

5G uRLLC在配电网场景的 应用方案

Application Scheme of 5G uRLLC in Distribution Network Scenario

包琅允¹, 康孝² (1. 北京中网华通设计咨询有限公司, 北京 100070; 2. 湖南省邮电规划设计院有限公司, 湖南 长沙 410126)
Bao Langyun¹, Kang Xiao² (1. Beijing Zhongwang Huatong Design Consulting Co., Ltd, Beijing 100070, China; 2. Hunan Planning & Designing Institute of Post & Telecommunication Co., Ltd, Changsha 410126, China)

摘要:

5G uRLLC场景解决了配电网中配网自动化、差动保护、PMU三大应用场景的通信需求。5G配网差动保护可实现配网线路区段或设备的故障判断及精准定位,快速隔离故障区段或设备,故障隔离时间由分钟级缩短至百毫秒级。基于5G R16的智能配电网同步相量测量装置(PMU)到广域监测系统(WAMS)主站的5G端到端业务授时同步时间误差在240 ns以内,满足PMU装置1 μm的精度指标要求。5G的uRLLC特性完全满足智能配电网的业务特性需求。

关键词:

5G; 配网自动化; 差动保护; PMU
doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2023.03.013
文章编号: 1007-3043(2023)03-0067-05
中图分类号: TN929.5
文献标识码: A
开放科学(资源服务)标识码(OSID): 

Abstract:

5G uRLLC scene solves the communication needs of three application scenarios: distribution automation, differential protection and PMU in the distribution network. 5G distribution differential protection can realize the fault judgment and accurate positioning of the distribution line section or equipment, quickly isolate the fault section or equipment, and reduce the fault isolation time from the minute level to the 100 millisecond level. The 5G end-to-end service timing synchronization time error of the intelligent distribution network synchronous phasor measurement unit (PMU) to the main station of the wide-area measurement system (WAMS) based on 5G R16 is less than 240 ns, which meets the accuracy index requirements of 1 μm of PMU devices. The features of 5G uRLLC fully meet the business needs of the intelligent distribution network.

Keywords:

5G; Distribution automation; Differential protection; PMU

引用格式: 包琅允, 康孝. 5G uRLLC在配电网场景的应用方案[J]. 邮电设计技术, 2023(3): 67-71.

1 背景

伴随5G的发展,信息通信技术正从助力经济发展的基础动力加速转向引领经济发展的核心引擎,电力网络也正在加速向智能电网升级。配网差动保护、配网自动化、配网PMU均属于配电控制类业务,对通信安全、时延及网络授时精度都有很高要求,智能配电网场景通信需求如表1所示。传统2G/3G/4G网络无

法满足智能配电网的通信需求,而5G网络融合时间敏感网络(TSN)服务则可以根据配电网的通信需求提供uRLLC切片,对应的网络通道性能为端到端业务时延小于10 ms,授时同步误差小于240 ns,网络可靠性大于99.999%,完全满足智能配电网业务在时延、可靠性和授时精度方面的通信要求,进而有利于传统电网业务的数字化产业升级。

5G在我国已经开始商用,三大运营商均推动了5G发展,使它成为众多垂直行业场景下多种技术融合和应用的基础纽带。特别是在5G SA独立组网方式

收稿日期: 2023-02-06

表1 智能配电网场景通信需求

电力业务环节	业务场景	时延/ms	可靠性/%	同步/ μ s
配电环节	差动保护	<15	99.999	<10
	配网自动化	≤ 50	99.999	-
	配网 PMU	≤ 15	99.999	<1

下,5G 将为智能配电网提供包括网络隔离、数据不出厂、安全加密等多种增值业务,为智能配电网提供定制化组网及差异化无线服务。

现阶段,35 kV 以下的配电网侧光纤覆盖率较低,而 90% 以上的停电发生在最后 5 km 配电侧。配电侧点多面广,光纤网络接入成本极高,随着智能电网的发展,传统光纤网不能满足配电网“泛在化、全覆盖”的通信要求。显然,通过 5G 无线网络覆盖来提升配网自动化率是最高效的方法,一是利用公共频谱资源搭建专网实现业务要求,可为整个电力行业及社会节约大量建设成本(比如以租代建的直接成本)和运维成本;二是避免了专网无法提供差异化无线资源和网络架构而导致配置灵活性差的问题。

