

学生公寓安全用电智能电表设计

为有效管理学生公寓用电，国内许多高校在学生宿舍引入了集中式用电管理系统，此类系统一般由计量终端、中继模块及上位机组成，功能上过度依赖中继模块与上位机，只能实现简单的集中化用电管理，无法对大功率用电、无人用电等违规行为实时监控，无法杜绝违规用电带来的安全隐患，导致用电火灾时有发生；其次无电量实时提示功能，交互性差。

本文着力于改进终端的用电安全监控及交互性等功能，提出了一种智能化终端——智能电表的设计。该智能电表可独立运行，单独安装于学生宿舍内，除能高精度计量电能之外，还可自动识别、限制大功率电器，宿舍无人则切断供电，杜绝大功率用电、无人用电的隐患；可实时提示电量不足，交互性大大增强；利用 RS-485 通讯模块可便捷接入现有用电管理系统，作为现有用电管理系统的终端。功能上的独立及单独安装也使得施工时只需简单的总线型供电线路即可，无需按照现有系统的星型供电线路施工，布线成本降低 75% 以上，施工难度也大大降低。

1 智能电表硬件结构

图 1 即智能电表基本结构框图。本电表由主控模块、热释电红外人体探测模块、计量模块、周边控制模块以及 RS-485 通信模块构成。硬件上采用模块化设计，可根据实际需要加入其他模块扩展功能。模块化设计使得各模块可独立运行，同时也可降低主控 CPU 负荷，只需进行简单响应各模块信号，无需复杂运算处理，简化程序运行，降低出错率。

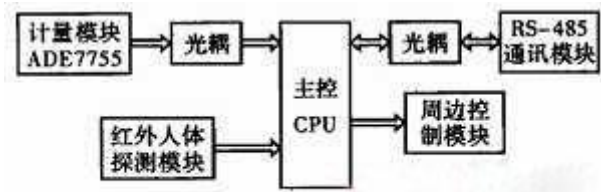


图 1 智能电表结构图

1. 1 主控模块

为彻底改变现有系统终端功能完全依赖中继实现的弊病，提高终端的独立工作与智能监控能力，将单片机作为终端的主控核心，脱离对中继功能上的依赖，独立对多路信号采集与判断，响应各种信号并执行相应动作。主控模块包括微处理器及周边电路，微处理器采用 STC12C5 204AD 单片机，其内置 EEPROM、硬件看门狗以及掉电检测电路，丰富的内置功能模块可大大简化周边电路设计，同时也提高了系统本身的抗干扰能力。该主控模块功能如下：

- (1) 通过外部中断 INT0 引脚采集电量模块送来的计数脉冲，计数并存储。
- (2) 监控 P1. 2 引脚电源电压，掉电时将用电数据存入内部 EEPROM。
- (3) 利用串口实现与集中器或上位机之间的数据传送、指令执行。
- (4) 根据电量计算结果和红外检测状态启动周边控制模块，提示电量不足或切断供电，杜绝无人情况下电器运行，确保用电安全。

