

文章编号:1674-2974(2011)02-0045-06

基于 FBD 法的有源电力滤波器参考电流检测新方法*

于晶荣^{1,2†}, 曹一家¹, 关维德³, 粟梅²

(1. 湖南大学 电气与信息工程学院, 湖南长沙 410082; 2. 中南大学 信息科学与工程学院, 湖南长沙 410083;
3. 威胜能源产业技术有限公司, 湖南长沙 410013)

摘要:构建了一种基于模糊决策的复合低通滤波器(LPF),提出了一种基于FBD法的有源电力滤波器(APF)参考电流检测新方法.该方法利用锁相环(PLL)产生参考电压,将负载电流投影到参考电压上,通过LPF可以准确检测出基波有功电流和基波无功电流.设计了基于模糊决策的复合LPF,该LPF由截止频率为10 Hz和30 Hz的双二阶Butterworth LPF组成,根据负载电流的波动幅度和谐波电流的最低次数,利用模糊推理确定LPF的选用.与传统的FBD法相比,该方法在电网电压不对称条件下,能够确保参考电流检测结果的准确性,且动态响应速度快、原理简单.理论分析和仿真结果证明了新型参考电流检测方法的正确性和有效性.

关键词:有源电力滤波器;FBD法;模糊决策;低通滤波器

中图分类号:TM464

文献标识码:A

A New Reference Current Detecting Algorithm Based on FBD Method for Active Power Filter

YU Jing-rong^{1,2†}, CAO Yi-jia¹, GUAN Wei-de³, SU Mei²

(1. College of Electrical and Information Engineering, Hunan Univ, Changsha, Hunan 410082, China;
2. School of Information Science and Engineering, Central South Univ, Changsha, Hunan 410083, China;
3. Wasion Energy Industrial Technology Co, Ltd, Changsha, Hunan 410013, China)

Abstract: Multiple low-pass filter (LPF) with fuzzy reasoning was established, and a detecting algorithm based on S. Fryze, F. Buchholz, M. Dpenbrock (FBD) method was proposed for active power filter (APF). Reference voltage was generated by phase-locked loop(PLL), and load current was projected to reference voltage, and then active power fundamental current and reactive power fundamental current could be detected accurately. The multiple LPF composed of two two-order Butterworth LPFs was developed on the basis of fuzzy control, and the fuzzy controller was designed by taking into account the changing amplitude of load current and the lowest harmonic current. Compared with traditional current detecting algorithms, this new reference current detecting algorithm based on FBD method is much simpler and of higher accuracy and better dynamic performance even under unbalanced voltage circumstance. Theoretical analysis and MATLAB simulation results have proved the validity and effectiveness of the proposed reference current detecting algorithm.

Key words: active power filter; FBD method; fuzzy decision making; low-pass filter

电力系统中非线性负荷的大量增加,特别是电力电子装置的广泛应用,造成电能质量严重恶化.有

源电力滤波器(APF)通过检测电网中的谐波、负序和无功电流,确定输出电流的参考电流,使输出电流

* 收稿日期:2010-04-03

基金项目:高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20100162120014);国家973计划资助项目(2009CB219706)

作者简介:于晶荣(1981-),女,辽宁丹东人,湖南大学博士后,中南大学讲师

† 通讯联系人, E-mail, jingrong_yu@126.com

跟踪参考电流,能够实现动态的、灵活的谐波抑制和无功补偿。APF的参考电流实时检测算法对其补偿性能有重要的影响^[1],目前常用的参考电流检测方法有基于瞬时无功功率理论的检测法、基于离散傅里叶变换(DFT)的检测法、基于自适应干扰抵消原理的自适应检测法和基于FBD法的参考电流检测法等。基于瞬时无功功率理论的参考电流检测法可以看做FBD法的特例,它的3/2及2/3变换使其在应用上具有局限性^[2];DFT和自适应检测法计算时间长,难以实现实时控制^[3]。基于FBD法的参考电流检测方法根据投影原理计算出总有功电流和总无功电流,利用数字LPF从总有功电流和总无功电流中获取其直流分量。LPF的性能直接决定着参考电流检测方法的准确性和动态跟踪速度,并最终影响APF的补偿性能。文献[4]提出了一种采用Butterworth LPF和平均值算法设计的LPF,提高了基于瞬时无功功率理论的参考电流检测方法的动态性能,但对于较低的偶数次谐波检测精度低;文献[5]提出了一种基于电网电压矢量的同步参考坐标变换检测法,电网电压对称时的检测效果优于传统的同步坐标变换法,电压不对称时检测效果差;文献[6]完善了FBD法的定义,并将FBD法应用于四相电路的谐波电流检测中,但未考虑LPF对FBD电流检测法的影响。

