

DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.201151

5G 无线通信承载差动保护业务的应用探讨

余江, 黄河, 陈宏山, 丁晓兵

(中国南方电网电力调度控制中心, 广东 广州 510530)

摘要: 5G 承载差动保护业务是通信与控制保护技术融合发展的需求。通过对比分析不同对时原理差动保护的通道需求, 比较高低压网络差动保护通道延时的需求差异, 分析了 5G 无线通信中确定性传输延时技术和精准授时技术的可行性, 提出了基于 5G 精准时标的配网差动技术。外场 5G 基站实测验证了授时精度及传输延时均能满足差动保护业务需求。

关键词: 5G; 精准时标; 差动保护; 同步技术; 传输延时

Discussion on the application of 5G wireless communication carrying differential protection services

YU Jiang, HUANG He, CHEN Hongshan, DING Xiaobing

(Dispatching Center of China Southern Power Grid, Guangzhou 510530, China)

Abstract: 5G carrying differential protection service is requirement for the integration and development of communication and protection technologies. This paper analyzes the channel requirements of differential protection with different timing principles, and compares the difference in the delay requirements of differential protection channels in high and low voltage networks. The feasibility of deterministic transmission delay technology and precise timing technology in 5G wireless communication is also analyzed. Differential technology based on 5G accurate time stamp is proposed. The field test of 5G base station verifies that the timing accuracy and transmission delay can meet the requirements of differential protection services.

This work is supported by the National Key Research & Development Program of China “Research and Application of Merging 5G Digital Power Grid High-security High-reliability Communication Technology” (No. 2020YFB0906003).

Key words: 5G; precise time stamp; differential protection; synchronization technology; transmission delay

0 引言

分布式电源的大量接入改变了配电网的故障特性^[1-4], 精密负荷的出现改变了对故障隔离的速度与准确性的要求, 社会发展及人民美好生活对供电质量提出了更高要求, 迫切要求提升配网保护性能。配网故障隔离的研究从早期的简单隔离故障发展到精准的区段定位^[5-9]。配电网网架结构复杂、光纤通信覆盖率低、保护装置点多面广等现实问题, 一直

是配网保护配置及设计选型的制约因素。

光纤电流差动保护具有能够可靠地反映高阻接地故障、受系统运行方式影响小、原理简单、保护配合方便等优点, 不受串补等装置投运的影响, 不受功率倒向的限制。双通道技术、2M 光接口^[10]、电力定制 ASON^[11]等先进技术, 极大地提高了保护通道的可用率, 推动了差动保护在高电压等级电网的广泛应用。受制于配网通道条件以及网架结构特点, 差动保护在配电网中的应用还十分有限。

5G 网络增强移动带宽(eMBB)、超高可靠低时延通信(uRLLC)、大规模机器类通信(mMTC)的技术特点, 使移动通信技术渗透至更加广阔的行业和领域。利用 5G 通信特有的精确授时功能和管道及切片技术, 可以实现无线差动保护技术, 提升配网故障隔离与自愈的效率。

基金项目: 国家重点研发计划资助“融合 5G 的数字电网高安全高可靠通信技术研究与应用”(2020YFB0906003); 南方电网公司重点科技项目资助“融合 5G 的智能电网端到端关键技术研究、系统研制与示范验证项目(适配 5G 的配电网分布式差动保护关键技术研究及设备研制)”(000000KK52190172)

1 差动保护原理

1.1 差动保护的基本原理

电流差动保护的基本原理是：流过穿越电流时，两侧电流大小相等方向相反，线路两侧的差电流为零；当线路发生区内故障时，线路两侧电流的差电流不再为零。按照“谁用谁同步”原则：本侧收到对侧数据后，根据对侧报文中携带的时标数据，计算出对侧的采样时刻。然后根据本侧的采样间隔采用插值同步法，将参加运算的电流、电压值回溯到采样时刻，实现两侧数据同步，并从原理上考虑尽量减少对时不准确对保护性能的影响^[12]。电流差动保护的同步方法主要有时标同步技术、乒乓同步技术、故障时刻自同步技术 3 种。

