

基于 PSCAD/EMTDC 的背靠背 高压直流输电系统仿真

高晓旺¹, 周 勇¹, 康鲁豫²

(1. 郑州大学 电气工程学院, 河南 郑州 450002; 2. 南京电力自动化设备总厂, 江苏 南京 210003)

摘要: 为了研究灵宝背靠背换流站在交流系统发生故障时的换相失败过程, 利用电磁暂态仿真软件 PSCAD/EMTDC 对灵宝背靠背高压直流输电系统进行了建模, 并在此基础上对高压直流输电系统中常见的故障进行了仿真分析, 其中包括逆变侧交流系统发生三相故障和单相故障的情况。仿真结果表明, 在 PSCAD/EMTDC 环境下建立的模型能够比较准确地描述在暂态过程中背靠背直流输电系统的动态特性, 可以为现场运行以及故障分析提供参考。在系统中加入故障检测控制环节, 根据电压和电流的变化, 适时增大提前触发角, 可以有效地预防换相失败。

关键词: 背靠背; PSCAD/EMTDC; 仿真

中图分类号: TM 721.1

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2007)02-0069-02

2005 年我国第 1 个直流输电工程项目——灵宝背靠背换流站投入运行, 实现了西北电网和华中电网的非同步联网, 对于西电东送和推进全国电网互联有重要意义。在此背景下, 采用计算机仿真的方法, 研究背靠背直流输电系统的运行状态及控制方法很有必要。利用电磁暂态仿真软件 PSCAD/EMTDC^[1-2] (Power System Computer Aided Design / Electro-Magnetic Transient in DC system) 对灵宝背靠背直流输电工程进行仿真, 分析了该系统的稳态和暂态特性。

1 直流输电工程简介

灵宝背靠背高压直流输电 BTB-HVDC (Back To Back - High Voltage Direct Current transmission) 工程额定直流功率 360 MW, 功率可双向传输。交流系统电压等级分别为华中侧 220 kV、西北侧 330 kV, 换流站电气主接线如图 1 所示^[3]。220 kV 交流场包括: 1 组电抗器、2 组 HP3 滤波器、3 组 HP12/24 滤波器、2 组并联电容器、进线 1 回、换流变压器支路 1 回。330 kV 交流场包括: 1 组电抗器、1 组 HP3 滤波器、3 组 HP12/24 滤波器、3 组并联电容器、进线 1 回、换流变压器支路 1 回。换流变压器采用单相三绕组形式, 单台容量均为 143.6 MV·A, 每侧的 3 台换流变

压器通过外部连线实现 Yy12、Yd11 接线, 和换流阀一起构成 12 脉动桥。直流系统额定电压 120 kV, 两侧阀通过直流母线串接平波电抗器相连^[3-5]。

2 直流输电系统建模

利用 PSCAD/EMTDC 软件包建立灵宝背靠背直流输电系统的模型, 通过站内额定功率 360 MW (120 kV, 3 kA) 的直流输电线路, 实现从 330 kV 侧 (西北电网) 向 220 kV 侧 (华中电网) 反向输送电能 (取 220 kV 侧向 330 kV 侧输送电能为正方向)。在保证系统稳态运行的前提下, 220 kV 侧投入 2 组并联电容器、1 组 HP3 滤波器、2 组 HP12/24 滤波器, 330 kV 侧投入 3 组并联电容器、2 组 HP12/24 滤波器, 除吸收高次谐波外, 这些滤波器还分别向各自所在的电网提供大约 180 Mvar 的无功功率支持。

仿真采用的基本控制是^[6-10]: 整流侧由定电流控制和触发角 $\alpha_{\min}$ 限制 2 部分组成, 其中 α 的参考值为 15° , $\alpha_{\min}=5^\circ$; 逆变侧由定电流控制和定关断角 γ_0 控制组成, 定电流控制器的整定值比整流侧小一个电流裕额 (典型值为直流电流的 10%), $\gamma_0=17^\circ$ 。正常运行时, 整流侧运行于定电流控制, 逆变侧运行于定关断角控制, 两侧都采用 PI 调节器进行控制。此外, 两侧都配有低压限流 VDCOL (Voltage Dependent Current Order Limit) 环节, 用于电压降低时对直流电流进行限制, 从而减少故障时换相失败的可能性, 有利于直流系统在故障后的迅速恢复。

3 直流输电系统的仿真分析

3.1 正常运行时仿真波形

正常运行时的波形如图 2 所示, 整流侧的直流电流在 0.2 s 时达到给定值 3 kA, 直流电压达到给定值 120 kV; 稳态时整流侧的触发角 α 稳定在 15° 附近,

