

基于 OFDM 技术的宽带电力接入网系统设计*

林建宇

(上海电力学院 通信系, 上海 200090)

摘要: 介绍了一种基于 OFDM 技术的宽带电力接入网系统设计, 该系统适用于低压配电网。OFDM(正交频分复用)技术能克服低压电力线信道的高噪声、多径效应和信道衰落, 实现高速数据的传输。以 INT5500CS 为核心设计出符合 HomePlug 1.0-Turbo 标准的低压配电网宽带电力接入网系统。整个系统主要分为电力线接口端和以太网接口端。由于采用 OFDM 通信技术, 该系统能实现宽带接入, 具有较高的实用价值。

关键词: 电力线载波通信; 多载波正交频分复用; INT5500CS 芯片组; HomePlug 1.0-Turbo 协议
中图分类号: TN92; TP271 文献标识码: A

The design for power line carrier communication broadband access network based on OFDM

LIN Jian Yu

(Shanghai University of Electric Power, Shanghai 200090, China)

Abstract: A broadband access network design scheme based on the OFDM is presented, which is adapted to low-voltage power network. OFDM can realize the high-speed data transportation by avoiding the high-noise, multi-path effect and channel fading. And this paper presents the design of broadband PLC system in low-voltage power network on the basis of INT5500 chipset, which comply with HomePlug 1.0-Turbo standard. The system is mainly composed of two parts: powerline network interface and Ethernet interface. In virtue of orthogonal frequency division multiplexing(OFDM), the system can realize the function of broadband accessing with high practical applications value.

Key words: PLC; OFDM; INT5500 chipset; HomePlug 1.0-Turbo protocol

电力网由于覆盖广泛, 无需重新布线, 永久连接, 不存在射频电磁污染等优点, 使得电力线载波通信(PLC)技术成为近年来研究的热点。随着网络通信技术的发展, 宽带通信的需求日益增加。利用电力线传输多媒体宽带信息, 组成数据通信网, 可以节省布线成本, 又具有比其他网络覆盖面广的优势。因此, 宽带电力通信技术在宽带接入、用电信息采集系统与智能家居等领域中得到广泛应用。

与 ADSL、HFC、802.11 无线局域网接入、光纤网宽带接入相比, 宽带电力线接入网的优势在于充分利用现有的低压配电网, 节省通信线路资源, 是一种“New Wires”技术; 通过家庭的电源插座将智能家电联网

实现家居自动化; 为用户提供高速 Internet 服务和语音视频服务; 可以独立建设数字化小区服务, 提供智能家居、远程抄表等增值服务^[1]。

1 宽带电力线载波通信技术

电力线载波通信 PLC(Power Line Carrier Communication)技术是利用低压电力线信道传输高速数据、语音、图像等多媒体业务信号的一种通信技术。用于低压配电网, 可为用户提供无需布线的宽带接入网。研究开发电力线载波通信技术, 对于发展电力通信产业, 为电力企业提供进入电信公共服务的技术手段, 实现电话、数据、电视和电力的“四网合一”, 具有广阔的前景^[2]。传统电力线通信产品中, 主要使用窄带 FSK 通信方式。如利用

* 基金项目: 上海市重点科技攻关计划(08160510600, 09160501700); 上海市教育委员会科研创新项目(09ZZ185, 09YZ337)

网络与通信 Network and Communication

电力线 Modem LM1893^[3]和 ST7536 在电力线上实现数字通信。由于电力线固有的高噪声、多径效应和衰落等特点,通常采用扩频技术进行数据传输。扩频通信虽然抗干扰能力较强,但受其原理的制约,传输速率最高只能达到 1 Mb/s。随着对通信传输速率要求的不断提高,出现了一种利用正交频分复用(OFDM)技术在低压电力线上实现宽带高速数据传输的通信技术。该技术具有抗噪声、抗多径效应和抗衰落的特性,其数据传输速率可以超过 10 Mb/s。随着 PLC 技术的发展,成立了相关的国际性 PLC 组织。目前,HomePlug 电力线联盟已有 90 家公司参与该组织标准的制定工作,并已制定了第一个标准方案(HomePlug 1.0 Specification)。我国国家电力通信中心在 2002 年年初在北京由中电飞华建立了 3 个利用电力线载波方式的 Internet 网试验点,速度相当良好,同时也保持了非常好的稳定性。

