

“控制工程基础 III” 课程教学大纲

英文名称: The basis of control engineering III

课程编号: 0006176

课程性质: 学科基础必修课

学分: 3 学时: 48

面向对象: 机械工程专业、测控技术与仪器专业本科生

先修课程: 高等数学、理论力学

使用教材及参考书:

[1] 董景新, 赵长德. 控制工程基础. 北京: 清华大学出版社, 1999 年 4 月

[2] 吴麒. 自动控制原理. 北京: 清华大学出版社, 1999 年 9 月

[3] 戴忠达. 自动控制理论基础. 北京: 清华大学出版社, 1999 年 8 月

一、课程简介

《控制工程基础》是机械工程专业、测控技术与仪器专业必备的一门学科基础课程。本课程重点讲授在控制系统的分析及设计中, 所必需的理论和方法。本课程在教学内容方面着重于控制工程的基本概念、基本理论和基本求解方法, 在能力培养方面着重于对已有的系统进行工作原理和运行品质的分析, 以及如何根据实际需要设计控制系统并加以实现。

二、课程地位与教学目标

课程地位: 本课程是机械工程专业、测控技术与仪器专业学科的基础必修课。继高等数学、大学物理、理论力学、线性代数等课程后, 引导学生从实际工程系统设计与分析角度出发, 掌握控制工程基本理论、基本知识以及系统数学模型的建立、动、静特性的分析等, 培养其空间思维、系统设计与分析、算法设计与实现、上机操作 4 大专业基本能力。增强学生对抽象、理论、设计 3 个学科形态/过程的理解, 学习基本思维方法和研究方法; 引导学生追求从问题出发, 对工程系统进行分析设计, 强化学生自动控制、反馈控制、时频域分析等专业核心意识; 除了学习知识外, 还要学习系统建模、信号类型、时域响应、系统稳定性与准确性分析; 给学生提供参与设计分析复杂结构的机会, 培养其工程应用意识和能力。

教学目标: 总的教学目标是: 使学生掌握“控制工程基础”中的基本概念、基本理论、基本方法, 从动态模型与方块图上分析控制原理及算法, 认识信号类型, 提升解决工程实际问题的水平, 增强应用能力, 体验实现工程分析的乐趣。该目标分解为以下子目标。

- ◇ 掌握控制系统动态微分方程的建立方法。
- ◇ 掌握拉氏变换、传递函数的简化及高阶微分方程的求解方法。
- ◇ 增强理论结合实际的能力, 掌握频域变换及分析方法。
- ◇ 培养分析复杂工程问题和系统预测的能力, 增强交流和团队协作能力。

对于机械工程专业, 主要为毕业要求第 1、2、3、5 的实现提供支持。

对于毕业要求 1, 控制工程基础属于本专业的基础理论之一, 掌握用于解决复杂工程问题所需的相关计算机应用技术和控制理论与技术知识, 培养学生解决难度较大的问题, 处理

复杂系统的设计与实现的能力（指标点 1-6，1-7）；

对于毕业要求 2，培养学生应用数学的基本原理对复杂工程问题进行数学建模并求解，应用相关测试与控制基本原理，识别、表达、并通过文献研究分析复杂工程问题中的相关问题，以获得有效结论用于系统的设计与实现的能力（指标点 2-5）；

对于毕业要求 3，强化学生控制系统设计、分析技能、实验及调节校正技能等专业核心意识，对控制系统微分方程的建立方法、传递函数方块图的简化、时域瞬态响应分析、频率特性分析等典型方法的掌握，培养其掌握设计针对复杂工程问题的解决方案所需的反馈控制知识，制定相应的信号采集和控制方案，并体现创新意识在内的工程系统设计分析能力（指标点 3-7）；

