

典型通信频率的低压电力线通信噪声特性研究

黄朋飞¹, 谢涛¹, 刘爱莲¹, 李英娜¹, 曹敏², 李波²,
毕志周², 赵振刚¹, 李川¹

(1. 昆明理工大学 信息工程与自动化学院, 云南 昆明 650500;

2. 云南电力实验研究院(集团)有限公司 电力研究院, 云南 昆明 650217)

摘要:针对学生宿舍区、教学实验区和居民区3个典型的电力环境,使用低压电力线噪声采集设备采集噪声数据,处理得到10~500 kHz噪声功率谱,进而分析电力线噪声幅值随典型通信频率及在不同时段的变化趋势.结果表明:噪声幅值随频率的升高而降低,低频段噪声对电力线通信影响较大,在用电高峰时段噪声幅值会有10~35 dB μ V的波动.因此,就抗干扰程度而言,载波频带为100~450 kHz的美国标准比载波频带为3~148.5 kHz的欧洲标准更适合电力载波通信传输.

关键词:低压电力线通信;通信频率;信道噪声;功率谱;噪声幅值

中图分类号:TM73 **文献标志码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.2095-476X.2014.02.014

Research on the noise characteristics of typical communication frequency in low-voltage power line communication

HUANG Peng-fei¹, XIE Tao¹, LIU Ai-lian¹, LI Ying-na¹, CAO Min², LI Bo²,
BI Zhi-zhou², ZHAO Zhen-gang¹, LI Chuan¹

(1. Faculty of Information Engineering and Automation, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China;

2. Electric Power Research Institute, Yunnan Electric Power Test and Research (Group) Co., Ltd., Kunming 650217, China)

Abstract: The low-voltage power line noise acquisition equipment was used to collect noise data in three power environments including the student dormitory, teaching experimentation area and residential area, processing to get 10~500 kHz noise power spectrum was gotten variation tendency of the power line noise amplitude with typical communication frequency and different periods were analyzed. The results showed that: noise amplitude will decrease with the increase of the frequency; Low-frequency noise has a greater impact on the power line; During power peak periods, noise amplitude will fluctuate 10~35 dB μ V. Therefore, as far as noise level, the America standard carrier frequency band of 100~450 kHz was more suitable for power line carrier communication than the European standard carrier frequency band of 3~148.5 kHz.

Key words: low-voltage power line communication; communication frequency; channel noise; power spectrum; noise amplitude

收稿日期:2013-11-18

基金项目:国家自然科学基金项目(KKGD201203004)

作者简介:黄朋飞(1984—),男,河南省平顶山市人,昆明理工大学硕士研究生,主要研究方向为电力载波通信、无线通信.

通信作者:李川(1971—),男,四川省成都市人,昆明理工大学教授,博士研究生导师,主要研究方向为检测技术与自动化装置.

目前,国内外的文献资料对于低压电力线载波通信信道噪声特性的研究,大多是在理论分析的层面,本文则针对学生宿舍区、教学实验区和居民区3个用电环境,对典型通信频率下的低压电力线通信信道噪声特性进行研究,掌握电力线信道噪声随通信频率的变化规律,以期改善载波通信质量.

低压电力线的传输环境有别于其他通信信道,其拓扑结构和物理特性都与传统的通信传输介质不同.与国外载波通信环境相比,我国的低压电力网络信道特性更复杂,通信环境也更为恶劣,主要体现在网络结构复杂、存在各种干扰和噪声、连接负载多且经常发生变化^[10-13],这都会严重影响载波通信质量.实际环境中,低压电力线噪声通常可分为有色背景噪声、窄带噪声、与工频异步的周期性脉冲噪声、与工频同步的周期性脉冲噪声和随机脉冲噪声,前三者为背景噪声,后两者为脉冲噪声^[6,14-16].对上述噪声的采集,通常由低压电力噪声

声采集设备完成,该设备主要包括两模块:1)高精度高速数字化仪 TCD100.该仪器可保证信号采集的精确性,并使噪声分析的频率分辨率精确到 5 kHz 间隔以内.2)噪声耦合单元(即高通滤波器).它提

