

基于嵌入式的电力线载波数据通信系统的设计

孙海翠¹, 张孝东²

(1. 华东电力设计院, 上海 200063; 2. 江苏利港电力有限公司, 江苏 江阴 214444)

摘要: 低压配电网电力线载波通信是实现楼宇自动化、自动抄表和宽带上网的关键技术。鉴于低压电力线载波通信的发展需求, 提出了运用正交频分复用 (OFDM) 技术实现载波通信的方案。采用 MAXIM 公司生产的电力线集成数字收发器 MAX2986 和电力线模拟前端收发器 MAX2980 以及 Winbond 公司生产的 W90N740 微处理器设计了电力线载波数据通信系统的硬件实现方案, 为低压电力线载波通信系统的后续研究奠定了基础。

关键词: 低压电力线; 载波通信; 正交频分复用; MAX2986

A scheme of low voltage powerline carrier communication system based on embedded system

SUN Hai-cui¹, ZHANG Xiao-dong²

(1. East China Electric Power Design Institute, Shanghai 200063, China;

2. Jiangsu Ligang Electric Power Co., Ltd, Jiangyin 214444, China)

Abstract: The technique of low power-line carrier communication serves for the carrier communication, the key of the realization of automation of tower, automatic transcription of instrumentation's parameter and power-line network. Owing to the need of development of the power line communication, a modulation technique of orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) is put forward in this paper. A scheme of low voltage power line carrier communication system based on MAX2986, MAX2980 and W90N740 is provided, which lays a foundation for the future studies and research.

Key words: low voltage power line; carrier communication; OFDM; MAX2986

中图分类号: TM73 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2007)20-0051-04

0 引言

20 世纪 60 年代以来, 利用 10 kV 以上的中高压电力线作为载波通信的电力线信道的应用已经十分的广泛, 利用高压电力线传输高频信号的技术也非常深入和成熟。然而, 在 220 V/380 V 低压配电网上进行信号传输, 与高压电力线载波存在着较大的差别, 主要表现为信道干扰特性复杂, 随机性大, 时变性大, 随着信息科学的不断发展及其在电力线领域应用范围的扩展, 利用低压电力线进行数据的传输已经成为当前的研究热点。

多载波正交频分复用 (OFDM) 调制技术具有较强的抗干扰能力以及较高的带宽利用率, 由于它能够把信息灵活地分配到不同的载波频带, 从而在克服窄带干扰和频率选择性衰落方面具有很强的鲁棒性, 并且它与前向纠错码的结合也可很好地克服脉冲噪声干扰^[1]。因此, OFDM 技术是在低压电力配电网实现高速数字传输的理想选择。

实现电力线网络通信的必要设备是局端模块

和终端设备, 其中终端模块, 即电力线调制解调器是实现电力线上网的关键。人们以往研究的电力线调制解调器, 多数因为数据传输速率太低, 而不符合宽带通信的要求。基于此, 我们选用了 MAXIM 公司生产的电力线通信收发芯片 MAX2986 作为主芯片进行设计, 该芯片完全兼容于 Homeplug 1.0 协议, 数据传输速率高达 14 Mbps, 可以满足宽带通信的需求。

1 系统整体硬件构成

电力线调制解调器要解决电力线的底层通信, 即设计和实现相当于 OSI 参考模型的物理层和数据链路层。物理层用以处理电力线和光纤, 铜缆的通信信号相互转换, 包括电力线信号耦合与 OFDM 调制。数据链路层需要将通信信息可靠地以数据格式从通信一端传输到另一端。因此本文的硬件设计主要包括电力线数字收发器 MAX2986, 电力线数字收发器 MAX2980, 微处理器 W90N740 以及耦合电路组成。设计电力线载波通信终端系统硬件整体原

理图如图 1 所示。

电力线载波通信终端主要完成的工作包括：

- (1) 从电力线上提取和注入电力线高频载波信号。
- (2) 完成电力线通信信号与以太网通信信号或 USB 通信信号的相互转换。(3) 从以太网接口或 USB 接口收发符合以太网规范或 USB 规范的信号。

