

一种典型混联直流输电系统的运行特性分析

徐 鹏¹, 赵成勇², 曹雅榕³

(1. 国网江苏省电力有限公司检修分公司, 江苏 南京 211102; 2. 新能源电力系统国家重点实验室 (华北电力大学), 北京 102206; 3. 国网南京供电公司, 江苏 南京 210012)

摘要: 混合型高压直流输电能够充分利用晶闸管换流器和电压源换流器的优点, 具有良好的发展前景。为研究混联式直流电网的控制策略和运行特性, 建立了整流侧采用模块化多电平换流器, 逆变侧采用晶闸管换流器的四端双极混联式结构, 推导其数学模型, 并设计了相应的控制策略, 在 PSCAD/EMTDC 中对该混联式直流电网的启动过程和运行特性进行了仿真分析, 证明了所提出控制策略的有效性。

关键词: 混合型高压直流输电; 控制策略; 启动过程; 运行特性

中图分类号: TM452

文献标志码: A

文章编号: 2096-3203(2018)05-0148-07

0 引言

电网换相高压直流输电(line commutated converter based high voltage direct current, LCC-HVDC)具有输送容量大、距离远、可实现非同步联网等优点, 在电网中发挥着十分重要的作用^[1-5]。20世纪90年代后, 以全控型器件为基础的电压源换流器高压直流输电(voltage source converter based high voltage direct current, VSC-HVDC)凭借其电流自关断能力良好、可向无源系统供电等优点^[6-8], 在电力系统中得到了广泛应用, 成为直流电网的重要组成部分^[9-10]。

混合型高压直流输电(hybrid-HVDC)能够实现LCC-HVDC与VSC-HVDC之间的优势互补, 成为目前的研究热点^[11-14]。文献[15]提出一种整流侧采用LCC结构, 逆变侧采用VSC结构的混合型输电拓扑。文献[16]研究了整流侧为VSC结构, 逆变侧为LCC结构的混合直流输电系统工作原理, 提出抑制LCC结构发生换相失败的控制策略。文献[17]针对一种正极为LCC结构、负极为VSC结构的混合双极系统展开研究, 并提出了极间协调控制策略。文献[18]建立了一种混联直流输电系统的通用模型, 探讨了该模型的多种运行方式及相应的适用范围。

上述文献提出的创新性论点, 为混合直流输电的发展提供了宝贵的参考意见。由于目前已投运的工程大部分采用晶闸管换流阀进行换流, 而以全控型器件为基础的电压源型换流器高压直流输电近几年快速发展, 在此基础上建设的直流电网必然会涉及到LCC与VSC结构的混联问题^[19-21]。本文针对一种整流侧采用模块化多电平换流器(modular

multilevel converter, MMC)、逆变侧采用LCC换流器的四端双极混联式直流电网模型展开研究, 该模型可模拟风电场经VSC换流站并联后向远方LCC换流站送电的情况。我国西部和沿海地区风力资源丰富, 在实现大规模远距离风电输送时, VSC换流器可以控制风电场侧交流电压, 克服了LCC换流器连接风电场时须外加换相电压的缺点。当受端电网较强时, 该模型优势更加明显。

1 建立模型

建立如图1所示的四端双极式混联式直流电网模型。该模型包括两回直流输电线路, 线路1连接交流系统 S_1 和 S_3 , 线路2连接交流系统 S_2 和 S_4 , 其中交流系统采用理想电压源加等值阻抗模型。线路1和线路2的两端分别由MMC换流器和LCC换流器组成, 其中MMC换流器每个桥臂采用10个子模块, 可输出11电平电压波形, LCC换流器采用2个6脉动换流器串联。每端换流器由2个同种类型的换流器组成双极结构, 并通过直流线路连接。其中线路1的额定直流电压为 ± 500 kV, 额定直流电流为1.2 kA, 系统正常运行时额定输送功率为1200 MW; 线路2的额定直流电压为 ± 500 kV, 额定直流电流为3.0 kA, 系统正常运行时额定输送功率为3000 MW。

