

电气与控制工程学院

课程教学大纲

课程名 (COURSE TITLE) :	交直流调速系统
课程代码 (COURSE CODE) :	7226901
学 分 (CREDIT VALUE) :	4
开课单位 (DEPARTMENT/UNIT) :	电气工程系
版 本 (VERSION) :	DG7226901-202108
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 课程内容及安排.....	7
3.1 课程学时总体安排.....	7
3.2 各知识单元内容和预期学习目标.....	7
4 课堂教学设计和实施载体.....	12
5 课程实验教学.....	15
5.1 实验名称和安排.....	15
5.2 实验要求和教学组织.....	15
5.3 实验预习和实验报告要求.....	17
5.4 实验教学在能力培养方面的具体措施.....	17
6 课程考核方案和依据.....	17
6.1 课程考核方案.....	18
6.2 课程各考核项评价依据和标准.....	18
7 本次修订说明.....	22
8 其他需要说明的问题.....	22

1 课程基本信息

课程名称（中文）	交直流调速系统					
课程名称（英文）	AC and DC Speed Control System					
课程计划学时	64		课外学时建议		64	
计划学时构成	理论学时	52	实验学时	12	上机学时	0
课外学时要求	线上学习要求：12		自主学习建议学时：52			
先修课名称	(7120401) 自动控制原理、(7020801) 电机及拖动基础、(7099811) 现代电力电子技术					
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课程必修课，开设于第6学期。本课程为学生从事电气工程领域的研究奠定基本的理论基础，让本专业的学生熟悉常用交直流调速系统的工作原理和调试方法，培养学生分析和解决复杂高性能交直流调速系统问题的能力，为后续综合实验课程奠定坚实的基础。本课程注重平时考核和期末考试相结合，理论知识、仿真模拟和实验验证相结合，全面考核学生掌握知识、运用知识和实践解决问题的能力。期末考核形式为笔试闭卷。</p>					
教材和学习资源	<p>基础资料：</p> <p>(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，ISBN号：978-7-111-54419-7</p> <p>(2) 《交直流调速系统》，李正熙 杨立永主编，电子工业出版社，2013年，ISBN号：978-7-121-19493-1</p> <p>参考资料：</p> <p>(1) 《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，ISBN号：978-7-5123-7250-4</p> <p>(2) 《现代电机控制技术》（第2版），王成元 夏加宽 孙宜标编著，机械工业出版社，2014年，ISBN：978-7-111-24901-6</p> <p>(3) Permanent Magnet Synchronous and Brushless DC Motor Drives, R.Krishnan, 2010, ISBN: 978-0-8247-5384-9</p>					
大纲版本号	DG7226901-202108		前一版本号		DG7226901-201912	
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 6 个观测点，具体如下：

(1) 毕业要求观测点 1-5: 面向电力电子与电力传动和电力系统及其自动化专业方向，掌握专业基础理论知识，具备将电气工程、控制工程、计算机科学与技术等多学科基础知识应用于分析和解决复杂电气工程问题的能力。

(2) 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，分析复杂电气工程问题的工作机理，针对复杂工程问题建立数学和物理模型并得出恰当结论。

(3) 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。

(4) 毕业要求观测点 4-2: 能根据实验步骤操作实验装置，正确采集和整理实验数据，对实验数据和结果进行分析和解释，并与理论分析进行比较，通过信息综合得出合理有效的结论。

(5) 毕业要求观测点 5-1: 能开发、选择与使用恰当的技术、资源、现代工程工具和信息技术工具。

(6) 毕业要求观测点 12-1: 具有自主学习与终身学习并适应发展的能力。

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 5 个知识目标，5 个能力目标（简称：JZLTS-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。

知识目标：

JZLTS-1: PWM 变换器-电动机系统的工作原理及调速特性

掌握并能解释、描述可逆 PWM 变换器输出电压、控制电压与占空比之间的

关系；掌握 PWM 控制器与变换器的动态数学模型；理解掌握四象限运行特性及电能回馈和泵升电压原理。

JZLTS-2：交直流调速系统双闭环调节器工程设计方法

建立转速、电流双闭环控制调速系统的动态数学模型；理解并掌握转速、电流双闭环控制调速系统调节器作用及动态过程分析；掌握调节器的工程设计方法及控制对象的工程近似处理方法。

JZLTS-3：基于稳态模型的异步电动机变压变频调速

理解并掌握变压变频调速的基本原理、电压补偿控制、不同磁通控制下的机械特性；理解并能解释、描述电压空间矢量 PWM 控制的基本原理、电压与磁链空间矢量的关系、期望电压空间矢量的合成及 SVPWM 的实现方法。

JZLTS-4：基于动态模型的异步电动机矢量控制

理解异步电动机的三相动态数学模型的性质；理解并能解释、描述坐标变换的基本思路、异步电动机在正交坐标系下的状态方程；理解并掌握按转子磁链定向矢量控制的基本思想、转子磁链计算的基本方法。

