

基于 5G 电力专网新型电力系统配网差动保护业务应用

柯勇

(成都启橙电力有限公司 四川成都 610000)

摘要:在新能源发电占主导地位的新型电力系统中,常规的配电线路保护已很难适应新能源发电的需要。针对 5G 网络的特性,本文提出了一种适合于配电系统的 5G 差动保护方案,并对其进行了分析。此方案在对现有差动保护技术进行分析的基础上,通过构建电力定制化 CPE、5G+配网差动保护终端、电力行业切片专网、智慧电力平台等模块,为新一代 5G 智慧电力提供了强大的支持。

关键词: 5G 电力专网; 电力系统; 配网差动保护

Application of differential protection service of new power system distribution network based on 5G power private network

Yong Ke

Chengdu Qicheng Electric Power Co., LTD. Chengdu, Sichuan, 610000

Abstract: In the new power system dominated by new energy generation, the conventional distribution line protection has been difficult to meet the needs of new energy generation. For the characteristics of 5G network, in this paper, a 5G differential protection scheme suitable for power distribution system is proposed and analyzed. On the basis of the analysis of the existing differential protection technology, this scheme provides strong support for the new generation of 5G smart power through the construction of power customized CPE, 5G+ distribution network differential protection terminal, power industry slice private network, smart power platform and other modules.

Key words: 5G power private network; power system; distribution network differential protection

引言

相对于 4G, 5G 通过使用软件定义网络等虚拟化技术,为用户提供了产业定制的边缘计算服务,从而形成了面向产业用户的切片服务网络,可以满足不同产业用户的需求。电力行业中的业务场景多种多样,在不同的情况下,对技术指标的需求也不一样,如果仍然依赖于传统的公用接入方法,就不能与 5G 接入网络进行有效的匹配,因此就不能为电网的智能化运营新模式提供技术保证。当前,我国的光纤配网中普遍使用的是特殊的保护性光缆,这种光缆的铺设成本较高,而且地下管线的数量也较少。与已有的配电网共享电缆时,由于保护端的跳线次数较多,导致可靠性下降。以 5G 网络中的低延迟和高可靠性为核心技术,研究 5G 网络中的差动保护业务,可以满足 10-12 ms 的延迟需求。

一、5G 关键技术的研究

(一) 网络切片

网络虚拟化通过建立独立的、可动态配置的、可扩展的、可持续发展的、具有重要应用价值的多个虚拟网络,可实时监控下层链路的业务状态,并基于其所携带的虚拟链路的拥塞水平、性能指数等本地信息,对下层虚拟链路进行定期调整,以提升下层网络的带宽利用率。在此基础上,提出了一种基于虚拟技术的分布式电网接入技术。

(二) 毫秒级低时延技术

控制服务在传输时延、可靠性等方面有着很高的需求,在无线通信系统中,传输时延主要有:接入时延、排队时延、处理时延、重传时延、数据传输时延。

对于端到端通信的各个环节,在确定各个环节的时延影响因素后,有针对性的进行优化,以达到端到端毫秒级的低时延。将移动边缘计算和低时延切片技术相结合,重点开展基于移动边缘计算和低时延切片的核心侧低时延网络架构设计、移动边缘计算的部署策略、接入侧无线数据传输框架的定制设计和调度策略的优化等方面的研究,最终实现基于移动边缘计算和低时延切片的高精度、高可靠性的电网接入。

二、场景概述

(一) 传统配电保护

目前,由于大规模的 DG 并网,配电网络故障特征发生了巨大变化,基于过电流或距离保护的配电网络故障定位和隔离

方法面临巨大挑战。在现行的配电网中,当线路中的某个部位出现故障时,对应的变电所的出线开关就会跳闸,从而导致整个线路的停电。在与人工排查、配电主站的故障定位相结合之后,再进行故障隔离、恢复供电,这个过程要花费数分钟到数十分钟的时间,对用户的正常用电造成了很大的影响。

(二) 电流差动保护技术

电流差动保护技术是一种在高压输电网中已经得到了广泛应用的一种电网技术,工作原理是:配网差动保护终端对两端或多端同时测量电流值(矢量),当电流差值超过阈值时,判断为故障,然后进行差动保护,将故障线路隔离,并快速开关备用线路。该方法原理简单,工作可靠,适用于多个电源并网,可对故障区间进行迅速定位和隔离,提升配电网的可靠性。以无线通信为基础的自适应分布式差动保护系统,采用电力无线专用网络技术来完成配电网和主站之间的通讯,并与 IEEE1588 协议相结合,以确保时钟同步。但是,在保护的准确性和响应特征方面,还需要对其进行更多的检验^[1]。