原理图如图 2 所示。

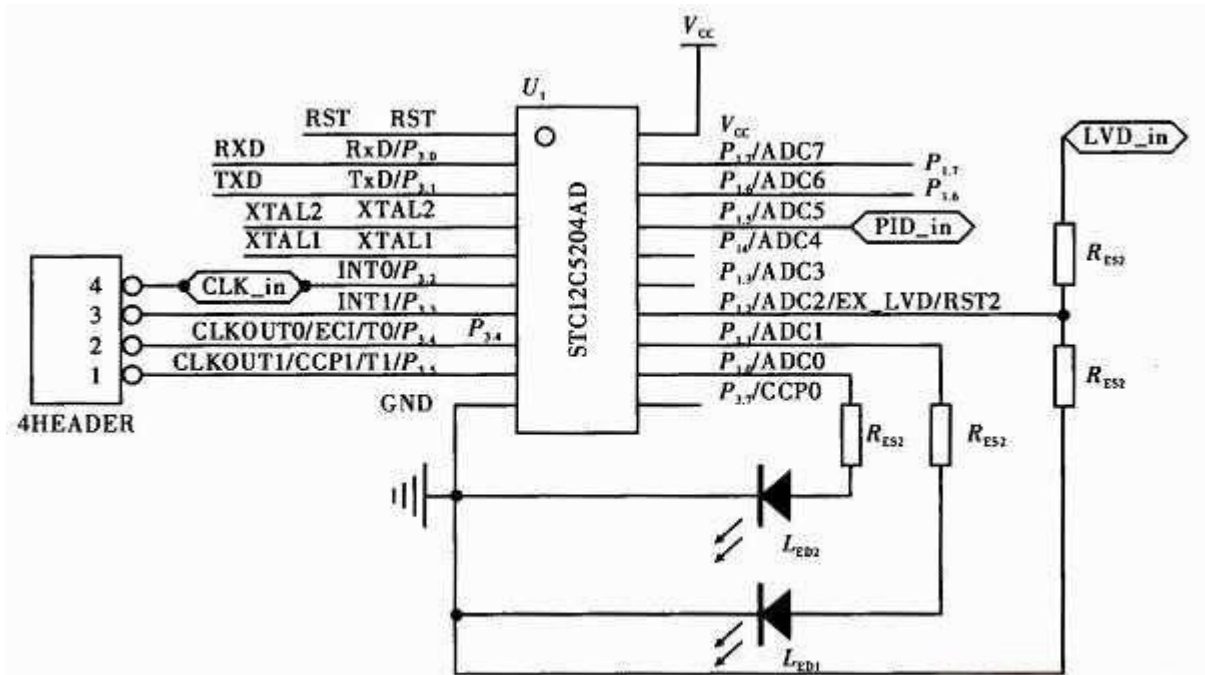


图 2 主控模块原理图

1. 2 ADE7755 计量模块

电能计量部分采用专用计量芯片 ADE7755，采用 330μ Ω 锰铜分流器作为电流采样元件，将采样得到的电压输入 V1P、V1N，另通过电阻网络将电压采样送至 V2P、V2N，经内部转换、相乘后得到有功功率瞬时值，从引脚 CF 以较高频率输出至主控 CPU 引脚 INT0 产生中断，实现脉冲计数。主控模块累计脉冲个数，计满设定数值后清零，并将电能数值减 1，存入内部 EEPROM 保存用电数据。本模块设定 SCF=0，S1=1，S0=0，G1=G0=1，增益 G 为 16，由公式

$$F = (8.06 \times V_1 \times V_2 \times G \times F_{1-4}) / V_{ref}^2 \quad (1)$$

