

低压电力线载波通信的信道特性分析与抗干扰措施

孙秀娟¹, 罗运虎², 刘志海¹, 王传江¹, 于玮玮³

(1. 山东科技大学 信电学院, 山东 青岛 266510; 2. 东南大学 电气工程系, 江苏 南京 210096; 3. 烟台市牟平区机关办公自动化管理中心, 山东 烟台 264100)

摘要: 对低压电力线的信道特性进行了定性分析, 研究了其阻抗、信号衰减和噪声干扰 3 个方面的特性。结合我国电网特点和对居民小区及金工实习厂电力线路的实地测量, 分析了低压电力线网络的噪声来源及相应的噪声特性。针对低压电力线上的信号衰减和干扰特性具有复杂、随机性、时变性大, 难以用较准确的解析式或数学模型加以描述的特点, 提出了几种改善通信质量的抗干扰措施: 数据分组重组、加装阻波器、多径接收技术、扩频通信技术以及采用规范化的通信协议等, 并将其应用在工程实验中, 实践证明所用措施可行有效。

关键词: 电力线载波; 信道特性; 噪声; 扩频通信; 抗干扰

中图分类号: TM 73

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2007)02-0043-04

0 引言

电力线载波通信是指用电力线路作为通信媒体进行通信, 是电力系统特有的通信方式。电力线作为通信媒体的优点是: 电力线路是现成的, 不需要额外投资铺设线路; 电力线路遍及各处, 只要有电力线路, 就可建主通信线路; 简单而标准的接口使得线路连接方便, 只需插上电源插头即可; 载波信号的传输介质是电力线, 保证了通信的稳定、可靠; 载波通信与一次电网关系密切, 可与一次电网同步施工, 建设速度快、投资较少。

虽然电力线载波通信具有诸多优点, 但是电力线并不是一种理想的传输媒介, 它也有很多不利于数据传输弊端, 从而影响了电力线载波通信的发展。下面就某居民小区和金工实习厂的电力线路的实地测量结果对低压电力线路的信道特性进行分析, 并提出在设计载波通信系统时可采取的相应抗干扰措施。由于小区楼内的各类电信号种类齐全, 工厂车间内的大功率用电设施也比较齐全, 因此认为所选择的测量对象具有代表性。

1 低压电力线系统的信道特性

对于所有的通信信道、阻抗、信号衰减和干扰是决定其性能的基本参数。而且, 在 220/380 V 低压

电力线上进行信号传输,与高压电力线载波通信有较大区别,突出表现在工作环境恶劣、线路阻抗小、信号衰减强、干扰大且时变性大等特点。

1.1 低压电力线路中的噪声^[1]

经过多次的测量和比较,并分析了低压电力线网络的噪声来源及相应的噪声特性,可将电力线上的噪声分为非人为噪声和人为噪声。非人为噪声是自然现象,如雷电在电力线上引起的噪声;人为噪声则是由连接在电力线上的用电设备产生的,它对数据通信有着更严重的影响。

1.1.1 非人为噪声

a. 背景噪声。电力线的背景噪声是典型的高斯离散型,它始终在通信线上存在,噪声大小与通信线介质的温度成正比。如果介质温度高,背景噪声就增大。为了限制噪声,应将介质保持在尽可能低的温度。图 1 为检测到的背景噪声,图中周期 7.028 ns,频率 142.3 MHz,低信号幅值 3.60 mV,峰-峰值测定 88.5 mV。

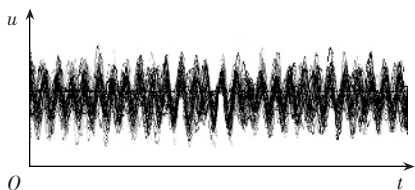


图 1 背景噪声

Fig.1 Background noise on power line

b. 突发噪声。闪电、线路故障、电闸操作、开关断开时的弧光放电及其他更小的瞬变情况都会产生短时间的脉冲尖峰噪声,这些脉冲噪声的发生不具有周期性的时间间隔。

恶劣的天气会增大噪声电平。雷电会导致比正常天气下高 20 dB 的噪声电平^[2]。潮湿天气下,在电力线表面产生的日晕放电有时是占主导地位的破坏性的噪声源。

1.1.2 人为噪声

对于低压电力线而言,家用负载产生的噪声占有重要地位。

a. 各种小型电器产生的噪声。这类噪声具有平滑功率谱,通常由与电源频率不同步的用电装置产生,如通用电动机、吸尘器、搅拌机、缝纫机、电钻和电锯等。图 2 为所测电钻的噪声波形,图中数学周期 16.32 ns,数学频率 61.26 MHz,峰-峰值测定 1.90 V,突发脉冲宽 39.99 μ s。

