

گزارش پروژه نهایی درس کنترل

امیررضا میربیگی مقدم-۹۲۱۸۵۶۳

استاد درس: دکتر علی غفاری

حل تمرین: مهندس حمید رحمانی

فهرست

۴	تحلیل سیستم مدار باز	1.
۴	سیستم اول:	۱،۱
۶	سیستم دوم:	1.2.
۸	بردار ها و مقادیر ویژه	۱،۳
۸	سیستم اول:	۱،۳،۱
۹	سیستم دوم:	۱،۳،۲
۱۰	پاسخ مدار باز	۱،۴
۱۰	سیستم اول:	۱،۴،۱
۱۳	سیستم دوم:	۱،۴،۲
۱۶	پیدا کردن مرز پایداری	۱،۵
۱۶	روش راوت	۱،۵،۱
۱۷	روش مکان هندسی	۱،۵،۲
۱۸	روش بود	۱،۵،۳
۲۱	طراحی کنترلر ها	۲.
۲۲	کنترلر P-Action	۲،۱
۲۲	زیگلر نیکولز	۲،۱،۱
۲۲	طراحی	۲،۱،۱،۱
۲۴	مشخصات	۲،۱،۱،۲
۲۵	تغییر پارامترهای سیستم	۲،۱،۱،۳
۲۶	اغتشاش	۲،۱،۱،۴
۲۷	مکان هندسی	۲،۱،۲
۲۷	طراحی	۲،۱،۲،۱
۲۹	مشخصات	۲،۱،۲،۲
۳۰	تغییر پارامترهای سیستم	۲،۱،۲،۳
۳۱	اغتشاش	۲،۱،۲،۴

۳۲.....	پاسخ فرکانسی	۲،۱،۳
۳۲.....	طراحی	۲،۱،۳،۱
۳۴.....	مشخصات	۲،۱،۳،۲
۳۵.....	تغییر پارامترهای سیستم	۲،۱،۳،۳
۳۶.....	اغتشاش	۲،۱،۳،۴
۳۷.....	مقایسه ی کنترلر ها	2.1.4.
۳۸.....	کنترلر PI-Action	2.2.
۳۸.....	زیگلر نیکولز	۲،۲،۱
۳۸.....	طراحی	۲،۲،۱،۱
۴۰.....	مشخصات	۲،۲،۱،۲
۴۱.....	تغییر پارامترهای سیستم	۲،۲،۱،۳
۴۲.....	اغتشاش	۲،۲،۱،۴
۴۳.....	مکان هندسی	۲،۲،۲
۴۳.....	طراحی	۲،۲،۲،۱
۴۵.....	مشخصات	۲،۲،۲،۲
۴۶.....	تغییر پارامترهای سیستم	۲،۲،۲،۳
۴۷.....	اغتشاش	۲،۲،۲،۴
۴۸.....	پاسخ فرکانسی	۲،۲،۳
۴۸.....	طراحی	۲،۲،۳،۱
۵۰.....	مشخصات	۲،۲،۳،۲
۵۱.....	تغییر پارامترهای سیستم	۲،۲،۳،۳
۵۲.....	اغتشاش	۲،۲،۳،۴
۵۳.....	مقایسه ی کنترلر ها	2.2.4.
۵۵.....	کنترلر PID-Action	2.3.
۵۵.....	زیگلر نیکولز	۲،۳،۱

۵۵.....	طراحی	۲،۳،۱،۱
۵۷.....	مشخصات	۲،۳،۱،۲
۵۸.....	تغییر پارامترهای سیستم	۲،۳،۱،۳
۵۹.....	اغتشاش	۲،۳،۱،۴
۶۰.....	مکان هندسی	۲،۳،۲
۶۰.....	طراحی	۲،۳،۲،۱
۶۲.....	مشخصات	۲،۳،۲،۲
۶۳.....	تغییر پارامترهای سیستم	۲،۳،۲،۳
۶۴.....	اغتشاش	۲،۳،۲،۴
۶۵.....	پاسخ فرکانسی	۲،۳،۳
۶۵.....	طراحی	۲،۳،۳،۱
۶۷.....	مشخصات	۲،۳،۳،۲
۶۸.....	تغییر پارامترهای سیستم	۲،۳،۳،۳
۶۹.....	اغتشاش	۲،۳،۳،۴
۷۰.....	مقایسه ی کنترلر ها	2.3.4.

۱. تحلیل سیستم مدار باز

تابع تبدیل بدست آمده با توجه به مقادیر $(a=5 \ b=6 \ c=9)$ به صورت زیر است:

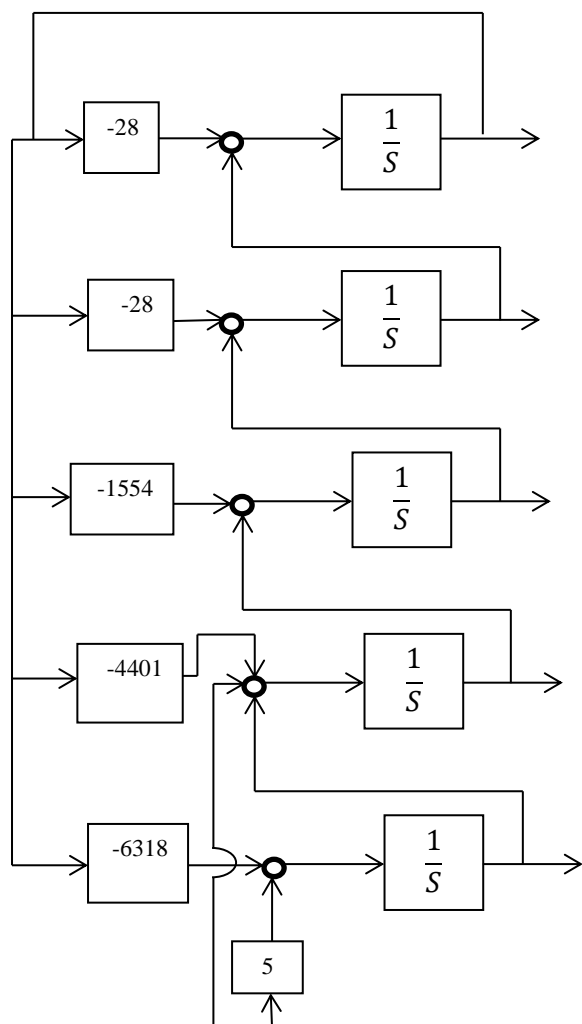
$$\frac{s + 5}{(s + 6)(s + 9)^2(s^2 + 4s + 13)}$$

با استفاده از نرم افزار مطلب و روش های اول و دوم که در کتاب دکتر غفاری آمده است، معادلات حالت سیستم اول و دوم را بدست می آوریم. ، نمودار جریانی و جعبه ای را رسم میکنیم.

۱،۱. سیستم اول:

$$B1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 5 \end{bmatrix} \quad C1 = [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0] \quad A1 = \begin{bmatrix} -28 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ -298 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1554 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ -4401 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ -6318 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

نمودار جعبه ای:



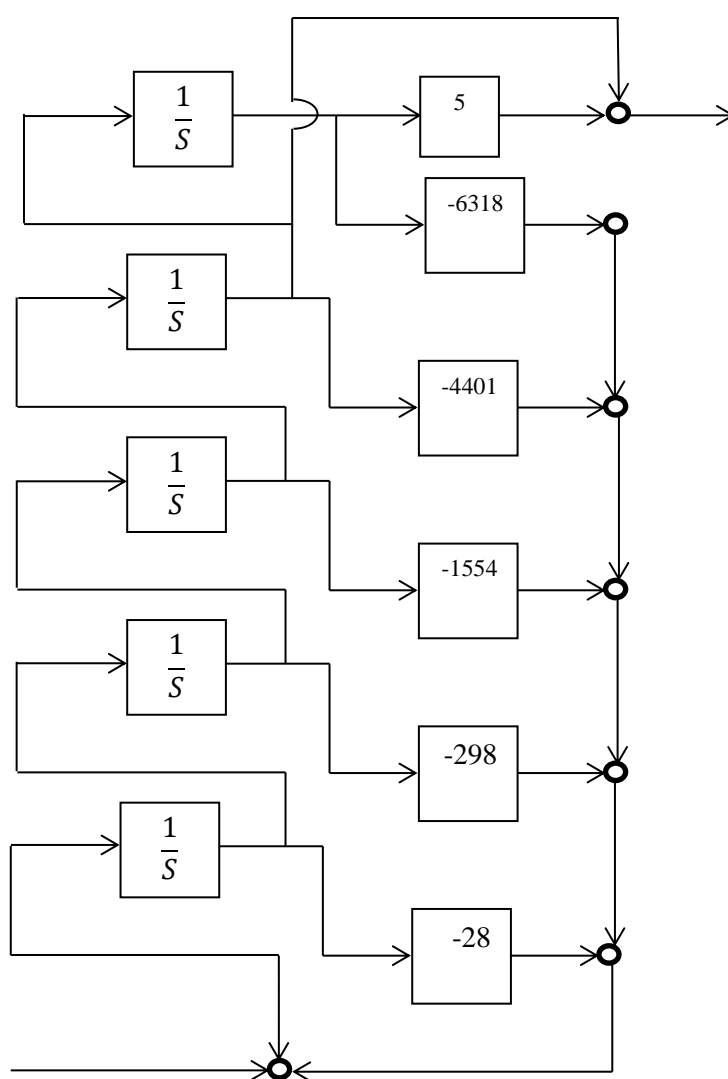
کد متلب مربوط به سیستم اول:

```
%%% first system
A1=[-28 1 0 0 0;
     -298 0 1 0 0;
     -1554 0 0 1 0;
     -4401 0 0 0 1;
     -6318 0 0 0 0];
B1=[0;0;0;1;a];
C1=[1 0 0 0 0];
D1=[0];
sysSS1=ss(A1,B1,C1,D1);
%%% transfer function for first system
[bb1,aa1] = ss2tf(A1,B1,C1,D1);
sysL1=tf(bb1,aa1);
```

۱.۲. سیستم دوم:

$$B2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad C2 = [5 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0] \quad A2 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ -6318 & -4401 & -1554 & -298 & -28 \end{bmatrix}$$

نمودار جعبه ای:



کد متلب مربوط به سیستم دوم:

```
%%% second system
A2=[0 1 0 0 0;
     0 0 1 0 0;
     0 0 0 1 0;
     0 0 0 0 1;
     -6318 -4401 -1554 -298 -28];
B2=[0;0;0;0;1];
C2=[a 1 0 0 0];
D2=[0];
sysSS2=ss(A2,B2,C2,D2);
%%% transfer function for second system
[bb2,aa2] = ss2tf(A2,B2,C2,D2);
sysL2=tf(bb2,aa2);
```


۱،۳. بردار ها و مقادیر ویژه

برای بدست آوردن مقادیر و بردار های ویژه از کد زیر استفاده کرده و مود های رفتاری را نیز بدست می آوریم:

۱،۳،۱. سیستم اول:

```
%%% first system
% e1 = eig(A1)
[V1,D1] = eig(A1);
for i=1:5
    model (i)=exp( D1(i,i));
end
```

خروجی این قسمت به صورت زیر است:

V1 =

```
-0.0012 + 0.0000i  0.0012 + 0.0000i  -0.0008 + 0.0000i  0.0003 - 0.0004i  0.0003 + 0.0004i
-0.0231 + 0.0000i  0.0231 + 0.0000i  -0.0183 + 0.0000i  0.0083 - 0.0097i  0.0083 + 0.0097i
-0.1542 + 0.0000i  0.1542 + 0.0000i  -0.1379 + 0.0000i  0.0934 - 0.0767i  0.0934 + 0.0767i
-0.4991 + 0.0000i  0.4991 + 0.0000i  -0.4637 + 0.0000i  0.4640 - 0.1973i  0.4640 + 0.1973i
-0.8524 + 0.0000i  0.8524 + 0.0000i  -0.8750 + 0.0000i  0.8550 + 0.0000i  0.8550 + 0.0000i
```

D1 =

```
-9.0000 + 0.0000i  0.0000 + 0.0000i  0.0000 + 0.0000i  0.0000 + 0.0000i  0.0000 + 0.0000i
0.0000 + 0.0000i  -9.0000 + 0.0000i  0.0000 + 0.0000i  0.0000 + 0.0000i  0.0000 + 0.0000i
0.0000 + 0.0000i  0.0000 + 0.0000i  -6.0000 + 0.0000i  0.0000 + 0.0000i  0.0000 + 0.0000i
0.0000 + 0.0000i  0.0000 + 0.0000i  0.0000 + 0.0000i  -2.0000 + 3.0000i  0.0000 + 0.0000i
0.0000 + 0.0000i  0.0000 + 0.0000i  0.0000 + 0.0000i  0.0000 + 0.0000i  -2.0000 - 3.0000i
```

model =

```
0.0001 + 0.0000i  0.0001 + 0.0000i  0.0025 + 0.0000i  -0.1340 + 0.0191i  -0.1340 - 0.0191i
```

۲،۳،۱. سیستم دوم:

```
%%% second system
% e2 = eig(A2)
[V2,D2] = eig(A2);
for i=1:5
    mode2 (i)=exp( D2(i,i));
end
```

خروجی این قسمت به صورت زیر است:

V2 =

```
0.0002 + 0.0000i -0.0002 + 0.0000i -0.0008 + 0.0000i -0.0040 - 0.0040i -0.0040 + 0.0040i
-0.0014 + 0.0000i 0.0014 + 0.0000i 0.0046 + 0.0000i 0.0201 - 0.0039i 0.0201 + 0.0039i
0.0123 + 0.0000i -0.0123 + 0.0000i -0.0274 + 0.0000i -0.0284 + 0.0682i -0.0284 - 0.0682i
-0.1104 + 0.0000i 0.1104 + 0.0000i 0.1643 + 0.0000i -0.1478 - 0.2217i -0.1478 + 0.2217i
0.9938 + 0.0000i -0.9938 + 0.0000i -0.9860 + 0.0000i 0.9608 + 0.0000i 0.9608 + 0.0000i
```

D2 =

```
-9.0000 + 0.0000i 0.0000 + 0.0000i 0.0000 + 0.0000i 0.0000 + 0.0000i 0.0000 + 0.0000i
0.0000 + 0.0000i -9.0000 + 0.0000i 0.0000 + 0.0000i 0.0000 + 0.0000i 0.0000 + 0.0000i
0.0000 + 0.0000i 0.0000 + 0.0000i -6.0000 + 0.0000i 0.0000 + 0.0000i 0.0000 + 0.0000i
0.0000 + 0.0000i 0.0000 + 0.0000i 0.0000 + 0.0000i -2.0000 + 3.0000i 0.0000 + 0.0000i
0.0000 + 0.0000i 0.0000 + 0.0000i 0.0000 + 0.0000i 0.0000 + 0.0000i -2.0000 - 3.0000i
```

mode2 =

```
0.0001 + 0.0000i 0.0001 + 0.0000i 0.0025 + 0.0000i -0.1340 + 0.0191i -0.1340 - 0.0191i
```

ماتریس های $D1$ و $D2$ معرف مقادیر ویژه اند که به صورت **bold** نشان داده شده است. همچنین ستون های عمودی در ماتریس های $V1$ و $V2$ بردار های ویژه را نشان می دهند. مود های رفتاری برای هر سیستم در ماتریس $mode1$ و $mode2$ ریخته شده اند و قابل مشاهده اند.

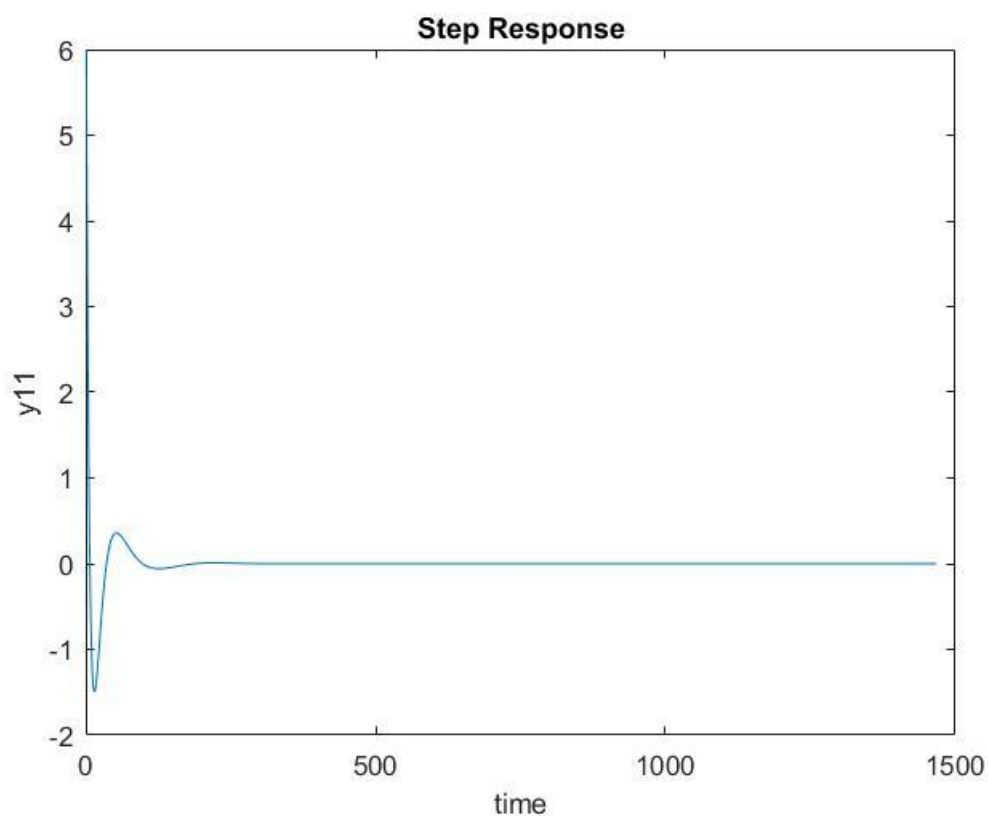
۱.۴ پاسخ مدار باز

اکنون پاسخ سیستم را نسبت به سه ورودی پله، ضربه و فرکانسی برای هر سیستم بدست می آوریم.

۱.۴.۱ سیستم اول:

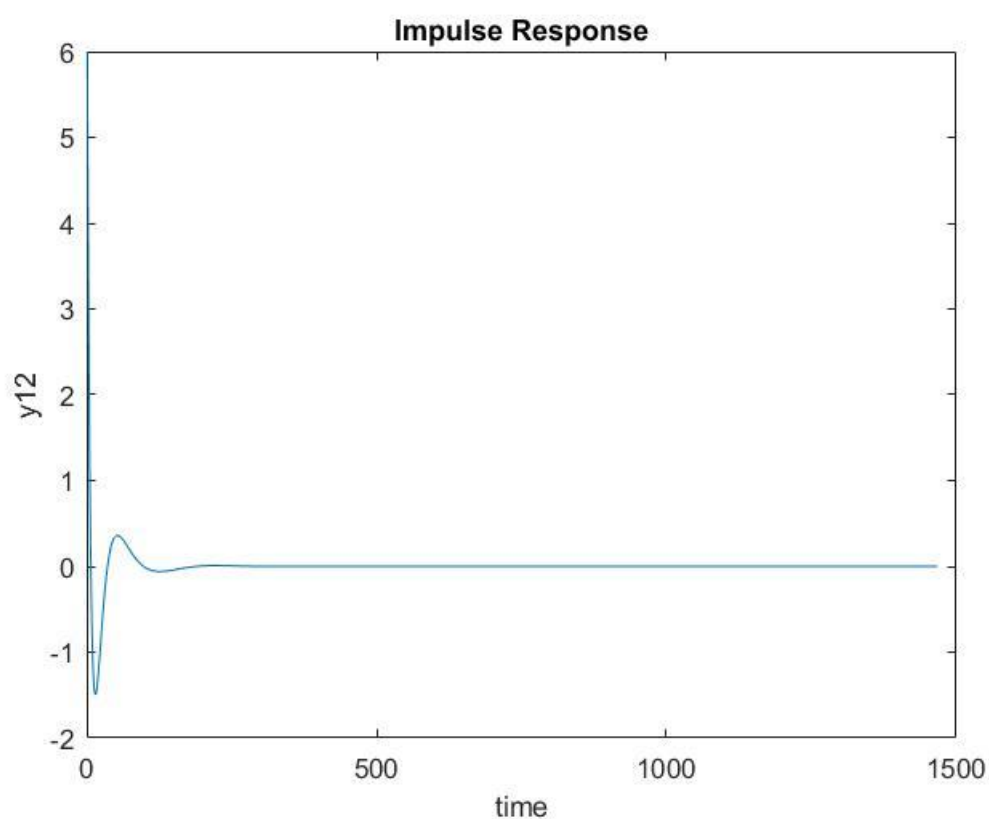
```
%%% first system
%%% step
[Yinitial1] = initial(sysSS1,x0,15);
[YUstep1] = step(sysSS1,15);
y11=Yinitial1+YUstep1;
figure(11)
plot(y11)
SteadyStateError1=y11(end);
%%% impulse
[YUimpulse1]=impulse(sysSS1,15);
y12=Yinitial1+YUimpulse1;
figure(12)
plot(y12)
%%% frequency
%time---->>setting the parameters
UF=a*sin(b*time);
[yFLs1]=lsim(sysSS1,UF,time,x0);
y13=yFLs1;
figure(13)
lsim(svsSS1,UF,time,x0)
```

۱. پاسخ پله واحد:



همانطور که در شکل قابل مشاهده است. و با استفاده از دستور مقدار نهایی ، خطای حالت ماندگار برابر $(ess=1-7.9139 \times 10^{-4})$ بدست می آید. اگر از قضیه ی مقدار نهایی هم استفاده کنیم همین مقدار را برای حالت ماندگار بدست می آوریم.

۲. پاسخ ضربه واحد:

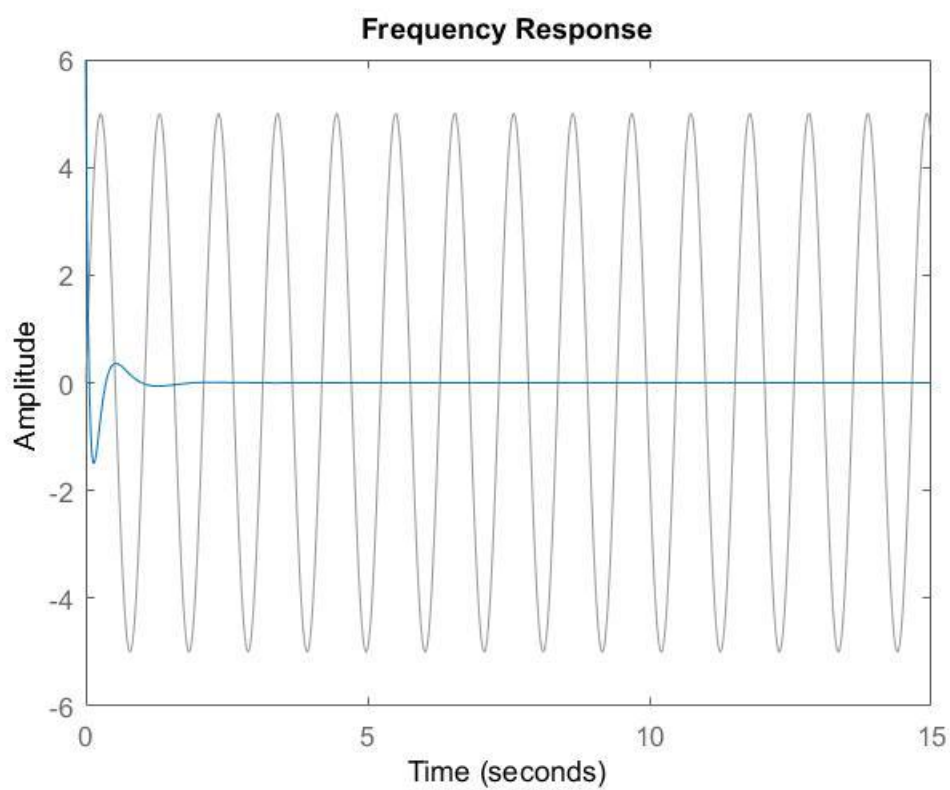


این نمودار با استفاده از براینند دو پاسخ با ورودی و با شرایط اولیه بدست آمده است.

