

SVC 对特高压紧急直流功率支援的影响

谢惠藩¹, 张 尧¹, 夏成军¹, 林凌雪¹, 莫 琦²

(1. 华南理工大学 电力学院, 广东 广州 510640;

2. 中国南方电网电力调度通信中心调度处, 广东 广州 510620)

摘要: 在分析紧急直流功率支援提高系统暂态稳定性机理、静止无功补偿器(SVC)原理及参数设置的基础上, 仿真研究了大扰动下 SVC 对特高压紧急直流功率支援的影响。结果表明: SVC 能为换流站交流母线提供无功支持, 使其电压在故障后快速恢复, 有利于特高压直流功率的快速紧急提升, 能更有效地弥补故障后送、受端网区的功率缺额, 改善故障后的稳定裕度; 安装 SVC 虽能提高故障后的电压水平却可能会减小熄弧角。故障后 500 kV 主网形成孤岛情况下, 加装 SVC 能一定程度上改善电压和支援效果, 整流侧能减少切机量。

关键词: 交直流系统; 紧急直流功率支援; 直流功率调制

中图分类号: TM 89

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2009)01-0006-05

特高压直流输电是长距离大容量输电的较佳方案^[1-3], 随着三峡和西电东送工程的实施, 越来越多的特高压直流输电系统将出现在我国交直流互联电网中^[4], 其中计划于 2010 年投运的±800 kV 云广特高压直流输电工程, 将是世界上第一个特高压直流输电工程。特高压直流输电系统在交直流互联电网中的出现在一定程度上改善了系统的稳定性。特高压直流输电系统均具有 1.1 倍的长期过载能力和 3 s 的 1.5 倍短时过载能力, 其额定输送容量大, 在交直流系统受到大干扰的情况下, 利用其短时过载能力, 快速调制直流系统注入交流系统的功率, 可以弥补暂态过程中送端和受端的功率不平衡量, 提高系统的暂态功角稳定性, 相应地也能改善由于功率失衡引起的电压波动和持续低电压的现象^[5-7]。

静止无功补偿器(SVC)能明显改善大扰动下电压稳定裕度, 对系统的暂态稳定性有很大的影响^[8-10], 因而也影响特高压紧急直流功率的支援效果。现以 FASTEST-NARI^[11] 电力系统软件包为分析平台, 以 2010 年±800 kV 云广特高压直流输电工程投运后的南方电网为背景, 分析了大扰动下 SVC 对特高压紧急直流功率支援效果的影响。

1 紧急直流功率支援提高暂态稳定性的机理

在交直流系统受到大干扰的情况下, 紧急直流功率支援对暂态稳定性的改善作用可通过扩展等面积法则(EEAC)^[12-13]来解析。系统受扰后, 所有发电机分为 2 群: 严重受扰机群 S 和剩余机群 A, 整个系统将可以等值为双机失稳模式; 考虑到整个系统的稳定问题就是 S 群和 A 群的相对稳定问题, 再进一步等值为单机对无穷大系统(OMIB)。根据

EEAC 理论, 其等值单机无穷大系统的数学模型^[14]为

$$\tau_{SA} \dot{\delta}_{AB} = P_{m,SA} - P_{e,SA} = (P_{m,SA} - P_C) - P_{\max} \sin(\delta_{SA} - \gamma) \quad (1)$$

其中, τ_{SA} 、 $P_{m,SA}$ 和 $P_{e,SA}$ 分别为 OMIB 下的广义惯性时间常数、机械输入功率、电磁输出功率, 且:

$$\begin{aligned} \tau_{SA} &= \tau_S \tau_A / \tau_T, \quad \tau_T = \tau_S + \tau_A \\ P_{m,SA} &= \tau_T^{-1} (\tau_A P_{mS} - \tau_S P_{mA}) = \\ &= (\tau_A \sum_{i \in S} P_{mi} - \tau_S \sum_{j \in A} P_{mj}) / \tau_T \\ P_{e,SA} &= \tau_T^{-1} (\tau_A P_{eS} - \tau_S P_{eA}) = P_C + P_{\max} \sin(\delta_{SA} - \gamma) \\ P_C &= \frac{\tau_A}{\tau_T} \sum_{i \in S} \sum_{m \in S} E_i E_m G_{im} - \frac{\tau_S}{\tau_T} \sum_{j \in A} \sum_{n \in A} E_j E_n G_{jn} \quad (2) \end{aligned}$$

