

智能分布式混合组网对等通信技术研究

王 鑫¹, 陈祖翠², 王业耀¹, 卞在平¹, 吴育苗²

(1. 中国电建集团海南电力设计研究院有限公司, 海南 海口 571100;

2. 海南海电联电力工程有限公司, 海南 海口 571100)

摘要: 智能分布式快速故障自愈技术多依赖光缆介质通信, 但由于个别地段光缆敷设路径开挖难的问题, 导致光缆在某些项目中无法得以全线贯通。针对此问题提出了一种光纤、中压载波混合对等通信技术, 在光缆难敷设段以 10 kV 电力线路作为通信介质, 并从对等通信机制、关键载波通信节点布置、数据通信优先级三方面分析对等载波通信的可行性。以单环网供电网架为应用对象, 叙述全线路的通信配置应用方案, 结果表明智能分布式配网自动化基于文章提出的中压载波对等通信技术可以有效快速隔离配电网故障。

关键词: 中压载波; 智能配电网; 对等通信; 混合组网

中图分类号: TM734

Research on Intelligent Distributed Hybrid Networking Peer-to-peer Communication Technology

WANG Xin¹, CHEN Zucui², WANG Yeyao¹, BIAN Zaiping¹, WU Yumiao²

(1. Hainan Electric Power Design & Research Institute of Power China, Hainan Haikou 571100, China;

2. Hainan Haidianlian Power Engineering Co., Ltd., Hainan Haikou 571100, China)

Abstract: The fast fault self-healing technology of distribution network automation mostly depends on optical cable medium communication. In some projects, the full coverage of optical cable can not be implemented because it is very difficult to excavate the optical cable laying path in some sections. To solve this problem, a hybrid peer-to-peer communication technology based on optical fiber and medium voltage carrier is proposed. 10 kV power line is used as communication medium in the difficult laying section of optical cable. The feasibility of peer-to-peer carrier communication is analyzed from three aspects of peer-to-peer communication mechanism, communication structure and data communication priority. Taking power network of single ring as the application object, the application scheme of communication configuration is described in the whole line. The distribution network faults can be isolated by using this communication scheme effectively.

Keywords: middle-voltage distribution line carrier communication; smart distribution network; peer-to-peer communications; hybrid networking

由于台区抄表类数据为非调度类数据, 故对通信时延要求较低^[10-12], 而配网自动化系统中的通信数据为电网 10 kV 调度数据, 对通信的可靠性和通信时延要求较高, 而载波通信技术较少用于配网自动化通信当中^[13-15]。

1 各类电力通信现状简述

文献[16]提出了一种基于 EPON 局域网实现配电网通信低时延的方法, 每个通信节点均以一主一备的方式为其供电, 当其中一个 ONU 无法正常工作, 分光器可以继续分光, 不影响整条链路其他节点的

收稿日期: 2022-04-07

正常通信, 实现故障的快速隔离, 并减少故障停电时间。文献[17]提出了一种配网自动化数据通信模型, 从全局的高度罗列出配网自动化的数据通信量, 对通信链路的数据可靠性提出更高要求。文献[18]以无线通信方式实现配网自动化技术, 主要面向于对延时要求较低的差动保护当中, 可布署在设施落后的老城区的配电网保护中。文献[19]提出了一种用于中压电力线载波的自组网技术, 解决了载波全双工通信问题, 提高中压载波的通信效率, 推动了载波通信在 10 kV 线路当中的应用。

由于 5G 无线通信受限于运营商的通信基站的可靠性, 当通信基站停电或通信故障时直接影响配网

自动化通信^[20-22]。光缆通信依然是智能分布式技术实现的主流通信方式, 光纤现场敷设路径一直是现场勘察的重点^[23]。本文将载波通信应用于智能分布式配网自动化技术当中, 实现中压配电网的快速对等通信。

2 中压载波技术优化

现有电力载波通信主要存在的问题在于通信机制与通信时延两方面问题^[24-25], 为满足智能分布式配网自动化技术通信要求, 本文提出了一种基于对等通信的光纤、中压电力线载波混合组网通信技术, 在无法敷设光缆的关键节点采用中压载波通信方式, 其余关键节点采用光纤通信方式, 利用通信机制优化、合理分布载波机位置, 实现电力载波的快速通信。

2.1 载波对等通信机制

为满足智能分布式的要求, 须要将通信机制改变为对等通信模式, 使得位于环网的任一载波机同时与相邻任一载波机实现对等通信, 无主机与从机之分, 将轮询访问方式改为关键数据突变主动上送方式, 对等通信流程如图1所示。

