

به نام خدا

درس :

سیستم های کنترل دیجیتال

پروژه نهایی

پارسا قدیمی

810199468

رضا مومنی

810199497

(1)

حل دستی :

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = -g + \frac{c}{\mu} \times \frac{x_3^2}{0,0072 - x_1} \\ \dot{x}_3 = \frac{1}{L} (-Rx_3 + u) \end{cases} \quad (1)$$

$$g = 0,002 \text{ جاذبية}$$

نقطة متادل:

$$-g + \frac{c}{\mu} \times \frac{x_3^2}{0,0072 - x_1} = 0 \rightarrow x_3^2 = (0,0072 - x_1) \frac{\mu g}{c} \quad (1)$$

$$\frac{1}{L} (-Rx_3 + u) = 0 \rightarrow Rx_3 = u$$

$$(1) \text{ مادل} \Rightarrow \mu = 0,0844 \text{ كجم} , g = 9,81 \text{ m/s}^2 , c = 7 \dots \frac{\text{نون}}{\text{م}^2}$$

$$\Rightarrow x_3^2 = (0,0072 - x_1) \times 0,0001182806$$

$$\Rightarrow x_3 = \sqrt{0,0001182806 (0,0072 - x_1)}$$

$$\text{جاذبية} g^* = 0,002 \rightarrow x_1 = 0,002 \rightarrow x_3 = \sqrt{0,0001182806 (0,0072 - 0,002)}$$

$$\Rightarrow x_3 = 0,0007845885$$

$$R = 1,2$$

$$Rx_3 = u \rightarrow 1,2 \cdot x_3 = u$$

$$\Rightarrow u = 0,007845885$$

$$\Rightarrow x_2 = 0 , x_1 = 0,002 , x_3 = 0,0007845885 , u = 0,007845885$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ \alpha & 0 & \beta \\ 0 & 0 & -\frac{1}{L} \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{1}{L} \end{bmatrix} \quad (1 \text{ zeb})$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad D = 0$$

$$\alpha = \frac{C}{\mu} x_3^2 \left( \frac{+1}{(0,0072 - x_1)^2} \right) = +\frac{7000}{0,0844} x_3^2 \times \frac{1}{(0,0072 - x_1)^2} = +18,1,8826,146$$

$$\beta = \frac{e}{\mu} \times \frac{1}{0,0072 - x_1} \times (2x_3) = 25027,886893911$$

$$\hat{x} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ \alpha & 0 & \beta \\ 0 & 0 & -86,95621739 \end{bmatrix} \hat{x} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 8,695652174 \end{bmatrix} \hat{u}$$

$$\hat{x} = \begin{bmatrix} x_1 - 0,002 \\ x_2 \\ x_3 - 0,007845885 \end{bmatrix} \quad \hat{u} = u - 0,007845885$$

$$\hat{j} = [1 \ 0 \ 0] \hat{x} \quad \hat{j} = j - 0,002$$

با استفاده از متلب :

```
x1_star_temp = 2x1
0.0020
0.0020

x2_star_temp = 2x1
0
0

x3_star_temp = 2x1
10^-3 *
-0.7843
0.7843

u_star_temp = 2x1
-0.0078
0.0078
```

```
eq1 = x2 = 0
eq2 =
-  $\frac{17500000 x_3^2}{211 (x_1 - \frac{9}{1250})} - \frac{981}{100} = 0$ 
eq3 =
 $\frac{200 u}{23} - \frac{2000 x_3}{23} = 0$ 
eq4 =
 $x_1 = \frac{1}{500}$ 
```

```

A = 3x3
104 ×
    0      0.0001      0
    0.1887      0      2.5019
    0      0     -0.0087

B = 3x1
    0
    0
    8.6957

C = 1x3
    1      0      0

D = 0

```

```

xdot =

$$\begin{pmatrix} \bar{x}_2 \\ \frac{4148997358798149 \bar{x}_1}{2199023255552} + \frac{6877083471168677 \bar{x}_3}{274877906944} - \frac{7414375830148863828815892777396481}{316912650057057350374175801344000} \\ \frac{200 u}{23} - \frac{2000 \bar{x}_3}{23} + \frac{904236336063150125}{13258597302978740224} \end{pmatrix}$$

y =

$$\bar{x}_1 - \frac{1}{250}$$


```

```

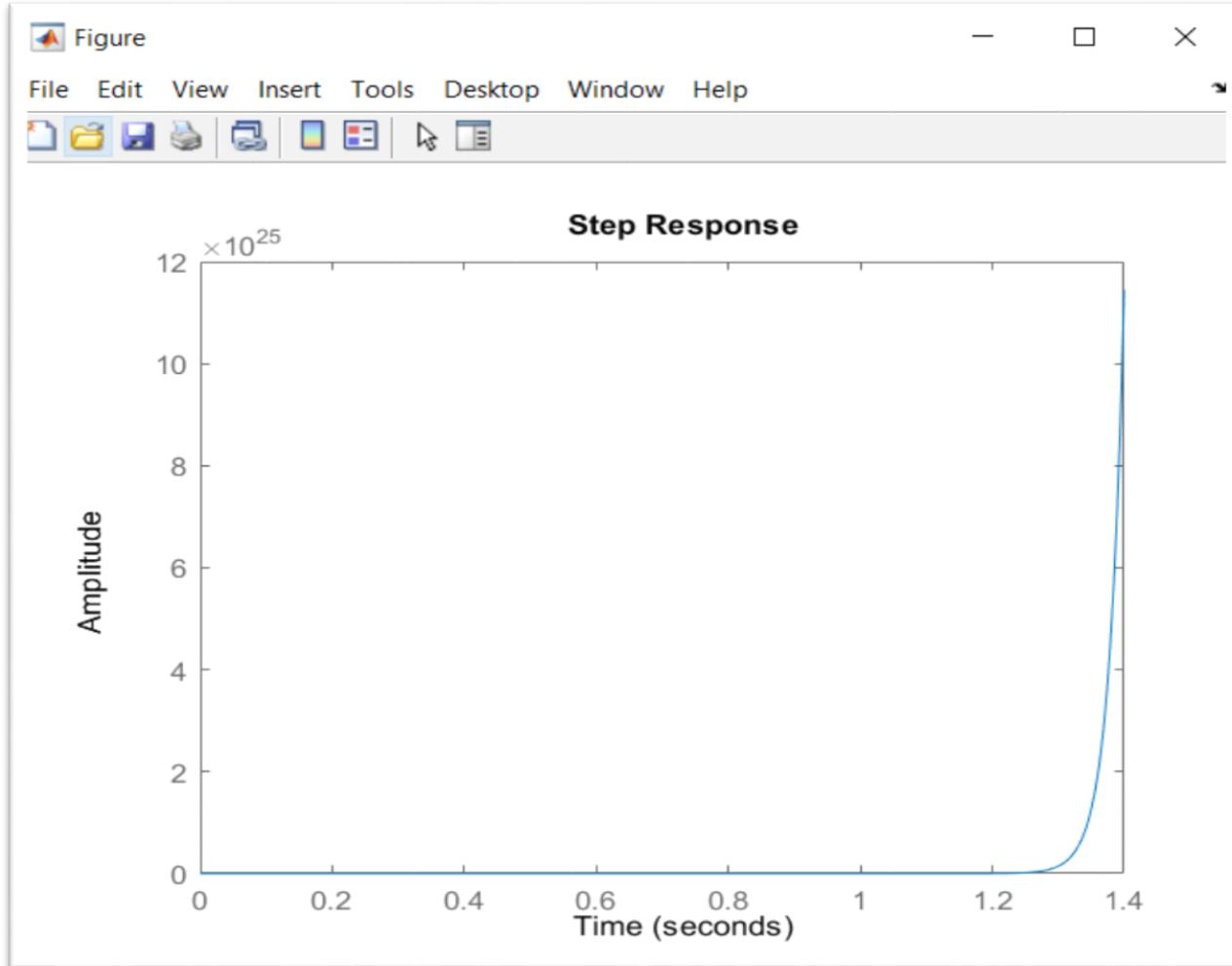
gp =
2.176e05
-----
s^3 + 86.96 s^2
- 1887 s
- 1.641e05

```

Continuous-time transfer function.

(2)

پاسخ پله تابع تبدیل  $gp$  (بدون کنترلر !!!) :



همانطور که مشخص است ناپایدار است .

حال با استفاده از PID Tuner یک کنترلر PID مطلوب برای سیستم طراحی میکنیم :

ضرائب PID :

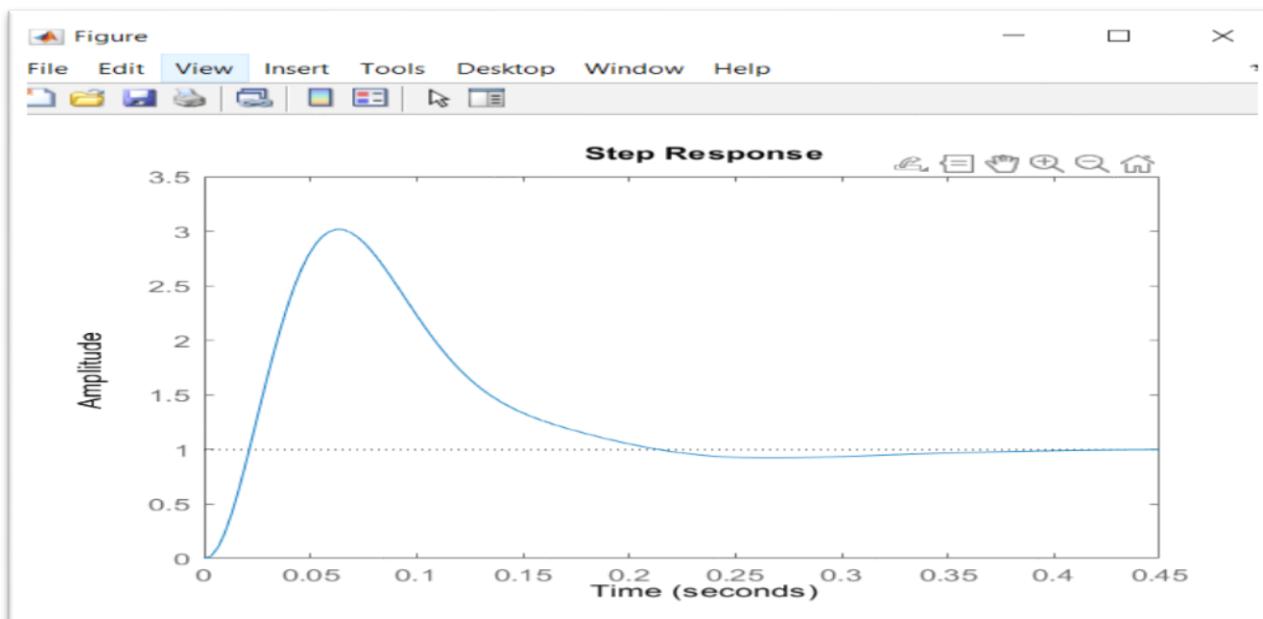
$N = 1000;$	$K_p = 1.2377$
	$K_i = 5.3762$
	$K_d = 0.0311$

: PID

$$G_C = \frac{32.32 s^2 + 1243 s + 5376}{s^2 + 1000 s}$$

Continuous-time transfer function.

پاسخ پله بعد از اعمال کنترل طراحی شده :



پارامتر های حالت ماندگار و گذرا (استپ برابر 1) :

```
dts = struct with fields:
    RiseTime: 0.0134
    TransientTime: 0.3330
    SettlingTime: 0.3697
    SettlingMin: 0.9246
    SettlingMax: 3.0155
    Overshoot: 201.5520
    Undershoot: 0
    Peak: 3.0155
    PeakTime: 0.0622
```

و همان طور که مشخص است خطای حالت ماندگار برابر صفر است.

تحلیل کنترلر :

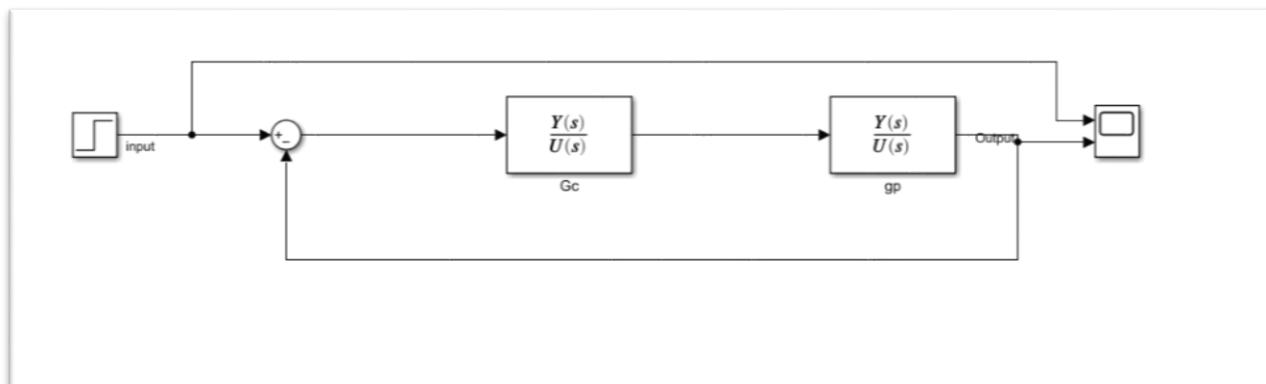
هنگام Tune PID با تغییر مشخصه ها به چند صورت به خطای حالت ماندگار صفر می رسیدیم :

- 1- دارای یک اورشوت بزرگ
- 2- دارای یک اورشوت کوچکتر اما همچنین دارای اندرشوت
- 3- دارای حالت نوسانی در بخش گذرا ولی اورشوت بسیار کوچکتر

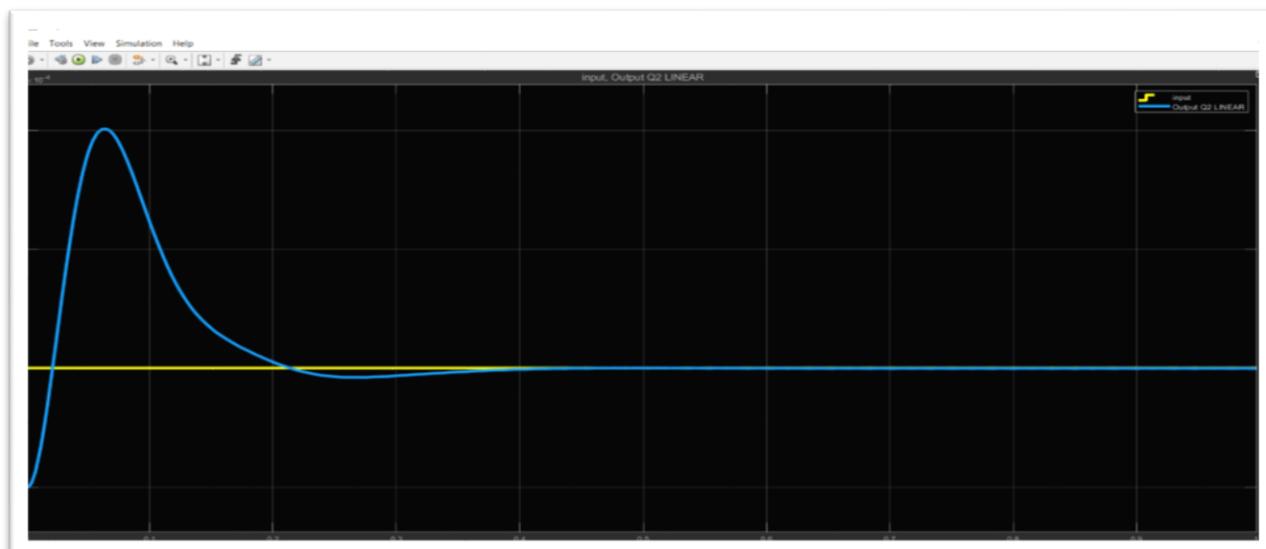
در اینجا ما حالت دو را انتخاب کردیم.

