

电气与控制工程学院

独立实践课教学大纲

课程名 (COURSE TITLE) :	交直流调速系统综合实验
课程代码 (COURSE CODE) :	7227011
学 分 (CREDIT VALUE) :	2
开课单位 (DEPARTMENT/UNIT) :	电气工程系
版 本 (VERSION) :	DG7227011-202108
课程负责人 (COURSE COORDINATOR) :	张虎

北方工业大学 电气与控制工程学院

2021 年 8 月

目 录

1 课程基本信息.....	3
2 毕业要求与课程目标.....	4
2.1 本课程支撑的毕业要求观测点.....	4
2.2 课程目标.....	4
2.3 毕业要求与课程目标的关系.....	6
3 课程实践内容及安排.....	6
3.1 课程学时总体安排.....	6
3.2 实践任务内容和学时计划.....	7
4 课程教学设计.....	8
5 课程考核方案和依据.....	10
5.1 课程考核方案.....	10
5.2 课程各考核项评价依据和标准.....	11
6 本次修订说明.....	13
7 需要说明的其它问题.....	13
8 附件列表.....	13

1 课程基本信息

课程名称（中文）	交直流调速系统综合实验					
课程名称（英文）	A Comprehensive Experiment on AC&DC Drive Systems					
课程计划学时	64		课外学时建议		0	
学时构成	教师讲授	4	实践过程	56	结课验收	4
先修课名称	（7226901）交直流调速系统、（7120401）自动控制原理 I、（7020801）电机及拖动基础、（7099811）现代电力电子技术 I、（7307801）电气工程仿真技术、（7021241）电路分析III、（7069201）模拟电子技术、（7087611）数字电子技术、（7018001）单片机原理及应用 II					
适用专业年级	电气工程及其自动化					
开课单位	电气工程系					
课程简介	<p>本课程为电气工程及其自动化专业的专业教育实践必修课，开设于短 3 小学期。学生在掌握交直流调速系统基本理论基础，对一个典型交流调速系统进行设计、仿真和实际系统调试，使学生进一步理解交直流调速系统的知识与原理，掌握交直流调速系统的组成和设计方法，提高学生解决复杂电气工程问题的能力。考核方式为撰写综合实验报告，从理论知识、仿真模拟和实验验证三个方面进行答辩验收，全面考核学生掌握知识、运用知识和实践解决问题的能力。</p>					
教材和学习资源	<p>基础资料： （1）《电力电子技术与运动控制系统综合实验教程》，周京华 张贵辰主编，中国水利水电出版社，2014 年</p> <p>参考资料： （1）《电力拖动自动控制系统》（第 5 版），阮毅 杨影 陈伯时主编，机械工业出版社，2016 年 （2）《交直流调速系统与 MATLAB 仿真》，周渊深主编，中国电力出版社，2015 年 （3）《交直流调速系统综合实验》课程任务书、实验指导书</p>					
大纲版本号	DG7227011-202108		前一版本号		DG7227011-201912	
大纲修订人	张虎		修订时间		2021.08	

课程团队负责人	张虎	实验教学审核人	胡长斌
专业负责人	周京华	审核时间	2021.08
学院批准人	徐继宁	批准时间	2021.09

2 毕业要求与课程目标

2.1 本课程支撑的毕业要求观测点

电气工程及其自动化专业 2019 版培养方案为本课程设置了 8 个观测点，具体如下：

(1) 毕业要求观测点 2-1：能利用数学、自然科学和工程科学的基本原理，针对复杂工程问题建立数学和物理模型并得出恰当结论。

(2) 毕业要求观测点 3-1：能综合专业基础课程与专业方向的课程的学习知识，针对复杂电气工程问题，制定具体的解决方案，设计系统参数。

(3) 毕业要求观测点 3-2：能在设计/开发解决方案中体现出一定的创新意识。

(4) 毕业要求观测点 3-3：能在社会、健康、安全、法律、文化以及环境等现实因素的约束下，对设计方案的可行性进行评价。

(5) 毕业要求观测点 5-2：能针对具体电气工程复杂问题，采用现代工程工具进行模拟与预测。

(6) 毕业要求观测点 9-1：能理解多学科团队中各角色的作用及其内在联系，理解分工和协作、参与和分享、信任与尊重。

(7) 毕业要求观测点 10-1：能就复杂电气工程问题做出口头的清晰表达，并撰写出格式规范的设计报告。

2.2 课程目标

根据电气专业毕业要求观测点，本课程设置了 8 个能力目标（简称：JZLTSXTZHSY -X），另根据教育部和学校要求，课程设置了 1 个思政目标，不做输出目标考核。

