شرکت دانش بنیان

تجهیزات ابزار آزما

نوآوری و فناوری برای توسعه

دستور کار جامع کنترل آنالوگ و دیجیتال

دستور کار ویژه دانشجو

دستور کار آزمایشگاه سیستم‌های کنترل

اهداف:

هدف از این دستور کار معرفی تجهیزات آزمایشگاه سیستم‌های کنترل دیجیتال 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 د ستور کار مطالب ا سا سی درس کنترل دیجیتال در قالب ۱۰ آزمایش ارائه گردیده ا ست. همچنین سعی شده است عمدهٔ مطالب پیش زمینه در متن گنجانده شود و دستورکار از این جهت کمتر نیاز به مراجع بیرونی دارد.

این د ستورکار در سه بخش تدوین شده ا ست. در بخش اول که در بر گیرنده آزمایش‌های اول تا چهارم می‌با شد؛ سعی می شود رابطهٔ بین قطب‌ها و صفرهای یک سیستم خطی با پا سخ‌های زمانی (ورودی پله) و فرکانسی مرور شود، به این ترتیب انتظار می‌رود دان شجو بتواند تابع انتقال یک سی ستم نا شناخته 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 د ستور 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 پیو ست شماره یک معرفی ماژول‌های آموزنده کنترل آنالوگ و دیجیتال ارائه گردیده ا ست که لازم ا ست 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 جل سه قبل را تحویل نماید. انجام بحث و تبادل نظر دان شجویان و مدرس کلاس راجع به نتایج حا صل از آزمایش‌ها تأثیر قابل ملاحظه ای در درک مطالب کنترل خطی و کنترل سروو موتور دارد. م سلماً گزارش حا صل همراه با نقص و کا ستی 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 آشنایی با سیستمهای کنترل خطی ۵
۲ طراحی کنترل کنندهٔ *PID* آنالوگ و دیجیتال ۱۶
۳ مقدمه ای بر فرآیند کنترل سرعت و موقعیت سروو موتور ۲۴
۴ طراحی کنترل کننده آنالوگ سرعت سروو موتور ۲۹
5 طراحی کنترل کننده دیجیتال حلقه بسته سرعت سروو موتور ۳۵
۶ طراحی کنترل کننده آنالوگ و دیجیتال موقعیت سروو موتور ۴۰
۷ کنترل حلقه بسته آنالوگ و دیجیتال کنترل دما IC90 ..... ۴۶
۸ کنترل حلقه بسته آنالوگ و دیجیتال کنترل سطح IC91 ..... ۵۲
پیوست ۱: آشنایی با تجهیزات آموزنده کنترل دیجیتال و آنالوگ ۵۸
مشخصات ماژول شبیه ساز کنترل دما IC۹۰ ..... ۷۱
مشخصات ماژول شبیه ساز کنترل سطح IC 91 ..... ۷۵

۱ آشنایی با سیستمهای کنترل خطی

۱,۱ مقدمه

در مبحث سیستم‌های خطی، شناخت سیستم‌ها بخش پایهٔ کار است. می‌دانیم یکی از روش‌های مشخص نمودن یک سیستم با قطب‌ها، صفرها و بهرهٔ انتقال در قالب تابع انتقال *SISO* خطی (ناشی از تبدیل لاپلاس یا فوریه) به صورت‌های زیر است:

$$G(j\omega) = K\frac{\prod(j\omega + z_i)}{\prod(j\omega + p_i)} \quad \text{یا} \quad G(s) = K\frac{\prod(s + z_i)}{\prod(s + p_i)}$$

روش‌های دیگری نیز برای نشان دادن سیستم‌ها (خطی یا غیرخطی) وجود دارند. کلیهٔ ویژگی‌های یک سیستم را می‌توان از تابع انتقال آن دریافت یا پیش بینی نمود، در مقابل از پاسخ یک سیستم به ورودی‌های مشخص (معمولاً ورودی‌های پایه از جمله ضربه، پله، سینوسی) می‌توان تابع انتقال سیستم را مشخص نمود.

