

基于复合控制的无变压器并联混合型有源电力滤波器

孟 超, 郑佳坤, 李 钺, 洪永强*

(厦门大学物理与机电工程学院, 福建 厦门 361005)

摘要: 无变压器并联混合型有源电力滤波器是一种新颖的有源滤波器拓扑结构. 阐述系统主电路组成, 给出无源部分的设计原则, 提出将带有校正环节的复合控制和直流侧电容电压控制引入控制环路以获得指令电流的控制策略, 继而通过三角载波控制实现实际输出电流对指令电流的跟踪. 在 Matlab 环境下建立系统模型并进行仿真. 仿真结果表明, 应用该控制策略的滤波器可以有效地对负载谐波进行补偿, 从而证明该控制策略的可行性.

关键词: 无变压器; 混合型有源电力滤波器; 复合控制

中图分类号: TM 77

文献标志码: A

文章编号: 0438-0479(2012)02-0204-05

随着越来越多的非线性负载应用到工业生产中, 电网受到的谐波污染日益加重, 因此对电压和电流谐波治理的研究逐渐受到重视^[1-3]. 工业上抑制谐波畸变最常用的方法是采用无源电力滤波器(passive filter), 其具有结构简单、设备投资较少、运行费用较低等优点, 因此至今仍是使用最多的方法. 但是无源电力滤波器存在一些无法根除的缺点: 补偿效果对负载有依赖性, 使用不够灵活, 容易引发串联和并联谐振等^[3-5]. 有源电力滤波器(active power filter)对电网进行实时监测, 在检测到系统谐波的同时向系统注入一组与之大小相等方向相反的电流来抵消谐波电流, 从而抑制谐波畸变. 有源电力滤波器可以克服上文提到的无源电力滤波器的缺点, 被认为是解决电力系统谐波问题最有前途的方法之一. 实际应用中同等容量的有源电力滤波器的成本远高于无源电力滤波器, 这在很大程度上限制了有源电力滤波器的发展. 为解决此问题, 一些学者提出了混合型有源电力滤波器(hybrid active power filter, HAPF)的概念, 并得到广泛的关注.

文献[1]提出一种无变压器并联混合型有源电力滤波器(transformerless shunt hybrid active power filter, TLS-HAPF), 这种拓扑由较小容量的有源电力滤波器和一组单调谐无源电力滤波器不经耦合变压器直接串联后并联接入电网, 具有较强的实用性, 但是由于这种拓扑结构的复杂性, 其控制比较困难. 文献[1-2]提出反馈控制加 5 次谐波前馈控制的策略, 这种控

制策略可以保证对 5 次谐波的较好补偿, 但是需要对负载电流或电网电流进行 $d5-q5$ 的正变换和反变换以实时监测 5 次谐波, 大大增加了系统运算量; 文献[3]在常规控制策略中引进广义积分器以增强补偿效果, 但是在电网频率改变时广义积分器容易受到影响, 滤除指定次谐波的效果会变差; 文献[4]将滑模控制应用到这种拓扑结构中, 但是需要对系统精确建模, 增加了工业现场应用的难度.

本文在阐述系统主电路组成的基础上, 提出将带有校正环节的复合控制和直流侧电容电压控制引入控制环路以获得指令电流的控制策略, 继而通过三角载波控制实现实际输出电流对指令电流的跟踪. 在 Matlab 环境下建立系统模型并进行仿真. 仿真结果表明, 应用本文提出的控制策略滤波器可以有效地对负载谐波进行补偿, 从而证明该控制策略的可行性.

1 系统组成

图 1 给出了包含 TLS-HAPF 的系统电路图, 其中 V_s 为电网电压, i_s 为电网电流, L_s 为电网阻抗, 进线电抗 L_{ac} 和二极管整流器用来模拟实际应用中的谐波电流源负载. 图 1 中虚线框内为 TLS-HAPF 电路结构, 一部分为无源电力滤波器, 由 L_F 、 C_F 组成; 另一部分为三桥臂逆变器构成的有源部分, C_D 为直流侧电容, V_D 为电容 C_D 两端电压, i_F 为有源电力滤波器输出电流; V_{AF} 为有源电力滤波器输出电压.

