

3-6 线性系统的稳态误差计算

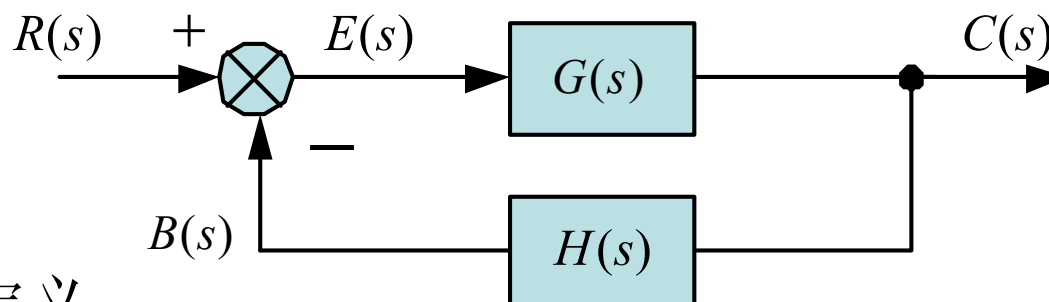
对于一个稳定的控制系统而言，稳态误差是反映其**控制精度的一种度量**，通常又称为**稳态性能**。

研究表明：稳态误差与系统的**结构、输入信号**的形式有很大关系。控制系统设计的任务之一就是要保证系统在稳定的前提下，尽量地减小乃至消除稳态误差。

4.2.1 误差的基本概念

一、误差与稳态误差

定义



(1) 误差的两种定义：

a. **从输出端定义**：等于系统输出量的实际值与希望值之差。这种方法在性能指标提法中经常使用，但在实际系统中有时无法测量。因此，一般只具有数学意义。

b. **从输入端定义**：等于系统的输入信号与主反馈信号之差。

$$e(t) = r(t) - b(t)$$

$$E(s) = R(s) - B(s) = R(s) - C(s)H(s) =$$

设

$$\Phi_e(s) = \frac{E(s)}{R(s)} = \frac{1}{1 + G(s)H(s)}$$

若设 $\Phi_e(s) = \frac{E(s)}{R(s)} = \frac{1}{1 + G(s)H(s)}$

式中 $\Phi_e(s)$ ——系统的误差传递函数。得到

$$E(s) = \Phi_e(s)R(s)$$

这种方法定义的误差，在实际系统中是可测量的，故具有一定的物理意义。以后我们均采用从系统输入端定义的误差来进行计算和分析。

误差本身是时间的函数，其时域表达式为：

$$e(t) = L^{-1}[E(s)] = L^{-1}[\Phi_e(s)R(s)] = e_{ts}(t) + e_{ss}(t)$$

式中： $e_{ts}(t)$ ——动态分量，此分量随时间增长而消失

$e_{ss}(t)$ ——稳态分量。

(2) 稳态误差 e_{ss}

对稳定系统而言，随着时间趋于无穷，系统的动态过程结束， $e_{ts}(t)$ 将趋于零。根据拉氏变换终值定理，稳定的非单位反馈系统的稳态误差为

$$e_{ss} = \lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = \lim_{s \rightarrow 0} sE(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{R(s)}{1 + G(s)H(s)}$$

- 由上式可知，控制系统的稳态误差与输入信号的形式和开环传递函数的结构有关。当输入信号形式确定后，系统的稳态误差就取决于以开环传递函数描述的系统结构。

例：一系统的开环传递函数 $G(s)H(s) = \frac{20}{(0.5s+1)(0.04s+1)}$

求： $r(t)=1(t)$ 及 t 时的稳态误差

解：
$$e_{ss} = \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{1}{1 + G(s)H(s)} R(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{(0.5s+1)(0.04s+1)}{(0.5s+1)(0.04s+1) + 20} R(s)$$

$r(t) = 1(t)$ 时, $R(s)=1/s$

$$e_{ss} = \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{(0.5s+1)(0.04s+1)}{(0.5s+1)(0.04s+1) + 20} \bullet \frac{1}{s} = \frac{1}{21} \approx 0.05$$

$r(t) = t$ 时, $R(s)=1/s^2$

$$e_{ss} = \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{(0.5s+1)(0.04s+1)}{(0.5s+1)(0.04s+1) + 20} \bullet \frac{1}{s^2} = \infty$$

例：设单位反馈控制系统的开环传递函数为 $G(s) = 1/Ts$

试求当输入信号分别为 $r(t) = t^2/2$ 和 $r(t) = \sin \omega t$

时控制系统的稳态误差值。

解1:
$$\phi_{er}(s) = \frac{1}{1 + G(s)} = \frac{s}{s + \frac{1}{T}} \quad \because r(t) = t^2/2 \therefore R(s) = 1/s^3$$

$$\because E(s) = \phi_{er}(s)R(s) = \frac{1}{(s + \frac{1}{T})s^2}$$

$$\therefore e_{ss} = \lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = \lim_{s \rightarrow 0} sE(s) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{(s + \frac{1}{T})s} = \infty$$

解2: $r(t) = \sin \omega t \therefore R(s) = \omega / (s^2 + \omega^2)$

$$E(s) = \phi_{er}(s)R(s) = \frac{s}{(s + \frac{1}{T})} \frac{\omega}{s^2 + \omega^2}$$

