

DOI:10.13296/j.1001-1609.hva.2015.10.024

复合型电能质量调节装置的研制

雷 颖, 范伟强, 牛 帅, 李 罗, 魏 泉

(西安高压电器研究院有限责任公司, 西安 710075)

摘要:文中基于TSC与SVG复合工作的工作原理,设计开发了一种复合型电能质量调节装置,并依据相关国家标准完成了样机试验;装置集快速连续无功补偿、系统无功不平衡补偿、特定谐波消除等功能于一体,RTDS平台仿真分析表明其总控制器控制逻辑正确。
关键词:复合型电能质量调节装置;无功补偿技术;RTDS

Development of Composite Power Quality Regulation Device

LEI Ying, FAN Weiqiang, NIU Shuai, LI Luo, WEI Quan

(Xi'an High Voltage Apparatus Research Institute Co., Ltd., Xi'an 710075, China)

Abstract: This paper develops a kind of composite power quality regulation device based on the integrated control strategy of the composite operation of TSC and SVG, and the prototype has finished the type test according to the national standard. This device combines functions of fast continuous reactive power compensation, unbalanced three-phase reactive power compensation, selected harmonics elimination, the simulation result in RTDS can verify the validity of the control logic.
Key words: composite power quality regulation device; compensation technology; RTDS

0 引言

随着国民经济的飞速发展,接入配电网中的非线性用电设备的数量和种类越来越多,使得配电网的电能质量日益下降,主要体现在无功功率需求随机多变、产生谐波污染、引起三相不平衡^[1-2]。电能质量控制装置经历数十年的发展,形成了种类繁多的基于无功功率补偿的调节装置,表 1 对当前几种典型的装置性能进行了比较^[3-6]。文中所介绍的新型无功补偿装置——复合型电能质量调节装置由多组 TSC 和 1 台 SVG 复合组成,利用相对廉价的 TSC 补偿长期稳定的无功功率、抑制部分特定次数电力谐波和固定的分相补偿能力(靠其电容串联电抗抑制特定次数谐波,虽不能随意投切,但有一定的投切顺序,下面讲到),利用 SVG 补偿短期快速变化的无功功率,从而可以实现大容量的无功功率快速、连续补偿,既综合补偿了无功功率与谐波,而且与同类同容量的其他补偿设备相比具有性价比高的优势^[7-8]。

收稿日期:2015-04-05; 修回日期:2015-05-06

表 1 无功补偿器性能比较				
Table 1 Comparison of the reactive power compensator performance				
项目	MSC	TSC	TCR+FC	SVG
开关器件	接触器、断路器	晶闸管	晶闸管	GTO、IGBT
额定容量	$Q_{MSC}=Q_{LD}$	$Q_{TSC}=Q_{LD}$	$Q_{FC}=Q_{TCR}=Q_{LD}$	$Q_{SVG}=Q_{LD}$
补偿范围	$0\sim Q_{LD}$	$0\sim Q_{LD}$	$-Q_{LD}\sim+Q_{LD}$	$-Q_{LD}\sim+Q_{LD}$
响应特性	慢	快	较快	快
补偿方式	有级投切	有级投切	平滑调节	平滑调节
谐波发生量	无	无	大	小
功率损耗	无负荷时较高	无负荷时较小	较高	较小
作用	无功调整 母线电压 平衡三相 负荷	快速补偿	动态补偿无	快速连续
		无功调整	功调整母线	无功补偿
		母线电压	电压抑制电	调整母线
成本	低	平衡三相	压波动平衡	电压抑制
		较高	三相负荷	电压波动
其他	电容器支路串联电抗器,具有抑制系统谐波或防谐作用			具有有源滤波功能

1 装置功能要求与结构原理设计

1.1 功能要求及适用场所

为了能够更有效的提高电网功率因数, 稳定电网电压, 实现改善电网电能质量的根本目的, 复合型电能质量调节装置应具备以下功能:

1) 动态连续地补偿负荷无功功率, 在装置容量满足需要时, 功率因数始终接近于 1.0;

2) 具有特定次谐波滤波功能, 在装置容量满足需要时, 可使用户注入电网的谐波电流满足国家谐波标准要求;

3) 具有补偿三相不平衡无功功率的能力(TSC 分相补偿);

4) 装置自身具有过电流、过电压、失压、欠压、缺相和温度控制等保护功能;

5) SVG 具备自启动功能(SVG 因故障保护停机, 20 min 后自动启动);

6) 测量和显示所补偿系统电压、有功功率、无功功率、功率因数、SVG 与 TSC 单元的运行状态;

7) 可实现远程监控功能。

该复合装置主要用于工业企业低压(380 V)配电系统中, 主要应用场合有^[9-12]:

1) 配电系统中含有快速变化的负荷;

2) 配电系统中含有大量交直流电机调速设备、感应加热电源、可控电阻炉、单晶炉、电解电镀整流电源等;

3) 大量使用开关电源、计算机等电子设备的配电系统中;

4) 对无功补偿精度要求较高的场合。

1.2 工作原理

复合型电能质量调节装置通过总控制器调节 TSC 组的投切和 SVG 的输出量复合运行, 可以在最大容性无功 Q_{cmax} 和最大感性无功 Q_{lmax} 之间的连续补偿^[7]。SVG 与 TSC 工作原理图见图 1。如图 1 所示, 若 TSC 的每组容量相等, 设负荷发出的无功功率为 Q_L , 则装置补偿关系式为:

$$Q_L = n \times Q_{\text{TSC}} + Q_{\text{SVG.C}} \quad (1)$$

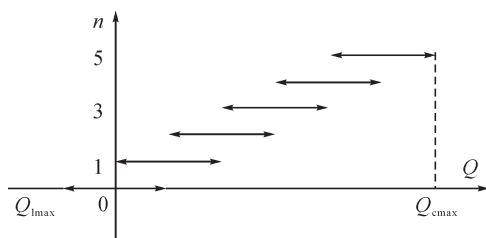


图 1 SVG 与 TSC 工作原理图

Fig. 1 The principle figure of the SVG and TSC

或

$$Q_L = (n+1) \times Q_{\text{TSC}} + Q_{\text{SVG.L}} \quad (2)$$

式(1)、(2)中: $Q_{\text{SVG.C}}$ 表示 SVG 发出容性无功功率; $Q_{\text{SVG.L}}$ 表示 SVG 发出感性无功功率。

1.3 TSC 结构设计

考虑 TSC 具有平衡补偿(共补)和不平衡补偿(分相补偿)的功能, 同时串联电抗器用做滤波器的因素, 将其中部分 TSC 用作共补组, 其余 TSC 用于分相补偿, 并分别串联一定的电抗器, 用于滤波和防谐。

TSC 结构示意图见图 2。图 2(a)为共补结构, 其补偿电容器采用 Δ 型接法; 图 2(b)为分补结构, 电容器采用 Y 型接法且中点与中性线相连。与图 2(b)相比图 2(a)省去一路晶闸管, 降低成本且结构简单; 而图 2(b)中, 晶闸管关断时承受电压较低, 是图 2(a)的 0.577 倍^[6-15]。

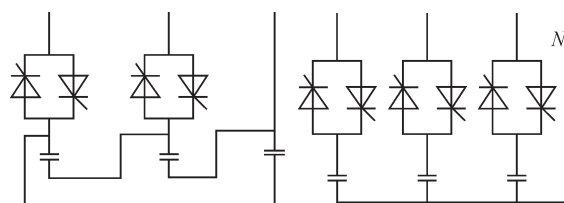


图 2 TSC 结构示意图

Fig. 2 The structure diagram of TSC

在安装顺序上, 将共补组靠前, 由于高次滤波电抗器对系统的低次谐波有放大作用, 所以串联滤波电抗器的原则采用先低次后高次; 分补组放后, 仅串联防谐电抗器。平衡补偿时, 从前向后依次投入, 由后向前依次切除; 不平衡补偿时, 在分补组没有投入的前提下, 由后向前依次投入, 切除顺序反向。

