

自适应综合型馈线自动化及其测试

祁升龙¹, 芦翔¹, 黄鸣宇¹, 俞智浩²

(1. 国网宁夏电力有限公司电力科学研究院, 宁夏 银川, 750011;

2. 国网宁夏电力有限公司吴忠供电公司, 宁夏 吴忠, 751100)

摘 要: 针对配网线路开关类型、保护时限配合等不同的自动化应用条件, 分析了自适应综合型馈线自动化在生产现场常用的 4 种配置方法和每种配置方法的优缺点。采用基于无线组网的二次信号混合注入法, 解决了被测设备间距远、测试仪器数量有限等问题, 对宁夏 2 条投用自适应综合型馈线自动化功能的 10 kV 配网线路开展馈线自动化测试, 结果证明该方法可对线路故障处理逻辑进行验证, 为该功能的进一步实用化提供了参考。

关键词: 馈线自动化; 自适应综合型配电终端; 二次信号混合注入法

中图分类号: TM766 **文献标志码:** B **文章编号:** 1672-3643(2018)05-0022-05

有效访问地址: <http://dx.doi.org/10.3969/j.issn.1672-3643.2018.05.004>

Adaptive integrated feeder automation and test

QI Shenglong, LU Xiang, HUANG Mingyu, YU Zhihao

(1. Power Research Institute of State Grid Ningxia Power Co., Ltd., Yinchuan Ningxia 750011, China;

2. Wuzhong Power Supply Company of State Grid Ningxia Power Co., Wuzhong Ningxia 751100, China)

Abstract: According to different application conditions for the type of switch, the coordination of protection time limit, the four kinds of configuration methods of adaptive integrated feeder automation commonly used in work site were analyzed, as well as the advantages and disadvantages of each method. The secondary signal mixed injection method based on wireless network was used to solve the problem of long distance between measured equipment and limitation of measuring equipment. The two 10 kV distribution lines were tested which used the function of the adaptive integrated feeder automation. The results show that the fault handling logic can be verified by the method, which can provide a certain reference for further practicality of adaptive integrated feeder automation.

Keywords: feeder automation; adaptive integrated distribution terminal; secondary signal mixed injection method

DOI: 10.3969/j.issn.1672-3643.2018.05.004

收稿日期: 2018-06-11

作者简介: 祁升龙(1988), 男, 工程师, 从事配电自动化设备测试工作。

随着社会经济的发展,企业、居民等负荷对供电可靠性的需求不断提升,对配网线路进行配电自动化(DA)改造并且投用馈线自动化(FA)功能是提升配电可靠性的重要手段^[1-3]。自适应综合型 FA 是近年来提出的一种就地式 FA,主要依赖自适应综合型配电终端控制一次开关完成 FA 逻辑^[4-5],但由于开关类型、保护时限配合等原因,各应用部门在实际生产中配置方式不一^[6-9]。

本文针对配网线路开关类型、保护时限配合等不同的自动化应用条件,分析了自适应综合型馈线自动化在生产现场常用的 4 种配置方法和每种配置方法的优缺点。采用基于无线平台组网的二次信号混合注入法,解决了被测设备间距远、测试仪器数量有限等问题,对宁夏 2 条投用自适应综合型馈线自动化功能的 10 kV 配网线路开展馈线自动化测试。

1 自适应综合型配电终端的原理

配电终端是 DA 改造和实现 FA 的基础设备之一,一般具备故障电流检测、故障波形记录和上传等功能,用于采集配网线路负载大小,监视和控制开关状态以及收集和判断配网线路运行情况^[10]。传统“两遥”型配电终端由于无故障区间判别和非故障区域供电恢复的逻辑算法,同时又不能接收主站遥控信号所以无法参与 FA^[11]。自适应综合型配电终端是“两遥”型配电终端的一种,由于依据电压、电流以及故障电流信号设计了特殊的处理逻辑,可不依赖主站实现故障区间判别和非故障区域供电恢复。相较于电压时间型、电压电流时间型配电终端,可实现定值参数的归一化,当网架和运行方式调整时定值参数不用变动。

