

## دانشگاه شاهد

دانشکده فنی و مهندسی

# دستور کار آزمایشگاه کنترل دیجیتال

تهییه و تنظیم: محمد حسین کاظمی

## اهداف:

هدف از این دستور کار معرفی تجهیزات آزمایشگاههای سیستم‌های کنترل و همچنین ارائه دستورکار لازم برای انجام آزمایشات می‌باشد.

## پیشگفتار:

در این دستور کار مطالب اساسی درس کنترل خطی و دیجیتال در قالب ۲۰ آزمایش ارائه گردیده است. همچنین سعی شده است عمدۀ مطالب پیش زمینه در متن گنجانده شود و دستورکار از این جهت کمتر نیاز به مراجع بیرونی دارد.

این دستورکار در سه بخش اول که در بر گیرنده آزمایش‌های اول تا چهارم می‌باشد؛ سعی می‌شود رابطهٔ بین قطب‌ها و صفرهای یک سیستم خطی با پاسخ‌های زمانی (ورودی پله) و فرکانسی مرور شود، به این ترتیب انتظار می‌رود دانشجو بتواند تابع انتقال یک سیستم ناشناخته را به کمک ابزار ساده‌ای چون سیگنال ژنراتور و اسیلوسکوپ با دقت خوب تعیین نماید. در بخش دوم که شامل آزمایش‌های پنجم تا هشتم است، طی چند آزمایش شبیه سازی عملی و نرم افزاری، طراحی و پیاده‌سازی کنترل کننده‌ها بر روی سیستم‌های ساده و کمی پیچیده خطی تجربه می‌شوند و در بخش سوم به بررسی فرآیند کنترل سرعت و موقعیت یک سروو موتور با کنترلرهای متنوع پرداخته می‌شود.

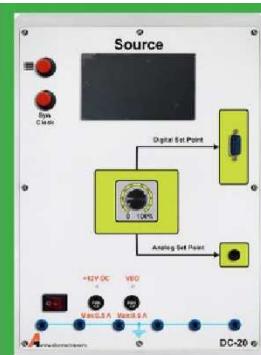
مطالب بیان شده در دستور کار هر آزمایش شامل مقدمه، شرح آزمایش و تحلیل و جداول مربوطه و در پایان سؤالات مربوط به آزمایش می‌باشد. این دستور کار طوری طرح شده است تا دانشجو حین انجام مراحل مختلف آزمایش بخش‌های مختلف آن را تکمیل نماید و با تحلیل نتایج حاصل به درک عمیق‌تری از مفاهیم کنترل آنالوگ و دیجیتال دست یابد.

در پیوست شماره یک معرفی مأذول‌های آموزنده کنترل آنالوگ و دیجیتال ارائه گردیده است که لازم است پیش از اقدام به هرگونه آزمایش مطالعه گرددند.

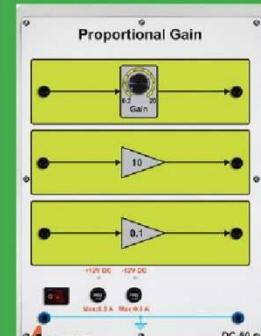
هر دانشجو قبل از حضور در کلاس می‌بایست یک پیش گزارش راجع به مباحث جلسه جاری و گزارش تکمیل شده جا سه قبل را تحويل نماید. انجام بحث و تبادل نظر دانشجویان و مدرس کلاس راجع به نتایج حاصل از آزمایش‌ها تأثیر قابل ملاحظه ای در درک مطالب کنترل خطی و کنترل سرعت و موتور دارد. سلماً گزارش حاصل همراه با نقص و کاستی‌هایی است که با پیشنهادات شما مدرسین و دانشجویان عزیز در نسخه‌های بعدی برطرف خواهد شد.

# معرفی ماژول‌ها

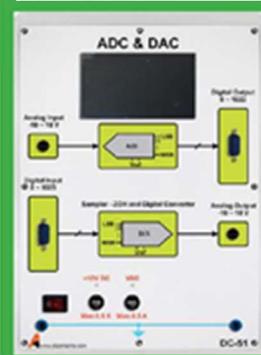
## ماژول منبع



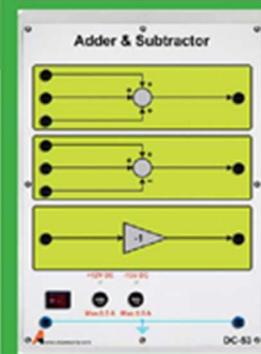
## ماژول بهره تناسبی



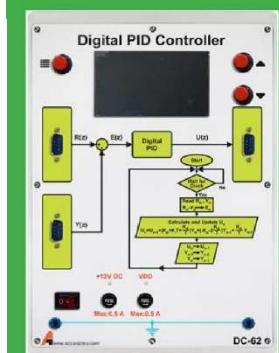
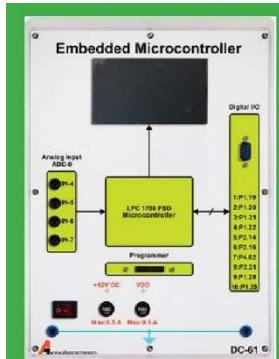
## ماژول مبدل آنالوگ به دیجیتال و بالعکس



## ماژول جمع‌کننده و تفریق‌کننده



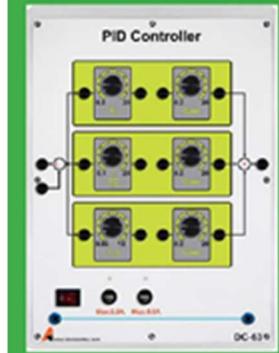
## ماژول میکروکنترلر با قابلیت برنامهنویسی



## ماژول کنترلر دیجیتال

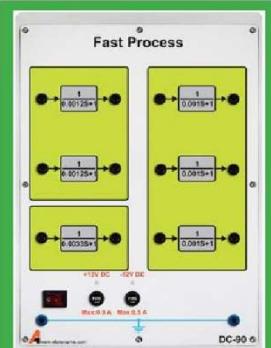


## ماژول کنترلر Lag و Lead

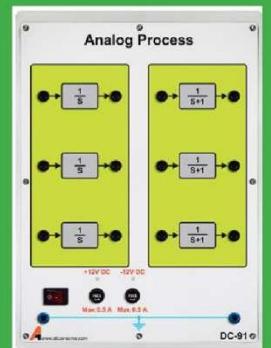


## کنترلر PID آنالوگ

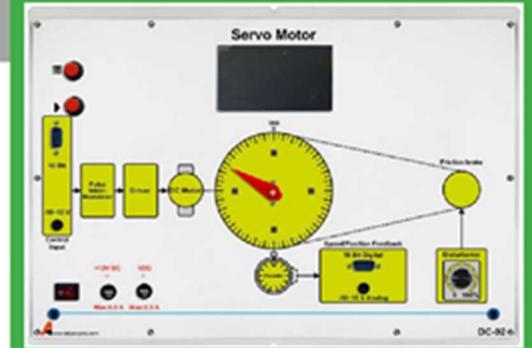
## ماژول شبیه‌ساز ۶ فرآیند سریع



## ماژول شبیه‌ساز ۶ فرآیند آنالوگ



## ماژول سرووموتور

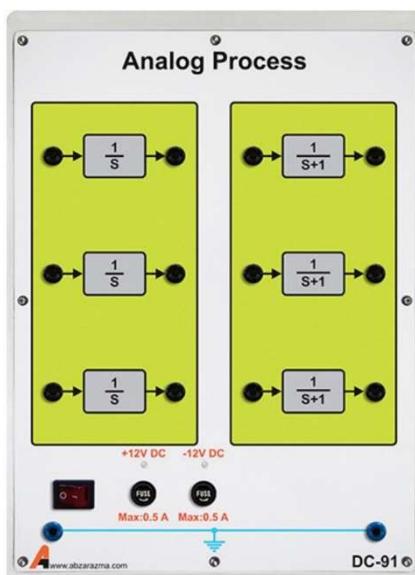


## آزمایش اول: سیستمهای مرتبه اول

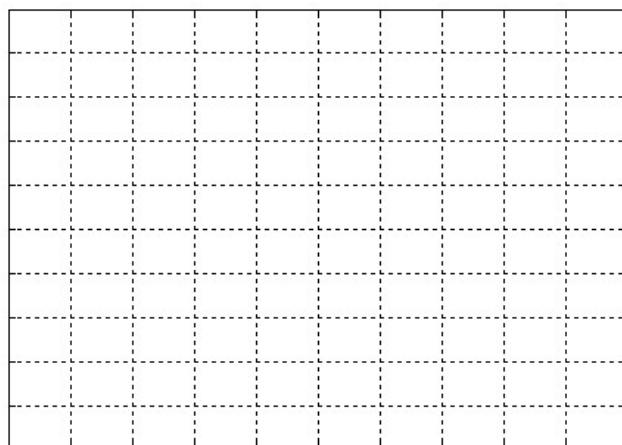
سیستم با تابع انتقال  $G(s) = \frac{1}{s+1}$  را در مژوں زیر در نظر بگیرید. با اعمال پالس مربعی، پاسخ زمانی ورودی پله آنرا در

شکل زیر رسم نمایید. مقیاس‌های انحراف افقی ( $time/div$ ) و عمودی ( $volt/div$ ) اسیلوسکوپ را در کنار شکل مشخص کنید.

نکته: همواره سعی کنید بزرگترین حالت شکل پاسخ بدست آمده را بر روی اسیلوسکوپ تشکیل دهید (با استفاده از تغییر بهره همچنین از آنجا که پاسخ پله سیستم مد نظر است، کافیست پاسخ  $time/div$ ). ها و سرعت جاروب اشعه  $volt/div$  کانال‌های ورودی به یکی از لبه‌های بالارونده یا پایین رونده را بر روی اسیلوسکوپ تشکیل داده و آن را رسم نمایید. دقت کنید که فرکانس موج مربعی ورودی باید طوری انتخاب شود که خروجی به حالت پایدار خود برسد

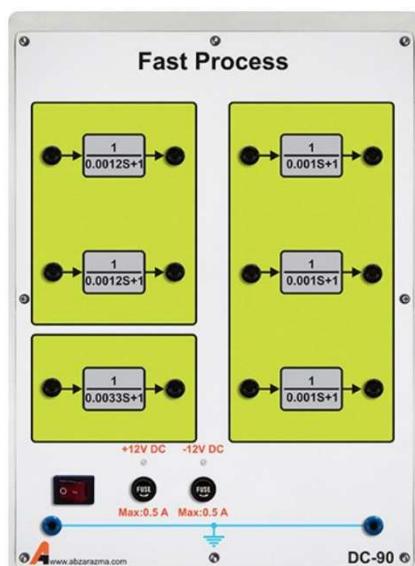


ماژول شبیه‌ساز فرآیندهای آنالوگ مرتبه اول



$$\text{پاسخ فرآیند } G(s) = \frac{1}{s+1} \text{ به ورودی پله}$$

روند بالا را برای سیستم باتابع انتقال  $G(s) = \frac{1}{0.0012s+1}$  تکرار کنید. برای این سیستم از مازول سریع استفاده نمایید.  
این مازول در شکل زیر نشان داده شده است.



مازول شبیه‌ساز فرآیند آنالوگ سریع

با اعمال ورودی مربعی با فرکانس مناسب به مازول فوق شکل پا سخ پله فرآیند را بر روی صفحه ا سیلو سکوب ملاحظه کنید و آن را در شکل زیر رسم نمایید.

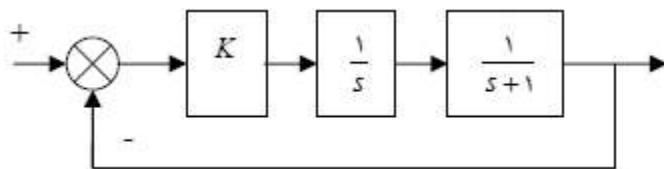

پاسخ فرآیند مورد مطالعه به ورودی پله

## آزمایش دوم: سیستمهای مرتبه دو

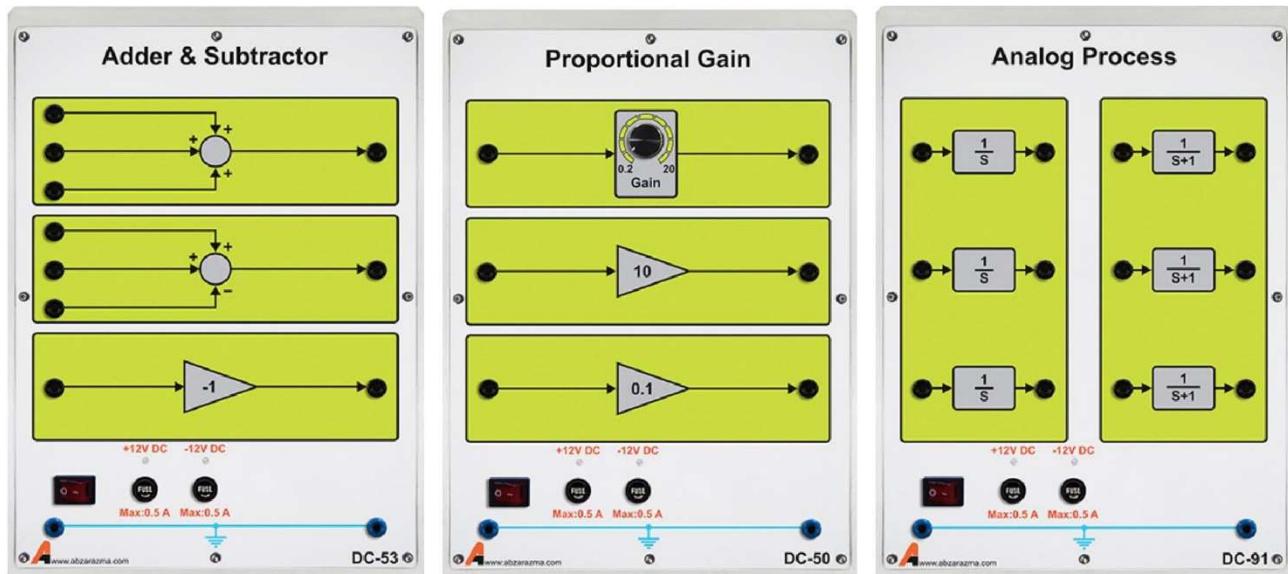
در این آزمایش به بررسی پاسخ پله یک سیستم مرتبه دو با ضرایب بهره DC متفاوت پرداخته می‌شود. همانطور که می‌دانید یک سیستم مرتبه دو پایدار دارای دو قطب در سمت چپ صفحه مختلط می‌باشد.

### آزمایش و تحلیل

برای ساختن مدل سیستم مرتبه ۲ با ترکیب قطب‌های مورد نظر این آزمایش، از یک سیستم حلقه بسته مطابق شکل زیر استفاده می‌کنیم. این سیستم حلقه بسته به کمک مازول‌های نشان داده شده در برای مقادیر  $16, 5, 0, K=25,0$  پاسخ به ورودی پله را اندازه‌گیری کرده و نتایج را در جدول‌ها و نمودارهای زیر وارد کنید. در هر یک از مقادیر فوقتابع تبدیل سیستم حلقه بسته و محل قطب‌های آن را مشخص کنید.