$$C = \frac{\tau_A - \tau_S}{\tau_T} \sum_{i \in S} \sum_{j \in A} E_i E_j G_{ij}, \quad D = \sum_{j \in A} \sum_{i \in S} E_i E_j B_{ij}$$
$$P_{\max} = \sqrt{C^2 + D^2}, \quad \gamma = -\arctan(C/D)$$

以上 $G_{ij} + jB_{ij} = Y_{ij}$ 为 Y 阵中元素, 且 Y 阵的形成基于如下网络结构假设: 网络存在直流节点但其输送功率为零, 且网络已收缩到只剩下发电机内节点和直流节点, 负荷阻抗已归入节点导纳矩阵, 其中送端、受端发电机内电势节点的集合分别为 S 和 A。考虑直流系统输送功率后, 把直流节点的注入电流移置到 S 群(或 A 群)发电机内节点上, 故需修正 Y 阵中的对角元素, 在其自导纳元素中增加接地导纳项, 对送端则变为 $Y_{ii} = (G_{ii} + \Delta G_{i0}) + j(B_{ii} + \Delta B_{i0})$, $i \in S$; 对于受端则变为 $Y_{jj} = (G_{jj} - \Delta G_{j0}) + j(B_{jj} + \Delta B_{j0})$, $j \in A$ 。需要修正式(2), 直流功率 P_d 的变化不会改变 P_{\max} 和 γ 的大小, 但会影响 P_C 。考虑直流线路的有功损耗, 则受端输出的直流功率为 ηP_d , η 为直流系统输送有功的效率, 代入式(2)得:

$$\begin{aligned} P_C &= \frac{\tau_A}{\tau_T} \sum_{i \in S} \sum_{m \in S} E_i E_m G_{im} - \frac{\tau_S}{\tau_T} \sum_{j \in A} \sum_{n \in A} E_j E_n G_{jn} + \\ &= \frac{\tau_A}{\tau_T} \sum_{i \in S} \frac{k_i P_d E_i}{U_d} + \frac{\tau_S}{\tau_T} \sum_{j \in A} \frac{k_j \eta P_d E_j}{U_d} \quad (3) \end{aligned}$$

收稿日期: 2007-12-05; 修回日期: 2008-04-24

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(50337010); 华南理工大学自然科学基金资助项目(B05E5060710); “十一·五”国家科技支撑计划项目(2006BAA02A17)

可见,在功角正摆过程中提升直流功率 P_d, P_C 也随之增大,式(1)中的等效机械功率($P_{m,SA} - P_C$)减小将使加速面积小于减速面积,即 $A_{inc} < A_{dec}$,能有效改善系统正摆稳定性,提高稳定裕度;当功角回摆时,回降直流功率 P_d ,等效机械功率($P_{m,SA} - P_C$)将增大,能有效减小回摆的加速面积,提高回摆的稳定性。上述正摆和回摆阶段的图示可参考文献[15]。

2 SVC 原理和参数设置

本文采用 FASTEST 仿真工具建立了交直流系统机电暂态仿真模型,其中发电机采用考虑次暂态过程的 E_q'' 、 E_d'' 变化的详细模型,考虑励磁调节系统、调速系统的作用,所有直流系统采用定功率 P 控制模式,直流模型则采用直流详细模型 DV 型。

特高压紧急直流功率支援通过两端直流故障操作卡来模拟实现,SVC 补偿通过 V 卡来模拟实现。SVC 的控制原理如图 1 所示。其中, τ_{s1} 为滤波器时间常数; U_{Emax} 为最大电压偏差; τ_{s2} 为第一级超前时间常数; τ_{s3} 为第一级滞后时间常数; K_{SVs} 为连续控制增益; τ_{s6} 为晶闸管触发时延; U_D 为电压偏差。