自适应综合型配电终端可依据应用位置和需求不同配置为首级(也称选线模式)、分段(也称选段模式)、联络以及分界,有 X 、 Y 和 $C3$ 个关键参数。配置为首级时,终端投入故障跳闸和重合闸功能,退出 FA 压板。配置为分段时投入 FA 压板,当故障发生时若有故障记忆,终端延时 X 时限

发出合闸命令,无故障记忆时延时 $X + C$ 时间发出合闸命令。在合闸后 Y 时限内若检测到失压信号则闭锁合闸。配置为联络模式投入 FA 压板,正常工况下保持常开,若允许自动合闸则在检测到单侧失压 XL 时限后合闸(躲过线路故障最长处理时间),从而完成负荷转供;若 XL 时限内失压侧恢复供电,终端不动作。配置为分界模式时,投入 FA 压板,双侧无压无流且有故障记忆时分闸,否则保持合闸。另外,自适应综合型配电终端若搭配断路器使用,也可配置保护跳闸功能,检测到故障后直接发出分闸命令。

自适应综合型 FA 依靠不同的模式配置的自适应综合型配电终端相互配合,不依赖主站即可在变电站出线开关或线路首级开关一次合闸时隔离故障区域,第二次合闸恢复非故障区域供电,适用于多种配电网结构。

2 自适应综合型 FA 的不同实现方式

图 1 为 1 条典型的配网线路拓扑图,CB 表示变电站出口断路器,F1 - F3 为分段开关,FZ1 - FZ3 为分界开关,FL 为联络开关。依据 CB 保护时限定值、一次开关类型等因素,自适应综合型 FA 有多种实现方式,常见的有 4 种。

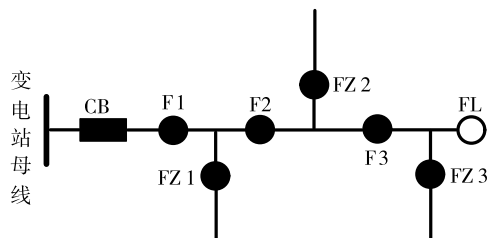


图 1 典型配网线路拓扑

(1)将 F1 配置为首级开关,F2 - F3 配置为分段模式,FZ1 - FZ3 配置为分界模式,FL 配置为联络开关。考虑到实际应用中较少配置联络开关自动合闸完成负荷转供,FL 配置为仅允许手动合闸。当 F 点发生瞬时故障如图 2,CB、F1、F2、FZ2 检测出故障电流并记忆,由于 CB 动作时限大于 F1,因此 F1 跳闸,F2、F3 失压分闸,FZ2 无压无流且检测到故障信号后分闸,FZ1、FZ3 虽然失压但