能力目标：

JZLTSXTZHSY-1: 仿真建模能力

能分析交直流调速系统各环节工作机理，建立各环节数学模型，搭建系统仿真模型；能实现交直流调速系统双闭环调节器工程设计方法的数字控制仿真；

JZLTSXTZHSY-2: 系统设计能力

综合自动控制原理和现代电力电子技术等专业课程的学习知识，针对交直流调速系统工程问题，进行系统各调节器参数设计；能设计完成异步电动机按转子磁链定向矢量控制系统的数字控制仿真。

JZLTSXTZHSY-3: 创新能力

熟练掌握交流电动机矢量控制系统的工作原理，能体现出思维、设计与实现方面的创新实践。

JZLTSXTZHSY-4: 工程实践应用能力

能进行硬件模型设计，掌握全实物代码生成实验流程，培养工程实践应用能力。

JZLTSXTZHSY-5: 现代工具使用能力

能运用快速控制原型控制器（rcp）和 Matlab 仿真工具。

JZLTSXTZHSY-6: 团队协作能力

综合实验要求学生进行自由组队，三人一组，鼓励学生在本次设计中理解多学科团队中各角色的作用及其内在联系，理解分工和协作、参与和分享、信任与尊重。

JZLTSXTZHSY-7: 报告撰写能力

能就交直流调速系统综合实验中的全数字仿真、半实物仿真实验、全实物代码生成实验以硬件电路原理分析等问题，作出清晰的文字叙述，并撰写出格式规范的设计报告。

JZLTSXTZHSY-8: 沟通表达能力

能陈述交直流调速系统综合实验中异步电动机按转子磁链定向矢量控制系统的仿真、电路和实验，并对质疑问题进行答辩交流。

思政目标:

JZLTSXTZHSY-10: 课程思政

结合“交直流调速系统综合实验”课程的特点，从理论与实践相结合、能力

培养和服务社会三个方面全面推进课程思政建设，深入挖掘思政元素，实现课程思政与课程教学的高质量融合。从理论与实践结合角度，提出“四维一体”的创新教学模式，设计全数字仿真、半实物仿真以及全实物代码生成实验，其最终的目的都是实现对理论的实验验证。课程环节始终坚持理论与实践的辩证统一思想，充分体现了马克思主义哲学中的实践核心观点。从能力培养角度，课程教学全面培养学生解决复杂电气工程问题的能力，提升创新和创造能力。结合当前国际形势和行业发展现状，学生要肩负起实现中华民族伟大复兴的历史使命，努力提高综合素养，专注专业领域，以扎实的文化知识为日后担起建设祖国重任筑牢基础。树立科学的理想信念，成为有责任、有担当的工程技术人员，为国家攻坚克难。

2.3 毕业要求与课程目标的关系

毕业要求	观测点	支撑权重	课程目标	贡献度
2 问题分析	2-1	0.2	JZLTSXTZHSY-1: 仿真建模能力	100%
3 设计/开发	3-1	0.2	JZLTSXTZHSY-2: 系统设计能力	100%
	3-2	0.2	JZLTSXTZHSY-3: 创新能力	100%
	3-3	0.2	JZLTSXTZHSY-4: 工程实践应用能力	100%
5 使用现代工具	5-2	0.2	JZLTSXTZHSY-5: 现代工具使用能力	100%
9 个人和团队	9-1	0.2	JZLTSXTZHSY-6: 团队协作能力	100%
10 沟通	10-1	0.2	JZLTSXTZHSY-7: 报告撰写能力	50%
			JZLTSXTZHSY-8: 沟通表达能力	50%

3 课程实践内容及安排

3.1 课程学时总体安排

课程性质：专业教育实践课程必修课

讲授/实践过程/结课验收:4/56/4

讲授	全数字仿	半实物仿真	全实物代	验收	报告撰写	质疑答辩
----	------	-------	------	----	------	------

(学时)	真设计(学时)	实验(学时)	码生成实验(学时)	(学时)	(学时)	(学时)
4	20	15	15	2	6	2

3.2 实践任务内容和学时计划

本综合实验为基于电流模型磁链估算的异步电动机有速度传感器矢量控制系统仿真与实验,分全数字仿真、半实物仿真实验和全实物代码生成实验三部分,主要工作:

- 1) 异步电动机有速度传感器矢量控制系统转速、电流双闭环调节器参数工程设计;
- 2) 运用 MATLAB 仿真工具,搭建异步电动机有速度传感器矢量控制系统 MATLAB 仿真模型,熟悉掌握 SIMULINK 仿真模型中各模块作用与原理,进行仿真分析;
- 3) 运用 MATLAB 的 M 语言进行异步电动机有速度传感器矢量控制系统程序编写;
- 4) 运用快速控制原型控制器进行半实物仿真实验验证;
- 5) 运用硬件模型设计进行全实物代码生成实验验证;
- 6) 编写设计说明书。

具体设计要求见附件 1 设计任务书。

实践学时安排建议:

具体实践内容	学时计划	课程目标
1、讲解和布置实践任务(4学时)	4	
2、全数字仿真设计(20学时) 双闭环调节器设计与参数计算(4学时) 搭建异步电动机有速度传感器矢量控制系统 SIMULINK 仿真模型并进行仿真分析(8学时) 运用 MATLAB 的 M 语言进行异步电动机有速度传感器矢量控制系统程序编写(8学时)	20	JZLTSXTZHSY-1、 JZLTSXTZHSY-2、 JZLTSXTZHSY-3、 JZLTSXTZHSY-6
3、半实物仿真实验(15学时) MT6016 快速控制原型实时控制器使用设置(4学时) 上位机界面设计(2学时) 基于真实电机参数进行仿真模型搭建(4学时) 半实物仿真实验验证(5学时)	15	JZLTSXTZHSY-3、 JZLTSXTZHSY-5、 JZLTSXTZHSY-6

4、全实物代码生成实验（15 学时） 硬件模型设计（8 学时） 硬件电路原理分析（2 学时） 全实物代码生成实验验证（5 学时）	15	JZLTSXTZHSY-3、 JZLTSXTZHSY-4、 JZLTSXTZHSY-6
5、报告撰写（6 学时） 全数字仿真设计（2 学时） 半实物仿真实验（2 学时） 全实物代码生成实验（2 学时）	6	JZLTSXTZHSY-7
6、成果验收及答辩质疑（4 学时）	4	JZLTSXTZHSY-8

4 课程教学设计

交直流调速系统综合实验为基于电流模型磁链估算的异步电动机有速度传感器矢量控制系统仿真与实验，分全数字仿真、半实物仿真实验和全实物代码生成实验三部分。学生要掌握异步电动机有速度传感器矢量控制系统的工作原理，并综合运用所学知识（交直流调速系统、模拟电子技术、数字电子技术、电路分析III、现代电力电子技术 I、单片机原理、自动控制原理 I 以及电气工程仿真技术等），进行交流调速离散控制系统设计、建立复数域数学模型、双闭环调节器参数计算、程序设计、仿真分析、硬件原理图分析、实际电路的搭建与调试。在进行仿真和实验调试阶段前，学生先要通过所学相关课程基础知识和查阅技术文献，建立交流调速矢量控制系统复数域数学模型，根据自动控制原理，通过建立闭环传递函数，采用工程设计方法进行电流内环和速度外环调节器参数设计，使其调速控制具有良好的跟随性和抗干扰性，可通过后续仿真与实验进行双重验证。

在全数字仿真阶段，通过 MATLAB 仿真软件让学生建立基于电流模型转子磁链估算的异步电动机有速度传感器矢量控制系统仿真模型。为了让学生在仿真中既能对交-直-交变频调速系统有一个系统性的全局整体把握，又能锻炼学生工程实践编程应用能力，采用了两种仿真实现，一种是 SIMULINK 模块化仿真模型搭建实现，该方法通过有速度矢量控制交流调速系统原理框图，搭建 simulink 仿真模型，便于学生系统整体把握，要求学生熟悉掌握此 SIMULINK 中各模块作用与原理，主要包括电流模型转子磁链估算 matlab function 模块生成原理；SVPWM 模块生成原理；坐标变换模块；三相 IGBT 逆变桥；PI 调节器模块；滤

