

سیستم کنترل زاویه حمله هواپیما

شهاب مقدادی نیشابوری



فهرست

1- مقدمه

2- خطی سازی مدل

3- ماتریس انتقال حالت

4- کنترل پذیری و رویت پذیری

5- فرم جردن

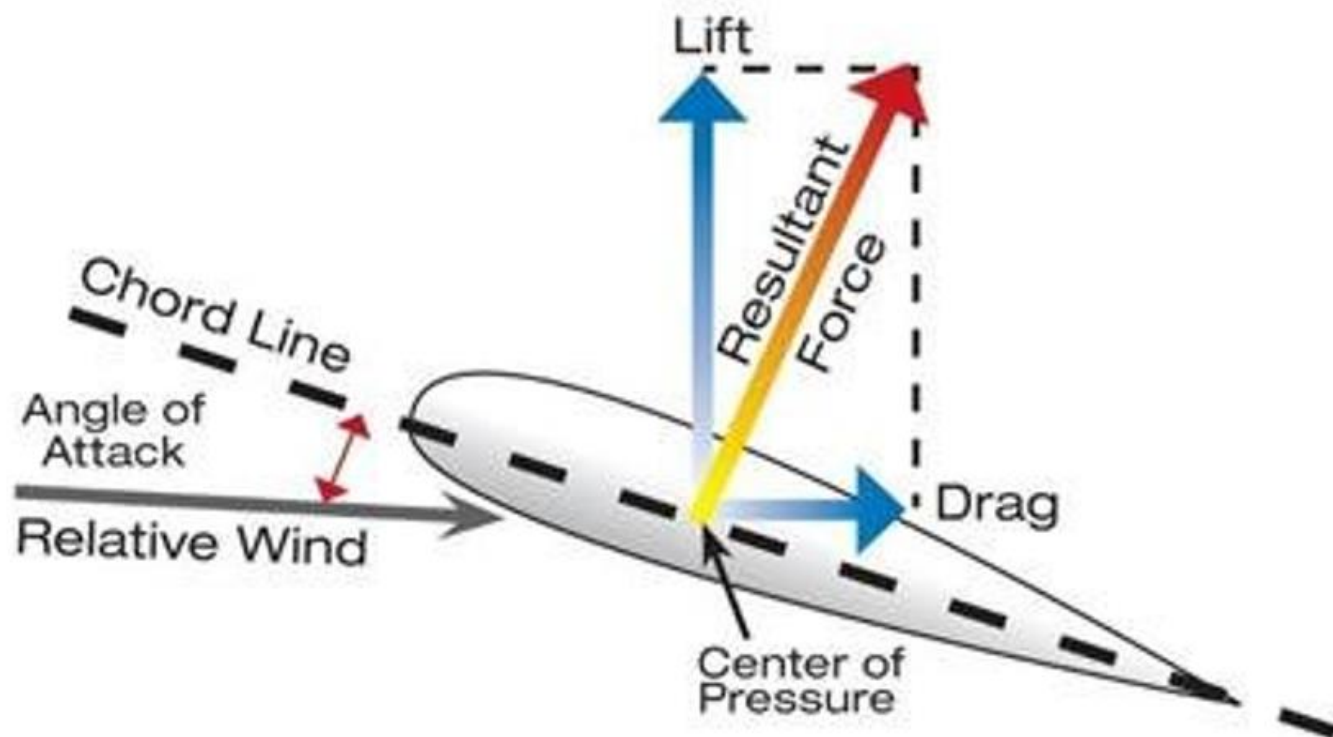
6- بررسی انواع پایداری

7- طراحی کنترلر فیدبک

مقدمه

سیستم کنترل زاویه هواپیما، برای داشتن یک پرواز پایدار و امن، یکی از ضروری ترین سیستم های یک هواپیما است، تنظیم زاویه پرواز، به خلبان اجازه میدهد نیروی بالابری و سرعت خود را تنظیم کند.

زاویه حمله خیلی زیاد سبب از دست رفتن سرعت، و زاویه حمله خیلی کم سبب از بین رفتن نیروی بالابری هواپیما میشود.



