

基于互联网的 DTS联合培训仿真系统

路轶,肖岚,王民昆

(四川省电力公司调度通信中心,四川 成都 610041)

摘要: 提出了一种进行 DTS联网和调度员联合反事故演习的新方法,即通过计算机网络技术把各个参演单位的 DTS系统连接起来,通过相互交换其边界节点和联络线(联络变)的潮流信息来实现对外网的等值模拟。并对整个 DTS联合反事故演习的模拟方式、事件流程等等提出了一些解决方案。通过该方案,可以将参演的各级 DTS系统有效地连接起来以达到联合反事故演习的目的,从而有效地提高 DTS的实用水平。

关键词: DTS; 联合反事故演习; 互联网

中图分类号: TM743 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2006)02-0070-05

0 引言

自 20 世纪 70 年代以来,电力系统调度员培训仿真系统(DTS)得到了迅速的发展。调度员培训仿真(DTS)系统的应用使调度员培训和反事故演习工作有了质的飞跃,体现出前所未有的真实性和直观性,并已成为调度员培训不可缺少的工具。

然而,由于当时技术条件的限制,在全网联合反事故演习中 DTS只能为本地演习方提供实时信息,无法为参演各方所共享。为了改进 DTS使用的局限性,本文设想在反事故演习中让演习各方(包括省调及其下属参演单位)始终共享 DTS提供的信息,即在演习过程中,各方面对的是同一个数据断面——DTS系统模拟的电网实时运行工况,任何一方的操作都能直接作用于该数据断面并使之相应地变化,反馈的结果可为其它各方共享。这样一来各个参演单位就能够身临其境地参加到联合反事故演习中来^[1]。

1 DTS应用中存在的问题

我国电网实行分层分级的管理制度,调度权限一般按照电压等级和行政区自然划分,这固然是使得责任与权限划分明确,而且在一般性故障发生时也能有效排除,但是灾难性故障的发生往往会影响到多个电压等级和行政地区,这就要求各级、各地调度能够通力合作、协调调度,尽可能快地排除故障、恢复电力运行,将故障所造成的损失降至最低。

受益于现代通信、网络以及计算机硬件和软件技术的进步,目前的 DTS产品在功能方面较早期产品已经有了很大的进步,但由于受到早期 DTS理

论、应用模式和软件体系结构等方面的制约,在某些方面已经不能满足现代电网的发展对 DTS产品的需求^[2],具体表现为以下几个方面:

1) DTS与其它 DTS之间无法实现直接的信息交换:目前多数 DTS系统在设计时未考虑 DTS与其它 DTS(以及与 OTS)之间的接口问题,在培训时一般由导演或教员模拟厂站值班或是下级调度运行人员进行操作,这样做不仅会造成培训时的临场真实感差,而且也使得反事故演习的效果大打折扣。

2) 对外部电网模拟很差:目前,在很多地调也安装了 DTS系统。但是,在实际应用的时候还存在着许多问题。其中,对上级电网的等值问题就是其一。对于地调管辖的 220 kV 以下电网来说,外网(220 kV 及其以上,主要由省级调度部门管辖)都等值为发电机或负荷模型,这些模型都是静态的而且随着电网的快速变化,参数的获取困难。这使得在进行调度员培训的时候无法正确模拟外网运行方式的改变和发生的故障,从而无法正确模拟外网的变化使得模拟的电网环境大大失真,影响了调度人员的培训效果;而对于省级调度部门来说,对地级调度部门所管辖的 110 kV 及其以下的电网一般都模拟成一个负荷。该负荷只能反映频率的变化,而不能反映地级调度部门在演习过程中对它的操作,从而使得在整个培训过程中对 110 kV 电网模拟的失真,可能会误导调度运行人员。另外,对于 110 kV 及其以下的电厂,在高级应用软件中也没有模拟,使得这些电厂没有在 DTS中得到反映。只能在整个负荷区域内减去这部分出力,也影响仿真效果。

