

多电压等级变电站混合仿真培训系统的实现

时 斌¹, 韩江虹², 万秋兰¹, 王 磊¹, 张雨飞¹, 周建华¹

(1. 东南大学电气工程系, 南京 210096; 2 江西高级电力技工学校, 南昌 330043)

摘要: 以南昌高级电力技校的“赣培500 kV 变电站仿真培训系统”为例, 讨论了多电压等级变电站混合仿真系统的特点、组成结构和功能设计, 以及为提供系统性能所采用的新技术。采用了硬件实物模型仿真与软件虚拟仿真相结合的混合仿真形式, 利用面向对象技术、分布式数据库、局域网实时通信及多媒体技术构建了变电站混合仿真培训系统。通过人机交互界面、操作开关、表计和显示设备, 全面观察系统运行状态, 给出了软硬件设计方案。系统从仿真手段及培训效果两方面充分展现了混合仿真培训系统的优越性及其现实意义。

关键词: 变电站; 多电压等级; 混合仿真; 培训系统

中图分类号: TM 76 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-8930(2004)04-0072-05

Realization of Multi-Voltage Grade Automation Substation's Mixed Simulation Training System

SHI Bin¹, HAN Jiang-hong², WAN Qiu-lan¹, WANG Lei¹
ZHANG Yu-fei¹, ZHOU Jian-hua¹

(1. Department of Electrical Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China;

2 Vestibule School of Jiangxi Electric Power, Nanchang 330043, China)

Abstract: Using Ganpei 500 kV substation simulation training system as example, the feature, structure, function and some new technologies of constructing substation's mixed simulation training system, such as the mixed simulation of reality equipment and computer-based, OOP, DDE, real time communication in LAN and Multimedia technology, in Multi-voltage grade automation substation's mixed simulation training system were discussed

Key words: substation; multi-voltage grade; mixed simulation; training system

1 前言

随着南昌500 kV变电站的投运,江西电力系统的输变电水平跨上了一个新台阶。但由于五种电压等级(500 kV, 220 kV, 110 kV, 35 kV, 10 kV)的变电站同时并存于整个江西省网,而综合自动化变电站与常规变电站在二次部分硬件和运行维护环境上存在很大区别^[1],这对于不同电压等级变电站的运行人员的业务培训与技术考核,则要求提供与之配套的全系列的变电站仿真培训系统。江西省电力公司将其作为重大项目立项,以江西高级电力技校培训中心为依托,由东南大学电气工程系与江西省高级电力技校联合研制开发了该变电站混合仿真培训系统。

2 混合仿真系统的特点

2.1 仿真对象的综合性

本系统的主要设计思想是仿真对象不局限于500 kV(“南昌500 kV赣培仿真变电站”最高电压等级为500 kV),还要覆盖电力系统中现有的220 kV、110 kV、35 kV、10 kV电压等级,体现出该系统的代表性和综合性,故称其为多电压等级变电站仿真培训系统。主变容量达到1050 MVA,包括一台三个单相容量为250 MVA的自耦变压器和两台容量为150 MVA的三绕组变压器。主接线设计综合了江西省主要厂站的接线方式,500 kV采用了典型的3/2接线,配有六回线,形成完整的三串;220 kV为双母双分段带旁母,但不设专用旁路断

路器, 而是采用母联兼旁路断路器; 110 kV 采用双母带旁母, 设置专用旁路断路器; 35 kV 采用单母线; 10 kV 采用单母线分段带旁母, 设专用旁路断路器。从技术上实现了既可作为 500 kV 变电站运行又可作为 220 kV 及以下电压等级变电站运行。因此扩大了系统培训人员的范围, 提高了仿真系统的利用效率。在设计各电压等级的线路性质方面, 综合了区域网间的联络线、省内网络的主干线以及地区的负荷出线。负荷性质涵盖了工业用电、农业用电、商业与生活用电等多种有代表性的综合负荷。

2.2 仿真环境的真实性

为实现仿真环境的真实性, 主控室采用了 1:1 全套控制与保护的硬件模型仿真。包括控制屏、保护柜, 所用电屏、直流屏、主接线模拟屏, 并由工业控制计算机控制。为进一步提高真实性, 所用屏、直流屏采用了与现场一致的实物屏。此外, 线路保护中配置了两套从现场退役的 220 kV 与 110 kV 晶体管保护装置, 在工控机控制下执行保护逻辑并输出保护动作信号。另外, 一条 220 kV 线路和两条 110 kV 线路还采用了现场使用的断路器控制回路。因此本系统的控制与保护装置是“仿”与“真”相结合, 使仿真环境更为真实。体现仿真环境真实性的另一方面是对一次设备的仿真, 本系统的一次设备采用了按比例缩小的仿真模型设备, 隔离开关和断路器均可操控。运行人员执行操作任务与现场一样, 须通过判断才能走入正确的操作间隔。这种设计避免了现有的一些仿真系统中就地一次操作采用平面的模拟屏操作或用计算机界面软操作带来的局限性。