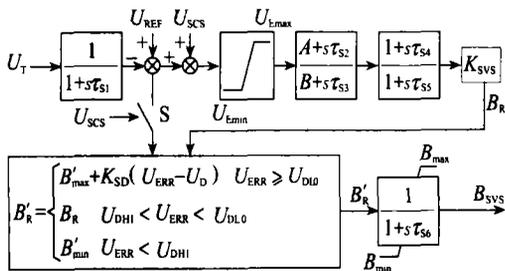


图 1 静止无功补偿器 SVC 的控制框图

Fig. 1 Block diagram of SVC control

SVC 的控制参数取南方电网实际运行 SVC 参数,如下: $\tau_{s1} = \tau_{s6} = 0.02$ s, $\tau_{s2} = 0.50$ s, $\tau_{s3} = 2.5$ s, $K_{SVs} = 100$, $U_{Emax} = 0.22$ p. u., $U_D = 0.5$ p. u.。

3 SVC 对特高压紧急直流功率支援的影响

对紧急提升直流功率而言,在交流系统受扰后电压波动尚未平息,换流母线电压仍然较低的情况下,大量直流功率的提升会加大换流站对无功的需求,引起换相电压发生更大的波动,将会造成直流系统恢复困难,继而会延缓实际直流功率的增长,妨碍直流功率的提升,严重时可能加剧系统的不稳定状况。采用电压支撑设备 SVC 为换流站母线电压提供无功支持,在这种条件下直流系统电压能在交流故障后快速恢复,有助于紧急直流功率的快速提升。下面以 2010 年 ±800 kV 云广特高压直流输电工程投运后的南方电网为背景,分析大扰动下 SVC 对特高压紧急直流功率支援的影响。

3.1 事故 1 分析

事故 1 设为天广直流双极闭锁+贵广 II 回双极闭锁。2010 年南方电网高压网架结构大大增强,当以上直流系统单独发生双极闭锁时,系统均能稳定。

但当出现极端情况即以上 2 回直流同时闭锁时,云南、贵州网区内大量电能无法外送,大量过剩功率将引起送端机组加速并最终导致系统功角失稳;同时,故障后大量有功潮流的转移将导致并行的交流通道大部分节点电压增幅振荡失稳。故障后如不采取切机措施,在直流双极闭锁后 $t = 0.3$ s 开始,在 15 周期内(即提升速率为 2 500 MW/s)将云广直流功率提升至 1.5 p. u. (即提升量为 $\Delta P = 0.5$ p. u.) 并持续 3 s,系统便能稳定。

下面通过仿真在穗东逆变侧换流站 500 kV 交流母线投入 SVC 补偿,比较不同补偿容量 Q_c 的影响效果,如表 1 所示。

表 1 不同 SVC 补偿容量下的直流支援效果

Tab. 1 DC power support effects with different SVC capacities

Q_c /Mvar	t_1 /s		U_1 /p. u.		$\gamma_{min}/(^{\circ})$		$\lambda/\%$	
	穗东	肇庆	穗东	肇庆	穗东	肇庆	功角	电压
0	0.82	0.68	0.66	0.74	18.0	12.24	36.3	16.9
100	0.78	0.70	0.58	0.76	18.0	8.45	37.4	20.4
200	0.74	0.71	0.50	0.76	18.0	8.73	37.9	22.2
500	0.70	0.74	0.39	0.78	18.0	9.46	39.2	25.3
700	0.56	0.76	0.21	0.79	18.0	9.53	40.4	28.1
800	0.34	0.77	0.00	0.80	18.0	9.99	41.1	33.8

注: t_1 和 U_1 分别为电压低于 0.8 p. u. 的持续时间和最低值, γ_{min} 为最小熄弧角, λ 为稳定裕度;表 2 同。

可见,SVC 能明显提高逆变侧交流母线电压,随着补偿容量增大,SVC 对换流站电压的支撑作用明显,补偿容量越大时换流电压波动越小,电压值恢复越快,更能提高特高压直流功率提升后的暂态电压稳定裕度和功角稳定裕度。但同时看到 2 点:

a. 穗东逆变侧交流母线电压明显低于肇庆逆变侧交流母线电压,但穗东熄弧角 γ 却保持在 18° 而肇庆熄弧角 $\gamma < 18^{\circ}$;

b. 安装 SVC 补偿后肇庆熄弧角 γ 比没有安装 SVC 补偿时的熄弧角还要小,使换流电压恢复较快的 SVC 补偿却不能达到增大熄弧角的效果,文献[16]基于 2005 年南方交直流电网背景下对天广直流提升进行研究也出现熄弧角 $\gamma < 8^{\circ}$ 的时间随着换流站补偿容量的增加而增加的情况。

