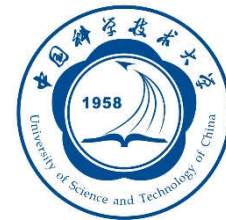


现代控制理论

第一章	绪论	第六章	传递函数的状态空间实现
第二章	系统的状态空间模型	第七章	状态反馈与状态观测器
第三章	状态空间方程的解	第八章	最优性原理与动态规划
第四章	系统的稳定性	第九章	极小值原理
第五章	能控性与能观性	第十章	二次型指标的线性最优控制

中国科学技术大学 自动化系

2020.2.-6.

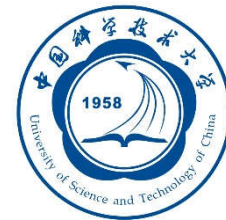


第一章 绪论

§ 1.1 课程导言

§ 1.2 控制理论的发展

§ 1.3 必要的数学基础



第一章 绪论

§ 1.1 课程导言

§ 1.2 控制理论的发展

§ 1.3 必要的数学基础



§ 1.1 课程导言

一、课程

名称：现代控制理论 类型：专业基础课（必修）
学时：80学时（主讲72+习题课6+机动2）

二、学生

1710（1700）本科生，在册人数53+

三、教师

讲授：王永（教授、博士生导师）

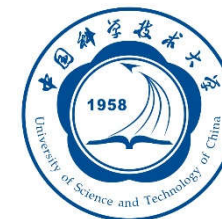
yongwang@ustc.edu.cn 63601506、13956030950

助教：陈绍青（博士、信息科学实验中心教师）

windcsq@ustc.edu.cn 13956049605、63607640-8010

助教：韦应栋 kb8@mail.ustc.edu.cn 15656083876

侯雨晴 ooo@mail.ustc.edu.cn 18756021413



§ 1.1 课程导言

四、上课时间地点

每周三12节、周五345节，第三教学楼3C203教室

五、使用教材

- 1 《线性系统理论与设计》 全茂达编著
中国科大出版社，2012年版
- 2 《最优控制理论与系统》 胡寿松、王执铨、胡维礼编著
科学出版社，2005年9月第二版

六、参考书

- 《Linear System Theory and Design (3rd Ed.)》 Chi-Tseng Chen, 1999
《线性系统理论（第二版）》 郑大钟编著，清华大学出版社，2002年版
《线性系统理论》 段广仁编著，哈尔滨工业大学出版社，1996年版
《自动控制原理》 吴麒主编，清华大学出版社，1992年版
《自动控制原理（第五版）》 胡寿松主编，科学出版社，2009年版



§ 1.1 课程导言

七、教学管理与成绩评定

- 设置课代表，每周一缴作业
- 习题课主要是作业疑难评点，共三次
- 作业按认真程度记分，占总成绩的30%，但不超过总成绩的60%
- 课间课后短答疑，平时电话、Email预约答疑，考前集中答疑
- 期末闭卷考试，占总成绩的70%

八、其它

- 上课不迟到早退、不在课堂上吃东西、关手机
- 点数、不点名
- 学习方法漫谈

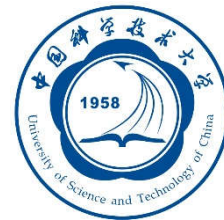


第一章 绪论

§ 1.1 课程导言

§ 1.2 控制理论的发展

§ 1.3 必要的数学基础



§ 1.2 控制理论的发展

一、概述

系统控制的理论和实践被认为是20世纪中对人类生产活动和社会生活发生重大影响的科学领域之一。本课程要讲述的“**线性系统理论**”和“**最优控制理论**”是系统控制理论的两个最为基础和最为成熟的分支。

二、更早的相关工作

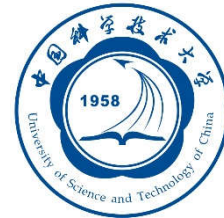
中国古代的铜壶滴漏(3000年前)、水力天文仪(100年张衡)、指南车(235年马均)、天衡装置(1090年苏颂)等均为著名的自动控制装置