JZLTS-5：基于动态模型的永磁同步电动机矢量控制

理解并掌握同步电动机的转矩角特性；永磁同步电动机动态数学模型的建立；理解并能解释、描述永磁同步电动机在正交坐标系下的状态方程；掌握并能够解释、描述按转子位置定向矢量控制的基本思想。

能力目标：

JZLTS-6：分析、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；能实现异步电动机变压变频调速的数字控制仿真。

JZLTS-7：系统设计能力

能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。

JZLTS-8：实验能力

能根据实验步骤操作实验装置，安全有效地开展交直流调速系统各项实验，

正确采集和整理实验数据，对实验数据和结果进行分析和解释，并与理论分析进行比较，得出合理有效的结论。

JZLTS-9: 现代工具使用能力

能使用全数字仿真工具实现交直流调速系统仿真。

JZLTS-10: 自学与自律能力

能保证出勤，按时完成作业，按时线上学习任务和课程自学内容，善于时间管理。

思政目标:

JZLTS-11: 课程思政与课程教学高质量融合

结合“交直流调速系统”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
1 工程知识	1-5	0.15	JZLTS-1: PWM 变换器-电动机系统的工作原理及调速特性	10%
			JZLTS-2: 交直流调速系统双闭环调节器工程设计方法	25%
			JZLTS-3: 基于稳态模型的异步电动机变压变频调速	25%
			JZLTS-4: 基于动态模型的异步电动机矢量控制	30%
			JZLTS-5: 基于动态模型的永磁同步电动机矢量控制	10%
2 问题分析	2-1	0.1	JZLTS-6: 分析、建模能力	100%
3 设计开发	3-1	0.2	JZLTS-7: 系统设计能力	100%
4 研究	4-2	0.1	JZLTS-8: 实验能力	100%

5 使用现代工具	5-1	0.1	JZLTS-9: 现代工具使用能力	100%
12 终身学习	12-1	0.1	JZLTS-10: 自学与自律能力	100%

3 课程内容及安排

3.1 课程学时总体安排

课程性质：专业教育课程必修课

课内/实验/上机/课外学时:52/12/0/64

理论课 (学时)		习题课 (学时)		实验 (学时)		研讨 (学时)		社会实践 (学时)		项目任务 (学时)		在线学习 (学时)		其他 (学时)	
课内	课外	课内	课外	课内	课外	课内	课外	课内	课外	课内	课外	课内	课外	课内	课外
52	52	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0

3.2 各知识单元内容和预期学习目标

本课程内容分为 8 章，配有 4 个课内实验。下表介绍课程的章节划分，学时安排，以及学习完成后的预期目标结果。

知识单元 章、节、点	学习内容和预期结果	课程目标	学时	
			课内	课外
第 1 章 绪论 1.1 运动控制系统及其组成 1.2 运动控制系统的历史与发展 1.3 运动控制系统的转矩控制规律 1.4 生产机械的负载转矩特性	学习内容： 运动控制系统组成，转矩控制规律，负载机械特性，转速-转矩四象限运行。 预期结果： (1) 能 识记和复述 ：三种典型的生产机械负载转矩特性，转速转矩正方向定义。 (2) 能 解释和举例 ：转速-转矩四象限运行的电机运行状态、电磁转矩和负载转矩在不同象限的驱、制动状态。	JZLTS -1 JZLTS-10	2	2
第 2 章 转速开环控制的直流调速系统 2.1 PWM 变换器-电动机系统的工作原理及调速特性 2.2 稳态调速性能指标和开环系统存在的问题	学习内容： 不可逆 PWM 变换器-电动及系统，可逆 PWM 变换器-电动机系统，直流 PWM 调速系统的机械特性，PWM 控制器与变换器的动态数学模型，直流 PWM 调速系统的电能回馈与泵升电压；调速系统的稳态性能指标，PWM-M 系统转速开环直流调速 MATLAB 仿真。 预期结果：	JZLTS -1 JZLTS -9 JZLTS-10	4	4

<p>2.3 PWM-M 系统转速 开环直流调速 MATLAB 仿真</p>	<p>(1)能识记和复述:可逆 PWM 变换器输出电压、控制电压与占空比之间的关系。</p> <p>(2) 数学模型建立: 能运用机理建模方法, 针对 PWM 控制器与变换器作为调速系统一个环节, 建立其传递函数动态数学模型。</p> <p>(3) 能识记和复述: 调速范围和静差率两个稳态性能指标的基本概念和公式表达, 能识记和解释调速范围、静差率和额定速降之间的关系。</p> <p>(4) MATLAB 系统仿真实现: 能运用 MATLAB 仿真工具完成 PWM-M 系统转速开环直流调速仿真。</p>			
<p>第 3 章 转速闭环控制的直流 调速系统</p> <p>3.1 有静差的转速闭环 直流调速系统</p> <p>3.2 转速闭环控制直流 调速系统 MATLAB 仿 真</p>	<p>学习内容: 比例控制转速闭环直流调速系统的结构与静特性, 开环系统与比例控制闭环系统静特性对比分析, 比例控制转速闭环系统的稳定性, PWM-M 系统转速闭环控制直流调速系统 MATLAB 仿真。</p> <p>预期结果:</p> <p>(1)能根据比例控制转速闭环直流调速系统稳态模型, 进行闭环系统静特性与开环系统机械特性对比分析, 进行闭环系统和开环系统静差率和调速范围的对比分析。</p> <p>(2) 动态数学模型建立: 能根据系统各环节的物理规律, 列出描述该环节动态过程的微分方程, 求出各环节的传递函数, 组成系统的动态结构图, 求出系统的传递函数。针对 PWM 控制器与变换器作为调速系统一个环节, 建立其传递函数动态数学模型。</p> <p>(3)能根据系统动态数学模型分析比例控制速度闭环直流调速系统的动态稳定性条件。</p>	<p>JZLTS -2 JZLTS -9 JZLTS-10</p>	<p>4</p>	<p>4</p>

