



太阳能光电储综合应用实验装置设计

杨景发¹, 南梦婷¹, 张 玮¹, 关 丽¹, 申文增²

(1. 河北大学 物理科学与技术学院, 保定 071002; 2. 河北大学 基础医学院, 保定 071000)

摘要: 本实验装置由电池片基本特性测试、电池板旋转与放平、光电互补供电、电池电量显示以及蓄电池充电/容量与内阻测试单元组成。电池片特性测试单元包括变阻电路、调制电路、LED 驱动电路、光强测量显示电路设计; 电池板追旋与放平包括风雨传感输入、单片机主控、垂直轴旋转、水平轴摆旋、语音警示等设计; 光电互补供电由充放电控制器、逆变器、直/交流负载和控制电路组成; 电池电量显示单元包括信号输入、模数转化和 LED 显示/语音警示电路设计; 蓄电池充电/容量与内阻测试包括稳压、恒流产生电路, 电压检测、显示电路和控制电路等组成。该文设计了本装置能够开展的实验内容和实验方法。本装置实验具有融合知识点丰富、综合性强、内容组合灵活等特点。

关键词: 太阳电池; 光伏效应; 光电互补; 风雨传感模块; 单片机; 步进电机

中图分类号: O475

文献标志码: A

DOI: 10.12179/1672-4550.20210118

Design of Solar Energy Photoelectric Storage Comprehensive Application Experimental Device

YANG Jingfa¹, NAN Mengting¹, ZHANG Wei¹, GUAN Li¹, SHEN Wenzeng²

(1. College of Physics Science & Technology, Hebei University, Baoding 071002, China;

2. School of Basic Medical Sciences, Hebei University, Baoding 071000, China)

Abstract: This experimental device is composed of the battery characteristics test of the solar cell, rotating and leveling of the solar panel, photoelectric complementary power supply, battery capacity display and charging/capacity and internal resistance test unit. The battery characteristics test unit includes variable resistance circuit, modulation circuit, LED drive circuit and light intensity measurement and display circuit design. The rotating and leveling of the solar panel unit includes wind and rain sensor input, master control of MCU, vertical axis rotation, horizontal axis swing rotation, voice warning and so on. The photoelectric complementary power supply unit includes the charge and discharge controller, inverter, DC/AC load and control circuit. In addition, the battery capacity display unit includes signal input, analog-to-digital conversion and LED display/voice alarm circuit design. The battery charging /capacity and internal resistance test unit includes voltage regulator, constant current generation circuit, voltage detection, display circuit and control circuit. In this paper, the experimental contents and methods which can be carried out by the device are designed. The experiment of the device has the characteristics of rich knowledge integration, strong comprehensiveness and a flexible combination of contents.

Key words: solar cell; photovoltaic effect; photoelectric complementarity; wind and rain sensing module; MCU; stepping motor

太阳能以其普遍、巨大、清洁、持续等优势备受关注, 太阳能与单片机、数字传感、特性检测以及先进电源技术的结合成为研究热点, 太阳能光伏发电系统包括光电转换、追光、储能、离并网应用等模块, 具有涵盖知识点多、技术性强、应用领域广等特点^[1-3], 对综合创新应用型人才培养提出了更高的要求, 克服目前新能源专

业实习实训教学仪器少、功能单一、高度集成操作性差等缺点, 我们利用光学工程学科和科研优势, 将电池板追旋、特性检测、光电互补供电、风雨传感应用高效融合, 研发出“太阳能光电储综合应用实验装置”, 本装置实验具有知识点关联度高、综合性强、实验类型多、实验内容组合方便和综合训练能力强等特点, 用于新能源材料

收稿日期: 2021-03-07; 修回日期: 2021-05-28

基金项目: 第二批国家新工科研究与实践项目(E-CXCYYR20200911); 河北省大学生创新训练项目(201810075076)。

作者简介: 杨景发(1964-), 男, 学士, 高级实验师, 主要从事实验技术、LED 发光显示技术、设施农业应用方面研究。

通信作者: 申文增(1963-), 男, 学士, 高级实验师, 主要从事实验技术方面研究。E-mail: 745425037@qq.com

与器件和应用物理学专业实验教学, 效果良好。

1 设计思路

基于光生伏特效应、太阳能光伏发电系统、数字传感和单片机等技术^[4], 选取单片机、步进电机、导电环、太阳能充放电控制器、蓄电池、逆变器、继

电器、语音模块等, 解决齿轮变速、追旋程序优化、光电互补控制电路、蓄电池电量指示电路校准等关键问题, 设计的“太阳能光电储综合应用实验装置”由电池片基本特性测试、电池板旋转/放平、光电互补供电、电池电量显示以及蓄电池充电/容量与内阻测试单元组成, 其原理结构框图如图1所示。

