重要通知：

◆本周三（10月13日）课程不上，改做实验

◆实验地点：中央主楼5楼520室

◆实验内容：二阶系统阶跃响应

◆实验指示书：请注意上网络学堂下载，实验报告做为作业上交

◆实验安排：

周三下午第一节 电81班　　周三下午第二节 电82班

周四下午第一节 电83班　　周四下午第二节 电84班

今日作业在授课的PPT中！

答疑地点：西主楼 3区210室

联系电话：62794777

第2章小结

1、传递函数结构图变换和Mason公式

①用串联、并联、反馈和节点移动的方法进行结构图变换是一种基本方法。在结构图化简过程要思路明确。

② **Mason**公式可以直接写出结构图的传递函数，是求解复杂系统的重要工具，但容易出错，必须对结果多次检查。

③结构图中回路互相交叠的复杂结构适合用**Mason**公式，而回路互相无交叠的适合用结构图变换方式。

对结构图变换只要求掌握基本的内容。对十分复杂的题目，如回路数超过5个以上的，不作为基本要求。

Mason公式

- **Mason公式**

$$G=\frac{\sum_k G_k\Delta_k}{\Delta}$$

G —— 从输入节点到输出节点的总增益

（系统传递函数）

$\Delta = 1 - \Sigma L_i + \Sigma L_a L_b - \Sigma L_\alpha L_\beta L_\gamma + \ldots$