2.3 仿真功能的一致性

仿真系统要做到逼“真”, 除仿真的外在环境条件外, 还需要体现在其仿真功能上。本仿真系统的功能达到了与现场相一致, 其中包括: 底层数据采集与设备监控功能, 故障异常报警与查寻功能, 故障录波功能, 智能操作票功能, 微机操作闭锁功能, 微机保护功能, 微机绝缘监视功能等。此外, 为了体现变电站是电力系统的一个组成部分, 在仿真系统中对变电站上一级电网进行了建模仿真, 使变电站的运行人员能认识和体会该变电站在全网系统中的作用与地位, 使其不仅注重站的概念, 同时加强网的意识, 有助于对电力系统的全局有全面的理解, 便于处理应付各种不测事故和异常。

3 仿真系统的总体结构、功能及实现方法

3.1 仿真系统的总体结构

系统采用了硬件模拟和软件仿真相结合的方式, 硬件模拟系统包括控制屏、模拟屏、保护柜、就地一次设备可操控微缩模型(开关状态可测控)及所用电系统; 软件仿真则涵盖了教练员台、学员 SCADA 系统、调度仿真、微机继电保护仿真、故障录波、操作票专家系统、故障多媒体演示系统。全系统采用七台工控机和八台微机构建了分布式的数据采集及控制系统, 并由一台服务器负责全系统的数据通讯控制与数据处理。如图 1 所示

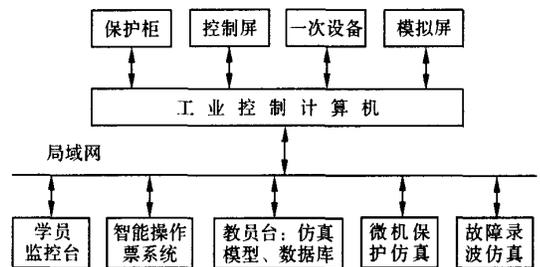


图 1 仿真系统的总体结构图

Fig 1 The structure of simulation system

3.2 仿真系统的主要功能

1) 仿真变电站的监控系统(学员 SCADA 系统) 该功能针对 500 kV 仿真变电站系统, 完全模仿南昌 500 kV 变电站实际软操作界面的功能, 包括: 主结线及开关量的实时状态显示, 动态潮流、频率、电压、主变油温等运行参数显示, 出力历史与实时曲线显示, 事件顺序记录, 故障保护动作记录, 越限报警及报警光字牌画面自动弹出, 运行参数制表打印等功能; 500 kV 系统的抽头调节功能, 继电保护软压控制字设定, 主变油温调节等功能。

2) 系统的正常运行与操作仿真 该功能包括运行方式及工况的设置与存储, 可以灵活多样地选择运行方式。例如: 综合运行方式可以涵盖多个电压等级的变电站, 此外, 大型变电站还可以与省级调度系统联网运行构成新运行方式; 220 kV 变电站运行方式则可分为双母双分段和双母方式。上述运行方式可通过存储直接选择。每种运行方式下的变化则涉及正常操作仿真, 包括母线倒闸操作和主变与线路投退及旁代等系统所有的正常操作。工况则可根据不同运行方式任意设置 24 h 的负荷曲线, 并以此进行正常运行状态下的潮流计算。

3) 系统异常与故障仿真 变电系统的异常仿真包括: 主变与线路过负荷, 主变漏油超温, PT 与

CT 断线, 控制回路断线, 直流电源消失, 压力异常, 储气筒漏氮等电气与非电气二十余种。系统的故障仿真可设置: 母线、主变、线路的所有电气故障共 17 种类型; 主保护与后备保护的拒动、断路器的拒动; 复故障与组合故障。复故障重数为 5 重, 组合故障可进行电气与非电气故障的组合。除可设置故障外, 还可以仿真由于误操作引起的故障。