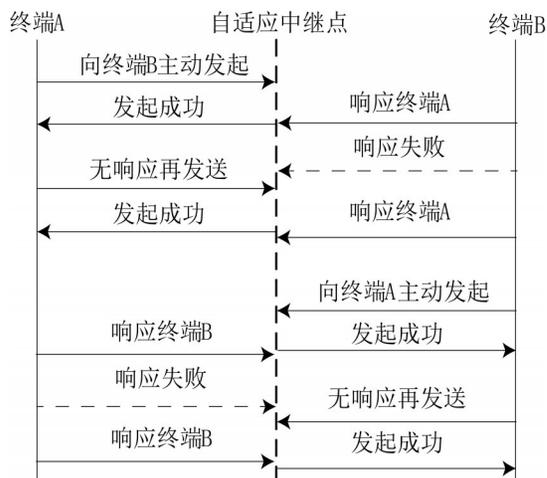


图1 终端间对等通信响应流程

发送数据时, 终端自动区分主动发起或响应, 以提高通信效率, 当终端A与终端B之间发起对等通信时, 可采用广播或组播方式, 每一次数据发起通过指定网络口令来决定此帧数据应接收的终端, 中继深度采用自适应的方式, 避免载波过程中的信号衰减, 实现网络吞吐量最大化。

2.2 按线路节点布置载波机位置

两条10 kV配电网主线的电源分别来自同一座

变电站的不同10 kV母线, 每条10 kV线路包含1台变电站出线柜智能设备、2台分段型智能设备。变电站出线柜智能设备负责采集变电站馈出主干线路的送出电力状态信息。两条10 kV配电网主线通过1台联络型智能设备相连, 联络型智能设备用于采集联络开关两侧的数据信息, 图2为中压电力线一次拓扑图。



图2 中压电力线一次拓扑图

对于采用中压电力线对等载波技术的智能分布式系统, 通信系统组成按一次网架结构布置, 在重要的分段型智能设备与联络型智能设备所处节点布置载波机, 图3为适用于10 kV单环网架的中压电力线对等载波通信拓扑图。

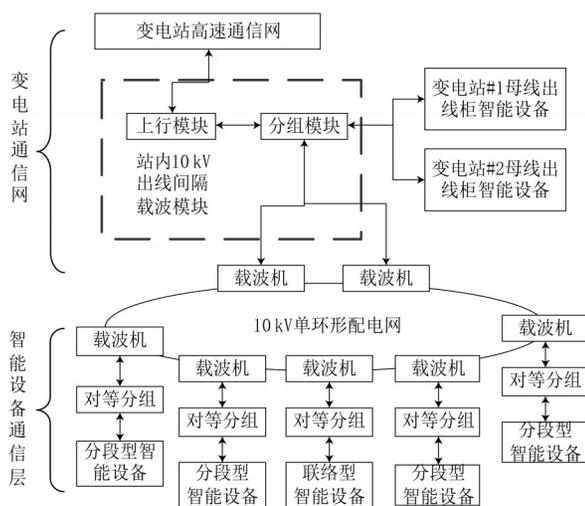


图3 中压电力线对等载波通信拓扑图

2.3 载波数据通信优先级

环网线路关键分段点的户外开关箱内常规配置5~6个开关柜间隔, 涉及分段间隔、馈出支线间隔、联络间隔3类, 分段型环网柜有两台分段断路器, 支线环网柜有一台分段断路器开关, 联络环网柜有一台分断断路器开关和一台联络断路器开关, 其余均为支线开关。

为了避免同一环网柜内同一时间过多数据通信造成通信阻塞, 故将环网柜内的分段断路器开关、支线断路器开关、联络断路器开关按数据类型重要

性进行分级，优先级原则为：正常运行状态下，分段开关数据优先传输、联络开关数据传输次之、支线开关数据优先级最低；线路发生故障状态下，优先故障节点开关数据传输；线路发生故障状态下，基于Goose信息的突变数据优于三遥数据传输。

3 技术应用研究

3.1 项目概况

以某园区配电网为例进行应用研究，该园区由I线、II线两条10 kV主线供电，两条主线出自同一变电站的不同母线，单环网接线方式，线路全电缆敷设，该线路主线共7台环网柜，I线主线3台分段环网柜、1台联络环网柜、1台支线环网柜，II线主线含3台分段环网柜、2台支线环网柜，环网柜分段间隔均为断路器、其他间隔为负荷开关间隔，考虑到园区负荷的重要性，并结合开关设备类型为断路器、负荷开关混合，故决定将该线路以缓动型智能分布式技术开展设计，并为本文所述的对等载波通信技术提供了应用场合，园区配电网单环网网架图如图4所示。



