



دانشگاه صنعتی شیراز

دانشکده مهندسی برق و الکترونیک

گزارش کار پروژه درس کنترل مدرن

دانشجو:

نیما جهان باز فرد (400113020)

استاد درس:

جناب آقای دکتر جعفر زارعی

دی 1403

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

فهرست مطالب

عنوان

صفحه

بخش اول (طراحی رگولاتور برای سیستم تک ورودی)

- ۱-۱ تعریف سیستم و تحقق سیستم ۵
- ۲-۱ بررسی کنترل پذیری و پایداری تحقق ۵
- ۳-۱ پاسخ حلقه باز و پاسخ با فیدبک واحد ۶
- ۴-۱ تعریف دودسته قطب مطلوب و بدست آوردن بهره ی فیدبک حالت سیستم (4 روش) ۹
- ۵-۱ خروجی ها قسمت 4، مقایسه و تحلیل آنها (خروجی، state ها و سیگنال کنترل) ۱۲

بخش دوم (طراحی ردیاب برای سیستم تک ورودی)

- ۱-۲ طراحی ردیاب با استفاده از پیش جبران ساز استاتیک ۱۷
- ۲-۲ طراحی ردیاب با کنترل انتگرالی ۱۸
- ۳-۲ خروجی ها قسمت ها 1 و 2، مقایسه و تحلیل پاسخ ها از نظر عملکرد ردیابی ۲۰
- ۴-۲ خروجی ها قسمت ها 1 و 2، مقایسه و تحلیل پاسخ ها از نظر مقاومت در حضور تغییر پارامترها مدل ۲۶
- ۵-۲ خروجی ها قسمت ها 1 و 2 مقایسه و تحلیل پاسخ ها از نظر عملکرد با وارد کردن اغتشاشات ثابت ۴۷

بخش سوم (طراحی رگولاتور برای سیستم دو ورودی)

- ۱-۳ تعیین ساختار ها ویژه و بردار ها ویژه و طراحی فیدبک حالت (برای هر دسته قطب دو ساختار ویژه) ۵۵
- ۲-۳ طراحی بردار فیدبک حالت به روش لیاپانوف ۶۰
- ۳-۳ خروجی ها قسمت ها 1 و 2، مقایسه و تحلیل پاسخ ها (خروجی، state ها و سیگنال کنترل) ۶۲

بخش چهارم (طراحی ردیاب برای سیستم دو ورودی)

- ۱-۴ طراحی ردیاب با استفاده از کنترلگر انتگرالی و ساختار های ویژه و انجام شبیه سازی و تحلیل و مقایسه ... ۷۱

بخش اول

طراحی رگولاتور برای سیستم تک ورودی

1-1 تعریف سیستم و تحقق سیستم

با انتخاب سیستم:

$$G(s) = \frac{s^2 + 0.6s - 9.6}{s^4 + 3.5s^2 + 4s + 1.062}$$

و با تحقق زیر: (تحقق رویت پذیری)

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ -1.062 & -4 & -3.5 & 0 \end{pmatrix} \quad B = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0.6 \\ -13.1 \end{pmatrix} \quad C = (1 \ 0 \ 0 \ 0)$$

*با توجه به اینکه در این سیستم حذف و صفری صورت نمی گیرد پس تحقق داده شده ، تحقق مینیمال می باشد.

2-1 بررسی کنترل پذیری و پایداری تحقق

با تشکیل ماتریس کنترل پذیری برای تحقق گفته شده داریم:

$$\varphi_c = \begin{pmatrix} B & AB & A^2B & A^3B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0.6 & -13.1 \\ 1 & 0.6 & -13.1 & -6.1 \\ 0.6 & -13.1 & -6.1 & 42.388 \\ -13.1 & -6.1 & 42.388 & 73.1128 \end{pmatrix} \quad \text{rank}(\varphi_c) = 4$$

مرتبه ماتریس کنترل پذیری کامل است پس میتوان در نظر گرفت که سیستم کنترل پذیر حالت می باشد.

با بدست آوردن مود های سیستم داریم:

$$s_1 = 0.5 + j2 \quad s_2 = 0.5 - j2 \quad s_3 = -0.51 \quad s_4 = -0.49$$

قطب های s_1 و s_2 در سمت راست محور قرار دارند پس سیستم ناپایدار می باشد.

کد مربوطه:

%determining the stability and cotrollability of the system

clc;

clear all;

num=[0 0 1 0.6 -9.6];

den=[1 0 3.5 4 1.062];

A=[0 1 0 0;0 0 1 0;0 0 0 1;-1.062 -4 -3.5 0];

B=inv([1 0 0 0;0 1 0 0;3.5 0 1 0;4 3.5 0 1])*[0;1;0.6;-9.6];

C=[1 0 0 0];

phi_c = ctrb(A,B);

if(rank(phi_c) == length(A))

display('phi_c(A,B) is full rank so this system is controllable');

end

eigen = eig(A);

unstable_poles=eigen(real(eigen)>=0)

stable_poles=eigen(real(eigen)<0)

if isempty(unstable_poles)

disp('this system is stable');

else

disp('this system is not stable');

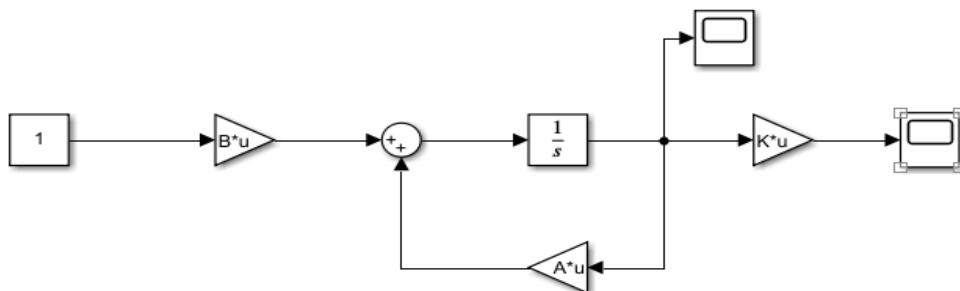
end

3-1 پاسخ حلقه باز و پاسخ با فیدبک واحد

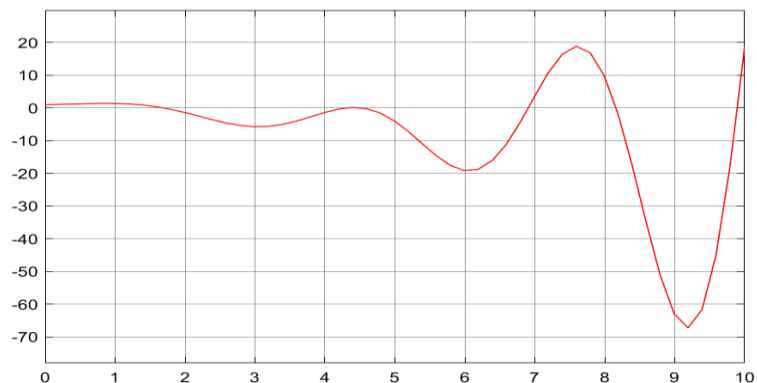
در کلیه ی شبیه سازی ها این پروژه شرایط اولیه انتگرال گیر برابر با $\begin{bmatrix} 1 & 0.5 & -1 & 2 \end{bmatrix}$ می باشد.

پاسخ حلقه باز:

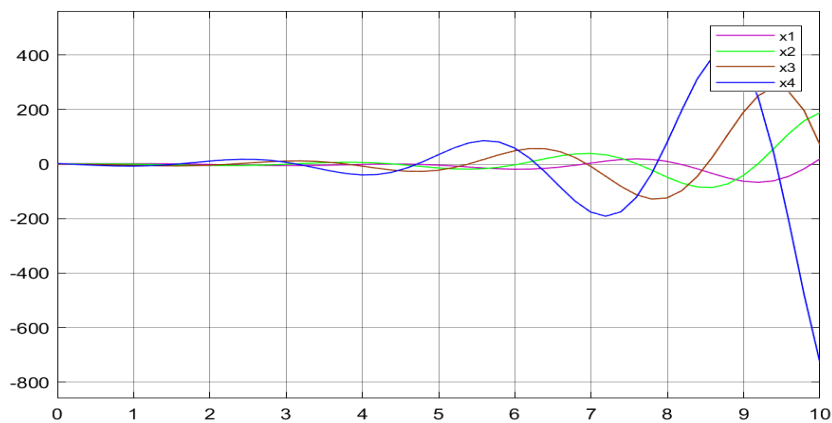
نمای سیستم حلقه باز در سیمولینک:



پاسخ خروجی به ازای ورودی صفر:



وضعیت state ها :

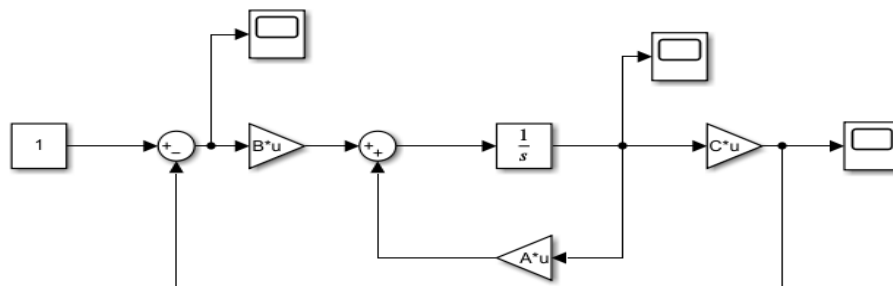


تحلیل:

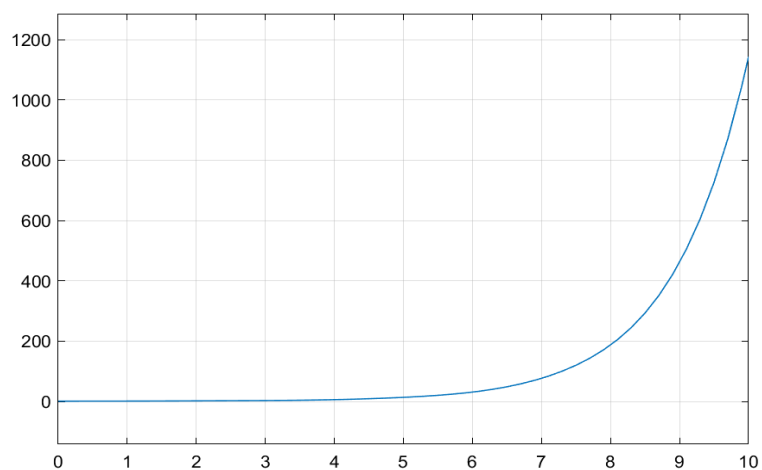
همانطور که مشخص است پاسخ سیستم به ازای ورودی پله ناپایدار می باشد و state ها نیز ناپایدار می باشند و علت آن هم وجود قطب ها ناپایدار در سیستم می باشد.

با فیدبک واحد:

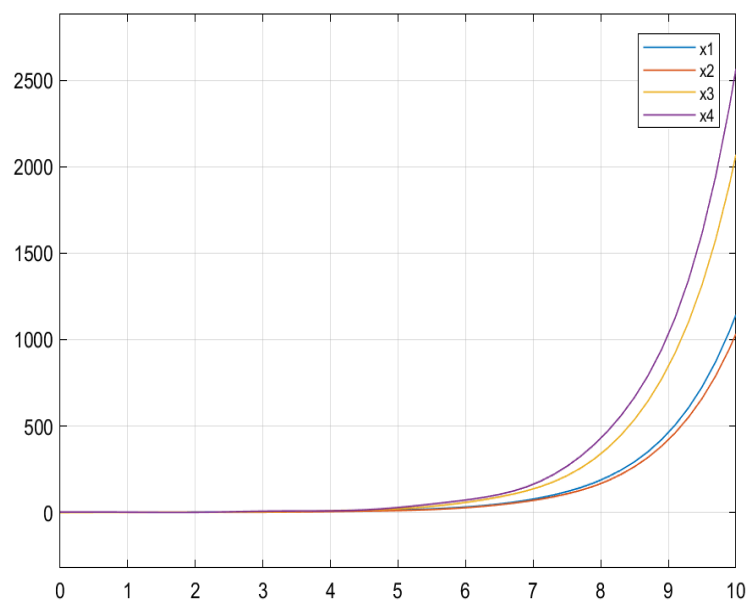
نمایی از شبیه سازی سیمولینک:



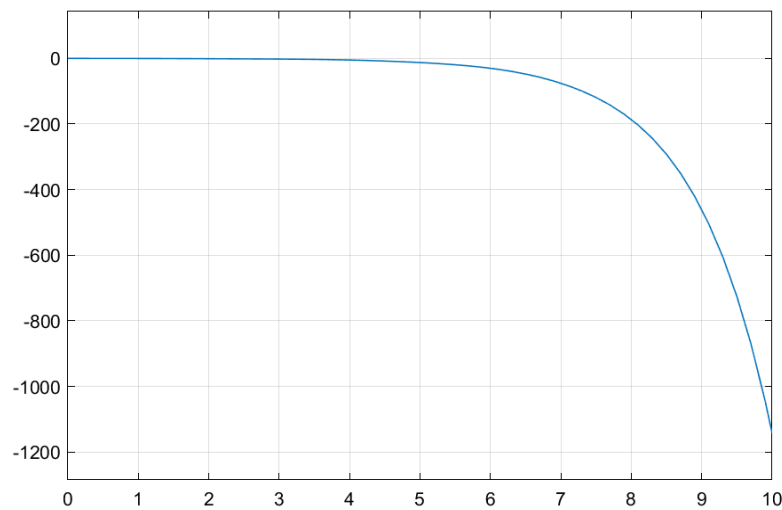
خروجی:



وضعیت state ها:



سیگنال فرمان:



تحلیل:

همانطور که مشخص است به ازای ورودی پله و سیستم حلقه بسته با فیدبک واحد نیز باعث پایداری سیستم نشده و پاسخ خروجی ناپایدار می باشد و به سمت بی نهایت میل می کند و همچنین از سیگنال کنترل نیز مشخص است که آن هم به سمت منفی بی نهایت میل می کن (فیدبک منفی) و state ها نیز به سمت بی نهایت میل می کنند.

4-1 تعریف دودسته قطب مطلوب و بدست آوردن بهره فیدبک حالت سیستم (4روش)

با تعریف دو دسته قطب مطلوب داریم:

دسته قطب اول: (روی محور حقیقی و نزدیک به محور موهومی-کند)

$$p1 = [-1 \quad -2 \quad -3 \quad -4]$$

دسته قطب دوم: (مختلط و دور از محور موهومی-سریع)

$$P2 = [-4 + 0.5i \quad -4 - 0.5i \quad -8 + 1.5i \quad -8 - 1.5i]$$

در ادامه که در کد مربوطه هم آماده است ، با روش های Ackerman ، BASS & GURA ، هم ارزی و تحقق کانونیکال کنترل کننده بهره فیدبک حالت به ازای دست قطب اول و دوم به ترتیب K1 و K2 بدست آماده است.

$$K1 = [-2.0707 \quad -3.5950 \quad -2.1972 \quad -1.1384]$$

$$K2 = [-108.8511 \quad -75.7386 \quad -23.5325 \quad -8.6915]$$

کد مربوطه:

%Regulator

%determining the stability and cotrollability of the system

clc;

clear **all**;

num=[0 0 1 0.6 -9.6];

den=[1 0 3.5 4 1.062];

A=[0 1 0 0;0 0 1 0;0 0 0 1;-1.062 -4 -3.5 0];

B=inv([1 0 0 0;0 1 0 0;3.5 0 1 0;4 3.5 0 1])*[0;1;0.6;-9.6];

C=[1 0 0 0];

phi_c = ctrb(A,B);

if(rank(phi_c) == length(A))

display('phi_c(A,B) is full rank so this system is controllable');

end

eigen = eig(A);

unstable_poles=eigen(real(eigen)>=0)

stable_poles=eigen(real(eigen)<0)

if isempty(unstable_poles)

disp('this system is stable');

else

disp('this system is not stable');

end

%finding state feedback :

% 1-equivalency 2-Bass and Gura 3-Ackerman 4-canonical controller

%desired poles

desired_poles1 = [-1 -2 -3 -4];

```
desired_poles2 = [-4+0.5i -4-0.5i -8+1.5i -8-1.5i];
```

```
%equivalency
```

```
Ke1 = place(A, B, desired_poles1);
```

```
Ke2 = place(A, B, desired_poles2);
```

```
%Bass and Gura:the function of Bass_Gura is end of the code
```

```
Kbg1=Bass_Gura(A,B,desired_poles1);
```

```
Kbg2=Bass_Gura(A,B,desired_poles2);
```

```
%Ackerman
```

```
Ka1 = acker(A, B, desired_poles1);
```

```
Ka2 = acker(A, B, desired_poles2);
```

```
%canonical controller
```

```
Ac=[0 1 0 0;0 0 1 0;0 0 0 1; -1.062 -4 -3.5 0];
```

```
Bc=[0;0;0;1];
```

```
Cc=[-9.6 0.6 1 0];
```

```
Dc=0;
```

```
m=[0 0 0 1];
```

```
a1=m*(-1.*Ac);
```

```
s=tf('s');
```

```
delta_s_desired1=(s+1)*(s+2)*(s+3)*(s+4);
```

```
a2=[24 50 35 10];
```

```
delta_s_desired2=(s+4+0.5i)*(s+4-0.5i)*(s+8+1.5i)*(s+8-1.5i);
```

```
a3=[1077 790 210.5 24];
```

```
Kc1=a2-a1;
```

```
Kc2=a3-a1;
```

```
phi_c_Ac=ctrb(Ac,Bc);
```

```
inv_phi_c=inv(phi_c);
```

```
Kcc1=Kc1*phi_c_Ac*inv_phi_c;
```

```
Kcc2=Kc2*phi_c_Ac*inv_phi_c;
```

```
%in total we have state feedbacks
```

```
%state feedback for desired poles 1
```

```
K1=Ka1;
```

```
%state feedback for desired poles 2
```

```
K2=Ka2;
```

```
function k = Bass_Gura(A,B,pd)
```

```
phi_c = ctrb(A,B);
```

```
alpha = poly(pd);
```

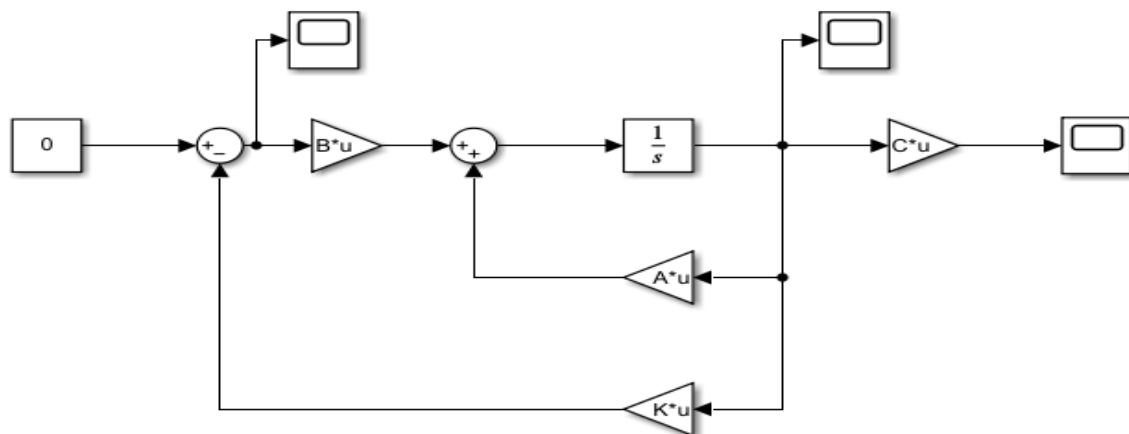
```

alpha = alpha(1,2:end);
n = length(A);
e = eig(A);
a = poly(e);
a = a(1,2:end);
si=eye(n);
for i = 2:n
    si = si+diag(a(i-1)*ones(1,n-i+1),i-1);
end
k = (alpha -a)*inv(si)*inv(phi_c);
end

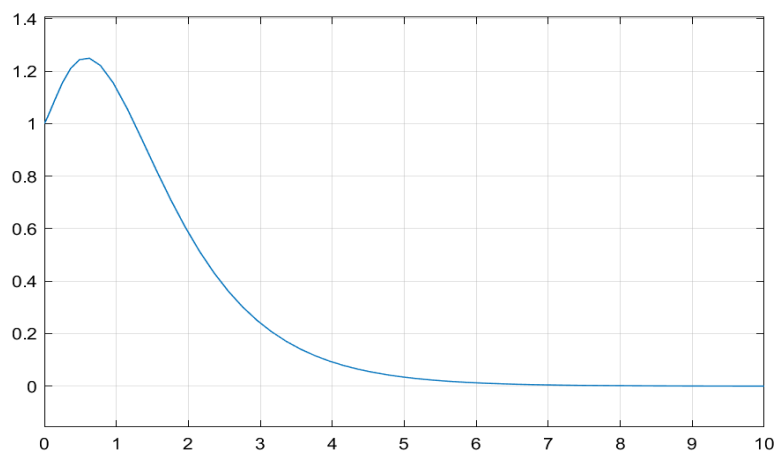
```

5-1 خروجی ها قسمت 4، مقایسه و تحلیل آنها (خروجی ، state ها و سیگنال کنترل)

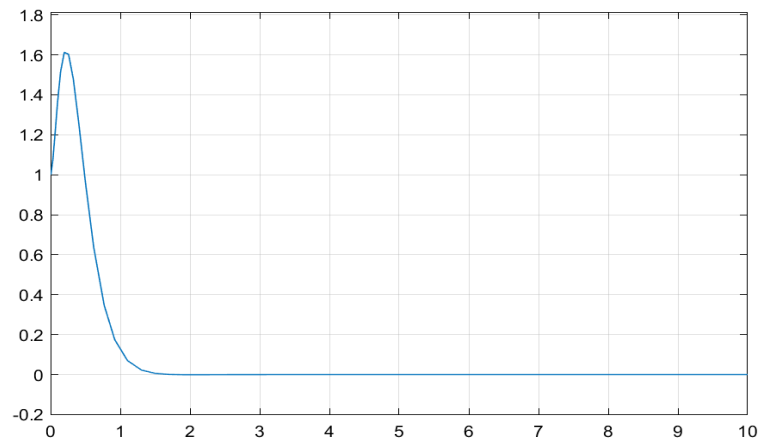
نمای سیمولینک شبیه سازی به ازای ورودی صفر:



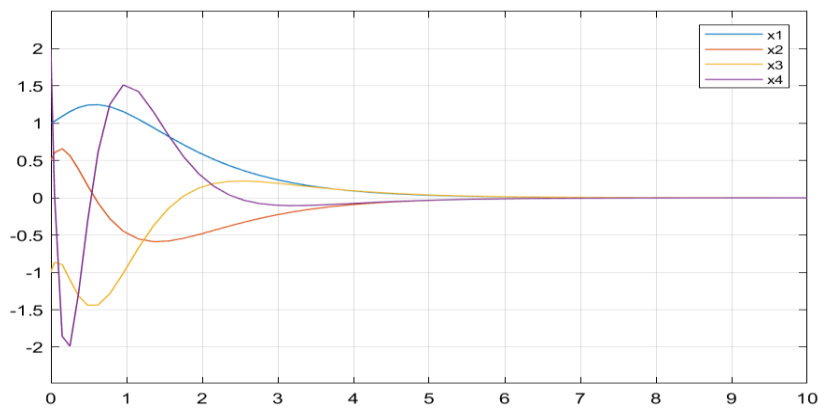
خروجی به ازای قطب های کُند:



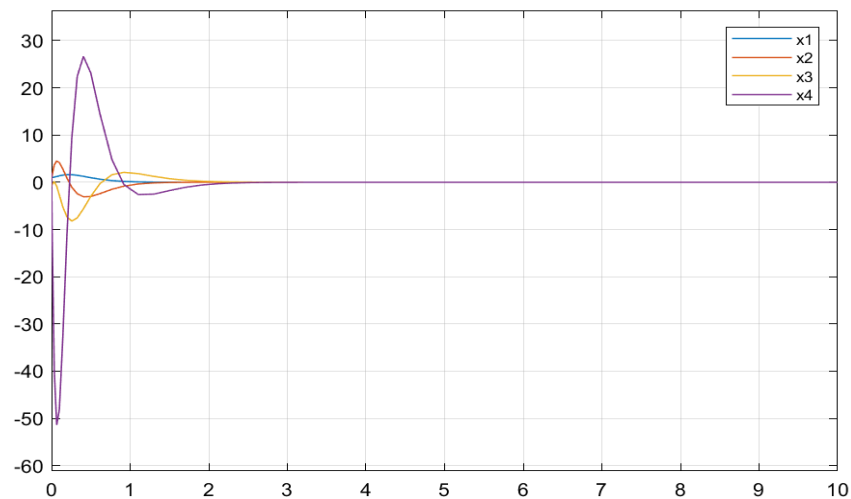
خروجی به ازای قطب های سریع:



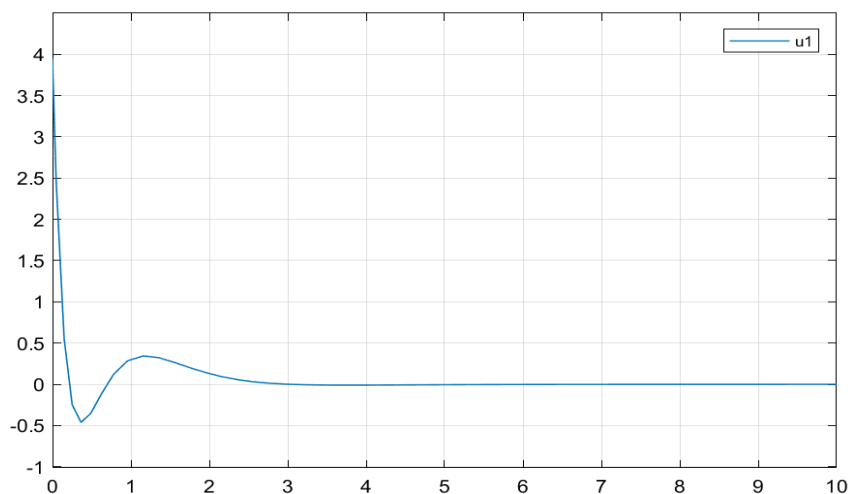
وضعیت state ها به ازای قطب های کند:



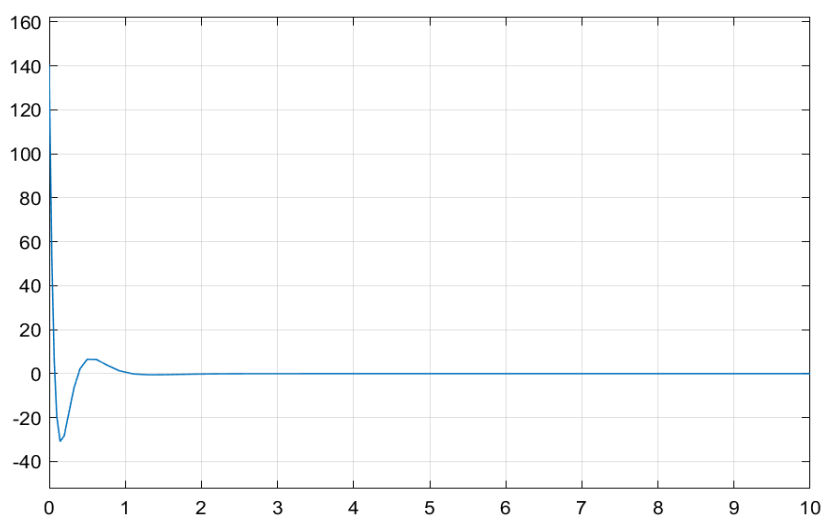
وضعیت state ها به ازای قطب های سریع:



سیگنال فرمان به ازای قطب های کُند:



سیگنال فرمان به ازای قطب های کُند:



تحلیل:

همانطور که به ازای خروجی ها متفاوت مشخص می باشد ، سیستم با بهره فیدبک های حالت به ازای هر دو دسته قطب پایدار شده است. با توجه به خروجی سیستم و سیگنال فرمان به ازای بهره ی فیدبک بدست آمده به ازای قطب ها کُند و مقایسه آنها به خروجی های مشابه به ازای دست قطب سریع تر و مقایسه ی آنها می توان به این موضوع پی برد که سیستم حلقه بسته اول کند بوده و دیر از سیستم حلقه بسته دوم

به حالت ماندگار ($y=0$) می رسد ولی این راهم باید در نظر گرفت که ماکزیمم مقدار نوسانات سیستم حلقه بسته اول کمتر از سیستم حلقه بسته دوم می باشد. و با مقایسه ی state ها نیز می توان به همین موارد نیز پی برد. این که state های سیستم حلقه بسته با فیدبک حالت بدست آمده با قطب های کُند با سرعت کمتر و با نوسانات کمتر نسبت به state های سیستم حلقه بسته به فیدبک حالت بدست آمده به ازای قطب ها سریع به حالت ماندگار خود می رسند.

