

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2019.05.021

# 低功耗交直流小功率测量系统的设计与实现<sup>①</sup>

瞿惠琴, 谷永先, 吴孔培, 叶倩

无锡职业技术学院 物联网技术学院, 江苏 无锡 214121

**摘要:** 对交直流小功率测量电路的工作原理及功率测量算法进行研究, 基于低功耗微处理器 MSP430F5529、低功耗直流功率计量芯片 INA226 和交流功率计量芯片 HLW8012 设计了交直流小功率测量系统. 系统能自动识别输入的电源类型, 交流电源(1 V~5 V)或直流电源(200 mV~30 V)输入时, 调整负载, 能够测量 40 mW~1 W 的有功功率, 测量误差小于 1%. 系统中交直流功率测量模块采用串联接法, 有效简化了软硬件设计, 降低系统功耗, 系统电路功耗小于 30 mW.

**关键词:** 功率测量; 交直流功率; MSP430F5529; 低功耗; 电源类型识别

**中图分类号:** TL362<sup>+</sup>.2

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-9868(2019)05-0149-06

功率测量是电能计量研究领域的一个重要方向, 随着智能电子产品的迅速发展, 功率测量模块将会是电子产品内部集成的基本功能模块之一, 通过检测功率来“感知”电子产品的真实状态: 正在工作、已关闭、状态异常等<sup>[1]</sup>. 现有的功率测量仪器大多数是用于实验或工业场所的专业功率测量仪, 价格昂贵, 体积较大, 操作复杂, 而少数的便捷式功率测量仪又功能单一, 测量范围有限. 在功率测量技术方面, 目前用于测量 220 V 交流电源功率的技术已经很成熟, 但对于精确测量低电压时负载上小功率这个问题的研究尚不深入. 综合以上情况, 本文设计了一种交直流功率测量系统, 该系统功耗低, 操作便捷, 能够自动识别输入的电源类型, 判断其是交流还是直流电源, 然后再精确测量负载上的有功功率, 测量精度达到 1%.

## 1 系统总体设计

系统参照部分智能电子产品的工作参数, 若是交流电源输入, 设定电源的电压有效值为 1 V~5 V, 设定负载是纯电阻或电容(1 000  $\mu$ F)与电阻串联的容性阻抗, 调整负载电阻, 能测量出负载有功功率, 功率值范围在 40 mW~500 mW 之间; 若是直流电源输入, 设定电源电压值为 200 mV~30 V, 设定负载是纯电阻, 调整负载电阻, 能测量出负载有功功率, 功率值范围在 40 mW~1 W 之间.

为了降低系统的功耗, 本系统的核心处理器选用 TI(Texas Instruments)公司的超低功耗 MCU(微处理器)-MSP430F5529, 直流功率测量芯片也选用 TI 公司的低功耗芯片 INA226, 交流功率测量芯片选用 HLW8012 高精度单相电能计量芯片<sup>[2-3]</sup>, 显示屏选用 0.96 寸 I<sup>2</sup>C 接口 OLED 屏.

由于系统所选用的器件工作电压为 5 V 或者 3.3 V, 故采用了航模锂电池与三端稳压器 7805 来组成系

① 收稿日期: 2018-10-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(61502204); 江苏省高校品牌专业建设工程项目(PPZY2015C240).

作者简介: 瞿惠琴(1979-), 女, 硕士, 讲师, 主要从事自动检测及传感器应用技术研究.

统工作电源, 电源输出电压为 +5 V, 作为 MCU 开发板的工作电压, 开发板上同时提供了 3.3 V 和 5 V 的电源接口, 用于给系统中其他器件输出工作电压<sup>[4]</sup>.

由于系统能够测量交流或直流电路的功率, 所以设计了交直流电源自动识别模块, 只要电源连接到负载上, 系统就会自动判别电源类型, 然后根据电源类型来启动对应的功率测量模块. 图 1 所示为交直流小功率测量系统的总体框图.

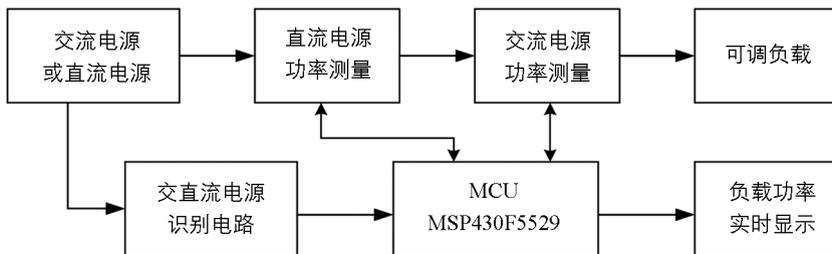


图 1 交直流小功率测量系统的总体框图

## 2 系统功能单元设计

### 2.1 交直流电源识别电路及算法

交直流电源类型的判别由单片机 MSP430F5529 来完成, 由于电源电压高于单片机的工作电压, 所以电源要经过交直流电源识别电路后才能连接单片机(图 2).