从市场空间、行业集中度、5G 诉求这 3 个方面来看,电力行业本身集中度高($CR5>50\%$),对 5G 在配电网场景的应用有着现实和明确场景的诉求,5G 网络的灵活性能满足配电网多维度的运营服务能力需求,帮助客户以更低的成本、更高效的部署方式实现通信管理和业务控制。

2 网络设计

电力业务的安全总体原则为安全分区、网络专用、横向隔离和纵向认证。相应地,生产控制大区业务需与其他业务进行物理隔离,各大区内部不同业务之间需进行逻辑隔离,而且需要达到应用本地化、数据不出厂、专网和公网分开、生产区域室内室外连续覆盖等安全要求。电网业务隔离度要求如图 1 所示。

在电网业务隔离要求中,配网差动保护、配网自动化三遥、配电网 PMU 这 3 个场景的安全隔离需求归属为安全分区 I。

5G 差异化网络架构可为上述配网场景业务提供物理资源、虚拟逻辑资源等不同层次的安全隔离能力,为配网业务承载提供更好的安全保障。在核心网侧,部署 2 套专用核心网,分别承载生产控制大区与管理信息大区业务,在生产控制大区内通过划分虚拟扩展局域网(Virtual Extensible Local Area Network, Vx-

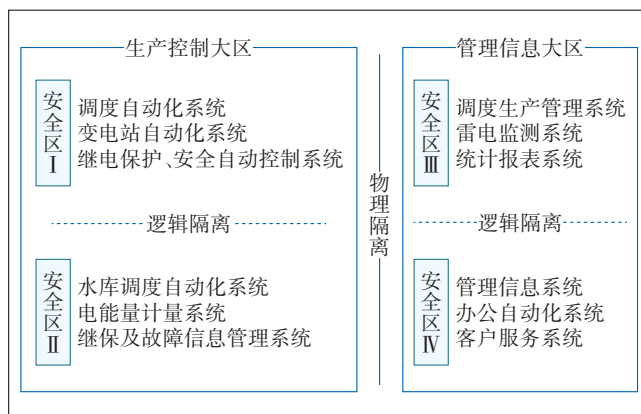


图1 电网业务隔离度要求

LAN)等方式实现安全区 I 和安全区 II 之间的业务隔离;在传输侧,为生产控制大区与管理信息大区提供高安全等级的刚性隔离通道;在无线侧,在 5G 频谱分配上,中国移动的 4.9 GHz 频段、中国电信和中国联通的 3.5 GHz 频段的周围频段使用较少,所产生的干扰也相应较少,可以视作一个天然硬切片,适合用来做配电专网场景覆盖。针对配网差动保护、配网自动化三遥、配电网 PMU 这 3 个场景,可以通过划分专属频段实现业务隔离,或者通过配置服务质量(Quality of Service, QoS)来实现配电业务的优先级调度。

为满足配电业务数据、策略统一集约管理,网络采用大区集约管理、省级集中控制,按需构建多级配电业务转发面,引入 uRLLC 特性,提供增强 2B 网络特性和服务能力,具体如图 2 所示。

在集中部署层面,根据实际集约管理要求,可以部署在大区集约点或者省级中心,包括数据面网元 UDM 和部分信令面网元(PCF、NRF、SCP)。在省中心层面,依据 R16/R17 版本,部署控制面和用户面网元,在满足业务需求基础上节省投资。

在转发层面,依据客户要求和业务要求,转发面下沉到市级和边缘业务侧,形成转发面分级结构。为独立规划 2B 和 2C 业务,设置省级独立 UPF,主要承载跨市的 DTU/PMU 及相关管理数据,以及有 4G/5G 互操作需求的配电业务;地(市)级 UPF 承载地(市)级的相关配电业务和管理数据;边缘级主要承载明确有管控要求的 DTU/PMU 及相关管理数据。

该网络架构中,差动保护、自动化三遥、PMU 3 类业务都将都通过 5G 承载接入,通过 5G 网络切片实现“公网专网化”和一张网统管,达到安全、方便、可靠的目的。5G 配电场景能够很好适配相关业务场景。

