

有源电力滤波器的 Matlab 仿真

高 勇

(四川省电力公司信息通信公司,四川 成都 610041)

摘要: 电力谐波带来了严重的危害,有源滤波器是抑制电力谐波的一种有效手段。在 Matlab 仿真环境中搭建了有源滤波器的系统模型,并对其进行了仿真。仿真结果表明,各仿真模块能够完成各自的功能,整个系统的滤波效果非常好。因而,该仿真模型能对软、硬件的设计起到重要的指导作用。

关键词: 有源电力滤波器;谐波抑制; Matlab 仿真

Abstract: Power harmonic brings the serious harms, while the active filter is an effective means to eliminate the harmonic. A system model of active power filter (APF) is established in Matlab simulation environment and the simulation is carried out under the given parameter. The simulation results show that each simulation module can perform its function and the filtering effect of the overall system is very good. Thus, the simulation model has a significant guidance for the software and hardware design of APF system.

Key words: active power filter (APF); harmonic suppression; Matlab simulation

中图分类号: TM864 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2013)01-0084-03

0 引言

自20世纪70年代以来,由于电力电子技术及半导体技术的飞速发展,使得各种电力电子装置在电力系统、工业、交通及家庭中得到了越来越广泛的应用,然而,由谐波所造成的危害也越来越严重了。由于谐波的存在,不仅会使得电能在生产、传输和利用过程中的效率降低,而且还会导致电气设备的使用寿命因过热、产生振动和噪声、绝缘老化而缩短,甚至还可能引起电气设备故障或烧毁^[1]。同时,谐波的存在也常常会引起继电保护和自动装置的误动作而引起电能计量出现混乱^[2]。在电力系统外部,谐波对通信设备和电子设备也会产生严重的干扰。因此,谐波问题受到了世界各国的普遍关注,谐波的治理成为了一大研究热点。目前,对于谐波的治理主要有采用无源滤波装置和有源滤波器(active power filter APF)。有源电力滤波器的滤波效果非常好,在其额定的无功功率范围内,可以实现完全滤波。然而,有源电力滤波器是一个复杂非线性的控制系统,要对其进行精确地理论分析是比较困难的,所以通过用模拟仿真实验的方式来验证控制系统就显得非常必要^[3-7]。

在 Matlab 中有许多实用的工具箱,如控制系统

工具箱、滤波器设计工具箱、通信工具箱等。Simulink 是基于 Matlab 的框图设计环境,可以用来对各种动态系统进行建模、分析和仿真,而且 Simulink 还提供了丰富的功能块以及不同的专业模块集合^[6]。因此,这里拟采用利用 Matlab 对有源电力滤波器进行动态的系统仿真。

1 Matlab 仿真简介

Matlab 及其 Simulink 环境下的仿真平台在控制系统仿真中应用很普遍,仿真环境界面简单。

Simulink 是一个能对动态系统进行建模、仿真和分析的软件包。它支持线性和非线性系统连续和离散时间模型,或者是两者混合的模型,可方便迅速地建立起各种非线性或线性的模型。Simulink 模型不仅能让用户知道具体的环节动态细节,随时观察仿真过程中系统各处的动态变化,而且能清晰地了解各器件、各系统间的信息交换,掌握各部分之间的交互影响^[3-5-7]。

2 谐波计算仿真模型

要对谐波进行计算,则设计了谐波计算仿真模型、三相/两相的转换模型和两相/三相的转换模型。

谐波检测模型采用 $i_p - i_q$ 方式算法。如图 1 所示,非线性负载电流 i_a, i_b, i_c 经过 $3/2$ 变换、 C 运算后得到有功电流 i_p 和无功电流 i_q ; 经低通滤波器滤波得到其直流分量, 然后进行 C 反变换、 $2/3$ 变换得到基波电流, 然后负载电流与基波电流相减后便得到谐波电流分量。

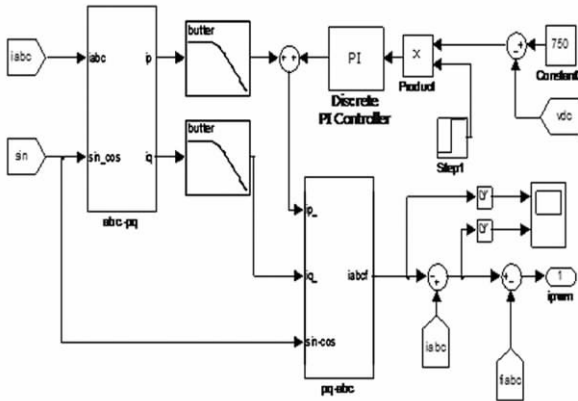


图 1 谐波计算模型

在该运算方式中, 需要与 A 相电网电压同相位的正弦信号 $\sin\omega t$ 和余弦信号 $\cos\omega t$, 在仿真模型的建立中, 用锁相环和正余弦信号发生电路模型产生, 如图 2 所示。

