

# 基于VR情景的变电站保护二次回路孪生技术研究

(国网江苏省电力有限公司技能培训中心,江苏省苏州市,215004) 孙吕祎

**摘要** 变电站保护二次回路构成及接线是变电二次运检人员必须掌握的专业内容。本文基于计算机虚拟现实场景,开展变电站保护二次系统回路孪生技术研究,通过统一模型实现测量、潮流计算和模拟操作的自由互动,为变电运检人员二次回路技能培训提供有效的技术支撑手段和标准化的培训操作流程。实现对保护装置二次回路可视化逻辑建模,在三维虚拟环境呈现变电站二次设备及信号回路、控制回路和接地回路等,以虚拟现实的沉浸式方式实现二次回路识图、保护校验、检修和故障排查,提升了检修人员对变电站保护二次回路及逻辑功能的理解和实操水平,在行业内具有较好的推广应用意义。

**关键词** 虚拟现实;变电站保护;二次回路;数字孪生;继电保护

中图分类号:TM77 文献标识码:B

文章编号:1008-0899(2024)06-0015-03

目前,国内各电网公司省级培训中心普遍建设了各电压等级变电站一体化仿真平台,可实现对变电站二次设备的仿真培训功能。二次系统特别是继电保护装置是安全稳定运行的坚实保障<sup>[1-2]</sup>,开展变电站保护二次系统回路及逻辑可视化研究对运检人员开展技能培训和标准化操作流程具有重要意义,可快速提升二次回路的识图、保护校验和查线技能。行业内学者和工程人员对变电站二次仿真开展了大量工作<sup>[3-10]</sup>,但主要围绕变电站通信、保护逻辑、三维模拟和运维测试等方面,对于基于虚拟现实场景的数字孪生互动新技术研究不多。本文深入分析了变电站二次培训的实际业务需求,提出了基于VR情景的变电站二次回路数字孪生若干关键技术,以虚拟现实的沉浸式方式实现二次回路识图、保护校验、检修和故障排查技能,方便运行检修人员对保护装置及二次回路及逻辑深入了解,达到提升其专业技能水平的目的。

## 1 总体思路

利用VR(Visual Reality,虚拟现实)技术进行变电站二次系统回路及逻辑可视化技术研究,进一步完善现有的传统变电站保护仿真检修实训功能,采用全息虚拟现实技术实现可视化逻辑建模,对二次

设备逻辑关系进行数字孪生再现,实现对保护检修的精细化培训,用图形逻辑、全息虚拟现实技术实现对二次设备动作原理、逻辑回路、操作控制的培训。通过孪生技术创新,为继电保护二次回路可视化积累经验,让学员深入了解保护装置内部逻辑关系、原理。针对典型变电站线路间隔完整串的继电保护装置及二次回路应用,模拟在特殊运行方式下开展保护研究应用或竞赛培训,建立一套完整的二次仿真电气计算模型,基于该模型呈现出真实的操作环境及场景,变电站运维人员能直观、便利和高效地完成培训工作,为变电运维人员对保护装置二次回路及逻辑技能培训提供更高效技术手段。

实现基于VR技术、可视化建模技术对继电保护装置、二次回路进行逻辑建模可视化。实现对保护装置以及二次回路全息可视化。实现基于VR沉浸式技术的继电保护可视化及智能培训技术研究,快速提升二次回路识图、保护校验、检修和故障排查技能。在上述基础上,研制基于模型可视化建模的计算引擎,研究完整间隔各保护装置之间联动逻辑,模拟不同保护屏内的保护压板之间的配线关系。具备自动识别错误接线关系的能力,给出正确的接线关系。以典型变电站线路间隔完整串继电保护装置以及二次回路为原型,实现电气计算模型可视化。借助VR技术,在三维虚拟世界以沉浸式的方式呈现变电站内设备、逻辑和回路,相比传统的二维方式使用者在感官和实操上有更直观感受,让使用者在虚拟世界中具有操作实物的真实感觉。