对于毕业要求 5，培养学生对多种控制方法、技术的比较、评价和选择的能力，以最恰当的控制软件对复杂问题进行分析模拟，并理解其局限性（指标点 5-2）。

对于测控技术与仪器专业，主要为毕业要求第 1、5 的实现提供支持。

对于毕业要求 1，控制工程基础属于本专业类的基础理论之一，掌握用于解决测控系统与仪器中复杂工程问题所需的控制理论与技术知识。（指标点 1.5）

对于毕业要求 5，培养学生能够使用现代工具对测控系统与仪器中复杂工程问题的预测与模拟，并理解其局限性。（指标点 5.2）

三、课程教学内容及要求

这里给出的本课程要求的基本教学内容，在授课中必须完全涵盖，主讲教师可以根据学生的状况，自身的体会等在某些方面进行扩展和对学生进行引导，适当扩大学生的涉猎面。

1. 绪论

教学目的^[1]、课程的基本内容^[3]、课程目标^[2]、历史及其作用^[3]、自动控制系统^[1]、基本概念^[1]、发展趋势^[3]。以经典控制理论分析的总体过程为依据，引导学生从实际工程系统角度去考虑问题、建立相关模型。在此过程中，重温自动控制、反馈控制、基本要求等，了解控制系统的作用与发展。

重点：课程基本内容，课程目标，自动控制组成。

难点：自动控制组成。

2. 控制系统的动态数学模型^[1]

系统数学模型问题及其描述。包括控制系统线性微分方程的建立方法、传递函数的基本概念、传递函数方块图的建立及其简化方法、运用微分方程和传递函数的方法，揭示并定量分析控制系统的结构、参数及动态特性之间的关系。这部分内容是表征和设计系统动态数学模型的基础部分，涉及到问题的提出、归纳、模型化描述，模型之间的连接。

重点：控制系统微分方程的建立，拉氏变换及反变换，系统函数方块图及其简化。

难点：拉氏变换及反变换。

3. 控制系统的时域响应分析

典型输入信号及其拉氏变换的形式^[1]，一阶、二阶系统的数学模型及其在典型输入信号作用下的时域响应^[2]。如何依据这些工程系统问题的分析进行时域响应结果的实现。使学生掌握典型输入信号作用下的时域响应分析过程，感受表征化、模型分析的简洁，体验选择典

型输入信号及建立系统传递函数的重要意义。

重点：典型输入信号，典型信号拉氏变换，一阶系统的瞬态响应。

难点：二阶系统的瞬态响应。

4. 控制系统的频率分析

主要包括：频率特性的基本概念、傅立叶变换方法^[1]，频率响应的极坐标图（乃氏图）及对数坐标图（伯德图）的绘制方法^[1]，频率指标与时域指标的相互关系^[2]，开环频域特性与闭环频域特性的关系^[3]，由频率特性曲线构造系统传递函数的方法^[2]，最小相位系统^[4]，频率响应实验^[4]。根据系统方块图或传递函数，求解其频率特性表达式，结合频率特性表达方法，利用乃氏图或伯德图实现控制系统的描述。

重点：乃氏图及伯德图的绘制，由频率特性曲线构造系统传递函数的方法。

难点：乃氏图的绘制。

5. 控制系统的稳定性分析

控制系统能实际中应用的首要条件是系统必须稳定，进行系统的稳定性分析是控制理论的重要组成部分。主要讲授系统稳定性的基本概念^[1]，应用劳斯判据以及赫尔维兹判据判别系统稳定性的方法^[1]，奈奎斯特稳定判据，对数幅相频特性稳定性判据的基本原理和应用方法^[2]，相位裕量和幅值裕量求取方法^[3]。

重点：劳斯判据以及赫尔维兹判据，奈奎斯特稳定判据，对数幅相频特性稳定性判据的基本原理和应用，极点在复平面的分布位置与系统稳定性的关系。

难点：对数幅相频特性稳定性判据的基本原理和应用方法，极点在复平面的分布位置与系统稳定性的关系。

6. 控制系统的误差分析与计算

对于控制系统的基本要求是快速、稳定、准确，误差问题就是控制系统的准确度问题。内容包括：稳态误差的基本概念^[1]，误差与偏差关系^[1]，单位反馈控制系统稳态误差^[1]，一般反馈系统稳态误差^[1]，静态误差系数^[3]，输入引起的稳态误差^[1]，干扰引起的稳态误差^[2]。