L_i —— 一个回路的总增益

$L_a L_b$ —— 两两互不接触的回路的总增益

$L_\alpha L_\beta L_\gamma$ —— 三个互不接触的回路的总增益

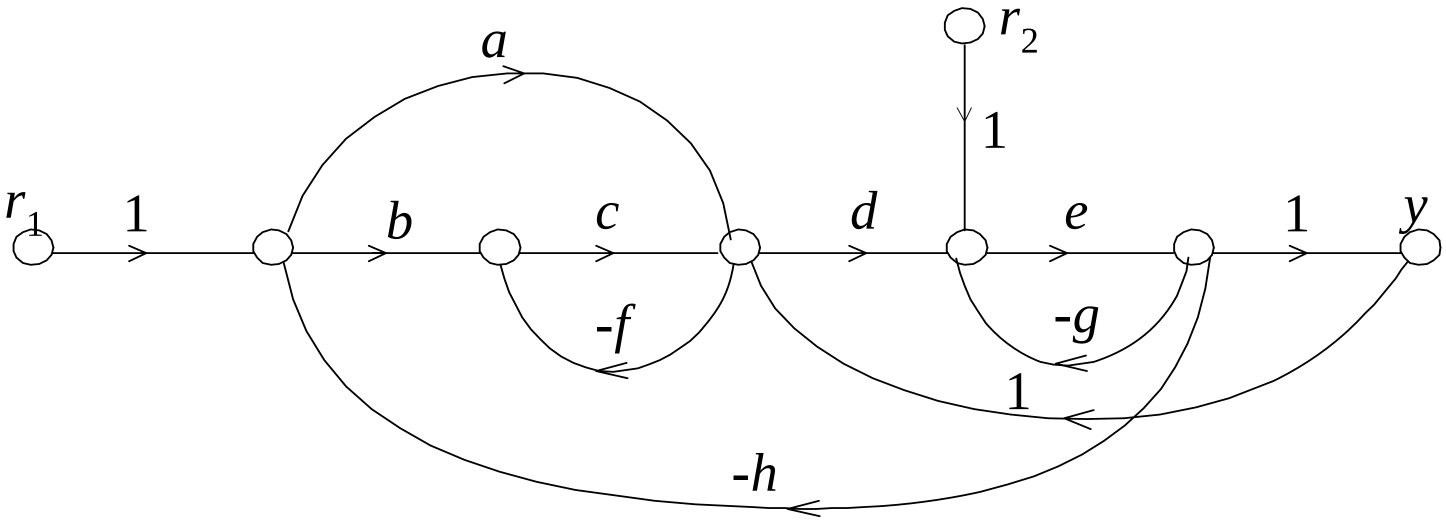
G_k —— 第**k**条通道从输入到输出的总增益

Δ_k —— Δ中去掉与第**k**条通道接触的部分

第2章习题练习

$$G=\frac{\sum_k G_k\Delta_k}{\Delta}$$

例1、求传递函数 $\frac{y}{r_1}$ 和 $\frac{y}{r_2}$



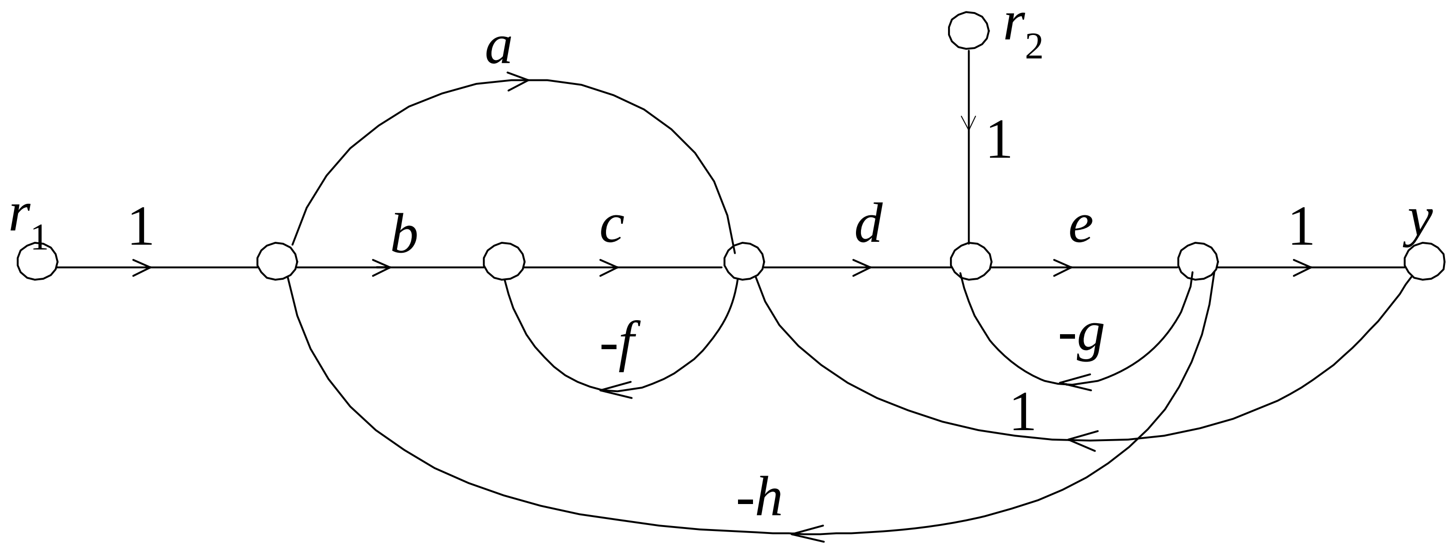
回路: $-cf$ $-eg$ de $-bcdeh$ $-adeh$

通道1： $bcde$ ade

$$G_1=\frac{y}{r_1}=\frac{bcde+ade}{1+cf+eg-de+bcdeh+adeh+cfeg}$$

第2章习题练习

$$G = \frac{\sum_k G_k \Delta_k}{\Delta}$$



回路: $-cf \quad -eg \quad de \quad -bcdeh \quad -adeh$

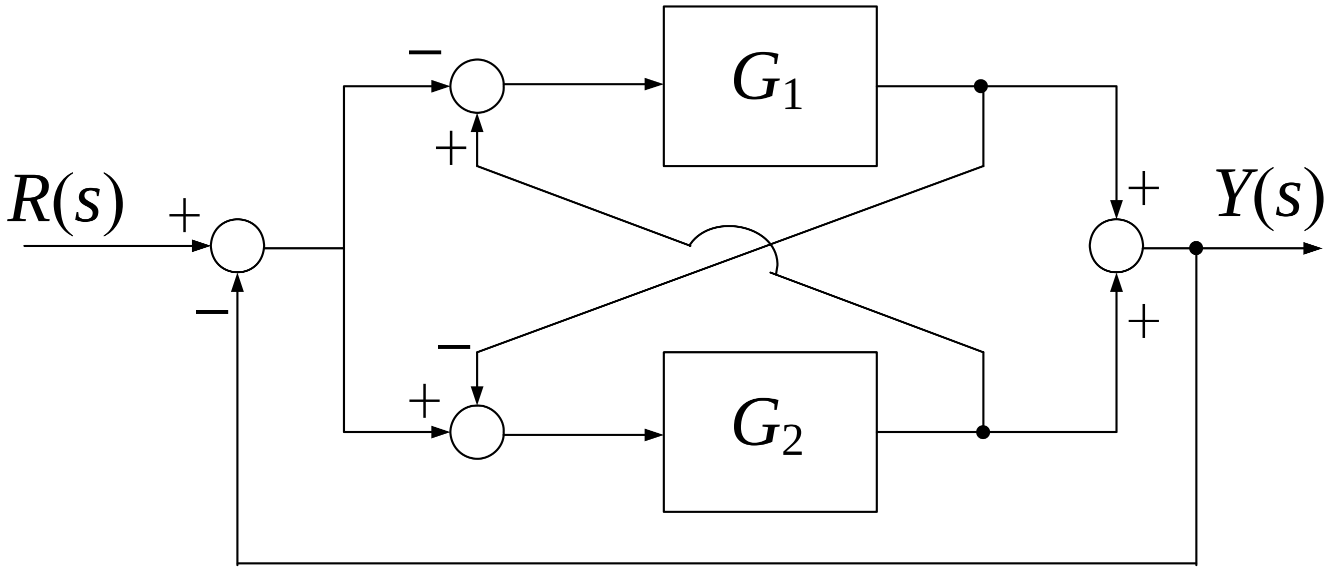
通道2: e

$$G_2 = \frac{y}{r_2} = \frac{e(1+cf)}{1+cf+eg-de+bcdeh+adeh+cfeg}$$

第2章习题练习

$$G=\frac{\sum_k G_k\Delta_k}{\Delta}$$

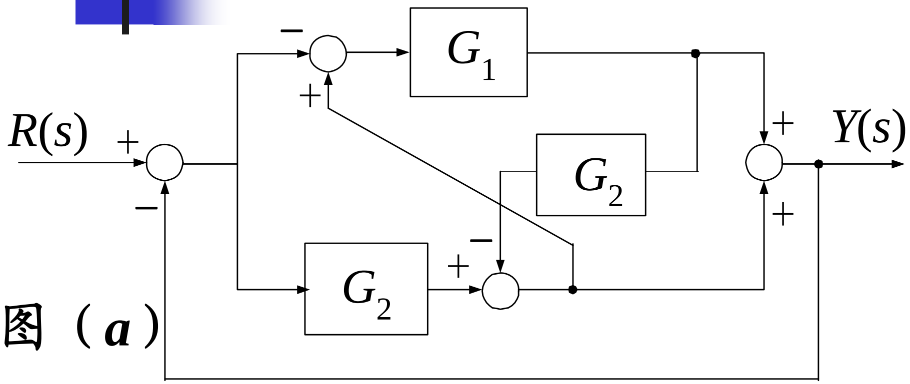
例2、求系统的传递函数



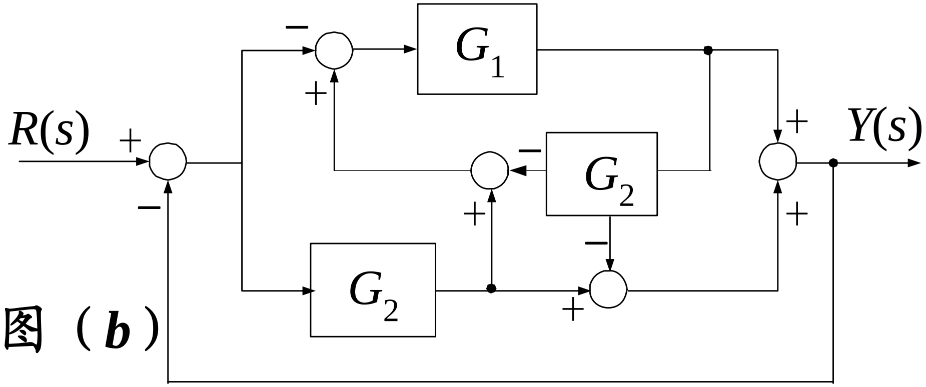
本题共有5个回路、4个通道。不要漏一个，且符号正确。

$$G=\frac{G_1G_2+G_1G_2-G_1+G_2}{1-(-G_1G_2-G_1G_2-G_1G_2+G_1-G_2)}=\frac{2G_1G_2-G_1+G_2}{1+3G_1G_2-G_1+G_2}$$

