

Research on the Electromagnetic Compatibility Analysis of Electric Drive System for Vehicle Engineering Postgraduate Training

Xiaoshan Wu Ming'en Xi Ying Xie

School of Vehicle Engineering, Chongqing University of Technology, Chongqing, 400054, China

Abstract

In response to the complex technical challenges posed by electromagnetic compatibility in new energy vehicle electric drive systems, this paper focuses on the practical difficulties in the current cultivation of graduate students in vehicle engineering. These include disconnects in knowledge structure that hinder the integration of “mechanical-electrical-magnetic” multidisciplinary knowledge, a curriculum system lagging behind industrial technological development, and a shortage of experimental and practical teaching resources. Based on this analysis, a systematic reform pathway is proposed: by constructing a modular and interdisciplinary new curriculum system, promoting the development of high-level practical platforms through deep industry-academia collaboration, and implementing a diversified evaluation mechanism centered on competency achievement and process assessment. This scheme aims to cultivate students' interdisciplinary knowledge structure and systemic innovation capability, supplying high-level, versatile talents with comprehensive engineering problem-solving skills to the new energy vehicle industry, thereby meeting the urgent demand for high-end talent driven by industrial transformation and upgrading.

Keywords

electric drive system; electromagnetic compatibility; vehicle engineering; graduate education

电驱动系统电磁兼容分析对车辆工程研究生培养问题探究

吴小珊 席明恩 谢颖

重庆理工大学车辆工程学院, 中国·重庆 400054

摘要

为应对新能源汽车电驱动系统电磁兼容性带来的复杂技术挑战, 本文聚焦当前车辆工程专业研究生培养中存在的现实困境, 具体包括知识结构难以支撑“机-电-磁”多学科融合、课程体系滞后于产业技术发展、实验与实践教学资源匮乏等多方面短板。基于此, 研究提出一套系统化改革路径: 通过构建模块化、交叉化的新型课程体系, 推进校企深度协同的高水平实践平台建设, 并实施以能力达成与过程评价为核心的多元考核机制。该方案致力于培养学生形成跨学科知识结构与系统创新能力, 为新能源汽车产业输送具备综合解决工程问题能力的高端复合型人才, 以切实满足行业转型升级对高层次人才的需求。

关键词

电驱动系统; 电磁兼容; 车辆工程; 研究生培养

1 引言

随着全球能源危机与环境污染问题日益严峻, 发展新能源汽车已成为世界主要国家的战略共识与产业竞争的焦点^[1]。我国将新能源汽车列为战略性新兴产业, 通过政策引

导与市场驱动, 已建立起全球领先的产业规模与技术优势^[2]^[3]。新能源汽车的核心在于以电驱动力替代传统内燃机, 其中, 电驱动系统作为车辆的“心脏”, 其性能直接决定了整车的动力性、经济性与可靠性^[4]。当前, 电驱动系统正向着高性能、高功率密度、高效率 and 高度集成化的方向飞速发展。然而, 电驱动系统既是强大的电磁干扰源, 同时也是敏感的受扰体。其内部功率器件的高频开关动作会产生高 dv/dt 和 di/dt , 通过传导和辐射方式发射电磁噪声^[5]。这些噪声威胁到车辆的行驶安全。因此, 电磁兼容性已不再是简单的“合规性”测试项目, 而是关乎整车功能安全、品牌声誉与市场准入的核心关键技术。

