

配电联动故障识别技术研究及应用

高振吉, 曾世杰

(北京智芯微电子科技有限公司, 北京 100192)

摘要: 配电网直接面向终端用户, 是关乎国计民生的重要基础设施, 配电架空线路常发生单相接地故障。研究分析了现有故障指示器的不足, 提出了配电联动故障识别技术方案。通过对 FTU 和故障指示器进行改造并挂网试运行, 验证了该方案可实现单相接地故障的快速准确判别。

关键词: 配电架空线路; FTU; 故障指示器; 联动故障识别

Research and application of fault linkage identification technology for power distribution

GAO Zhenji, ZENG Shijie

(Beijing Smartchip Microelectronics Technology Company Limited, Beijing 100192, China)

Abstract: Distribution network supplying electric energy to end users is an important infrastructure related to the national economy and the people's livelihood. Single-phase grounding faults often occur in overhead distribution lines. The shortcomings of the existing fault indicators are analyzed and the solution of fault linkage identification is put forward. According to technical transformation and experimentally running of FTU and fault indicator, it is verified that the solution can identify single-phase grounding fault rapidly and accurately.

Key words: overhead distribution line; FTU; fault indicator; fault linkage identification

0 引言

配电网位于整个电网的末端, 作为国家电力系统架构中的关键组成部分, 是保障电力系统“落得下、用得上”中最重要的一环, 对民生建设具有极其重要的作用, 其供电质量和可靠性直接关系到用户的使用情况及经济效益。近年来, 尽管我国配电网自动化发展比较快速, 配电系统整体自动化程度不断提高, 停电时间显著缩短, 但在技术方面仍然存在不足, 主要体现在以下几个方面:一是现有架空线路多依赖于故障指示器进行故障识别及定位, 但传统故障指示器不具备准确采集电压信号的能力, 场强感应受温湿度、风力等因素影响较大, 判别单相接地故障准确率不高;二是集中式的数据管理模式导致

主站计算压力大、响应速度慢, 受网络通信条件影响较大;三是采样准确率低, 三相时间同步性差, 导致采集的波形失真度较高问题比较突出。本文以边缘计算、北斗授时等技术为基础, 提出一种配电联动故障识别方案, 通过对FTU和故障指示器进行改造, 实现单相接地故障的快速准确判别。

1 整体方案设计

应用北斗授时技术, 确保FTU与故障指示器录波的高准确度同步。将FTU的电压数据及故障信号传递给故障指示器汇集单元, 将零序电压作为启动录波的判据, 通过故障指示器汇集单元进行边缘计算, 全面提高响应速度和单相接地故障

判别的准确率。

1.1 FTU无线模块改造

为满足FTU与故障指示器汇集单元横向通信的需求,对现有FTU通信模块进行整改,考虑到传输距离及可靠性双重要求,采用LoRa无线通信方式进行组网实现信息传递。新增北斗模块及授时功能,用于FTU授时并与汇集单元时钟同步;连接横向业务数据通信串口(RS 232/485)向汇集单元发送数据及接收北斗授时信息;新增横向通信加密芯片,用于FTU向汇集单元发送业务数据的信息安全加密,实现汇集单元认证。

LoRa采用扩频技术,相比现有的FSK等小无线技术,具备通信距离远、信号可靠等优点。在现有FTU和汇集单元不做大改动的前提下,增加LoRa无线通信模块,用来启动录波和传输零序电压录波数据。

1) 当FTU检测到零序电压突变时,立刻记录突变时刻并启动录波,同时通过广播方式发送带时标的启动录波命令给下属汇集单元。下属汇集单元收到信息后顺序延时回复一个确认短帧以防止冲突。如FTU未收到所有确认信号,再次发送命令并进行点名,被点名的汇集单元需回复确认信号,最多发送3次,若都没有确认信号则判定通信故障。

2) 收到录波命令的汇集单元将录波时间转化为汇集单元和采集单元的同步时间,通知采集单元录波并上报同步时间前4后8共12个周期的电流录波数据。

3) FTU广播发送电压录波数据给汇集单元,发送完成后进行确认,若未收到则再次发送,直到所有汇集单元都收到数据。零序电压录波数据传输耗时小于1 min,可以满足故障判别时间要求。

1.2 FTU保护逻辑更新

目前FTU通用保护逻辑如图1左侧所示。在检测到零序电压突变后,启动故障录波,而后通过相应算法对故障波形进行分析,判定故障类型及是否为故障,若为故障,则将故障信息发送到

主站。

更新后的保护逻辑如图1右侧所示。在检测到零序电压突变后,FTU启动故障录波的同时将“零序电压突变”信息通过广播的形式通知给本FTU组网的所有故障指示器汇集单元,汇集单元收到信息后立即通知采集单元同步录波并提取零序电流波形,而后通过相应算法对故障波形进行分析。若判定为单相接地故障,则将故障波形文件中的零序电压部分广播发送到汇集单元,最后通过汇集单元分析零序电压、零序电流波形,从而判断单相接地故障点。

