

Study on 10 kV Line Characteristics Based on Medium Voltage Carrier

Yongbin Li¹, Wenjun Chen¹, Tao Yu¹, Minglu Qi¹, Wang Zhang¹, Liang Li²

¹State Grid Qinghai Electric Power Company, Guoluo, Xining Qinghai

²Qingdao Topcomm Communication Co. Ltd., Qingdao Shandong

Email: liyongbin1978@163.com

Received: Jul. 1st, 2020; accepted: Jul. 27th, 2020; published: Aug. 3rd, 2020

Abstract

Using medium voltage carrier communication to achieve full coverage of power information acquisition and distribution automation has become a hot spot in the domestic power industry. The characteristics of 10 kV line will largely affect the reliability of medium voltage carrier communication, but due to the influence of voltage level and other factors, the research on 10 kV line characteristics is not mature. In this paper, a research method of 10 kV line characteristics based on medium voltage carrier is proposed. The improved medium voltage carrier communication machine and coupler can realize the collection of 10 kV line impedance, attenuation and noise, accumulate useful data for the long-term study of 10 kV line characteristics, help to improve the reliability of medium voltage carrier wave communication and assist 10 kV line fault monitoring.

Keywords

Medium Voltage Carrier, Carrier Machine, Coupler, Impedance, Attenuation, Noise

基于中压载波的10 kV线路特性研究方法

李永斌¹, 陈文君¹, 于涛¹, 祁明录¹, 张网¹, 李亮²

¹国网青海省电力公司果洛供电公司, 青海 西宁

²青岛鼎信通讯股份有限公司, 山东 青岛

Email: liyongbin1978@163.com

收稿日期: 2020年7月1日; 录用日期: 2020年7月27日; 发布日期: 2020年8月3日

摘要

利用中压载波通信实现用电信息采集全覆盖、配网自动化建设已成为国内电力行业一大热点, 10 kV线

文章引用: 李永斌, 陈文君, 于涛, 祁明录, 张网, 李亮. 基于中压载波的10 kV线路特性研究方法[J]. 智能电网, 2020, 10(4): 157-163. DOI: 10.12677/sg.2020.104017

路特性很大程度上会影响中压载波通信的可靠性,但受电压等级等因素的影响,10 kV线路特性的研究并不成熟。文中提出了一种基于中压载波的10 kV线路特性研究方法,利用改进的中压载波通信机和耦合器可以实现10 kV线路阻抗、衰减、噪声的采集,为10 kV线路特性长期研究积累有用数据,有助于提高中压载波通信可靠性,辅助10 kV线路故障监测。

关键词

中压载波, 载波机, 耦合器, 阻抗, 衰减, 噪声

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

中压载波通信[1]是利用现有10 kV中压配电线作为传输通道的一种通信方式,使用现有的、完善的配电线作为传输通道,不需要额外投资建设专用通信线路,具有投资少、设备简单、施工容易、维护管理方便、与电网建设同步、随新建工程开通快、覆盖面与电力系统一致等优点,对于实现用电信息采集全覆盖[2]、配网自动化建设[3]具有重要意义。

10 kV线路特性[4]是影响中压载波通信的主要因素,因此研究10 kV线路特性-阻抗、衰减、噪声格外重要,但受到电压等级等因素的影响,目前对10 kV线路特性的研究更多局限于仿真建模、高精尖试验设备现场测试,实时性差且无法批量工程化应用,文中针对上述10 kV线路特性研究困难的问题,提出了一种基于中压载波[5]的10 kV线路特性研究方法,通过改进的中压载波通信设备实现对10 kV线路阻抗、衰减、噪声的采集,通过实际应用测试验证,证实了该方法能实现对10 kV线路特定频点下的阻抗、特定频点下线路区间衰减、特定频带范围内噪声的采集,可为10 kV线路特性长期研究积累有用数据,有助于提高中压载波通信可靠性,辅助10 kV线路故障监测,对于推动用电信息采集全覆盖和配网自动化建设具有重大意义。

2. 设备简介

2.1. 改进的中压载波通信机

传统的中压载波通信机主要实现载波信号发送与载波信号接收,载波通信接口与耦合器相连。中压载波通信机分为中压载波通信主机和中压载波通信从机。改进的中压载波通信机主要在传统原理的基础上增加对载波通信接口的电压、电流采样部分,如图1所示。

