

یا لطیف



دانشکده مهندسی برق

آزمایشگاه کنترل خطی

پروژه نهایی

تهیه کننده و نویسنده:

رضا آدینه پور

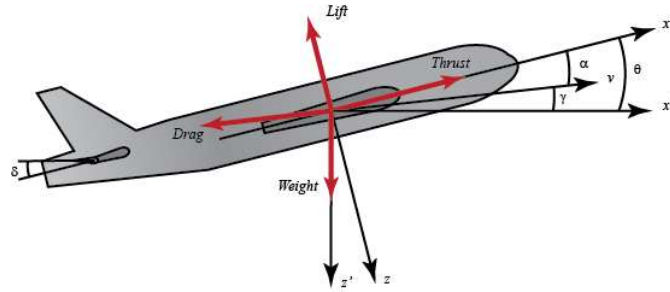
استاد مربوطه:

جناب آقای دکتر کیقبادی

تاریخ تهیه و ارائه:

خرداد ماه ۱۴۰۱

سیستم مورد بحث: Aircraft Pitch



مدلسازی سیستم:

(۱) مدل فضای حالت:

(۲) مدل تابع تبدیل

(۱) مدل فضای حالت سیستم به صورت زیر است:

$$\begin{bmatrix} \dot{\alpha} \\ \dot{q} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.313 & 56.7 & 0 \\ -0.0139 & -0.426 & 0 \\ 0 & 56.7 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha \\ q \\ \theta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.232 \\ 0.0203 \\ 0 \end{bmatrix} [\delta]$$

$$y = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha \\ q \\ \theta \end{bmatrix}$$

۲) مدل تابع تبدیل:

$$\dot{\alpha} = -0.313\alpha + 56.7q + 0.232\delta$$

$$\dot{q} = -0.0139\alpha - 0.426q + 0.0203\delta$$

$$\dot{\theta} = 56.7q$$

$$sA(s) = -0.313A(s) + 56.7Q(s) + 0.232\Delta(s)$$

$$sQ(s) = -0.0139A(s) - 0.426Q(s) + 0.0203\Delta(s)$$

$$s\theta(s) = 56.7Q(s)$$

$$\rightarrow P(s) = \frac{\theta(s)}{\Delta(s)} = \frac{1.151s + 0.1774}{s^3 + 0.739s^2 + 0.921s}$$

تعریف تابع تبدیل سیستم در متلب:

```
s = tf('s');  
P_pitch = (1.151*s+0.1774)/(s^3+0.739*s^2+0.921*s)
```

```
Command Window  
  
P_pitch =  
  
      1.151 s + 0.1774  
      -----  
      s^3 + 0.739 s^2 + 0.921 s  
  
Continuous-time transfer function.  
  
fx >>
```

مدل فضای حالت در متلب:

```
% state space model
A = [-0.313 56.7 0; -0.0139 -0.426 0; 0 56.7 0];
B = [0.232; 0.0203; 0];
C = [0 0 1];
D = [0];
pitch_ss = ss(A, B, C, D);
```

```
pitch_ss =
```

```
A =
      x1      x2      x3
x1  -0.313    56.7      0
x2  -0.0139  -0.426      0
x3      0     56.7      0
```

```
B =
      u1
x1  0.232
x2  0.0203
x3      0
```

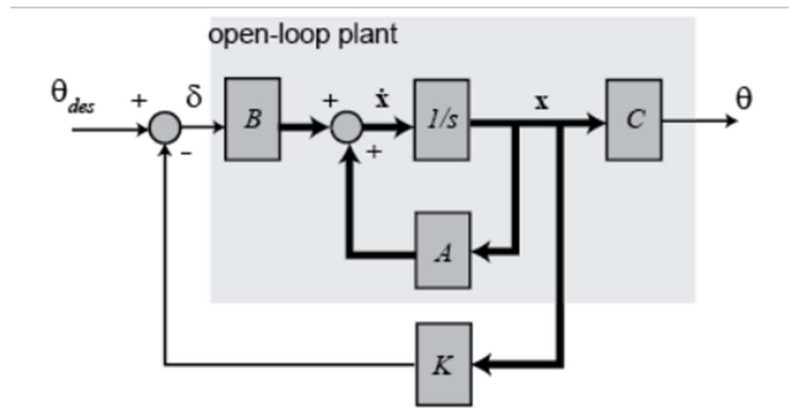
```
C =
      x1  x2  x3
y1      0   0   1
```

```
D =
      u1
y1      0
```

Continuous-time state-space model.

```
fx >>
```

تعریف مدل سیستم در سیمولینک:



$K = \text{control gain matrix}$

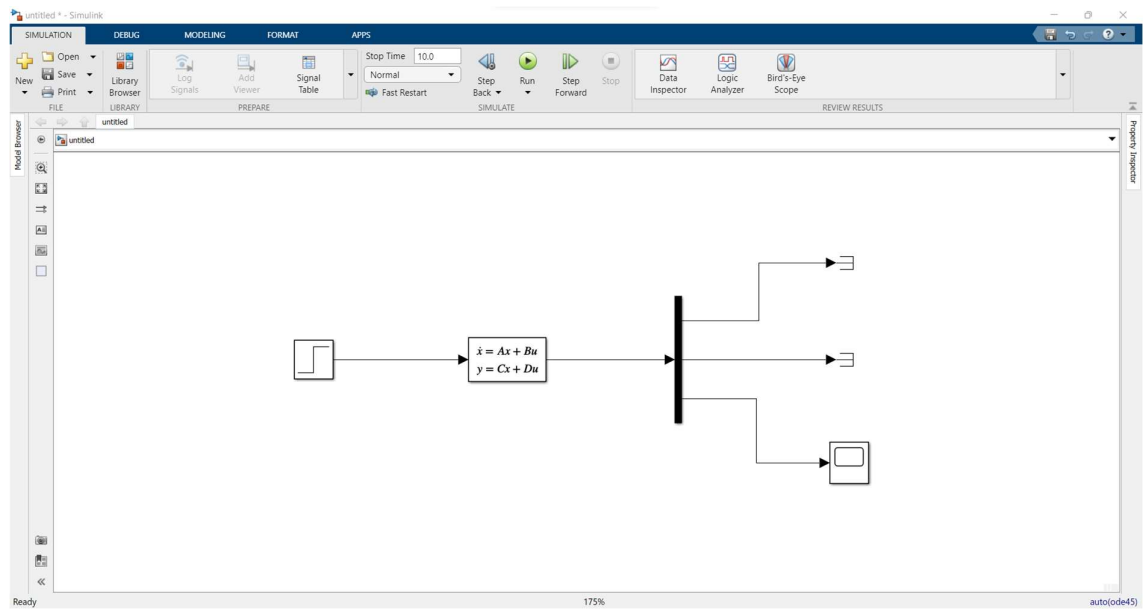
$x = [\alpha \quad q \quad \theta]' = \text{state vector}$

$\theta_{des} = \text{reference } (r)$

$\delta = (\theta_{des} - Kx) = \text{control input } (u)$

$\theta = \text{output } (y)$

مدل را به صورت زیر در سیمولینک تعریف میکنیم:



Block Parameters: State-Space

State Space

State-space model:
 $dx/dt = Ax + Bu$
 $y = Cx + Du$

Parameters

A:
[-0.313 56.7 0 ; -0.0139 -0.426 0 ; 0 56.7 0]

B:
[0.232;0.0203;0]

C:
eye(3)

D:
zeros(3,1)