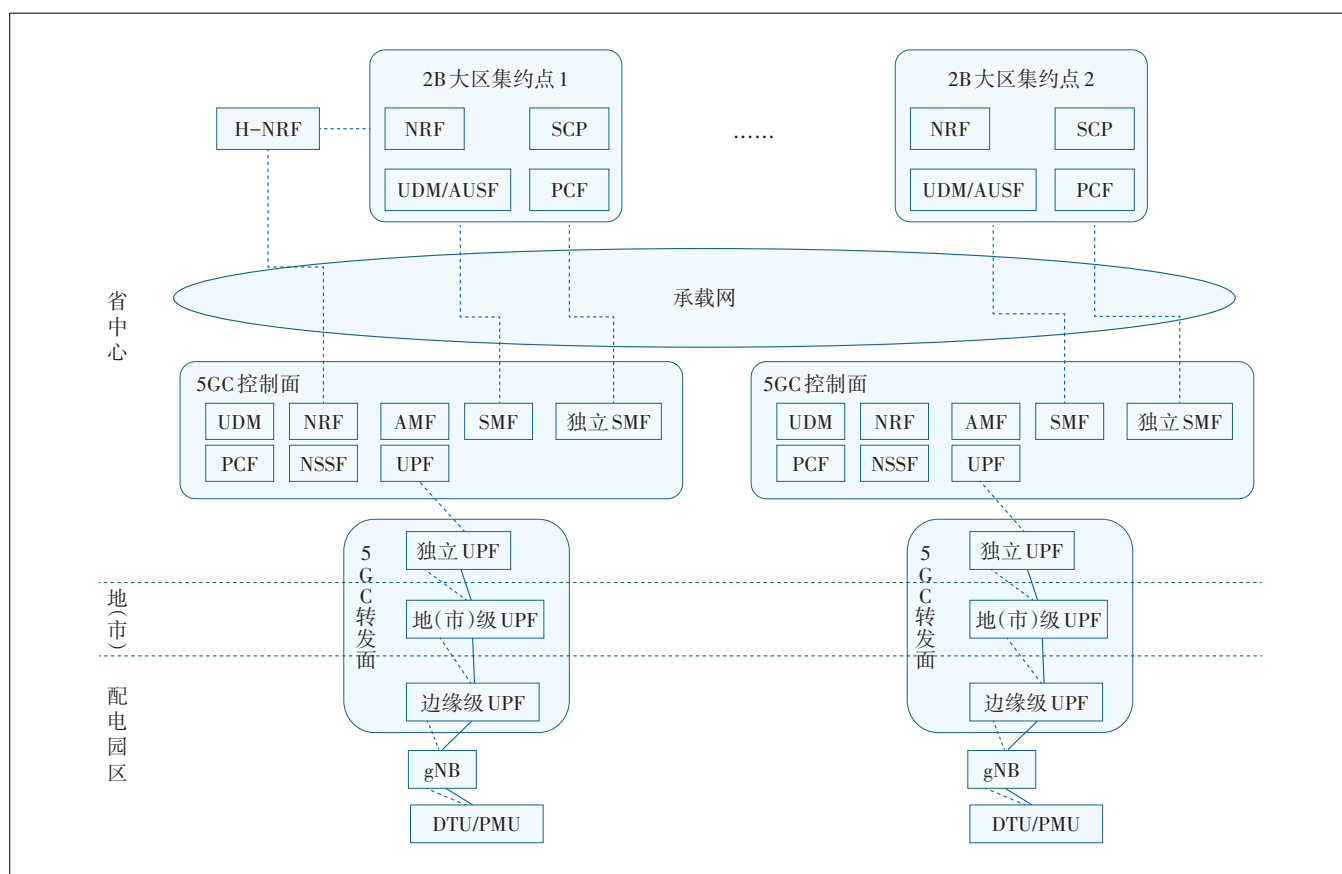


图2 配电网5G网络架构

a) 针对配网差动保护业务场景,5G通信技术具备高精度网络授时功能和低端到端时延,通过实时对比相邻DTU的电流值,满足配网差动保护场景要求无线接入端到端时延 $<15\text{ ms}$ 、高精度网络授时 $<10\text{ }\mu\text{s}$ 的通信需求。5G配网差动保护场景可以快速实现对主干线路故障的定位和切除,秒级恢复非故障区域供电,包括干线故障切除隔离、分支线故障快速就地切除、非故障负荷自动转供电,让停电“零”感知,极大提升了配电网的可靠性。配网差动保护业务方案如图3所示。