سیمولینک :

بلاک :



نتایج شبیه سازی :



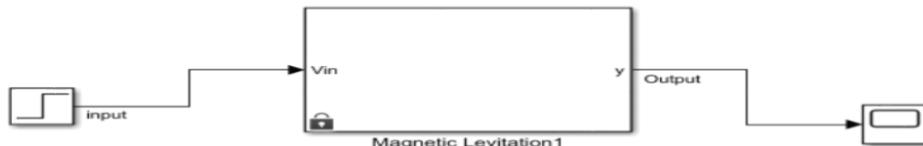
پارامتر ها (استپ برابر 0.0001) :

```
ans = struct with fields:  
    RiseTime: 0.0136  
    TransientTime: 0.3329  
    SettlingTime: 0.3703  
    SettlingMin: 9.2344e-05  
    SettlingMax: 3.0138e-04  
    Overshoot: 201.6812  
    Undershoot: 0  
    Peak: 3.0138e-04  
    PeakTime: 0.0646
```

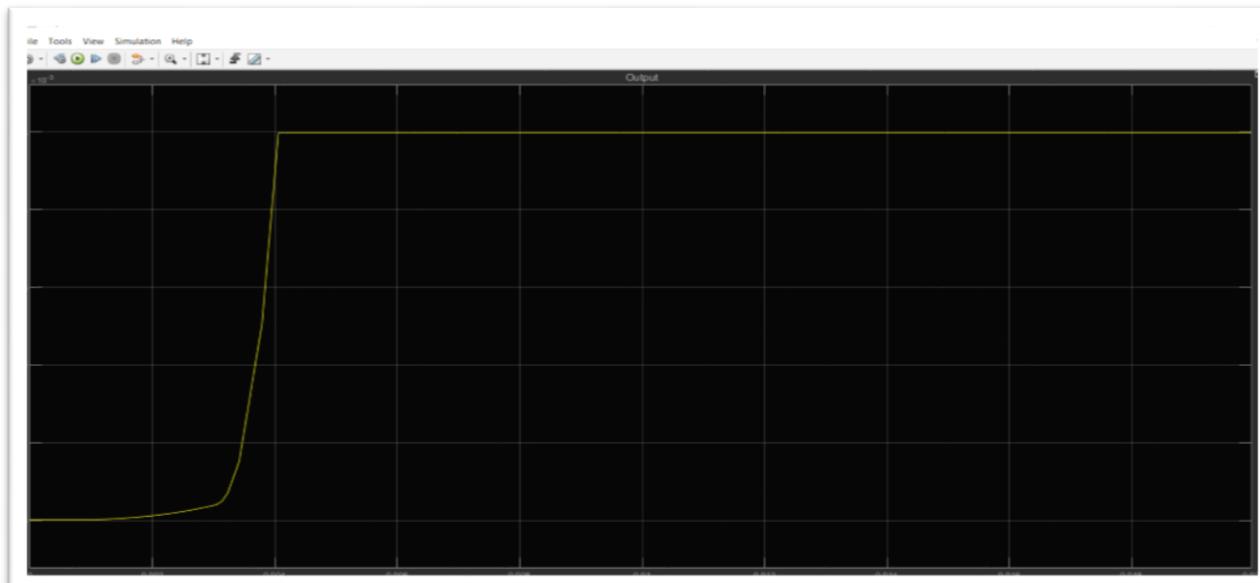
سیستم غیر خطی:

بدون کنترلر:

بلاک:

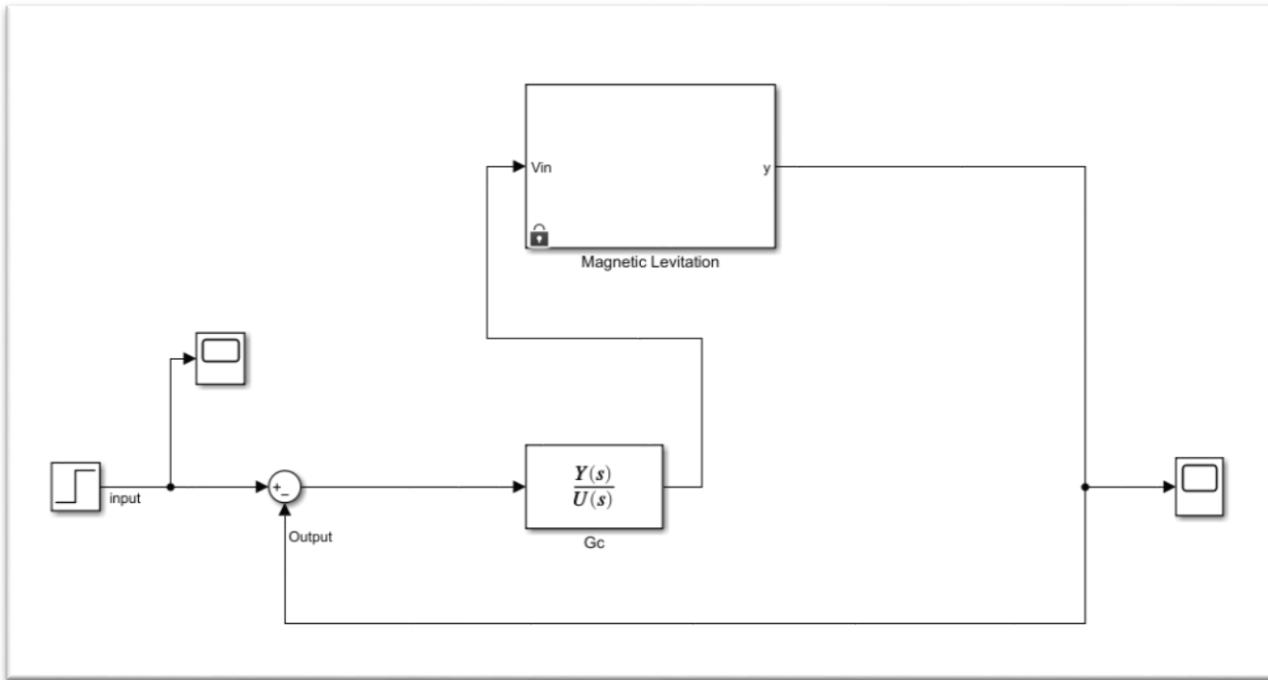


خروجی:

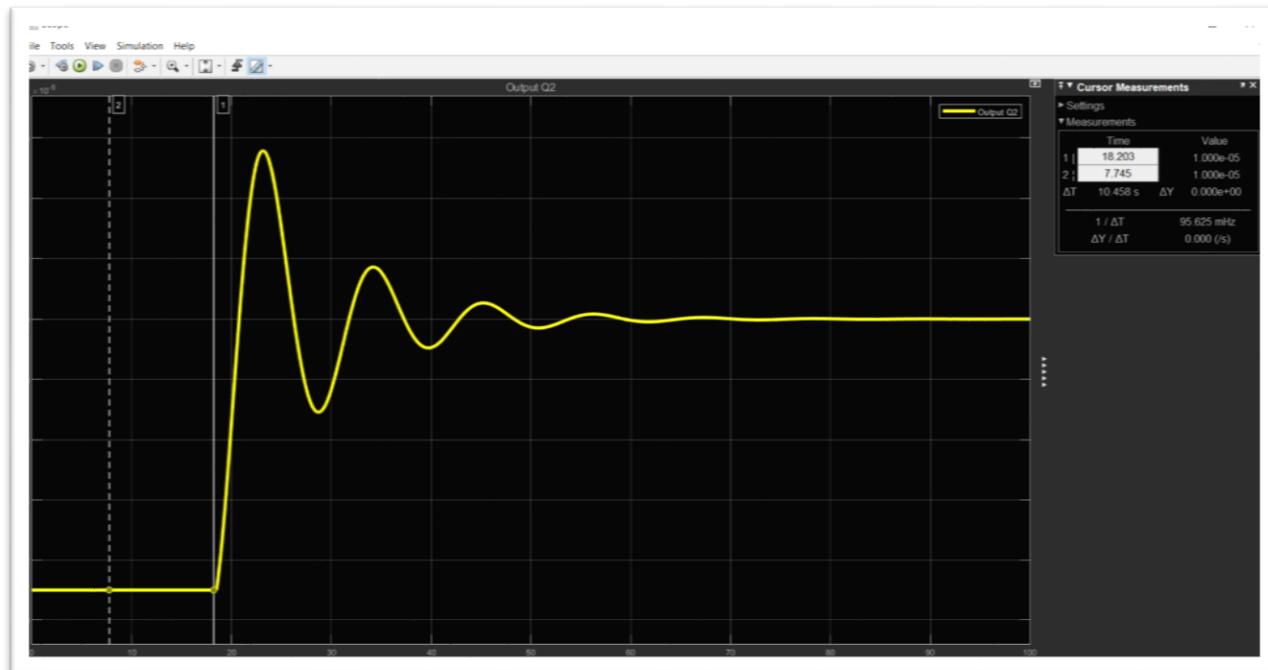


با کنترلر:

بلک:



خروجی:



پارامتر ها :

```
ans = struct with fields:  
    RiseTime: 2.0350  
    TransientTime: 52.4401  
    SettlingTime: 52.2687  
    SettlingMin: 6.9104e-05  
    SettlingMax: 1.5571e-04  
    Overshoot: 55.6874  
    Undershoot: 0  
    Peak: 1.5571e-04  
    PeakTime: 23.1477
```

(3)

نرخ های نمونه برداری :

```
Ts = [5 0.1 0.01 0.001];
```

توابع تبدیل :

```
Gd_ZPmatched_T2 =
0.9808 z^2
- 0.9495 z
+ 0.015
-----
z^2 - z + 3.72e-44

Sample time: 0.1 seconds
Discrete-time transfer function.
Gd_Bilinear_T2 =
1.404 z^2 - 0.8485 z
- 0.4645
-----
z^2 - 0.03922 z
- 0.9608

Sample time: 0.1 seconds
Discrete-time transfer function.
```

```
Gd_ZPmatched_T1 =
2.532 z^2 - 0.2165 z
+ 4.269e-91
-----
z^2 - z

Sample time: 5 seconds
Discrete-time transfer function.
Gd_Bilinear_T1 =
2.119 z^2 + 2.297 z
+ 0.214
-----
z^2 - 0.0007997 z
- 0.9992

Sample time: 5 seconds
Discrete-time transfer function.
```

```

Gd_ZPmatched_T4 =
14.71 z^2 - 28.82 z
+ 14.11
-----
z^2 - 1.368 z
+ 0.3679

Sample time: 0.001 seconds
Discrete-time transfer function.

Gd_Bilinear_T4 =
15.51 z^2 - 30.39 z
+ 14.88
-----
z^2 - 1.333 z
+ 0.3333

Sample time: 0.001 seconds
Discrete-time transfer function.

```

```

Gd_ZPmatched_T3 =
2.789 z^2 - 4.621 z
+ 1.836
-----
z^2 - z + 4.54e-05

Sample time: 0.01 seconds
Discrete-time transfer function.

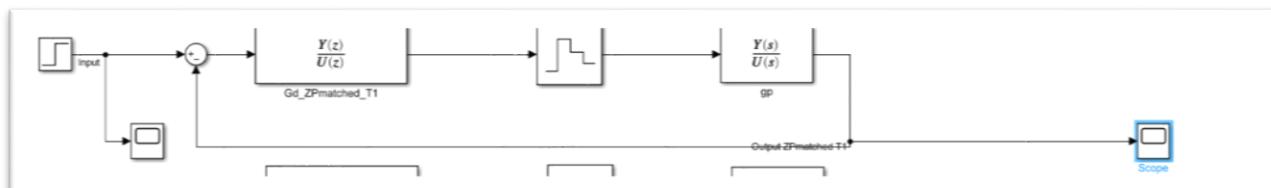
Gd_Bilinear_T3 =
4.595 z^2 - 7.594 z
+ 3.007
-----
z^2 - 0.3333 z
- 0.6667

Sample time: 0.01 seconds
Discrete-time transfer function.

```

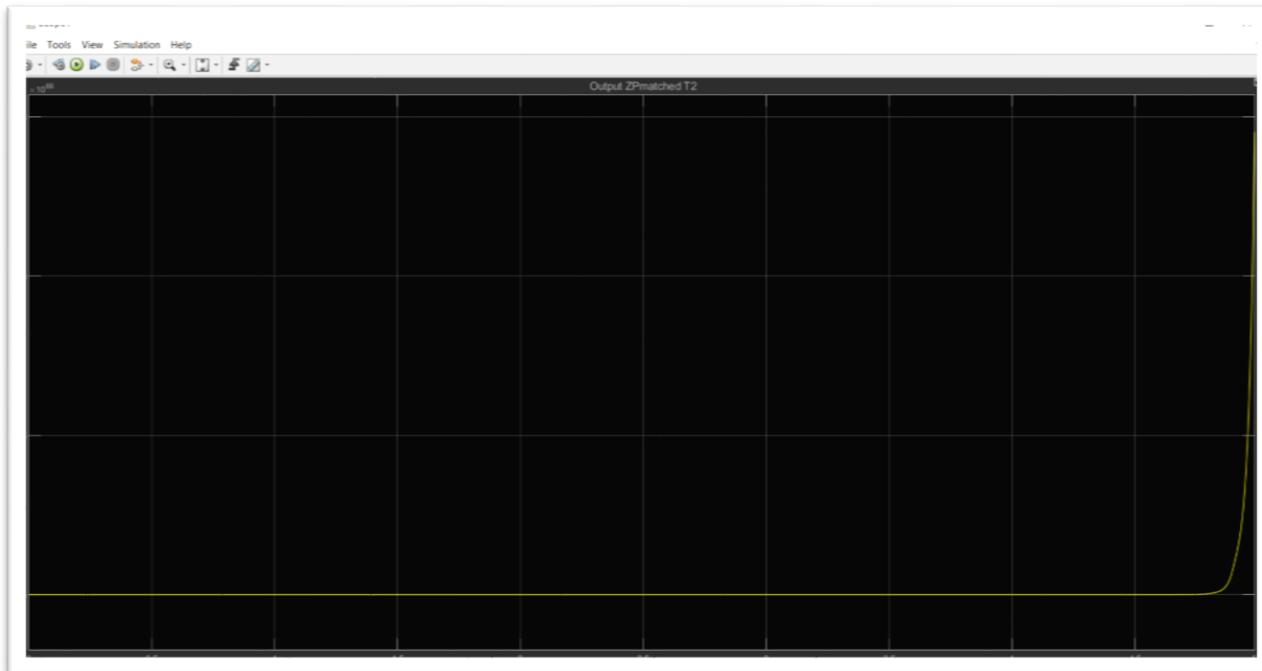
سیمولینک :

