

文章编号:1004-289X(2023)06-0046-04

电力无线宽带多频混合组网载波聚合技术

陈亮,原瀚杰,张雨,姚健安,陆林

(广东电网有限责任公司肇庆供电局,广东 肇庆 526060)

摘要:常规载波聚合技术,组网频谱认知不一致,导致载波聚合资源无法独立分配,宽带传输频率随之下降。因此,设计了电力无线宽带多频混合组网载波聚合技术。部署多频混合组网载波聚合场景,为每个载波提供相同的覆盖能力,在此聚合场景下,分配电力无线宽带的载波聚合资源,通过解调多频混合组网链路,保证载波聚合资源能够独立分配,进而实现电力无线宽带的高速传输。采用对比实验的方式,验证了该载波聚合技术的传输频率较高,能够应用于实际生活中。

关键词:电力;无线宽带;多频;混合组网;载波聚合技术

中图分类号:TM919.3

文献标识码:A

Carrier Aggregation Technology of Wireless Broadband Multi-frequency Hybrid Networking

CHEN Liang, YUAN Han-jie, ZHANG Yu, YAO Jian-an, LU Lin

(Zhaoqing Power Supply Bureau of Guangdong Power Grid Co. Ltd.,
Zhaoqing 526060, China)

Abstract: With the conventional carrier aggregation technology, the cognition of networking spectrum is inconsistent, which leads to the inability of independent allocation of resources in carrier aggregation, and the frequency of broadband transmission decreases accordingly. Therefore, the carrier aggregation technology of power wireless broadband multi-frequency hybrid networking is designed. Carrier aggregation scenario of multi-frequency hybrid networking is deployed to provide the same coverage capacity for each carrier. In this aggregation scenario, carrier aggregation resources of power wireless broadband are allocated. By demodulating the multi-frequency hybrid networking link, the resources of carrier aggregation can be allocated independently, thus realizing the high-speed transmission of power wireless broadband. By contrast experiment, it is verified that the transmission frequency of this carrier aggregation technology is high, and it can be applied in real life.

Key words: electric power; wireless broadband; multifrequency; hybrid networking; carrier aggregation technology

1 引言

长期以来,无线移动通信技术受到了广泛关注,高宽带、高效率的数据传输,能够为电力用户提供更广阔的通信空间。3G、4G、5G等移动通信技术,都是为了满足电力数据业务与用户服务质量,最大宽带传输频率应达到100MHz及以上。LTE-Advanced系统是当前无线通信技术的关键,载波聚合

技术是在LTE-Advanced系统的基础上,能够增加宽带传输频率的技术。但是,由于该技术研究时间较短,相关性能还不完善,针对宽带传输频率较低的问题,专家学者提出了利用Massive MIMO提高组网速率的技术,与利用TM5005G NR系统优化载波聚合时延技术。

利用Massive MIMO提高组网速率的技术,主要是利用Massive MIMO特性挖掘空间聚合资源,能够

提高资源利用率与功率增益^[1]。利用 TM5005G NR 系统优化载波聚合时延技术,主要是利用毫米波为电力用户提供短时延的服务^[2]。但是,以上两种技术均无法做到载波聚合资源独立分配,宽带传输频率仍然偏低^[3]。因此,本文设计了电力无线宽带多频混合组网载波聚合技术。

2 电力无线宽带多频混合组网载波聚合技术设计

2.1 部署多频混合组网载波聚合场景

载波聚合过程中,存在较多的网络场景部署,能够为每个载波提供相同的覆盖能力,在提高组网速率的基础上,提高宽带传输频率^[4]。组网部署示意图如图 1 所示。

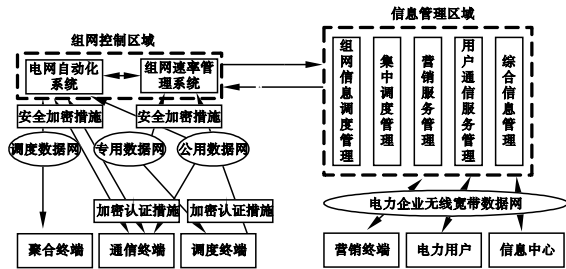


图 1 组网部署示意图

如图 1 所示,本文部署的组网场景中,存在两个区域,分别为组网控制区域与信息管理区域。组网控制区域中存在电网自动化系统与组网速率管理系统,通过安全加密措施,将调度数据网、专用数据网、公用数据网等网络进行组建,并由聚合终端、通信终端、调度终端控制^[5]。信息管理区域中存在组网信息调度管理、集中调度管理、营销服务管理、用户通信服务管理、综合信息管理等,组建出电力企业无线宽带数据网,并受营销终端、电力用户、信息中心综合管理^[6]。在此组网场景下,载波能够覆盖到各个网络,由此为宽带提供更大的吞吐量。

