

DOI:10.12158/j.2096-3203.2020.03.027

# 全息多场景特高压换流站反事故推演平台研究及开发

吴奕<sup>1</sup>, 崔玉<sup>1</sup>, 王业<sup>1</sup>, 赵景武<sup>2</sup>, 刘裕桦<sup>2</sup>, 胡永昌<sup>3</sup>

(1. 国网江苏省电力有限公司, 江苏 南京 210024; 2. 上海九洲信息技术有限公司, 上海 201203; 3. 许继集团有限公司, 河南 许昌 461000)

**摘要:**变电站反事故推演系统可快速分析故障原因,是故障分析不可或缺的重要手段。但对于换流站,由于其模型不易建立、保护程序逻辑复杂、仿真工作量大等原因,至今尚未具备换流站反事故推演系统。文中研究开发了一套全息多场景特高压直流换流站反事故推演平台,包含PSCAD模型计算引擎、仿真控制系统、换流站运行人员工作站和三维虚拟现实服务器。首次运用换流站控制保护程序自动转换技术,在保证仿真准确性的同时减少建模工作量,并通过自动化试验技术,批量进行各种运行方式及故障类型的模型仿真,提高仿真试验效率。同时本平台展示系统采用全息三维技术,实现全换流站一二次设备的可视化展示及操作。反事故推演仿真验证环节模拟并反演了极母线接地故障,结果与现场保护装置动作结果一致,准确度较高。该平台可为运行及检修人员进行反事故推演、故障模拟预演、控制保护策略分析提供有效的技术支撑。

**关键词:**换流站;控制保护;反事故推演;多场景;可视化

**中图分类号:**TM77

**文献标志码:**A

**文章编号:**2096-3203(2020)03-0185-07

## 0 引言

近年来我国特高压直流输电技术取得了重大进步,国内现已建成向家坝—上海、锦屏—苏州、昌吉—古泉等特高压直流输电工程,输送额定容量最大提升至12 000 MW<sup>[1-3]</sup>。随着越来越多的特高压直流输电工程建成投运,特高压直流控制保护系统调试和运维的工作量日益加重,如何提升特高压直流控制保护系统的调试、运维能力水平,保障特高压直流输电工程的运行安全,已成为特高压直流输电工程运行、检修过程中亟需解决的关键问题,适时需开发一套全息多场景特高压换流站反事故推演平台。

目前,国内外对发电机组仿真、变电仿真及电网仿真系统的研发技术已较为成熟<sup>[4-9]</sup>,但这些系统并未提及直流仿真培训平台。文献[9—10]中,中国电力科学研究院以±800 kV复奉直流特高压输电系统为原型,开发设计了特高压直流输电培训模拟系统,但其模拟培训的环节无法与仿真系统形成有效联动,缺少全息直观的培训环境,具有局限性。目前,加拿大等发达国家已根据其变电站情况开发了基于虚拟现实(virtual reality, VR)技术的变电站仿真培训系统<sup>[11-14]</sup>,但均不适用于我国国情。文献[15—20]将VR技术应用到变电站仿真培训系统中,但未提及换流站控制保护的培训仿真系统研究。文献[21—24]通过实时数字仿真系统(real

time digital simulation system, RTDS)接入实际的直流控制保护装置实现联合仿真。但RTDS造价昂贵,一套设备价值上千万,目前仅为电网公司、控保厂家以及高校做研究和设计之用,且操作复杂,便携性较差,不易携带至现场进行故障反演。

文中研究开发了一套全息多场景特高压换流站反事故推演平台,实现PSCAD模型计算引擎、仿真控制系统和换流站运行人员工作站等多个场景的互联互通,达到故障反演功能,并通过全息三维VR展示技术,模拟换流站实际工作环境和故障情况,便于运行人员熟悉现场环境后制定检修方案及开展检修工作。首先介绍了平台结构及框架,然后介绍了平台的相关创新技术,最后通过实际模拟和反演极母线接地故障,直观展示了平台强大的反事故推演功能,其可为运行检修人员分析故障、反事故推演及人员培训提供有力支撑。

## 1 平台结构和框架及信息流

### 1.1 平台结构

换流站反事故推演平台由PSCAD模型计算引擎、换流站运行人员工作系统、仿真控制系统和三维VR环境等多个场景组成,其基本结构如图1所示。平台由3层结构组成,分别为底层的服务层、中间的数据层及上级的应用层。服务层包含基于PSCAD/EMTDC搭建的一二次设备仿真引擎及数据通信引擎;数据层包含内存数据库、消息总线、换流站逻辑模型和换流站三维模型;应用层包含换流站