电路中电容 C1 起到了“隔直通交”的作用: 直流电源输入时, 电路输出电压为 0; 交流电源输入时, 电路输出电压降低. 实际测试当交流电源电压为 5 V 时, 电路输出电压为 2.68 V, 符合单片机的电压输入要求<sup>[5]</sup>. 电路的输出端 A1 连接单片机的模拟输入端, 单片机上集成了 12 位 A/D 转换, 把电路的输出电压直接转换成数字量.

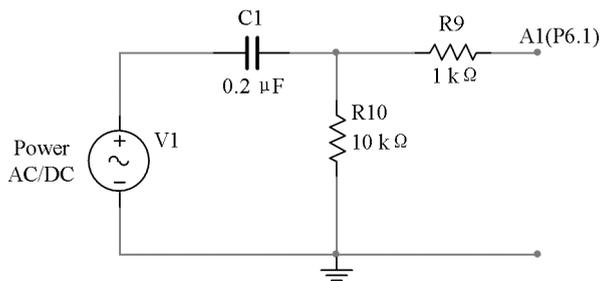


图 2 交直流电源识别电路

对电源类型的判别采用平均值滤波算法, 该算法对前面所述的 A/D 转换结果进行连续采样, 然后求得算术平均值作为有效采样值, 即

$$M = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

式中  $X_i$  为对电源识别电路输出信号第  $i$  次采样后 A/D 转换的值,  $n$  为连续采样次数,  $M$  为采样结果的算术平均值. 已知直流电源输入时, 输出基本为 0, 波动非常小, 所以采样计算后的平均值  $M_1$  约为 0, 而交流电源输入时, 平均值  $M_2$  大于 0, 系统以此为交直流的判断条件, 在软件中实现交直流电源的识别.

### 2.2 直流功率测量方法及测量结果修正

设计直流电源功率测量电路的关键是选择合适的功率测量芯片, 本系统选择具有 I<sup>2</sup>C 兼容接口的 INA226. INA226 的感测电压范围在 0 V~36 V 之间<sup>[6]</sup>, 满足系统测量要求, 同时它集成了 16 位 A/D 转换, 具有高精度、低功耗的优点. 直流功率测量电路如图 3 所示, 图 3 中电阻 R1 是电流采样电阻, 它对负载的工作电流进行采样, INA226 根据负载的电压和电流来计算其功率值<sup>[7]</sup>.

因为单片机直接读取负载的功率值误差较大并且难以修正<sup>[8]</sup>, 所以本系统中单片机只读取负载的电压值  $U_L$  和电流值  $I_L$ , 并分别对这 2 个参数进行修正. 在数据修正时, 对比分析系统测量结果和实际测量结