2.2 分配电力无线宽带的载波聚合资源

在上述组网场景下,本文对载波聚合资源进行独立分配。本文利用 R 来表示无线信号强度的参数,用 C 表示组网信道^[7]。将信道条件高的 C 分配给平均速率较小的电力用户,以此实现宽带传输均衡。分配公式如下:

$$M = \operatorname{argmax} \left(\frac{C_m / \bar{R}_m}{\sum_m C_m / \bar{R}_m} \right) \quad (1)$$

式(1)中, M 为资源分配后的负载量; \bar{R}_m 为电力用户 m 无线信号的平均传输速率; C_m 为第 m 个用户在 C 上的信道质量。当前, M 的负载较大,本文将分配给负载较小的用户,公式如下:

$$m = \operatorname{argmin} \left(\frac{\sum_{m=1}^n K(V_{m,n})}{B_m C_m} \right) \quad (2)$$

式(2)中, m 为负载较小的用户经过载波聚合分配后的负载量; $V_{m,n}$ 为第 m 个用户在 C 上占用的数据长度; K 为负载数目; B_m 为 C 的传输带宽^[8]。为了保证组网载波聚合的平衡性,本文将载波聚合资源依次分配给各个电力用户,公式如下:

$$H_m^n = \left\{ \frac{1}{n} \{C_1, C_2, \dots, C_n\} \right\} \quad (3)$$

式(3)中, H_m^n 为电力用户 m 在第 n 次分配后达到平衡的负载量; n 为常数; C_1, C_2, C_n 为不同信道条件下的宽带传输频率。为了实现电力无线宽带的高速传输,本文对多频混合组网链路进行解调。上行参考信号为 F ,下行参考信号为 A ,则链路解调过程如下:

$$F' = \sum_n (C_m \cdot V_{m,n}) \quad (4)$$

$$A' = F' \delta_m \quad (5)$$

$$P = \sum_{n=0} F' A' \quad (6)$$

式(4)~(6)中, F' 为上行参考信号的编码; A' 为下行参考信号的编码; δ_m 为编码参数; P 为链路调制输出序列。通过解调多频混合组网链路,进一步保证载波聚合资源的独立分配,从而提高无线宽带传输频率。

3 实验

为了验证本文设计的技术是否具有实用效果,本文对上述技术进行了实验验证。最终的实验结果以文献[1]技术、文献[2]技术,与本文设计的载波聚合技术进行对比的形式呈现。具体实验过程及实验结果如下所示。

3.1 实验过程

本文以 10M 宽带的子载波结构为主,根据传输宽带增加控制原理,对宽带传输的每一路并行数据子载波结构进行聚合分析,聚合后的子载波结构如图 2 所示。

聚合后的子载波结构从 256bit 变化至 512bit,再变化至 256bit。也就是说,电力无线宽带发送端

信源的数据量在经过聚合之后,能够变化为原来的2倍,需要更快的宽带传输速率,以此保证数据传输效果。在多频混合组网编码过程中,本文选定Code_Effic [0;1;2] 信号进行编码。其中,0 为 1/2_PQKS,1 为 3/4_PQKS,2 为 1/2_PMA,将组网数据分成三个部分,分别进入 Coding_0、Coding_1、Coding_2 中进行编码,并在最大编码区间进行输出合并,此输出结果作为解调组网链路模块输入。本文选定 1024 个子载波,子载波编号为 0 ~ 1024,在 781、806、831、856、936、961、986、1011 的位置上为多频混合子载波,当数据量为 256bit 时,会增加 55 个“0”,“0”代表了 10M 宽带的载波内部的零子载波;当数据量为 1024bit 时,会增加 1025 个“0”,前 1024 个“0”代表数据量的 1024 个零子载波,最后一个“0”代表宽带负载情况下的第一个零子载波。本次实验将编码速率设定为 45/92,载波频率为 10Hz,各路 FFT 长度为 128,由此得出,不同载波间隔下,数据聚合的误码率,如图 3 所示。