Ts=5

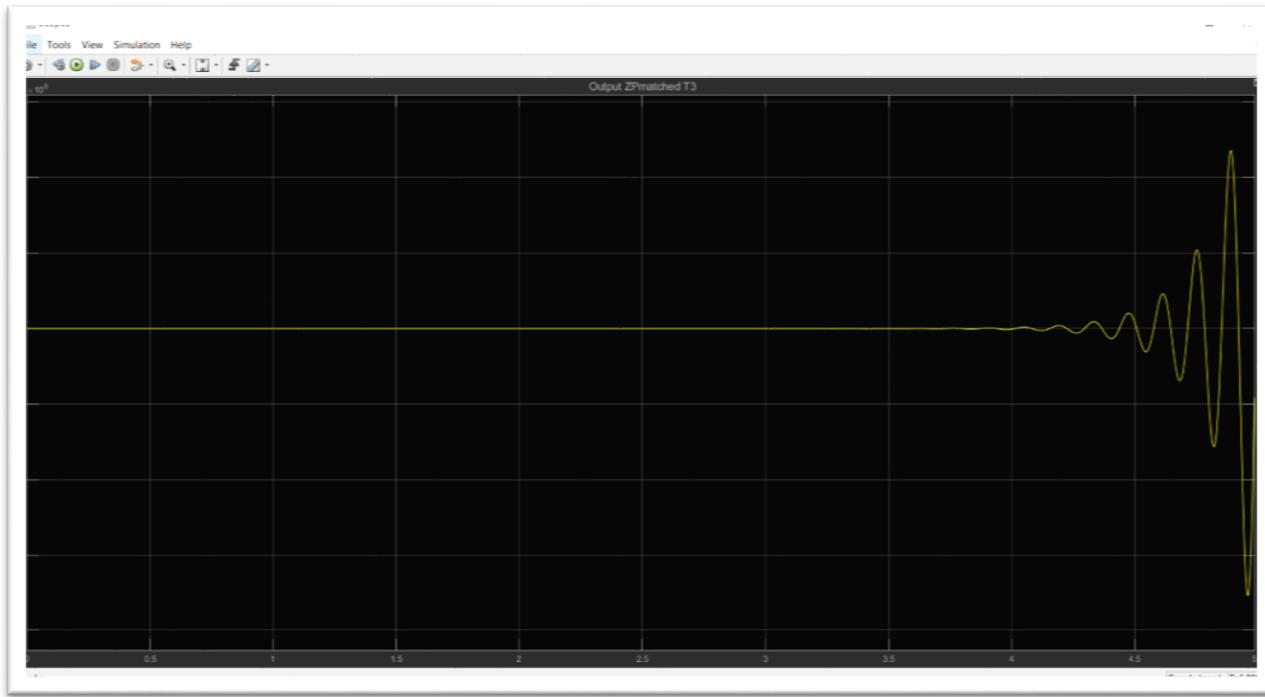




$T_s=0.1$



$T_s=0.01$



$T_s=0.001$



همانطور که میبینیم برای دو نرخ نمونه برداری 5 و 0.1 در هر دو حالت صفر و قطب تطبیق یافته و تبدیل دو خطی ناپایدار میشوند.

برای نرخ نمونه برداری 0.01 در حالت تطبیق صفر و قطب به جوابی نامطلوب میرسیم و برای تبدیل دو خطی به جوابی پایدار ولی متفاوت با انالوگ میرسیم.

برای 0.001 اما در حالت تطبیق صفر و قطب به پاسخی بسیار شبیه و مطلوب به انالوگ میرسیم ولی در حالت تبدیل دو خطی به پاسخ مطلوب نمیرسیم.

پس با نرخ نمونه برداری 0.001 و تطبیق صفر و قطب گسسته سازی میکنیم.

پارامتر های انالوگ :

```
ans = struct with fields:  
    RiseTime: 0.0136  
    TransientTime: 0.3329  
    SettlingTime: 0.3703  
    SettlingMin: 9.2344e-05  
    SettlingMax: 3.0138e-04  
    Overshoot: 201.6812  
    Undershoot: 0  
    Peak: 3.0138e-04  
    PeakTime: 0.0646
```

پارامتر های گسسته شده :

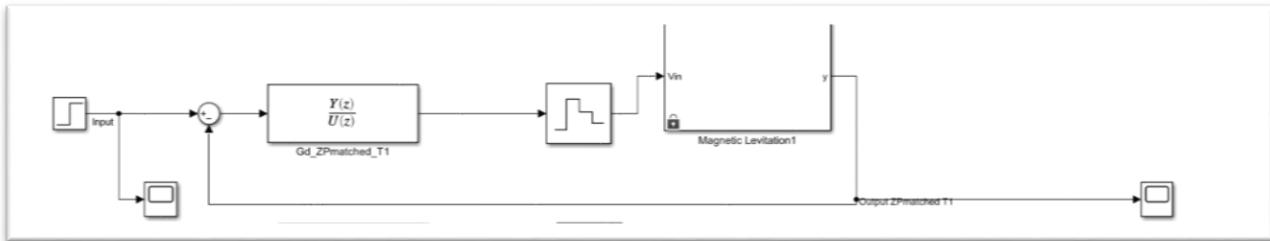
```
ans = struct with fields:  
    RiseTime: 0.0132  
    TransientTime: 0.3174  
    SettlingTime: 0.3616  
    SettlingMin: 9.1682e-05  
    SettlingMax: 3.1203e-04  
    Overshoot: 212.0296  
    Undershoot: 0  
    Peak: 3.1203e-04  
    PeakTime: 0.0630
```

تابع تبدیل گسسته شده :

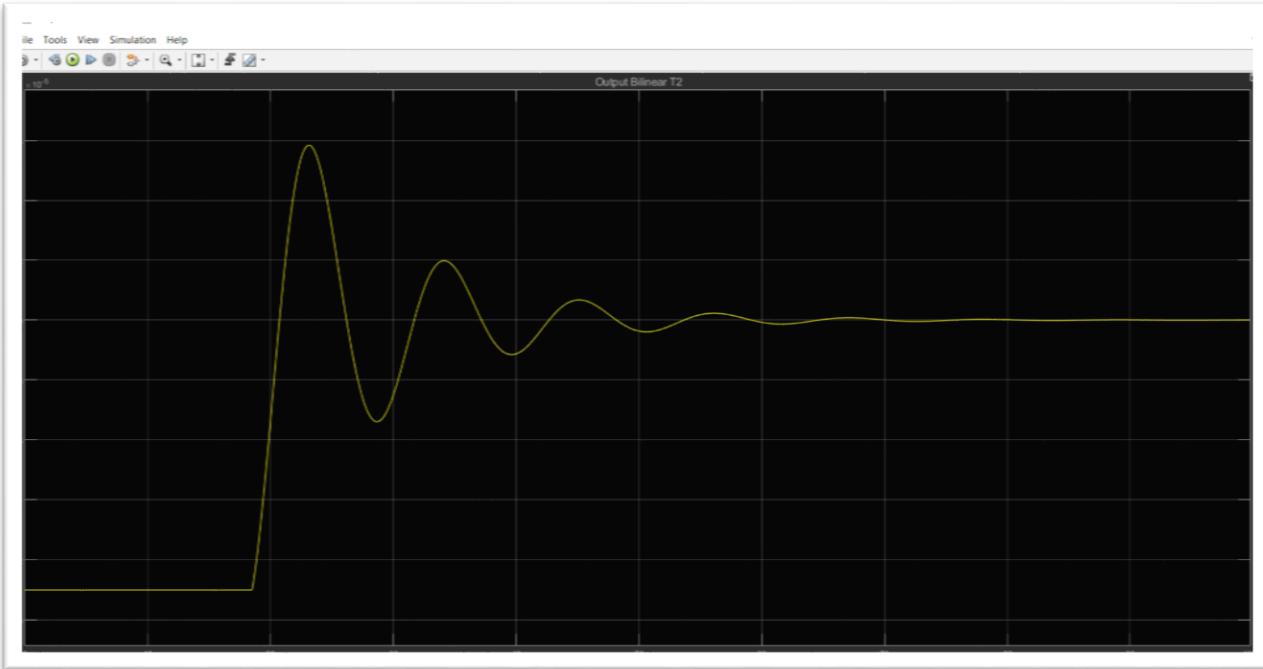
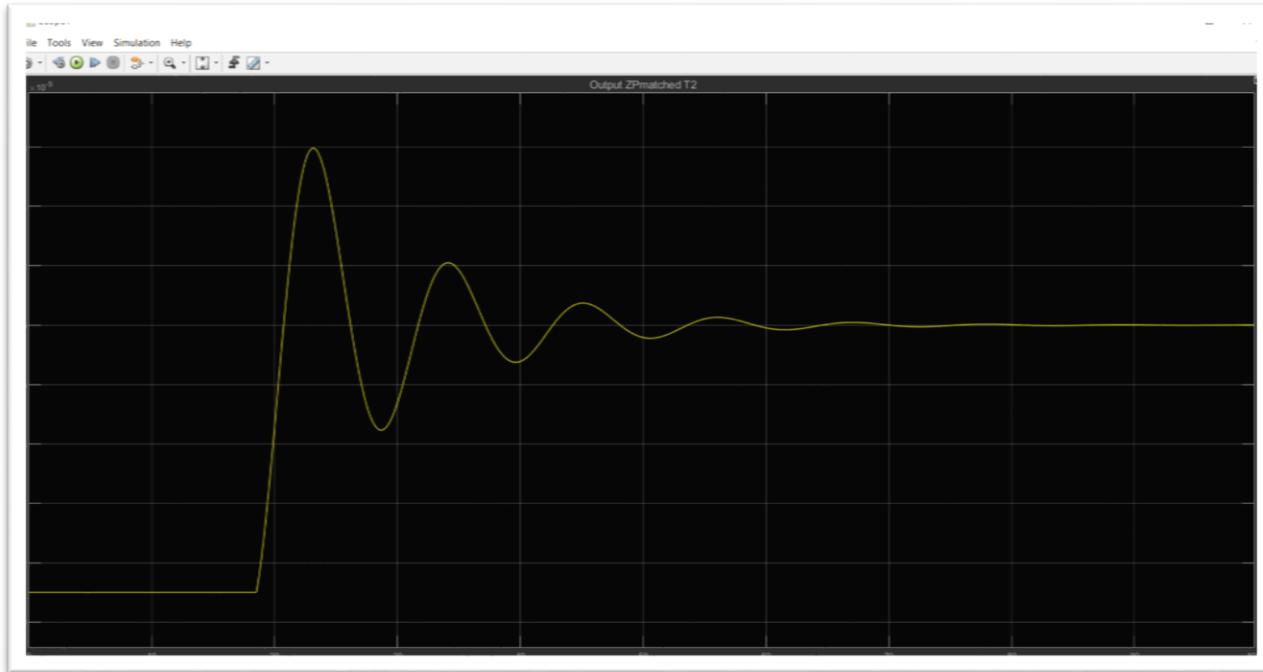
```
Gd =  
  
20.83 z^2 - 40.86 z + 20.04  
-----  
z^2 - 1.368 z + 0.3679  
  
Sample time: 0.001 seconds  
Discrete-time transfer function.
```

سيستم غير خطى :

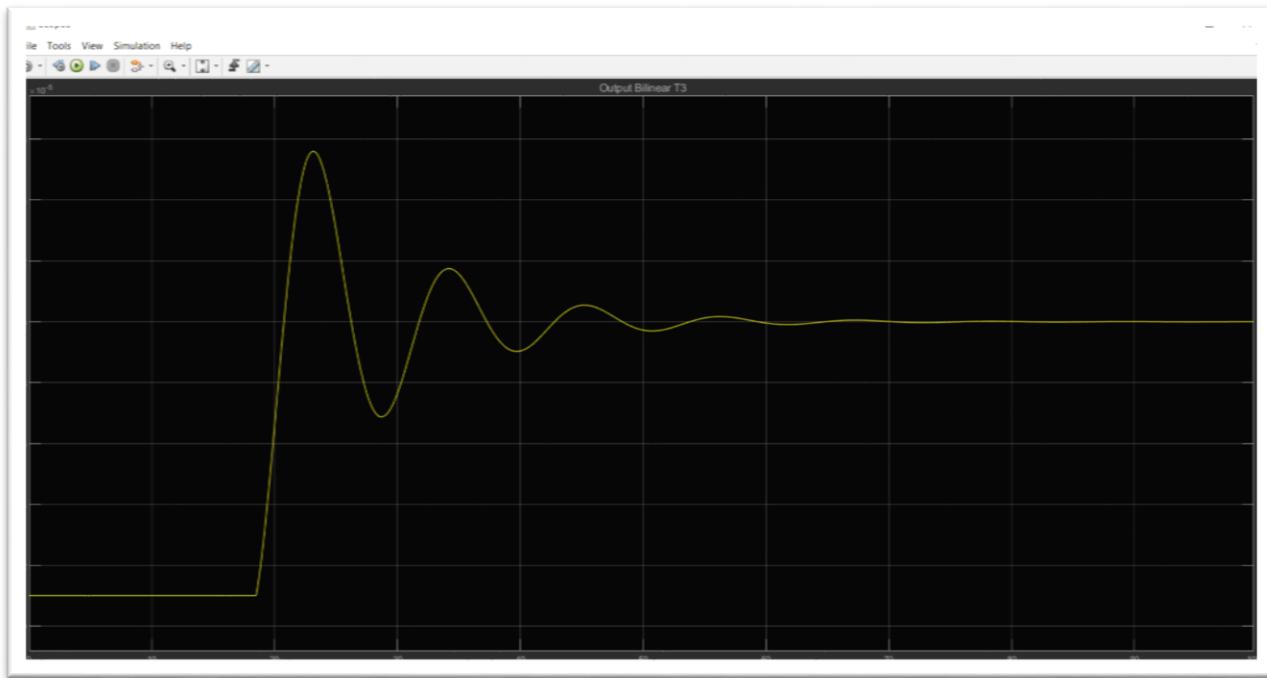
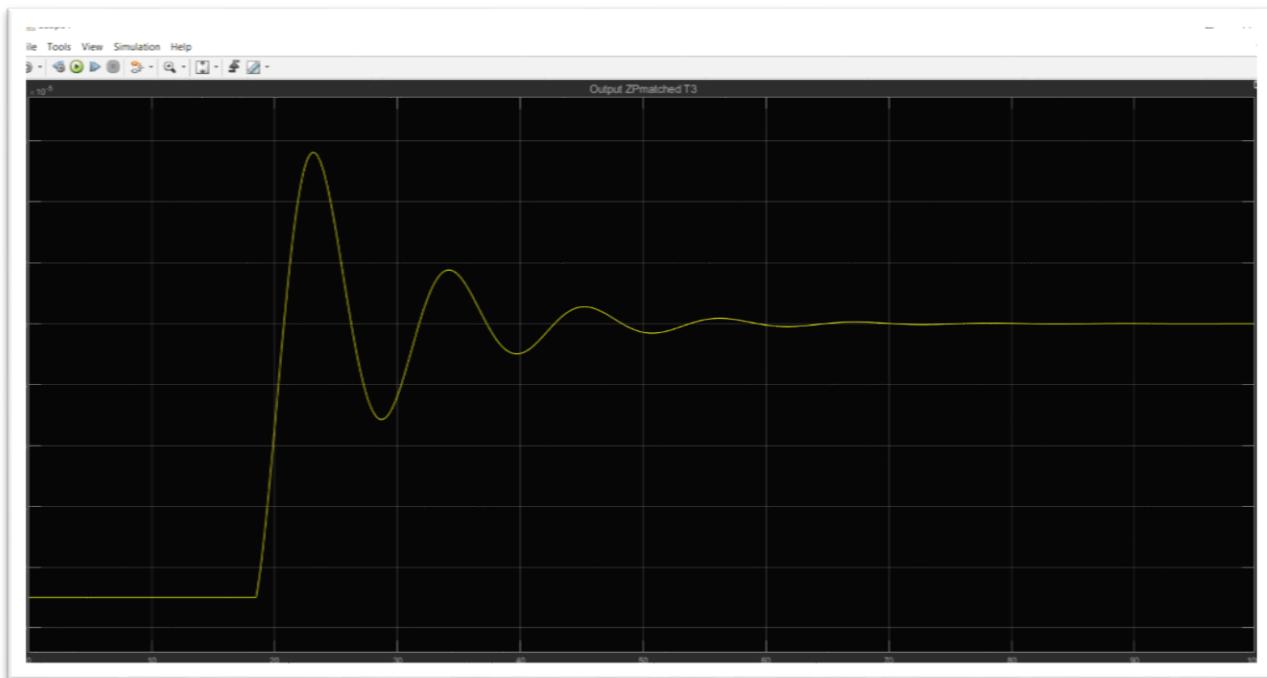
$T_s=5$