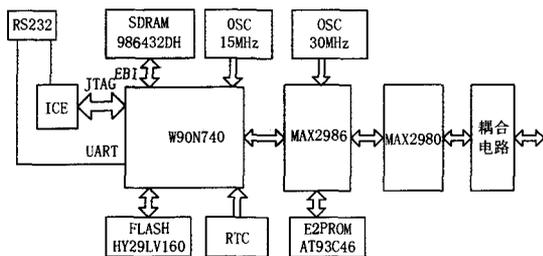


图 1 电力线终端通信系统硬件原理图

Fig.1 Block diagram of power-line communication system

2 电力线通信终端数字收发模块

电力线通信终端数字收发模块主要实现将通信信号频率耦合到载体上，对输入信号进行滤波，通过电力线通信模拟前端收发器实现模数转换，数模转换，线性驱动，输入缓存，滤波放大功能以及实现对传输数据的调制解调。

直接采用 MAXIM 公司的集成电力线数字收发器 MAX2986 与配套器件 MAX2980 * 模拟前端 (AFE) 组合，形成完整的高速电力线通信解决方案。MAX2986 芯片的 AFE 端口与电力线通信模拟前端收发器 MAX2980 的 AFE 端口相连，实现数据的电力线端前向处理。MAX2986 芯片的 MAC 将从电力线端接收到的 POWERPACKET 电力包数据，解包后转换为 MII 帧，经 MII 接口转送给 W90N740，MAX2986 通过采用 MII 模式将接口连接到 ARM 微处理器 W90N740，片内串口 UART 上外接一片 MAX232 电平转换芯片，实现标准的 RS232 通信功能。基于 MAX2986 的电力线数字收发模块^[2]整体框图如图 2 所示。

W90N740 是以内核为 ARM7 RISC CPU 的 32 位微处理器，通过以太网控制器 1 与电力线数字收发器 MAC 接口相连，负责上下行数据的处理，ETHERNET IP 包和 Power-Packet 电力包间的相互转换。数据经过 MAX2986 处理后经过 PHY 接口连接电力线模拟前端收发器，信号经过滤波电路后，传输到电力线耦合电路，并最终到达电力线。ARM 处理器通过片内串口 UART 上外接一片 MAX232 电平转换芯片，即可实现标准的 RS232 通信功能，

与 FTU, TTU 等设备相连。

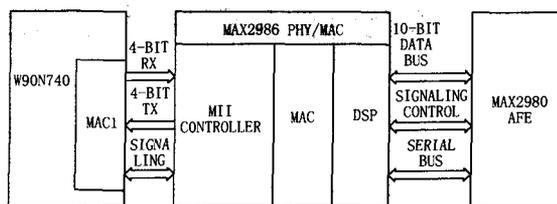


图 2 电力线数字收发模块整体框图

Fig.2 Block diagram of digital transceiver module of power-line communication system

3 电力线通信模拟前端收发模块

电力线模拟前端收发模块用于完成电力线信号至通信终端的信号频率耦合与滤波，具体电路设计如图 3 所示。

图 3 中，MOV1, C19, R6, D9, D10, T1 组成了电力线耦合电路。耦合电路是将 AFE 连往电力线的装置，主要功能是与电网安全隔离，以及以较低的介质损耗从电力线提取电力线通信信号到模拟前端 MAX2980，或将模拟前端的高频电力线通信信号传输到电力线上，并阻止电力线的工频电流进入通信终端。

在设计方案中，变压器 T1 对于 4 MHz~21 MHz 的载波信号提供了线性传输功能；压敏电阻 MOV1 提供第一级瞬时保护电路，以限制电力线中的高压脉冲干扰。耦合电容 C19 与耦合变压器 T1 的次级线圈形成高通滤波器，使得电力线载波信号可以通过，而阻止了 50Hz 工频电流的进入。将电阻 R6 并联在 C19 两端是为了和 C19 在掉电后形成串联回路，可以在电力线断接后对 C9 放电，因而减轻了 C9 中储存的高压可能给设备带来的破坏和损坏。考虑到变压器本身的电流容限以及载波通信系统的性能，应使得通过它们的工频电流小于 0.6 mA，因此阻止选取应满足 $R_6 > 220/0.6$ ，即 367 kΩ，本次设计选取 470 kΩ。二极管钳位电路实现对瞬时过程的第二级保护，可以起到抑制电压，同时保护 T1 后面电路的作用。

