

文章编号:1671-251X(2013)08-0065-04

DOI:

康增尚,李岚.基于单周控制和 i_p-i_q 检测法的有源电力滤波器研究[J].工矿自动化,2013,39(8):65-68.

基于单周控制和 i_p-i_q 检测法的有源电力滤波器研究

康增尚, 李岚

(太原理工大学 电气与动力工程学院, 山西 太原 030024)

摘要:针对基于单周控制的有源电力滤波器只能同时补偿谐波和无功分量的问题,提出了一种基于单周控制和 i_p-i_q 检测法的有源电力滤波器的设计方案。 i_p-i_q 检测法检测出的含有谐波或无功分量或两者皆有的基波分量作为单周控制器的参考信号,电源电流信号作为单周控制器的输入信号,这2个信号通过单周控制器生成补偿电流,从而实现单独补偿谐波或同时补偿谐波和无功分量的目的。仿真与实验结果验证了该方案的可行性。

关键词:有源电力滤波器;单周控制; i_p-i_q 检测法;谐波补偿;无功补偿

中图分类号:TD608

文献标志码:A

网络出版时间:

网络出版地址:

Research of active power filter based on one-cycle control and i_p-i_q detection method

KANG Zeng-shang, LI Lan

(College of Electrical and Power Engineering, Taiyuan University of Technology,
Taiyuan 030024, China)

Abstract:In view of problem that active power filter based on one-cycle control can only compensate harmonic and reactive component simultaneously, a design scheme of active power filter based on one-cycle control and i_p-i_q detection method was proposed. Fundamental components including harmonic or reactive component or the both detected by i_p-i_q detection method are took as reference signal of one-cycle controller, signal of power current is took as input signal of one-cycle controller. The two signals generate compensation current through one-cycle controller, so as to realize the purpose of compensating harmonic individually or compensating harmonic and reactive component simultaneously. The simulation and experiment results validate feasibility of the scheme.

Key words: active power filter; one-cycle control; i_p-i_q detection method; harmonic compensation; reactive compensation

0 引言

有源电力滤波器(Active Power Filter, APF)是一种动态抑制谐波和补偿无功的电力电子装置,其补偿特性具有响应快、可控性高、自适应性强等优点。传统的单周控制是一种非线性控制方法,其基本思想是在每个周期内强迫开关变量的平均值与控制参考值相等或成比例,能在1个周期内自动消除

稳态和瞬态误差,使得前一周期的误差不会带到下一周期^[1]。但这种控制方法要求电网电压平衡、无畸变,以直流侧电压为参考量并且只能同时补偿谐波与无功分量。在实际工业应用中,APF主要用于补偿谐波,同时补偿谐波与无功分量的情况相对较少,而只补偿无功分量的情况更少^[2-3]。为了解决这一问题,需要从单周控制的参考量入手,将 i_p-i_q 电流检测法应用于单周控制参考量的选取^[4-5]。

收稿日期:2013-04-27。

基金项目:山西省科技攻关项目(20110321061);太原市大学生创新创业人才项目(120164083)。

作者简介:康增尚(1987—),男,河北衡水人,硕士研究生,主要研究方向为新型电机理论及控制技术,E-mail:634775604@qq.com。

本文以三相三线制并联型 APF^[6]为研究对象,其控制系统采用的单周控制技术以由 $i_p - i_q$ 检测法检测出的含有谐波或无功分量或两者皆有的基波作为参考信号,同时以电源电流信号为输入信号,2 个信号通过单周控制器生成 PWM 控制信号,进而生成补偿电流,最终实现单独补偿谐波或同时补偿谐波和无功分量的目的。仿真与实验结果验证了该控制系统的正确性与可行性。

1 APF 主电路及控制参考量的选取

三相三线制并联型 APF 主电路如图 1 所示, e_a, e_b, e_c 分别为三相电源电压; i_{sa}, i_{sb}, i_{sc} 分别为三相电源电流; i_{aL}, i_{bL}, i_{cL} 分别为三相负载电流; i_{ac}, i_{bc}, i_{cc} 分别为三相补偿电流。

