

基于 MATLAB 的高效自动化功耗测量系统*

王星光 孙彦赞 吴雅婷 王涛

(上海大学特通信与信息工程学院种光纤与光接入网重点实验室 上海 200072)

摘要: 在电子、通信等工科领域的实验测试中,经常需要测量设备和器件的功耗。针对此需求,提出了一种基于 MATLAB 的自动化功耗测量系统设计,搭建了完整的软硬件平台。该系统以计算机和可编程电源为主要硬件设备,并采用串口通信,以 MATLAB 开发的上位机控制软件按照 Modbus 通信协议对可编程电源发送程序指令,实现对电源的程序控制和输出监测,利用监测到的电源输出电压和输出电流数据演算出设备或器件的功耗并显示。实验结果表明,该系统可实现对设备或器件功耗的自动化测量,操作简单方便,运行高效稳定。

关键词: MATLAB; Modbus 协议; 可编程电源; 自动化

中图分类号: TP2; TN91 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.8040

MATLAB-based efficient and automatic power consumption measurement system

Wang Xingguang Sun Yanzan Wu Yating Wang Tao

(Key Laboratory of Speciality Fiber Optics and Optical Access Networks, School of Communication and Information Engineering, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

Abstract: In experiments concerning electronics, communication and related engineering areas, researchers often need to measure and evaluate the power consumption of active devices. To meet this demand, this paper proposes a design of an efficient and automatic power measuring system based on MATLAB and builds the hardware and software platforms. The hardware consists of a computer and a programmable power supply, which communicate by a serial port. PC sends commands encapsulated by Modbus communication protocol to the programmable power supply, so as to realize control, monitoring and acquire the power supply's output voltage and output current data that can be used to calculate the power of the active device. Experimental results demonstrate that this measurement system can measure the power of active devices, whose operation is quite convenient, stable, and efficient.

Keywords: MATLAB; Modbus protocol; programmable power supply; automation

0 引言

随着科学技术的不断演进和绿色节能理念的推广,小型化、低功耗已成为电子设备和器件发展的主流趋势^[1]。设备和器件的功耗问题也成为学术领域的重要研究对象之一^[2-4]。涉及功耗问题的科研实验需要对器件的功耗进行测量和分析,传统的方式是利用多用表测量器件的电压和电流,再通过计算得到功率。这种方法相对简单易行,但过程多以人力操作为主,执行效率不高,而且无法对器件功耗的短时功耗进行跟踪测量。计算机、软件、测量仪器的结合是测量技术发展的方向^[5-7],这种方式在工业控制领域已得到重视,文献[8]和文献[9]利用数据采集模块和上位机软件构成的测量系统可以有效检测功耗变化,不过文献中的

上位机软件功能比较简单,虽然可以完成功耗数据采集,但无法对数据的进行进一步处理和分析。即便可以拷贝数据到其他软件内再另行操作,但效率和便利性仍有不足。

本文提出并实现了一种基于 MATLAB 的自动化功耗测量系统设计。硬件平台由计算机和可编程电源组成,软件平台在 MATLAB 内开发完成。MATLAB 拥有出色的数值计算和处理能力^[10],具有独立的编程语言和强大的函数库,在电子通讯、图像处理^[11]、信号检测与处理、数学建模^[12]等诸多领域得到广泛应用,是科研实验中的重要工具。借助 MATLAB 软件平台,该系统不仅能实现对于电源的程序控制和设备、器件的功耗测量,还可以将功耗数据无缝应用到进一步的数据处理(例如作图分析)中。本系统

收稿日期:2017-03

* 基金项目:国家自然科学基金(61401266,61671011,61501289,61571282,61420106011)、上海科委扬帆计划(14YF1408900)资助项目

中计算机和数字电源采用 RS232 的串口通信方式,按照 Modbus 通信协议编写程控指令,该系统可自动检测设备或器件的电压、电流变化并计算和显示器件功率,还可以在采集时段完成后自动绘制该时段内的功耗曲线,是一个功能强大、运行高效的自动化功耗测量系统。

1 总体方案设计

1.1 硬件组成

本自动化测量系统主要由 HSPY-60-03 可编程电源和安装 MATLAB 软件的 PC 组成,如图 1 所示。可编程电源支持 Modbus-RTU 传输协议,通过 RS 232 接口与计算机通讯。作为上位机的 PC 将监控作为下位机的数字电源。

