

STATCOM 与固定电容组合的高压异步电动机动态无功补偿节能技术

胡国文^{1,2}, 於 锋^{1,2}, 王 威²

(1. 盐城工学院 电气工程学院, 江苏 盐城 224051;

2. 江苏大学 电气信息工程学院, 江苏 镇江 212013)

摘要: 提出了由 12 脉冲小容量静止同步补偿器(STATCOM)与多级并联固定有级电容组成大容量高压交流异步电动机动态无功无级柔性补偿技术最佳电路结构。通过计算机仿真,研究了补偿系统各级投切电容和 STATCOM 容量的选择计算方法。分析了两重 STATCOM 的主电路结构和工作原理,以及 12 脉冲 STATCOM 的控制方法。通过仿真研究表明,所提出的补偿技术方法具有大范围连续调节高压交流异步电动机动态无功功率的能力,谐波含量远低于仅采用 12 脉冲大容量 STATCOM 单独补偿,并且动态响应速度也较快,节能效果明显。

关键词: 高压异步电动机; STATCOM; 固定电容器; 动态无功补偿; 节能技术

中图分类号: TM 714.3

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2011)03-0075-04

0 引言

对交流异步电动机,尤其是高压大功率交流异步电动机的动态无功功率就地补偿和控制是减少电力系统功率传输损失、增加输电线路有功功率传输能力以及维持供电系统电压稳定的重要措施之一^[1]。本文在传统并联固定电容有级无功补偿技术方法基础上,提出了由小容量静止同步补偿器(STATCOM)^[2-3]与固定有级电容组成大容量的交流异步电动机动态无功无级就地补偿技术方法,并通过计算机仿真研究验证了该技术的可行性。

收稿日期:2010-04-11;修回日期:2010-12-12

基金项目:江苏省教育厅自然科学基金项目(07KJB470124)

Project supported by the Natural Science Foundation of the Educational Commission of Jiangsu Province(07KJB470124)

1 两重 STATCOM 的主电路结构和基本原理

系统组成如图 1 所示,12 脉冲逆变器为小容量 STATCOM^[2-3],通过变压器与 10 kV 配电母线相联后与 10 kV 高压异步电动机并联进行超前或滞后无功补偿,然后与多只 10 kV 高压并联固定有级电容器组

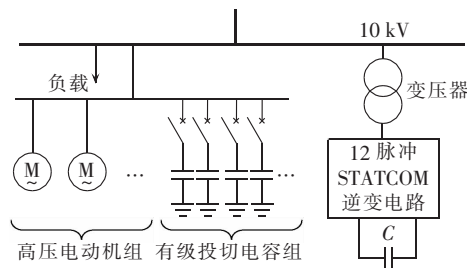


图 1 无功补偿系统组成

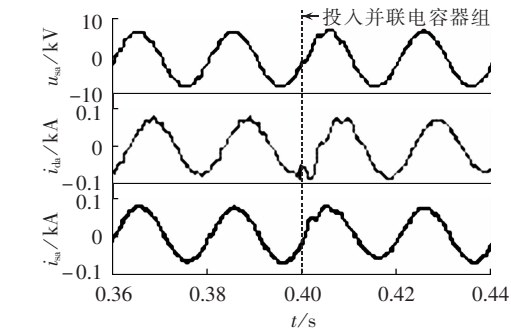
Fig.1 Structure of reactive power compensation system

产生 STATCOM 所需的无功电流 I_{qref} ,并且在这环节上使用了调差系数 K_1, K_2 等。STATCOM 无功电流 I_q 与参考值 I_{qref} 比较后经过 PI 调节器后产生所需要的控制角 $\Delta\alpha$ 。

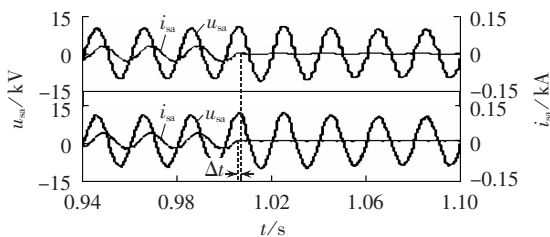
3 补偿系统仿真与分析

补偿系统开始工作时,由 STATCOM 实现对 10 kV/1.2 MV·A 三相高压异步电动机机组进行单独补偿。在 0.4 s 时投入并联电容器组,系统 a 相电压 u_{sa} 、电流 i_{sa} 和电动机 a 相电流 i_{da} 的仿真波形如图 4(a)所示,与固定电容一起工作。使 STATCOM 工作在较小区间,一方面有利于系统的无功储备,另一方面对抑制谐波有很大帮助。从图中可以看出在投入并联电容器组后,补偿波形有了很大改善,谐波含量也有效降低。在 1 s 时,当使高压电动机停止工作时,补偿系统能迅速做出反应,系统仿真波形如图 4(b)所示。当不并入固定电容而仅有 STATCOM 补偿时(图 4(b)上图),高压电动机在停机前后的补偿系统 a 相电压和电流波形中谐波含量均较大。当并入固定电容与 STATCOM 进行混合补偿时(图 4(b)下图),高压电动机在停机前后的补偿系统 a 相电压和电流波形中谐波含量均显著减小。电动机停机时 STATCOM 的无功补偿状态如图 4(c)所示,经过几个周期后 STATCOM 由容性区进入感性区。