1788年前后詹姆斯·瓦特 (James Watt) 发明(?)蒸汽机离心调速器

1868年麦克斯韦尔 (J. C. Maxwell) 发表《论调速器》，初步研究了控制系统中的振荡问题，并对由低阶微分方程式所描述的系统提出了一个简单的代数判据。

1877年劳斯 (E. J. Roth) 及1895年赫尔维茨 (A. Hurwitz) 分别独立地发现了两种著名的代数判据，即Roth-Hurwitz判据，用于判断任意阶线性微分方程所描述的系统的稳定性。

1892年俄国数学家李雅普诺夫完成了《论运动稳定性的一般问题》的博士论文，从数学上定义了运动的稳定性，给出了判断系统稳定性的两种方法



§ 1.2 控制理论的发展

三、经典控制理论

公认重要的代表性成果主要有：

1932年奈魁斯特(H. Nyquist)提出了一种基于频率响应的稳定性判据。

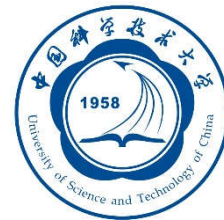
1942年尼科尔斯(N. B. Nichols)发明PID控制。

1945年伯德(H.W.Bode)出版专著《网络分析和反馈放大器设计》，引入由对数幅频特性曲线和对数相频曲线构成的伯德图，使基于频率响应的反馈控制系统的分析与设计的实用理论和方法得以形成。

1948年伊万斯(W. R. Evans美国电信工程师)提出了根轨迹法，它是对奈魁斯特频率法的补充。由于这项贡献，控制工程发展的第一阶段基本上完成了。

建立在奈魁斯特判据及伊万斯根轨迹法上的理论目前通称为经典控制理论 (*Classical Control Theory*) 或古典控制理论。

(*Classical Control Theory* 的名称 1960年1st ACC提出)



§ 1.2 控制理论的发展

1948年著名神童、杰出的数学家维纳（Norbert Wiener）提出了控制论（cybernetics）的概念。他曾自信地预测反馈控制系统的理论知识会在生物、经济及社会过程方面取得很大的成就。但事实远非如此，随着时代的发展，现实的需要很快暴露出了古典理论的三个严重的局限性。

四、经典控制理论的局限性

1、局限于线性定常系统

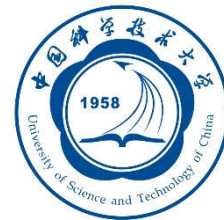
要求可以用常系数线性微分方程式来描述的系统。这样连最简单的非线性系统如温度控制也只能排除在外。

2、限于标量或单回路反馈系统

实际问题中总是由多种因素组成的，而且所采用的“输入-输出”描述它在本质上忽视了系统结构的内在特性，从而不能同时有效地处理多于一对的输入/输出。

3、多数问题的处理方法较适合于理论工作者而不是工程师。

一般提供的是分析方法而不是综合方法，设计也通常是用试凑法。



§ 1.2 控制理论的发展

五、现代控制理论的建立

公认重要的代表性成果主要有：

1951年苏联数学家鲁里叶提出用状态、状态变量来描述力学系统；

1956年苏联数学家庞特里亚金提出极大值原理；

1957年美国数学家贝尔曼创立动态规划；。

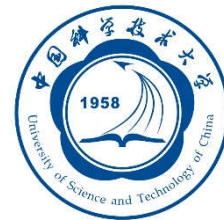
1959年美国数学家卡尔曼提出著名的卡尔曼滤波器。

1960年卡尔曼把鲁里叶的状态空间法介绍到英语世界，提用状态空间描述系统的动态过程；

同年卡尔曼提出能控性和能观测性两个结构概念，揭示了线性系统许多属性间的内在联系，为控制论的进一步发展开辟了广阔的新领域。

一般认为，能控性、能观性概念的提出，庞德里亚金极大值原理的创建以及卡尔曼滤波器的出现是控制论进入现代控制理论(*Modern Control Theory*)的三大标志。