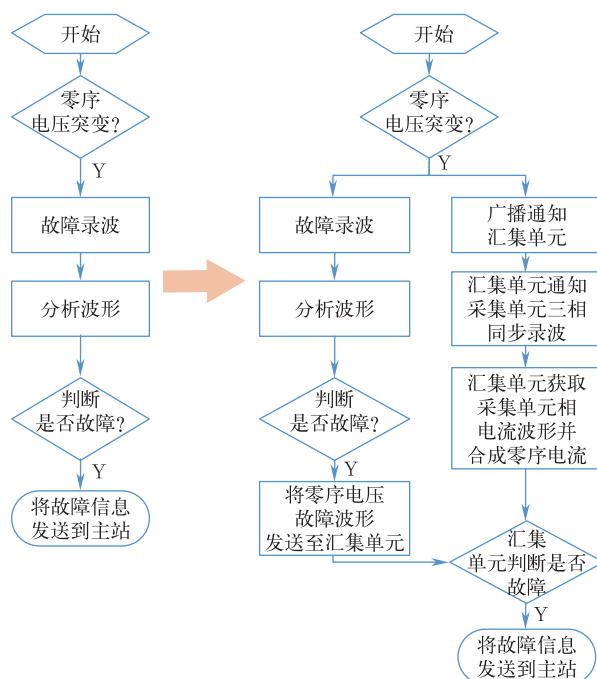


图1 FTU接地故障判别逻辑图

Fig. 1 FTU ground fault discrimination logic diagram

1.3 故障指示器改造

针对现有录波型故障指示器进行改造,在汇集单元上增加LoRa通信模块,用于接收FTU业务数据;增加一颗横向数据通信加密芯片,用于汇集单元接收FTU数据解密及认证;修改汇集单元接地故障录波启动条件;新增北斗模块,用于汇集单元北斗授时并与FTU同步。

FTU与汇集单元设计距离小于3 km,经过计算,FTU录波启动帧LoRa广播到故障指示器汇集单元,再经汇集单元接收后触发采集单元录

波，整个过程耗时约560 ms。在确保传输成功率前提下，将通信最大可能延时放宽到1.1 s，因此需要故障指示器采集单元缓存不少于55周波波形数据。

1.4 故障判别

基于零序参数识别的单相接地故障判别技术，采用零序参数识别原理和FIR滤波算法对零序电流和零序电压进行分析，实现小电流接地故障判定的技术方案。

FTU检测到零序电压突变时，向故障指示器汇集单元发送带时标的录波启动信号，并启动自身电压电流录波及单相接地判别。判别为真实接地故障时，向故障指示器汇集单元发送零序电压波形，同时将故障信息发送主站。

故障指示器汇集单元收到录波启动信号时，触发采集单元进行相电流录波，汇集单元将三相电流波形合成为零序电流波形，在收到FTU零序电压波形后，启动单相接地故障判别，确认故障是否属于下属区段，若属于则将判别结果发送主站。