未检测到故障电流仍然保持合闸。

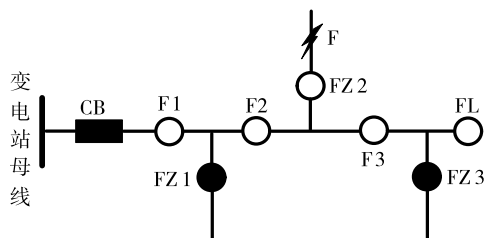


图 2 F 点发生故障

F1 在 2 s 后第一次重合闸(见图 3),F2 电源侧检测到来电。

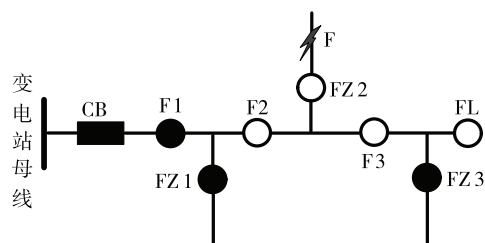


图 3 F1 重合闸成功

延时 X 时限后 F2 合闸,由于 FZ2 已隔离故障,F2 合闸成功,如图 4 所示。

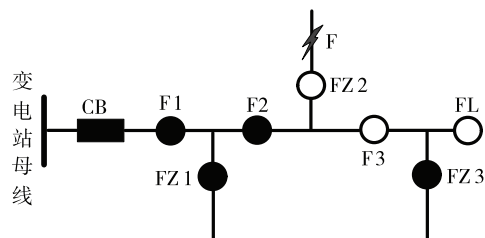


图 4 F2 延时合闸成功

X 时限后 FZ2 合闸成功。F3 失压前未检测到故障信号,在单侧有压后经过 $X + C$ 时间合闸。全线路恢复供电后如图 1 所示。

当 F 点发生永久故障,FZ2 合闸于故障后,F1 再次跳闸,F2、F3 失压分闸。FZ2 合闸时间不满足 Y 时限,分闸后闭锁合闸,如图 2 所示。随后 F1 在自动或手动控制下第二次合闸,F2 延时 X 时限合闸,F3 延时 $X + C$ 时间合闸,FA 完成故障区域隔离和非故障区域供电恢复,如图 5 所示。

选择该种配置方式时,通常 F1 离变电站较近,大多为出线后的 1 号杆塔。该配置方式可明显降低 CB 跳闸次数,FZ1 - FZ3 可选择负荷开关而不必装设断路器,但在变电站较近位置安装开

关,其作用比较有限,造成资源浪费且增加了后期运维负担。

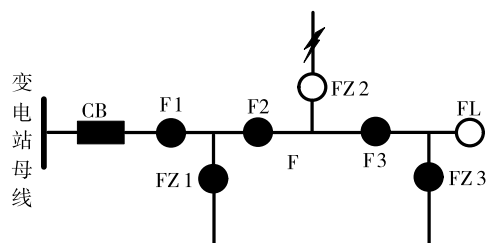


图 5 故障隔离后非故障区域恢复供电

(2)通常 CB 也具备保护跳闸和重合闸功能,上述配置方法 1 中 F1 的功能可由 CB 实现。线路中 F1 - F3 均配置为分段模式,FZ1 - FZ3 均配置为分界模式,FL 配置为联络开关且仅允许手动合闸。当 F 点发生故障时,CB 切除故障电流且通过重合完成非故障区域恢复供电。

该种配置方式下,故障切除、故障定位和非故障区域恢复供电均需 CB 配合完成。优势为无需在 CB 附近配置首级开关,每条线路可节省 1 套开关设备,当线路较多时明显可节约成本,而且无需考虑 CB 时限定值与首级开关的时间配合。缺点为 CB 动作次数较多。

(3)将 F1 配置为首级开关,F2 - F3 配置为分段模式,FL 配置为联络开关且仅允许手动合闸,FZ1 - FZ3 配置保护跳闸模式。当 F 点发生故障时,FZ2 直接跳闸隔离故障,主干线及分支线 FZ1、FZ3 供电不受影响。若分界开关允许重合闸,FZ1 - FZ3 可通过一次重合闸消除瞬时故障。

在此配置方式下,FZ1 - FZ3 后端发生故障时,分界开关动作直接切除,无需 CB 或首级开关动作,所以对其他支线和主干线用电不产生影响,但一次设备必须搭配断路器使用且要考虑与首级开关的时限配合。

(4)若线路较长,在 CB 保护时限允许的情况下,在配置方法(1)的基础上,可以将线路中后段某分段开关(如 F3)配置首级开关模式,称为中间断路器。中间断路器将线路分隔为两个较为独立的部分,当中间断路器后端发生故障时,由它完成故障切除。

该种配置方式的优势为中间断路器后端发生故障时,前端线路供电不受影响,但能否实现取决于前一个首级开关故障动作时限定值是否足够大,以便能与中间断路器完成级差配合,所以并非任何线路均能适用。

上述为自适应综合型 FA 的 4 种实现方式,不同配置方式下开关动作次数、负荷短时停电时间、负荷短时停电次数均有差异,实际应用中可以根据 CB 故障时限定值、一次开关类型、负荷重要性及运维习惯等因素灵活配置。

