

# 基于5G通信的配电网区域保护应用及整定分析

刘奇,李文君,彭喜云,张子健

(国网四川省电力公司成都供电公司,四川成都 610041)

**摘要:**5G网络为配电网各断路器保护装置之间的信息交互提供了通信平台。为解决配电网传统过流保护定值因整定失配造成的越级风险,文中提出一种基于5G通信的配电网区域保护方案,通过在成都配电网开展的实际应用,验证了该方案的可行性。首先,给出了配电网5G区域保护的架构;其次,分析了配电网5G区域保护的逻辑,该方案依据区域内断路器的过流及方向标志的组合信号进行故障定位;最后,给出了配电网5G区域保护的整定计算原则。

**关键词:**5G; 区域保护; 整定计算

**中图分类号:**TM 77 **文献标志码:**A **文章编号:**1003-6954(2021)06-21-05

**DOI:**12.16527/j.issn.1003-6954.20210605

## Application of Regional Protection to Distribution Network and Its Setting Analysis Based on 5G Communication

Liu Qi, Li Wenjun, Peng Xiyun, Zhang Zijian

(State Grid Chengdu Electric Power Supply Company, Chengdu 610041, Sichuan, China)

**Abstract:**5G network provides a communication platform for the information interaction between switch protection devices of distribution network. In order to solve the risk of leapfrogging caused by the setting mismatch of traditional overcurrent protection setting value of distribution network, a regional protection scheme for distribution network is proposed based on 5G communication, and through the actual application carried out in Chengdu distribution network, the feasibility of the proposed scheme is verified. Firstly, the architecture of 5G regional protection in distribution network is given. Secondly, the action logic of 5G regional protection in distribution network is analyzed, and the fault is located based on the combined signals of overcurrent and direction signs of the switches in the area. Finally, the setting calculation principle of 5G regional protection in distribution network is given.

**Key words:**5G; regional protection; setting calculation

## 0 引言

电网故障中配电网故障比例较大,配电网传统阶段电流保护受电网方式影响也较大。随着配电网分布式电源的不断延伸扩容,其拓扑结构日趋复杂,过流保护定值在复杂配电网中不能实现很好配合而导致整定困难。配电网定值因整定失配造成的越级风险日益突出<sup>[1]</sup>。配电网通信专用光纤系统建设运行维护成本高,光纤差动保护不适合配电网使用<sup>[2]</sup>。如何快速精准切除故障,实现停电范围最小化,是目前配电网运行亟待解决的问题。

高带宽、高可靠性、低延时与低能耗的5G通信

技术<sup>[3]</sup>与电力业务的融合应用,为促进电力业务创新带来了新的思路<sup>[4]</sup>。文献[5-6]提出基于5G网络的配电网差动保护方案,但差动保护需要解决两个主要的问题:1)CT饱和造成差动保护误动或拒动的问题<sup>[7]</sup>;2)差动保护两侧采样的通道时延、抖动精度是否满足要求的问题。文献[5]通过5G网络建立差动保护通道,试验测得通道最大延迟为137 379  $\mu\text{s}$ ,最小延迟为11 354  $\mu\text{s}$ ,可见5G差动保护存在网络通道延时不稳定问题。文献[8]提出一种新的电流差动保护判据,通过算法避免配电网差动保护的采样同步误差问题。

区域保护借助对等式通信网络,将区域内各断路器保护装置的采集信息、保护判别信息和断路器

位置等信息与相邻断路器实时共享,使区域内各个断路器保护能够高效协调和配合<sup>[9]</sup>。配电网区域保护相较于差动保护,受 CT 饱和影响小,且无需高精度采样同步<sup>[10]</sup>。区域保护应用于配电网故障定位所需的信息量小,可靠性好<sup>[11]</sup>,能较好地兼顾保护快速性和选择性。