4) 继电保护仿真 该系统仿真了微机与非微机不同型号的多种保护装置在各种故障情况下动作的状态, 其中, 微机保护的仿真包括母线、主变与线路以及电容电抗器等多种不同型号保护装置, 在仿真结构方面, 继电保护仿真采用了“黑匣子”模式, 在“黑匣子”内按照不同的保护类型和不同的保护动作原理进行逻辑仿真。在“黑匣子”输入端分别输入启动信号和控制信号。启动信号主要包括短路电流或短路电压信号和逻辑启动信号, 控制信号则包括二次回路中的直流控制信号、保护闭锁信号、保护拒动信号等。启动信号与控制信号按照逻辑与的关系, 在控制电源消失或保护回路闭锁时保护模块不能正常触发或动作输出。与定值启动信号不同, 逻辑启动信号针对某种特定的故障, 如二次回路故障、变压器瓦斯故障、系统振荡等, 它们没有系统确定的时间定值和保护定值, 故障信号完全采用纯逻辑启动信号, 根据它的逻辑回路进行保护的判断和输出, 其输出的各种控制信号被分类整理, 开关跳闸信号、报警信号、表计信号、保护发信信号以及事故音响等信号送到系统数据库, 再借助 DDE 接口送入 FIX 的过程数据库, 最终动态刷新基于 FIX 监控平台的继电保护仿真界面中的相关光字牌及信号灯。学员通过与真实保护设备一致的操作界面, 完成故障情况下保护动作的启动信息的调阅。此外, 学员可以通过与真实保护设备一致的操作界面设置保护的控制字, 通过 DDE 接口和系统数据库将保护控制信号送至继电保护仿真逻辑输入端。

5) 自动装置与故障录波仿真 自动装置的仿真包括自动重合闸、接地选线、低频减载、同期并列等装置。故障录波仿真对本变电系统的 20 条主要支路的电流和 5 个电压等级的电压以及 20 条支路的开关量进行了录波, 并可进行离线波形分析, 利用各个前置机在故障录波时所记录的故障数据文件, 对一个或多个录波器的故障记录波形文件进行定性和定量分析。屏幕上可以同时显示选择的波形和线路名、当前光标时间值、光标所在位置的电流

或电压的瞬时值、有效值等。

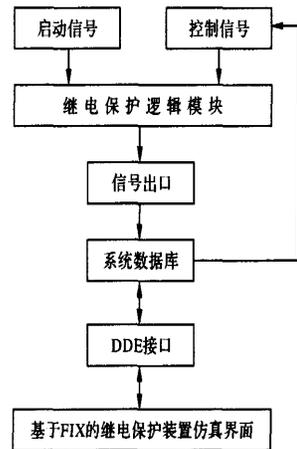


图 2 继电保护仿真

Fig 2 The simulation of substation relay protection

6) 专家系统操作票功能 专家系统操作票能开出所有现场操作任务的正确操作票, 同时它分考核和培训两种不同的运行模式: 考核模式下专家系统对学员的操作步骤不作任何提示, 最后根据操作的正确程度给出评价; 培训模式下专家系统对学员的操作步骤加以提示, 直至操作正确才可继续进行。

7) 异常与故障的多媒体功能 异常与故障的多媒体功能主要对非电气故障及部份电气故障的一次设备在异常与故障后的状态画面进行显示, 它通过现场拍摄的设备状态的照片进行图像处理, 再现出一次设备在异常与故障后的真实状态的画面, 供培训人员查寻故障及调阅设备的故障状态。

8) 省网调度功能 省网调度功能有调度系统的监控和数据采集功能(SCADA)。全系统正常运行工况的功能包括: 系统实时潮流计算、系统实时频率计算、开断潮流计算。各种操作的仿真功能有发电机出力的调节、主系统运行方式变更的操作、变压器抽头的调节。事故与异常情况的仿真功能, 则包括了各类故障保护动作跳闸的仿真与低频减载自动装置的仿真, 以及短路计算。当发生故障时, 通过短路分析计算, 给出短路电流, 并跳开相应的设备(主保护正常动作)。

9) 教练员台功能 包括仿真系统进程的控制、系统工况教案的设置与选择等。

3.3 系统仿真模型的建立

仿真系统数学模型既包括稳态模型又包括暂态模型, 模型的动态计算涵盖了潮流计算与故障计算。由于该仿真系统涉及多电压等级, 网络拓扑结

构复杂, 运行方式各异, 在仿真过程中时常会出现多次开关的合闸与跳闸动作, 引发网络拓扑结构的变化, 进而导致错误分析与判断。因此必须快速、准确合理地完成拓扑重构与快速潮流计算。由于在仿真系统中拓扑重构往往是局部的, 网络逻辑关系变化并不大, 通过局部修正仍能保持原节点排序, 而不须在网络重构后重新进行节点优化和因子表生成动态计算基于厂站接线方式进行拓扑分析, 因此该系统引入了按电压等级分区的拓扑关系局部跟踪与修正算法^[2]。