۳. پاسخ فرکانسی:

با استفاده از ورودی زیر و با شرایط اولیه داده شده پاسخ فرکانسی رسم شده، خطوط کمرنگ (که به صورت سینوسی دیده می شوند) ورودی، و خطوط پر رنگ خروجی هستند.

$$U = 5 * \sin(6 * t)$$



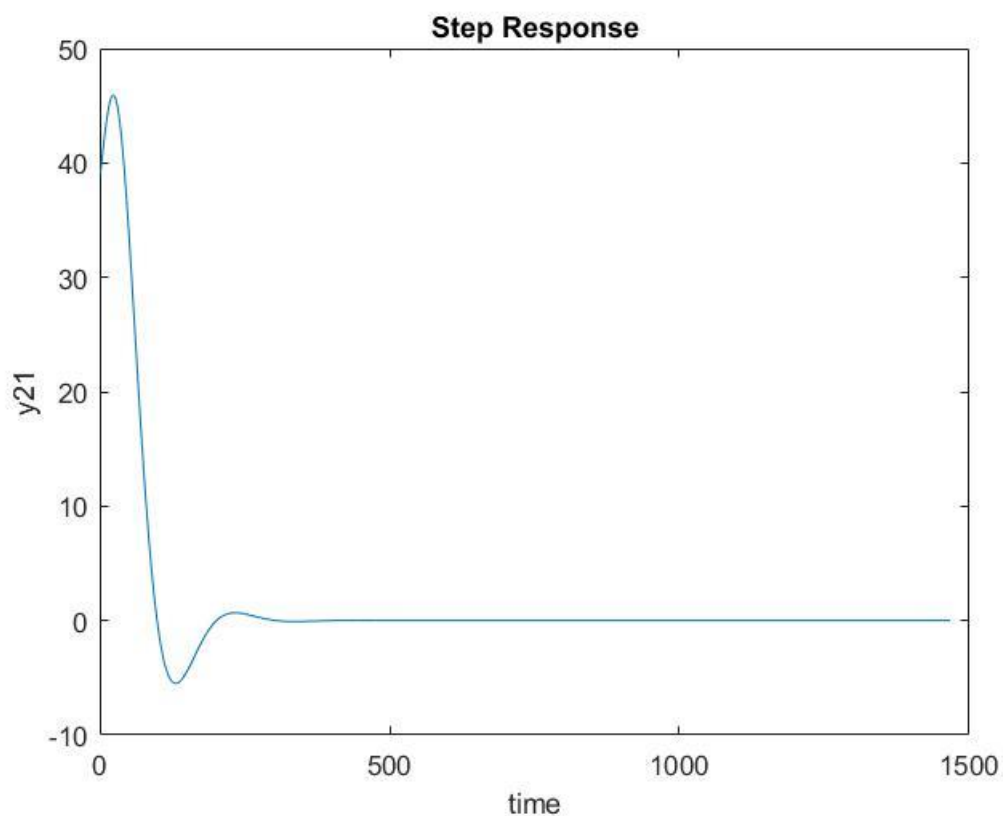
۱.۴.۲. سیستم دوم:

```

%%% second system
%%% step
[Yinitial2] = initial(sysSS2,x0,15);
[YUstep2] = step(sysSS2,15);
y21=Yinitial2+YUstep2;
figure(21)
plot(y21)
SteadyStateError2=y21(end);
%%% impulse
[YUimpulse2]=impulse(sysSS2,15);
y22=Yinitial2+YUimpulse2;
figure(22)
plot(y22)
%%% frequency
%time----->>setting the parameters
UF2=a*sin(b*time);
[yFLs2]=lsim(sysSS2,UF2,time,x0);
y23=yFLs2;
figure(23)
lsim(sysSS2,UF2,time,x0)

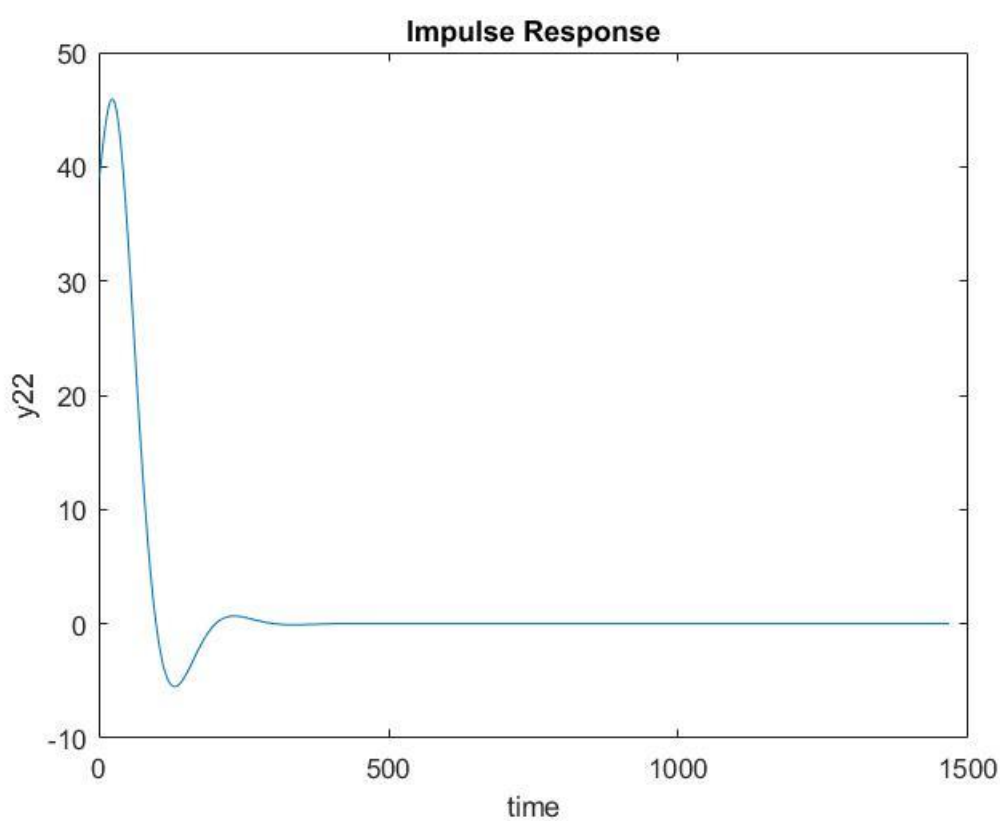
```

۱. پاسخ پله واحد:



همانطور که در شکل قابل مشاهده است. و با استفاده از دستور مقدار نهایی ، خطای حالت ماندگار برابر $(ess=1-7.9139*10^{-4})$ بدست می آید. اگر از قضیه ی مقدار نهایی هم استفاده کنیم همین مقدار را برای حالت ماندگار بدست می آوریم.

۲. پاسخ ضربه واحد:

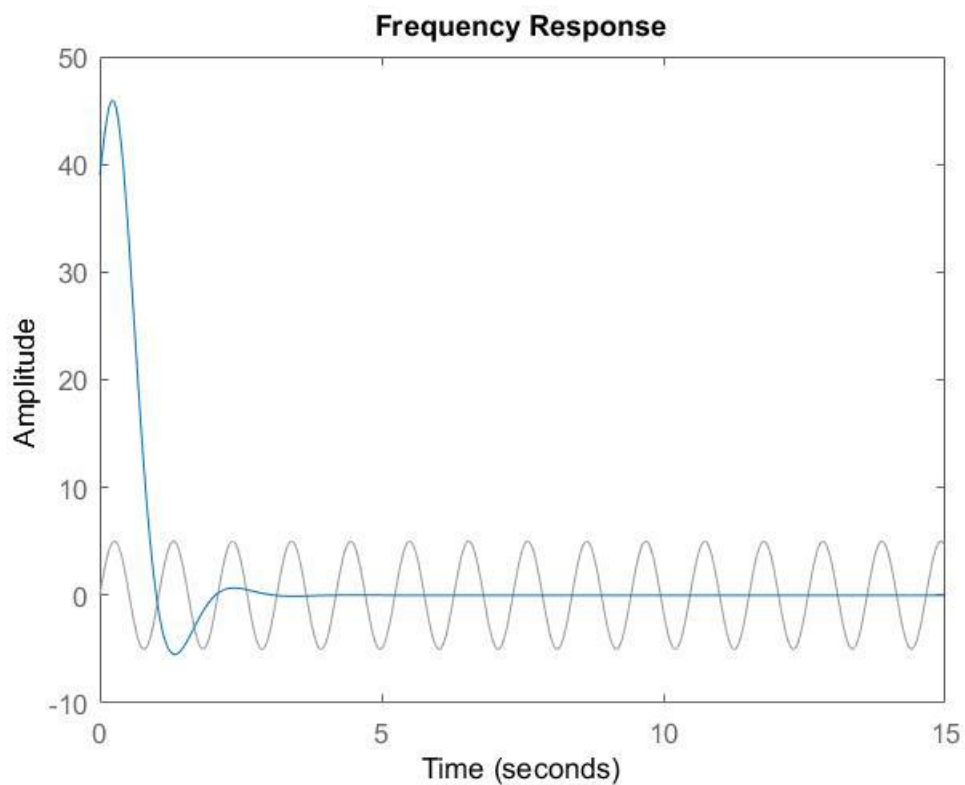


این نمودار با استفاده از براینند دو پاسخ با ورودی و با شرایط اولیه بدست آمده است.

۳. پاسخ فرکانسی:

با استفاده از ورودی زیر و با شرایط اولیه داده شده پاسخ فرکانسی رسم شده، خطوط کمرنگ (که به صورت سینوسی دیده می شوند) ورودی، و خطوط پر رنگ خروجی هستند.

$$U = 5 * \sin(6 * t)$$



۱،۵. پیدا کردن مرز پایداری

۱،۵،۱. روش راوٹ

در این مرحله با استفاده از روش راوٹ میخواهیم مقدار Ku را پیدا کنیم. معادله مخرج:

$$s^5 + 28s^4 + 298s^3 + 1554s^2 + (k + 4401)s^1 + (5k + 6318)$$

1	298	k+4401
28	1554	5k+6318
242.5	0.82k+4175.36	0
1071.90-0.095k	5k+6318	0
((1071.90-0.095k)* (0.82k+4175.36)-242.5*(5k+6318))/(1071.90-0.095k)		0
5k+6318		0
0		

معادله ی $((1071.90-0.095k) * (0.82k+4175.36) - 242.5 * (5k+6318)) / (1071.90-0.095k)$ مشخص کننده ی مقادیر مرزی k است. با استفاده از نرم افزار متلب این معادله را حل میکنیم.

```
syms krh
eqn = ((1071.90-0.095*krh) * (0.82*krh+4175.36) -
242.5*(5*krh+6318)) / (1071.90-0.095*krh) == 0;
solKrh = solve(eqn,krh);
```

مقدار قابل قبول بهره در مرز پایداری برابر $(Ku=3.0431*10^3)$ بدست می آید.

با آزمون وخطا بدست می آوریم که مقدار $Ku=3048.513$ دقیق است.

۲،۵،۱. روش مکان هندسی

اکنون سعی می کنیم مقدار بهره مرز پایداری را با روش مکان هندسی ریشه ها بدست بیاوریم. ابتدا مقادیر k و ω را تولید میکنیم سپس با شرط $(\text{Real}(\omega) == 0)$ مقادیر مرزی را پیدا میکنیم:

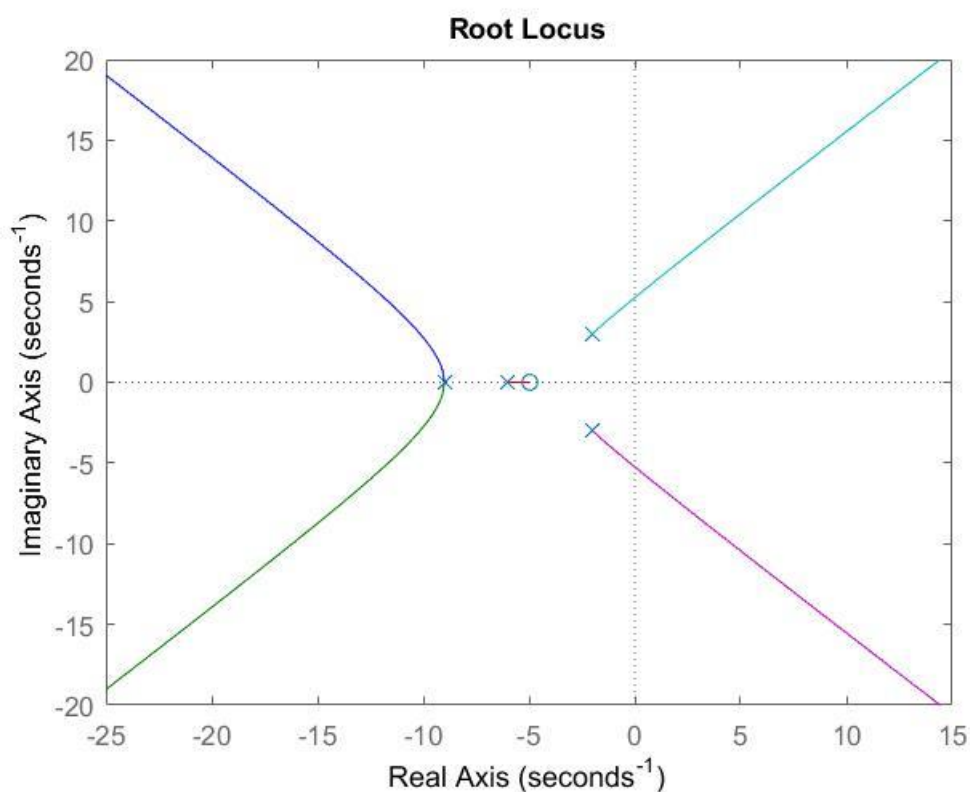
```
[rloc,kloc]=rlocus(sysp);
[xxx,yyy]=find(real(rloc)<0.1 & real(rloc)>-0.00001);
Wuloc=rloc(4,26);
Kuloc=kloc(26);
figure(55)
rlocus(sysp);
```

مقادیر بدست آمده که در زیر آنها را مشاهده می کنید بسیار به مقادیر دقیق که در روش قبلی بدست آمده بودند نزدیک هستند.

$$K_u = 3.037 \times 10^3$$

$$W_u = 0 + 5.4513i$$

نمودار مکان هندسی ریشه ها مطابق شکل زیر است. همانطور که میبینیم با افزایش مقدار K نسبت میرایی، فرکانس طبیعی و فرکانس رفتار گذرا همگی بزرگی می شوند. همچنین ریشه های تعیین کننده ی رفتار سیستم دو ریشه ی مختلط سیستم هستند.



۱،۵،۳. روش بود

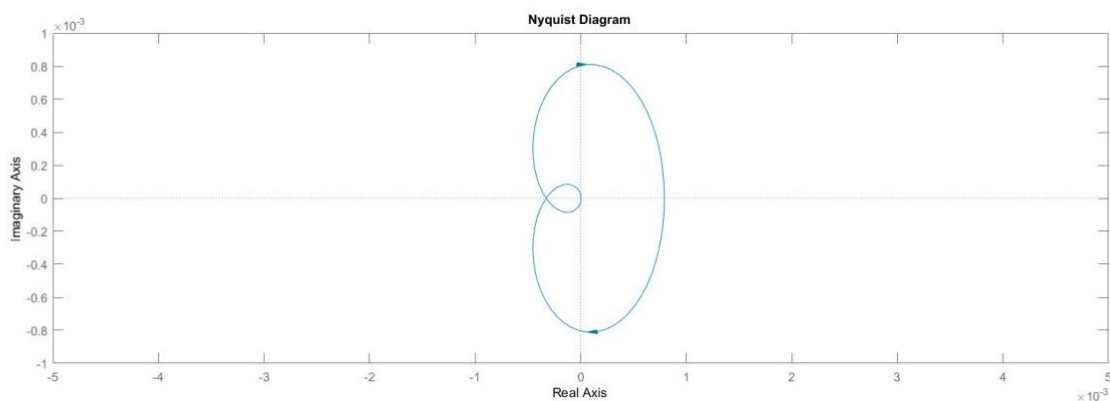
روش نهایی برای بررسی رفتار و پایداری این سیستم استفاده از نمودار های بود و نایکویست است. ابتدا با استفاده از کد متلب نمودار ها را رسم می کنیم حد فاز و بهره را بدست می آوریم سپس به بررسی پایداری می پردازیم.

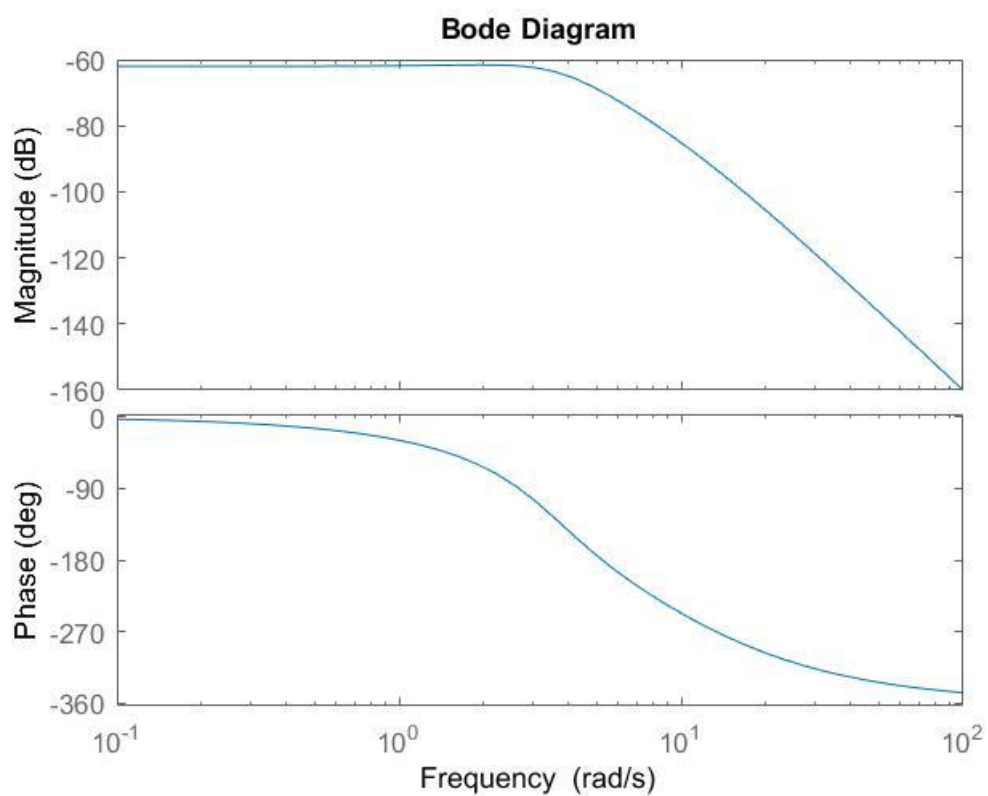
```
Kbode=5000;
figure(1)
bode(sysp)
[Gm,Pm,Wgm,Wpm] = margin(sysp);
figure(2)
nyquist(sysp)
figure(3)
syspprime=tf(Kbode*Np,Dp);
bode(syspprime)
[Gm,Pm,Wgm,Wpm] = margin(syspprime)
figure(4)
nyquist(syspprime)
```

ابتدا بهره را برابر یک میگیریم:

Gm =3.0486e+03 Pm =Inf Wgm = 5.2483 Wpm = NaN

نمودار ها:

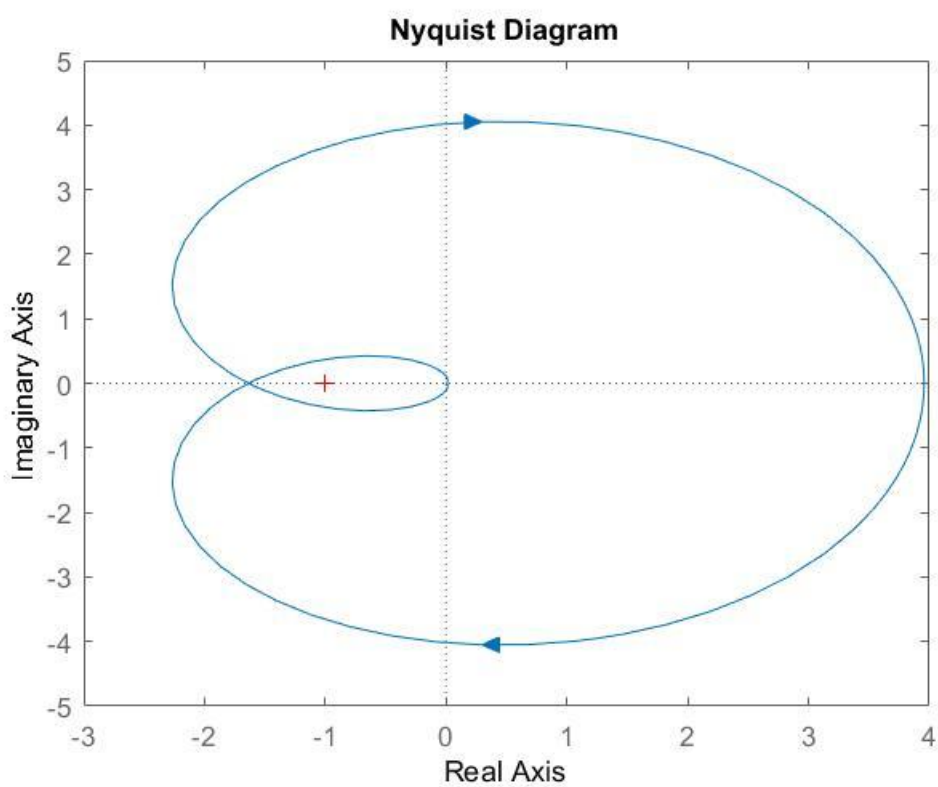


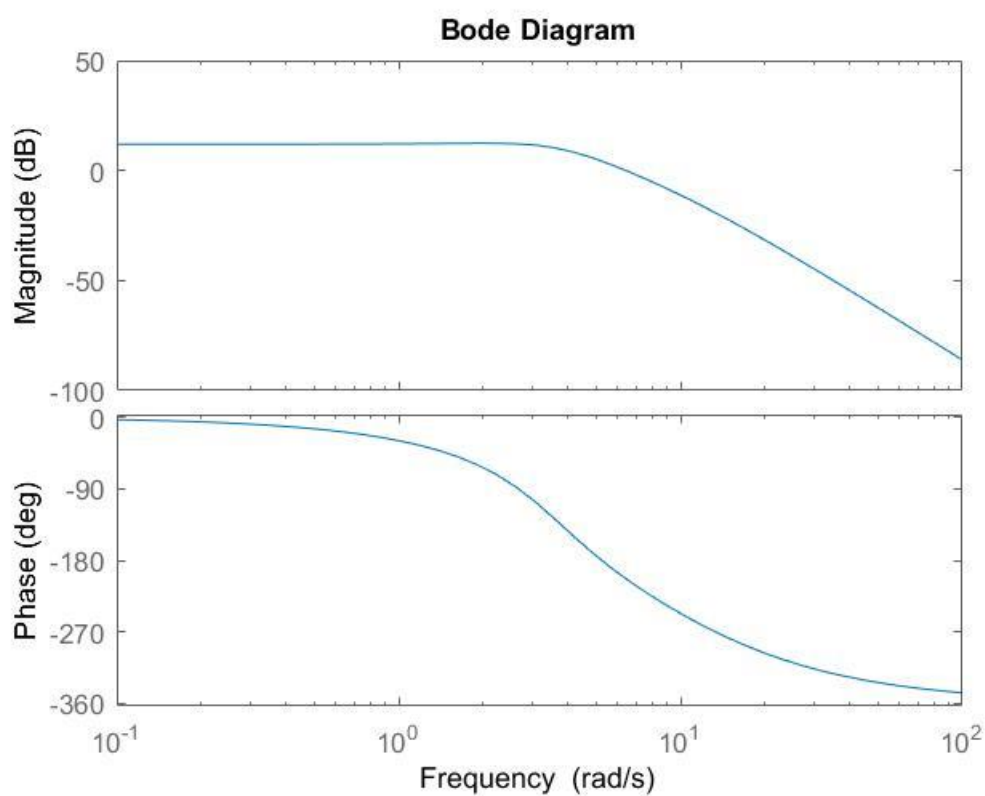


حالا برای $K=5000$ نمودار ها را بدست می آوریم:

$$G_m = 0.6097 \quad P_m = -23.2462 \quad W_{pm} = 5.2483 \quad W_{gm} = 6.4025$$

نمودار ها:





مشاهده می‌کنیم که برای حالت بهره‌ی یک، نمودار نشانگر پایداری سیستم است چرا که $\omega_p < \omega_g$ و نقطه منفی یک خارج از نمودار نایکویست است.

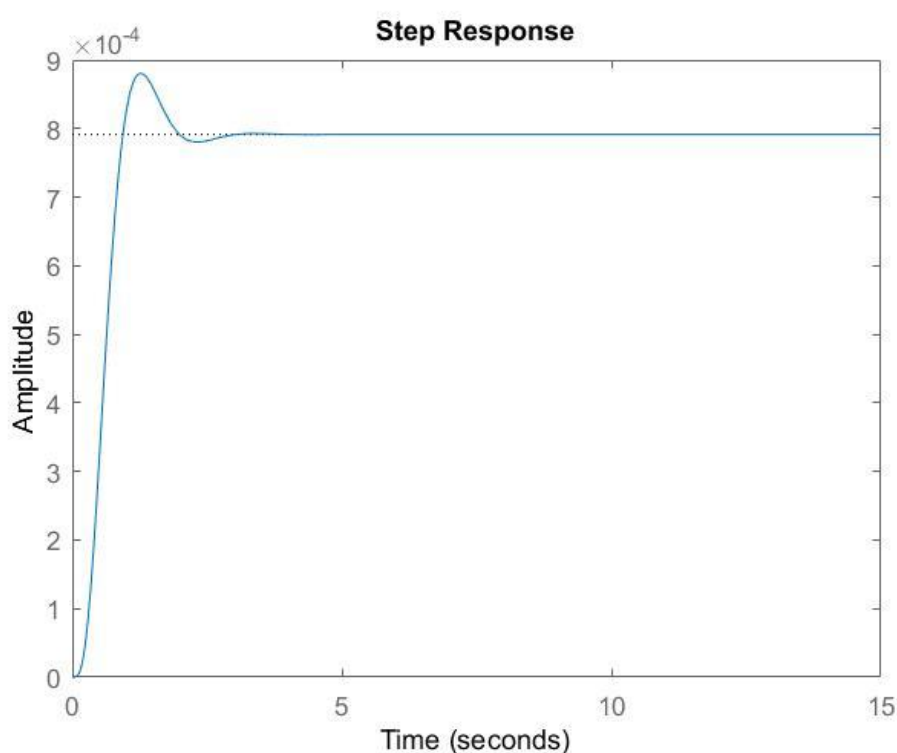
از طرفی برا حالت دوم، نقطه منفی یک داخل نمودار قرار گرفته و $\omega_g > \omega_p$ لذا نمودار ناپایدار شده است.

۲. طراحی کنترلر ها

در این بخش انواع کنترلر ها با روش های مختلف طراحی که در درس یاد گرفته شد ، طراحی می شوند و نتایج آن ها را با هم مقایسه می کنیم. همچنین اثر اغتشاشات مختلف را بر سیستم و مقاومت آن را بررسی میکنیم. محدودیت های طراحی که در نظر گرفته شده تا حد ممکن برای کنترلر ها استفاده شده و سعی شده بهترین کنترلر معرفی شود.

در طراحی ها از روش اول زیگلر نیکولز استفاده نشده چرا که با توجه به وجود دو قطب موهومی و پاسخ سیستم به پله واحد (همانطور که دربخش قبل دیدیم) می دانیم که فرایند صنعتی نبوده و لذا این نمودار به علت S شکل نبودن قابل بررسی نیست. با این حال یک روش اولیه برای بدست آوردن پارامتر های مربوط به طراحی برای این سیستم آورده شده که کد آن را در زیر مشاهده می کنید:

```
figure(11)
step(sysp,15)
hold on;
ypz1=step(sysp,15);
gz(1)=0;
for i=1:1:1466
    gz(i+1)=(ypz1(i+1)-ypz1(i))/0.010225;
end
Rpz1=max(gz);
ylinez54=ypz1(54);
Lpz1=0.5419-(ylinez54/Rpz1);
```



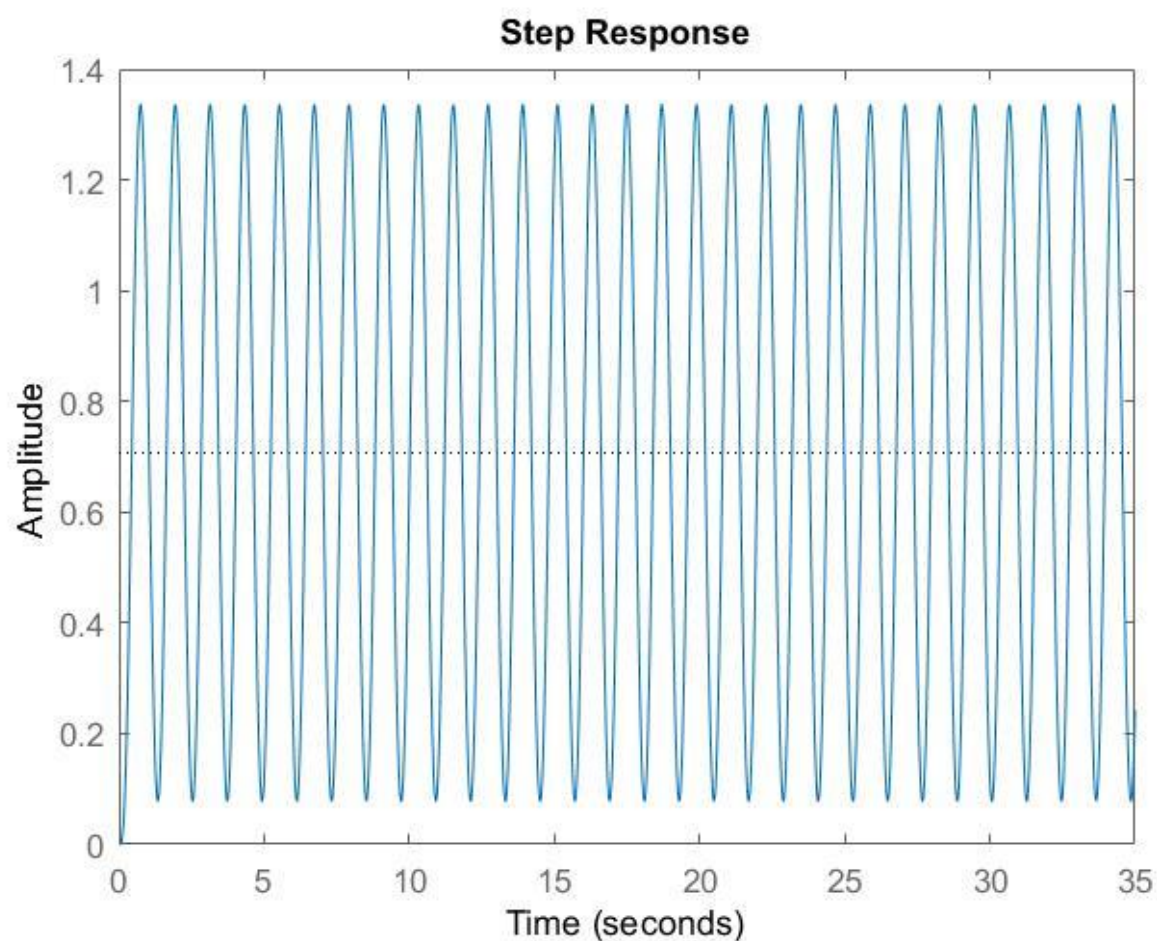
۲.۱. کنترلر P-Action

با هیچکدام از روش های طراحی که در زیر مشاهده می کنیم این کنترلر توانایی برآورده کردن شرایط خواسته شده را ندارد.