果, 发现负载电压、电流的误差主要来源于系统误差, 修正后的负载电压

$$U'_L = U_L + \Delta$$

其中  $\Delta$  是电压修正值, 修正后的负载电流

$$I'_L = kI_L + C$$

其中  $k$  是电流修正因子,  $C$  是电流修正值, 再根据修正后的结果计算负载的有功功率, 即

$$P_L = U'_L \cdot I'_L$$

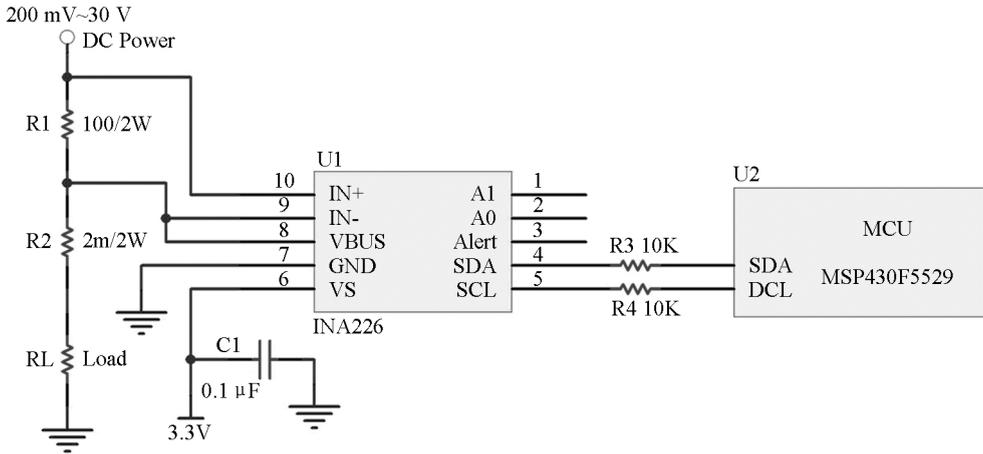


图 3 直流功率测量电路

### 2.3 交流功率测量电路及测量算法

交流功率计量芯片 HLW8012 主要用于 220 V 交流电源工作下的电能计量, 而本系统的交流源电压是 1 V~5 V, 所以 HLW8012 外围的采样电路要调整参数. 图 4 所示为交流功率测量电路, 图 4 中电阻 R2 是电流采样电阻, 电压采样信号由电阻 R5 和 R6 串联分压得到. HLW8012 根据电流、电压采样信号计算出有功功率值, 再将功率值转换为高频脉冲输出, 功率值的大小与脉冲周期成反比<sup>[1-3]</sup>.

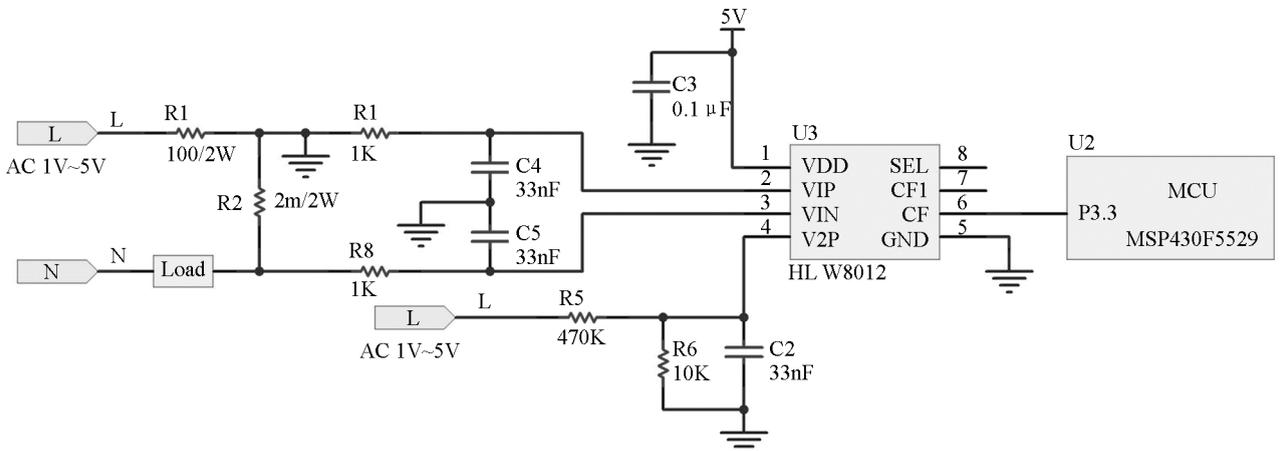


图 4 交流功率测量电路

因为单片机是通过测量 HLW8012 的 CF 引脚输出高频脉冲的周期来计算功率, 所以在软件设计中先要读取输出脉冲的周期, 再找到周期和功率的对应关系. 由于 CF 引脚输出的脉冲是占空比 1 : 1 的方波, 所以单片机只需要读取脉冲高电平的时间  $t$  就可以计算出脉冲的周期  $T = 2t$ , 又因为 HLW8012 输出的脉冲周期与有功功率值的大小成反比, 所以功率  $P$  与时间  $t$  的乘积是一个常数  $C$ , 常数  $C$  需经多次测量计算得出, 再由此得到负载的有功功率  $P = C/t$ .

## 2.4 交直流功率测量模块的串联接法

系统中交直流功率测量模块在连接方式上如果选择并联接法,则电路中需增加多路继电器来切换,如此不仅增加了系统的功耗,还使软件设计更加复杂.如果采用串联接法,则无需多路继电器控制,软件、硬件设计都会简化,功耗也降低,由于串联到电源—负载回路中的只有电流采样电阻 R1 和 R2,采样电阻本身阻值很小,系统的电路设计也减小了多余电阻带来的测量误差,故测量结果的准确度不变.