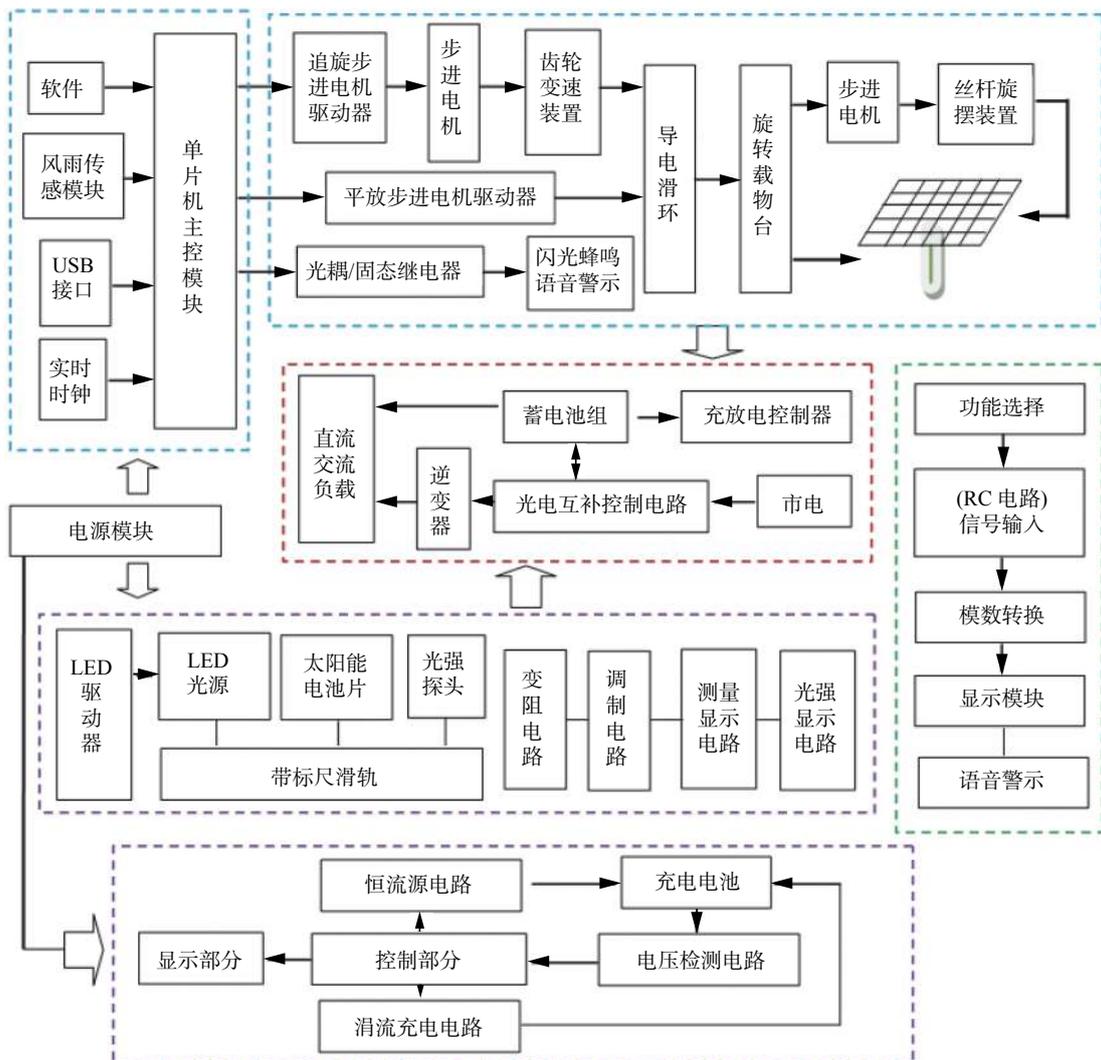


图1 原理结构框图

2 设计方法

2.1 硅光电池基本特性测试单元设计

主要完成变阻电路、调制电路、测量显示电路、光强信号处理电路以及滑动导轨的设计。变阻电路采用五个十进制360度无限旋转开关串联而成多值电阻器, 每个电阻元件均接于开关各触点之间, 通过改变开关电刷位置而得到各种电阻值, 读数盘为 $\times 1 \Omega$, $\times 10 \Omega$, $\times 100 \Omega$, $\times 1 \text{ k}\Omega$, $\times 10 \text{ k}\Omega$;

以集成运放电路、二极管等知识为基础, 设计调制电路、测量显示电路和光强信号处理等电路, 如图2所示。

设计一个带标尺的滑轨和遮光罩, 标尺范围 $-30 \text{ cm} \sim 6 \text{ cm}$ 。滑轨上放置带移动滑块底座的LED光源、电池片和光强探测器, 三者保持中心高度一致。选用SN3352驱动芯片设计一个可无极调光的LED驱动电路用于驱动LED光源, 电路原理图及光源的结构图如图3所示。