图4 园区配电网网架图

本工程自动化配置方案：在I线、II线每面环网柜分别增加智能分布式DTU10套，负责实现每台环网柜的故障自愈功能及三遥功能；在变电站新增变电站智能分布式DTU终端柜1套，负责采集变电站出线柜的电流信息、断路器状态信息。

3.2 工程通信配置方案

本工程中I线的#4分段柜与I线的#5联络柜之间，由于有铁路通过，阻碍了该路段无光缆搭建，如果更改光缆路径，造价较高且浪费资源，故该段改用对等载波通信技术代替光缆通信。由于智能分

布式基于IEC 61850通信标准，通信规约须要占用带宽不小于2 Mbit/s，故采用OFDM的宽带载波，可满足通信带宽要求。将载波机置于I线#4分段柜和I线#5联络柜，采用载波通信，其他段仍采用光缆通信。

表1 通信设备布置表

布置位置	通信设备	通信媒介
变电站	三级工业交换机	光缆通信
I线#1分段柜	二级工业交换机	光缆通信
I线#2支线柜	二级工业交换机	光缆通信
I线#3分段柜	二级工业交换机	光缆通信
I线#4分段柜	二级工业交换机 载波机	与I线#3分段柜光缆通信 与I线#5柜载波通信
I线#5联络柜	二级工业交换机 载波机	与I线#4分段柜载波通信 与II线#5柜光缆通信
II线#1分段柜	二级工业交换机	光缆通信
II线#2支线柜	二级工业交换机	光缆通信
II线#3分段柜	二级工业交换机	光缆通信
II线#4支线柜	二级工业交换机	光缆通信
II线#5分段柜	二级工业交换机	光缆通信

表1为通信设备布置情况，其中的交换机与载波机的布置与图5配电网一次设备布置一一对应，工业交换机及载波机置于环网柜的通信箱中。

本工程通信设置配置如下：除I线#4分段柜和I线#5联络柜外，其他每座环网柜均配置二层交换机，用于实现每座环网柜间的数据传输和对等通信；在I线#4分段柜和I线#5联络柜配置卡接式中压载波机，实现本级环网柜与相邻环网柜的数据通信，在变电站内配置三层通信交换机一台，变电站内的三层交换机接入配电自动化调度数据网，现场环网柜转发的数据通过变电站三层交换机接入电力专用通信光缆通道，并与配网自动化主站后台通信。

在I线发生短路故障时，位于I线的#1分段柜、#3分段柜、#2分支柜的数据均能快速对等通信，并在最短时间将信息汇总到变电站的DTU柜，I线#4分段柜和I线#5联络柜的两台载波机间同样可以快速对等通信，并优先向后台发送信息。

3.3 光纤、载波混合通信应用分析

根据实际应用，对采用对等中压载波通信的10 kV

线路,宜采用缓动型智能分布式技术,将故障发生后设备间的相互处理时延放宽。

主环上分段数不超过4分段的主线,将置于变电站侧的载波机保留总召控制,以便其与下游的载波机快速通信,完成非故障时的三遥功能。

中压线路较低压线路比,虽然距离用电负荷较远,但是其受负荷侧的脉冲噪声、线路阻抗影响较大,本期工程通过提高输出功率,增大信号的信噪比,以减少载波通信的误码率。

考虑到高压电力线载波信号的衰减,对于载波通信段,每个分段开关间的10 kV电缆线路长度不宜大于1 km,10 kV电缆中间接头数控制在2个以内。

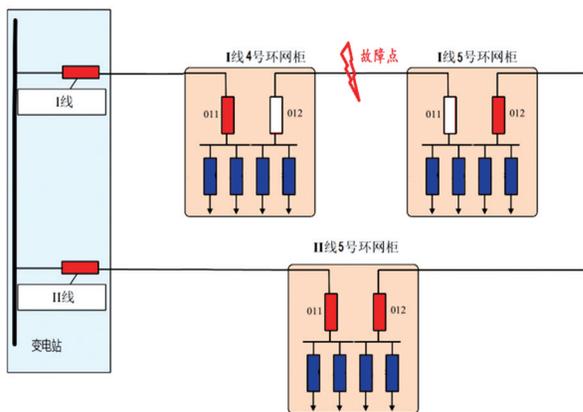


图5 园区配电网故障模拟图

如图5所示,对于两条10 kV主线的联络开关在I线的#5环网柜,两条10 kV主线路形成单环网接线,常规单环网的两条10 kV主线不会在同一管沟内敷设,故整条单环网中出现两点或多点同时故障的概率几乎为零,故在此以环网中某一点发生故障进行分析,假设配电网短路故障发生在I线的#4环网柜与#5环网柜之间。