خطی سازی مدل

فرم فضای حالت خطی سازی شده

مدل غیر خطی

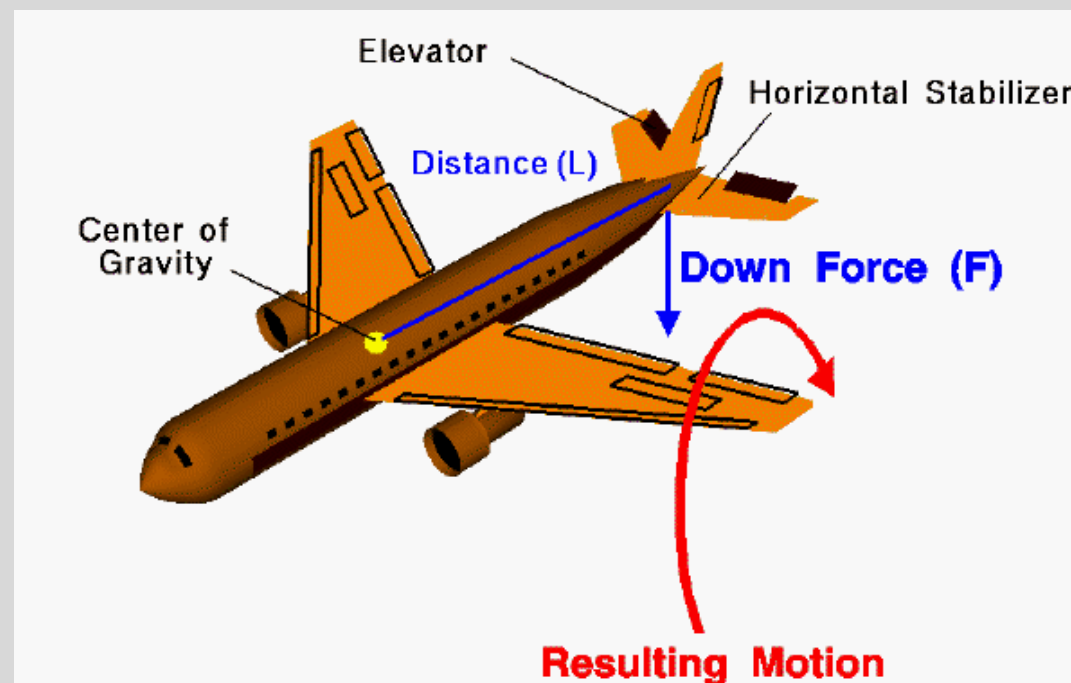
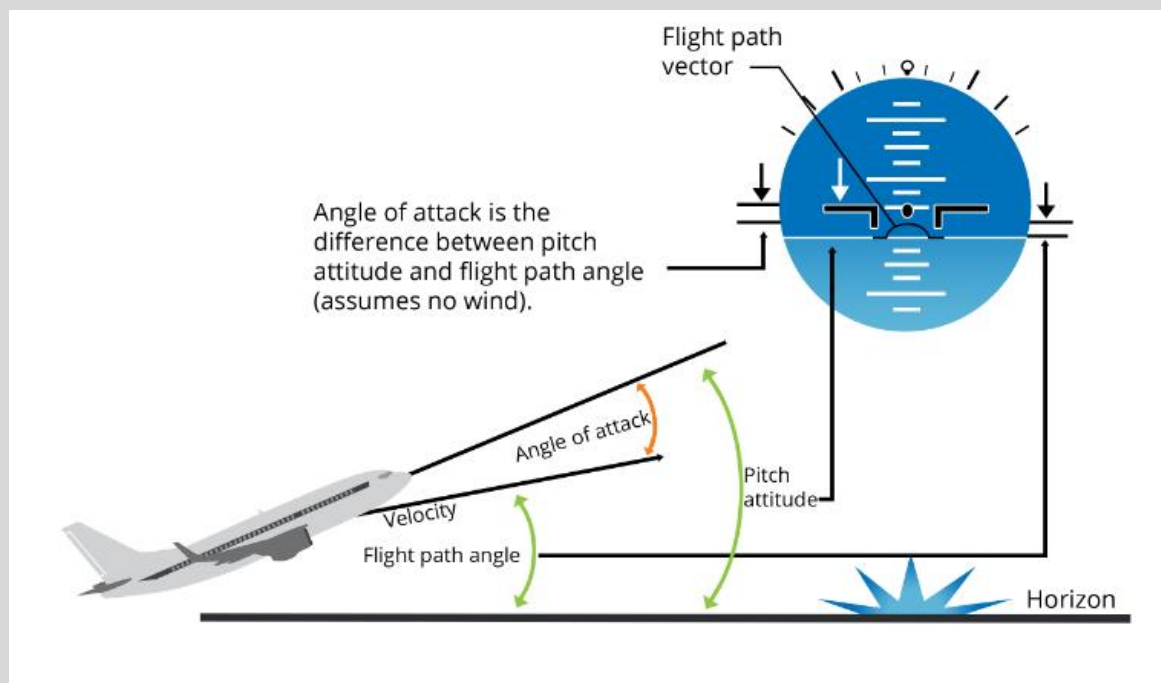
$$\begin{aligned}\dot{V} &= \frac{\bar{q}S\bar{c}q}{2mV} [C_{xq}(\alpha) \cos \alpha + C_{zq}(\alpha) \sin \alpha] \\ &+ \frac{\bar{q}S}{m} [C_x(\alpha, \delta_e) \cos \alpha + C_z(\alpha, \delta_e) \sin \alpha] \\ &- g \sin(\theta - \alpha) + \frac{T}{m} \cos(\alpha) \\ \dot{\alpha} &= q \left[1 + \frac{\bar{q}S\bar{c}}{2mV^2} (C_{zq}(\alpha) \cos \alpha - C_{xq} \sin \alpha) \right] \\ &+ \frac{\bar{q}S}{mV} [C_z(\alpha, \delta_e) \cos \alpha - C_x(\alpha, \delta_e) \sin \alpha] \\ &+ \frac{g}{V} \cos(\theta - \alpha) - \frac{T}{mV} \sin(\alpha) \\ \dot{\theta} &= q \\ \dot{q} &= \frac{\bar{q}S\bar{c}q}{2I_y V} [\bar{c}C_{mq}(\alpha) + \Delta C_{zq}(\alpha)] \\ &+ \frac{\bar{q}S\bar{c}}{I_y} [C_m(\alpha, \delta_e) + \frac{\Delta}{\bar{c}} C_z(\alpha, \delta_e)]\end{aligned}$$

$$\circ x = [v \quad \alpha \quad q \quad \theta]^T$$

$$\circ A = \begin{bmatrix} -0.6009 & 251.7510 & 0 & -9.8150 \\ -0.0240 & -11.9318 & 0.4549 & 0 \\ 0.0025 & -0.6165 & -0.7095 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\circ B = \begin{bmatrix} 0 \\ -0.6951 \\ -1.9374 \\ 0 \end{bmatrix} \quad C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