波器模块及被控对象三相异步电动机参数设置等。另一种仿真实现是全算法编程仿真实现，因为是采用数字控制，学生要先进行离散控制系统设计，建立离散控制系统数学模型。学生要明确实际电机数字控制中，逆变器开关频率、电流信号采样频率及程序控制频率三者之间的关系，以及在仿真中如何体现与实现。在全算法编程中，要求用 MATLAB 的 M 语言编写各模块程序代码，并将各模块 M 代码统一放到一个 MATLAB function 中，输入量为定子两相电流，转速给定，实际转速，母线电压，控制（载波、开关）周期；输出量为 SVPWM 调制三相电压占空比。程序内容包括：斜坡函数、一阶数字滤波器、速度离散 PI 调节器、电流离散 PI 调节器、 $2s/2r$ 和 $2r/2s$ PARK 坐标变换和 PARK 坐标逆变换、 $3s/2s$ CLARK 坐标变换、电压解耦、电流模型转子磁链角估算、SVPWM 调制算法实现等。控制系统全算法编程仿真包含变量定义、初始化和程序结构设计，模拟实际工程代码编程，锻炼了学生程序编写能力。

在半实物仿真实验中，采用远宽能源的 RCP 平台，可以帮助用户把用图形化高级语言编写的控制算法（Simulink 或 LabVIEW）下载到原型控制器上，节省在嵌入式芯片上重新编写和实现算法过程的时间；同时通过现成的硬件 IO 和实物被控对象(电机，变频器等)对接起来进行闭环控制，可以加快项目开发周期；同时 StarSim RCP 软件可以让用户很方便的在上位机观测实时控制器上的各种变量和波形，可以节省用户编写上位界面的时间与精力，让用户把精力放在核心的控制算法的实现和调试上。该实验通过将学生程序下载到快速控制原型控制器中，进行上位机界面设计 IO 映射连接，就能够用编写的仿真算法程序去控制真实电机，实现了仿真与实验的一致性。半实物仿真实验的重点是快速控制原型控制器的正确使用以及仿真程序输入输出参数与控制器 IO 接口的正确映射连接。通过半实物仿真实验，学生能够运用快速控制原型控制器进行半实物仿真实验验证，提高了现代工具使用能力。

在全实物代码生成实验中，模拟实际项目开发应用，将学生开发的程序应用到基于 DSP 或单片机芯片的实际控制器中。Matlab 针对 DSP 芯片可实现仿真程序直接生成 C 代码工程文件，通过 CCS 编译环境将 Matlab 生成的 C 代码工程文件下载到 DSP 控制芯片中，可通过串口助手软件或者上位机进行实验和调试，省去了 C 语言编程，生成的 C 代码是经过仿真验证的，安全、可靠性提高。在

实验中，学生通过运用 matlab DSP 嵌入式代码支持包中的硬件设置模块，结合实际硬件电路进行硬件设置，将编写好的 matlab function 控制程序嵌入到中断函数模块里，建立代码生成软件模型，运行 build，生成 CCS Project。打开 CCS 编译软件，将生成的 CCS 工程文件导入，编译下载到 DSP 芯片里。通过该实验环节能够进行硬件模型设计，掌握全实物代码生成实验流程，培养工程实践应用能力。

综合实验将学生分成 3 人一组的团队，任务分工明确，分头查找异步电机矢量控制变频调速的资料，集中讨论，分析控制系统设计特点与步骤，再进行三相交直交变频调速系统的设计，明确了个人任务，又体现了团队协作。为了体现区分度，保证每组设计独立性和创新性，仿真中每组的被控对象电机参数不同，并要求学生不要局限于指导教师讲解控制模式，查阅专业书籍与文献，能够提出新的设计思路与方法，能正确分析功率开关逆变器对电网污染和高频噪音的环境影响（仿真中某个环节采用新的方法实现：仿真编程实现，采用新的磁链估算方法，SVPWM 编程实现，良好完成半实物仿真和全实物代码生成验证等等，要体现创新独特性）。

5 课程考核方案和依据

本课程评分标准为百分制，依据设计任务的完成情况进行综合评分，其中答辩成绩占 40%，实验报告书成绩占 60%。本综合实验 3 人一组，每组提交一份实验报告，实验报告书成绩为小组共同成绩。

5.1 课程考核方案

课程目标	课程各类考核项							
	答辩成绩			综合实验报告				
	创新性	验收、 质疑	团队协作	调节器 设计	全数字 仿真	半实物仿 真实验	全实物代码 生成实验	报告内 容格式
JZLTSXTZHSY-1					15			
JZLTSXTZHSY-2				10				
JZLTSXTZHSY-3	10							