下面提出一种基于 5G 通信的配电网区域保护方案,依据区域内断路器的过流及方向标志的组合信号,判断区内故障则跳闸,区外故障则不动作,其选择性强、动作快速、灵敏度高,整定无复杂的配合关系。首先,介绍配电网 5G 区域保护的实现方案;其次,阐述区域保护动作原理;最后,实例分析该方案保护整定计算原则。

## 1 配电网 5G 区域保护实现方案

配电网 5G 区域保护实现方案如图 1 所示,在变电站低压侧负荷出线断路器、配电网环网柜或开关站配置分布式数据传输单元(data transfer unit, DTU)和客户前置设备(customer premise equipment, CPE)<sup>[12]</sup>。

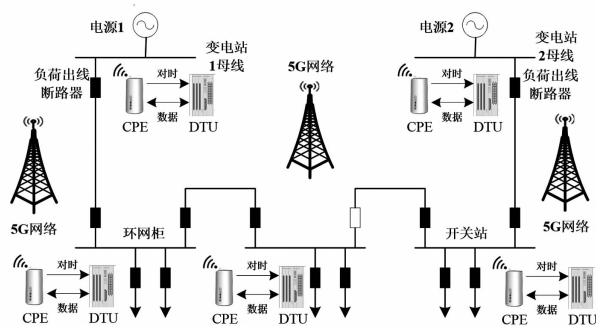


图 1 配电网 5G 区域保护实现方案

其中,分布式 DTU 完成间隔模拟量信息、断路器位置采集、区域保护等功能。区域内各个 DTU 之间的信息交互通道为 5G 无线通信网,保护控制信息处理采用间隔 DTU 直接向无线通信终端 CPE 发信息,CPE 将处理后的信息传入上一级或相关 CPE 再进行分析计算的模式,该模式可以降低信息交互量,减少信息通道处理延时,为配电网保护满足选择性要求争取了时间。

组网采用内部时钟授时模式,即 5G 基站通过 GPS 或北斗授时后,将时钟信号同时下发给区域内各 CPE 终端。CPE 终端具备对 DTU 终端的授时功能,

再通过光纤接口将时钟信号接入 DTU,从而实现 DTU 内各保护装置的时钟信号同步。DTU 将采用的各间隔过流信号和方向信号,传输给 CPE 终端至 5G 网络,实现各 DTU 之间的保护信号交互,通过比较两端或多段的过流及方向信号,进行区内、区外的故障识别,从而实现配电网故障的精准定位和隔离。

该方案不依赖外部对时设备,无需比较两侧断路器差流,因此对时精度要求不高,对通道延时和抖动要求低。通过 5G 网络传输交互的保护信号仅包括过流信号和方向信号,因此对传输带宽要求不高,5G 的通道带宽完全满足要求<sup>[13]</sup>。目前,国网成都供电公司与中国电信、许继集团合作,在成都开展配电网 5G 区域保护试点工作,该方案已在成都青白江区铁路港片区配电网应用成功。

## 2 配电网 5G 区域保护基本原理

### 2.1 区域保护构成

区域保护包括动态自适应过流保护和常规过流保护,环网柜馈线断路器投入常规阶段式过流保护,除馈线断路器外的所有进出线断路器均投入动态自适应过流保护。

如图 2 所示,线路断路器为变电站负荷出线断路器或环网柜、断路器站与下一级的联络断路器,取其正方向为负荷流出方向,如图中断路器 1、断路器 3、断路器 5;母线断路器为线路接进环网柜或开关站的断路器,其正方向定义为由环网柜或开关站母线指向线路方向,如图中断路器 2、断路器 4、断路器 6;馈线断路器为环网柜或开关站的负荷出线断路器,如图中断路器 7—12。

