

适用于配电线路无通道保护的备用电源自动投入装置

刘 琨¹,董新洲²,薄志谦³

(1. 广东电网电力调度控制中心,广东 广州 510600;2. 清华大学 电机工程与应用电子技术系,北京 100084;
3. 英国 ALSTOM 电网公司,英国 斯塔福德郡 ST174LX)

摘要: 根据配电线路无通道保护的特点,设计了新型备自投低压模块的启动判据和动作时间,使非故障失电线路区段的供电恢复时间最大限度减小;在投入到永久性故障再次断开时,备自投的一合一开 2 次扰动为对侧保护的过电流加速(AOC)模块在加速时间窗内提供电流变化量,可以从电源侧加速切除故障。实时数字仿真实验验证了整套方案的有效性。

关键词: 配电线路;无通道保护;备用电源自动投入装置;继电保护;仿真

中图分类号: TM 76

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2013.06.027

0 引言

配电线路无通道保护能够与传统的定时限过电流保护相配合,当故障线路一端断路器率先跳闸后,另一端断路器通过感受到的工频电气量变化来实现相继速动,提高了保护的動作速度,缩短了故障的切除时间。现有的 4 种配电线路无通道保护方案分别适用于不同结构的配电线路^[1-4]。文献[5]在深入分析现有配电线路故障隔离模式的基础上,提出了一种基于无通道保护的配电自动化系统。该系统除了配备无通道保护外,还要求在主干线路上的所有开关都使用断路器,并在环网开关柜中安装使用备用电源自动投入装置(简称备自投或 BZT)。

备自投装置的作用是^[6]:当正常供电电源因供电线路故障或电源本身发生事故而停电时,它将负荷自动、迅速切换至备用电源上,使供电不至于中断。常用的备用电源自动投入方式主要有^[7]2 条线路互为备用自动投入、备用变压器自动投入和线路与母联断路器自动投入。文献[3-5]使用了 2 条线路互为备用自动投入的方式。备自投装置的动作判据一般为^[7]:三相电压在最长故障切除时间 $T_{\max}$ 之外低于整定值。

根据无通道保护隔离故障的特点,本文设计了新型备自投低压 UV(Under Voltage)模块的启动判据和动作时间,使非故障失电线路区段的供电恢复时间最大限度减小;在投入到永久性故障再次断开时,一合一开 2 次扰动为对侧保护的过电流加速(AOC)模块在加速时间窗内提供电流变化量,可以从电源

侧加速切除故障。实时数字仿真实验验证了整套方案的有效性。

1 基于无通道保护的配电自动化系统

图 1 所示为单电源、辐射状、有分支、配置单断路器的配电线路自动化系统^[4]。正常情况下环网开关打开,整个网络呈 2 条辐射状线路。在单断路器配置的配电线路中,为保证环网开关合闸后能对失电负荷正常供电,需要从故障线路两侧进行故障隔离。

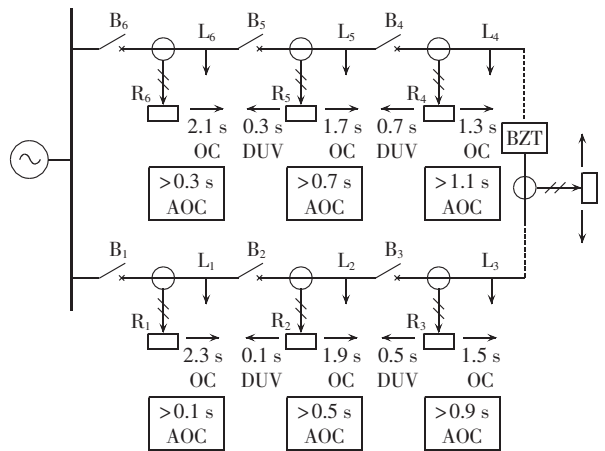


图 1 单电源单断路器配电系统

Fig.1 Single-source single-breaker distribution system

以断路器 B_2 为例,需要隔离其前后 2 条线路 L_1 和 L_2 上的故障。继电器 R_2 的基本保护配置为方向过电流 OC(Over Current)模块和方向低电压 DUV(Directional Under Voltage)模块。当故障发生在 L_1 上时, R_2 是负荷侧继电器,其 DUV 模块动作;当故障发生在 L_2 上时, R_2 是电源侧继电器,其 OC 模块动作。上下级保护之间动作的选择性通过时间的阶梯型整定来实现,时间级差设置为 0.4 s。