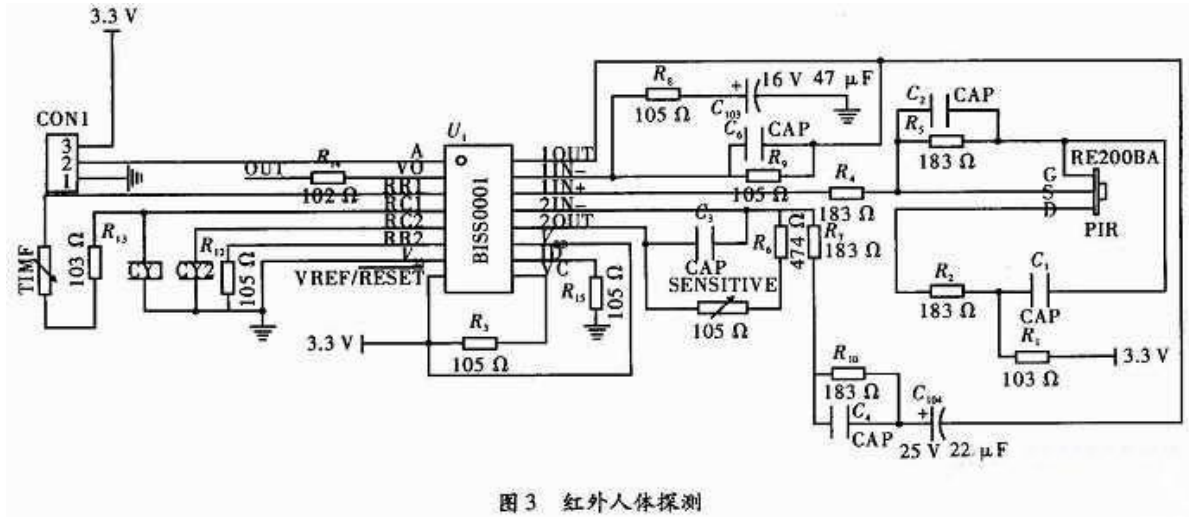
$$CF = 16 \times F \quad (2)$$

$$imp = CF \times 3\ 600 \quad (3)$$

已知 8.06 为常数，V1、G、Vref 以及 F1-4 值给定，只需调整分压电阻即可调整 V2 值。本模块调整 V2 后设定脉冲常数为 1 600，即计满 1 600 个脉冲为 1 kW·h 电量。可以设定更高的脉冲常数进行计数，只需灵活改变相关参数即可。

1. 3 热释电红外人体探测模块

为填补现有终端对安全监控功能的空缺，尤其是无人情况下用电的监控，采取简单实用的红外探测技术，实现对宿舍有无人员活动的监控，无人情况下自动切断电源，杜绝无人用电，有人情况下即恢复正常供电。本模块采用热释电红外传感器 RE200B；信号处理电路采用高性能的处理集成电路 BISS0001，其原理电路设计如图 3 所示。



传感器 RE200B 获取信号送入 1IN+，利用 BISS0001 内部的运算放大器 OP1 作为热释电红外传感器的前置放大，放大后经 C4 耦合至 2IN-，进行第二级放大。由 BISS0001 内部的电压比较器构成的双向鉴幅器处理后，检出有效触发信号启动延迟时间定时器。同时 A 与 VC 置 1，设定为可重复触发工作状态，确保室内有人的情况下持续输出高电平，避免不可重复触发状态下的短时间低电平误判。

其中可变电阻 Time 为输出延迟时间 Td 的调节元件,可变电阻 Sensitive 为灵敏度调节元件,在具体设计中可以根据式(4)调节 Td。

$$T_d \approx 49\ 152 \times R_{time} \times CY_1 \tag{4}$$

1. 4 周边控制模块

该模块实现供电控制与剩余电量提示,包括继电器驱动电路、LED 电路。LED 由单片机直接驱动,在此不再赘述。继电器驱动电路如图 4 所示。

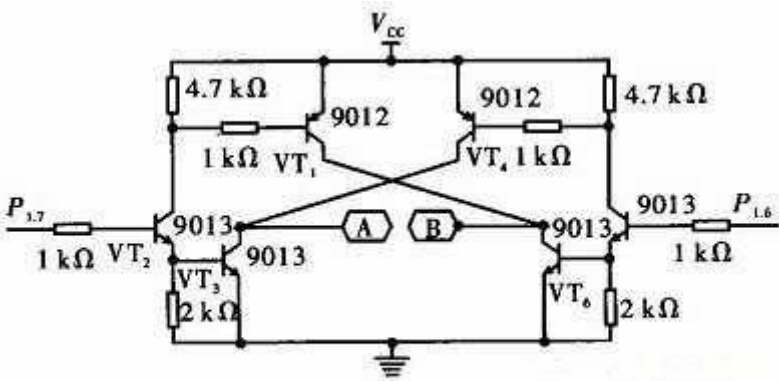


图 4 磁保持继电器驱动电路

继电器采用单线圈磁保持继电器,改变触点状态只需在 A、B 两端加上 30 ms 左右的反向脉冲即可,不需要持续供电维持闭合、断开状态,满足系统低功耗的要求。单片机控制继电器只需改变 P1. 7、P1. 6 引脚状态即可,并禁止 P1. 7、P1. 6 同为 1,避免所有三极管同时导通造成电源短路故障。

