

有源电力滤波器谐波检测仿真设计

荣盘祥, 刘兆宇, 杨常伟

(哈尔滨理工大学 自动化学院, 黑龙江 哈尔滨 150080)

摘要: 随着电力系统规模与日俱增以及大量的非线性电力电子设备的广泛应用,使电网受到了日益严重的“谐波污染”,因此对于谐波的治理已刻不容缓. 有源电力滤波器是连接在电网中驱除电网谐波,并改进电网电能质量的一种新式电力电子装配. 针对传统谐波检测算法产生的延迟问题,重点剖析了有源电力滤波器的工作原理和结构,提出一种基于瞬时无功率理论的谐波电流检测算法,并建立了 MATLAB 仿真模型,仿真结果表明,该方法可以有效消除检测过程中产生的延迟,具有良好的补偿效果.

关键词: 有源电力滤波器; 谐波; 仿真; MATLAB

DOI: 10.15938/j.jhust.2015.01.013

中图分类号: TP273 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2683(2015)01-0066-05

Harmonic Detection Simulation Design of Active Power Filter

RONG Pan-xiang, LIU Zhao-yu, YANG Chang-wei

(School of Automation, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China)

Abstract: With the constant expansion of power systems and wide use of many non-linear electronic devices, harmonic pollution of power systems becomes more and more serious, and harmonic is treatment is urgent. The active power filter is a new power electronic assembly connected in the power grid to remove the power harmonic and improve electric energy of the power grid. This paper aiming at the delay problem by the traditional algorithm, lays emphasis on analyzing the operation principle and structure of the active power filter, proposed on a new harmonic detection method based on the instantaneous reactive power theory, and carries out simulation model of MATLAB, the simulation results verify this new method which eliminates the delay and the new method is of good compensation effect.

Key words: active power filter, harmonic, simulation, MATLAB

0 引言

近年来,随着电子技术的飞速发展,各种功率开关器件、变频器、整流器等装置得到了广泛的应用. 这固然使电网的经济效益得到了显著地进步,但同时也致使大量的谐波和无功功率注入电网,即电力污染^[1-3]. 电力系统的功率因数下降与无功功率有

着密不可分的联系,它对电网造成了额外的负担,导致供给效率大幅下降;电网电压发生畸变,其主要原因是谐波电流能与电网的内阻抗耦合,已经给电网与电气设备安全以及正常使用带来了极大的威胁,电力污染治理在现代电力系统安全中的作用已愈发突出. 另外,谐波问题已成为阻挡电力电子技术进一步飞跃的重大障碍^[4-6]. 结构单一,使用方便,技术成熟,成本低廉是无源滤波器的优点. 然而,它的缺

收稿日期: 2014-09-01

作者简介: 荣盘祥(1965—),男,教授,博士研究生导师, E-mail: rongpx@hrbust.edu.cn;

刘兆宇(1990—),男,硕士研究生;

杨常伟(1986—),男,硕士研究生.

点同样显而易见^[4]: ① 电网及负载对它的补偿特性有着较大的影响,其滤波效果严重依赖于电网和负载的参数,滤波性能较差; ② 电网与滤波器可能与它产生串、并联谐振,给电网的安全性带来一定的隐患; ③ 所需储能元件的体积较大。

而有源电力滤波器的优点在于: ① 补偿特性与电网及负载几乎没有关联,这不但防止了与电网发生串、并联谐振的危险,同时还可抑制串并联谐振的发生; ② 能够对频率和大小都变化的谐波以及变化的无功功率进行迅速的动态跟踪补偿; ③ 不需储能元件,补偿谐波时所需储能元件容量不大,也是有源滤波器补偿无功功率的一大特点^[8-13]。因此,治理电网谐波及无功污染、提高电能质量最有效的手段时有源电力滤波器^[4-15]。

而谐波电流检测方法是影响有源滤波器性能的重要因素,经过数十年的研究,谐波电流检测的方法主要有模拟滤波器检测法、傅里叶变换检测法、小波分析法、神经网络法、自适应检测法等。这些传统的方法虽然都有各自的优点,但是缺点也过于明显,如实时性差,稳定性低,对样本的依赖性过强等。因此本文将重点对谐波检测方法进行深入研究,使有源滤波器的性能更加稳定、可靠。