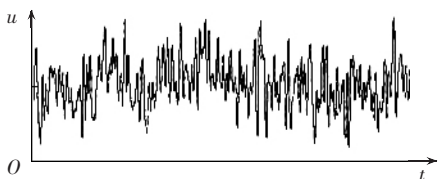


图 2 电钻噪声波形

Fig.2 Noise produced by electric drill

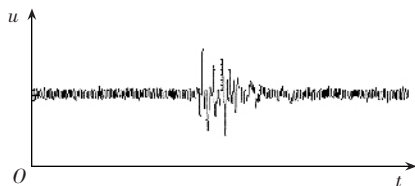
这类型噪声的功率谱密度是频率的减函数,其平均值^[3]为

$$N(f) = 10^{K-3.95 \times 10^{-5}f} \text{ (W/kHz)} \quad (1)$$

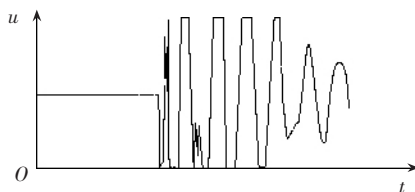
其中 K 和时间及发送、接收的位置有关,白天, K 一般数秒到数分钟保持不变,夜晚甚至可达数小时不变。对于电力线数据通信,如果频带较窄,可将这类噪声看作白噪声。

b. 调光器、整流器等电源谐波噪声。家庭常用设备固态调光器可产生高频谐波噪声。它用来连续地改变灯光亮度(最大可至 600 W),产生重复率为 50 Hz 谐波频率的脉冲噪声,既含有奇次谐波又含有偶次谐波成分,其奇偶取决于调光控制器的配置,噪声脉冲幅值可达 20~50 V,且具有减幅振荡现象^[4]。

c. 电器开关产生的突发脉冲噪声。使用的示波器亦会产生频率很高的周期性的脉冲噪声。图 3(a)为示波器开关时产生的突发脉冲噪声波形,数学周期为 1.245 ns,数学频率为 803.2 MHz,数学峰-峰值测定 1.73 V,数学突发脉冲宽 1.999 μ s。图 3(b)为信号发生器开关时产生的噪声波形,周期 21.01 ns,频率 47.59 MHz,峰-峰值测定 1.02 V,突发脉冲宽 901.3 ns。



(a) 示波器开关噪声



(b) 信号发生器开关噪声

图 3 电器开关的突发脉冲噪声

Fig.3 Pulse noise produced by apparatus switch

由图中可知,脉冲噪声的特点是幅值大(峰-峰值可达几伏甚至几十伏),作用时间短。白天脉冲干扰相对较多,98%以上的这种干扰和人们的活动关系很大,尤其在 7:00~9:00 和 19:00~24:00 时。

d. 工频异步的周期性噪声^[5]。这是一类与 50 Hz 工频不相关的具有垂直谱线的噪声,产生 0~100 kHz 的噪声。电视机属于这类噪声源,噪声功率集中于 15.734 kHz(电视机水平扫描线频率)的谐波处。

e. 其他噪声源。其他用电设备,如吹风机、电动剃须刀、收音机、对讲机都会产生某种类型的噪声。图 4 为所测吹风机产生的噪声,数学周期 44.15 ms,数学频率 22.65 Hz,数学峰-峰值测定 2.25 V,数学突发脉冲宽 45.07 ms。此类噪声的特点是频率低、幅值较大。



图 4 其他用电设备噪声

Fig.4 Noise produced by other equipment

1.2 低压电力线上输入阻抗及其变化

输入阻抗是表征电力线传输特性的重要参数。如果载波耦合电路与线路特性阻抗匹配,就能最有效地传送能量。图 5 用对数图绘出了实测的输入阻抗与频率的关系数据,图中 2 曲线是在同一个低压电力线的不同地点测得的; Z 为阻抗。

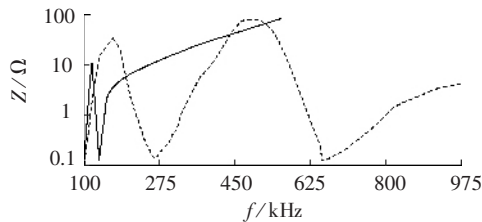


图 5 输入阻抗-频率关系图

Fig.5 Impedance versus frequency

由图示可知,在实验所测的频率范围内,输入阻抗 Z 随频率 f 的变化并不符合一般想象下的增大而减小的变化规律,甚至与之相反。而且,电力线上的输入阻抗随着频率的变化而剧烈变化,可以从 $0.1\ \Omega$ 变到 $100\ \Omega$ ^[6],变化范围超过了 1 000 倍。

