

《自动控制原理》课程教学大纲

课程名称：自动控制原理 课程代码：TELE2004
英文名称：Principles of Automatic Control
课程性质：专业必修、专业选修 学分/学时：3/54
开课学期：四上，三下
适用专业：信息工程、电子信息工程、通信工程
先修课程：高等数学、电路分析、模拟电路
后续课程：无
开课单位：电子信息学院 课程负责人：施国梁
大纲执笔人：施国梁 大纲审核人：陈小平

一、课程性质和教学目标

课程性质：控制工程或控制系统就其本质而言是多学科的综合性挑战，在工程学科的教学计划中占有重要的位置。自动控制原理探讨控制系统分析与设计所涉及的概念、原理与方法，是自动化、电子及机械等许多相关专业的一门专业或专业基础课程。通过本课程的学习，将学习与培养使用通用的方法来分析与设计电学的、机械的、生物的或经济的各类系统所需要的基础理论与基本能力。其中的核心要件是反馈，可以想见，这是一门重要的课程，因为自然界中的反馈是无处不在的，事实上你是很难找到一个电子或机电系统没有包含反馈回路的。

请思考一下锁相环、音频功放、温控系统、或是机器人等等（这可是一个你想有多长就能有多长的列表），无论其中的哪一个都需要去驱动某种类型的执行器（振荡器、功放管、加热组件或电动机），当然你不会愿意让这些执行部件“随心所欲”地给你找麻烦的，于是为确保它们正常工作，需要测量它们所产生的实际输出（频率、电压、温度或位置）并将之与你想要的期望值进行比较，并根据比较的结果进行适当的调节。换言之，你需要反馈，即把实际的系统输出反馈到输入端来保证你设计的系统完美地工作。本课程将帮助你理解个中的原理，掌握可以使用的分析与设计反馈控制系统的方法。

教学目标：自动控制原理将介绍反馈控制的原理与方法，包括经典控制论的主要内容，具体有控制及控制系统相关的基本概念，控制系统数学模型的建立与简化，时域与频域的性能指标的定义与计算，稳定性与稳定裕度的概念与求法，稳定性判据，控制系统的控制精度与误差分析，控制系统分析的根轨迹法，频率响应法，Nyquist 判据，系统设计所使用的校正网络的类型与属性，控制系统设计的频域方法等等。本课程的具体教学目标如下：

1. 建立控制系统与控制理论的基本概念，掌握常见系统的建模方法以及系统模型的简化方法。建立准确的关于系统、系统动力学、反馈、系统框图、稳定性、快速性、平稳性等等自动控制理论相关的重要概念，了解如何建立线性时不变连续时间系统的微分方程描述、方框图描述，掌握系统模型的简化方法。
2. 掌握系统动态性能、稳定性、控制精度的时域分析法、根轨迹法及频域分析法。深入理解系统的时域与频域的各项定量性能指标的定义，包括超调量、调节时间、上升时间、

峰值时间、稳态误差、幅值裕度、相角裕度、截止频率、系统带宽等等，进一步需要掌握针对具体系统上述各种指标的求法；掌握时间域系统响应的求法；掌握根轨迹、Nyquist 图、Bode 图等图形的绘制及其在控制系统分析与设计中的应用。

- 掌握系统设计的频率响应法。掌握控制系统的组成，控制器所起的作用，串联校正的类型以及可用的校正网络与属性，它们在系统设计中的使用方法以及系统的设计步骤。

二、课程目标与毕业要求的对应关系

| 毕业要求 | 指标点 | 课程目标 |
|-------------|--|--------|
| 1、工程知识 | 1-4 理解系统的概念及其在通信领域的体现，能将专业知识用于描述和分析通信复杂工程问题的解决方案 | 教学目标 1 |
| 2、问题分析 | 2-3 能运用基本原理分析复杂工程问题，以获得有效结论 | 教学目标 2 |
| 3、设计/开发解决方案 | 3-1 能利用专业知识，根据给定的设计指标，设计通信领域的单元或过程 | 教学目标 3 |

三、课程教学内容及学时分配（重点内容：★；难点内容：△）

1、绪论（3 学时，支撑课程目标 1）

- 1.1 控制系统的概念与定义；
- 1.2 例子；
- 1.3 控制系统基本属性；
- 1.4 系统设计目标；
- 1.5 典型外作用信号以及关于系统的基本假设。

◇ 目标及要求：

- 1) 理解系统、控制论及控制工程中的一些基本概念★；
- 2) 了解控制系统的基本类型与特性；
- 3) 理解典型测试信号★；
- 4) 了解关于对象系统的基本假设。

