

浙江理工大学学报, 2019, 42(4): 436-442
Journal of Zhejiang Sci-Tech University
DOI:10.3969/j.issn.1673-3851(s).2019.04.015



结合电子设计竞赛的“电力电子技术” 课程教学改革实践

杨俊秀¹, 姚青¹, 赵文来¹, 张寅孩¹, 周高峰²

(1.浙江理工大学信息学院, 杭州 310018; 2.厦门大学电子科学与技术学院, 福建厦门 361005)

摘要: 电子设计竞赛是提高学生动手能力、加强创新设计能力、增进团队合作等能力的有效手段, 同时也能促进高校相关课程的改革。“电力电子技术”课程涉及电子技术、控制技术和电力技术, 主要内容包括电力电子器件、整流电路、逆变电路、直流-直流变换、交流-交流变频、PWM控制技术、软开关等, 课程实践性和工程性都很强。根据“电力电子技术”课程特点及存在的问题, 提出相应的课程教学改革思路并加以实践, 包括将“电力电子技术”课程与电子设计竞赛结合, 把电赛题目带进课堂, 通过案例式教学讲授知识点, 积极动员学生参与电子设计竞赛, 积累好的作品反馈于课程教学等。结果表明, 结合电子设计竞赛的“电力电子技术”课程选课学生数有明显提升, 参与电子设计竞赛的学生人数和获奖比例有一定提高。

关键词: 全国大学生电子设计竞赛; 直流-直流变换; 电力电子技术; 电赛赛题; 课程; 教学改革

中图分类号: TN30

文献标志码: A

文章编号: 1673-3851(2019)08-0436-07

Teaching reform practice of "Power and Electronics Technology" based on National Undergraduate Electronics Design Contest

YANG Junxiu¹, YAO Qing¹, ZHAO Wenlai¹, ZHANG Yin Hai¹, ZHOU Gaofeng²

(1.School of Information Science and Technology, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China; 2. College of Electronic Science and Technology, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: National Undergraduate Electronics Design Contest (NUEDC) is an effective method to improve students' operation ability, strengthen innovation ability, and improve team cooperation. At the same time, it also promotes the reform of relevant courses. "Power and Electronics Technology" course involves electronic technology, control technology and power technology. The main contents contain power elements, rectifying circuit, inverter circuit, DC-AC converter, AC-AC variable frequency, PWM control technology and soft switch. The course has strong practice property and engineering property. According to characteristics and problems of "Power and Electronics Technology", corresponding course teaching reform idea was put forward and practiced, including combining "Power and Electronics Technology" with electronics design contest, introducing contest questions into class, teaching knowledge points by cases, mobilizing students to participate in NUEDC and accumulating excellent works in course teaching. The results show that number of students choosing "Power and Electronics Technology" course which combines National Undergraduate Electronic Design Contest increases obviously, and that the number of students participating in NUEDC and the proportion of students winning the awards improves.

Key words: National Undergraduate Electronics Design Contest; DC-DC converter; Power and Electronics Technology; contest questions; course; teaching reform

