دانشگاه سمنان

دانشکده مهندسی مکانیک

Semnan University
Faculty of Mechanical Engineering

دانشکده مهندسی مکانیک

درس کنترل اتوماتیک

AUTOMATIC CONTROL

تحلیل پاسخ گذرا و ماندگار سیستم های کنترلی

❑ فهرست مطالب

- مقدمه ای بر سیستم های کنترل
- مدلسازی و نمایش سیستم های دینامیکی و کنترلی
- پایداری سیستم های کنترلی
- روش مکان هندسی ریشه ها
- **تحلیل پاسخ گذرا و ماندگار سیستم های کنترلی**
- روش های تحلیل پاسخ فرکانسی
- طراحی سیستم های کنترل

پاسخ زمانی سیستم های کنترل

- پاسخ زمانی یک سیستم، نشان دهنده تغییرات متغیرهای حالت و رفتار آن است.
- این پاسخ، به نوعی بیانگر اتفاقاتی است که در سیستم رخ می دهد.
- پارامترهای عملکردی مختلفی برای بررسی پاسخ سیستم تعریف می گردد.
  - نظیر سرعت پاسخ، مقدار خطا، مقدار جهش و ...
- می توان رفتار سیستم را در شرایط گوناگونی مورد بررسی قرار داد.
- علاوه بر ورودی اعمال شده، شرایط اولیه سیستم و ذات دینامیکی آن نیز بر پاسخ زمانی تاثیرگذار است.

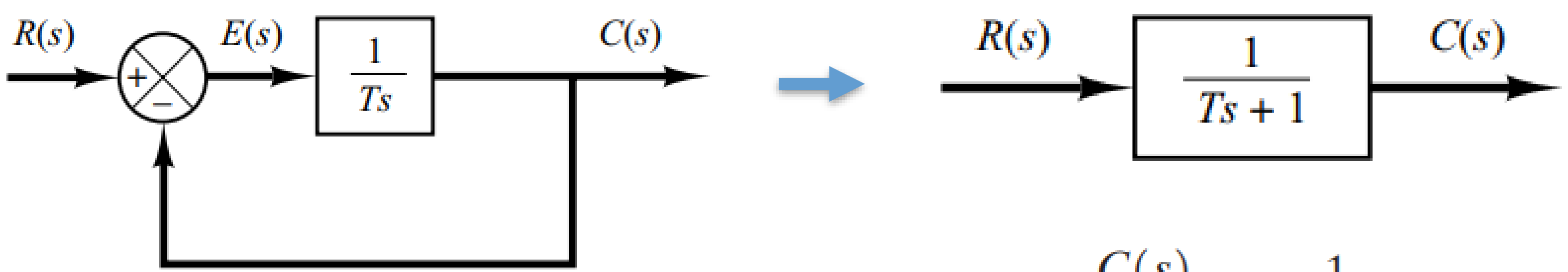
پاسخ زمانی سیستم های کنترل

- به صورت کلی، سیستم های دینامیکی زیر مورد بررسی قرار می گیرند:
  - سیستم مرتبه اول
  - سیستم مرتبه دوم
  - سیستم های مرتبه بالاتر
    - ✓ مرتبه سیستم با توجه به بزرگترین توان s در مخرج آن تعیین می شود.

- برای استاندارد کردن شرایط، رفتار سیستم در مقابل اعمال بعضی ورودی های خاص کاربرد زیادی دارد:
  - ورودی پله (Step Input)
  - ورودی شیب (Ramp Input)
  - ورودی ضربه (Impulse Input)
    - ✓ علاوه بر این، می توان رفتار سیستم را در مقابل هر ورودی و شرایط اولیه دلخواه بررسی نمود. ولی این موارد از اهمیت بیشتری برخوردارند.

پاسخ زمانی سیستم های کنترل

- سیستم مرتبه اول
  - یادآوری تفاوت تابع تبدیل مدار باز و مدار بسته ...
  - سیستم مرتبه اول:
    - ✓ انتگرال گیر



$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{1}{Ts + 1}$$

پاسخ زمانی سیستم های کنترل

- سیستم مرتبه اول
  - پاسخ در مقابل ورودی پله

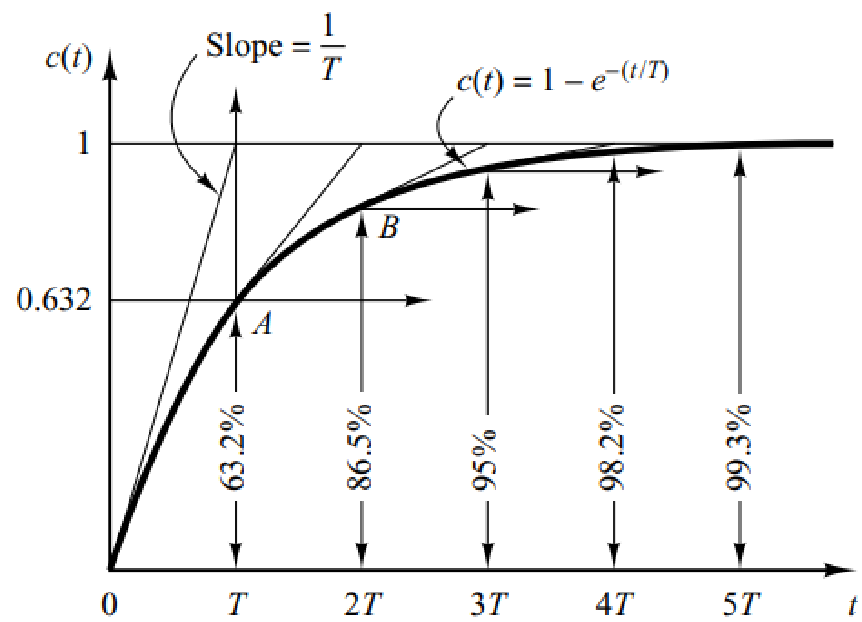
$$C(s) = \frac{1}{Ts+1}\frac{1}{s}$$

$$\Rightarrow C(s) = \frac{1}{s} - \frac{T}{Ts+1} = \frac{1}{s} - \frac{1}{s+(1/T)}$$

$$\Rightarrow c(t) = 1 - e^{-t/T}$$

$$c(T) = 1 - e^{-1} = 0.632$$

$$\left.\frac{dc}{dt}\right|_{t=0} = \left.\frac{1}{T}e^{-t/T}\right|_{t=0} = \frac{1}{T}$$



پاسخ زمانی سیستم های کنترل

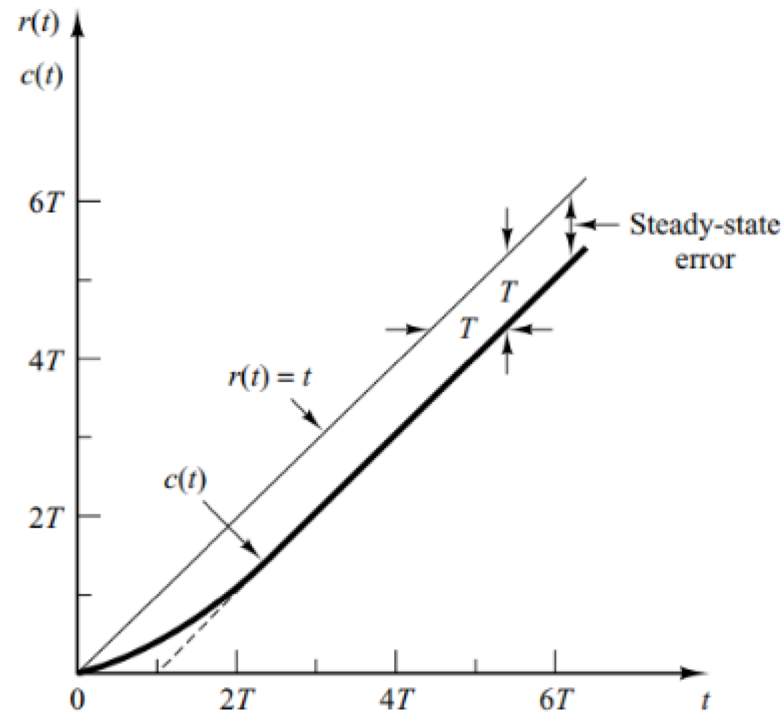
- سیستم مرتبه اول
  - پاسخ در مقابل ورودی شیب