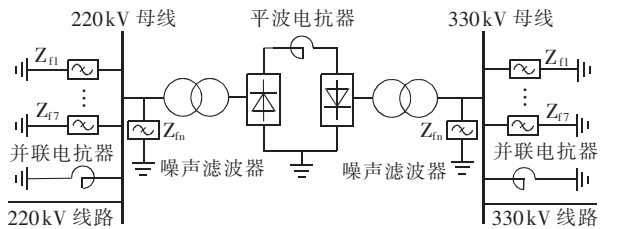


图 1 灵宝换流站主接线

Fig.1 Main connection diagram of Lingbao converter station

逆变侧的提前触发角 β 稳定在 37° 附近;整流侧交流系统吸收的有功功率约为 360 MW,无功功率约为 200 Mvar。以上数据与现场数据基本吻合,从而证明了系统仿真模型的正确性。

3.2 逆变侧交流系统故障时的暂态响应特性

本文主要对逆变侧交流系统故障进行了仿真,其中,包括瞬时性的单相接地和瞬时性的三相直接接地。图 3 为逆变侧交流系统在 0.70~0.75 s 发生单

相接地故障时的仿真波形,图 4 为逆变侧交流系统在 0.70~0.75 s 发生三相接地故障时的仿真波形。

由图 3、4 可知,单相故障和三相故障的情形类似。故障发生后直流电流急剧增大,直流电压降到零;直流传输功率几乎中断,逆变侧无功功率消耗降低;逆变侧发生多次换相失败;同时由于逆变侧交流电压下降和直流电流增大,使整流和逆变器的触发角增大。故障消失后约 150 ms 系统恢复到稳定状态。

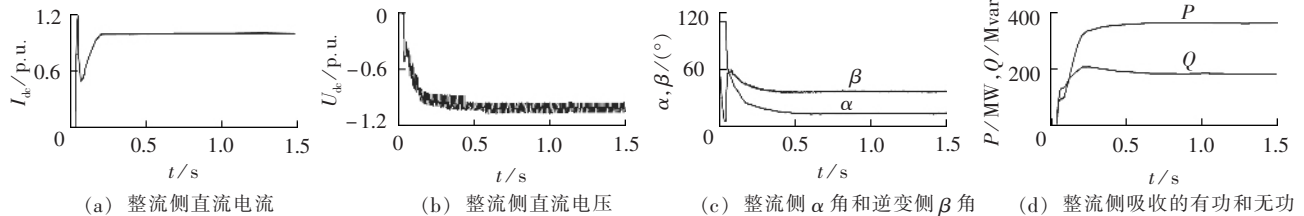


图 2 正常工作时的仿真结果

Fig.2 Simulation result under normal operation condition

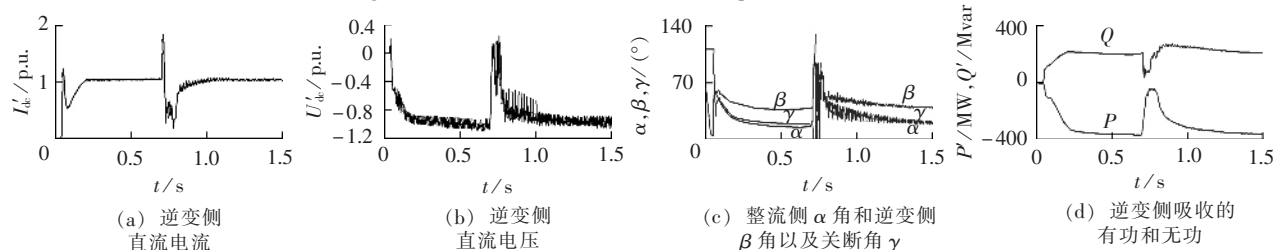


图 3 逆变侧交流系统发生单相接地故障时的仿真结果

Fig.3 Simulation result of AC system single-phase-to-ground fault at inverter side

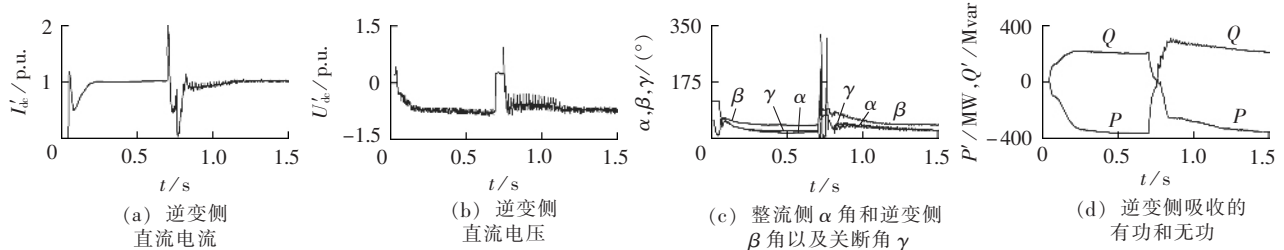


图 4 逆变侧交流系统发生三相直接接地故障时的仿真结果

Fig.4 Simulation result of AC system three-phase-to-ground fault at inverter side