第2章习题练习

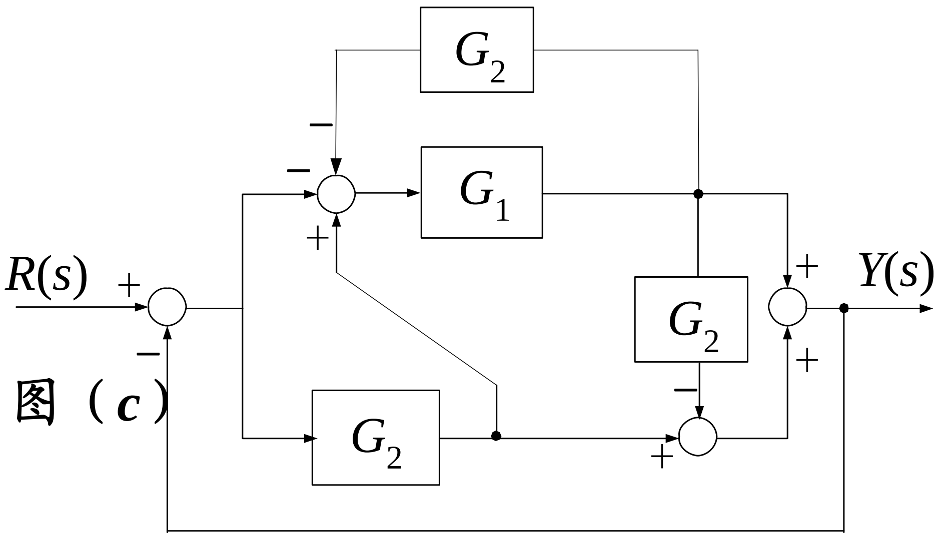


图（*a*）

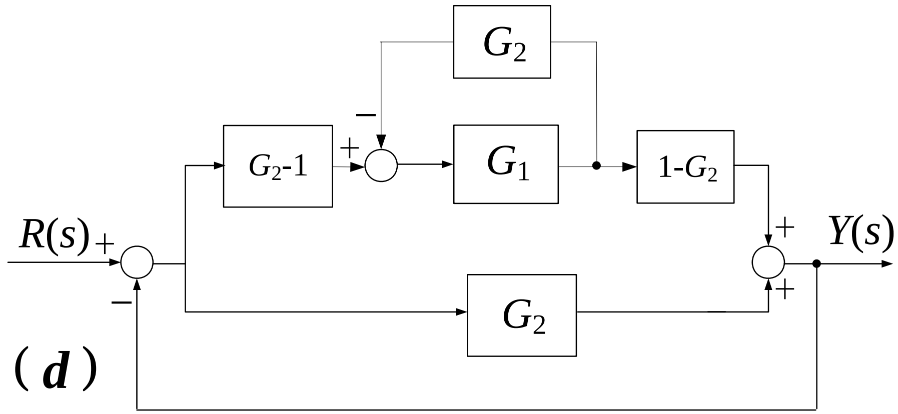


图（*b*）

从图(*a*)到(*b*)，分支点和综合点换位有复杂化的趋势，如果没有以下的目标，一般不能采用。



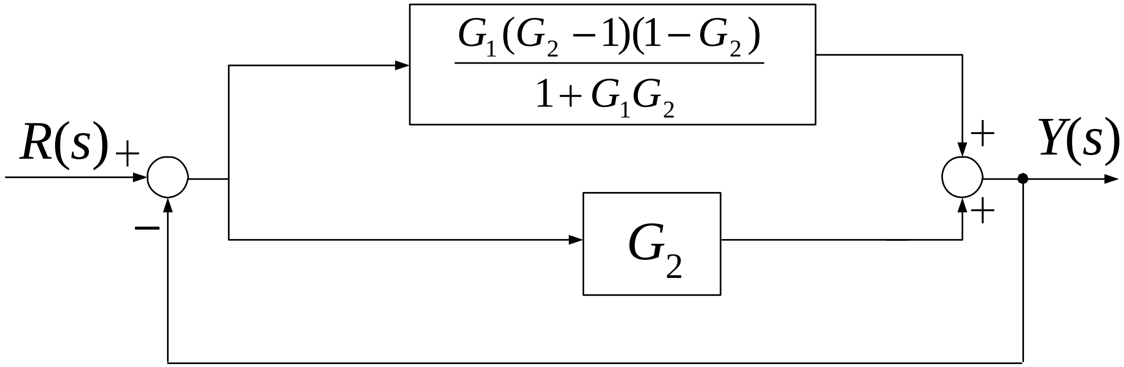
图（*c*）



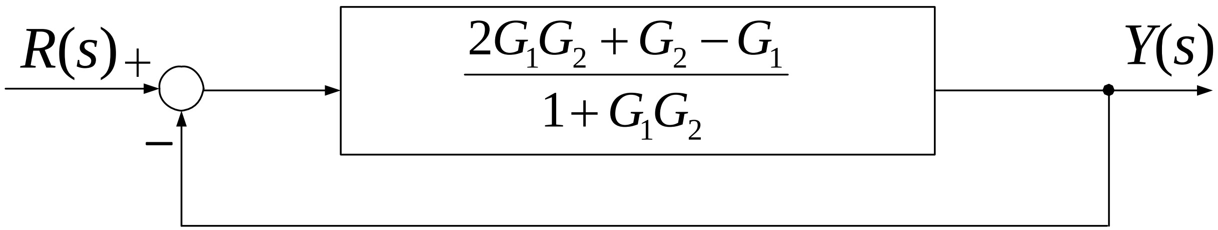
图（*d*）

变换原则：保持输入输出关系不变。

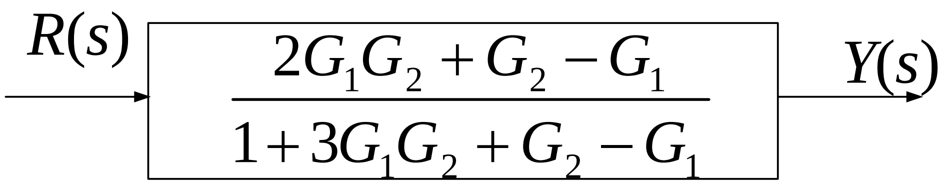
第2章习题练习



图（*e*）



图（*f*）

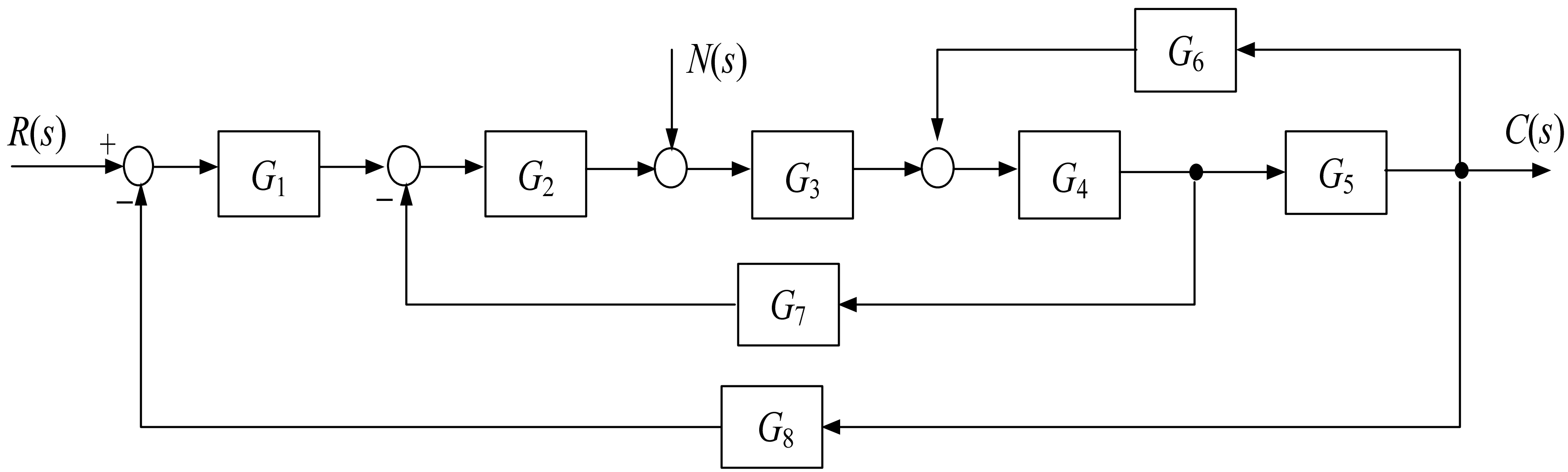


图（*g*）

变换的思路必须清楚，对本题就是“解套”。其中(*a*)(*b*) (*c*)三步是关键，其余好理解。

第2章习题练习

例3、求系统的传递函数 $\dfrac{C(s)}{R(s)}$ 和 $\dfrac{C(s)}{N(s)}$

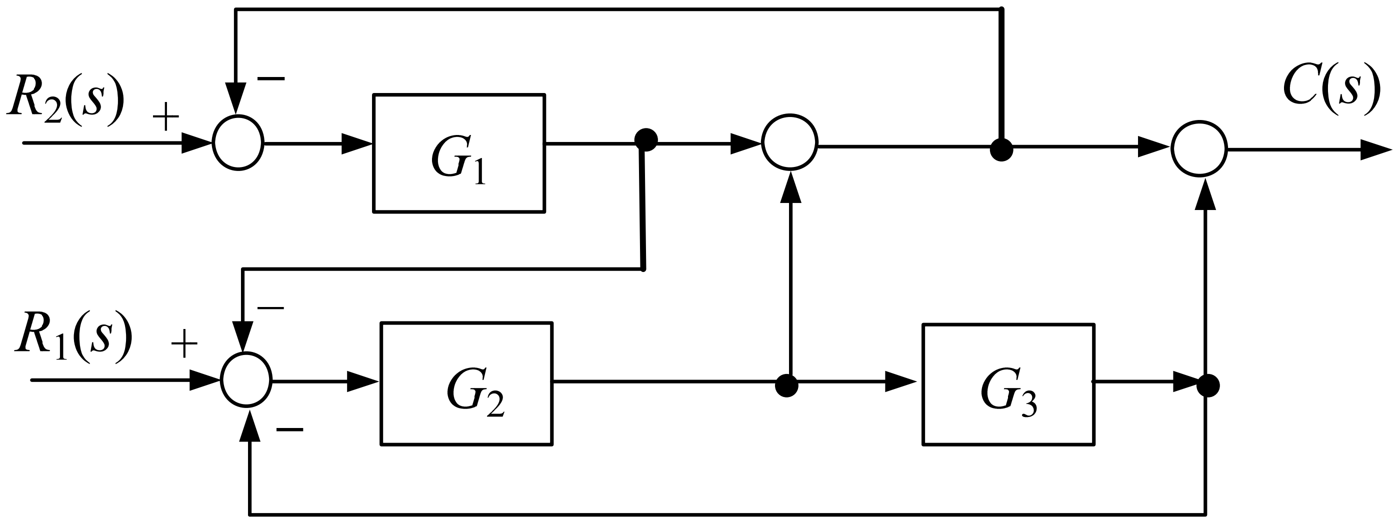


假设N(s)=0，系统共有3个回路、1个通道，没有不接触回路

$$\frac{C(s)}{R(s)}=\frac{G_1G_2G_3G_4G_5}{1-(-G_2G_3G_4G_7-G_1G_2G_3G_4G_5G_8+G_4G_5G_6)}$$

第2章习题练习

例4、求系统系统输出量C(s)的表达式



系统共有3个回路，有2个互不接触回路

$$L_1 = -G_1$$

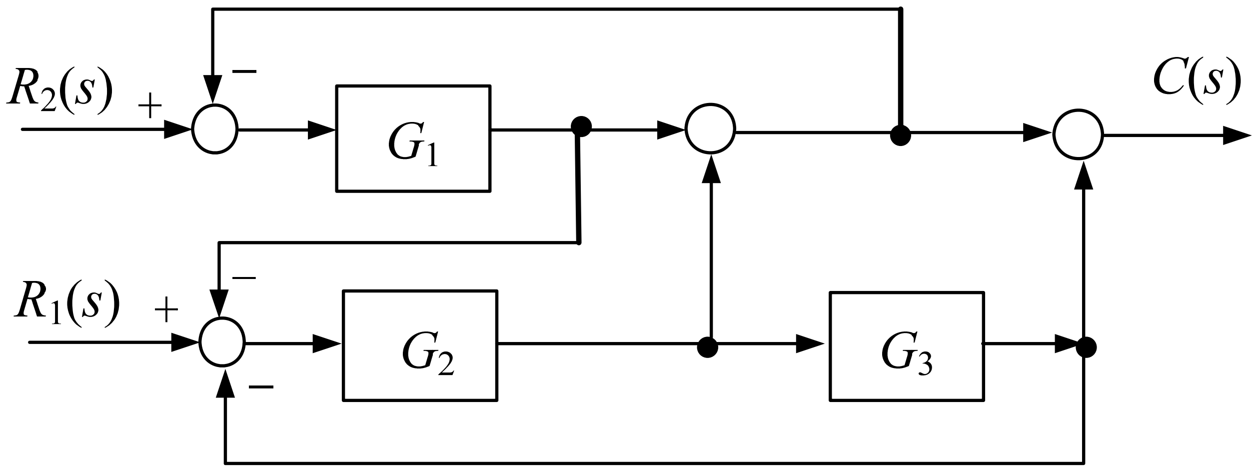
$$L_2 = -G_2G_3$$

$$L_3 = G_1G_2$$

$$L_1 \cdot L_2 = (-G_1)\cdot(-G_2G_3) = G_1G_2G_3$$

第2章习题练习

例4、求系统输出量C(s)的表达式



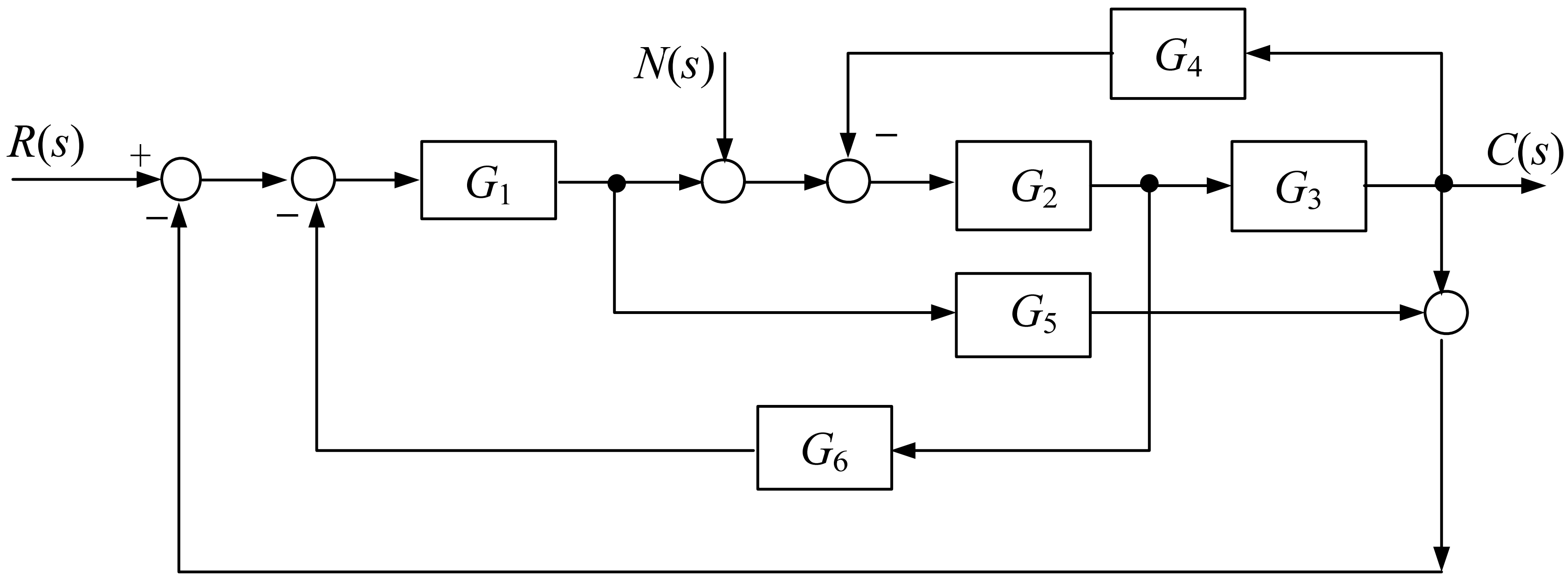
$$\frac{C(s)}{R_1(s)}=\frac{G_2G_3(1+G_1)+G_2}{1-(-G_1-G_2G_3+G_1G_2)+G_1G_2G_3}=\frac{G_2G_3+G_1G_2G_3+G_2}{1+G_1+G_2G_3-G_1G_2+G_1G_2G_3}$$

$$\frac{C(s)}{R_2(s)}=\frac{G_1(1+G_1G_2)-G_1G_2-G_1G_2G_3}{1-(-G_1-G_2G_3+G_1G_2)+G_1G_2G_3}=\frac{G_1-G_1G_2}{1+G_1+G_2G_3-G_1G_2+G_1G_2G_3}$$

$$C(s)=\frac{(G_2G_3+G_1G_2G_3+G_2)R_1(s)+(G_1-G_1G_2)R_2(s)}{1+G_1+G_2G_3-G_1G_2+G_1G_2G_3}$$

第2章习题练习

作业1： 求系统输出量$C(s)$的表达式



第2章小结

2、两种模式变换、状态图

①状态空间方程到传递函数(SISO)

$$G(s)=c^T(sI-A)^{-1}b$$

要点：记住公式；求逆不出错

②传递函数到状态空间方程 (SISO)

能控型、能观型

对角型（约当型不要求）

要点：记住能控能观型的特征；

传递函数要求*n*>*m*

③状态图

由状态图→状态方程

由状态方程→状态图

要点：如果状态图中存在回路，不要忘记Mason公式

第2章习题练习

例3、已知系统的传递函数，求能控、能观和对角标准型

$$\frac{Y(s)}{U(s)}=\frac{s^3+8s^2+12s+9}{s^3+7s^2+14s+8}=1+\frac{s^2-2s+1}{s^3+7s^2+14s+8}$$

能控标准型

$$\dot{x}=\begin{bmatrix}0 & 1 & 0\\ 0 & 0 & 1\\ -8 & -14 & -7\end{bmatrix}x+\begin{bmatrix}0\\ 0\\ 1\end{bmatrix}u$$

$$y=\begin{bmatrix}1 & -2 & 1\end{bmatrix}x+u$$

能观标准型

$$\dot{x}=\begin{bmatrix}0 & 0 & -8\\ 1 & 0 & -14\\ 0 & 1 & -7\end{bmatrix}x+\begin{bmatrix}1\\ -2\\ 1\end{bmatrix}u$$

$$y=\begin{bmatrix}0 & 0 & 1\end{bmatrix}x+u$$

第2章习题练习

$$\frac{Y(s)}{U(s)}=1+\frac{s^2-2s+1}{s^3+7s^2+14s+8}=1+\frac{\frac{4}{3}}{s+1}+\frac{-\frac{9}{2}}{s+2}+\frac{\frac{25}{6}}{s+4}$$

