به نام خدا

دانشگاه تهران

پردیس دانشکده‌های فنی

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

سیستم‌های کنترل پیشرفته

پروژه : سیستم گوی و میله

فاز دوم

نورا زارعی - 810199433

ثمر نیک فرجاد - 810199508

فهرست گزارش

چکیده

در فاز دوم پروژه قصد داریم سیستم را با استفاده از کنترل‌کننده‌ی حالت کنترل کنیم. همانطور که در فاز اول مشاهده کردیم، نمی‌توان این سیستم را با استفاده از کنترل‌کننده PID کنترل کرد.

خواسته ۱ – کنترل حالت با دو دسته قطب کند و سریع

در این قسمت برای سیستم خطی سازی شده با دو دسته قطب کند $(s=-0.5, s=-1, s=-1.5, s=-2)$ و سریع $(s=-15, s=-17.5, s=-20, s=-22.5)$، فیدبک حالت طراحی کردیم و با آن سیستم را کنترل کردیم.

به روش بس و گیورا k مطلوب را به صورت زیر بدست می آوریم:

$$a(s) = \det(sI - A) = s^4 + 1.713s^3 + 0.7577s^2 + 7.105 \times 10^{-15}s - 132.4$$

$$\Psi = \begin{bmatrix} 1 & a_3 & a_2 & a_1 \\ 0 & 1 & a_3 & a_2 \\ 0 & 0 & 1 & a_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1.713 & 0.7577 & 7.105e-15 \\ 0 & 1 & 1.713 & 0.7577 \\ 0 & 0 & 1 & 1.713 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$C = [A \quad AB \quad A^2B \quad A^3B] = \begin{bmatrix} 0 & -0.0699 & 0.1198 & 24.3479 \\ -0.699 & 0.1198 & 24.3479 & -41.8051 \\ 0 & 3.4965 & -5.9903 & 7.6137 \\ 3.4965 & -5.9903 & 7.6137 & -8.5053 \end{bmatrix}$$

$$\alpha(s)_{slow} = s^4 + 5s^3 + 8.75s^2 + 6.25s + 1.5$$

$$\alpha(s)_{fast} = s^4 + 75s^3 + 2094s^2 + 25780s + 118125$$

$$k = (\alpha - a)\Psi^{-1}C^{-1}$$

$$k_{slow} = [5.4653 \quad 0.2551 \quad 2.3954 \quad 0.9452]$$

$$k_{fast} = [4.8270 \quad 1.0523 \quad 0.6952 \quad 0.0420]$$

```
a_vect = [1.713 0.7577 7.105e-15 -132.4];
Psi = [1,1.713,0.7577,7.105e-15;0,1,1.713,0.7577;0,0,1,1.713;0,0,0,1];

%% Controlability Matrix
c_1 = [B,A*B,A^2*B,A^3*B]
```

```
c_1 = 4x4
         0   -0.0699    0.1198   24.3479
   -0.0699    0.1198   24.3479  -41.8051
         0    3.4965   -5.9903    7.6137
    3.4965   -5.9903    7.6137   -8.5053
```

```
%% State Controller
syms s
alpha_fast = (s+15)*(s+17.5)*(s+20)*(s+22.5);
alpha_fast_vect = [75 2094 25780 118125];
alpha_slow = (s+0.5)*(s+1)*(s+1.5)*(s+2);
alpha_slow_vect = [5 8.75 6.25 1.5];

K_slow = (alpha_slow_vect-a_vect)*inv(Psi)*inv(c_1)
```

```
K_slow = 1x4
    5.4653    0.2551    2.3954    0.9452    ...
```

```
K_fast = (alpha_fast_vect-a_vect)*inv(Psi)*inv(c_1)
```

```
K_fast = 1x4
10^3 x
    4.8270    1.0523    0.6952    0.0420    ...
```

Figure 1 کد بخش اول و بدست آوردن **k** فیدبک حالت

پاسخ سیستم به ورودی پله با مقدار نهایی 0.1 و پاسخ متغیرهای حالت به صورت زیر خواهد بود:

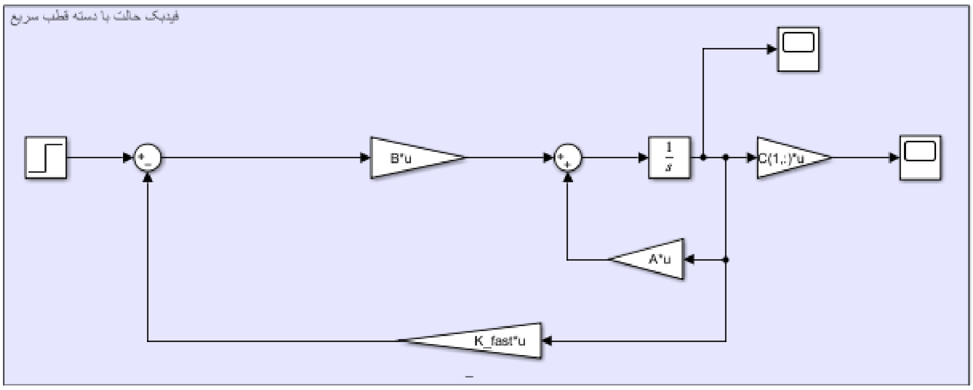


Figure 2 بلوک دیاگرام فیدبک حالت با دسته قطب سریع برای سیستم خطی

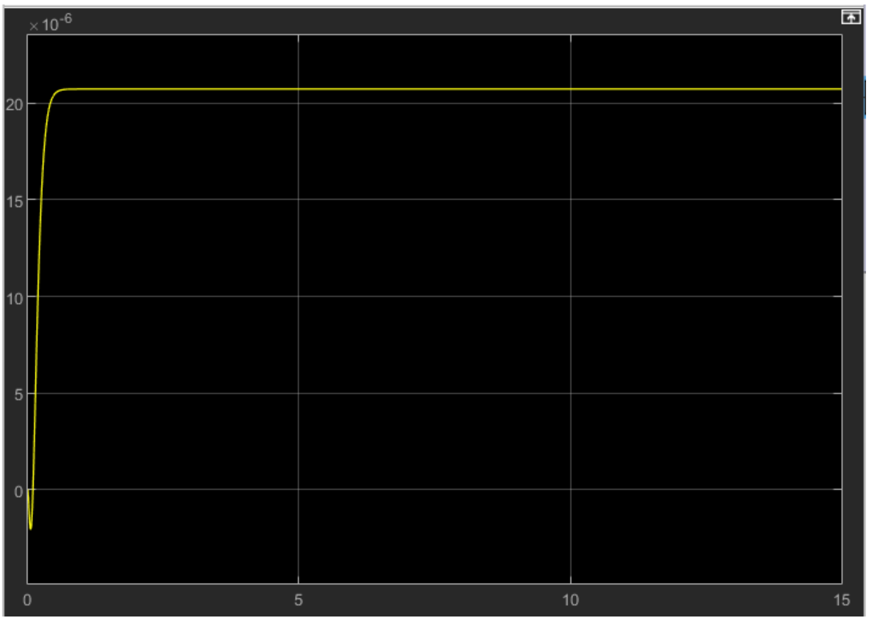


Figure 3 پاسخ خروجی به ورودی پله سیستم با فیدبک حالت با دسته قطب سریع برای سیستم خطی

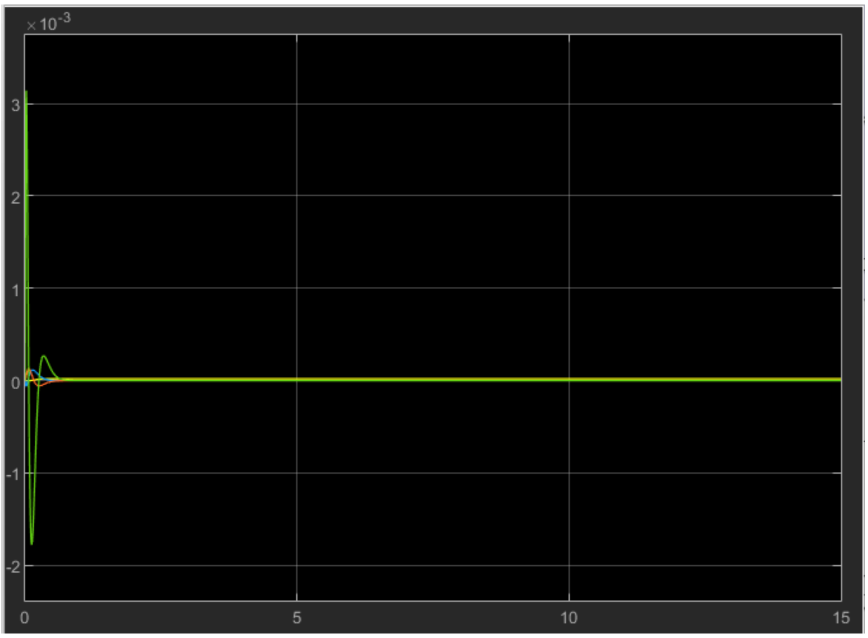


Figure 4 پاسخ متغیرهای حالت سیستم با فیدبک حالت با دسته قطب سریع برای سیستم خطی

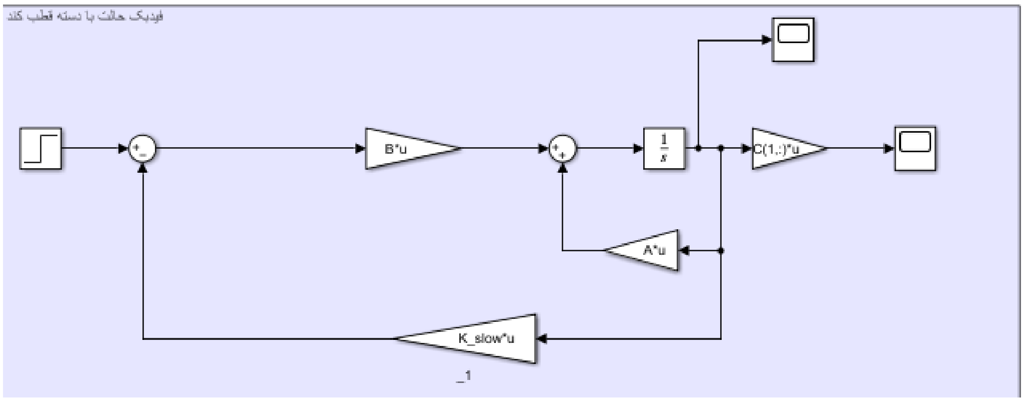


Figure 5 بلوک دیاگرام فیدبک حالت با دسته قطب کند برای سیستم خطی

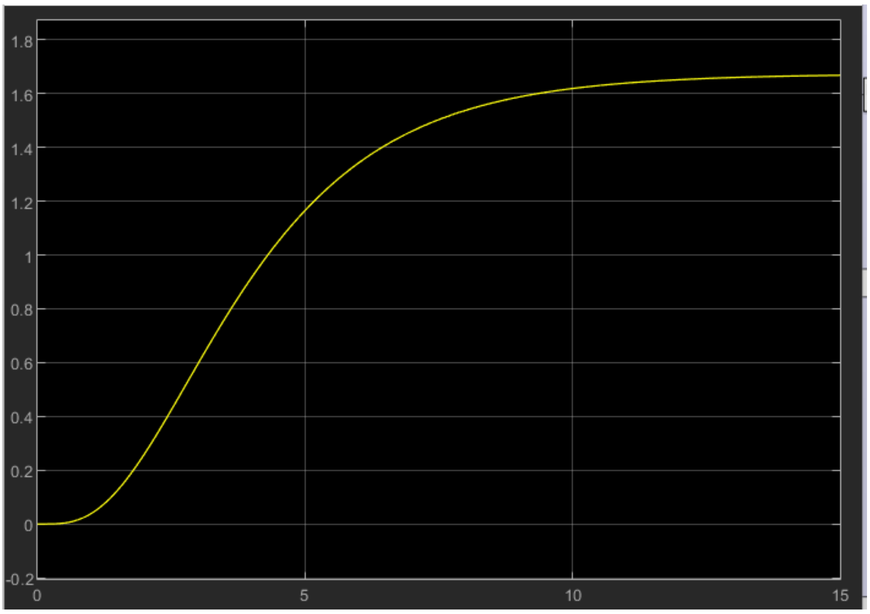


Figure 6 پاسخ خروجی به ورودی پله سیستم با فیدبک حالت با دسته قطب کند برای سیستم خطی