1.2 时标同步技术

时标同步技术要求参与差动保护的数据有相同的时间参考系，发送的报文中携带有时标信息，通过对比两侧的时标信息可以得出本侧采样值到对侧接收装置的传输延时，如图 1 所示。

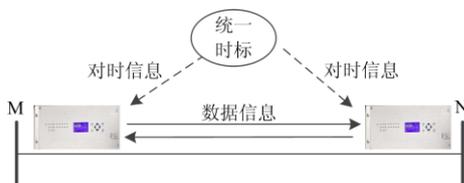


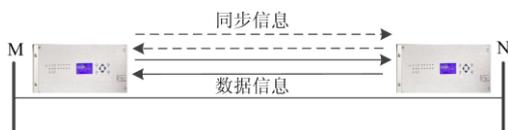
图 1 时标同步技术原理及信息交互示意图

Fig. 1 Principle of time-stamp synchronization technology and information exchange

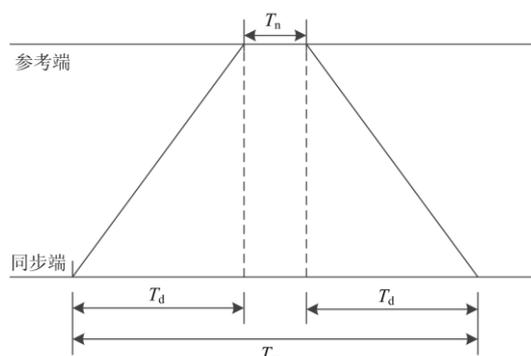
高校、保护厂家和科研院所都开展了基于 GPS 的电流差动保护研制^[13-15]。GPS 的精度为 $1 \mu\text{s}$ ，理论上线路两侧电流的角度误差可以控制在 0.036° 。然而，采用 GPS 时钟同步信号存在信号丢失、干扰严重和精度低的问题，基于 GPS 的电流差动保护一直没有在工程中得到广泛应用。

1.3 乒乓同步技术

乒乓同步技术以本侧为参考点，通过对时同步信号来回所需的总时长测算出通道延时，如图 2(a) 所示。从图 2(b) 中的同步原理可以看出，只有来回传输延时相等才能得出正确的传输延时 T_d ，因此要求保护通道来回路由一致，禁止使用 SDH 自愈保护等技术^[16-17]。



(a) 乒乓同步技术信息交互示意图



(b) 乒乓同步原理

图 2 乒乓同步技术原理及信息交互示意图

Fig. 2 Principle of bidirectional synchronization technology and information exchange

1.4 故障时刻自同步技术

故障时刻自同步技术根据配网线路普遍较短，尤其是在有差动保护配置需求的 A 区及 A+ 地区，故障特征量从故障点传递到线路两侧的时间差较小的特点，将电压突变量、故障行波波头、电流突变量等特征量作为同步的参考相量，利用两侧的电流波形，同时与故障时刻进行采样值同步采样^[18-19]，如图 3 所示。

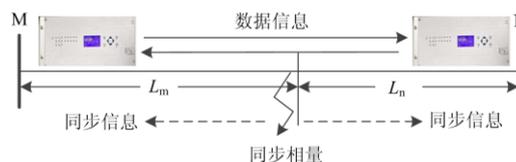


图 3 故障时刻自同步技术原理及信息交互示意图

Fig. 3 Principle of fault time synchronization technology and information exchange

1.5 同步技术对通道的需求差异

根据时标同步技术、乒乓同步技术和故障时刻自同步技术的原理，三种同步技术对通道需求的差异主要体现在以下三个方面。

- 1) 时标同步技术要求设备时钟均参照全网统一时标进行对齐，授时精度要满足原理需求。
- 2) 乒乓同步技术要求来回路由所需时间一致，确保可以通过环回的总时长计算得到单向传输延时，与全网统一时钟无关。
- 3) 故障时刻自同步技术从原理上与统一时钟和传输通道延时都没有必然联系，通道适应性最高，但在线路发生相继故障或转换性故障时对故障时刻的判断易受干扰。

