دانشکده مهندسی برق

پروژه پایانی درس کنترل صنعتی

نام دانشجو :

ساناز مطیع ۹۹۴۱۳۰۸۲

نام استاد:

دکتر گنجه فر

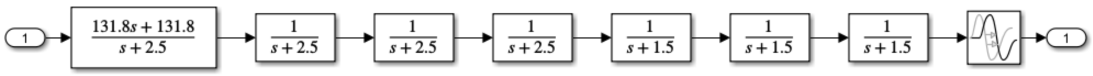
دی ماه ۱۴۰۲

بسم الله الرحمن الرحیم

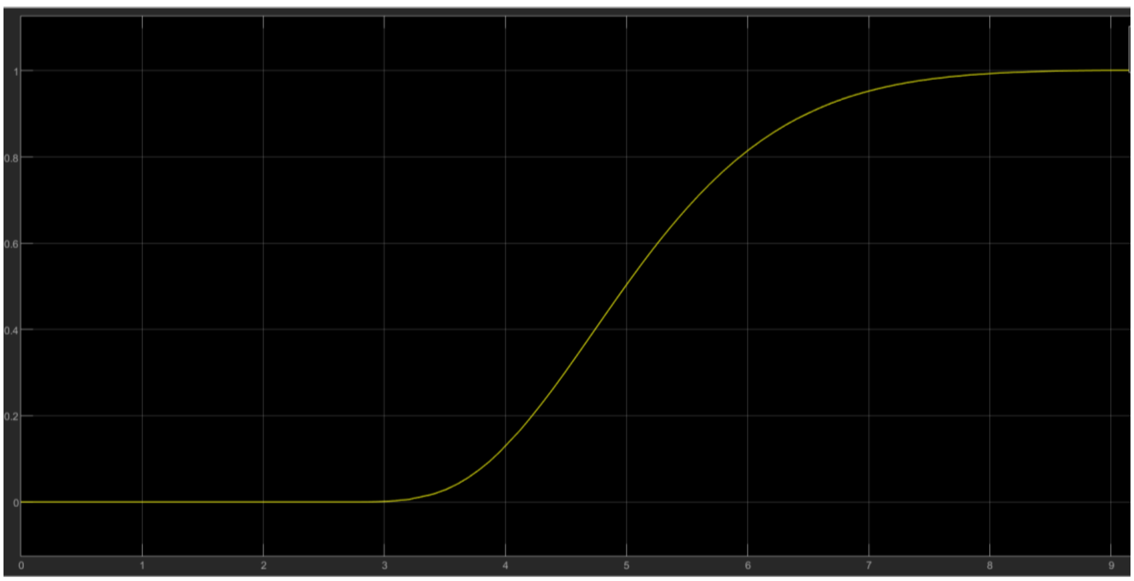
فهرست

۱-الف) شناسایی سیستم ۳ جزئی ۵
۱-ب) شناسایی مدل ۴ جزئی ۷
۲)پاسخ پله ی مدل های شناسائی شده ۹
۳) اطلاعات نقطه نهایی سیستم را به روش فیدبک رله ۱۰
۱-۴) زیگلر نیکولز در حوزه زمان ۱۲
۲-۴) زیگلر نیکولز در حوزه فرکانس ۱۶
۳-۴) زیگلر نیکولز تعمیم یافته ۱۹
۴-۴)روش تنظیم λ ۲۱
۵) تخمین گر اسمیت ۲۴
۶) نتیجه گیری ۲۶

ابتدا سیستم را در سیمولینک وارد می کنیم.

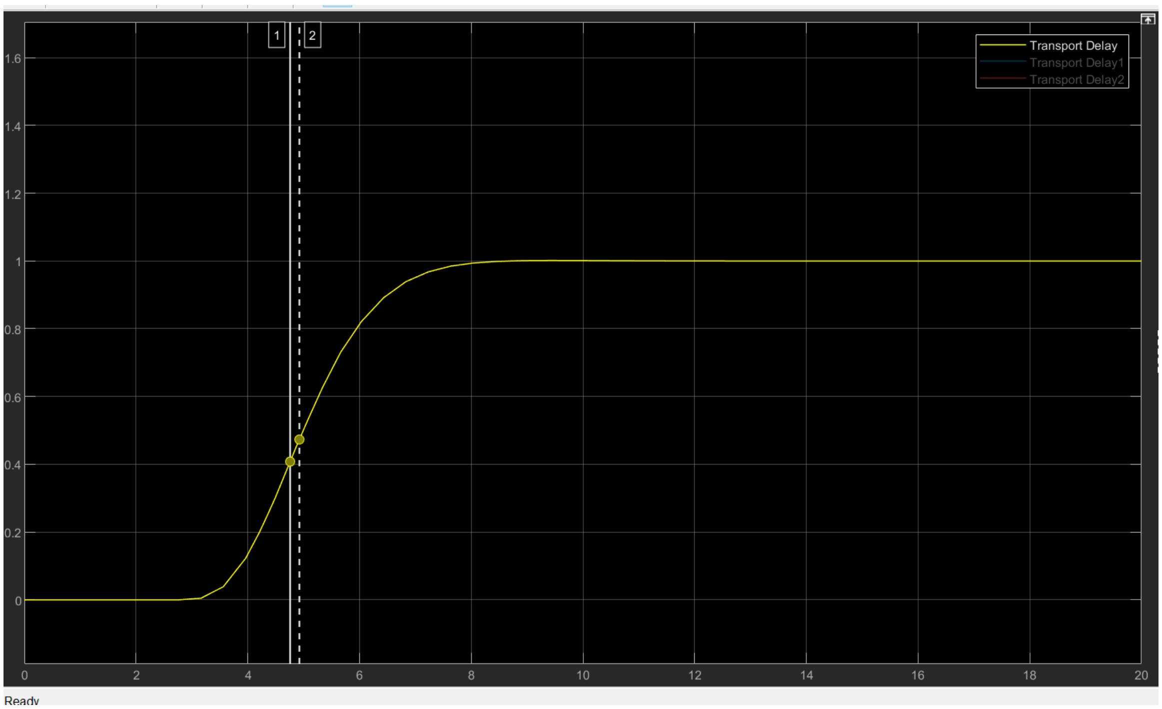


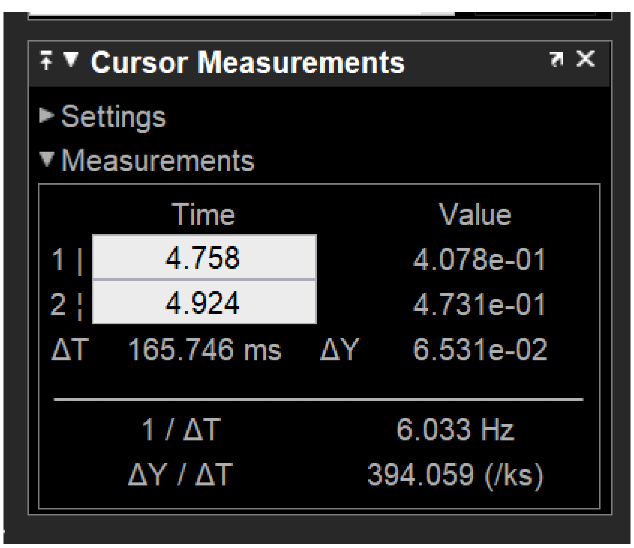
پاسخ پله سیستم به این صورت است.



۱–الف) شناسایی سیستم ۳ جزئی

ابتدا دو نقطه نزدیک بهم را در نظر میگیریم تا شیب تقریبی خط به دست آید و با استفاده از معادله خط به دست آمده مقدار L را به دست می آوریم.