3 自适应综合型 FA 的测试

配电自动化线路投运后,由于参数配置不当等原因,线路 FA 逻辑未必能 100% 按预期动作。在线路投运前模拟各种故障状态,对线路 FA 逻辑加以测试,可提前发现潜在隐患。图 6 为自适应综合型 FA 测试示意图,正常工况下 FTU 控制开关 F1 - F5 并向主站上送运行状态。测试时,将故障模拟器 G1 - G5 与 FTU 部分信号相连接,在仿真平台搭建配电网模型并生成主干线故障、分支线故障、开关拒动等案例,通过无线组网方式将案例同步下载至 G1 - G5。在仿真平台执行测试案例时,G1 - G5 采用二次信号注入法或二次信号混合注入法模拟线路或设备故障,并将 FTU 动作结果发送至仿真平台,由平台判断 FA 动作过程是否符合理论预期^[12-14]。

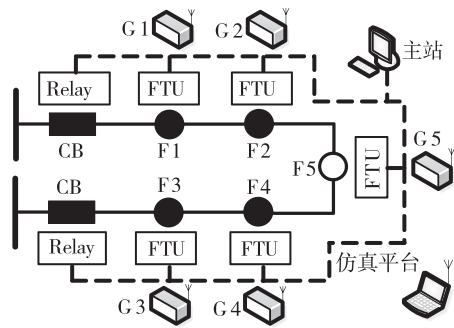


图 6 二次信号注入法 FA 测试原理

采用此方法在宁夏某 2 条 10 kV 线路开展 FA 测试,线路一拓扑见图 7,一次开关全部为断路器。在 F1、F2、FZ2 处布置故障模拟器,FZ1 在

仿真平台中软件模拟。F1 作为首级开关, $I_{1zd} = 2\text{ A}, 0\text{ s}$; $I_{2zd} = 0.44\text{ A}, 0.4\text{ s}$; 配置两次重合闸。F2 投入 FA 功能, $X = 7\text{ s}, Y = 5\text{ s}, C = 57\text{ s}$ 。FZ2 投入保护跳闸功能且不允许重合闸, $I_{1zd} = 1.2\text{ A}, 0\text{ s}$,其他保护退出。

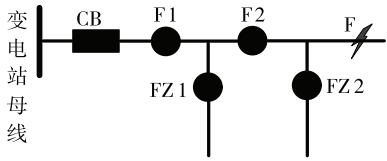


图 7 线路一拓扑

测试过程模拟了主干线故障、分支线故障、分段开关拒动、分支开关拒动等案例,模拟 F 点永久接地故障,测试结果见表 1。

表 1 线路末端 A 相永久接地故障测试结果

时间	开关	动作及结果
16:12:02 994	[F1]开关	[控分]
16:12:02 994	[F1]开关	开关状态 [合→分]
16:12:03 305	[F2]开关	[控分]
16:12:03 305	[F2]开关	开关状态 [合→分]
16:12:04 997	[F1]开关	[控合]
16:12:04 997	[F1]开关	开关状态 [分→合]
16:12:12 719	[F2]开关	[控合]
16:12:12 719	[F2]开关	开关状态 [分→合]
16:12:12 811	[F1]开关	[控分]
16:12:12 811	[F1]开关	开关状态 [合→分]
16:12:13 903	[F2]开关	[控分]
16:12:13 903	[F2]开关	开关状态 [合→分]
16:12:23 483	[F1]开关	[控合]
16:12:23 483	[F1]开关	开关状态 [分→合]

从表 1 可知,当 F 点发生故障,F1 立即跳闸切断故障,随后 F2 失压分闸。2 s(各测试设备间通过无线组网,由于通信延时,仿真平台收到的个别时间会略有延迟)后 F1 重合,F2 经 7 s 延时后合闸并合于故障。F1 再次跳闸,F2 失压分闸并闭锁合闸。经 10 s 左右 F1 完成储能后再次合闸,恢复 F1 至 F2 区间的供电。

线路二拓扑见图 8,一次开关全部为断路器。F1 配置为首级开关,F2 - F4 配置为分段模式, X

$=7\text{ s}$, $Y=5\text{ s}$, $C=57\text{ s}$; FZ1 – FZ5 配置为保护跳闸模式,重合闸退出。FZ2 仅投入速断保护, $I_{1zd}=1\text{ A}$, 0 s 。在 F1 – F4、FZ2 处放置故障模拟器,其他开关在仿真平台中用软件模拟代替。