当 L_5 发生不对称故障时, R_4 延时 0.7 s,跳开 B_4 ,如图 1 所示; R_5 在加速时间窗内发现非故障相的

收稿日期:2012-04-11;修回日期:2013-03-29

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50937003,51007045,51120175001);北京市自然科学基金资助项目(3102017)

Project supported by the National Natural Science Foundation of China(50937003,51007045,51120175001) and the Natural Science Foundation of Beijing(3102017)

电流发生变化后^[2-5],加速动作,跳开 B₅ 跳闸(>0.7 s)。备自投检测到一端失去三相电压后,延时动作环网开关合闸,从而恢复了 L₄ 上负荷的供电。系统的最终结构如图 2 所示。当环网开关合闸成功后,备自投将转换为无通道保护,用于选择性地切除 L₃ 和 L₄ 上的故障。其动作时间仍然按照时间阶梯型整定实现。

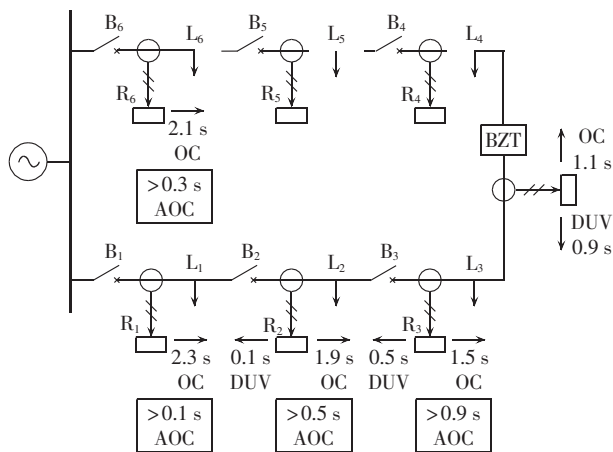


图 2 不对称故障发生在线路 L₅ 的最终系统结构

Fig.2 Final system configuration when unsymmetrical fault occurs on L₅

如图 3 所示,如果 B₆ 因为故障或检修退出运行,将环网开关闭合,保证对 L₆、L₅ 和 L₄ 上的负荷继续供电, R₅ 和 R₄ 上的潮流方向都发生了变化。以 R₅ 为例, L₆ 发生故障, R₅ 由原来的负荷侧继电器变为电源侧继电器,其动作模块由原来的 DUV 模块变为 OC 模块。L₅ 发生故障时情况刚好相反。因此,除故障方向检测元件外,还需要加上潮流方向检测元件,通过两者的配合使继电器进入正确的动作模块^[4-5]。

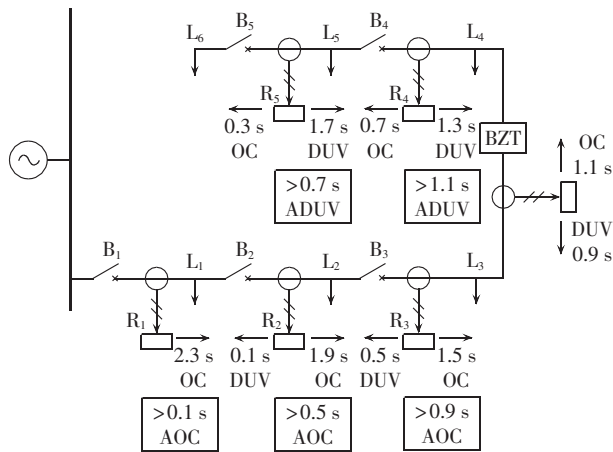


图 3 断路器 B₆ 退出运行时的最终系统结构

Fig.3 Final system configuration when B₆ is out of service

2 配电自动化系统中备自投功能的实现

电力系统对备自投装置的基本要求为^[7],应该

保证在工作电源断开后备自投才动作;工作母线上的电压不论何种原因消失时,备自投均应动作;备自投应保证只动作一次;如果备自投投入到永久性短路故障,继电保护应该将备用电源断开;当工作电源和备用电源同时失电时,备自投不应该动作;备自投的动作时间应该尽可能短,以便快速恢复对用户供电;备用电源投于故障时,应使继电保护加速动作。