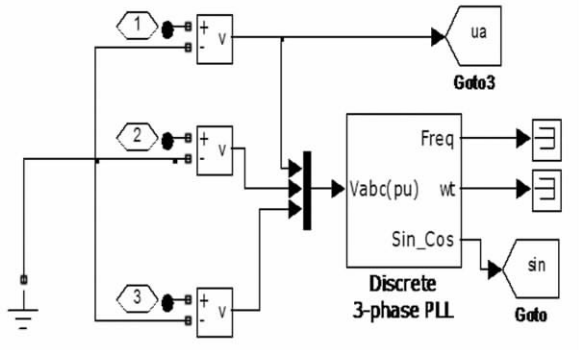


图 2 PLL 与正余弦信号发生模型

图 3 为三相负载电流经过 $C_{32}C$ 变换后得到两相有功电流和无功电流的过程, 其中模型中的 $\sin - \cos$ 为与 A 相电压同相位的正、余弦信号。

在 $i_p - i_q$ 方式算法来进行谐波电流检测时, 有一个低通滤波环节, 用于从有功和无功电流中检出其直流分量。低通滤波算法的性能决定着谐波检测的精确性和动态跟踪速度, 影响着有源电力滤波器谐波补偿的性能。设计的基本原则是: 应保证对直流分量的增益为 1, 并尽可能衰减交流分量。目前常用的滤波器形式有 FIR 滤波器 (非递归模型) 和 IIR 滤波器 (递归模型)。FIR 滤波器的优点是可以精确到线性相位, 但维数一般很高, 而 IIR 滤

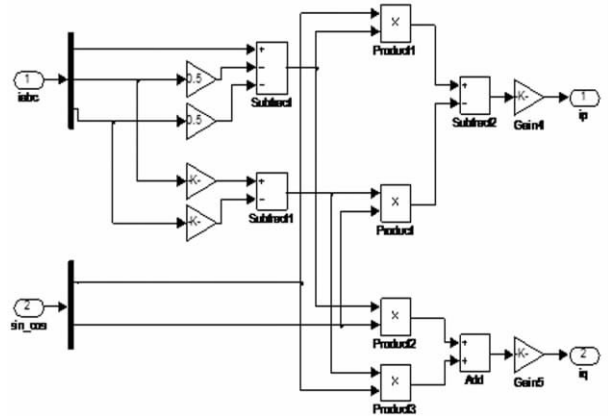


图 3 三相/两相转换模型

波器在维数不需要很高的情况下就能满足一定的指标。这里选用的是 2 阶 ButterWorth 滤波器, 在低频段, 该滤波器具有较好的检测精确性。

两相/三相变换的仿真模型如图 4 所示, 有功和无功电流的直流分量经过 $C^{-1}C_{23}$ 变换后, 输出三相负载电流的基波分量 i_{af}, i_{bf}, i_{cf} 。

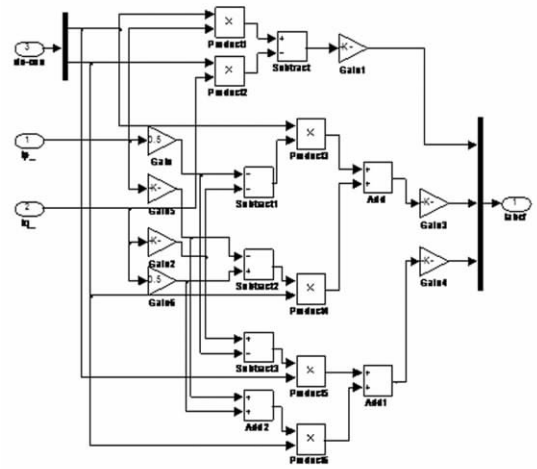


图 4 两相/三相转换模型

3 PWM 信号控制主电路仿真模型

有源电力滤波器的主电路由逆变器组成, 主要用于在特定 PWM 脉冲的控制下补偿交流电网存在的谐波电流^[8]。PWM 信号产生及控制变流器的仿真模型如图 5 所示, 该模型的输入电流为 i_{pwm} , 它是谐波电流与逆变器输出电流的差值, 通过滞环比较来控制逆变器开关器件的通断, 从而产生补偿谐波电流。