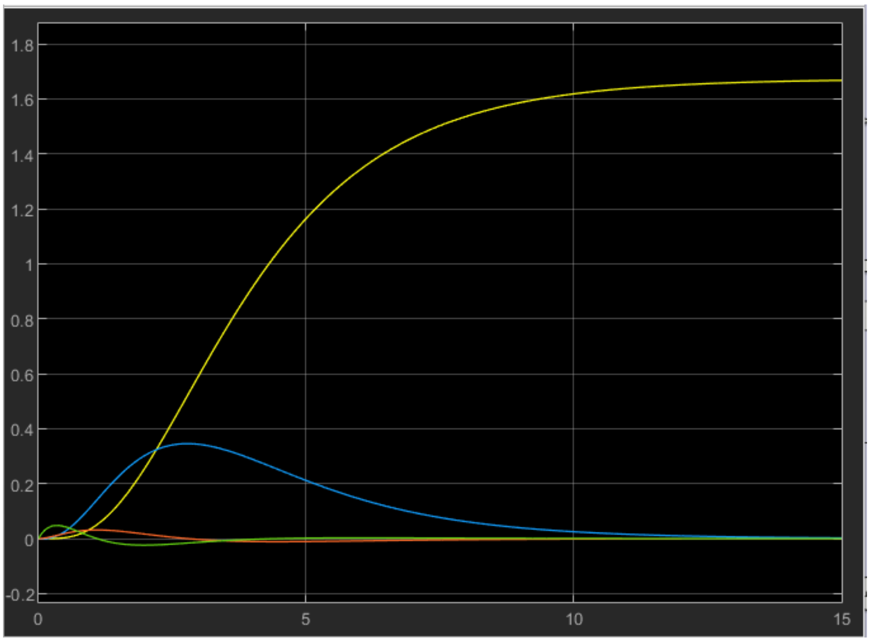


Figure 7 پاسخ متغیرهای حالت سیستم با فیدبک حالت با دسته قطب کند برای سیستم خطی

همان طور که در شکل ها مشاهده می شود ما به ازای سریع تر شدن سیستم هزینه ای می دهیم که آن به وجود آمدن undershoot یا فروجهش است درحالی که اگر قطب ها را به مبدا نزدیک تر انتخاب کنیم، سیستم کندتر شده ولی دیگر فروجهش نداریم. بنابراین در سیستم های واقعی باید بین داشتن فروجهش و یا سرعت سیستم یک مصالحه انجام داد.

خواسته ۲ – کنترل حالت با دو دسته قطب کند و سریع در حضور اغتشاش

در این بخش دو سیستم خواسته قبل را در حضور اغتشاش جمع شونده با متغیرهای حالت بررسی می کنیم. برای این کار از یک بلوک uniform random number برای ایجاد نویز استفاده می کنیم که حداکثر مقدار آن را برابر با 0.03 و حداقل آن را برابر با -0.03 در نظر می گیریم. همچنین زمان نمونه برداری را 1.5 ثانیه در نظر گرفته یعنی در هر 1.5 ثانیه یک عدد رندوم بین دو مقدار مشخص شده ایجاد می کند و آن را به متغیرهای حالت به عنوان اغتشاش اضافه می کند.

پاسخ سیستم به ورودی پله با مقدار نهایی 0.1 و پاسخ متغیرهای حالت به صورت زیر خواهد بود:

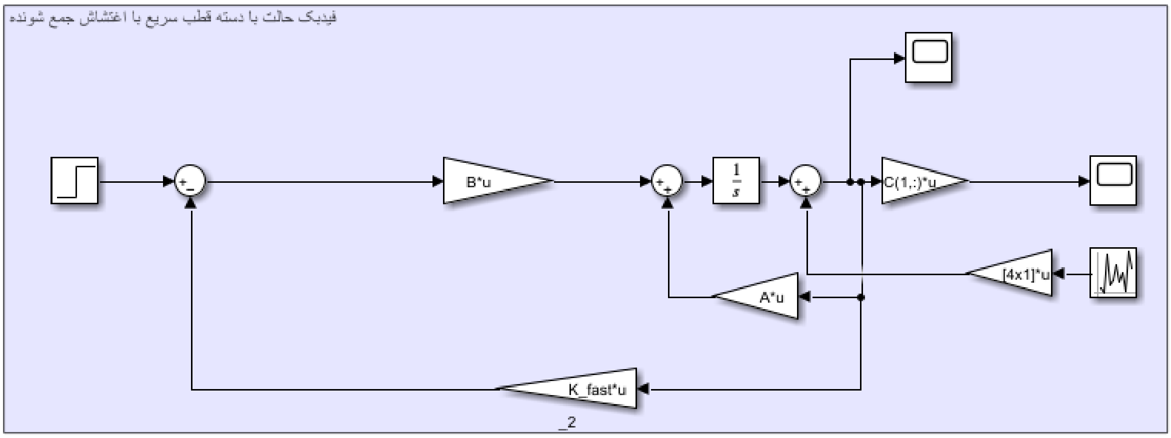


Figure 8 بلوک دیاگرام فیدبک حالت با دسته قطب سریع در حضور اغتشاش جمع شونده برای سیستم خطی

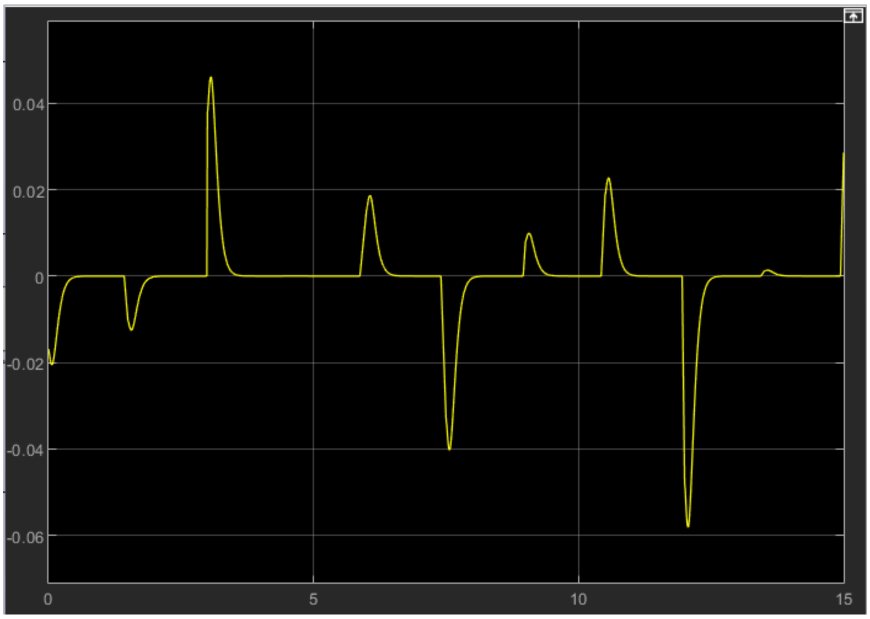


Figure 9 پاسخ خروجی به ورودی پله سیستم با فیدبک حالت با دسته قطب سریع در حضور اغتشاش جمع شونده برای سیستم خطی

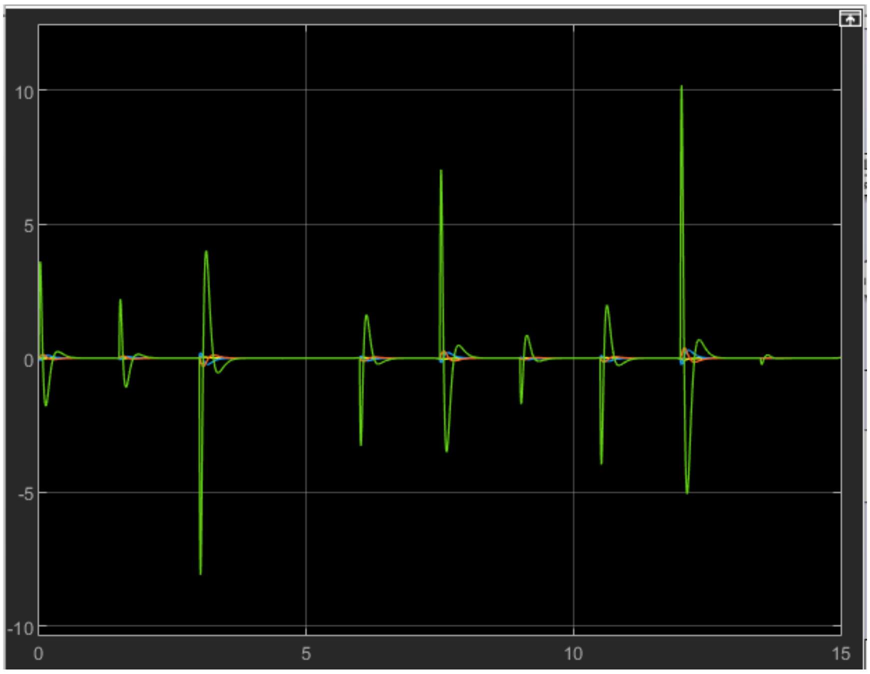


Figure 10 پاسخ متغیرهای حالت سیستم با فیدبک حالت با دسته قطب سریع در حضور اغتشاش جمع شونده برای سیستم خطی

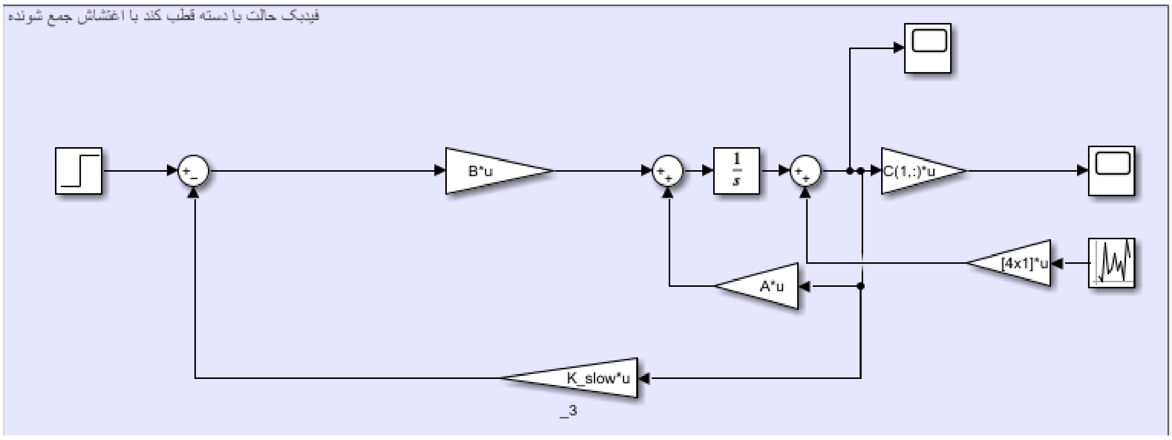


Figure 11 بلوک دیاگرام فیدبک حالت با دسته قطب کند در حضور اغتشاش جمع شونده برای سیستم خطی