此题如果直接用终值定理做，则

$$\lim_{s \rightarrow 0} sE(s) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{s^2 \omega}{(s + \frac{1}{T})(s^2 + \omega^2)} = 0$$

但实际上正弦函数的拉氏变换在虚轴上不解析，此式不能用终值定理做，而要：

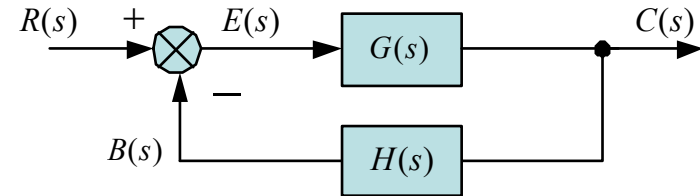
$$E(s) = -\frac{T\omega}{T^2\omega^2 + 1} \frac{1}{s + \frac{1}{T}} + \frac{T\omega}{T^2\omega^2 + 1} \frac{s}{s^2 + \omega^2} + \frac{T^2\omega^3}{T^2\omega^2 + 1} \frac{1}{s^2 + \omega^2}$$

$$\therefore e_{ss}(t) = \frac{T\omega}{T^2\omega^2 + 1} \cos \omega t + \frac{T^2\omega^3}{T^2\omega^2 + 1} \sin \omega t$$

2. 系统类型

控制系统按积分环节数分类

$$G(s)H(s) = \frac{K \prod_{i=1}^m (\tau_i s + 1)}{s^v \prod_{j=1}^{n-v} (T_j s + 1)}$$



上式中 K 叫系统的开环增益(也叫系统的开环传递系数). v 为开环系统在 s 平面坐标原点上的极点个数, 因 $1/s$ 是理想积分环节的传递函数, 所以 v 也表示了系统的开环传递函数中串接的积分环节个数. 规定: $v=0$, 叫0型系统; $v=1$, 叫1型系统; $v=2$, 叫2型系统, 依此类推.

$$G(s)H(s) = \frac{K}{s^v} G_0(s)H_0(s) \quad G_0(s)H_0(s) = \frac{\prod_{i=1}^m (\tau_i s + 1)}{\prod_{j=1}^{n-v} (T_j s + 1)}$$

$$\begin{aligned}
 e_{ss} &= \lim_{s \rightarrow 0} sE(s) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{sR(s)}{1 + G(s)H(s)} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{sR(s)}{1 + \frac{K}{s^v} G_0(s)H_0(s)} \\
 &= \lim_{s \rightarrow 0} \frac{s^{v+1}R(s)}{s^v + KG_0(s)H_0(s)} = \frac{\lim_{s \rightarrow 0} s^{v+1}R(s)}{\lim_{s \rightarrow 0} s^v + K}
 \end{aligned}$$

由上式可见, e_{ss} 与系统的型号 \mathbf{v} 、开环增益 \mathbf{K} 及输入信号的形式及大小有关, 由于工程实际上的输入信号多为阶跃信号、斜坡信号(即等速度信号)、抛物线信号(即等加速度信号)或者为这三种信号的组合, 所以下面只讨论这三种信号作用下的稳态误差问题.

3. 阶跃输入下的静态位置误差系数 K_p

设 $r(t) = R \cdot 1(t)$ $R(s) = R/s$

则
$$e_{ss} = \lim_{s \rightarrow 0} sE(s) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{sR(s)}{1 + G(s)H(s)} = \frac{R}{1 + \lim_{s \rightarrow 0} G(s)H(s)}$$

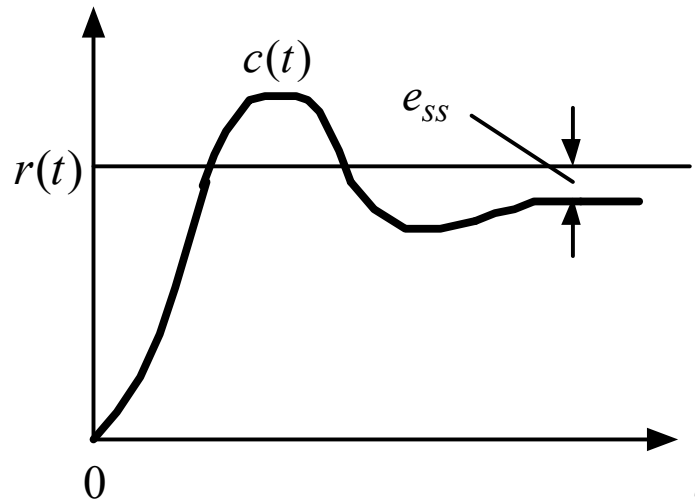
定义:
$$K_p = \lim_{s \rightarrow 0} G(s)H(s) \quad e_{ss} = \lim_{s \rightarrow 0} sE(s) = \frac{R}{1 + K_p}$$

因为

$$G(s)H(s) = \frac{K \prod_{i=1}^m (\tau_i s + 1)}{s^v \prod_{j=1}^{n-v} (T_j s + 1)}$$

所以

$$K_p = \begin{cases} K, & e_{ss} = R/(1+K), \quad v=0 \\ \infty, & e_{ss} = 0, \quad v \geq 1 \end{cases}$$



