

并联混合型有源电力滤波器仿真分析

侯新科¹, 牟英¹, 汪昶江¹, 郑伟²

(1. 兰州理工大学电气信息工程学院, 甘肃 兰州 730050; 2. 甘肃电力科学研究所, 甘肃 兰州 730050)

摘要: 并联混合型有源电力滤波器能够很好地实现谐波抑制和无功补偿。给出了有源电力滤波器系统结构, 建立了数学模型, 还给出了主电路直流侧电容电压值和交流侧电感值的选取方法, 利用 Matlab\Simulink \PSB 构建了仿真模型, 得到了仿真结果。

关键词: 有源电力滤波器; 直流侧电容电压; 交流侧电感; Matlab/Simulink

Simulation of shunt hybrid active power filter

GOU Xin-ke¹, MOU Ying¹, WANG Chang-jiang¹, ZHENG Wei²

(1. College of Electrical and Information Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China;
2. Gansu Electric Power Research Institute, Lanzhou 730050, China)

Abstract: Shunt hybrid active power filter can commendably achieve harmonic suppression and reactive power compensation. In this paper, it shows the APF's architecture and sets up a mathematical model. And the way of choosing the value of the main circuit's voltage ripple of DC side capacitor and the AC side inductance is proposed. MATLAB \ Simulink\PSB is used to build simulation model and then get the simulation results.

Key words: APF; voltage of DC side capacitor; AC side inductance ; Matlab / Simulink

中图分类号: TM761+.2 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)17-0013-03

0 引言

随着电力电子设备的广泛应用, 大量的谐波和无功电流注入电网, 对公用电网的供电质量和用户设备的安全运行造成严重的威胁。将传统的 PF 和 APF 结合起来, 互相取长补短, 组成混合有源电力滤波器, 是当前 APF 研究领域的一个重要方向。实际的有源电力滤波器必须具有较完好的电压控制性能。因此, 需要对直流侧电容电压及交流侧电感值进行设计, 这些参数对于设计一台高性价比的有源电力滤波器是至关重要的。

1 并联混合型有源电力滤波器系统结构

并联混合型有源电力滤波器由有源滤波器和 LC 无源滤波器两部分组成。APF 由电流运算电路和补偿电流发生电路两部分组成, 其原理是指令电流运算电路得出的无功和谐波的指令信号给补偿电流发生电路得出补偿电流, 补偿电流与负载中的无

功与谐波电流相互抵消最终得到期望的电源电流^[1,2]。主电路采用 PWM 变流器。

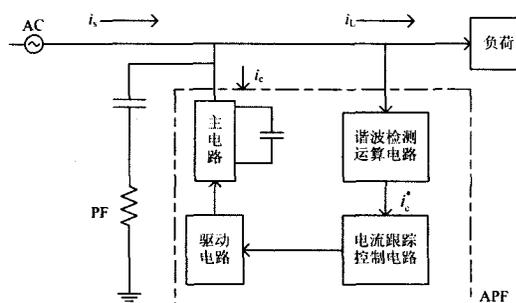


图1 有源电力滤波器结构框图

Fig.1 Schematic diagram of APF

2 直流侧电容电压设计

三相三线有源电力滤波器的主电路如图 2 所示, 它的交流侧可描述为:

$$\begin{cases} e_a + \Delta e = L_a \frac{di_a}{dt} + u_a \\ e_b + \Delta e = L_b \frac{di_b}{dt} + u_b \\ e_c + \Delta e = L_c \frac{di_c}{dt} + u_c \end{cases} \quad (1)$$

式中: $L_a=L_b=L_c=L$ 。

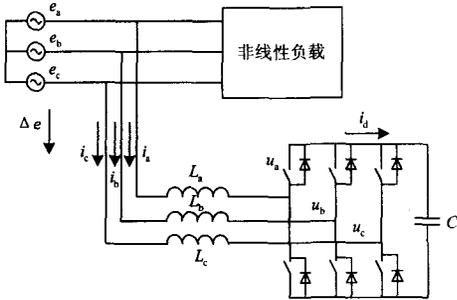


图2 三相三线有源电力滤波器主电路

Fig.2 Main circuit of three-phase three-wire active power filter

逆变器的输入电压 u_a , u_b 和 u_c 可用直流侧电容电压表示如下:

$$\begin{cases} u_a = k_a \frac{u_d}{2} \\ u_b = k_b \frac{u_d}{2} \\ u_c = k_c \frac{u_d}{2} \end{cases} \quad (2)$$

