



دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات

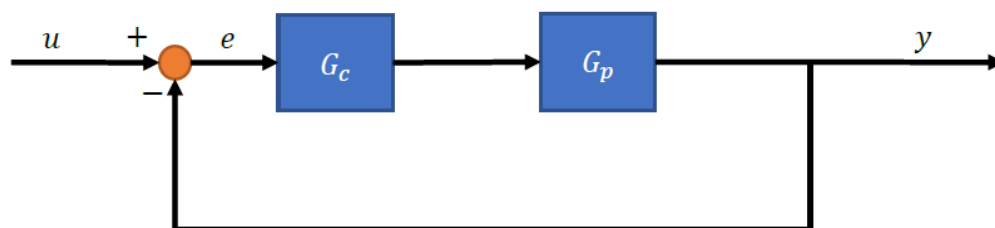
گزارش پروژه ی پایانی

یاسمن سادات میرمحمد

سیستم های کنترل خطی

پاییز ۹۷

سیستم کروز کنترل ، سیستمی برای ثابت نگه داشتن سرعت خودرو در شرایط مختلف جاده ای است مثل سراسیمگی ، سربالایی ، وزش باد مخالف ، ناهمواری جاده و ... است. در حین استفاده از این سیستم راننده بدون نیاز به فشردن پدال های ترمز و گاز، سرعت را با فشردن دکمه های مخصوص به آن تغییر میدهد. این تغییرات هر بار با فشردن آن دکمه به میزان یک واحد (یک کیلومتر بر ساعت) افزایش یا کاهش می یابد. در این پروژه قصد بر آن است تا کنترل کننده ای مناسب برای سیستم کروز طراحی کنیم تا عملکرد آن را تحت شرایط وجود سراسیمگی، وجود نویز و وجود تاخیر در سیستم کنترل بررسی کنیم.



$$\text{Plant TF: } G_p(s) = \frac{1}{(s + 0.1)(s + 4)(s + 10)}$$

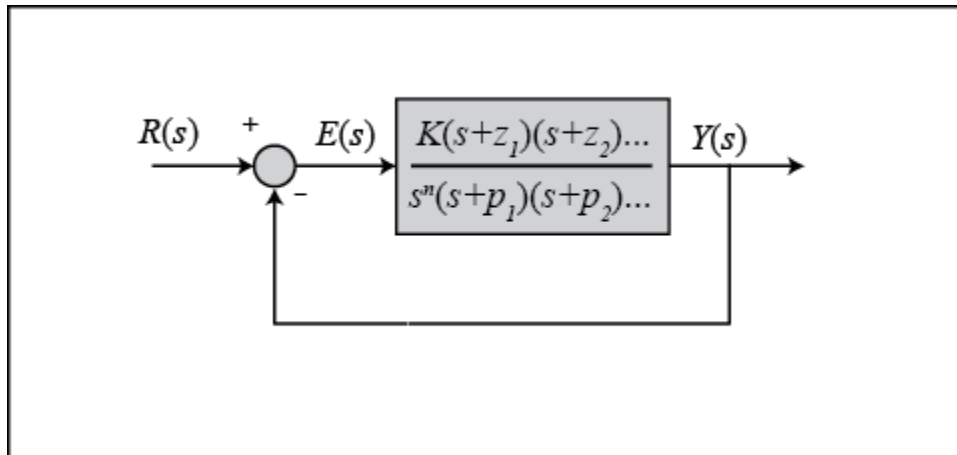
$$\text{Controller TF: } G_c(s) = k$$

Activat

(1)

نوع سیستم: درجه ی ۳ در مخرج ::

صفر است (و لذا انتظار داریم خطای حالت s این سیستم، نوع صفر است) (توان قطب ماندگار آن به ورودی پله مقداری ثابت و به ورودی شیب، بی نهایت باشد. این بدین معناست که سیستم ورودی شیب را نمی تواند دنبال کند.



$$= \frac{1}{(s + 0.1)(s + 4)(s + 10)}$$

$K_p: \frac{1}{4} \rightarrow \text{ess} = 1/(1+(1/4)) = 4/5$

$K_v: 0 \rightarrow \text{ess} = (\infty)$

$K_a: 0 \rightarrow \text{ess} = (\infty)$

Type 0 system	Step Input	Ramp Input	Parabolic Input
Steady-State Error Formula	$1/(1+K_p)$	$1/K_v$	$1/K_a$
Static Error Constant	$K_p = \text{constant}$	$K_v = 0$	$K_a = 0$
Error	$1/(1+K_p)$	infinity	infinity

Type 1 system	Step Input	Ramp Input	Parabolic Input
Steady-State Error Formula	$1/(1+K_p)$	$1/K_v$	$1/K_a$
Static Error Constant	$K_p = \text{infinity}$	$K_v = \text{constant}$	$K_a = 0$
Error	0	$1/K_v$	infinity

Type 2 system	Step Input	Ramp Input	Parabolic Input
Steady-State Error Formula	$1/(1+K_p)$	$1/K_v$	$1/K_a$
Static Error Constant	$K_p = \text{infinity}$	$K_v = \text{infinity}$	$K_a = \text{constant}$
Error	0	0	$1/K_a$

$$GP = 1/(s+0.1)(s^2+14s+40) = 1/(s^3+14s^2+40s+0.1s^2+1.4s+4) = 1/(s^3+14.1s^2+41.4s+4)$$

با توجه به نوع سیستم (که مرتبه ی قطب $s=0$ است و در اینجا 0 است)

میدانیم هر چقدر که قطب های تابع تبدیل حلقه باز را بیشتر کنیم، سیستم با خطای کمتری میتواند ورودی های مختلف را دنبال کند.

خطای حالت دائم به نوع سیستم وابسته است. هر چه نوع سیستم بالاتر برود (قطب های تابع تبدیل حلقه باز بیشتر شود)، سیستم حلقه بسته میتواند ورودی های بیشتری را با خطای حالت دائم صفر (یا ثابت) دنبال کند.

$$s \cdot \lim_{s \rightarrow 0} (1 + G(s)) \cdot \lim_{s \rightarrow 0} S \cdot \text{Error} = \lim_{s \rightarrow 0} S \cdot \text{Error} = \lim_{s \rightarrow 0} S \cdot \frac{1}{1 + G(s)} = \frac{1}{K_v}$$

$$\text{Error} = 1/K_v$$

$$K_v = \lim_{s \rightarrow 0} sG(s) = 0 \Rightarrow 1/K_v = \infty$$

تایید	تایید			ESS		
خطای	$K_p = \lim_{s \rightarrow 0} G(s)$	$K_v = \lim_{s \rightarrow 0} sG(s)$	$K_a = \lim_{s \rightarrow 0} s^2 G(s)$	$\frac{1}{1+K_p}$	$\frac{1}{K_v}$	$\frac{1}{K_a}$
صفر	K_p	0	0	$\frac{1}{1+K_p}$	∞	∞
یک	∞	K_v	0	0	$\frac{1}{K_v}$	∞
دو	∞	∞	K_a	0	0	$\frac{1}{K_a}$
سه	∞	∞	∞	0	0	0

این موضوع را با متلب تست میکنیم:

را یک در نظر گرفتیم) K

(۲)

درجه سیستم: ۳

قطب ها:

۱/۰- و ۴- و ۱۰=

صفرها: ----

چون تمام قطب های سیستم، در سمت چپ $j\omega$ قرار دارند، بله پایدار است.

چک کردن با متلب با دستور `isstable`:

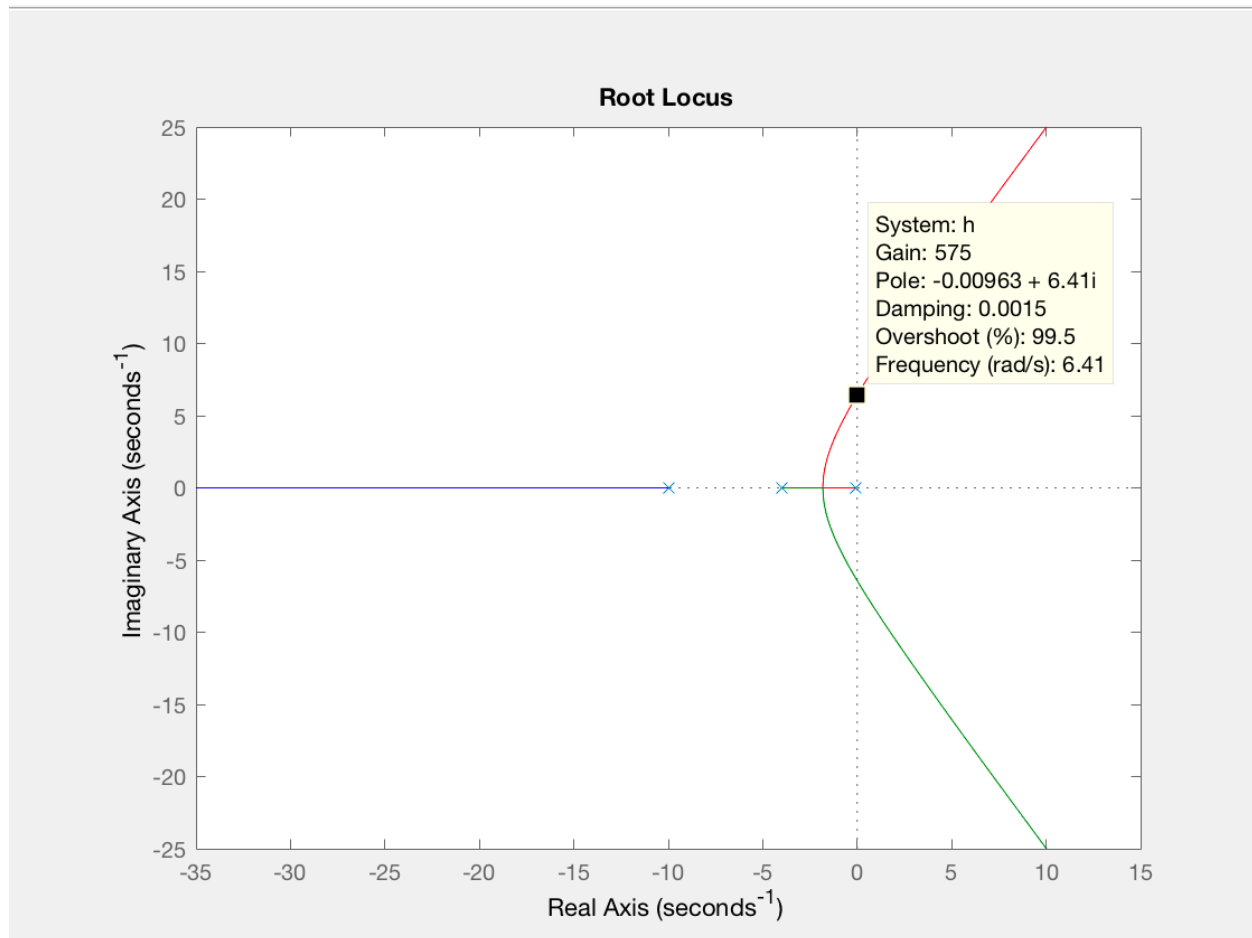
`B = isstable(sys)` returns a logical value of 1 (true) if the dynamic system model `sys` has stable dynamics, and a logical value of 0 (false) otherwise. If `sys` is a model array, then `B = 1` only if all models in `sys` are stable.

`B = isstable(sys,'elem')` returns a logical array of the same dimensions as the model array `sys`. The logical array indicates which models in `sys` are stable.

`isstable` is only supported for analytical models with a finite number of poles.

