

# 基于5G通信技术的配电网线路纵差保护研究及应用

郭立,何峰,梁艳,韦翔,张丹

(国网新疆电力有限公司乌鲁木齐供电公司,新疆乌鲁木齐 830000)

**摘要:**随着5G技术的兴起及组网共建共享的深入,电力业务应用对网络延时、带宽、可靠性等指标提出更高需求,5G+业务建设步入快车道。分析了5G配电网线路纵差原理,提出了系统架构、通信组网及调试方案。在试验室环境下,对双套纵差保护装置进行通信系统搭建、参数配置、联机调试,并以10 kV配电网线路为应用实例,新建室内分布式系统以满足5G网络通信要求,横向对比两种不同的5G组网方式。测试结果表明,独立组网方式要优于非独立组网网络,超低网络通道延时,超高网络带宽,可满足5G纵差通道应用条件,整体方案的实施及应用对今后智能分布式配电保护、自愈控制系统的建设有着借鉴作用。

**关键词:**5G网络;组网方式;纵差保护;通道延时

**中图分类号:**TM773 **文献标志码:**A **文章编号:**1003-6954(2020)06-0066-05

## Research and Application of Longitudinal Differential Protection of Distribution Network Based on 5G Communication Technology

Guo Li, He Feng, Liang Yan, Wei Xiang, Zhang Dan

(State Grid Urumqi Electric Power Supply Company, Urumqi 830000, Xinjiang, China)

**Abstract:** With the rise of 5G technology and the deepening of network co-construction and sharing, power business applications have put forward higher demands on network delay, bandwidth, reliability and other indicators, and 5G+ business construction has entered the fast lane. The principle of the longitudinal difference of 5G distribution network is analyzed, and a system architecture, communication networking and commissioning plan are proposed. In the laboratory environment, the communication system construction, parameter configuration and online commissioning of double longitudinal difference protection device are carried out, and taking 10 kV distribution network line for application example, a new indoor distributed system is built to meet the requirements of 5G network communication, and two different 5G networking methods are horizontally compared. The test results show that SA networking method is superior to NSA network and is ultra-low. The network channel delay and ultra-high network bandwidth can meet the application conditions of 5G longitudinal differential channels. The implementation and application of the overall plan can be used as a reference for the construction of intelligent distributed power distribution protection and self-healing control systems in the future.

**Key words:** 5G network; networking mode; longitudinal differential protection; channel delay

## 0 引言

5G网络方式分为非独立组网方式(non-standalone, NSA)和独立组网方式(standalone, SA)两种。NSA是5G和4G LTE的联合组网,SA是独立的5G核心网络,三家运营商选择NSA/SA双模基站。在技术发展方面,NSA技术成熟,现已商用化,而SA尚处于建设初期;在网络覆盖面积方面,NSA实现

国内50余个城市覆盖,SA则需软、硬件重建,大面积覆盖还需要时间;在技术标准方面,NSA是最终的商用技术标准,SA尚未确认。全球大部分国家都会从NSA组网逐步过渡到SA组网,SA组网方式才是公认的5G最终形态<sup>[1-4]</sup>。

国内外5G技术赋能于大众用户和垂直行业,场景应用涵盖交通、农业、水文、煤矿、医疗、教育等各个方面<sup>[5-11]</sup>。有些科研院所及企业也已开展了5G配电网线路纵差保护测试。文献[12]提出一种

**基金项目:**国网新疆电力有限公司重点研发计划资助项目(5230WJ200011)

基于5G无线通信的配电网拓扑自适应差动保护技术,示范工程满足指标要求,但未进行外场试验。文献[13]基于5G组网的电网业务外场试验环境,验证网络时延及抖动对差动保护的影响。文献[14]基于5G通信系统实现差动保护装置间数据传输,依据配电网拓扑变化动态调整差动保护配置,达到降本增效的目的。文献[15]采用NSA架构的5G网络适合现阶段智能电网应用,可满足智能电网输电、变电、配电及用电各环节差异化业务需求。但是,在针对NSA、SA组网方式下的指标数据测试,尤其是外场试验的应用研究方面,相关文献资料比较少见。5G纵差保护应用面临的诸多技术挑战,如5G电力物联网<sup>[16-18]</sup>、通信技术<sup>[19-20]</sup>、传输资源需求等方面<sup>[21-24]</sup>。鉴于5G网络低时延、高速率、大容量、高带宽等优点,加快5G技术应用于电力行业的探索步伐,下面对“5G+继电保护专业”技术方案及外场试点测试取得的成效予以阐述。