در این آزمایش سعی بر مرور برخی نکات تئوری دروس سیستم‌های خطی و تجربهٔ آنها به صورت واقعی‌تر می‌باشد. پاسخ به ورودی پله (زمانی) و سینوسی (فرکانسی) مد نظر است. سیستم‌های مرتبه اول، دوم و سوم (سیستم‌های بسسسا ۱، ۲ یا ۳ قطب) در نظر گرفته می‌شوند. آزمایش‌ها بر روی دستگاه شبیه ساز فرآیند انجام می‌شوند؛ ضمن اینکه مقایسهٔ پاسخ‌ها با شبیه سازی بر روی فایل نرم افزاری نیز ضروری است. انتظار می‌رود در پایان آزمایش دانشجو بتواند با توجه به یادآوری ویژگی‌های مختلف پاسخ‌های زمانی و فرکانسی سیستم‌های خطی، روابط بین مکان قطب‌ها در صفحهٔ S با جنبه‌های مختلف پاسخ‌های زمانی و فرکانسی را تحلیل نموده و از آنها در بررسی عملی سیستم‌ها استفاده نماید.

۱,۲ پیش زمینه

جهت یادآوری مطالب مورد نیاز، رفتار سیستم‌های مختلف مورد نظر در این آزمایش را مرور می‌کنیم. توجه شود که سیستم‌های مورد بحث تنها معطوف به سیستم‌های پایدار، یعنی سیستم‌هایی که قطب‌هایشان در نیم صفحهٔ سمت چپ صفحهٔ فرکانس مختلط، S، قرار دارند (دارای بخش حقیقی منفی هستند) می‌شود.

۱,۲,۱ سیستم مرتبهٔ یک

برای سیستم سادهٔ $G(s) = \frac{K}{s+a} = K'\frac{1}{1+\tau s}$ که یک قطب ساده در $s = -a$ دارد، پاسخ به ورودی پلهٔ واحد $x(t) = u(t)$ به صورت $y(t) = K'(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$ یا $y(t) = K(1 - e^{-at})$ خواهد بود. ثابت زمانی، τ، مدت زمانی است که خروجی به ۶۳ درصد مقدارنهایی خود می‌رسد. مقدار نهایی خروجی K' است.

شکل ۱-۱ (الف) پاسخ به ورودی پله را در سیستم $G(s) = \frac{۱/۶۶۷}{s+۰/۳۳۳} = ۵\frac{۱}{۱+۳s}$ نشان می‌دهد.

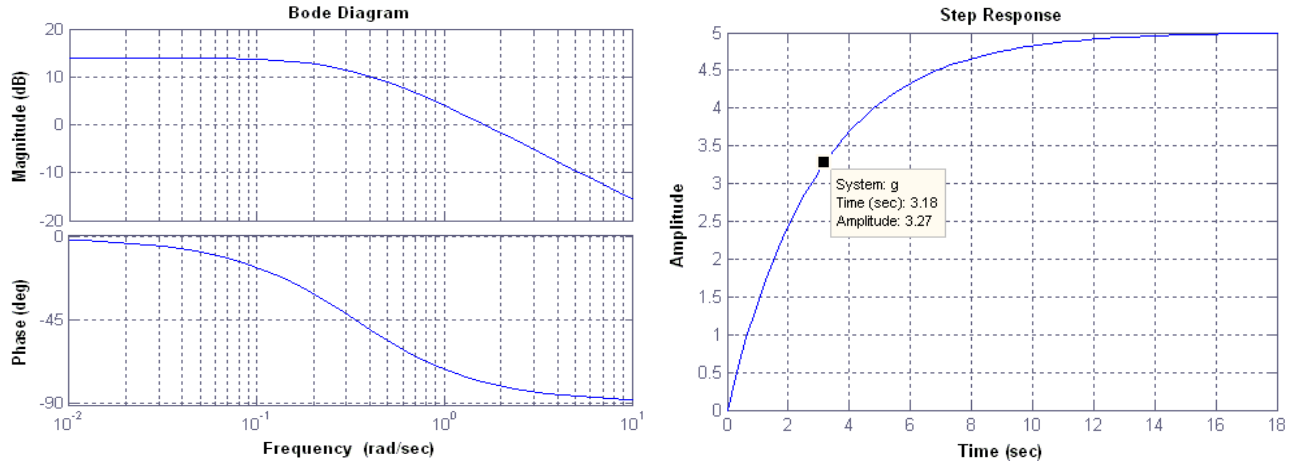
این سیستم یک قطب در $s = -۰/۳۳۳_{rad/sec}$ داشته که ثابت زمانی ۳ را موجب می‌شود. بهرهٔ DC این سیستم نیز ۵ است.