稳态时, 线路1整流侧MMC采用定有功功率控制, 定功率1200 MW, 逆变侧LCC采用附加低压限流环节的定直流电流控制^[1], 定电流1.2 kA; 线路2整流侧MMC采用定直流电压控制, 定直流电压 ± 500 kV, 逆变侧LCC采用附加低压限流环节的定直流电流控制, 定电流3.0 kA。模型主要运行参数如表1、表2所示。

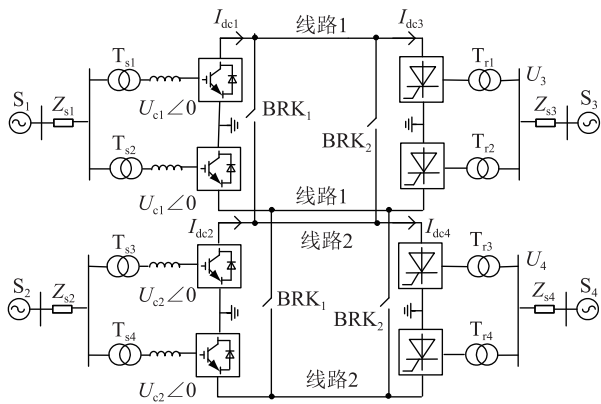


图1 整流侧为 MMC、逆变侧为 LCC 的四端混联直流电网

Fig.1 Four-terminal hybrid DC grid with MMC rectifier and LCC inverter

表1 线路1 整流侧模型主要参数

Tab.1 Main model parameter of line 1

整流侧		逆变侧	
参数	数值	参数	数值
交流系统电压/kV	247.58	交流系统电压/kV	215.05
交流系统等值阻抗/ Ω	$8.48 \angle 75^\circ$	交流系统等值阻抗/ Ω	$17.66 \angle 75^\circ$
子模块电容值/ μF	500	单个换流器无功补偿容量/Mvar	375
桥臂电阻值/ Ω	2	直流线路阻抗/ Ω	$3.388 \text{ 1} + \text{j}3.863 \text{ 1}$
桥臂电感值/H	0.09	平波电抗/H	0.596 8
单个换流变容量/(MV·A)	700	单个换流变容量/(MV·A)	355.07

表2 线路2 模型主要参数

Tab.2 Main model parameter of line 2

整流侧		逆变侧	
参数	数值	参数	数值
交流系统电压/kV	247.58	交流系统电压/kV	215.05
交流系统等值阻抗/ Ω	$3.18 \angle 75^\circ$	交流系统等值阻抗/ Ω	$7.06 \angle 75^\circ$
子模块电容值/ μF	1300	单个换流器无功补偿容量/Mvar	939
桥臂电阻值/ Ω	2	直流线路阻抗/ Ω	$3.388 \text{ 1} + \text{j}3.863 \text{ 1}$
桥臂电感值/H	0.032	平波电抗/H	0.596 8
单个换流变容量/(MV·A)	1800	单个换流变容量/(MV·A)	887.69

整流侧 MMC 的传输有功功率主要由交流电压基频分量 U 与换流器交流侧输出电压基频分量 U_c 的移相角度 δ 决定,无功功率主要由交流侧输出电压的基波幅值决定,如式(1—4)所示。

$$P_{S1} = \frac{U_1 U_{c1}}{X_1} \sin \delta_1 \quad (1)$$

$$P_{S2} = \frac{U_2 U_{c2}}{X_2} \sin \delta_2 \quad (2)$$

$$Q_{S1} = \frac{U_1 (U_{c1} \cos \delta_1)}{X_1} \sin \delta_1 \quad (3)$$

$$Q_{S2} = \frac{U_2 (U_{c2} \cos \delta_2)}{X_2} \sin \delta_2 \quad (4)$$

式中: $P_{S1}, P_{S2}, Q_{S1}, Q_{S2}$ 分别为线路 1 和线路 2 上 MMC 的有功和无功功率; U_1, U_2 为整流侧交流系统电压基频分量; U_{c1}, U_{c2} 为线路 1 和线路 2 上 MMC 交流侧输出电压基频分量; X_1, X_2 分别为线路 1 和线路 2 上整流侧换流变压器和换流电抗器的等值电抗; δ_1, δ_2 为移相角度。