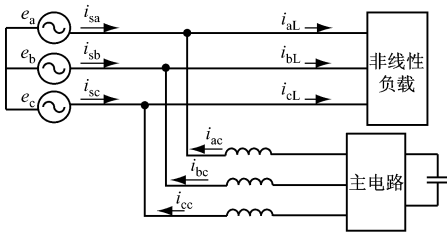


图 1 三相三线制并联型 APF 主电路

要想实现单独补偿谐波或者同时补偿谐波与无功分量,关键在于要选取不同的参考量,而参考量的选取是由电流检测过程中所检测的谐波分量和无功分量所决定的。图 2 为参考量检测原理,PLL 为锁相环,它与正、余弦发生电路共同为 $i_p - i_q$ 变换提供所需的与 A 相电网电压同相位的正弦信号 $\sin \omega t$ 和余弦信号 $\cos \omega t$, i_{af}, i_{bf}, i_{cf} 为三相基波分量。

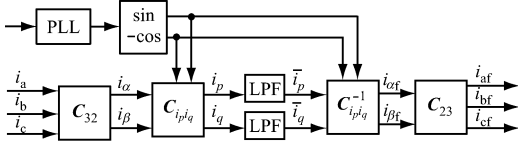


图 2 参考量检测原理

根据图 2 可得

$$\begin{bmatrix} i_p \\ i_q \end{bmatrix} = C_{ipiq} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} = C_{ipiq} C_{32} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} i_{af} \\ i_{bf} \\ i_{cf} \end{bmatrix} = C_{23} C_{ipiq}^{-1} \begin{bmatrix} i_p \\ i_q \end{bmatrix} \quad (2)$$

2 单周控制模型的推导

负载电流与 APF 产生的补偿电流共同组成电源电流:

$$\begin{cases} i_{sa} = i_{aL} + i_{ac} \\ i_{sb} = i_{bL} + i_{bc} \\ i_{sc} = i_{cL} + i_{cc} \end{cases} \quad (3)$$

可将负载电流看作基波分量与谐波分量之和:

$$\begin{cases} i_{aL} = i_{af} + i_{ah} \\ i_{bL} = i_{bf} + i_{bh} \\ i_{cL} = i_{cf} + i_{ch} \end{cases} \quad (4)$$

式中: i_{ah}, i_{bh}, i_{ch} 为三相谐波电流。

将式(3)与式(4)合并,得

$$\begin{cases} i_{sa} = i_{af} + i_{ah} + i_{ac} \\ i_{sb} = i_{bf} + i_{bh} + i_{bc} \\ i_{sc} = i_{cf} + i_{ch} + i_{cc} \end{cases} \quad (5)$$

将单周控制参考量设定为跟踪负载电流的基波分量,则

$$\begin{cases} i_{af} - i_{sa} = -(i_{ah} + i_{ac}) \\ i_{bf} - i_{sb} = -(i_{bh} + i_{bc}) \\ i_{cf} - i_{sc} = -(i_{ch} + i_{cc}) \end{cases} \quad (6)$$

式(6)的差值需要放大 k 倍后才可用作控制参考量:

$$\begin{cases} U_{aref} = k(i_{af} - i_{sa}) \\ U_{bref} = k(i_{bf} - i_{sb}) \\ U_{cref} = k(i_{cf} - i_{sc}) \end{cases} \quad (7)$$

从而可得出控制方程为

$$\begin{cases} \frac{1}{T} \int_0^{d_a T} i_{sa} dt = U_{aref} = k(i_{af} - i_{sa}) \\ \frac{1}{T} \int_0^{d_b T} i_{sb} dt = U_{bref} = k(i_{bf} - i_{sb}) \\ \frac{1}{T} \int_0^{d_c T} i_{sc} dt = U_{cref} = k(i_{cf} - i_{sc}) \end{cases} \quad (8)$$