2 OFDM 的基本工作原理

低压电力线信道对电力线载波通信影响严重的干扰源主要有信道噪声、信道衰耗和多径效应。为适应高速率的传输要求,多载波正交频分复用将是解决传输频带利用的有效方法。OFDM 技术的主要工作原理就是在频域内将给定信道分成许多正交子信道,在每个子信道上使用一个子载波进行调制,并且各子载波并行传输。其最大的特点是传输速率高,对码间干扰和信道选择性衰落具有很强的抵抗能力^[4]。

在 PLC 系统发送端由串/并转换器、基带调制模块、IFFT、合路器和 D/A 转换器组成,如图 1 所示。其工作过程如下:发送端将高速数据流通过串/并转换器分解成 N 个低速数据块,对每路低速数据进行基带调制(可采用 BPSK、QPSK、QAM、TCM 等),然后通过 IFFT 将基带调制信号搬移到 N 路子载波上合路后发出。发送信号通过叠加了各种噪声和干扰的电力线信道传递到接收端。在接收端则由 A/D 转换器、带通滤波器、FFT、解调模块等部分组成。其工作过程为:采用 FFT 恢复基带信号,并采用相应的解调方式解调出 N 路低速数据,最后通过并/串转换成原始高速数据流。

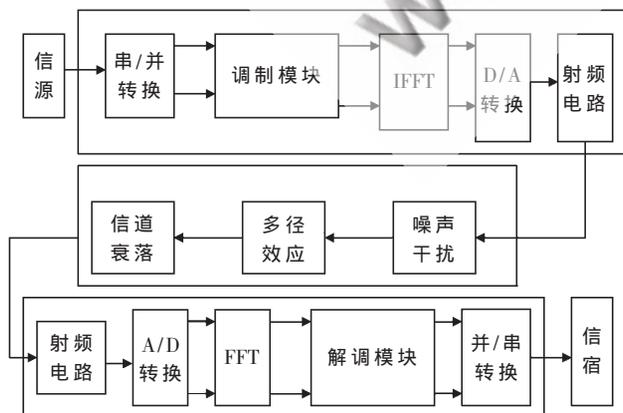


图 1 OFDM 工作原理流程图示意图

3 宽带电力接入网系统设计方案

宽带电力接入网是充分利用现成的电力网络,在配电网传输能量流的同时,传输数字语音和数据流,承载数据通信等多种业务,从而实现高速网络连接,而计算机网络的主干网、电话的程控交换网或 IEEE802.3 局域网仍由原来各自的网络承担^[5]。系统设计主要将核心接入芯片与以太网控制器 RTL8021 相结合,实现以太网与电力网的桥接以及 OFDM 数字载波通信,分为电力线侧接口模块和以太网侧接口模块。

3.1 以 INT5500 芯片为核心的系统工作原理

以 INT5500 芯片为核心的系统工作原理框图如图 2 所示。INT5500 芯片组包括 INT5500 基带处理器和 INT1200 模拟前端芯片,采用电力包(Power Packet)技术,提供高达 85 Mb/s 的传输速率,符合电力线网络通信标准 HomePlug 1.0-Turbo。它是实现宽带电力通信系统的核心芯片。PowerPacket 是一个全面的网络解决方案,包括网络模型中的物理层(PHY)和媒质访问层(MAC)。它还支持多项电信级多媒体通信服务,如 voice over IP、Quality of Service(QoS)、IPTV 等^[5]。

