

轻型直流输电技术在我国电网中的应用

王海军 陈 潜

(中国南方电网超高压输电公司 检修试验中心, 广东 广州 510663)

摘要: 对轻型直流输电运行原理和技术特点、控制模式以及控制系统进行简要的介绍和分析, 根据我国电网的特点, 对其在我国电网中的应用作了初步探讨。采用电磁暂态仿真程序 (PSCAD/EMTDC) 对轻型直流输电系统在区域互联、多馈入直流输电系统中的应用进行了建模仿真, 结果表明轻型直流输电在提高所并联交流线路的暂态稳定性、抑制区域间联络线的功率振荡等方面能起到积极作用, 其电压、有功、无功的快速调节能力可为多馈入直流输电系统提供良好的电压支撑, 有利于相联的传统直流输电系统故障后的快速恢复。

关键词: 轻型直流输电; 区域互联; 多馈入直流输电系统; PSCAD/EMTDC

中图分类号: TM721.1

文献标识码: B

文章编号: 1004-9649(2009)11-0032-04

0 引言

采用电压源换流器 (VSC, Voltage Sourced Converters) 和大功率可关断电力电子器件绝缘栅双极晶体管 (IGBT, Insulated Gate Bipolar Transistor) 的轻型直流输电技术 (HVDC light) 克服了传统 HVDC 固有的一些缺陷^[1], 大幅度简化了设备、减少了换流站的面积, 具备许多优越的性能。文献[2-7]对其原理、运行机理和特性、与传统 HVDC 的差异、应用的场合、国外的一些主要工程技术指标、系统建模以及控制策略等方面作了详细的介绍和论述。

2007 年为止, 世界各国投运的 HVDC light 工程主要有 12 项, 大多用于系统互联、电力交易、电压支撑、风力发电、无功补偿等。HVDC light 受到各国电力行业的关注和重视, 说明 HVDC light 的优点^[8]已得到了普遍认可。我国只有一些 HVDC light 的试验平台, 还没有投运的实际工程。大多数文献对 HVDC light 在我国的应用只是展望, 没有进一步的探讨。

1 原理及控制系统

VSC 换流器由换流阀、换流电抗器、直流电容器和交流滤波器组成。HVDC light 采用脉宽调制技术 (PWM, Pulse-Width Modulation) 对高频脉宽调制电压进行低通滤波后获得基波电压。采用 PWM 技术的逆变输出交流电压, 更加趋近于标准的正弦波,

谐波分量大大减小, 使滤波系统简化, 换流站更加紧凑, 投资减少。

1.1 原理

图 1 所示, 设换流电抗器和交流滤波器母线之间的传输功率为 S_b , 则

$$S_b = P + jQ = \sqrt{2} U_F I_R^* \quad (1)$$

其中有功功率和无功功率分别为:

$$P = \frac{U_F U_C \sin \delta}{\omega L} \quad (2)$$

$$Q = \frac{U_F (U_F - U_C \cos \delta)}{\omega L} \quad (3)$$

式中: δ 为滤波器电压 \dot{U}_F 和换流器电压 \dot{U}_C 之间的相位角; L 为换流电抗器电感。通过改变 δ (或 \dot{U}_F 和 \dot{U}_C 的幅值), 可以控制流经换流电抗器和滤波器母线之间的有功功率 (或无功功率), 从而控制由换流器注入交流电网的有功功率 (或无功功率)。

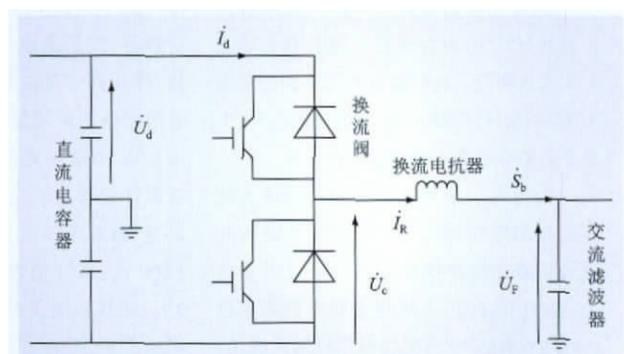


图 1 换流电路

Fig.1 Simplified circuit diagram of the HVDC light converter

收稿日期: 2009-04-20

作者简介: 王海军(1977—), 男, 河北承德人, 学士, 工程师, 从事高压直流输电系统研究。E-mail:wanghj@spsc.com.cn

当 \dot{U}_F 超前 \dot{U}_C δ 角时,有功功率由交流侧注入直流侧,换流器工作在整流状态;当 \dot{U}_F 落后 \dot{U}_C δ 角时,有功功率由直流侧注入交流侧,换流器工作在逆变状态。当 U_F 大于 $U_C \cos \delta$ 时,换流器消耗无功功率,相反则产生无功功率。