采用 SPWM 调制方式时,整流侧直流电压如式(5—6)所示:

$$U_{d1} = \frac{2\sqrt{2}}{\sqrt{3}} U_{c1} / M_1 \quad (5)$$

$$U_{d2} = \frac{2\sqrt{2}}{\sqrt{3}} U_{c2} / M_2 \quad (6)$$

式中: U_{d1} 和 U_{d2} 分别为线路 1 和线路 2 的近 MMC 侧直流电压幅值; M_1 和 M_2 为调制比。

逆变侧 LCC 的可控量只有触发延迟角 α ,其直流电压如式(7—8)所示:

$$U_{d3} = 1.35 U_3 \cos \beta_3 + \frac{3}{\pi} X_{r3} I_{dc3} \quad (7)$$

$$U_{d4} = 1.35 U_4 \cos \beta_4 + \frac{3}{\pi} X_{r4} I_{dc4} \quad (8)$$

式中: U_{d3}, U_{d4} 分别为线路 1 和线路 2 上近 LCC 侧的直流电压; U_3, U_4 分别为逆变侧交流系统电压基频分量; X_{r3}, X_{r4} 分别为 LCC 换流站等值换相电抗; β_3, β_4 分别为逆变侧换流器超前触发角 ($\beta = \pi - \alpha$); I_{dc3} 和 I_{dc4} 分别为线路 1 和线路 2 上的直流电流。

逆变侧换相角 μ 如式(9—10)所示:

$$\mu_3 = \arccos(\cos \gamma_3 - \frac{\sqrt{2} X_{r3} I_{dc3}}{U_3}) - \gamma_3 \quad (9)$$

$$\mu_4 = \arccos(\cos \gamma_4 - \frac{\sqrt{2} X_{r4} I_{dc4}}{U_4}) - \gamma_4 \quad (10)$$

式中: μ_3 和 μ_4 为逆变侧 LCC 换流站的换相角; γ_3 和 γ_4 为关断角 ($\gamma = \beta - \mu$)。

2 控制策略

2.1 LCC 控制

LCC 的控制系统一般分为主控制、极控制和阀控制 3 级。在两端 LCC 直流输电的极控制中,整流侧一般采用带有最小触发角限制的定电流控制,逆

LCC 换流器的超前触发角 β 从 90° 开始减小, 直流电压上升, 直流电流上升至 0.6 p.u. 左右。 $0.15 \sim 0.25 \text{ s}$ 为 MMC 不带限流电阻的不控整流充电阶段, LCC 的 β 角继续减小, 直流电压和电流继续增大。 0.25 s 之后 MMC 解锁运行, 直流电压逐渐上升到额定值 500 kV , LCC 的直流电压、直流电流也相应过渡到额定值 1.0 p.u. 。图 4(c—d) 为线路 1 正极 MMC 有功功率和线路 2 负极 MMC 有功功率, 在充电阶段, MMC 有功功率逐渐减小, 直至 0.25 s MMC 解锁时刻, MMC 有功功率在波动后逐渐向稳态过渡。其中 0.5 s 时的有功功率和无功功率较大波动是 BRK_1 、 BRK_2 动作造成的。 0.6 s 以后, 系统基本进入额定运行状态, 稳态运行情况良好。

3.2 暂态运行特性

为了研究该系统的运行特性, 下面基于 3 个算例进行相应的仿真分析。

3.2.1 线路 1 MMC 交流系统经大电感接地

线路 1 MMC 侧交流系统发生三相电感性接地故障, 输送功率下降, 由于接地电感较大, 功率下降幅度较小, 线路 1 的有功功率缺额由线路 2 补偿, 控制策略同正常运行控制策略。