## 1 纵差保护原理

保护装置支持5G通信,可直接与5G无线终端配合,实现5G差动保护功能。电流差动继电器由比率差动继电器和差动联跳继电器两部分组成。

### 1.1 比率差动继电器

当发生故障时,由电流变化量、相过流元件和零序电流元件组成的启动元件满足启动条件后,将开放差动判据判别,若保护装置的差流和制动电流关系满足动作方程(见式(1),动作曲线见图1),则置本侧差动允许,且向对侧发送差动允许信号。当装置同时收到本侧差动允许和对侧差动允许信号,则差动保护可以动作。

$$\begin{aligned}
 I_{d\phi} &> 0.6I_{r\phi} \\
 I_{d\phi} &> I_{DIF} \\
 I_{d\phi} &= |I_{M\phi} + I_{N\phi}| \\
 I_{r\phi} &= |I_{M\phi} - I_{N\phi}|
 \end{aligned} \quad (1)$$

式中: $\phi$ 代表A相、B相、C相; $I_{d\phi}$ 为差动电流,即两侧电流矢量和的幅值; $I_{r\phi}$ 为制动电流,即两侧电流矢量差的幅值; $I_{DIF}$ 为差动动作电流定值。

### 1.2 差动联跳继电器

长距离输电线路出口经过渡电阻接地时,近故障侧保护能立即启动,但由于助增的影响,远故障

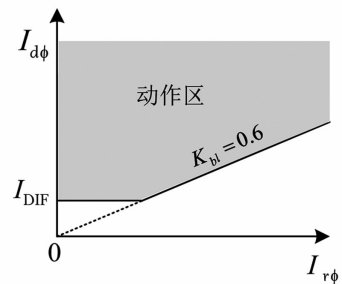


图1 比率差动方程动作曲线

侧可能故障量不明显而不能启动,差动保护不能快速动作。针对这种情况,装置设有差动联跳继电器,本侧任何保护动作元件动作(如过流保护、零序保护等)后立即发对应相联跳信号给对侧,对侧收到联跳信号后,启动保护装置,并结合差动允许信号联跳断路器。

## 2 应用方案

### 2.1 系统架构

系统主要由5G核心网络、线路差动保护装置、时钟同步授时装置、数据终端、5G通信卡组成,见图2。两侧数据终端通过5G核心网络通信交互数据,时钟同步授时装置对双套线路纵差装置进行采样对时,实现电流数据同步采样实时作差。

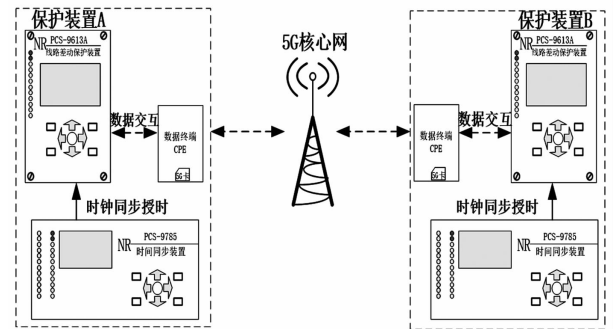


图2 5G线路纵差保护配置架构

### 2.2 通信组网

5G通信卡IP实现静态地址,客户终端设备(customer premise equipment, CPE)采用工业级数据终端,双套线路纵差保护进行程序下装及固化,配置程序见图3,运营商搭建5G网络接入点。纵差保护装置可选择CPU网口3—网口8中的任一接口作为5G数据接口,通过通信参数中的[5G数据网口号]参数指定。将5G数据网口同5G终端设备(CPE)相连,并通过通信参数中的[5G网口IP地址]设置该口的IP地址,实现5G组网通信参数设置,见图4。