在该拓扑结构中, 无源电力滤波器起到承受基波电压、改善滤波效果和滤除开关纹波的作用. 单调谐无

收稿日期: 2011-07-15

* 通信作者: hongyq@xmu.edu.cn

滤波器设置 $L_f = 2.19 \text{ mH}$, 电容 $C_f = 94.3 \text{ } \mu\text{F}$, 使 $Q = 30$, 故 $R_f = 0.16 \text{ } \Omega$; 有源电力滤波器逆变部分选用三桥臂 IGBT 模块实现, 其驱动脉冲由 Control System 子模块实现, 直流侧电容选为 $C_2 = 2200 \text{ } \mu\text{F}$; V_D^* 设置为 200 V .

3.2 仿真结果分析

设置 powerGUI 中的离散采样时间为 10^{-5} s 开始仿真, 仿真波形如图 4 所示. 对图 4(b)、(c)、(d) 作谐波分析, 得到图 5. 由图 5 可知, 在补偿前, 负载电流总谐波失真 (total harmonic distortion, THD) 达到 47.42% , 畸变严重; 在检测负载电流方式控制下的有源电力滤波器补偿后, 电网电流 THD 仍然高达 5.11% , 其中仅 5 次谐波就为 4.81% , 不能满足相关国

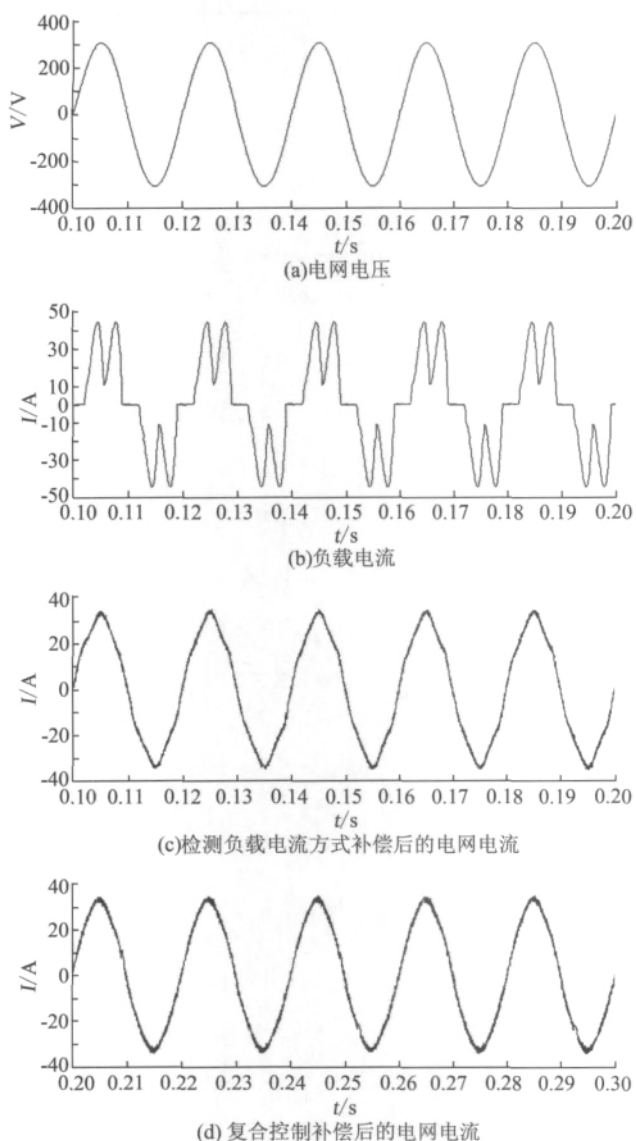


图 4 仿真波形

Fig. 4 Simulation waveforms

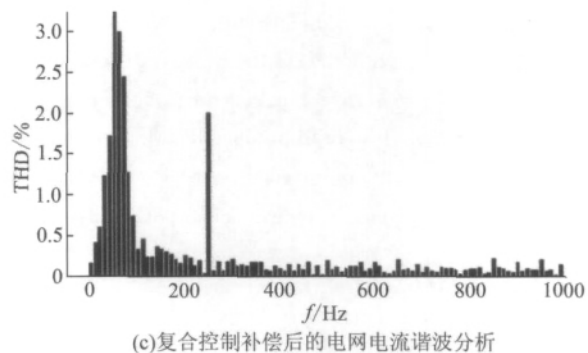
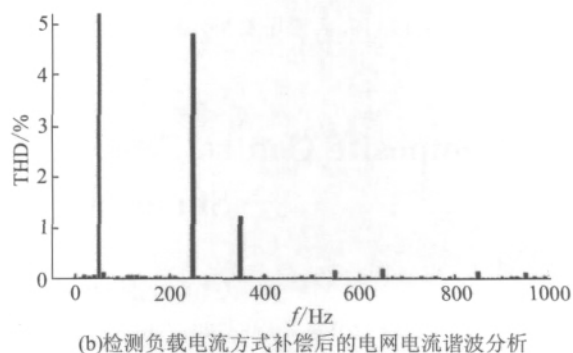
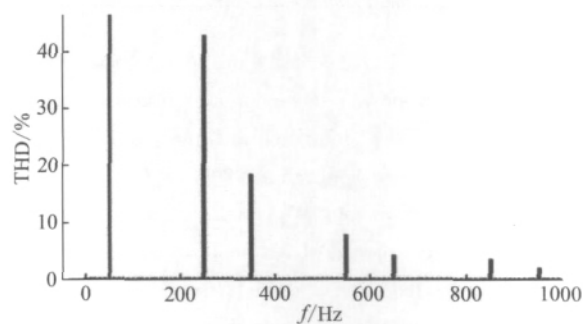


图 5 电流谐波分析

Fig. 5 Analysis of current harmonics

际标准; 在复合控制下的有源电力滤波器补偿后, 电网电流 THD 仅为 2.66% , 5 次谐波也仅为 2.01% , 补偿效果优良.

4 结 论

本文对 TSL-HAPF 进行研究, 提出将带有校正环节的复合控制和直流侧电容电压控制引入控制环路以获得指令电流的控制策略. 在 Matlab 环境下建立系统模型并进行仿真, 仿真结果表明, 与传统的单纯检测负载电流控制方式和单纯检测电源电流控制方式相比较, 本文提出的复合控制策略可以在保证算法简洁性的基础上有效地降低电网电流总谐波畸变, 从而证明了该控制策略的可行性.

参考文献:

- [1] Srianthumrong S, Akagi H. A medium-voltage transformerless AC/DC power conversion system consisting of a diode rectifier and a shunt hybrid filter[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2003, 39(3): 874-882.
- [2] Tangtheerajaronwong W, Hatada T, Wada K, et al. Design and performance of a transformerless shunt hybrid filter integrated into a three-phase diode rectifier[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2007, 22(5): 1882-1889.