鉴于上述问题,本文提出了一种基于FBD法的新型参考电流检测方法,该方法利用PLL产生参考电压,将负载电流投影到参考电压上,通过LPF可以准确检测出基波有功电流、基波无功电流、负序和谐波电流,检测结果不受实际电压不对称的影响。根据截止频率分别为10 Hz和30 Hz的二阶Butterworth LPF特性,设计了由截止频率分别为10 Hz和30 Hz的双二阶Butterworth LPF组成的基于模糊决策的复合LPF,根据负载电流的波动幅度和谐波电流的最低次数,利用模糊推理确定LPF的选用。新型参考电流检测方法在电网电压不对称条件下,能够确保参考电流检测结果的准确性,且动态响应速度快,计算简便。理论分析和仿真结果证明了新型参考电流检测方法的正确性和有效性。

1 基于FBD法的三相APF参考电流检测法

FBD法实质上是一种投影变换,其检测结果是参考电压决定的^[7]。令参考电压 u 等于系统电压,可以分析出线性功率电流 i_{p1} ;令参考电压 u 滞后于系统电压 90° ,可以得到线性无功功率电流 i_{q1} 。

三相APF实时检测三相负载电流,利用FBD

法分析出基波电流,在负载电流中减去基波电流得到参考电流,通过驱动功率开关器件使APF输出电流跟踪参考电流,实现动态谐波抑制和无功补偿。

设三相负载电流 i_l 为

$$i_l = \begin{cases} i_a = \sum_n I_m \sin(n\omega t + \varphi_n), \\ i_b = \sum_n I_m \sin(n(\omega t - 2\pi/3) + \varphi_n), \\ i_c = \sum_n I_m \sin(n(\omega t - 4\pi/3) + \varphi_n). \end{cases} \quad (1)$$

为了避免系统电压畸变和电压不对称对三相APF参考电流检测结果的影响,APF的参考电流检测过程中,用PLL来产生与电源基波正序电压同相位的参考电压 u_p ,即

$$u_p = \begin{cases} u_{pa} = \sin(\omega t), \\ u_{pb} = \sin(\omega t - 2\pi/3), \\ u_{pc} = \sin(\omega t - 4\pi/3). \end{cases} \quad (2)$$

三相有功功率等效电导 $G_p(t)$ 为

$$G_p(t) = \frac{\langle i_l, u_p \rangle}{\langle u_p, u_p \rangle} = \frac{2}{3} [i_a \sin(\omega t) + i_b \sin(\omega t - 2\pi/3) + i_c \sin(\omega t - 4\pi/3)] = \frac{2}{3} \left\{ \sum_n I_m [\cos((n-1)\omega t - \varphi_m) + \cos((n+1)\omega t - \varphi_m)] \right\} + \frac{2}{3} \left\{ \sum_n I_m [\cos((n-1)(\omega t - 2\pi/3) - \varphi_m) + \cos((n+1)(\omega t - 2\pi/3) - \varphi_m)] \right\} + \frac{2}{3} \left\{ \sum_n I_m [\cos((n-1)(\omega t - 4\pi/3) - \varphi_m) + \cos((n+1)(\omega t - 4\pi/3) - \varphi_m)] \right\}. \quad (3)$$

经过LPF后,得到线性等效电导

$$\bar{G}_p = \frac{1}{3} (I_{a1} \cos \varphi_{a1} + I_{b1} \cos \varphi_{b1} + I_{c1} \cos \varphi_{c1}). \quad (4)$$

设 I_{p1} 为各相基波有功电流的平均值,则各相电路中线性部分实际做功的电流分量为

$$i_{p1} = \bar{G}_p u_p = \begin{bmatrix} I_{p1} \sin(\omega t) \\ I_{p1} \sin(\omega t - 2\pi/3) \\ I_{p1} \sin(\omega t - 4\pi/3) \end{bmatrix}. \quad (5)$$

线性功率电流 i_{p1} 等效为基波正序有功电流分量,线性无功功率电流 i_{q1} 等效为基波正序无功电流分量。同理,通过建立相应的参考电压,可以利用FBD法分析出负序电流和任一次谐波电流。三相APF的参考电流检测如图1所示。