式中: T 为开关周期,同时还是积分器的时间常数; d 为占空比。

当电源电流值接近参考量时,即可实现控制目标。

图 3 为根据式(8)建立的单周控制结构,其中, $X(t)$ 为输入量, $Y(t)$ 为输出量, S 为开关, U_{ref} 为控制参考量, U_{int} 为可复位积分器的输出值。触发器经时钟脉冲触发, Q 端输出为高电平, S 导通, $\bar{Q}$ 端输出为低电平,积分器对 $X(t)$ 进行积分,其积分值 U_{int} 输入到比较器的正端,与 U_{ref} 比较。积分器结束积分前,若 $U_{int} < U_{ref}$,触发器状态保持不变;若 $U_{int} \geq U_{ref}$,比较器输出由低变高,使触发器反转, S 关断,此时 $\bar{Q}$ 端输出为高电平,使积分器复位。此状态一直维持到下一个时钟到来时才会结束。如此不断重复以上过程。

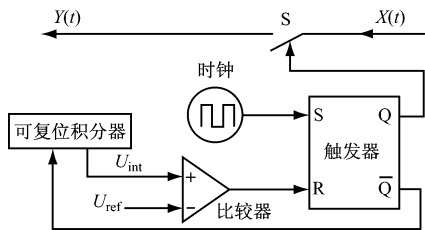


图 3 单周控制结构

3 仿真分析

采用 Matlab/Simulink 仿真软件搭建 APF 控制系统仿真模型,仿真参数如下:三相三线制系统线电压为 380 V,电网频率为 50 Hz;APF 交流侧电抗的等效电阻为 0.5 Ω 、等效电感为 7 mH,直流侧电压为 900 V,控制系统开关频率为 10 kHz;以三相不控整流桥带阻感负载为谐波源,其中电阻为 12 Ω ,电感为 48 mH。下面以 A 相仿真波形为例进行分析。

3.1 只补偿谐波分量的仿真结果

只补偿谐波分量的仿真结果如图 4 所示。从图 4(a)可看出补偿前系统电压 u_{sa} 无畸变,而系统电流 i_{sa} 由于受到谐波源的影响产生了严重畸变, i_{sa} 总畸变率达到了 21.30%;从图 4(b)可看出,经过 APF 控制系统补偿后, i_{sa} 总畸变率降为 2.65%, u_{sa} 无明显变化;从图 4(d)可看出,直流侧电压 U_{dc} 基本稳定在 900 V。从以上几组波形来看,单周控制的 APF 对电流谐波进行了大量滤除,系统电流得到很大改善。

3.2 同时补偿谐波与无功分量的仿真结果

在仿真条件与只补偿谐波分量相同的前提下进行仿真,结果如图 5 所示,从中可看出,补偿后的电流 i_{ac} 畸变率降为 3.24%,电流波形近似正弦波,畸变率减小。

4 实验结果

考虑到设备安全问题,实验过程中设备选择在较低电压等级下进行调试,其余参数和仿真时设置的参数保持一致。实验系统调试参数如下:电网线电压为 22 V,频率为 50 Hz;直流侧电压为 80 V;谐波源为三相不控整流桥带阻感负载,其中电阻为 10 Ω ,电感为 48 mH;平波电抗器为 7 mH。实验结果如图 6 所示。

从图 6 可看出,系统电流 i_{sa} 在正弦波上升和下降的过程中,各有 2 个明显的尖刺。这是由于此刻的负载电流 i_{al} 的变化率很高,变流器跟踪变化率高

