

智能变电站继电保护仿真案例库研究

黄忠胜¹, 刘娟², 廖小君¹, 王婷婷¹, 韩花荣¹, 刘兴海¹

(1. 国网四川省电力公司技能培训中心, 四川 成都 610072;

2. 国网成都供电公司, 四川 成都 610081)

摘要: 结合数字物理混合仿真系统和110 kV实训智能变电站对继电保护仿真案例库开发的有关问题进行研究, 包括数字物理混合仿真系统架构研究与智能站继电保护案例库开发方案, 提出了开发存在的问题和改进方法, 并对以后的应用前景进行了分析。该仿真案例库的开发有效地提高了智能变电站的培训效果。

关键词: 数字物理混合仿真系统; 智能变电站; 仿真案例库; 培训

Abstract: Combined with the digital-physical hybrid simulation system and the training of 110 kV smart substation, the relevant problems about the development of case database for relay protection simulation are studied, including the research on the structure of digital-physical hybrid simulation system and the development scheme for case database of relay protection in smart substation. The existing problems of the development and its improvement methods are proposed and the future application is analyzed. The development of simulation case database can effectively improve the training effect of smart substation.

Key words: digital-physical hybrid simulation system; smart substation; simulation case database; training

中图分类号: TM74 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2015)01-0006-03

0 引言

智能变电站作为坚强智能电网的重要基础和节点支撑, 是必不可少的建设内容。随着智能变电站的相继投运, 为满足智能变电站检修和运行人员的培训需求, 国网四川省电力公司技能培训中心于2011年建成一座110 kV实训智能变电站, 主要作为教学培训使用。由于智能变电站技术是新事物, 智能变电站培训工作需要借助数字信号仿真这样的先进工具, 开发智能变电站继电保护仿真案例库能够满足继电保护和变电运行人员的培训, 并能承担变电站整组复杂调试、故障排查分析等高层次培训。

1 数字物理混合仿真系统架构研究

仿真系统采用数字物理混合仿真技术, 充分利用110 kV实训智能变电站现场真实的物理设备, 实现实时电网仿真与真实的物理设备无缝对接, 实现了智能变电站数字物理混合仿真。智能变电站混合仿真需要对仿真变电站及其相邻线路组成的局部电

基金项目: 2014年国网四川省电力公司科技项目(521922140003)

网采用电磁暂态模型, 通过电磁暂态计算实时输出变电站正常运行和事故状态下的电压和电流波形, 实时反映保护动作后电网或变电站的电压和电流信号的动态特性。通过信号输入输出接口装置, 智能一次设备操作机构模拟装置、电子式互感器模拟装置等, 将电磁暂态仿真系统和真实二次设备有机结合起来, 实现了数字仿真与实际二次设备的无缝连接。智能变电站混合仿真可以将数字仿真设备和真实的二次设备放置于同一个仿真系统中有机连接、灵活配置, 构造了更为逼真的运行环境, 更加有效的对智能变电站继电保护和运行人员进行培训。图1是展示了数字物理混合仿真系统的结构。

1.1 软件系统

电磁暂态仿真软件采用并行计算技术、综合友元法以及输电线路任意点故障在线仿真算法实现实时电磁暂态仿真软件的长期连续稳定运行能力、高实时性及强交互性。该软件建立了交流电压源、多相分布参数输电线路、变压器、负荷、断路器、整流器、逆变器、交直流滤波器、平波电抗器各类刀闸以及集中电阻、电感和电容等一次设备的电磁暂态模型, 建立了母线、线路、变压器等设备的短路和断线等故障模型, 也可以进行任意的组合以构建更为复

