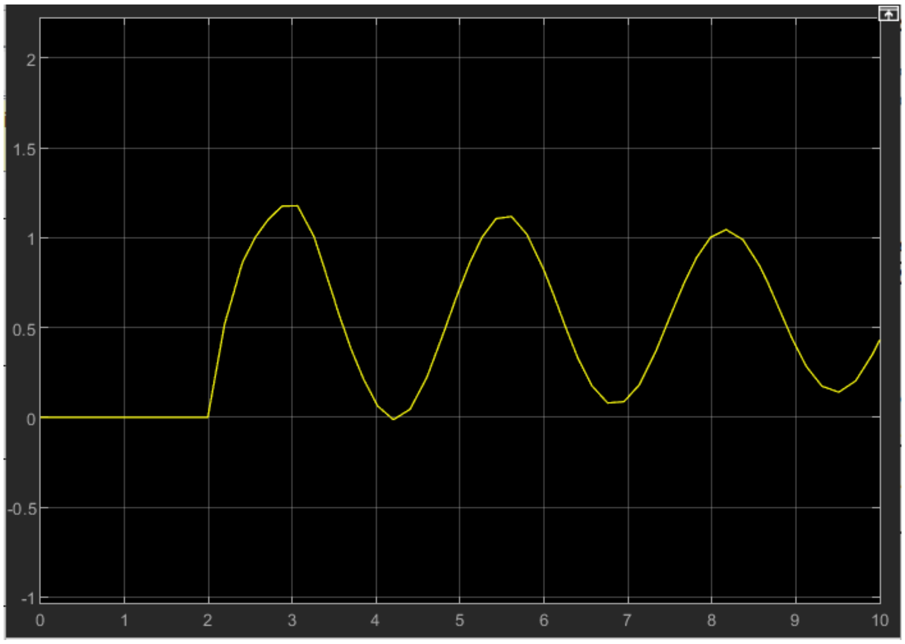
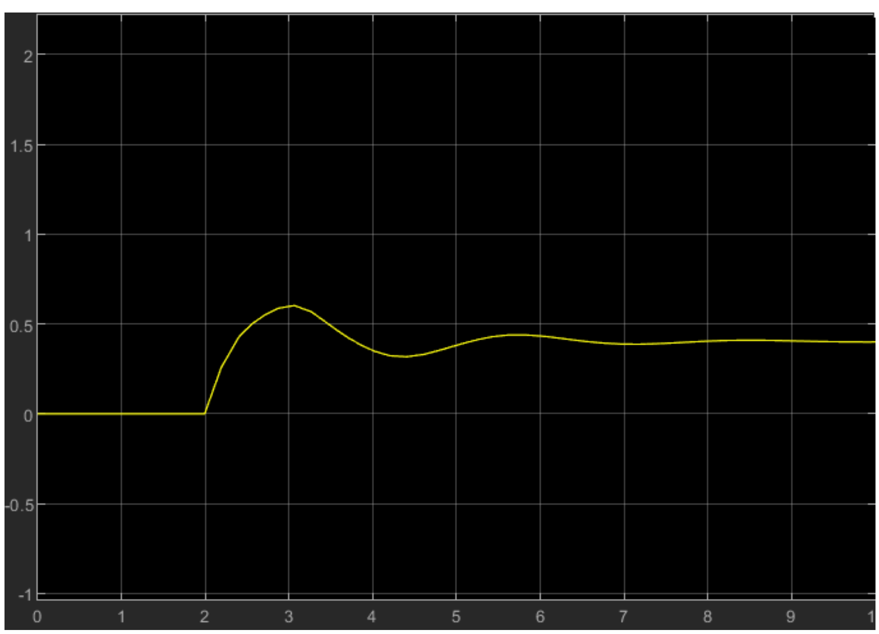
	شیرین جمشیدی ۸۱۰۱۹۹۵۷۰	**کنترل صنعتی** تمرین چهارم	استاد: دکتر نیری تاریخ تحویل: دی/۱۴۰۲	

۱.

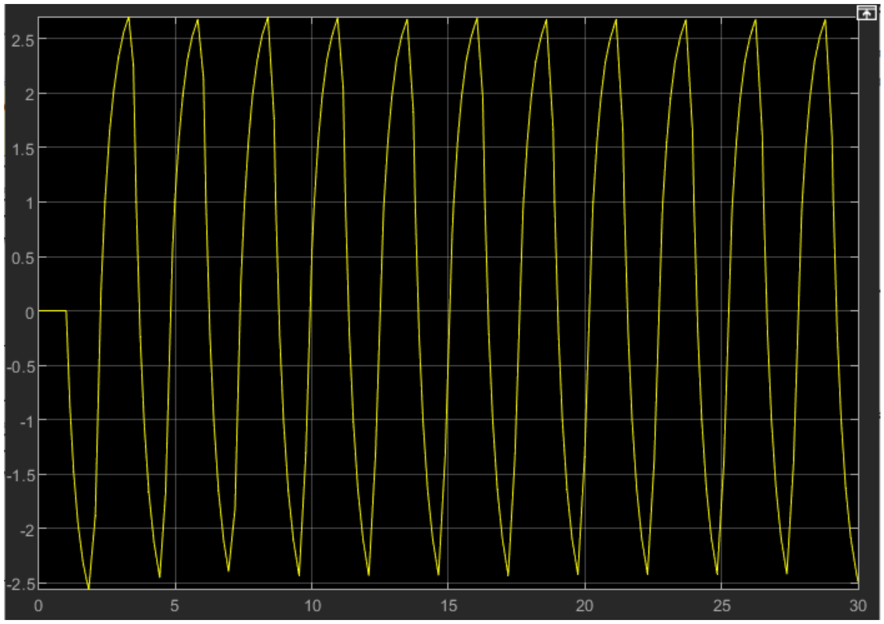
الف) ابتدا از ساده‌ترین کنترلر برای طراحی استفاده میکنیم که کنترل‌کننده تناسبی میباشد. k_p را آرام آرام تا حدی زیاد میکنیم که خروجی به نوسان بیفتد.



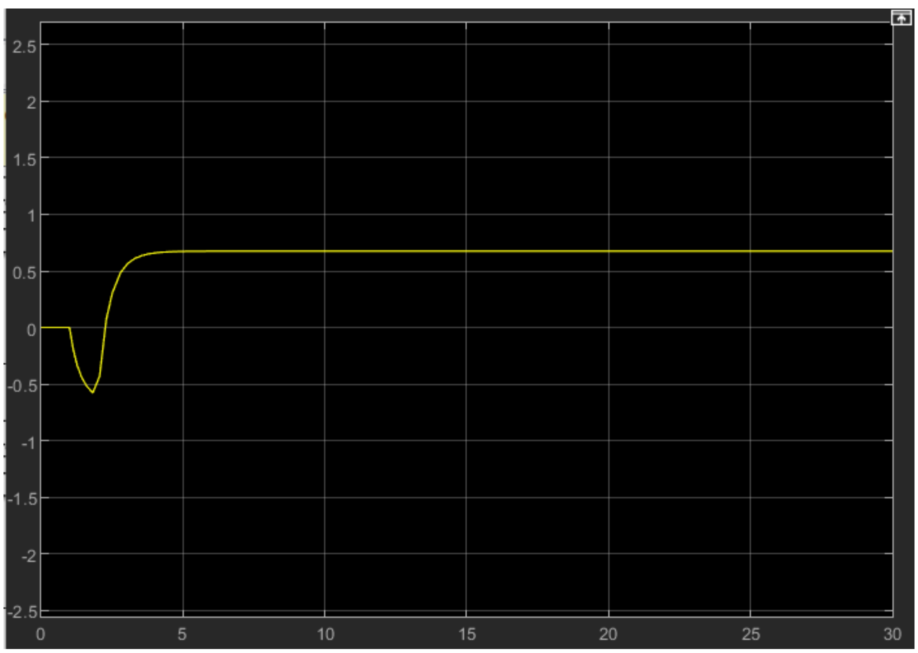
درحدود $k_p=0.9$، سیستم به نوسان افتاده و بنابراین مقدار k_u برابر با ۰.۹ خواهد شد و ضریب کنترل‌کننده تناسبی $k_p=0.45$ درنظر گرفته میشود (چراکه در طراحی کنترلر به روش زیگلر نیکولز داریم: $k_p = \frac{k_u}{2}$). به ازای $k_p=0.45$ خواهیم داشت:



ب) با تنظیم حد اشباع ۲± خواهیم داشت:

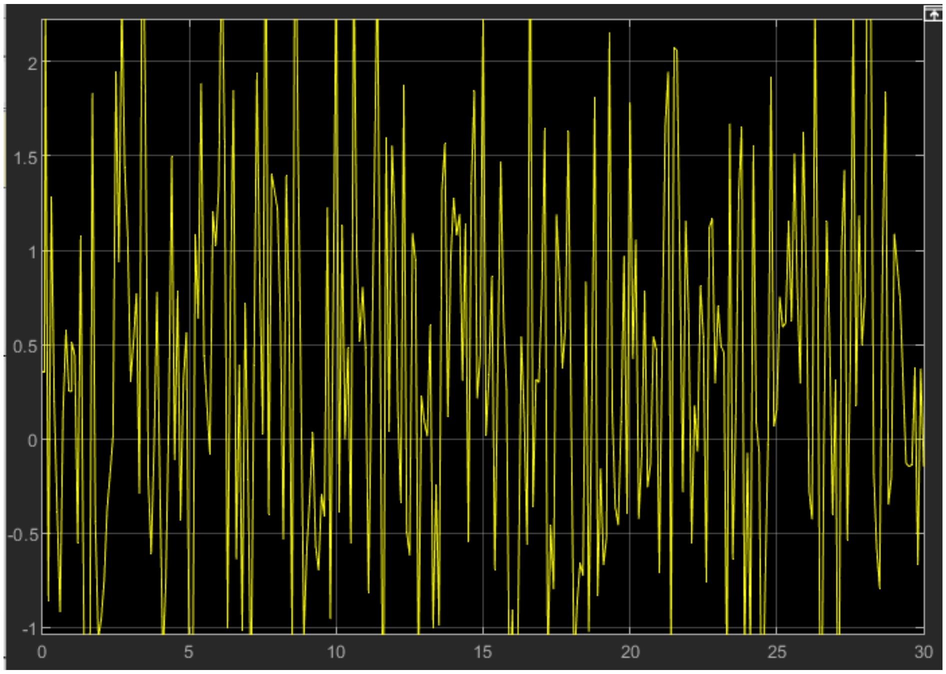


با کاهش حد اشباع تا ۰.۴۵ همچنان خروجی نوسانی خواهد بود اما با دامنه‌های کمتر. با تنظیم حد اشباع ۰.۴۵، خواهیم داشت:

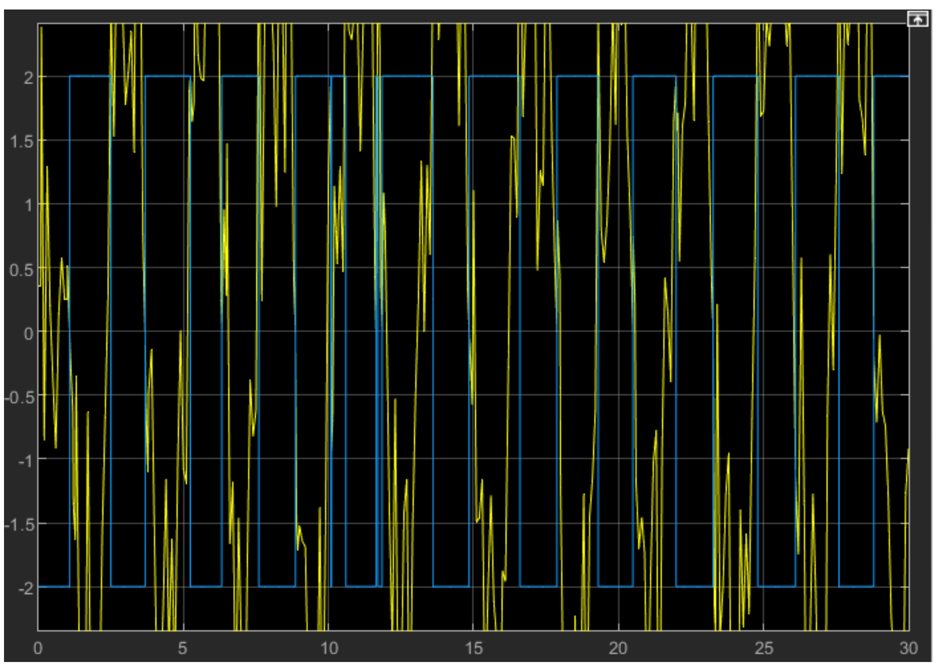


که با توجه به بخش قبل، نتیجه‌ایست قابل انتظار که سیستم در بهره‌های بیشتر از ۰.۴۵ رفتار نوسانی از خود نشان دهد.

ج) خروجی سیستم بدون رله:

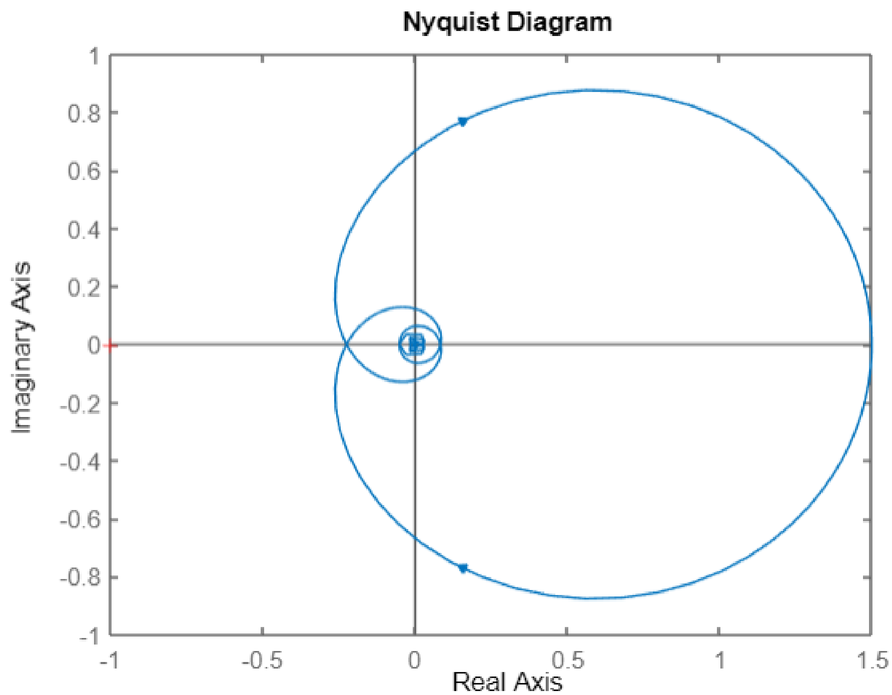


با افزودن فیدبک رله‌ای:



میبینیم که توانستیم تا حدی خروجی را کنترل کنیم و یک حالت سینوسی به خود گرفته است. اما همچنان ناپایدار میباشد.