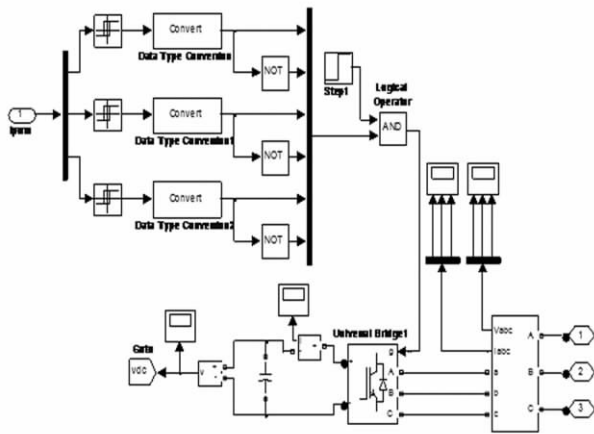


图5 PWM信号控制模型

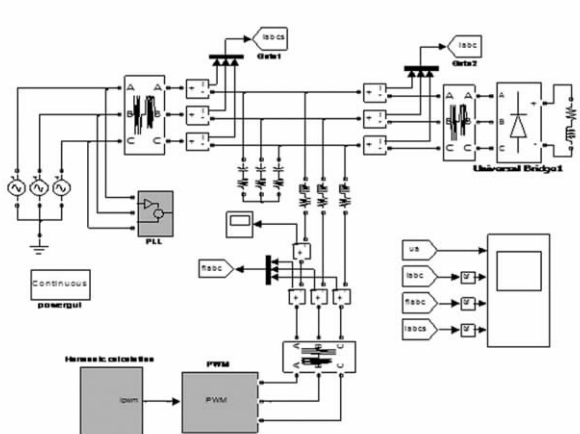


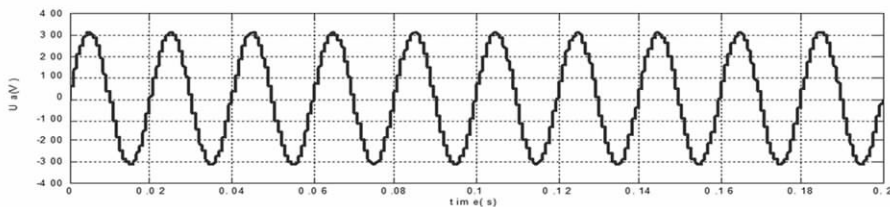
图6 APF系统模型

4 系统仿真模型及参数设置

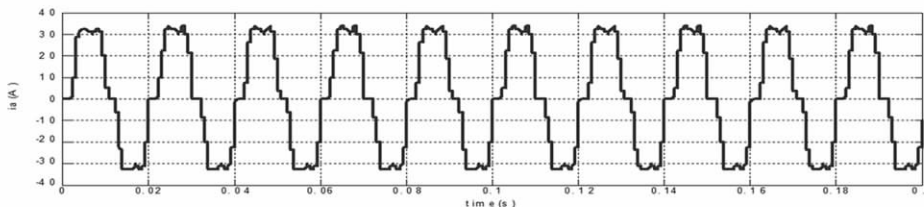
该仿真模型主要包括了谐波源产生电路、谐波计算模块、PWM信号产生并控制变流器产生补偿电流的模块。

(1) 系统仿真模型

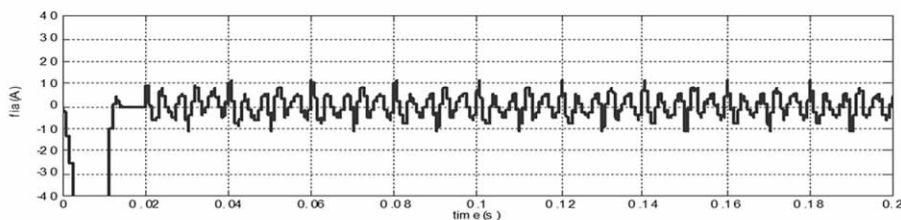
(2) 参数设置



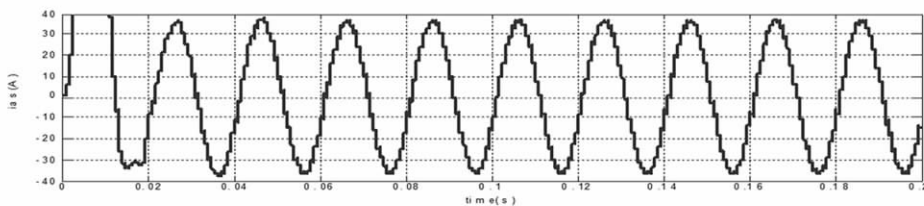
(a) A相电压波形



(b) A相负载电流波形



(c) 谐波补偿电流波形



(d) 补偿后的系统电流波形

图7 APF系统的仿真波形

(下转第91页)