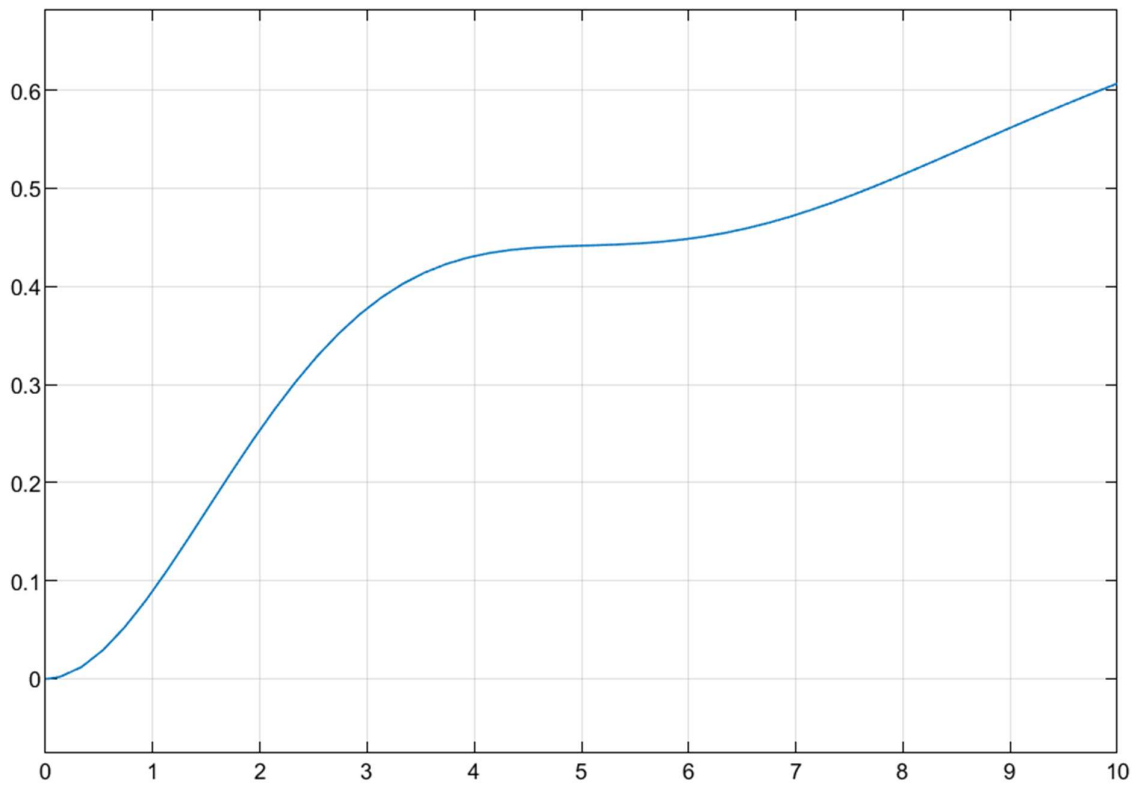
Initial conditions:
0

Absolute tolerance:
auto

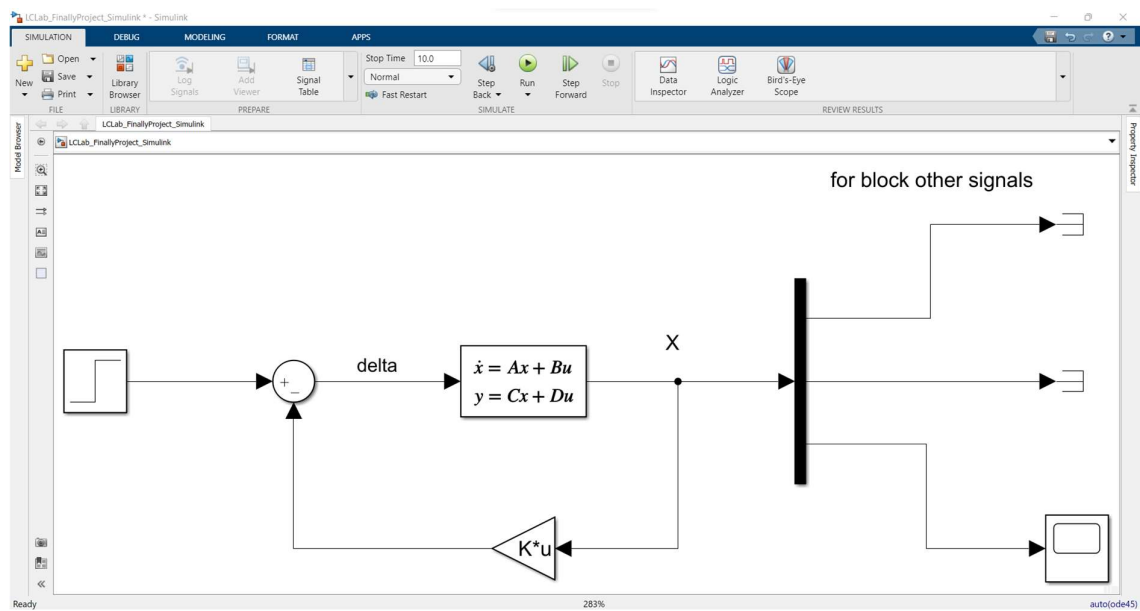
State Name: (e.g., 'position')
{'Angle_of_attack', 'Pitch_rate', 'pitch_angle'}