۲.۱.۱. زیگلر نیکولز

۲.۱.۱.۱. طراحی

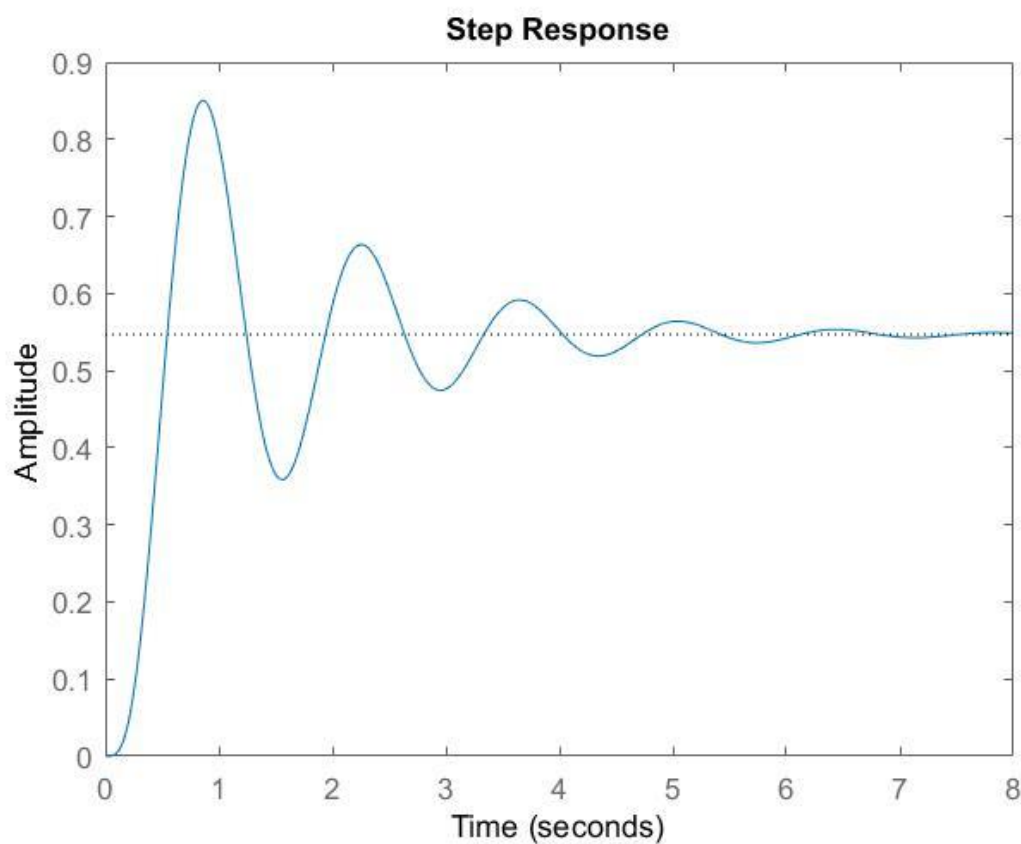
با استفاده از مقدار K_u و W_u بدست آمده در بخش قبل و با مراجعه به جدول در کتاب دکتر غفاری مقدار K_p را انتخاب میکنیم. سپس این مقدار را برای بهتر شدن رفتار نهایی تغییر می دهیم.



کد نوشته شده برای طراحی این کنترلر به صورت زیر است:

```
Kpz2=3048.513;
Wpz2=5.4513;
pu=2*pi/Wpz2;
syspz2=feedback(Kpz2*syp,1);
figure(21)
step(syspz2)
%%% desining the controller
kZp=Kpz2*0.5/1;
sysfZp= feedback(kZp*syp,1);
figure(22)
step(sysfZp);
%%% info
infop2=stepinfo(sysfZp);
yZpend2=step(sysfZp);
endp2=yZpend2(end);
essp2=1-endp2;
[Gmp2,Pmp2] = margin(kZp*syp);
syspu2=kZp*(1-sysfZp);
[up2]=step(syspu2,10);
Lup2(1)=up2(1);
for i=1:1:247;
    Lup2(i+1)=Lup2(i)+up2(i+1)*0.04032;
end
IEp2=Lup2(248);
figure(23);
pzplot(sysfZp);
%%%realplant response
Grz=feedback(Gr*kZp,1);
figure(29);
step(Grz);
%%%noises
YR2=step(feedback(sysfZp,1),time);
YD2=a*step(feedback(syp,kZp),time);
YN2=lsim(feedback(-1*sysfZp,-1),UN,time);
figure(28)
subplot(3,1,1)
plot(YR2+YD2)
subplot(3,1,2)
plot(YR2+YN2)
subplot(3,1,3)
plot(YR2+YD2+YN2)
```


پاسخ نهایی سیستم بصورت زیر است:

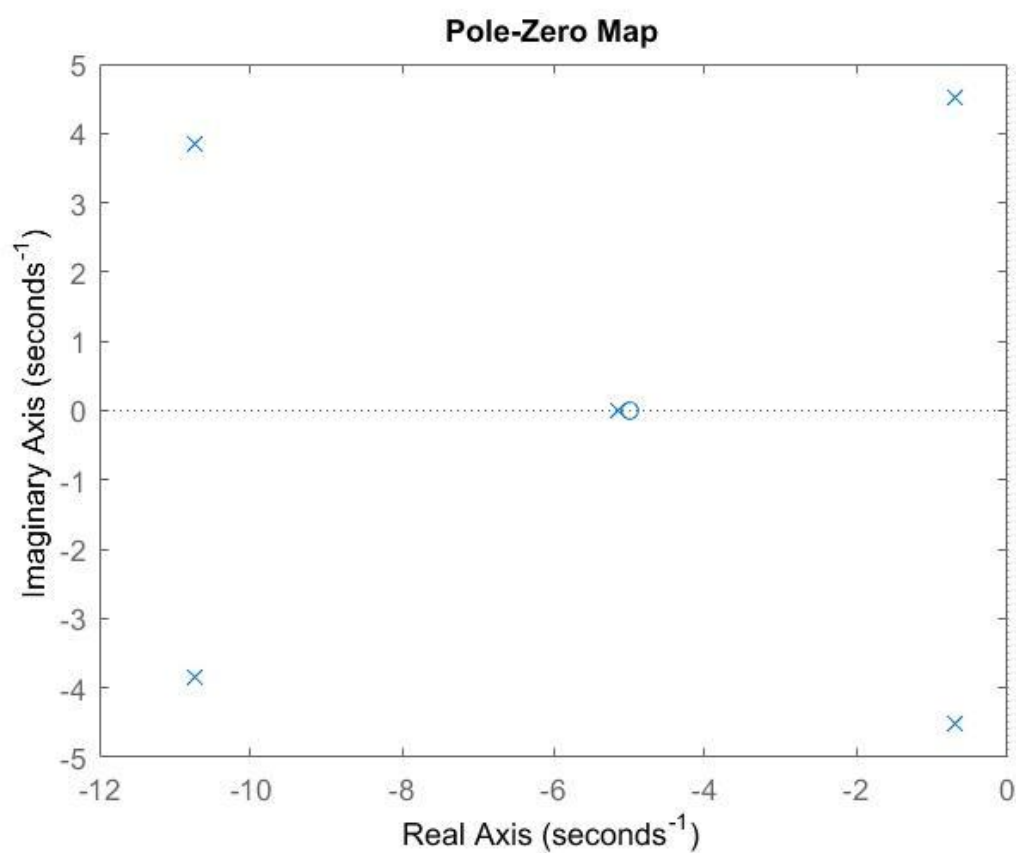


۲،۱،۱،۲. مشخصات

مشخصات این سیستم به صورت جدول زیر است. لازم به ذکر است که برای محاسبه ی انرژی ورودی با حساب کردن تابع U مقدار انتگرال را به صورت عددی حساب کرده ایم.

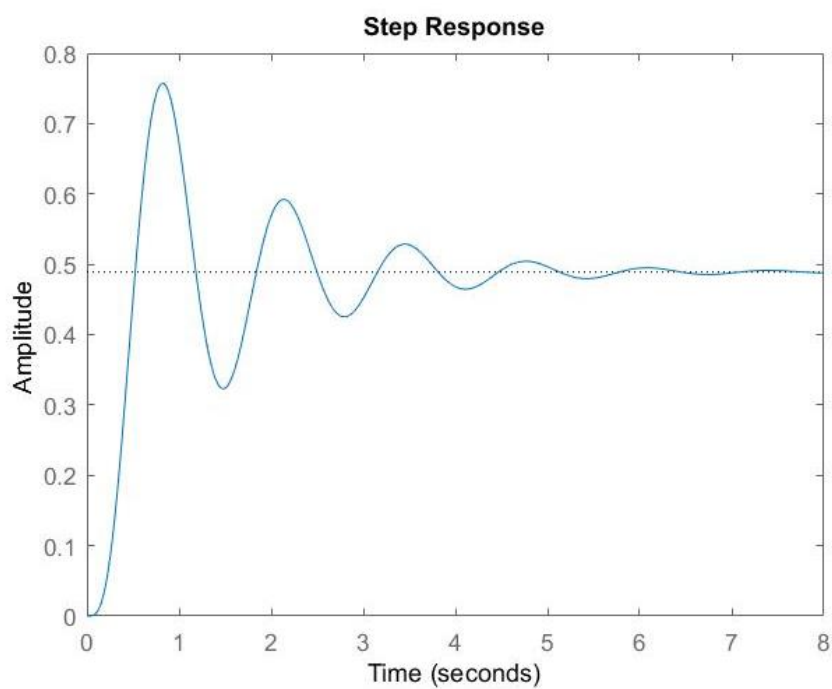
RiseTime	0.2965
SettlingTime	5.2455
SettlingMin	0.3587
SettlingMax	0.8503
Overshoot	55.5211
Undershoot	0
Peak	0.8503
PeakTime	0.8578
essp2	0.4513
Gmp2	2
Pmp2	52.3169
IEp2	7.668e+06

همانطور که مشاهده می‌شود خطای حالت ماندگار قابل توجه است.



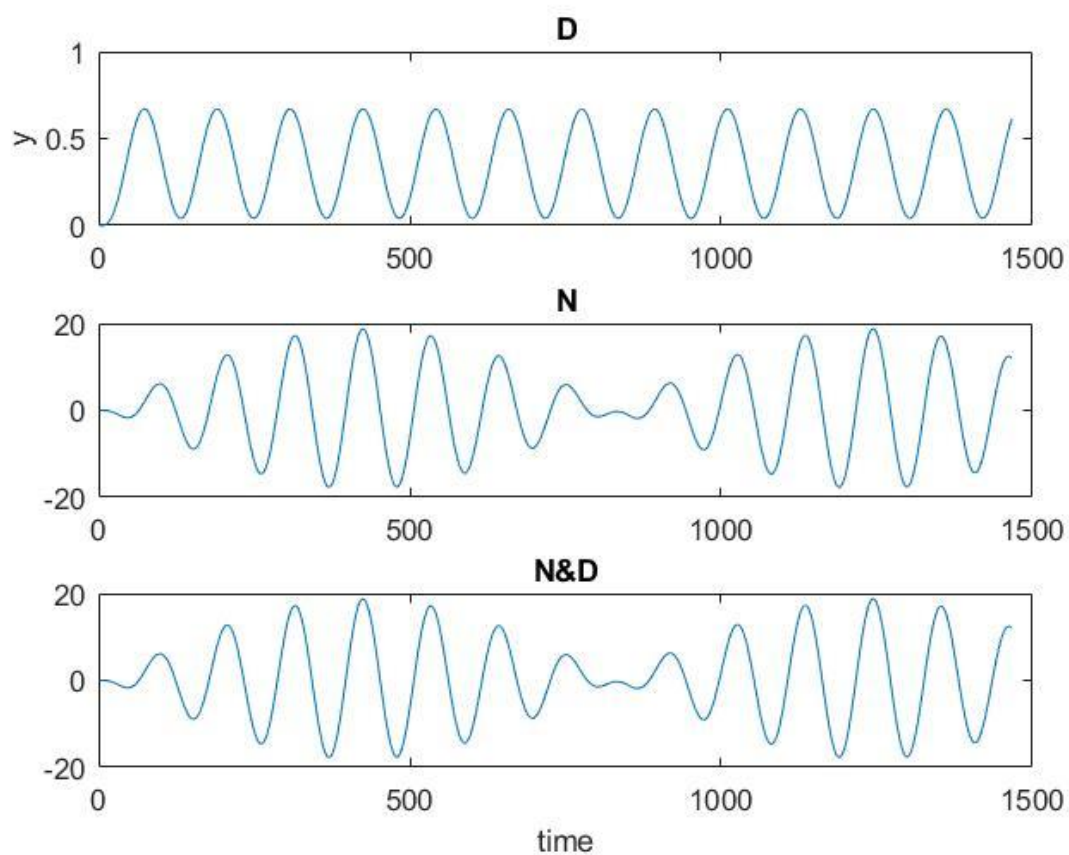
۲،۱،۱،۳. تغییر پارامترهای سیستم

اگر پارامترهای سیستم اشتباه حساب شده باشند با توجه به تابع تبدیل اصلی با کنترلر طراحی شده در بخش قبلی پاسخ به این صورت است:



۲،۱،۱،۴. اغتشاش

در صورت وجود اغتشاش در سیستم، به ترتیب در سه حالت؛ یکبار فقط با وارد کردن اغتشاش، بار دیگر فقط با وارد کردن نویز و یکبار هم با در نظر همزمان اغتشاش و نویز به صورت زیر رسم شده است:

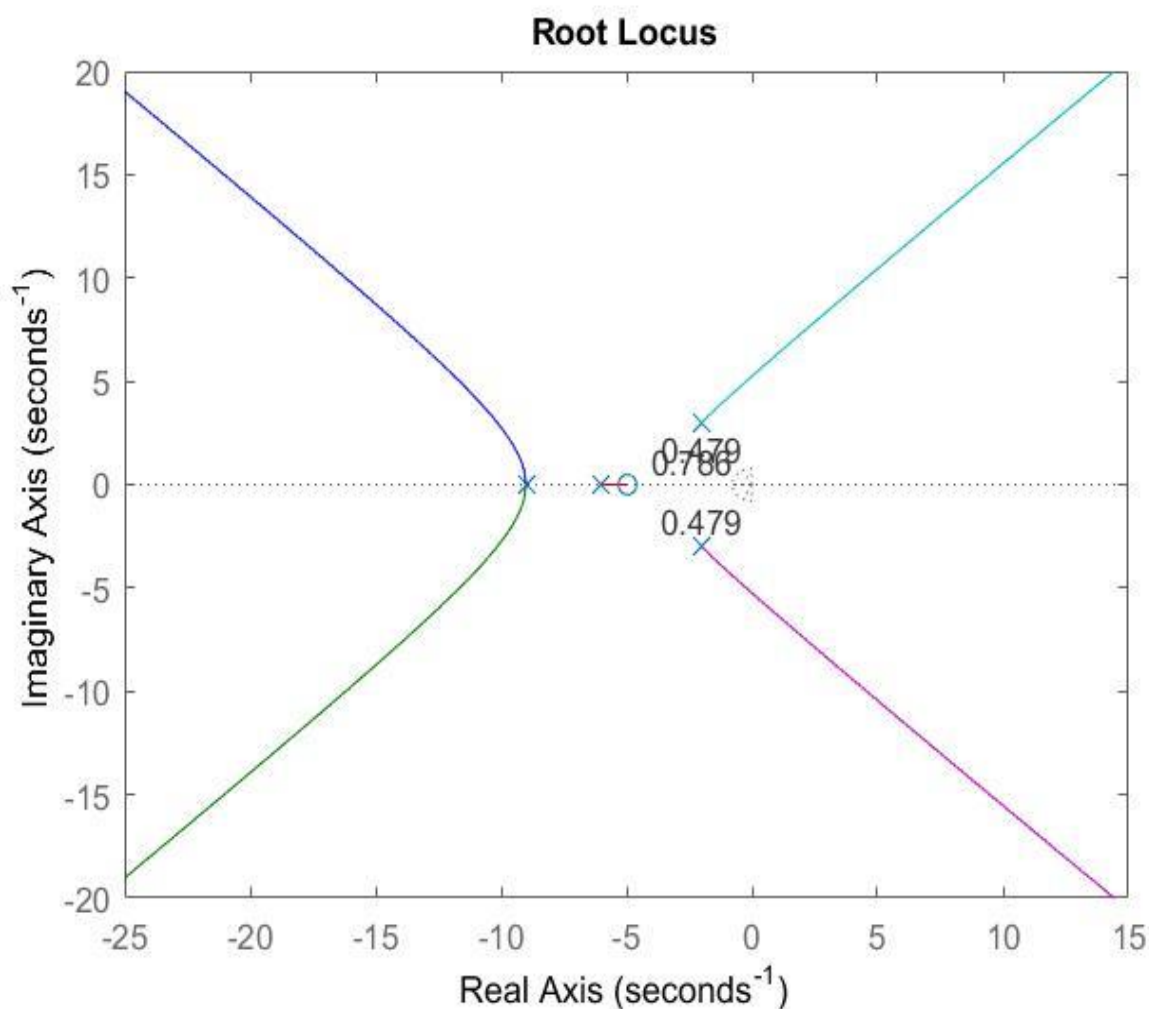


مشاهده می کنیم که تاثیر نهایی نویز بسیار بیشتر از اغتشاش سیستم است.

۲.۱.۲. مکان هندسی

۲.۱.۲.۱. طراحی

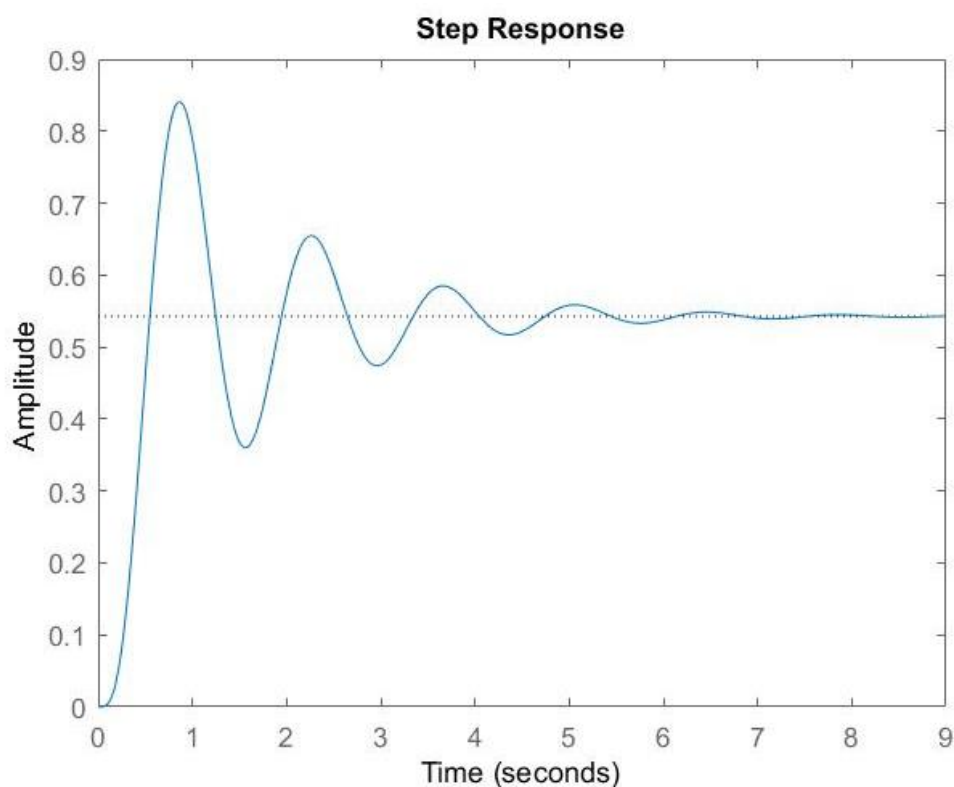
ابتدا الزامات طراحی شامل درصد بیشینه فراجش و مقدار زمان بالا آمدن را برای دو قطب فرضی مسلط سیستم مدار بسته تبدیل به دو کمیت ζ و ω_n می کنیم. این دو کمیت دو خط را در نمودار به ما می دهند که مشخص کننده ی حدود انتخاب کنترلر مناسب اند. اکنون با در نظر گرفتن سیستم نهایی مدار باز، مقدار تقریبی K را از روی منحنی مکان هندسی می خوانیم و با توجه به این مقدار اولیه، K را تا بهتر شدن رفتار نهایی سیستم مدار بسته تغییر می دهیم.



کد نوشته شده برای طراحی این کنترلر به صورت زیر است:

```
syms cc;
eqncc= 0.18==exp(-cc*pi/((1-cc^2)^0.5));
cc1= solve(eqncc,cc);
zeta=0.4791;
syms ww;
eqnww = 3==(pi-acos(zeta))/(ww*(1-zeta^2)^0.5);
Wn=0.7862531315;
alpha=acos(zeta);
%%% desining the controller
kRp=1500;
sysfRp=feedback(kRp*syp,1);
figure(31)
rlocus(syp);
sgrid(zeta,Wn);
figure(32)
step(sysfRp)
%%% info
infop3=stepinfo(sysfRp);
yZpend3=step(sysfRp);
endp3=yZpend3(end);
essp3=1-endp3;
[Gmp3,Pmp3] = margin(kRp*syp);
syspu3=kRp*(1-syfRp);
[up3]=step(syspu3,10);
Lup3(1)=up3(1);
for i=1:1:247;
    Lup3(i+1)=Lup3(i)+up3(i+1)*up3(i+1)*0.04032;
end
IEp2=Lup3(248);
figure(33);
pzplot(sysfRp);
%%%realplant response
Grr=feedback(Gr*kRp,1);
figure(39);
step(Grr);
%%%noises
YR3=step(feedback(sysfRp,1),time);
YD3=a*step(feedback(syp,kRp),time);
YN3=lsim(feedback(-1*syfRp,-1),UN,time);
figure(38)
subplot(3,1,1)
plot(YR3+YD3)
subplot(3,1,2)
plot(YR3+YN3)
subplot(3,1,3)
plot(YR3+YD3+YN3)
```

پاسخ نهایی سیستم بصورت زیر است:

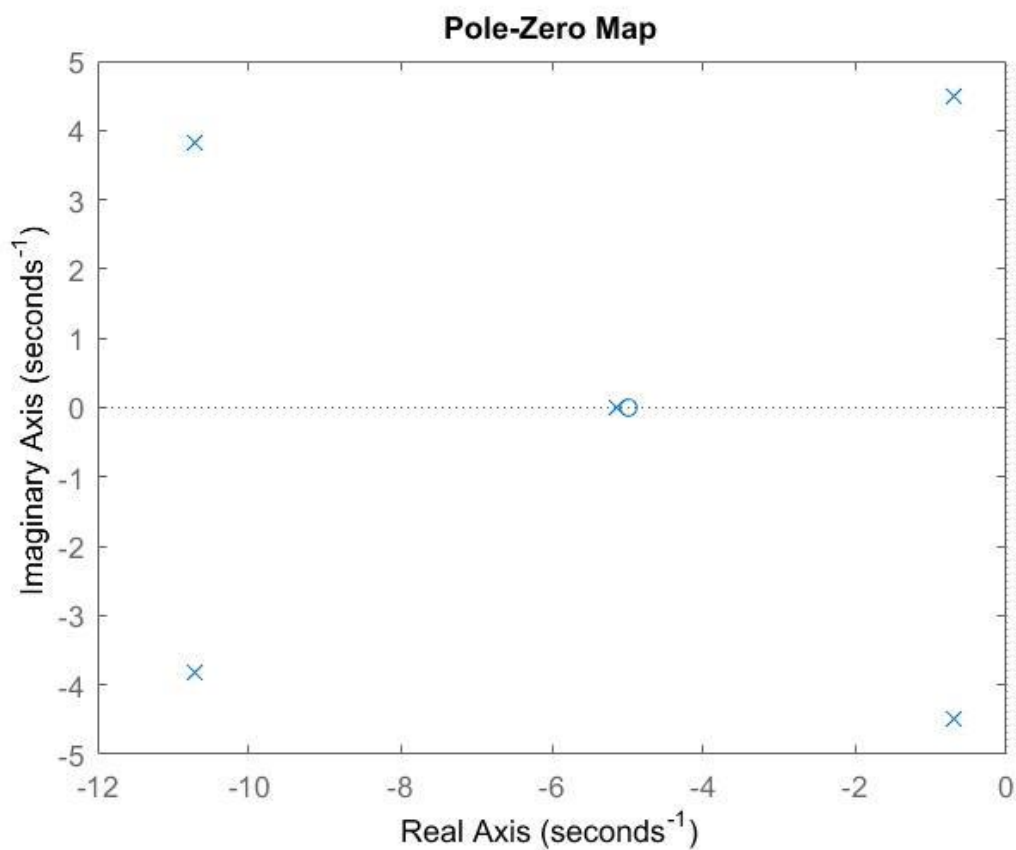


۲،۱،۲،۲. مشخصات

مشخصات این سیستم به صورت جدول زیر است. لازم به ذکر است که برای محاسبه ی انرژی ورودی با حساب کردن تابع u مقدار انتگرال را به صورت عددی حساب کرده ایم.