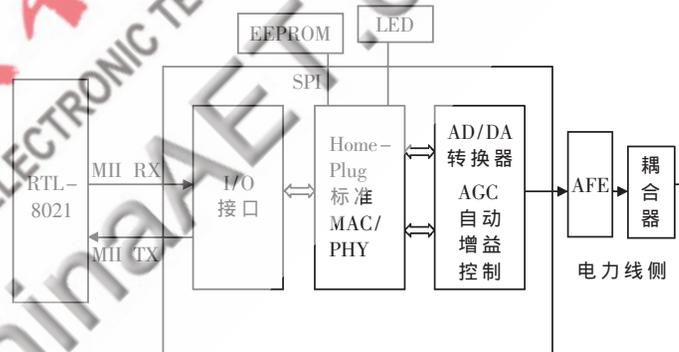


图 2 系统整体工作原理框图

Power Packet PHY 运用正交频分多路复用(OFDM)技术作为基本的传输技术;Powerpacket 技术的 MAC 层协议采用带有冲突避免的载波帧听多路访问协议(CSMA/CA),此协议采用侦听机制和在发送之前随机选择延迟时间的策略来避免冲突,而且还增加了用于支持优先级控制、公平的竞争机制的控制功能。

INT5500 芯片组使用正交频分复用技术,84 个子载波选择采用 ROBO/DBPSK/DQPSK 调制方法;可根据收发端信噪比分配子载波,以克服噪声及多径衰落的影响;它在低信噪比信道中完成同步,不需要导频。其内部结构主要由 I/O 接口功能模块、PowerPacket MAC/PHY 模块以及 ADC/DAC 模块组成。

I/O 接口模块中集成了 MAC 与主机、外围设备间的各种接口,因此,功能非常丰富。与主机的接口有 USB 接口、媒介独立接口 MII 或通用串行接口 GPSI(选用)、管理数据接口 MDI;与外设的接口有 EEPROM 接口 SPI 以及用于运行状态监视的 LED 接口。在这些接口中,

网络与通信 Network and Communication

MII 是一种标准工业接口,其发送/接收都以四位并行方式进行,并由 MAC 时钟同步,同时,MII 还带有 CSMA/CD 协议。

当主机通过 MII 接口与 INT5500 传输数据时,其帧格式如表 1 所示。

表 1 Powerpacket 的数据帧格式

帧间间隔	前导码	定界符	Powerpacket 数据	帧校验序列
------	-----	-----	----------------	-------

(1)前导码:其中前导码为 56 位“1”、“0”相间的数字序列,用于同步;

(2)定界符:占用 1 B,并且定界符规定为 D5H;

(3)Powerpacket 数据:格式符合 IEEE802.3 标准;

(4)帧校验序列:为 4 B 的 CRC 循环冗余检验码(Cyclic Redundancy Check)。

Powerpacket PHY 工作频段范围为 2 MHz~28 MHz 的带宽。INT5500 芯片具有数字滤波的作用,用以满足 HomePlug 发射功率谱密度的要求。接收端根据包含在每个定界符控制域中的信息,来判断信道将忙于传输的时间。这些机制全面改进了电力线网络的性能,提高电力网络中 PLC Modem 终端接收信号的能力。

电力线载波通信系统设计采用基于物理层模式(PHY Option),INT5500 芯片利用 MII 接口与以太网控制器之间进行通信。SPI 端口控制的 EEPROM 接口用作初始配置 INT5500。

MII 接口信号主要有:MII—RX0~MII—RX3,接收数

据线;MII—RXCLK,接收时钟;MII—RXDV,接收数据有效;MII—RX—ER,接收错误;MII—COL,冲突检测;MI—I—TX0~MII.TX3,发送数据线;MII.TXCLK,发送时钟;MII—TXEN,发送使能;MII—CRS,载波侦听;MII—TX—ER,发送错误。

