

浅析一种实用的配电馈线自动化的技术策略

黄保江¹, 叶继明², 胡前南²

(1. 河南鄆城电业局, 河南 漯河 460001; 2. 河南英博电气有限公司, 河南 郑州 450001)

摘要: 馈线自动化 (FA) 是配电自动化系统的最重要功能之一, 实现何种系统的、实用的 FA 技术策略在实现配电自动化系统中是重中之重。该文主要从配电自动化产品系统的角度, 结合分层分布体系、网络拓扑架构, 提出并系统阐述一种 FA 技术策略的实现原理及技术设计。尤其在产品实现层面上进行了有针对性的重点分析。采用该技术策略实现的 FA 已投入现场运行。实践证明, 该策略分析全面、设计合理、技术实用。

关键词: 配电自动化; 馈线自动化; 分层分布; 网络拓扑

中图分类号: TM76; TM72 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2004)21-0052-04

0 引言

随着国民经济的高速发展, 国家对电力的需求日益增长, 同时对供电可靠性的要求也越来越高, 因此, 目前许多电力企业实施配网自动化工程时, 首先考虑的是配电网馈线自动化的试点工程。

谈及配电自动化 (简称 DA), 重点是实现馈线自动化 (Feeder Automation, 简称 FA), 后者是指利用现代通信技术和电力控制技术对 10 kV 配电网络进行故障监测诊断定位、故障隔离和恢复非故障区供电的自动化过程, 实现配电网实时网络重构, 提高供电可靠性和供电质量, 并降低网损。它以配电 SCADA 为基础, 以配网高级应用软件 (DAS) 为手段, 以减少停电时间和停电面积为目的。

实现 DA 可选用很多方式, 其中远方集中监控方式是目前实现 DA 的最高层次, 它需配备 FTU 及通信设备, 为实现配电自动化和配电管理功能奠定基础。远方集中监控方式实现配网自动化时, 鉴于配网中监控设备点多面广, 一般在配电主站与终端层之间增设一级配电子站, 构成三层模式的分层体系, 由配电子站管理其附近的开闭所、柱上开关、配电变压器上的配电终端监控设备, 完成“数据集中器”的功能和局部配电自动化功能。对 DA 功能, 不希望全部在配电主站来完成, 一般涉及全局性自动化功能由配电主站来完成。

1 FA 原理

配电网馈线自动化是建立在环网供电开环运行的基础上, 因此, 实现配电网馈线自动化的前提条件是将配电网一次接线首先改造成闭环设计开环运行的形式。如图 1 所示, 以典型的环网开环运行方式

说明 FA 的实现机理。

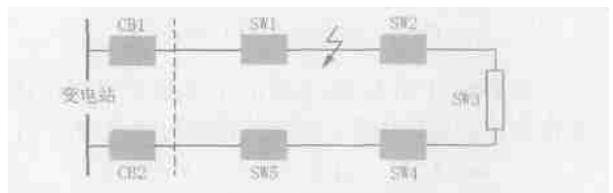


图 1 配电线环网接线图

Fig. 1 Loop connection of distribution power line

当 SW1 与 SW2 间线路发生故障时, CB1 保护动作引起跳闸并重合。若为瞬时性故障, CB1 重合成功, 故障消除; 若为永久性故障, CB1 再次跳闸并闭锁, 启动故障诊断、隔离与恢复过程。配电子站根据配电自动化终端装置 FTU 检测到的开关信息, 可诊断故障类型并判断故障在 SW1 与 SW2 之间, 于是跳开 SW1 和 SW2 进行故障隔离; 之后, 配电主站控制联络开关 SW3 合上, 恢复非故障区 (SW2 与 SW3 间线路) 的供电, 实现负荷的转移和网络重构。

采用集中远方监控方式实现的 FA, 利用先进的计算机技术和通信技术, 避免馈线出现开关多次重合, 减少对网络的冲击, 准确快速地实现故障定位、隔离、负荷转移全过程。在此基础上实现 SCADA 的功能, 实时监控馈线运行工况, 实现了四遥功能。这是一种技术先进的自动化方式。

2 FA 功能分布

由上述, 配电自动化系统一般按照分层分级的方式设计, 主要分三层: 配电主中心站层、安装在 110 kV 变电站中的配电子站层和终端层。这就涉及了 FA 在物理结构层面的实现问题。

