به نام او

پروژه پایان ترم

# کنترل صنعتی


آرمین عطارزاده

۹۸۴۱۲۲۳۸


استاد:

دکتر سهیل گنجه فر

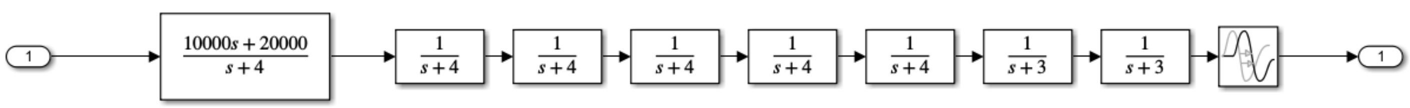
سیستم زیر را در نظر بگیرید:

$$G(s) = \frac{10000(S+2)e^{-1.5S}}{(S+4)^6(S+3)^2}$$

## ۱- برای سیستم فوق مدل ۳ جزئی و ۴ جزئی را شناسایی کنید.

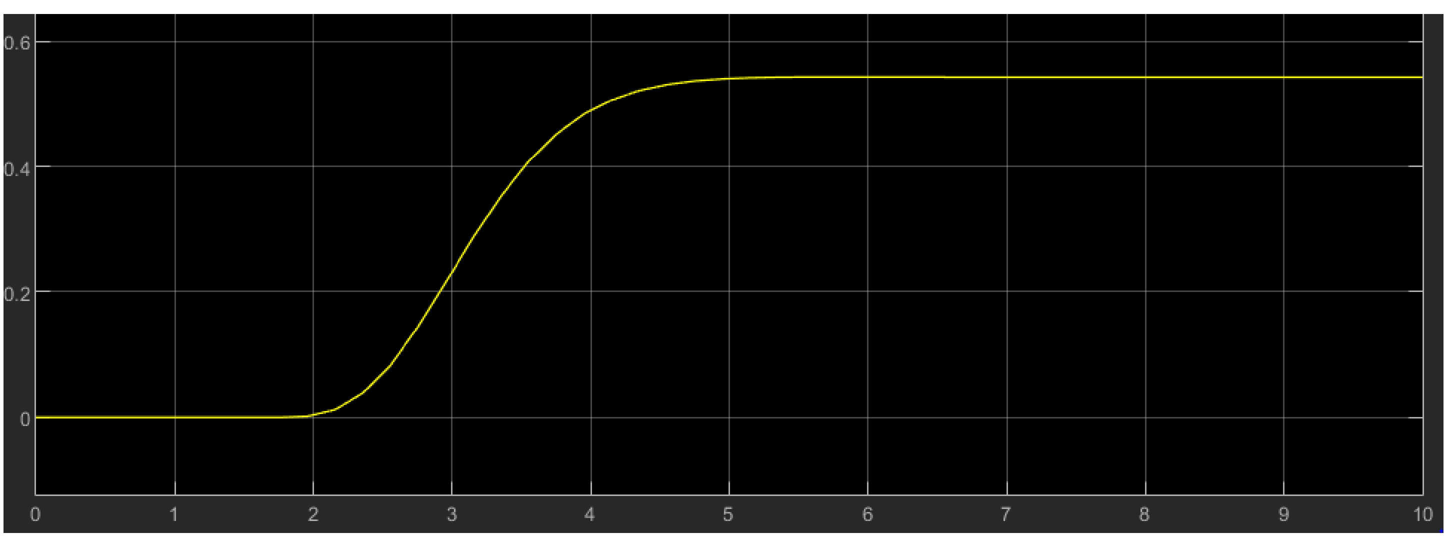
ابتدا تابع تبدیل را به صورت بلوک های مجزا در محیط Simulink وارد کرده و پاسخ پله آن را رسم می‌کنیم:

زیرسیستم تابع تبدیل $G(s)$:




شکل ۱ زیرسیستم شماره یک

پاسخ پله واحد سیستم را در اسکوپ مشاهده می‌کنیم. همانطور که انتظار داشتیم به فرم S-shape است.




شکل ۲ پاسخ پله زیرسیستم یک

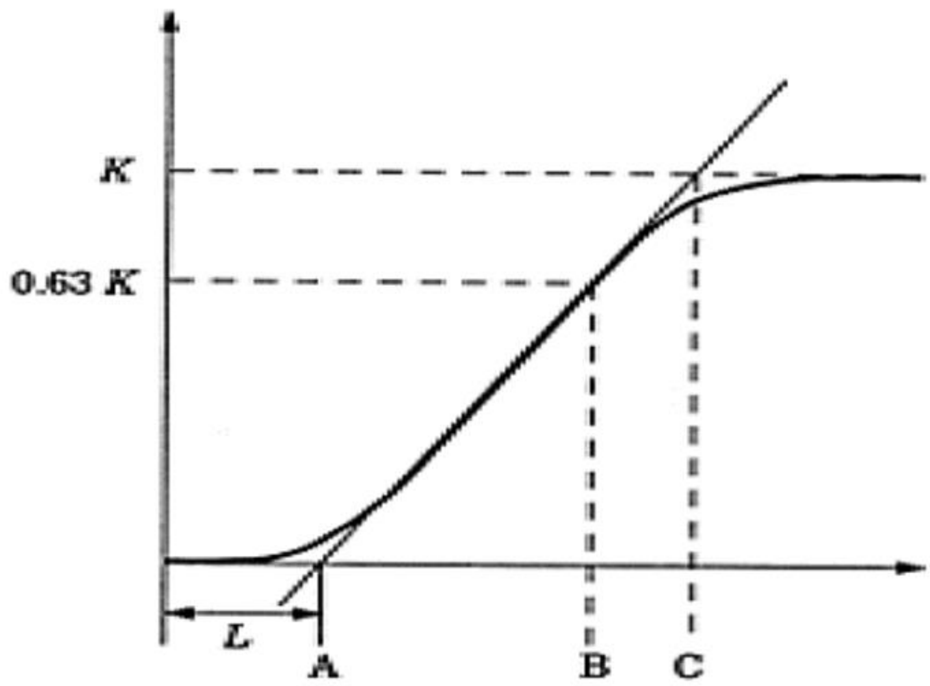
### ۱- الف) شناسایی مدل سه جزئی از روی پاسخ پله

با توجه به پاسخ پله و استفاده از روش های گرافیکی می‌توان مدل سه جزئی آن را بدست آورد. باید در جایی که نمودار پاسخ بیشترین شیب را داراست، پارامتر های $a$ و $L$ را بدست آورد.

فرم کلی مدل سه جزئی به صورت زیر است:

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

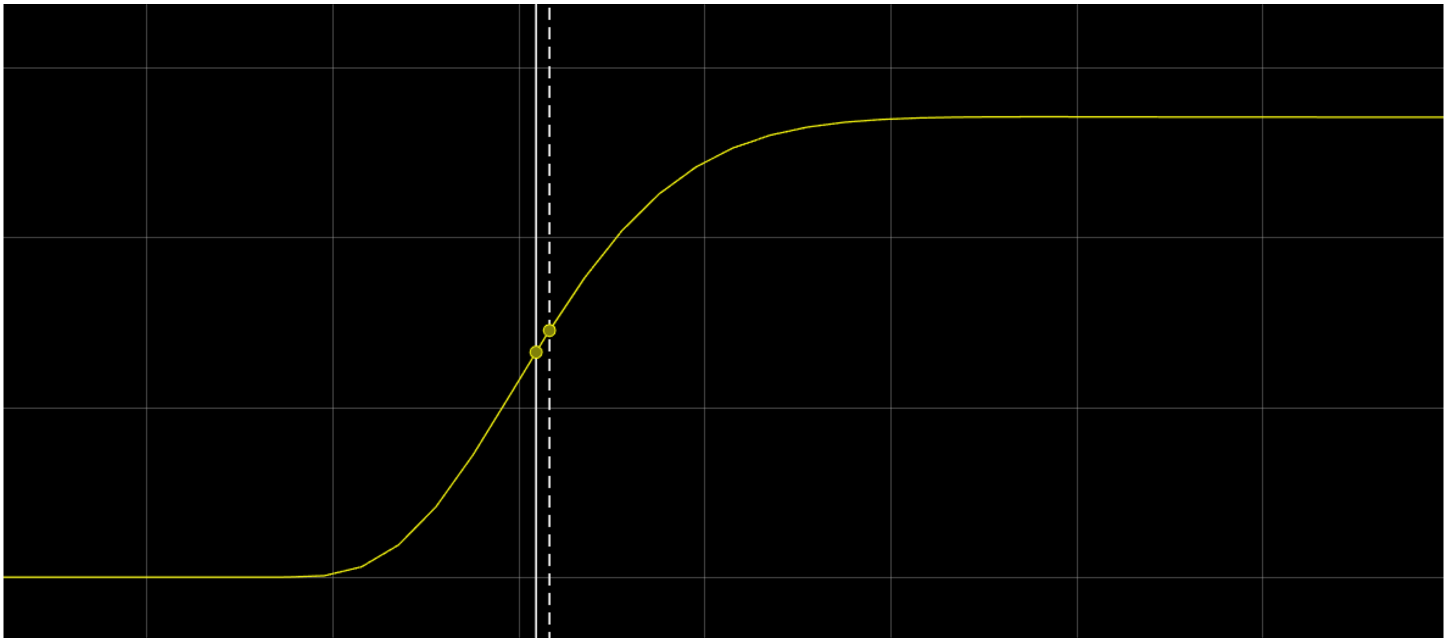
$$K = steady\ state\ value = gain\ DC = 0.54$$




شکل ۳ روش گرافیکی برای محاسبه پارامتر ها

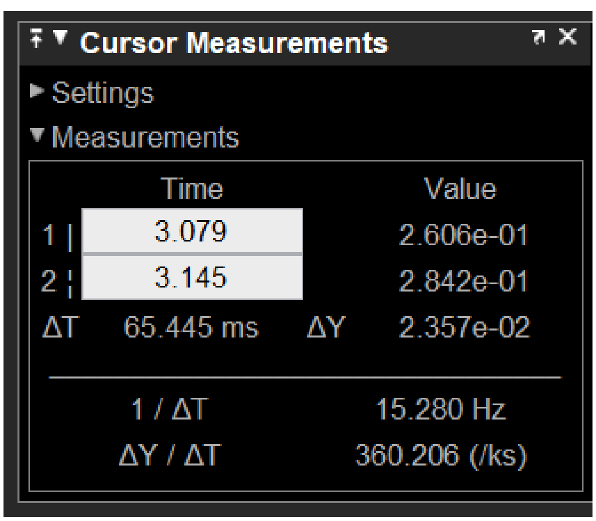
برای محاسبه $L$ ، با استفاده از ابزار Measuring موجود در اسکوپ می‌توان مقادیر دقیق نقاط را از روی نمودار بدست آورد.

با انتخاب دو نقطه بسیار نزدیک به هم (حالت مشتقی) در جایی که بیشترین شیب نمودار دیده می‌شود سعی می‌شود که شیب خط بدست بیایید:



شکل ٤ انتخاب دو نقطه نزدیک برای محاسبه بیشترین شیب

با نتایج بدست آمده زیر سعی به تخمین معادله خط مماس (با بیشترین شیب) می‌شود:




$$\frac{\Delta y}{\Delta t} = 0.360$$

Line eq: $y = mt + a$

Point1 : $0.284 = 0.36 * 3.145 + a$

$$y(t) = 0.36\, t - 0.84$$

طبق شکل شماره ۳ نیاز به دانستن سه نقطه هستیم: A و B و C

نقطه A : نقطه برخورد خط با محور افقی زمان

نقطه B : ثانیه‌ای که به ۶۳ درصد پاسخ نهایی می‌رسیم

نقطه C: ثانیه‌ای که به پاسخ نهایی سیستم می‌رسیم

$$A: \ (y=0) \rightarrow \quad A = 2.33\ s$$

$$B: (\ y = 0.63K = 0.34) \rightarrow B = 3.27$$

$$C: (y = K = 0.54) \rightarrow C = 3.83$$

بر اساس انتخاب نقطه B یا C دو مدل با $T$ های مختلف بدست می‌آید:

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

$$T_1 = AC = 1.5 \qquad T_2 = AB = 0.94 \qquad L = A$$

$$model\ 3pB : G(s) = \frac{0.54}{1+0.94s}\ e^{-2.33s}$$

$$model\ 3pC : G(s) = \frac{0.54}{1+1.5s}\ e^{-2.33s}$$

**این دو مدل دارای تاخیر ثابت هستند اما سیستمی که با نقطه C نوشته شده است ثابت زمانی بیشتری دارد و کندتر از B است.**

**در شبیه سازی پاسخ خواهیم داد که مدل B تقریب بهتری است.**

## ۱–ب) شناسایی مدل چهارجزئی از روی پاسخ پله

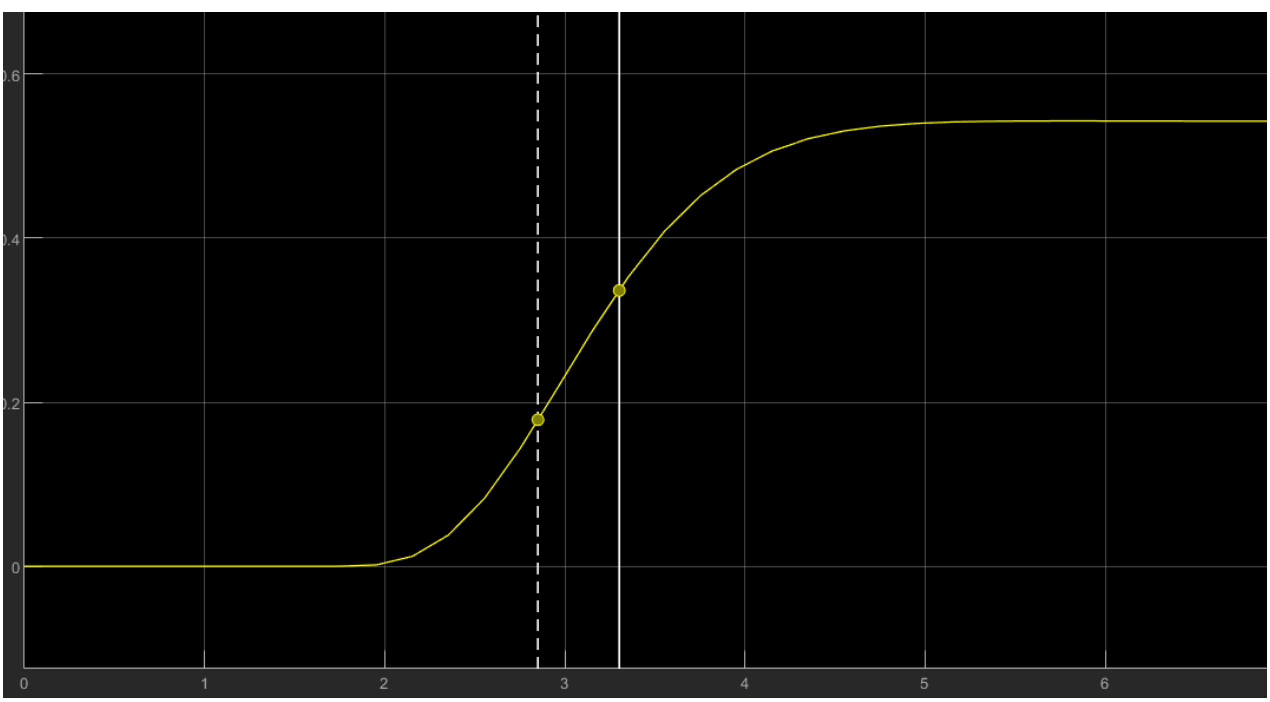
در مدل چهارجزئی سیستم به صورت زیر تعریف می‌شود

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

مقدار $K$ و $L$ به مانند قبل محاسبه می‌شود. برای محاسبه پارامتر های دیگر یعنی $T_1$ و $T_2$ از پاسخ پله این سیستم کمک می‌گیریم. در واقع بجای روش گرافیکی از روش جبری و ریاضی استفاده می‌شود:

$$S(t)=K\left(1+\frac{\left(T_2e^{-(t-L)/T_2}-T_1e^{-(t-L)/T_1}\right)}{T_1-T_2}\right)\qquad T_1\neq T_2$$

برای محاسبه این پارامترها با قرار دادن دو نقطه انتخابی به صورت انتخابی، به یک دستگاه دو معادله و دومجهول غیرخطی می‌رسیم که با استفاده از ابزار های آنلاین قابل حل خواهد بود. در انتخاب آن دو نقطه بهتر است به این صورت عمل می‌کنیم که در دامنه‌های $0.33K$ و $0.67K$ مقدار زمان را لحاظ کنیم.




*شکل ۵ دو نقطه انتخابی در ۶۷ درصد و ۳۳ درصد پاسخ نهایی*

$point1\ (\ 0.67K = 0.362\ ) \rightarrow t = 3.302$

$point2\ (0.33K = 0.178\ ) \rightarrow t = 2.850$

این نقاط را در معادله قرار داده و پارامتر های مجهول $T_2$ و $T_1$ را از طریق ابزار های آنلاین بدست می‌آوریم.

$$K = 0.54$$

$$T_1 = 0.38\ , \qquad T_2 = 0.504$$

توجه شود که جواب معادله از برخورد منحنی ها بدست می‌آید و این ویژگی را دارد که نسبت به محور نیمساز متقارن است و ترتیب پاسخ های $T_2$ و $T_1$ فاقد اهمیت است.