收稿日期: 2018-06-13 网络出版日期: 2019-02-28

作者简介: 杨俊秀(1976-), 女, 河南开封人, 讲师, 硕士, 主要从事电子技术及射频通信等方面的研究。

通信作者: 赵文来, E-mail: zhwlai@126.com

全国大学生电子设计竞赛(简称电子设计竞赛或电赛)从1994年试点到2017年已成功举办13届。该竞赛将理论与实际相结合,重点考察参赛学生的动手能力、工程实践能力、团队协作能力、创新能力等。同时,竞赛内容紧密联系相关专业的课程体系,为大学生提供了实践成果的展示平台,也促进了相关课程的教学改革。电子设计竞赛赛题大致包括七类,即电源类、信号源类、高频无线电类、放大器类、仪器仪表类、数据采集与处理类、自动控制类。“电力电子技术”属电源类题目相关的主要课程,该课程是电子信息类专业的技术基础课,覆盖了电子技术、控制技术和电力技术,具有较强的理论性和实践性,被列为电子信息类专业难学难教的课程之一。近年来,很多高校对该课程进行了有针对性的改革。比如,巫付专等^[1]提出从电力电子教学内容及仿真和实验平台入手进行课程改革;房美丽^[2]提出从教学内容分类,课堂案例教学及课程考核方式改变方面进行改革;赵涛等^[3]在课程中引入PSpice仿真软件,建立电路模型并进行仿真,结合理论教学使学生增加感性认识;牛天林等^[4]引入Matlab/Simulink仿真系统,基于软件建立仿真流程,结合案例,将仿真技术应用在教学过程中进行动态比较、疑难解答、系统认知、实验拓展等;周凯等^[5]结合仿真软件Saber,探讨了仿真技术在功率器件驱动控制教学中的应用,Saber软件的引入使课程原理与概念形象化,加深学生对知识的理解。相关高校的教学改革多从课堂理论教学及实验教学展开,且多从仿真软件入手,一定程度上忽略了课程理论与实际应用的结合及学生动手能力的提高。在课程教学和指导竞赛的过程中,将电子设计竞赛的电源类赛题引入“电力电子技术”课程教学中,能够积极推动课程的教学改革^[6-7],促进课程理论与实践结合,改善教学效果。近年来,笔者既参与“电力电子技术”课程教学,又参与电赛指导,因此,本文结合电赛,根据“电力电子技术”课程特点及存在的问题,将适合的电子设计竞赛赛题作为案例应用于课堂教学,使学生理论学习与实际应用相结合,旨在提升课堂教学质量,同时提高学生的学习兴趣。

一、电赛赛题分析

(一)电赛赛题类型及所占比例

电子设计竞赛强调培养学生的工程实践和创新能力,要求学生具备相关理论知识,能够熟练地进行实验操作,并掌握综合运用课程知识的技能。

电赛涉及的主要课程有:模拟电路、数字电路、通信电子线路、单片机、电子测量、电力电子技术等^[8-9]。截至2017年,全国大学生电子设计大赛共举办了13届,赛题大致分为7类:其中,电源类共12题,约占16.5%;信号源类共4题,约占5.5%;高频无线电类共13题,约占17.8%;放大器类共6题,约占8.2%;仪器仪表类共18题,约占24.7%;数据采集与处理类共3题,约占4.0%;自动控制类共17题,约占23.3%。其中,电源类赛题主要有:1994年(第一届)A题简易数控直流电源、1997年(第三届)A题直流稳定电源、2005年(第七届)F题数控恒流源、2017年(第十三届)A题微电网模拟系统,等等。

(二)电源类赛题内容与趋势

全国大学生电子设计竞赛赛题中,与“电力电子技术”课程相关的题目特点表现为^[10]:“大”电流、安全电压、常以电源形式出现、技术指标涉及负载能力、负载、电压调整率、基本变换电路、效率、功率因数问题、波形、谐波测量等。涉及到的有关“电力电子技术”课程的主要知识点有:线性直流稳压电源,功率器件,整流滤波,PWM控制,电流、电压采样及真有效值检测,过压、过流保护,功率因数校正,高频变压器相关技术,隔离技术,微控制器最小系统及外围接口等。相关赛题类型有^[10]:基本电力电子电路、各类电源(开关电源、UPS等)、新能源发电(太阳能、风能发电等)、多重化、多电平化(串、并联等)、谐振软开关、其它应用(无线电能传输、电子负载)等。如1994年考题“简易数控直流电源”及1997年考题“直流稳定电源”,涉及到电源的基本常用指标包括电压调整率、负载调整率等。2005年考题“三相正弦波变频电源”涉及到负载能力、对称、波形、电压调整率、负载调整率、保护、检测显示、变频技术及电源效率,紧跟变频家电的提出及应用。2009年考题“光伏并网发电模拟装置”涉及到负载能力、效率、波形、保护、检测、最大功率点、相位及频率跟踪,应用于光伏产业的迅速膨胀;“电能收集充电器”涉及到旧电池的有效利用及充电技术,与电池的回收与再利用密切相关。2011年考题“开关电源模块并联供电系统”涉及到并联均流技术,表现为负载能力、效率、波形、功率分配、保护、检测,与电源负载均衡及控制策略相关。2013年考题“单相AC-DC变换电路”涉及到负载能力、电压调整率、负载调整率、保护、检测显示、高功率因数、功率因数测量及校正,与提高电源效率相关。2015年考题“双向DC-DC变换器”涉及到电流控制精度、效率、充放电(双向)、保