د)



همانطور که میبینیم، نتایج بالا با نمودار نایکوییست ترسیم شده بسیار تطابق دارد. میبینیم که بهره‌ی بدست‌آمده که ۰.۴۵ بود بسیار منطقی است و در بهره‌ی بیشتر از این مقدار به ناپایداری نزدیک میشویم. همچنین میبینیم که تابع تبدیل داده شده، مقاومت کمی نسبت به نویز دارد چراکه نمودار نایکوییست آن حول مبدا دائم در حال چرخش است و با وارد شدن نویز، بسیار زود ناپایدار میشود.

۲.

$$e = r - y \;;\; y = \frac{5k}{s^2+s+10}e + d \Rightarrow e = \frac{r-d}{1+\frac{5k}{s^2+s+10}} \rightarrow e_r = \frac{r}{1+\frac{5k}{s^2+s+10}}$$

$$, \; e_d = \frac{-d}{1+\frac{5k}{s^2+s+10}}$$

الف)

$$\frac{\partial e_d}{\partial k}\frac{k}{e_d} = S_k^{e_d} = +\frac{\cancel{s^2+s+10}}{(s^2+s+10+5k)^2}5\cancel{d} \times \frac{-k}{\frac{\cancel{d}\cancel{(s^2+s+10)}}{\cancel{s^2+s+10+5k}}} = -\frac{5k}{s^2+s+10+5k} = -\frac{1}{\frac{s^2+s+10}{5k}+1}$$

ب)

$$\frac{\partial e_r}{\partial k}\frac{k}{e_r} = S_k^{e_r} = -\frac{s^2+s+10}{(s^2+s+10+5k)^2}5r \times \frac{k}{\frac{r(s^2+s+10)}{s^2+s+10+5k}} = -\frac{1}{\frac{s^2+s+10}{5k}+1}$$

ج) با افزایش k، خطای ناشی از اثر اغتشاش و اثر ورودی مرجع، به یک اندازه کاهش پیدا می‌کنند و در کل، خطای e کاهش می‌یابد.

نتایج سیمولینک گواه این نتیجه‌گیری می‌باشد.

۳.

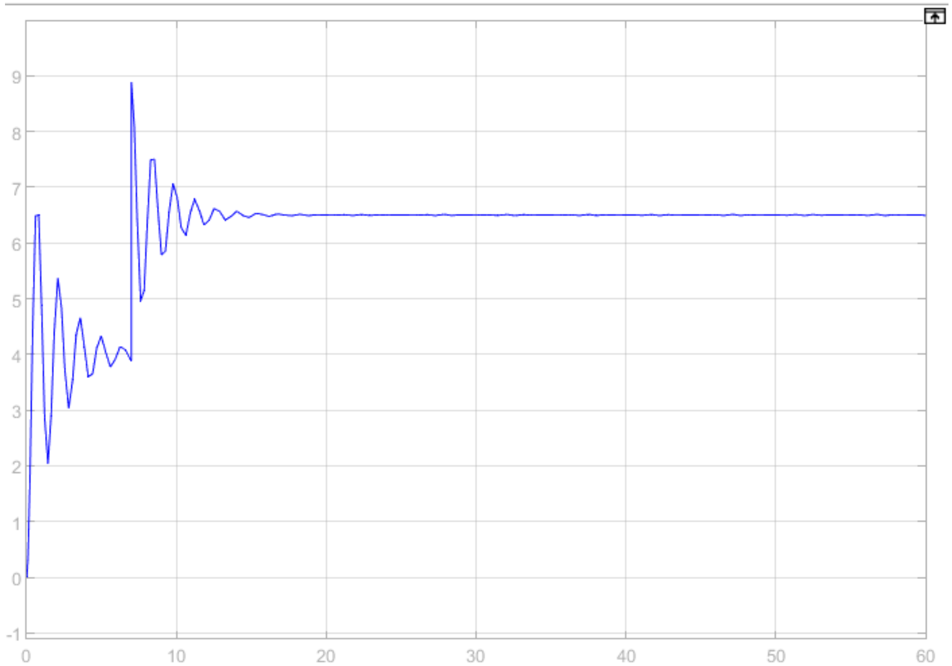
$$G = \frac{ke^{-\tau s}\frac{2}{100s+1}}{1+\frac{2ke^{-\tau s}}{100s+1}} = \frac{2ke^{-\tau s}}{100s+2ke^{-\tau s}+1}$$

$$S_\tau^G = \frac{\partial G}{\partial \tau}\frac{\tau}{G} = \frac{-2\cancel{k}s\cancel{e^{-\tau s}}(100s+2ke^{-\tau s}+1)+2\cancel{k}s\cancel{e^{-\tau s}}}{(100s+2ke^{-\tau s}+1)^{\cancel{2}}}\;\frac{\tau\cancel{(100s+2ke^{-\tau s}+1)}}{\cancel{2ke^{-\tau s}}}$$

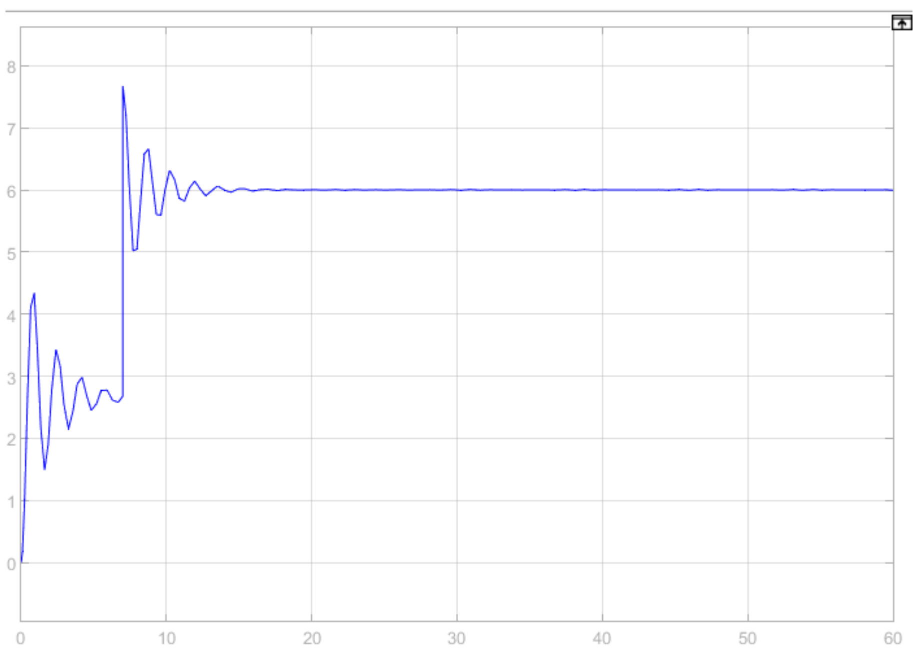
$$= s\frac{(1-100s-2ke^{-\tau s}-1)}{100s+2ke^{-\tau s}+1}\tau = \boxed{-\frac{100s^2+2kse^{-\tau s}}{100s+2ke^{-\tau s}+1}\tau = S_\tau^G}$$

۲. برای شبیه‌سازی، ورودی مرجع را ۸ و اغتشاش را ورودی پله در ثانیه ۷ با دامنه ۵ در نظر گرفتم.