操作模拟功能块、故障模拟功能块、反事故推演功能块和培训考核功能块。

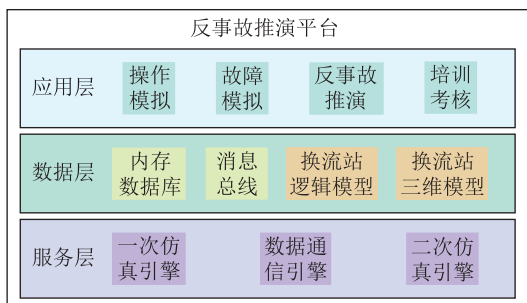


图1 换流站反事故推演平台基本结构  
Fig.1 Arrangement of converter station anti-accident maneuver platform

### 1.2 平台框架

反事故推演平台框架如图2所示,反事故推演平台由3个仿真服务器构成。仿真服务器1为系统核心中枢,部署PSCAD模型计算引擎、前置模块及仿真控制系统;仿真服务器2中部署换流站运行人员工作站,具备换流站运行操作及监控、故障事件发布等功能;仿真服务器3中部署换流站三维VR环境,用于实现换流站正常运行及故障场景展示等功能。仿真服务器1中的PSCAD模型计算引擎用于换流站一次系统和二次控制保护系统仿真计算,前置模块是PSCAD模型计算引擎与运行人员工作站之间的通信中介,其与PSCAD模型计算引擎通过共享内存方式进行数据交互,与运行人员工作站通过IEC 104规约进行网络通信。仿真控制系统是整个反事故推演平台的大脑,包含了图1中应用层的各个功能,与PSCAD模型计算引擎通过共享内存方式进行数据交互,与三维VR服务器之间采用自定义可扩展协议实现网络通信。

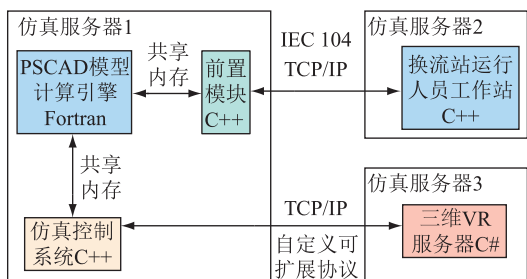


图2 换流站反事故推演平台框架  
Fig.2 Structure of converter station anti-accident maneuver platform

### 1.3 平台信息流

反事故推演平台信息流如图3所示,以PSCAD模型计算引擎为中枢,实现多场景之间的操作联动,即可使用平台的换流站运行人员工作站、仿真控制系统和三维虚拟场景分别进行换流站相关操

作。如通过换流站运行人员工作站进行换流站操作时,换流站运行人员工作站发送控制命令到PSCAD模型计算引擎,计算引擎执行仿真运算响应控制命令,同时将响应过程中的信号量发送给仿真控制系统,通过仿真控制系统将信号量转发给三维VR服务器实现三维VR场景展示。如通过仿真控制系统进行模拟故障操作时,利用仿真控制系统将要模拟的故障发送给PSCAD模型计算引擎,计算引擎执行仿真运算模拟故障,将信号量和事件发送给换流站运行人员工作站,同时仿真控制系统也将故障等信息发给三维VR服务器实现故障虚拟展示。如通过三维虚拟场景进行设备操作时(如分合开关等),三维VR服务器将操作命令发送给仿真控制系统,其转发给PSCAD模型, PSCAD模型计算引擎执行仿真运算相应操作,将信号量和事件发送给换流站运行人员工作站。

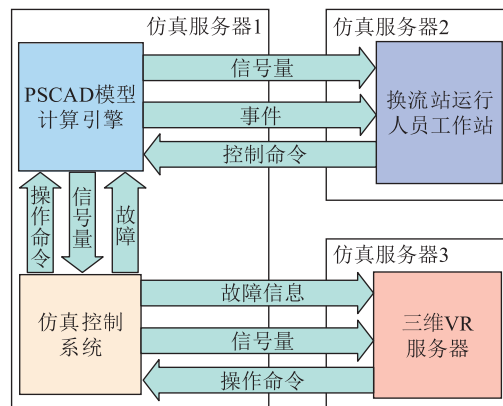


图3 换流站反事故推演平台信息流  
Fig.3 Converter station anti-accident maneuver platform information flow