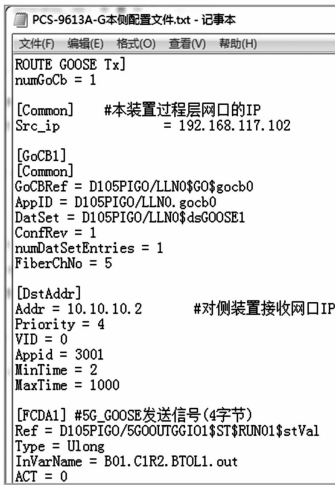


图3 配置文本文件部分程序

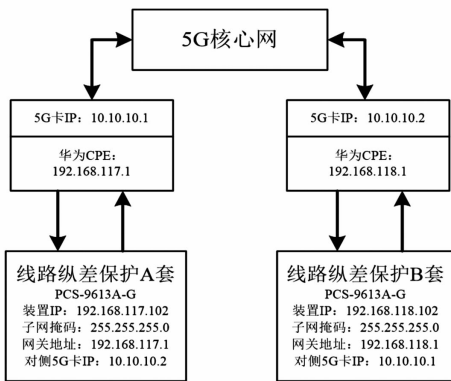


图4 5G组网通信参数设置

### 2.3 联机调试

双套线路纵差保护装置进行通道、零漂、采样值及开关量检查,5G通信正常,装置无告警信息,零漂值在 $0.01In$ (或 $0.05V$ )以内。电流、电压采样值与实际加入量的误差应小于 $\pm 2.5\%$ 或 $\pm 0.01$ 倍额定值,相角误差小于 $2^\circ$ ;两侧联调同步外部采样,若试验点线路上有实际负荷,则可通过CT采样来验证同步;若试验仪外加模拟量,要求试验仪同步输出;以上两点都不能实现,则装置无法通过差流或相位的方式来验证同步,只能选择在一处试验点进行模拟量试验,比较本地施加量和对侧接收量验证采样传输的精度,但无法进行区外故障等复杂测试。单侧加量相当于单侧电源故障试验,受一侧弱馈的影响,保护动作时间会有一定的延迟。单侧纵差调试接线见图5。

## 3 试点实例

### 3.1 试点方案

在试验室环境下,双套纵差保护装置进行联机

调试,见图6。本次试点110kV甲站10kV甲苑线,线路长度3.1km,电气接线方式如图7所示。

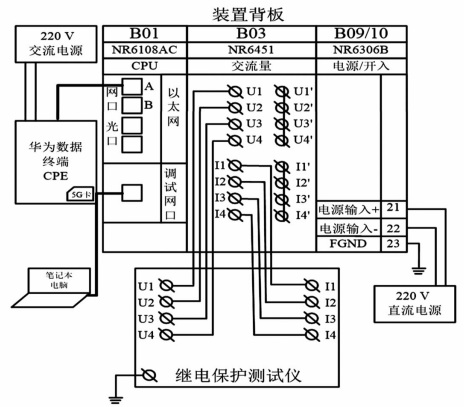


图5 单侧纵差调试接线



图6 试验室环境下5G纵差保护联机调试

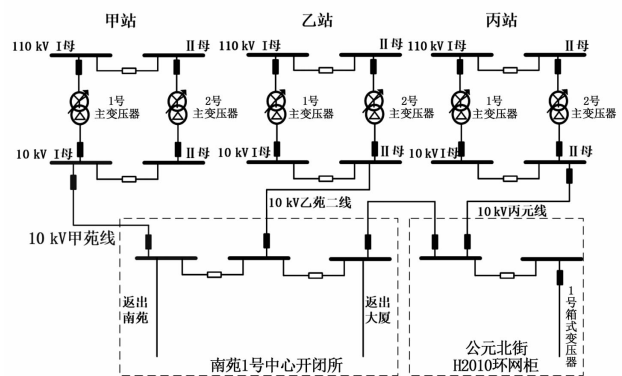


图7 试点线路电气主接线

甲站侧纵差保护CT采用5A制,考虑正常运行安全性、跳闸可靠性,建议该侧装置挂网试运行。采用双套配置,原装置正常运行,正常动作出口跳、合断路器;南苑1号中心开闭所侧纵差保护CT采用1A制,考虑其为负荷终端站,线路保护装置只投功能不投跳闸,经现场勘察,无合适安装位置,建议掏屏换型改造,并加装对时装置。试点安装地处于干扰区、盲弱区,经运营商对5G网络状态测试,试点线路两侧信号强度较弱或无5G网络信号状态,

本试点采用5G网络室内分布式系统以满足纵差保护应用条件,见图8。试点装置运维信息远程传送给运维中心或主站,快速实现配电网线路区段或配电网设备的故障判断及准确定位。

