

基于5G通信的新型配电网馈线自动化方法研究

邹剑锋¹, 张建雨², 金盛¹, 姜睿智², 刘洋², 崔龙卫², 徐涛², 林永洪²

(1. 国网浙江省电力有限公司嘉兴供电公司, 浙江 嘉兴 314000;

2. 许继电气股份有限公司, 河南 许昌 461000)

摘要: 针对传统支持配电终端的端到端光纤通信成本和建设周期大、应用场景受限以及用户对供电可靠性要求不断提高的问题, 提出了一种基于5G通信的配电网动态自适应的分布式馈线自动化方法, 采用对等横向通信, 以实现环网单元联络线两端及环网单元母线装置互联互通, 根据无线网络通信情况动态调整配电网环网单元保护动作时限, 提高配电网线路保护选择性, 高选择性保护启动下一级环网单元就地备自投, 完成配电网线路自愈控制, 提高供电可靠性。

关键词: 配电网; 5G通信; 动态自适应保护; 分布式馈线自动化

文章编号: 1007-1881(2020)11-0028-06

DOI: 10.19585/j.zjdl.202011005

中图分类号: TM773

文献标志码: B

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Research on New Type Distribution Network Feeder Automation Method Based on 5G Communication

ZOU Jianfeng¹, ZHANG Jianyu², JIN Sheng¹, JIANG Ruizhi², LIU Yang², CUI Longwei², XU Tao², LIN Yonghong²

(1. State Grid Jiaying Power Supply Company, Jiaying Zhejiang 314000, China;

2. XJ Electric Co., Ltd., Xuchang Henan 461000, China)

Abstract: In view of great cost and long construction period of end-to-end fiber-optic communication in support of distribution terminals, its limited application scenario, and the increasing power supply reliability demand of consumers, a distributed feeder automation method for dynamic adaptive distribution network based on 5G communication is proposed. The method uses horizontal peer-to-peer communication to interconnect both ends of the link line of the ring network unit and the bus device of the ring network unit dynamically adjusts protection action time limit according to the wireless network communication and improves selectivity of the distribution line protection. The high-selectivity protection starts local BATS of the next-level ring network unit to accomplish self-healing control and improve power supply reliability.

Keywords: distribution network; 5G communication; dynamic adaptive protection; distributed feeder automation

0 引言

近年来, 电网通信一直以光纤网络为主, 然而城市配电网光纤通道建设周期长、成本高, 且难以解决配电网点无光纤覆盖的保护配置问题^[1], 已经成为配电网故障快速处理技术在推广过程中的主要影响因素。因此, 无线通信在配电网故障

快速处理中的应用开始受到普遍关注。随着以5G为代表的新型通信技术的快速发展与应用, 特别是在高带宽、低时延^[2-3]方面的突破, 可通过增加信息量优化配电网保护原理, 提升配电网保护的動作性能, 从而提高配电网的可靠性。其次, 故障快速隔离、精准定位和自愈恢复是提高配电网供电可靠性的关键。文献[4-8]将差动保护引入配电网故障处理; 文献[1]更是采用5G通信技术与外部对时相结合的方式实现了配电网差动保护; 文献[9-11]阐述了基于对等通信的分散式配

基金项目: 国网浙江省电力有限公司科技项目资助项目(5211JX18013W)

电网保护与自愈控制方法，实现配电网故障的毫秒级定位隔离。但以上方法均未见通信异常时的保护处理方案。

本文提出一种基于5G通信的新型配电网馈线自动化方案，以5G无线网络作为信号传输通道，配电网环网单元联络线配网终端间横向通信交互故障判别信息，基于两侧过流及方向判据的动态自适应保护，整条线路某段通信异常时，两端动态自适应保护相较线路其他分段延时降低一个级差，实现配电网主干线路故障段毫秒级隔离，无故障段不受影响，故障隔离的同时启动下一级的备自投完成无故障区段转供电。