供噪声分析所需的测试信号以及信号采集所需的市电触发信号,有 10 V_{pp} 和 2 V_{pp} 2 个测试档可供选择,本文采用 10 V_{pp} 测试档。耦合单元原理如图 1 所示。

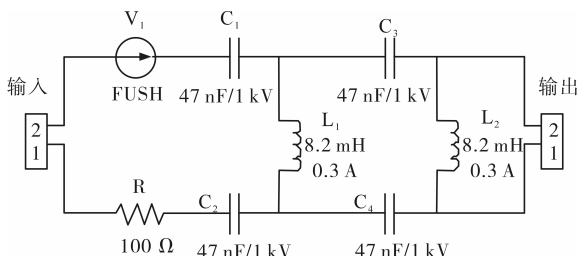


图 1 噪声耦合单元原理图

该设备对所接入电力环境中的噪声进行采样, TCD100 的采样率为 100 MSa/s,能够分析的频谱范围是 10 ~ 500 kHz.

2 低压电力线通信频率选择

电网中负荷情况复杂,负载变化幅度大,噪声种类多且信号强,信号很容易产生反射、驻波、谐振等现象,因而电力线载波通信信道具有很强的频率选择性。PLC 窄带通信频率范围的标准^[17-18]主要有美国联邦通信委员会制定的载波频带为 100 ~ 450 kHz 的美国标准、欧洲电工标准化委员会制定的载波频带为 3 ~ 148.5 kHz 的欧洲标准,中国电力行业对国内低压电力线载波通信使用频率范围规定为 40 ~ 500 kHz。国内外诸多企业根据不同的频率标准所采用的载波通信频率方案也各不相同^[18-19],东软公司产品信号频率选用的是 270 kHz,近年来开始研究 132 kHz,产品性能相对成熟,但信道噪声干扰对载波通信的影响较大,传输速率不高;青岛鼎信公司产品的传输速率比较高,但中心频率选取过高(421 kHz),超过了欧洲标准,影响其国际化进程。因此,研究不同频率下信道的噪声特性对载波通信应选用何种通信频率有一定的指导意义。本文参照国内市场载波产品通信频率的使用情况,选取一组较为主流的通信频率(即 60 kHz, 86 kHz, 120 kHz, 132 kHz, 270 kHz, 392 kHz, 421 kHz 和 480 kHz)来对低压电力线的噪声特性进行分析。

3 低压电力线噪声数据分析

低压电力线的传输环境复杂,不同用电环境的噪声强度有很大差别^[20-21],并且具有时变性.本文选取学校学生宿舍区、教学实验区和居民区3个环境,进行连续3 d噪声数据采集,得出噪声功率谱最

大幅值的平均值.

1)学生宿舍区. 在学生宿舍区进行 3 次连续 24 h 的噪声数据采集,在 Matlab 中经 FFT 变换仿真得出噪声功率谱,然后针对不同输入频率求出每一时间点电力线的噪声功率谱最大幅值,再综合几次采集的数据得到噪声功率谱最大幅值的平均值(见表 1),11:00 时的噪声时域波形如图 2 所示.

