

一种基于偏差最大相校正的电力有源滤波器

兰华, 马文骥, 李贻涛, 邢晓敏

(东北电力学院, 吉林 吉林 132012)

摘要: 给出了一种基于偏差最大相校正的电力有源滤波器的实现方法。根据检测部分生成的指令电流控制变流器的模式, 产生相应的跟随电流。通过偏差最大相校正的滞环比较 PWM 方法, 在对变流器各种工作状态分析的基础上, 提出了主电路的控制策略、随机 PWM 的产生方法及对直流侧电压的要求。仿真结果表明, 该方法可准确地跟踪指令电流, 原理清晰, 控制简单, 可实现动态补偿。

关键词: 有源滤波器; 偏差最大相校正; 跟踪目标电流

中图分类号: TN713, TN702 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2003)11-0040-04

1 引言

随着各种半导体开关器件在电力系统中的应用, 由此带来的谐波干扰问题也日趋严重。目前, 在电力系统中治理谐波干扰的有效方法是电力有源滤波器, 它应用现代电力电子器件构成交流电路来抵消电网中的高次谐波成分, 同时对无功分量及负序分量也有一定的补偿作用。电力有源滤波器要想实现谐波补偿功能必须检测电网谐波并生成指令电流, 同时, 变流器应跟随指令电流产生补偿电流。就目前发表的文章看, 讨论检测方面的文章较多, 而对变流器主电路的研究较少^[1,3], 而谐波电流的检测方法主要有带阻选频法、有功和无功分量分解法及虚实功率合成法等, 本文不再重述。对变流器主电路的控制方法现在基本有两种, 即 PWM 方法与跟踪目标电流法。而跟踪目标电流法着重研究的都是直流侧及控制系统, 对交流侧及交流桥控制进行研究的文章较少见到^[2,3]。本文采用的方法中逆变器的输出电压是根据实际的输出电流与目标电流相比较产生的, 具有一定的随机性。由于逆变器输出电压是随机的, 因此, 滤波器交流侧三相是不独立的, 控制某一相的增减必然引起其它两相电流的变化, 不能同时独立地控制三相电流来跟踪目标电流的变化。本文研究取偏差最大值一相进行单相校正的电力有源滤波器, 推导出主电路交流侧的数学模型, 讨论了变流器的几种工作状态, 提出了跟踪目标电流的一种控制方法。仿真实验表明, 逆变器的实际输出电流紧密地跟踪目标电流, 且暂态过程短, 有很好的实际应用前景。

2 最大相校正有源滤波器的工作原理

有源滤波器的主电路与负载并联如图 1 所示。有源滤波器中期望流过的电流应该是负载产生的高次谐波电流、一定的无功成分、负序成分及滤波器自身的有功功率损耗。检测装置就是将这些物理量检测出来, 并构成目标电流。该目标电流就是期望滤波器发出的指令电流。偏差最大相校正的基本思想是将指令电流与滤波器实际输出的电流进行比较, 选偏差最大的一相来控制变流器的开关动作, 使滤波器的实际输出电流跟随指令电流的变化而变化。