بخش دوم

طراحی ردیاب برای سیستم تک ورودی

1-2 طراحی ردیاب با استفاده از پیش جبران ساز استاتیک

به ازای بهره های فیدبک به دست آمده از بخش قبل به ازای دو دسته قطب گفته شده که به شکل زیر هستند:

$$K1 = [-2.0707 \quad -3.5950 \quad -2.1972 \quad -1.1384]$$

$$K2 = [-108.8511 \quad -75.7386 \quad -23.5325 \quad -8.6915]$$

اکنون می توانیم با طبق روابط زیر بهره پیش جبران ساز استاتیکی را برای هر دو بردار فیدبک حالت به دست آوریم:

$$ua1 = [-C(A - BK1)^{-1}B]^{-1}r \longrightarrow ua1 = (-2.5)r$$

$$ua2 = [-C(A - BK2)^{-1}B]^{-1}r \longrightarrow ua2 = (-112.1419)r$$

در ادامه با کد مربوطه داریم:

```
% Tracking: calculating ua : static pre-compensator
clc;
clear all;
s=tf('s');
num=[0 0 1 0.6 -9.6];
den=[1 0 3.5 4 1.062];
A=[0 1 0 0;0 0 1 0;0 0 0 1;-1.062 -4 -3.5 0];
B=inv([1 0 0 0;0 1 0 0;3.5 0 1 0;4 3.5 0 1])*[0;1;0.6;-9.6];
C=[1 0 0 0];
%state feedback for desired poles 1
K1=[-2.070746295816953,-3.595041954368031,-2.197204600415871,-
1.138424787375386];
%state feedback for desired poles 2
K2=[-1.088511183014434e+02,-75.738608696318150,-23.532547504161734,-
8.691460854871387];
%close loop for K1
Acl_1=A-B*K1;
%close loop for K2
Acl_2=A-B*K2;

%finding ua1 for first close loop system
ua1=inv((-1.*C)*inv(Acl_1)*B);

%finding ua2 for second close loop system
ua2=inv((-1.*C)*inv(Acl_2)*B);
```

2-2 طراحی ردیاب با کنترل انتگرالی

برای طراحی ردیاب با کنترل کننده انتگرالی ، ابتدای امر باید مرتبه ماتریس زیر را چک کنیم:

$$\begin{bmatrix} B & A \\ 0 & -C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0.6 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ -13.1 & -1.062 & -4 & -3.5 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \longrightarrow \text{rank} \left(\begin{bmatrix} B & A \\ 0 & -C \end{bmatrix} \right) = 5$$

ماتریس مرتبه ی کامل دارد ، پس می توانیم ردیاب با کنترل کننده انتگرالی برای سیستم طراحی کنیم.

با اضافه کردن state جدید به سیستم به صورت :

$$\frac{dq(t)}{dt} = r - y(t) = Cx(t)$$

اکنون تحقق ما به صورت زیر می شود:

$$\begin{bmatrix} \frac{dx(t)}{dt} \\ \frac{dq(t)}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & 0 \\ -C & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(t) \\ q(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B \\ 0 \end{bmatrix} r + \begin{bmatrix} 0 \\ I \end{bmatrix} r$$

$$y(t) = \begin{bmatrix} C & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(t) \\ q(t) \end{bmatrix}$$

طبق ماتریس های A و B و C جدید اکنون طبق روش های گفته شده از نو بهره ها را نسب به دو دسته

قطب بدست می آوریم:(قطب مربوط به متغیر حالت اضاف شده را در 2.5- قرار میدهم.

در کل دو دسته قطب جدید با افزودن متغیر حالت جدید:

دسته قطب اول:

$$p1 = [-1 \quad -2 \quad -3 \quad -4 \quad -2.5]$$

دسته قطب دوم:

$$P2 = [-4 - 0.5i \quad -4 + 0.5i \quad -8 - 1.5i \quad -8 + 1.5i \quad -2.5]$$

بهره ها فیدبک به دست آمده به ازای دو دسته قطب:

با توجه به رابطه مقابل بهره های بدست آمده را به دو بخش تقسیم می کنیم:

$$u(t) = [-K1 \quad K2] \begin{bmatrix} x(t) \\ q(t) \end{bmatrix}$$

که در آن K1 بردار فیدبک حالت و K2 بهره انتگرال گیر می باشد.

برای دسته قطب اول داریم:

$$KI_1 = [-15.1003 \quad -12.6247 \quad -5.0433 \quad -2.1489 \quad -6.25]$$

$$\rightarrow KI1_1 = [-15.1003 \quad -12.6247 \quad -5.0433 \quad -2.1489 \quad]$$

$$\rightarrow KI1_2 = -6.25$$

برای دسته قطب دوم:

$$KI_2 = [-329.1845 \quad -161.6835 \quad -45.2612 \quad -16.4382 \quad -280.3548]$$

$$\rightarrow KI2_1 = [-329.1845 \quad -161.6835 \quad -45.2612 \quad -16.4382 \quad]$$

$$\rightarrow KI2_2 = -280.3548$$

پس از تقسیم بردار ها به دو بخش، بردار اول بردار فیدبک حالت می باشد و بردار دوم بهره ی انتگرال گیر

می باشد.

کد مربوطه:

```
clc;
clear all;
s=tf('s');
num=[0 0 1 0.6 -9.6];
den=[1 0 3.5 4 1.062];
A=[0 1 0 0;0 0 1 0;0 0 0 1;-1.062 -4 -3.5 0];
B=inv([1 0 0 0;0 1 0 0;3.5 0 1 0;4 3.5 0 1])*[0;1;0.6;-9.6];
C=[1 0 0 0];
```

%Tracking : Integral controller

```

%testing controllability of [B A;0 -C]
phi=[0 0 1 0 0;1 0 0 1 0;0.6 0 0 0 1;-13.1 -1.062 -4 -3.5 0;0 -1 0 0 0];
r=rank(phi);

if(r == 5)
display('[B A;0 -C] is full rank so this system is controllable');
display('so it is ok to designing trackig controller(integral)');
else
display('[B A;0 -C] is not full rank so this system is not controllable');

end

AI=[0 1 0 0 0;0 0 1 0 0;0 0 0 1 0;-1.062 -4 -3.5 0 0;1 0 0 0 0];
BI=[4.520193743116709e-17; 1 ;0.6; -13.1; 0];
CI=[1 0 0 0 0];

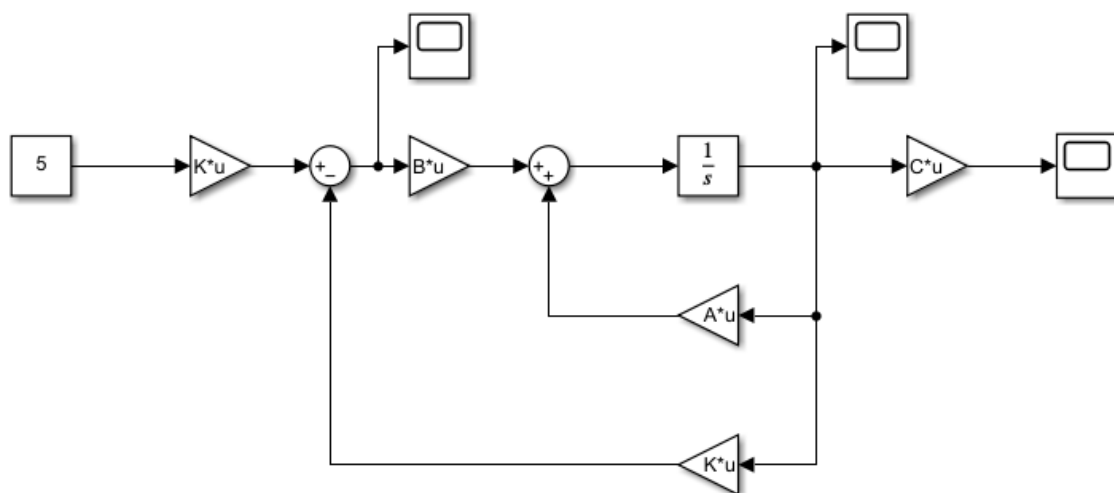
dp1 = [-1 -2 -3 -4 -2.5];
dp2 = [-4+0.5i -4-0.5i -8+1.5i -8-1.5i -2.5];
%calculating for both desired poles
KI_1=acker(AI,BI,dp1);
KI1_1=KI_1(1,1:4);
KI1_2=KI_1(1,5);
KI_2=acker(AI,BI,dp2);
KI2_1=KI_2(1,1:4);
KI2_2=KI_2(1,5);

```

2-3 خروجی ها قسمت ها 1 و 2, مقایسه و تحلیل پاسخ ها از نظر عملکرد ردیابی

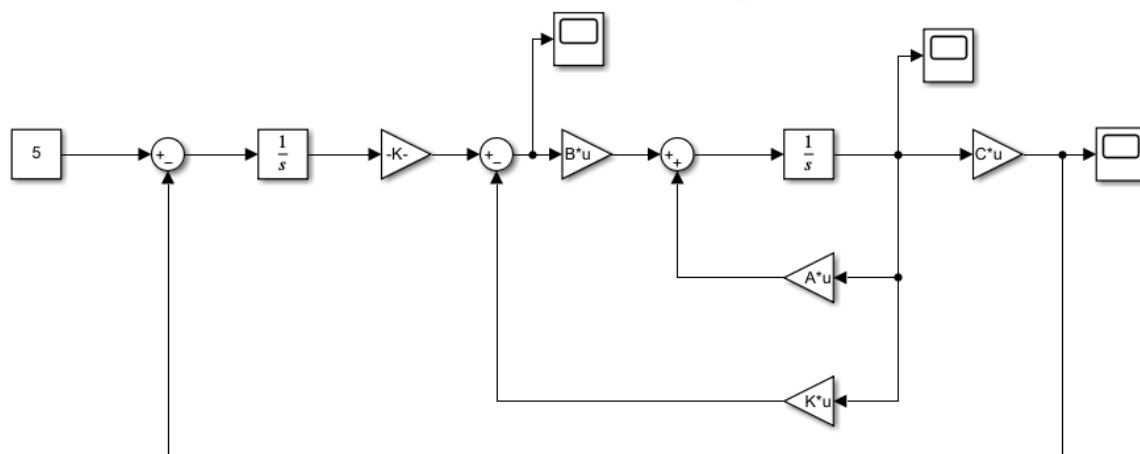
در این قسمت به مقایسه های خروجی ها سیستم حلقه بسته با توجه به طراحی ها در قسمت های قبل از نظر ردیابی می پردازیم:

نمایی از سیمولینک برای عملکرد ردیابی با استفاده از پیش جبران ساز استاتیکی (ورودی 5):

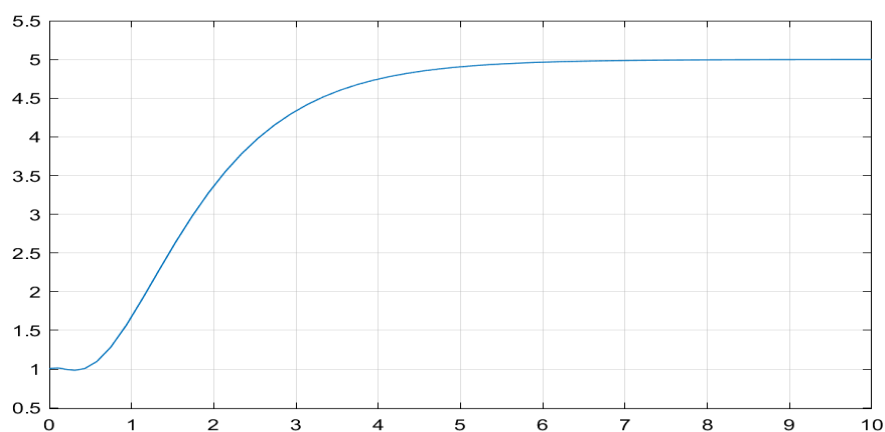


نمایی از سیمولینک برای عملکرد ردیابی با استفاده از کنترل کننده انتگرالی (که در آن مقدار اولیه ی انتگرال

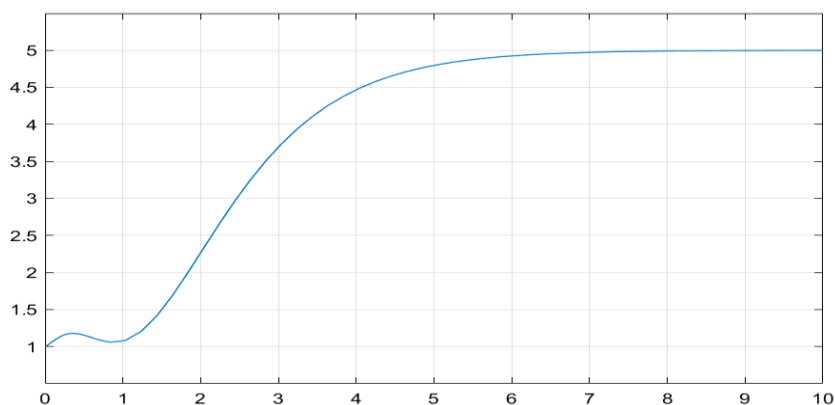
گیر برابر با 2 قرار داده شده است): ورودی 5



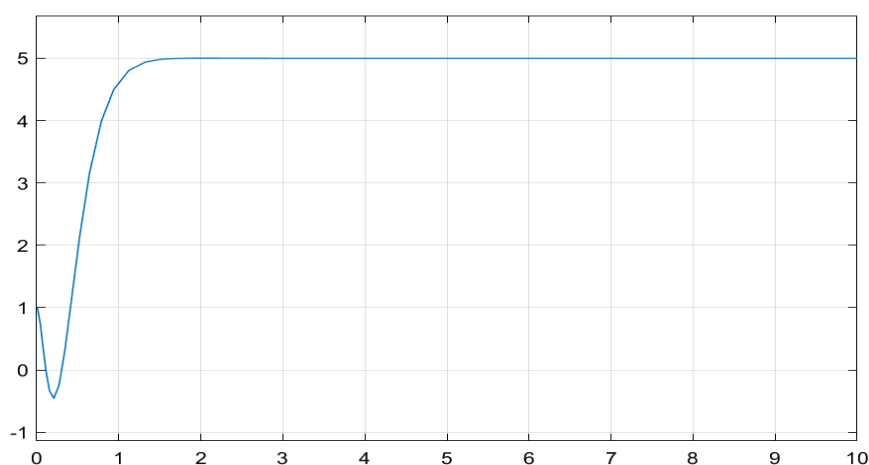
پاسخ خروجی برای دسته قطب اول به روش پیش جبران ساز استاتیکی:



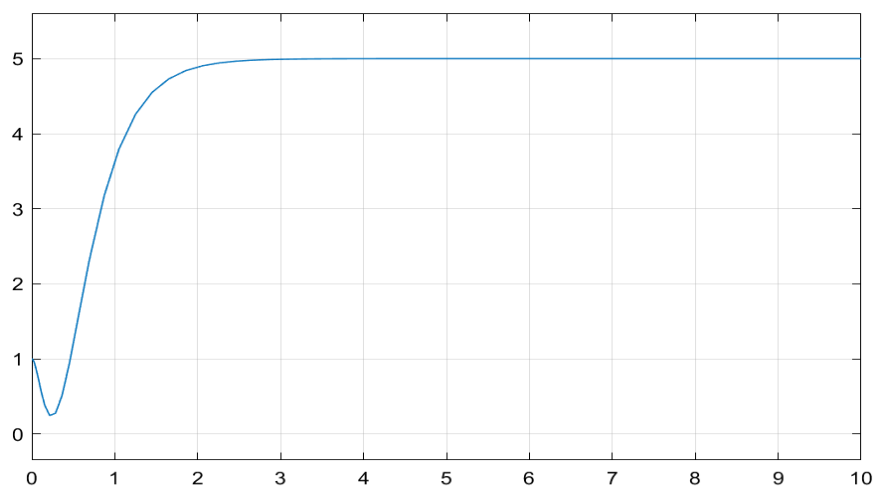
پاسخ خروجی برای دسته قطب اول به روش کنترل کننده انتگرالی:



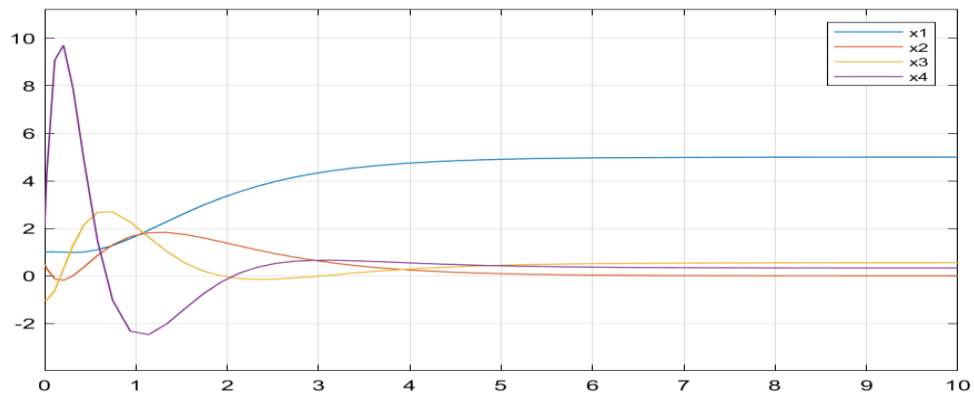
پاسخ خروجی برای دسته قطب دوم به روش پیش جبران ساز استاتیکی:



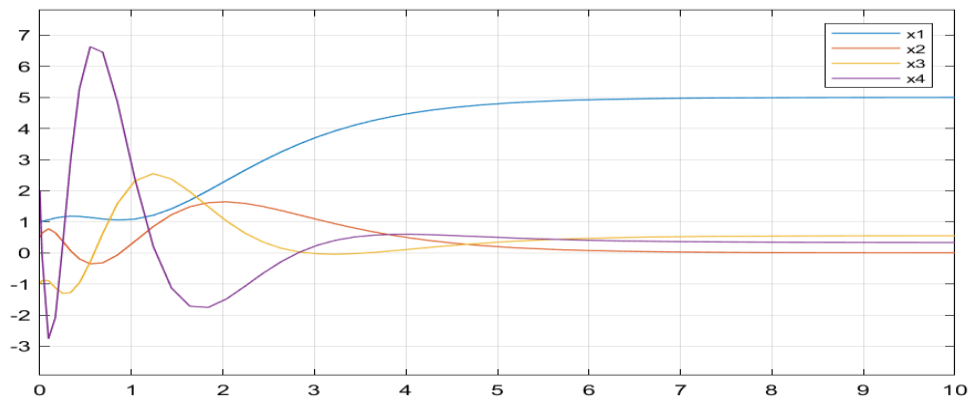
پاسخ خروجی برای دسته قطب اول به روش کنترل کننده انتگرالی:



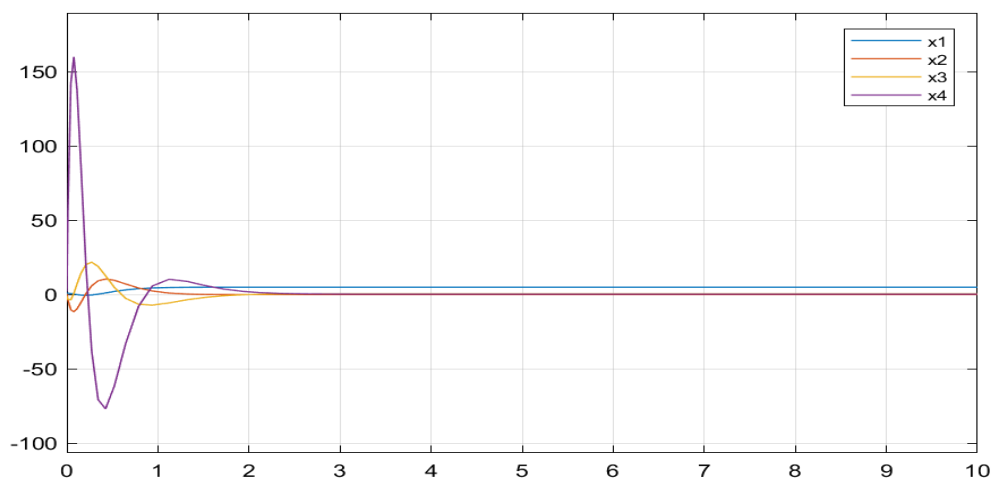
وضعیت state ها برای دسته قطب اول به روش پیش جبران ساز استاتیکی:



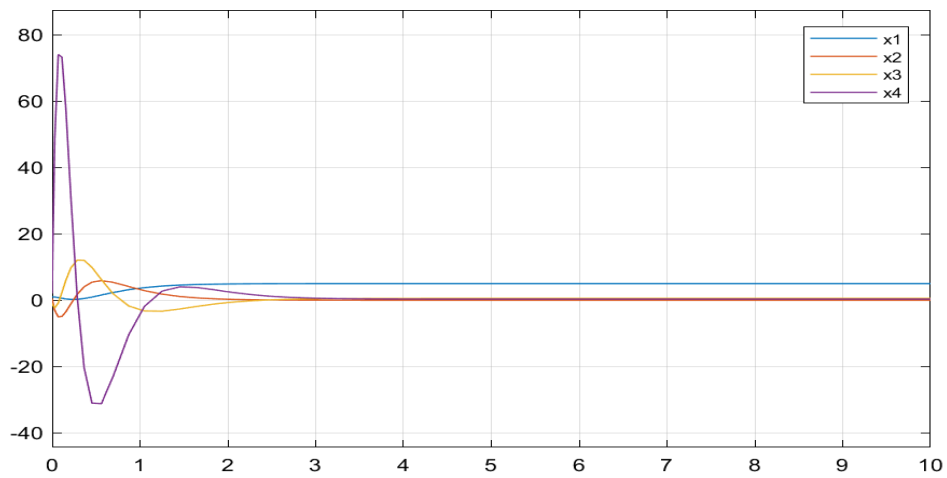
وضعیت state ها برای دسته قطب اول به روش کنترلگر انتگرالی :



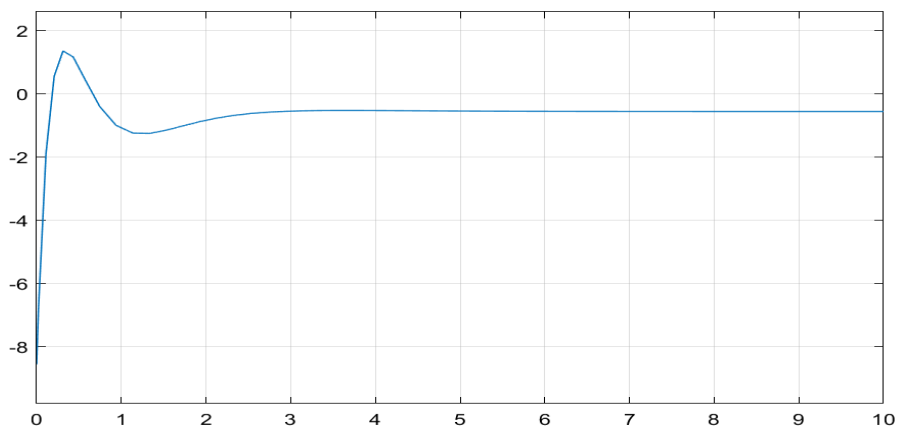
وضعیت state ها برای دسته قطب دوم به روش پیش جبران ساز استاتیکی :



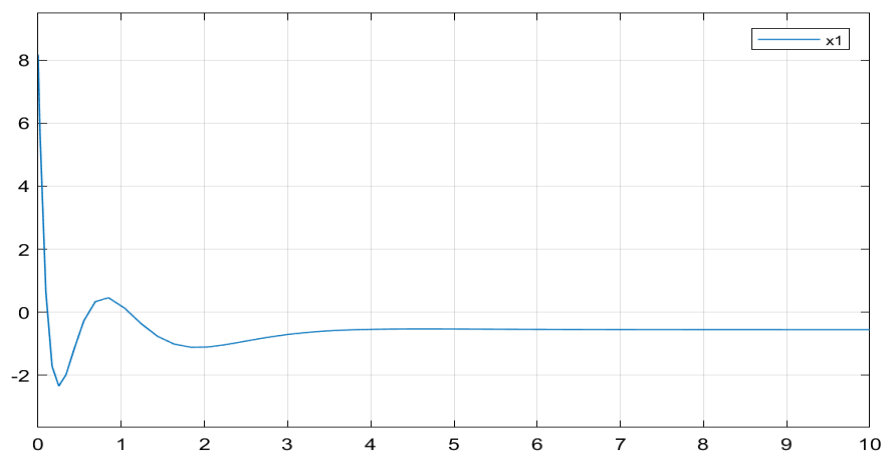
ضعیت state ها برای دسته قطب دوم به روش کنترلگر انتگرالی :



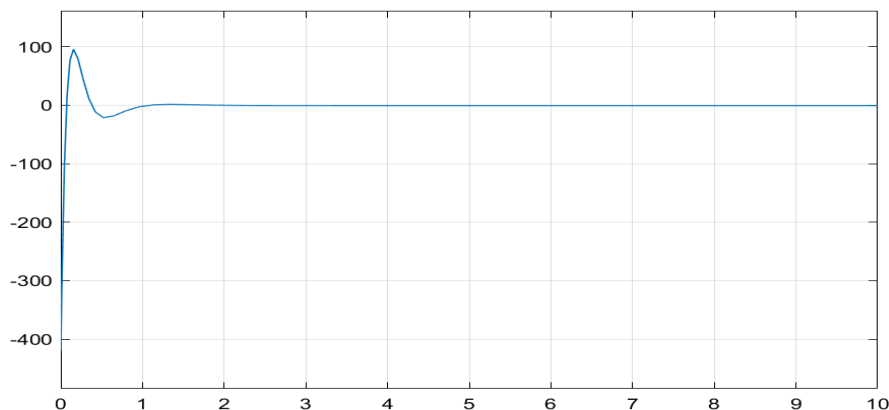
سیگنال فرمان برای دسته قطب اول به روش پیش جبران ساز استاتیکی:



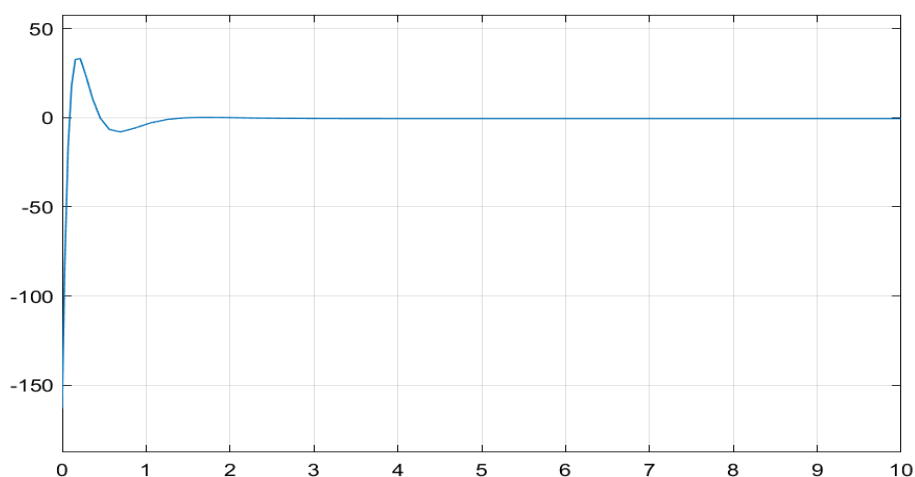
سیگنال فرمان برای دسته قطب اول به روش کنترلگر انتگرالی:



سیگنال فرمان برای دسته قطب دوم به روش پیش جبران ساز استاتیکی:



سیگنال فرمان برای دسته قطب دوم به روش کنترلگر انتگرالی:



تحلیل:

همانطور که مشاهده میشود هر دو طراحی به خوبی عمل ردیابی را انجام داده و به مقدار مرجع خود $r=5$ در زمان مناسب رسیده اند و قابل مشاهده است که این خروجی مطلوب در حالت ماندگار فقط از حالت اول ساخته شده است زیرا در حالت ماندگار بقیه حالت ها همگی به صفر رسیده اند. در طراحی ردیاب به روش کنترل انتگرال تغییرات حالت ها و خروجی و سیگنال کنترلی نسبت به پیش جبران ساز بیشتر بوده در حالی که قطب های مطلوب هر دو یکسان میباشد و سرعت رسیدن به حالت ماندگار با استفاده از روش جبران ساز استاتیکی کمی سریع از روش کنترلگر انتگرالی می باشد دلیل آن هم این است که در کنترلگر

انتگرالی به دلیل استفاده از انتگرالگیر در سیستم لختی ایجاد می شود. و از نظر بررسی دو دسته قطب چه در هر دو طراحی به این موضوع می توان پی برد که دسته قطب دوم که دور تر از محور محومی هستند باعث افزایش سرعت سیستم و زودتر رسیدن به ورودی مرجع را باعث می شوند. در کنترل انتگرالی تلاش کنترلی بیشتر و در نتیجه هزینه کنترل بیشتر است ولی مزیت هایی دارد که در ادامه آن ها را خواهیم دید

$\frac{dq(t)}{dt}$ میتواند نشان دهنده ردیابی ما باشد زیرا ما این حالت را به سیستم اضافه کردیم که صفر شدن $\frac{dq(t)}{dt}$ در بخش دوم به معنی ردیابی کامل میباشد زیرا اختالف بین ورودی مرجع و خروجی میباشد.

