

系统分析与控制

第十三次课

系统

数学模型

微分方程

传递函数

状态方程

频率特性

结构图

阶跃响应

分析

控制

系统

计算响应

稳定性

分析

可控性

稳态性能

动态性能

控制

系统

分析

控制

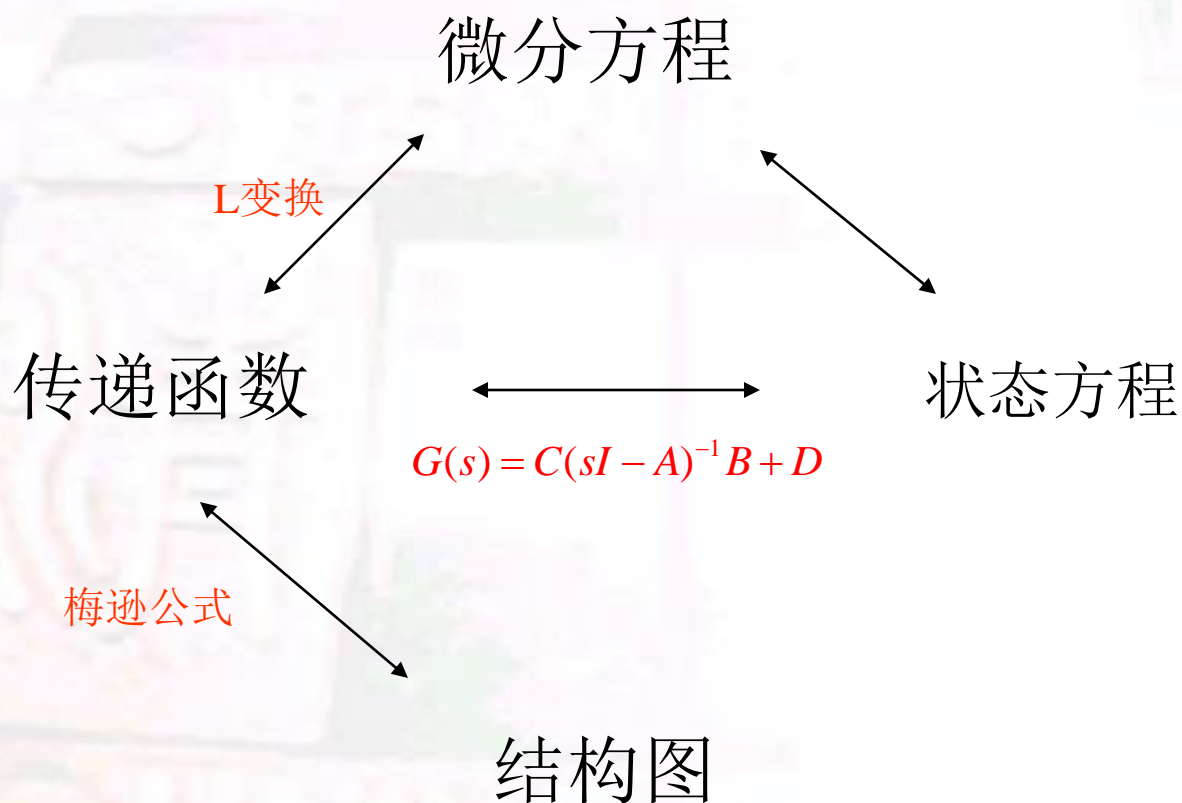
分析法

综合法

校正(频域法)

极点配置(时域法)