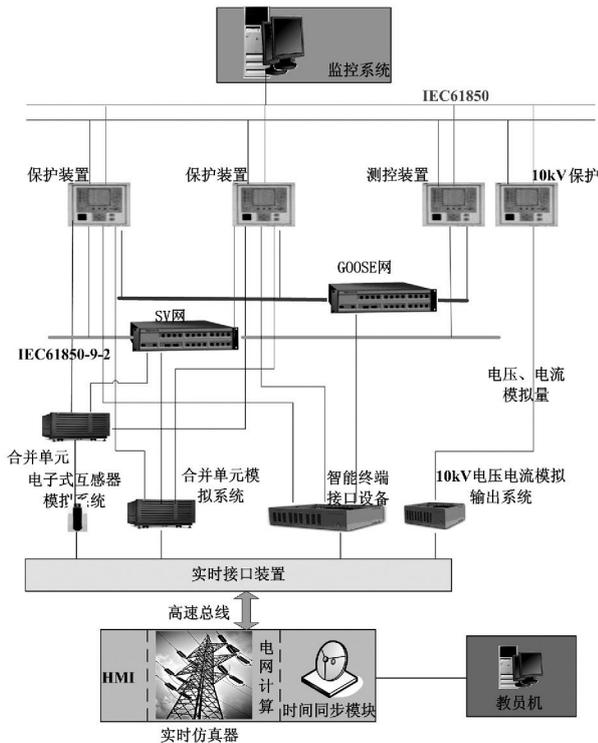


图 1 仿真总体结构

杂的复合故障模型。

1.2 采样值输入系统

智能变电站采样值输入的的实现有两种方案:一是模拟电子式互感器,电流电压数字信号接入合并单元;二是模拟合并单元,将 IEC 61850-9-2 采样值报文直接接入保护测控装置^[1-2]。考虑到培训的针对性和灵活性,数字物理混合仿真系统具备这两种方案的功能,在系统设置中对这两种方案可以方便地切换。

1.2.1 电子式互感器的模拟

电子式互感器模拟系统是模拟电子式互感器输入输出信号的设备,可以按照现场配置与过程层设备相连,主要用于过程层合并单元运行和检修技能的实训。

电子式互感器模拟系统可以模拟基于罗科夫斯基线圈的互感器(简称罗氏互感器)和基于法拉第磁旋光效应的电子式电流互感器、基于电阻或电容分压原理(电子式)和基于 Pockets 效应(光学)的电子式电压互感器。按照现有主流厂家的电子式互感器通信规约,提供光纤串口输出,实现与不同厂家合并单元的连接。可以根据不同厂家产品设计,接受合并单元的触发脉冲信号,按照合并单元的控制输出采样值;也可以按照固定采样频率自动向合并单

元输出采样值。

考虑仿真站采用二次设备厂家、型号较多,接口方式复杂,为减少投资和提高系统可扩展性,优先采用集中设计、统筹配置、灵活设置的电子式互感器模拟装置模式。

1.2.2 合并单元的模拟

遵照 IEC 61850-9-2 标准,模拟过程层合并单元发出的通信报文,将电磁暂态仿真计算结果波形实时转化为通信信息发送,为间隔层设备提供真实可靠的仿真数据源,实现智能变电站中合并单元的模拟。

集中式合并单元模拟装置采用集中配置方式,可以提高设备利用率。为确保仿真实时性的要求,不同合并单元的模拟采用独立网络接口,带宽不低于 100 Mbit/s,即可实现点对点接入保护装置,又可采用组网方式接入交换机设备。

1.3 GOOSE 变位接入系统

常规变电站仿真系统通过断路器(或模拟断路器)辅助接点引入,实现闭环测试。智能变电站与常规变电站相比,虽然也是通过模拟断路器辅助接点引入,但信号是断路器 GOOSE 变位报文,而且所有断路器 GOOSE 变位报文都会经过 GOOSE 交换机^[3],所以在回路上只需要有光纤从仿真系统连接到 GOOSE 交换机,在配置上设定相应的 GOOSE 订阅,仿真系统能较方便地采集实际断路器位置信息,完成整组闭环试验,此方式是仿真系统的“外部控制”方式。如果仿真系统的开关位置按照仿真建模的方式运行,不需要外部真实的开关位置信息,此方式是仿真系统的“内部控制”方式。

1.4 过程层模拟设备配置

实训智能变电站 110 kV 保护、测控装置通过合并单元接收电流、电压信息;10 kV 保护测控装置接常规互感器。其中 110 kV 线路保护和主变压器保护双重化配置,第一套采用 SV 点对点方式接入合并单元模拟系统,第二套采样值采用 SV 组网方式接入;110 kV 备自投、内桥测控装置、电度表、故障录波及网络分析仪设备的采样值采用 SV 组网方式接入。

2 继电保护仿真案例库开发方案

为充分满足实际培训的需求,仿真案例库在实

现架构上需考虑许多问题,包括仿真模型系统如何搭建;仿真系统和实际保护装置设备的信息交互;故障模拟及考核方式等。除仿真案例网络模型外,还包括了培训时实施方案、故障模拟设置、考核方式(如波形分析、负荷测试、回路查找、事故判断方法等)。