以上现象是由直流系统的运行控制特性引起,影响熄弧角的网络参数和运行工况主要有换相电压、换相电抗和直流电流等,其关系如下:

$$\Delta\beta = \frac{K_2}{1 + \tau_2 p} (U_v - U_{dret}) \quad (4)$$

$$\mu = \beta - \arccos(\sqrt{2} I_d X_c / U_v + \cos \beta) \quad (5)$$

$$\gamma = \beta - \mu \quad (6)$$

式中 K_2 、 τ_2 为控制器的放大系数和延后时间常数; γ 为熄弧角; μ 为重叠角; β 为触发角; I_d 为直流电流; X_c 为折算到阀侧的换流变压器短路阻抗; U_v 为换流变压器交流系统侧电压直接折算到阀侧的电压; $p = d/dt$ 。

换相重叠角 μ 随直流电流的增大而增大、随换流电压的减小而增大;若 β 不变, μ 增大将使关断角 γ 减小,可能导致 $\gamma < 8^\circ$ 引起换相失败并导致直流欠压保护动作,造成直流闭锁。但实际运行时触发角 β 是由直流输电系统的控制器决定的,并非常量,其控制器近似为一惯性放大环节(见式(4))。故障后逆变侧母线电压下降引起 β 增大,最大值增至 58° (即 $180^\circ - 122^\circ = 58^\circ$),如图 2 所示(图中,实线为无 SVC 补偿,虚线为 SVC 补偿 100 Mvar,点划线为 SVC 补偿 700 Mvar,下同);在穗东逆变站电压下降的同时,随着云广直流功率的提升,其直流电流急剧增大,故穗东逆变站重叠角 μ 也急剧增大,如图 3 所示,其最大值接近 40° ,所以根据式(6)熄弧角 γ 能保持在 18° 。至于贵广 I 直流系统,故障后肇庆换流站交流电压的下降程度不会引起控制角 β 发生很大的变化,最大值仍然保持在 40° ($\beta = 180^\circ - 140^\circ$),见图 4,但由于电压的跌落已经引起了重叠角 μ 的增大,根据式(6)熄弧角 $\gamma < 18^\circ$,见图 5。