护、检测、重量,与电源双象限技术,电能的存储与利用相关。2017年考题“微电网模拟系统”涉及电压源并联技术及变频,与光伏电源变换及并网相关;“单相用电器分析监测装置”,涉及电压、电流采样及负载判断等,与人工智能、负载识别相关^[9-11]。

电源类相关赛题的总趋势是技术指标要求越来越高,考查的知识点越来越细,如负载能力、电压调整率、负载调整率、效率、功率因数、保护、波形、检测显示等,电源结构越来越复杂,且常常结合电源发展的新技术或应用,预期考查方向表现为高频化、高压、低压降器件、大功率、低功耗、小体积等方面^[10]。这要求参赛学生布局不仅具备扎实的“电力电子技术”课程的基础知识,而且能对其熟练地综合运用。以笔者所在学校的电子信息类专业为例,专业前期课程教学计划中只有“电力电子技术”一章详细介绍电源相关技术,但不够全面,且理论知识落后于实际要求。

二、“电力电子技术”课程特点及教学存在的问题

“电力电子技术”是电子信息类专业重要的技术基础课程,以模拟电路、单片机、控制技术等先修课程为基础,结合了电子技术、控制技术和电力技术^[7]。课程内容包括各种电力电子器件、整流电路、逆变电路、直流-直流变换、交流-交流变频、PWM控制技术、软开关等,繁杂多样,抽象、实践性和工程性都很强^[11-12],实践操作少的学生大多未掌握有效的电子技术分析方法,对波形分析、相位关系接触甚少,外加电磁知识欠缺,对磁路的概念理解和掌握不到位。结合国内其他院校“电力电子技术”相关课程^[13-16],并以笔者所在学校的电子专业为例,发现该课程教学目前存在的问题主要有:

第一,学生对先修课程掌握不够。“电力电子技术”课程以电子技术、电力技术及控制技术为先修课程为基础,为适应专业教学计划调整,该专业的先修课程学时被压缩,导致学生先修课程基础不扎实,动手能力少,不易从模拟电路的低频率、线性分析方法转变出来;因为学时有限,课程中不涉及半导体材料、电磁基础、磁路定律相关知识,底层相关理论原理的缺失影响学习的积极性与主动性。例如,2014年电赛赛题F题——无线电能传输装置^[17],要求参赛学生设计并制作一个无线电能传输装置,其结构如图1所示。传统的有线电力输送以电缆线为传输媒介,在传输过程中不可避免产生传输损耗,同时线路老化、尖端放电等因素易导致电火花,降低设备供

电的可靠性和安全性。电缆线供电方式带来了安全隐患和经济损失,大量的电器供电势必会导致多种电源线的交叉,给人们生活带来不便。该题需要功率驱动、谐振、磁路等的相关知识,而“电力电子技术”课程内容基本不涉及。先修课程中相关内容因学时有限被简化,甚至被任课教师在教学中予以忽略。

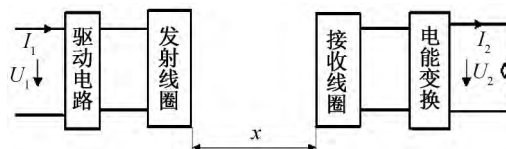


图1 无线电能传输装置结构图^[17]