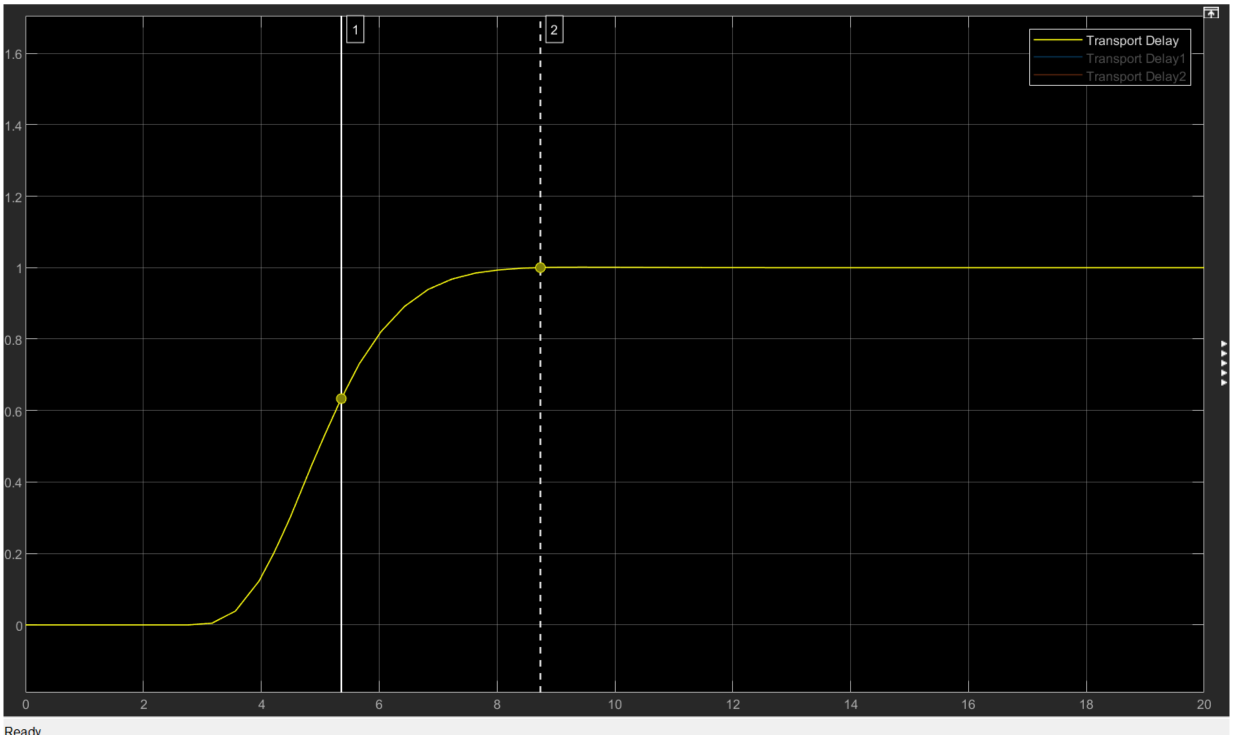


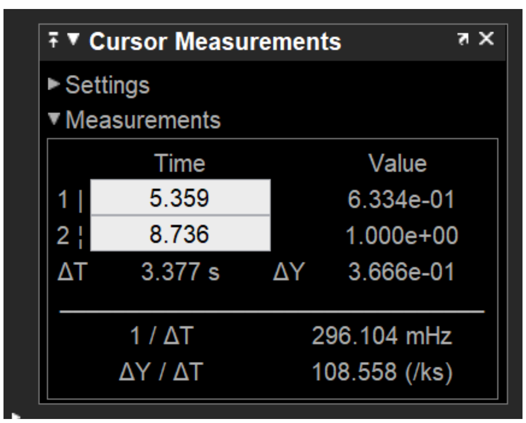
مقدار شیب 0.394 به دست آمد.

Y = 0.394 X -1.467

L = 3.7

برای به دست آوردن مدل ۳ جزئی متغیر T را می توان به دو صورت تعریف کرد.





زمانی که به ۰.۶۳ مقدار نهایی می رسیم.

$T_1 = 5.36 - 3.7 = 1.66$

زمانی که به مقدار نهایی می رسیم.

$T_1 = 8.74 - 3.7 = 5.04$

سیستمی که T برابر با زمانی است که به مقدار نهایی رسیدیم ثابت زمانی بیشتری دارد و کندتر است. در نتیجه از T = 1.66 استفاده می کنیم.

مدل ۳ جزئی سیستم به این صورت به دست می آید.

$$G(s) = \frac{K}{1 + sT} e^{-sL}$$

$$G(s) = \frac{1}{1 + 1.75\, s}\, e^{-3.7\, s}$$

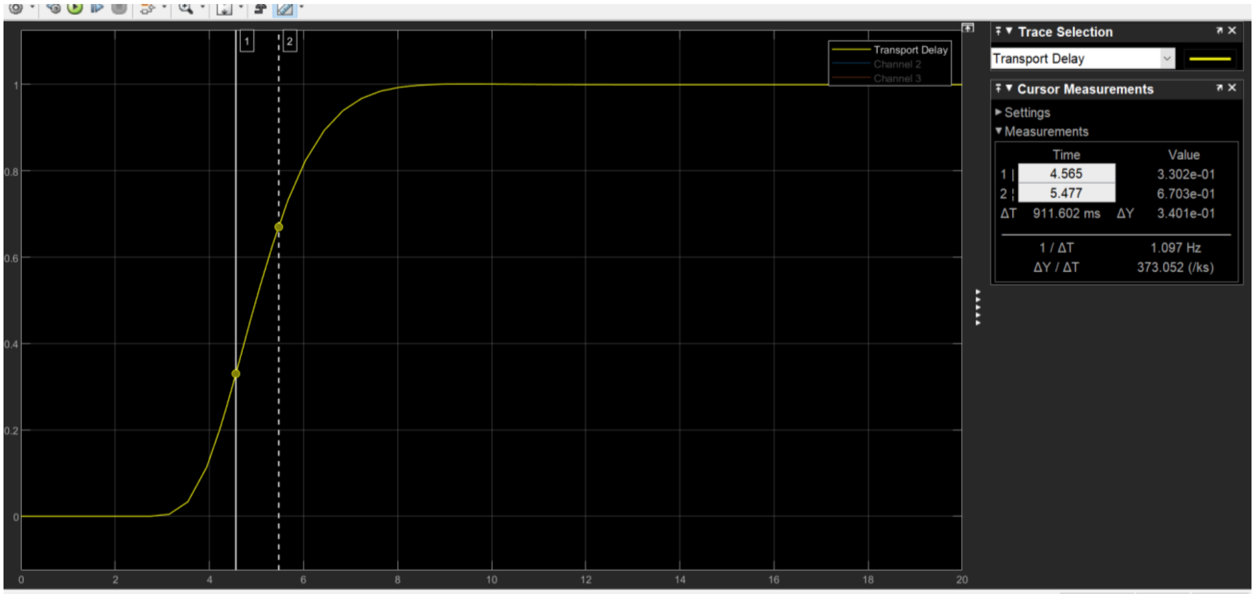
۱-ب) شناسایی مدل ۴ جزئی

$$G(s) = \frac{Ke^{-sL}}{(1 + sT_1)(1 + sT_2)}$$

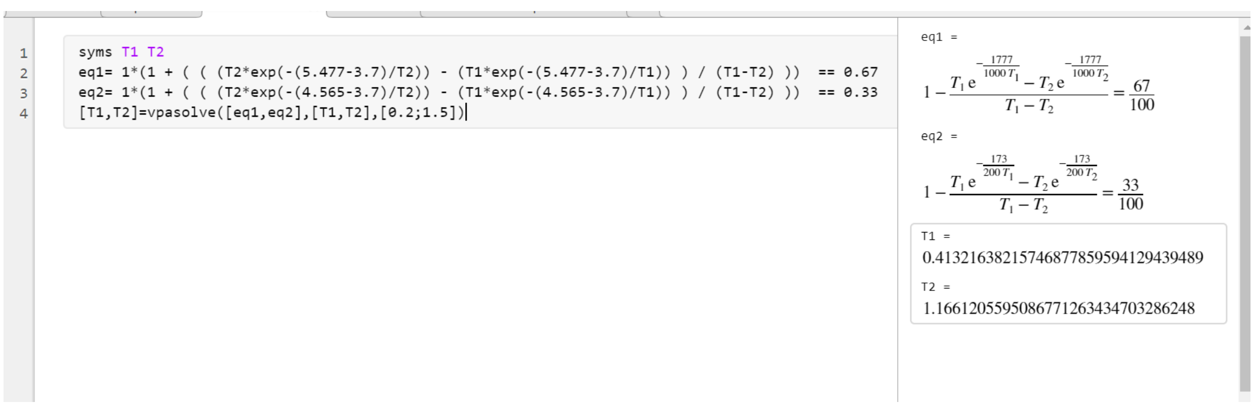
مقدار K و L مانند قبل محاسبه می شود. برای محاسبه پارامتر های دیگر یعنی T۱ و T۲ از پاسخ پله این سیستم استفاده می کنیم.

برای محاسبه این پارامترها با قرار دادن دو نقطه 0.33Kو 0.67K ، به یک دستگاه دو معادله و دومجهول غیرخطی می رسیم که با دستورات متلب آن را حل می کنیم.

$$S(t) = K\left(1 + \frac{\left(T_2 e^{-(t-L)/T_2} - T_1 e^{-(t-L)/T_1}\right)}{T_1 - T_2}\right) \qquad T_1 \neq T_2$$



با جایگذاری مقادیر S(t)وt در معادله از روی پاسخ پله به نتایج زیر می رسیم.



```
syms T1 T2
eq1= 1*(1 + ( ( (T2*exp(-(5.477-3.7)/T2)) - (T1*exp(-(5.477-3.7)/T1)) ) / (T1-T2) ))  == 0.67
eq2= 1*(1 + ( ( (T2*exp(-(4.565-3.7)/T2)) - (T1*exp(-(4.565-3.7)/T1)) ) / (T1-T2) ))  == 0.33
[T1,T2]=vpasolve([eq1,eq2],[T1,T2],[0.2;1.5])
```

eq1 =

$$1-\frac{T_1\,e^{-\frac{1777}{1000\,T_1}}-T_2\,e^{-\frac{1777}{1000\,T_2}}}{T_1-T_2}=\frac{67}{100}$$

eq2 =

$$1-\frac{T_1\,e^{-\frac{173}{200\,T_1}}-T_2\,e^{-\frac{173}{200\,T_2}}}{T_1-T_2}=\frac{33}{100}$$