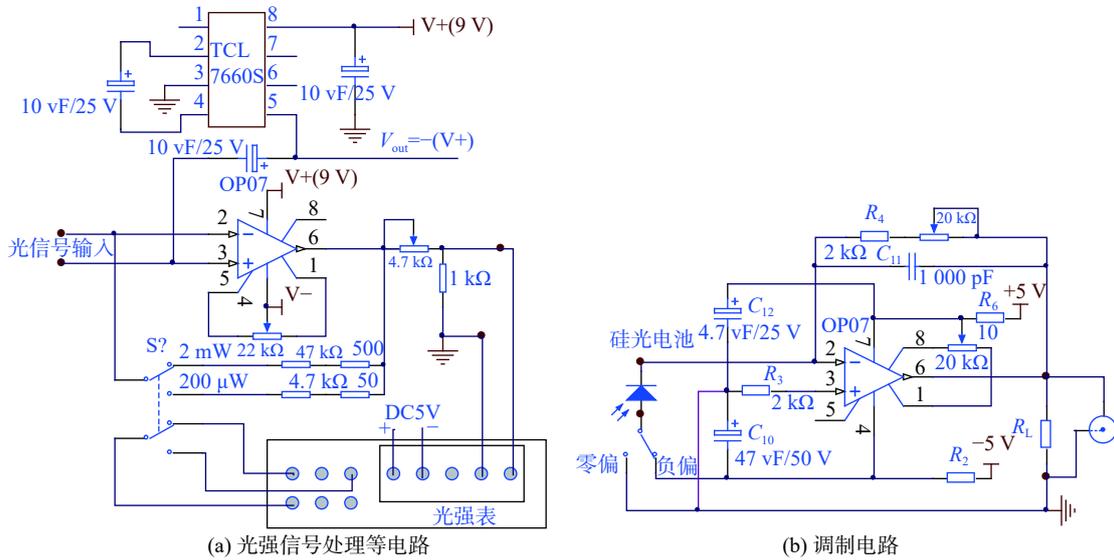


图 2 光电池基本特性测试电路图

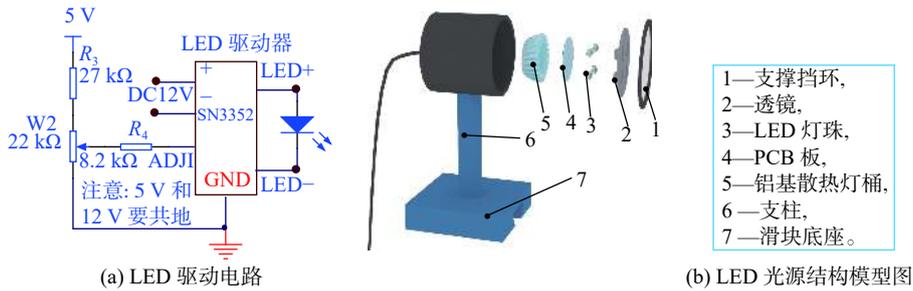


图 3 LED 驱动电路和光源结构模型图

2.2 光电互补供电单元设计

光电互补控制模块由太阳能电池板、太阳能充放电控制器、蓄电池、开关电源、逆变器、交

直流负载等组成^[5-8](电路图如图 4 所示), 通过开关 K, 实现光伏供电和市电供电方式的自由切换, 保障系统运行的稳定性, 增强实用性。

