 取代，再积分得

$$w_j(t) = \int \eta e(t) X_j(t) dt \quad (9)$$

$$\theta_j(t) = \int \eta e(t) dt \quad (10)$$

可见，神经元的权值或阈值的调节，可以通过对误差和神经元输入相乘后再积分，或对误差积分来实现。结合式 (7) 一式 (10)，设计出神经元自适应谐波电流检测的仿真模型如 4 图所示。

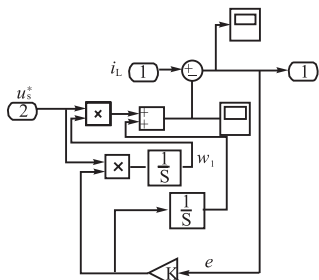


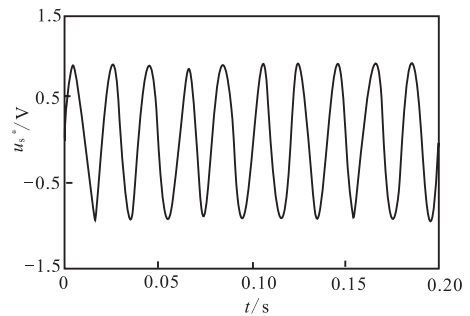
图 4 自适应神经网络谐波检测的仿真模型

Fig. 4 Simulation model of harmonic current detection Based on adaptive neural network

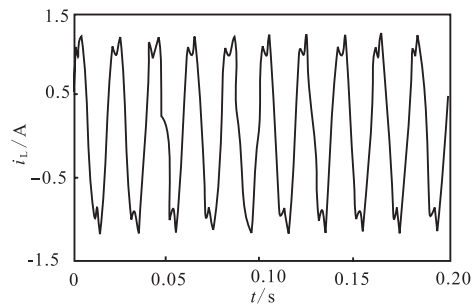
6 仿真研究

应用 MATLAB7.0 软件进行了仿真研究。仿真参数的设置为：频率 $f = 50 \text{ Hz}$ ；仿真时间 t 为 $0 \sim 0.2 \text{ s}$ ；电压信号为 $u_s^* = \sin \omega t$ ，波形如图 5 (a) 所示；负载电流采用三信号之和：即有功电流 $i_p = \sin \omega t$ 、无功电流 $i_q = 0.5 \cos \omega t$ 以及 5 次谐波电流 $i_h =$

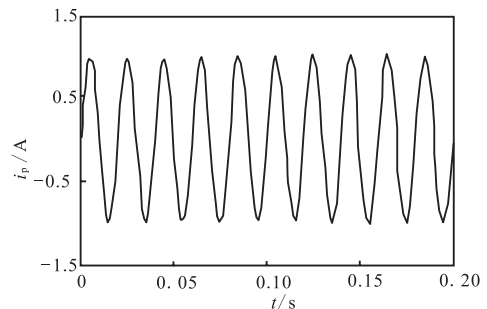
$0.2 \sin 5\omega t$ 叠加而成，波形见图 5 (b)，其中有功电流的波形如图 5 (c) 所示。图 6 为学习率 $\eta^* = 0.2$ 时分离出的有功电流和谐波电流的波形。



(a) 电压信号



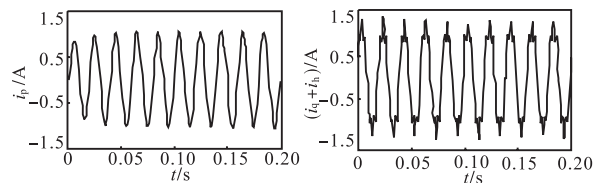
(b) 负载电流



(c) 有功电流

图 5 输入信号

Fig. 5 Input signal



(a) 有功电流

(b) 无功和谐波电流

图 6 输出信号

Fig. 6 Output signal

从仿真结果可以看出：对于任意非线性负载，采用自适应神经网络谐波检测方法检测出的有功电流，基本能快速跟随实际有功电流的变化，在幅值和相位上逼近实际值，且与电压相位相同；而由此得到的谐

波和无功电流既迅速、又真实,依据此信号进行电力补偿,可以快速、有效的消除电网中的谐波分量,从而得到理想、绿色、环保的电网信号。

7 结 语

以自适应噪声抵消技术为理论依据的检测谐波和无功信号的方法,能够实时准确地检测出畸变电流中的谐波和和无功成分,其原理简单、调节容易、计算量小、响应速度快,自适应能力强.因此该方法可以为用户提供高质量的电力服务,对改善电能质量和APF的发展具有实际意义。

参 考 文 献:

[1] Grady W M, Samotyj M J, Noyola A H. Surey of active power line conditioning methodologies [J]. IEEE Trans

on Power Delivery, 1990, 5 (3): 1536—1542.

- [2] Doulai G Ledwich. Coordinated three-phase hysteretic-control scheme for active power filter [J]. IEEE Proc Electr Power Appl, 1993, 139 (5): 457—464.
- [3] 顾颖杰,汤洪海,刘艳红,等. 新型复合神经网络控制的并联有源电力滤波器 [J]. 电力系统及其自动化学报, 2005, 17 (6): 12—17.
- [4] 陈秋明. 一种在线检测基波无功电流和谐波电流的简便方法 [J]. 中国电机工程学报, 2006, 26 (14): 71—73.
- [5] Elmitwally A, Abdelkader S, El-Kateb M. Neural network controlled three-phase four-wire shunt active power filter [J]. IEEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution, 2000, 147 (2): 87—92.
- [6] 陆秀令,张松华,曹才开,等. 单相电路谐波及无功电流新型检测方法 [J]. 高电压技术, 2007, 33 (3): 163—166.

(上接第71页)

位差,消除这个相位差对于精度的提高有着至关重要的作用^[5].在本系统设计中是利用CS5460A芯片内部集成的相位补偿环节来实现硬件补偿的。

(3) 调理电路中的采样电阻以及计量芯片本身的性能误差会造成脉冲输出的不准确,另外在设置脉冲-速率寄存器值的时候,由于这些寄存器只能取整,其舍入也会带来较大的误差.因而必须通过功率的增益校准来提高脉冲输出的精度。

4 结 语

利用微控制器 ATMEGA162,结合高精度电参数计量芯片 CS5460A,把传统仪器的专业化功能软件化,使之与微控制器融为一体,实现了高精度电参数的在线检测.该检测仪在功能、维护、使用和升级等多个方面具有传统测试仪器无法比拟的优点,已成功应用于北京造纸研究所以及本校化工学院的造纸磨

浆机设备主电机的三相电参数检测中.实践证明,系统的测量精度可达到0.1级,满足用户对设备用电情况监测的要求。

参 考 文 献:

- [1] 钱云,庄严,鲁子卉.基于CS5460A芯片的智能电能表设计 [J]. 仪表技术, 2007 (5): 8—10.
- [2] 刘贤锴. 电能计量芯片 CS5460A 的应用研究 [J]. 电测与仪表, 2007, 44 (1): 62—64.
- [3] 段启平,贺成才.一种基于ARM7的高精度实时变压器监控系统的研制 [J]. 华中电力, 2007, 20 (5): 66—69.
- [4] 洪涛,刘丽桑,彭侠夫.基于USB接口的电能量测试系统 [J]. 工业控制计算机, 2007, 20 (11): 36—37.
- [5] 崔鹏,邵建龙. 电能计量芯片 CS5460 在 MSP430 中的应用 [J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2007 (9): 37—39.