电网技术 2011, 35(11) 67-73 DOI: ISSN: 1000-3673 CN: 11-2410/TM

电力系统

模块化多电平式柔性直流输电换流器的预充电控制策略

孔明1，邱宇峰1，贺之渊1，何维国2，刘隽2

1．中国电力科学研究院，北京市 海淀区 100192；2．上海市电力公司，上海市 浦东新区 200122

摘要：

针对用于高压直流输电的新型模块化多电平电压源换流器，详细分析了其预充电动态过程，以寻求合适的预充电控制策略。首先以单站模块化多电平结构电压源换流器(modular multilevel converter，MMC)为研究对象，将换流器预充电分为2阶段，分析了各阶段，特别是MMC解锁瞬间过电流的形成机制及影响因素；为保证换流器解锁后，控制器对充电电流的有效控制，对多电平调制算法进行优化，使其在换流器预充电和正常运行阶段均适用；同时就基于MMC的柔性直流输电(MMC-HVDC)运用于向无源系统供电和作为“黑启动”电源的应用场合，需要一端交流源同时向双站两端预充电时，针对逆变站MMC电容充电不足的问题，提出一种整流站和逆变站协调配合的双站两端预充电控制策略；最后构建向无源系统供电的MMC-HVDC数字和物理仿真模型，验证了所提出控制策略的可行性和有效性。

关键词： 柔性直流输电 模块化多电平换流器 预充电控制 最近电平调制算法 黑启动

Pre-charging Control Strategies of Modular Multilevel Converter for VSC-HVDC

KONG Ming1, QIU Yufeng1, HE Zhiyuan1, HE Weiguo2, LIU Jun2

1. China Electric Power Research Institute, Haidian District, Beijing 100192, China; 2. Shanghai Municipal Electric Power Company, Pudong New District, Shanghai 200122, China

Abstract:

Based on a novel multilevel voltage source converter (VSC) for HVDC, the pre-charging dynamic process of the converter is analyzed at full length, so as to search a suitable pre-charging control strategy. For a single station, the process is divided into two stages, the mechanism and the concerning factors of the transient over current during, in particular, the unlock charging course are analyzed. To ensure the effective charging current control for modular multilevel converter (MMC), an optimized multilevel modulation algorithm is presented, making it suitable for both the pre-charging process and the normal operation. When the MMC-HVDC supplying for a passive network, or used as a "black start" power source, the AC network of the active side will be the only energy source for MMCs. Based on the pre-charging control approach for a single MMC, an effective pre-charging coordinated control strategy for both ends of MMC-HVDC is introduced, solving the problem of the capacitors undercharged of the inverter side. Finally, a digital and a physical MMC-HVDC simulation systems supplying for passive network are established, and the simulation results verify the feasibility and validity of the control strategies mentioned.

Keywords: HVDC flexible modular multilevel converter (MMC) pre-charging control nearest level modulation algorithm black start

收稿日期 2010-12-13 **修回日期** 2011-03-21 **网络版发布日期** 2011-11-11

DOI:

基金项目:

国家电网公司科技项目(ZLA40[2010]0280)。

通讯作者: 孔明

作者简介:

作者Email: mkong@epri.sgcc.com.cn

参考文献：

[1] Andersen B R. Wind farms interconnections[C]//International Conference on Power System Technology. Chongqing，China：IEEE，2006. [2] Hyttinen M，Lamell J O，Nestli T F. New application of voltage source converter (VSC) HVDC to be installed on the gas platform troll a

