

DOI:10.12158/j.2096-3203.2020.01.004

柔性直流接入对弱受端电网恢复特性的影响及优化措施

吕思卓¹, 舒展², 宋新甫³, 杨志国⁴, 张增强³, 郑超¹

(1. 中国电力科学研究院有限公司, 北京 100192; 2. 国网江西省电力有限公司电力科学研究院, 江西 南昌 330096; 3. 国网新疆电力有限公司经济技术研究院, 新疆 乌鲁木齐 830016; 4. 内蒙古电力(集团)有限责任公司, 内蒙古 呼和浩特 010020)

摘要:随着柔性直流输电系统电压等级和输电容量不断提升,采用电压源型换流器的柔性直流输电技术在我国得到了大量应用,同时其对电网的影响也进一步增强。文中基于 PSD-BPA 机电暂态仿真软件中新开发的计及故障穿越策略的柔性直流控制系统,比较了不同直流接入方案下弱受端电网受扰恢复特性的差异。在此基础上,分析了柔性直流控制方式、直流传输功率大小以及故障穿越控制策略等因素对换流站动态有功和无功功率特性的影响。最后针对西藏弱受端电网电压稳定问题提出了优化方案,仿真结果表明优化柔性直流故障穿越控制关键参数可以改善弱受端电网故障后的恢复性能。

关键词:柔性直流输电;控制方式;故障穿越策略;恢复特性;参数优化

中图分类号:TM712

文献标志码:A

文章编号:2096-3203(2020)01-0031-07

0 引言

随着直流输电装备水平的不断提高,采用电压源型换流器的柔性直流输电(voltage source converter-high voltage DC, VSC-HVDC)技术在我国得到了越来越广泛的应用^[1]。我国已建成投运了多项柔性直流输电工程,如±200 kV 舟山五端柔性直流输电工程,±320 kV 厦门双端柔性直流输电工程,±420 kV 渝鄂柔性直流背靠背输电工程等^[2-3]。由于柔性直流输电具有无换相失败、有功与无功功率解耦且灵活可调等优点,在大规模新能源并网和大容量电力输送方面具有广阔的发展前景^[4-6]。

目前,国内外学者在柔性直流输电的拓扑结构^[7]、潮流求解算法^[8]、协调控制策略^[9-10]等方面开展了大量研究,随着柔性直流电压等级和输送容量的不断提高,其对电网的影响也进一步增强,研究大容量柔性直流接入对交直流混联电网整体稳定性的影响具有重要意义^[11-13]。文献[14]研究了柔性直流接入对交流系统小干扰功角稳定性的影响。文献[15]研究了柔性直流的频率/交流电压附加控制策略对提升电网暂态稳定性的作用。文献[16]针对渝鄂柔性直流输电工程,提出了一种适用于评估柔性直流接入对电网运行特性影响的评估方法。文献[17]分析了柔性直流输送功率及电网强度对暂态过程电压恢复的影响,但研究中没有考虑故障穿越策略的影响。文献[18]揭示了大扰动

冲击下交直流混联系统存在的不同形式的失稳现象及其行为机理,并提出稳定控制策略,但针对的是柔性直流馈入小系统算例,缺乏在实际电网中的验证。

文中首先介绍了柔性直流换流器的控制原理和考虑故障穿越策略的柔性直流输电系统机电暂态模型;在 PSD-BPA 软件中建立了弱受端交直流混联电网仿真模型,比较了3种直流接入方案下系统受扰恢复特性的差异;详细分析了柔性直流换流器控制方式、故障穿越策略等因素对受端电网故障恢复特性的影响。在此基础上,提出了提升弱受端电网稳定性的优化方案,并在仿真中验证了其对改善电压恢复特性的有效性。

1 柔性直流换流器机电暂态模型

1.1 VSC 数学模型

VSC 通过换流变压器和连接电抗器与交流系统相连,图1为单个 VSC 结构。

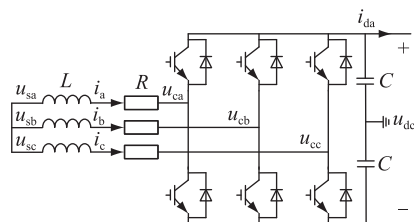


图1 VSC 电路拓扑结构

Fig.1 Circuit diagram of voltage source converter

图中, i_a, i_b, i_c 为三相电流; u_{sa}, u_{sb}, u_{sc} 为交流系统母线电压; u_{ca}, u_{cb}, u_{cc} 为换流器交流侧输出电压;