0型系统对阶跃信号的稳态误差为一定值， e_{ss} 大小基本上与开环放大系数 K 成反比， K 越大， e_{ss} 越小，但总有误差，除非 K 为无穷大。所以**0**型系统又称为有差系统。为了降低稳态误差 e_{ss} ，在稳定条件允许的前提下，可增大开环放大系数 K 。

4. 斜坡输入下的静态速度误差系数 K_v

设 $r(t) = Rt$ $R(s) = R/s^2$

则
$$e_{ss} = \lim_{s \rightarrow 0} sE(s) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{sR(s)}{1 + G(s)H(s)} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{R/s}{1 + G(s)H(s)}$$
$$= \lim_{s \rightarrow 0} \frac{R}{s + sG(s)H(s)} = \frac{R}{\lim_{s \rightarrow 0} sG(s)H(s)} = \frac{R}{K_v}$$

$$\because G(s)H(s) = \frac{K \prod_{i=1}^m (\tau_i s + 1)}{s^v \prod_{j=1}^{n-v} (T_j s + 1)} \quad \therefore K_v = \lim_{s \rightarrow 0} sG(s)H(s) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{K}{s^{v-1}}$$

$$K_v = \begin{cases} 0 \\ K \\ \infty \end{cases} \quad e_{ss} = \begin{cases} \infty, & v = 0 \\ R/K, & v = 1 \\ 0, & v \geq 2 \end{cases}$$

5. 加速度输入下的静态加速度误差系数**K_a**

设 $r(t) = Rt^2 / 2$, $R(s) = R / s^3$

则
$$e_{ss} = \lim_{s \rightarrow 0} sE(s) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{sR(s)}{1 + G(s)H(s)} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{R/s^2}{1 + G(s)H(s)}$$
$$= \lim_{s \rightarrow 0} \frac{R}{s^2 + s^2 G(s)H(s)} = \frac{R}{\lim_{s \rightarrow 0} s^2 G(s)H(s)} = \frac{R}{K_a}$$

$$\because G(s)H(s) = \frac{K \prod_{i=1}^m (\tau_i s + 1)}{s^v \prod_{j=1}^{n-v} (T_j s + 1)} \quad \therefore K_a = \lim_{s \rightarrow 0} s^2 G(s)H(s) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{K}{s^{v-2}}$$

$$K_a = \begin{cases} 0 \\ K \\ \infty \end{cases} \quad e_{ss} = \begin{cases} \infty, & v = 0, 1 \\ R/K, & v = 2 \\ 0, & v \geq 3 \end{cases}$$

三种输入状态下的稳态误差

• 系统型号	误差系数 K _p K _v K _a	单位阶跃 输入 $r(t) = u(t)$	单位速度 输入 $r(t) = t$	单位加速 度输入 $r(t) = \frac{1}{2}t^2$
• O	K 0 0	$\frac{1}{1+K}$	∞	∞
I	∞ K 0	0	$\frac{1}{K}$	∞
II	∞ ∞ K	0	0	$\frac{1}{K}$

1. 稳态误差与输入信号有关；与开环增益有关；与积分环节的个数有关。
2. 减小或消除稳态误差的方法：
 - a、增加开环放大系数K；
 - b、提高系统的型号数；

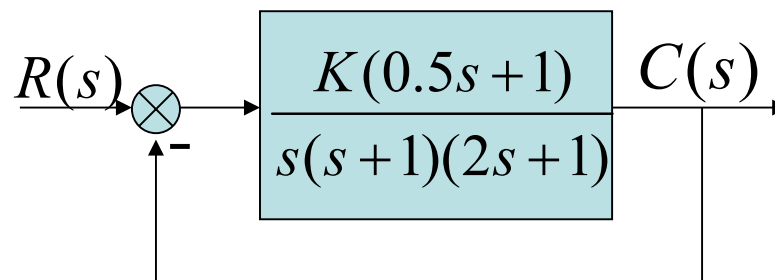
当系统的输入信号由位置，速度和加速度分量组成时，即

当 $r(t) = A + Bt + \frac{Ct^2}{2}$ 时，有
$$e_{ssr} = \frac{A}{1 + K_p} + \frac{B}{K_v} + \frac{C}{K_a}$$

小结：

- 1.只有稳定的系统才有稳态误差可谈，一个系统稳定，所有极点除原点可以有极点外(1/s的项，拉氏反变换是一个常数，不影响稳定，此种情况称为随遇稳定)都在s平面的左半开平面.
- 2.给定作用下的稳态误差与外作用有关。对同一系统加入不同的输入，稳态误差不同。
- 3.与时间常数形式的开环增益有关；对有差系统， $K \uparrow$ ，稳态误差 \downarrow ，但同时系统的稳定性和动态特性变差。
- 4.与积分环节的个数有关。积分环节的个数 \uparrow ，稳态误差 \downarrow ，但同时系统的稳定性和动态特性变差。