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

$$\Rightarrow C(s) = \frac{1}{s^2} - \frac{T}{s} + \frac{T^2}{Ts+1}$$

$$\Rightarrow c(t) = t - T + Te^{-t/T}$$

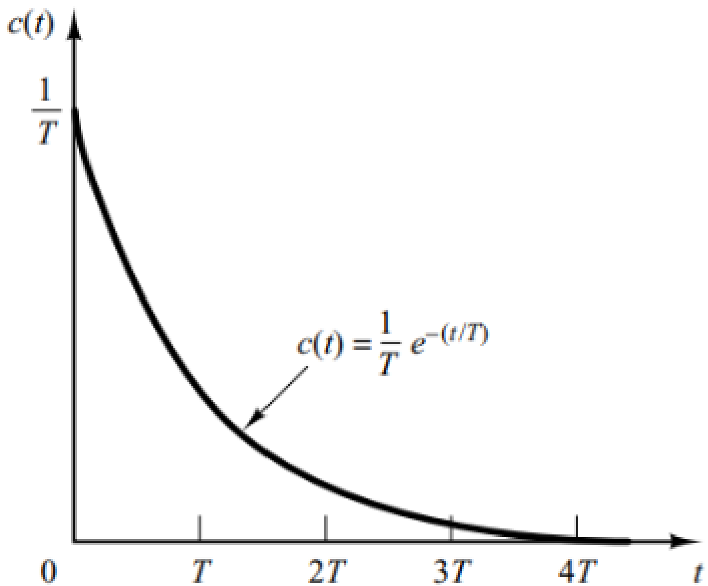
$$e(t) = r(t) - c(t) = T\left(1 - e^{-t/T}\right) \Rightarrow e(\infty) = T$$



پاسخ زمانی سیستم های کنترل

- سیستم مرتبه اول
  - پاسخ در مقابل ورودی ضربه

$$R(s) = 1 \rightarrow C(s) = \frac{1}{Ts+1} \rightarrow c(t) = \frac{1}{T}e^{-t/T}$$



- مقایسه پاسخ ها:
  - ✓ رابطه مشتق انتگرال

$$c(t) = t - T + Te^{-t/T}$$

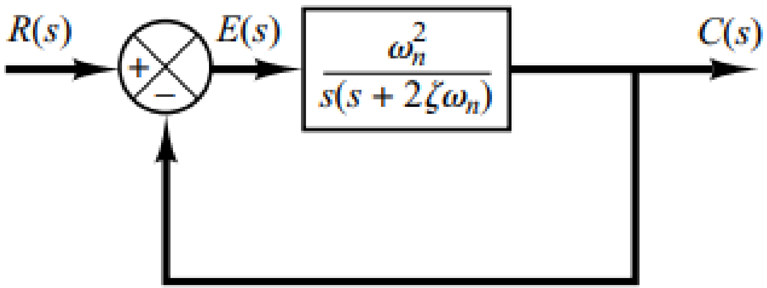
$$c(t) = 1 - e^{-t/T}$$

$$c(t) = \frac{1}{T}e^{-t/T}$$

پاسخ زمانی سیستم های کنترل

- سیستم مرتبه دوم
  - ✓ با توجه به ریشه های معادله مشخصه، رفتار سیستم متفاوت خواهد بود.

- تابع تبدیل مدار باز و مدار بسته
- سیستم مرتبه دوم:



$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$$

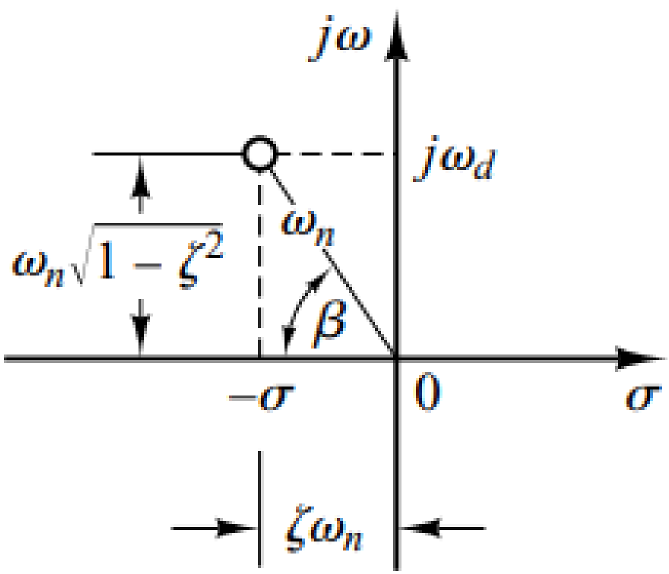
- ریشه های معادله:

$$\rightarrow \quad \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{\omega_n^2}{(s + \zeta\omega_n + j\omega_d)(s + \zeta\omega_n - j\omega_d)}$$

پاسخ زمانی سیستم های کنترل

- سیستم مرتبه دوم

❖ رابطه مکان قطب ها و ضریب میرایی و فرکانس طبیعی نامیرا و میرا:



$$\omega_d = \omega_n\sqrt{1-\zeta^2}$$

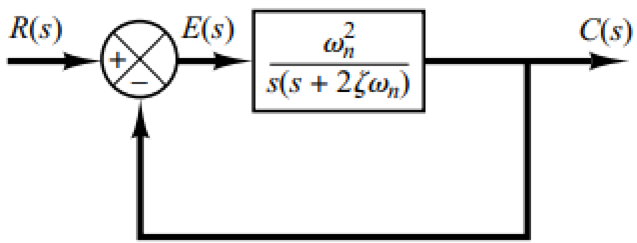
$$\zeta\omega_n = \sigma$$

$$\rightarrow \quad s_1 = (\zeta + \sqrt{\zeta^2 - 1})\omega_n$$

$$s_2 = (\zeta - \sqrt{\zeta^2 - 1})\omega_n$$

پاسخ زمانی سیستم های کنترل

- سیستم مرتبه دوم
  - پاسخ در برابر ورودی پله:



$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$$

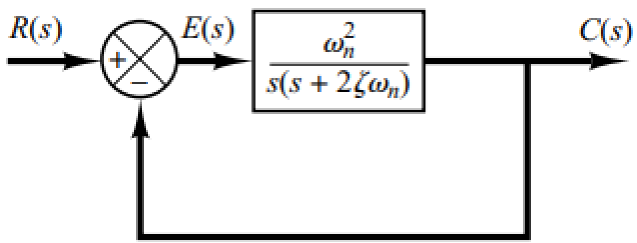
(1) *Underdamped case* $(0 < \zeta < 1)$

$$c(t) = 1 - e^{-\zeta\omega_n t}\left(\cos\omega_d t + \frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}\sin\omega_d t\right) = 1 - \frac{e^{-\zeta\omega_n t}}{\sqrt{1-\zeta^2}}\sin\left(\omega_d t + \tan^{-1}\frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta}\right)$$

$$e(t) = r(t) - c(t) = e^{-\zeta\omega_n t}\left(\cos\omega_d t + \frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}\sin\omega_d t\right)$$

پاسخ زمانی سیستم های کنترل

- ❑ سیستم مرتبه دوم
  - ❖ پاسخ در برابر ورودی پله:



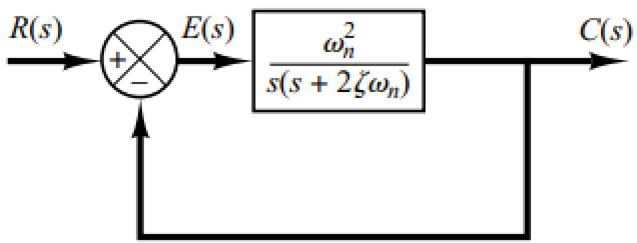
$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$$

(2) *Critically damped case* ($\zeta = 1$)

$$C(s) = \frac{\omega_n^2}{(s+\omega_n)^2 s} \rightarrow c(t) = 1 - e^{-\omega_n t}(1 + \omega_n t),$$