2-4 خروجی ها قسمت ها 1 و 2, مقایسه و تحلیل پاسخ ها از نظر مقاومت در حضور تغییر

پارامترها مدل

در ادامه روند به بررسی تاثیرات تغییر پارامتر بر روی سیستم حلقه بسته می پردازیم. تغییرات مورد نظر بر روی هر 3 عنصر اصلی سیستم یعنی A,B,C می باشد. تغییر پارامتر با توجه به اینکه روی چه پارامتری اعمال شده است میتواند اثر متفاوتی روی رفتار حالت ها و سیستم بگذارد. از آنجاییکه سیستم را به صورت حلقه بسته در آوردیم و موقعیت قطب های حلقه بسته ما اهمیت پیدا میکند که این تغییر پارامتر میتواند شامل مثبت شدن یک یا چند قطب یا موهومی خالص شدن آن شود که این پدیده به ترتیب به معنی ناپایداری و یا نوسانی شدن سیستم می باشد و مهم نیست کدام روش طراحی انتخاب شود در صورتی که تغییر پارامتر در هر کدام از روش زیر باعث چنین اتفاقی شود سیستم دچار رفتار ناپایدار و نوسانی میشود.

در طراحی به روش پیش جبران ساز مقادیر ویژه ماتریس A-BK قطب های حلقه بسته را نشان میدهد که مشخصا تغییر درایه های ماتریس C هیچ تاثیری در تغییر قطب ها نداشته یعنی نمیتواند باعث ناپایداری یا نوسانی شدن سیستم شود ولی در طراحی به روش کنترل انتگرال مقادیر ویژه ماتریس زیر قطب های سیستم را به ما میدهد و همانطور که مشاهده میشود یعنی تغییر درایه های ماتریس C نیز میتواند روی پایداری اثر گذار باشد. پس می توان این موضوع را در نظر گرفت که در طراحی به روش پیش جبران ساز استاتیکی، قطب های حلقه بسته حساس به تغییرات A,B می باشند ولی در طراحی به روش کنترلگر

انتگرالی قطب های حلقه بسته به هر سه A, B, C وابسته هستند. و مورد دیگر که بسیار بر تاثیرات تغییرات پارامتر بر سیستم حلقه بسته ردیاب چه به روش انگرال گیر و چه به روش پیش جبران ساز استاتیکی تاثیر گذار است ، نحوه انتخاب دسته قطب های مطلوب است. هرچه قطب های انتخابی به محور موهومی نزدیک تر باشند احتمال تاثیر تغییر مدل بر ناپایدار شدن قطب های حلقه بسته کمتر می شود.

نحوه قطب های حلقه بسته در روش پیش جبران ساز استاتیکی:

$$eig([A - BK])$$

نحوه قطب های حلقه بسته در روش کنترلگر انتگرالی:

$$eig\left(\begin{bmatrix} A - BK1 & BK2 \\ -C & 0 \end{bmatrix}\right)$$

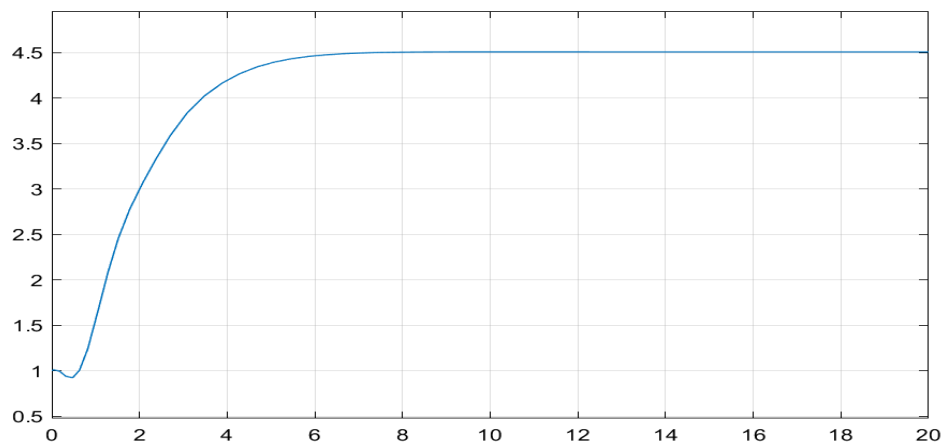
1- با تغییر پارامتر های بردار B داریم:

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0.6 \\ -13.1 \end{bmatrix} \rightarrow B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.8 \\ 0.6 \\ -8 \end{bmatrix}$$

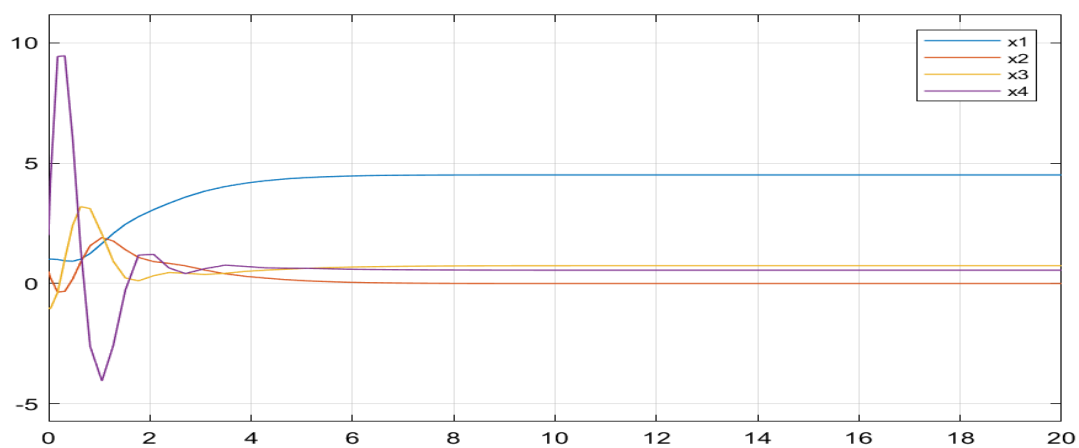
با تغییر پارامتر های ماتریس B به چنین حالتی که همچنان سیستم کنرل پذیر می باشد داریم:

طراحی به روش پیش جبران ساز استاتیکی برای دست قطب اول:

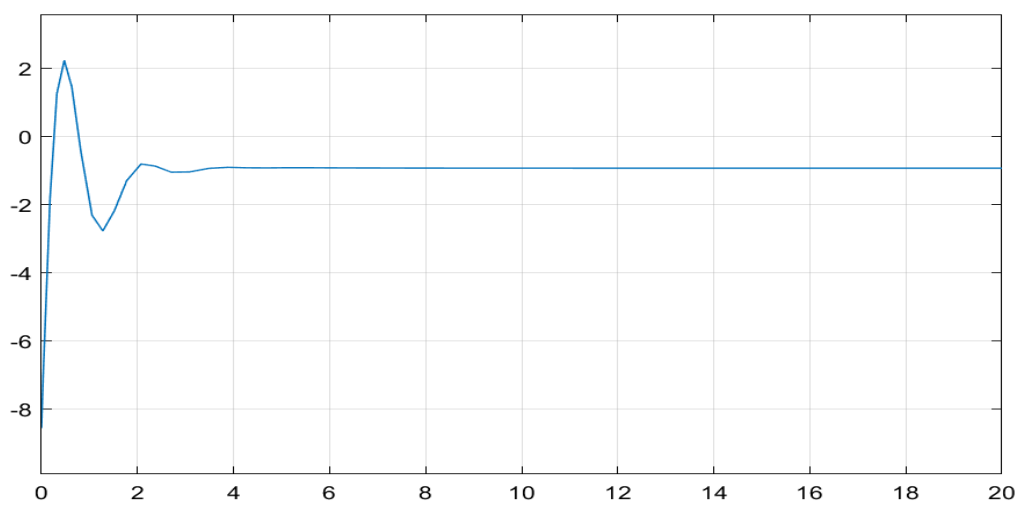
پاسخ خروجی:



وضعیت state ها:

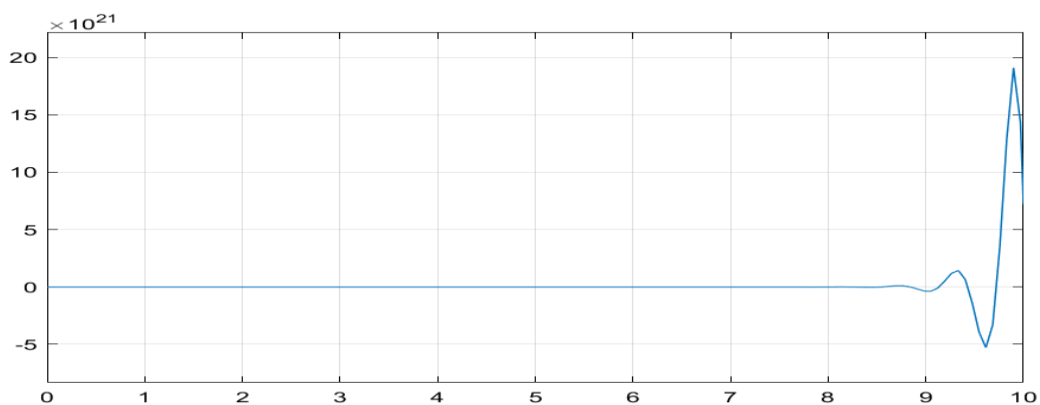


سیگنال فرمان :

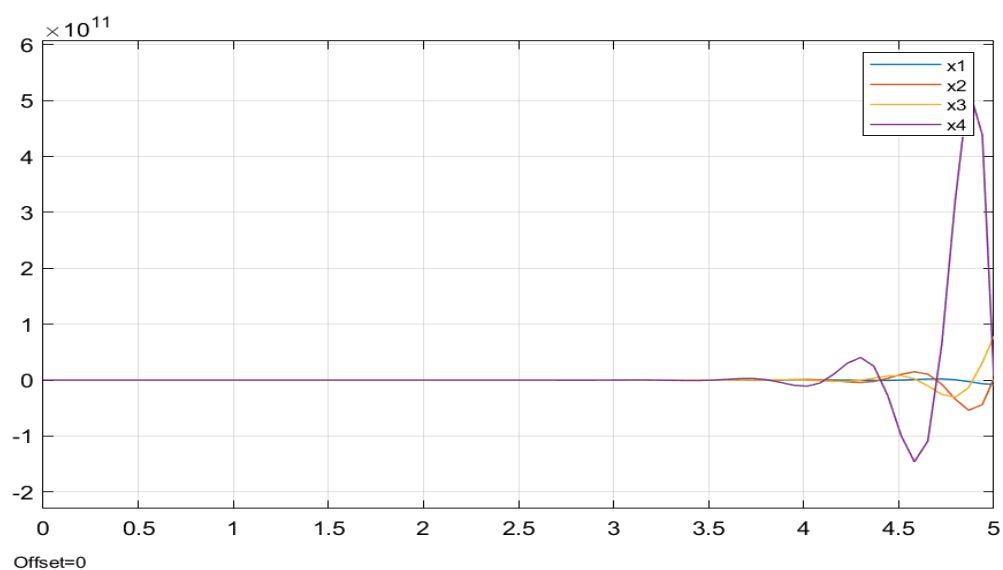


طراحی به روش پیش جبران ساز استاتیکی برای دست قطب دوم:

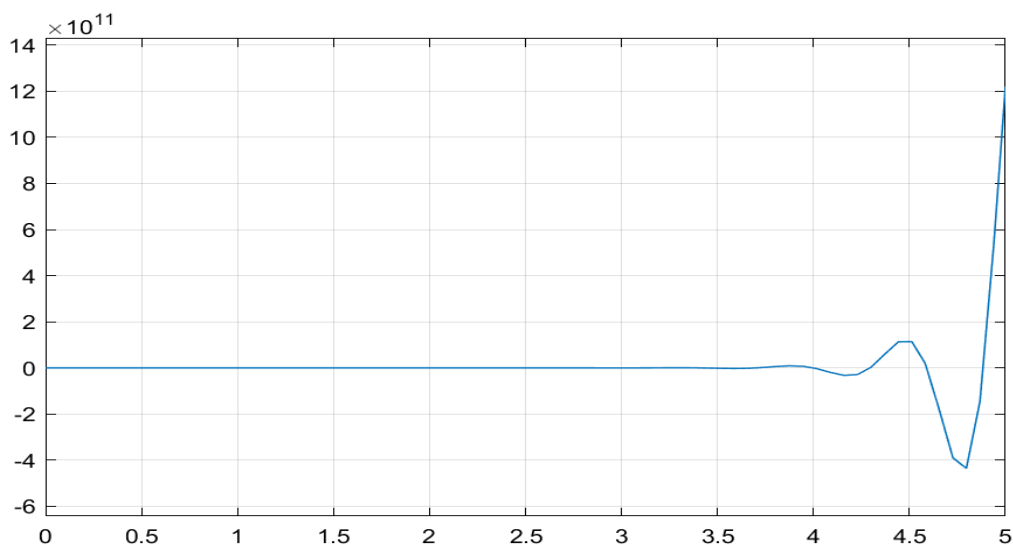
پاسخ خروجی:



وضعیت state ها:



سیگنال کنترل:

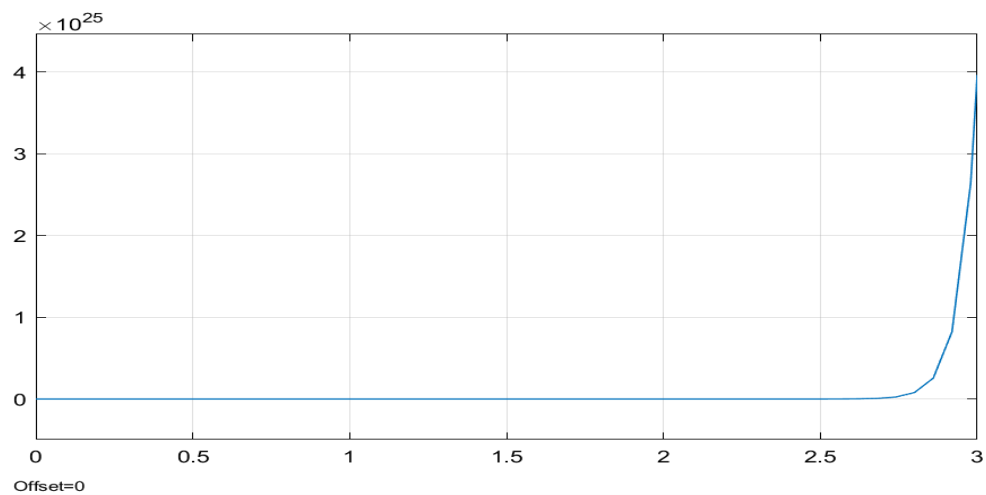


تحلیل روش پیش جبران ساز استاتیکی:

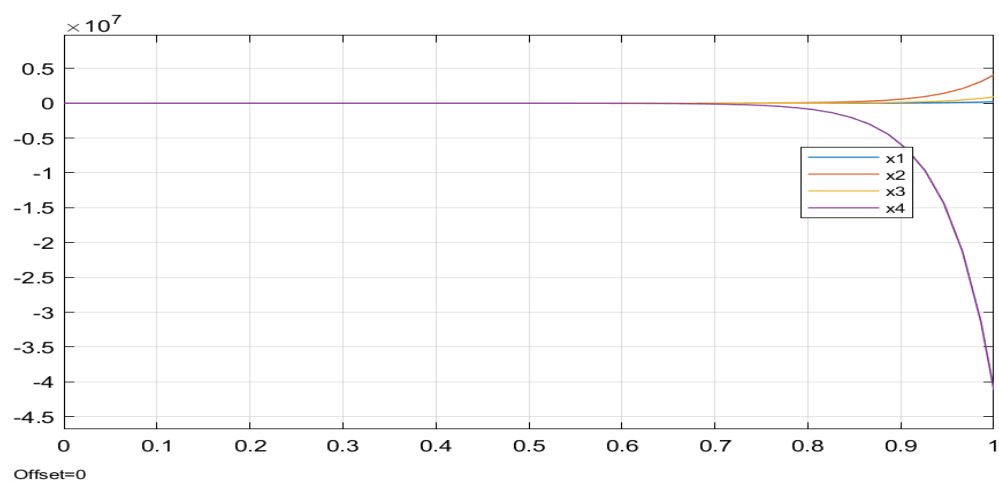
همانطور که در ابتدای قسمت گفته شد، قطب ها هر چه به محور موهومی نزدیک تر باشند نسبت به تغییرات پارامتر مقاوم تر هستند، همانطور که از پاسخ خروجی و سیگنال کنترل و وضعیت state ها مشخص می باشد. تغییر پارامتر در B برای دسته اول قطب ها (نزدیک محور موهومی) : باعث کاهش tracking شده و خطای حالت ماندگار در حدود 0.5 دارد (حالت اولیه به سمت 4.5 میل می کند و سایر حالت ها به صفر میل می کنند زیرا خروجی تنها از حالت اولیه تاثیر می پذیرد) ولی خب سیستم حلقه بسته همچنان پایدار می باشد. برای دسته دوم قطب ها (دور تر از محور موهومی): همانطور که از پاسخ های آن مشخص می باشد سیستم ناپایدار بوده و پاسخ های آن نا پایدار می باشد.

طراحی به روش کنترلگر انتگرالی برای دست قطب اول:

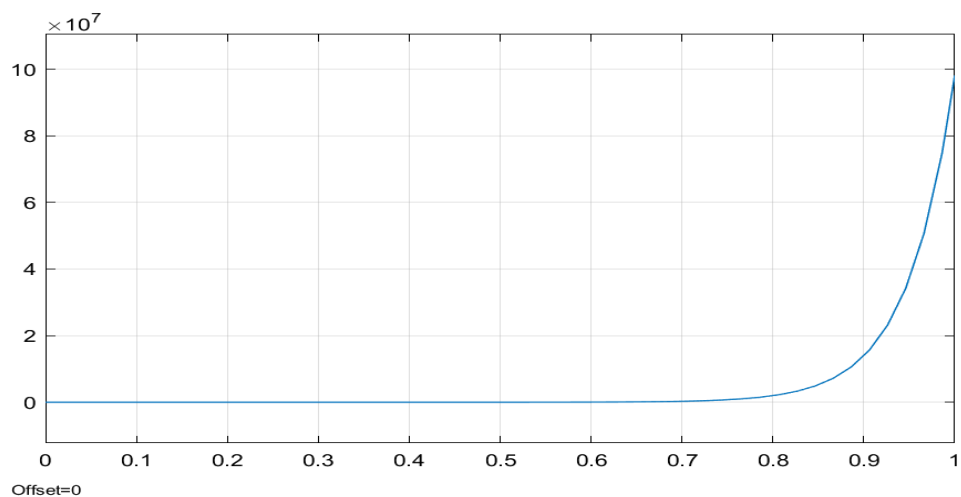
پاسخ خروجی:



وضعیت state ها:

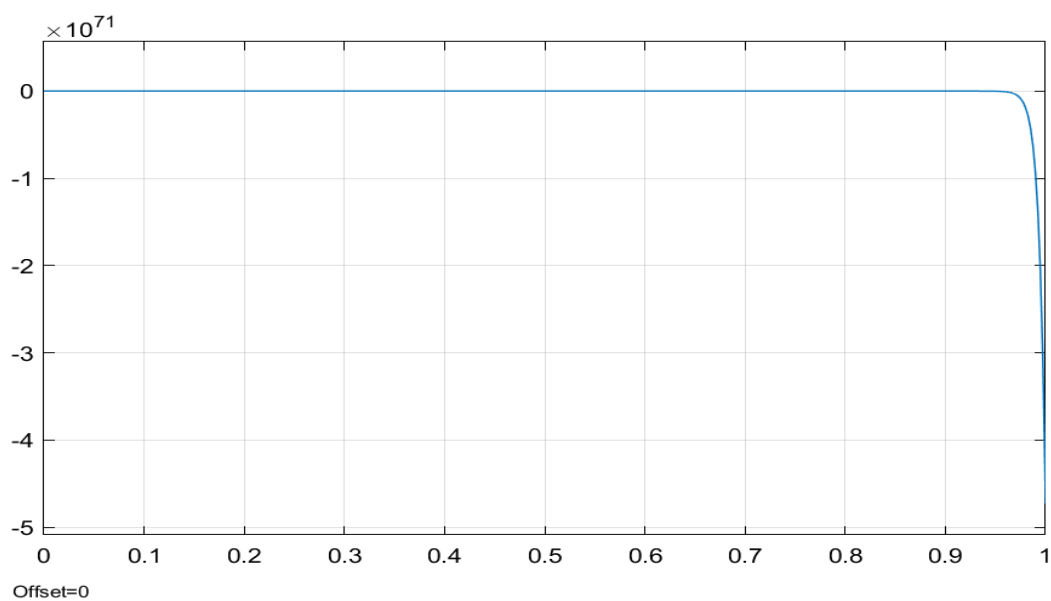


سیگنال کنترل:

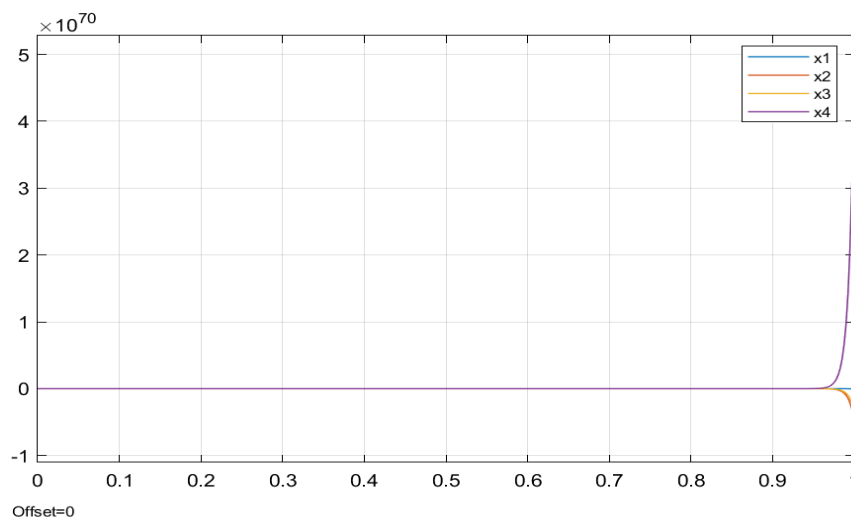


طراحی به روش کنترلگر انتگرالی برای دست قطب دوم:

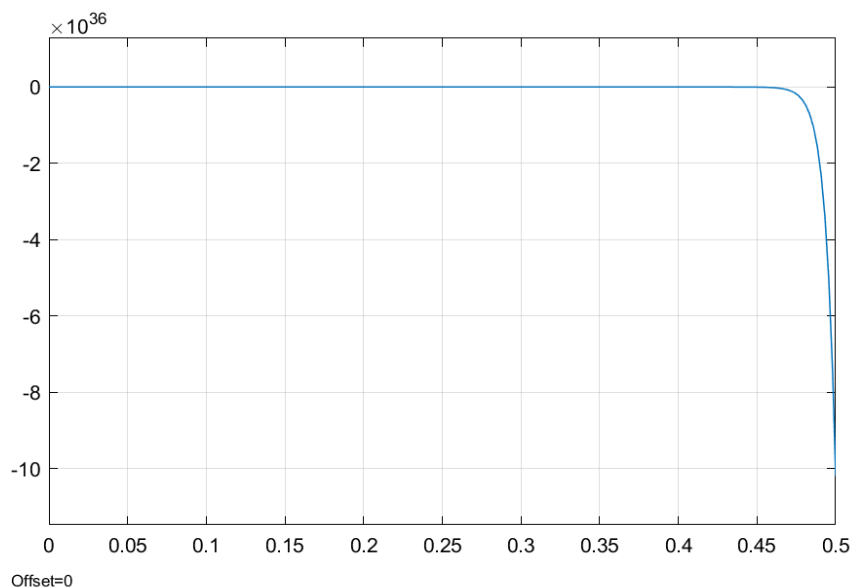
پاسخ خروجی:



وضعیت state ها:



سیگنال کنترل:



تحلیل مربوط به روش کنترلگر انتگرالی:

همانطور که پاسخ ها مشخص است سیستم حلقه بسته به ازای هر دو دسته قطب روفتار ناپایداری دارد و همانطور که گفته شد ، زمانی که قطب های مطلوب به محور موهومی نزدیک تر باشند احتمال و مقدار ناپایداری کمتر می شود که این مورد به طور کامل از روی پاسخ ها قابل مشاهده می باشد.