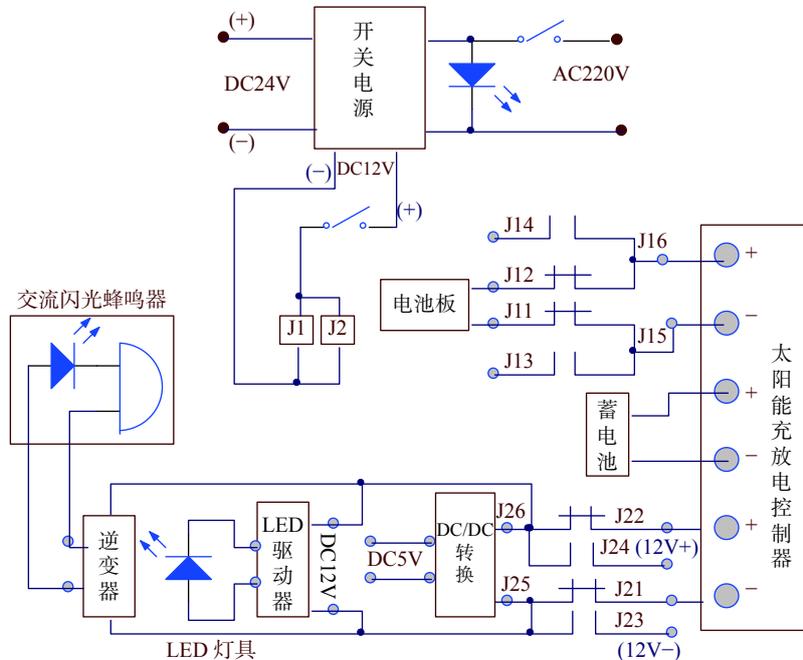


图 4 光电互补控制电路图

2.3 电池板追旋和放平单元设计

电池板追旋采用垂直轴追踪方式, 包括硬件结构和软件两部分, 硬件部分由单片机、步进电机、齿轮变速、垂直轴、轴承和导电滑环等组成(如图5所示)。根据不同的季节、地理纬度, 设定电池板的安装倾角。基于当地太阳运行轨迹确定每个时钟点的水平方向旋转角度, 编写程序软件(程序流程图如图6所示), 设计单片机接口电路。程序烧录完成后, 系统软件发出控制信号驱动步进电机带动小齿轮转动, 小齿轮带动大齿轮和主轴转动, 实现电池板垂直轴追旋。

