

配电网自动化在线仿真系统技术论述

吴俊华¹,温彦军²,赵月²,姜海涛²,徐文²

(1.义乌供电局,浙江 义乌 322000;

2.国电南京自动化股份有限公司,江苏 南京 210003)

摘要: 提出设计配电网自动化在线仿真系统以实现在不影响运行条件下对馈线自动化(FA)功能进行完全的故障模拟和试验。达到在线目的、容易设置和更改、仿真产生的信息与真实发生故障后产生的信息完全一致是仿真系统的 3 个关键,如何保证各馈线终端装置(FTU)产生故障时刻的一致性为仿真系统的技术难点。在线仿真系统以 FA 测试方案例证的测试内容和结果,表明该仿真系统可作为配电网自动化系统的验收和日常性系统测试和维护的工具。

关键词: 馈线自动化; 在线仿真系统; 故障模拟

中图分类号: TM 72; TM 743

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2006)04-0050-03

0 引言

配网自动化作为电力系统中一个新兴的领域,近年来发展很快。目前,国内配网自动化的试点工作已经全面铺开,但就各种配网自动化的运行模式、运行效率并没有定论,有关运行安全性、可靠性研究工作尚未全面展开,从国内已投运的配网运行现场看,各试点现场在正式投运前都没有很好的测试手段验证系统的安全性和可靠性^[1-2],因此,从系统安全性考虑,配网自动化系统的馈线自动化(FA)功能均未投入,只是实现简单的故障检测和识别功能,而封闭了故障隔离和非故障区的恢复供电功能,所以配网自动化在缺乏仿真手段条件下失去了系统所固有的优势,导致实用化进程缓慢,更为严重的是有的现场因为测试条件不具备而使配网自动化系统的大量设备变成一种摆设,浪费国家大量的投入资金,进而丧失了配网自动化的示范效应和推广价值^[3-4]。

所有这些问题说明需要有一套配网自动化系统 FA 在线仿真系统,为配网自动化产品投运后真正的在实际运行过程中的实用化打下坚实的基础。

1 技术条件分析

配网自动化系统一般由安装在配网调度中心的主站系统、安装在变电站控制室的子站系统和安装在各配网终端(如柱上符号开关)的远方控制馈线终端装置(FTU)组成。主站系统与子站系统通过双向通信线路连接(如以太网);子站系统与 FTU 也通过双向通信线路连接^[1]。其中,FTU 进行电流/电压、开关状态的监测、判别、记录和上报故障信息,并执行子站发出的故障处理命令和主站发出的网络重构命令;子站系统一方面可将主站的信息转发 FTU,

同时将 FTU 的信息转发主站;另一方面处理相应 FTU 上报的故障信息,判断故障区域并下发隔离指令;主站系统对子站系统上报的故障隔离信息作判断分析,实现非故障区域的恢复^[5]。

上述配网自动化系统中的故障隔离和网络重构功能是:当配网线路或设备发生故障时,由 FTU 将故障信息上报子站系统,由子站系统对故障定位并进行区域性隔离;当故障区域超出该子站系统所管辖范围或隔离不成功,子站系统上报故障信息给主站系统,由主站协调各个子站系统,实施自动故障隔离;隔离完成后,主站系统根据子站系统的故障和隔离信息,启动故障恢复程序,分析网络的实时遥测、遥信,根据电网拓扑结果,选择最佳的非故障区域恢复,并通过遥控自动重构网络,快速恢复非故障区域供电,以缩小停电范围,减少停电时间^[6]。

2 试验方法及其局限性

对于上述配网自动化系统,要对其 FA 功能的可靠性试验,一直没有相对成熟的解决办法。现阶段主要有 2 种方法。第 1 种方法是在配网自动化系统在现场安装之前,在实验室内按照配网的实际状况搭建网络,进行 FA 试验,待试验完成后再进行现场安装投运;但在实验室进行试验,由于 FA 牵涉现场通道等各方面因素,其试验结果并不能完全反应现场的实际情况,因而也不符合电力系统的相关规程、规定。第 2 种方法是在配网自动化系统竣工验收时,对配网线路进行实模试验,即通过在变电站出口保护和终端设备上同步模拟实际故障,对整个 FA 验证;但其试验准备工作及试验时的各部分配合工作十分烦琐,其准备时间很长,牵涉大量人力、物力,并且同步故障比较难于精确保证,因此,无法作为配网自动化系统投运交接运行和日常校验时,对 FA 进行试验的通用方法。

