شرکت دانش بنیان

تجهیزات ابزار آزما

نوآوری و فناوری برای توسعه

دستور کار جامع کنترل آنالوگ و دیجیتال

دستور کار ویژه دانشجو

تجهیزات آزمایشگ
.aboratory Equipment

نوآوری و فناوری برای توسعه

خراسان رضوی، مشهد، بزرگراه آسیایی، جاده شهرک صنعتی طوس، شهرک فناوری های نوین غذایی، ساختمان پژوهش، طبقه اول، شرکت تجهیزات ابزار آزما

www.abzarazma.ir

info@abzarazma.com

www.aparat.ir/abzarazma

+98 51 35420099 (3line)

شرکت دانش بنیان

تجهیزات ابزار آزما

هی مهندسی برق

Electrical Engineering

دستور کار آزمایشگاه سیستم‌های کنترل

اهداف:

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

پیشگفتار:

پیشنهاد می شود شروع آزمایشگاه با یک یا چند بازدید از مرکز کاربردی مرتبط با مطالب درس شروع شود. کارخانه‌جات صنعتی دارای سیستم‌های کنترل سرعت و موقعیت می‌توانند گزینه مناسبی برای بازدید دانشجویان به شمار روند.

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

این دستورکار در سه بخش تدوین شده است. در بخش اول که در بر گیرنده آزمایش‌های اول تا چهارم می‌باشد؛ سعی می شود 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 پیاده سازی کنترل کننده‌ها بر روی سیستم‌های ساده و کمی پیچیدهٔ 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 ماژول‌های آموزنده کنترل آنالوگ و دیجیتال ارائه گردیده است که لازم است پیش از اقدام به هرگونه آزمایش مطالعه گردند.

هر دانشجو قبل از حضور در کلاس می‌بایست یک پیش گزارش راجع به مباحث جلسه جاری و گزارش تکمیل شده جلسه قبل را تحویل 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 سروو موتور دارد. مسلماً گزارش حاصل همراه با نقص و کاستی هایی است که با پیشنهادات شما مدرسین و دانشجویان عزیز در نسخه های بعدی برطرف خواهد شد.

نکات مهم:

هشـــدار۱ (خطر شـــوک الکتریکی)

در هنگام انجام سیم بندی دقت کنید که برق دستگاه قطع باشد.

هشـــدار۳ (خطر آســیب به دستگاه و شوک الکتریکی)

برای تعمیر تجهیزات از افراد واجد شـرایط و با هماهنگی شـرکت سـازنده استفاده نمایید.

هشـــدار۴ (خطر آســیب به دستگاه و شوک الکتریکی)

هیچ‌گونه اصلاح و یا تغییری در وضعیت فعلی تجهیزات مجاز نیست.

هشـــدار۶ (خطر آســیب به تجهیزات)

پیش از وصل کردن برق دستگاه، سیم‌بندی با حضور مدرس بررسی گردد.

هشـــدار۸ (خطر آســیب به تجهیزات)

به تحلیل ورودی و خروجی‌های تجهیزات اقدام شـــود و از اعمال ورودی خارج از محدوده مجاز به تجهیز خودداری شود.

کلیه حقوق این اثر متعلق به شرکت دانش بنیان ابزار آزما می‌باشد. هرگونه کپی برداری از این اثر، غیرقانونی بوده و پیگرد قانونی دارد.

فهرست مطالب

۱ بخش سوم: مقدمهای بر فرآیند کنترل سرعت و موقعیت سروو موتور ۹
2 راهاندازی حلقهباز سروو موتور ۱۰
۳ شناسایی مدل استاتیکی و دینامیکی فرآیند کنترل سرعت سروو موتور ۱۲
۴ کنترل حلقه بسته آنالوگ سرعت سروو موتور ۱۶
5 طراحی کنترل کننده آنالوگ سرعت سروو موتور ۲۱
۶ کنترل حلقه بسته آنالوگ موقعیت سروو موتور ۲۹
7 طراحی کنترل کننده آنالوگ موقعیت سروو موتور ۳۴
8 کنترل دیجیتال حلقه بسته سرعت موتور DC ۳۸
۹ کنترل موقعیت دیجیتال حلقه بسته موتور DC ۴۳
10 طراحی کنترل کننده دیجیتال سرعت و موقعیت موتور DC ۴۶
11 طراحی کنترل کننده های پیشرفته ۵۰
پیوست ۱: آشنایی با تجهیزات آموزنده کنترل دیجیتال و آنالوگ ۵۲

جـــــدول راهنما

شماره و عنوان آزمایش	DC 100	DC 101	DC 102
۱- آشنایی با سیستم‌های مرتبه اول تا سوم	❋		❋
۲- سیستم‌های مرتبه اول	❋		❋
۳- سیستم‌های مرتبه دوم	❋		❋
۴- سیستم‌های مرتبه سوم	❋		❋
۵- اثر صفر بر رفتار سیستم	❋		❋
۶- آشنایی با روش‌های پایه کنترل خطی	❋		❋
۷- کنترل حلقه باز و فیدبک واحد	❋		❋
۸- کنترل‌کننده PID	❋		❋
۹- جبرانسازهای پس‌فاز و پیش‌فاز	❋		❋
۱۰- ساختارهای خاص در کنترل	❋		❋
۱۱- مقدمه‌ای بر کنترل فرآیند سرعت و موقعیت سروو موتور		❋	❋
۱۲- راه‌اندازی حلقه باز سروو موتور		❋	❋
۱۳- شناسایی مدل استاتیکی و دینامیکی فرآیند کنترل سرعت سروو موتور		❋	❋
۱۴- کنترل حلقه بسته آنالوگ سرعت سروو موتور		❋	❋
۱۵- طراحی کنترل کننده آنالوگ سرعت سروو موتور		❋	❋
۱۶- کنترل حلقه بسته آنالوگ موقعیت سروو موتور		❋	❋
۱۷- طراحی کنترل کننده آنالوگ موقعیت سروو موتور		❋	❋
۱۸- کنترل دیجیتال حلقه بسته سرعت موتور DC		❋	❋
۱۹- کنترل موقعیت دیجیتال حلقه بسته موتور DC		❋	❋
۲۰- طراحی کنترل کننده دیجیتال سرعت و موقعیت موتور DC		❋	❋
۲۱- طراحی کنترل کننده های پیشرفته		❋	❋

۱ بخش سوم: مقدمه‌ای بر فرآیند کنترل سرعت و موقعیت سروو موتور

۱-۱ پیش زمینه

موتورهایی که انرژی الکتریکیDC را به انرژی مکانیکی تبدیل می کند، موتور DC نامیده می شـوند. سـروو موتورها دسـته ای خاص از موتور ها هستند که برای کارهای کنترل موقعیت، سرعت یا گشتاور ساخته شده اند. از این رو معمولا شکل هندسی کشیده‌ای دارند و بر روی آنها انکدر نصب شده است.

سـروو موتور جریان مسـتقیم مورد اسـتفاده در این آزمایشـگاه از نوع تحریک آهنربای دائم می باشـد. جهت اعمال اغتشـاش یک ترمز مکانیکی بر روی آن تعبیه شده است. جهت فیدبک گرفتن سرعت یا موقعیت سروو موتور به روش آنالوگ یا دیجیتال، از اطلاعات انکدر متصل به موتور استفاده گردیده است. این اطلاعات با پردازش اولیه میکروکنترلر به فرمت های استاندارد مورد نیاز جهت کنترل دیجیتال یا آنالوگ تبدیل می گردند. میکروکنترلر پس از پردازش سیگنال‌های کنترل فرمان منا سب را برای درایور سروو موتور تنظیم می‌کند و درایور بر اساس آن در جهت کنترل سرعت و یا موقعیت موتور را کنترل می‌کند.

در این بخش از دستورکار آزمایشات مربوط به کنترل سرعت و موقعیت سروو موتور در قالب ۱۰ آزمایش ارائه می‌گردند که مفاهیم اصلی در رابطه با طراحی کنترل‌کننده و کنترل آنالوگ و دیجیتال سروو موتور را در بر گرفته است.

۲ راه‌اندازی حلقه‌باز سروو موتور

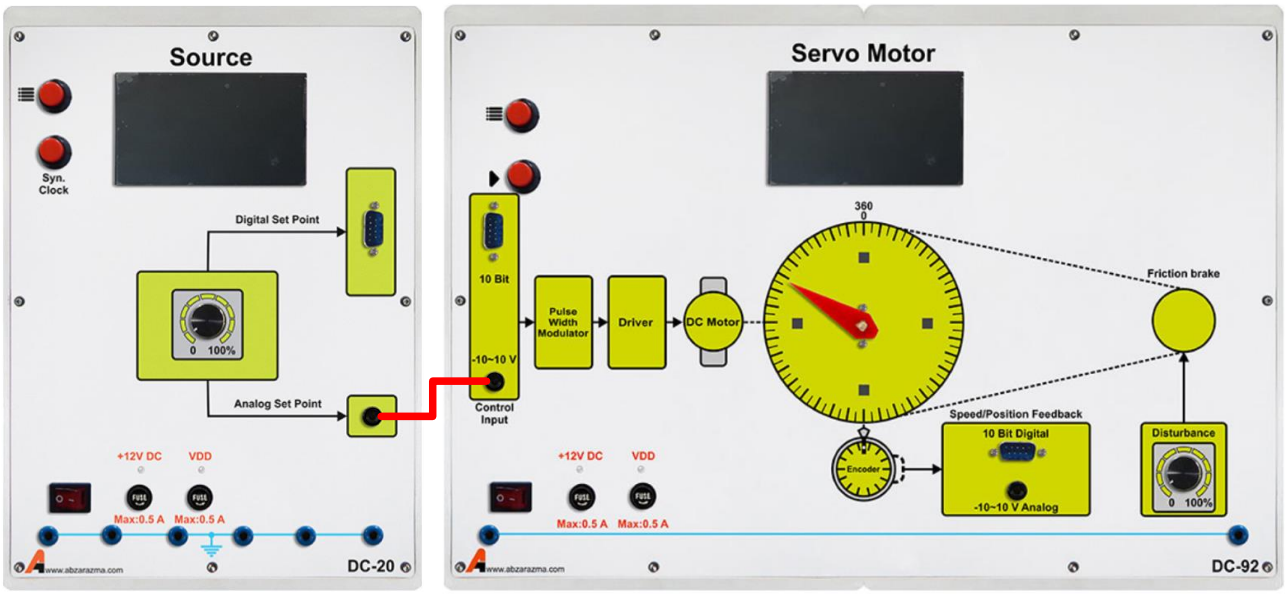
هدف: بررسی نحوه راه‌اندازی سروو موتور به صورت حلقه‌باز

۲-۱ شرح آزمایش

۲-۱-۱ راه اندازی سروو موتور

ابتدا ولتاژ Analog Set Point را روی ۴ ولت تنظیم نموده و ترمینال مثبت آن را به ورودی Control Input سروو موتور متصل نمایید (ترمینال منفی که همان زمین است از طریق کابل های رابط پشت دستگاه متصل شده اند). مقدار ولتاژ ترمینال Analog Set Point بر روی نمایشگر ماژول Source نوشته شده است. برای انجام این آزماش باید به کمک کلیدهای تعبیه شده بر روی ماژول سروو موتور حالت Analog را انتخاب نمایید.

بر روی ماژول سروو موتور یک ولوم جهت اعمال اغتشاش و یا به عبارت دیگر اعمال ترمز به سروو موتور قرار داده شده است. در حالت اول این ولوم را در وضعیت Min قرار داده و آزمایش فوق را برای چند ولتاژ مختلف به دلخواه خود، در محدوده ۰ تا ۱۰ بررسی کنید و جدول زیر را مطابق مشاهدات تکمیل نمایید.



شکل ۲-۱ نحوه اتصال مدار آزمایش

جدول ۲-۱: نتایج بررسی رفتار سروو موتور در حالت حلقه باز

ولتاژ تغذیه اعمال شده به ورودی سروو موتور								۱۰
سرعت موتور								
مقدار ولتاژ تولیدی در پایه فیدبک سرعت								

در حالت دوم قصد داریم اثر اعمال اغتشاش بر روی سرعت موتور بررسی گردد. لذا به ازای ولتاژ ۱۰ ولت منبع ورودی با اعمال ترمز در محدوده ۱۰ تا ۵۰ درصد اثر آنرا بر روی سرعت و ولتاژ پایه فیدبک سرعت بررسی گردد. پس از آنجام آزمایش نتایج را در جدول زیر یادداشت کنید.

جدول ۲-۲: نتایج بررسی اثر اعمال اغتشاش بر روی سرعت موتور

درصد اغتشاش	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰
سرعت موتور					
مقدار ولتاژ تولیدی در پایه فیدبک سرعت					

۲-۲ سوالات

۱- با تغییر ولتاژ اعمالی به سیستم حلقه باز، تغییرات ولتاژ فیدبک (خروجی سنسور) و رفتار موتور را تحلیل نمائید.

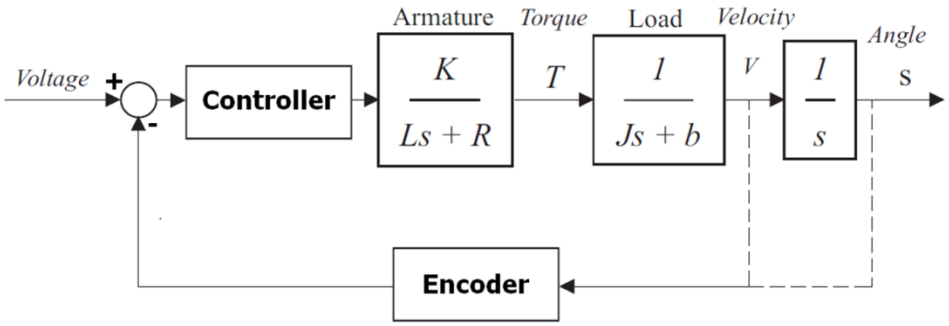
۲- با توجه به آزمایش انجام شده عملکرد ترمز مکانیکی یا عامل اغتشاش را توضیح دهید.

۳ شناسایی مدل استاتیکی و دینامیکی فرآیند کنترل سرعت سروو موتور

هدف: ارائه و شناسایی مدل های استاتیکی و دینامیکی برای فرآیند کنترل سرعت سروو موتور

۳-۱ مقدمه

اولین مرحله در کنترل هر فرایند داشتن اطلاعات کافی از مدل آن و یا به اصطلاح شناسایی آن سیستم است. هدف شناسایی به دست آوردن رابطه‌ای بین ورودی و خروجی سیستم است که بتواند رفتار آن فرآیند را با توجه به اهداف خاص کنترلی به خوبی بیان کند. در مدل استاتیکی رابطه ورودی و خروجی سیستم به صورت یک بهره مدل سازی می شود. بنابراین این مدل تنها نماینده حالت کار ماندگار سیستم است. یک روش مدلسازی معمول برای این موتورها مطابق شکل زیر می باشد.



شکل ۳-۱ بلوک دیاگرام کلی کنترل سروموتور DC

پارامتر های مدل فوق بشرح زیر می باشد.

J : ممان اینرسی روتور

b : ضریب میرایی سیستم مکانیکی (اصطکاک)

K : نیرو محرکه الکتریکی ثابت (وابسته به جریان آرمیچر)

R : مقاومت الکتریکی

L : اندوکتانس الکتریکی

V : خروجی سرعت

S : خروجی موقعیت یا زاویه

بسته به این که در این مدل، از کدام بخش از خروجی ها مسیر فیدبک برقرار می شود، نوع کنترل بر روی پارامتر خاصی عمل خواهد کرد. در شکل بالا چون از آخرین خروجی (موقعیت) فیدبک بسته شده است، پس کنترل بر روی موقعیت موتور DC عمل می کند. در بخش های آینده خواهیم دید که چگونه با برقراری مسیر فیدبک از خروجی بخش قبلی (سرعت) می توان نحوه کنترل را بر روی سرعت موتور متمرکز نمود.

برای همه آزمایش های کنترل سرعت مراحل زیر می بایست جهت تنظیم سروو موتور رعایت گردند:

۱- به کمک کلیدهای تعبیه شده بر روی ماژول سروو موتور حالت speed را انتخاب کنید

۲- جهت فیدبک گرفتن از سرعت، سیم رابط مربوطه را به محل Speed/Position feedback متصل نمائید.

۳-۲ آزمایش و تحلیل

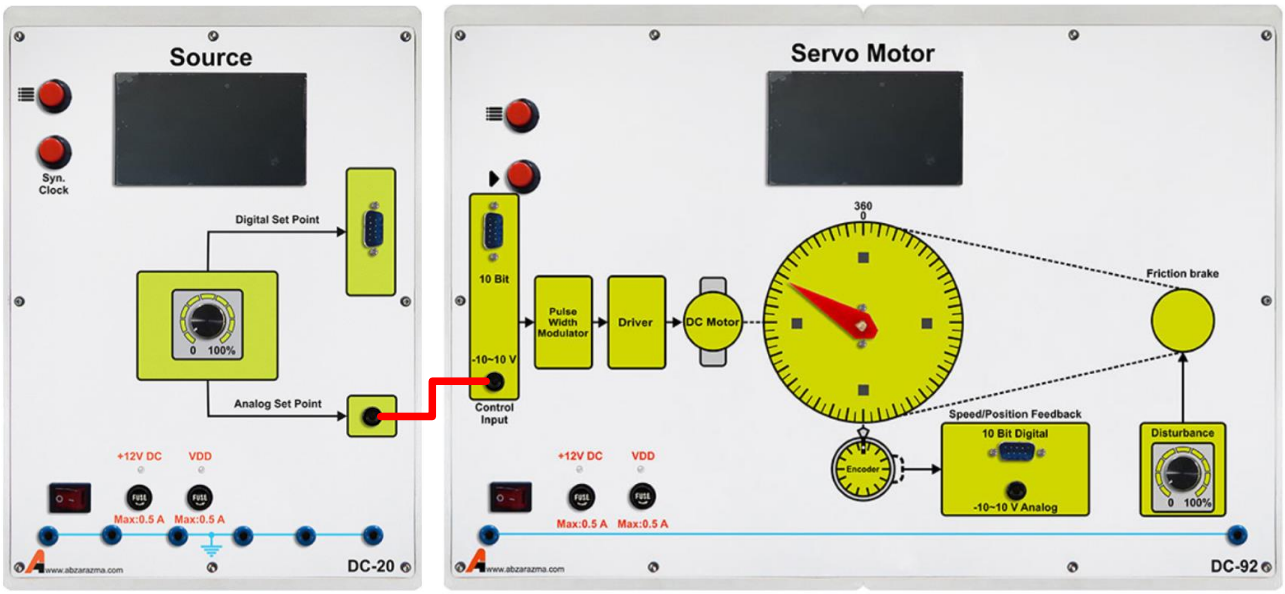
در ادامه شناسایی مدل استاتیکی سیستم سروموتور مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۳-۲-۱ شناسایی مدل استاتیکی فرآیند

در مدل استاتیکی تنها نقطه ابتدا و انتها مهم هستند و چگونگی تغییرات اهمیتی ندارد. برای به دست آوردن مدل استاتیکی ابتدا سیستم را در یک نقطه کار خاص قرار داده و با وارد کردن پله به ورودی، نقطه کار نهایی را ثبت می کنیم. مقدار تغییر نهایی خروجی به تغییر ورودی، مدل استاتیکی را خواهد داد.

هدف این بخش به دست آوردن رابطه استاتیکی بین خروجی سرعت موتور DC و پله ورودی به Analog Control Input است. برای انجام آزمایش از ماژول های نشان داده شده در شکل زیر استفاده می گردد.

