

# 基于 WIA-PA 技术的智能插头设计

李 涛，李霖元，刘 瑞

(北京南瑞智芯微电子科技有限公司，北京 102200)

**摘 要：**介绍一种基于 WIA-PA 技术的智能插头设计方法，该插头以 STM32F103 为核心处理器，利用电能计量芯片 ATT7053 采集电压、电流、电量等各项参数，即时进行用电监测，通过 WIA-PA 无线网络实现与家庭网关进行通信，实现供电远程控制、用电状态检测、通信组网等功能。本文介绍了各模块的功能，系统硬件设计和软件流程。与传统智能插座相比，该方案具有低功耗、低成本、可靠性高、方便安装等特点，非常适用于家庭用电管理系统。该产品拥有良好的市场前景，值得广泛推广。

**关键词：**智能插头；无线网络；用电管理；WIA-PA

## 0 引言

近年来，为应对气候变化、保障能源安全，促进经济可持续发展，加快了清洁能源、智能电网、物联网的发展进程。智能电网是新能源技术革命的重要组成部分，它的核心使命是“节能、减排”，而用户使用电力的过程中，能效水平大约为 62.9%，整个电力生产和供应过程中总能量的 16.7% 消耗在用电环节，因此用电环节节能减排具有广阔的前景<sup>[1]</sup>。为解决用户侧能耗管理问题，现有技术提出了智能插座解决方案。基于智能插座的用电管理系统能实现用户用电智能化管理，但还存在一些缺陷：

1) 用电设备没有真正实现智能化，用电设备本身不具备计量和通信功能，所以这种智能化对用电设备来说完全是被动的，完全是一种单向的接收控制功能，而且用电设备只能被动的连接到智能插座上。

2) 智能插座一般体积较大，成本较高，并且智能插座通常是安装在已有的普通插座上，然后用用电设备的插头再插在智能插座上，使用很不方便。

为此，本文设计了一种基于 WIA-PA 技术的智能插头。这种插头具有用电设备能耗监测、控制及通信功能，通信技术采用了 WIA-PA 微功率无线技术，该技术非常适用于家庭用电管理系统。该智能插头的创新点是预留串行接口与智能家电进行通信，在不用改变用电设备的内部电路结构的前提下，就能测量用电设备的工作参数并将该参数通过 WIA-PA 网络传送给用户通信终端，并且能根据通过 WIA-PA 网络接收的控制指令控制用电设备的通、断状态以及工作模式。

## 1 智能插头与家庭用电管理系统

智能插头是家庭用电管理系统的重要组成部分，它将融合自动化控制系统、计算机网络系统和网络通讯技术于一体，将各种家庭用电设备如冰箱、洗衣机、空调、热水器等通过智能家庭网络联网实现自动化，图 1 为一个基于 WIA-PA 技术的家庭用电管理系统示意图。

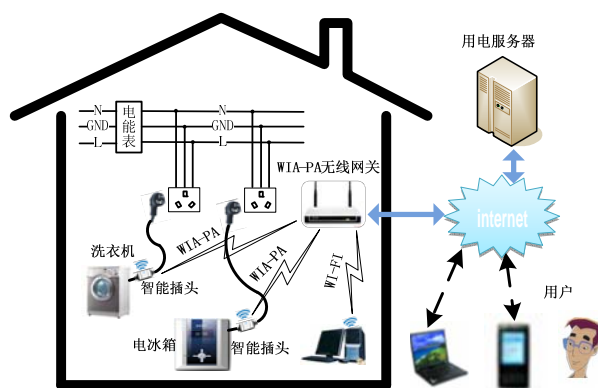


图 1 家庭用电管理系统

由图 1 可知，一个典型的家庭用电管理系统一般包括以下部分。

### 1.1 智能插头

为了满足家庭用电管理系统的需求，智能插头必须具有智能化、信息化的特点，除了具有电源分配功能外，还应该具有以下功能<sup>[2]</sup>：

#### (1) 控制功能

智能插头应能通过开断功能，来控制使用插头电器的供电，同时具备对电器的通信口命令响应及

转发功能。

### (2) 通信功能

智能插头要与家庭网关和家电进行通信, 将数据传送给家庭网关, 或响应家庭网关的命令, 同时将家电控制命令通过串行接口透传给家电, 保证家庭用电管理系统的正常工作。

### (3) 监测功能

该功能监测负载当前的工作状态, 如电压、电流、功率、温度、用电量等, 用户可以分析电器的负荷情况、运行功率、待机功耗等, 为用户和电力公司提供参考。

本智能插头在传统插头和用电设备之间的电源线上接入了电能计量芯片和智能控制电路, 在不改变用电设备的内部电路结构, 就能测量用电设备的用电信息并将该信息通过 WIA-PA 网络传送给用户通信终端, 并且能根据通过 WIA-PA 网络接收的控制指令控制用电设备的通、断状态以及工作模式, 真正实现家用电器的智能化管理, 完全满足家庭用电管理系统的需求。