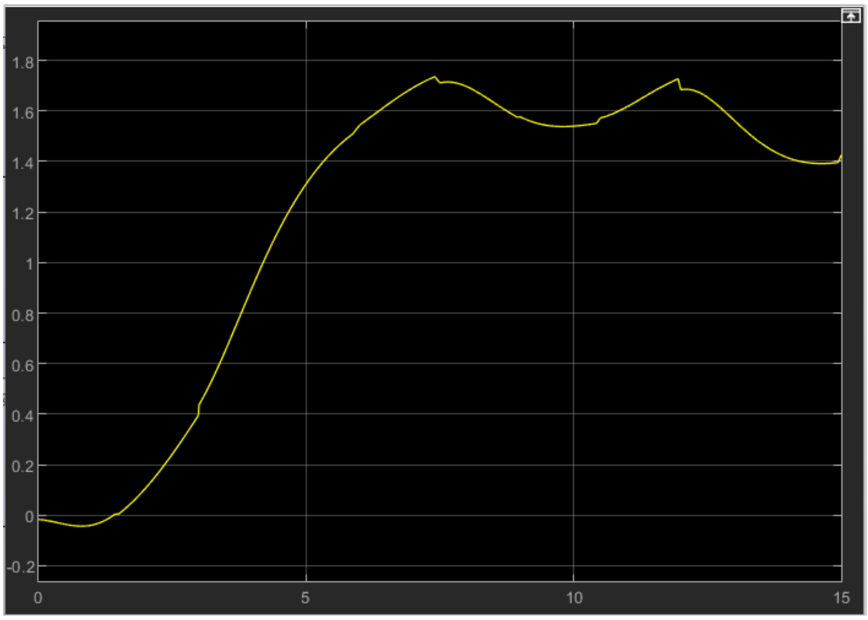


Figure 12 پاسخ خروجی به ورودی پله سیستم با فیدبک حالت با دسته قطب کند در حضور اغتشاش جمع شونده برای سیستم خطی

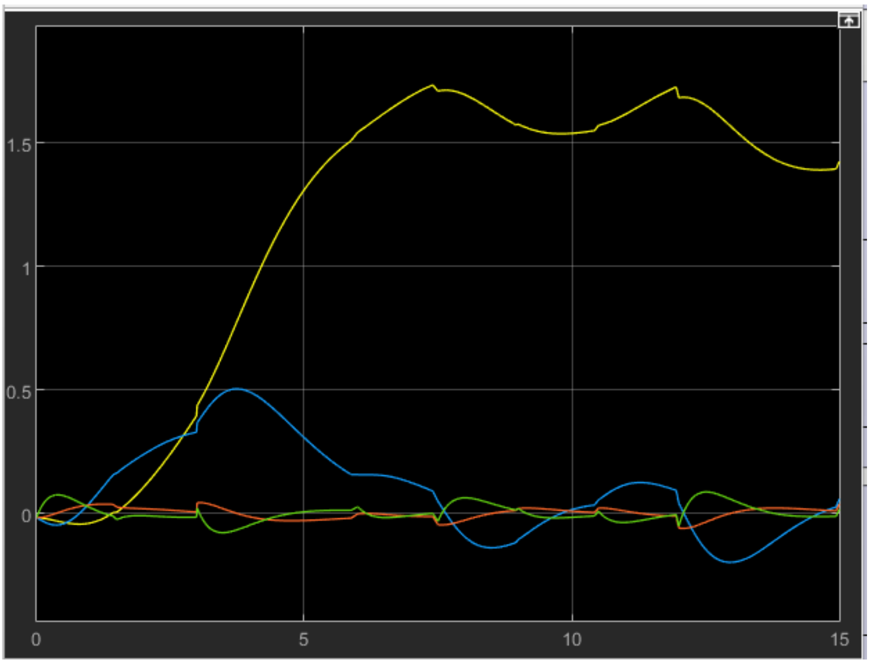


Figure 13 پاسخ متغیرهای حالت سیستم با فیدبک حالت با دسته قطب کند در حضور اغتشاش جمع شونده برای سیستم خطی

همان طور که از شکل پاسخ خروجی و متغیرهای حالت قابل مشاهده است، با دسته قطب سریع سیستم زودتر اثر اغتشاش را از بین می برد و به حالت اولیه خود باز می گردد درحالی که در سیستم با قطب های کند این اتفاق زمان بیشتری می خواهد.

خواسته ۳ – ردیاب با فیدبک حالت و کنترل انتگرالی

ابتدا کنترل پذیری سیستم ردیاب با فیدبک حالت و کنترل انتگرالی را بررسی می کنیم.

$$\bar{A} = \begin{bmatrix} A & 0 \\ -C & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ -0.378 & 0 & 7.0147 & 0.0343 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 18.9001 & 0 & -0.3797 & -1.7133 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\bar{B} = \begin{bmatrix} B \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -0.0699 \\ 0 \\ 3.4965 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$C = [\bar{B} \quad \bar{A}\bar{B} \quad \bar{A}^2\bar{B} \quad \bar{A}^3\bar{B} \quad \bar{A}^4\bar{B}] = \begin{bmatrix} 0 & -0.0699 & 0.1198 & 24.3479 & -41.8051 \\ -0.0699 & 0.1198 & 24.3479 & -41.8051 & 43.9131 \\ 0 & 3.4965 & -5.9903 & 7.6137 & -8.5053 \\ 3.4965 & -5.9903 & 7.6137 & -8.5053 & 471.8584 \\ 0 & 0 & 0.0699 & -0.1198 & -24.3479 \end{bmatrix}$$

$$rank(C) = 5$$

ماتریس کنترل پذیری $(\bar{A}, \bar{B})$ دارای رتبه کامل سطری است پس کنترل پذیر است و میتوان مقادیر ویژه ماتریس A_c را به طور دلخواه جایابی کرد و سیستم ردیاب با فیدبک حالت و کنترل انتگرال را طراحی کرد.

```
A_bar = [0,1,0,0,0;a21,0,a23,a24,0;0,0,0,1,0;a41,0,a43,a44,0;-C(1,1),-C(1,2),-C(1,3),-C(1,4),0];
B_bar = [B;0];

%% Controlability
c_3 = [B_bar A_bar*B_bar A_bar^2*B_bar A_bar^3*B_bar A_bar^4*B_bar];
rank(c_3)
```

```
ans =
     5
```

Figure 14 کنترل پذیری سیستم ردیاب با فیدبک حالت و کنترل انتگرال

حال سیستم مدنظر را طراحی می کنیم. برای این سیستم باید پنج قطب در نظر بگیریم که آنها را به صورت $(s=-5, s=-6, s=-7, s=-8, s=-9)$ در نظر گرفتیم.

$$A_c = \begin{bmatrix} A - Bk & -Bk_5 \\ -C & 0 \end{bmatrix}$$

$$a(s) = sI - A_c$$

$$\alpha(s) = s^5 + 35s^4 + 485s^3 + 3325s^2 + 11274s + 15120$$

```
syms s k1 k2 k3 k4 k5
format long
alpha_mid_5deg = (s+5)*(s+6)*(s+7)*(s+8)*(s+9);
A_BK14 = A-B*[k1,k2,k3,k4];
BK5 = -B*k5;
Ac = ([A_BK14(1,1),A_BK14(1,2),A_BK14(1,3),A_BK14(1,4),BK5(1,1);...
    A_BK14(2,1),A_BK14(2,2),A_BK14(2,3),A_BK14(2,4),BK5(2,1);...
    A_BK14(3,1),A_BK14(3,2),A_BK14(3,3),A_BK14(3,4),BK5(3,1);...
    A_BK14(4,1),A_BK14(4,2),A_BK14(4,3),A_BK14(4,4),BK5(4,1);...
    -C(1,1),-C(1,2),-C(1,3),-C(1,4),0]);

det(s*eye(5)-Ac);
det_result = -24.500149848011304*k5 + s*(-1.324358100049542e+02 +24.500149848011304*k1 -1.651225224905243e-16*k3 +2.484379704317400e-18*k5) +...
s^2*(-2.484379704317400e-18*k1 +24.500149848011304*k2 -1.651225224905243e-16*k4 +0.069929071941316*k5 -6.748069617785591e-17) +...
s^3*(-0.069929071941317*k1 -2.484379704317400e-18*k2 +3.496453597065833*k3 +0.075771788614473) +...
s^4*(-0.069929071941317*k2 +3.496453597065833*k4 +1.713262262562258);

eq1 = -24.500149848011304*k5 == 15120;
eq2 = (-1.324358100049542e+02 +24.500149848011304*k1 -1.651225224905243e-16*k3 +2.484379704317400e-18*k5) == 11274;
eq3 = (-2.484379704317400e-18*k1 +24.500149848011304*k2 -1.651225224905243e-16*k4 +0.069929071941316*k5 -6.748069617785591e-17) == 3325;
eq4 = (-0.069929071941317*k1 -2.484379704317400e-18*k2 +3.496453597065833*k3 +0.075771788614473) == 485;
eq5 = (-0.069929071941317*k2 +3.496453597065833*k4 +1.713262262562258) == 35;

S = solve([eq1,eq2,eq3,eq4,eq5],[k1,k2,k3,k4,k5]);
K1 = 4.655659610559820e+02;
K2 = 1.374749127738967e+02;
K3 = 1.480016277721400e+02;
K4 = 12.269641112620793;
K5 = -6.171390825688073e+02;
```

