

主管
领导
审核
签字

2025
哈尔滨工业大学
2026
学年 秋 季学期
智能系统控制实践 试 题

题号	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	总分
得分											
阅卷人											

片纸鉴心 诚信不败

授课教师

姓名

学号

院系

密

线

- 一、 填空题（每空 0.5 分，共 5 分）
1. 在设计控制系统时，所选的元件带宽应该大于/小于设计带宽，元件的分辨力应该粗于/精于系统的精度。
2. 对空调可以把阶跃信号当成典型输入。
3. 过程控制中存在纯时滞环节，导致增益和带宽很低。
4. 在控制系统分析中，灵敏度函数的最大值反应了真正的稳定裕度，它在 Nyquist 曲线上体现为Nyquist 曲线到 (-1, j0) 点的最小距离。
5. 不记得。
- 二、 选择题（5 分，每题 1 分，错选、多选、少选均不得分。）
6. 关于控制系统的性能指标，下列叙述错误的是 D
- A. 性能指标是控制系统选型、设计的主要依据，也是检验控制系统设计合格性的判据。
- B. 对于位置伺服系统，最大加速度指标无法通过控制器的设计来提升。
- C. 控制系统的性能指标不是越高越好，够用就好。
- D. 单位反馈控制系统中，因传感器测量误差导致的控制偏差，可以通过改进控制器设计得到改善。
7. 关于傅里叶变换，下列叙述正确的是 D
- A. 不记得。
- B. 不记得。
- C. 不记得。
- D. 在 DFT 计算时，其他条件不变的情况下，选择的采样点数越多，所得的线谱间距越小。

8. 关于误差的抑制, 下列叙述正确的是 /

- A. 不记得。
- B. 对如图 1 的结构, 在前向通道中加入一个积分环节, 对阶跃形式的输入信号, 系统的稳态误差一定改变。
- C. 对如图 1 的结构, 若输入端扰动为阶跃形式, 则系统由扰动引起的稳态误差一定为 0
- D. 不记得。

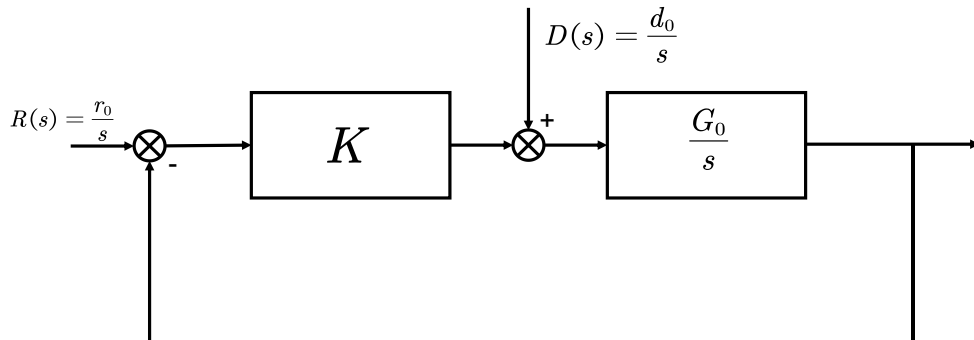


图 1, 其中 K 为纯比例环节, $G_0(0) = 1$

9. 题干不记得, 是判断正误题。

- A. 增益相同的条件下, 高阶系统等效噪声带宽一定低于低阶系统。 [错误](#)
- B. 不记得。
- C. 不记得。
- D. 不记得。

10. 完全不记得。

三、判断对错（共 10 分，每题 1 分）

完全不记得。印象中这部分约有 4 道考察了自动控制元件有关的知识, 与控制系统设计相关的考察完全被往年考题（判断题和某些选择题选项）覆盖, 因此建议搞懂历年每道选择题的每个选项, 避免在复习时使用排除法。

四、简答题（共 30 分，每题 5 分）

11. 图 2 给出了雷达伺服系统的 Bode 图和其方位角信号的范围。已知方位角信号的频率小于 ω_1 , 据此完成下列任务:

- (1) 给出伺服系统的数学模型;
- (2) 在方位角信号一图中, 绘制跟踪误差的草图。

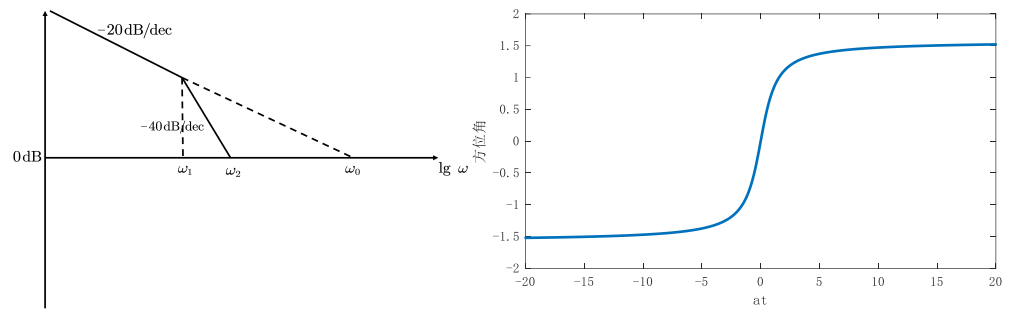
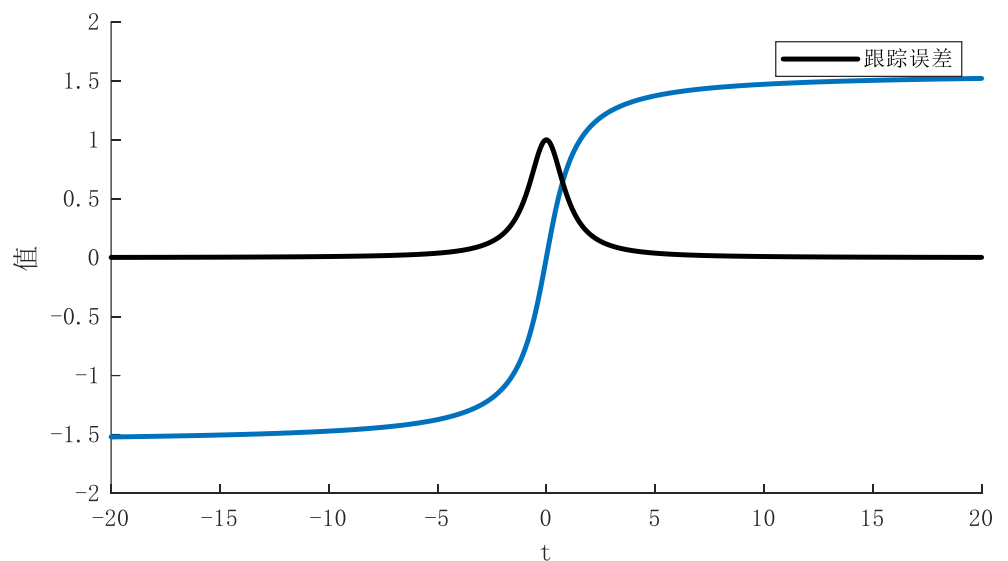


图 2 系统 Bode 图及其输入信号范围

(1) 伺服系统的数学模型:

$$G(s) = \frac{\omega_0}{s\left(\frac{s}{\omega_1} + 1\right)}$$

(2) 草图如图所示:



12. 扰动观测器和干扰前馈都可以抑制扰动, 请你分析一下他们的区别。

- (1) 使用要求不同: 扰动观测器应用需要获取被控对象较精确的数学模型, 干扰前馈应用要求扰动可测;
- (2) 结构不同: 扰动观测器引入一个标称模型和低通滤波器构成闭环, 属于反馈型控制, 干扰前馈是一种开环控制方法;
- (3) 鲁棒性不同: 扰动观测器能够将实际对象的摄动等效为输入端扰动加以抑制, 有一定的鲁棒性, 干扰前馈对模型摄动敏感, 鲁棒性差;
- (4) 设计关键不同: 扰动观测器设计的关键是设计合适的低通滤波器, 干扰前馈设计的关键是选取合适的传感器测量扰动。