图1中,通过PLL获取电网电压的相位信号;通过LPF获取 $G_p(t)$ 和 $G_q(t)$ 的直流分量 \bar{G}_p 和 \bar{G}_q 。

如果 APF 补偿谐波和无功电流,则检测基波正序有功电流 i_{p1} , 在负载电流 i_l 中减去基波正序有功电流, 以确定包含谐波电流和无功电流的参考电流; 如果 APF 仅补偿谐波电流, 则分析基波正序有功电流 i_{p1} 和基波正序无功电流 i_{q1} , 就可以检测出负载电流 i_l 中的谐波电流分量 i_h , 即

$$i_h = i_l - i_{p1} - i_{q1} \quad (6)$$

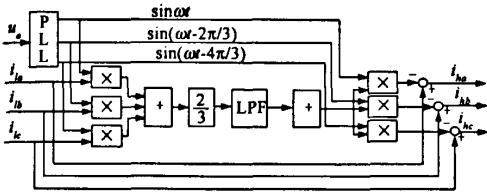


图 1 基于 FBD 法的三相 APF 参考电流检测
Fig. 1 Detection method of reference current based on FBD method for three-phase APF

2 基于模糊决策的复合低通滤波器设计

LPF 的性能决定了基于 FBD 法的参考电流检测方法的准确性和动态跟踪速度, 并最终影响 APF 的控制精度和动态响应速度^[9]. 常规 APF 参考电流检测选用截止频率为 10~30 Hz 的二阶 Butterworth LPF. 设截止频率为 10 Hz 和 30 Hz 的二阶 Butterworth LPF 分别用 LPF-10 和 LPF-30 表示. 当输入电流信号含有的最低次谐波电流为 2 次谐波时, 输入信号 I 如式(7)所示, LPF-10 和 LPF-30 的滤波效果分别如图 2(a)和(b)所示; 当输入电流信号含

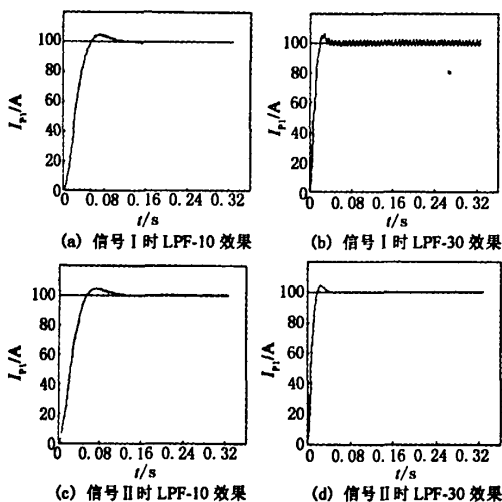


图 2 二阶 Butterworth LPF 的滤波特性曲线
Fig. 2 Characteristic of two-order Butterworth LPF

有的最低次谐波电流为 5 次谐波时, 输入信号 II 如式(8)所示, LPF-10 和 LPF-30 的滤波效果分别如图 2(c)和(d)所示.

$$\begin{cases} i_a(t) = 100\sin(\omega t) + 50\sin(2\omega t - \pi/9) + 20\sin(5\omega t - \pi/12), \\ i_b(t) = 100\sin(\omega t - 2\pi/3) + 50\sin(2(\omega t - 2\pi/3) - \pi/9) + 20\sin(5(\omega t - 2\pi/3) - \pi/12), \\ i_c(t) = -i_a(t) - i_b(t). \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{cases} i_a(t) = 100\sin(\omega t) + 50\sin(5\omega t - \pi/9) + 20\sin(7\omega t - \pi/12), \\ i_b(t) = 100\sin(\omega t - 2\pi/3) + 50\sin(5(\omega t - 2\pi/3) - \pi/9) + 20\sin(7(\omega t - 2\pi/3) - \pi/12), \\ i_c(t) = -i_a(t) - i_b(t). \end{cases} \quad (8)$$

可见, 当负载电流包含的谐波电流次数较低时, LPF-10 的检测准确度较高, 但动态性能差; LPF-30 的检测结果显示存在较大纹波, 但动态性能好. 当负载电流包含的谐波电流次数较高时, LPF-10 的检测准确度较 LPF-30 没有明显提高, 且动态性能差; LPF-30 的检测准确度和动态性能都能满足检测要求. 因此, 当负载电流中包含的谐波电流次数较低时, 采用单一的二阶 Butterworth LPF 的检测准确度和动态性能存在矛盾.

为解决二阶 Butterworth LPF 的检测准确度和动态性能存在的矛盾问题, 本文提出了基于模糊决策器的复合 LPF 设计: 复合 LPF 包括 LPF-10 和 LPF-30 两个二阶 Butterworth LPF, 利用负载电流的波动幅度和负载电流中谐波电流的最低次数, 根据模糊规则决策出选用的 LPF, 构建了新型参考电流检测方法. 新方法的组成框图如图 3 所示, 其中 I_{LCH} 和 h_{low} 分别表示负载电流的波动幅度和谐波电流的最低次数.