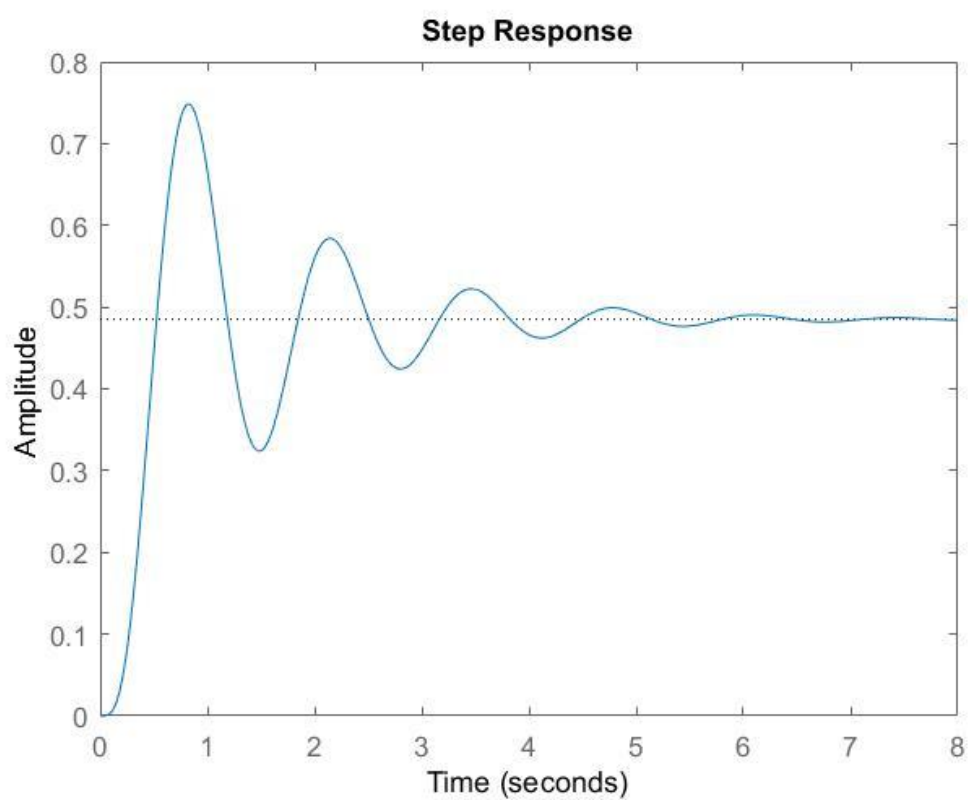
RiseTime	0.2981
SettlingTime	5.2464
SettlingMin	0.3601
SettlingMax	0.8408
Overshoot	54.9105
Undershoot	0
Peak	0.8408
PeakTime	0.8676
essp3	0.456
Gmp3	2.0324
Pmp3	54.3132
IEp3	7.48E+06

همانطور که مشاهده می شود خطای حالت ماندگار قابل توجه است.



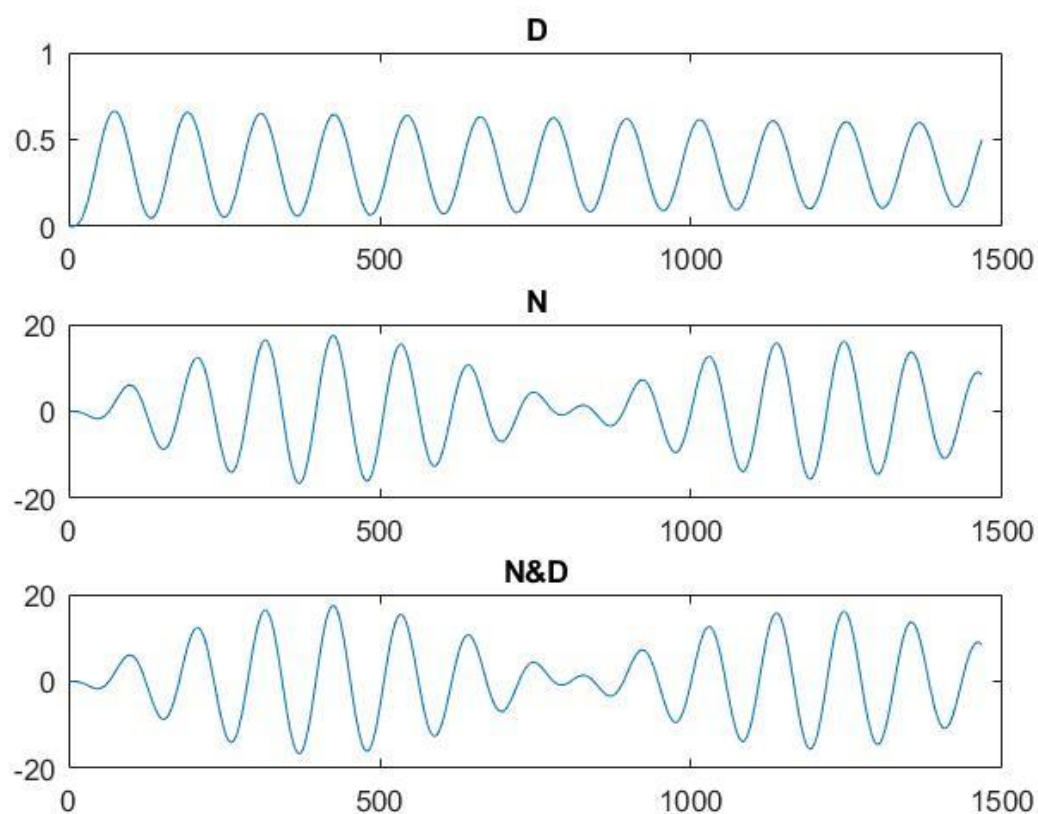
۲،۱،۲،۳. تغییر پارامترهای سیستم

اگر پارامترهای سیستم اشتباه حساب شده باشند با توجه به تابع تبدیل اصلی با کنترلر طراحی شده در بخش قبلی پاسخ به این صورت است:



۲،۱،۲،۴. اغتشاش

در صورت وجود اغتشاش در سیستم، به ترتیب در سه حالت؛ یکبار فقط با وارد کردن اغتشاش، بار دیگر فقط با وارد کردن نویز و یکبار هم با در نظر همزمان اغتشاش و نویز به صورت زیر رسم شده است:

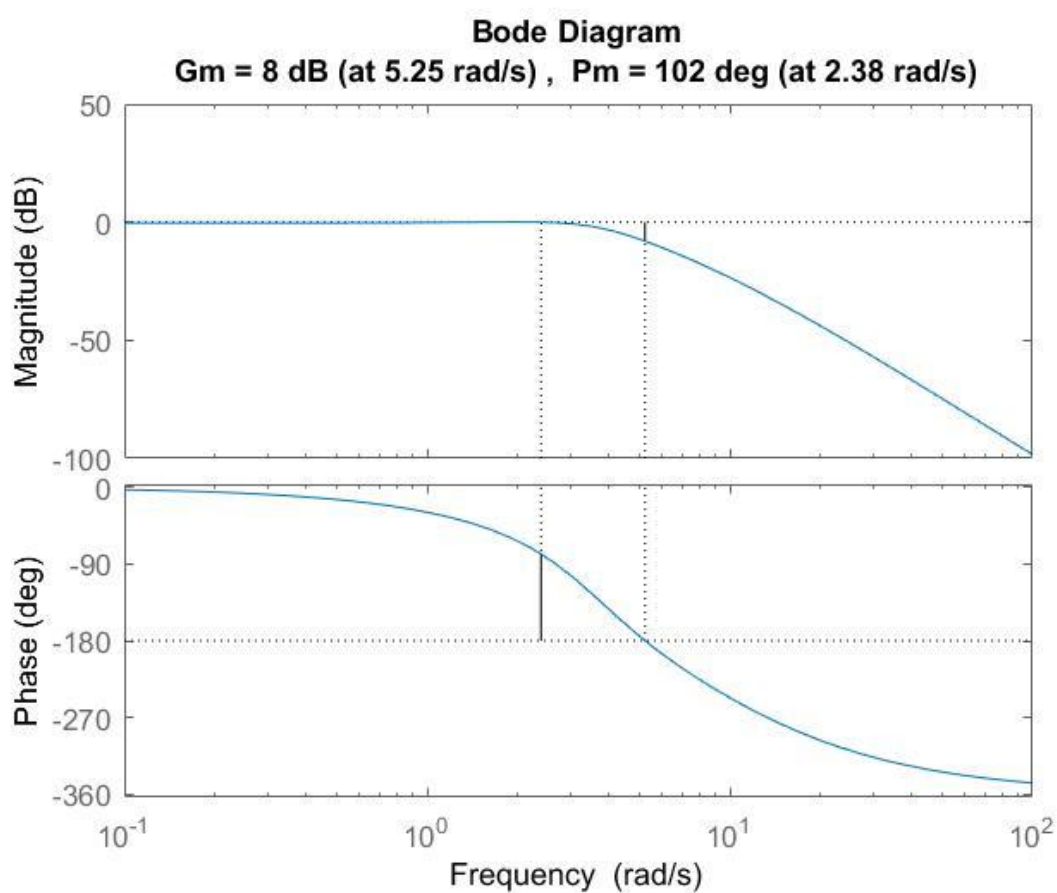


مشاهده می کنیم که تاثیر نهایی نویز بسیار بیشتر از اغتشاش سیستم است.

۲،۱،۳. پاسخ فرکانسی

۲،۱،۳،۱. طراحی

با استفاده از تغییر ضریب K سعی می‌کنیم نمودارها را به شکل مورد نظر نزدیکتر کنیم و حد فاز و حد بهره را به مقادیر ۳۰ و ۸ برسانیم.

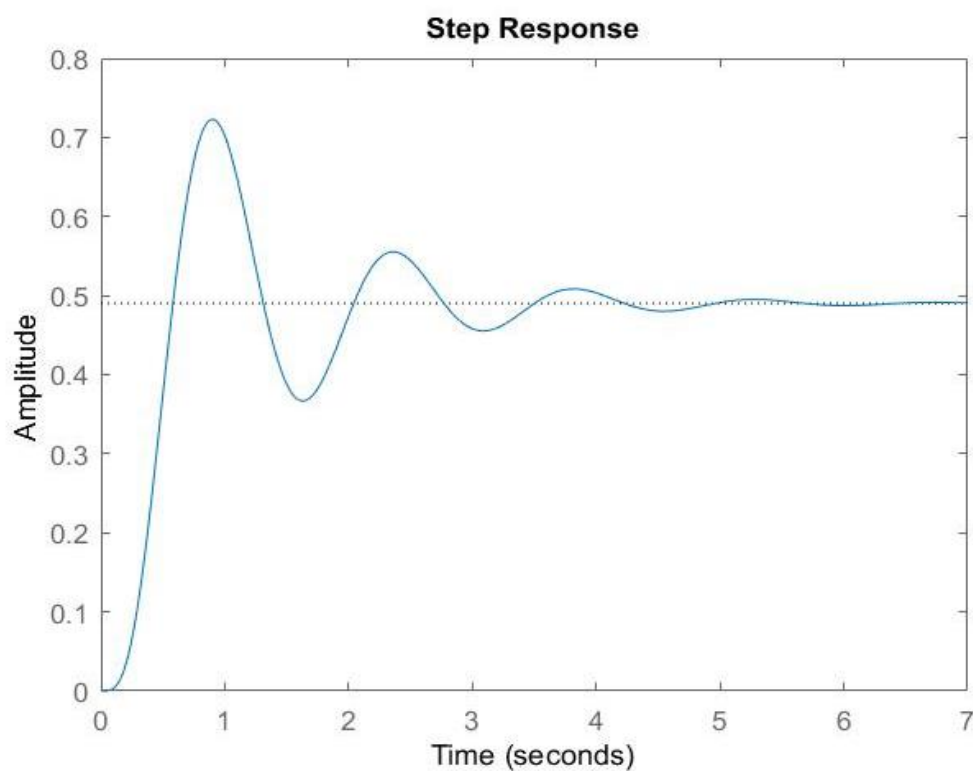


کد نوشته شده برای طراحی این کنترلر به صورت زیر است:

```
%%% desining the controller
kFp=1214;
sysFo=kFp*sysp;
sysfFp= feedback(sysFo,1);
figure(41)
margin(sysFo)

figure(42)
step(sysfFp)
%%% info
infop4=stepinfo(sysfFp);
yZpend4=step(sysfFp);
endp4=yZpend4(end);
essp4=1-endp4;
[Gmp4,Pmp4] = margin(sysFo);
syspu4=kFp*(1-sysfFp);
[up4]=step(syspu4,10);
Lup4(1)=up4(1);
for i=1:1:247;
    Lup4(i+1)=Lup4(i)+up4(i+1)*up4(i+1)*0.04032;
end
IEp4=Lup4(248);
figure(43);
pzplot(sysfFp);
%%%realplant response
Grf=feedback(Gr*kFp,1);
figure(49);
step(Grf);
%%%noises
YR4=step(feedback(sysfFp,1),time);
YD4=a*step(feedback(sysp,kFp),time);
YN4=lsim(feedback(-1*sysfFp,-1),UN,time);
figure(48)
subplot(3,1,1)
plot(YR4+YD4)
subplot(3,1,2)
plot(YR4+YN4)
subplot(3,1,3)
plot(YR4+YD4+YN4)
```

پاسخ نهایی سیستم بصورت زیر است:

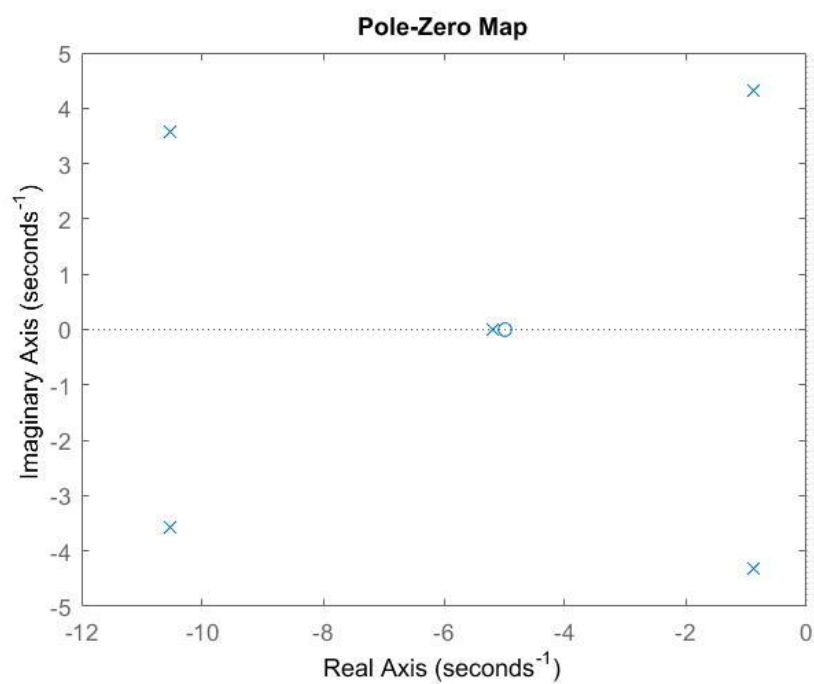


۲،۱،۳،۲. مشخصات

مشخصات این سیستم به صورت جدول زیر است. لازم به ذکر است که برای محاسبه ی انرژی ورودی با حساب کردن تابع U مقدار انتگرال را به صورت عددی حساب کرده ایم.

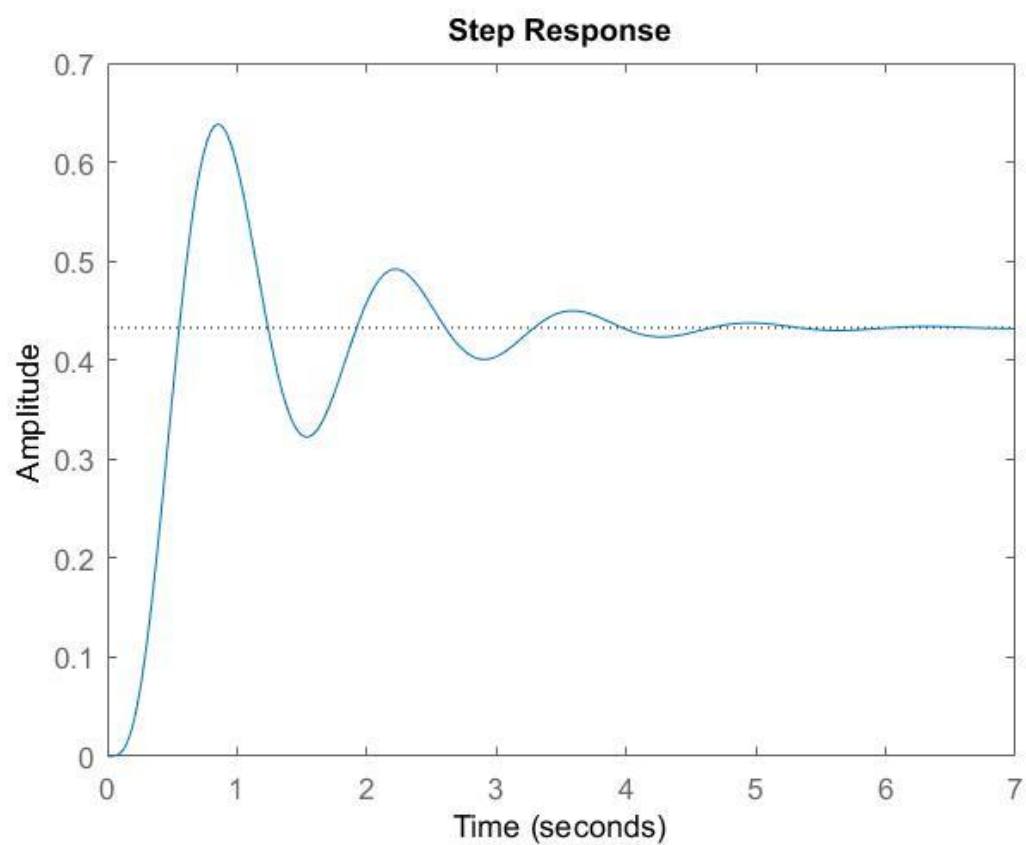
RiseTime	0.3196
SettlingTime	4.0657
SettlingMin	0.3667
SettlingMax	0.7228
Overshoot	47.522
Undershoot	0
Peak	0.7228
PeakTime	0.9003
essp4	0.5087
Gmp4	2.5112
Pmp4	101.8681
IEp4	5.48E+06

همانطور که مشاهده می شود خطای حالت ماندگار قابل توجه است.



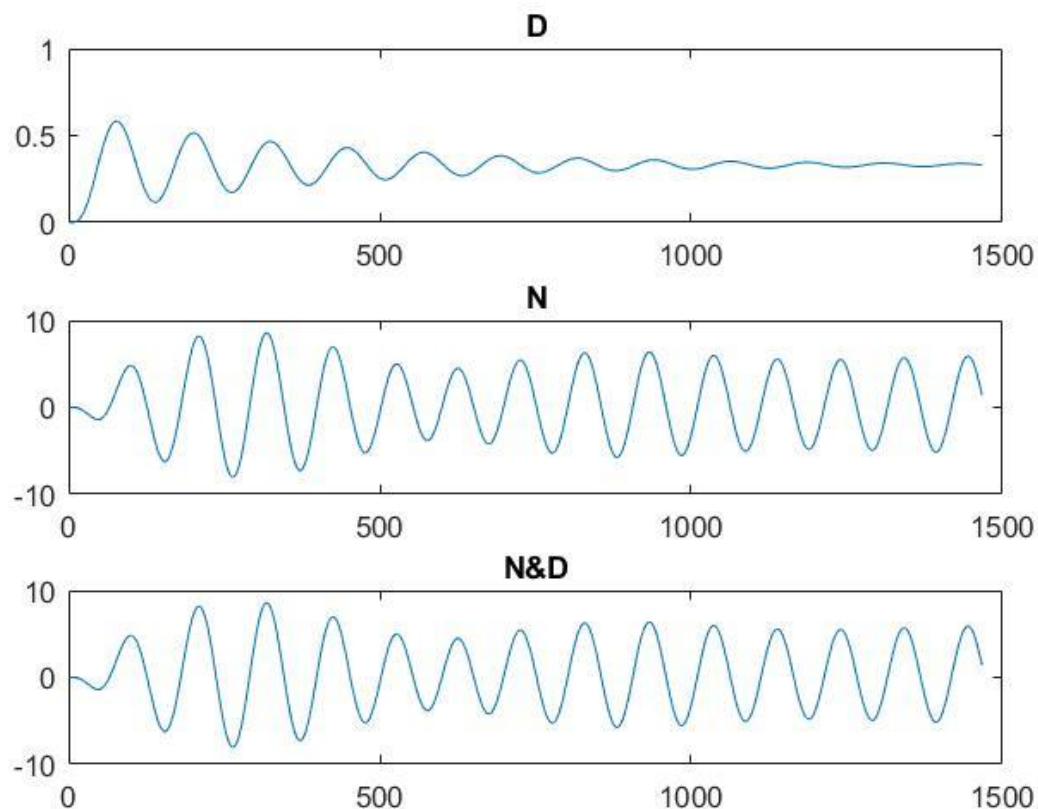
۲،۱،۳،۳. تغییر پارامترهای سیستم

اگر پارامترهای سیستم اشتباه حساب شده باشند با توجه به تابع تبدیل اصلی با کنترلر طراحی شده در بخش قبلی پاسخ به این صورت است:



۲،۱،۳،۴. اغتشاش

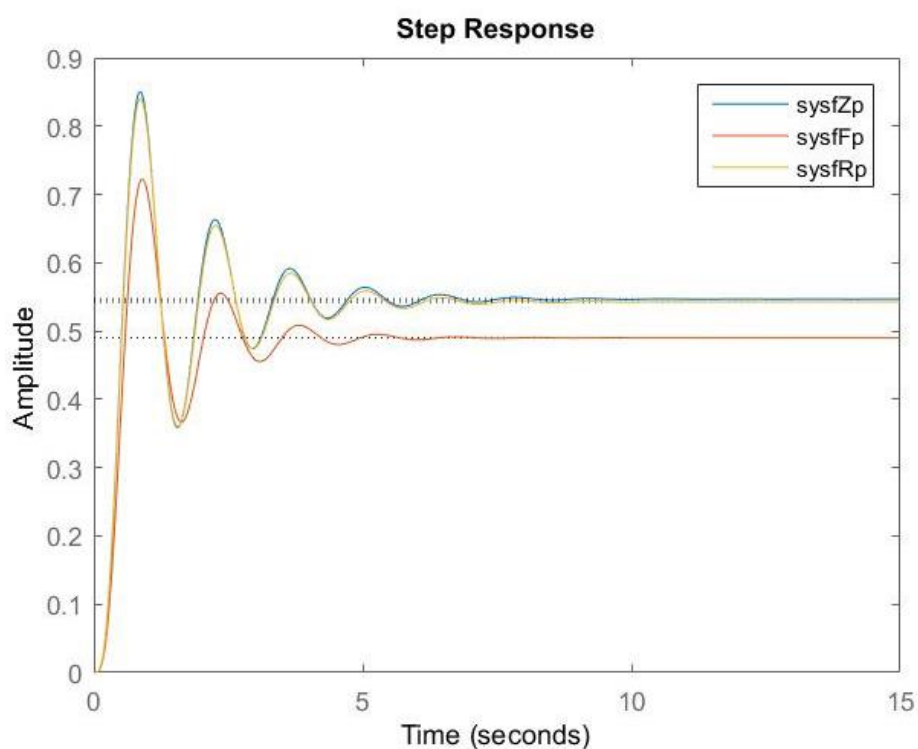
در صورت وجود اغتشاش در سیستم، به ترتیب در سه حالت؛ یکبار فقط با وارد کردن اغتشاش، بار دیگر فقط با وارد کردن نویز و یکبار هم با در نظر همزمان اغتشاش و نویز به صورت زیر رسم شده است:



مشاهده می کنیم که تاثیر نهایی نویز بسیار بیشتر از اغتشاش سیستم است.

۲،۱،۴. مقایسه ی کنترلر ها

نمودار های پاسخ این سه کنترلر را میتوان به صورت زیر با هم مقایسه کرد:



	Z	R	F
RiseTime	0.2965	0.2981	0.3196
SettlingTime	5.2455	5.2464	4.0657
SettlingMin	0.3587	0.3601	0.3667
SettlingMax	0.8503	0.8408	0.7228
Overshoot	55.5211	54.9105	47.522
Undershoot	0	0	0
Peak	0.8503	0.8408	0.7228
PeakTime	0.8578	0.8676	0.9003
essp	0.4513	0.456	0.5087
Gmp	2	2.0324	2.5112
Pmp	52.3169	54.3132	101.8681
IEp	7.668e+06	7.48E+06	5.48E+06

با مقایسه ی نمودار ها و جدول کاملاً مشخص است که دو روش زیگلر و مکان هندسی نتایج مشابه دارند . هر چند این دو زمان پاسخ کوتاه تری دارند اما کنترلر طراحی شده با روش فرکانسی انرژی کمتری مصرف می کند ، فراجاهش کمتری دارد و پایدار تر است.

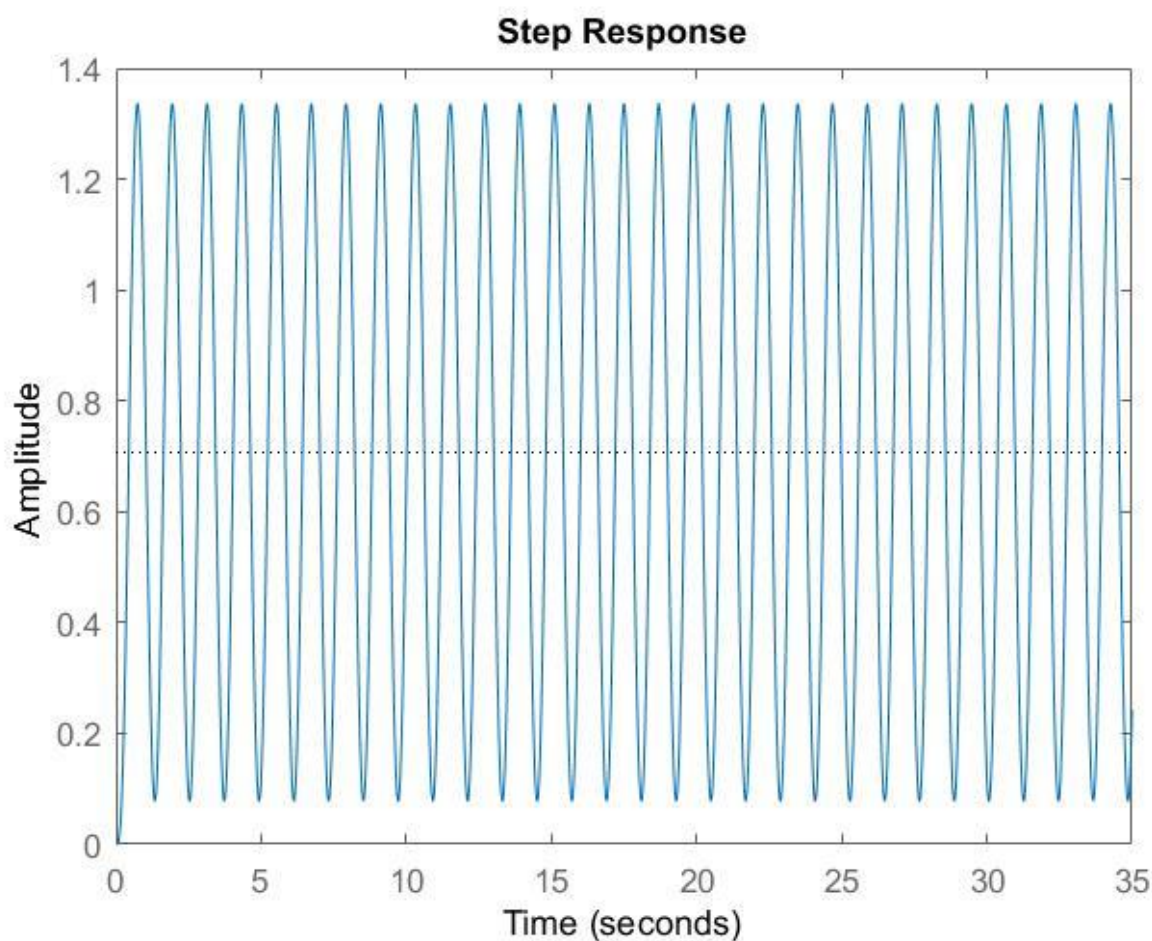
۲،۲. کنترلر PI-Action

این کنترلر ها به دلیل وجود یک انتگرال گیر دارای خطای حالت ماندگار صفر هستند.