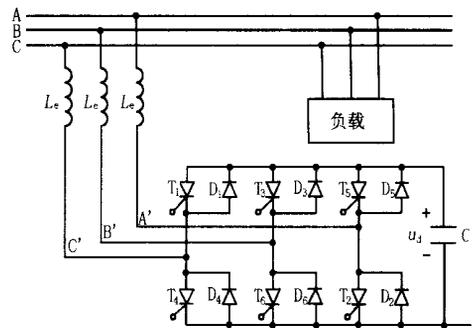


图 1 滤波器主电路与系统的联接

Fig. 1 Connection of main circuit of filter and system

现以一相为例说明这种方法的实现。设 i_{cp} 为目标电流, i_c 为滤波器实际输出电流, u_s 为母线电压, u_i 为逆变器输出电压。见图 2。

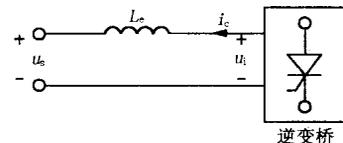


图 2 逆变器与电网联接简图

Fig. 2 Connection of inverter and power system

在图 2 方向下有

$$u_i - u_s = L_e \frac{di_c}{dt}$$

当 $i_c < i_{cp}$ 时,控制逆变器状态使 $u_i > u_s$,则 i_c 增大。

当 $i_c > i_{cp}$ 时,控制逆变器状态使 $u_i < u_s$,则 i_c 减小。跟踪过程如图 3 所示。

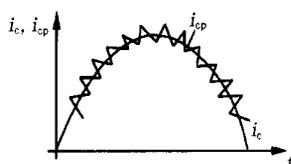


图 3 电流跟踪示意图

Fig. 3 Diagram of current tracing

3 变流器的控制状态

本文在对变流器各种工作状态分析的基础上,提出主回路的控制策略。

在如图 1 所示的滤波器主电路中,每相桥臂只能有两种工作状态:上半臂导通,下半臂关断;上半臂关断,下半臂导通。因此变流器输出的三相电压是不对称的。例如:当 $T_1、T_6、T_5$ 导通, $T_4、T_3、T_2$ 关断时有 $u_{AB} = u_d、u_{BC} = -u_d、u_{CA} = 0$ 。变流器与系统联接如图 4 表示。

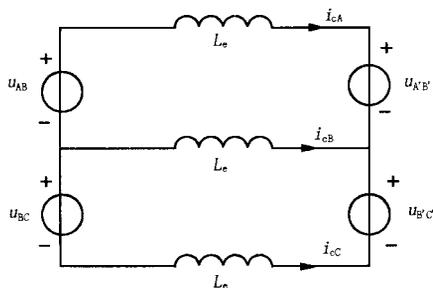


图 4 变流器与系统联接等效电路

Fig. 4 Equivalent circuit of inverter and power system's connection

据图 4 电路列方程得

$$L_e \frac{di_{cA}}{dt} - L_e \frac{di_{cB}}{dt} = u_{AB} - u_{AB} \quad (1)$$

$$L_e \frac{di_{cB}}{dt} - L_e \frac{di_{cC}}{dt} = u_{BC} - u_{BC} \quad (2)$$

$$i_{cA} + i_{cB} + i_{cC} = 0 \quad (3)$$

求解得

$$\begin{bmatrix} L_e \frac{di_{cA}}{dt} \\ L_e \frac{di_{cB}}{dt} \\ L_e \frac{di_{cC}}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{2}{3} & -\frac{1}{3} \\ \frac{1}{3} & -\frac{1}{3} \\ \frac{1}{3} & \frac{2}{3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{AB} \\ u_{BC} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{2}{3} & \frac{1}{3} \\ -\frac{1}{3} & \frac{1}{3} \\ -\frac{1}{3} & -\frac{2}{3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{AB} \\ u_{BC} \end{bmatrix} \quad (4)$$

由式(4)可知,三相电流的变化率同时受到逆变器输出电压 $u_{AB}、u_{BC}$ 的作用,互相耦合,不能通过改变变流器输出电压独立地同时控制三相电流的增减,使其跟踪目标电流的变化。本文提出的控制方法是找出实际输出电流与目标电流偏差的最大值一相进行校正,具体过程介绍如下。

(a) 判断 $\max\{|i_{cA} - i_{cpA}|, |i_{cB} - i_{cpB}|, |i_{cC} - i_{cpC}|\} > \delta$ (δ 为偏差带),若成立则进行第二步,否则保持原状态不变。

(b) 确定偏差最大值一相,并进行校正。根据表 1 各状态下逆变器输出电压以及式(4)在直流侧电容电压 u_d 取适当值的条件下,可实现某相电流增大或减小的功能,从而达到跟踪目标电流的目的。各状态对电流的控制功能总结于表 1。这里,变流器每相桥臂可处于两种状态,分别用 $T_A、T_B、T_C$ 表示 A、B、C 三相桥臂状态。现以 A 相为例加以说明。令

$$T_A = \begin{cases} +1 & \text{表示 } T_1 \text{ 导通, } T_4 \text{ 关断} \\ -1 & \text{表示 } T_1 \text{ 关断, } T_4 \text{ 导通} \end{cases}$$

