

梧州 SVC 在电压控制下无功储备优化分析

卢志良^{1,2}, 张尧²

(1. 南方电网超高压输电公司检修试验中心, 广东 广州 510663; 2. 华南理工大学, 广东 广州 510640)

摘要: 研究了梧州 SVC 装置应用于电力系统中的电压支撑作用, 保证当出现电压跌落时, SVC 装置的控制策略使设备对 500 kV 电压起支撑作用。研究了梧州变电站加装 SVC 装置的实际应用的控制策略, 通过设备控制保护系统 RTDS 仿真试验, 测试 SVC 装置的实际 V-I 特性曲线与理论作比较, 分析 V-I 曲线斜率对装置无功储备及对系统电压支撑的关系。研究结果表明, 慢速导纳控制参数中调差率设定为 0.02-0.03 时, 将大大提高装置正常运行方式下的无功储备, 提升 SVC 装置抑制电压波动的性能。

关键词: 静止无功补偿器; 电力系统; 电压控制; V-I 特性; 慢速导纳控制

Analysis on reactive reserve optimization of SVC under voltage control in Wuzhou power net

LU Zhi-liang^{1,2}, ZHANG Yao²

(1. M&T Center, EHV Power Transmission Company, Guangzhou 510663, China;

2. South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: The paper studies voltage support role of SVC device in power system in Wuzhou, how to ensure that when there is a voltage drop, SVC device control strategy plays a supportive role to 500 kV voltage equipment. By studying the practical application of SVC device control strategy in Wuzhou substation, and control and protection system simulation test by RTDS, it tests SVC V-I characteristic curves of the actual device to compare with the theoretical value, and analyzes the relationship of slope of VI curve between reactive power reserves of the device and the system voltage support. The results show that the when slow transfer admittance slip control parameter is set to 0.02-0.03, it will greatly enhance the device's power reserve under normal operation mode, and increase SVC device performance on inhibiting voltage fluctuation.

Key words: static var compensator; power system; voltage control; V-I characteristics; slow admittance control

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)08-0137-03

0 引言

广西电网处于南方电网中部, 是南方电网的重要组成部分, “十一五”期间, 广西 500 kV 电网将以南方电网“西电东送”主网架为基础, 结合龙滩水电站、钦州电厂、防城港电厂等重大电源外送输电工程以及云电外送滇南交流通道的建设, 重点构建广西南部沿海和东北部 500 kV 电网, 逐步完善境内 500 kV 网架, 至 2010 年, 广西 500 kV 主网架将形成较为完善的多环网状结构。

广西电网既是受端电网, 又是跨省区骨干电网的电压支撑电网, 而广西直接接入 500 kV 系统的仅有岩滩电厂 4 台 300 MW 机组和合山新厂 2 台 330 MW 机组, 作为重要枢纽站支撑的来宾电厂、来宾 B 厂和柳州电厂机组全部接入 220 kV 系统, 使广西 500 kV 主电网的动态无功容量不足, 动态无功调节

能力差, 直接影响“六交”输电能力的发挥, 特别是南通道由于缺乏相应的电源支持, 主网架电压支持能力不足。因此, 在广西 500 kV 变电站安装 SVC, 其快速、动态的电压无功支撑能力可有效抑制通道上的电压波动, 阻尼系统振荡, 提高输电能力^[1]。本文通过对 SVC 慢速导纳控制策略的论述, 对试验数据进行分析。由试验波形可以看出, SVC 装置在起电压支撑的控制模式下, 无功储备最大化的控制效果。

1 南方电网广西 SVC 装置的控制策略

1.1 广西梧州 SVC 装置概述

广西电网东临广东电网, 西接贵州电网、云南电网, 梧州 SVC 装置装于 500 kV 梧州变电站 2 号变 35 kV 低压侧, SVC 的一次接线图如图 1 所示。作为南方电网西电东送重要枢纽, 在广西段安装动