1.2 控制系统

HVDC light 的控制模式一般采用整流侧控制系统所输送的有功和无功,逆变侧控制直流电压和受端交流母线电压。

整流侧控制系统如图 2 所示。其控制过程为由直流电压和直流电流得到直流功率,经过一定的延时后与直流功率参考值比较,将差值送至潮流控制器;潮流控制器通过计算得出触发角命令并送至 PWM;无功功率参考值和实际值进行比较,差值经过比例积分环节调节后得到调制比(M), M 经过延时和限幅处理后送至 PWM;PWM 根据得到的 M 和触发角命令,产生驱动 IGBT 或 GTO 的触发脉冲,实现对传输的有功和无功控制。

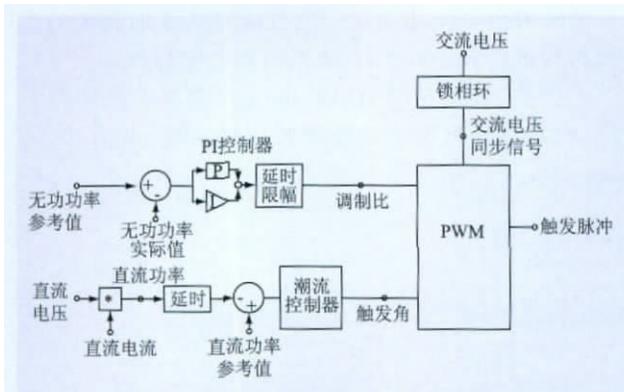


图 2 整流侧控制系统

Fig.2 Simplified diagram of the rectifier control system

逆变侧控制系统如图 3 所示。直流电压参考值和实际值进行比较,经过比例积分环节调节后得

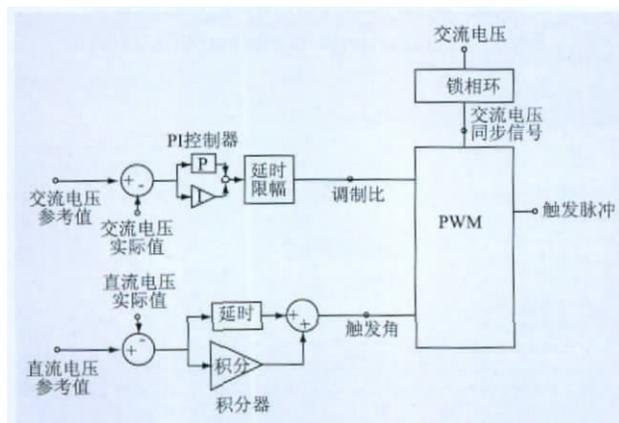


图 3 逆变侧控制系统

Fig.3 Simplified diagram of the inverter control system

发角定值并送至 PWM;交流电压参考值和实际值进行比较,其差值经过比例积分环节调节后得到 M 并送至 PWM;PWM 根据得到的 M 和触发角命令,产生驱动 IGBT 或 GTO 的触发脉冲,实现对直流电压和受端交流母线电压的控制。

2 我国电网的应用

我国电网发展迅速,目前处于从大区域性电网向全国性电网过渡的阶段。采用高压交流方式进行区域联网方便灵活,运行和管理经验较为成熟,可是存在短路电流水平超限、联络线容易发生低频振荡等问题^[9]。采用传统高压直流相联是区域互联的最佳方式,近年来国内新建的直流工程不断投产,由于交直流之间强烈的相互作用,大规模的交直流混合输电系统安全稳定运行的技术难点较多,直流多落点的问题突出^[10]。HVDC light 技术尚未达到远距离、大容量功率传输的要求,主要障碍是相对较高的功率损耗;可是其能向系统同时提供有功和无功功率,与交流系统无缝连接以及高级别的可控能力,在提高电力系统稳定性和输电能力方面具有很大优势。因此,可利用 HVDC light 灵活的控制性去抑制和解决高压交流和传统高压直流输电在大规模电网互联中所存在的缺点和相关问题,进一步增强系统的稳定性。