- [3] 武健, 何娜, 徐殿国. 无变压器型并联混合有源滤波器设计及应用[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(12): 88-94.
- [4] 郭伟峰, 武健, 徐殿国. 新型滑模控制的并联混合有源滤波器[J]. 中国电机工程学报, 2009, 29(27): 29-35.
- [5] 王兆安, 杨军, 刘进军. 谐波抑制和无功功率补偿[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005: 257-316.
- [6] 颜晓庆, 杨君, 王兆安. 并联型电力有源滤波器的数学模型和稳定性分析[J]. 电工技术学报, 1998, 13(1): 41-45.
- [7] 姜齐荣, 谢小荣, 陈建业. 电力系统并联补偿[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004: 153-160.
- [8] 林飞, 杜欣. 电力电子应用技术的 MATLAB 仿真[M]. 北京: 中国电力出版社, 2009: 273-277.

Composite Control Mode Applied to Three-phase Transformerless Shunt Hybrid Active Power Filter

MENG Chao, ZHENG Jia-kun, LI Po, HONG Yong-qiang*

(School of Physics and Mechanical & Electrical Engineering, Xamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: Transformerless shunt hybrid active power filter (TLS-HAPF) is a novel topology of APF. This paper gives the principle of PF and APF design in TLS-HAPF, proposes a kind of composite control mode which is composed of load current detecting control mode and source current detecting control mode, and introduces capacitor voltage control into the control circuit, at the end use a triangular waveform of 10 kHz to produce PWM. A model of TLS-HAPF is established and simulation has come out in Matlab, the result shows this topology improved the power quality effectively.

Key words: transformerless; hybrid active power filter; composite control mode