4 结论

从仿真结果可看出,利用 PSCAD/EMTDC 对灵宝背靠背换流站建立的系统模型是较理想的。整流侧采用的定电流控制虽然可控制电流,但还是不能有效地阻止交流侧故障时直流电流的瞬时增大。在正常运行时,通过调节换流变压器分接头使逆变侧的关断角保持在 17° 附近,可有效地减小换相失败,但在发生故障期间,由于换流变压器变比调整的时间常数较大,根本来不及阻止换相失败的发生。在系统中加入故障检测控制环节,根据电压和电流变化,适时增大提前触发角,可有效地预防换相失败。

参考文献:

- [1] 林良真,叶林. 电磁暂态分析软件包 PSCAD/EMTDC[J]. 电网技术,2000,24(1):65-66.
LIN Liang-zhen, YE Lin. An introduction to PSCAD/EMTDC[J].

Power System Technology, 2000, 24(1): 65-66.

- [2] 任震,欧开健,荆勇,等. 基于 PSCAD/EMTDC 软件的直流输电系统数字仿真[J]. 电力自动化设备,2002,22(9):11-12.
REN Zhen, OU Kai-jian, JING Yong, et al. Digital simulation of HVDC transmission system based on PSCAD/EMTDC[J]. Electric Power Automation Equipment, 2002, 22(9): 11-12.
- [3] 马为民. 西北—华中联网背靠背直流工程一次系统设计[J]. 高电压技术,2004,30(11):5-7.
MA Wei-min. HVDC system design of BTB project between north-west China and central China[J]. High Voltage Engineering, 2004, 30(11): 5-7.
- [4] 杨金根,马为民. 灵宝换流站交流滤波器性能研究[J]. 高电压技术,2004,30(11):60-62.
YANG Jin-gen, MA Wei-min. Study on performance of AC filter in Linbao converter station[J]. High Voltage Engineering, 2004, 30(11): 60-62.
- [5] 聂定珍,郑劲. 灵宝换流站交流暂态过电压研究[J]. 高电压技术,2005,31(4):54-56.
NIE Ding-zhen, ZHENG Jin. AC transient overvoltage of HVDC converter station[J]. High Voltage Engineering, 2005, 31(4): 54-56.

(下转第 74 页 continued on page 74)

[6] 浙江大学发电教研组直流输电教研组. 直流输电 [M]. 北京: 水利电力出版社,1985.

[7] 徐政. 交直流电力系统动态行为分析[M]. 北京:机械工业出版社,2004.

[8] 杨汾艳,徐政. 直流输电系统典型暂态响应特性分析[J]. 电工技术学报,2005,20(3):45-52.

YANG Fen-yan,XU Zheng. Typical transient responses in HVDC transmission system[J]. Transactions of China Electrotechnical Society,2005,20(3):45-52.

[9] 陈琦. 高压直流输电系统的实时数字仿真研究[D]. 武汉:武汉大学,2004.

CHEN Qi. Study on the simulation of HVDC systems with a real-time digital simulator[D]. Wuhan:Wuhan University,2004.

[10] 石岩,徐玲玲,陶瑜,等. 背靠背换流站极控系统研究[J]. 高电压技术,2004,30(11):37-39.

SHI Yan,XU Ling-ling,TAO Yu,et al. Study on BTB HVDC pole control system[J]. High Voltage Engineering,2004,30(11):37-39.

(责任编辑:柏英武)

作者简介:
高晓旺(1981-),男,河南安阳人,硕士研究生,研究方向为电力电子技术在电力系统中的应用(E-mail:g_xw@163.com);
周 勇(1957-),男,河南信阳人,教授,研究方向为电力电子技术在电力系统中的应用。

Simulation of back-to-back HVDC system with PSCAD/EMTDC

GAO Xiao-wang¹,ZHOU Yong¹,KANG Lu-yu²
(1. Zhengzhou University,Zhengzhou 450002,China;

2. Nanjing Electric Power Automation Equipment General Factory,Nanjing 210003,China)

Abstract: PSCAD/EMTDC(Power System Computer Aided Design/Electro-Magnetic Transient in DC system) software is used to establish the model of Lingbao back-to-back HVDC(High Voltage DC transmission) system in studying its commutation failure during AC system fault. Based on it,the general faults of HVDC system are simulated,including three-phase fault and single-phase fault of AC system at inverter side. Simulation results show that, the model built in PSCAD/EMTDC can accurately simulate the dynamic behavior of back-to-back HVDC system in transient process and provide references for field operation and fault analysis. By adding the fault detection & control unit in system,the advanced firing angle is raised to effectively prevent the commutation failure according to the change of voltage and current.

Key words: back-to-back; PSCAD/EMTDC; simulation