

DOI:10.13718/j.cnki.xsxb.2022.06.012

# 太阳能板跟踪控制系统虚拟仿真实验开发与应用<sup>①</sup>

谈怡君, 夏美娟, 郝培华, 郝丽丽, 梁雪春

南京工业大学 电气工程与控制科学学院, 南京 211816

**摘要:** 针对实体实验受空间限制、经济成本高和测试难度大等实际问题, 以太阳能电池板跟踪太阳光源最佳运行轨迹的科研工程设计项目为基础, 通过计算机信息化手段和虚拟仿真技术, 利用位置检测模块、控制模块、跟踪执行模块构建太阳能板跟踪控制系统, 开发在线虚拟实验平台, 采用开放式控制参数设计方法进行实时、精准、直观地设计, 让学生可不受地域和时间限制, 在线自主完成综合设计实验, 提升学生的学习兴趣并训练学生的综合应用能力。

**关键词:** 实验教学; 虚拟仿真; 控制系统

**中图分类号:** TP273; G642

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1000-5471(2022)06-0078-06

## Development and Application of On-Line Virtual Simulation Experiment about Solar Panel Tracking Control System

TAN Yijun, XIA Meijuan,

HAO Peihua, HAO Lili, LIANG Xuechun

*College of Electrical Engineering and Control Science, Nanjing Tech University, Nanjing 211816, China*

**Abstract:** Physical experiments have some problems causing by the space constraints, economic cost and the difficulty of testing. In this paper, a solar tracking control system with an online virtual experiment platform was built which was based on scientific research and engineering design project of the best path for tracking the sun light source. The system consists of position detection module, control module, tracking execution module and the online virtual experiment platform was designed to do the experiments in real-time, accurately and intuitively with opened control parameters through the computer information technology means and virtual simulation technology. Students can complete the comprehensive designing experiment online independently not affected by geographical and time. The experiment is flexible and easy to operate, and can improve the students' interest in learning and can train the students' comprehensive application ability.

**Key words:** experimental teaching; virtual simulation; control system

① 收稿日期: 2021-05-28

基金项目: 南京工业大学教改立项重点项目(20190018); 南京工业大学虚拟仿真实验教学项目(XN20190015); 江苏省研究生教育教学改革课题(JGZZ19\_043)。

作者简介: 谈怡君, 工程师, 主要从事电气工程与高电压技术教学与研究。

通信作者: 夏美娟, 硕士, 副教授。

在高等教育创新型人才培养中, 毕业生实践能力的训练, 对我国未来经济和科技保持高速增长具有重要意义, 与经济社会发展水平密切相关<sup>[1-3]</sup>. 利用现代信息手段, 充分共享优质实验教学资源, 是快速增强学生实践能力的重要途径. 基于互联网在线开放虚拟仿真实验项目, 可以有效地利用优质实验项目资源, 虚拟仿真实验教学已从强调信息化网络平台建设的初始阶段, 进入到强调优质项目资源建设与应用的深入发展阶段<sup>[4-6]</sup>, 尤其是在 2020 年突发疫情的背景下, 虚拟实验项目的应用可以巩固线上教学的效果, 弥补无法进行实体实验的不足, 突出体现在线实验的优势, 也必将对今后“互联网+教育”的发展产生强力推动作用.

能源短缺问题是目前许多国家面临的重要问题, 太阳能作为一种清洁无污染的能源, 有巨大的开发前景. 我国是一个太阳能资源较为丰富的国家, 充分利用太阳能资源有深远的能源战略意义. 太阳能有效利用的关键是确保太阳能电池板跟踪光源, 从而提高太阳能电池板光能量采集的效率. 目前的跟踪方式主要有光电跟踪和视日运动轨迹跟踪, 其中光电跟踪可以通过良好控制系统设计来保证较高的跟踪精度<sup>[6]</sup>.

通过太阳能板跟踪系统设计实验可以培养学生的综合运用能力和创新开发能力, 但进行实体实验需建设较大面积的室外实验场地, 实验条件还要考虑天气的原因, 测试难度大; 大型太阳能板成本高, 控制系统综合性强, 设计参数关联耦合度高; 实体实验调试复杂、难度大、耗时长. 因此, 单纯依赖实体实验难以完成教学内容, 达到实验目的.