收稿日期:2019-07-25;修回日期:2019-09-04

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51777196)

u_d 为直流侧电压; i_d 为直流电流; R 和 L 分别为统一考虑换流变压器和电抗器后的等效电阻和电抗; C 为换流站直流侧电容。在机电暂态建模时,忽略开关动作产生的谐波分量,且锁相环视为理想工作状态,经过派克变换可得三相系统在两相 dq 旋转坐标系下的模型如式(1)所示。

$$\begin{cases} L \frac{di_d}{dt} = u_{sd} - Ri_d - u_{cd} + \omega Li_q \\ L \frac{di_q}{dt} = u_{sq} - Ri_q - u_{cq} + \omega Li_d \end{cases} \quad (1)$$

式中: u_{sd}, u_{sq} 分别为交流系统电网电压 U_s 的 d, q 轴分量; u_{cd}, u_{cq} 分别为换流器输出电压基频分量 U_c 的 d, q 轴分量; i_d, i_q 分别为交流系统电流的 d, q 轴分量。令 d 轴以电网电压向量定位,交流系统注入换流站的有功功率 P_s 和无功功率 Q_s 为:

$$\begin{cases} P_s = \frac{3}{2} U_s i_d \\ Q_s = \frac{3}{2} U_s i_q \end{cases} \quad (2)$$

由式(2)可以看出, P_s 和 Q_s 是相互解耦的,分别控制有功电流 i_d 和无功电流 i_q 就可以独立调节换流站与交流系统交换的有功和无功功率。

1.2 柔性直流换流器控制系统模型

基于有功功率和无功功率解耦控制原理,电压源换流器采用 dq 坐标系下的内外双环解耦控制结构。此外,实际工程中还需考虑故障穿越策略以及过压与过流保护等功能。双环解耦控制中的外环功率控制器结构如图2所示,分为有功和无功2类控制,有功外环控制器输入为有功功率 P_c 或直流电压 u_d 与对应目标设定值间的偏差信号,无功外环控制器输入为无功功率 Q_c 或交流电压 U_s 与对应目标设定值间的偏差信号。偏差信号经过比例积分(proportional integral, PI)调节器和限幅环节后,输出内环电流控制器 d 轴和 q 轴的参考电流值。

内环电流控制器结构如图3所示,输入为外环控制器输出的参考电流值与交流电流 d, q 轴分量间的偏差信号,经过PI调节器和限幅环节后,采用前馈解耦控制策略补偿电压平衡方程中的耦合项,即可控制交流输出电压的 d, q 轴调制参考值^[19]。

1.3 故障穿越控制策略

为了防止换流器在电网故障扰动过程中因电流超过限值而发生脱网,换流器应配置故障穿越控制策略,保障换流器在交流电压跌落期间维持运行^[20]。柔性直流换流器交流故障穿越策略是依据换流母线电压 U_s 跌落幅度,对 i_d 和 i_q 实施相应电