Figure 15 کد محاسبه **k** مطلوب برای سیستم ردیاب با فیدبک حالت و کنترل انتگرال

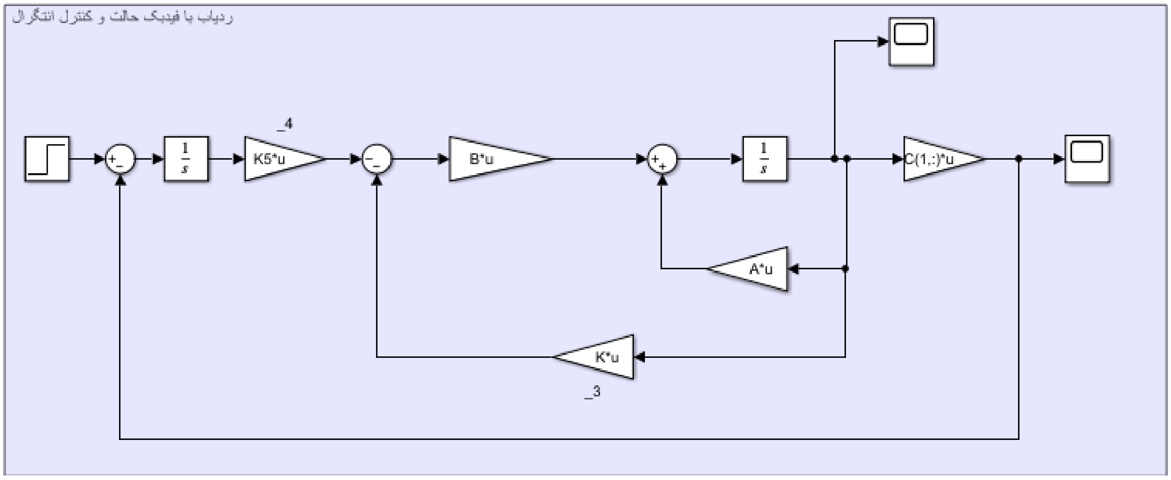


Figure 16 بلوک دیاگرام سیستم ردیاب با فیدبک حالت و کنترل انتگرال

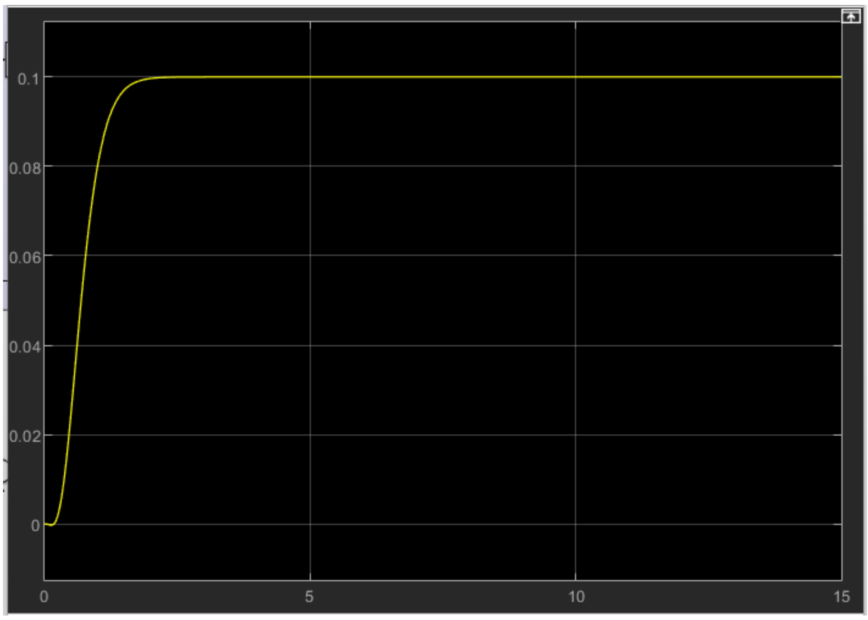


Figure 17 پاسخ خروجی به پله با دامنه 0.1 در سیستم ردیاب با فیدبک حالت و کنترل انتگرال

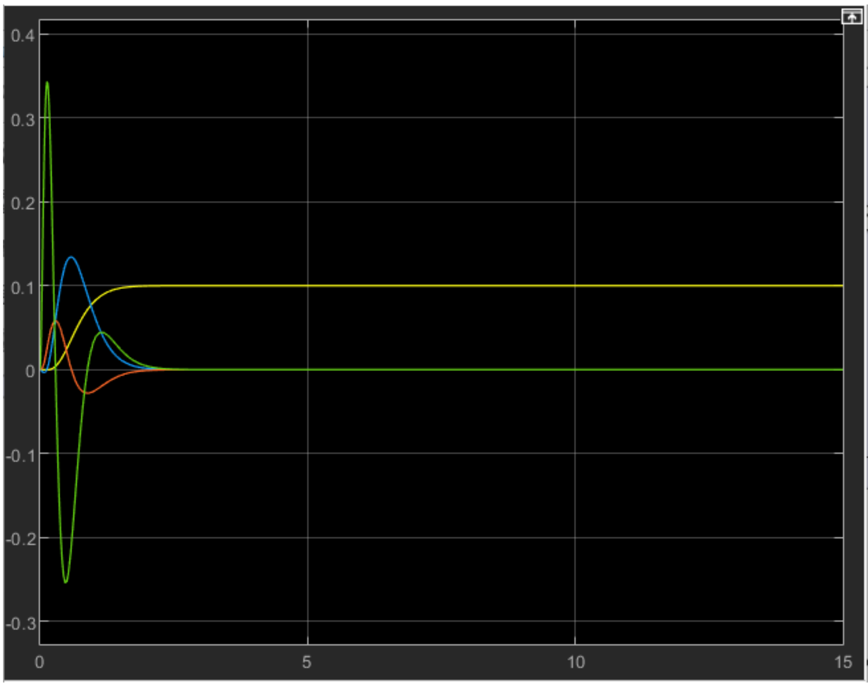


Figure 18 پاسخ متغیرهای حالت به پله با دامنه 0.1 در سیستم ردیاب با فیدبک حالت و کنترل انتگرال

از پاسخ خروجی و همچنین اولین متغیر حالت که بیانگر موقعیت است در می یابیم که سیستم به خوبی ردیابی شده و خروجی به همان مقدار ورودی که 0.1 بود رسیده است.

خواسته ۴ – ردیاب با فیدبک حالت و کنترل انتگرالی در حضور اغتشاش

خواسته قبل با با حضور اغتشاش جمع شونده تکرار میکنیم. نتایج به صورت زیر خواهند بود:

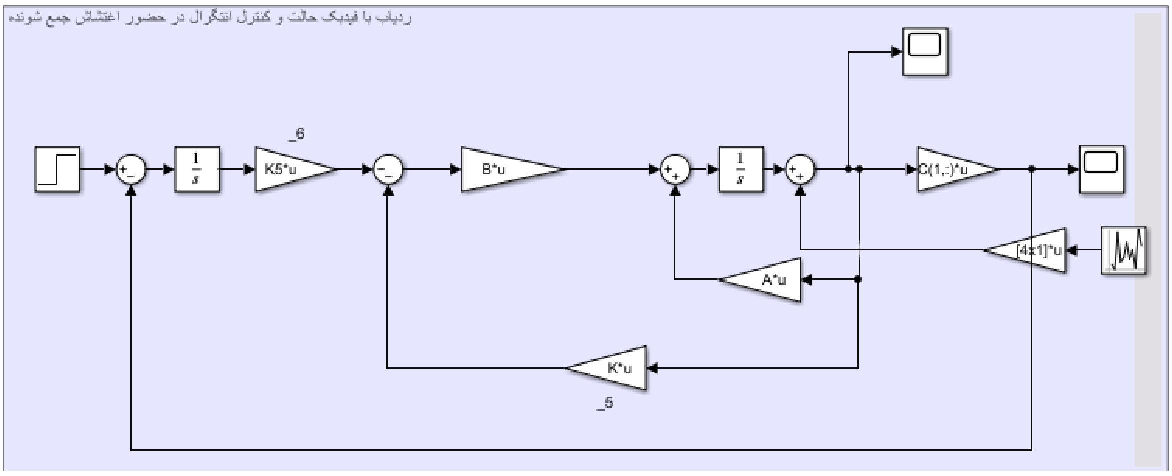


Figure 19 بلوک دیاگرام سیستم ردیاب با فیدبک حالت و کنترل انتگرال در حضور اغتشاش جمع شونده

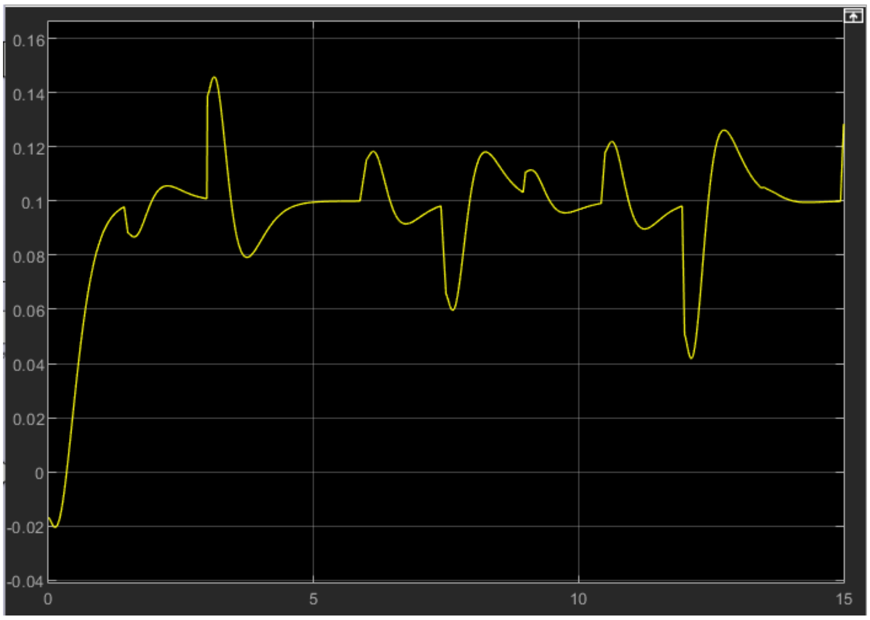


Figure 20 پاسخ خروجی به پله با دامنه 0.1 در سیستم ردیاب با فیدبک حالت و کنترل انتگرال در حضور اغتشاش جمع شونده

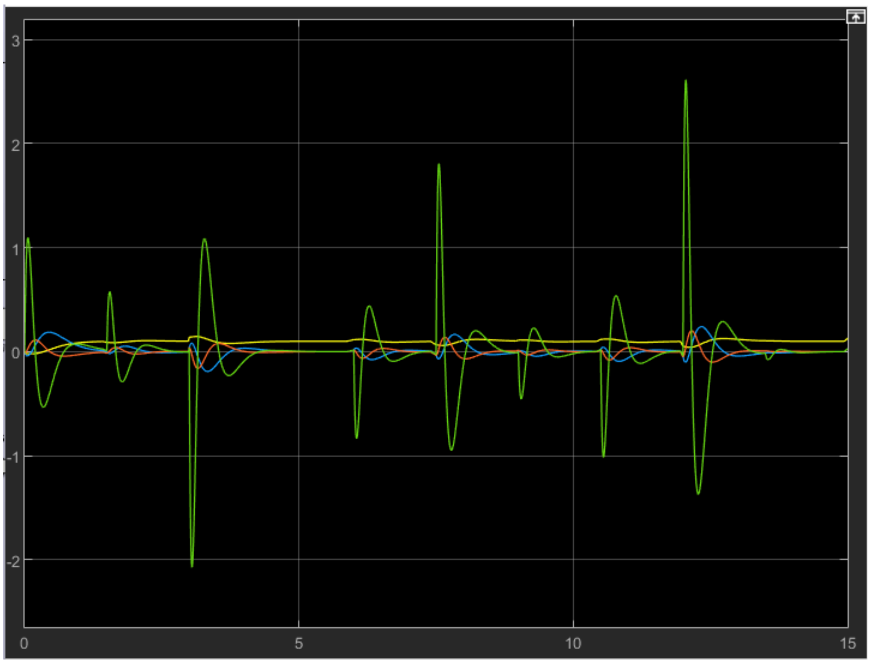


Figure 21 پاسخ متغیرهای حالت به پله با دامنه 0.1 در سیستم ردیاب با فیدبک حالت و کنترل انتگرال در حضور اغتشاش جمع شونده

مشاهده می کنیم که به ازای اغتشاش های با دامنه محدود و متغیر، زمانی طول می کشد تا اثر اغتشاش به طور کامل از بین برود.

