

“电力系统建模与仿真”课程的教学实践与改革

顾秀芳 郭力萍 韩如月 徐 涛 李静宇 张 娜

内蒙古工业大学电力学院，呼和浩特

摘 要 | 电力系统建模与仿真是电力系统运行分析及决策的重要依据，也是开展电力系统科学研究的重要内容。电力系统建模理论不仅包含电力系统分析基本理论和方法、数据与信号系统理论和数学分析方法，还需要借助于计算机分析软件，将建模理论进行仿真实践。作为一门研究生课程，在理论教学和仿真实践方面均面临着较大的挑战。本文结合课程特点和教学目标，从教学内容整合、仿真实验设计、学习评价等方面探讨了课程改革的方式。

关键词 | 电力系统；建模；教学内容；仿真实验

Copyright © 2023 by author (s) and SciScan Publishing Limited

This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



电力系统数字仿真在电力系统设计、规划、运行等方面被广泛应用，仿真的结果通常被作为相关决策的重要依据，其准确性越来越受到重视^[1, 2]。系统建模与仿真作为一门研究生公共基础课，与研究生未来的科研工作紧密相连，是解决现场实际生产问题的重要分析手段^[3]。

建模与仿真课程具有理论与实践融合、以实践为主的特点^[4]。电气工程及其自动化专业建模与仿真相关课程在各高校均有所开设，课程特色不一，侧重点也各不相同。文献 5 ~ 7 中分别结合课程特点，引入了工程设计案例，借助 MATLAB 实现了教学和仿真的有机结合。“电子线路仿真设计与实验实例”^[7]课程以基本电路设计制作与检测实例为主线，以最为流行的 EDA 软件之一 Multisim 为辅助工具，编排设计了在“电路”“模拟电子技术”“数字电子技术”等电子电气类专业基础课程教学中的电子线路仿真设计与实验实例。网络课程的特色之一是以设计制作项目为主，将设计与实验要求分解为基本要求、一级拓展和二级拓展等不同层次，倡导一个项目、多种解决方案，满足不同层次学习者的学习要求。针对仿真实践性较强的课程，在现代化的教学中引入“雨课堂”完成课中的实时互动和课后的数据总结对提高课堂授课效果有积极作用^[3]。通过选择各行业案例并进行分类、排序，实现了实验课时量、

基金项目：内蒙古工业大学校级课程建设项目（项目编号：YHX2018003）。

作者简介：顾秀芳，硕士，副教授，研究方向电力系统运行与分析，E-mail: 1142418500@qq.com。

文章引用：顾秀芳，郭力萍，韩如月，等. “电力系统建模与仿真”课程的教学实践与改革 [J]. 教育研讨, 2023, 5 (1): 23-28. <https://doi.org/10.35534/es.0501004>

实验进度安排与理论模块教学的一致性,以便学生在学习完理论知识后,可以迅速通过实验进行训练,在实验中加深对理论知识的理解^[8,9]。

综合以上文献可以看到:MATLAB 由于具有信号和数据处理及计算能力强、图形可视化功能好等优势^[10],网络课程较多地应用 MATLAB。但是 MATLAB 网络课程偏向于基础使用方法的介绍,针对电力系统的模型搭建及应用分析方面的资源较为缺乏。

本课程从开设以来,存在着建模理论涉及内容多,教学内容结构不清晰的问题、仿真实践环节薄弱等突出问题。本文将结合电力系统建模与仿真课程的特点,从理论和仿真两方面进行课程建设与改革的探讨,梳理形成完整和系统化的理论结构以及有效的仿真实验方案,最后介绍相关教学和评价方式的改革方案。

1 课程建设历史和存在的问题分析

1.1 本课程建设历史

课程最初设置于 2011 年,授课对象为电气工程(一级学科)全日制研究生,采用的教材为参考文献^[1]。课程建设内容和过程包括以下内容。

1.1.1 学时分配

2017 年之前,课程计划 32 学时,全部为理论教学;从 2017 年至今,除保留 24 学时理论教学外,计划中安排了 8 学时仿真实验。第二学期开设,授课对象为全日制电气工程(专硕)、电力系统及其自动化(学硕)专业,选课人数占总人数的 60% 左右。