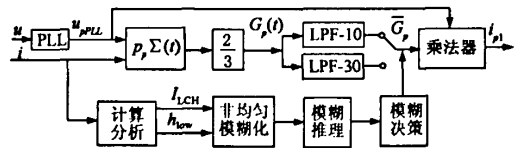


图 3 基于 FBD 法的 APF 参考电流检测新方法
Fig. 3 Novel detecting algorithm of reference current based on FBD method for APF

本文设计的 APF 采样频率为 12.8 kHz, 为提高 APF 的动态性能, 将负载电流的有效值 I_{LRMS} 和波动幅度 I_{LCH} 的计算周期定为半个工频周期, 即

$$\begin{cases} I_{LRMS}(n) = \sqrt{\frac{1}{128} \sum_{k=0}^{128} i_i^2(k)}, \\ I_{LCH}(n) = |I_{LRMS}(n) - I_{LRMS}(n-1)|. \end{cases} \quad (9)$$

本文设计的 APF 的显示单元可以实现 32 点采样信号的 FFT 分析,根据谐波分析结果,可以确定谐波电流的最低次数 h_{low} .

为提高新型参考电流检测方法的动态性能,负载电流的波动幅度较大时,选用 LPF-30 检测基波电流;此后,若负载电流稳定于新状态,且负载电流中谐波电流的次数很低,选用 LPF-10 才能保证稳态时参考电流的检测准确度.这种情况下,由于 LPF-10 的上升时间较长,LPF 不能在负载电流稳定后立刻由 LPF-30 切换至 LPF-10. LPF-10 的上升时间与基波电流的波动幅度有关,但基波电流的波动幅度难以确定.由于实际负载的基波电流含量通常较为稳定,可以根据负载电流的波动幅度估计 LPF-10 的上升时间,LPF-10 的上升时间与负载电流波动幅度的关系见表 1.

表 1 LPF-10 的上升时间
Tab. 1 Rise time of LPF-10

I_{LCH}/A	时间/ms	I_{LCH}/A	时间/ms
0~100	80	300~700	120
100~300	100	700~1 200	140

LPF 的模糊自动选定过程包括输出参数模糊化、模糊推理和模糊决策 3 部分.

1) 输入参数模糊化:输入参数 I_{LCH} 和 h_{low} 论域定义均为 $\{0, 1, 2, 3\}$. 模糊论域表征负载电流波动幅度和谐波电流最低次数的大小程度,如电流波动量非常大、较大等.采用非均匀量化规则对输入参数进行模糊化处理,即在变化量较大时粗分,较小时细分,为简化计算,将输入参数直接转化为论域值,输入参数 I_{LCH} 和 h_{low} 模糊化过程见表 2.

表 2 输入参数模糊化
Tab. 2 Fuzzification of input parameters

I_{LCH}/A	论域	$h_{low}/次$	论域
0~30	0	2~4	0
30~100	1	5~7	1
100~300	2	8~10	2
≥ 300	3	≥ 11	3

2) 模糊规则与模糊推理:通过大量的仿真和实验得到以下控制规则.

a) APF 启动时,选用 LPF-30,以确保 APF 对负载的准确、快速补偿;

b) 若负载电流包含的谐波电流次数较高,截止频率为 30 Hz 的 LPF-30 对高次谐波电流的衰减已经足够大,则选用 LPF-30;

c) 若所需补偿最低谐波电流次数较低,但是负

载电流波动较小,则选用 LPF-10;

d) 若所需补偿最低谐波电流次数较低,但负载电流波动较大,选用截止频率为 30 Hz 的 LPF 能满足动态响应要求,负载电流稳定(负载电流波动量为论域 0)后,LPF 由 LPF-30 切换至 LPF-10,切换时间根据表 1 所示的 LPF-10 上升时间确定.

3) 模糊决策:根据以上模糊规则,可以总结出如表 3 所示的模糊决策表.

表 3 模糊决策表
Tab. 3 Fuzzy decision-making table

I_{LCH}	h_{low}			
	0	1	2	3
0	LPF-10	LPF-10	LPF-10	LPF-30
1	LPF-10	LPF-10	LPF-10	LPF-30
2	LPF-10	LPF-10	LPF-30	LPF-30
3	LPF-30	LPF-30	LPF-30	LPF-30

本文设计了新型参考电流检测方法,每半个工频周期根据负载电流的波动幅度 I_{LCH} 和谐波电流的最低次数 h_{low} 进行模糊推理,确定下半工频周期内参考电流检测所选用的 LPF,以及 LPF 的切换时间;未被选用的 LPF 在 APF 的驱动信号输出后进行计算,因此,此未被选用的 LPF 的计算时间不会导致控制延时.这种新型参考电流检测方法不仅动态响应速度快、稳态检测准确度高,且方法简单,计算量小,便于实现实时控制.