مقایسه ی دو روش:

اینگونه برآورد شد که در دو روش هرچه قطب ها به محور موهومی نزدیک تر باشند احتمال و مقدار ناپایداری کمتر می باشد و همچنین کاملاً قابل مشاهده است که روش انتگرالی بسیار حساس تر نسبت به روش پیش جبران ساز استاتیکی می باشد (نسبت به تغییر پارامتر های B) و رفتار بسیار بد و نامناسبی ارائه می دهد. ولی این مورد را هم باید در نظر گرفت که تا زمانی که تغییر پارامتر موجب ناپایداری سیستم ردیاب نشود روش انتگرال گیر به خوبی عمل کرده و خطای ماندگار هم نخواهد داشت.

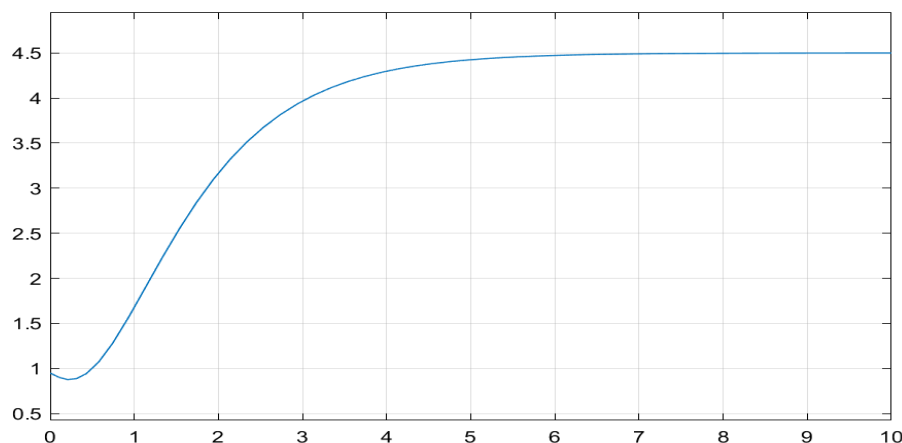
2- با تغییر پارامتر های بردار C داریم:

$$C = [1 \ 0 \ 0 \ 0] \rightarrow C = [0.9 \ 0.1 \ 0 \ 0]$$

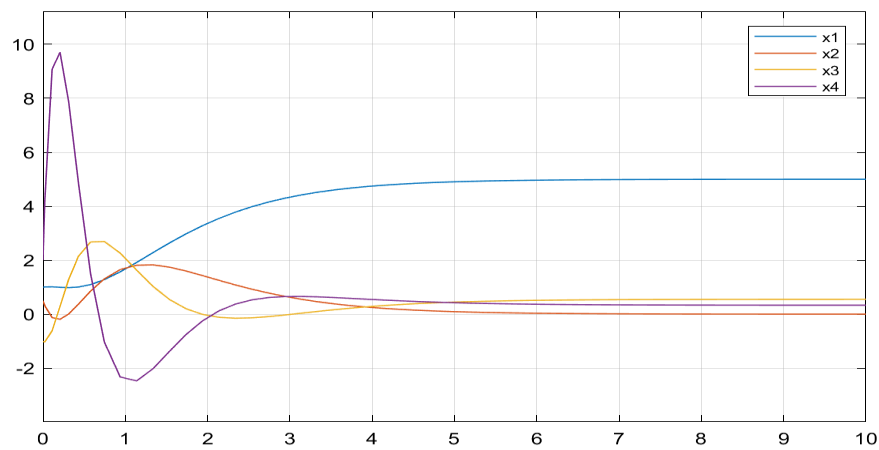
تغییر بردار C تاثیری بر کنترل پذیری برای حالت طراحی با پیش جبران ساز استاتیکی ندارد ولی با بررسی برای حالت طراحی با کنترلگر انتگرالی سیستم همچنان کنترل پذیر است داریم:

طراحی به روش پیش جبران ساز استاتیکی برای دست قطب اول:

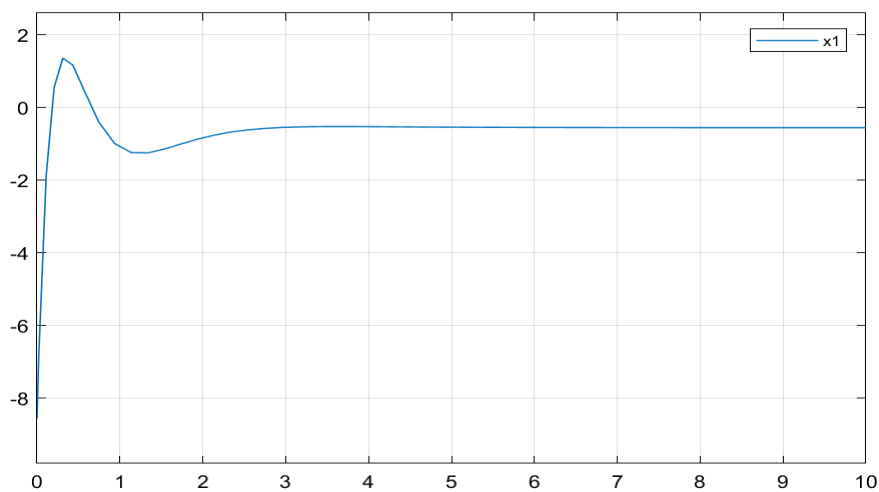
پاسخ خروجی:



وضعیت state ها:

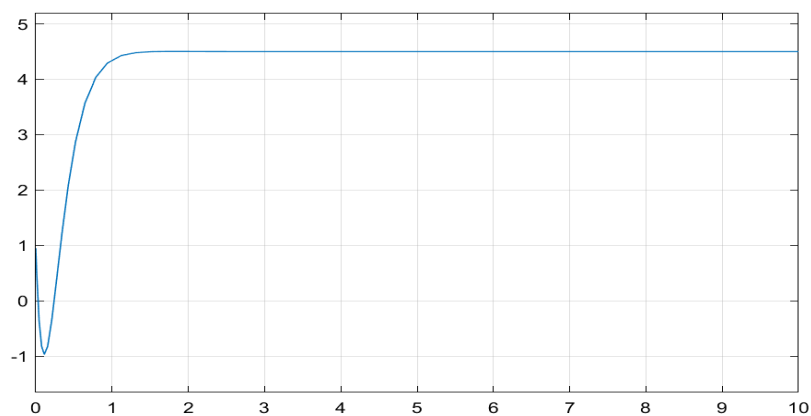


سیگنال فرمان:

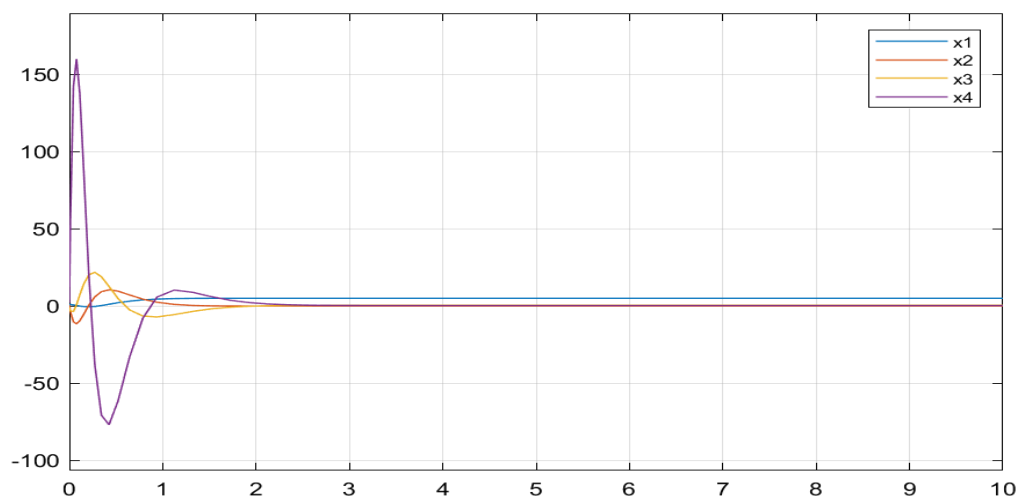


طراحی به روش پیش جبران ساز استاتیکی برای دست قطب دوم:

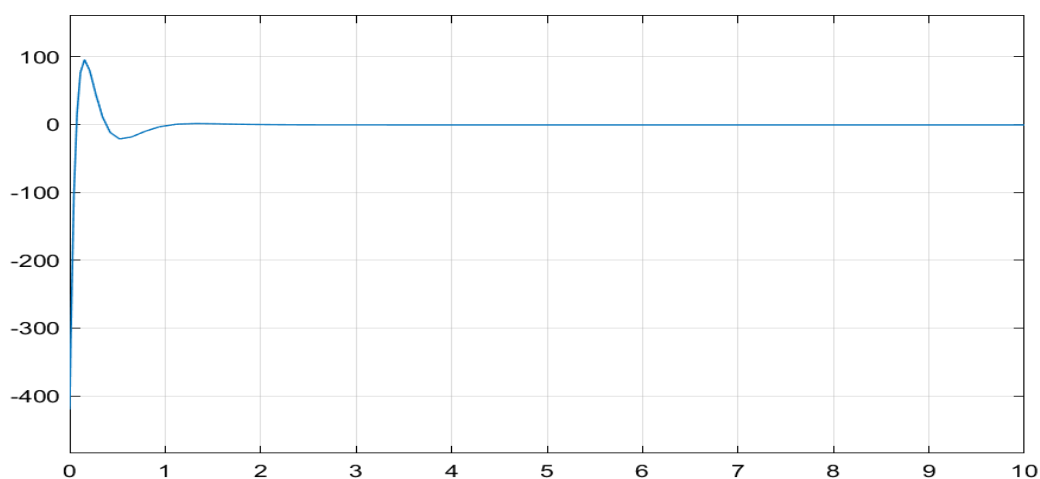
پاسخ خروجی:



وضعیت state ها:



سیگنال کنترل:



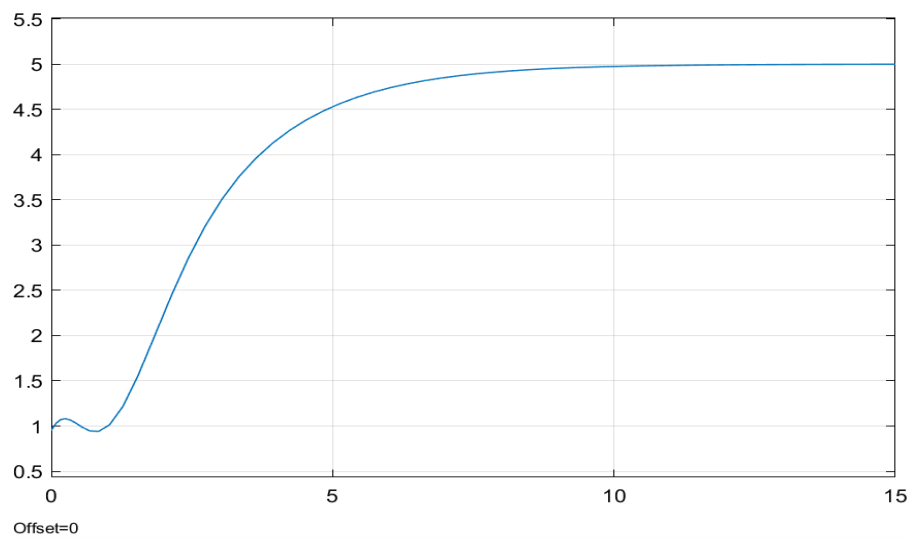
تحلیل روش پیش جبران ساز استاتیکی:

همانطور که در ابتدای امر گفته شد ، تغییر C تاثیری بر پایداری و یا ناپایداری سیستم حلقه بسته در این روش ندارد و همچنین از پاسخ خروجی و سیگنال فرمان به ازای هر دو دسته قطب مشخص است که عملکرد ردیابی با خطایی حدود 0.5 صورت می گیرد . پس می توان نتیجه گرفت که تغییر C در این حالت تنها باعث ایجاد خطای ماندگار در عملکرد ردیابی می شود. همانطور که از وضعیت state ها مشخص است (برای هر دو دسته قطب) چون با تغییر C اینگونه شده که علاوه بر حالت اول ، حالت دوم نیز در

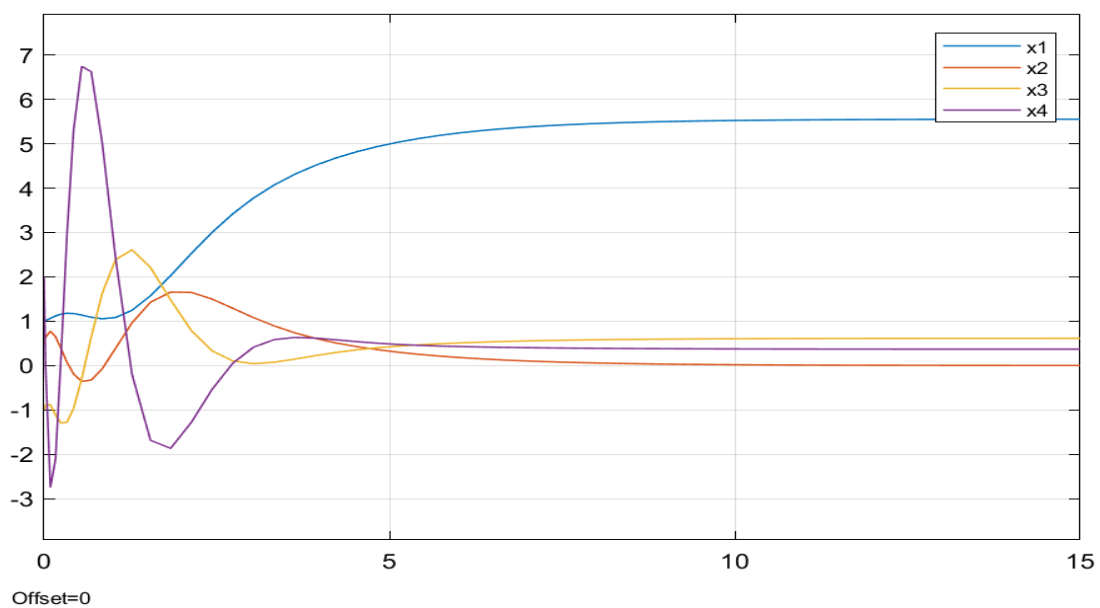
خروجی تاثیر می گذرد ولی چون حالت دوم به صفر میل میکند نمیتواند خطای ناشی از حالت اول را برطرف کند زیرا حالت اول به سمت 5 میل می کند و در خروجی خود را به شکل 0.9×1 نشان می دهد و این امر باعث ایجاد خطای ماندگار در عمل ردیابی در این طراحی شده است.

طراحی به روش کنترلگر انتگرالی برای دست قطب اول:

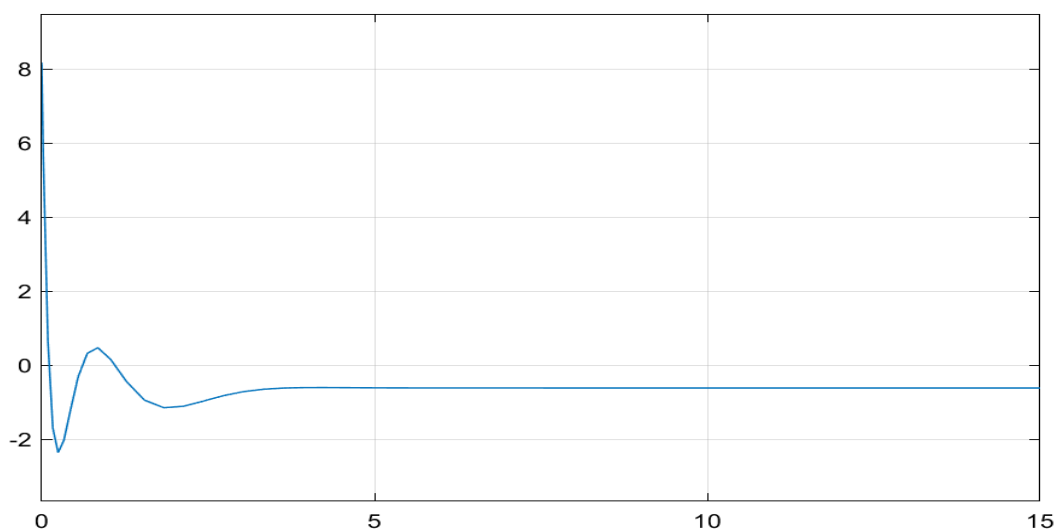
پاسخ خروجی:



وضعیت state ها:

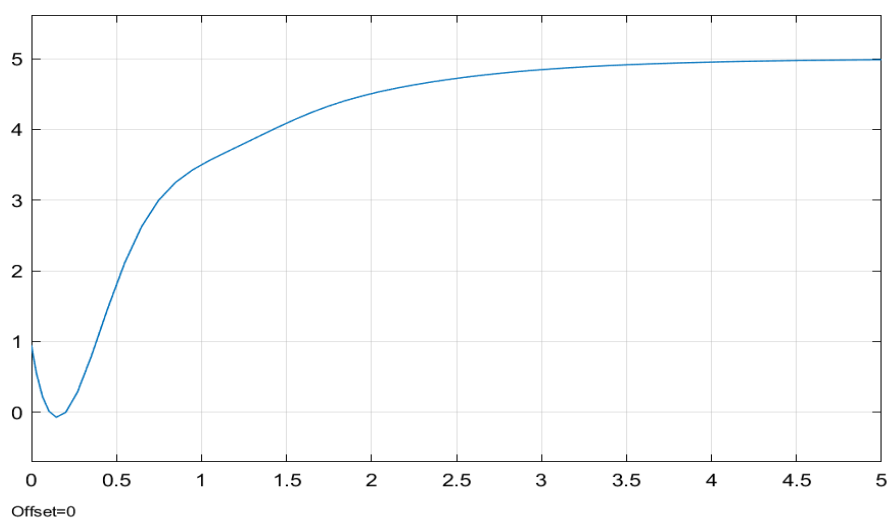


سیگنال فرمان:

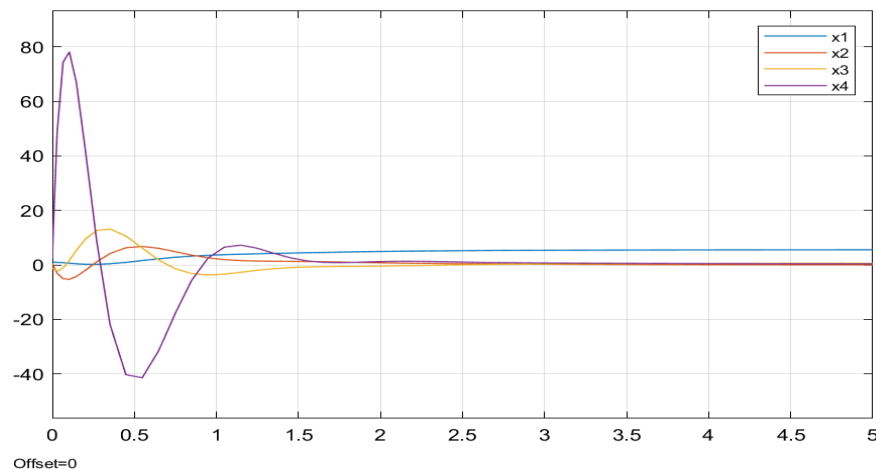


طراحی به روش کنترلگر انتگرالی برای دست قطب دوم:

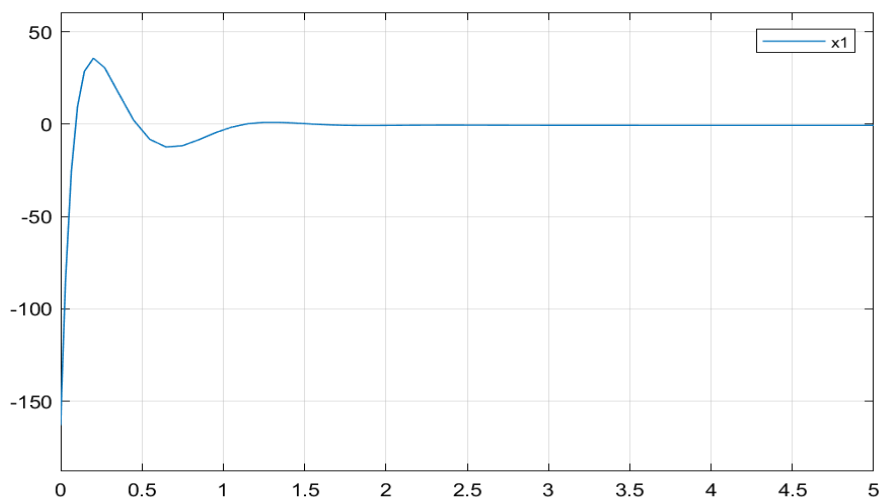
پاسخ خروجی:



وضعیت state ها:



سیگنال فرمان:



تحلیل طراحی به روش کنترلگر انتگرالی:

مشخص است که تغییر C به صورت گفته شده موجب ناپایداری قطب های حلقه بسته در این روش نشده است و سیستم عملکرد خود را بدرستی انجام می دهد و خطای ماندگار نیز در عملکرد ردیابی خود ندارد، درست است که حالت دوم هم علاوه بر حالت اول در خروجی تاثیر می گذارد ولی خب حالت دوم به صفر میل پیدا می کند و تاثیری در خروجی نمی گذارد و حالت اول هم با میل کردن به سمت 5.56 باعث می شود خروجی به سمت 5 میل کند و خطای ماندگار نداشته باشیم. در کل تغییر زیاد در پارامتر های C احتمال ناپایداری قطب های حلقه بسته را در این روش زیاد می کند.

مقایسه ی دو روش:

همانطور که مشخص است در روش پیش جبران ساز استاتیکی با تغییر در پارامتر های C باعث ایجاد خطای ماندگار در سیستم شده است ولی حتی با ایجاد تغییرات بیشتر در پارامتر های C نیز در این روش ناپایداری رخ نخواهد داد (بردار C در تعیین قطب های حلقه بسته این روش تاثیری ندارد) و صرفا موجب ایجاد خطای ماندگار در حالت ماندگار می شود. در روش انتگرالی تا زمانی که تغییرات پارامتر ها بردار C موجب ناپایداری قطب های حلقه بسته این روش نشوند عملکردی خوب از خودش ارایه می دهد. (تغییرات در C ممکن است در این روش موجب ناپایداری در قطب های حلقه بسته سیستم شود). ولی خب این را هم می توان دریافت که در روش انتگرالی حساسیت نسبت به تغییرات پارامتر های بردار C کمتر از حساسیت نسبت به تغییرات پارامتر های بردار B می باشد.

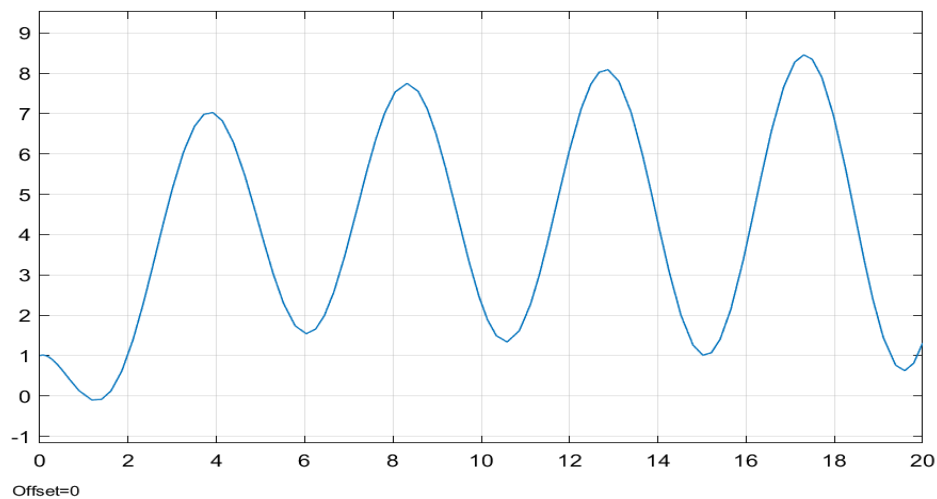
3- با تغییر پارامتر در ماتریس A داریم:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ -1.062 & -4 & -3.5 & 0 \end{bmatrix} \rightarrow A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ -1.062 & -4 & -3.5 & -5 \end{bmatrix}$$

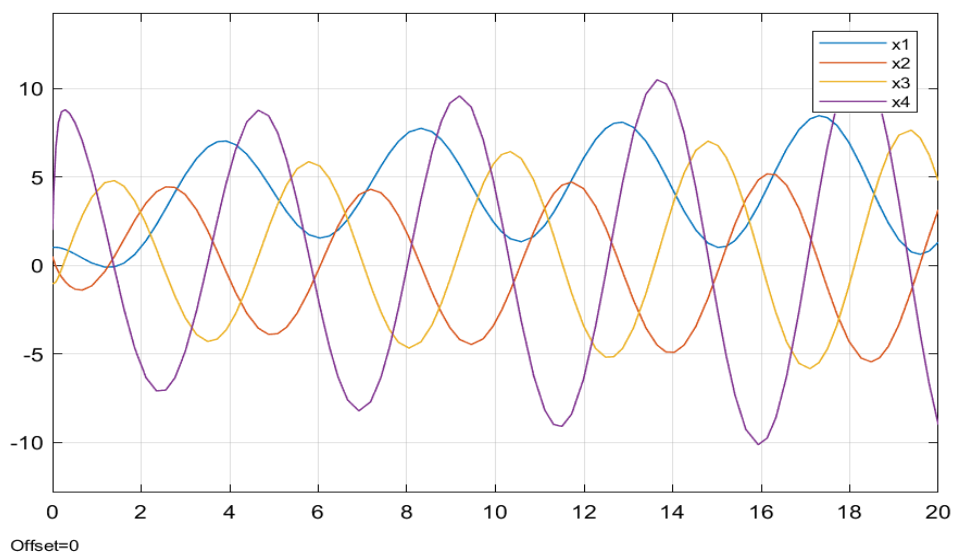
بدلیل اینکه تغییر در پارامتر های ماتریس A ممکن است موجب ایجاد تغییر در کنترل پذیری در هر دو روش شود ، این مورد برای هردو بررسی شده و هردو همچنان کنترل پذیر می باشند.