主站收到接地故障信息后，根据FTU下辖故障指示器的接地故障信息，实现故障位置的准确定位，从而达到缩小故障范围的目的，提高检修效率，降低检修成本。

单相接地故障判别逻辑方案如图2所示。

1.5 信息安全防护

(1) 纵向信息安全

首先满足FTU与主站业务通信信息安全，按

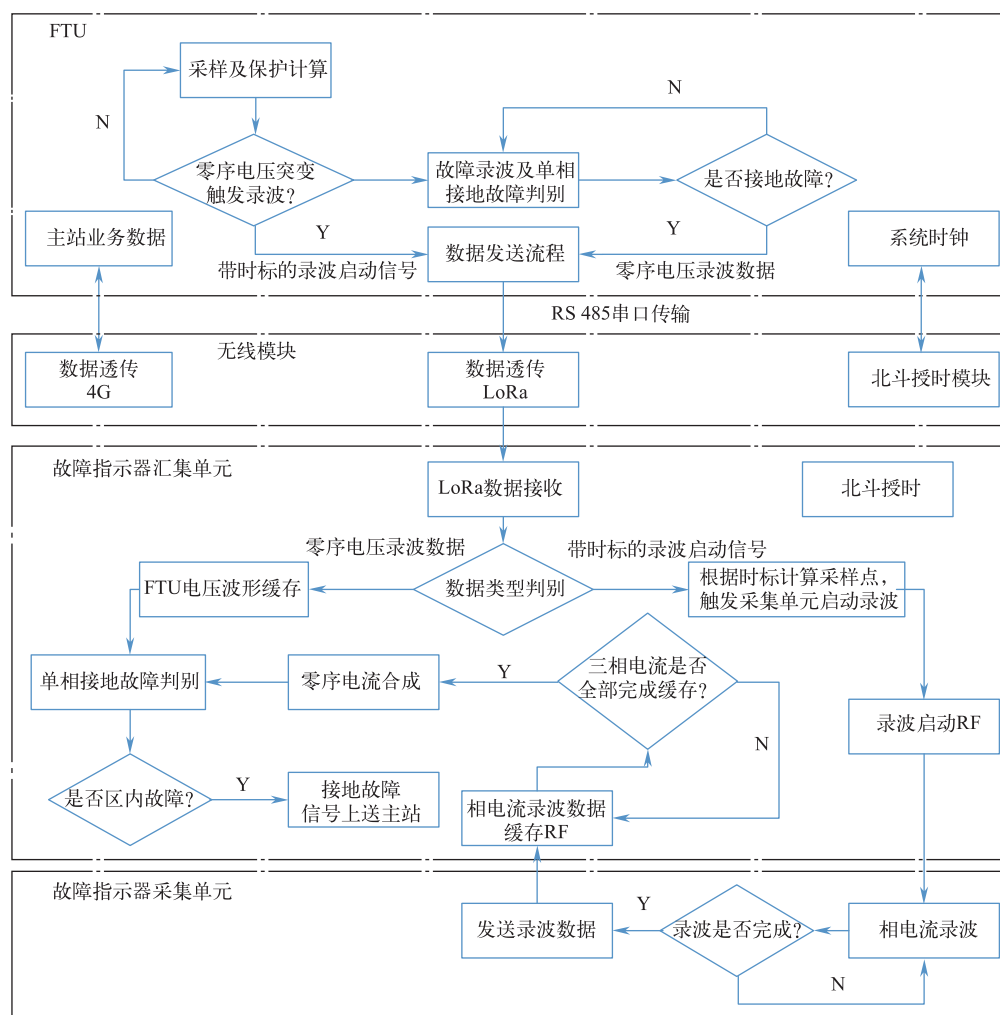


图2 单相接地故障判别逻辑图

Fig. 2 Single phase grounding fault discrimination logic diagram

照配电自动化安全防护实现方案,接入主站数据必须满足基于双向加密的信息安全防护要求,在无线模块内置安全芯片,针对FTU与主站间的业务交互实现信息安全防护,包括双向身份认证、参数配置等的签名验证和数据加密保护。

(2) 横向信息安全

考虑FTU与故障指示器间的数据通信安全,新增FTU和故障指示器内的无线模块内置有安全芯片,故障指示器端安全芯片内下装的密钥可通过FTU唯一序列号同FTU端安全芯片内下装的密钥实现匹配,FTU和故障指示器间的命令和数据交互采用国密SM1算法加密保护。挂网运行前故障指示器完成与FTU的关联配置,汇集单元内保存关联FTU的唯一序列号。

当FTU检测到零序电压突变时,立刻记录下突变时刻并启动录波,同时通过广播或点名方式发送启动录波及时间命令给下属汇集单元,该命令采用明文加MAC方式下发,命令中包含FTU终端随机数,MAC计算的初始向量为FTU的序列号,汇集单元收到命令并验证通过后,保留FTU终端随机数,采用明文带MAC方式回复确认信息,MAC计算的初始向量为收到的FTU终端随机数;FTU广播发送电压录波数据给汇集单元,相关数据采用明文加MAC或密文加MAC方式下发,MAC计算的初始向量为之前“启动录波及时间命令”下发时产生的终端随机数,汇集单元验证并获取电压录波数据后,计算零序电压和零序电流来进行故障判别。

命令下发采用明文加MAC方式,故障指示器端对命令数据的校验保障了命令数据的完整性和合法性,同时保存的FTU端随机数为后续录波数据的下发提供了完整性保护的计算基础,避免录波数据被伪造或篡改的风险。

2 现场试挂运行

选定某供电公司故障多发线路进行设备改造挂网试运行。FTU与故障指示器同线路、故障指示器设备在FTU下游。对于存量FTU分布密集场所,沿街道直线分布FTU和汇集单元安装间距不

大于1 km,小区内或存在街道拐角时FTU和汇集单元安装间距不大于0.5 km;对于存量FTU分布稀疏场所,FTU和汇集单元安装间距不大于3 km。

经过8个月的试运行,发生的3起接地故障均被正确判定,且根据FTU下辖区段的上报信息实现了准确定位。

3 结束语

以配电架空线路为研究对象,设计了配电联动故障识别技术方案,对FTU、故障指示器终端设备进行升级改造并挂网试运行。经过验证,联动故障识别方案可准确判别单相接地故障,有效缩短配电线路故障的响应时间,提升运维检修效率,切实提高配电系统的可靠性。EA

参考文献

- [1] 宋宏天,肖霞,徐雁,等.配电网故障指示器中电压测量的研究[J].电测与仪表,2020,57(3):110-115.
- [2] 何松生,潘建兵,庞振江.基于LoRa技术的故障指示器通信方案[J].电力信息与通信技术,2019,17(3):35-41.
- [3] 王旭东,王雷涛,武东亚,等.基于边缘计算与LoRa技术的配电网智能巡检组网方案设计[J].广东电力,2020,33(9):42-48.
- [4] 李伟新.配电网10 kV单相接地故障快速定位技术及其应用[J].电世界,2017,58(10):30-33.
- [5] 刘钊,苗竹,张韬,等.农村地区设备故障对供电可靠性的影响及故障指示器配置建议[J].电力设备管理,2019(1):85-87.

作者简介



高振吉

高振吉(1985—),男,硕士,工程师,主要研究方向为电系统及其自动化。

(收稿日期:2021-6-24)