Ans:**B =****1**

در نتیجه سیستم پایدار است.



برای اینکه ببینیم به ازای چه مقدار از بهره پایدار است باید از روش راث هورویتز استفاده کنیم:

$$T = G(s).H(s) / 1 + G(s)H(s) \rightarrow k/(s^3 + 14.1s^2 + 41.4s + 4) / 1 + (k/(s^3 + 14.1s^2 + 41.4s + 4))$$

$$\Delta(s) = k + (s^3 + 14.1s^2 + 41.4s + 4)$$

S3	1	41.4	k
S2	14.1	4	0
S1	41.1	k	0
S0	(164.4-14.1k)/41.1	0	0

\Rightarrow for $0 < k < 575$ system is stable.

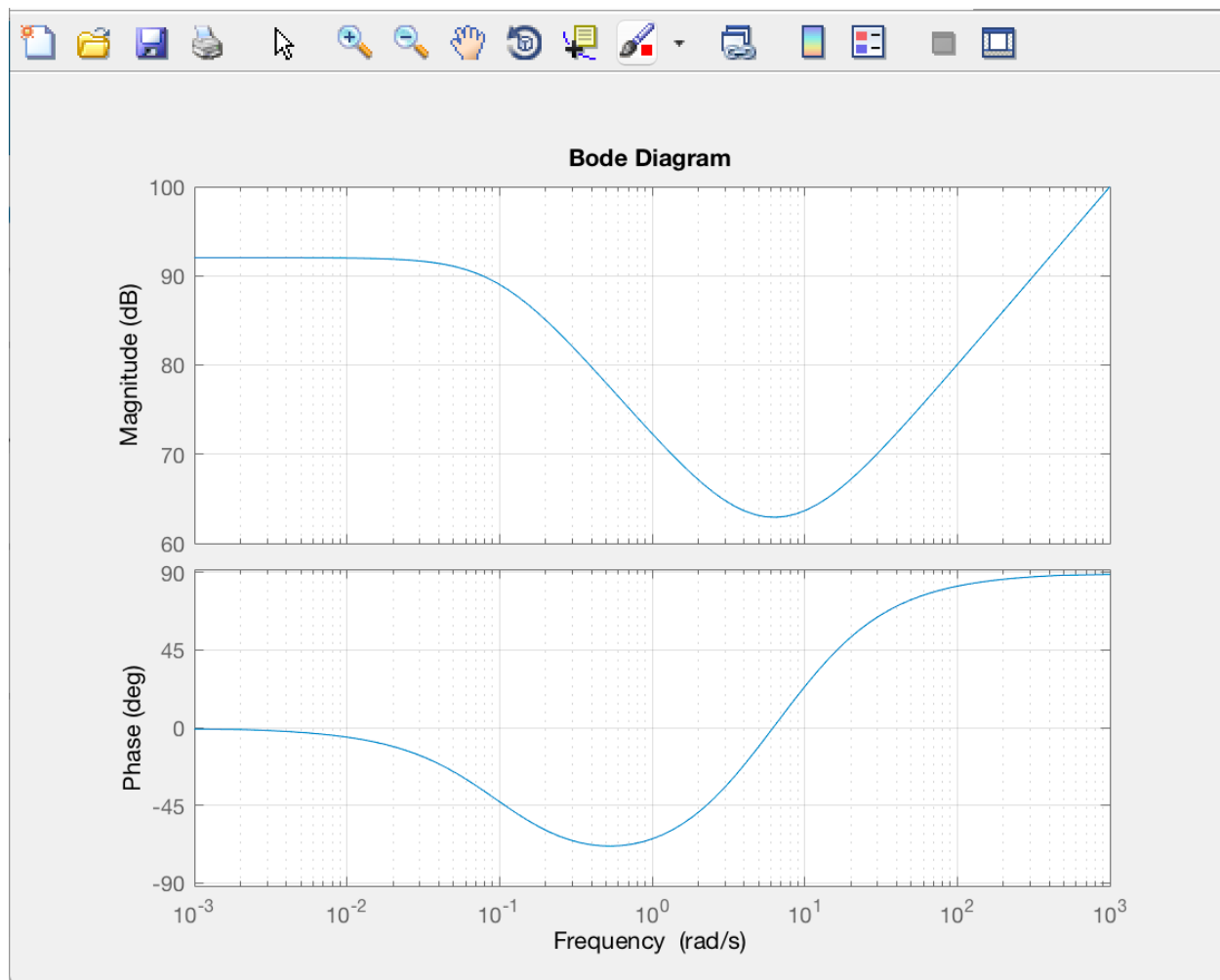
$$\Rightarrow (s+0.1) * (s^2+14s+40) \rightarrow 1/s^3 + 14.1s^2 + 41.4s$$

(۴)

را رسم میکنیم تا مقادیر $G_c.G_p$ ب کمک متلب نمودار بودی ، $k=$ حال با فرض 100
فرکانس گذر بهره، حاشی ه فاز ، فرکانس گذر فاز و حاشی ه بهره را ب دست آوریم:

```
s=tf('s');
G=100/(s+0.1)*(s+4)*(s+10)
bode(G)
```

grid on

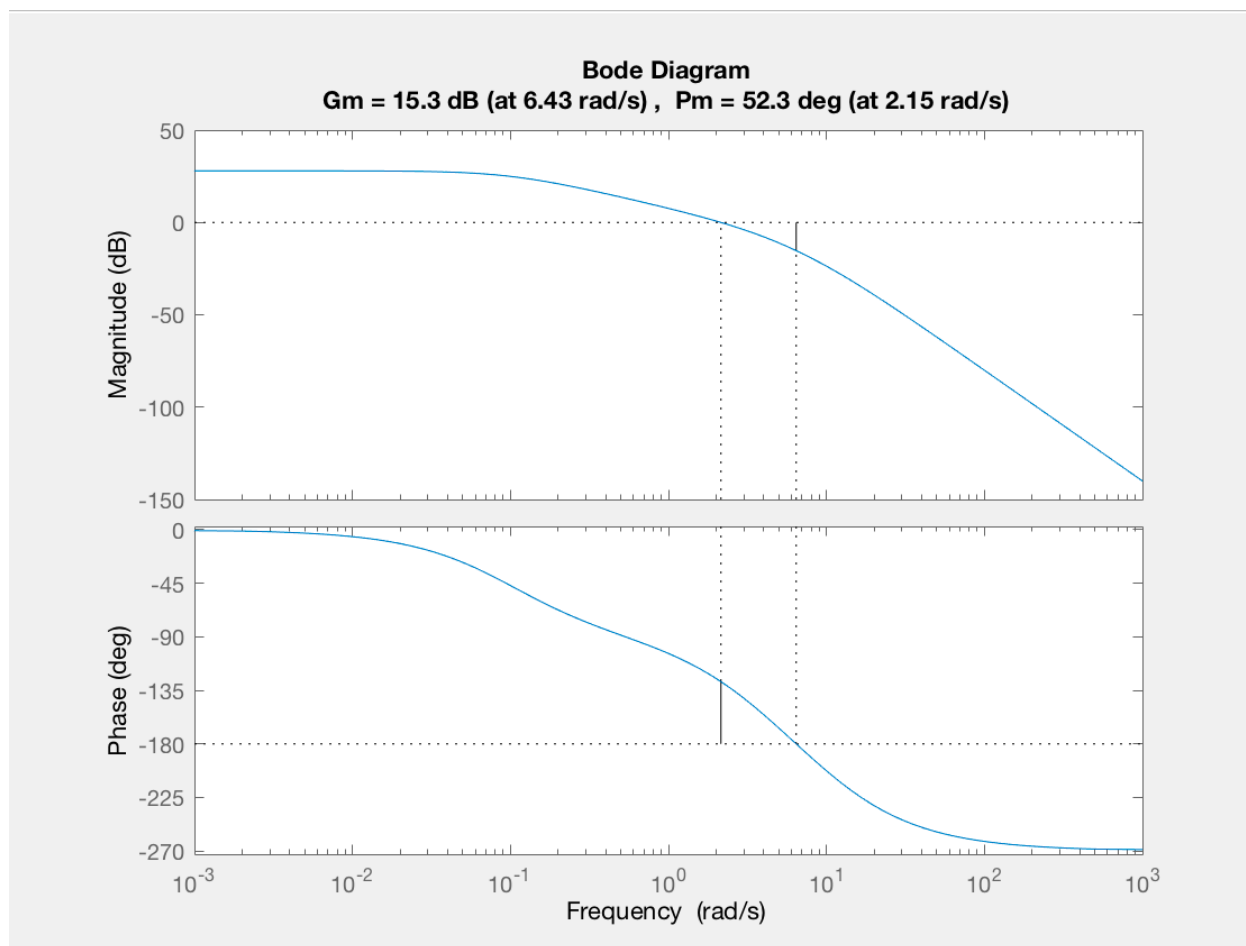


فرکانس گذر بهره: تو چه فرکانسی بهره صفر دسی بل میشه؟

حاشیه فاز: تو فرکانسی که بهره صفر دسی بل میشه فاز چند درجه با -180 - فاصله داره؟

فرکانس گذر فاز: تو چه فرکانسی فاز صفر درجه میشه؟

حاشیه بهره: تو فرکانسی که فاز صفر درجه میشه بهره چقدر با صفر دسی بل فاصله داره؟



مقدار عقب ماندگی فاز اضافی در (Phase margin) حاشی ه فاز یا حاشی ه زاوی ه یا

فرکانس عبور بهره کخ ه سیستم را در آستان ه ی ناپایداری قرار میدهد.

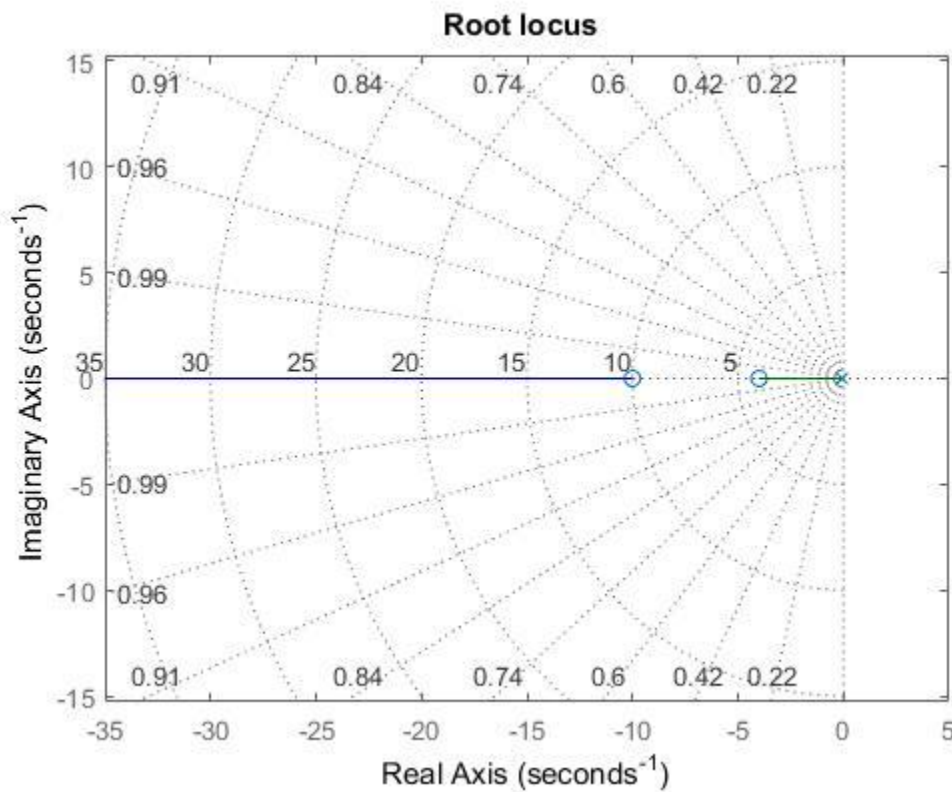
تختلاف فاز بین سیگنال خروجی و ورودی یک سیستم) یا تابع فرکانسی سیستم (از 180

درج هاست ک ه بر حسب درج ه بیان میشود.