由于载波机位于I线#4柜与#5柜,当该段中某一位置发生故障时,发生故障线路的两台载波机利用电缆为通信介质快速对等通信,各环网柜智能分布式DTU判断故障点,并就地命令I线#4柜的012开关分闸、I线#5柜的011开关分闸,并在2 s内完成故障隔离,I线#5柜的012联络开关合闸,由正常线路II线为I线非故障区域进行转供电,为I线故障点后续非故障区域负荷恢复供电,通过各智能分布式DTU的配合,顺利完成系统性的故障区域隔离、非故障区域转供电功能逻辑。

4 结束语

本文介绍了智能分布式对等载波通信应用场合,从载波的对等通信机制、关键载波通信节点布置、数据通信优先级3个方面分析,论证光缆、中压对等载波混合通信方案的可行性,实现一种利用局部载波通信完成配网自动化快速通信的方法。

该方法适用于全电缆型单环网的智能分布式配网自动化逻辑,并结合应用案例,详细描述智能分布式技术采用载波通信实现快速故障隔离的方法。采用载波通信方式,在满足快速对等通信要求的前提下,提高了工程的可实施性,减少光缆敷设方面投资,为配网自动化领域的通信网搭建提供设计参考。

参考文献

- [1] 宋志伟,马天祥,沈宏亮,等.基于5G通信的智能分布式配电保护技术研究与应用[J].供用电,2021,38(2):6-11,18.
- [2] 曹露,汪政,都泓蔚,等.智能分布式馈线自动化系统验收与运维测试研究[J].供用电,2019,36(9):40-45.
- [3] 舒心蕾,高阳.智能配电网保护自愈控制系统研究[J].电气应用,2021,40(11):42-46.
- [4] 马钊,安婷,尚宇炜.国内外配电前沿技术动态及发展[J].中国电机工程学报,2016,36(6):1552-1567.
- [5] 黄廷城,叶琳浩,张勇军.基于AHP-熵权法的配电网用电可靠性综合评估[J].广东电力,2018,31(1):44-50.
- [6] 王彦国,赵希才.智能分布式配电保护及自愈控制系统[J].供用电,2019,36(9):2-8.
- [7] 虞坚阳,王科龙,秦勇明,等.主动配电网智能分布式馈线自动化故障定位方法[J].南方电网技术,2016,10(12):38-44.
- [8] 焦振有,焦艳莉,李严平,等.配电自动化中的光纤载波混合通信方案[J].继电器,2002,30(7):44-46,50.
- [9] 张宁,杨经纬,王毅,等.面向泛在电力物联网的5G通信:技术原理与典型应用[J].中国电机工程学报,2019,39(14):4015-4025.
- [10] 黄昱翰,蔡泽祥,潘天亮,陈炯聪.面向闭环运行配电网的广域保护控制方案[J].电力科学与技术学报,2019,34(02):47-52.
- [11] 陈云国,戴胜,杨乘胜,等.基于IEC61850的智能分布式馈线自动化系统建模[J].电力自动化设备,2016,36(6):189-193.
- [12] 胡倩倩,赵宏昊,杜春潮,等.典型应用场景的配电通信网络适应性研究[J].中国电力,2016,49(12):121-126.
- [13] 王艳,薛晨,焦彦军.中压配电网PLC信道正反向传输特性分析[J].电力科学与技术学报,2020,35(03):127-134.
- [14] 李岩,齐磊杰,刘云鹏.具有公共屏蔽层的三芯中压电缆通信信道分析[J].高压电器,2020,56(09):101-106,113.

(下转第35页)

7010 Mvar, 全网共投入 220 kV 及以下主网电抗器 1480 Mvar。

负荷侧各区县公司切除 35 kV 及以上大用户电容器 1290 Mvar; 共有 4.34 万座公变、1.97 万座专变切除了电容器, 总切除容量分别为 5030 Mvar 和 4530 Mvar。

2022 年春节宁波电网无功电压水平较 2021 年明显提升。全网功率因数 0.92, 在浙江省大型负荷地市中排名第一, 凌晨低负荷时段全网吸收无功 1640 Mvar, 较去年增长 200 Mvar。主网无功倒送情况明显改善。500 kV 层面, 彻底解决了天一变电站无功倒送问题, 全网仅姚江供区存在轻微倒送 (5 Mvar)。220 kV 层面, 无功倒送变电站由 6 座减少为 3 座, 整体无功倒送量减少 73%。

