

特高压直流输电培训仿真系统的实现

张欣, 饶国辉, 黄浩然

(许继电气直流输电系统部, 河南 许昌 461000)

摘要: 介绍了培训仿真系统的目的, 需要实现的功能, 实现培训仿真系统的一些技术, 以及在云广特高压工程的基础上仿真培训系统的实现。

关键词: 高压直流输电; 数字仿真; 培训仿真器; 人机接口

Design and implementation of UHVDC training simulation system

ZHANG Xin, RAO Guo-hui, HUANG Hao-ran

(UHVDC Electric Power Transmission Department of XJ, Xuchang 461000, China)

Abstract: This thesis introduces the purpose and functions of the training simulation system, the technical used to implement the training simulation system and the implement of the system in YunGuang UHVDC project.

Key words: UHVDC; Digital Simulation; Training Emulator; HMI

中图分类号: TM72 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2008)24-0076-03

0 引言

高压直流输电系统仿真就是通过建立适当的数学模型来模拟实际电路及其控制保护系统的一种研究方法, 由于培训仿真系统主要用作对运行人员在换流站正常运行场合的培训, 因此对交、直流系统以及控制系统的仿真仅限于正常运行情况的范围; 对直流保护系统的仿真则集中在保护行为模拟。

1 培训仿真系统简介

培训仿真系统目的是实现运行人员培训功能, 为通过运行人员控制系统(以下简称后台系统)的各种操作功能去操作高压直流输电系统而提供一个培训设施。因此, 培训仿真系统的设计是基于一个后台系统(培训工作站), 该后台系统通过局域网与仿真模拟装置(仿真服务器)一起工作。

培训仿真系统的重点是为操作高压直流输电系统提供一个训练的工具。因此, 其操作界面应与实际的后台系统操作人员工作站的保持一致。为满足此要求, 培训工作站将采用实际的HMI后台软件。

培训工作站通过局域网与一个基于PC的仿真

模拟装置(仿真服务器)进行通信。培训工作站发出的所有操作命令直接被仿真服务器处理; 为使运行人员在实时监控操作方面得到培训, 培训工作站可以联接到实时系统; 但培训工作站上的任何操作不对整个实时系统产生任何作用和影响。

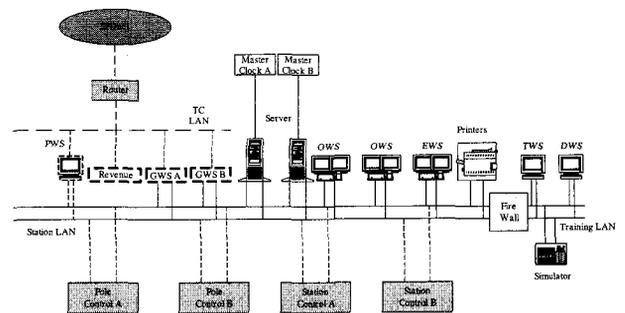


图1 仿真系统结构框图

Fig.1 General structure of simulation system

2 培训仿真系统主要功能

培训仿真系统的功能主要包括对一次系统(一次设备, 辅助系统, 高压直流联接的电气特性)的仿真, 对二次系统(极控制、站控制、直流系统保护)的仿真。

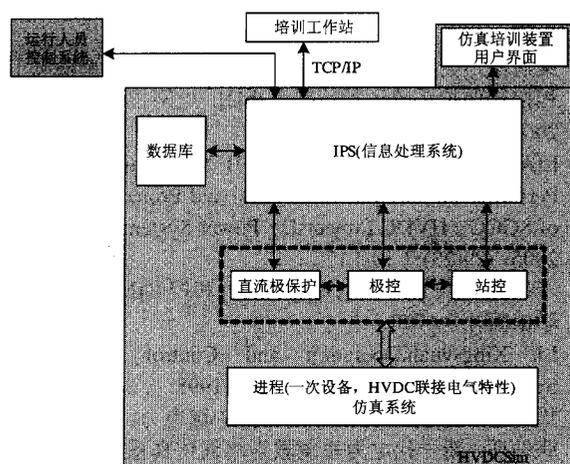


图 2 仿真系统功能框图

Fig.2 Function block diagram of simulation system

2.1 一次系统仿真

- 1) 一次设备(开关设备, 交流滤波器, 并联电容器/电抗器, 换流变(包括调节分接头和换流变冷却系统), 换流器, 平波电抗器等)的仿真;
- 2) 辅助系统(阀冷, 附属设备等)的静态仿真;
- 3) 对交流系统和直流系统电气特性的仿真。