三、5G 配网差动保护技术要求

第一,终端机一直保持在线。为了保证网络上的各终端能够在任何时候都能进行数据传输,智能化的分布式配电网的终端必须时刻处于在线状态。

第二,持续的上行链路的宽度。5G+布网微分保护终端一般采用 1200 Hz 的采集频率,传输时间间隔为 0.833 毫秒,单个传输容量为 245 比特,需要的通讯带宽是 2.36 Mbps。由于配网故障的随机性,5G+配网差动保护需通过连续的实时通讯传输数据对线路的故障进行判断与检测,因此存在着连续的上行链路带宽流,对网络带宽资源的保障提出了很高的要求。

第三,毫秒级延迟。在 5G+配网差动保护服务的场景中,服务处理时间主要包含了采样处理时间、逻辑判断时间、出口继电器时间以及开关跳闸时间,整个服务需要在 50 ms 之内进行,与之相对应的是,端到端的通信时延要求 ≤ 15 ms。

四、解决方案设计

(一) 终端

5G+配网差动保护终端,将其与配电室/环网柜中的 PT/CT 等继电器相连,采集线路上的电流、相位等信息,根据其所处的线路的运行状态,设定对应的阈值,以触发故障信号,并产生对应的动作信号。

5 G+配网差动保护终端会定期向同一配网线上的其它终端发出一条电流量 (SV 的原始值), 并且在发出的信息中还需要带有时间尺度的信息, 终端会对同一端或者更多端在同一时间的电流量进行对比, 如果电流差超出了设定的阈值, 则判断为出现了故障, 然后在现场进行相应的差动保护动作, 并与线路上的断路器等装置相配合, 快速地进行故障的隔离^[2]。

针对配网差动保护故障判断对时间尺度的高要求, 因为一般工业级 CPE 不具备空口时间尺度的特点, 提出配网差动保护故障判断对时间尺度的要求。

电力定制化 CPE 终端以 3GPP R16 协议为基础, 支持其提供高精度网络授时 (偏差小于 10 us), 从而实现了电力配网差动保护设备的时钟同步, 为 5 G+配网差动保护等控制类业务终端授时方式提供了一种全新的模式, 从而使配电网通信系统的构建变得简单, 对配电网保护的通信环境进行了改进, 从而提高了配电网的可靠性, 同时还可以提升配电网分布式电源的消纳水平。

在配电房电器柜或环网柜中, 将电力定制化 CPE 与 5 G+配网差动保护终端一起安装, 两者之间利用以太网接口来进行业务数据的传输, 并利用同轴电缆来实现 IRIG-B 码对时信号的传输, 从而为业务终端提供精确的时标信息。

(二) 网络

第一, 设计方案。5 G 网络切片的核心是对虚拟网的支撑, 并将其应用于 5 G 的业务, 以此为基础, 对移动通信的业务进行动态分割, 从而实现端到端的个性化服务。在电力物联网中, 与配用电环节有关的业务有很多, 比如配电自动化、用电信息采集、施工作业管控等, 它们的应用场景都不一样, 因此对通信网络的带宽、时延和安全性的要求也不一样。与应用场景相结合, 将网络切片技术引入到相同的物理基础网络中, 将多个相互隔离的虚拟网络进行分割, 利用网络虚拟化技术, 将网络中的各种物理资源抽象为虚拟资源, 根据规定的网络功能和具体的接入技术, 再根据实际需要, 建立起端到端的逻辑网络, 为用户提供一项或者多项网络服务^[3]。5 G+配网差动保护是一种广域化的服务, 它要求采用分片专用网络来实现广域化的端对端化; 此外, 5 G+配网差动保护业务隶属于电网生产控制区域, 根据电力系统的安全需求, 需要建立一个电力特殊的切片来实现对业务的物理隔离。所以, 方案以 5 GSA 网络架构, 以 5 G 低时延、大带宽、高精度授时及切片能力为依托, 构建电力行业专用切, 从而可以在 5 G+配网差动保护终端之间, 进行点对点的实时通信。具体的组网方式是这样的: 在无线侧, 使用 RB 资源预留来实现无线资源专用。在传输端, 以 FlexE 为基础, 通过层叠通道化子界面, 为服务提供了 10 M 级的最小粒度碎片, 以达到对服务的精确物理隔离。核心网络端以及通信能力较强的模块 (UPF、SMF), 可以考虑单独为电力公司构建, 以满足对电力服务的分离性要求; 而与工作阶段本身无关的组件 (如 UDM、PCF) 则是为了减少管理难度, 节约投资成本而对整个网络进行重用。