态无功补偿装置将对电压稳定起促进作用, 而 SVC 的控制策略则是其控制行为和控制效果的关键, 国内外对应用于电网的 FACTS 装置的控制策略研究

一直比较关注^[1-5], 而不同的工程将根据不同的实际系统进行详细的设计。

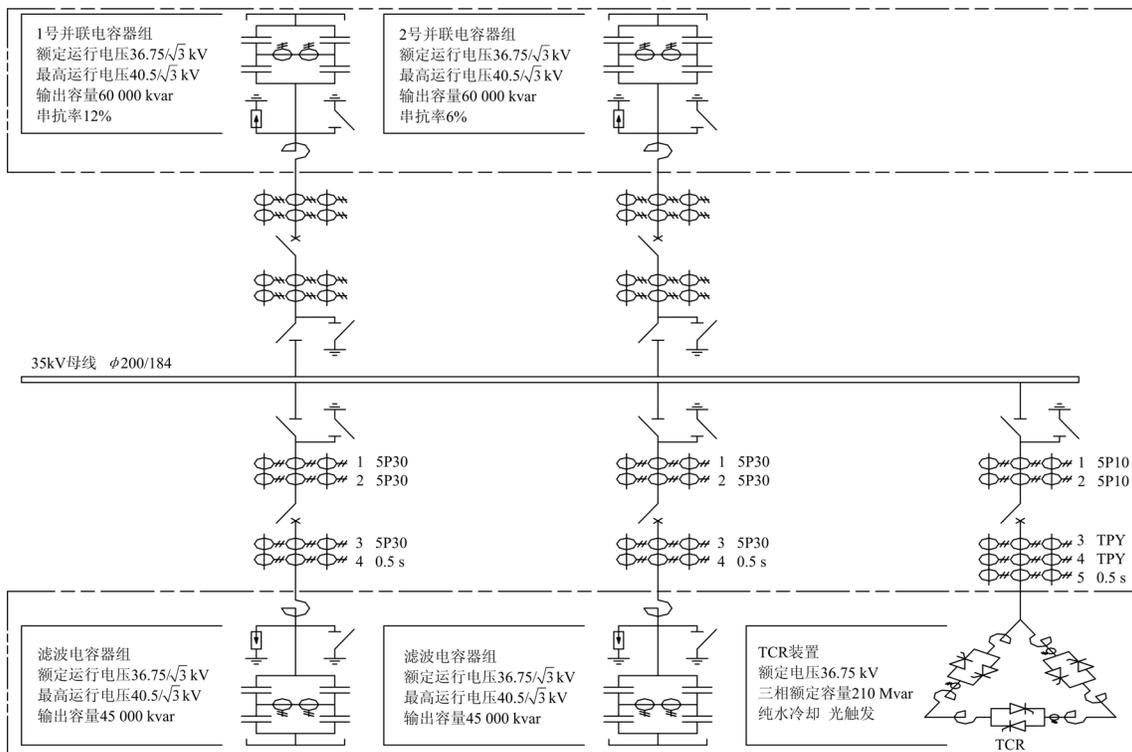


图 1 梧州 SVC 一次接线图

Fig.1 Structure of SVC in Wuzhou

1.2 梧州 SVC 装置电压控制策略

SVC 装置主要通过控制电容器组投切和调节 TCR 无功输出, 实现其控制功能。梧州 SVC 以稳定 500 kV 母线电压为主要控制目标, 兼顾 35 kV 侧母线电压水平, 并有越限判断、限值管理、实时记录等功能。SVC 控制系统实时采集 500 kV 母线电压, 计算当前电压水平与原设定参考值的差值大小, 自动调节 TCR 触发角大小和自动投切电容器组, 实现 500kV 母线电压的稳态控制, 基本模型如图 2 所示。

