

文章编号:1671-6833(2005)02-0032-04

# 并联有源电力滤波器电流滞环比较控制方法研究

栗时平<sup>1</sup>, 刘桂英<sup>1,2</sup>

(1. 长沙理工大学电气与信息工程学院, 湖南 长沙 410076; 2. 华中科技大学电气与电子工程学院, 湖北 武汉 430074)

**摘 要:**基于指令电流信号的瞬时无功功率理论检测方法,对并联有源电力滤波器电流滞环比较控制方法进行分析提出了一种基于电流的SAPF 滞环控制方法,该方法可以根据SAPF 补偿效果的工程需要以及可控电力电子元件的开关频率限制性,选择适当的阈值.为了验证该方法的可行性,进行了MATLAB 仿真实验.仿真结果表明,电流滞环控制方法可减少计算量及计算误差,提高反应速度,并可根据需要调节跟踪精度.

**关键词:**并联有源电力滤波器; 电流滞环比较控制; 瞬时无功功率理论

**中图分类号:** TN 713; TM 714.3

**文献标识码:** A

## 0 引言

交流电力系统自诞生起,在产生基波电量的同时就产生了谐波问题,但是谐波问题备受关注还是近 10 年的事.近 10 几年来,由于大量以电力电子装置为代表的非线性设备和以微电子装置为代表的电能质量敏感设备使用日益广泛,一方面,非线性设备产生的大量高次谐波,严重污染电力系统电能质量,造成电力系统电压、电流严重畸变,影响仪表正常工作,增加电力元件损耗,危及电力系统安全运行;另一方面,谐波敏感设备要求供给非常平滑的正弦电压、电流,从而使电力系统谐波问题变得日趋严峻,成为迫切需要解决的电能质量问题.电力系统谐波抑制的基本措施由两种,一种是采用 L(电抗器)、C(电容器)、R(电阻)构成的无源电力滤波器,另一种是采用电力电子器件构成的有源电力滤波器.

有源电力滤波器(Active Power Filter, APF)虽然早在 20 世纪 70 年代就已提出,但是直到 20 世纪 90 年代以后才开始在电力系统得到实际应用,并在逐步走向成熟.制约 APF 发展的一个重要因素就是缺乏理想的控制方法,因此有源滤波技术中的 APF 控制策略是国内外专家学者研究的一个热点.本文作者在这方面也进行了长期研究,提出了一些行之有效的控制措施,这里主要介绍一种基于瞬时无功功率理论的电流滞环控制方法.

## 1 有源电力滤波器工作原理简介

APF 主要由主电路和控制电路两大部分组成,APF 的主电路一般由逆变器构成,根据逆变器直流侧储能元件的不同,可以分为电压型 APF 和电流型 APF,电压型 APF 因损耗较少、效率高、储能元件价格低而更受青睐. APF 接入系统的方式有串联和并联两种,并联有源电力滤波器(Shunt Active Power Filter, SAPF)因连接简单、谐波电流抑制效果好、APF 故障对系统影响小而被广泛使用. APF 的控制电路主要由指令信号检测电路、控制策略电路和驱动信号发生电路组成,控制电路的关键是如何精确、快速检测指令信号和选择何种合适的控制策略.一般地,串联 APF 主要跟踪抑制系统谐波电压, SAPF 跟踪抑制系统谐波电流,检测的指令信号有所不同,本文作者主要探讨 SAPF 的控制问题. SAPF 的电路结构如图 1 所示.控制电路首先检测出指令电流,它应等于系统需要补偿的谐波电流,然后形成控制信号流,最后产生驱动信号触发主电路中控制电力电子器件,使主电路输出所需的补偿电流,它应该在任何时刻与指令电流大小相等,方向相反,从而实现对系统谐波电流的补偿,它反过来要求指令信号检测电路应该能够检测出补偿对象的瞬时值.设系统电源侧瞬时电流为  $i_s$ ,若只希望 SAPF 抑制谐波电流,则指令信号检测电路从  $i_s$  中分离出瞬时谐波电流分量  $i_h$  作为指令信号  $i_z$ ,

收稿日期:2005-01-06;修订日期:2005-03-17

基金项目:湖南省自然科学基金资助项目(03JJY4030)

作者简介:栗时平(1963-),男,湖南省邵阳市人,长沙理工大学副教授,博士后,主要从事电能质量与智能控制的研究.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



预先给定一个允许的容许误差,在补偿对象与滤波器输出之差值的大小超过这个容许误差时,主电路中的开关元件动作.电流滞环比较控制的基本思想是实际电流与指令电流的上、下限相比较,交点作为开关点,在指令电流的上、下限形成一个环带,故取名‘电流滞环控制’.