作者简介:孙吕祎(1991~),女,汉族,浙江绍兴人,硕士,工程师,研究方向:继电保护仿真技术。

## 2 关键技术

### 2.1 电磁暂态仿真

电磁暂态仿真可以分为状态变量分析法和节点分析法两类。节点分析法在实现难度以及仿真效率等方面具有明显优势。电磁暂态仿真通常用来分析系统在毫秒级以内的暂态响应特性,一般仿真步长较小,元件特性采用微分方程或偏微分方程来描述。对于待求解网络,一般先采用数值积分方法对系统中动态元件的微分方程进行差分化,得到代数形式的差分方程组,从而得到等效的电导与历史电流源并联的诺顿等效电路,该电路表征了各个离散时间点上的暂态等值计算网络。通过联立差分方程组,可以得到相应的节点方程,从而求解可得系统中各节点电压的瞬时值。求解过程中包含了对整个网络导纳矩阵进行一次求逆的过程。

### 2.2 可视化建模仿真

变电站可视化建模仿真利用计算机技术模拟变电站设备及工况,通过对变电站全息建模,实现对一、二次设备全范围全过程仿真重构,模拟各类操作、异常、故障和事故情况以及系统各种动态、静态效果,可实现对运维检修人员进行培训、演练、指导操作。传统的设备建模方法大都采用程序或脚本方式建模,如需修改模型往往需要修改程序,给维护带来较大不便。通过采用可视化逻辑建模方式,便于直观显示和理解修改各种保护逻辑关系,便于开展设备内部动作原理的培训和研究。模型采用输入输出架构,仿真外观形象逼真,能够模拟屏柜上的装置面板、按钮、控制和切换开关、压板等,实现保护投退、换区操作、旁路切换等操作,装置的逻辑可与现场完全一致。能保证保护动作特性、复归特性和时间特性与实际装置一致。装置的运行操作、启停、切换、定值调整和信号复归、LED显示菜单及显示值和定值修改也与实际装置一致。在正常、异常或事故情况下装置的信号、掉牌、表计显示、微机保护液晶窗的操作方式和显示方式等与现场完全一致。能够模拟不同类型故障时装置动作行为和装置异常缺陷和日常操作。

### 2.3 三维虚拟现实仿真

VR技术通过综合计算机系统、图像识别、模拟仿真、传感器等技术,以模拟仿真的方式,为使用者提供一个真实反映操作对象变化与相互作用的三

维图像环境构成的虚拟现实世界,通过VR设备(如头盔和数据手套或手柄)与该虚拟世界相互作用的三维交互式用户界面,使得使用者直接参与和探索操作对象在所处的环境中的作用和变化,如图1所示。通过VR技术,实现对一次、二次设备在场景中进行模拟,实现对场景中的设备的操作功能,包括开关、接地、空开、压板、按钮、液晶翻页、指示灯、复归操作等等的操作和切换,将所有信息将与监控系统仿真系统相互交互互动,实现场景在安装日常规则进行巡视功能;实现各种工具的使用;包括:围栏、验电棒、标识牌等等工具,实现场景切换的功能。VR建模采用精准建模,采用3DS Max建模技术以及激光扫描技术进行精准建模采用Unity跨平台技术实现各种运动、特效功能。虚拟现实是多种技术的综合,包括实时三维计算机图形技术,广角(宽视野)立体显示技术,对观察者头、眼和手的跟踪技术,以及触觉/力觉反馈、立体声、网络传输、语音输入输出技术等。