	(4) MATLAB 系统仿真实现 : 能运用 MATLAB 仿真工具完成 PWM-M 系统转速闭环直流调速仿真。			
<p>第 4 章 转速、电流双闭环控制的直流调速系统</p> <p>4.1 转速、电流双闭环控制直流调速系统的组成及其静特性</p> <p>4.2 转速、电流双闭环控制直流调速系统的数学模型与动态过程分析</p> <p>4.3 转速、电流双闭环控制直流调速系统的设计</p> <p>4.4 转速、电流双闭环控制直流调速系统 MATLAB 仿真 安排 1 次课内实验</p>	<p>学习内容: 转速、电流双闭环控制直流调速系统的组成及其静特性; 转速、电流双闭环控制直流调速系统的动态数学模型, 起、制动动态过程分析; 转速、电流双闭环控制直流调速系统的动态性能指标; 调节器的工程设计方法; 控制对象的工程近似处理方法; 按工程设计方法设计转速、电流双闭环控制直流调速系统的调节器; 转速、电流双闭环控制直流调速系统 MATLAB 仿真。</p> <p>预期结果:</p> <p>(1) 图表绘制: 能绘制双闭环直流调速系统的静特性曲线; 清楚双闭环调速系统各环节及其传递函数, 并能够根据各环节传递函数绘制双闭环直流调速系统动态结构图。</p> <p>(2) 能识记和复述: 起动过程三阶段分析, 制动过程四阶段分析, 转速调节器和电流调节器的作用。</p> <p>(3) 熟练掌握: 典型 I 型系统的工程设计方法, 典型 II 型系统的工程设计方法。比例控制转速闭环直流调速系统稳态模型, 进行闭环系统静特性与开环系统机械特性对比分析, 进行闭环系统和开环系统静差率和调速范围的对比分析。</p> <p>(4) 能理解和解释: 校正为典型 I 型和 II 型系统的近似处理原则及工程近似处理方法。</p> <p>(5) 系统设计: 能按照工程设计方法设计转速、电流双闭环控制直流调速系统的调节器。</p> <p>(6) 方法应用和数学计算: 能根据饱和限幅的</p>	<p>JZLTS -2 JZLTS -6 JZLTS -8 JZLTS-10</p>	14	14

	<p>非线性控制作用，进行转速调节器的退饱和超调量计算。</p> <p>(7) MATLAB 系统仿真实现：能运用 MATLAB 仿真工具完成转速、电流双闭环控制直流调速系统 MATLAB 仿真。</p>			
<p>第 5 章 直流调速系统的数字控制</p> <p>5.1 数字系统介绍</p> <p>5.2 采样频率的选择</p> <p>5.3 数字 PI 调节器及数字控制器的设计</p>	<p>学习内容：采样频率的选择，数字 PI 调节器，数字控制器的设计，数字控制的 PWM 电机调速系统。</p> <p>预期结果：</p> <p>(1) 熟练掌握：模拟调节器的数字化，能对模拟 PI 调节器离散化，得到数字控制器的算法。</p> <p>(2) 方法应用和算法编写：能编写位置式和增量式数字 PI 调节器算法，实现仿真与实验应用。</p>	<p>JZLTS -2</p> <p>JZLTS-10</p>	2	2
<p>第 6 章 基于稳态模型的异步电动机调速系统</p> <p>6.1 异步电动机的稳态数学模型和调速方法</p> <p>6.2 异步电动机的调压调速</p> <p>6.3 异步电动机的变压变频调速</p> <p>6.4 电力电子变压变频器</p> <p>6.5 转速开环变压变频调速系统</p> <p>6.6 转速闭环转差频率控制的变压变频调速系统</p> <p>6.7 转速闭环转差频率控制变压变频交流调速系统 MATLAB 仿真安排 1 次课内实验</p>	<p>学习内容：异步电动机的稳态数学模型，机械特性；异步电动机变压变频调速，不同磁通控制下的变压变频调速机械特性；电压空间矢量 PWM 控制技术；转速开环变压变频调速系统；转速闭环转差频率控制的变压变频调速系统。</p> <p>预期结果：</p> <p>(1) 能够理解和解释：不同磁通恒定控制下的变压变频调速机械特性。</p> <p>(2) 熟练掌握：电压空间矢量 PWM 控制技术，空间矢量定义、电压与磁链空间矢量的关系、期望电压空间矢量的合成及实现方法。</p> <p>(3) 方法应用和数学计算：应用转速闭环转差频率控制技术，在保持气隙磁通不变的前提下，通过控制转差角频率来控制转矩，实现变压变频调速。</p>	<p>JZLTS -3</p> <p>JZLTS -6</p> <p>JZLTS -8</p> <p>JZLTS-10</p>	16	16