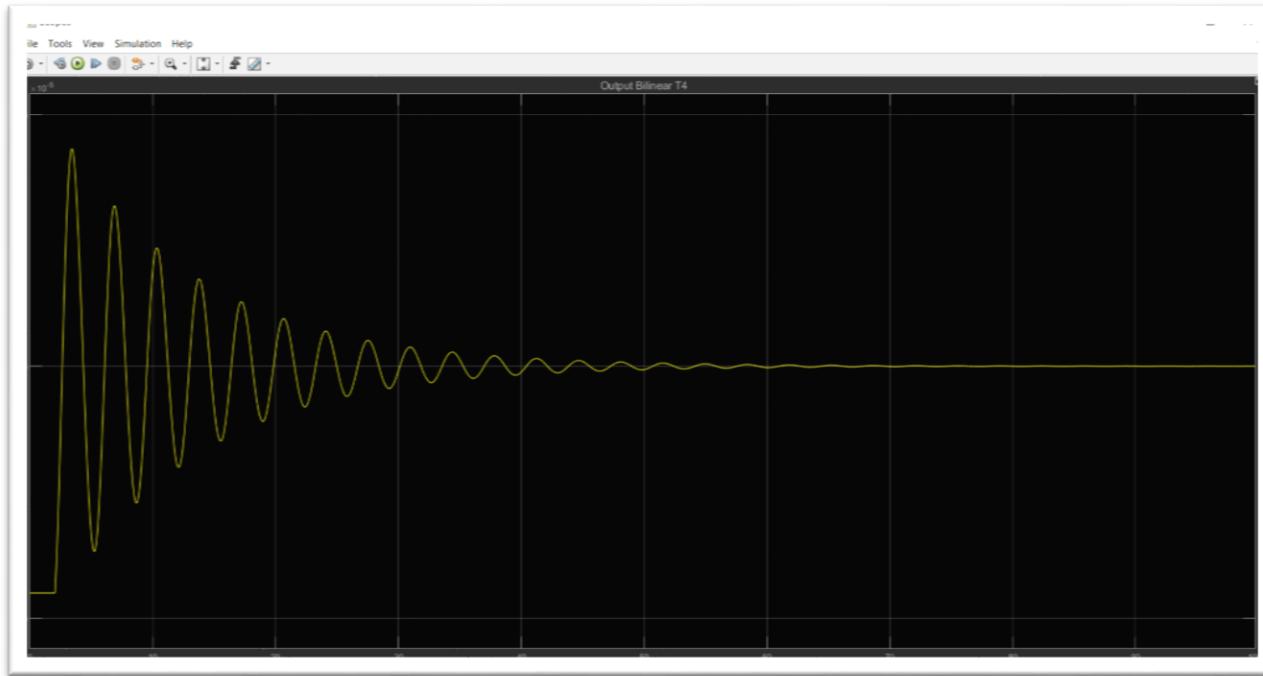
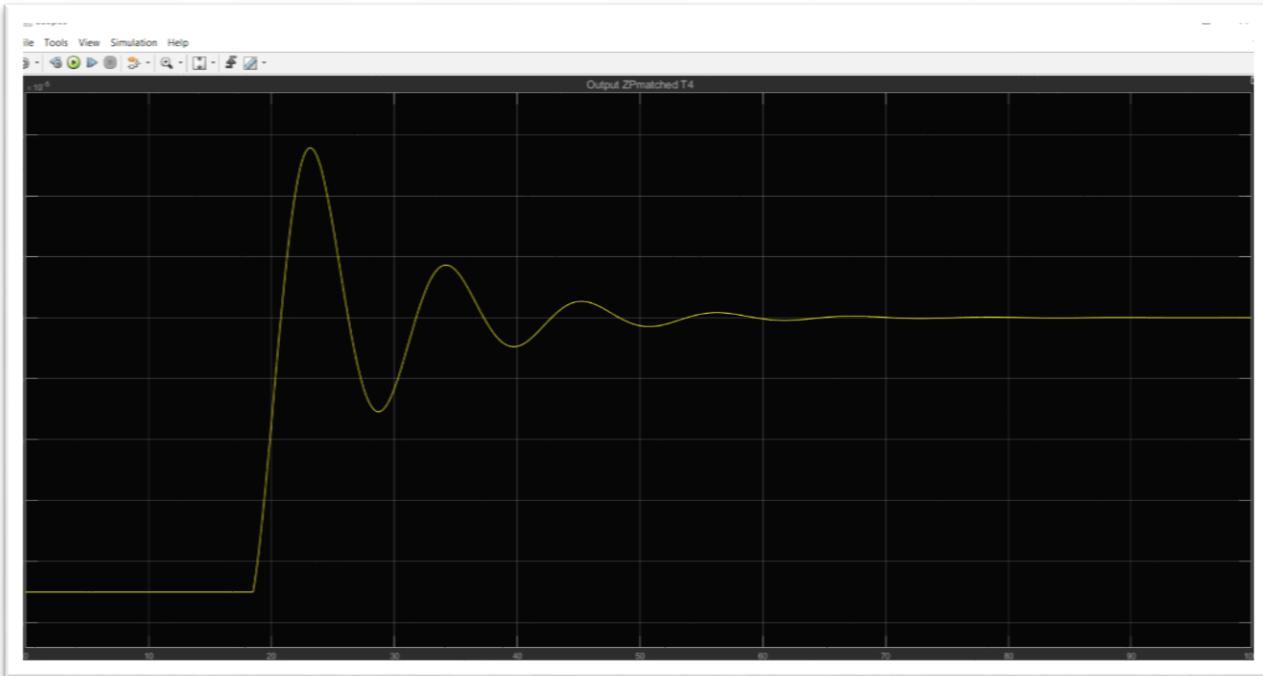
$T_s=0.1$



$Ts=0.01$



$T_s=0.001$



پارامتر ها :

```
ans = struct with fields:  
    RiseTime: 2.0347  
    TransientTime: 52.4433  
    SettlingTime: 52.2728  
    SettlingMin: 6.9071e-05  
    SettlingMax: 1.5574e-04  
    Overshoot: 55.7176  
    Undershoot: 0  
    Peak: 1.5574e-04  
    PeakTime: 23.1477
```

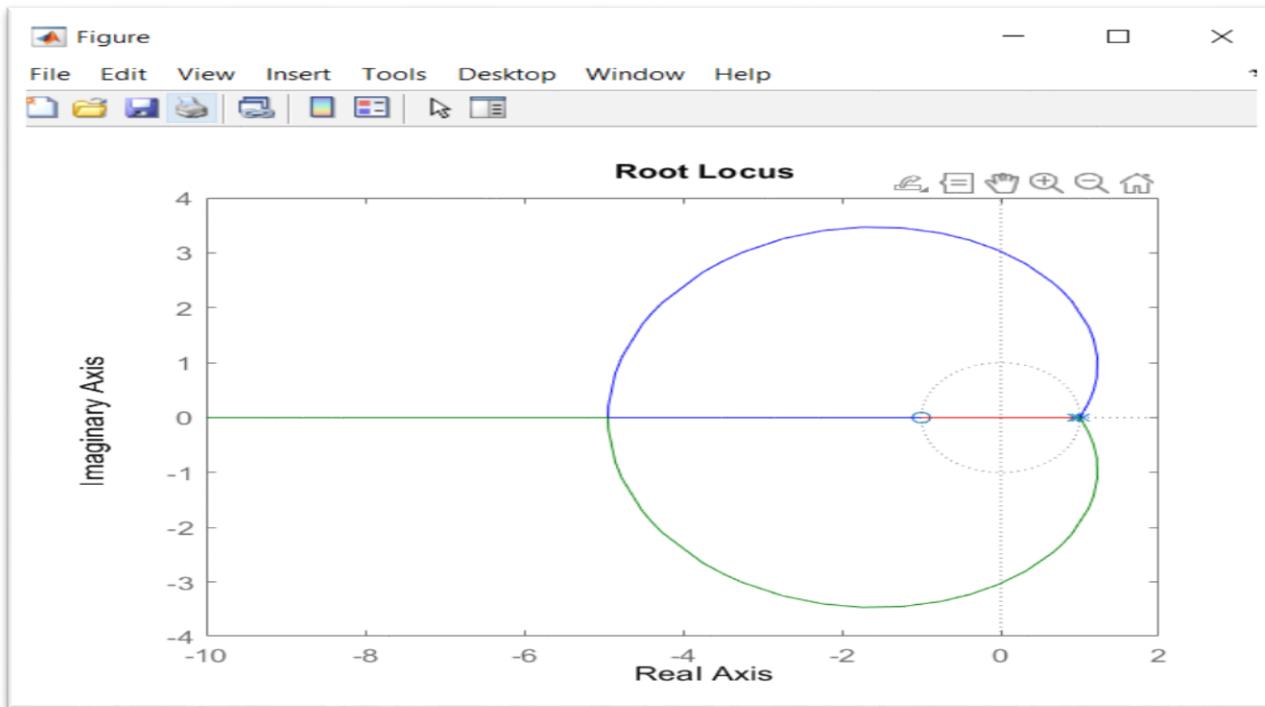
(4)

تابع تبدیل گسسته سازی شده به همراه قطب و صفر :

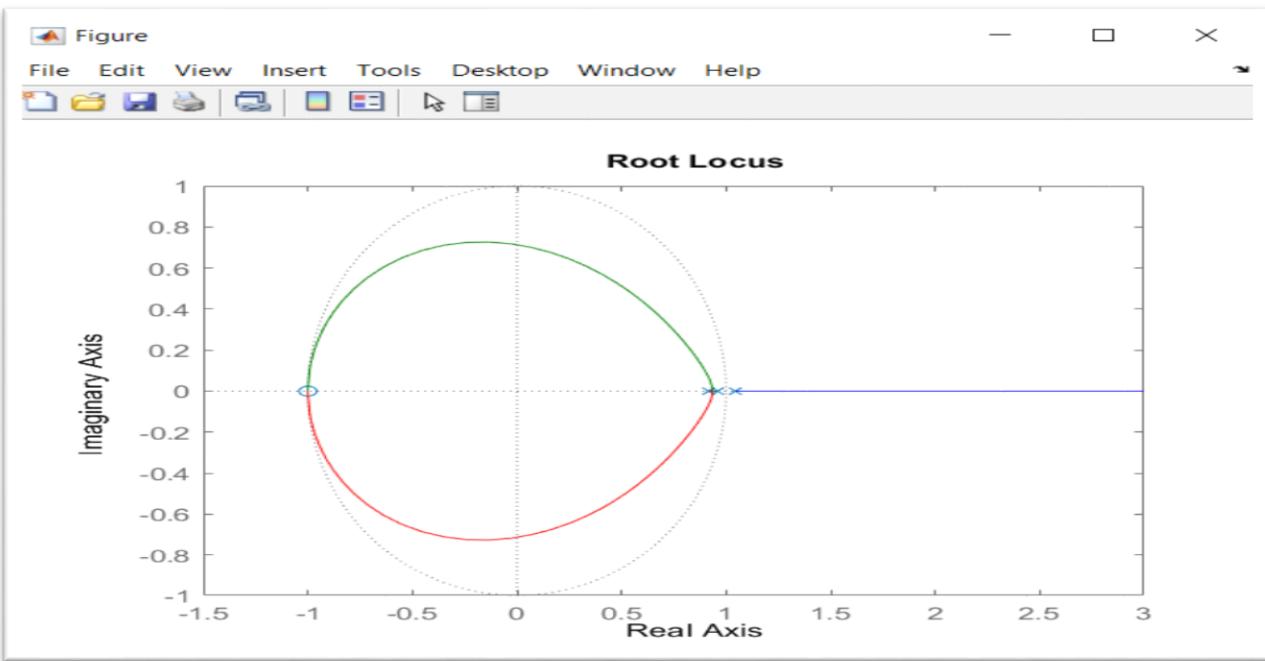
```
Gp_z =  
  
      5.21e-05 z^2  
      + 0.0001042 z  
      + 5.21e-05  
-----  
      z^3 - 2.919 z^2  
      + 2.835 z  
      - 0.9167  
  
Sample time: 0.001 seconds  
Discrete-time transfer function.  
poles = 3x1  
      1.0444  
      0.9575  
      0.9167  
  
zeros = 2x1  
      -1  
      -1
```

مکان ریشه :