## 2 全息多场景换流站反事故推演技术分析

平台具备较多的创新技术,主要包括换流站控制保护装置策略自动转换技术、特高压直流仿真系统自动化试验技术、事件与波形同步展示技术和基于三维VR的换流站全息直观展示技术<sup>[25-27]</sup>。换流站控制保护装置策略自动转换技术可将现场控制保护装置策略自动转换为PSCAD模型及语言,保证仿真精度及提高仿真效率。特高压直流仿真系统自动化试验技术利用Python脚本语言控制仿真系统进行大批量自动化试验,遍历直流数十种运行工况及故障,考核适用于所有工况的控制保护策略。在反事故推演的实用化方面,平台实现了事件与波形同步展示技术和基于三维VR的换流站全息直观展示技术,前者利用仿真模型,将工程现场实际的故障录波文件作为输入,反演出故障发生时控

制保护装置的動作事件及波形,并同步展示;后者则基于仿真数据实现三维场景中各类设备的展示和操作模拟。平台关键技术路线如图4所示。

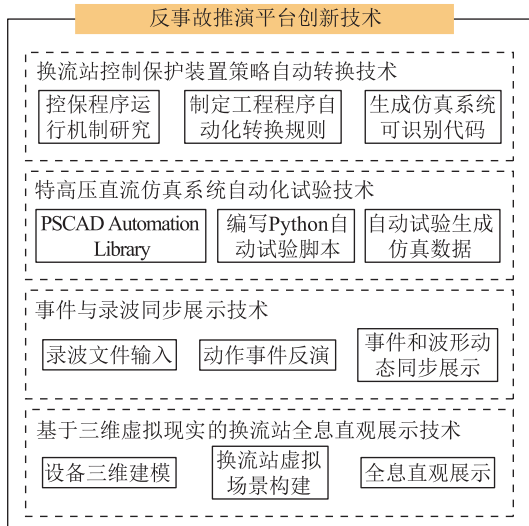


图4 换流站反事故推演平台创新技术

Fig.4 Converter station anti-accident maneuver platform new technology

### 2.1 换流站控制保护装置策略自动转换技术

如图1所示,反事故推演平台的基础是服务层的3个引擎,其中一次仿真引擎和数据通信引擎已有较多相关研究,特高压换流站的二次仿真引擎存在与现场实际装置程序不一致及人为转换实际装置模型至PSCAD模型工作量大等问题,制约了换流站控制保护装置仿真的研究。为解决该问题,研究制定了程序无缝自动转换规则,对特高压直流输电控制保护的图形化程序进行识别,将其按一定规则转换成仿真系统可识别的代码,保证转换后的仿真系统代码和控制保护装置的代码在任务分配、函数执行及接口等方面保持完全一致。然后进一步植入任务调度、FPGA软件算法、脉冲触发等相关底层硬件功能的等效代码,并通过调用单台装置对应的入口函数完成仿真系统可识别代码向控制保护自定义仿真模块的自动转换,最终实现对现场控制保护装置功能的精准模拟。该技术解决了换流站人为转换实际装置模型至PSCAD模型工作量大的问题,提高了开发效率及平台模型准确度。

### 2.2 特高压直流仿真系统自动化试验技术

如图1所示,平台在应用层开发了故障模拟模块,可用于换流站故障仿真。但是直流输电系统运行方式多、故障类型复杂,在故障反演时需要频繁修改模型中的运行方式、故障类型等参数,一定程度上降低了仿真及平台试验效率。为减少仿真过程中人工设置运行方式及故障类型等参数环节,提

高平台反演效率,开发了自动化仿真及试验功能。平台通过Python脚本直接调用PSCAD函数,代替人工操作,实现自动启动PSCAD、装载工作空间/工程/库、运行仿真、改变工作空间和工程设定、改变元件参数、改变传输线和电缆参数、组织输出数据、生成简报等功能。

### 2.3 事件与波形同步展示技术

如图1所示,平台在应用层开发了换流站反事故推演功能,并创新性地实现了事件与波形同步展示技术。故障反演时,将发生故障时的录波文件作为源文件输入到仿真系统中,仿真系统会在运行人员工作站上报出故障相应的动作事件,且该动作事件会与故障发生时现场记录的事件完全一致。为了便于运行检修人员准确分析故障,平台开发了一种同步故障展示技术,采用动态方式同步展示换流站运行人员工作站所报事件与故障录波,通过点击相应事件,时刻轴会自动转换至录波图上对应时刻,运行及检修人员可通过该时刻波形对保护装置报出事件的正确性进行判断。