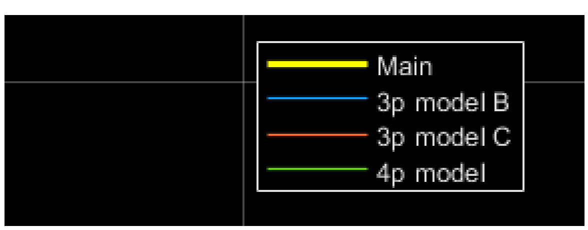
$$G(s) = \frac{Ke^{-sL}}{(1+sT_1)(1+sT_2)}$$

$$model\ 4p\!:\ G(s) = \frac{0.54\ e^{-2.33s}}{(1+0.38s)(1+0.504s)}$$

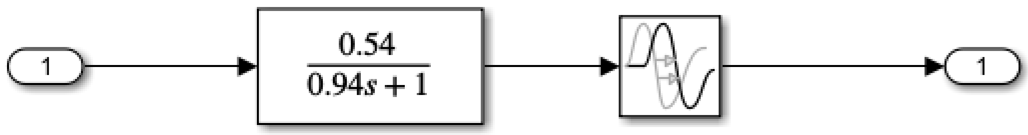
---

**۲- پاسخ پله‌ی مدل های شناسایی شده را در کنار پاسخ سیستم اصلی داده شده رسم و مقایسه کنید.**

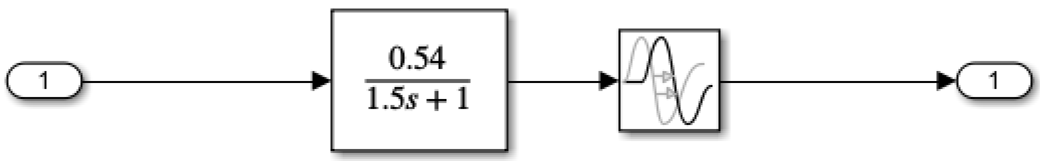
تا به اینجای گزارش، سه مدل شناسایی شده بدست آمده است. با تعریف آنها به زیرسیستم های جداگانه و دادن ورودی پله به صورت همزمان به آنها، پاسخ آنها را رسم می‌کنیم. از برچسب های زیر در رسم پاسخ استفاده شده است:



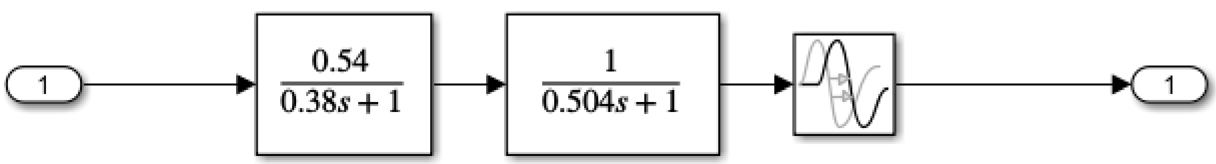

شکل ۶ برچسب های مربوط به پاسخ های مختلف




شکل ۷ زیرسیستم مربوط به مدل سه جزئی B

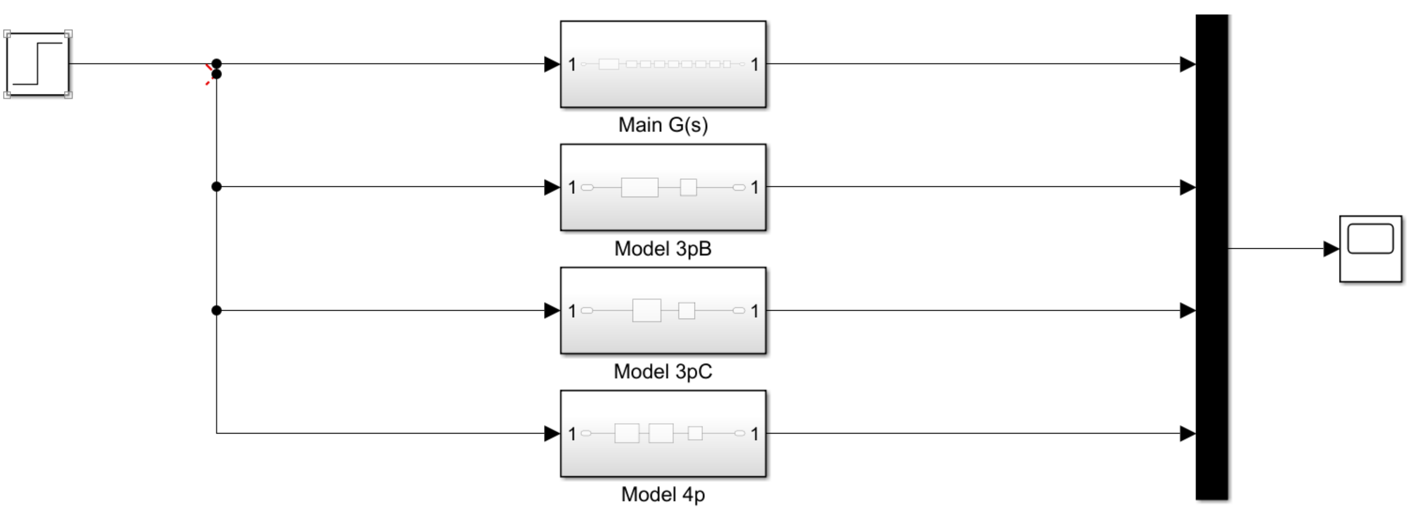



شکل ۸ زیرسیستم مربوط به مدل سه جزئی C

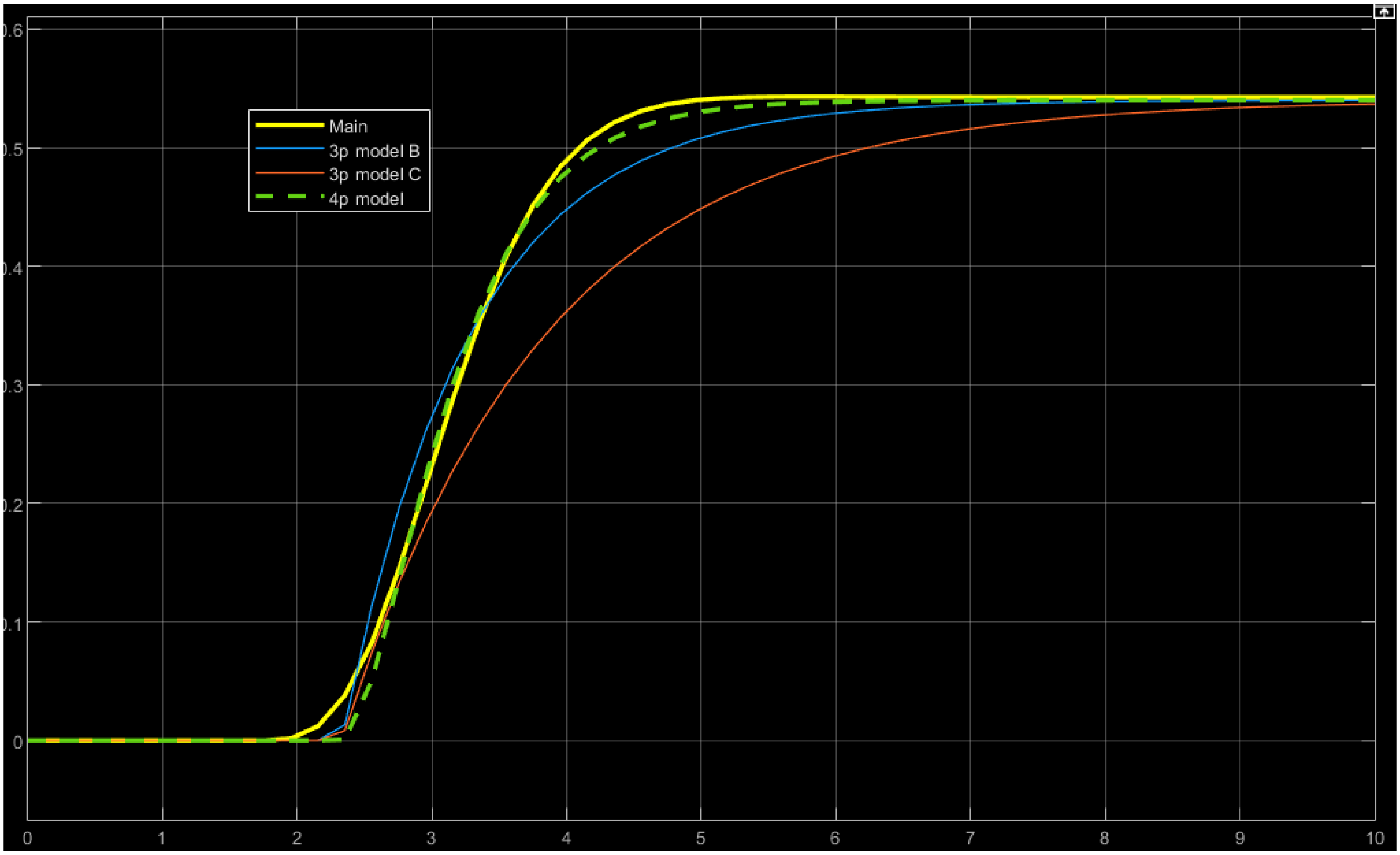



شکل ۹ زیرسیستم مربوط به مدل چهارجزئی

به صورت همزمان ورودی پله واحد به سیستم ها داده و پاسخ آنها را در اسکوپ مشاهده می‌کنیم




شکل ۱۰ رسم پاسخ پله با دادن ورودی پله به سیستم ها



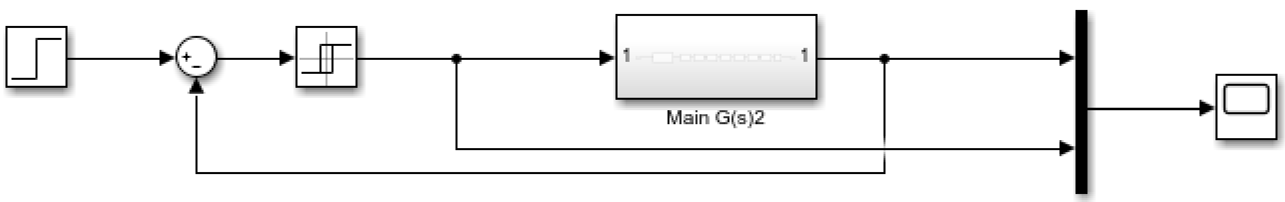

***شکل ۱۱ پاسخ پله سیستم اصلی و تقریب های سه جزئی و چهارجزئی***

**تحلیل نمودار**: در تقریب سیستم اصلی(زرد)، نتایج مانند انتظار حاصل شد. از بین مدل های سه جزئی، مدلی که با انتخاب نقطه B بدست آمده (آبی) دارای پاسخ سریع تری است و نتیجه بهتری داده است. مدل چهارجزئی (سبز) 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- محاسبه اطلاعات نقطه نهایی یا Ultimate Point با استفاده از روش فیدبک رله

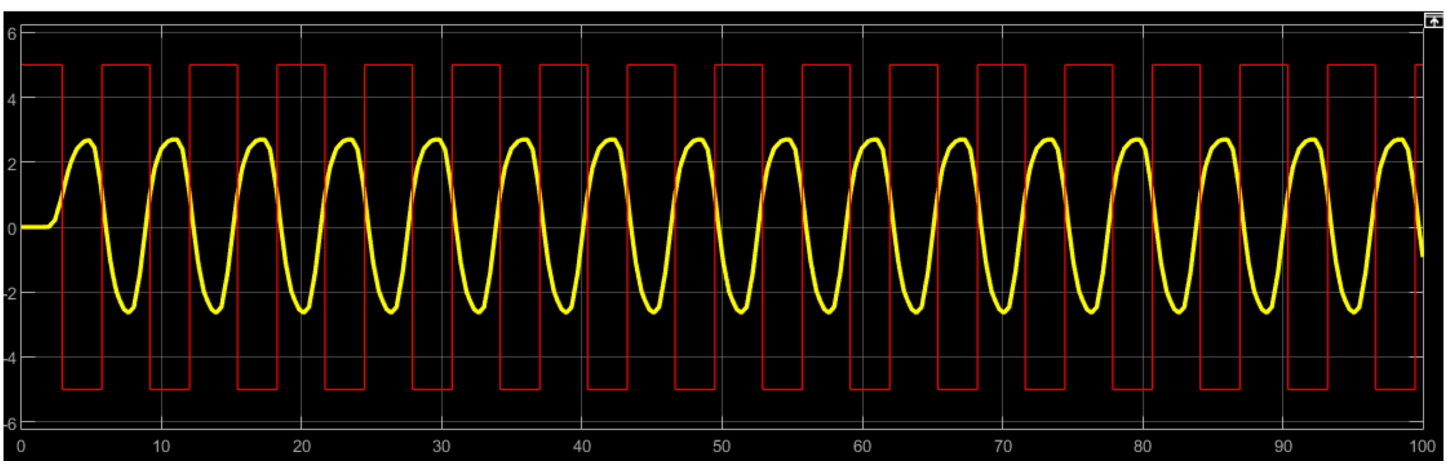
محاسبه نقطه نهایی از آن جهت اهمیت دارد که اطلاعات مهمی از پاسخ فرکانسی سیستم و تعیین پایداری را داراست و همچنین به کمک آن می‌توان کنترل کننده PID نیز طراحی نمود. یک روش پایه برای محاسبه برای این نقطه، صفر قرار دادن بخش موهومی در پاسخ فرکانسی $G(j\omega)$ یا استفاده از دیاگرام بودی است. اما در درس کنترل صنعتی با دو روش دیگر آشنا شده‌ایم. روش اول بالابردن بهره کلی تا جایی است که سیستم پاسخ نوسانی کامل بدهد که انجام این کار محدودیت دارد.

روش استفاده شده در این گزارش استفاده از فیدبک رله خواهد بود تا پاسخ نوسانی بدون میرا شود.




*شکل ۱۲ سیستم مربوط به روش فیدبک رله*

شکل پاسخ به صورت نوسانی کامل متناوب و بدون میرا خواهد بود:




*شکل ۱۳شکل پاسخ روش فیدبک رله*

مقدار $2a$ مربوط به پیک تا پیک پاسخ نوسانی و مقدار $2d$ برای پیک تا پیک دامنه رله است. اطلاعات مربوط به نقطه نهایی از روابط زیر بدست خواهد آمد:

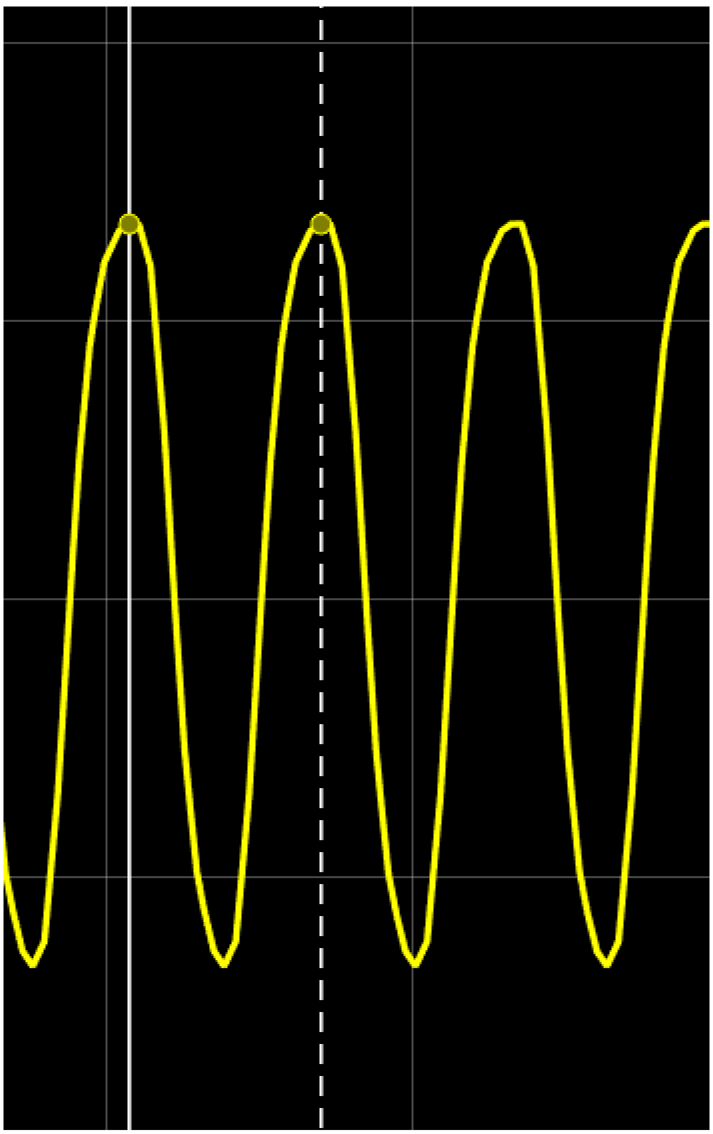
▼ Measurements

| | Time | | Value |
|---|---|---|---|
| 1 | -- | | -2.632 |
| 2 | -- | | 2.675 |
| ΔT | -- | ΔY | 5.308e+00 |

$$2a = 5.3 \quad , \quad 2d = 10$$

$$G(j\omega_u) = -\frac{\pi}{4}\frac{a}{d} = -0.416$$

دامنه نوسانات را نیز با ابزار Measuring اندازه می‌گیریم:



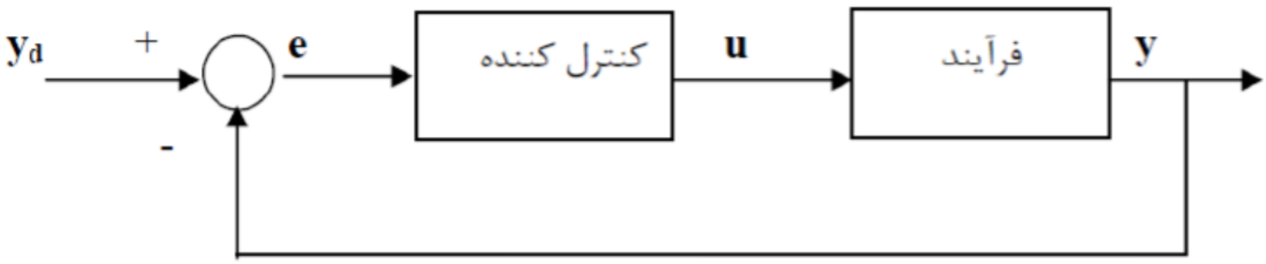
شکل ۱۴ فاصله دو اوج برای محاسبه دوره تناوب

▼ Measurements

| | Time | | Value |
|---|---|---|---|
| 1 | 60.763 | | 2.695e+00 |
| 2 | 67.025 | | 2.695e+00 |
| ΔT | 6.262 s | ΔY | 2.957e-05 |

$$\omega_u = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{6.2} \cong 1$$

**۴- مطابق بلوک دیاگرام زیر، برای سیستم کنترل کننده ی حلقه بسته کنترل کننده PIDرا به روش های زیر طراحی نموده و تمامی حالت ها را با یکدیگر مقایسه نمائید.**

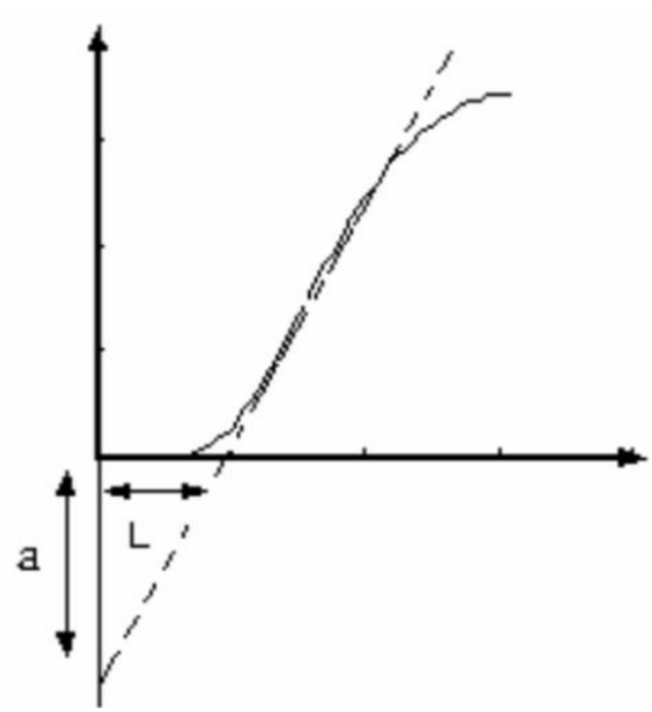



*شکل ۱۵ بلوک دیاگرام سیستم کنترلی حلقه بسته*

**۴-۱ به روش زیگلر نیکولز در حوزه ی زمان یک کنترل کننده PID برای سیستم طراحی نموده و پاسخ سیستم را به ورودی پله واحد رسم نمائید. ضرایب کنترل کننده را برای پاسخ مناسب تنظیم نمائید.**

برای استفاده از روش حوزه زمان و پاسخ پله، نیاز است مدل دو جزئی آن شناسایی شود. **مدل انتگرالی تاخیردار** استفاده می‌شود.

برای محاسبه پارامترهای این مدل از روش گرافیکی مانند گذشته استفاده می‌کنیم. معادله خط مماس از مراحل قبل بدست آمده

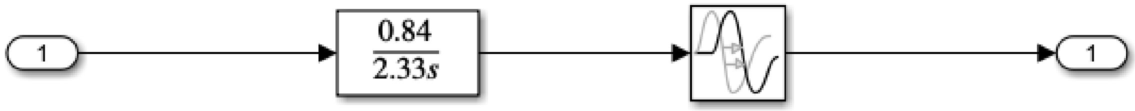



$$y(t) = 0.36\,t - 0.84$$

$$a = 0.84 \quad L = 2.33$$

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

$$model\ 2p: G(s) = \frac{0.84}{2.33s}\ e^{-2.33L}$$




سپس با استفاده از پارامترهای بدست آمده، از جدول زیر استفاده می‌کنیم تا ضرائب کنترل کننده PID بدست بیایید.

| 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** |

***جدول ۱ ضرائب کنترل کننده PID به روش ZN پاسخ پله***

$$K = \frac{1.2}{0.84} = 1.43$$

$$T_i = 2L = 4.66$$

$$T_d = \frac{L}{2} = 1.165$$

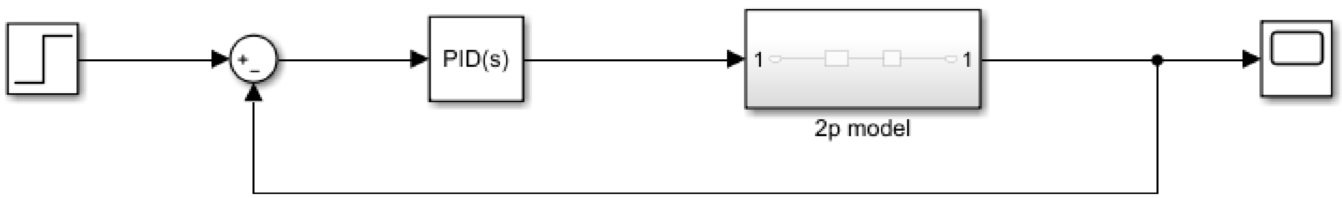
حال می‌توانیم تابع انتقال کنترل کننده را بنویسیم:

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

$$C(s) = 1.43\left(1 + \frac{1}{4.66s} + 1.165s\right)$$

حال از ابزارهای موجود برای PID در سیمولینک استفاده می‌کنیم. سیستم به صورت زیر بسته می‌شود:

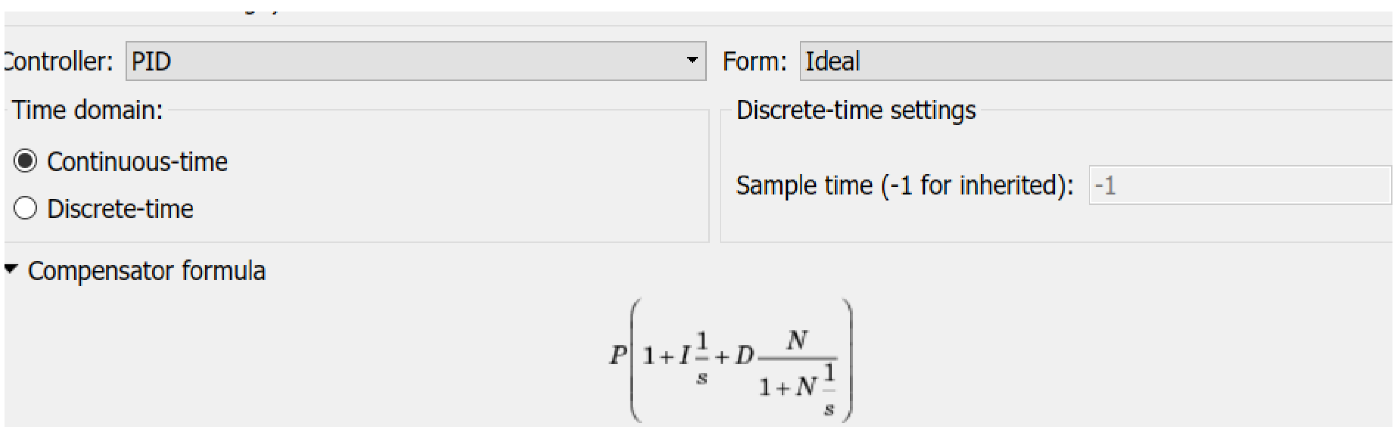
**PID برای سیستم هایی با مرتبه یک یا دو خوب عمل می‌کند. پس مدل شناسایی شده را به عنوان پلنت قرار می‌دهیم.**




*شکل ۱۶ سیستم کنترل حلقه بسته با کنترل کننده PID*

نکته: در محاسبه پارامترهای گرافیکی از تابع تبدیل حلقه باز استفاده می‌شود. اما برای مشاهده عملکرد کنترل کننده باید پاسخ سیستم حلقه بسته را رسم کرد.

تنظیمات مربوط به بلوک PID به صورت Ideal قرار داده می‌شود.




*شکل ۱۷ تنظیمات مربوط به بلوک PID در سیمولینک*

با مقایسه فرم کنترل کننده‌ای که در شکل ۱۷ مشاهده می‌شود با کنترل کننده بدست آمده ZN، نیاز است که ضرائب را کمی تغییر بدهیم

$$K = P = 1.43$$

$$I = \frac{1}{T_i} = 0.215$$

$$D = T_d = 1.166 \qquad N = 20$$

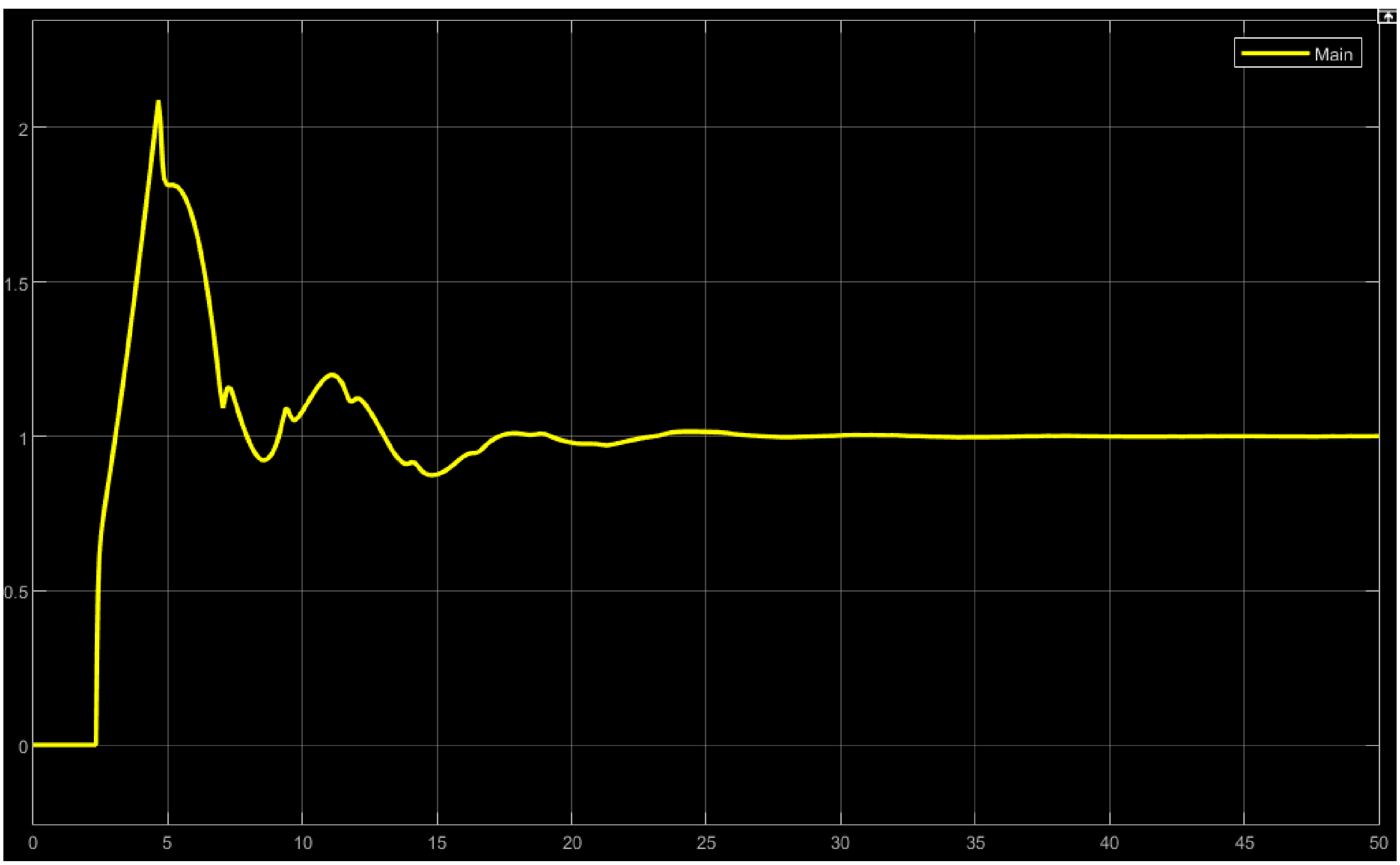
مقدار N برای این موجود است که بتوان تقریبی از فرم مشتق گیر به صورت فیلتردار نوشته شود. مقدار پیش فرض در متلب $N = 100$ است.

مقادیر در تنظیمات بلوک به شکل زیر است:

| | |
|---|---|
| Proportional (P): | 1.43 |
| Integral (I): | 0.215 |
| Derivative (D): | 1.166 |
| ☑ Use filtered derivative | |
| Filter coefficient (N): | 20 |

***شکل ۱۸ مقادیر ضرائب*** *PID*

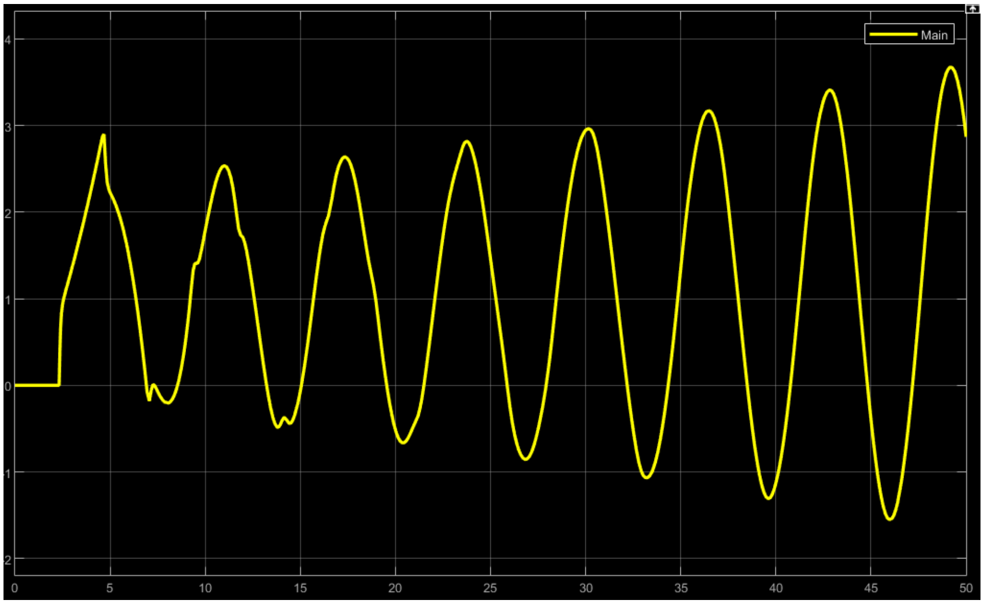
شکل پاسخ پله سیستم حلقه بسته به فرم زیر نمایش داده شد:



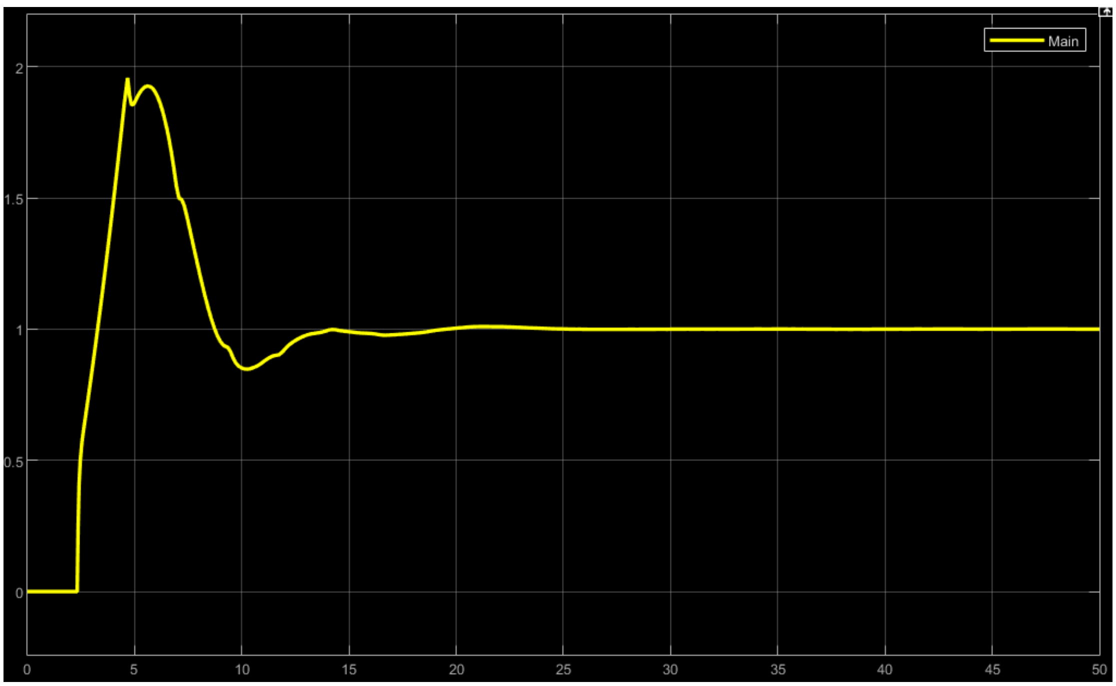

***شکل ۱۹ شکل پاسخ پله با کنترل کننده*** *PID*

مقدار ماندگار پاسخ برابر با ۱ است. همانطور که انتظار داشتیم وقتی از جدول داده شده در روش ZN استفاده می‌کنیم میزان فراجهش حدودا ۵۰ درصد و میزان کاهندگی دامنه در تناوب حدودا $1/4$ خواهد بود. پاسخ قابل قبول است اما چندین تغییر به ضرائب داده می‌شود تا اثر آنها درک شود.