۲،۲،۱. زیگلر نیکولز

۲،۲،۱،۱. طراحی

با استفاده از مقدار K_u و W_u بدست آمده در بخش قبل و با مراجعه به جدول در کتاب دکتر غفاری مقدار K_p و T_i را انتخاب میکنیم. سپس این مقدار را برای بهتر شدن رفتار نهایی تغییر می دهیم.

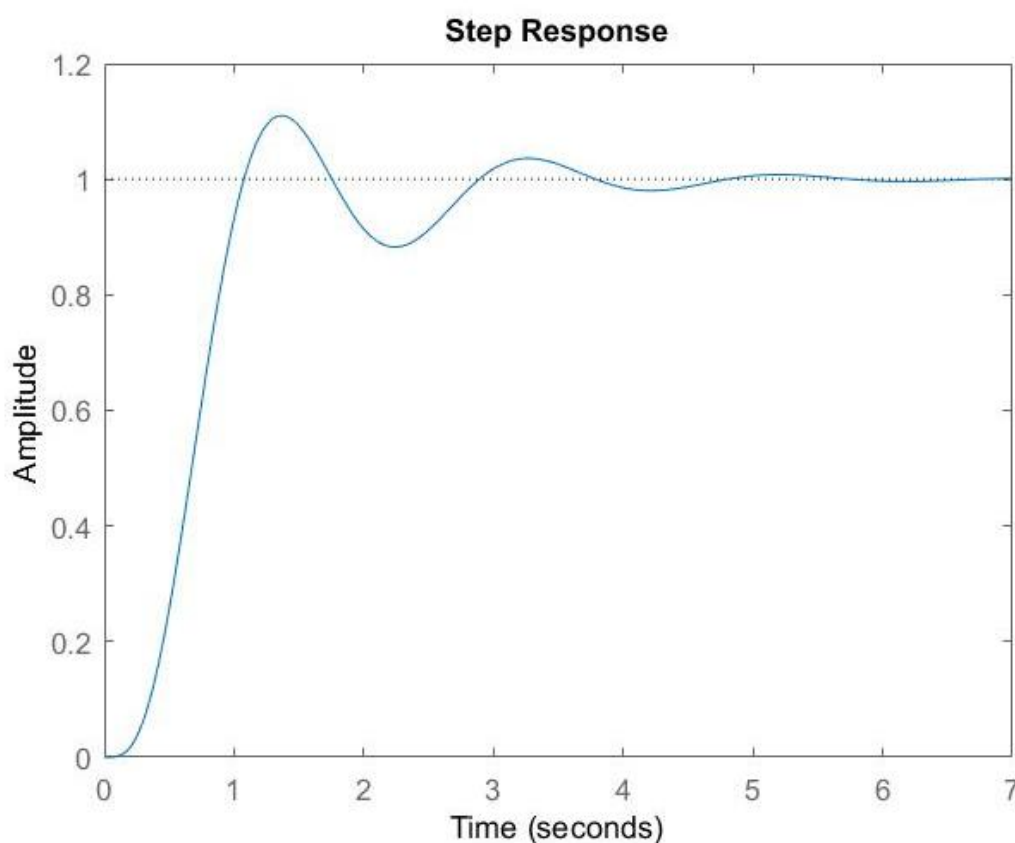


کد نوشته شده برای طراحی این کنترلر به صورت زیر است:

```
%% zigler-2
%ku ba sahih o khata
%%% calculations
Kpz2=3048.513;
Wpz2=5.4513;
pu=2*pi/Wpz2;
syspz2=feedback(Kpz2*syp,1);
figure(21)
step(syspz2)
%%%designing the controller
% maqadir ra baraye behtar shodan taqir midahim
Kpiz2=Kpz2*0.45/2.5;
tipiz2=pu*0.83*3.5;
sysZpi=tf([Kpiz2 Kpiz2*tipiz2],[1 0]);
sysZo=sysZpi*syp;
sysfZpi= feedback(sysZo,1);
figure(22)
step(sysfZpi)
%%% info
infop2=stepinfo(sysfZpi);
yZpend2=step(sysfZpi);
endp2=yZpend2(end);
essp2=1-endp2;
[Gmp2,Pmp2] = margin(sysZo);

syspu2=sysZpi*(1-sysfZpi);
[up2]=step(syspu2,10);
Lup2(1)=up2(1);
for i=1:1:247;
    Lup2(i+1)=Lup2(i)+up2(i+1)*up2(i+1)*0.04032;
end
IEp2=Lup2(248);
figure(23);
pzplot(sysfZpi);
%%%realplant response
Grz=feedback(Gr*sysZpi,1);
figure(29);
step(Grz);
%%%noises
YR2=step(feedback(sysfZpi,1),time);
YD2=a*step(feedback(syp,sysZpi),time);
YN2=lsim(feedback(-1*sysfZpi,-1),UN,time);
figure(28)
subplot(3,1,1)
plot(YR2+YD2)
subplot(3,1,2)
plot(YR2+YN2)
subplot(3,1,3)
plot(YR2+YD2+YN2)
```


پاسخ نهایی سیستم بصورت زیر است:

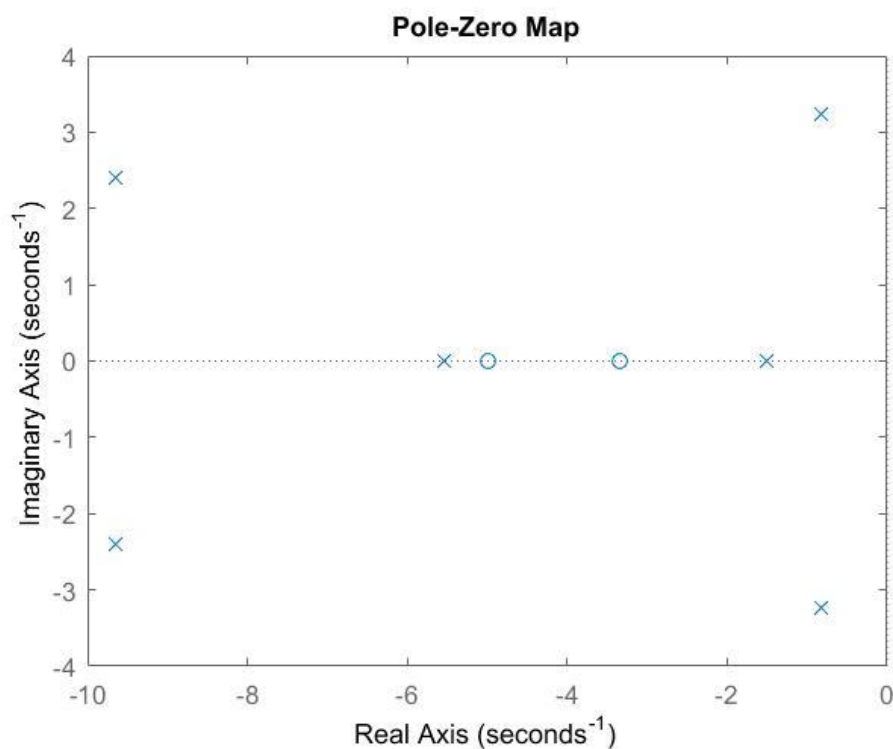


۲،۲،۱،۲. مشخصات

مشخصات این سیستم به صورت جدول زیر است. لازم به ذکر است که برای محاسبه ی انرژی ورودی با حساب کردن تابع U مقدار انتگرال را به صورت عددی حساب کرده ایم.

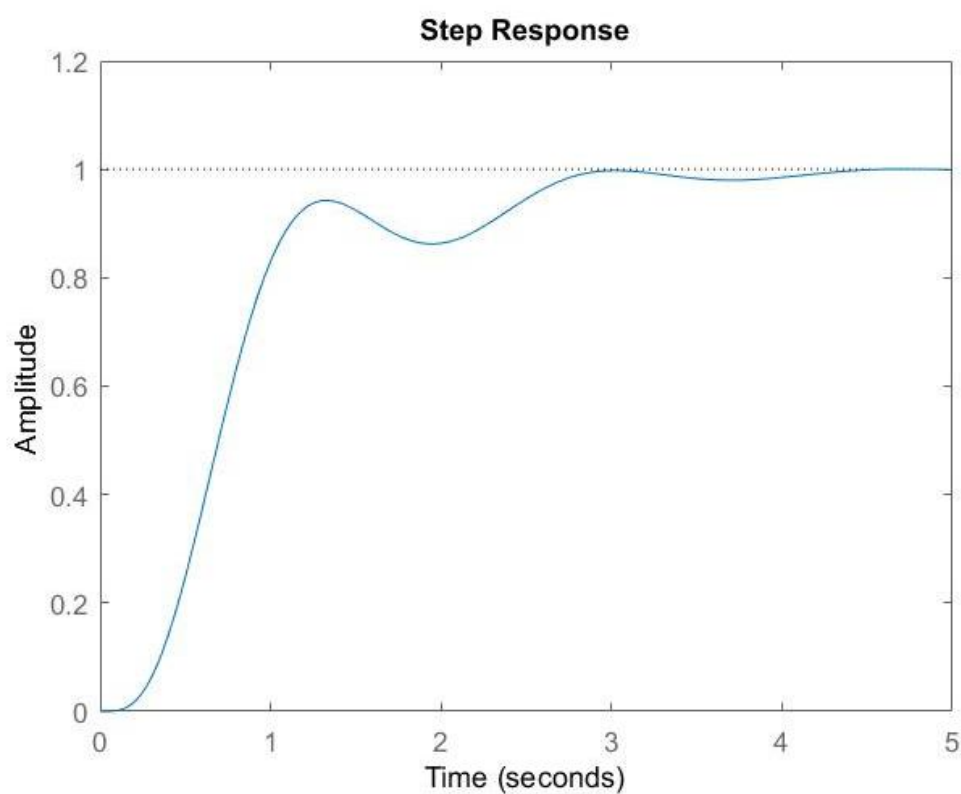
RiseTime	0.6186
SettlingTime	3.5687
SettlingMin	0.8828
SettlingMax	1.1101
Overshoot	11.0064
Undershoot	0
Peak	1.1101
PeakTime	1.3657
essp2	-0.0011
Gmp2	2.3402
Pmp2	64.345
IEp2	1.36E+07

همانطور که مشاهده می‌شود خطای حالت ماندگار بسیار نا چیز است.



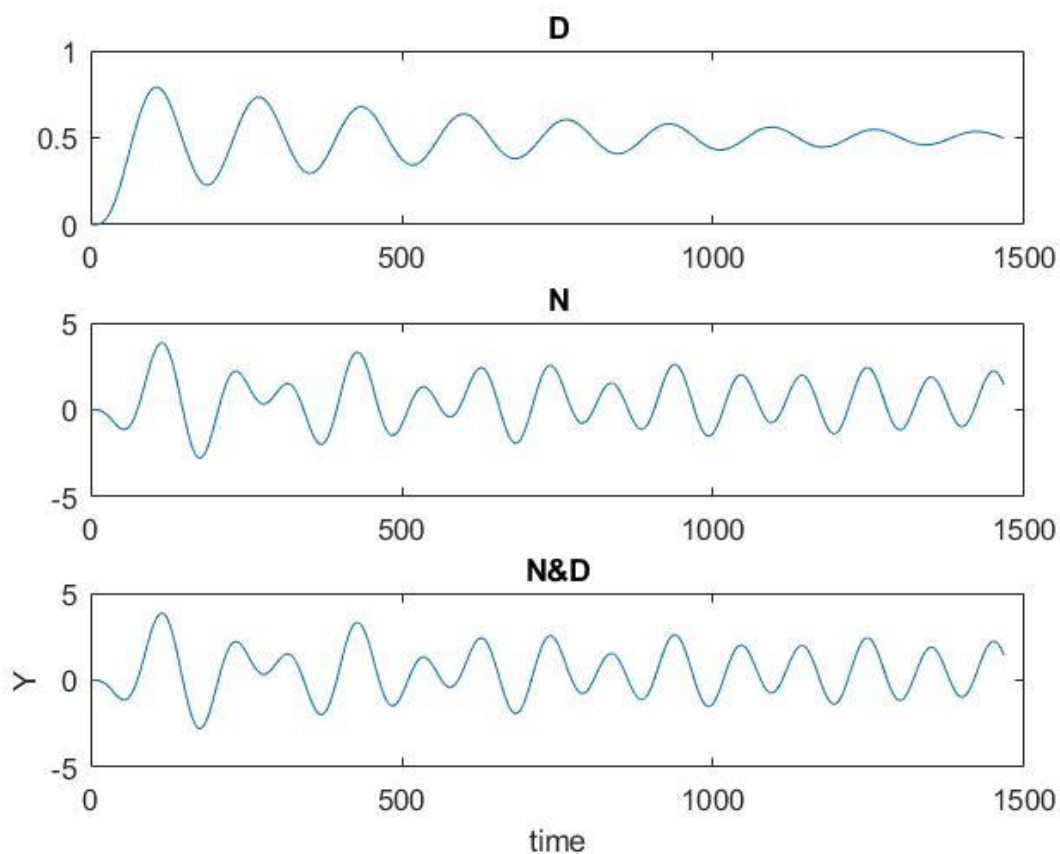
۲،۲،۱،۳. تغییر پارامترهای سیستم

اگر پارامترهای سیستم اشتباه حساب شده باشند با توجه به تابع تبدیل اصلی با کنترلر طراحی شده در بخش قبلی پاسخ به این صورت است. سیستم شکل خوبی را حفظ کرده است و هنوز در حدود طراحی می‌گنجد.



۲،۲،۱،۴. اغتشاش

در صورت وجود اغتشاش در سیستم، به ترتیب در سه حالت؛ یکبار فقط با وارد کردن اغتشاش، بار دیگر فقط با وارد کردن نویز و یکبار هم با در نظر همزمان اغتشاش و نویز به صورت زیر رسم شده است:

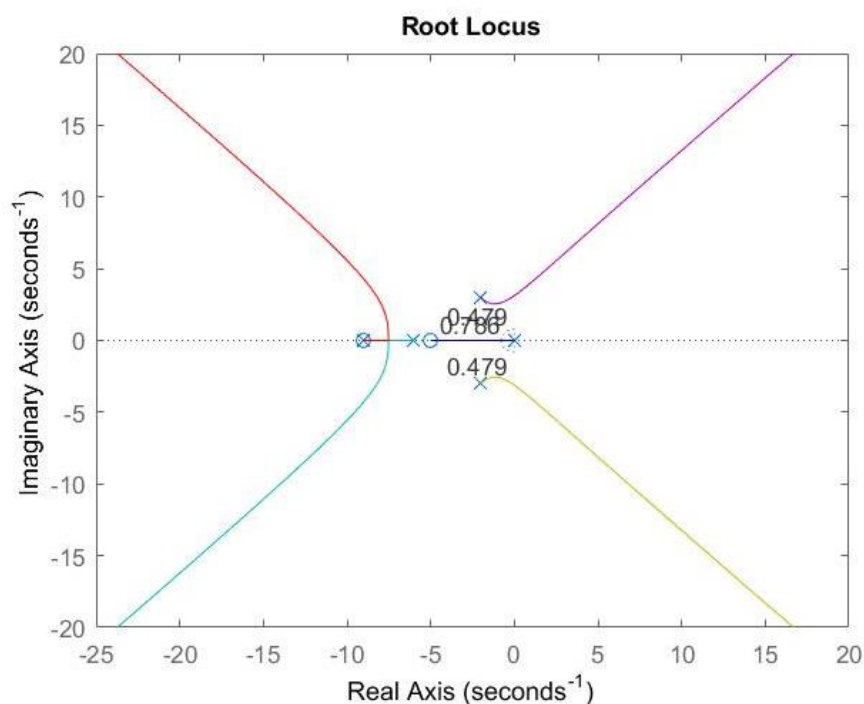
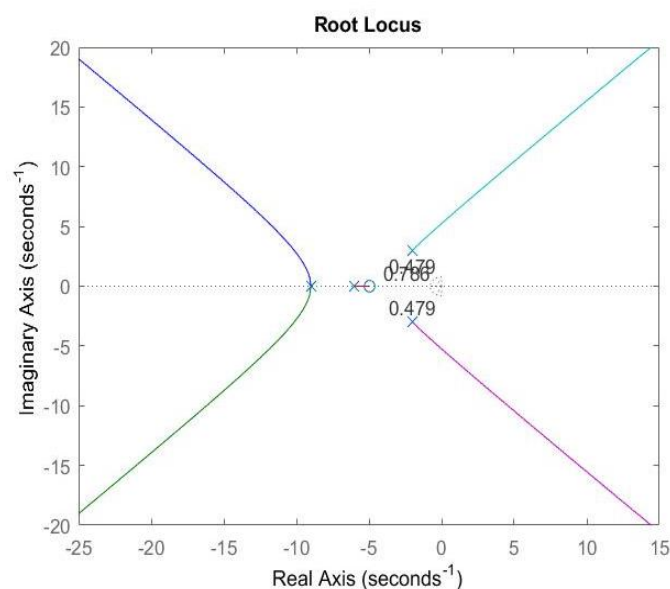


مشاهده می کنیم که تاثیر نهایی نویز بسیار بیشتر از اغتشاش سیستم است. سیستم تا حدودی اغتشاشات را مقاومت کرده است.

۲،۲،۲. مکان هندسی

۲،۲،۲،۱. طراحی

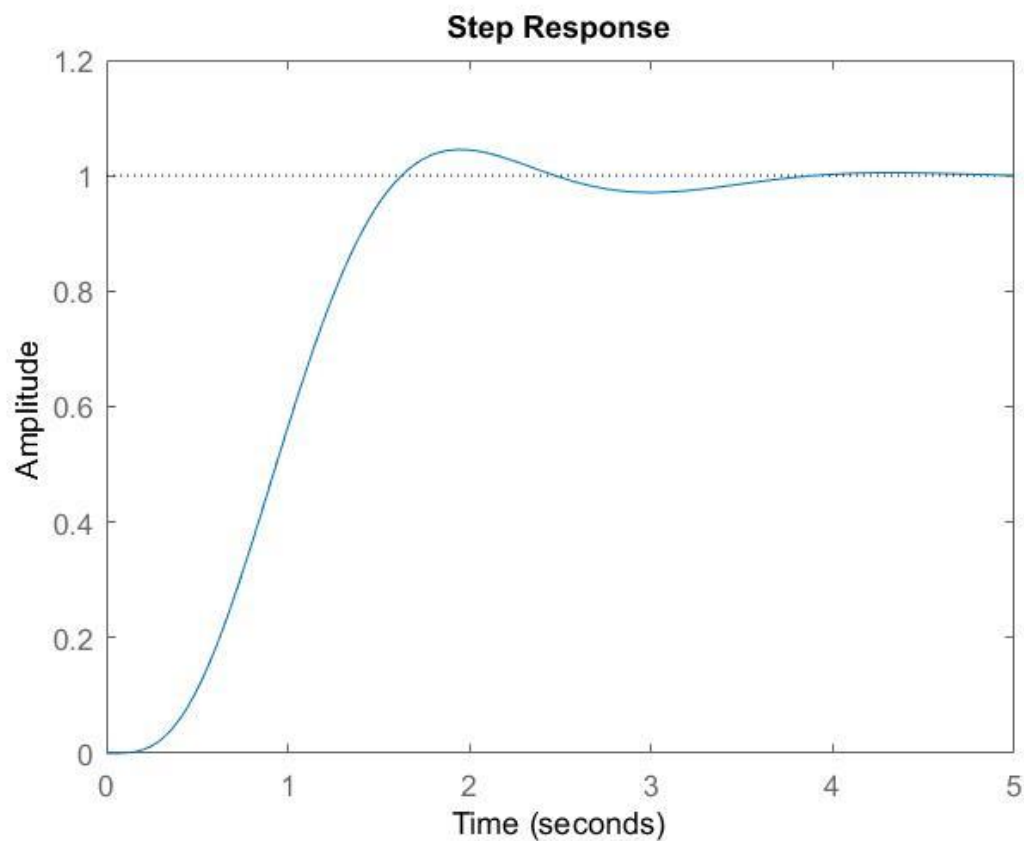
ابتدا الزامات طراحی شامل درصد بیشینه فراجهش و مقدار زمان بالا آمدن را برای دو قطب فرضی مسلط سیستم مدار بسته تبدیل به دو کمیت ζ و ω_n می‌کنیم. این دو کمیت دو خط را در نمودار به ما می‌دهند که مشخص‌کننده‌ی حدود انتخاب کنترلر مناسب‌اند. اکنون با در نظر گرفتن سیستم نهایی مدار باز، مقدار تقریبی K را از روی منحنی مکان هندسی می‌خوانیم و با توجه به این مقدار اولیه، T_i را مقداری در نظر می‌گیریم و با رسم منحنی مکان هندسی سیستم جدید مقدار K جدید را انتخاب می‌کنیم. سپس تا بهتر شدن رفتار نهایی سیستم مدار بسته مقدار ضرایب را تغییر می‌دهیم.



کد نوشته شده برای طراحی این کنترلر به صورت زیر است:

```
syms cc;
eqncc= 0.18==exp(-cc*pi/((1-cc^2)^0.5));
cc1= solve(eqncc,cc);
zeta=0.4791;
syms ww;
eqnww = 3==(pi-acos(zeta))/(ww*(1-zeta^2)^0.5);
Wn=0.7862531315;
alpha=acos(zeta);
kpi=150;ti=9;
syspi=tf([kpi ti*kpi],[1 0]);
sysR=syspi*sysp;
SysfR=feedback(sysR,1);
figure(31)
rlocus(sysR);
sgrid(zeta,Wn);
figure(32)
step(SysfR)
%%% info
infop3=stepinfo(SysfR);
yZpend3=step(SysfR);
endp3=yZpend3(end);
essp3=1-endp3;
[Gmp3,Pmp3] = margin(sysR);
syspu3=syspi*(1-SysfR);
[up3]=step(syspu3,10);
Lup3(1)=up3(1);
for i=1:1:189;
    Lup3(i+1)=Lup3(i)+up3(i+1)*up3(i+1)*0.04032;
end
IEp3=Lup3(190);
figure(33);
pzplot(SysfR);
%%%realplant response
Grr=feedback(Gr*syspi,1);
figure(39);
step(Grr);
%%%noises
YR3=step(feedback(SysfR,1),time);
YD3=a*step(feedback(sysp,syspi),time);
YN3=lsim(feedback(-1*SysfR,-1),UN,time);
figure(38)
subplot(3,1,1)
plot(YR4+YD3)
subplot(3,1,2)
plot(YR4+YN3)
subplot(3,1,3)
plot(YR4+YD3+YN3)
```

پاسخ نهایی سیستم بصورت زیر است:

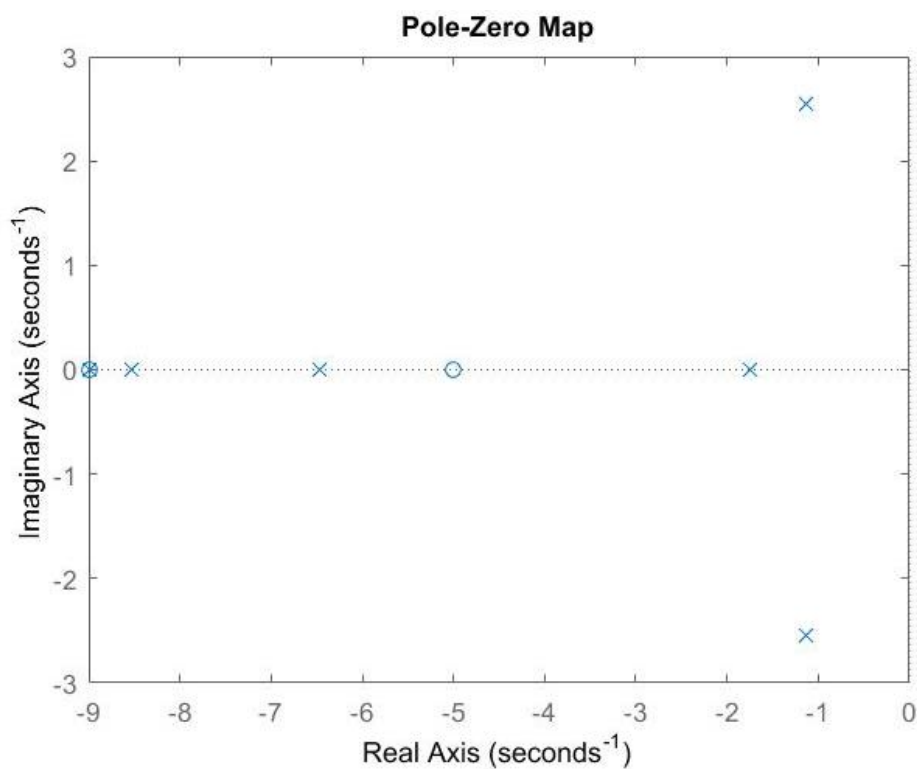


۲،۲،۲،۲. مشخصات

مشخصات این سیستم به صورت جدول زیر است. لازم به ذکر است که برای محاسبه ی انرژی ورودی با حساب کردن تابع u مقدار انتگرال را به صورت عددی حساب کرده ایم.