خطی سازی مدل





ماتریس انتقال حالت

ماتریس انتقال حالت که حاوی تمام مشخصات سیستم است را به کمک فرمول زیر به دست می آوریم: (با اجرای برنامه متلب قابل مشاهده است)

$$e^{At} = I + At + \frac{A^2 t^2}{2!} + \dots$$

ماتریس انتقال حالت

به کمک فرمول :

$$x(t) = e^{A(t-t_0)}x(t_0) + \int_{t_0}^t e^{A(t-T)} B u(T) dT$$

شرایط اولیه زیر را بررسی میکنیم:

$$x_1 = \begin{bmatrix} 100 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} u = 0, x_2 = \begin{bmatrix} 100 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} u = 1$$

ماتریس انتقال حالت

مشاهده میشود وجود زاویه حمله مخالف با 0، موجب کاهش سرعت کمتری میشود.

```
>> y1

y1 =
```

100.0000	0	0	0
99.3719	-0.0226	0.0025	0.0000
98.6944	-0.0425	0.0051	0.0001
97.9741	-0.0599	0.0078	0.0001
97.2170	-0.0753	0.0105	0.0002
96.4284	-0.0887	0.0133	0.0003
95.6130	-0.1004	0.0162	0.0005
94.7750	-0.1106	0.0190	0.0006
93.9181	-0.1195	0.0219	0.0009
93.0457	-0.1271	0.0248	0.0011
92.1606	-0.1337	0.0277	0.0013
91.2656	-0.1393	0.0306	0.0016
90.3629	-0.1441	0.0334	0.0020
89.4545	-0.1481	0.0363	0.0023
88.5423	-0.1514	0.0391	0.0027
87.6279	-0.1542	0.0420	0.0031
86.7128	-0.1564	0.0447	0.0035
85.7980	-0.1582	0.0475	0.0040
84.8849	-0.1595	0.0502	0.0045

```
y2 =
```

100.0000	1.0000	0	0
101.7291	0.8581	-0.0225	-0.0001
103.1115	0.7316	-0.0441	-0.0004
104.1861	0.6191	-0.0647	-0.0010
104.9875	0.5189	-0.0844	-0.0017
105.5469	0.4297	-0.1035	-0.0027
105.8918	0.3504	-0.1219	-0.0038
106.0469	0.2798	-0.1396	-0.0051
106.0342	0.2171	-0.1569	-0.0066
105.8733	0.1614	-0.1737	-0.0082
105.5817	0.1120	-0.1900	-0.0101
105.1752	0.0681	-0.2059	-0.0120
104.6674	0.0292	-0.2215	-0.0142
104.0710	-0.0053	-0.2368	-0.0165
103.3969	-0.0358	-0.2517	-0.0189
102.6551	-0.0628	-0.2664	-0.0215
101.8542	-0.0866	-0.2809	-0.0242
101.0022	-0.1076	-0.2951	-0.0271
100.1060	-0.1262	-0.3092	-0.0302
99.1718	-0.1424	-0.3231	-0.0333

کنترل پذیری و رویت پذیری

O =

1.0e+04 *

0.0001	0	0	0
0	0.0001	0	0
0	0	0.0001	0
0	0	0	0.0001
-0.0001	0.0252	0	-0.0010
-0.0000	-0.0012	0.0000	0
0.0000	-0.0001	-0.0001	0
0	0	0.0001	0
-0.0006	-0.3155	0.0105	0.0006
0.0000	0.0136	-0.0006	0.0000
0.0000	0.0008	0.0000	-0.0000
0.0000	-0.0001	-0.0001	0
0.0080	3.6149	-0.1504	0.0056
-0.0003	-0.1543	0.0066	-0.0003
-0.0000	-0.0098	0.0004	-0.0000
0.0000	0.0008	0.0000	-0.0000

Con =

1.0e+04 *

0	-0.0175	0.1990	-2.2214
-0.0001	0.0007	-0.0083	0.0945
-0.0002	0.0002	-0.0006	0.0061
0	-0.0002	0.0002	-0.0006

کنترل پذیری و رویت پذیری

فرم جردن فضای حالت:

$J =$

$-11.3393 + 0.0000i$	$0.0000 + 0.0000i$	$0.0000 + 0.0000i$	$0.0000 + 0.0000i$
$0.0000 + 0.0000i$	$-1.2958 - 0.0000i$	$0.0000 + 0.0000i$	$0.0000 + 0.0000i$
$0.0000 + 0.0000i$	$0.0000 + 0.0000i$	$-0.5539 - 0.0000i$	$0.0000 + 0.0000i$
$0.0000 + 0.0000i$	$0.0000 + 0.0000i$	$0.0000 + 0.0000i$	$-0.0532 + 0.0000i$

$JB =$

$0.0036 - 0.0000i$
$0.2018 + 0.0000i$
$3.2863 - 0.0000i$
$-3.4917 + 0.0000i$

$JC =$

$1.0e+03 *$

$4.1936 + 0.0000i$	$0.1887 + 0.0000i$	$-0.0266 + 0.0000i$	$-0.0098 + 0.0000i$
$-0.1788 + 0.0000i$	$-0.0005 - 0.0000i$	$0.0000 - 0.0000i$	$0.0000 - 0.0000i$
$-0.0113 + 0.0000i$	$-0.0013 - 0.0000i$	$-0.0006 - 0.0000i$	$-0.0001 + 0.0000i$
$0.0010 + 0.0000i$	$0.0010 + 0.0000i$	$0.0010 + 0.0000i$	$0.0010 + 0.0000i$