خواسته ۵ – کنترل‌کننده حالت با تخمین‌گر لیونبرگر و ردیاب

یک تخمین‌گر با یه دسته قطب دلخواه و ترجیحا با ردیاب در این قسمت تخمینگر لیونبرگر برای سیستم طراحی می کنیم و همچنین ردیاب نیز طراحی می کنیم تا خروجی، ورودی را دنبال کند.

$$A \rightarrow A^T, B \rightarrow C^T, K \rightarrow L^T$$

می دانیم شرط لازم و کافی برای وجود وجود رویتگر خطی که بتواند متغیرهای حالت را با خطای مجانبی صفر تخمین بزند، رویت پذیری سیستم است. بنابراین باید (A^T, C^T) کنترل پذیر باشد.

$$C = [C^T \quad A^T C^T \quad {A^T}^2 C^T \quad {A^T}^3 C^T] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -0.378 & 0.6476 \\ 0 & 1 & 0 & -0.378 \\ 0 & 0 & 7.0147 & -0.013 \\ 0 & 0 & 0.0343 & 6.956 \end{bmatrix}$$

از آن جایی که دارای رتبه کامل سطری است پس کنترل پذیر بوده.

به سراغ طراحی رویتگر می رویم مشابه قبل از روش بس و گیورا استفاده می کنیم.

$$a(s) = \det(sI - A) = s^4 + 1.713s^3 + 0.7577s^2 + 7.105 \times 10^{-15}s - 132.4$$

$$\Psi = \begin{bmatrix} 1 & a_3 & a_2 & a_1 \\ 0 & 1 & a_3 & a_2 \\ 0 & 0 & 1 & a_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1.713 & 0.7577 & 7.105e-15 \\ 0 & 1 & 1.713 & 0.7577 \\ 0 & 0 & 1 & 1.713 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$C = [A \quad AB \quad A^2B \quad A^3B] = \begin{bmatrix} 0 & -0.0699 & 0.1198 & 24.3479 \\ -0.699 & 0.1198 & 24.3479 & -41.8051 \\ 0 & 3.4965 & -5.9903 & 7.6137 \\ 3.4965 & -5.9903 & 7.6137 & -8.5053 \end{bmatrix}$$

$$\alpha(s)_{slow} = s^4 + 5s^3 + 8.75s^2 + 6.25s + 1.5$$

$$\alpha(s)_{fast} = s^4 + 75s^3 + 2094s^2 + 25780s + 118125$$

$$k = (\alpha - a)\Psi^{-1}{C^T}^{-1}$$

$$L = K^T$$

همچنین برای طراحی ردیاب، از ردیاب ساده استفاده می کنیم.

$$p = [-C(A - Bk)^{-1}B]^{-1}$$

```
%% Estimator
L_fast = ((alpha_fast_vect-a_vect)*inv(Psi)*inv(c_5))'
```

```
L_fast = 4×1
10^4 ×
      0.0073
      0.1968
      0.3135
      1.1387
```

```
p_fast = inv(-C(1,:)*inv(A-B*K_fast)*B)
```

```
p_fast =
     4.821638344321515e+03
```

```
L_slow = ((alpha_slow_vect-a_vect)*inv(Psi)*inv(c_5))'
```

```
L_slow = 4×1
      3.2870
      2.3617
      0.0441
     18.8851
```

```
p_slow = inv(-C(1,:)*inv(A-B*K_slow)*B)
```

```
p_slow =
   0.059761152982777
```

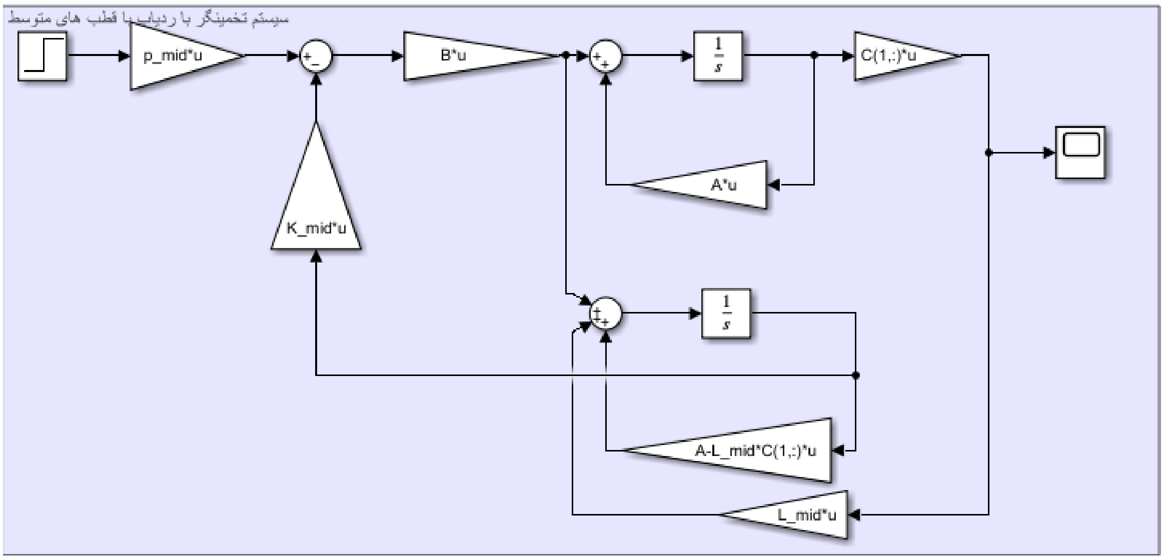
```
alpha_mid = (s+5)*(s+6)*(s+7)*(s+8);
alpha_mid_vect = [26,251,1066,1680];

K_mid = (alpha_mid_vect-a_vect)*inv(Psi)*inv(c_5)
```

```
K_mid = 1×4
10^2 ×
     24.2870  208.6387   99.3249   77.1175
```

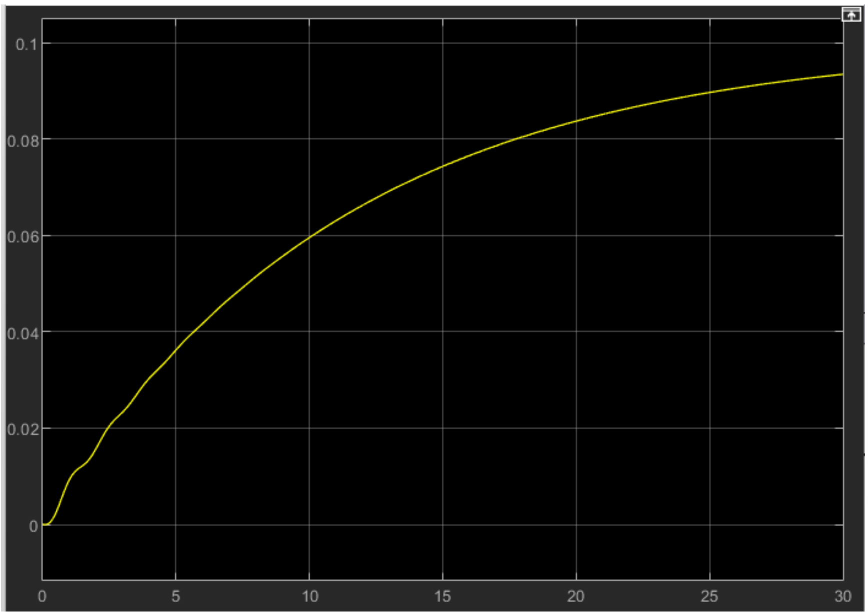
```
L_mid = ((alpha_mid_vect-a_vect)*inv(Psi)*inv(c_5))'
```

```
L_mid = 4×1
10^2 ×
     24.2870
    208.6387
     99.3249
     77.1175
```

Figure 22 کد بخش بدست آوردن **L** مطلوب برای طراحی تخمینگر



بلوک دیاگرام سیستم تخمینگر با ردیاب با قطب های متوسط 23 **Figure**



پاسخ خروجی به ورودی پله در سیستم با تخمینگر و ردیاب با قطب های متوسط 24 **Figure**

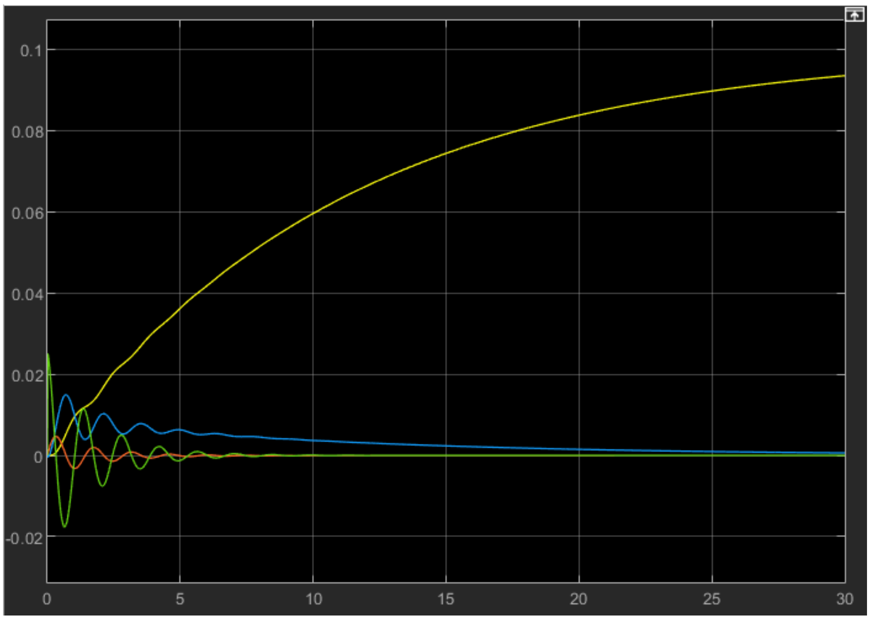


Figure 25 پاسخ متغیرهای حالت به ورودی پله در سیستم با تخمینگر و ردیاب با قطب های متوسط

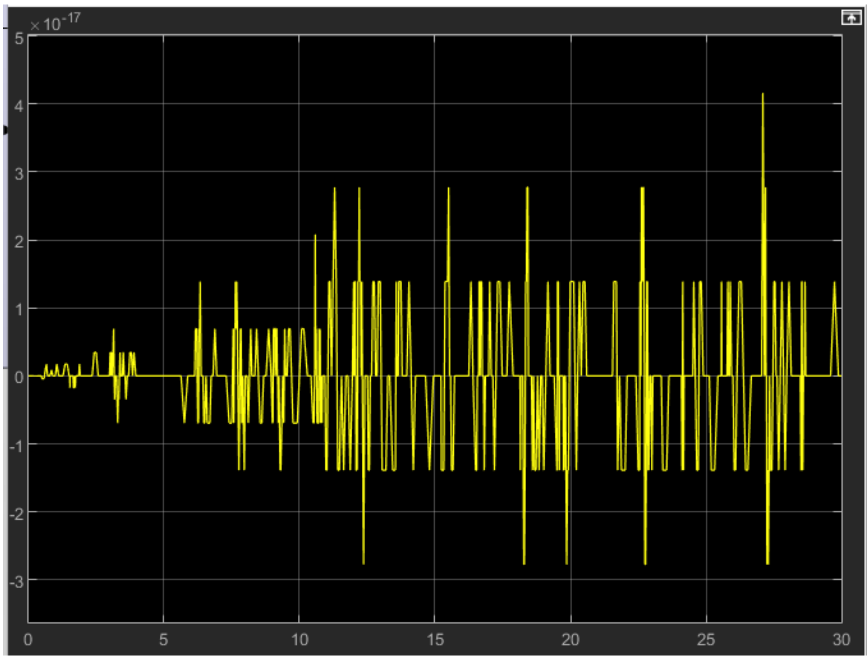


Figure 26 خطای متغیرهای حالت

یه تخمین‌گر با یه دسته قطب دلخواه و ترجیحا با ردیاب همان طور که قابل مشاهده است خطا به صفر میل کرده است و همچنین با اضافه کردن ردیاب خروجی در نهایت به 0.1 که مقدار دامنه ورودی پله است رسیده هست.