3 仿真和试验

3.1 仿真分析

在建立基于 FBD 法的参考电流检测方法和基于模糊决策的复合 LPF 后,利用 MATLAB 进行了大量的仿真实验.工况 I 时,输入负载电流波形如图 4(a)所示,负载电流在 0.16 s 时刻前如式(10)所示;在 0.16 s 时刻,负载电流突变至式(11)表示的信号.图 4(b)为 LPF-10 的检测效果,图 4(c)为 LPF-30 的检测效果,图 4(d)为新型参考电流检测方法的检测效果.

$$\begin{cases} i_a(t) = 100\sin(\omega t) + 50\sin(2\omega t - \pi/9) + \\ \quad 20\sin(5\omega t - \pi/12), \\ i_b(t) = 100\sin(\omega t - 2\pi/3) + 50\sin(2\omega t - 2\pi/3) - \\ \quad \pi/9) + 20\sin(5\omega t - 2\pi/3 - \pi/12), \\ i_c(t) = -i_a(t) - i_b(t). \end{cases} \quad (10)$$

$$\begin{cases} i_a(t) = 200\sin(\omega t) + 40\sin(5\omega t - \pi/7) + \\ \quad 20\sin(7\omega t - \pi/13), \\ i_b(t) = 200\sin(\omega t - 2\pi/3) + 40\sin(5\omega t - 2\pi/3) - \\ \quad \pi/7) + 20\sin(7\omega t - 2\pi/3 - \pi/13), \\ i_c(t) = -i_a(t) - i_b(t). \end{cases} \quad (11)$$

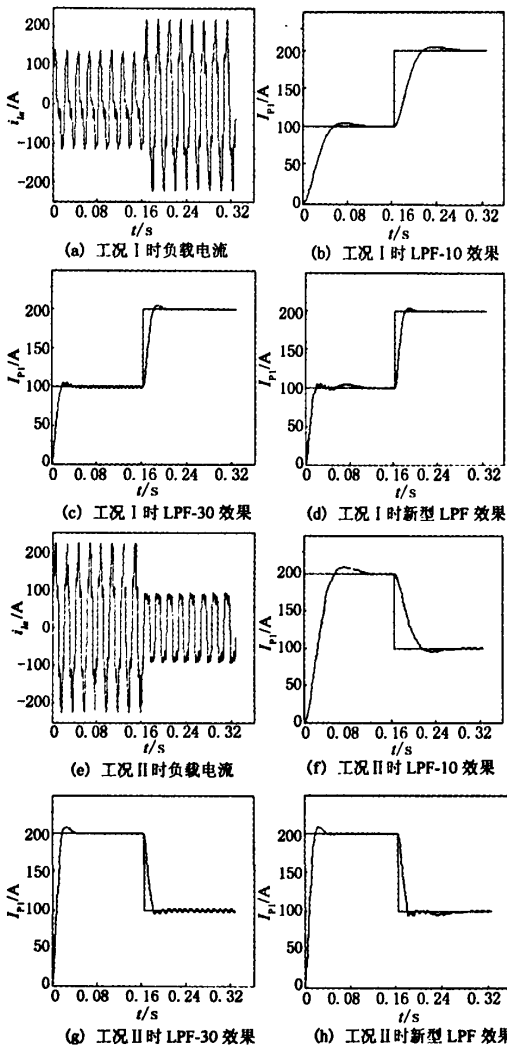


图 4 仿真波形
Fig. 4 Simulation results

由仿真结果可见:

1) 工况 I 时, 负载电流在 0.16 s 时刻前的最低检测谐波次数为 2, 选用 LPF-30 稳态时的检测准确度低, 但动态响应速度快, 约为 20 ms. LPF-10 稳态时的检测准确度高, 但动态响应速度慢, 约为 50 ms. 在 0.16 s 时刻后, 负载电流的最低检测谐波次数为 5, LPF-30 的检测准确度和动态响应速度均满足要求; LPF-10 的检测准确度较高, 但动态响应速度很慢. 新型参考电流检测算法在不到 20 ms 的时间内, 采用复合 LPF 的输出信号进入稳态, 动态跟踪速度快, 稳态检测准确度高, 利用复合 LPF 的参考电流检测效果优于单独采用 LPF-10 和 LPF-30 的效果.