1.1.2 内容建设

课程开设之初,授课内容包括电力系统建模基本概念、基本理论和应用分析。课程以建模基本理论为基础,包括建模数据来源、模型分析及参数辨识、建模理论应用分析。仿真实践环节主要通过 MATLAB 完成模型搭建和参数辨识,选取发电机抛载实验的参数辨识作为算例。原有教学内容结构如图 1 所示。

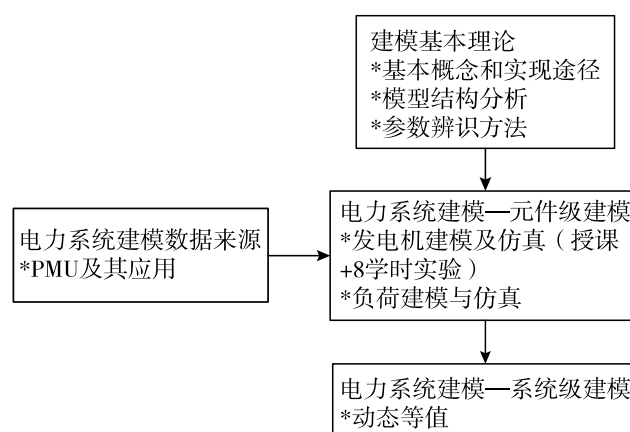


图 1 原有教学内容结构

Figure 1 Original teaching content structure

总体来看,课程内容的设置主要结合课程的教学目标和教材内容确定,涵盖了电力系统建模的相关

理论和知识,包括的教学内容主要有以下几部分。

(1) 建模基本理论:主要包括建模基本概念、实现途径和模型结构分析方法,是适用于系统模型建模的一般性理论。涉及到理论较多,如优化算法、数据拟合、频域时域参数辨识方法等,是教学中的重点和难点。建模基本理论按建模的基本规律构建,即实现途径选择—结构特征分析—参数辨识,是构建模型的基本理论和方法。

(2) 电力系统建模:分为发电机/负荷的元件级建模和系统级建模。其中发电机/负荷的建模是建模理论的应用,系统级建模方法相对独立,作为建模理论的拓展。建模数据来源针对 PMU 展开。

(3) 仿真实践:以 MATLAB 为仿真平台,搭建发电机抛载实验模型,获取抛载实验数据,运用优化算法实现参数辨识。此实验主要考查学生参数辨识理论的理解及优化算法的程序实现。

1.2 课程建设过程存在的问题

在课程建设中,存在以下不足需要完善和解决。

(1) 课程内容还需要完善。建模理论涉及的优化算法、频域和时域分析方法、数据拟合方法是本专业本科课程中较少涉及的内容,而所选教材为专著,内容多为作者研究成果。与一般教材相比,内容上缺少必要的理论铺垫,所以需要在教学内容中补充和完善相关理论和必要的实现方法。

(2) 教材中虽然有与理论内容相对应的仿真算例,但是缺少仿真实验内容的实现过程。学生在学习过程中,一方面由于实验部分的内容、难度和理论部分不一致造成了理论和实践的脱节。另一方面,不论从建模思想还是仿真实践上来讲,复杂的算例对于学生来讲都会显得较为吃力,所以如何完善仿真实践的实施方案,为学生提供更全面更有效的仿真实验方法指导是一个突出的问题。

2 教学内容的整合和优化

为使教学内容更有效地贴合教学目标,以建模规律为导向,以建模实现流程为主线,优化和整合了教学内容,形成了建模基本理论、实现方法和仿真实践的教学内容,优化后的教学内容结构如图 2 所示。

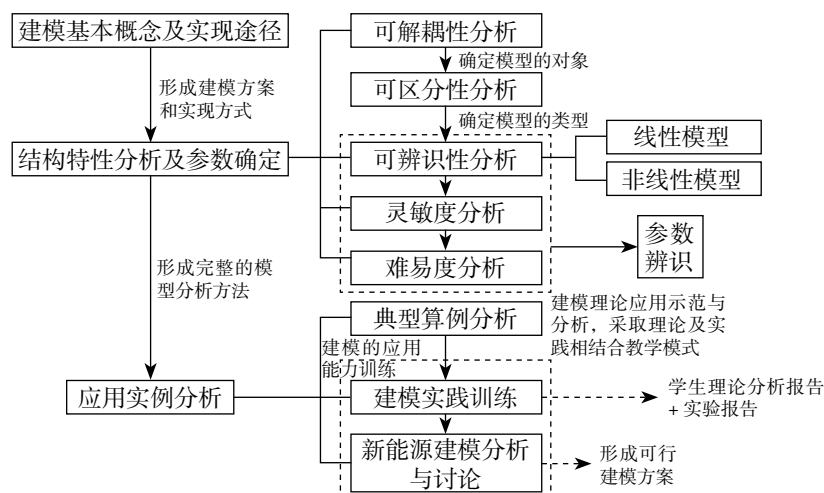


图 2 优化后的建模理论结构及逻辑关系图

Figure 2 Optimized modeling theoretical structure and logical relationship diagram