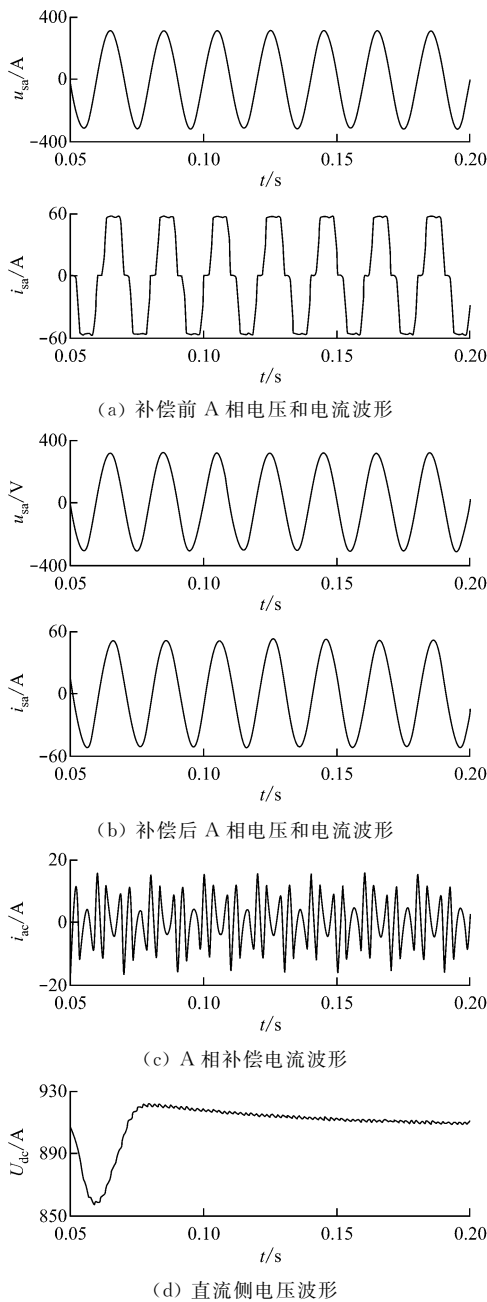


图 4 只补偿谐波分量的仿真结果

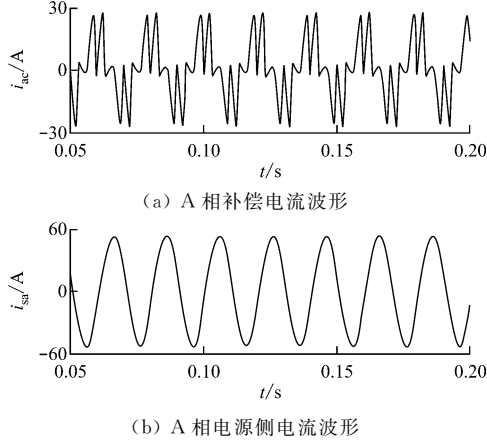


图 5 同时补偿谐波与无功分量的仿真结果

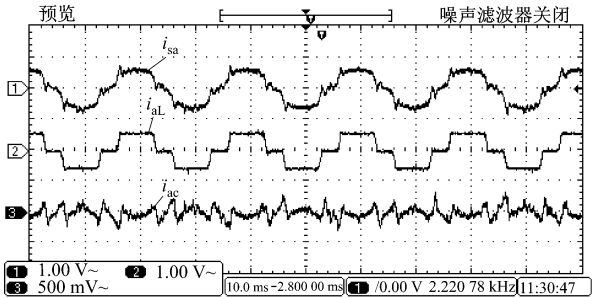


图 6 实验结果

的电流时有滞后现象导致的,此时的电流谐波畸变率为9.05%,基本完成了对谐波的补偿。

5 结语

将单周控制与基于瞬时无功功率理论的 i_p-i_q 检测法相结合,并引入到 APF 的应用中,既有单周控制鲁棒性强、补偿效果好等特点,又可以灵活补偿谐波与无功分量。仿真和实验结果表明,基于单周控制和 i_p-i_q 检测法的 APF 控制系统实现了灵活

补偿谐波的目的,补偿效果良好。

参考文献:

[1] 周林,沈小莉,周锥维,等.单周控制技术在有源电力滤波器中的应用[J].电力电子技术,2004,38(4):11-13.

[2] 李岚,陈海.无差拍控制在有源滤波器中的应用[J].华东电力,2011,39(11):1796-1798.

[3] ELISABETTA L, PERICLE Z, MARK S, *et al.* Real-time estimation of fundamental frequency and harmonics for active shunt power filters in aircraft electrical systems[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics,2009,56(8):2875-2884.

[4] 王兆安,杨君,刘进军.谐波抑制与无功补偿[M].北京:机械工业出版社,1998.

[5] 庄华.基于电流参考的单周控制有源电力器的研究[D].重庆:重庆大学,2006.

[6] 陈国呈.新型电力电子变换技术[M].北京:中国电力出版社,2004.