

三相三线制下并联混合型电能质量补偿器的研究

任永峰,李含善,云怀中,白云,刘广忱

(内蒙古工业大学 信息工程学院,内蒙古 呼和浩特 010062)

[摘要]阐述了并联混合型电能质量补偿器的运行机理和谐波抑制方法,并对基于瞬时无功功率理论和有功电流分离法的两种谐波检测方法进行了对比研究。并联型电能质量补偿器适用于多种负载条件下的谐波和无功补偿,尤其是能应用于电源电压以及负载畸变和不平衡条件下。应用 MATLAB6.5 软件对三相三线制电力系统进行了仿真,系统在负载电流突变时,能在半个周期内达到稳态。仿真实验表明该系统具有谐波抑制效果好、稳定性好、以及暂态响应快的优点。

[关键词]并联型电能质量补偿器;谐波;控制;仿真

0 引言

随着电力系统中大量非线性负荷的增加,电力系统结构的不对称以及大量电力电子装置的应用导致电能质量下降,产生大量的谐波电流和电压,从而影响电力系统的正常运行,给用电设备的安全运行构成隐患。

用户电力技术(Custom Power)是一种将电力电子技术和控制技术应用于中低压配电和用电系统,以减小谐波畸变,消除电压波动、电压闪变、电压不平衡和供电的暂时中断,从而提高电能质量和供电可靠性的新型综合技术^[1~2]。这为全面解决配电网电能质量问题提供了一条新途径,它突破了传统的无源滤波器、并联补偿电容器的局限性,为电能质量的提高提供了各种解决方案,其中并联混合型电能质量补偿器由于具有良好的动态性能,适用于多种负载条件下的谐波电流和无功补偿,尤其是应用于电源电压畸变和不平衡的条件下,能有效地解决电力系统的谐波污染,因而得到了广泛的应用。

并联型电能质量补偿器用于补偿感性负载的谐波,其本身表现出电流源的特性。由于其与系统相并联,故可等效为一受控电流源。并联型电能质量补偿器,相当于一个谐波电流发生器,它跟踪负载电流中的谐波分量,产生与负载谐波大小相等、方向相反的谐波电流,从而抑制非线性负荷的谐波电流,将电源侧电流补偿为近似正弦波,使流向电网的电流为近似正弦波。

事实上,在工程实践中,并联型电能质量补偿器总是和无源电力滤波器一起使用的,可以称之为并联混合型电能质量补偿器。

1 两种谐波检测方法的对比研究

并联型电能质量补偿器是一种用于动态抑制谐波、补偿无功的新型电力电子装置,它能对大小和频率都变化的谐波及无功电流实现连续动态的跟踪补偿,且补偿特性不受电网阻抗的影响^[3]。并联型电能质量补偿器主要由谐波检测电路和补偿电流发生电路两部分组成,其工作性能很大程度上取决于对谐波电流及基波无功电流的高精度、实时检测,因此,对谐波及基波无功电流检测方法的研究具有重要的意义。

近年来,三相电路的谐波检测方法有了较大发展,例如基于三相电路瞬时无功功率理论^[4]的检测方法,基于自适应干扰抵消原理的自适应闭环检测方法,基于 Fryze 时域分析的有功电流分离法,目前又出现了基于小波变换的检测方法和结合神经网络元的谐波及无功电流的检测方法。本文对应用最广泛的两种方法——基于三相电路瞬时无功功率理论的检测方法和基于 Fryze 时域分析的有功电流分离法进行了谐波检测效果对比分析,在二者针对同一谐波源、且均采用二阶巴特沃斯低通滤波器、截止频率都取 60 Hz 的情况下,以 A 相谐波检测结果为例进行了研究,A 相谐波电流如图 1 所示。从图 1 可见,二者均在大约半个周期的延时后达到了稳态,且检测效果基本相同,因此,本文在后面建立系统仿真模型时,谐