第二,器件种类多,内容抽象。课程主要内容是电力电子器件及各种变流技术应用电路的分析,要求学生将器件、电路及实际应用三者结合,以解决实际工程问题。电路器件涉及到电阻、电容、电感、晶体二极管、晶体三极管、场效应三极管、功率管等,类型不多,但可构造种类繁多的电路结构,调整电路器件参数时经常“牵一发而动全身”。电路工作频率的选择、功率器件的选取、效率及功率要求、电感选择等,需要学生对器件使用有一定的经验,且对磁性材料及磁路相关知识有一定的了解。例如,在制作满足一定指标的稳压电源模块时,学生经常出现空载指标良好,带载输出电压下降(甚至大大下降),纹波增加等情况。

第三,教学思路与手段欠佳。国内多数高校对于“电力电子技术”课程一般按照“先器件、后电路”的模式讲授,教学基本围绕单元电路进行,缺乏整体电路或系统的概念,理论有余,实践不足。教师虽然借助多媒体课件教学,但学生对相关知识的感性认识仍然不足,波形多样尤其增加了理论的抽象性,实际调试时由于电路各模块排版布局、各分布参数的影响、理论计算时的各种假设及忽略,各测试点通常不会是理想波形,学生容易陷入困境。

第四,对实践环节不够重视。教学改革前,笔者所在学校的“电力电子技术”课程教学计划共48学时,其中8个实验学时,每个基本实验内容需2个学时,学生如果理论知识预习不到位,很难建立系统思维。专业教学计划修订后,由于实验设备老化及投入经费不足等原因,目前无实验学时安排,造成理论与实践脱节,学生学习的理论知识无法应用到实践中,动手能力得不到锻炼。参与了电子设计的学生有机会动手验证测试一些课程内容,而未参与电子设计的学生收获的只限于零散的理论。

第五,考核存在问题。课程教学计划修订前,成绩评定采用期末笔试、平日成绩、实验成绩按一定权重相加的方法,有的学生考前突击、多做模拟题取得高分,但试题具有出题者的主观选择性,且通常不能真实反映学生掌握、运用知识的水平,包括学生的实践动手能力。课程教学计划修订后,课程考核仍然面临很大的挑战,作为选修课程,该课程不参加集中笔试,任课教师主要依据学生课程出勤情况、作业完成质量等从理论学习情况方面评定学生成绩,学生对知识的实际掌握水平评判未必客观全面。

三、课程教学改革措施及实践效果

现行的课程教学方式不利于学生掌握知识及提高能力,将“电力电子技术”课程与电子设计竞赛结合,将电赛题目带进课堂,以电子设计赛题项目为引导,采取案例式授课。针对课程中要讲授的知识点,选择相关的电赛赛题,根据赛题技术指标的要求分析系统的顶层原理框,结合可行性引导学生构思原理框图中各模块的实现方法或方案,从而引导课程相关知识点。案例式授课有助于学生集中注意力,增加学生对课程及知识点的感性认识,提高学生自主学习热情,改善教学效果^[18]。同时,积极动员选课学生参与电子设计竞赛,长期坚持,参赛生源质量提高,教师积累好的设计作品反馈于课堂教学,进而提高学生实践能力。以电子竞赛为驱动,以实验项目为基础“按需学习”,引导学生参与、思考,养成自主学习、专研问题的习惯。教学改革思路如图 2 所示。

根据图 2,任课老师结合指导电子设计竞赛的情况,在课堂教学过程中引入电赛赛题,有针对性地进行理论知识点进行讲解,分析系统预期测试波形或输出输入关系,通过实验或作品测试观察现象,并持续改进形成更新的作品,教师通过理论与实际应

