

## 单体太阳能电池光伏特性智能测试系统

周小岩, 李 乾, 李 震, 杨喜峰

(中国石油大学(华东)理学院, 山东 青岛 266580)

**摘 要:** 设计了基于 STM 单片机的单体太阳能电池光伏特性智能测试系统, 使用数字电位器改变负载电阻和加载电压, 采用 STM32 进行数据的采集和分析处理, 高精度 A/D 模块电路使用 MAX1416. 该系统实现了不同条件下太阳能电池特性的动态测量、图形绘制、结果显示和光照强度调节等功能.

**关键词:** 太阳能电池; 光伏特性; STM 单片机

中图分类号: O472.3; TK511

文献标识码: A

文章编号: 1005-4642(2016)12-0005-03

在能源危机和环境污染的今天, 太阳能作为一种新能源越来越受到人们重视. 太阳能电池是将光能转化为电能的装置, 是太阳能开发利用的重要途径<sup>[1-3]</sup>. 目前商品化的光电池测试系统价格不菲, 从几万到几十万元, 开发低成本尤其是便携式户外光伏测试系统具有较大的商业价值<sup>[4-5]</sup>. 太阳能电池特性实验是面对全校理工科专业的本科生开设的综合性实验, 为了培养学生的学习兴趣, 切实提高学生的科技创新能力, 自主设计和制作了基于 STM 单片机的单体太阳能电池光伏特性智能测试系统, 本文阐述了该系统的工作原理与功能. 该测试系统功能齐全, 操作灵活, 能够满足不同专业学生的教学要求, 显著提高了实验教学效果.

### 1 测试系统的硬件设计

测试系统如图 1 所示, 主要由光源、照明电

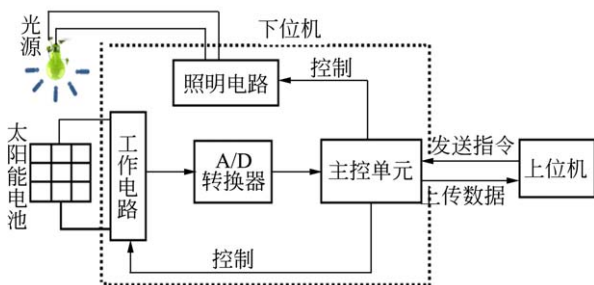


图 1 系统结构示意图

路、太阳能电池、主控单元、工作电路、上位机、A/D 转换器构成. 照明光源采用 60 W 的白炽灯, 太阳能电池采用单晶、多晶硅材料. 主控单元为 STM32 单片机, A/D 转换器为 MAX1416, 上位机包括 PC 机、Visible Basic 语言编写的可视化界面和 RS-232 串口. STM32 单片机控制照明电路和测量电路, 接收上位机发送的指令和 A/D 转换器发送的太阳能电池板两端的输出电压和输出电流的数字信号<sup>[6-7]</sup>. 工作电路模块由学生自主开发设计和制作, 具有 2 路数字量采集通道和 5 V 的直流电压输出等功能<sup>[8-9]</sup>, 与主控单元构成主从式结构, 如图 2 所示. 工作电路中  $IN_2$  测量太阳能电池两端的电压,  $IN_1$  测量电阻  $R_1$  或  $R_2$  两端的电压. 当  $S_1$  置于 3,  $S_2$  置于 3,  $S_3$  置于 3 或 1 时, 构成太阳能电池明状态的测试电路,  $R_1$  是电流取样电阻, 太阳能电池通过 2 个粗细电位器  $R_5$  和  $R_6$  实现输出电流的细致调节. 当  $S_1$  置于 1,  $S_2$  置于 1 时, 构成太阳能电池暗状态的测试电路,  $R_2$  是电流取样电阻,  $R_3$  和  $R_4$  用来改变直流 5 V 的输出电压. 照明电路由 3 个电阻和 3 个继电器构成, 能在电路中构成 6 种不同阻值, 从而达到光照强度的 6 挡可调. 上位机主要作用是提供人机操作界面, 利用 VB 语言在 PC 机上开发友好的可视化的界面, 通过 RS-232 串口将数字量输入给 PC 机, 实现参量设置、数据采集、图形绘制、结果显示等功能.

“第 9 届全国高等学校物理实验教学研讨会”论文

收稿日期: 2016-05-30; 修改日期: 2016-09-07

资助项目: 中国石油大学(华东)太阳能电池精品实验项目(No. JS201413)

作者简介: 周小岩(1977—), 女, 山东莱州人, 中国石油大学(华东)理学院讲师, 博士, 主要从事大学物理实验教学.