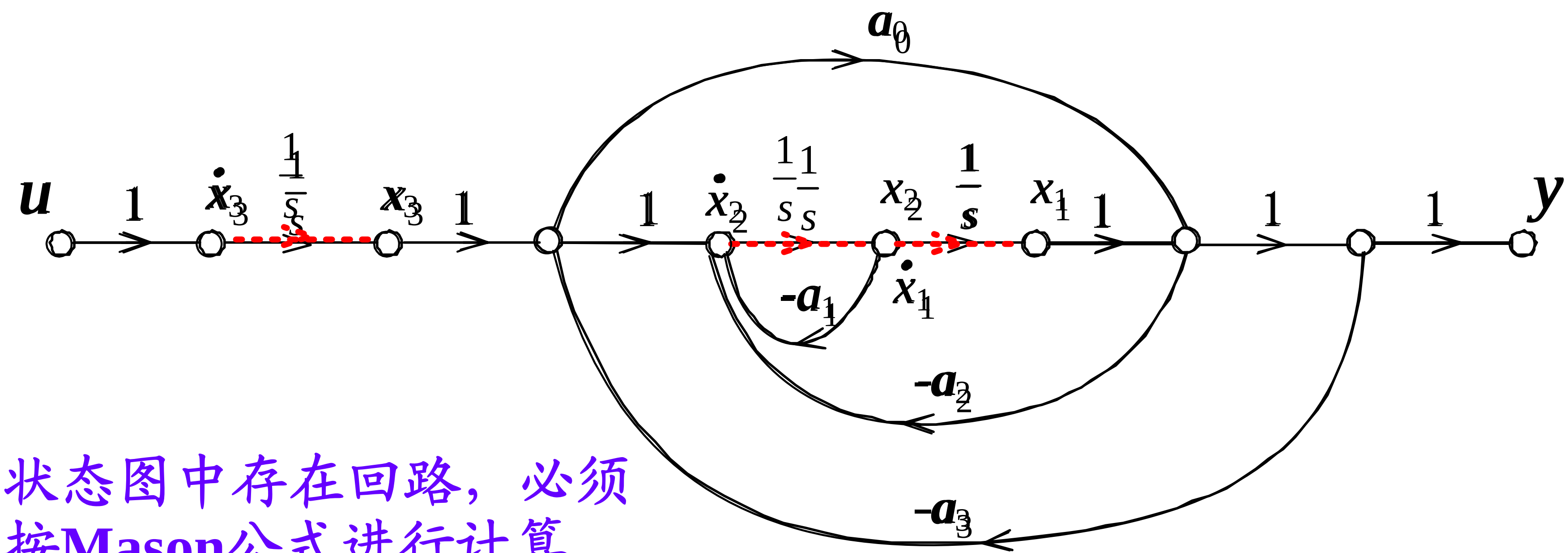
对角标准型

$$\dot{x}=\begin{bmatrix}-1 & 0 & 0\\ 0 & -2 & 0\\ 0 & 0 & -4\end{bmatrix}x+\begin{bmatrix}1\\1\\1\end{bmatrix}u$$

$$y=\begin{bmatrix}\frac{4}{3} & -\frac{9}{2} & \frac{25}{6}\end{bmatrix}x+u$$

第2章习题练习

例4、已知系统的状态图，求其状态方程和输出方程

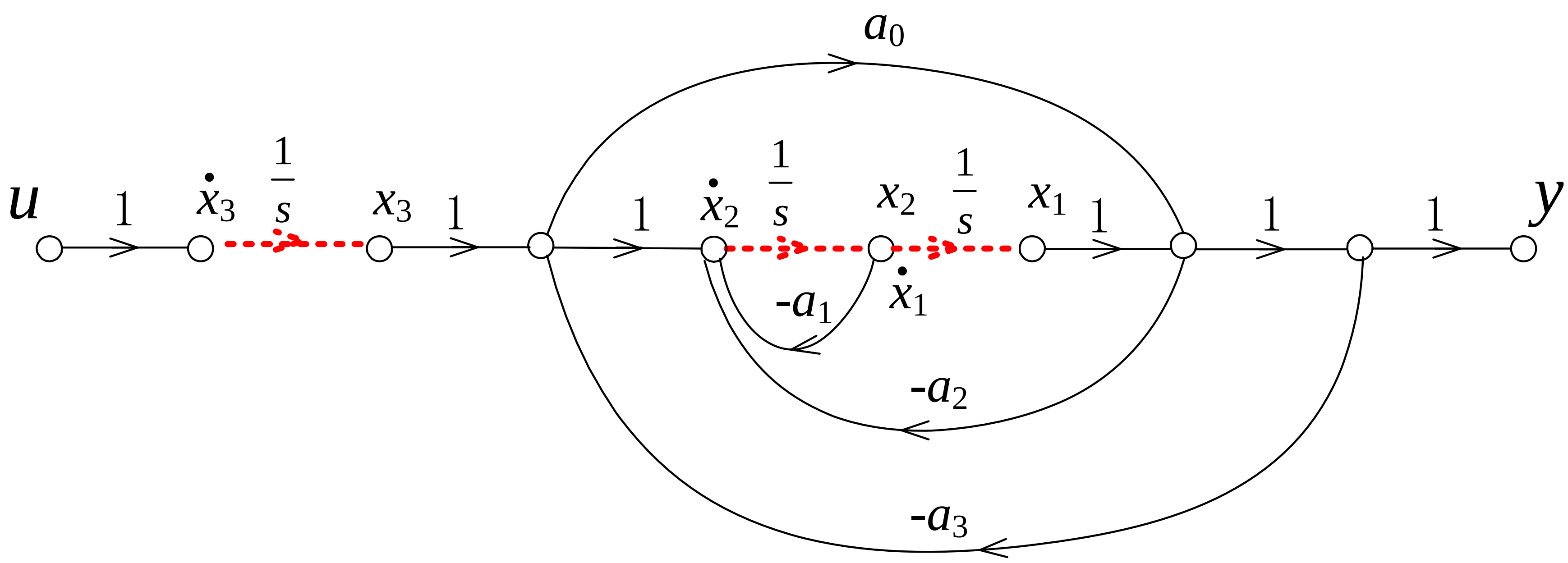


状态图中存在回路，必须按Mason公式进行计算。

$$\begin{bmatrix}\dot{x}_1\\ \dot{x}_2\\ \dot{x}_3\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0 & 1 & 0\\ \dfrac{-(a_2+a_3)}{1+a_0a_3} & -a_1 & \dfrac{1-a_0a_2}{1+a_0a_3}\\ 0 & 0 & 0\end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix}x_1\\ x_2\\ x_3\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}0\\ 0\\ 1\end{bmatrix}u$$

第2章习题练习

例4、已知系统的状态图，求其状态方程和输出方程

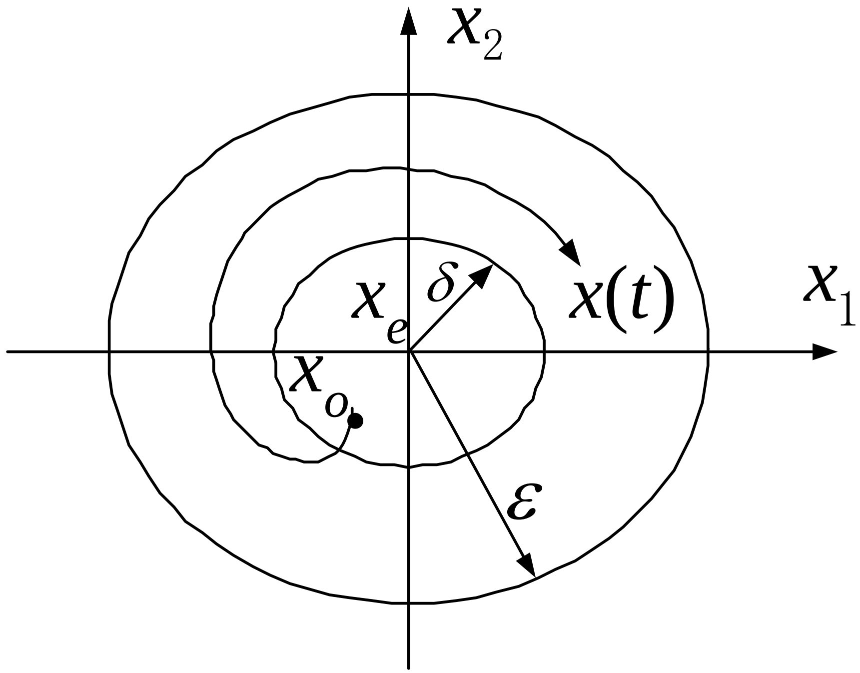


$$y=\begin{bmatrix} \dfrac{1}{1+a_0a_3} & 0 & \dfrac{a_0}{1+a_0a_3} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}$$

第3章小结

1、系统的稳定性

■Lyapunov稳定



■渐进稳定　　特征方程的全部根位于左半开平面

■BIBO稳定　　传递函数的极点位于左半开平面

第3章小结

2、Routh判据

①在已知系统传递函数或特征方程的条件下，Routh判据的运算量最小。关键是灵活应用

② Routh表的运算容易掌握，但仍需通过练习才能到手。

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

系统稳定的必要条件是特征方程各项系数全为正，且不缺项。

Routh稳定判据

Routh表 $a_0s^n + a_1s^{n-1} + \cdots + a_{n-1}s + a_n = 0$

s^n	a_0	a_2	a_4	$\cdots$
s^{n-1}	a_1	a_3	a_5	$\cdots$
s^{n-2}	$b_1 = \dfrac{a_1a_2 - a_0a_3}{a_1}$	$b_2 = \dfrac{a_1a_4 - a_0a_5}{a_1}$	$b_3 = \cdots$	$\cdots$
s^{n-3}	$c_1 = \dfrac{b_1a_3 - a_1b_2}{b_1}$	$c_2 = \dfrac{b_1a_5 - a_1b_3}{b_1}$	$c_3 = \cdots$	$\cdots$
$\cdots$	$\cdots$	$\cdots$	$\cdots$	$\cdots$
s^0	$\cdots$	0	0	0

系统稳定的充要条件是Routh表中第一列元素均为正。

特征方程具有正实部根的个数等于Routh表第一列中系数改变符号的次数。

第3章习题练习

例1、已知系统特征方程，判断系统的稳定性

$$(s-1)^2(s+2)=s^3-3s+2=0$$

s^3	1	-3
s^2	δ^+	2
s^1	$\dfrac{-3\delta^+-2}{\delta^+}$	0
s^0	2	

但是， **Routh**表的第**1**列有零元素时，并不意味着一定存在虚轴上的根（可能存在），本题就是一个例子。本题的s^2行存在零元素，但在虚轴上没有根。

第3章习题练习

例2　$2s^5+s^4+6s^3+3s^2+s+1=0$

s^5	2	6	1
s^4	1	3	1
s^3	δ^+	-1	0
s^2	$\frac{1}{\delta^+}+3$	1	0
s^1	-1	0	0
s^0	1	0	0

第1列符号改变2次，故有2个根在右半平面。其余3个根在左半平面。(在虚轴上没有根)

第3章习题练习

例3、一个4阶线性系统的状态方程如下， 其中常系数$b_1 \neq 0$，$b_2 \neq 0$， $b_3 \neq 0$，$b_4 \neq 0$,求使系统渐近稳定的充分必要条件。

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -b_4 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -b_3 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -b_2 & -b_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} u$$