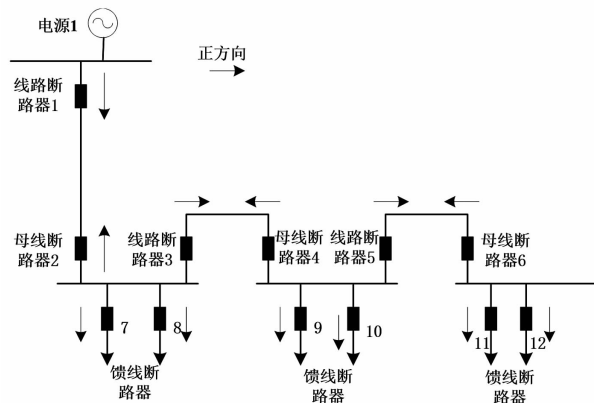


图 2 区域保护的断路器正方向示意和断路器属性

动态自适应过流保护基于电流启动信号比较原理,电流启动信号为当装置过流保护启动时判为电流启动。装置接收的电流启动信号分为两类:1)来自对侧线路装置;2)来自环网柜同母线进出线和母联装置。动态自适应过流保护分为 T1、T2、T3 时限,当信道通道正常且所有保护装置无故障时,动态自适应过流保护可以在 T1 时限快速切除故障;当信道通道损坏,通信异常时,保护仍然可以在 T2 时限快速切除故障;T3 延时作为全线兜底后备保护时限,经固定延时动作。

### 2.2 线路断路器保护

线路断路器的动态自适应过流保护动作逻辑如图 3 所示,当装置检测故障电流大于“动态加速过流定值”时,保护启动。线路断路器本侧通过 5G 网络接收线路对侧的电流启动信号,结合本侧的故障电流特征,确定故障点发在线路区内或区外。

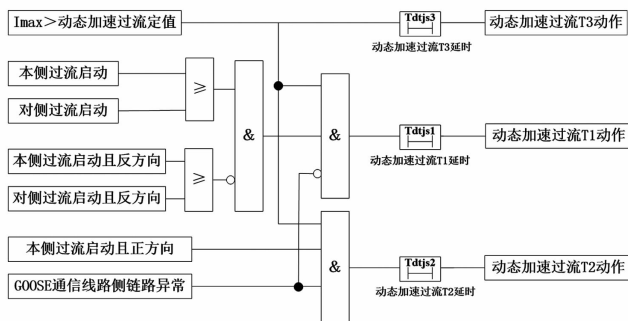


图 3 线路断路器动态自适应过流保护动作逻辑

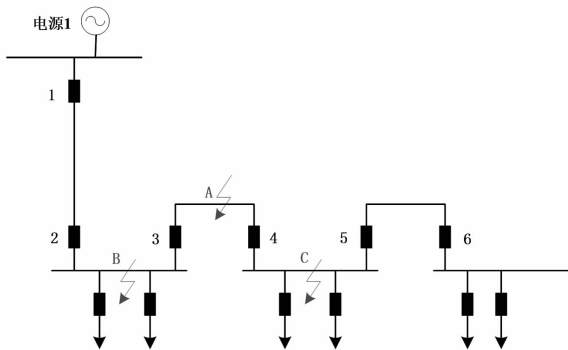


图 4 线路断路器动态自适应过流保护

如图 4 所示,断路器 1 和 2、断路器 3 和 4、断路器 5 和 6 均互为一组本侧和对侧断路器。T1 时限:通信正常时投入,作为本线路的快速主保护使用;动作条件为本侧过流且正方向,未收到对侧反方向启动 GOOSE 信号。T2 时限:在本间隔通信终端故障时投入;动作条件为本侧过流且正方向,本间隔通信中断故障。T3 时限:基站通信故障时,作为全线兜底后备

保护投入;动作条件为本侧过流。由逻辑框图可以看出,T1 和 T2 为互斥关系。

以图 4 中的 3 号断路器为例:当 A 点故障时,3 号保护过流启动正方向,4 号保护未启动或收到 4 号保护过流正方向启动 GOOSE 信号(若馈线有电源),动态自适应过流保护 T1 动作,3 号断路器跳闸;当 B 点故障时,3 号保护无过流启动或反方向元件启动(如馈线有电源),3 号断路器不动作;当 C 点故障时,3 号保护过流启动正方向,收到 4 号断路器保护过流反方向启动 GOOSE 信号,3 号断路器不动作。