1 有源电力滤波器的分类及工作原理

1.1 有源电力滤波器的分类

目前,随着学技术的进步与发展,投入使用的有源电力滤波器的种类繁多复杂,其分类方法也多种多样。如下图 1 所示,从不同的角度出发,对有源电力滤波器进行了分类^[14]。

首先,将有源电力滤波器分为有源直流滤波器和有源交流滤波器两大类,这是依据应用场合的不同。前者以驱除高压直流系统中换流器直流测的谐波电压为重点,后者则集中在交流电力系统。

其次,将有源滤波器分为电流源型和电压源型两种,这是根据逆变电路储能元件的不同。效率高、早期投资小、可任意并联扩容,易于单机小型化,性价比是电压源型滤波装置的特点。结构相对单一、性能可靠,较大损耗则是电流型滤波装置的特点。因此,基于装置的实用性,大多数选择电压源型。

再次,将有源滤波器分为并联型和串联型,这是依照与电网的连接方法的差别。能够驱除负载引起的谐波电流,同时可以对无功进行补偿这是并联型有源电力滤波器的重要性能,它实质上等效于一个

受控的电流源。另外,并联型有源电力滤波可以并联连接,从而获得更大的电流。然而,由于有源电力滤波器补偿的谐波负载是并联在电网,所以需要承担基波电压,使容量增加,致使开关损耗率增大。通过变压器串联在电网和负载之间是串联型有源电力滤波器,它本质上与一个受控电压源等效。能够对电网谐波电压和三相不平衡电压进行补偿,主要应用与电压敏感性负载,是串联型有源电力滤波器的重要特点。然而,通过与并联有源滤波器相对比,可以很清楚的知道串联型有源电力滤波器的主要缺点是会电流产生很高的负荷,致使变压器的体积增加,消耗增大。

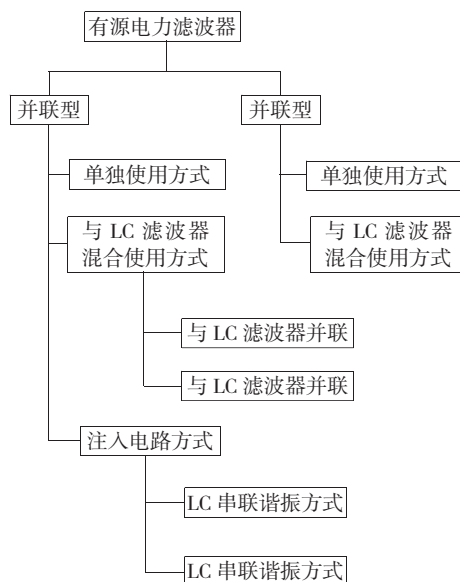


图 1 有源电力滤波器的分类

1.2 有源电力滤波器的工作原理

无论对有源电力滤波器进行怎样的分类,它都是串联或并联接在电网中,消除电网谐波并改善电网电能质量的一种新型电力电子装置。有源滤波器的原理图如图 2 所示。

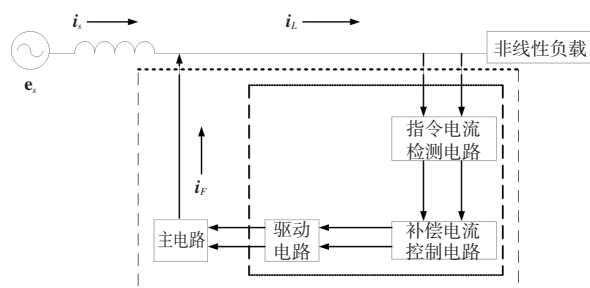


图 2 有源电力滤波器工作原理图

图中,交流电源用 e_s 表示,负载为谐波源,它产生负载并且损耗无功。有源电力滤波器工作的基本前提是得到电压或电流的信息参数,这些参数主要

是通过电流检测采样电路获取,然后将它们送到指令电流产生单元,根据一些相关的检测算法,并利用CPU指令电流运算,最终得到的逆变器输出电流参数.指令电流对逆变器主电路的开关状态进行控制.微处理器输出满足要求的信号给驱动电路,最后由驱动电路实现对逆变器开关管的开通关断控制.因此,通过直流侧电容上的电压转变为电流耦合到电网上是主电路中电能质量优化的主要内容,从而达到提高供电质量的目的.