افزایش قسمت تناسبی باعث ناپایداری و نوسانی شدن (نامیرا) پاسخ سیستم شد:




کاهش قسمت مشتق گیر باعث شد که نوسان های پاسخ کمتر شود و نمودار نرم حرکت می‌کند. اما ممکن باعث کندی پاسخ شود.



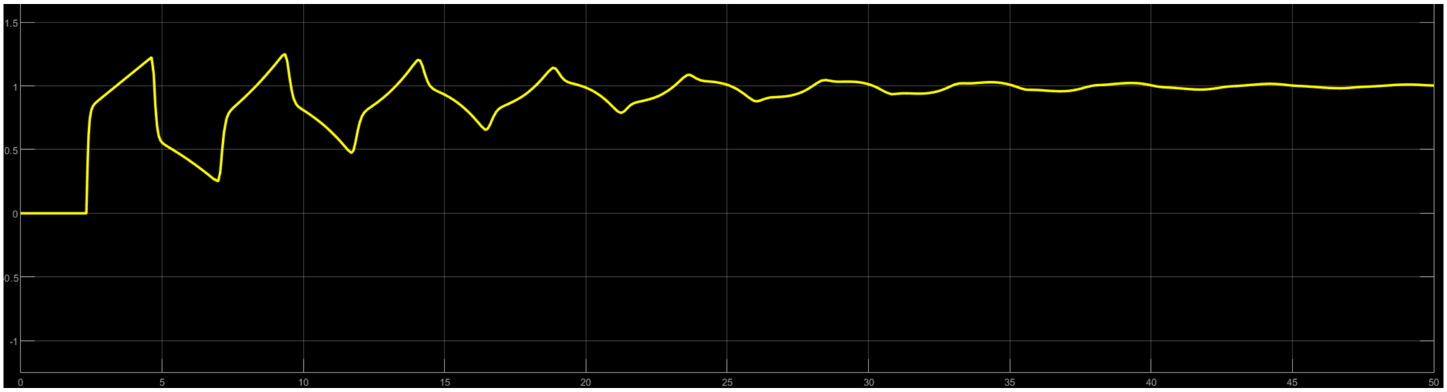
با کاهش ترم انتگرال گیر و افزایش ترم مشتق گیر سرعت خوبی بدست می‌آید. اما به بهای نوسانی شدن پاسخ و ناپایداری.

( در حدود ۳ ثانیه به مقدار نهایی رسید که سرعت خوبی دارد)

Proportional (P): 0.5

Integral (I): 0

Derivative (D): 4.5

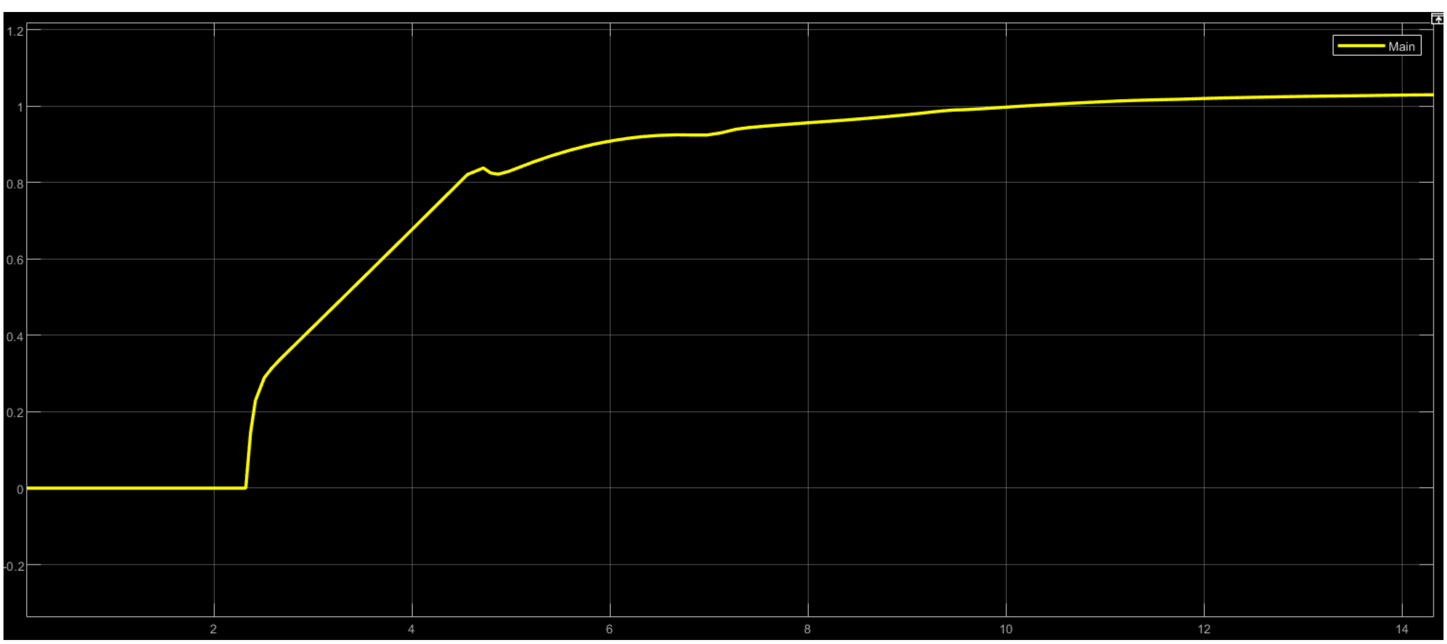



اما فرض می‌کنیم که پاسخی نیاز داریم که بدون اورشوت باشد. هرچند که پاسخ کندی داشته باشد. با سعی و خطا به نتیجه زیر رسیدیم. که بدون فراجهش خاصی به مقدار ماندگار رسید.

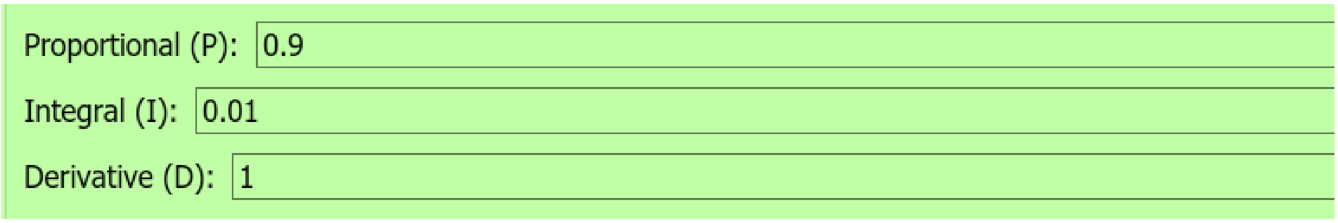
Proportional (P): 0.7

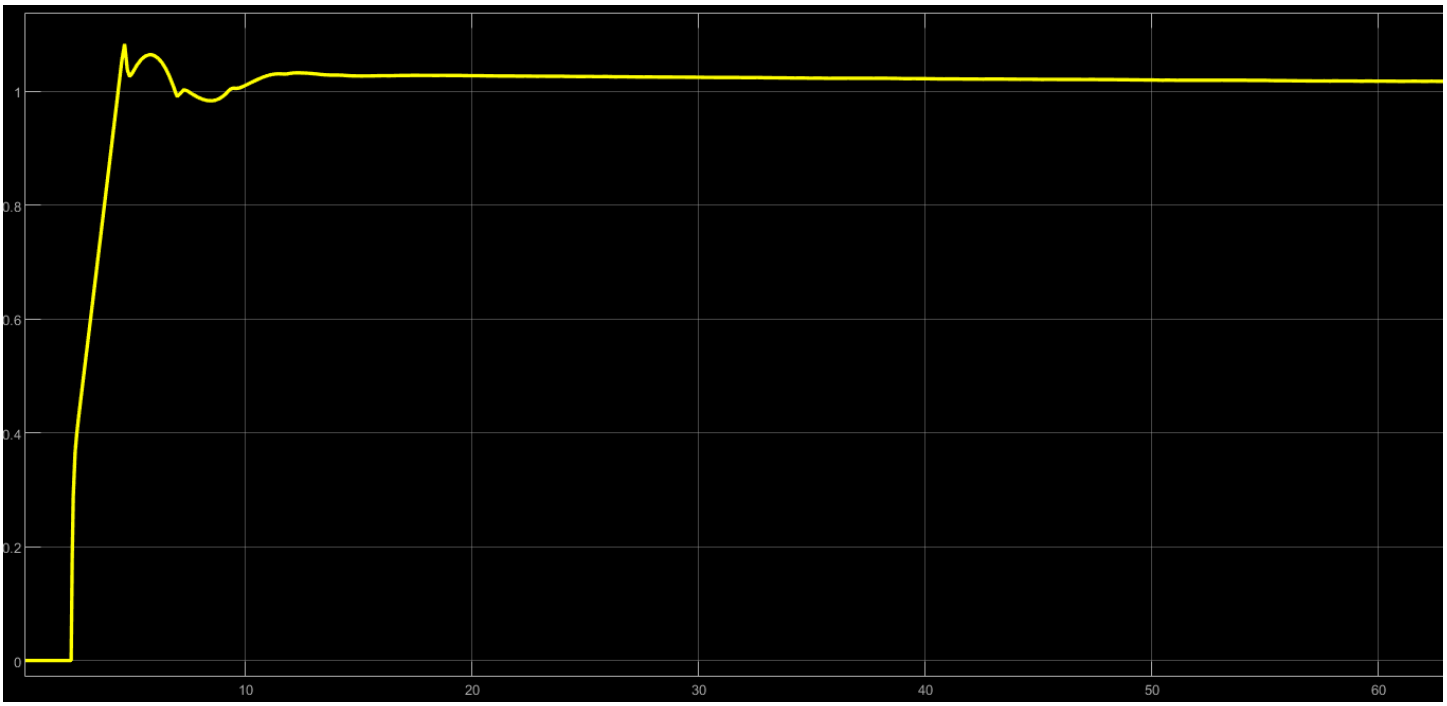
Integral (I): 0.01

Derivative (D): 1

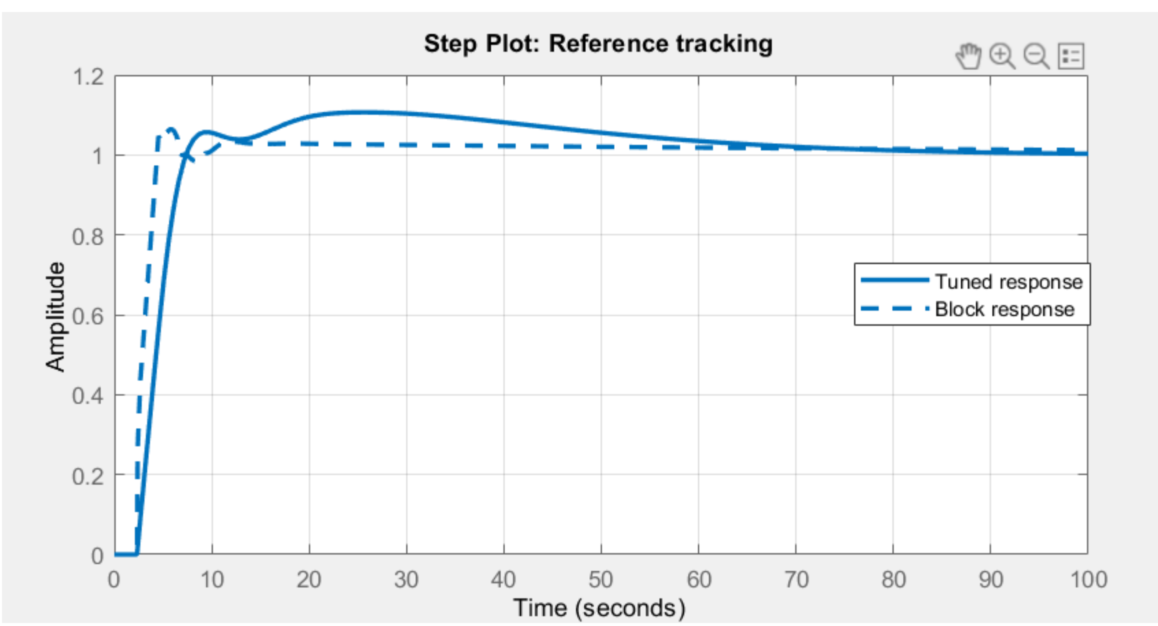


در نهایت بعد از تنظیم های مختلف، با افزایش بهره تناسبی (تا جایی که اورشورت زیادی نکند) پاسخ زیر مطلوب ترین پاسخ شد: افزایش بیشتر بهره باعث ناپایداری می‌شود.




مقایسه شکل پاسخ نهایی با تنظیم به صورت Auto-Tune :



**۱-۴ به روش زیگلر نیکولز در حوزه ی فرکانس یک کنترل کننده PID برای سیستم طراحی نموده و پاسخ سیستم را به ورودی پله واحد رسم نمائید. ضرایب کنترل کننده را برای پاسخ مناسب تنظیم نمائید.**

برای این بخش نیاز به دانستن اطلاعات نقطه نهایی سیستم هستیم. با افزایش بهره تناسبی تا زمانی که سیستم به نوسانات پایدار بدون میرا برسد، آن بهره و فرکانس را برای استفاده استخراج می‌کنیم. پس در بلاک PID فقط قسمت تناسبی را لحاظ می‌کنیم و با افزایش آن تا مرز پایداری ادامه می‌دهیم.

