

## 统一电能质量调节器(UPQC)的补偿控制策略研究

汤其彩, 刘惠康, 周华忠

(武汉科技大学信息科学与工程学院, 湖北 武汉 430081)

**摘要:** 针对日本学者 Akagi.H 提出的补偿控制策略, 分析了系统的稳态特性和跟踪特性, 发现该补偿控制策略容易引起系统的高频振荡, 仿真结果进一步证明分析结果的正确性。为了抑制系统补偿过程中的高频振荡, 提出了一种新的补偿控制策略, 该控制策略是对 Akagi.H 的补偿控制策略的改进, 对并联有源电力滤波器采用检测安装点电压与检测系统电流复合控制策略, 理论分析与仿真结果表明, 该控制策略可较好地改善系统的高频特性。

**关键词:** UPQC; 控制策略; 高频振荡; 有源电力滤波器; 仿真

## Research on compensation control strategy of unified power quality conditioner

TANG Qi-cai, LIU Hui-kang, ZHOU Hua-zhong

(Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081, China)

**Abstract:** The theoretical analysis of stationary state and tracing characteristics of UPQC based on the compensation strategy presented by Akagi.H is given in the paper. It is demonstrated by digital simulation that the theoretical analysis results are correct and the UPQC based on the compensation control strategy can cause high frequency resonance. In order to erase the resonance, the improvement for the compensation strategy which is that coupling point voltage detection and supply current detection are simultaneously employed by shunt active power filter is proposed. The theoretical analysis and simulation result demonstrate that the compensation control strategy can improve the high frequency resonance.

**Key words:** UPQC; control strategy; high frequency resonance; active power filter; simulation

中图分类号: TM71      文献标识码: A      文章编号: 1003-4897(2007)12-0032-04

## 0 引言

随着电力电子器件在工业中的广泛应用, 电网的谐波污染问题日趋严重。目前消除谐波的方法主要有无源滤波器(PF)、有源滤波器(APF)、混合型滤波器(HAPF)和统一电能质量调节器(UPQC)。目前对UPQC的研究主要集中于各种先进控制算法在其上的应用, 而基本控制策略的选择和电网参数波动对控制装置性能的影响方面则少有文献涉及。

本文以此为出发点, 通过建立UPQC的通用电气模型, 从理论上对日本学者H Akagi提出的基本控制策略的滤波原理进行了分析, 指出这种补偿控制策略的不稳定性, 在此基础上提出了一种新的补偿控制策略, 并通过详细的理论分析、仿真说明该控制策略能改善系统的性能。

## 1 UPQC 补偿控制的基本问题

## 1.1 UPQC 安装位置及补偿目标

对图1所示的配电系统, 在主配电变压器出口处加装UPQC的基本装置与晶闸管开关电容器组, 既

可以起到补偿无功功率, 阻止配网谐波进入电力变压器, 还可以维持配网供电电压波形。

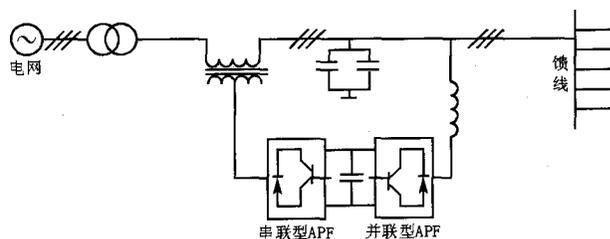


图1 安装于配网系统的UPQC

Fig.1 UPQC installed in the power network system

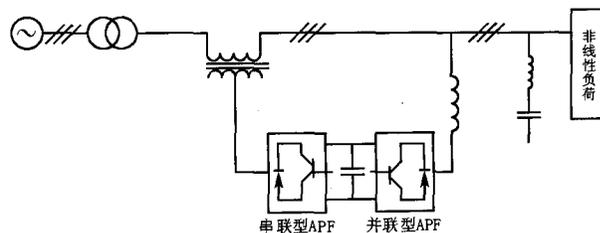
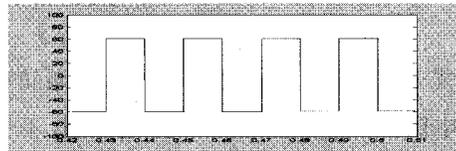