1.6 配网差动保护

配网点多面广，海量设备实时监控，信息双向

交互频繁，光纤敷设成本高，运维难度大，光纤覆盖率远低于高压主网。有线配网通信在负荷中心区配置相对较多，尤其在解决配电网业务“最后一公里”接入方面，无线是有线的拓展和补充。现有的4G公网无法承载控制业务。无线LTE专网的建设需要符合无线电委员会的相关要求，频率使用将受到很大限制。

与高压主网差动保护相比，由于不涉及系统稳定问题，配网差动保护对通道延时的要求可以适度放宽，但需要适应多端网架结构。高压线路分支少，保护端对端通信基本上可以满足要求。中低压配网线路分支多，同一采样值可能要发往多个终端。乒乓对时技术若用于三端或多端系统，装置通信接口和通道运维的复杂性将大幅增加^[20]。

相比于4G移动宽带网络，5G网络可以为配网差动保护提供优质的无线通信环境，增强移动带宽(eMBB)技术，传输速率可以达到10 GB/s，超高可靠低时延通信(uRLLC)技术^[21-22]，传输延时可提升

至10 ms左右，可以满足差动保护数据快速传输需求。精确授时技术的授时误差可以达到10 μs以下^[23]，解决差动保护两侧数据同步问题，从而实现基于精确时标技术的差动保护。根据差动保护同步原理不难看出，5G可以从两个方面满足差动对通道的要求：通道延时固定或者精准的同步时钟，下文将分析这两种路线。

2 无线通信确定性传输时延的可行性

2.1 无线传输的通道延时

无线通信承载业务数据时，配电自动化终端(Distribution Terminal Unit, DTU)端对端的传输时延由DTU和CPE(Customer Premise Equipment, CPE)之间的传输时延 $t_{终端}$ 、CPE和基站之间的空口时延 $t_{空口}$ 、基站之间的传输时延 t_1 等几部分组成，如图4所示，其中DTU和CPE之间的传输时延 $t_{终端}$ 较短且相对固定，但基站间传输延时 t_1 、空口时延 $t_{空口}$ 则有很大的随机性。

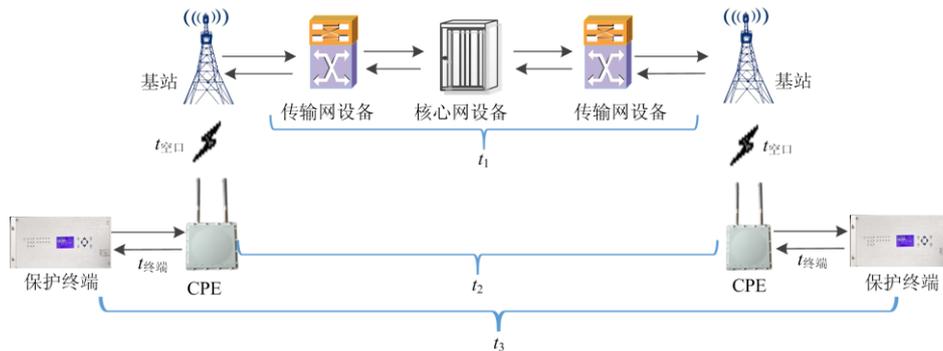


图4 通道延时组成示意图

Fig. 4 Components of channel delay

跨基站通信需要经过传输网与核心网设备以光纤连接。为确保通信的可靠性，运营商公网通信网路由通过路由自愈提升链路的可靠性，这一策略导致传输路由的不确定性，图4中基站间传输延时 t_1 是不确定的。目前传输网和核心网的确定性传输机制尚在研究阶段。

CPE和基站之间的空口时延 $t_{空口}$ 随机性主要来自电磁传播自身特性以及无线通信的时隙配比机制。无线电是通过电磁波传播信号，由于移动信道中直射、反射和折射现象同时存在，使得发射信号通过不同的传播路径，相位、幅值随机、独立变化，极大地影响了接收信号的强度及传输时间。

