

# 自动控制理论大纲

## 第一部分 考试说明

### 一、考试性质

硕士研究生入学自动控制原理 B 考试是为招收攻读硕士学位研究生而实施的具有选拔功能的水平考试。它的指导思想是既要有利于学院对高层次、高素质人才的选拔,又要有利于促进考生对自动控制原理课程教学内容的学习掌握。考试对象为参加全国硕士研究生入学自动控制原理 B 考试的考生。

### 二、考试的基本要求

要求考生比较系统地理解自动控制原理课的基本概念和基本原理,掌握自控原理课的基本知识和基本方法,要求学生具有运用控制理论的基本概念、原理和方法,并综合运用所学的知识分析、设计和求解具体问题的能力。考生应能:

1. 准确地理解和掌握经典控制理论与现代控制理论状态空间描述的基本概念;
2. 理解和熟练掌握经典控制理论关于反馈控制的基本原理;
3. 能够运用控制理论的相关原理分析控制系统的稳定性、瞬态性能和稳态性能;
4. 能够选择适当的控制器及控制规律以改善控制系统的性能使其满足控制要求;
5. 理解和掌握状态空间部分的单输入—单输出系统分析设计的基本概念;
6. 能够结合本专业理论知识,分析和设计基本的工程实践问题;

### 三、考试方法和考试时间

硕士研究生入学自动控制原理 B 考试采用闭卷、笔试形式,考试时间为 180 分钟。

### 四、试卷结构

#### (一) 试卷满分为 150 分。

#### (二) 内容比例

控制系统的数学模型	约 30 分
反馈控制系统的性能指标	约 30 分
反馈控制系统的稳定性	约 25 分
根轨迹分析和设计系统的方法	约 20 分
频率响应	约 30 分
校正网络的设计	约 15 分

#### (三) 题型比例

计算题	约占 40 %
-----	---------

## 第二部分 考查的知识范围

### 一、控制系统理论的基本概念

控制系统是由各部件互联而形成的一个系统结构, 并能够提供所期望的响应。开环控制系统是利用调节装置直接控制过程; 闭环控制系统是将系统的输出测量反馈并将该反馈信号与期望的输出进行比较的系统。

### 二、动态系统的数学模型

#### (一) 物理系统的数学模型、线性化、Laplace 变换

数学模型是分析和设计控制系统的基础。由于所考察的系统在性质上是动态的, 所以描述方程通常是微分方程。如果能够线性化这些方程, 那么就可以使用 Laplace 变换简化求解方法。

#### (二) 线性系统的传递函数

线性系统的传递函数定义为所有初始条件假定为零时的输出变量 Laplace 变换与输入变量 Laplace 变换之比。系统(或元件)的传递函数描述了所考虑系统的动态关系。

#### (三) 方块图模型和信号流图模型

方框图描述了系统变量之间的关系。方框图由单向功能块组成, 它表示变量间的传递函数。

信号流图是由节点和连接它们的若干有向支路组成的, 它是一组线性关系的图解表示法。可以采用 MASON 增益公式对获得系统的传递函数。

#### (四) 状态变量、状态微分方程和状态流图模型

系统状态是指表示系统的一组变量, 若已知这组变量、输入信号和描述系统动态特性的方程, 就可以完全确定系统未来的状态和输出响应。状态微分方程将系统状态的变化率与系统状态和输入信号联系起来, 线性系统的输出则通过输出方程把状态变量和输入信号联系起来。状态流图可以采用相变量型状态流图和输入前馈形式型状态流图模型。

#### (五) 状态转移矩阵和系统响应

矩阵指数  $\Phi(t)$  称为为状态转移矩阵。通过求得控制系统状态变量的时间响应可以检验系统的性能。求解状态向量微分方程可得到系统的瞬态响应。

### 三、反馈控制系统的性能指标

### （一）反馈控制系统的特性

1. 能有效控制和调整系统的瞬态响应。
2. 能降低系统对过程参数变化的灵敏度。
3. 能控制和部分消除干扰信号的影响。
4. 能够减少因参数变化和校正误差造成的系统稳态误差。