在 1.5 s 时,高压电动机组重新启动时的系统仿真波形如图 4(d)所示。如果不并入固定电容而仅有 STATCOM 补偿时(图 4(d)上图),电机 a 相电流、电压谐波含量均较大。当并入固定电容与 STATCOM 进行混合补偿时(图 4(d)下图),高压电动机组重新启动后,补偿系统 a 相电压和电流波形中谐波含量均明显减小。STATCOM 无功补偿电流 i_q 变化情况如图 4(e)所示,从图 4(e) STATCOM 无功补偿电流变化情况可看出,与上述图 4(a)(b)(d)的情况是完全对应的。



(a) 投入固定电容时的系统电压、电流仿真波形



(b) 高压电动机在 1 s 停机时的系统电压、电流仿真波形

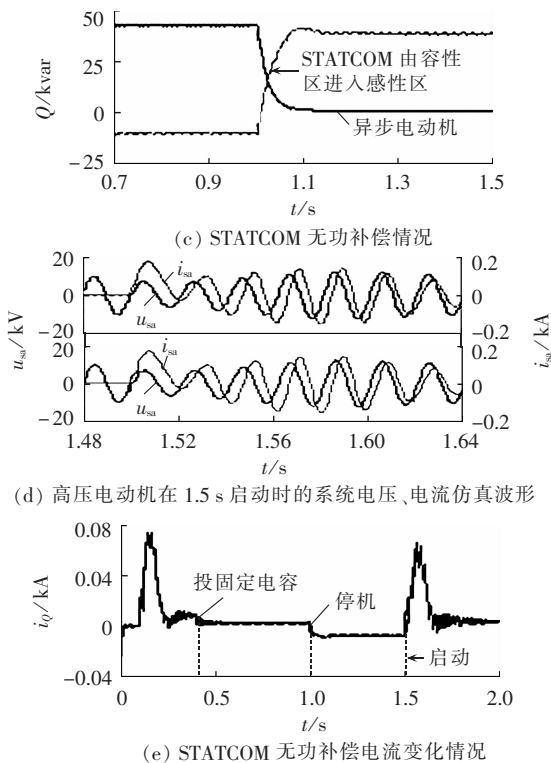


图 4 补偿系统仿真结果

Fig.4 Simulative results of compensation system

表 1 为该补偿系统所达到的无功补偿节能效果。表中,A 为补偿前,B 为 STATCOM 单独补偿后,C 为 STATCOM 与固定电容混合补偿后; λ 为功率因数,THD_i 为电流谐波含量, Q 为无功功率, W_q 为无功补偿节能。从表 1 数据可看出,由 STATCOM 进行单独补偿和由固定电容与 STATCOM 进行混合补偿,均可使功率因数得到显著提高,无功节能效果基本相同,均非常明显。但采用固定电容与 STATCOM 进行混合补偿后电流谐波明显减小,补偿效果要明显好于 STATCOM 单独补偿情况。这主要是由于采用固定电容与 STATCOM 进行混合补偿后,有效降低了 STATCOM 引起的高次谐波。

表 1 补偿系统无功补偿节能效果
Tab.1 Compensation and energy-saving effect of reactive power compensation system

补偿情况	λ	THD _i /%	Q /Mvar	W_q /%
A	0.56	0	0.646	0
B	0.98	5.9	0.086	86.7
C	0.98	3.8	0.087	86.5

4 结论

对 12 脉冲逆变器 STATCOM 的特性和控制方法,以及与固定有级电容组合形成大容量动态无功无级补偿技术方法进行研究,结果表明:

a. 采用由小容量的 STATCOM 与固定有级电容组成大容量的交流异步电动机动态无功无级就地补偿技术方法是可行的,无功节能效果明显,可有效降低动态无功补偿技术装置的制造成本和运行成本;

b. 采用并联固定有级电力电容器与 12 脉冲逆变器 STATCOM 对高压三相异步电机进行混补,在有效降低补偿后的电流谐波方面要好于由 12 脉冲逆变器 STATCOM 进行单独补偿的情况;

c. 12 脉冲逆变器 STATCOM 能快速平滑调节容性和感性无功,与并联固定有级电力电容器组合后进行混合补偿,可有效提高传统固定有级电力电容补偿装置的快速响应性,同时可快速实现动态无功的连续调节和交流异步电动机动态无功的无级就地补偿。