图2 安装于非线性负荷侧的UPQC

Fig.2 UPQC installed on the nonlinear load side



仿真实例：有源滤波器等效为一个一阶惯性环节，经实验测试，并联有源滤波器接入电网等效电阻为  $R = 2.5 \Omega$ ,  $L = 2.4 \text{ mH}$ ，串联有源滤波器等效的一阶惯性环节传递函数为  $\frac{1}{0.00034s+1}$ ，并联有源滤波器传递函数为  $\frac{1}{0.00096s+1}$ ，系统侧参数  $R = 0.7 \Omega$ ,  $L = 3.3 \text{ mH}$ ，仿真结果如图 5 (a、b、c、d) 所示。为了确定系统的动态性能，本文在仿真过程中采用频率为 50 Hz 的方波作为系统的输入，由图 5 (b、c、d) 可见，在波形的稳态区域出现高频振荡现象。图 5 (a) 系统中只有比例控制环节，因此系统侧电流和安装点电压存在静态误差，而且在波形跳变处出现尖峰。



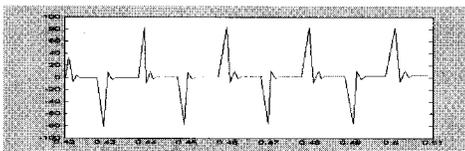
(a) 负载畸变电流



(b) 有源滤波器补偿电流



(c) 补偿后系统侧电流



(d) 补偿后安装点电压

图 5 仿真结果图

Fig.5 Simulation result

### 3 UPQC 新型补偿控制策略研究

针对上述基本控制策略存在的问题，避免系统出现高频谐振和减小系统静态误差，由式(7)和(9)可知，只要参数  $K_{SR}$  足够小，参数  $K_{ST}$  足够大时，系统仍可维持较小的静态误差并能抑制高频振荡。但是，参数  $K_{SR}$  的减小，整个环路频率特性的截止频率降低，系统的响应速度减小。因此，对于 UPQC 的控制通过减小参数  $K_{SR}$  来抑制高频震荡不是最

佳方案，为此本文提出了一种改进控制策略，其中串联有源滤波器仍采用检测系统电流方法，但这里参数  $K_{SR}$  仍维持足够大；而并联有源滤波器采用检测安装点电压和检测系统电流的复合控制，即

$$i_{AF} = K_{ST} \cdot v_{Lh} + D \cdot i_{Sh} \quad (13)$$

其中：系数  $K_{ST}$  足够大， $D$  为一个可调系数，则并联有源滤波环节的拉氏变换为

$$I_{AF}(s) = \frac{K_{ST}}{1+sT_{SR}} \cdot V_{Sh}(s) + \frac{D}{1+sT_{SR}} I_{Sh}(s) \quad (14)$$

类似于图 4，可得到 UPQC 采用改进控制策略的系统结构框图如图 6 所示，图中对于安装点电压对负载电流的传递函数和系统电流对负载电流的传递函数，图 6 只是系统的开环增益增加一项，即

$$\frac{V_{Lh}(s)}{I_{Lh}(s)} = \frac{G_S(s) - G_{SR}(s)}{1 + G_{ST2}(s) + G_{ST1}(s)(G_S(s) - G_{SR}(s))} \quad (15)$$

$$\frac{I_{Sh}(s)}{I_{Lh}(s)} = \frac{1}{1 + G_{ST2}(s) + G_{ST1}(s)(G_S(s) - G_{SR}(s))} \quad (16)$$

显然，由式(15)和(16)可知，系统的稳态误差在参数  $K_{SR}$  和  $K_{ST}$  足够大时足够小。

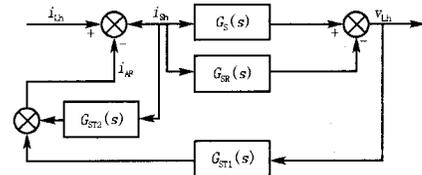


图 6 改进补偿控制策略的结构框图

Fig.6 Configuration of improved compensation control strategy

由图 6 闭环系统的开环增益得

$$\frac{I_{Sh}(s)}{I_{AF}(s)} = G_{ST2}(s) + G_{ST1}(s)(G_S(s) - G_{SR}(s)) \quad (17)$$

经过近似后并令  $s = j\omega$ ，得到系统的特征方程为

$$(1 + jT_{ST}\omega)(1 + jT_{SR}\omega) =$$

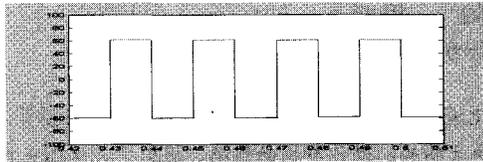
$$D + K_{ST} \cdot K_{SR} + jDT_{SR}\omega \quad (18)$$

可见，参数  $D$  在系统中主要起调节阻尼系数作用。总之，本文给出的控制策略有较好的稳态性能和动态跟踪特性，同时具有谐波振荡的抑制作用。

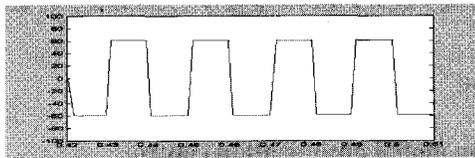
仿真实例：图 7 给出新的补偿控制策略的仿真结果，与图 5 相比较。仿真结果表明：