### 2.4 基于三维VR的换流站全息直观展示技术

为提升平台反事故推演能力,增强运维及检修人员对换流站设备及场地的熟悉度,研究开发了基于三维VR的换流站全息直观展示模块,具有以下特点:(1)全息。平台实现了包括直流场、滤波场、阀厅、控保室、甚至换流器风冷区域等场地的换流站全部信息的直观展示;(2)可操作。平台在三维VR环境中实现了换流站一二次设备信号展示及操作;(3)联动。如图3所示,平台的三维虚拟场景与其他场景有数据联动关系。如在仿真控制系统中设置故障,在三维虚拟场景可查看相应故障现象。

## 3 反事故推演仿真验证

### 3.1 推演仿真模型

反事故推演平台根据雁淮直流一次设备参数搭建了直流输电系统一次模型,如图5所示(文中只展示极I高端部分模型)。换流站为典型的 $\pm 800$  kV 双极12脉动结构,额定功率为8000 MW,其所接入的送端交流系统额定电压为530 kV,受端交流系统额定电压为520 kV,送受端最大短路容量均为63 kA。其控制策略为整流侧定电流控制,逆变侧定电压控制。

平台利用PSCAD将实际工程的二次控制保护策略写入仿真系统,用以实现故障模拟和反事故推演。故障模拟功能可设置各种类型的故障参数,触发故障,观察故障过程及控制保护装置动作等信

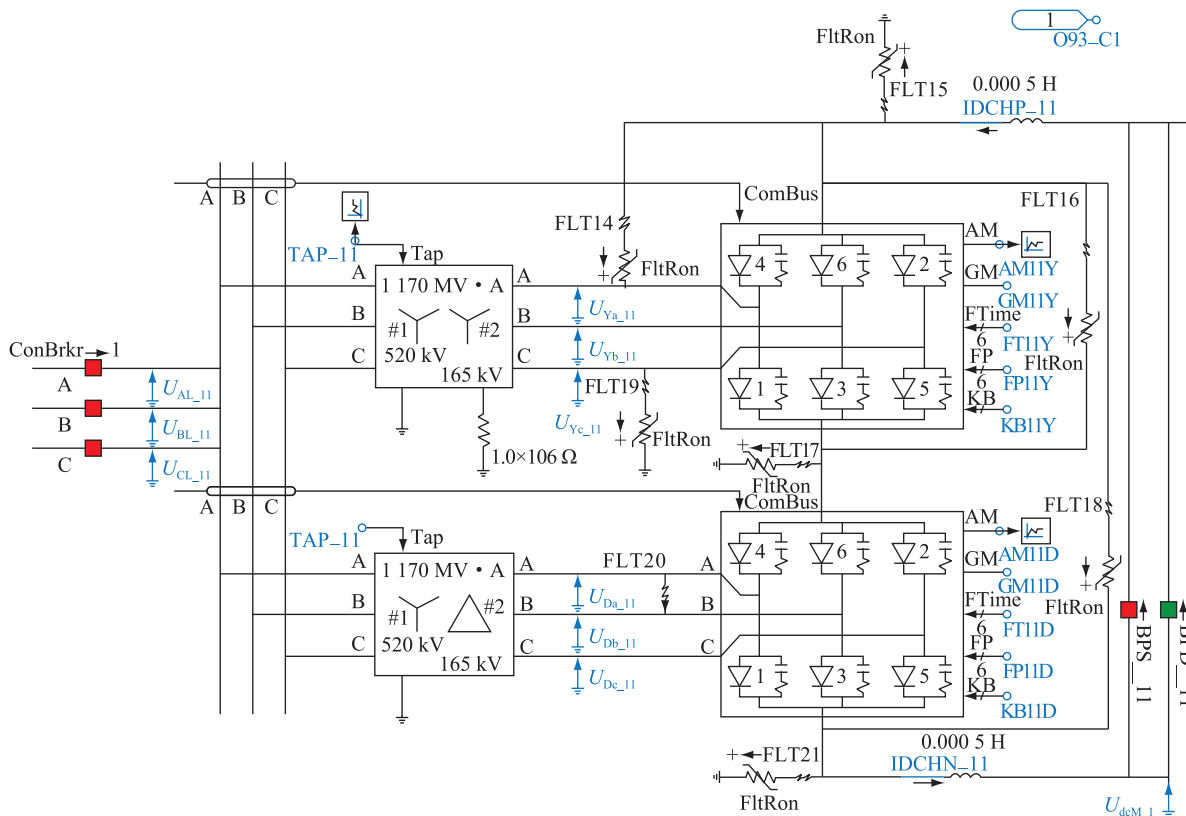


图5 换流站 PSCAD 模型

Fig.5 PSCAD model of converter station

息。故障反演功能可将工程现场实际的故障录波文件输入到仿真控制系统中,利用同步展示技术,将事件与波形展示在同一界面中,方便进行故障分析。为验证仿真平台故障模拟及反事故推演效果,现模拟极母线接地故障,并反演极母线接地故障。