1 网架及通信方案

1.1 网架

双环式要求4条母线来自同一供电区域的2个变电站(开关站)的不同段母线各引出一回线路或同一变电站的不同段母线各引出一回线路，构成双环式接线方式。双环式结构的电网中可以串接多个开关站，这种接线方式下，当其中一条线路故障时，整条线路可以划分为若干部分被其余线路转供，供电可靠性较高，运行较为灵活。双环网带站内联络接线方式，如图1所示，实线所示线路为变电站1馈出线构成的一个手拉手环网，开环运行。虚线所示线路为变电站2馈出线构成的一个手拉手环网，开环运行。2个环网在每座开关站建立联络，联络开关常开运行。

文献[9]详细分析了双环网网架下保护配置现状，指出其存在的问题是不能保证双环网高可靠性供电。利用无线通信方式成本低、部署简单、适应性强、覆盖面广以及5G通信高带宽、低时延等特点，本文提出基于5G通信动态自适应保

护的新型馈线自动化方案，解决多分段配电网存在的线路过流保护无法级差配合、光纤铺设困难等问题。

1.2 通信方案

5G通信技术是在4G通信技术基础上发展而来的通信技术，与4G通信技术相比，5G通信技术的网络传输速度大幅度提升(见表1)^[12-21]。4G通信技术的网络传输峰值为150 Mb/s，而5G通信技术的网络传输速度为15 Gb/s，与此同时，5G通信技术能对网络延时进行有效的控制。由于5G技术具备超低时延、超高带宽、更高移动速率以及海量接入的优势性能，4G无法承载的时延敏感及大带宽业务将通过5G网络承载应用，根据ITU的正式定义，5G有3个主要应用场景：eMBB(增强型移动宽带)、mMTC(大连接物联网)、uRLLC(低时延和高可靠通信)，可有效满足用户对于大连接、大流量及低时延的基本需求。

表1 5G与4G关键指标对比分析

指标	4G	5G
空中接口时延/ms	10~50	1
每用户峰值吞吐率	100~1 024 Mbit/s	>10 Gbit/s
每平方千米连接数	10 000	1 000 000
高速移动性/(km·h ⁻¹)	350	500

在图1所示每座开关站配置分布式DTU(数据传输设备)。保护控制信息信道采用间隔DTU经CPE(无线通信终端)接入5G通信网，基站通过承载网和传输网接入本地核心网实现基站互通，进而完成终端的端到端互联。

如图2所示，在DTU配置基于地址的网络路由，由CPE接入5G网络，在基站附近下沉核心网中部署CPE路由，实现DTU网络的互通。

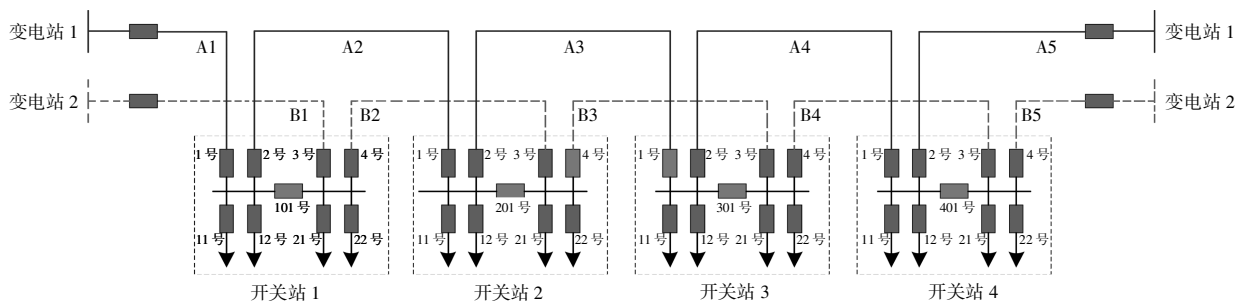


图1 10 kV双环网典型接线

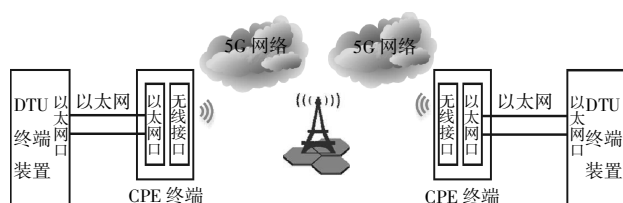


图 2 基于 5G 通信的配电网分布式保护终端网络

通信带宽要求: 根据 IEC 618508—1(GOOSE) 通信规约, 线路两端保护终端动态自适应保护 GOOSE 报文传输允许信号、跳闸信号、闭锁信号、开关位置等状态量, 维持正常链路心跳报文时间间隔为 5 s, 当故障发生时, GOOSE 报文发送时间间隔为 2 ms, 2 ms, 4 ms, 8 ms。60 路开关量时的典型值计算, 通信带宽需要 1 Mbps。保护终端对 5G 通信的主要要求: 端到端链路延时, CPE 间通信总延时小于 30 ms; 数据帧抖动时间, 以数据帧间隔大于太网最小帧间隙, 小于 5 ms。

