



变压器、感应电机硬件在环可视化测试平台设计

刘 方¹, 李新亮², 王千龙^{2*}

(1. 扬州工业职业技术学院 信息工程学院, 扬州 225000; 2. 扬州大学 电气与能源动力工程学院, 扬州 225000)

摘要: 设计了一种变压器和感应电机硬件在环可视化测试平台。平台主要由 DSP 控制器、MCGS 触摸屏、RS485 通信电路等模块组成。DSP TMS320F28335 为平台主控制器, 用于计算多种变压器、感应电机在不同实验条件下的电气参数, 并判断出电机磁场分布; MCGS 触摸屏为人机交互设备, 主要完成电机的类型选择、参数设定, 波形曲线和内部磁场等信息的可视化输出; 控制器与触摸屏利用 RS485 通信电路实现输入和输出数据信号的传递, 数据传输的协议为 Modbus RTU 协议。该平台硬件成本低、重量轻, 具有良好的便携性; 可针对多种结构变压器和感应电机, 通用性好; 电磁特性可视化的实现可加深学生对电机类课程相应知识点的理解, 能够满足“理实一体化”教学需求。

关键词: 测试平台; 电机; 变压器; 可视化; 硬件在环

中图分类号: G642.423; TM301.2

文献标志码: A

DOI: [10.12179/1672-4550.20230295](https://doi.org/10.12179/1672-4550.20230295)

Design of a Hardware-in-Loop Visual Test Platform of Transformers and Induction Motors

LIU Fang¹, LI Xinliang², WANG Qianlong^{2*}

(1. School of Information Engineering, Yangzhou Polytechnic Institute, Yangzhou 225000, China;

2. School of Electrical and Energy Power Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225000, China)

Abstract: A hardware-in-loop visual test platform of transformers and induction motors is designed, which is mainly composed of DSP controller, MCGS touch screen, RS485 communication circuit and power module. DSP TMS320F28335 is the main controller of the test platform, which calculates the mathematical models of various transformers and induction motors under different experiments. MCGS touch screen is the upper computer, which is used to realize parameter input, waveform curve and internal magnetic field visualization of the motors. The RS485 circuit is utilized to transmit motor parameters and experimental simulation results between the controller and the touch screen. The data transmission protocol is Modbus RTU protocol. The platform has low hardware cost and good portability. Visualization of data, waveform curve and magnetic field can help students deepen their understanding of professional knowledge. The test platform meets the needs of experimental teaching and has achieved good teaching results.

Key words: test platform; electric machine; transformer; visualization; hardware-in-loop

电气专业的“电机学”“微特电机”“电力拖动原理”等电机类课程具有内容抽象、公式推导多的特点, 需要学生具备良好的想象力和思维能力, 学生在学习过程中难以直观理解相关知识点, 如磁场部分, 理论教学中磁场/磁路概念较为抽象, 缺乏直观和可视化的实践环节作为支撑^[1-3]。在新工科建设背景下, 该类专业课程应致力于做到理论知识和实践操作密切结合, 培养学生对电

机的学习兴趣。

目前各高校通常利用电机硬件实验平台或者纯线上虚拟仿真软件实现理实一体化的教学目的。高校自主设计的电机类课程的硬件实验平台通常基于 DSP^[4-6]、单片机^[7-8]、FPGA^[9] 等控制器搭建完成, 实现对不同电机的参数测定、起动和调速实验。然而大班集中授课与集中实验情况下, 有限的实验器材导致部分学生无法动手参与

收稿日期: 2023-06-14

基金项目: 江苏省自然科学基金(BK20170503)。

作者简介: 刘方, 硕士, 讲师, 主要从事电机设计与控制算法的研究。E-mail: liuf@ypi.edu.cn

* 通信作者: 王千龙, 博士, 讲师, 主要从事电机及其控制方面的研究。E-mail: wangqianlong@yzu.edu.cn

实验过程，且现有电机实验平台难以实现电机内部磁场的可视化，设备运行时的相关数据波形还需借助其他设备进行观测^[3]。虚拟仿真实验平台则通过有限元计算和 MATLAB 等相关专业软件实现^[10-14]，然而其平台的运行需要依靠电脑，便携性和通用性相对较弱。

