

东北大学 2015 年硕士入学考试

自动控制原理

参考答案

一、

1. 可以通过线性与非线性各自的特性来区分。线性系统具有齐次性和叠加性。非线性不具备以上特性，且非线性系统的运动形式和稳定性除了与系统的结构和参数有关外，与系统起始偏离大小密切相关。

2. 三个性能指标及要求分别为：稳定性，它是系统工作的

首要条件；稳态指标，即稳态误差、反应控制精度，精度

越高越好；动态指标，包含超调量、上升时间、调节时间

等，反映过渡过程的形式和快慢，超调量越小、过渡过

程越平稳、时间参数越小，过渡过程越快。

这三个指标与开环对数幅频特性对应如下：稳定性，若

系统的相角裕度和幅值裕度均大于0, 系统稳定(或: 设 p 为开环系统正实部的极点个数, 则系统稳定的充要条件是 $\varphi(\omega_c) \neq (2k+1)\pi$, $k=0, 1, 2, \dots$ 和 $\angle(\omega) > 0$, φ 曲线穿越 $(2k+1)\pi$ 线的次数 $N=N_+ - N_-$ 满足 $z=p-2N=0$); 稳态性能与开环对数幅频特性的低频段对应; 动态性能由开环对数幅频特性的中频段反映。

二、

将微分方程组作拉氏变换有:

$$X_1(s) = X_r(s) - \tau s X_c(s) + K_1 X_d(s) \quad \dots \quad (1)$$

$$X_2(s) = K_0 X_1(s) \quad \dots \quad (2)$$

$$X_3(s) = X_r(s) - X_d(s) - \overline{X_r(s)} \quad \dots \quad (3)$$

$$X_4(s) = \frac{1}{TS} X_3(s)$$

$$X_5(s) = X_4(s) - X_c(s)$$

$$X_c(s) = \frac{1}{s+1} X_5(s)$$

由(3)得 $X_r(s) = X_3(s) + X_5(s) + X_d(s) \quad \dots \quad (4)$

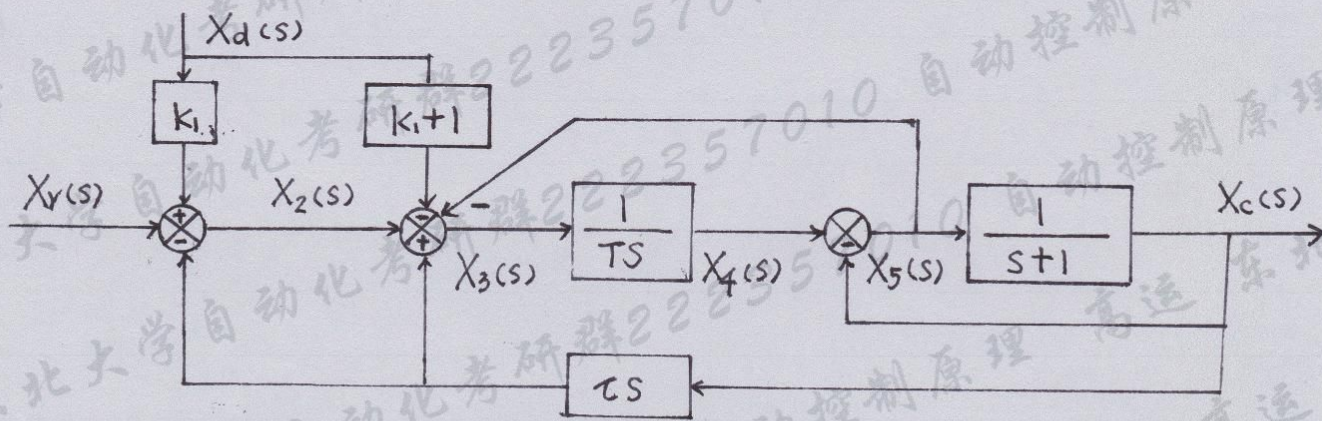
由(2)得 $X_1(s) = \frac{1}{K_0} X_2(s) \quad \dots \quad (5)$