若某瞬时 A 相偏差最大则对 A 相校正。如果 $i_{cA} > i_{cpA}$,应使 i_{cA} 减小。由表 1 可知,变流器应处于状态 S_3 ,即 A 相上半臂关断,下半臂导通;B、C 相上半臂导通,下半臂关断。如果 $i_{cA} < i_{cpA}$,应使 i_{cA} 增大,由表 1 可知,变流器应处于状态 S_4 。

若某瞬时 B 相或 C 相偏差最大,其校正方法同 A 相类似。

4 滤波器正常工作条件

要实现上述的控制方案,直流侧电容电压必须满足一定的条件。由式(4)可知,欲使 i_A 增大,必然有

$$L_e \frac{di_A}{dt} > 0, \text{ 则有}$$

表 1 变流器输出状态及功能

Tab. 1 Output conditions and functions of inverter

逆变器状态	S_0	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7
桥臂状态								
T_A, T_B, T_C	1,1,1	1,1,-1	1,-1,1	-1,1,1	1,-1,-1	-1,1,-1	-1,-1,1	-1,-1,-1
输出电压	$u_{AB} = 0$ $u_{BC} = 0$	$u_{AB} = 0$ $u_{BC} = u_d$	$u_{AB} = u_d$ $u_{BC} = -u_d$	$u_{AB} = -u_d$ $u_{BC} = 0$	$u_{AB} = u_d$ $u_{BC} = 0$	$u_{AB} = -u_d$ $u_{BC} = u_d$	$u_{AB} = 0$ $u_{BC} = -u_d$	$u_{AB} = 0$ $u_{BC} = 0$
控制功能	*	C相减少	B相减少	A相减少	A相增加	C相、B相增加	C相、B相增加	*

注：*表示短路，应避免

$$-\frac{2}{3}u_{AB} - \frac{1}{3}u_{BC} + \frac{2}{3}u_{AB} + \frac{1}{3}u_{AB} > 0 \quad (5)$$

由表 1 可知,此时 $u_{AB} = u_d, u_{BC} = 0$, 带入式(5)得

$$u_d > u_{AB} + \frac{1}{2}u_{BC}$$

欲使 i_A 减小,必然有

$$\frac{di_A}{dt} < 0, \text{ 则有}$$

$$-\frac{2}{3}u_{AB} - \frac{1}{3}u_{BC} + \frac{2}{3}u_{AB} + \frac{1}{3}u_{BC} < 0 \quad (6)$$

由表 1 可知,此时 $u_{AB} = -u_d, u_{BC} = 0$, 带入式(6)得

$$u_d < -\left(u_{AB} + \frac{1}{2}u_{BC}\right)$$

整理得

$$u_d > \left|u_{AB} + \frac{1}{2}u_{BC}\right|$$

同理可推导出

$$u_d > \left|\frac{1}{2}u_{AB} - \frac{1}{2}u_{BC}\right|$$

$$u_d > \left|\frac{1}{2}u_{AB} + u_{BC}\right|$$

若系统三相电压对称,其线电压为 u_1 , 经分析可得

$$\left|u_{AB} + \frac{1}{2}u_{BC}\right| = \left|\frac{1}{2}u_{AB} - \frac{1}{2}u_{BC}\right| =$$

