

电机学实践教程

(含实训报告)

主 编 邱忠才 葛兴来 郭冀岭

主 审 潘育山 赵丽平

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

电机学实践教程:含实训报告. 1, 电机学实践教程 / 邱忠才, 葛兴来, 郭冀岭主编. -- 成都: 西南交通大学出版社, 2023.10

ISBN 978-7-5643-8992-5

I. ①电… II. ①邱… ②葛… ③郭… III. ①电机学-教材 IV. ①TM3

中国国家版本馆 CIP 数据核字 (2023) 第 200124 号

Dianjixue Shijian Jiaocheng (Han Shixun Baogao)

电机学实践教程 (含实训报告)

主 编 / 邱忠才 葛兴来 郭冀岭

责任编辑 / 李芳芳

封面设计 / 何东琳设计工作室

西南交通大学出版社出版发行

(四川省成都市金牛区二环路北一段 111 号西南交通大学创新大厦 21 楼 610031)

营销部电话: 028-87600564

网址: <http://www.xnjdcbs.com>

印刷: 四川森林印务有限责任公司

成品尺寸 185 mm × 260 mm

总印张 13 总字数 278 千

版次 2023 年 10 月第 1 版 印次 2023 年 10 月第 1 次

书号 ISBN 978-7-5643-8992-5

套价 (全 2 册) 45.00 元

课件咨询电话: 028-87600533

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

本书是针对高等学校本科教育和部分高等职业教育的电机学实践课程指导教材，是西南交通大学 2022 年度校级（本科）教材建设研究立项支持的项目之一。

电机学是一门重要的电气类专业基础课，是电机与电力拖动系统的理论学科，也是后续专业课程的必要基础，同时还是一门独立的基础应用课，但是因为电机本身具有抽象、理论性强、多学科综合、工程实践性强的特点，学生们普遍认为是难学的一门课程。为了解决这个难学的问题，电机学实验教学起到的作用尤为突出，在实验室环境或者虚拟实验室环境，让学生认识电机、了解电机、摸索使用电机，不仅帮助学生理解电机理论，而且可以培养学生的工程能力，激发学生的学习兴趣，所以电机学实践教学必要且重要。

通过本书的学习，学生能掌握电工仪表与工具的基本使用方法；掌握变压器、异步电动机、直流电动机、同步电机、永磁同步电机和无刷直流电机的工作原理、结构特点、机械特性、工作特性、电磁能量以及工程应用；掌握交流电动机、直流电动机和微特电动机的启动、调速、换向、制动等工作原理；掌握三相同步发电机并网条件和并网方法；掌握交流磁场的产生条件和验证方法；掌握实验室环境电机电路结构、工作原理、测量仪表选用以及典型生产机械的控制线路分析方法。

本书能培养学生具有对一般变压器、电动机、常用低压电器、继电器-接触器控制电路的维护、故障排除和数据分析、综合应用能力。本书的特色：第一、遵循理论够用、实践突出，实验操作和工艺规范相结合的原则，彰显问题分析和问题解决能力；第二、开发配套电机学虚拟实验教学平台，在计算机的支持下，可以完成实验室对应实验内容并可以随意扩展，很好地解决了实验硬件条件的限制和约束；第三、配套实训报告册，该报告册设计合理，让学生能够清晰地掌握实验过程步骤、实验数据记录，最重要的是引导学生进行思考，合理地分析计算实验数据，得出正确的实验结论，培养学生总结、反思和归纳的能力。

本书可供电气工程及其自动化、轨道交通信号与控制、电力电子与电力传动、磁浮与城市轨道交通等本科专业和铁道供电、电气自动化技术等高职专业学生的实验课程使用，也可作为社会电气工作者的参考用书。