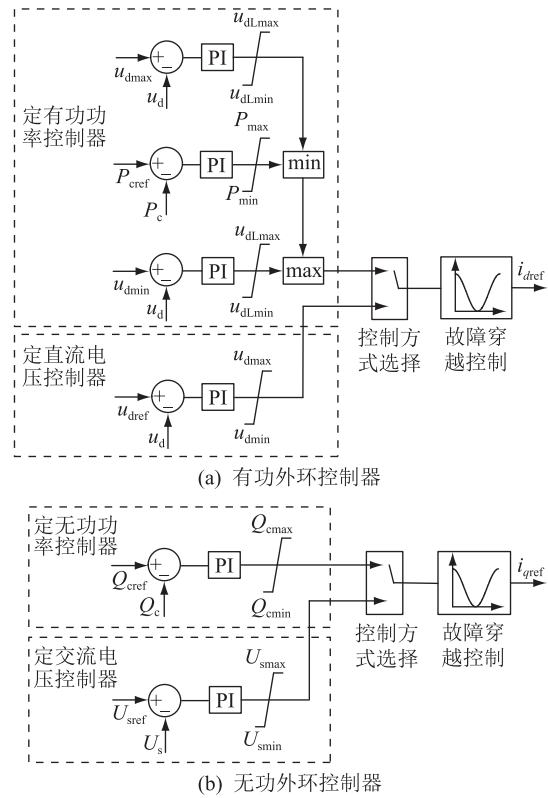


图2 柔性直流换流器外环功率控制器
Fig.2 Outer loop power controller of VSC-HVDC converter

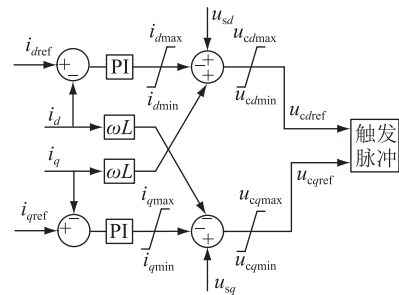


图3 柔性直流换流器内环电流控制器
Fig.3 Inner loop current controller of VSC-HVDC converter

限幅控制,其特性曲线如图4所示。

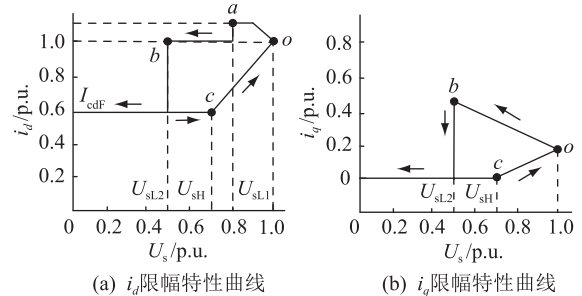


图4 柔性直流换流器故障穿越策略

Fig.4 Fault traverse strategy of VSC-HVDC converter
换流器稳态时运行在 o 点,故障扰动过程中,当

电压跌落幅值达到 U_{sL1} 时 (a 点), 故障穿越控制启动, 强行将 i_d 电流限幅取值为故障前时刻的电流参考值; 当电压跌落至 U_{sL2} 时 (b 点), 对应交流严重故障, 将 i_d 与 i_q 电流限幅取值分别设定为 I_{edF} 和 0。故障清除后, 当电压达到恢复阈值 U_{sH} 时 (c 点), 故障穿越控制退出, 电流按指定速率 I_{cuplim} 增长恢复, 直至达到故障前的参考值。

2 直流接入对弱受端电网稳定性影响

2.1 弱受端电网介绍

当前西藏电网通过柴拉直流与西北电网异步互联, 通过 500 kV 长链式交流线路与西南主网同步互联, 电网互联格局如图 5 所示。由于西藏与西南主网电气联系薄弱, 易发生通道中断故障形成孤岛, 孤岛电网转动惯量较小且电压支撑能力较弱, 属于弱受端电网。同时感应马达在西藏电网工业负荷中占有较大比例, 线路发生短路故障后马达负荷从交流电网吸收的无功功率随着转子滑差增大而持续增加, 使西藏电网面临电压失稳风险。若通过柔性直流将西藏电网与区外电网相连, 可以利用柔性直流在电网恢复过程中向系统提供动态无功支撑的特性, 提高西藏孤岛电网的电压稳定性。

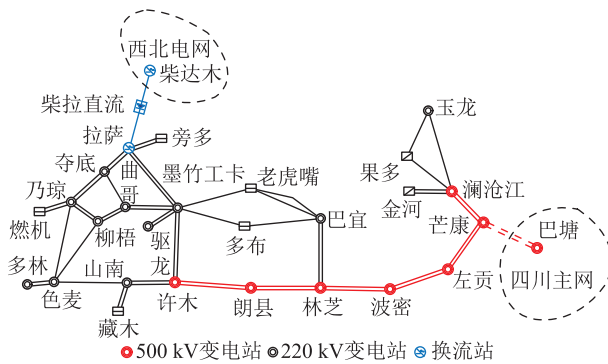


图 5 西藏电网与外部电网互联格局

Fig.5 Interconnection pattern of Tibet power grid

2.2 不同直流接入方式下电网暂态响应

柴拉直流分别采用常规直流、柔性直流和并联双馈入混合直流向西藏电网送电, 其中混合直流接入系统如图 6 所示。初始状态下常规直流和柔性直流传输有功功率为 600 MW, 混合直流中每一回馈入直流功率为 300 MW, 直流与交流系统交换的无功功率均为 0, 考察 3 种不同接入方案下西藏弱受端电网故障后恢复特性的差异。

孤岛运行方式下, 西藏电网内部拉萨—墨竹工卡 220 kV 线路发生三相接地短路故障, 0.12 s 后保护动作切除故障线路, 3 种直流接入方式下系统暂态响应如图 7 所示。