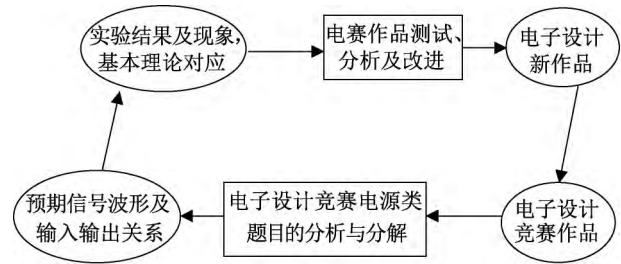


图 2 结合电赛的“电力电子技术”课程项目式教学改革思路

用的结合,跟进时代对相关技术的需求及应用前景,同时将好的作品带进课堂,加深学生对理论的理解,并增加其感性认识,提高学生的学习积极性。

1.新增“现代电源技术”课程

“电力电子技术”作为选修课,以理论教学为主,缺少相应的实践环节。调整专业教学计划后,新增 32 学时的“现代电源技术”课程,包括理论教学和实践教学各 16 学时,由参与指导电赛的老师亲自授课。其中,电源技术概述 4 学时,包括电源技术的现状、发展及研究热点,要求学生掌握常用拓扑的分析方法;电源中的电力电子器件与基础电路 4 学时,包括电源关键器件特性类型及应用;电源新技术 4 学时,包括各种电源先进技术;电子变压器及电磁兼容理论 4 学时,要求学生掌握变压器设计与计算方法,了解电磁兼容理论及设计原则。该课程扩展了“电力电子技术”课程的相关知识,增加了电源的核心知识,拓宽了电源发展的新技术及实际应用。

2.基于电赛题目引入项目式授课

自电赛开赛以来,历年赛题中的电源类题目有 12 题,约占总题数的 16.5%,赛题中的很多功率类题目来源于课程知识,又与实际应用相结合,给课程教学提供了丰富的案例。如讲解 DC-DC 变换这一知识点时,任课教师可从 2015 年赛题中的双向 DC-DC 变换器为例引入,系统结构如图 3 所示。

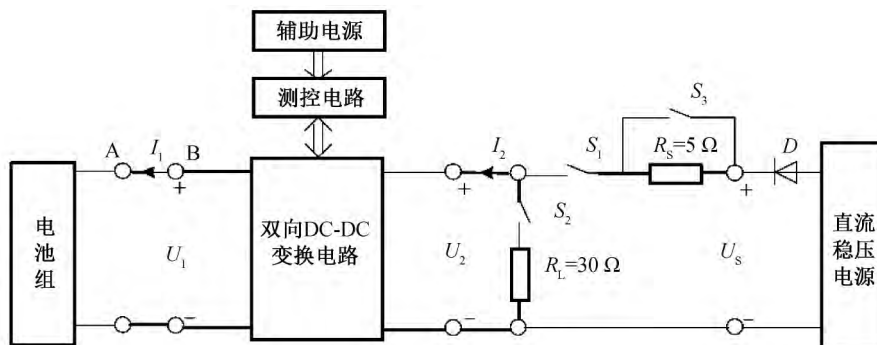


图 3 双向 DC-DC 变换器系统结构图

任课教师在课堂教学中,可以按如下过程分析此赛题:首先,电池充电是降压过程,反向放电是升压过程,DC-DC 直流变换中 Buck 变换和 Boost 变换与之对应,结合此案例,可讲解 DC-DC 基本变换中 Buck 降压斩波电路和 Boost 升压斩波电路。其次,装置要实现双向传输功能,与双向工作模式知识点相关。第三,功率器件需要 PWM 信号来驱动,可选择硬件电路产生 PWM 信号控制,或微控制器控制,此处涉及 PWM 控制原理及实现技术知识点。第四,降压过程要实现恒流,升压过程要实现恒压,是系统工作的两个主要过程,装置闭环和引入相关算法对提高控制精度和装置稳定性具有一定优势,此处涉及闭环控制技术及反馈方式知识点。第五,装置需要闭环反馈,Buck 变换时充电电流较大,采样电流最好进行隔离闭环,与电流电压采样及反馈控制方式有关。最后,装置对效率有要求,与变换模式及电流续流方式有关,可优化变换器工作方式和电路结构,降低损耗,提升应用价值^[11]。双向 DC-DC 变换器在锂离子电池充放电应用电源结构设计时基于两点:一是保证充电时电流的恒定,二是供电时保持电压输出的稳定。因此,充电恒流闭环和放电恒压闭环是两个必须的环路,同时电池负载充电时,充电电压不能过高,而且应注意电池是否过充,