13. 异步电动机是一类用途广泛的电机，请简述其工作原理和调速方法。

(1) 工作原理：向三相对称定子绕组中通入三相对称交流电，在电机气隙中产生一个以同步转速 $n_s = \frac{60f}{p}$ 旋转的磁场，旋转磁场切割转子导体，在其中

感应出电动势，进而产生感应电流，转子电流与旋转磁场相互作用，产生电磁转矩，驱动转子旋转。

(2) 调速方法：

异步电动机转速表达式为 $n = \frac{60f}{p}(1-s)$ ，故主要有：

1. 变频调速，其优点是调速范围宽，效率高，动态特性好。缺点是相对复杂；
2. 变极调速，其优点是调速简单，效率高，机械特性曲线硬。缺点是调速不平滑，只适用于鼠笼式转子；
3. 变转差率调速，其中又包括：
 - <1>. 转子串电阻调速，优点是方法简单，设备投资不高，工作可靠。缺点是效率低，调速特性软，且只适用于绕线式转子；
 - <2>. 串级调速，优点是效率高。缺点是调速范围小，且较复杂。仅适用于绕线式转子；
 - <3>. 定子调压调速，适用于转子电阻大的异步电机，恒转矩负载，调速范围宽。不适用于普通异步电机，恒转矩负载，稳定运行区很小，转速变化太小。

14. 控制系统的带宽设计是设计的关键，请给出带宽设计的要求和依据。

- (1) 应该覆盖输入信号和扰动信号的频谱范围。依据是对信号的频谱分析和跟踪误差分析；
- (2) 应该满足抑制高频噪声的要求。依据是对系统等效噪声带宽的计算和对噪声信号频谱分析的结果；
- (3) 应该满足鲁棒稳定性要求。依据是模型不确定性界函数。
- (4) 应该考虑系统结构的要求。依据是应使机械谐振发生的频率高于五倍的系统带宽，多回路系统内回路带宽应高于外回路带宽的五倍。

15. 系统结构如图 3, $G(s)$ 的 Bode 图如图 4 所示, $H(s) = 0.1$ 。据此在图 4 中绘制出系统的闭环幅频特性草图, 并给出闭环系统 -3dB 带宽的频率。