پاسخ در زمان طولانی به مقداری ثابت (معادل بهرهٔ *DC*) میل می‌کند. لذا می‌توان فرض کرد که خروجی بعد از مدتی تقریباً به مقدار نهایی رسیده است، مثلاً بعد از چهار ثابت زمانی (4τ) مقدار خروجی کمتر از ٪ ۲ با مقدار نهایی و بعد از پنج ثابت زمانی کمتراز ٪۰/۷ با مقدار نهایی تفاوت دارد؛ این مدت را زمان نشست، t_s، می‌نامند.

پاسخ فرکانسی سیستم فوق مطابق شکل ۱-۱ (ب) خواهد بود.

م شاهده می شود که تغییرات عمدهٔ این نمودار در نزدیکی محل قطب $s = -۰/۳۳۳_{rad/sec}$ رخ می‌دهد. در واقع در ورای فا صلهٔ یک دهه (*decade*) از محل قطب، نمودار را می‌توان به سادگی با مجانب‌هایی (خطوط مستقیم) معادل فرض کرد.

نمودار بهره در فرکانس پایین مقداری ثابت به اندازهٔ بهرهٔ *DC* (با شـیب صـفر) داشـته و پس از فرکانس قطب با شـیب $۲۰_{db/decade}$ سقوط می‌کند. نمودار فاز در طی دو دهه تقریباً ۹۰- را پشت سر می‌گذارد (تغییرات نزولی است و فاز به ۹۰- می‌رسد.)



(ب) (الف)

شکل ۱-۱ (الف) پاسخ پله سیستم مرتبه اول نمونه، (ب) پاسخ فرکانسی سیستم مرتبه اول نمونه

۱،۲،۲ سیستم مرتبهٔ دو

تابع انتقال کلی یک سیستم مرتبهٔ ۲ به صورت $G(s) = \frac{K}{s^۲+cs+d}$ را در نظر می گیریم. بهرهٔ *DC* این سیستم $\frac{K}{d}$ است. چند جمله ای مخرج می‌تواند دو ریشهٔ حقیقی یا دو ریشهٔ مزدوج مختلط دا شته با شد. در صورتی که ریشه‌های مخرج حقیقی با شند می‌توان چند جمله‌ای مخرج را به صـورت $s^۲ + cs + d = (s + a)(s + b)$ نوشـت که در آن $c = a + b$ و $d = ab$ بوده و ریشه‌های مخرج $s_۱ = -a$ و $s_۲ = -b$ هستند. پاسخ به ورودی پلهٔ واحد به صورت رابطه زیر خواهد بود.

$$y(t) = \frac{K}{ab}(۱ - \frac{b}{b-a}e^{-at} - \frac{a}{b-a}e^{-bt})$$

دیده می‌شود اگر فاصلهٔ دو قطب زیاد باشد، مثلاً $۱۰a > b$ ضریب جملهٔ متناظر با قطب نزدیکتر به مبدأ($-b$) تقریباً مساوی یک شده، اما ضریب جملهٔ قطب دورتر از مبدأ ($-a$) کوچکتر از واحد خواهد بود. در نتیجه ضمن اینکه جملهٔ متناظر با قطب بزرگتر سریعتر به صفر می‌رسد دامنهٔ تغییرات آن نیز بسیار کوچکتر از واحد بوده و از این رو اثر آن در پاسخ ناچیز است. در این شرایط قطب نزدیکتر به مبدأ که دامنهٔ تغییرات نزدیک به واحد دارد و کند نیز هست **قطب غالب** گفته می‌شود (چون پاسخ به ورودی پله بسیار شبیه پاسخ سیستم با یک قطب در $-b$ است). قطب $-a$ که اثر آن در پاسخ ناچیز است مغلوب نامیده می‌شود.