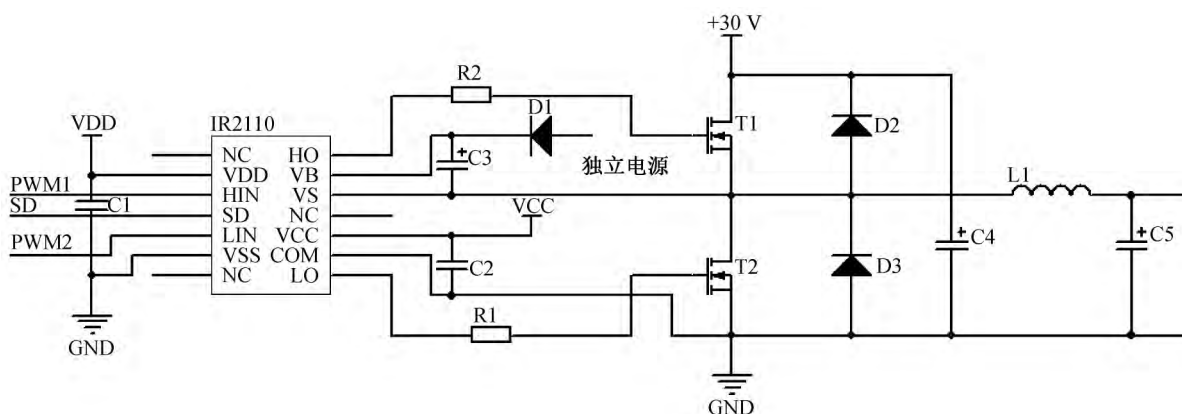


图5 电流双象限电路驱动结构图

由于开关管不能被微处理器输出的 PWM 信号直接驱动,故单片机输出的信号需要驱动电路控制功率管的开或关。电流采样可选择专用采样芯片 INA282。

采样电阻选择受温度影响较小的康铜丝,康铜丝阻值为 20 mΩ。电压采样直接通过简单的电阻分压即可。系统电路如图 6 所示。

可见,基于 2015 年电赛的电源类赛题可讲解关于 DC-DC 的大部分知识点,且能够举一反三,抛砖

避免造成安全事故,故系统需存在一定的过压和过充保护功能。

学生可以通过此赛题学习 Buck 降压斩波、Boost 升压斩波、双向 DC-DC 工作模式、恒流、恒压、电流、电压采样检测等内容。由于 DC-DC 部分知识点及性能指标相关,故可以该题为例,展开分析恒流、恒压、效率等方面的影响因素,再根据指标要求选择合适的电路参数,引导学生一步步建立系统的概念。下面将对变换器系统的电路结构进行展开。

电流双象限电路可实现输出电流随控制电压变化,但输出电压的极性始终为正。电流双象限原理电路如图 4 所示^[11]。

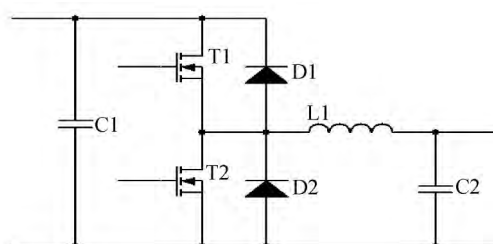


图4 电流双象限电路

双象限电路可以实现信号的双向传输,展开涉及到的相关知识点包括各测试点信号理想波形。结合相应的驱动,以 IR2110 为例,驱动部分结构如图 5 所示^[11]。

引玉,引导学生学习不同问题的分析方法和处理技能,激发学生的学习热情和创新欲望^[6]。

3. 引入电赛作品实物

电力电子技术主要是器件、电路、应用的组合,设计出来的电路需要调试与测试,才能判定是否满足系统各项指标的要求。对于 2015 年电源类电赛题目,学生很容易混淆恒压、恒流、浮地、实地、模拟地、数字地等方面,要加强系统、接地及电磁干扰等电力电子设计中常涉及到的应用。选择竞赛作品到

