

PLC 宽带通信技术及电磁辐射研究

陈天华

(北京工商大学 信息工程学院, 北京 100037)

摘要: 电力线通信 PLC(Power Line Communication)是以电力线作为通信载体,加上 PLC 的局端和终端调制解调器,将电力网作为电力通信网络。PLC 是以太网的一个分支,采用了基于 CSMA/CA 的广播共享方式的接入网络原理。由于 PLC 信道具有时变性、大衰减性及存在复杂多样的干扰噪声,PLC 高速载波通信采用正交频分多路复用 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)技术,可提高网络传输质量。探讨了 PLC 电磁辐射机理、家电电磁辐射及 PLC 电磁辐射标准、电磁辐射的影响和防护措施(改善或利用 PLC 系统电力线的对称性、减小 PLC 信号的功率谱密度、合理选择 OFDM 的参数等)。理论和实践表明,PLC 的干扰是轻微和可以控制的。

关键词: 电力线通信; 电磁辐射; 电磁兼容; 标准; 无线电干扰; 宽带接入

中图分类号: TN 915.853; TN 393.02 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-6047(2005)07-0028-04

0 引言

电力线通信 PLC(Power Line Communication)就是利用已有的电力线作为通信载体,加上 PLC 的局端和终端调制解调器,将原有电力网变成电力线通信网络。利用 PLC 作为宽带接入技术,将 PLC 终端电力调制解调器的一端插到电源插座上,实现数据、语音、视频以及电力于一体的“四网合一”^[1]。而且在室内组网方面,计算机、打印机、VoIP 电话和各种智能控制设备都可通过普通电源插座,由电力线连接起来,一线两用,无需布线,便可组成家庭局域网。目前,PLC 传输速率可达 45 Mbit/s,更高速的 PLC 在研制中。

但 PLC 和其他电子设备和仪器的早期应用一样,人们正密切关注其电磁辐射的影响。因此,PLC 的电磁辐射将是其能否得到普及与推广的至关重要的因素之一。

1 PLC 接入网络原理

PLC 技术涵盖了以太网技术与电力技术及一些特殊的通信编码调制技术,PLC 在 OSI 的第二层以上符合标准的 802.3 以太网规范,以太网是以点对点方式传输 802.3 格式帧的网络,以太网数据帧均遵从 IEEE 发布的 802.3 标准。PLC 则是以太网的一个分支,区别在于在物理层中介质更换为电力线,并且在第二层上采用了基于 CSMA/CA 的广播共享方式,在此规范下欧洲电力线联盟 HomePLUG 1.0 的通信速率为 14 Mbit/s^[2]。PLC 利用 1~30 MHz 频带范围传输信号,在发送时,利用 GMSK 或正交频分多路复用 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multi-

plexing)调制技术将用户数据进行调制,以保证电磁干扰时高速可靠的数据传输;在接收端,先经过滤波器将调制信号滤出,再经过解调,就可得到原通信信号。目前可达到的传输速率依具体设备不同在 4.5~45 Mbit/s 之间。PLC 设备包括局端设备和用户调制解调器,局端负责与内部 PLC 调制解调器的通信和与外部网络的连接。通信时,来自用户的数据进入调制解调器调制后,通过用户的配电线路传输到局端设备,局端将信号解调出来,然后再转到外部的 Internet,其宽带接入拓扑结构如图 1 所示。

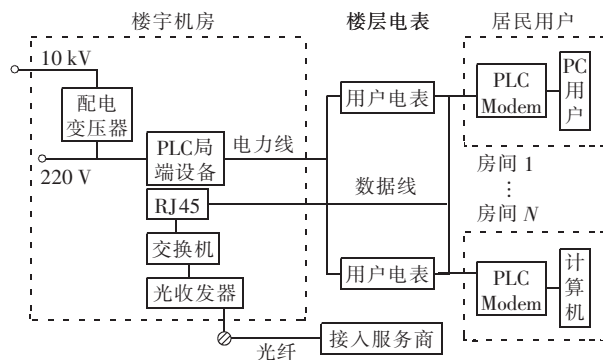


图 1 PLC 接入网络拓扑结构图

Fig.1 The topology diagram of network access of PLC

PLC 传输技术是为提供端到端接入而设计的,它利用室内电源线网络将 IP 包从用户 PC 传送至一个家庭室内入口点的集成器,在这一入口点,另外一个传输段利用低压配电网将数据传输至同时为多个家庭提供电源的变压器。PLC 属于共享带宽技术,该项技术涉及的内容贯穿了从家用电源插座和最终用户终端到电信网络入口点的整个过程。