系统的数学模型



拉普拉斯变换性质

$$\mathbf{L}[f(t)] = F(s)$$

★★★ 线性性质

$$\mathbf{L}[af_1(t) + bf_2(t)] = aF_1(s) + bF_2(s)$$

★★★★★ 微分性质

$$\mathbf{L}[f'(t)] = sF(s) - f(0)$$

★★★ 积分性质

$$\mathbf{L}\left[\int_0^t f(t)dt\right] = \frac{1}{s} F(s)$$

★★★★★ 延迟性质

$$\mathbf{L}[f(t - \tau)] = e^{-\tau s} F(s)$$

★★★★★ 终值定理

$$\lim_{t \rightarrow \infty} f(t) = \lim_{s \rightarrow 0} sF(s)$$

★ 初值定理

$$\lim_{t \rightarrow 0} f(t) = \lim_{s \rightarrow \infty} sF(s)$$

系统的分析——稳定性

稳定性概念

暂态分量趋于0

应用

临界稳定，不稳定

劳斯判据（用法，意义）

系统的分析——能控性

研究系统这个“黑箱”的内部状态是否
可由输入影响

只对状态方程有用

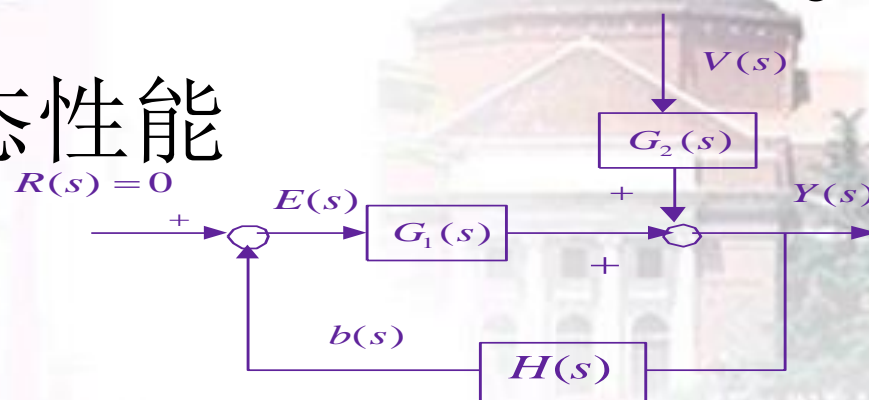
$$\begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) \\ y(t) = Cx(t) + Du(t) \end{cases}$$

能控性

$$u(t) \Rightarrow x(t)$$

$$S = \begin{bmatrix} B & AB & \cdots & A^{n-1}B \end{bmatrix}$$

系统的分析——稳态性能



典型输入的稳态误差

	阶跃	斜坡	抛物线
$r = 0$	$\frac{R}{1+K}$	∞	∞
$r = 1$	C	$\frac{R}{K}$	∞
$r = 2$	C	C	$\frac{R}{K}$