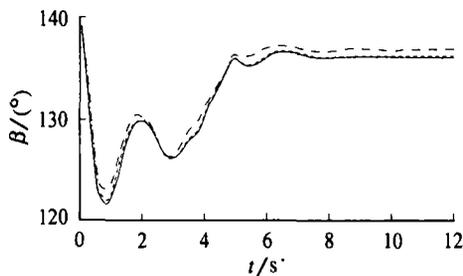


图 2 穗东换流站触发角

Fig. 2 Ignition angle of Suidong converter station

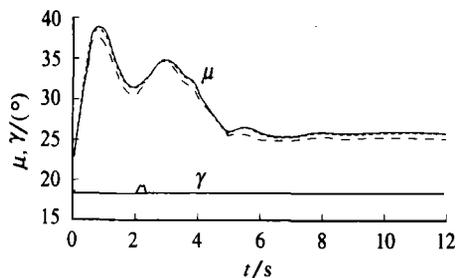


图 3 穗东换流站重叠角和熄弧角

Fig. 3 μ angle and γ angle of Suidong converter station

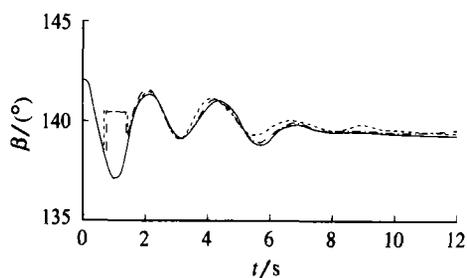


图 4 肇庆换流站触发角

Fig. 4 Ignition angle of Zhaoqing converter station

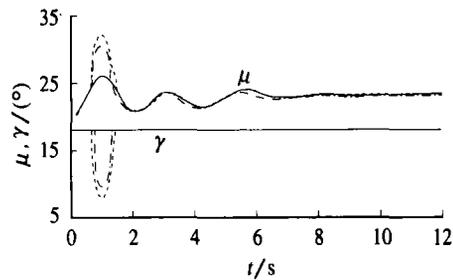


图 5 肇庆换流站重叠角和熄弧角

Fig. 5 μ angle and γ angle of Zhaoqing converter station

以上分析说明了某种程度上 SVC 会恶化直流功率提升后逆变侧换相的稳定性,这是由直流控制器运行方式转换引起的。在交流系统故障期间,随着电压的严重跌落,逆变站不再承担控制直流电压的任务而转入安全控制模式即定熄弧角控制模式,该控制模式的作用是迅速拉大 β ,从而提升 γ ,使 γ 迅速脱离导致换相失败或容易导致换相失败的区域。

如果电压的降落不至于使控制方式转换,即 β 没有变化,此时根据:

$$\gamma = \arccos(\sqrt{2} I_d X_c / U_v + \cos \beta) \quad (7)$$

可知,随着补偿容量的增大、电压水平的提高,熄弧角得到增大,这从表 1 便可得到验证:随着补偿容量从 100 Mvar 增加到 800 Mvar, SVC 在一定程度上能增大肇庆熄弧角 γ ,即从 8.45° 增大到 9.99° 。

从另一角度分析,在故障瞬间换流母线电压下降较大, SVC 投入大量电容从而减弱了交流系统强度,进而恶化了 HVDC 的恢复特性,有可能引起换流器换相失败。

但无论如何, SVC 能为换流站交流母线电压提供无功支持,明显地改善了逆变侧换流母线电压的稳定性,使其换相电压能在交流故障后快速恢复,有利于直流功率的快速紧急提升,能够更加有效地弥补功率缺额,改善故障后的稳定裕度。图 6 给出了不同补偿容量下云广直流功率提升后的输送功率;图 7 给出了分别在整流侧交流母线(曲线 1)和逆变侧交流母线(曲线 2)安装 700 Mvar 补偿容量后云广直流功率提升后的输送功率,由图可见在逆变侧交流母线安装 SVC 能取得更好的补偿效果,并能更快弥补功率缺额。

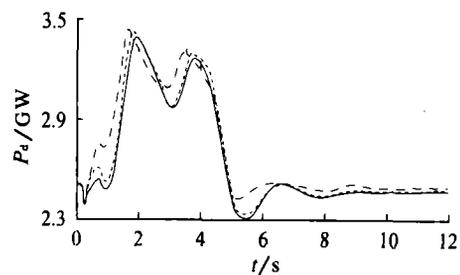


图 6 不同补偿容量下直流输送的功率

Fig. 6 DC powers with different compensation capacities

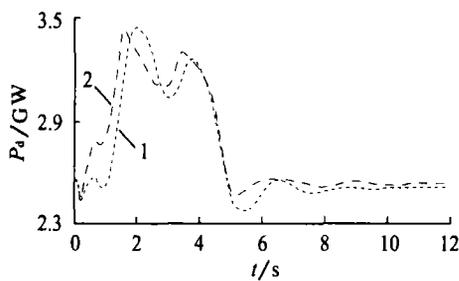


图 7 不同补偿地点下直流输送的功率

Fig. 7 DC powers at different compensation locations

3.2 事故 2 分析

事故 2 设为在全网负荷采用综合负荷模型下,天广直流双极闭锁、罗平-百色线跳双回。故障后,通过考察云广特高压直流 $t=0.3\text{ s}$ 、 $\Delta P=0.3\text{ p.u.}$ 的紧急功率支援后系统便能稳定,比较穗东 500 kV 母线安装不同 SVC 补偿容量下的直流功率支援效果,如表 2 所示。