INT5500 芯片的 AGC(0~7)管脚实现自动增益控制功能,而 DAC 管脚实现与 AFE 的模/数数据接收与发送。

3.2 宽带电力线侧接口模块设计

系统的电力线侧接口模块主要采用 INT1200 模拟前端(AFE)和 INT5500 芯片,其接口原理图如图 3 所示。INT1200 模拟前端主要作用是连接 INT5500 芯片和耦合器,实现 INT5500 与电力线侧信号的通信。

在发送端,信号源信号经过 RJ-45 接口传输到以太网转换器 RTL8021,RTL8021 通过 MII 接口与 INT5500 相连,将信号输入 INT5500 芯片进行 OFDM 调制,然后对 OFDM 信号进行 10-bit 的 DAC 变换将数字信号转换成模拟信号;INT1200 模拟前端主要与 INT5500 的 AGC、AD/DA 功能管脚连接,采用 LC 带通滤波器对信号进行滤波,防止对其他电路产生干扰,然后经过自动增益放大电路将信号放大到适合在电力线上传输的幅度,通过耦合器将调制的 OFDM 信号耦合到电力线上发送出去。发送到电力线上的信号频率范围为 2 MHz~28 MHz,最终实现 INT5500 与电力线侧之间的通信接口。在接收端,从电力线上传输过来的信号经过相反的过程传输到以太网。电力线接收部分为一个 LC 带通滤波电路。这