$$K_u \cdot G(\omega_u) = -1$$

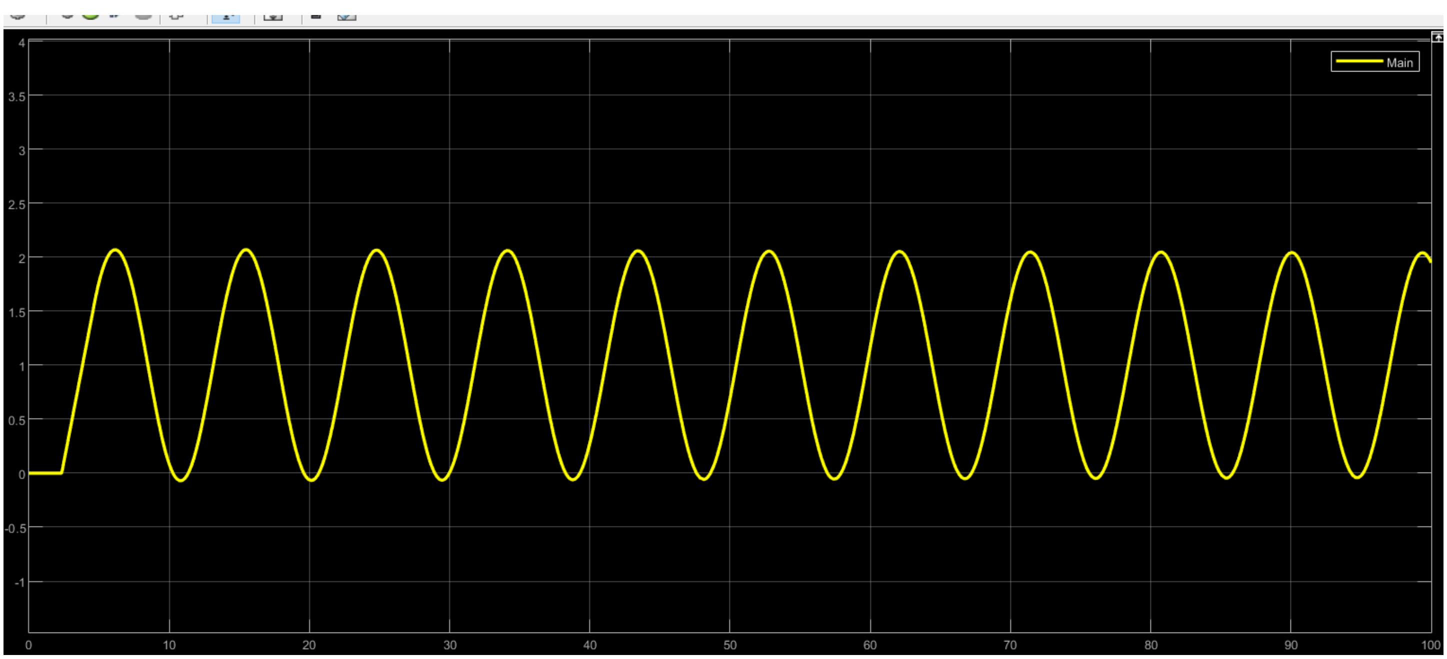
پارامتر مورد نیاز دیگر برای طراحی، دوره تناوب نوسان هاست. که از طریق دانستن فرکانس $\omega_u$ بدست می‌آید:

$$T_u = \frac{2\pi}{\omega_u}$$

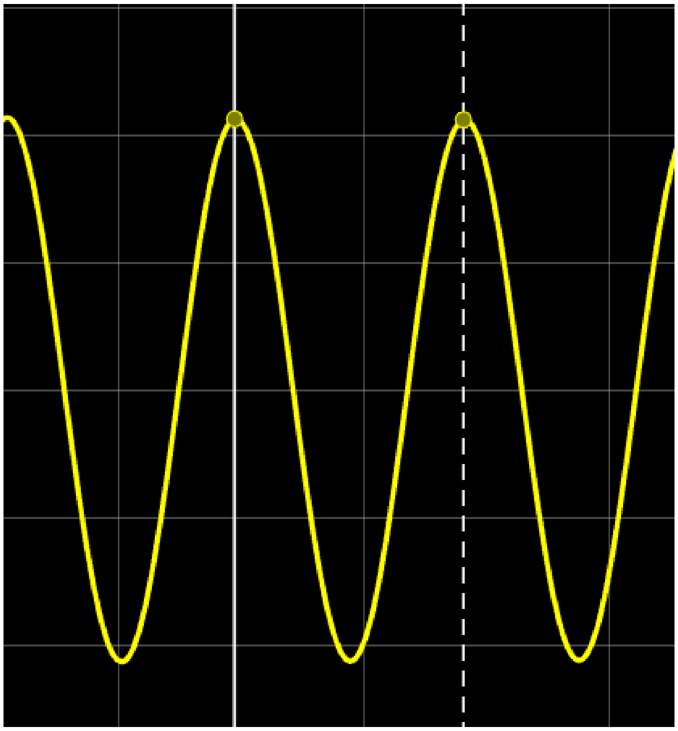
با سعی و خطاهای فراوان مقدار $K$ ای که باعث می‌شود پاسخ نوسانی کامل شود بدست می‌آید.

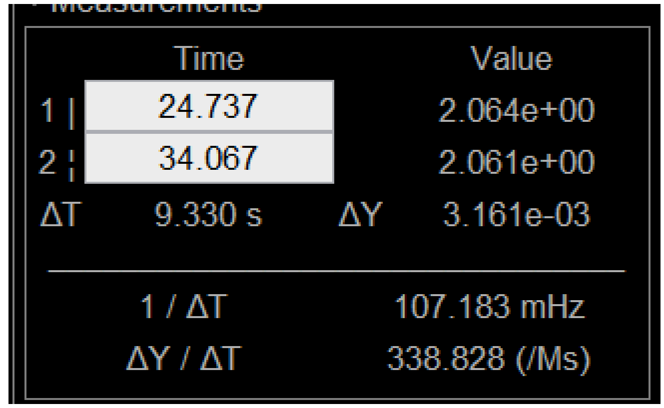
افزایش $K$ باعث می‌شد پاسخ نوسانی و واگرا شود و کاهش آن نوسانی میرا را حاصل می‌دهد.

$$\boldsymbol{K = 1.87}$$



از شکل پاسخ نوسانی، مقدار فرکانس و دوره تناوب نیز بدست می‌آید:






$$T_u = 9.33\ sec$$
$$K_u = 1.87$$

با استفاده از اطلاعات بدست آمده و جدول زیر مقادیر ضرایب کنترل کننده PID را بدست می‌آوریم

| $T_p$ | $T_d$ | $T_i$ | 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** |

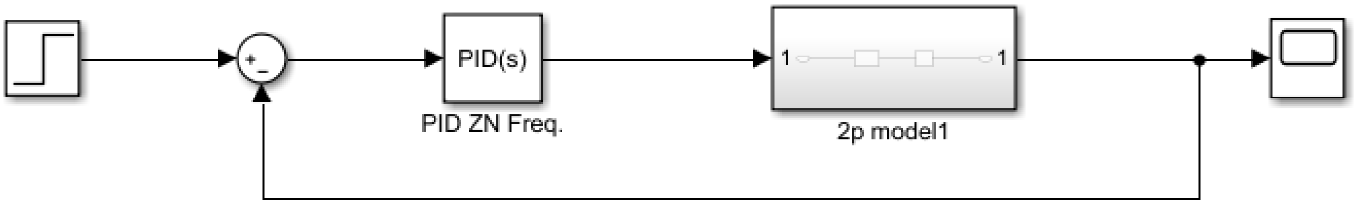
***جدول ۲ ضرائب کنترل کننده PID از روش ZN حوزه فرکانس***

$$K = 0.6K_u = 1.122$$
$$T_i = 0.5\,T_u = 4.67$$
$$T_d = 0.128\,T_u = 1.166$$

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

$$C(s) = 1.122\left(1+\frac{1}{4.67s}+1.166s\right)$$

این کنترل کننده شباهت زیادی به کنترل کننده بخش زمانی قسمت قبل دارد.




برای استفاده در بلاک Simulink باید ضرایب را کمی تغییر دهیم.

$$K = P = 1.122$$

$$I = \frac{1}{T_i} = 0.214$$

$$D = T_d = 1.166 \qquad N = 20$$

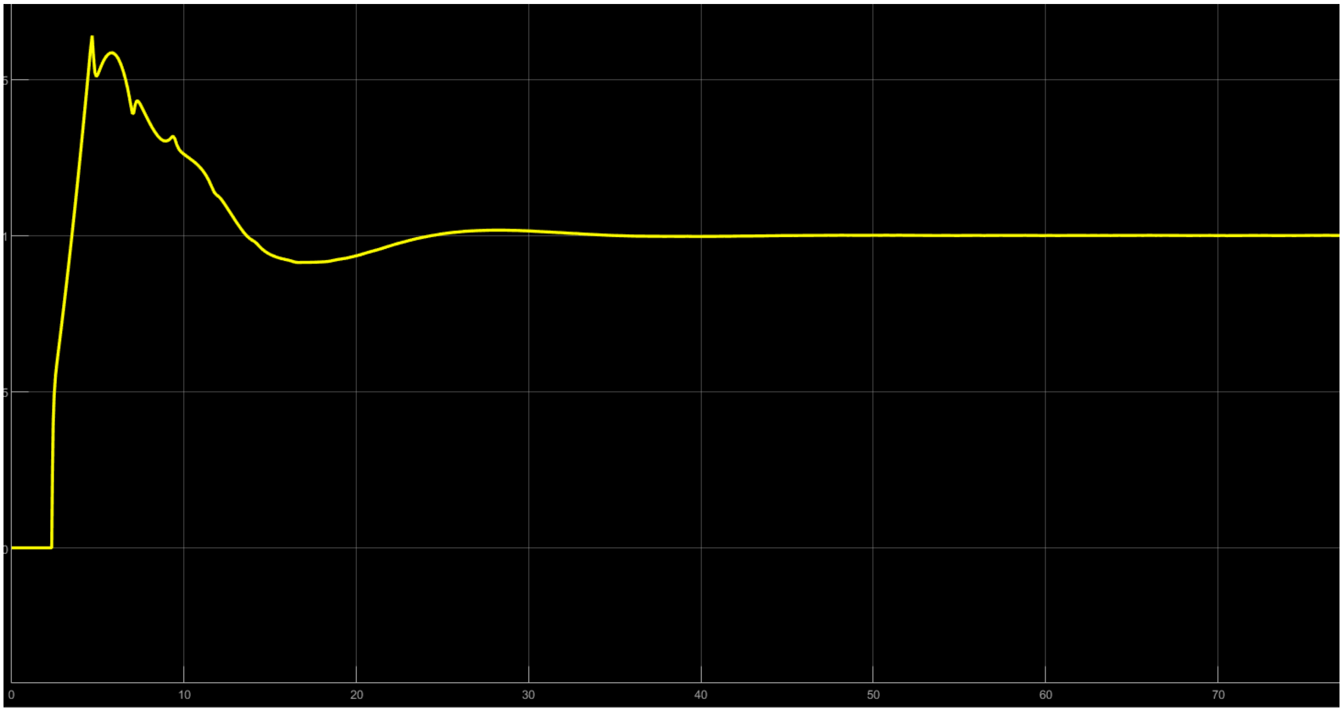
Proportional (P): 1.122

Integral (I): 0.214

Derivative (D): 1.166

مقدار بهره در این روش فرکانسی در مقایسه با روش زمانی در حدود 0.3 کمتر است و احتمالا مقدار اورشوت کمتری در پاسخ سیستم حلقه بسته را شاهد خواهیم بود.

انتظار است این روش پاسخ بهتری بدهد.

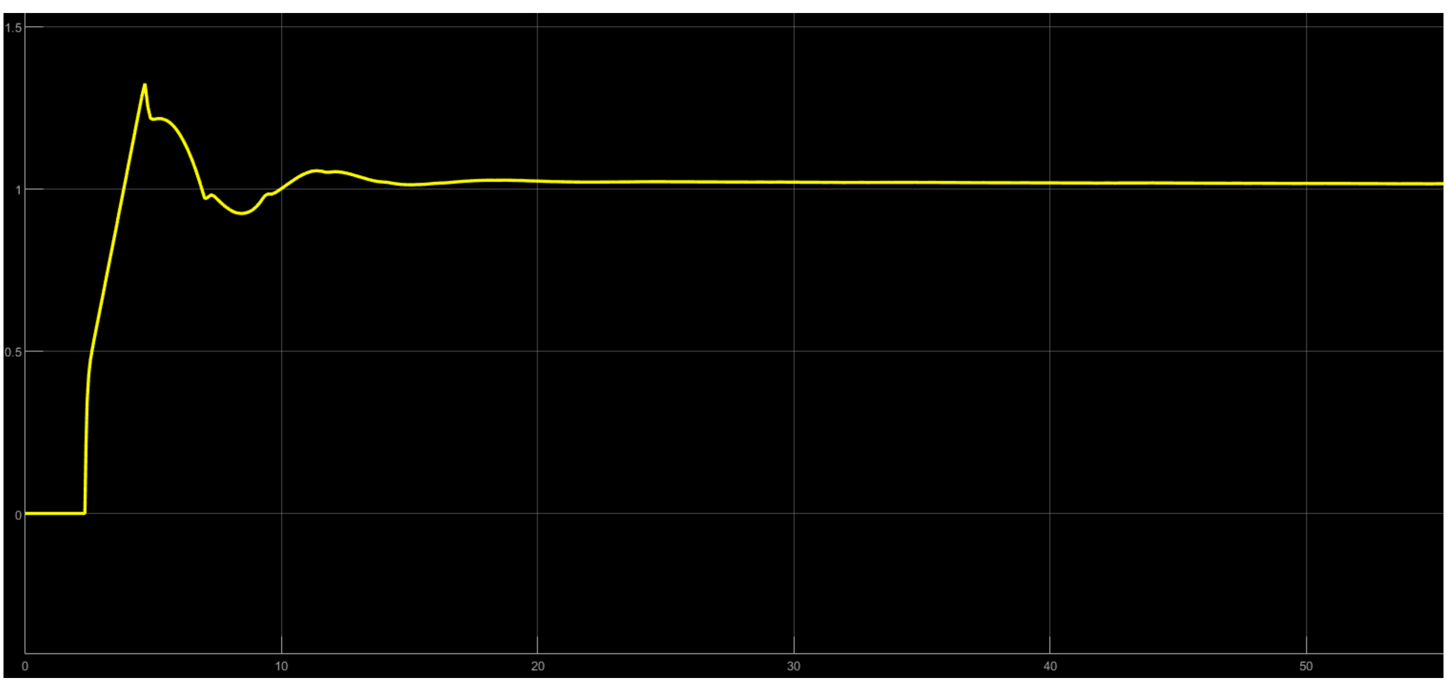



مقدار اورشوت در حدود ۵۰ درصد است و سرعت پاسخ نیز در طراحی با روش ZN طبق انتظار خوب است. طبق تجربه بدست آمده و شباهت با قسمت قبل، ضرائب را به طوری تنظیم می‌کنیم که مقدار اورشوت کمتر شود و پاسخ مناسب تری دریافت کنیم.

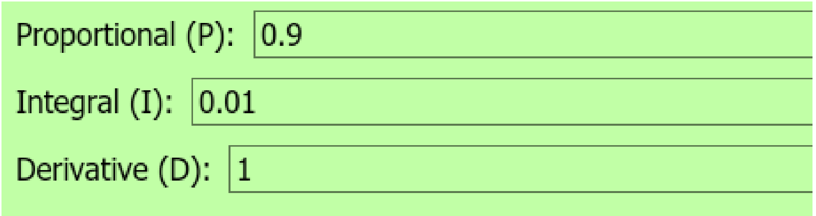
Proportional (P): 1.1

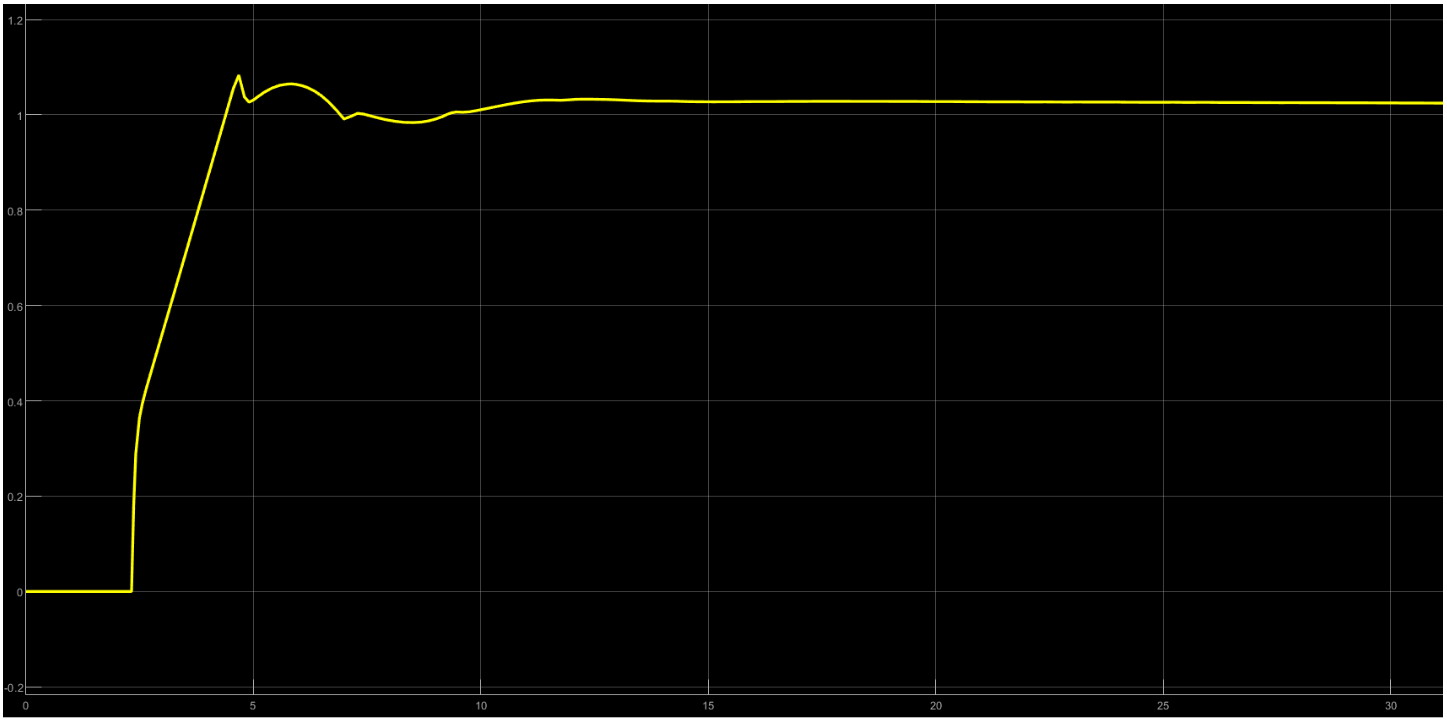
Integral (I): 0.01

Derivative (D): 1

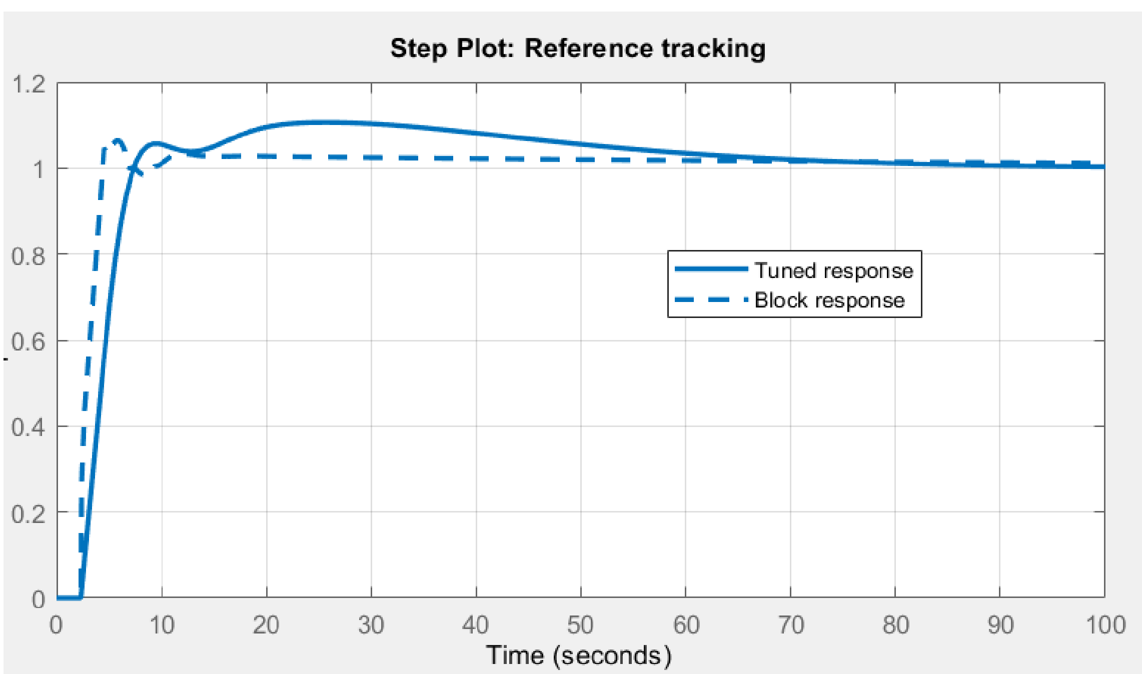


سرعت همگرا شدن پاسخ مناسب است اما با کاهش بهره تناسبی میزان فراجهش را کم می‌کنیم.