با توجه به شکل زیر ابتدا سیگنال آنالوگ مرجع را بر روی ۳ ولت تنظیم نموده و به قسمت ورودی آنالوگ سروو موتور اعمال می نمائیم. دقت شود در این آزمایش ولوم مربوط به اغتشاش در وضعیت Min قرار داشته باشد یا به عبارت دیگر هیچ‌گونه اغتشاشی به سیستم اعمال نشده باشد. نتایج اندازه گیری در جدول زیر ثبت گردد.

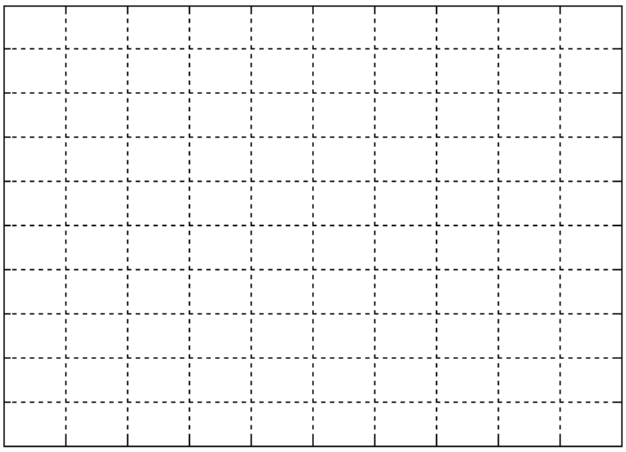


شکل ۳-۲ ماژول های مورد استفاده در تعیین مدل استاتیکی

جدول ۳-۱: نتایج حاصل از آزمایش مدل استاتیکی فرآیند کنترل سرعت سروو موتور

ولتاژ تغذیه اعمال شده به ورودی سروو موتور	+۱۰	+۸	+۶	+۴	+۲	-۲	-۴	-۶	-۸	-۱۰
سرعت موتور										
ولتاژ خروجی سنسور سرعت										

برای به د ست آوردن مدل می توان از تکنیک های محا سبات عددی برای تقریب منحنی یا خط ا ستفاده نمود. پی شنهاد می‌گردد جهت یافتن مدل اســتاتیکی دقیق تر از جعبه ابزار Curve Fitting نرم افزار MATLAB اســتفاده گردد تا مدل اســتاتیکی با دقت بالایی فراهم گردد. نمودار تغییرات سرعت سروو موتور/ ولتاژ خروجی سنسور سرعت بر حسب ولتاژ آنالوگ ورودی را در شکل زیر نیز رسم نمایید.

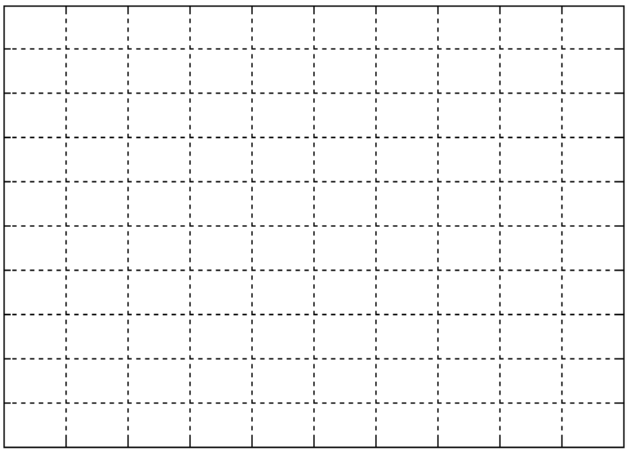


شکل ۳-۳ نمودار تغییرات سرعت سروو موتور/ ولتاژ خروجی سنسور سرعت بر حسب ولتاژ آنالوگ

۳-۲-۲ شناسایی مدل دینامیکی فرآیند

در این بخش برای یافتن مدل دینامیکی می بایســت به ورودی حلقه باز ســیســتم یک پله به صــورت تناوبی اعمال گردد تا با مشــاهده خروجی سنسور سرعت، مدل دینامیکی فرآیند شناسایی گردد. دامنه سیگنال ژنراتور مورد استفاده جهت ایجاد پالس ورودی را ۴ ولت انتخاب نمائید. فرکانس آن را نیز طوری تنظیم نمائید که در یک دوره تناوب آن خروجی سنسور به حالت دائمی بر سد. البته این روش فقط برای سیستم کنترل سرعت که ماهیتا پایدار است قابل استفاده می باشد و برای سیستم ذاتا ناپایدار موقعیت قابل اعمال نمی باشد.

تغییرات خروجی سنسور را به کمک اسیلوسکوپ مشاهده نمائید و بر روی شکل زیر رسم نمائید.



شکل ۳-۴ تغییرات خروجی سنسور سرعت در صورت اعمال ولتاژ متناوب به ورودی آنالوگ سروو موتور

بر اســاس روش های تقریب مدل دینامیکی مانند۲ پارامتری ســیســتم را با یک تابع انتقال مرتبه یک می‌توان تقریب زد. روش دوم به د ست آوردن مدل دینامیکی ا ستفاده از جعبه ابزار System Identification نرم افزار MATLAB می با شد. به این منظور ابتدا داده های حالت گذرای پاسخ پله را از نمودار اسکپ حافظه دار استخراج نموده و همراه با داده های تغییرات ورودی موتور در نرم افزار وارد نمائید. مدل حاصل و دقت پاسخ آن به‌راحتی در این نرم افزار قابل تحلیل و مشاهده است.

۳-۳ سؤالات

۱- مشخصه به دست آمده در بخش۲-۲-۱ چه کاربردی دارد؟

۲- شرح دهید که توابع تبدیل استاتیکی و دینامیکی هریک چه کاربردی دارد؟ مزایا و معایب هرکدام را شرح دهید.

۳- به کمک جعبه ابزار Curve Fitting نرم افزارMATLAB چند مدل استاتیکی متفاوت به دست آورید و آنها را با هم مقایسه نمائید.

۴- به کمک روش های محاسبات عددی داده های حاصل از آزمایش مدل استاتیکی را با رابطه $V_{sensor} = aV_{motor} + b$ تقریب بزنید.

۵- مدل دینامیکی را برای یک سیستم مرتبه یک دارای تاخیر نیز تکرار نمائید و نتایج را مقایسه کنید.

۶- مدل دینامیکی ARX را در جعبه ابزار شناسایی سیستم نرم افزار MATLABبرگزیند و مدل حاصل را با مدل دینامیکی استخراج شده در آزمایش مقایسه نمائید.

۴ کنترل حلقه بسته آنالوگ سرعت سروو موتور

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

۴-۱ مقدمه

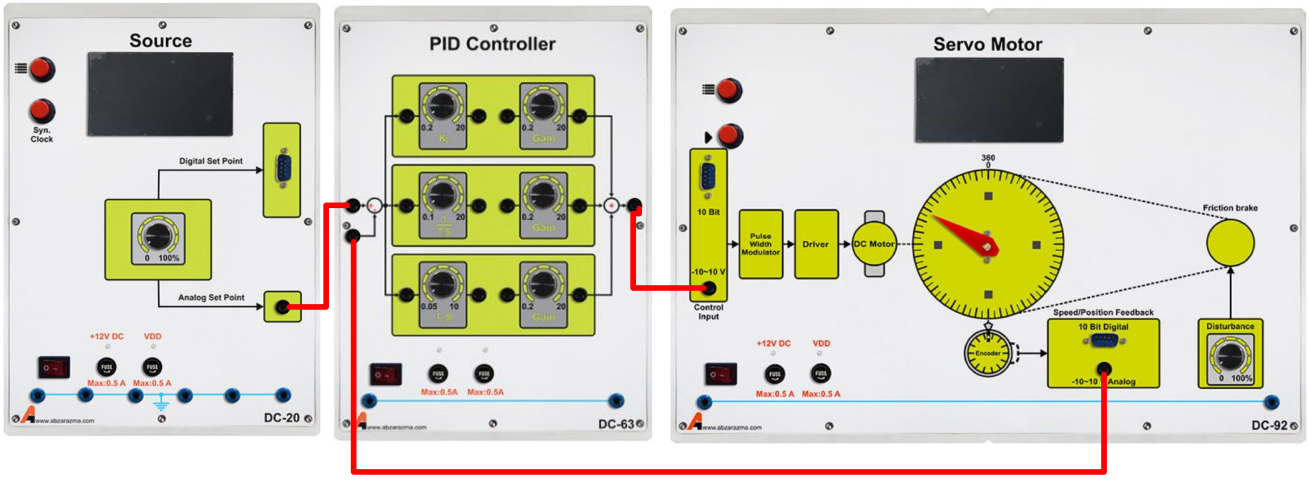
استفاده از فیدبک در سیستم های حلقه بسته می تواند فرآیند کنترلی را به سمت پایداری، عملکرد گذرا و ماندگار مطلوب تر هدایت کند. در این آزمایش استفاده از انواع کنترل کننده ها برای کنترل حلقه بسته سرعت موتور سروو موتور مورد بررسی قرار می گیرد. در این آزمایش استفاده از کنترل کننده های P، PI، PD و PID برای کنترل 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 نمائیم. دامنه ورودی به خروجی در این شرایط می بایست برابر با بهره ac این کنترل کننده ها در فرکانس مورد نظر باشد. به عبارت دیگر به جای عملگر لاپلاس 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.

۴-۲ آزمایش و تحلیل

مدار آزمایش در حالت کلی به صورت شکل زیر است. همانطور که ملاحظه می‌کنید از ماژول کنترل‌کننده PID برای اصلاح سیگنال خطا در کنترل حلقه بسته آنالوگ سرعت استفاده شده است. حال در بخش‌های بعد قصد داریم عملکرد سیستم مورد مطالعه را در شرایط به‌کارگیری کنترل کننده‌های متفاوت اعم از تناسبی، انتگرال‌گیر و مشتق‌گیر بررسی نماییم.



شکل ۴-۱ نحوه اتصال و سیم‌بندی آزمایش کنترل حلقه بسته آنالوگ سرعت

۴-۲-۱ کنترل کننده تناسبی

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

جدول ۴-۱: نتایج حاصل از اعمال ورودی پله با دامنه ۴,۵ ولت و تنظیم ضرایب کنترل‌کننده تناسبی

ضریب کنترل‌کننده تناسبی										
مقدار خطا										
سرعت موتور										
ولتاژ خروجی سنسور سرعت										

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

جدول ۴-۲: نتایج بررسی عملکرد کنترل‌کننده تناسبی با تغییر نقطه کار

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

حال برای بررسی کنترل‌کننده 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.

جدول ۴-۳: نتایج بررسی عملکرد کنترل‌کننده تناسبی در صورت ایجاد اغتشاش

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

مقایسه ای بین رفتار سیستم در حالت بدون ترمز و با ترمز داشته باشید. از لحاظ کنترلی قطب های سیستم چه تغییری می نمایند؟

از این پس در همه آزمایش های مربوط به تحلیل حالت گذرا به جای اعمال ورودی ثابت از ورودی متغیر و اعمالی توسط سیگنال ژنراتور استفاده می گردد. فرکانس این سیگنال برای مشاهده پاسخ زمانی در حدود ۰,۱ هرتز می باشد.

در ادامه علاوه بر خطای حالت دائمی به برر سی سرعت پا سخ و فراجهش پا سخ گذرای سی ستم پرداخته شده ا ست. 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 ۰,۱ هرتز اعمال نمائید و اعتشاش را از سیستم حذف کنید. البته راه تئوری محا سبه این مقدار، ا ستفاده از نتایج مدل دینامیکی استخراج شده در آزمایش های قبلی است. با توجه به شکل اسیلوسکوپ تغییرات خروجی سنسور سرعت، جدول زیر را کامل نمائید.

جدول ۴-۴: بررسی حالت گذرای پاسخ سیستم به ازای ضرایب تناسبی متفاوت

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

۴-۲-۲ 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 تنا سبی-انتگرالی، طبق جدول زیر برای مقادیر دیگری از نقطه کار، خروجی و خطا را م شاهده و یادداشت نمایید. (تذکر داده می شود که در این بخش باید مقادیر کنترل کننده مشتقی صفر باشد.). حال جدول زیر را براساس مشاهدات پر کنید.

جدول ۴-۵: نتایج بررسی عملکرد کنترل‌کننده تناسبی انتگرالی به ازای نقاط کار متفاوت

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

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

جدول ۴-۶: نتایج بررسی عملکرد کنترل‌کننده تناسبی انتگرالی به ازای تغییر ضریب انتگرالی

ضریب کنترل‌کننده انتگرالی	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۳	۱	۰,۱
خطای حالت دائمی									
زمان صعود ولتاژ خروجی سنسور سرعت (msec)									
میزان فراجهش ولتاژ خروجی سنسور سرعت (V)									
درصد فراجهش ولتاژ خروجی سنسور سرعت									

۴-۲-۳ کنترل کننده تناسبی مشتقی

این کنترل کننده در عمل قابلیت تصـــحیح بهتر خطای حالت گذرا را به دلیل وجود بخش مشـــتقی دارد. نقطه کار ۴,۵ ولت را برای آن م شخص کنید. حال آنقدر ضرایب کنترل کننده تنا سبی-م شتقی را تغییر دهید تا مقدار خطای م شاهده 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 خطا را 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.

جدول ۴-۷: نتایج بررسی عملکرد کنترل‌کننده تناسبی مشتقی به ازای نقاط کار متفاوت

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

۴-۲-۴ کنترل کننده تناسبی، مشتقی ، انتگرالی PID

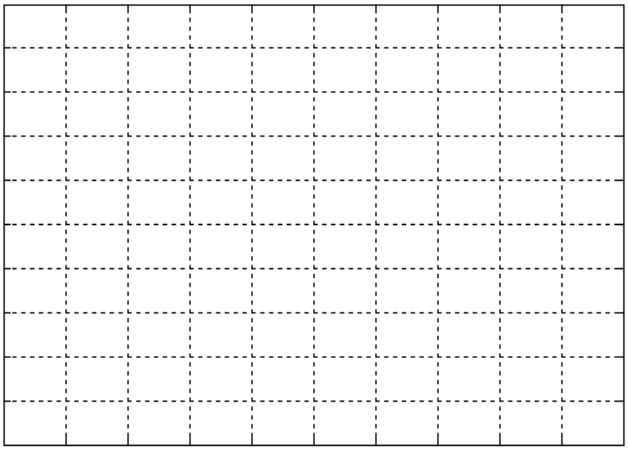
با وجود طراحی کنترل کننده های متعدد، ولی هنوز کنترل کننده PID بســیار مورد اســتفاده قرار می گیرد. برای بهره گیری از خواص کنترل PI و PD از کنترل کننده PID که متداول‌ترین کنترل کننده در صنعت به شما می آید، استفاده می شود. مشابه حالت قبل نقطه کار سیستم مورد مطالعه را ۴,۵ ولت قرار دهید سپس آنقدر ضرایب کنترل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

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

جدول ۴-۸: نتایج بررسی عملکرد کنترل‌کننده تناسبی مشتقی به ازای نقاط کار متفاوت

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

بدون تغییر ضرایب کنترلی، به کمک سیگنال ژنراتور یک پالس با دامنه ۰ تا ۴ ولت و فرکانس ۰,۱ 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.



شکل ۴-۲ حالت گذرای پاسخ سیستم در شرایط به‌کارگیری کنترلر PID

۴-۳ سؤالات

۱- در آزمایش سیستم حلقه بسته با کنترل کننده تناسبی اثر اغتشاش بر خطای حالت دائمی را با اثر اغتشاش در آزمایش حلقه باز کنترل کننده تناسبی مقایسه نمائید.

۲- با اضافه شدن ضریب انتگرال گیر پارامتر حالت دائمی خطا به چه صورت تغییر نمود.

۳- با اضافه شدن ضریب انتگرال گیر پارامترهای حالت گذرا چگونه تغییر نمودند.

۴- چگونه می توان عرض باند سیستم مورد بررسی در این آزمایش را برای مقادیر ثابت بهره های تناسبی و انتگرالی محاسبه نمود.

۵- تفاوت کنترل حلقه باز و حلقه بسته را توضیح دهید.

۶- در کدام نوع کنترل کننده ها کمترین خطا و بیشترین خطا مشاهده شد. دلیل آنرا شرح دهید.

۵ طراحی کنترل کننده آنالوگ سرعت سروو موتور

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

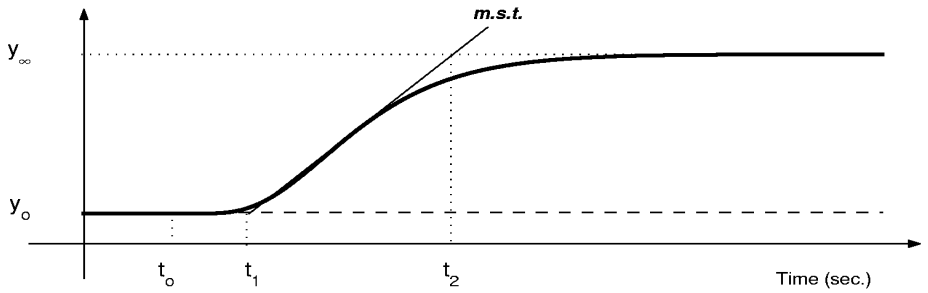
۵-۱ مقدمه

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 می باشد:

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

برای تنظیم ضرایب به روش زیگلر نیکولز حوزه زمان، به سیستم ورودی پله اعمال می نمائیم و بر ا ساس تغییرات پا سخ پله و روابط جدول زیر، طراحی کنترل کننده صورت می گیرد.



$$K_o = \frac{y_\infty - y_o}{u_\infty - u_o}; \qquad \tau_o = t_1 - t_o; \qquad \nu_o = t_2 - t_1$$

	K_p	T_r	T_d
P	$\frac{\nu_o}{K_o\tau_o}$		
PI	$\frac{0.9\nu_o}{K_o\tau_o}$	$3\tau_o$	
PID	$\frac{1.2\nu_o}{K_o\tau_o}$	$2\tau_o$	$0.5\tau_o$

شکل ۵-۱ 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 تناسبی به صورت حلقه بسته ببندید. با تغییر ضریب کنترل کننده تناسبی، به ازای کوچکترین مقداری که سیستم نوسانی می گردد، ضریب بهره K_u و دوره تناوب نوسانات T_u را به دست آورید. جدول زیر مشخص کننده ضرایب کنترل کننده می باشد.