◇ 作业内容：

分析实例，描述例子系统的工作过程与工作原理。

◇ 讨论内容：

对生活中的系统进行结构与反馈工作过程的分析。

◇ 自学拓展：

控制论的适用对象。

2、控制系统的数学描述（3 学时，支撑课程目标 1）

- 2.1 Laplace 变换的复习与总结；
- 2.2 线性时不变连续时间系统的传递函数；
- 2.3 电学、机械与机电系统的数学模型；
- 2.4 模型简化。

◇ 目标及要求：

- 1) 掌握传递函数的定义，理解传递函数的物理意义★；

- 2) 掌握传递函数与微分方程描述之间的联系;
- 3) 掌握电学、电子放大、机械平动、机械转动及机电系统的建模方法;
- 4) 掌握系统模型的简化方法★△。

◇ **作业内容:**

从各类物理系统求传递函数, 不同复杂程度系统模型的简化。

◇ **讨论内容:**

自动控制理论是如何做到用统一的方法研究任意复杂的系统而不用在意其物理属性的?

系统建模的方法。

◇ **自学拓展:**

复习巩固 Laplace 变换; 控制系统简化的信号流图法。

3、控制系统的时间响应 (6 学时, 支撑课程目标 2)

- 3.1 利用传递函数求解系统的时间响应 (部分分析展开法);
- 3.2 根据系统的零极点评估系统的响应;
- 3.3 系统响应的定量描述;
- 3.4 一阶系统的时间响应;
- 3.5 二阶系统的时间响应;
- 3.6 高阶系统的时间响应。

◇ **目标及要求:**

- 1) 回顾求解常微分方程的经典方法;
- 2) 掌握时域响应求解的部分分工展开方法★△;
- 3) 掌握关于系统全响应、瞬态响应、稳态响应、零输入响应、零状态响应等;
- 4) 掌握系统动态响应的定量描述指标, 特别是超调量、调节时间、峰值时间、上升时间等★△;
- 5) 掌握一阶系统的响应与指标的计算;
- 6) 熟练掌握欠阻尼二阶系统的响应、指标、参数及模型等★。

◇ **作业内容:**

系统时间响应的求解, 一阶系统的指标求解, 求解二阶系统的响应、指标。

◇ **讨论内容:**

电机速度调节系统中参数对系统性能的影响。

◇ **自学拓展:**

研究正、负反馈对于系统响应的影响。

4、稳定性与稳态误差分析 (6 学时, 支撑课程目标 2)

- 4.1 稳定性的定义;
- 4.2 动态系统稳定的充分必要条件;
- 4.3 Routh-Hurwitz 稳定性判据;
- 4.4 稳态误差的定义;
- 4.5 稳态误差及稳态误差系数的求法;
- 4.6 灵敏度的概念。

◇ **目标及要求:**

- 1) 特别明确地建立起系统稳定性的概念★;
- 2) 透彻理解线性定常系统稳定的充分必要条件△;
- 3) 熟练掌握 Routh 判据在确定稳定性上的应用★△;
- 4) 理解控制系统精度与稳态误差★;

- 5) 能求角任意一个系统的稳态误差;
- 6) 掌握稳态误差系统的定义与求法、系统型式的概念及其与误差之间的关系★ Δ ;
- 7) 了解参数灵敏度的概念。

◇ **作业内容:**

充分训练各类系统的稳态误差的求解及稳定性判据的应用, 特别强调对于 Routh 表出现异常情形时的稳定性判据。

◇ **讨论内容:**

系统稳定性与稳态误差之间的关系; 扰动输入时的系统误差。

◇ **自学拓展:**

Hurwitz 稳定性判据。

5、根轨迹法 (10 学时, 支撑课程目标 2)

5.1 根轨迹的概念与根轨迹方程;

5.2 根轨迹的绘制规则★ Δ ;

5.3 稳定性分析的根轨迹方法;

5.4 主导极点与动态响应分析★ Δ ;

5.5 根轨迹与稳态误差 Δ 。

◇ **目标及要求:**

- 1) 理解什么是根轨迹及根轨迹方程;
- 2) 了解根轨迹对于系统参数变化带来系统响应及其它特征变化的整体把握上的作用;
- 3) 熟练掌握根轨迹法则, 能够绘制任意系统的根轨迹;
- 4) 掌握广义根轨迹;
- 5) 掌握如何应用根轨迹分析系统的稳定性与动态响应以及精度;
- 6) 理解主导极点及高级系统的二阶近似。

◇ **作业内容:**

充分训练各类系统根轨迹的绘制与使用。

◇ **讨论内容:**

如何改变系统, 使得复平面上任意一点成为根轨迹上的点方法。

◇ **自学拓展:**

正反馈系统的根轨迹。

6、频率响应法 (10 学时, 支撑课程目标 2)

6.1 频率响应的定义、物理意义及与传递函数的关系★;

6.2 频率响应的图形表示, Nyquist 图与 Bode 图的画法★ Δ ;