为了提高 DTS系统对电网模拟的真实性,必须将各参演单位的 DTS进行联网,进行联合反事故演

习。

2 DTS联合反事故演习的现状 & 缺陷

目前,华东 DTS系统、山东临沂 DTS系统以及南方电网联合反事故演习系统等等,都在原有的 DTS系统上增加 Web功能,由此可以实现联合反事故演习,但效果并不是很理想。主要原因如下:培训过程中调度员的操作指令仍由主站教员代为执行,其他单位的参演人员仅限于通过 Web浏览器旁观而不能进行任何电气操作,整个培训操作的环节并没有形成一个真正意义上的闭环,因此大大降低了各级调度和厂站值班人员对联合反事故演习的参与程度,损害了演习效果。按照目前的方式在联合反事故演习中只有一套 DTS系统能发挥作用,其他参演单位不得不围绕着这套 DTS系统的 Web浏览终端进行联合反事故演习,而他们自有的 DTS系统不能在演习中发挥作用,这是极大的资源浪费。

这种联合反事故演习方式并没有解决外网等值的问题,外网的任何操作都不能在本网中产生影响,使得模拟的真实性大大降低^[1,3]。

文献 [4] 提出了运用多级 DTS实现联合反事故演习的三种方案:分散建模、各自仿真、多头操作、手工联动:即使用可操作 Web服务器进行联合培训,但各级仿真系统同步性很差,自动化程度低,且没有考虑到各级电网之间的相互影响。分散建模、各自仿真、就地操作、自动联动:即通过网络接口自动进行潮流数据的交换,但其仿真数据的交互很复杂,接口设计困难。集中建模、统一仿真、分散操作、自动联动:即所有参演人员都使用同一套 DTS系统,但其仿真网络规模巨大,模型维护工作量非常大,实现困难。

针对目前 DTS联合反事故演习中存在的上述问题,本文提出了使用 DTS联网进行联合反事故演习的一种方案。通过各级 DTS联网,各参演单位都可以通过联网方式参加反事故演习,不但增强了临场真实感,还解决了演习过程中外网等值的问题。

3 联合反事故演习要增加、增强的模块

为了满足 DTS进行联合反故障演习的需要,在各个参演 DTS侧都需要增加 DTS-DTS网络接口模块,用以作为 DTS之间互相通信的接口,且双方可互为具备服务器和客户端。并将最高一级参演单位作为主 DTS系统,其它参演单位作为子 DTS系统。此外,还需对原有的 DTS模块进行功能扩充,增加

对新模块的配合和各个参演 DTS系统之间协作的能力。所要增加的模块如下:

1) DTS网络接口模块

DTS网络接口模块的功能是为对侧 DTS系统提供准确而真实的实时潮流数据。当 DTS联接建立后便进入联合仿真模式。实现的方法是在双方的 DTS主机上启动网络服务器程序,在固定的端口等待对侧 DTS主机的联接请求;同时在双方的 DTS主机上运行网络客户端程序,在演习开始前就建立这种连接,以便在需要进行数据传输的时候能够及时进行数据传输。对于参演的各个 DTS系统,只开放边界节点和联络线(联络变)的潮流数据,其它数据严禁访问。为了保证参演单位 DTS数据的安全性和可靠性,在此模块中还应内嵌网络传输安全模块,该模块可以采用 IP加密或 SSL等技术来保证数据传输的安全性。另外,由于在整个联合反事故演习的过程中,各个 DTS相互之间的每次数据交换量很小且交换量恒定,可以考虑流量控制技术来保证数据的安全性。

2) 数据交换触发模块

数据交换触发模块承担了判断本侧操作或潮流变化是否会引发对侧网络运行状态变化的任务。它主要是通过比较前后两次潮流计算的边界点电压的相角、幅值和联络线(联络变)的潮流以及主 DTS模拟的电网频率之间的差值是否越过设定的阈值来决定是否将这些值下发给对侧 DTS系统来实现的。

3) 外部电网等值模块

在联合反事故演习过程中,由于 DTS系统在设计电网分析算法时,对外部电网一般只做简单的等值处理,经过这种简化处理后得到的计算结果与实际系统往往不一致,从而使调度员培训仿真的真实性大打折扣。在联合培训与反事故演习模式下,各个电网的边界等值端口数据可以通过信息交换得到。因此,本文根据所要模拟的边界点的性质把外网等值为平衡节点或 PQ节点,对主 DTS系统来说这些边界节点为 PQ节点,对子 DTS系统来说这些边界节点的性质在演习断面初始化和演习过程中有所不同。在演习初始化时这些边界节点为电压幅值受控的 PQ节点,在演习过程中这些边界节点为相角和幅值给定的平衡节点。