【基金项目】重庆市教育委员会科学技术研究项目“基于带载工况的电驱动系统电磁干扰机理及机电耦合建模”(项目编号: KJQN202501153)。

【作者简介】吴小珊(1987-), 女, 中国四川内江人, 博士, 讲师, 从事电驱动系统电磁兼容仿真及测试分析研究。

产业技术的快速迭代对高层次人才培养提出了严峻挑战^[6]。传统的车辆工程研究生培养体系,其知识架构多以机械、力学、热工及传统的汽车理论为核心,在电力电子、高频电磁场、微处理器控制等领域的课程设置与理论基础相对薄弱^{[7][8]}。这导致培养的研究生在面对电驱动系统 EMC 这类深度交叉的“机-电-磁-控”一体化问题时,常感到知识结构不完整、分析工具缺失、工程实践能力不足。现有的工程教育模式在培养学生解决此类复杂工程问题的系统性思维与创新能力方面存在明显滞后。因此,主动适应产业技术变革,深入探究并改革现有研究生培养模式,填补电驱动系统 EMC 领域高端人才培养的空白,不仅是提升我国新能源汽车产业核心竞争力的迫切需求,也是推动车辆工程学科自身内涵式发展与转型升级的内在要求。

2 现存主要问题剖析

当前车辆工程研究生培养体系在应对电驱动系统电磁兼容性这一前沿挑战时,暴露出以下五个相互关联的深层次问题,严重制约了高端复合型人才的输出质量。

2.1 知识结构断层:“强机弱电”的固有局限

传统车辆工程学科的知识体系长期以来以机械设计、车辆理论、力学与热力学为核心基础,形成了显著的“强机械、弱电控”路径依赖。这一固有格局导致培养的研究生在面对以电驱动为核心的新能源汽车技术时,普遍缺乏必要的高频电磁场理论与现代电力电子技术基础。具体表现为:学生对描述电磁现象本质的 Maxwell 方程组多停留在数学形式层面的理解,对其物理意义及其在工程实践中的体现认识不足;对电磁兼容至关重要的近场耦合机理、电磁波传播特性等基础概念理解模糊。在技术应用层面,学生对基于 SiC/GaN 等宽禁带半导体材料的功率变换器的高频开关特性、电路寄生参数的影响机制,以及电磁干扰的产生与传播路径分析等方面存在明显的的能力短板。这种电学知识的“结构性断层”使得学生在面对实际的 EMC 问题时,往往难以从电磁本质出发进行深入的机理分析和精确建模,只能停留在表面现象观察与经验试错的初级阶段,严重制约了其解决复杂工程问题的能力。

2.2 课程体系滞后:与产业技术迭代严重脱节

现有课程体系的更新速度已远远落后于电驱动技术的快速迭代步伐。目前的教学内容仍主要集中于经典的电磁兼容原理与基础标准介绍,对于 SiC(碳化硅)、GaN(氮化镓)等宽禁带半导体器件应用所引发的超高频、高强度 EMC 新挑战涉及甚少。教学中严重缺乏对系统级 EMC 设计方法、多物理场协同仿真技术以及智能 EMC 诊断与优化策略等前沿内容的系统讲授。当前的课程设置呈现出明显的“重理论推导、轻工程应用,重传统知识、轻前沿技术”倾向,形成了一个相对封闭的体系,未能将产业界最新的技术需求和发展成果有效转化为教学内容,导致学生所学知识与解决实际

工程问题所需技能之间存在着显著的“代差”,难以满足产业对人才的现实要求。

2.3 实践平台匮乏:理论与实践连接的桥梁缺失

EMC 作为一门高度依赖实验验证的工程学科,其人才培养亟需先进的实践平台支撑。然而现实情况是,多数高校的车辆工程专业严重缺乏与之匹配的专业级实验设备。造价高昂的电波暗室、完备的近场扫描测试系统及精密的传导干扰测试设备,因其昂贵的购置成本和复杂的维护要求,在高校中的普及率极低。即便部分院校开设了相关实验课程,也大多局限于原理演示性或结果验证性的基础实验,严重缺乏能够培养学生系统思维和创新能力的综合性、设计性 EMC 整改实践项目。这种深度的实践环节缺失,使得学生无法通过亲手操作专业仪器、定位具体干扰源、设计和实施有效整改措施等完整流程来深化理论认知,导致其理论知识与工程实践严重脱节,解决真实 EMC 问题的能力无从培养。

