

主管  
领导  
审核  
签字

…… 哈尔滨工业大学（深圳）2021 年春季学期

…… 自动控制实践（B） 试题（A）

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

考生须知：本次考试为闭卷考试，考试时间为 120 分钟，总分 60 分。

By 22-PSP

静态误差系数：

$$r(t) = A + Bt + \frac{C}{2}t^2$$

$$e_{ss}(t) = \frac{A}{1+K_p} + \frac{B}{K_v} + \frac{C}{K_a}$$

动态误差系数：

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = C_0 r(t) + C_1 \dot{r}(t) + \frac{C_2}{2!} \ddot{r}(t)$$

基本 I 型

1.6 对于系统  $G(s) = \frac{K}{s(Ts+1)}$ ，输入信号最大速度为 0.2，要求位置跟踪误差

$$r'(t) = 0.2 \quad e = C_1 r'(t) = \frac{r'(t)}{K} \leq 0.001$$

即  $W_c \leq 100 \text{ rad/s}$

小于等于 0.001，高频不确定性给出的系统带宽限制为 100 rad/s，则系统的低频增益应为 200，不能（能，不能）采用基本 I 型系统的形式进行设计。（200，不能）

带宽 = 增益

1.7 考察单位反馈系统的相对稳定性时，可以利用系统的灵敏度函数幅频特性 最大值的倒数 衡量，数值越小，说明相对稳定性越差。（最大值的倒数）

$S_{max}$  越大

1.8 伺服系统设计中，如果输入信号的频谱窄，但存在宽频谱的噪声，系统中同时存在较大的外部干扰输入需要抑制，可以采用 多回路控制 的控制结构，在抑制干扰的同时限制噪声对跟踪精度的影响。确定系统带宽时，可以依据 内回路带宽  $W_{ni} \geq 5$  倍外回路带宽  $W_{no}$  的原则确定，以方便系统的设计与调试。（多回路控制，内回路带宽是主回路（或外回路）带宽的 5 倍）

1.9 对于调节系统的被控对象  $G(s) = \frac{2}{(2s+1)(0.05s+1)}$ ，进行控制器设计时，可以将模型转

化为典型调节系统的对象  $G(s) = \frac{1}{s(0.05s+1)}$ ，如果采用 PI 控制器的形式，则设计中

考虑 相角 裕度，保证系统的相对稳定性。（ $\frac{1}{s(0.05s+1)}$ ，相位）

1.10 分析随机信号的统计特性时, 可以采用时间平均代替样本空间的平均, 这要求随机信号是... 平稳 ...随机过程, 满足... 各态历经 ...性质。(平稳, 各态历经或遍历)  $\leftarrow$

By 22-PSP

1.11 对于基本 II 型系统  $G(s) = \frac{K_a(Ts+1)}{s^2}$ , 从闭环系统的响应特性和抑制噪声的角度考虑,

参数  $K_a$ 、 $T$  应满足...  $1 \leq K_a T^2 \leq 2$  ... ( $1 \leq K_a T^2 \leq 2$ )  $\leftarrow$

2. 选择题(每题 1 分, 共 10 分, 未标注者为单选题)  $\leftarrow$

2.6 (多选题) 关于控制系统设计的流程, 正确的是 (CD)  $\leftarrow$

☒ A. 设计控制器之前, 应先建立被控对象的模型, 对象模型建得越精确, 越有利于后续控制器的设计;  $\leftarrow$  化简: 模型降阶, 线性化, 平均化

☒ B. 控制器设计完成后, 就可以对控制器进行物理实现, 在实际系统上进行调试, 检验控制器设计的效果;  $\leftarrow$  仿真实验

☒ C. 在实际搭建系统前, 应根据系统的 需求分析, 确定系统的 机械结构、驱动、测量、控制等方案;  $\leftarrow$  Step 1 功能分析 Step 2 方案设计  
性能指标分析  
工作条件分析

☒ D. 对于所设计的控制器, 在实际系统上调试可以保证系统稳定运行后, 一般还需要对要求的性能指标进行测试;  $\leftarrow$

2.7 (多选题) 关于控制系统误差的叙述, 正确的是 (BC)  $\leftarrow$

A. 控制系统的误差中, 随时间变化的误差属于瞬态误差; 属于动态误差

☒ B. 稳态误差可能是动态误差, 也可能是静态误差;  $\leftarrow$   $t \rightarrow \infty$   $e(t) \neq \text{const}$   $e(t) = \text{const}$