将(4)、(5)代入(1)式得

$$X_3(s) = \frac{1}{K_0} X_2(s) - X_5(s) - (1+K_1) X_d + \tau s X_c(s)$$

根据以上式子可得 $X_i(s)$, $i=1, 2, 3, 4, 5$, $X_r(s)$, $X_d(s)$, $X_c(s)$ 之间的关系。

1. 结构图如下,



$$2. \Delta = 1 - \left(\frac{\tau}{T(s+1)} - \frac{\tau}{T(s+1)} - \frac{1}{s+1} - \frac{1}{TS} \right)$$

$\frac{X_c(s)}{X_r(s)}$: 前向通道增益 $\frac{1}{TS(s+1)}$ 余子式为 1

由梅森增益公式有

$$\frac{X_c(s)}{X_r(s)} = \frac{1}{TS^2 + (2T+1)s + 1}$$

$\frac{X_c(s)}{X_d(s)}$: 前向通道增益 $\frac{K_1}{TS(s+1)}$ 余子式为 1

前向通道增益 $\frac{K_1+1}{TS(s+1)}$ 余子式为 1

由梅森增益公式有

$$\frac{X_c(s)}{X_d(s)} = \frac{1}{TS^2 + (2T+1)s + 1}$$

三、由图 1(a) 知 $W_B(s) = \frac{1}{b} \cdot \frac{bk}{s^2 + as + bk}$

由图 1(b) 知 $\sigma\% = \frac{2.7-2.5}{2.5} \times 100\% = 8\%$, $t_p = 0.3s$

故 $\xi = \frac{-\ln \sigma}{\sqrt{\pi^2 + (\ln^{-1} \sigma)^2}} = 0.627$

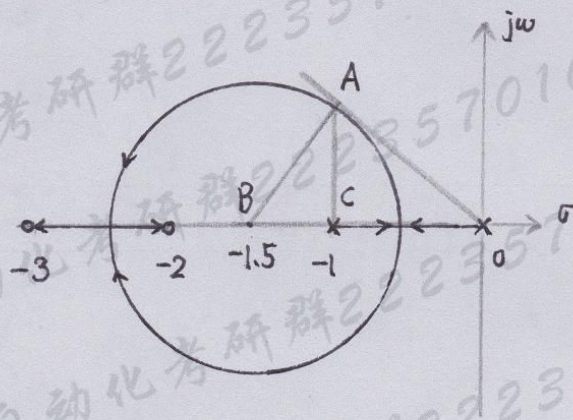
$\omega_n = \frac{\pi}{t_p \sqrt{1-\xi^2}} = 13.425$

故 $\frac{1}{b} = 2.5$ $a = 2\xi\omega_n = 16.836$ $bk = \omega_n^2 = 180.231$

即 $b = 0.4$ $a = 16.836$ $K = 450.577$

四、

1. 根轨迹如下,



由分离点方程

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{d+1} = \frac{1}{d+2} + \frac{1}{d+3}$$

解得 $d_1 = -0.634$ $d_2 = -2.366$

2. 根轨迹为圆, 圆心为 $\frac{d_1+d_2}{2} = -1.5$, 半径为 $|\frac{d_2-d_1}{2}| = 0.866$

在根轨迹上作 OA 切根轨迹于 A. 由相似三角形有,

$$\frac{AB}{BO} = \frac{BC}{AB}, BC = \frac{AB^2}{BO} = \frac{0.866^2}{1.5} = 0.5, OC = BO - BC = 1.5 - 0.5 = 1$$

$$AC = \sqrt{AB^2 - BC^2} = 0.707 \text{ 故闭环极点为 } S_{1,2} = -1 \pm j0.707$$

$$OA = \sqrt{OB^2 - AB^2} = 1.225 \text{ 故 } \cos \theta = 0.816, \text{ 即 } \zeta = 0.816.$$

3.

$$K_{d1} = \frac{|d_1||d_1+1|}{|d_1+2||d_1+3|} = 0.0718 \quad K_{d2} = \frac{|d_2||d_2+1|}{|d_2+2||d_2+3|} = 13.928$$

即 $K_g \in (0.0718, 13.928)$ 时响应曲线衰减振荡;

$K_g \in (0, 0.0718) \cup (13.928, +\infty)$ 时响应曲线单调运行.