2.4 跨学科壁垒:资源整合与协同育人的体制机制障碍

电驱动系统 EMC 本质上是车辆工程、电气工程与电子信息工程深度交叉的技术领域,迫切需要跨学科的培养视角。然而,高校内部传统的学科划分与院系组织壁垒,使得课程资源共享、师资交叉聘任、科研协同攻关面临着重重的体制机制障碍。车辆工程专业的学生往往难以系统选修电气学院的《功率电子电磁兼容》或电子信息学院的《高频电路设计》等核心课程;各学院先进的实验室资源也大多处于“各自为政”的状态,缺乏有效的共享机制和协同培养平台。这种学科间的“孤岛效应”严重阻碍了学生构建完整的跨学科知识体系,与产业界对复合型人才的迫切需求形成鲜明对比。

2.5 师资力量不足:兼具理论深度与工程经验的导师稀缺

高素质的师资队伍是人才培养质量的关键保障。目前,能够胜任电驱动系统 EMC 领域教学与科研指导工作的研究生导师严重短缺。多数导师来源于传统机械或车辆工程背景,自身在高频电磁领域的研究积累相对有限;而来自电气、电子领域的导师又往往对整车系统的工程约束与集成要求理解不够深入。尤为缺乏的是那些既掌握深厚电磁理论基础,又具备在知名企业中主导过电驱动系统 EMC 正向开发与量产落地实战经验的“双师型”教师。这种结构性的师资短板,直接影响了研究生在前沿课题选择上的深度与广度、研究过程中的指导质量,以及工程创新能力的培养效果,成为制约人才培养质量提升的关键瓶颈。

3 拟解决问题分析

为确保前述培养模式能够有效落地并取得预期成效,必须建立一套清晰可行的实施路径与强有力的保障措施。本部分将从课程体系、实践平台、师资队伍与评价机制四个核

心维度,系统阐述其改革方案与实施要点。

3.1 课程体系改革方案:构建跨学科模块化课程群

为培养学生构建“机-电-磁”一体化的知识结构,将对现有碎片化课程进行系统性整合与重构,围绕“基础理论—专业技术—前沿交叉”三大模块推进课程建设。在基础理论方面,增设《高等电磁场与数值计算》《现代功率电子技术》作为学位基础课,重点夯实学生在高频电磁场分析与高频功率变换方面的数理基础,强化其对电磁本质的理解与现代功率器件工作机理的掌握,为后续电磁兼容性分析与设计提供坚实的理论支撑。在专业能力培养层面,设置《电驱动系统EMC设计与诊断》《新能源汽车电磁环境效应与标准》等核心课程,内容紧密结合产业技术前沿与发展趋势,系统引入宽禁带器件应用特性、系统级EMC仿真流程、多物理场耦合分析与优化等前沿专题,着力提升学生在复杂工程场景中的技术应用与问题解决能力。在前沿拓展方面,设立《智能驾驶感知系统EMC》《新能源车高压安全与电磁防护》等选修课,通过引入企业专家联合授课、开设技术前沿讲座、共建案例库等方式,动态更新课程内容,确保教学体系的前瞻性与产业适应性。同时,全面推行以复杂工程问题为导向的项目式学习(PBL),例如在《电驱动系统EMC设计与诊断》课程中,以“降低电机控制器辐射发射”为项目任务,组织学生形成跨学科项目团队,在完整的项目周期中完成从系统建模、仿真分析、方案设计到实验验证与优化的全流程训练,在实践中深化理论认知,在研究中提升创新能力,最终实现“做中学”与“学中研”的有机融合与深度统一。