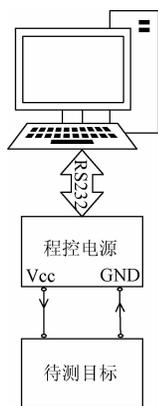


图 1 系统硬件组成结构

1.2 软件设计

为使系统具备友好的人机交互性,本自动化测量系统的软件部分以图形用户界面设计(Graphical User Interface, GUI)的方式呈现,从而让系统操作更为方便简洁。如图 2 所示,该 GUI 封装了以下 3 个组成部分。

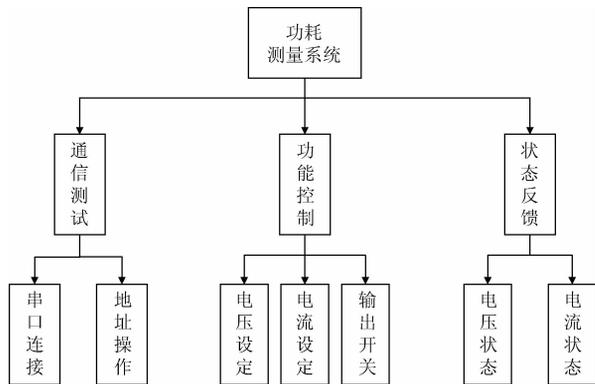


图 2 系统软件组成结构

1) 通信测试模块:其主要功能是建立主机(PC)和从机(电源)之间的通信连接,用 MATLAB 指令打开从机所连接的串口,并确认从机地址,从机地址决定了所有程控指令发送的目标地址;

2) 功能控制模块:主要实现输出电压值设置、输出电流上限设置,以及控制供电开关;

3) 状态反馈模块:利用 PC 程序读取电源的实际输出电压值和实际输出电流值,进而计算器件的对应瞬时功率。

2 ModBus 协议与各软件模块设计

2.1 Modbus-Rtu 协议

Modbus 是全球第一个真正用于工业现场的总协议,它是由 Modicon 公司发明的^[13],已被广泛应用到工业控制、数据采集^[14]等领域。Modbus 网络是由一个计算机和若干个可编程设备组成的系统。计算机作为唯一主机,可编程设备作为从属器件,从属器件(从机)根据主机指令执行相应操作。该网络最多可支持 247 个从机。

借助可编程电源的程控特性,可以在 MATLAB 中控制电源完成电压输出值设定、电流输出上限设定、实际输出电压值和实际输出电流值的数据采集,从而实现设备器件的功耗检测。电源程控指令是基于 Modbus-RTU 协议编写的,该协议的消息帧的结构如表 1 所示。

表 1 Modbus-Rtu 消息帧 (Byte)

地址码	功能码	数据码	CRC 码
字节	1	N	2

地址码是信息帧的第 1 个字节,代表从机的地址,取值 0~255。地址码相当于从属设备的唯一代号,它既代表了主机所发送信息的目标,也代表主机接收信息的来源。

功能码位于信息帧第 2 字节。功能码表示主机命令从机执行哪一种功能。虽然 Modbus 规定的功能码范围是 1~127,但实际应用时取决于从属硬件设备本身支持多少种功能。如表 2 所示,本测量系统采用的 HSPY-60-03 型号的电源仅支持两种功能码。03 对应的读取操作允许读取电源的输出电压和输出电流,10 对应的写入功能则支持设置输出电压和最大输出电流。

表 2 HSPY-60-03 电源功能码

功能码(16 进制)	定义
03	读取一个或多个寄存器的数据
10	写入数据至一个或多个寄存器

数据码包括主机命令从机执行相应操作的具体信息。以本系统采用的 HSPY-60-03 为例,它仅支持读(功能码 03)和写(功能码 10)两种功能,若仅需读取电压值,则数据码中应包括存储电压值的寄存器起始地址和读取的字节长。

MODBUS 协议的 CRC 码是一个 16 位的二进制数值。主机或从机利用循环冗余校验码(cyclic redundancy check, CRC)判别接收信息的准确性,从而提高系统的可靠性。信息发送端计算生成 CRC 码,接收端接收信息后再次计算信

息的 CRC,然后将之同接收信息中的 CRC 对比看是否相符,若不符则说明出错。需要说明的是,当主机发送信息至从机时,若从机进行 CRC 校验发现有错误,那么从机不会返送任何信息给主机,主机可利用这一点判断信息是否准确发送出去或者从机是否准确执行了主机要求的操作。文献[15]给出了 CRC 码的原理,根据原理编写的 MATLAB 核心代码如下:

```
for shiftCounts = 1:8
    LSB = reg_crc(16);           %提取移出位
    reg_crc=[ '0' reg_crc(1:15)]; %高位补零
    if LSB=='1'                 %检查移出位
        reg_crc=uint16(bin2dec(reg_crc));
    reg_crc=bitxor(reg_crc,...   %与 A001 异或
        uint16(hex2dec('A001')), 'uint16');
        reg_crc=dec2bin(reg_crc,16);
    end
end
```