本题可以得到系统的特征方程，因此采用**Routh**判据较好，如采用**Liapunov**判据，则运算量大一些。

第3章习题练习

首先计算系统特征方程

$$\mathbf{A}=\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -b_4 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -b_3 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -b_2 & -b_1 \end{bmatrix} \Rightarrow |sI-A| = \begin{vmatrix} s & -1 & 0 & 0 \\ b_4 & s & -1 & 0 \\ 0 & b_3 & s & -1 \\ 0 & 0 & b_2 & s+b_1 \end{vmatrix}$$

$$\begin{aligned} |sI-A| &= s\left[s^2(s+b_1)+sb_2+b_3(s+b_1)\right]+b_4\left[s(s+b_1)+b_2\right] \\ &= s^4+b_1s^3+(b_2+b_3+b_4)s^2+(b_1b_3+b_1b_4)s+b_2b_4 \end{aligned}$$

第3章习题练习

$$|sI - A| = s^4 + b_1 s^3 + (b_2 + b_3 + b_4)s^2 + (b_1 b_3 + b_1 b_4)s + b_2 b_4$$

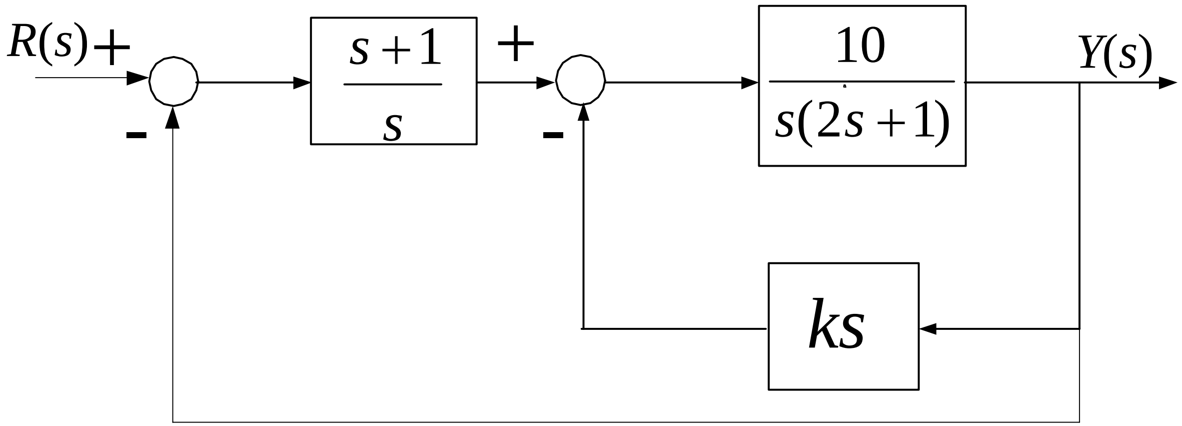
s^4	1	$b_2+b_3+b_4$	$b_2 b_4$
s^3	b_1	$b_1 b_3+b_1 b_4$	0
s^2	b_2	$b_2 b_4$	0
s^1	$b_1 b_3$	0	0
s^0	$b_2 b_4$	0	0

故系统渐近稳定的条件是:

$$b_1 > 0,\quad b_2 > 0,\quad b_3 > 0,\quad b_4 > 0$$

第3章习题练习

例4 求使系统稳定的k的取值范围。



$k > 0.1$

内环结构
$$\frac{\dfrac{10}{s(2s+1)}}{1+ks\cdot\dfrac{10}{s(2s+1)}}=\frac{10}{s(2s+1)+10ks}=\frac{10}{2s^2+(10k+1)s}$$

$$\frac{Y(s)}{R(s)}=\frac{\dfrac{s+1}{s}\cdot\dfrac{10}{2s^2+(10k+1)s}}{1+\dfrac{s+1}{s}\cdot\dfrac{10}{2s^2+(10k+1)s}}=\frac{10(s+1)}{2s^3+(10k+1)s^2+10s+10}$$

第3章习题练习

例5 已知单位负反馈控制系统的开环传递函数为

$$G_0(s)=\frac{K}{s(s+3)(s+5)}$$

若要求闭环极点的实部均小于-1，试确定K的取值范围。

闭环特征方程 $s^3+8s^2+15s+K=0$

令$s_1=s+1$ $(s_1-1)^3+8(s_1-1)^2+15(s_1-1)+K=0$

$$s_1^3+5s_1^2+2s_1+K-8=0$$

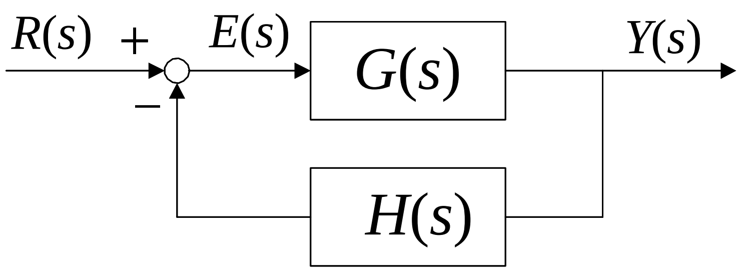
$$\begin{cases}5\times 2>K-8\\ K-8>0\end{cases} \Longrightarrow 18>K>8$$

第3章小结

3、稳态误差

①稳态误差的概念

★稳态误差一般按“输入误差”的定义计算（图中$E(s)$）



如果题目对稳态误差有定义，则应该按题义去计算。

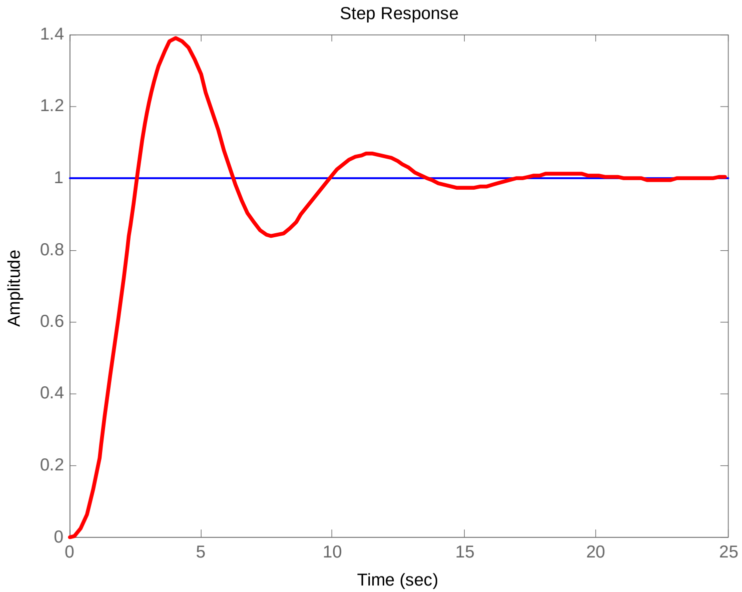
★一个稳定的系统，其稳态误差才有意义

计算稳定误差前，要判系统的稳定性。

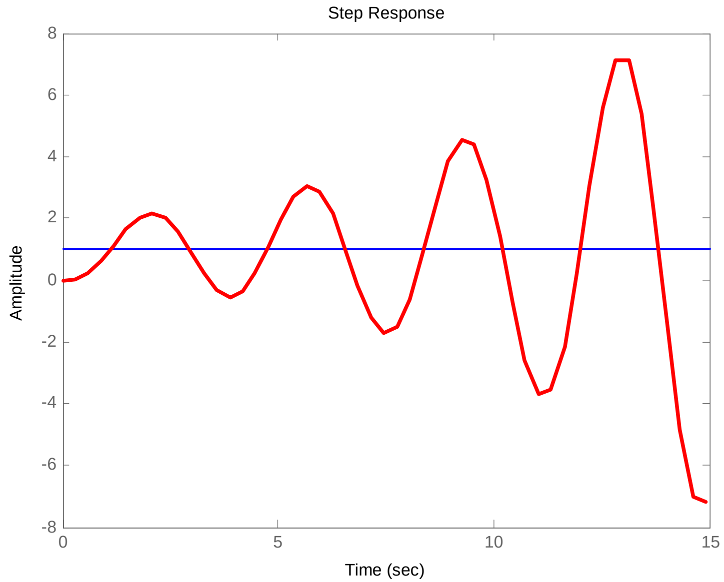
第3章小结

计算稳定误差前，要判系统的稳定性

$$G_0(s)=\frac{k}{s(s+1)(0.5s+1)}$$



$k=1$单位阶跃响应



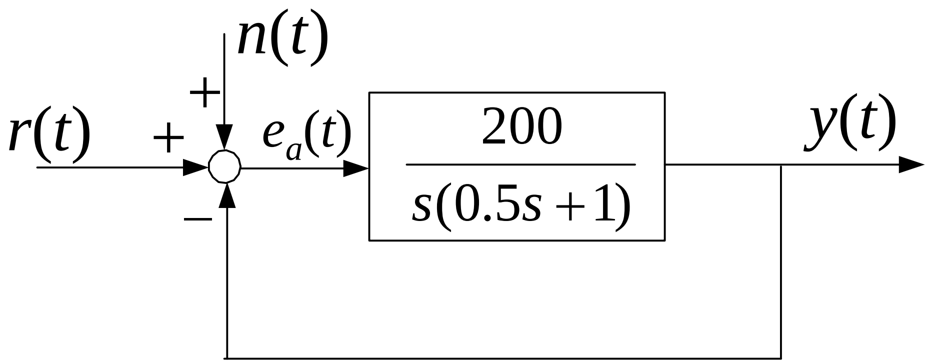
$k=5$单位阶跃响应

第3章小结

②稳态误差的计算：终值定理 $e_{ss}=\lim\limits_{t\to\infty}e(t)=\lim\limits_{s\to 0}sE(s)$

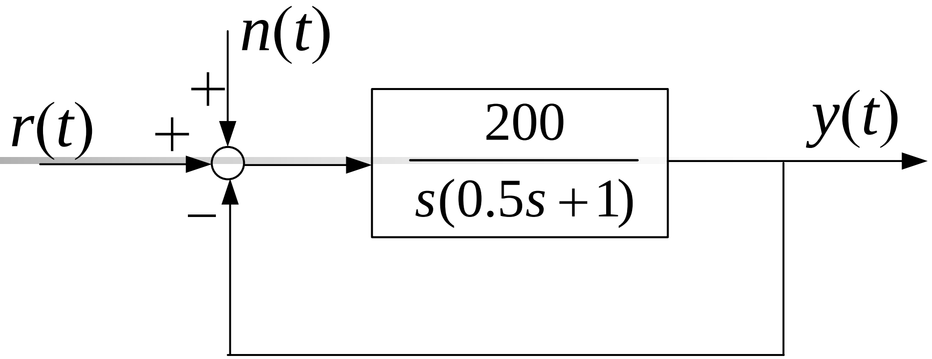
终值定理由误差的传递函数表达式推导稳态误差值，具有一般性，但不适用于稳态误差无极限的情况。