1.0 s 时刻, 系统达到稳态, 线路 1 MMC 侧交流系统发生三相感性接地故障, 接地电感值为 0.08 H , 仿真结果如图 5 所示。

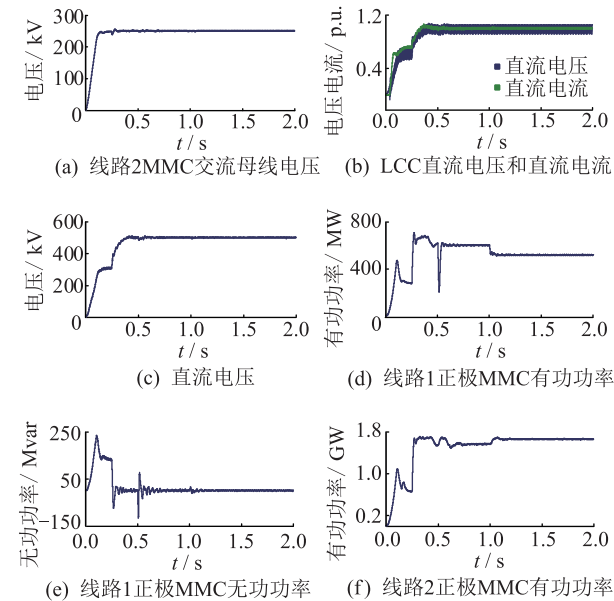


图 5 算例 1 仿真结果

Fig.5 The simulation result of example 1

1.0 s 时刻, 交流电压下降, 限制了有功功率的输出, 由图 5(d), 线路 1 正极 MMC 换流站输出有功功率由 600 MW 降为 520 MW 。由于线路 2 的 MMC 采用定直流电压控制, 由图 5(f), 线路 2 的正极

MMC 输出功率由 1580 MW 增加到 1660 MW , 即线路 2 补偿了线路 1 的功率缺额, 由图 5(c) 可知系统直流电压维持在 500 kV 。LCC 侧基本没有受到故障影响, 直流电压、直流电流均保持在额定值。

3.2.2 线路 1 MMC 交流系统经小电感接地

线路 1 MMC 侧交流系统发生三相电感性接地故障, 输送功率下降, 由于接地电感较小, 功率下降幅度较大, 线路 1 的有功功率缺额无法由线路 2 完全补偿, 上层控制减小线路 1 受端 LCC 的直流电流整定值。