本文以太阳能板跟踪控制系统在线虚拟仿真实验项目为例, 通过信息化手段和虚拟仿真技术, 对控制系统的模块和参数等进行实时、精准、直观地设计, 实验即可以在仿真系统中选择不同硬件和不同参数来进行数据比较, 还可以在不同的控制参数以及在不同季节太阳辐射条件下进行实验并以 3D 效果展现, 仿真系统还设置教学管理内容, 本文介绍了太阳能板跟踪控制系统在线虚拟仿真实验的开发过程和內容, 投入到实际教学运行中, 可以有效地缩短实验周期, 降低实验成本, 提升学生的自主学习能力和综合运用能力, 同时通过实验满足学生的成就感, 有利于提高对专业知识的学习兴趣<sup>[7]</sup>.

## 1 在线虚拟仿真实验

### 1.1 实验目的

该实验的背景课程为电气及自动化专业课程, 包括自动控制原理、智能控制、电气传动与控制、计算机仿真计数和新能源课程. 以科研工程设计项目为基础, 建立控制系统的概念, 提高学生的学习兴趣. 在线虚拟实验应用仿真技术、3D 技术和计算机网络技术开发, 将交互性和专业知识结合起来, 学生可以在虚拟环境下自主完成太阳能电池板的控制系统的设计, 通过 3D 显示查看实际控制效果, 通过数据分析和波形分析查看控制的精确程度, 对电气设备、自动控制、系统仿真等相关专业知识能够深刻的理解和掌握.

### 1.2 实验原理与内容框架

该实验光源跟踪系统主要由光线检测电路, 电机驱动放大器, 直流伺服电机 3 个模块组成. 4 个完全相同的光敏传感器分别安装在太阳能板四周, 用来检测光线是否正对该跟踪系统. 当光线满足入射条件时, 两个光敏传感器检测到的光辐射强度几乎相等, 否则将表明太阳能板偏向受辐射少的一边. 两个感光器受到的辐射强度之差可以反馈给电机驱动器, 用来作为电机的误差信号, 电机旋转, 使太阳能板转向正对太阳的位置<sup>[8-9]</sup>, 其原理图如图 1.

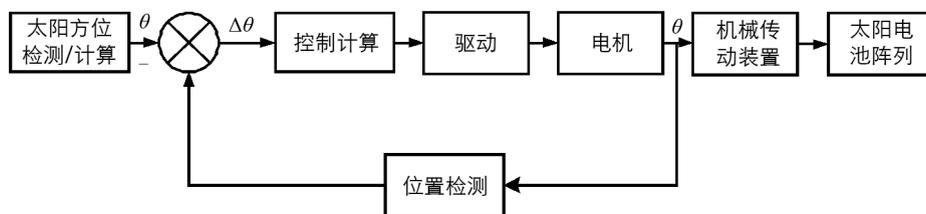


图 1 太阳能闭环控制系统原理图

根据设备参数,可推导出其相应数学模型.例如,根据模拟实验平台所提供的伺服电机(伺服电机为直流永磁电机+驱动器)和太阳能电池板组合后优化的开环传递函数是

$$G(s) = \frac{\frac{k_t}{L_a J}}{s^2 + \frac{R_a + L_a B}{L_a J} s + \frac{R_a B + k_t k_v}{L_a J}} \quad (1)$$

式中参数为:转子绕组等效电阻  $R_a$ , 转子绕组等效电感  $L_a$ , 速度常数  $k_v$ , 力矩常数  $k_t$ , 转子转动惯量  $J$ , 阻尼常数  $B$ .

建立完成后可以调用 Matlab 仿真软件,观察各个参数波形情况,与实验结果进行比对,反复调整,达到太阳能电池板跟踪太阳光源的最佳运行轨迹.

学生根据学号和密码登录实验网站,进入实验系统后就可以进行实验操作,模拟实验平台实验框架如图 2.