其中稳态 V-I 特性中包含有电压死区, 如果没有这个电压死区, 为了实现电压调节, SVC 的稳态运行点会浮动到无功极限处, 但后续电压控制或镇定系统扰动时的电压偏移, 却不希望 SVC 只有很小的无功裕度。为了防止这种浮动, 在 V_{ref} 周围设置一个死区就能将 SVC 的电流限制在零或零值附近, 具体的数值取决于死区的位置。这样, 无功功率就保持在一个设定值上, 典型情况下等于滤波器的无功输出。这个无功输出非常小, 因此总的运行损耗可以达到最小。一个慢速的电纳调节器被用来实现这个电压死区, 其时间常数达数分钟。同时, 电纳调节器在快速暂态过程中几乎没有作用, 因此它不会干扰电压调节器的工作。

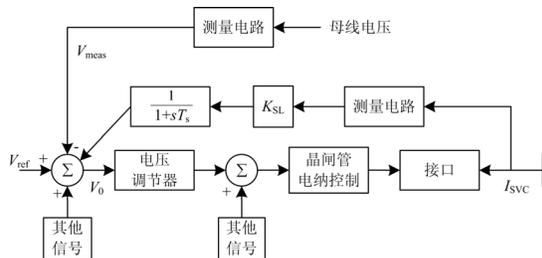


图 2 控制系统逻辑图

Fig.2 Logical diagram of the SVC controller

2 慢速导纳控制试验

2009年1月12日, 对梧州SVC装置采取RTDS系统进行慢速导纳控制试验, 整定慢速导纳控制参数, 其中启动条件为 $528 \text{ kV} < U_{meas} < 538 \text{ kV}$, 稳定持续时间不小于5 min; 退出电压门槛值为524 kV, 稳

定持续时间不小于10 s。

试验前SVC装置已处于电压控制稳定状态, 试验数据及波形如表1、图3所示。试验数据记录系统慢速导纳控制功能投入前后系统电压、电流及SVC侧电压、电流等各数值。

表1 慢速导纳控制测试数据

Tab.1 Test data of slow admittance control

		500 kV	500 kV	35 kV	35 kV	TCR相电流
		电压	电流	电压	电流	
试验前 稳态量	$U_{AB}(I_A)$	532.61	291.14	37.37	1 273.67	1 217.77
	$U_{BC}(I_B)$	532.81	289.49	37.26	1 265.56	1 216.77
	$U_{CA}(I_C)$	531.08	289.28	37.36	1 272.25	1 218.96
试验后 稳态量	$U_{AB}(I_A)$	530.64	269.34	36.27	297.84	1 732.56
	$U_{BC}(I_B)$	531.73	267.91	36.18	298.07	1 725.73
	$U_{CA}(I_C)$	529.70	267.53	36.32	299.56	1 728.34
试验前 稳态量	触发角	125.32	TCR支路 无功功率	\	35 kV侧 无功功率	77.05
试验后 稳态量	触发角	116.71	TCR支路 无功功率	\	35 kV侧 无功功率	7.39

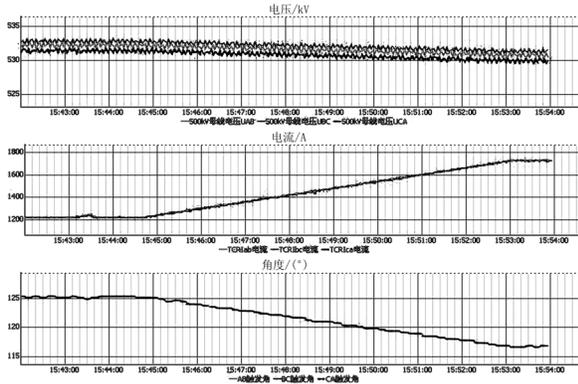


图3 慢速导纳控制测试波形

Fig.3 Slow admittance control waveforms

3 SVC 慢速导纳控制在电网的控制特性和效果分析

广西电网的负荷中高能耗用户比重大, 负荷波动大, 加上对用户功率因数考核方法不尽合理, 用户不积极加装无功补偿, 也不能按电网需要及时投切无功补偿装置, 造成电网电压无功波动大。此外受季节影响, 空调负荷对电网负荷的影响也比较大, 因此广西电网的峰谷差比较大。SVC 装置的暂态电压支撑大小决定于故障前装置的无功储备大小, 对于梧州变来说, 由于该点 SVC 装置安装容量为 210 Mvar, 系统短路容量约 14 439.52 MVA, 如何有效地使用 SVC 装置作为稳定电压前提下, 无功储备最大化具有重要意义。