电力线通信模拟前端收发模块系统中，C1, C2, L1, C3, C4, L2, C5, C6 组成高通滤波器，实现对来自电力线接收信号的二次滤波，以更好地满足系统整体性能的要求。电力线模拟前端收发器 MAX2980 通过 PLIP, PLIN 引脚接收来自电力线上的信号，通过引脚 PLOP, PLON 向电力线发送信号。MAX2980 接收到的电力线高频信号经过芯片内处理，通过引脚 SDI/O 发送给电力线数字收发器

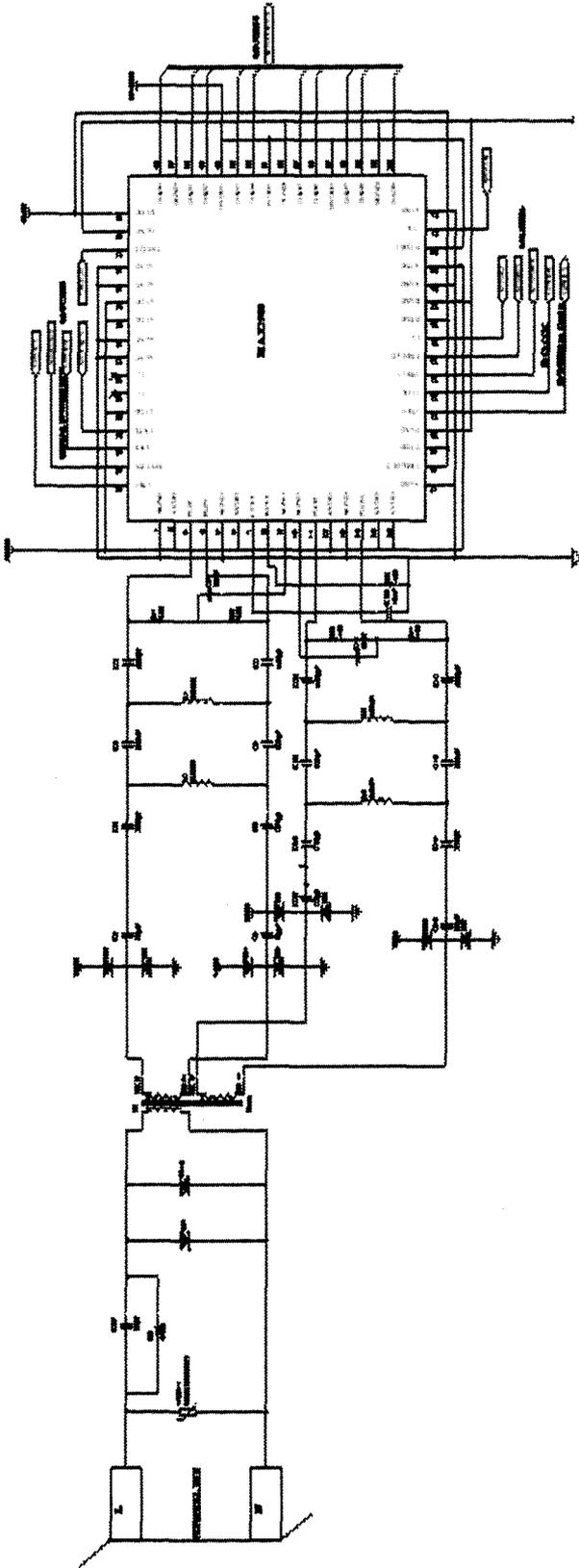


图3 电力线通信模拟前端收发模块连接电路图
Fig.3 Circuit diagram of AFE module

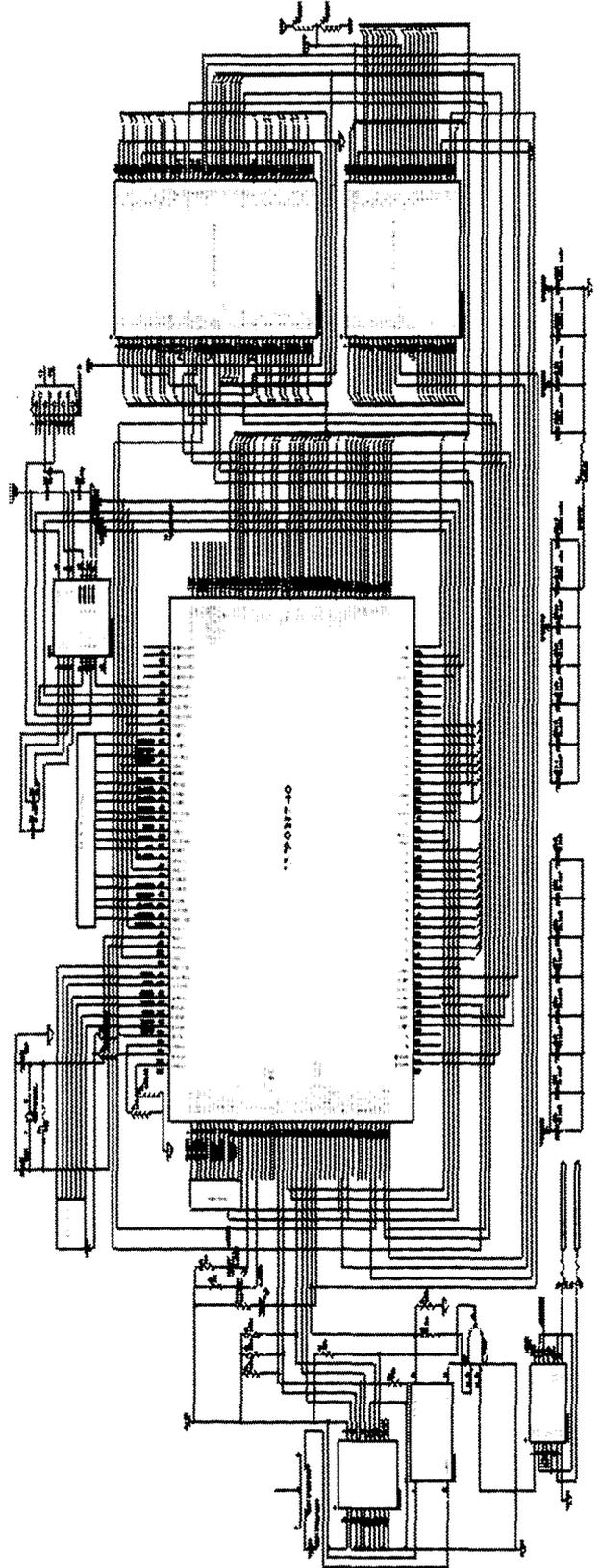


图4 中央管理单元电路连接
Fig.4 Circuit diagram of central processing unit

MAX2986, 进行信号调制后, 通过用户的配电线路传输到局部 PLC 设备, 局部端将信号解调后, 再转到外部 INTERNET。

4 中央管理控制模块

电力线载波通信系统需要完成的任务包括采集配电线路以及各种电力设备的运行参数, 接收主站的相关控制, 同时还要实现信息的网络接入。因此, 系统需要控制器来协调和管理本地与远端的关系, 设计中选用 WINBOND 公司生产的基于 ARM7TDI 内核的 W90N740 微处理器, 主要负责上下行数据的处理及 ETHERNET IP 包和 Power-Packet 电力包间的相互转换。

W90N740 采用精简指令系统, 内建有两个以太网 MAC 控制器 0 和 1, 具有 8 kB 的指令缓存和 2 kB 的数据缓存。通过外部总线接口 (EBI) 与外部的 SDRAM, ROM/SRAM, Flash, Memory 或 I/O 接口互连。通过内部的 Ethernet MAC Controller 与 MAX2986 互连, 通过片内串口 UART 上外接 MAX232 电平转换芯片即可实现标准的 RS232 通信功能。图 4 为中央管理单元电路连接图。