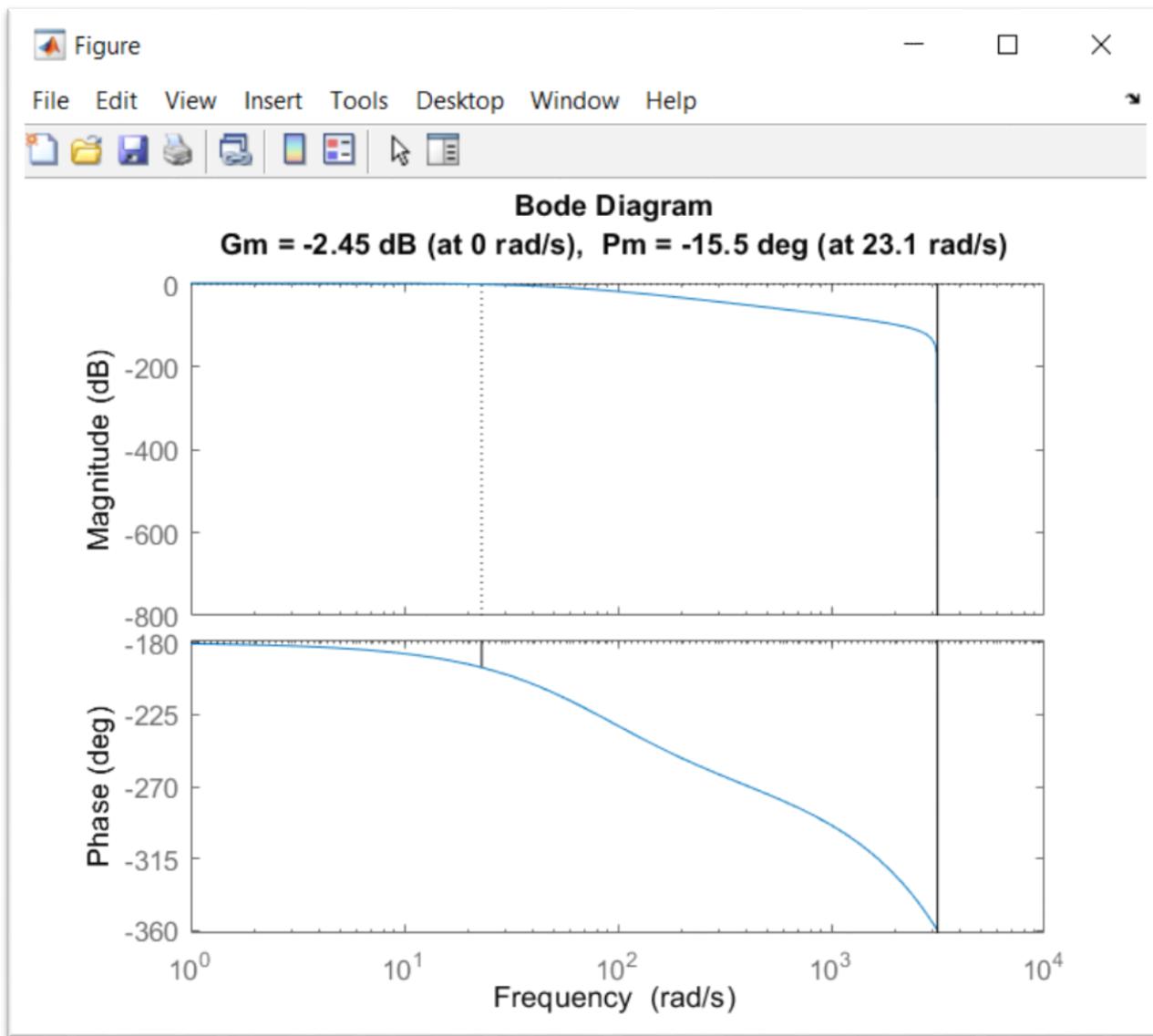
$K$  مثبت



$K$  منفی



بود دیاگرام :



پارامتر ها :

Gm = 0.7541  
Pm = -15.5178  
Wcp = 0  
Wcg = 23.0526  
BW = 3.6689

حل دستی پایداری جوری :

$$\begin{aligned}
 & 1 + K \frac{5,21 \times 10^{-5} z^2 + 0,00010422 + 5,21 \times 10^{-5}}{z^3 - 2,919 z^2 + 2,835 z - 0,9167} \quad (4) \\
 & \Rightarrow z^3 + z^2 (5,21 \times 10^{-5} K - 2,919) + z (2,835 + 0,0001042 K) + 5,21 \times 10^{-5} K - 0,9167 \\
 & \Delta_0 = 1 \rightsquigarrow J \quad \Delta_1 = 1 \Rightarrow 1 + 5,21 \times 10^{-5} K - 0,9167 \quad (1) \\
 & P_{(2)}|_{z=1} \rightsquigarrow 1 + 5,21 \times 10^{-5} K - 2,919 + 2,835 + 0,0001042 K \\
 & \qquad \qquad \qquad + 5,21 \times 10^{-5} K - 0,9167 \rightsquigarrow \\
 & \Rightarrow 2,84 \times 10^{-5} K + 0,0007 \rightsquigarrow \left\{ \begin{array}{l} K \leq 3,359 \\ (2) \end{array} \right. \\
 & (1) \rightsquigarrow -1 + 5,21 \times 10^{-5} K - 0,9167 \leq 1 \\
 & -0,0833 \leq 5,21 \times 10^{-5} K \leq 1,9167 \rightsquigarrow \left\{ \begin{array}{l} K \leq 36782,868 \\ (1) \end{array} \right. \\
 & P_{(2)}|_{z=-1} \leq 0 \rightsquigarrow -1 + 5,21 \times 10^{-5} K - 2,919 - 2,835 - 0,0001042 K + 5,21 \times 10^{-5} K - 0,9167 \\
 & \rightsquigarrow \frac{5,21 \times 10^{-5} K - 0,9167}{2,835 + 0,0001042 K} \leq 1 \quad (1) \\
 & b_2 \qquad \qquad \qquad b_1 \qquad \qquad \qquad b_0 \\
 & |b_2| \geq |b_1| \rightsquigarrow ? \\
 & |2,71441 \times 10^{-9} K^2 - 0,0000955201 K - 0,159661| \rightsquigarrow \\
 & |2,71441 \times 10^{-9} K^2 - 0,00030404 K - 0,159153| \\
 & \text{using Wolfram!!!} \quad \left\{ \begin{array}{l} 0 \leq K \leq 2,43622 \\ \text{or} \\ K \geq 74,389,3 \end{array} \right. \quad (2) \\
 & \text{No } K \text{ cause } \text{for stability!!}
 \end{aligned}$$

همچنین از روی مکان ریشه نیز مشخص است یک قطب خارج دایره واحد دارد و همچنین از روی مقادیر قطب و صفر نیز میتوان گفت که سیستم ناپایدار است.

(5)

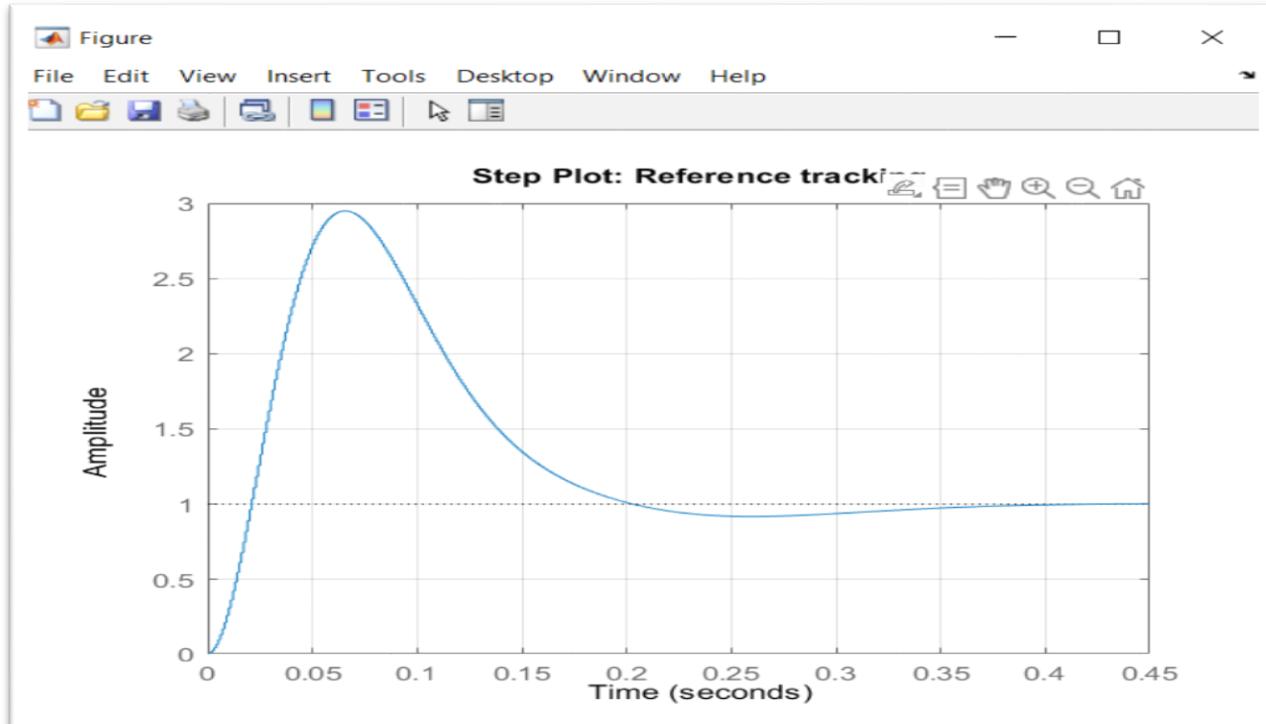
ضرائب کنترلر :

```
Kp_z = 1.2433  
Ki_z = 5.3763  
Kd_z = 0.0317  
N_z = 1000;
```

کنترلر :

```
Gd_z =  
32.96 z^2 - 64.68 z + 31.72  
-----  
z^2 - z  
Sample time: 0.001 seconds  
Discrete-time transfer function.
```

پاسخ پله :



مشخصه های حالت ماندگار و گذرا :

کنترلر بخش 5 :

```
ans = struct with fields:  
    RiseTime: 0.0130  
    TransientTime: 0.3330  
    SettlingTime: 0.3700  
    SettlingMin: 0.9248  
    SettlingMax: 3.0163  
    Overshoot: 201.6255  
    Undershoot: 0  
    Peak: 3.0163  
    PeakTime: 0.0630
```

کنترلر بخش 2 :

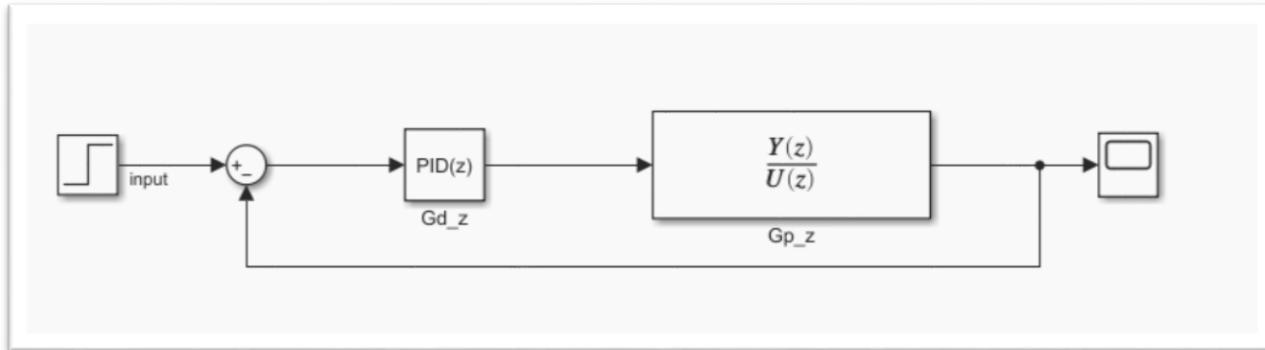
```
ans = struct with fields:  
    RiseTime: 0.0134  
    TransientTime: 0.3330  
    SettlingTime: 0.3697  
    SettlingMin: 0.9246  
    SettlingMax: 3.0155  
    Overshoot: 201.5520  
    Undershoot: 0  
    Peak: 3.0155  
    PeakTime: 0.0622
```

کنترلر بخش 3 :

```
ans = struct with fields:  
    RiseTime: 0.0132  
    TransientTime: 0.3174  
    SettlingTime: 0.3616  
    SettlingMin: 9.1682e-05  
    SettlingMax: 3.1203e-04  
    Overshoot: 212.0296  
    Undershoot: 0  
    Peak: 3.1203e-04  
    PeakTime: 0.0630
```

همان طور که میبینیم در هر دو بخش 3 و 5 مشخصات سیستم نزدیک به بخش 2 می باشد .

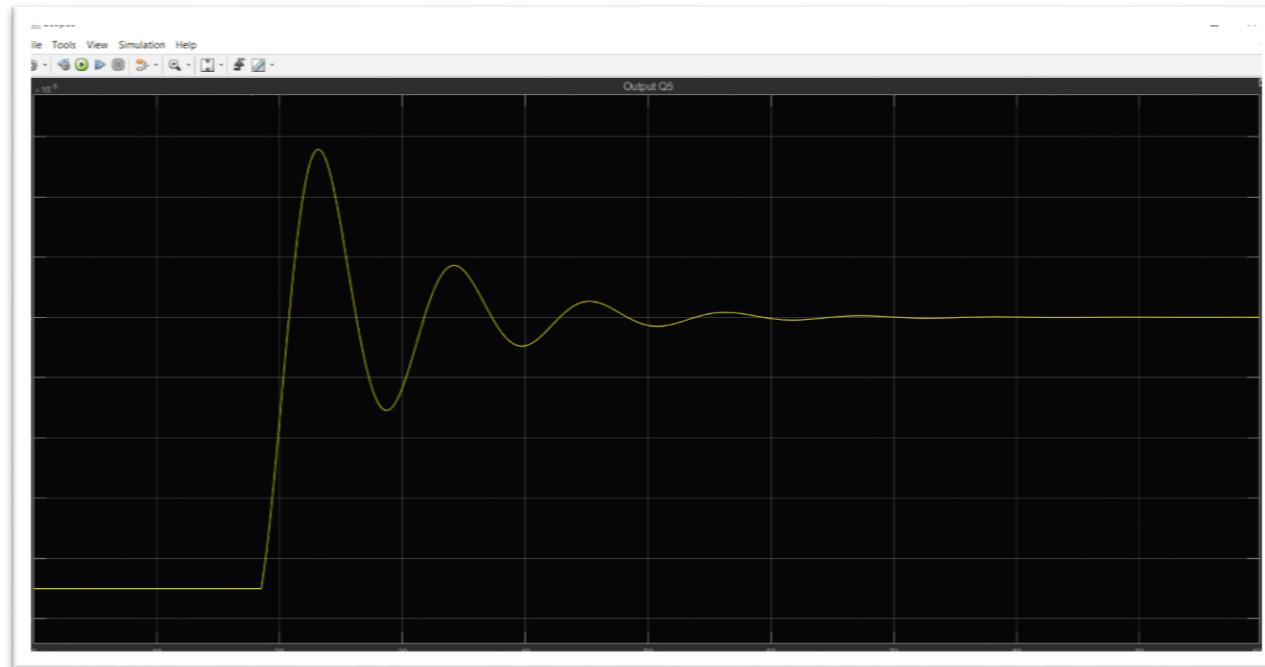
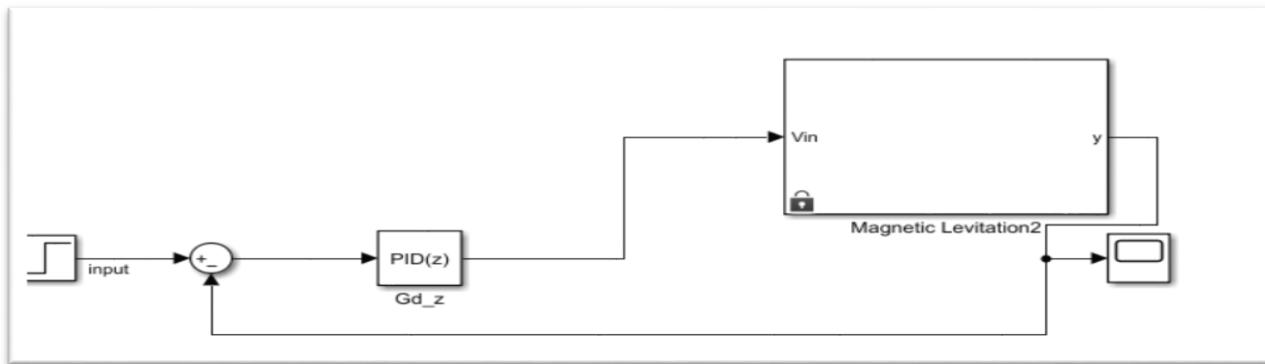
سیمولینک :