从试验效果整体看来, SVC 装置具备该功能时, 具有增加无功储备, 为下一个扰动到来时有足够的无功容量来有效地响应这个扰动。该功能运行机理如图 4 所示, 假设 SVC 初始的稳态运行点为 1, 即系统负荷线与 SVC 的 V-I 特性曲线的交点。如果系统突然发生扰动, 使 SVC 的母线电压降低了 ΔV_T , 由于定电压控制的作用, SVC 的运行点将迅速移动到 2, 点 2 是新的系统一负荷线与 SVC 的 V-I 特性曲线的交点。

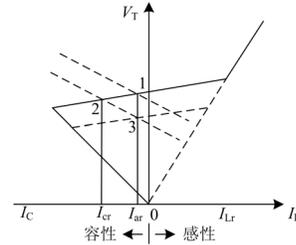


图 4 SVC 运行 V-I 特性

Fig.4 V-I characteristics of SVC

如果上述的电压下降维持一定时间, 慢速导纳控制就会通过慢速的积分控制作用将SVC的参考电压值降低 ΔVSR , 从而使SVC的稳态工作点移动到 3。这样, 尽管SVC电压已经低于期望的参考值, 但SVC的无功功率可控范围得到了恢复, 从而仍然具有抵御系统事故的能力。邻近的无功电源这时可以投入, 以提升SVC的电压达到期望的值。与此同时, 在SVC的V-I特性中调差率作为其关键数值, 所谓调差率, 指SVC在线性控制区域内V-I特性曲线中的斜率, 其取值范围一般为 $[0.01, 0.1]$, 典型值为 $0.05^{[6-7]}$ 。对于梧州SVC装置, 其V-I曲线只有容性部分, 调差率可设定为 $0.02\sim 0.03$ 较为适宜。

4 结论

梧州 SVC 装置慢速导纳控制试验验证了在提高系统电压稳定性的同时, 提高 SVC 装置无功功率储备功能, 增大扰动电压支撑储备。对于梧州站来说, 由于其日常电压波动频繁, 若 SVC 装置单纯作为一个电压调节功能, 将失去其系统故障时电压支撑的作用, 增加慢速导纳控制功能, 将大大进一步体现 SVC 装置的主要性能。

参考文献

[1] 梁健. SVC 静补装置在广西电网中的应用[J]. 广西电力, 2006(12):77-80.
LIANG Jian. Use of SVC in Guangxi Power Grid[J]. Guangxi Electric Power, 2006(12):77-80.

(下转第143页 continued on page 143)

且数值基本相等。三相电流不符合 $i_A = i_B = i_C = i_0$,但是满足 $i_A + i_B + i_C \approx 3i_0$ 关系,三相电流相位也不完全相同。为什么会产生这样的现象,是值得关注和探究的问题。而且随着间隙距离的调整,此类误击穿现象逐渐减少,取得此类波形的几率也将减小,因此这些波形及数据很值得保存、研究。