خروجی برای k=2:



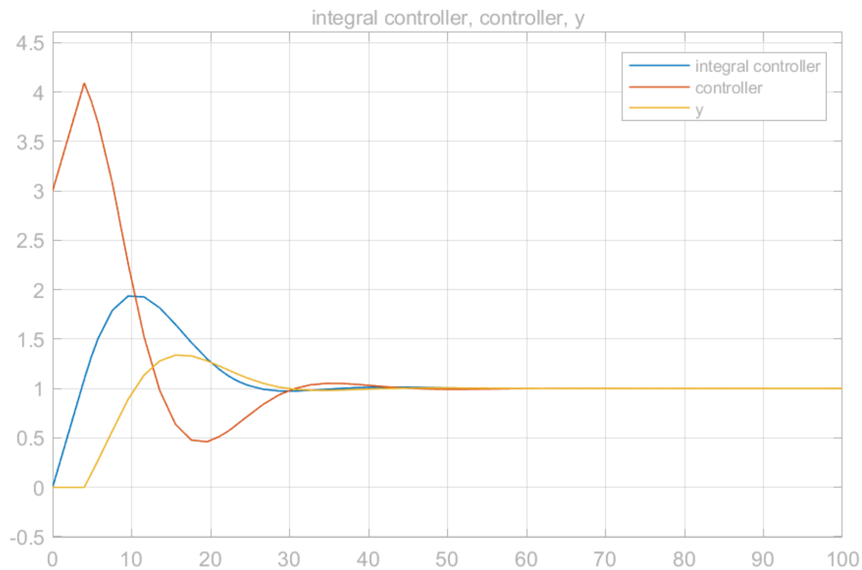
خروجی برای k=1:



همانطور که مشهود است، خطای حالت ماندگار به ازای k بیشتر، کمتر میباشد و خروجی ماندگار سیستم، از ورودی مرجع که در این سوال ۸ میباشد فاصله‌ی بیشتری میگیرد که با نتایج تئوری بدست‌آمده مطابق میباشد.

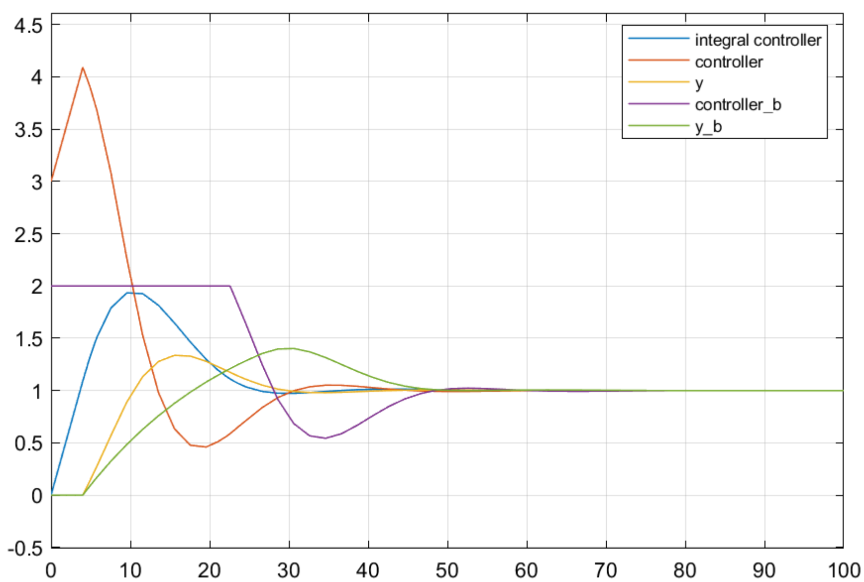
.۴

الف)



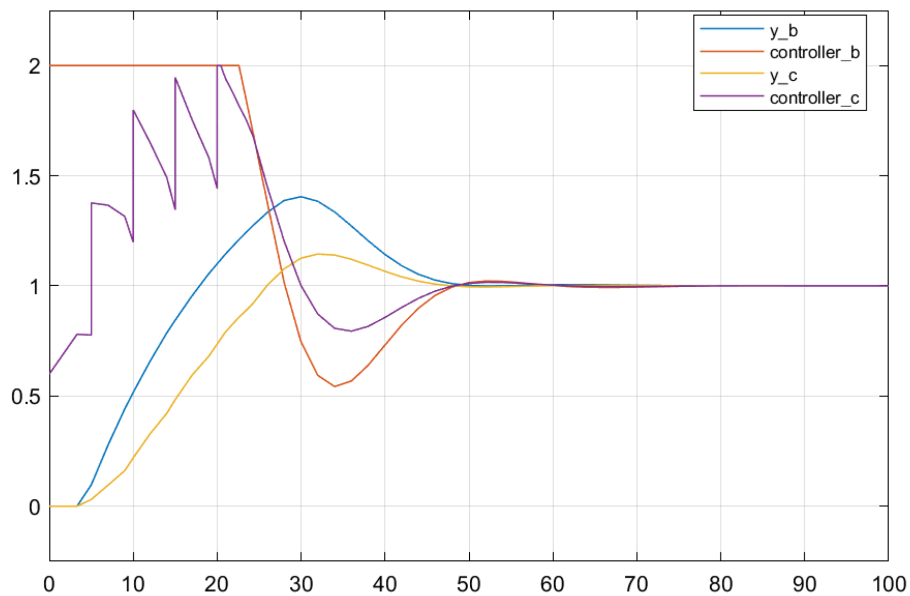
سیستم به خوبی کنترل شده است و هم خروجی و هم تمامی سیگنال‌های کنترلی به یک رسیده و خطای حالت ماندگار ۰ دارند.

ب)



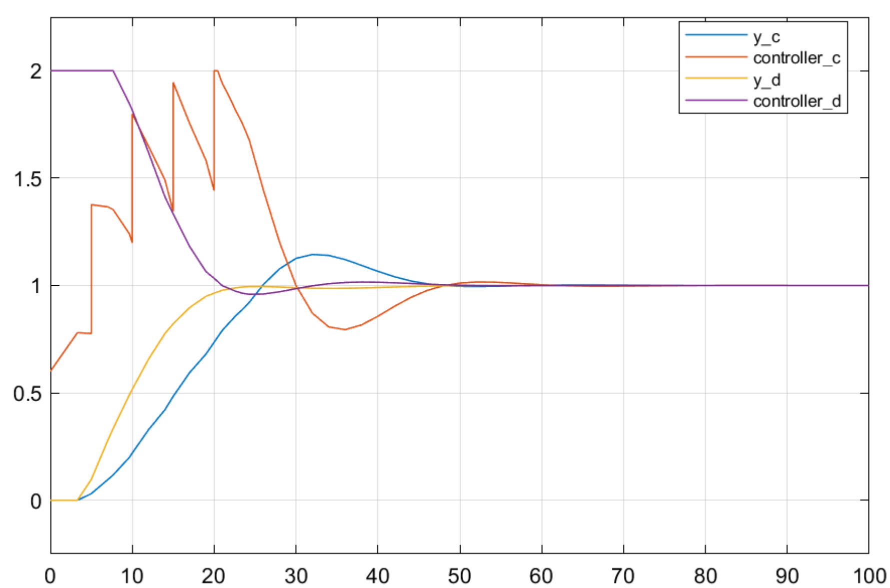
تعیین حد اشباع، سبب شد سیگنال کنترلی از ۲ تجاوز نکند. (سیگنال‌هایی که اندیس *b* دارند، مربوط به قسمت ب هستند.)