$t_{空口}$ 不确定的另一原因是无线通信的时隙配比机制。以上下行子帧1:4为例简要说明无线传输的时隙配比对通道延时的影响，图5中“D”代表此

子帧用于下行传输，“U”代表此子帧用于上行传输，每帧间隔时间1 ms。DTU产生的采样值数据是实时且连续的，但CPE与基站的数据交互需要遵循时隙配比的规则，在 T_D 到 T_U 时间内产生的采样值，都只能在上行传输子帧里完成数据上传，延时最长可达4 ms。

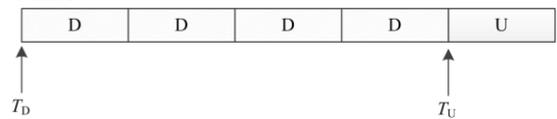


图5 无线传输时隙配比原理图

Fig. 5 Wireless transmission time slot ratio

2.2 确定性传输时延方案

乒乓同步技术根据通道环回时间来确定准确的通道延时，保护通道来回传输时延相等是乒乓对时同步技术得以实现的基石。因此，电力通信网中

通过预置来回路由,一方面确保了来回延时一致,另一方面也保障了通道延时可控。沿用到无线通信里,理论上也可以利用通信网管系统强大的控制功能及各基站之间保持良好的同步性,采用预设基站间传输延时方案,接收端收到信息后等待一段时间再发射,确保传输时间维持恒定,如图6所示。与图6(a)相比,图6(b)将传输延时固定的区段从基站间延伸到CPE之间,对应用终端而言延时确定更加彻底,但对CPE数据存储能力要求高。而且,无线传输的不确定性将导致每帧数据的传输延时随机性较高,确保差动通道可用率需要设置较长的确定性时延,人为增加了差动保护出口延时,没能充分发挥5G的短延时特点。

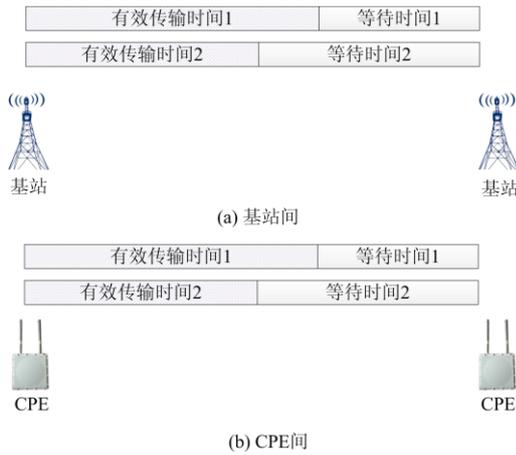


图6 确定性传输时延方案原理示意图

Fig. 6 Principle of deterministic transmission delay scheme

简而言之,目前无线传输网及核心网的确定性传输技术尚处于研发阶段,业务端对端的确定性传输时延实现难度较大,乒乓对时技术无法发挥作用。

3 无线通信精准授时技术

3.1 基站同步标准

根据国际标准ITU-T G.8271.1/Y.1366.1要求,基站的时间同步精度为1 500 ns。根据国内标准YD/T2375-2011/T2375-2011《高精度时间同步技术要求》,基站的时间同步精度包括PRTC的授时误差、承载网络传输的误差和用户系统延伸的误差,同步精度要求为1 400~1 500 ns。3GPP在R15 TS 36.331标准中引入Time Reference Info(时间基准参数),时间分辨率由250 ns提升到10 ns,根据IMT2020发布的《5G同步组网架构及关键技术白皮书》介绍,未来无线基站空口时间精度将达到百纳秒级别^[24]。

3.2 5G 精准授时技术

5G技术可以实现CPE精确授时,授时误差可以

达到10 μ s以下。通过卫星或有线网络实现时钟源对基站授时,将时间写进广播帧并空口传递,实现基站对CPE授时。CPE从广播帧提取时间,计算空口时延修正时间,生成IRIG-B编码,并传递给DTU装置,从而实现CPE对配网保护装置授时。授时的整体流程如图7所示。