由于交直流功率测量模块是串联的,当交流电源输入时,直流功率测量芯片 INA226 的 VBUS 引脚上会得到负电压,但 VBUS 引脚只能承受正电压<sup>[6]</sup>,如此就导致 INA226 损坏.解决的方法是在电路中增加一个继电器来控制 INA226 的工作状态,直流电源输入时,INA226 正常工作,交流电源输入时,INA226 停止工作.

## 3 系统软件设计

系统的微处理器是 MSP430F5529,它支持 Energia 软件开发环境,借助 Energia 编写程序时可以调用现有的库文件,从而减少编程工作量.软件设计主要包括交直流电源类型识别、交流输入时负载功率的计算和修正、直流输入时负载功率的计算和补偿、继电器电路的控制、功率值显示这几部分<sup>[9-10]</sup>(图 5).

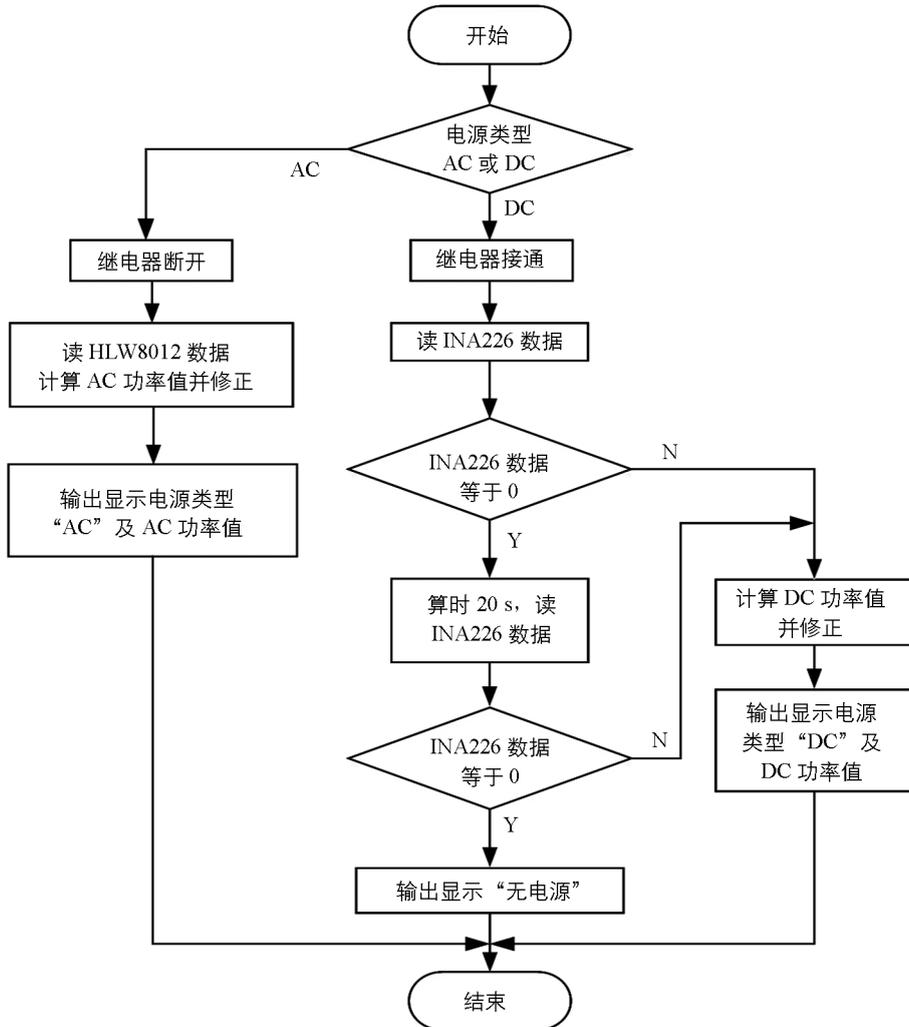


图 5 软件设计总流程图

## 4 系统测试结果与分析

用 5 位半数字万用表测量负载的电压和电流后, 计算得出负载的实际有功功率值, 再把系统测量结果与实际值比较, 计算出测量误差(图 6), 在系统设定范围内测量误差均小于 1%。评价系统功耗主要评测电源功率  $P_i$  和负载功率  $P_L$  的差值, 实际测试当负载功率为 500 mW 时, 电源功率约为 525 mW, 系统电路的功耗约为 25 mW, 功耗较低。