表 1 学生宿舍区 24 h 噪声幅值 dBμV									
时间 /h	中心频率/kHz								
	60	86	120	132	270	392	421	480	
1	96.2	90.0	85.3	86.1	77.0	73.4	73.3	72.9	
2	99.7	91.9	87.5	88.2	77.7	74.4	73.6	72.5	
3	85.2	81.4	78.3	77.2	70.5	67.7	66.9	65.7	
4	88.9	85.4	82.2	81.3	74.9	71.9	71.2	70.2	
5	86.4	81.9	79.0	77.9	71.6	68.4	67.9	66.5	
6	85.2	81.9	78.9	78.1	71.8	68.5	67.8	66.2	
7	83.4	80.1	77.8	76.2	70.1	66.9	67.0	65.8	
8	86.0	82.3	78.9	78.0	71.7	68.3	67.5	66.8	
9	91.7	85.6	82.0	81.6	75.1	71.8	71.2	69.9	
10	87.9	82.8	79.9	78.9	72.4	69.2	68.7	67.2	
11	87.8	82.9	79.8	78.8	72.2	69.2	68.6	67.2	
12	96.9	88.8	84.4	84.9	75.8	72.7	72.6	75.6	
13	96.9	88.6	84.4	84.0	75.2	72.3	72.9	75.0	
14	95.3	87.2	82.4	83.2	74.5	71.0	70.7	71.9	
15	97.3	88.1	84.5	84.7	76.9	72.9	72.8	74.9	
16	95.7	87.9	84.2	85.2	74.7	71.2	72.1	74.4	
17	96.8	88.7	84.1	85.8	74.9	71.9	72.3	75.0	
18	94.6	86.9	82.6	84.0	75.3	71.6	73.3	75.3	
19	96.1	87.5	83.7	83.9	75.3	71.7	72.7	74.7	
20	96.8	90.1	82.6	83.8	76.3	72.7	73.8	74.9	
21	101.4	97.2	92.2	91.1	81.9	78.7	78.3	76.9	
22	105.5	99.0	95.5	96.5	86.2	82.7	82.4	79.8	
23	101.9	96.1	94.3	93.4	82.6	79.1	78.4	77.3	
24	104.4	99.0	95.1	94.6	80.8	77.4	76.4	76.1	

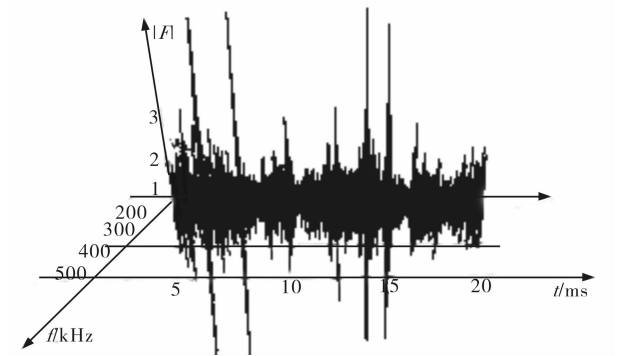


图2 学生宿舍区 11:00 时噪声波形图

由表 1 和图 2 可得出:学生宿舍区噪声幅值在整体上呈随频率升高而降低的趋势,132 kHz 及以下频率所对应的噪声幅值基本都在 80 dBμV 以上,270 kHz 及以上频率所对应的噪声幅值基本都在 80 dBμV 以下,前者高出后者约 10 ~ 30 dBμV;各频率对应的噪声幅值在时段 3:00 ~ 11:00 都处于 90 dBμV 及以下,但在剩余时段噪声幅值会有 10 ~ 15 dBμV 的增加;在学生宿舍区用电低峰时段 2:00 ~ 11:00,噪声幅值处于低谷区,在用电高峰时段 12:00 ~ 2:00,噪声幅值有所升高,132 kHz 及以下频率尤为明显,其中时段 12:00 ~ 20:00 相对平滑,而在用电情况变化较大的 20:00 ~ 2:00,噪声幅值会产生 10 dBμV 左右的波动.

2)教学实验区. 在 0:00 ~ 6:00 时段,教学实验区基本处于封闭状态. 经数据采集分析得知,此时段各频率对应的电力线噪声功率谱最大幅值基本处于 75 dBμV 以下的稳定区域. 因此,使用 TCD100 对教学实验区 7:00 ~ 23:00 进行 3 次噪声数据采集,得到噪声功率谱最大幅值的平均值见表 2,11:00 的噪声时域波形如图 3 所示.