备自投功能主要由以下两部分实现。

a. UV 模块。此模块用于检测工作电源是否消失、备用电源是否完好。在 2 条线路互为备用自动投入的暗备用方式中,此模块需要同时检测每侧线路末端的三相电压。其启动判据与无通道保护 DUV 模块的启动判据类似^[4],但是不包含潮流方向和故障方向的判别(备自投在没有闭合环网开关的情况下检测到的二次侧电流为 0)。启动判据为:

$$C_s(n) = \frac{U_s(n-2N) - U_s(n)}{U_s(n-2N)} \quad (1)$$

其中, N 为每周期的采样数; $U(n-2N)$ 为 2 个周期前的电压有效值; $U(n)$ 为当前的电压有效值;下标 s 代表 a、b、c 三相中的某一相。

该判据直接反映了故障后每相电压的跌落幅度。 C_s 在正常运行的情况下接近于 0;当失去工作电源时,每相的 C_s 都将迅速增大。当 UV 模块启动后,装置将持续检测工作电源是否恢复并确认备用电源的存在。如果工作电源没有恢复,在一定的时间延迟后,UV 模块将启动环网开关闭合。UV 模块的动作时间延迟必须考虑整个系统保护的最大动作时间,以避免在保护没有清除故障之前将备用电源投于故障上。

b. 保护模块和加速跳闸模块。在备自投闭合环网开关成功后,备自投将作为无通道保护中的一级选择性地切除发生在两侧的故障,其动作时间可按照图 2 所示设定,从而实现了与上下级保护的配合。如果故障发生在线路 L₃ 或者 L₄,备自投将合闸于故障线路上,加速跳闸模块需要无时延跳开环网开关,其只在备自投动作环网开关闭合后的一段时间内有效。对于有效期之外发生的故障,保护模块将按照图 2 所示的整定时间动作。

3 适用于无通道保护的备自投新方案

3.1 适用于无通道保护的 UV 模块启动判据

传统的备自投 UV 模块启动判据如式(1)所示,此模块需要在检测到某侧工作电源的三相电压都减小到一定程度时才启动。

文献[3-5]中提到的负荷侧继电器的 DUV 模块的启动判据为任意单相电压减小到一定幅度,且潮流方向元件与故障方向元件满足配合关系。

备自投装置安装于环网开关处,位于每条线路的末端,如果不存在高压大容量感应电动机负荷(此负荷在外部故障或者断电后的残压衰减较慢,充电效应比较明显),备自投所反映的故障相电压跌落幅度与负荷侧继电器所反映的故障相电压跌落幅度是相近的。根据整定原则^[7],备自投 UV 模块的电压整定值较之于低压保护往往设定得更加严格,需低于额定电压的 1/3。因此,如果将备自投 UV 模块启动判据由三相失压变为任意单相失压,在线路上发生不对称故障时,UV 模块将提前启动且保证在负荷侧继电器动作之后才闭合环网开关,使得非故障线路段的失电负荷能更早恢复供电。

以图 1 所示系统为例,如果不对称故障发生在 L₅,备自投三相失压的条件只有在故障发生后 0.7 s、R₄ 动作跳开 B₄ 后才能满足,备自投再经过一定的时间延迟后才能使环网开关合闸。如果将三相失压改为任意单相失压,备自投与 R₄ 同时启动,只需要保证备自投的动作时间比继电器 R₄ 的负荷侧保护动作时间 0.7 s 大一个时间阶梯即可,从而实现了线路 L₄ 上的负荷尽早恢复供电。

3.2 适用于无通道保护的 UV 模块动作时间

如图 1 所示,在 2 条馈线中保护的最大动作时间是 2.3 s。从基本要求来看,备自投在 UV 模块启动后至少需要一个比 2.3 s 更长的时间延迟之后才使环网开关合闸。

当不对称故障发生在 L₁ 时,R₂ 的 DUV 模块首先在 0.1 s 动作,使 B₂ 跳闸,R₁ 的 AOC 模块能根据加速时间窗内非故障相电流的变化量加速动作,跳开 B₁;当不对称故障发生在 L₂ 时,R₃ 的 DUV 模块首先在 0.5 s 动作,使 B₃ 跳闸,R₂ 的 AOC 模块能根据加速时间窗内非故障相电流的变化量加速动作,跳开 B₂。因此,将备自投 UV 模块的动作时间修改为比前一级保护的 DUV 模块动作时间高一个时间阶梯即可,分别为 0.9 s 和 1.1 s,如图 4 所示。