### （二）二阶系统的瞬态（动态）性能指标

系统响应的快速性由上升时间  $T_r$  和峰值时间  $T_p$  来度量。实际响应与阶跃输入的相似程度由百分比超调和调节时间  $T_s$  来度量。

### （三）控制系统的稳态误差分析

系统性能最重要的指标是对某种测试输入信号的稳态误差,应用终值定理能够研究稳态误差同系统参数之间的联系。

## 四、线性反馈控制系统的稳定性分析

### （一）Routh-Hurwitz 稳定性判据

一个稳定的系统是针对有界输入具有有界输出的动态系统。反馈系统稳定的充分必要条件为系统传递函数所有的极点必须具有负的实部。Routh-Hurwitz 稳定判据是判断线性系统稳定的充分必要条件; Routh-Hurwitz 判据表明, 特征多项式中具有正实部根的个数等于劳斯表中第一列元素符号变化的次数。

### （二）相对稳定性

系统的相对稳定性是通过特征方程的根的位置表征的, 在  $s$ -平面上利用劳斯-霍尔维茨判据的推广可以确定系统的相对稳定性。

## 五、根轨迹法

在  $s$ -平面上根的轨迹可以由图解法来确定。根轨迹是当系统参数变化时特征方程式的根在  $s$ -平面内变化的轨迹。根轨迹是设计和分析反馈控制系统的一个很有用的工具。根据系统特征方程式, 采用绘制根轨迹的规则可以方便绘制闭环系统根轨迹。

## 六、频率响应法

### （一）频率响应图

系统的频率响应定义为系统对正弦输入信号的稳态响应。频率响应图包括: 极坐标图、对数坐标图、和对数幅相图。

## （二）Bode 图绘制

对数坐标图 (Bode), 它简化了图解表示频率响应的绘制过程。通过掌握以常数增益、在原点处的极点(或零点)、在实轴上的极点(或零点)、共轭复极点(或零点)对数幅值曲线和相角曲线, 通过图解法把它们迭加起来便可得到任何传递函数的 Bode 图。

## （三）Nyquist 稳定性判据

Nyquist 稳定性判据: 当在右半平面的没有极点( ) 时, 当且仅当平面上的围线不包围点, 反馈系统是稳定的。当含有右半平面的极点时, 当且仅当围线逆时针包围点的次数等于在右半平面的极点数, 反馈系统是稳定的。

## （四）Nyquist 稳定性判据判断相对稳定性

Nyquist 稳定性判据不仅提供了确定绝对稳定性的信息, 而且还能够用于定义和估算系统的相对稳定性。增益裕量是相角达到  $-180^\circ$  时的增益的倒数。相位裕量是当幅值为 1 时, 系统的 Nyquist 曲线与点相交而变成临界稳定系统之前能够增加的相位量。

## （五）系统的频域性能指标

频域性能指标: 开环指标包括相位裕量、增益裕量; 闭环指标包括谐振峰值、谐振频率和频带宽度。

# 七、反馈控制系统的设计

## （一）串联校正网络

串联校正是校正装置与受控对象呈现串联关系。典型的校正装置有超前校正、滞后校正、滞后-超前校正。

## （二）超前校正网络

其相频特性在  $0 < \omega < \infty$  范围内为正相角, 故称之为超前校正。用于实现在开环增益不变的情况下, 提高系统的稳定裕量, 使系统和动态性能满足设计要求。

## （三）滞后校正网络

如果一个控制系统具有良好的动态性能, 但其静态性能指标较差(如静态误差较大)时, 则一般可采用滞后校正装置, 使系统的开环增益有较大幅度的增加, 而同时又可使校正后的系统动态指标保持原系统的良好状态, 而改善稳态性能。

## （四）超前-滞后校正

如果未校正系统为不稳定,或对校正后系统的动态和静态性能均有较高的要求时,只采用上述的超前校正或滞后校正,难于达到预期的校正效果。此时,宜对系统采用串联滞后—超前校正。

**参考教材:**

1. 《自动控制原理》, 第四版, 胡寿松 主编, 科学出版社, 2001 年第四版。
2. 《现代控制系统》, 第八版, [美]Richard C. Dorf, Robert H. Bishop 著, 谢卫红等译, 高等教育出版社, 2001 年第一版。