کنترل پذیری و رویت پذیری

شرط تحریک نشدن مود خاصی از سیستم:

$$V = \begin{bmatrix} x_2 \\ -x_1 \\ x_4 \\ -x_3 \end{bmatrix}$$

T =

1.0e+03 *

4.1936 + 0.0000i	0.1887 + 0.0000i	-0.0266 + 0.0000i	-0.0098 + 0.0000i
-0.1788 + 0.0000i	-0.0005 - 0.0000i	0.0000 - 0.0000i	0.0000 - 0.0000i
-0.0113 + 0.0000i	-0.0013 - 0.0000i	-0.0006 - 0.0000i	-0.0001 + 0.0000i
0.0010 + 0.0000i	0.0010 + 0.0000i	0.0010 + 0.0000i	0.0010 + 0.0000i

بررسی انواع پایداری

توابع تبدیل متناظر با خروجی های متفاوت:

```
ans =  
  
From input to output...  
          -175 s^2 - 327 s + 222.7  
1:  -----  
    s^4 + 13.24 s^3 + 22.39 s^2 + 9.293 s + 0.4326  
  
          -0.6951 s^3 - 1.792 s^2 - 0.8259 s - 0.4738  
2:  -----  
    s^4 + 13.24 s^3 + 22.39 s^2 + 9.293 s + 0.4326  
  
          -1.937 s^3 - 23.85 s^2 - 25.79 s  
3:  -----  
    s^4 + 13.24 s^3 + 22.39 s^2 + 9.293 s + 0.4326  
  
          -1.937 s^2 - 23.85 s - 25.79  
4:  -----  
    s^4 + 13.24 s^3 + 22.39 s^2 + 9.293 s + 0.4326  
  
Continuous-time transfer function.
```

بررسی انواع پایداری

تحقق کانونی کنترل کننده:

$A_c =$

0	1.0000	0	0
0	0	1.0000	0
0	0	0	1.0000
-0.4326	-9.2930	-22.3900	-13.2400

$B_c =$

0
0
0
1

$C_c =$

222.7000	-327.0000	-175.0000	0
-0.4738	-0.8259	-1.7920	-0.6951
0	-25.7900	-23.8500	-1.9370
-25.7900	-23.8500	-1.9370	0

بررسی انواع پایداری

داخلی، ورودی-خروجی و لیاپانوف

```
>> eig(A)
```

```
ans =
```

```
-11.3393  
-1.2958  
-0.5539  
-0.0532
```

```
>> eig(P)
```

```
ans =
```

```
1.0e+03 *  
  
0.0000  
0.0307  
0.2294  
2.7298
```

```
P =
```

```
1.0e+03 *
```

0.0005	0.0092	0.0060	0.0001
0.0092	0.1920	0.0327	-0.0719
0.0060	0.0327	1.8071	1.2668
0.0001	-0.0719	1.2668	0.9905

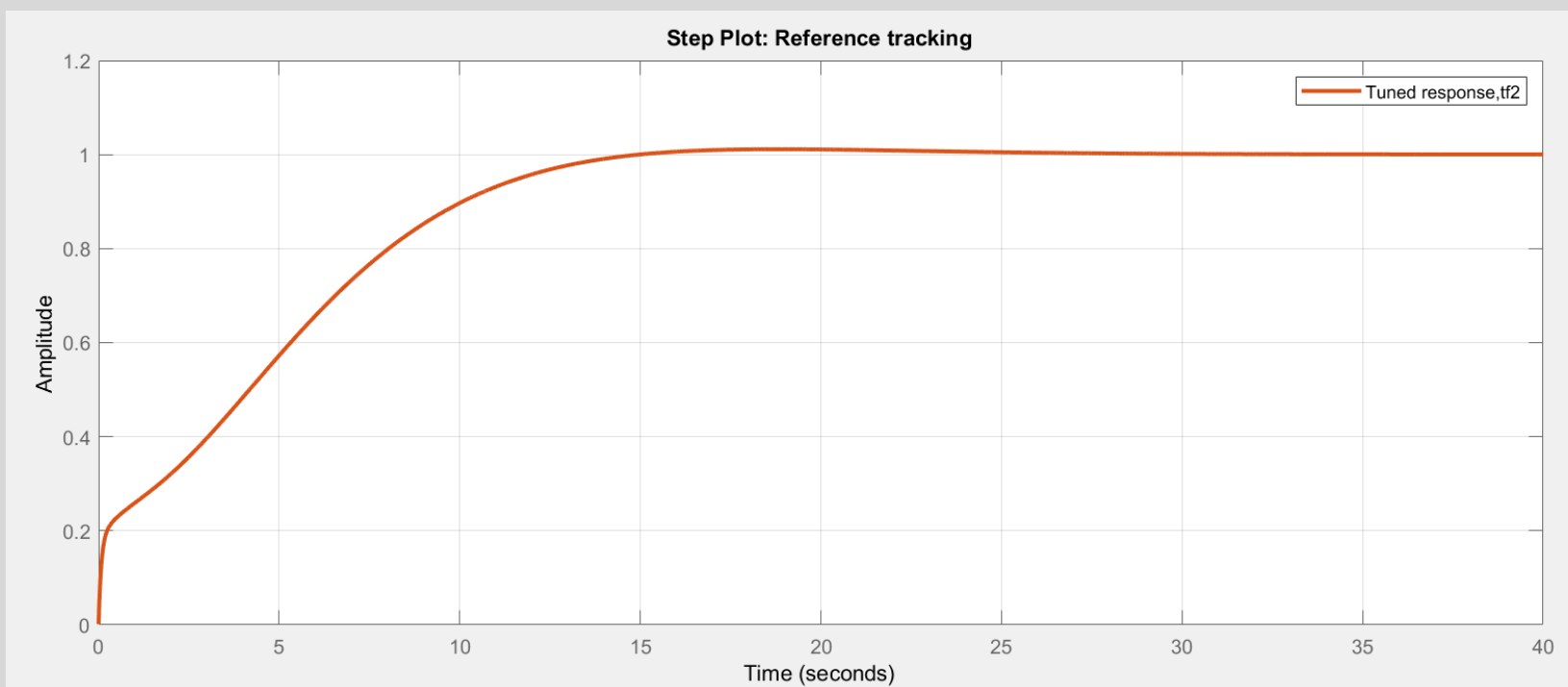
طراحی کنترلر فیدبک

ورودی به خروجی برای متغیر سرعت (فراجهش کم و زمان نشست کم اهمیت)