این کار را برای دو دسته قطب دیگر نیز انجام دادیم که در ادامه نتایج آنها آورده شده است.

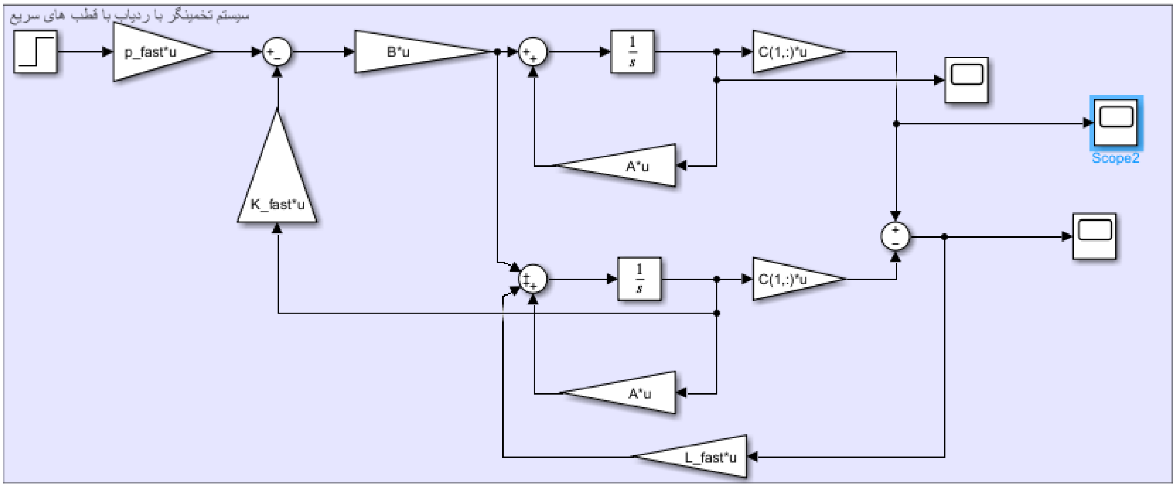


Figure 27 بلوک دیاگرام سیستم تخمینگر با ردیاب با قطب های سریع

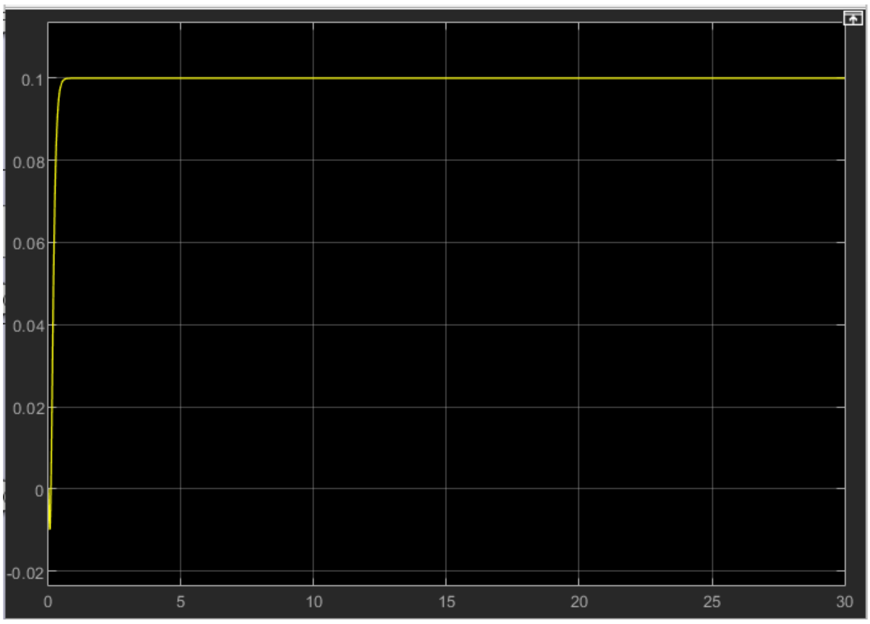


Figure 28 پاسخ خروجی به ورودی پله در سیستم با تخمینگر و ردیاب با قطب های سریع

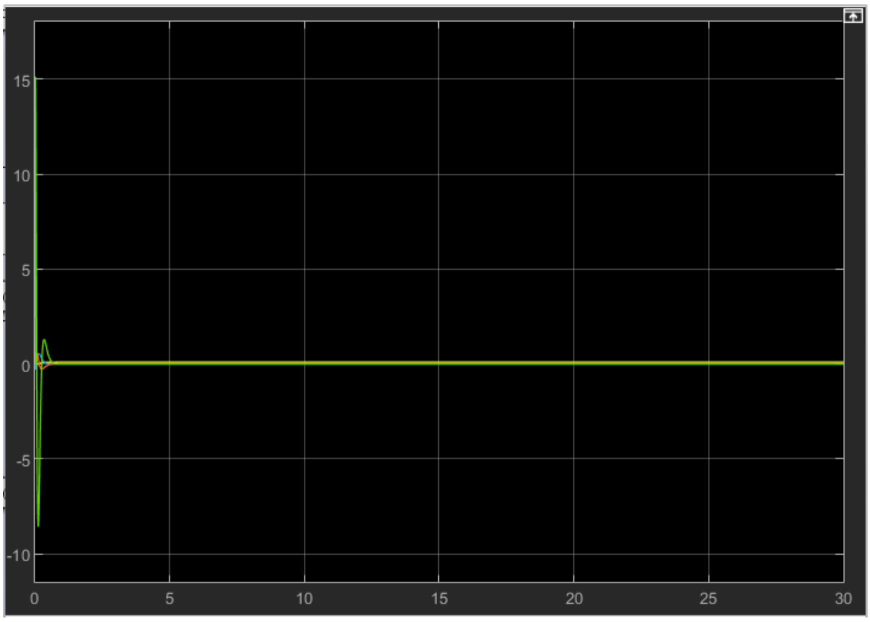


Figure 29 پاسخ متغیرهای حالت به ورودی پله در سیستم با تخمینگر و ردیاب با قطب های سریع