	(4) MATLAB 系统仿真实现 : 能运用 MATLAB 仿真工具完成转速闭环转差频率控制变压变频调速系统 MATLAB 仿真。			
<p>第 7 章 基于动态模型的异步电动机调速系统</p> <p>7.1 异步电动机动态数学模型的性质</p> <p>7.2 异步电动机的三相数学模型</p> <p>7.3 坐标变换</p> <p>7.4 异步电动机在正交坐标系上的动态数学模型</p> <p>7.5 异步电动机在正交坐标系上的状态方程</p> <p>7.6 异步电动机按转子磁链定向的矢量控制系统</p> <p>7.7 双闭环转子磁场定向矢量控制交流调速系统 MATLAB 仿真 安排 1 次课内实验</p>	<p>学习内容: 异步电动机的动态数学模型的性质, 坐标变换, 异步电动机在正交坐标系上的动态数学模型、状态方程; 异步电动机按转子磁链定向的矢量控制系统; 转子磁链计算方法。</p> <p>预期结果:</p> <p>(1) 动态数学模型建立: 能根据异步电动机的三相数学模型, 通过坐标变换和磁场定向, 建立异步电动机等效直流电动机的动态数学模型。</p> <p>(2) 熟练掌握: 坐标变换基本思路, 矢量控制基本思想。</p> <p>(3) 方法应用和数学计算: 应用坐标变换和矢量控制技术, 建立双闭环矢量控制调速系统闭环传递函数, 进行双闭环调节器参数整定计算, 实现异步电动机矢量控制系统调速。</p> <p>(4) MATLAB 系统仿真实现: 能运用 MATLAB 仿真工具完成转速、电流双闭环转子磁链定向矢量控制系统 MATLAB 仿真。</p>	<p>JZLTS -4 JZLTS -7 JZLTS -8 JZLTS-10</p>	16	16
<p>第 8 章 同步电动机变压变频调速系统</p> <p>8.1 同步电动机的稳态模型与调速方法</p> <p>8.2 同步电动机矢量控制系统</p> <p>8.3 永磁同步电动机双闭环转子位置定向矢量控制调速系统 MATLAB 仿真 安排 1 次课内实验</p>	<p>学习内容: 同步电动机的转矩角特性; 正弦波永磁同步电动机矢量控制系统。</p> <p>预期结果:</p> <p>(1) 动态数学模型建立: 能根据同步电动机的三相数学模型, 通过坐标变换和转子位置定向, 建立同步电动机等效直流电动机的动态数学模型。</p> <p>(2) 方法应用和数学计算: 应用坐标变换和矢</p>	<p>JZLTS -5 JZLTS -8 JZLTS-10</p>	6	6

	量控制技术，建立双闭环矢量控制调速系统闭环传递函数，进行双闭环调节器参数整定计算，实现同步电动机矢量控制系统调速。			
	(3) MATLAB 系统仿真实现 ：能运用 MATLAB 仿真工具完成转速、电流双闭环转子位置定向永磁同步电动机矢量控制系统 MATLAB 仿真。			

4 课堂教学设计和实施载体

本课程教学采用 Powerpoint、MATLAB 仿真、智慧树线上教学平台、翻转课堂、教学影视片及课堂板书相结合的教学手段，同时采用启发式、讨论式、案例式等教学方式，突出对学生工程应用能力和创新意识的培养。

课下学习采用 MATLAB 仿真大作业和智慧树线上视频教学相结合的方式。。

课程各章节中蕴含着丰富的思政教育元素，教学设计选择合适的切入点，潜移默化地实现对学生的思想政治教育，促进学生知识与能力、过程与方法、科学素养与价值引领的统一。例如从理论与实践结合角度，课程运用“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。教学结合工程应用实际开发流程，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，明确工匠精神在国家科技发展和个人职业发展中的重要性。通过讲授中国高铁牵引技术卡脖子难题破解等案例，使学生树立科学的理想信念，成为有责任、有担当的工程技术人员，学生要肩负起实现中华民族伟大复兴的历史使命，为国家攻坚克难。

课程目标	知识单元		学习场景/教学模式	实施载体
	章	节/目		
JZLTS-1	第 1 章 绪论		课堂讲授、翻转课堂	讲义教案、MOOC 视频
JZLTS-10	1.1 运动控制系统及其组成			
JZLTS-11	1.2 运动控制系统的历史与发展		课堂讲授、翻转课堂	讲义教案、MOOC 视频