在网络拓扑分析上采用了广度优先的搜索算法^[2]。以电源和联络线为起点, 由远及近并分层搜索与起点路径相关的顶点, 并依次划分计算用逻辑节点与子系统。再通过厂站组态分析生成包含逻辑节点、逻辑支路和电气设备的逻辑网络, 并借助网络组态分析将逻辑网络转化为顶点一边的无向图形式, 运用广度优先搜索, 形成分别连通的独立子系统, 从而组成计算用逻辑网络, 并以此为基础进行潮流和故障计算。

3.4 仿真系统的软件开发

1) 操作系统 操作系统选用微软公司的 Windows NT。它是当前主流操作系统, 用户易于接受, 熟悉操作, 并且 NT 的实时多任务处理内核适合于仿真系统。利用 Windows NT 的网络支撑能力, 可实现分布节点的相互操作和各子系统的综合协调。

2) 系统数据库与信息交换 系统采用自行开发的分布式数据库, 管理系统的实时数据和历史数据。为了保证实时数据通讯的速度、稳定性与可靠性, 系统采用了 100M 的以太网构造底层网络, 提供高速数据流。并基于 Windows NT 操作系统采用多种网络通讯和进程通信机制, 采用 TCP/IP 协议及以下通讯方式: 邮槽、管道、远程过程调用、动态数据交换 (DDE) 和套接字 (Socket) 等, 实现各终端机与系统服务器之间的上层数据交换。

3) 软件开发平台 开发软件选用 Visual C++ 6.0, 采用面向对象编程技术, 开发模型、控制、通信和数据库程序。使用功能强大的 MFC 类库封装对象, 应用程序之间采用通信交换信息。

4) 监控画面支撑环境 系统的人机界面主要包括: 在教员台上的教员设置界面和在学员台上的仿真操作界面。教员台人机界面主要用于教员设置工况, 观察仿真运行情况, 并对运行结果进行分析评定。教员台界面相对较简单, 采用 C++ 面向对

象编程技术实现, 其设计原则是界面友好, 使用方便。学员台则选用了目前流行的组态软件 Fix 作为开发平台, 用基于 Fix 平台的监控画面代替传统控制室中使用的控制屏, 使用户有如身临其境。由于 Fix 是组态类型的软件, 因此在维护和修改学员台界面时, 有较好的可重用性和扩展能力。此外还开发了针对 Fix 的第三方 DDE 数据接口, 实现 Fix 与后台系统数据库的实时数据交换, 如图 3 所示。通过它们及其各种组态可以清晰而直观地反映母线、变压器、开关、断路器等设备的运行状态。电压、电流和功率等重要模拟量的显示采用动态文本, 画面数据根据数据库标签数值的变化实时地刷新。

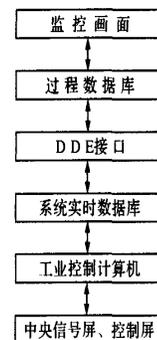


图 3 基于 Fix32 的监控系统应用架构

Fig 3 The application structure of Fix32-based monitor

4 结束语

该变电站混合仿真培训系统是全过程、全范围、物理仿真与虚拟仿真相结合的综合性的仿真培训系统。硬件配置规模大, 仿真培训功能齐全, 培训效果显著, 整体性能达到国内先进水平。其中就地全仿真一次操作硬件设备的计算机监控、专家系统操作票系统的在线培训功能、多媒体故障异常设备的动态响应功能、变电站仿真与省网调度仿真两大系统联网运行功能均居国内领先水平。该系统已用于各级变电站运行人员的上岗前培训及在岗运行人员的再学习, 取得了显著的经济和社会效益。

参考文献:

- [1] 张东英, 葛亮, 杨以涵. 500 kV 综合自动化变电站仿真培训系统的实现[J]. 电网技术, 2001, 25(6): 64-66
- [2] 张炎平. 大型超高压变电站仿真的研究[D]. 南京: 东南大学, 2000
- [3] 胡启元. 500 kV 龙王变电站仿真机项目的设想[J].