ج)



در این بخش همانطور که انتظار داشتیم، به اشباع نرسیدیم و با اعمال ورودی بصورت محدود از این اتفاق جلوگیری کردیم. همچنین مزیت اینکار این است که تنش مکانیکی ناگهانی به سیستم وارد نمیشود. در این قسمت از ۵ تابع پله با دامنه ۰.۲ با فاصله زمانی ۵ ثانیه استفاده کردیم. برای *smooth*تر شدن سیگنال کنترلی میتوان از تابع‌های پله‌ی بیشتر با دامنه و فاصله زمانی کمتر استفاده کرد. (سیگنال‌هایی که اندیس *c* دارند، مربوط به قسمت ج هستند.)

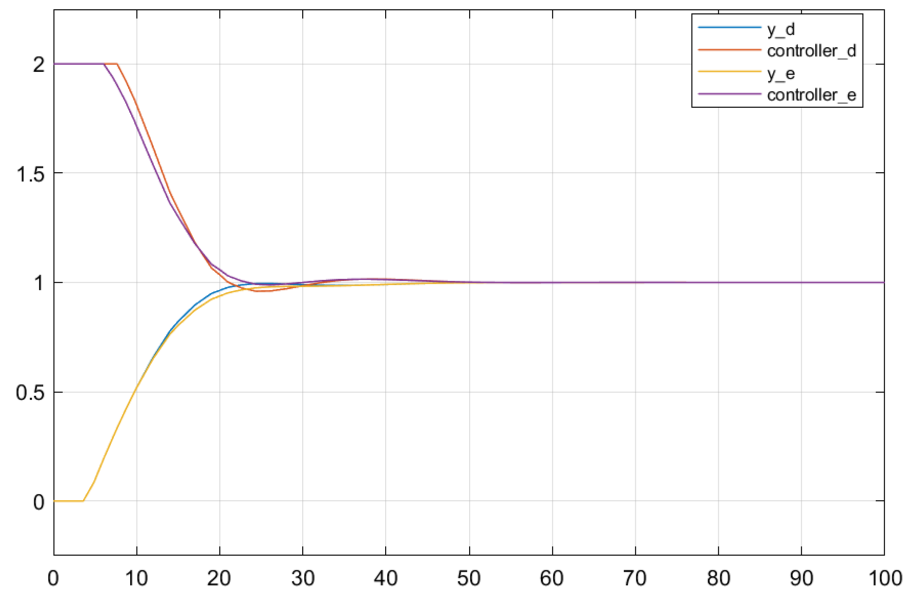
د)



در این روش همچنین از تابع پله‌های متعدد استفاده نکردیم که موجب هزینه‌ی کمتر و *smooth* بودن سیگنال کنترلی میشود اما در عین مزیت‌های این روش نسبت به روش قبل، این روش نتوانست به خوبی روش قبل از ورود سیگنال کنترلی به اشباع جلوگیری کند اما توانست تا حدی ان را کنترل کرده و نسبت به قسمت ج، زمان اشباع را کمتر کرده است.

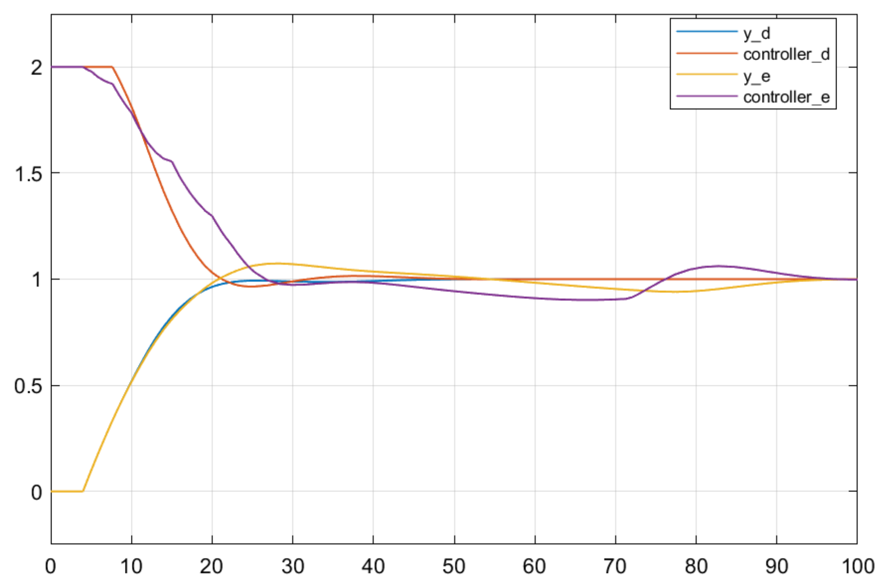
(سیگنال‌هایی که اندیس *d* دارند، مربوط به قسمت د هستند.)

ه)

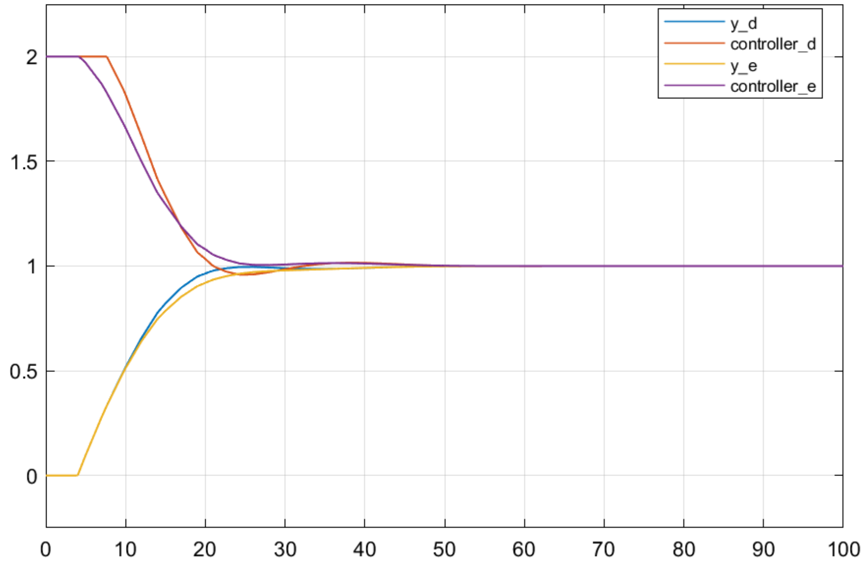


این روش نیز مطابق انتظارمان توانست مدت زمان اشباع را کاهش دهد. (سیگنال‌هایی که اندیس *e* دارند، مربوط به قسمت ه هستند.)