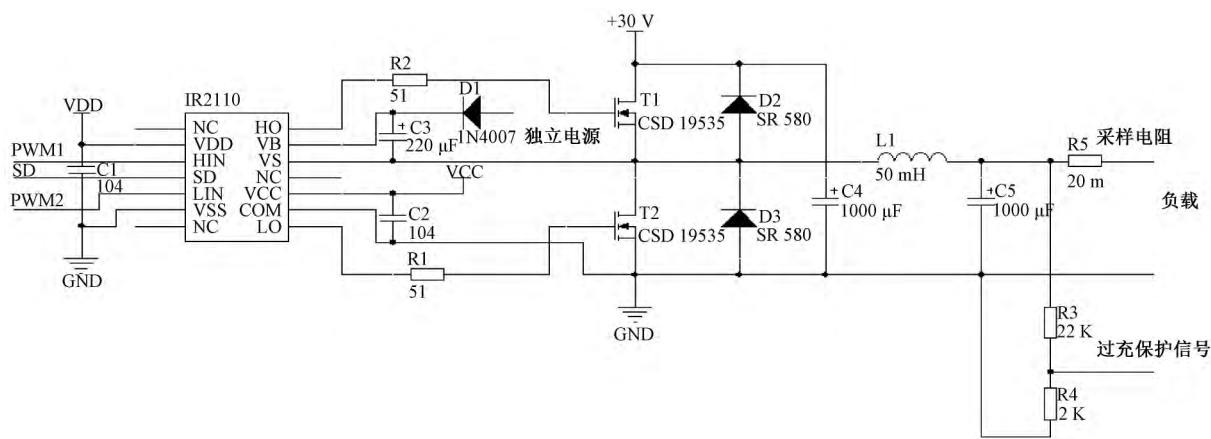


图6 系统电路图

课堂上有针对性地演示,图7为图6电路原理图的实物结果,可以借此帮助学生逐渐建立对器件、电路及应用的概念认知^[11]。



图7 电池恒流充电图

同时,通过效率测试分析损耗产生的原因,对应于电路结构中的位置及如何改进。其中,开关损耗是影响变换器效率的一个重要因素。实现开关过程中器件电压和电流错位的软开关技术是研究的一个重要方向。

4. 实验室教学

基于电子设计竞赛试题及作品进行项目式授课,有利于学生处理理论知识学习与实际应用的关系,激发学生的学习热情,使其积极投入电子设计竞赛,带来更多更好的作品。理论授课使用实验室是很好的教学场地补充,让学生动手接触相关电路及熟悉相关仪器设备,通过实际现象及感性的认知帮助学生加强对理论知识的记忆和理解^[13]。

5. 成绩评定

教学改革还包括由面向结果的成绩评定改为面向过程的成绩评定。成绩由两部分构成,在每次学生动手实践过程中,教师根据学生反应及测试数据对其能力评估,结合学生课堂出勤及作业情况,加权得到第一部分基础成绩,第二部分成绩主要通过根据学生完成具有有一些附加项目的情况而定,附加项

目涉及电赛题目、自行设计题或小论文等。

6. 教改成效

结合电子设计竞赛的“电力电子技术”课程教学,简化了学生对单元电路的学习,学生更愿意参与到竞赛当中,而且越来越多的参数作品与项目可用于课堂教学,形成了良性循环。笔者所在团队2015—2017年开设的“电力电子技术”课程主要面向本校2013级电子信息工程专业学生,结合电子设计竞赛进行授课,结果显示,2015年专业人数99人,课程选课人数30人;2016年专业人数106人,课程选课人数48人;2017年专业人数98人,课程选课人数56人;选课人数和比例逐年上升,而且学生评教分数保持优秀。此外,该教学改革实施后,增加了学生竞赛参赛队伍和电源类题目选题数量。笔者所在学院2011年有13支学生队伍参赛,2016年24支队伍参赛,其中选择电源类题目有12支队伍,2017年25支队伍参赛,其中选择电源类题目有13队。电源类参赛队伍的获奖情况也有所改善,2016年获得浙江省二等奖2项、省三等奖4项,获奖队伍占电源类参赛队伍的比例为75%;2017年获得省二等奖3项、省三等奖8项,获奖比例达85%。