2.1 模型的建立

模型 1 如图 4 所示。区域 1 与区域 2 通过 1 回 HVDC light 线路和 2 回交流输电线路互联。交流输电线路的电压等级为 230 kV,长度为 200 km。区域 1 为送端系统,有 1 台 200 MVA、13.8 kV 的发电机,配置有原动机、调速器、励磁调节器和电力系统稳定器;区域 2 为受端系统,采用电压为 115 kV、内阻抗为 26.45 Ω 的三相电压源进行等效;HVDC light 的额定电压为 110 kV,输送功率 75 MW。

模型 2 为多馈入直流输电系统,如图 5 所示。2 回 500 kV HVDC 和 1 回 HVDC light 落点于同一区域,500 kV HVDC 采用 Cigre Benchmark 模型^[11];逆变侧换流母线 1 和 3 通过线路与母线 2 相联,共同组

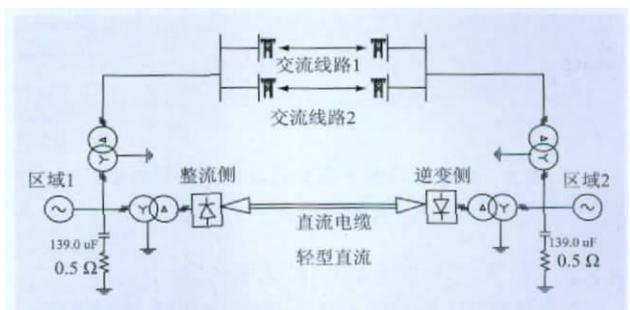
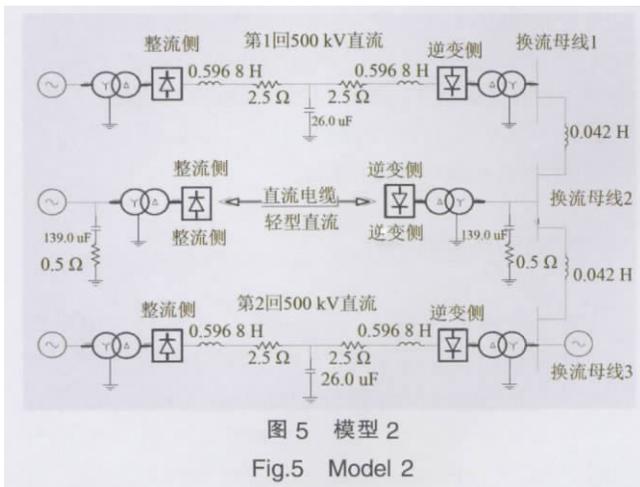


图 4 模型 1

Fig.4 Model 1

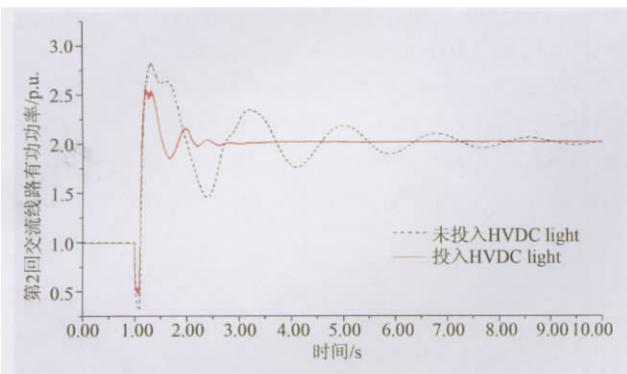


成受端系统;HVDC light 电压等级为 150 kV, 输送功率为 150 MW。

2.2 仿真结果及分析

2.2.1 与交流线路并联的仿真

为观察 HVDC light 对所并联运行交流线路的影响, 在模型 1 中的第 1 回交流线路中设置三相短路故障, 故障持续时间为 100 ms。仿真从稳态开始, 1.00 s 时发生故障。图 6 为第 2 回交流线路有功功率变化曲线, 黑色虚线部分为未投 HVDC light 的波形, 故障后功率发生了较大波动, 大约经过 8.00 s 后进入稳态; 红色实线部分为投入 HVDC light 的波形, 在 HVDC light 的快速调节下, 线路有功功率波动较小, 在故障 2.00 s 后便进入了稳态。图 7 为第 2 回交流线路靠逆变侧交流电压的变化曲线。黑色细实线为未投 HVDC light 的波形, 红色粗实线为投入 HVDC light 的波形。可知, HVDC light 的投入使故障后线路电压迅速提升到 0.9 p.u. 以上, 有效地抑制了电压的波动。