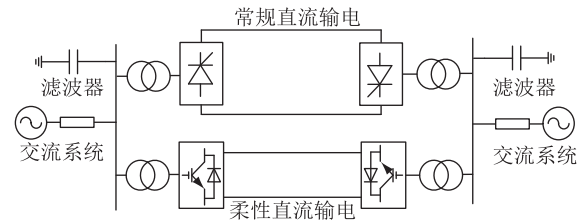


图 6 并联双馈入混合直流输电系统结构

Fig.6 Structure of parallel dual-infeed hybrid HVDC system

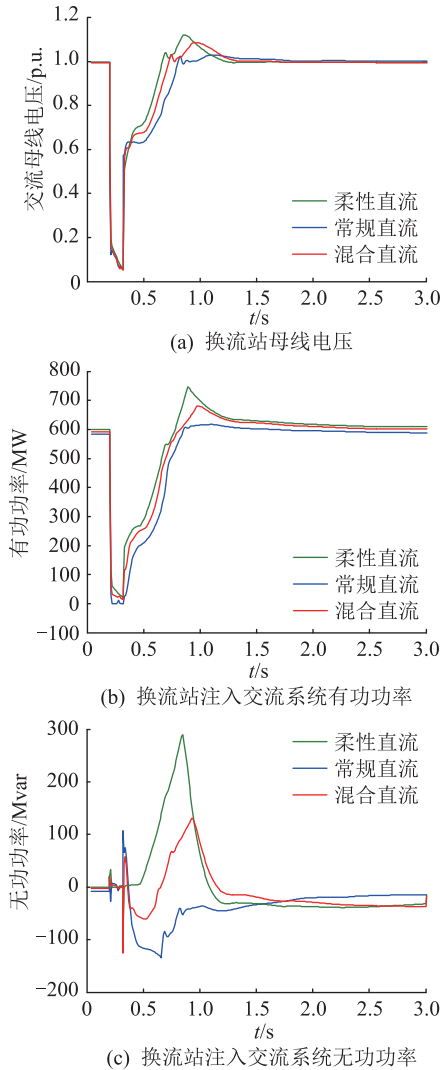


图 7 不同直流接入方式下西藏电网暂态响应对比

Fig.7 Comparison of transient state response of Tibet power grid under different HVDC connected

可以看出, 采用柔性直流输电时, 故障消除后拉萨换流站母线电压恢复速度更快, 这是因为柔直换流器在定交流电压控制下能够向交流电网提供动态电压支撑, 最大可输出 300 Mvar 无功功率。而采用常规直流输电时, 由于滤波器在电压恢复阶段无法完全补偿换流器无功消耗, 换流站需要向交流系统吸收 120 Mvar 无功功率。与常规直流和柔性直流相比, 采用混合直流输电时换流站既向交流系

统吸收无功,也向交流系统发出无功,相应的电压和有功功率恢复过程介于两者之间。

3 柔性直流接入对电网故障恢复特性的影响

3.1 控制方式的影响

西藏孤岛电网通过柔性直流与外部电网互联,受端拉萨换流站分别采用定有功功率和定无功功率控制方式(P_s - Q_s 方式)、定有功功率和定交流电压控制方式(P_s - U_s 方式),且都配置了故障穿越控制策略,相关参数为 $U_{sL1} = 0.8$ p.u., $U_{sL2} = 0.5$ p.u., $U_{sH} = 0.7$ p.u., $I_{cdF} = 0.5$ p.u., $I_{cuplim} = 1.0$ p.u./s。拉萨换流站近区拉萨-墨竹工卡线路发生三永 $N-2$ 故障导致换流母线电压大幅跌落,2种控制方式下换流母线电压、柔性直流向交流系统传输有功功率和无功率的大扰动暂态响应如图8所示。

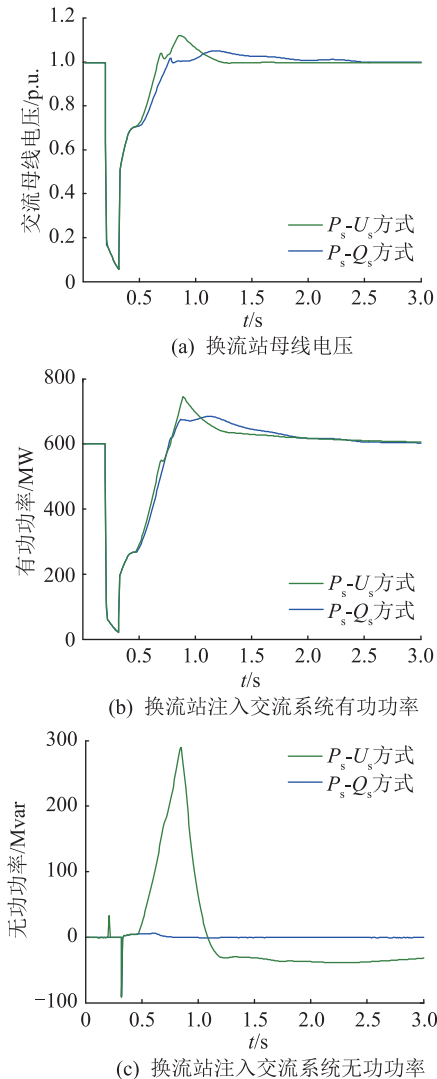


图8 控制方式对电网恢复特性的影响

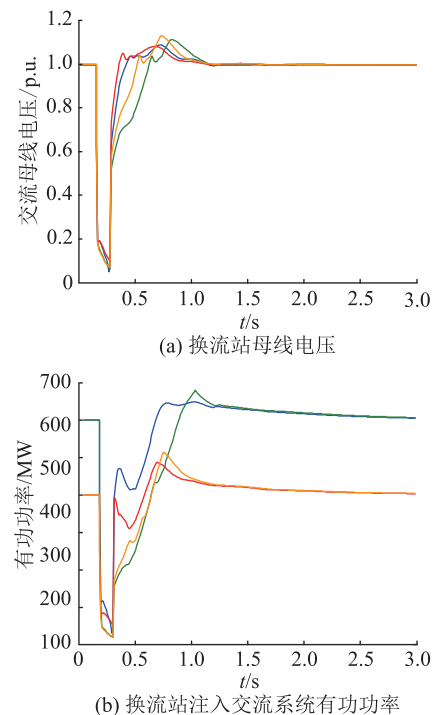
Fig.8 Influence of control mode on recovery characteristics