由表 2 和图 3 可得出:教学实验区噪声幅值随频率的升高而降低,132 kHz 及以下频率所对应的噪声幅值比 270 kHz 及以上频率所对应的噪声幅值高约 10 ~ 15 dBμV;各频率对应的噪声幅值在 23:00 ~ 9:00 之间都处于 80 dBμV 以下,但在剩余

表 2 教学实验区 7:00 ~ 23:00 噪声幅值 dBμV									
时间 /h	中心频率/kHz								
	60	86	120	132	270	392	421	480	
7	73.2	71.8	68.3	68.1	62.5	60.4	59.9	58.1	
8	75.2	72.0	68.4	68.9	61.9	58.6	58.0	57.1	
9	80.1	76.7	74.0	72.9	66.6	63.0	62.9	61.7	
10	103.2	98.4	95.6	95.1	88.5	85.7	84.2	83.9	
11	98.1	92.0	89.4	88.7	86.3	79.2	78.6	77.5	
12	95.2	90.4	87.2	86.6	80.2	76.9	71.4	73.6	
13	97.9	92.3	88.9	88.0	81.4	78.2	77.5	76.4	
14	104.0	98.9	95.6	94.6	88.2	84.9	84.3	83.2	
15	100.9	96.5	92.9	92.1	85.7	82.4	81.7	80.7	
16	100.8	96.4	92.8	91.9	85.3	82.1	81.5	80.3	
17	100.4	95.8	92.1	91.2	84.8	81.5	80.9	79.7	
18	100.7	96.4	93.0	91.9	85.5	82.1	81.5	80.4	
19	101.4	96.0	92.6	91.6	85.0	81.8	81.1	80.0	
20	86.5	82.0	79.1	78.6	71.9	68.8	68.1	66.7	
21	89.0	83.7	80.1	79.4	73.1	69.8	69.2	68.5	
22	85.4	79.4	76.2	75.1	68.1	65.4	64.9	63.3	
23	73.6	70.4	67.4	66.6	60.2	57.5	57.1	54.9	

时段噪声幅值有 10 ~ 20 dB μ V 的增加,其中在 7:00 ~ 9:00 时段,噪声幅值呈上升趋势,在教学实验区用电高峰时段 10:00 ~ 19:00,噪声幅值明显偏高,且在 10:00 ~ 14:00 会有 10 dB μ V 的起伏,14:00 ~ 19:00 处于平稳区,19:00 以后的噪声幅值处于下降趋势,下降幅度约 25 dB μ V.

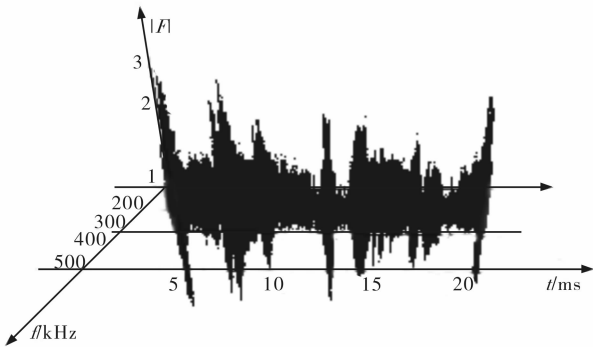


图 3 教学实验区 11:00 时噪声波形图

3)居民区.在居民区进行 3 次连续 24 h 的噪声数据采集,得到噪声功率谱最大幅值的平均值见表 3,11:00 的噪声时域波形如图 4 所示.

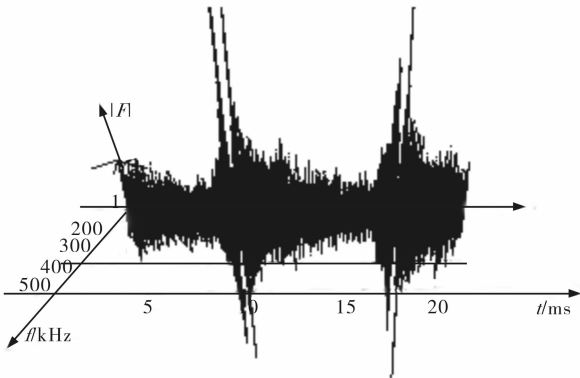


图 4 居民区 11:00 时声波形图

由表 3 和图 4 可得出:居民区噪声幅值有随频率的升高而降低的趋势,132 kHz 及以下频率所对应的噪声幅值基本都在 80 dB μ V 以上,270 kHz 及以上频率所对应的噪声幅值除时段 7:00 ~ 23:00 外都在 80 dB μ V 以下,前者高出后者约 10 ~ 35 dB μ V;各频率对应的噪声幅值在 23:00 ~ 7:00 处于 100 dB μ V 以下,但在剩余时段噪声幅值有 10 ~ 20 dB μ V 的增加.在 7:00 ~ 21:00 噪声幅值整体呈稳中有升的趋势,在居民用电高峰时段 8:00 ~ 9:00,12:00 ~ 14:00 和 19:00 ~ 21:00,噪声幅值会有 15 dB μ V 左右的波动.