2.1 仿真案例库模型搭建及相关设置

仿真案例库的模型搭建是一个很重要的问题,首先模型应该和接入的实际保护设备的一次接线满足一致,这样才能保证保护动作行为的正确性和合理性。其次,仿真案例库的运行方式应当灵活,以适应不同的培训需求,如可以方便调整潮流,以灵活地开展带负荷测试等培训模块,或者进行不同的故障设置模拟。最后,仿真案例库的搭建应考虑一定的扩展性,尤其外部等值系统的考虑,以及和安控系统的接口等等。图2是按照110 kV实训智能变电站搭建的一次设备模型。

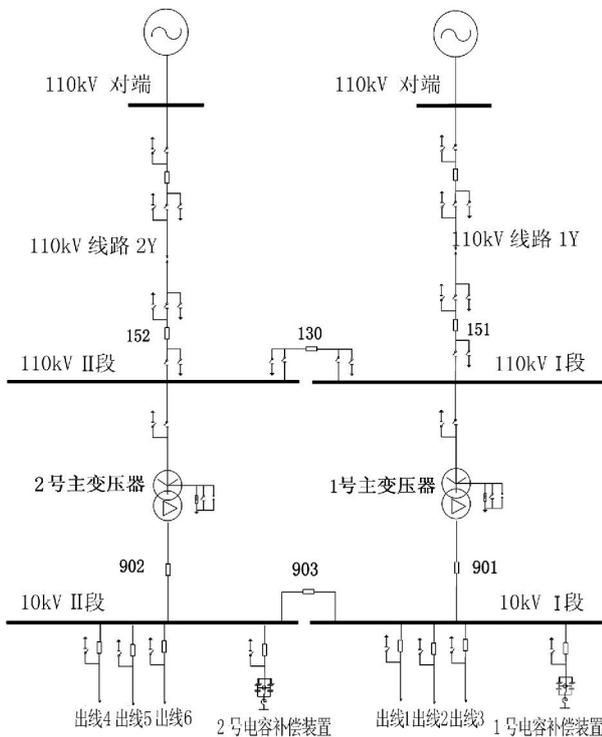


图2 110 kV实训智能变电站一次模型

2.2 仿真案例开发方案

仿真案例库开发充分和智能站继电保护培训课程体系相结合,其开发成果包括了继电保护专业培训和考核标准的多个模块,每个仿真案例应包含仿真案例说明和培训实施方案。仿真案例说明主要阐述该案例的分析说明、仿真的系统参数等,以便培训

时提供给培训师使用。培训实施方案主要包括故障前运行方式说明、保护相关定值、保护动作记录、故障录波报告、事故分析考核模块,培训时提供给学员使用,该部分通过图片和录波图的方式以附件报告的形式完成,便于进行离线培训。

目前结合110 kV实训智能变电站的保护装置,已完成110 kV线路保护、主变压器保护、110 kV备用电源投入装置的继电保护仿真案例。仿真案例库主要包括3方面的内容:保护装置带负荷测试、典型故障仿真和典型事故仿真。仿真模型能方便进行各种潮流的调整,通过设置虚端子回路故障、修改TA变比等^[4],让培训学员掌握带负荷测试方法、仪器使用、分析和查找回路问题的方法。典型故障仿真库建设通过仿真系统仿真包括瞬时性故障、永久性故障、非全相故障、高阻接地故障等。通过仿真系统模拟保护正确动作,通过分析保护装置的动作报告和录波报告,让培训学员了解光纤差动保护、距离保护、零序保护及自动重合闸等保护正确动作时的动作行为,学会进行保护和故障录波装置典型录波报告的分析,掌握分析判别典型故障的特征。典型事故案例库的建设以近3年国网四川省电力公司典型保护事故案例以及各种保护选拔和竞赛典型回路故障为参考,精选有代表性的保护不正确动作案例。利用典型事故案例库,可以让培训学员掌握较复杂的事故分析方法、培训学员综合利用系统知识和技能知识的能力。