3 在线仿真系统的原理和过程描述

配网自动化在线仿真系统能够实现在不影响设备运行的条件下对 FA 功能进行完全的故障模拟和试验,而且其建设过程应该方便、耗时短、成本低。

对于一个 FA 系统,将其分为 2 部分,一部分是故障信息的捕捉、确认;另一部分是故障信息的传输和故障区域的定位、隔离、恢复。FA 功能在产品出厂时都通过了保护测试仪等的严格测试,在故障捕捉方面成功率是有保证的;在实际现场中,FA 试验的失败大部分是由于现场通道异常、FA 参数配置不当等引起,因此,配网自动化在线仿真系统主要是针对上述 FA 执行的全过程,对故障捕捉环节并没有详细要求。

具体实施中,建议在笔记本电脑的仿真模拟器上画出模拟的系统接线图,设定好故障点及故障发生的相对时标(10 ms 单位)、故障持续时间、故障发生后开关动作、一次设备是否闭锁等信息后,仿真模拟器自动生成相关的脚本文件;仿真时首先点击仿真模拟器的“仿真进入”按钮,此时脚本文件内容通过子站采用用户数据协议(UDP)广播的方式下发到各 FTU,通知各 FTU 进入模拟仿真状态,各 FTU 是否成功进入均以相应的遥信表示;启动故障模拟时,通过仿真模拟器的“开始仿真”命令按钮,子站下发启动仿真命令到各 FTU,各 FTU 按预定的设置产生预设好的故障信息并完成相应动作,子站端收集到故障信息后启动 FA,进行相关处理并上报主站,以验证 FA 过程是否正确。FA 试验结束后通过仿真模拟器命令子站端通知各 FTU 退出仿真状态,或超时后各 FTU 自动退出。

实际试验中,一次设备可以选择闭锁或不闭锁。当试验过程在配网线路停电状态下进行,则可以选择一次设备不闭锁,这样一次设备在 FA 启动后,根据隔离或恢复指令进行实际的开关合、分操作;如果 FA 试验在配网线路运行或停电状态下进行,也可以选择一次设备闭锁,此时隔离或恢复指令并不进行实际的开关合、分操作,相应的开关状态是通过软件根据遥控命令模拟产生。

上述方法由于利用配网自动化系统自身的通信线路和软件平台进行 FA 试验,其试验过程的可靠性和精确性大大优于现有的方法,也降低了试验成本,缩短了试验时间;同时,该方法在配电线路停电或运行时均可以进行,使 FA 试验可作为日常性的系统维护工作,确保配网自动化系统的可靠运行。

4 在线仿真系统研究的关键和难点

配网自动化在线仿真系统有 3 个关键点。

a. 要达到“在线”的目的,使得不必改变现场的运行方式就可以进行 FA 的功能测试和验收。由于是模拟产生的故障信号,并且可以选择一次设备的闭锁与否,所以仿真系统并不影响系统的实际运行。

b. 要使各个仿真方案都非常容易的设置和更改。通过仿真模拟器,用户可以轻松的在一次接线图上设置所要模拟的故障点、故障类型并启动故障仿真。

c. 要使仿真产生的所有信息与真实发生故障后产生的信息完全一致。真实发生故障时,FTU 在检测到故障后所有的相关信息都是通过遥信的方式上传到子站和主站;仿真系统同样在启动仿真后产生相同的遥信信息上传,对于子站和主站的 FA 处理程序,FTU 端故障信息的来源完全是透明的,并且故障信息的传输也是通过现场通道进行的,所以仿真系统完全能够模拟真实的故障发生和 FA 处理^[7]。

在线仿真系统的难点是如何保证各 FTU 产生故障时刻的一致性,使得其完全符合真实发生故障后故障信息的产生时序。在通信上,在线仿真系统采用了 UDP 协议,通过广播报文启动仿真,这样保证了各个 FTU 都有一个基准的时刻点。为了保证 UDP 报文传输系统信息的可靠性和实时性,在线仿真系统设计了简洁、高效、可靠的报文格式和应答机制,成功地解决了实际传输中 UDP 报文可能出现的重复和丢失。

5 在线仿真系统 FA 测试方案例证^[8-10]