系统的分析——稳态性能

计算稳态误差的前提：系统是稳定的

积分环节越多，稳态性能越好

一般结构：终值定理



系统的分析——动态性能

超调量

过渡过程时间

上升时间

延迟时间

系统的分析——动态性能

一阶系统

无超调

二阶系统

欠阻尼

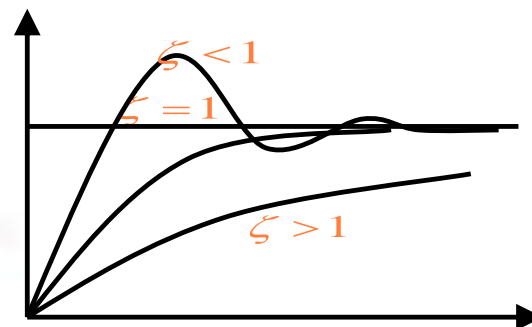
有超调

临界阻尼

无超调

过阻尼

无超调



系统的分析——频域方法

~~极坐标图~~ ~~Nyquist判据~~

频率特性与时间响应之间的关系

频带越宽，响应时间越快

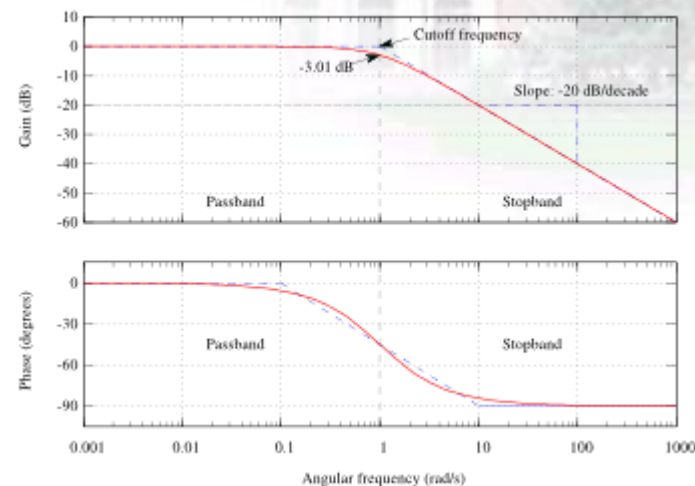
系统的分析——频域方法

Bode图

幅频

相频

优点



系统的控制

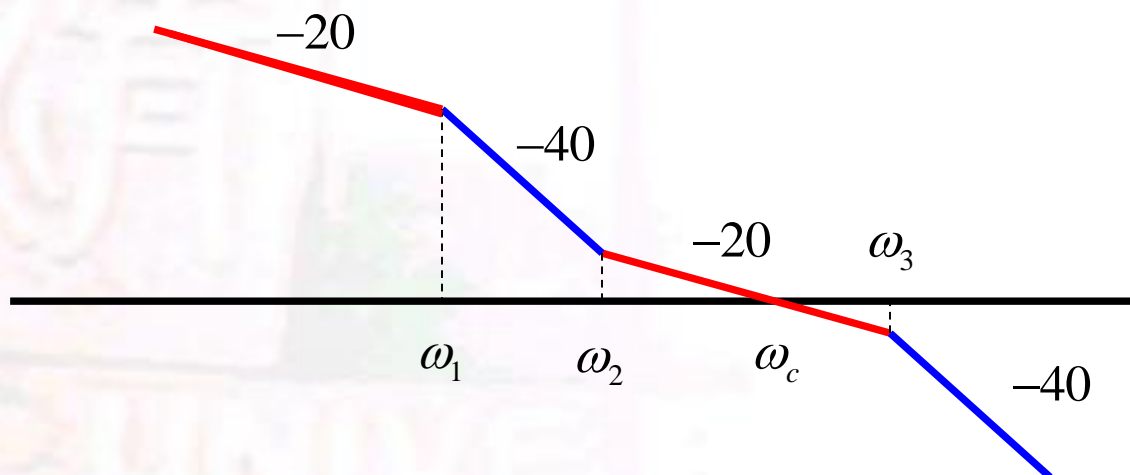
分析法

综合法

系统的控制

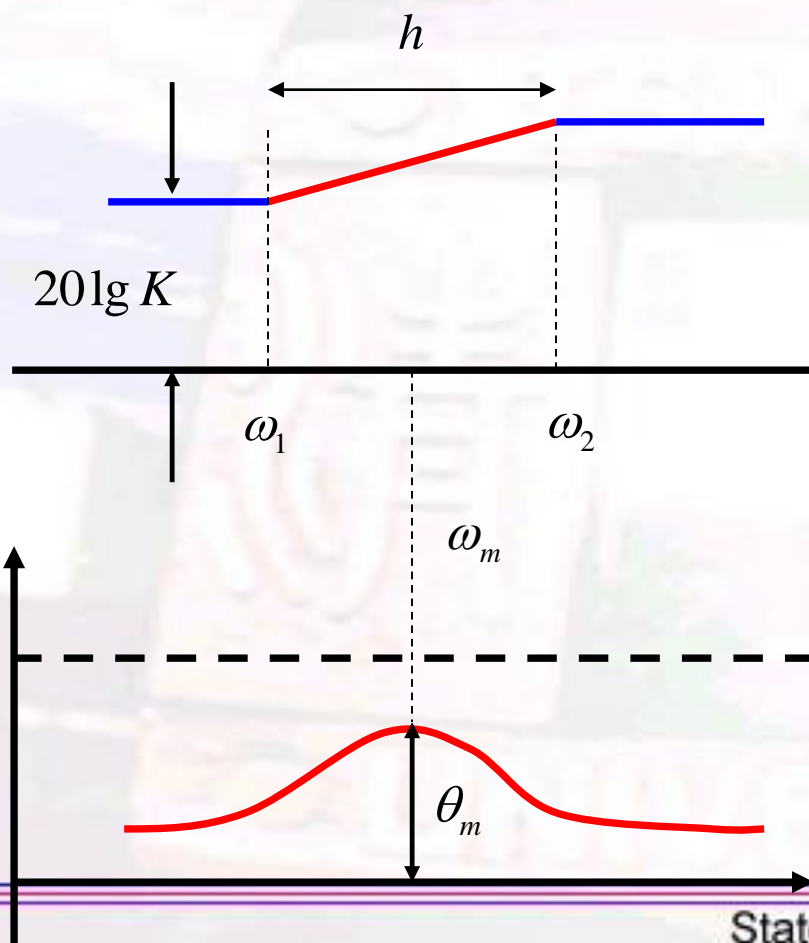