بلوک دیاگرام سیستم مرتبه ۲

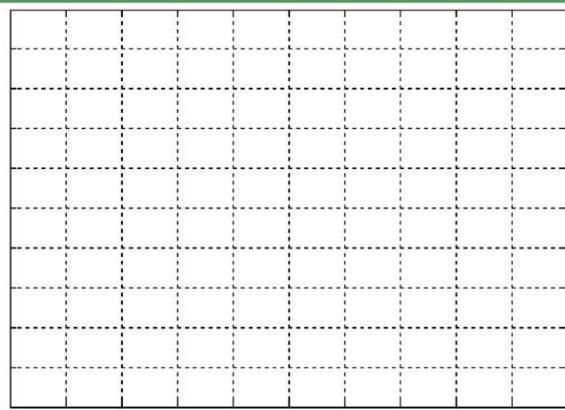


ماژول‌های مورد نیاز برای پیاده‌سازی سیستم حلقه بسته مرتبه دوم مورد مطالعه

$k = \Delta / 25$

$G(S)$

$S_{1,2}$

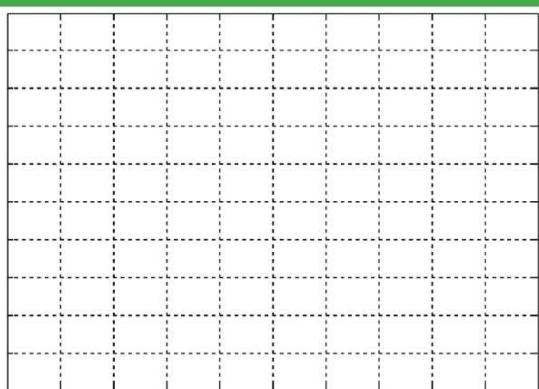


پاسخ سیستم مرتبه دوم مورد مطالعه به ورودی پله به ازای  $\Delta / 25$

$k = \Delta$

$G(S)$

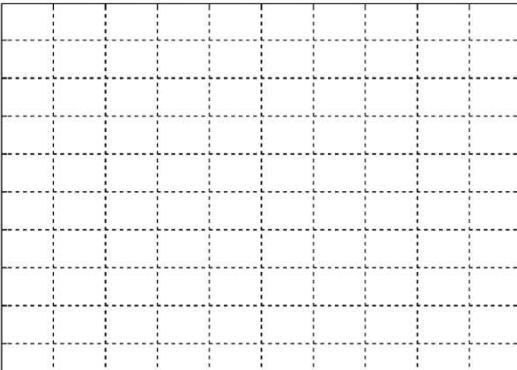
$S_{1,2}$



پاسخ سیستم مرتبه دوم مورد مطالعه به ورودی پله به ازای  $\Delta / 5$

k = 1	
$G(S)$	$S_{1,2}$
	

پاسخ سیستم مرتبه دوم مورد مطالعه به ورودی پله به ازای  $k=1$

k = 16	
$G(S)$	$S_{1,2}$
	

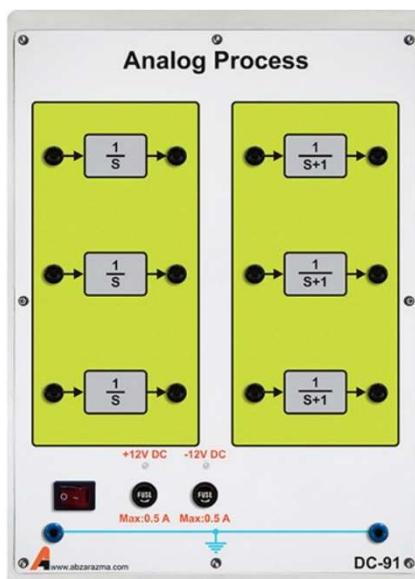
پاسخ سیستم مرتبه دوم مورد مطالعه به ورودی پله به ازای  $k=16$

### آزمایش سوم: سیستمهای مرتبه سه

سیستم‌های مرتبه سوم دارای سه قطب در صفحه مختلط هستند. برای تجزیه قطب‌های سیستم مرتبه سوم بهتر است مخرج تابع انتقال به صورت حاصلضرب چند جمله‌ای‌های مرتبه یک و دو نوشته شود. در این آزمایش به بررسی پاسخ پله یک سیستم نمونه مرتبه سوم پرداخته خواهد شد و پس از آن با تغییر محل قرارگیری قطب‌های تابع انتقال حلقه بسته در صدد بررسی رفتار سیستم بر می‌آییم.

#### مرتبه سوم حلقه باز

سیستم با تابع انتقال  $G(s) = \frac{1}{(s+1)^3}$  را بر روی شبیه ساز در نظر بگیرید. برای پیاده‌سازی این سیستم از مژول‌های زیر استفاده نمایید.



مژول مورد نیاز برای پیاده‌سازی سیستم مرتبه سوم حلقه باز

برای فرآیند مورد مطالعه پاسخ به ورودی پله را به کمک سیگنال ژنراتور و اسیلوسکوپ مشاهده نمایید و در شکل‌های زیر رسم نمایید.

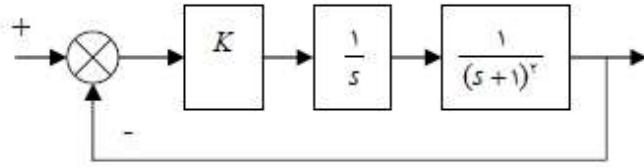
$G(S)$

$S_{1,2,3}$


پاسخ سیستم مرتبه سوم مورد مطالعه به ورودی پله

### بررسی اثر تغییر قطب‌های سیستم مرتبه سوم حلقه بسته

برای ساختن دو مدل دیگر از سیستم‌های مرتبه ۳ با ترکیب قطب‌های مورد نظر این آزمایش، از یک سیستم حلقه بسته مطابق شکل زیر استفاده می‌کنیم. برای پیاده سازی سیستم مرتبه سوم نشان داده شده در شکل زیر از مازول‌های نشانداده شده در شکل استفاده نمایید. برای مقادیر ۶ و  $5 = K$  پاسخ به ورودی پله را اندازه‌گیری کرده و نتایج را در جداول و نمودارهای زیر وارد کنید.



بلوک دیاگرام فرآیند مرتبه سوم حلقه بسته

$k=1/5$

$G(S)$

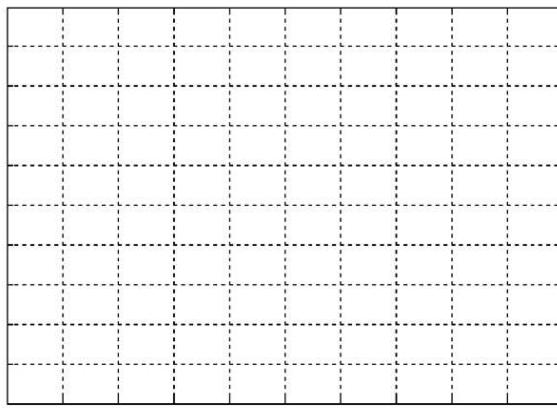
$S_{1,2,3}$


$5 = k/1$  پاسخ سیستم مرتبه سوم مورد مطالعه به ورودی پله به ازای

$k=6$

$G(S)$

$S_{1,2,3}$



پاسخ سیستم مرتبه سوم مورد مطالعه به ورودی پله به ازای  $k=6$

## آزمایش چهارم: اثر صفر بر رفتار سیستم

### مقدمه

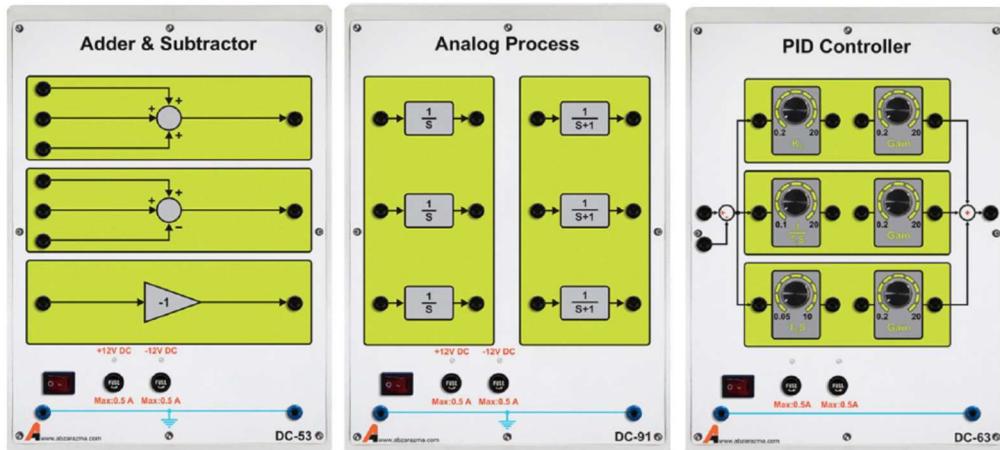
اثر وجود صفر در نزدیکی قطب غالب سبب ایجاد جهش در پاسخ فرآیند می‌گردد و چنانچه صفر از قطب غالب به اندازه کافی دور شود تأثیر چندانی بر پاسخ فرایند ندارند. در این آزمایش به بررسی تأثیر اضافه شدن به صفر به تابع انتقال یک سیستم مرتبه دوم مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

### آزمایش و تحلیل

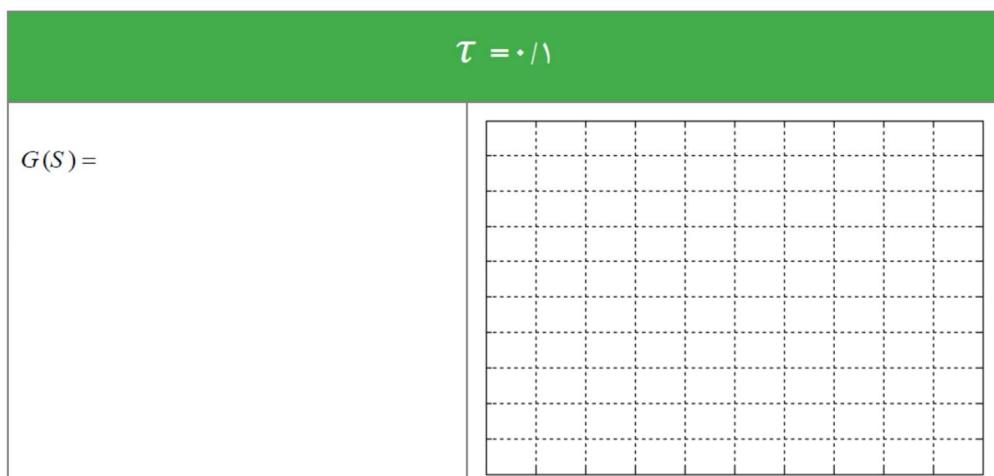
#### اثر اضافه شدن صفر سمت چپ محور موهومی

سیستم با تابع انتقال  $G(s) = \frac{1}{(s+1)^2}$  را بر روی شبیه ساز در نظر بگیرید. آنرا با صفر  $1 + \tau s$  سری نمائید که در آن  $\tau$

و یا یک باشد. برای پیاده سازی سیستم مورد مطالعه از مازول های نشان داده شده در  $0^{\circ}/5^{\circ}$  می تواند یکی از مقادیر مقادیر ۱ کنترل استفاده می کنیم که البته باید توجه داشت که ضریب PID شکل زیر استفاده نمایید. برای اضافه کردن صفر از مازول انتگرالی صفر باشد. پاسخ زمانی ورودی پله را در نمودارهای زیر رسم نمایید.



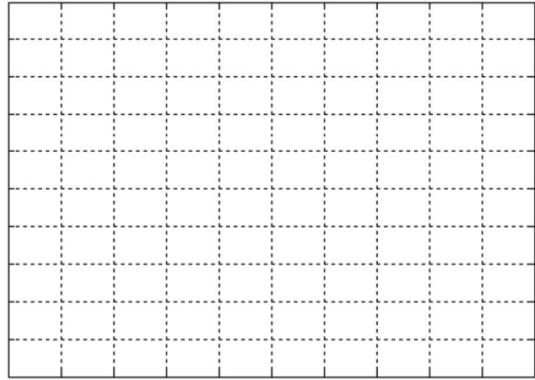
مازول های مورد نیاز برای پیاده سازی فرآیند مرتبه دوم با اضافه شدن صفر سمت چپ



پاسخ سیستم مرتبه دوم دارای صفر سمت چپ به ورودی پله به ازای  $\tau = 0.1$

$$\tau = \cdot / \Delta$$

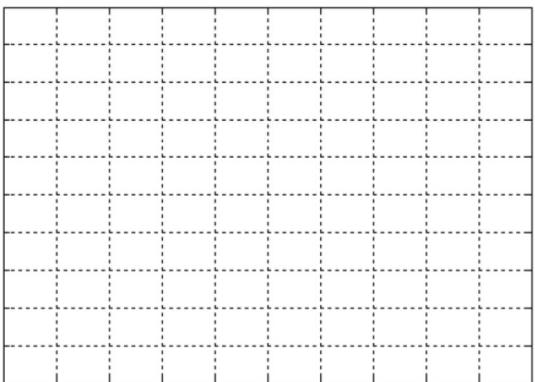
$$G(S) =$$



پاسخ سیستم مرتبه دوم دارای صفر سمت چپ به ورودی پله به ازای  $\tau = 0.5$

$$\tau = 1$$

$$G(S) =$$



پاسخ سیستم مرتبه دوم دارای صفر سمت چپ به ورودی پله به ازای  $\tau = 1$

### اثر اضافه شدن صفر سمت راست محور موهومی

آنرا با صفر  $\tau s - 1$  سری PID سیستم با تابع انتقال  $G(s) = \frac{1}{(s+1)^2}$  را بر روی شبیه ساز در نظر بگیرید. به کمک ماژول

قرار دارد برای منفی کردن ضریب مشتقی کنترل کننده Adder & Subtractor نمائید. از بهره واحد منفی که بر روی ماژول مرتبه دوم مورد مطالعه استفاده نمایید. با تغییر عوض شدن محل صفر سمت راست را بر پاسخ پله سیستم بررسی نمایید. بدین منظور پاسخ زمانی ورودی پله را به ازای های مختلف در نمودارهای زیر رسم نمایید.

$$\tau = \cdot / 1$$

$$G(S) =$$


پاسخ سیستم مرتبه دوم دارای صفر سمت راست به ورودی پله به ازای  $\tau = 0.1$

$$\tau = \cdot / 5$$

$$G(S) =$$


پاسخ سیستم مرتبه دوم دارای صفر سمت راست به ورودی پله به ازای  $\tau = 0.5$

$$\tau = 1$$

$$G(S) =$$


پاسخ سیستم مرتبه دوم دارای صفر سمت راست به ورودی پله به ازای  $\tau = 1$

## آزمایش پنجم: کنترل کننده PID

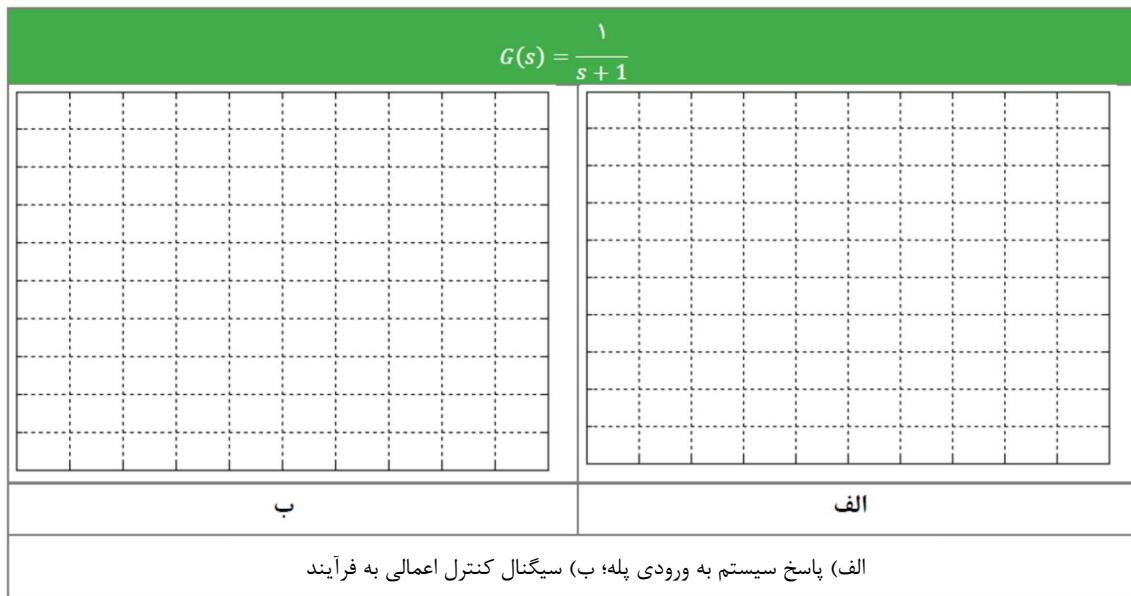
### مقدمه

کنترل کننده PID به دلیل سادگی نسبت به کنترل کننده فازی و بهبود پاسخ فرایند نسبت به استفاده از کنترلر on/off از محبوبیت بیشتری برخوردار است. در این آزمایش قصد داریم استفاده از کنترلر PID را برای یک سیستم مرتبه اول مورد بررسی قرار دهیم و عملکرد کنترلر در اصلاح خطأ و بهبود حالت گذراي پاسخ پله بررسی شود.