式中: k_a , k_b 和 k_c 是开关函数。其取值为:

$$k_i = \begin{cases} 1 & i\text{桥臂上管合上, 下管断开} \\ -1 & i\text{桥臂下管合上, 上管断开} \end{cases}$$

其中: $i=a,b,c$ 。直流侧电流可表示为:

$$i_d = i_a \frac{k_a + 1}{2} + i_b \frac{k_b + 1}{2} + i_c \frac{k_c + 1}{2} \quad (3)$$

假定没有中线, 则有源滤波器的三相电流值之和为零, 即 $i_a+i_b+i_c=0$, 则

$$i_d = \frac{1}{u_d} \left[p - \frac{L}{2} \frac{d}{dt} (i_a^2 + i_b^2 + i_c^2) \right] \quad (4)$$

式中: $p=e_a i_a + e_b i_b + e_c i_c$ 。

有源电力滤波器的直流侧电流 i_d 和电容电压 u_d 有如下关系:

$$i_d = C \frac{du_d}{dt}$$

代入上式可得:

$$u_d = \sqrt{\frac{2w_0}{C} + \frac{2}{C} \int_0^t p dt - \frac{L}{C} \times (i_a^2 + i_b^2 + i_c^2)} \quad (5)$$

式中: w_0 是任意常数, 这里代表储存在直流侧电容上的初始能量。从上面的公式我们可以看到, 根号内的第二或第三项随时间的变化将导致直流侧电容电压的波动。

3 交流侧接口电感的设计

由于电感有通低频和阻高频电流的作用, 而有源滤波器补偿电流的成分基本都是谐波电流, 因此电感值的设计直接关系到电流跟踪性能和补偿效果。在电网电压和滤波器直流侧电容电压确定的条件下, 决定补偿电流跟踪效果的两个主要因素: 一个是主电路功率器件的开关频率, 另一个则是补偿电流的瞬时变化率。根据文献[3]可以得到交流侧电感的取值为:

$$\frac{|u_d/2 + E_m| \cdot T_s}{\Delta i_{\max}} \leq L \leq \frac{|u_d/2 - E_m| \cdot T_s}{\Delta i_{\min}} \quad (6)$$

式中: E_m 为电网电压幅值的最大值, Δi_{\min} 是每个开关周期中允许的最小电流增量, Δi_{\max} 是每个开关周期中允许的最大电流增量。假设系统采用固定频率滞环控制或者是三角波比较控制, T_s 为开关频率对应的控制周期。

4 仿真分析

下面以 A 相仿真结果为例说明并联型混合有源电力滤波器的作用, 这里利用 Matlab\Simulink\PSB 模块进行仿真。假设被补偿的非线性负载是直流侧带大电感负载的三相不控整流桥, 则交流侧相电流可描述为:

$$i_a = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} I_d \left[\sin \alpha x + \sum_{\substack{n=6k+1 \\ k=1,2,3}} (-1)^k \frac{1}{n} \sin n \alpha x \right] \quad (7)$$

式中: I_d 为直流侧电感电流, 由于负载三相对称, i_b , i_c 依次滞后 120° 。并将所测得的相关参数代入

式(5)就可以得出直流侧电容电压的取值, 代入式(6)就可以得到交流侧电感值。

根据并联混合型有源电力滤波器系统结构搭建系统仿真模型, 这里只给出谐波的检测模型, 采用很成熟的 dp-dq 算法^[4], 仿真模型如图 3 所示, 另外根据上述分析将参数设置如下: 电网电压 $E_m=220\sqrt{2}$ V, $f=50$ Hz, 直流侧电容电压 $U_d=800$ V, 交流侧电感 $L=2$ mH, 对于 LC 无源滤波器 $C=1.8e-03$ F, $L=0.2$ mH, 仿真结果如图 4 所示^[5, 6]。