[C]//CIGRE Session．Pairs：CIGRE，2004． [3] Larsson T，Edris A，Kidd D，et af．Eagle pass back-to-back tie：a dual purpose application of voltage source converter technology[C]//IEEE Power Engineering Society Summer Meeting．Vancouver，Canada：IEEE，2001：1686-1691． [4] Flourentzou N，Agelidis V G，Demetriades G D．VSC-based HVDC power transmission systems：an overview[J]．IEEE Trans on Power Electronics，2009，24(3)：592-602． [5] Ronstr?m L，Hoffstein M L，Pajo R，et al．The Estlink HVDC light transmission system[C]//CIGRé Regional Meeting．Tallinn，Estonia：CIGRE，2007． [6] 张桂斌，徐政，王广柱．基于VSC 的直流输电系统的稳态建模及其非线性控制[J]．中国电机工程学报，2002，22(1)：17-22． Zhang Guibin，Xu Zheng，Wang Guangzhu．Steady-state model and its nonlinear control of VSC-HVDC system[J]．Proceedings of the CSEE，2002，22(1)：17-22(in Chinese)． [7] 郑超，周孝信，李若梅．新型高压直流输电的开关函数建模与分析[J]．电力系统自动化，2005，29(8)：32-35． Zheng Chao，Zhou Xiaoxin，Li Ruomei．Modeling and analysis for VSC-HVDC using the switching function[J]．Automation of Electric Power Systems，2005，29(8)：32-35(in Chinese)． [8] 尹明，李庚银，牛同义，等．VSC-HVDC 连续时间状态空间模型及其控制策略研究[J]．中国电机工程学报，2005，25(18)：34-39． Yin Ming，Li Gengyin，Niu Tongyi，et al．Continuous-time state-space model of VSC-HVDC and its control strategy[J]．Proceedings of the CSEE，2005，25(18)：34-39(in Chinese)． [9] 胡兆庆，毛承雄，陆继明．一种新的优化协调控制在轻型直流输电中的应用[J]．中国电机工程学报，2005，25(8)：41-49． Hu Zhaoqing，Mao Chengxiong，Lu Jiming．Application of a novel optimal coordinated control to HVDC Light[J]．Proceedings of the CSEE，2005，25(8)：41-49(in Chinese)． [10] 陈海荣，徐政．适用于VSC-MTDC 系统的直流电压控制策略[J]．电力系统自动化，2006，30(19)：28-33． Chen Hairong，Xu Zheng．A novel DC voltage control strategy for VSC based multi-terminal HVDC system[J]．Automation of Electric Power Systems，2006，30(19)：28-33(in Chinese)． [11] Lesnicar A，Marquardt R．An innovative modular multilevel converter topology suitable for a wide power range[C]//IEEE Power Tech Conference．Bologna，Italy：IEEE，2003：6． [12] 陈海荣，张静，潘武略．电压源换流器型直流输电系统的启动控制[J]．高电压技术．2009，35(5)：1164-1169． Chen Hairong，Zhang Jing，Pan Wulue．Start-up of VSC based on HVDC system[J]．High Voltage Engineering，2009，35(5)：1164-1169(in Chinese)． [13] 张静，徐政，陈海荣．VSC-HVDC系统启动控制[J]．电工技术学报，2009，24(9)：159-165． Zhang Jing，Xu Zheng，Chen Hairong．Startup procedures for the VSC-HVDC system[J]．Transaction of China Electrotechnical Society，2009，24(9)：159-165(in Chinese)． [14] Kouro S，Bernal R，Miranda H，et al．High performance torque and flux control for multilevel inverter fed induction motors[J]．IEEE Trans on Power Electronics，2007，22(6)：2116-2123． [15] 刘钟淇，宋强，刘文华．基于模块化多电平变流器的轻型直流输电系统[J]．电力系统自动化，2010，34(2)：53-58． Liu Zhongqi，Song Qiang，Liu Wenhua．VSC-HVDC system based on modular multilevel converters[J]．Automation of Electric Power Systems，2010，34(2)：53-58(in Chinese)． [16] Glinka M，Marquardt R．A new AC/AC multilevel converter family applied to a single-phase converter[C]//The Fifth International Conference on Power Electronics and Drive Systems．