表 2 不同 SVC 补偿容量下的支援效果

Tab. 2 DC power support effects with different compensation capacities

Q_c/Mvar	$U_2/\text{p.u.}$		$\gamma_{\min}/(^{\circ})$		$\lambda/\%$	
	穗东	肇庆	穗东	肇庆	功角	电压
0	0.77	0.81	18.0	18.0	40.1	33.8
200	0.78	0.82	18.0	18.0	42.4	36.2
500	0.79	0.84	18.0	18.0	43.5	38.5
700	0.80	0.86	18.0	18.0	45.3	40.7

注: U_2 为换流站最低电压。

表 2 结果再次说明了 SVC 能提高特高压紧急直流功率支援下的暂态电压稳定裕度和暂态功角稳定裕度。同时综合表 1、表 2 可知,虽然穗东换流站交流母线电压小于 0.8 p.u.,但其熄弧角 γ 却都保持在 18° ,并没有发生换相失败,这证实了工程上^[17]常用的定论“逆变站的交流换流母线电压下降至 0.8 p.u. 以下,足以导致各直流系统发生换相失败”是不正确的,交流电压下降、直流电流上升不具备换相失败的本质特征^[18],要得到准确的结论,最好从换相失败的本质出发,以关断角小于换流阀恢复阻断能力的时间所对应的关断角为判断依据。换相失败在仿真计算中判据一般为:暂态过程中出现熄弧角 $\gamma < 8^{\circ}$ 。如果连续比较长时间换相失败,直流电压持续比较低,一般的处理方法是:故障后 0.5~0.8 s 直流欠压保护动作,直流闭锁。

4 云南主网孤岛情况下 SVC 对特高压紧急直流功率支援的影响

夏大方式下当文山-大新线检修,罗平 500 kV 母线故障引起罗平-天生桥单回线、罗平-白色双回线均跳线,此时云南电网没有 500 kV 交流出线,将形成主网孤岛。

故障发生后,采取快关气门、切机和切负荷措施,同时通过云广紧急直流功率支援后系统仍可稳

定,即故障后逐渐将云广双极功率提升到 1.5 p.u. 并保持 3 s,之后再功率回落到 1.2 p.u. 过载运行。主网孤岛形成后,由于减轻了主要交流通道的潮流,故广西交流通道部分节点电压略有升高;而随着云广功率的提升,长期过载运行下,直流落点附近的节点电压稍微降低。当在整流侧和逆变侧安装 240 Mvar SVC 后发现:由于故障后电压稳定性高,SVC 对电压稳定性和直流支援的改善效果不明显,但在整流侧安装 SVC 能减少切机量^[4]。图 8 给出 240 Mvar 补偿容量下的云广直流功率提升曲线(曲线 1 为无 SVC,2 为整流侧安装 SVC,3 为逆变侧安装 SVC)。

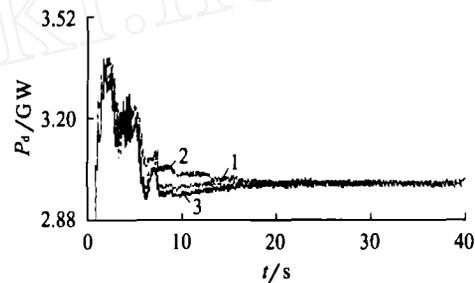


图 8 直流功率提升曲线

Fig. 8 DC power at different compensation locations

此外,规划中若云广送端换流站采用孤岛运行方式可以有效地提高系统的稳定水平,经济效益十分显著^[17],即小湾电厂和金安桥电厂通过 500 kV 紧凑型线路接入楚雄换流站,与云南主网独立,在孤岛运行方式下,直流发生双极闭锁时会产生工频暂态过电压、工频稳态过电压和操作过电压等,在整流侧换流站加装 SVC 能有效地抑制过电压现象。SVC 在抑制直流闭锁后的过电压现象效果是显著的,对于 1000 MW 的 HVDC 系统,双极闭锁时,200 Mvar SVC 可将过电压限制到 1.1 p.u.,若没加装 SVC,过电压将达 1.3~1.4 p.u.^[19]。