T1 =

0.41321638215746877859594129439489

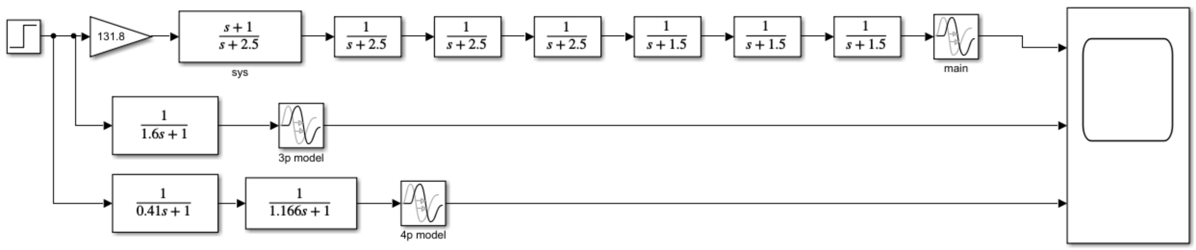
T2 =

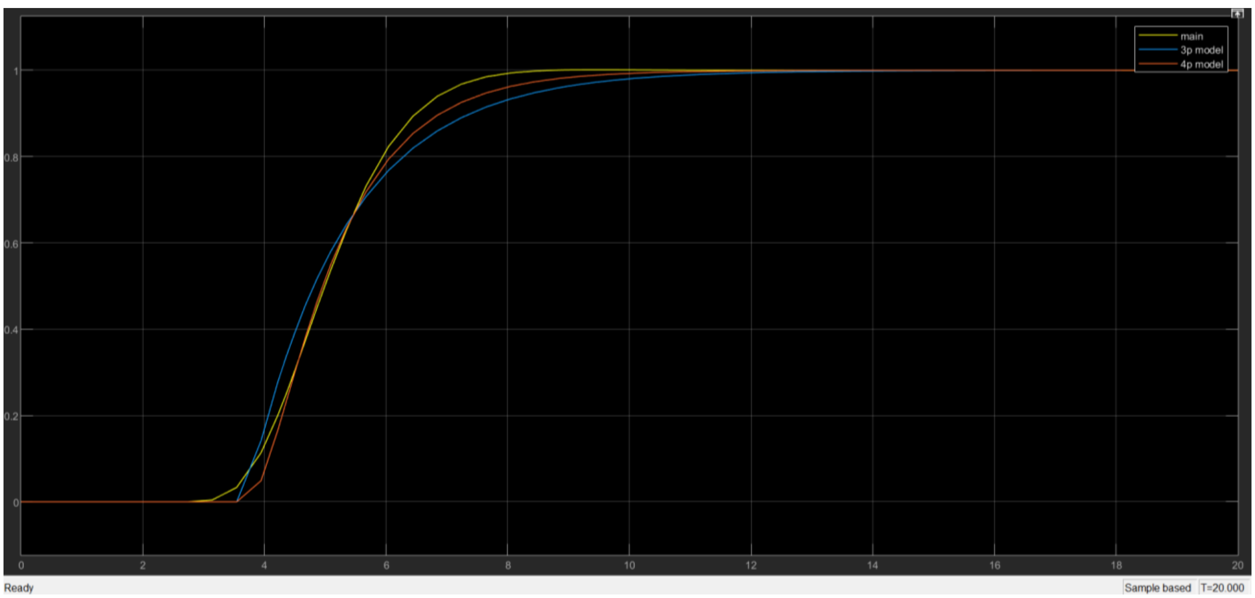
1.1661205595086771263434703286248

$$G(s)=\frac{1}{(1+0.41s)(1+1.166s)}e^{-3.7s}$$

۲)پاسخ پله ی مدل های شناسائی شده را همراه با سیستم اصلی رسم نموده و مقایسه نمائید.

در تقریب سیستم اصلی، نتایج مانند انتظار حاصل شد. مدل چهارجزئی با توجه به دقت بیشتر دارای نتیجه عالی در تعقیب پاسخ پله سیستم اصلی دارد. تاخیر سیستم و مقدار نهایی پاسخ ها نیز رعایت شده است.

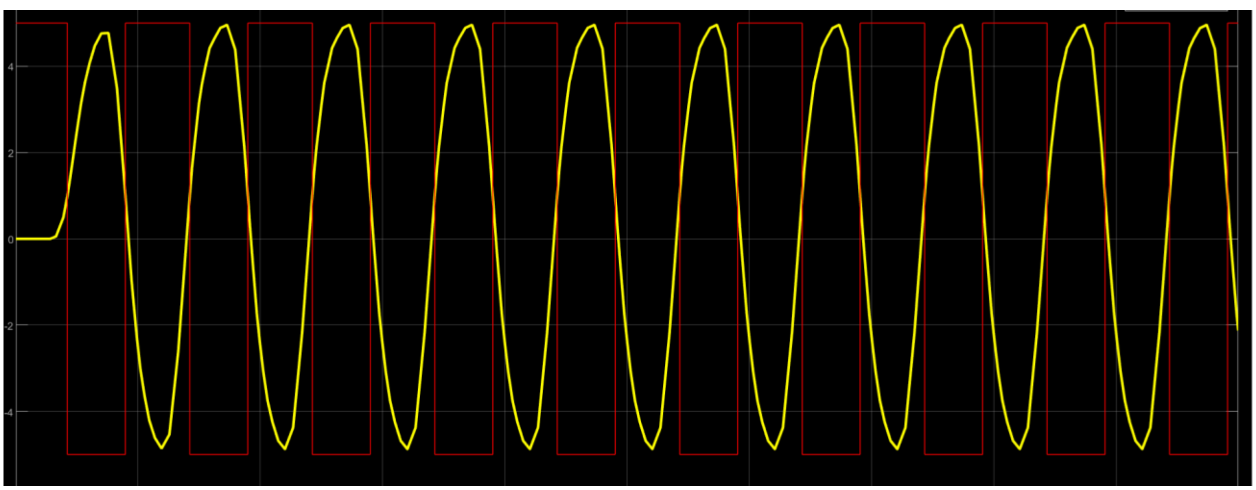




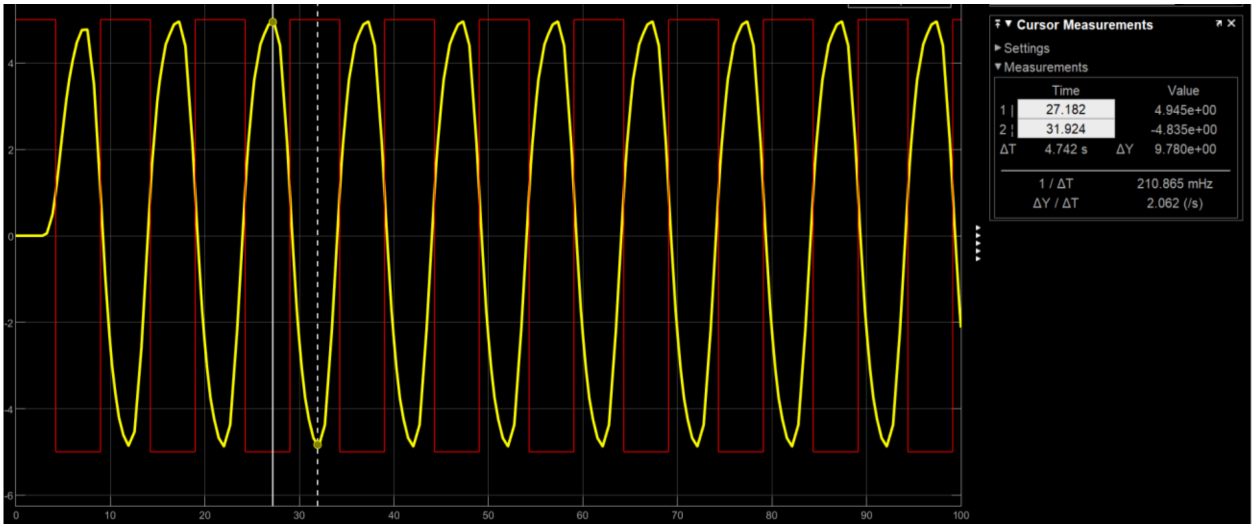
۳) اطلاعات نقطه نهایی سیستم را به روش فیدبک رله بدست آورده، پاسخ ورودی خروجی سیستم را بطور هم زمان رسم و نتایج را تحلیل نمائید

محاسبه نقطه نهایی از آن جهت اهمیت دارد که اطلاعات مهمی از پاسخ فرکانسی سیستم و تعیین پایداری به ما میدهد. در روش فیدبک رله از یک واحد رله با دامنه متغیر و قابل تنظیم d در سیستم فیدبک واحد، استفاده میشود.

سیگنال ورودی یک سیگنال موج مربعی و سیگنال خروجی پس از گذشت یک زمان اولیه، تقریباً سینوسی با دامنه مشخصی باقی خواهد ماند و این دو سیگنال در حالتی که دامنه نوسانات در خروجی ثابت باقی بماند، دارای اختلاف فاز 180 درجه خواهند بود.



مقدار 2a مربوط به پیک تا پیک پاسخ نوسانی و مقدار 2d برای پیک تا پیک دامنه رله است.

