

机电技术

SVC 对云南电网输电能力的影响

季朝旭¹ 束洪春¹ 孙士云¹ 林喜撑² 周海成¹ 王亚楠¹

¹(昆明理工大学电力工程学院¹,昆明 650051;台州电业局²,台州 317000)

摘要 从提高输电能力方面研究交换虚拟电路(Switching Virtual Circuit, SVC)的影响。通过基于时域仿真的输电能力和基于功率传输路径的电压稳定性分析,确定 SVC 的作用和初步装设地点。对 2015 年云南电网的外送断面暂态功率传输极限进行了仿真分析。仿真结果表明,云广直流单极闭锁为外送断面暂态稳定传输极限的约束故障;对云南电网 SVC 装设方案进行计算和分析,获得了对云南外送极限的能力提高的效果,并给出了理想配置地点。

关键词 静止无功补偿器 云电送粤 输电能力

中图法分类号 TM721.1 TM712; 文献标志码 A

2010 年南方电网 ± 800 kV 云南—广东直流输电工程^[1] 建成投运, 到 2015 年南方电网的西电东送输电通道(不含鲤鱼江电厂专线)仍为“八交五直”。云南电网 2015 年主干网架如图 1 所示。云南电网作为广东电网的送端电源网, 其稳定性尤为重要。断面暂态安全传输极限^[2~3] 分析能清楚的找到电网的薄弱环节。进行改进提出提高稳定水平的措施, 保证大容量、远距离、交直流并联南方电网的安全稳定运行具有重要的现实意义。如果在线路中间电压支撑薄弱点装设 SVC, 则可充分发挥其对电压变化的快速控制能力, 使这些母线电压维持在给定值附近, 从而提高系统的暂态稳定性, 增加网络的输电能力^[4]。

在本文中从输电能力方面研究了 SVC 对云南电网的影响。采用时域仿真法求取关键线路或输电断面的功率传输极限，并以此来考察系统的输电能力，说明了影响它们的主要因素，给出了初步装设地点；对云南电网各 SVC 装设方案进行计算分析，得到了对网络输电能力提高的效果，确定了最佳的配置地点。

2010年11月22日收到 国家自然科学基金项目(50467002)资助
第一作者简介:季朝旭(1986—),男,浙江温州人,硕士,研究方向:
电力系统分析与控制。

1 暂态稳定性分析

云电送粤(外送)断面由云广Ⅰ回直流(正负两极)、云广Ⅱ回直流(正负两极)、云广Ⅳ回直流(正负两极)、罗平—天生桥交流、罗平—百色(两回)交流、文山—靖西(两回)交流线路组成。目标网架为2015年南方电网丰大方式。正常运行方式下,调整方式为云南电网机组增加出力、广东电网增加负荷。

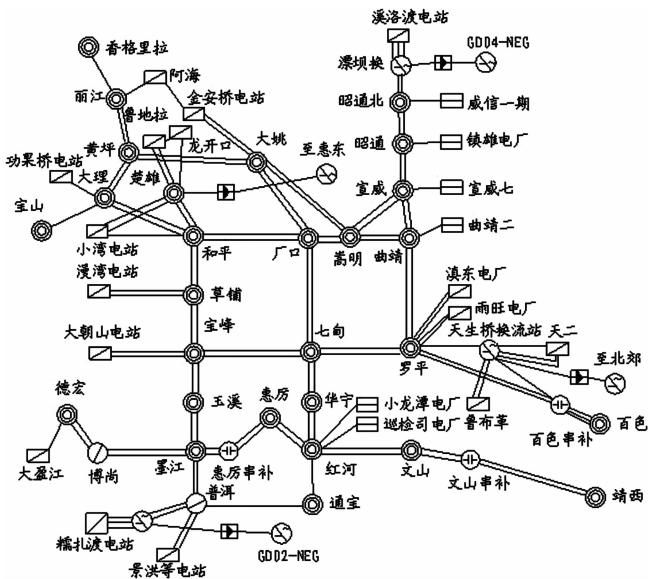


图 1 2015 年云南 500 kV 电网结构图

该方式在云南省内最主要影响其南通道的潮流。预想故障集为500 kV交流双回(三回)线路中一回线路发生三相短路跳开故障线路同时另一回(另两回)线路保护也误动作跳闸故障情况以及500 kV线路发生三相短路、故障线路一侧开关单相拒动,由开关失灵保护动作跳开本线路及相关线路或其它元件故障情况。故障后0.1 s开关动作切除故障线路。