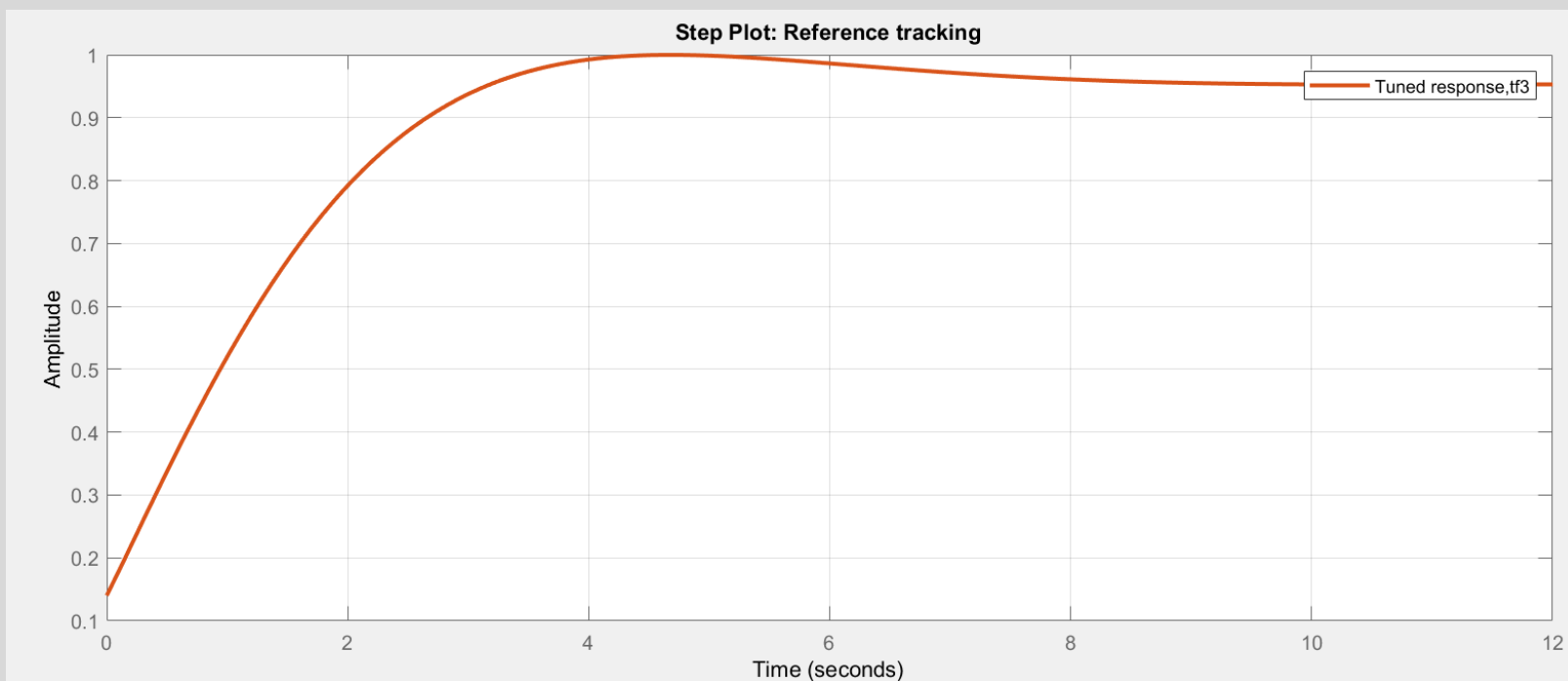
طراحی کنترلر فیدبک

ورودی به خروجی برای متغیر زاویه حمله (فراجهش کم و زمان نشست کم اهمیت)