### 3.2 极母线接地故障模拟

在仿真控制系统中模拟设置极 I 母线接地故障,接地电阻  $0.1 \Omega$ ,故障时间  $1 \text{ s}$ 。故障过程中各模拟量如图 6 所示。

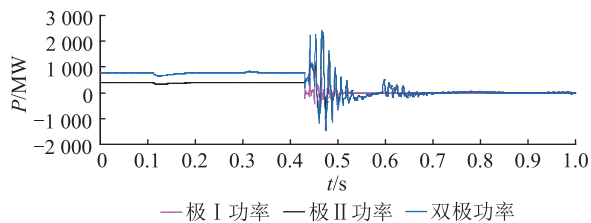


图6 极母线接地故障模拟量信息

Fig.6 Analog information of pole bus grounding fault

由图 6 可以看出,故障发生时双极功率和单极功率均瞬间振荡下降,直流电压也降至 0。运行人员工作站所报事件如表 1 所示。

由表 1 可见,仿真系统触发极母线接地故障后,根据保护动作策略,首先是直流极母线差动保护 I 段动作,执行 Z 闭锁;20 ms 后,直流极差保护 I 段

表 1 极母线接地故障控制保护动作信息

Table 1 Control and protection equipment action information of pole bus grounding fault

事件时标/ms	事件来源	事件描述
627	极 I 极保护系统 A	直流极母线差保护 I 段 Z 闭锁
627	极 I 极保护系统 A	直流极母线差动 I 段保护 Z 闭锁跳交流断路器
647	极 I 极保护系统 A	直流极差保护 I 段 S 闭锁
638	极 I 高端阀控系统	Z 闭锁动作
638	极 I 低端阀控系统	Z 闭锁动作
646	极 I 极控系统	极保护启动 Z 闭锁
646	极 I 极控系统	极保护启动极隔离
646	极 I 极控系统	极保护跳交流断路器
662	极 I 极控系统	极保护启动 S 闭锁
658	极 I 高端阀控系统	S 闭锁动作
658	极 I 低端阀控系统	S 闭锁动作
687	极 I 极保护系统 A	直流极差 I 段保护 S 闭锁延时跳交流断路器
702	极 I 高端阀控系统	极差保护动作监视跳闸
702	极 I 低端阀控系统	极差保护动作监视跳闸
702	极 I 低端阀控系统	阀组监视功能跳闸
704	极 I 高端阀控系统	阀组监视功能跳闸
798	极 II 极控系统	对站极闭锁

动作,执行 S 闭锁;60 ms,直流极差保护 I 段动作,执行 S 闭锁延时跳交流断路器,保护动作结果正确。

### 3.3 极母线接地故障反演

在仿真控制系统中,将工程现场的某个极母线接地故障的录波文件送入平台的 PSCAD 模拟计算引擎中,引擎读取录波后将波形送入控制保护逻辑进行运算。运算后,运行人员工作站报出直流极母线差动保护 I 段 Z 闭锁、直流极差保护 I 段 S 闭锁、直流极差保护 I 段 S 闭锁延时跳交流断路器事件,同步展示技术将事件同步展示在故障录波界面,通过点击相关事件,光标轴会停在故障录波中相应事件报出时刻,运行及检修人员可以查看该时刻录波,验证保护是否正确动作。该故障反演过程的模拟量信息如图 7 所示。

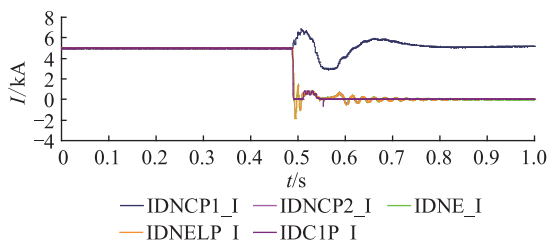


图 7 极母线接地故障反演模拟量信息

Fig.7 Analog information of pole bus grounding fault deduction

表 2 极母线接地故障反演控制保护动作信息

Table 2 Control and protection equipment action information of pole bus grounding fault deduction

事件时标/ms	事件信息
502	直流极母线差保护 I 段 Z 闭锁
502	直流极母线差动 I 段保护 Z 闭锁跳交流断路器
522	直流极差保护 I 段 S 闭锁
562	直流极差 I 段保护 S 闭锁延时跳交流断路器