پاسخ زمانی سیستم های کنترل

- سیستم مرتبه دوم
  - پاسخ در برابر ورودی پله:



$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$$

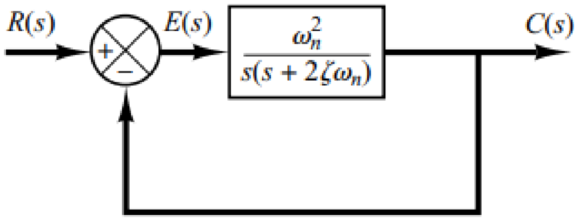
(3) *Overdamped case* ($\zeta > 1$)

$$C(s) = \frac{\omega_n^2}{\left(s + \zeta\omega_n + \omega_n\sqrt{\zeta^2 - 1}\right)\left(s + \zeta\omega_n - \omega_n\sqrt{\zeta^2 - 1}\right)s}$$

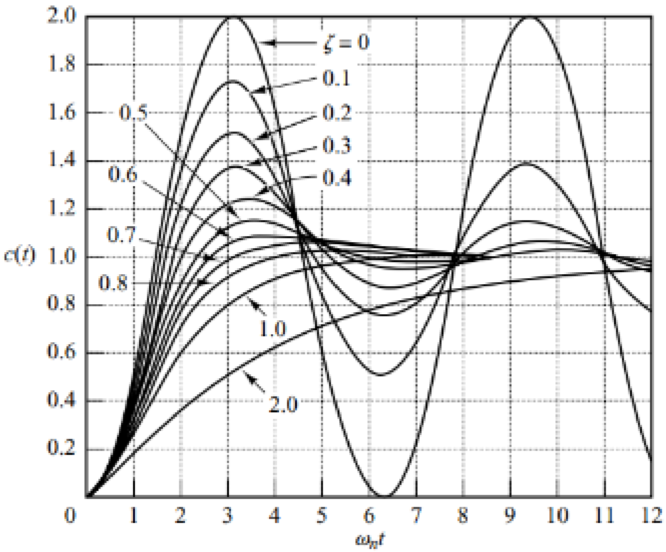
$$c(t) = 1 + \frac{\omega_n}{2\sqrt{\zeta^2 - 1}}\left(\frac{e^{-s_1 t}}{s_1} - \frac{e^{-s_2 t}}{s_2}\right)$$

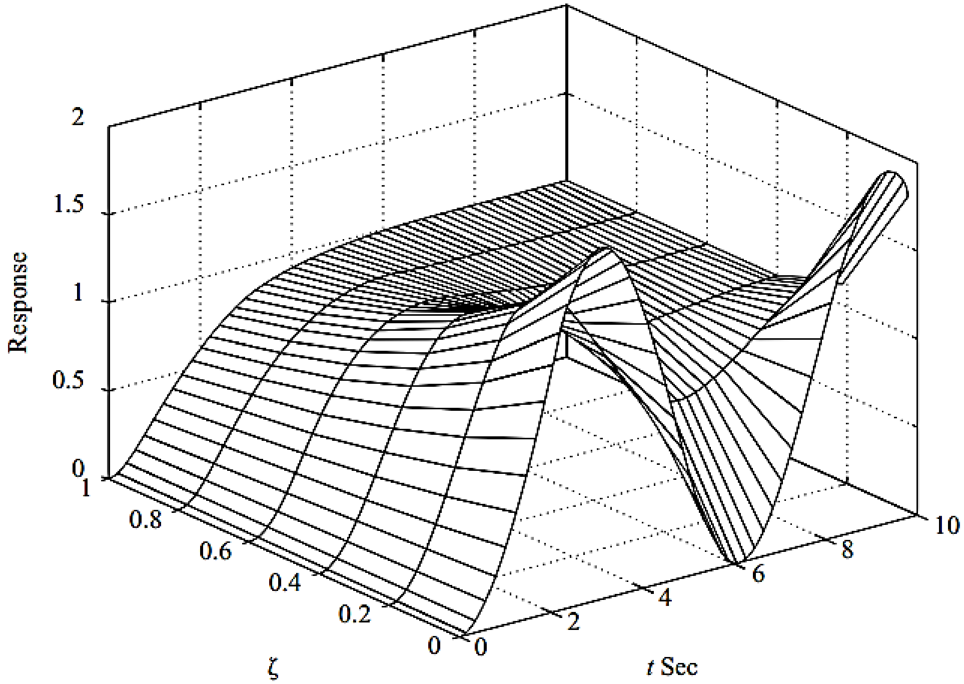
پاسخ زمانی سیستم های کنترل

- سیستم مرتبه دوم
  - اثر ضریب میرایی بر روی پاسخ



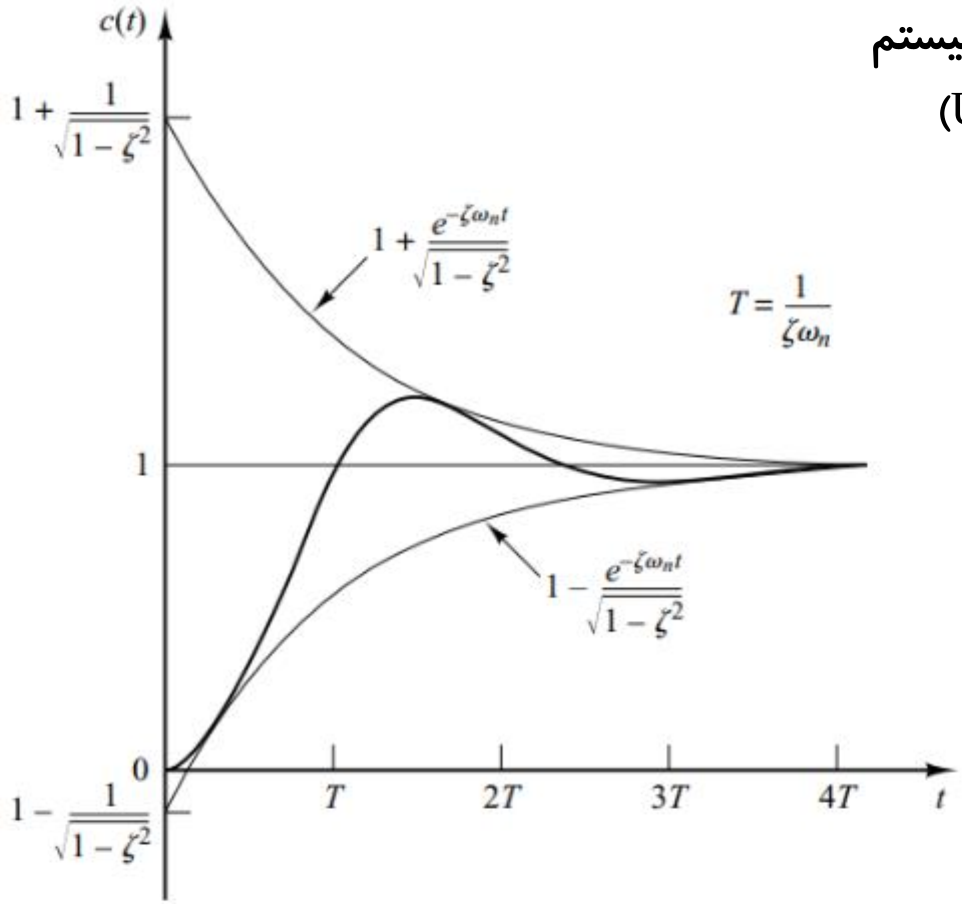
$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$$





پاسخ زمانی سیستم های کنترل

- سیستم مرتبه دوم
  - منحنی های پوش پاسخ سیستم (در حالت Underdamped)