针对上述硬件平台和虚拟仿真实验平台存在的不足，本项目搭建了变压器、感应电机硬件在环可视化测试平台，选用 DSP TMS320F28335 作为主控制器，在控制器中搭建多种电机的数学模型，通过触摸屏完成电机类型选择、参数输入以及显示控制器实时计算出的电机参数和电磁特性。本文所述测试平台具有便携性、通用性和电磁特性可视化的特点，学生通过自主选定电机类型，完成参数测定和计算，计算结果可直接比对，且不同励磁状态下的磁密和磁力线分布可直观显示，教学效果良好。

1 平台硬件设计

变压器、感应电机硬件在环可视化测试平台的拓扑结构如图 1 所示，平台主要由触摸屏、控制器、通信电路和电源电路组成。触摸屏选用 MCGS 显示屏，其功能完善、操作简便、可视性好，且具有多种通信接口，便于实现多数据传输^[15]。触摸屏与控制器的硬件设备结合实现参数传输和计算结果、磁密与磁力线分布、波形等信息的显示。控制器选用 TI 公司 DSP TMS320F28335，其主频达 150 MHz，具有体积小、性能强、便携性高的特点。控制器负责计算所选择的不同型号变压器和感应电机的电气参数和电磁特征，并与上位机触摸屏进行实时数据通信。串口通信选择 RS485 电路，选用 MAX485 芯片将引脚的差分信号输入到控制器的通信模块中，实现数据的发送和接收。

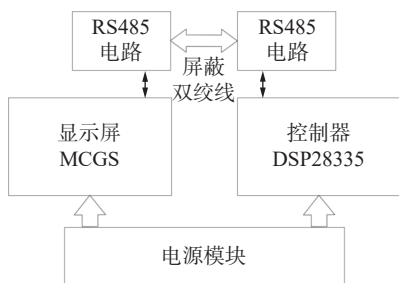
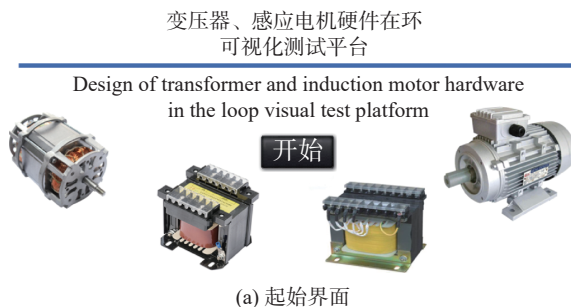


图 1 测试平台拓扑结构

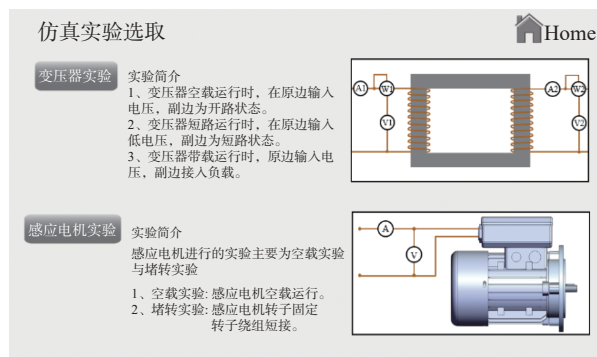
2 平台软件设计

2.1 触摸屏操作界面设计

触摸屏人机界面实现实验电机选取、参数输入、参数计算结果、磁密分布与磁力线图以及波形曲线的显示。显示界面的设计主要有触摸屏的起始界面、仿真实验选择界面、变压器和感应电机的参数输入界面、参数计算显示界面、磁密分布与磁力线显示界面和电气参数波形显示界面等，界面搭建如图 2 所示。