例1 系统结构图如图所示，当输入信号为单位斜坡函数时，求系统在斜坡输入信号作用下的稳态误差；调整K值能使稳态误差小于0.1吗？



解：只有稳定的系统计算稳态误差才有意义；所以先判稳
系统特征方程为 $2s^3 + 3s^2 + (1 + 0.5K)s + K = 0$

由劳斯判据知稳定的条件为： $0 < K < 6$

$$\Phi_E(s) = \frac{E(s)}{R(s)} = \frac{1}{1+G} = \frac{s(s+1)(2s+1)}{s(s+1)(2s+1) + K(0.5s+1)}$$

$$R(s) = \frac{1}{s^2} \quad E(s) = \frac{s(s+1)(2s+1)}{s(s+1)(2s+1) + K(0.5s+1)} \cdot \frac{1}{s^2}$$

$$e_{ss} = \lim_{s \rightarrow 0} sE(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{s(s+1)(2s+1)}{s(s+1)(2s+1) + K(0.5s+1)} \cdot \frac{1}{s^2} = \frac{1}{K}$$

由稳定的条件知： $e_{ss} > \frac{1}{6}$ 不能满足 $e_{ss} < 0.1$ 的要求

例2: 单位反馈控制系统的开环传递函数分别为 $\frac{10}{s(s+4)}$ 及 $\frac{10(s+1)}{s^2(s+4)}$, 求 $r(t) = 4(t) + 6t + 3t^2$ 时的 e_{ss}

解: 当开环传递函数为 $\frac{10}{s(s+4)}$ 时系统为1型, 对于 $r(t)$

中 $3t^2$ 的输入分量的静态加速度误差系数 $K_a = 0$

所以 $e_{ss} = \infty$

当开环传递函数为 $\frac{10(s+1)}{s^2(s+4)}$ 时系统为2型, 对于 $r(t)$

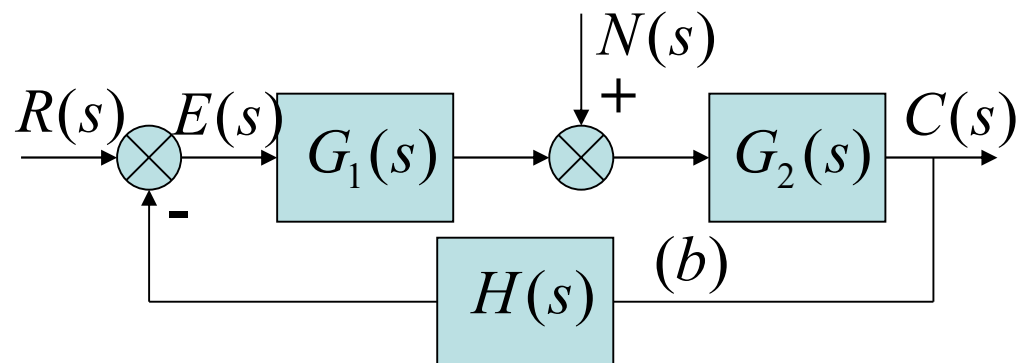
中 $4(t)$ 和 $6t$ 输入分量的静态位置误差系数 K_p 和静态速度误差系数 K_v 均为无穷大, 对应的稳态误差值为0

而对于 $r(t)$ 中 $3t^2$ 的输入分量的静态加速度误差系数

$K_a = 10/4 = 2.5$, 所以 $e_{ss} = 3/K_a = 6/2.5 = 2.4$

注意: 开环传函要化成: $GH = \frac{K \prod (\tau_i s + 1)}{s^v \prod (T_j s + 1)}$ 的形式

6、扰动输入作用下系统的稳态误差



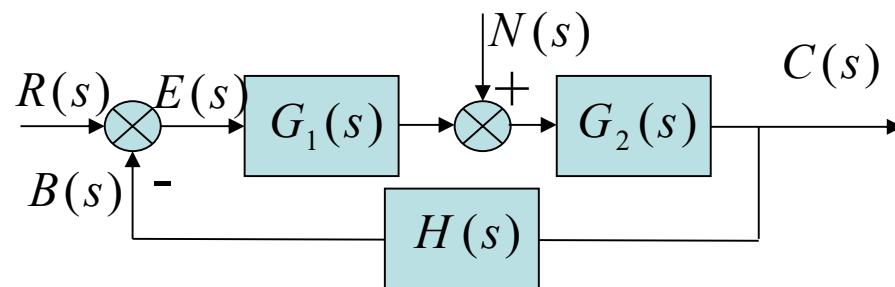
通常，给定输入作用产生的误差为系统的**给定误差**

($E=R-HC$)，扰动作用产生的误差为**扰动误差**。认为扰动输入时系统的理想输出为零，故从输出端的误差信号为：

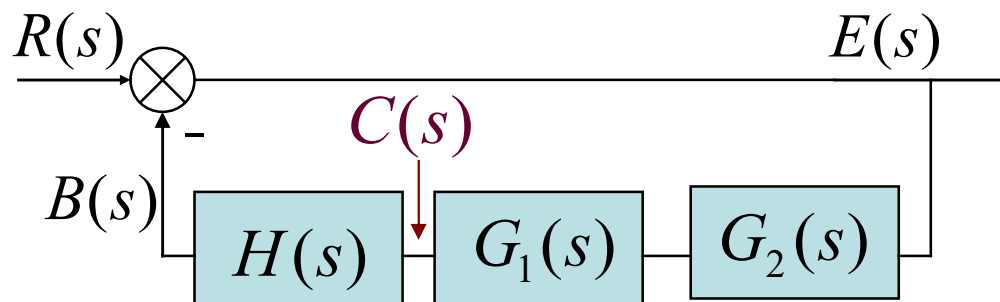
$$E_n = C_{\text{理想}} - C_{\text{实际}} = -C_{\text{实际}} = -C_n = -\frac{G_2}{1 + G_1 G_2 H} N(s)$$

$$\therefore e_{ssn} = \lim_{t \rightarrow \infty} e_n(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s E_n(s) = -\lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \frac{G_2}{1 + G_1 G_2 H} N(s)$$