2.2.2 在多馈入直流输电系统中的应用

为观察 HVDC light 对多馈入输电系统的影响, 在第 1 回直流换流母线设置 c 相 90% 金属接地故障。仿真从稳态开始, 2.00 s 时发生故障, 持续 50 ms。

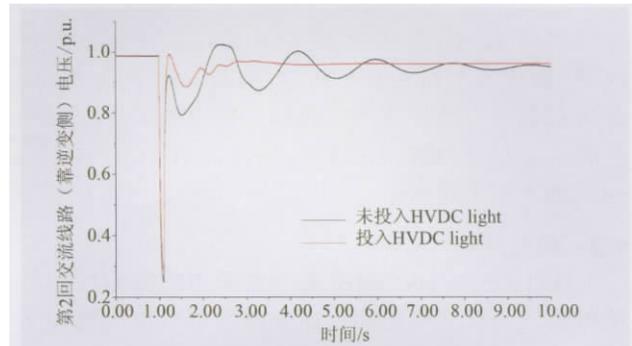


图 7 故障前后第 2 回交流线路 (靠逆变侧) 电压

Fig.7 Inverter side's voltages of line 2

在仿真过程中, 当熄弧角小于 8° 时, 认为直流系统发生了换相失败。图 8、9 反映了第 1、2 回 500 kV HVDC 直流逆变侧熄弧角测量值在故障前后变化的情况。可知, 在未投 HVDC light 时, 第 1、2 回直流均发生了持续时间为 40 ms 的换相失败, 并且存在发生后续换相失败的危险; HVDC light 接入系统后, 第 1 回直流发生换相失败的时间减少为 25 ms, 第 2 回直流没有发生换相失败, 而且故障后 2 回直流的熄弧角均提升到 10° 以上, 熄弧角裕度明显提高。

仿真表明, 利用 HVDC light 与交流输电线路并联, 可提高并列交流线路的暂态稳定性, 其有功、无

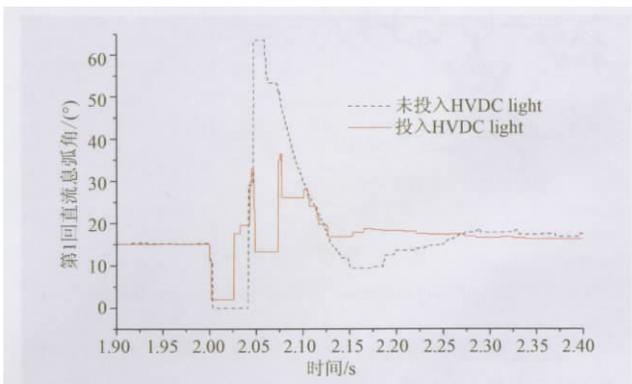


图 8 第 1 回 500 kV HVDC 熄弧角测量值

Fig.8 Extinction angle of the first 500 kV HVDC

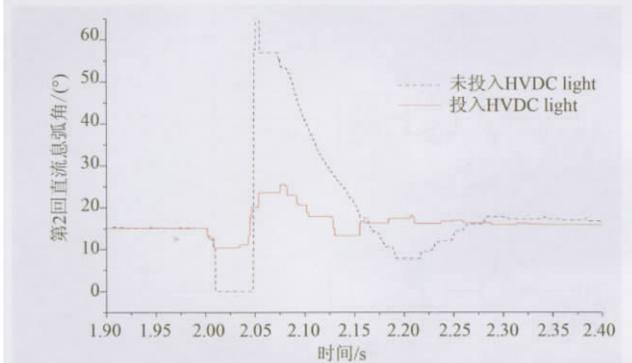


图 9 第 2 回 500 kV HVDC 熄弧角测量值

Fig.9 Extinction angle of the second 500 kV HVDC

功和频率的快速调节能力有利于抑制线路电压的波动和区域间联络线所发生的功率振荡。将 HVDC light 接入多馈入直流输电系统,可以动态补偿交流母线的无功功率,有利于稳定交流母线的电压,防止直流系统换相失败的发生。