جدول ۵-۱: تنظیم ضرایب کنترلی در روش زیگلر نیکولز حوزه فرکانس

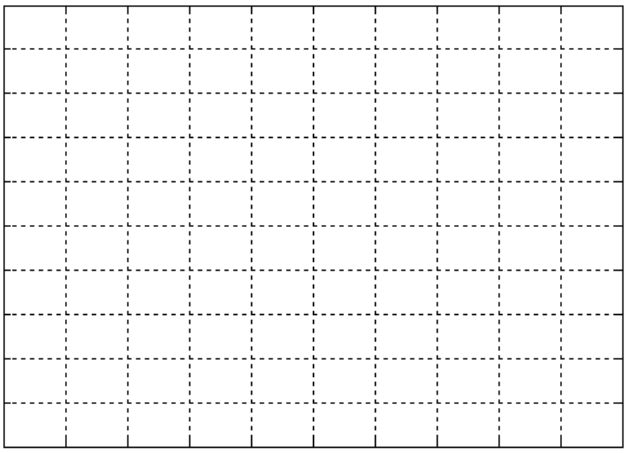
Controller	K	T_i	T_d
P	$0.5K_u$		
PI	$0.4K_u$	$0.8T_u$	
PID	$0.6K_u$	$0.5T_u$	$0.125T_u$

۵-۲ آزمایش و تحلیل

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

۵-۲-۱ طراحی به کمک روش زیگلر-نیکلز حوزه زمان

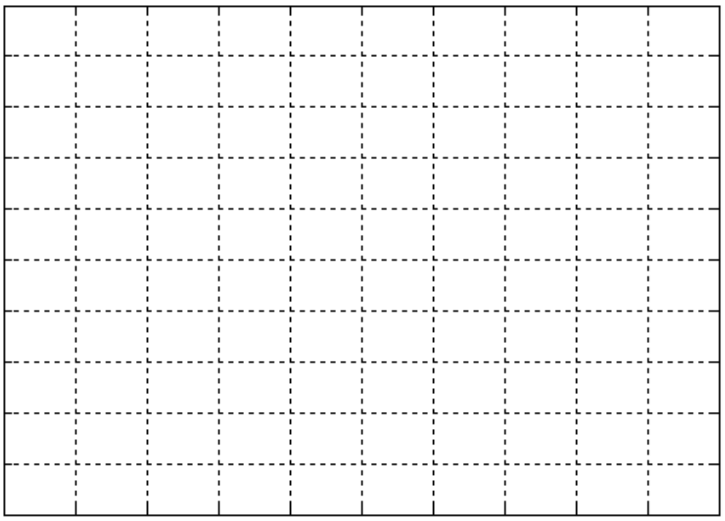
ابتدا روش حوزه زمان را بر سیستم حلقه باز اعمال نمائید و نمودار پاسخ خروجی را در شکل زیر رسم نمائید. ورودی مرجع را مشابه آزمایش قبلی با سیگنال ژنراتور اعمال نمائید. برای هر حالت جدول ضرایب را تنظیم نمائید و با تنظیم ضرایب طراحی شده شکل پاسخ پله را به ازای ورودی ۵ ولت رسم نمائید.



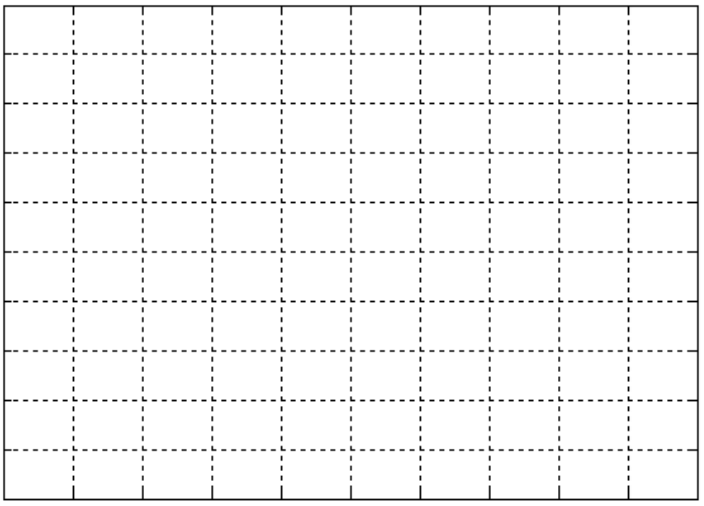
شکل ۵-۲ پاسخ فرآیند کنترل سرعت به ازای ورودی پله

جدول ۵-۲: تنظیم ضرایب کنترلی در روش زیگلر نیکولز حوزه زمان

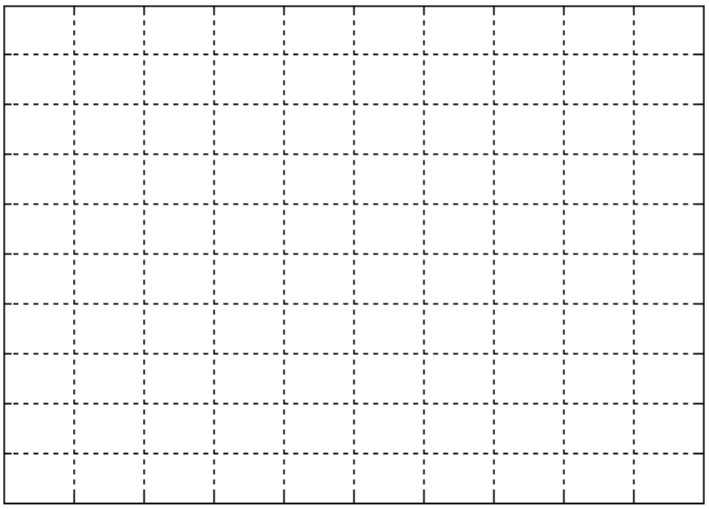
Td	Tr	Kp	
			P
			PI
			PID



شکل ۵-۳ پاسخ فرآیند کنترل سرعت به ازای ورودی پله با دامنه ۵ ولت و کنترل‌کننده تناسبی



شکل ۵-۴ پاسخ فرآیند کنترل سرعت به ازای ورودی پله با دامنه ۵ ولت و کنترل‌کننده تناسبی- انتگرالی



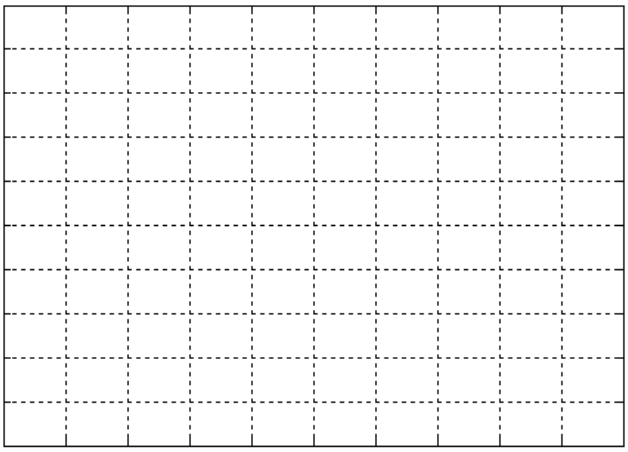
شکل ۵-۵ پاسخ فرآیند کنترل سرعت به ازای ورودی پله با دامنه ۵ ولت و کنترل‌کننده PID

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

جدول ۵-۳: مقایسه کنترلرهای مورد طراحی از دیدگاه ویژگی‌های حالت گذرا

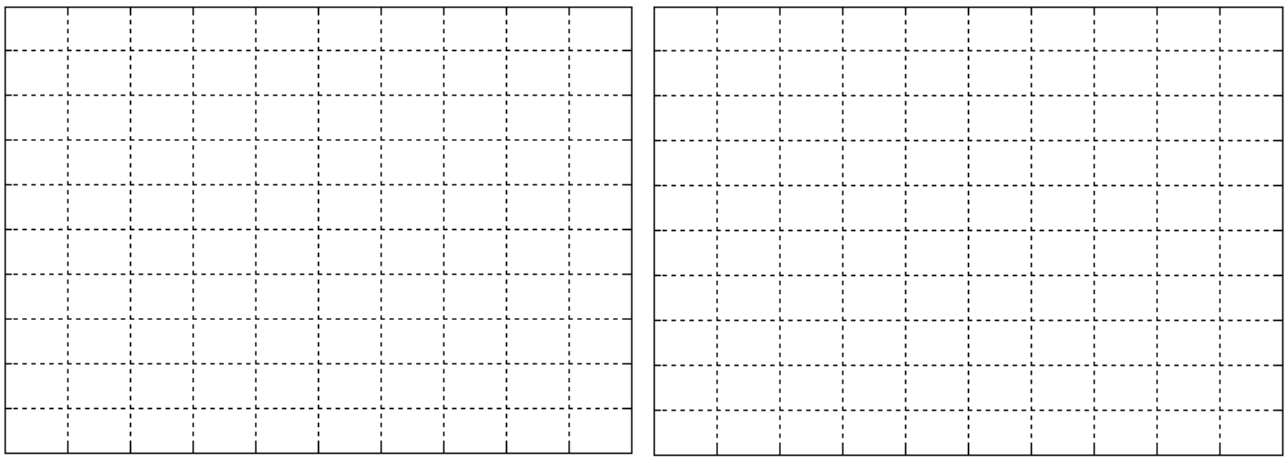
روش/ویژگی	خطای حالت دائمی	زمان صعود	درصد فراجهش
کنترل‌کننده تناسبی			
کنترل‌کننده تناسبی- انتگرالی			
کنترل‌کننده PID			

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



شکل ۵-۶ پاسخ فرآیند کنترل سرعت به ازای ورودی پله با دامنه ۵ ولت و کنترل‌کننده PID با ضرایب بهبود یافته

به منظور بررسی عملکرد کنترل کننده حاصل به ازای دو نقطه کار جدید ۳,۵ و ۶,۵ 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.



الف **ب**

شکل ۵-۷ نمودار پاسخ پله به ازای الف) ورودی با دامنه ۳,۵ ولت؛ ب) ورودی با دامنه ۶,۵ ولت

جدول ۵-۴: بررسی عملکرد کنترل‌کننده مورد طراحی با تغییر نقطه کار

نقطه‌کار/ویژگی	خطای حالت دائمی	زمان صعود	درصد فراجهش
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 نمائید

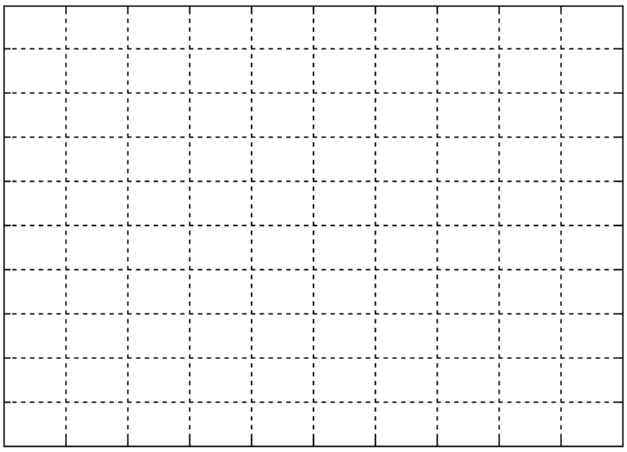
جدول ۵-۵: بررسی عملکرد کنترل‌کننده مورد طراحی با تغییر میزان اغتشاش

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

۵-۲-۲ طراحی به کمک زیگلر نیکولز حوزه فرکانس

در روش طراحی کنترل‌کننده به روش زیگلر نیکولز حوزه فرکانس، سیستم حلقه بسته با کنترل کننده تناسبی را راه‌اندازی کنید و ضریب تناسبی را چنان تنظیم نمائید که سیستم در حالت نوسان قرار گیرد. در این شرایط ضرایب حاصل و مراحل کار را مشابه بخش قبلی تکرار نمائید. پاسخ نوسانی فرآیند را به ازای ورودی پله در شکل ۵-۸ رسم کنید و به کمک آن ضرایب کنترل‌کننده را بدست اورید و در جدول ۵-۶ یادداشت کنید.

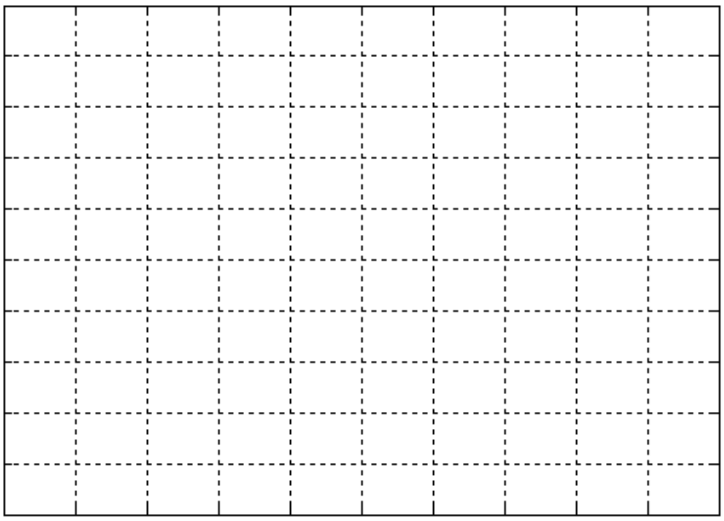
با پیاده‌سازی کنترلرهای P، PI و PID با ضرایب طراحی شده و سیگنال ورودی با دامنه ۵ ولت؛ شکل پاسخ فرآیند را مشاهده و در شکل ۵-۹ تا شکل ۵-۱۱ رسم نمایید.



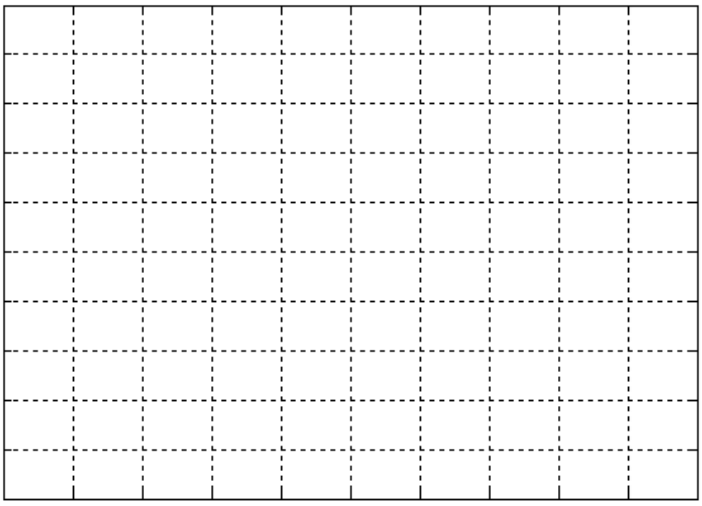
شکل ۵-۸ پاسخ فرآیند کنترل سرعت به ازای ورودی پله

جدول ۵-۶: تنظیم ضرایب کنترلی در روش زیگلر نیکولز حوزه فرکانس

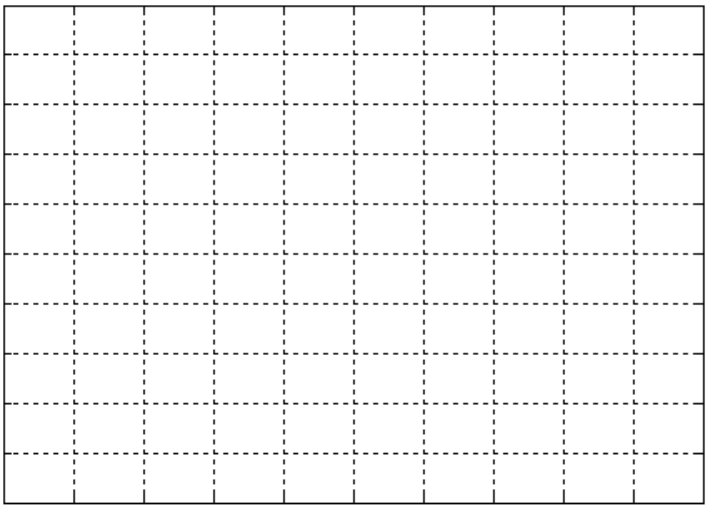
	Kp	Tr	Td
P			
PI			
PID			



شکل ۵-۹ پاسخ پله فرآیند با پیاده‌سازی کنترل‌کننده تناسبی به روش زیگلر نیکولز حوزه فرکانس



شکل ۵-۱۰ پاسخ پله فرآیند با پیاده‌سازی کنترل‌کننده تناسبی – انتگرالی به روش زیگلر نیکولز حوزه فرکانس



شکل ۵-۱۱ پاسخ پله فرآیند با پیاده‌سازی کنترل‌کننده PID به روش زیگلر نیکولز حوزه فرکانس

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

جدول ۵-۷: بررسی ویژگی‌های حالت گذرا در کنترل‌کننده‌های PI،P و PID طراحی شده

روش/ویژگی	خطای حالت دائمی	زمان صعود	درصد فراجهش
کنترل‌کننده تناسبی			
کنترل‌کننده تناسبی- انتگرالی			
کنترل‌کننده PID			

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

شکل ۵-۱۲ پاسخ پله بهبود یافته در کنترل‌کننده PID طراحی شده به روش نیکولز حوزه فرکانس

به منظور بررسی عملکرد کنترل کننده حاصل به ازای دو نقطه کار جدید ۷,۵ و ۴,۵ 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.

الف **ب**

شکل ۵-۱۳ نمودار پاسخ پله به ازای الف) ورودی با دامنه ۴,۵ ولت؛ ب) ورودی با دامنه ۷,۵ ولت

جدول ۵-۸: بررسی عملکرد کنترل‌کننده مورد طراحی با تغییر نقطه کار

نقطه‌کار/ویژگی	خطای حالت دائمی	زمان صعود	درصد فراجهش
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

جدول ۵-۹: بررسی عملکرد کنترل‌کننده مورد طراحی با تغییر میزان اغتشاش

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

۵-۲-۳ طراحی به کمک روش های تئوری کلاسیک

روش های متعددی جهت طراحی کنترل کننده کلاسیک ارائه شده اند. جهت طراحی از مدل دینامیکی شناسایی شده در آزمایش های قبلی استفاده نمائید. یک روش پیشنهادی سریع برای طراحی کنترل کننده، استفاده از جعبه ابزار Control System نرم افزار MATLAB می با شد. ابزار SISO SYSTEM DESIGN جهت این امر پیشنهاد می گردد. در هر حال، کنترل کننده کلا سیک طراحی شده را مانند مراحل قبل پیاده سازی و تحلیل نمائید.

۵-۳ سوالات

۱- عملکرد کنترل کننده زیگلر-نیکلز حوزه زمان را با فرکانس مقایسه نمائید.

۲- کنترل کننده تئوری طراحی شده عملکرد مقاوم تری از خود نشان داد یا کنترل کننده زیگلر-نیکلز؟

۳- روشی جهت یافتن حد فاز و حد بهره کنترل کننده‌های پیشنهادی ارائه نمائید.

۶ کنترل حلقه بسته آنالوگ موقعیت سروو موتور

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

۶-۱ مقدمه

یکی از مثال های معروف کنترلی، کنترل موقعیت موتور DC می‌باشد. 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 درسهای 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 ویژگیهایی باشد، استفاده از اشکال مختلف این کنترل کننده یعنی P، PD ، PI 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 گردند:

۱- در شروع فرآیند کنترل موقعیت ابتدا با دست دیسک گردان uncertainty را بر روی موقعیت صفر درجه قرار دهید و سپس سیستم را روشن نمائید. سروو 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.

۶-۲ آزمایش و تحلیل

مدار این آزمایش مشابه شکل ۴-۱ است با این اختلاف که بایستی حالت سروو موتور بر روی کنترل موقعیت تنظیم شود. در ادامه ضرایب کنترلی چهار نوع کنترل‌کننده تنا سبی، انتگرالی تنا سبی، تنا سبی م شتقی و کنترل‌کننده PID به روش سعی و خطا طراحی می‌شوند و پس از آن عملکرد کنترلر مورد طراحی در شرایط تغییر نقطه کار و یا ایجاد اغتشاش مورد ارزیابی قرار می‌گیرند و ویژگی‌های پاسخ گذرای فرآیند بررسی خواهد شد.

۶-۲-۱ کنترل‌کننده تناسبی

مشابه آزمایش سوم بخش ۴-۲-۱ مقدار مرجع سیگنال آنالوگ ورودی کنترل‌کننده را ۵ ولت تنظیم کنید. این کار را با استفاده از ماژول Source انجام دهید. حال آنقدر ضرایب کنترل کننده ی تناسبی را تغییر دهید تا مقدار خطای مشاهده شده به کمترین مقدار خود برسد. جدول زیر را برای چند ضریب کنترل‌کننده تناسبی تکمیل نمایید.