2.2 二次系统仿真

- 1) 极控系统仿真, 包括定功率、定电流控制以及切换, 换流变分接头控制, 在线潮流反转, 对无功功率控制手动/自动方式的选择, 对一些定值的在线修改等;
- 2) 站控系统仿真, 包括交流开关设备(断路器、隔离开关和接地刀闸)的切/合操作, 直流接地刀闸的切/合操作, HVDC 系统顺序控制操作, 无功控制, 冷却系统的控制等;
- 3) 直流系统保护仿真, 包括极保护, 极控保护, 换流变压器保护, 交流滤波器/并联电容器(电抗器)保护等。

3 培训仿真系统的实现技术

培训仿真系统的实现, 包括整个 HMI 部分, 以及系统的建模仿真, 涉及到电力系统分析、电力元器件建模、控制保护逻辑建模、软件框架设计、进程间通信、数据库、组态软件等多个方面。

3.1 对电气特性的仿真基于以下假设

- 1) 换流站两侧的交流网络由带阻抗的简化交流可变电电压源表示, 其中阻抗与实际交流网络的参数特性相关联。这样就考虑了换流站的影响和对交流电压的无功补偿等因素。

- 2) 对直联接电气特性的仿真计算使用标准的换流站公式。所有计算都基于准稳态, 而不考虑暂态行为的仿真。仿真只包括了对运行人员通过后台监控工作站能直接观测到的换流站运行和操作的仿真。

- 3) 换流器用可控的电压源来模拟。
- 4) 不考虑谐波问题。
- 5) 仿真应考虑整流和逆变触发角的限制。

- 6) 换流变分接头调节器可用一个电压系数可调的变压器来仿真。仿真不考虑换流变的饱和以及磁滞效应。

3.2 极控系统仿真

正常工况下, 整流侧通过快速调节 α 角来保持直流电流恒定; 逆变侧为 γ 角控制。

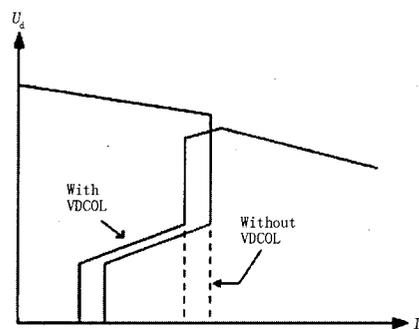
与快速控制相配合的换流变抽头的慢速控制策略为, 正常工况下, 整流侧抽头控制 α 角为 $15^\circ \pm 2.5^\circ$, 逆变侧抽头控制 U_{d10} 为 $1 \pm (1.25\%)pu$ 。

阀组控制中包含低压限流环节, 用于在直流电压降低时对直流电流指令进行限制。

根据基本控制策略, 阀组控制应包括以下三个基本控制器:

- 1) 闭环电流调节器;
- 2) 电压调节器;
- 3) 修正的 γ 控制器。

在阀组控制中对整流和逆变运行配置不同的参数, 使得在实际运行中整流侧和逆变侧由不同的调节器起作用, 从而实现希望的 U_d/I_d 特性曲线(见下图)。

图 3 静态 U_d / I_d 特性Fig.3 Static characteristic of U_d / I_d

3.3 顺序控制和联锁功能的实现

直流系统顺序控制的基本状态有 5 种: 检修、冷备用、热备用、解锁运行及空载加压试验。5 种基本状态分别描述如下:

检修状态: 所有阀厅的接地刀闸均在合状态, 阀厅门可打开。

冷备用状态:所有阀厅的接地刀闸均在分状态,阀厅门关上。此时,阀冷系统无异常且应在运行状态。

热备用状态:所有阀厅的接地刀闸均在分状态,阀厅门关上。此时,阀冷控制系统无异常,换流变已充电。

运行:在热备用基础上,将阀解锁投运。

空载加压试验:空载加压试验和直流系统投运/停运过程的控制顺序有所不同,是一个试验状态。

启动直流系统的顺序主要包括如下步骤:

1) 关上阀厅门且将阀厅门钥匙锁定在闭锁状态。

2) 打开阀厅地刀。

3) 处于冷备用状态。

4) 对换流变压器进行充电。

5) 处于热备用状态。

6) 阀解锁。

处于直流系统运行状态。

停运直流系统的顺序主要包括如下步骤:

1) 阀闭锁。

2) 到热备用状态。

3) 换流变压器放电。

4) 到冷备用状态。

5) 合上阀厅地刀。

6) 释放阀厅钥匙,允许打开阀厅门。

此时,直流系统停运。换流站回到检修状态。

4 结束语

本培训仿真系统采用与工程一致的 HMI 软件模块,因此和真实系统有完全一致的界面,完全一致的操作,甚至所有的参数配置都是一样的,这样使得系统的集成度大大提高,不仅提高了系统的可维护性,也大大减化了软件编制工作。

参考文献

[1] 梁旭明, 吴斤克, 冀肖彤. 国家电网公司直流输电工程控制保护系统运行情况分析[J]. 电网技术, 2005, 29(23):7-10, 17.
LIANG Xu-ming, WU Jin-ke, JI Xiao-tong. Operating Performance Analysis on Control and Protection System of SGCC's HVDC Projects[J]. Power System Technology, 2005, 29(23):7-10, 17.

[2] 李兴源. 高压直流输电系统的运行和控制[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
LI Xing-yuan. Operation and Control of HVDC System[M]. Beijing: Science Press, 1998.

[3] 周承忠. 变电站仿真培训系统. 中国电力, 1997.

[4] 张慎明. 新一代电力系统教学培训仿真系统的设计和实现. 全国电网调度自动化、仿真技术学术年会论集, 2000.

[5] R. Kuffel. RTDS: a fully Digital Power System simulator Operating in Real Time[M]. Teexas, U.S.A, 1995.

[6] 浙江大学直流输电科研组. 直流输电[M]. 北京: 中国电力出版社, 1982.

[7] 徐政, 蔡晔, 刘国平. 大规模交直流电力系统仿真计算的相关问题[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(15): 4-8.
XU Zheng, CAI Ye, LIU Guo-ping. Some Problems in the Simulation of Large-scale AC/DC Power System[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(15): 4-8.

收稿日期: 2008-11-05

作者简介:

张欣(1979-), 男, 本科, 从事高压直流输电软件设计及系统研究工作;

饶国辉(1976-), 男, 本科, 从事高压直流输电软件设计及系统研究工作;

黄浩然(1975-), 男, 本科, 从事高压直流输电软件设计及系统研究工作。

(上接第 75 页 continued from page 75)

[5] Lemaire R O. Wireless LANs and Mobile Networking: Standards and Future Directions[J]. IEEE Communication Magazine, 1996, (8):86-94.

[6] 邬雄, 聂定珍, 万保权, 等. 架空送电线路的电磁环境及其污染影响[J]. 高电压技术, 2000, 26(5):24-26.
WU Xiong, NIE Ding-zhen, WAN Bao-quan. Electromagnetic Environment of the Overhead Transmission Lines and Electromagnetic Pollution[J]. High Voltage Engineering, 2000, 26(5):24-26.

[7] 陈水明, 王磊, 何金良. 多回高压输电线路产生的无线电干扰分析[J]. 电波科学学报, 2002, (6):677-681.
CHEN Shui-ming, WANG Lei, HE Jin-liang. Radio Interference Analysis From Multi-circuits AC High

Voltage Overhead Power Transmission Lines.[J]. Chinese Journal of Radio Science. 2002, (6):677-681.

收稿日期: 2008-01-29; 修回日期: 2008-04-05

作者简介:

马锋福(1982-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力设备远程监测的通信方式; E-mail: yaseile@yahoo.cn

王玮(1959-), 男, 博士生导师, 研究方向为电气设备在线检测技术, 信息技术在电气工程及电力设备系统中的应用, 工作流理论及其应用;

徐丽杰(1972-), 女, 副教授, 主要从事电力系统稳定与控制, 高压电气设备在线监测技术的研究。