	1.3 运动控制系统的转矩控制规律	课堂讲授、翻转课堂	讲义教案、MOOC 视频
	1.4 生产机械的负载转矩特性	课堂讲授、翻转课堂	讲义教案、MOOC 视频、随堂练习、习题解析
JZLTS-1 JZLTS-9 JZLTS-10 JZLTS-11	第 2 章转速开环控制的直流调速系统 2.1 PWM 变换器-电动机系统的工作原理及调速特性	课堂讲授、翻转课堂、线上答疑	讲义教案、MOOC 视频、随堂练习、习题解析
	2.2 稳态调速性能指标和开环系统存在的问题	课堂讲授、翻转课堂、线上答疑	讲义教案、MOOC 视频、随堂练习、习题解析
	2.3 PWM-M 系统转速开环直流调速 MATLAB 仿真	课堂讲授、翻转课堂、线上答疑	仿真讲义教案、仿真录制视频、仿真作业
JZLTS-2 JZLTS-9 JZLTS-10 JZLTS-11	第 3 章转速闭环控制的直流调速系统 3.1 有静差的转速闭环直流调速系统	课堂讲授、翻转课堂、线上答疑	讲义教案、MOOC 视频、随堂练习、习题解析
	3.2 转速闭环控制直流调速系统 MATLAB 仿真	课堂讲授、翻转课堂、线上答疑、讨论仿真、作业总结	仿真讲义教案、仿真录制视频、仿真作业
JZLTS-2 JZLTS-6 JZLTS-8 JZLTS-10 JZLTS-11	第 4 章转速、电流双闭环控制的直流调速系统 4.1 转速、电流双闭环控制直流调速系统的组成及其静特性	课堂讲授、翻转课堂、线上答疑	讲义教案、MOOC 视频、随堂练习、习题解析
	4.2 转速、电流双闭环控制直流调速系统的数学模型与动态过程分析	课堂讲授、翻转课堂、线上答疑	讲义教案、MOOC 视频、随堂练习、习题解析
	4.3 转速、电流双闭环控制直流调速系统的设计	课堂讲授、翻转课堂、线上答疑	讲义教案、MOOC 视频、随堂练习、习题解析
	4.4 转速、电流双闭环控制直流调速系统 MATLAB 仿真	课堂讲授、翻转课堂、线上答疑、讨论仿真、作业总结	仿真讲义教案、仿真录制视频、仿真作业
JZLTS-2 JZLTS-10 JZLTS-11	第 5 章直流调速系统的数字控制 5.1 数字系统介绍	课堂讲授、翻转课堂、线上答疑	讲义教案、MOOC 视频
	5.2 采样频率的选择	课堂讲授、翻转课堂、线上答疑	讲义教案、MOOC 视频
	5.3 数字 PI 调节器及数字控制器的设计	课堂讲授、翻转课堂、线上答疑	讲义教案、MOOC 视频、随堂练习、习题解析

JZLTS-3 JZLTS-6 JZLTS-8 JZLTS-10 JZLTS-11	第 6 章 基于稳态模型的异步电动机调速系统 6.1 异步电动机的稳态数学模型和调速方法有静差的转速闭环直流调速系统	课堂讲授、翻转课堂、线上答疑	讲义教案、MOOC 视频、随堂练习、习题解析
	6.2 异步电动机的调压调速器	课堂讲授、翻转课堂、线上答疑	讲义教案、MOOC 视频、随堂练习、习题解析
	6.3 异步电动机的变压变频调速	课堂讲授、翻转课堂、线上答疑	讲义教案、MOOC 视频、随堂练习、习题解析
	6.4 电力电子变压变频	课堂讲授、翻转课堂、线上答疑	讲义教案、MOOC 视频、随堂练习、习题解析
	6.5 转速开环变压变频调速系统	课堂讲授、翻转课堂、线上答疑	讲义教案、MOOC 视频、随堂练习、习题解析
	6.6 转速闭环转差频率控制的变压变频调速系统	课堂讲授、翻转课堂、线上答疑	讲义教案、MOOC 视频、随堂练习、习题解析
	6.7 转速闭环转差频率控制变压变频交流调速系统 MATLAB 仿真	课堂讲授、翻转课堂、线上答疑、讨论仿真、作业总结	仿真讲义教案、仿真录制视频、仿真作业
JZLTS-4 JZLTS-7 JZLTS-8 JZLTS-10 JZLTS-11	第 7 章 基于动态模型的异步电动机调速系统 7.1 异步电动机动态数学模型的性质	课堂讲授、翻转课堂、线上答疑	讲义教案、MOOC 视频、随堂练习、习题解析
	7.2 异步电动机的三相数学模型	课堂讲授、翻转课堂、线上答疑	讲义教案、MOOC 视频、随堂练习、习题解析
	7.3 坐标变换	课堂讲授、翻转课堂、线上答疑	讲义教案、MOOC 视频、随堂练习、习题解析
	7.4 异步电动机在正交坐标系上的动态数学模型	课堂讲授、翻转课堂、线上答疑	讲义教案、MOOC 视频、随堂练习、习题解析
	7.5 异步电动机在正交坐标系上的状态方程	课堂讲授、翻转课堂、线上答疑	讲义教案、MOOC 视频、随堂练习、习题解析
	7.6 异步电动机按转子磁链定向的矢量控制系统	课堂讲授、翻转课堂、线上答疑	讲义教案、MOOC 视频、随堂练习、习题解析
	7.7 双闭环转子磁场定向矢量控制交流	课堂讲授、翻转课堂、	仿真讲义教案、仿真录