图1 Unity 3D三维引擎技术

## 3 应用效果

### 3.1 保护装置本体

保护装置采用三维显示,在三维场景中可翻页孪生保护屏各种菜单,显示虚拟液晶显示面板中数学模型计算的实时值,进行复归、定值修改等操作,如图2所示。



图2 保护装置模拟示意图

### 3.2 保护逻辑模型

采用可视化逻辑建模重构保护内部保护逻辑,可与系统实时数据库交互,直观显示各种逻辑关系和数据,包括CT/PT等模拟量,如图3所示。

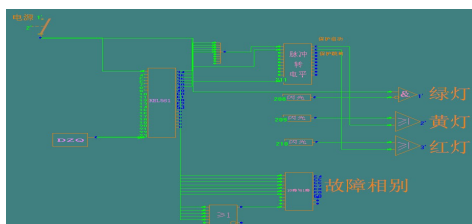


图3 保护逻辑模型示意图

### 3.3 保护功能模型

采用可视化逻辑建模技术对保护装置内部各种功能进行构建,如图4所示。

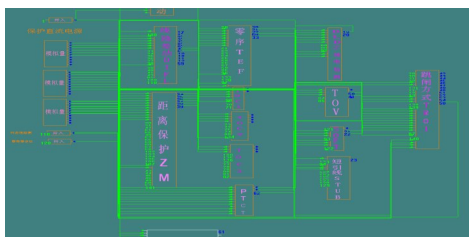


图4 保护功能模型示意图

### 3.4 实现二次保护柜和二次接线端子排的操作

包括复归、液晶、压板、转换开关、测量、对点等,如图5所示。



图5 保护屏接线模拟图

### 3.5 波形分析功能

实现对保护波形分析,互动操作体验和真实装置完全一致,如图6所示。

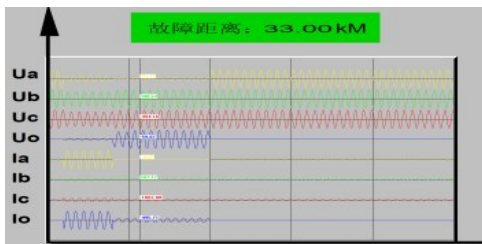


图6 保护录波模拟分析图

## 4 结论与展望

变电站二次系统是一个庞大而复杂的系统,在变电站运行故障或异常中,70%以上事故是二次系统故障异常所引起的。实际生产中经常发生检修人员对保护二次系统不熟悉的误操作,导致系统故

障范围扩大。变电站二次回路的构成及接线方式是变电二次运检人员必须掌握的技能。借助VR技术的变电站二次回路数字孪生技术研究意义重大。本文实现在三维虚拟世界呈现变电站内二次设备及信号回路、控制回路、接地回路等,以虚拟现实的沉浸式方式实现二次回路识图、保护校验、检修和故障排查,提升电网运检人员对变电站保护二次回路的理解和实操水平。

### 参考文献

[1]王梅义,吴竞昌,蒙定中.大电网系统技术(第二版)[M].北京:中国电力出版社,1995.

[2]DL755-2001,电力系统安全稳定导则[S].

[3]张骥,张红梅,邵华等.基于全景数字仿真的变电站一键顺控测试技术[J].高电压技术,2023,49(S1):128-134.

[4]吴双,胡晓丽.基于虚拟现实技术的继电保护装置及二次回路仿真培训系统[J].光源与照明,2022(12):148-150.

[5]赵晓明.基于电磁暂态仿真系统的变电站建模与继电保护应用研究[D].华北电力大学,2016.

[6]吴在军,胡敏强,杜炎森.变电站通信网络实时性能仿真分析[J].电力系统自动化,2005(08):45-49.

[7]韩小涛,聂一雄,尹项根.基于OPNET的变电站二次回路通信系统仿真研究[J].电网技术,2005(06):67-71.

[8]侯俊,李蔚清,林昌年.变电站三维交互场景仿真关键技术研究[J].电网技术,2005(09):70-75.

[9]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(07):2034-2039.

[10]刘子俊,简学之,时伯年等.基于增强现实技术的智能变电站设备运维仿真[J].南方电网技术,2019,13(11):69-75.

[11]黄明辉,邵向潮,张弛等.基于OPNET的智能变电站继电保护建模与仿真[J].电力自动化设备,2013,33(05):144-149.