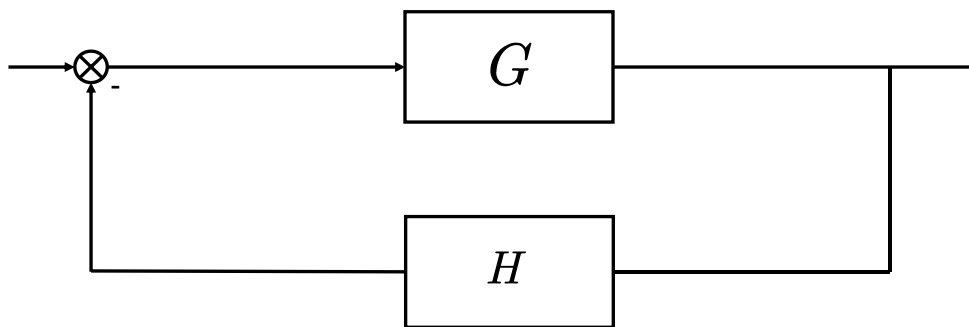


图 3

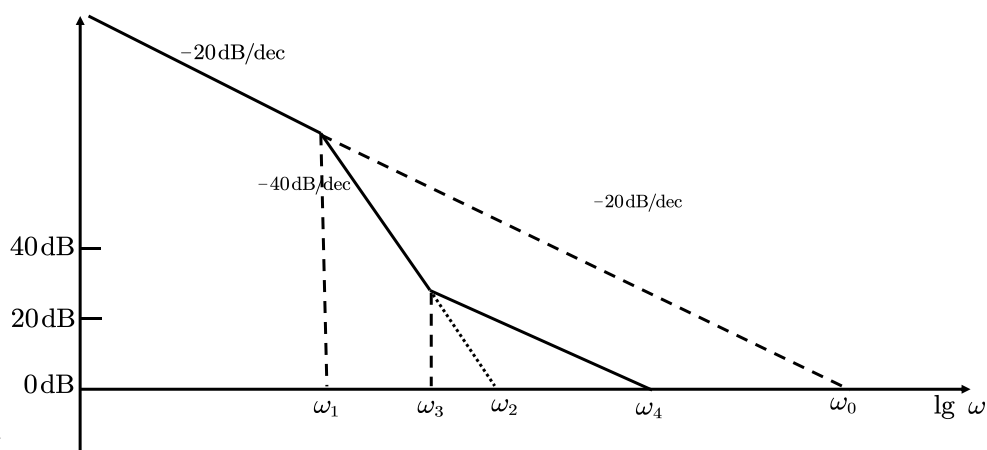


图 4

(1) 首先写出被控对象传递函数:

$$G(s) = \frac{\omega_0 \left(\frac{s}{\omega_3} + 1 \right)}{s \left(\frac{s}{\omega_1} + 1 \right)}$$

进而写出闭环系统传递函数:

$$T(s) = \frac{G}{1+GH} = \frac{\omega_0 \left(\frac{s}{\omega_3} + 1 \right)}{s \left(\frac{s}{\omega_1} + 1 \right) + 0.1\omega_0 \left(\frac{s}{\omega_3} + 1 \right)}$$

明显需要分段讨论。

$$1. \quad 0 < \omega < \omega_1 \text{ 时, } T(s) \approx \frac{\omega_0}{s + 0.1\omega_0} = \frac{10}{\frac{s}{0.1\omega_0} + 1}, \text{ 这就确定了一个}$$

转折频率, 记 $\omega_{k1} = 0.1\omega_0$;

$$2. \quad \omega_1 \leq \omega < \omega_3 \text{ 时, } T(s) \approx \frac{\omega_0}{s \left(\frac{s}{\omega_1} + 1 \right) + 0.1\omega_0} = \frac{10 * 0.1\omega_2^2}{s^2 + \omega_1 s + 0.1\omega_2^2},$$

这就确定了一个转折频率, 记 $\omega_{k2} = \sqrt{0.1} \omega_2$;

授课教师

姓名

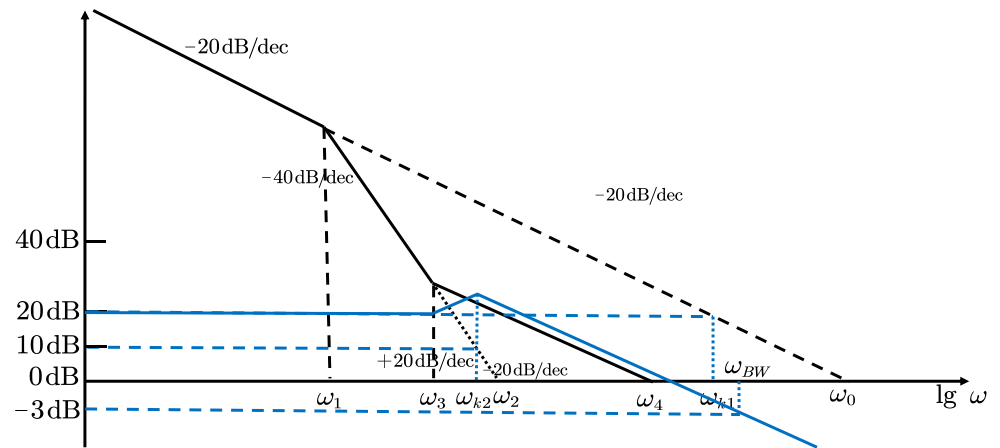
学号

院系

3. $\omega_3 \leq \omega$ 时，有：

$$T(s) = \frac{\omega_0 \left(\frac{s}{\omega_3} + 1 \right)}{s \left(\frac{s}{\omega_1} + 1 \right) + 0.1 \omega_0 \left(\frac{s}{\omega_3} + 1 \right)} = \frac{0.1 \omega_2^2 \cdot 10 \left(\frac{s}{\omega_3} + 1 \right)}{s^2 + (\omega_1 + 0.1 \omega_4) s + 0.1 \omega_2^2}$$