فرکانس عبور بهره : فرکانسی است ک ه در آن حاشی ه ی بهره برابر صفر دسی بل باشد و

فرکانس عبور فرکانسی است که در آن حاشی‌ه‌فاز برابر ۱۸۰ - درج‌ه‌باشد.

حاشی‌ه‌ب‌هره : مقدار ب‌هره که ه‌میتواند افزایش یابد تا سیستم در استان‌ه‌ی ناپایداری قرار بگیرد.



(5)

کنترل کننده ی تناسبی: PD

در این نوع کنترلر، فرآیند مستقیماً توسط سیگنال ورودی کنترل می شود.

برای تعیین پارامترهای مختلف و برآوردن خواسته های مساله من از controlsystemdesigner خود متلب استفاده کردم.

استفاده از کنترلر میتواند خطای حالت ماندگار و پاسخ گذرا را تصحیح کند. این کنترلر صفر و قطبی به سیستم اضافه نمیکند

پس به نظرم میرسد که نمیتواند این خطا را صفر کند.

برای این که سیستم خواست های مسئله را تامین کند، هر یک از شروط را محاسبه میکنیم.

ابتدا باید در نظر داشت که با توجه به این که قطب - 10 از قطب - 0.1 ده برابر کوچکتر است، با لحاظ پایداری، میتوان از قطب - 10 صرف نظر کرد و مانند یک سیستم با دو قطب در تابع تبدیل مستقیم، روابط را پیاده سازی کرد.

$$T(S) = \frac{Wn^2}{s^2 + 2\zeta Wn.S + Wn^2} = \frac{k}{s^2 + 4.1 s + (K + 0.4)}$$

$$Wn^2 = k + 0.4$$

$$\zeta = \frac{4.1}{2.\sqrt{k} + 0.4}$$

$$Tsetteling = \frac{8}{4.1} = 1.95 \quad \text{صدق میکند}$$

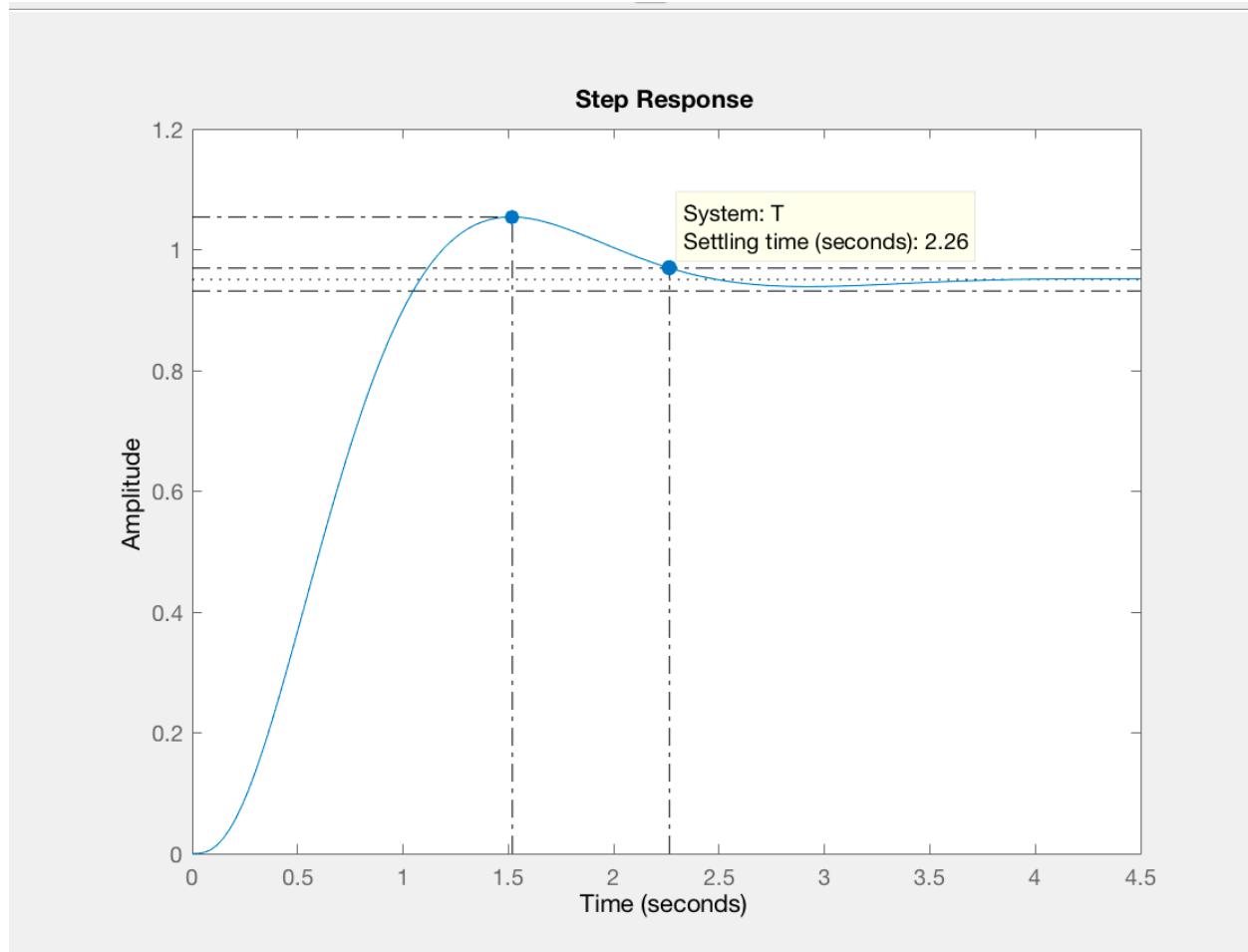
$$Mp = \exp\left(\frac{-\frac{\xi\pi}{2\sqrt{k} + 0.4}}{\sqrt{1 - \left(\frac{4.1^2}{4.(k + 0.4)}\right)}}\right) < 12\% \Rightarrow K < 13.0288$$

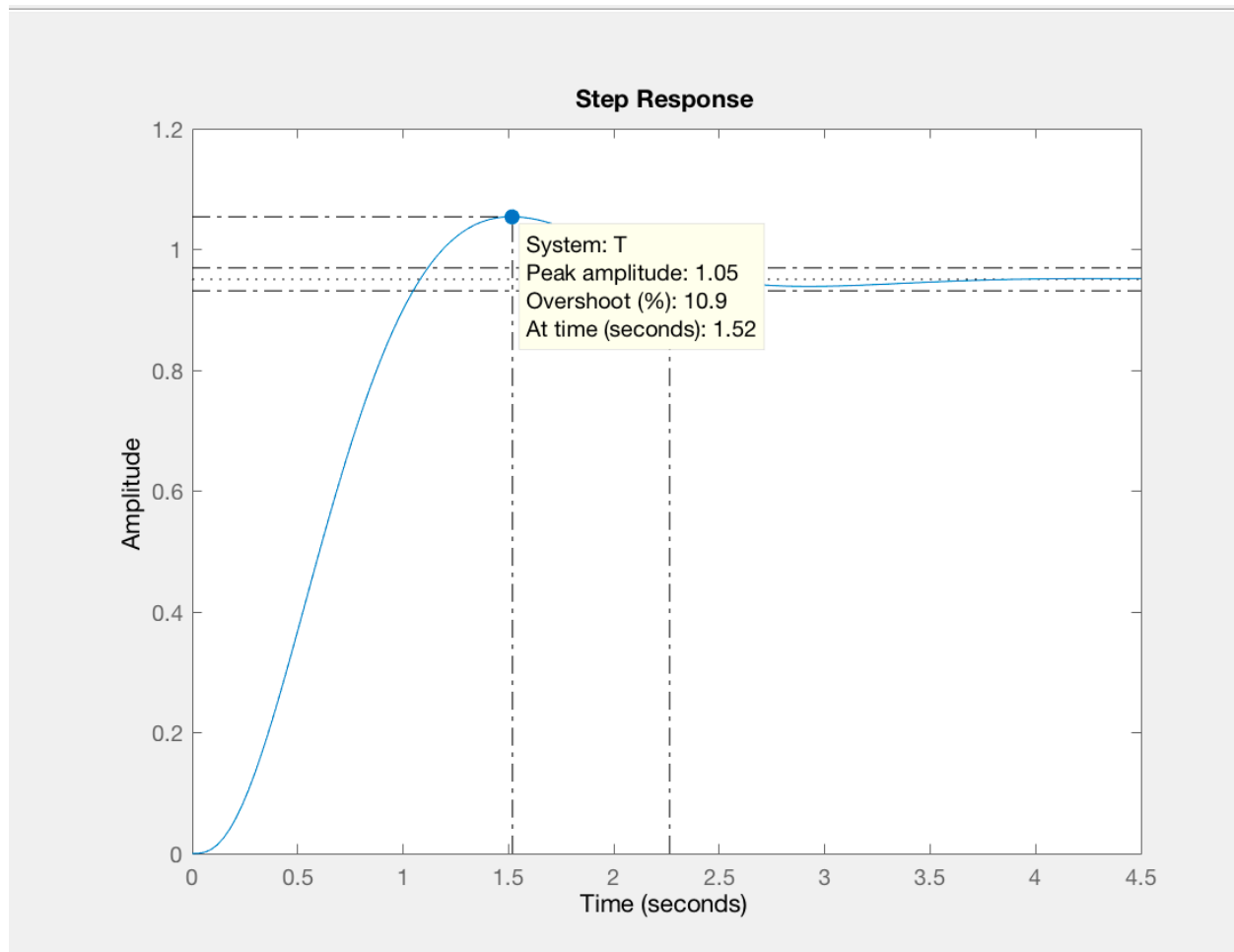
$$Ess < 0.05 \text{ Ref.} \Rightarrow \frac{1}{1 + G(s)} < \frac{5}{100} \Rightarrow k > 76$$

```
h = tf([1],[1,14.1,41.4,4]);
```

```
step(T)
```