6.3 Nyquist 稳定性判据;

6.4 瞬态响应与稳态误差分析;

6.5 相对稳定性★ Δ ;

6.6 频率域指标与时间域指标之间的关系。

◇ **目标及要求:**

- 1) 掌握频率响应的概念, 特别是其物理意义。
- 2) 明确频率响应、传递函数、微分方程之间的关系。
- 3) 熟练掌握 Bode 图与 Nyquist 图的绘制方法。
- 4) 理解 Nyquist 稳定性判据的数学原理。
- 5) 熟练掌握 Nyquist 稳定性判据在判定系统稳定性中的应用。
- 6) 掌握如何在频率域分析系统的动态响应

- 7) 掌握如何用 Bode 图进行系统的稳态误差分析。
- 8) 理解相对稳定性的概念
- 9) 掌握幅值裕度与相角裕度的求法。

◇ **作业内容:**

练习 Bode 图与 Nyquist 图的绘制，在频率域分析动态性能与稳态误差，求解相角裕度与幅值裕度，Nyquist 稳定性判据的应用。

◇ **讨论内容:**

为什么频率响应会具有关于实轴的对称性？

◇ **自学拓展:**

如何根据对数幅频特性确定其相频特性？有何方法确定一个未知系统的频率特性？

7、反馈控制系统的设计（6 学时，支撑课程目标 3）

7.1 系统设计概述

7.2 串联校正

7.3 串联补偿器及其属性

7.4 串联超前校正的设计方法与步骤★△；

7.5 串联滞后校正的设计方法与步骤★△。

◇ **目标及要求:**

- 1) 了解系统的不同性能指标可能产生相互矛盾的要求
- 2) 了解系统设计的基本思想
- 3) 掌握串联校正网络的类型与属性
- 4) 掌握串联超前校正的方法与步骤★△；
- 5) 掌握串联滞后校正的方法与步骤★△。

◇ **作业内容:**

练习串联超前校正与串联滞后校正的方法。

◇ **讨论内容:**

如果单级串联校正无法完全满足要求，还能采取什么方法？

◇ **自学拓展:**

串联滞后-超前校正的设计方法。

8、实验项目（9 学时，支撑课程目标 3）

◇ **目标及要求:**

本课程的实验环节是一个小型自动控制项目，有不少于三个项目选项，同学们被随机要求选择其中的一项独立完成。要求同学们对于具有工程背景的项目做出解决方案，该实验将完全按照工程项目的执行方式进行的，从而使同学能够学会如何完整地执行一个工程项目以及怎样才能准备完善的项目文档。

◇ **实验项目及学时分配**

| 序号 | 项目名称 | 实验类型 | 学时分配 | 每组人数 | 必修/选修 |
|----|--------------------------|------|------|------|-------|
| 1 | 小型控制系统（角位移、位移、温度可选）设计与实现 | 设计性 | 9 | 1 | 必修 |

◇ **自学拓展:**

项目管理

四、 教学方法

授课方式:

- 1) 课堂授课: 讲授程序核心内容、着重帮助同学们理解自动控制原理的概念、理论及方法。
- 2) 课堂测验: 根据教学进程安排 3~4 次测验, 可以分别在稳定性与稳态误差、根轨迹、频域分析及/或系统设计之后进行。每次一小时, 3~4 个题目。
- 3) 课堂讨论: 对于指定内容或是课堂测验反映的问题组织同学们进行讨论, 并给出评价与指导, 及时辅助同学们跟上教学进程。
- 4) 课后练习: 每一部分内容做 4~8 个习题, 注意适当补充课程的拓展内容, 例如一些结论的证明, 促进同学们更深入的思考。
- 5) 答疑与辅导: 对同学们的问题以及在习题与测验中出现的问题作出辅导。还可以在必要时安排习题课。
- 6) 实验: 指导同学们独立完成实验课题, 必须严格按照实验课程大纲完成全部系统的制作与文档的准备。实验实施期间, 对同学们进行进程控制, 并对遇到问题的同学进行面对面指导。

五、 考核及成绩评定方式

考核方式: 可以按排期中考试(开卷或闭卷), 期末考试闭卷。平时测验与实验是重要的教学环节, 计入课程成绩。

成绩评定方式:

- 1) 执行专业必修课程有期中考试
课程成绩 = 平时 10+期中 20+实验 20+期末 50
- 2) 执行专业选修课不进行期中考试
课程成绩 = 平时 20+实验 30+期末 50

六、 教材及参考书目

教材:

胡寿松. 自动控制原理. 第六版, 科学出版社, 2013

参考书目:

- 1、 R. Dorf, Modern Control Systems (Eleventh Edition), Pearson Prentice Hall, 2008.
- 2、 Katsuhiko Ogata, Modern Control Engineering (Fifth Edition), Prentice Hall, 2010.