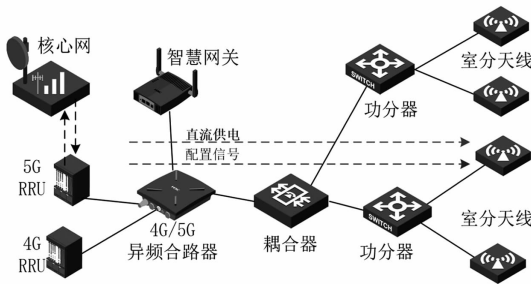


图8 5G网络室内分布式系统

### 3.2 通道延时

对NSA网络单模、SA网络双模5G纵差保护装置网络通道状态加以对比,由表1可知,NSA网络环境下,5G\_SV接收通道1平均延迟95.6 ms左右,装置出现通道异常及网络延时超范围信号,不满足纵差保护通道延时应用要求;SA网络环境下,5G\_SV接收通道1平均延迟11.2 ms,装置显示5G通信、差流值和对时状态正常,SA网络平均上、下行带宽为NSA网络的14倍左右。

表1 NSA单模、SA双模网络通道延时对比

5G通道—状态	NSA 网络单模	SA 网络双模
5G_SV接收通道1延迟/ $\mu$ s	110 333	8219
5G_SV接收通道1平均延迟/ $\mu$ s	95 559	11 215
5G_SV接收最大通道延迟/ $\mu$ s	125 489	42 562
5G_SV接收最小通道延迟/ $\mu$ s	18 305	7358
5G_SV接收延迟小于20 ms帧数	169	1 802 675
5G_SV接收延迟小于40 ms帧数	94	138
5G_SV接收延迟小于60 ms帧数	78	65
5G_SV接收延迟小于80 ms帧数	90	0
5G_SV接收延迟超过80 ms帧数	1 801 543	0
网络平均带宽(上行)/Mbps	18	258
网络平均带宽(下行)/Mbps	85	1200

## 4 结语

探究了“5G+配电网线路纵差保护”的架构与

方案,实现了10 kV配电网线路的试点应用。经多次测试验证,SA组网方式具有超低延时、高带宽、大容量等特点,适用于5G纵差保护应用条件,摆脱了常规光纤纵差保护的点对点光纤敷设成本及外破可能性。有线光纤载体转型为无线5G通信方式,全面提升了配电网保护动作的选择性、安全性和供电可靠性。通过5G配电网纵差保护应用指标分析,验证了整体系统架构的合理性和技术方案的可行性,为“5G+电力业务”技术的推广及应用提供参考。

### 参考文献

- [1] 朱学芳,王贵海,祁彬斌. 5G时代数字信息资源智能服务研究内容及进展[J/OL]. 情报理论与实践;1-10 [2020-07-15]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1762.G3.20200630.1524.014.html>.
- [2] 王毅,陈启鑫,张宁,等. 5G通信与泛在电力物联网的融合:应用分析与研究展望[J]. 电网技术,2019,43(5):1575-1585.
- [3] Ssaifi M, Molisch A F, Smith P J, et al. 5G: A Tutorial Overview of Standards, Trials, Challenges, Deployment, and Practice[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2017, 35(6):1201-1221.
- [4] Matias J, Garay J, Toledo N, et al. Toward An SDN-enabled NFV Architecture[J]. IEEE Communications Magazine, 2015, 53(4):187-193.
- [5] 焦燕鸿,王韬,李富强,等. 5G高铁无线网建设关键技术与解决方案研究[J/OL]. 电信科学;1-13 [2020-07-15]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2103.TN.20200604.1311.025.html>.
- [6] 王永军. 基于5G技术的机车大容量无线转储系统研究[J/OL]. 控制与信息技术,2020(4):1-5 [2020-07-15]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/43.1546.TM.20200803.0843.002.html>.
- [7] 刘昊,李静,鲁旭涛. 5G背景下智慧农业通信节点部署策略[J]. 西安交通大学学报,2020(10):1-9.
- [8] 史东华,龙少颖. 5G通信技术在水文自动监测的应用前景分析[J/OL]. 人民长江;1-7 [2020-07-15]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1202.TV.20200718.1903.002.html>.
- [9] 范京道,闫振国,李川. 基于5G技术的煤矿智能化开采关键技术探索[J]. 煤炭科学技术,2020,48(7):92-97.

[10] 田伟. 5G 技术应用于远程医疗的探索与展望[J]. 中华外科杂志, 2020(1): 1-4.

[11] 卢向群, 孙禹. 基于 5G 技术的教育信息化应用研究[J]. 中国工程科学, 2019, 21(6): 120-128.

