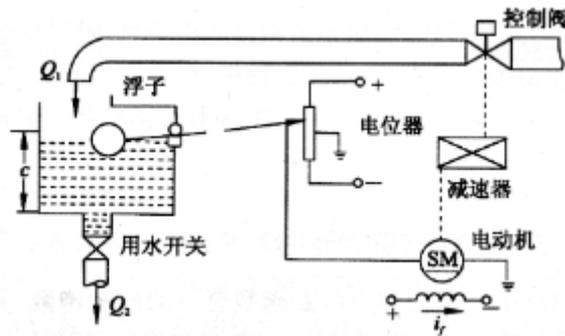


自动控制原理 习题集

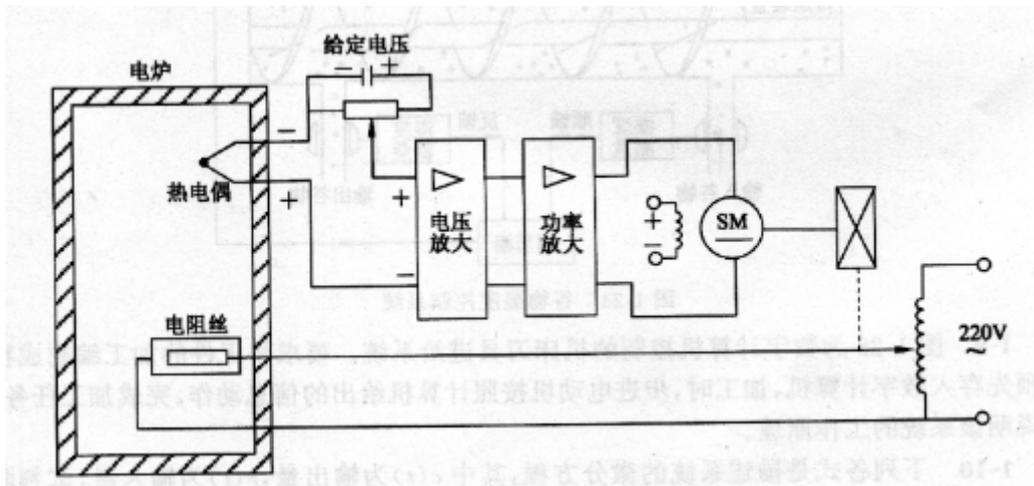
周悦 刘剑

第一章 自动控制系统概述

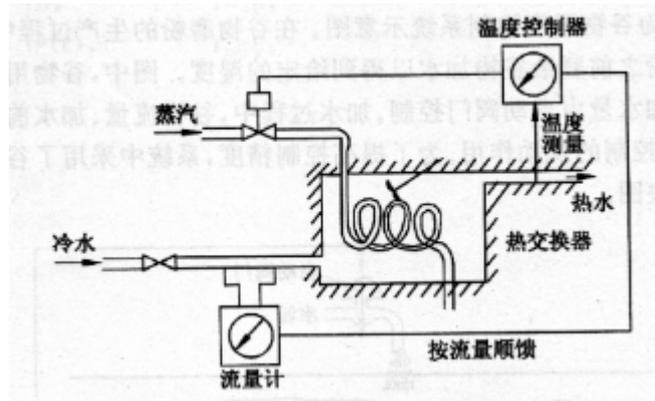
- 1-1 什么是自动控制？什么是反馈？对人类活动有何意义？
- 1-2 闭环控制系统是怎样实现控制作用的？试举例说明。
- 1-3 自动控制系统主要有哪几部分组成？各组成部分有什么功能？
- 1-4 试叙述电冰箱中温度控制系统的控制温度过程。
- 1-5 试叙述骑自行车时的闭环控制过程。
- 1-6 如图所示，液位自动控制系统原理示意图。在任意情况下，希望液面高度 c 维持不变，试说明系统工作原理，并画出系统方块图。



- 1-7 题图所示的电炉温度控制系统示意图。试分析系统保持电炉温度恒定的工作过程，指出系统的被控对象、被控量以及各不见的作用，最后绘制系统方块图。

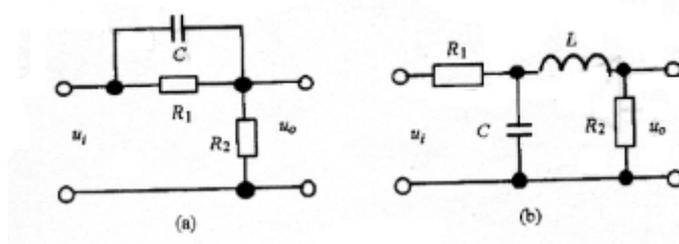


- 1-8 题图所示的水温控制系统示意图，冷水在热交换器中又通入的蒸汽加热，从而得到一定温度的热水。冷水流量变化用流量计测量。试绘制系统方块图，并说明为了保持热水温度为期望值，系统是如何工作的？系统的被控对象和控制装置各是什么？



第二章 控制系统的数学描述

- 2-1 什么是线性定常系统？线性系统具有什么特性？
- 2-2 什么样的非线性系统不可以用线性化方程来描述？
- 2-3 用传递函数作为数学模型来描述系统有些什么特点？
- 2-4 传递函数可以表示出哪些信息关系？
- 2-5 结构图在应用上有什么优点？
- 2-6 已知电网络如题所示，输入为 $u_i(t)$ ，输出为 $u_o(t)$ ，试列写微分方程。



2-7 求下列时间函数 $f(t)$ 的拉氏变换 $F(s)$ 。

- (1) $f(t) = 0.5(1 - \cos 5t)$
- (2) $f(t) = e^{-0.2t} \cos 314t$
- (3) $f(t) = \sin(5t + \frac{\pi}{3})$
- (4) $f(t) = t^2 e^{-3t}$

2-8 已知下列拉氏变换 $F(s)$ ，求出时间表达式 $f(t)$ ，并画出曲线草图。

(1)
$$F(s) = \frac{s^2 + s + 100}{s(s^2 + 100)}$$

$$(2) F(s) = \frac{s^2 + 3s + 5}{s^2 + 2s + 4}$$

$$(3) F(s) = \frac{1 - e^{-Ts}}{s^2}$$

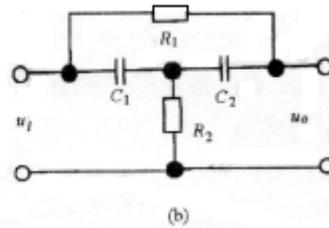
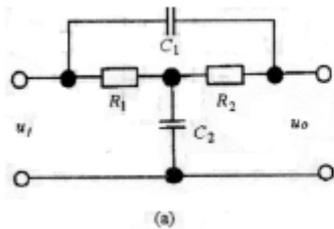
$$(4) F(s) = \frac{1}{1 - e^{-Ts}}$$

2-9 用拉氏变换法求解下式微分方程。

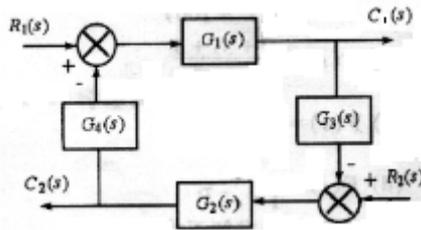
$$(1) 2\ddot{c} + 7\dot{c} + 5c = r, \quad r = R \cdot 1(t), \quad c(0) = 0, \quad \dot{c}(0) = 0$$

$$(2) 2\ddot{c} + 7\dot{c} + 5c = 0, \quad c(0) = c_0, \quad \dot{c}(0) = \dot{c}_0$$