1.0 s 时刻, 系统达到稳态, 线路 1 MMC 侧交流系统发生三相感性接地故障, 接地电感值为 0.01 H , 仿真结果如图 6 所示。

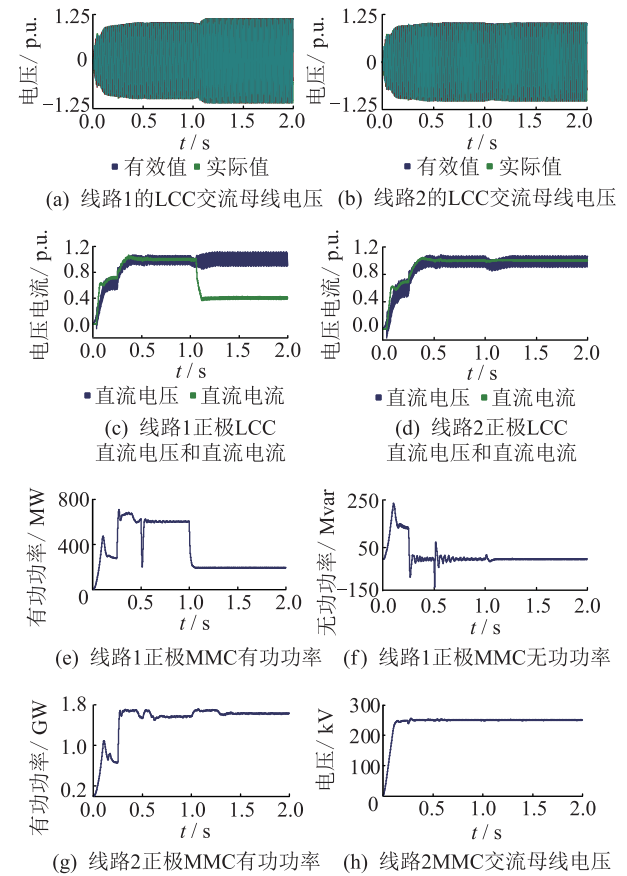


图 6 算例 2 仿真结果

Fig.6 The simulation result of example 2

1.0 s 时刻, 交流电压下降, 限制了有功功率的输出。由图 6(e), 线路 1 正极换流站输出有功功率由 600 MW 降低为 190 MW , 由于线路 2 MMC 侧采用定直流电压控制, 由图 6(g), 线路 2 的正极 MMC 输出功率由 1580 MW 增加到 1680 MW , 达到电流极限。由于线路 1 的有功功率缺额过大, 线路 2 MMC 即使达到输出极限也无法完全补偿其功率缺额, 造成了有功功率不平衡, 进而引起直流电压下降。此时, 上层控制根据 2 条线路 MMC 侧能够提供的最

大有功功率,调整线路1 逆变侧 LCC 的直流电流整定值,维持系统有功功率平衡。由图 6(b),直流电压先由于有功功率不足而有所下降,在上层控制将线路1 逆变侧 LCC 直流电流整定值调节至 0.4 p.u. 后,功率恢复平衡,在线路2 MMC 换流器定直流电压控制的作用下,系统直流电压逐渐恢复到额定值 500 kV。由图 6(c),线路1 逆变侧 LCC 直流电流最终稳定在 0.4 p.u.。由图 6(b)、6(d),线路2 的 LCC 运行相对稳定。

3.2.3 线路2 MMC 交流系统经小电感接地

线路2 MMC 侧交流系统发生三相电感性接地故障,输送功率下降,由于接地电感较小,功率下降幅度较大,线路2 的有功功率缺额无法由线路1 完全补偿,上层控制将线路1 中 MMC 换流站的定有功功率控制切换为定电压控制,将线路2 中 MMC 换流站的定直流电压控制切换为定有功功率控制,同时减小线路2 受端 LCC 的直流电流整定值。