(a) 起始界面



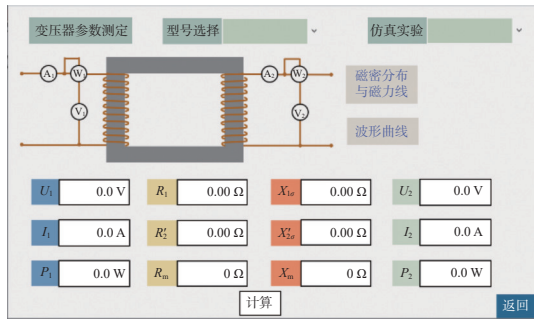
(b) 仿真实验选取界面

图 2 操作界面设计

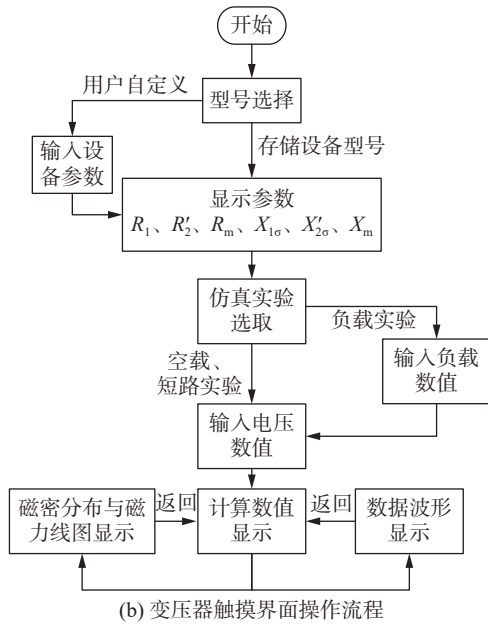
变压器仿真实验界面搭建和操作流程如图 3 所示。在参数输入与数值计算界面中，型号选择下拉复选框中选择变压器型号并显示参数 R_1 、 R'_2 、 R_m 、 $X_{1\sigma}$ 、 $X'_{2\sigma}$ 、 X_m 或用户自定义参数。仿真实验下拉复选框用来选取空载实验、短路实验、负载实验，根据选择的仿真实验内容，给出输入提示并输入参数，完成后点击“计算”按钮，显示所有计算结果。点击“磁密分布与磁力线”“波形曲线”按钮则可实现相应结果图的显示。

感应电机参数输入与数值计算界面和操作流程如图 4 所示，界面中型号选择用来选取感应电机的设备参数或者用户自定义参数输入。本系统主要针对笼型感应电机，仿真实验选取空载实验

或者堵转实验。在电压框中输入电压数值, 点击“计算”按钮, 显示计算的数值。



(a) 变压器界面设计图



(b) 变压器触摸屏界面操作流程

图 3 变压器仿真实验界面搭建和操作流程

2.2 DSP 控制器控制流程设计

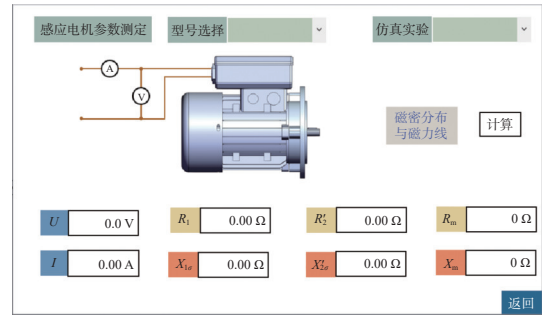
利用变压器、感应电机的等效电路, 根据用户设定的变压器和感应电机型号, 计算出相应的电气参数以及电磁特征分布, 并将计算结果显示在上位机触摸屏。控制器的主函数流程如图 5 所示。

DSP 控制器在接收触摸屏 MCGS 数据的过程中, 利用定时器计时判断数据是否接收完成。DSP 设定串口传输的波特率为 9600, 设置 1 位停止位、8 位数据位和 1 位起始位。当 DSP 接收到一帧数据后对数据的 CRC 校验码、地址、功能码等进行判断, 对接收数据进行读写操作, 实现控制器和触摸屏的数据传输。