Singapore：IEEE，2004：662-669． [17] Hagiwara M，Nishimura K，Akagi H．A medium-voltage motor drive with a modular multilevel PWM inverter[J]．IEEE Trans on Industrial Electronics，2010，25(7)：1786-1799． [18] Dorn J，Huang H，Retzmann D．A new multilevel voltage-sourced converter topology for HVDC applications[C]//CIGRE Session．Paris，France：CIGRE，2008：1-8． [19] Pirouz H M，Bina M T，Kanzi K．A new approach to the modulation and dc-link balancing strategy of modular multilevel AC/AC converters[C]//The Sixth International Conference on Power Electronics and Drive Systems (PEDS)．Kuala Lumpur，Malaysia：IEEE，2005：1503-1507． [20] 丁冠军，丁明，汤广福，等．新型多电平VSC-HVDC子模块电容参数与均压策略[J]．中国电机工程学报，2009，29(30)：1-6． Ding Guanjun，Ding Ming，Tang Guangfu，et al．Submodule capacitance parameter and voltage banlancing scheme of a new multilevel VSC modular[J]．Proceedings of the CSEE，2009，29(30)：1-6(in Chinese)． [21] 管敏渊，徐政，屠卿瑞，等．模块化多电平换流器型直流输电的调制策略[J]．电力系统自动化，2010，34(2)：48-52． Guan Minyuan，Xu Zheng，Tu Qingrui，et al．Nearest level modulation for modular multilevel converters in HVDC transmission[J]．Automation of Electric Power Systems，2010，34(2)：48-52(in Chinese)． [22] Antonopoulos A，Angquist L，Nee H-P．On dynamics and voltage control of the modular multilevel converter[C]//European Power Electronics and Applications Conference (EPE)．Barcelona Spain：IEEE，2009：1-10． [23] Hagiwara M，Akagi H．PWM control and experiment of modular multilevel converters[C]//Proceedings of IEEE Power Electronics Specialists Conference．Rhodes Greece：IEEE，2008：154-161． [24] Michail V．Analysis，implementation and experimental evaluation of control systems for a modular multilevel converter[D]．Stockholm Sweden：Royal Institute of Technology，2009． [25] Allebrod S，Hamerski R，Marquardt R．New transformerless，scalable modular multilevel converters for HVDC transmission[C]//Power Electronics Specialists Conference．Rhodes Greece：IEEE，2008：174-179． [26] Franquelo L G，Rodriguez J，Leon J I，et al．The age of multi-level converters arrives[J]．IEEE Industrial Electronics Magazine，2008，2(2)：28-39． [27] 张崇巍，张兴．PWM整流器及其控制[M]．北京：机械工业出版社，2005：297-299． [28] 陈海荣，徐政．向无源网络供电的VSC-HVDC系统的控制器设计[J]．中国电机工程学报，2006，26(23)：42-48． Chen Hairong，Xu Zheng．Control design for VSC-HVDC supplying passive network[J]．Proceedings of the CSEE，2006，26(23)：42-48(in Chinese)．

本刊中的类似文章

1．丁明|王京景|宋倩 .基于k/n(G)模型的柔性直流输电系统换流阀可靠性建模与冗余性分析[J]. 电网技术,

2008,32(21): 32-36
2. 殷自力|李庚银|李广凯|梁海峰|赵成勇.柔性直流输电系统运行机理分析及主回路相关参数设计[J]. 电网技术, 2007,31(21): 16-21
3. 常 勇|徐 政.电力系统仿真软件PSS/E中柔性直流输电系统模型及其仿真研究[J]. 电网技术, 2007,31(8): 37-41
4. 丁明 李小燕 毕锐 王京景 .含VSC-HVDC的交直流混合发输电系统可靠性评估[J]. 电网技术, 2008,32(16): 53-58
5. 李强 贺之渊 汤广福 包海龙 王熙骏 王韧.新型模块化多电平换流器空间矢量脉宽调制的通用算法[J]. 电网技术, 2011,35(5): 59-64
6. 赵成勇 刘涛 郭春义 马玉龙.基于实时数字仿真器的模块化多电平换流器的建模[J]. 电网技术, 2011,35(11): 85-90