### آزمایش و تحلیل

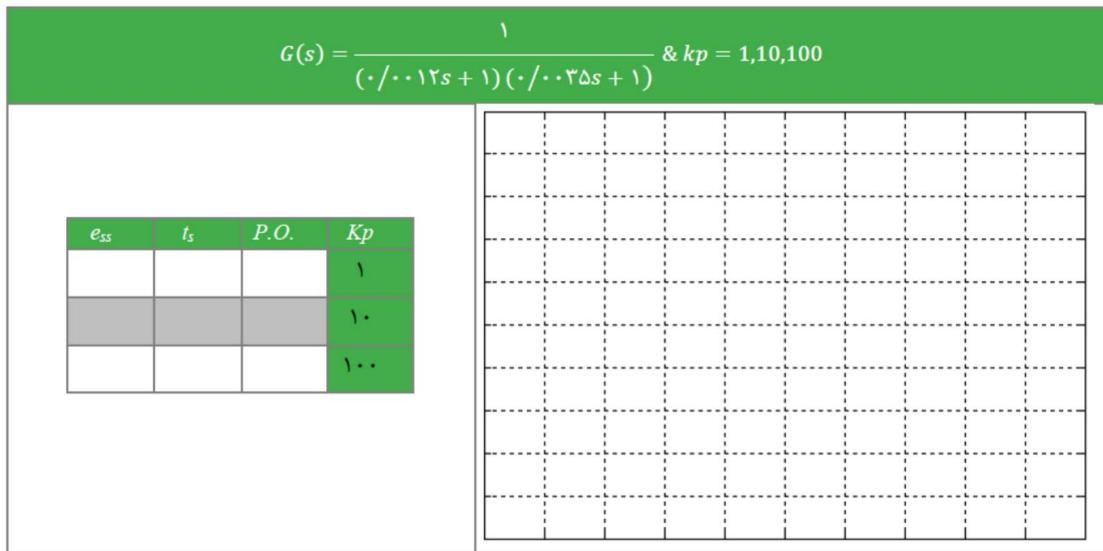
#### تناسبی در سیستم مرتبه اول

سیستم  $G(s) = \frac{1}{s+1}$  را در نظر بگیرید، کنترل تناسبی برای آن طرح کنید که ثابت زمانی سیستم جدید کمتر از ۰.۴ ثانیه شود. خطای حالت دائمی را نیز حساب کنید. پاسخ خروجی سیستم حاصل را به ورودی پله و همچنین سیگنال اعمالی شده از کنترل کننده به فرآیند ( $u$ ) را در شکل های زیر رسم کنید.



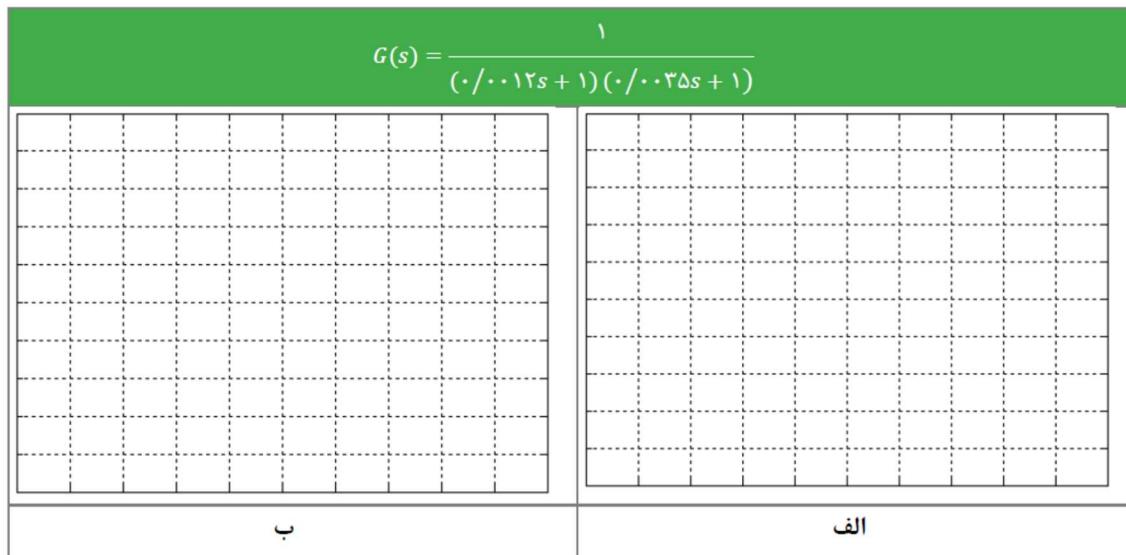
#### کنترل کننده تناسبی در سیستم مرتبه دوم

سیستم  $G(s) = \frac{1}{(0.0012s+1)(0.0035s+1)}$  را در نظر بگیرید. اثر کنترل تناسبی با مقادیر  $K_p = 1, 10, 100$ ، را بر پاسخ پله آن بررسی کرده و هر سه پاسخ را در شکل زیر رسم کنید. در مورد سرعت، فراجهش و خطای حالت دائمی هر سیستم بحث کنید.



پاسخ سیستم به ورودی پله به ازای ضرایب تناسبی ۱، ۱۰ و ۱۰۰

سیستم بالا را به گونه‌ای با کنترل تنا سبی جبران کنید که  $P.O. < 2\%$ ,  $ess < 2\%$ . پاسخ خروجی سیستم حاصل را به ورودی پله و همچنین سیگنال اعمال شده از کنترل کننده به فرآیند ( $u$ ) را در شکل‌های زیر رسم کنید.



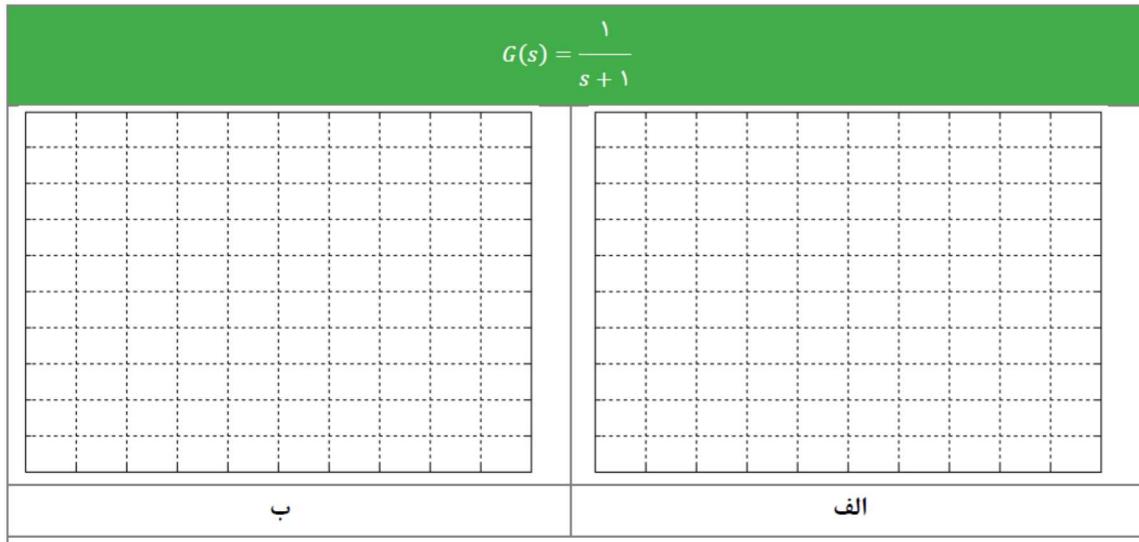
(الف) پاسخ سیستم به ورودی پله؛ (ب) سیگنال کنترل اعمالی به فرآیند

### کنترل کننده PID برای یک سیستم مرتبه اول

برای سیستم  $G(s) = \frac{1}{s+1}$  کنترل کننده PID را طوری طراحی کنید که برای ورودی پله داشته باشیم:

$$P.O. < 5\%, \quad t_s < 0.3s, \quad ess < 2\%$$

پاسخ خروجی سیستم حاصل را به ورودی پله و همچنین سیگنال اعمال شده از کنترل کننده به فرآیند ( $u$ ) را در شکل‌های زیر رسم کنید.



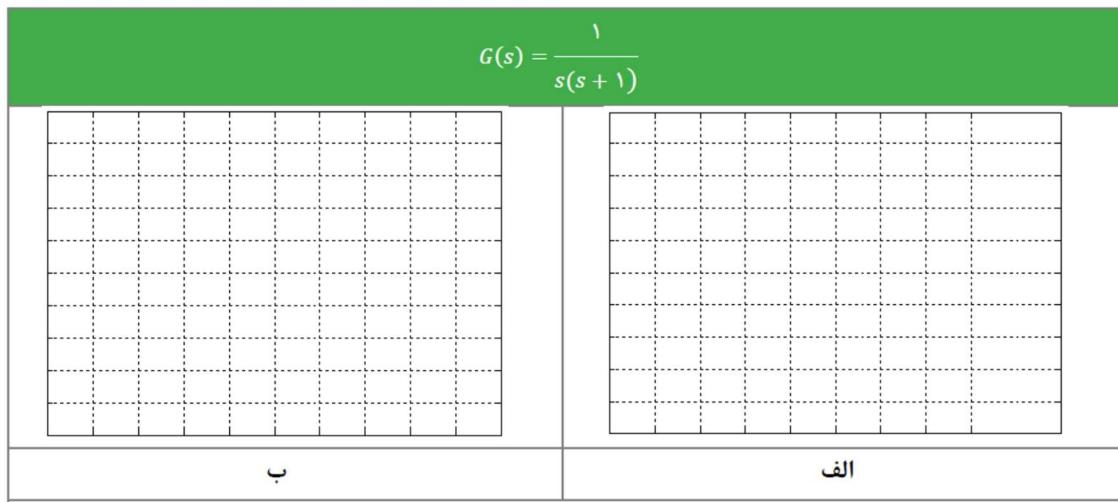
الف) پاسخ سیستم به ورودی پله؛ ب) سیگنال کنترل اعمالی به فرآیند

### کنترل کننده PID برای یک سیستم مرتبه دوم

$$\text{برای سیستم } G(s) = \frac{1}{s(s+1)} \text{ کنترل کننده PID را طوری طراحی کنید که برای ورودی پله داشته باشیم:}$$

$$ts < 4s, ess < 2\%$$

حداقل فرجهش قابل دستیابی در این حالت چقدر است؟ پاسخ خروجی سیستم حاصل را به ورودی پله و همچنین سیگنال اعمال شده از کنترل کننده به فرآیند ( $u$ ) در شکل‌های زیر رسم کنید.



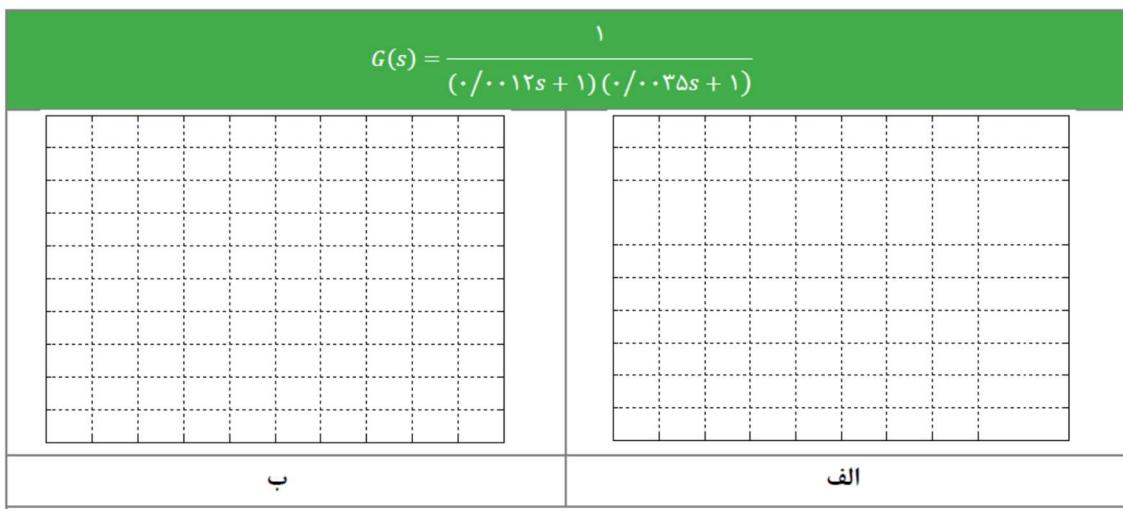
الف) پاسخ سیستم به ورودی پله؛ ب) سیگنال کنترل اعمالی به فرآیند

### مقایسه کنترل کننده PI و PID

سیستم  $G(s) = \frac{1}{(0.0012s+1)(0.0035s+1)}$  رادر نظر بگیرید. ابتدا با استفاده از کنترل PI و سپس با استفاده از PID تلاش کنید خواسته های زیر را برآورده کنید.

$$P.O. < 10\%, ts < 0.02s, ess < 5\%$$

پا سخ خروجی سیستم حاصل را به ورودی پله و همچنین سیگنال اعمال شده از کنترل کننده به فرآیند ( $u$ ) را در شکل های زیر رسم کنید. (نتیجه استفاده از هردو کنترلر را روی یک نمودار رسم کنید).