例6 已知输入为 **r(t)=1(t)**，干扰输入为 **n(t)=0.1×1(t)**，定义系统的误差为 **e(t)=r(t)-y(t)**，求系统的稳态误差。



本例应按题意所定义的误差去计算。如果自认为右图的$e_a(t)$为系统误差，则与题意不同，只会得到稳态误差为零的错误结论。

第3章习题练习



(1)判断系统的稳定性

$$G(s)=\frac{\frac{200}{s(0.5s+1)}}{1+\frac{200}{s(0.5s+1)}}=\frac{200}{0.5s^2+s+200}$$

系统的特征方程系数全为正，故系统稳定。

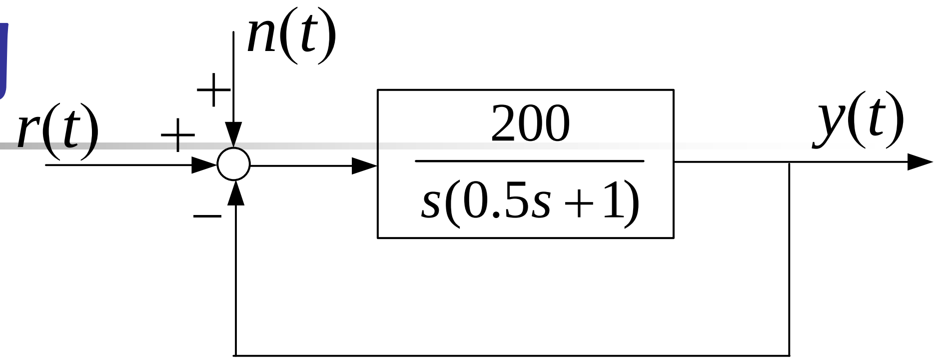
(2)根据终值定理推导系统稳态误差的计算公式

由题意，稳态误差的定义为，***E*(*s*)=*R*(*s*)-*Y*(*s*)**，故有

$$E(s)=R(s)-G(s)[R(s)+N(s)]=\frac{1}{s}-\frac{200}{0.5s^2+s+200}(\frac{1}{s}+\frac{0.1}{s})$$

$$=\frac{1}{s}\cdot\frac{0.5s^2+s-20}{0.5s^2+s+200}$$

第3章习题练习



(3)计算稳态误差

$$E(s)=R(s)-G(s)[R(s)+N(s)]=\frac{1}{s}-\frac{200}{0.5s^2+s+200}\left(\frac{1}{s}+\frac{0.1}{s}\right)$$

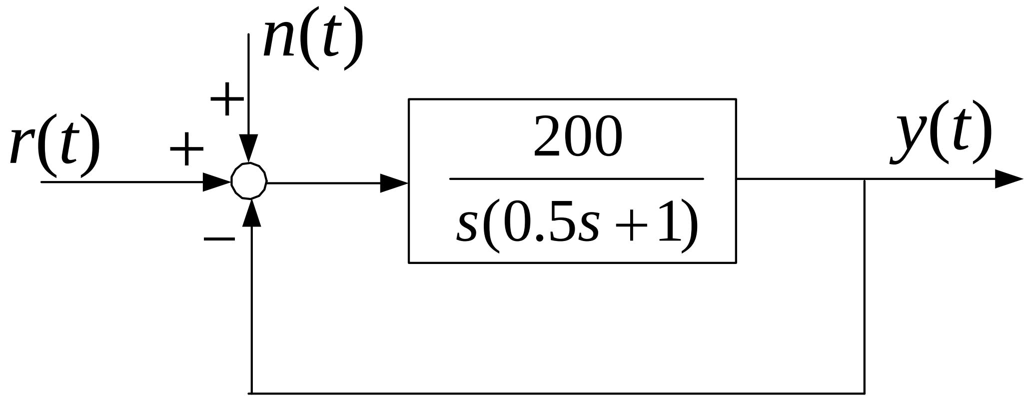
$$=\frac{1}{s}\cdot\frac{0.5s^2+s-20}{0.5s^2+s+200}$$

$$E(s)=R(s)-G(s)[R(s)+N(s)]=\frac{1}{s}\cdot\frac{0.5s^2+s-20}{0.5s^2+s+200}$$

$$e_{ss}=\lim_{s\to 0}sE(s)=\lim_{s\to 0}s\cdot\frac{1}{s}\cdot\frac{0.5s^2+s-20}{0.5s^2+s+200}=-0.1$$

第3章习题练习

另一种算法——用叠加原理的算法:

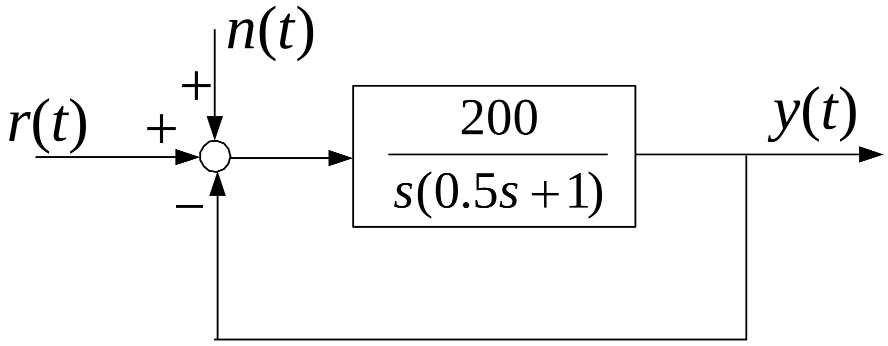


(1)判断系统的稳定性（从略）

(2)设$n(t)=0$，求$r(t)=1(t)$时的e_{ssr}

$e(t)=r(t)-y(t)$，系统为无差系统，单位阶跃输入时，$e_{ssr}=0$

第3章习题练习



(3)设$r(t)=0$，求$n(t)=0.1\times 1(t)$时的e_{ssn}

由题意，$e(t)=r(t)-y(t)=-y(t)$

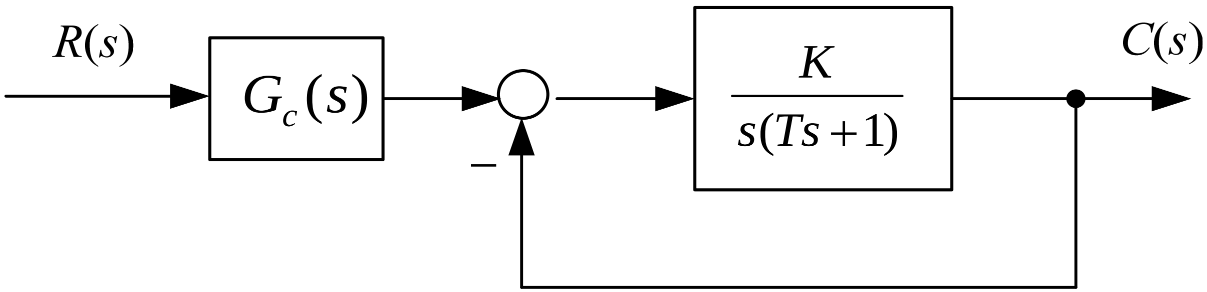
$$E_n(s)=-G(s)N(s)=\frac{-200}{0.5s^2+s+200}\cdot\frac{0.1}{s}$$

$$\lim_{s\to 0} sE_n(s)=\lim_{s\to 0} s\frac{-200}{0.5s+s+200}\cdot\frac{0.1}{s}=-0.1$$

由本例说明，系统对输入稳态无差，但对扰动仍有稳态误差。

(4)系统的稳态误差 $e_{ss}=e_{ssr}+e_{ssn}=0+(-0.1)=-0.1$

例7 已知输入为 $r(t)=1+at$， $G_c(s)=1+bs$为比例微分控制器，定义系统的误差为 $E(s)=R(s)-C(s)$，试证明通过适当调节微分时间常数b，可以使得系统对于输入$r(t)$的稳态误差为零。



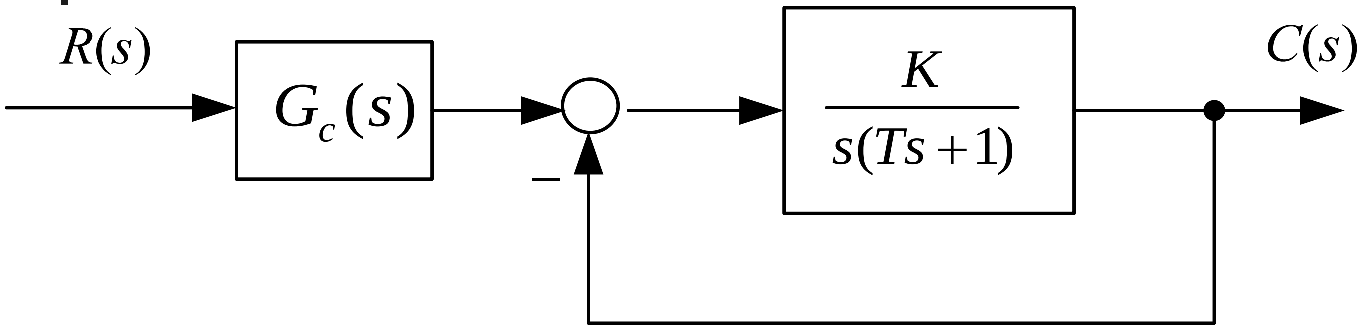
$T>0$，$K>0$

闭环传递函数 $$G(s)=\frac{K(1+bs)}{s(Ts+1)+K}$$

因为$T>0$且$K>0$，故系统闭环稳定

第3章习题练习

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



$T>0$，$K>0$

$$E(s)=R(s)-C(s)=\frac{s(Ts+1-Kb)}{Ts^2+s+K}R(s) \qquad R(s)=\frac{1}{s}+\frac{a}{s^2}=\frac{s+a}{s^2}$$