总体补偿原则: 先共补后分补, 滤波上先低次后高次。

2 投切策略设计

文中设计的 TSC 投切策略见图 3, 该策略有两点优势: 一是增强各模块间的工作独立性, 无论 SVG 是否工作或者某一支路 TSC 故障, 都不影响其他模块的正常工作; 二是当一组 TSC 投切后, 网侧无功功率变化的绝对值小于 Q_{cp} 时, 总控制器不会发出 TSC 投切指令, 可有效避免 TSC 的震荡投切, 也将减少 TSC 投切次数和网侧涌流冲击, 增强系统稳定性。

3 RTDS 试验

3.1 试验模型

RTDS 仿真结构图见图 4。图 4 中 RTDS 仿真模型在 RTDS 系统中建立复合型电能质量调节装置的模型(见图 4 虚线框内), 将总控制器与 RTDS 的 IO

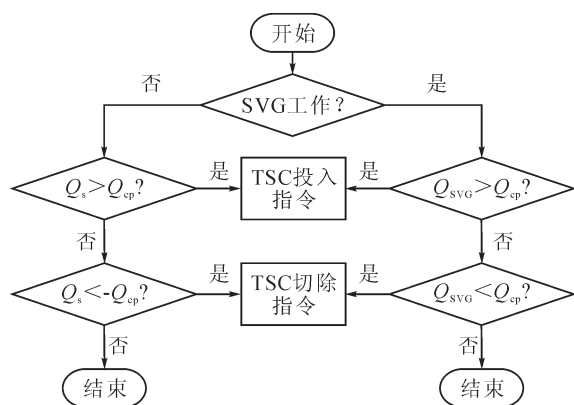


图 3 TSC 投切流程图

Fig. 3 The flow chart of TSC switch

端口相连, 连接信号见图 5。仿真模型中采用 6 组 TSC(1-4 组采用 Δ 型接法, 5-6 组采用 Y 型接法,) 和一台 SVG, 当负荷的无功功率变化在复合型电能质量调节装置的补偿范围内时, 总控制器通过控制 TSC 小组投切及 SVG 的输出, 两者复合工作, 能够准确、快速、连续地补偿电网无功功率。试验过程中, 先设定电源电压 380 V 和负荷有功 $P_L=50$ kW, 通过改变系统负荷无功功率 Q_L 的变化, 观察 SVG 补偿及 TSC 投切前后电网电压电流变化情况。