电力线上网从层次上可分为中压配电网、低压配电网和家庭内部网络。低压配电网指从中压变电站到用户电表的一点对多点通信,解决 Internet 最后

1 km 问题;中压配电网主要从中压变电站到主要变电站;家庭内部网络是指通过电力线组建高速 LAN。在室内组网方面,计算机、电话、打印机和各种智能设备都可通过普通电源插座,通过电力线连接,组成局域网,包括话音、电视、多媒体业务、远程教育等各种现有网络应用,PLC 均可向用户提供。

2 PLC 信道特性分析

低压电力线载波信道的传输特性具有时变性、大衰减性及存在各种复杂的干扰噪声等特点。

2.1 时变性

我国居民用电采用 220 V 交流两线供电。低压电网上每个家庭的用电情况及负载总量是不可预知的,电网上负载的不断接入/切出、电机的停止/启动、电器的开/关等都属于随机事件,因此,电力线信道特性表现出很强的时变性。低压电力线在 1 s 内对 500 kHz 频率信号的衰减变化可达 20 dB,信噪比的变化可达约 10 dB,因此,不能利用简单的电压检测方法确定线路信号^[2]。

2.2 干扰噪声

沿电线传送数据时,会出现包括家用电器产生的电磁波对电力线高速信息传输产生干扰等各种不可预知的问题。就低压电力线的干扰噪声特性而言,均可用带加性干扰噪声的时变线性滤波电路作为其基本参考模型^[3]。干扰噪声可以分为背景噪声和脉冲噪声,其频率在 10 kHz~100 MHz 范围内,功率谱密度以 29 dB/decade 幅度衰减。干扰噪声主要来源于晶闸管器件和一些电路产生的 50 Hz 倍频谐波;负载和电网不同步而产生的具有平滑功率谱的干扰;开关电子设备产生的单脉冲噪声;电视机的行扫描频率产生的非同步周期噪声。背景噪声和脉冲噪声都可能引起通信系统产生突发性干扰而引起瞬间误码率升高。室外电力线的噪声主要分为 4 种^[4]:具有平滑功率谱的背景噪声、由开关操作引起的单脉

冲噪声、与电网频率同步的噪声(功率谱密度大约为 70 dBW/kHz)和由一些电器辐射引起的窄带干扰噪声(功率密度一般为 60~90 dBW/kHz)。

2.3 衰减特性

一般低压电力线采用铜等良导体材料,其阻抗很小,对不同频率的信号,其阻抗变化不大。因此,电力线本身的阻抗并不是产生衰减的主要原因,但电力线上并联的负载类型和大小对信号衰落影响很大。尤其是那些用于调整电网功率因数的大电容,对载波通信信号而言,相当于短路。另外,当负载很小时,发送耦合电路的内阻也不可忽视^[4]。一般认为,信号衰减由两部分组成:一是耦合衰减,二是线路衰减,理论上,可以将耦合器的内阻做得相当小,这样衰减就主要决定于线路的衰减^[4]。实验表明,信号衰减和距离有关,一般在 40~100 dB/km 之内。在城市,250 m 大约衰减 20 dB;在农村衰减较大,500 m 达到 50 dB。

3 PLC 数据信号传输技术

为适应电力线信道的特点及其电磁兼容特性,PLC 高速载波通信采用 OFDM 技术。OFDM 既可以提高 PLC 网络传输质量,又能通过选择子载波频段避开无线广播的应用频段,提高 PLC 系统的生存能力。