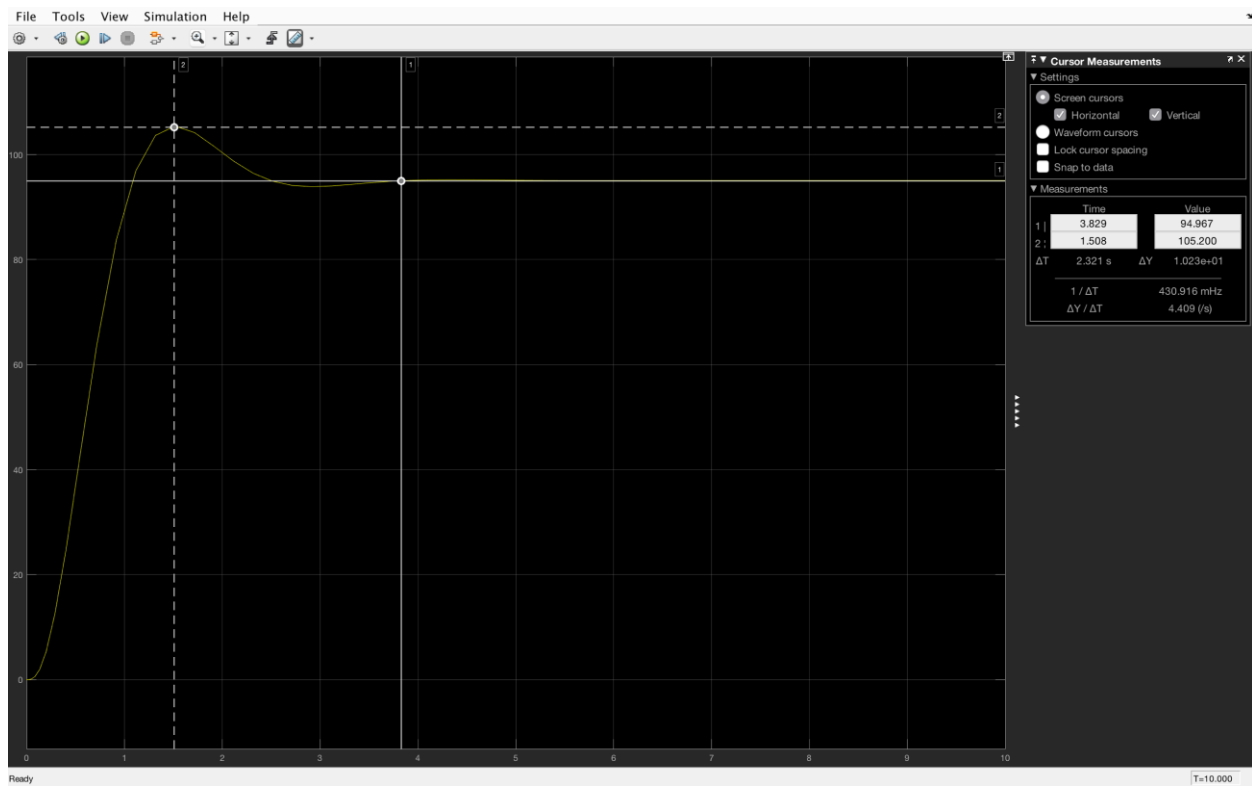
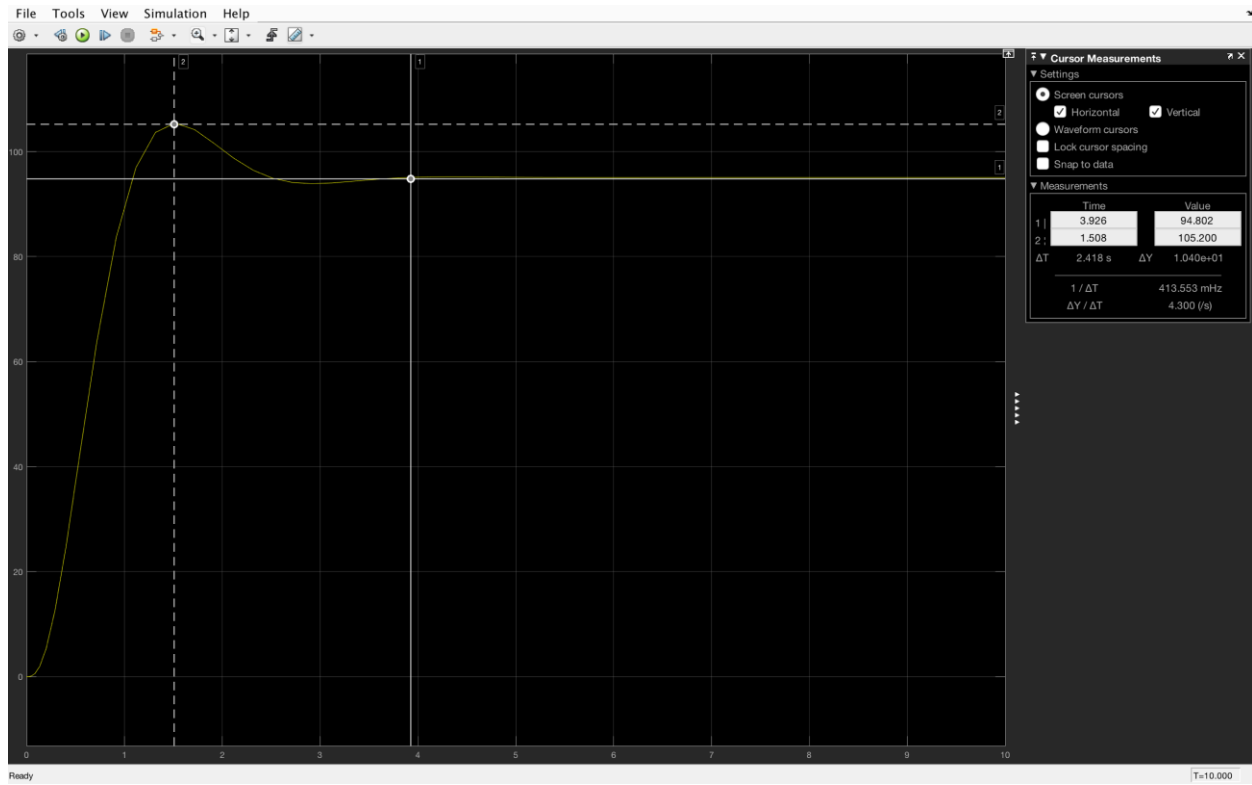
```
H=1;  
kp=77;  
ki=0;  
kd=0;  
c=pid(kp,ki,kd);  
T=feedback(c*h,H);
```





overshoot	Steady state error	Settling time
0.05%	0.05 %	2.26

Settling time	overshoot	Steady state error
3.829	5.2 %	0.05 %



ملاحظه میکنیم که این کنترلر خطا را کمینه کرده است و لذا مناسب است.

(۶)

خطای حالت ماندگار سیستم در مراحل قبل، شرط را برآورده کرد اما برای صفر کردن آن، با توجه به این که سیستم درجه صفر است، مطمئن ترین راهکار آن است که با استفاده از یک کنترلر که نوع سیستم را درجه یک میکند، خطای سیستم نسبت به ورودی پله را صفر کنیم.

$$PID \text{ controller TF: } G_c(s) = k_p + \frac{k_I}{s} + k_d s$$

```
h = tf([1],[1,14.1,41.4,4]);
```

```
H=1;
```

```
kp=75.0069;
```