2) 工况 II 时, 负载电流出现突减, 如图 4(e) 所示. 图

4(f) (g)(h) 分别给出了 LPF-10, LPF-30 和复合 LPF 在负载电流突减时的滤波效果, 进一步验证了本文提出的参考电流检测方法的正确性和有效性.

3.2 试验分析

在仿真实验证明本文所提出的基于 FBD 法的参考电流检测方法的正确性和有效性基础上, 作者在 90 kVA APF 装置上进行了试验验证. APF 装置采用 DSP + CPLD 结构的控制系统, 控制系统采用 TI 公司的 32 位定点 DSP 芯片 TMS320F2812, 以及 ALTERA 公司的可编程芯片 EPM7256AETC144, IGBT 采用 EUPEC 公司的板桥模块 FF300R12KS4, 控制系统如图 5 所示. APF 控制频率为 12.8 kHz.

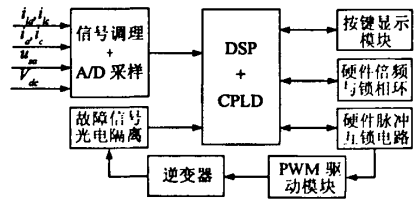


图 5 控制系统框图
Fig. 5 Block diagram of control system

稳定负载下补偿效果如图 6 所示, 图 6(a) 为 APF 负荷电流波形; 图 6(b) 为 APF 投入补偿后的电源电流波形.

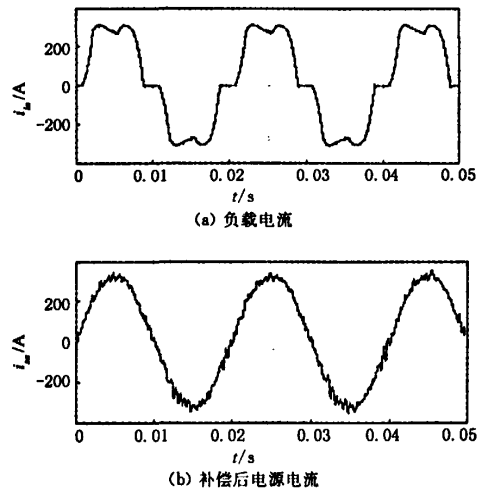


图 6 稳定负载下补偿效果
Fig. 6 Experimental results of steady load

负载电流波动情况下, 如图 7(a) 所示负载电流有效值从 62 A 变化到 239 A, APF 补偿效果如图 7(b) 所示. 负载电流突然减小情况下的 APF 补偿前后电源电流波形分别如图 7(c)(d) 所示.

试验结果证明, 采用本文提出的基于 FBD 法的新

型参考电流检测方法, APF 的稳态补偿效果及动态响应速度均满足 APF 控制要求。

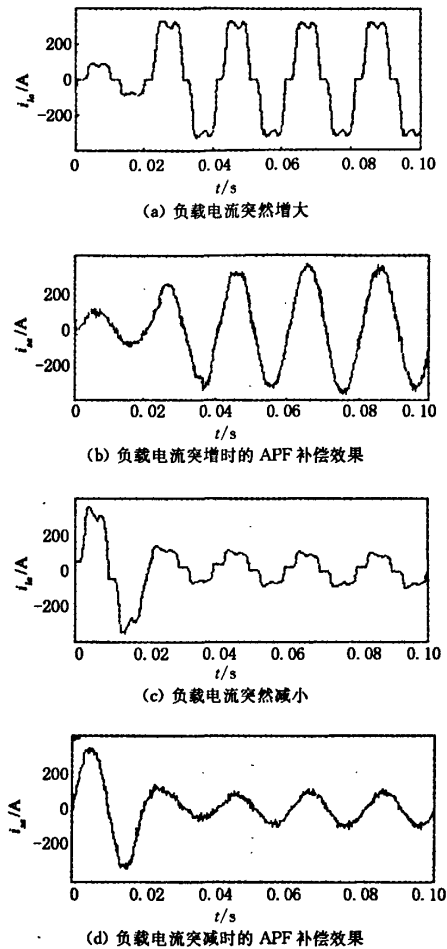


图7 波动负载下补偿效果

Fig.7 Experimental results of fluctuated load

4 结论

本文构建了基于模糊决策的复合 LPF, 提出了基于 FBD 法的新型 APF 参考电流检测方法。该方法利用 PLL 产生参考电压, 将负载电流投影到参考电压上, 通过 LPF 可以准确检测出基波有功电流、基波无功电流、负序和谐波电流, 检测结果不受实际电压不对称的影响。分析了截止频率分别为 10 Hz 和 30 Hz 的二阶 Butterworth LPF 的滤波效果, 设计了基于模糊决策的复合 LPF, 复合 LPF 由截止频率为 10 Hz 和 30 Hz 的双二阶 Butterworth LPF 组成, 根据负载电流的波动幅度和谐波电流的最低次数, 利用模糊推理确定 LPF 的选用。与传统的 FBD 法相比, 该方法在电网电压不对称