四川电力技术, 2003, 26(5): 35- 37

[4] 张东英, 柳焯, 周庆捷, 等. 用于变电站仿真培训的智能辅导系统[J]. 电力系统及其自动化学报, 1997, 9(2): 27- 34

[5] 沈捷, 张炳达. 基于专家系统和以太网的变电站培训仿真系统[J]. 电力系统及其自动化学报, 1999, 11(2): 57- 61

[6] 刘长胜, 张炳达, 谢世伟. 具有协作培训特点的变电站培训仿真系统[J]. 电力系统及其自动化学报, 2003, 15(2): 77- 79

[7] 周羽生, 苏建成, 唐忠, 等. 变电站自动化系统仿真的

实现方案[J]. 电力系统及其自动化学报, 2003, 15(4): 94- 97

作者简介:

时 斌(1968-), 男, 讲师, 在职博士生, 从事电力电子技术
在电力系统中的应用, 变电站培训仿真的研究;
韩江虹(1952-), 女, 高级讲师, 从事电力系统运行方面的
教学与科研工作;
万秋兰(1950-), 女, 教授, 从事电力系统静态与暂态安全
分析, 电力系统仿真方法的研究。

(上接第 19 页)

同类型识别部分输出层有 2 个结点, 分别对应于不同模型的放电。每一级网络的输入层有 2 个结点, 隐含层结点个数为 10, 训练采用 S 型函数, 利用四种放电模型的具体放电类型(类型尖尖、类型尖板、类型气隙、类型沿面)作导师, 指导对所测得的数据进行训练, 然后对最终提取出来的局放声信号样本进行识别, 该方法能够实现局放声信号的有效识别。

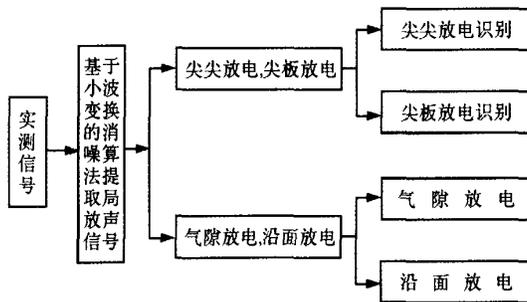


图 7 局放声信号的模式识别结构
Fig 7 The structure of pattern recognition of PD acoustic signal

7 结论

通过在实验室内对不同放电模型的测量发现, 各放电模型所得的局部放电声信号波形图谱都存在不同的放电特征, 为电力设备局部放电的在线监测提供了一种可行的新方法。小波去噪的有效性主要取决于小波基函数的选择、小波分解尺度和阈值的确定。从对仿真信号和实测信号的消噪结果来看, 利用基于小波变换的软阈值消噪算法可以实现对含有噪声的局放声信号进行有效地消噪处理。

使用基于人工神经网络的模式识别法可以有效地分辨四种模型的放电。实际中, 局部放电可能是多种放电模式的混合, 采用不同模式的放电样本

混合进行训练, 可从一定程度上识别复杂的放电模式, 后续的相关研究目前正在进行之中。

参考文献:

[1] 张贤达. 现代信号处理[M]. 北京: 清华大学出版社, 1995

[2] 程正兴. 小波分析算法与应用[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1998

[3] A rii K, Shibahara M, Fujii M. Separation of noise from partial discharge signals by wavelet[A]. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials (I) [C]. Seoul, Korea: 1997. 232- 235

[4] 刘庆, 张炳达, 李志兴. 利用最优小波进行局部放电脉冲的提取和消噪[J]. 电力系统及其自动化学报, 2003, 15(3): 42- 45

[5] Donoho D L. De-noise by soft-thresholding[J]. IEEE Trans on Information Theory, 1995, 41(2): 613- 627

[6] M a X. Automated wavelet selection and thresholding for PD detection [J]. IEEE Electrical Insulation Magazine, 2002, 18(2): 37- 45

[7] 邱昌容. 电工设备局部放电及其测试技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 1994

[8] 姜磊, 朱德恒, 李福祺. 基于人工神经网络的变压器绝缘模型放电识别的研究[J]. 中国电机工程学报, 2001, 21(1): 21- 24

作者简介:

欧阳明鉴(1980-), 男, 硕士研究生, 从事大型电力设备故障诊断技术的研究;
杜伯学(1961-), 男, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事高压电力设备故障检测与诊断的科研与教学;
魏国忠(1981-), 男, 硕士研究生, 从事电气设备在线监测技术的研究。