1.0 s 时刻,系统达到稳态,线路2 MMC 侧交流系统发生三相感性接地故障,接地电感值为 0.01 H,仿真结果如图 7 所示。

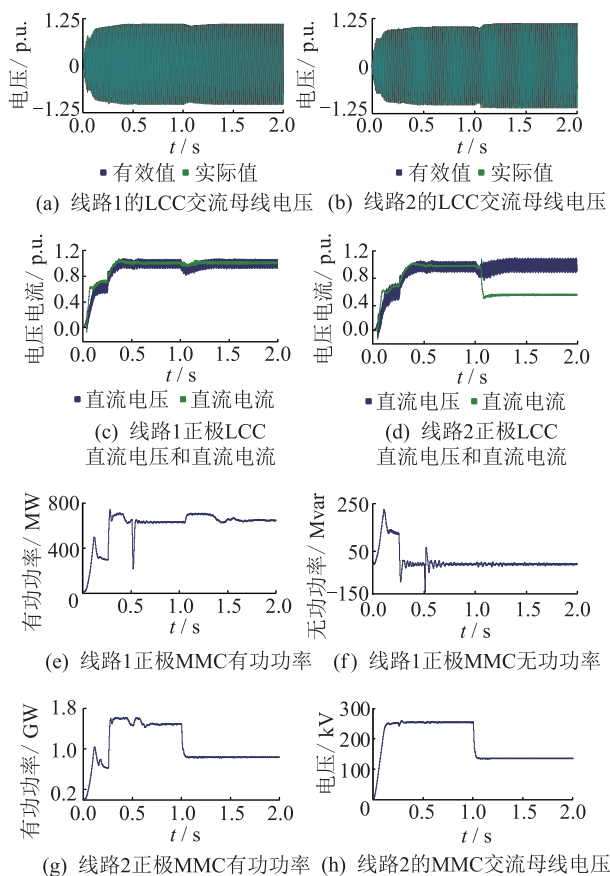


图7 算例3 仿真结果

Fig.7 The simulation result of example 3

1.0 s 时刻,交流电压下降,限制了有功功率的输出。由图 7(g),线路2 正极换流站输出有功功率

由 1580 MW 降低为 880 MW,且电流到达了极限,失去直流电压的调节功能。此时上层控制将线路2 中 MMC 的定直流电压控制切换为定有功功率控制,该有功功率整定值略小于故障情况下 MMC 能输出的有功功率极限,同时将线路1 中 MMC 的定有功功率控制切换为定直流电压控制。由图 7(e),线路1 的正极 MMC 输出功率由 600 MW 增加到 670 MW,达到了电流运行极限,但由于线路2 的有功功率缺额过大,线路1 MMC 即使达到输出极限也无法完全补偿功率缺额,造成了功率不平衡,进而引起了直流电压的下降。此时,上层控制根据 2 条线路 MMC 侧能够提供的最大有功功率,调整线路2 逆变侧 LCC 的直流电流整定值,保持系统有功功率平衡。由图 7(d),直流电压先由于有功功率不足而有所下降,在上层控制将线路2 逆变侧 LCC 直流电流整定值调节至 0.55 p.u. 后,功率恢复平衡,在线路1 MMC 换流器定直流电压控制器的作用下,系统直流电压逐渐恢复到额定值 500 kV。由图 7(b)、7(d) 知,线路2 的 LCC 运行相对稳定。

4 结语

混合高压直流输电能够综合利用电网换相高压直流输电和电压源换流器高压直流输电的优点,实现二者的优势互补。本文建立了一种整流侧采用模块化多电平换流器,逆变侧采用晶闸管换流器的四端双极混联式直流电网系统,该系统可以平稳启动,稳态运行情况良好,且在 3 种不同程度的故障后暂态过程中实现系统的平稳过渡。由于混联直流输电系统有着不同的适用场合,因此存在多种运行方式,接下来将针对其他方式下的运行特性继续展开研究。

参考文献:

- [1] 赵婉君. 高压直流输电工程技术[M]. 北京:中国电力出版社,2004.
ZHAO WanJun. HVDC engineering technology [M]. Beijing: China Electric Power Press,2004.
- [2] 郭春义,刘文静,赵成勇. 电压源电流源混合型高压直流输电控制方法研究[J]. 中国科学(技术科学),2013,43(11): 1281-1288.
GUO Chunyi,LIU Wenjing,ZHAO Chengyong. Research on the control method for voltage-current source hybrid-HVDC system [J]. Sci China(Tech Sci),2013,43(11): 1281-1288.
- [3] 童凯,宣佳卓,许烽,等. 浙江电网特高压直流输电工程保护闭锁策略[J]. 浙江电力,2018,37(2):31-35.
TONG Kai,XUAN Jiazhao,XU Feng, et al. Protection locking strategy of Zhejiang UHVDC transmission project[J]. Zhejiang Electric Power,2018,37(2):31-35.