جدول ۶-۱: نتایج حاصل از اعمال ورودی پله با دامنه ۵ ولت و تنظیم ضرایب کنترل‌کننده تناسبی

ضریب کنترل‌کننده تناسبی										
مقدار خطا										
مقدار زاویه										
ولتاژ اندازه‌گیری شده در خروجی موقعیت										

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

جدول ۶-۲: نتایج بررسی عملکرد کنترل‌کننده تناسبی با تغییر نقطه کار

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

حال برای بررسی کنترل‌کننده تناسبی 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.

جدول ۶-۳: نتایج بررسی عملکرد کنترل‌کننده تناسبی در صورت ایجاد اغتشاش

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

از این پس در همه آزمایش های مربوط به تحلیل حالت گذرا به جای اعمال ورودی ثابت از ورودی متغیر و اعمالی توسط سیگنال ژنراتور استفاده می گردد. فرکانس این سیگنال برای مشاهده پاسخ زمانی در حدود ۰٫۱ هرتز می باشد.

در ادامه علاوه بر خطای حالت دائمی به بررسی سرعت پاسخ و فراجهش پاسخ گذرای 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 ۰٫۱ هرتز اعمال نمائید و اعتشاش را از سیستم حذف کنید. البته راه تئوری محاسبه این مقدار، استفاده از نتایج مدل دینامیکی استخراج شده در آزمایش های قبلی است. با توجه به شکل اسیلوسکوپ تغییرات خروجی سنسور سرعت، جدول زیر را کامل نمائید.

جدول ۶-۴: بررسی حالت گذرای پاسخ سیستم به ازای ضرایب کنترل‌کننده تناسبی متفاوت

ضریب کنترل‌کننده تناسبی	۰٫۲	۱	۵	۱۰	۱۵	۲۰
زمان صعود ولتاژ خروجی موقعیت (msec)						
میزان فراجهش ولتاژ خروجی موقعیت (V)						
درصد فراجهش ولتاژ خروجی موقعیت						

۶-۲-۲ کنترل کننده تناسبی انتگرالی

مشابه آزمایش سوم بخش ۴-۲-۲، با استفاده از ماژول Source، مقدار مرجع سیگنال ورودی کنترل‌کننده را ۵ ولت تنظیم نمایید. 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 تنا سبی-انتگرالی، طبق جدول زیر برای مقادیر دیگری از نقطه کار، خروجی و خطا را م شاهده و یادداشت نمایید. (تذکر داده می شود که در این بخش باید مقادیر کنترل کننده مشتقی صفر باشد.). حال جدول زیر را براساس مشاهدات پر کنید.

جدول ۶-۵: نتایج بررسی عملکرد کنترل‌کننده تناسبی انتگرالی به ازای نقاط کار متفاوت

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

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

ضریب کنترل‌کننده انتگرالی	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۳	۱	۰,۱
خطای حالت دائمی									
زمان صعود ولتاژ خروجی موقعیت (msec)									
میزان فراجهش ولتاژ خروجی موقعیت (V)									
درصد فراجهش ولتاژ خروجی موقعیت									

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

جدول ۶-۶: بررسی عملکرد کنترل‌کننده مورد طراحی با تغییر میزان اغتشاش

میزان اغتشاش/ویژگی	خطای حالت دائمی
۱۰ درصد	
۲۰ درصد	
۳۰ درصد	

۶-۲-۳ کنترل کننده تناسبی مشتقی

مشابه آزمایش سوم بخش ۴-۲-۳، کنترل‌کننده تناسبی مشتقی به روش سعی و خطا طراحی می‌کنیم. برای این کار نقطه کار ۵ ولت را برای کنترل‌کننده تنظیم می‌کنیم. حال آنقدر ضرایب کنترل کننده تناسبی-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 خطا را 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.

جدول ۶-۷: نتایج بررسی عملکرد کنترل‌کننده تناسبی مشتقی به ازای نقاط کار متفاوت

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

۶-۲-۴ کنترل کننده تناسبی، مشتقی، انتگرالی PID

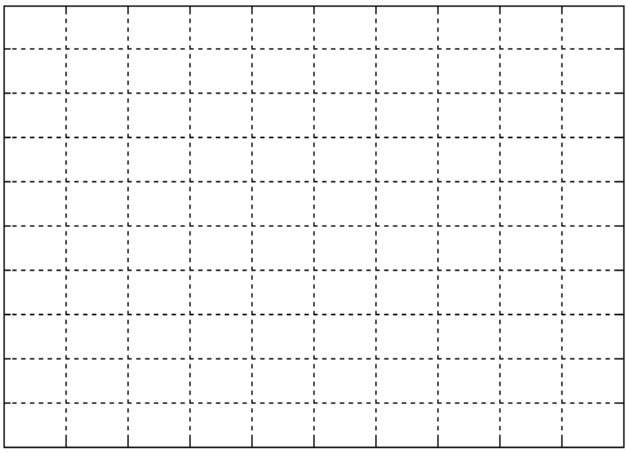
مشابه حالت قبل نقطه کار سیستم مورد مطالعه را ۴,۵ ولت قرار دهید سپس آنقدر ضرایب کنترل کننده ی تناسبی-انتگرالی-مشتقی را تغییر دهید تا مقدار خطای مشاهده شده به کمترین مقدار خود برسد. مقدار کمترین خطای بدست آمده را یادداشت نمایید.

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

جدول ۶-۸: نتایج بررسی عملکرد کنترل‌کننده تناسبی مشتقی به ازای نقاط کار متفاوت

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

بدون تغییر ضرایب کنترلی، به کمک سیگنال ژنراتور یک پالس با دامنه ۰ تا ۴ ولت و فرکانس ۰,۱ 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.



شکل ۶-۱ حالت گذرای پاسخ سیستم در شرایط به‌کارگیری کنترلر PID

۳-۶ سؤالات

۱- کنترل حلقه بسته یا حلقه باز را در سه نوع کنترل کننده با هم مقایسه نمایید.

۲- در کدام نوع کنترل کننده ها کمترین خطا و بیشترین خطا مشاهده شد. دلیل آنرا شرح دهید.

۷ طراحی کنترل کننده آنالوگ موقعیت سروو موتور

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

۷-۱ مقدمه

برای طراحی کنترل کننده موقعیت دو رویکرد ۱-استفاده از نتایج آزمایشگاهی و جداول طراحی ضرایب جون زیگلر نیکلز و همچنین ۲-رویکرد طراحی کنترل کننده براساس مدل فرآیند و روش های طراحی کلاسیک و تئوری مورد بررسی قرار می گیرد.

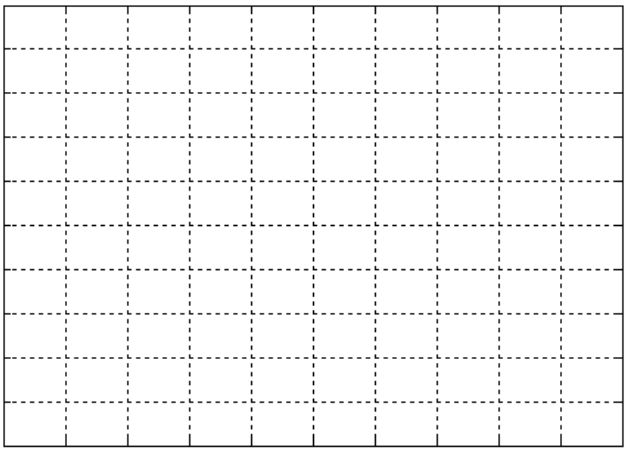
۷-۲ آزمایش و تحلیل

مشابه آزمایش چهارم، هدف آن است به کمک روش زیگلر نیکولز حوزه فرکانس کنترل‌کننده مناسبی طراحی گردد و عملکرد این کنترل کننده مورد بررسی قرار گیرد.

۷-۲-۱ طراحی کنترل‌کننده به کمک روش زیگلر نیکلز حوزه فرکانس

در روش طراحی کنترل‌کننده به روش زیگلر نیکولز حوزه فرکانس، سیستم حلقه بسته با کنترل کننده تناسبی را راه‌اندازی کنید و ضریب تناسبی را چنان تنظیم نمائید که سیستم در حالت نوسان قرار گیرد. پاسخ نوسانی فرآیند را به ازای ورودی پله با دامنه ۵ ولت در شکل ۷-۱ رسم کنید و بر اساس جدول ۵-۱، ضرایب کنترل‌کننده را بدست اورید و در جدول ۷-۱ یادداشت کنید.

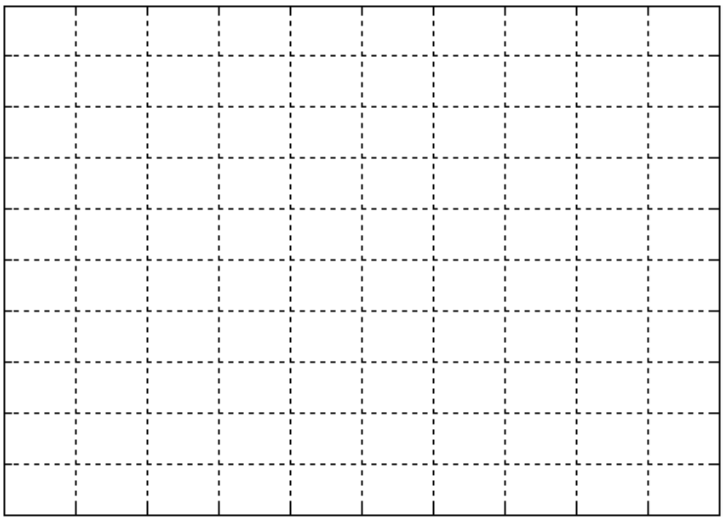
با پیاده‌سازی کنترلرهای P، PI و PID با ضرایب طراحی شده و سیگنال ورودی با دامنه ۵ ولت؛ شکل پاسخ فرآیند را مشاهده و در شکل ۷-۲ تا شکل ۷-۴ رسم نمایید.



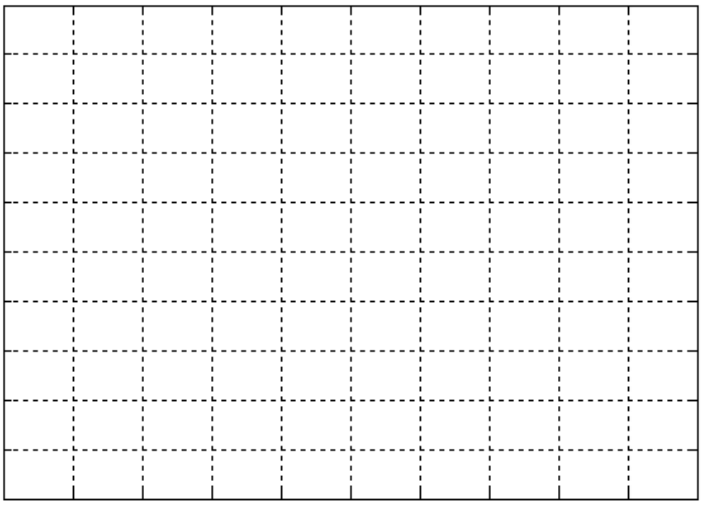
شکل ۷-۱ پاسخ فرآیند کنترل سرعت به ازای ورودی پله

جدول ۷-۱: تنظیم ضرایب کنترلی در روش زیگلر نیکولز حوزه فرکانس

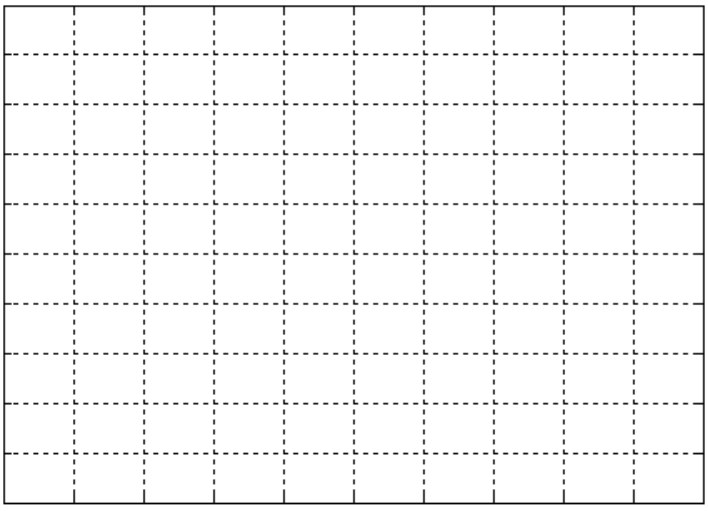
	Kp	Tr	Td
P			
PI			
PID			



شکل ۷-۲ پاسخ پله فرآیند با پیاده‌سازی کنترل‌کننده تناسبی به روش زیگلر نیکولز حوزه فرکانس



شکل ۷-۳ پاسخ پله فرآیند با پیاده‌سازی کنترل‌کننده تناسبی – انتگرالی به روش زیگلر نیکولز حوزه فرکانس



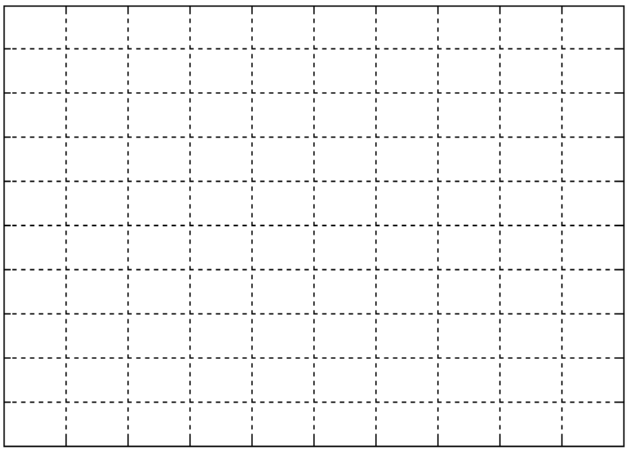
شکل ۷-۴ پاسخ پله فرآیند با پیاده‌سازی کنترل‌کننده PID به روش زیگلر نیکولز حوزه فرکانس

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

جدول ۷-۲: بررسی ویژگی‌های حالت گذرا در کنترل‌کننده‌های PI،P و PID طراحی شده

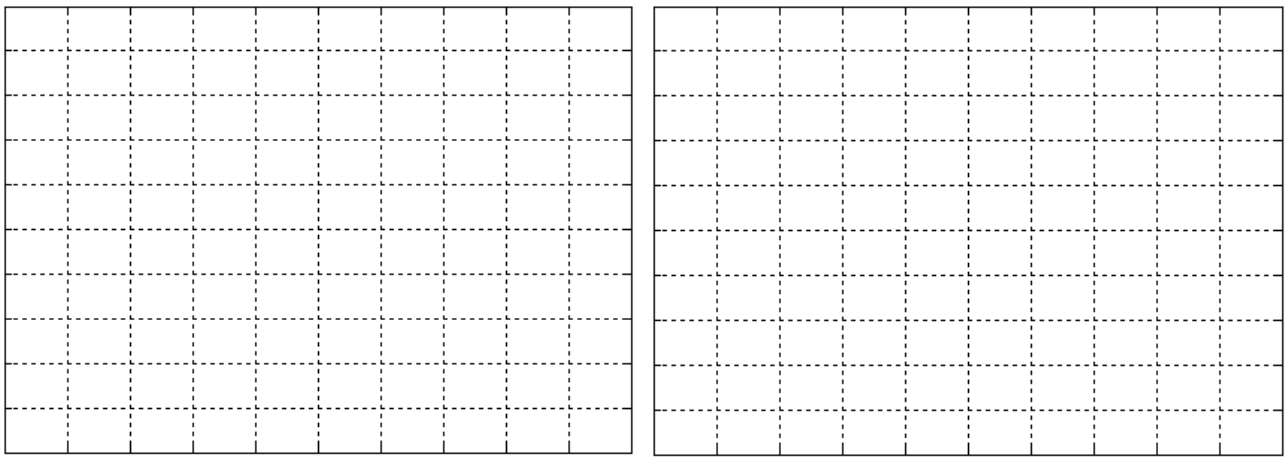
روش/ویژگی	خطای حالت دائمی	زمان صعود	درصد فراجهش
کنترل‌کننده تناسبی			
کنترل‌کننده تناسبی- انتگرالی			
کنترل‌کننده PID			

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



شکل ۷-۵ پاسخ پله بهبود یافته در کنترل‌کننده PID طراحی شده به روش نیکولز حوزه فرکانس

به منظور بررسی عملکرد کنترل کننده حاصل به ازای دو نقطه کار جدید ۷,۵ و ۴,۵ 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.



الف **ب**

شکل ۷-۶ نمودار پاسخ پله به ازای الف) ورودی با دامنه ۴,۵ ولت؛ ب) ورودی با دامنه ۷,۵ ولت

جدول ۷-۳: بررسی عملکرد کنترل‌کننده مورد طراحی با تغییر نقطه کار

نقطه‌کار/ویژگی	خطای حالت دائمی	زمان صعود	درصد فراجهش
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

جدول ۷-۴: بررسی عملکرد کنترل‌کننده مورد طراحی با تغییر میزان اغتشاش

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

۷-۳ سوالات

۱- چرا استفاده از روش طراحی کنترل کننده زیگلر-نیکلز حوزه زمان در این آزمایش امکان پذیر نمی‌باشد.

۲- کنترل کننده تئوری طراحی شده عملکرد مقاوم تری از خود نشان داد یا کنترل کننده زیگلر-نیکلز؟

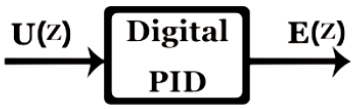
۳- روشی جهت یافتن حد فاز و حد بهره کنترل کننده‌های پیشنهادی ارائه نمائید.