本书得以出版，感谢西南交通大学教务处教材建设与管理科的立项支持，感谢西南交通大学电气工程学院教授委员会的鼎力支持把关和建议。

本书由邱忠才、葛兴来和郭冀岭主编，其中，邱忠才负责全书统筹规划并编写第一篇章内容，葛兴来编写第二篇章内容，郭冀岭编写实训报告内容，潘育山和赵丽平主审。

由于编者学识有限，本书难免出现疏漏之处，恳请读者批评指正。

编 者

2023年9月

目 录

绪 论	001
第一节 电机学实验室安全操作守则	001
第二节 电机学实验的基本要求	002
第三节 电机学实验项目和内容	003
第四节 电机学线上虚拟实验	006
第 1 篇 电机实验室线下实验	009
实验 1 电机学认识实验	009
实验 2 直流发电机实验	012
实验 3 直流电动机实验	017
实验 4 直流电动机启动和调速实验	021
实验 5 单相变压器实验	024
实验 6 三相变压器实验	032
实验 7 三相变压器连接组别判定实验	040
实验 8 三相绕组与旋转磁场实验	048
实验 9 三相绕线式异步电机启动和调速实验	051
实验 10 三相鼠笼异步电机变频调速实验	054
实验 11 三相鼠笼异步电动机的工作特性实验	057
实验 12 三相鼠笼异步电动机的启动实验	067
实验 13 三相同步发电机的运行特性实验	072
实验 14 三相同步发电机的并联运行实验	078
实验 15 三相同步电动机实验	083
电机实验测验	089

第 2 篇 电机实验室虚拟实验	090
电机学虚拟实验使用说明	090
实验 1 单相变压器实验	092
实验 2 三相变压器实验	101
实验 3 三相变压器连接组实验	109
实验 4 直流发电机实验	112
实验 5 直流电动机实验	119
实验 7 三相鼠笼异步电动机工作特性	125
实验 8 三相异步电机变频调速实验	132
实验 9 三相同步发电机运行特性	135
实验 10 三相同步发电机的并联运行	139
参考文献	142

绪 论

“电机学”是电气工程及其自动化本科专业学生的重要专业基础课程。该课程理论性强且涉及的基础理论和知识面广，是电、磁、热、力、光、材料等知识的综合，其教学内容与工程实际联系紧密。“电机学实验”是电机学课程体系重要组成部分，自2015年以来西南交通大学将电机学实验设为“电机学 AI 实验”和“电机学 B 实验”两门、学分 32 学时的独立授课的实验课。在教育部减少本科教学学分，提高实践教学比重的教育背景下，电机学实验教学比重不但没有减少反而略有增加，这些举措有助于电气工程专业学生掌握各类电机的结构原理、运行特性、计算方法和工程应用等，为毕业后从事电气工程相关专业的的设计、调试、运行和维护等工作打下坚实的基础。同时，通过实践教学加强培养学生的自主学习能力、创新精神和家国情怀，引导学生成为能解决复杂电气工程问题的综合型人才。

第一节 电机学实验室安全操作守则

1. 对于首次进入实验室参加实验的学生应进行安全教育和爱护实验室设备的教育。
2. 实验室工作人员应向参加实验的学生介绍本实验室的电压等级和配电概况。实验室总电源由工作人员负责操作，其他人员不得接触。
3. 为确保人身安全，实验时应注意衣服、发辫及实验用线，防止卷入电动机等旋转部件。
4. 学生进行实验时，独立完成的实验线路连接或改接，经实验室工作人员检查无误并提醒全组同学注意后，方可接通电源。
5. 电源必须经过开关或接触器、熔断器之后才可接入实验线路，严禁带电接线、拆线、接触带电裸露部位及电机的旋转部件。
6. 操作开关动作要迅速，以免产生电弧烧坏开关。各种仪表、设备不允许过载运行或其他非正常运行。若仪表、设备发生故障，应报告实验室工作人员或教师，不得自行排除故障。
7. 实验中发生故障时，必须立即切断电源并保护现场，同时报告实验室工作人员或教师。待查明原因并排除故障后，方可继续进行实验。
8. 实验室内禁止吸烟、打闹、大声喧哗、随地吐痰，以及其他不文明的行为。
9. 实验开始后，学生不得远离实验装置或做与实验无关的事情。

10. 实验完毕，应切断电源、检查实验数据，经实验室工作人员或教师同意后再拆除实验线路；实验仪表、用线应分类整齐放置，并清理实验桌（台）面。

第二节 电机学实验的基本要求

电机及电气技术实验课的目的在于培养学生掌握基本的实验方法与操作技能；培养学生学会根据实验目的、实验内容及实验设备拟定实验方案，选择所需仪表，确定实验步骤，测量所需数据，并对测量数据进行分析研究，得出必要结论，从而完成实验报告。在整个实验过程中，必须集中精力，及时认真做好实验。现按实验过程提出下列基本要求。

一、实验前的准备

实验前应复习教科书有关章节，认真研读实验指导书，了解实验项目、目的、方法与步骤，明确实验过程中应注意的问题（有些内容可到实验室对照实验预习，如熟悉组件的编号、使用及其规定值等），并按照实验项目准备记录表等。

