



# 自动控制原理速成课

# 一、自动控制系统的时域分析

## 考点解析:

### 1. 结构图等效化简 (大题、分值约0~5分)

(1) 认识结构图组成并且掌握化简

### 2. 信号流图与梅逊公式 (大题、分值约5~7分)

(1) 将结构图转化为信号流图

(2) 梅逊公式求传递函数

### 3. 稳定性判断以及稳态误差 (大题, 分值5~10分)

(1) 劳斯判据

(2) 稳态误差计算 ① 终值定理法 ② 静态误差系数法

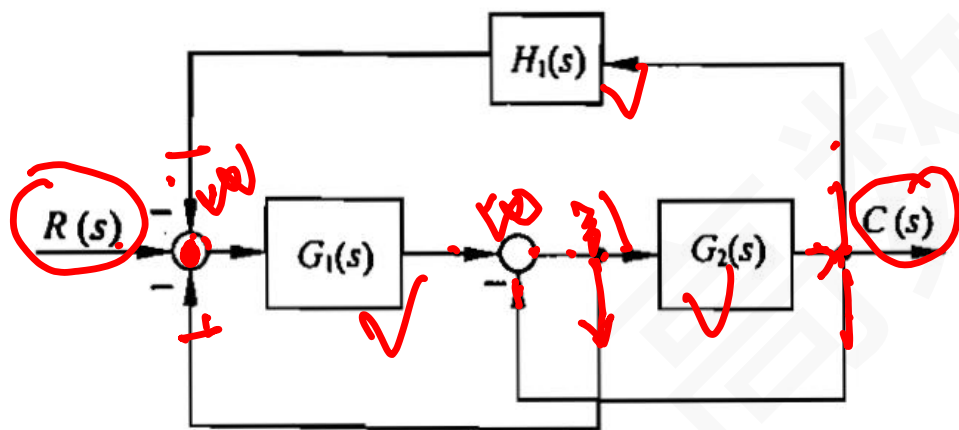
同种题型



视频讲解更清晰  
仅5小时

# 1.1 结构图等效化简

## 认识结构图组成并且掌握化简方法



输入环节:  $R(s)$

输出环节:  $C(s)$

中间环节:  $H_1(s)$ 、 $G_1(s)$ 、 $G_2(s)$

### 比较点

在结构图中, 用来表示对两个以上的信号进行加减运算, “+”省略或者“-”两种运算

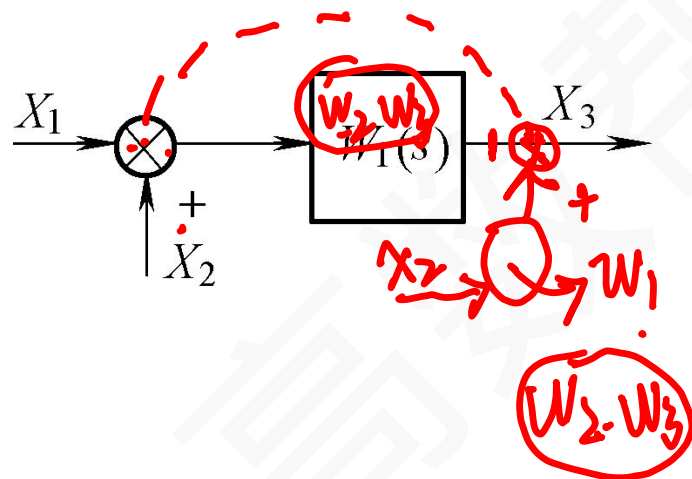
### 引出点

将信号通过分支引出的位置 (只有一个输入), 不改变信号的性质。

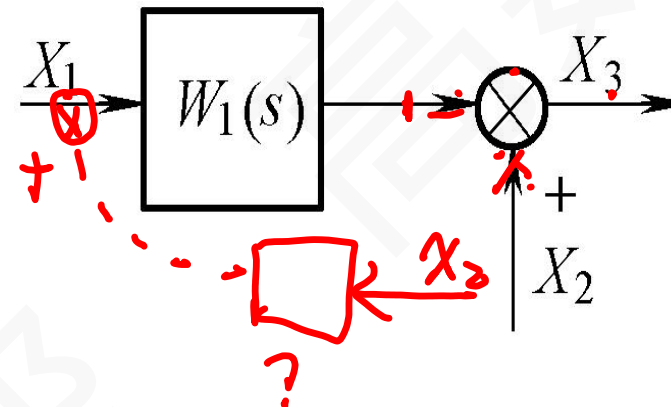
# 1.1 结构图等效化简

## 移动比较点

① 比较点 **后移**:



比较点 **前移**:



步骤:

$$\begin{aligned} (X_1 + X_2) \cdot W_1 &= X_3 \quad ① \\ X_1 \cdot W_1 + X_2 \cdot \bigcirc &= X_3 \quad ② \end{aligned} \quad \left. \begin{array}{l} \text{等式} \\ \text{相减} \end{array} \right\}$$

$\bigcirc = \frac{1}{W_1}$

$$\begin{aligned} ①式: X_1 \cdot W_1 + X_2 &= X_3 \\ ②式: [X_1 + \bigcirc \cdot X_2] \cdot W_1 &= X_3 \end{aligned}$$

$\bigcirc = \frac{1}{W_1}$

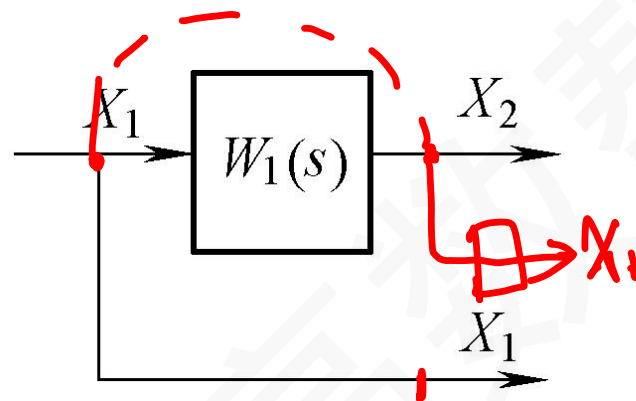
结论: 比较点 **后移**, 乘以 跨过的环节

比较点 **前移**, 除以 跨过的环节

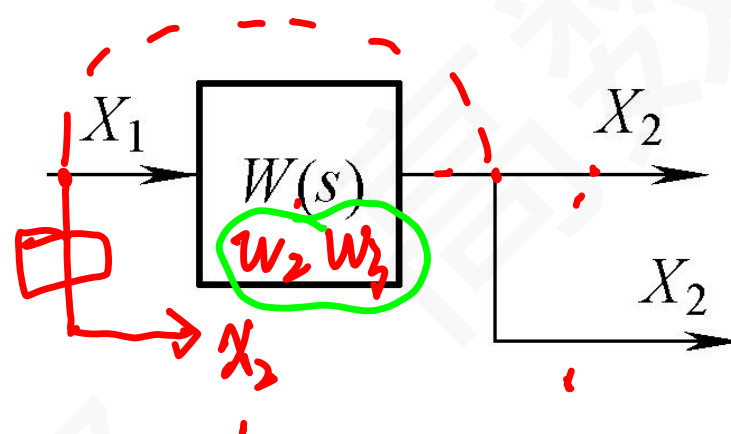
# 1.1 结构图等效化简

## 移动引出点

• 引出点后移



• 引出点前移



步骤:

①:  $X_1 = X_1$   
 $X_1 \cdot W_1 = X_2$

②:  $X_1 \cdot W_1 = X_2$   
 $X_1 \cdot W_1 \cdot \frac{1}{W_1} = X_2$

①式:  $X_1 \cdot W_1 = X_2$   
 $X_1 \cdot W_1 = X_2$

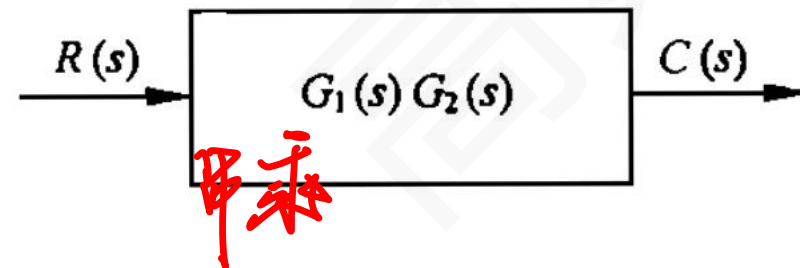
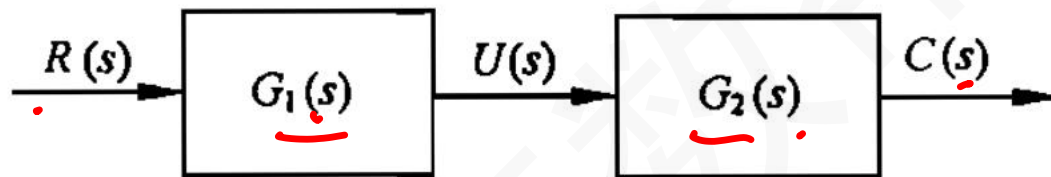
②式:  $X_1 \cdot W_1 = X_2$   
 $X_1 \cdot \frac{W_2 \cdot W_3}{W_1} = X_2$

• 引出点前移, 则乘以跨过的环节; 若后移, 则除以跨过的环节。

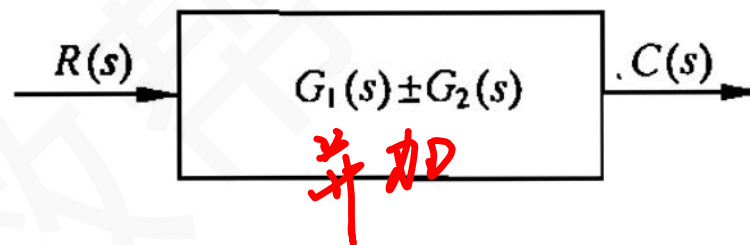
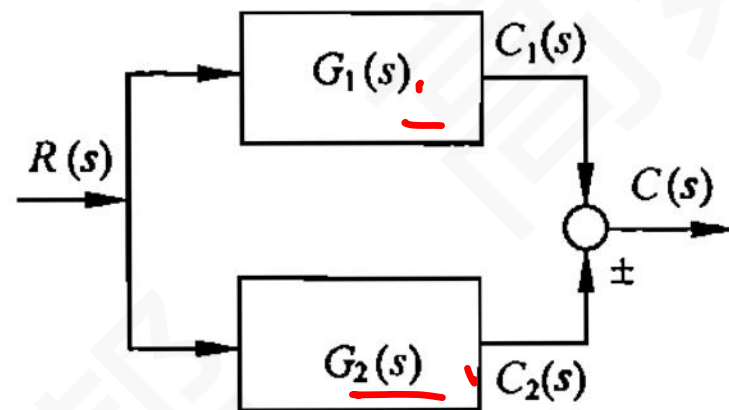
# 1.1 结构图等效化简

常见的环节连接方式 (3连) : 串联、并联和反馈三种

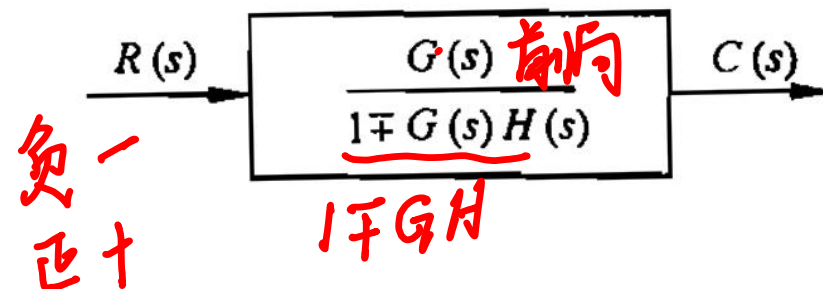
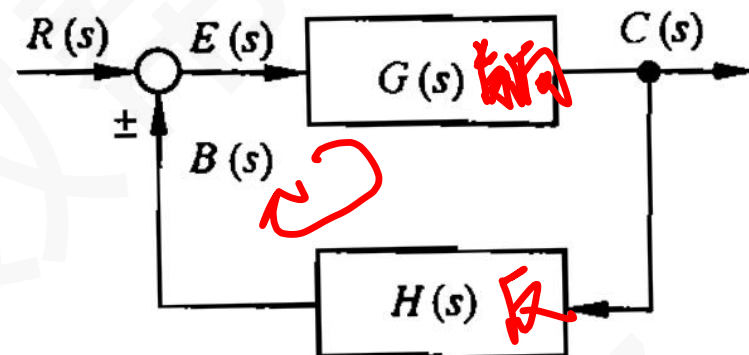
串联连接