期望开环频率特性

如何根据给定的性能指标来确定期望的开环频率特性



系统的控制

超前校正

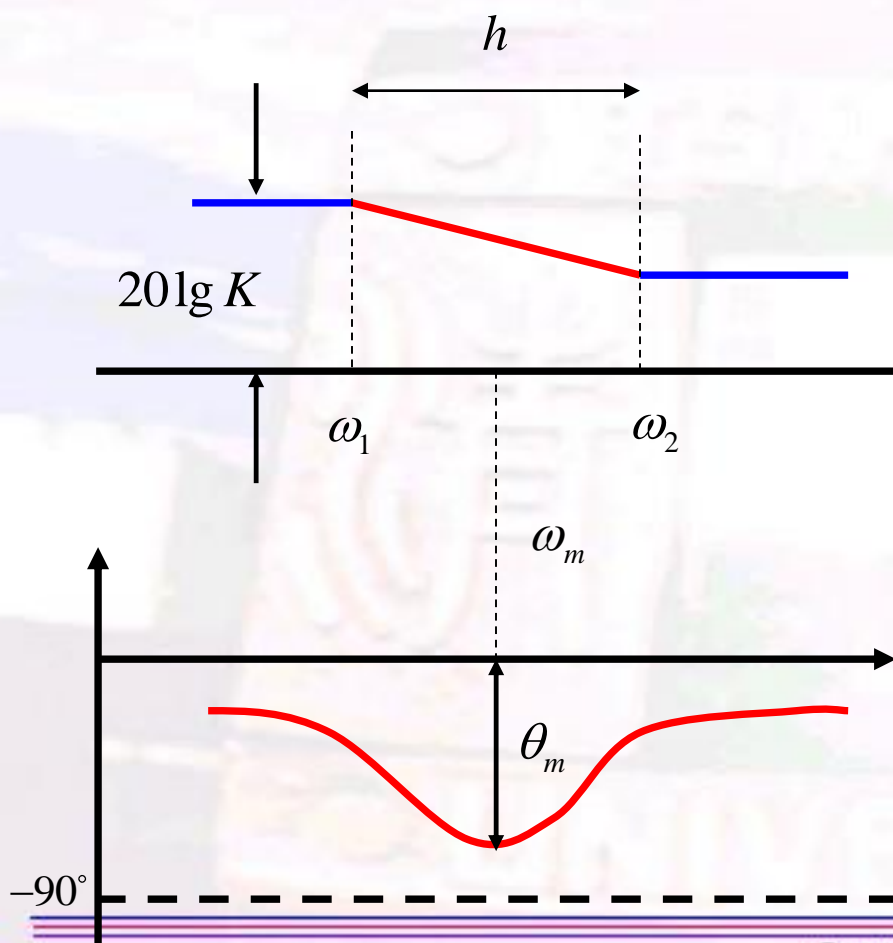


在不改变低频段的前提下
改变中频段的形状。

增加相位裕量，
改善动态性能

系统的控制

滞后校正

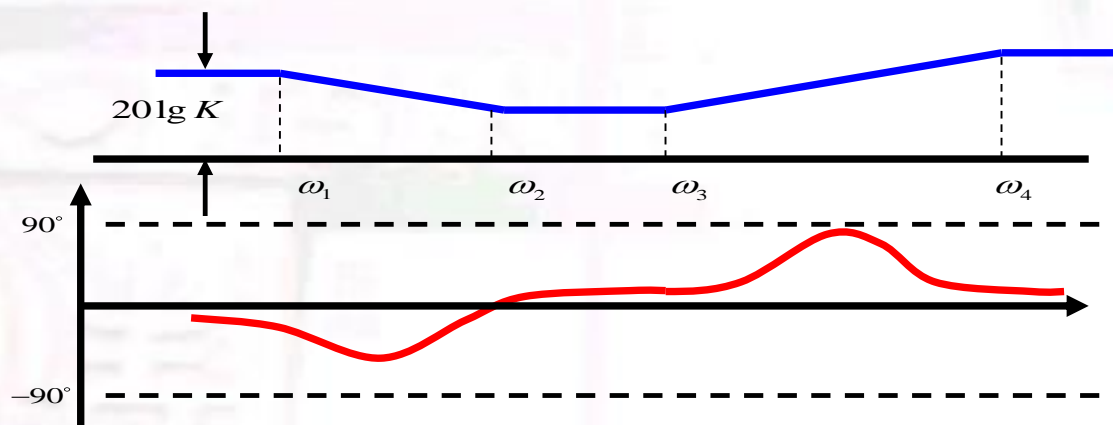


在不改变中频段的前提下
改变低频段的形状。

改善稳态性能

系统的控制

超前滞后校正



利用超前校正改变中频段的形状，改善动态性能

利用滞后校正改变低频段的形状，改善稳态性能



系统的控制

综合法基本步骤

- (1) 确定 M_r ω_c
- (2) 根据 M_r 确定 h
- (3) 确定转折频率 ω_1 ω_2 ω_3
- (4) 确定期望开环频率特性 $Q(s)$
- (4) 确定控制器 $D(s) = \frac{Q(s)}{G(s)}$