五.

$$W_K(s) = \frac{-50(\frac{s^2}{5} - \frac{2}{5}s + 1)}{(\frac{s}{2} + 1)(-\frac{s}{0.5} + 1)}$$

$$\text{令 } s=j\omega \text{ 得 } W_K(j\omega) = \frac{-50(-\frac{\omega^2}{5} - j\frac{2}{5}\omega + 1)(1 - j\frac{\omega}{2})(1 + j\frac{\omega}{0.5})}{(1 + \frac{\omega^2}{2})(1 + \frac{\omega^2}{0.5})}$$

$$\lim_{\omega \rightarrow 0^+} W_K(j\omega) = -50$$

$$\lim_{\omega \rightarrow +\infty} W_K(j\omega) = 10$$

$$\angle \frac{-50}{1} :$$

$$-180^\circ \sim -180^\circ$$

$$\angle \frac{1}{\frac{s}{2} + 1} :$$

$$0^\circ \sim -90^\circ$$

$$\angle \frac{1}{-\frac{s}{0.5} + 1} :$$

$$0^\circ \sim 90^\circ$$

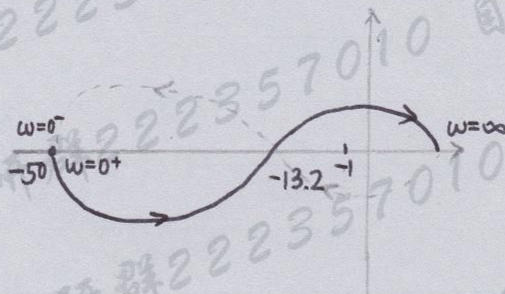
$$\angle \frac{s^2 - \frac{2}{5}s + 1}{5} :$$

$$0^\circ \sim -180^\circ$$

故 $\varphi(\omega): -180^\circ \sim -360^\circ$

令 $\text{Im}[W_k g\omega] = 0$ 得 $\omega = 1.254$ 代入 $\text{Re}[W_k g\omega] = -13.2$.

绘制奈氏图如下,



由奈氏图可知 $R = -1$, 由奈氏判据 $Z = P - R = 1 - (-1) = 2$, 故系统不稳定.

六、

1. 由 $20 \lg K = 46$ 知 $K_v = 200$, 故 $e_{ss} = K_v^{-1} = 0.005$

2. 由反馈校正装置对幅频特性的影响特性知

$$W_k = \frac{200 \left(\frac{1}{7.5} s + 1 \right)}{s \left(\frac{1}{0.75} s + 1 \right)}$$

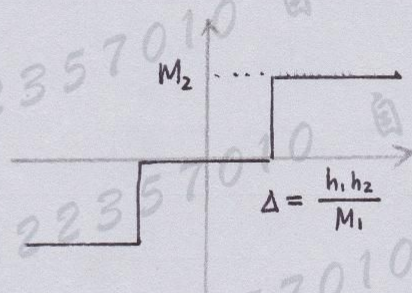
3. 由 L 可知 $\omega_c = 20 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$, 则

$$\varphi(\omega_c) = 180^\circ + \arctan\left(\frac{1}{7.5} \times 20\right) - 90^\circ - \arctan\left(\frac{1}{0.75} \times 20\right) = 49^\circ$$

七、

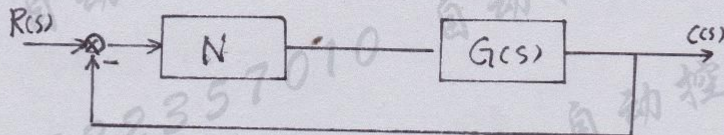
1. 当 N_1, N_2 的参数满足 $M_1 \geq h_2$ 时, 系统才能工作.

2. 当 $M_1 \neq h_2$ 时 N_1 和 N_2 串联后的特性 N 如下图所示



等效线性部分为 $(\frac{H_1}{G_2} + 1) \cdot G_1 = \frac{10(2s+1)}{(s+1)^2} = G(s)$

故由等效的非线性部分和线性部分构成的典型结构如下图所示,



1. $\frac{C(z)}{R(z)} = \frac{G(z)}{1 + G F_1(z) + G(z) F_2(z)}$

2. $C(z) = \frac{R G_3 G_2(z) + R(z) G_1 G_2(z)}{1 + G_1 G_2 F(z)}$

注: 本答案为群众所做, 供 2015 年考研的同学参考使用, 由于

个人水平有限, 难免出现失误, 还望同学批评指教。

2016 备考同学不用心急, 先夯实基础, 同时关注人人主页“自

动化人”暑期群主更新真题讲解视频, 愿对大家有帮助。

助。 高运于 2015 年 1 月