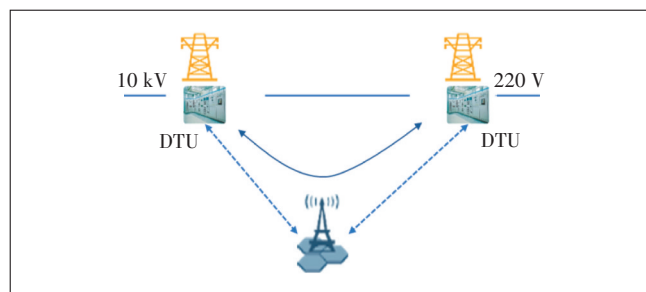


图3 配网差动保护业务方案

b) 针对配网自动化三遥业务场景,5G网络切片提供端到端安全隔离方案。在保障通信能力的前提下,满足三遥业务安全隔离性要求,具备承载该项业务的能力。配网自动化三遥业务方案如图4所示。

c) 针对配电网PMU业务场景,利用5G通信技术提高PMU授时同步精度,确保能够测量电力系统枢纽点的电压相位、电流相位等相量数据,通过通信网把数据传到监测主站,监测主站根据不同点的相位幅度,在遭到系统扰动时确定系统如何解列、切机及切负荷,完成对配电网运行状况监控。相比传统PMU通过GPS获得时间同步和通过专用光纤网络上报测量数据到主站,5G PMU通过5G CPE和基站获得时间同步,通过5G运营商网络上报测量数据到主站。配网PMU业务方案如图5所示。