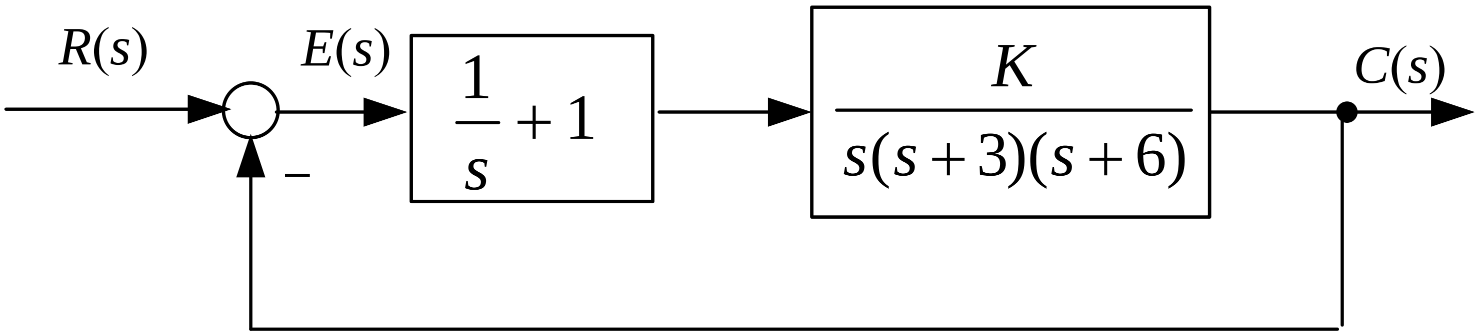
稳态误差 $$e_{ss}=\lim_{s\to 0}sE(s)=\lim_{s\to 0}\left[s\frac{s(Ts+1-Kb)}{Ts^2+s+K}\frac{s+a}{s^2}\right]$$

$$=\lim_{s\to 0}\left[\frac{(Ts+1-Kb)(s+a)}{Ts^2+s+K}\right]=\frac{a(1-Kb)}{K}$$

如果调节b，使得$b=1/K$，则必有$e_{ss}=0$

第3章习题练习

例8 已知系统结构图如下，要求系统在 $r(t)=t^2$ 作用下的稳态误差 $e_{ss}<0.5$，试确定 K 的取值范围。



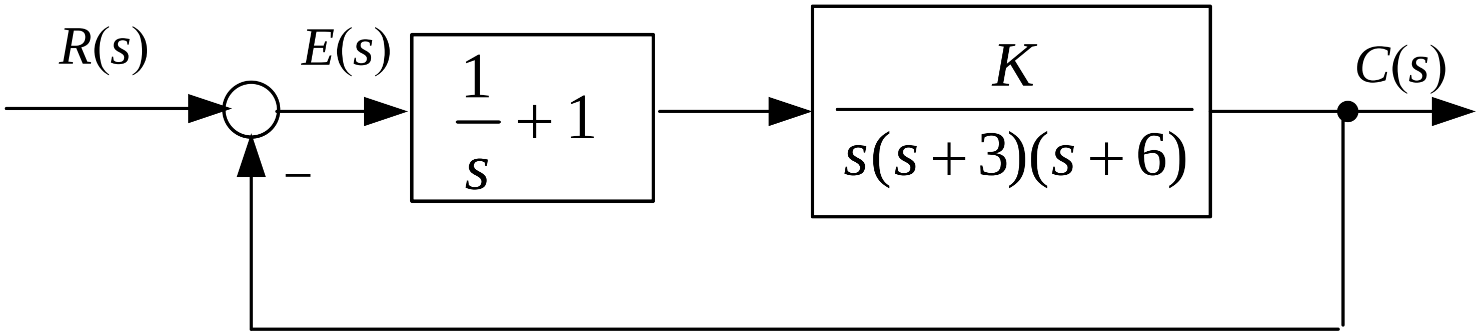
闭环系统特征方程 $s^2(s+3)(s+6)+K(s+1)=0$

整理后得: $s^4+9s^3+18s^2+Ks+K=0$

由劳斯判据可知，使得闭环系统稳定的 K 满足 $81>K>0$

第3章习题练习

$81>K>0$



开环系统传递函数

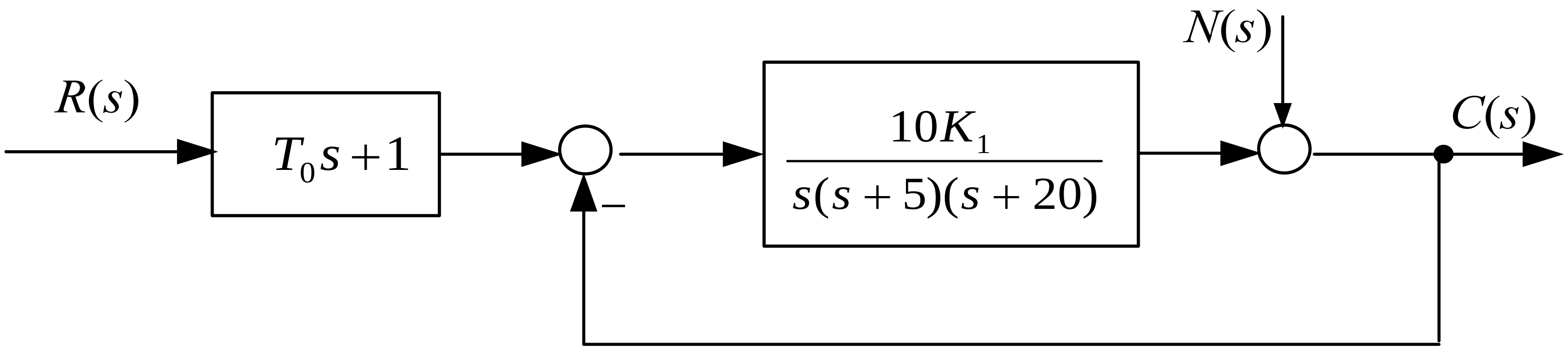
$$G_0(s)=\frac{K(s+1)}{s^2(s+3)(s+6)}=\frac{\frac{K}{18}(s+1)}{s^2(\frac{s}{3}+1)(\frac{s}{6}+1)}$$

$$e_{ss}=\lim_{s\to 0}\frac{sR(s)}{1+G_0(s)}=\lim_{s\to 0}\frac{2}{s^2\left[1+G_0(s)\right]}=\lim_{s\to 0}\frac{2}{s^2\left[1+\frac{\frac{K}{18}(s+1)}{s^2(\frac{s}{3}+1)(\frac{s}{6}+1)}\right]}=\frac{36}{K}<0.5$$

满足要求的K值范围是：$81>K>72$

第3章习题练习

作业2　定义系统的误差为 $E(s)=R(s)-C(s)$，试确定系统的参数 K_1和T_0，使得系统同时满足以下条件: (1)在 $r(t)=t$作用下无稳态误差；(2)在 $n(t)= t$作用下，稳态误差的绝对值不大于0.05。