## 1.2 WIA-PA 无线网关

WIA-PA 无线网关通过对家庭用电设备进行统一监控与管理, 对电能质量、用电信息等数据进行采集和分析, 指导用户进行合理用电, 调节电网峰谷负荷, 实现电网与用户之间智能用电。

## 1.3 本地和远端控制

本地计算机可通过 WI-FI 与 WIA-PA 无线网关连接通信, 结合计算机端的监控软件, 可以方便地在计算机上对家用电器进行状态查看和智能控制。同时 WIA-PA 无线网关被连接到 Internet 网络上, 用户可以通过远程登陆用电服务器, 获得接入许可后, 可远程管理家用电器。

## 2 WIA-PA 技术介绍

WIA-PA<sup>[3]</sup> (Wireless Networks for Industrial Automation – Process Automation) 标准是中国工业无线联盟针对过程自动化领域的迫切需求而率先制定的 WIA 子标准, 定义了用于过程自动化的 WIA 系统结构与通信规范。WIA-PA 标准于 2008 年 10 月 31 日经过国际电工标准委员会 (International Electrotechnical Commission, IEC) 全体成员的投票, 以 96% 的得票率获得通过, 作为公共可用规范 IEC/PAS 62601 标准化文件正式发布。

WIA-PA 网络是一种无需基础设施支持的自组

织多跳网络, 网络设备具有低功耗的特点。设备启动后, 无需人工配置, 自主形成网络。WIA-PA 协议架构如图 2 所示, 其物理层、MAC 层直接采用了 IEEE802.15.4 协议标准, 其链路层、网络层和应用层由我国自主开发完成, 其抗干扰、低功耗、实时通信等核心技术主要体现在链路层、网络层和应用层。

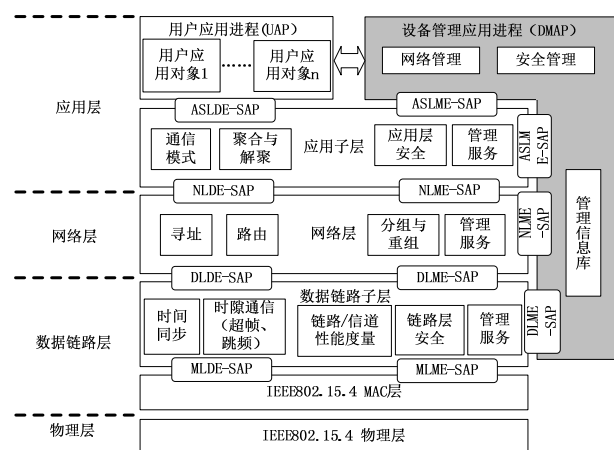


图 2 WIA-PA 系统架构

基于以上协议架构的设计, WIA-PA 网络实现了以下技术特征:

(1) 自组织: 分层的自组织模式, 在复杂环境下保持拓扑灵活, 易扩展, 提高系统易用性。

(2) 高实时: 采用 TDMA 接入模式, 微秒级的全网高精度时间同步, 保证通信的实时性。

(3) 高可靠: 采用跳频通信方式提高了点到点通信的抗干扰能力; 同时, Mesh 路由提高了端到端通信的可靠性。

(4) 低功耗: 数据的聚合与解聚降低了通信功耗, 此外, 全网的休眠和唤醒机制降低了网络能耗。

基于以上介绍, WIA-PA 技术非常适合家庭用电管理系统, 它能充分满足家庭用电管理系统高可靠性、高安全性、高实时性、易操作和低功耗的要求。

## 3 智能插头功能与实现

### 3.1 硬件电路实现

智能插头的硬件框图如图 3 所示, 整个电路系统以微处理器 (STM32F103)<sup>[4]</sup> 为核心, 包括数字温度传感器、电流信号采集与调理电路、电压信号采集与调理电路、电源模块、开关控制电路和通信模块等部分。