3 设备部署

根据配电自动化终端(DTU)、配网主站、电力监控中心位置,结合5G配电网场景通信要求,合理部署UPF进行承载并提供服务。5G配电业务场景中,业务

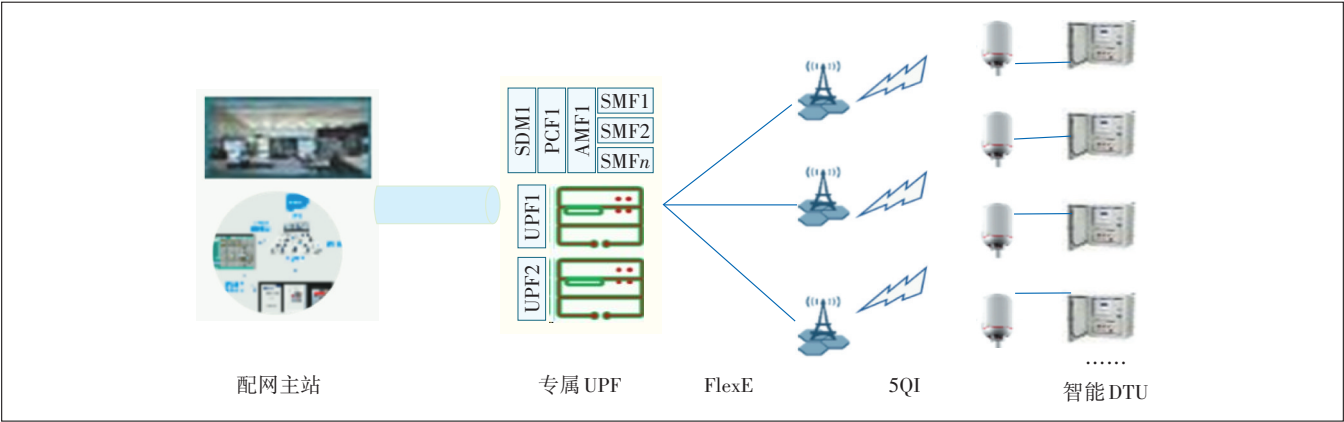


图4 配网自动化三遥业务方案

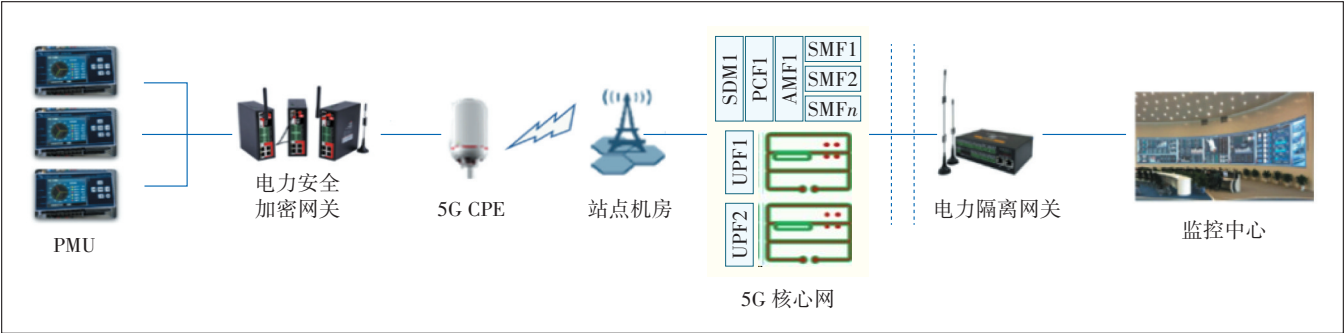


图5 配网PMU业务方案

单终端同时会话数为1,端到端时延为15~50 ms,端到端环回时延估算如表2所示。

同时,根据硬件形态,UPF可分为通用服务器和专

有硬件这2种。在同一设备规格选型的前提下,UPF硬件选型考虑的因素主要包括机房的部署环境、机柜尺寸、平台部署及企业客户个性化需求。

在机房环境制冷条件好且机柜规格满足标准服务器机柜尺寸要求(宽度不超过600 mm,深度不超过900 mm)的条件下,优先选择通用服务器硬件形态的UPF。基于虚机/容器或者通用服务器的UPF配置如表3所示。

在机房制冷效果差、部署环境较差、机架空间相

表2 端到端环回时延估算

终端到UPF距离/km	端到端环回时延估算(含空口时延)/ms
100	14
200	16
500	22
600	24

表3 基于虚机/容器或者通用服务器的UPF配置

产品/硬件选型	规格1(0.1万会话,5 Gbit/s吞吐)	规格2(0.5万会话,10 Gbit/s吞吐)
设备形态	基于通用服务器	
机箱高度	≤2U	≤2U
CPU	双路CPU,单路CPU不低于20核,2.3 GHz	双路CPU,单路CPU不低于20核,2.3 GHz
内存容量	≥256 G	≥256 G
端口容量	3×10GE(支持DPDK),1×GE	6×10GE(支持DPDK),2×GE
系统盘配置	2×480 GB 2.5,SATA SSD,热插	2×480 GB 2.5,SATA SSD,热插
功耗(最大)/W	≤800	≤800
温度要求/℃	10~35	10~35
时延/ms	<1	<1

对有限或MEP需要与UPF融合部署的场景中,优先选择专有硬件形态的UPF。专有硬件的UPF配置如表4所示。

表4 专有硬件的UPF配置

产品/硬件选型	规格1(0.1万会话,5 G bit/s 吞吐)	规格2(0.5万会话,10 Gbit/s 吞吐)
设备形态	基于专有硬件	
机箱高度	≤4U	≤4U
端口容量	3×10GE,1×GE	6×10GE,2×GE
功耗(最大)/W	≤2 000	≤2 000
温度要求/℃	0~45	0~45
时延/ms	<1	<1

UPF与配网主站、电力监控中心的对接优先通过专线等方式实现,UPF通过划分不同的VLAN来对接不同的业务数据流。对于业务终端侧的IP地址分配,建议首选客户提供的IP地址,次选运营商提供的IPv6地址,最后选择IPv4地址+NAT。另外,在UPF部署的同时,需要同步考虑网络和信息安全,下沉的UPF设备可依据用户需求考虑容灾备份方案。