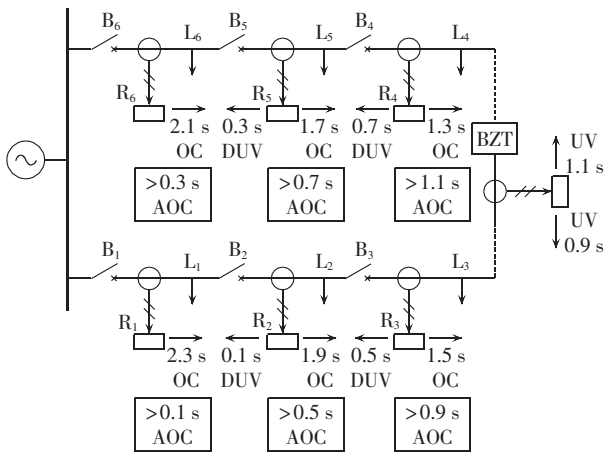


图 4 UV 模块动作时间

Fig.4 Operation time of UV module

但是当故障发生在 L₃ 或者 L₄ 时,备自投合闸于永久性故障,加速跳闸模块会无选择性瞬时断开环网开关。如果按照前面的方法整定备自投 UV 模块的动作时间,以故障发生在 L₃ 为例,在 R₃ 的 OC 模块于 1.5 s 动作之前,备自投就已经在 0.9 s 动作,使环网开关合闸于永久性故障,加速跳闸模块会再次瞬时断开环网开关。

备自投合闸于永久性故障不可避免,因为仅从末端的三相电压判断,备自投无法识别故障究竟发生在线路的哪一段。基本要求中指出应该保证在工作电源断开后备自投才动作,因此故障发生在 L₃ 时,要求备自投的动作时间大于 1.5 s。但是如果线路 L₃ 上的故障是永久性的,即使在 B₃ 跳闸后,备自投仍会有一个动作环网开关“合闸—跳闸”的过程。

根据无通道保护的设置原则,R₃ 的 AOC 模块在不对称故障发生后设置一个以 0.9 s 为中心、宽度为 50 ms 的时间窗,用于检测非故障相电流的变化量,从而实现加速跳闸的目的。利用这一点,备自投通过在 0.9 s 动作,使环网开关合闸并迅速跳闸,在时间窗内引起 2 次三相电流扰动,从而为 R₃ 的加速动作提供可能性。理论分析可得到如下结论^[8]:非故障相电流扰动大小主要与 2 条线路末端电压的矢量差有关,矢量差越大电流变化量越明显;故障相电流扰动的大小主要取决于系统阻抗、线路阻抗和故障电阻之间的大小关系。进一步理论分析可知^[9-14],以上过程将会增加故障相间或者故障相对地的短路电流(单条线路变为 2 条线路并联)。如果用户或现场无法接受这一现象,设置一个高于 1.5 s 的 UV 模块动作时间是有必要的。

4 实时数字仿真实验与结果分析

4.1 测试系统说明

基于实时数字仿真系统,在英国 ALSTOM 电网公司构建了基于无通道保护的配电自动化测试模型,其系统结构如图 5 所示。该系统为 10 kV 单电源辐射状系统,中性点经 10 Ω 小电阻接地。系统的线路参数为:正、负序阻抗均为 0.17+j0.38 Ω/km,正、负序电纳均为 3.03 μS/km;零序阻抗为 0.32+j1.32 Ω/km;零序电纳为 1.38 μS/km;电流互感器变比为 1 kA/1 A,电压互感器变比为 10 kV/100 V;保护配置和时间整定值设置参考图 4;断路器的跳闸固有时间设为 40 ms,备自投合闸固有时间设为 30 ms。

4.2 线路 L₂ 发生 A 相接地故障

相关继电器的响应如图 6 所示。R₃ 为负荷侧继电器,故障发生后其 DUV 模块启动,计时 0.5 s 后动作,跳开 B₃,如图 6(a)所示;R₂ 是电源侧继电器,故障发生后其 AOC 模块启动,在以启动后 0.56 s 为中