- 1) 新型补偿控制策略系统出现高频振荡现象明显减弱；
- 2) 由于系统频率带宽大，系统动态过渡过程明显比图 5 短；

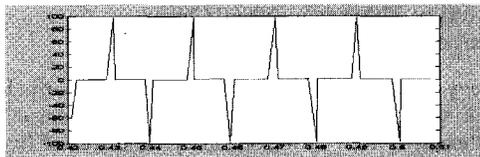
- 3) 系统仿真结果仍存在静态误差;  
4) 由于系统仍存在相移,因此系统电流出现尖峰,但响应时间很短,满足工频补偿要求。



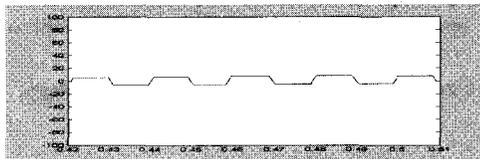
(a) 负载畸变电流



(b) 有源滤波器补偿电流



(c) 补偿后系统侧电流



(d) 补偿后安装点电压

图 7 补偿控制策略仿真结果

Fig.7 Simulation results of compensation control strategy

## 4 结论

本文针对日本学者提出的补偿控制策略进行分

析研究,分析得出该补偿控制策略容易引起系统的高频振荡,为此,本文提出了一种新的补偿控制策略,该控制策略对 Akagi H 的补偿控制策略进行改进,理论分析与仿真结果表明该控制策略的有效性。

## 参考文献

- [1] Akagi H. New Trends in Active Filter for Power Conditioning[J]. IEEE Trans on Industry Applitation, 1996, 32(6):1312-1322.
- [2] Fujita H, Akagi H. The Unified Power Quality Conditioner:the Integration of Series and Shunt Active Filter[J]. IEEE Trans on Power Electronics, 1998,13(2): 315-322.
- [3] 姜齐荣,赵东元,陈建业.有源电力滤波器——结构·原理·控制[M]北京:科学出版社,2005.  
JIANG Qi-rong, ZHAO Dong-yuan, CHEN Jian-ye. Active Power Filter Structure-Principle Control[M]. Beijing: Science Press, 2005.
- [4] 王兆安,杨君,刘进军.谐波抑制和无功功率补偿[M].北京:机械工业出版社,1998.  
WANG Zhao-an, YANG Jun, LIU Jin-jun. Harmonic Suppression and Reactive Power Compensation [M]. Beijing: China Machine Press, 1998.
- [5] 胡寿松.自动控制原理[M].北京:科学出版社,2001.  
HU Shou-song. Principle of Automatic Control[M]. Beijing: Science Press, 2001.

收稿日期:2006-11-27; 修回日期:2007-01-17

作者简介:

汤其彩(1982-),男,硕士研究生,研究方向为控制理论与控制工程; E-mail: qctang2008@163.com

刘惠康(1963-),男,教授,硕士研究生导师,主要研究领域为新型电力传动及智能控制;

周华忠(1978-),男,硕士研究生,研究方向为控制理论与控制工程。

## 许继仪表公司和谐精进共创市场

随着中国经济的高速发展,电力供需形势更加紧张,进而带来了电力装备市场的大好形势,市场的膨胀就像一场春雨,给许继仪表公司带来了进一步发展的契机。在2006年订货超亿元的基础上,集团领导又给仪表公司下达了新的经营指标,公司全体员工对完成2007年的市场销售任务充满了信心。

刚过完元旦,公司总经理张长江就与市场部相关人员,根据许继电气公司建立一体化营销体系的要求,对国内仪表市场进行了认真分析,结合许继多年培育的合力文化与仪表公司现状,建立了适合公司发展的一体化营销体系,获得了集团领导的一致好评。

仅仅建立一体化营销体系还远远不够,关键在于执行。张长江总经理对仪表公司全体销售员提出了“重在执行”的号召,要求销售员全面贯彻一体化营销体系。面对2006年的优秀成绩,仪表公司全体销售员没有自满,一过完春节,大家马上就奔赴市场,认真落实张总号召,脚踏实地地开展市场工作。在湖南省局载波表试点招标项目上,许继仪表公司以总评分第一名顺利中标,并且入围湖北省局的项目,从而为今后市场开拓打下了良好的基础。截至5月中旬,许继仪表公司完成订货比去年同期增长23%,这些喜人成绩的取得,是公司上下齐心协力与辛勤工作的结果。