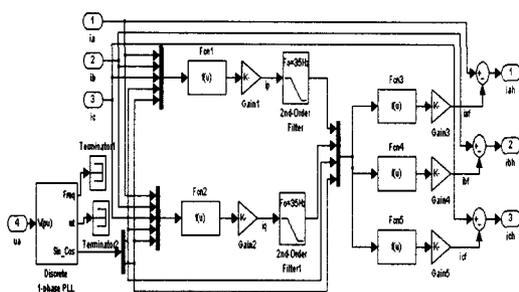


图 3 谐波检测仿真模型

Fig.3 Harmonic detection simulation model

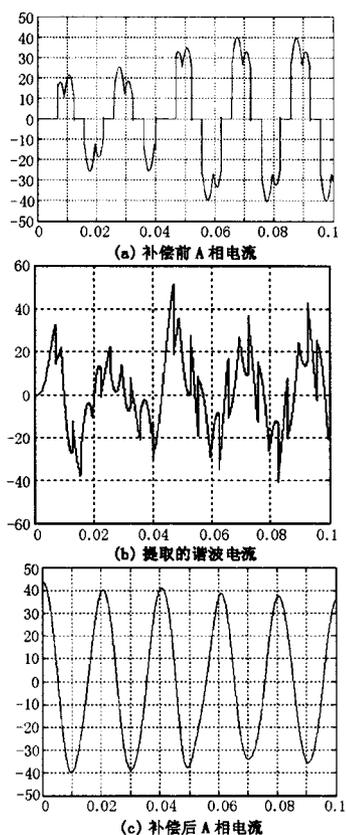


图 4 A 相电流仿真波形

Fig.4 Phase A current simulation wave

5 结论

本文选用 Matlab\Simulink 构建了并联型混合有源电力滤波器仿真系统, 设置参数反复验证得到比较好的波形, 另外根据文献[3]使用的控制方法使并联型混合有源电力滤波器达到了很好的滤波效果。

参考文献

- [1] 王兆安,杨君,刘进军.谐波抑制与无功功率补偿[M].北京:机械工业出版社, 1998.
WANG Zhao-an,YANG Jun,LIU Jin-jun.Harmonics Suppression and Reactive Power Compensation[M].Beijing: China Machine Press, 1998.
- [2] 罗洁,桂武鸣.并联混合型有源电力滤波器的研究[J].邵阳学院学报(自然科学版), 2006,(2):39-41.
LUO Jie,GUI Wu-ming.Research of Parallel Hybrid Active Power Filter[J].Journal of Shaoyang University, (Science and Technology), 2006,(2):39-41.
- [3] 陈仲.并联有源电力滤波器实用关键技术的研究[D].杭州:浙江大学, 2006.
CHEN Zhong. Key Practical Technologies of Shunt Active Power Filter[D]. Hangzhou:Zhejiang University,1998.
- [4] 余志强,傅仲文,杜永.基于新型谐波电流检测的有源电力滤波器仿真研究[J].电测与仪表, 2006,(6):22-26.
YU Zhi-qiang, FU Zhong-wen,DU Yong. Simulation of Active Power Filter based on the New Harmonic Current Detection[J].Electrical Measurement and Instrumentation, 2006,(6):22-26.
- [5] 霍立海,汤宁平.并联型有源电力滤波器系统建模与仿真[J].江苏电器, 2007,(1):22-27.
HUO Li-hai,TANG Ning-ping.Modeling and Simulation of Active Power Filter System[J]. Jiangsu Electrical Apparatus, 2007,(1):22-27.
- [6] 刘海峰,陈梅.基于 Matlab 的电力有源滤波器(APF)的仿真[J].电气开关, 2006,(4):39-41.
LIU Hai-feng,CHEN Mei. Simulation of APF Based on Matlab[J].Electric Switchgear,2006,(4):39-41.

收稿日期: 2008-10-09; 修回日期: 2008-10-13

作者简介:

续新科(1966-), 男, 教授, 硕士生导师, 从事数字信号处理, 检测技术等方向研究;

牟英(1982-), 女, 硕士, 从事电能质量技术研究;
E-mail: mou1982@126.com

汪昶江(1982-), 男, 硕士, 从事信号处理工作。