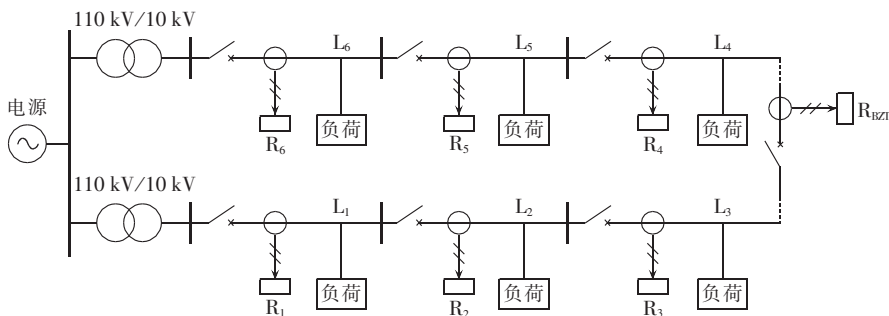


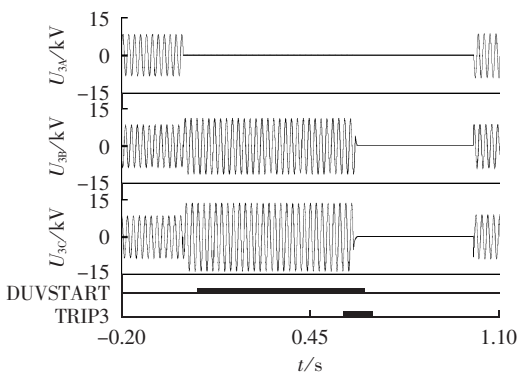
图 5 测试系统结构

Fig.5 Structure of test system

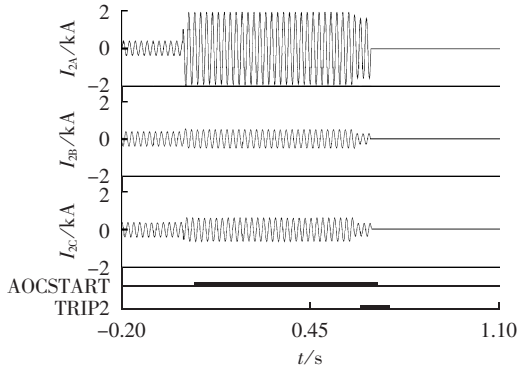
动作环网开关合闸,如图 6(c)所示, L_3 上负荷的停电时间大幅缩短,系统最终结构与图 2 类似。

4.3 线路 L_3 发生 A 相接地故障

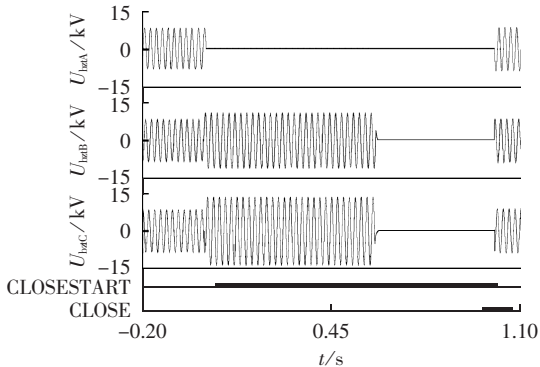
相关继电器的响应如图 7 所示。备自投检测到 A 相电压落后后即启动,计时 0.9 s 后使环网开关合闸,环网开关由于合闸到永久性故障上而瞬时跳开,如图 7(a)所示; R_3 是电源侧继电器,故障发生后其