طراحی به روش پیش جبران ساز استاتیکی برای دست قطب اول:

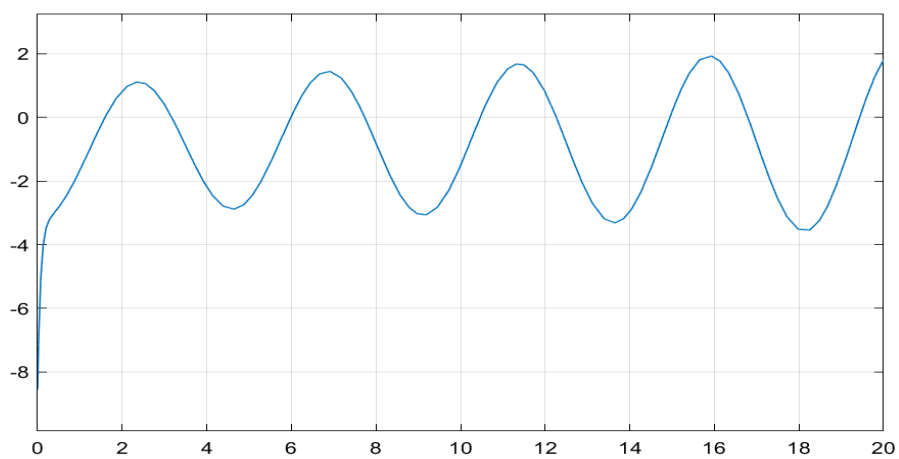
پاسخ خروجی:



وضعیت state ها:

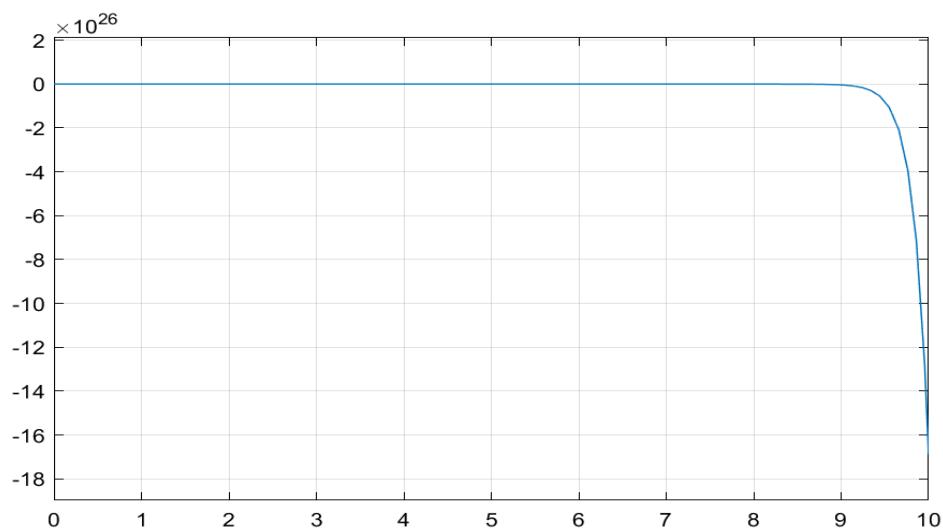


سیگنال کنترل:

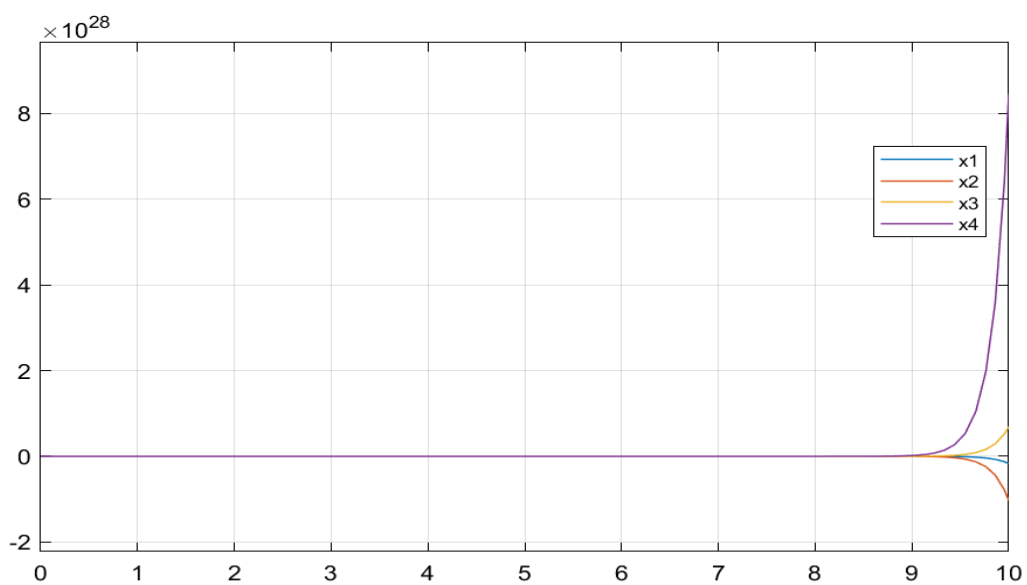


طراحی به روش پیش جبران ساز استاتیکی برای دست قطب دوم:

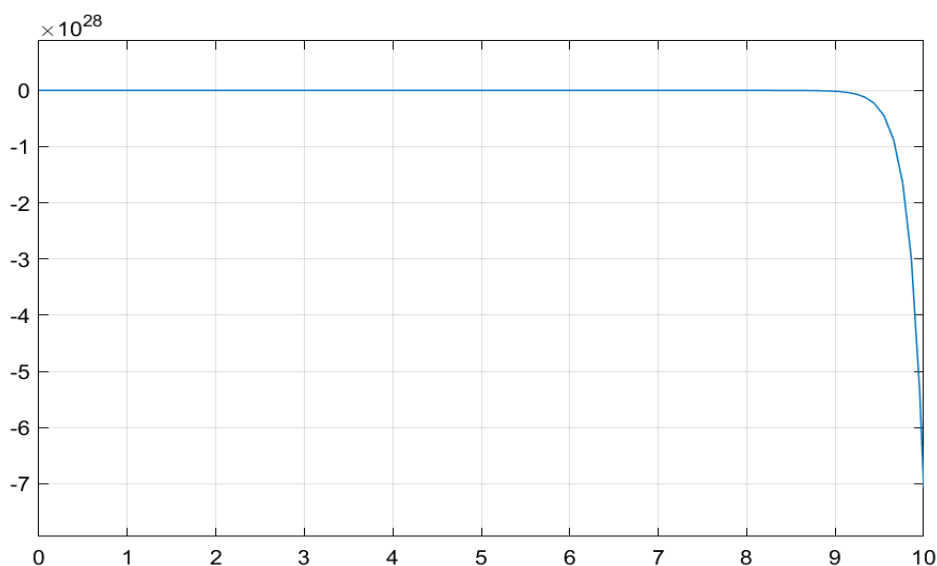
پاسخ خروجی:



وضعیت state ها:



سیگنال فرمان:

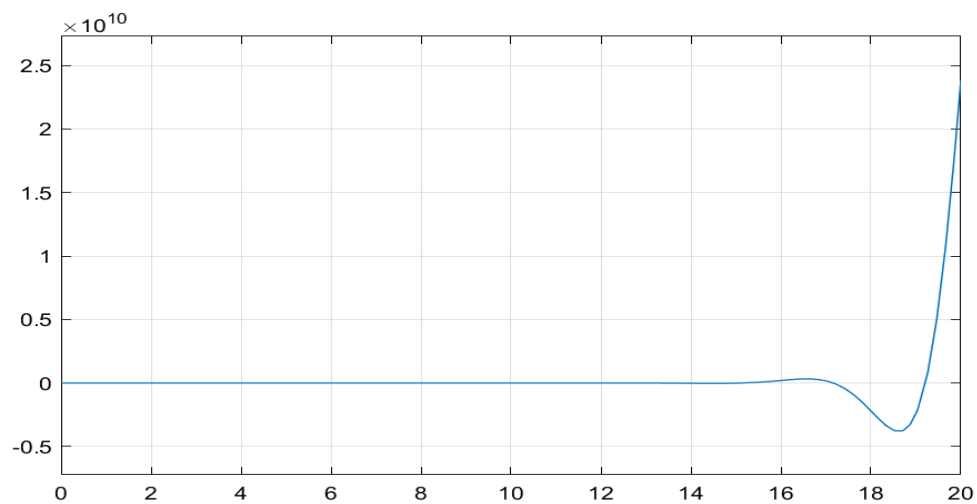


تحلیل روش پیش جبران ساز استاتیکی:

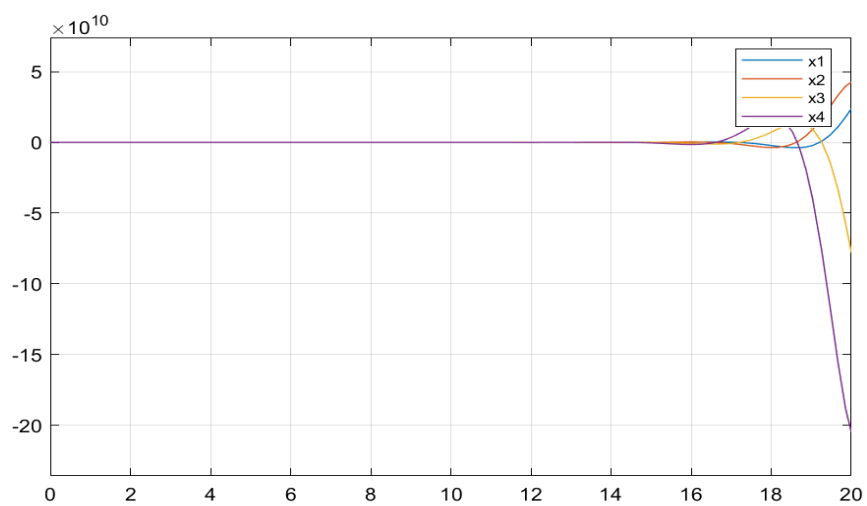
می دانستیم که با تغییر پارامتر های ماتریس A طبق روابط گفته شده در ابتدای قسمت 4 ممکن است چه برای روش پیش جبران ساز استاتیکی و چه روش انتگرالی موجب ناپایدار شدن قطب های حلقه بسته شود. همچنین کاملاً از پاسخ های خروجی و وضعیت حالت ها و سیگنال فرمان کاملاً مشخص است که طراحی انجام شده برای هر دو دسته قطب باعث ایجاد قطب های ناپایدار در سیستم حلقه شده است ، ولی تفاوت اینجا می باشد که در تاثیر تغییرات ماتریس A باعث ایجاد ناپایداری بیشتری در طراحی برای دسته قطب دوم شده است و همانطور که در ابتدای امر گفته شد طراحی که برای قطب های دلخواه انجام می دهیم ، هرچه آن قطب ها از محور موهومی دور تر باشند این طراحی بسیار حساس تر شده نسبت به تغییر پارامتر و این امر کاملاً از پاسخ ها کاملاً قابل مشاهده است.

طراحی به روش کنترلگر انتگرالی برای دست قطب اول:

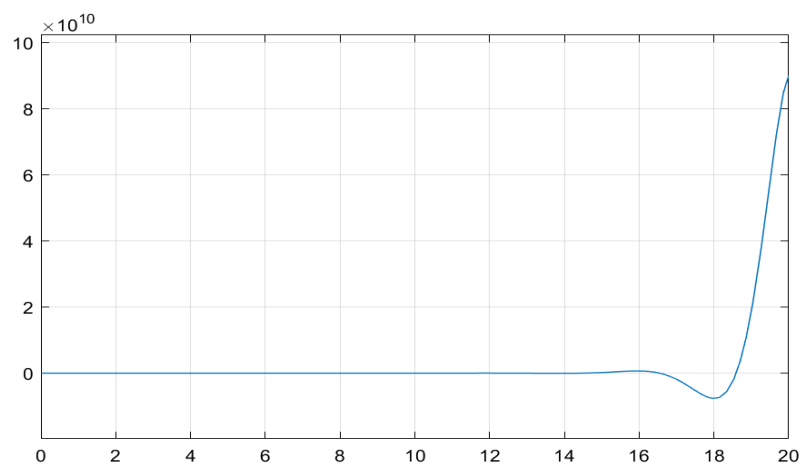
پاسخ خروجی:



وضعیت state ها:

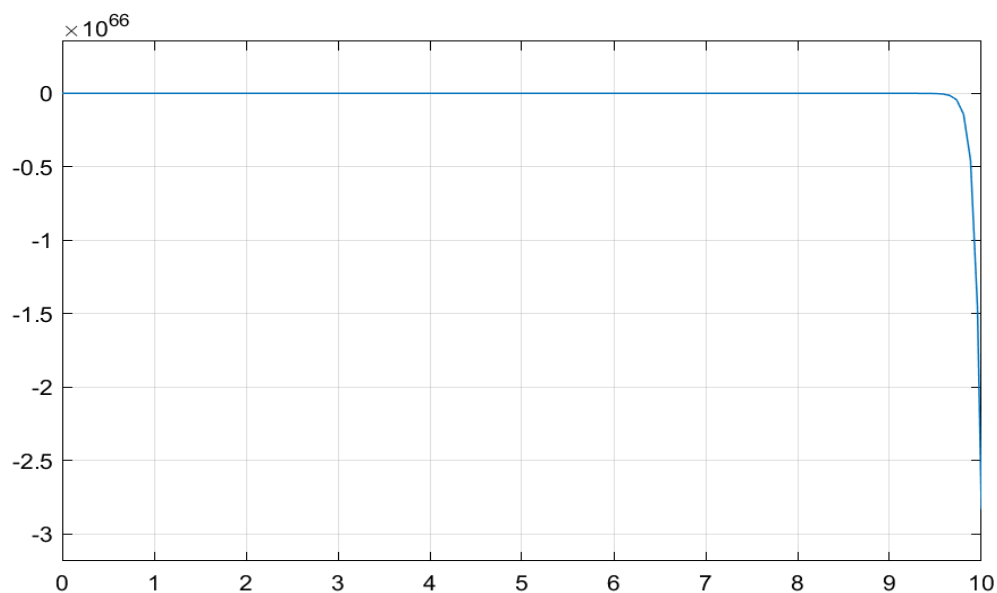


سیگنال فرمان:

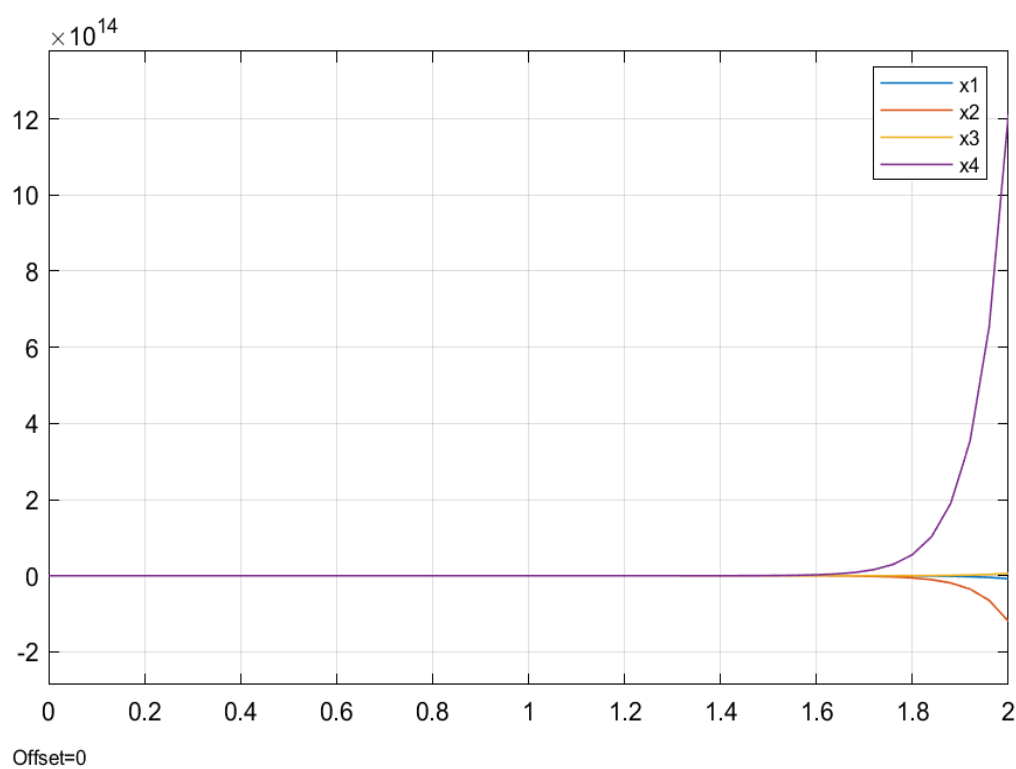


طراحی به روش کنترلگر انتگرالی برای دست قطب اول:

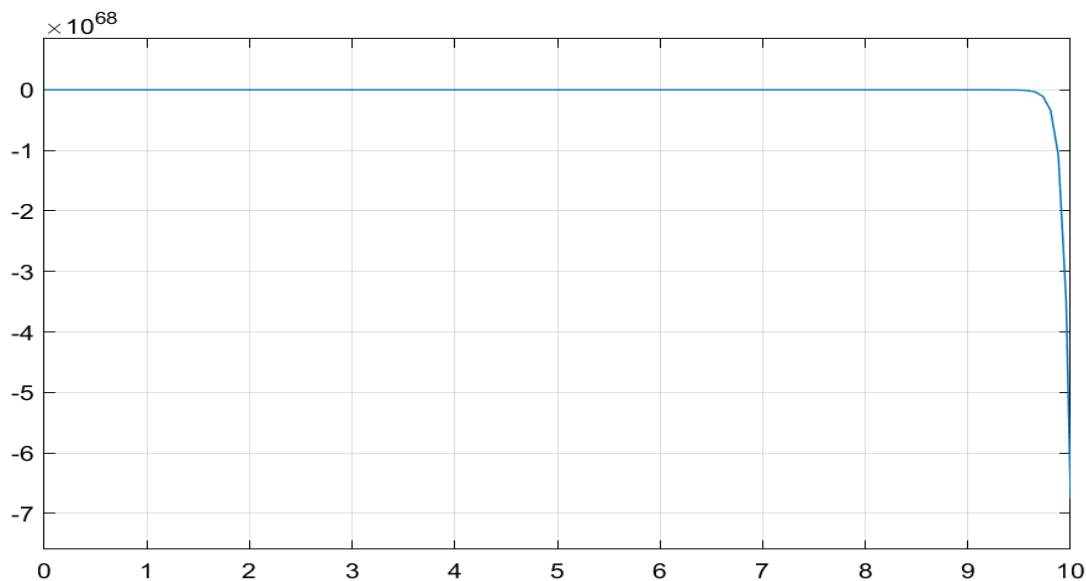
پاسخ خروجی:



وضعیت state ها:



سیگنال فرمان:



تحلیل روش کنترلگر انتگرالی:

همانطور که از خروجی های نشان داده مشخص است ، تغییر پارامتر های A موجب ناپایداری سیستم حلقه بسته برای هر دو طراحی های انجام شده برای هر دو دسته قطب شده است و باز هم قابل ذکر است که طراحی انجام شده برای قطب های دور تر از محور موهومی باشد سیستم بسیار حساس تر به تغییر پارامتر می شود. ولی بازم این مورد را باید در نظر گرفت اگر تغییر پارامتر موجب ناپایداری نشود روش انتگرالی به خوبی و بدون خطای ماندگار عمل ردیابی را انجام می دهد.

مقایسه ی هر دو روش:

تغییر در پارامتر های ماتریس A موجب ناپایداری هر دو روش شده ولی خب این ناپایداری در روش کنترلگر انتگرالی بسیار بیشتر و قابل ملاحظه تر می باشد.

تحلیل کلی از تغییر در پارامتر های A, B, C در هر دو روش:

تحلیل کلی که می توان داشت اینگونه است که در روش پیش جبران ساز استاتیکی تغییر A و B ممکن است موجب ناپایداری قطب های حلقه بسته شده و اگر هم باعث ناپایداری نشود باعث ایجاد خطای ماندگار

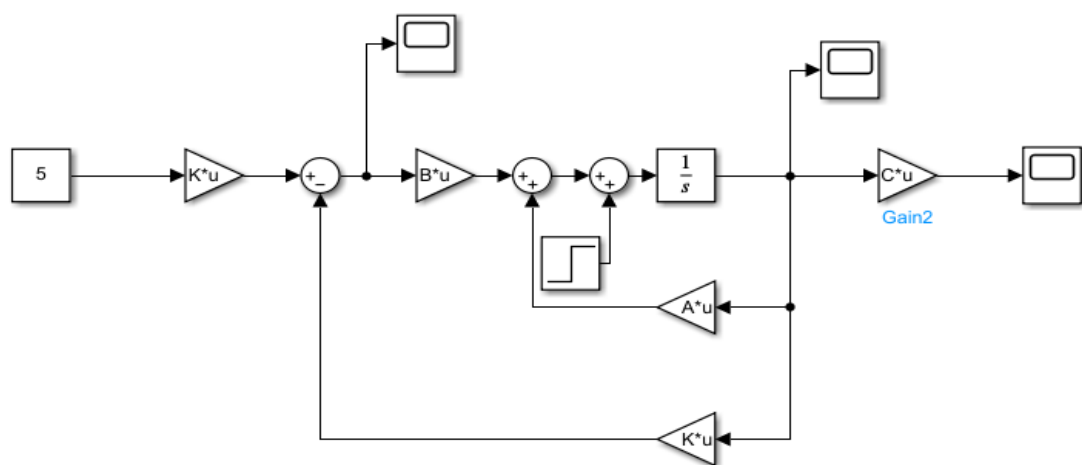
در عملیات ردیابی می شود و تغییر در پارامتر های C هیچ گونه تاثیری بر پایداری و یا ناپایداری روش پیش جبران ساز استاتیکی ندارد و تنها موجب ایجاد خطای ماندگار می شود. روش کنترلگر انتگرالی علاوه بر حساسیت نسب به تغییر پارامتر های A, B نیز نسبت به تغییرات C حساس می باشد. می توان گفت که حساسیت روش انتگرالی به تغییر پارامتر های C کمتر می باشد نسبت به تغییرات A, B ، ولی خب تغییرات بزرگ در C هم ممکن است موجب ناپایداری در قطب های حلقه بسته در روش کنترلگر انتگرالی شود. موردی که در هر دو روش مشهود است، این است که طراحی انجام سده در هر دو روش برای قطب هایی باشد که دور تر از محور موهومی باشند؛ این طراحی ها نسبت به تغییرات پارامتر های A, B, C حساس تر می باشند. پس باید در طراحی های خود در انتخاب قطب های مطلوب خود دقت کنیم و همه ی شرایط را در نظر بگیریم.

2-5 خروجی ها قسمت ها 1 و 2 مقایسه و تحلیل پاسخ ها از نظر عملکرد با وارد کردن اغتشاشات

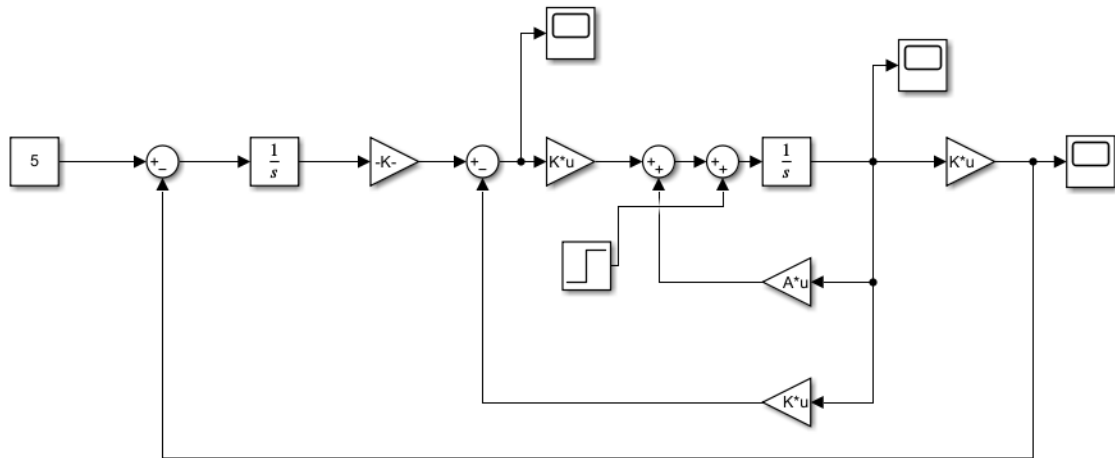
ثابت

در این بخش با وارد کردن اغتشاش پله واحد در زمانی پاسخ خروجی سیستم های ردیاب به حالت ماندگار خورد می رسند را بررسی می کنیم.

نمایی از سیمولینک برای اعمال کردن اغتشاش برای طراحی ردیاب به روش پیش جبران ساز استاتیکی:

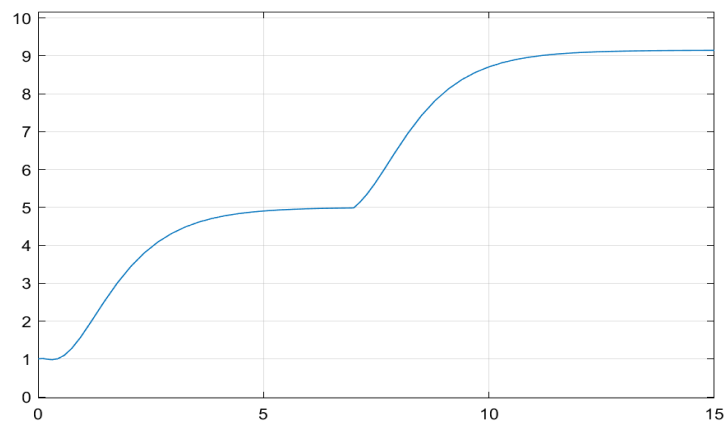


نمایی از سیمولینک برای اعمال کردن اغتشاش برای طراحی ردیاب به روش کنترلگر انتگرالی:

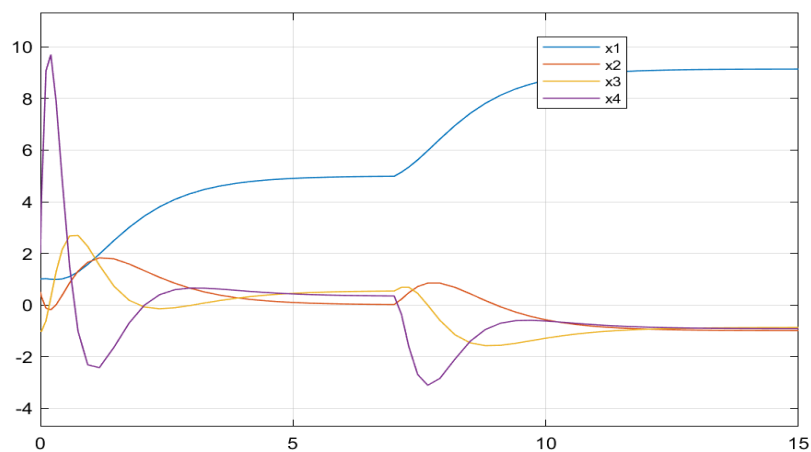


تاثیر اغتشاش در طراحی ردیاب به روش پیش جبران ساز استاتیکی برای دسته قطب اول:

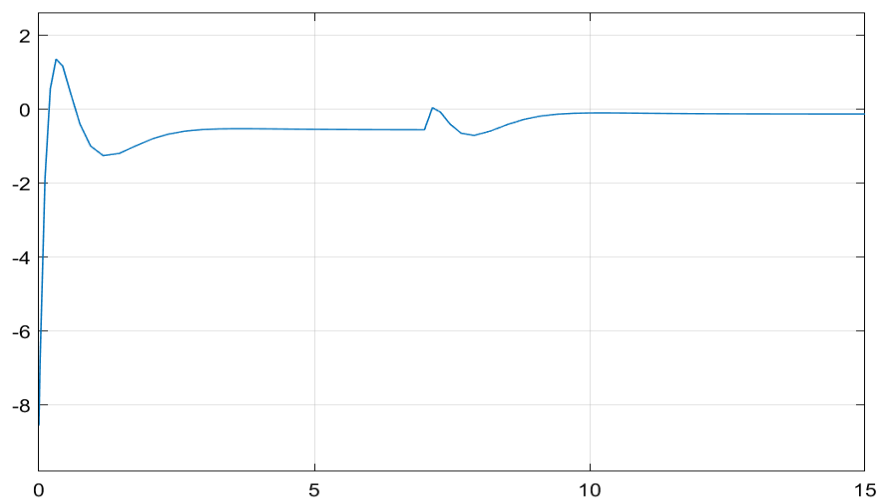
پاسخ خروجی:



وضعیت state ها:

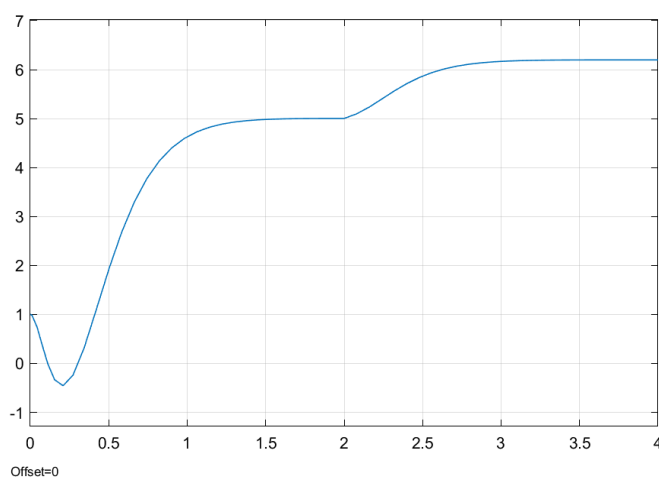


سیگنال فرمان:

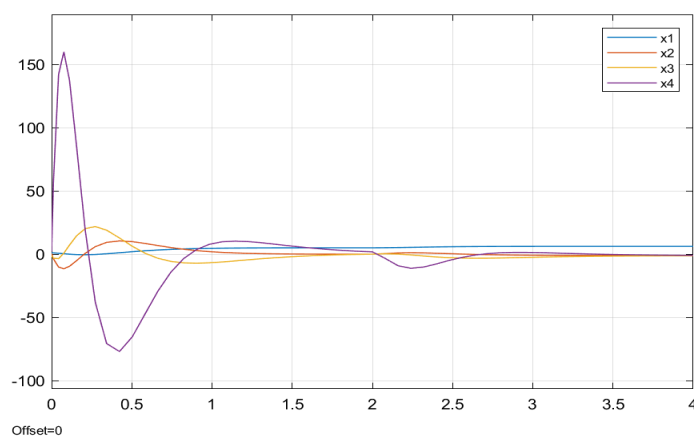


تاثیر اغتشاش در طراحی ردیاب به روش پیش جبران ساز استاتیکی برای دسته قطب اول:

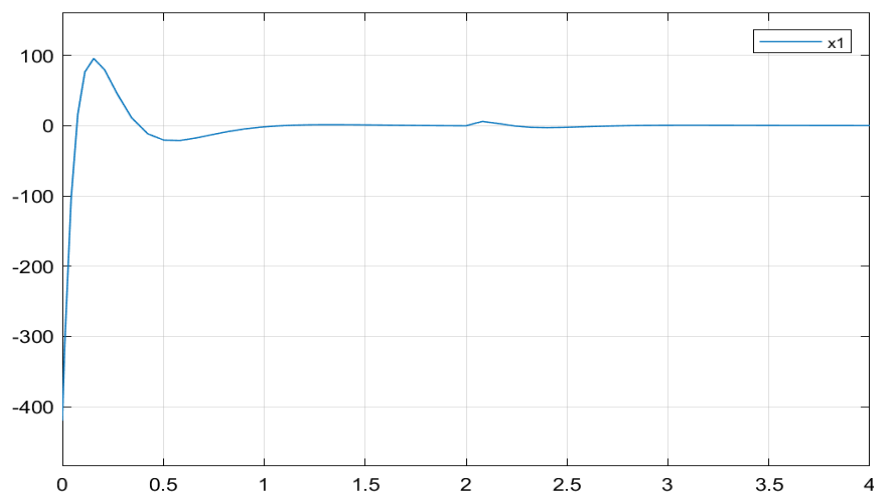
پاسخ خروجی:



وضعیت state ها:



سیگنال فرمان:

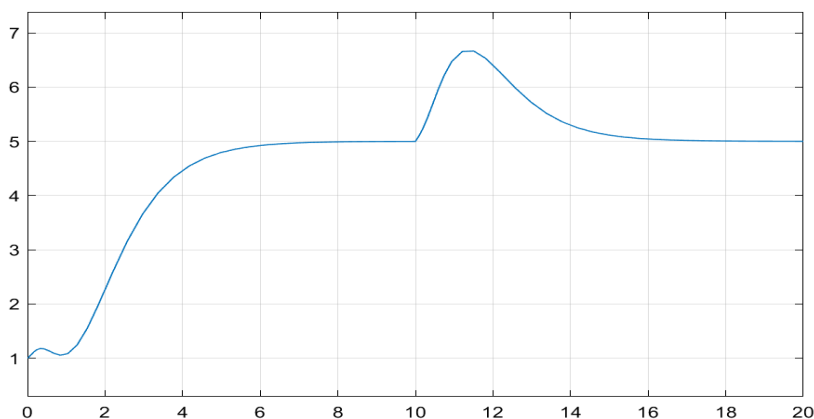


تحلیل برای روش پیش جبران ساز استاتیکی:

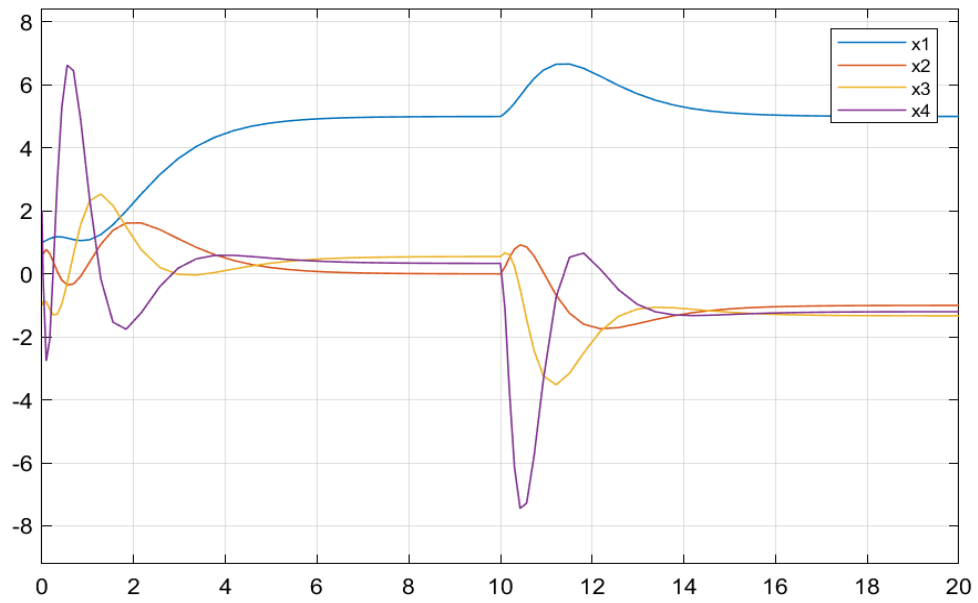
همانطور که از پاسخ های خروجی هردو طراحی انجام شده برای دو دسته قطب مشخص است ، بعد از اعمال اغتشاش پله هردو دیگر فرمان نمی پذیرند(سیگنال فرمان در هردو به سمت صفر میل می کند)و در هردو حالت اول که تاثیر در خروجی دارد نیز اغتشاش باعث تغییر در حالت ماندگار آن شده و در کل باعث درست عمل نکردن ردیابی و ناتوانی در حذف اثر اغتشاش و در آخر وجود خطای بزرگ در حالت ماندگار خروجی می شود. ولی مشخص است که در این طراحی خطای ماندگار برای دست قطب دوم کمتر از دست قطب اول می باشد.

تاثیر اغتشاش در طراحی ردیاب به روش کنترلگر انتگرالی برای دسته قطب اول:

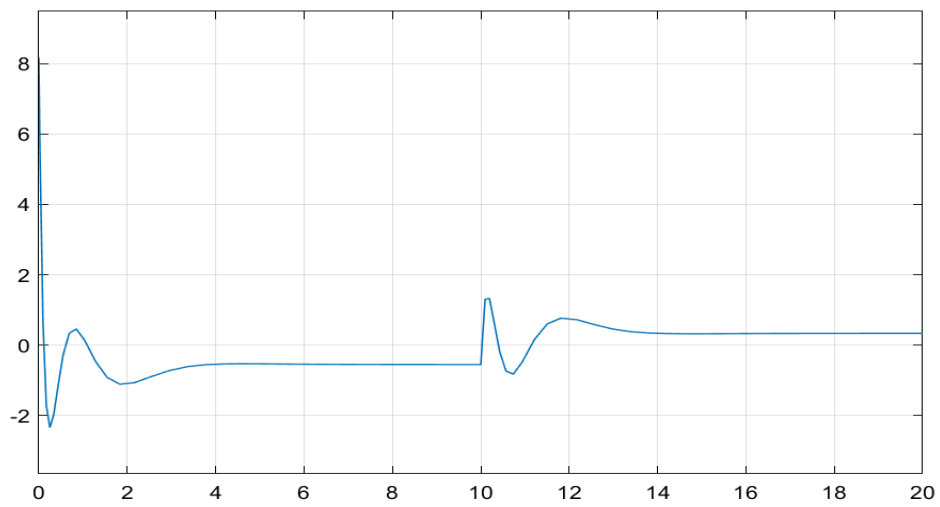
پاسخ خروجی:



وضعیت state ها:

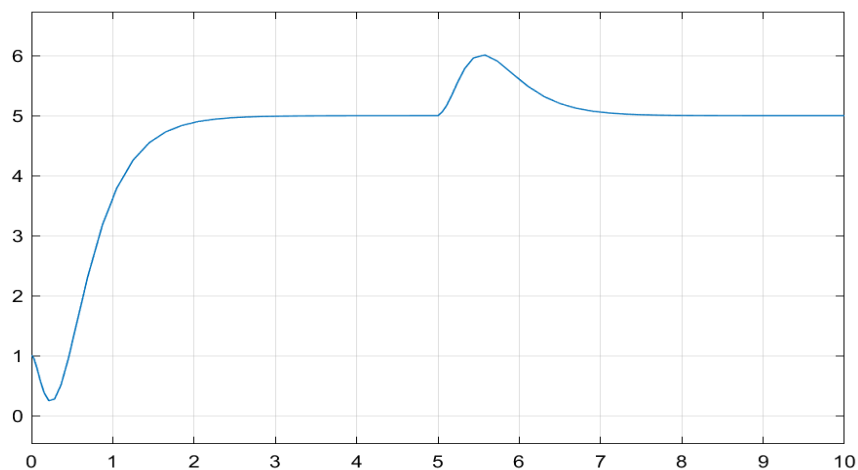


سیگنال فرمان:

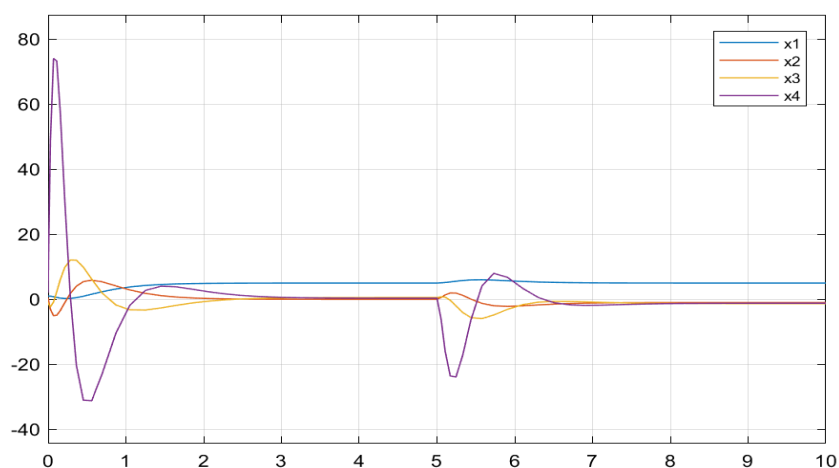


تاثیر اغتشاش در طراحی ردیاب به روش کنترلگر انتگرالی برای دسته قطب دوم:

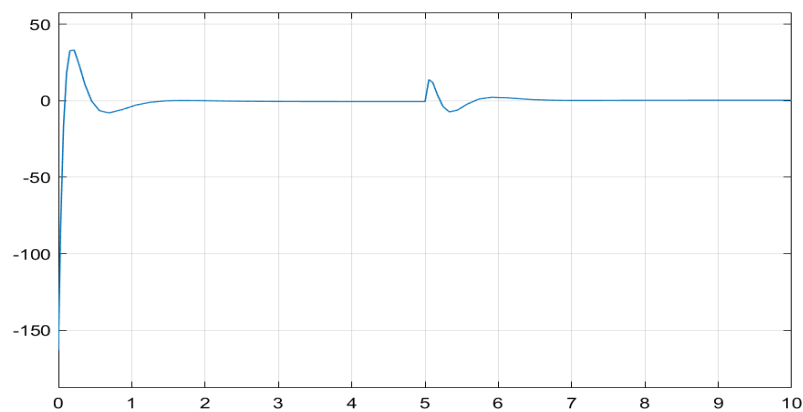
پاسخ خروجی:



وضعیت state ها:



سیگنال فرمان:



تحلیل برای روش کنترلگر انتگرالی:

همانگونه که مشخص است سیستم های ردیاب طراحی شده برای هر دو دسته قطب پس از اعمال اغتشاش ، اثر آن اغتشاش را از بین برده و ردیابی خود را دنبال می کنند و خطایی در حالت ماندگار ندارند. کاملاً از پاسخ خروجی و وضعیت حالت ها (به خصوص حالت اول که در خروجی نمایش داده می شود) و سیگنال فرمان مشخص است که اغتشاش در پاسخ گذرا تأثیر گذاشته و باعث جهشی در پاسخ گذرا می شود ولی خب پس از گذشت مدتی به حالت ماندگار خود رسیده و بدون خطا ردیابی رو دنبال می کنند. کاملاً مشخص است که اعمال اغتشاش در طراحی انجام شده برای دست قطب دوم تأثیر کمتری بر پاسخ گذرای آن گذاشته است نسبت به دست قطب اول. یعنی اینکه فراجهدش کمتر و زمان نشست کمتری نسبت به طراحی انجام شده برای دست قطب اول دارد.

مقایسه ی دو روش:

اغتشاش در طراحی ردیاب به روش پیش جبران ساز استاتیکی باعث ایجاد خطای حالت ماندگار شده و مقدار این خطا برای طراحی انجام شده برای دسته قطب دوم کمتر می باشد. اما در طراحی انجام شده به روش کنترلگر انتگرالی ، اغتشاش هیچ تأثیری در حالت ماندگار نمی گذارد و در این روش سیستم پس از طی کردن پاسخ گذرا که برای دست قطب دوم مقدار فراجهدش و زمان نشست در این پاسخ گذرا کمتر می باشد، به حالت ماندگار خود می رسد و ردیابی را به درستی انجام می دهد.

بخش سوم

طراحی رگولاتور برای سیستم دو ورودی

3-1 تعیین ساختار ها ویژه و بردار ها ویژه (برای هر دسته قطب دو ساختار ویژه)

با داشتن تحقق زیر که یک ستون به بردار B افزوده است داریم:

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ -1.062 & -4 & -3.5 & 0 \end{pmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 1 \\ 0.6 & 0 \\ -13.1 & 0 \end{bmatrix} \quad C = (1 \ 0 \ 0 \ 0)$$

در ابتدای امر با تعریف دو دسته قطب مطلوب داریم:

دست قطب اول (حقیقی-کُند):

$$p1 = [-3 \ -4 \ -5 \ -6]$$

دسته قطب دوم (حقیقی-سریع):

$$p2 = [-7 \ -8 \ -9 \ -10]$$

در حالت کلی با در نظر گرفتن مد های مطلوب و محاسبه ی فضای پوچی $[A - \lambda iI \ B]$ به ازای هر مد به بردار های پایه فضای پوچی دست می یابیم (که در این پروژه فضای پوچی دارای 2 ستون و 6 سطر می باشد). به که برای هر مد با پیاده سازی ساختار های ویژه مورد نظر روی بردار های پایه ی فضای پوچی و در اخر سر جدا سازی بردار های ویژه چنین روندی را طی می کنیم: (روند طی شده برای یک مد است. برای هر مد این روند طی می شود). برای دسته قطب اول و مد 3- :

$$\ker([A + 3I \ B]) \rightarrow \text{بردار های فضای پوچی} \rightarrow \begin{bmatrix} 0.0067 \\ -0.0202 \\ -0.3530 \\ 0.8784 \\ 0.3011 \\ 0.1125 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.1123 \\ -0.3370 \\ 0.0332 \\ -0.1323 \\ 0.0546 \\ 0.9232 \end{bmatrix}$$

$$\rightarrow \begin{bmatrix} V1 \\ q1 \end{bmatrix} = SP \left\{ \begin{bmatrix} 0.0067 \\ -0.0202 \\ -0.3530 \\ 0.8784 \\ 0.3011 \\ 0.1125 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0.1123 \\ -0.3370 \\ 0.0332 \\ -0.1323 \\ 0.0546 \\ 0.9232 \end{bmatrix} \right\}$$

$$\rightarrow \begin{bmatrix} V1 \\ q1 \end{bmatrix} = 3 \begin{bmatrix} 0.0067 \\ -0.0202 \\ -0.3530 \\ 0.8784 \\ 0.3011 \\ 0.1125 \end{bmatrix} - 2 \begin{bmatrix} 0.1123 \\ -0.3370 \\ 0.0332 \\ -0.1323 \\ 0.0546 \\ 0.9232 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.2045 \\ 0.6134 \\ -1.1254 \\ 2.8998 \\ 0.7940 \\ -1.5087 \end{bmatrix} \rightarrow V1 = \begin{bmatrix} -0.2045 \\ 0.6134 \\ -1.1245 \\ 2.8998 \end{bmatrix}, q1 = \begin{bmatrix} 0.7940 \\ -1.5087 \end{bmatrix}$$

در ادامه برای هر مد این روند ادامه داده می شود و $V2, V3, V4, q2, q3, q4$ محاسبه شده و از رابطه ی زیر ماتریس فیدبک حالت را محاسبه می کنیم.

$$K = -1[q1 \ q2 \ q3 \ q4][V1 \ V2 \ V3 \ V4]^{-1}$$

ساختار های ویژه اعمالی به صورت کامل در کد آمده است.

ابتدای امر با بررسی ماتریس کنترل پذیری A,B از مرتبه کامل بودن آن مطمئن می شویم که در ادامه در کد آماده است.

بدست آوردن ساختارهای ویژه و انتخاب بردار های ویژه و در آخر بدست آوردن ماتریس فیدبک حالت

طبق کد زیر:(برای هر دسته قطب دو ساختار ویژه و در کل برای هر دسته قطب به ازای هر ساختار ویژه

یک ماتریس فیدبک حالت)

% calculating k for multi input_regulator

clc;

clear all;

num=[0 0 1 0.6 -9.6];

den=[1 0 3.5 4 1.062];

A=[0 1 0 0;0 0 1 0;0 0 0 1;-1.062 -4 -3.5 0];

B=inv([1 0 0 0;0 1 0 0;3.5 0 1 0;4 3.5 0 1])*[0;1;0.6;-9.6];

C=[1 0 0 0];


```

B_B=[4.520193743116709e-17 0;1 1;0.6 0;-13.1 0];
phi_c_2=rank(ctrb(A,B_B));
if(phi_c_2 == size(A))
display('phi_c_2 is full rank so this system is controllable');
else
display('phi_c_2 is not full rank so this system is not controllable');
end
%two group desired poles
dpoles1=[-3 -4 -5 -6];
dpoles2=[-7 -8 -9 -10];
%calculating special structures and choosing special vectors (for each
%group of poles 2 different structure)

%structure one for first group of poles then calculating feed back vector
e=null([A-(-3.*eye(4)) B_B]);
e1_1=e(:,1);
e1_2=e(:,2);
e1=3.*e1_1-2.*e1_2;
v1=e1(1:4,1);
q1=e1(5:6,1);

s=null([A-(-4.*eye(4)) B_B]);
e1_1=s(:,1);
e1_2=s(:,2);
e1=e1_1-2.*e1_2;
v2=e1(1:4,1);
q2=e1(5:6,1);

l=null([A-(-5.*eye(4)) B_B]);
e1_1=l(:,1);
e1_2=l(:,2);
e1=3.*e1_1-e1_2;
v3=e1(1:4,1);
q3=e1(5:6,1);

f=null([A-(-6.*eye(4)) B_B]);
f1_1=f(:,1);
f1_2=f(:,2);
f1=1.5.*f1_1-2.5.*f1_2;
v4=f1(1:4,1);
q4=f1(5:6,1);
%first feedback matrix for first special structure for first group poles
ks1_1=-1.*[q1 q2 q3 q4]*inv([v1 v2 v3 v4]);

%structure two for first group of poles then calculating feed back vector
e=null([A-(-3.*eye(4)) B_B]);
e1_1=e(:,1);
e1_2=e(:,2);

```

```
e1=1.*e1_1-3.5*e1_2;
v1=e1(1:4,1);
q1=e1(5:6,1);
```

```
s=null([A-(-4.*eye(4)) B_B]);
e1_1=s(:,1);
e1_2=s(:,2);
e1=0.3.*e1_1-2.4.*e1_2;
v2=e1(1:4,1);
q2=e1(5:6,1);
```

```
l=null([A-(-5.*eye(4)) B_B]);
e1_1=l(:,1);
e1_2=l(:,2);
e1=4.5.*e1_1-1.25.*e1_2;
v3=e1(1:4,1);
q3=e1(5:6,1);
```

```
f=null([A-(-6.*eye(4)) B_B]);
f1_1=f(:,1);
f1_2=f(:,2);
f1=2.25.*f1_1-3.5.*f1_2;
v4=f1(1:4,1);
q4=f1(5:6,1);
```

```
%second feedback matrix for second special structure for first group poles
ks1_2=-1.*[q1 q2 q3 q4]*inv([v1 v2 v3 v4]);
```

```
%structure one for second group of poles then calculating feed back vector
```

```
e=null([A-(-7.*eye(4)) B_B]);
e1_1=e(:,1);
e1_2=e(:,2);
e1=3.*e1_1-2.*e1_2;
v1=e1(1:4,1);
q1=e1(5:6,1);
```

```
s=null([A-(-8.*eye(4)) B_B]);
e1_1=s(:,1);
e1_2=s(:,2);
e1=e1_1-2.*e1_2;
v2=e1(1:4,1);
q2=e1(5:6,1);
```

```
l=null([A-(-9.*eye(4)) B_B]);
e1_1=l(:,1);
e1_2=l(:,2);
e1=3.*e1_1-e1_2;
v3=e1(1:4,1);
q3=e1(5:6,1);
```

```

f=null([A-(-10.*eye(4)) B_B]);
f1_1=f(:,1);
f1_2=f(:,2);
f1=1.5.*f1_1-2.5.*f1_2;
v4=f1(1:4,1);
q4=f1(5:6,1);
%first feedback matrix for first special structure for second group poles
ks2_1=-1.*[q1 q2 q3 q4]*inv([v1 v2 v3 v4]);

%structure two for first group of poles then calculating feed back vector
e=null([A-(-7.*eye(4)) B_B]);
e1_1=e(:,1);
e1_2=e(:,2);
e1=1.*e1_1-3.5.*e1_2;
v1=e1(1:4,1);
q1=e1(5:6,1);

s=null([A-(-8.*eye(4)) B_B]);
s1_1=s(:,1);
s1_2=s(:,2);
s1=0.3.*s1_1-2.4.*s1_2;
v2=s1(1:4,1);
q2=s1(5:6,1);

l=null([A-(-9.*eye(4)) B_B]);
l1_1=l(:,1);
l1_2=l(:,2);
l1=4.5.*l1_1-1.25.*l1_2;
v3=l1(1:4,1);
q3=l1(5:6,1);

f=null([A-(-10.*eye(4)) B_B]);
f1_1=f(:,1);
f1_2=f(:,2);
f1=2.25.*f1_1-3.5.*f1_2;
v4=f1(1:4,1);
q4=f1(5:6,1);
%second feedback matrix for second special structure for second group poles
ks2_2=-1.*[q1 q2 q3 q4]*inv([v1 v2 v3 v4]);

```

ماتریس فیدبک نخست برای ساختار ویژه نخست دسته قطب های اول:

$$Ks1_1 = \begin{bmatrix} -5.4509 & -0.9210 & 0.1253 & -0.4147 \\ 40.4508 & 13.4131 & -2.6193 & -0.4814 \end{bmatrix}$$

ماتریس فیدبک دوم برای ساختار ویژه دوم دسته قطب های اول:

$$K_{s1_2} = \begin{bmatrix} 3.5040 & 1.2245 & -3.3416 & -1.2993 \\ -7.5470 & 1.7594 & 16.4496 & 4.3830 \end{bmatrix}$$

ماتریس فیدبک نخست برای ساختار ویژه نخست دسته قطب های دوم:

$$K_{s2_1} = \begin{bmatrix} -10.8628 & -0.8945 & -3.9764 & -1.3664 \\ 95.1034 & 19.3811 & 4.1945 & 1.2437 \end{bmatrix}$$

ماتریس فیدبک دوم برای ساختار ویژه دوم دسته قطب های دوم:

$$K_{s2_2} = \begin{bmatrix} 29.7233 & 4.1702 & -14.0910 & -2.9730 \\ -64.6141 & -0.6618 & 44.8090 & 7.6924 \end{bmatrix}$$

2-3 طراحی بردار فیدبک حالت به روش لیاپانوف

در ادامه با دسته قطب های تعریف در قسمت قبل با کد زیر که مربوط به روش لیاپانوف می باشد بردار های فیدبک حالت خود را می یابیم. قبل از انجام روال کار ابتدا مانند قسمت قبل ماتریس کنترل پذیری A,B باید مرتبه کامل باشد. که این مورد چک شده است.

برای بدست آوردن ماتریس بهره فیدبک حالت در حالت چند ورودی از روش دیگر آن لیاپانوف می باشد که تابع آن به صورت زیر نوشته شده است که با دریافت A و B و قطب های مطلوب ماتریس k را به ما میدهد. دقت شود در صورتی که T تشکیل شده ویژه باشد باید ماتریس \bar{K} تغییر دهیم تا مشکل برطرف شود. (همچنین تعداد سطر \bar{K} نشان دهنده تعداد ورودی ها و تعداد ستون های آن نشان دهنده تعداد حالت ها میباشد که باید این ماتریس را به طور k های مناسب تغییر داد.)