2 基于 5G 通信动态自适应保护的馈线自动化方案

2.1 动态自适应保护配置方法

以双环网网架为例, 线路接线方式和配电网保护终端配置如图 3 所示。每个开关配置分布式 DTU, 主干线进出线 DTU 配置动态自适应保护、小电流接地选线、扩大差动保护, 分段处配置就地自愈功能、动态自适应保护、小电流接地选线, 馈线配置过流保护、小电流接地选线功能。

如图 4 所示, 动态自适应保护配置在环网单

元进出线及母联保护装置上。配置该保护装置经 5G 无线网络同时接收与本装置连接的环网电缆对侧断路器保护装置过流启动判断信号, 以及本装置所在母线的进出线及母联断路器保护装置过流启动判断信号; 配置动态自适应过流保护的装置检测故障电流大于“动态自适应过流定值”时, 动态自适应过流保护启动, 此时如果装置接收到的 2 类过流启动判断信号均为“真”, 则本装置动态自适应过流保护被闭锁并判断为区外故障; 如果该装置接收到的 2 类过流启动判断信号有且仅有 1 个为假则判为区内故障, 且若是环网电缆对侧断路器的保护装置过流启动判断信号为“假”, 则判为该环网电缆故障, 若是本母线进出线及母联断路器的保护装置过流启动判断信号为“假”, 则判为本装置所在母线故障, 该装置的动态自适应过流保护经 T1 延时快速动作出口切除故障。若配置所述保护功能的装置出现故障或者通信异常, 则自动降低一个时间级差, 经 T2 动作出口切除故障, 动态自适应过流保护功能的 T3 延时段为固定延时作为后备保护。

2.2 故障处理原则

将配电网故障分为主干联络线故障、环网单元母线故障、用户馈线故障 3 种, 分别对应图 3 所示的 A, B, C 点故障, 以图 3 的环网单元 2, 3 中的装置 3, 4, 5 动作行为为例, 说明使用动态自适应保护实现配电网线路全段有选择性故障处理原则, 如表 2 所示(假设供电方向从左至右)。