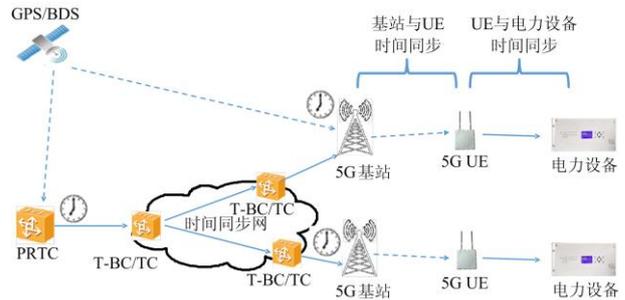


图7 5G授时整体流程

Fig. 7 Accurate reference timing delivery based on 5G

4 现场测试

4.1 外场测试系统拓扑

首先通过对时检测论证技术路线的可行性^[25-26],利用TUE(Test Unit Equipment)模拟CPE的授时进行外场授时精度测试,验证5G承载差动业务的可行性,为开展CPE和DTU的研制奠定基础。

外场测试的网络拓扑如图8所示。传输网级核心网独立组网,未布置切片。记录各个相关装置和系统的测试指标及数据,验证配网差动保护在5G外场环境下的可用性、可靠性。

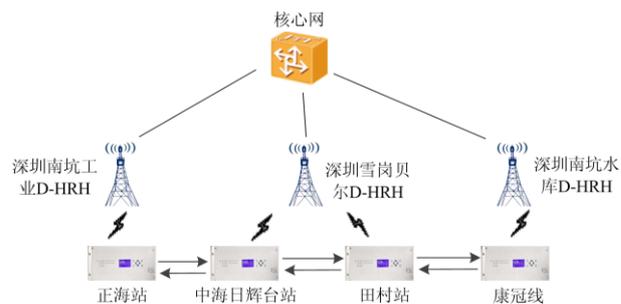


图8 外场测试整体网络拓扑图

Fig. 8 Outfield test overall network topology diagram

4.2 同基站 TUE 的授时精度测试

图8中中海日辉台和田村站对应两个环网柜,直线距离30 m,如图9(a)所示测试中将两台TUE的授时脉冲接入同一示波器,图9(b)中的两条曲线分别代表两台TUE输出的对时脉冲上升沿。测试结果表明,外场空口场景下,通信终端间同步精度小于300 ns,满足3GPP提出的性能指标要求。

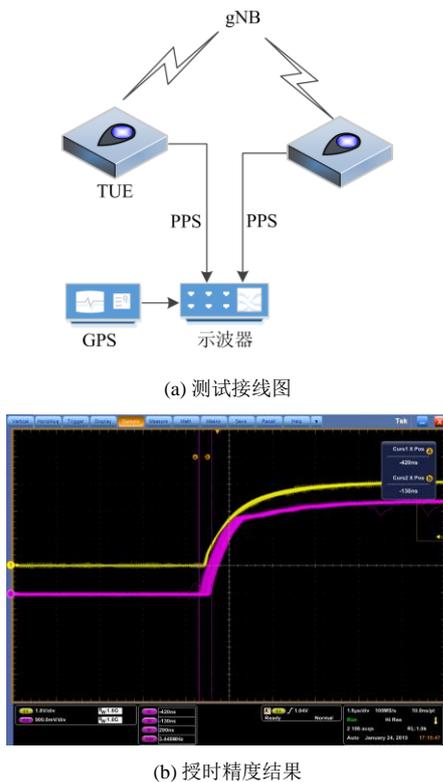
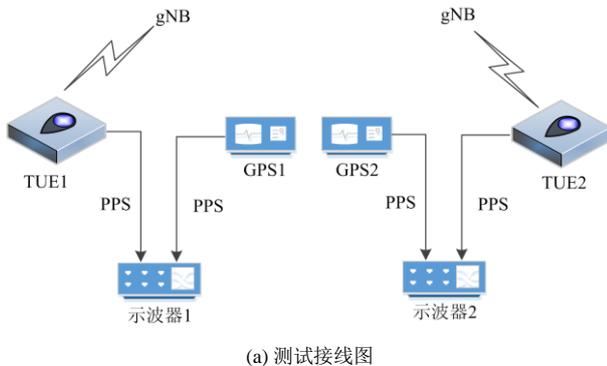