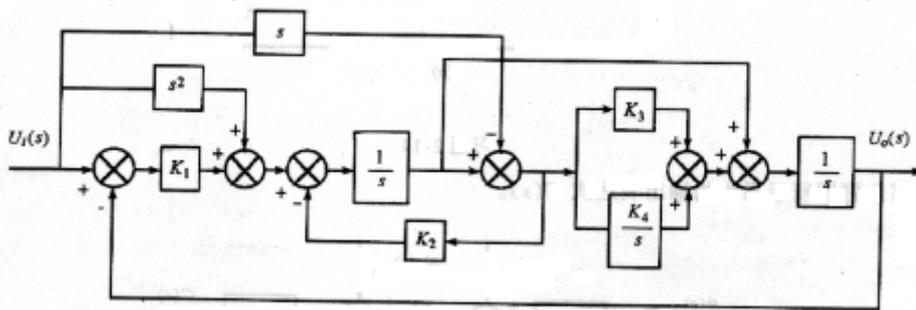
2-10 画出下面电网络的结构图，并化简求取传递函数。



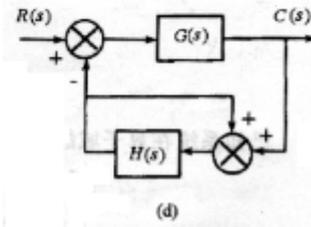
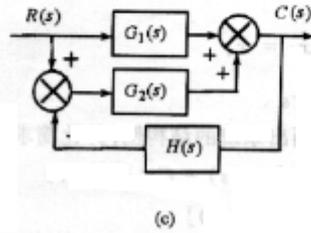
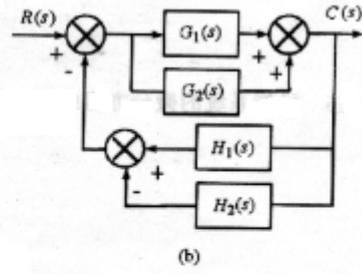
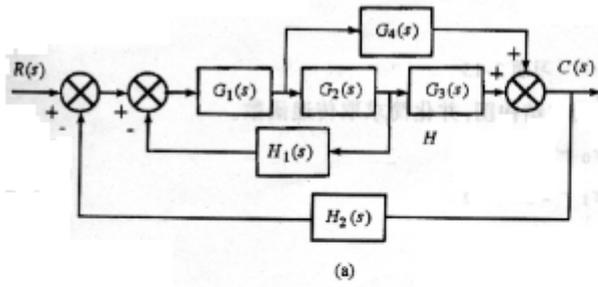
2-11 已知陀螺动力学系统的结构图如题所示，试求其传递函数。



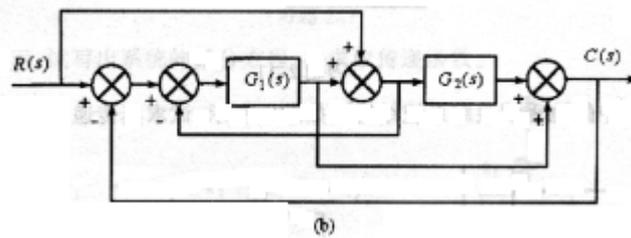
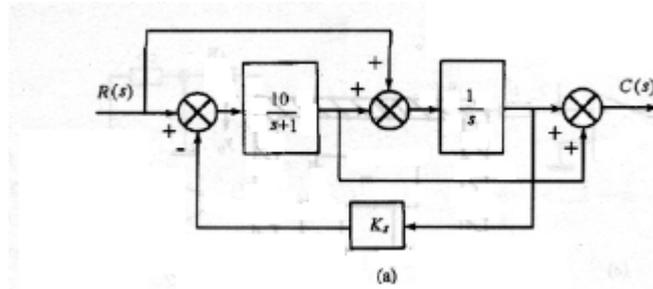
2-12 惯性导航装置中的地垂线跟踪系统结构图如题图所示，试求其传递函数。



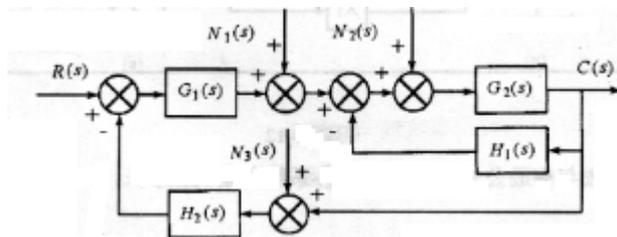
2-13 分别用等价变换法与梅逊公式法化简图示各系统的结构图。



2-14 已知系统结构图如题图所示，试用梅逊公式法求取传递函数。



2-15 写出题图所示系统的输出表达式 $C(s)$ 。



2-16 已知系统在算子域的代数方程组描述如下，试画出系统的结构图，并化简求取传递函数。

$$X_1(s) = G_1(s)R(s) - G_1(s)[G_7(s) - G_8(s)]C(s)$$

$$X_2(s) = G_{21}(s)[X_1(s) - G_6(s)X_3(s)]$$

$$X_{31}(s) = G_3(s)[X_2(s) - G_5(s)C(s)]$$

$$C(s) = G_4(s)X_3(s)$$

2-17 已知系统的微分方程组描述如下，试画出结构图，并化简求取传递函数。

$$x_0 - x_6 = x_1$$

$$x_1 - x_5 = x_2$$

$$x_1 - x_3 = x_4$$

$$2 \frac{dx_3}{dt} + x_5 = x_4$$

$$x_3 + x_5 = x_6$$

第三章 控制系统的时域分析

3-1 二阶系统的特征参数是什么？有什么物理意义？

3-2 二级系统阶跃响应有哪些类型？由什么决定？

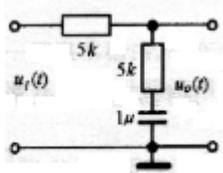
3-3 物理系统的阶跃响应是不是能在瞬时完成，为什么？

3-4 什么是稳态误差？稳态误差的三要素是什么？

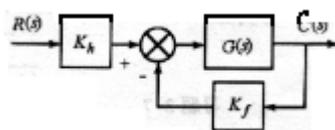
3-5 系统的前向积分器是以什么方式影响系统的稳态误差的？

3-6 扰动信号对系统的稳态误差影响是什么？

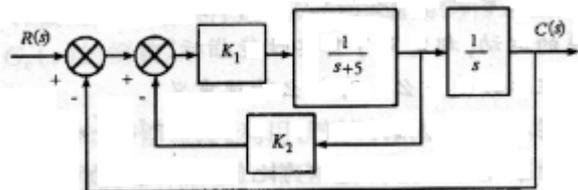
3-7 已知某装置的电路如题图所示，输入信号为单位阶跃信号 $u_i(t) = 1(t)$ 时，试计算其输出响应 $u_o(t)$ ，画出 $u_o(t)$ 的草图，并计算响应时间 t_s 。



3-8 已知某检测元件响应特性为 $G(s) = \frac{10}{0.2s+1}$ 为了将响应时间减小至原来的 0.1 倍，并保证原增益不变，采用负反馈方法来实现如题图所示，试计算图中各增益的值 K_f 、 K_h 。



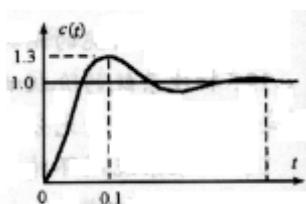
3-9 已知速度反馈控制系统如题图所示，为了保证系统阶跃响应的超调量 $M_p < 20\%$ ，过渡时间 $t_s \leq 0.3s$ ，试确定前向增益 K_1 的值和速度反馈系数 K_2 的值。



3-10 已知系统的闭环特征方程如下，试用代数稳定性判据判别系统的稳定性。

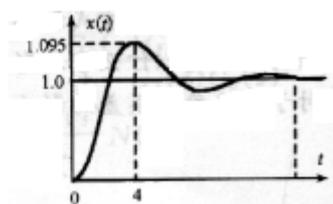
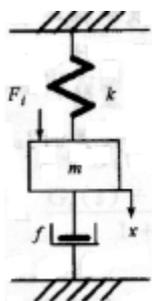
- (1) $s^3 + 20s^2 + 9s + 200 = 0$
- (2) $(s + 2)(s + 4)(s^2 + 6s + 25) + 666.25 = 0$
- (3) $s^5 + 6s^4 + 3s^3 + 2s^2 + s + 1 = 0$
- (4) $s^4 + 8s^3 + 18s^2 + 16s + 5 = 0$

3-11 实验测得单位反馈控制系统在输入信号为 $r(t) = 1(t)$ 时，其输出信号 $c(t)$ 的

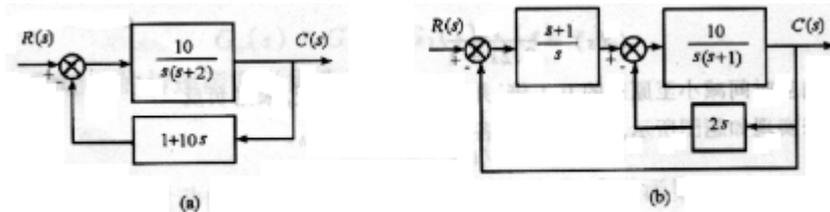


响应曲线如题图所示，试确定系统的开环传递函数。

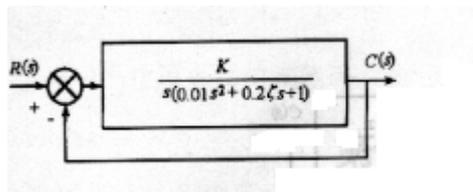
3-12 题图所示机械系统，当受到 $F = 4$ 牛顿力的作用时，位移量 $x(t)$ 的阶跃响应如图所示，试确定机械系统的参数 m ， k ， f 的值。