2.2 通信测试模块设计

建立电源和 PC 的串口通信^[16],首先要在 MATLAB 中建立串口对象,并设置属性:

```
port=serial(comName);          %新建串口对象
port.BaudRate=9600;           %设置波特率
port.DataBits=8;              %设置数据位
port.StopBits=1;              %设置停止位
port.Parity='None';           %设置校验位
port.InputBufferSize=4096;    %设置缓存
port.timeout=5;               %设置超时
然后打开串口并进行检测:
```

```
try
    fopen(port);
catch
    msgbox('串口创建失败!',提示');
    return
end
```

可以调用 MATLAB 的 fwrite()和 fread()函数对串口写入或读取数据,最后,用以下指令关闭串口通信:

```
fclose(port);
delete(port);
clear port;
```

2.3 功能控制模块设计

电源主要的功能控制包括电压设定和电流设定。若要设置电源电压为 0010(16 进制),即设置为 16 V,则要按照 Modbus 协议生成相应的指令帧,指令帧如表 3 所示。注意,表 3 中的对应编码全部为 16 进制数表示,两位占用 1 字节,四位占用 2 字节。

上表中指令帧的功能码为写寄存器功能码 10,地址为 1000H 的寄存器是电压设定值寄存器。根据上一节中的

表 3 电压设定指令帧

类别	编码
从机地址	85
功能码	10
寄存器地址	1000
写入字数	0001
写入字节数	0002
数据内容	0010
CRC 码	16 位 CRC 码

方法生成相应的 CRC 码后,设置输出电压的 Modbus 数据帧已经生成,利用 fwrite()函数将此帧数据写入串口,即可完成电压设置。最大输出电流设定和开关设定的实现过程类似,不再赘述。

2.4 状态反馈模块设计

电源状态反馈包括实际输出电压反馈和实际输出电流反馈。状态反馈模块的程序设计是实现功耗检测的关键所在。PC 若要获得电源的实际输出电压值和电流值,同样要先发送 Modbus 指令帧,指令帧如表 4 所示(表中代码为 16 进制计数,2 位占用 1 字节,4 位占用 2 字节):

表 4 状态反馈指令帧

类别	编码
从机地址	85
功能码	03
寄存器地址	1002
读取字数	0002
CRC 码	16 位 CRC 码

执行读取寄存器操作时,功能码 03,地址为 1002H、1003H 的寄存器分别为实际输出电压值寄存器和实际输出电流值寄存器,设定读取字数为 2 个(0002H),便可以读取这两个寄存器中的值。生成 CRC 码后将上述指令帧通过 fwrite()函数写入串口,从机收到后便会作出应答,返回一个 Modbus 消息帧给上位机,帧结构如表 5 所示:

表 5 从机应答数据帧

类别	编码
从机地址	85
功能码	03
寄存器 1 数据	电压值
寄存器 2 数据	电流值
CRC 码	16 位 CRC 码

在表 5 中从机地址表示此消息来自从机 85,功能码 03 表示从机响应了主机的读取操作,从机返回了 2 个字节的寄存器数据,实际电压值和实际电流值各占用 1 个字节,此消

息帧的 CRC 码是由从机生成的。此帧消息会储存在 PC 串口对象的接收缓存中,在 MATLAB 中调用 fread() 函数命令读取此消息,获取其第 3 字节(17~24 位)和第 4 字节(25~32 位)数据即可获得实际输出电压和实际输出电流值。

2.5 GUI 设计

图 3 为本系统设计的基于 MATLAB 平台的 GUI,其可直观展示系统功能,使系统操作变得简单便利。界面主要由 5 个区域构成:串口设置区、地址操作区、电源设定区、状态监测区、曲线绘制区。

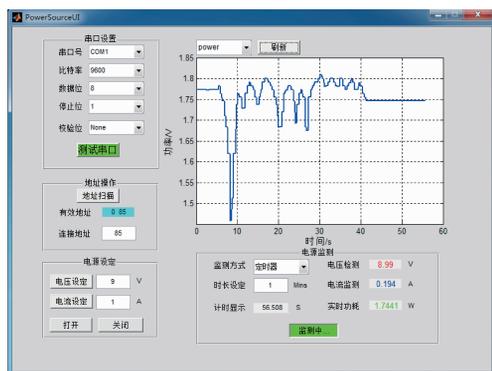


图 3 GUI 监控界面

1) 串口设置区:通过弹出式菜单对接入串口编号、比特率、数据位、停止位、校验位作出合理设置,点击“测试串口”按钮即可检测串口的连通性。

2) 地址操作区:点击“地址扫描”按钮可查询从机(地址),查询结果在“有效地址”区域显示出来,在下方的输入框内键入任意的一个可用从机地址,电源的监控操作将以此地址为准。