例如,对负载所产生的谐波电流通过有源电力滤波器进行补偿时,负载电流: i_L , 负载电流的谐波分量: i_{Lh} , 反极性后作为补偿电流的指令信号: i_F , 负载电流的基波分量: i_{Lf} . 该原理可用如下一组公式来表示.

$$\begin{cases} i_S = i_L + i_F \\ i_L = i_{Lf} + i_{Lh} \\ i_F = -i_{Lh} \\ i_S = i_L + i_F = i_{Lf} \end{cases}$$

2 MATLAB 仿真模型设计

2.1 仿真模型的建立

通过前面对有源电力滤波器的分析,设计出仿真模型,如图3所示.

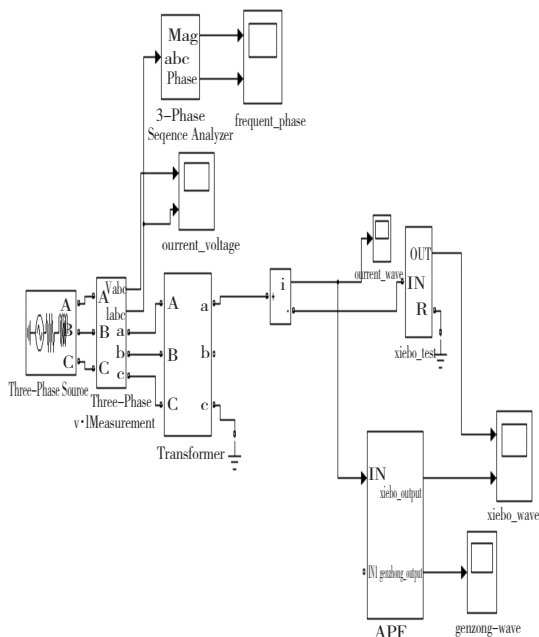


图3 仿真模块

2.2 仿真结果及分析

首先,将三相电源的初始相位设置为0,频率设置为50 Hz. 得到三相电压的三个输出端以及三相输

出端电流的波形图,如下图4、5所示.

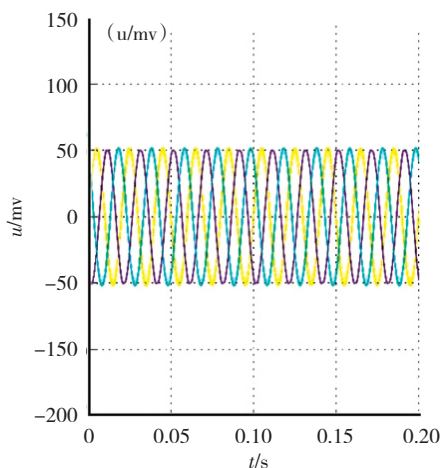


图4 电压波形图

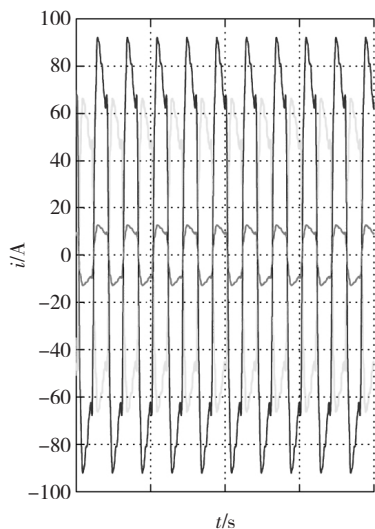


图5 电流波形图

同时得到频率曲线图和相位曲线图,如图6、7所示.