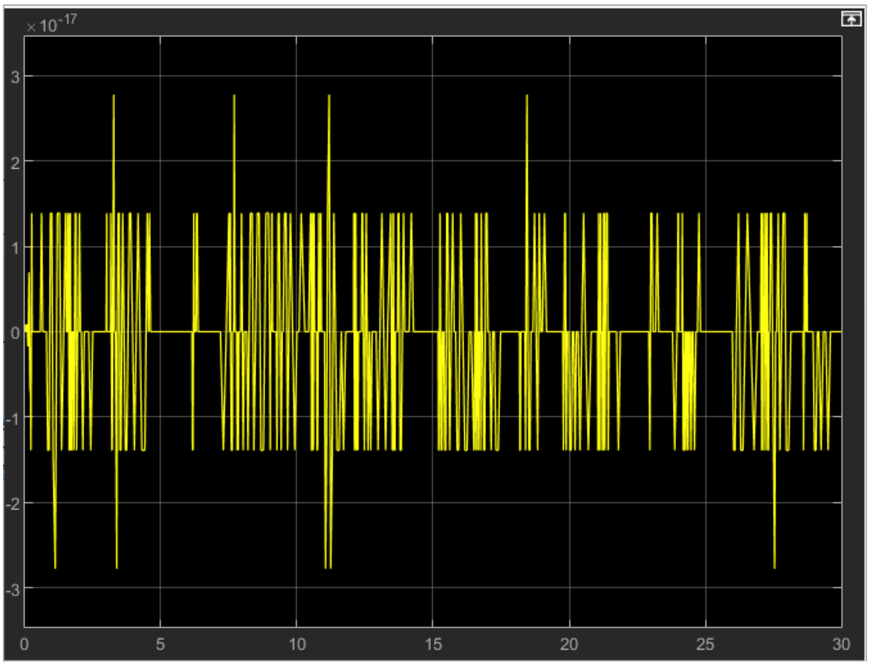


Figure 30 خطای متغیرهای حالت

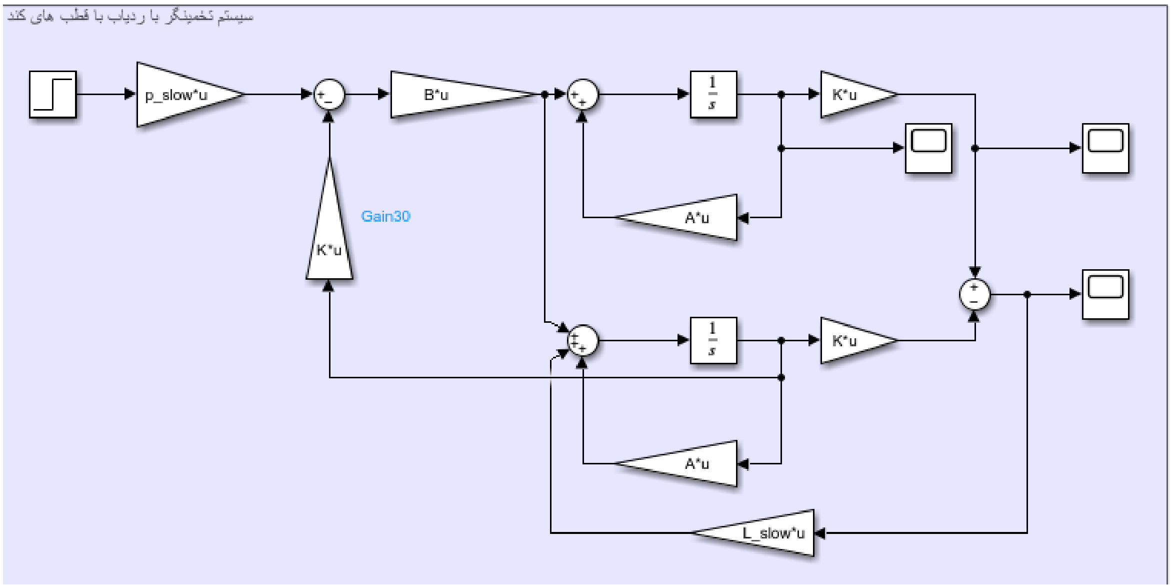


Figure 31 بلوک دیاگرام سیستم تخمینگر با ردیاب با قطب های کند

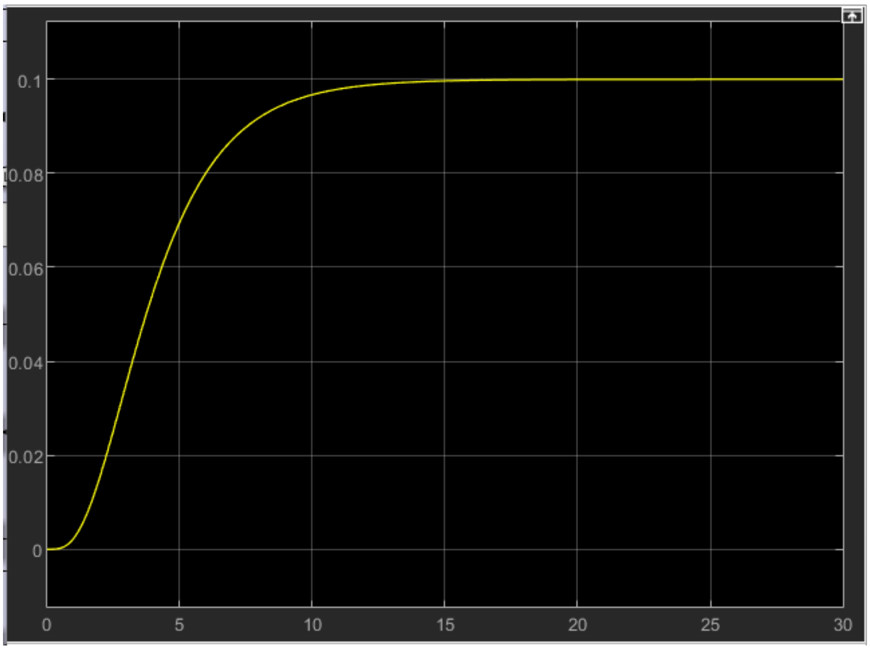


Figure 32 پاسخ خروجی به ورودی پله در سیستم با تخمینگر و ردیاب با قطب های کند

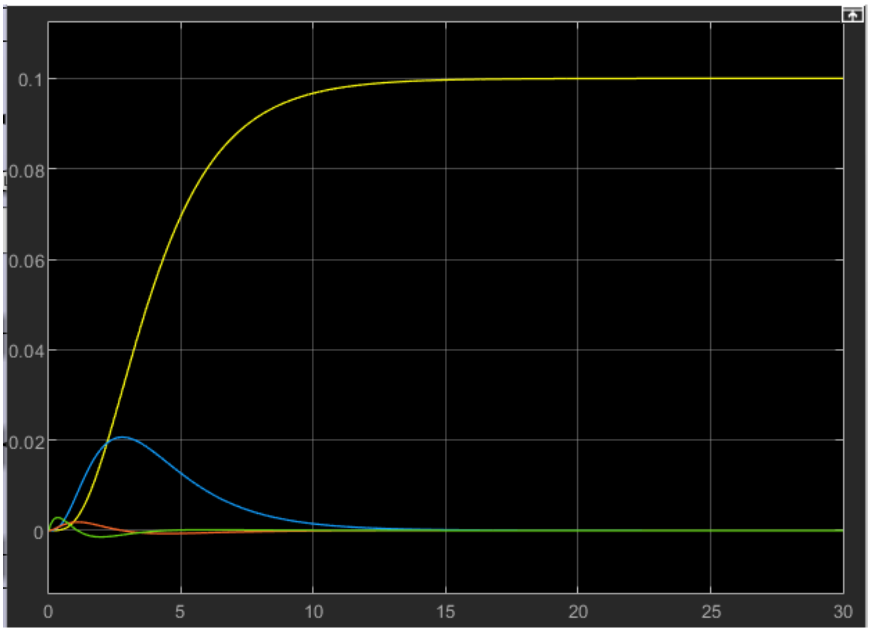


Figure 33 پاسخ متغیرهای حالت به ورودی پله در سیستم با تخمینگر و ردیاب با قطب های کند

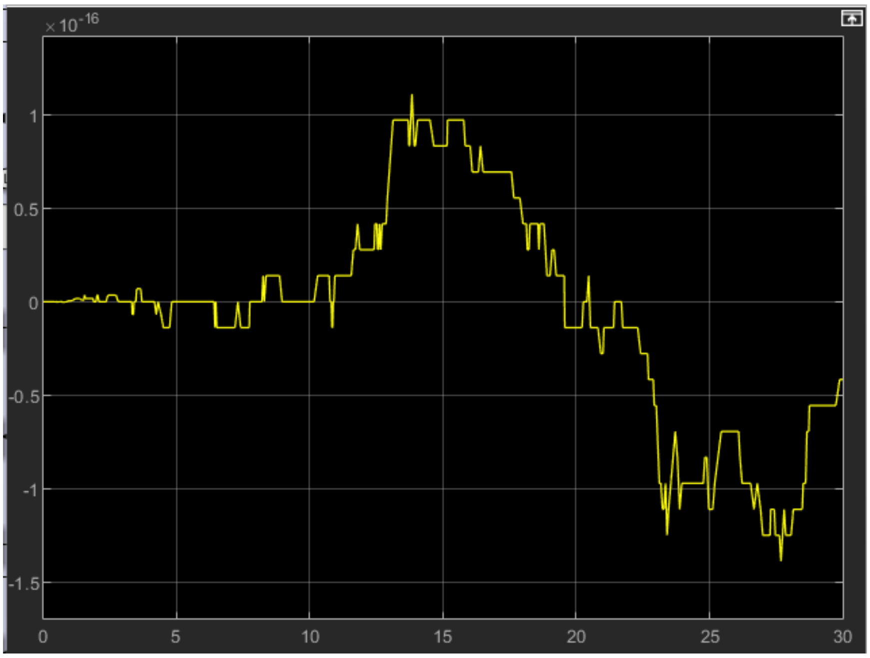


Figure 34 خطای متغیرهای حالت

خواسته ۶ – کنترل‌کننده حالت با تخمین‌گر کاهش مرتبه یافته و ردیاب

یک تخمین‌گر کاهش مرتبه یافته با کنترل‌کننده‌ی ساخته‌شده از قطب‌های سریع و یک ردیاب طراحی می‌کنیم.

ابتدا لازم است که مقادیر ویژه ماتریس حالت را درب‌یاوریم :

```
eig(A)
```

```
ans = 4×1 complex
   2.989614354234496 + 0.000000000000000i
  -3.845355892844410 + 0.000000000000000i
  -0.428760361976172 + 3.366927012696456i
  -0.428760361976172 - 3.366927012696456i
```

مقادیر ویژه ماتریس حالت

سپس با توجه به رابطه‌ی n-l = 4-1 = 3 ، باید ماتریس پایدار F با ابعاد 3*3 را تشکیل دهیم به طوری که مقادیر ویژه‌ی متفاتی با ماتریس حالات داشته باشد :

```
F = [-1,0,0;0,-2,0;0,0,-4]
```

```
F = 3×3
    -1     0     0
     0    -2     0
     0     0    -4
```

ماتریس پایدار **F**

سپس باید ماتریس L با ابعاد 3*1 را طوری تشکیل دهیم که (F,L) کنترل‌پذیر باشد. مشاهده می کنیم رنک سطری ماتریس کنترل‌پذیری کامل بوده و شر برقرار است :

```
L = [1;1;1]
```

```
L = 3×1
     1
     1
     1
```

```
c_6 = [L F*L F*F*L]
```

```
c_6 = 3×3
     1    -1     1
     1    -2     4
     1    -4    16
```

```
rank(c_6)
```

```
ans = 
     3
```

ماتریس **L** و کنترل پذیری **(F,L)**

سپس باید معادله $TA - FT = LC$ را برای بدست آوردن ماتریس T حل کنیم :

```
syms t11 t12 t13 t14 t21 t22 t23 t24 t31 t32 t33 t34
format long
equ = [t11 t12 t13 t14; t21 t22 t23 t24; t31 t32 t33 t34]*A - F*[t11 t12 t13 t14; t21 t22 t23 t24; t31 t32 t33 t34] == L*C(1,:);
S = solve([equ],[t11 t12 t13 t14 t21 t22 t23 t24 t31 t32 t33 t34]);
T = double([S.t11 S.t12 S.t13 S.t14; S.t21 S.t22 S.t23 S.t24; S.t31 S.t32 S.t33 S.t34])
```

```
T = 3x4
    0.002519399321183  -0.002519399321183   0.037693822834709   0.052726040578658
   -0.014997770057870   0.007498885028935  -0.015926240289597   0.054646762909511
    1.463451940225391  -0.365862985056348   0.616534514517349  -0.264113091441030
```

ماتریس **T**

سپس باید ماتریس $P = \begin{bmatrix} C \\ T \end{bmatrix}$ را بررسی کنیم که ویژه نباشد. مشاهده می‌کنیم رنگ آن کامل بوده و لذا ناویژه است :

```
rank([C(1,:);T])
```

```
ans =
     4
```

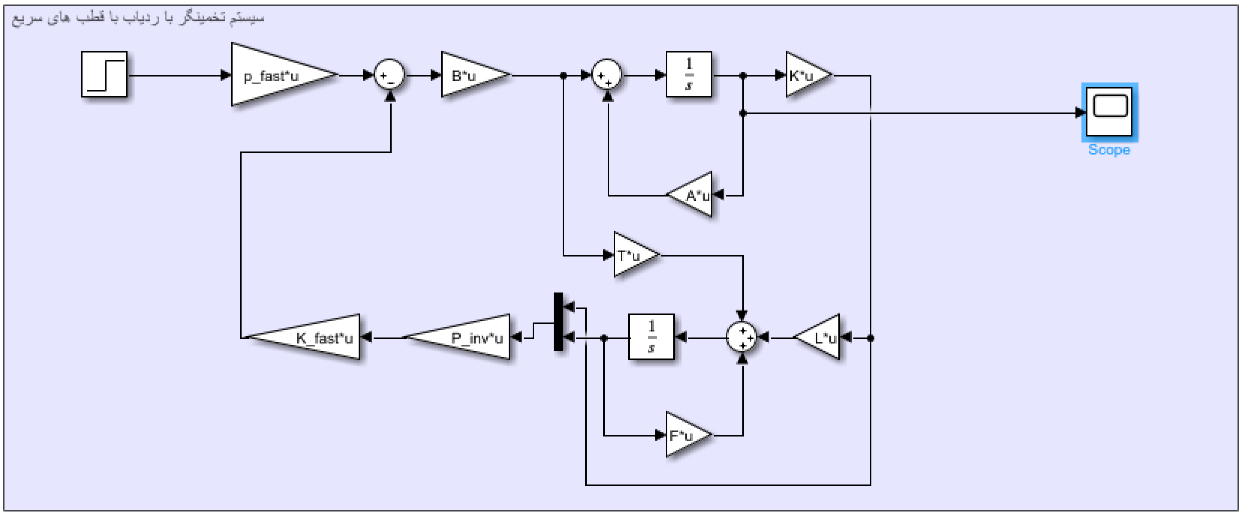
بررسی ویژه بودن یا نبودن ماتریس **P**

در این صورت، معادلات به صورت زیر خواهند بود :

$$\dot{Z} = FZ + TBu + Ly$$

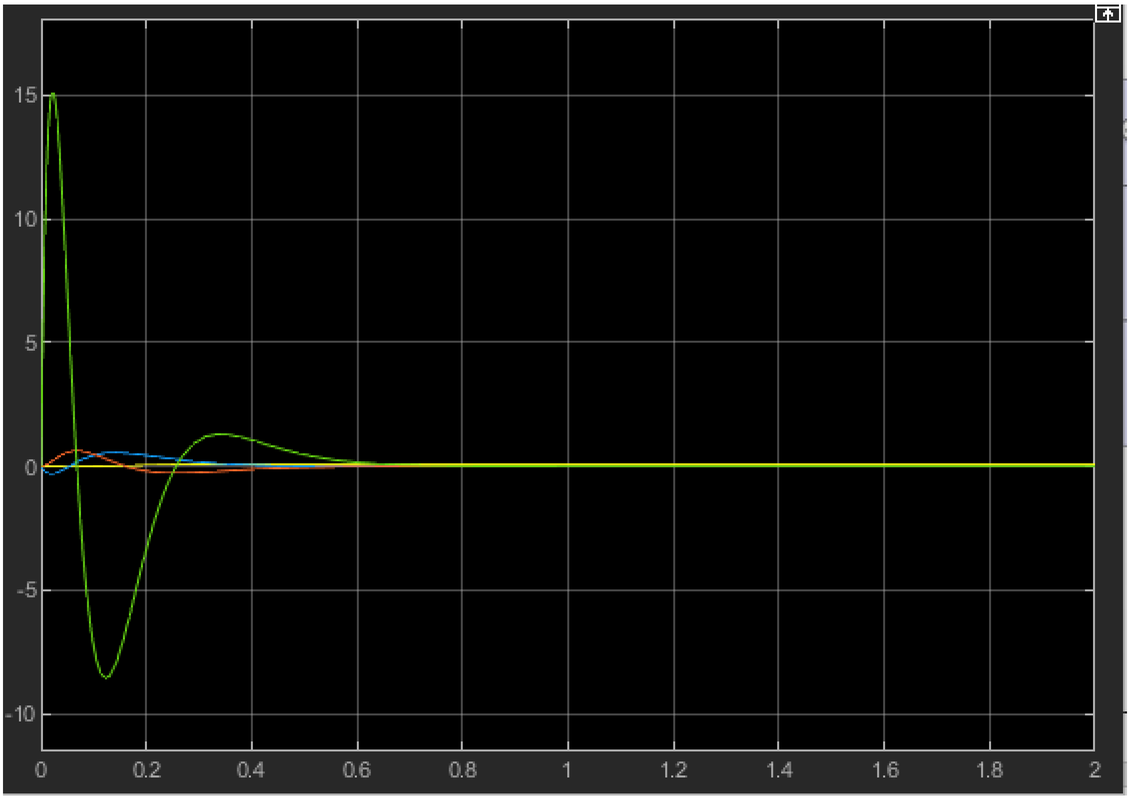
$$\hat{x} = \begin{bmatrix} C \\ T \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} y \\ z \end{bmatrix}$$