SAPF 的电流滞环控制SAPF 的原理是:高频采样频率连续检测系统的 $i_s$ 和SAPF 输出的 $i_c$ ,指令信号检测电路从 $i_s$ 中分离出 $i_z$ ,取 $i_z$ 与 $i_c$ 的代数差 $\Delta_c$ .输入到如图3所示的滞环比较器,设 $\delta_1$ 和 $\delta_2$ 分别为滞环比较器的高、低阈值(一般取 $\delta_1=-\delta_2$ ),若 $\Delta_c>\delta_1$ ,HL 上跳至高电位; $\Delta_c<-\delta_2$ 时,HL 下跳至低电位;当 $-\delta_2\leq\Delta_c\leq\delta_1$ 时,HL 保持原值.信号HL 为控制可控电力电子元件栅极 $G_1,G_2$ 的PWM 信号TO\_G1,TO\_G2.TO\_G1,TO\_G2的逻辑函数表达式非常简单,可表示TO\_G1=HL,TO\_G2=HL·TO\_G1和TO\_G2信号送至驱动电路(实际上就是TO\_G1和TO\_G2信号的放大器),即可产生 $G_1,G_2$ 所需的触发信号.

电流滞环控制的特点是使被控制量围绕其给定值作锯齿形态变化,输出电流 $i_c$ .在PWM 波的控制下围绕指令信号 $i_z$ 波动,波动的幅度由滞环比较器的阈值决定,通过调节滞环比较器的阈值 $\delta_1$ 和 $\delta_2$ ,便可以调节SAPF 的输出补偿效果.一般地,滞环比较器阈值的模越小,SAPF 的补偿效果越好,对可控电力电子元件的开关频率要求越高,SAPF 的功耗越大;相反,滞环比较器阈值的模越大,SAPF 的补偿效果越差,对可控电力电子元件的开关频率要求越低,SAPF 的功耗越小.因此,可以根据SAPF 补偿效果的工程需要以及可控电力电子元件的开关频率限制性,选择恰当的阈值.

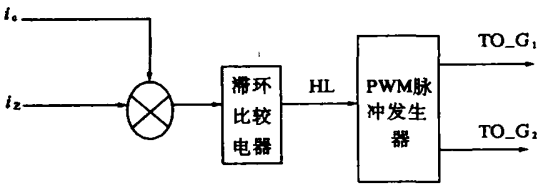


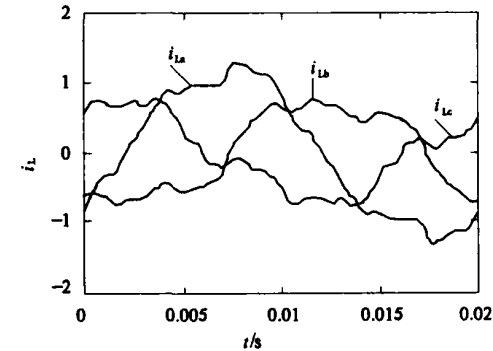
图3 电流滞环控制的原理框图

Fig.3 Principle drawing of current hysteresis control

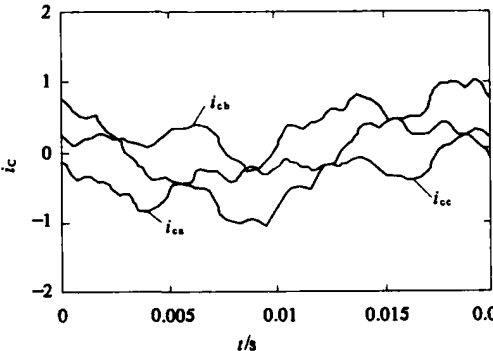
4 仿真及其结果

由理论分析可知,电流滞环控制的原理很简单,没有复杂的数学运算,因此既很容易实现,也有很好的实时性,而且可以达到所需的控制精度.为了验证电流滞环控制方法的有效性和可行性,本文