配电子站对若干条线路或开闭所的运行状况进行监控。收集多个 FTU 采集的故障信息, 进行故障

诊断,故障定位,并进行故障隔离。首先是利用 RTU 采集的信息,进行故障选线;在判断出故障线路的情况下,进行故障区域的划分,并进一步进行精确定位(定位的区域限于故障点的两个隔离开关之间);在故障定位的基础上,进行故障隔离;故障诊断的结果上报主站。

配电主站系统根据配电子站上报的故障诊断与隔离的信息,制定出合理的恢复供电的方案,提供调度员选择或自动执行。当配电子站工作失败,或涉及多个配电子站且网络已经过重构时,由配电主站来整体提供相应的故障诊断、定位与恢复策略。

在配电子站诊断失败或发现配电子站的故障诊断有误时,调度员可以根据故障数据重新计算,根据经验加以处理。

当配电子站不具有故障隔离功能时,可在主站实现故障隔离,并进行恢复控制。

3 FA 技术实现策略

3.1 网络拓扑分析

FA 的技术方案实现是基于网络拓扑结构,在此介绍网络拓扑的实现。

1) 配电网络拓扑

首先提出以下两点思想:

a. 网络简化:依据实时开关状态和网络元件状态将网络实际接线模型转化为计算机数学模型。

b. 连通性分析:对网络的带电情况进行快速分析,生成带电树和停电树。

把电力系统的设备看作节点(开关、变压器、发电机、电抗器、负荷点、母线等),连接设备之间的线路看作线。从物理层上说,一条配电线路是一个无向连通图,当中有至少两个电源点和一个联络开关。当系统运行进行供电时,线路是开环运行,从逻辑上看,此时图肯定不是连通的,但可以划分为几个连通的电气岛,当岛内有电源节点时,就是带电岛,否则就是失电岛。根据电气岛就可以进行动态着色。带电岛内,根据物理上的连接关系,抽象为以电源点为根节点的有向供电树,方向总是从父节点指向子节点。

每当有开关变位时,拓扑关系就会动态改变,供电树及停电树都会重新生成。查找供电电源点就是查找当前供电树的根节点。

2) FA 实现的算法

故障时,根据各个节点是否流过故障电流,就可定位故障线路。在供电树中,找到最底层的流过故

障电流的节点(FIU),故障点肯定是该节点直接连接的下方线路。标识此节点为故障节点。在供电树中,先断开故障节点,如果它不是叶子节点,再断开它的所有子节点。断开某节点,如果该节点是开关,则直接断开,否则断开它的所有子节点,标识所有为了故障隔离而断开的节点为隔离节点。

寻找恢复供电的方案:在连通图中寻找恢复非故障区供电的解决方案,再重新生成供电树,重新着色。如果故障节点在故障树中是叶子节点,把跳开的开关合上就恢复供电了。如果不是,首先把跳开的开关合上,恢复故障点以上的非故障区的供电;其次,每个隔离节点寻找其下端的恢复供电方案。在连接图中,查找与该节点到所有带电节点,中间不能经过故障节点和隔离节点,每条路径就是一种解决方案。其数学模型如图 2 所示。

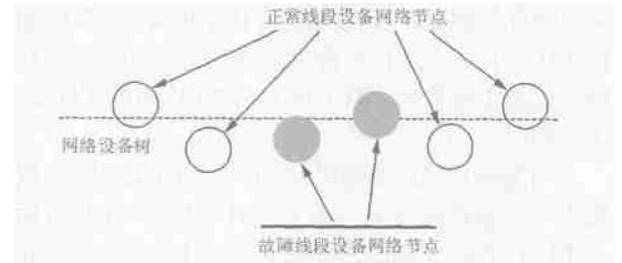


图 2 FA 数学模型

Fig. 2 FA mathematical model

至于负荷转移,是计算每种方案所转移的负荷,再参考被转移到线路的容量和过负荷能力,使恢复供电区域尽可能大,而不会造成再生事故。

3.2 终端层诊断处理

当开关或线路装有 3 相 PT 和 3 相 CT 时,FIU 可采集 3 相电压、3 相电流、3 相有功、3 相无功、零序无功;采用 DSP 技术,采样可达到 32 点/周波,可以进行 1、3、5、7 等次谐波分析。