پاسخ زمانی سیستم های کنترل

- سیستم های مرتبه دو
  - پاسخ در مقابل ورودی ضربه

$$R(s) = 1 \Rightarrow C(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$$

For $0 \le \zeta < 1$,

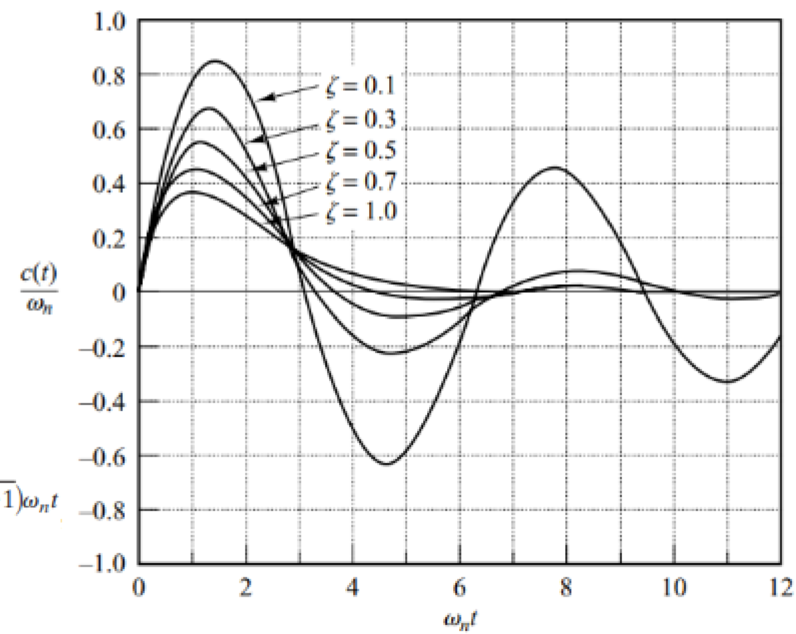
$$c(t) = \frac{\omega_n}{\sqrt{1-\zeta^2}} e^{-\zeta\omega_n t} \sin \omega_n \sqrt{1-\zeta^2}\, t$$

For $\zeta = 1$,

$$c(t) = \omega_n^2 t e^{-\omega_n t}$$

For $\zeta > 1$,

$$c(t) = \frac{\omega_n}{2\sqrt{\zeta^2-1}} e^{-(\zeta - \sqrt{\zeta^2-1})\omega_n t} - \frac{\omega_n}{2\sqrt{\zeta^2-1}} e^{-(\zeta + \sqrt{\zeta^2-1})\omega_n t}$$



پاسخ زمانی سیستم های کنترل

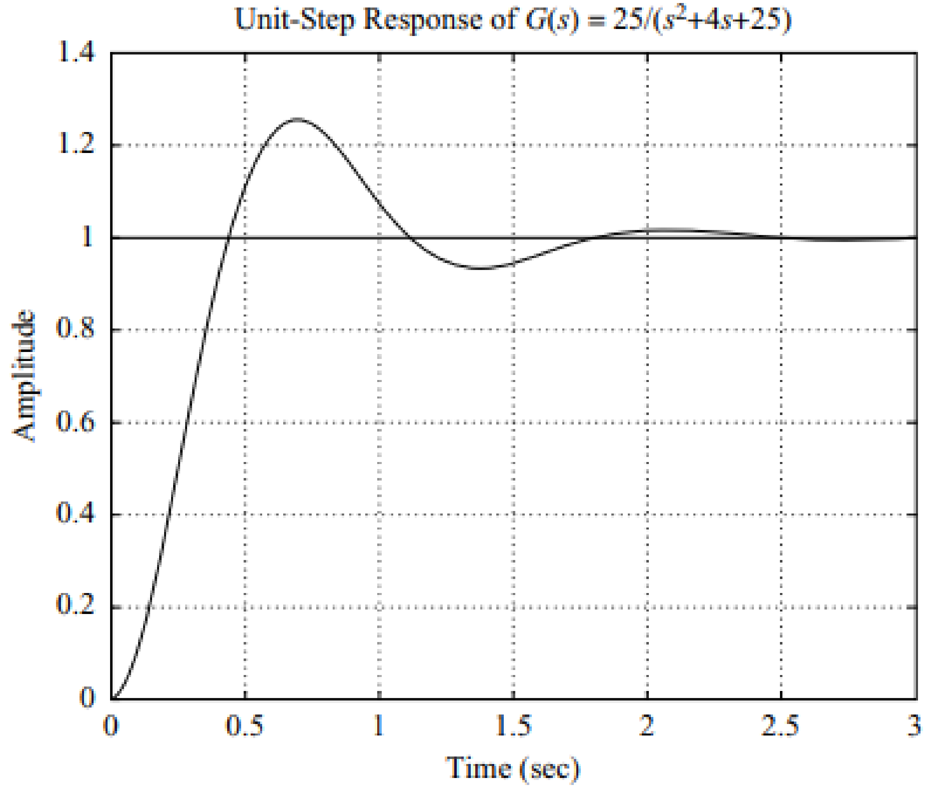
- سیستم های مرتبه دو
  - پاسخ در مقابل ورودی پله

MATLAB Program 5–3

```
wn = 5;
damping_ratio = 0.4;
[num0,den] = ord2(wn,damping_ratio);
num = 5^2*num0;
printsys(num,den,'s')
num/den =

              25
        ---------------
        S^2 + 4s + 25
```

MATLAB Program 5–4

```
% ------------- Unit-step response -------------

% ***** Enter the numerator and denominator of the transfer
% function *****

num = [25];
 den = [1  4  25];

% ***** Enter the following step-response command *****

step(num,den)

% ***** Enter grid and title of the plot *****

grid
title (' Unit-Step Response of G(s) = 25/(s^2+4s+25)')
```

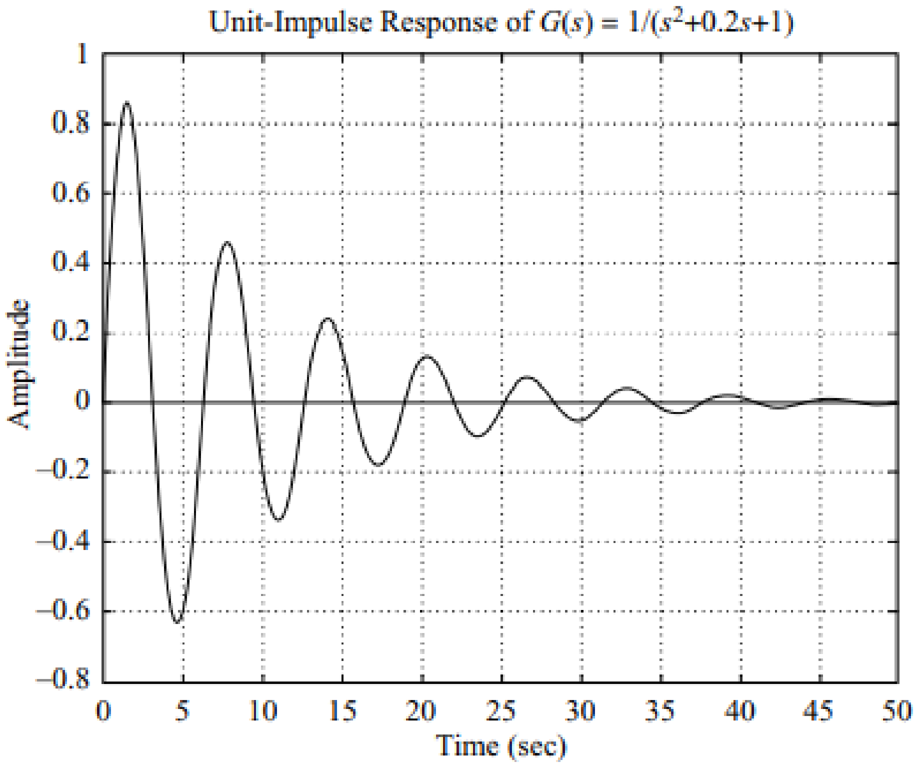


پاسخ زمانی سیستم های کنترل

- سیستم های مرتبه دو
  - پاسخ در مقابل ورودی ضربه

MATLAB Program 5–8

```
num = [1];
den = [1  0.2  1];
impulse(num,den);
grid
title('Unit-Impulse Response of G(s) = 1/(s^2 + 0.2s + 1)')
```