$$\left|\frac{1}{2}u_{AB} + u_{BC}\right| = \frac{\sqrt{6}}{2}u_1$$

$$u_d > \frac{\sqrt{6}}{2}u_1 \quad (7)$$

即系统在电压对称情况下,有源滤波器直流侧电容电压 u_d 满足式(7)时,才能正常工作。

5 模拟分析

本文对图 1 所示主电路进行了计算机仿真分析。有源滤波器中流过的电流是负载产生的高次谐波电流。它含有 7、11、13、17、19 次谐波。经仿真,

目标电流波形如图 5,滤波器的电流如图 6,直流侧的电压波形如图 7 所示。从仿真结果看,变流器的实际输出电流可以紧密地跟踪目标电流,且跟踪的暂态时间短。

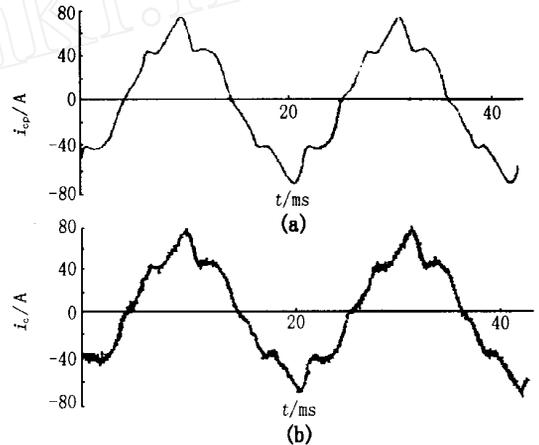


图 5 目标电流波形

Fig. 5 Target current waveform



图 6 滤波器电流波形

Fig. 6 Waveform of filter current

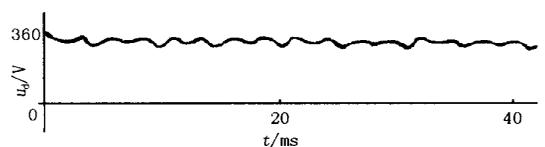


图 7 直流侧电压波形

Fig. 7 Waveform of direct current side voltage

6 结论

本文提出的基于偏差最大相校正的电力有源滤波器的实现方法,是将实际输出电流与目标电流误差最大的一相来控制变流器的输出电压,具有一定的随机性。仿真结果表明,该方法可以准确地跟踪指令电流,原理清晰、控制简单、跟踪迅速,可实现动态补偿。由于采用误差最大一相进行校正,所以校正的暂态过程短,可以达到几微秒的数量级,因此该方法是一种较佳的校正方法,且有很好的实际应用前景。

参考文献:

[1] 王群,吴宁,苏向丰.有源电力滤波器谐波电流检测的

一种新方法[J].电工技术学报,1997,12(1).

[2] 王良,郝荣泰.三相不平衡有源无功和高次谐波补偿器控制系统的研究[J].电工技术学报,1996,(4):31-35.

[3] 张代润.一种有源电流逆变器型滤波器新控制方法[J].电力电子技术,1995,(4):62-65.

收稿日期: 2002-12-03; 修回日期: 2003-03-30

作者简介:

兰华(1956-),女,教授,从事电力系统及其自动化的教学和科研工作;

马文骥(1952-),男,副教授,从事电力系统及其自动化的教学和科研工作。

Active filter based on adjusting maximum phase of deviation

LAN Hua, MA Wenqi, LI Yitao, XING Xiaomin

(Northeast Institute of Electric Power Engineering, Jilin 132012, China)

Abstract: This paper presents an available method—an active filter based on adjusting maximum phase of deviation. The active filter generates relevant following current, in accordance with the model of the inverter being controlled by instruction current which is generated by measurement part. On the ground of analysing all kinds of inverters condition of work, through the after-toroid comparing PWM method of adjusting maximum phase of deviation, this paper introduces a control tactic of main circuit, the method on generation of random PMW and demand of the voltage of DC side. Simulation results show that this method can track inverter accurately and achieve dynamic compensation. The principle is clear and the control simple.

Key words: active filter; adjusting maximum phase of deviation; following object current

(上接第 39 页)

Application of adaptive ant colony algorithm with hybrid and variation factors in power system reactive optimization

CHEN Jingning¹, HE Guixian²

(1. China South Power Net Corporation, Guangzhou 510620, China;

2. Power College, Southeast Science University, Guangzhou 510640, China)

Abstract: Ant colony algorithm is a general bionic method. It can make many obscure problems optimized, such as nonbulging, nonlinearity and non-continuity. Combined with hereditary algorithm and adaptive thoughts, the traditional algorithm is improved. And the improved one is successfully used in the field of reactive optimization. Its validity is verified through arithmetic examples of IEEE6 node and practical distribution network.

Key words: electric power system; reactive optimization; ant colony algorithm

继电器杂志社又传捷报,2003年9月份《继电器》被美国剑桥科学文摘(CSA)收录为统计源期刊。