小结：稳态误差的计算

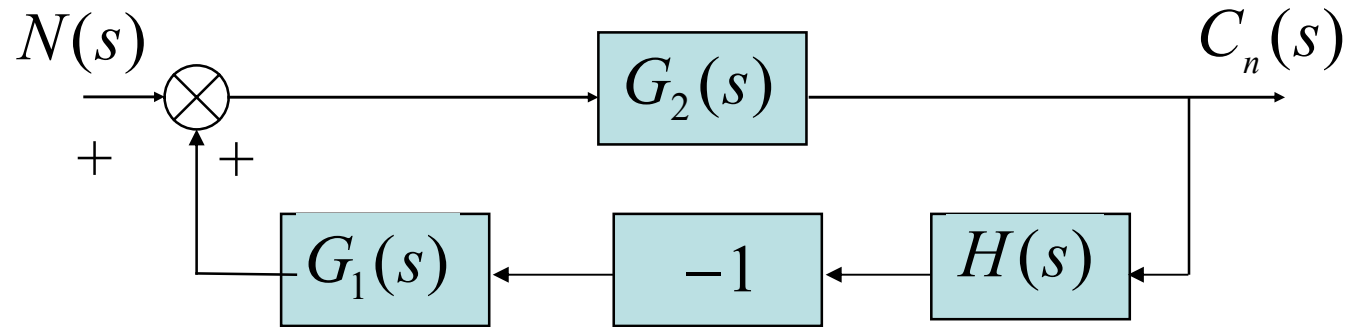


① 给定作用下的误差传递函数



$$\Phi_E(s) = \frac{E(s)}{R(s)} = \frac{1}{1 + G_1(s)G_2(s)H(s)}$$

② 扰动作用下的偏差传递函数



$$\Phi_{NE}(s) = \frac{E_n(s)}{N(s)} = \frac{C_n(s)}{N(s)} = -\frac{G_2(s)}{1 + G_1(s)G_2(s)H(s)}$$

③ 给定和扰动同时作用下的偏差表达式

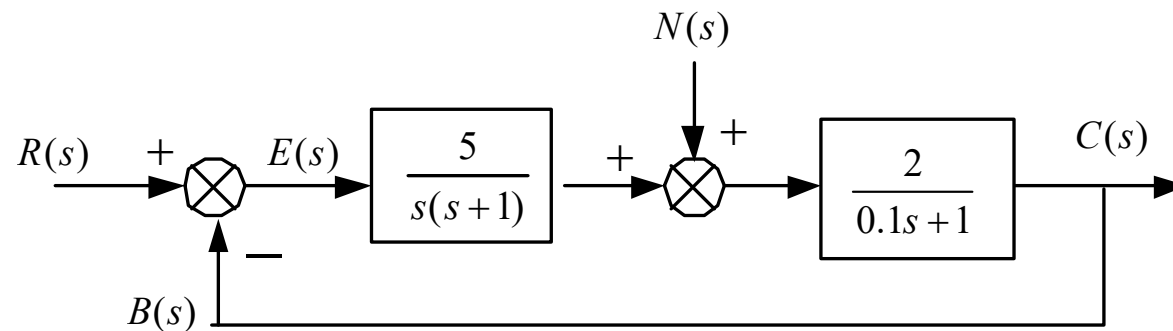
$$\begin{aligned} E(s) &= \Phi_E(s)R(s) + \Phi_{NE}(s)N(s) \\ &= \frac{R(s)}{1 + G_1(s)G_2(s)H(s)} + \frac{-G_2(s)N(s)}{1 + G_1(s)G_2(s)H(s)} \end{aligned}$$

④ 对稳定的系统，可利用拉氏变换的终值定理计算稳态误差

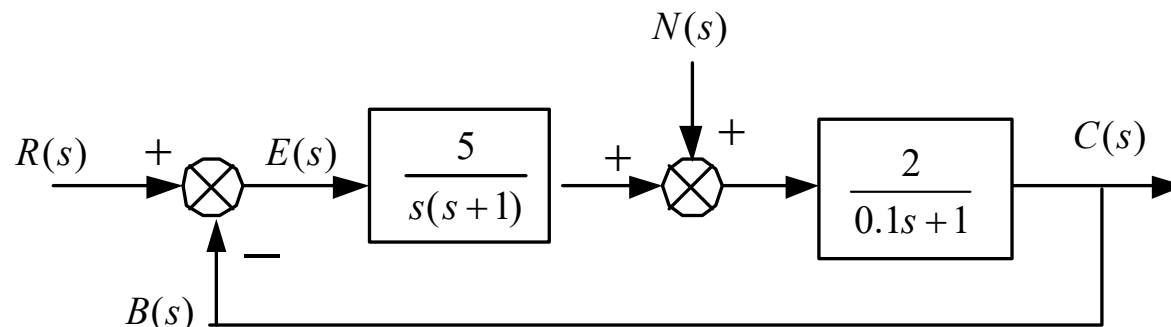
$$e_{ss} = \lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = \lim_{s \rightarrow 0} sE(s) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{sR(s)}{1 + G_1(s)G_2(s)H(s)} + \lim_{s \rightarrow 0} \frac{-sG_2(s)N(s)}{1 + G_1(s)G_2(s)H(s)}$$