重点：稳态误差的基本概念，误差与偏差关系，反馈系统稳态误差，谐波输入引起的稳态误差。

难点：静态误差系数，干扰引起的稳态误差。

四、教学环节的安排与要求

1. 课堂讲授

课堂教学环节中首先要使学生掌握课程教学内容中规定的一些基本知识，包括基本概念、基本理论和基本方法。特别是通过讲授，使学生能够对这些基本概念和理论有更深入的理解，使之有能力将它们应用到后面一些工程问题的求解中。要注意对其中的一些基本方法的核心思想的分析，使学生能够掌握其关键。

积极探索和实践启发式教学。探索如何实现教师在对问题的求解中引导作用，学生怎么在对未知的探索中自主学习能力。从提出问题，到求解思路分析，再到用相关公式表示问题及其最后模型建立及求解，进一步培养学生抽象表示问题的能力，强化对“一类”问题进行求解的意识；从工程结构的角度向学生展示控制系统建模及分析，同时考虑不同典型输入信号及相应模型的建立与联系、具体问题求解的反馈实现。通过不同类型控制系统模型的建立和

时频域分析，培养学生的控制意识和调试能力。

使用多媒体课件，配合板书和范例演示讲授课程内容。在授课过程中，可由历史上和生活中的小例子引出控制的重要性，自然进入相关内容的讲授。设计一些小问题，培养学生学习的主动性；适当引导学生阅读外文书籍和资料，培养自主自学能力。

2. 实验教学

实验需要在掌握基本理论和步骤的基础上，在总体分析步骤的指导下，通过 MATLAB 的分析，掌握控制系统的传递函数表达方法^[1]、时域瞬态响应^[1]、频率特性^[1]，根据时域性能指标^[2]、频域性能指标^[1]评价控制系统的性能，根据系统频率特性进行稳定性分析^[1]，了解对系统进行校正的方法，从而进一步巩固、加深对课堂内容的掌握，加强对控制工程基础知识的掌握。要求学生完成控制系统模型建立和整个分析步骤，自行选择调试参数，每组最后提交规范的实验报告。

通过控制系统的时域性能指标计算，利用频域性能指标来评价控制系统的性能，根据系统频率特性进行系统稳定性分析，加深对理论的理解；其次是培养学生掌握控制系统计算机辅助分析的方法，学会利用 MATLAB 语言进行复杂的实际系统的分析、校正与设计，具备解决工程实际问题的能力；第三是培养学生的软件系统操作能力（程序命令调用与实现，结果调用及问题查找）；第四是通过分小组，培养学生的团队合作精神与能力；第五是培养学生查阅资料，获取适当工具、使用适当工具；第六是培养学生书面表达能力。

实验分组进行，3-4 人一组，协同完成控制系统的建立与分析。

（1）二阶控制系统不同典型信号输入下的响应分析与设计

1）做二阶系统的阶跃响应，求其瞬态响应指标；分析此时系统处于哪种阻尼状态，系统的稳态值是多少；做系统的单位脉冲响应；在保持系统无阻尼自然频率不变的情况下，调整关键参数使系统分别处于欠阻尼、临界阻尼、过阻尼状态，求系统在各种状态下的阶跃响应与单位脉冲响应及瞬态响应指标，分析在不同状态下的差别；分析当关键参数为何值时，系统性能最佳。

2）系统稳定性分析与实现

给定一控制系统的开环传递函数，要求利用乃奎斯特稳定性判据分析其稳定性。

3）控制系统稳定性参数调试

对于不稳定的控制系统，通过改变关键参数使其稳定，发现问题要进行分析找出原因。

（2）验收与评价

验收方式 1：现场验收。现场验收学生 MATLAB 软件呈现的分析结果，并给出现场评定。评定级别分优秀、良好、合格、不合格，最后根据具体情况按照满分 15 分折算。此外，学生必须提交实验报告，通过此环节训练其实验总结与分析等能力。

验收方式 2：综合验收。采取集体报告（制作报告、准备演示内容，每组报告 10-15 分钟）、按组、按要求评价其他各组的实验成果；按照要求，撰写并按时提交书面实验报告（电子版）。

