

Connotation Construction and Thinking of the Case Database of Modern Power Electronic Technology

Pengcheng Li Yingjun Guo* Huixian Liu

School of Electrical Engineering, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang, Hebei, 050018, China

Abstract

The connotative construction of the teaching case bank of *Modern Power Electronic Technology* for professional master's degree students can help narrow the gap between the talent training level and the high requirements of employers, and continuously promote the development of teaching quality and school-running level to high quality. The case closely combined with the key technology of the construction of new power system with new energy as the main body, paid attention to the close combination of theory and practice, and the parameters were in line with the engineering practice. From the perspective of comprehensive cases, four application modes of grid-connected inverter, landscape converter, energy storage converter and hydrogen production converter are preferred. Constantly think about the problems existing in the process of teaching and research, constantly absorb advanced teaching concepts to enrich the teaching process, constantly introduce scientific assessment methods to evaluate the teaching effect, and strive to build a course favored by students. Through the study of cases, professional degree graduate students can understand and master the principles of relevant courses, and have reference and inspiration for practical work.

Keywords

case base; connotative construction; practical ability

现代电力电子技术案例库内涵式建设与思考

李鹏程 郭英军* 刘慧贤

河北科技大学电气工程学院, 中国·河北 石家庄 050018

摘要

专业硕士学位研究生《现代电力电子技术》教学案例库的内涵式建设有助于缩小人才培养水平和用人单位高要求的差距,持续推动教学质量和办学水平向高质量发展。案例紧密结合当前以新能源为主体新型电力系统建设的关键技术,注重理论与实践紧密结合,参数合乎工程实际。从综合性案例的角度,优选了并网型逆变器、风光变流器、储能变流器和制氢变流器四类应用模式。不断思考教学和研究过程中存在的问题,不断吸取先进的教学理念丰富教学过程,不断引入科学的考核方式评估教学效果,努力建设一门受学生喜欢的课程。通过案例的学习,能使专业学位研究生理解和掌握相关课程原理,对实践工作具有参考性和启发性。

关键词

案例库; 内涵式建设; 实践能力

1 引言

“十四五”以可再生能源发电、分布式电源、微电网、储能、电动汽车为代表的能源生产消费技术正在加速推动传统电力行业向新能源电力系统演变;以大数据、云计算、AI技术、区块链等为代表的数字技术正在推动全球工业经

济向数字经济演变;以深空探测、载人航天、造船技术和深海探测为代表的装备制造技术层出不穷,均以现代电力电子技术密切相关。当前,是实现“双碳”目标的关键期、窗口期,中国要构建清洁低碳安全高效的现代能源体系,控制化石能源总量,着力提高利用效能,实施可再生能源替代行动,深化电力体制改革,必将伴随着强随机性、波动性的新能源大规模并网以及电动汽车、分布式电源等交互式设备大量接入。传统电力系统也将迎来高比例新能源接入和高比例电力电子化的“双高”时代,各行各业也迎来电力电子技术专业人才的巨大需求期^[1]。

为适应中国专业学位教育发展的客观需求,进一步提高专业学位研究生教育教学质量,改革专业学位培养模式,需要加速专业学位研究生专业课程教学案例库内涵式建设。

【作者简介】李鹏程(1985-),男,中国河北高碑店人,博士,讲师,从事电力电子技术、电源技术和研究生现代电力电子技术研究。

【通讯作者】郭英军(1973-),男,中国河北邢台人,硕士,教授,从事电力电子技术、PLC自动控制和研究生现代电力电子技术研究。

《现代电力电子技术》是我校电气工程方向全日制工程硕士必修的专业基础课,学习人数约占学生总人数的25%。开展专业研究生教学案例内涵式建设,对于提高教师的教学水平和激发学生的探索精神具有重要意义。进行现代电力电子技术课程教学案例库内涵式建设,对于电气工程、能源动力、电子信息专业学位学生工程实践能力的提高,拓宽电气工程领域研究生的知识面,紧跟学科前沿知识及工程技术,培养具有综合素质的工程技能专业型研究生具有重要意义。对相关专业学位课程案例教学起到支撑作用,同时普及和提高专业学位案例教学,推动专业学位研究生培养模式改革创新。此外,与我校同档次的高校就有上百所开展电气工程专业学位研究生的培养,现代电力电子技术作为学位必修课,其应用案例库必将有很大的推广与应用前景^[2]。