四、结 语

本文将“电力电子技术”课程与电子设计竞赛结合,增强课程理论知识与实际应用的联系,课堂理论知识在实际项目应用中得到验证,强化了学生理论知识的感性认识,增加了学生的学习兴趣,提高了参赛生源质量,改善了教学成果。不足之处是电赛赛题与课程理论知识点的结合还需要更细致,两者对应的知识模块和具体内容关系还需进一步梳理。同时,应尽可能进行实验室现场授课,提高实践性环节在课程教学中的比重。

参考文献:

- [1] 巫付专,王耕,彭圣.电力电子技术课程教学模式改革与实践[J].中国现代教育装备,2018(1):32-34.
- [2] 房美丽.浅谈电力电子技术课程教学改革的几点体会[J].课程教育研究,2017(20):286.
- [3] 赵涛,张丽华,徐开芸,等.PSpice在电力电子技术教学改革实践中的应用[J].电力系统及其自动化学报,2009,21(6):123-126.
- [4] 牛天林,樊波,张强,等.Matlab/Simulink仿真在电力电子技术教学中的应用[J].实验室研究与探索,2015,34(2):84-87.
- [5] 周凯,那日沙,王旭东.Saber在电力电子技术仿真中的应用[J].实验技术与管理,2015,32(3):126-128.
- [6] 王峰.关于全国大学生电子设计竞赛对电类专业教学改革的几点思考[J].课程教育研究:学法教法研究,2016(14):47-48.
- [7] 黄智伟.全国大学生电子设计竞赛技能训练[M].北京:北京航空航天大学出版社,2011:387.
- [8] 马莉,符晓玲.电力电子技术在智能电网中的应用研究[J].工程技术研究,2017(12):36.
- [9] 刘进军.电能系统未来发展趋势及其对电力电子技术的挑战[J].南方电网技术,2016,10(3):78-80.
- [10] 潘再平.电力电子类题目分析与应对[R/OL].(2017-08-08)[2018-06-03].<https://wenku.baidu.com/view/6a73cb15773231126edb6f1aff00bed5b9f3738b.html>.
- [11] 王兆安,刘进军.电力电子技术[M].北京:机械工业出版社,2010:8.
- [12] 黄智伟.全国大学生电子设计竞赛制作实训[M].北京:北京航空航天大学出版社,2011:387.
- [13] 冯元,海鹏博,吴宏岐.电力电子技术实验教学改革模式与探索[J].高教学刊,2018(9):121-123.
- [14] 苏玉香,沈晓群,叶继英.多种教学模式下电力电子技术教学改革与探讨[J].山东工业技术,2017(20):253.
- [15] 张红娟,路秀芬,孟海涛.“电力电子技术”课程工程实践的教学改革[J].电气电子教学学报,2016,38(3):127-132.
- [16] 侯志坚.高校《电力电子技术》课程实践教学研究[J].高教学刊,2018(3):101-103.
- [17] 全国大学生电子设计竞赛官网.2014年TI杯大学生电子设计竞赛赛题-F题 电能无线传输装置[R/OL].(2015-01-03)[2018-06-03].<http://www.scnuedc.uestc.edu.cn/>.
- [18] 李晓英,李恒杰,魏祥林,等.问题引领式教学设计在“电力电子技术”微课中的应用浅析[J].教育教学论坛,2018(8):197-198.

(责任编辑:陈丽琼)