[收稿日期]2004-05-19;[修改稿收到日期]2004-06-15

[作者简介]任永峰(1972-),男,山西怀仁人,讲师,硕士,研究方向为电力电子技术及其应用与仿真。

波检测电路采用了基于三相电路瞬时无功功率理论的方法。

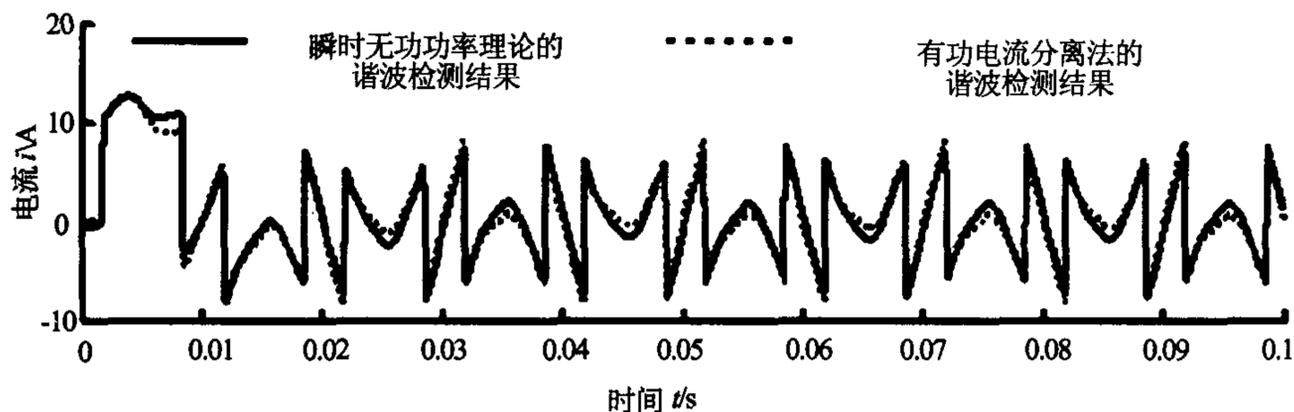


图 1 两种谐波检测方法的对比分析

2 并联混合型电能质量补偿器的主电路

并联混合型电能质量补偿器的主电路结构如图 2 所示。主要由电源、负载、无源滤波器、交流侧电感、直流侧电容、电能质量补偿器构成。

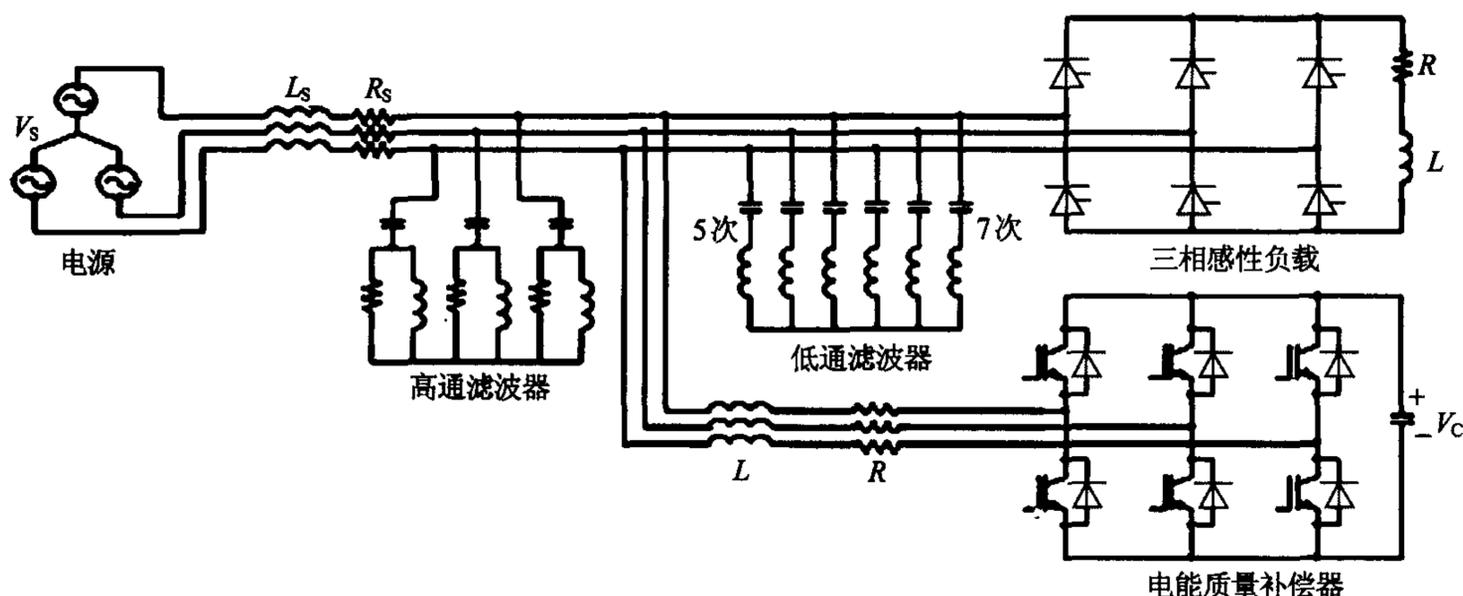


图 2 并联混合型电能质量补偿器的主电路结构

其中交流侧电感的设计对电源电流影响较大，它直接影响实际电流的跟踪速度。电感太小，电能质量补偿器输出电流的变化速度过快，易造成系统振荡冲击，工作不稳定；电感过大，电能质量补偿器输出电流的变化速度将变缓，电流响应变慢，电流跟踪能力下降。直流侧电容的选择对于三相电压源型变流器功率电路的设计至关重要，选择是否合适将直接影响并联型电能质量补偿器系统的补偿特性和安全性。