课程组教师近几年一直从事新能源发电中的电力电子技术应用研究,积累了丰富的实际应用案例,结合教学大纲提炼了授课案例在课程教学中进行了初步实践。此外,课程组教师指导的研究生已搭建了丰富的面向新能源发电的仿真模型,为案例库内涵式建设奠定了一定的基础。

2 教学案例库内涵式建设

电气工程领域专业研究生的现代电力电子技术,依然按照传统课程教学内容进行教学,理论学时多且内容没有紧跟技术的发展,学生实践动手能力得不到锻炼。为此,研究生课程急需建设一门“现代电力电子技术”的教学案例库,从工程案例、分析方法、实践能力、考核内容和考核方法等方面进行内涵式建设,做到既要与本科阶段电力电子技术知识的衔接与深化,又要激发学生的学习兴趣,提高研究分析能力^[3]。

教学案例紧密结合当前以新能源为主体新型电力系统建设的关键技术,注重理论与实践紧密结合,参数合乎工程实际。教学案例具有一定的深度和综合性,探讨和研究课程所涉及的多个原理的理论架构或应用模式,通过案例的学习,能使专业学位研究生理解和掌握相关课程讲述的原理,对实践工作具有参考性和启发性。

2.1 并网型逆变器案例

并网逆变器是所有新能源发电装置与电网之间的接口单元,起着功率传递和电能变换的作用。并网逆变器按主拓扑划分有两电平、三电平和五电平等结构,按调制方式分有正弦脉宽调制和矢量调制,按控制方式分有跟网型控制和构网型控制,三部分内容可根据参数要求进行组合,实现性能最优。考虑功率等级和电压等级,应用较多的是三电平电路,主要包括二极管钳位、有源钳位、飞跨电容 I 型三电平和 T 型三电平两大类。在实验过程中,逐步培养学生参数归一化的思维,将不同电压、电流等级的信号归一化处理,便于控制器参数的设计^[4]。跟网型控制主要应用在强电网环境下,主要有恒压恒频控制、P-F/Q-U 下垂控制;构网型控制主要

应用在弱电网环境下,主要有虚拟同步机控制和各类 HOPF 震荡控制,根据电网强度的变化也可以在两类控制体系间切换。通过并网型逆变器案例库的模式分析、主电路参数计算、模型建立、控制参数计算和实验结果分析,有利于提升学生的认知水平和计算能力。

引导学生思考:根据任务书如何选择主电路、调制方式、锁相方式和控制如何确定,三者之间是否存在共性?通过半实物实验平台加以验证,不断提升学生的认知水平、计算能力和动手能力。

2.2 风和光变流器案例

风光变流器属于源端变流器,主要负责将波动的能源转换成直流电实现最大功率跟踪控制或者恒压控制,但所选用的变流器不同。风力机侧变流器将三相电整流成直流,需要控制转矩和转速,按传感器类型可分有编码器控制和无编码器磁链估计控制控制两种。光伏变流器属于直流变流器多采用交错 Boost 电路,降低输入侧电流纹波,有利于实现最大功率跟踪和直流升压。最大功率跟踪控制方法主要有传统的爬山法以及基于模型的预测控制技术,爬山法属于扰动观测法,是在功率波动的基础上人为叠加了一个扰动,对系统的稳定性来说是不利的;模型预测控制实现最大功率跟踪属于计算机智能控制,能大概率预测未来几个周期的功率输出情况,从而实现有效的功率跟踪,超调和扰动较小,是一种理想的控制方法。该案例主要训练学生对模型算法的理解和代码编程的能力,有利于提升学生工程应用的能力^[5]。

引导学生思考:风机变流器和光伏变流器集中接入电网好,还是分布式接入好?选用那种变流器拓扑和控制方式能够满足工程应用的需求,各自存在的风险问题挑战是什么?训练学生文献调研、分析问题和解决问题的能力,最终整理出来可操作、量化的报告。