配电主站通过配电子站给 FIU 下装各种故障判断启动定值,包括:相电流过流定值、零序电流过流定值等。

当超过相电流过流定值,且不超过零序电流定值时,将上报相间短路的信息。

当超过相电流过流定值,且超过零序电流定值时,将上报相间短路接地的信息。

当不超过相电流过流定值,且超过零序电流定值时,进行零序分量的功率分析,若有异常则上报单相故障信息;反之,则不报。零序分量的功率分析按以下公式处理:

$$P_{0j} = U_{0j} * i_{0j}$$

$P_{0j} (j=1, 2, \dots, n)$ 是故障后第 j 条线路上传输的功率。由于故障分量网络是无源网络, 所以只能从零序网络的等效电源中吸收能量。考虑到一母线的不同出线, 故障线路的能量与非故障线路的能量存在大小与方向上的差异。

3.3 子站的诊断处理

当子站收到多台 FTU 上报的故障信息时, 首先进行以下处理:

当为相间类型故障时, 在躲开变电站出线重合闸的情况下, 根据变电站出线开关的变位情况进行选线; 在选线成功的前提下, 进行故障定位的搜索, 进行故障定位。

当为单相接地故障时, 且 P_{0j} 相当大时, 为故障线路; 反之, 为正常线路。

当为相间类型故障时, 在正常供电的前提下, 故障点处在线路最后上报故障 FTU(开关) 和其后面的 FTU(开关) 之间; 在转供的条件下, 故障点处在线路最先上报故障 FTU(开关) 和其后面的 FTU 开关之间。

当为单相接地故障时, 在正常供电的前提下, 故障点处在线路最后 $P_{0j} < 0$ 的 FTU(开关) 和其后面的 FTU(开关) 之间; 在转供的条件下, 故障点处在线路最先 $P_{0j} > 0$ (开关) 和其后面的 FTU(开关) 之间。

与自动重合闸和保护的配合:

假设保护设置如下

1) 变电站 10 kV 出线开关投入常规电流速断和过流保护并配合一次重合闸。

2) 城区环网主干线开关解除保护。分支线采用熔断器(或 0 s 动作的速断保护)。

3) 变电站出线开关速断保护动作时限为 0.3 s 左右, 自动重合闸时限为 0.5 s 左右。

保护与故障隔离的配合:

主干线的故障

1) 变电站 10 kV 出线开关速断保护动作, 0.3 s 左右分闸, 过流保护 0.8 s 左右动作, 自动重合闸启动, 0.5 s 左右重合。

2) 主干线瞬时性相间故障重合成功, 永久性相间故障再次分闸, 并闭锁。期间配电子站收集 FTU 信息, 作出判断, 并在躲开重合闸时限的条件下, 根据变电站出线开关的状态, 判断重合闸是否成功, 一旦重合闸不成功, 立即执行故障隔离程序。若重合闸成功, 则认为是瞬时故障, 不加处理。

3) 当发生相间故障, 由熔断器(或分支线保护)动作, 将故障区域隔离。

4) 当发生非相间类型故障时, 保护不动作, 不考虑配合问题。

配电子站收集 FTU 故障信息并启动故障诊断程序, 在判断出永久性故障点后, 下达分闸命令, 分开故障点两端开关, 实现故障隔离。

故障诊断的结果上报主站。

3.4 主站的诊断处理

首先是利用配电子站提供的信息, 判断由配电子站进行的故障诊断与恢复是否成功, 是否涉及多个配电子站。当涉及到多个配电子站, 需要以下处理:

当一个配电子站联络开关上报故障, 而相连的另一个配电子站也有开关上报故障时, 以非联络开关上报的配电子站上报的信息为准。

当一个配电子站联络开关上报故障, 而相连的另一个配电子站没有开关上报故障时, 主站需要确定故障区域在联络开关相连的区域内。

当配电子站诊断不合理, 需要将 FTU 故障的相关数据上报给主站。由调度员结合故障信息和专家系统的知识, 人为提出故障处理与恢复供电策略。

3.5 主站故障恢复控制

配电网的供电方式与高压输电网不同, 高压输电网基本上是以环网的方式进行多端供电, 而配电网虽有环网的网架结构, 却常常以辐射性方式进行单电源供电。这两种不同的供电方式决定了它们有不同的网络拓扑结构, 需要采用不同的拓扑分析方法。因此, 我们在配电网故障失电恢复分析软件中采用了基于广度和深度搜索的方法沿功率流动反向进行树枝状搜索; 同时考虑了在恢复供电时可能由于线路容量不够, 而引起线路的过负荷的问题。