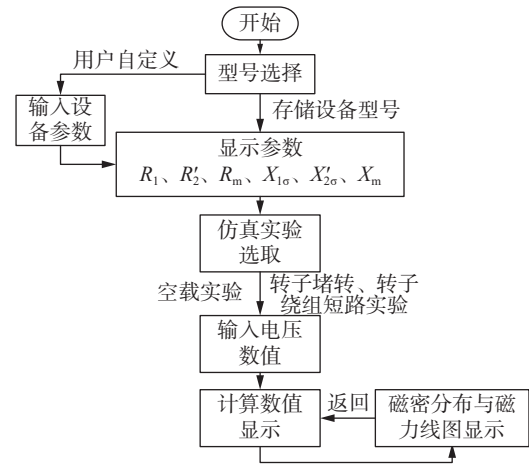
2.3 数据传输流程设计

在实际计算变压器、感应电机的参数时, 操作人员在参数输入与数值计算界面确认参数 R_1 、

R'_2 、 R_m 、 $X_{1\sigma}$ 、 $X'_{2\sigma}$ 、 X_m 的数值, 上位机将选择的实验设备、实验类型以及参数通过 RS485 通信传输到控制器 DSP 中, 控制器根据实验设备、类型和参数进行相应的电气参数计算, 再通过 RS485 通信输出计算的结果, 并在触摸屏界面显示。数据传输具体流程如图 6 所示。



(a) 感应电机界面设计图



(b) 感应电机触摸屏界面操作流程

图 4 感应电机仿真实验界面搭建和操作流程

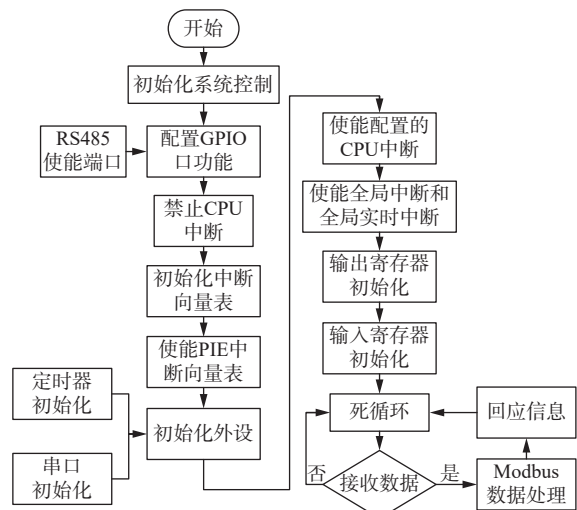


图 5 程序流程图

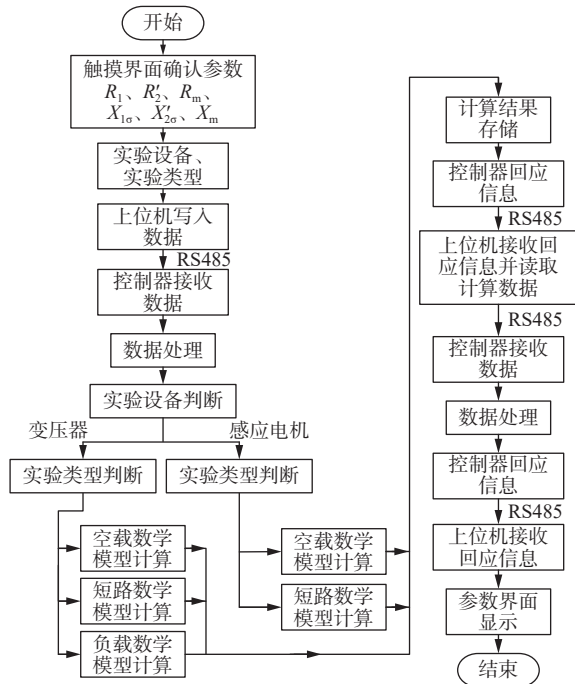


图 6 数据传输流程图

2.4 数据传输流程设计

为了实现实验设备电磁特征的可视化，需要预先根据变压器和感应电机的相关参数，搭建有限元仿真模型。通过有限元计算结果获取变压器和感应电机在不同参数下的电磁特征分布图，并存储在上位机内存中，以备控制器实时读取，如图 7 所示。