2.2. 中压载波耦合器

中压载波耦合器主要实现载波信号的传输和工频隔离,顶端接10 kV线路,底端接地,信号接口与载波通信机相连。中压载波耦合器外形图如图2所示。

3. 工作原理

3.1. 阻抗采集

10 kV线路阻抗[6]采集是基于改进的中压载波通信机实现特定频点下载波信号发送端和载波信号

接收端 10 kV 线路的阻抗计算，原理框架图 3 所示。

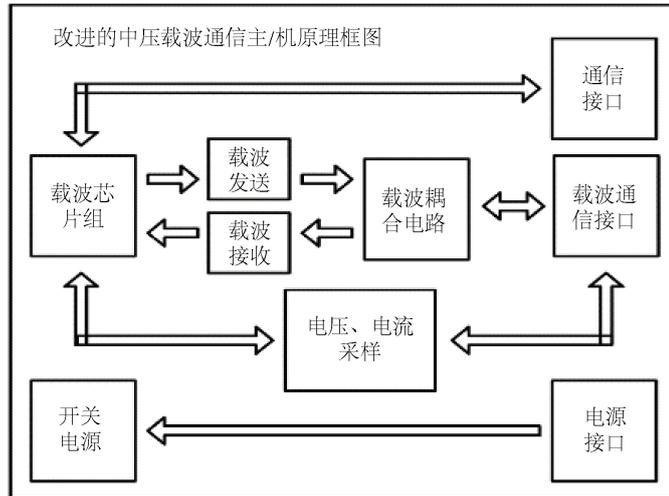


Figure 1. Principle block diagram of improved medium voltage carrier communication machine

图 1. 改进的中压载波通信机原理框图



Figure 2. Figure of coupler

图 2. 耦合器外形图

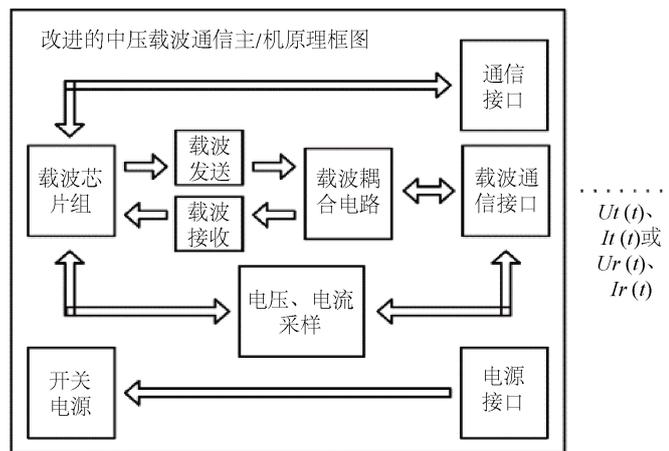


Figure 3. Block diagram of 10 kV line impedance acquisition principle

图 3. 10 kV 线路阻抗采集原理框图

载波信号发送端10 kV线路阻抗计算：通过采集载波通信接口发送信号的电压 $U_t(t)$ 、电流 $I_t(t)$ 的幅值与相位信息，分析电压、电流的幅值比值与相位差异，可以计算载波信号发送端10 kV线路的阻抗及阻容感特征信息，计算公式如下：

$$Z_t(t) = U_t(t) / I_t(t) \quad (1)$$

电压 $U_t(t)$ 相位超前电流 $I_t(t)$ 相位，则线路阻抗呈感性；电压 $U_t(t)$ 相位滞后电流 $I_t(t)$ 相位，则线路阻抗呈容性；电压 $U_t(t)$ 相位同于电流 $I_t(t)$ 相位，则线路阻抗呈纯阻性。

同理，载波信号接收端10 kV线路阻抗计算：通过采集载波通信接口接收信号电压 $U_r(t)$ 、电流 $I_r(t)$ 的幅值与相位信息，分析电压、电流的幅值比值与相位差异，可以计算载波信号接收端10kV线路阻抗及阻容感特征信息，计算公式如下：

$$Z_r(t) = U_r(t) / I_r(t) \quad (2)$$

电压 $U_r(t)$ 相位超前电流 $I_r(t)$ 相位，则线路阻抗呈感性；电压 $U_r(t)$ 相位滞后电流 $I_r(t)$ 相位，则线路阻抗呈容性；电压 $U_r(t)$ 相位同于电流 $I_r(t)$ 相位，则线路阻抗呈纯阻性。