同时,由于负载会在电力线上随机地连上或断开,所以在不同时间,电力线的输入阻抗也会发生较大幅度的改变。

1.3 电力线的衰减特性

文献[7]在 20~240 kHz 频率范围内对工业建筑、医院、居民楼和居民家庭的低压电力网进行了大量的信号衰减特性实验。该例比较典型,能说明低压电力线路的衰减特性。图 6 表示了工业建筑所测信号衰减与频率之间的关系(纵坐标 ε 表示信号衰减)。

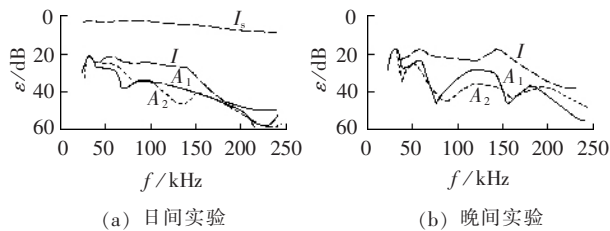


图 6 衰减-频率变化曲线

Fig.6 Attenuation versus frequency

I_s 曲线是在近距离(约 10 m)同一相上测得的衰减曲线; I 曲线是在较长距离同一相上测得的曲线; A_1 和 A_2 曲线表示距离较长且发送机和接收机不在同一相上的信号衰减曲线。

电力线网络 2 点间的通信信号必然会有衰减。

2 个通信点间距离越远,中间所连负载越多,信号衰减就越大。用电负载的连接和断开也会导致信号衰减频率的变化。2 个通信点间的衰减量(用 dB 表示)可由下式确定:

$$A = 20 \log_{10}(U_t/U_r - U_t/U_n) \text{ (dB)} \tag{2}$$

式中的电压皆为平均值,其中, U_t 为发送信号电压; U_r 为接收到的电压(包括信号和噪声); U_n 为没有任何发送信号下的电压。衰减随环境的不同而改变,一般认为,低衰减范围在 0~20 dB 之间,中等程度的衰减在 20~60 dB 之间,60~80 dB 之间称为高衰减。可靠的电力线通信要求能承受 90 dB 动态范围的衰减量。

通过实测和比较,认为:低压电网的数据传输易受短时脉冲干扰而发生差错,同时易受随机噪声干扰而产生随机差错,即低压电网为一种突发及随机差错并存的复杂信道。

2 载波通信系统设计时采取的相应措施

通过以上测试分析可知,低压电力线上的信号衰减特性和干扰特性非常复杂,而且随机性、时变性大,难以找到一个较为准确的解析式或数学模型加以描述,但可以根据对其信道特性的分析采取一些相应的措施来提高通信的可靠性。

为了保证在电力线上进行可靠的数据通信,一般要求电力线载波传输信号限于同一变压器范围内,信号传输距离不超过 1 000 m,传输频率范围为 100~450 kHz,传输速率由于受脉冲噪声宽度的影响而不能过高,应小于 1.5 Kbit/s。除此之外,还可采取多种措施保证可靠的数据通信。

a. 数据分组重组。针对电力线频率的脉冲干扰,可以把大的数据分成若干短数据组,而在接收端给予重组。实验表明,短分组有利于避开电力线上的强火花干扰,并在单个短分组被破坏时,将其重传,这有利于提高系统的传输效率。

b. 加装阻波器。在各节点与电力线的接口处加装阻波器。阻波器又称阻抗整定器,它利用电感和分布电容对不同频率信号呈不同阻抗的特点,阻挡高频电磁波的干扰。

c. 多径接收技术。在电力信道中,由于分支线的存在及阻抗不匹配等原因,依据模式传输理论,到达接收端的信号存在多种不同传输路径的信号,即多径信号。为充分利用信号能量,接收机应采用多径接收技术(RAKE 接收机),在多径信号到达时对其分集合并,解扩解调。

d. 借鉴和利用先进调制解调技术。目前,欧美在电力线通信中使用较多的是扩频/码分多址(SS/CDMA)技术。扩频通信用于电力线通信的最大优越性,就在于它具有抗干扰和抗电力线时变衰减的能力,可以大幅增加传输距离和提高抗干扰性能^[8]。但这样占用的频带宽。如果频带让多户共