由图 7 和表 2 可知,仿真开始后 490 ms 发生了极母线接地故障;根据保护动作策略,502 ms 直流极母线差动保护 I 段动作,执行 Z 闭锁;522 ms,直流极差保护 I 段动作,执行 S 闭锁;562 ms,直流极差保护 I 段动作,执行 S 闭锁延时跳交流断路器,保护动作结果正确。

对比故障模拟时的表 1 和故障反演时的表 2,同时对比故障模拟功能所报出的事件与反演功能所报出的事件可知,故障模拟功能所仿真的故障与实际故障相似程度很高,保护动作结果基本一致,均在故障发生后 10 ms 左右极母差 I 段动作,执行 Z 闭锁;30 ms 左右,极差 I 段动作,执行 S 闭锁;70 ms 左右,极差 I 段动作,执行 S 闭锁并延时跳交流断路器。本次故障模拟与反演功能的对比验证了仿真系统中一次模型及二次控制保护模型的准确性,并展示了平台的同步展示技术界面。

## 4 结语

文中介绍了一套全息多场景特高压直流换流站反事故推演平台,包含 PSCAD 模型计算引擎、仿真控制系统、换流站运行人员工作站和三维 VR 服务器,其具有如下特点及创新性:

(1) 基于程序无缝自动转换规则,实现了换流站控制保护装置策略自动转换技术,精准转换实际换流站控制保护程序,同时减少了建模工作量;

(2) 基于 Python 脚本直接调用 PSCAD 函数技术,实现了特高压直流仿真系统自动化试验技术,方便进行大规模仿真试验;

(3) 实现了换流站故障录波波形及运行人员工作站事件同步展示技术,方便运行及检修人员故障分析;

(4) 基于三维 VR 的换流站全息直观展示技术,实现全换流站一二次设备的可视化展示操作及故障模拟。

通过推演平台模拟及反演了极母线故障时平台中保护策略的动作行为和事件,保护动作正确,同步展示技术效果良好。该平台为运行及检修人员提供反事故推演、控制保护策略分析及培训等功能,具有广泛推广意义。

本文得到国网江苏省电力有限公司科技项目“特高压换流站直流保护测试及反事故推演技术研究与应用”(J2018034)资助,谨此致谢!

### 参考文献:

- [1] 周俊,郭剑波,朱艺颖,等. 特高压交直流电网数模混合实时仿真系统[J]. 电力自动化设备, 2011, 31(9): 18-22.  
ZHOU Jun, GUO Jianbo, ZHU Yiyang, et al. Digital-analog hybrid real-time simulation system of UHVDC and UHVAC power grid[J]. Electric Power Automation Equipment, 2011, 31(9): 18-22.
- [2] 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.
- [3] 刘振亚,张启平. 国家电网发展模式研究[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(7): 1-9.  
LIU Zhenya, ZHANG Qiping. Research on state grid development model[J]. Proceedings of the CSEE, 2013, 33(7): 1-9.
- [4] 乐全明,李宝兴,严浩军,等. 500 kV 监控模式的变电运行仿真培训研究[J]. 华东电力, 2010, 38(7): 1048-1051.  
LE Quanming, LI Baoxing, YAN Haojun, et al. Study on simulation training for 500 kV substation operation of monitoring mode[J]. East China Electric Power, 2010, 38(7): 1048-1051.
- [5] 冯顺,曲欣,王毅,等. 1 000 kV 特高压变压器调压原理及其