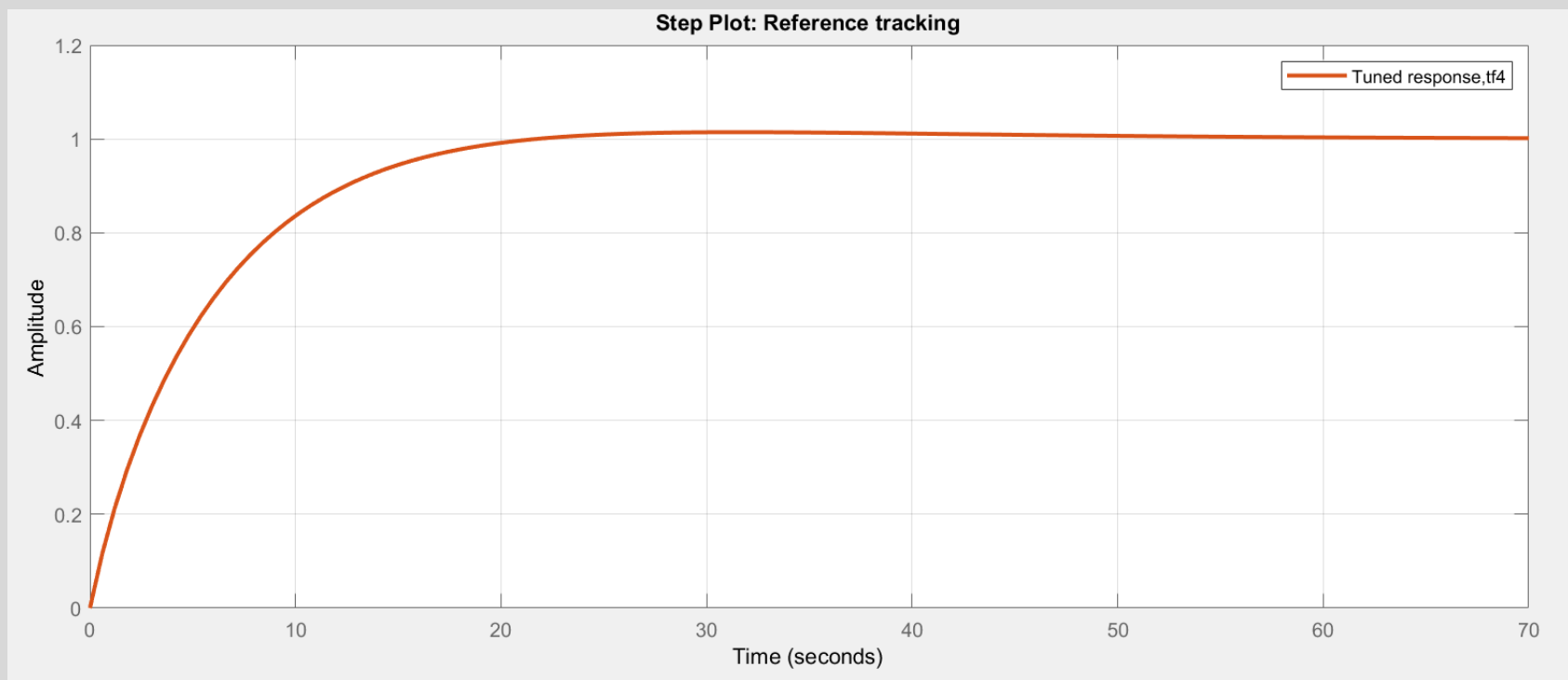
طراحی کنترلر فیدبک

ورودی به خروجی برای متغیر سرعت زاویه ای (فراجهش و زمان نشست هردو دارای اهمیت)



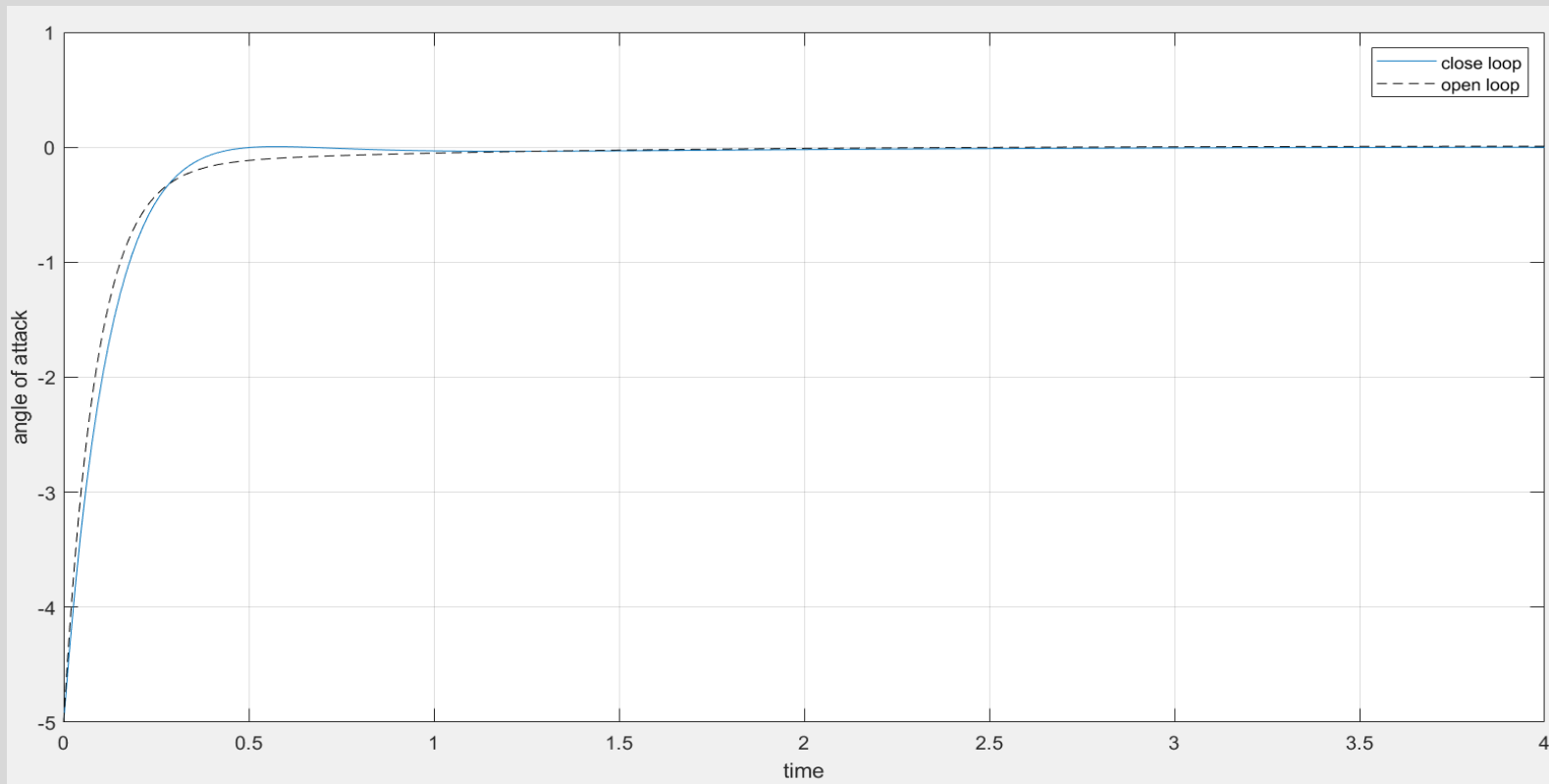
طراحی کنترلر فیدبک

ورودی به خروجی برای متغیر زاویه تاب (فراجهش و زمان نشست هر دو دارای اهمیت)