采用 P_s - Q_s 方式控制时,故障后换流母线电压迅速跌落至 U_{sL2} 以下,柔性直流故障穿越控制启动严重故障限流模式, i_d 被强制设定为 I_{cdF} , 对应有功功率快速降低。切除故障线路后电压开始恢复,0.44 s 换流母线电压恢复至 U_{sH} ,故障穿越控制退出,之后进入恢复模式, i_d 按照指定速率提升,在内环控制器作用下达故障前的水平。在 U_s 恢复增大和 i_d 提升增加两方面因素共同作用下, P_s 快速达到扰动前水平。由于采用了定无功功率控制且参考值为 0,故 i_q 恒为零,相应的无功功率输出为零。

若采用 P_s - U_s 方式控制,故障期间系统暂态响应与 P_s - Q_s 方式控制基本一致。当故障穿越控制退出后,为保持交流电压恒定, i_q 按照指定速率提升,换流器向系统输出无功功率快速增大,系统电压恢复速度快于 P_s - Q_s 方式控制,因此针对弱受端电网,采用 P_s - U_s 控制更有利于电压稳定。

3.2 柔直传输功率的影响

为防止发生故障时产生的过电流损坏设备,柔性直流在内环控制器中设置了限流环节控制流过换流器的最大电流。流过换流器的电流为 $I = \sqrt{i_d^2 + i_q^2}$,当 I 达到设备运行的载流能力时, i_d 和 i_q 将会被相应限制,限幅值通常为 1~1.2 p.u.。拉萨换流站采用 P_s - U_s 方式控制,针对不同直流传输功率条件,进行受端系统交流系统短路故障仿真,分析直流传输功率对电网恢复特性的影响。换流器额定容量为 600 MV·A,考虑有无故障穿越控制的情况,直流传输功率为 600 MW 和 400 MW 时的仿真波形如图9所示。



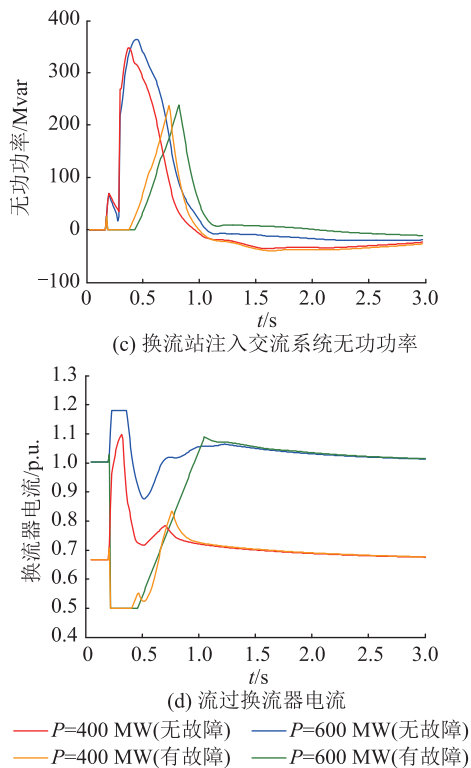


图9 柔直传输功率对电网恢复特性的影响

Fig.9 Influence of transmission power on recovery characteristics

可见当直流传输功率为 400 MW 时,受端系统电压恢复速度更快,这是由于故障后换流器电流迅速增大,若直流传输功率接近换流器额定容量,换流器电流将会达到限幅约束,被限制在 1.18 p.u.,相应的 i_d 和 i_q 也被等比例限幅,换流器无功功率输出降低。加入故障穿越控制后,故障发生后换流器电流立即被限制在 0.5 p.u.,在 $U_s < U_{sh}$ 的低电压运行阶段,故障穿越控制会限制 i_d 幅值,降低有功输出水平,故障结束后有功功率能够随电压逐渐恢复。对于无功功率,无故障穿越控制时,由于 i_q 不受限幅影响,故障期间换流器能够输出更多无功功率,使其具备更强的无功支撑能力,有助于加快电压恢复。