给出草图有：



根据草图可以得到：

$$20 \lg \frac{\omega_{BW}}{\omega_{k2}} = 23 + 20 \lg \frac{\omega_{k2}}{\omega_3}$$

解这个方程，得到：

$$\omega_{BW} = 10^{\frac{3}{20}} \omega_4 \approx 1.4125 \omega_4$$

请注意：图片绘制不一定正确，可能存在比例上的差错！

16. 简述模糊控制器的设计流程。

- (1) 确定模糊控制器的输入变量、输出变量和论域；
- (2) 确定模糊化和去模糊化方法，选择合适的隶属度函数；
- (3) 确定模糊控制器的控制规则及模糊推理方法；
- (4) 量化因子及比例因子的选择；
- (5) 模糊控制算法的程序实现。

五、设计题（15 分）

17. 完成下列任务。

- (1) 现有系统结构如图 5 所示，其中 $G(s) = \frac{1}{s(s+1)}$ ， $K(s) = \frac{10(0.5s+1)}{0.1s+1}$ ， $H(s) = 1$ 。

请给出 S_G^T ， S_H^T 的表达式，并绘制其对数幅频特性的草图。

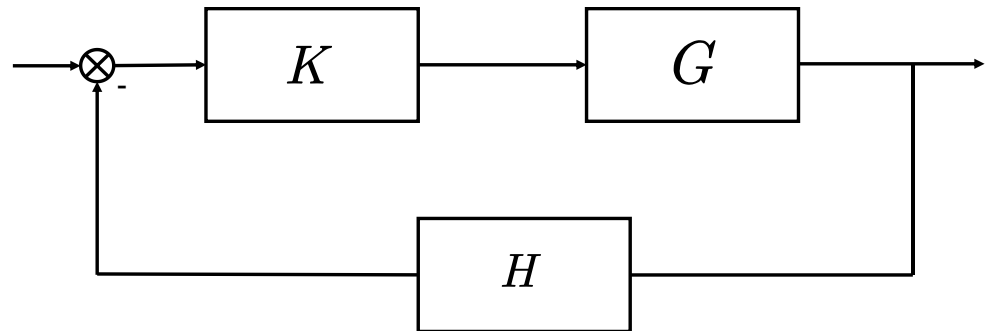


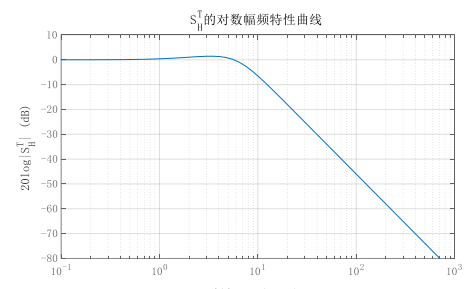
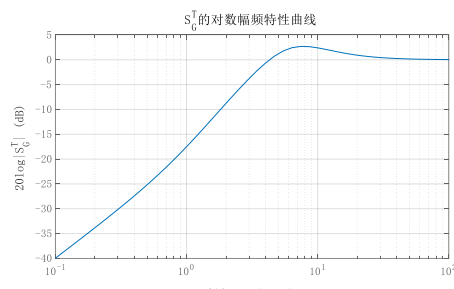
图 5