参考文献:

- [1] 陈劲操. 就地无功补偿策略研究及实现[J]. 电力自动化设备, 2002, 22(9): 63-65.
CHEN Jingcao. Research and realization of field var compensation tactics[J]. Electric Power Automation Equipment, 2002, 22(9): 63-65.
- [2] 王兆安, 黄俊. 电力电子技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004: 76-79.
- [3] 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, 2004: 23-34.
- [4] 周国威, 吴胜利. 电网中谐波的危害及消除高次谐波的方法[J]. 电力电容器, 2006(2): 22-26.
ZHOU Guowei, WU Shengli. The harm of harmonic in the power grid and the method of restraining the harmonic[J]. Power Capacitor, 2006(2): 22-26.
- [5] 李增国, 丁祖军, 梅军. 基于 $d-q$ 坐标的谐波与无功电流检测方法 & 仿真分析[J]. 电力自动化设备, 2009, 29(11): 71-73.
LI Zengguo, DING Zujun, MEI Jun. Simulative analysis of harmonic and reactive currents detection based on $d-q$ transformation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2009, 29(11): 71-73.
- [6] 陈锐坚, 徐政. 低压静止同步补偿器的研究[D]. 北京: 清华大学电机系, 2004.
CHEN Ruijian, XU Zheng. Research of low-voltage STATCOM [D]. Beijing: Tsinghua University, 2004.
- [7] 陈建业. 电力电子电路的计算机仿真[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003: 158-164.
- [8] 龚锦霞, 卢婧婧, 解大, 等. 一种新型动态无功补偿器的控制算法[J]. 电力自动化设备, 2009, 29(5): 89-93.
- [9] GONG Jinxia, LU Jingjing, XIE Da, et al. Control strategy for dynamic var compensation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2009, 29(5): 89-93.
- [9] 王超. 静止无功补偿器 D-STATCOM 的研究[D]. 西安: 西安理工大学自动化与信息工程学院, 2003.
WANG Chao. Research on STATCOM in distribution system[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2003.
- [10] RASHID M H. 电力电子技术手册[M]. 陈建业, 译. 北京: 机械工业出版社, 2000: 511-512.
- [11] 茅靖峰, 孙玉坤, 吴爱华, 等. 静止同步补偿器装置建模、控制与仿真研究[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(10): 2332-2336.
MAO Jingfeng, SUN Yukun, WU Aihua, et al. Modeling, control and simulation of static synchronous compensator[J]. Journal of System Simulation, 2007, 19(10): 2332-2336.
- [12] SCHAUDER C, MEHTA H. Vector analysis and control of advanced static var compensations[J]. IEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution, 1993, 140(4): 299-306.
- [13] 汪飞, 何湘宁. 基于多重化结构的并网逆变器系统特性研究[J]. 电力电子技术, 2005, 39(1): 17-19.
WANG Fei, HE Xiangning. Research on grid-connected inverters based on a multiple structure[J]. Power Electronics, 2005, 39(1): 17-19.
- [14] JOOS G, MORAN L T, ZIOGAS P D. Performance analysis of a PWM inverter var compensator[J]. IEEE Trans Power Electron, 1991, 6(3): 380-391.

(编辑: 柏英武)

作者简介:



胡国文

胡国文(1957-), 男, 江苏宝应人, 教授, 博士, 研究方向为电力电子技术在电力系统中的应用与节能技术、风光互补风力发电与并网技术、建筑电气与智能化技术等(E-mail: hgw3358@163.com);

於 锋(1985-), 男, 江苏吴县人, 硕士研究生, 研究方向为农业电气化和风光互补发电与并网技术;

王 威(1985-), 男, 河南驻马店人, 硕士研究生, 研究方向为农业电气化和电力电子技术。

Energy-saving technology of dynamic reactive power compensation based on STATCOM and fixed capacitor for HV induction motor

HU Guowen^{1,2}, YU Feng^{1,2}, WANG Wei²

(1. School of Electrical Engineering, Yancheng Institute of Technology, Yancheng 224051, China;

2. School of Electrical and Information Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract: The best circuit configuration of dynamic reactive power compensation for AC induction motors is proposed, which consists of a small-size 12-pulse STATCOM and the cascaded parallel capacitor banks. By computer simulation, the capacity calculation and selection of switched capacitor and STATCOM is studied and the main circuit configuration and working principle of dual-STATCOM are discussed. The control strategy of 12-pulse STATCOM is researched. Simulative results show that the proposed compensation system may continuously adjust in large range the dynamic reactive power of AC induction motors, resulting in obvious energy-saving effect. It has better dynamic response and less harmonics than the large-size 12-pulse STATCOM working alone.

Key words: high-voltage induction motor; STATCOM; fixed capacitor; dynamic reactive power compensation; energy-saving technology