۸ کنترل دیجیتال حلقه بسته سرعت موتور DC

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

۸-۱ مقدمه

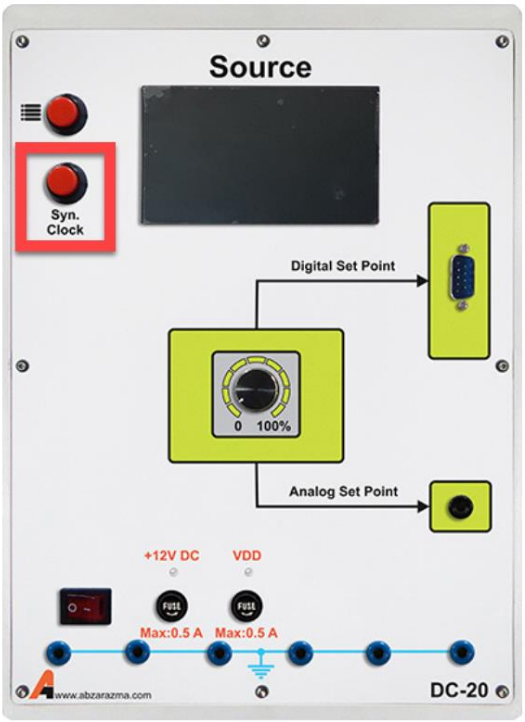
در این بخش هدف بررسی کنترل سرعت موتور DC با کنترل کننده دیجیتال است. در درسهای تئوری کنترل، با روش طراحی کنترل کننده PID، که در اینجا آن را به شکل زیر نمایش می دهیم، آشنا شده اید. بسته به اینکه فرایند تحت کنترل از چه نوع و با چه ویژگیهایی باشد، استفاده از اشکال مختلف این کنترل کننده یعنی P، PD ، PI ویا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



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

شکل ۸-۱ کنترل‌کننده PID دیجیتال

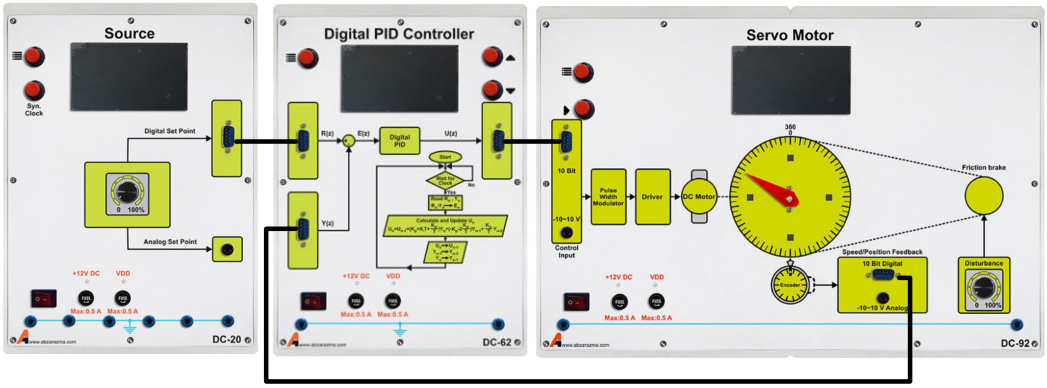
از آنجایی که همه پی شامدها در کنترل دیجیتال با یک clock م شخص سنکرون ه ستند لذا لازم ا ست در آزمای شات مربوط به کنترل دیجیتال، کلاک سنکرون ساز از ماژول Source به سایر ماژول‌ها متصل باشد. این کلاک از طریق یک کابل فلت ۱۴ رشته با سوکت IDC ۲*۷ در پشت ماژول‌ها متصل شده ا ست. این کار به منظور هماهنگ سازی بلوک های دیجیتال مربوطه و م شخص نمودن زمان نمونه برداری T ضرورت دارد. فرکانس کلاک سنکرون ساز به کمک کلید مشخص شده در ماژول Source، مطابق شکل زیر قابل تنظیم است.



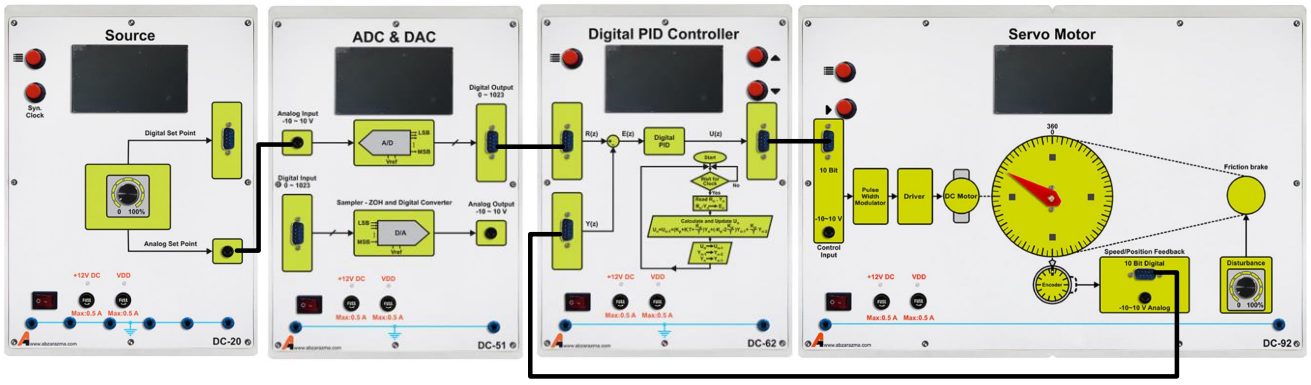
شکل ۸-۲ کلید مربوط به تغییر فرکانس کلاک سنکرون‌ساز

۸-۲ آزمایش و تحلیل

بررسی فرآیند کنترل سرعت و موقعیت سروو موتور به کمک کنترلر دیجیتال به دو صورت مستقیم (شکل ۸-۳) و غیر مستقیم (شکل ۸-۴) می‌تواند انجام پذیرد



شکل ۸-۳ اتصال ماژول‌های مورد نیاز جهت انجام فرآیند کنترل دیجیتال به‌طور مستقیم



شکل ۸-۴ اتصال ماژول‌های مورد نیاز جهت انجام فرآیند کنترل دیجیتال به طور غیر مستقیم

۸-۲-۱ کنترل کننده تناسبی (P)

جهت استفاده از ماژول کنترلر PID دیجیتال در فرآیند کنترل سرعت مطابق شکل ۸-۳ ماژول‌های مورد نیاز را به یکدیگر متصل کنید. تنظیمات ماژول سروو موتور را بر روی حالت دیجیتال و کنترل سرعت قرار تنظیم کنید.

مقدار مرجع سرعت 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 خطا را از روی نمایشگر ماژول کنترلر دیجیتال بدست آورید.

جدول ۸-۱: بررسی فرآیند کنترل دیجیتال سرعت سروو موتور با بکارگیری کنترلر تناسبی

ضریب تناسبی	۰٫۱	۰٫۵	۱	۵	۱۰	۵۰	۱۰۰
مقدار حقیقی فرآیند یا PV							
مقدار خطا							
مقدار خروجی فیدبک							

۸-۲-۲ 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.

جدول ۸-۲: بررسی فرآیند کنترل دیجیتال سرعت سروو موتور با بکارگیری کنترلر تناسبی-انتگرالی

مقدار سرعت مبنا	۱۰	۳۰	۷۰	۱۱۰	-۳۰	-۵۰	-۷۰
مقدار حقیقی فرآیند یا PV							
مقدار خطا							
مقدار خروجی فیدبک							

۸-۲-۳ کنترل کننده تناسبی مشتقی (PD)

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

جدول ۸-۳: بررسی فرآیند کنترل دیجیتال سرعت سروو موتور با بکارگیری کنترلر تناسبی-مشتقی

مقدار سرعت مبنا	۱۰	۳۰	۱۵۰	۲۵۰	-۳۰	-۵۰	-۱۵۰
مقدار حقیقی فرآیند یا PV							
مقدار خطا							
مقدار خروجی فیدبک							

۸-۲-۴ کنترل کننده تناسبی، مشتقی ، انتگرالی PID

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

جدول ۸-۴: بررسی فرآیند کنترل دیجیتال سرعت سروو موتور با بکارگیری کنترلر PID

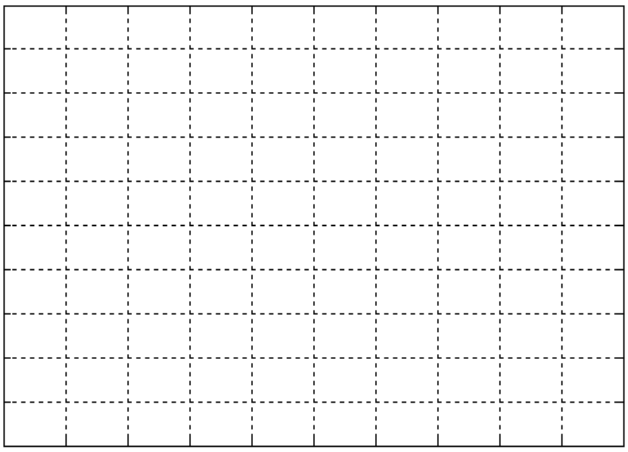
مقدار سرعت مبنا	۱۰	۳۰	۱۵۰	۲۵۰	-۳۰	-۵۰	-۱۵۰
مقدار حقیقی فرآیند یا PV							
مقدار خطا							
مقدار خروجی فیدبک							

۸-۳ مقایسه نتایج

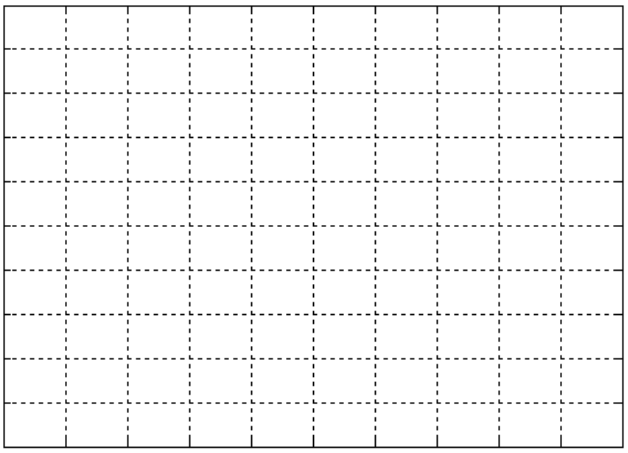
روند به دست آوردن پاسخ زمانی مشابه آزمایش های قبلی می باشد. به این منظور مطابق شکل ۸-۴، سیگنال ژنراتور را با تنظیم مناسب به ورودی ADC متصل نمائید و خروجی ماژول ADC، به عنوان سیگنال مرجع برای ماژول کنترلر دیجیتال قرار می‌گیرد.

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 بایست دامنه سیگنال ژنراتور در مقدار مناسب تنظیم گردد. بدین منظور از مقیاس بندی ماژول Source کمک می‌گیریم. (مقیاس بندی ماژول Source به این صورت است که ولتاژ ۰-۱۰ ولت به سرعت بین ۰-۳۵۰ دور بر دقیقه ساعتگرد و ولتاژ صفر تا ۱۰- ولت به سرعت بین صفر تا ۳۵۰ دور پاد ساعتگرد نگاشت می‌شود)



شکل ۸-۵ پاسخ پله به ازای نقطه کار ۱۰۰ RPM در شرایط بکارگیری کنترلر PID



شکل ۸-۶ پاسخ پله به ازای نقطه کار ۲۰۰ RPM در شرایط بکارگیری کنترلر PID

جدول ۸-۵: بررسی عملکرد کنترل‌کننده مورد طراحی با تغییر نقطه کار

نقطه‌کار/ویژگی	خطای حالت دائمی	زمان صعود	درصد فراجهش
۱۰۰RPM			
۲۰۰RPM			

۴-۸ سؤالات

۱- در کدام نوع کنترل کننده ها کمترین خطا و بیشترین خطا مشاهده شد. دلیل آنرا شرح دهید.

۲- مزایا و معایب کنترل کننده های دیجیتال را نسبت به کنترل کننده های آنالوگ شرح دهید.

۳- در تمامی کنترل کننده ها نمودار پاسخ پله را باهم مقایسه کنید.

۹ کنترل موقعیت دیجیتال حلقه بسته موتور DC

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

۹-۱ مقدمه

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

۹-۲ آزمایش و تحلیل

نحوه انجام این ازمایش مشابه ازمایش هفتم است با این تفاوت که حالت سروو موتور بر روی کنترل موقعیت قرار دهید.

۹-۲-۱ کنترل کننده تناسبی (P)

مطابق شکل ۸-۳ 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 خطا را از روی نمایشگر ماژول کنترلر دیجیتال بد ست آورید. مقیاس‌بندی ماژول Source بدین صورت ا ست که ولتاژ بین ۱۰- تا ۱۰+ ولت به موقعیت بین ۰ تا ۳۶۰ درجه نگاشت می‌شود بنابراین موقعیت مطلوب به ازای سیگنال ۵ ولت ۲۷۰ درجه است.

جدول ۹-۱: بررسی فرآیند کنترل دیجیتال موقعیت سروو موتور با بکارگیری کنترلر تناسبی

ضریب تناسبی	۰.۱	۰.۵	۱	۵	۱۰	۵۰	۱۰۰
مقدار حقیقی فرآیند یا PV							
مقدار خطا							
مقدار خروجی فیدبک							

۹-۲-۲ 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.

جدول ۹-۲: بررسی فرآیند کنترل دیجیتال موقعیت سروو موتور با بکارگیری کنترلر تناسبی-انتگرالی

موقعیت مرجع	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰	۲۰۰	۳۰۰	۳۳۰
مقدار حقیقی فرآیند یا PV							
مقدار خطا							
مقدار خروجی فیدبک							

۹-۲-۳ کنترل کننده تناسبی مشتقی (PD)

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

جدول ۹-۳: بررسی فرآیند کنترل دیجیتال موقعیت سروو موتور با بکارگیری کنترلر تناسبی-مشتقی

موقعیت مرجع	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰	۲۰۰	۳۰۰	۳۳۰
مقدار حقیقی فرآیند یا PV							
مقدار خطا							
مقدار خروجی فیدبک							

۹-۲-۴ کنترل کننده تناسبی، مشتقی ، انتگرالی PID

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

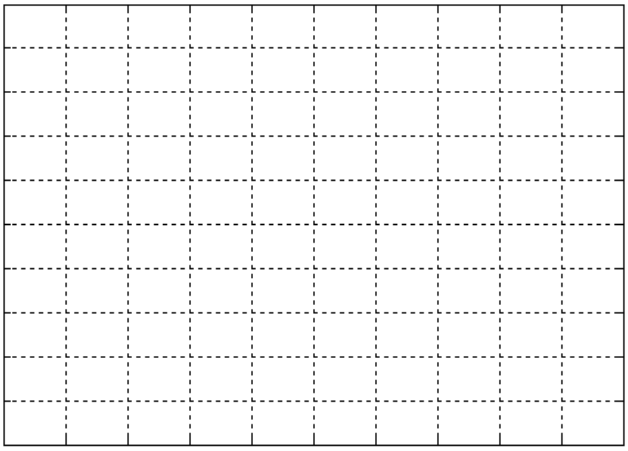
جدول ۹-۴: بررسی فرآیند کنترل دیجیتال سرعت سروو موتور با بکارگیری کنترلر PID

موقعیت مرجع	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰	۲۰۰	۳۰۰	۳۳۰
مقدار حقیقی فرآیند یا PV							
مقدار خطا							
مقدار خروجی فیدبک							

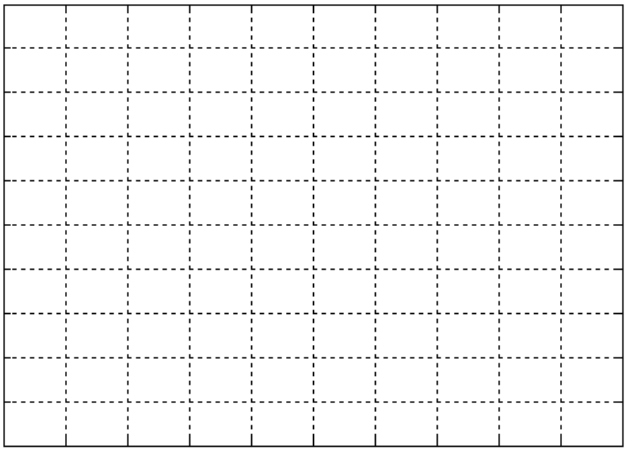
۹-۳ مقایسه نتایج

روند به دست آوردن پاسخ زمانی مشابه آزمایش های قبلی می باشد. به این منظور مطابق شکل ۸-۴، سیگنال ژنراتور را با تنظیم مناسب به ورودی ADC متصـــل نمائید و خروجی ماژول ADC، به عنوان ســـیگنال مرجع برای ماژول کنترلر دیجیتال قرار می‌گیرد. به منظور تنظیم مناسب سیگنال ژنراتور از مقیاس‌بندی ماژول Source استفاده نمایید. همانطور که پیش از این بیان شد، ماژول Source ولتاژ بین ۱۰- تا ۱۰+ ولت به موقعیت بین ۰ تا ۳۶۰ درجه نگاشت می‌کند بنابراین موقعیت مطلوب به ازای سیگنال صفر ولت ۱۸۰ درجه است.

به منظور بررسی عملکرد کنترل کننده حاصل به ازای دو نقطه کار جدید ۱۵۰ و ۲۵۰ درجه 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.



شکل ۹-۱ پاسخ پله به ازای نقطه کار DEG ۱۵۰ در شرایط بکارگیری کنترلر PID



شکل ۹-۲ پاسخ پله به ازای نقطه کار DEG ۲۵۰ در شرایط بکارگیری کنترلر PID

جدول ۹-۵: بررسی عملکرد کنترل‌کننده مورد طراحی با تغییر نقطه کار

نقطه‌کار/ویژگی	خطای حالت دائمی	زمان صعود	درصد فراجهش
۱۵۰DEG			
۲۵۰DEG			

۹-۴ سؤالات

۱- رفتار حلقه های کنترل موقعیت و سرعت را با هم مقایسه نمائید.

۱۰ طراحی کنترل کننده دیجیتال سرعت و موقعیت موتور DC

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

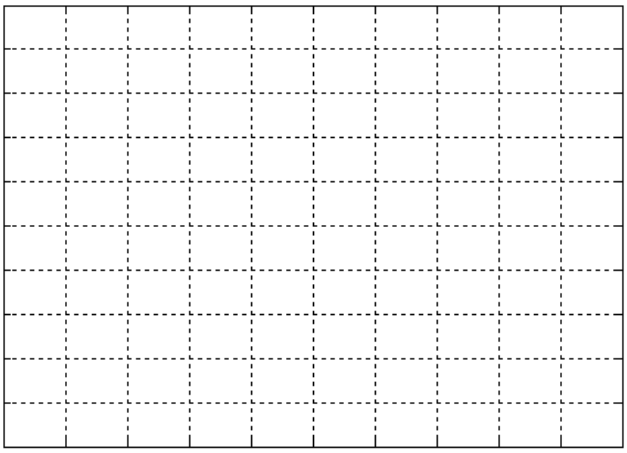
۱۰-۱ مقدمه

در این بخش به طراحی کنترل کننده دیجیتال سرعت و موقعیت سرو موتور جریان مستقیم می پردازیم. در ادامه انواع کنترل‌کننده‌های دیجیتال تناسبی، تناسبی-مشتقی، تناسبی-انتگرالی و تناسبی-انتگرالی-مشتقی بر روی سیستم بررسی خواهند شد.

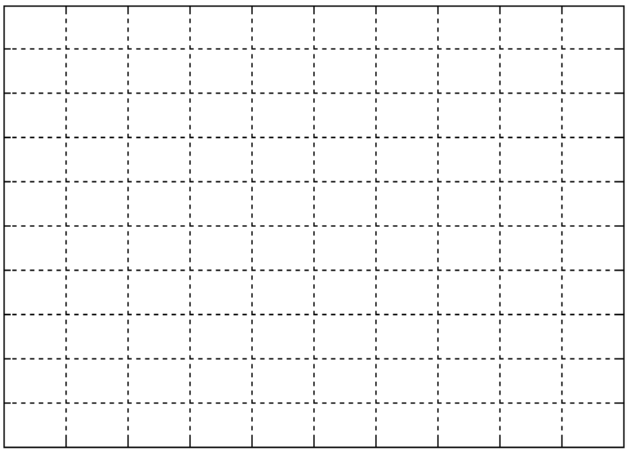
۱۰-۲ آزمایش و تحلیل

۱۰-۳ طراحی کنترل‌کننده دیجیتال سرعت به روش غیر مستقیم

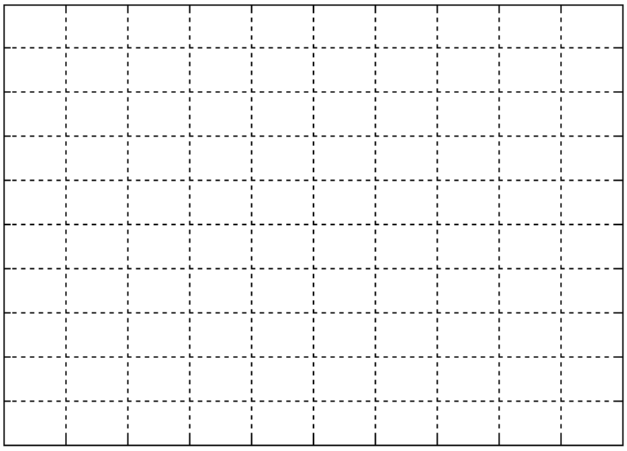
در این بخش کنترل کننده به روش غیر مستقیم طراحی و به سیستم دیجیتال اعمال می گردد. جهت این امر کنترل کننده آنالوگ سرعت طراحی شده در آزمایش های چهارم و یا پنجم با استفاده از تکنیک گسسته سازی دو جمله ای به معادل دیجیتال آن تبدیل و سپس نتیجه در بلوک کنترل کننده دیجیتال PID تنظیم می گردد. شکل موج پاسخ پله 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.