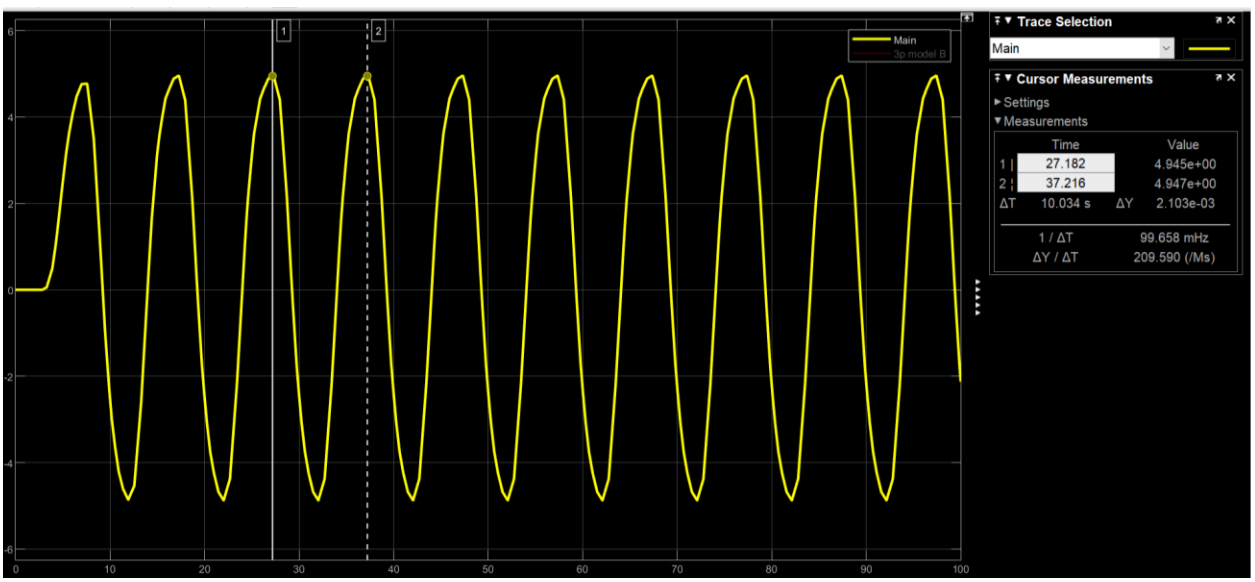


به دست آوردن مقدار 2a

2a = 9.78

2d = 10

$$G(i\omega_u) = -\frac{\pi}{4}\frac{a}{d} = -\frac{\pi}{4}\frac{4.89}{5} = -0.76$$

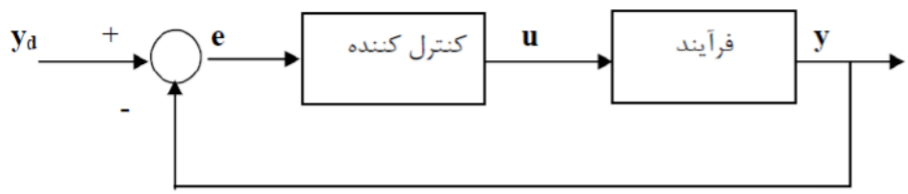


به دست آوردن فرکانس نوسانات

$$\omega_u = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{10} \cong 0.628\frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$|G(j\omega_u)| = \frac{-1}{K_u} \rightarrow K_u \cong 1.316$$

۴)مطابق بلوک دیاگرام زیر، برای سیستم کنترل کننده ی حلقه بسته کنترل کننده PID را به روشهای زیر طراحی نموده و تمامی حالت ها را با یکدیگر مقایسه نمائید.



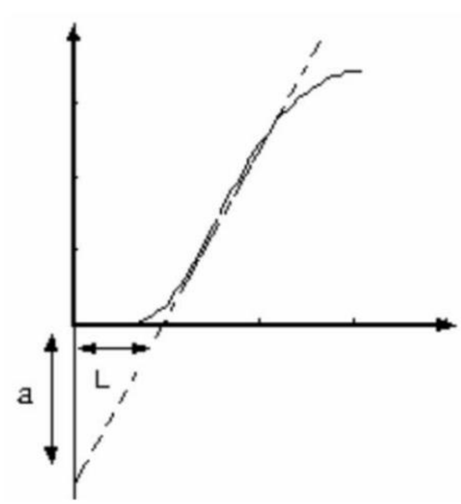
۱-۴) زیگلر نیکولز در حوزه زمان

طبق محاسبات در قسمت های قبل

Y = 0.394 X -1.467

L = 3.7

a = 1.467



$$G_{2b}(s) = \frac{a}{sL}e^{-sL}$$

Tp	Td	Ti	K	کنترل کننده
4L	0	0	1/a	**P**
5.7L	0	3L	0.9/a	**PI**
3.4L	L/2	2L	1.2/a	**PID**

$$K = \frac{1.2}{a} \cong 0.818$$

$$\mathrm{T_i} = 2 * L = 7.4 \qquad \mathrm{I} = \frac{1}{\mathrm{T_i}} = 0.135$$

$$\mathrm{T_d} = \frac{L}{2} = 1.85$$

$$C(s) = K\left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s\right) = 0.818(1 + \frac{1}{7.4s} + 1.85s)$$

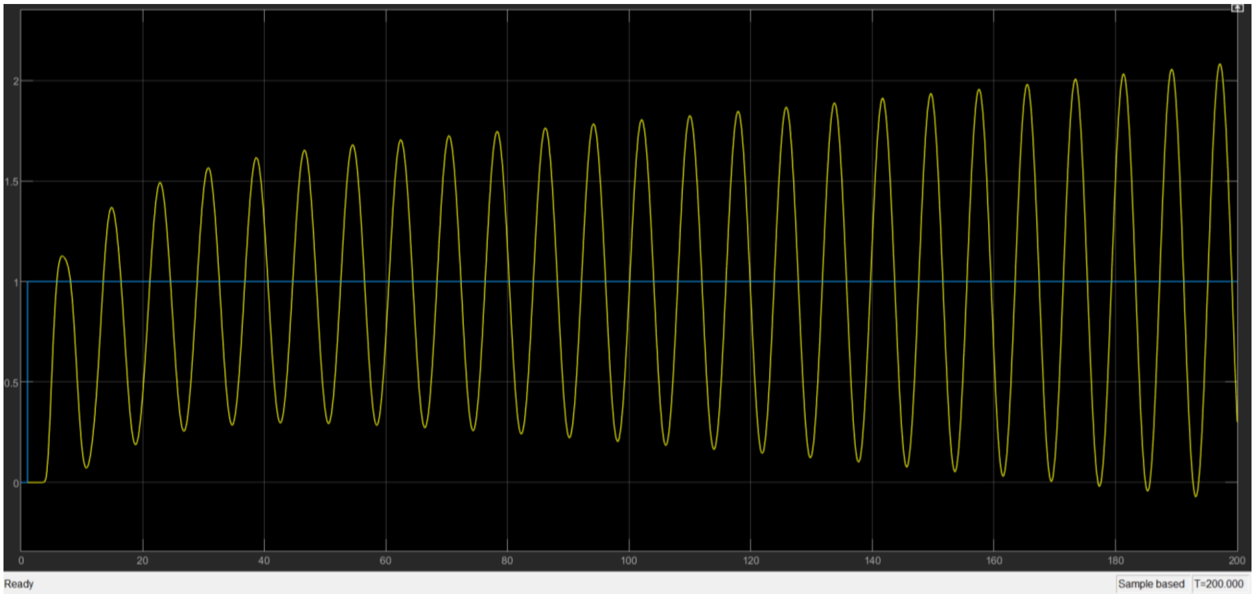
Proportional (P): 0.818

Integral (I): 0.1

Derivative (D): 1.5

Use filtered derivative

Filter coefficient (N): 10



می بینیم که سیستم ناپایدار می شود.

حال اگر مقدار N را افزایش دهیم تا تاثیر مشتق گیر بیشتر شود سیستم کمی بهتر می شود اما باز هم پاسخ دلخواه ما نیست.