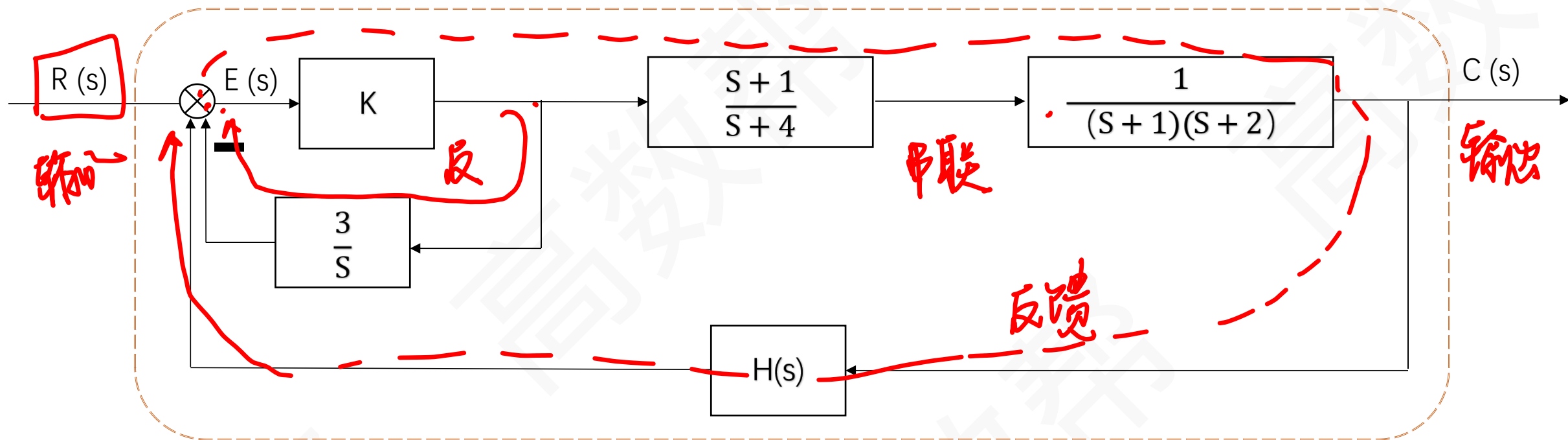
并联连接



反馈连接



# 1.1 结构图等效化简——题目1



使用等效图化简法求闭环传递函数： $\frac{C(s)}{R(s)}$   
点，环节化简

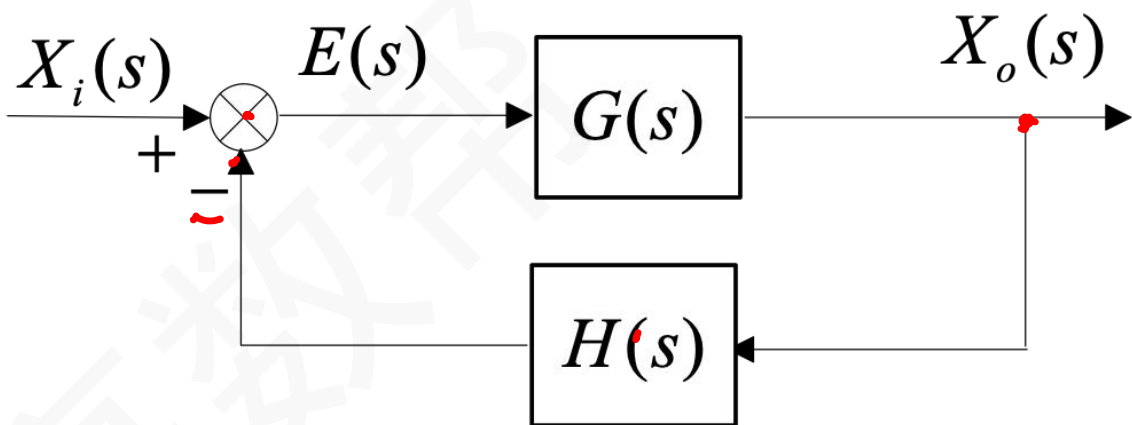
## 2. 信号流图与梅逊公式

考点内容：如何将结构图转换为信号流图 <7分>

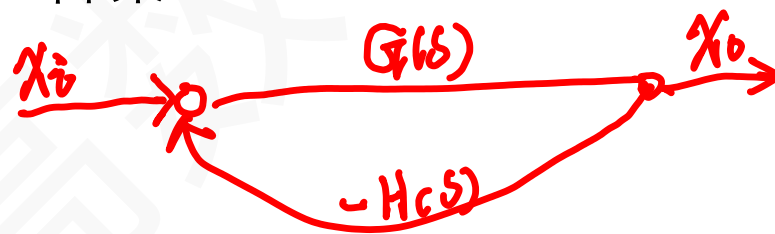
含义：信号流图是信号流程图的简称，与框图等价（转换正确）2-3分

步骤：

- 所有的连接点均用○ 代替
- 传递函数加符号写在连接线上，正号省略



答案：