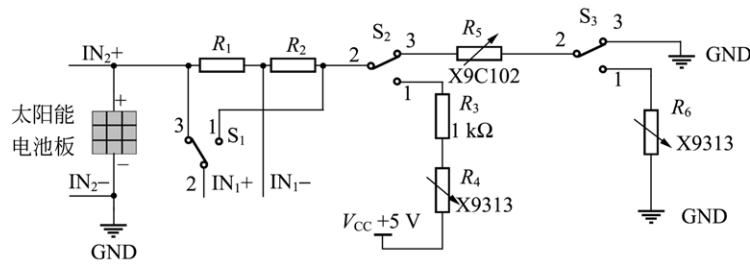
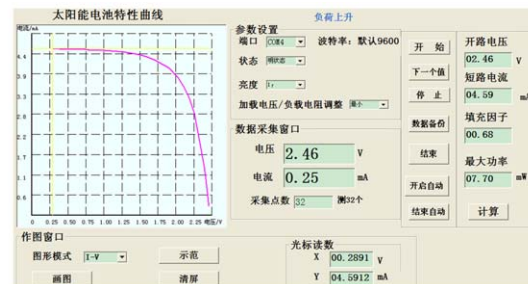


图 2 工作电路模块示意图

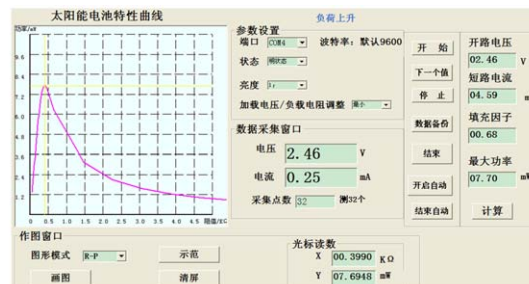
## 2 系统功能与实验结果示例

短路电流  $I_{SC}$ 、开路电压  $V_{OC}$ 、最大输出功率  $P_m$  和填充因子  $F_f$  是描述太阳能电池特性的基本技术参量, 太阳能电池特性研究的实验都是围绕这些量的测量展开的. 实验中, 如图 2 将太阳能电池接入工作电路, 开通 60 W 白炽灯, 调整好太阳能电池板和光源的角度和距离. 启动基于 VB 编制的测量与分析系统软件, 进行参量设置(选择通信端口、明暗状态、光照强度、加载电压/负载电阻), 点击自动采集. 数据采集结束, 选择图形模式, 测试系统将自动生成太阳能电池明暗状态的伏安特性曲线、负载电阻与输出功率曲线、光强比与开路电压、光强比与短路电流、短路电流与开路电压关系曲线. 当读取曲线上某一点数据时, 移动鼠标点击曲线上的点, 会显示十字光标线, 并在右侧“光标读数”窗口显示所选点的横纵坐标值. 点击计算按钮, 得到太阳能电池特性基本参量(开路电压、短路电流、填充因子、最大功率).

使用  $4\text{ cm} \times 3\text{ cm}$  的单体多晶硅太阳能电池材料, 其测试结果见图 3. 图 3(a) 是无光照(全暗)时太阳能电池在不同加载电压下的正向伏安特性曲线, 电流随正向偏压的增大呈指数增加, 类似于普通二极管. 图 3(b) 是 100% 光照强度时太阳能电池在不同负载电阻下的伏安特性曲线, 电



(b) 100% 光照强度下太阳能电池的伏安特性

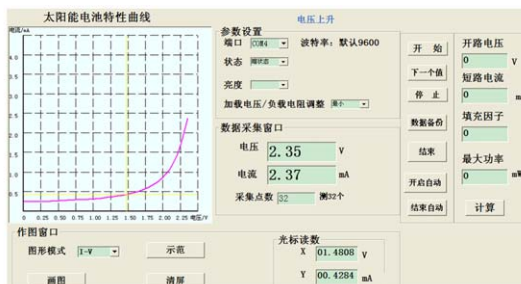


(c) 100% 光照强度下太阳能电池的负载电阻与输出功率的关系曲线



(d) 太阳能电池短路电流与光照强度的关系曲线

图 3 太阳能电池实验系统操作界面



(a) 暗状态下太阳能电池的伏安特性

流轴上截距是短路电流,  $I_{SC} = 4.5912\text{ mA}$ , 电压轴上截距是开路电压,  $V_{OC} = 2.4590\text{ V}$ , 与软件计算结果一致. 图 3(c) 是 100% 光照强度下太阳能电池的输出功率与负载电阻的关系曲线, 利用光标读数功能, 最大输出功率  $P_{m \times} = 7.6948\text{ mW}$ ,