实验前应写好预习报告，经指导教师检查确认后，方可开始实验。

认真做好实验前的准备工作，这对于培养同学独立工作能力、提高实验质量和保护实验设备都是很重要的。

二、实验的进行

（一）建立小组，合理分工

每次实验都以小组为单位进行，每组由3~5人组成，实验过程中的接线、调节负载、保持电压或电流恒定、记录数据等工作都应有明确的分工，以保证实验操作协调，记录数据准确可靠。

（二）选择组件和仪表

实验前先熟悉该次实验所需的组件和仪表，记录电机铭牌和选择仪表量程，然后依次排列组件和仪表便于测量数据。

（三）按图接线

根据实验线路图及所选组件、仪表，按图接线，线路力求简单明了，接线原则是“先接串联主回路，再接并联支路”。为方便检查线路，同一路可用相同颜色的导线或插头。

(四) 启动电机，观察仪表

在正式开始实验之前，先熟悉仪表刻度，并记下倍率，然后按规范启动电机，观察所有仪表是否正常（如指针正、反向是否超满量程等）。如果出现异常，应立即切断电源，并排除故障；如果一切正常，即可正式开始实验。

(五) 测量数据

预习时必须详细了解电机的试验方法及所测数据的大小。正式实验时，根据实验步骤逐次测量数据。

(六) 认真负责，实验有始有终

实验完毕，须将数据交指导教师审阅。经指导教师认可后，才可以拆线并把实验所用的组件、导线及仪器等物品整理好。

三、实验报告

实验报告是根据实测数据和在实验中观察和发现的问题，经过分析研究或分析讨论后写出实验心得体会。

实验报告要简明扼要、字迹清楚、图表规范、结论明确。

实验报告包括以下内容：

1. 实验名称、专业班级、学号、姓名、实验日期、室温（ $^{\circ}\text{C}$ ）等。
2. 列出实验中所用组件的名称及编号，电机铭牌数据（ P_N 、 U_N 、 I_N 、 n_N ）等。
3. 列出实验项目并绘出实验时所用的线路图，并注明仪表量程、电阻器阻值、电源端编号等。
4. 数据的整理和计算。
5. 按记录及计算的数据用坐标纸画出曲线，图纸尺寸不小于 $8\text{ cm} \times 8\text{ cm}$ ，曲线要用曲线尺或曲线板连成光滑曲线，不在曲线上的点仍按实际数据标出。
6. 根据数据和曲线进行计算和分析，说明实验结果与理论是否符合，可对某些问题提出一些自己的见解并写出结论。实验报告应写在一定规格的报告纸上，保持整洁。
7. 实验后每人独立完成一份报告，并按时送交指导教师批阅。

第三节 电机学实验项目和内容

一、实验总学时（课外学时/课内学时）

总学分：36。

二、实验的地位、作用和目的

电机学实验是电机学 A (AI 、 AII)、电机学 B、电机与拖动基础等课程的重要组成部分，是教学过程中重要的实验环节。通过实验，使学生加深对课堂教学内容的理解，培养学生使用实验设备的能力和运用实验方法研究电机及其装置的初步能力。

三、基本原理及课程简介

电机学 AI 、电机学 AII 和电机学 B 是电气工程与自动化专业的专业基础课，该课程使学生掌握有关直流电动机、直流发电机、变压器、交流感应电动机、交流同步电机及其装置的电磁过程、基本原理、控制方法、设计计算及技术指标等，并在实验环节上验证课堂理论。

四、实验基本要求

1. 由上课教师和实验指导教师讲解实验目的和要求、实验的基本原理、实验设备性能及安全事项。
2. 实验小组人数每组 3~5 人，每个实验 90 分钟，课程内应完成实验方法设计并独立完成实验。
3. 教学实验除验证课堂理论外，还要求学生掌握各种电气参数的测试方法，了解实验仪器、设备的工作原理和使用方法。