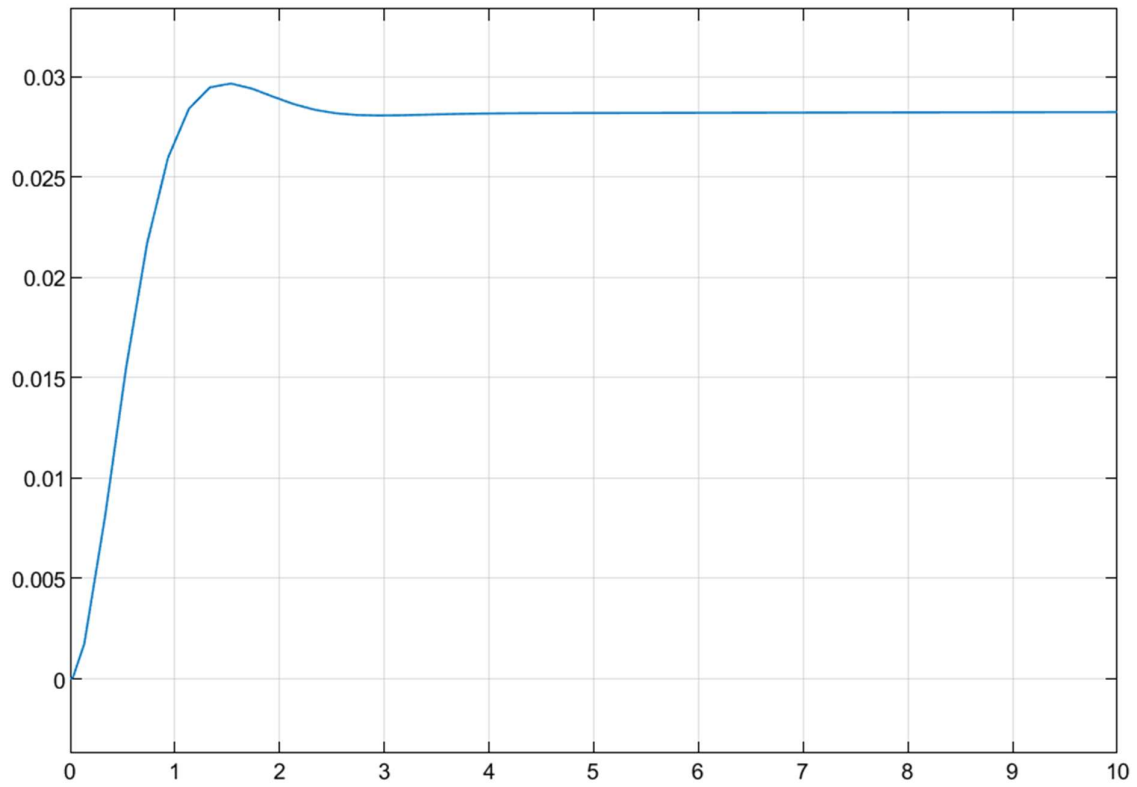
OK Cancel Help Apply

پاسخ سیستم حلقه باز به ورودی پله به صورت زیر می شود:



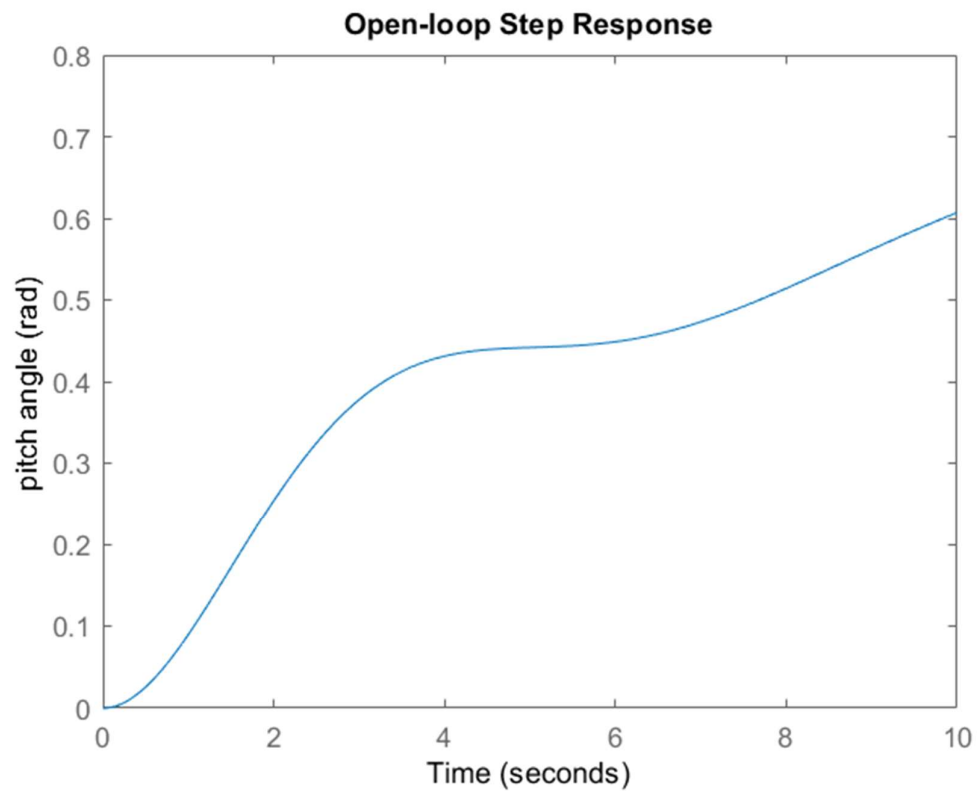
پس از اعمال فیدبک به سیستم حلقه باز خروجی سیستم به ورودی پله به صورت زیر میشود:





پاسخ حلقه باز سیستم را به صورت زیر بدست می آوریم:

```
t = [0:0.01:10];  
step(0.2*P_pitch,t);  
axis([0 10 0 0.8]);  
ylabel('pitch angle (rad)');  
title('Open-loop Step Response');
```



صفر و قطب های تابع تبدیل حلقه باز به صورت زیر است:

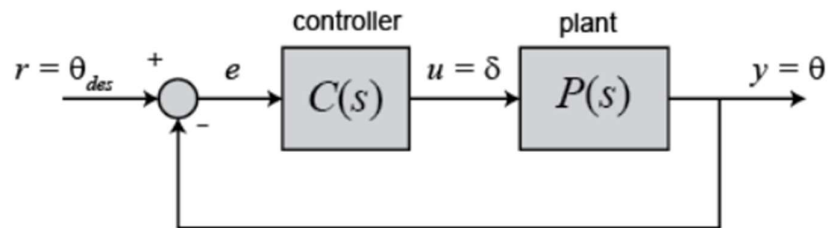
```
% zeros and poles of open loop transfer function  
openLoopPole = pole(P_pitch)  
openLoopZero = zero(P_pitch)
```

Command Window

```
openLoopPole =  
  
    0.0000 + 0.0000i  
   -0.3695 + 0.8857i  
   -0.3695 - 0.8857i  
  
openLoopZero =  
  
   -0.1541
```

همانطور که مشاهده می شود سیستم ناپایدار است.

با اعمال فیدبک واحد منفی به صورت زیر، پاسخ سیستم به ورودی پله به صورت زیر می شود:



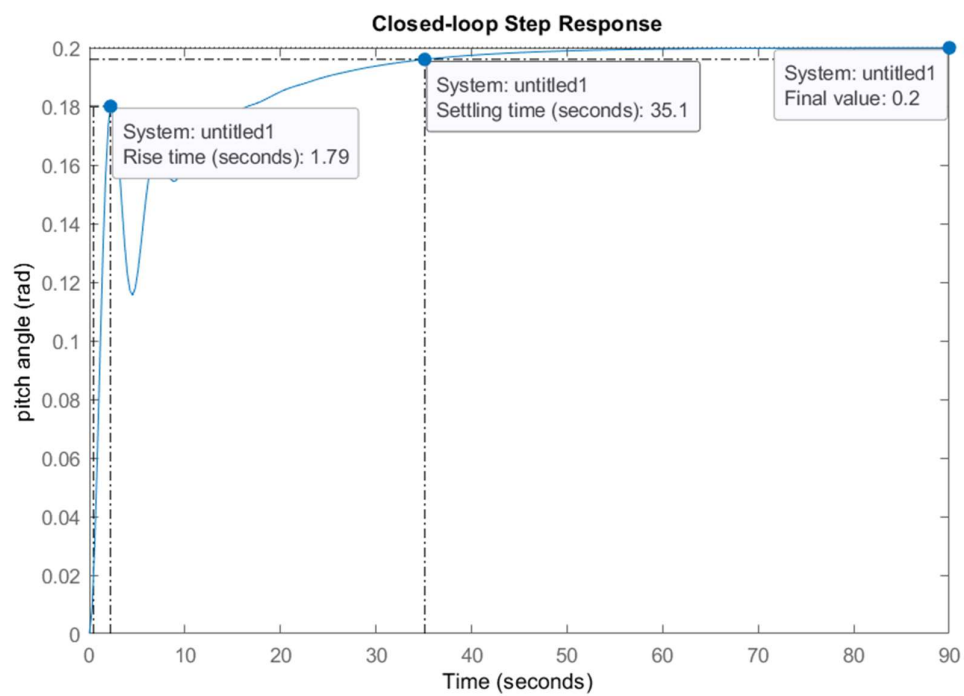
```
%closed loop response with unit negative feedback
sys_cl = feedback(P_pitch, 1)
step(0.2*sys_cl);
ylabel('pitch angle (rad)');
title('Closed-loop Step Response');
```

```
sys_cl =

      1.151 s + 0.1774
-----
s^3 + 0.739 s^2 - 0.23 s - 0.1774

Continuous-time transfer function.

fx >>
```



صفر و قطب های تابع تبدیل حلقه بسته به صورت زیر است:

%zeros and poles of closed loop transfer function

```
closeLoopPoles = pole(sys_cl)
```

```
closeLoopZeros = zero(sys_cl)
```

```
closeLoopPoles =
```

```
-0.3255 + 1.3816i
```

```
-0.3255 - 1.3816i
```

```
-0.0881 + 0.0000i
```

```
closeLoopZeros =
```

```
-0.1541
```

```
: >>
```

تابع تبدیل سیستم با استفاده از صفر و قطب های سیستم به صورت زیر است:

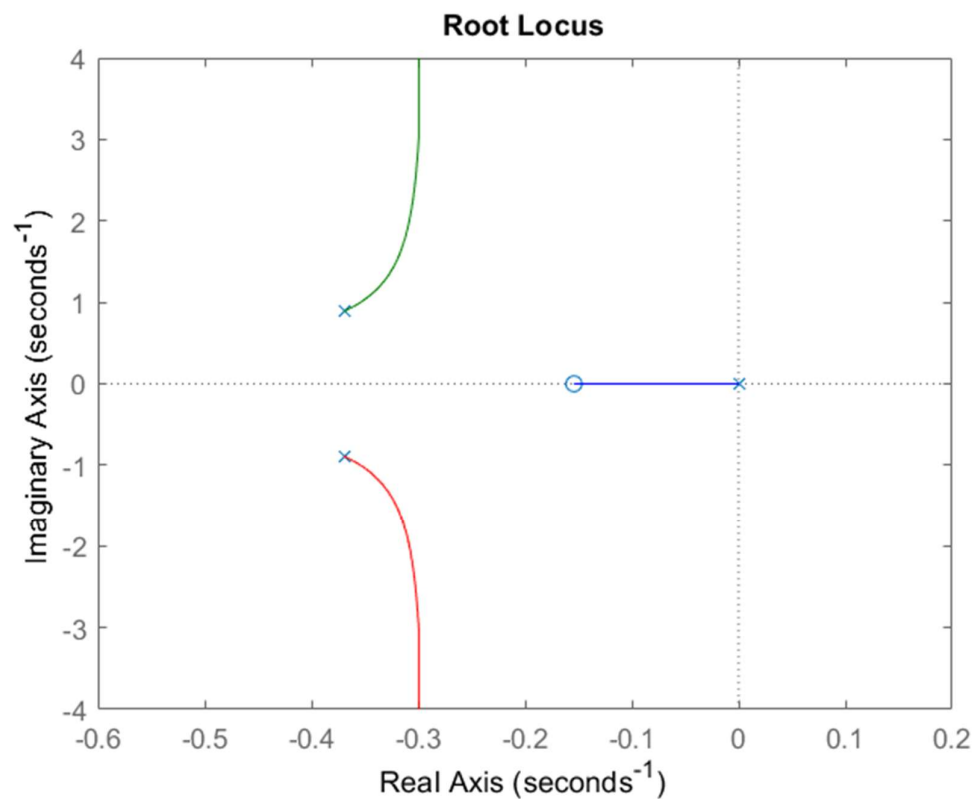
```
% create transfer finction with zpk()  
R = 0.2/s;  
Y = zpk(sys_cl*R)
```

Y =

```
      0.2302 (s+0.1541)  
-----  
s (s+0.08805) (s^2 + 0.6509s + 2.015)  
  
Continuous-time zero/pole/gain model.
```

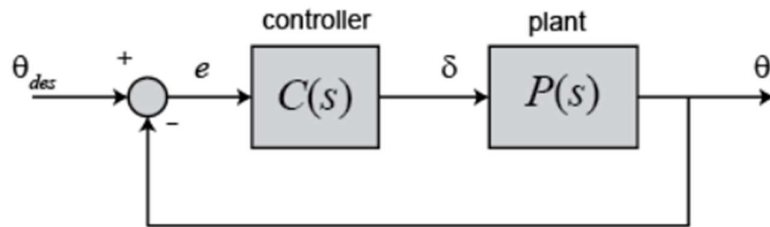
```
; >>
```

Root Locus سیستم حلقه باز به صورت زیر است:



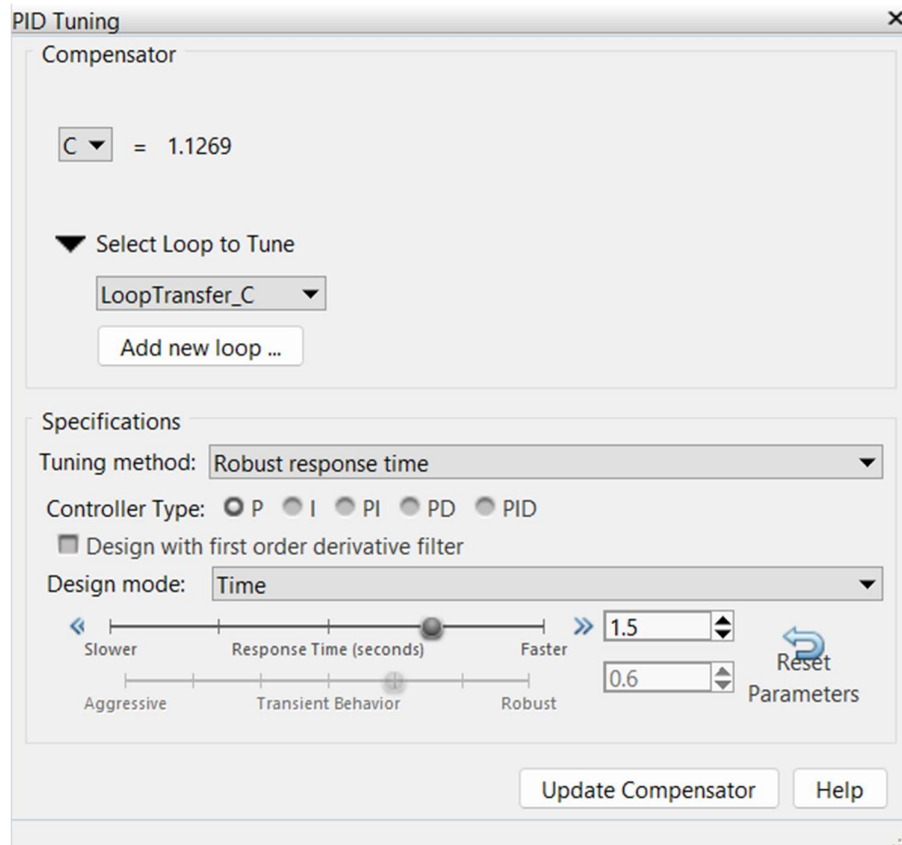
طراحی کنترلر: (۱) P (۲) PI (۳) PID

(۱) PI controller:



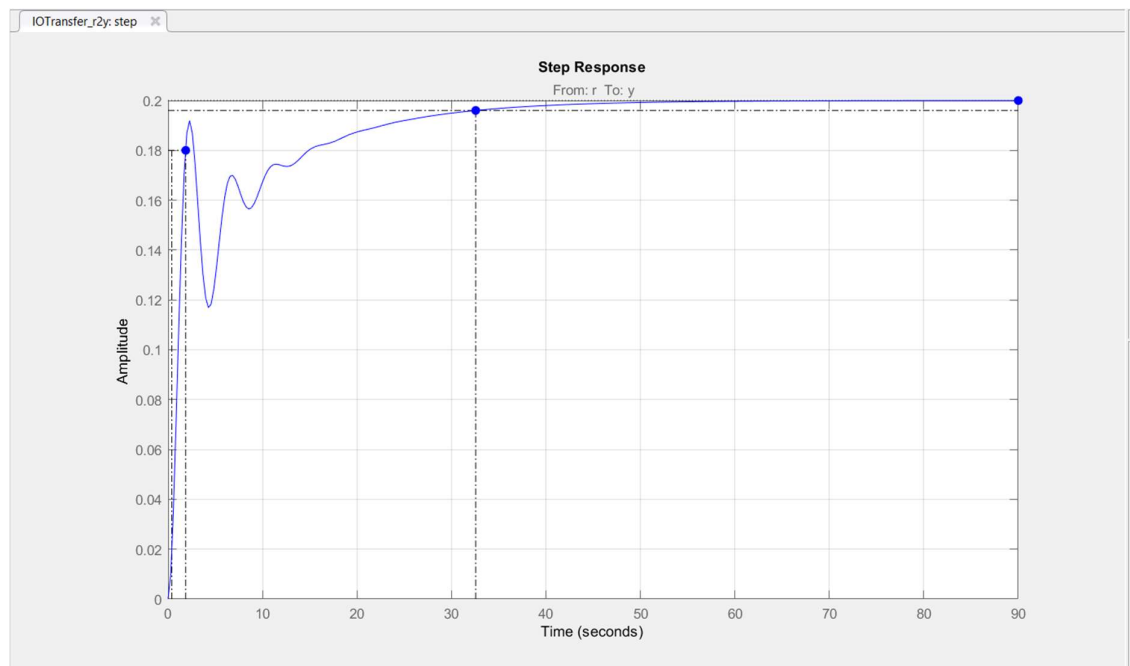
با قطعه کد زیر وارد Control System Designer ، ToolBox می شویم و طراحی کنترلر ها را با این ابزار انجام می دهیم.