4)不同环境噪声幅值比较.选取频点 60 kHz 和

132 kHz,对学生宿舍区、教学实验区和居民区 3 个不同环境的噪声幅值在 7:00 ~ 23:00 时段的变化情况进行比较,结果如图 5 所示.

表 3 居民区 24 h 噪声幅值 dB μ V

时间 /h	中心频率/kHz							
	60	86	120	132	270	392	421	480
1	92.2	88.7	80.1	80.0	75.4	74.3	71.4	70.3
2	92.4	87.1	79.7	78.9	75.1	71.9	71.2	70.3
3	90.5	89.3	78.7	77.1	75.8	72.5	71.7	70.7
4	92.1	88.1	77.1	76.1	74.8	72.2	71.8	70.9
5	91.2	84.1	78.9	78.1	71.9	75.0	72.2	71.5
6	91.0	84.2	80.7	79.8	71.2	71.8	71.2	69.9
7	93.8	88.7	86.3	83.3	77.3	73.9	73.2	72.3
8	105.3	98.9	93.2	91.2	87.5	84.2	83.9	82.4
9	97.3	90.9	87.0	86.7	85.2	82.8	76.2	74.8
10	97.5	94.3	89.6	88.9	87.0	83.0	79.8	80.1
11	98.4	95.0	91.7	90.8	86.8	81.2	81.4	79.5
12	99.6	96.9	89.2	89.1	86.5	82.3	80.3	79.2
13	109.3	101.0	97.5	96.2	95.2	88.5	86.0	85.3
14	99.7	97.5	92.6	88.4	87.5	84.1	83.6	80.3
15	99.4	94.4	92.9	90.0	86.7	84.6	80.0	78.4
16	98.1	95.5	91.6	90.8	89.4	85.8	83.5	81.5
17	99.7	93.5	92.6	91.4	90.5	88.1	83.6	80.3
18	100.4	93.8	92.6	90.4	90.9	89.6	84.9	81.9
19	109.8	96.8	93.8	93.1	92.8	91.5	90.9	81.8
20	112.1	103.9	98.8	95.9	95.5	94.2	90.6	84.4
21	101.5	96.9	94.8	93.3	92.4	86.0	84.8	80.9
22	98.7	92.5	91.6	88.4	85.5	79.1	78.6	75.3
23	94.9	86.7	80.4	79.1	77.0	69.7	68.9	68.0
24	93.7	87.4	79.9	79.8	75.5	70.2	71.7	70.3

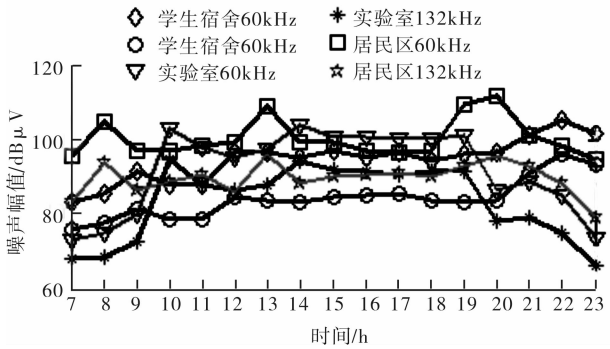


图 5 不同环境噪声幅值变化图

由图 5 可看出,3 个不同环境的噪声幅值都有随频率升高而降低的趋势,时段 9:00 ~ 18:00 处于相对平稳区;同频率同时刻居民区、学生宿舍区和教学实验区的电力线噪声幅值依次升高,但在 10:00 ~ 18:00,教学实验区的噪声幅值反而比其他 2 个环境高出 5 ~ 10 dB μ V,说明此时段为教学实验

区的用电高峰时段.