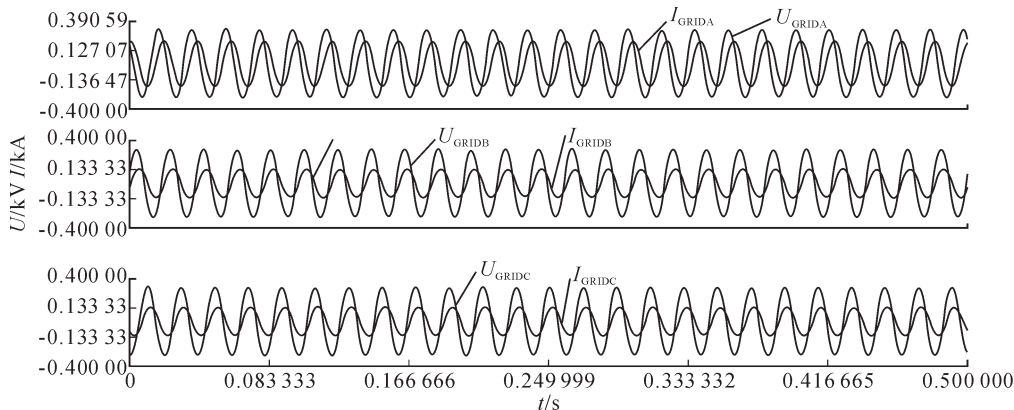


图 5 补偿前电流波形图

Fig. 5 The figure of current before the compensation

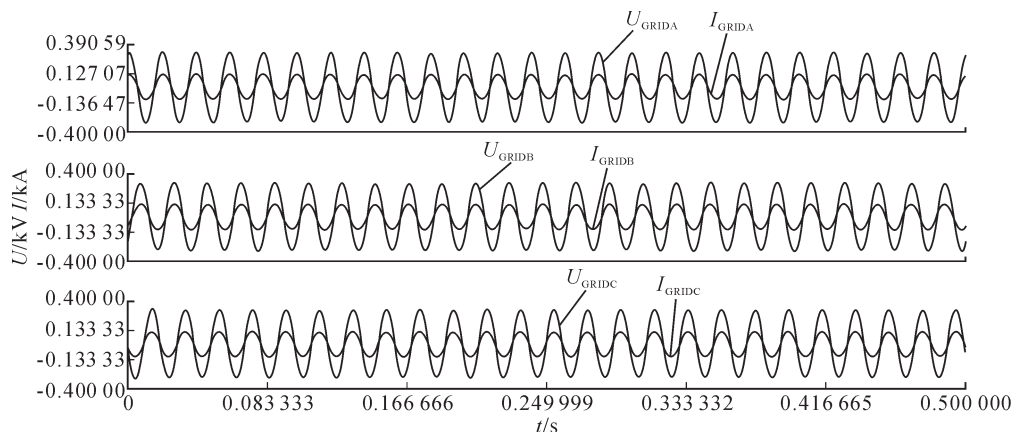


图 6 补偿后电流波形图

Fig. 6 The figure of current after the compensation

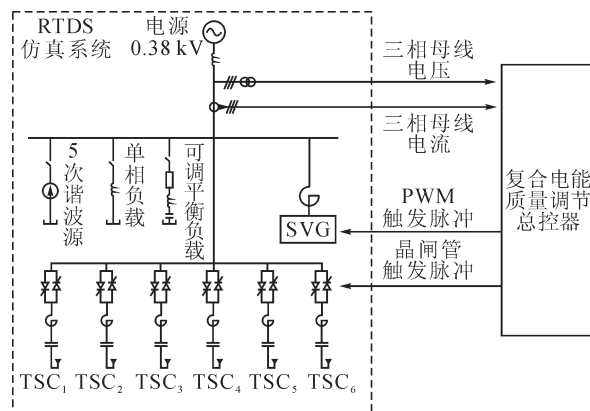


图 4 RTDS 仿真结构图

Fig. 4 The block of RTDS simulation

3.2 试验结果

首先设定感性无功负荷, 并在 A 相上投入一组不平衡负荷, 记录此时的电源电压电流波形图, 见图 5。可以观察到: 三相电流相位滞后于电压电压, 无功为感性, 且 A 相电流的幅值与相位滞后相对其他两相比较, 即无功功率不平衡。总控制开始工作后, 电流波形见图 6。可以观察到: 三相电流与电压相位基本一致, 且各相电流的幅值与相位也基本一致, 即补偿效果良好, 控制策略正确, 电能质量明显提高。

试验证明复合型电能质量调节装置可以很好地完成无功补偿及不平衡补偿功能。

4 结语

复合型电能质量调节装置是一种多功能的无功补偿装置,具有较高的性价比,经过 RTDS 系统的仿真试验,在总控制器的协调下装置可以实现无功功率的快速、连续补偿,同时具有不平衡补偿、滤波和防谐的能力,因此复合型电能质量调节装置对于提高功率因数、改善电能质量具有重要的推广价值。

参考文献:

- [1] 王兆安,杨君,刘进军. 谐波抑制与无功功率补偿[M]. 北京:机械工业出版社,2005.
WANG Zhao'an, YANG Jun, LIU Jinjun. Harmonic suppression and reactive power compensation[M]. Beijing: China Machine Press, 2005.
- [2] 罗安. 电网谐波治理和无功补偿技术及装备[M]. 北京:中国电力出版社,2006.
LUO An. Grid harmonic suppression and reactive power compensation technology and equipment[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2006.
- [3] 李颖峰,马永翔. 无功补偿及谐波抑制技术研究进展[J]. 陕西理工学院学报(自然科学版),2009,25(1):17-21.
LI Yingfeng, MA Yongxiang. On the development of the study of reactive power compensation and harmonic suppression[J]. Journal of Shaanxi University of Technology (Social Sciences), 2009, 25(1): 17-21.
- [4] 同向前,吴文俊,任碧莹. 电压源变换器在电力系统中的应用[M]. 北京:机械工业出版社,2012.
TONG Xiangqian, WU Wenjun, REN Biying. The application of voltage-source inverter in the power system[M]. Beijing: China Machine Press, 2012.
- [5] 郭国方. 无功补偿在城市配电网中的应用[J]. 电网技术, 2007, 31(S1): 229-230.
GUO Guofang. The application of reactive power compensation in the distribution system[J]. Power System Technology, 2007, 31(S1): 229-230.
- [6] 巩庆. 晶闸管投切电容器动态无功补偿技术及其应用[J]. 电网技术, 2007, 31(2): 118-122.
GONG Qing. Thyristor switched capacitor dynamic var compensation technology and its application[J]. Power System Technology, 2005, 31(2): 118-122.
- [7] 赵伟,罗安,唐杰,等. 静止无功发生器与晶闸管投切电容器协同运行混合无功补偿系统[J]. 中国电机工程学报, 2009, 29(19): 92-98.
ZHAO Wei, LUO An, TANG Jie, et al. The cooperation operation of SVG and TSC in the system[J]. Proceedings of the CSEE, 2009, 29(19): 92-98.
- [8] SU Hongsheng, LI Qunzhan. Rough controlling TSC for reactive current compensation in traction substations [C]// Proceedings of CES/IEEE 5th International Power Electronics and Motion Control Conference. Shanghai: IEEE, 2006: 423-427.
- [9] 马献宏. 静止无功补偿器 DSTATCOM 的研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2004.
MA Xianhong. Research on the DSTATCOM [D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2004.
- [10] 刘宏伟. 基于限容控制策略的有源电力滤波器并联运行研究[D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2007.
LIU Hongwei. Based on the limit of volume control strategy of the parallel operation of active power filter research [D]. Qinhuangdao: Yanshan University, 2007.
- [11] 唐杰, 罗安, 范瑞祥, 等. 无功补偿和混合滤波综合补偿系统及其应用[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(1): 88-92.
TANG Jie, LUO An, FAN Ruixiang, et al. Combined compensation system with reactive power compensation and hybrid active power filter and its engineering application [J]. Proceedings of the Chinese Society for Electrical Engineering, 2007, 27(1): 88-92.
- [12] RAO P, CROW M L, YANG Zhiping. STATCOM control for power system voltage control applications [J]. IEEE Trans. on Power Delivery, 2000, 15(4): 1311-1317.
- [13] FREITAS W, MORELATO A, XU W, et al. Impacts of AC generators and DSTATCOM devices on the dynamic performance of distribution system [J]. IEEE Trans. on Power Delivery, 2005, 20(2): 1493-1501.
- [14] PONNALURI S, STEINKE J K, STEIMER P, et al. Design comparison and control of medium voltage STATCOM with novel twin converter topology [C]// 35th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference. [S.l.]: IEEE, 2004: 2546-2552.
- [15] MOURSİ M S, SHARAF A M. Voltage stabilization and reactive compensation using a novel FACTS-STATCOM scheme [C]// 2005 Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering. Saskatoon: IEEE, 2005: 537-540.

雷颖(1970—),女,硕士,高级工程师,主要从事同步开关的研究及电力电子技术在电力系统中的应用研究。

范伟强(1986—),男,硕士,工程师,主要从事电力电子技术在电力系统中的应用研究。