电能质量补偿器直流电容器的电压值决定滤波系统的谐波电流跟踪能力，取值过低不能将谐波电流完全消除；取值越高对谐波电流的跟踪就越好，补偿效果（特别是对高次谐波的补偿效果）也就越好，但对器件的耐压要求也越高。

并联型电能质量补偿器的主电路消耗有功功率，造成直流侧电容电压的波动。对直流侧电容电压的控制采用传统 PI 调节器控制，能够保证变流器的输出电流可控。

3 并联混合型电能质量补偿器的仿真模型

并联混合型电能质量补偿器系统是一种复杂的电力电子装置，既包括主电路，又包括控制电路，系统的阶数较高，理论分析很困难，有必要进行仿真研究。

本文利用 MatLab 6.5 提供的电力系统仿真模块，在 Simulink 集成编译环境下，对并联混合型电能质量补偿器进行了系统建模和仿真实验。系统仿真模型如图 3 所示。

4 并联混合型电能质量补偿器的仿真实验

假定三相感性负载电阻为 35Ω ，电感为 40 mH 。当并联混合型电能质量补偿器系统运行到 0.04 s 时，此时系统已达到稳态，在负载侧突然通过交流接触器并联接入一个 35Ω 的纯电阻负载，此时系统电流发生了突变，并联混合型电能质量补偿器投入系统前后的电流、电压仿真分析结果如图 4 所示。由图