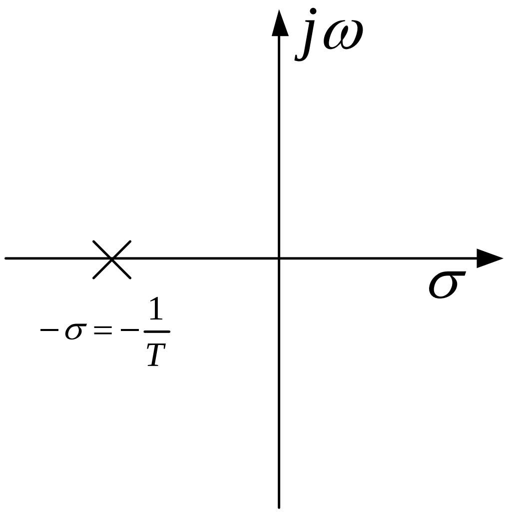
第3章小结

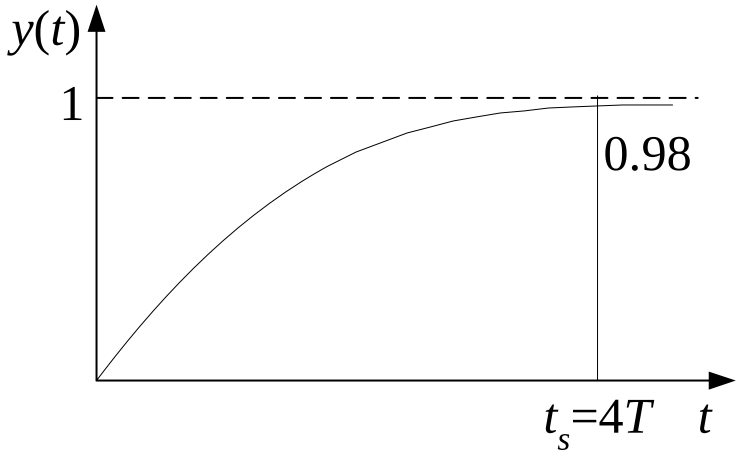
4、动态响应

①1阶和2阶系统，由极点位置估算单位阶跃响应特征

1阶系统 $G(s)=\dfrac{1}{Ts+1}$

动态响应根据于系统闭环传递函数，不是开环传递函数。

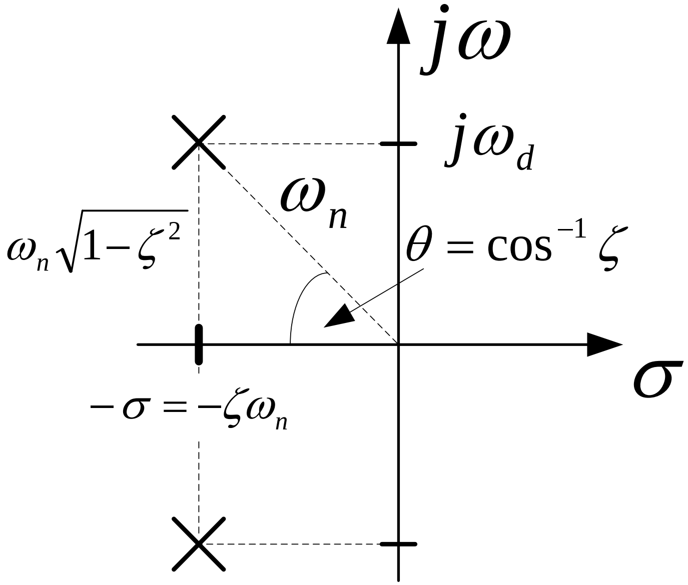


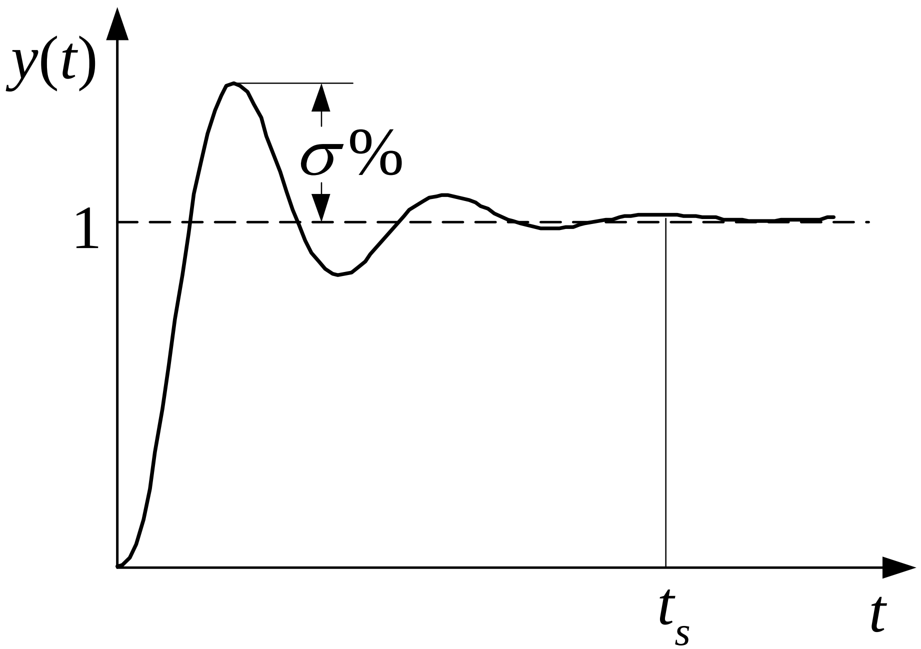


第3章小结

①1阶和2阶系统，由极点位置估算单位阶跃响应特征

$$G(s)=\frac{1}{T^2s^2+2\zeta Ts+1}$$



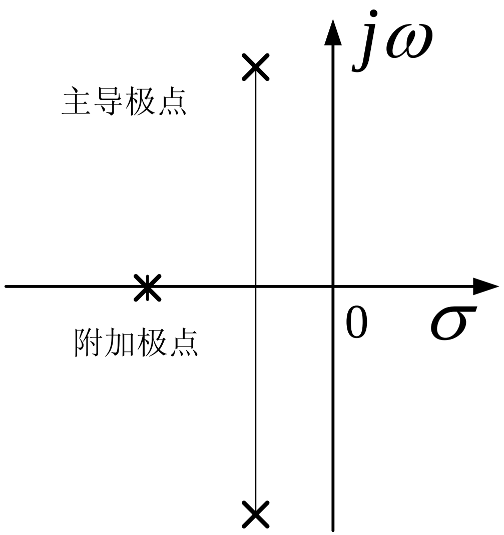


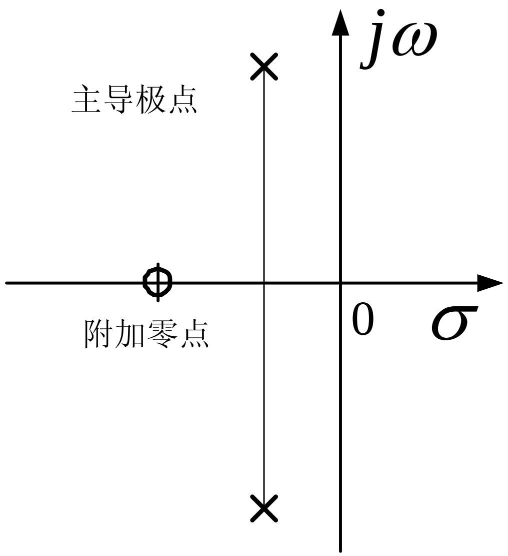
调整时间 $t_s=\dfrac{4}{\sigma}$　　超调量 $\sigma\%=e^{-\frac{\zeta\pi}{\sqrt{1-\zeta^2}}}$

第3章小结

②估计高阶系统单位阶跃响应的方法

用**主导极点**决定的1阶或2阶系统代替高阶系统。并考虑非主导极点和零点的影响。估计的趋势虽然很近似，但对设计和调整系统很重要。



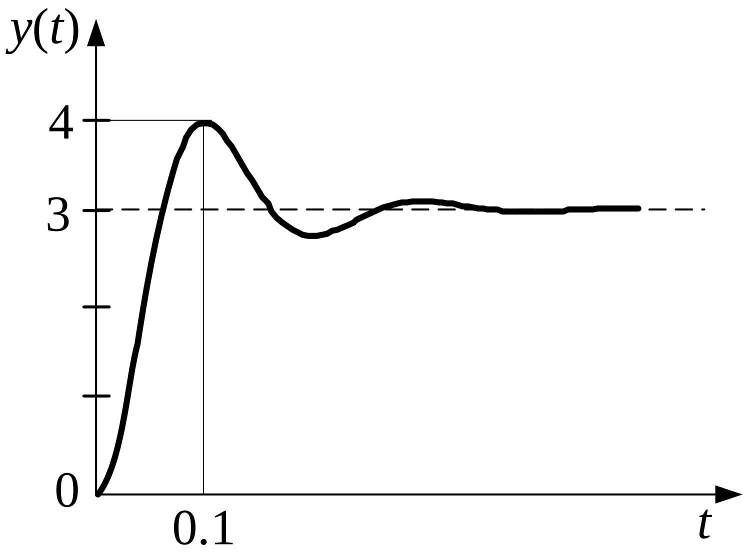


非主导极点使系统响应变慢，超调减小。

零点使系统响应变快，超调增大。

第3章习题练习

例8 已知2阶系统单位阶跃响应，求系统的传递函数



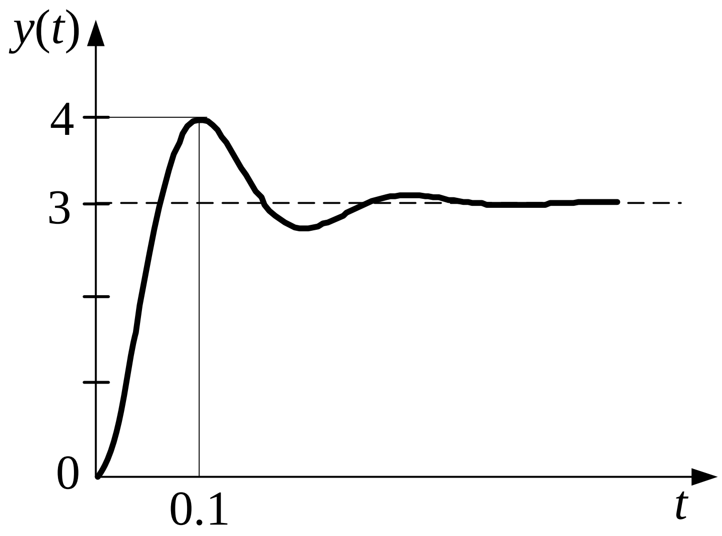
系统的稳态值，可由终值定理计算。即，

$$\lim_{s\to 0} sG(s)\cdot\frac{1}{s}=G(0)$$

系统在单位阶跃输入作用下，响应的稳态值是3，故系统的增益为3，不是1。设系统的模型(闭环传递函数)为，

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

第3章习题练习



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

$$=\frac{3\omega_n^2}{s^2+2\zeta\omega_n s+\omega_n^2}$$

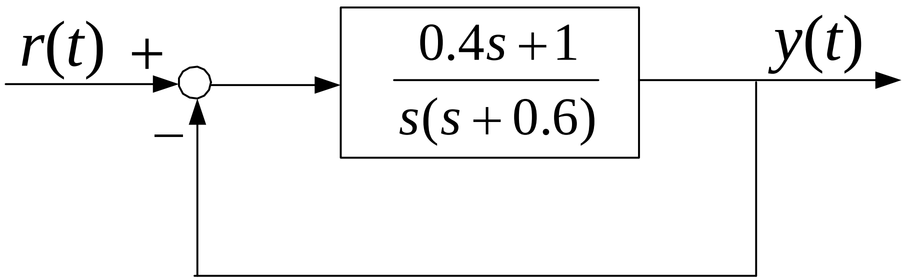
(1)由图得， σ**%=(4-3)/3=33%，** t_p**=0.1**

(2)由公式 $\sigma\%=e^{-\frac{\zeta\pi}{\sqrt{1-\zeta^2}}}=0.33$ $\quad\zeta=0.33$

$$t_p=\frac{\pi}{\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}}=0.1 \qquad \omega_n=33.2$$

第3章习题练习

例9 已知单位反馈系统如图所示。估计当$r(t)=1(t)$时的系统响应特征，超调量$\sigma\%$和调整时间t_s。



闭环传递函数

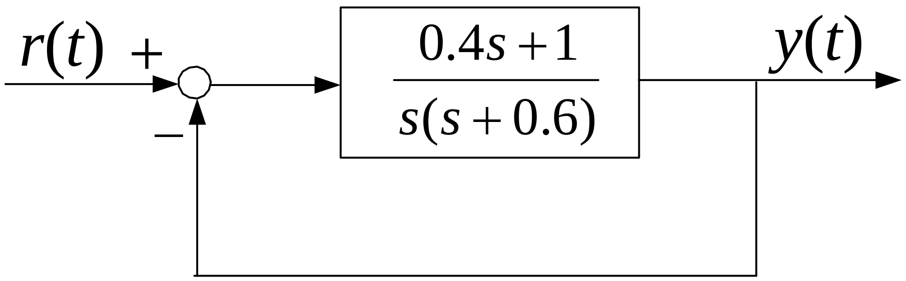
$$G(s)=\frac{0.4s+1}{s^2+s+1}$$

$$\begin{cases}2\zeta\omega_n=1\\ \omega_n^2=1\end{cases} \Rightarrow \zeta=0.5 \quad \omega_n=1$$

系统特征根 $$s_{1,2}=-\frac{1}{2}\pm j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

s_1、s_2为系统的**主导极点**，由此估计系统响应特性。

第3章习题练习

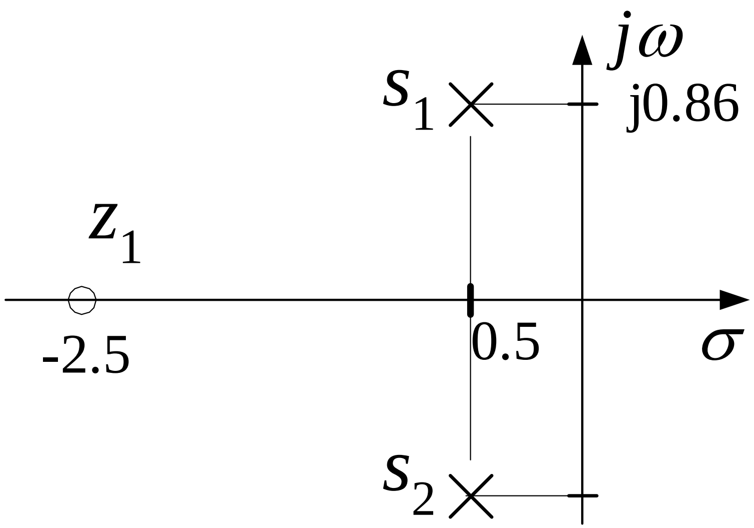


闭环传递函数

$$G(s)=\frac{0.4s+1}{s^2+s+1}$$

系统特征根 $s_{1,2}=-\frac{1}{2}\pm j\frac{\sqrt{3}}{2}$

$\zeta=0.5 \qquad \omega_n=1$



$$\sigma\%=e^{-\frac{0.5\pi}{\sqrt{1-0.5^2}}}=16.3\%$$

（精确值为**18 %**）

$$t_s=\frac{4}{0.5\times1}=8s$$

（精确值为**7.8s**）

由于零点的影响，超调量略大，调整时间略短。

第3章习题练习

作业3 已知控制系统如图所示。欲保证阻尼比ζ=0.7和单位斜坡响应的稳态误差e_{ss}=0.25，试确定系统参数K和τ，并计算系统的超调量$\sigma\%$和调整时间t_s。