OFDM 技术在 20 世纪 60 年代主要用于军用高频通信。70 年代开始,人们通过采用离散傅里叶变换(DFT)实现多个载波的调制,如图 2 所示,采用软件方法实现复杂的 OFDM 处理,有效降低了 OFDM 的运算量、提高了处理速度、简化了系统结构,使 OFDM 技术更趋于实用并得到广泛应用。OFDM 可以在同一电力线不同带宽的信道上传输数据。主要是把有效的频谱分成许多个 OFDM 通信信道。各子信道相互重叠,并且在空间上以 90°的相位彼此正交,提高了频谱利用率。

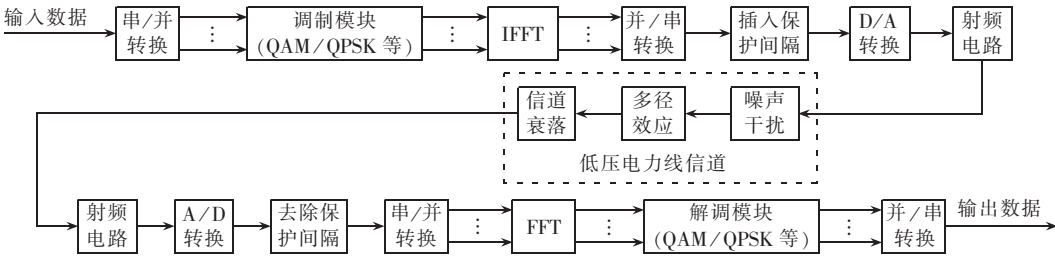


图 2 OFDM 原理图
Fig.2 The principle diagram of OFDM

OFDM 是在严重电磁干扰的通信环境下保证数据稳定完整传输的技术措施,并能持续不断地监控传输介质上通信特性的突然变化,由于通信路径传送数据的能力会随时间发生变化,所以 OFDM 能动态地与之相适应,并且接通和切断相应的载波以保证持续地进行成功的通信。OFDM 技术能有效对抗频率选择性衰落或窄带干扰,适用于多径环境和衰

落信道中高速数据传输,而且 OFDM 技术本身已经利用了信道的频率分集,一般无需再加时域均衡器。近年来,随着 DSP 芯片技术的发展,傅里叶变换/反变换、高速 Modem 采用的 64/128/256 QAM 技术、栅格编码技术、软判决技术、信道自适应技术、插入保护时段、减少均衡计算量等成熟技术的逐步引入,OFDM 技术已经被广泛应用于高速 Modem、

无线局域网、XDSL及无线调频信道的宽带数据传输等民用通信系统中^[5]。第四代移动通信(4G)中将采用OFDM技术,这使数据传输速率可超过10 Mbit/s。正在筹备中的数码地面波电视播放以及正在开发中的高速无线LAN“IEEE 802.11a”都预定采用这项新技术。

为了解决在强电环境下对高频数据通信的干扰,HomePLUG规范中引入了OFDM调制方式,并且在规范中保证了与国际电磁兼容的适配,以避免电磁泄漏对通信及其他设备电器的影响。

4 PLC电磁辐射机理

电力电缆是为50/60 Hz低损耗输电而设计的,当用于PLC时,需传送1~30 MHz频段信号。电力电缆在此频段将产生泄漏,即部分高频信号功率以电磁波的形式辐射出去。电力线与1~30 MHz频段电磁波波长匹配,电力线相当于低效率的线性天线,而且既没有采取任何屏蔽措施,又经常处于负载不匹配状况,电力线信道类同于一个开放的无线信道,将经受噪声、衰落、多径和干扰,同时,也很容易向外界辐射电磁波干扰其他有关信号,对相邻同频PLC及无线电通信造成干扰。

因此,PLC宽带接入系统除了要克服自身信道缺陷的问题外,EMC是它能否得到推广应用的最至关紧要的一个问题^[6]。

电磁辐射场区一般分为远区场和近区场,近场、远场是以电磁波波长为标准划分的。以场源为中心,半径为一个波长之外的空间范围称为远区场,也可称为辐射场。

PLC系统产生的外部电磁场可分为导波和辐射波两种类型,两者均由共模电流引起。PLC系统的频率范围为1~30 MHz,其波长为10~300 m,PLC的各种设备体积都在0.05~0.5 m之内,远低于波长,根据电磁辐射理论,设备产生的辐射非常小,因此,传导干扰是主要干扰。