只有稳定的系统，才可计算稳态误差。

例1：如下系统，求 $r(t)=n(t)=t$ 时的 e_{ss}



例1：如下系统，求 $r(t)=n(t)=t$ 时的 e_{ss}



解：

(1) 控制信号作用（令 $N(s)=0$ ）

$$\frac{E(s)}{R(s)} = \frac{1}{1 + G(s)} = \frac{s(0.1s + 1)(s + 1)}{s(0.1s + 1)(s + 1) + 10}$$

$$e_{ssn} = \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{s(0.1s + 1)(s + 1)}{s(0.1s + 1)(s + 1) + 10} \bullet \frac{1}{s^2} = 0.1$$

改错：应该是 e_{ssr}

(2) 扰动信号作用 (令 $R(s)=0$)

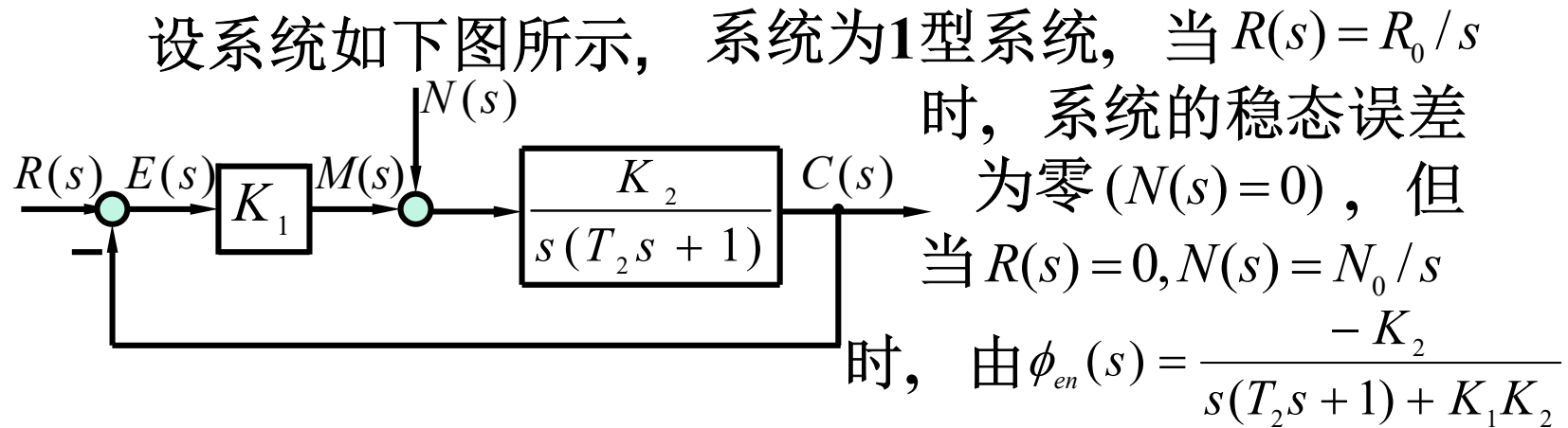
$$\frac{C(s)}{N(s)} = \frac{-\frac{2}{0.1s+1}}{1 + \frac{5}{s(s+1)} \bullet \frac{2}{0.1s+1}}$$

$$e_{ssn} = \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{-\frac{2}{0.1s+1}}{1 + \frac{5}{s(s+1)} \bullet \frac{2}{0.1s+1}} \bullet \frac{1}{s^2} = -0.2$$

系统总误差:

$$e_{ss} = e_{ssr} + e_{ssn} = 0.1 - 0.2 = -0.1$$

例3-13



得

$$e_{ssn} = \lim_{s \rightarrow 0} s E_n(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{-K_2}{s(T_2s + 1) + K_1K_2} \frac{N_0}{s} = \frac{-N_0}{K_1} \neq 0$$

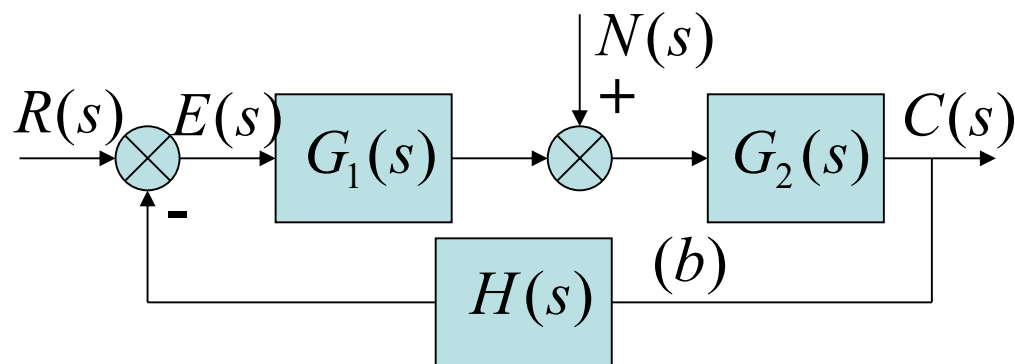
由上面计算可见，系统虽为1型，但在阶跃干扰信号作用下的稳态误差并不为零。为克服干扰对控制精度的影响，可增大 K_1 的值。此外，单靠调整系统本身的参数不能同时满足各项性能的要求。改进的方法是须对系统增加一些装置。