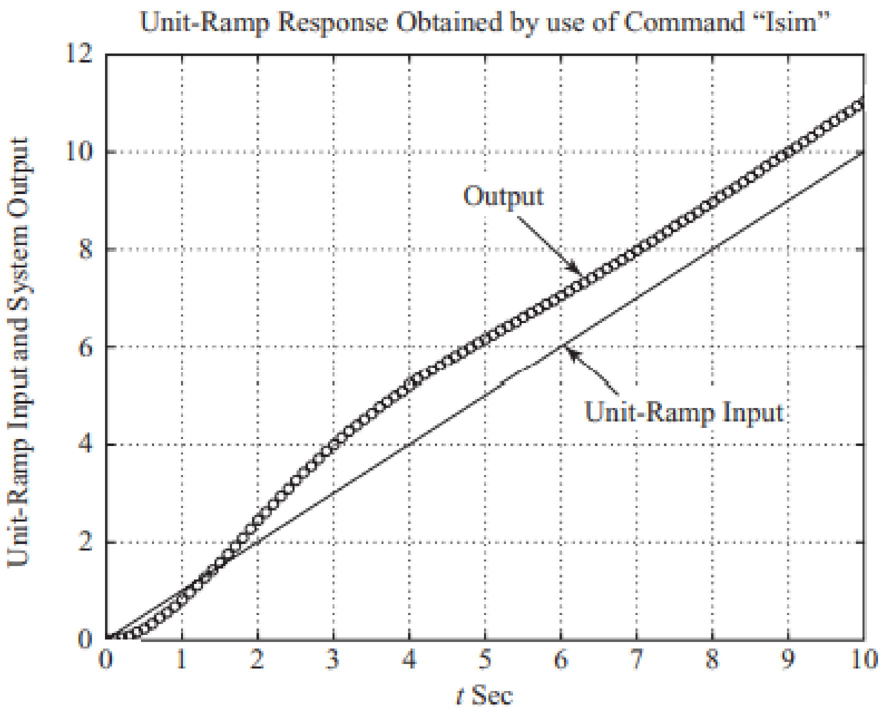


پاسخ زمانی سیستم های کنترل

- سیستم های مرتبه دو
  - پاسخ در مقابل ورودی شیب

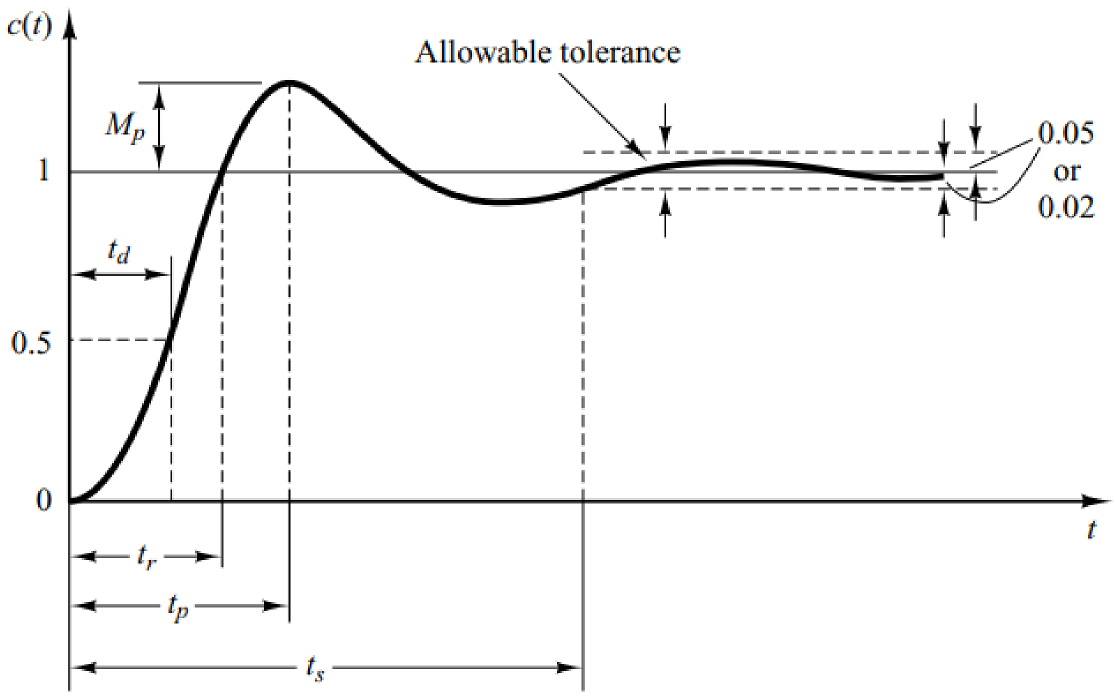
MATLAB Program 5–12

```
% ------- Ramp Response -------
num = [2  1];
 den = [1  1  1];
t = 0:0.1:10;
r = t;
y = lsim(num,den,r,t);
plot(t,r,'-',t,y,'o')
grid
title('Unit-Ramp Response Obtained by Use of Command "lsim"')
xlabel('t Sec')
ylabel('Unit-Ramp Input and System Output')
text(6.3,4.6,'Unit-Ramp Input')
text(4.75,9.0,'Output')
```



پاسخ زمانی سیستم های کنترل

- **مشخصات رفتار گذرا** (برای سیستم Underdamped)
  - ✓ **زمان تاخیر**
    Delay time, t_d
  - ✓ **زمان خیزش**
    Rise time, t_r
  - ✓ **زمان رسیدن به ماکزیمم**
    Peak time, t_p
  - ✓ **بیشترین مقدار افزایش**
    Maximum overshoot, M_p
  - ✓ **زمان نشست**
    Settling time, t_s



پاسخ زمانی سیستم های کنترل

- مشخصات رفتار گذرا
  - زمان تاخیر:
    - زمان اولین رسیدن به نصف مقدار نهایی

$$t_r = \frac{1}{\omega_d}\tan^{-1}\left(\frac{\omega_d}{-\sigma}\right) = \frac{\pi - \beta}{\omega_d}$$

  - زمان خیزش:
    - زمان افزایش از ۱۰ به ۹۰ درصد پاسخ نهایی (۰ تا ۱۰۰ درصد و ۵ تا ۹۵ درصد هم استفاده می شود)
  - زمان رسیدن به ماکزیمم

$$t_p = \frac{\pi}{\omega_d}$$

  - بیشترین مقدار افزایش

$$\text{Maximum percent overshoot} = \frac{c(t_p) - c(\infty)}{c(\infty)} \times 100\%$$

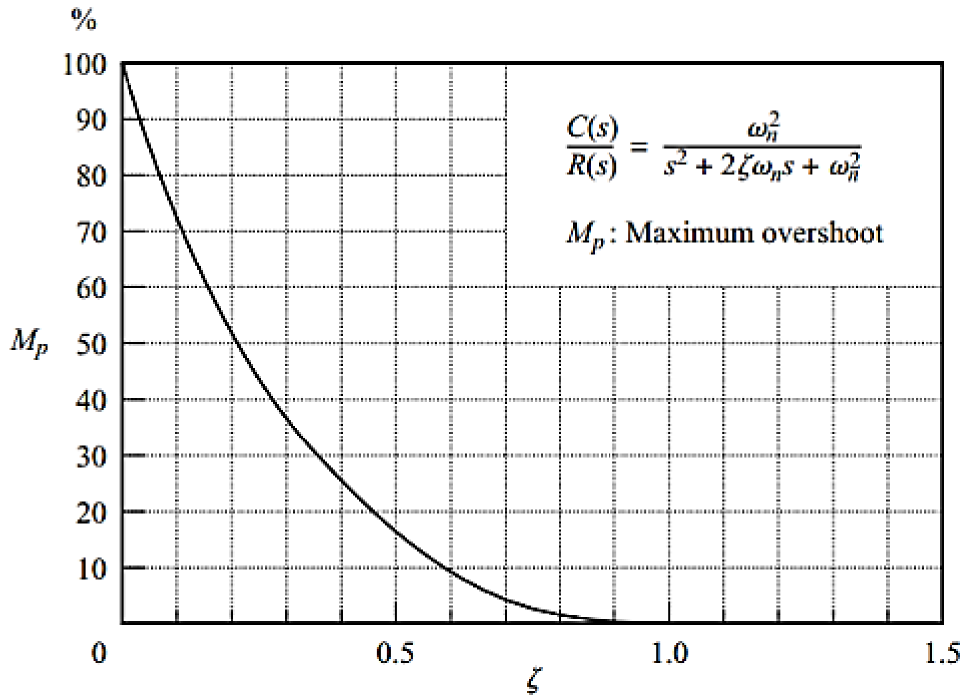
  - زمان نشست:
    - زمان رسیدن و باقی ماندن در محدوده ۲ درصد (۵ درصد) مقدار نهایی

$$t_s = 4T = \frac{4}{\sigma} = \frac{4}{\zeta\omega_n} \quad (2\% \text{ criterion}) \qquad t_s = 3T = \frac{3}{\sigma} = \frac{3}{\zeta\omega_n} \quad (5\% \text{ criterion})$$