上述原则不仅适用于 5G 通信环境也适用于具备横向通信的配电网保护环境。

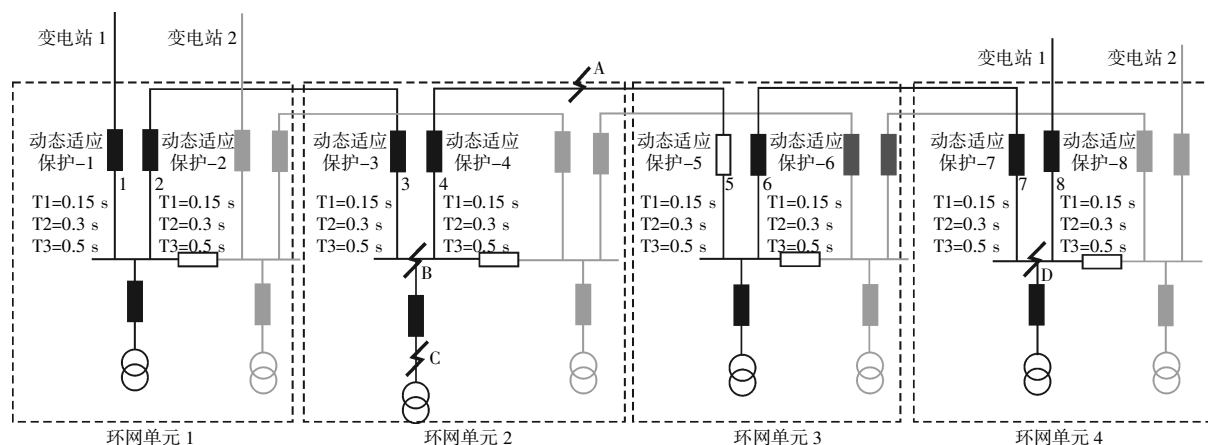


图 3 动态自适应保护配合

表 2 基于 5G 动态自适应保护的配网故障处理原则

故障点	装置 3	装置 4	装置 5
A 点故障	保护被 2 闭锁	通信正常 T1 动作、 通信异常 T2 动作	保护不启动
B 点故障	通信正常 T1 动作、 通信异常 T2 动作	保护不启动	保护不启动
C 点故障	保护被闭锁	保护被闭锁(故障 由馈线过流动作)	保护不启动
区外 D 点 故障	保护被闭锁	保护被闭锁	保护被闭锁

2.3 主干线故障分析

第一种情况：装置通信正常，装置 4 和 5 经 5G 通信交互故障启动信号及方向判别信息，装置 4 符合 2.2 节阐述动态自适应保护 T1 动作原则，动作出口跳开断路器 4 并联跳断路器 5，完成故障隔离。线路上其他装置判断为故障点发生在区外，动态加速过流保护 T1 时限被闭锁，保护不动作。

第二种情况：装置 4 和 5 通信异常，装置 4 和 5 的动态适应加速过流保护 T1 时限闭锁，T2 时限保护开放，装置 4 动态加速过流保护 T2 动作跳开断路器 4。线路上其他装置通信正常判断

为故障点发生在区外，动态加速过流保护 T1 时限被闭锁，保护不动作。

第三种情况：装置 4 和 5 通信正常但装置 4 失电或故障，装置 3, 4, 5 的动态适应加速过流保护 T1 时限闭锁，T2 时限保护开放，装置 3 动态加速过流保护 T2 动作跳开断路器 3，装置 4 动态加速过流保护 T2 动作跳开断路器 4。线路上其他装置通信正常判断为故障点发生在区外，动态加速过流保护 T1 时限被闭锁，保护不动作。

2.4 母线故障分析

第一种情况：装置通信正常，装置 3 和 4 经本地通信交互故障启动信号及方向判别信息，此时装置 3 符合 2.2 节阐述动态自适应保护 T1 动作原则，动作出口跳开断路器 3 并联跳断路器 4、母联断路器 102，完成故障隔离。线路上其他装置判断故障点发生在区外，其动态适应加速过流保护 T1 时限被闭锁，保护不动作。

第二种情况：装置 3 和 4 通信异常，装置 3 和 4 的动态适应加速过流保护 T1 时限闭锁，T2 时限保护开放，装置 3 动态加速过流保护 T2 动作跳开断路器 3。线路上其他装置通信正常判断为故障点发生在区外，动态加速过流保护 T1 时