شکل ۱۰-۱ پاسخ پله به ازای نقطه کار ۳۰RPM با طراحی کنترل‌کننده دیجیتال به روش گسسته سازی



شکل ۱۰-۲ پاسخ پله به ازای نقطه کار ۱۰۰RPM با طراحی کنترل‌کننده دیجیتال به روش گسسته سازی



شکل ۱۰-۳ پاسخ پله به ازای نقطه کار ۱۷۰RPM با طراحی کنترل‌کننده دیجیتال به روش گسسته سازی

جدول ۱۰-۱: بررسی عملکرد کنترل‌کننده مورد طراحی با تغییر نقطه کار

نقطه‌کار/ویژگی	خطای حالت دائمی	زمان صعود	درصد فراجهش
۳۰ RPM			
۱۰۰RPM			
۱۷۰RPM			

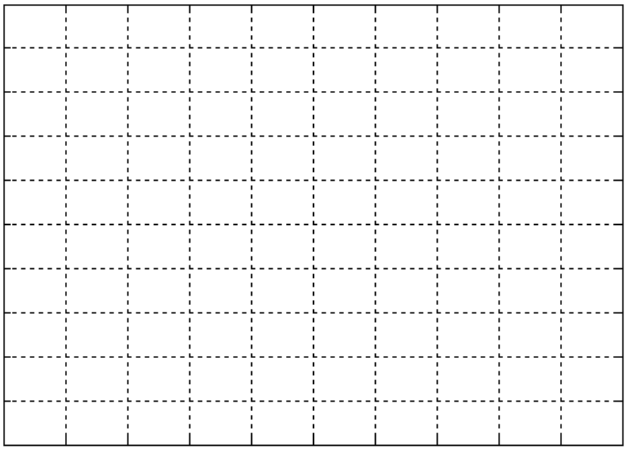
همچنین به منظور عملکرد کنترل کننده در مقابل اغتشاش با تغییر میزان ترمز در سه شرایط ۱۰، ۲۰ و ۵۰ درصد ترمز جدول را تکمیل نمائید. (این عملیات را به ازای ضرایب طراحی و نقطه کار ۱۰۰RPM صورت دهید).

جدول ۱۰-۲: بررسی عملکرد کنترل‌کننده مورد طراحی با تغییر میزان اغتشاش

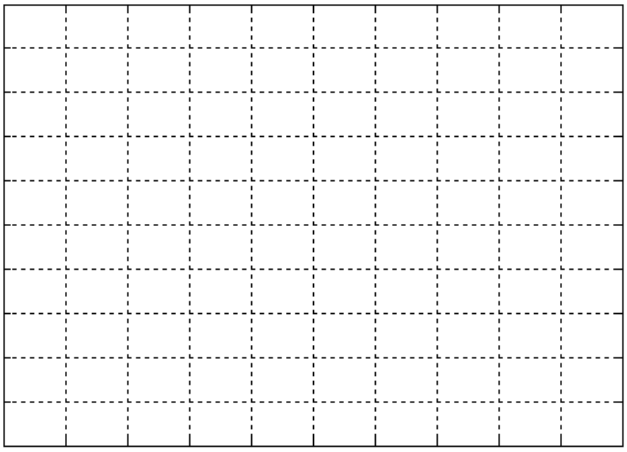
میزان اغتشاش/ویژگی	خطای حالت دائمی	زمان صعود	درصد فراجهش
۱۰ درصد			
۲۰ درصد			
۵۰ درصد			

۱۰-۴ طراحی کنترل‌کننده موقعیت دیجیتال به روش غیر مستقیم

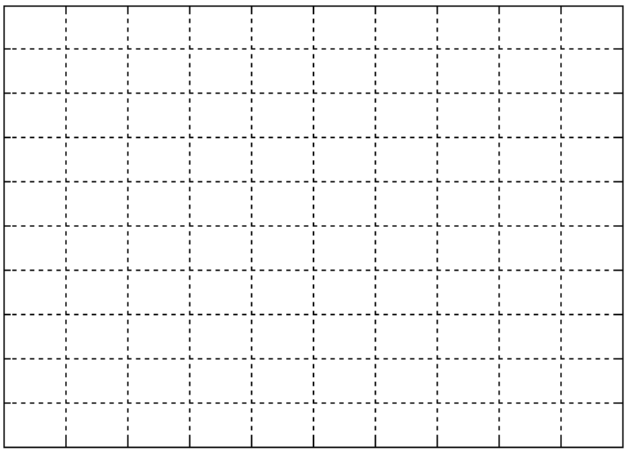
مشابه بخش قبلی همه عملیات را برای کنترل موقعیت تکرار نمائید. به ازای کنترل زاویه موتور در ۹۰ ، ۱۵۰ و ۲۲۰ درجه مراحل صورت گیرد.



شکل ۱۰-۴ پاسخ پله به ازای نقطه کار ۹۰DEG با طراحی کنترل‌کننده دیجیتال به روش گسسته سازی



شکل ۱۰-۵ پاسخ پله به ازای نقطه کار ۱۵۰DEG با طراحی کنترل‌کننده دیجیتال به روش گسسته سازی



شکل ۱۰-۶ پاسخ پله به ازای نقطه کار ۲۲۰DEG با طراحی کنترل‌کننده دیجیتال به روش گسسته سازی

جدول ۱۰-۳: بررسی عملکرد کنترل‌کننده مورد طراحی با تغییر نقطه کار

نقطه‌کار/ویژگی	خطای حالت دائمی	زمان صعود	درصد فراجهش
۹۰DEG			
۱۵۰DEG			
۲۲۰DEG			

همچنین به منظور عملکرد کنترل کننده در مقابل اغتشـاش با تغییر میزان ترمز در سـه شـرایط ۱۰ و ۲۰ و ۵۰ درصـد ترمز جدول را تکمیل نمائید (این عملیات را به ازای ضرایب طراحی و نقطه کار ۱۵۰ درجه صورت دهید).

جدول ۱۰-۴: بررسی عملکرد کنترل‌کننده مورد طراحی با تغییر میزان اغتشاش

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

۱۰-۵ سوالات

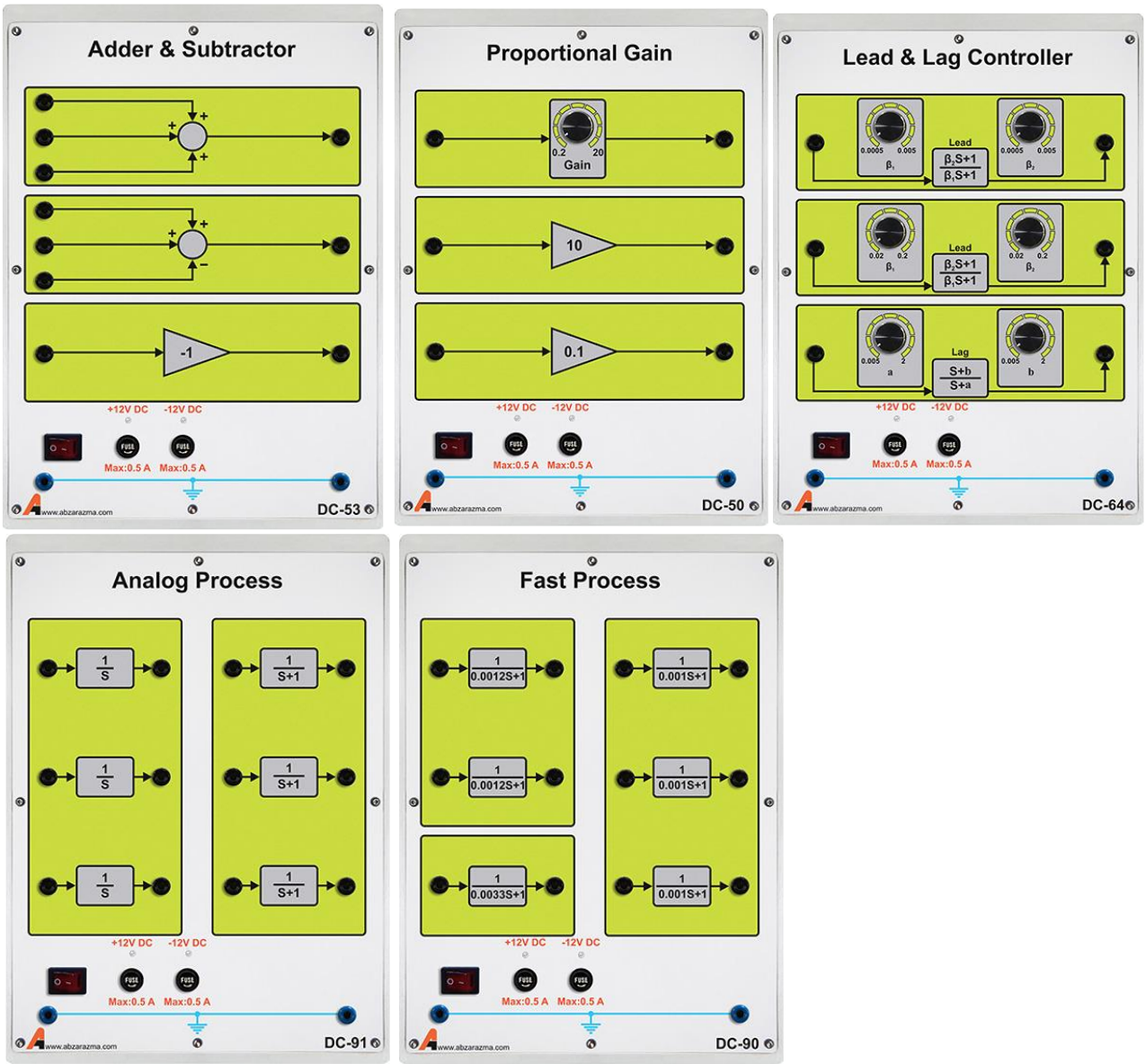
۱- روش گسسته سازی معرفی شده را با دیگر تکنیک های مرسوم مقایسه نمائید.

۱۱ طراحی کنترل کننده های پیشرفته

هدف: طراحی کنترل کننده های دیگر به جز PID

۱۱-۱ مقدمه

جهت تحقق کنترل‌کننده های دیگر چون lead-lag و فیدبک حالت می توان با افزودن چند تجهیز جانبی به این کنترل‌کننده ها و اتصال حلقه بسته آنها اقدام نمود. جهت تحقق کنترل کننده های آنالوگ پیشرفته تر از مجموعه شبیه ساز فرآیند آنالوگ مطابق شکل زیر استفاده می گردد که شامل ماژول‌های ۱- کنترلر Lead و Lag، ۲- بهره تناسبی، ۳- جمع‌کننده و تفریق‌کننده، ۴- مدل فرآیند آنالوگ ۵- مدل فرآیندهای سریع؛ می‌باشند.



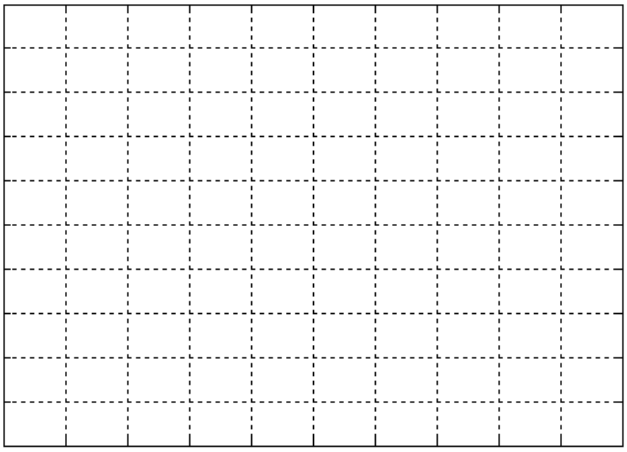
شکل ۱۱-۱ ماژول‌های مورد نیاز جهت شبیه‌سازی فرآیندهای آنالوگ و تحقق کنترل‌کننده های Lead و Lag

جهت تحقق کنترل کننده های دیجیتال پی شرفته تر نیز می بای ست از ماژول Embedded Microcontroller ا ستفاده نمود که قابلیت برنامه‌نویسی کنترلر داخلی که یک LPC1788 می‌باشد؛ با نرم‌افزار Keil uvision وجود دارد.

۱۱-۲ آزمایش و تحلیل

۱۱-۲-۱ طراحی و پیاده سازی کنترل کننده پیش فاز برای کنترل سرعت آنالوگ

به کمک روش های طراحی کنترل کننده پیش فاز ابتدا بر اساس مدل سیستم کنترل سرعت به دست آمده در آزمایش های قبلی یک کنترل کننده طراحی نمائید. به منظور پیاده سازی این کنترل کننده ضرایب دستگاه شبیه ساز را بر روی مقادیر طراحی شده تنظیم نمائید. پاسخ سیستم را مشابه آزمایش های قبلی رسم نمائید و راجع به مشخصات پاسخ پیشنهادی بحث نمائید.



شکل ۱۱-۲ پاسخ فرآیند کنترل سرعت به کمک کنترلر پیش‌فاز

۱۱-۲-۲ طراحی و پیاده سازی کنترل کننده فیدبک حالت برای کنترل موقعیت آنالوگ

بدین منظور خروجی سرعت را به کمک یک انتگرال گیر به متغیر حالت دیگر سیستم یعنی موقعیت تبدیل نمائید. مدل حاصل از مراحل قبلی را به فرم فضای حالت تبدیل نمائید. با استفاده از دستورات طراحی نرم افزار MATLAB یا محاسبه دستی مقادیر ضرایب فیدبک حالت و پیش ضریب ورودی نقطه کار را محاسبه نمائید. نتایج را به کمک دستگاه شبیه ساز فرآیند پیاده سازی نمائید و بر روی کیفیت پاسخ ها و مقایسه آن با سایر موارد بحث نمائید.

پیوست ۱: آشنایی با تجهیزات آموزنده کنترل دیجیتال و آنالوگ

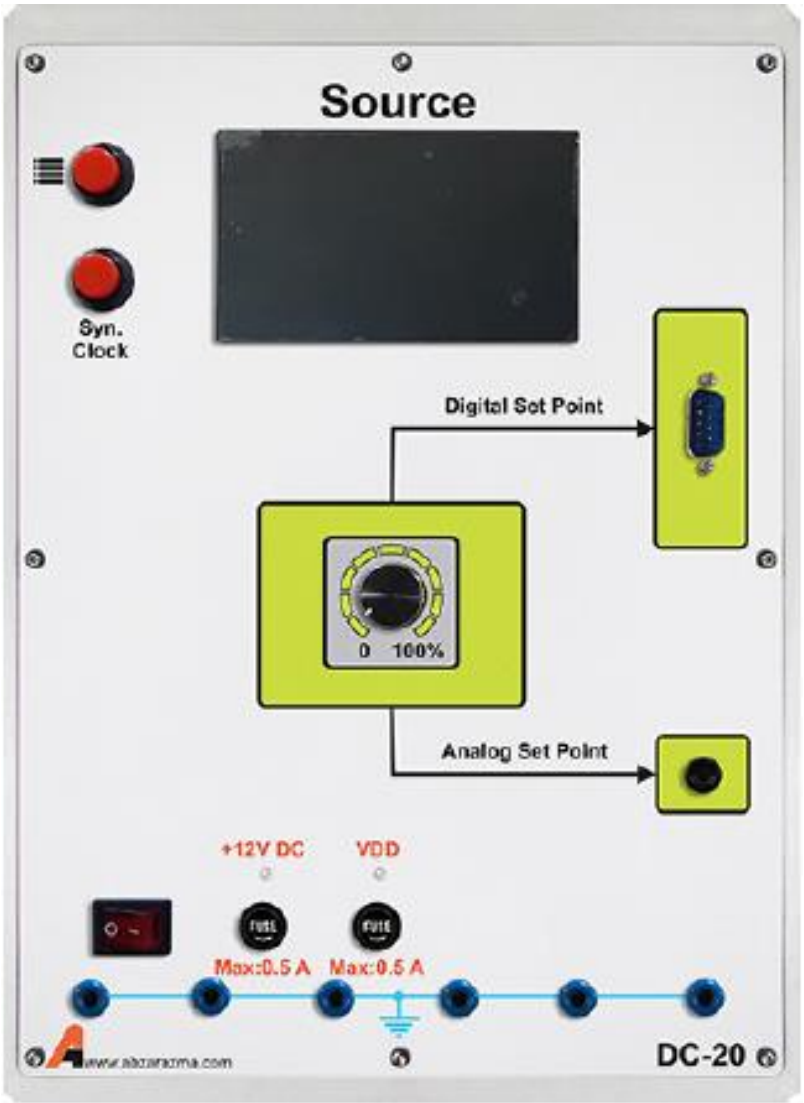
یکی از مباحث اساسی در یادگیری آزمایشگاه، استفاده صحیح و بهینه از تجهیزات آزمایشگاهی می‌باشد. به منظور استفاده هر چه بهتر از سیستم آزمایشگاهی لازم است تا اطلاعات کافی از تمامی اجزا داشته باشیم. بنابراین در این پیوست بخش‌های مختلف سیستم کنترل آنالوگ و دیجیتال توضیح داده می‌شوند.

۱- ماژول منبع:

این ماژول جهت ساختن فرمان مرجع آنالوگ و دیجیتال و تنظیم فرکانس نمونه برداری ماژول‌های دیجیتال مورد استفاده قرار می گیرد . همچنین سیگنال فرمان معادل به منظور کنترل سرعت و موقعیت سروو موتوررا نمایش می دهد.