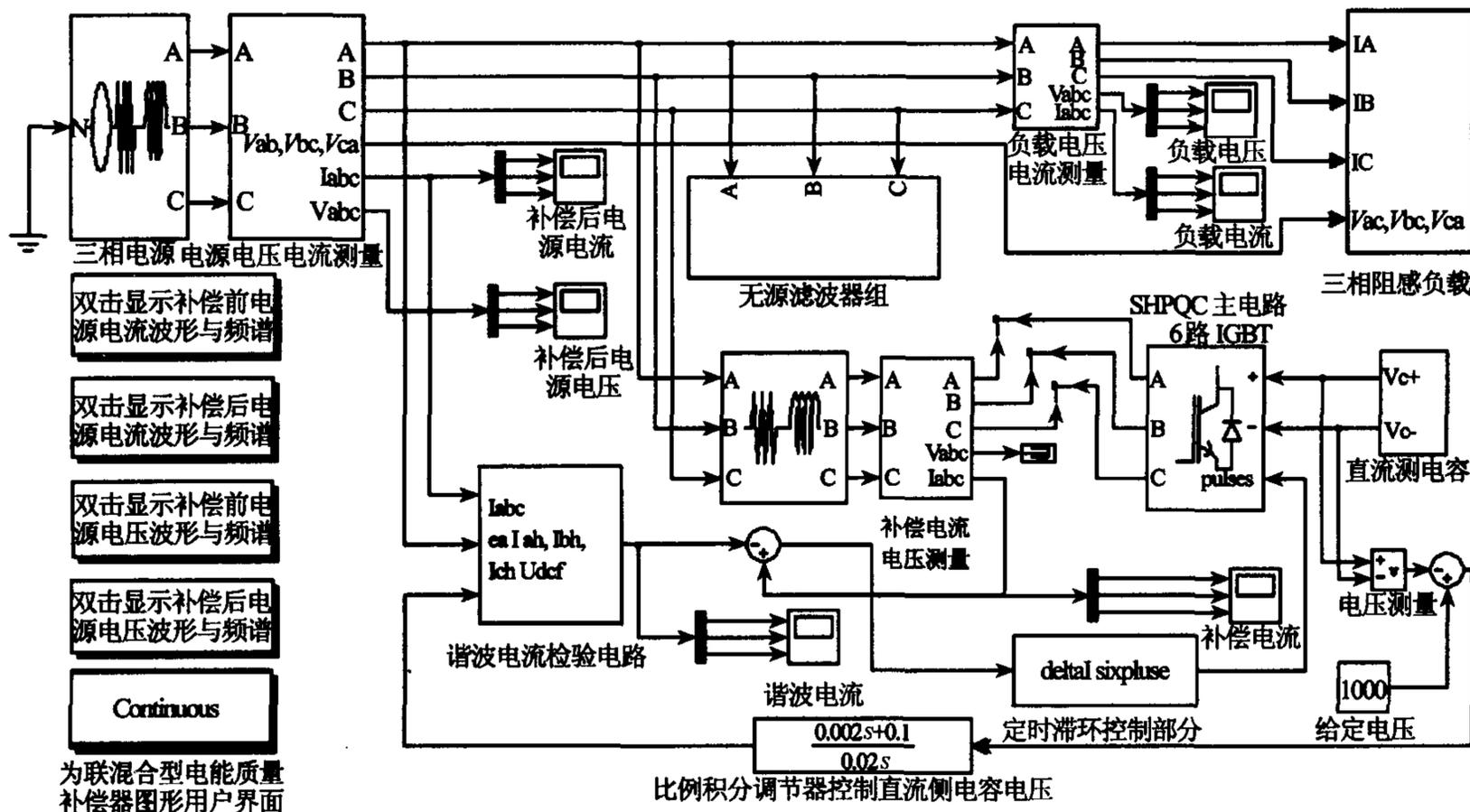


图 3 并联混合型电能质量补偿器的仿真模型

可看出,系统在负载电流突变时,能在半个周期内达到稳态,暂态响应较快。

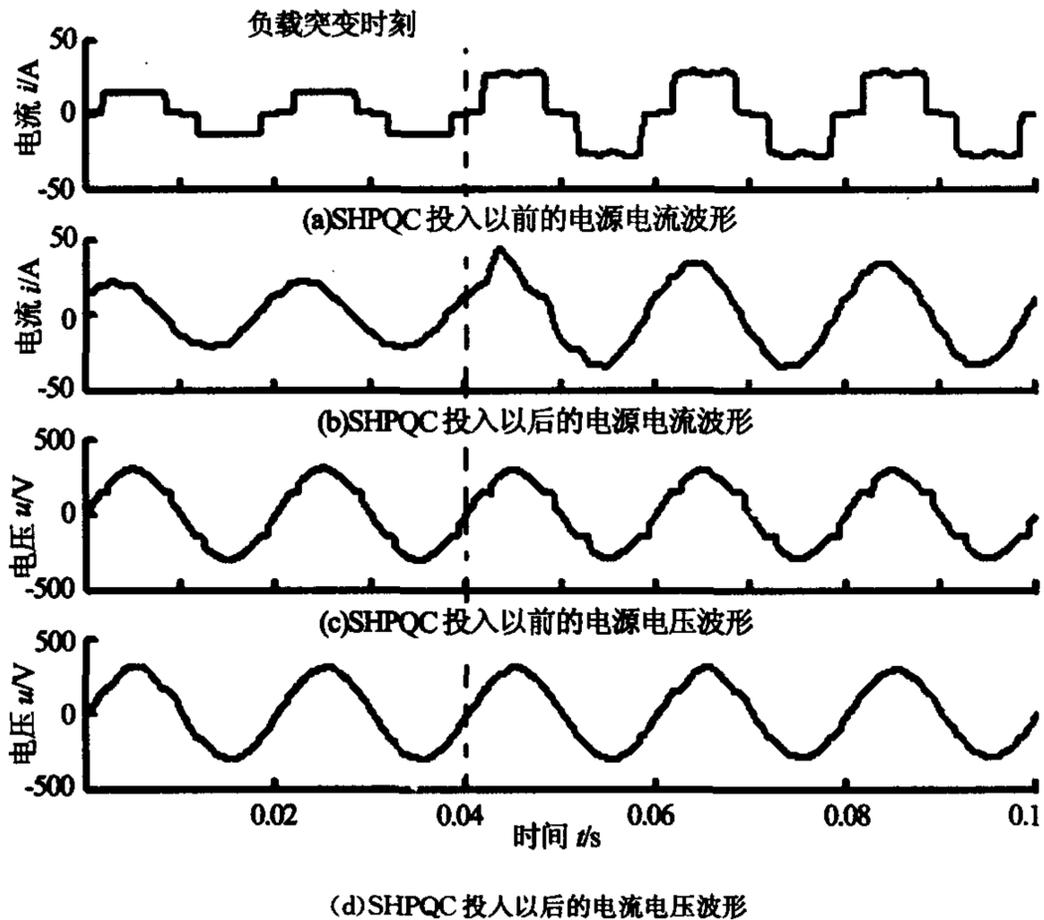


图 4 当负载突变时系统的补偿效果与过渡过程

当并联混合型电能质量补偿器运行到 0.04 s 时不接入纯电阻负载,系统的稳态补偿效果频谱分析如图 5 所示。

5 结论

补偿前后电源电流、电压总畸变率如表 1 所示。

表 1 补偿前后电源电流、电压总畸变率

补偿前后	电源电流总畸变率 THD_i %	电源电压总畸变率 THD_u %
SHPQC 投入前	29.3	6.4
SHPQC 投入后	4.3	1.7

表 1 给出的并联混合型电能质量补偿器投入系统前后电源电流、电压总畸变率数据和图 4、图 5 的仿真实验结果表明,并联混合型电能质量补偿器可对系统中的谐波电流、无功电流分量进行较好的补偿,且系统实时性、稳定性能较好,暂态响应较快。