3 系统开发问题及应用前景

3.1 开发有关问题

仿真案例库开发过程中的主要问题包括以下几点。

(1) 仿真案例的选取具有一定的局限性,现场发生的相关案例如电子式互感器双A/D采样异常、丢帧、错序等,用仿真系统目前难以模拟。

(2) 目前该库仿真的变压器保护、线路保护都是110 kV电压等级的装置,其虚端子二次回路与220 kV及500 kV智能变电站比较相对简单,故障类型较少。待以后培训基地有220 kV及以上电压等级的智能变电站保护设备后,可以考虑扩展该库的内容,满足220 kV及以上电压等级的培训需求。

3.2 应用前景

(下转第18页)

线对极间距影响的计算分析结论,得出耐张塔的电
磁环境按照导线表面电场强度增加近百分之三,极
导线平均对地高度 23 m,在不同极导线间距下(11
~ 26 m) 正极性导线对地投影外 20 m 处可听噪声
50% 值,按中国电科院推荐的方法修正计算耐张塔
最小极间距。为了均衡挂点布置、方便铁塔加工、简
化施工组装,耐张塔最小极间距可考虑统一取值,
汇总统计值如表 8 所示。

表 8 耐张塔最小极间距离

海拔/m	极间距离/m
500	14
1 000	14
1 500	15
2 000	16

参考文献

[1] 吴桂芳. ±800kV 直流和 1000kV 交流线路同走廊时

的最小接近距离研究[J]. 中国电力, 2007 (12): 22 - 26.

[2] GB/T 1179 - 2008, 圆线同心绞架空导线[S].

[3] GB 50790 - 2013, ±800kV 直流架空输电线路设计规范[S].

[4] 布春磊, 周海鹰, 江明. 特高压直流输电线路大截面钢芯铝绞线选型研究[J]. 电力建设, 2013, 34(9): 102 - 104.

[5] 万建成, 李健, 陈媛, 等. 铝合金芯铝型绞线在大容量直流线路中的应用[J]. 电力建设, 2013, 34(8): 105 - 106.

作者简介:

周 唯(1982), 硕士, 工程师, 从事输电线路技术设计工作;

周 刚(1964), 本科, 高级工程师, 主要从事输电规划、研究、咨询设计工作;

吴子怡(1981), 硕士, 工程师, 主要从事电网工程咨询设计及造价设计工作。

(收稿日期: 2014 - 10 - 28)

(上接第 8 页)

在仿真系统平台上完成的继电保护动作案例, 收集案例的参数设置、动作报告和故障波形, 通过图片和录波图的方式以附件的报告形式完成, 便于进行离线培训, 即该案例库可以在实训站的仿真系统上故障再现, 也可以脱离 110 kV 实训智能变电站离线使用, 培训地点灵活。通过变压器保护、线路保护、备自投装置案例, 使智能变电站继电保护常见的保护动作行为和带负荷测试分析得到了完整的、具体的呈现, 便于学员理解和掌握。

目前该案例库已在国网新员工培训和智能变电站技术培训班中使用, 在实训操作培训之后, 再使用案例具体地分析故障过程, 易于学员理解, 加深印象, 取得了良好的培训效果。后续可以在以下领域发挥更大作用。

(1) 利用数字物理混合仿真系统和 110 kV 实训智能变电站的现场设备, 可以开展变电运行和厂站端自动化专业的培训。

(2) 如果有继电保护故障信息培训系统, 利用仿真案例库, 可以更好地对故障信息系统培训做有益的补充。

(3) 仿真案例库开发建设的建模方法、测试技

术和方法可以为自动化子站、主站仿真案例库的开发积累丰富的经验, 促进这些专业技能培训的能力提升。

参考文献

[1] Q/GDW 383 - 2009, 智能变电站技术导则[S].

[2] Q/GDW 426 - 2010, 智能变电站合并单元技术规范[S].

[3] Q/GDW 428 - 2010, 智能变电站智能终端技术规范[S].

[4] 高亚栋, 朱炳铨, 李慧, 等. 数字化变电站的“虚端子”设计方法应用研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011 (5): 120 - 123.

作者简介:

黄忠胜(1982), 硕士, 讲师, 从事继电保护方面研究;

刘 娟(1984), 学士, 助理工程师, 主要研究方向智能用电和配电自动化;

廖小君(1974), 硕士, 副教授, 从事微机继电保护方面研究及信息系统的研究;

王婷婷(1977), 大学, 高级工程师, 从事继电保护方面研究;

韩花荣(1981), 硕士, 讲师, 从事继电保护方面研究。

(收稿日期: 2014 - 12 - 22)