الف) پاسخ سیستم به ورودی پله؛ ب) سیگنال کنترل اعمالی به فرآیند

## آزمایش ششم: جبران سازهای پیشfasaz-پسfasaz

### مقدمه

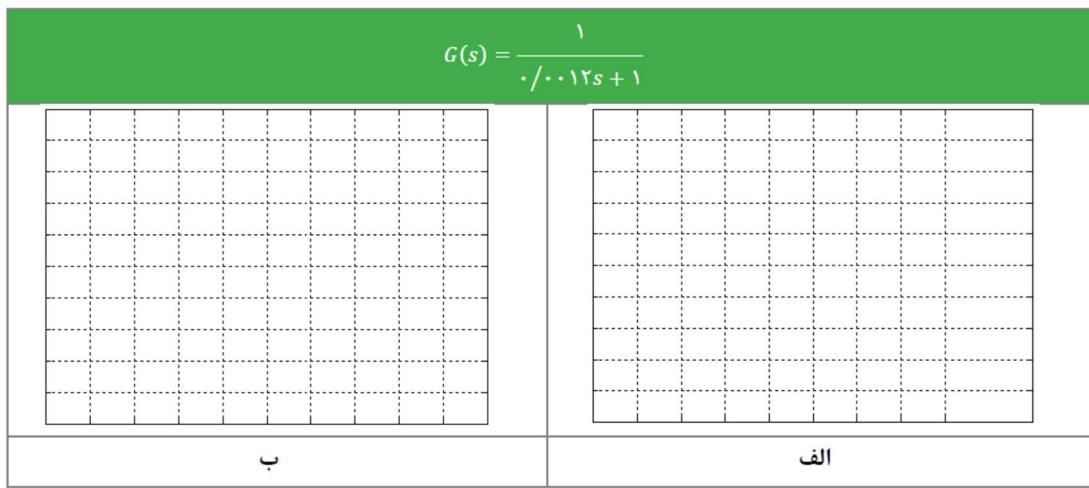
در این آزمایش به بررسی جبرانسازهای پیشfasaz و پسfasaz در سیستمهای مرتبه اول تا سوم پرداخته خواهد شد

### تأثیر جبرانساز پیشfasaz و پسfasaz در سیستم مرتبه اول

$$\text{سیستم } G(s) = \frac{1}{0.0012s + 1} \text{ را در نظر بگیرید و کنترل کننده پیشfasaz یا پسfasaz را برای رسیدن به خواسته‌های زیر برای آن طرح کنید:}$$

$$P.O. < 5\%, ts < 0.02s, ess < 5\%$$

پاسخ خروجی سیستم حاصل را به ورودی پله و همچنین سیگنال اعمال شده از کنترل کننده به فرآیند ( $u$ ) را در شکل‌های زیر رسم کنید.



(الف) پاسخ سیستم به ورودی پله؛ (ب) سیگنال کنترل اعمالی به فرآیند

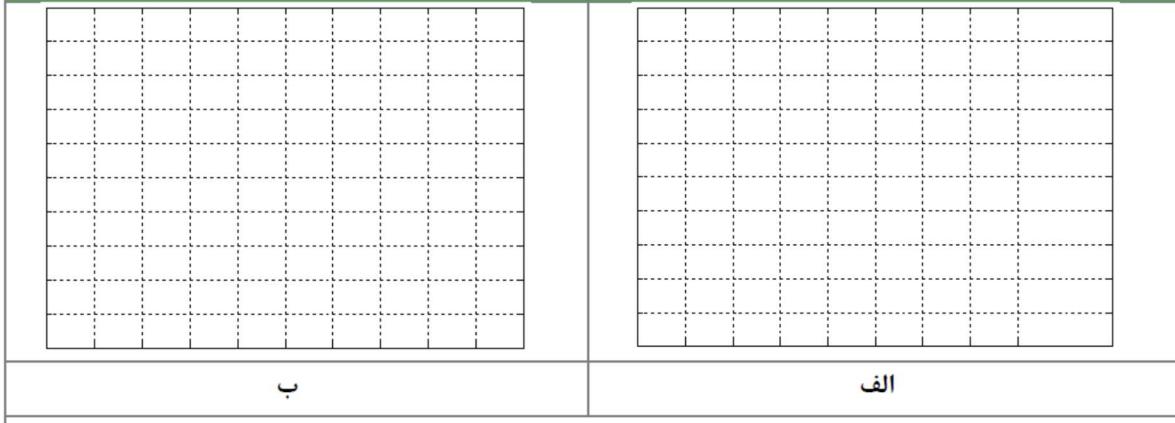
### تأثیر جبرانساز پیشfasaz و پسfasaz در سیستم مرتبه دوم

$$\text{سیستم } G(s) = \frac{1}{s(0.0012s + 1)} \text{ را در نظر بگیرید و کنترل کننده پیشfasaz یا پسfasaz را برای رسیدن به خواسته‌های زیر برای آن طرح کنید:}$$

$$P.O. < 5\%, ts < 0.2s, ess < 2\%$$

پاسخ خروجی سیستم حاصل را به ورودی پله و همچنین سیگنال اعمال شده از کنترل کننده به فرآیند ( $u$ ) را در شکل‌های زیر رسم کنید.

$$G(s) = \frac{1}{s(s+12s+1)}$$



الف) پاسخ سیستم به ورودی پله؛ ب) سیگنال کنترل اعمالی به فرآیند

### تأثیر جبران‌ساز پیش‌فاز و پس‌فاز در سیستم مرتبه سوم

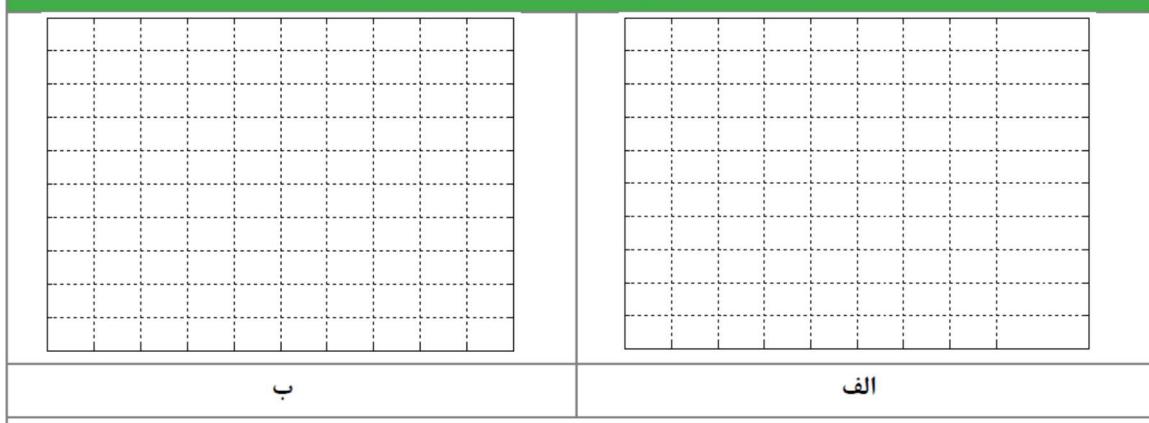
سیستم  $G(s) = \frac{1}{s(s+1)^2}$  را در نظر بگیرید و کننده پیش‌فاز یا پس‌فاز را برای رسیدن به خواسته‌های زیر برای آن طرح کنید:

$P.O. < 5\%$ ,  $ess < 2\%$

حداقل مقدار قابل دستیابی  $t_s$  چقدر است؟

پاسخ خروجی سیستم حاصل را به ورودی پله و همچنین سیگنال اعمال شده از کنترل کننده به فرآیند ( $u$ ) را در شکل‌های زیر رسم کنید.

$$G(s) = \frac{1}{s(s+1)^2}$$



الف) پاسخ سیستم به ورودی پله؛ ب) سیگنال کنترل اعمالی به فرآیند

## آزمایش هفتم: کنترل حلقه بسته آنالوگ سرعت سروو موتور

هدف: آشنایی با کنترل حلقه بسته آنالوگ سرموتور با استفاده از کننده های مختلف

### مقدمه

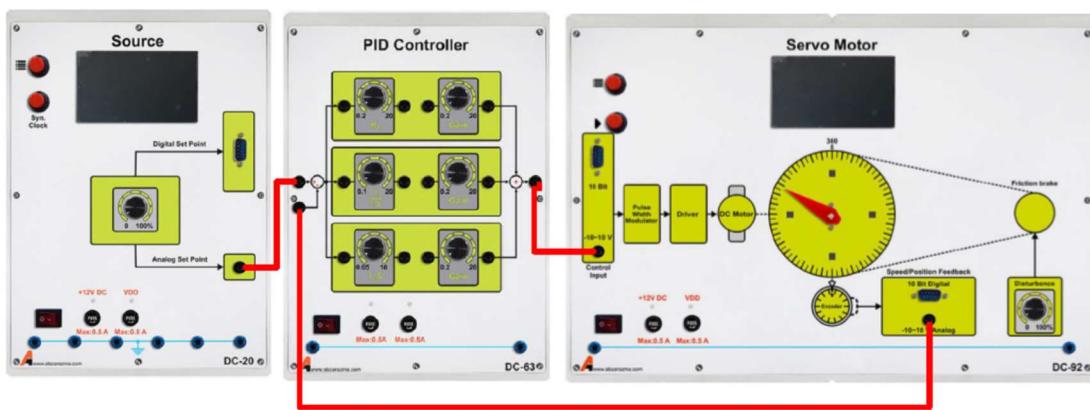
استفاده از فیدبک در سیستم های حلقه بسته می تواند فرآیند کنترلی را به سمت پایداری، عملکرد گذرا و ماندگار مطلوب تر هدایت کند. در این آزمایش استفاده از انواع کنترل کننده ها برای کنترل حلقه بسته سرعت موتور سروو موتور مورد بررسی قرار می گیرد. در این آزمایش استفاده از کنترل کننده های P, PI و PID برای کنترل حلقه بسته سرعت سروو موتور مورد بررسی قرار می گیرد.

جهت تنظیم ضریب کنترل کننده تناسبی به ورودی آن یک سیگنال نمونه اعمال نموده و با مشاهده سیگنال خروجی و تقسیم نمودن دامنه خروجی به ورودی، ضریب مورد نظر به دست می آید. جهت تنظیم کنترل کننده مشتقی و انتگرالی به ورودی آنها سینوسی با فرکانس و دامنه معین اعمال می نماییم. دامنه ورودی به خروجی در این شرایط می باشد برابر با بهره ac این کنترل کننده ها در فرکانس مورد نظر باشد. به عبارت دیگر به جای عملکر لایپلاس  $s$ ، مقدار  $\omega = 2\pi f$  جایگزین می گردد و بهره ac محاسبه می گردد.

در این آزمایش تغییرات نقطه کار بر عملکرد کنترل کننده تحقیق شده است که مساله مهمی است.

### آزمایش و تحلیل

مدار آزمایش در حالت کلی به صورت شکل زیر است. همانطور که ملاحظه می کنید از مژول کنترل کننده PID برای اصلاح سیگنال خطای حلقه بسته آنالوگ سرعت استفاده شده است. حال در بخش های بعد قصد داریم عملکرد سیستم مورد مطالعه را در شرایط به کار گیری کنترل کننده های متفاوت اعم از تناسبی، انتگرال گیر و مشتق گیر بررسی نماییم.



### کنترل کننده تناسبی

ابتدا نقطه کار یا سیگنال آنالوگ مرجع با دامنه ۵،۴ ولت را به سیستم اعمال نمایید. حال آنقدر ضرایب کنترل کننده تناسبی را تغییر دهید تا مقدار خطای مشاهده شده به کمترین مقدار خود برسد. جدول زیر را برای چند ضریب کنترل کننده تناسبی تکمیل نمایید.

### نتایج حاصل از اعمال ورودی پله با دامنه ۵،۴ ولت و تنظیم ضرایب کنترل کننده تناسبی

ضریب کنترل کننده تناسبی										
مقدار خطأ										
سرعت موتور										
ولتاژ خروجی سنسور سرعت										

حال بدون تغییر ضرایب کنترل کننده تناسبی، طبق جدول زیر برای مقادیر مختلف نقطه کار جدول را تکمیل نمایید (تذکر داده می‌شود که در این بخش باید مقادیر کنترل کننده انگرالی و مشتقی صفر باشد).

### نتایج بررسی عملکرد کنترل کننده تناسبی با تغییر نقطه کار

مقادیر نقطه کار	-۱۰	-۸	-۶	-۴	-۲	+۲	+۴	+۶	+۸	+۱۰
مقدار خطأ										
سرعت موتور										
ولتاژ خروجی سنسور سرعت										

حال برای بررسی کنترل کننده تناسبی مورد نظر در شرایط بروز اغتشاش در فرآیند کنترلی، مقدار ترمز مکانیکی را به ۵۰ درصد مقدار نهایی خود رسانده و جدول زیر را تکمیل نمایید.

### نتایج بررسی عملکرد کنترل کننده تناسبی در صورت ایجاد اغتشاش

مقادیر نقطه کار	-۱۰	-۸	-۶	-۴	-۲	+۲	+۴	+۶	+۸	+۱۰
مقدار خطأ										
سرعت موتور										
ولتاژ خروجی سنسور سرعت										

مقایسه‌ای بین رفتار سیستم در حالت بدون ترمز و با ترمز داشته باشید. از لحظه کنترلی قطب‌های سیستم چه تغییری می‌نمایند؟

از این پس در همه آزمایش‌های مربوط به تحلیل حالت گذرا به جای اعمال ورودی ثابت از ورودی متغیر و اعمالی توسط سیگنال ژنراتور استفاده می‌گردد. فرکانس این سیگنال برای مشاهده پاسخ زمانی در حدود ۱۰۰ هرتز می‌باشد.

در ادامه علاوه بر خطا حالت دائمی به بررسی سرعت پاسخ گذراي سیستم پرداخته شده است. از این رو جهت مشاهده حالت گذرا به جای اعمال ورودی ثابت به محل اعمال نقطه کار، یک ورودی پالسی به کمک سیگنال ژنراتور با دامنه متغیر بین ۰ و ۴ ولت و فرکانس ۱۰۰ هرتز اعمال نمایید و اغتشاش را از سیستم حذف کنید. با توجه به شکل اسیلوسکوپ تغییرات خروجی سنسور سرعت، جدول زیر را کامل نمایید.

بررسی حالت گذراي پاسخ سیستم به ازای ضرایب تناسبی متفاوت

۲۰	۱۵	۱۰	۵	۱	۰,۲	ضریب کنترل کننده تناسبی
						زمان صعود ولتاژ خروجی سنسور سرعت (msec)
						میزان فراجهش ولتاژ خروجی سنسور سرعت (V)
						درصد فراجهش ولتاژ خروجی سنسور سرعت

### کنترل کننده تناسبی انتگرالی

این کنترل کننده در عمل قابلیت تصحیح خطای حالت دایم را به دلیل وجود بخش انتگرالی دارد. نقطه کار ۴، ۵ ولت را برای آن مشخص کنید. حال آنقدر ضرایب کنترل کننده تناسبی انتگرالی را تغییر دهید تا مقدار خطای مشاهده شده به کمترین مقدار خود برسد. مقدار کمترین خطای بدست آمده را یادداشت نمایید.

حال بدون تغییر ضرایب کنترل کننده تناسبی-انتگرالی، طبق جدول زیر برای مقادیر دیگری از نقطه کار، خروجی و خطای مشاهده و یادداشت نمایید. (تذکر داده می‌شود که در این بخش باید مقادیر کنترل کننده مشتقی صفر باشد). حال جدول زیر را براساس مشاهدات پر کنید.