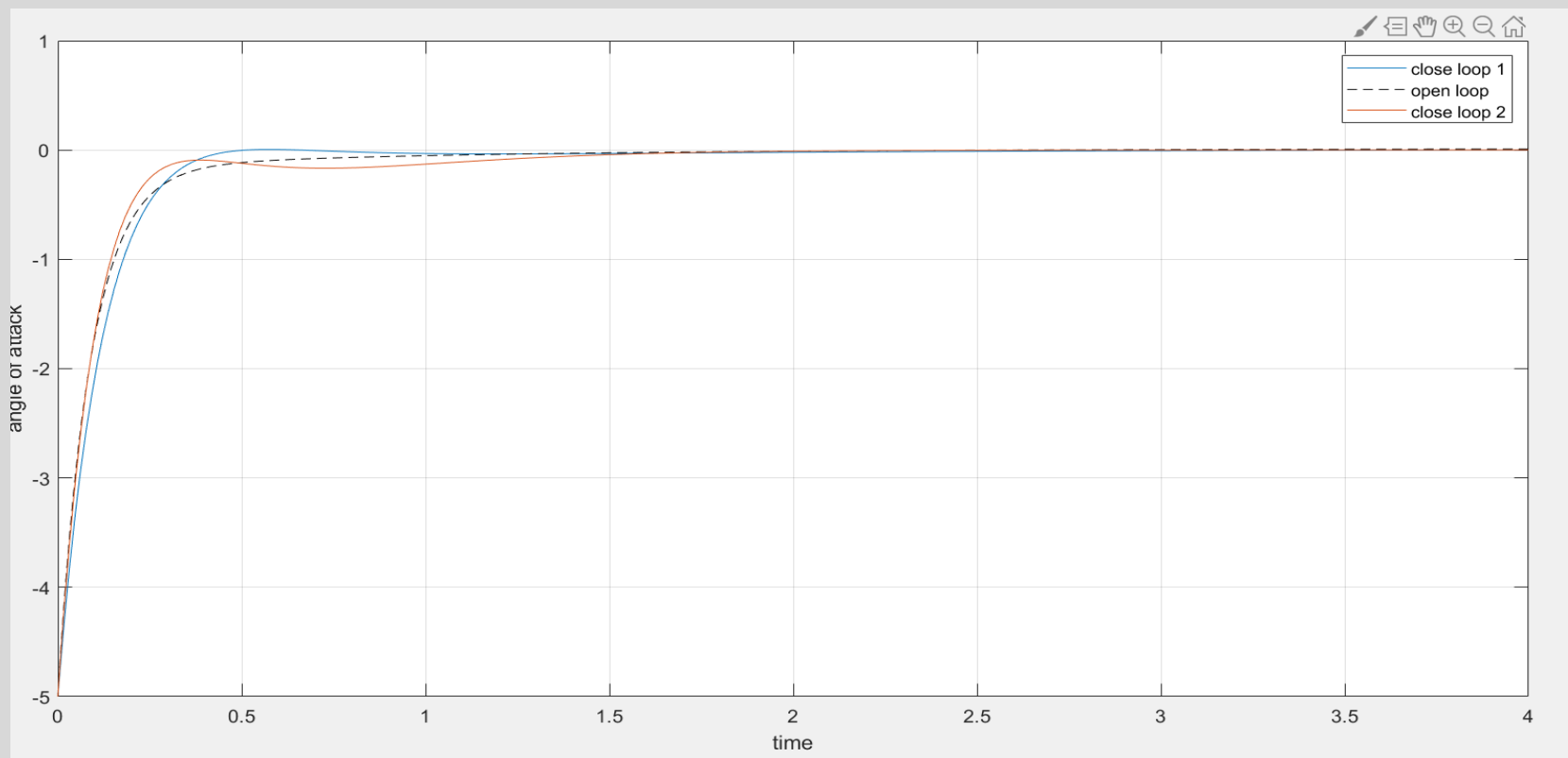
طراحی کنترلر فیدبک

جایابی دو قطب روی -0.5 و دو قطب روی -5



طراحی کنترلر فیدبک

جایابی دو قطب روی -0.5 و دو قطب روی -2.5

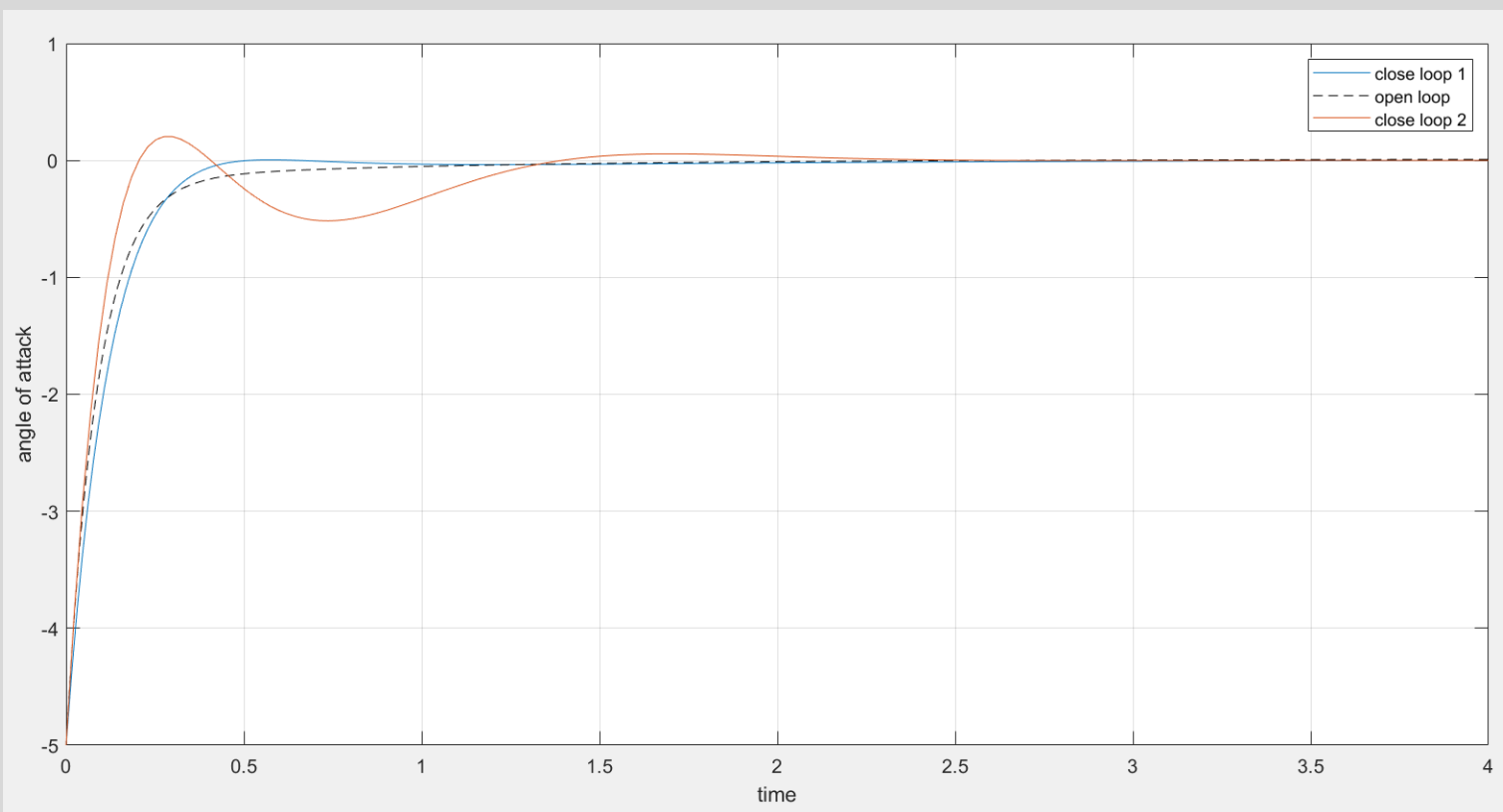


طراحی کنترلر فیدبک

جایابی به جهت سرعت بیشتر