و) نمودار قبلی به ازای $T_t=1$ رسم شد. با تغییر مقادیر این پارامتر، متوجه میشویم هرچه T_t بزرگتر باشد، مدت زمان اشباع طولانی‌تر و هرچه کمتر باشد مدت زمان اشباع کمتر خواهد بود. اما نمیتوان بیش از اندازه این پارامتر را کاهش داد چراکه نه تنها زمان اشباع کاهش نمیابد، بلکه موجب اغتشاش و ناپایداری خواهد شد. برای $T_t=0.001$ داریم:

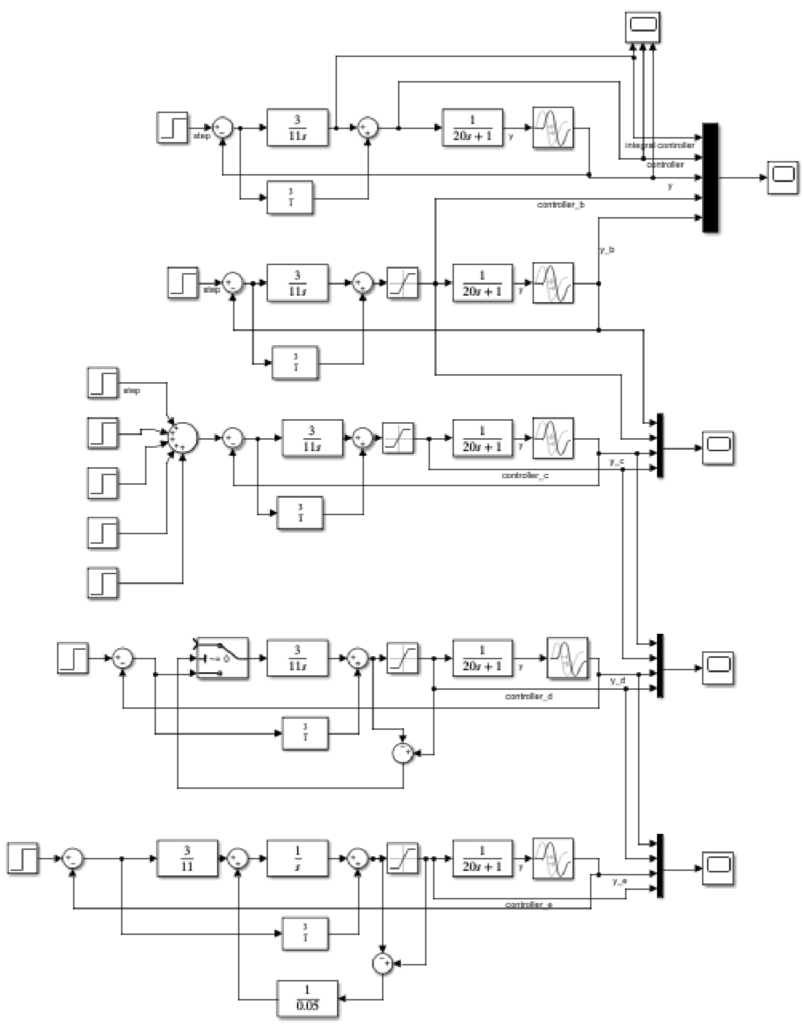


اما برای $T_t=0.05$ خواهیم داشت:

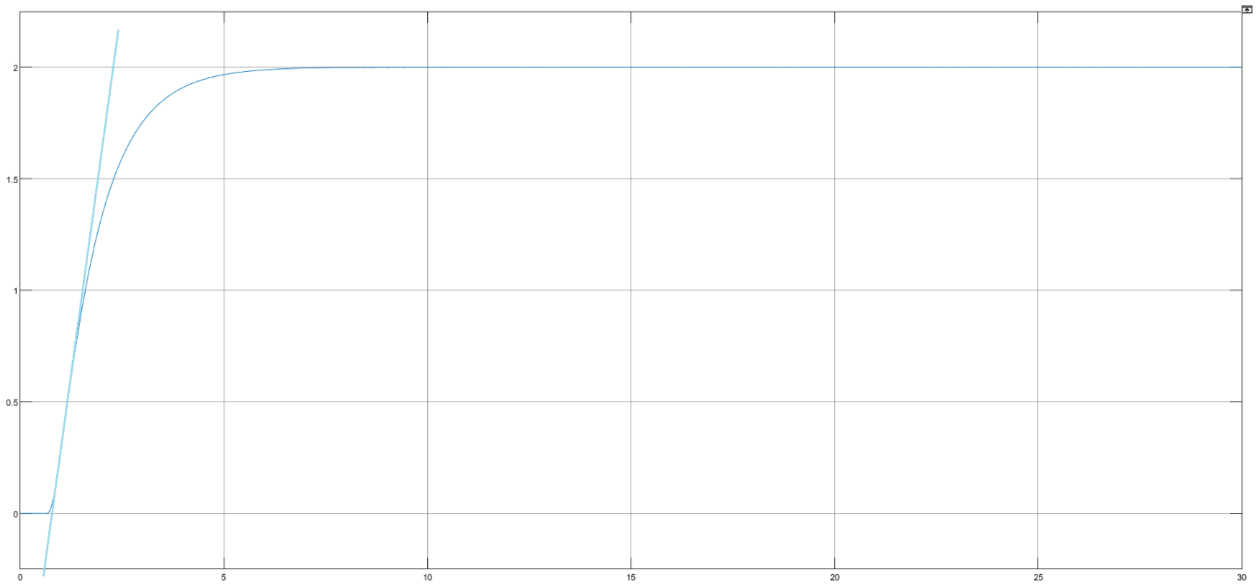


که میبینیم نسبت به روش سوییچ زمان اشباع کمتری داشته و همچنین خطی میباشد. (سوییچ غیرخطی‌ست.)

شمای کلی تمام قسمت‌ها به ترتیب:



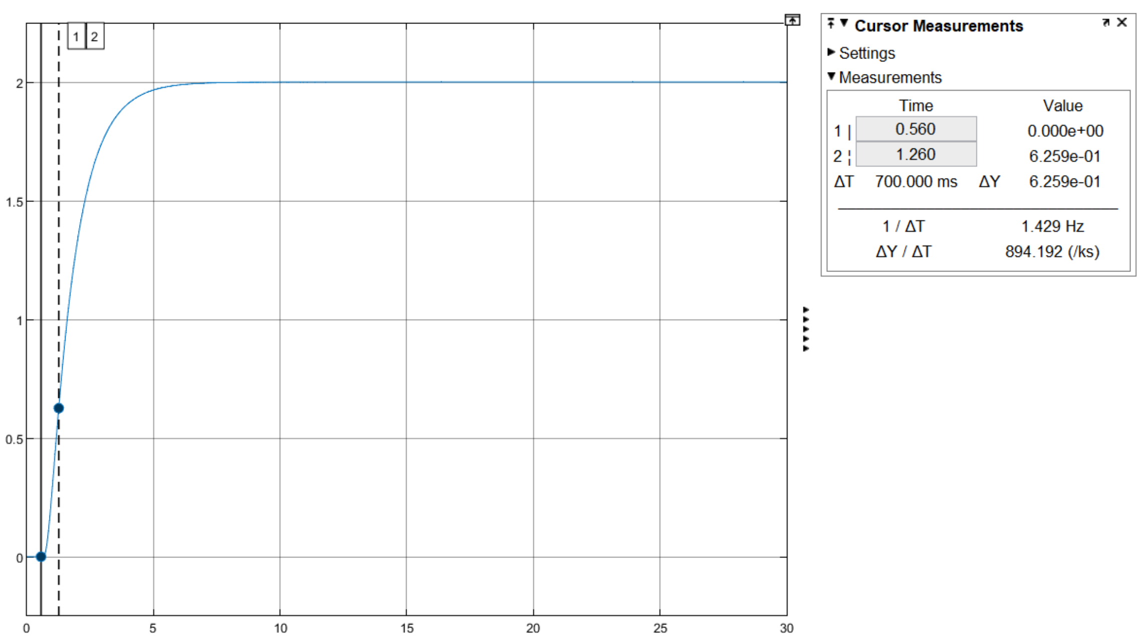
۵. یک مدل مرتبه اول با تاخیر به سیستم فیت میکنیم:



تقاطع خط بیشینه شیب با محور زمان، زمان تاخیر میباشد. که این مقدار حدود ۰.۸ میباشد. تقاطع خط بیشینه شیب با مقدار حالت ماندگار نیز زمان تاخیر+ثابت زمانی سیستم میباشد که در این شکل این تقاطع در زمان ۲.۲ میباشد. پس ثابت زمانی در این سیستم ۱.۴ میباشد. همچنین بهره‌ی این سیستم برابر با مقدار حالت ماندگار میباشد. خواهیم داشت:

$$G_p = \frac{2e^{-0.8}}{1.4s + 1}$$

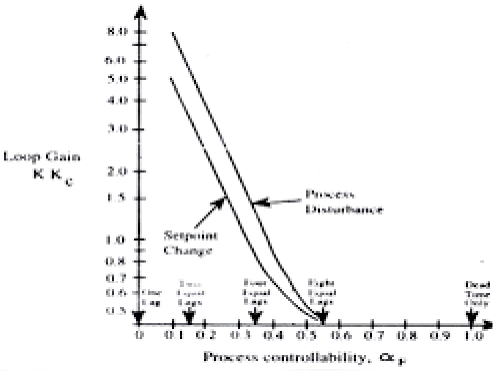
:CC

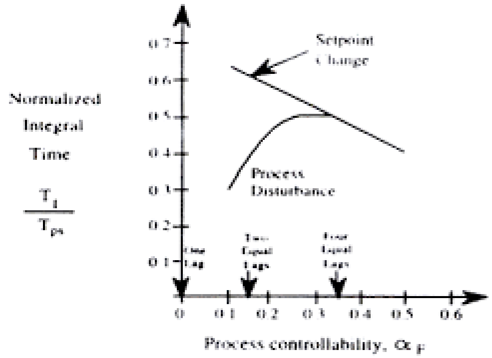


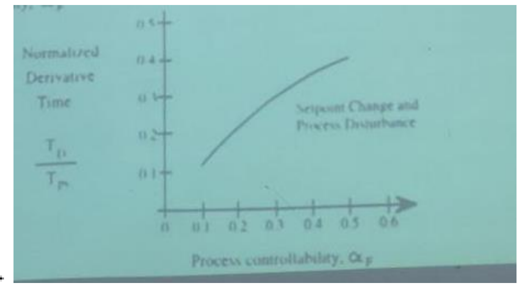
ثابت زمانی در این روش ۱.۵×۰.۷ بدست خواهد آمد که برابر با ۱.۰۵ خواهد شد.

Fertik:

برای این روش از جداول زیر استفاده میکنیم که محور افقی، الفا است که از رابطه $\alpha = \frac{\tau_d}{\tau+\tau_d}$ بدست می‌آید:





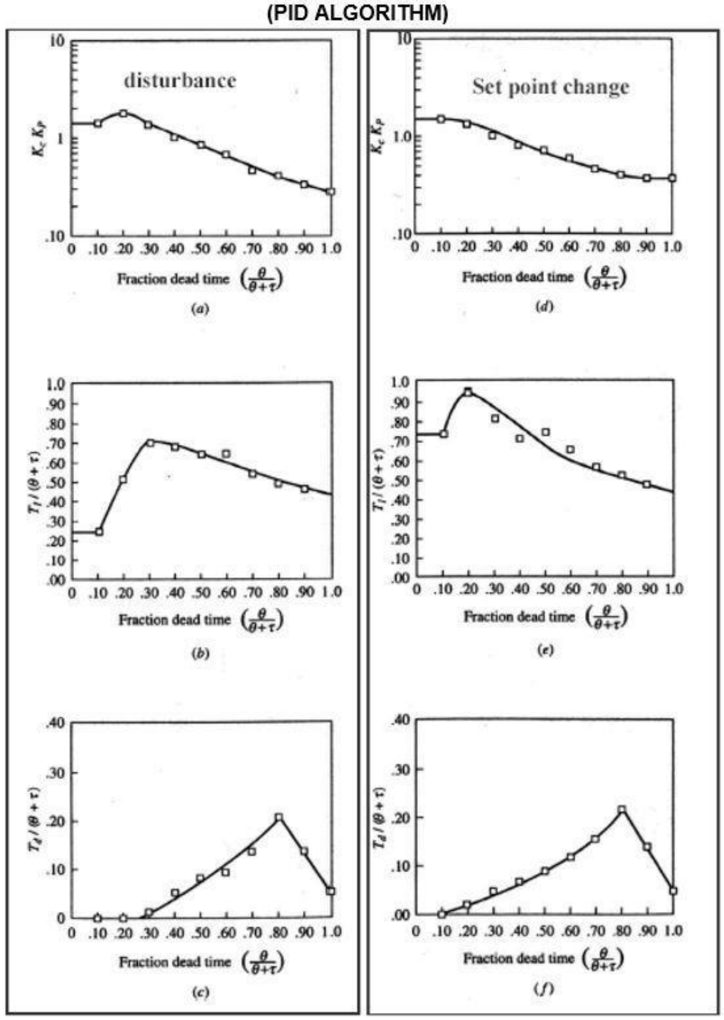


الفا در این مسئله ۰.۳۶ بدست می‌آید. و $T_{ps}=\tau+\tau_d$ میباشد که در این مسئله ۲.۲ میباشد.

Ciancone Marline:

در این روش هم مانند روش فرتیک، الفا و T_{ps}، ۰.۳۶ و ۲.۲ بدست می‌آید اما از جدول زیر استفاده میکنیم:

CIANCONE CORRELATIONS FOR DIMENSIONLESS TUNING CONSTANTS (PID ALGORITHM)



or disturbance response: (a) control system gain, (b) integral time, (c) derivative time.

or set point response: (d) control system gain, (e) integral time, (f) derivative time

:ZN_closed

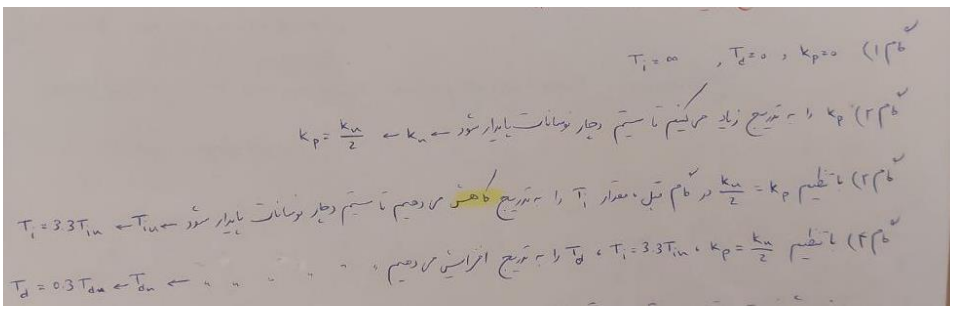
در این روش ابتدا کنترلر تناسبی را با ضریب صفر میبندیم و کم کم این ضریب را افزایش میدهیم تا جایی که سیستم نوسانی بحرانی شود. نام این ضریب در این شرایط، k_u میباشد و دوره تناوب این نوسانات T_u نام دارد. با توجه به این مقادیر، ضرایب کنترل‌کننده از روی جدول ارائه شده در کلاس بدست خواهد آمد. در این مسئله، $T_u = 2.6$ و $k_u = 1.3$ بدست آمدند.

:Damped Oscillation

در این روش ضریب کنترلر تناسبی به حدی زیاد میشود که ضریب میرایی ۰.۲۵ شود. نام ضریب و دوره تناوبی که در ان این اتفاق بیفتد ملاک قرار میگیرند و پس از ان از جدول ضرایب کنترلر بدست می‌آیند. در این سوال،

$T_{dmp} = 3.11, K_{dmp} = 1.11$ بدست آمدند.