پارامتر ها :

```
ans = struct with fields:  
    RiseTime: 0.0134  
    TransientTime: 0.3326  
    SettlingTime: 0.3695  
    SettlingMin: 9.2478e-05  
    SettlingMax: 3.0163e-04  
    Overshoot: 201.6255  
    Undershoot: 0  
    Peak: 3.0163e-04  
    PeakTime: 0.0630
```

سیستم غیر خطی :



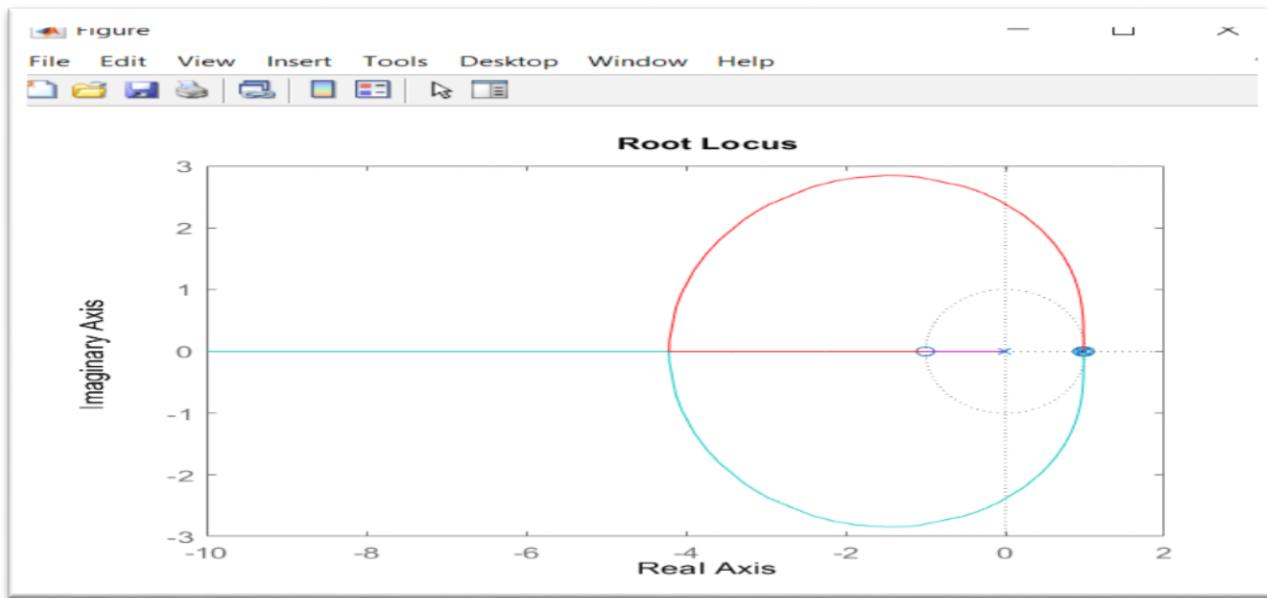
پارامتر ها :

```
ans = struct with fields:  
    RiseTime: 2.0351  
    TransientTime: 52.4385  
    SettlingTime: 52.2671  
    SettlingMin: 6.9106e-05  
    SettlingMax: 1.5571e-04  
    Overshoot: 55.6850  
    Undershoot: 0  
    Peak: 1.5571e-04  
    PeakTime: 23.1472
```

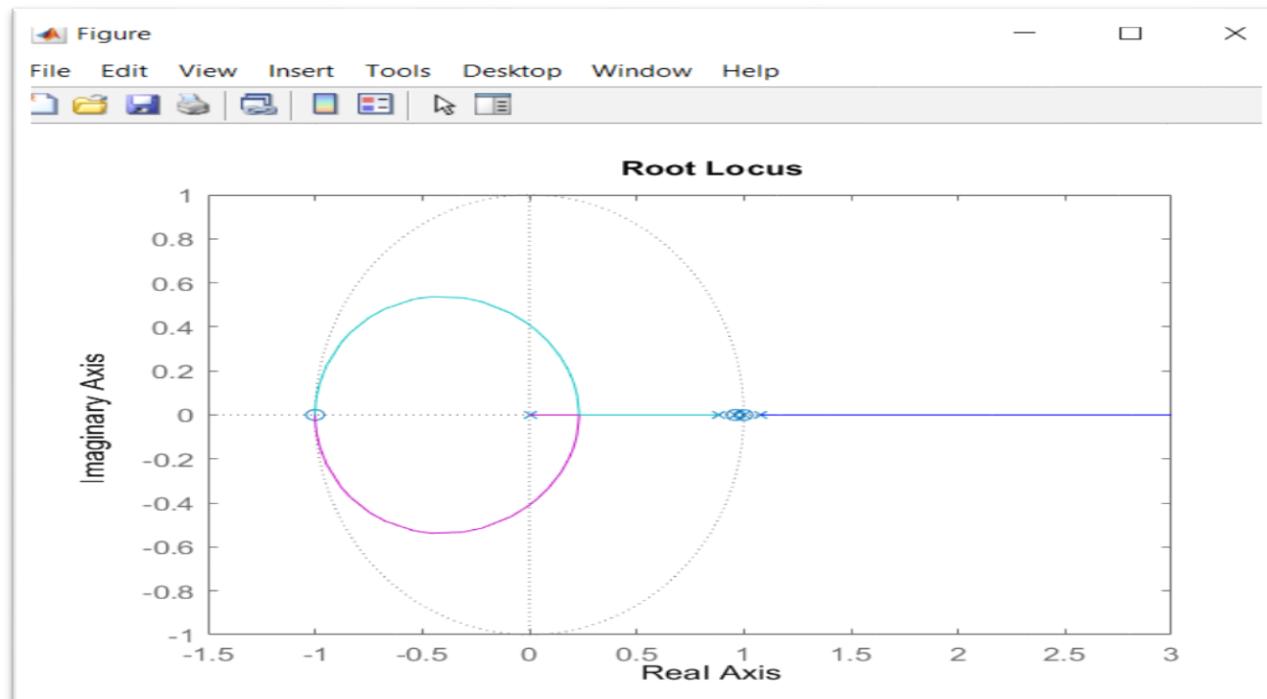
(6)

مکان ریشه :

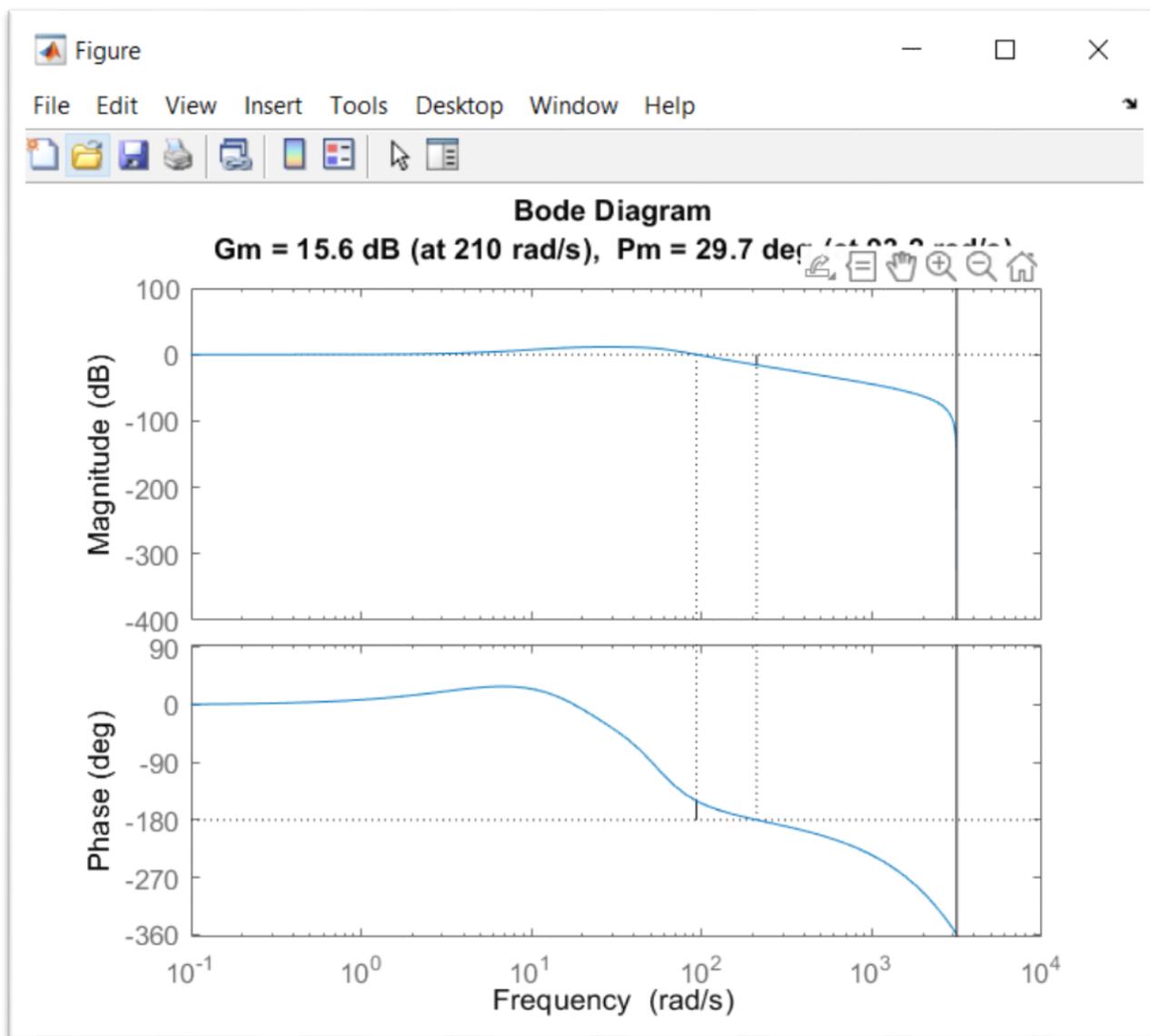
$K$  مثبت



$K$  منفی



بود :



پارامتر ها :

Gm\_z = 6.0361  
Pm\_z = 29.6974  
Wcp\_z = 209.9890  
Wcg\_z = 93.1509  
BW\_Z = 14.8254

صفر و قطب :

```
poles_1 = 5x1 complex
 0.9734 + 0.0473i
 0.9734 - 0.0473i
 0.9859 + 0.0135i
 0.9859 - 0.0135i
 -0.0018 + 0.0000i

zeros_1 = 4x1 complex
 -1.0000 + 0.0000i
 -1.0000 - 0.0000i
 0.9950 + 0.0000i
 0.9671 + 0.0000i
```

```
G_closeloop_z =
 0.001717 z^4 + 6.506e-05 z^3 - 0.003369 z^2 - 6.45e-05 z + 0.001653
-----
z^5 - 3.917 z^4 + 5.754 z^3 - 3.755 z^2 + 0.9167 z + 0.001653

Sample time: 0.001 seconds
Discrete-time transfer function.
```

با توجه به مکان ریشه و قطب و صفر های به دست امده مشخص است که داخل دایره واحد هستند.

همچنین پهنای باند ، حد بهره و حد فاز افزایش یافته است.

(7)

$$G_p(z) = 5.21 \times 10^{-5} \times \frac{z^2 + 2z + 1}{z^3 - 2.919z^2 + 2.835z - 0.9167}$$

$$= 5.21 \times 10^{-5} \times \frac{z^{-1} + 2z^{-2} + z^{-3}}{1 + (-2.919z^{-1}) + 2.835z^{-2} - 0.9167z^{-3}}$$

$$F(z) = f_1 z^{-1} + f_2 z^{-2} + f_3 z^{-3} + f_4 z^{-4}$$

قطب نایاب دارد

$$1 - F(z) = (1 - z^{-1})(1.07679z^{-1})(n_0 + n_1 z^{-1} + n_2 z^{-2})$$

$$f_4 = -n_2, \quad n_0 = \frac{1}{1.07679}, \quad f_2 = -(n_0 - n_1 z_1 + n_2 z_1)$$

$$f_1 = -(n_1 z_1 - n_0 z_1 - n_0), \quad f_3 = -(n_1 - n_2 - n_2 z_1)$$

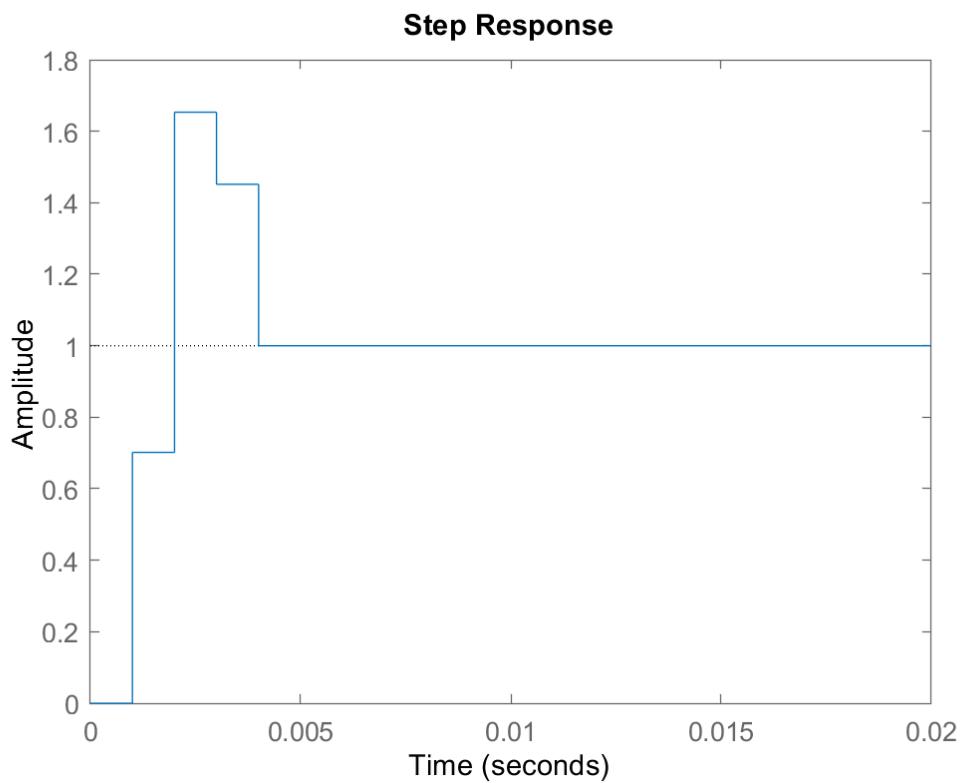
$$F(z) = (1 + z^{-1})^2 (m_0 + m_1 z^{-1} + m_2 z^{-2})$$

$$f_1 = m_1, \quad f_2 = m_1 + m_2, \quad f_3 = m_1 + 2m_2, \quad f_4 = m_2$$

سپس با مطلب معادلات را حل کرده و متغیر ها را بدست آورده و  $F(z)$  را تشکیل میدهیم.

```
f2 = double(f2);
f3 = double(f3);
f4 = double(f4);
F_z = f1*z^(-1)+f2*z^(-2)+f3*z^(-3)+f4*z^(-4);
Gc_z = ((F_z/((1-F_z) * Gp_z)))
```

در نهایت مانند بالا کنترل کننده مرده نوش را طراحی میکنیم.