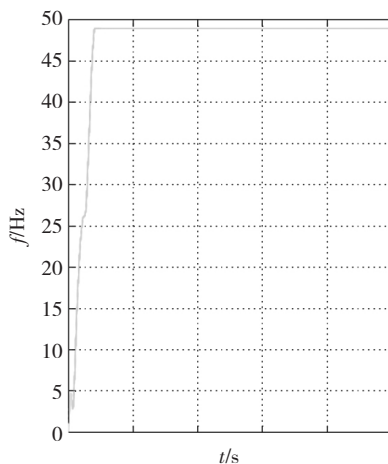


图6 频率曲线图

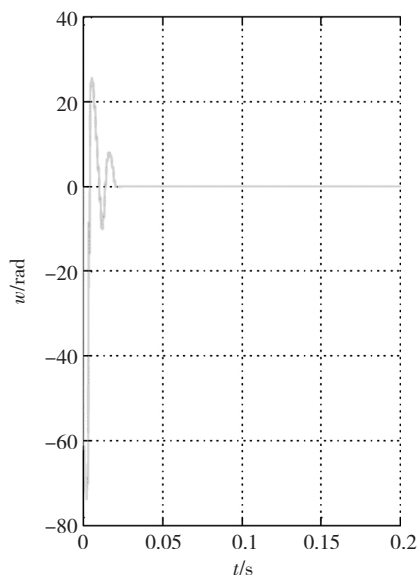


图 7 相位曲线图

从图 6、7 可以看出,频率最终稳定在 50 Hz,相位稳定在 0。因此,可以说明生成的信号正确。其次,通过测试变压器 a 端口的电流来计算和检测谐波分量,选取的一路电流如图 8 所示。

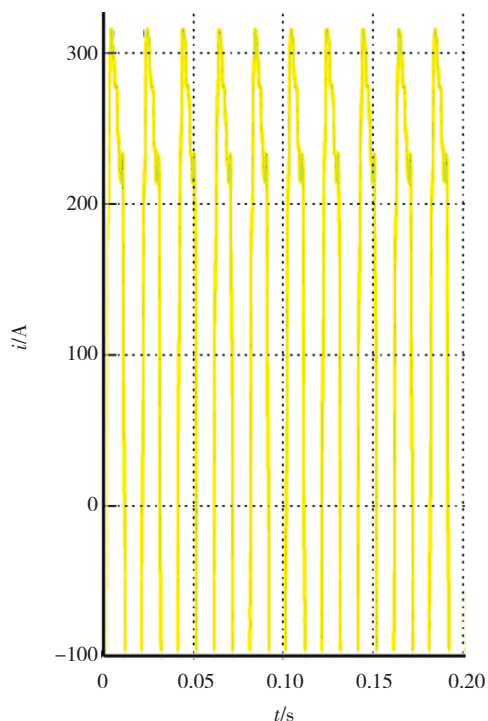


图 8 端口的电流

检测谐波分量的子系统中,电流输入,可以分为两个支路,一个支路采用 $\cos$ 函数调解信号,另一个支路采用 $\sin$ 函数调解信号,解调后的信号相加,然后在与原始的信号相减,就得到了谐波分量。然后,我们计算按照 50 Hz 正弦信号生成的谐波分量。最