:Process Response

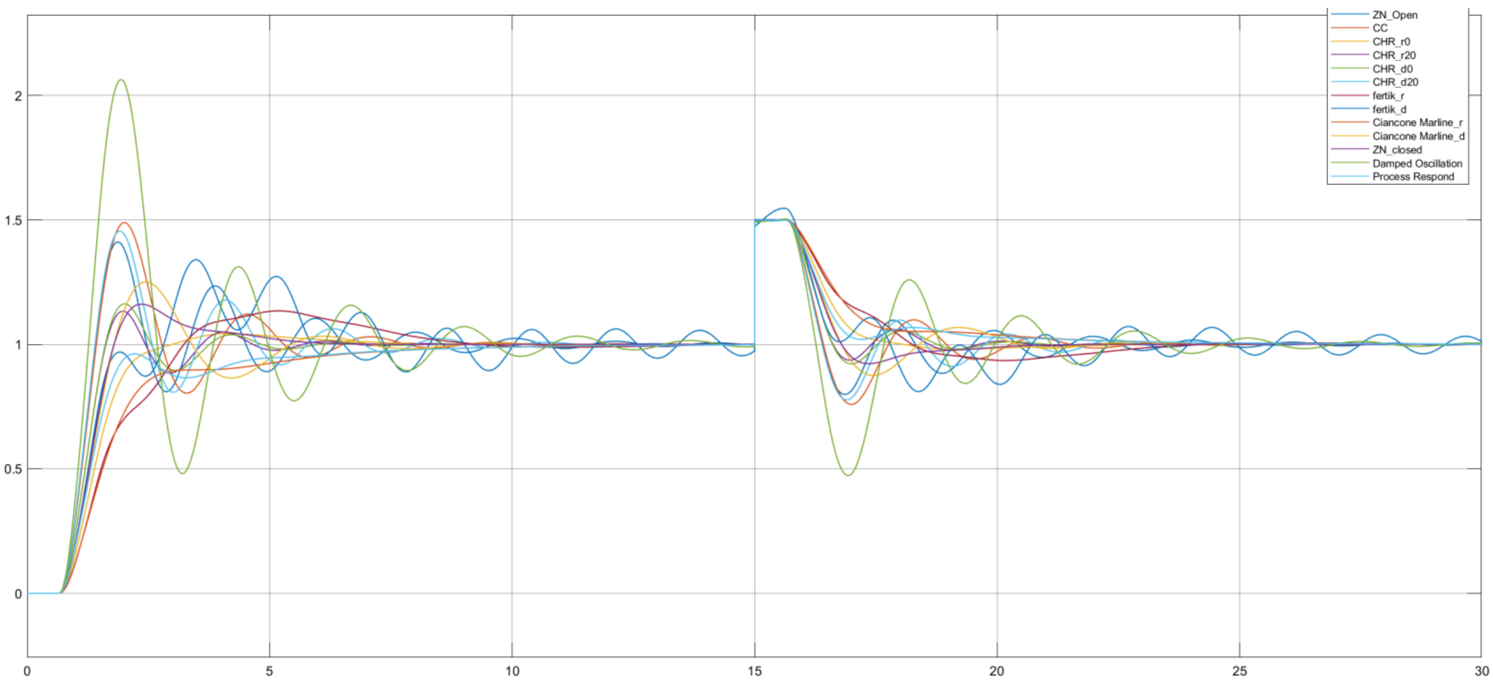

گام ۱) $k_p=0$ ، $T_d=0$ ، $T_i=\infty$
گام ۲) k_p را به تدریج زیاد می‌کنیم تا سیستم دچار نوسانات پایدار شود ← k_u ← $k_p=\frac{k_u}{2}$
گام ۳) با تنظیم $k_p=\frac{k_u}{2}$ در گام قبل، مقدار T_i را به تدریج کاهش می‌دهیم تا سیستم دچار نوسانات پایدار شود ← T_{iu} ← $T_i=3.3T_{iu}$
گام ۴) با تنظیم $k_p=\frac{k_u}{2}$ ، $T_i=3.3T_{iu}$ ، T_d را به تدریج افزایش می‌دهیم ، " " " " ← T_{du} ← $T_d=0.3T_{du}$

با استفاده از این روش بدست می‌آوریم: $k_p = \frac{k_u}{2} = \frac{1.3}{2}, T_i = 3.3T_{iu} = 3.3 \times 0.7, T_d = 0.3T_{du} = 0.3 \times 0.9$

**سایر روش‌ها دارای نکته قابل ذکری نبوده و صرفا از جدول ارائه شده در کلاس برای بدست آوردن ضرایب کنترلر *PID* استفاده شده است.

در صفحه‌ی بعد نتایج تمام روش‌ها در یک اسکوپ دیده میشود. هرچند که تمامی روش‌ها دارای اسکوپ مجزا هستند و میتوان انها را به صورت جدا نیز بررسی کرد.

خروجی تمام روش‌ها:



ب)

	فراجهش	t_r (s)	t_s (s)	IE_r	IAE_r	ISE_r	ITAE_r	IE_d	IAE_d	ISE_d	ITAE_d	بیشینه دامنه	$\int \lvert c \rvert$
Zn_open	41%	1.4	8.2	0.76	1.9	4.3	1.1	-0.4	0.95	16.4	0.28	-1.8e12	11.77
Cc	49%	1.4	6	0.76	1.86	3	1.2	-0.4	0.92	15.3	0.29	-1.1e12	11.74
CHR_r0	4%	3	4.4	1.2	1.4	1.45	1.06	-0.6	0.7	11.2	0.26	-9.2e11	11.4
CHR_r20	13%	1.6	4.2	1.2	1.4	1.5	1.07	-0.6	0.7	11.2	0.26	-1.4e12	11.46
CHR_d0	16%	2	3.5	1.1	1.4	1.4	1.07	-0.6	0.7	11.2	0.26	-1.2e12	11.46
CHR_d20	45%	1.4	6.7	0.8	1.8	3.4	1.1	-0.4	0.9	15.4	0.3	-1.5e12	11.77
Fertik_r	13%	3.2	7.7	1.3	2.2	4.7	1.4	-0.7	1.1	18.7	0.34	-1.7e12	11.41
Fertik_d	34%	2.8	--	0.8	2.6	12.6	1.3	-0.4	1.1	21.2	0.3	-2.7e12	11.6
CM_r	0%	15	6.5	2.1	2.1	3.8	1.3	-1	1	17.3	0.34	-2.5e11	11.2
CM_d	25%	1.8	5	1.2	1.8	2.7	1.2	-0.6	0.9	14.6	0.3	-1.6e11	11.43
Zn_closed	16%	1.8	4.47	1	1.5	1.7	1.1	-0.5	0.8	12.3	0.3	-9.3e11	11.48
DS	106%	1.3	10	0.35	3.1	8.8	2	-0.2	1.5	27	0.5	-1.8e12	12.97
PS	0%	14	6.37	1.2	1.2	3.3	1.2	-0.9	0.9	14.9	0.3	-7.7e11	11.28

زمان نشست، اولین زمانی که وارد باند ۲٪ درصد خروجی شده و خارج نشده باشد محاسبه شده و زمان ورود اغتشاش (۱۵ ثانیه) از ان کسر شده.

از آنجایی که در نمودار کلی سیگنال‌های کنترلی میبینیم که ماکزیمم دامنه‌ی همگی منفی هستند، از قدر مطلق استفاده میکنیم تا مقدار دامنه‌شان مثبت شده و با استفاده از peak finder مقدار دقیق ماکزیمم دامنه را بدست می‌آوریم.