条件下, 能够确保参考电流检测结果的准确性, 且动态响应速度快、原理简单。理论分析和仿真结果证明了新型参考电流检测方法的正确性和有效性。

参考文献

- [1] CUTRI R, MATAKAS L J. A new instantaneous method for harmonics, positive and negative sequence detection for compensation of distorted currents with static converters using pulse width modulation [C]//International Conference on Harmonics and Quality of Power. New York: IEEE, 2005: 374-378.
- [2] 陈峻岭, 姜新建, 孙卓, 等. 基于 FBD 法的三相电力系统电流检测方法的应用[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(24): 23-27.
CHEN Jun-ling, JIANG Xin-jian, SUN Zhuo, et al. Current detections for three-phase power system based on FBD method[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(24): 23-27. (In Chinese)
- [3] 唐杰, 罗安, 徐春鸣, 等. 配电网静止同步补偿器的补偿电流检测方法[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(28): 108-112.
TANG Jie, LUO An, XU Chun-ming, et al. Detection method of compensation current for DSTATCOM [J]. Proceedings of the CSEE, 2008, 28(28): 108-112. (In Chinese)
- [4] 程远楚, 徐德鸿, 刘燕, 等. 基于瞬时无功理论的 SVC 低通滤波器设计与应用[J]. 电工技术学报, 2008, 23(9): 138-143.
CHENG Yuan-chu, XU De-hong, LIU Yan, et al. Design and application of low-pass filter based on instantaneous reactive theory [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2008, 23(9): 138-143. (In Chinese)
- [5] 李红雨, 吴隆辉, 卓放, 等. 一种新型的快速电流检测方法的研究[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(13): 57-62.
LI Hong-yu, WU Long-hui, ZHUO Fang, et al. Study on novel fast current detection method[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(13): 57-62. (In Chinese)
- [6] 郭自勇, 周有庆, 郭立敏, 等. 基于 FBD 法的四相输电系统谐波电流检测方法[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(22): 87-93.
GUO Zi-yong, ZHOU You-qing, GUO Li-min, et al. Current detection for four-phase transmission system based on FBD method [J]. Proceedings of the CSEE, 2007, 27(22): 87-93. (In Chinese)
- [7] DEPENBROCK M. The FBD-method, a generally application tool for analyzing power relations[J]. IEEE Transactions on Power System, 1993, 8(2): 381-387.
- [8] 王群, 姚为政, 王兆安, 等. 高通和低通滤波器对谐波检测电流检测效果的影响研究[J]. 电工技术学报, 1999, 14(2): 22-26.
WANG Qun, YAO Wei-zheng, WANG Zhao-an, et al. A study about influence of high and low pass filters on the detecting effect of harmonics detection circuit[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 1999, 14(2): 22-26. (In Chinese)

基于FBD法的有源电力滤波器参考电流检测新方法

作者: [于晶荣](#), [曹一家](#), [关维德](#), [粟梅](#), [YU Jing-rong](#), [CAO Yi-jia](#), [GUAN Wei-de](#), [SU Mei](#)

作者单位: [于晶荣, YU Jing-rong\(湖南大学, 电气与信息工程学院, 湖南, 长沙, 410082; 中南大学, 信息科学与工程学院, 湖南, 长沙, 410083\)](#), [曹一家, CAO Yi-jia\(湖南大学, 电气与信息工程学院, 湖南, 长沙, 410082\)](#), [关维德, GUAN Wei-de\(威胜能源产业技术有限公司, 湖南, 长沙, 410013\)](#), [粟梅, SU Mei\(中南大学, 信息科学与工程学院, 湖南, 长沙, 410083\)](#)

刊名: [湖南大学学报\(自然科学版\)](#) **ISTIC EI PKU**

英文刊名: [JOURNAL OF HUNAN UNIVERSITY\(NATURAL SCIENCES\)](#)

年, 卷(期): 2011, 38(2)

被引用次数: 7次

参考文献(8条)