☒ C. 从性质上看, 控制系统的误差可分为系统误差和随机误差, 随机误差一般用 均方根误差来衡量;  $\leftarrow$  或均方误差, 均可

D. 控制系统的稳态误差是指  $t \rightarrow \infty$  时误差时域表达式的极限值, 对应于  $s$  域中  $s=0$  的情形;  $\leftarrow$   $s \rightarrow 0$ , 是  $s=0$  的邻域

2.8 关于控制系统的响应特性和反馈特性的叙述, 正确的是 (··· B ···)。

A. 只有开环系统才有响应特性, 反映了系统输出对输入信号的响应性能;

闭环系统也有

D. 闭环系统的反馈特性与响应特性是一致的, 响应特性好, 则系统的反馈特性也好。

By 22-PSP

2.9 (多选题) 关于系统带宽, 下列叙述正确的是 (··· ABCD ···)。

A. 控制系统的带宽是闭环系统的一个主要性能指标, 它反映了系统对输入信号的复现能力, 一般而言系统的带宽越宽, 跟踪精度越高;

B. 为了抑制噪声对系统性能的影响, 需要限制系统的带宽;

C. 控制系统的带宽不是越高越好, 因为过高的带宽可能会破坏鲁棒稳定性条件, 使实际系统无法正常工作;

鲁棒稳定性指模型不精确或模型变化后, 系统仍稳定, 条件:  $|T| \leq \frac{1}{\|u_m\|}$

D. 机械谐振是限制机电伺服系统频带拓展的一个主要因素, 通常系统的剪切频率应当低于机械谐振频率。

$$\omega_{BW} < \frac{\omega_m}{5}$$

2.10 (多选) 对于控制器的 Anti-Windup 设计, 下列叙述正确的是 (··· BD ···)。

控制器的积分

A. 主要的目的是克服被控对象中的积分器进入深度饱和, 以改善系统的动态性能;

B. 基本思想可以理解为将被控对象的实际输入量作为反馈来调节输入给控制器的偏差大小, 从而使控制器的输出尽可能不超过执行机构的约束;

带来严重的性能下降, 甚至使系统失稳

C. 控制系统的饱和只会导致系统动态性能变差, 但不会导致系统失稳;

D. 对于系统只是在执行机构的线性工作区域内运行的情形来说, 通常的 Anti-Windup 设计不起作用。

3. 判断题 (每题 0.5 分, 共 5 分)

3.1 控制系统设计中首先需要保证标称闭环系统的稳定性, 即考虑对象的标称模型, 保证从参考输入信号到系统输出信号的闭环传递函数稳定即可。

① 还要考虑不确定性

② 还要考虑扰动噪声

3.2 对于存在执行机构饱和和限制的系统, 针对所设计的控制器, 采用 anti-windup 结构实现控制器, 同未采用 anti-windup 设计的原系统相比, 可以有效提高执行机构饱和时系统的响应速度, 改善动态响应特性。

不能, 这个是由控制量决定的

3.3 单位阶跃信号的 Laplace 变换为  $\frac{1}{s}$ , 考虑其频谱时, 将  $s = j\omega$  带入, 则得到单位阶跃信号的频谱特性为  $\frac{1}{j\omega}$ 。

对的

不对, 不满足绝对可积

$$1 \xrightarrow{\mathcal{F}} \frac{1}{j\omega}$$

$$u(t) \xrightarrow{\mathcal{F}} \pi\delta(\omega) + \frac{1}{j\omega}$$

3.4 对于随机信号来说, 其功率谱密度函数是偶函数, 是该随机信号自相关函数的 Fourier 变换。

$\Phi(\omega)$

$R(\tau)$

第 I 类

比例微分

3.5 在调节系统  $G(s) = \frac{K}{s(Ts+1)}$  设计中, 可以采用 PD 控制来调节系统的阻尼, 并引入积分控制来抑制平均值不为零的高频随机干扰, 但积分作用应该比较弱, 不影响由 PD 控制器所确定的系统动态特性。

课件原话



By 22-psp

3.6 图 3-1 所示的控制系统, 如果开环传递函数  $G(s)K(s)$  中存在积分环节, 则阶跃形式的外部扰动  $D(s)$  不会产生稳态误差。……要求  $K(s)$  有积分环节