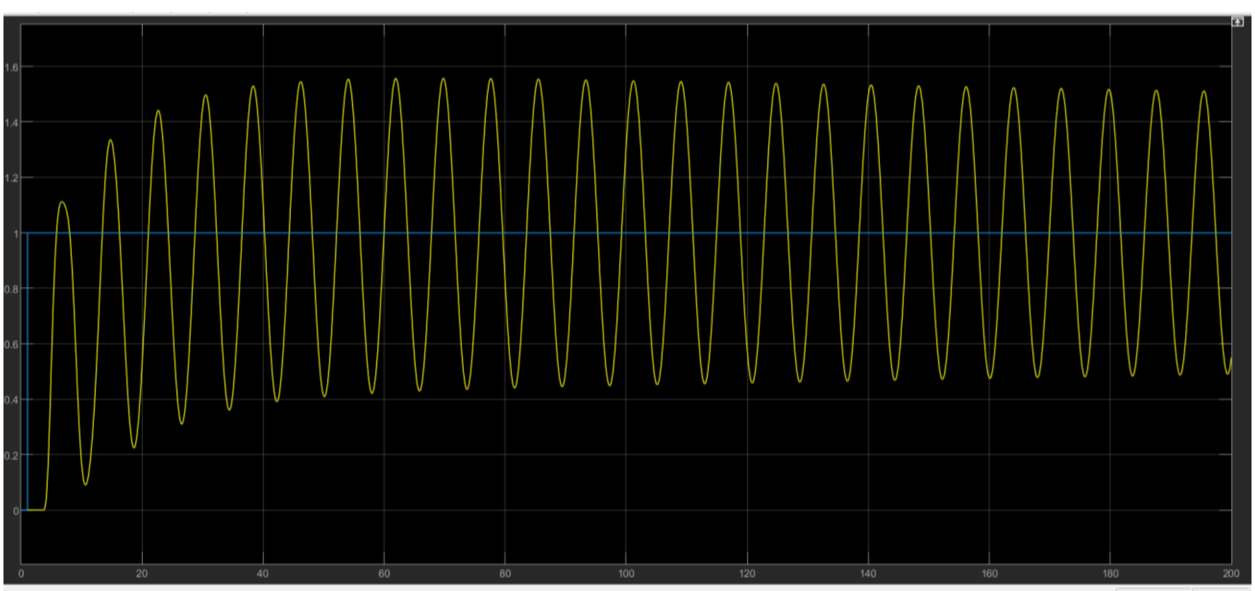
Proportional (P): 0.818

Integral (I): 0.1

Derivative (D): 1.5

Use filtered derivative

Filter coefficient (N): 20

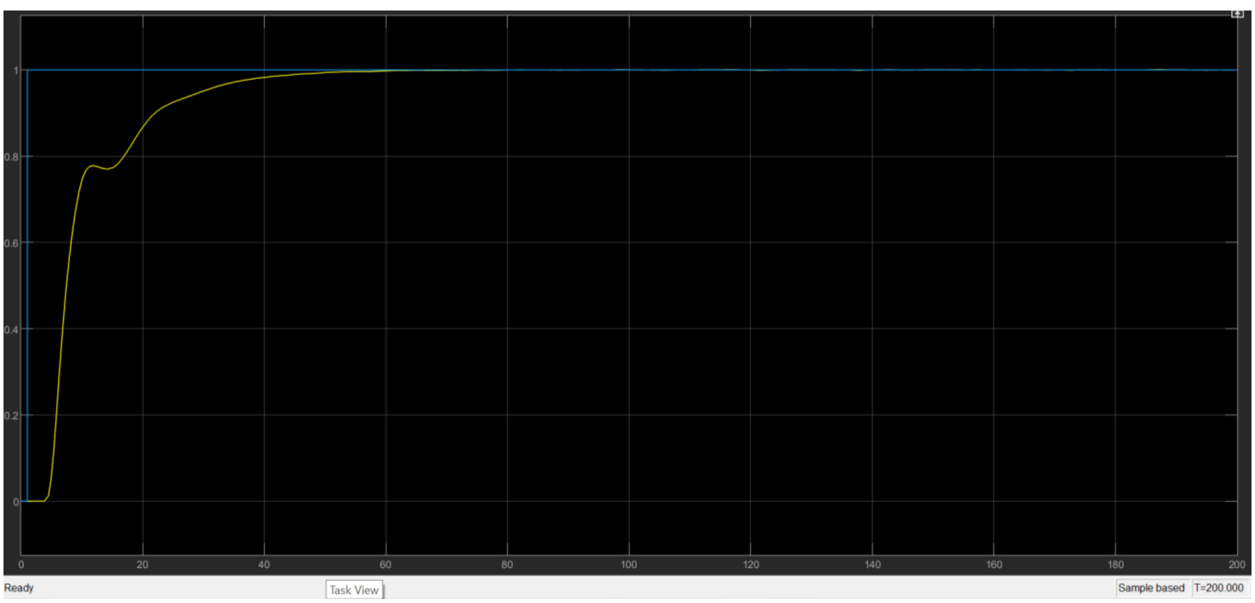


از آنجایی که k و τ به ۱ نزدیک هستند می توان نتیجه گرفت که کنترل کننده زیگلر نیکولز، پاسخ مناسبی به ما نخواهد داد.

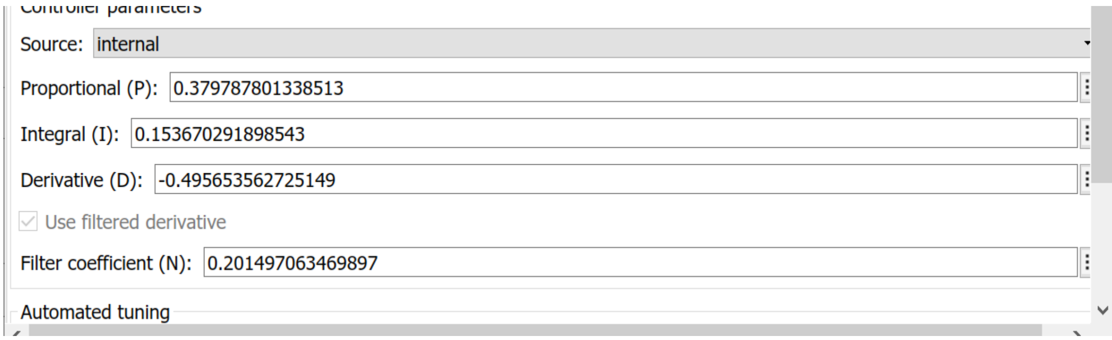
$$k = \frac{G(jw_u)}{G(0)} = \frac{0.76}{1} = 0.76$$

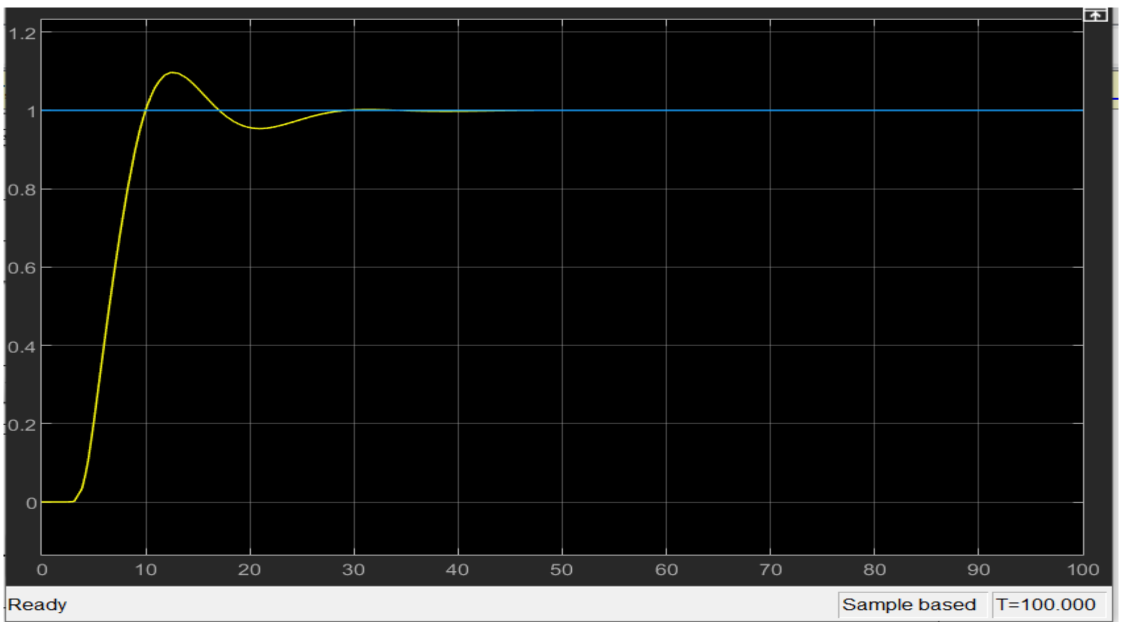
$$\tau = \frac{L}{L+T} = 0.69$$

چون پاسخ نوسان زیادی دارد Td را صفر می گذاریم. برای بهتر شدن مقدار overshoot , undershoot پارامتر I و بهره را کاهش می دهیم و به این مقادیر میرسیم.



می توانیم از PID Tuner داخل متلب نیز استفاده کنیم. اگر پارامتر های overshoot , undershoot برای ما مهم باشد ضرایب متفاوتی به دست می آید. در اینجا یک مقدار دلخواه را انتخاب می کنیم. ضرایب به این صورت به دست می آید.





۲-۴) زیگلر نیکولز در حوزه فرکانس

در این بخش به طراحی کنترل کننده PID با روش زیگلر-نیکولز در حوزه فرکانس میپردازیم ، در این حالت ما نیاز به اطلاعات نقطه نهایی سیستم خواهیم داشت ، در بخش های قبل این مقادیر را محاسبه کرده بودیم :

$$T_{\mathrm{u}} = \frac{2\pi}{\omega_u} = 10$$

$$K_u = \frac{-1}{G(i\omega_u)} = \frac{-1}{\_0.76} = 1.316$$

محاسبه پارامتر ها با استفاده از جدول زیگلر نیکولز:

T_p	T_d	T_i	K	کنترل کننده
T_u			$0.5K_u$	**P**
$1.4T_u$		$0.8T_u$	$0.4K_u$	**PI**
$0.85T_u$	$0.125T_u$	$0.5T_u$	$0.6K_u$	**PID**

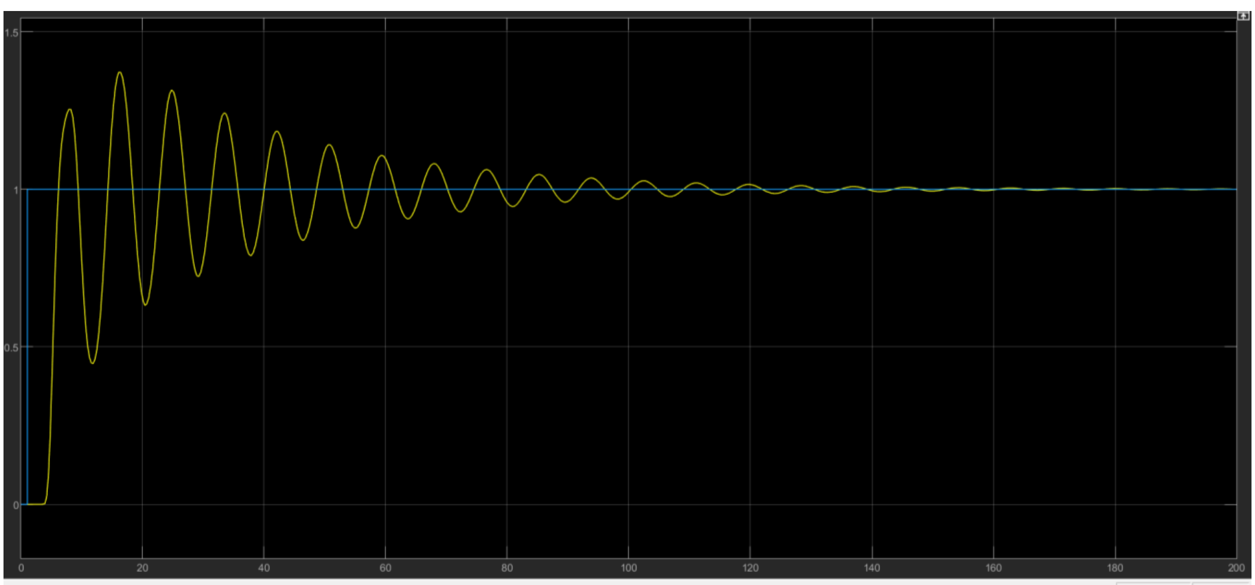
$$K = P = 0.6 * K_u = 0.79$$

$$T_i = 0.5 * T_u = 5$$

$$T_d = D = 0.125 * T_u = 1.25$$

$$T_p = 0.85 * T_u = 8.5$$

$$C(s) = k\left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s\right) = 0.79\left(1 + \frac{1}{5s} + 1.25s\right)$$



مقدار نوسانات بسیار زیاد است پس ضریب مشتق گیر را باید کمتر کنیم.