评分建议：总分为 15 分；现场按照分析控制系统传递函数求解、瞬态响应指标计算、不同典型输入信号下响应，欠阻尼、临界阻尼、过阻尼状态下阶跃响应与单位脉冲响应及瞬态响应指标、表达与展示 8 项进行评价，记录完成的质量（A-好、B-中、C-差、D-无），过

后各组内商议给出综合评分。本组不给自己评分。教师根据自己和学生各组的评分给出各组的综合评分，并根据表现给出每个学生的得分。

3. 作业

通过课外作业，引导学生检验学习效果，进一步掌握课堂讲述的内容，了解自己掌握的程度，思考一些相关的问题，进一步深入理解扩展的内容。

作业的基本要求：根据各章节的情况，包括练习题、思考题等，每一章布置适量的课外作业，完成这些作业需要的知识覆盖课堂讲授内容，包括基本概念题、解答题、证明题、综合题以及其它题型等。主要支持毕业要求 1、2、3、5 的实现。

每章题量参考数为：第 1 章 3 题，第 2 章 7 题，第 3 章 4 题，第 4 章 4 题，第 5 章 2 题，第 6 章 4 题。

五、教授方法与学习方法指导

教授方法：以课堂讲授（44 学时）为主，上机实践（4 学时）为辅。课内讲授推崇启发式教学，以知识为载体，传授相关的思想和方法，引导学生踏着大师们研究步伐前进。实验教学则提出基本要求，引导学生独立（按组）完成系统的建模、分析与调试。

学习方法：养成探索的习惯，特别是重视对基本理论的应用，在理论指导下进行实践；注意从实际问题入手，归纳和提取基本特性，设计抽象模型，最后实现实际工程系统的问题分析——设计控制系统模型求解及调试。明确学习各阶段的重点任务，做到课前预习，课中认真听课，积极思考，课后认真复习，不放过疑点，充分利用好教师资源和同学资源。仔细研读教材，适当选读参考书的相关内容，从工程应用的角度，深入理解概念，掌握方法的精髓和算法的核心思想，不要死记硬背。积极参加实验，在实验中加深对分析过程的理解。

六、学时分配

各章节学时分配表

章节	主要内容	学时分配					合计
		讲课	习题	实验	讨论	其他	
1	绪论	2					2
2	控制系统的动态数学模型	12					12
3	控制系统的时域响应分析	8		2			10
4	控制系统的频率分析	8					8
5	控制系统的稳定性分析	8		2			10
6	控制系统的误差分析与计算	4					4
	总结	2					2
合计		44		4			48

注：实验课 4 小时的实验时间不足以完成控制系统的建模分析与调试，学生还需要用更多的课外时间。

七、考核与成绩评定

平时成绩 25%（作业等 10%，实验 15%），期末考试 75%。

实验成绩占 15%。主要反映学生在所学理论指导下如何设计和分析一个实际复杂控制系统的能力：掌握建模的相关步骤，应用时频域考核指标，分析及调试控制系统的实现过程。附加要求是根据分析结果反向对系统进行调试设计。引导学生发挥潜力，尽量增强控制系统的稳定性。培养学生在复杂控制系统的建模、设计与分析中的交流能力（口头和书面表达）、协作能力、组织能力。

平时成绩中的 10%主要反应学生的课堂表现、平时的信息接受、自我约束。成绩评定的主要依据包括：课程的出勤情况、课堂的基本表现（含课堂测验）、作业情况。

考核方式及成绩评定分布表

考核方式	所占比例（%）	主要考核内容
作业等	10	出勤情况； 课堂的基本表现（含课堂测验）、作业情况，对应毕业要求 1、2、3、5 达成度的考核。
实验	15	控制系统的分析调试实现情况。对应毕业要求 1、2、3、5 达成度的考核，同时对 9、10、12 达成度的考核有一定参考价值。
期末考试	75	对规定考试内容掌握的情况，对应毕业要求 1、2、3、5 达成度的考核。

制定者：范晋伟

批准者：刘志峰

2015 年 7 月 31 日