4) 潮流计算及其匹配模块

潮流计算及其匹配模块是整个联合反事故演习的核心模块。它主要是对已有的潮流计算程序加以改进,使得潮流计算具有匹配联络线(联络变)潮流

和处理多个平衡节点的功能。它主要是通过多次调用潮流计算模块来实现。

该模块的主要应用方式有两种：以网络中的边界节点为 PQ 节点,以给定的边界点电压幅值为控制目标,进行潮流匹配计算,不平衡功率由该 DTS 系统中模拟的负荷(发电机)分配或是由指定的负荷(发电机)平衡;以联络线(联络变)两端的 DTS 系统为对象,以发生变化的网络为基准进行潮流匹配。

4 联合培训的流程

整个联合反事故演习主要分成两个阶段:形成初始演习断面阶段:它调整各参演单位的 DTS 系统模拟的电网断面,使其在边界节点上保持一致。

联合反事故演习阶段:其主要是模拟整个电网在演习过程中的各种状态,并保持参演的 DTS 系统在边界节点上的一致性。它的详细分析和主要步骤如下:

1) 形成演习初始断面阶段

由于参加演习的 DTS 系统所模拟的网络不同,且断面中边界节点和联络线(联络变)潮流数据也不尽相同,因此必须以主 DTS 系统为基准,初始化子 DTS 系统边界数据,以使各参演单位的 DTS 系统同步。另外,还应使模拟的时间以及公共的网络负荷和发电机的计划曲线保持一致。

在断面初始化时,由主 DTS 系统给定边界点电压的幅值和联络线(联络变)的有功、无功值。由于参加反事故演习的各个 DTS 系统选取的参考节点可能并不相同。所以在两个 DTS 系统中的边界点电压的相角计算值可能不同。因此,本文不把边界点看成是 pqv 节点。而把它看成是一个边界点电压幅值受控的 PQ 节点(受联络变分接头位置和子 DTS 系统中模拟的 PV 节点和平衡节点控制),这种潮流计算方式见参考文献 [5, 6]。它的主要流程如图 1。

- 在主 DTS 系统上选取基准断面。
- 主 DTS 系统对基准断面进行潮流计算。
- 计算出该 DTS 系统模拟的电网边界节点电压幅值和联络线(联络变)的 P 、 Q 值以及系统的频率值,并将这些值下发给各子 DTS 系统。

d 各子 DTS 系统首先根据主 DTS 系统下发的系统频率值调整负荷有功功率值。再以这些边界节点为电压幅值受控的 PQ 节点(PQV 值由主 DTS 系统下发)进行潮流计算。不平衡功率由子 DTS 系统

模拟的负荷(发电机)承担。经迭代计算得出子 DTS 系统的网络初始断面值。

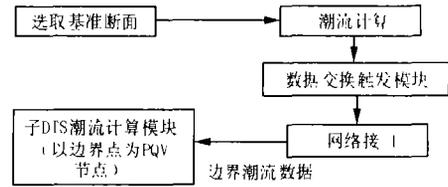


图 1 形成初始断面

Fig 1 Initialization snapshot

2) 联合反事故演习阶段

它根据是否进行 DTS 间的潮流匹配分成两种模式。

a 正常状态下的仿真流程

正常状态指的是电网无故障或操作的状态。它主要是固定周期的时钟激活。时钟激活方式是指:双方的时钟模块按照设定的时钟周期定时激活潮流计算模块进行电力系统潮流计算,并把潮流结果(按照上下级系统之间需要交换网络联络线端口数据以及网络等值参数)通过网络接口发送给对侧的 DTS 系统,它的流程如图 2。这种方式和断面初始化相似也是以主 DTS 为基准进行边界节点电压幅值和联络线(联络变)有功、无功功率值以及频率值来进行匹配的。

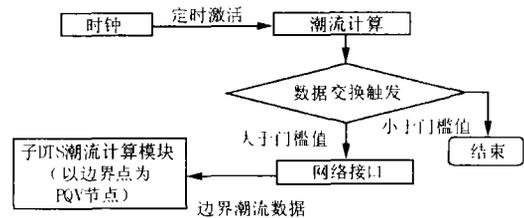


图 2 正常状态下仿真

Fig Simulation in normal state

b 事件状态下的仿真流程

事件触发方式是指各参演 DTS 进行正常或事故处理的调度操作,并把操作后的潮流结果送给对侧的过程,它的仿真流程如图 3。

在事件状态下的联合反事故演习主要是进行各个参演 DTS 系统在边界点和联络线(联络变)上的潮流匹配。由主 DTS 系统向各个子 DTS 系统提供边界节点的 P 和 Q 值,而各个子 DTS 系统向主 DTS 系统提供联络线(联络变)的 P 、 Q 值。其模拟过程主要分成两种情况:主 DTS 模拟的网络发生变化和其它子 DTS 模拟的网络发生变化。分别描述如下:

a. 当主 DTS 系统模拟的网络发生变化时,是以主 DTS 系统模拟的边界为基准进行动态潮流计

算及其匹配计算。它的步骤如下:

(1) 主 DTS系统计算得出边界点的 P 和 Q 值, 并把这些边界点、电压相角和幅值以及系统频率值传送给数据交换触发模块。

(2) 数据交换触发模块判断系统频率值、边界点的 P 、 Q 值和上次潮流计算得出的这些值之差是否大于设定的阈值。如果小于则不向子 DTS系统下发任何值, 本次网络模拟事件结束。否则, 把这些边界点的 P 和 Q 值 (为本次潮流计算的 P 值和上次潮流计算的 P 值之差) 以及频率值下发给子 DTS系统。

(3) 子 DTS系统根据收到的频率值调整模拟的负荷有功潮流值, 并根据收到的 P 和 Q 值计算出边界点的 P 和 Q 值 (P 值为上次子 DTS系统潮流计算的 P 值加上收到的 P 值之和)。然后, 子 DTS系统把边界节点也作为平衡节点, 进行多节点时的潮流计算, 具体算法见参考文献 [5]。当子 DTS系统计算出边界点的 P 、 Q 值后, 通过数据交换触发模块上传给主 DTS系统。

(4) 主 DTS系统再根据子 DTS系统上传的边界节点的 P 、 Q 值修改作为 PQ 节点的边界节点上的参数值, 进行动态潮流计算, 得出新的系统频率值 f 和边界节点的 P 和 Q 值。

(5) 把这些值传送给数据交换触发模块, 跳转到步骤 (2)。

b. 当子 DTS系统模拟的网络发生变化时, 是以子 DTS系统模拟的边界为基准进行动态潮流及其匹配计算。它的步骤如下:

(1) 子 DTS系统进行动态潮流计算 (在进行潮流计算时, 边界节点也应为平衡节点并保持上次接受到的 P 、 Q 值不变), 计算得出边界节点的 P 、 Q 值, 传送给数据交换触发模块;

(2) 数据交换触发模块判断边界节点的 P 、 Q 值和上次潮流计算得出的这些值之差是否大于设定的阈值。如果小于则不向主 DTS系统上传任何值, 本次网络模拟事件结束。否则, 把这些边界点的 P 和 Q 值上传给主 DTS系统。

(3) 主 DTS系统根据收到的 P 、 Q 值修改作为 PQ 节点的边界节点参数值, 并进行动态潮流计算, 得到边界节点的 P 、 Q 值和系统频率。

(4) 把计算出的这些值传送给数据交换触发模块, 数据交换触发模块把频率 f 和边界节点的 P 和 Q 值下发给子 DTS系统。

(5) 子 DTS系统再根据系统频率值调整负荷

节点的 P 值, 并根据主 DTS系统下发的值得到边界节点的 P 和 Q 值, 把这些边界节点作为平衡节点进行动态潮流计算, 并把计算出的 P 、 Q 值传送给数据交换触发模块, 跳转到步骤 (2)。

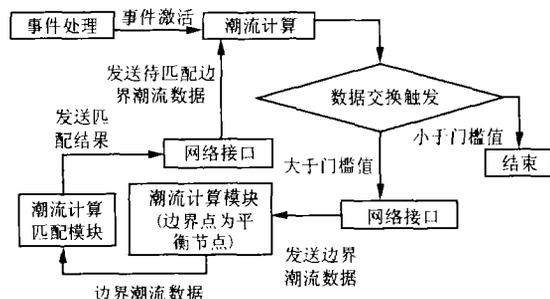


图 3 事件状态下仿真

Fig 3 Simulation under incident

5 结论

采用这种方式的联合反事故演习, 对于整个 DTS系统的改动很小, 充分利用了现有资源。更值得一提的是该方案有效地解决了各个 DTS系统在进行反事故演习时, 对外网等值的问题。同时, 还实现了 DTS资源共享, 使各个参演单位真正参加到全网反事故演习中来, 提高了调度运行人员培训演练的实用价值。

参考文献:

- [1] 梁青, 王忠仁. Web技术在电网联合反事故演习中的应用[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(16): 62-63.
LIANG Qing, WANG Zhong-ren. The Application of Web Technology to Joint Anti-accident Exercises for Power Systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(16): 62-63.
- [2] 陆进军. DTS联网技术与调度员联合培训仿真系统研究[A]. 28届大电网会议论文集.
LU Jin-jun. Research on DTS Internet Techniques and Combined Dispatcher Training Simulator System [A]. Conference on 28th Large Power Network.
- [3] 王志勇, 汪际锋. 南方电网联合反事故演习系统的开发与应用[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(5): 62-63.
WANG Zhi-yong, WANG Ji-feng. Design and Application of Joint Anti-accident Training System for Power Network[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(5): 62-63.
- [4] 魏路平. 运用 DTS实现联合反事故演习的设想和规划[A]. 全国电力系统自动化学术交流研讨会论文集. 2004.
WEI Lu-ping. Conception and Design of Combined Anti-accident Drill Implementation Based on DTS [A]. Proceedings of National Electric Power System Automation. 2004.
- [5] 张伯明, 陈寿孙. 高等电力网络分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 1996.
ZHANG Bo-ming, CHEN Shou-sun. Analysis of Advanced Power

- Network[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1996
- [6] 王克英, 穆钢, 陈学允. 使潮流方程直接可解的 PMU 配置方案研究[J]. 中国电机工程学报, 1999, 19(10): 14-16
- WANG Ke-ying, MU Gang, CHEN Xue-yun. Precision Improvement and PMU Placement Studies on State Estimation of a Hybrid Measurement System with PMUs[J]. Proceedings of the CSEE, 1999, 19(10): 14-16
- [7] 吴际舜. 电力系统稳态分析的计算机方法[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1992

WU Ji-shun. Power System Stability by Computer[M]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University Press, 1992

收稿日期: 2005-05-23; 修回日期: 2005-08-11

作者简介:

路 轶 (1977 -), 男, 硕士, 工程师, 从事电网调度自动化工作。

E-mail: luyi_1230@hotmail.com

Combined dispatcher training simulator(DTS) system based on internet

LU Yi, XIAO Lan, WANG Min-kun

(Dispatching Center of Sichuan Electric Power Company, Chengdu 610041, China)

Abstract: This paper presents a new method of connection among DTS in dispatching centers to accomplish the combined anti-accident exercises. That is, the DTS of dispatching centers is connected by the internet technology, and the equivalent exterior grid is simulated by exchanging the power flow of the neighboring boundary node and tie line. Some solutions to simulation mode, event flow and so on of combined exercise are provided. As a result, the practice of DTS is promoted.

Key words: DTS; combined anti-accident exercises; internet

(上接第 28 页 continued from page 28)

A fast method for sensitivity analysis of transient energy margin based on PEBS method

WANG Zong-yi¹, GUO Zhi-zhong^{1,2}

(1. School of Electrical Engineering and Automation, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China;

2. XJ Electric Power Research Institute, Beijing 100085, China)

Abstract: A novel method for transient energy margin sensitivity analysis based on PEBS method is proposed. In this method, the system pre-fault stable equilibrium point is selected as reference point of potential energy, and potential energy is computed along with the system fault-on trajectory by numerical method. In the process of system dynamic trajectory simulation and integration of sensitivity dynamic equations, Taylor series expansion technique is used to calculate the high order derivatives of rotor angles, speed and sensitivity variables with respect to time. Therefore, bigger simulation time step can be employed, which can improve computation speed while keeping normal calculating precision. By solving the polynomial equation with respect to the variable of time, which describes the criterion of the trajectory reaching the critical potential energy point, the critical potential energy can be attained rapidly. The proposed method for energy margin sensitivity analysis includes: energy margin sensitivity with respect to mechanical input power of generators before disturbance occurrence which is used for preventive control, and with respect to control actions after disturbance clearing which is used for emergency control. Simulation results on New England 10-generator system show this method is of good accuracy and the prospect of on-line application is bright.

Key words: transient stability; energy margin sensitivity; PEBS method; Taylor series expansion

《继电器》入选中国科技期刊精品数据库

近日,从《中国知识资源总库》编辑委员会传来喜讯,在《中国知识资源总库》专家委员会审核的近 8000 种期刊 10 年的引文分析与综合评价中,《继电器》入选 500 种科技类中国科技期刊精品数据库。这是《继电器》杂志在其发展历史上的又一里程碑。