(a) 负荷侧继电器 R_3 的响应



(b) 电源侧继电器 R_2 的响应

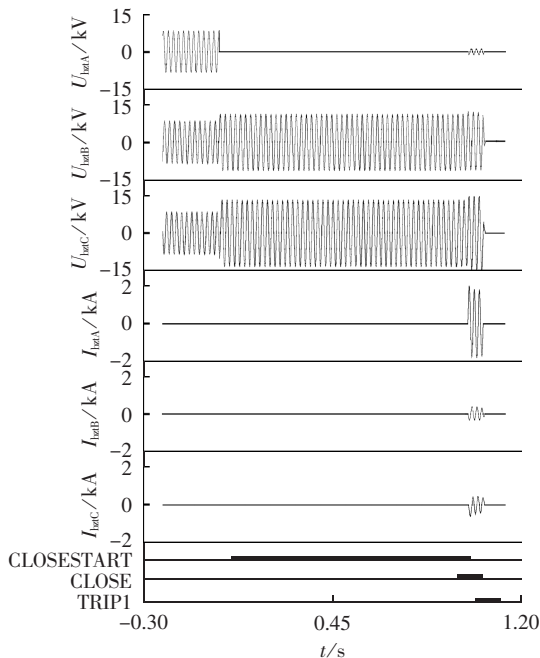


(c) 备自投的响应

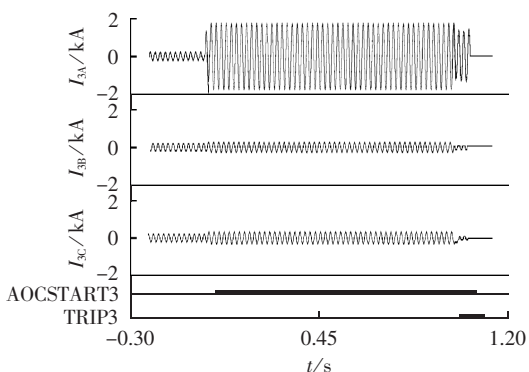
图 6 线路 L_2 发生 A 相接地故障

Fig.6 A-phase grounding fault on L_2

心、50 ms 为半径的时间窗内检测到非故障相电流的变化,因此加速动作,跳开 B_2 ,跳闸时间稍落后于 B_3 ,加速效果明显,如图 6(b)所示;备自投检测到 A 相电压落后后即启动,与 R_3 的启动同步,计时 0.9 s 后



(a) 备自投的响应



(b) 电源侧继电器 R_3 的响应

图 7 线路 L_3 发生 A 相接地故障

Fig.7 A-phase grounding fault on L_3

AOC 模块启动,在以启动后 0.96 s 为中心、50 ms 为半径的时间窗内检测到非故障相电流的变化(环网开关“一合一开”产生 2 次扰动),因此加速动作跳开 B₃,动作时间上相对原计划的 1.5 s 大幅缩短,如图 7(b)所示。

4.4 小结

本文还模拟了不同位置、不同类型的不对称性短路故障,结果表明:无通道保护能快速、有选择地隔离故障,备自投能快速恢复无故障区段负荷的供电。对称故障时不存在非故障相,电源侧继电器的 AOC 模块将失效;负荷侧电压电流均为 0,DUV 模块也将失效;文献[15]对这种情况下的故障隔离与自愈进行了详细阐述。针对瞬时性故障,文献[16]提出了一种适用于配电线路无通道保护的重合闸方案。

5 结语

根据配电线路无通道保护的特点,通过修改传统备用电源自动投入装置的 UV 模块启动判据和动作延迟时间,不仅能最大限度地缩短非故障区段负荷的停电时间,而且能充分加快电源侧断路器的跳闸时间,提高了该自动化系统的故障隔离性能和自愈性能,增强了该系统的推广应用价值。

参考文献:

- [1] 施慎行,董新洲,刘建政,等. 配电线路无通道保护研究[J]. 电力系统自动化,2001,25(6):31-34.
SHI Shenxing,DONG Xinzhou,LIU Jianzheng,et al. Non-communication protection for power lines in distribution system[J]. Automation of Electric Power Systems,2001,25(6):31-34.
- [2] 刘建凯,董新洲,薄志谦. 有分支配电线路无通道保护研究[J]. 电力系统自动化,2003,27(1):37-41.
LIU Jiankai,DONG Xinzhou,BO Zhiqian. Non-communication protection for distribution systems with the tapped-load[J]. Automation of Electric Power Systems,2003,27(1):37-41.
- [3] 陈飞,董新洲,薄志谦. 快速有选择性的辐射状配电网无通道保护[J]. 电力系统自动化,2003,27(22):45-49.
CHEN Fei,DONG Xinzhou,BO Zhiqian. Fast and selective non-communication protection for radial connected distribution systems[J]. Automation of Electric Power Systems,2003,27(22):45-49.
- [4] 张梅,董新洲,薄志谦,等. 实用化的配电线路无通道保护方案[J]. 电力系统自动化,2005,29(12):68-72.
ZHANG Mei,DONG Xinzhou,BO Zhiqian,et al. Practical non-communication protection for distribution feeders[J]. Automation of Electric Power Systems,2005,29(12):68-72.
- [5] 董新洲,施慎行,王宾,等. 新型配电线路自动化模式[J]. 电力系统及其自动化学报,2007,19(3):1-7.
DONG Xinzhou,SHI Shenxing,WANG Bin,et al. Novel distribution line automation mode[J]. Proceedings of the CSU-EPSA,2007,19(3):1-7.
- [6] 贺家李. 电力系统继电保护原理[M]. 北京:中国电力出版社,2004:258-276.