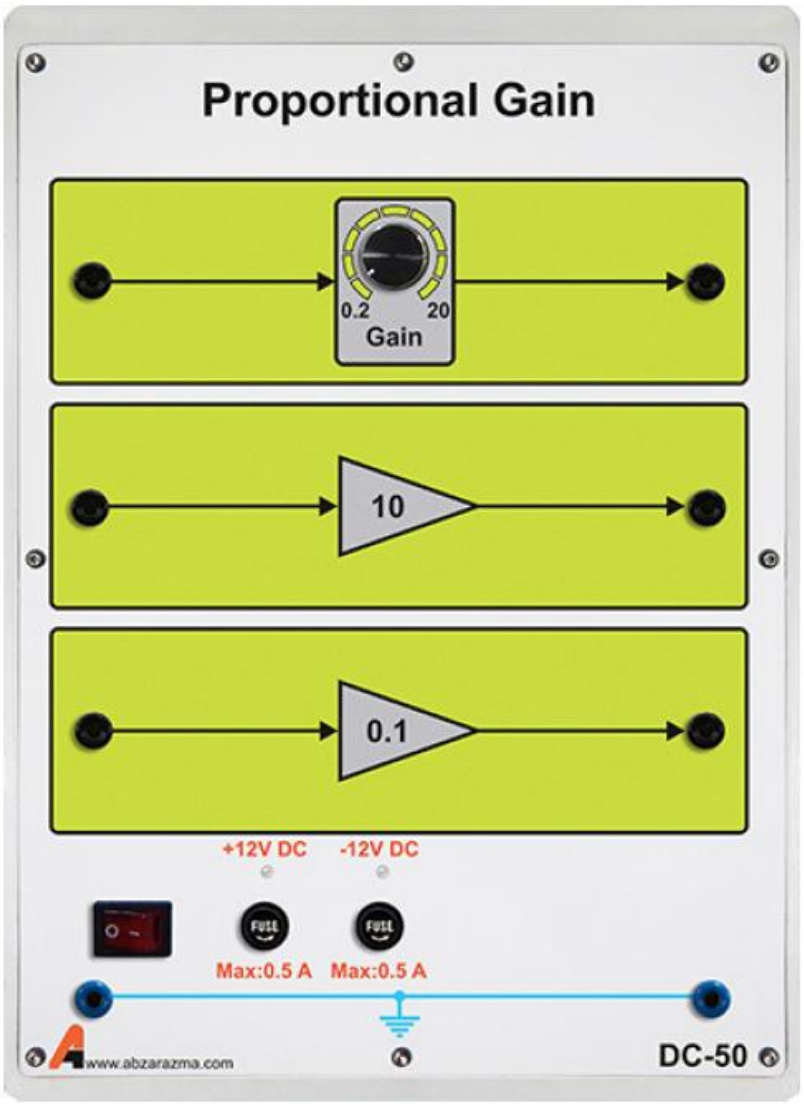
این ماژول دارای یک خروجی دیجیتال 10 بیتی و یک خروجی آنالوگ بین 10 – تا + 10 ولت اســـت. همچنین قابلیت تغییر فرکانس کلاک دیجیتال از ۰,۱ هرتز تا ۱۰۰ هرتز را دارد.

در این ماژول از یک LCD گرافیکی ۴,۳ اینچی برای نمایش مقدار مرجع سیگنال آنالوگ و دیجیتال و ... استفاده شده است.



۲- ماژول بهره تناسبی:

این ماژول جهت ایجاد بهره تناسبی مورد استفاده قرار می‌گیرد. محدوده مجاز ورودی ها می‌تواند بین ۱۰- تا ۱۰+ تغییر کند. به کمک این ماژول می‌توان بهره ثابت ۰,۱ و ۱۰ یا بهره متغیر بین ۰,۲ تا ۲۰ ایجاد نمود.

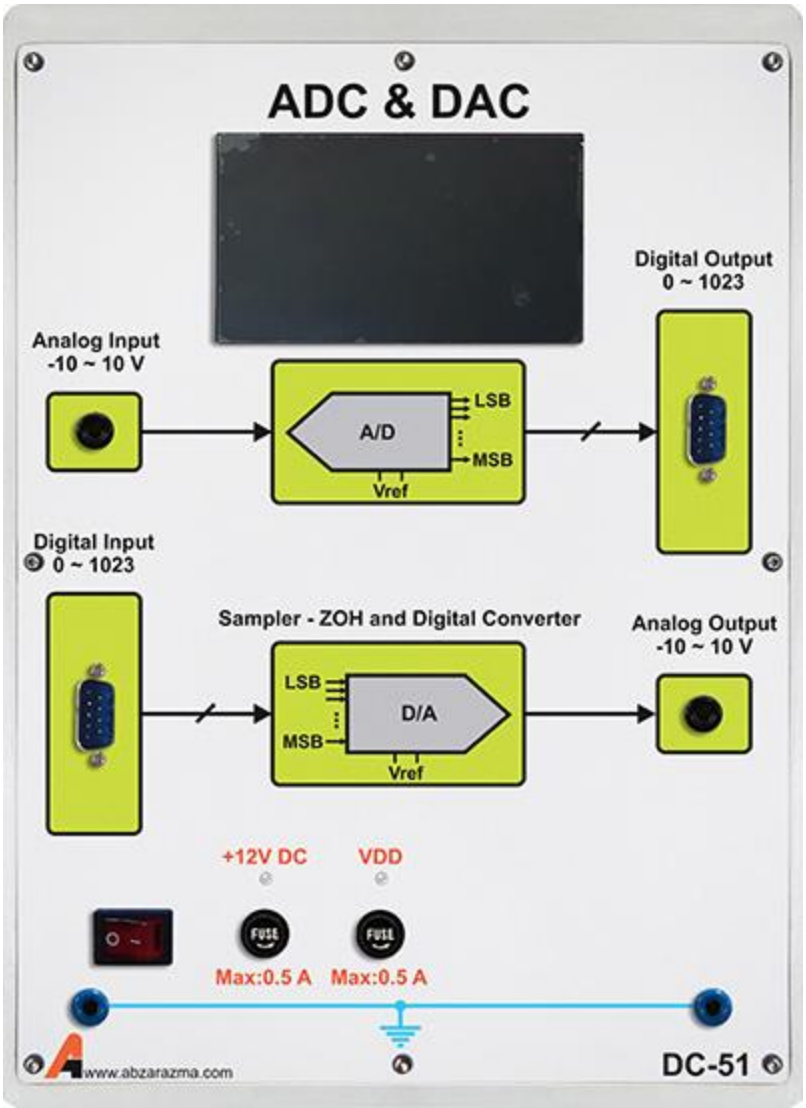


۳- ماژول مبدل آنالوگ به دیجیتال و دیجیتال به آنالوگ

این ماژول جهت تبدیل سیگنال آنالوگ به دیجیتال و برعکس مورد استفاده قرار می‌گیرد.

مشخصات ورودی و خروجی های این ماژول به شرح زیر است:

- ورودی آنالوگ ±10V
- خروجی آنالوگ ±10V
- ورودی دیجیتال 10 بیتی
- خروجی دیجیتال 10 بیتی
- یک نمایشگر گرافیکی "TFT 4.3

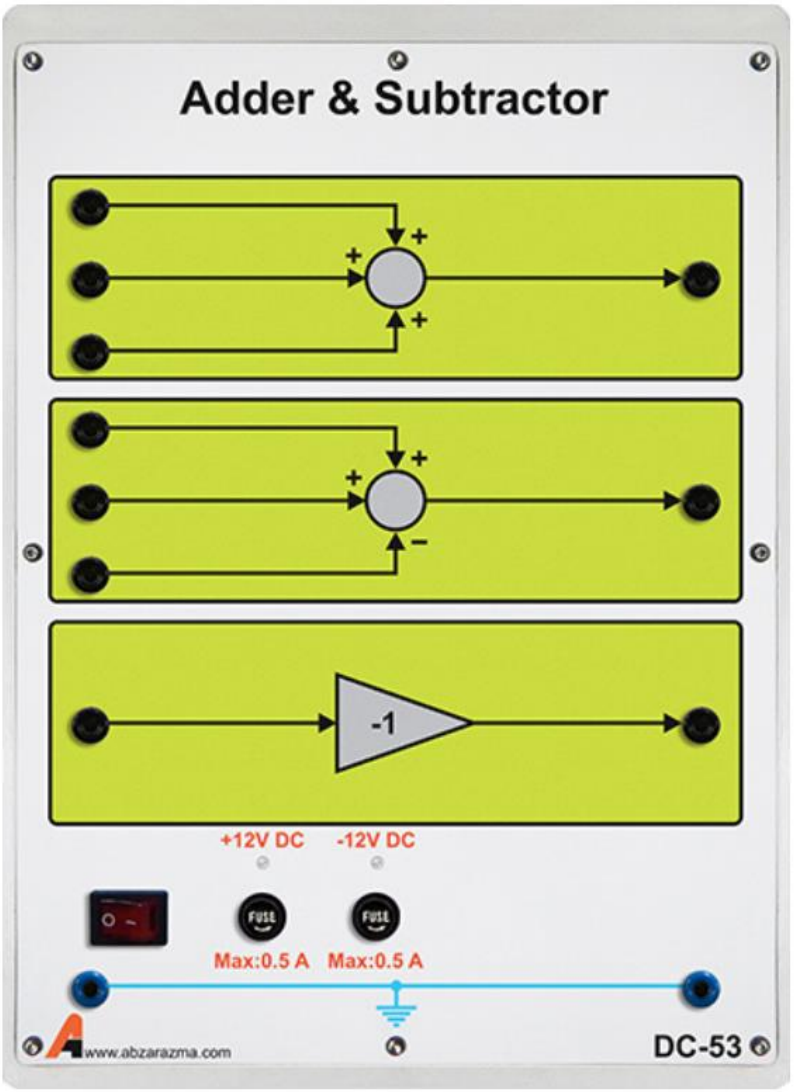


۴- ماژول جمع‌کننده و تفریق‌کننده

این ماژول جهت جمع و یا تفریق یک یا چند سیگنال آنالوگ مورد استفاده قرار می‌گیرد.

مشخصات ورودی و خروجی‌های این ماژول به شرح زیر است

- ولتاژکاری ±۱۰
- جمع کننده سه ورودی
- تفریق کننده سه ورودی
- معکوس کننده

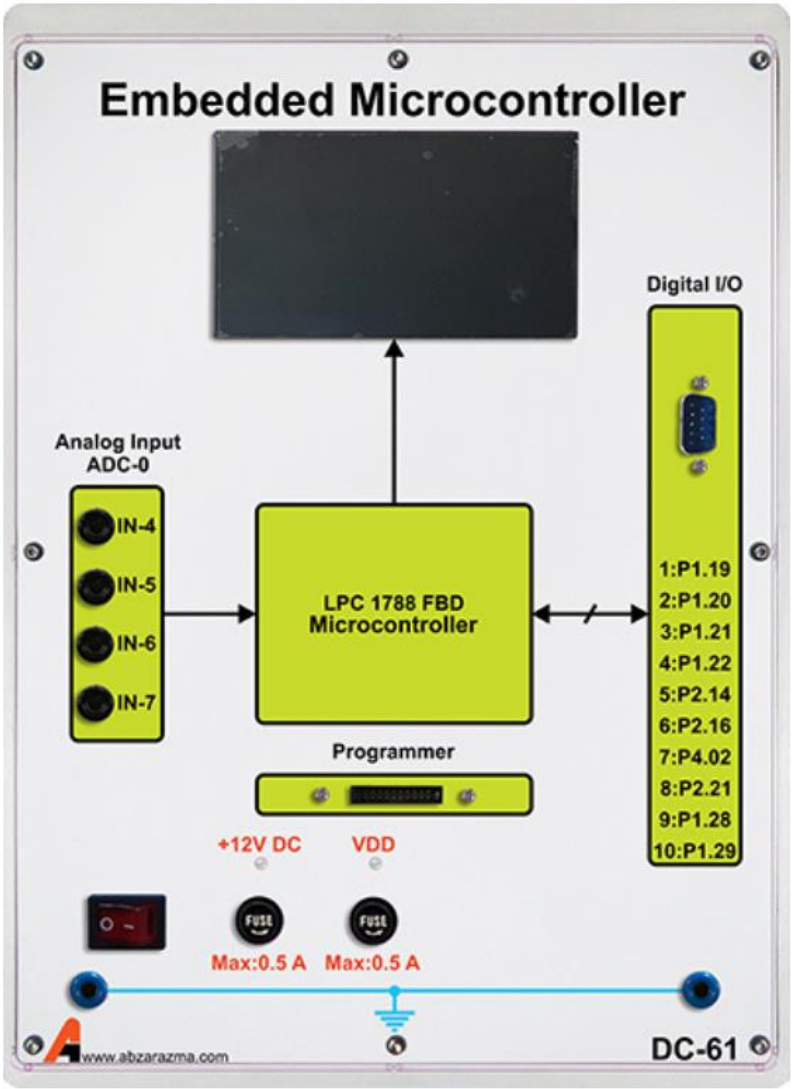


۵- ماژول میکروکنترلر با قابلیت برنامه‌نویسی

این ماژول جهت پیاده‌سازی انواع کنترل کنندههای دیجیتال مورداستفاده قرار میگیرد.

مشخصات این ماژول به شرح زیر است

- دارای یک میکروکنترلر ARM سری Cortex M3 به نام LPC1788 با قابلیت برنامه‌ریزی از طریق پورت JTAG
- یک نمایشگر گرافیکی "TFT 4.3
- ورودی و خروجی‌های آنالوگ و دیجیتال استاندارد
- ورودی کلاک سنکرون ساز
- پورت JTAG برای برنامه‌نویسی میکروکنترلر داخلی

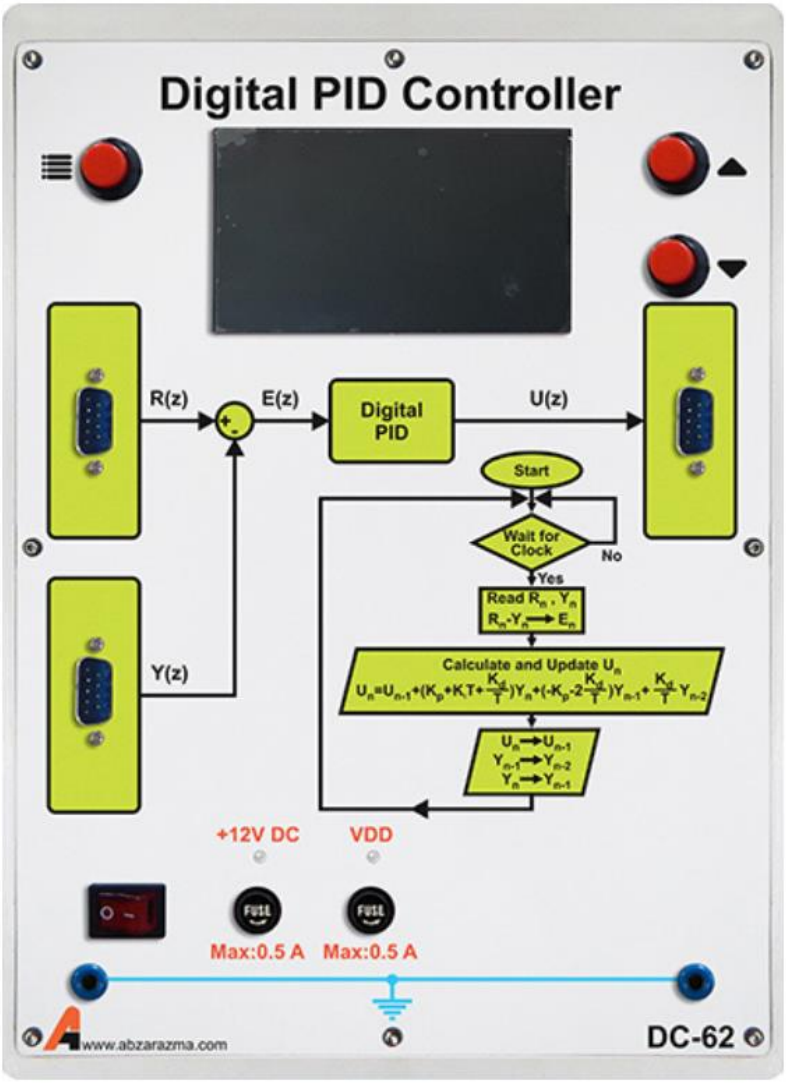


۶- ماژول کنترل‌کننده PID دیجیتال

این ماژول یک کنترل کننده PID دیجیتال با الگوریتم بازگشتی به فرم سرعتی میباشد. این ماژول سیگنال های دیجیتال کنترلی جهت کنترل ســـرعت و موقعیت موتور را تولید می‌کند. ورودی‌ها و خروجی این ماژول تماما دیجیتال می باشـــد و الگوریتم کاری آن بر روی سطح ماژول مشخص شده است.

مشخصات این ماژول به شرح زیر است

- امکان تنظیم بهره‌های تناسبی، مشتقی و انتگرالی در محدوده ۱ تا ۱۰۰
- امکان مشاهده وضعیت سیگنال کنترلی
- ورودی کلاک سنکرون ساز
- یک نمایشگر گرافیکی "4.3 برای نمایش ضرایب کنترل‌کننده و ....

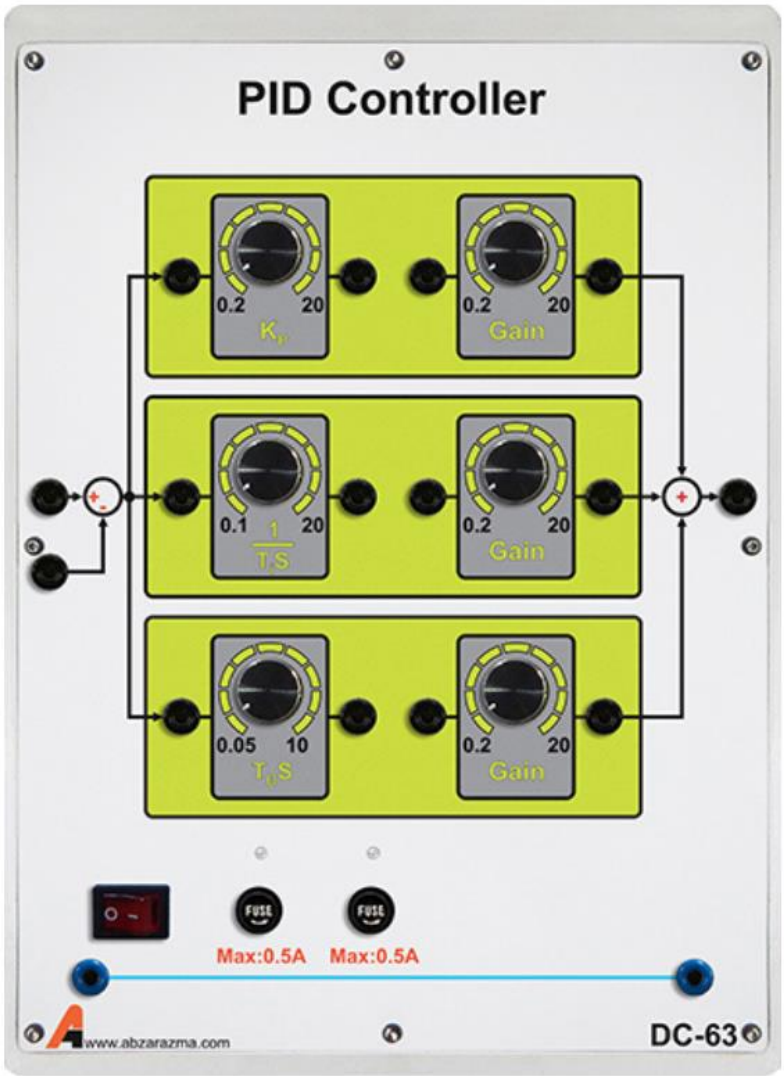


۷- ماژول کنترل‌کننده PID آنالوگ

این ماژول یک کنترل کننده PID کامل به همراه بهره‌های قابل تغییر در محدوده‌های وسیع میباشد.