五、考核与报告

1. 实验后学生整理实验数据及波形，符合实验的教学要求并得到指导教师肯定以后，学生方可离开实验室。
2. 指导教师对每份实验报告进行批改、评分。

六、实验仪器设备配置

实验仪器设备配备如下：

1. 实验机组及其装置 1 套；
2. 导线若干、万用表、测速仪、电压表、电流表、功率表等。

七、实验项目与内容提要

序号	实验项目名称	内 容 提 要	学时	实验类型
1	直流机变压器认识实验	1. 观察直流电机及变压器内部结构； 2. 熟悉控制台操作； 3. 了解实验的基本要求	2	验证型
2	单相变压器实验	1. 空载实验； 2. 短路实验； 3. 负载实验	2	综合设计型
3	三相变压器实验	1. 空载实验； 2. 短路实验； 3. 负载实验	2	综合设计型
4	三相变压器连接组实验	1. 测量变压器的极性； 2. 判别连接组； 3. 观察电流电势波形（演示）	2	综合设计型
5	直流发电机实验	1. 他励发电机的空载特性； 2. 他励发电机外特性； 3. 并励发电机自励过程； 4. 并励发电机的外特性； 5. 积复励发电机外特性	2	综合设计型
6	直流并励电动机实验	1. 检查直流电动机转向； 2. 测量直流电动机—发电机组的空载损耗以及空载转矩； 3. 测量机械特性和工作特性； 4. 测量调速特性	2	综合设计型
7	三相异步电机、同步电机认识实验	1. 观察异步机、同步机内部结构； 2. 熟悉实验台操作； 3. 测量异步机定子电阻	2	验证型
8	三相绕组与旋转磁场实验	1. 三相绕组的下线与连线； 2. 用指南针检查旋转磁场的转向	2	综合设计型
9	三相感应电动机的工作特性实验	1. 测量定子绕组的冷态电阻； 2. 测量定子绕组的首末端； 3. 作空载及短路实验； 4. 作负载实验	2	综合设计型
10	三相感应电动机的启动与调速实验	1. 星形-三角形启动； 2. 调压器法启动； 3. 绕线式感应电动机转子串电阻启动； 4. 绕组时感应电动机转子串电子调速； 5. 作不同串转子电阻时的机械特性	2	综合设计型

续表

序号	实验项目名称	内容提要	学时	实验类型
11	三相感应电机变频调速实验	1. 变频启动实验； 2. 变频调速实验	2	综合设计型
12	同步发电机工作特性实验	1. 空载实验； 2. 短路实验； 3. 外特性实验	2	综合设计型
13	同步发电机并网实验	1. 并联运行时保持有功功率不变时无功功率调节，测量励磁电流与电枢电流数值； 2. 关联运行时有功功率的调节； 3. 用旋转灯光法作同步发电机并网实验	2	综合设计型
14	同步电动机实验	1. 同步电动机的异步启动； 2. V型曲线的测量； 3. 测取同步电动机工作特性	2	综合设计型

第四节 电机学线上虚拟实验

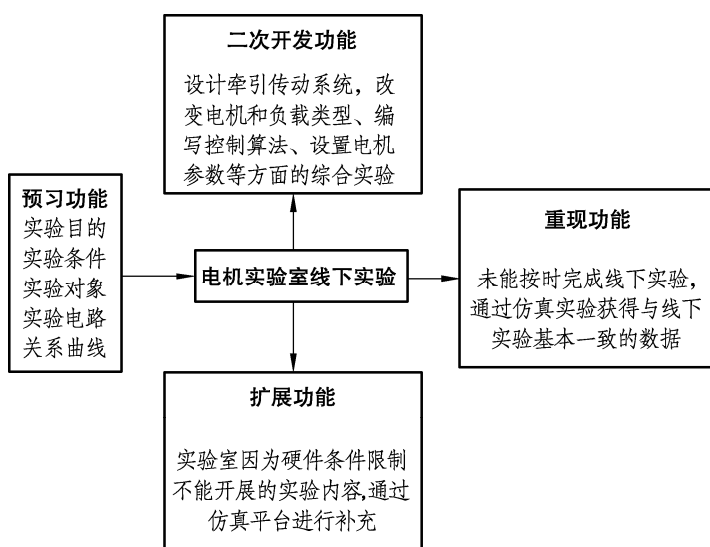
随着线上虚拟教学技术不断发展，很多高校在探索理论教学的线上教学模式的同时，也投入大量资金和精力筹建虚拟仿真实验平台，开展虚拟实践教学的应用方法研究。这不仅有利于因特殊形势无法开展线下教学条件下，能够实现“停课不停教、停课不停学”“一键在手、即时切换、从容应对”教学目标，同时也可以现有的实验硬件、技术和场所条件下，为线下实验教学提供补充、辅助和延展，进一步提高实验教学质量。为此，课题组基于 Matlab 自主研发了电机学虚拟仿真实验软件，探索新的实验教学模式，实现基于实 + 虚混合的线下线上实验教学新模式。