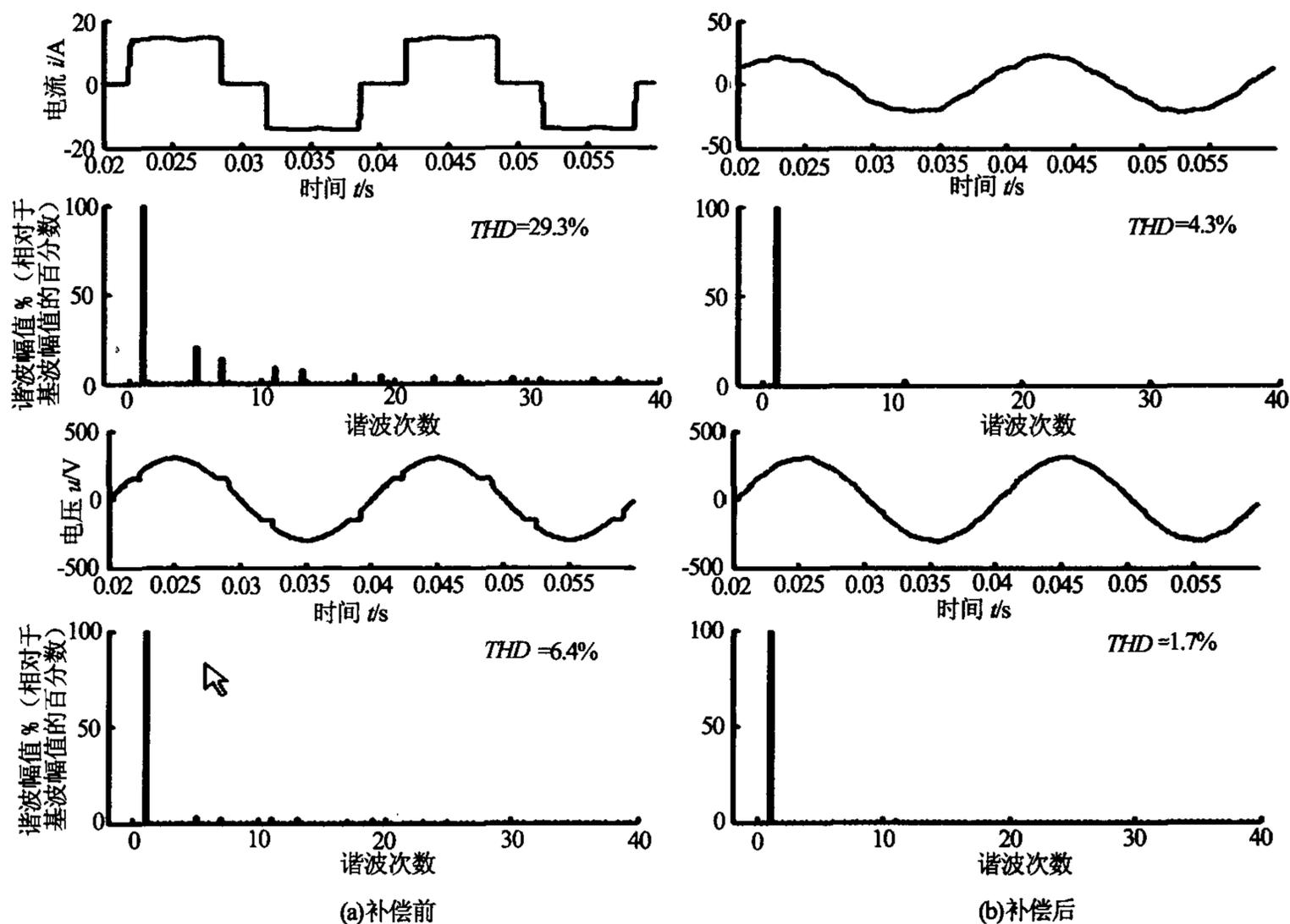


图 5 补偿前后各分量波形与其各次谐波直方图

[参 考 文 献]

[1] 蒋平,王宝安,赵剑峰,等. 配电网串并联复合有源电力滤波器的仿真研究[J]. 电力系统自动化, 2002, 26 (19): 36—40.
 [2] 朱贵平,王树民. 电能质量控制技术综述[J]. 电力系统自动化, 2002, 26 (19): 28—31.
 [3] 王兆安,刘进军,杨君. 谐波抑制和无功功率补偿[M]. 北京: 机械工业出版社, 1998.
 [4] Akagi H, Kanazawa Y, Nabae A. Instantaneous reactive power compensators comprising switching devices without energy storage components [J]. IEEE Trans IA, 1984, 20(3) : 625—633.

[编辑:魏方]