◆ 基本 II 型系统

齿隙自振荡:

齿隙特性描述函数的负倒特性位于第三象限, 而 II 型系统的频率特性恰好位于第三象限, 两者必然相交。因此, 若机械传动中存在齿隙, 则这类系统从理论上来说就存在自振荡。

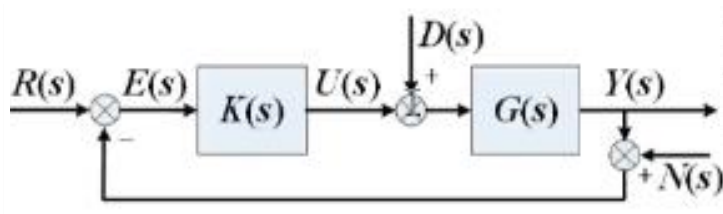
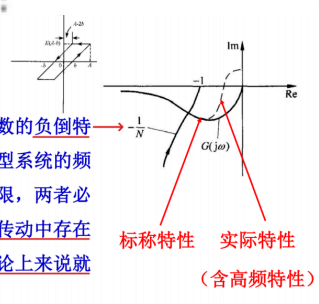


图 3-1 控制系统框图

设  $G(s) = \frac{K}{s^\mu} G_0(s)$ ,  $G_0(0) = 1$ , 则  $e_{ss} = -\lim_{s \rightarrow 0} s \frac{s^{\mu+1} D(s)}{K}$   
① 设  $\mu = 0$  即  $G(s)$  无积分环节, 在阶跃扰动作用下  $e_{ss} = -\frac{1}{K}$ , 虽然开环传递函数有积分环节, 在阶跃扰动作用下还是有差的。  
② 设  $\mu > 0$  即  $G(s)$  有积分环节, 在阶跃扰动作用下  $e_{ss} = 0$ 。  
若  $\mu = 1$ , 在斜坡扰动作用下是无差的。因此  $G(s)$  环节中的积分环节决定了扰动作用下的无差度。

3.7 图 3-1 所示的系统中, 为了考察参考输入信号  $R(s)$ 、外部干扰信号  $D(s)$  和噪声信号  $N(s)$  对跟踪误差的影响, 根据线性系统的叠加原理, 分别考察  $R(s)$ 、 $D(s)$  和  $N(s)$  到偏差  $E(s)$  的传递函数即可。不行有噪声就不能这么做

3.8 对于基本 II 型系统来说, 当系统中存在齿隙非线性时, 则经单位反馈闭环后系统中必然存在自振荡。

3.9 对于  $G(s) = \frac{K}{Ts+1} e^{-\tau s}$  这类调节系统的被控对象, 设计中主要考虑的因素是时滞环节引起的相位滞后, 因此需要引入 PD 控制器  $K_p(1 + \frac{T_D s}{1 + \tau_D s})$ , 并增强微分环节的作用, 即增大  $T_D$  的数值, 以提供超前的相角。  
过程控制系统  
滞后是线性相角衰减, 靠 D 获得的相角小于由于 D 导致的  $\omega$  变大所带来的滞后的相角衰减

3.10 调节系统的典型输入信号可以取为阶跃信号。  
是将被调量(系统输出量)保持在设定值上的控制系统

4. 简答题 (每题 5 分, 共 25 分)

◆ 串级调节系统

- ◆ 过程控制中的多回路控制
- ◆ 过程控制中的大滞后对象 (过程控制的特点)
- ◆ 辅助变量能够保证比较快地反映扰动和控制作用
- ◆ 利用辅助变量构成调节系统, 镇定辅助变量
- ◆ 内外环带宽错开
- ★ 主调节器的输出作为副调节器的设定值 滑!
- 串级调节的特点:
- ◆ 对象的主要扰动在输入端
- ★ 串级调节对于辅助变量之后的扰动无作用

4.2 对于采用主、副回路控制结构的过程控制系统, 辅助变量选取的原则是什么? 对于外部扰动抑制的特点是什么? 串级调节

答: 系统中的主要扰动能够影响辅助变量, 辅助变量能够较快地反映 (或响应) 外部扰动和控制输入。只能抑制包含在辅助回路内的扰动, 对于辅助变量后的扰动无法抑制。