5 结论

a. SVC 能为换流站交流母线提供无功支持,明显地改善其电压稳定性,使其电压在故障后快速恢复,有利于直流功率的快速紧急提升,能够更加有效弥补功率缺额,改善故障后的稳定裕度。

b. SVC 虽然能提高故障后的电压水平却不一定能增大熄弧角,反而可能会减小熄弧角。直流系统是否发生换相失败是由直流控制器的响应特性决定的,而不是由动态无功补偿容量决定的。补偿虽然有利于电压恢复但却不一定有利于避免换相失败。

c. 在什么情况投入 SVC 补偿才能同时有利于直流功率的快速提升和减小换相失败需进一步研究;直流控制器的响应特性和 SVC 补偿的配合问题也需进一步深入研究。

d. 孤岛运行方式下,在整流侧加装 SVC 能有效地抑制直流双极闭锁时的过电压现象;此外,故障后云南主网形成孤岛情况下,加装 SVC 能够一定程度

上改善电压和支援效果,整流侧加装 SVC 能减少切机量,但其经济性仍需进一步研究。

参考文献:

- [1] 袁清云. 特高压直流输电技术现状及在我国的应用前景 [J]. 电网技术, 2005, 29(14): 1-3.
YUAN Qingyun. Present state and application prospect of UHVDC in China [J]. Power System Technology, 2005, 29(14): 1-3.
- [2] 陈允鹏. 南方电网特高压输电技术应用展望 [J]. 南方电网技术研究, 2006, 2(1): 10-12.
CHEN Yunpeng. A prospect of UHV transmission technology application in China Southern Power Grid [J]. Southern Power System Technology Research, 2006, 2(1): 10-12.
- [3] HUANG Hartmut, RAMASWAMI Velpanur. 特高压直流输电系统的基本设计要求 [J]. 南方电网技术研究, 2005, 1(2): 1-5.
HUANG Hartmut, RAMASWAMI Velpanur. Basic design aspects of UHVDC transmission system [J]. Southern Power System Technology Research, 2005, 1(2): 1-5.
- [4] 齐旭, 曾德文. 特高压直流输电对系统安全稳定影响研究 [J]. 电网技术, 2006, 30(2): 1-6.
QI Xu, ZENG Dewen. Study on impacts of UHVDC transmission on power system stability [J]. Power System Technology, 2006, 30(2): 1-6.
- [5] 徐政, 高慧敏, 杨靖萍. 南方电网中紧急直流功率调制的作用 [J]. 高电压技术, 2004, 30(11): 24-26.
XU Zheng, GAO Hui-min, YANG Jingping. Effect of HVDC emergent power modulation in South China Power System [J]. High Voltage Engineering, 2004, 30(11): 24-26.
- [6] 陈荔, 刘会金, 陈格恒. 多回直流输电系统稳定性研究 [J]. 电力自动化设备, 2005, 25(8): 47-49.
CHEN Li, LIU Huijin, CHEN Gehuan. Transient stability analysis of multiple-loop HVDC system [J]. Electric Power Automation Equipment, 2005, 25(8): 47-49.
- [7] 杨卫东, 薛禹胜. 南方电网中直流输电系统对交流系统的紧急功率支援 [J]. 电力系统自动化, 2003, 27(17): 68-72.
YANG Weidong, XUE Yusheng. Emergency DC power support to AC power system in the South China Power Grid [J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(17): 68-72.
- [8] 吴起. SVC 对电力系统频率稳定性影响的仿真分析 [J]. 电力自动化设备, 2007, 27(5): 58-60.
WU Qi. Influence of SVC on power system frequency stability [J]. Electric Power Automation Equipment, 2007, 27(5): 58-60.
- [9] 杨秀, 陈鸿煜, 靳希. 高压直流输电系统动态恢复特性的仿真研究 [J]. 高电压技术, 2006, 32(9): 11-14.
YANG Xiu, CHEN Hongyu, JIN Xi. Simulation study of dynamic fault recovery performance of HVDC system [J]. High Voltage Engineering, 2006, 32(9): 11-14.
- [10] 李丽. 改善电压稳定性的 SVC 非线性控制策略 [J]. 中国测试技术, 2005, 31(2): 21-23.
LI Li. A nonlinear control strategy design [J]. China Measurement Technology, 2005, 31(2): 21-23.
- [11] 罗玉孙, 徐泰山, 许剑冰, 等. Windows 98/NT 下的 FASTEST-NARI 暂态稳定分析软件包 [J]. 电力系统自动化, 1999, 23(18): 36-38.
LUO Yusun, XU Taishan, XU Jianbing, et al. FASTEST-NARI transient stability analysis software package in Windows 98/NT [J]. Automation of Electric Power Systems, 1999, 23(18): 36-38.
- [12] XUE Y, van CUTSEM T H, RIBBENS-PAVELLA M. A simple direct method for fast transient stability assessment of large power system [J]. IEEE Trans on PWRs, 1988, 3(2): 400-412.
- [13] 廖浩辉, 唐云. CCEBC/EEAC 方法的定性分析 [J]. 中国科学: E 辑, 2004, 34(7): 818-831.
LIAO Haohui, TANG Yun. CCEBC/EEAC qualitative analysis [J]. Science in China: Ser E, 2004, 34(7): 818-831.
- [14] 倪以信, 陈寿孙, 张宝霖. 动态电力系统的理论和分析 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.
- [15] 谢惠藩, 张尧, 夏成军. 特高压紧急直流功率支援策略研究 [J]. 电力自动化设备, 2008, 28(8): 1-7.
XIE Huifan, ZHANG Yao, XIA Chengjun. Study of UHV emergency DC power support strategy [J]. Electric Power Automation Equipment, 2008, 28(8): 1-7.
- [16] 莫琦. 南方电网交直流系统中的直流功率紧急提升的研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2006.
MO Qi. Study on emergency DC power raising in the AC/DC system of China Southern Power Grid [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2006.
- [17] 中国南方电网公司. ± 800 kV 直流输电技术研究 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2006.
- [18] 何朝荣, 李兴源, 金小明, 等. 高压直流输电系统换相失败的判断标准 [J]. 电网技术, 2006, 30(22): 19-23.
HE Chaorong, LI Xingyuan, JIN Xiaoming, et al. Criteria for commutation failure in HVDC transmission system [J]. Power System Technology, 2006, 30(22): 19-23.
- [19] THORVALDSSON B, ARNLÖV B, SAETHRE E, et al. Joint operation HVDC/ SVC [C]//Proceedings of 6th International Conference on AC and DC Transmission. London, UK: [s. n.], 1996: 281-284.