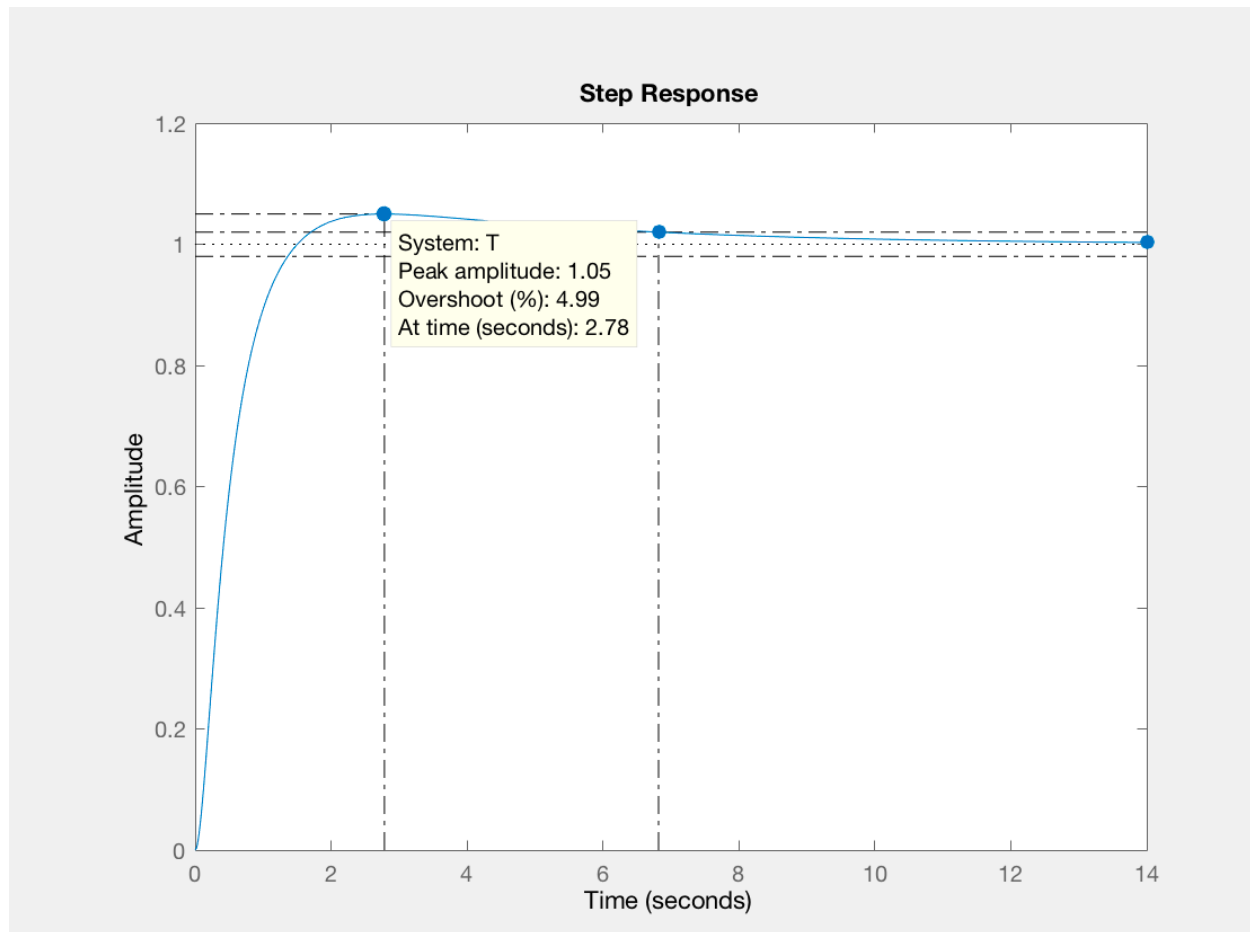
```
kd=20;
```

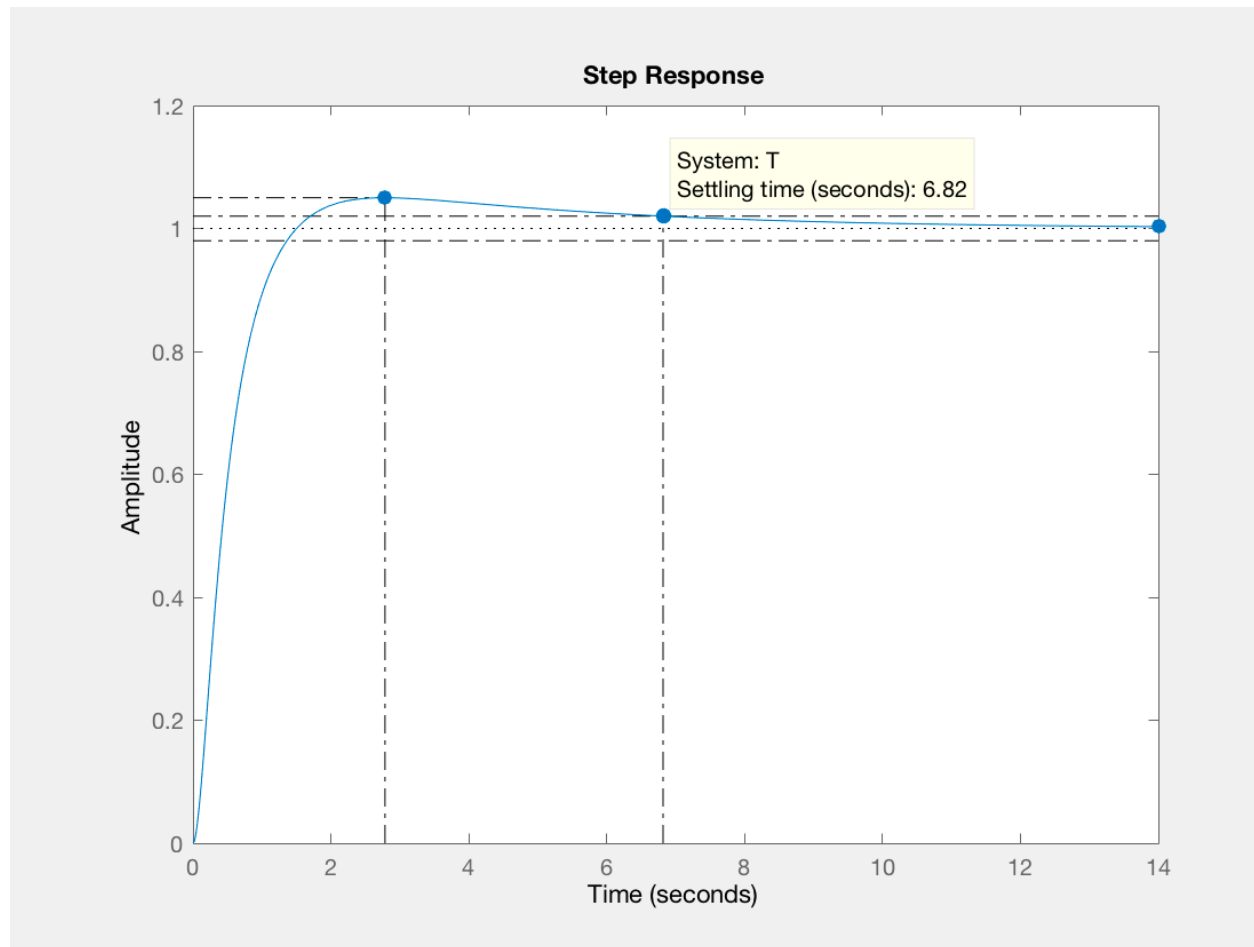
```
ki=17.0275;
```

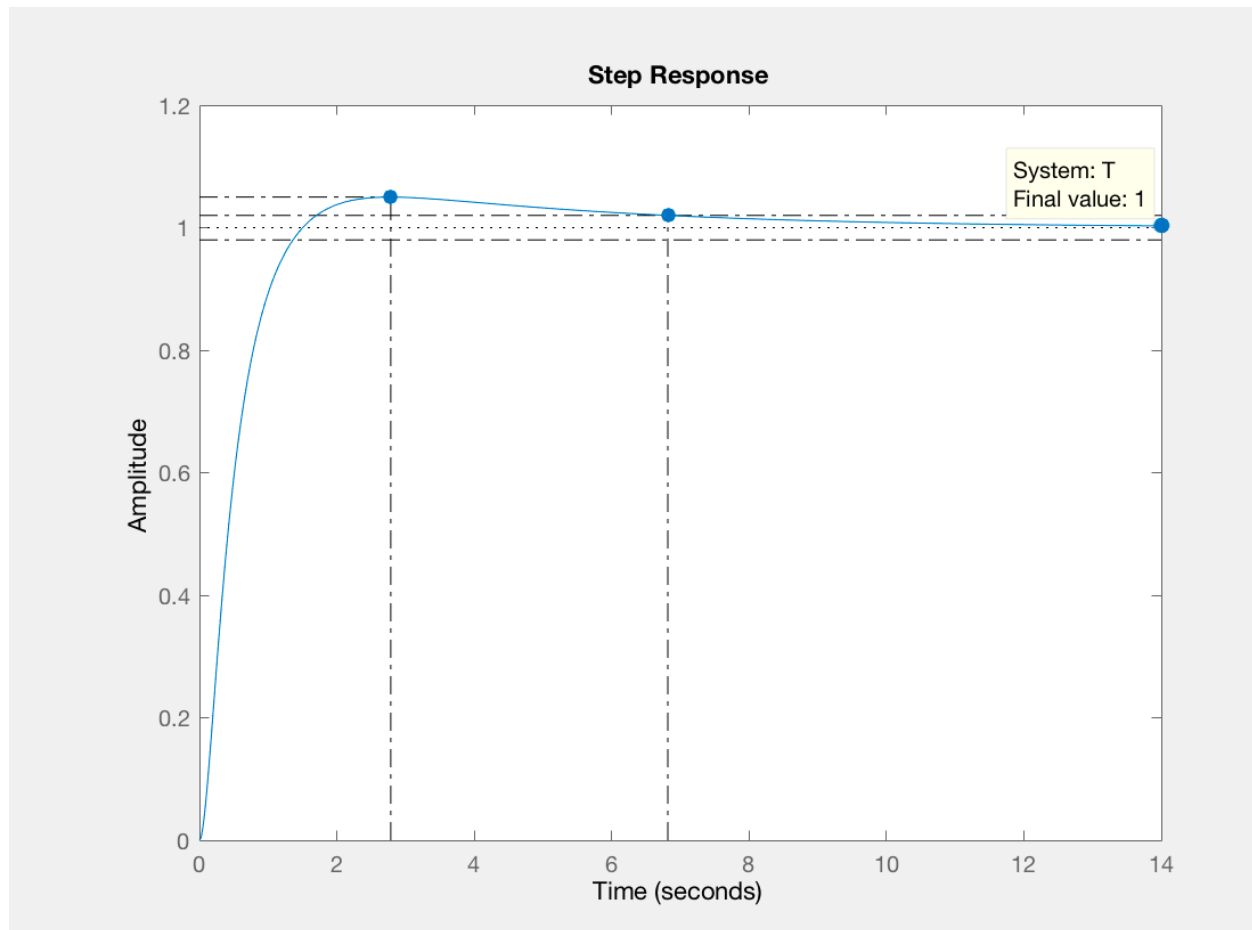
```
c=pid(kp,ki,kd);
```

```
T=feedback(c*h,H);
```

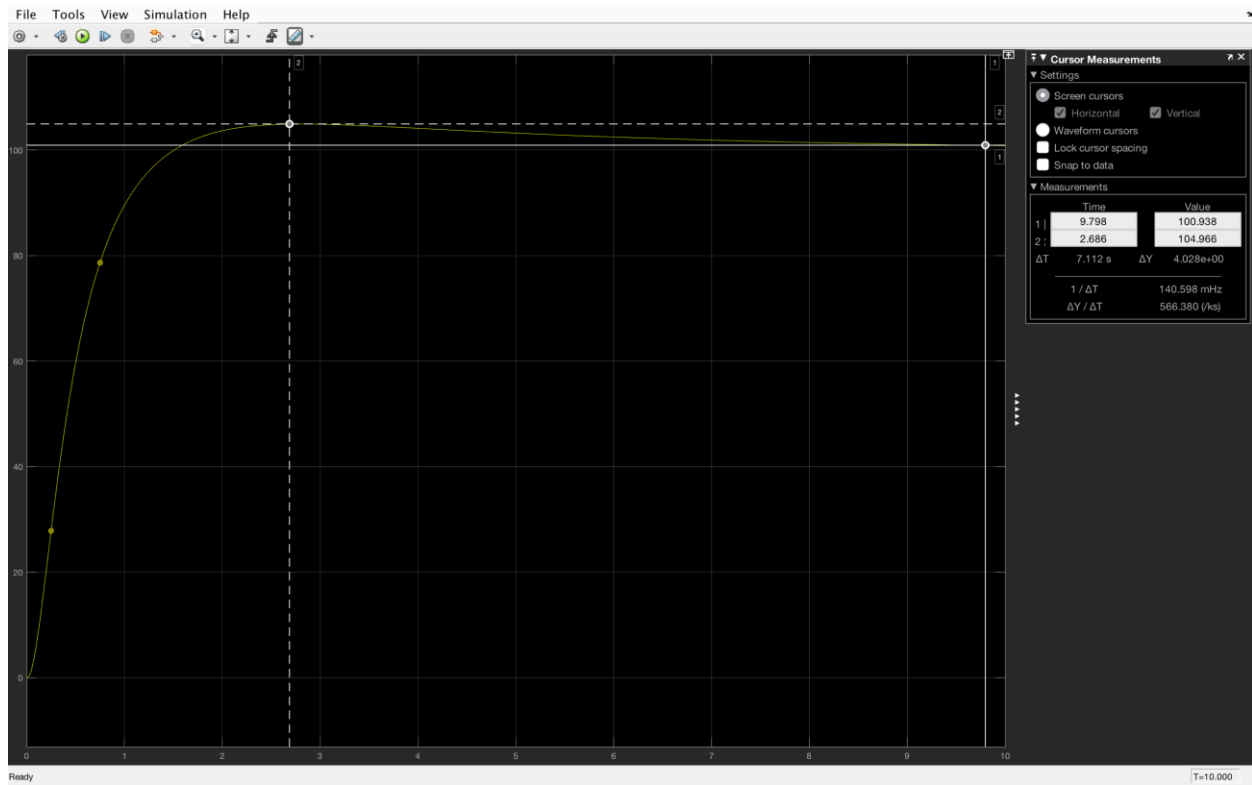
```
step(T)
```



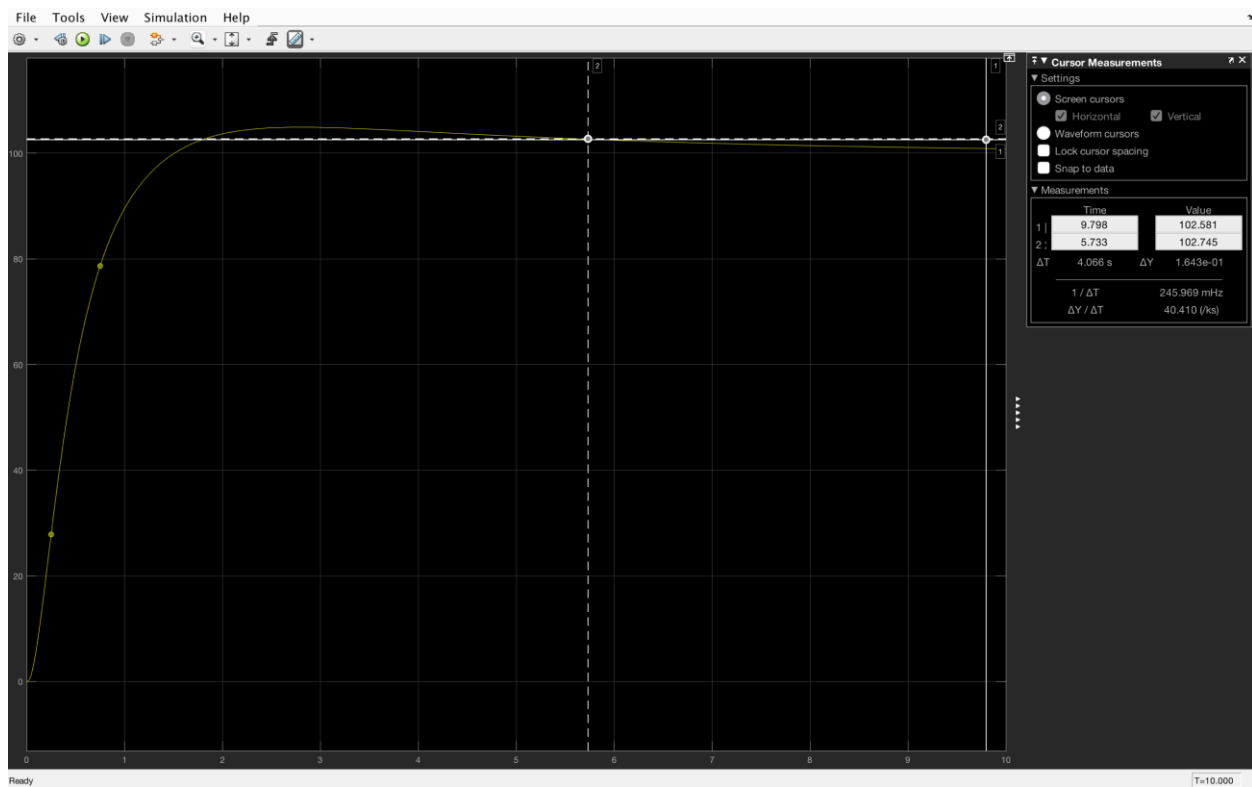




Steady state error	Settling time	overshoot
0	6.82	0.05%



steady state error of system is 0.09% and overshoot is 9.798%



settling time of system is 5.733

Steady state error	Settling time	Overshoot
0.009%	5.733	9.798

(۷)