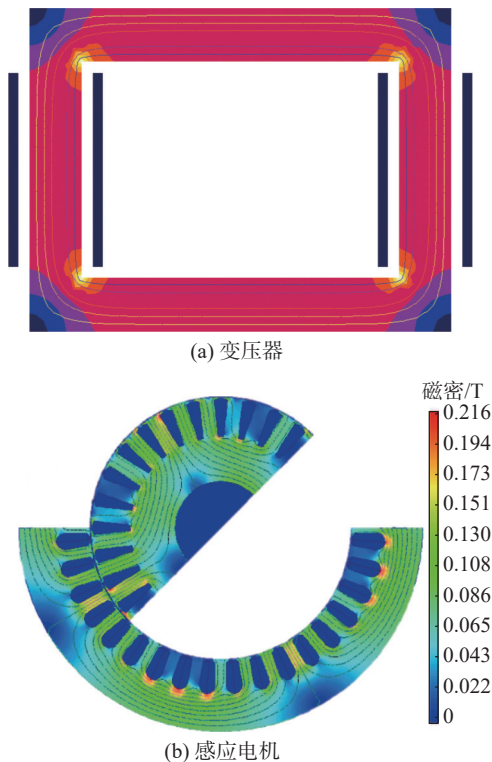


图 7 磁密分布、磁力线图

3 平台测试与结果分析

本设计主要由触摸屏 MCGS、控制器 DSP 和供电电路组成，实物如图 8 所示。

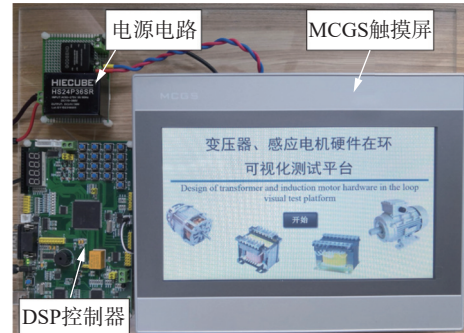
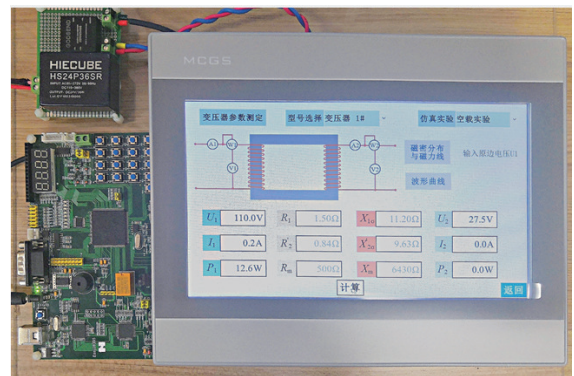


图 8 变压器、感应电机硬件在环可视化测试平台实物图

3.1 变压器实验

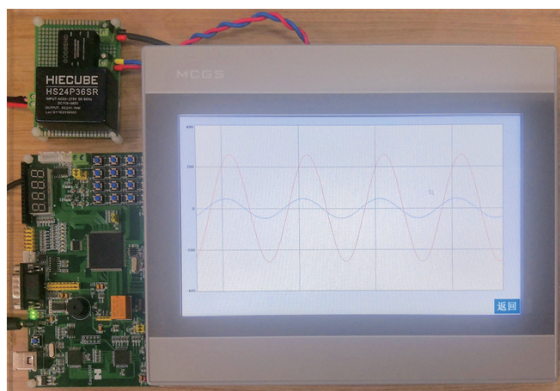
点击“变压器实验”按钮后，界面跳转到变压器参数测定界面。首先选取变压器的型号、实验类型(变压器空载实验、短路实验和负载实验)，在触摸屏输入励磁电压幅值，点击计算后触摸屏则会实现变压器电气参数计算结果和相应的电磁特征分布，如图 9 所示。当励磁电压不同，可视化界面可呈现出变压器铁心的磁饱和特征。