在电力线附近,导波是主要电磁场,辐射场很小,随着离导线距离的增加,导波迅速衰落,以辐射场为主。考虑到建筑物的影响,辐射场的实际衰减速度要比 $1/r$ (理论衰减速度)快得多。

PLC对无线电通信频率的重叠区间产生的干扰,其大小与发送功率、距离以及布线的具体情况相关^[7]。辐射场的强度随距离增加而快速衰减,衰减速度约每10倍31~36 dB^[6]。

PLC的辐射强度取决于PLC网络或其电缆的对称性。当PLC系统被广泛使用时,电力线将形成一个天线阵,可能产生辐射的累积效应。由于高速PLC所使用的是1~30 MHz的频段,因而人们担心PLC系统对短波无线电通信、业余无线电和军用无线电产生干扰。

5 家电电磁辐射及PLC电磁辐射标准

5.1 家电电磁辐射

为科学、准确评估PLC电磁辐射产生的干扰,国外有学者对各种家用电器在1~30 MHz范围内的电磁辐射噪声进行了较长时间实验测试^[8]。有如下主要实验数据。

a. 电视机电磁辐射。当频率在1~4 MHz,距离在3 m处实测的电磁场强度约50 dB,高出NB 30限值15 dB。

b. 微波炉的电磁辐射。当频率在1~3 MHz,距离在1 m处产生的辐射干扰甚至超过了FCC part15的限制,达65 dB $\mu\text{V}/\text{m}$ 。

c. 电吹具产生的电磁辐射。当频率在1~5 MHz产生的电磁辐射在80 dB $\mu\text{V}/\text{m}$ 左右,在3 m处电磁辐射超过NB 30限值15 dB。

d. 电钻的电磁辐射。电钻产生的电磁辐射可达60 dB $\mu\text{V}/\text{m}$,不仅超过NB 30限值30 dB,而且也高出FCC限值。

e. 多数家用电器的环境噪声覆盖了比较宽的频率范围,其辐射噪声一般高出NB 30限值20 dB左右。所有的家用电器都关上电源时,利用峰值检测法所测得的环境噪声约30 dB $\mu\text{V}/\text{m}$,即非常接近NB 30的标准值。

5.2 电磁辐射标准

目前,各国之间还没有一致认可的PLC电磁辐射标准,在欧盟EMC标准体系中,CISPR 22比较接近PLC的实际情况;英国、德国和美国各有其国内PLC电磁辐射标准,分别是MPT 1570,NB 30和FCC part 15。

6 PLC电磁辐射的影响和防护措施

PLC系统只要处于使用状态,它就会对周围产生电磁辐射作用。电磁辐射虽无处不有,无时不在,但只有当电磁辐射超过一定强度(即标准限值)时,才对其他电子设备或人体产生负面效应。PLC系统对有关电子设备的影响主要表现为可能干扰人们对同频段广播、电视的收听。对人体的影响表现为:导致头疼、失眠、记忆衰退、血压升高或下降、心脏出现界限性异常等症状,严重的可能引起部分人员流产、白内障,甚至诱发致癌等。

为使PLC的辐射减至最小,根据PLC电磁辐射机理和信号调制技术,可采取下面3种措施。

a. 充分改善或利用PLC系统电力线对称性,使电力线尽可能实现理想的异模传输,减小电磁辐射。

b. 减小PLC信号的功率谱密度(PSD),由于PLC信号的辐射是在有限带宽内度量的,故减小PLC信号的PSD能立即降低辐射电平,而且不影响总的

发送功率。

c. 通过选择 OFDM 调制技术的有关参数,可灵活控制载波频率,使 PLC 系统回避无线电广播已经使用的某些频段(取消该频段载波),从而彻底消除对这些频段的干扰。