2.3 储能变流器案例

储能多采用飞轮与电化学两种储能技术方案,飞轮和电化学储能按一定的比例搭配,组成混合储能系统共同响应频率波动和电网二次调频指令。飞轮储能系统功率密度大,寿命长,适合短时大功率、频繁地充放电场景。锂电池储能系统能量密度大,适合较长时间的功率和能量支撑,通过结合两种储能系统的优点,可提升储能系统的调频性能、寿命,进而实现经济收益的最大化。储能变流器跟网型-构网型组合控制技术,跟网型控制具有灵活的调频调压性能,但对电网来说引入了一个负阻尼系统使电网稳定性变弱;构网型控制具有很强的电压支撑能力,对电网来说引入了一个正阻尼,但调频能力较弱,需要跟网型-构网型组合灵活调节系统阻尼增强稳定性。分布式一次调频和二次调频协同控制,适时调整频率响应状态,实现分时段分区间灵活控制频率。该案例主要训练学生的分析能力以及对控制策略的灵活掌握能力,有助于培养储能专业型人才。随着电动汽车的普及和双向充放电技术的放开,届时将极大的促进可再生能源的

有效利用。

引导学生思考：传统电机学和现代电力电子技术的区别和联系是什么？储能技术在改变传统发输配用电的同时也在积极借鉴电机转动惯量大、抗干扰能力强的优势，也在助力现代电力电子技术不断走向成熟和更广阔的应用。

2.4 制氢变流器案例

制氢变流器主要分基于电网的晶闸管整流变流器和基于直流微网的斩波变流器。基于晶闸管的制氢变流器可以做到万安级，通过多脉波整流技术可以轻松实现大功率制氢，对电网的谐波污染较小。基于直流微网的全控型器件降压斩波电路虽没有晶闸管整流的规模，但有助于直接使用绿色能源制氢，有助于实现对绿色能源的跨周期、大规模存储和利用。光伏发电与电解槽的连接方式可分为直接耦合和间接耦合两种。在直接耦合中，可再生能源直接与电解槽相连接，将可再生能源产生的电能直接输入到电解槽中进行水电解反应，将水分解成氢气和氧气。直接耦合的系统结构相对简单，能够实现较高的能量转化效率，因为没有额外的能量转换过程。直接耦合可以更快速地响应可再生能源输出功率的变化，提高了系统的动态响应性。在间接耦合中，可再生能源设备与电解槽之间通过变流器进行连接，其中涉及到能量转换和储存过程。间接耦合具有更大的灵活性，可以根据系统需求调整可再生能源的利用率和电解槽的运行模式。通过与电池或其他储能设备连接，间接耦合可以实现可再生能源的平滑输出，从而实现柔性制氢。在实际中，根据制氢系统的规模、性能要求和经济考虑等因素综合考虑，选择合适的连接方式。通过该案例的训练，学生可理解传统的可再生能源并网只能随发随用，不能大规模存储电能，而可再生能源

制氢却可将风光以氢能的形式固定下来，实现有效的存储。

考虑危化气体的安全性，通过观看现场视频的方式学习制氢、储氢和用氢的过程，不断引导学生思考如何才能从根本上解决可再生能源大规模存储和利用的难题。

最终的考核过程由学生案例讲解，分组演示，成果汇报，提交报告和答辩环节构成。系统的考核学生的知识储备、动手能力、讲解能力和回答问题的方式技巧等，给出客观公正的分数。

3 结语

现代电力电子技术还在社会生活中的各个领域都有成熟的应用，不断开发新的细分领域，不断完善教案、仿真和实验。持续推动教学案例库内涵式建设，不断打磨在教学过程中遇到的问题，思考更成熟的案例。认真分析专业硕士研究生在有效时间内的专业知识接受能力和动手能力，以及未来一段时间内的创新能力。力争能在整个研究生培养期间产生出来一篇优质的成果，产生较好的社会影响力。

参考文献

- [1] 钱祥忠.研究生课程“现代电力电子技术”教学改革研究[J].电气电子教学学报,2019,41(3):33-35.
- [2] 姜传龙,韩廷选,王旭龙,等.船舶电气应用现代电力电子技术的价值分析[J].船舶物资与市场,2021,29(12):32-34.
- [3] 陈燕东,段献忠,谢志为,等.大工程观融入“现代电力电子技术”教学方法[J].电气电子教学学报,2022,44(6):101-104.
- [4] 王斌,王颢雄,胡艳,等.电气工程及其自动化专业强化电力电子技术的教改实践[J].中国电力教育,2017(3):88-89.
- [5] 曾进辉,兰征,黄浪尘.电气工程专业研究生现代电力电子技术方向教改研究[J].教育现代化,2019,6(91):43-44.