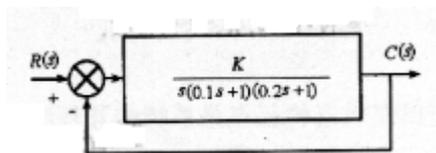
3-13 试判别题图所示系统的稳定性。



3-14 试确定题图所示系统参数 K 和 ξ 的稳定性。

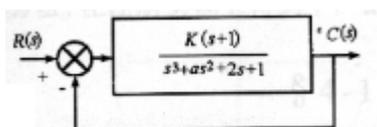


3-15 反馈控制系统如题图所示，如果要求闭环系统的特征根全部位于 s 平面上虚轴的左面，试确定参数 K 的取值范围。

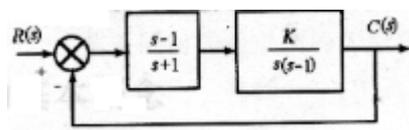


3-16 已知系统的闭环特征方程为 $(s+1)(s+0.5)(s+2)+K=0$ ，试由代数稳定性判据确定使得系统闭环特征根的实部均小于-1 的最大 K 值。

3-17 题图所示系统，如果要求系统作等幅振荡，确定系统参数 K 、 a 的值和振荡频率 ω 。



3-18 题图所示系统，开环传递函数中的因子 $(s-1)$ 作严格对消与不严格对消时，判别系统的稳定性。

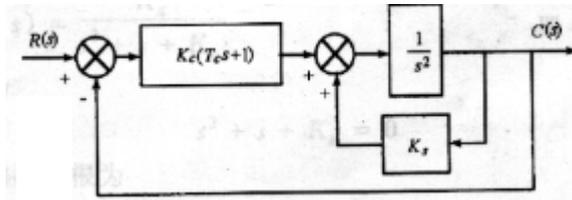


3-19 已知某控制系统如题图所示，内环为正反馈，反馈系数为 K_s ， $K_s > 0$ ，是不稳定的，在反馈的基础上增加前向通路比例 - 微分控制时，系统可以稳定，试确定

(1) 系统稳定时，PD 控制器参数 K_c ， T_c 的取值条件；

(2) 当正反馈系数 $K_s = 0.8$ 时, 要求系统阶跃响应的超调量 $M_p = 16.3\%$

和过渡时间 $t_s = 0.8s$, 试确定 PD 控制器参数 K_c, T_c 的取值。



3-20 设单位反馈系统的开环传递函数如下, 分别计算系统的静态位置误差系数 K_p , 静态速度误差系数 K_v , 静态加速度误差系数 K_a , 并分别计算当输入为 $r(t) = 2 \cdot 1(t)$ 、 $r(t) = 2t$ 、 $r(t) = 2t^2$ 时的稳态误差。

$$(1) G(s) = \frac{50}{(5s+1)(6s+1)}$$

$$(2) G(s) = \frac{K}{s(0.5s+1)(4s+1)}$$

$$(3) G(s) = \frac{K}{s(s^2+4s+5)(s+40)}$$

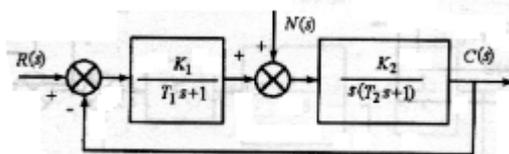
$$(4) G(s) = \frac{K(2s+1)(4s+1)}{s(s^2+2s+10)}$$

3-21 带有扰动信号输入的控制系统的结构图如题图所示, 输入信号为 $r(t) = R \cdot t$, 扰动作用为 $N(t) = N \cdot 1(t)$, R, N 为常数。

(1) 试计算系统的稳态误差;

(2) 系统的环节增益 K_1, K_2 均为可调参数, 但是其约束为 $K_1 K_2 \leq K_M$,

为了减小系统的稳态误差, 应如何调整增益 K_1, K_2 的值。



第四章 根轨迹法

4-1 根轨迹条件方程的内容是什么? 是怎样来描述的?

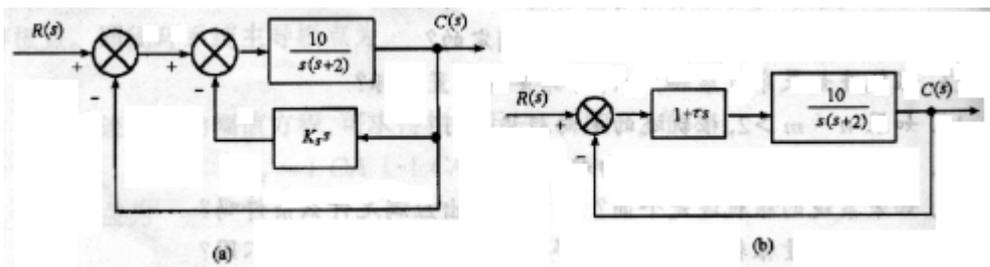
- 4-2 系统的根轨迹有几条？根据什么？
- 4-3 如何确定根轨迹的起点和终点？各有几个？根据什么？
- 4-4 什么叫根轨迹的分离点和汇合点？如何判断实轴上的分离点和汇合点？
- 4-5 什么叫根轨迹的渐近线？如何作出根轨迹的渐近线？
- 4-6 如果 $n-m>2$,根轨迹的走向趋势如何？如果 $n = m$,根轨迹的走向趋势如何？
- 4-7 根据系统根轨迹图，如何确定系统响应时间的快慢？系统超调量的大小？
- 4-8 根轨迹图能够提供有关系统稳态性能的信息吗？为什么？
- 4-9 设系统的开环传递函数如下，试绘制控制系统的根轨迹草图。

$$(1) G(s) = \frac{K_g}{(s+0.2)(s+0.5)(s+1)}$$

$$(2) G(s) = \frac{K_g(s+2)}{s^2+2s+10}$$

$$(3) G(s) = \frac{K_g}{(s+1)(s+5)(s^2+6s+13)}$$

- 4-10 设控制系统的结构图如题图 (a) (b) 所示。图 (a) 中 K_s 为速度反馈系数，试绘制以 K_s 为参变量的根轨迹图。图 (b) 中 τ 为微分时间常数，试绘制以 τ 为参变量的根轨迹图。



- 4-11 设系统的开环传递函数为 $G_o(s) = \frac{K_g(s+10)}{(s+1)(s^2+4s+8)}$,试分别绘制负反馈系统和正反馈系统的根轨迹图。

- 4-12 设非最小相位系统的开环传递函数为 $G_o(s) = \frac{K(1-0.5s)}{s(1+0.2s)}$,试绘制该系统的根轨迹。

- 4-13 设非最小相位系统的开环传递函数为 $G_o(s) = \frac{K_g(s+1)}{s(s-1)(s^2+4s+16)}$,试绘制

该系统的根轨迹，并确定使闭环系统稳定的 K_g 范围。

4-14 设单位反馈控制系统的开环传递函数为 $G_o(s) = \frac{K_g(s+2)}{s(s+1)(s+4)}$ ，若要求其闭

环主导极点的阻尼角为 60° ，试用根轨迹法确定该系统的动态性能指标 M_p 、 t_p 、 t_s 和稳态性能指标 K_v 。

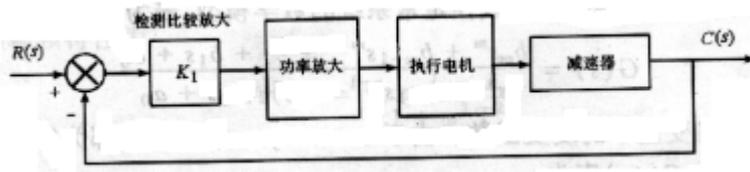
4-15 设某随动系统的结构图如下，其中检测比较放大环节： $K_1 = 0.8V/\text{deg}$ ，

功率放大环节： $G_2(s) = \frac{250}{0.05s+1}$ ，执行电机（含减速器）：

$G_3(s) = \frac{0.156}{s(0.25s+1)} \text{deg}/V \cdot s$ 。试用根轨迹法分析系统性能。若在系统中加入串联

校正装置 $G_c(s) = 0.1 \left(\frac{0.25s+1}{0.025s+1} \right)$ ，试用根轨迹法分析系统的动态性能和稳态性

能。



第五章 频率分析法

5-1 什么是系统的频率特性？控制系统的频率特性有哪些表示方法？

5-2 对数频率特性有何优点？

5-3 什么叫最小相位系统？最小相位系统有什么显著的特点？

5-4 系统的开环频率特性与闭环频率特性之间的关系是什么？

5-5 什么是系统的稳定裕度？如何用稳定裕度来描述系统的稳定性？

5-6 频率特性的两个基本性质是什么？

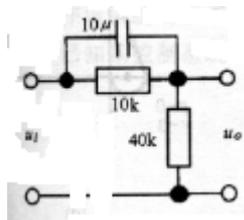
5-7 从系统的开环频率特性上如何去定系统的稳态性能和动态性能？

5-8 为什么说开环截止频率对应的对数幅频特性的穿越斜率为-2 时，系统的动态性能就差？

5-9 已知两装置的传递函数分别为 $G_1(s) = \frac{1}{Ts}$ ， $G_2(s) = \frac{100}{0.5s-1}$ ，作出它们的对