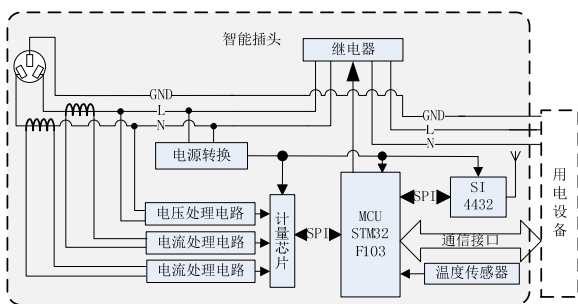


图3 智能插头硬件框图

### (1) 电源模块

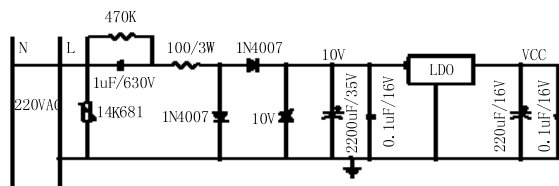


图 4 电源转换电路

电源模块采用电容降压原理,如图4所示,利用电容在一定的交流信号频率下产生的容抗来限制最大工作电流。电源模块由插座接头引入 220V 交流电,经过 1uF 电容降压,再经二极管半波整流,10V 稳压二极管稳压,电容滤波,LDO(Low Dropout Regulator)稳压输出直流电压,给 MCU、计量芯片、射频芯片等供电。

### (2) 温度检测电路

温度检测电路实时检测插头内的温度，当家用电器出现超负荷、短路等故障，导致插头内温度异常时，能及切断电源，排除安全隐患。根据功能需求，温度信号的采集选用美国 Dallas 公司生产的数字温度传感器 DS18B20，它具有三引脚 TO-92 小体积封装形式，温度测量范围为-55~+125 摄氏度，可编程为 9~12 位 A/D 转换精度以，测温分辨可达 0.0625 摄氏度，能充分满足设计的需求。

### (3) 微处理器

微处理器为整个电路系统的核心,负责设备控制、任务调度、通信协议、电能计量、家电通信等程序的运行。智能插头使用的处理器应具有如下特点:体积小、集成度要尽量高、低功耗而且支持睡眠模式、运行速度要尽量快、要有足够的外部通用 I/O 端口和通信接口等。

因此我们选用 STM32F103 系列作为主控芯片, 协调控制各个功能模块工作。该系列融合了 ARM 和 ST 两方的技术, 使用 *Cortex<sup>TM</sup>*-M3 32 位 RISC 处

理器,工作频率为 8MHz,最高可达 72MHz。片上集成了丰富的外围功能模块,便于设计高性能低成本的嵌入式应用系统。

#### (4) 信号测量电路

尽管 STM32F103 芯片有很强的运算能力和丰富的 A/D 转换通道,但要执行大量数据分析、软件实现 FFT 算法来计算电流、电压有效值、功率因数、相位角等参数,计算量大,加重了系统的负担,对存储器的需求也很大,如果直接利用 STM32F103 对电量数据采集处理并不是十分合理。因此,本电路在数据采集部分采用了电能专用计量芯片 ATT7053<sup>[5]</sup>。它能同时测量电流、电压有效值、功率、频率等参数,充分满足智能插头的需求,并且简化软件设计,减少外围电路。

计量电路工作流程如下：首先电流互感器和分压电阻电路将采样的电参数信号，经滤波电路滤波后，送入电能计量芯片 ATT7053，ATT7053 处理后将数据通过 SPI 接口传送至控制器 STM32F103 进行后续处理。为了提高计量精度，使用前需对 ATT7053 进行校正，使用该芯片，测量精度等级可以达到 1.0 级，完全满足智能插头的要求。

### (5) 射频收发电

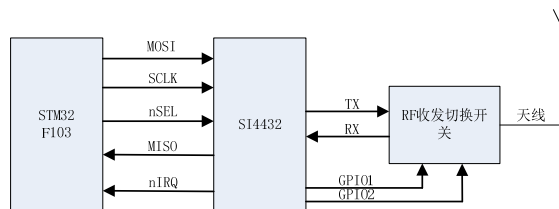


图 5 射频收发电路

射频收发电路如图 5 所示, STM32F103 通过 SPI 接口对 SI4432<sup>[6]</sup>进行初始化配置、数据收发控制等, 而 SI4432 通过 nIRQ 脚将相应的中断发送至 STM32F103。该电路采用单天线进行数据的收发, 所以必须采用 RF 收发切换开关用于对 SI4432 的收发状态进行切换。GPIO1 和 GPIO2 用于天线开关状态切换。

### 3.2 软件实现

软件编程采用模块化设计思想,功能模块包括:硬件初始化程序、WIA-PA 协议栈、家电通信模块、电能计量模块和插头动作控制模块。这是一个典型的多任务系统,并且要能够响应多个外部信号,传统的前后台式的软件设计方法已经不能满足工程的需要,因此设计中引入了 uC/OS-III,采用多任务的