4 结论

本文对学校学生宿舍区、教学实验区及居民区3个较为典型的用电环境进行噪声数据采集,实验表明:随着频率的升高,电力线中噪声幅值会随之降低,降低幅度范围为20~30 dB μ V,在本文所选用频率中,各环境132 kHz以下频率对应的噪声幅值高出其他频率噪声幅值的范围为10~35 dB μ V,各用电环境噪声幅值高峰区及产生较大波动的区域分布相对集中在各用电高峰时段12:00~2:00,9:00~22:00和7:00~22:00.由此可见,就抗干扰程度而言,载波频带为100~450 kHz的美国标准比载波频带为3~148.5 kHz的欧洲标准更适合电力载波通信传输.

参考文献:

- [1] 郑雪,乐健,蔡伟,等.电力线载波通信元件阻抗模型研究综述[J].电力系统保护与控制,2012,40(6):135.
- [2] 刘海涛,张保会,郑涛.低压电网信道频率响应模型的研究[J].电工技术学报,2004,19(11):66.
- [3] 戚佳金,陈雪萍,刘晓胜.低压电力线载波通信技术研究进[J].电网技术,2010,32(5):161.
- [4] 邹志威,陈启美,左雯.跻身未来的电力线通信(一):回顾与展望[J].电力系统自动化,2003,27(3):72.
- [5] 罗春风,文劲宇,杨慧敏,等.基于OFDM电力线载波通信系统同步新方法[J].电力系统保护与控制,2010,38(17):28.
- [6] 郭昊坤,吴军基,衡思坤,等.低压电力线通信信道噪声建模及仿真[J].电力系统保护与控制,2012,40(13):61.
- [7] 张世平,张绍卿,李德胜.基于全通滤波器的IIR陷波器在抑制电力线通信中的谐波干扰的研究[J].电工技术学报,2003,18(3):107.
- [8] 耿煊,李永辉.低压电力线通信的信道特性分析及模

型研究[J].电力系统通信,2004(4):19.

- [9] 张龙,蒋跃明.PL系列电力线载波芯片通信频率提升方法[C]//2011第22届中国电工仪器仪表产业发展论坛暨展会,新产品与新技术,苏州:[s. n.],2011:82~85.
- [10] 陈凤,郑文刚,申长军,等.低压电力线载波通信技术及应用[J].电力系统保护与控制,2009,37(22):188.
- [11] Katayama M, Yamazato T, Okada H. A mathematical model of noise in narrowband power line communication systems[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2006, 24(7):1267.
- [12] 肖勇,房莹,张捷,等.低压电力线载波通信信道特性研究[J].电力系统保护与控制,2012,40(20):20.
- [13] 周陶涛,马正新,王剑,等.低压电力线通信性能测试分析与路径选择[J].电工技术学报,2008,23(8):126.
- [14] 马强,陈启美,李勃.跻身未来的电力线通信(二):电力线信道分析及模型[J].电力系统自动化,2003,27(4):72.
- [15] 吴军基,郭昊坤,孟绍良,等.电力线通信信道背景噪声建模研究[J].电力系统保护与控制,2011,39(23):6.
- [16] 房曙光.低压电力线通信信道特性[J].继电器,2007,35(22):53.
- [17] 曹惠彬.电力线通信(PLC)技术综述[J].电力系统通信,2004,25(1):1.
- [18] 吕英杰,邹和平,赵兵.国内低压电力线载波通信应用现状分析[J].电网与清洁能源,2010,26(4):33.
- [19] 刘继军.国内电力载波通信芯片技术及市场[J].电器工业,2010(12):61.
- [20] Chan M H L, Donaldson R W. Amplitude, width, and interarrival distributions for noise impulses on intrabuilding power line communication networks[J]. IEEE Trans on Electromagnetic Compatibility, 1989, 31(3):320.
- [21] 张有兵,何海波,吴昕,等.低压电力线载波通信中信道模型的研究[J].继电器,2002,30(5):20.