数幅频特性 $L(\omega)$ 与对数相频特性 $\varphi(\omega)$ ，并比较有何不同。

5-10 计算图示电网络在输入为 $u_i(t) = \sin \omega t$ 时的稳态正弦输出 $u_o(t)$ 。



5-11 作出下述传递函数的对数幅频特性 $L(\omega)$ 与对数相频特性 $\varphi(\omega)$

(1) $G(s) = \frac{1}{Ts}$, $T = 10$ 及 $T = 0.1$ 。

(2) $G(s) = \frac{T_1s+1}{T_2s+1}$, $T_1 > T_2$ 时, 及 $T_1 < T_2$ 时

(3) $G(s) = \frac{20}{s^2 + 1.9s + 10}$

(4) $G(s) = \frac{K}{(T_1s+1)(T_2s+1)(T_3+1)}$, $T_1 > T_2 > T_3$

5-12 作出下面传递函数极坐标图的草图。

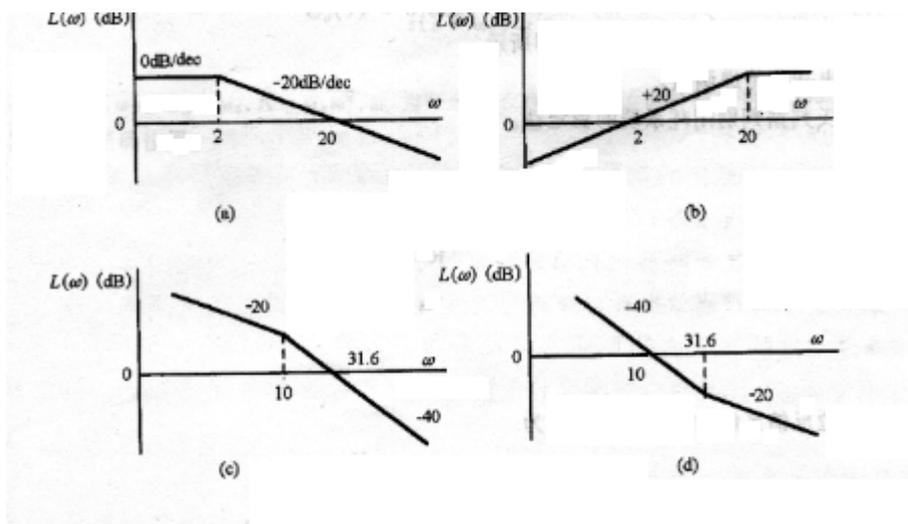
(1) $G(s) = \frac{K}{(T_1s+1)(T_2s+1)}$

(2) $G(s) = \frac{K}{s(Ts+1)}$

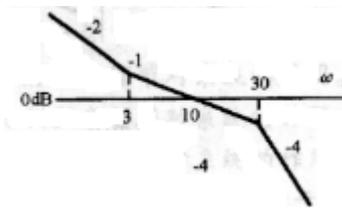
(3) $G(s) = \frac{K(T_1s+1)}{s(T_2s+1)}$, $T_1 < T_2$

(4) $G(s) = \frac{K(T_1s+1)}{s^2(T_2s+1)}$, $T_1 > T_2$ 时, 及 $T_1 < T_2$ 时

5-13 已知最小相位系统的对数幅频特性如题图所示，试写出传递函数。

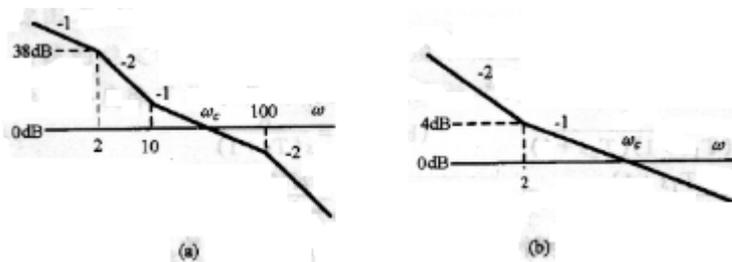


5-14 已知最小相位系统的开环对数幅频特性如题图所示，试计算开环增益 K_0 与开环截止频率 ω_c 的值，并写出开环传递函数。



5-15 最小相位系统的开环频率特性如题图所示：

- (1) 试写出开环传递函数；
- (2) 用奈氏判据判别闭环系统的稳定性。



5-16 已知单位反馈系统的开环传递函数为

$$G_0(s) = \frac{K}{s(s+1)(0.1s+1)}$$

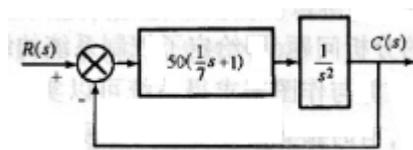
- 试计算 (1) 使得开环系统的幅频值裕度 L_g 为 20dB 的增益 K 值；
- (2) 使得开环系统的相位裕度 γ_c 为 60° 的增益 K 值。

5-17 已知单位反馈系统的开环传递函数为

$$G_0(s) = \frac{K(10s+1)}{s^2(s+1)(0.1s+1)}$$

作该系统的波德图草图，并由奈氏判据确定系统临界稳定的增益 K 值。

5-18 已知某控制系统如题图所示，试计算系统的开环截止频率 ω_c 和相位裕度



γ_c 。

5-19 已知非最小相位系统的开环传递函数为 $G(s)H(s) = \frac{K(s-1)}{s(s+1)}$ 试由频域稳定性判据判别闭环系统的稳定性。

5-20 某系统的开环传递函数为

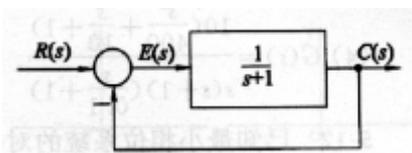
$$G_0(s) = \frac{K(s + \omega_2)}{s(s + \omega_1)(s + \omega_3)(s + \omega_4)}$$

其中 $\omega < \omega_2 < \omega_3 < \omega_4$, $K = \omega_4 \omega_c^2$, ω_c 为开环截止频率。试绘制开环对数幅频特性 $L(\omega)$, 并确定 ω_c 的正确位置。

5-21 设系统闭环稳定, 闭环传递函数为 $\phi(s)$, 试根据频率特性的定义证明, 输入为 $r(t) = A \cos(\omega t + \varphi)$ 时, 系统的稳态输出为 $c_{ss} = A \cdot |\phi(j\omega)| \cos[\omega t + \varphi + \angle\phi(j\omega)]$ 。

5-22 若系统单位阶跃响应为 $h(t) = 1 - 1.8e^{-4t} + 0.8e^{-9t}$, 试确定系统的频率特性。

5-23 题图为某系统结构图, 试确定输入信号 $r(t) = \sin(t + 30^\circ) - \cos(3t - 45^\circ)$ 作用下, 系统的稳态误差 $e_{ss}(t)$ 。



5-24 典型二阶系统的开环传递函数 $G(s) = \frac{\omega_n^2}{s(s + 2\xi\omega_n)}$, 当取 $r(t) = 2 \sin t$ 时, 系统的稳态输出为 $c_{ss} = 2 \sin(t - 45^\circ)$, 试确定系统参数 ω_n , ξ 。

5-25 已知系统开环传递函数 $G(s)H(s) = \frac{K(\tau s + 1)}{s^2(Ts + 1)}$, $K, \tau, T > 0$, 试分析并绘制

$T > \tau$ 和 $\tau > T$ 情况下的概略开环幅相曲线。

5-26 已知系统开环传递函数 $G(s)H(s) = \frac{1}{s^v(s+1)(s+2)}$, 试分析并绘制

$v = 1, 2, 3, 4$ 时系统的概略开环幅相曲线。

5-27 已知系统开环传递函数 $G(s) = \frac{K(-T_2s + 1)}{s(T_1s + 1)}$, $K, T_1, T_2 > 0$ 当取 $\omega = 1$ 时,

$\angle G(j\omega) = -180^\circ, |G(j\omega)| = 0.5$ 。当输入为单位速度信号时，系统的稳态误差为 0.1，试写出系统开环频率特性表达式 $G(j\omega)$ 。