پاسخ پله به  $F(z)$

مشاهده میشود که پاسخ پله بعد از 3 گام به پایداری میرسد.

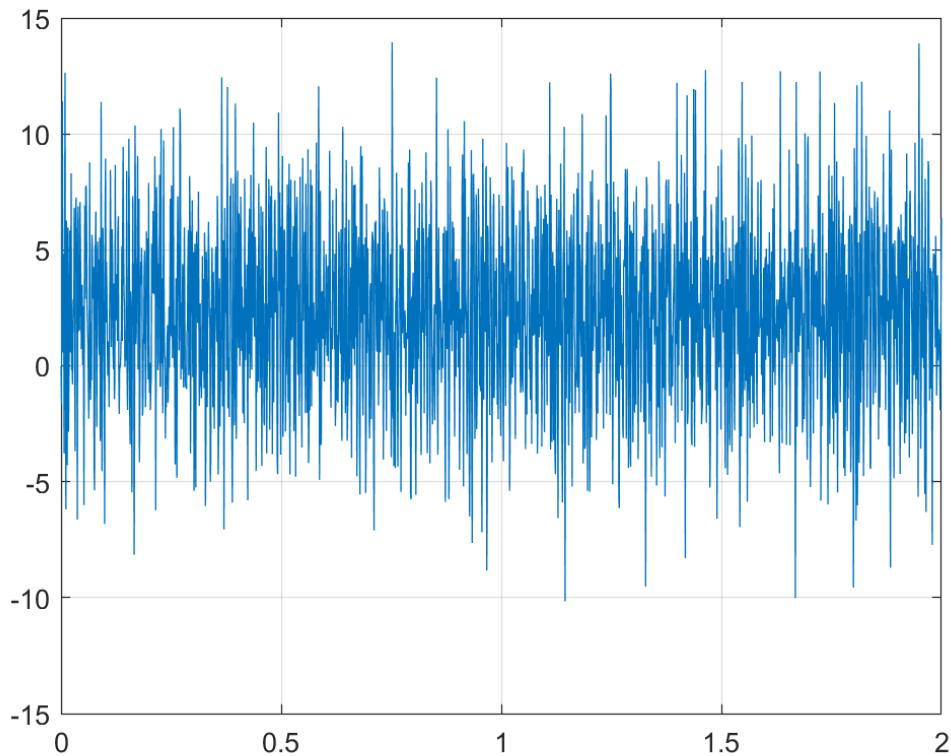
```
Gc_z =
0.7016 z^22 - 1.096 z^21 - 0.9898 z^20 + 2.192 z^19 - 0.1259 z^18 - 1.096 z^17 + 0.414 z^16
-----
5.21e-05 z^22 + 6.764e-05 z^21 - 7.059e-05 z^20 - 0.0001252 z^19 - 5.041e-06 z^18 + 5.756e-05 z^17 + 2.353e-05 z^16
Sample time: 0.001 seconds
Discrete-time transfer function.
```

---

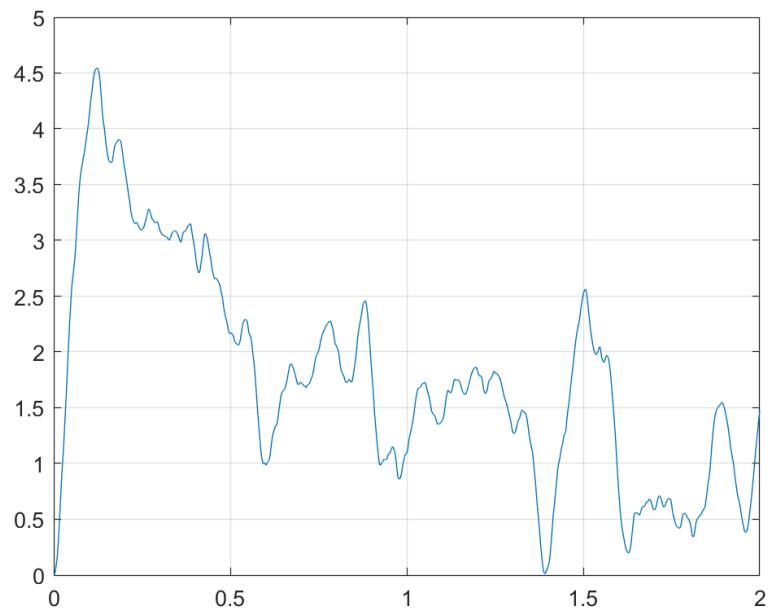
سیستم غیرخطی پایدار نمیشود.

(8)

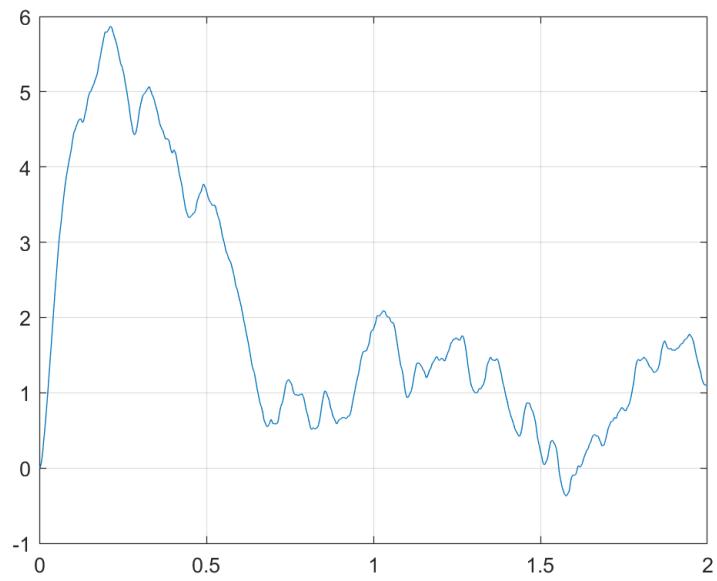
حالا نویز سفید اشاره شده را اضافه میکنیم. به دلیل گستته بودن کنترلرها، در حد فاصل زمان نمونه برداری نویز روی سیگنال میماند و کامل حذف نمیشود. پاسخ دو سیستم دیجیتال و گستته شده شبیه به هم است. اما پاسخ سیستم با کنترلر مرده‌نوش عملکرد ضعیفترا در برابر نویز دارد. در پلت اصلی اما بسیار حساس به نویز است و با همان مقدار نویز ناپایدار میشود. اما با مقدار نویز کمتر یا کاهش دوره نمونه برداری پایدار میشود.



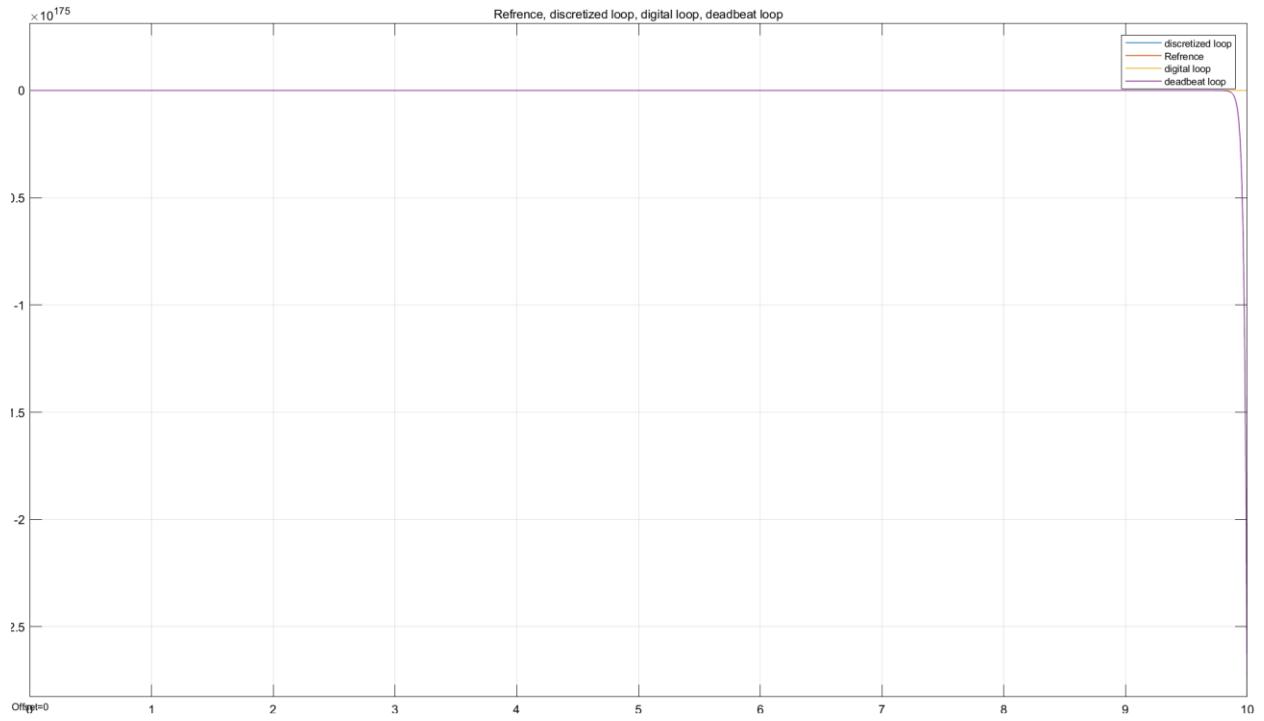
مرده نوش



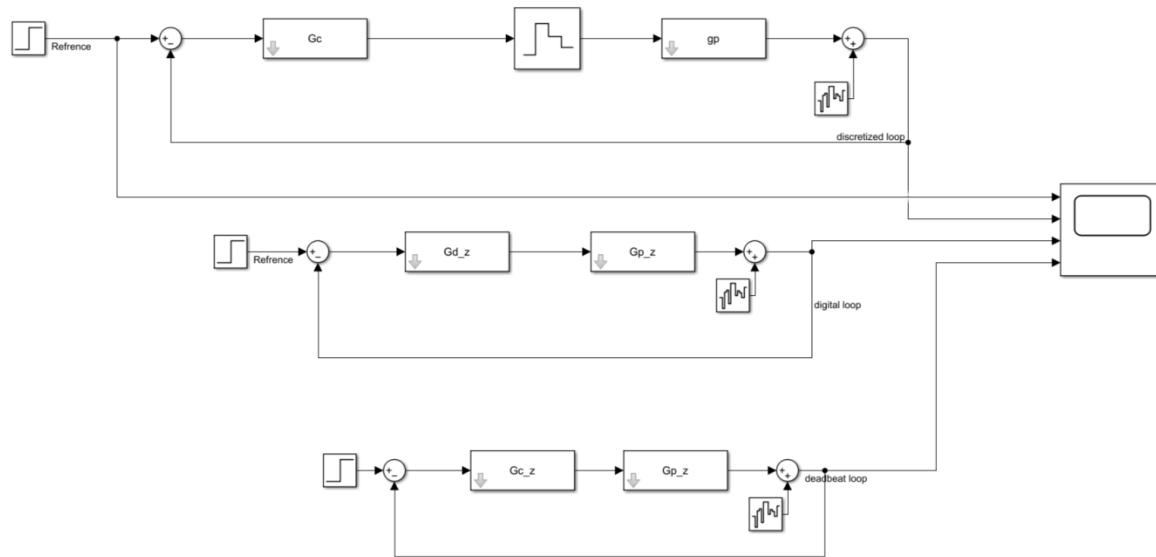
آنالوگ

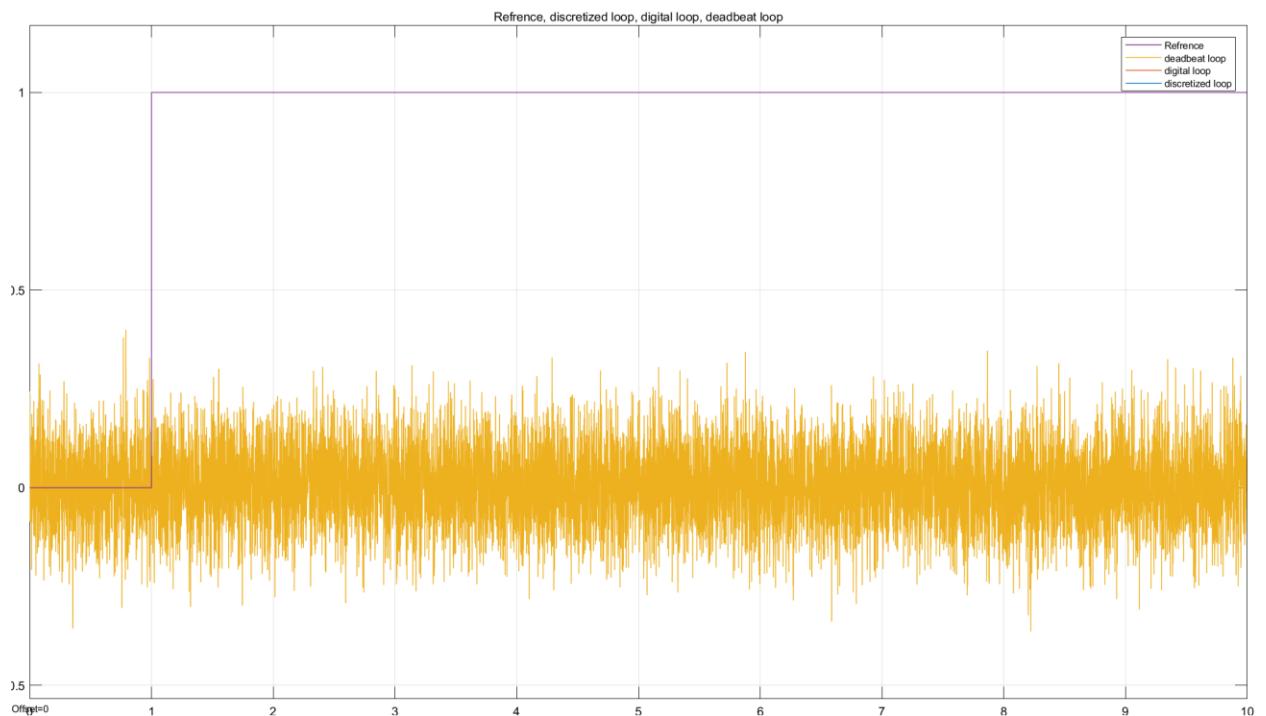


دیجیتال



Simulink





سیستم غیر خطی

(9)

برای گسته سازی از زمان نمونه برداری بخش های قبلی یعنی 0.001 استفاده میکنیم و با کمک متلب روابط زیر را حل میکنیم. که با استفاده از معادلات حالتی که از قبل داشتیم حل میشود.

```
%Ts = 0.001;
Ge = expm(Ts(4)*A)
```

```
Ge = 3x3
1.0009    0.0010    0.0122
1.8873    1.0009   23.9695
0          0        0.9167
```

```
H = integral(@(t)(expm(t*A)*B),0,Ts(4), 'ArrayValued',1)
```

```
H = 3x1
0.0000
0.1057
0.0083
```

با توجه به اینکه ماتریس کنترل پذیری فول رنک است بنابراین کنترل پذیر است.