系统的控制

分析法基本步骤

- (1) 确定 ω_c γ
- (2) 计算实际相位裕度 γ_G
- (3) 确定需要补偿的相角 $\theta_m = \gamma - \gamma_G$
- (4) 引入滞后校正，保证稳态性能
- (5) 校核性能，如果不满足要求，重新设计。

系统的控制——状态空间方法

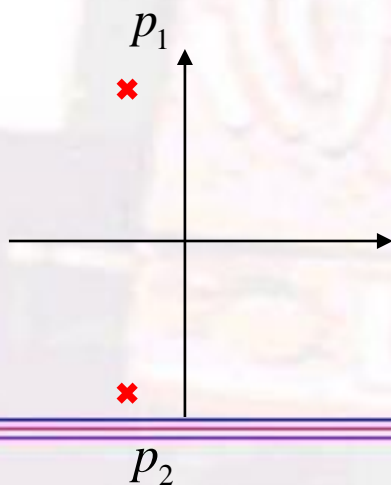
状态反馈

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) \\ y(t) = Cx(t) \end{cases}$$

$$u(t) = -\mathbf{L}x(t)$$

$$\dot{x}(t) = (A - \mathbf{B}\mathbf{L})x(t)$$

$$|sI - (A - \mathbf{B}\mathbf{L})| = (s - p_1)(s - p_2)$$



采样系统

连续控制系统

连续信号

离散控制系统

离散信号

采样控制系统

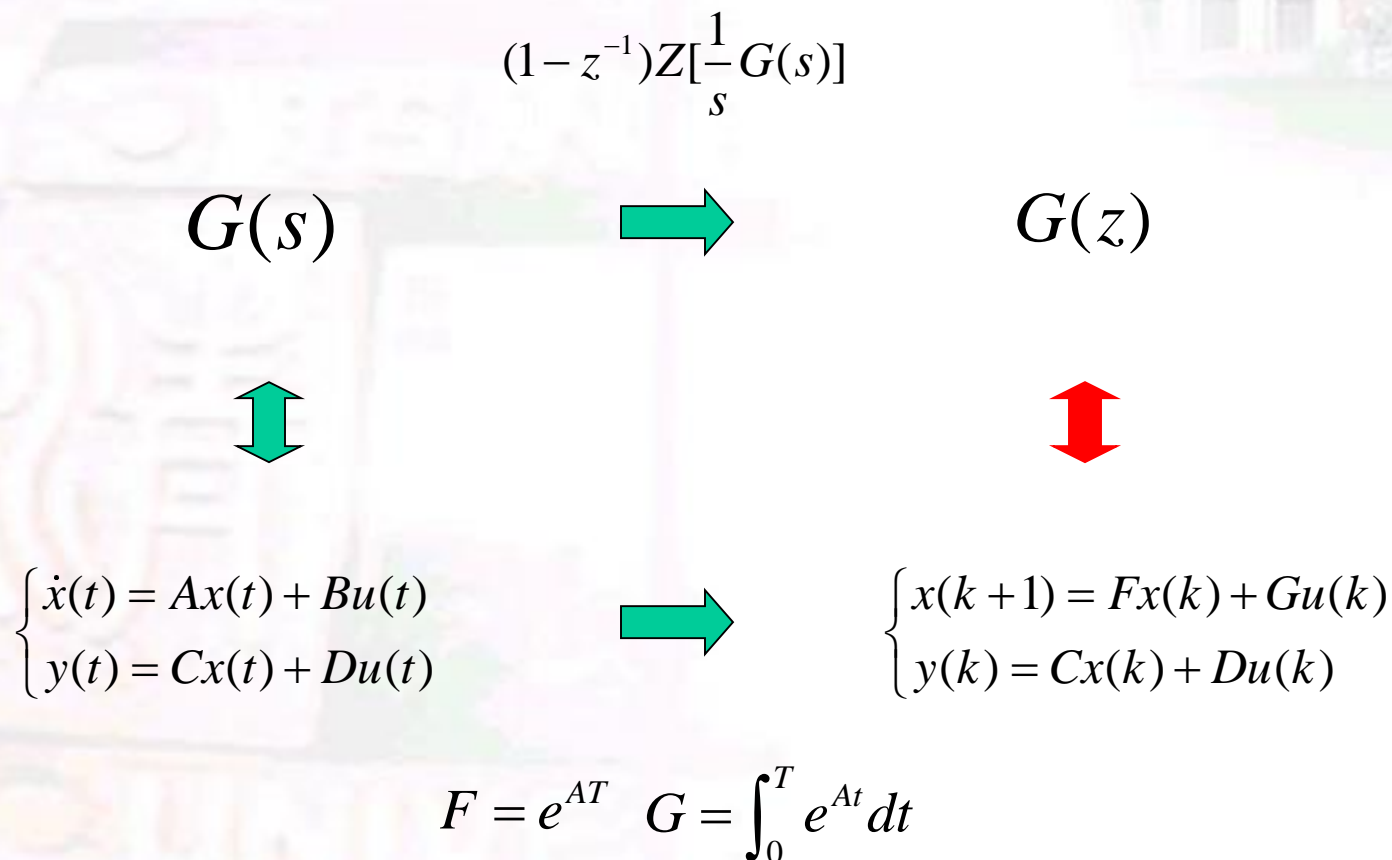