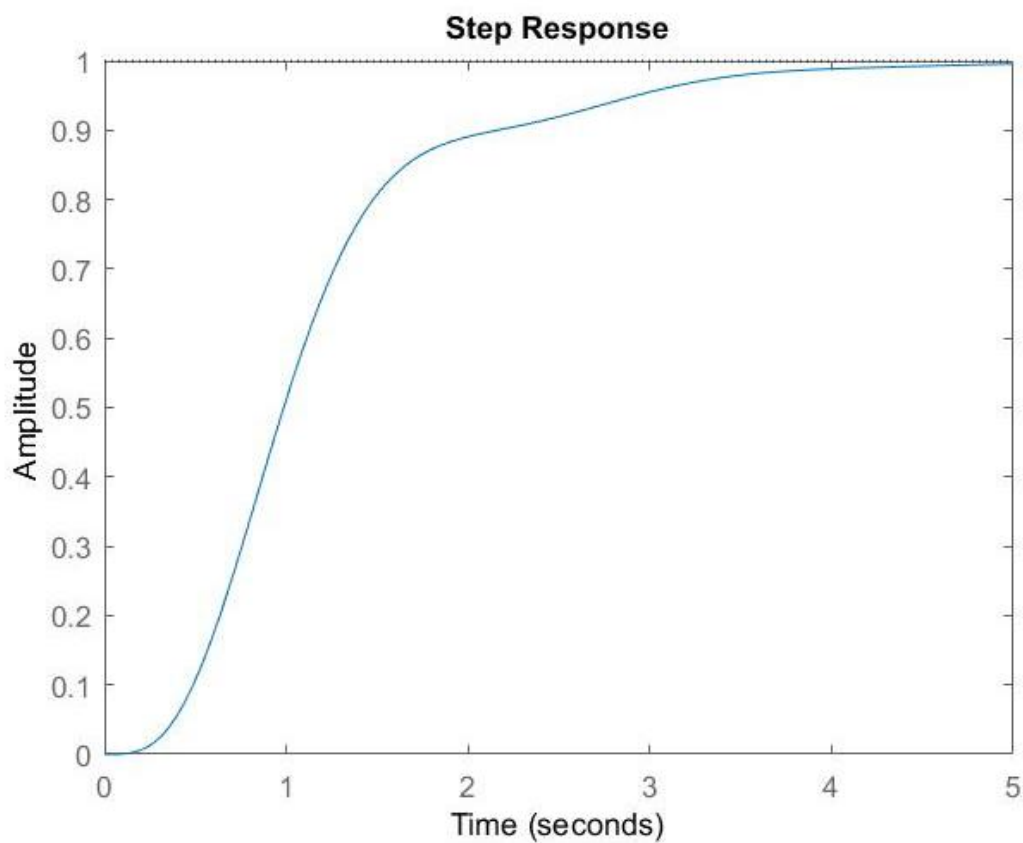
RiseTime	0.92
SettlingTime	3.3682
SettlingMin	0.9103
SettlingMax	1.0451
Overshoot	4.5083
Undershoot	0
Peak	1.0451
PeakTime	1.9482
essp3	-0.0034
Gmp3	2.9342
Pmp3	64.4961
IEp3	1.14E+07

همانطور که مشاهده می‌شود خطای حالت ماندگار بسیار ناچیز است.



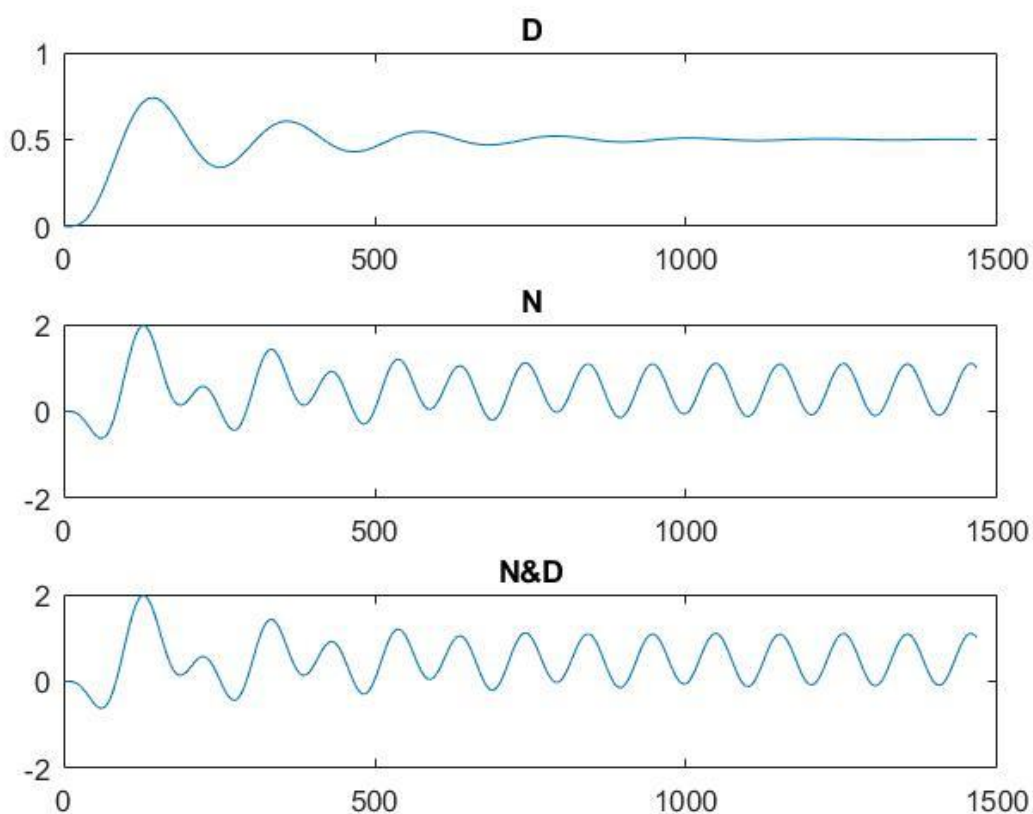
۲،۲،۲،۳. تغییر پارامترهای سیستم

اگر پارامترهای سیستم اشتباه حساب شده باشند با توجه به تابع تبدیل اصلی با کنترلر طراحی شده در بخش قبلی پاسخ به این صورت است. هرچند سیستم زمان بالا آمدن طولانی دارد اما همچنان به مقدار مورد نظر میل میکند و پایدار است.



۲،۲،۲،۴. اغتشاش

در صورت وجود اغتشاش در سیستم، به ترتیب در سه حالت؛ یکبار فقط با وارد کردن اغتشاش، بار دیگر فقط با وارد کردن نویز و یکبار هم با در نظر همزمان اغتشاش و نویز به صورت زیر رسم شده است:

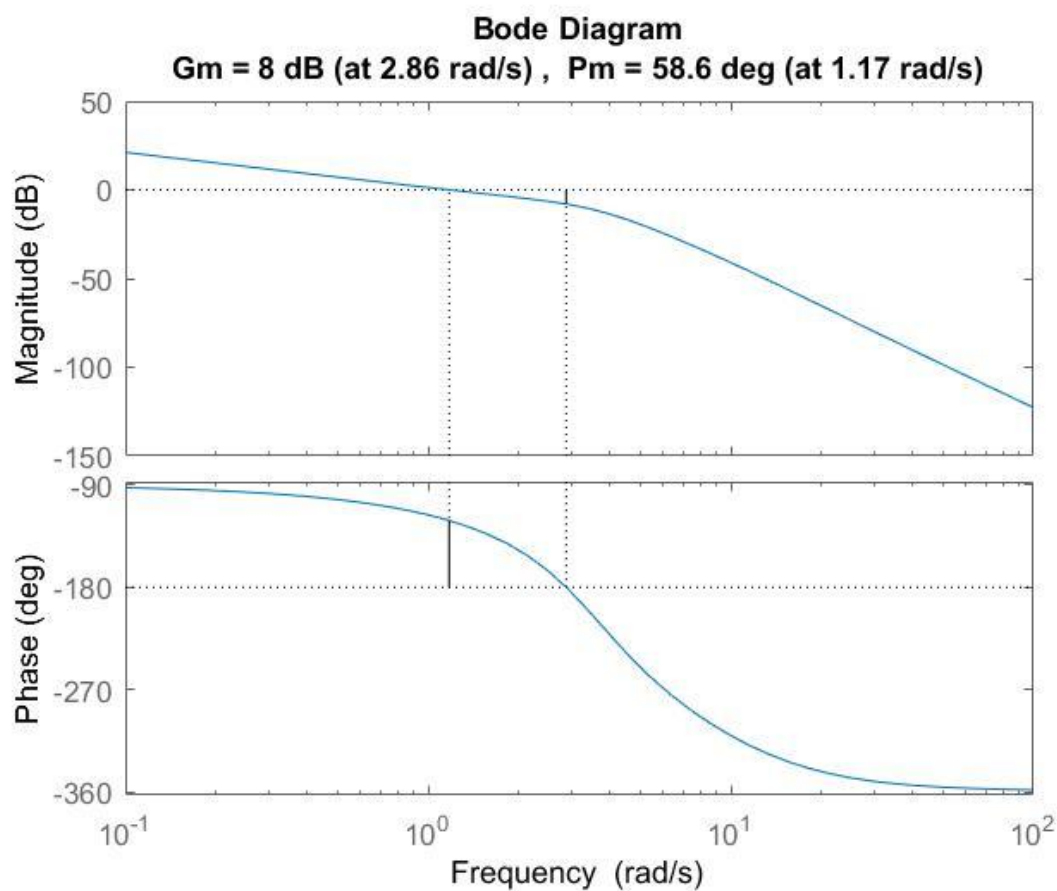


مشاهده می کنیم که تاثیر نهایی نویز بسیار بیشتر از اغتشاش سیستم است. همچنین سیستم به خوبی اغتشاشات را دفع کرده است.

۲.۲.۳. پاسخ فرکانسی

۲.۲.۳.۱. طراحی

با استفاده از تغییر ضریب Ti سعی می‌کنیم نمودارها را به شکل مورد نظر نزدیکتر کنیم سپس با تغییر دادن مقدار K حد فاز و حد بهره را به مقادیر ۳۰ و ۸ نزدیک میکنیم. در این مورد مقدار حد بهره برابر هشت دسی‌بل شد و مقدار حد فاز نیز از ۳۰ درجه بیشتر است که یک طراحی خوب مهندسی را نشان می‌دهد

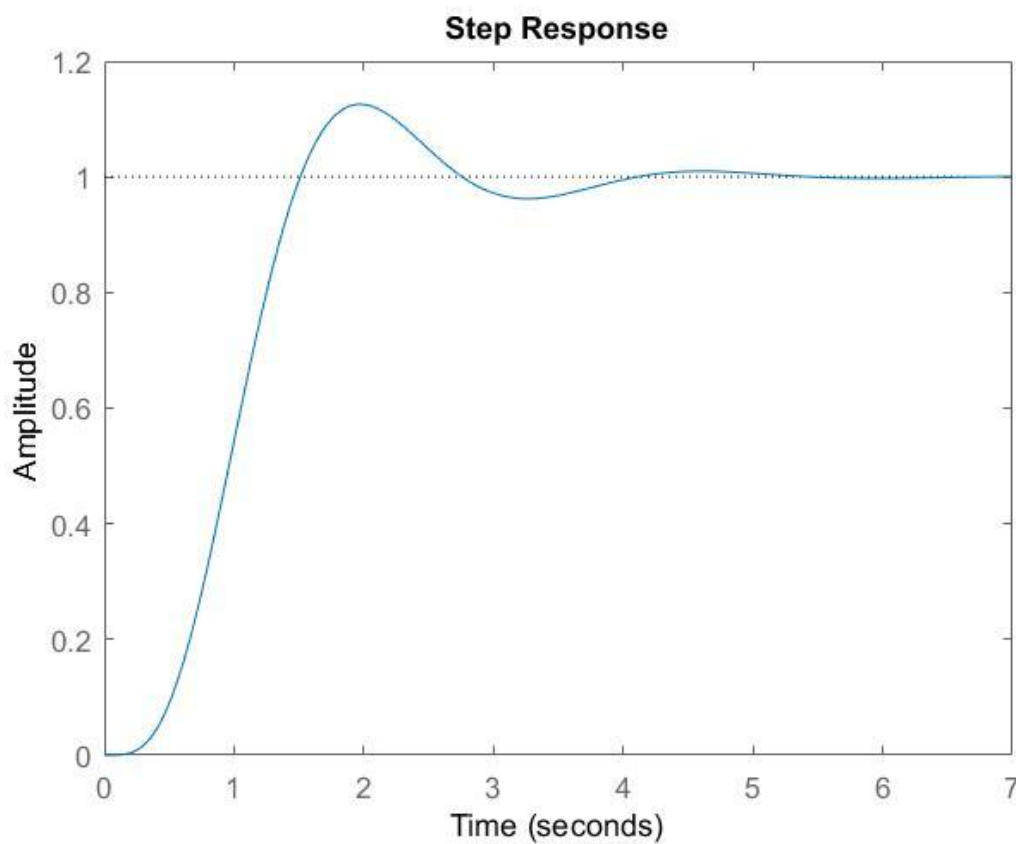


کد نوشته شده برای طراحی این کنترلر به صورت زیر است:

```
kFpi=72;
tiFpi=20;
sysFpi=tf([kFpi kFpi*tiFpi],[1 0]);
sysFo=sysFpi*sysp;
sysfFpi= feedback(sysFo,1);
figure(41)
margin(sysFo)

figure(42)
step(sysfFpi)
%%% info
infop4=stepinfo(sysfFpi)
yZpend4=step(sysfFpi);
endp4=yZpend4(end);
essp4=1-endp4
[Gmp4,Pmp4] = margin(sysFo)
syspiu4=sysFpi*(1-sysfFpi);
[upi4]=step(syspiu4,10);
Lupi4(1)=upi4(1);
for i=1:1:247;
    Lupi4(i+1)=Lupi4(i)+upi4(i+1)*upi4(i+1)*0.04032;
end
IEpi4=Lupi4(248)
figure(43);
pzplot(sysfFpi);
%%%realplant response
Grf=feedback(Gr*sysFpi,1);
figure(49);
step(Grf);
%%%noises
YR4=step(feedback(sysfFpi,1),time);
YD4=a*step(feedback(sysp,sysFpi),time);
YN4=lsim(feedback(-1*sysfFpi,-1),UN,time);
figure(48)
subplot(3,1,1)
plot(YR4+YD4)
subplot(3,1,2)
plot(YR4+YN4)
subplot(3,1,3)
plot(YR4+YD4+YN4)
```

پاسخ نهایی سیستم بصورت زیر است:

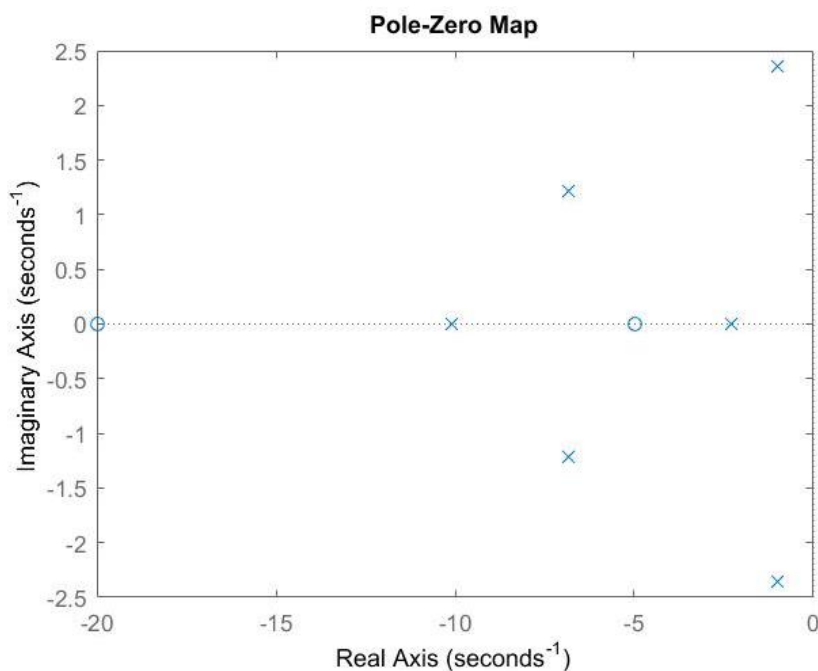


۲،۲،۳،۲. مشخصات

مشخصات این سیستم به صورت جدول زیر است. لازم به ذکر است که برای محاسبه ی انرژی ورودی با حساب کردن تابع U مقدار انتگرال را به صورت عددی حساب کرده ایم.

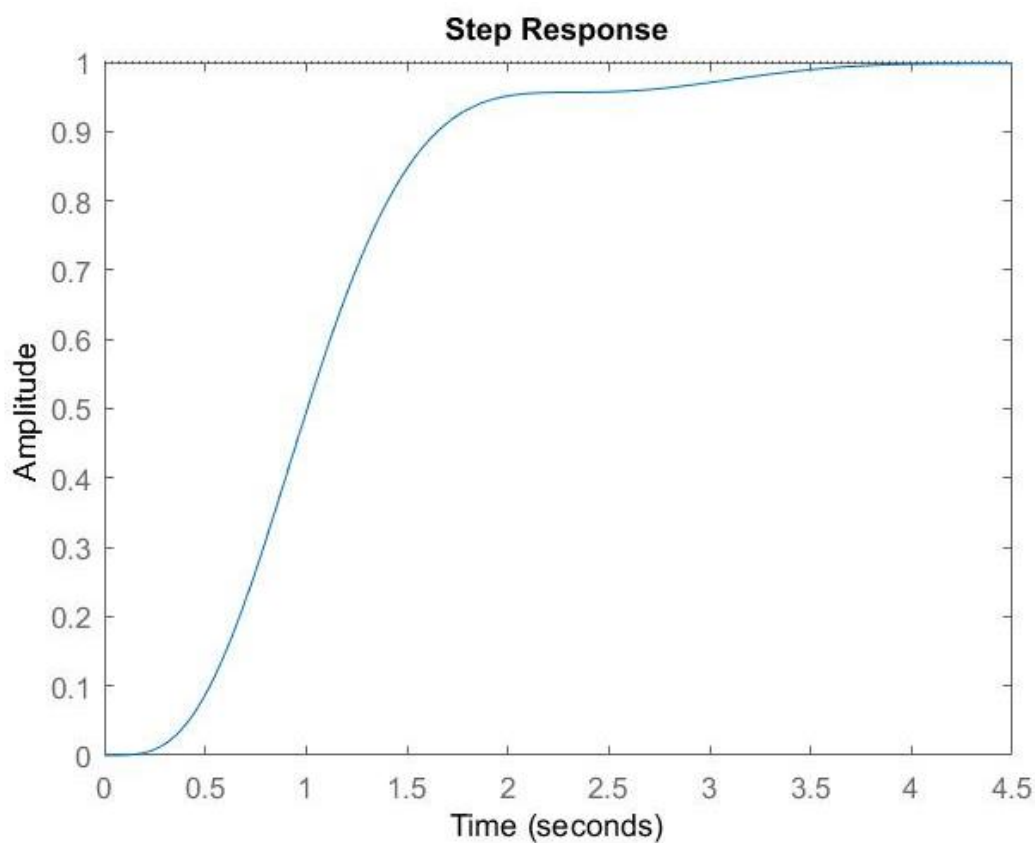
RiseTime	0.8477
SettlingTime	3.7304
SettlingMin	0.9083
SettlingMax	1.1255
Overshoot	12.5537
Undershoot	0
Peak	1.1255
PeakTime	1.9706
essp4	9.60E-04
Gmp4	2.5113
Pmp4	58.6499
IEp4	1.51E+07

همانطور که مشاهده می‌شود خطای حالت ماندگار بسیار ناچیز و قابل صرف نظر است.



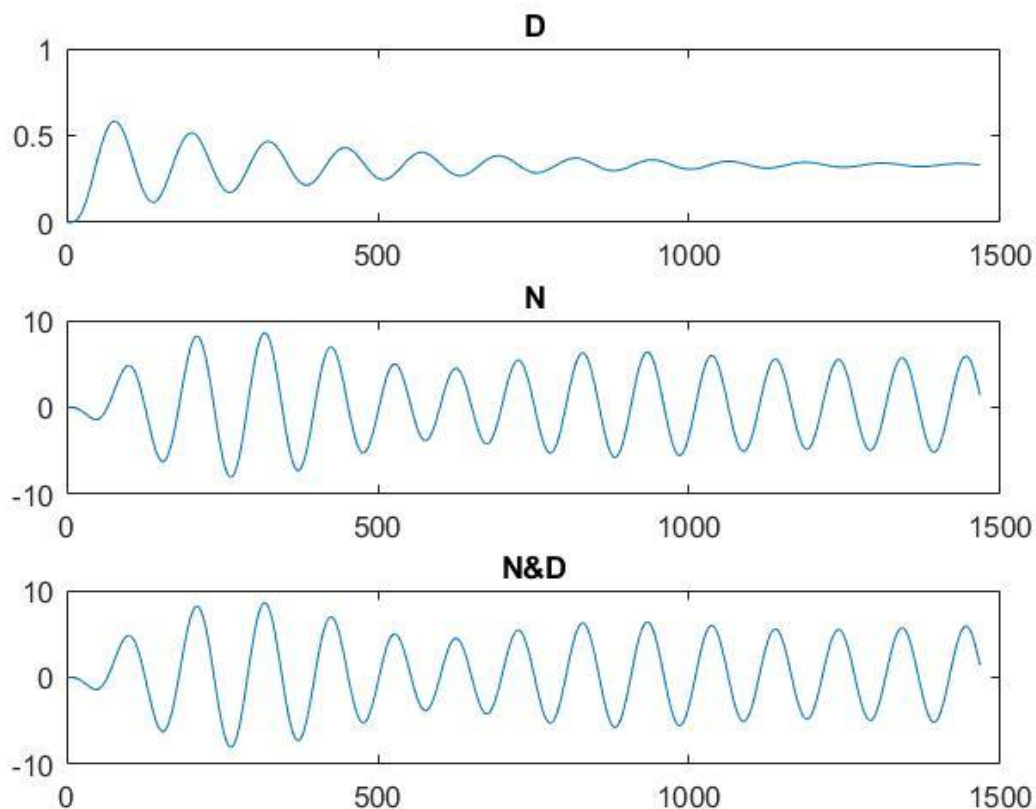
۲،۲،۳،۳. تغییر پارامترهای سیستم

اگر پارامترهای سیستم اشتباه حساب شده باشند با توجه به تابع تبدیل اصلی با کنترلر طراحی شده در بخش قبلی پاسخ به این صورت است. همانطور که مشاهده می‌کنیم خطای حالت ماندگار همچنان ناچیز است، زمان بالا آمدن و بیشینه فراجشش قابل قبول است و سیستم هم هنوز پایدار است.



۲،۲،۳،۴. اغتشاش

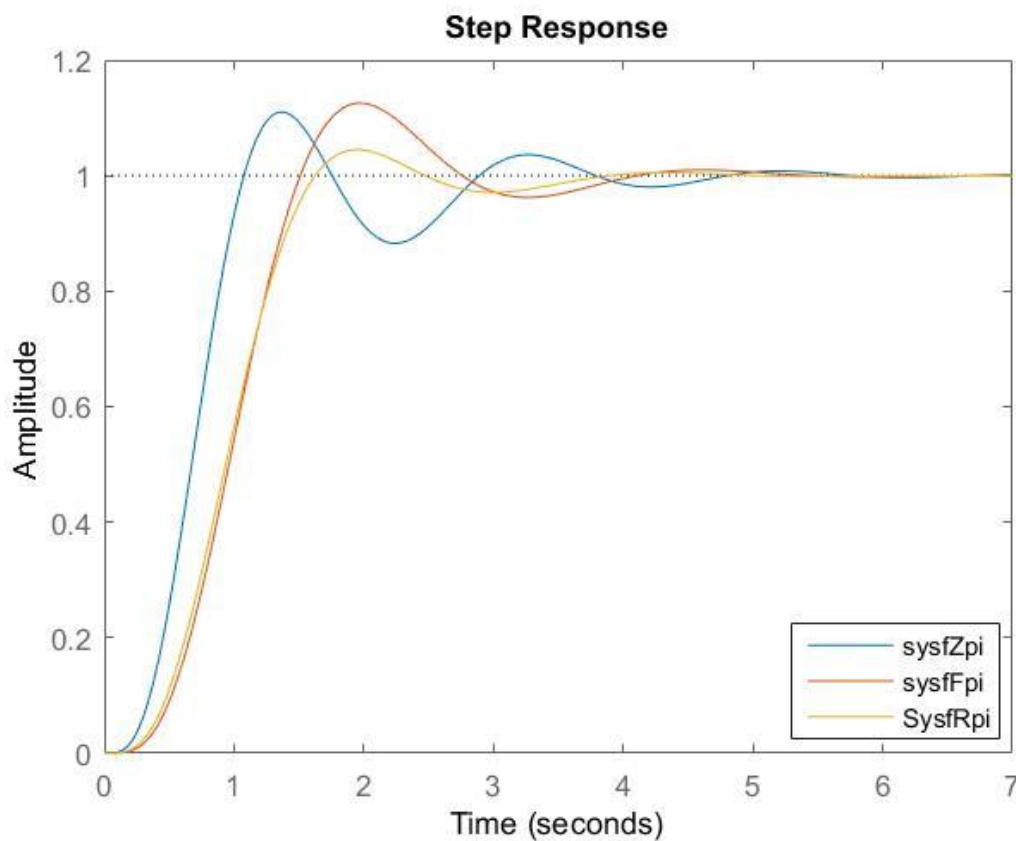
در صورت وجود اغتشاش در سیستم، به ترتیب در سه حالت؛ یکبار فقط با وارد کردن اغتشاش، بار دیگر فقط با وارد کردن نویز و یکبار هم با در نظر همزمان اغتشاش و نویز به صورت زیر رسم شده است:



مشاهده می کنیم که تاثیر نهایی نویز بسیار بیشتر از اغتشاش سیستم است. این سیستم به طور قابل قبولی اغتشاش را مقاومت کرده و حتی در برابر نویز هم مقاوم است.

۲،۲،۴. مقایسه ی کنترلر ها

نمودار های پاسخ این سه کنترلر را میتوان به صورت زیر با هم مقایسه کرد:



	Z	R	F
RiseTime	0.6186	0.92	0.8477
SettlingTime	3.5687	3.3682	3.7304
SettlingMin	0.8828	0.9103	0.9083
SettlingMax	1.1101	1.0451	1.1255
Overshoot	11.0064	4.5083	12.5537
Undershoot	0	0	0
Peak	1.1101	1.0451	1.1255
PeakTime	1.3657	1.9482	1.9706
essp	-0.0011	-0.0034	9.60E-04
Gmp	2.3402	2.9342	2.5113
Pmp	64.345	64.4961	58.6499
IEp	1.36E+07	1.14E+07	1.51E+07

با مقایسه ی نمودار ها و جدول مشخص مشاهده می کنیم که سیستم مکان هندسی بیشترین پایداری را دارد و بیشترین مقاومت را در برابر تغییر پارامتر و نویز نشان میدهد همچنین بیشینه فراجهدش آن نیز بسیار کمتر از دو سیستم دیگر است و انرژی کمتری نیز مصرف می کند. از طرفی سیستم های زیگلر و فرکانسی سریعتر بوده و به خصوص سیستم زیگلر نیکلز زودتر به شرایط پایداری می رسند.