[12] 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.

[13] 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.

[14] 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.

[15] 张君怡, 任鑫博. 非独立组网架构下 5G 网络在智能电网中的应用[J]. 通讯世界, 2020, 27(2): 11-12.

[16] 刘林, 祁兵, 李彬, 等. 面向电力物联网新业务的电力通信网需求及发展趋势[J]. 电网技术, 2020, 44(8): 3114-3130.

[17] 张宁, 杨经纬, 王毅, 等. 面向泛在电力物联网的 5G 通信: 技术原理与典型应用[J]. 中国电机工程学报, 2019, 39(14): 4015-4025.

[18] 陈艳, 宋英华. 新型配电物联网后台系统架构设计与

关键技术研究[J]. 供用电, 2020, 37(2): 41-46.

[19] 李洪全, 张冀川, 丁浩, 等. 基于 IPv6 的配电物联网通信单元设计[J]. 供用电, 2020, 37(1): 21-29.

[20] Joung J, Ho C K, Adachi K, et al. A Survey on Power - amplifier - centric Techniques for Spectrum - and Energy - efficient Wireless Communications[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2015, 17(1): 315 - 333.

[21] 王扬. 5G 终端加速发展 行业市场全面打开[N]. 人民邮电, 2020-07-30(006).

[22] 钟鹏. 5G 系统毫米波频段上的无线传输技术研究[D]. 南京: 南京邮电大学, 2019.

[23] 孙东雪, 王主丁, 田园, 等. 基于分区分压的配电网供电能力计算实用方法[J]. 电网技术, 2020, 44(8): 3081-3091.

[24] 张晶, 代攀, 吴天京, 等. 新一代智能电网技术标准体系架构设计及需求分析[J]. 电力系统自动化, 2020, 44(9): 12-20.

作者简介:

郭立(1984), 男, 硕士, 高级工程师, 从事继电保护运行技术。

(收稿日期: 2020-09-27)

(上接第 59 页)

[5] 赵莉, 候兴哲, 胡君, 等. 基于改进 k - means 算法的海量智能用电数据分析[J]. 电网技术, 2014, 38(10): 2715-2720.

[6] 徐茂鑫, 余涛, 徐豪. 基于 DSP 的智能用电终端设计与实现[J]. 电测与仪表, 2017, 54(9): 24-29.

[7] 高志远, 曹阳, 田伟, 等. 需求响应概念模型及其实现架构研究[J]. 电力信息与通信技术, 2016(11): 8-13.

[8] Wu G, Mizuno M, Havinga P J M. MIRAI Architecture for Heterogeneous Network [J]. Communications Magazine IEEE, 2002, 40(2): 126-134.

[9] STM32 Reference Manual. STMicroelectronics Co., Ltd. [Online]. available: <http://www.st.com/content/st.com/en/products/microcontrollers/stm32-32-bit-arm-cortex-mcus/stm32-mainstream-mcus/stm32f1-series/stm32f103/stm32f103ze.html>, 2017.

[10] CC1100E datasheet. Texas Instruments Co., Ltd. [Online]. available: <http://www.alldatasheet.com/view.jsp> Searchword = CC1100E, 2017.

[11] KQ130F 数据手册. 四川省科强电子技术有限责任公司 [Online]. available: <http://www.docin.com/p->

622104574.html, 2017.

[12] CS9803 数据手册. 森川电子科技深圳公司 [Online]. available: [http://www.alldatasheet.com/view\\_datasheet.jsp](http://www.alldatasheet.com/view_datasheet.jsp) Searchword = CS9803&sField = 2, 2017.

[13] ENC28J60 datasheet, Microchip Technology Inc [Online]. available: <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/102687/MICROCHIP/ENC28J60.html>, 2017.

[14] Shouqian Y U, Lili Y I, Chen W, et al. Implementation of A Multi - channel UART Controller Based on FIFO Technique and FPGA [C] // 2nd IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, 2007: 2633-2638.

[15] SPI 总线简介 [Online]. available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Serial\\_Peripheral\\_Interface\\_Bus](https://en.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface_Bus), 2017.

[16] STM32 Firmware Library v2. 0. 3 开发库 [Online]. available: <http://www.st.com/internet/com/software/firmware.jsp>, 2017.

作者简介:

张云翔(1981), 男, 硕士, 工程师, 从事物联网与智能电网研究工作。

(收稿日期: 2020-06-18)