- 7.减小或消除稳态误差的措施

(1) 增大系统开环增益可减少系统对输入信号的稳态误差；

增大扰动点之前系统的前向通道增益可减少系统对阶跃扰动的稳态误差。

(2) 在系统的前向通道或主反馈通道加串联积分环节



a. **H**中不含**s**分量。 设 $G_1 = \frac{M_1}{s^{v_1} N_1}$ $G_2 = \frac{M_2}{s^{v_2} N_2}$ $H = \frac{H_1}{H_2}$

则系统对输入信号的误差传递函数为：

$$\Phi_e = \frac{E(s)}{R(s)} = \frac{1}{1 + G_1 G_2 H} = \frac{s^v N_1 N_2 H_2}{s^v N_1 N_2 H_2 + M_1 M_2 H_1}$$

式中 **v=v1+v2**

$$\Phi_e = \frac{E(s)}{R(s)} = \frac{1}{1 + G_1 G_2 H} = \frac{s^v N_1 N_2 H_2}{s^v N_1 N_2 H_2 + M_1 M_2 H_1}$$

因为 $E(s) = R(s)\Phi_e$

$$R(s) = \frac{R}{s^n} \quad n=1,2,3, \text{ 分别为位移、速度和加速度输入}$$

$$\therefore e_{ss} = \lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = \lim_{s \rightarrow 0} sE(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot R(s)\Phi_e$$

R(S)分母中的**s**与分子的**s**相消后再与 Φ_e 分子中的**s**相消，
如分子上还有**s**，则稳态误差一定为零。

$$\Phi_e = \frac{E(s)}{R(s)} = \frac{1}{1 + G_1 G_2 H} = \frac{s^v N_1 N_2 H_2}{s^v N_1 N_2 H_2 + M_1 M_2 H_1}$$

$$\therefore e_{ss} = \lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = \lim_{s \rightarrow 0} sE(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot R(s) \Phi$$

因此下面结论成立：

1) 传递函数分子中零点的个数**v**正好就是系统前向通道中积分环节的个数，也就是系统的型别。

2) 如果系统输入信号为 $r(t) = A(t) + Bt + Ct^2$
只要在前向通道中设置**(2+1=)3**个积分环节即可（输入信号的最高次项**+1**）

b.H中含有积分环节，前向通道情况与上同，则 $H = \frac{H_1}{s^{v_3} H_2}$
 系统对扰动作用的误差传函为：

$$\Phi_{en} = \frac{E_n(s)}{N(s)} = \frac{-G_2}{1 + G_1 G_2 H} = \frac{-s^{v_1+v_3} M_2 N_1 H_2}{s^v N_1 N_2 H_2 + M_1 M_2 H_1}$$

式中 **$v=v_1+v_2+v_3$**

$$\therefore e_{ssn} = \lim_{t \rightarrow \infty} e_n(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s E_n(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot N(s) \Phi_{en}$$

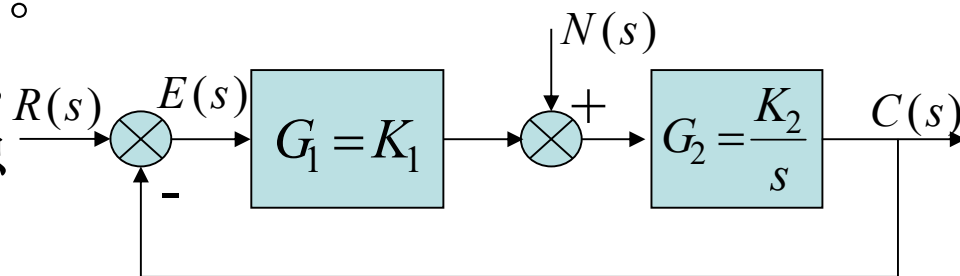
因此下面结论成立：

1) 扰动作用点之前的前向通道积分环节数 **v_1** 与主反馈通道积分环节数 **v_3** 之和 **(v_1+v_3)** 正好就是系统对扰动作用的型别，与扰动作用点之后前向通道积分环节个数无关。