连续、离散信号

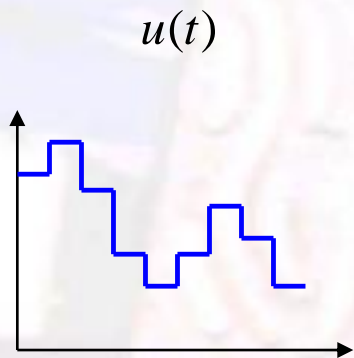
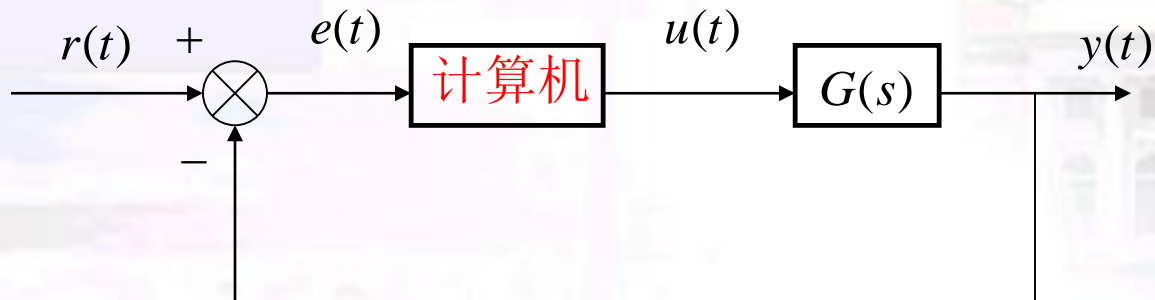
数字控制系统

连续、离散信号，量化效应

采样系统

离散系统模型





在采样点之间，相当于开环控制

采样系统

采样控制系统分析

计算系统响应

稳定性

能控性

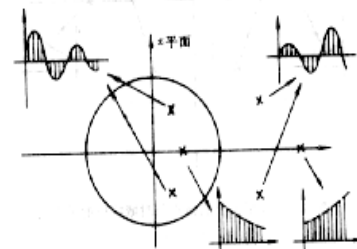
静态性能

动态性能

$$z = \frac{\omega + 1}{\omega - 1}$$



$$\frac{1}{(z-1)^r}$$



采样控制系统的设计

连续系统等效

指数变换

$$z = e^{sT}$$

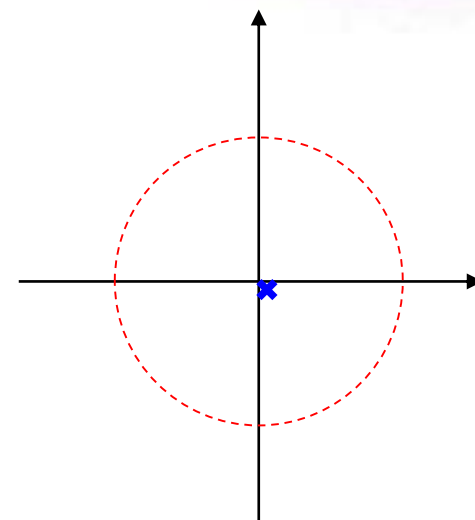
双线性变换

$$z = \frac{1 + (T/2)\omega}{1 - (T/2)\omega}$$

采样控制系统的设计

控制器极点配置

$$z_i = e^{s_i T}$$



题目类型

简答题 (3*5)