参考文献

- [1] 张文峰. 110 kV 分级绝缘变压器中性点过电压保护探讨[J]. 广东电力, 2000, 13 (1) : 5-7.
ZHANG Wen-feng. A Research of Neutral-point Over-voltage Protecting for 110 kV Stepped Insulator Transformer[J]. Guangdong Electric Power, 2000, 13 (1) : 5-7.
- [2] 李谦, 彭向阳. 广东省变压器 110 kV 及 220 kV 中性点保护故障分析[J]. 广东电力, 2000, 13 (3) : 42-45.
LI Qian, PENG Xiang-yang. A Failure Analysis of Neutral-point Protecting of 110 kV and 220 kV Transformer in Guangdong Province[J]. Guangdong Electric Power, 2000, 13 (3) : 42-45.
- [3] 彭向阳, 钟定珠, 等. 变压器中性点间隙保护问题分析与建议[J]. 南方电网技术研究, 2005, 1 (2) : 39-43.
PENG Xiang-yang, ZHONG Ding-zhu, et al. An Analysis and Research of Transformer Neutral-point Discharge Spark Gap Protecting[J]. Southland Network Technique Research, 2005, 1(2):39-43.
- [4] 石健, 戴和彩, 王珩. 线路故障引起的主变中性点放电间隙击穿[J]. 农村电气化, 2006, 26(3).
SHI Jian, DAI He-cai, WANG Heng. The Disruption of Transformer Neutral-point Lighting Gap Aisen by Transmission Line Fault[J]. Country Electrization, 2006, 26(3).
- [5] 解广润. 电力系统过电压[M]. 北京: 水利电力出版社, 1985.
XIE Guang-run. The Over-voltage of Electric Power System[M]. Beijing: Water Conservancy and Electricity Press, 1985.
- [6] 贺家李, 宋从矩. 电力系统继电保护原理(增订版)[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
HE Jia-li, SONG Cong-ju. Principles of Protective Relaying of Electric Power System, Revised and Enlarged Edition[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2004.
- [7] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术(第 3 版)[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
ZHU Sheng-shi. Principles and Techniques of Protective Relaying of High-voltage Power Electric Network, The Third Edition[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2005.
-
- 收稿日期: 2009-05-21; 修回日期: 2009-09-09
- 作者简介:
魏莉 (1971-), 女, 本科, 工程师, 长期从事电力系统继电保护整定计算及动作分析; E-mail: gygdweili@tom.com
郑涛 (1975-), 男, 博士, 副教授, 从事继电保护教学和科研工作;
彭建宁 (1967-), 男, 硕士, 高工, 从事高压试验、系统分析管理等工作。
-
- (上接第 139 页 continued from page 139)
- [2] 杨晓东, 房大中, 刘长胜, 等. 阻尼联络线低频振荡的 SVC 自适应模糊控制器研究[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23 (1): 55-59.
YANG Xiao-dong, FANG Da-zhong, LIU Chang-sheng, et al. An Adaptive SVC Fuzzy Controller for Damping Tie-link Low Frequency Oscillation[J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23 (1): 55-59(in Chinese).
- [3] 唐忠健, 陈学允. SVC 与发电机励磁的非线性状态 PI 协控制[J]. 电网技术, 2001, 23 (2): 30-34.
TANG Zhong-jian, CHEN Xue-yun. Nonlinear State PI Control for Var Compensator (SVC) Cooperating with Excitation System of Generator[J]. Power System Technology, 2001, 23 (2): 30-34(in Chinese).
- [4] 蔡超豪. 无功补偿器的非线性 H^∞ 控制[J]. 电网技术, 2002, 26 (6) : 36-38.
CAI Chao-hao. Non-linear H^∞ Control of Static Reactive Power Compensation[J]. Power System Technology, 2002, 26(6): 36-38(in Chinese).
- [5] 邱宇, 陈学允. 用于静止无功补偿器的非线性 PID 控制器[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22 (11) : 41-44.
QIU Yu, CHEN Xue-yun. The New Nonlinear PID Controller for SVC[J]. Proceedings of the CSEE, 2002, 22 (11) : 41-44(in Chinese).
- [6] Mathur R M, Varma R K. Thyristor-based FACTS Controllers for Electrical Transmission Systems[M]. Beijing: China Machine Press, 2005.
- [7] Kundur P. Power System Stability and Control[M]. New York(USA): McGraw-Hill Inc, 1994.
-
- 收稿日期: 2009-05-11; 修回日期: 2009-07-14
- 作者简介:
卢志良 (1979-), 男, 本科, 工程师, 主要从事高压直流输电控制保护、电能质量分析、静止型无功补偿装置等研究; E-mail: Luzl@ehv.csg.cn
张尧 (1948-), 男, 教授, 博士, 博士生导师, 主要研究方向为电力系统运行与稳定、电力市场、电网规划。