5 结束语

新型电力系统是国家实现“双碳”目标的基础, 电网无功管控作为电能质量管理的重要部分, 是新型电力系统建设的方向之一。宁波供电公司分别从“源网荷”互动下的电源侧无功潜力挖掘、电网侧运行方式优化、负荷侧精细化管控 3 方面提出面向新型电力系统的地区电网节假日无功调控及管理方法, 并在 2022 年春节期间宁波电网极端低负荷运行情况下, 充分利用各项措施实现电网无功调控及管理, 使其满足电网正常运行要求, 为面向新型电力系统的地区电网节假日无功调控及管理提供参考, 也为浙江建设新型电力系统省级示范区提供有益借鉴。

(上接第 31 页)

- [15] 王艳, 薛晨, 焦彦军. 中压配电网静态中继结合的分级分层电力线载波通信路由算法[J]. 电力自动化设备, 2017, 37(12): 8-15.
- [16] 李艳, 张安龙, 郑曦. 配电网广域保护信息流建模与通信性能分析[J]. 电力科学与技术学报, 2019, 34(2): 5360.LI
- [17] 唐成虹, 杨志宏, 宋斌, 等. 有源配电网的智能分布式馈线自动化实现方法[J]. 电力系统自动化, 2015, 9(9): 101-106.
- [18] 姜炜超, 沈冰, 李昀, 等. 基于 5G 的含分布式电源智能分布式馈线自动化实现方法[J]. 供用电, 2021, 38(10): 57-63.
- [19] 赵洪山, 张伟韬. 基于 BLT 方程的中压电力线载波通信信道建模[J]. 电力系统自动化, 2019, 42(17): 155-161.
- [20] 刘伟麟, 李建岐, 陆阳, 等. 跨频带认知电力线载波通信: 核心思想、关键技术与应用[J]. 南方电网技术, 2016, 10

未来有源配电网是新型电力系统发展的重要方向, 可挖掘有源配电网下的无功管控潜力, 引导由电网侧为主的无功设备投资逐步转向更多市场、用户侧设备参与调节, 进一步提升电网投资、运行效率。

参考文献

- [1] 王志轩. 构建以新能源为主体的新型电力系统框架[J]. 阅江学刊, 2021, 3: 35-43.
- [2] 刘敏敏, 王浩浩. 春节期间茂名电网无功电压调控及管理[J]. 大众科技, 2017, 19(215): 70-71, 81.
- [3] 范登富. 变电站功率因素合格率指标的探讨[J]. 电气开关, 2017, 1: 8-11.
- [4] 王秀强. 新型电力系统构建“源网荷储”新业态[J]. 能源, 2021, 7: 32-34.
- [5] 吴智泉, 贾纯超, 陈磊, 等. 新型电力系统中储能创新方向研究[J]. 太阳能学报, 2021, 42(10): 444-451.
- [6] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 光伏发电站设计规范: GB/T 7714-2015[S]. 北京: 中国计划出版社, 2012.
- [7] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 光伏发电站无功补偿技术规范: GB29321-2012[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- [8] 袁士超, 朱晓杰, 张志雄, 等. 宁波多元融合高弹性电网供电承载力建设的探索与实践[J]. 农村电气化, 2022, 1: 8-10, 14.
- [9] 水利水电部, 国家物价局. 功率因数调整电费办法: 水电财字第 215 号[A]. 北京, 1983.
- [10] 曹娜, 康继光, 沈彬彬, 等. 新形势下城市大用户无功管理考核方法探究[J]. 电力与能源, 2018, 39(6): 784-788.

作者简介

袁士超(1986-), 男, 高级工程师, 主要从事电力系统调度及管理工作。

(责任编辑: 张峰亮)

- (5): 123-133.
- [21] 梁子龙, 李晓悦, 邹荣庆, 等. 基于 5G 通信智能分布式馈线自动化应用[J]. 电力系统保护与控制, 2021, 49(7): 24-30.
- [22] 张晖, 余蕊, 张宁池, 等. 基于 5G 通信的智能配电网改造经济性综合评估方式[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(25): 10746-10754.
- [23] 彭楚宁, 罗冉冉, 王晓东. 新一代智能电能表支撑泛在电力物联网技术研究[J]. 电测与仪表, 2019(15): 137-142.
- [24] 李松浓, 胡晓锐, 郑可, 等. 低压电力线载波通信信道衰减特性测量与分析[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(4): 99-106.
- [25] 吴圣芳, 赵雷, 顾健雨. 智能分布式 FA 在配电网中的应用[J]. 建筑电气, 2018, 37(6): 23-26.

(责任编辑: 张峰亮)