1. CUTRI R;MATAKAS L J A new instantaneous method for harmonics, positive and negative sequence detection for compensation of distorted currents with static converters using pulse width modulation 2005
2. 陈峻岭, 姜新建, 孙卓, 朱东起 [基于FBD法的三相电力系统电流检测方法的应用](#) [期刊论文]-[电力系统自动化](#) 2004(24)
3. 唐杰, 罗安, 涂春鸣, 欧剑波, 盘宏斌 [配电静止同步补偿器的补偿电流检测方法](#) [期刊论文]-[中国电机工程学报](#) 2008(28)
4. 程远楚, 徐德鸿, 刘燕, 卢志良 [基于瞬时无功理论的SVC低通滤波器设计与应用](#) [期刊论文]-[电工技术学报](#) 2008(9)
5. 李红雨, 吴隆辉, 卓放, 雷万钧, 王兆安 [一种新型的快速电流检测方法的研究](#) [期刊论文]-[中国电机工程学报](#) 2005(13)
6. 郭自勇, 周有庆, 郭利敏, 彭红海 [基于FBD法的四相输电系统电流检测方法](#) [期刊论文]-[中国电机工程学报](#) 2007(22)
7. DEPNBROCK M [The FBD-method, a generally application tool for analyzing power relations](#) 1993(02)
8. 王群, 姚为正, 王兆安 [高通和低通滤波器对谐波检测电路检测效果的影响研究](#) [期刊论文]-[电工技术学报](#) 1999(5)

本文读者也读过(9条)

1. 齐虹, 林瑞全, QI Hong, LIN Ruiquan [基于Delta算子的并联型有源电力滤波器H \$\infty\$ 控制器设计](#) [期刊论文]-[电力自动化设备](#) 2011, 31(1)
2. 王俊杰, 郑益慧, 姚钢, 王昕, 徐清山, 郝常汕, WANG Junjie, ZHENG Yihui, YAO Gang, WANG Xin, XU Qingshan, HAO Changshan [有源电力滤波器的动态因子LMS谐波检测方法](#) [期刊论文]-[电力自动化设备](#) 2011, 31(4)
3. 吴卫民, 童立青, 钱照明, 彭方正 [一种高性能串联混合有源电力滤波器拓扑的研究](#) [期刊论文]-[中国电机工程学报](#) 2004, 24(12)
4. 吉平, 戴朝波, 武守远, JI Ping, DAI Chaobo, WU Shouyuan [有源电力滤波器并列运行方案](#) [期刊论文]-[电力自动化设备](#) 2010, 30(12)
5. 杨小品, 淡锋博, 李尚盛, 查晓明, YANG Xiao-pin, DAN Feng-bo, LI Shang-sheng, ZHA Xiao-ming [有源电力滤波器控制时延的研究](#) [期刊论文]-[电力系统保护与控制](#) 2010, 38(22)
6. 王杰, 郑建勇, 梅军, 王立峰 [基于FBD法的谐波检测方法及其APF的系统设计](#) [会议论文]-2010
7. 彭劲杰, 樊晓平, 李刚, PENG Jin-jie, FAN Xiao-ping, LI Gang [新型混合型有源电力滤波器及其控制方法](#) [期刊论文]-[计算机应用研究](#) 2011, 28(4)
8. 游小杰, 李永东, Victor Valouch, 郝瑞祥 [并联型有源电力滤波器在非理想电源电压下的控制](#) [期刊论文]-[中国电](#)

9. [胡志坤](#), [胡成](#), [刘守明](#), [史宏伟](#), [丁家峰](#), [HU Zhi-kun](#), [HU Cheng](#), [LIU Shou-ming](#), [SHI Hong-wei](#), [DING Jia-feng](#) [电流反馈有源电力滤波器单周控制策略](#)[期刊论文]-[电机与控制学报](#)2011, 15(2)

引证文献(4条)

1. [吴文博](#), [吴雷](#) [混合型有源滤波器谐波检测复合算法的研究](#)[期刊论文]-[电子设计工程](#) 2013(08)
2. [陈思明](#), [刘小宁](#) [超导磁体电源交流侧有源滤波器研究](#)[期刊论文]-[电子技术应用](#) 2013(06)
3. [曲轶龙](#), [于晶荣](#), [吴伟标](#) [基于FBD法的新型谐波电流检测方法研究](#)[期刊论文]-[电源技术](#) 2012(08)
4. [施焯](#), [吴在军](#), [窦晓波](#), [胡敏强](#), [赵波](#) [基于自适应原理的改进型FBD谐波电流检测算法](#)[期刊论文]-[电网技术](#) 2014(04)

引用本文格式: [于晶荣](#), [曹一家](#), [关维德](#), [粟梅](#), [YU Jing-rong](#), [CAO Yi-jia](#), [GUAN Wei-de](#), [SU Mei](#) [基于FBD法的有源电力滤波器参考电流检测新方法](#)[期刊论文]-[湖南大学学报\(自然科学版\)](#) 2011(2)