3.6 单相接地故障诊断

单相接地故障采用零序功率方向及大小的方法进行判断。考虑到同一母线的不同出线, 故障线路的能量与非故障线路的能量存在大小与方向上的差异, 由此, 可以成为接地故障选线、定位与隔离的依据。由于任何单一的单相接地故障选线方法都很难完全适应各种电网结构与复杂的故障状况, 需要充分利用多方面的故障信息。上述零序功率法再结合 5 次谐波法即能取得较好选线效果。

在条件不充分的情况下, 也可只依据零序电压或零序电流按零序功率方法判断即可。

实现单相接地选线, 需要一次设备的完整配置才能实现。虽然实现该功能在理论上可行, 但鉴于配电网线路的特点及复杂性, 实现现场应用还是有很大

大难度的。

4 主要技术参数

采用该技术策略实现的 FA 的主要性能参数如下:

- 故障隔离时间: < 6 s;
- 非故障区域恢复供电: 6 ~ 45 s;
- 反映正确率: > 99.5 %。

5 结论

采用该技术策略实现的 FA 已投入现场运行,经测试性能良好,用户反映满意。实践证明本 FA 方案分析周全、设计合理、技术实用。实施配电自动化系统是一个复杂的系统工程,涉及的技术及范围较广,尤其是 FA 更是重中之重,其技术探索还在不断深入和提高中。特别强调,通信及终端装置的可靠性是保证 FA 正常实现的前提。关于如何保证网

络拓扑关系正确而有效地实现 FA 的真正自动化(无需人工干预),以及在配电网中如何保证单相接地选线功能的准确实用还是一个需要长期探讨的课题。

参考文献:

- [1] 高传善(GAO Chuanshan). 配电自动化系统(Automation of Power Distribution System) [M]. 北京:机械工业出版社(Beijing: China Machine Press), 2000.

收稿日期: 2004-08-19

作者简介:

黄保江(1968 -),男,工程师,长期从事电力系统自动化技术及运行管理工作; E-mail: yanchengdl@hndl.sina.net

叶继明(1971 -),男,工程师,长期从事电力系统自动化软件产品的研究与开发;

胡前南(1972 -),男,工程师,长期从事电力系统自动化通信产品的研究与开发。

Analyzing a practical technique strategy to realize feeder automation of distribution power system

HUANG Bao-jiang¹, YE Ji-ming², HU Qian-nan²

(1. Henan Yancheng Electric Power Bureau, Luohe 460001, China; 2. Henan Winboth Electric Co., Ltd, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: Feeder automation (FA) is one of main functions of distribution power system automation, so it's very important to implement an integrated and applicable technical strategy. Based on distribution automation, layered distributive system, and network topology, this paper puts forward the realization principle and technical design of FA and emphasizes its product implementation. The FA realized by this technical strategy has already been put into field operation. Engineering application verifies that the proposed strategy is comprehensively analysed, reasonably designed, and effectively operated.

Key words: DA; FA; layered distributive system; network topology

(上接第 47 页 continued from page 47)

收稿日期: 2004-02-24; 修回日期: 2004-04-20

作者简介:

胡耀垓(1972 -),男,讲师,从事人工智能、图像处理和模式识别的研究; E-mail: Farawayhu@sina.com

张晓星(1972 -),男,讲师,从事高电压与绝缘技术和电气设备在线监测的研究。E-mail: mikezxx@tom.com

An object oriented simulated operation expert system of substation

HU Yao-gai¹, ZHANG Xiao-xing², TAO Jir-song³, JIN Zhuo-rui²

(1. College of Electronic Information, Wuhan University, Wuhan 430079, China; 2. Key Laboratory of High Voltage and Electrical New Technology of Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400044, China; 3. School of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: This paper provides an object-oriented substation simulated operation expert system with its architecture and functions. The system can carry out substation main connection diagram automatically according to topological relation accommodated with user's demand. The logical relations are stored in database. Operating ticket can be automatically made.

Key words: object-oriented; main connection diagram; operating ticket; simulated operation