- [4] 汪剑峰,康 龙. 特高压直流故障下的负荷控制精度研究[J]. 浙江电力,2018,37(3):22-25.
WANG Jianfeng, KANG Long. Research on load control precision under UHVDC faults [J]. Zhejiang Electric Power, 2018,37(3):22-25.
- [5] 徐 鹏. 一种典型的混联直流输电系统协调控制策略研究[D]. 北京:华北电力大学,2016.
XU Peng. Research on coordination control strategy for a typical hybrid HVDC transmission system[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2016.
- [6] 刘志江,夏成军,杜兆斌. 多端柔性直流输电系统直流电压模糊控制策略[J]. 电力工程技术,2017,36(2):21-26,87.
LIU Zhijiang, XIA Chengjun, DU Zhaobin. Research of DC voltage fuzzy control strategy for VSC-MTDC systems[J]. Electric Power Engineering Technology, 2017,36(2):21-26,87.
- [7] 徐 政,张哲任,刘高任. 柔性直流输电网的电压控制原理研究[J]. 电力工程技术,2017,36(1):54-59.
XU Zheng, ZHANG Zheren, LIU Gaoren. Research on voltage control principle of flexible DC transmission power grid[J]. Electric Power Engineering Technology, 2017,36(1):54-59.
- [8] 汤广福. 基于电压源换流器的高压直流输电技术[M]. 北京:中国电力出版社,2010.
TANG Guangfu. HVDC transmission technology based on voltage source converter [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2010.
- [9] 李亚楼,穆 清,安 宁,等. 直流电网模型和仿真的发展与挑战[J]. 电力系统自动化,2014,38(4):127-135.
LI Yalou, MU Qing, AN Ning, et al. Development and challenge of modeling and simulation of DC grid [J]. Automation of Electric Power Systems, 2014,38(4):127-135.
- [10] 汤广福,罗 湘,魏晓光. 多端直流输电与直流电网技术[J]. 中国电机工程学报,2013,33(10):8-17.
TANG Guangfu, LUO Xiang, WEI Xiaoguang. Multi-terminal HVDC and DC-grid technology[J]. Proceedings of the CSEE, 2013,33(10):8-17.
- [11] 赵成勇. 混合直流输电[M]. 北京:科学出版社,2014.
ZHAO Chengyong. Hybrid direct current transmission [M]. Beijing: Science Press, 2014.
- [12] 唐 庚,徐 政,薛英林. LCC-MMC 混合高压直流输电系统[J]. 电工技术学报,2013,28(10):301-310.
TANG Geng, XU Zheng, XUE Yinglin. A LCC-MMC hybrid hvdc transmission system [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2013,28(10):301-310.
- [13] OMAR K, VIJAY K S. A hybrid HVDC transmission system supplying a passive load [C] // Electric Power and Energy Conference (EPEC), 2010.
- [14] RAYMUNDO E, TORRES O, MARTA M, et al. Offshore wind farm grid integration by VSC technology with LCC-based HVDC transmission [J]. IEEE Transactions on Sustainable Energy, 2012,3(4):809-907.
- [15] 李广凯,李庚银,梁海峰,等. 新型混合直流输电方式的研究[J]. 电网技术,2006,30(4):82-86.
LI Guangkai, LI Gengyin, LIANG Haifeng, et al. Research on a novel hybrid HVDC system [J]. Power System Technology, 2006,30(4):82-86.
- [16] 刘文静. 电压源、电流源混合型直流输电的运行机理研究[D]. 北京:华北电力大学,2014.
LIU Wenjing. Research on the operating mechanism for voltage-current source hybrid-HVDC system [D]. Beijing: North China Electric Power University, 2014.
- [17] 郭春义,赵成勇,ALLAN M,等. 混合双极高压直流输电系统的特性研究[J]. 中国电机工程学报,2012,32(10):98-104.
GUO Chunyi, ZHAO Chengyong, ALLAN M, et al. Investigation of hybrid bipolar HVDC system performances [J]. Proceedings of the CSEE, 2012,32(10):98-104.
- [18] 薛英林,徐 政,潘武略,等. 电流源型混合直流输电系统建模与仿真[J]. 电力系统自动化,2012,36(9):98-103.
XUE Yinglin, XU Zheng, PAN Wulue, et al. Modeling and simulation for a hybrid current source converter high voltage direct current transmission system [J]. Automation of Electric Power Systems, 2012,36(9):98-103.
- [19] 张 帆,徐 鹏,贾秀芳,等. 混联式直流电网的协调控制策略[J]. 电力自动化设备,2017,37(1):137-143.
ZHANG Fan, XU Peng, JIA Xiufang, et al. Research on coordinated control strategy for hybrid DC grid [J]. Electric Power Automation Equipment, 2017,37(1):137-143.
- [20] 郝雨辰,江叶峰,仇晨光,等. 基于多代理系统的直流微电网分区式稳定控制方法研究[J]. 电力工程技术,2017,36(5):15-20.
HAO Yuchen, JIANG Yefeng, QIU Chenguang, et al. Research on sub-regional stability control of DC microgrid based on multi-agent system [J]. Electric Power Engineering Technology, 2017,36(5):8-14.
- [21] 李 猛,夏成军,杜兆斌. 混合直流双桥换相失败机理及抑制措施研究[J]. 电力工程技术,2017,36(1):47-53.
LI Meng, XIA Chengjun, DU Zhaobin. Research on the mechanism and suppression method of double bridge discontinuous commutation failure in hybrid HVDC [J]. Electric Power Engineering Technology, 2017,36(1):47-53.