Main | Initialization | Output Saturation | Data Types | State Attributes

Controller parameters

Source: internal

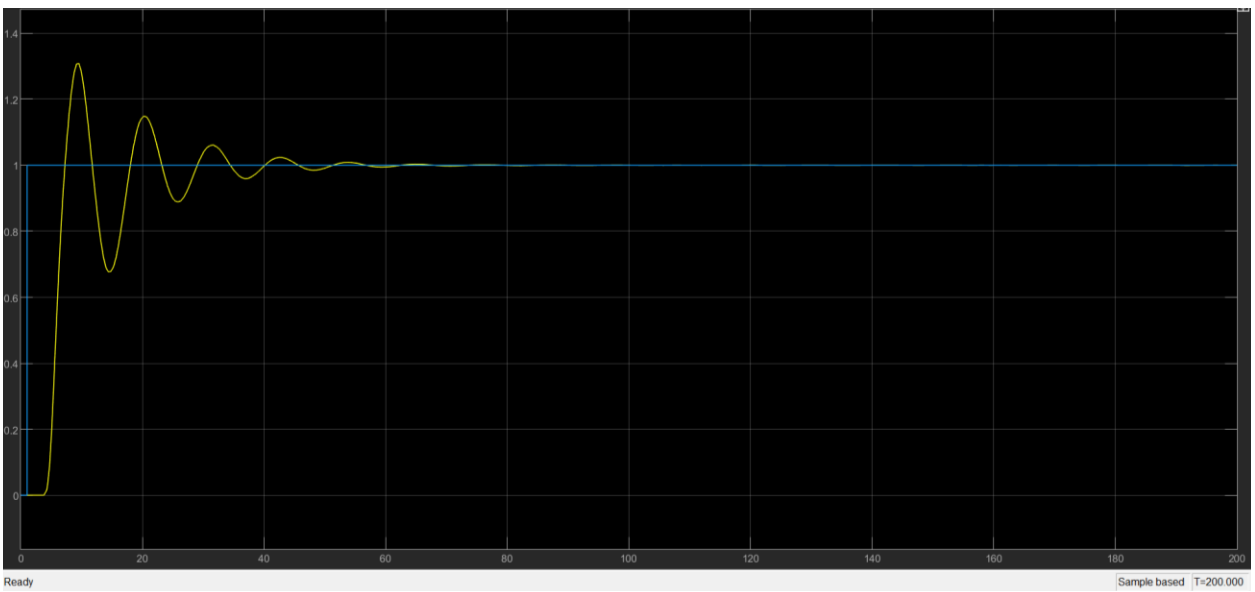
Proportional (P): 0.79

Integral (I): 0.2

Derivative (D): 0.3

Use filtered derivative

Filter coefficient (N): 3



اگر از PID Tuner متلب استفاده کنیم به این نتایج می رسیم.

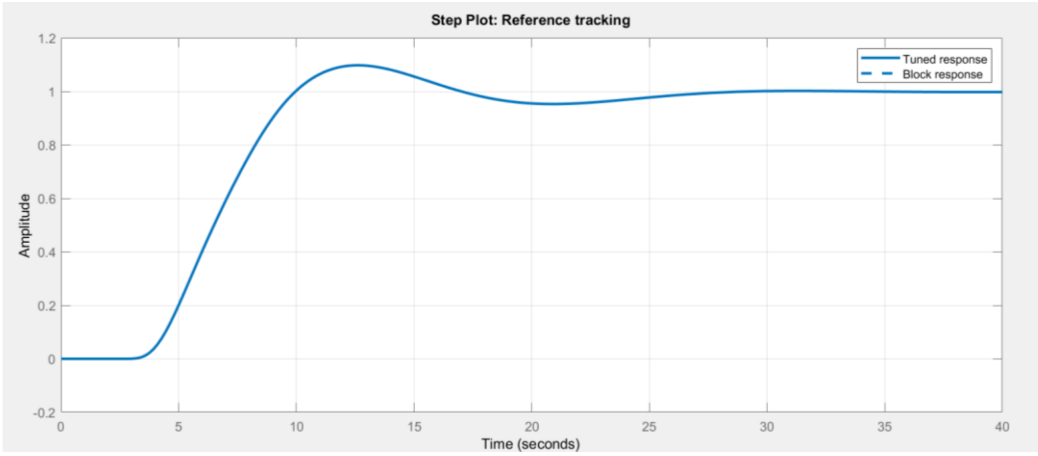
Proportional (P): 0.379787801338513

Integral (I): 0.153670291898543

Derivative (D): -0.495653562725149

Use filtered derivative

Filter coefficient (N): 0.201497063469897



۴-۳) زیگلر نیکولز تعمیم یافته

در این روش مقادیر به صورت ϕ_b=61° , r_b=0.41 در نظر گرفته شده اند ، ضرایب کنترل کننده PID به صورت زیر محاسبه میشود :

$$K = P = r_b * K_u * \cos(\varphi_b) = 0.41 * 1.3 * \cos(61°) = 0.258$$

$$T_{\mathrm{i}} = \frac{T_{\mathrm{u}}}{\pi} * \left(\frac{1+\sin(\varphi_b)}{\cos(\varphi_b)}\right) = \frac{10}{\pi} * \left(\frac{1+\sin(61°)}{\cos(61°)}\right) = 12.3$$

$$T_{\mathrm{d}} = \frac{\alpha * T_{\mathrm{u}}}{\pi} * \left(1 + \frac{\sin(\varphi_b)}{\cos(\varphi_b)}\right) = \frac{\alpha * 10}{\pi} * \left(1 + \frac{\sin(61°)}{\cos(61°)}\right) = 2.4$$

$$C(s) = K\left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s\right) = 0.258\left(1 + \frac{1}{12.3s} + 2.4s\right)$$

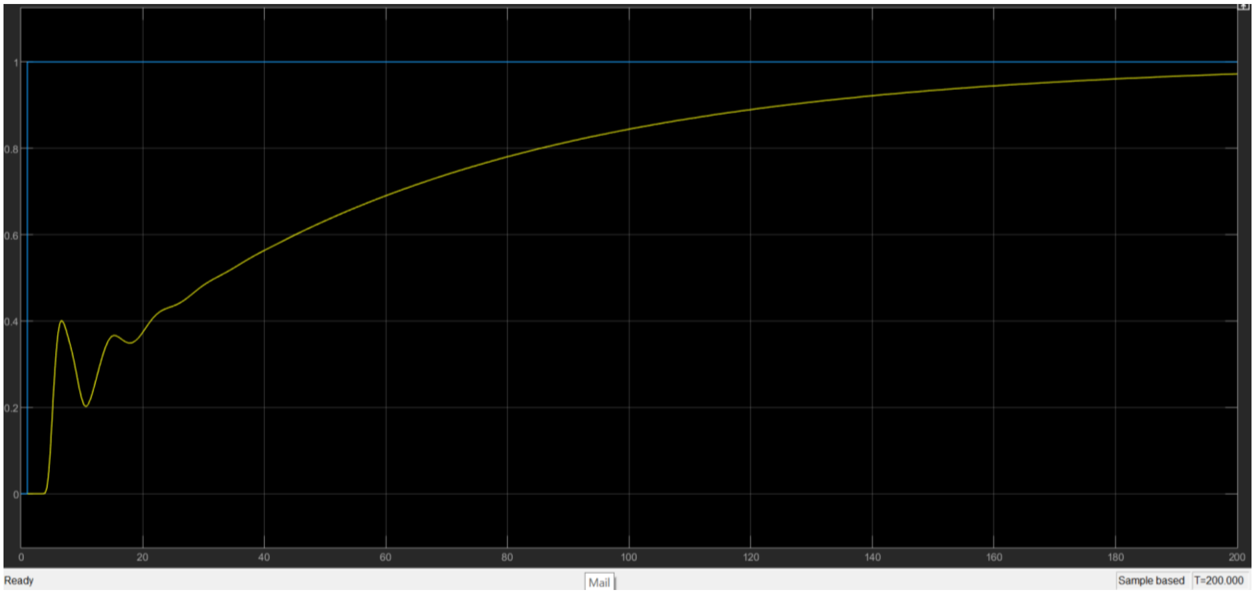
Proportional (P): 0.258

Integral (I): 0.02

Derivative (D): 0.6

Use filtered derivative

Filter coefficient (N): 3



مقدار خطای ماندگار به صفر نمیرسد پس ضریب انتگرال گیر را افزایش می دهیم و با سعی و خطا به مقادیر زیر می رسیم.