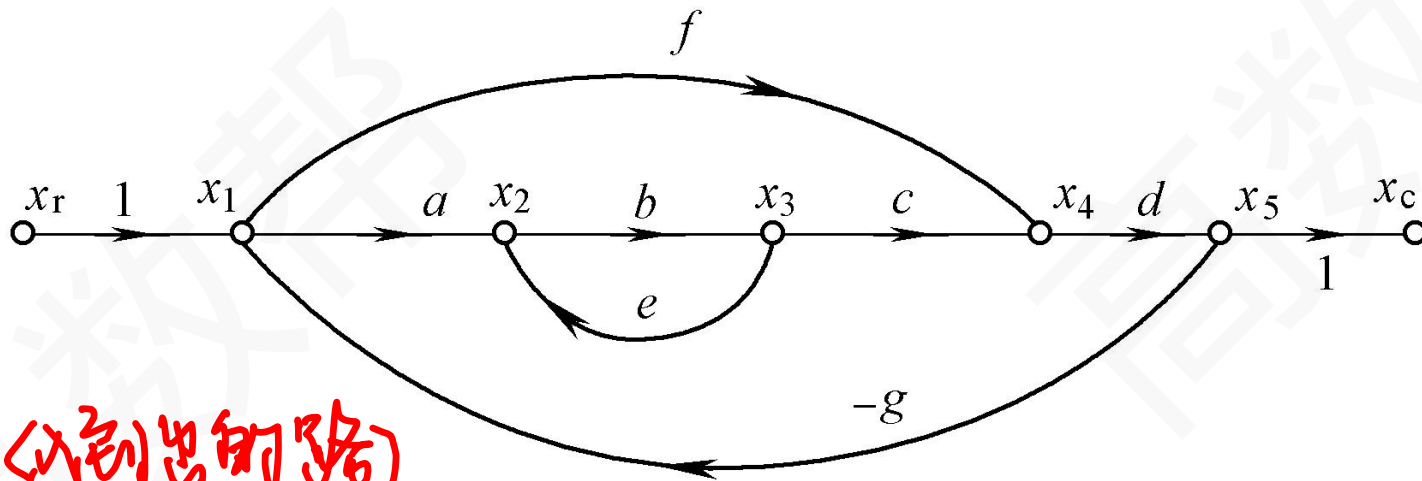


## 2. 信号流图与梅逊公式

### 2. 使用梅逊公式化简结构图



$$T = \frac{1}{\Delta} \sum_{k=1}^n P_k \Delta_k$$



$P_k$ -----第k条前向通道的传输; (从输入到输出)

$\Delta_k$ -----称为第k条通路特征式的余因子, 是在 $\Delta$ 中除去第k条前向通路相接触的各回环传输

$\Delta$ -----其表达式为  $\Delta = 1 - \sum L_1 + \sum L_2 - \sum L_3 + \dots + (-1)^m \sum L_m$  \*

$\sum L_1$  —— 信号流图中所有不同回环的传输之和;