مشخصات این ماژول به شرح زیر است

- ولتاژ کاری ۱۰ V±
- بهره تناسبی ۰/۲تا۲۰
- بهره انتگرالی ۰/۱تا ۲۰
- بهره مشتقی ۰/۰۵تا۱۰
- بهره ثابت ۰/۲تا ۲۰

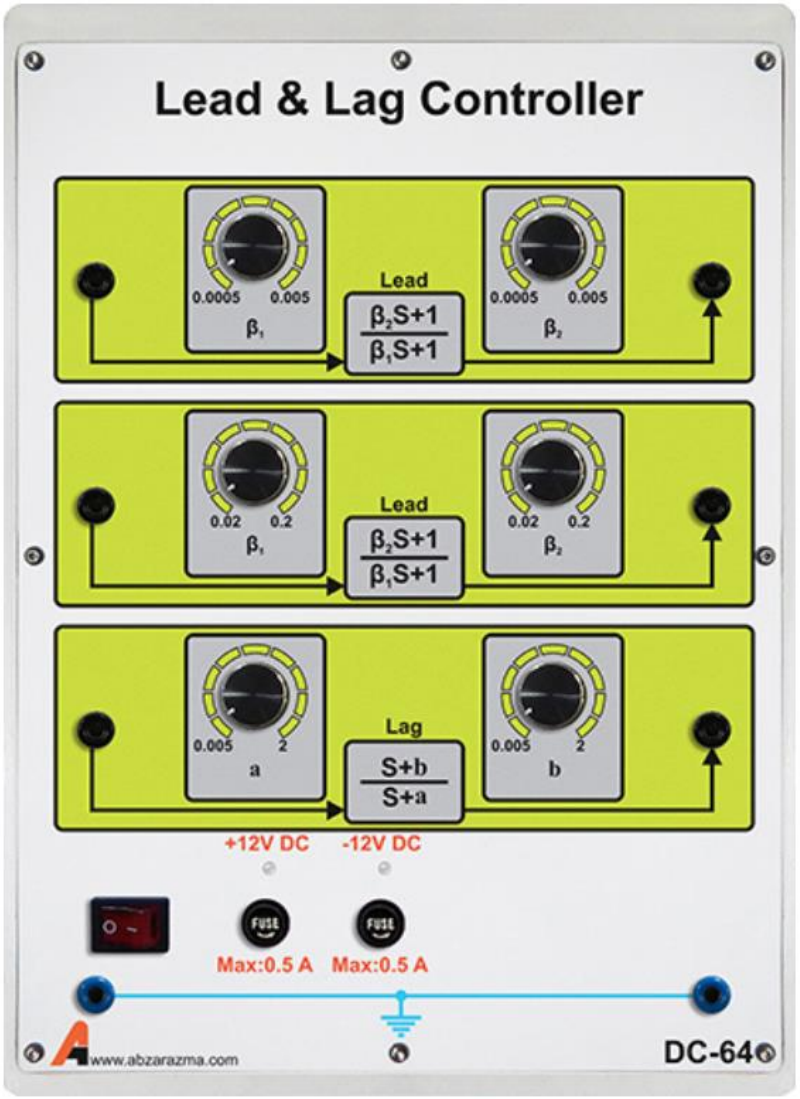


۸- ماژول کنترل‌کننده پس‌فاز و پیش‌فاز

این ماژول جهت اعمال کنترل کنندههای پیش فاز و پس فاز مورد استفاده قرار میگیرد.

مشخصات این ماژول به شرح زیر است

- ولتاژ کاری ۱۰ V±
- کنترل کننده پیش فاز با محدوده‌ی ۰/۰۰۰۵تا ۰/۰۰۵
- کنترل کننده پس فاز با محدوده‌ی ۰/۰۵تا ۲

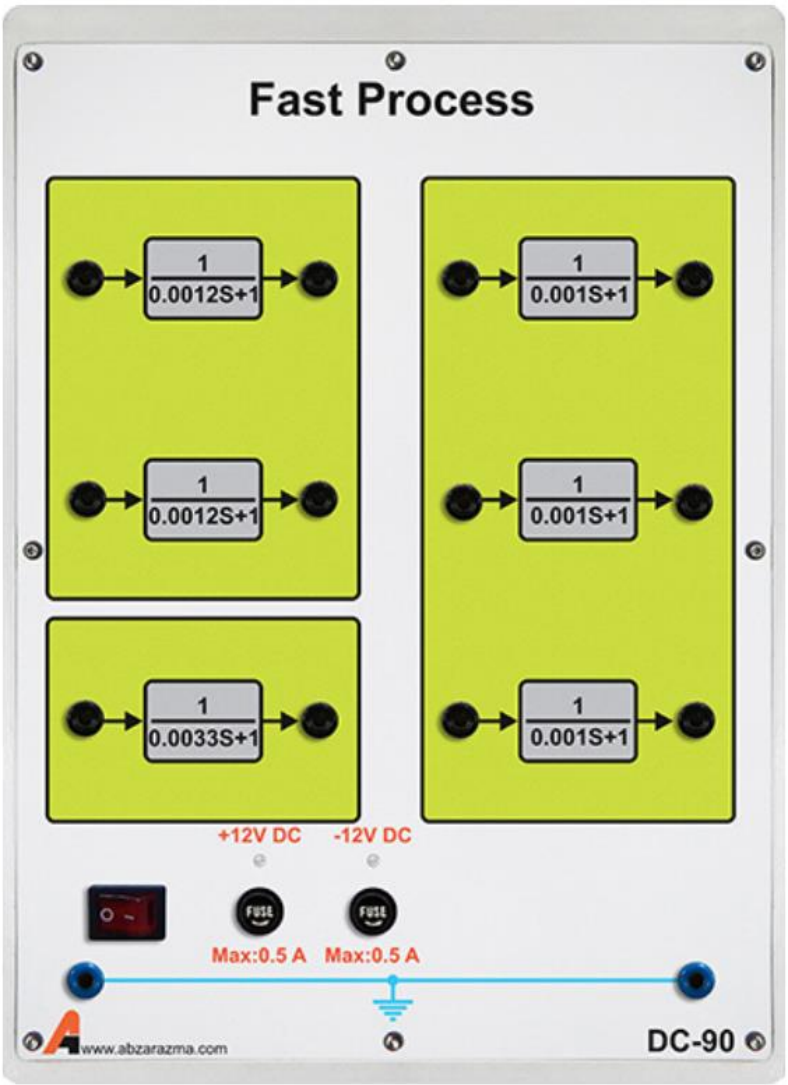


۹- ماژول مدل‌ساز ۶ فرآیند سریع

این ماژول قادر به مدلسازی شش فرآیند سریع می‌باشد.

مشخصات این ماژول به شرح زیر است

- ولتاژ کاری ۱۰ V±
- یک فرآیند $1/(0.0033S+1)$
- دو فرآیند $1/(0.0012S+1)$
- سه فرآیند $1/(0.001S+1)$

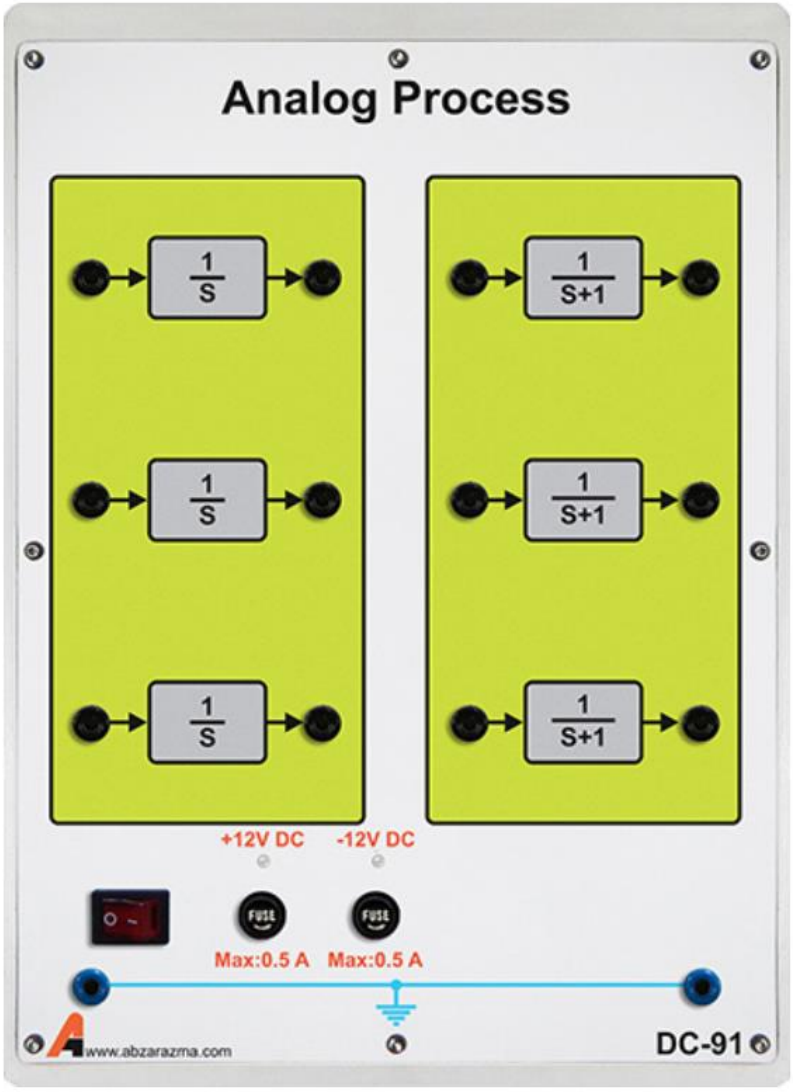


۱۰-ماژول مدل‌ساز ۶ فرآیند آنالوگ

این ماژول قادر به پیاده‌سازی شش فرآیند آنالوگ پایه می‌باشد.

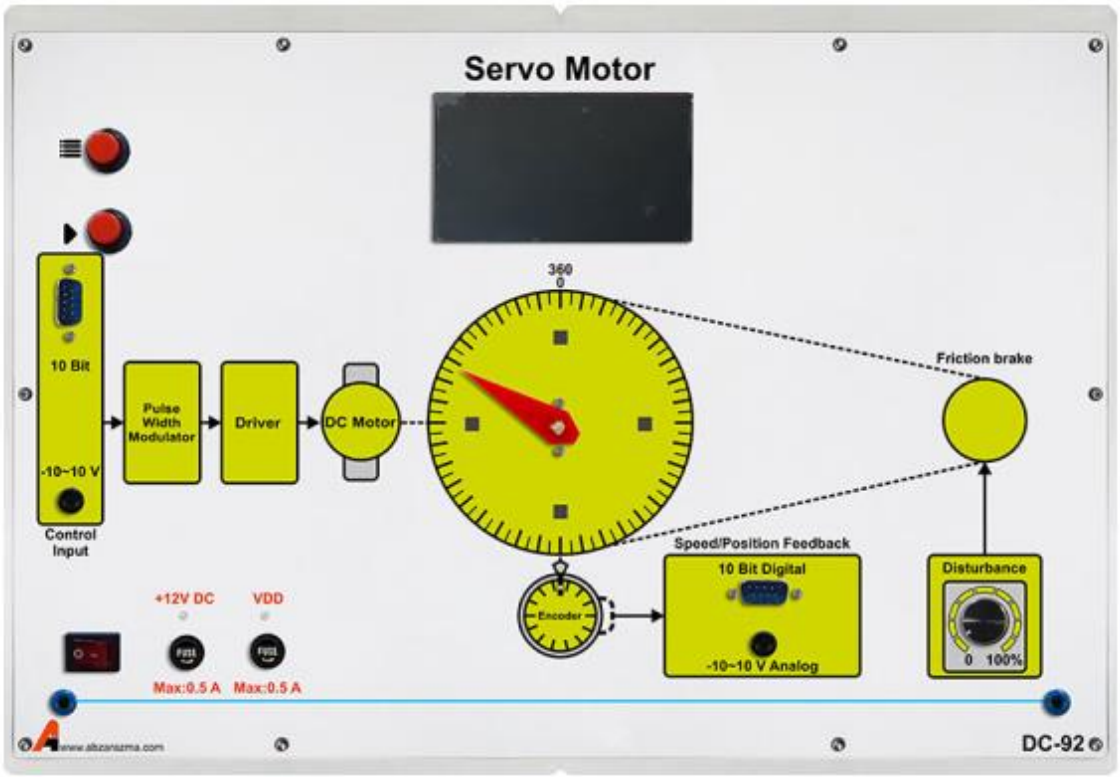
مشخصات این ماژول به شرح زیر است

- ولتاژ کاری ۱۰ V±
- سه فرآیند $1/S$
- سه فرآیند $1/(S+1)$



۱۱-ماژول سروو موتور DC

ماژول سروو موتور دارای فیدبک سرعت و موقعیت همراه با ترمز مکانیکی قابل تنظیم جهت اعمال اغتشاش میباشد. از یک درایور موتور برای تبدیل فرمان میکروکنترلر به سیگنال مناسب جهت کنترل موتور استفاده شده است. همچنین یک نمایشگر گرافیکی ۴,۳ اینچی برای نمایش موقعیت، سرعت و ... در نظر گرفته شده است.



۱۲- انکودر

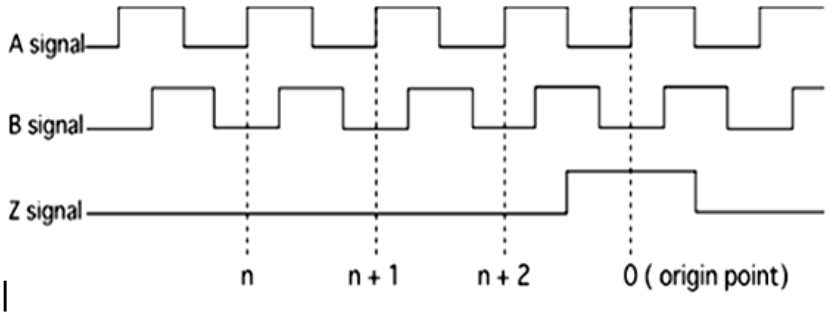
یکی از ابزارهای تشخیص موقعیت یا سرعت به منظور تأمین فیدبک برای کنترل دقیق در فرآیندهای صنعتی، انکودر می باشد. انکودر از جمله ابزارهای دیجیتال در تعیین موقعیت یا سرعت می باشد. هر انکودر بسته به نوع آن دارای خروجی های متفاوتی است. انکودری که در سیستم کنترل مورد نظر استفاده شده است دارای سه خروجی بصورت زیر است:

۱- خروجی فاز A

۲- خروجی فاز B

۳- خروجی فاز Z

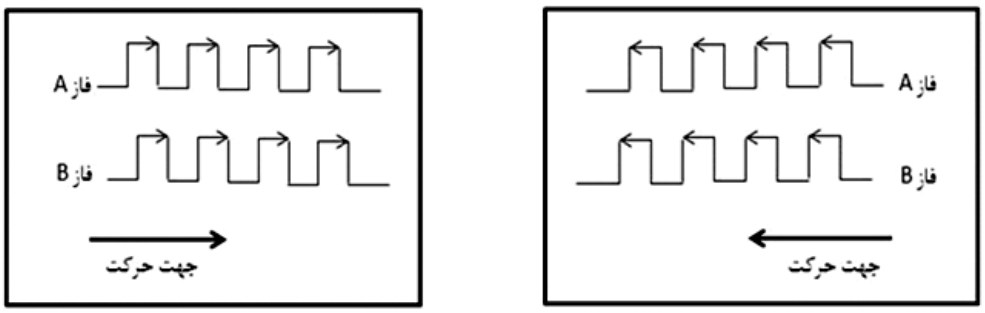
تعداد پالس های فاز A مشابه پالس های فاز B می باشد با این تفاوت که پالس های فاز B، ۹۰ درجه اختلاف فاز مکانی دارد. از این اختلاف فاز در پیدا کردن جهت چرخش انکودر استفاده می کنیم.



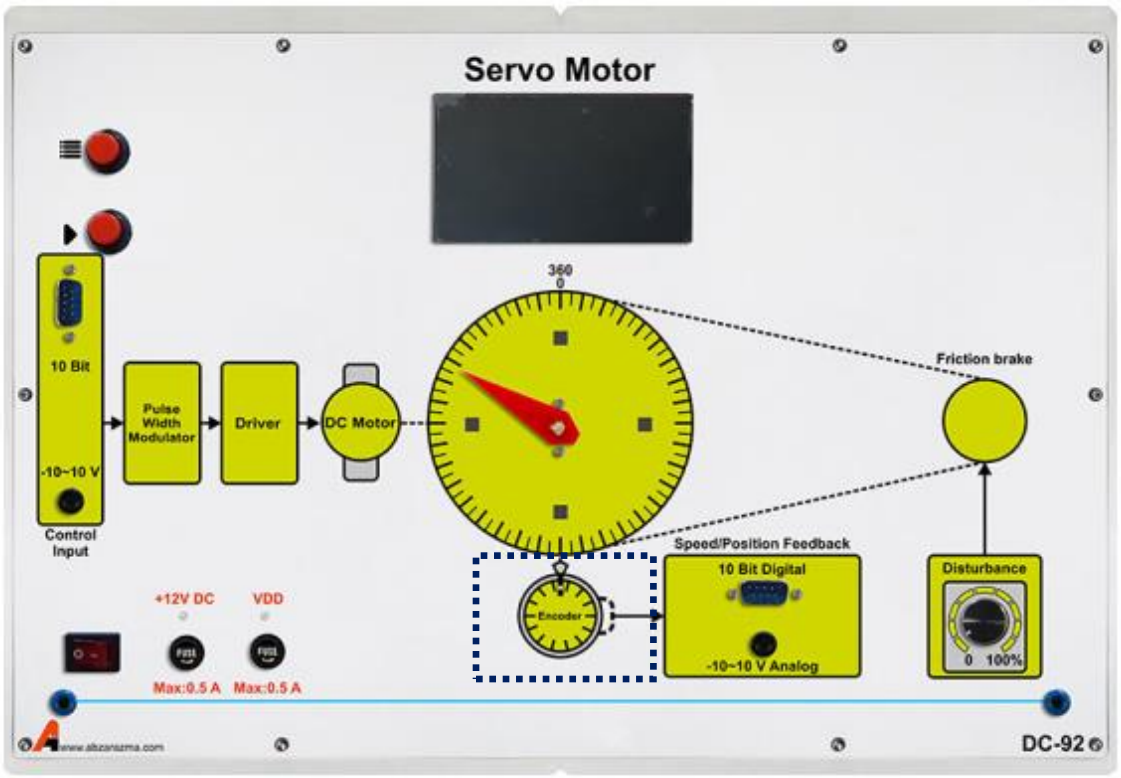
شکل ۰-۱ خروجی سیگنال های انکودر

از این اختلاف فاز برای تشخیص جهت چرخش انکودر استفاده می شود، به این صورت که چنانچه فاز A تقدم داشته باشد، حرکت راستگرد و چنانچه فاز B تقدم داشته باشد، حرکت چپگرد استنباط می شود. عملکرد تشخیص جهت به صورت شکل زیر است.

در این آزمایشگاه جهت تبدیل اطلاعات خروجی انکدر به اطلاعات مورد استفاده در سیستم کنترل دیجیتال یا آنالوگ از یک میکروکنترلر استفاده شده است. برای کالیبراسیون انکودر می‌بایست صفحه دایره ای مدرج بر روی انکودر و موتور به صورت دستی روی صفر تنظیم شده و در این حالت، دستگاه روشن گردد. این عمل برای انجام بخش کنترل موقعیت بسیار مهم می‌باشد.



شکل ۰-۲ تشخیص جهت در انکودر نوری افزایشی


Servo Motor
10 Bit
-10~10 V
Control Input
Pulse Width Modulator
Driver
DC Motor
360
0
Friction brake
Speed/Position Feedback
10 Bit Digital
-10~10 V Analog
Encoder
Disturbance
0 100%
+12V DC
VDD
Max:0.5 A
Max:0.5 A
DC-92