نتایج بررسی عملکرد کنترل کننده تناسبی انتگرالی به ازای نقاط کار متفاوت

-۱۰	-۸	-۶	-۴	-۲	+۲	+۴	+۶	+۸	+۱۰	مقادیر نقطه کار
										مقدار خطای
										سرعت موتور
										ولتاژ خروجی سنسور سرعت

مشابه بخش قبلی به ازای نقطه کار ثابت ۴، ۵ ولت تغییرات جدول زیر را تکمیل نمایید. ابتدا ضریب کنترل کننده انتگرالی را ۱ در نظر بگیرید و جدول را تکمیل نمایید.

نتایج بررسی عملکرد کنترل کننده تناسبی انتگرالی به ازای تغییر ضریب انتگرالی

۰,۱	۱	۲	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	ضریب کنترل کننده انتگرالی
									خطای حالت دائمی
									زمان صعود ولتاژ خروجی سنسور سرعت (msec)
									میزان فراجهش ولتاژ خروجی سنسور سرعت (V)
									درصد فراجهش ولتاژ خروجی سنسور سرعت

### کنترل کننده تناسبی مشتقی

این کنترل کننده در عمل قابلیت تصحیح بهتر خطای حالت گذرا را به دلیل وجود بخش مشتقی دارد. نقطه کار ۴، ۵ ولت را

برای آن مشخص کنید. حال آنقدر ضرایب کنترل کننده تنا سبی-مشتقی را تغییر دهید تا مقدار خطای مشاهده شده به کمترین مقدار خود برسد. مقدار کمترین خطای بدست آمده را یادداشت نمایید.

حال بدون تغییر ضرایب کنترل کننده تناسبی-مشتقی، طبق جدول زیر با تغییر نقطه کار، خروجی و خطای مشاهده و یادداشت نمایید (تذکر داده می شود که در این بخش باید مقادیر کنترل کننده انتگرالی صفر باشد). حال جدول زیر را براساس مشاهدات پر کنید.

نتایج بررسی عملکرد کنترل کننده تناسبی مشتقی به ازای نقاط کار متفاوت

-۱۰	-۸	-۶	-۴	-۲	+۲	+۴	+۶	+۸	+۱۰	مقادیر نقطه کار
										مقدار خطای
										سرعت موتور
										ولتاژ خروجی
										سنسور سرعت

### کنترل کننده تناسبی، مشتقی ، انتگرالی PID

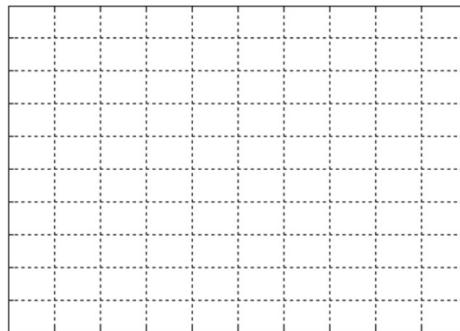
با وجود طراحی کنترل کننده های متعدد، ولی هنوز کنترل کننده PID بسیار مورد استفاده قرار می گیرد. برای بهره گیری از خواص کنترل PI و PD از کنترل کننده PID که متدالوی ترین کنترل کننده در صنعت به شما می آید، استفاده می شود. مشابه حالت قبل نقطه کار سیستم مورد مطالعه را ۵، ۴ و ۳ ولت قرار دهید سپس آنقدر ضرایب کنترل کننده تنا سبی-انتگرالی-مشتقی را تغییر دهید تا مقدار خطای مشاهده شده به کمترین مقدار خود برسد. مقدار کمترین خطای بدست آمده را یادداشت نمایید.

حال بدون تغییر ضرایب کنترل کننده، طبق جدول زیر با تغییر نقطه کار سیستم عملکرد کنترل کننده مورد نظر را از دیدگاه خطای حالت دائمی و ولتاژ خروجی سنسور سرعت مشاهده و یادداشت نمایید.

نتایج بررسی عملکرد کنترل کننده تناسبی مشتقی به ازای نقاط کار متفاوت

-۱۰	-۸	-۶	-۴	-۲	+۲	+۴	+۶	+۸	+۱۰	مقادیر نقطه کار
										مقدار خطای
										سرعت موتور
										ولتاژ خروجی
										سنسور سرعت

بدون تغییر ضرایب کنترلی، به کمک سیگنال ژنراتور یک پالس با دامنه ۰ تا ۴ ولت و فرکانس ۱۰ هرتز به ورودی کنترل اعمال نمایید و حالت گذرای پاسخ سیستم را با مشخص نمودن زمان صعود و درصد فراجهش در شکل زیر رسم نمایید.



حالت گذرای پاسخ سیستم در شرایط به کار گیری کنترل PID

## سوالات

- ۱- در آزمایش سیستم حلقه بسته با کنترل کننده تنا سی اثر اغتشاش بر خطای حالت دائمی را با اثر اغتشاش در آزمایش حلقه باز کنترل کننده تناسبی مقایسه نماید.
- ۲- با اضافه شدن ضریب انتگرال گیر پارامتر حالت دائمی خطأ به چه صورت تغییر نمود.
- ۳- با اضافه شدن ضریب انتگرال گیر پارامترهای حالت گذرا چگونه تغییر نمودند.
- ۴- چگونه می‌توان عرض باند سیستم مورد بررسی در این آزمایش را برای مقادیر ثابت بهره‌های تناسبی و انتگرالی محاسبه نمود.
- ۵- تفاوت کنترل حلقه باز و حلقه بسته را توضیح دهید.
- ۶- در کدام نوع کنترل کننده‌ها کمترین خطأ و بیشترین خطأ مشاهده شد. دلیل آنرا شرح دهید.

## آزمایش هشتم: طراحی کنترل کننده آنالوگ سرعت سرو موتور (زیگلر-نیکولز)

هدف: طراحی کنترل کننده برای حلقه کنترل سرعت به دو روش آزمایشگاهی و تئوری

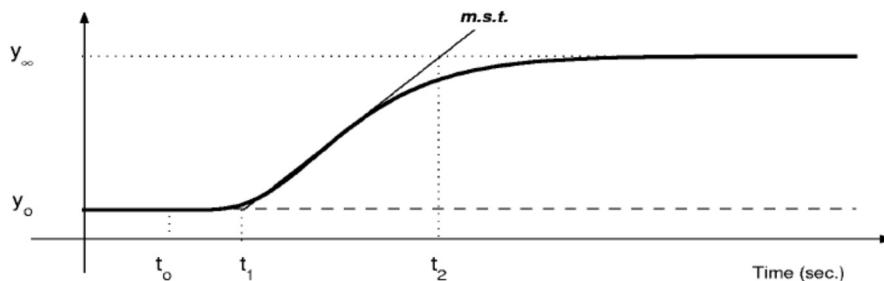
### مقدمه

برای طراحی کنترل کننده سرعت دو رویکرد استفاده از ۱- نتایج آزمایشگاهی و جداول طراحی ضرایب زیگلر-نیکلز و همچنین رویکرد ۲- طراحی کنترل کننده براساس مدل فرآیند و روش های طراحی کلاسیک و تئوری مورد بررسی قرار می‌گیرد. به منظور استفاده از رویکرد کلاسیک و تئوری از مدل دینامیکی به دست آمده در آزمایش مدلسازی استفاده شده است.

فرم استاندارد مورد استفاده در روش های طراحی زیگلر نیکولز برای کنترل کننده به صورت زیر می‌باشد:

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

برای تنظیم ضرایب به روش زیگلر نیکولز حوزه زمان، به سیستم ورودی پله اعمال می‌نمائیم و بر اساس تغییرات پاسخ پله و روابط جدول زیر، طراحی کنترل کننده صورت می‌گیرد.



$$K_o = \frac{y_\infty - y_0}{u_\infty - u_0}; \quad \tau_o = t_1 - t_0; \quad \nu_o = t_2 - t_1$$

	<b>K<sub>P</sub></b>	<b>T<sub>r</sub></b>	<b>T<sub>d</sub></b>
<b>P</b>	$\frac{\nu_o}{K_o \tau_o}$		
<b>PI</b>	$\frac{0.9\nu_o}{K_o \tau_o}$	$3\tau_o$	
<b>PID</b>	$\frac{1.2\nu_o}{K_o \tau_o}$	$2\tau_o$	$0.5\tau_o$

نحوه تنظیم ضرایب کنترلی به روش زیگلر نیکولز حوزه زمان

در روش زیگلر نیکولز حوزه فرکانس، سیستم را به ازای ورودی ثابت با استفاده از کنترل کننده تناوبی به صورت حلقه بسته بیندید. با تغییر ضریب کنترل کننده تناوبی، به ازای کوچکترین مقداری که سیستم نوسانی می‌گردد، ضریب بهره  $K_u$  و دوره تناوب نوسانات  $T_u$  را به دست آورید. جدول زیر مشخص کننده ضرایب کنترل کننده می‌باشد.

تنظیم ضرایب کنترلی در روش زیگلر نیکولز حوزه فرکانس

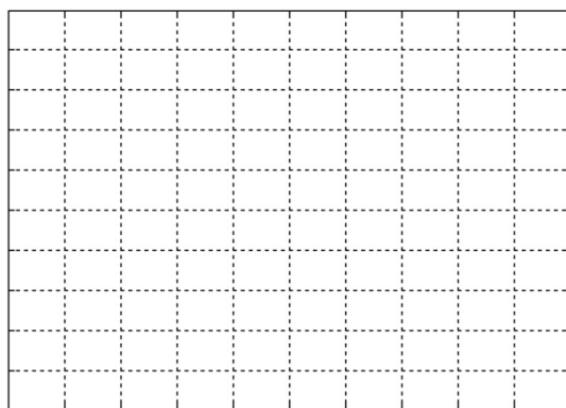
Controller	$K$	$T_i$	$T_d$
P	$0.5K_u$		
PI	$0.4K_u$	$0.8T_u$	
PID	$0.6K_u$	$0.5T_u$	$0.125T_u$

### آزمایش و تحلیل

در این آزمایش قصد داریم ضرایب کنترلی را به روش زیگلر نیکولز در دو حوزه زمان و فرکانس تنظیم نماییم.

### ۱-۲-۱۵ طراحی به کمک روش زیگلر-نیکلز حوزه زمان

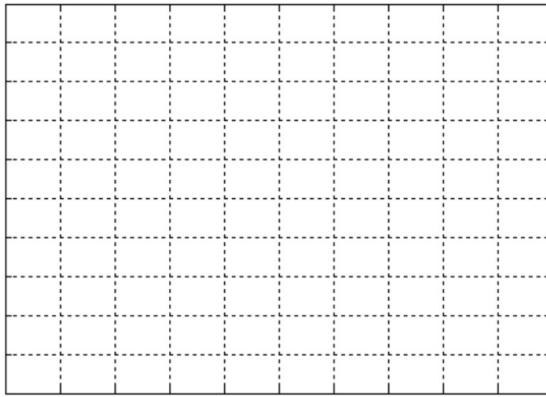
ابتدا روش حوزه زمان را بر سیستم حلقه باز اعمال نمایید و نمودار پاسخ خروجی را در شکل زیر رسم نمایید. ورودی مرجع را مشابه آزمایش قبلی با سیگنال ژنراتور اعمال نمایید. برای هر حالت جدول ضرایب را تنظیم نمایید و با تنظیم ضرایب طراحی شده شکل پاسخ پله را به ازای ورودی ۵ ولت رسم نمایید.



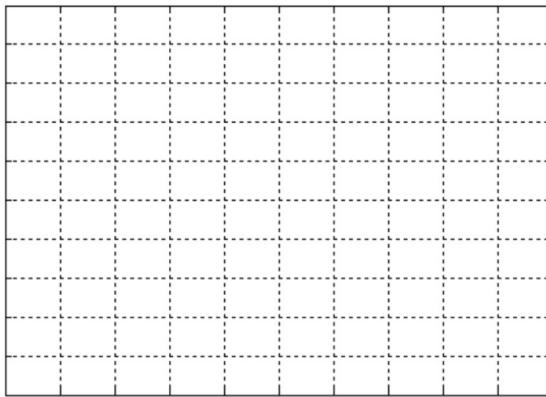
پاسخ فرآیند کنترل سرعت به ازای ورودی پله

تنظیم ضرایب کنترلی در روش زیگلر نیکلز حوزه زمان

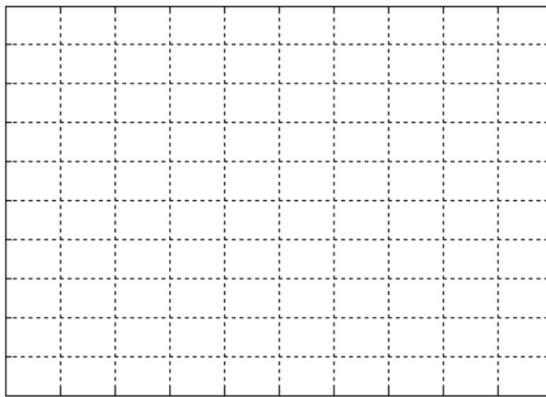
Td	Tr	Kp	
			P
			PI
			PID



پاسخ فرآیند کنترل سرعت به ازای ورودی پله با دامنه ۵ ولت و کنترل کننده تناوبی



پاسخ فرآیند کنترل سرعت به ازای ورودی پله با دامنه ۵ ولت و کنترل کننده تناوبی- انتگرالی



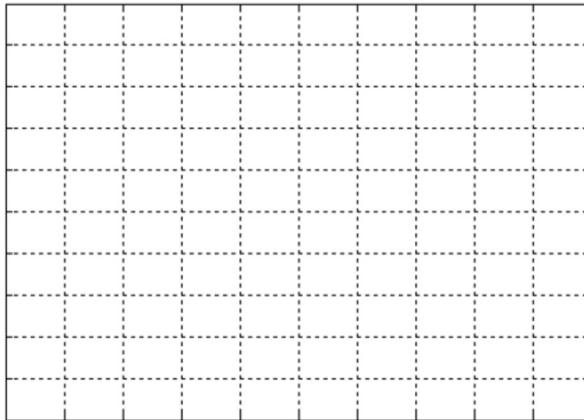
پاسخ فرآیند کنترل سرعت به ازای ورودی پله با دامنه ۵ ولت و کنترل کننده **PID**

با توجه به شکل‌های حاصل از آزمایش، جدول زیر را تکمیل نمائید.

مقایسه کنترلرهای مورد طراحی از دیدگاه ویژگی‌های حالت گذرا

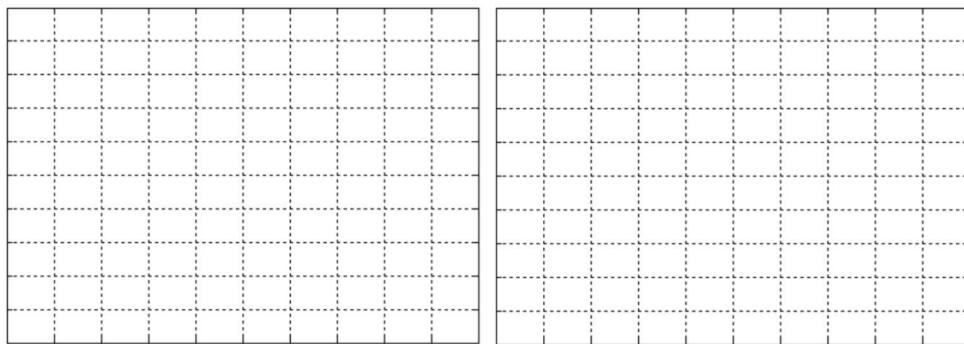
درصد فراجهش	زمان مسعود	خطای حالت دائمی	روش لویزگی
			کنترل کننده تناوبی
			کنترل کننده تناوبی- انتگرالی
			کنترل کننده PID

از آنجایی که روش زیگلر نیکلز تجربی می باشد و در عمل مقادیر تا حدی به صورت میدانی نیز تنظیم می شوند با تنظیم میدانی ضرایب کنترل کننده PID، عملکرد پاسخ را بهبود ببخشید و نمودار پاسخ پله بهبود یافته را رسم نمایید.