4 方案总结

5G的uRLLC切片场景能够很好满足配电网各类终端对于通信安全、时延及网络授时精度的高要求,有效解决配网节点多(例如南网有200多万节点)、地理位置分散、光纤部署成本巨大(有些城市不批准挖沟部署光纤)的实际问题。5G配电网场景中的配网差动保护、配网自动化三遥、配网PMU统一通过5G承载,将极大提升配网自动化管理水平和可靠性,有效支撑配网通信可观可测可控的需求。5G通信技术的应用,将促进电网“智能化”、“透明化”、“可感知、可互动”,助力电网向智慧能源运营商、能源产业价值链整合商、能源生态系统服务商转型发展。

参考文献:

- [1] 国家能源局. 国家能源局关于印发电力监控系统安全防护总体方案等安全防护方案和评估规范的通知[EB/OL]. [2022-12-06]. <https://www.xiayaxia.cn/app/articles/docs/detail/2962>.
- [2] 国家电网, 中国电信, 华为, 等. 5G网络切片使能智能电网商业可行性分析: 产业报告[R/OL]. [2022-12-06]. <https://www.doc88.com/p-6354774894239.html>.
- [3] 5G应用产业方阵, 5G确定性网络产业联盟. 5G电力虚拟专网网络安全白皮书[R/OL]. [2022-12-06]. <https://www.doc88.com/p-19416166373064.html>.

- [4] 中国南方电网, 中国移动, 华为. 5G助力智能电网应用白皮书[R/OL]. [2022-12-06]. <https://www.docin.com/p-2382136843.html>.
- [5] 中国联通. 中国联通5G行业专网白皮书[R/OL]. [2022-12-06]. https://www.xdyanbao.com/doc/3jos2o01qs?bd_vid=8554372435306918468.
- [6] 国家电网. 新型电力系统数字技术支撑体系白皮书(2022版)[R/OL]. [2022-12-06]. <https://www.digitalelite.cn/h-nd-5245.html>.
- [7] 中国南方电网. 数字电网白皮书(2020年)[R/OL]. [2022-12-06]. <https://www.doc88.com/p-91073052768949.html>.
- [8] 3GPP. System architecture for the 5G System(5GS); 3GPP TS 23.501[S/OL]. [2022-12-06]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [9] 3GPP. 5G system; network slice selection services; stage 3; 3GPP TS 29.531[S/OL]. [2022-12-06]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [10] 5G确定性网络联盟. 5G确定性网络@电力系列白皮书I:需求、技术及实践[EB/OL]. [2022-12-06]. <https://www.vzkoo.com/document/4f4d1e60c2435bb67be394430d3a097b.html>.
- [11] 中国电信集团有限公司. 中国电信5G定制网产品手册(2020年)[EB/OL]. [2022-12-06]. <https://www.waitang.com/report/47432.html>.
- [12] 刘耕, 苏郁. 5G赋能: 行业应用与创新[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2020.
- [13] 中国信息通信研究院. 扬帆远航: 5G融合应用实践精编[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2021.
- [14] 王保平. 赋能千行百业: 中国5G+工业互联网典型应用[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2021.
- [15] 陶志强, 王劲, 汪梦云. 国之重器出版工程: 5G在智能电网中的应用[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2019.
- [16] 张传福, 赵燕, 于新雁, 等. 5G移动通信网络规划与设计[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2020.
- [17] 东吴证券. 数字经济之智能电网深度报告: 配电网投资加速, 智能化风起云涌[R/OL]. [2022-12-05]. <https://www.sgpjbg.com/baogao/60384.html>.
- [18] 曾朵红. 国家电网部署2020工作, 加码特高压、物联网和配网[R/OL]. [2022-12-05]. <https://www.waitang.com/report/93575.html>.
- [19] 陈丰. 基于5G网络切片技术的智慧电网应用研究[J]. 邮电设计技术, 2020(6): 87-92.
- [20] 张力方, 程奥林, 赵雪聪, 等. 5G专网关键技术及设计部署方案研究[J]. 邮电设计技术, 2021(10): 1-8.

作者简介:

包琅允, 毕业于湘潭大学, 高级工程师, 学士, 主要从事通信信息化和智慧城市等研究工作; 康孝, 毕业于南京邮电大学, 工程师, 学士, 主要从事通信基础设施设计研究工作。