JZLTSXTZHSY-4							15	
JZLTSXTZHSY-5						15		
JZLTSXTZHSY-6			10					
JZLTSXTZHSY-7								5
JZLTSXTZHSY-8		20						
分数合计	40		60					
总评占比	40%		60%					

5.2 课程各考核项评价依据和标准

考核项目 1：答辩成绩

考核权重：40%

预期学习结果	考核依据	优秀 >90 分	良好 80-90 分	达成 60-80 分	未达成 <60 分
<p>达成本课程目标： JZLTSXTZHSY-3、 JZLTSXTZHSY-6、 JZLTSXTZHSY-8</p> <p>熟练掌握交流电动机矢量控制系统的工作原理，能体现出思维、设计与实现方面的创新实践； 能进行分工协作、组内沟通协调；能正确地回答老师的提问，解释实验现象。</p>	创新能力、团队协作能力和仿真、实验的验收及质疑。	能够按照任务要求很好地完成仿真设计、原理图分析和实验内容；仿真、实验验收通过，熟练地、正确地回答教师质疑；良好完成快速控制原型仿真实验和全实物代码生成实验验证，体现出思维、设计与实现方面的创新实践；积极参与团队分工协作，能妥善解决成员间的分歧，尊重团队成员，沟通积极有效。	能够按照任务要求较好地完成仿真设计、原理图分析和实验内容；仿真、实验验收通过，较好地、正确地回答教师质疑；较好完成快速控制原型仿真实验和全实物代码生成实验验证；提出一定的创新措施；	能够按照任务要求基本完成仿真设计、原理图分析和实验内容；仿真、实验验收基本通过，基本正确回答教师质疑；基本完成快速控制原型仿真实验和全实物代码生成实验验证；	不能够按照任务要求完成仿真设计、原理图分析和实验内容；验收不通过，不能正确地回答教师质疑。

考核项目 2：综合实验报告成绩

考核权重：60%

预期学习结果	考核依据	优秀 >90 分	良好 80-90 分	达成 60-80 分	未达成 <60 分
<p>达成本课程目标： JZLTSXTZHSY-1、 JZLTSXTZHSY-2、 JZLTSXTZHSY-4、 JZLTSXTZHSY-5、 JZLTSXTZHSY-7。</p> <p>能分析交直流调速系统各环节工作机理，建立各环节数学模型，搭建系统仿真模型；能实现交直流调速系统双闭环调节器工程设计方法的数字控制仿真；</p> <p>综合自动控制原理和现代电力电子技术等专业课程的学习知识，针对交直流调速系统工程问题，进行系统各调节器参数设计；能设计完成异步电动机按转子磁链定向矢量控制系统的数字控制仿真；</p> <p>能进行硬件模型设计，掌握全实物代码生成实验流程，培养工程实践能力；能运用快速控制原型控制器（rcp）和 Matlab 仿真工具；</p> <p>能就交直流调速系统综合实验中的全数字仿真、半实物仿真实验、全实物代码生成实验以硬件电路原理分析等问题，作出清晰的</p>	综合实验报告	能够按照任务要求很好地阐述仿真设计、原理图分析和实验内容；报告格式规范，报告中体现对实验相关问题的讨论和反思。	能够按照任务要求较好地阐述仿真设计、原理图分析和实验内容；报告格式规范，报告有一定实验相关问题的讨论和反思。	能够按照任务要求基本阐述仿真设计、原理图分析和实验内容；报告格式基本规范，报告有少量实验相关问题的讨论和反思。	不能够按照任务要求阐述仿真设计、原理图分析和实验内容；报告格式不规范。

文字叙述，并撰写出格式规范的设计报告。					
---------------------	--	--	--	--	--

6 本次修订说明

本大纲在原版本“DG7227011-201912”课程大纲基础上修订。对标最新的工程教育专业认证标准做了以下修改：

- (1) 对大纲条目布局做了修改，教材和学习资源部份并入基本信息；
- (2) 对课程的考核方式、成绩评定的解释方式做了修订（修改条目5）；
- (3) 增加条目6本次修订说明，记录修订改进点。

7 需要说明的其它问题

实践地点：电力电子与电气传动实验室，学生需在规定期限内完成基本实验要求并完成综合实验报告，才能质疑答辩。

8 附件列表

《交直流调速系统综合实验》任务书

eEEP2000 电力电子模块化实验装置相关资料