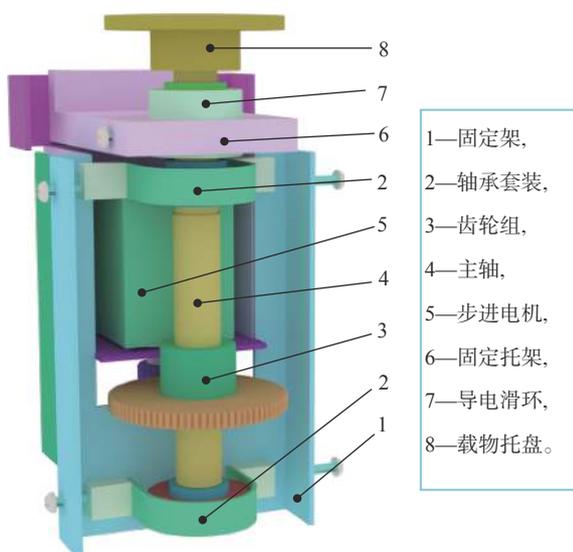


图5 垂直轴追光装置结构图

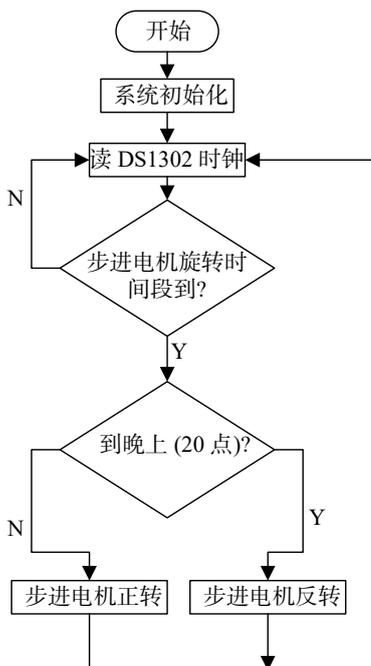


图6 程序流程图

电池板放平模块包括风雨传感输入、单片机处理、语音警示、电池板旋摆放平装置等部分, 其中, 电池板旋摆装置由长方形载物架、步进电机、轴承、旋摆轴、滑块、电池板等组成(如图7所示), 整个装置放在电池板追旋装置的载物托盘上。风雨传感器将采集的风力和雨量信息经接口电路传送到单片机进行处理、判读, 当大于设定风雨量阈值时, 一路反馈信号控制继电器进行闪光蜂鸣和语音警示; 另一路信号驱动步进电机带动电池板旋摆装置工作, 将电池板放平。

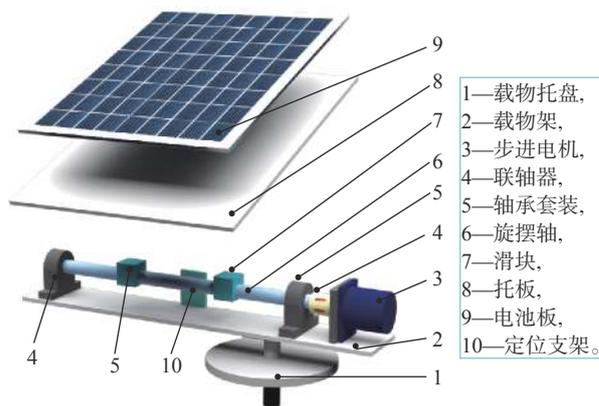


图7 电池板放平装置结构图

2.4 电池电量显示/充电/容量与内阻测试单元设计

蓄电池电量 LED 显示模块是基于 LM3914 点状/条状显示驱动器设计的^[9], 按照设计手册, 选择电位器、电解电容器、电阻、高亮度发光二极管、显示模式 A/P 切换按钮, 两档单联摇臂开关等元器件设计外围电路(如图8所示)。基于“涪流充电-恒流充电-恒压充电-浮充充电”四段式智能充电技术, 采用开关型电源、智能充电芯片 UC3909, 设计充电电路、电压检测电路等, 监控蓄电池的蓄电状态, 调整 DC-DC 模块的充电电压和电流。

2.5 整机设计与制作

遵循科学布局, 结构严谨, 务实简洁的思想, 本装置分成了3个独立的测试箱体, 使得仪器功能清晰, 方便检修维护, 利于进行教学设计和实施。利用 3Dmax 软件进行整机模型设计, 再绘制 CAD 图, 制作样机分立模块, 最后进行组装、调试, 样机模型图和实物照片如图9所示。