3.2. 衰减采集

10 kV 线路衰减[7]采集是基于改进的中压载波通信机实现特定频点下载波信号发送端与载波信号接收端之间 10 kV 线路的衰减计算，原理框图如图 4 所示：

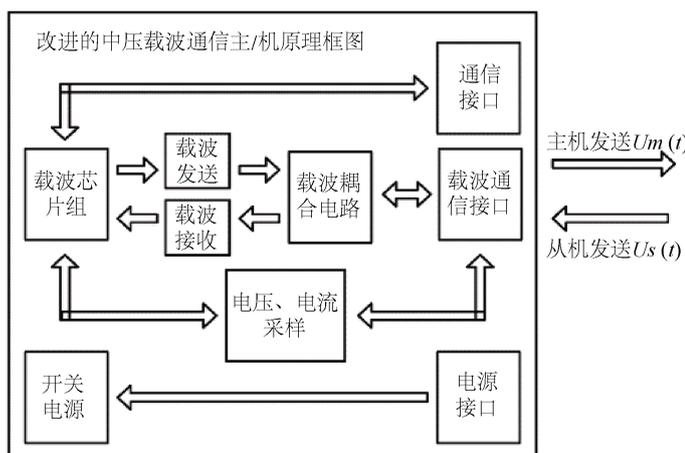


Figure 4. 10 kV line attenuation acquisition principle block diagram

图 4. 10 kV 线路衰减采集原理框图

载波信号发送端与载波信号接收端之间10 kV线路衰减计算：通过采集载波通信接口主机发送和从机接收信号电压 $U_m(t)$ 和 $U_s(t)$ ，分析同一时段载波通信接口主机发送和从机接收信号的幅值比值，可得到10 kV线路对信号的衰减特性。计算公式如下：

$$A = 20 \left| \log \left(U_s(t) / U_m(t) \right) \right| \quad (3)$$

3.3. 噪声采集

10 kV 线路噪声采集是基于改进的中压载波通信机实现特定频带范围内载波信号发送端和载波信号接收端 10 kV 线路噪声采集，原理框图如图 5 所示：

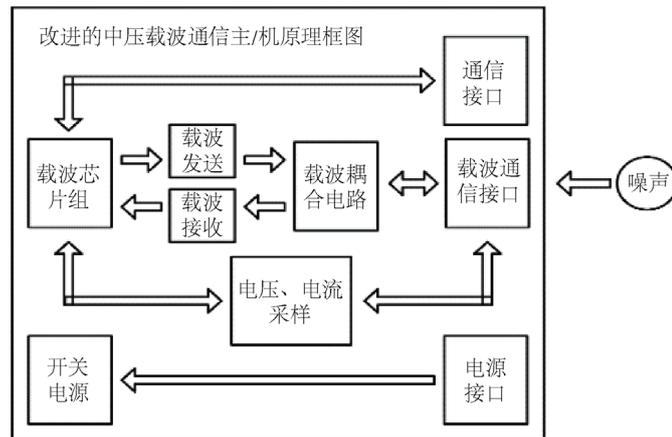


Figure 5. 10 kV line noise acquisition principle block diagram
图 5. 10 kV 线路噪声采集原理框图

载波信号发送端 10 kV 线路噪声采集：通过采集载波通信接口空闲状态下的端口电压信息 $U_f(t)$ ，用 DFT 算法分析信号中的频率分量，计算公式为：

$$b_k = \frac{2}{N} \left[\sum_{i=0}^{N-1} f \left(T_0 + i \frac{T}{N} \right) \sin \left(2\pi \frac{i}{N} \right) - f \left(T_0 + (i-N) \frac{T}{N} \right) \sin \left(2\pi k \frac{i}{N} \right) \right] \quad (4)$$

$$a_k = \frac{2}{N} \left[\sum_{i=0}^{N-1} f \left(T_0 + i \frac{T}{N} \right) \cos \left(2\pi \frac{i}{N} \right) - f \left(T_0 + (i-N) \frac{T}{N} \right) \cos \left(2\pi k \frac{i}{N} \right) \right] \quad (5)$$

其中， a_k 代表第 k 次谐波的实部， b_k 代表第 k 次谐波的虚部， N 代表工频周波的数据点数， k 代表谐波次数。

通过分析可得到信号在 100 kHz~40 MHz 频带范围内的频谱特性，以确认 10 kV 线路噪声变化特点。

同理，载波信号接收端 10 kV 线路噪声采集：通过采集载波通信接口空闲状态下的端口电压信息 $U_f(t)$ ，用公式(4)和(5)通过分析可得到信号在 100 kHz~40 MHz 频带范围内的频谱特性，以确认 10 kV 线路噪声变化特点。