一、电机学虚拟仿真实验功能设计

虚拟仿真实验平台顶层功能设计如图 0-1 所示。

(一) 预习功能

学生通过软件在课前对相关实验项目进行仿真实验，有助于了解实验目的、实验条件、实验电路、实验对象以及实验对象间的关系曲线等。形象生动的仿真实验预习方法更加深入直观，显著提升预习效果。



（二）重现功能

实验室能够完成的实验内容和实验步骤，在虚拟仿真实验平台软件中都可以“重现式”实现。电机参数保持一致，实验步骤也保持一致，实验结果具有互通性。

（三）扩展功能

有些实验项目，由于现有的实验设备硬件条件不足导致无法开展部分实验内容，通过仿真实验很好地实现“实+虚”的结合，有效地扩展实验教学内容。比如，在现有的直流电机实验中，电机机组没有安装力矩传感器，因此涉及电机转矩相关的实验内容，“实”的教学中不是缺失状态就是采用近似计算的方法，都不能很好地满足实验需求。但是在仿真软件“虚”的实验中可以直接输出电机的电磁转矩和负载转矩，这些在没有传感器支撑的实验台中是无法实现的，不管是曲线还是实时的数字显示都可以方便准确的展现。

（四）二次开发功能

仿真实验提供开放的开发环境和基础模型，学生根据需要自己设计传动系统，选择电机类型、编写控制算法、改变负载、设置电机参数等，开发综合性创新型实验，使学生综合设计运用水平得到提高。

二、电机学仿真实验项目设计

在内容设计上，主要包括了直流电机、变压器、异步电机、同步电机和特种电机

5 大部分，划分为 15 个子实验项目，如图 0-2 所示。其中，特种电机部分，主要是为了满足二次开发所用，通过后台调用，在模型基础上进行综合性和设计性的实验。

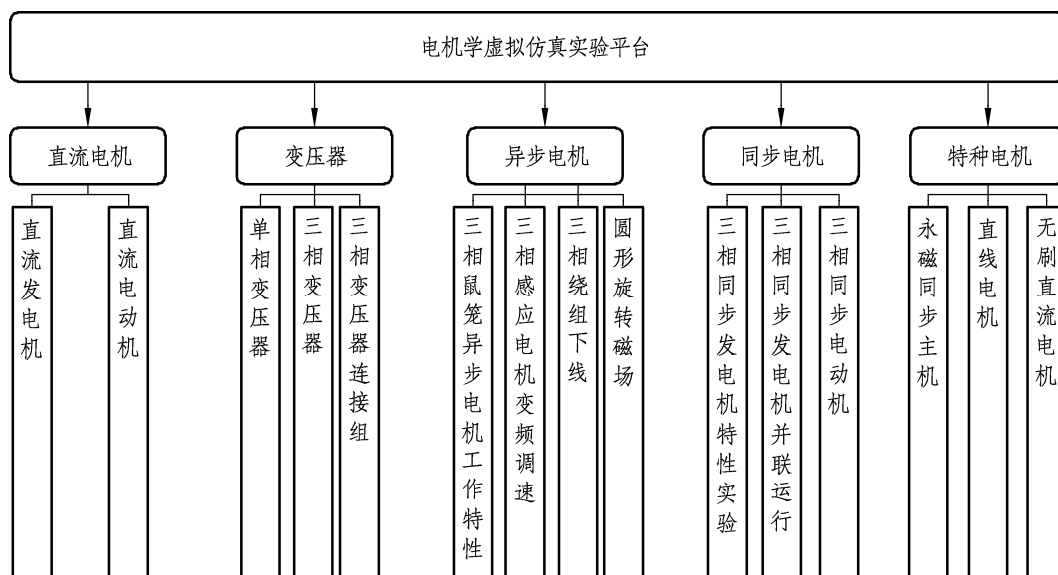


图 0-2 电机学虚拟仿真实验内容设计框图

利用研发的电机学虚拟仿真实验教学软件，采用基于“实 + 虚”的线下线上混合教学模式，高效地利用预习功能、重现功能、扩展功能和二次开发功能，可使学生课前预习效果得到提升，课中动手能力得到加强，课后撰写的报告更加规范，实验教学质量提升显著。虚实结合、互为补充，使得实验不受时间、空间和设备的限制，丰富了实验教学手段和教学方式。