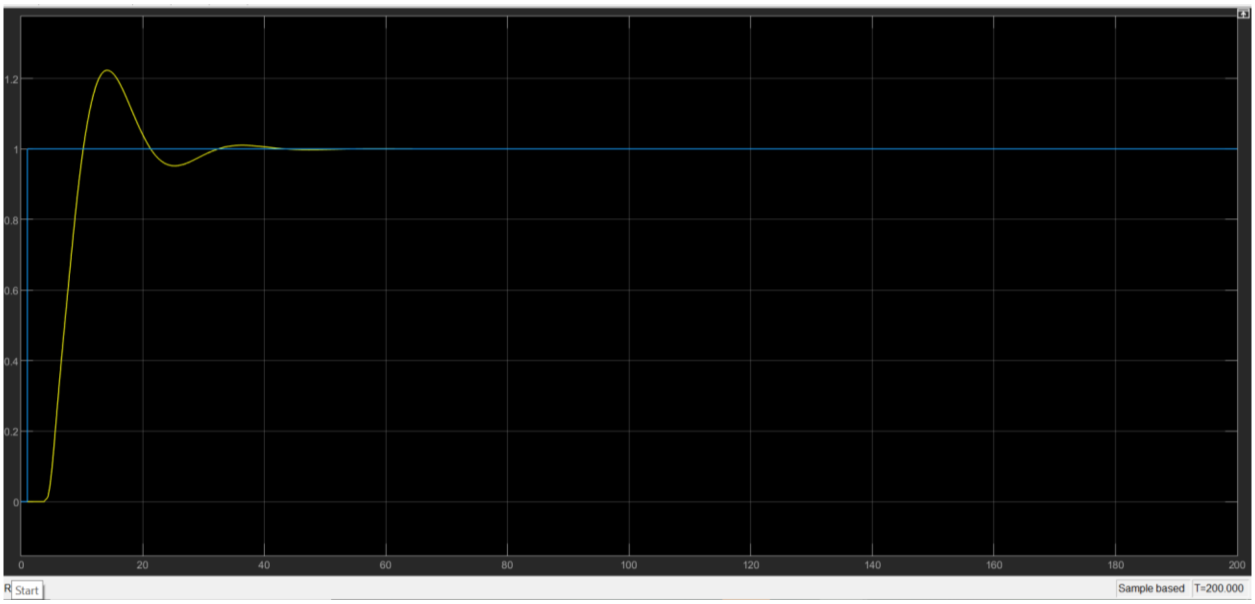
Proportional (P): 0.258

Integral (I): 0.2

Derivative (D): 0.2

Use filtered derivative

Filter coefficient (N): 3



۴-۴)روش تنظیم **λ**

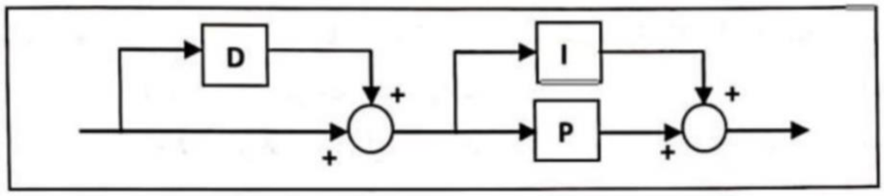
در روش تنظیم **λ** از مدل سه جزئی استفاده میشود که طبق سوال اول و دوم پارامتر های محاسبه شده آنرا داریم:

$$G(s) = \frac{k}{1+sT} * e^{-sL} \qquad \Rightarrow \quad G(s) = \frac{1}{1+1.75s} e^{-3.7s}$$

به فرم کنترل کننده تداخلی مینویسیم:

$$K = K'\frac{T_i'+T_d'}{T_i'}; \quad T_i = T_i'+T_d'; \quad T_d = \frac{T_i'T_d'}{T_i'+T_d'}$$

$$C'(s) = K'\frac{(1+T_i's)(1+T_d's)}{T_i's}$$



میدانیم برای داشتن یک کنترلر مقاوم بایستی λ =3T باشد و انتخاب کرد . به این ترتیب به محاسبه ضرایب کنترل کننده میپردازیم :

$$K = \frac{1}{K_p} * \frac{\frac{L}{2} + T}{\frac{L}{2} + \lambda} = \frac{1}{K_p} * \frac{\frac{3.7}{2} + 1.66}{\frac{3.7}{2} + 3 * 1.66} = 0.517$$

$$T_{\mathrm{i}} = \frac{L}{2} + T = \frac{3.7}{2} + 1.66 = 3.46$$

$$T_{\mathrm{d}} = \frac{L * T}{L + 2 * T} = \frac{3.7 * 1.66}{3.7 + 2 * 1.66} = 0.87$$

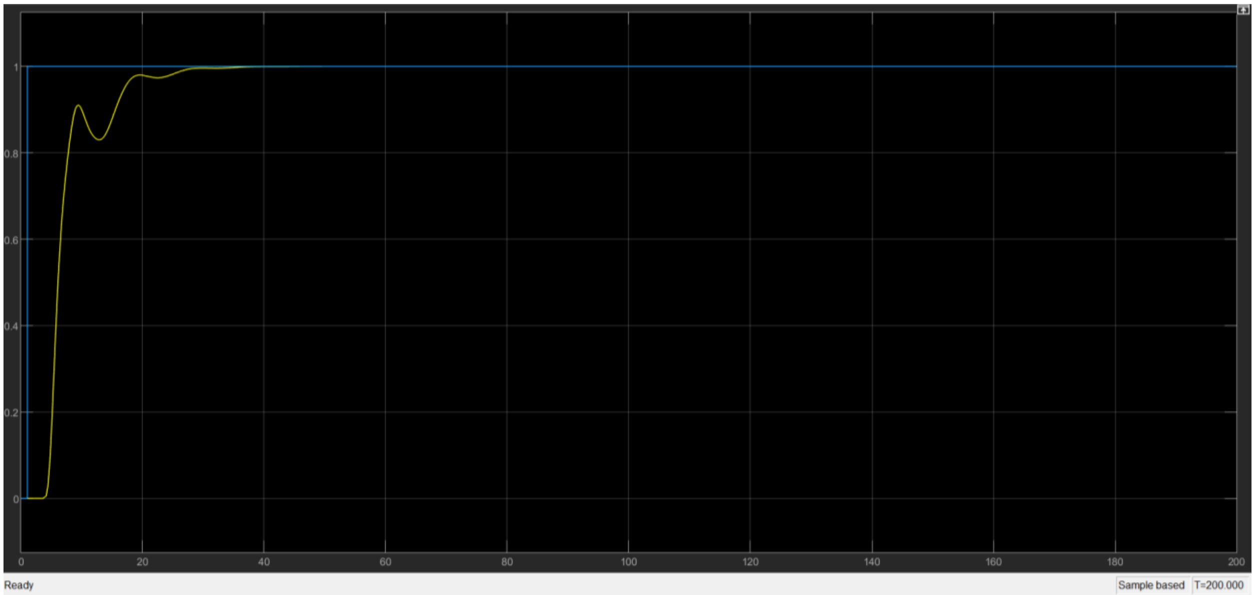
Proportional (P): 0.517

Integral (I): 0.15

Derivative (D): 0.44

Use filtered derivative

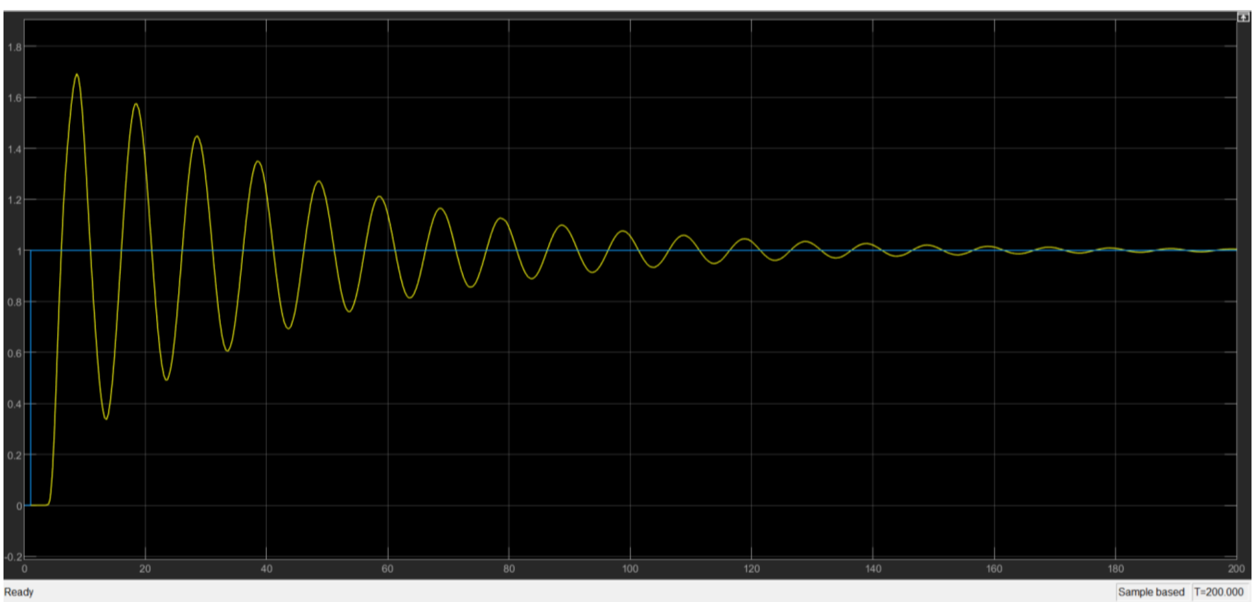
Filter coefficient (N): 3



که پاسخ نسبتا خوبی است.

حال اگر T= **λ** باشد فقط بهره تناسبی به این مقدار تغییر می کند.