3) 电源设定区:可设定电压值(0~60 V)和最大允许输出电流值(不超过 3 A),超出范围监控系统会给出提示;该区域的下方是控制电源输出开关的控件。

4) 状态监测区:本区域具有输出监控和数据采集双重功能。监测方式分“监控”和“定时器”两种模式。“监控”模式下,时长设定和计时显示功能不可用自动变灰色。监控开关打开后自动变绿色,区域右侧的显示区将显示电源实际输出电压值、电流值和输出功耗的瞬时值;再次点击监控开关则监控停止并自动显示红色。“监控”模式下作图功能不可用;“定时器”模式执行定时时长数据采集功能,用户需在“时长设定”框内输入采集的时长(不预设系统会提示),打开监控开关后,计时显示框会从 0 s 开始计时,右侧的电压、电流和功率显示也会立即工作,达到采集时长后监控开关自动关闭,所有采集数据依以“.mat”的形式完整保存在电脑上以供 MARLAB 随时调用。该模式还支持强制停止操作,若未达到采集时长就关闭监测开关,数据依然可以完整保存而不会丢失。采集完成后即可绘图。

5) 曲线绘制区:如上所述,选择“定时器”模式,执行数据采集功能,计时结束或者强制关闭监测按钮后,采集的数

据会自动送入曲线绘制模块,通过该区域左上方的弹出式菜单选择“电压-时间”、“电流-时间”和“功率-时间”3 种曲线绘制模式,然后点击右侧“刷新”按钮即可在此区域内绘制对应时长内各物理量的变化曲线。

3 实验测试

为验证上述系统工作的有效性,使用上述系统开展了测试实验。实验平台搭建简介如下:

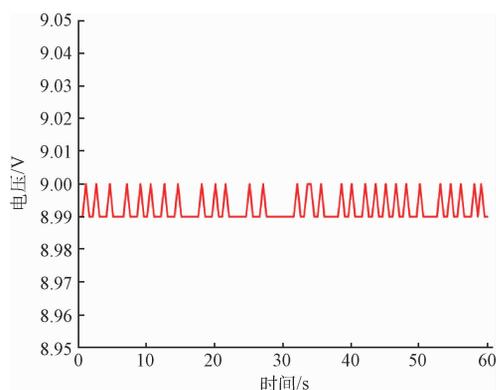
1) 将功率放大器作为待测目标,以程控电源的 Vcc 和 GND 导线为其供电,发生器产生 20 MHz 正弦信号,将信号送入 1 dB 衰减器后再接入功放输入端;功放输出端接 20 dB 衰减器后再接入示波器。

2) 正弦输入信号峰峰值的初值设为 0.5 V,监测开始后每 0.5 秒递增 0.1 V,达到 4 V 后再次回到初始值,如此反复,同时用设计系统测量程控电源的输出电压、电流、功率,直至采集时长结束。

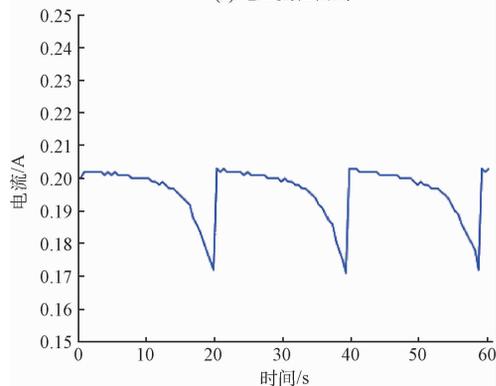
放大器的工作电压、供电电流上限、正弦输入信号频率和采集时长的设定如表 6 所示。功耗测量系统采用“定时器”模式监控电源的实际输出电压、实际输出电流,并演算放大器功率,最后将变化曲线绘出,如图 4 所示。