- [7] 许正亚. 电力系统安全自动装置[M]. 北京:中国水利水电出版社,2006:1-23.
- [8] LIU Kun,DONG Xinzhou,BO Zhiqian. Study of backup power supply adaptive to distribution line non-communication protection [C]//10th IET International Conference on Developments in Power System Protection (DPSP 2010). Manchester,UK:IET,2010:1-6.
- [9] 董新洲,丁磊,刘琨,等. 基于本地信息的系统保护[J]. 中国电机工程学报,2010,30(22):7-13.
DONG Xinzhou,DING Lei,LIU Kun,et al. System protection based on local information[J]. Proceedings of the CSEE,2010,30(22):7-13.
- [10] 刘琨,董新洲,王宾,等. 故障动态过程对潮流转移识别的影响分析[J]. 电力系统自动化,2011,35(13):31-36.
LIU Kun,DONG Xinzhou,WANG Bin,et al. Analysis for impact of fault dynamic process on flow transferring identification[J]. Automation of Electric Power Systems,2011,35(13):31-36.
- [11] 刘琨,董新洲,王宾,等. 基于本地信息的潮流转移识别[J]. 电力系统自动化,2011,35(14):80-86.
LIU Kun,DONG Xinzhou,WANG Bin,et al. Flow transferring identification based on local information[J]. Automation of Electric Power Systems,2011,35(14):80-86.
- [12] 刘琨,董新洲. 基于本地信息预防连锁跳闸的快速控制策略生成方法[J]. 广东电力,2013,26(3):19-25.
LIU Kun,DONG Xinzhou. Research on fast generator tripping and load shedding based on local information to prevent cascading trips [J]. Guangdong Electric Power,2013,26(3):19-25.
- [13] 刘琨,董新洲,李幼仪. 双回线无通道集成保护的实施方案[J]. 南方电网技术,2012,6(4):11-16.
LIU Kun,DONG Xinzhou,LI Youyi. The implementation of non-communication integrated protection of double circuit line systems[J]. Southern Power System Technology,2012,6(4):11-16.
- [14] 刘琨,董新洲. 单端电气量组合故障测距方法的适用性分析[J]. 广东电力,2012,25(6):9-14.
LIU Kun,DONG Xinzhou. Applicability analysis on combined fault location algorithm based on single terminal data[J]. Guangdong Electric Power,2012,25(6):9-14.
- [15] 刘琨,董新洲,施慎行,等. 对称故障下基于无通道保护的配电线路自动化[J]. 清华大学学报:自然科学版,2011,51(11):1562-1567.
LIU Kun,DONG Xinzhou,SHI Shenxing,et al. Distribution line automation based on non-communication protection for symmetrical fault [J]. Journal of Tsinghua University:Science and Technology,2011,51(11):1562-1567.
- [16] 刘琨,董新洲,施慎行,等. 适用于配电线路无通道保护的重合闸方案[J]. 清华大学学报:自然科学版,2012,52(3):1652-1657.
LIU Kun,DONG Xinzhou,SHI Shenxing,et al. Scheme of auto-reclosing adaptive to distribution line non-communication protection[J]. Journal of Tsinghua University:Science and Technology,2012,52(3):1652-1657.