在基本理论和仿真实践中均做了进一步的优化,体现在以下两个方面。

(1) 建模理论:补充了建模的相关理论、公式的推导,细化了基本理论的内涵和拓展,加强了建模理论应用思路分析的训练,为仿真实验提供方向性的引导。将原有发电机建模、负荷建模作为课堂讨论应用案例,从模型结构分析、参数辨识方法、仿真实现等方面分析其建模思想和实现方法。通过教学内容的优化设计,教学脉络更加清晰,理论基础更加扎实,结构趋于合理。

(2) 仿真实验:为加深学生建模理论的理解,培养学生分析问题的能力,课程内容设计安排了与建模理论各环节一一对应的仿真实验,选取典型算例,要求学生完成算例模型结构分析、参数辨识的理论、仿真实现及校验。最后完成相对独立的电力系统建模和仿真。

通过教学内容的整合,不仅夯实了建模理论基础,为理论讲授挪出更多的空间进行深挖细剖,也为学生提供了更多学习和讨论的机会。经过两轮教学的调整和优化,课堂教学效果有所提升,形成本课程理论与实践相结合、并重的教学内容体系。

3 理论和实践能力并重的教学改革

注重培养研究生的研究能力,从本学科科学研究需求的角度培养学生的建模分析能力和仿真实验能力。

课程建设过程中,加强了学生建模仿真方面能力的训练,将教学侧重点放在学生实现仿真的质量上。要求学生不仅对建模理论要有正确的理解,更要保证高质量地完成仿真任务。

具体教学安排为:学生选择算例作为小组建模和仿真实践的对象,采用学习汇报和课堂讨论形式进行理论学习和仿真实实现的中期成果展示。成果汇报中,不仅要求理论分析要有深度,同时增加了仿真实实践的汇报。在仿真实实践汇报中,要求学生讲清仿真模型实现方法、数据获取方法、数据处理方法及实现(参数辨识)。

通过两个环节的训练,纠正了学生理论学习中的误区、盲区,提高了建模理论学习的能力,加深了对建模理论的理解。同时加强了对学生仿真实实践过程的有效监督和管理,提升了仿真实实践的质量,提高了学生建模和参数辨识的能力。在建模实现方法上,增加了模型的选择和比较、多种参数辨识分析方法和实现方法、校核,基本实现了建模全过程的训练。

4 教学方法和评价

4.1 教学方法改革

在理论教学方面,改变以往教学以教师为中心的方式,在教学中融入了学生参与的互动方式。通过课堂练习、提问等方式提升了学生理论学习的理解深度。

针对课程目标和特点,在不同学期均设置了两个学习任务:理论应用和仿真实实践。具体实施过程如下。

(1) 布置小组任务完成所选建模对象相关的背景、理论知识及建模仿真思路的学习任务;

(2) 小组汇报学习成果,教师和其他小组进行提问,教师点评,指出不足和问题,小组进行修改、完善后再提交。

通过小组汇报,开拓了学生的思路,更加深入地了解了不同对象的建模方法、仿真思路,同时保证

了仿真实践报告的正确性和合理性。在学生完成课程学习后,要求学生形成两个学习成果:建模算例理论学习报告和建模仿真实践报告,形成过程考核的成绩。

通过以上教学内容和教学方式的调整,提高了学生的学习积极性,加强学生理论应用能力。

4.2 成绩评定方式

考核方式包括:期末考试和学习报告两部分。课程建设经历了两轮的教学改革,考核方式和比例也在教学建设中不断完善,趋向于课程建设目标。教学改革前、后三个学期的考核方式和比例分别为:

- (1) 2019—2020(二)学期:包括期末考试(70%),仿真实践报告30%;
- (2) 2020—2021(二)学期:包括期末考试(60%),理论学习报告20%、仿真实践报告(20%);
- (3) 2021—2022(二)学期:包括期末考试(50%),课堂测试及建模方法讨论(20%)、仿真实践报告(30%)。