4. 现场测试

在青岛崂山现场随机选取 1 条 10 kV 中压架空、地缆混合线路安装中压载波通信设备，线路距离大约 3 km。

4.1. 阻抗测试

青岛崂山现场，通过中压载波通信机采集的阻抗值为 70 Ω (200 KHz)，40 Ω (300 KHz)，20 Ω (500 KHz)，120 Ω (1 MHz)。

用专业阻抗采集设备[8]采集的阻抗分布如图 6 所示。

根据专业阻抗采集设备采集的阻抗分布图，可以看出与中压载波通信机采集计算的阻抗值基本一致。

综上所述可以看出通过中压载波通信机采集的阻抗数据与专业阻抗采集设备采集的数据相差不大，可以作为实际参考值。

测试数据表明，10 kV 线路阻抗特性随频率变化而变化，其变化值从几欧姆到几百欧姆。在低频段，10 kV 线路特性主要呈感性；在高频段，10 kV 线路特性主要呈容性，整个测试频段内，线路特性会出现容、感性突变现象，尤其在混合线路更易出现。

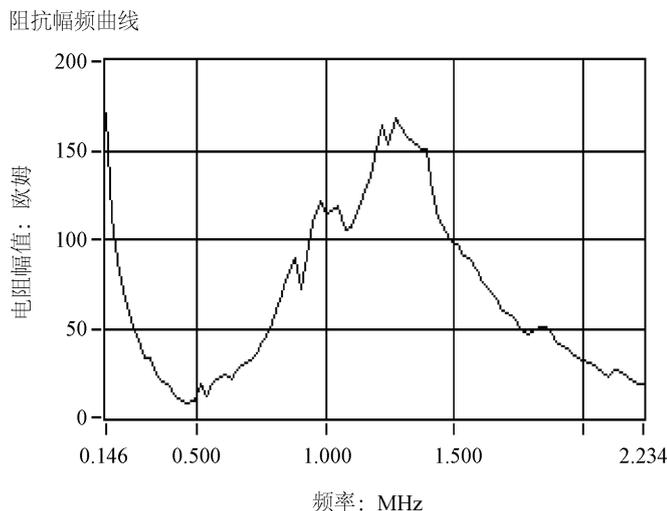


Figure 6. Impedance distribution diagram collected by professional impedance acquisition equipment

图 6. 专业阻抗采集设备采集的阻抗分布图

改进的中压载波通信机实现阻抗采集功能，一是可以积累数据用作 10 kV 线路特性研究；二是中压载波通信机可以根据 10 kV 线路阻抗调整载波通信接口阻抗，实现阻抗匹配，提高载波发送效率，进而提高中压载波通信可靠性；三是当 10 kV 线路发生故障后，线路阻抗会发生急剧变化，改进的中压载波通信机实时采集阻抗数据，可以作为 10 kV 线路故障判断依据。

4.2. 衰减测试

青岛崂山现场，通过中压载波通信机读取的衰减值为 30 dB (200 KHz)，45 dB (300 KHz)，70 dB (500 KHz)，90 dB (1 MHz)。

用高精尖示波器抓取载波信号发送端发送幅值为 32.53 dBV (200 KHz、300 KHz、500 KHz、1 MHz)；

用高精尖示波器抓取载波信号接收端接收幅值为 1.5 dBV (200 KHz)，-12.46 dBV (300 KHz)，-38.69 dBV (500 KHz)，-56.23 dBV (1MHz)；

根据高精尖示波器抓取数据计算得到该区间线路衰减值为 31.03 dB (200 KHz)，44.99 dB (300 KHz)，71.22 dB (500 KHz)，88.76 dB (1 MHz)。

综上所述可以看出通过中压载波采集的衰减数据与专业设备采集的数据相差不大，可以作为实际参考值。

测试数据表明，10 kV 线路衰减特性随频率变化而变化，在低频段的衰减要小于高频段，架空线转地缆或地缆转架空线处衰减会增大。

改进的中压载波通信机实现衰减采集功能，一是可以积累数据用作 10 kV 线路特性研究；二是中压载波通信机可以根据 10 kV 线路衰减调整载波发送频率或增大发送功率，提高中压载波通信可靠性；三是当 10 kV 线路发生故障后，线路衰减会发生急剧变化，改进的中压载波通信机实时采集衰减数据，可以作为 10 kV 线路故障判断依据。