مقایسه تنظیم نهایی با Auto-Tune نرم افزار



۴-۳) به روش زیگلر نیکولز تعمیم یافته برای نقطه $\varphi_b = 51^{\circ}$ , $r_b = 0.35$ یک کنترل کننده PID برای سیستم طراحی نموده و پاسخ سیستم را به ورودی پله رسم نمائید. ضرایب کنترل کننده را برای پاسخ مناسب تنظیم نمائید. (بصورت سعی و خطا)

با رجوع به مطالب کلاس اگر در انتقال نقطه نهایی، نقطه ابتدایی را نقطه نهایی اصلی با اندازه $1/K_u$ و زاویه $-180$ در نظر بگیریم، نقطه دوم $b$ خواهد بود. اطلاعات ضرائب کنترل کننده به مانند زیر محاسبه می‌شود:

$$PID: \begin{cases} K = K_u r_b \, Cos\,\varphi_b \\ Ti = \dfrac{T_u}{\pi}\left(\dfrac{1+Sin\,\varphi_b}{Cos\,\varphi_b}\right) \\ T_d = \dfrac{\alpha T_u}{\pi}\left(1+\dfrac{Sin\,\varphi_b}{Cos\,\varphi_b}\right) \end{cases}$$

طراح کنترل کننده بر اساس تجربه و دانش قبلی خود نقاط مربوط به $b$ را پیشنهاد می‌دهد. مقادیر زیر در این مساله مورد استفاده قرار گرفته است.

$$r_b = 0.35 \quad , \quad \varphi_b = 51^{\circ}$$

مقادیر مربوط به اطلاعات نقطه نهایی نیز از قسمت های قبل بدست آورده بودیم:

$$T_u = 9.33\ sec \qquad\qquad K_u = 1.87$$

پس ضرائب با یک محاسبه ساده بدست خواهد آمد:

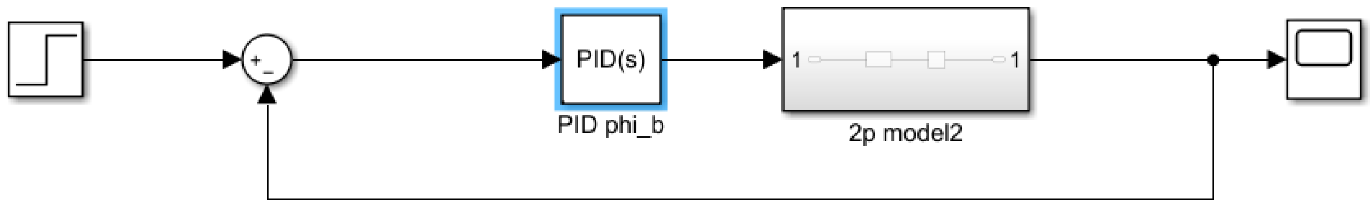
( Assume alpha=0.25)

$K = 0.412$

$T_i = 8.39$ $\qquad\qquad$ $I = \frac{1}{8.39} = 0.11$

$T_d = 1.66$

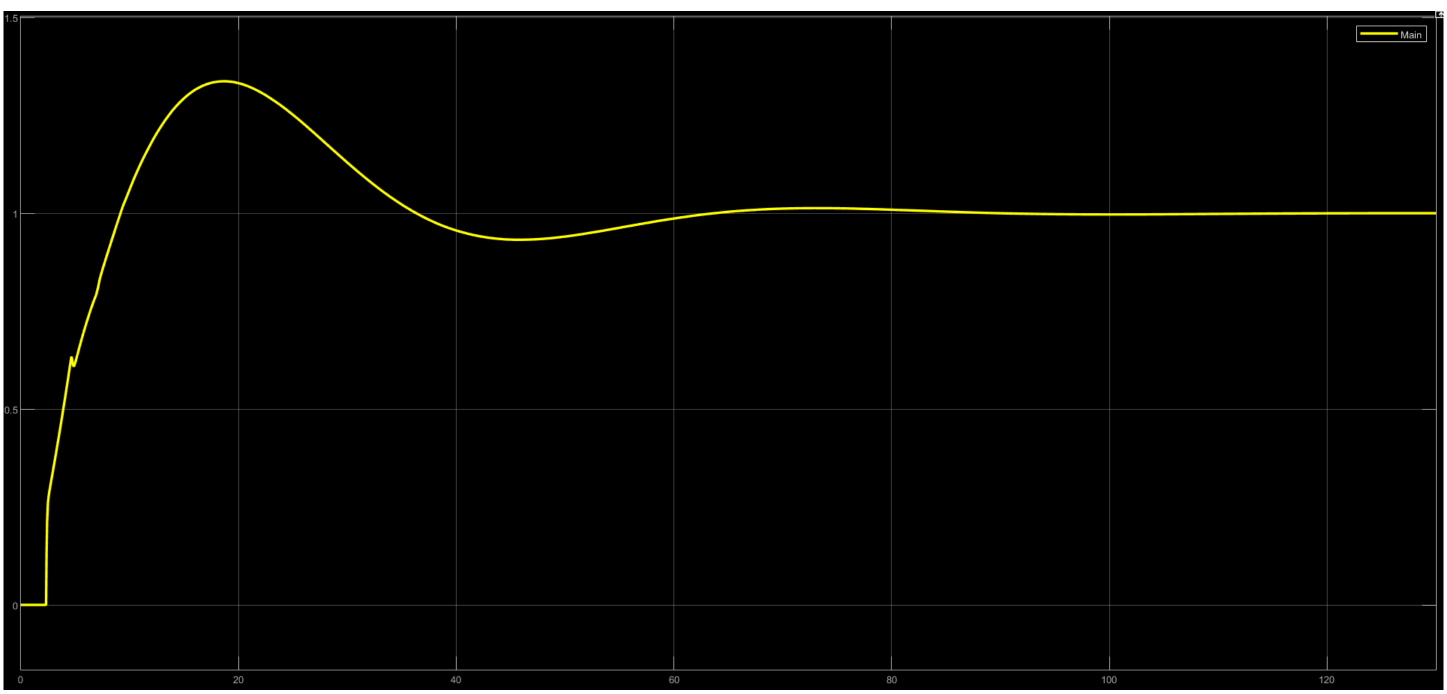
سیستم را به صورت حلقه بسته می‌بندیم و پاسخ پله آن را رسم می‌کنیم:




Proportional (P): 0.412

Integral (I): 0.11

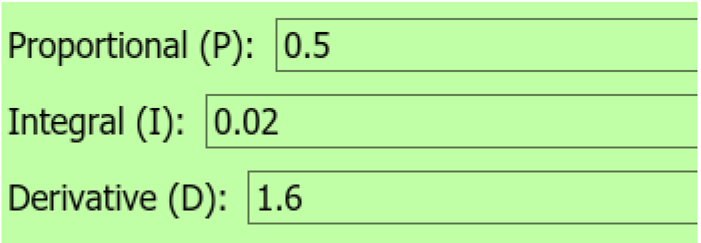
Derivative (D): 1.66

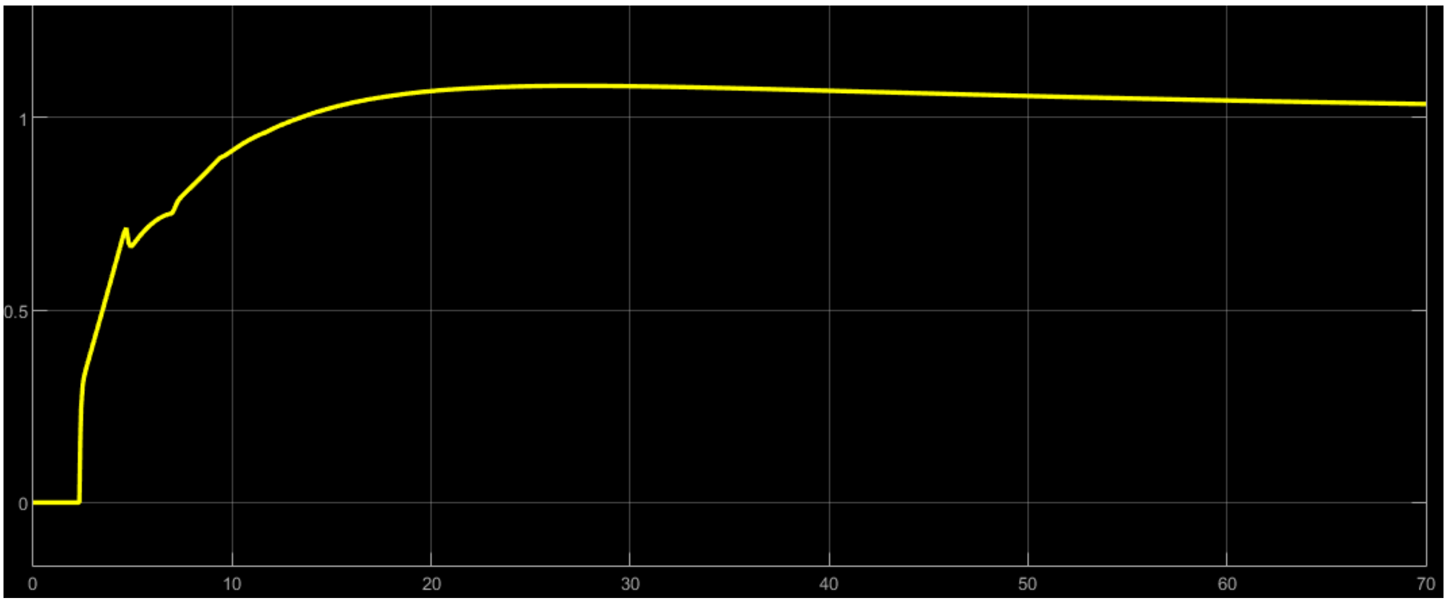



<u>**میزان اورشوت این پاسخ (در مقایسه با نقطه ۲۵ درجه جدول NZ) کمتر از ۵۰ درصد خواهد بود.**</u>

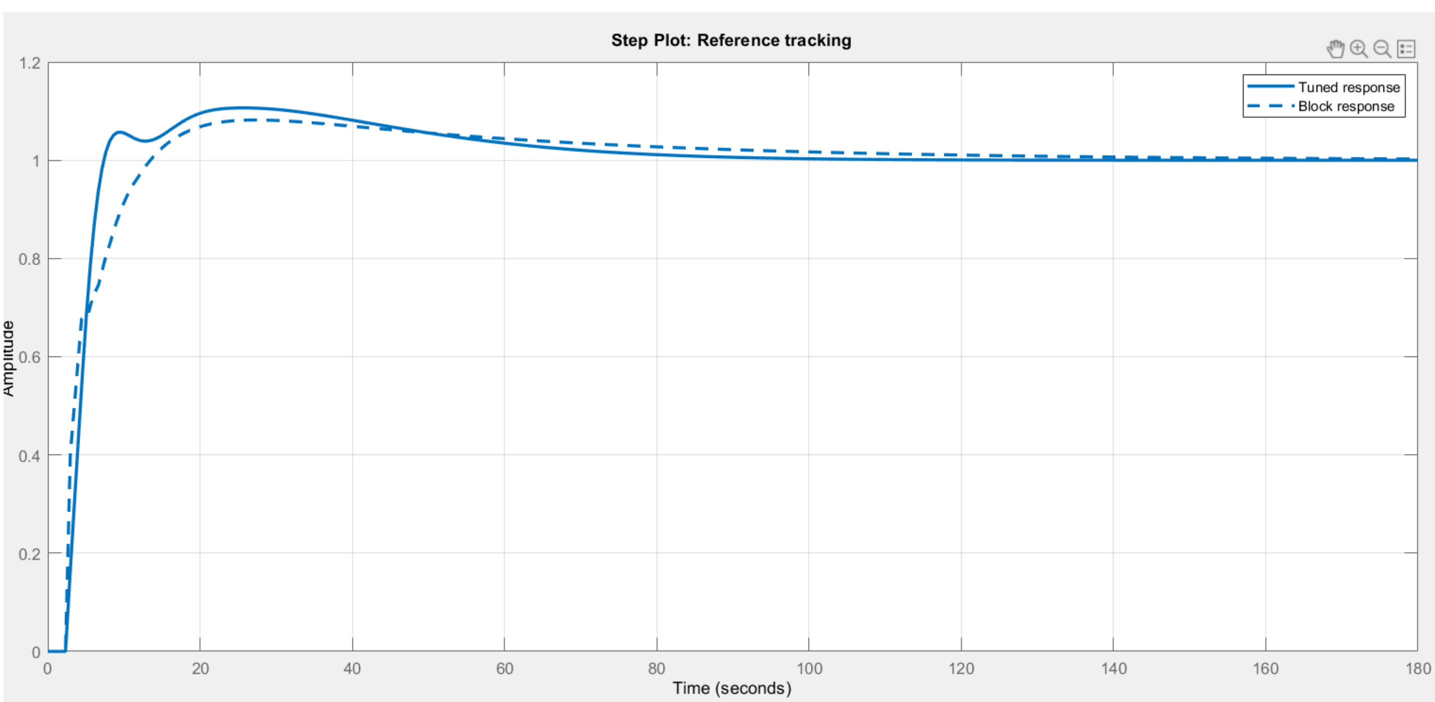
$$\%\boldsymbol{OS} = \frac{\mathbf{0.33}}{\boldsymbol{steady}} * \mathbf{100} = \mathbf{33\%} < \mathbf{50\%}$$

برای گرفتن پاسخ بهتر از تجربه بدست آمده درباره این سیستم: **بهره انتگرال گیر را خیلی کم می‌کنیم و بهره مشتق گیر را افزایش می‌دهیم. همچنین بر روی بهره تناسبی نیز باید توجه داشته باشیم که افزایش آن سیستم را نوسانی یا ناپایدار نکند!**




مقایسه تنظیم نهایی با Auto-Tune نرم افزار



۴-۴) به روش تنظیم λ یک کنترل کننده PID مناسب برای سیستم طراحی نموده و پاسخ سیستم را به ورودی پله رسم نمائید. ضرایب کنترل کننده را برای پاسخ مناسب تنظیم نمائید. (بصورت سعی و خطا)

این روش مبتنی بر جایابی قطب های حلقه بسته سیستم است. سیستم متشکل از دو جزء $C(s)$ و $P(s)$ است. با نوشتن معادله مشخصه حلقه بسته، قطب ها در مکان دلخواه که وابسته به مقدار $\lambda$ است، قرار می‌گیرد.