اثر اغتشاش (شیب):

شیب منفی : افزایش سرعت

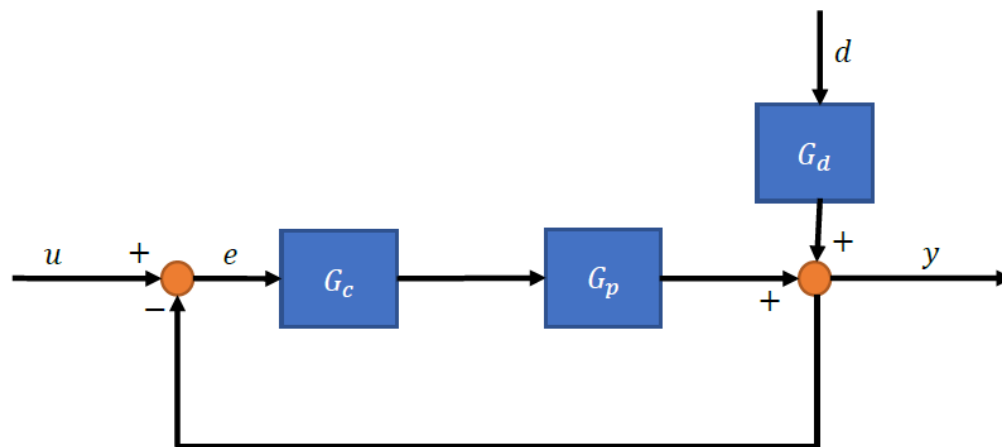
شیب مثبت : کاهش سرعت

طبق اصل جمع اثار:

پاسخ کل سیستم برابر حاصل جمع پاسخ سیستم به هر یک از ورودی ها در نبود ورودی دیگر است.

D: زاویه جاده

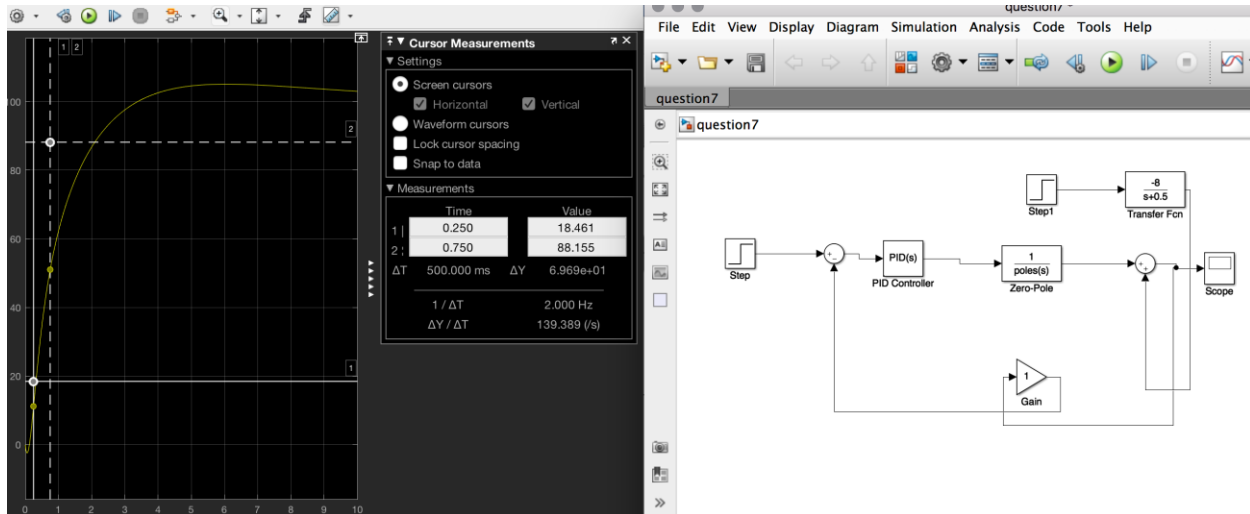
$$(GS*GP / 1+GS*GP) +GD$$



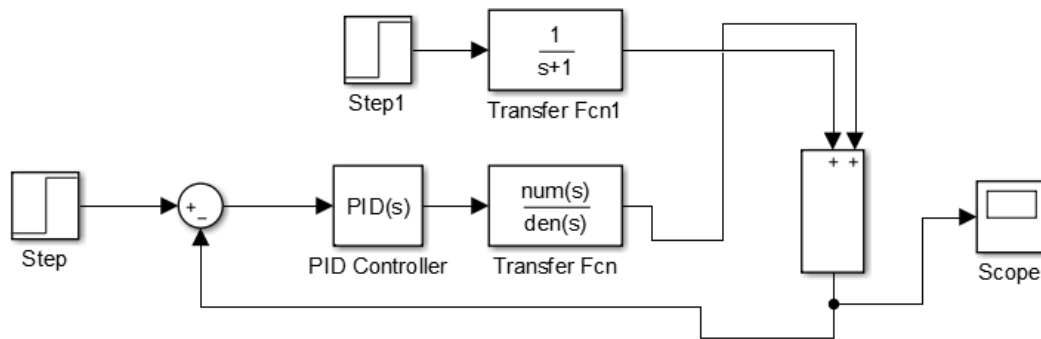
$$\text{Disturbance TF: } G_d(s) = \frac{-8}{s + 0.5}$$

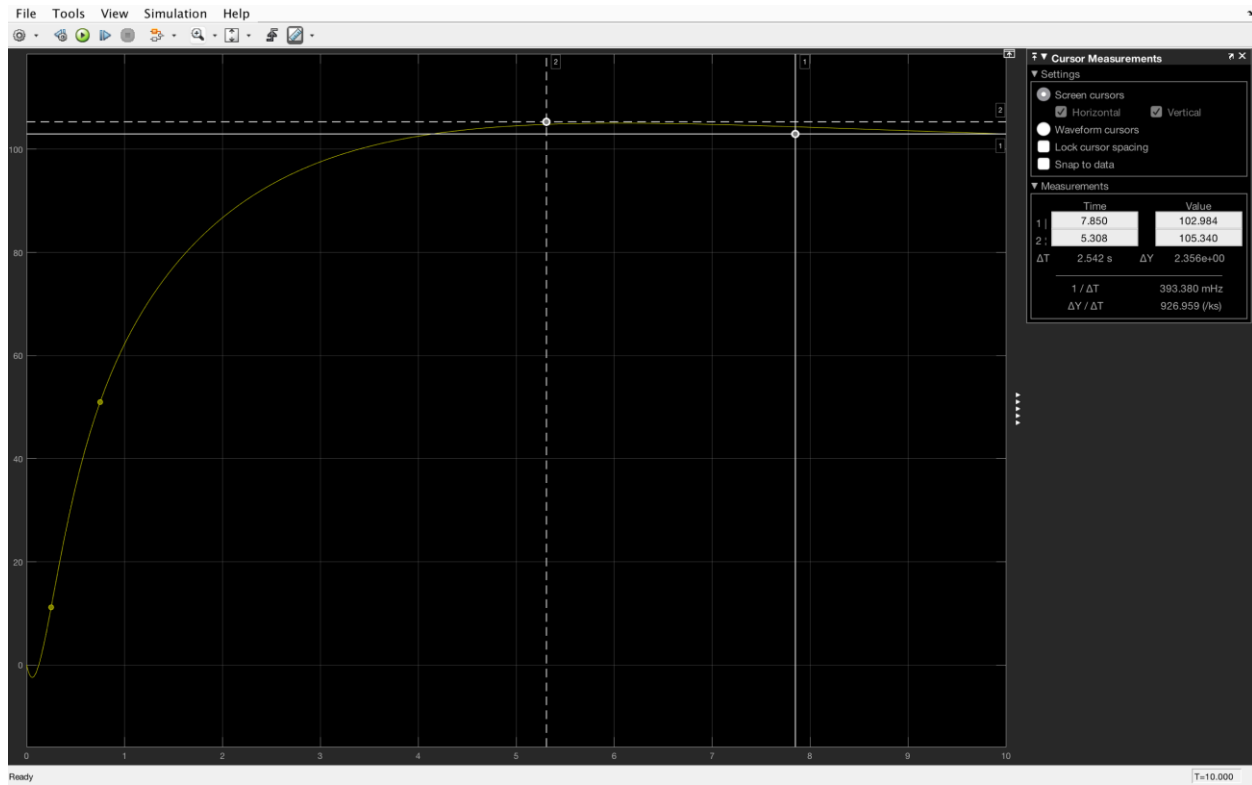
$$\text{Disturbance input: } d = 10^\circ$$

Activate
Go to Set

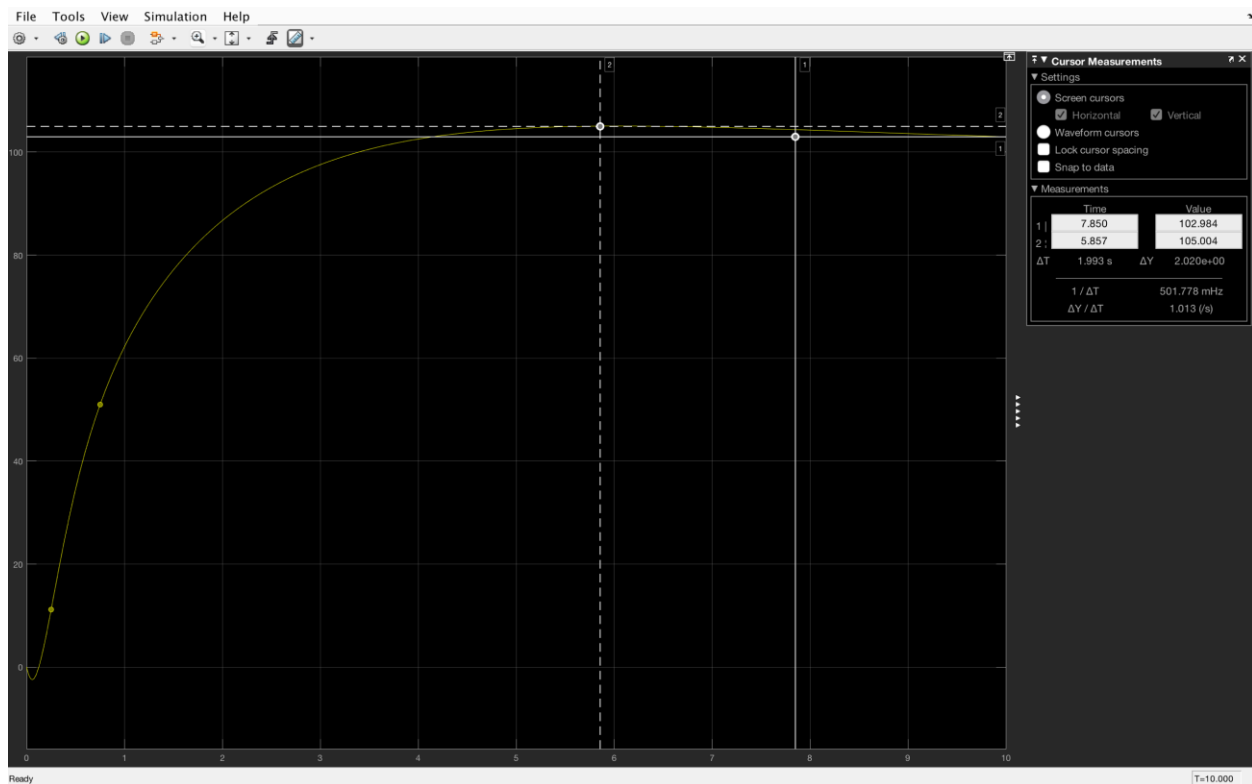


احتمالا اضافه کردن این اغتشاش باعث ناپایداری سیستم خواهد شد.





overshoot(105.340) and steady state error is 0.02984
settling time is 5.857 s.