4.3. 噪声测试

青岛崂山现场，通过中压载波通信机读取的噪声频点为 481 KHz；

用专业噪声采集设备采集的噪声频谱分布如图 7 所示：

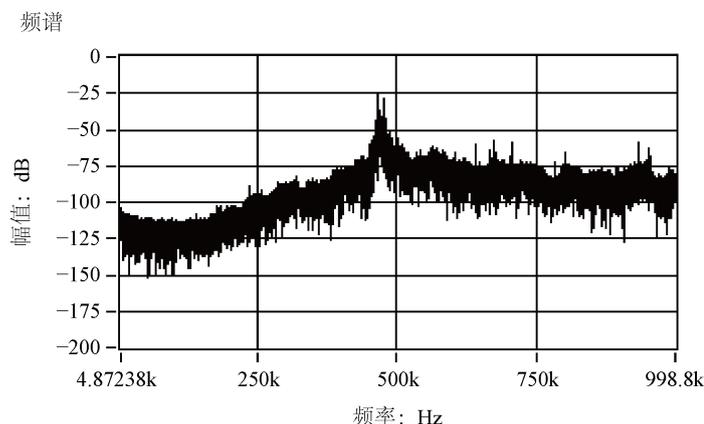


Figure 7. Noise spectrum diagram collected by professional noise acquisition equipment

图 7. 专业噪声采集设备采集的噪声频谱图

根据专业噪声采集设备采集的噪声频谱分布图,可以看出在幅值最大的噪声频率集中在 480 KHz 附近。综上所述可以看出通过中压载波采集的衰减数据与专业噪声设备采集的数据相差不大,可以作为实际参考值。

测试数据表明, 10 kV 线路噪声特性没有明显规律。

但改进的中压载波通信机实现噪声采集功能,一是可以积累数据用作 10 kV 线路特性研究;二是中压载波通信机可以根据 10 kV 线路噪声调整载波发送频率避开噪声的同频干扰,提高中压载波通信可靠性;三是当 10 kV 线路发生故障后,线路会出现高频特征噪声,改进的中压载波通信机实时采集噪声数据,可以作为 10 kV 线路故障判断依据。

5. 结束语

对比现场测试数据,基于中压载波可以实现对 10 kV 线路特定频点下阻抗采集、特定频点下线路区间衰减采集,及一定频带范围内噪声采集,这些数据可以作为实际值参考值,长期的数据积累可以指导 10 kV 线路特性研究建模[9],有助于提高中压载波通信可靠性,辅助 10 kV 线路故障监测[10],对于推动用电信息采集全覆盖和配电自动化建设具有重大意义。

参考文献

- [1] 陈辉, 马亚彬. 10kV 电力线路的载波通信技术[J]. 自动化应用, 2017(4): 98-99, 104.
- [2] 苟国栋. 中压载波在用电信息采集中的运用[J]. 科技创新与应用, 2017(35): 135-137.
- [3] 车飞平. 配网自动化通信方案设计探讨[J]. 大众用电, 2016, 31(6): 28-29.
- [4] 刘海涛, 宋健, 赵丙镇, 李晓. 中压电力线通信信道特性测试及分析[J]. 电力系统通信, 2006(4): 17-21.
- [5] 妙红英, 王艳芹, 王松, 岳虎, 巨汉基, 刘岩, 洪虹, 康强. 基于中压电力线载波的通信技术研究[J]. 军民两用技术与产品, 2017(22): 216-218.
- [6] 熊淦辉, 谢润生, 林伟坤. 架空线中压电力线载波的信道阻抗特性研究[J]. 电工技术, 2019(6): 71-73.
- [7] 李丰. 低压电力线载波通信信道阻抗和衰减特性研究[D]: [硕士学位论文]. 保定: 华北电力大学, 2012.
- [8] 王立城, 胡科军, 霍超, 李建岐. 低压电力线载波信道测试装置设计[J]. 电测与仪表, 2015(10): 44-49, 77.
- [9] 胡苏阳, 王莉, 杨善水. 电力线信道系统噪声的建模方法研究[J]. 电测与仪表, 2018, 55(17): 88-93.
- [10] 朱启贵, 王焯, 牟宪民. 10kV 配电网电力线载波监测系统[J]. 电测与仪表, 2014(2): 10-13.