作者简介:

刘琨(1983-),男,河北邯郸人,工程师,博士,研究方向为电力系统继电保护、变电站综合自动化等(E-mail: thupower@gmail.com)。

(下转第 162 页 continued on page 162)

- puters, 2006, 23(8):45-48.
- [11] 李辉, 吴建国, 游志胜. 基于微机的面向对象三维图形引擎[J]. 计算机工程, 2001, 27(4):169-173.
- LI Hui, WU Jianguo, YOU Zhisheng. Object oriented 3D graphic engine for microcomputer[J]. Computer Engineering, 2001, 27(4):169-173.
- [12] 淮永建. 虚拟场景中实时图形绘制关键技术研究[D]. 西安:西北工业大学, 2002.
- HUAI Yongjian. Study of real-time rendering in complex virtual environment[D]. Xi'an:Northwestern Polytechnical University, 2002.
- [13] MATT P. GPU 精粹 2:高性能图形芯片和通用计算编程技巧[M]. 龚敏敏, 译. 北京:清华大学出版社, 2007:33-48.
- [14] 刘耀周, 刘延宏, 赵宏武. 操作响应模型在虚拟操作训练系统中的应用[J]. 计算机工程, 2006, 32(3):267-269.
- LIU Yaozhou, LIU Yanhong, ZHAO Hongwu. Application of operation response model in virtual operation training system[J]. Computer Engineering, 2006, 32(3):267-269.
- [15] 陈谊, 盛思源, 战守义. 分布式虚拟现实开发平台的研究与设计[J]. 计算机工程, 2002, 28(4):36-38.
- CHEN Yi, SHENG Siyuan, ZHAN Shouyi. Research on development tools for distributed virtual reality system[J]. Computer Engineering, 2002, 28(4):36-38.
- [16] 靳同红, 窦忠强, 孟偲, 等. 碰撞检测在大型虚拟场景中的应用[J]. 工程图学学报, 2007(1):33-36.
- JIN Tonghong, DOU Zhongqiang, MENG Cai, et al. Application of collision detection in a large-scale virtual environment[J]. Journal of Engineering Graphics, 2007(1):33-36.

作者简介:



乔 卉

乔 卉(1977-),女,河南许昌人,博士研究生,研究方向为电力系统培训仿真(E-mail: qiaohui@whu.edu.cn);

龚庆武(1967-),男,湖南长沙人,教授,博士研究生导师,主要研究领域为电力系统运行与控制及电力系统培训仿真;

江传文(1984-),男,湖北武汉人,工程师,研究方向为电力系统培训仿真。

Design and implementation of three dimensional interactive simulation platform for power training

QIAO Hui, GONG Qingwu, JIANG Chuanwen

(School of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: A three dimensional interactive simulation platform PowerX based on XNA Framework is designed and developed for the operation and development of three dimensional interactive simulative training system. PowerX supports the real-time rendering of large-scale three dimensional virtual scene, suitable for the simulative training of power system: plentiful simulative objects, precise three dimensional device models and real-time dynamic operating states. PowerX designs and implements the logic control of complex operational interaction to support the open operational behavior of operator, which allows operator to freely operate the virtual objects according to his self-awareness, making the simulative training system more conformable to the real operating situation and more qualified for power system training. As an example, the development of a simulative training system for distribution operation shows that PowerX can simplify the development of three dimensional view simulation, and it supports the implementation of the control logic of complex operation, which makes the simulative foundation more correspond with the actual field situation and closer to the training requirements.

Key words: computer simulation; personnel training; three dimensional; XNA Framework; design

(上接第 151 页 continued from page 151)

Automatic switchover device adaptive to distribution line non-communication protection

LIU Kun¹, DONG Xinzhou², BO Zhiqian³

(1. Electric Power Dispatching and Control Center of Guangdong Power Grid, Guangzhou 510600, China;

2. Department of Electrical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

3. ALSTOM Grid Co., Stafford ST174LX, UK)

Abstract: According to the characteristics of non-communication protection for distribution line, the startup criterion and operation time of UV (Under Voltage) module are redesigned for a new kind of automatic switchover device to minimize the power recovery time. When the automatic switchover device responds to a permanent fault, two disturbances caused by its close and open operations induce the current variation within the speed-up time window of the AOC (Accelerated Over-Current) module of the protection at opposite side, which accelerates the removal of fault at source side. Real-time digital simulation verifies the effectiveness of the proposed scheme.

Key words: distribution line; non-communication protection; automatic switchover device; relay protection; computer simulation