در این سیستم، زمان نشست (مطابق شکل 14) برابر 5.857 ثانیه است و مقدار فراجهش آن (مطابق شکل 13) برابر 105.340 است که طبق خواسته های مسئله است. خطای حالت ماندگار آن برابر است با:

$$\frac{Y(\text{final}) - Y(\infty)}{Y(\text{final})} = \frac{100 - 102.984}{100} = 0.02984$$

خطای حالت ماندگار آن برآورده شده است.

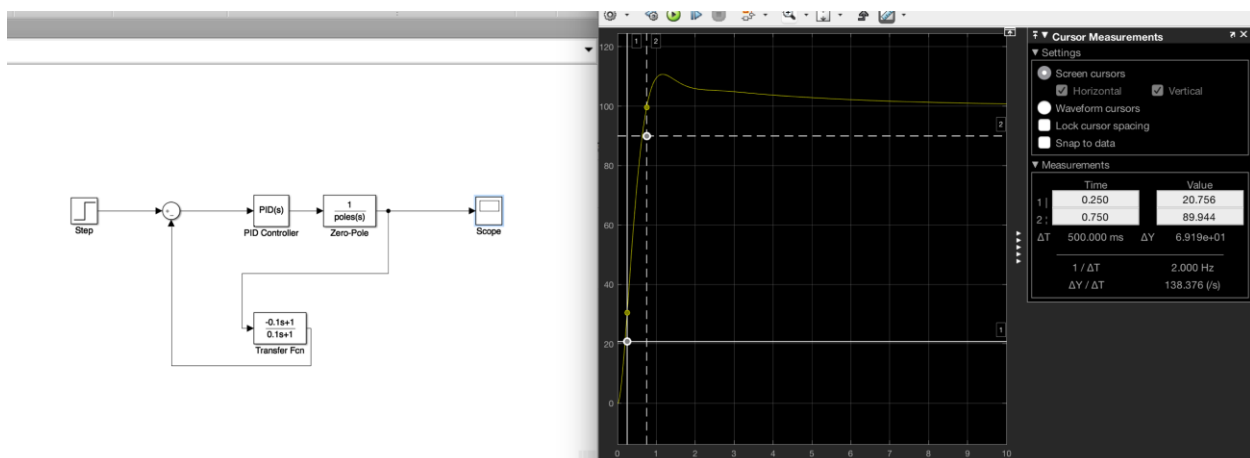
Steady state error	Settling time	overshoot
0.02984%	5.857	5.34 %

(۸)

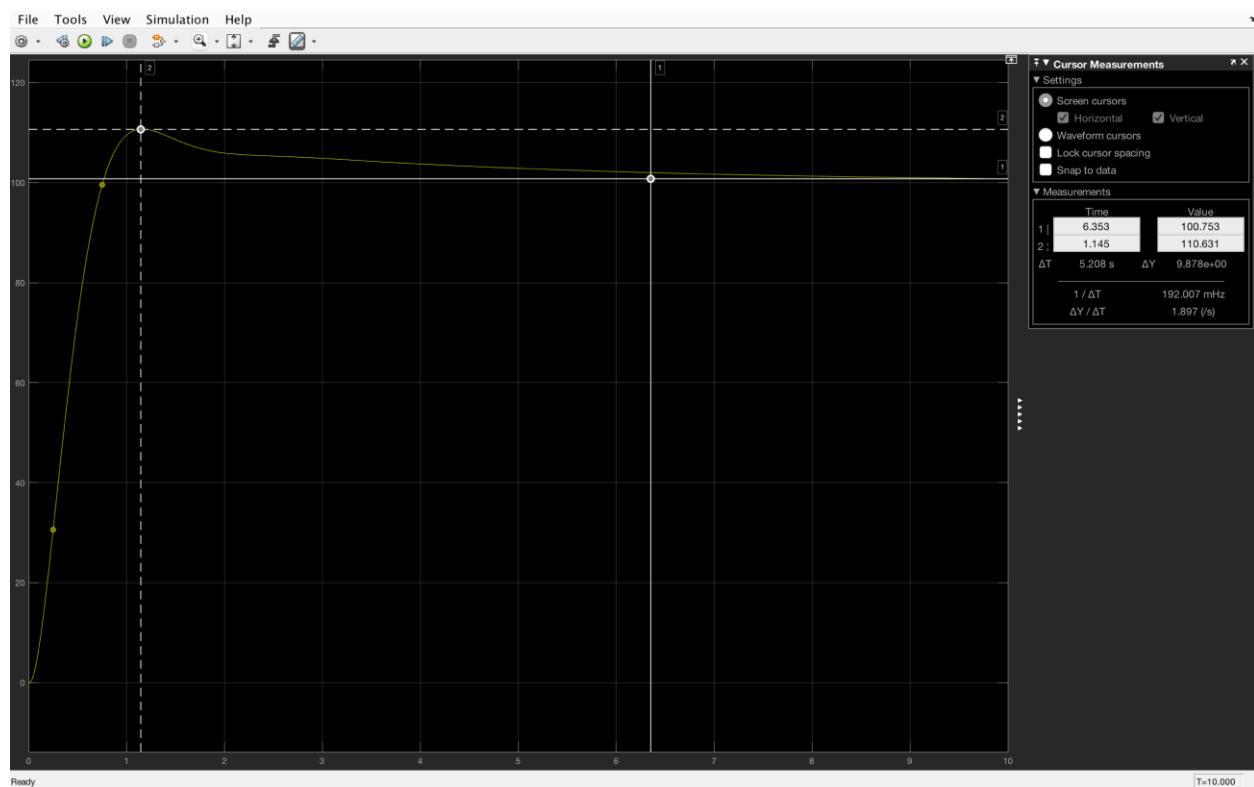
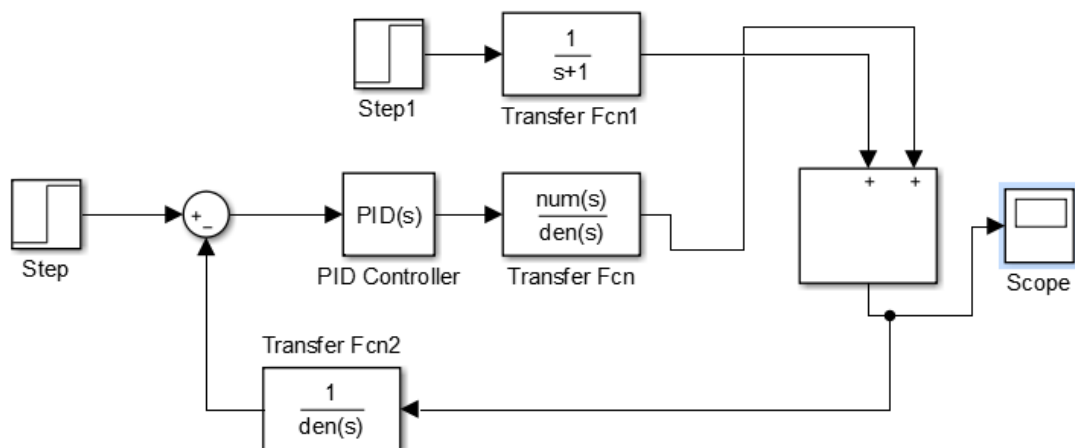
برای بررسی شرایطی که سنسور اندازه گیرنده ی سرعت خودرو ایده آل نیست، فرض میکنیم که سنسور ب ه اندازه ی 0.2 ثانی ه در اندازه گیری تاخیر دارد.

تقریب تابع به شکل زیر است:

$$s^3 + 120 s^2 + 6000 s + 1.2e05$$

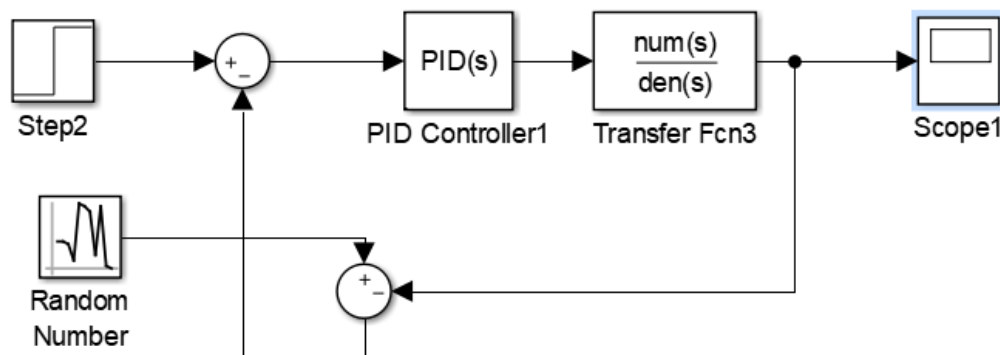


Settling time	Steady state error	overshoot
2.89	0.0075 %	10.631 %

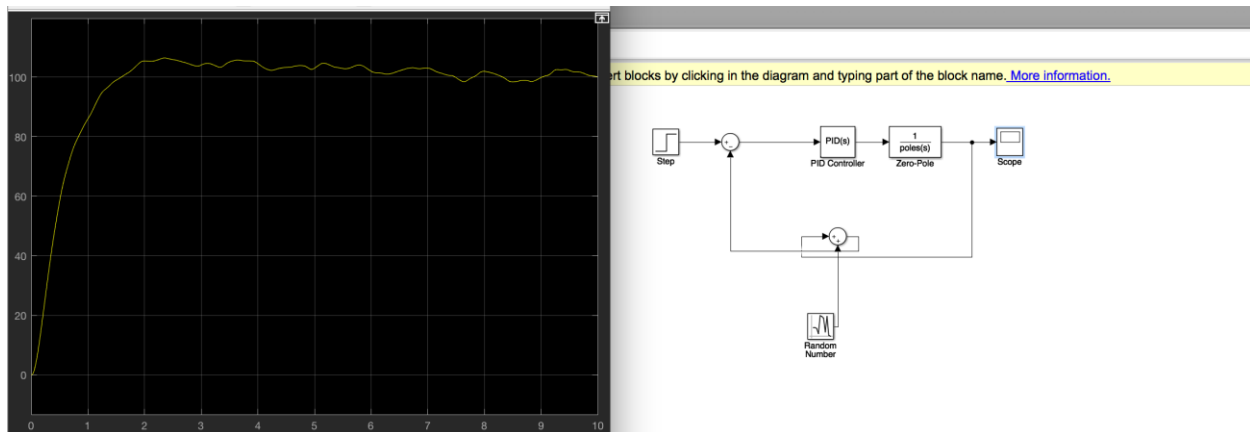


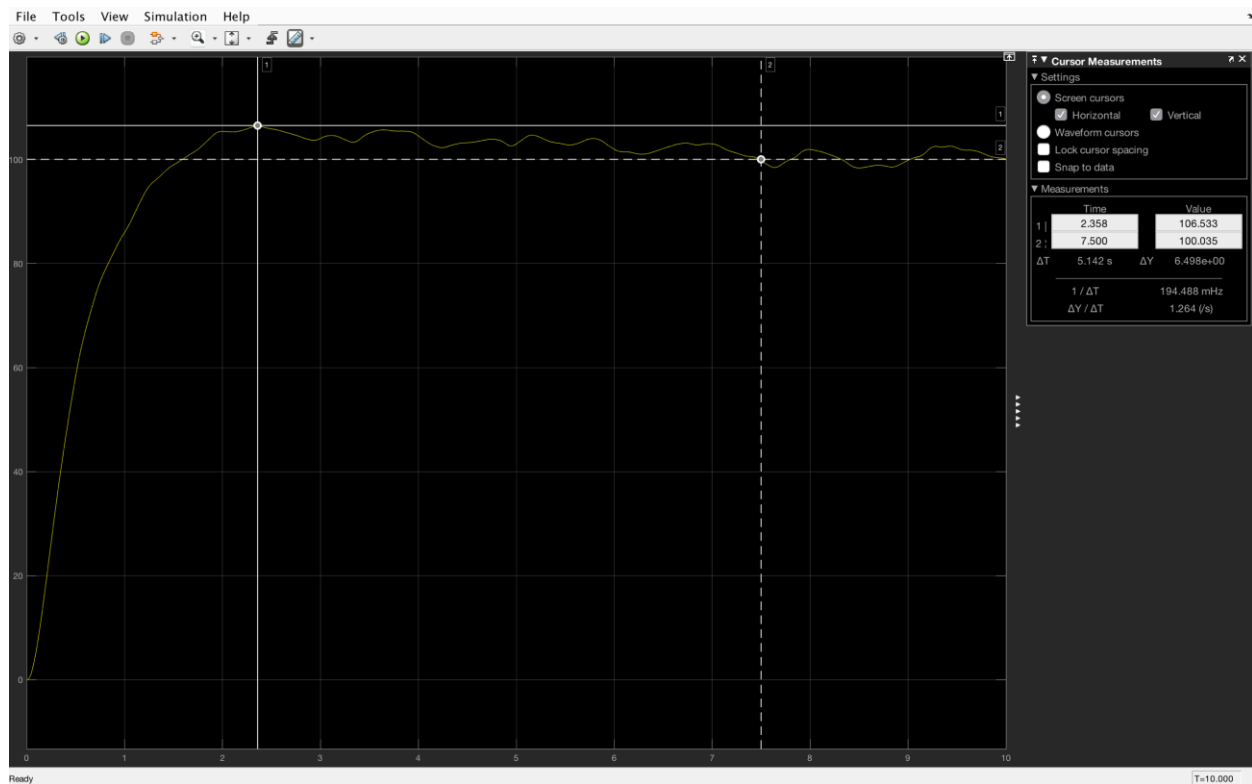
(۹)

برای بررسی مواردی که خروجی سنسور های الکتریکی نویز دارد، یک نویز گوسی را به سیستم اضافه کرده ایم

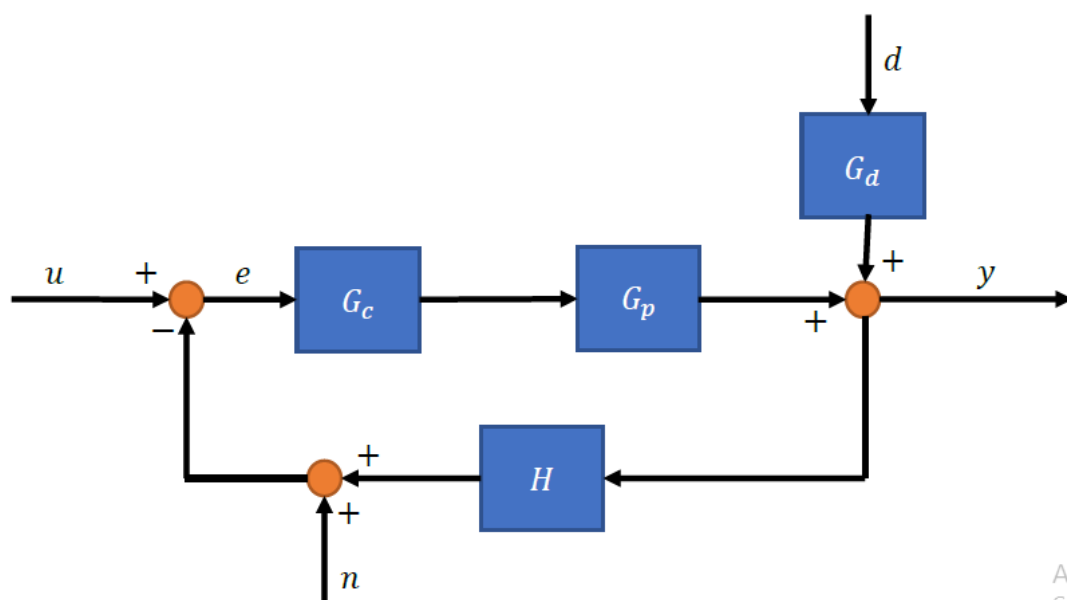


Activate Windows



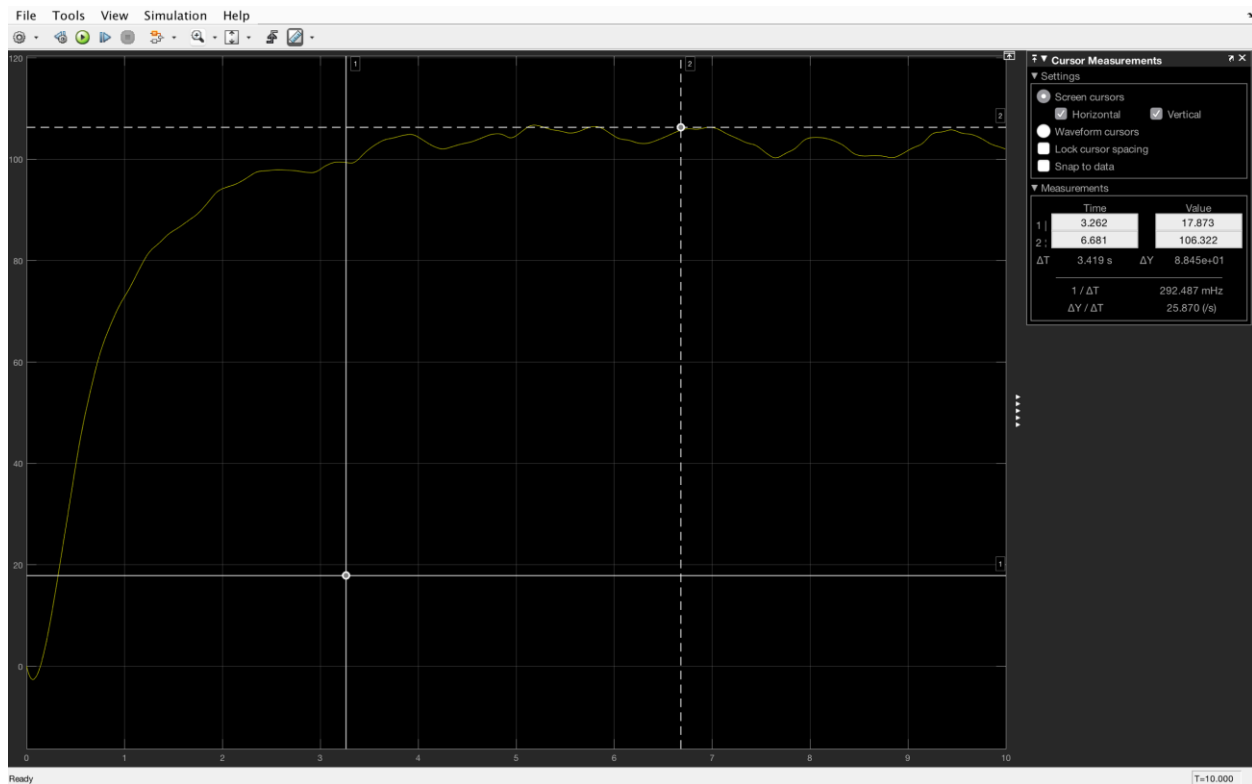
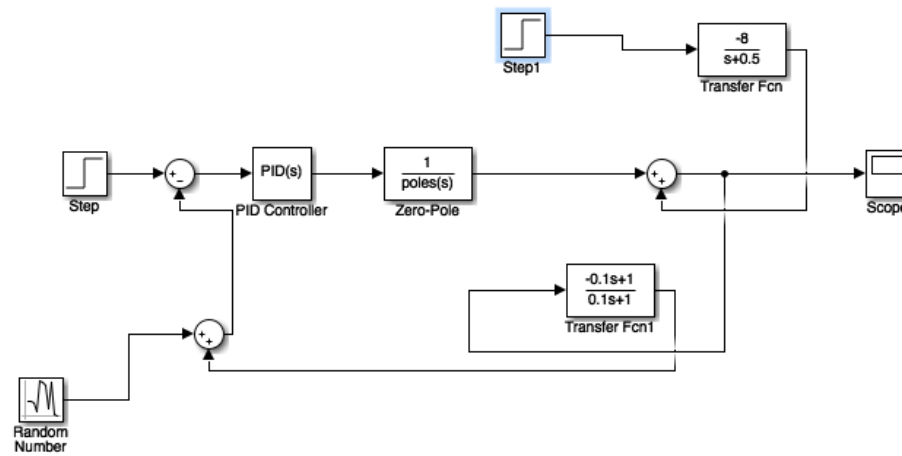


این در ماکزیمم مقدار که آنجایی از ولی نیست گیری اندازه قابل نمودار این در نشست زمان شروط و برسد نهایی مقدار ۵٪ ی بازه در کوتاهی زمان در که است منطقی ۱۰۶ نمودار را ارضا کند.



Activate
Go to Settir

هر سه عامل خارجی را با هم به سیستم اعمال میکنیم . نتیجه را بررسی میکنیم.



Maximum	Settling time	Steady state
106.322	-----	0.013%

برای اندازه گیری زمان نشست، باید محدوده ای را در نظر بگیریم که با تلورانس $\pm 5\%$ از مقدار نهایی، مقدار تابع در آن بازه قرار بگیرد. با توجه به این که به سیستم نوین اعمال شده، مقدار تابع دایما نوسان میکند و در یک محدوده ی مشخص قرار نمیگیرد ولی با توجه به این که ما کسینم مقدار تابع برابر ۱۰۶ است میتوان با تقریب خوبی گفت که شرط زمان نشست را نیز ارضا میکند یعنی در محدوده ی ۹۵ تا ۱۰۵ به راحتی قرار میگیرد. در نتیجه سیستم طراحی شده ی ما اثر مطلوب مورد انتظار را دارد.