的控制,对主喷口的流场变化不敏感;

3) 旋风微油煤粉燃烧器与原燃烧器在喷口处的速度略有不同,更有利于延长煤粉的停留时间,有利于着火。

4) 旋风微油煤粉燃烧器在华电珙县电厂 2 × 600 MW 超临界机组 W 炉上得到应用,作为节油点火燃烧器使用时节油效果显著,作为正常燃烧器使用时性能与原双旋风煤粉燃烧器一致。

参考文献

[1] 黄志强,王军. 双旋风筒煤粉浓缩型燃烧器特性试验

(上接第86页)

采用相电压为 220 V 频率为 50 Hz 的三相对称系统。为了使有源电力滤波器在工作时有一个较好的补偿效果和较快的反应速度,变流器直流侧的电压要超过其线电压的 2 倍以上^[9],这里控制直流侧的电压选择为 750 V。

选定的电容值为 2 000 μF 输出电感值为 2 mH。

5 仿真结果与分析

仿真结果如图 7(a)、(b)、(c)、(d) 所示。

由仿真波形可以看出,原来由于非线性负荷所造成的电流波形发生严重的畸变,在接入 APF 进行谐波电流补偿以后,该系统电流的波形基本上为一个正弦波形,从而达到了滤波效果。通过进行 FFT 频谱分析之后,得到谐波含量和总谐波畸变率:总谐波畸变率在补偿前达到了近 18.5%,补偿之后不到 2.1%;各次谐波的补偿率均达到了 90% 以上。由此可见该仿真滤波器系统基本上实现了谐波补偿的功能。

6 结论

根据有源滤波器系统结构的组成,搭建了基于 Matlab - Simulink 仿真环境下的系统模型,并对各个模块分别给予仿真结果以及结论分析。通过仿真结

果可以发现,各仿真模块能够完成模块的功能,整个系统能够完成滤波任务。

参考文献

[2] 王海刚,刘石. 不同湍流模型在旋风分离器三维数值模拟中的应用和比较[J]. 热能动力工程,2003,18(4):337-342.
[3] 张杰,李争起,靖剑平,等. W 型火焰炉旋风分离器分离特性的实验研究[J]. 热能动力工程,2007,22(1):65-68.
[4] 柳宏刚,白少林. 现役各类 W 火焰锅炉 NO_x 排放对比分析研究[J]. 热力发电,2007,36(3):1-4.

(收稿日期:2012-08-22)

[1] 张永刚,陈海啸. 谐波危害及治理探讨[J]. 技术与市场,2012,19(3):73.
[2] 曹璐,王富生. 浅谈谐波对电能表计量的影响[J]. 科技向导,2012(3):338.
[3] 年珩,全宇. 谐波电网电压下 PWM 整流器增强运行控制技术[J]. 中国电机工程学报,2012,32(9):41-49.
[4] 苏奎峰,吕强,耿庆锋,等. TMS320F2812 原理与开发[M]. 北京:电子工业出版社,2005.
[5] 王亮,赵玲. 电力有源滤波器的 Matlab 仿真[J]. 上海电力学院学报,2005,21(1):21-26.
[6] 王忠礼,段慧达,高玉峰. MATLAB 应用技术:在电气工程与自动化专业中的应用[M]. 北京:清华大学出版社,2007.
[7] 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,2006,44(4):35-37.
[8] 吴春芳,程汉湘,朱约章,等. 并联型有源电力滤波器的 MATLAB 仿真研究[J]. 节能技术,2005,23(2):118-121.
[9] 陈庆国,赵春明. 三相四线制并联型电力有源滤波器的算法和参数仿真[J]. 电机与控制学报,2009,13(1):20-24.

作者简介:

高勇(1978)男,主要从事电力调度自动化及电力信息化研究。
(收稿日期:2012-08-11)