2) 如果系统扰动输入信号为 $n(t) = A(t) + Bt + Ct^2$

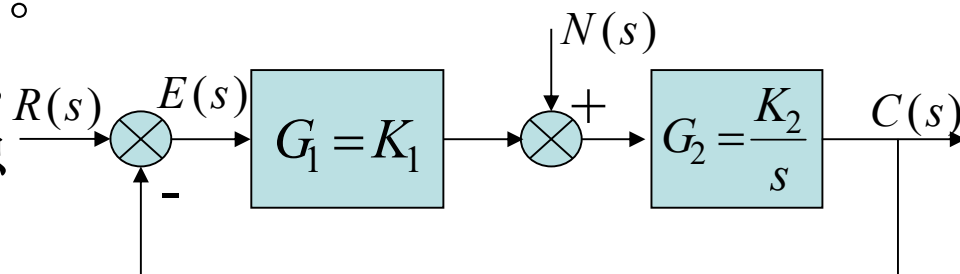
只要在扰动点作用前的前向通道中或是主反馈通道中设置 **$(2+1=)$ 3**个积分环节即可（扰动输入信号的最高次项**+1**）

[例1]: 系统结构图如图所示。
当 $r(t) = n(t) = 1(t)$ 时, 求系统的稳态误差 e_{ss} ; 若要求稳态误差为零, 如何改变系统结构。



[例1]: 系统结构图如图所示。

当 $r(t) = n(t) = 1(t)$ 时, 求系统的稳态误差 e_{ss} ; 若要求稳态误差为零, 如何改变系统结构。



解: 该系统对给定输入而言属于I型系统。所以当给定输入为单位阶跃函数时的稳态误差 $e_{ssr} = 0$

但该系统所以对于扰动输入为单位阶跃函数时的稳态误差 e_{ssn} 并不等于零。根据前面的分析知, 稳态误差与 G_1 中的增益和积分环节的个数有关。此时因 G_1 无积分环节, 所以

$$e_{ssn} = -1/K_1$$

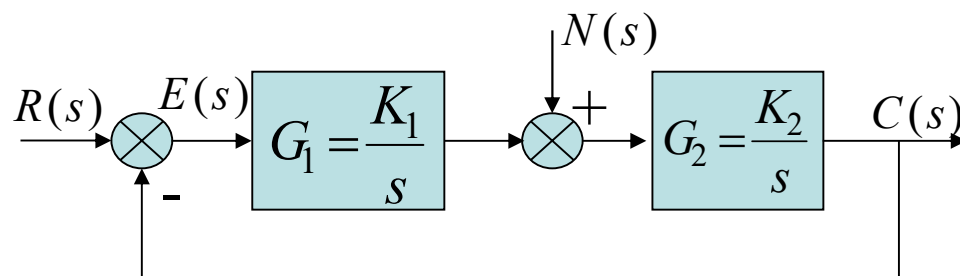
也可这样求

$$e_{ssn} = \lim_{s \rightarrow 0} s \Phi_{NE} \frac{1}{s} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{-K_2}{s + K_1 K_2} = -\frac{1}{K_1}$$

$$e_{ss} = e_{ssr} + e_{ssn} = -1/K_1$$

若想使稳态误差为零，则要求 G_1 中有积分环节，令

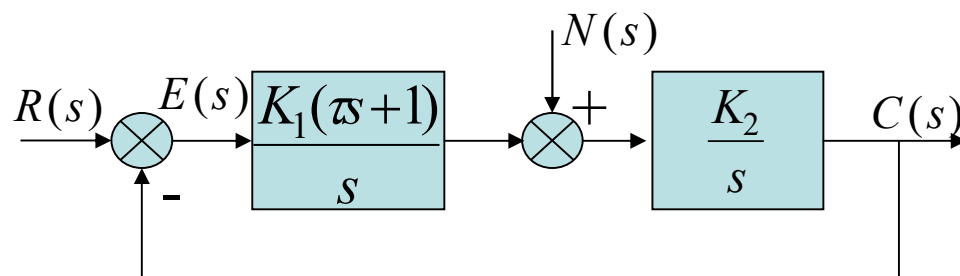
$$G_1 = \frac{K_1}{s}$$



此时
$$e_{ssn} = \lim_{s \rightarrow 0} s \Phi_{NE} \frac{1}{s} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{-K_2 s}{s^2 + K_1 K_2} = 0$$

但此时系统的稳定性遭到破坏，可能成为不稳定系统。若要使系统稳定，还必须在原 G_1 中引入比例+微分环节

$$G_1 = \frac{K_1(\tau s + 1)}{s}$$



$$\Phi_{NE} = \frac{s K_2}{s^2 + K_1 K_2 \tau s + K_1 K_2}$$

当 $K_1 > 0$, $K_2 > 0$, $\tau > 0$ 时系统稳定

七、减小或消除稳态误差措施

- ❑ 为了减少给定误差，可以增加前向通道上的积分环节个数或增大系统的开环放大系数。
- ❑ 为了减小扰动误差，可以增加偏差点到扰动作用点之间积分环节个数或放大系数，或者增加主反馈回路积分环节。
- ❑ 放大系数不能任意放大，积分环节也不能太多（一般2个），否则系统将会不稳定。
- ❑ 采用校正措施：采用串级控制或者复合控制 自学

小结

- 系统误差、稳态误差的定义

- 给定输入值作用下系统的误差分析

 - 系统的型

 - 位置误差系数，速度误差系数，加速度误差系数

- 扰动输入作用下系统的误差分析

- 给定输入和扰动作用同时存在系统的误差分析

 - 系统的总稳态误差等于给定误差和扰动误差的迭加（误差点定义在同一点）