云南电网500 kV系统相对比较强壮,2015年各基本方式下,云南网内500 kV双回线路或者环网线路发生三相短路,保护0.1 s动作,系统都能够保持稳定;500 kV单回线路发生三相、单相或者单瞬故障,主网都能够保持稳定。因此,考虑云南南通道上任一500 kV线路发生三相短路时系统东送断面的暂态稳定极限。当墨江—建水500 kV线路发生三相短路时。断面暂态稳定传输极限见表1。

表1 断面传输极限表

故障	暂态断面 传输极限 /MW	电压临界 稳定裕 度/%	功角临界 稳定裕 度/%	频率临界 稳定裕 度/%
云广 I 回 直流单极 闭锁	8 486.97	4.21	15.11	99.99
墨江建水 三相	9 229.63	58.04	61.90	99.99

结果表明500 kV交流线路三相短路比云广I回直流单极闭锁故障对云电送粤断面暂态稳定传输极限的影响小。当云广I回直流发生单极闭锁故障,2 500 MW直流功率转移主要影响到“西电东送”交流通道的云南—广西—广东电网的潮流分布及压降。如果故障前云南交流外送功率减少,则故障后云南—广西—广东交流通道的潮流相对较轻,引起送电通道的压降就会较小。因此,云广直流单极闭锁为云电送粤断面暂态稳定传输极限的约束故障。在云广直流单极闭锁下云电送粤断面暂态稳定传输极限功率为8 486.97 MW,能满足7 800 MW的协议送电功率。某些关键的超高压线路故障对系统电压稳定性的影响要远大于中低压线路故

障。这是由于超高压输电线路发生故障而开断时,功率的转移将会造成无功损耗迅速增加,同时系统还将会失去故障线路的充电功率,限制对外送电的制约因素是缺乏足够的动态无功^[5,6]支持。

在电网220 kV及以上变电站中装设动态无功补偿设备(SVC)具有制约因素少、实施简单、投资省、建设周期短的优点;是提高电网输送能力的有效手段,因此建议将SVC作为解决云南电网输电能力问题的一种措施。

2 静止无功补偿器

SVC的显著特点是能快速,连续地对波动性负荷进行补偿,有效地抑制系统电压波动和闪变,同时滤除系统中的高次谐波,并通过分相调整改善系统的三相平衡度。其工作原理简述如下。

TCR+FC型静补装置运行原理。FC回路的C为固定值,所以超前的无功功率Q_c为固定值,当负载滞后且其无功功率Q_f变化时,可以通过调整可控硅的导通角控制滞后无功功率Q_L,使SVC总的无功输出Q_Z=Q_c-Q_L发生变化。当负荷增大时,TCR产生的无功功率Q_L减少;当负载Q_f减小时,TCR产生的无功功率Q_L增加。即不管负载的无功功率如何变化,总要使由系统供给的无功功率Q_s=Q_f+Q_L-Q_c近似等于常数,以抑制负载波动所造成的系统电压波动和闪变。

SVC中的可控部分(TCR)由可控硅阀和空心线性电抗器组成。可控硅的触发角可在90°~150°范围内变化,使TCR的无功功率Q_L从100%变化到0°。TCR触发角和导通角之间的关系如式(2-1)所示。

$$\alpha + \sigma/2 = \pi \quad (2-1)$$

式(2-1)中:σ—可控硅导通角;α—可控硅触发角。

TCR基波电流有效值为:

$$I_{L1} = \frac{\sigma - \sin\sigma}{\pi X_1} U \quad (2-2)$$

式(2-2)中:U—系统基波电压;X₁—电抗器电抗值。

导通角与等效电纳之间是非线性关系,通常在

触发回路中插入线性化校正环节,以补偿导通角与等效电纳之间的非线性。

SVC 的伏安特性如图 2 所示。

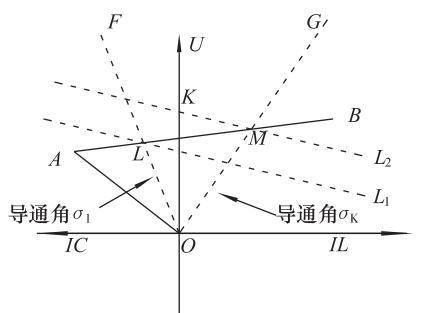


图 2 SVC 伏安特性

如前所述,SVC 动态无功补偿的目的是为了抑制电压波动和闪变,从图 2 可以清楚地看出 SVC 对电压波动的抑制作用。 AB 为 SVC 伏安特性的可控区,在感性负载下,系统正常工作时的负载特性如直线 L_1 所示,二者的交点 L 为系统正常运行时的电压。在 SVC 可控区 AB 上, L 点对应的可控硅导通角为 σ_1 ,因此 L 点也可以看成是导通角为 σ_1 时 SVC 等效电抗伏安特性 OF 与系统负载线 L_1 的交点。当系统负载变化,造成系统负载线突然从 L_1 上升至 L_2 ,使电压升高至 K 点时,SVC 将调整可控硅的导通角为 σ_K ,其等效电抗伏安特性为 OG 与负载线 L_2 交于 M 点,此时 SVC 提供滞后无功电流 I_L (在 SVC 伏安特性的第一象限)在系统阻抗上产生电压降,抑制负载变化造成的电压波动,以保持供电电压不远离正常值。同理,当系统负载变化使电压降低时,SVC 将提供的超前无功电流 I_c (在 SVC 伏安特性的第二象限),抑制其造成的电压波动。

对于负载产生的负序分量,根据 Steinmetz 原理(两相无功平衡一相有功),SVC 的调节器可对系统的有功和无功分量进行实时采样并计算,然后对 TCR 分相调整实现负序补偿,改善系统的三相平衡度。

SVC 中的 FC 回路,除了配合 TCR 的动态调整之外,兼有提高系统功率因数的作用,同时滤除 TCR 和负载产生的高次谐波。

3 装设 SVC 方案研究

根据 SVC 应用技术原则,结合云南电网特点,SVC 的配置必须配合正常运行调压的要求,在此基础上,SVC 正常运行时应留有尽可能多的容性无功备用,以加强电网的动态无功支撑,达到提高输电能力的目的,分析 SVC 作用效果,据此确定 SVC 装设方案。

通过电力系统分析综合程序的用户自定义功能实现基于比例调节器的 SVC 动态模型^[7,8]。SVC 采用 FC-TCR 型静止无功补偿装置,控制系统为 PID 反馈控制,其参数如表 2 所示。

表 2 SVC PID 控制器参数

X_{sh}/pu	-1.6	$\Delta B_{mix}/pu$	1.0	T_i/s	0.02
K_1/pu	150	B_{max}/pu	1.0	T_m/s	0.02
$\Delta B_{max}/pu$	1.0	B_{mix}/pu	1.0	T_{th}/s	0.1

3.1 装设 SVC 站点和容量

SVC 对系统动态和稳态性能的改善主要体现为两方面的作用,一是在一定范围内对电压扰动进行控制。同时在机组第一摆暂态稳定过程中发挥对电压变化的快速控制,以增强系统的暂态稳定性;二是通过改变无源器件的电纳来控制注入系统(或从系统吸收)的无功功率,来提高(或降低)系统电压,进而增加(或减少)负荷吸收的有功功率,改善对发电机组的冲击功率,从而实现对功率振荡的抑制。

SVC 安装地点选择原则:西南水电外送的通道或送端负荷中心;云广 ±800 kV 直流输电送端;所选 500 kV 变电站没有主力电厂接入或者动态无功支撑较弱等。根据上述原则,具体的安装地点初步选择在墨江、玉溪、和平、楚雄和昭通站。

墨江、玉溪、和平和昭通均为 500 kV 枢纽变电站,楚雄站为云广 ±800 kV 直流输电换流站,各站主变容量及低压无功补偿设备情况如表 3 所示。

表3 SVC容量及变电站低压无功补偿设备情况

变电站	主变容量/(MV·A)	主变第三绕阻容量/(MV·A)	电容装设总容量/MVar	容量与装设电容容量的差值/MVar	SVC容量/MVar
墨江	3×750	750	3×240	30	30
玉溪	2×750	750	3×200	150	150
和平	1×750	240	3×80	0	0
昭通	1×750	240	1×60	180	180

SVC容量是依据SVC技术的相关应用原则,安装SVC后需要同时遵循变电站总装容性无功容量、总装感性无功容量不超过变压器第三绕组的容量进行选择。楚雄换流站作为云广±800 kV直流输电送电端,配有Y₀/Y及Y₀/Δ两种线型式的变压器各12台,另外各备用2台,共28台变压器,单台换流变容量250 MVA,SVC容量可行方案为:2×180 MVar。