فرض می‌شود که پلنت به صورت مدل سه جزئی زیر تعریف شده است:

$$P(s) = \frac{K_p e^{-Ls}}{1 + Ts}$$

که در بخش ۱ و ۲ این گزارش این مدل ها بدست آمده اند. دو مدل سه جزئی با استفاده از نقطه C و B در اختیار بود که در شبیه سازی مشاهده شده مدل B تقریب بهتری از سیستم اصلی است. پس از آن استفاده خواهیم کرد.

$$model\ 3pB : G(s) = \frac{0.54}{1 + 0.94s}\ e^{-2.33s}$$

هدف طراحی کنترل کننده PID برای این سیستم است. می‌دانیم:

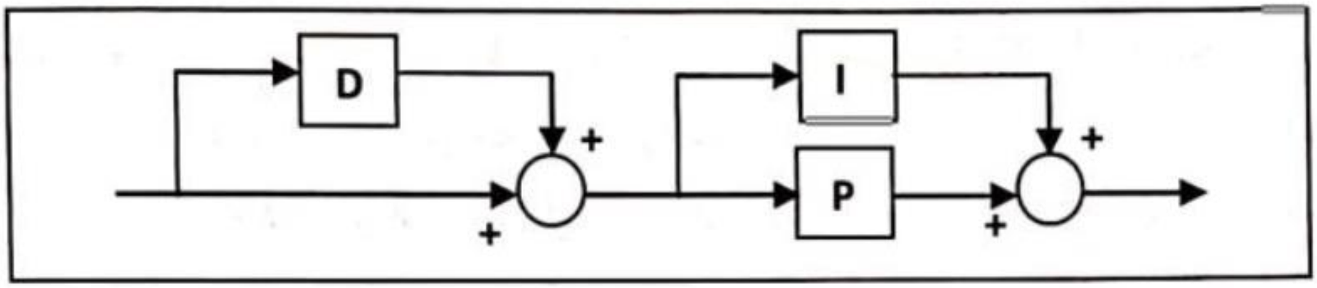
$$C(s) = K(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s) = K\left(\frac{1 + T_i s + T_i T_d s^2}{T_i s}\right)$$

سپس آن را با تبدیل هایی به فرم کنترل کننده تداخلی در می‌آوریم:

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

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

فرم تداخلی $C'(s)$ به صورت زیر بسته می‌شود:




ابتدا حال با تقریب ترم تاخیر به چندجمله‌ای (تقریب پده)، نوشتن معادله مشخصه سیستم حلقه بسته تسهیل می‌شود.

سپس با قرار دادن قطب ساده معادله مشخصه در $s = -\frac{1}{\lambda}$ مساله حل می‌شود و ضرائب کنترل کننده بدست می‌آید.

**در انتخاب $\lambda$ مجاز هستیم از عدد $T$ تا $3T$ انتخاب داشته باشیم.**

برای مرتبه یک شدن سیستم حلقه بسته، با قراردادن فرض های زیر، حذف صفر و قطب انجام می‌شود.

$$T_i' = T = 0.94 \qquad T_i = T + \frac{L}{2} = 2.105$$

$$T_d' = \frac{L}{2} = 1.165 \qquad T_d = \frac{TL}{L + 2T} = 0.52$$

$$K' = \frac{1}{Kp}\frac{T}{\frac{L}{2} + \lambda} \qquad K = \frac{1}{Kp}\frac{\frac{L}{2} + T}{\frac{L}{2} + \lambda}$$

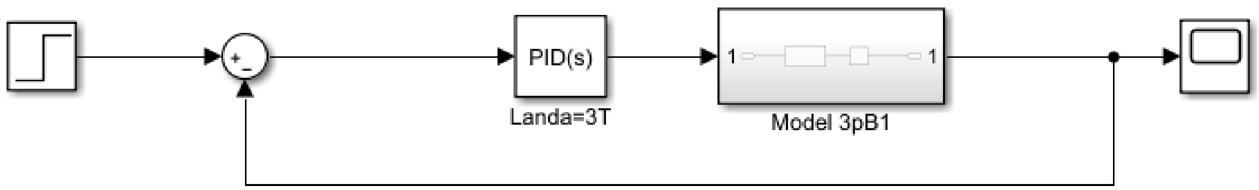
- انتخاب اول: $\lambda = T$

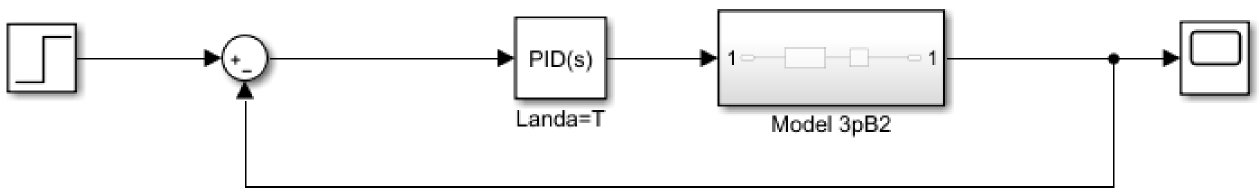
$$K = \frac{1}{Kp}\frac{\frac{L}{2} + T}{\frac{L}{2} + \lambda} = 1.85$$

- انتخاب دوم: $\lambda = 3T$

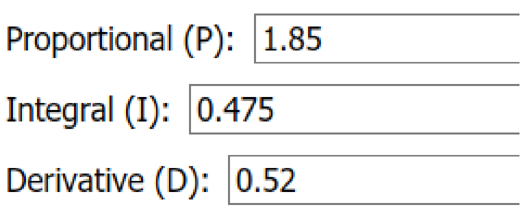
$$K = \frac{1}{Kp}\frac{\frac{L}{2} + T}{\frac{L}{2} + \lambda} = 1$$

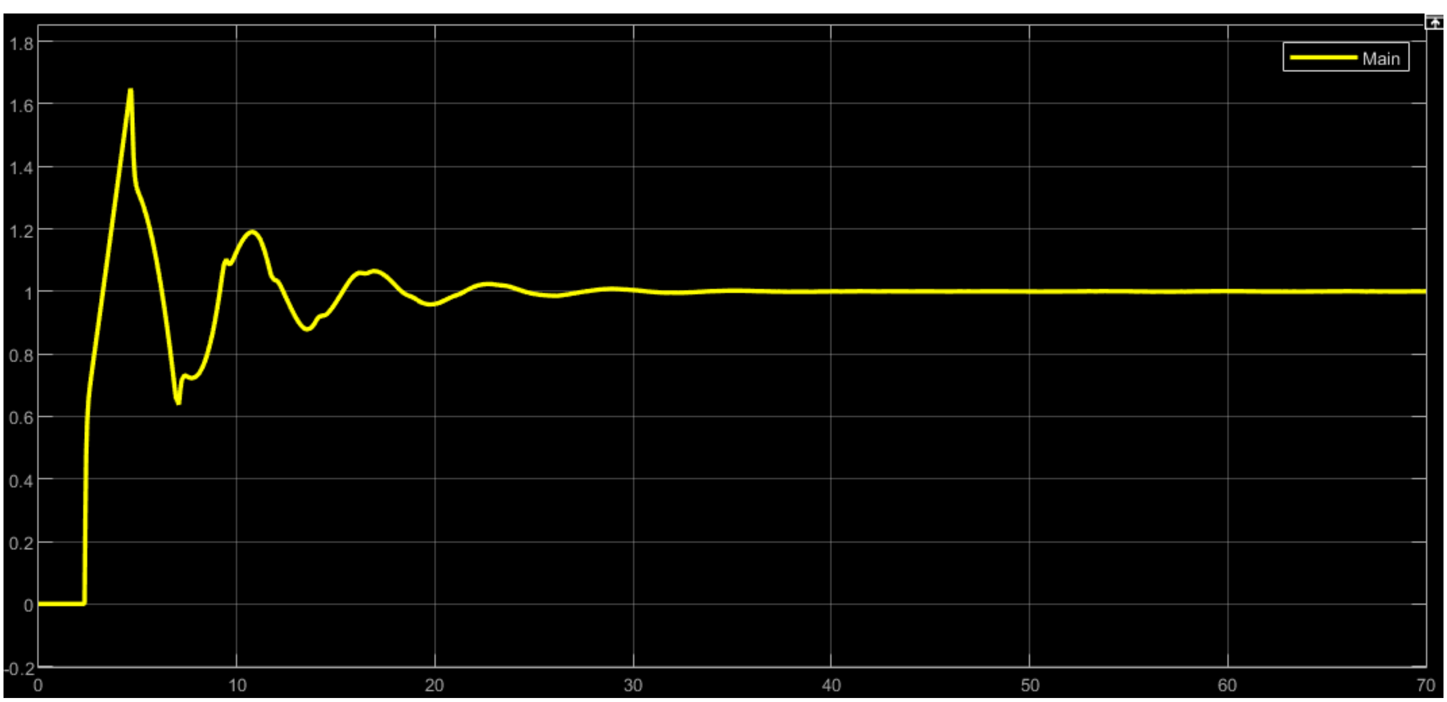
رسم پاسخ پله را در دو حالت مجزا انجام می‌دهیم. فرآیند مدل سه جزئی است و کنترل کننده *PID* دربخش بهره تناسبی متفاوت هستند.




- پاسخ پله در حالت $\lambda = T$



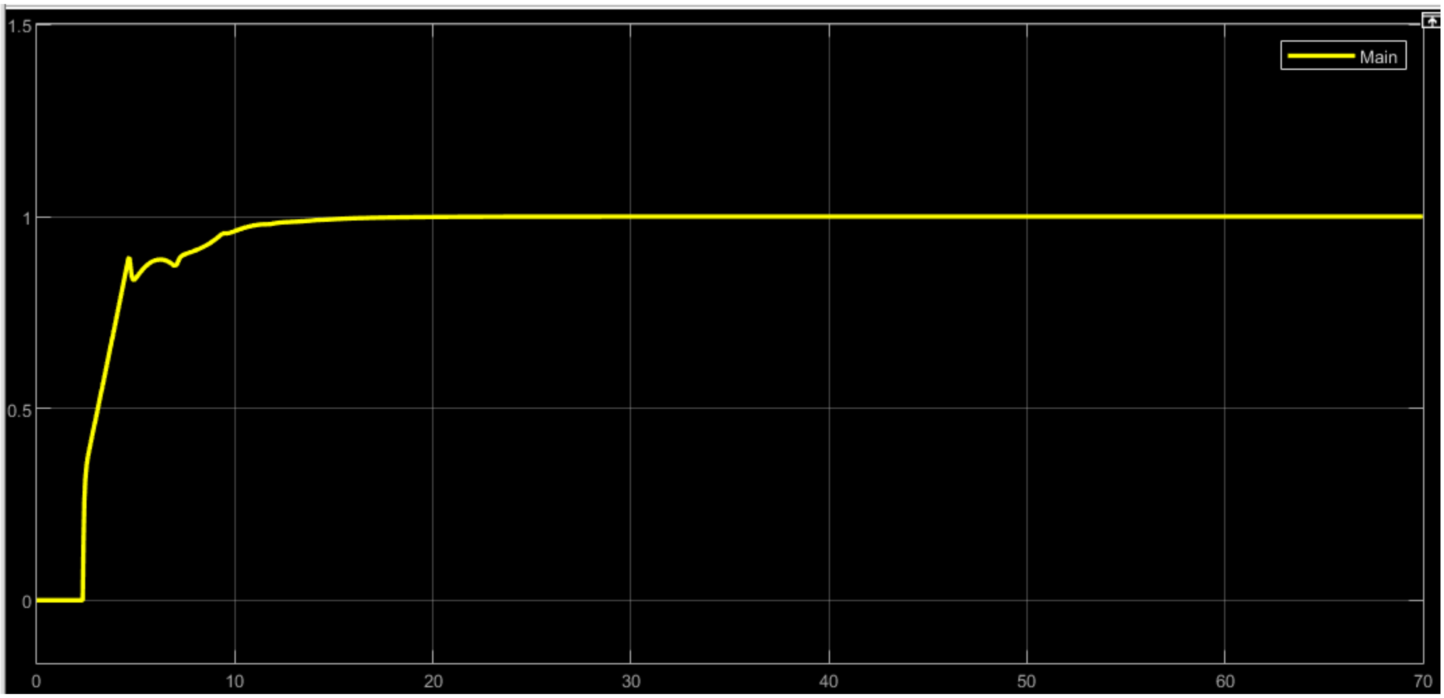



- پاسخ پله در حالت $\lambda = 3T$

Proportional (P): 1

Integral (I): 0.475

Derivative (D): 0.52

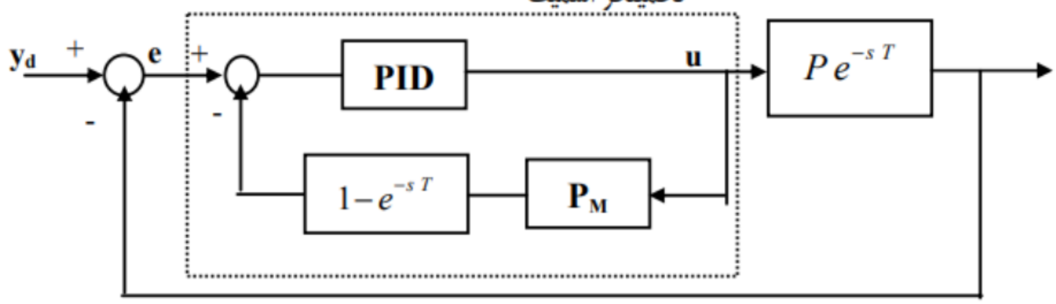



**نتیجه گیری از مقایسه دو حالت $\lambda = 3T$ و $\lambda = T$**

این دو کنترل کننده در بخش های مشتق و انتگرال گیر دارای عبارت های یکسان هستند و تفاوت تنها در بخش تناسبی است. با توجه به اینکه در طراحی با $3T$ بهره تناسبی کمتر است، **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، **سرعت افزایش یافته است اما پاسخ دارای فراجهش های زیادی است.**

۵- کنترل کننده PID طراحی شده در گام ۴-۳ را به همراه پیش بینی کننده اسمیت بکار گرفته، پاسخ سیستم را به ورودی پله رسم نمائید. این مساله را در دو حالت حل نمائید. الف) دینامیک سیستم بطور کامل معلوم است. ب) مدل سیستم همان مدل بکارگرفته شده در بخش ۴ می باشد.

تخمین گر اسمیت یا *Smith Predictor* برای طراحی بهتر سیستم های کنترلی با تاخیر ثابت است. این روش در خلاصه مطلب، یک مسیر فیدبک در کنترل کننده طراحی شده از قبل قرار می‌دهد تا بتواند اثر تاخیر را در قطب های تابع تبدیل حلقه بسته را حذف کند یا بکاهد. زیرا که حضور تاخیر گاها باعث ناپایداری سیستم و کنترل آن بسیار دشوار خواهد شد.




تابع تبدیل حلقه بسته این سیستم به صورت زیر است:

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

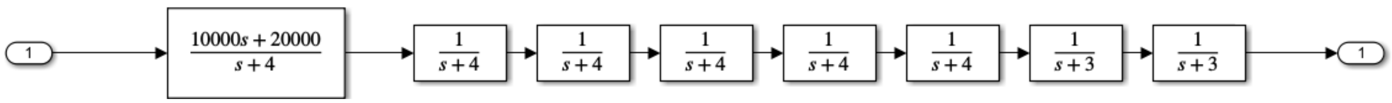
اگر بتوانیم تخمین خوبی از تابع تبدیل سیستم بدست آوریم، اثر عبارت تاخیر در مخرج از بین می‌رود.

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

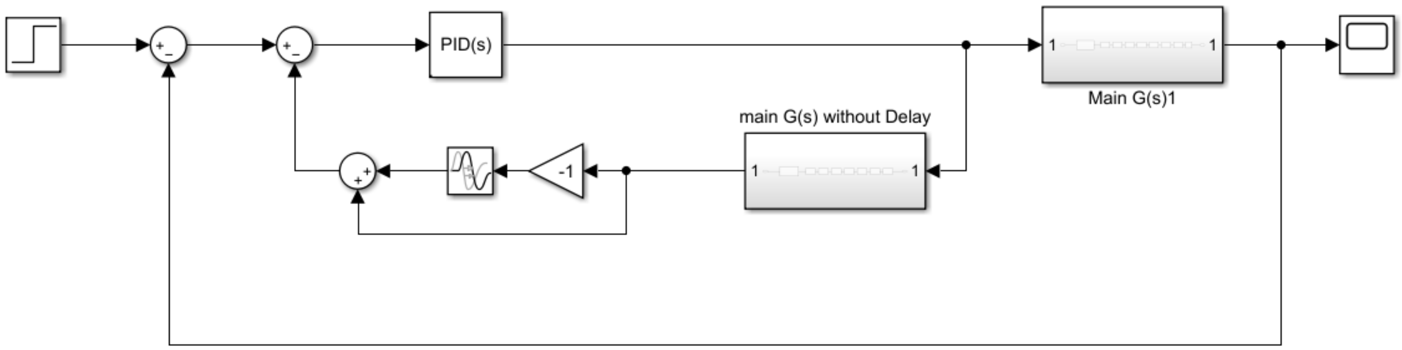
پس $P$ قسمت بدون تاخیر این سیستم هاست که باید به صورت جداگانه در محیط سیمولینک آنها را ایجاد کنیم. یکبار با سیستم اصلی داده شده با تاخیر 1.5 این تخمین گر بسته می‌شود و در حالت بعدی با اعمال سیستم سه جزئی با تاخیر 2.33 ثانیه‌ای.