(*Modern Control Theory* 的名称也是在 1960年1st ACC提出的)



§ 1.2 控制理论的发展

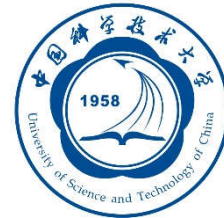
有一种流行的说法，认为控制理论的第一代是古典控制理论即经典调节理论，第二代是现代控制理论，它以状态空间方法作为主要特征；第三代是所谓智能控制理论，当然该理论体系至今尚未完全建立。

六、现代控制理论的主要内容

现代控制理论的内容很广泛，它本身仍在不断发展。但就目前来说，国内外各高校，在课程设置及内容安排上，常包括以下几个基本内容：

1. 线性系统理论
2. 最优控制理论
3. 估计与滤波理论
4. 系统辨识理论
5. 非线性系统理论

此外，作为现代控制方法，还有：自适应控制、鲁棒控制、预测控制、变结构控制等等，本课程只简要介绍前两种。



§ 1.2 控制理论的发展

七、现代控制理论与经典控制理论的区别

1. 对系统的描述

经典：传递函数、脉冲传递函数、频率特性曲线 —— 频（复）域

现代：状态空间方程（一阶微分方程组），—— 时域

2. 应用范围

经典：单输入-单输出、单变量、线性、定常，的系统

现代：还适用于非线性、时变、多变量，...等等，有更广的适用范围。

3. 数学工具

经典：拉氏变换和富氏变换 —— 手工计算

现代：线性代数、微分方程、泛函、概率与随机过程、微分几何—— 便于计算机计算

4. 研究方法

经典：输入输出法或端部法，只研究系统的端部特性

现代：内部法，着眼于分析能够代表系统内部特征的状态变量，从而根据输入分析输出。

5. 性能指标

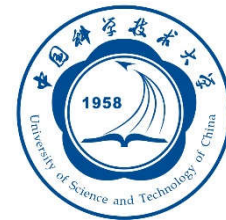
经典：稳态误差、调节时间、超调量、稳定裕度，...，等等

现代：指标泛函J

6. 输入函数 经典：阶跃、脉冲、正弦，几种典型信号； 现代：任意

7. 设计方法 经典：分析试凑法，无唯一解； 现代：综合解析法，有唯一解

8. 初始条件 经典：只能为零； 现代：可以任意



第一章 绪论

§ 1.1 课程导言

§ 1.2 控制理论的发展

§ 1.3 必要的数学基础



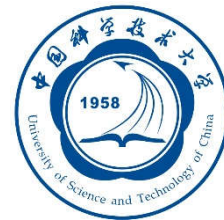
§ 1.3 必要的数学基础

研究现代控制理论最常使用的最基本的数学工具是《线性代数》（包含在很多工科高校课程里常被忽略的线性空间理论、矩阵论等方面的知识）、较简单的《线性微分方程理论》等等。其中主要内容已在先修的《高等数学》、《线性代数》等课程中学习过。

为便于同学们复习相关内容，在本课程的第一本教材《线性系统理论与设计》的第一章中 对上述内容给予了较为详细的回顾。请同学们结合课后习题，认真学习相关内容。

习题： 第一章课后习题，最好能够完成全部（考虑到有些内容可能在以前的课程中还没有学过，故可以在本学期以后的学习过程中逐步完成），本次课后最少应完成作业是：

1.7, 1.8, 1.11(A1 ,A4), 1.12, 1.13, 1.14



附： 书写公约

1. 板书及其它手写场合用大写字母表示矩阵
(印刷体用黑体大写)；
2. 板书及其它手写场合用小写字母加下划线表示向量
(印刷体用黑体小写)；
3. 普通小写字母表示标量
(印刷体用斜体小写)；
4. 用 $\hat{x}(s)$ 而不是 $X(s)$ 表示 $x(t)$ 的拉普拉斯变换。

其它上标和下标用时再统一