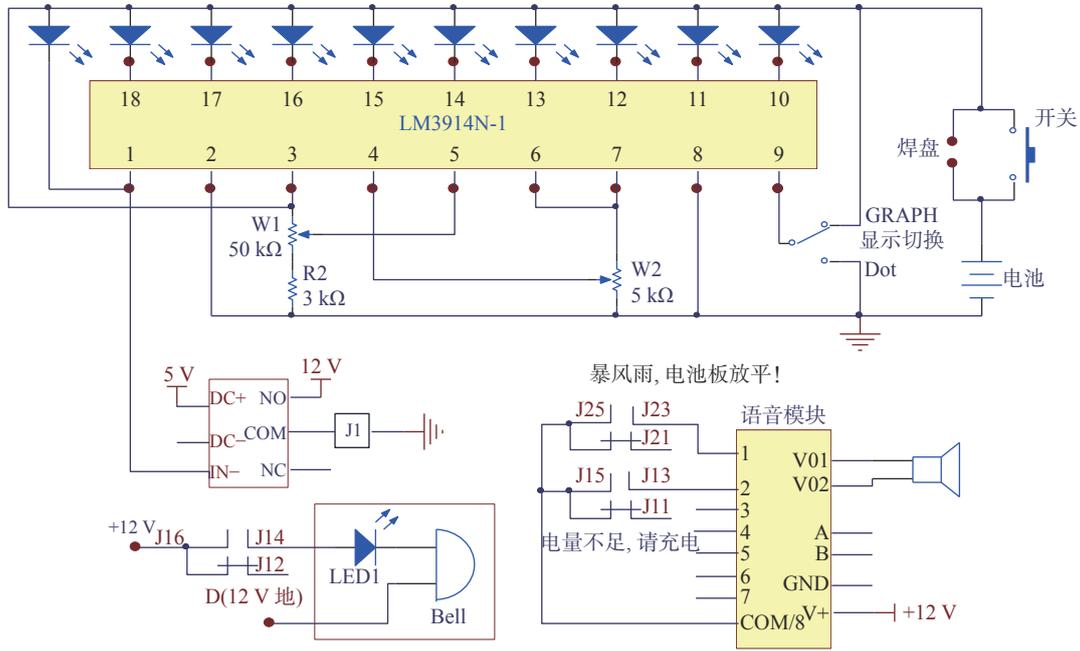


图 8 电池电量 LED 显示电路图



(a) 样机模型



(b) 实物

图 9 样机模型图和实物照片

用实训两大内容。参考文献 [10-11], 对太阳电池的无光照和不同光强照射特性的测试方法进行了设计。

3.1 太阳电池基本特性测试分析

本单元用于不同太阳电池暗特性、光照特性和负载特性测量。

1) 硅光电池暗特性测试分析

利用本实验装置, 如图 10 所示连线, 盖上电池盖, 调节电位器改变电源 E 电压, 分别测出硅光电池和 100 Ω 电阻两端的电压降 U_1 和 U_2 , 计算电流 I , 绘制全暗情况下 $I-U_1$ 伏安特性曲线(如图 11 所示), 进行最小二乘拟合处理分析。

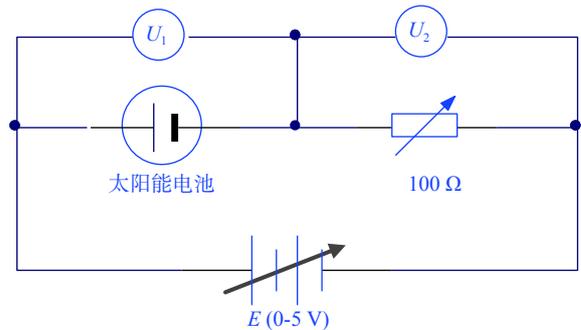


图 10 测量电路图

2) 硅光电池光照特性测试

置电源电压为 1.8 V, 盖上导轨遮光罩, 用光功率计测光强。改变硅光电池到光源的距离 x , x_n 处的光强记为 J_x (取 20 cm 处的光强为标准光强

3 实验内容设计与测试分析

分为太阳电池的基本特性测试分析和综合应

J_0), 开路电压为 U_{OC} , 短路电流为 I_{SC} , 分别绘制 I_{SC} 、 U_{OC} 和相对光强度 J_x/J_0 之间的关系曲线, 进行最小二乘曲线拟合处理分析(如图12和图13所示)。