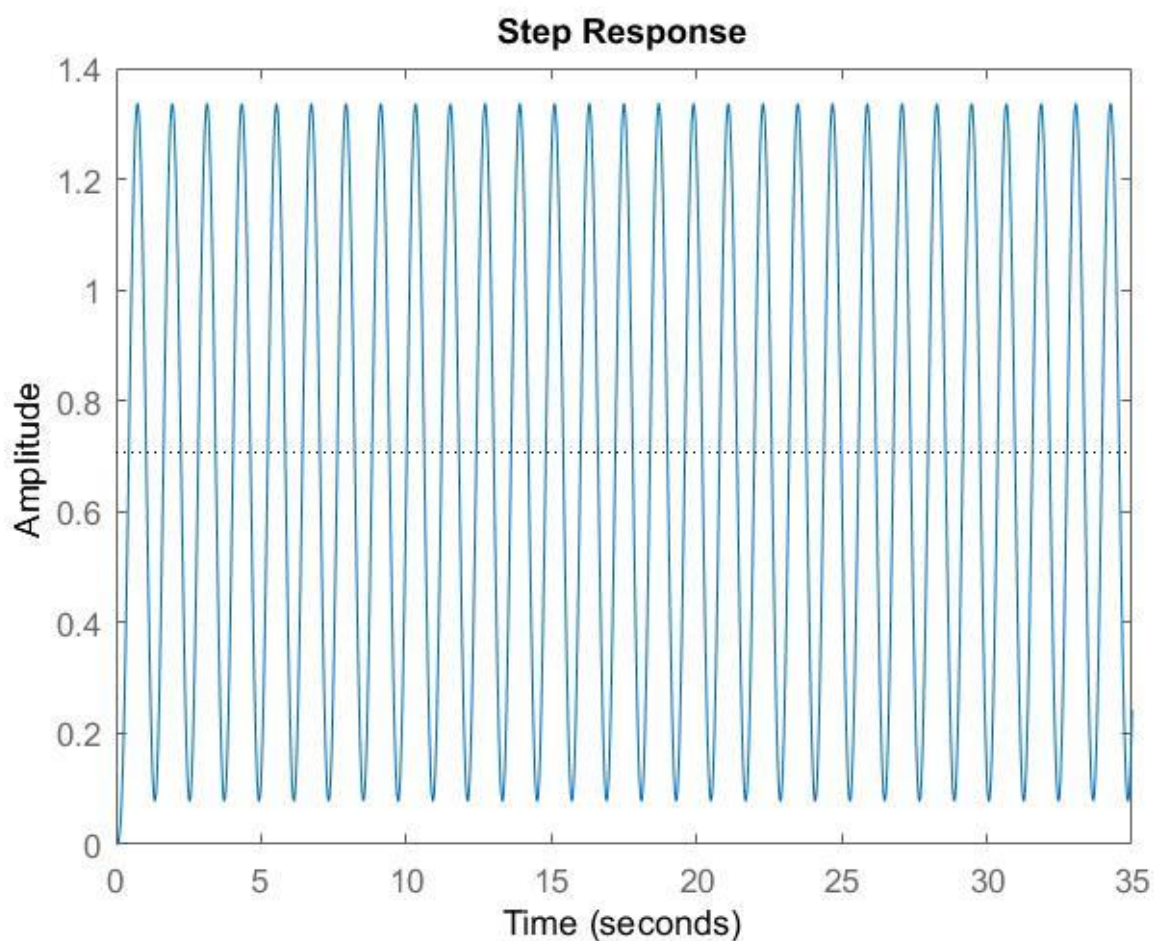
۲،۳. کنترلر PID-Action

این کنترلر ها به دلیل وجود یک انتگرال گیر دارای خطای حالت ماندگار صفر هستند.

۲،۳،۱. زیگلر نیکولز

۲،۳،۱،۱. طراحی

با استفاده از مقدار K_u و W_u بدست آمده در بخش قبل و با مراجعه به جدول در کتاب دکتر غفاری مقدار K_p و T_i و T_d را انتخاب میکنیم. سپس این مقدار را برای بهتر شدن رفتار نهایی تغییر می‌دهیم.



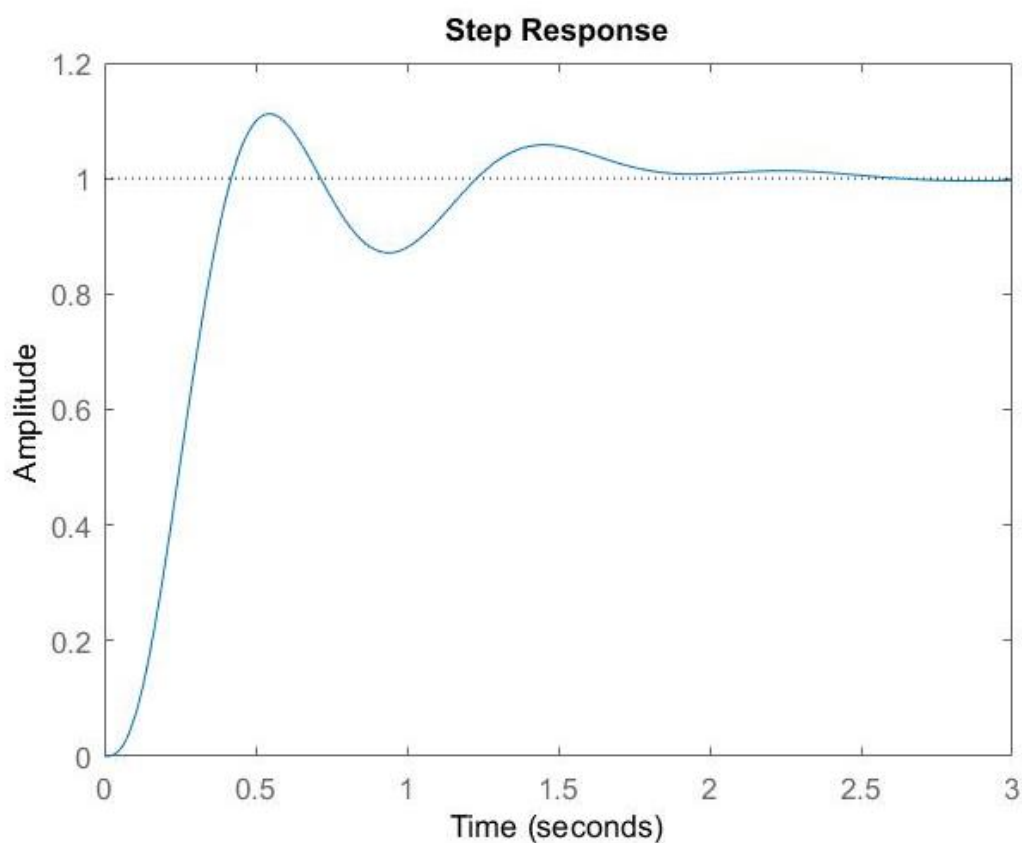
کد نوشته شده برای طراحی این کنترلر به صورت زیر است:

```
Kpz2=3048.513;
Wpz2=5.4513;
pu=2*pi/Wpz2;
syspz2=feedback(Kpz2*sysp,1);

figure(21)
step(syspz2)
% maqadir ra baraye behtar shodan taqir midahim
Kpidz2=Kpz2*0.6/1;
tipidz2=pu*0.5*5;
tdpidz2=pu*0.125*2.5;

sysZpid=tf([Kpidz2*tdpidz2 Kpidz2 Kpidz2*tipidz2],[1 0]);
sysZo=sysZpid*sysp;
sysfZpid=feedback(sysZo,1);
figure(22)
step(sysfZpid)
%%% info
infop2=stepinfo(sysfZpid)
yZpend2=step(sysfZpid);
endp2=yZpend2(end);
essp2=1-endp2
[Gmp2,Pmp2] = margin(sysZo)
% syspu2=feedback(sysZpid,sysp);
% [up2]=step(syspu2,10);
% Lup2(1)=up2(1);
% for i=1:1:151;
%     Lup2(i+1)=Lup2(i)+up2(i+1)*0.04032;
% end
% IEp2=Lup2(152);
figure(23);
pzplot(sysfZpid);
%%%realplant response
Grz=feedback(Gr*sysZpid,1);
figure(29);
step(Grz);
%%%noises
YR2=step(feedback(sysfZpid,1),time);
YD2=a*step(feedback(sysp,sysZpid),time);
YN2=lsim(feedback(-1*sysfZpid,-1),UN,time);
figure(28)
subplot(3,1,1)
plot(YR2+YD2)
subplot(3,1,2)
plot(YR2+YN2)
subplot(3,1,3)
plot(YR2+YD2+YN2)
```

پاسخ نهایی سیستم بصورت زیر است:

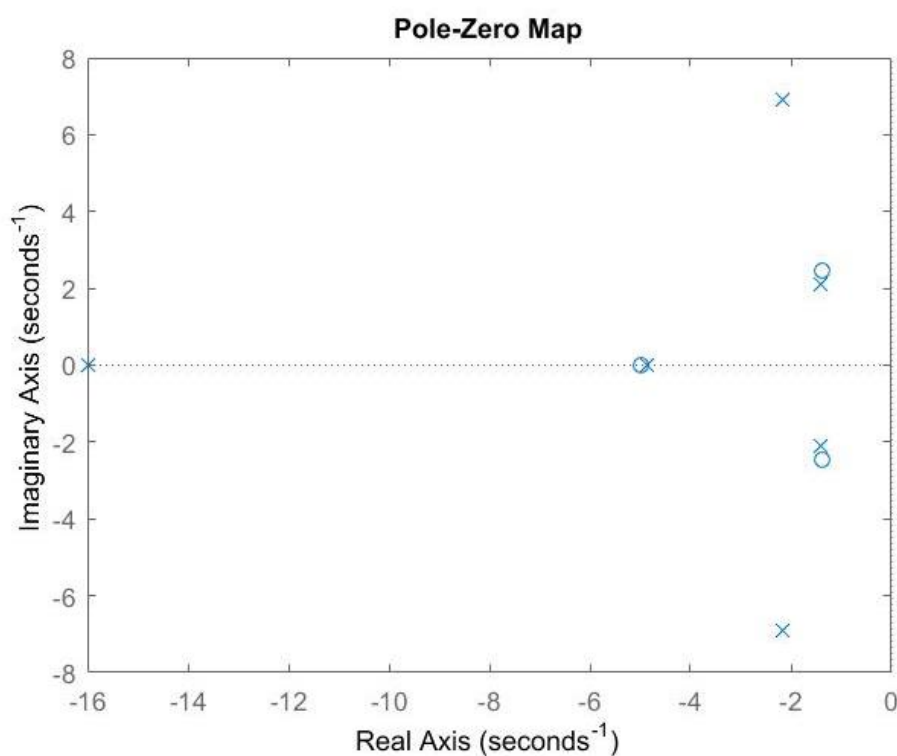


۲،۳،۱،۲. مشخصات

مشخصات این سیستم به صورت جدول زیر است. لازم به ذکر است که به دلیل بیشتر شدن درجه صورت از مخرج، بدست آوردن انرژی ورودی برای کنترلر های PID مقدور نبود.

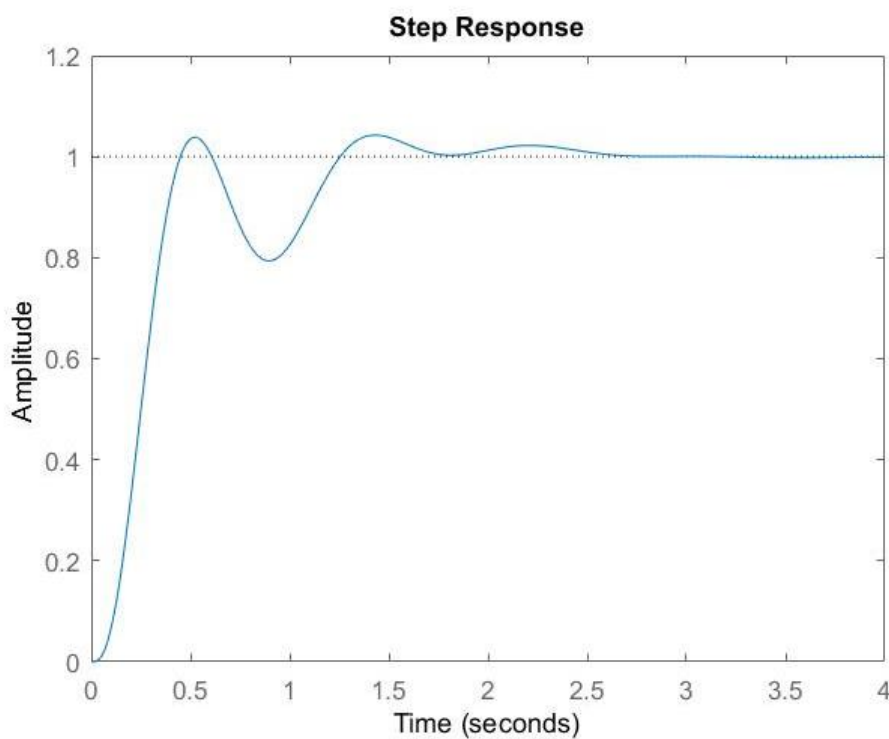
RiseTime	0.2562
SettlingTime	1.7429
SettlingMin	0.8713
SettlingMax	1.1117
Overshoot	11.166
Undershoot	0
Peak	1.1117
PeakTime	0.5478
essp2	0.0038
Gmp2	3.461
Pmp2	53.053
RiseTime	0.2562

همانطور که مشاهده می‌شود خطای حالت ماندگار بسیار نا چیز است.



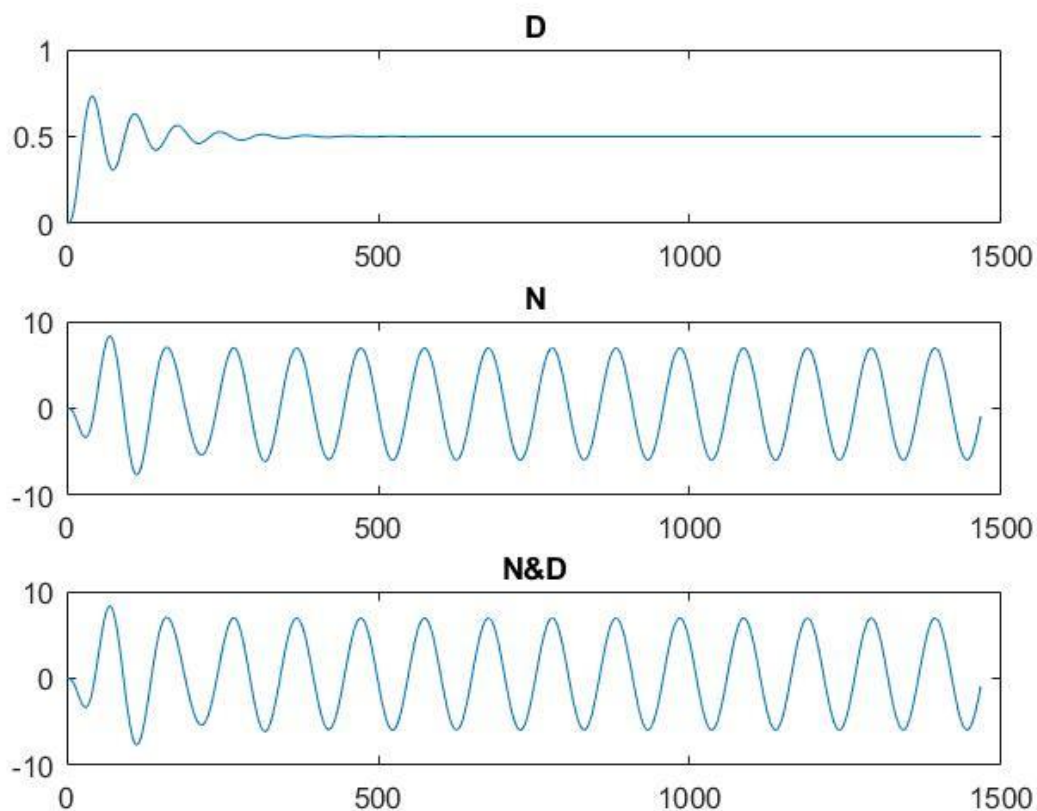
۲،۳،۱،۳. تغییر پارامترهای سیستم

اگر پارامترهای سیستم اشتباه حساب شده باشند با توجه به تابع تبدیل اصلی با کنترلر طراحی شده در بخش قبلی پاسخ به این صورت است. سیستم پایدار است و زمان بالا آمدن در محدوده طراحی است.



۲،۳،۱،۴. اغتشاش

در صورت وجود اغتشاش در سیستم، به ترتیب در سه حالت؛ یکبار فقط با وارد کردن اغتشاش، بار دیگر فقط با وارد کردن نویز و یکبار هم با در نظر همزمان اغتشاش و نویز به صورت زیر رسم شده است:

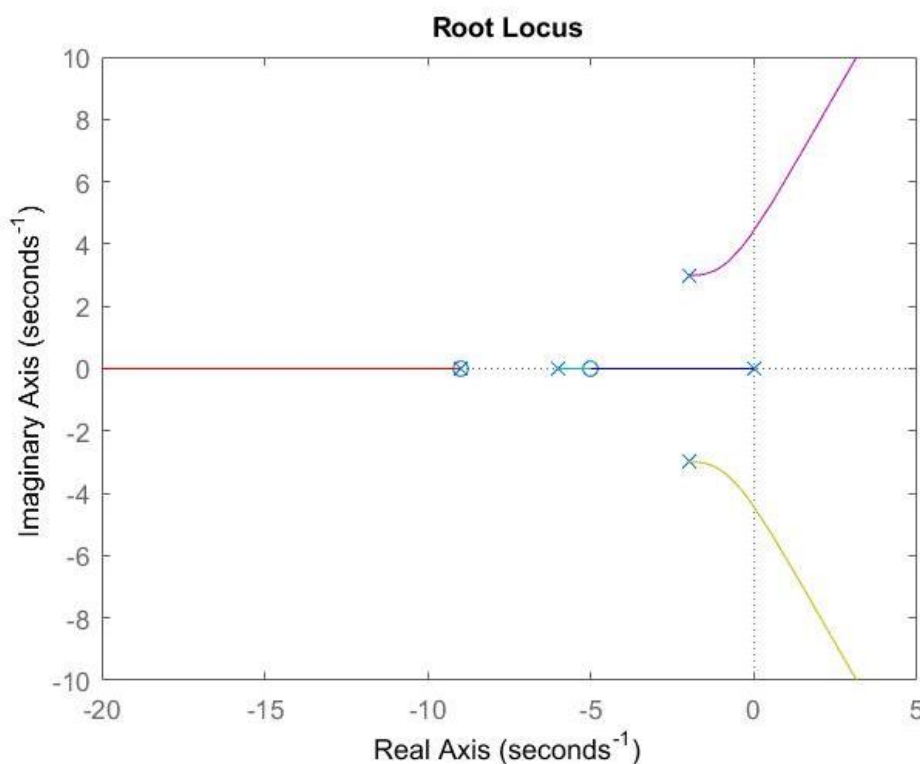
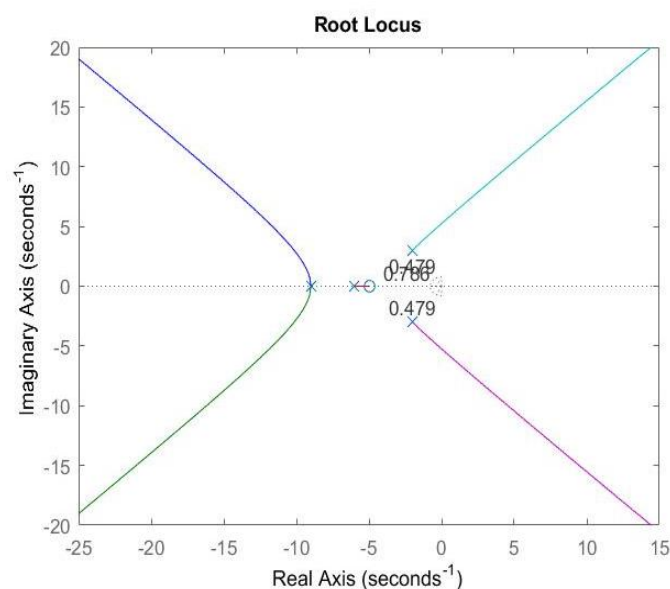


مشاهده می کنیم که تاثیر نهایی نویز بسیار بیشتر از اغتشاش سیستم است. سیستم تا حدودی اغتشاشات را مقاومت کرده است.

۲،۳،۲ مکان هندسی

۲،۳،۲،۱ طراحی

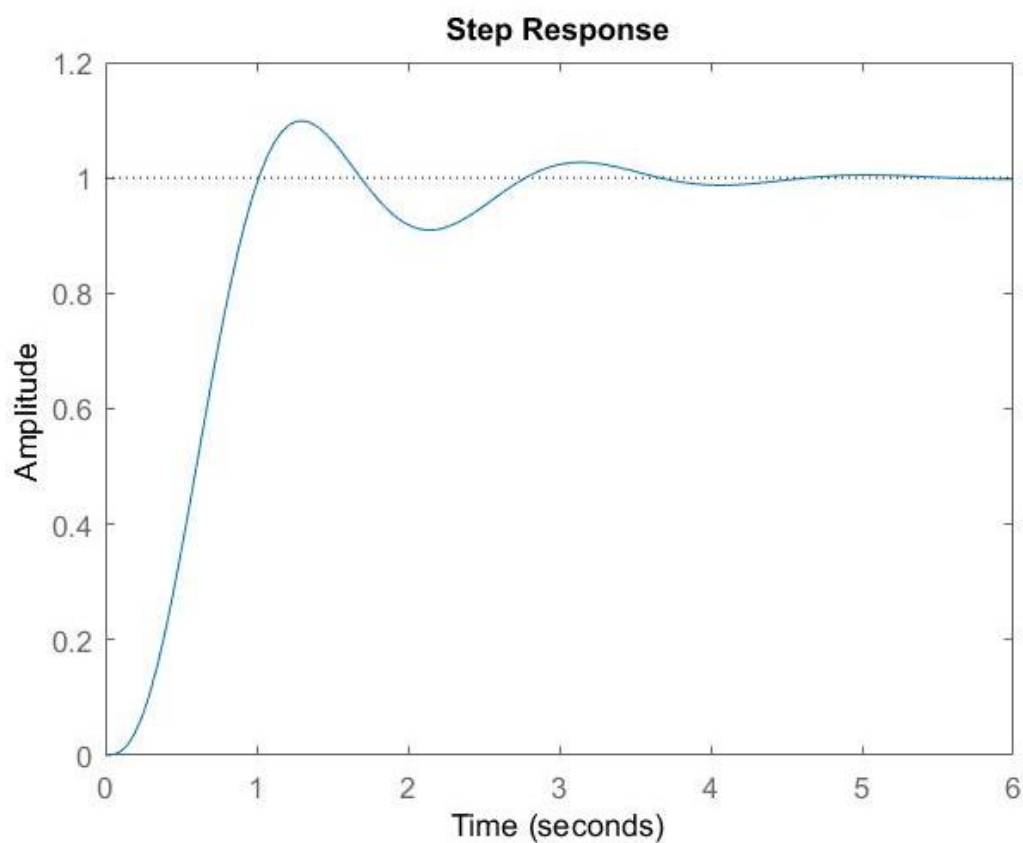
ابتدا الزامات طراحی شامل درصد بیشینه فراجش و مقدار زمان بالا آمدن را برای دو قطب فرضی مسلط سیستم مدار بسته تبدیل به دو کمیت ζ و ω_n می‌کنیم. این دو کمیت دو خط را در نمودار به ما می‌دهند که مشخص‌کننده ی حدود انتخاب کنترلر مناسب‌اند. اکنون با در نظر گرفتن سیستم نهایی مدار باز، مقدار تقریبی K را از روی منحنی مکان هندسی می‌خوانیم و با توجه به این مقدار اولیه، T_i را مقداری در نظر می‌گیریم و $(T_d = T_i/4)$ قرار می‌دهیم. با رسم منحنی مکان هندسی سیستم جدید مقدار K جدید را انتخاب می‌کنیم. سپس تا بهتر شدن رفتار نهایی سیستم مدار بسته مقدار ضرایب را تغییر می‌دهیم.



کد نوشته شده برای طراحی این کنترلر به صورت زیر است:

```
syms cc;
eqncc= 0.18==exp(-cc*pi/((1-cc^2)^0.5));
cc1= solve(eqncc,cc);
zeta=0.4791;
syms ww;
eqnww = 3==(pi-acos(zeta))/(ww*(1-zeta^2)^0.5);
Wn=0.7862531315;
alpha=acos(zeta);
kpi=150;ti=9;
syspi=tf([kpi ti*kpi],[1 0]);
sysR=syspi*sysp;
SysfR=feedback(sysR,1);
figure(31)
rlocus(sysR);
sgrid(zeta,Wn);
figure(32)
step(SysfR)
%%% info
infop3=stepinfo(SysfR);
yZpend3=step(SysfR);
endp3=yZpend3(end);
essp3=1-endp3;
[Gmp3,Pmp3] = margin(sysR);
syspu3=syspi*(1-SysfR);
[up3]=step(syspu3,10);
Lup3(1)=up3(1);
for i=1:1:189;
    Lup3(i+1)=Lup3(i)+up3(i+1)*up3(i+1)*0.04032;
end
IEp3=Lup3(190);
figure(33);
pzplot(SysfR);
%%%realplant response
Grr=feedback(Gr*syspi,1);
figure(39);
step(Grr);
%%%noises
YR3=step(feedback(SysfR,1),time);
YD3=a*step(feedback(sysp,syspi),time);
YN3=lsim(feedback(-1*SysfR,-1),UN,time);
figure(38)
subplot(3,1,1)
plot(YR4+YD3)
subplot(3,1,2)
plot(YR4+YN3)
subplot(3,1,3)
plot(YR4+YD3+YN3)
```

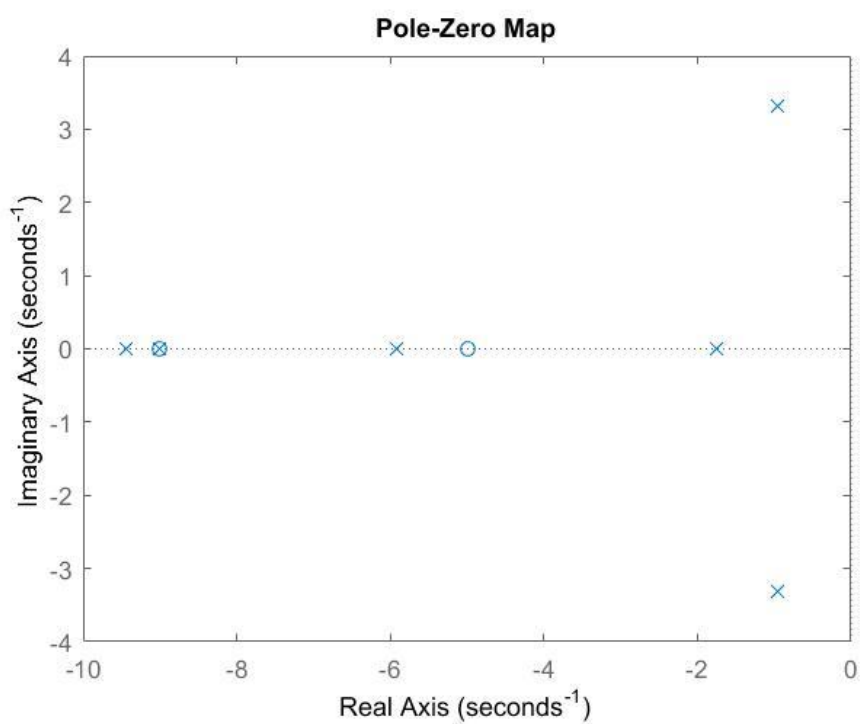
پاسخ نهایی سیستم بصورت زیر است:



۲،۳،۲،۲. مشخصات

مشخصات این سیستم به صورت جدول زیر است. لازم به ذکر است که به دلیل بیشتر شدن درجه صورت از مخرج، بدست آوردن انرژی ورودی برای کنترلرهای PID مقدور نبود.