پاسخ فرآیند کنترل سرعت به ازای ورودی پله با دامنه ۵ ولت و کنترل کننده PID با ضرایب بهبود یافته

به منظور بررسی عملکرد کنترل کننده حاصل به ازای دو نقطه کار جدید ۵,۳ و ۵,۶ ولت، نمودار پاسخ پله را مشاهده و رسم نمایید. این عملیات را به ازای ضرایب بهبود یافته نهایی صورت دهید و نتایج حاصل از مشاهده را در جدول زیر یادداشت کنید.



ب

الف

نمودار پاسخ پله به ازای (الف) ورودی با دامنه ۵,۳ ولت؛ (ب) ورودی با دامنه ۵,۶ ولت

بررسی عملکرد کنترل کننده مورد طراحی با تغییر نقطه کار

درصد فراجهش	خطای حالت دائمی	زمان صعود	نقطه کار/ویژگی
			۳,۵
			۶,۵

همچنین به منظور بررسی عملکرد کنترل کننده در مقابل اغتشاش با تغییر میزان ترمز در سه حالت ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد ترمز، جدول زیر را تکمیل نمایید

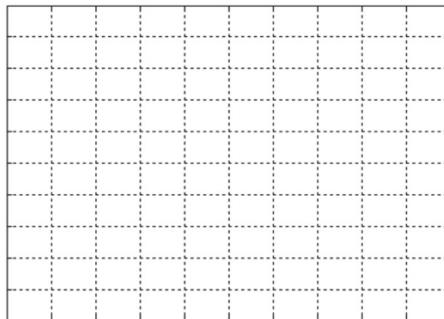
بررسی عملکرد کنترل کننده مورد طراحی با تغییر میزان اغتشاش

درصد فرجهش	زمان صعود	خطای حالت دائمی	میزان اغتشاش/ویژگی
			۱۰ درصد
			۲۰ درصد
			۳۰ درصد

### طراحی به کمک زیگلر نیکولز حوزه فرکانس

در روش طراحی کنترل کننده به روش زیگلر نیکولز حوزه فرکانس، سیستم حلقه بسته با کنترل کننده تناسبی را راه اندازی کنید و ضریب تناسبی را چنان تنظیم نمایید که سیستم در حالت نوسان قرار گیرد. در این شرایط ضرایب حاصل و مراحل کار را مشابه بخش قبلی تکرار نمایید. پا سخ نوسانی فرآیند را به ازای ورودی پله را در شکل زیر رسم کنید و به کمک آن ضرایب کنترل کننده را بدست اورید و در جدول زیر باداشت کنید.

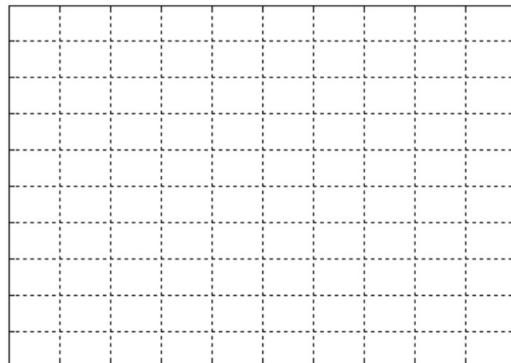
با پیاده سازی کنترلرهای P، PI و PID با ضرایب طراحی شده و سیگنال ورودی با دامنه ۵ ولت؛ شکل پاسخ فرآیند را مشاهده و رسم نمایید.



پاسخ فرآیند کنترل سرعت به ازای ورودی پله

تنظیم ضرایب کنترلی در روش زیگلر نیکولز حوزه فرکانس

Td	Tr	Kp	
			P
			PI
			PID



پاسخ پله فرآیند با پیاده سازی کنترل کننده P به روش زیگلر نیکولز حوزه فرکانس

پاسخ پله فرآیند با پیاده‌سازی کنترل کننده PI به روش زیگلر نیکولز حوزه فرکانس

پاسخ پله فرآیند با پیاده‌سازی کنترل کننده PID به روش زیگلر نیکولز حوزه فرکانس

با توجه به شکل‌های حاصل از آزمایش، جدول زیر را تکمیل نمائید.

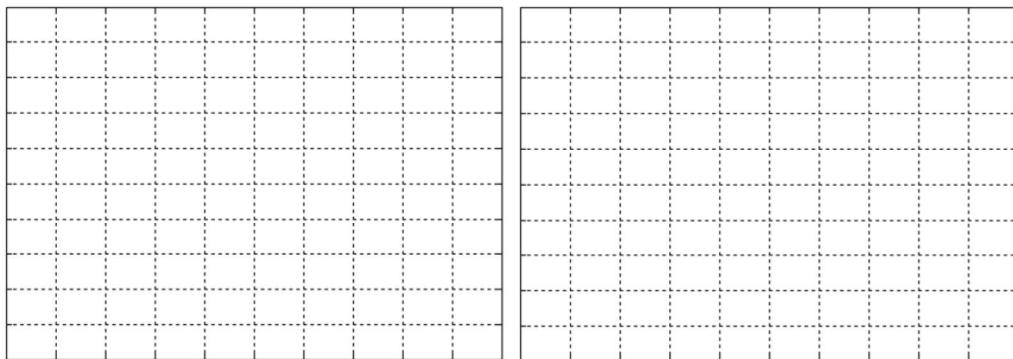
بررسی ویژگی‌های حالت گذرا در کنترل کننده‌های PI.P و PID طراحی شده

روش/ویژگی	خطای حالت دائمی	زمان صعود	درصد فراجهش
کنترل کننده تنسابی			
کنترل کننده تنسابی- انتگرالی			
کنترل کننده PID			

از آنجایی که روش زیگلر نیکلز تجربی می باشد و در عمل مقادیر تا حدی به صورت میدانی نیز تنظیم می شوند با تنظیم میدانی ضرایب کنترل PID، عملکرد پاسخ را بهبود بخشدید و نمودار پاسخ یله بهبود یافته دا، رسه نمائید.

پاسخ پله بهبود یافته در کنترل کننده PID طراحی شده به روش نیکولز حوزه فرکانس

به منظور بررسی عملکرد کنترل کننده حاصل به ازای دو نقطه کار جدید ۵،۷ و ۵،۴ ولت، نمودار پاسخ پله را مشاهده و رسم نمائید. این عملیات را به ازای ضرایب بهبود یافته نهایی صورت دهید و نتایج حاصل از مشاهده را در جدول زیر یادداشت کنید.



ب

الف

نمودار پاسخ پله به ازای (الف) ورودی با دامنه ۵،۴ ولت؛ (ب) ورودی با دامنه ۵،۷ ولت

بررسی عملکرد کنترل کننده مورد طراحی با تغییر نقطه کار

درصد فراجهش	زمان صعود	خطای حالت دائمی	نقطه کار/ویژگی
			۴،۵
			۷،۵

همچنین به منظور بررسی عملکرد کنترل کننده در مقابل اغتشاش با تغییر میزان ترمز در سه حالت ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد ترمز، جدول زیر را تکمیل نمائید

بررسی عملکرد کنترل کننده مورد طراحی با تغییر میزان اغتشاش

درصد فراجهش	زمان صعود	خطای حالت دائمی	میزان اغتشاش/ویژگی
			۱۰ درصد
			۲۰ درصد
			۳۰ درصد

## آزمایش نهم: طراحی کنترل کننده آنالوگ موقعیت سرورو موتور

هدف: طراحی کنترل کننده مناسب برای کنترل موقعیت موتور، بررسی اثر تغییر نقطه کار و ضرایب کنترل کننده بر پاسخ سیستم

### مقدمه

یکی از مثال های معروف کنترلی، کنترل موقعیت موتور DC می باشد. از کاربردهای مهم آن می توان در صنایع رباتیک، ماشین سازی و... اشاره نمود. در این آزمایش هدف بررسی کنترل موقعیت موتور DC با کنترل کننده آنالوگ است. در درس های تئوری کنترل، با روش طراحی کنترل کننده PID، که در اینجا آن را به شکل کلی  $K_p + K_D s + \frac{K_I}{s}$  نمایش می دهیم، آشنا شده اید.

بسته به اینکه فرایند تحت کنترل از چه نوع و با چه ویژگی هایی باشد، استفاده از اشکال مختلف این کنترل کننده یعنی P، PD و PID مناسب خواهد بود. کنترل آنالوگ به دلیل سادگی در ساخت و تحلیل در صنعت بسیار مورد استفاده قرار می گیرد.

برای همه آزمایش های کنترل موقعیت مراحل زیر می بایست جهت تنظیم دستگاه رعایت گردد:

۱- در شروع فرآیند کنترل موقعیت ابتدا با دست دیسک گردان uncertainty را بر روی موقعیت صفر درجه قرار دهید و سپس سیستم را روش نمائید. سرورو موتور را در حالت کنترل آنالوگ قرار دهید و نوع کنترل، کنترل موقعیت انتخاب شود.

۲- جهت فیدیک گرفتن از موقعیت، سیم رابط مربوطه را به محل Speed/Position Feedback متصل نمائید. در این آزمایش تغییرات نقطه کار و اغتشاش بر عملکرد کنترل کننده تحقیق شده است که مساله مهمی است.

### آزمایش و تحلیل

مدار این آزمایش مشابه آزمایش قبل است با این اختلاف که بایستی حالت سرورو موتور بر روی کنترل موقعیت تنظیم شود. در ادامه ضرایب کنترلی چهار نوع کنترل کننده تناسبی، انگرالی تناسبی، تناوبی مشتقی و کنترل کننده PID به روش سعی و خطای طراحی می شوند و پس از آن عملکرد کنترلر مورد طراحی در شرایط تغییر نقطه کار و یا ایجاد اغتشاش مورد ارزیابی قرار می گیرند و ویژگی های پاسخ گذرای فرآیند بررسی خواهد شد.

### کنترل کننده تناسبی

مقدار مرجع سیگنال آنالوگ ورودی کنترل کننده را ۵ ولت تنظیم کیند. این کار را با استفاده از مازول Source انجام دهید. حال آنقدر ضرایب کنترل کننده تناسبی را تغییر دهید تا مقدار خطای مشاهده شده به کمترین مقدار خود برسد. جدول زیر را برای چند ضریب کنترل کننده تناسبی تکمیل نمایید.

نتایج حاصل از اعمال ورودی پله با دامنه ۵ ولت و تنظیم ضرایب کنترل کننده تناسبی

ضریب کنترل کننده تناسبی	مقدار خطای	مقدار زاویه	ولتاژ اندازه گیری شده در خروجی موقعیت

حال بدون تغییر ضرایب کنترل کننده تناسبی، طبق جدول زیر برای مقادیر مختلف نقطه کار جدول را تکمیل نمایید (تذکر داده می شود که در این بخش باید مقادیر کنترل کننده انگرالی و مشتقی صفر باشد).

نتایج بررسی عملکرد کنترل کننده تناسبی با تغییر نقطه کار

-۱۰	-۸	-۶	-۴	-۲	+۲	+۴	+۶	+۸	+۱۰	مقدار نقطعه کار
										مقدار خطأ
										مقدار زاویه
										ولتاژ اندازه‌گیری شده در خروجی موقعيت

حال برای بررسی کنترل کننده تناسی مورد نظر در شرایط بروز اغتشاش در فرآیند کنترلی، مقدار ترمز مکانیکی را به ۴۰ درصد مقدار نهایی خود رسانده و جدول زیر را تکمیل نمایید.

نتایج بررسی عملکرد کنترل کننده تناسی در صورت ایجاد اغتشاش

-۱۰	-۸	-۶	-۴	-۲	+۲	+۴	+۶	+۸	+۱۰	مقدار نقطعه کار
										مقدار خطأ
										مقدار زاویه
										ولتاژ اندازه‌گیری شده در خروجی موقعيت

از این پس در همه آزمایش‌های مربوط به تحلیل حالت گذرا به جای اعمال ورودی ثابت از ورودی متغیر و اعمالی توسط سیگنال ژنراتور استفاده می‌گردد. فرکانس این سیگنال برای مشاهده پاسخ زمانی در حدود ۱۰ هرتز می‌باشد.

در ادامه علاوه بر خطای حالت دائمی به بررسی سرعت پاسخ و فرجهش پاسخ گذراي سیستم پرداخته شده است. از این رو جهت مشاهده حالت گذرا به جای اعمال ورودی ثابت به محل اعمال نقطه کار، یک ورودی پالسی به کمک سیگنال ژنراتور با دامنه متغیر بین ۰ و ۴ ولت و فرکانس ۱۰ هرتز اعمال نمائید و اغتشاش را از سیستم حذف کنید. البته راه تئوری محاسبه این مقدار، استفاده از نتایج مدل دینامیکی استخراج شده در آزمایش‌های قبلی است. با توجه به شکل اسیلوسکوپ تغییرات خروجی سنسور سرعت، جدول زیر را کامل نمائید.

بررسی حالت گذراي پاسخ سیستم به ازای ضرایب کنترل کننده تناسی متفاوت

ضرایب کنترل کننده تناسی	زعان صعود و لتاژ خروجی (msec)	میزان فرجهش و لتاژ خروجی (V)	درصد فرجهش و لتاژ خروجی
۲۰	۱۵	۱۰	۵
۱	۰.۲		
			موقعیت

## کنترل کننده تناسی انتگرالی

با استفاده از مازول Source، مقدار مرجع سیگنال ورودی کنترل کننده را ۵ ولت تنظیم نمایید. حال آنقدر ضرایب کنترل کننده تناسی انتگرالی را تغییر دهید تا مقدار خطای مشاهده شده به کمترین مقدار خود برسد. مقدار کمترین خطای بدست آمده را یادداشت نمایید.

حال بدون تغییر ضرایب کنترل کننده تنا سبی-انتگرالی، طبق جدول زیر برای مقادیر دیگری از نقطه کار، خروجی و خطای مشاهده و یادداشت نمایید. (تذکر داده می‌شود که در این بخش باید مقادیر کنترل کننده مشتقی صفر باشد). حال جدول زیر را براساس مشاهدات پر کنید.

نتایج بررسی عملکرد کنترل کننده تناسی انتگرالی به ازای نقاط کار متفاوت

-۱۰	-۸	-۶	-۴	-۲	+۲	+۴	+۶	+۸	+۱۰	مقادیر نقطه کار
										مقدار خطأ
										مقدار زاویه
										ولتاژ اندازه‌گیری شده در خروجی موقعیت

مشابه قبل به ازای نقطه کار ثابت ۵ ولت تغییرات جدول زیر را تکمیل نمایید. ابتدا ضریب کنترل کننده انتگرالی را ۱ در نظر بگیرید و جدول را تکمیل نمایید.

۰,۱	۱	۲	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	ضریب کنترل کننده انتگرالی
									خطای حالت دائمی
									زمان صعود ولتاژ خروجی (msec)
									میزان فراجهش ولتاژ خروجی موقعیت (V)
									درصد فراجهش ولتاژ خروجی موقعیت

در ادامه اثر ایجاد اغتشاش را بر روی کنترل کننده تنا سی انتگرالی طراحی شده به روش سعی و خطأ، مورد بررسی قرار خواهد گرفت. بدین منظور با اعمال اغتشاش ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد، مقدار خطای حالت دائم سیستم را در جدول زیر یادداشت نمایید.