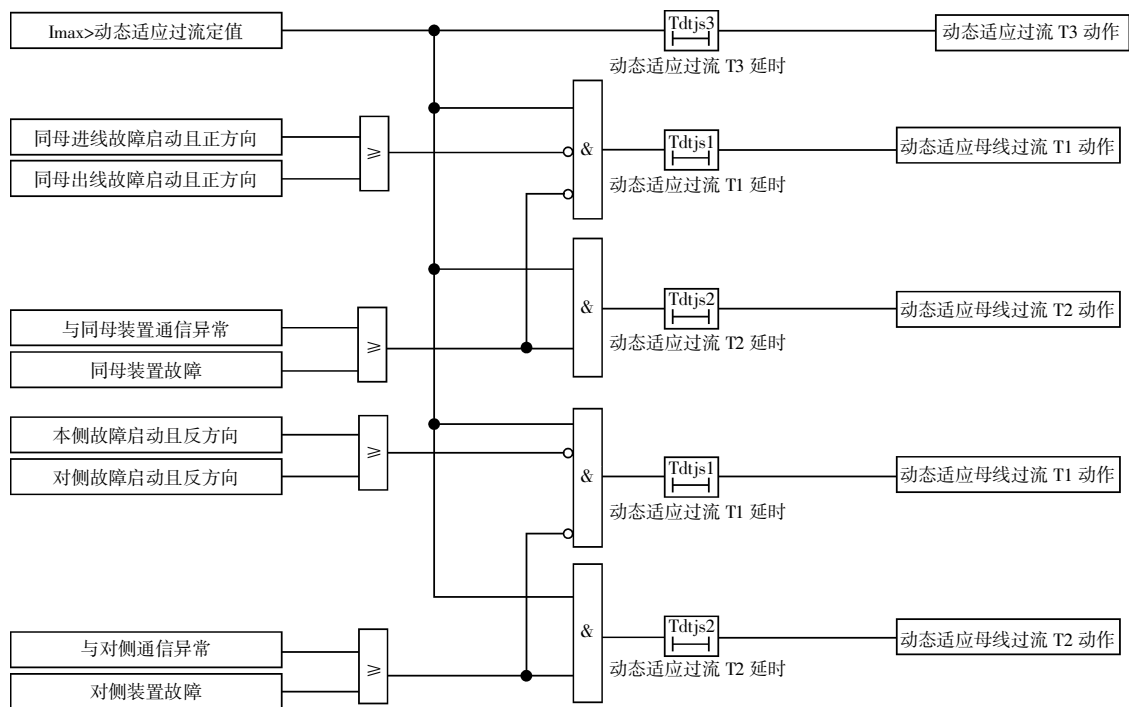


图 4 动态自适应保护逻辑

限被闭锁,保护不动作。

第三种情况:装置3和4通信正常但装置4失电或故障,装置3,4,5的动态适应加速过流保护T1时限闭锁,T2时限保护开放,装置3动态加速过流保护T2动作跳开断路器3。线路上其他装置通信正常判断为故障点发生在区外,动态加速过流保护T1时限被闭锁,保护不动作。

2.5 馈线故障分析

环网单元馈线C处发生短路故障。馈线故障时进出线动态适应过流被闭锁不动作,馈线电流速断保护动作并跳开故障点C上游开关。

2.6 就地自愈分析

就地自愈功能配置在每个环网单元母联处,由上一级联跳进线启动就地母联备自投。

(1) 联络线故障

故障发生在断路器4和5之间的A点,故障定位由配置在4处的动态适应保护完成跳开断路器4,并联跳断路器5,完成故障隔离,启动环网单元3就地备自投,确认断路器5已跳开、左侧母线失压、右侧母线有压,完成环网单元3左侧母线转供电。

(2) 母线故障

故障发生在环网站2母线B点,故障定位由配置在3处的动态适应保护完成跳开断路器3,联跳断路器4,并联跳断路器5,完成故障隔离,启动环网单元3就地备自投,确认断路器5已跳开、左侧母线失压、右侧母线有压,完成环网单元3左侧母线转供电。

3 5G 环境实证

基于5G的通信链路,其链路复杂,主要为:A端配网差动终端—A端CPE—A端5G基站—5G核心网(MEC/UPF等设备)—B端5G基站—B端CPE—B端配网差动终端。非独立组网5G网络,如未实现UPF下沉,端到端时延及其抖动比较大。独立组网5G网络各地运营商正在加紧建设步伐,本文测试数据采用许继5G配网差动保护终端和许继CPE、华为CPE、中兴CPE在实验室接入5G通信网络进行模拟测试,测试结果如表3所示。

上述测试数据表明,即使采用UPF下沉和同步网络,仅减少链路传输时延仍避免不了传输

表3 5G配电网动态自适应保护测试

测试项目	测试结果	结论
两端电流 差动保护	65~73 ms	符合
动态自适应 T1动作测试	55~65 ms 38~44 ms 普遍在20~30 ms, 偶发60 ms	符合,但离散性较大 保护需要做适应性修改, 通信网络也需完善
通信抖动	普遍在4~15 ms, 偶发20 ms	
通信延时	<16 ms	符合

抖动,且目前各地运营商大多未实现经核心网的端到端互通,下一步需要保护终端厂家、通信设备厂家、运营商分析研究抖动产生的环节及链路抖动实测数据,研究在基站和核心网层面、CPE终端层面分别进行下述优化^[1]:上下行调度、传输优先级、减少空口重传、优化重传时延等,达到优化控制时延和抖动目的。