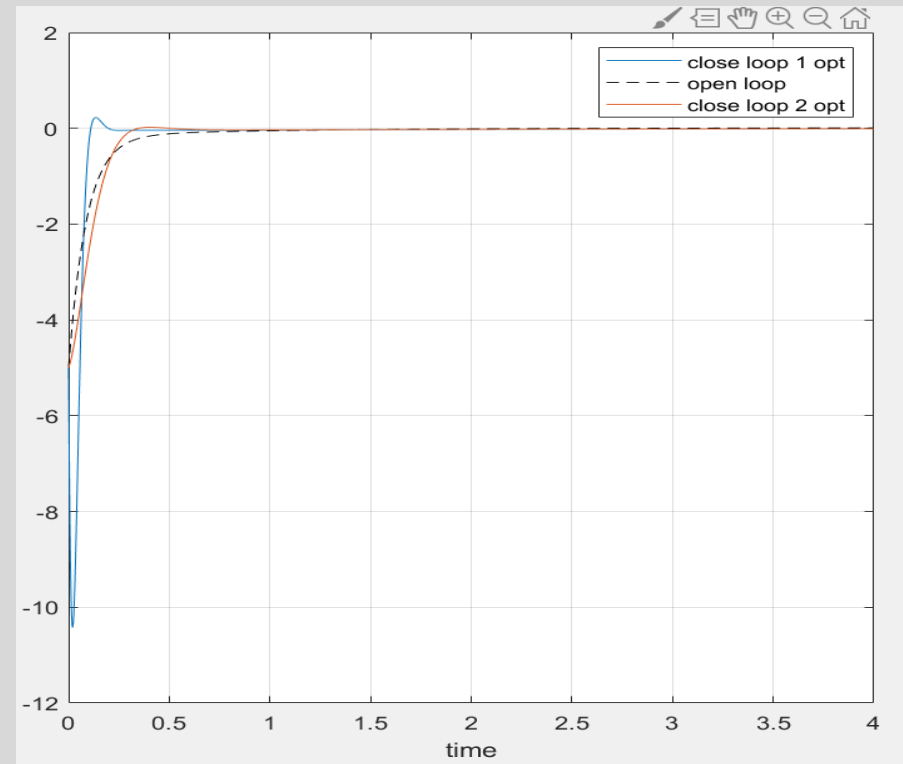
Pd2 =

$-3.0000 + 3.0000i$ $-3.0100 - 3.0000i$ $-4.0000 + 1.0000i$ $-4.0100 - 1.0000i$



طراحی کنترلر فیدبک

$$Q \equiv R, Q \equiv 100R$$



طراحی کنترلر فیدبک

$$Q \equiv R, Q \equiv 100R$$