期末考试以基本理论为主,重点考查学生建模理论的理解和分析能力。此项比例呈现逐年降低的趋势,增加了更为灵活的考核形式,如理论学习报告、课堂测试及讨论。

随着教学改革的不断深入,对于仿真实践报告考核,在算例的选择、考核的能力范围和报告质量等方面均进行了不断地提升。

第一轮中的仿真实践报告所有小组完成的算例相同,存在缺乏有效过程监督,重点在于考核学生算例的完成,实践表明学生在建模理论应用和仿真细节存在较多问题;第二轮教学考核方式将学习报告分解为算例的理論学习和仿真实践两部分,增加的算例的理論学习及汇报环节,有效保证了仿真实践报告的质量,此轮考核重点在于学生对于完整算例的仿真理论及实现;第三轮教学考核中,降低了仿真算例的难度,但仿真的内容与理论的结合度更高,通过仿真内容交叉选择的方式,各小组的仿真内容综合起来后几乎涵盖了所有建模理论,学生在充分地讨论算例仿真实现的基础上,完成的实践报告质量有了明显的提高。

为有效规范学生的理论学习报告和实验报告的撰写,编写了撰写规范作为模板下发给学生。实践表明,规范的要求有助于提高学生的报告质量。

5 结语

电力系统建模与仿真在电力系统运行、规划设计和研究中均是一项重要工作。本文针对电力系统建模理论和仿真实践,讨论了建模理论的构建、仿真实现方式,得到的结论有。

(1) 以建模规律为导向,以建模实现流程为主线,形成了结构清晰的课程教学内容。教学内容的优化体现了建模基本理论的基础地位,同时体现了仿真实践的重要性。

(2) 实现了建模理论和仿真实践的有机结合。不仅按建模逻辑理清了建模理论,同时补充和完善了相关的实现方法,实现了与仿真实践有效衔接。典型算例的学习是一个有效的手段,它不仅实现了建模理论的延伸训练,更为仿真实践做了有效的铺垫。

(3) 有效的教学方法和评价方式能够促进建模理论的深入和仿真实践的实施。

参考文献

- [1] 鞠平. 电力系统建模理论与方法 [M]. 科学出版社, 2010.
- [2] 郭琦, 卢远宏. 新型电力系统的建模仿真关键技术及展望 [J]. 电力系统自动化, 2022, 46 (10): 18–32.
- [3] 王卫国. 虚拟仿真实验教学中心建设思考与建议 [J]. 实验室研究与探索, 2013, 32 (12): 5–8.
- [4] 刘雁, 宁飞. 基于雨课堂的系统建模与仿真课程混合教学模式改革 [J]. 大学教育, 2020 (5): 53–55.
- [5] 陈丹主. 中国大学MOOC网站 [Z/OL]. <https://www.icourse163.org/course>.
- [6] 陈来荣, 陈锋军. 中国大学MOOC网站 [Z/OL]. <https://www.icourse163.org/course>.
- [7] 王连英, 胡茗主. 中国大学MOOC网站 [Z/OL]. <https://www.icourse163.org/course>.
- [8] 陈菲菲. 把握课程内涵, 探索课堂变革 [M]. 昆明: 云南大学出版社, 2021.
- [9] 宋世领, 张孝琪, 胡焕玲, 等. 建模与仿真课程的实验教学探索 [J]. 装备制造技术, 2022 (5): 182–183+223.
- [10] 王艳红, 李杨, 戴纯春, 等. Multisim和Matlab软件在电路仿真中的应用比较 [J]. 计算机时代, 2011 (8): 22–24.

Teaching Practice and Reform of Power System Modeling and Simulation Course

Gu Xiufang Guo Liping Han Ruyue Xu Tao Li Jingyu Zhang Na

School of Electrical Engineering, Inner Mongolia University of Technology, Hohhot

Abstract: Power system modeling and simulation is an important basis for power system operation analysis and decision-making, and also an important part of power system research. Power system modeling includes not only basic theory of power analysis, data and signal system and methods of mathematics analysis, but also needs simulation practise for modeling theory by simulation software. As a postgraduate course, this paper discusses the way of curriculum reform from the aspects of teaching content integration, simulation experiment design and learning evaluation.

Key words: Electric power system; Modeling; Teaching content; Simulation experiment