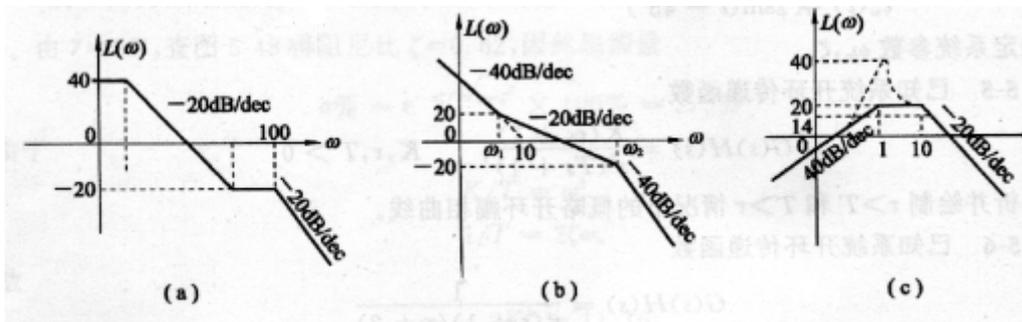
5-28 已知系统开环传递函数 $G(s)H(s) = \frac{10}{s(s+1)(s^2/4+1)}$ ，试绘制系统概略开环幅相曲线。

5-29 已知系统开环传递函数 $G(s)H(s) = \frac{10}{s(2s+1)(s^2+0.5s+1)}$ ，试分别计算 $\omega = 0.5$ 和 $\omega = 2$ 时，开环频率特性的幅值 $A(\omega)$ 和相位 $G(j\omega)$ 。

5-30 已知系统开环传递函数 $G(s)H(s) = \frac{(s+1)}{s(\frac{s}{2}+1)(\frac{s^2}{9} + \frac{s}{3} + 1)}$ ，要求选择频率点，

列表计算 $A(\omega)$ ， $L(\omega)$ 和 $G(j\omega)$ ，并据此在对数坐标纸上绘制系统开环对数频率特性的曲线。

5-31 已知最小相位系统的对数幅频特性如题图所示，试确定系统的开环传递函数。



5-32 已知下列系统开环传递函数 (参数 $K, T, T_i > 0; i = 1, 2, \dots, 6$):

$$(1) G(s) = \frac{K}{(T_1s+1)(T_2s+1)(T_3s+1)}$$

$$(2) G(s) = \frac{K}{s(T_1s+1)(T_2s+1)}$$

$$(3) G(s) = \frac{K}{s^2(Ts+1)}$$

$$(4) G(s) = \frac{K(T_1s+1)}{s^2(T_2s+1)}$$

$$(5) G(s) = \frac{K}{s^3}$$

$$(6) G(s) = \frac{K(T_1s+1)(T_2s+1)}{s^3}$$

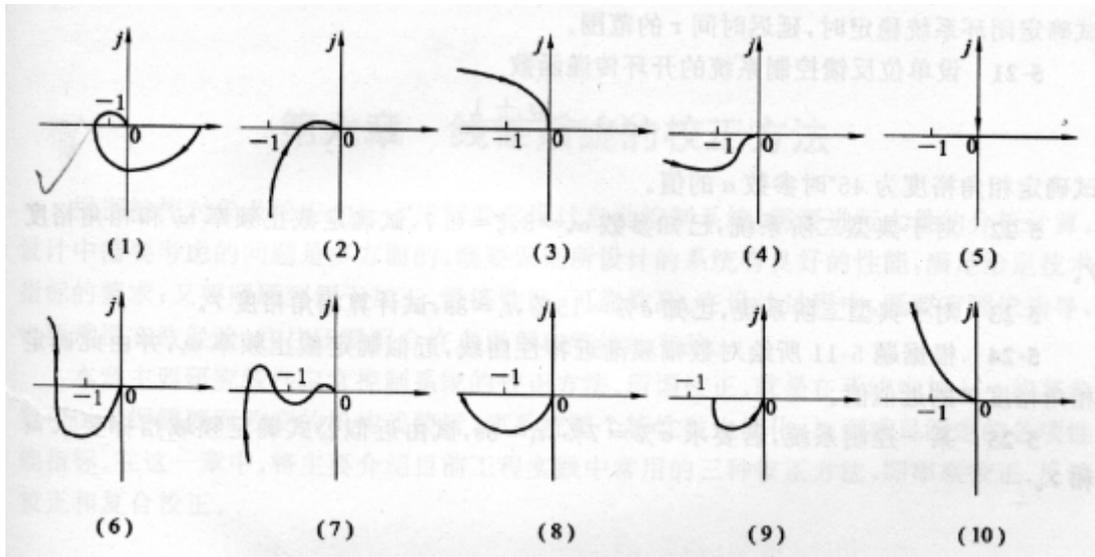
$$(7) G(s) = \frac{K(T_5s+1)(T_6s+1)}{s(T_1s+1)(T_2s+1)(T_3s+1)(T_4s+1)}$$

$$(8) G(s) = \frac{K}{Ts-1}$$

$$(9) G(s) = \frac{-K}{-Ts+1}$$

$$(10) G(s) = \frac{K}{s(Ts+1)}$$

其系统开环幅相曲线如图(1) - (10)所示, 试根据奈氏判句判定各系统的闭环稳定性, 若系统闭环不稳定, 确定其 s 右半平面的闭环极点数。



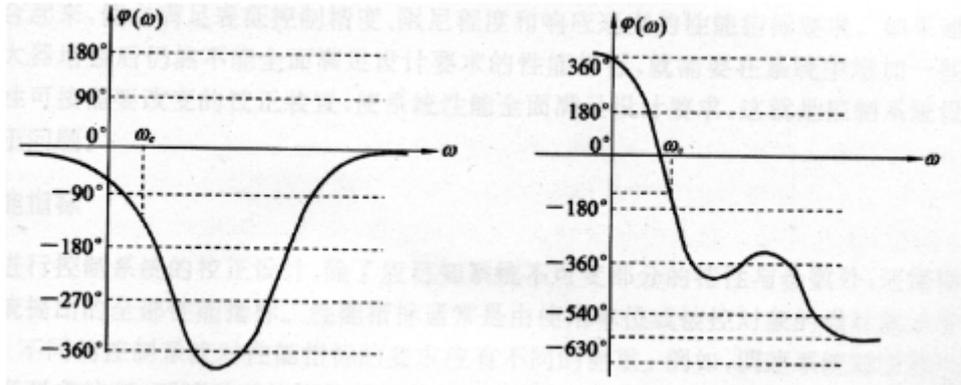
5-33 已知系统开环传递函数 $G(s) = \frac{K}{s(Ts+1)(s+1)}$; $K, T > 0$, 试根据奈氏判句,

确定其闭环稳定条件:

- (1) $T = 2$ 时, K 值的范围;
- (2) $K = 10$ 时, T 值的范围;

(3) K, T 值的范围。

5-34 已知两个最小相位系统开环对数相频特性曲线如图所示，试分别确定系统的稳定性。鉴于改变系统开环增益可使系统截止频率变化，试确定系统闭环稳定时，截止频率 ω_c 的范围。



5-35 若单位反馈系统的开环传递函数为 $G(s) = \frac{Ke^{-0.8s}}{s+1}$ ，试确定使系统稳定的 K 值范围。

5-36 设单位反馈系统的开环传递函数为 $G(s) = \frac{5s^2 e^{-\tau s}}{(s+1)^4}$ ，试确定闭环系统稳定时，延迟时间 τ 的范围。

5-37 单位反馈控制系统的开环传递函数 $G(s) = \frac{as+1}{s^2}$ ，试确定相角裕度为 45° 时，参数 τ 的值。

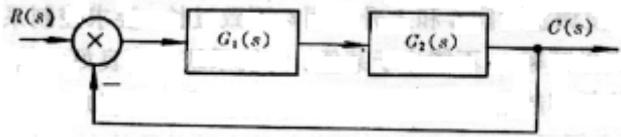
5-38 对于典型二阶系统，已知参数 $\omega_n = 3, \xi = 0.7$ ，试确定截止频率 ω_c 和相角裕度 γ 。

5-39 典型二阶系统，已知 $\sigma\% = 15\%, t_s = 3s$ ，试计算相角裕度 γ 。

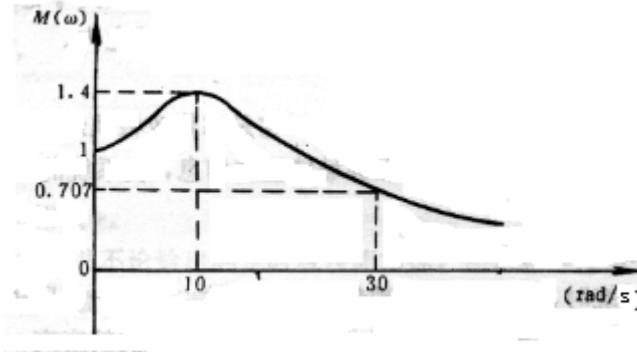
5-40 某一控制系统，若要求 $\sigma\% = 7\%, t_s = 5s$ ，试由近似公式确定频域指标要求 ω_c 和 γ 。