	调速系统 MATLAB 仿真	线上答疑、讨论仿真、 作业总结	制视频、仿真作业
JZLTS-5 JZLTS-8 JZLTS-10 JZLTS-11	第 8 章同步电动机变压变频调速系统 8.1 同步电动机的稳态模型与调速方法	课堂讲授、翻转课堂、 线上答疑	讲义教案、MOOC 视频、 随堂练习、习题解析
	8.2 同步电动机矢量控制系统		
	8.3 永磁同步电动机双闭环转子位置定向 矢量控制调速系统 MATLAB 仿真	课堂讲授、翻转课堂、 线上答疑、讨论仿真、 作业总结	仿真讲义教案、仿真录 制视频、仿真作业

5 课程实验教学

本课程提供 4 个课程实验，其中必做 12 学时。

5.1 实验名称和安排

序号	实验名称	实验类型	学时	教学安排	课程目标
1	双闭环直流调速系统实验	设计型	4	必做、实物系统实验	JZLTS-8
2	三相异步电动机变压变频 调速系统实验	设计型	2	必做、实物系统实验	JZLTS-8
3	三相异步电动机矢量控制 系统实验	设计型	4	必做、实物系统实验	JZLTS-8
4	三相永磁同步电动机矢量 控制系统实验	验证型	2	必做、实物系统实验	JZLTS-8

5.2 实验要求和教学组织

实验 1: 双闭环直流调速系统实验 (设计型实验)	时间安排: 4 学时
<p>实验目的:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 能准确表述转速、电流调节器在双闭环直流调速系统中的作用; 2. 能准确阐述双闭环直流调速系统各环节基本组成, 准确建立系统数学模型。 3. 能根据双闭环直流调速系统动态数学模型按照工程设计方法进行调节器参数整定设计; 4. 能对电机四象限运行中, 在各象限的电机运行状态、电磁转矩特性和负载转矩特性进行准确分析。 	
<p>实践能力目标:</p> <p>分析建模能力、系统设计能力、设备工具使用能力、实验分析能力、</p>	

实验组织:

每组 2-3 人，共用一个实验箱进行实验操作。

提前阅读实验指导书进行预习，独立完成实验过程，观察现象，记录数据文件，撰写实验报告。

实验 2: 三相异步电动机变压变频调速系统实验(设计型实验)

时间安排: 2 学时

实验目的:

1. 能准确描述三相异步电机变压变频调速系统的基本原理。
2. 能阐述变压变频调速系统低速下定子电压补偿控制原理。
3. 能理解转差频率控制的基本思想，在保证气隙磁通不变的前提下，通过控制转差频率来控制转矩；
4. 能进行转速闭环转差频率控制的变压变频调速系统调节器和转差频率参数设计。

实践能力目标:

系统设计能力、设备工具使用能力、实验分析能力

实验组织:

每组 2-3 人，共用一个实验箱进行实验操作。

提前阅读实验指导书进行预习，独立完成实验过程，观察现象，记录数据文件，撰写实验报告。

实验 3: 三相异步电动机矢量控制系统实验(设计型实验)

时间安排: 4 学时

实验目的:

1. 能准确表述三相异步电机转子磁场定向矢量控制调速系统的基本工作原理；
2. 能准确表述系统各环节传递函数，准确建立双闭环异步电动机调速系统动态数学模型；
3. 能根据双闭环交流调速系统动态数学模型按照工程设计方法进行调节器参数整定设计；
4. 能分析异步电机矢量控制调速系统的稳态及动态特性。

实践能力目标:

分析建模能力、系统设计能力、设备工具使用能力、实验分析能力、表述能力。

实验组织:

每组 2-3 人，共用一个实验平台进行实验操作。

提前阅读实验指导书进行预习，独立完成实验过程，观察现象，记录数据文件，撰写实验报告。

实验 4: 三相永磁同步电动机矢量控制系统实验(验证型实验)	时间安排: 2 学时
<p>实验目的:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 能正确阐述三相永磁同步电机转子位置定向矢量控制调速系统的基本工作原理; 2. 能准确表述系统各环节传递函数, 准确建立双闭环永磁同步电动机调速系统动态数学模型; 3. 能根据双闭环永磁同步电动机调速系统动态数学模型按照工程设计方法进行调节器参数整定设计; 4. 能分析永磁同步电机矢量控制调速系统的稳态及动态特性。 	
<p>实践能力目标:</p> <p>分析建模能力、系统设计能力、设备工具使用能力、实验分析能力、表述能力。</p>	
<p>实验组织:</p> <p>每组 2-3 人, 共用一个实验平台进行实验操作。 提前阅读实验指导书进行预习, 独立完成实验过程, 观察现象, 记录数据文件, 撰写实验报告。</p>	