5.1 仿真系统 FA 测试构架

按三电源手拉手设置,线上配有 5 个开关,每个开关配置 1 个 FTU。设 2 种运行状态。

a. S_3, S_4 为联络开关,如图 1 所示。

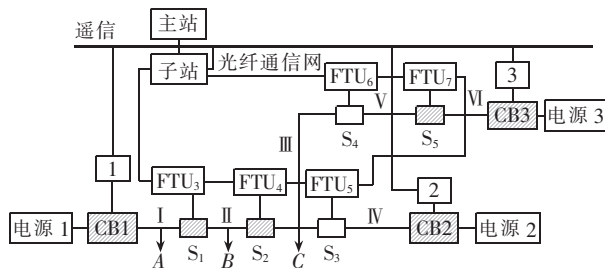


图1 S_3, S_4 为联络开关

Fig.1 Operation mode with S_3 and S_4 being tie switches

b. S_1, S_5 为联络开关,如图 2 所示。

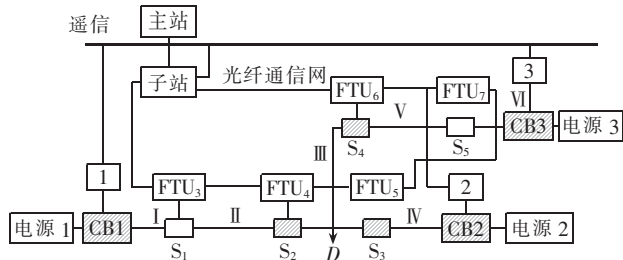


图 2 S_1, S_5 为联络开关

Fig.2 Operation mode with S_1 and S_5 being tie switches

5.2 仿真系统 FA 测试通信方式

子站与主站采用 RS-232 光纤以太网通信,出

口保护开关和故障信号通过硬遥信方式接入子站。子站与下挂终端(FTU)采用光纤以太网方式通信。

5.3 仿真系统 FA 测试短路点的选择

根据模拟电网结构,选择 A,B,C,D 4 个典型故障点,可设的故障类型有:两相短路、三相短路、单相接地短路和两相接地短路。

5.4 仿真系统 FA 处理模式

电源点出口保护整定为一次重合闸,重合闸时间为 2 s;模拟实际现场是断路器方式,即不区分故障是永久故障还是瞬时故障;FTU 检测到故障后均迅速给子站上报故障信息,子站立即启动 FA 进行故障定位和隔离,主站根据子站处理结果进行故障恢复。

5.5 测试内容和结果

测试内容和结果如表 1 所示(表中 A,B,C,D 为图 1,2 中的故障点)。

表 1 故障测试内容和结果
Tab.1 The test items and corresponding results

故障点	测试内容	正确的处理结果
A	出口保护 1 检测到故障,速断跳闸,线路 I、II、III 失电;子站接收到出口保护 1 的故障信息后启动 FA	子站通过高速轮询相关 FTU 后,定位故障点在 A 点,下发广播命令跳开 S ₁ ,隔离故障区域;出口保护 1 一次重合闸失败闭锁;主站合上 S ₃ (或 S ₄)恢复线路 II、III 供电
B	出口保护 1 检测到故障,速断跳闸,线中 I、II、III 失电;子站接收到 FTU ₃ 或出口保护 1 中的任一故障信息后启动 FA	子站通过高速轮询相关 FTU 后,定位故障点在 B 点,下发广播命令跳开 S ₁ ,S ₃ ,隔离故障区域;出口保护 1 一次重合闸成功恢复线路 I 供电;主站合上 S ₃ (或 S ₄)恢复线路 III 供电
C	出口保护 1 检测到故障,速断跳闸,线中 I、II、III 失电;子站接收到 FTU ₃ ,FTU ₄ 或出口保护 1 中的任一故障信息后启动 FA	子站通过高速轮询相关 FTU 后,定位故障点在 C 点,下发广播命令跳开 S ₂ ,隔离故障区域;出口保护 1 一次重合闸成功恢复线路 I、II 供电;主站无恢复方案
D	出口保护 2 检测到故障,速断跳闸,线中 II、III、IV、V 失电;子站接收到 FTU ₅ ,或出口保护 2 中的任一故障信息后启动 FA	子站通过高速轮询相关 FTU 后,定位故障点在 D 点,下发广播命令跳开 S ₃ ,S ₄ ,S ₅ ,隔离故障区域;出口保护 2 一次重合闸成功恢复线路 IV 供电;主站合上 S ₁ ,恢复线路 II 供电,合上 S ₅ 恢复线路 V 供电。