5-41 某一控制系统结构图如题图所示， $G_1(s) = \frac{10(s+1)}{8s+1}$ ， $G_2(s) = \frac{4.8}{s\left(\frac{1}{20}s+1\right)}$ ，试

按其闭环幅频特性曲线估算系统的阶跃响应性能指标 $\sigma\%$ 和 t_s 。



5-42 控制系统闭环幅频特性如题图所示，试求系统的相角裕度、超调量和调整时间。



5-43 设某单位反馈系统的开环传递函数 $G(s) = \frac{K}{s(s+0.2)}$ ，试求使系统闭环幅频

特性谐振峰值 $M_r = 1.5$ 的增益交界频率 ω_c 、 K 和系统的稳定裕量。

5-44 设某单位反馈系统的开环传递函数 $G(s) = \frac{K}{s(s^2 + s + 1)}$ ，若使系统的增益裕度为 20dB，开环增益系数应取何值？此时相角裕度为多少？

5-45 设系统开环幅相频率特性如题图所示，图中 P 为开环右极点数目， ν 为开环积分环节个数。试用虚线补上 $\omega: 0 \rightarrow 0^+$ 的曲线部分，并判断各系统闭环后稳定与否。

5-46 某放大器的传递函数为 $G(s) = \frac{K}{Ts + 1}$ ，今测得其频率响应，当 $\omega = 1(\text{rad/s})$ 时，幅频 $A = 12/\sqrt{2}$ ，相频 $\phi = -45^\circ$ 。试求放大器的放大系数 K 和时间常数 T 。

5-47 单位反馈系统的开环传递函数 $G(s) = \frac{K}{s(Ts + 1)}$ ，求

- (1) 确定 K 和 T 值，使谐振峰值 $M_r = 1.5$ ；
- (2) 当时间常数 $T = 0.1s$ ， $M_r = 1.15$ 时，系统对单位阶跃响应的超调量及调整时间。

5-48 设系统的开环传递函数为 $G(s)H(s) = \frac{K(1+T_a s)(1+T_b s)}{s^2(1+T_1 s)}$,试绘出下面两种情

况下系统的极坐标图：

(1) $T_a > T_1 > 0, T_b > T_1 > 0$

(2) $T_1 > T_a > 0, T_1 > T_b > 0$

5-49 绘制传递函数的 $G(s) = \frac{3500}{s(s^2 + 10s + 70)}$ 的 Bode 图，并确定分子数值增大或

减小多少才能得到 30° 的相角裕度。

5-50 设某系统的开环传递函数为 $G(s) = \frac{K}{s(1+T_1 s)(1+T_2 s)}$, 其中

$K = 86s^{-1}, T_1 = 0.02s, T_2 = 0.03s$ 。

(1) 试用奈氏判句分析闭环系统的稳定性；

(2) 若要求系统稳定， K 和 T_1, T_2 之间应保持怎样的解析关系。

第六章控制系统的校正方法

6-1 什么是系统的校正？系统校正主要有哪些方法？

6-2 分别说明增加系统的开环零点和极点对系统根轨迹的影响。

6-3 试叙述超前网络及滞后网络的频率特性，它们各有什么特点？

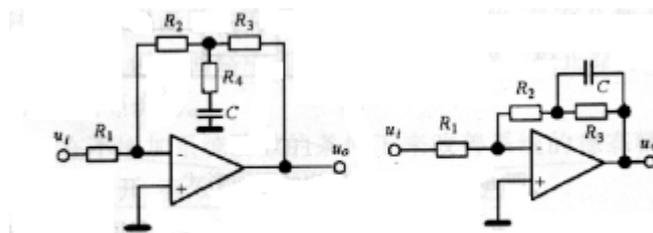
6-4 相位滞后网络的相位是滞后的，为什么可以改善系统的相位裕度？

6-5 试说明系统中局部件反馈对系统产生哪些主要影响？

6-6 在校正中为什么很少使用纯微分环节？

6-7 试用频率特性来说明 PID 调节器的使用条件。

6-8 有源校正网络如图所示，试写出传递函数，并说明可以起到何种校正作用。

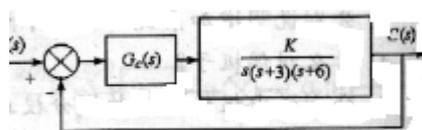


6-9 已知系统的开环传递函数为

$$G(s)H(s) = \frac{4}{s(s+1)}$$

试采用根轨迹法设计微分校正装置 $G_c(s)$ ，使得系统的超调量 $M_p < 20\%$ ，过渡时间，并比较校正前后系统的稳定性能。

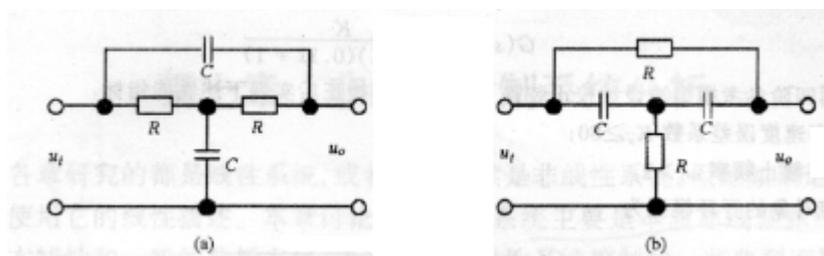
6-10 系统结构图如题图所示，试用根轨迹法设计积分校正装置 $G_c(s)$ ，使得系统的超调量 $M_p < 5\%$ ，过渡时间 $t_s < 4s$ ，单位斜坡输入时的稳定误差 $e_{ss} < 0.02$ 。



6-11 已知系统的开环传递函数为？当调整根轨迹增益 K 时，可以获得其阶跃响应在欠阻尼条件下各种满意的动态系统性能。试确定满足下述要求的增益 K 值：

- (1) 系统具有最大的超调量 $M_{p \max}$ 时；
- (2) 系统具有最大的阻尼振荡频率 $\omega_{d \max}$ 时；
- (3) 系统响应时间最快的 $t_{s \min}$ 时；
- (4) 系统的斜坡响应具有最小的稳态误差 $e_{ss \min}$ 时。

6-12 已知双 T 网络如题图所示，试求它们的频率特性，作出波德图，并说明作为校正装置使用有什么特点。



为校正装置使用有什么特点。

6-13 已知系统的开环传递函数为 $G(s)H(s) = \frac{K}{s(0.2s+1)}$ 试采用频率法设计超前

校正装置 $G_c(s)$ ，使得系统实现如下的性能指标

(1) 静态速度误差系数 $K_v \geq 50$;

(2) 开环截止频率 $\omega_c > 30$;

(3) 相位裕度 $\gamma_c > 20^\circ$

6-14 已知系统的开环传递函数为 $G(s)H(s) = \frac{K}{s(0.02s+1)}$ 试采用频率法设计

滞后校正装置 $G_c(s)$, 使得系统实现如下性能指标

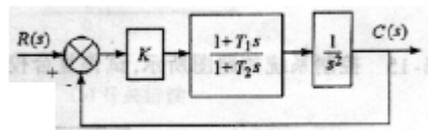
(1) 静态速度误差系数 $K_v \geq 50$;

(2) 开环截止频率 $\omega_c > 10$;

(3) 相位裕度 $\gamma_c > 60^\circ$

6-15 已知单位反馈系统的结构图如题图所示 , 其中 K 为前向增益 , $\frac{1+T_1s}{1+T_2s}$ 为超

前校正装置 , $T_1 > T_2$, 试用频率法确定使得系统具有最大相位裕度增益 K 值。



6-16 设单位反馈控制系统的开环传递函数为 $G(s) = \frac{K}{s+1}$, 试采用二阶参考模型

法设计校正装置 $G_c(s)$, 使得校正后实现下述性能指标

(1) 静态速度误差系数 $K_v \geq 10$;

(2) 阶跃响应的过渡时间 $t_s > 0.4s$ 。

6-17 已知单位反馈系统的开环传递函数如下所示 , 试依照二阶参考模型作系统

校正 , 使得系统的调节时间 $t_s < 0.5s$ 。

$$(1) G_o(s) = \frac{12}{s(s+0.5)(s+4)}$$

$$(2) G_o(s) = \frac{5(s+1)}{s^2}$$

6-18 设角位移伺服系统的开环模型为 $G_o(s) = \frac{K}{s(0.2s+1)}$, 试采用四阶参考模型

法设计校正装置 $G_c(s)$ ，使得校正后实现下述性能指标：

- (1) 静态速度误差系数 $K_v \geq 200$ ；
- (2) 阶跃响应过渡时间 $t_s < 0.4s$ ；
- (3) 阶跃响应的超调量 $M_p < 30\%$ ；