### 2.3 母线断路器保护

母线断路器的动态自适应过流保护动作逻辑如图 5 所示,当装置检测故障电流大于“动态加速过流定值”时,保护启动。同一母线的环网柜进出线及母联保护装置通过 5G 网络相互收发电流启动方向信号,确定故障点发生在母线区内或区外。

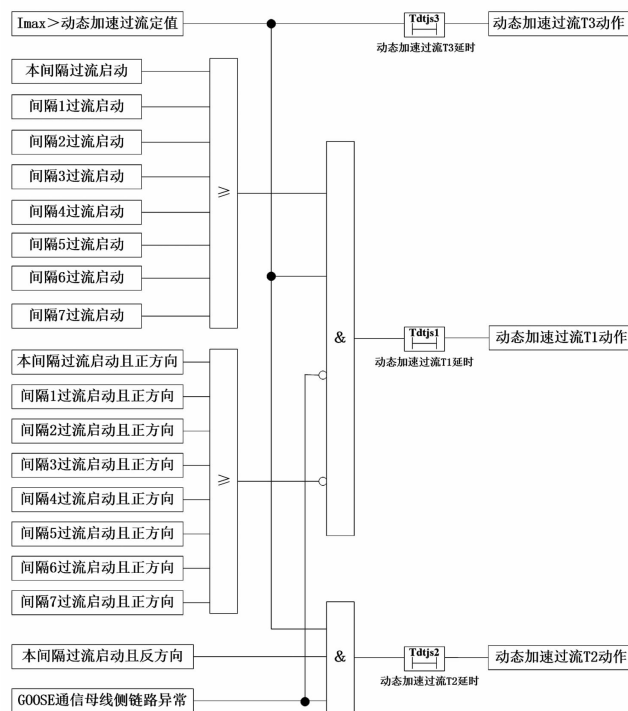


图 5 母线断路器动态自适应过流保护动作逻辑

如图 6 所示,4 号母线断路器作为本间隔时,相邻间隔是指 4 号断路器所在母线上的所有其余断路器(即 5、9、10 号断路器)。T1 时限:通信正常时投入,作为母线故障的主保护使用,动作条件为本间隔过流且反方向,没有收到任意相邻间隔正方向启动 GOOSE 信号。T2 时限:在本间隔通信终端故障时投入,动作条件为本间隔过流且反方向,本间隔通信

中断故障。T3 时限:基站通信故障时,作为全线兜底后备保护投入,动作条件为本侧过流。

以图 6 中的 4 号断路器为例:当 A 点故障时,4 号保护过流启动反方向,没有收到任意相邻间隔正方向启动 GOOSE 信号,4 号断路器跳闸;当 B 点故障时,4 号保护过流启动正方向,4 号断路器不动作;当 C 点故障时,4 号保护过流启动反方向,收到相邻间隔 5 号断路器保护正方向启动 GOOSE 信号,4 号断路器不动作。

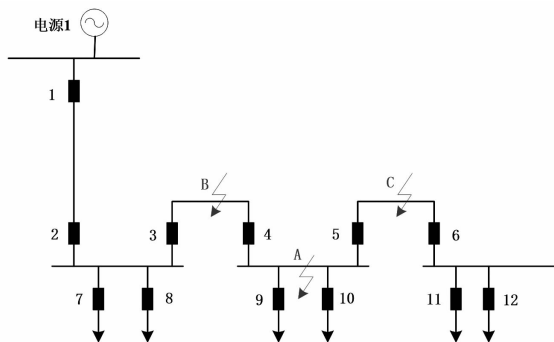


图 6 母线断路器动态自适应过流保护

## 2.4 馈线断路器保护

馈线断路器,如图 2 中断路器 7—12,采用传统的过流保护,保护装置设有二段或三段过流保护,各段过流保护的电流和时间定值可独立整定。过流保护动作条件为最大相电流大于过流整定值,对应过流段保护动作,不带方向。