6 结语

综上所述,配网自动化在线仿真系统利用配网自动化系统自身的通信线路和软件平台进行 FA 试验,并且在配电线路停电或运行下均可进行,因此,完全可以作为配网自动化项目的验收工具和进行日常性系统测试、维护的工具。

参考文献:

[1] 朱军,徐腊元,吕晓锋,等. 中华人民共和国电力行业标准 县级城市配电网自动化实施技术导则 2002[S]. 北京:中华人民共和国国家经济贸易委员会,2002.
[2] BILLINTON R,ALLAN R N. 电力系统可靠性评估[M]. 周家启,任震,译. 重庆:科学技术文献出版社重庆分社,1986.

[3] 汤振飞,于尔铿,唐国庆. 电力市场输电阻塞管理[J]. 电力系统自动化,2001,25(23):13-16.
TANG Zhen-fei,YU Er-keng,TANG Guo-qing. Transmission congestion management in power market[J]. Automation of Electric Power Systems,2001,25(23):13-16.
[4] 万国成,任震,田翔. 配电网可靠性评估的网络等值法模型研究[J]. 中国电机工程学报,2003,23(5):48-52.
WAN Guo-cheng,REN Zhen,TIAN Xiang. Study on model of reliability - network - equivalent of distribution system reliability[J]. Proceedings of the CSEE,2003,23(5):48-52.
[5] 王永利,徐宏炳,董逸生,等. 配电自动化的数据流管理系统设计[J]. 电力系统自动化,2004,28(13):85-89,96.
WANG Yong-li,XU Hong-bing,DONG Yi-sheng,et al. Design of distribution automation system supporting DSMS[J]. Automation of Electric Power Systems,2004,28(13):85-89,96.
[6] 刘东,丁振华,滕乐天. 配电自动化实用化关键技术及其进展[J]. 电力系统自动化,2004,28(7):16-19.
LIU Dong,DING Zhen-hua,TENG Le-tian. Key technology and its development in the practicability of distribution automation systems[J]. Automation of Electric Power Systems,2004,28(7):16-19.
[7] 陈堂,赵祖康,陈星莺,等. 配电系统及其自动化技术[M]. 北京:中国电力出版社,2003.
[8] 严蔚敏,吴伟民. 数据结构(C 语言版)[M]. 北京:清华大学出版社,1997.
[9] 郭永基. 电力系统可靠性原理和应用[M]. 北京:清华大学出版社,1986.
[10] 赵月,何丽娟,姜海涛,等. 配电网馈线自动化系统分析及技术实施要点[J]. 电力自动化设备,2005,25(9):65-68.
ZHAO Yue,HE Li-juan,JIANG Hai-tao,et al. Distribution feeder automation system and its implementation essentials[J]. Electric Power Automation Equipment,2005,25(9):65-68.

(责任编辑:汪仪珍)

作者简介:

吴俊华(1971-),男,浙江义乌人,助理工程师,从事生产运行管理工作(E-mail:zhouzp@spinfo.com.cn);
温彦军(1977-),男,山西柳县人,工程师,从事电力系统自动化技术、尤其是配电网自动化故障隔离 FA 技术研究;
姜海涛(1975-),男,黑龙江哈尔滨人,工程师,主要从事电网、配电网装置技术开发、配电网自动化故障隔离 FA 技术研究工作;
赵月(1977-),女,满族,吉林吉林人,工程师,主要从事电网、配电网系统技术开发、设计、研究工作;
徐文(1967-),男,江苏连云港人,高级工程师,博士后,从事电力系统自动化技术方面研究。

Technology of on-line simulation system for distribution automation

WU Jun-hua¹, WEN Yan-jun², ZHAO Yue², JIANG Hai-tao², XU Wen²

(1. Yiwu Electricity Company, Yiwu 322000, China;

2. Guodian Nanjing Automation Co., Ltd., Nanjing 210003, China)

Abstract: It is proposed to design on-line simulation system for power distribution automation system for the complete simulation and test of feeder automation functions without influence on automation system operation. Three key factors are: on-line operation, easy to set and modify, and consistent simulative information with real fault information. It is critical to simulate the consistent fault occurring time produced by different feeder terminal units. Feeder automation simulation is carried out. Results show that it can be used in daily maintenance and acceptance test of distribution automation system.

Key words: feeder automation; on-line simulation system; fault simulation