3.2 提高输电能力分析

装设地点定在墨江、玉溪、昭通和楚雄换流站主变第三绕组35 kV母线上。按照主变最多1/3容量留给低压无功补偿使用,不考虑主变过载。

调整方式为云南电网机组增加出力,广东电网增加负荷、广西电网增加负荷。断面暂态稳定传输极限见表4。

表4 断面传输极限表

暂态断面传输极限/MW	电压临界稳定裕度/%	功角临界稳定裕度/%	频率临界稳定裕度/%
8 508.39	34.34	40.68	99.99

计算结果表明加静止无功补偿器后,电压水平有所提高、系统稳定性也得到一定的改善,增加云电送粤断面暂态稳定传输极限功率21.42 MW。

4 结论

结合云南电网实际需要,从提高输电能力方面研究SVC的影响。通过基于时域仿真的输电能力分析和基于功率传输路径的电压稳定性分析,总结影响它们的主要因素,确定SVC的作用和初步装设地点。云南电网的计算分析表明,各SVC装设方案均能有效提高系统的动态稳定性,提高电压稳定性效果有所改善。结合云南电网规划,给出了最佳配置地点的建议,研究结果将有助于科学决策。

参 考 文 献

- 王久玲.南方电网的实践与展望.南方电网技术研究,2006;2(1):1—4
- 曾文革.南方电网2020年远景目标研究工作汇报.电力土建信息,2003;8(4):45—46
- 吴宝英,陈允鹏,陈旭,等.±800 kV云广直流输电工程对南方电网安全稳定的影响.电网技术,2006;30(22):6—12
- 周孝信,郭剑波,胡学浩,等.提高交流500 kV线路输电能力的实用化技术和措施.电网技术,2001;25(3):1—6
- 杨帮宇,彭建春,代红才,等.750 kV长线路中间动态无功补偿的研究.电网技术,2007;31(15):16—20
- 刘文华,宋强,滕乐天,等.暂态电压稳定与新型动态无功补偿装置.电工技术学报,2007;22(7):
- 中国电力科学研究院.电力系统分析综合程序用户手册.北京:中国电力科学研究院,2001
- IEEE Special Stability Controls Working Group. Static VAr compensator models for power flow and dynamic performance simulation. IEEE Transactions On Power Systems,1994;9(1):229—240

SVC Influences on the Transmission Capacity of Yunnan Power System

JI Zhao-xu¹, SHU Hong-chun¹, SUN Shi-yun¹, LIN Xi-cheng², ZHOU Hai-cheng¹, WANG Ya-nan¹

(School of Electric Power Engineering, Kunming University of Science and Technology¹, Kunming 650051, P. R. China;

Electric Power Bureau of Taizhou², Taizhou 317000, P. R. China)

[Abstract] The influence of SVC on the Yunnan power system is analyzed in transmission capacity. According to the time domain simulation based transmission capacity analysis and the power transmission path based voltage stability analysis, the effects and the primary installation points are determined. A simulation analysis was carried out for the cross-section transient stability limit for power transfer from Yunnan electric powered in 2015. The simulation results show that Yunnan-Guangdong DC monopoles block is the main fault of the cross-section transient stability limit for power transfer from Yunnan. Computing and analysis are conducted on the SVC of installation scheme in the Yunnan power system, from which the improvements of limit of power transfer from Yunnan are increased and the optimal location of SVC are determined.

[Key words] static VAr compensator power delivery from Yunnan to Guangdong transmission capacity

(上接第 2669 页)

虑生产井的时候,这种重新分布的应力就会相应作用到套管上,使其发生严重变形以至损坏,这是当前油田生产套管井损坏的一个重要原因。所以研究注水地层变化情况以及对套管的影响的意义就很重大,这是一个关系到生产和经济效益的问题。

参 考 文 献

1 Kurashige M A. Thermoelastic theory of fluid-filled porous materials.

International Journal of Solids Structures, 1989;25(9):1039—1052

- 2 盛金昌,廖秋林,刘继山,等. 基于 FEMLAB 的钻井过程中流固热耦合响应分析. 工程力学,2008;25(2):220—221
- 3 Zimmerman R W. Coupling in poroelasticity and thermoelasticity. Int J Rock Mech Min Sci, 2000;37:84—87
- 4 Gambolati G. Equation for one-dimensional vertical flow of groundwater I: the rigorous theory. Water Resource Res, 1973;9(4):1002—1028
- 5 薛世峰,全兴华,董 波,等. 地下流固耦合理论的研究进展及应用. 石油大学学报,2000;24(2):110—113

The Model Research and Simulation of Water Injection Stratum Based on THM

DU Yong-jun, JIANG Tao

(Mechanical Science and Engineering College, Northeast Petroleum University, Daqing 163318, P. R. China)

[Abstract] The stress variation in the water injection formation from the solid deformation, the fluid pressure and the temperature by using stress-strain theory, darcy law and heat transfer theory is investigated. It established the corresponding control equations by using the relationship of THM. For the finite element simulation and the bushing damage research, it provides necessary reference information.

[Key words] THM water injection stratum mathematical model simulation