## 3 配电网 5G 区域保护整定计算原则

### 3.1 整定计算原则

动态加速过流保护的整定计算原则如下:

1) 动态加速过流定值:按被保护线路末端相间故障时有足够的灵敏度整定,建议灵敏系数不小于 2。

2) 动态加速过流 T1 时限:应可靠大于“5G 通信延时 + 10 ms”。通过试点项目的实际延时测试,建议 T1 取 100 ms,可确保区域保护动作的选择性。

3) 动态加速过流 T2 时限:应比 T1 延时多一个时间级差,并按配合关系整定。

4) 动态加速过流 T3 时限:应比变电站 10 kV 出线过流末端保护延时少一个时间级差,并按配合关系整定。

实际整定计算时,正常情况下 T2 时限是闭锁状态,当 5G 通信异常时,T2 时限才开放投入,因此可将 T2 和 T3 时限整定为同一时限,以简化各级断路器的配合关系。另外,各环网柜之间联络线两侧断路器的属性,应将“线路断路器”和“母线断路器”的保护控制字均置为 1,两种保护逻辑互不影响,同时发挥保护作用,当供电方式变化时无需改变保护定值。

馈线断路器传统过流保护的整定计算原则如下:

1) 过流保护 I 段定值按避开 3 ~ 8 倍配电变压器励磁涌流整定,馈线在变电站出线 I 段范围内时应力争本段有灵敏度,过流 I 段时间取 0 s。

2) 过流保护 II 段定值按避开本支线最大负荷电流整定,并确保有足够灵敏度,考虑自启动系数,可取 1.35 ~ 2.4 倍最大负荷电流,时间应小于变电站出线有灵敏度段和上级分段动作时间至少一个级差,取 0.2 ~ 0.5 s。

3) 过流 III 段定值可考虑与过流 II 段合并,为减少时间级差并简化计算,按过流 II 段取值并确保有足够灵敏度,或者将过流 III 段退出使用。

### 3.2 实例分析

国网成都供电公司在青白江试点的配电网 5G 区域保护包括 110 kV 变电站内 10 kV 楼港线 916 断路器、3 个环网柜及各馈线断路器,如图 7 所示。馈线断路器的过流 I 段时限均为 0 s,过流 II/III 段时限按 0.4 s、0.2 s、0.1 s 逐级配合。除馈线断路器外的其余断路器均投入动态加速过流保护,T1 时限均取 0.1 s,T2 和 T3 时限按 0.6 s、0.4 s、0.2 s 逐级配合。

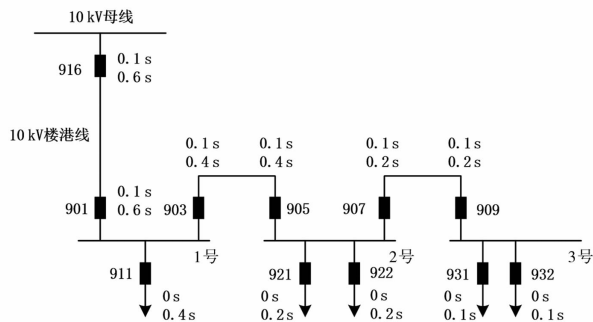


图 7 配电网 5G 区域保护的動作時限

当 2 号环网柜母线发生短路故障时,905 断路器过流启动反方向,未收到相邻间隔 921、922、907 断路器正方向启动 GOOSE 信号,满足母线侧动作

条件,延时0.1 s跳开905断路器;903断路器过流启动正方向,但收到对侧905断路器反方向启动GOOSE信号,因此903断路器T1不会动作;916、901断路器同理,均不满足T1动作条件。通信故障时,916、901、903、905断路器均满足动作条件,905、903断路器经0.4 s延时跳闸,不会越级到901和916断路器。