用,则可提高其利用率。即利用不同的码型传输信号,称之为CDMA^[9]。这种扩频 CDMA 方式,虽然要占用较宽的频带,但按平均到每个用户占用的频带计算,其频带利用率是很高的。此外,采用扩频 CDMA 还有利于组网、进行选呼、增加保密性和解决新用户随机入网等问题。SS/CDMA 的缺点在于电路比较复杂,设备成本较高。

e. 采用规范化的通信协议。消费总线(CEBus)是美国电子工业协会(EIA)的开放标准(EIA-600),它描述了一种家庭电子产品之间的通信方法,通过 CEBus 可以实现家庭网络。CEBus 的物理层使用了 5 种不同的媒介:电力线、双绞线、同轴电缆、射频广播和红外线,第 6 种媒介光纤被预留且暂未定义^[10]。目前,电力线是 CEBus 中使用最广泛的介质。

3 结语

目前的研究表明,电力线上复杂的信道特性是制约电力线载波通信发展的瓶颈。相比电力线载波通信技术的其他方面,研究其信道特性变得尤其重要。当然这样做的前提是需要大量的测量统计数据。

参考文献:

- [1] 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):20-24.
ZHANG You-bing, HE Hai-bo, WU Xin, et al. Modelling of the channel for low voltage power line carrier communication[J]. Relay, 2002, 30(5): 20-24.
- [2] 宋祖顺. 现代通信原理[M]. 北京:电子工业出版社,2001.
- [3] 邱玉春. 低压电力线载波信道特性分析[J]. 电力系统通信, 1999(6):48-49.
QIU Yu-chun. The channel's characters of low voltage power line analysis[J]. Telecommunications for Electric Power System, 1999(6):48-49.

- [4] 付丽君. 电力通信的噪音仿真系统[J]. 计算机仿真, 2004, 21(7): 64-67.
FU Li-jun. Noise emulation system of power communication[J]. Computer Simulation, 2004, 21(7): 64-67.
- [5] 耿焯. 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):19-24.
GENG Xuan. Analysis for channel characteristics and research for channel model of low voltage power line communication[J]. Telecommunications for Electric Power System, 2004(4):19-24.
- [6] 李根旺. 信号在电力线上传输应用中特性的研究[J]. 现代电子技术, 2005(9):30-32.
LI Gen-wang. The characteristic study about signal transmission application in power-line[J]. Modern Electronics Technique, 2005(9):30-32.
- [7] MORGAN H, CHAN L, ROBERT W. Attenuation of communication signals on residential and commercial intrabuilding power distribution circuits[J]. IEEE Trans on Electromagnetic Compatibility, 1986, 28(4):220-230.
- [8] 查光明. 扩频通信[M]. 西安:西安电子科技大学出版社, 1998.
- [9] 陈显治. 现代通信技术[M]. 北京:电子工业出版社, 2001.
- [10] 张振川. 基于 CEBus 的家庭局域网络物理层研究[J]. 计算机工程与设计, 2004, 25(2):255-258.
ZHANG Zhen-chuan. Physical layer study for home network following CEBus[J]. Computer Engineering and Design, 2004, 25(2):255-258.

(责任编辑: 汪仪珍)

作者简介:

- 孙秀娟(1974-), 女, 山东新泰人, 讲师, 硕士, 研究方向为检测技术与传感器(E-mail:cxjsun@sdu.edu.cn);
罗运虎(1975-), 男, 安徽肥东人, 博士研究生, 研究方向为电力市场;
刘志海(1972-), 男, 山东新泰人, 讲师, 博士研究生, 研究方向为 CAD/CAM、虚拟样机;
王传江(1976-), 男, 安徽肥西人, 讲师, 硕士, 研究方向为智能机器人、计算机控制技术;
于玮玮(1977-), 女, 山东烟台人, 副主任, 研究方向为网络管理与安全。

Channel characteristics analysis and anti-jamming measures of low-voltage power line carrier communication

SUN Xiu-juan¹, LUO Yun-hu², LIU Zhi-hai¹, WANG Chuan-jiang¹, YU Wei-wei³

(1. Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266510, China;

2. Southeast University, Nanjing 210096, China;

3. Yantai Muping District Confidential Bureau, Yantai 264100, China)

Abstract: The channel characteristics of LV(Low-Voltage) power line are analyzed qualitatively, including impedance, signal attenuation and noise interference. Combined with the power network characteristics and measurements of power lines in resident zone and metalworking factory, the noise sources and corresponding noise characteristics are researched. Because of the complexity, randomness and time-varying property of signal attenuation and interaction characteristics on LV power line, it is difficult to describe it using analytical formula and mathematical model. Several anti-jamming measures are presented to improve the communication quality: data grouping-rearrangement, additional trapper, multi-path signal reception techniques, spread-spectrum communication techniques and normative communication protocol, which are verified practical and effective in applications.

Key words: power line carrier; channel characteristics; noise; spread spectrum communication; anti-jamming