- 仿真分析[J]. 电力工程技术, 2018, 37(1): 109-112.  
FENG Shun, QU Xin, WANG Yi, et al. The principle of regulation-compensation transformer and its simulation analysis in 1 000 kV UHV substation[J]. Electric Power Engineering Technology, 2018, 37(1): 109-112.
- [6] 海晓涛, 林尉, 高峰, 等. 西北 750 kV 交直流混联电网综合仿真培训系统[J]. 电网技术, 2012, 36(8): 254-259.  
HAI Xiaotao, LIN Wei, GAO Feng, et al. Comprehensive simulation training system for northwest China 750 kV AC/DC hybrid power grid[J]. Power System Technology, 2012, 36(8): 254-259.
- [7] 胡伟, 李君, 姚其新, 等. 高压直流输电机电电磁-数模双混合仿真平台[J]. 电力系统及其自动化学报, 2018, 30(10): 91-96.  
HU Wei, LI Jun, YAO Qixin, et al. Electromechanical-electromagnetic and digital-analog hybrid simulation platform for HVDC transmission[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2018, 30(10): 91-96.
- [8] 杨洋, 肖湘宁. 机电-电磁暂态混合仿真复合非对称故障计算方法[J]. 电力工程技术, 2017, 36(4): 36-42.  
YANG Yang, XIAO Xiangning. Calculation method of complex asymmetrical fault in electromechanical and electromagnetic transient hybrid simulation[J]. Electric Power Engineering Technology, 2017, 36(4): 36-42.
- [9] 王祥旭, 郭春林, 肖湘宁, 等. 基于 RTDS 的  $\pm 800$  kV 特高压直流输电系统的建模与仿真[J]. 华东电力, 2011, 39(3): 335-339.  
WANG Xiangxu, GUO Chunlin, XIAO Xiangning, et al. RTDS-based modeling and simulation of  $\pm 800$  kV UHVDC transmission system[J]. East China Electric Power, 2011, 39(3): 335-339.
- [10] 葛贤军, 蒲天骄, 徐正清, 等. 特高压直流换流站培训模拟系统的研究与应用[J]. 电力建设, 2014, 35(8): 113-118.  
GE Xianjun, PU Tianjiao, XU Zhengqing, et al. Research and application of training simulation system for UHVDC converter station[J]. Electric Power Construction, 2014, 35(8): 113-118.
- [11] PEBERTLI N A B, MANOEL R F, MARCUS V, et al. Consolidating learning in power systems; virtual reality applied to the study of the operation of electric power transformers[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2015, 58(4): 255-261.
- [12] PRAMOD Abichandani, WILLIAM Mcintyre. Solar energy education through a cloud-based desktop virtual reality system[J]. IEEE Access, 2019, 7: 147081-147093.
- [13] CRISÓSTOMO D C C, MOURA A A F, ROCHA E P, et al. Educational software for simulation of power and voltage control in power systems connected with wind farms[J]. IEEE Latin America Transactions, 2018, 16(6): 1603-1609.
- [14] O'LEARY D A, SHATTUCK J, KUBBY J, et al. An online, interactive renewable energy laboratory[J]. IEEE Transactions on Education, 2012, 55(4): 559-565.
- [15] 陈昊, 闫龙川, 陈新鹏, 等. 虚拟现实技术及其在电力行业的应用[J]. 电力信息与通信技术, 2017, 15(5): 16-21.  
CHEN Hao, YAN Longchuan, CHEN Xinpeng. A survey of virtual reality technology and its applications in electric power industry[J]. Electric Power Information and Communication Technology, 2017, 15(5): 16-21.
- [16] 陈永波, 林昌年, 李军锋, 等. 沉浸式变电站仿真培训系统的设计与实现[J]. 电网技术, 2015, 39(7): 2034-2039.  
CHEN Yongbo, LIN Changnian, LI Junfeng. Research and development of immersive simulation training system[J]. Power System Technology, 2015, 39(7): 2034-2039.
- [17] 刘元津, 赵健, 林玥, 等. 基于 VR 的变电运维 110 kV 技能培训系统[J]. 电子测量技术, 2019, 42(21): 131-136.  
LIU Yuanjin, ZHAO Jian, LIN Yue, et al. Substation operation and maintenance 110 kV skill training system based on VR[J]. Electronic Measurement Technology, 2019, 42(21): 131-136.
- [18] 杜娟, 邓昭辉, 赵海, 等. 虚拟现实变电站仿真培训系统开发应用[J]. 自动化与仪器仪表, 2019(3): 228-231.  
DU Juan, DENG Zhaohui, ZHAO Hai, et al. Development and application of virtual reality substation simulation training system[J]. Automation & Instrumentation, 2019(3): 228-231.
- [19] 牛金亮. 沉浸式虚拟现实变电站仿真培训系统研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2018.  
NIU Jinliang. Research on immersion virtual reality substation simulation training system[D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2018.
- [20] 江龙, 张德刚, 李泽河, 等. 基于虚拟现实头盔的沉浸式变电站仿真培训系统设计及实现[J]. 电工技术, 2017(11): 43-45.  
JIANG Long, ZHANG Degang, LI Zehe, et al. Design and implementation of immersion substation simulation training system based on virtual reality helmet[J]. Electrical Technology, 2017(11): 43-45.
- [21] 龙英, 马玉龙, 曾南超, 等. RTDS 应用于直流控制保护系统的仿真试验[J]. 高电压技术, 2005, 31(8): 56-58.  
LONG Ying, MA Yulong, ZENG Nanchao, et al. RTDS simulation test for DC control and protection system[J]. High Voltage Engineering, 2005, 31(8): 56-58.
- [22] 卫鹏, 刘建坤, 周前, 等. 基于 RTDS 特高压直流控保仿真平台的锦苏特高压直流建模及仿真[J]. 高压电器, 2015(11): 134-139.  
WEI Peng, LIU Jiankun, ZHOU Qian, et al. Modeling and simulation of UHVDC transmission system from Jinping to Sunan based on the RTDS simulation platform of UHVDC control and protection[J]. High Voltage Apparatus, 2015(11): 134-139.
- [23] 齐一, 崔勇, 陈陈, 等. 基于 RTDS 的直流控制保护系统建模及仿真[J]. 华东电力, 2013, 41(4): 776-779.  
QI Yi, CUI Yong, CHEN Chen, et al. Modeling and simulation of DC control and protection system based on RTDS[J]. East China Electric Power, 2013, 41(4): 776-779.
- [24] 秦科源. 特高压直流输电培训仿真系统的研究与开发[D]. 北京: 中国电力科学研究院, 2017.