## الف) با اعمال سیستم اصلی

سیستم *Main Plant without delay* را با حذف ترم تاخیر از سیستم اصلی ایجاد می‌کنیم:




سیستم به شکل زیر با اعمال تخمین گر اسمیت بسته می‌شود:




با کنترل کننده زیر که از بخش ۴-۳ و روش جدول *ZN* بدست آمده، پاسخ پله را رسم می‌کنیم:

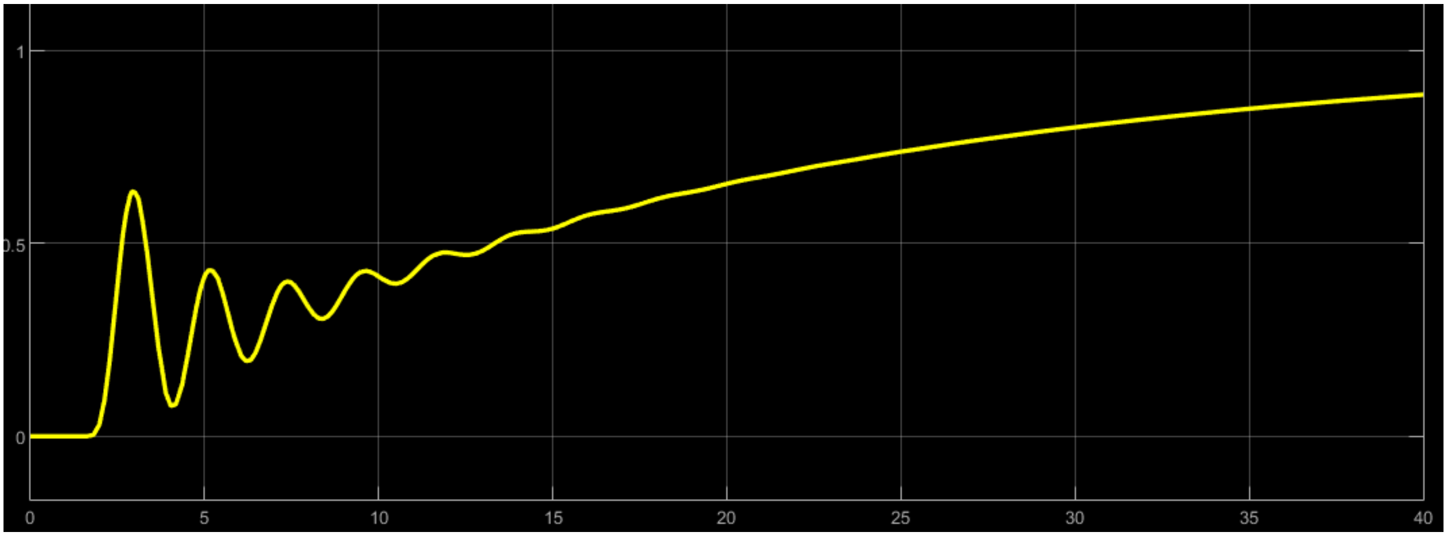
$$P + I\frac{1}{s} + D\frac{N}{1 + N\frac{1}{s}}$$

$$N = 20$$

Proportional (P): 0.412

Integral (I): 0.11

Derivative (D): 1.66

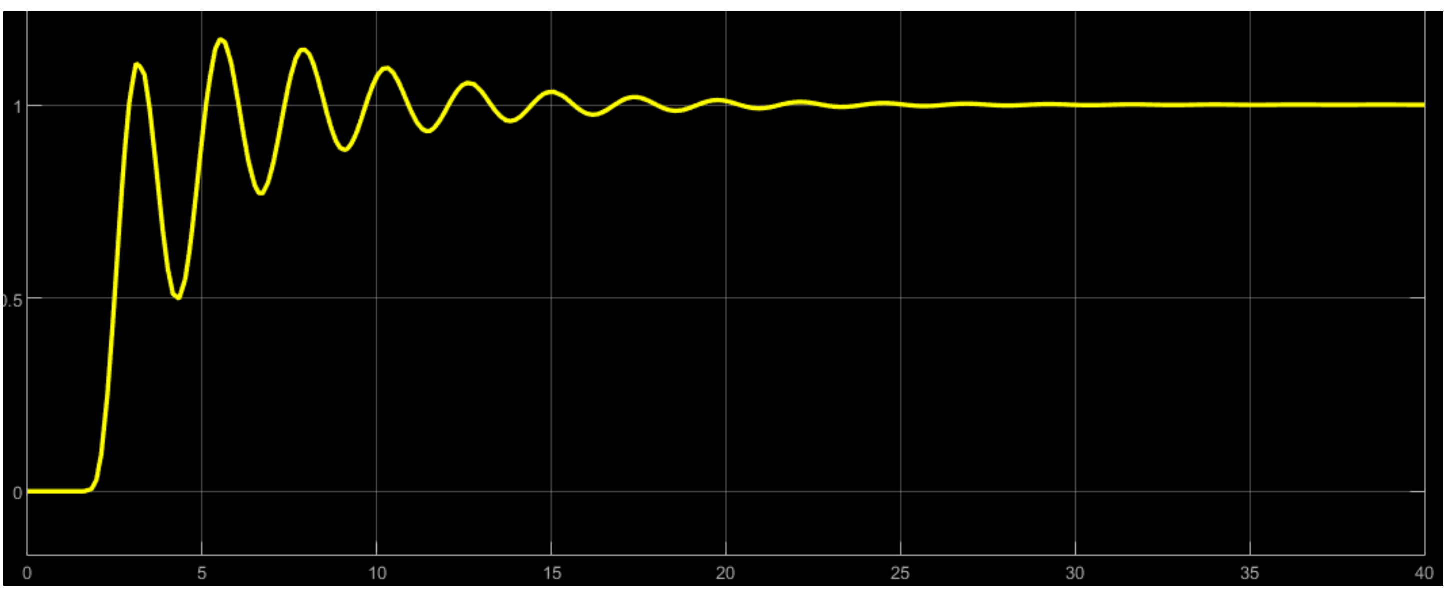



همانطور که مشاهده می‌شود این کنترل کننده به هیچ وجه عملکرد خوبی نداشت. با گذشت ۱۰۰ ثانیه به مقدار ۱ همگرا شد!! سیستم بسیار کند است.

با کمک ابزار *Auto Tune* ضرائب مناسب را بدست آورده ایم:

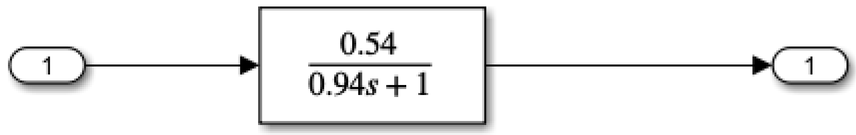
$$P = 2 \qquad I = 1.28 \qquad D = 0.54$$

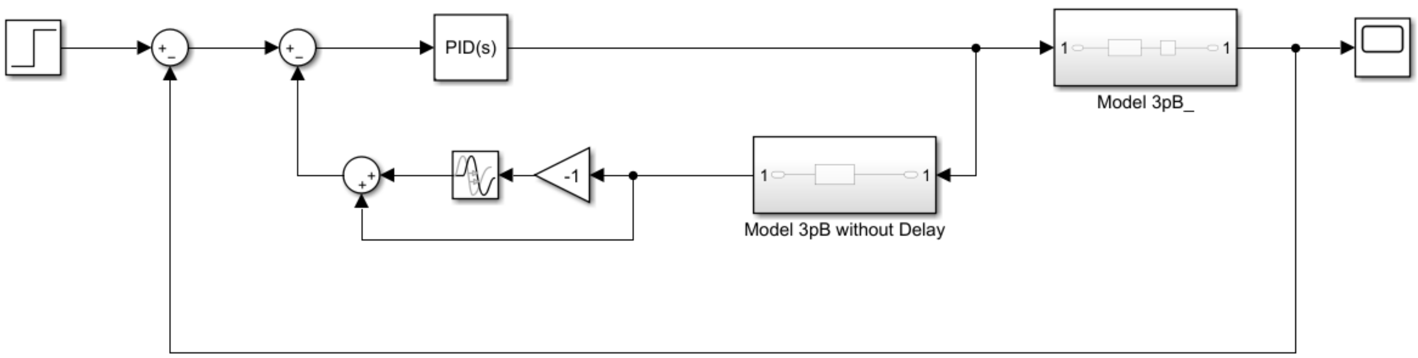
پاسخ پله مناسب  با ضرائب تنظیم شده به دست آمد: که با افزایش قسمت تناسبی سرعت بسیار بهتری پیدا کرد.



## ب)  با اعمال سیستم تقریبی تاخیر دار انتگرالی

به مانند قبل سیستم مجزا با حذف عبارت تاخیر را ایجاد و در حلقه مدار می‌بندیم.




ابتدا با کنترل کننده زیر که از بخش ۴-۳ و روش جدول *ZN* بدست آمده، پاسخ پله را رسم می‌کنیم:

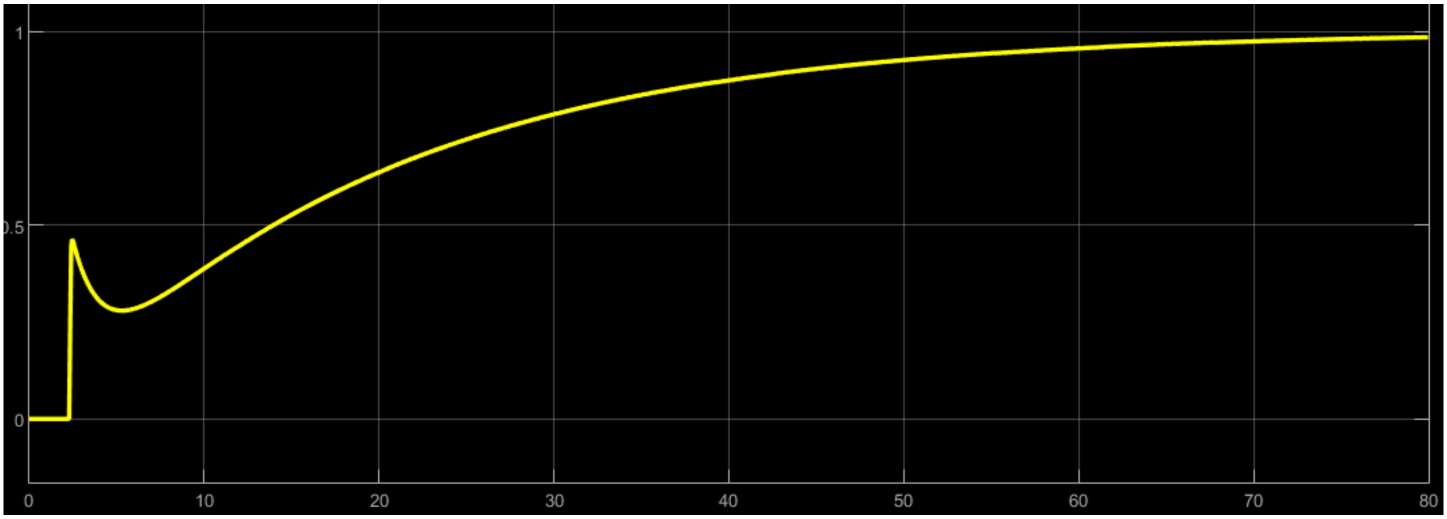
$$P + I\frac{1}{s} + D\frac{N}{1 + N\frac{1}{s}}$$

$$N = 20$$

Proportional (P): 0.412

Integral (I): 0.11

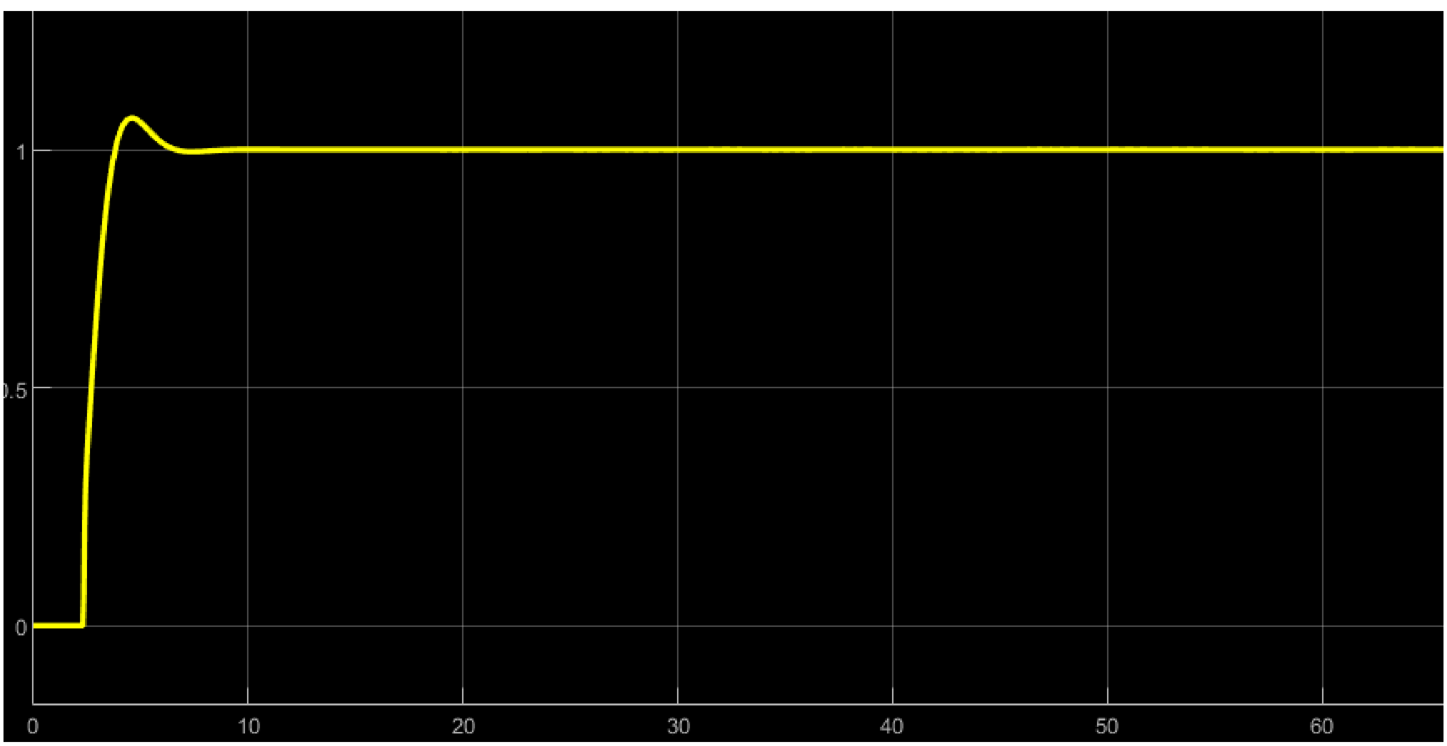
Derivative (D): 1.66




اعمال کنترل کننده *PID* بدست آمده از سوال ۴-۳ در این سیستم بسیار کند پاسخ می‌دهد. بعد از گذشت ۸۰ ثانیه به مقدار ۱ رسید.

با تغییر پارامتر ها و تنظیم ضرائب سعی به بهتر کردن پاسخ با سریع تر کردن آن می‌کنیم.

$$P = 2.5 \qquad I = 5 \quad D = 0.5$$

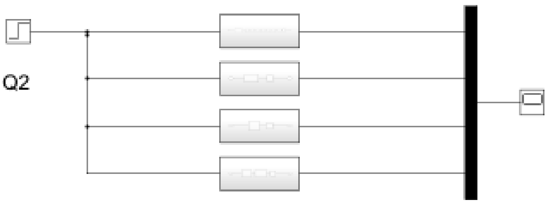


**با تشکر از توجه شما که این گزارش را تا انتها مطالعه کردید.**

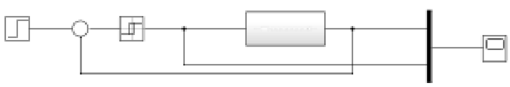
**آرمین عطارزاده**

**دی ۱۴۰۱**

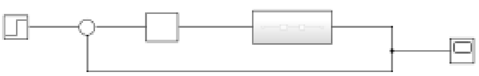
Q1 - Q2



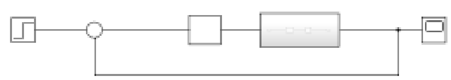
Q3



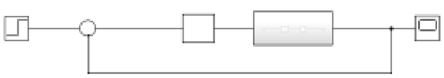
Q4-A



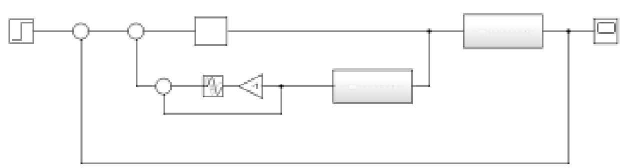
Q4-B



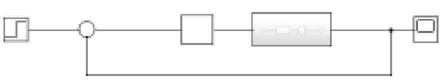
Q4-C

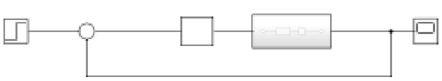


Q5-A



Q4-D





Q5-B