(责任编辑: 李育燕)

作者简介:



谢惠藩

谢惠藩(1980-), 男, 广东揭阳人, 博士研究生, 主要研究方向为电力系统分析运行与保护控制 (E-mail: xiehuifanscut@163.com);

张尧(1948-), 男, 广东廉江人, 教授, 博士研究生导师, 长期从事电力系统安全分析与保护控制等方面研究 (E-mail: epyzhang@scut.edu.cn)。

Influence of SVC on UHV emergency DC power support

XIE Huifan¹, ZHANG Yao¹, XIA Chengjun¹, LIN Lingxue¹, MO Qi²

(1. South China University of Technology, Guangzhou 510640, China; 2. Dispatching and Corresponding Center of China Southern Power Grid, Guangzhou 510620, China)

Abstract: The mechanism of EDCPS (Emergency DC Power Support) to enhance transient stability and the principle of SVC (Static Var Compensation), as well as its parameter setting, are introduced, based on which, the influence of SVC on UHV EDCPS under heavy disturbance is analyzed by simulation. Results show that, SVC supports reactive power to inverter AC bus for voltage recovery, which helps rapid UHV EDCPS, making up the power lack of both sending and receiving ends of grid and improving the stability margin after fault. Although SVC raises the after-fault voltage, it may decrease the extinguish angle. Furthermore, when 500 kV main grid becomes island after severe accident, SVC improves voltage and supports power to a certain extent, and reduces generator trip at rectifier side.

This project is supported by the National Natural Science Foundation of China (50337010), the Natural Science Foundation for Youth of South China University of Technology (B05E5060710) and the "Eleventh-five" National Technology Plan Foundation of China (2006BAA02A17).

Key words: AC/DC hybrid system; EDCPS; DCPM