بررسی عملکرد کنترل کننده مورد طراحی با تغییر میزان اغتشاش

خطای حالت دائمی	میزان اغتشاش اویزگی
	۱۰ درصد
	۲۰ درصد
	۳۰ درصد

## کنترل کننده تنااسبی مشتقی

نقطه کار ۵ ولت را برای کنترل کننده تنظیم می‌کنیم. حال آنقدر ضرایب کنترل کننده تنا سی-مشتقی را تغییر دهید تا مقدار خطای مشاهده شده به کمترین مقدار خود برسد. مقدار کمترین خطای بدست آمده را یادداشت نمایید.

حال بدون تغییر ضرایب کنترل کننده تنااسبی-مشتقی، طبق جدول زیر با تغییر نقطه کار، خروجی و خطأ را مشاهده و یادداشت نمایید (تذکر داده می‌شود که در این بخش باید مقادیر کنترل کننده انتگرالی صفر باشد). حال جدول زیر را براساس مشاهدات پر کنید.

نتایج بررسی عملکرد کنترل کننده تنااسبی مشتقی به ازای نقاط کار متفاوت

-۱۰	-۸	-۶	-۴	-۲	+۲	+۴	+۶	+۸	+۱۰	مقادیر نقطه کار
										مقدار خطأ
										مقدار زاویه
										ولتاژ اندازه‌گیری شده در خروجی موقعیت

## کنترل کننده تناسبی، مشتقی، انتگرالی PID

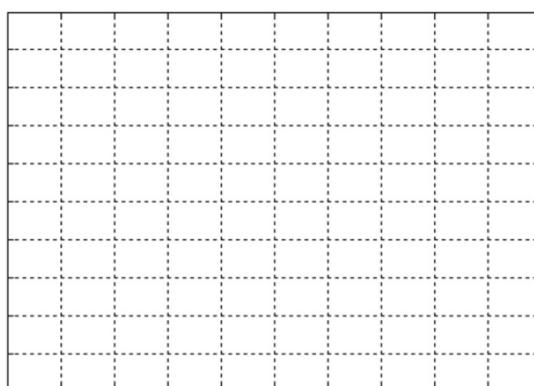
مشابه حالت قبل نقطه کار سیستم مورد مطالعه را  $5,4$  ولت قرار دهید سپس آنقدر ضرایب کنترل کننده تناسبی-انتگرالی-مشتقی را تغییر دهید تا مقدار خطای مشاهده شده به کمترین مقدار خود برسد. مقدار کمترین خطای بدست آمده را یادداشت نمایید.

حال بدون تغییر ضرایب کنترل کننده، طبق جدول زیر با تغییر نقطه کار سیستم عملکرد کنترل کننده مورد نظر را از دیدگاه خطای حالت دائمی و ولتاژ خروجی سنسور سرعت مشاهده و یادداشت نمایید.

نتایج بررسی عملکرد کنترل کننده تناسبی مشتقی به ازای نقاط کار متفاوت

-۱۰	-۸	-۶	-۴	-۲	+۲	+۴	+۶	+۸	+۱۰	مقادیر نقطه کار
										مقدار خطأ
										مقدار زاویه
										ولتاژ اندازه‌گیری شده در خروجی موقعیت
										در خروجی موقعیت

بدون تغییر ضرایب کنترلی، به کمک سیگنال ژنراتور یک پالس با دامنه  $0$  تا  $4$  ولت و فرکانس  $1,00$  هرتز به ورودی کنترلر اعمال نمایید و حالت گذرای پاسخ سیستم را با مشخص نمودن زمان صعود و درصد فراجهش در شکل زیر رسم نمایید.



حالت گذرای پاسخ سیستم در شرایط به کار گیری کنترلر PID

## طراحی کنترل کننده به کمک روش زیگلر نیکلز حوزه فرکانس

در روش طراحی کنترل کننده به روش زیگلر نیکلز حوزه فرکانس، سیستم حلقه بسته با کنترل کننده تناسبی را راه اندازی کنید و ضریب تناسبی را چنان تنظیم نمایید که سیستم در حالت نوسان قرار گیرد. پاسخ نوسانی فرآیند را به ازای ورودی پله با دامنه  $5$  ولت رسم کنید و به کمک روش زیگلر نیکلز حوزه فرکانس ضرایب کنترل کننده را بدست اورید و در جدول یادداشت کنید.

با پیاده سازی کنترلرهای P، PI و PID با ضرایب طراحی شده و سیگنال ورودی با دامنه  $5$  ولت؛ شکل پاسخ فرآیند را مشاهده و رسم نمایید.


پاسخ فرآیند کنترل سرعت به ازای ورودی پله

تنظیم ضرایب کنترلی در روش زیگلر نیکولز حوزه فرکانس

Td	Tr	Kp	P
			PI
			PID


پاسخ پله فرآیند با پیاده‌سازی کنترل کننده P به روش زیگلر نیکولز حوزه فرکانس


پاسخ پله فرآیند با پیاده‌سازی کنترل کننده PI به روش زیگلر نیکولز حوزه فرکانس


پاسخ پله فرآیند با پیاده‌سازی کنترل کننده **PID** به روش زیگلر نیکولز حوزه فرکانس

با توجه به شکل‌های حاصل از آزمایش، جدول زیر را تکمیل نمایید.

بررسی ویژگی‌های حالت گذرا در کنترل کننده‌های **P.I.P** و **PID** طراحی شده

درصد فراغهش	زمان صعود	خطای حالت دائمی	روش/ویژگی
			کنترل کننده تنااسبی
			کنترل کننده تنااسبی- انتگرالی
			کنترل کننده <b>PID</b>

از آنجایی که روش زیگلر نیکلز تجربی می‌باشد و در عمل مقادیر تا حدی به صورت میدانی نیز تنظیم می‌شوند با تنظیم میدانی ضرایب کنترل کننده PID، عملکرد پاسخ را بهبود ببخشید و نمودار پاسخ پله بهبود یافته را رسم نمایید.


پاسخ پله بهبود یافته در کنترل کننده **PID** طراحی شده به روش نیکولز حوزه فرکانس

به منظور بررسی عملکرد کنترل کننده حاصل به ازای دو نقطه کار جدید ۵,۷ و ۴,۵ ولت، نمودار پاسخ پله را مشاهده و رسم نمایید. این عملیات را به ازای ضرایب بهبود یافته نهایی صورت دهید و نتایج حاصل از مشاهده را در جدول زیر یادداشت کنید.


ب

نمودار پاسخ پله به ازای الف) ورودی با دامنه ۵,۴ ولت؛ ب) ورودی با دامنه ۵,۷ ولت

الف

بررسی عملکرد کنترل کننده مورد طراحی با تغییر نقطه کار

درصد فراجهش	زمان صعود	خطای حالت دائمی	نقطه کارلویزگی
			۴,۵
			۷,۵

همچنین به منظور بررسی عملکرد کنترل کننده در مقابل اغتشاش با تغییر میزان ترمز در سه حالت ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد ترمز، جدول زیر را تکمیل نمایید

بررسی عملکرد کنترل کننده مورد طراحی با تغییر میزان اغتشاش

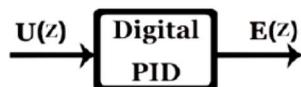
درصد فراجهش	زمان صعود	خطای حالت دائمی	میزان اغتشاش/لویزگی
			۱۰ درصد
			۲۰ درصد
			۳۰ درصد

## آزمایش دهم: کنترل دیجیتال حلقه بسته سرعت موتور DC

هدف آزمایش: آشنایی با کنترل حلقه بسته سرعت موتور DC با استفاده از کنترل کننده دیجیتال

### مقدمه

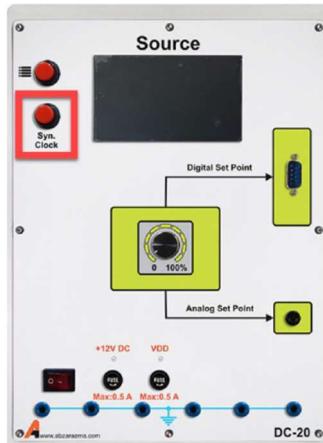
در این بخش هدف بررسی کنترل سرعت موتور DC با کنترل کننده دیجیتال است. در درس‌های تئوری کنترل، با روش طراحی کنترل کننده PID، که در اینجا آن را به شکل زیر نمایش می‌دهیم، آشنا شده‌اید. بسته به اینکه فرایند تحت کنترل از چه نوع و با چه ویژگیهایی باشد، استفاده از اشکال مختلف این کنترل کننده یعنی P، PD و یا PID مناسب خواهد بود.



$$U(z) = (K_p + \frac{1}{T_i} \frac{T}{1-z} + T_D \frac{1-z^{-1}}{T}) E(z)$$

کنترل کننده PID دیجیتال

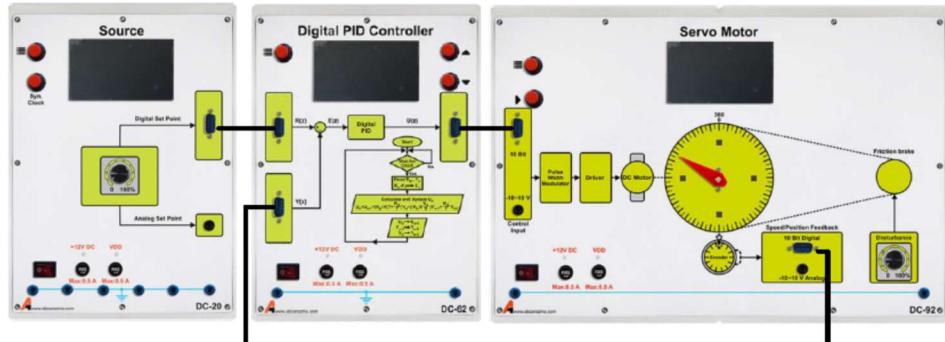
از آنجایی که همه پیشامدها در کنترل دیجیتال با یک کلاک مشخص سنکرون هستند لذا لازم است در آزمایشات مربوط به کنترل دیجیتال، کلاک سنکرون ساز از مژوول Source به سایر مژوول‌ها متصل باشد. این کلاک از طریق یک کابل فلت ۱۴ رشته با سوکت IDC ۷\*۲ در پشت مژوول‌ها متصل شده است. این کار به منظور هماهنگ سازی بلوک‌های دیجیتال مربوطه و مشخص نمودن زمان نمونه برداری T ضرورت دارد. فرکانس کلاک سنکرون ساز به کمک کلید مشخص شده در مژوول Source، مطابق شکل زیر قابل تنظیم است.



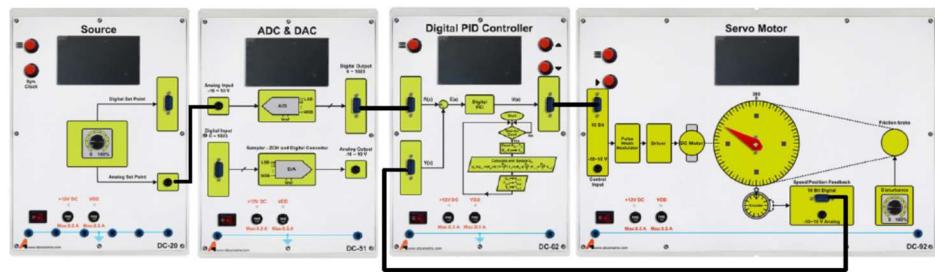
کلید مربوط به تغییر فرکانس کلاک سنکرون ساز

### آزمایش و تحلیل

بررسی فرآیند کنترل سرعت و موقعیت سرво موتور به کمک کنترلر دیجیتال به دو صورت مستقیم و غیر مستقیم می‌تواند انجام پذیرد.



اتصال مازول‌های مورد نیاز جهت انجام فرآیند کنترل دیجیتال به‌طور مستقیم



اتصال مازول‌های مورد نیاز جهت انجام فرآیند کنترل دیجیتال به طور غیر مستقیم

### کنترل کننده تناسبی (P)

جهت استفاده از مازول کنترل PID دیجیتال در فرآیند کنترل سرعت مطابق شکل اول مازول‌های مورد نیاز را به یکدیگر متصل کنید. تنظیمات مازول سروو موتور را بر روی حالت دیجیتال و کنترل سرعت قرار تنظیم کنید.

مقدار مرجع سرعت را ۵ ولت تنظیم نمایید و طبق جدول زیر تنها ضریب تناسبی را تنظیم کنید و ضریب مشتقی و انگرالی صفر باشند. جدول زیر را بر اساس مشاهدات کامل کنید. مقدار سیگنال خطای از روی نمایشگر مازول کنترلر دیجیتال بدست آورید.

بررسی فرآیند کنترل دیجیتال سرعت سروو موتور با بکارگیری کنترلر تناسبی

۱۰۰	۵۰	۱۰	۵	۱	۰.۵	۰.۱	ضریب تناسبی
							مقدار حقیقی PV
							مقدار خطای
							مقدار خروجی فیدبک

### کنترل کننده تناسبی-انگرالی (PI)

مراحل بند قبلی را برای کنترل کننده PI تکرار نمایید. با تنظیم  $P=10$  و  $I=1$  جدول زیر را براساس مشاهدات پر کنید.

بررسی فرآیند کنترل دیجیتال سرعت سروو موتور با بکارگیری کنترلر تناسبی-انگرالی

-۷۰	-۵۰	-۳۰	۱۱۰	۷۰	۳۰	۱۰	مقدار سرعت مبنا
							مقدار حقيقی PV فرآیند یا
							مقدار خطأ
							مقدار خروجی فیدبک

### کنترل کننده تناسبی مشتقی (PD)

با تنظیم  $P=10$  و  $D=2$  جدول زیر را براساس مشاهدات پر کنید.

بررسی فرآیند کنترل دیجیتال سرعت سروو موتور با بکارگیری کنترلر تناسبی-مشتقی

-۱۵۰	-۵۰	-۳۰	۲۵۰	۱۵۰	۳۰	۱۰	مقدار سرعت مبنا
							مقدار حقيقی PV فرآیند یا
							مقدار خطأ
							مقدار خروجی فیدبک

### کنترل کننده تناسبی، مشتقی ، انتگرالی PID

با تنظیم  $P=10$  و  $I=1$  و  $D=2$ ، جدول زیر را براساس مشاهدات پر کنید.

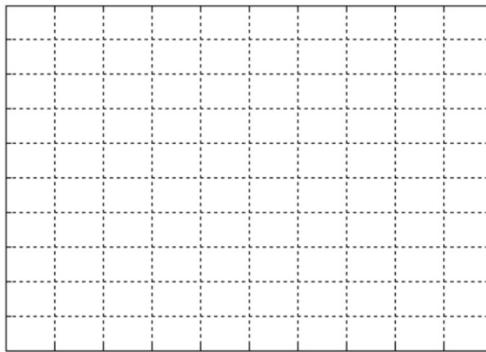
-۱۵۰	-۵۰	-۳۰	۲۵۰	۱۵۰	۳۰	۱۰	مقدار سرعت مبنا
							مقدار حقيقی PV فرآیند یا
							مقدار خطأ
							مقدار خروجی فیدبک

### مقایسه نتایج

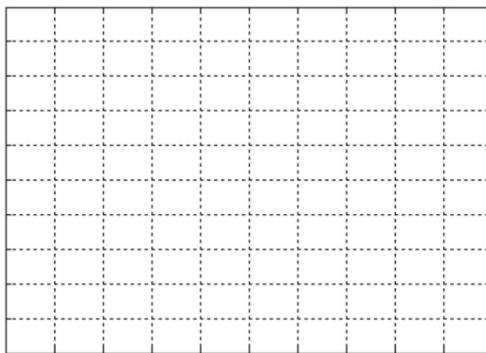
رونده دست آوردن پاسخ زمانی مشابه آزمایش های قبلی می باشد. به این منظور مطابق شکل دوم (غیرمستقیم)، سیگنال ژنراتور را با تنظیم مناسب به ورودی ADC متصل نمائید و خروجی مازول ADC، به عنوان سیگنال مرجع برای مازول کنترلر دیجیتال قرار می گیرد.