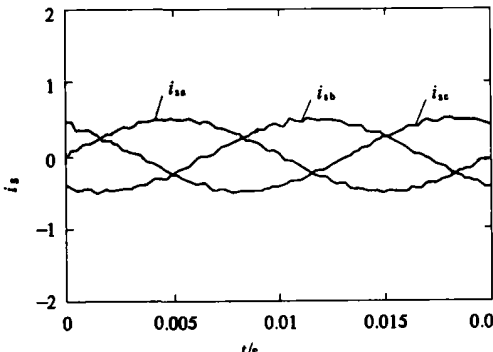
作者利用MATLA 的SIMULINK 仿真工具箱<sup>[4]</sup>,建立起了基于电流滞环控制策略的SAPF 控制系统仿真模型,并设:三相电力系统的电源基波频率为50 Hz;负荷为三相不对称非线性感性负荷,各相电流波形如图4(a)所示;滞环控制器的阈值 $\delta_1=-\delta_2=0.01I_{NS}$ ( $I_{NS}$ 为系统额定电流);APF 的补偿方式为全补偿,即APF 补偿电力系统负荷中所有非基波正序有功电流.通过仿真得到:APF 输出的三相电流波形为图4(b)所示,补偿后电源的三相电流波形为图4(c)所示.图4中所有电流为标么值.由图4(c)可知:APF 补偿了负荷所有的非基波正序有功电流,电源只向负荷提供基波正序有功电流,且电流波动很小,从而说明APF 的跟踪误差也很小.



(a) 负荷电流波形



(b) APF的输出电流波形



(c) 补偿后的电源电流波形

图4 电流波形仿真结果

Fig.4 Emulational results of current wave

5 结论

APF 作为一种新兴的谐波抑制和无功补偿方式,由于其可控性高,稳定性好,响应快速等优点,正在快速发展并逐步走向成熟,具备广阔的应用前景.本文作者提出了一种基于电流的 SAPF 滞环控制方法,分析工作原理并进行了 MATLAB 仿真.理论分析和仿真结果显示电流滞环控制方法减少了计算量及计算误差,从而提高了反应速度,可以根据需要调节跟踪精度,能满足不同的工程需要,具有实现简单、灵活性好、多功能、适用性广的优点,因此是一种较理想的 SAPF 控制方法.

参考文献:

[ 1 ] AKAGI A ,KANAZAWA Y ,NABAE A . Generalized theory of the instantaneous reactive power in three phase circuit [ R] .Tokyo :Proc IEEE IPEC ,1983. 1375~1386.  
[ 2 ] 李 民,王兆安,卓 放.基于瞬时无功功率理论的高次谐波和无功功率检测[J] . 电力电子技术,1992, 2( 2) :14~17.  
[ 3 ] 栗时平,李圣怡. 并联有源滤波器的最优电压滞环电流控制[J] . 电力自动化设备,2002,22( 4) :14~17.  
[ 4 ] 王金星,王庆平. MATLAB 在有源滤波器仿真设计中的应用[J] . 电力系统及其自动化学报,2001,13( 4) : 43~46.

Study on Current Hysteresis Comparison Control Method of Shunt Active Power Filter

SU Shi —ping<sup>1</sup>,LIU Gui —ying<sup>1,2</sup>

( 1.School of Electrical &Information Engineering ,Changsha University of Science and Technology ,Changsha 410076,China ;2.College of Electrical and Electronic Engineering ,Huazhong University of Science &Technology ,Wuhan 430074,China)

**Abstract :** Theories and simulations of current hysteresis comparison control Method for shunt active power filter are studied in this paper . Firstly , a detection technique based on instantaneous reactive power theory is proposed . And then the basic principles of current hysteresis comparison control method are analyzed . Finally , a simulative experiment is put up , some results of which are given to validate feasibility of the proposed method , and some good characteristics of it such as high —reliable simple control system , fine active power filter outputs are revealed .

**Key words** shunt active power filter ; current hysteresis comparison control ; instantaneous reactive power theory