3.3 电压频率附加控制

为了充分利用柔性直流有功、无功独立调节的能力,在弱受端电网增加电压频率附加控制(VF 控制)。VF 控制包括 2 种控制模式,分别为交流电压调制和频率调制。就电压调制而言,当逆变侧采用 P_s-U_s 方式控制时,其控制目标与 VF 控制目标相同,均为交流电压 U_s ,此时 VF 控制将不起作用。当逆变侧采用 P_s-Q_s 方式控制时,VF 控制将响应电压变化调整无功输出,此时 VF 控制的效果与逆变侧采用 P_s-U_s 方式控制时的效果基本一致,如图 10 所示,可以看出交流电压和有功功率恢复特性基本一致。

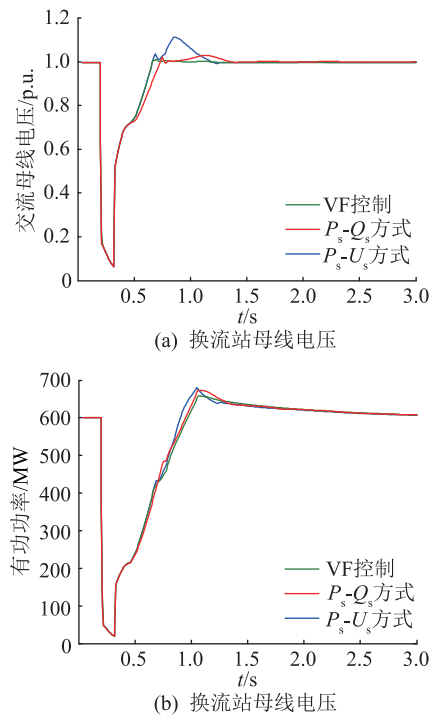
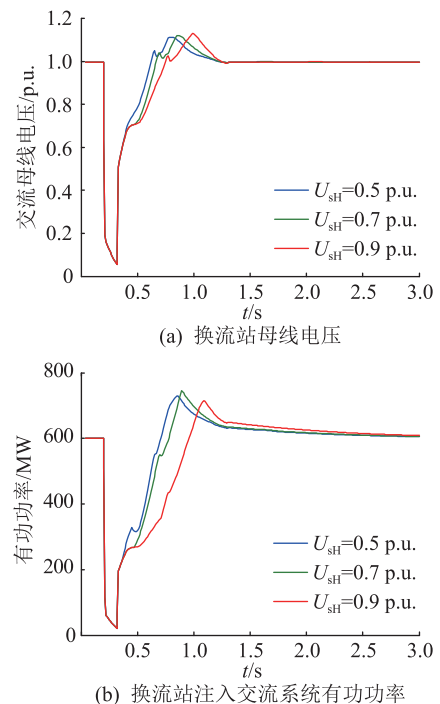


图 10 电压频率附加控制效果

Fig.10 Effect of voltage-frequency additional control

3.4 故障穿越控制中 U_{sh} 优化效果

采用 P_s-U_s 方式控制时,故障穿越控制中 U_{sh} 取值大小对电压恢复过程有显著影响, U_{sh} 取值分别为 0.5 p.u., 0.7 p.u., 0.9 p.u. 3 种方案,故障后换流站电压和传输有功功率的对比曲线如图 11 所示。

图 11 U_{sh} 参数优化对电网恢复特性的影响Fig.11 Influence of U_{sh} optimization on recovery characteristics

可以看出, U_{sh} 取值越小, 定电压控制器使 i_q 开始增长的时间越早, 促使换流器向交流系统提供更多的动态无功支撑, 电压恢复速率也更快。因此针对弱受端电网, 适当减小 U_{sh} 取值可提高系统的电压稳定性。

此外, 减小 U_{sh} 取值, 可缩短换流器故障穿越控制将 i_d 限制在 I_{cdf} 的时间, 当故障后电压恢复至 U_{sh} 时退出故障穿越控制, i_d 在恢复策略作用下, 按设定速率 I_{cuplim} 线性增大, 有功功率随着 i_d 的增加能够快速恢复。

U_{sh} 的最小值应不小于交流严重故障门槛值 U_{s12} , 同时 U_{sh} 取值也不宜过小, 加快受端故障后电压的恢复速度的不同控制参数优化方案, 其本质均是缩短换流器故障穿越控制时间。当直流传输功率接近换流器额定容量时, 较早退出故障穿越控制, 换流器电流将会在外环和内环控制器作用下达到设备允许的最大电流, 长时运行可能引起设备损坏。因此, 需兼顾直流传输功率及换流器额定容量大小综合制定优化方案。

4 结论

文中研究了大容量柔性直流接入弱受端电网条件下系统受扰后的恢复特性, 得到以下结论:

(1) 相比常规直流输电, 采用柔性直流输电联网可以提高受扰后弱受端电网电压及直流有功恢复速度。

(2) 针对弱受端电网, 柔性直流采用定电压控制比定功率控制更有利于维持电压稳定性。未配置故障穿越控制时, 由于有功和无功电流不受限幅影响, 换流器在故障期间可以向系统输出无功无功, 其电压及直流有功恢复速度更快。

(3) 故障穿越电压恢复阈值 U_{sh} 是影响换流器动态恢复特性的关键参数。降低 U_{sh} 取值, 可缩短换流器故障穿越时间, 促使换流器向交流系统提供更多动态无功支撑, 有助于改善系统故障后的恢复特性。

参考文献:

[1] 徐殿国, 刘瑜超, 武健. 多端直流输电系统控制研究综述[J]. 电工技术学报, 2015, 30(17): 1-12.
XU Dianguo, LIU Yuchao, WU Jian. Review on control strategies of multi-terminal direct current transmission system [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30(17): 1-12.