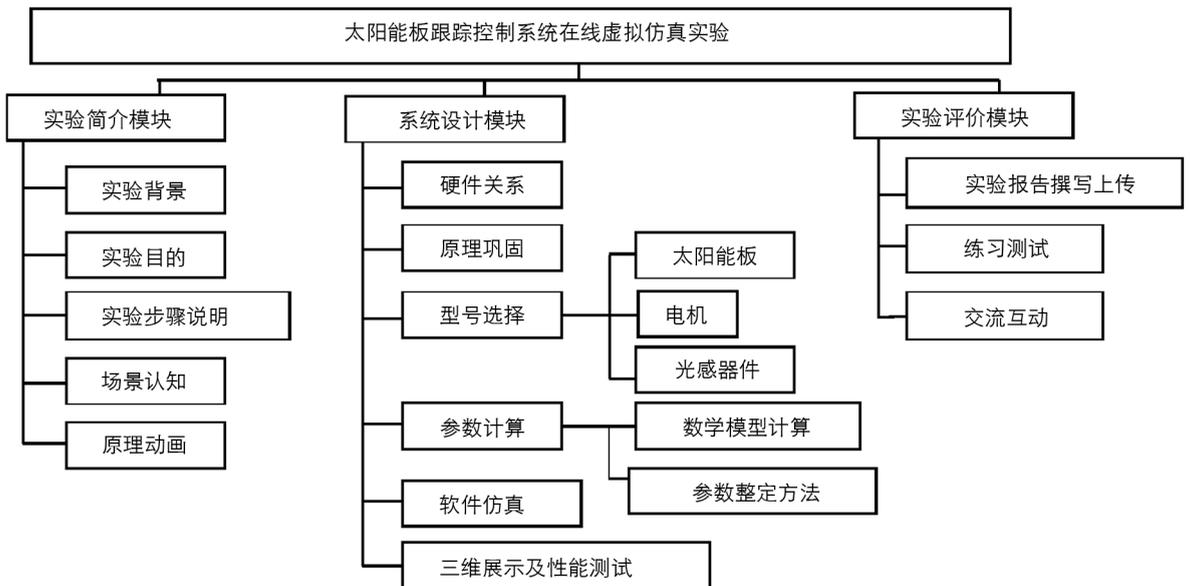


图 2 实验平台框架图

## 1.3 实验设计与操作

### 1.3.1 实验预习

模拟实验平台提供实验模拟场景如图 3,学生首先应完成预习,了解实验概况.平台还将整个实验以流程图的形式呈现如图 4,依次设置实验控制对象、选择部件型号、PID 参数计算、MATLAB 仿真、结果模拟等步骤,学生可以通过预习了解整个实验流程.



图 3 模拟场景



图 4 系统设计实验流程界面

### 1.3.2 太阳能板跟踪控制系统构建

实验为分析方便假设太阳是绕地球作圆周运动, 从而与地球的轴线、东西线及南北线形成了太阳的高度角和方位角, 一天中不同时间的高度角和方位角不同, 不同季节的同一时间高度角和方位角也不同<sup>[10]</sup>.

控制系统由三大部分构成: 位置检测模块、控制模块、跟踪执行模块. 位置检测模块一般是由灵敏度符合要求的传感器件构成, 将检测信号传输到控制模块; 控制模块放大收到的信号, 最终送到跟踪执行模块, 带动太阳能板跟踪太阳运行; 执行部分设计双轴, 分别控制太阳能电池板的高度角和方位角.

虚拟实验平台有多种不同的组合模块供实验者选择, 如图 5. 太阳能板有两种型号, 电机有伺服电机和步进电机, 感光器件有硅光电池和光敏电阻, 平台同时提供模块参数, 学生可根据自己的设计选择不同的模块.

### 1.3.3 控制系统数学模型建立与仿真

控制系统模块选型完成之后, 可计算出其相应数学模型, 建立完成后可以调用 Matlab 等仿真软件, 观察各个参数波形情况, 同时训练学生的软件使用能力.

### 1.3.4 控制参数设计

实验平台提供基础的控制算法是 PID 控制, 需要根据被控过程的特性确定 PID 控制器的比例系数、积分时间和微分时间. PID 控制器参数整定的方法很多, 可依据系统的数学模型, 经过理论计算确定控制器参数. 本项目的实验平台采用开放式的方法, 实验者可以根据自己的学习情况, 在仿真软件中输入数学模型, 采用合适的方法整定参数, 比如传统的临界比例法、反应曲线法和衰减法, 或者自整定 PID 法和智能 PID 法, 如专家系统型 Fuzzy-PID 和 NN-PID<sup>[11-12]</sup>, 目的是达到满意的跟踪曲线, 这个过程是实验的主要过程, 需要实验者根据平时自己掌握的理论知识和软件使用熟练程度, 反复操作完成.