表 6 实验参数设置

电压设定	电流上限	信号频率	采集时长
9 V	1 A	20 MHz	60 s



(a) 电压变化曲线



(b) 电流变化曲线

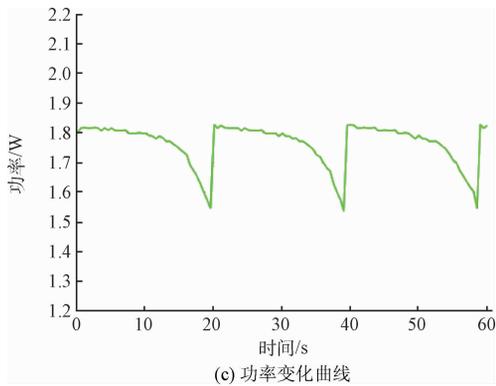


图4 电源各物理量变化曲线

由图4可得以下结论:

- 1)程控电源的实际输出电压在8.99~9 V波动,波动幅度只有0.01 V,表明电源稳压输出特性良好。
- 2)随着放大器输入信号功率的改变,放大器的功耗也会发生变化,导致电源的实际输出电流随之改变。由于电源输出电压较稳定,故功放瞬时功耗和输出电流基本保持一致的变化趋势。
- 3)本系统能有效测量设备或器件的功耗变化曲线。

4 结 论

本文设计了一种自动化的功率测量系统,该系统充分利用计算机强大的运算性能,在MATLAB软件内实现了电子设备或器件的功耗测量、数据采集和数据处理。它克服了以往功耗测量效率不高、操作繁琐的缺点,运行稳定高效,针对该系统设计的GUI界面使系统的操作更加简洁方便。该系统的设计方案适用大部分支持Modbus协议的可编程电源,若需进一步提高功耗测量精度,只需换用更加灵敏的可编程电源即可。

参考文献

- [1] 张兴,杜刚,王源,等.超低功耗集成电路技术[J].中国科学:信息科学,2012,42(12):1544-1558.
- [2] GEHA C, NGUYEN C, SILVA-MARTINEZ J. A wideband low-power-consumption 22-32.5 GHz 0.18-μm CMOS active balun-LNA with IM2 cancellation using a transformer-coupled cascode-cascade topology[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory & Techniques, 2017, 65(99): 1-12.
- [3] ZHAO J, ZHANG Y, LU H, et al. Chip scale atomic resonator frequency stabilization system with ultra-low power consumption for optoelectr-

onic oscillators[J]. IEEE Transactions on Ultrasonics Ferroelectrics & Frequency Control, 2015, 63(7): 1022-1027.

- [4] LEE J, LEE J, YANG K. An on-fff mode RTD oscillator operating at extremely low power consumption [J]. IEEE Transactions on Nanotechnology, 2012, 11(11): 863-865.
- [5] 严中毅,李凯.测量仪器与现代微电子、计算机和软件技术的融合[J].电子测量与仪器学报,2015,29(5):631-637.
- [6] 沈松,刘通,应怀樵.现代智慧测量仪器的软件体系研究[J].国外电子测量技术,2016,35(12):1-6.
- [7] SANTORI M.仪器的未来:软件设计的仪器正在掀起RF仪器、测试和设计的革命[J].国外电子测量技术,2015,34(1):3-5.
- [8] 赵波,马宇明,李博.智能电能表功耗测量系统软件设计[J].环境技术,2015,33(1):40-42,51.
- [9] 赵波,赵敏,马宇明.便携式智能电能表功耗测量仪设计、校准与应用[J].环境技术,2015,33(3):47-49.
- [10] 王永弟. MATLAB在测量数据处理教学中的应用[J].地理空间信息,2013,11(3):169-170.
- [11] 王恒,高建瓴.基于GPU的MATLAB计算与仿真研究[J].贵州大学学报:自然科学版,2012,29(6):95-98,112.
- [12] 华颖. MATLAB软件在数学建模中的应用[J].价值工程,2013,32(26):233-235.
- [13] 林雪,黄昶.基于Modbus的远程监控[J].信息技术,2011,35(7):97-99.
- [14] 蒋道兵.现场总线技术在工业数据采集中的应用[J].电测与仪表,2015,52(S1):195-197.
- [15] 乔秉龙. CRC编码与检错性能分析[J].电脑开发与应用,2012,25(10):33-34.
- [16] 董杰,侯恩广,刘建翔,等.基于Matlab GUI的串口通讯应用[J].信息技术与信息化,2013,(1):58-60.

作者简介

王星光,1990年出生,硕士,主要研究方向为OFDM通信、自动化仪器、中继链路的能效优化等。

E-mail:sterrywang@163.com

王涛(通讯作者),1980年出生,教授,博士生导师,博士,研究方向绿色高效无线通信网络(OFDMA、UWB)优化设计等。

E-mail:twang@shu.edu.cn