3.2 实践教学平台建设方案:推进校企协同共建共享

针对当前实践资源匮乏的瓶颈,采取“内部提质、外部开源”的策略,系统构建多层次、开放式的实践教学平台。在校企合作方面,与行业内领军企业(如整车厂、零部件供应商及检测机构)签订战略合作协议,共建“电驱动系统EMC联合实验室”。该实验室采用“学校提供场地与基础资源、企业投入先进设备与技术”的共建模式,既服务于日常教学与毕业设计,也可作为企业前置的研发测试中心,实现资源互补与共赢发展。在实验体系构建上,打造“虚实结合”的递进式教学路径:一方面引入或自主开发覆盖元件、部件到系统级的EMC虚拟仿真实验库,要求学生在开展高成本实物实验前,先在CST、ANSYS等仿真平台上完成建模、分析与优化,以强化其数字化设计能力,并有效降低实验成本与风险;另一方面,在联合实验室内构建从“元件级(PCB板)→部件级(控制器/电机)→系统级(台架)”的实体实验体系,学生需亲手操作示波器、频谱分析仪、近场探头等设备,完成干扰源定位、滤波器设计与性能评估等综合性实验,从而扎实提升动手能力与工程直觉。

3.3 评价体系改革方案:突出过程考核与创新成果导向

为建立以能力达成为核心的多元化学业评价体系,引

导学生将学习重心从“知识积累”转向“能力生成”,我们将从课程考核与毕业评价两方面推进改革。在课程学习过程中,强化过程性考核与能力评估,显著降低期末一次性考试的权重,相应提升项目报告、专题研讨、实验操作和仿真分析等在总评成绩中的占比,重点考察学生在解决复杂工程问题中所展现的知识整合能力、创新思维与团队协作精神。在毕业成果评价方面,改革学位论文与毕业成果的认定标准,充分认可工程应用型研究的价值。学生的毕业成果不仅可以是高水平学术论文,也可以是企业采纳的技术方案、成功应用的仿真模型或已受理/授权的发明专利等。评审过程中,将以技术方案的创新性、问题解决的有效性及其成果的实际应用潜力作为核心评价指标,逐步构建符合工程专业学位特点的多元评价机制。

4 总结

本文系统剖析了当前车辆工程研究生培养体系在应对电驱动系统电磁兼容性挑战时所面临的根本性问题,并据此提出了一套从课程、实践到评价的综合性改革路径。改革的核心理念在于打破传统学科壁垒,推动知识体系从“强机弱电”向“机-电-磁”一体化重构,培养模式从理论灌输向解决复杂工程问题的能力生成转变。通过课程体系的重构、校企协同的实践平台建设以及多元评价机制的实施,最终目标是培养出具备扎实理论基础、卓越工程实践能力与前沿创新思维的高层次复合型人才,以此支撑我国新能源汽车产业在激烈全球竞争中保持核心优势,并推动车辆工程学科自身的与时俱进与内涵式发展。

参考文献

- [1] 刘诗文. 双碳目标下新能源汽车产业绿色低碳转型发展研究[J]. 现代商业,2025,(17):93-96.
- [2] 苏巧勤,张宇笑,吴佳怡,等. 中国新能源汽车产业国际竞争力研究[J]. 中国管理信息化,2025,28(19):86-89.
- [3] 陈军. 中美日欧新能源汽车产业发展策略比较研究[J]. 现代工业经济和信息化,2025,15(08):29-32+35.
- [4] 王婷婷. 新能源汽车产业发展现状及趋势[J]. 时代汽车,2025,(14):111-113.
- [5] 霍亚飞. 新能源汽车电驱系统电磁兼容设计优化方法研究[J]. 上海汽车,2025,(05):14-17.
- [6] 李路,吴贺,杨明昆,等. 面向产业需求的智能车辆工程专业实践创新型人才培养研究[J]. 佳木斯大学社会科学学报,2025,43(11):169-172.
- [7] 周冠,赵万忠,王源隆,等. 以产教融合和科教融汇为导向的车辆工程人才培养质量提升方法探索[J]. 工业和信息化教育,2025,(10):11-14.
- [8] 刘晓东,杜娟,包春江,等. 新工科背景下多学科交叉融合的车辆工程专业人才培养模式探索与实践[J]. 汽车实用技术,2025,50(18):96-101+118.