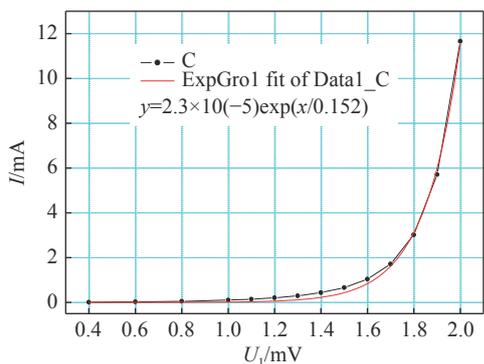


图11 I- U_1 曲线

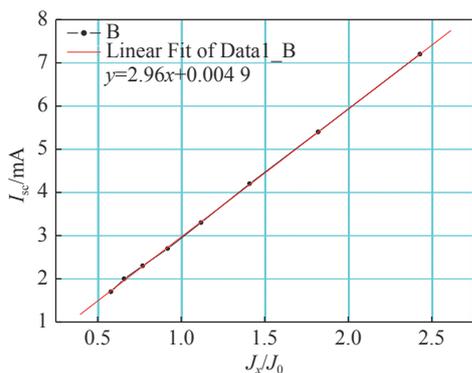


图12 短路电流与相对光强的关系曲线

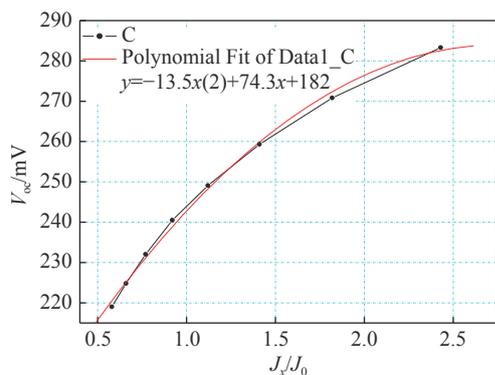


图13 开路电压与相对光强的关系曲线

3) 硅光电池负载特性测试

保持光源与电池间距离为 20 cm, 不加偏压。改变负载电阻(0~50 k Ω), 测量对应 R_L 的电压和电流, 计算输出功率。绘制光电池的伏安特性曲线(如图14所示)和输出功率随负载电阻变化关系曲线(如图15所示), $I_{SC}=0.28$ mA, $V_{OC}=1.293$ V, 计算填充因子 $FF=0.597$ 。

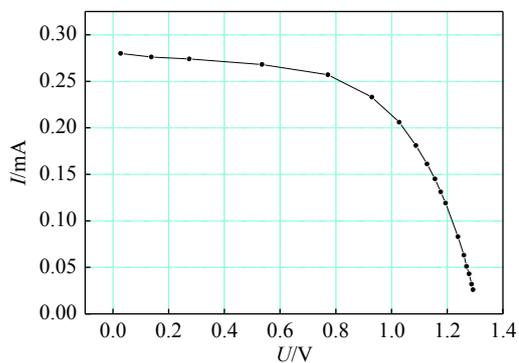


图14 伏安特性曲线

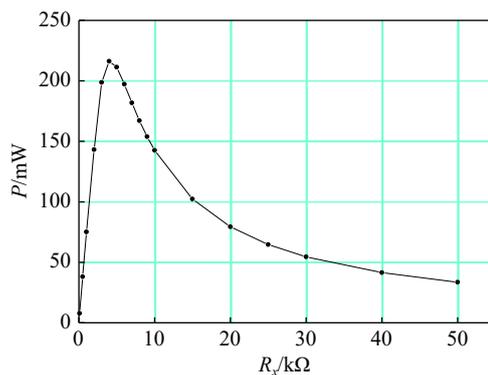


图15 输出功率随负载电阻变化关系曲线

3.2 太阳电池综合应用实训测试

1) 电池板追旋和放平实训

首先识读电路原理图进行连线, 写出“电池板旋转和放平”的工作流程; 然后利用 Keil-uVision5 软件识读、改写、重建程序; 最后用 Fly Mcu 软件烧录程序, 进行电池板追旋测试和模拟刮风下雨达到设定阈值时, 电池板自动放平功能测试。

2) 光电互补供电测试

识读电路原理图, 写出光电互补工作流程; 对照电路原理图和操作面板, 连接电池板、太阳能充放电控制器、蓄电池、逆变器、直/交流负载等, 进行光电互补供电测试。

3) 电池电量显示、充电、容量和内阻测试

依据电池种类进行电池欠电低端、满电高端电压调节, 用发光二极管亮灭直观地指示出电池蓄电状态, 低于欠电低端阈值, 进行闪光蜂鸣警示测试; 根据电池类型和容量, 设定充电电流和充电时间进行充电测试; 按照开尔文 4 线制接法接入电池, 设置放电终止电压和放电电流, 启动放电, 进行容量和内阻测试。