回答简明扼要

选择题 (3*5)

写在答题纸上

计算题 (5道)

过程详细

携带

教材、计算器

2008题目

即使对于一般的闭环采样控制系统，为什么说在采样点之间仍然是开环控制？

对于有三个极点的线性连续系统，当这些极点在什么位置时该系统是不稳定的？

~~劳斯判据和Nyquist判据分别是判断系统稳定性的时域判据和频域判据。他们的用途有什么区别？~~

~~ITAE指标为什么不适用于零型系统？~~

为什么期望的频率特性的中频段应以-20分贝/10倍频程的斜率过0分贝线？

1. 在传递函数中, 物理上不能实现的是 ()。

$$[A] D(s) = \frac{s+1}{6s^2+11s+6}$$

$$[B] D(s) = \frac{s+1}{11s+6} e^{-2s}$$

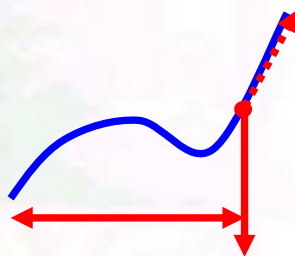
$$[C] D(z) = \frac{1}{z+2}$$

$$[D] D(z) = \frac{z^2+1}{z+11}$$

2. PID 控制器中，用于预测误差变化并做相应补偿的环节是（）。

- [A] 比例环节
- [B] 积分环节
- [C] 微分环节
- [D] 比例环节、积分环节和微分环节

$$u(t) = K_P e(t) + K_I \int e(t) dt + K_D \frac{de(t)}{dt}$$



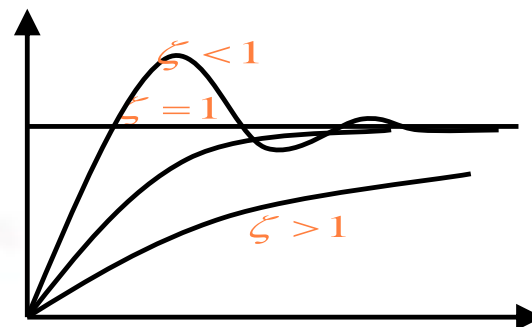
4. 在下列传递函数描述的系统，其阶跃响应超调量最大的是（）。

[A] $\frac{1}{s+2}$

[B] $\frac{1}{s^2+1.4s+1}$

[C] $\frac{2}{(s+1)(s+2)}$

[D] $\frac{4}{s^2+4s+4} \longrightarrow \frac{1}{(s+2)^2}$



5. 下列选项中，极点能任意配置的必要条件是（）。

[A] 系统是稳定的；

[B] 系统是能控的；

[C] 系统是能观的；

[D] 系统输出可以测量。

$$L = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \cdots & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B & AB & \cdots & A^{n-1}B \end{bmatrix}^{-1} \alpha_c(A)$$

3. 对于采样控制系统，下列说法正确的是（ ）

[A]其稳定性与采样频率无关；

[B]其稳态误差与采样频率无关；

[C]其动态性能与采样频率无关；

[D]以上说法都不对

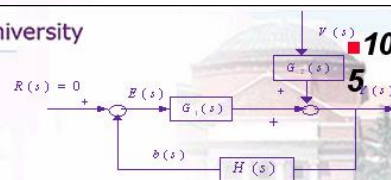
4. 单位负反馈控制系统的开环传递函数为 $G(s) = \frac{100}{s(s+10)}$ ，在单位加速度信号作用下，系统的稳态误差为

[A] 0.1; [B] 0.01; [C] 0; [D] ∞

稳态性能

典型输入的稳态误差

	阶跃	斜坡	抛物线
$r=0$	$\frac{R}{1+K}$	∞	∞
$r=1$	0	$\frac{R}{K}$	∞
$r=2$	0	0	$\frac{R}{K}$



$$G(s)H(s) = \frac{K \prod_{i=1}^r (T_i s + 1) \prod_{j=1}^v (T_j^2 s^2 + 2\zeta_j T_j s + 1)}{s^q \prod_{k=1}^n (T_k s + 1) \prod_{l=1}^m (T_l^2 s^2 + 2\zeta_l T_l s + 1)}$$