به منظور بررسی عملکرد کنترل کننده حاصل به ازای دو نقطه کار جدید ۱۰۰ و ۲۰۰ دور بر دقیقه نمودار پاسخ پله را مشاهده و رسم نمائید و نتایج را در جدول وارد نمائید. ضرایب کنترل کننده را  $P=10$  و  $I=1$  و  $D=2$  تنظیم نمائید.

در این شرایط برای تغییر نقطه کار می باشد دامنه سیگنال ژنراتور در مقدار مناسب تنظیم گردد. بدین منظور از مقیاس بندی مازول Source کمک می گیریم. (مقیاس بندی مازول Source به این صورت است که ولتاژ ۱۰-۰ ولت به سرعت بین ۳۵۰-۰ دور بر دقیقه ساعتگرد و ولتاژ صفر تا ۱۰ ولت به سرعت بین صفر تا ۳۵۰ دور پاد ساعتگرد نگاشت می شود)



پاسخ پله به ازای نقطه کار **RPM ۱۰۰** در شرایط بکارگیری کنترلر **PID**



پاسخ پله به ازای نقطه کار **RPM ۲۰۰** در شرایط بکارگیری کنترلر **PID**

بررسی عملکرد کنترل کننده مورد طراحی با تغییر نقطه کار

درصد فراجهش	زمان صعود	خطای حالت دائمی	نقطه کار لویزگی
			۱۰۰RPM
			۲۰۰RPM

## آزمایش یازدهم: کنترل موقعیت دیجیتال حلقه بسته موتور DC

هدف آزمایش: آشنایی با کنترل حلقه بسته موقعیت موتور DC با استفاده از کننده‌های دیجیتال تناسبی و تناسبی-انتگرالی

### مقدمه

در این آزمایش کنترل حلقه بسته سیستم کنترل موقعیت سرو موتور با کنترلر دیجیتال مورد بررسی قرار می‌گیرد.

### آزمایش و تحلیل

نحوه انجام این آزمایش مشابه قبل است با این تفاوت که حالت سرو موتور بر روی کنترل موقعیت قرار دهد.

#### کنترل کننده تناسبی (P)

مطابق شکل آزمایش قبل مدار آزمایش را سیم‌بندی کنید. مقدار مرجع موقعیت را ۵ ولت تنظیم نمائید و طبق جدول زیر تنها ضریب تناسبی را تنظیم کنید و ضریب مشتقی و انتگرالی صفر باشند. جدول زیر را بر اساس مشاهدات کامل کنید. مقدار سیگنال خطای را از روی نمایشگر ماژول کنترلر دیجیتال بدست آورید. مقیاس‌بندی ماژول Source بدین صورت است که ولتاژ بین  $-10$  تا  $+10$  ولت به موقعیت بین  $0$  تا  $360$  درجه نگاشت می‌شود بنابراین موقعیت مطلوب به ازای سیگنال  $5$  ولت درجه است.

بررسی فرآیند کنترل دیجیتال موقعیت سرو موتور با بکارگیری کنترلر تناسبی

ضریب تناسبی	۱۰۰	۵۰	۱۰	۵	۱	۰.۵	۰.۱
مقدار حقيقی فرآیند یا PV							
مقدار خطای							
مقدار خروجی فیدبک							

#### کنترل کننده تناسبی انتگرالی (PI)

مراحل بند قبلی را برای کنترل کننده PI تکرار نمائید. با تنظیم  $P=10$  و  $I=1$  جدول زیر را براساس مشاهدات پر کنید.

بررسی فرآیند کنترل دیجیتال موقعیت سرو موتور با بکارگیری کنترلر تناسبی-انتگرالی

موقعیت مرجع	۳۶۰	۳۰۰	۲۰۰	۱۰۰	۷۵	۵۰	۲۵
مقدار حقيقی فرآیند یا PV							
مقدار خطای							
مقدار خروجی فیدبک							

## کنترل کننده تناسبی مشتقی (PD)

با تنظیم  $P=10$  و  $D=2$  جدول زیر را براساس مشاهدات پر کنید.

بررسی فرآیند کنترل دیجیتال موقعیت سروو موتور با بکارگیری کنترلر تناسبی-مشتقی

موقعیت مرجع	۳۳۰	۳۰۰	۲۰۰	۱۰۰	۷۵	۵۰	۲۵
مقدار حقيقی PV							
مقدار خطأ							
مقدار خروجی فیدبک							

## کنترل کننده تناسبی، مشتقی ، انتگرالی PID

با تنظیم  $P=10$  و  $I=1$  و  $D=2$ ، جدول زیر را براساس مشاهدات پر کنید.

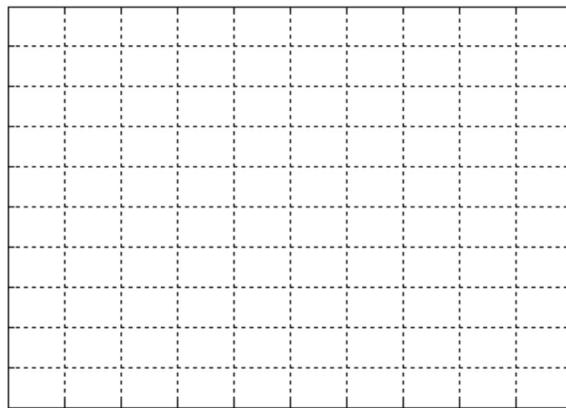
بررسی فرآیند کنترل دیجیتال سرعت سروو موتور با بکارگیری کنترلر PID

موقعیت مرجع	۳۳۰	۳۰۰	۲۰۰	۱۰۰	۷۵	۵۰	۲۵
مقدار حقيقی PV							
مقدار خطأ							
مقدار خروجی فیدبک							

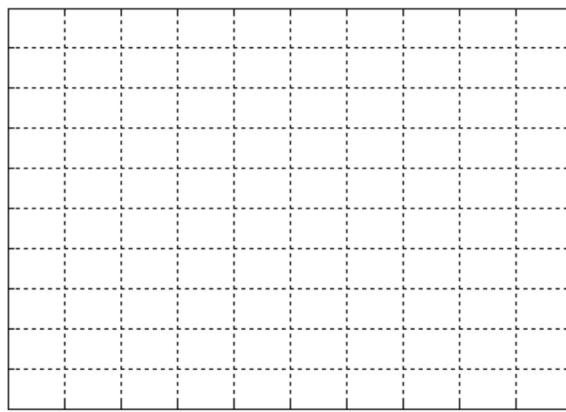
## مقایسه نتایج

رونده به دست آوردن پاسخ زمانی مشابه آزمایش های قبلی می باشد. به این منظور، سیگنال ژنراتور را با تنظیم مناسب به ورودی ADC متصل نمائید و خروجی ماژول ADC، به عنوان سیگنال مرجع برای ماژول کنترلر دیجیتال قرار می گیرد. به منظور تنظیم مناسب سیگنال ژنراتور از مقیاس بندی ماژول Source استفاده نمایید. همانطور که پیش از این بیان شد، ماژول Source ولتاژ بین  $-10$  تا  $+10$  ولت به موقعیت بین  $0$  تا  $360$  درجه نگاشت می کند بنابراین موقعیت مطلوب به ازای سیگنال صفر ولت  $180$  درجه است.

به منظور بررسی عملکرد کنترل کننده حاصل به ازای دو نقطه کار جدید  $150$  و  $250$  درجه نمودار پاسخ پله را مشاهده و رسم نمائید و نتایج را در جدول وارد نمایید. ضرایب کنترل کننده را  $P=10$  و  $I=1$  و  $D=2$  تنظیم نمایید.



پاسخ پله به ازای نقطه کار **DEG ۱۵۰** در شرایط بکارگیری کنترلر **PID**



پاسخ پله به ازای نقطه کار **DEG ۲۵۰** در شرایط بکارگیری کنترلر **PID**

بررسی عملکرد کنترل کننده مورد طراحی با تغییر نقطه کار

نقطه کار/ویزگی	خطای حالت دانی	زمان صعود	درصد فراجهش
۱۵۰-DEG			
۲۵۰-DEG			

## آزمایش دوازدهم: طراحی کنترل کننده دیجیتال سرعت و موقعیت موتور DC

هدف: طراحی کنترل کننده دیجیتال مستقیم و غیر مستقیم برای حلقه کنترل سرعت و موقعیت

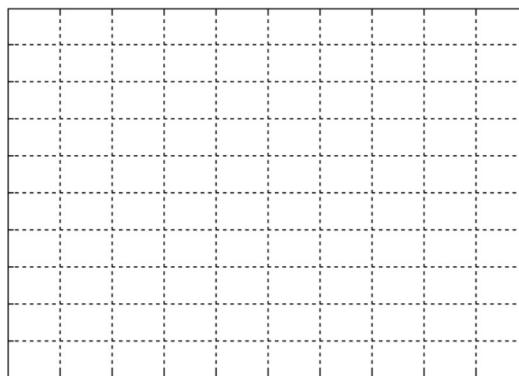
### مقدمه

در این بخش به طراحی کنترل کننده دیجیتال سرعت و موقعیت سرموتور جریان مستقیم می‌پردازیم. در ادامه انواع کنترل کننده‌های دیجیتال تناسبی، تناسبی-مشتقی، تناسبی-انتگرالی و تناسبی-انتگرالی-مشتقی بر روی سیستم بررسی خواهند شد.

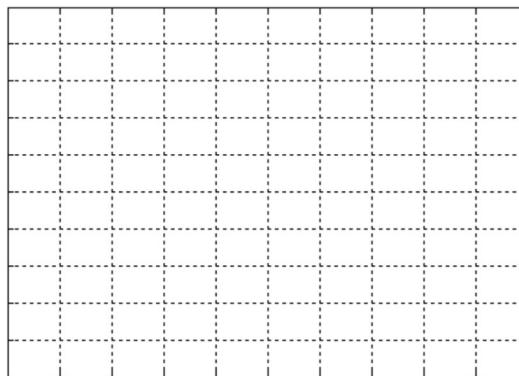
### آزمایش و تحلیل

#### طراحی کنترل کننده دیجیتال سرعت به روش غیر مستقیم

در این بخش کنترل کننده به روش غیر مستقیم طراحی و به سیستم دیجیتال اعمال می‌گردد. جهت این امر کنترل کننده آنالوگ سرعت طراحی شده در آزمایش‌های چهارم و یا پنجم با استفاده از تکنیک گسسته سازی دو جمله‌ای به معادل دیجیتال آن تبدیل و سپس نتیجه در بلوک کنترل کننده دیجیتال PID تنظیم می‌گردد. شکل موج پاسخ پله را برای سه نقطه کار ۳۰، ۱۰۰ و ۱۷۰ دور بر دقیقه به دست آورده و رسم نمائید. از روی شکل مشخصات پاسخ را در جدول ثبت نمائید.



پاسخ پله به ازای نقطه کار **30 RPM** با طراحی کنترل کننده دیجیتال به روش گسسته سازی



پاسخ پله به ازای نقطه کار **100 RPM** با طراحی کنترل کننده دیجیتال به روش گسسته سازی

پاسخ پله به ازای نقطه کار **RPM ۱۷۰** با طراحی کنترل کننده دیجیتال به روش گسسته سازی

پرسی عملکرد کنترل کننده مورد طراحی با تغییر نقطه کار

نقطه کار اولیزگی	خطای حالت دانمی	زمان صعود	درصد فراجهش
۳۰-RPM			
۱۰-RPM			
۱۷-RPM			

همچنین به منظور عملکرد کنترل کننده در مقابل اغتشاش با تغییر میزان ترمز در سه شرایط ۱۰، ۲۰ و ۵۰ درصد ترمز جدول را تکمیل نمائید. (این عملیات را به ازای ضرایب طراحی و نقطه کار ۱۰۰ RPM ۱۰۰ صورت دهید).

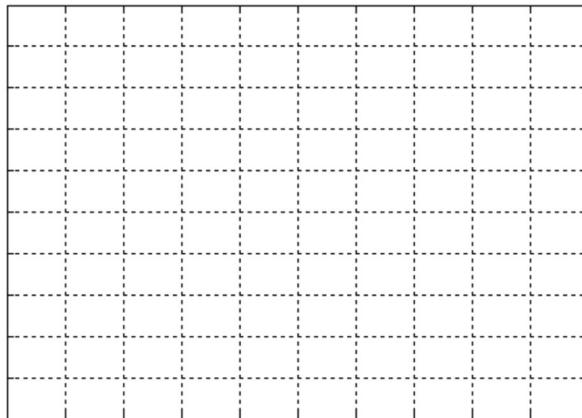
بررسی عملکرد کنترل کننده مورد طراحی با تغییر میزان اغتشاش

میزان اغتشاش لوبیزگی	خطای حالت دائمی	زمان صعود	درصد فراجهش
۱۰ درصد			
۲۰ درصد			
۵۰ درصد			

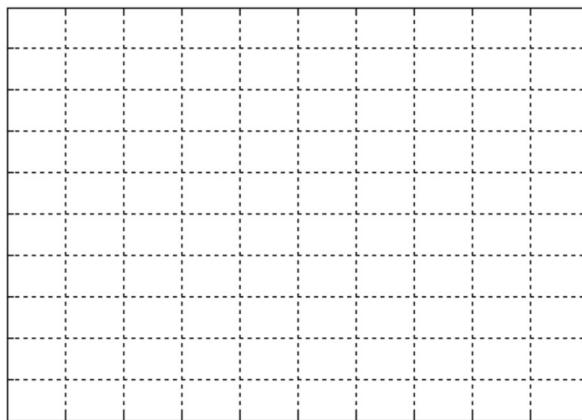
طراحی کنترل کننده موقعیت دیجیتال به روش غیر مستقیم

مشابه بخش قبلی همه عملیات را برای کنترل موقعیت تکرار نمایید. به ازای کنترل زاویه موتور در ۹۰، ۱۵۰ و ۲۲۰ درجه مراحل صورت گیرد.

پاسخ پله به ازای نقطه کار **۹۰ DEG** با طراحی کنترل کننده دیجیتال به روش گسسته سازی



پاسخ پله به ازای نقطه کار **۱۵۰ DEG** با طراحی کنترل کننده دیجیتال به روش گسسته سازی



پاسخ پله به ازای نقطه کار **۲۲۰ DEG** با طراحی کنترل کننده دیجیتال به روش گسسته سازی

بررسی عملکرد کنترل کننده مورد طراحی با تغییر نقطه کار

همچنین به منظور عملکرد کنترل کننده در مقابل اغتشاش با تغییر میزان ترمز در سه شرایط ۱۰ و ۲۰ و ۵۰ درصد ترمز جدول را تکمیل نمائید  
(این عملیات را به ازای ضوابط طراحی و نقطه کار ۱۵۰ درجه صورت دهید).

جدول ۴-۲۰: بررسی عملکرد کنترل کننده مورد طراحی با تغییر میزان اغتشاش