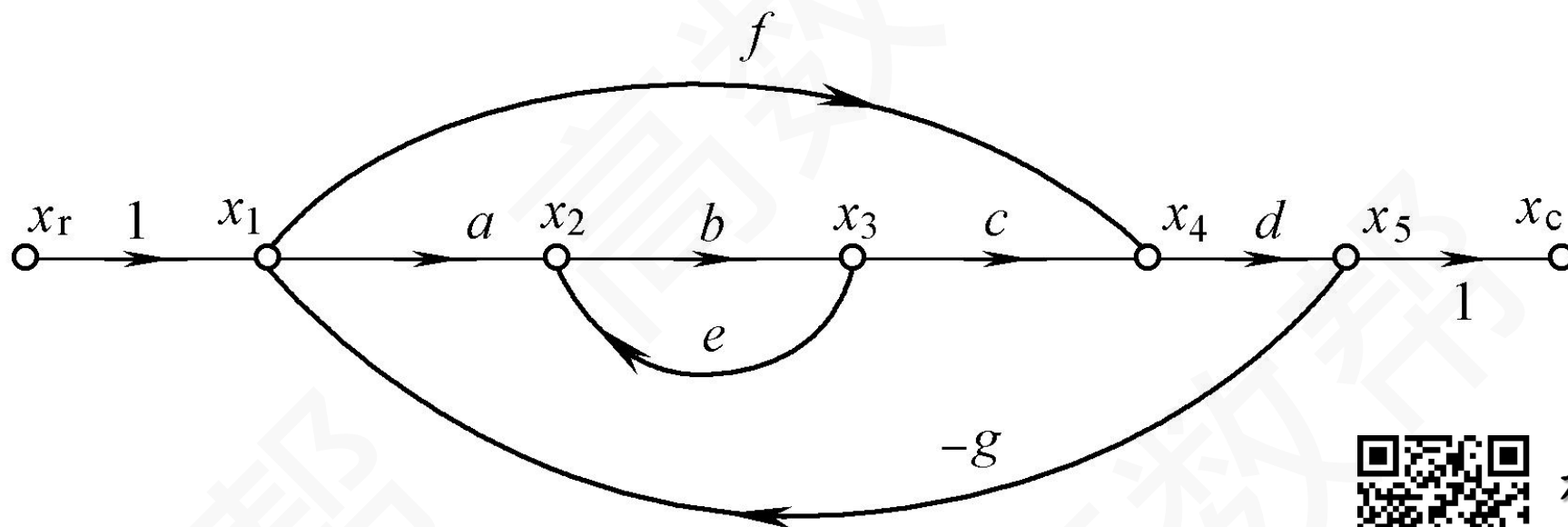
$\sum L_2$  —— 信号流图中每两个互不接触回环的传输乘积之和;

.....

$\sum L_m$  —— m个互不接触回环的传输乘积之和;

## 2.信号流图与梅逊公式练习

题1 求如图所示的系统闭环传递函数:



视频讲解更清晰  
仅5小时

### 3. 稳定性判断以及稳态误差

#### 稳定性判断方法：劳斯判据

第1步. 先写出系统的特征方程式的标准形式： (闭环传递函数的分母)

$$a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \cdots + a_{n-1} s + a_n = 0, \quad a_0 > 0$$

第2步. 列出劳斯表(Routh Array)

$s^n$	$a_0$	$a_2$	$a_4$	$a_6$	$\cdots$
$s^{n-1}$	$a_1$	$a_3$	$a_5$	$a_7$	$\cdots$
$s^{n-2}$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$\cdots$
$s^{n-3}$	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$	$\cdots$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$s^2$	$e_1$	$e_2$			
$s^1$	$f_1$				
$s^0$	$g_1$				

$$b_1 = \frac{-1}{a_1} \begin{vmatrix} a_0 & a_2 \\ a_1 & a_3 \end{vmatrix}$$

$$b_2 = \frac{-1}{a_1} \begin{vmatrix} a_0 & a_4 \\ a_1 & a_5 \end{vmatrix}$$

$$b_3 = \frac{-1}{a_1} \begin{vmatrix} a_0 & a_6 \\ a_1 & a_7 \end{vmatrix}$$

记忆.