**کنترل پذیری%**  
 $M = [H \quad Ge^*H \quad Ge^*Ge^*H]$

```
M = 3x3
0.0000    0.0002    0.0006
0.1057    0.3055    0.4892
0.0083    0.0076    0.0070
```

```
rank_M = rank(M)
```

```
rank_M = 3
```

و همینطور با توجه به اینکه ماتریس رویت پذیری نیز فول رنک است رویت پذیر نیز هست.

% رویت پذیری

N=[C; C\*Ge; C\*Ge\*Ge]

N = 3x3

1.0000	0	0
1.0009	0.0010	0.0122
1.0038	0.0020	0.0473

rank\_N = rank(N)

rank\_N = 3

(10)

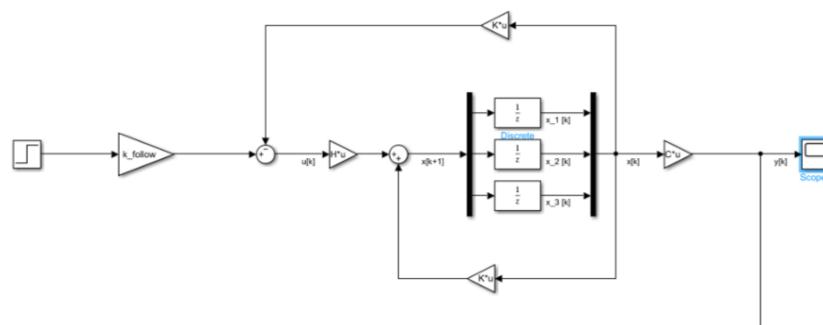
با استفاده از ماتریس کنترل پذیری و فرمول آکرمن بهره مناسب برای فیدبک را انتخاب میکنیم.

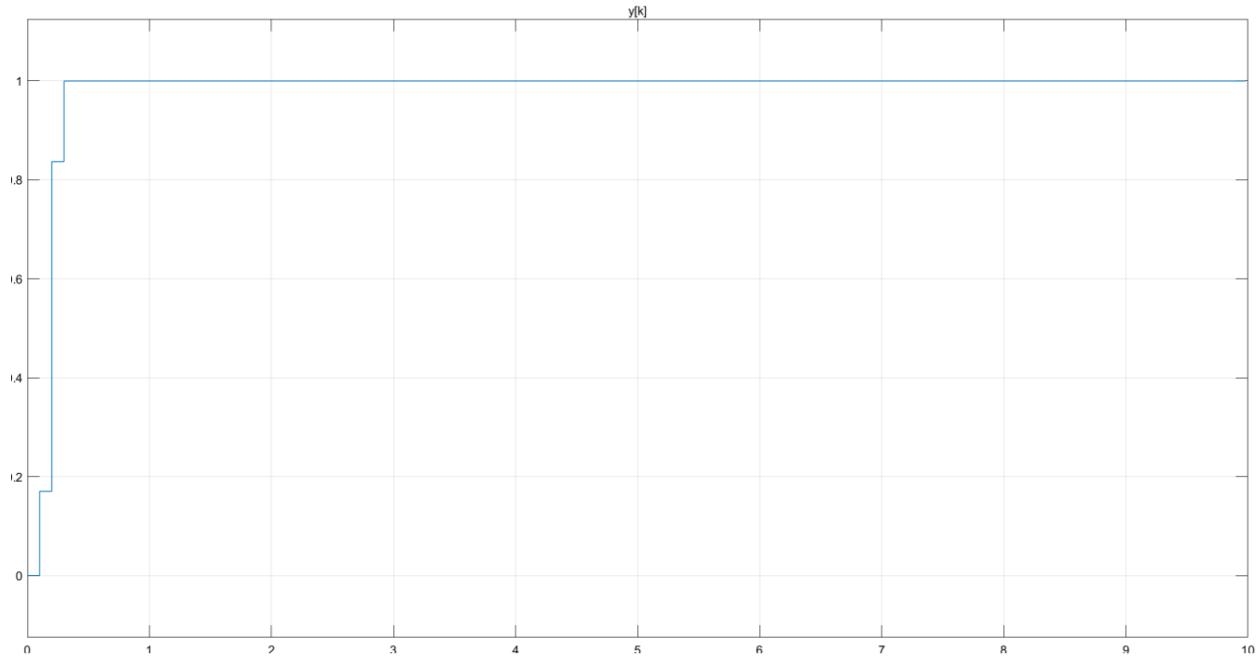
$$K = [0 \ 0 \ 1] M^{-1} \varphi(G)$$

برای اینکه پاسخ مرده نوش داشته باشد باید  $\varphi(G) = G^3$  شود.

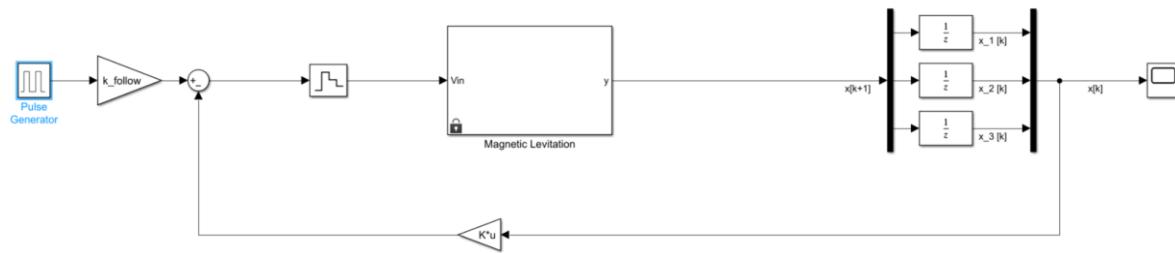
یک متغیر به نام  $K_{\text{follow}}$  برای دنبال کردن ورودی که پله باشد با استفاده از معکوس مقدار نهایی سیستم بدست می آوریم.

```
phi = Ge*Ge*Ge;
K = [0, 0, 1]*inv(M)*phi
k_follow= (C*(eye(3)-Ge+H*K)^-1*H)^-1;
```





خروجی که بعد از 3 گام به مقدار نهایی میرسد



غیر خطی به اشباع رفت.

(11

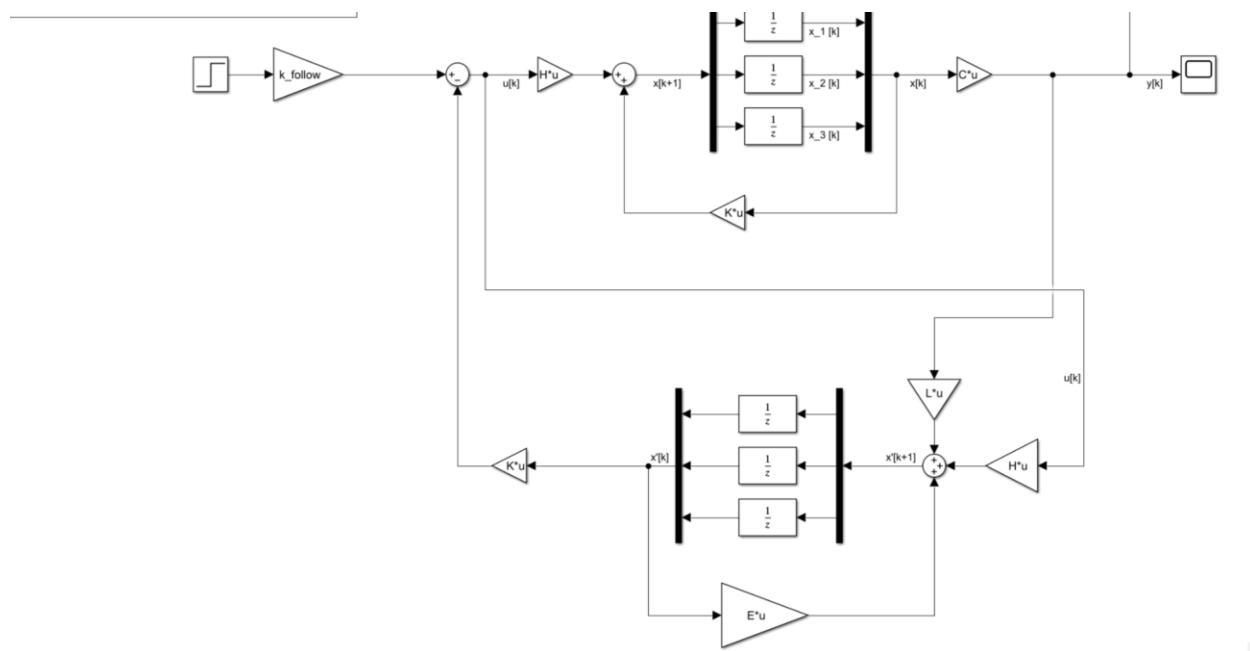
دوباره با استفاده از معادله آکرمن مسئله را حل میکنیم.

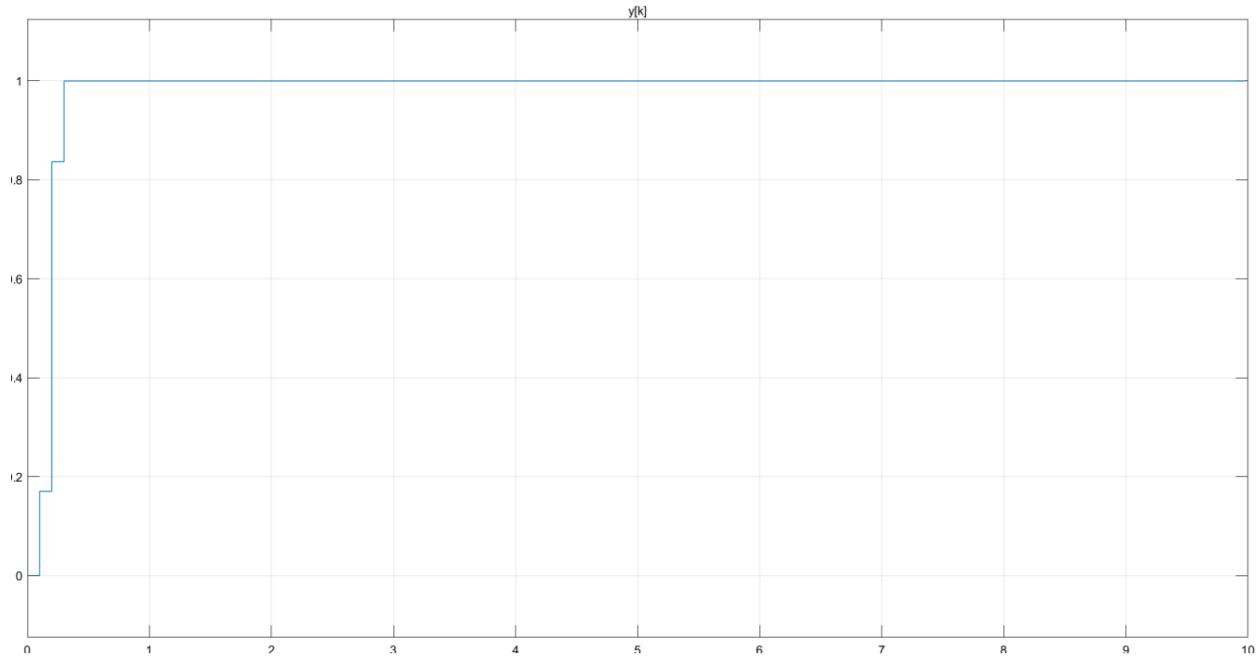
$$\varphi(G) = G^3$$

باز هم برای داشتن پاسخ با کنترلر مرده نوش باید

ماتریس  $E$  نیز همان ماتریس حالت در حضور روبت گر است.

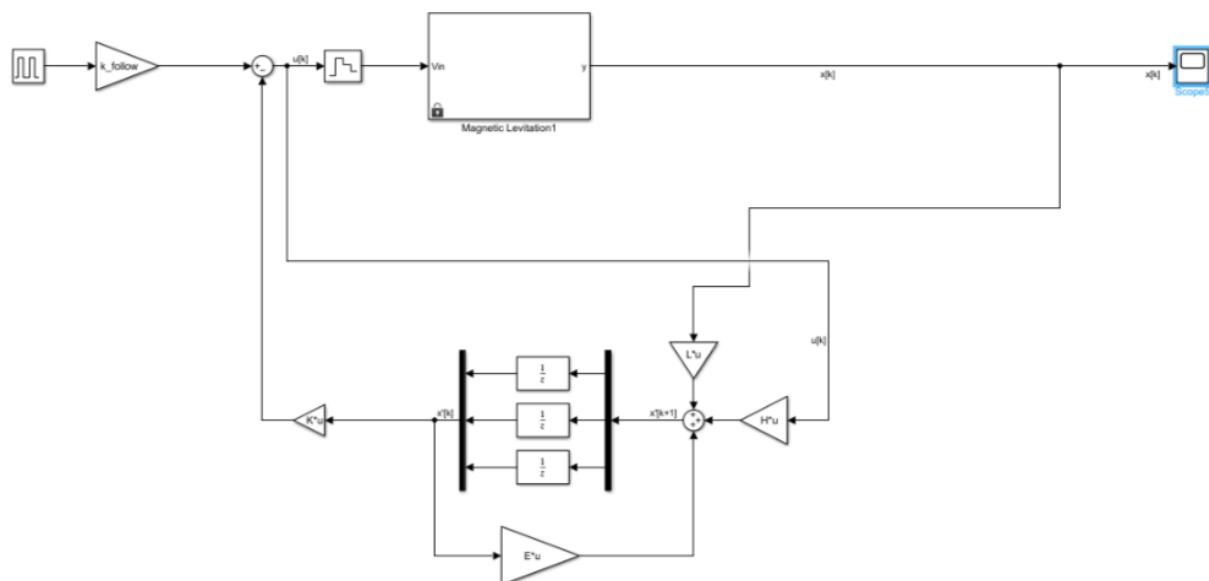
```
phi = Ge*Ge*Ge;  
L = phi*inv(N)*[0;0;1]  
E = Ge-L*C
```





خروجی که بعد از 4 گام به حالت ماندگار میرسد.

زیاد فرقی بین این سیستم و سیستم طراحی شده در قسمت 10 مشاهده نمیشود.



غیر خطی