- QIN Keyuan. Research and development of UHVDC training simulation system[D]. Beijing: China Electric Power Research Institute, 2017.
- [25] 王军章, 兰征. 虚拟同步发电机用双向直流变换器研究[J]. 浙江电力, 2019, 38(4): 20-27.  
WANG Junzhang, LAN Zheng. Study on bidirectional DC/DC converter for virtual synchronous machine[J]. Zhejiang Electric Power, 2019, 38(4): 20-27.
- [26] 屠聪为, 曹军, 于东立, 等. 基于空调负荷的虚拟储能参与调频的控制策略[J]. 电力需求侧管理, 2019, 21(1): 16-21.  
TU Congwei, CAO Jun, YU Dongli, et al. Control strategy of virtual energy storage system participating in frequency modulation based on air conditioning loads[J]. Power Demand Side Management, 2019, 21(1): 16-21.
- [27] 邵庆祝, 杨畅, 谢民, 等. 基于 RTDS 的光伏接入配电网故障

特征研究[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(22): 1-8.

SHAO Qingzhu, YANG Chang, XIE Min, et al. Research on fault characteristics of distributed photovoltaic system in distributed network based on RTDS[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(22): 1-8.

作者简介:



吴奕

吴奕(1969), 男, 学士, 高级工程师, 从事微机继电保护、智能变电站等(E-mail: wu\_y@js.sgcc.com.cn);

崔玉(1978), 女, 学士, 高级工程师, 从事微机继电保护相关工作;

王业(1984), 男, 博士, 高级工程师, 从事微机继电保护及直流保护研究及管理工作。

## Research and development of holographic multi-scenario UHVDC converter station anti-accident deduction platform

WU Yi<sup>1</sup>, CUI Yu<sup>1</sup>, WANG Ye<sup>1</sup>, ZHAO Jingwu<sup>2</sup>, LIU Yuhua<sup>2</sup>, HU Yongchang<sup>3</sup>

(1. State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd., Nanjing 210024, China;

2. Shanghai Jiuzhou Information Technology Co., Ltd., Shanghai 201203, China;

3. Xuji Group Co., Ltd., Xuchang 461000, China)

**Abstract:** Holographic multi-scenario UHVDC converter station anti-accident deduction platform can analyze the cause of fault quickly and it is an indispensable means of fault analysis. But for the converter station, because of its model is not suitable to be built, the logic of the protection program is complex, and the simulation workload is large, so far there is no converter station anti accident deduction system. A holographic multi scene UHVDC converter station anti accident platform is developed, including PSCAD model calculation engine, simulation control system, converter station operator workstation and 3D virtual reality server. For the first time, the automatic conversion technology of converter station control and protection program is used to reduce the modeling workload while ensuring the accuracy of simulation; through the automatic test technology, various operation modes and fault types of model simulation are carried out in batches to improve the efficiency of simulation test; at the same time, the platform display system adopts the holographic three-dimensional technology to realize the visual display of the primary and secondary equipment of the whole converter station operation. In the process of anti accident simulation and verification, the earth fault of pole bus is simulated and inverted, the result is consistent with the action result of field protection device, and the accuracy is high. The platform can provide effective technical support for operators and maintenance personnel to carry out anti accident deduction, fault simulation preview and control and protection strategy analysis.

**Keywords:** converter station; control and protection; anti-accident deduction; multi-scene; visualization

(编辑 钱悦)