$$c_1 = \frac{-1}{b_1} \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ b_1 & b_2 \end{vmatrix}$$

$$c_2 = \frac{-1}{b_1} \begin{vmatrix} a_1 & a_5 \\ b_1 & b_3 \end{vmatrix}$$

$$c_3 = \frac{-1}{b_1} \begin{vmatrix} a_1 & a_7 \\ b_1 & b_4 \end{vmatrix}$$

### 3. 稳定性判断以及稳态误差

根据劳斯判据进行判断:

$$s^3 + s = 0 \quad \text{缺 } s^2 \quad \times$$

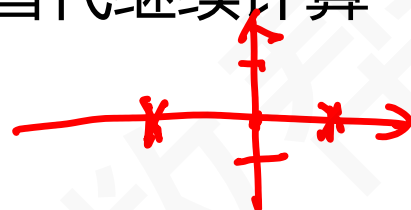
• 如果系统的特征方程出现了缺项，则系统无需使用劳斯判据，一定不稳定；

★ 劳斯表第一列全部  $> 0$ ，则系统稳定；

$$\boxed{>0}$$

• 若出现全零行，那么就用  $\epsilon$  (无穷小) 进行替代继续计算

• 全零行代表系统出现了对称于原点的根



• 第一列的正负号改变次数代表方程有几个不稳定的正根

$$\begin{array}{l} s^4 \\ s^3 \\ s^2 \\ s^1 \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{wavy line} \\ \text{---} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} s^3 \quad 3 \\ s^2 \quad -1 \\ s^1 \quad 2 \end{array} \quad \begin{array}{l} > 1 \text{次} \\ > 2 \text{次} \end{array} \quad \text{故 } 2 \text{个}$$

### 3. 劳斯判据题型

**题1：**有闭环系统的特征方程式如下，试用劳斯判据判断系统的稳定性，并说明特征根在复平面上的分布。

(1)  $s^3 + 20s^2 + 4s + 50 = 0$  稳

(2)  $s^4 + 2s^3 + 6s^2 + 8s + 8 = 0$  临界

(3)  $2s^5 + s^4 - 15s^3 + 25s^2 + 2s - 7 = 0$  不稳



视频讲解更清晰  
仅5小时

## 4. 稳态误差的计算

- 求稳态误差一定要先判定稳定性，只有稳定的系统存在稳态误差。记为  $e_{ss}(t)$

**方法一：** 终值定理法

稳态误差的定义为：
$$e_{ss}(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s E_1(s)$$

**步骤：**

1. 使用梅逊公式求出系统的误差传递函数  $E(s)/R(s)$

干扰误差传递函数  $E(s)/N(s)$

2. 对输入拉氏变换得到  $R(s)$

3. 用终值定理计算误差

$$\frac{C(s)}{R(s)} \quad \frac{E(s)}{R(s)}$$

出 入

$$\frac{E}{N}$$

## 4. 稳态误差的计算

题1: 求得系统的误差传递函数 $W(s)$ 如下, 现使用误差终值定理求出系统输入为 $\frac{1}{s}$ 的稳态误差。

$$\frac{E}{N} W(s) = \frac{2s+1}{s^2+2s+1}$$



视频讲解更清晰  
仅5小时

解题步骤:

<5分> 1. 劳斯判据判断得系统稳定 ✓

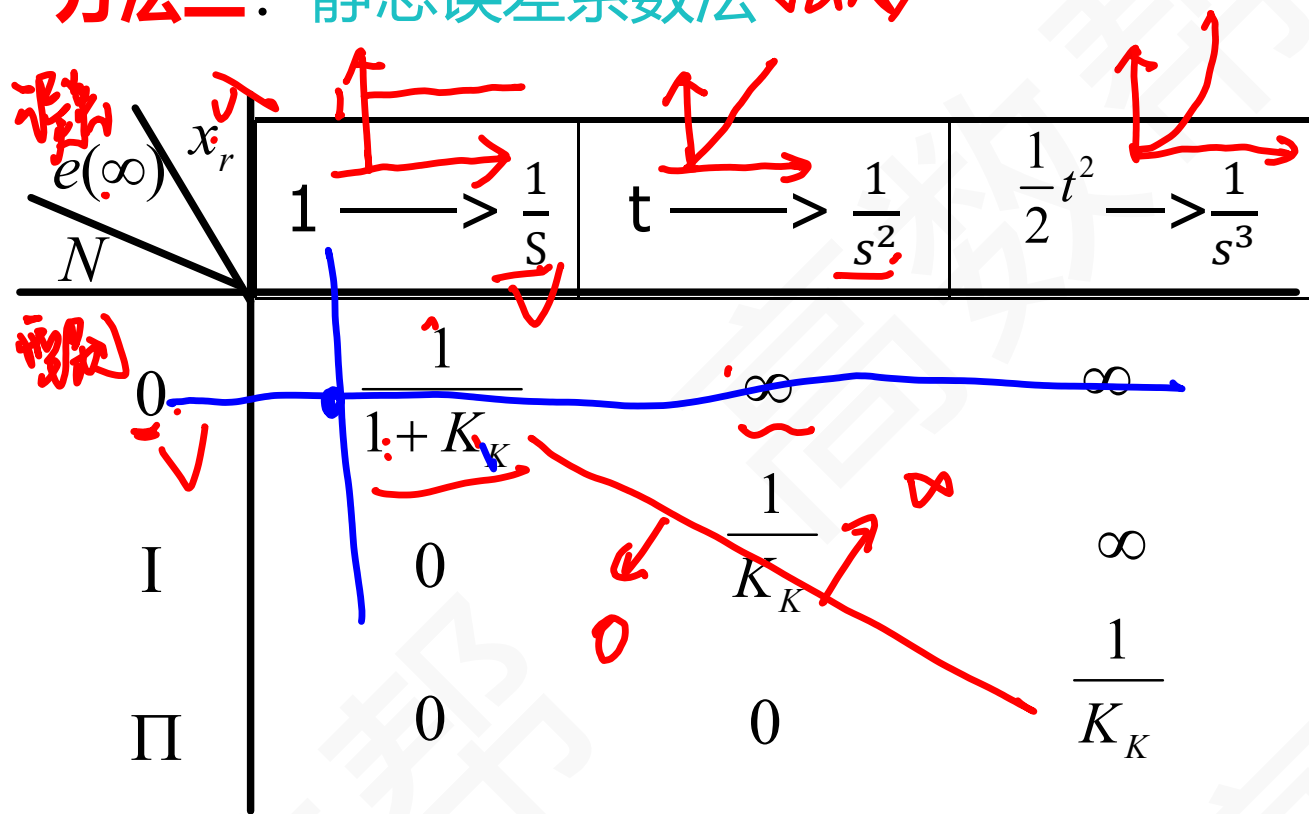
<3分> 2.  $E(s) = R(s) * W(s)$

$$3. E_{ss} = \lim_{s \rightarrow 0} s E(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s * \frac{1}{s} * \frac{2s+1}{s^2+2s+1} = 1$$

0/0 0/0+1 = 1

## 4. 稳态误差的计算

### 方法二：静态误差系数法 (试)



★ 记住!!

### 步骤:

1. 使用梅逊公式求出系统的闭环传递函数 (3分)
2. 确定开环增益  $K$
3. 劳斯判据判断稳定性 (5分)
4. 如果系统稳定, 根据表直接得出系统的稳态误差 (2分)

重要: 稳态误差先判稳

简记: 一看型别 二看输入 型别越高误差越小



## 4. 稳态误差的练习

题1: 系统的开环传递函数是:  $W(s) = \frac{3(2s+1)}{s^2+2s+1}$ , 系统输入为  $\frac{1}{s}$   
使用误差系数法求得系统的稳态误差

★ 开环k: 系统标准的系数:  $\frac{s+2}{2s+1} = \frac{2(\frac{s}{2}+1)}{2s+1} \quad k=2$

### 解题步骤:

1. 劳斯判据判断得系统稳定 (省略) · 特征方程  $s^2+2s+1+3(2s+1)=0$   
 $s^2+8s+4=0$  劳斯判据

2. 系统的开环增益为  $k=3$

3. 一看型别为0 二看输入为  $1/s$  故可得  $E_{ss} = \frac{1}{1+K} = \frac{1}{4}$  ✓  
看  $\frac{1}{s}$  比如  $\frac{1}{s(s+1)}$   $V=1$   $\frac{1}{s^2(s+2)}$   $V=2$

<10-15分>