### 1.3.5 控制模块结果分析

双轴控制系统模型输出参数为高度角和控制角, 仿真软件的控制比较理想的结果是两个角度快速地跟随参数输入, 而太阳能板紧紧跟随太阳位置的变化. 实验平台快速模拟太阳一年四季的位置变化, 接收实验者输入的控制数据后, 根据控制器输出的结果给出太阳能板的实时角度值, 并用三维立体控制效果展示跟随过程, 并将太阳位置和太阳能板的位置进行绘图比较, 非常直观地为实验者展示控制效果<sup>[13]</sup>. 图 6 为控制效果三维动态展示图.

通过这个综合设计过程, 让实验者更深刻掌握控制原理和各个模块的作用, 以及控制参数对控制结果的影响, 并创新实践新的控制方法或者算法.

控制参数的设置和控制算法直接影响控制结果, 实验者可以通过三维成像直接观测跟踪情况, 也可以通过实时数据及其数据图观测到控制结果如图 7. 实验结果不理想的, 实验者自行分析原因, 可以重新按先前步骤进行设计, 在重新设计过程中, 实验者需要掌握参数调整的规律和算法的选择方法.



图 5 控制系统选型界面



图 6 控制效果三维动态展示

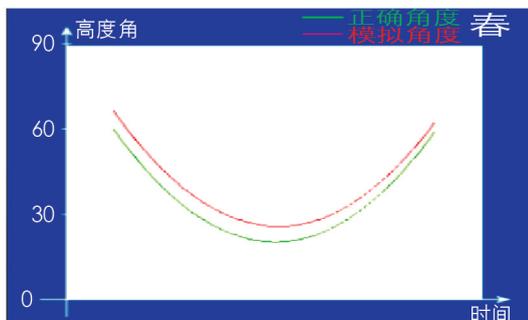


图 7 实验曲线

### 1.3.6 实验报告撰写与上传

实验操作完成后,虚拟实验平台自动生成实验报告的基本模板,并自动加载前面步骤中涉及到的模块选择、元器件选型、数学模型、参数和控制角度输出数据,实验者在其中可以加入自己的控制算法、模拟仿真曲线、算法对比、实验体会和思路,然后上传报告,以便实验老师批阅赋分。

### 1.3.7 互动与交流

实验借助网络平台,教师和学生以不同的身份登录,获得不同的权限.学生可以将实验过程中的疑问和体会写在“讨论答疑”页面,教师收到后可以答疑,其他同学也同时可以看到,如果有相同或相似问题也能够获知,以免重复提问解答.学生还可以对教学内容进行评价,提出意见和建议.教师除可以解答疑问外,还可以布置练习题,批阅实验报告,查看整个班级的实验情况和进度,了解学生的掌握程度并对某些薄弱知识点在课堂中补充讲解,提高实验的利用率。

## 2 实验考核

太阳能板跟踪控制系统在线虚拟仿真实验项目借助在线教学网络平台,实验者获得实验资格后,只需有上网功能的计算机及配有相关仿真软件,无论身处何时何地均可通过网络远程共享进行虚拟实验,并提交结果和在线交流。

实验要求学生能认真完成预习和观看实验指导视频;能熟练操作虚拟仿真系统完成全部实验;实验报告要求写出完整的实验计算步骤和设计过程,给出正确完整的仿真图、实验数据图像、分析结果;思考实验过程中的收获,特别是对控制器控制参数设计的体会.成绩考核中还包括实验练习,学生根据自己掌握知识的程度答题后,系统自动给出评分并计入总分中.学生在进行实验操作时,要对理论知识和系统做深入分析才能解决实验设计中的问题,实验可以综合考察学生对相关课程知识的掌握程度和分析问题、解决问题以及软件使用的能力。

## 3 实验效果

疫情防控期间,教育部要求高校实现“停课不停教,停课不停学”<sup>[14]</sup>,网络授课过程中,在实验教学环节部分,学生无法返回学校进行实体实验,这更突显了在线虚拟实验平台的优势,在此期间,智能电网与新能源技术等课程采用了该实验平台,取得了良好的效果。