نکته: باید در این روش دقت کرد که قطب های مطلوب با قطب های ماتریس اصلی برابر نباشند که چون مقادیر ویژه ماتریس A غیر حقیقی می باشند انتخاب قطب های حقیقی یا اعشاری ساده هیچوقت باعث این مشکل نمیشود و از طرفی باید زوج (F, \bar{K}) رویت پذیر باشند.

clc;

```

clear all;

num=[0 0 1 0.6 -9.6];
den=[1 0 3.5 4 1.062];
A=[0 1 0 0;0 0 1 0;0 0 0 1;-1.062 -4 -3.5 0];
B=inv([1 0 0 0;0 1 0 0;3.5 0 1 0;4 3.5 0 1])*[0;1;0.6;-9.6];
C=[1 0 0 0];

B_B=[4.520193743116709e-17 0;1 1;0.6 0;-13.1 0];
phi_c_2=rank(ctrb(A,B_B));
if(phi_c_2 == size(A))
display('phi_c_2 is full rank so this system is controllable');
else
display('phi_c_2 is not full rank so this system is not controllable');
end
%two group desired poles
dpoles1=[-3 -4 -5 -6];
dpoles2=[-7 -8 -9 -10];

%calculating K for these two group of poles with Lyapunov method
K_Lya1=Multi_input(A,B_B,dpoles1);
K_Lya2=Multi_input(A,B_B,dpoles2);

%Lyapunov method function
function k = Multi_input(A,B,pd)
F = diag(pd);
k_bar = [1 1 1 0;0 1 0 1];
if(rank(observ(F,k_bar)) == length(pd))
T = lyap(A,-F,-B*k_bar);
k = k_bar*inv(T);
else
k = NaN;
end
end

```

برای دسته قطب اول داریم:

$$K_{Lya1} = \begin{bmatrix} 1.3683 & 0.5331 & -0.8361 & -0.6647 \\ 21.4104 & 9.2608 & 1.7748 & 0.6589 \end{bmatrix}$$

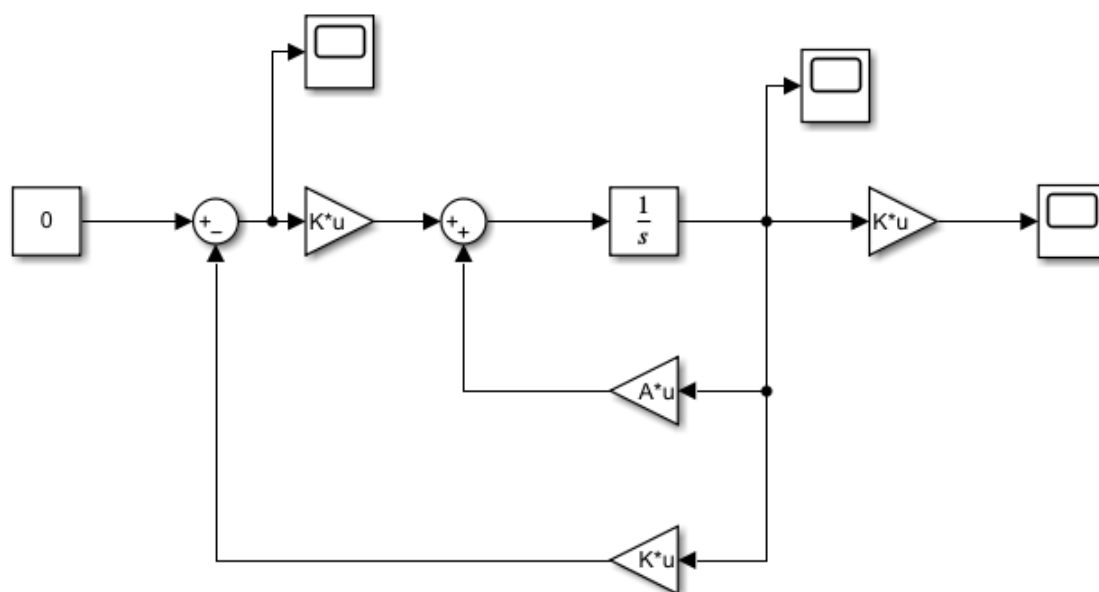
برای دسته قطب دوم داریم:

$$KLya_2 = \begin{bmatrix} 3.1317 & 0.6814 & -4.1120 & -1.3900 \\ 79.7233 & 17.5773 & 6.2216 & 1.5721 \end{bmatrix}$$

3-3 خروجی ها قسمت ها 1 و 2، مقایسه و تحلیل پاسخ ها (خروجی، state ها و سیگنال کنترل)

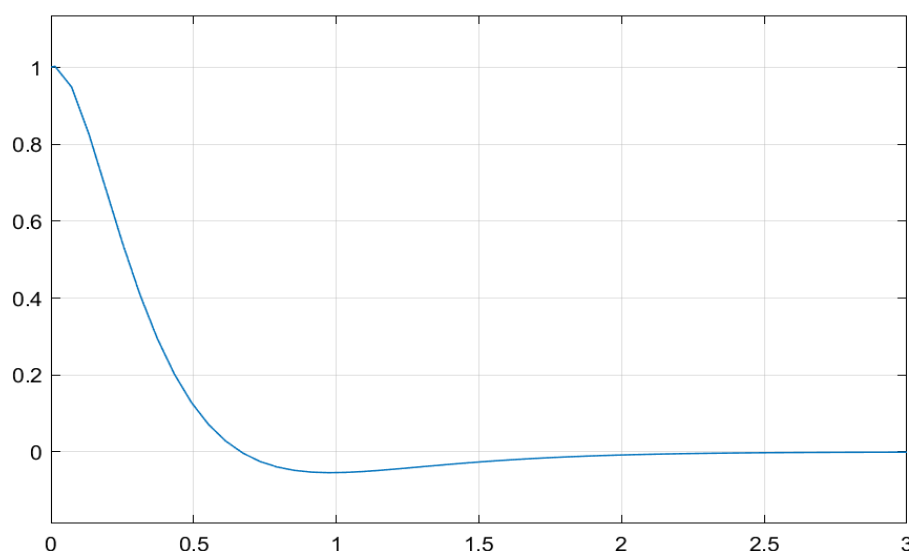
در ادامه خروجی های دو قسمت قبل به ازای K های متفاوت بدست آمده نمایش داده می شود. و در انتهای آن تحلیل و مقایسه انجام می شود.

نمای کلی از سیمولینک: شرایط اولیه حالت ها [1 2 -1 0.5]

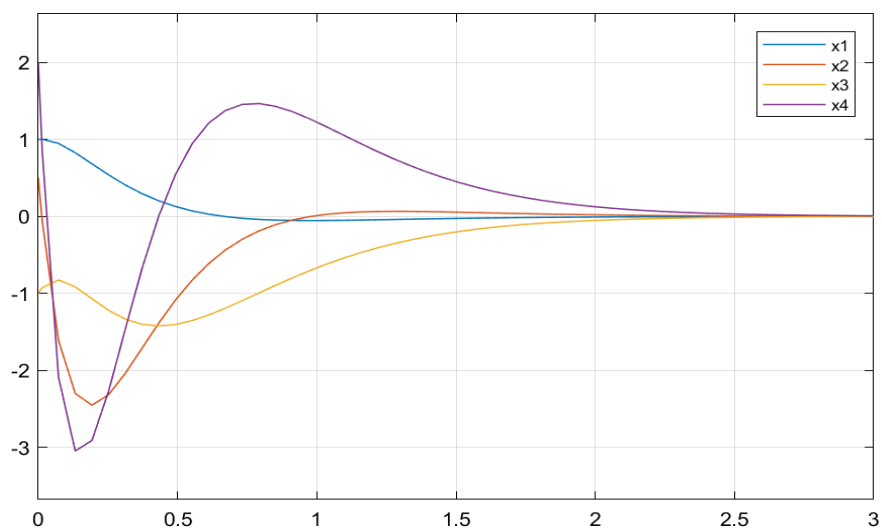


طراحی رگولاتور با استفاده از ماتریس فیدبک برای ساختار ویژه نخست دسته قطب های اول:

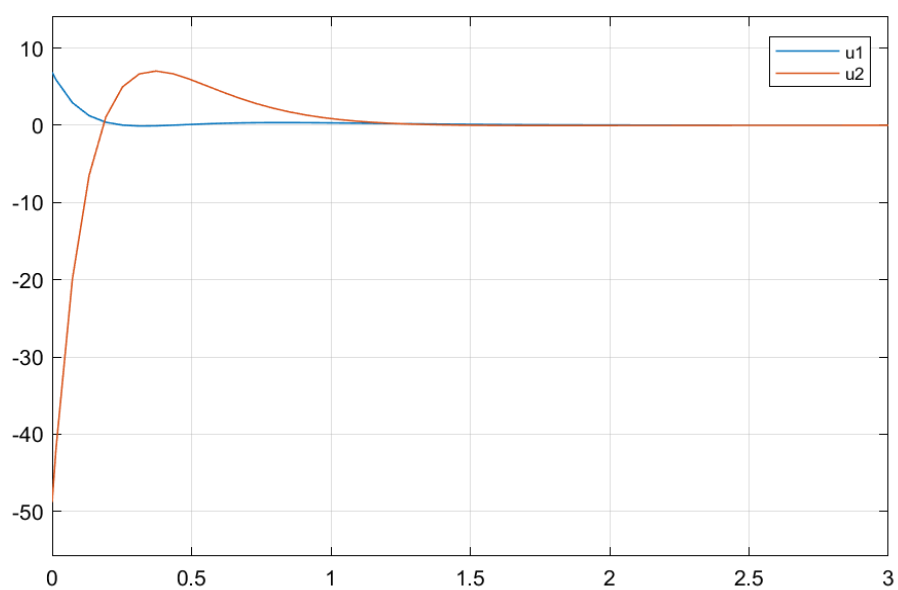
پاسخ خروجی:



وضعیت state ها:

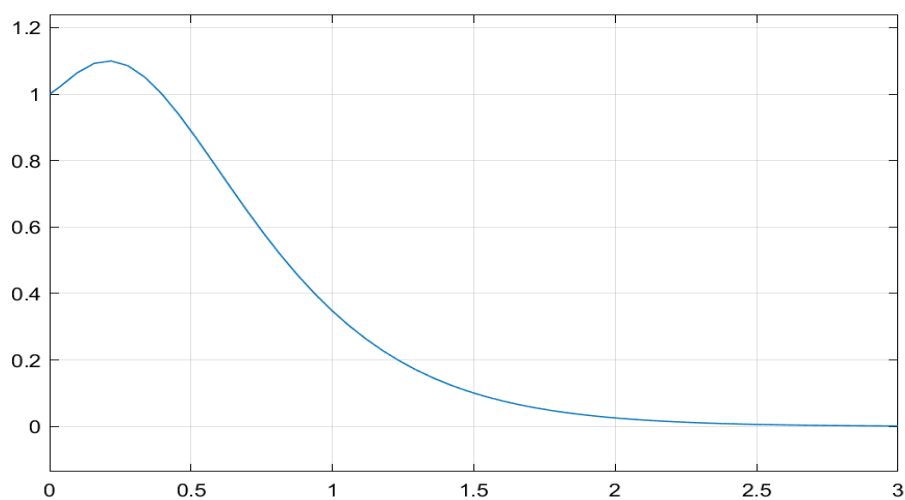


سیگنال های فرمان:

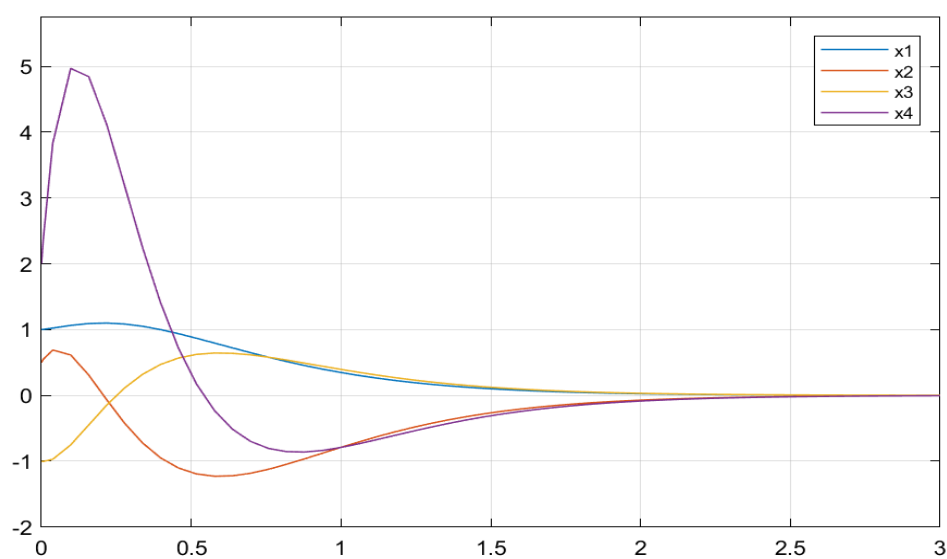


طراحی رگولاتور با استفاده از ماتریس فیدبک برای ساختار ویژه دوم دسته قطب های اول:

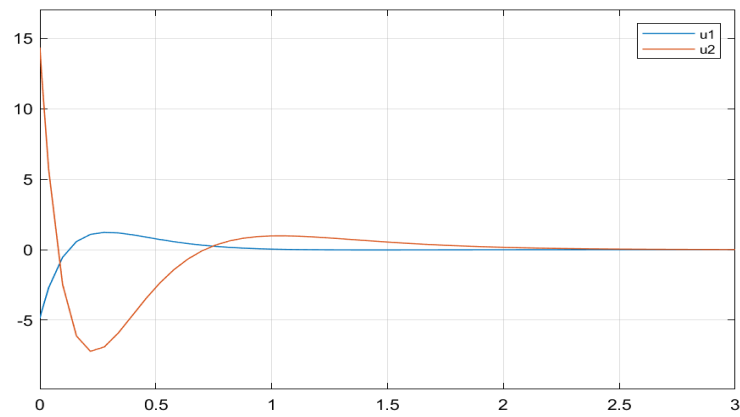
پاسخ خروجی:



وضعیت state ها:

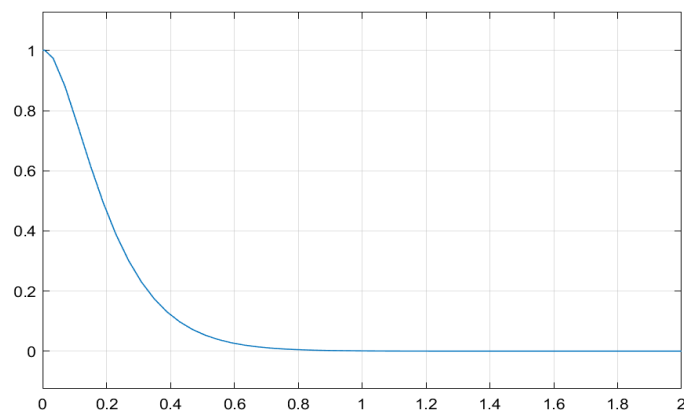


سیگنال های فرمان:

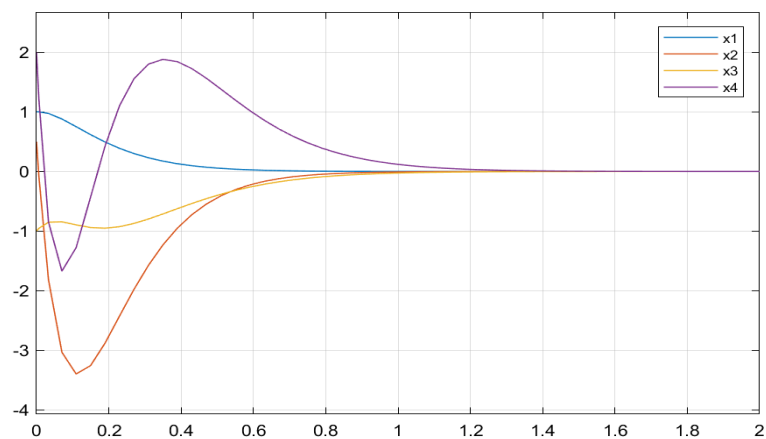


طراحی رگولاتور با استفاده از ماتریس فیدبک برای ساختار ویژه نخست دسته قطب های دوم:

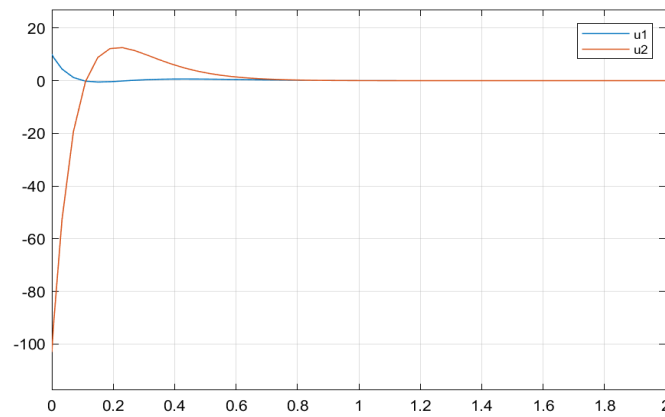
پاسخ خروجی:



وضعیت state ها:

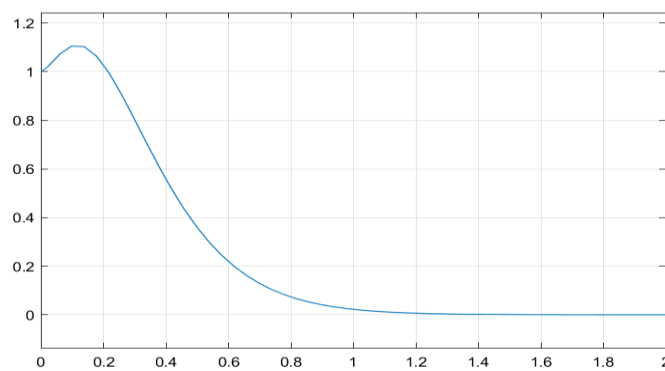


سیگنال های فرمان:

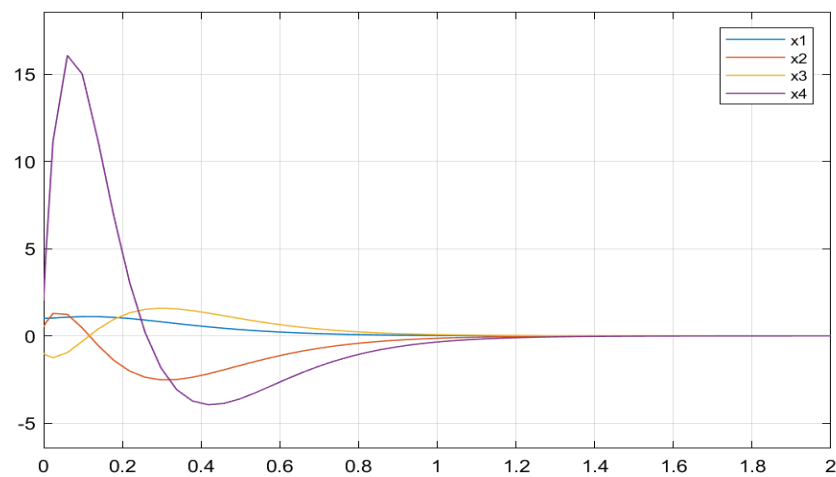


طراحی رگولاتور با استفاده از ماتریس فیدبک برای ساختار ویژه دوم دسته قطب های دوم:

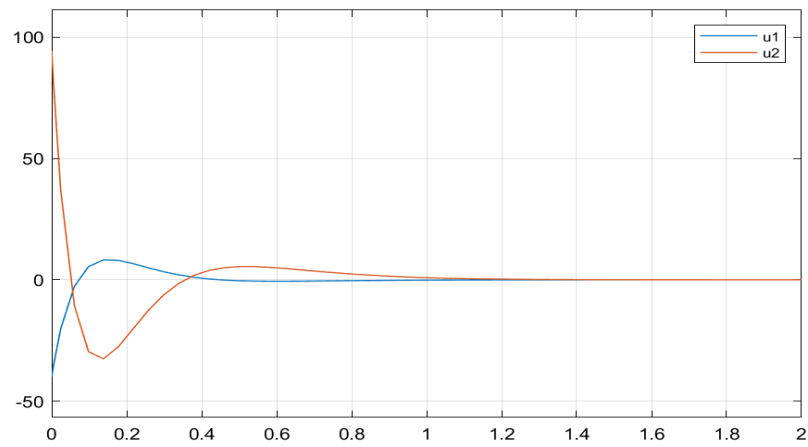
پاسخ خروجی:



وضعیت state ها:

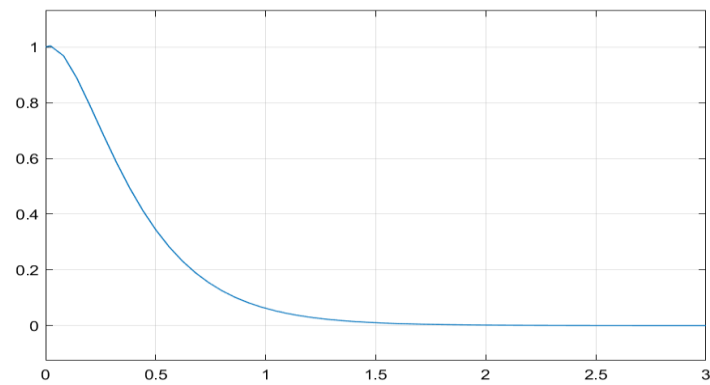


سیگنال های فرمان:

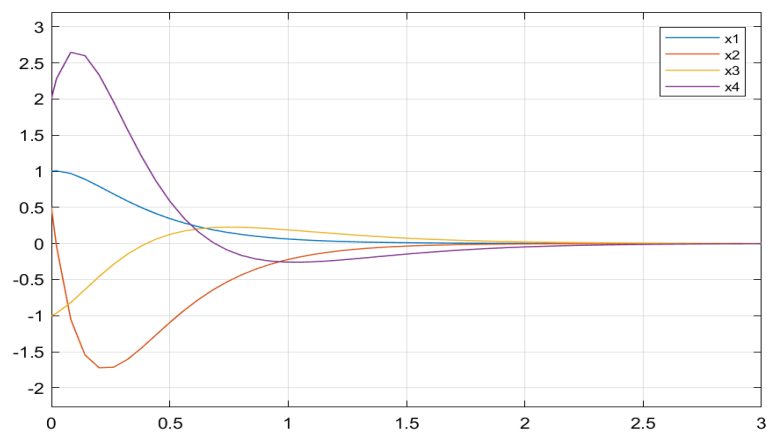


طراحی به روش لیپانوف برای دسته قطب نخست:

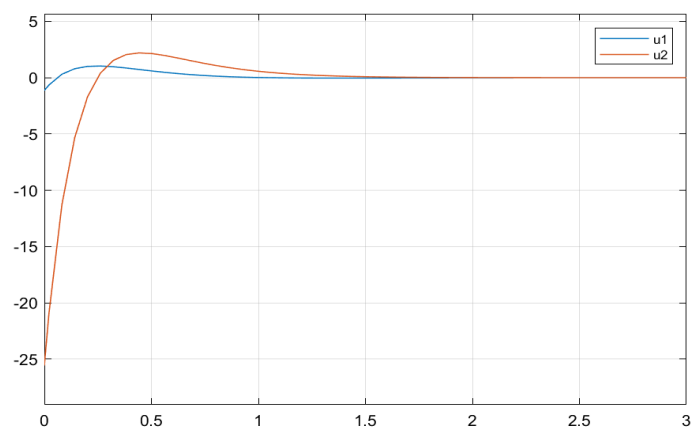
پاسخ خروجی:



وضعیت state ها:

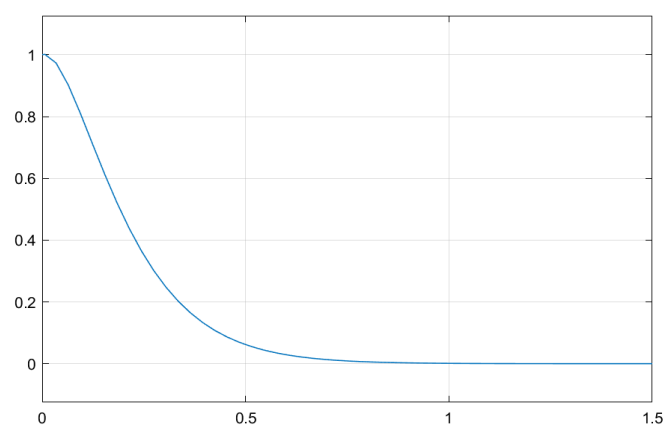


سیگنال های فرمان:

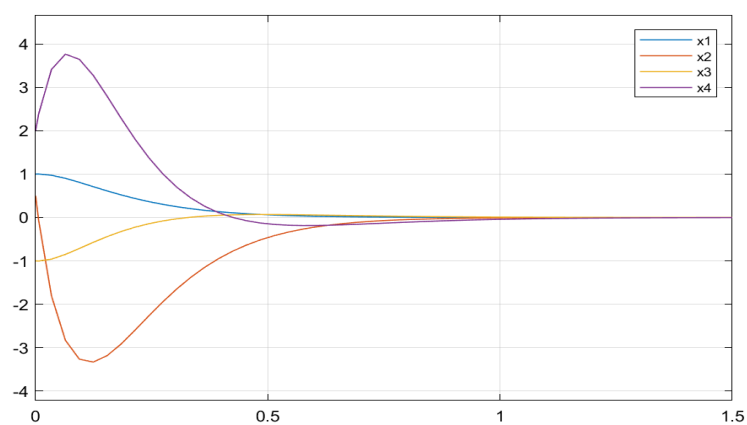


طراحی به روش لیاپانوف برای دسته قطب دوم:

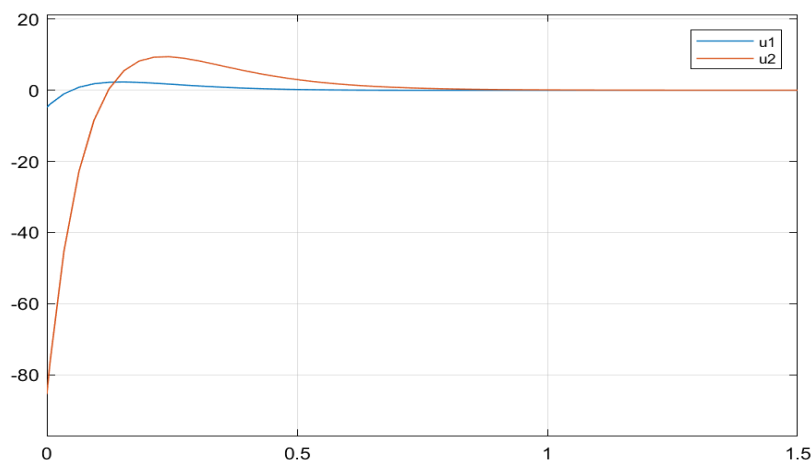
پاسخ خروجی:



وضعیت state ها:



سیگنال های فرمان:



مقایسه و تحلیل:

کاملاً می توان نتیجه گرفت که با انتخاب ساختار ویژه مناسب فرم نمایی و سرعت رسیدن به مقدار صفر را تنظیم نمود که این مورد در سیستم های تک ورودی امکان پذیر نبود. پس یکی از نکات اصلی و کلیدی سیستم های دو یا چند ورودی همین می باشد. همانگونه که مشخص است تنها حالت اول است که در خروجی نمایش داده می شود. همانگونه که از خروجی ها مشخص است از مقدار 1 شروع شده (مقدار اولیه حالت اول) و در نهایت با فرم نمایی و سرعت خاصی به صفر میل می کند. حالت هام به همین صورت کاملاً قابل مشاهده است که پس از سپری شدن زمان با چه سرعتی به صفر میل می کنند. و سیگنال های فرمان هم با گذشت زمان به سمت صفر میل پیدا می کنند.

اولین مورد اینکه سیستم طراحی شده برای دسته ی دوم قطب ها چه ساختار ویژه اول و چه ساختار ویژه دوم دارای سرعت بیشتری هستند و زود تر به صفر میل میکنند و همچنین با تغییر ساختار ویژه می توان شکل نمایی رسیدن به صفر را تعیین نمود. موارد طراحی شده به روش لیاپانوف که از عاقده خاصی تبعیت می کنند هم مانند روش طراحی به شکل ساختار ویژه با سرعت و فرم نمایی خاصی به سمت صفر میل پیدا میکنند که استفاده از قطب های دور تر از محور موهومی این سرعت را افزایش می دهد.

بخش چهارم

طراحی ردیاب برای سیستم دو ورودی

1-4 طراحی ردیاب با استفاده از کنترلگر انتگرالی و ساختار های ویژه

در ابتدای امر با چک کردن مرتبه ی ماتریس $[B \ A; 0 \ -C]$ که باید مرتبه کامل باشد.