作者简介:



徐 鹏

徐 鹏(1990—),男,硕士,助理工程师,从事高电压绝缘、电气试验与检修工作(E-mail:xupeng_1990ncepu@163.com);

赵成勇(1964—),男,博士,教授,从事高压直流输电与柔性直流输电技术研究工作(E-mail:2765013046@qq.com);

曹雅榕(1992—),女,硕士,助理工程师,从事电力营销工作。

Operating Characteristic for a Typical Hybrid HVDC Transmission System

XU Peng¹, ZHAO Chengyong², CAO Yarong³

- (1. State Grid Jiangsu Electric Power Company Maintenance Branch Company, Nanjing 211102, China;
2. State Key Laboratory of Alternate Electrical Power System with Renewable Energy Sources, North China Electric Power University, Beijing 102206, China; 3. State Grid Nanjing Power Supply Company, Nanjing 210012, China)

Abstract: Hybrid HVDC can take full advantage of the thyristor converter and voltage source converter, and it has a good development prospects. In order to analysis the control strategy and operating characteristic of hybrid DC grid, a four terminal bipolar's hybrid grid structure is established, whose rectifier side is modular multilevel converter and inverter side is thyristor converter, the mathematical model is derived and corresponding control strategy is designed. The start-up process and operating characteristic of hybrid DC grid are simulated and analyzed in PSCAD/EMTDC, which demonstrates the effectiveness of the proposed control strategy.

Key words: hybrid HVDC; control strategy; start-up process; operating characteristic

(编辑 胡昊明)

(上接第 147 页)

Quality and Efficiency Evaluation System of Distribution Network Fault Repair

SHI Xuanxuan¹, MENG Jun², LIANG Hao¹, QIN Shaoyang¹

- (1. State Grid Nanjing Power Supply Company, Nanjing 210019, China;
2. School of Electrical Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: The fault repair work of distribution network is an important part of distribution network operation. The quality and efficiency of repair work are of great significance to the improvement of the power supply reliability and service quality of distribution network. However, there are some difficulties in the evaluation of fault repair work at present. This paper takes fault repair as the entry point, and investigates and analyzes 95598 fault repair work orders from 3 dimensions of time, space and fault type; on this basis, the evaluation indexes that can accurately reflect the quality and efficiency of fault repair of distribution network are determined, the indexes are compared and evaluated by the way of scoring, and the weights are determined by using the analytic hierarchy process and entropy method, and the comprehensive score is obtained by weighted sum, thus a set of clear and practical evaluation system for the quality and efficiency of fault repair of distribution network is established. Finally, taking Nanjing as an example to evaluate the quality and efficiency of distribution network fault repair in each area, and the weak points of repair work are excavated by comparison and evaluation, and the operation management level and the high quality service level of distribution network are improved.

Key words: distribution network; fault repair; analytic hierarchy process; entropy method; evaluation system

(编辑 胡昊明)