后,分别得出检测谐波分量和计算生成的谐波分量的波形图,如图 9 所示。

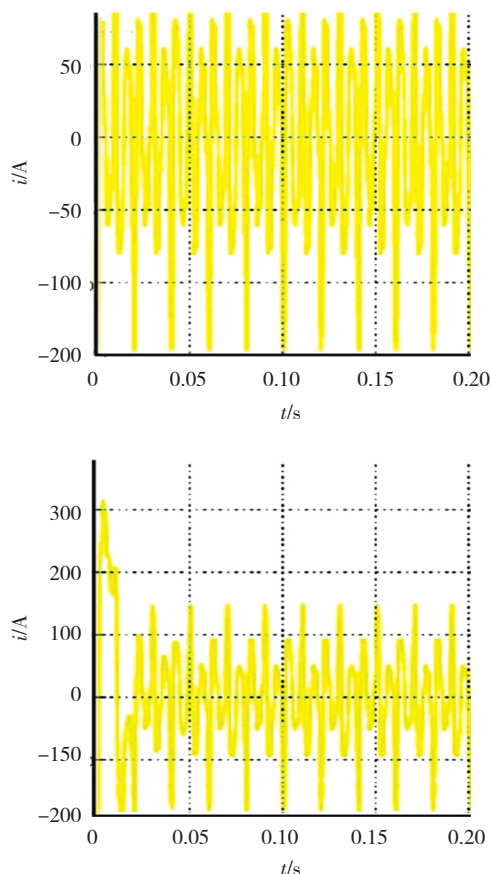


图 9 谐波图

图 9 中,上方的是通过计算生成的标准谐波,下方的是检测出的谐波。

3 结 语

本文针对有源电力滤波器中谐波检测方法存在的问题,提出基于瞬时无功功率理论的谐波检测方法,通过 Matlab/Simulink 仿真,表明了该方法可以实时准确的检测出谐波电流,证明了其有效性和可行性,基本达到了预期的效果。

参 考 文 献:

- [1] SINGH G K. Power System Harmonics Research: a Survey [J]. IEEE Transactions on Electrical Power, 2009, 19 (2): 151 - 172.
- [2] 郑鹏飞, 刘献成. 电能质量标准体系简述 [J]. 电测与仪表, 2010, 47(S1): 123 - 127.
- [3] 杨帆. 电能质量问题及其治理方法 [J]. 电气应用, 2013, 5 (4): 6 - 8.
- [4] 毛苏闽, 周娟. 四桥臂并联型有源滤波器复合控制策略 [J]. 电

- 力自动化设备,2012,32(4):26-30.
- [5] 徐长波,鲁伟,李春文,等. 基于超稳定理论的自适应控制在单相有源滤波器中的应用 [J]. 电力自动化设备,2014,34(1):163-167.
- [6] 倪建洵. 有源电力滤波器中重复控制的研究 [D]. 浙江: 浙江大学,2013:33-40.
- [7] EBONG I E, MAZUMDER P. Self-controlled Writing and Erasing in a Memristor Crossbar Memory [J]. Nanotechnology, IEEE Transactions on, 2011, 10(6): 1454-1463.
- [8] XIE Hong, QURESHI M S, PICKETT M, F, et al. CMOS Interface Circuits for Reading and Writing Memristor Crossbar Array [J] //Circuits and systems (ISCAS), 2011 IEEE international symposium on. IEEE, 2011: 2954-2957.
- [9] DU Xiong, ZHOU Luowei, LU Hao, et al. DC Link Active Power Filter for Three-phase Diode Rectifier [J]. IEEE trans on Industrial Electronic, 2012, 59(3): 1430-1442.
- [10] TERCİYANLI A, ERMİS M, CADIRCI İ. A Selective Harmonic Amplification Method for Reduction of Rating of Current Source Converters in Shunt Active Power Filters [J]. IEEE Transactions Power Delivery, 2011, 26(1): 65-78.
- [11] 王晶,白冉明. 关于电能质量标准和电能质量监测管理 [J]. 供电企业管理,2013,1(4):37-39.
- [12] 刘芳,武娇,杨淑媛. 结构化压缩感知研究进展 [J]. 自动化学报,2013,39(12):1980-1995.
- [13] 郝晓弘,张雪薇,陈伟. 统一电能质量调节器的新型补偿策略及仿真 [J]. 计算机仿真,2012,29(6):300-303.
- [14] 袁晓冬. 电能质量问题及其治理方法 [J]. 电气应用,2013,32(9):6-8.
- [15] 黎燕,罗安,方璐,等. 高电压等级新型混合有源滤波器 [J]. 电工技术学报,2013,28(6):147-157.
- [16] WEI K. Study on Output Characteristic of Bi-direction Current Source Converters [J]. Industry Applications, IEEE Transactions on, 2013(99):2892-2899.
- [17] 郭晓蓓,庞振海. 谐波治理技术在通信类企业的应用浅析 [J]. 电源技术,2012,11(3):461-464.
- [18] 康崇皓. 有源电力滤波器在轨道交通工程中的应用 [J]. 都市快轨交通,2013,26(2):123-126.
- [19] 严芳芳. 并联混合型有源电力滤波器的参数设计及仿真 [J]. 控制工程,2013,20(1):184-186.
- [20] 刘冲. 基于单周控制技术的有源电力滤波器研究 [D]. 南昌: 南昌大学,2012:31-57.

(编辑: 温泽宇)