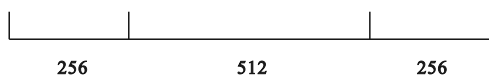


图2 聚合后的子载波结构

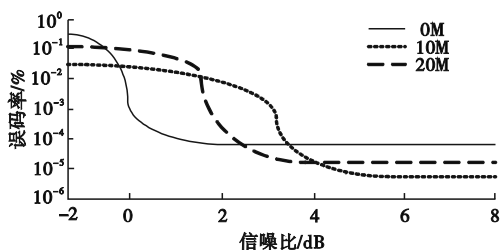


图3 不同载波间隔的误码率情况图

图中,载波间隔为 0M 时,误码率在 $10^{-4}\%$ ~ $10^0\%$ 的范围内波动,并在信噪比为 2dB 时趋于稳定;载波间隔为 10M 时,误码率在 $10^{-6}\%$ ~ $10^{-1}\%$ 的范围内波动,并在信噪比为 6dB 时趋于稳定;载波间隔为 20M 时,误码率在 $10^{-5}\%$ ~ $10^{-1}\%$ 的范围内波动,并在信噪比为 4dB 时趋于稳定。由此可见,载波间隔为 10M,信噪比为 6dB 时,无线宽带数据传输误码率较小,能够适应宽带的稳定传输。

3.2 实验结果

在上述实验条件下,本文选取出 781、806、831、856、936、961、986、1011 等 8 个子载波,在此载波环境下,将文献[1]技术的电力无线宽带最大传输频率、文献[2]技术的电力无线宽带最大传输频率,与

本文设计的载波聚合技术的电力无线宽带最大传输频率进行对比。实验结果如表 1 所示。

表 1 实验结果

子载波编号	文献[1]技术的电力无线宽带最大传输频率/MHz	文献[2]技术的电力无线宽带最大传输频率/MHz	本文设计的载波聚合技术的电力无线宽带最大传输频率/MHz
781	92.65	86.43	100.00
806	90.96	88.62	99.96
831	85.68	85.16	102.43
856	81.52	89.48	99.98
936	78.98	84.21	101.46
961	75.44	87.63	98.96
986	70.62	82.82	99.42
1011	68.23	88.66	101.45

如表 1 所示,781、806、831、856、936、961、986、1011 等 8 个子载波中,电力数据逐渐递增,子载波编号为 781 时,电力数据较少;子载波编号为 1011 时,电力数据较多。在此条件下,文献[1]技术的电力无线宽带最大传输频率在 68.23MHz ~ 92.65MHz 的范围内波动;文献[2]技术的电力无线宽带最大传输频率在 82.82MHz ~ 89.48MHz 的范围内波动。由此证明,文献[1]技术与文献[2]技术的传输频率偏低,无法适应电力无线宽带组网的多数据传输环境,影响电力用户用电速率。而本文设计的载波聚合技术的电力无线宽带最大传输频率在 98.96MHz ~ 105.43MHz 的范围内波动,电力数据传输频率较高,能够适应电力无线宽带组网的多数据传输环境,对于电力用户用电速率的提升具有重要作用。

4 结束语

近年来,无线通信技术发展壮大,电力用户对传输宽带高速率的需求较大,宽带的传输速率越大,用户的用电速率越高,对于提高电力无线宽带的服务质量具有重要作用。因此,本文设计了电力无线宽带多频混合组网载波聚合技术。从部署聚合场景、分配载波聚合资源、解调组网链路等方面,实现电力无线宽带的快速传输。通过以上方法,本文设计的技术能够使电力无线宽带的最大传输速率达到最佳,更加适应电力无线宽带组网的多数据传输环境,为无线通信技术的发展提供保障。

(下转第 53 页)

5.5 测试人工缺陷的 PD 信号

基于新的 OWTS 方法,用示波器记录人工缺陷的 PD 信号。在测试过程中,铜屏蔽层和电缆样品的其他两相有效接地。为了测试局部放电信号,在电缆屏蔽层外包覆高频线圈。然后,PD 信号由示波器记录并传输至 PC。

通过施加阶跃直流电压进行实验。施加的电压在 $0.2U_0$ 的阶跃中从 $0.3U_0$ 增加到 $2U_0$ 。当电压增加到 $1.5U_0$ 时,出现弱 PD 信号。当电压增加到 $2U_0$ 时,记录 PD 信号。PD 出现在振荡波电压的第一象限和第三象限。测试结果接近 PD 信号,这是基于传统 OWTS 记录的。