### 1) 降低了实验成本,可反复实验不受场地和时间的限制

实体实验项目经济成本高,场地限制大,单纯依赖实体实验无法完成实验教学内容,无法达到实验目的.采用网络信息化手段和虚拟仿真技术,通过虚实结合的实验手段,实时直观地体现每一实验步骤的设计效果,缩短了实验周期,降低了实验成本,实现了信息技术与专业课程实验的有机融合,提高了实践教学质量。

### 2) 提高了学生的学习兴趣,有利于培养学生的综合应用能力和创新能力

实验本着“能实不虚、虚实结合”的原则,重在学生综合能力的培养,至少满足 2 个课时的实验教学需求,打破演示型、验证型的传统实验模式,以综合设计为主.学生在实验中需要涉及计算机仿真技术、自动控制原理、电气传动等多门课程的知识,通过综合运用知识、自己动手进行设计达到控制效果.在实验考核中摒弃标准答案模式,鼓励学生给出不同控制器解决方案.生动的模拟环境给学生留下直观而深刻的印象,有效提升了实验教学效果。

### 3) 发挥科研的引领作用,启发科研思维

将教师的科研成果和课题以及大学生创新训练成果引入该虚拟仿真实验平台,丰富了实验教学内容,极大地扩展了实验项目的深度和广度<sup>[15]</sup>。

## 4 结语

虚拟仿真实验教学系统通过互联网访问使用,以后将逐步补充和创新实验内容和增加实验学时,逐步开放达到资源共享,营造自主学习的氛围,不仅可服务校内相关专业师生,未来将面向校外公众开放.这必

将对全社会共享、共用精品实验教学资源,关注新时代电气自动化专业建设和课程改革,起到积极的推动作用.

### 参考文献:

- [1] 樊华,谢华江,王岑涅,等. 电子工程类课程实践教学模式研究 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2021, 46(6): 180-184.
- [2] 王森,高东峰. 在线开放虚拟仿真实验项目建设的思考 [J]. 实验技术与管理, 2018, 35(10): 115-118.
- [3] 翟明,姜宝成,宋彦萍,等. 基于虚拟仿真平台的能源动力类本、研一体化实验教学与管理实践 [J]. 实验室研究与探索, 2020, 39(5): 187-192.
- [4] 吴金栋,任光辉,黄东键,等. 基于虚拟仿真技术开展实践教学改革的研究与实践 [J]. 实验室研究与探索, 2018, 37(5): 240-244.
- [5] 祖强,魏永军,熊宏齐. 省级在线开放虚拟仿真实验教学项目建设探讨 [J]. 实验技术与管理, 2017, 34(10): 153-157.
- [6] HAFEZ A Z, YOUSEF A M, HARAG N M. Solar Tracking Systems: Technologies and Trackers Drive Types-A Review [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2018, 91: 754-782.
- [7] 吴宁,胡欣,吴遵秋,等. 基于虚拟仿真平台引入综合性设计性实验项目 [J]. 实验技术与管理, 2017, 34(4): 6-8.
- [8] 刘振全. 自动控制原理 [M]. 西安:西安电子科技大学出版社, 2017.
- [9] 吕峰. 电机与电力拖动 [M]. 北京:国防工业出版社, 2011.
- [10] 史建亮,任戈,谭毅. 光电跟踪系统集成仿真系统的开发 [J]. 系统工程理论与实践, 2012, 32(8): 1864-1870.
- [11] 朱嵘涛,陈希湘. 基于模糊PID算法的双闭环直流调速系统中的设计 [J]. 现代电子技术, 2020, 43(14): 34-37.
- [12] 侯凯旋,崔岩,曾永铠,等. 基于PIC单片机的太阳能光伏系统闭环控制仿真 [J]. 汕头大学学报(自然科学版), 2020, 35(3): 3-10,2.
- [13] 李苑青,蒋宇飞,朱旭,等. 虚拟仪器平台结合MATLAB的信号与系统实验 [J]. 信息记录材料, 2020, 21(7): 80-82.
- [14] 董文杰,李晓琳,闫艳,等. 疫情期间虚拟仿真实验系统在医学微生物实验教学的建设与应用 [J]. 包头医学院学报, 2020, 36(4): 89-91.
- [15] 马学条,程知群,陈龙. 数字电路虚拟仿真实验教学改革研究 [J]. 实验技术与管理, 2018, 35(10): 121-124.

责任编辑 汤振金