日本已通过采用变压器和共模扼流圈开发出降低共模噪声技术,该技术用于 PLC 调制解调器,可使 PLC 的共模电流减小约 34 dB μ A,同时通过对收发模拟电路进行改进,仅两项技术使电力线的泄漏电场减至以往的约 1/50。

7 结语

电力网结构异常复杂、网络拓扑千变万化,电力线没有屏蔽措施,PLC 系统的载波频率和 HF 频段有重叠,虽然根据美国 FCC part 15 标准,PLC 符合应用条件,但 FCC 限值高于 NB 30 和 MPT 1750。因此,PLC 系统产生的电磁辐射对 HF 频段内的短波无线电存在干扰的可能性。理论和实验表明,这种干扰是轻微和可以控制的。既可以通过控制载波信号的功率控制干扰水平,又可以通过采用 OFDM 调制技术,灵活选择载波频率。

参考文献:

- [1] 张保会,刘海涛,陈长德. 电话、电脑、电视与电力网“四网合一”的概念与关键技术[J]. 中国电机工程学报,2001,21(2):60-65.
- ZHANG Bao-hui,LIU Hai-tao,CHEN Chang-de. Concept and key techniques of using power transmission lines as common platform for telephone,computer,television and power transmission network[J]. *Proceedings of the CSEE*,

- 21(2):60-65.
- [2] DAID C. Powerline communications[J]. **Finally Ready for Prime Time Computer**,1998,15(6):168-172.
- [3] MORGAN H,CHAN L,ROBERT W. Amplitude,width and interracial distributing for noise impulses on intrabuilding powerline communication networks[J]. **IEEE Trans. on EMC**,1999,62(8):62-69.
- [4] HOOIJEN L G. A channel model for the residential power circuit used a digital communications medium[J]. **IEEE Trans. on EMC**,1998,26(2):276-289.
- [5] 梁明,梁恩明,宋晋翼,等. 高速电力线通信关键技术[J]. 电工技术杂志,2004,25(4):11-14.
- LIANG Ming,LIANG En-ming,SONG Jin-yi,*et al.* Keying techniques of high-speed power line communication[J]. **Electrotechnical Journal**,2004,25(4):11-14.
- [6] ETSI TS 101 867,Powerline telecommunication coexistence of access and in-house systems[S].
- [7] 孙辛如,王乔晨. 关于 PLC 通信技术电磁辐射问题的探讨[J]. 电力系统通信,2004,25(4):3-6.
- SUN Xin-ru,WANG Qiao-chen. Research on the electromagnetic radiation in PLC technology[J]. **Telecommunications for Electric Power System**,2004,25(4):3-6.
- [8] ROUZAUD J P,ISSA F. Some in-situ measurements of the radiated emission in a door network[A]. **6th International Symposium on Powerline Communications**[C]. Athens, Greece:ISPLC 2002 Organising Committee,2002. 118-126.

(责任编辑:汪仪珍)

作者简介:

陈天华(1967-),男,湖南长沙人,副教授,硕士,研究方向为计算机技术与网络通信,数字信号分析与处理及智能控制与应用(E-mail:cth188@sina.com)。

Research on PLC broadband access technology and its electromagnetic radiation

CHEN Tian-hua

(Beijing Technology and Business University,Beijing 100034,China)

Abstract: With the power line as its carrier and the modems installed at locals and terminals,PLC (Power Line Communication)enhances the power network to a power communication network. As a branch of Ethernet,PLC accesses it in broadcast way based on CSMA/CA. Since time-varying,large decaying and complex interferences occur in PLC channel,applying OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)technology in PLC high-speed carrier communication can improve its transmission quality. The mechanism of PLC electromagnetic radiation and its influence are discussed, as well as the electromagnetic radiation standards,the electromagnetic radiation and its influence of home electric appliances. Some countermeasures are put forward:improve and make use of the symmetry of power line;lower the power spectrum density;select the OFDM parameters reasonably. The theoretical analysis and experiment results show that the interference of PLC is slight and controllable.

Key words: PLC; electromagnetic radiation; electromagnetic compatibility; standard; radio interference; broadband access