پاسخ زمانی سیستم های کنترل

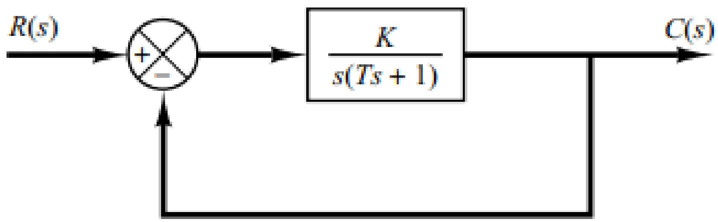
- مشخصات رفتار گذرا
  - تغییرات بیشترین مقدار افزایش بر حسب میرایی سیستم

$$M_p = \frac{c(t_p) - c(\infty)}{c(\infty)} = e^{-(\sigma/\omega_d)\pi} = e^{-(\zeta/\sqrt{1-\zeta^2})\pi}$$



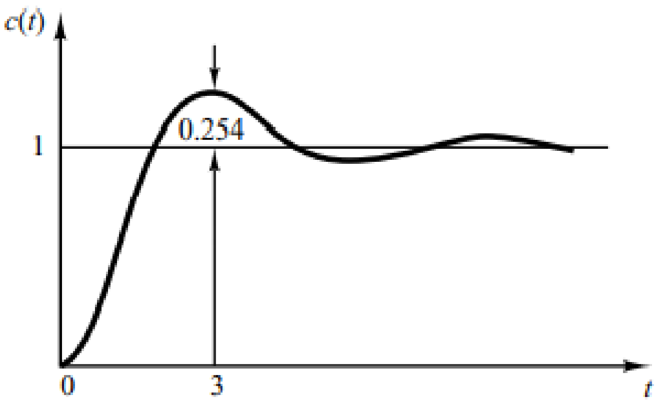
پاسخ زمانی سیستم های کنترل

- مشخصات رفتار گذرا
  - مثال: تعیین T و K برای رسیدن به پاسخ نشان داده شده



maximum overshoot of 25.4%

$$\rightarrow \quad \zeta = 0.4.$$



(b)

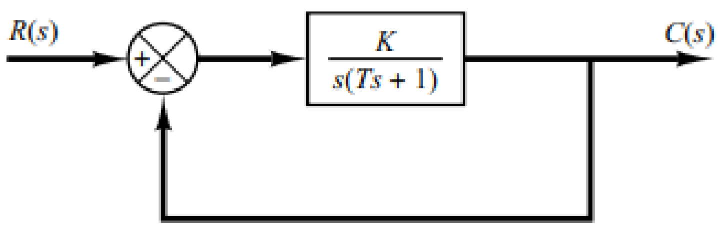
$$t_p = 3$$

$$\rightarrow \quad t_p = \frac{\pi}{\omega_d} = \frac{\pi}{\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}} = \frac{\pi}{\omega_n\sqrt{1-0.4^2}} = 3$$

$$\rightarrow \quad \omega_n = 1.14$$

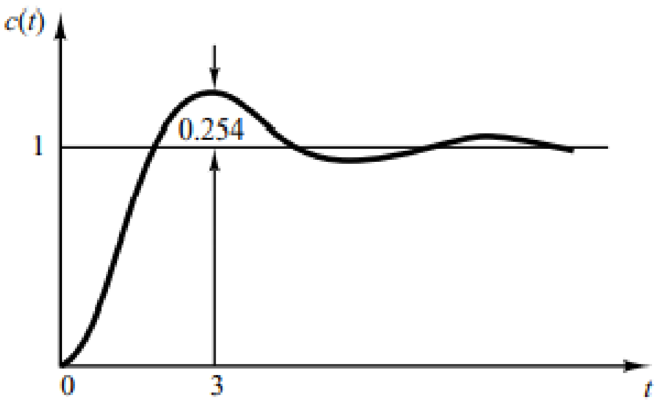
پاسخ زمانی سیستم های کنترل

- مشخصات رفتار گذرا
  - مثال: تعیین T و K برای رسیدن به پاسخ نشان داده شده



$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K}{Ts^2 + s + K}$$

$$\rightarrow \quad \omega_n = \sqrt{\frac{K}{T}}, \qquad 2\zeta\omega_n = \frac{1}{T}$$



(b)

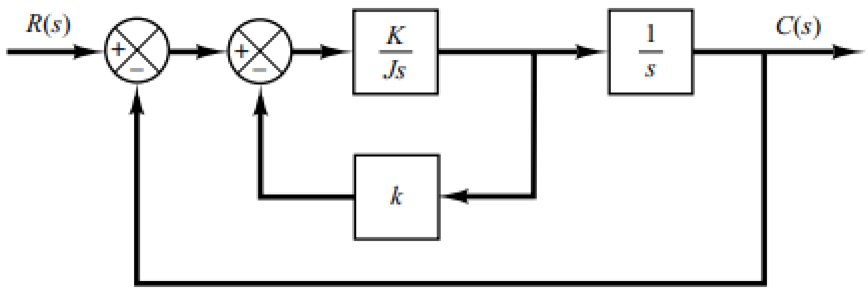
$$\rightarrow \quad T = \frac{1}{2\zeta\omega_n} = \frac{1}{2 \times 0.4 \times 1.14} = 1.09$$

$$K = \omega_n^2 T = 1.14^2 \times 1.09 = 1.42$$

پاسخ زمانی سیستم های کنترل

مشخصات رفتار گذرا

❖ مثال: تعیین k و K برای حداکثر جهش %25 در زمان 2 s (فرض: J=1)



$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K}{Js^2 + Kks + K}$$

$$\rightarrow \omega_n = \sqrt{K}, \qquad 2\zeta\omega_n = Kk$$

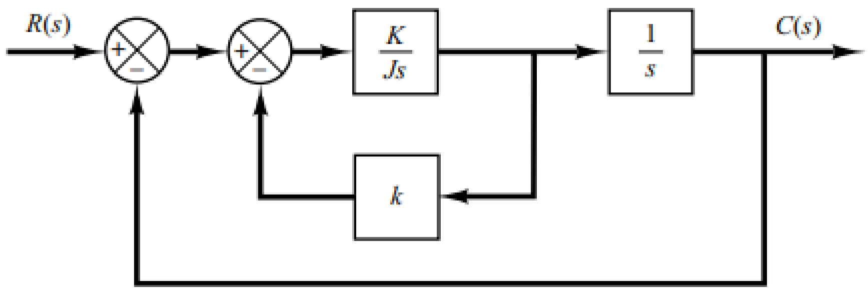
$$M_p = e^{-\zeta\pi/\sqrt{1-\zeta^2}} \rightarrow e^{-\zeta\pi/\sqrt{1-\zeta^2}} = 0.25$$

$$\rightarrow \frac{\zeta\pi}{\sqrt{1-\zeta^2}} = 1.386 \rightarrow \zeta = 0.404$$

پاسخ زمانی سیستم های کنترل

- مشخصات رفتار گذرا

❖ مثال: تعیین k و K برای حداکثر جهش %25 در زمان 2 s (فرض: J=1)



$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K}{Js^2 + Kks + K}$$

$$t_p = \frac{\pi}{\omega_d} = 2 \rightarrow \omega_d = 1.57 \rightarrow \omega_n = \frac{\omega_d}{\sqrt{1-\zeta^2}} = \frac{1.57}{\sqrt{1-0.404^2}} = 1.72$$

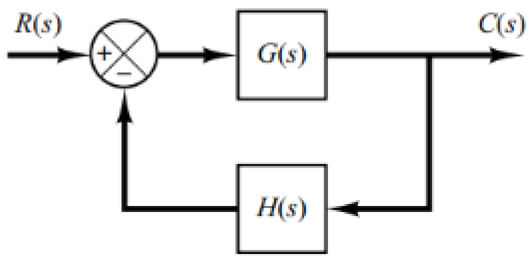
$$\rightarrow \begin{aligned} K &= \omega_n^2 = 1.72^2 = 2.95 \text{ N-m} \\ k &= \frac{2\zeta\omega_n}{K} = \frac{2 \times 0.404 \times 1.72}{2.95} = 0.471 \text{ sec} \end{aligned}$$

پاسخ زمانی سیستم های کنترل

- سیستم های مرتبه بالاتر
  - مفهوم قطب های غالب (Dominant)

✓ با توجه به وضعیت صفرها و قطب های سیستم، دو قطب به عنوان قطب های قالب در نظر گرفته می شود.