图 9 同基站授时精度外场测试

Fig. 9 Timing accuracy test under the same tower

4.3 跨基站 TUE 的授时精度测试

选取中海日晖台站和正海站进行跨基站的授时精度测试。如图 10(a)所示将 TUE 授时脉冲和 GPS 时钟信号分别接入示波器,对比两侧 TUE 与 GPS 时钟信号的 B 码输出的同步误差值。从图 10(b)、图 10(c)的测试结果可以看出,在跨基站工况下,中海日晖台站侧 TUE 授时脉冲与 GPS 时钟信号的上升沿到达高电平的时间差 165 ns(示波器中纵坐标标线间隔 500 ns),正海站授时脉冲与 GPS 时钟信号的上升沿到达高电平的时间差约为 100 ns,两侧的授时精度误差完全符合差动保护应用需求。



(a) 测试接线图



(b) 中海日晖台站授时精度结果



(c) 正海站授时精度结果

图 10 跨基站授时精度外场测试

Fig. 10 Field test of timing accuracy

4.4 通道延时验证

2020 年 1 月,在中海日晖台站和正海站之间进行了通道延时测试,一端 PC 通过 ping 命令模拟 DTU1 发包给 DTU2, DTU2 回复同样大小的包,得到双向业务时延。测试结果如图 11 所示,最低延时 7 ms,平均延时 8.75 ms。通道延时满足差动保护应用需求,低于 3GPP 里提到的差动业务的通道延时要求^[25]。从测试结果也可以看出,5G 通道延时具有较大的离散性,与前面分析得出的无线通信延时确定性较差的结论相吻合。

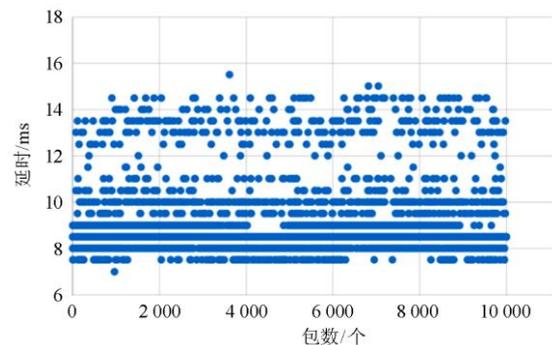


图 11 传输延时外场测试结果

Fig. 11 Test result of transmission delay

5 结语

基于 5G 通信的配网差动保护技术, 可以实现配网故障快速准确隔离, 不受分布式能源及电网运行方式影响, 可以减少用户停电时间, 提高供电可靠性。鉴于无线传输网及核心网的确定性传输机制尚处于研究阶段, CPE 与基站的时隙配比机制, 决定了无线通信条件下通道延时离散性较大, 不具备使用乒乓同步技术的条件。基于 5G 精准时标的配网差动兼顾了保护及通信条件, 原理简单、性能优异, 是最佳的解决方案。深圳中海日辉台、田村站、正海站的 5G 外场测试表明, 5G 授时精度可以达到百纳秒级, 完全具备承载配网差动业务的条件。