5. 某二阶系统无零点，极点为 $-1 \pm j\sqrt{3}$ ，则在单位阶跃信号作用下，系统的超调量为（）
[A]36.7%； [B]17.7%； [C]16.3%； [D] 以上答案都不对。

$$s_{1,2} = \begin{cases} -\zeta\omega_n \pm j\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}, & |\zeta| \leq 1 \\ -\zeta\omega_n \pm \omega_n\sqrt{1-\zeta^2}, & |\zeta| \geq 1 \end{cases}$$

$$y(t) = \begin{cases} 1 - \frac{e^{-\zeta\omega_n t}}{\sqrt{1-\zeta^2}} \sin(\sqrt{1-\zeta^2}\omega_n t + \arccos \zeta), & \zeta < 1 \\ 1 - (1 + \zeta\omega_n t)e^{-\zeta\omega_n t}, & \zeta = 1 \\ 1 - \frac{\zeta + \sqrt{\zeta^2 - 1}}{2\sqrt{\zeta^2 - 1}} e^{-(\zeta - \sqrt{\zeta^2 - 1})\omega_n t} + \frac{\zeta - \sqrt{\zeta^2 - 1}}{2\sqrt{\zeta^2 - 1}} e^{-(\zeta + \sqrt{\zeta^2 - 1})\omega_n t}, & \zeta > 1 \end{cases}$$

$$\sigma = e^{\frac{-\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}}$$

2012 年《系统分析与控制》试题(A 卷)

答题说明：

- 所有考题在答题册上回答(请标明题号)。
- 交卷时请把试题、答题册和演算纸都交上来。
- 考试时间：120 分钟。

一 简答题 (每小题 3 分, 共 15 分)

- 试解释为什么系统的频带越宽, 则其响应越快。
- Z 平面中的变量与 S 平面中的变量的对应关系是 $z = e^{sT}$, Z 平面上的虚轴对应 S 平面的什么线?
- 为什么说系统传递函数等于系统的单位脉冲响应的拉普拉斯变换?
- 举例说明什么信号的 Z 变换与采样周期无关。
- PID 控制器 $K_P + K_I \frac{1}{s} + K_D s$ 为什么不可实现? 试将其改造成为可以实现的形式。

二 单项选择题(每小题 3 分, 共 15 分)

1. 一个开环不稳定的系统, 其负反馈闭环系统 ()。

- [A] 一定不稳定;
[B] 一定稳定;
[C] 不一定不稳定;
[D] 一定临界稳定。

2. 如下四个系统中

$$G(z) = \frac{z+1}{z(z+2)}, \quad G(s) = \frac{s+1}{s^2(s+4)}, \quad G(z) = \frac{1}{(z-1)(z+2)}, \quad G(s) = \frac{s}{s+2}$$

临界稳定的系统有 () 个。

- [A] 0 个; [B] 1 个; [C] 2 个; [D] 3 个

4. 下列传递函数中, 起超前校正作用的是 ()。

- [A] $\frac{0.1s+1}{10s+1}$; [B] $\frac{5s+1}{2s+1}$; [C] $\frac{5s^2}{s+2}$; [D] 以上答案都不对。

■ 二 单项选择题(每小题 3 分, 共 15 分)

1. 系统开环增益的变化 ()。

- [A] 仅影响幅频特性；
[B] 仅影响相频特性；
[C] 既影响幅频特性，又影响相频特性；
[D] 既不影响幅频特性，又不影响相频特性。

2. 若希望离散系统具有良好的动态性能，设计离散系统时，应尽可能地使闭环极点处于 ()。

- [A] z 平面单位圆外，右半实轴上；
[B] z 平面单位圆内，左半实轴上；
[C] z 平面单位圆上，右半实轴上；
[D] z 平面单位圆内，右半圆内，靠近原点。

3. 下列串联校正装置的传递函数中，能在 $\omega_c = 1$ 处提供最大相位超前角的是 ()。

- [A] $\frac{10s+1}{s+1}$ [B] $\frac{10s+1}{0.1s+1}$ [C] $\frac{2s+1}{0.5s+1}$ [D] $\frac{0.1s+1}{10s+1}$

$$\min \{ (\text{平时作业} * 30\% \\ + \text{期末成绩} * 70\% \\ + \text{动态纹理作业}) , \\ 100 \}$$