软件设计方法。

### 3.2.1 主程序结构

系统上电后, 软件进入主程序, 首先完成系统的初始化, 包括硬件初始化、网络协议初始化、任务添加等。其中, 初始化程序包括 MCU 端口初始化、计量芯片 ATT7053 初始化、射频收发芯片 SI4432 初始化、WIA-PA 协议栈初始化、家电通信初始化等等的初始化程序, 初始化是程序软件运行的基础。主程序流程如图 6 所示。

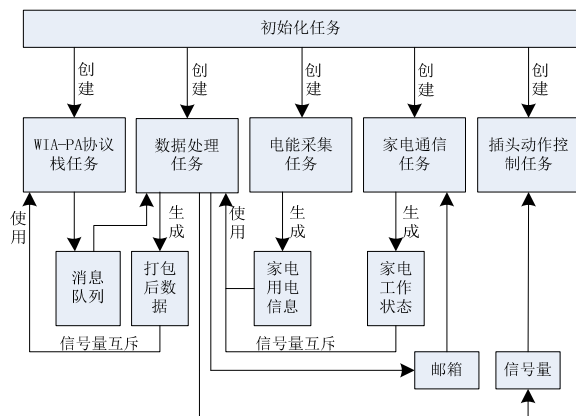


图 6 任务关联图

### 3.2.2 系统软件流程

系统任务流程如图 7 所示, 各任务主要完成以下功能。

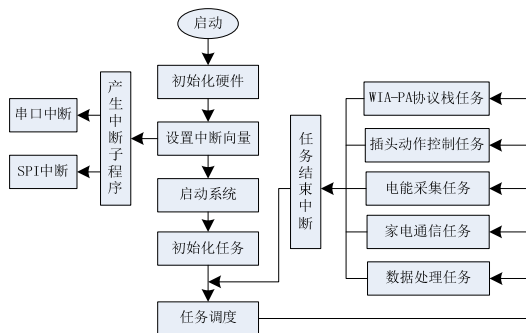


图 7 系统软件流程

#### (1) WIA-PA 协议栈任务

在家庭用电管理系统中, 终端节点数量较少, 仅需实现星型网络即可, 终端节点仅仅需要加入到相关协调器构建的星型网络中, 并负责将家用电器的电量信息和家电状态信息发给所在星型网络中的协调器。节点网络层不需要路由功能, 仅需要和协调器进行点对点通信。其 MAC 层则可以和路由节点的 MAC 层通用。物理层则主要处理 SI4432 无线收发器的配置操作、物理层协议数据的收发。

#### (2) 家电通信任务

主要负责与智能家电进行通信, 用于将用户的控制命令发送给家电、同时将家电工作状态发送给用户, 实现家电的智能化管理。

#### (3) 电能计量任务

该任务主要负责响应家庭用电管理系统的请求, 采集家用电器的用电信息, 经数据采集程序处理后, 通过 WIA-PA 网络将其发送给家庭能源网关, 实现对家电耗能的实时监控。

#### (4) 插头动作控制任务

主要是根据用户设定的定时任务, 实现家电的定时通断; 同时对插头温度进行采集判断, 在家电工作异常时, 及时关断电源, 排除用电安全隐患。

## 4 结论

本文介绍了一种新型智能插头的设计方法, 它能够很好的适应智能电网和智能家居建设发展的需要, 实现智能电网中的用电终端的智能化, 降低了为实现用电设备智能化而改变用电设备内部电路结构的技术复杂度, 降低了智能电网建设成本, 具有很好的市场应用前景。

### 参考文献:

- [1] 吴疆. 用能效的观点比较中美不同的智能电网投资策略[J]. 中国能源, 2009, 31(9).
- [2] 严军. 分布式无线家庭控制网络的研究与设计[J]. 计算机工程, 2006, 33(17).
- [3] 杨淼, 梁炜, 徐伟杰. 基于 WIA-PA 的工业无线网络网关设备[J]. 计算机工程, 2010, 36(23): 258-261.
- [4] 王永虹, 徐炜, 郝立平. STM32 系列 ARM Cortex<sup>TM</sup>-M3 微控制器原理与实践[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2008.
- [5] 矩泉光电科技股份有限公司. ATT7051A/ATT7053 用户手册[R], 2010.
- [6] Silicon Laboratories Inc. Si4432 user's manual[R], 2008.

### 作者简介:

- 李 涛 (1979-), 男, 北京人, 工程师, 从事智能用电、电力物联网、智能传感网方面的应用研究;
- 李霖元 (1982-), 男, 北京人, 工程师, 从事电力物联网、智能传感网方面的应用研究;
- 刘 瑞 (1984-), 男, 北京人, 工程师, 从事智能用电、数据监测方面的应用研究。