3 结语

基于 VSC 和 IGBT 的 HVDC light, 采用脉宽调制技术具有快速调整电压、频率、有功和无功的能力,可提高所并联的交流线路的暂态稳定性,有利于抑制线路电压的波动和区域间联络线所发生的功率振荡;可对多馈入直流输电系统交流母线无功功率进行动态补偿,为受端系统提供良好的电压支撑,有利于防止换相失败的发生和直流功率的快速恢复,减弱由于多个换流站电气距离较近所带来的相互影响,提高多馈入直流输电系统的稳定性。

大功率电力电子器件的发展日新月异, 轻型 HVDC 技术正在不断的进步和成熟, 输电容量和电压等级逐渐提高, 使其在输电系统中越来越具有竞争力。随着西电东送和全国联网的不断发展, 电能质量和电网运行的灵活性和可靠性的要求越来越高, 轻型 HVDC 技术必将得到越来越广泛的应用。

参考文献:

- [1] 张桂斌, 徐 政. 直流输电技术的新发展[J]. 中国电力, 2000, 33(3): 32-35.
ZHANG Gui-bin, XU Zheng. New development of direct transmission technology[J]. Electric Power, 2000, 33(3): 32-35.
- [2] 李庚银, 吕鹏飞, 李广凯, 等. 轻型高压直流输电技术的发展与展望[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(4): 77-81.
LI Geng-yin, LU Peng-fei, LI Guang-kai, et al. Development and prospects for HVDC light[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(4): 77-81.
- [3] WEIMERS L. HVDC light-A new technology for a better environment [C]//IEEE Power Engineering Review, 1998(8): 19-20.
- [4] ERIKSSON K. Operational experience of HVDC light™ [C]//AC-DC Power Transmission, 28-30 November 2001 Conference Publication No. 485 IEE 2001: 205-210.
- [5] ASPLUND G. Application of HVDC light to power system enhancement [C]//Power Engineering Society Winter Meeting, 2000: 2498-2503.
- [6] 严干贵, 陈 涛, 穆 钢, 等. 轻型高压直流输电系统的动态建模及非线性解耦控制[J]. 电网技术, 2007, 31(6): 45-50.
YAN Gan-gui, CHEN Tao, MU Gang, et al. Dynamic modeling and nonlinear-decouple control of HVDC light system[J]. Power System Technology, 2007, 31(6): 45-50.
- [7] 郑 超, 周孝信, 李若梅. 电压源换流器式高压直流输电的动态建模与暂态仿真[J]. 电网技术, 2005, 29(16): 1-5.
ZHENG Chao, ZHOU Xiao-xin, LI Ruo-mei. Dynamic modeling and transient simulation for voltage source converter based HVDC [J]. Power System Technology, 2005, 29(16): 1-5.
- [8] 汤广福. 2006 年国际大电网会议系列报道——高压直流输电和电力电子技术[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(8): 1-7.
TANG Guang-fu. A review of CIGRE'2006 on high voltage direct current (HVDC) and power electronic (PE) technologies[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(8): 1-7.
- [9] 徐 政, 王洪梅. 西电东送与全国联网中的多直流落点问题[J]. 水力发电, 2004, 30(3): 46-49.
XU Zheng, WANG Hong-mei. Problems of multiple HVDC links terminating in an AC system[J]. Water Power, 2004, 30(3): 46-49.
- [10] 徐 政. 含多个直流换流站的电力系统中交直流相互作用特性综述[J]. 电网技术, 1998, 22(2): 16-19.
XU Zheng. AC/DC and DC/DC interactions of multiple HVDC links terminating in the same AC system[J]. Power System Technology, 1998, 22(2): 16-19.
- [11] CIGRE Working Group 14.02. The CIGRE HVDC benchmark model—a new proposal with revised parameters[J]. Elctra, 1994(157): 61-66.

(责任编辑 骆 平)

Investigation on applying HVDC light to China power grid

WANG Hai-jun, CHEN Qian

(Test & Maintenance Center of Extra High Voltages Power Transmission Company of Southern China Power Grid, Guangzhou 510633, China)

Abstract: After brief introduction and analysis to technique characteristics, the control modes and control system of HVDC light, a discussion about applying HVDC light to China power grid was presented. Models of applying HVDC light to AC/DC hybrid system and Multi-Infed Direct Current system were built by PSCAD/EMTDC. The simulation results show that HVDC light can improve effectively the transient stability of the AC/DC hybrid system and the MIDC system due to its contribution to supporting voltage, damping of the power oscillations.

Key words: HVDC light; system interconnection; MIDC system; PSCAD/EMTDC

欢迎投稿 欢迎订阅 欢迎刊登广告