4 结束语

本装置采用单元模块化设计,使得仪器功能清晰,方便检修维护。本装置可开设的实验内容涵盖了太阳电池的“光-电-储”知识链,实现了“基础实验-综合实验-实训应用”一体化,可针对学生的知识储备灵活安排实验内容,在我校新能源材料与器件和应用物理学两个专业的专业实验课程的教学实践应用证明,既锻炼学生基本特性测试的实验操作技能,又训练了学生综合设计的科研素养和创新能力,反馈效果良好。下一步将继续拓展本仪器的关联功能,优化实验内容,提高实用性和受众面,在实验教学、毕业论文、创新实验和科学研究工作中发挥其更大价值。

参考文献

- [1] 都玲玲,沙莎. 太阳电池的研究现状及发展趋势[J]. 卷宗, 2013, 3(4): 114-114.
- [2] 常启兵. 新能源专业实验与实践教程[M]. 北京: 化学

工业出版社, 2019.

- [3] 张春卿,刘世泉,李琪. 可追踪太阳能光伏发电教学装置的设计与制作[J]. 中国现代教育装备, 2015(229): 17-19.
- [4] 冯焱生,张森,赵慧,等. 太阳能发电技术与应用[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2010.
- [5] 于源霖,李凤霞. 太阳能电池板双轴追踪控制系统的研究[J]. 科技创新与应用, 2019(2): 56-57.
- [6] 唐敏,陈铭锋. 太阳能电池板自动追踪装置的设计[J]. 科技信息, 2011(11): 97-98.
- [7] 张玮,杨景发,邱鹏飞,等. 太阳能电池板捕光及除尘系统[J]. 实验技术与管理, 2013, 30(8): 30-34.
- [8] 江松月,阎平,刘振玉. 光电技术与实验[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2007.
- [9] 赵平. 电容器充-放电曲线演示器[J]. 电子制作, 2009(8): 60-62.
- [10] 屠佳佳,谢代梁. 不同负载对太阳能电池输出功率的影响[J]. 中国计量学院学报, 2012, 23(3): 295-298.
- [11] 李增生,刘香莲,杜超,等. 晶体硅太阳能电池的光伏特性研究[J]. 数字技术与应用, 2009(10): 66-66.

编辑 钟晓

(上接第 33 页)

参考文献

- [1] 林昌禄,宋锡明. 圆极化天线[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1986.
- [2] 朱卓娅,赵志伟,雷威. 电磁波极化的专题教学方法研究[J]. 电气电子教学学报, 2016, 38(2): 88-90.
- [3] 肖汉光,赵明富,钟年丙,等. 基于MATLAB的电磁波极化波仿真教学[J]. 教育教学论坛, 2016, 253(15): 167-168.
- [4] 余建立. Matlab GUI在电磁波极化特性教学中的应用[J]. 科技创新导报, 2018, 15(16): 244-246.
- [5] 丁大志,盛亦军,樊振宏. 电磁波极化理论的实验教学研究[J]. 电气电子教学学报, 2010, 32(2): 55-57.
- [6] 贾建科,聂翔,韩团军. 电磁波极化实验的改进[J]. 电气电子教学学报, 2011, 33(3): 84-85.
- [7] 丁大志,盛亦军,沙侃. 电磁波极化的教学实验

研究[J]. 内江科技, 2009(8): 20-20.

- [8] 傅世强,李婵娟,邵雨萌,等. 一种低成本圆极化天线实验教学的研究[J]. 实验技术与管理, 2015, 32(5): 216-218.
- [9] 潘锦. 电磁场教学中的挑战与新实验建设[J]. 电气电子教学学报, 2008, 30(5): 54-55.
- [10] 杨德强,潘锦,陈波. 电磁波教学创新实验[J]. 实验室研究与探索, 2009, 28(4): 253-255.
- [11] 杨德强,潘锦,王志敏,等. 电磁波极化教学实验设计与实践[J]. 实验科学与技术, 2011, 9(2): 16-18.
- [12] 聂在平. 天线工程手册[M]. 成都: 电子科技大学出版社, 2014.
- [13] 谢处方,饶克谨. 电磁场与电磁波[M]. 4版. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [14] 杨峰,杨德强,陈波,等. 微波技术与天线[M]. 北京: 高等教育出版社, 2016.

编辑 张俊