[2] 汤广福, 贺之渊, 庞辉. 柔性直流输电工程技术研究、应用及发展[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(15): 3-14.
TANG Guangfu, HE Zhiyuan, PANG Hui. Research, application and development of VSC-HVDC engineering technology [J].

Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(15): 3-14.

[3] 凌卫家, 孙维真, 张静, 等. 舟山多端柔性直流输电示范工程典型运行方式分析[J]. 电网技术, 2016, 40(6): 1751-1758.
LING Weijia, SUN Weizhen, ZHANG Jing, et al. Analysis of typical operating modes of Zhoushan multi-terminal VSC-HVDC pilot project [J]. Power System Technology, 2016, 40(6): 1751-1758.

[4] 周孝信, 陈树勇, 鲁宗相. 电网和电网技术发展的回顾与展望——试论三代电网[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(22): 1-11.
ZHOU Xiaoxin, CHEN Shuyong, LU Zongxiang. Review and prospect for power system development and related technologies: a concept of three-generation power systems [J]. Proceedings of the CSEE, 2013, 33(22): 1-11.

[5] 姚良忠, 吴婧, 王志冰, 等. 未来高压直流电网发展形态分析[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(34): 6007-6020.
YAO Liangzhong, WU Jing, WANG Zhibing, et al. Pattern analysis of future HVDC grid development [J]. Proceedings of the CSEE, 2014, 34(34): 6007-6020.

[6] 马为民, 吴方劼, 杨一鸣, 等. 柔性直流输电技术的现状及应用前景分析[J]. 高电压技术, 2014, 40(8): 2429-2439.
MA Weimin, WU Fangjie, YANG Yiming, et al. Flexible HVDC transmission technology's today and tomorrow [J]. High Voltage Engineering, 2014, 40(8): 2429-2439.

[7] 蒋冠前, 李志勇, 杨慧霞, 等. 柔性直流输电系统拓扑结构研究综述[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(15): 145-153.
JIANG Guanqian, LI Zhiyong, YANG Huixia, et al. Research review on topological structure of flexible HVDC system [J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(15): 145-153.

[8] 郑超. 实用柔性直流输电系统建模与仿真算法[J]. 电网技术, 2013, 37(4): 1058-1063.
ZHENG Chao. Study on practical modeling and simulation algorithm for VSC-HVDC power transmission [J]. Power System Technology, 2013, 37(4): 1058-1063.

[9] 夏成军, 刘志江, 杜兆斌. 基于变目标控制的 MMC-HVDC 控制策略[J]. 电力工程技术, 2018, 37(3): 7-13.
XIA Chengjun, LIU Zhijiang, DU Zhaobin. MMC-HVDC control strategy based on variable target control [J]. Electric Power Engineering Technology, 2018, 37(3): 7-13.

[10] 赵成勇, 陈晓芳, 曹春刚, 等. 模块化多电平换流器 HVDC 直流侧故障控制保护策略[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(23): 82-87.
ZHAO Chengyong, CHEN Xiaofang, CAO Chunggang, et al. Control and protection strategies for MMC-HVDC under DC faults [J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(23): 82-87.

[11] 郑超, 杨金钢, 滕予非, 等. LCC 与 VSC 型直流馈入对弱受端电网特性的影响[J]. 电力建设, 2016, 37(4): 84-90.
ZHENG Chao, YANG Jingang, TENG Yufei, et al. Impact of LCC-HVDC and VSC-HVDC infeed on weak-receiving-end grid characteristics [J]. Electric Power Construction, 2016, 37(4): 84-90.