4 结语

由于5G网络处于商用部署初期,技术层面仍需随标准不断进行迭代和平滑演进,测试数据显示目前5G通信存在链路时延及抖动不稳定问题,下一步应针对差动保护类时时在线、报文传输抖动小特点进行空口优化,配电终端向着基于差动保护的馈线自动化发展,需要针对无线做针对性性能优化,增大缓存时间等功能。

本文提出的基于5G通信的新型配电网馈线自动化方案,以5G无线网络作为信号传输通道,配电网环网单元联络线配电网终端间横向通信交互故障判别信息,基于两侧过流及方向判据的动态自适应保护,整条线路某段通信异常时,两端动态自适应保护相较线路其他分段延时降低一个级差,实现配电网主干线路故障段毫秒级隔离,无故障段不受影响。对下一步实现基于差动保护的馈线自动化发展具有指导意义。

参考文献:

- [1] 王廷凤,余江,许健,等.基于5G无线通信的配电网自适应差动保护技术探讨[J].供用电,2019,36(9):18-21.
- [2] 黄颖,曾昭山.5G网络关键技术及应用场景研究[J].网络安全技术与应用,2020(6):103-104.
- [3] 何晓龙.5G通信技术在智能电网中的应用探讨[J].电子

- 世界,2020(10):64-65.
- [4] 吕玉祥,杨阳,董亚文,等.5G技术在配电网电流差动保护业务中的应用[J].电信科学,2020,36(2):83-89.
- [5] 裘愉涛,朱玛,焦群.智能配网光差保护业务 EPON 承载方案研究[J].中国电机(技术版),2014(9):142-145.
- [6] 徐光福,陈俊,姜森,等.基于 EPON 自同步的差动保护采样同步方法[J].供用电,2019,36(2):35-41.
- [7] 黄维芳,金鑫,文安,等.基于 4G 无线通信的自适应分布式差动保护系统[J].电器与能效管理技术,2017(6):47-50.
- [8] 李瑞生.适用主动配电网的差动保护方案研究[J].电力系统保护与控制,2015,43(12):104-109.
- [9] 王彦国,涂崎,孙天甲,等.基于对等通信的分散式配电网保护与自愈控制系统[J].供用电,2019,36(9):9-17.
- [10] 文安,黄维芳,邱荣福,等.基于 PTN 和 4G 无线专网的配电网自适应控制保护系统[J].电器与能效管理技术,2018(5):57-63.
- [11] 王常玲,赵元.基于 5G 承载网的电力差动保护业务时延抖动分析[J].通信世界,2019(32):33-36.
- [12] 李宝伟,倪传坤,唐艳梅,等.智能变电站组网传输采样值光纤差动保护同步方案研究[J].电力系统保护与控制,2013,41(9):142-147.
- [13] 李文正,李宝伟,倪传坤,等.智能变电站光纤差动保护同步方案研究[J].电力系统保护与控制,2012,40(16):136-140.
- [14] 许永军,金乃正,叶志锋,等.一种基于 EPON 的时钟同步协议在配网多端差动保护中的应用[J].电力系统保护与控制,2014,42(6):39-44.
- [15] 王鲍雅琼,陈皓.含分布式电源的配电网保护改进方案综述[J].电力系统保护与控制,2017,45(12):146-154.
- [16] 罗云,高艳宏,王志强.基于大数据的电力通信网络风险辨识与评估方法研究[J].电力大数据,2019,22(11):64-69.
- [17] 张辰,杨鸿珍,黄红兵,等.基于社团结构的电力通信网可靠性评估方法[J].电网与清洁能源,2019,35(10):17-22.
- [18] 耿俊成,张小斐,郭志民,等.电力通信网大数据应用场景开发及试点应用[J].电力大数据,2019,22(2):88-92.
- [19] 彭娟.配电网通信技术研究[J].电力大数据,2018,21(8):87-92.
- [20] 林炳花.大数据技术在电力通信网的研究与应用[J].电力大数据,2018,21(5):31-35.
- [21] 张梅.SDN 和 NFV 在 5G 移动通信网络架构中的创新应用[J].浙江水利水电学院学报,2018,30(6):73-76.

收稿日期:2020-08-20

作者简介:邹剑锋(1977),男,高级工程师,从事电力系统继电保护技术研究。

(本文编辑:徐 晗)