✓ سیستم معادل یک سیستم مرتبه ۲ با این دو قطب قالب تخمین زده می شود.



✓ معیار انتخاب قطب ها غالب:

- نزدیک بودن به مبداء
- دور بودن از صفرها

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K(s+z_1)(s+z_2)\cdots(s+z_m)}{(s+p_1)(s+p_2)\cdots(s+p_n)}$$

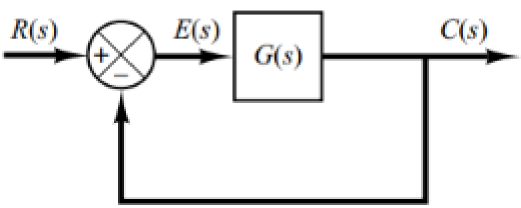
$$\rightarrow C(s) = \frac{a}{s} + \sum_{j=1}^{q} \frac{a_j}{s+p_j} + \sum_{k=1}^{r} \frac{b_k(s+\zeta_k\omega_k) + c_k\omega_k\sqrt{1-\zeta_k^2}}{s^2+2\zeta_k\omega_k s+\omega_k^2}$$

$$\rightarrow c(t) = a + \sum_{j=1}^{q} a_j e^{-p_j t} + \sum_{k=1}^{r} b_k e^{-\zeta_k\omega_k t}\cos\omega_k\sqrt{1-\zeta_k^2}\,t + \sum_{k=1}^{r} c_k e^{-\zeta_k\omega_k t}\sin\omega_k\sqrt{1-\zeta_k^2}\,t$$

خطای حالت ماندگار

- خطای حالت ماندگار به معنی اختلاف مقدار نهایی سیستم با مقدار مطلوب در زمان بینهایت است.
- تعریف نوع سیستم
  - ✓ نوع سیستم: توان عامل s در مخرج تابع تبدیل سیستم مدار باز

$$G(s) = \frac{K(T_a s + 1)(T_b s + 1)\cdots(T_m s + 1)}{s^N(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)\cdots(T_p s + 1)} \rightarrow N = 0, N = 1, N = 2, \ldots$$



  - ✓ تابع تبدیل مدار بسته:

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1 + G(s)}$$

  - ✓ تابع تبدیل خطا:

$$\frac{E(s)}{R(s)} = 1 - \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{1}{1 + G(s)}$$

  - ✓ استفاده از قضیه مقدار نهایی برای تعیین خطای حالت ماندگار:

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

خطای حالت ماندگار

- ثابت خطای موقعیت استاتیکی (K_p)
  - خطای ماندگار سیستم در حالت ورودی پله واحد

$$e_{ss} = \lim_{s\to 0} \frac{s}{1 + G(s)} \frac{1}{s} = \frac{1}{1 + G(0)}$$

  - تعریف ثابت خطای موقعیت استاتیکی

$$\rightarrow \quad K_p = \lim_{s\to 0} G(s) = G(0) \quad \rightarrow \quad e_{ss} = \frac{1}{1 + K_p}$$

  - برای سیستم نوع صفر:

$$K_p = \lim_{s\to 0} \frac{K(T_a s + 1)(T_b s + 1)\cdots}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)\cdots} = K \quad \rightarrow \quad e_{ss} = \frac{1}{1 + K}$$

  - برای سیستم نوع ۱ و بالاتر:

$$K_p = \lim_{s\to 0} \frac{K(T_a s + 1)(T_b s + 1)\cdots}{s^N(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)\cdots} = \infty, \quad \text{for } N \geq 1 \quad \rightarrow \quad e_{ss} = 0$$

خطای حالت ماندگار

- ثابت خطای سرعت استاتیکی (K_v)
  - خطای ماندگار سیستم در حالت ورودی شیب واحد
  - تعریف ثابت خطای سرعت استاتیکی

$$e_{ss} = \lim_{s\to 0} \frac{s}{1 + G(s)} \frac{1}{s^2} = \lim_{s\to 0} \frac{1}{sG(s)}$$

$$K_v = \lim_{s\to 0} sG(s) \quad \Rightarrow \quad e_{ss} = \frac{1}{K_v}$$

- برای سیستم نوع صفر:

$$K_v = \lim_{s\to 0} \frac{sK(T_a s + 1)(T_b s + 1)\cdots}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)\cdots} = 0 \quad \Rightarrow \quad e_{ss} = \frac{1}{K_v} = \infty$$

- برای سیستم نوع ۱:

$$K_v = \lim_{s\to 0} \frac{sK(T_a s + 1)(T_b s + 1)\cdots}{s(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)\cdots} = K \quad \Rightarrow \quad e_{ss} = \frac{1}{K_v} = \frac{1}{K}$$

- برای سیستم نوع ۲ و بالاتر:

$$K_v = \lim_{s\to 0} \frac{sK(T_a s + 1)(T_b s + 1)\cdots}{s^N(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)\cdots} = \infty, \quad \text{for } N \geq 2 \quad \Rightarrow \quad e_{ss} = \frac{1}{K_v} = 0$$

خطای حالت ماندگار

- ثابت خطای شتاب استاتیکی (K_a)
  - خطای ماندگار سیستم در حالت ورودی سهمی واحد
  - تعریف ثابت خطای شتاب استاتیکی

$$r(t) = \frac{t^2}{2}$$

$$\Rightarrow e_{ss} = \lim_{s\to 0} \frac{s}{1+G(s)} \frac{1}{s^3} = \frac{1}{\lim_{s\to 0} s^2 G(s)}$$

$$K_a = \lim_{s\to 0} s^2 G(s) \quad \Rightarrow \quad e_{ss} = \frac{1}{K_a}$$

  - برای سیستم نوع صفر:

$$K_a = \lim_{s\to 0} \frac{s^2 K(T_a s + 1)(T_b s + 1)\cdots}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)\cdots} = 0 \quad \Rightarrow \quad e_{ss} = \infty$$

  - برای سیستم نوع ۱:

$$K_a = \lim_{s\to 0} \frac{s^2 K(T_a s + 1)(T_b s + 1)\cdots}{s(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)\cdots} = 0 \quad \Rightarrow \quad e_{ss} = \infty$$

  - برای سیستم نوع ۲:

$$K_a = \lim_{s\to 0} \frac{s^2 K(T_a s + 1)(T_b s + 1)\cdots}{s^2(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)\cdots} = K \quad \Rightarrow \quad e_{ss} = \frac{1}{K}$$

  - برای سیستم نوع ۳ و بالاتر:

$$K_a = \lim_{s\to 0} \frac{s^2 K(T_a s + 1)(T_b s + 1)\cdots}{s^N(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)\cdots} = \infty \quad \Rightarrow \quad e_{ss} = 0$$