(a) 参数输入与数值计算



(b) 磁密分布与磁力线



(c) 波形显示

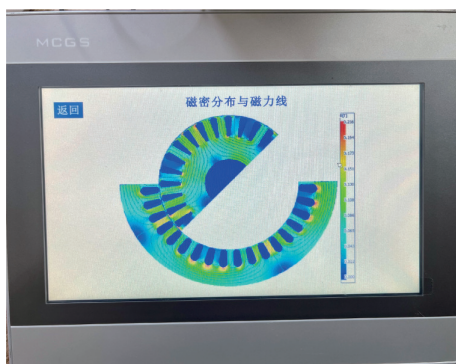
图9 变压器界面显示

3.2 感应电机实验

感应电机实验界面操作与变压器操作类似,在选取感应电机型号、实验类型(感应电机空载实验和堵转实验)、输入励磁电压,点击计算后触摸屏则会实现变压器电气参数计算结果和相应的电磁特征分布,如图10所示。类似于变压器,当输入励磁电压不同,感应电机定子和转子铁心的磁饱和程度也随之改变。



(a) 感应电机参数设置界面



(b) 感应电机磁密显示界面

图10 感应电机参数数值计算和磁密分布与磁力线

4 结束语

本文选用 MCGS 触摸屏和 DSP 搭建了变压

器、感应电机硬件在环可视化测试平台,该平台可以完成多种变压器和感应电机的参数测定实验,并实现设备在不同实验条件下的电磁特征分布和数据波形的可视化。该平台硬件成本低、重量轻,具有良好的便携性,学生在教学课堂就可以使用,进而实现该类课程的随身实验,具备了虚拟仿真平台的便携高效的优点,同时也锻炼了学生的实操能力。电机的种类可以通过软件扩展,以进一步满足课程的实验教学,具有推广价值。

参考文献

- [1] 董淑惠,李建文. 虚拟仿真技术在电机学课程教学中的应用研究[J]. 高教学刊, 2022, 8(14): 58-61.
- [2] 张敬南,张强. 电力拖动类课程的仿真实验教学改革[J]. 电气电子教学学报, 2014, 36(2): 88-90.
- [3] 宋战锋,刘涛. 《电机学》教学方法改革探究[J]. 中国电力教育, 2021(1): 66-67.
- [4] 卢慧芬,林斌,孙丹,等. DSP 电机控制综合实验平台研制[J]. 实验技术与管理, 2014, 31(10): 97-102.
- [5] 毕大强,郭瑞光,陈洪涛. 电力电子与电力传动 DSP-HIL 教学实验平台设计[J]. 实验技术与管理, 2019, 36(1): 226-229.
- [6] 王千龙,蒋伟,蒋步军,等. 通用型电机数字控制实验平台[J]. 实验技术与管理, 2020, 37(2): 90-94.
- [7] 耿兴华,王克欣,钱希兴,等. 基于 STM32 的电机控制实验平台设计与实现[J]. 实验室科学, 2022, 25(3): 66-69.
- [8] 佟亚珍,桑尚铭,冯荣尉. 基于 STM32 的通用化电机角度测试系统设计[J]. 微电机, 2022, 55(4): 82-86.
- [9] 蔡永东,竺春祥,吉嘉伟,等. 基于 FPGA 的电机测试系统设计[J]. 电子测试, 2022, 36(5): 41-43.
- [10] 徐武,杨昊东,汤弘毅,等. 电机拖动虚拟仿真实验平台设计及实践应用研究[J]. 云南民族大学学报(自然科学版), 2022, 31(3): 314-318.
- [11] 李祥林,马文忠,王玉彬,等. JMAG 有限元仿真在电机学实验教学中的应用[J]. 实验室研究与探索, 2017, 36(10): 115-118.
- [12] 程子霞,王晨辉,务经纬,等. 变压器可视化教学仿真设计[J]. 实验技术与管理, 2022, 39(5): 98-102.
- [13] 徐磊,蔡晓磊,傅海军,等. 基于虚拟仿真平台的“电机学”教学实践[J]. 电气电子教学学报, 2020, 42(6): 30-32.
- [14] 朱孝勇,蔡晓磊,黄永红,等. 电机设计与转矩评估虚拟仿真实验研究[J]. 电气电子教学学报, 2021, 43(3): 162-165.
- [15] 余朝刚,刘启中,王宇嘉,等. PLC 控制的步进电机教学机械手[J]. 实验技术与管理, 2012, 29(2): 98-100.

编辑 钟晓