در این حالت برای سیستم دو ورودی گفته شده در قسمت قبل با افزودن حالت جدید به سیستم و در ادامه با پیدا کردن فضای پوچی سیستم به ازای 5 مد (4 مد برای خود سیستم و مد جدید برای حالت افزوده شده ی جدید) و در ادامه پیاده سازی ساختار های ویژه و در ادامه بدست آوردن ماتریس فیدبک حالت و جداسازی ماتریس به زیر ماتریس ها. در کل با داشتن قطب های مطلوب:

دسته قطب اول با افزودن حالت جدید:

$$P1 = [-3 \ -4 \ -5 \ -6 \ -2.5]$$

دسته قطب دوم با افزودن حالت جدید:

$$P2 = [-7 \ -8 \ -9 \ -10 \ -2.5]$$

با بدست آوردن ساختار های ویژه و جدا سازی بردار های ویژه که در بخش قبل روند آن توضیح داده شده اس. (تفاوت آن با بخش قبل افزوده شدن یک حالت به سیستم است که در نتیجه ماتریس فیدبکی که بدست می آوریم 2×5 می باشد. که جدا سازی آن به دو زیر ماتریس می توانیم ردیاب خود را طراحی کنیم.) داریم:

$$K = -[q1 \ q2 \ q3 \ q4 \ q5]_{2 \times 5} [V1 \ V2 \ V3 \ V4 \ V5]_{5 \times 5}^{-1} \rightarrow K = \begin{bmatrix} k11 & k12 & k13 & k14 & k15 \\ k21 & k22 & k23 & k24 & k25 \end{bmatrix}$$

$$\rightarrow K1 = \begin{bmatrix} k11 & k12 & k13 & k14 \\ k21 & k22 & k23 & k24 \end{bmatrix}, K2 = \begin{bmatrix} k15 \\ k25 \end{bmatrix}$$

در ادامه روند و ساختار های ویژه به صورت کلی در کد آمده است:

% calculating k for multi input_calcuting feedback

clc;

clear all;

num=[0 0 1 0.6 -9.6];

den=[1 0 3.5 4 1.062];

A=[0 1 0 0;0 0 1 0;0 0 0 1;-1.062 -4 -3.5 0];

```

B=inv([1 0 0 0;0 1 0 0;3.5 0 1 0;4 3.5 0 1])*[0;1;0.6;-9.6];
C=[1 0 0 0];

B_B=[4.520193743116709e-17 0;1 1;0.6 0;-13.1 0];

%testing cotrollability
phi_c_2=rank(ctrb(A,B_B));
if(phi_c_2 == size(A))
display('phi_c(A,B_B) is full rank so this system is controllable');
else
display('phi_c_2 is not full rank so this system is not controllable');
end
%multi_input tracker
%testing controllability of [B A;0 -C]
phi=[0 0 0 1 0 0;1 1 0 0 1 0;0.6 0 0 0 0 1;-13.1 0 -1.062 -4 -3.5 0;0 0 -1 0 0 0];
r=rank(phi);

if(r == 5)
display('[B A;0 -C] is full rank so this system is controllable');
display('so it is ok to designing trackig controller(integral)');
else
display('[B A;0 -C] is not full rank so this system is not controllable');
end
%Tracking : Integral controller
AI=[0 1 0 0 0;0 0 1 0 0;0 0 0 1 0;-1.062 -4 -3.5 0 0;1 0 0 0 0];
BI=[4.520193743116709e-17 0;1 1;0.6 0;-13.1 0;0 0];
CI=[1 0 0 0 0];

dp1 = [-3 -4 -5 -6 -2.5];
dp2 = [-7 -8 -9 -10 -2.5];

%calculating k1 & k2 for first structure of first group of poles
e=null([AI-(-3.*eye(5)) BI]);
e1_1=e(:,1);
e1_2=e(:,2);
e1=3.*e1_1-2.*e1_2;
v1=e1(1:5,1);
q1=e1(6:7,1);

s=null([AI-(-4.*eye(5)) BI]);
e1_1=s(:,1);
e1_2=s(:,2);
e1=e1_1-2.*e1_2;
v2=e1(1:5,1);
q2=e1(6:7,1);

l=null([AI-(-5.*eye(5)) BI]);
e1_1=l(:,1);

```



```

e1_2=l(:,2);
e1=3.*e1_1-e1_2;
v3=e1(1:5,1);
q3=e1(6:7,1);

f=null([AI-(-6.*eye(5)) BI]);
f1_1=f(:,1);
f1_2=f(:,2);
f1=1.5.*f1_1-2.5.*f1_2;
v4=f1(1:5,1);
q4=f1(6:7,1);

t=null([AI-(-2.5.*eye(5)) BI]);
f1_1=t(:,1);
f1_2=t(:,2);
f1=1.5.*f1_1-2.5.*f1_2;
v5=f1(1:5,1);
q5=f1(6:7,1);
kIs1_1=-1.*[q1 q2 q3 q4 q5]*inv([v1 v2 v3 v4 v5]);
%k1
s1_i1_1=kIs1_1(:,1:4);
%k2
s2_i1_1=kIs1_1(:,5);

%calculating k1 & k2 for second structure of first group of poles
e=null([AI-(-3.*eye(5)) BI]);
e1_1=e(:,1);
e1_2=e(:,2);
e1=1.*e1_1-3.5.*e1_2;
v1=e1(1:5,1);
q1=e1(6:7,1);

s=null([AI-(-4.*eye(5)) BI]);
e1_1=s(:,1);
e1_2=s(:,2);
e1=0.3.*e1_1-2.4.*e1_2;
v2=e1(1:5,1);
q2=e1(6:7,1);

l=null([AI-(-5.*eye(5)) BI]);
e1_1=l(:,1);
e1_2=l(:,2);
e1=3.5.*e1_1-1.25.*e1_2;
v3=e1(1:5,1);
q3=e1(6:7,1);

f=null([AI-(-6.*eye(5)) BI]);
f1_1=f(:,1);
f1_2=f(:,2);

```

```

f1=2.25.*f1_1-3.5.*f1_2;
v4=f1(1:5,1);
q4=f1(6:7,1);

t=null([AI-(-2.5.*eye(5)) BI]);
f1_1=t(:,1);
f1_2=t(:,2);
f1=1.5.*f1_1-2.5.*f1_2;
v5=f1(1:5,1);
q5=f1(6:7,1);
kIs1_2=-1.*[q1 q2 q3 q4 q5]*inv([v1 v2 v3 v4 v5]);
%k1
s1_i1_2=kIs1_2(:,1:4);
%k2
s2_i1_2=kIs1_2(:,5);

%calculating k1 & k2 for first structure of second group of poles
e=null([AI-(-7.*eye(5)) BI]);
e1_1=e(:,1);
e1_2=e(:,2);
e1=3.*e1_1-2.*e1_2;
v1=e1(1:5,1);
q1=e1(6:7,1);

s=null([AI-(-8.*eye(5)) BI]);
e1_1=s(:,1);
e1_2=s(:,2);
e1=e1_1-2.*e1_2;
v2=e1(1:5,1);
q2=e1(6:7,1);

l=null([AI-(-9.*eye(5)) BI]);
e1_1=l(:,1);
e1_2=l(:,2);
e1=3.*e1_1-e1_2;
v3=e1(1:5,1);
q3=e1(6:7,1);

f=null([AI-(-10.*eye(5)) BI]);
f1_1=f(:,1);
f1_2=f(:,2);
f1=1.5.*f1_1-2.5.*f1_2;
v4=f1(1:5,1);
q4=f1(6:7,1);

t=null([AI-(-2.5.*eye(5)) BI]);
f1_1=t(:,1);
f1_2=t(:,2);
f1=1.5.*f1_1-2.5.*f1_2;

```

```

v5=f1(1:5,1);
q5=f1(6:7,1);
kIs2_1=-1.*[q1 q2 q3 q4 q5]*inv([v1 v2 v3 v4 v5]);
%k1
s1_i2_1=kIs2_1(:,1:4);
%k2
s2_i2_1=kIs2_1(:,5);

%calculating k1 & k2 for second structure of second group of poles
e=null([AI-(-7.*eye(5)) BI]);
e1_1=e(:,1);
e1_2=e(:,2);
e1=1.*e1_1-3.5.*e1_2;
v1=e1(1:5,1);
q1=e1(6:7,1);

s=null([AI-(-8.*eye(5)) BI]);
e1_1=s(:,1);
e1_2=s(:,2);
e1=0.3.*e1_1-2.4.*e1_2;
v2=e1(1:5,1);
q2=e1(6:7,1);

l=null([AI-(-9.*eye(5)) BI]);
e1_1=l(:,1);
e1_2=l(:,2);
e1=3.5.*e1_1-1.25.*e1_2;
v3=e1(1:5,1);
q3=e1(6:7,1);

f=null([AI-(-10.*eye(5)) BI]);
f1_1=f(:,1);
f1_2=f(:,2);
f1=2.25.*f1_1-3.5.*f1_2;
v4=f1(1:5,1);
q4=f1(6:7,1);

t=null([AI-(-2.5.*eye(5)) BI]);
f1_1=t(:,1);
f1_2=t(:,2);
f1=1.5.*f1_1-2.5.*f1_2;
v5=f1(1:5,1);
q5=f1(6:7,1);
kIs2_2=-1.*[q1 q2 q3 q4 q5]*inv([v1 v2 v3 v4 v5]);
%k1
s1_i2_2=kIs2_2(:,1:4);
%k2
s2_i2_2=kIs2_2(:,5);

```

ردیاب طراحی شده برای ساختار ویژه اول دسته قطب اول:

$$K1 = \begin{bmatrix} -9.5085 & -1.0367 & -0.6091 & -15.2633 \\ 61.3198 & 14.0078 & 1.1576 & 0.4850 \end{bmatrix}, K2 = \begin{bmatrix} -15.2633 \\ 78.5022 \end{bmatrix}$$

ردیاب طراحی شده برای ساختار ویژه دوم دسته قطب اول:

$$K1 = \begin{bmatrix} -6.1857 & -0.4438 & -1.3493 & -0.7911 \\ 48.2624 & 11.3902 & 4.8042 & 1.4173 \end{bmatrix}, K2 = \begin{bmatrix} -12.0926 \\ 69.2262 \end{bmatrix}$$

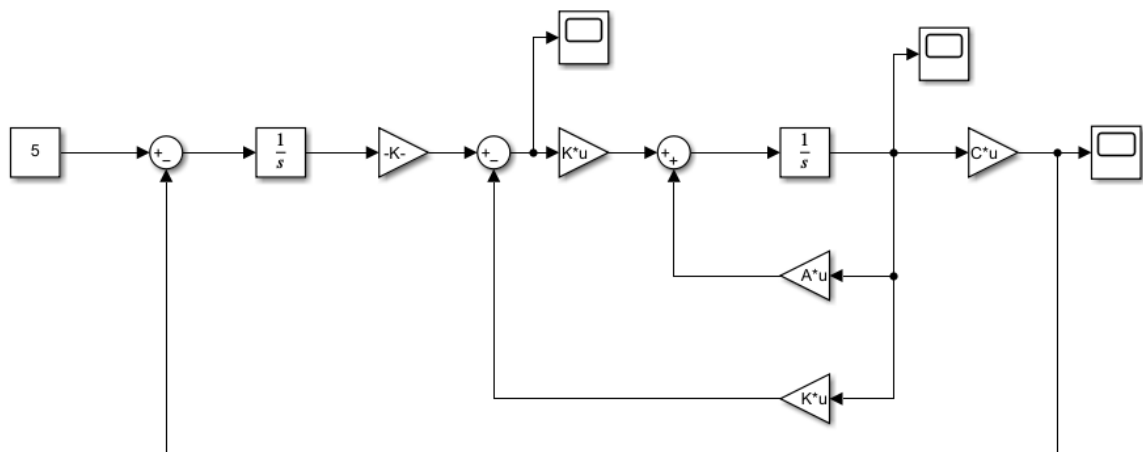
ردیاب طراحی شده برای ساختار ویژه اول دسته قطب دوم:

$$K1 = \begin{bmatrix} -22.0456 & -1.4917 & -4.0497 & -1.3779 \\ 151.0890 & 22.3710 & 4.5615 & 1.3015 \end{bmatrix}, K2 = \begin{bmatrix} -51.4881 \\ 257.7708 \end{bmatrix}$$

ردیاب طراحی شده برای ساختار ویژه دوم دسته قطب دوم:

$$K1 = \begin{bmatrix} 38.8144 & 4.8377 & -14.4646 & -3.0354 \\ -57.1211 & 0.5772 & 40.9126 & 7.0859 \end{bmatrix}, K2 = \begin{bmatrix} 30.3470 \\ -19.1857 \end{bmatrix}$$

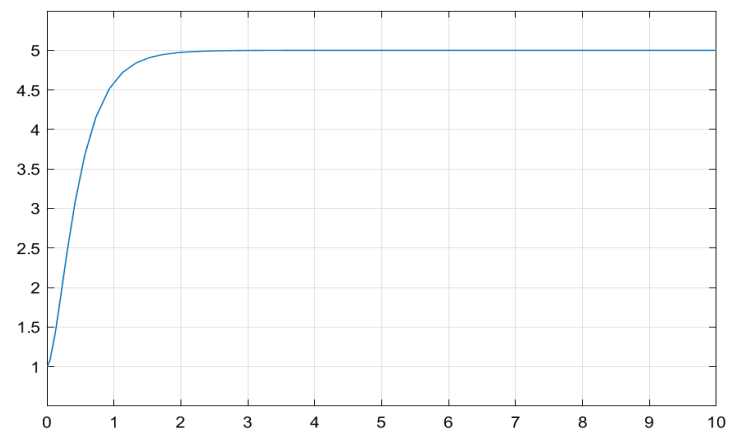
نمایی از سیمولینک:



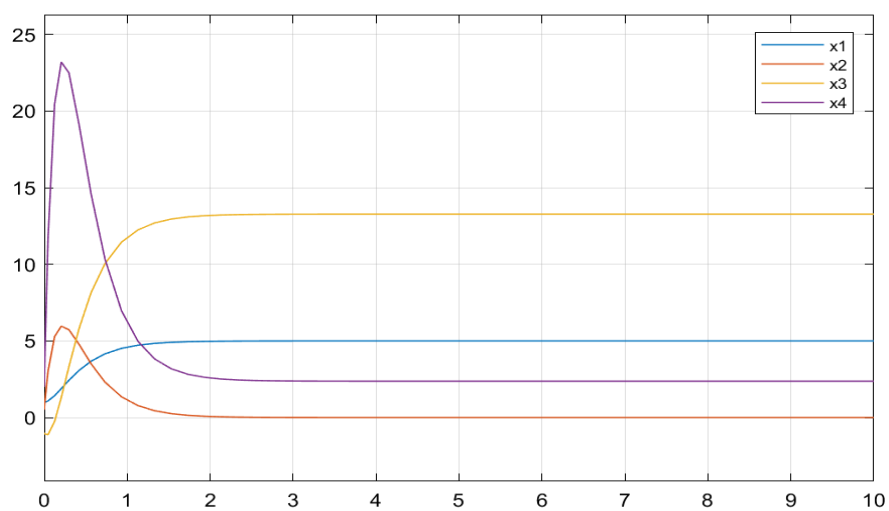
شبیه سازی ها:

ردیاب طراحی شده برای ساختار ویژه اول دسته قطب اول:

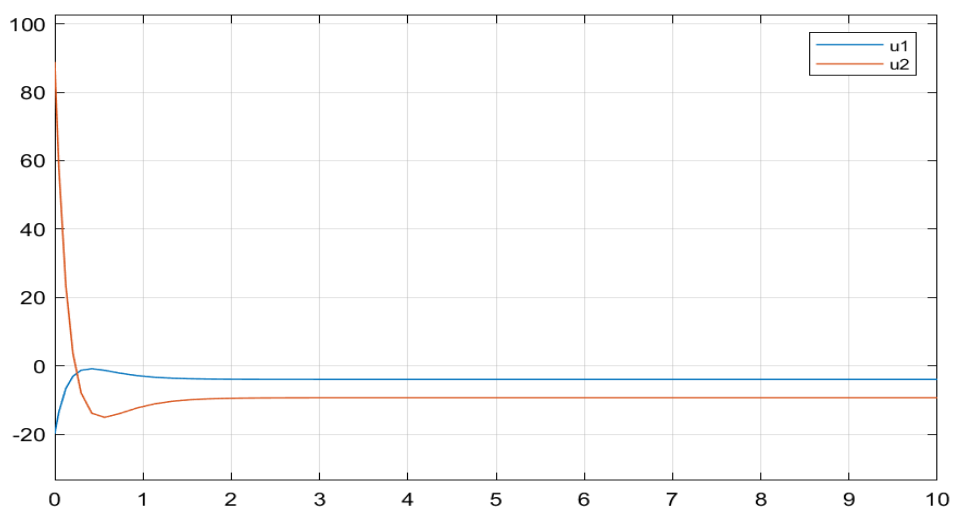
پاسخ خروجی:



وضعیت state ها:

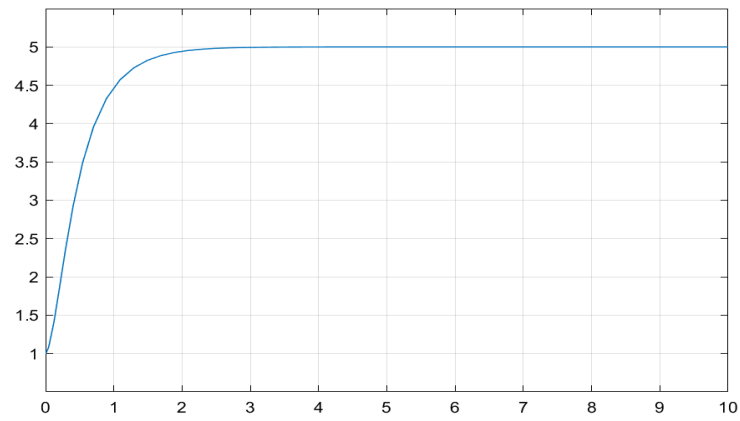


سیگنال های فرمان:

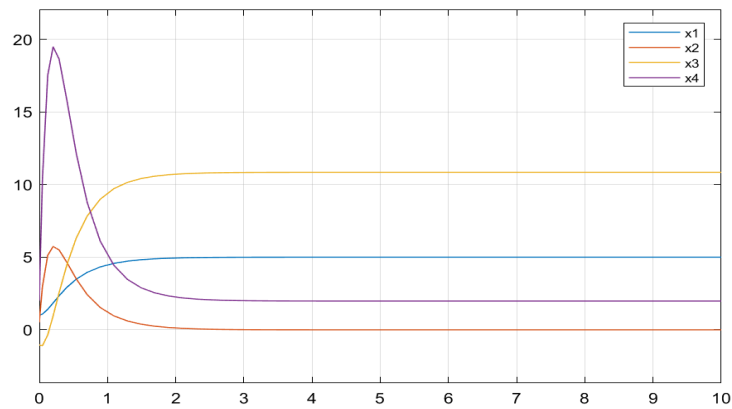


ردیاب طراحی شده برای ساختار ویژه دوم دسته قطب اول:

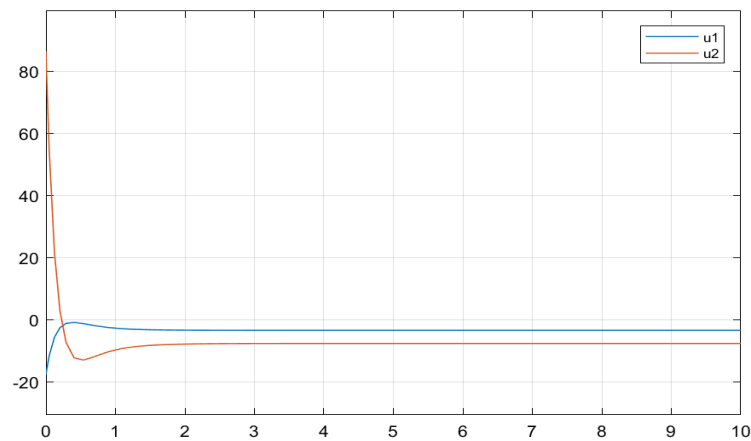
پاسخ خروجی:



وضعیت state ها:

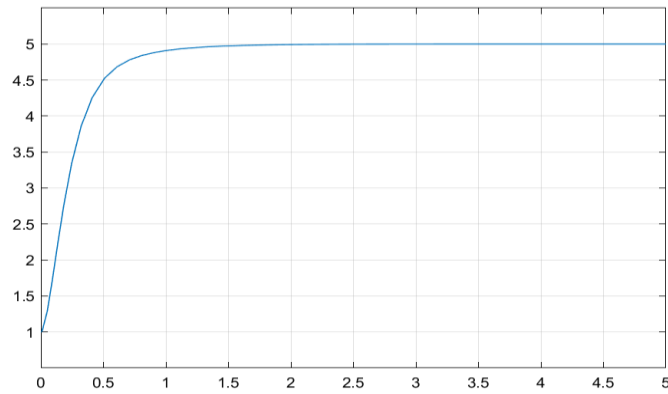


سیگنال های فرمان:

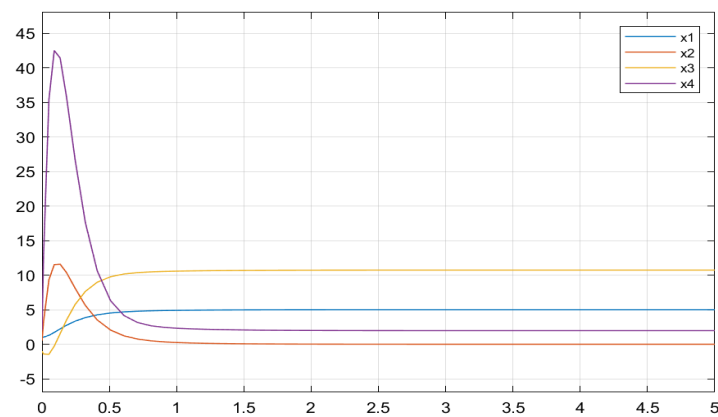


ردیاب طراحی شده برای ساختار ویژه اول دسته قطب دوم:

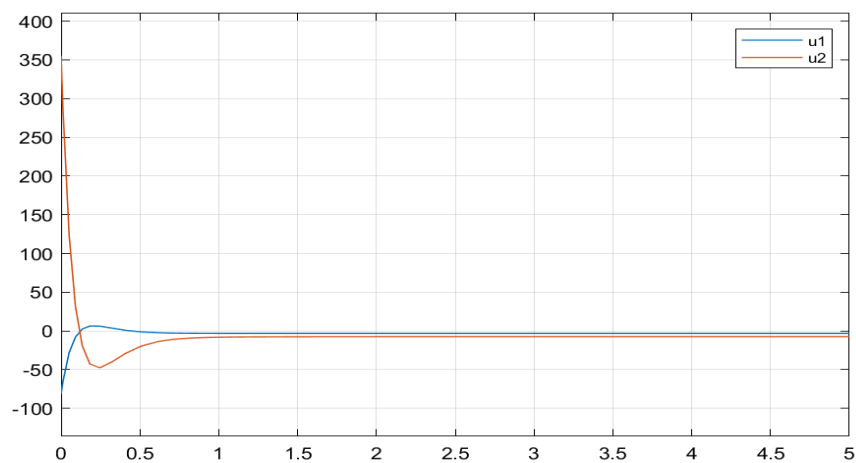
پاسخ خروجی:



وضعیت state ها:

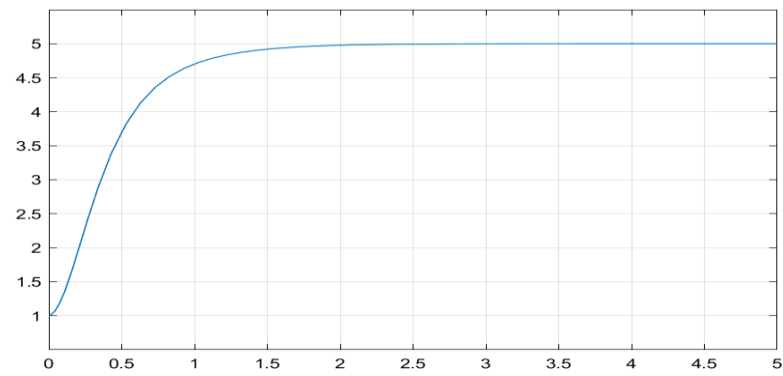


سیگنال های فرمان:

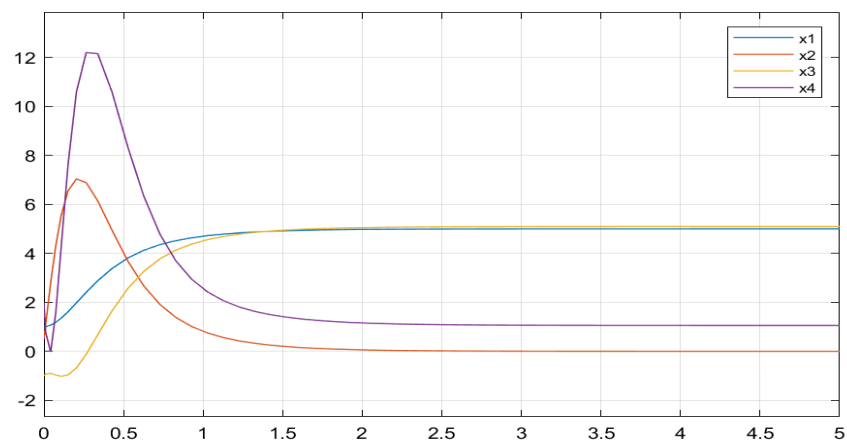


ردیاب طراحی شده برای ساختار ویژه دوم دسته قطب دوم:

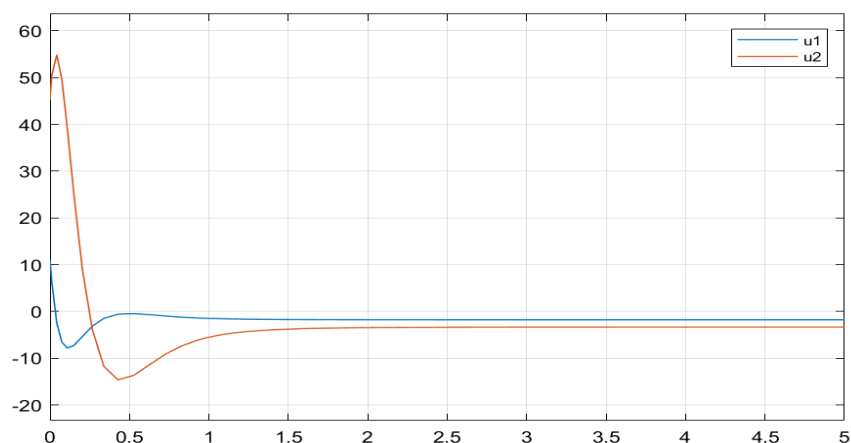
پاسخ خروجی:



وضعیت state ها:



سیگنال های فرمان:



تحلیل و مقایسه:

همانطور که مشخص می باشد همگی عملکرد ردیابی را به خوبی انجام می دهند. دسته قطب دوم که دور تر از محور موهومی هستند باعث افزایش سرعت سیستم شده و همچنین که قابل مشاهده است ساختار های ویژه متفاوت باعث تغییر سرعت و پاسخ گذرای سیستم می شود و همانطور که فته شد برخلاف سیستم های تک ورودی این امکان برای مت وجود دارد که با تعیین ساختار های ویژه یا در اصل با تعیین بردار های ویژه چگونگی پاسخ سیستم به ورودی را تعیین کنیم. با بررسی حالت ها با تغییر ساختار های ویژه نوع رفتار حالت ها نیز عوض شده و سپس به حالت ماندگار خود می رسند.