最佳负载电阻为  $R_{opt}=0.399\ 0\ k\Omega$ ,与软件计算结果  $P_{max}=7.70\ mW$  一致. 图 3(d)是太阳能电池短路电流与光照强度的关系曲线,短路电流随光照强度的增加而增加,与实验原理一致. 根据图 3(b)和图 3(c)曲线的十字光标读数,实验中太阳能电池的填充因子<sup>[10]</sup>  $F_f=\frac{P_{max}}{I_{sc}V_{oc}}=0.681\ 6$ ,与软件计算结果  $F_f=0.68$  一致.

### 3 结束语

自主设计和制作的太阳能电池特性智能化测试系统具有结构简单、性能稳定、便于操作和成本低廉等优点. 该系统实现了不同条件下太阳能电池特性的动态测量、图形绘制、结果显示和光照强度调节等功能,进一步拓展了实验的内容,可以满足不同专业本科生的教学要求,提高了实验教学质量<sup>[11]</sup>. 此外该系统成本低廉,节省了购买大量设备和配套软件的费用,同时降低了系统维护维修费用<sup>[12-13]</sup>. 通过该实验,学生对所学理论知识的理解更加透彻,动手能力也得到了提高.

#### 参考文献:

- [1] 王二垒,张秀霞,张丽霞,等. Nano-SiC 薄膜在太阳能电池窗口表面的应用[J]. 科学技术与工程, 2013,13(17):4878-4880,4889.
- [2] 郭阳雪,孔祥洪,杨渭,等. 硅太阳能电池输出功率与负载匹配特性[J]. 实验室研究与探索, 2011, 30(7):20-22.
- [3] 郭建辉,罗文广. 太阳能电池阵的功率预测[J]. 科学技术与工程,2014,14(14):220-223.
- [4] 茅倾青,潘立栋,陈俊逸,等. 太阳能电池基本特性测定实验[J]. 物理实验,2004,24(11):6-8,11.
- [5] 管笛,刘忠洋. 一种新的太阳能电池阵列数学物理模型[J]. 科学技术与工程,2011,11(30):7379-7381.
- [6] 陈建,张月兰,钟菊花,等. 太阳能电池特性实验中的计算机辅助测量[J]. 大学物理实验,2010,23(2):63-65.
- [7] 刘艳,陈仁安. 数据采集系统在大学物理实验中的应用[J]. 实验室研究与探索,2012,31(2):70-72.
- [8] 秦艳芬,王洪涛,章国荣,等. 在物理实验中引入通用数据采集器搭建自组实验平台的研究[J]. 物理与工程,2011,21(3):23-25.
- [9] 王瑗,余建波,赵铁松. 计算机数据采集在大学物理实验中的应用[J]. 大学物理,2007,26(11):43-46.
- [10] 李书光,张亚萍,朱海丰. 大学物理实验[M]. 北京:科学出版社,2012:306-312.
- [11] 师青梅,皮伟. 基于虚拟仪器技术的太阳能电池实验教学创新[J]. 实验技术与管理,2013,30(2):94-96.
- [12] 张进宏,刘依真,陈志杰. 基于单片机的不良导体导热系数实验仪的研制[J]. 实验技术与管理,2008,25(7):70-76.
- [13] 袁梅,张利军,董韶鹏. 基于半导体制冷器件的温度控制实验平台开发[J]. 实验技术与管理,2010,27(12):73-76.

## Intelligent testing system of single solar cell photovoltaic characteristics

ZHOU Xiao-yan, LI Qian, LI Zhen, YANG Xi-feng

(College of Science, China University of Petroleum (East China), Qingdao 266580, China)

**Abstract:** An intelligent testing system of single solar cell photovoltaic characteristics based on STM micro-controller was designed. The load voltage and load resistance were adjusted using digital potentiometer. STM32 was adopted to improve the performance of data collection and analysis, and the high precision A/D module circuit was MAX1416. This testing system had such functions as dynamic measurement, graphics rendering, result display and light intensity adjustment, etc.

**Key words:** solar cell; photovoltaic properties; STM micro-controller

[责任编辑:任德香]