第二, 联机试验。5 G+的配网差动保护业务的测试分为两个层次, 即服务指标的测试和切片隔离的测试。服务性能试验: 基于 5 G+配网差动保护的服务性能试验, 对现有网络进行了百兆带宽的测试。分片绝缘试验: 对分片进行绝缘试验, 以检验分片服务是否具有绝缘性, 以达到电网的安全绝缘的需求。分层的隔断测试主要是针对网络的隔断和对服务的隔断^[4]。

(三) 平台

智慧电力平台与物联网平台、5 G 专网运营平台等进行了对接, 将运营商 2/3/4/5 G 卡的数据进行了整合, 从而达到对卡的统一归口管理的目的。此外, 与电网业务特性相结合, 还可以实现电力切片管理等功能。与运营商物联网平台相结合, 可

以完成对卡的使用情况、计费情况及模块在线情况、性能参数和位置的管理, 从而达到卡级的计费和流量精细化管理的目的。并在此基础上, 将 5 G+配网差动保护的管理信息和通讯信息与配网网站进行数据关联, 对 5 G+配网差动保护的管理信息进行融合和分析。

(四) 应用

第一, 设计方案。5 G+配网的差动保护, 利用 5 G+配网的功率自定义 CPE 与 5 G+配网的差动保护终端, 对配网的两个节点的实时电流进行监控, 并相互比较, 以确定所连接的线路有无故障。在故障发生时, 能迅速地找到并切断故障线, 从而实现了故障的有效隔离, 防止了连锁效应的发生, 并在此基础上, 对备用线进行了实时启动, 并采用了开关的方式进行了故障的恢复。5 G+配网差动保护应用场景, 将终端 (电力定制化 CPE、5 G+配网差动保护终端)、管 (电力工业切片专用网)、云 (智慧电力平台) 的能力融合在一起, 完成了 GOOSE 信号采集、测控信息采集、保护信息采集等功能。

在软件系统中, 具体包含了 5 G+配网差动保护终端软件系统和智慧电力平台两部分。其中, 5 G+配网差动保护业务软件系统需要与配网线路的数据计算相结合, 对线路差动保护的各类电力线路的整定值展开计算, 之后将其输入到 5 G+配网差动保护终端中, 完成两端保护功能的软件设定。智能电力平台被部署在电网生产控制区域, 并与运营商的网络能力开放平台进行连接, 从而可以对 5 G+配网差动保护的运行状况进行实时监测^[5]。

第二, 项目布置。在配电房/环网柜等设备的中间, 布置配网差动保护设备, 并完成 5 G+配网差动保护终端的电气接线和数据采集。与此同时, 与柜内的空间分布相结合, 安装电力授时 CPE 设备, 授时 CPE 与 5 G+配网差动保护终端之间, 可以通过以太网接口来进行数据传输, 并使用同轴电缆来实现 IRIG-B 码对时信号的传输。5 G+配网差动保护终端, 由网口与 CPE 相连, 数据经由 CPE 进入 5 G 网, 再经过接入网、传输网和核心网, 到达另一组 5 G+配网差动保护终端, 从而在两组 5 G+配网差动保护终端间建立端对端链路。

以配网线路的数据为基础, 计算出线路差动保护的各类电力线路的门槛值, 并输入到 5 G+配网差动保护终端中, 完成两端保护功能软件的联调, 并利用测试工具对授时的进程进行测试。

结语

总之, 在新的发展背景下, 5 G 技术已经被广泛地运用于工业控制和监测服务等方面, 在已有的 5 G 网络的支持下, 可以提高智能电网的业务运行的经济性。将该技术应用到配网差动保护的移动边缘计算平台中, 可以在网络的边缘实现信息的交互和传递, 满足配网差动保护对 10-12 ms 的通信信道时延的需求, 替代光纤通信实现配网差动保护设备间的实时通讯, 为电力物联网接入电网中的低时延、高可靠的应用场景提供了一种新的技术途径。

参考文献:

[1] 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.
 [2] 濮宏飞, 吴通华, 姚刚, 等. 基于 5G 通信的有源配电网线路差动保护实用化方案[J]. 电力系统自动化, 2022, 46(23): 117-124.
 [3] 高厚磊, 徐彬, 向珉江, 等. 5G 通信自同步配网差动保护研究与应用[J]. 电力系统保护与控制, 2021, 49(7): 1-9.
 [4] 向珉江, 袁通, 苏善诚, 等. 基于 5G 授时的配网差动保护数据同步方案[J]. 电力系统保护与控制, 2021, 49(8): 8-15.
 [5] 高维良, 高厚磊, 徐彬, 等. 5G 用作配电网差动保护通道的可行性分析[J]. 电力系统保护与控制, 2021, 49(8): 1-7.