از منو PID Tunning ،Tunning Method را انتخاب کرده و به صورت زیر سیستم ضریب مناسب c را به ما می دهد.



و پاسخ سیستم کنترل شده با این ضریب به ورودی پله به صورت زیر می شود:

$$K_p = 1.1269$$



:PI (r

$$C(s) = 0.026294 \times \frac{1 + 43s}{s} \approx \frac{0.026294}{s} + 1.13$$

PID Tuning

Compensator

$C = 0.026294 \times \frac{(1 + 43s)}{s}$

Select Loop to Tune

LoopTransfer_C

Add new loop ...

Specifications

Tuning method: Robust response time

Controller Type: ☐ P ☐ I ☒ PI ☐ PD ☐ PID

☐ Design with first order derivative filter

Design mode: Time

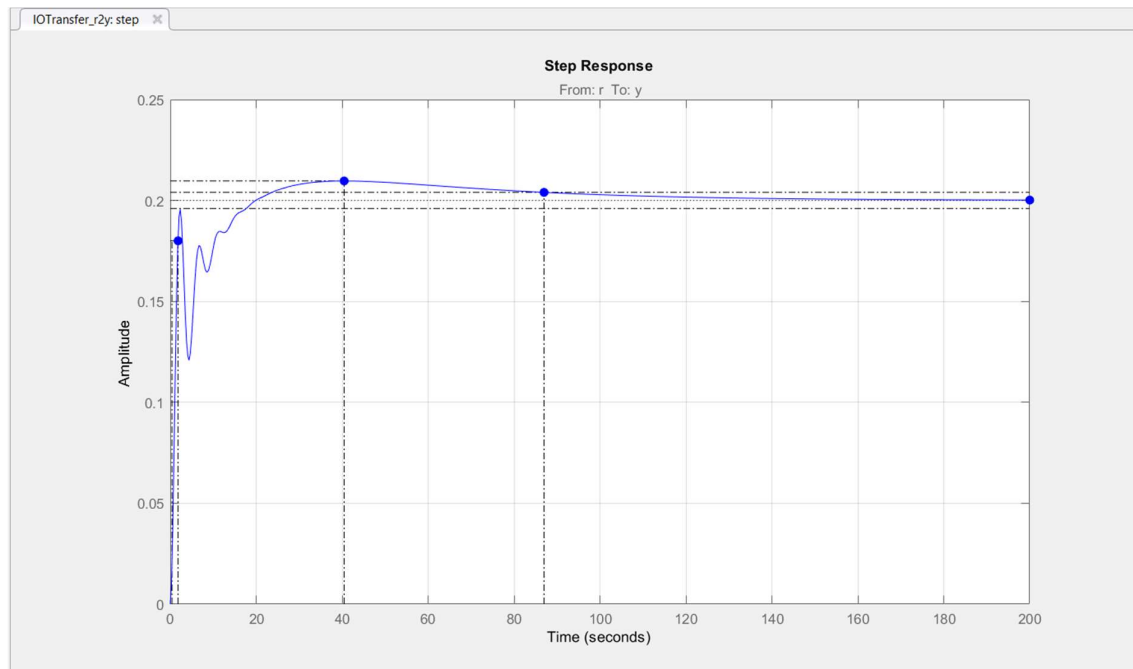
Response Time (seconds): 1.5

Transient Behavior: 0.6

Reset Parameters

Update Compensator Help

$$K_i = 0.0263 \quad K_p = 1.13$$



:PID (۳

$$C(s) = 0.5241 \times \frac{(1+s) \times (1+s)}{s} \approx \frac{0.5241}{s} + 1.0482 + 0.5241s$$

$$K_i = 0.5241 \quad K_p = 1.0482 \quad K_d = 0.5241$$

PID Tuning

Compensator

C

= 0.5241 x $\frac{(1 + 1s)(1 + 1s)}{s}$

Select Loop to Tune

LoopTransfer_C

Add new loop ...

Specifications

Tuning method: Robust response time

Controller Type:

P

I

PI

PD

PID

Design with first order derivative filter

Design mode: Time

Slower

Response Time (seconds)

Faster

1.5

Aggressive

Transient Behavior

Robust

0.6

Reset Parameters

Update Compensator

Help

IOTransfer_r2y: step

Step Response

From: r To: y

Time (seconds)	Amplitude
0	0.00
1.5	0.18
7.5	0.22
20	0.20
35	0.20

18

اگر تایمینگ طراحی کنترلر را تغییر دهیم ضرایب به صورت زیر تعیین میشود:

$$C(s) = 1.2882 \times \frac{1 + 3.24s + 0.2016s^2}{s} \approx \frac{1.2882}{s} + 4.17 + 0.26s$$