当馈线922断路器线路发生短路故障时,通信正常时,922断路器传统过流保护动作,当达到过流I段定值时,0 s跳闸;当未达到过流I段定值时,0.2 s跳闸;905断路器过流启动反方向,但收到相邻间隔922断路器正方向启动GOOSE信号,因此905断路器T1不会动作;903断路器过流启动正方向,但收到对侧905断路器反方向启动GOOSE信号,因此903断路器T1不会动作;916、901断路器同理,均不满足T1动作条件。通信故障时,916、901、903、905、922断路器均满足动作条件,但922断路器经0 s延时或0.2 s延时跳闸,不会越级到其余断路器。

## 4 结 论

前面提出了一种基于5G通信的配电网区域保护方案,通过实际应用验证了该方案的可行性。配电网5G区域保护方案规避了配电网差动保护的采样同步问题,无需采样数据的精准同步。利用带方向性的动态加速过流保护和传统过流保护,实现了配电网短路故障的快速准确定位,具有优秀的快速性和选择性,可实现配电网停电范围最小化,极大提高了配电网供电可靠性。

该方案的保护动作逻辑和整定计算原则,在配电网区域保护整定计算工作中具有实际应用价值。后续将继续研究配电网5G区域保护与目前广泛使用的配电网自动化系统如何高效配合,以实现分布式自愈控制功能,故障跳闸后实现备用电源的快速恢复供电,进一步提高配电网供电自愈性。

### 参考文献

[1] 门富媛.含分布式电源的配电网的分区域保护的研究[D].合肥:合肥工业大学,2014.

- [2] 张泰,杨雪,汪晓帆.基于5G配电网差动保护安全防护策略研究[J].四川电力技术,2020,43(6):60-65.
- [3] 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.
- [4] 王智慧,汪洋,孟萨出拉,等.5G技术架构及电力应用关键技术概述[J].电力信息与通信技术,2020,18(8):8-19.
- [5] 张星,徐文斌,赵东森.基于5G技术的配网差动保护应用[J].宁夏电力,2020(3):18-21.
- [6] 胡光宇,张影,孔为为,等.5G环境下差动保护在电力系统中的应用[J].山东电力技术,2020,6(47):10-17.
- [7] 田涛,张兆君,张帆,等.CT饱和影响因素及其对差动保护的影响分析[J].电工技术,2020(17):89-92.
- [8] 李斌,范玲,姚斌,等.数据自同步条件下的配网馈线电流差动保护[J].电力系统及其自动化学报,2020,32(10):1-8.
- [9] 刘顺桂,黄超,唐义锋,等.配电网区域保护原理研究与实施[J].电气技术,2017(1):99-107.
- [10] 吴科成.分层式电网区域保护系统的原理和实现[D].武汉:华中科技大学,2007.
- [11] 肖伟栋,夏明超,唐念.考虑多DG接入的配电网区域保护新方案[D].电力系统保护与控制,2014,42(9):103-109.
- [12] 赵艾萱,黄杨,宋戈,等.5G独立组网模式下的配网保护配置策略及应用[J].电力系统保护与控制,2021,49(8):24-31.
- [13] Mansoor Shafi, Andreas F Molisch, Peter J Smith, 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.

### 作者简介:

刘奇(1987),男,硕士研究生,高级工程师,研究方向为配电网继电保护;

李文君(1983),女,硕士研究生,高级工程师,研究方向为电力系统分析与控制;

彭喜云(1986),男,硕士研究生,高级工程师,研究方向为配电网继电保护;

张子健(1985),男,硕士研究生,高级工程师,研究方向为电力系统分析与控制。

(收稿日期:2021-09-26)