参考文献

- [1] 刘家好, 张琪祁, 王颖, 等. 计及分布式可再生能源发电的配电网应急供电恢复策略[J]. 全球能源互联网, 2020, 3(6): 600-606.
LIU Jiayu, ZHANG Qiqi, WANG Ying, et al. Service restoration strategy for distribution systems considering renewable-energy-based distributed generators[J]. Journal of Global Energy Interconnection, 2020, 3(6): 600-606.
- [2] KHOND S V, DHOMANE G A. Optimum coordination of directional overcurrent relays for combined overhead/cable distribution system with linear programming technique[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2019, 4(2): 114-120. DOI: 10.1186/s41601-019-0124-6.
- [3] XIAO Yang, OUYANG Jinxin, XIONG Xiaofu, et al. Fault protection method of single-phase break for distribution network considering the influence of neutral grounding modes[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2020, 5(2): 111-123. DOI: 10.1186/s41601-020-00156-w.
- [4] JAMALI S, BAHMANYAR A, RANJBAR S. Hybrid classifier for fault location in active distribution networks[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2020, 5(2): 174-182. DOI: 10.1186/s41601-020-00162-y.
- [5] 庞清乐, 刘昱超, 李希年, 等. 基于电流极性比较的主动配电网故障定位方法[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(20): 101-108.
PANG Qingle, LIU Yuchao, LI Xinian, et al. Current polarity comparison based fault location for active distribution network[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(20): 101-108.
- [6] 张维, 宋国兵, 豆敏娜, 等. 基于自适应重合闸的配电网快速故障定位与隔离方法[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(18): 60-67.
ZHANG Wei, SONG Guobing, DOU Minna, et al. A quick fault location and isolation method in distribution network based on adaptive reclosure[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(18): 60-67.
- [7] 程云祥, 李阳, 卢芳, 等. 多源信息辅助分区的主动配电网故障区段定位[J]. 电力系统保护与控制, 2020, 48(17): 147-161.
CHENG Yunxiang, LI Yang, LU Fang, et al. Fault-section location for active distribution networks assisted by multi-source information[J]. Power System Protection and Control, 2020, 48(17): 147-161.
- [8] 杨晶晶, 林凡勤, 周成瀚, 等. 含分布式电源的馈线电流序分量比较式保护[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(15): 116-123.
YANG Jingjing, LIN Fanqin, ZHOU Chenghan, et al. Comparison protection method of current sequence components for feeder with distributed generation[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(15): 116-123.
- [9] 王玲, 邓志, 马明, 等. 基于改进视在阻抗的配电网故障定位方法及其应用[J]. 广东电力, 2020, 33(10): 84-93.
WANG Ling, DENG Zhi, MA Ming, et al. Distribution network fault location method and its application based on improved apparent impedance[J]. Guangdong Electric Power, 2020, 33(10): 84-93.
- [10] 杨俊权, 王勇, 利韶聪, 等. 继电保护装置与通信设备 2 Mbit/s 光接口互联技术[J]. 南方电网技术, 2011, 5(4): 65-67.
YANG Junquan, WANG Yong, LI Shaocong, et al. The 2 Mbit/s optic-interfaces technology for relay protection and communication devices with protection channel multiplexing[J]. Southern Power System Technology, 2011, 5(4): 65-67.
- [11] 徐键, 黄盛. 基于自动交换光网技术的传输光纤差动保护业务自愈方案[J]. 南方电网技术, 2013, 7(4): 88-91.
XU Jian, HUANG Sheng. A self-healing scheme for the fiber differential protection of transmission with ASON technology[J]. Southern Power System Technology, 2013, 7(4): 88-91.
- [12] 江全才, 陈韦南, 郑浩. 不受同步对时误差影响的线路差动保护方案研究[J]. 电测与仪表, 2018, 55(19): 67-71.
JIANG Quancai, CHEN Weinan, ZHENG Hao. Research on the line differential protection scheme immune to synchronazation timing error[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2018, 55(19): 67-71.