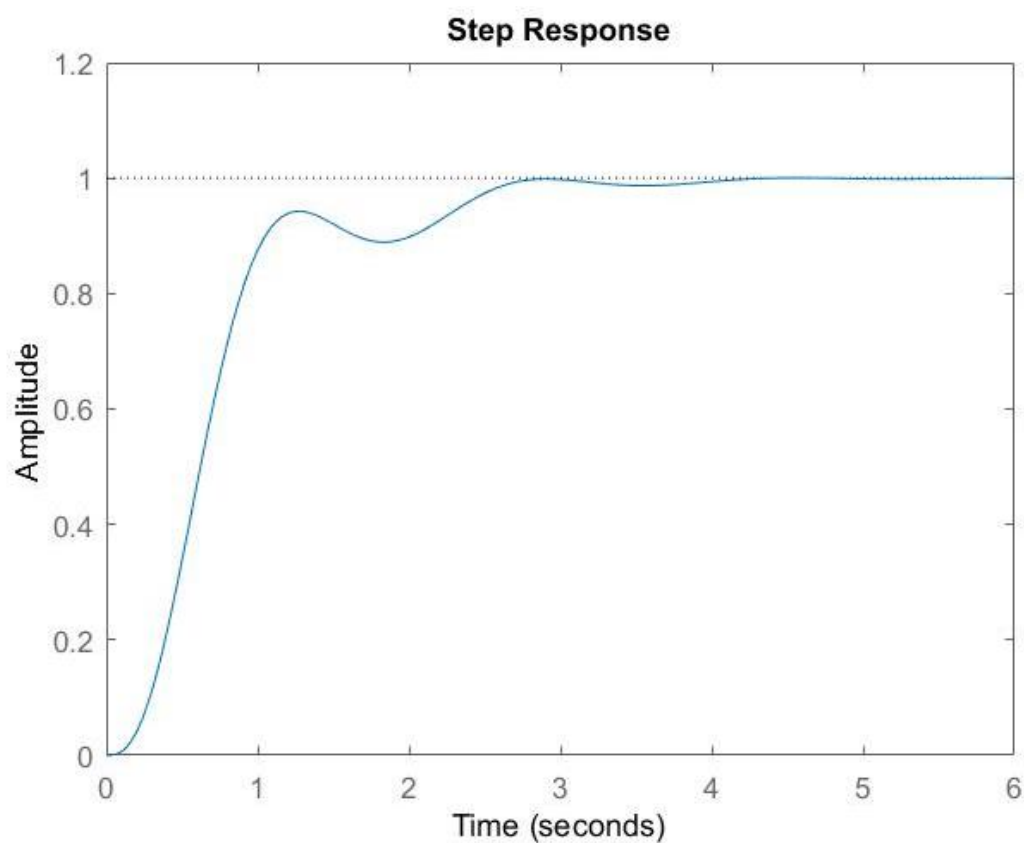
RiseTime	0.617
SettlingTime	3.3578
SettlingMin	0.9094
SettlingMax	1.0985
Overshoot	9.8549
Undershoot	0
Peak	1.0985
PeakTime	1.3127
essp3	-3.73E-04
Gmp3	3.0217
Pmp3	63.1522
RiseTime	0.617



همانطور که مشاهده می‌شود خطای حالت ماندگار بسیار ناچیز است.

۲،۳،۲،۳. تغییر پارامترهای سیستم

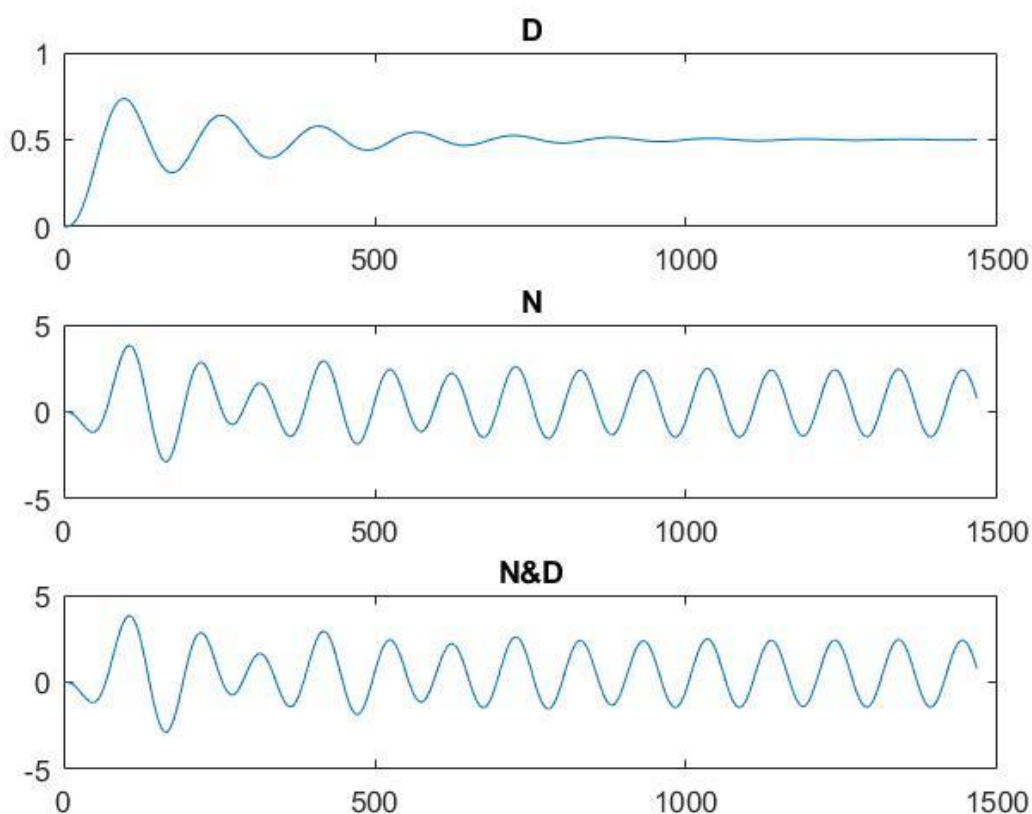
اگر پارامترهای سیستم اشتباه حساب شده باشند با توجه به تابع تبدیل اصلی با کنترلر طراحی



شده در بخش قبلی پاسخ به این صورت است. هرچند سیستم زمان بالا آمدن طولانی (اما قابل قبول) دارد همچنان به مقدار مورد نظر میل میکند و پایدار است.

۲،۳،۲،۴. اغتشاش

در صورت وجود اغتشاش در سیستم، به ترتیب در سه حالت؛ یکبار فقط با وارد کردن اغتشاش، بار دیگر فقط با وارد کردن نویز و یکبار هم با در نظر همزمان اغتشاش و نویز به صورت زیر رسم شده است:

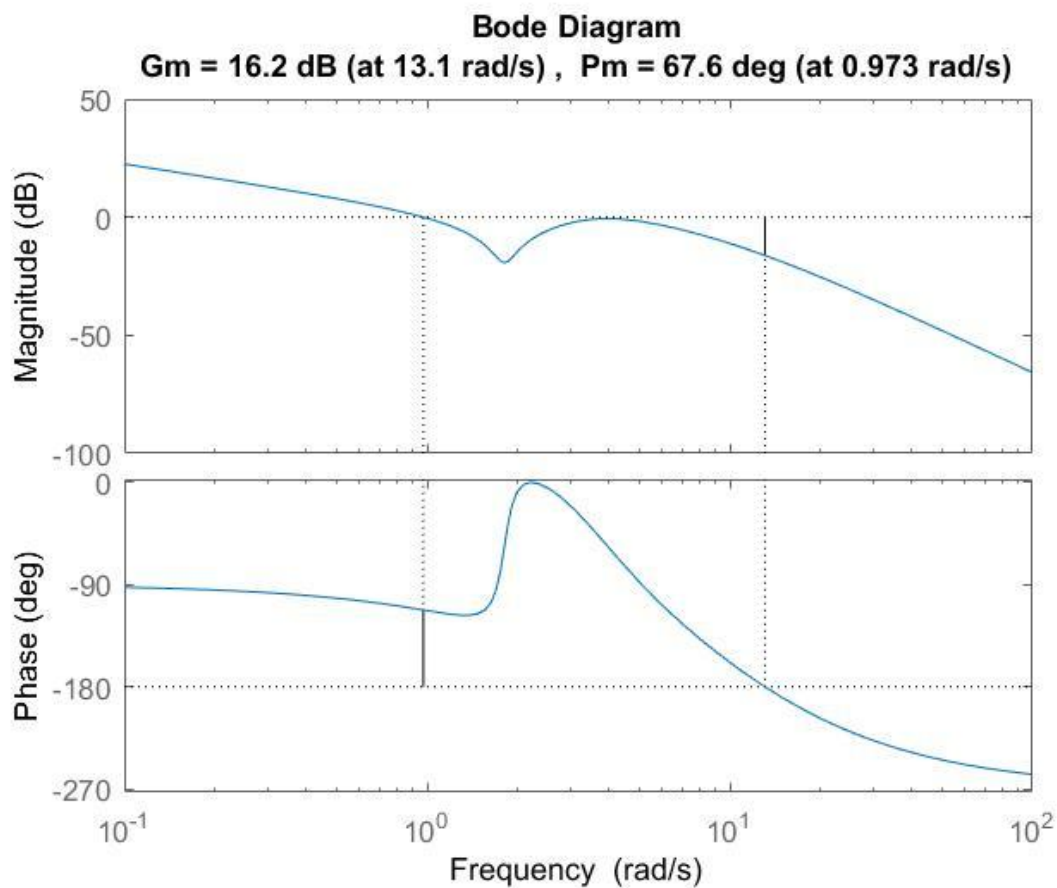


مشاهده می کنیم که تاثیر نهایی نویز بسیار بیشتر از اغتشاش سیستم است. همچنین سیستم به خوبی اغتشاشات را دفع کرده است.

۲،۳،۳ پاسخ فرکانسی

۲،۳،۳،۱ طراحی

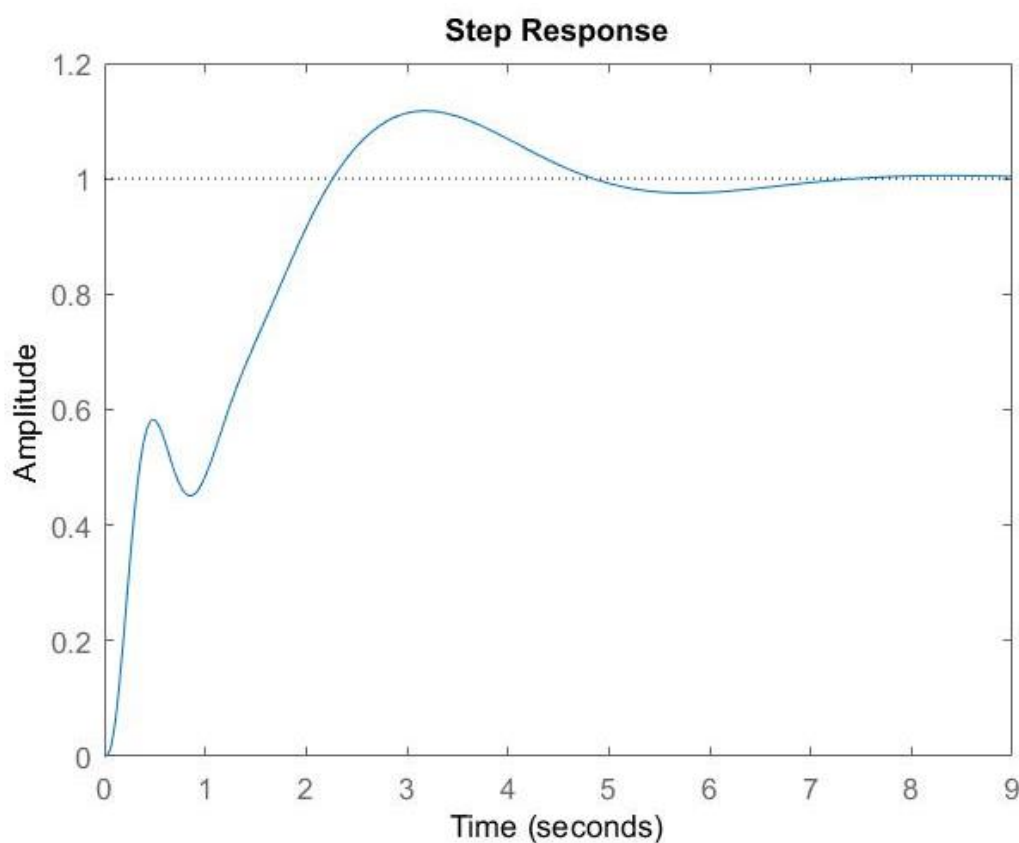
با استفاده از تغییر ضریب T_i سعی می‌کنیم نمودارها را به شکل مورد نظر نزدیکتر کنیم و با تغییر T_i سیستم را پایدار و سریعتر می‌کنیم. سپس با تغییر دادن مقدار K حد فاز و حد بهره را به مقادیر ۳۰ و ۸ نزدیک می‌کنیم. در این مورد مقدار حد بهره بیشتر از هشت دسی‌بل شد و مقدار حد فاز نیز از ۳۰ درجه بیشتر است.



کد نوشته شده برای طراحی این کنترلر به صورت زیر است:

```
kFpid=130;
tiFpid=13;
tdFpid=4;
sysFpid=tf([kFpid*tdFpid kFpid tiFpid*kFpid],[1 0]);
sysFo=sysFpid*syp;
sysfFpid= feedback(sysFo,1);
figure(41)
margin(sysFo)

figure(42)
step(sysfFpid)
%%% info
infop4=stepinfo(sysfFpid)
yZpend4=step(sysfFpid);
endp4=yZpend4(end);
essp4=1-endp4
[Gmp4,Pmp4] = margin(sysFo)
% syspiu4=sysFpi*(1-sysfFpi);
% [upi4]=step(syspiu4,10);
% Lupi4(1)=upi4(1);
% for i=1:1:247;
%     Lupi4(i+1)=Lupi4(i)+upi4(i+1)*0.04032;
% end
% IEpi4=Lupi4(152);
figure(43);
pzplot(sysfFpid);
%%%realplant response
Grf=feedback(Gr*sysFpid,1);
figure(49);
step(Grf);
%%%noises
YR4=step(feedback(sysfFpid,1),time);
YD4=a*step(feedback(syp,sysFpid),time);
YN4=lsim(feedback(-1*sysfFpid,-1),UN,time);
figure(48)
subplot(3,1,1)
plot(YR4+YD4)
subplot(3,1,2)
plot(YR4+YN4)
subplot(3,1,3)
plot(YR4+YD4+YN4)
```



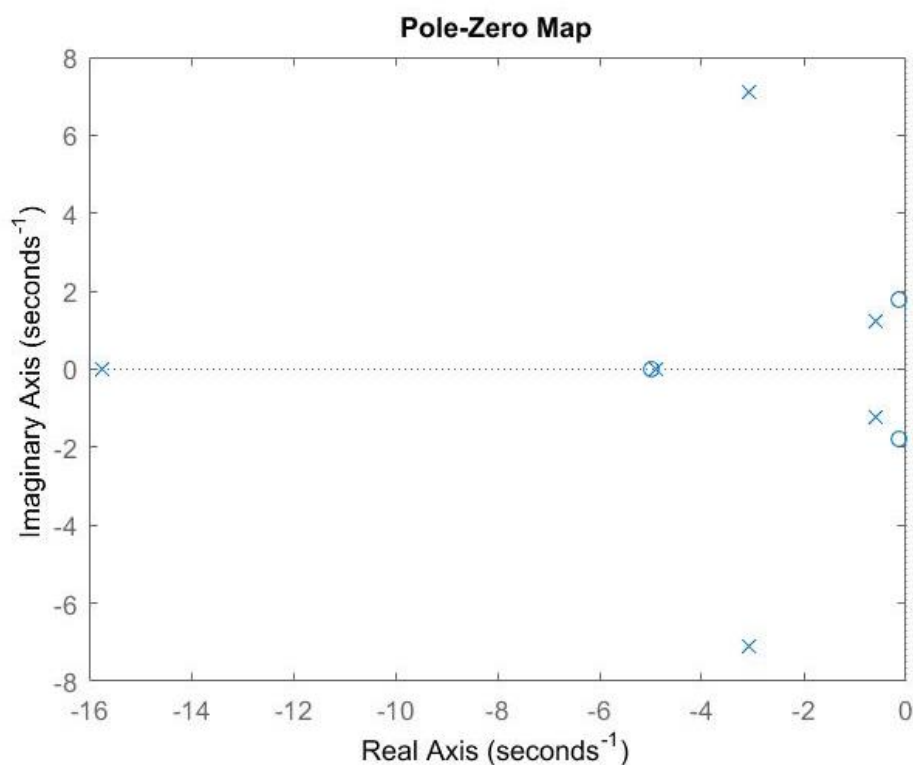
پاسخ نهایی سیستم بصورت زیر است:

۲،۳،۳،۲. مشخصات

مشخصات این سیستم به صورت جدول زیر است. لازم به ذکر است که به دلیل بیشتر شدن درجه صورت از مخرج، بدست آوردن انرژی ورودی برای کنترلرهای PID مقدور نبود.

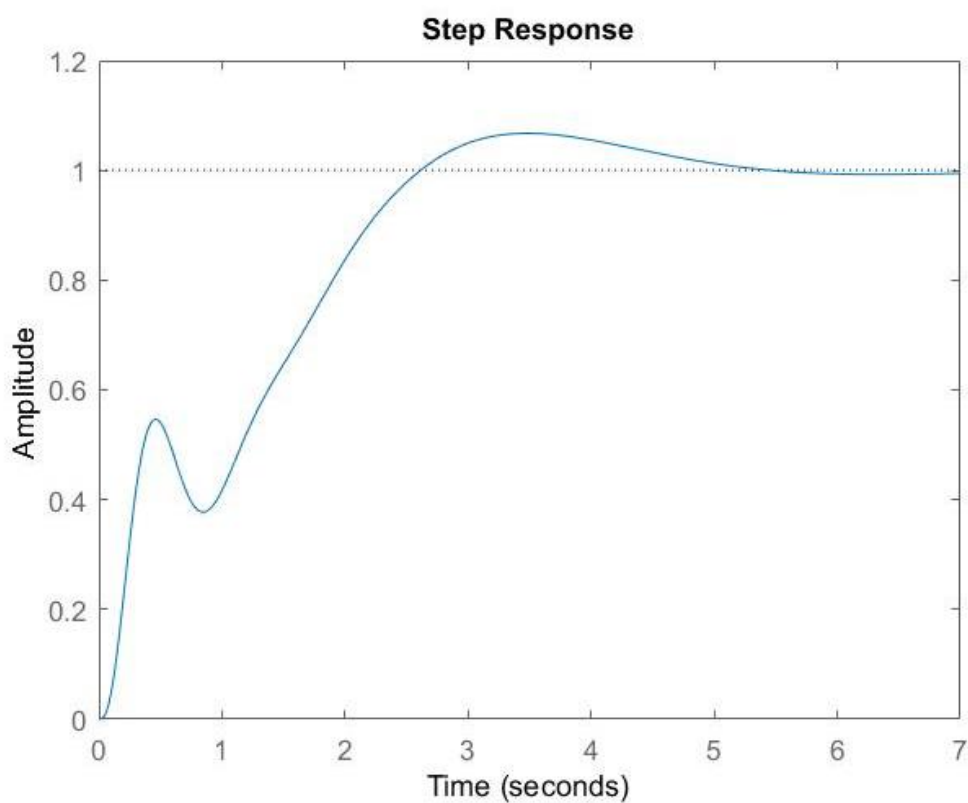
RiseTime	1.8252
SettlingTime	6.2839
SettlingMin	0.902
SettlingMax	1.1174
Overshoot	11.743
Undershoot	0
Peak	1.1174
PeakTime	3.1824
essp4	-0.005
Gmp4	6.4671
Pmp4	67.6
RiseTime	1.8252

همانطور که مشاهده می‌شود خطای حالت ماندگار بسیار ناچیز و قابل صرف نظر است.



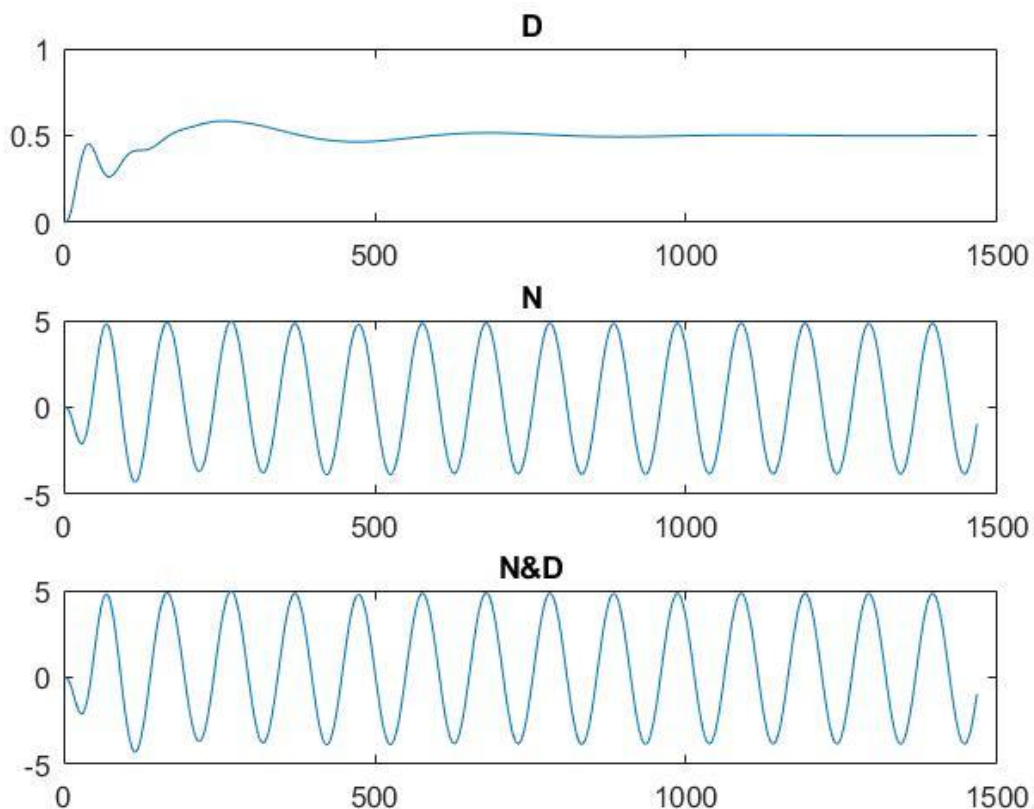
۲،۳،۳،۳. تغییر پارامترهای سیستم

اگر پارامترهای سیستم اشتباه حساب باشند با توجه به تابع تبدیل اصلی با کنترلر طراحی شده در بخش قبلی پاسخ به این صورت است. مشاهده می‌کنیم خطا حالت ماندگار همچنان ناچیز است، زمان بالا آمدن و فراجهش فرا در محدوده ی خوبی (کمتر از الزامات طراحی) است و سیستم هنوز پایدار است.



۲،۳،۳،۴. اغتشاش

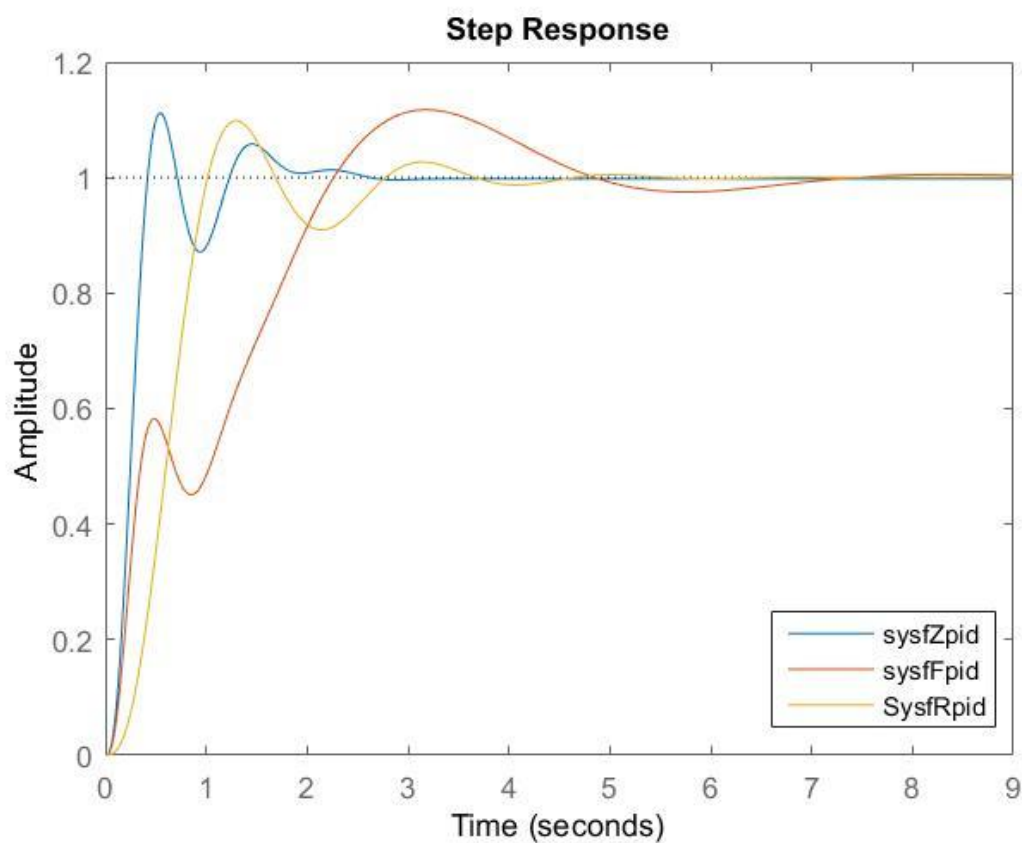
در صورت وجود اغتشاش در سیستم، به ترتیب در سه حالت؛ یکبار فقط با وارد کردن اغتشاش، بار دیگر فقط با وارد کردن نویز و یکبار هم با در نظر همزمان اغتشاش و نویز به صورت زیر رسم شده است:



مشاهده می کنیم که تاثیر نهایی نویز بسیار بیشتر از اغتشاش سیستم است. این سیستم به خوبی اغتشاش را مقاومت کرده و حتی در برابر نویز هم مقاوم است.

۲،۳،۴. مقایسه ی کنترلر ها

نمودار های پاسخ این سه کنترلر را میتوان به صورت زیر با هم مقایسه کرد:



	Z	R	F
RiseTime	0.2562	0.617	1.8252
SettlingTime	1.7429	3.3578	6.2839
SettlingMin	0.8713	0.9094	0.902
SettlingMax	1.1117	1.0985	1.1174
Overshoot	11.166	9.8549	11.743
Undershoot	0	0	0
Peak	1.1117	1.0985	1.1174
PeakTime	0.5478	1.3127	3.1824
essp	0.0038	-3.73E-04	-0.005
Gmp	3.461	3.0217	6.4671
Pmp	53.053	63.1522	67.6

سه کنترلر طراحی شده در این قسمت نمایانگر سه مزیت کنترلر ها هستند. در واقع هر کنترلر یک ویژگی خاص دارد؛ کنترلر زیگلر نیکولز سریع است، کنترلر مکان هندسی دقیق است و کنترلر فرکانسی مقاوم است. در نگاهی دقیق تر درمیابیم که کنترلر نیکلز دقت خوبی دارد اما سرعت نسبتا کمتری به دو کنترلر دیگر دارد. کنترلر زیگلر هم دقت خوبی دارد اما مقاومت کمتری نسبت به کنترلر فرکانسی دارد. کنترلر مکان هندسی یک میانگین است لذا استفاده از آن بهتر به نظر می رسد. البته انتخاب کنترلر مناسب وابسته به اهمیت کدام مزیت است.