(1) 直接应用有关公式：

$$S_G^T = \frac{1}{1+HGK} = \frac{1}{1+1 \cdot \frac{1}{s(s+1)} \cdot \frac{10(0.5s+1)}{0.1s+1}} = \frac{0.1s^3 + 1.1s^2 + s}{0.1s^3 + 1.1s^2 + 6s + 10}$$

$$S_H^T = \frac{-HGK}{1+HGK} = \frac{-1 \cdot \frac{1}{s(s+1)} \cdot \frac{10(0.5s+1)}{0.1s+1}}{1+1 \cdot \frac{1}{s(s+1)} \cdot \frac{10(0.5s+1)}{0.1s+1}} = \frac{-5s-10}{0.1s^3 + 1.1s^2 + 6s + 10}$$

绘制出草图：



绘制出其从负无穷趋近于 0dB 或从趋近 0dB 到负无穷的趋势即可，注意手工绘制时标注 0dB 线、纵轴标签和图标题。

- (2) 考虑角度伺服系统的设计，系统的机械转动部分由电压源驱动的电机电带动，电机时间常数为 0.25s，增益为 30。要求如下：

<1>. 写出被控对象的传递函数；

<2>. 典型输入信号为幅值不超过 8° 周期不小于 8s 的正弦信号，要求稳态跟踪误差不大于 0.0005rad，确定系统的性能界函数及满足这一设计要求的系统低频特性；

<3>. 为实现上述低频特性并保证合适的名义系统特性，确定校正环节的形式（写出校正环节传递函数的形式即可，不需计算具体的时间常数）并确定校正环节的增益值。

<1>. 被控对象的传递函数为 $G(s) = \frac{30}{s(0.25s + 1)}$ ；

<2>. 由于 $T \geq 8s$ 有 $\omega_k \leq \frac{2\pi}{8} \approx 0.7854 \text{ rad/s}$ 。可以给出性能界函数：

$$ps(\omega) = \frac{\theta_{\max}}{e_{\max}} \approx 523.6$$

由公式：

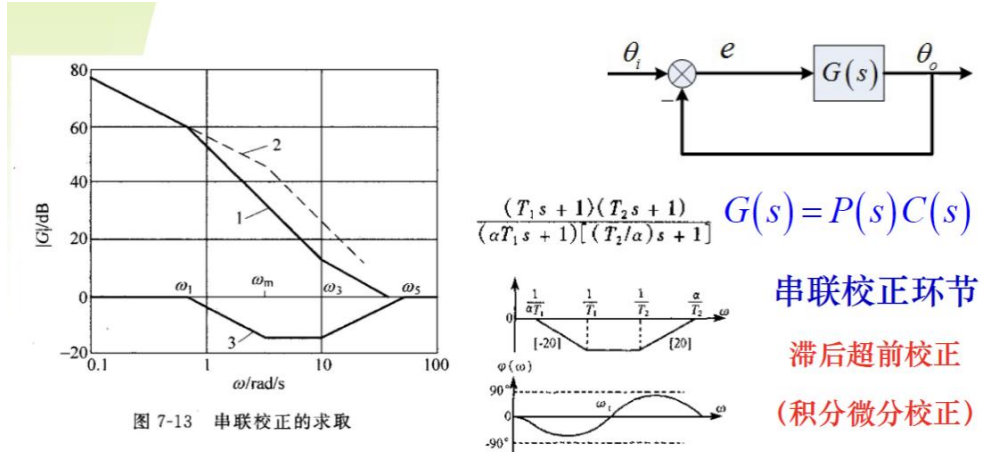
$$\omega_0 \geq \frac{\theta_{\max}}{e_{\max}} \omega_k \cdot \sqrt{2} \approx 581.6$$

由于输入信号频谱小于 ω_k ，转折频率 ω_1 应覆盖输入信号，不妨选择 $\omega_1 = \omega_k$ 。

此时期望的系统低频特性为：

$$\frac{\omega_0}{s\left(\frac{s}{\omega_1} + 1\right)} = \frac{581.6}{s\left(\frac{s}{0.7854} + 1\right)}$$

<3>参考课程 PPT：



此处应采用滞后超前校正。其增益值 K_c 为：

$$K_c = \frac{\omega_0}{K} = \frac{581.6}{30} \approx 19.4$$