5.3 实验预习和实验报告要求

学生需在到实验室进行实验之前进行预习, 预习内容应包括与本次实验有关的概念、原理、定理、设计方法等知识点, 并写出预习报告。

完成实验后需提交实验报告, 验证性实验报告需包含实验目的、要求、实验获得的数据、分析和结论; 设计性实验报告需包含实验目的、要求、实验方案设计(及计算过程)、实验测试数据、结果分析和结论。

5.4 实验教学在能力培养方面的具体措施

本实验隶属电力电子与电力传动实验室, 主要实验设备是创新多元化综合实验平台, 同时配备了半实物仿真实验台和全实物代码生成试验台, 可为学生提供快速控制原型、硬件在环控制以及项目应用开发等创新开放实验, 为各类大学生科技竞赛及自主创新设计提供实验平台。

6 课程考核方案和依据

本课程注重平时考核和期末考试相结合, 理论知识和实践能力相结合, 全面

考核学生掌握知识、运用知识和实践解决问题的能力。完成平时的作业、实验、参与课堂讨论是参加考试的必要条件。期末考核形式为笔试闭卷，考核内容应覆盖 80% 以上的基本内容和基本要求。总成绩以百分制计算，平时成绩 50%+ 期末考试成绩 50%。平时成绩由仿真、实验、课堂表现、线上学习与测验等部分组成：仿真占平时成绩的 40%，课内实验占平时成绩的 30%，线上测验占平时成绩的 20%，课堂表现、线上学习占平时成绩的 10%。

6.1 课程考核方案

课程目标		课程各类考核项								
		仿真作业				课程实验	线上测验		课堂表现、线上学习	期末考试成绩
		作业 1	作业 2	作业 3	作业 4		直流测验	交流测验		
知识目标	JZLTS -1						50			10
	JZLTS -2						50			25
	JZLTS -3							40		25
	JZLTS -4							40		20
	JZLTS -5							20		10
能力目标	JZLTS -6		100	100						
	JZLTS -7				100					10
	JZLTS -8					100				
	JZLTS -9	100								
	JZLTS -10								100	
分数合计		100	100	100	100	100	100	100	100	100
总评占比		5%	5%	5%	5%	15%	5%	5%	5%	50%
		20%					10%			

6.2 课程各考核项评价依据和标准

考核项目 1：课堂表现、线上学习

考核方式：课堂互动、考勤、线上学习

考核权重：5%

预期学习结果	考核依据	优秀	良好	达成	未达成
		>90 分	80-90 分	60-80 分	<60 分
JZLTS -10：能够保证出勤，按时完成作业，按时完成线上学习任务	课堂互动次数；出勤记录；线上学习	课堂互动次数成绩、出勤记录	课堂互动次数成绩、出勤记录	课堂互动次数成绩、出勤记录	课堂互动次数成绩、出勤

<p>程自学内容,善于时间管理。</p> <p>合理安排各项学习任务,有效高质量地完成课程运行过程中的学习任务</p> <p>能够综合利用线上线下混合学习手段提升学习效果。</p>	进度记录。	成绩、线上学习进度成绩三项之和平均成绩 >90 分。	成绩、线上学习进度成绩三项之和平均成绩在 80-90 分之间。	成绩、线上学习进度成绩三项之和平均成绩在 60-80 分之间。	记录成绩、线上学习进度成绩三项之和平均成绩 <60 分。
--	-------	----------------------------	---------------------------------	---------------------------------	------------------------------

考核项目 2: 线上测验

考核方式: 直流调速线上测验、交流调速线上测验

考核权重: 10%

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>JZLTS-1: 理解并能够解释、描述可逆 PWM 变换器输出电压、控制电压与占空比之间的关系, PWM 控制器与变换器的动态数学模型, 四象限运行特性及电能回馈和泵升电压原理。</p> <p>JZLTS-2: 转速、电流双闭环控制调速系统的动态数学模型的建立; 理解并能够解释、描述转速、电流双闭环控制调速系统调节器作用及动态过程分析。</p> <p>JZLTS-3: 理解并能够解释、描述变压变频调速的基本原理、电压补偿控制、不同磁通控制下的机械特性。理解并能够解释、描述电压空间矢量 PWM 控制的基本原理、电压与磁链空间矢量的关系、期望电压空间矢量的合成及 SVPWM 的实现方法。</p> <p>JZLTS-4: 理解异步电动机的三相动态数学模型的性质; 理解并能够解释、描述坐标变换的基本思路、异步电动机在正交坐标系下的状态方程; 理解并能够解</p>	直流调速线上测验成绩; 交流调速线上测验成绩。	直流调速线上测验成绩、交流调速线上测验成绩两项之和平均成绩 >90 分。	直流调速线上测验成绩、交流调速线上测验成绩两项之和平均成绩在 80-90 分之间。	直流调速线上测验成绩、交流调速线上测验成绩两项之和平均成绩在 60-80 分之间。	直流调速线上测验成绩、交流调速线上测验成绩两项之和平均成绩 <60 分。