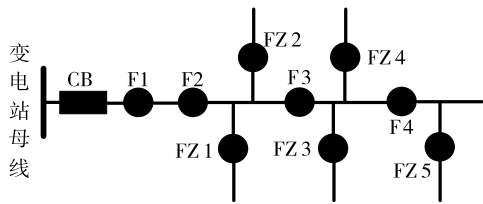


图 8 线路二拓扑

测试时首先在 F2 处尝试模拟单侧有压,发现配电终端在单侧有压且外部无故障情况下,频繁发出分闸命令,如表 2 所示。

表 2 终端频繁控制分闸

时间	开关	动作及结果
14:27:24 070	[F2]开关	[控分]
14:27:24 070	[F2]开关	[控分]
14:27:24 288	[F2]开关	[控分]
14:27:24 397	[F2]开关	[控分]
14:27:24 616	[F2]开关	[控分]
14:27:25 053	[F2]开关	[控分]
14:27:25 053	[F2]开关	[控分]
14:27:25 380	[F2]开关	[控分]
14:27:25 380	[F2]开关	[控分]
14:27:26 145	[F2]开关	[控分]
14:27:26 145	[F2]开关	[控分]

随后在其他开关均发现此问题,导致试验无法继续。经检查发现,该批次终端软件版本存在缺陷,在测试后与厂家沟通了升级事宜。

4 结 论

针对配网线路开关类型、保护时限配合等不同的自动化应用条件,自适应综合型馈线自动化在生产现场有多种配置方法。采用基于无线平台组网的二次信号混合注入法开展馈线自动化测试,可解决被测设备间距远、测试仪器数量有限等

问题。在配网线路投用馈线自动化功能前进行测试,可提前发现潜在隐患,提前解决配置不正确等问题,进而促进该功能的进一步实用化。

参考文献

[1] 邹贵彬,高厚磊,许春华,等. 馈线自动化自适应快速保护控制方案[J]. 电网技术,2013,37(10):2920 – 2925.

[2] 赵渊,吴林,刘庆尧,等. 含重合器式馈线自动化的配电网可靠性评估[J]. 重庆大学学报,2018,41(5):1 – 14.

[3] 宋若晨,徐文进,杨光,等. 基于环间联络和配电自动化的配电网高可靠性设计方案[J]. 电网技术,2014,38(7):1966 – 1972.

[4] 刘健,张伟,程红丽. 重合器和电压 – 时间型分段器配合的馈线自动化系统的参数整定[J]. 电网技术,2006(16):45 – 49.

[5] 张波,吕军,宁昕,等. 就地型馈线自动化差异化应用模式[J]. 供用电,2017,34(10):48 – 53 + 13.

[6] 雷杨,汪文超,宿磊,等. 湖北配电网馈线自动化部署方案研究[J]. 湖北电力,2017,41(11):39 – 43.

[7] 吕立平,马光耀,张翊帆,等. 全断路器配网自愈控制策略研究[J]. 电气应用,2015,34(S1):67 – 69.

[8] 刘健,张小庆,张志华. 继电保护配合提高配电自动化故障处理性能[J]. 电力系统保护与控制,2015,43(22):10 – 16.

[9] 王文博,冯光,李珊珊,等. 基于不同接线模式的馈线自动化实现方式[J]. 电力系统及其自动化学报,2013,25(6):72 – 78.

[10] 安志国,张海粟,孟宇飞. 配电终端软硬件平台[J]. 农村电气化,2018(1):68 – 71.

[11] 柯硕灏. 配网故障自诊自愈新原理与新方法研究[D]. 华中科技大学,2011.

[12] 凌万水,张磐,马杰. 馈线自动化终端注入测试法及其应用[J]. 电网与清洁能源,2015,31(10):71 – 75 + 88.

[13] 刘健,张小庆,赵树仁,等. 主站与二次同步注入的配电自动化故障处理性能测试方法[J]. 电力系统自动化,2014,38(7):118 – 122.

[14] 刘健,张小庆,赵树仁,等. 配电自动化故障处理性能主站注入测试法[J]. 电力系统自动化,2012,36(18):67 – 71.