

《线性系统理论与设计》

(Linear System Theory and Design, Chi-Tsong

Chen, Holt, Rinehart and Winston, 1984.)

周 其 节

(华南工学院)

本书的作者于1970年发表了Introduction to Linear System Theory一书。该书在国内外曾广泛地被采用为研究生线性系统理论课的教材。C. T. Chen 1984年发表的这本书对前书作了很多补充，主要是在传递函数阵分式分解描述方面把近年来分析与设计理论的主要进展写入该教材中。

全书共662页，内容包括状态空间法和传递函数矩阵法，比较全面地叙述了线性系统理论的基本内容。本教材有两个特点。一是用较简单的方法推导出重要的结论和设计方法，对未予深入讨论的内容指出了必要的参考文献（共引用文献356篇）。另一特点是考虑了应用计算机解题的问题，如算法的数值稳定性，问题的性态等。对重要的分析和设计方法都给出算法的提要，便于编写程序。作为教材，这两个特点无疑是很重要的。

序言中列出了各章的逻辑顺序关系，并提出分两个学期讲述本教材的方案。第一章介绍了全书的概貌。

第二章线性空间与线性算子，介绍本书所需的线性代数的一些概念和结果，目的是使读者复习必要的数学基础。通过实例，本章能把诸如线性算子的约当化等问题叙述得清楚，容易理解。

第三章系统的数学描述，介绍本书所用的系统的两种描述，即输入——输出的描述（传递函数矩阵）和状态变量描述。讨论了这两种描述的关系，以及组合系统的描述。还论述了组合系统的适定性（Well-posedness），这个问题在系统的设计中是很重要的。为了使系统对高频干扰不敏感，由调节器和对象构成的系统必须是适定的。在第九章讨论各种补偿器时经常注意满足这一条件。

第四章线性动态方程和脉冲响应矩阵。本章讨论状态方程的解法，包括时变系统的和定常系统的。一般教材都有这些内容。

第五章线性动态方程的能控性和能观性，包括时变系统和定常系统。对线性定常系统能控（能观）的充分必要条件的四种等价的提法都有详细的论证。本章引入的能控性指标和能观性指标的概念和以后各章都有联系。本章还给出了动态方程规范分解的算

法。算法的基本原理是把 A 阵经相似变换化为分块 Hessenberg 形。由于可采用 Householder 变换, 这一算法是数值稳定的。计算能控性矩阵 $U = [B \ AB \ \cdots \ A^{n-1}B]$ 是状态的问题, 很难检查 U 是否满秩。这里提出把 A 阵化为分块 Hessenberg 形的方法, 同时也判断了系统的能控性。

第六章不可约实现、严格系统等价和辨识。有理函数矩阵的最小维(能控、能观)实现问题有现实意义, 因为用状态方程实现传递函数矩阵更便于计算机仿真研究。这一章以较多的篇幅介绍几种实现的方法。首先介绍传递函数的实现, 从 Hankel 矩阵用行搜索算法求出 A 、 b 、 c 的参数。然后把这些算法推广到多变量系统。除了用行搜索算法外, 还介绍用奇异值分解的方法得到实现矩阵。本章在多项式矩阵描述中定义了系统严格等价。最后介绍离散时间系统的辨识问题, 从不受干扰的输入输出信号的测量值得到传递函数矩阵 $G(z)$ 的参数。这一章的内容丰富。

第七章状态反馈与状态估值器, 在时域中讨论状态反馈系统的设计理论。对于能控的对象, 用状态反馈可达到任意配置闭环极点的目的。加入适当的静态环节, 还可实现渐近跟踪和解耦。对于能观的对象, 可设计有任意极点状态估值器(包括降维估值器)。最后, 讨论了状态反馈设计和状态估值器设计的分离性。

第八章线性系统的稳定性。介绍了 BIBO 稳定性、李亚普诺夫意义的稳定性、渐近稳定性和全局稳定性等概念。讨论了李亚普诺夫稳定性定理, 并用以证明 Routh-Hurwitz 稳定判据。还讨论了离散时间系统的稳定性问题。

第九章线性定常组合系统: 描述、稳定性与设计。这一章用传递函数矩阵讨论与系统设计有关的一些问题。讨论了极点零点对消的含意、组合系统的稳定性。然后以较多的篇幅讨论补偿器的设计。对象和补偿器都用仿分式分解的传递函数矩阵描述。讨论了两种补偿器: 串联补偿单位反馈系统和对象输入-输出反馈系统, 后一形式由于用较多的补偿器, 其设计的自由度较大。在 S 域进行设计同样可达到任意配置极点、渐近跟踪和解耦等设计的目的。本章介绍的设计算法都要解多项式矩阵方程。这可转化为线性代数方程组, 并可用行搜索算法求解。 S 域设计方法在概念上和计算上都比时域设计方法简单。这一章占的篇幅较多。

书末有八个附录。附录 A 介绍几种常用的矩阵运算方法。其中行搜索算法是本书经常使用的。附录 E 介绍 Hermite 形和奇异值分解。在线性系统理论中应用奇异值分解是近年来才开始的, 这方面的内容比较新颖。附录 G 介绍多项式与多项式矩阵。读者可从这里获得有关的数学知识, 在 S 域中分析问题这是必不可少的基础。附录 H 介绍极点与零点的定义和有关定理。

第二至九章及部份附录附有习题。

本书可作为研究生教材。考虑到本科生已学习过现代控制理论基础, 教材的部分章节可以不讲。不讲的内容仍可指定研究生阅读, 因为这些部份一般都比本科生的教材讲得更深入、透彻。本文作者在采用此教材时, 讲述的内容依次为: 附录 A, 附录 E, 附录 G, 第五章中的 5-3、5-4、5-5、5-8 诸节, 第六章, 第七章, 附录 H, 第 3-6 节和第九章。