2 智能电表软件设计

软件设计包含用电监控、红外探测、掉电检测以及串口通信,同样采用模块化设计。本部分主要介绍用电监控、红外探测及掉电处理,串口通信限于篇幅则不再详述。系统软件框图如图 5 所示。

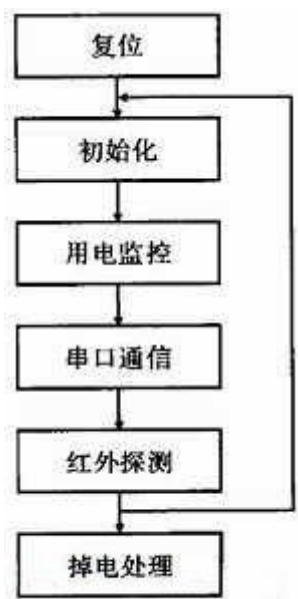


图 5 软件框架图

初始化包括单片机初始化和周边模块的初始化。系统加电后，单片机对各 I/O 口重置为预定模式，看门狗初始化、串口中断初始化、定时器初始化、掉电检测初始化等。周边模块即电能采集、红外探测以及控制模块的初始化启动。

2. 1 用电监控

该部分为智能电表主要功能设计单元，包括电量处理、功率检测及数据存储。

程序初始化进入电量处理，首先读取内部 EEPROM 中计数值 count，做为此次计数的初始值 Tcount。开启中断后即对 INTO 送入的每个电能脉冲下降沿响应中断，并累加 Tcount，等待下一次下降沿产生新中断实现循环计数。Tcount 累加至 1 600 后 W 减 1 并重新赋值给 W，尔后清零 Tcount，重新开始计数。当 W≤1 时将启动 LED 提示程序，预警电量。

功率检测通过软件方法实现。利用定时器，开启周期为 5 s 的定时，对此周期内电量脉冲数进行累加统计，与设定值 p 进行比较，若 $\geq p$ 则认为大功率用电，立即切断供电，延时一段时间后恢复供电，并标记违规用电次数 Tcount，存于内部 EEPROM 中以备上位机数据录入。

为确保数据存储安全可靠，软件设计中采用两种方法：一是电量值 W 每次完成减 1 即存入单片机内部 EEPROM，然后向上位机更新电量数据，及时转存、更新数据；二是数据分存时的对比，存入数据时，单片机与上位机各自对 W 值进行对比，只有更新后的 W 值小于原数据 W 时方为有效数据，确保数据存储准确无误。

2. 2 红外探测

此部分软件设计只需检测 P1.5 引脚是否为有高电平输入即可实现简单逻辑判断。硬件上红外探测模块本身有输出延时 T_d ，结合软件上的冗余验证，确保判断正确无误。实际使用中还可以通过增加探测模块，经二极管线与后实现多个信号源输入，提高探测范围和准度。

2.3 掉电处理

基于 STC 内置的低电平检测功能，结合中断应用，当检测到 P1.2 脚电压低于设定值 4 V 时产生中断，单片机将 Tcount 值以及电量值 W 存入内部 EEPROM，作为下次计数启动初始值。其程序流程与电量计量模块相同，只是中断优先级略低，故此处略去不再细述。

3 结束语

本智能电表的特点：一是用简单、实用、成熟的软硬件设计实现了宿舍无人条件下的用电监控，杜绝用电隐患，实时提示功能简单实用；二是与现有公寓用电管理终端相比，本电表可脱离集中器与上位机独立运行，功能上不再依赖中继模块，可单独安装，不但大大降低了线路成本，还降低了施工难度，实测表明本电表可智能化监控用电安全。