- [13] RICHARDS S H, POTTS S, ROBINSON N, et al. GPS(全球定位系统)同步电流差动保护的应用[J]. 国际电力, 2002, 6(3): 43-47.
RICHARDS S H, POTTS S, ROBINSON N, et al. Application benefits of GPS synchronized current differential protection[J]. International Electric Power for China, 2002, 6(3): 43-47.
- [14] 高厚磊, 江世芳, 贺家李. 基于 GPS 的纵差保护设计及试验[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(10): 61-65.
GAO Houlei, JIANG Shifang, HE Jiali. Design and testing of GPS based current differential protection[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(10): 61-65.
- [15] 张红. 基于 GPS 原理的多端线路电流纵差保护方案设计[J]. 东北电力技术, 2002(3): 1-3.
ZHANG Hong. The design of GPS based longitude current differential protection scheme for multi-branch lines[J]. East North Electric Technology, 2002(3): 1-3.
- [16] 高鹏, 陈新南, 陆明, 等. 南方电网 SDH 光纤通信环网继电保护通道分析[J]. 南方电网技术, 2007, 1(2): 36-52.
GAO Peng, CHEN Xinnan, LU Ming, et al. Analysis on relay protection channel of SDH optical network in china southern power grid[J]. Southern Power System Technology, 2007, 1(2): 36-52.
- [17] 刘宏君, 张兆云, 李辉. 光纤通道路径不一致对线路差动保护的影响[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36(12): 52-55.
LIU Hongjun, ZHANG Zhaoyun, LI Hui. Influence of inconsistent fiber channel to line differential protection[J]. Power System Protection and Control, 2008, 36(12): 52-55.
- [18] 李娟, 高厚磊, 武志刚, 等. 有源配电网差动保护自同步原理及误差分析[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(9): 78-85.
LI Juan, GAO Houlei, WU Zhigang, et al. Data self-synchronization method and error analysis of differential protection in active distribution network[J]. Automation of Electric Power Systems, 2016, 40(9): 78-85.
- [19] 李力, 吕航, 王莉, 等. 配网系统差动保护信号同步方法: 中国, CN102684149 [P]. 2012-09-19.
LI Li, LÜ Hang, WANG Li, et al. Differential protection signal synchronization method for distribution network system: China, CN102684149[P]. 2012-09-19.
- [20] 雷振锋, 李旭, 倪传坤, 等. 关于 T 接线路差动保护应用的特殊问题探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(17): 57-59, 64.
LEI Zhenfeng, LI Xu, NI Chuankun, et al. Discussion some special problems about application of feed line differential protection[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(17): 57-59, 64.
- [21] 陈皓勇, 李志豪, 陈永波, 等. 基于 5G 的泛在电力物联网[J]. 电力系统保护与控制, 2020, 48(3): 1-8.
CHEN Haoyong, LI Zhihao, CHEN Yongbo, et al. Ubiquitous power internet of things based on 5G[J]. Power System Protection and Control, 2020, 48(3): 1-8.
- [22] 王宏延, 顾舒娴, 完颜绍澎, 等. 5G 技术在电力系统中的应用与研究[J]. 广东电力, 2019, 32(11): 78-85.
WANG Hongyan, GU Shuxian, WANYAN Shaopeng, et al. Research and application of 5G in power systems[J]. Guangdong Electric Power, 2019, 32(11): 78-85.
- [23] 3rd Generation Partnership Project. Technical specification group services and system aspects. Study on communication for automation in vertical domains (Release 16)[EB/OL]. <http://www.3gpp.org>.
- [24] 赵侠, 陈一强, 陈其铭. 基于 5G 的电力系统时间同步方案[J]. 移动通信, 2020, 44(7): 7-12.
ZHAO Xia, CHEN Yiqiang, CHEN Qiming. Power system time synchronization solution based on 5G[J]. Mobile Communication, 2020, 44(7): 7-12.
- [25] 卜强生, 宋亮亮, 张道农, 等. 基于 GPS 对时的分散采样差动保护同步测试方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(22): 149-153.
BU Qiangsheng, SONG Liangliang, ZHANG Daonong, et al. Research on the test method of distributed sampling differential protection synchronization based on GPS time[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(22): 149-153.
- [26] 谈浩, 徐晓春, 赵青春, 等. 两侧时钟同步校验及不依赖对时的行波测距[J]. 电气技术, 2019(1): 80-83.
TAN Hao, XU Xiaochun, ZHAO Qingchun, et al. Two side time synchronization check and travelling wave fault location independent of synchronize time[J]. Electrical Engineering, 2019(1): 80-83.

收稿日期: 2020-09-18; 修回日期: 2021-03-03

作者简介:

余江(1975—), 女, 通信作者, 博士, 教授级高工, 研究方向为继电保护运行管理。E-mail: 13924307215@139.com

(编辑 许威)