释、描述按转子磁链定向矢量控制的基本思想、转子磁链计算的基本方法。 JZLTS-5: 理解同步电动机的转矩角特性;永磁同步电动机动态数学模型的建立;理解并能够解释、描述永磁同步电动机在正交坐标系下的状态方程;理解并能够解释、描述按转子位置定向矢量控制的基本思想。					
--	--	--	--	--	--

考核项目 3: 仿真作业

考核方式: 仿真作业报告, 仿真讲解与演示

考核权重: 20%

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
JZLTS-6: 能分析交直流调速系统各环节工作原理, 建立各环节数学模型, 搭建系统仿真模型。 JZLTS-7: 能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。 JZLTS-9: 能使用全数字仿真工具实现交直流调速系统仿真。	仿真作业报告内容, 格式要求, 仿真讲解。	按时独立完成仿真作业, 格式规范; 讲解清楚, 仿真作业批阅平均成绩>90 分。	能够按时完成仿真作业, 格式规范, 仿真讲解比较清楚, 完成情况较好。仿真作业批阅平均成绩在 80-90 分之间。	基本能够完成仿真作业, 格式基本规范, 仿真讲解基本清楚, 仿真作业批阅平均成绩在 60-80 分之间。	不能够按时完成仿真作业, 格式不符合规范, 仿真讲解不清楚, 仿真作业批阅平均成绩 <60 分。

考核项目 4: 课程实验

考核方式: 实验操作过程表现和实验报告

考核权重: 15%

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

JZLTS-8: 能根据实验步骤操作实验装置, 安全有效地开展交直流调速系统各项实验, 正确采集和整理实验数据, 对实验数据和结果进行分析和解释, 并与理论分析进行比较, 得出合理有效的结论。	实验表现和验收质疑情况记录, 实验报告。	按时到课, 并且能够按照任务要求和安排自主完成操作; 验收通过, 正确回答教师质疑。课程实验平均成绩>90分。	按时到课, 并且能够按照任务要求和安排顺利完成操作; 验收通过, 正确回答教师质疑。课程实验平均成绩在80-90分之间。	基本能够按时上课(不超过1次不按时上课), 经过帮助能够完成实验操作; 基本正确回答教师质疑。在60-80分之间。	不能按时到课, 或者大部分实验内容无法完成。课程实验平均成绩<60分。
--	----------------------	---	--	---	-------------------------------------

考核项目 5: 期末考试

考核方式: 闭卷考试

考核权重: 50%

预期学习结果	优秀	良好	达成	未达成
	>90分	80-90分	60-80分	<60分
<p>JZLTS-1: 理解并能够解释、描述可逆 PWM 变换器输出电压、控制电压与占空比之间的关系, PWM 控制器与变换器的动态数学模型, 四象限运行特性及电能回馈和泵升电压原理。</p> <p>JZLTS-2: 转速、电流双闭环控制调速系统的动态数学模型的建立; 理解并能够解释、描述转速、电流双闭环控制调速系统调节器作用及动态过程分析; 掌握调节器的工程设计方法及控制对象的工程近似处理方法;</p> <p>JZLTS-3: 理解并能够解释、描述变压变频调速的基本原理、电压补偿控制、不同磁通控制下的机械特性; 理解并能够解释、描述电压空间矢量 PWM 控制的基本原理、电压与磁链空间矢量的关系、期望电压空间矢量的合成及 SVPWM 的实现方法。</p> <p>JZLTS-4: 理解异步电动机的三相动态数学模型的性质; 理解并能够解释、描述坐标变换的基本思路、异步电动机在正交坐标系下的状态方程; 理解并能够解释、描述按转子磁链定向矢量控制的基本思想、转子磁链计算的基本方法。</p> <p>JZLTS-5: 理解同步电动机的转矩角特性; 永磁同步电动机动态数学模型的建立; 理解并能够解释、描述永磁同步电动机在正交坐标系下的状态方程; 理解并能够解释、描述</p>	在试卷中, 对各知识单元的掌握程度全面达到预期学习结果, 错误率在 10% 以下。	在试卷中, 对各知识单元的掌握程度较好达到预期学习结果, 错误率在 20% 左右。	在试卷中, 对各知识单元的掌握程度基本达到预期学习结果, 错误率在 30% 左右。	在试卷中, 对各知识单元的掌握程度达不到预期学习结果, 错误率在 40% 以上。

<p>按转子位置定向矢量控制的基本思想。 JZLTS-7：能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。</p>				
---	--	--	--	--

7 本次修订说明

本大纲在原版本“DG7226901-201912”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) 增加了实验教学部分的说明（为5课程实验教学增加条目），增加了实验教学环节的考核说明（条目7.3）；
- (3) 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6）；
- (4) 增加条目7本次修订说明，记录修订改进点。

8 其他需要说明的问题

电力电子与电气传动实验室建立了支持创新化实践的多元化综合开放实验平台，基于开放的模块化平台，融入多样化设计和创新思想，支持创新多元化综合实验开展。学生可根据学习需要在课外活动、开放实验、毕业设计等不同阶段申请利用实验室提供的开放实践平台进一步学习提高，以达到更好的学习效果。