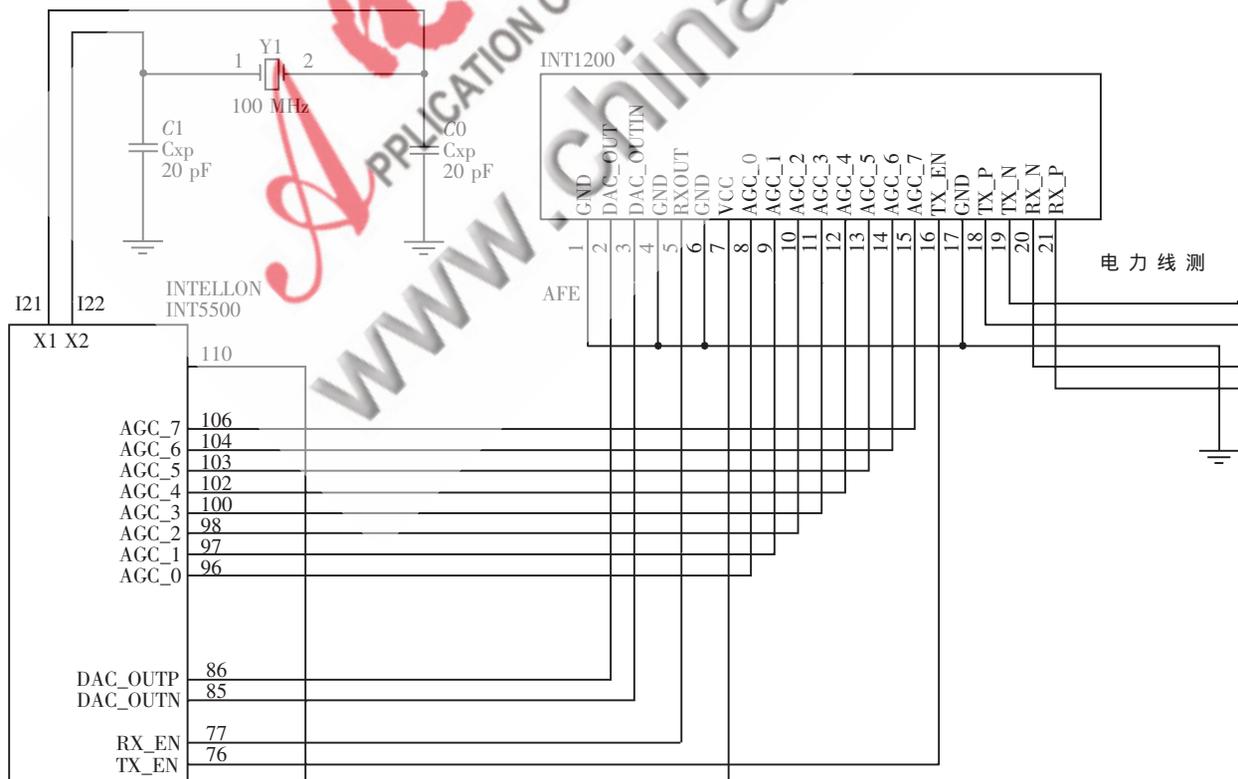


图 3 INT5500 与 AFE 接口原理图

网络与通信 Network and Communication

个带通滤波的频率范围是 2 MHz~28 MHz。经过带通滤波电路出来的信号送到 INT1200 的 AFE 接口,INT5500 把模拟信号 OFDM 解调为数字信号,通过 MII 接口送到 RJ45 网络接口上。INT5500 芯片的 AGC(0~7)管脚实现自动增益控制功能,而 DAC 管脚实现与 INT1200 模拟前端 (AFE)的模/数数据接收与发送。

3.3 以太网接口模块设计

系统的以太网接口模块主要采用 RTL8201 10/100 M 快速以太网控制芯片,其支持 MII 接口,支持 10/100 Mb/s 速率,支持全双工工作模式,双绞线网络输出,支持 IEEE 802.3/802.3u 协议,3.3 V 单向供电,具备 MAC 层的流量控制功能。

RTL8201 接收从 INT5500 的 MII(媒介独立接口)传来的电力包(powerpacket)形式的数据,运算转化为 TCP/IP 协议的数据经由物理层供外部设备使用。同时也从外部设备返回数据传输给 INT5500 进行处理。

INT5500 有 3 种工作模式,如表 2 所示。本系统设计通过对引脚 MODE0 和 MODE1 的设置“1 1”选择 Host/DTE 选择 INT5500 工作在 Host/DTE 模式下,和 REALTEK 公司的 PHY 芯片相连,提供以太网接口。电力线载波通信系统设计采用基于物理层模式(PHY Option),INT5500 芯片利用 MII 接口与以太网控制器 RTL8201 之间进行通信。

在低压电力线上实现数据的可靠高速传输是电力线载波通信和电力系统自动化的重点研究领域。传统的电力通信技术只能传输中低速数据,而 OFDM(正交频分复用)技术是在电力信道上实现高速数据传输的有效方法中最有效的手段之一。本文提出的宽带电力接入网系

表 2 INT5500 的工作模式

MODE 1	MODE 0	模式选择
0	0	保留
0	1	USB
1	0	PHY
1	1	Host/DTE

统设计符合 HomePlug 1.0-Turbo 技术标准,实际传输速率最高达 80 Mb/s。它可应用于智能家居系统,具有广阔的应用前景。

参考文献

- [1] 齐淑清. 电力线通信(PLC)技术与应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005: 13-14.
- [2] DOSTERT K 著. 电力线通信[M]. 栗宁, 郑福生, 杨洪, 译. 北京: 中国电力出版社, 2002.
- [3] 林建宇, 黄钊洪. 基于电力线载波技术的远程电流数据采集系统的设计[J]. 电子技术应用, 2005, 5(31): 25-27.
- [4] GOTZ M, RAPP M, DOSTERT K. Power line channel characteristics and their effect on communication system design. IEEE Communications Magazine, 2004: 85-86.
- [5] 戴琼海. 宽带信息网络[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002: 274.
- [6] INT5500 integrated power-line MAC/PHY transceiver[Z]. Intellon Technical Reference. 2007.

(收稿日期: 2010-01-30)

作者简介:

林建宇, 男, 1979 年生, 讲师, 在读博士, 主要研究方向: 通信网络系统及控制技术。