- [12] 宋文峰,孙栩,王晶芳,等. 大容量柔性直流入大连电网稳定性分析研究[J]. 高压电器,2015,51(11):146-155.
SONG Wenfeng,SUN Xu,WANG Jingfang, et al. Stability analysis research on Dalian grid connected by the high capacity flexible HVDC[J]. High Voltage Apparatus,2015,51(11):146-155.
- [13] 于钊,李兆伟,张怡,等. 提高系统暂态稳定性的柔性直流受端电网故障穿越策略整定[J]. 电力系统自动化,2018,42(22):78-84.
YU Zhao,LI Zhaowei,ZHANG Yi, et al. Fault ride-through strategy setting of flexible HVDC receiving-end power grid for transient stability improvement[J]. Automation of Electric Power System,2018,42(22):78-84.
- [14] 付强,杜文娟,王海风. 多端柔性直流入对交流系统功角稳定性的影响[J]. 电网技术,2018,42(1):34-40.
FU Qiang,DU Wenjuan,WANG Haifeng. Angular stability of power systems integrated with VSC-MTDC grid[J]. Power System Technology,2018,42(1):34-40.
- [15] 刘昇,徐政,李文云,等. 用于改善交流系统暂态稳定性的VSC-HVDC 交流电压-频率协调控制策略[J]. 中国电机工程学报,2015,35(19):4879-4887.
LIU Sheng,XU Zheng,LI Wenyun, et al. VSC-HVDC ac voltage-frequency coordination control strategy for improving ac system transient stability[J]. Proceedings of the CSEE,2015,35(19):4879-4887.
- [16] 李大虎,张志杰,张伟晨,等. 背靠背柔性直流入电网后的影响评估[J]. 电力系统保护与控制,2019,47(3):71-80.
LI Dahu,ZHANG Zhijie,ZHANG Weichen, et al. Influence evaluation of provincial power grid integrated with back-to-back VSC-HVDC[J]. Power System Protection and Control,2019,47(3):71-80.
- [17] 林章岁. 大容量柔性直流输电系统接入对电网暂态稳定性影响分析[J]. 电力建设,2017,38(8):136-142.
LIN Zhangsui. Influence of large capacity VSC-HVDC transmission system on transient stability of grid[J]. Electric Power Construction,2017,38(8):136-142.
- [18] 郑超,张鑫,吕盼,等. VSC-HVDC 与弱交流电网混联系统大扰动行为机理及稳定控制[J]. 中国电机工程学报,2019,39(3):629-641.
ZHENG Chao,ZHANG Xin,LYU Pan, et al. Study on the large disturbance behavior mechanism and stability control strategy for VSC-HVDC and weak AC hybrid system[J]. Proceedings of the CSEE,2019,39(3):629-641.
- [19] 徐政,屠卿瑞,管敏渊,等. 柔性直流输电系统[M]. 北京:机械工业出版社,2013:291-297.
XU Zheng,TU Qinrui,GUAN Minyuan, et al. Flexible HVDC transmission system[M]. Beijing:Machinery Industry Press,2013:291-297.
- [20] 胡兆庆,田杰,董云龙,等. 模块化多电平柔性直流输电系统网侧故障控制策略及验证[J]. 电力系统自动化,2013,37(15):71-75.
HU Zhaoqing,TIAN Jie,DONG Yunlong, et al. A control strategy for modular multilevel converter based HVDC flexible systems under system faults and its verification[J]. Automation of Electric Power System,2013,37(15):71-75.

作者简介:



吕思卓

吕思卓(1989),男,硕士,工程师,从事电力系统稳定与控制相关工作(E-mail: lvsizhuo@epri.sgcc.com.cn);

舒展(1977),男,硕士,高级工程师,从事电力系统运行与控制相关工作;

宋新甫(1984),男,硕士,高级工程师,从事电力系统稳定与控制相关工作。

Influence of VSC-HVDC interconnection on recovery characteristics of weak receiving-end grid fault and optimization measure

LYU Sizhuo¹, SHU Zhan², SONG Xinfu³, YANG Zhiguo⁴, ZHANG Zengqiang³, ZHENG Chao¹

(1. China Electric Power Research Institute, Beijing 100192, China; 2. State Grid Jiangxi Electric Power Co., Ltd. Research Institute, Nanchang 330096, China; 3. State Grid Xinjiang Electric Power Co., Ltd. Economic Research Institute, Urumqi 830016, China; 4. Inner Mongolia Power(Group) Co., Ltd., Hohhot 010020, China)

Abstract: With the continuous improvement of the voltage level and transmission capacity in voltage source converter-high voltage DC (VSC-HVDC), the VSC-HVDC transmission technology using voltage source converters has been widely used in China, and its impact on the power grid is further enhanced. Firstly, based on a newly developed VSC-HVDC control system which takes into account fault crossing strategy in the electromechanical transient simulation program PSD-BPA, the differences of disturbance recovery characteristics of weak receiving-end power grid under different HVDC interconnection schemes are compared. On this basis, the influence of VSC-HVDC control mode, transmission power and fault traversal control strategy on dynamic active and reactive power characteristics of converter station is studied. Finally, an optimization scheme is proposed to solve the voltage stability problem of Tibet weak receiving-end power grid. The simulation results show that optimizing the key parameters of VSC-HVDC fault traversal control can improve the recovery performance of weak receiving-end grid after fault.

Keywords: high voltage DC; control mode; fault traverse strategy; recovery characteristics; parameter optimization

(编辑 方晶)