并计算相位裕度 r_c 的大小。

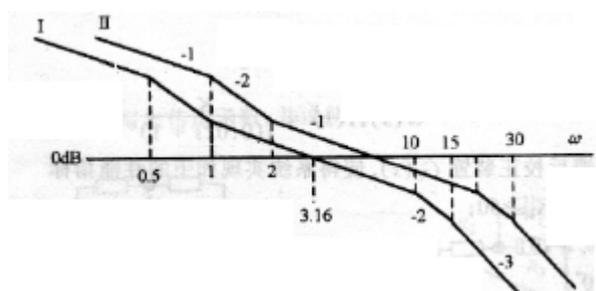
6-19 设受控对象的开环模型为 $G(s) = \frac{K}{s(s+1)(0.1s+1)}$ 试采用四阶参考模型法设计校正装置 $G_c(s)$ ，使得校正后实现下述性能指标：

- (1) 静态速度误差 $K_v \geq 80$ ；
- (2) 开环截止频率 $w_c > 2$ 。

6-20 设受控对象的开环模型为 $G(s) = \frac{126}{s(0.1s+1)(0.015s+1)}$ ，试采用四阶参考模型法设计校正装置 $G_c(s)$ ，使得校正后实现下述性能指标：

- (1) 输入速度为 1 弧度/秒，稳态误差 $e_{ss} = 1/126$ 弧度；
- (2) 开环截止频率 $w_c > 20$ 弧度/秒，相位裕度 $r_c > 30^\circ$ 。

6-21 随动系统的开环对数幅频特性如题图所示。将系统 I 的频带加宽一倍成为



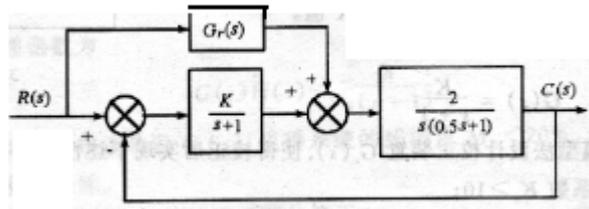
II：

- (1) 写出串联校正装置的传递函数 $G_c(s)$ ；
- (2) 比较两系统的动态性能和稳态性能有何不同。

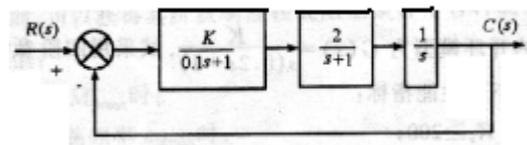
6-22 控制系统如题图所示，试作复合校正设计，使得：

- (1) 系统的超调量 $M_p < 20\%$ ，确定前向增益值 K ；

(2) 设计输入补偿器 $G_r(s)$, 使得系统可以实现 II 型精度。



6-23 设控制系统如题图所示,为了将环节 $\frac{2}{s+1}$ 的频带宽度增加一倍再作校正设计, 试设计局部闭环结构。



第七章 非线性控制系统的分析

7-1 系统的非线性通常分为哪两大类? 在数学描述上分别有何特征?

7-2 什么是相平面? 什么是相轨迹? 在相平面上有时间信息吗? 是以什么方式来表示的?

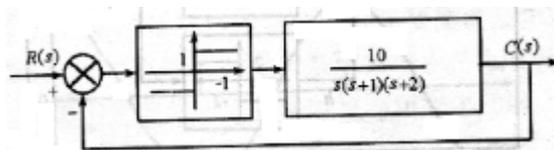
7-3 相平面分析法使用的局限性是什么?

7-4 什么叫相平面图的奇点? 在数学上应满足何条件? 几何解释是什么?

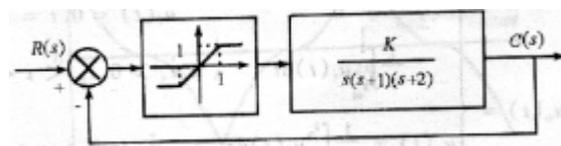
7-5 什么叫描述函数? 如何求取描述函数?

7-6 如何用描述函数法来分析一个非线性控制系统? 系统稳定的充分必要条件是什么?

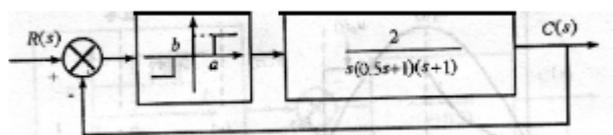
7-7 设某非线性控制系统如图题所示, 试确定自持振荡的幅值和频率。



7-8 设题图所示非线性系统, 试用描述函数法分析当 $K=10$ 时系统的稳定性, 并确定临界稳定时增益 K 的值。



7-9 设某非线性控制系统的结构图如题图所示，试用描述函数法分析该系统的稳定性。为使系统稳定，非线性参数 a, b 应如何调整？



7-10 试确定下述二阶非线性微分方程的奇点及其类型：

(1) $\ddot{x} + 0.5\dot{x} + 2x + x^2 = 0$

(2) $\ddot{x} - (1 - x^2)\dot{x} + x = 0$

(3) $\ddot{x} - (0.5 - 3x^2)\dot{x} + x + x^2 = 0$

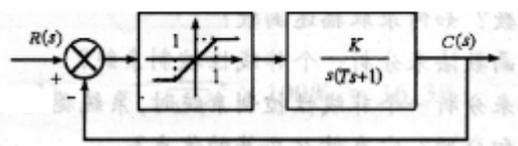
7-11 试用等倾线法画出下列方程的相平面草图：

(1) $\ddot{x} + |\dot{x}| + x = 0$

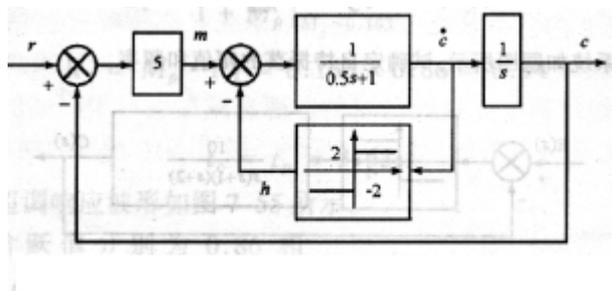
(2) $\ddot{x} + \dot{x} + |x| = 0$

(3) $\ddot{x} + A \sin x = 0$

7-12 设某二阶非线性系统结构图如题图所示，给定初始条件 $\begin{cases} e_0 = 0.2 \\ \dot{e}_0 = 0 \end{cases}$ ，试用等倾线法作出系统的相轨迹图。



7-13 设采用了非线性反馈的某控制系统结构图如题图所示，试用等倾线法绘制输入信号为 $r(t) = R \cdot 1(t)$ 时系统的相轨迹图。



7-14 某种非线性积分器在输入信号为余弦信号 $u_i(t) = A \cos \omega t$ 时，其输入输出波形如题图所示。由分段算式：

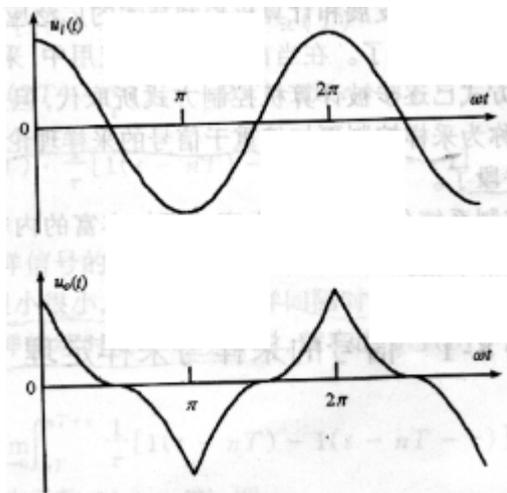
$$u_o(t) = \begin{cases} \frac{1}{T} \int_0^t |u_i(t)| dt & \dot{u}_i(t) > 0 \\ \frac{1}{T} \int_0^t |u_i(t)| dt & \dot{u}_i(t) < 0 \end{cases}$$

得到分段函数表达式为

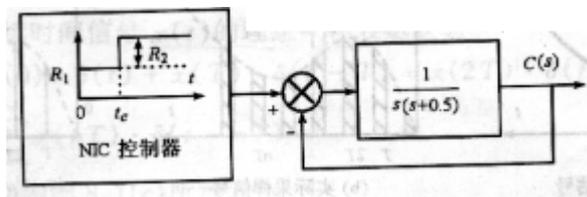
$$u_o(t) = \begin{cases} \frac{A}{\omega T_1} (-\sin \omega t + 1) & 0 \leq \omega t \leq \frac{\pi}{2} \\ \frac{A}{\omega T_1} (\sin \omega t - 1) & \frac{\pi}{2} \leq \omega t \leq \pi \\ \frac{A}{\omega T_1} (-\sin \omega t - 1) & \pi \leq \omega t \leq \frac{3\pi}{2} \\ \frac{A}{\omega T_1} (\sin \omega t - 1) & \frac{3\pi}{2} \leq \omega t \leq 2\pi \end{cases}$$