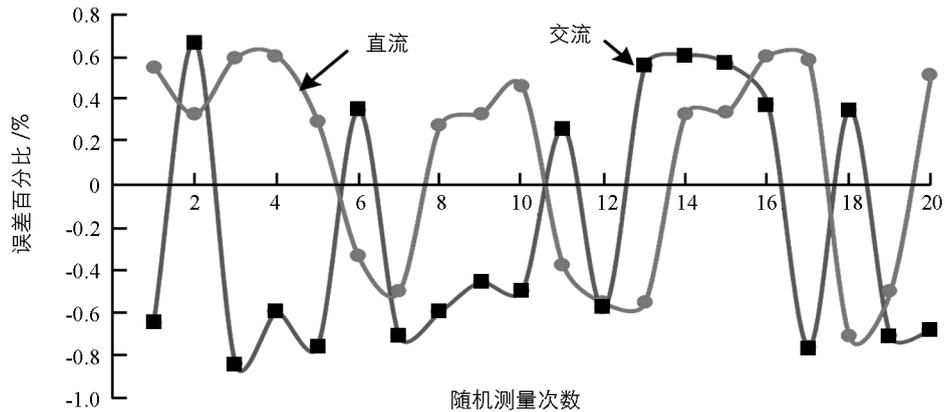


图 6 交直流功率测量误差统计

## 5 结 语

本研究描述了低功耗自动交直流小功率测量系统, 并设计了交直流电源识别电路及交直流功率测量电路, 编写了电源识别和功率测量程序。系统实现了交直流功率测量模块的串联, 从而简化了结构, 降低了功耗。经过测试分析, 该系统功耗低于 30 mW, 测量误差控制在 1% 以内, 为低电压交直流电源负载电路中小功率的测量提供了一个有效的解决方案。

### 参考文献:

- [1] 张庭亮, 甄倩倩, 杨满意. 基于 STM32 与 HLW8012 的单相智能电表的设计 [J]. 电子世界, 2017(20): 107-108.
- [2] 徐钰琨. 基于 STC 和 HLW8012 的电视节能插座设计 [J]. 电子世界, 2016(20): 90-92.
- [3] 合力为科技. HLW8012 用户手册(REV 1.3) [EB/OL]. (2015-11-11) [2018-07-25] <http://www.hiliwi.com>.
- [4] 屈召贵. 单相双支路计量智能电表的设计 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2016, 41(10): 111-116.
- [5] Texas Instruments. INA226 高侧/低侧测量、双向电流/功率监视器, 具有 I2C 兼容接口数据表 [EB/OL]. (2015-9-15) [2018-07-26]. <http://www.ti.com.cn>.
- [6] SILVA N M, SANTOS P M, FERREIRA J A F, et al. Power Management Architecture for Smart Hip Prostheses Comprising Multiple Energy Harvesting Systems [J]. Sensors and Actuators A: Physical, 2013, 202: 183-192.
- [7] ZHU Pin-wei, HU Chun-hua. Design of Wireless Electronic Scale Based On MSP430 Microprocessor [J]. AASRI Procedia, 2012, 1: 581-587.
- [8] 陈子哈, 陈东毅. 基于 MSP430F5529LP 的晾衣架自动控制系统设计 [J]. 物联网技术, 2018, 8(5): 104-106.
- [9] 刘 铮, 徐科军, 杨庆庆, 等. 基于 MSP430F5529 单片机综合实验装置的研制 [J]. 实验室研究与探索, 2016, 35(5): 77-81.
- [10] 马鸿斌, 侯金元, 郭英杰, 等. 一种直流功率检测仪 [J]. 计算机光盘软件与应用, 2014, 17(18): 155, 157.

## Design and Implementation of a Low-Power Measurement System for Low AC/DC Power Consumption

QU Hui-qin, GU Yong-xian, WU Kong-pei, YE Qian

*School of Internet of Things Technology, Wuxi Institute of Technology, Wuxi Jiangsu 214121, China*

**Abstract:** The working principle and power measurement algorithm of small power measurement circuits of alternating current (AC) or direct-current power (DC) are studied. Based on the low-power microprocessor MSP430F5529, the low-power DC power metering chip INA226 and the AC power metering chip HLW8012, an AC and DC power measurement system is designed. The system can automatically recognize the input power type. With the input of AC (1 V-5 V) or DC (200 mV-30 V) power supply, it can measure the active power of 40 mW-1 W for different loads, and the measurement error is less than 1%. The series connection of the AC and DC power measurement modules effectively simplifies the software and hardware design of the system, and reduces the system power consumption. The power consumption of this system is less than 30 mW.

**Key words:** power measurement; AC/DC power; MSP430F5529; low-power consumption; power source type identification

责任编辑 夏 娟