بلوک دیاگرام را به صورت زیر تشکیل داده به طوری که از قطب‌های سریع برای کنترل‌کننده و ردیاب استفاده می‌کنیم :



بلوک دیاگرام سیستم با تخمین‌گر کاهش مرتبه یافته

نتیجه‌ی خروجی متغیرهای حالت به صورت زیر خواهد بود :

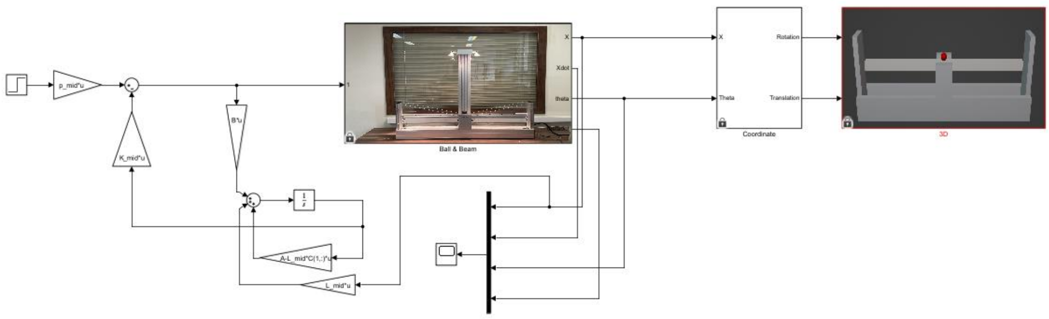


خروجی حالات در سیستم با تخمین‌گر کاهش مرتبه یافته

همانطور که انتظار داشتیم، حالات همگرا شده و موقعیت نیز به ۰,۱ می‌رسد. البته لازم به ذکر است که به خاطر استفاده از قطب‌های سریع، تا قبل از همگرایی دامنه نوسانات زیاد است و لذا مقدار ۰,۱ در نمودار مشخص نیست.

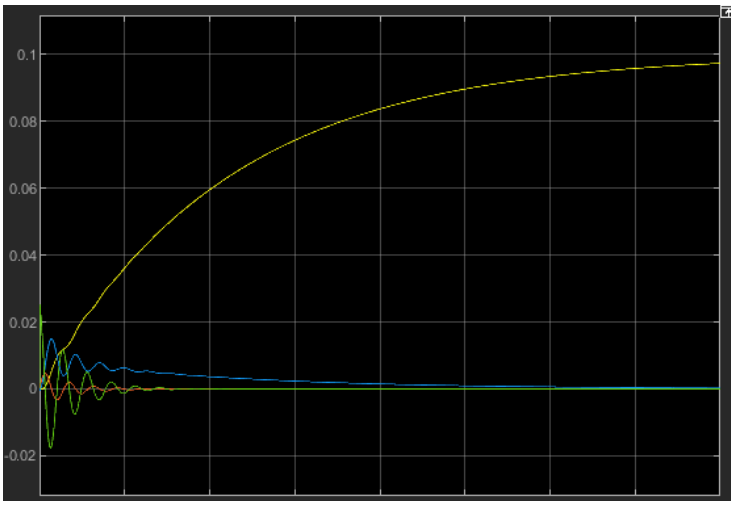
خواسته ۷ – کنترل‌کننده حالت با تخمین‌گر لیونبرگر و ردیاب بر روی سیستم غیرخطی

از تخمین‌گر لیونبرگ استفاده می‌کنیم و سیستم را به شکل بلوک دیاگرام زیر تشکیل می‌دهیم :



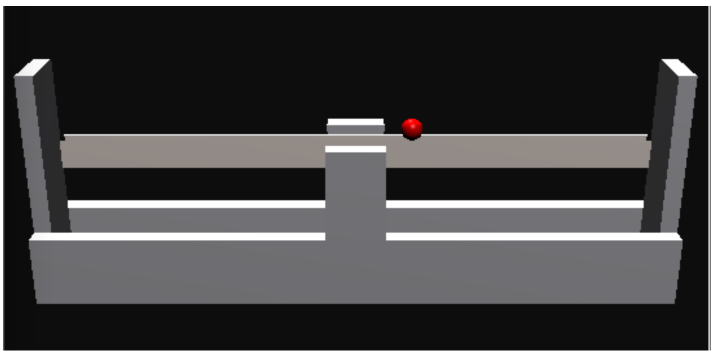
بلوک دیاگرام سیستم غیرخطی با تخمین‌گر لیونبرگ

برای طراحی تخمین‌گر و کنترل‌کننده از معادله قطب‌های مطلوب (s+8)*(s+7)*(s+6)*(s+5) استفاده کردیم و ردیاب نیز برای سیستم تعبیه کردیم. این قطب‌های متوسط نه کند و تند هستند و روی سیستم خروجی مناسب می دهند. خروجی حالات به شکل زیر می‌باشد که همانطور که انتظار داشتیم مکان به ورودی می‌رسد :



خروجی حالات در سیستم غیرخطی با تخمین‌گر لیونبرگ

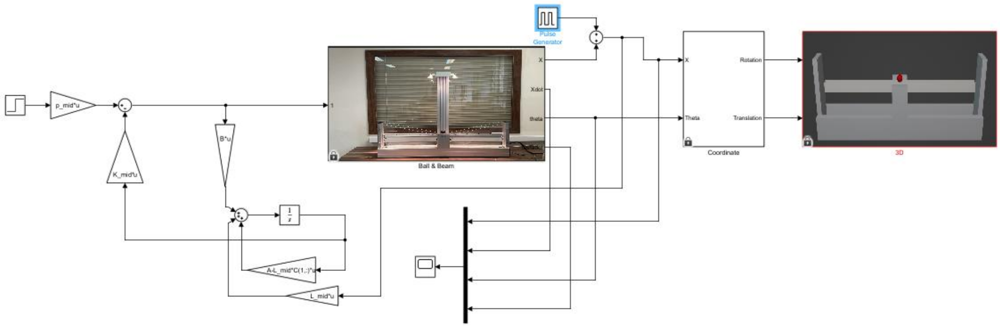
همچنین شمای سیستم در شکل زیر مشخص است که همانطور که انتظار داشتیم به ورودی (۰,۱) رسیده است :



خروجی شبیه‌ساز در سیستم غیرخطی با تخمین‌گر لیونبرگ

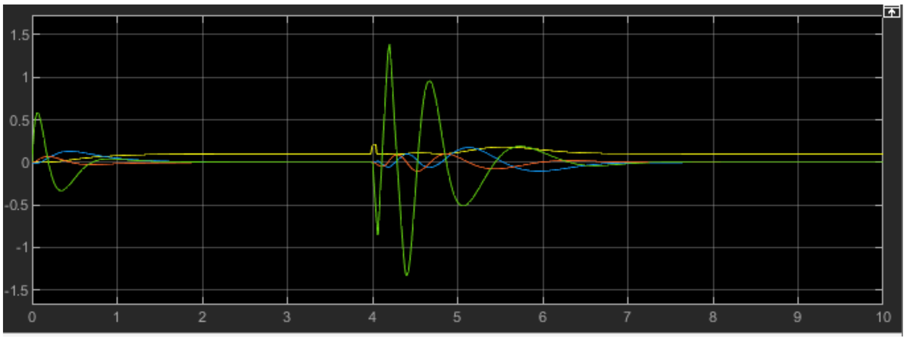
خواسته ۸ – کنترل و تخمین سیستم غیرخطی در حضور اغتشاش

بلوک دیاگرام سیستم به شکل زیر خواهد بود که در آن از قطب‌های متوسط استفاده شده:

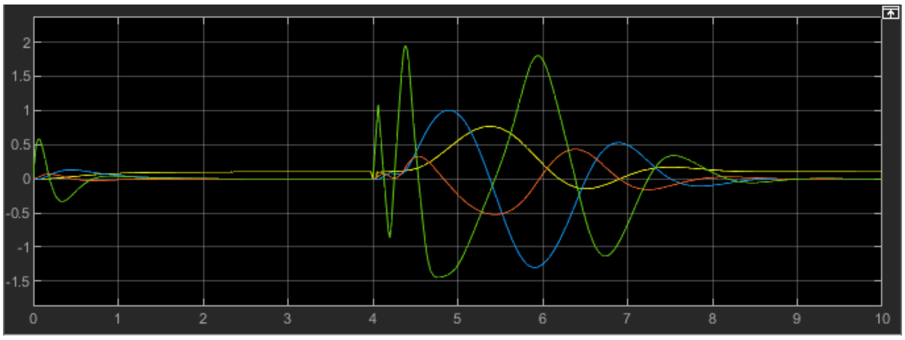


بلوک دیاگرام سیستم غیرخطی با کنترل‌کننده و تخمین‌گر در حضور اغتشاش

برای پیاده‌سازی پالس، دوره تناوب پالس را ۱۰ ثانیه و درصد کار آن را ۰,۵ درصد قرار دادیم تا شبیه پالس تکی عمل کند. در دو شکل زیر، پاسخ حالات به اغتشاش را مشاهده می کنیم :



خروجی حالات سیستم غیرخطی با کنترل‌کننده و تخمین‌گر در حضور اغتشاش 0.1



خروجی حالات سیستم غیرخطی با کنترل‌کننده و تخمین‌گر در حضور اغتشاش **-0.1**

همانطور که می‌بینیم، در هر دو حالت اغتشاش باعث ایجاد نوسان در حالات می‌شود اما پس از گذشت زمان این نوسانات میرا شده و سیستم دوباره به حالت پایدار می‌رسد. البته همانطور که در درس اشاره شد، اغتشاش ثابت می‌تواند رفتاری داشته باشد و اغتشاش پالس هم رفتاری. در این آزمایش به خصوص، آنچه ما می‌بینیم پایداری حالات پس از گذر زمان است. البته باید توجه کرد که دامنه نوسانات، از حدی نباید بالاتر برود که در خود نوسانات ما دچار گذر از مرز نشویم.