试由描述函数的法证明该中非线性积分器

的相位滞后角为 0° 。



7-15 二阶系统的结构图如题图所示，试用非线性输入控制方法，使得系统单位阶跃响应的超调量为零，设计分段阶跃信号的幅值 R_1 如何 R_2 ，并确定切换时间 t_0 。



第八章 采样控制系统的分析基础

8-1 什么叫信号的采样？实际的采样与理想的采样有什么区别？对系统会产生什么样的影响？

8-2 对连续时间信号进行采样，应满足什么条件才能作到不丢失信息？

- 8-3 什么叫保持器？保持器的功能是什么？
- 8-4 零阶保持器的传递函数是什么？其频率特性有何特点？用其恢复的连续时间信号有何显著特征？
- 8-5 为什么采样信号的数学描述采用 Z 变换而不采用拉式变换？
- 8-6 差分方程求解有什么方法？各有什么特点？
- 8-7 脉冲传递函数是如何来描述采样系统的？
- 8-8 对于用闭环脉冲传递函数描述的采样控制系统，系统稳定的充分必要条件是什么？
- 8-9 试叙述采样间隔 T 的变化对系统稳定性的影响。
- 8-10 确定数字控制系统采样频率的依据是什么？是如何确定的？
- 8-11 已知时间信号 $x(t)$ 如下，试求取它们的 Z 变换 $X(z)$ 。

$$(1) x(t) = A \cos \omega t$$

$$(2) x(t) = t^2$$

$$(3) x(t) = 1 - e^{-2t}$$

$$(4) x(t) = 2te^{-5t}$$

- 8-12 已知时间函数 $x(t)$ 的拉式变换 $X(s)$ ，试求取它们的 Z 变换 $X(z)$ 。

$$(1) X(s) = \frac{50}{(s+5)(s+10)}$$

$$(2) X(s) = \frac{1}{s^2(s+1)}$$

$$(3) X(s) = \frac{50e^{-Ts}}{(s+5)(s+10)}$$

$$(4) X(s) = \frac{1 - e^{-Ts}}{s^2(s+1)}$$

- 8-13 已知采样信号的 Z 变换 $X(z)$ 如下，试求取它们的 Z 反变换 $x^*(t)$ 。

$$(1) X(z) = \frac{z}{(z-1)(z-2)}$$

$$(2) X(z) = \frac{z}{(z - e^{-T})(z - e^{-2T})}$$

$$(3) X(z) = \frac{1}{(z-1)(z-2)}$$

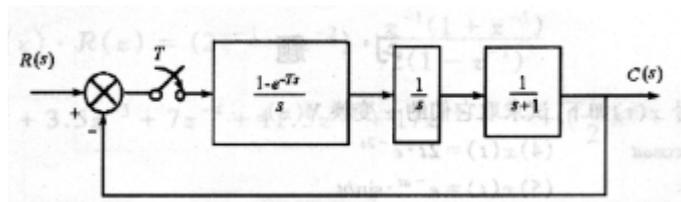
$$(4) X(z) = \frac{z}{(z-1)^2(z-2)}$$

8-14 分别用 z 变换和迭代法（解出 5 项以上）求解如下差分方程。

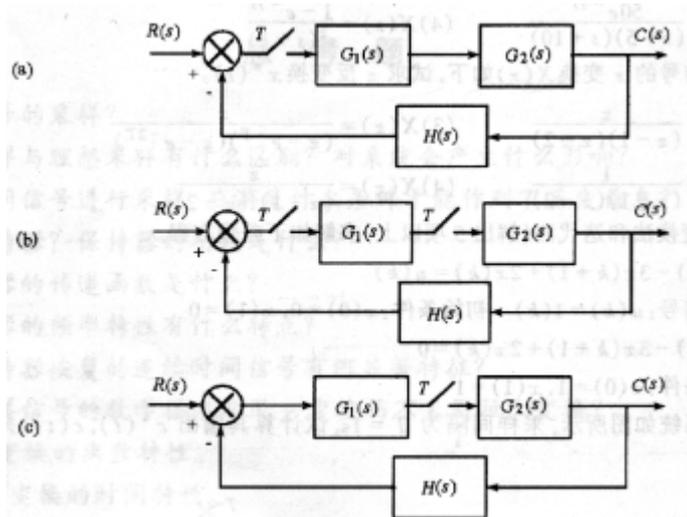
(1) $x(k+2) - 3x(k+1) + 2x(k) = u(k)$ ，输入信号： $u(k) = 1(k)$ ，初始条件：
 $x(0) = 0, x(1) = 0$

(2) $x(k+2) - 3x(k+1) + 2x(k) = 0$ ，初始条件： $x(0) = 1, x(1) = 1$

8-15 已知系统结构图如图所示，采样间隔为 $T=1s$ ，试求取开环脉冲传递函数 $G_0(z)$ ，闭环脉冲传递函数 $G_c(z)$ ，及系统的单位阶跃响应 $c^*(t)$ 。



8-16 已知采样系统的结构图如图所示，试确定系统的传递关系。

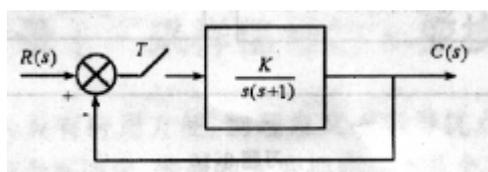


8-17 已知系统的闭环特征方程如下，试判别采样系统的稳定性。

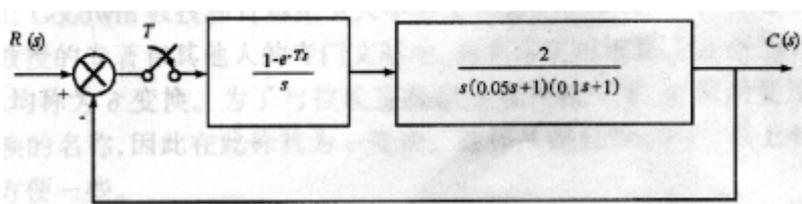
(1) $(z+1)(z+0.2)(z+2) = 0$ ；

(2) $z^3 - 1.5z^2 - 0.25z + 0.4 = 0$ 。

8-18 已知采样系统的结构图如题图所示，试确定 K-T 平面上的稳定域。



8-19 已知系统的结构图如题图所示，试确定系统稳定条件。

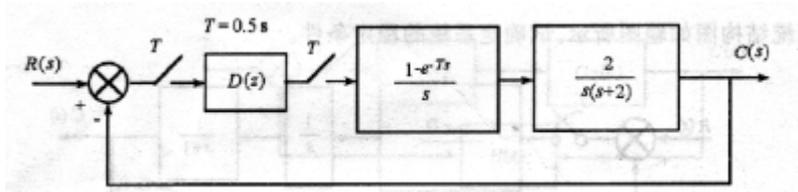


8-20 已知采样系统的闭环脉冲传递函数为 $\frac{C(z)}{R(z)} = \frac{z+c}{z^2+az+b}$ 试确定系统稳定

时，参数 a, b, c 所应满足的关系。

8-21 校正后的控制系统如题图所示，如采用计算机控制，由数字控制器 $D_c(z)$

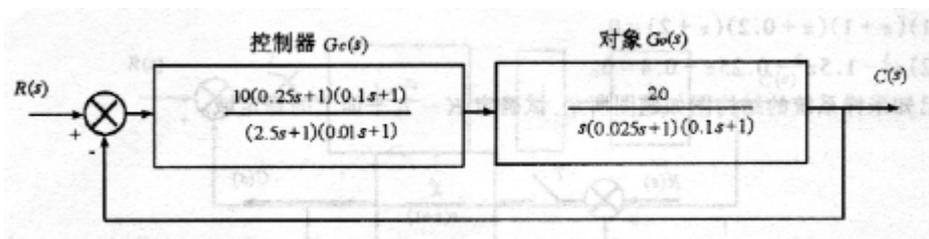
代替模拟控制器 $G_c(s)$ ，试写出迭代控制算式的表达式。



8-22 校正后的控制系统如题图所示，如采用计算机控制，由数字控制器 $D_c(z)$

代替模拟控制器 $G_c(s)$ ，试写出迭代控制算式的表达式，并确定采样间隔时间 T

的上限。



24. 采样系统如题图所示，输入信号为 $R(t) = 1(t)$ ，试确定最少拍控制时的控制

器 $D(z)$ 。