5 ETH-PLC 路由器以太网接口电路设计

为了实现电力线网络与以太网的互联, 在设计电力线调制解调器的基础上, 增加电力线与以太网通信的以太网接口^[3,4]。网络接口芯片采用 Realtek 公司的 RTL8201 Ethernet PHY IC, 通过 ARM 处理器 W90N740 来控制网络芯片的工作。网络芯片的网络收发端, 通过滤波变压芯片 20F001N 接入 RJ45 接口, 其结构如图 5 所示。

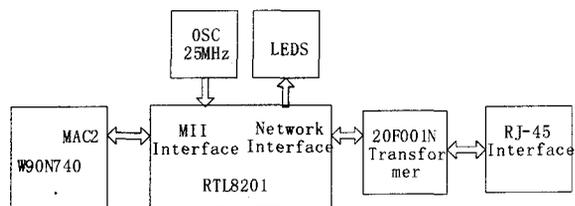


图 5 网络接口模块结构图

Fig.5 Block diagram of network interface module

RTL8201 支持全双工模式, 在全双工模式下, 如果连接到一个同样是全双工的交换机或者集线器就可以实现同时接收和发送信息, 以达到在执行以太网 CSMA/CD 协议时避免更多的冲突发生的效果, 适合于嵌入式系统的应用。RTL8201 的接线电路如图 6 所示。其中, “RD+”、“RD-”、“TD+”、“TD-”分别与 20F001N 管脚相连。

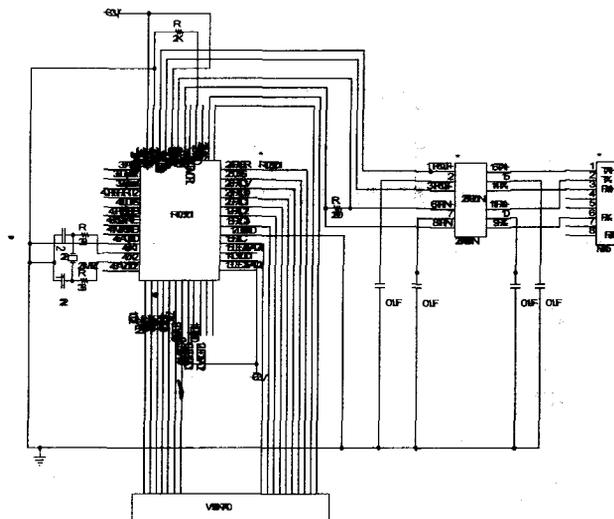


图 6 以太网控制芯片接口图

Fig.6 Interface diagram of Ethernet's control chip

6 结论

采用 MAXIM 公司的电力线集成数字收发器 MAX2986 以及电力线模拟前端收发器 MAX2980 设计了电力线载波数据通信系统的硬件实现方案。通过对此方案的测试应用, 结果表明在通信环境良好的情况下, 该方案通信距离可达 2 km 左右, 可基本满足现代通信自动化的要求, 数据传输速率大于 10 Mbps, 误码率达 10^{-9} 级, 在电力线载波通信中体现出良好的抗干扰性能以及抗多径衰减性能, 可以基本满足现代宽带通信的需求。

参考文献

- [1] Biju I N, Valenti M, Feliachi A. Communication Delays in Wide Area Measurement Systems[A]. In: IEEE Proceedings of SSST-02[C]. 2002. 1082-1085.
- [2] http://www.maxim_ic.com.
- [3] YANG Xin-qiang, SHAO Jun-li. Data Communication & Computer Network[M]. Electricity & Industry Press, 1998. 346-350.
- [4] Realtek Corporation. Realtek Single Chip Fast Ethernet Controller with MII&AUI Interface RTL8201[EB/OL]. <http://www.realtek.com>.

收稿日期: 2007-02-27;

修回日期: 2007-05-25

作者简介:

孙海翠 (1982-), 女, 硕士, 硕士研究生, 研究方向为电厂智能信息系统。E-mail: SHC@ECEPDI.COM