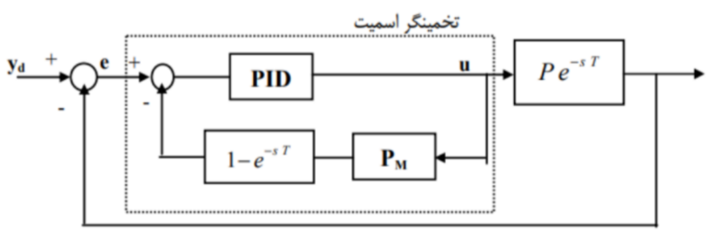
$$K = \frac{1}{K_p} * \frac{\frac{L}{2} + T}{\frac{L}{2} + \lambda} = \frac{1}{K_p} * \frac{\frac{3.7}{2} + 1.66}{\frac{3.7}{2} + 1.66} = 1.01$$



با توجه به اینکه در طراحی با ۳T بهره تناسبی کمتر است، در نتیجه پارامتر Iو D نیز مقدار کمتری دارند و پاسخ بدون نوسان است و به صورت نرم و کند به سمت پاسخ ماندگار حرکت کرده است. اما در طراحی با T با افزایش بهره تناسبی، پاسخ دارای فراجهش های زیادی است و مدت زمان زیادی طول می کشد تا به مقدار نهایی برسد.

۵) تخمین گر اسمیت

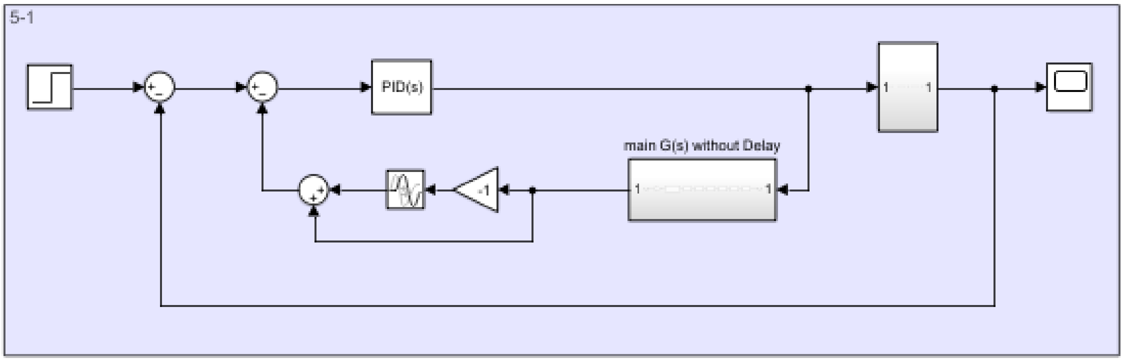
تخمین گر اسمیت یا Predictor Smith برای طراحی بهتر سیستم های کنترلی با تاخیر ثابت است. این روش، یک مسیر فیدبک در کنترل کننده طراحی شده از قبل قرار می دهد تا بتواند اثر تاخیر را در قطب های تابع تبدیل حلقه بسته را حذف کند یا کم کند.



$$\frac{y}{yd}=\cdots=\frac{CPe^{-ST}}{1+CP_M-CP_{Me}{}^{-ST}+CPe^{-ST}}$$

$$If \qquad P=P_M \Rightarrow \frac{y}{yd}=\frac{CP}{1+CP}.e^{-ST}$$

۱-۵) با اعمال سیستم اصلی



ضرایبی که در قسمت های قبل به دست آوردیم را برای کنترلر می گذاریم.

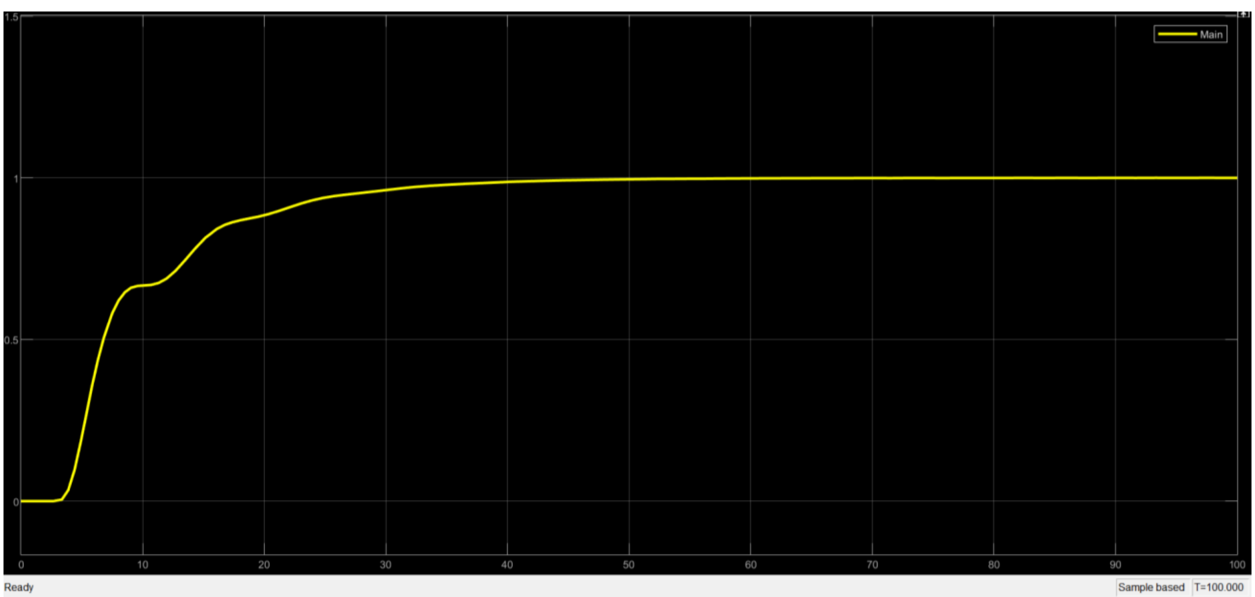
Proportional (P): 0.38

Integral (I): 0.15

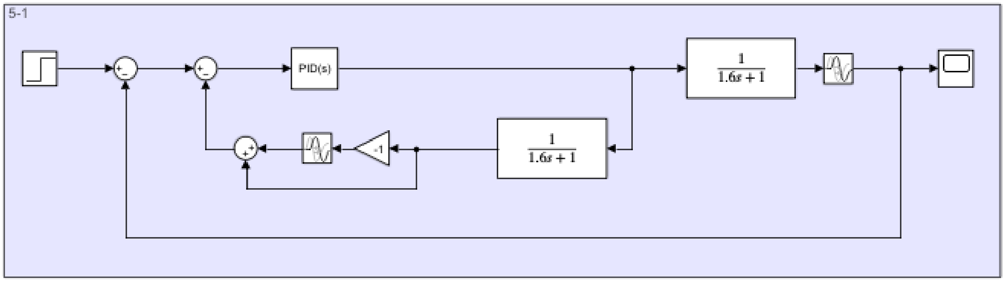
Derivative (D): -0.5

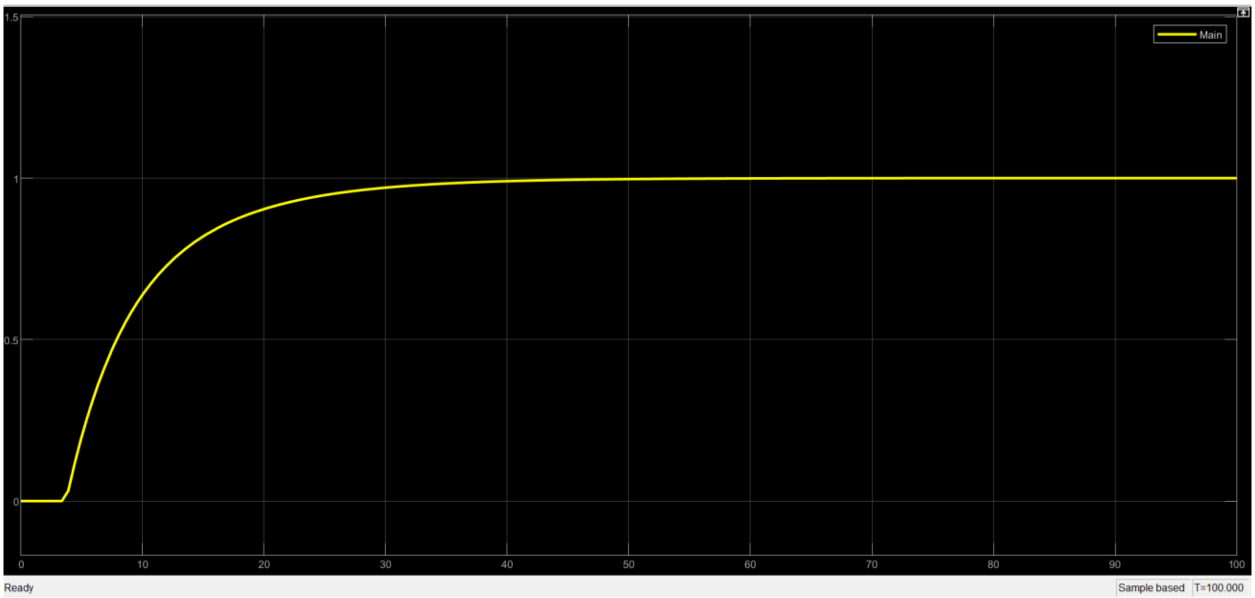
☑ Use filtered derivative

Filter coefficient (N): 0.2



۲-۵) با اعمال سیستم تقریبی تاخیر دار انتگرالی





۶) نتیجه گیری

نوع کنترل کننده مناسب سیستم، کاملا وابسته به کاربرد بوده و نوع سیستم ما بوده .ولی در مورد این سیستم طبق شبیه سازی های انجام شده، روش تنظیم **λ** ، با انتخاب 3T= **λ** ، به علت اورشوت و سرعت مناسب، نتیجه نهایی بهتری داشت.