خطای حالت ماندگار

- خلاصه
  - خطای حالت ماندگار بر اساس نوع سیستم

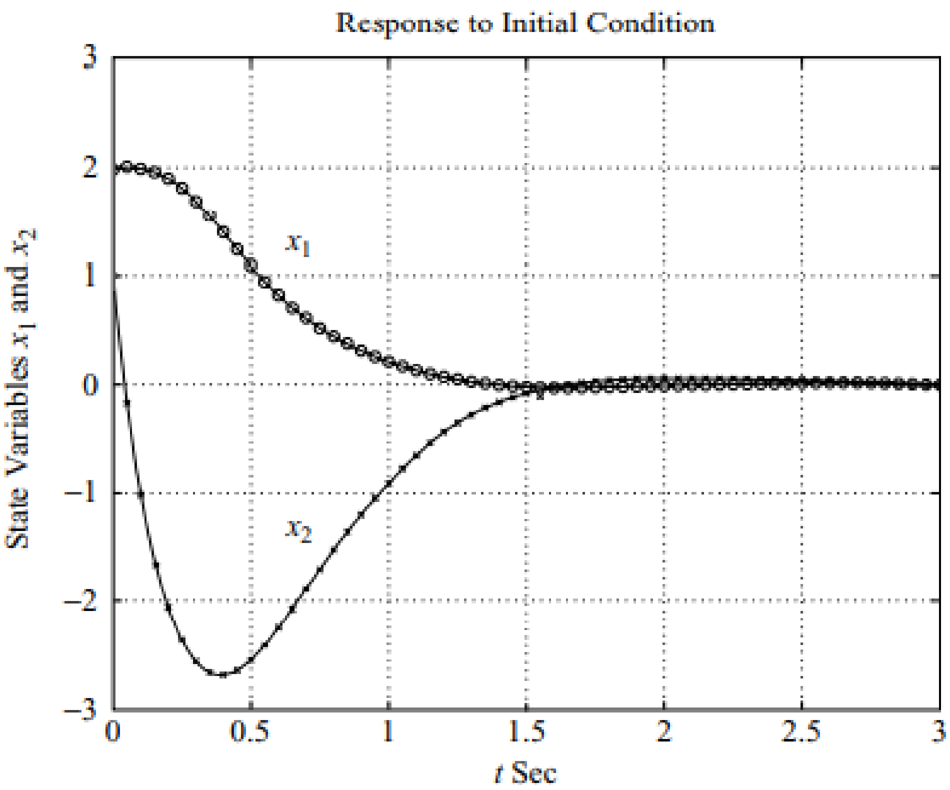
	Step Input $r(t) = 1$	Ramp Input $r(t) = t$	Acceleration Input $r(t) = \frac{1}{2}t^2$
Type 0 system	$\dfrac{1}{1+K}$	∞	∞
Type 1 system	0	$\dfrac{1}{K}$	∞
Type 2 system	0	0	$\dfrac{1}{K}$

پاسخ زمانی سیستم های کنترل

- شبیه سازی پاسخ سیستم با استفاده از ماتریس حالت
  - پاسخ به شرایط اولیه غیر صفر

MATLAB Program 5–16

```
t = 0:0.05:3;
A = [0  1;-10  -5];
B = [0;0];
C = [0  0];
D = [0];
[y,x] = initial(A,B,C,D,[2;1],t);
x1 = [1  0]*x';
x2 = [0  1]*x';
plot(t,x1,'o',t,x1,t,x2,'x',t,x2)
grid
title('Response to Initial Condition')
xlabel('t Sec')
ylabel('State Variables x1 and x2')
gtext('x1')
gtext('x2')
```

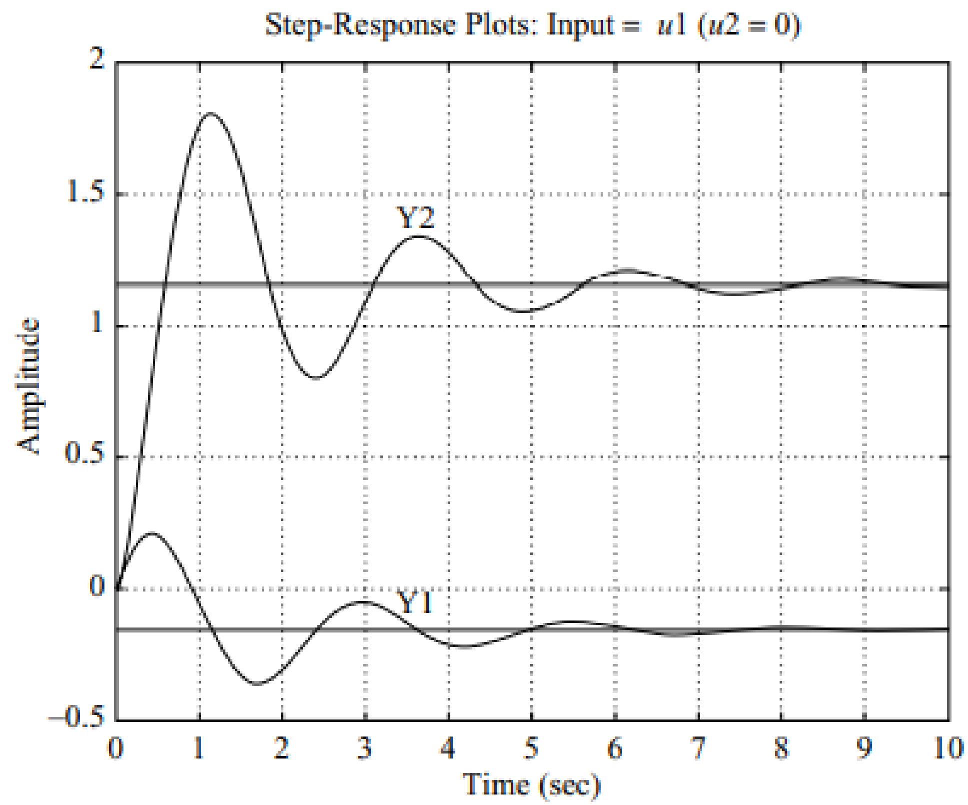


پاسخ زمانی سیستم های کنترل

- شبیه سازی پاسخ سیستم با ۲ ورودی

MATLAB Program 5–2

```
% ***** In this program we plot step-response curves of a system
% having two inputs (u1 and u2) and two outputs (y1 and y2) *****

% ***** We shall first plot step-response curves when the input is
% u1. Then we shall plot step-response curves when the input is
% u2 *****

% ***** Enter matrices A, B, C, and D *****

A = [-1  -1;6.5  0];
B = [1  1;1  0];
C = [1  0;0  1];
D = [0  0;0  0];

% ***** To plot step-response curves when the input is u1, enter
% the command 'step(A,B,C,D,1)' *****

step(A,B,C,D,1)
grid
title ('Step-Response Plots: Input = u1 (u2 = 0)')
text(3.4, -0.06,'Y1')
text(3.4, 1.4,'Y2')

% ***** Next, we shall plot step-response curves when the input
% is u2. Enter the command 'step(A,B,C,D,2)' *****

step(A,B,C,D,2)
grid
title ('Step-Response Plots: Input = u2 (u1 = 0)')
text(3,0.14,'Y1')
text(2.8,1.1,'Y2')
```



پاسخ زمانی سیستم های کنترل

- شبیه سازی پاسخ سیستم سیستم با ۲ ورودی

MATLAB Program 5–2

```
% ***** In this program we plot step-response curves of a system
% having two inputs (u1 and u2) and two outputs (y1 and y2) *****

% ***** We shall first plot step-response curves when the input is
% u1. Then we shall plot step-response curves when the input is
% u2 *****

% ***** Enter matrices A, B, C, and D *****

A = [-1  -1;6.5  0];
B = [1  1;1  0];
C = [1  0;0  1];
D = [0  0;0  0];

% ***** To plot step-response curves when the input is u1, enter
% the command 'step(A,B,C,D,1)' *****

step(A,B,C,D,1)
grid
title ('Step-Response Plots: Input = u1 (u2 = 0)')
text(3.4, -0.06,'Y1')
text(3.4, 1.4,'Y2')

% ***** Next, we shall plot step-response curves when the input
% is u2. Enter the command 'step(A,B,C,D,2)' *****

step(A,B,C,D,2)
grid
title ('Step-Response Plots: Input = u2 (u1 = 0)')
text(3,0.14,'Y1')
text(2.8,1.1,'Y2')
```