实践证明,所提出的 OWTS 可以有效地检测 PD,新型 OWTS 可以取代传统方法。

5.6 新型 OWTS 的不足与展望

对于新型 OWTS,电容器首先由高压直流电源充电。通过逐步增加直流电压,充电过程开始时,在测试电缆上施加较小的交流电压。在施加最小交流电压后,在直流电源充电过程中,不会向测试电缆施加电压,没有空间电荷注入电缆绝缘层。基于新型 OWTS 电路记录的 PD 与传统方法相同,新型 OWTS 可用于检测 PD 信号。但这种方法仍然存在一些缺陷。

(1) 充电电容器被添加到传统的 OWTS 电路中。当高压开关打开时,电池样本由充电电容器充电。振荡电压的初始峰值低于直流电源的初始峰值。因此,有必要考虑充电效率。建议充电电容为电缆样品的十倍,以实现更高的充电效率。

(2) 当高压开关打开时,电缆样品在短时间内由充电电容器充电。瞬时浪涌电流可在铜屏蔽层、铠装层和电缆的其他两个相上感应高压。该电压可能会对周围设施造成放电现象。为了克服这一限制,铜屏蔽层和电缆的其他两相必须接地。

(3) 未来,随着科学技术的发展,从而使震荡波局放可以更加精准地预判电缆的使用寿命。

6 结束语

本文提出了一种用于 110kV 高压电缆振荡波局部放电检测的新型 OWTS。讨论了充电电容对振荡电压的影响。实验证明了这种新方法的可行性。可以得出以下结论:

(1) 由于充电电容器首先由直流电源预充电,并在短时间内放电到电缆样本,不会向电缆绝缘注

入空间电荷。因此,新型 OWTS 对电缆绝缘的破坏性较小。

(2) 为了确保新型 OWTS 的高充电效率,建议充电电容比电缆样品的等效电容高十倍。

(3) 在电缆样品的新型 OWTS 测试中,铜屏蔽层和电缆的其他两个相必须可靠接地。

参考文献

- [1] 刘昊,李福生. 简析 10kV 电缆线路震荡波局放检测[J]. 农村电气化,2022(12):94-95.
- [2] 谢跃钦. 10kV 配电电缆线路震荡波局放检测技术应用研究[J]. 电气技术与经济,2021(6):14-17.
- [3] 周道,张金宝. 变电站 110kV GIS 电缆终端局部放电典型案例[J]. 农村电气化,2021(9):30-31.
- [4] 施哲,孙启星,张李磊. 10kV 电压电缆故障采取震荡波法查找应用[J]. 通讯世界,2016(1):132.

收稿日期:2023-02-28

作者简介:余生(1974.4.4-),男,广东海丰人,汉,工程师,本科,研究方向为输电线路、高压电缆、带电作业。

+++++

(上接第 48 页)

参考文献

- [1] 曹君. 基于 Massive MIMO 与载波聚合特性的 5G 网络速率提升研究[J]. 现代信息科技,2021,5(8):67-70.
- [2] 郑昉. TM5005G NR 系统下行多载波聚合下系统时延优化设计[J]. 中国新技术新产品,2020(13):1-2+7+3.
- [3] 史向龙,陈晓阳,苏波,等. 5G 通信载波聚合用 B34&B39 双接收滤波器研制[J]. 压电与声光,2022,44(2):210-214+255.
- [4] 李宗林,骆润,蔡邦寿. 面向垂直行业的 5G 上行大带宽应用的规划及部署策略研究[J]. 电信工程技术与标准化,2021,34(6):67-72.
- [5] 刁兆坤,范才坤,刘威,等. 赢得 5G 时代竞争先机的神器组合载波聚合+动态频谱共享+大带宽无线设备[J]. 通信世界,2020(20):35-37.
- [6] 赵晓坤,高洁,郭冰洁,等. 基于 IoT-G 230 MHz 电力无线通信关键技术分析[J]. 四川电力技术,2021,44(6):58-62+73.
- [7] 赵游洋,张旭,段凯威,等. 北京市 1.4GHz 无线政务专网大容量多业务测试——探讨 LTE 无线宽带专网在重大活动安保中的应用[J]. 警察技术,2021(4):34-36.
- [8] 刁兆坤,范才坤,刘威,等. 赢得 5G 时代竞争先机的神器组合载波聚合+动态频谱共享+大带宽无线设备[J]. 通信世界,2020(20):35-37.

收稿日期:2022-09-22

作者简介:陈亮(1988-),男(汉族),广东肇庆人,本科学士,电力工程技术工程师,主要研究方向:输电线路智能巡检技术。