اگر سیستم دارای دو قطب حقیقی نزدیک به هم با شد، نمی‌توان از اثر یکی در مقابل دیگری صرف‌نظر نمود. با این وجود از تحلیل قبلی می‌توان دریافت که در پاسخ سیستم به ورودی پله اثر قطب نزدیکتر به مبدأ بیشتر دیده می‌شود.

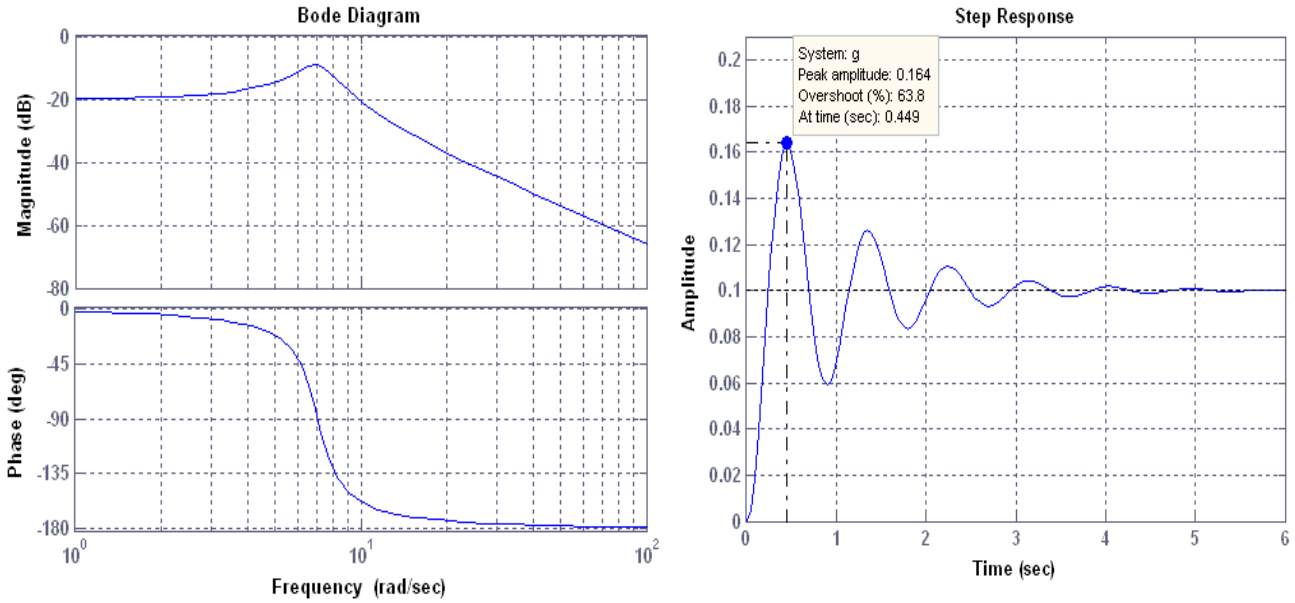
ممکن است سیستم دارای یک جفت قطب مزدوج مختلط به صورت $s_{۱,۲} = -\sigma \pm j\omega_d$ باشد که در آن σ فرکانس حقیقی و ω_d فرکانس موهومی قطب هسـتند. تعریف می‌کنیم: زاویهٔ قطب با محورحقیقی $\theta = \tan^{-1}\frac{\omega_d}{\sigma}$ ضـریب میرایی $\zeta = \cos\theta$ و فرکانس

طبیعی $\omega_n{}^2 = \omega_d{}^2 + \sigma^2$ که معادل فاصله قطب تا مبدأ است. آنگاه چندجمله‌ای مخرج را می‌توان به صورت $s^2 + cs + d = s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n{}^2 = s^2 + 2\sigma s + (\sigma^2 + \omega_d{}^2)$ نوشت. پاسخ این سیستم به ورودی پلهٔ واحد به صورت $y(t) = \frac{K}{\omega_n{}^2}(1 - e^{-\sigma t}\sin(\omega_d t + \varphi))$ است. پاسخ دارای نوسانات سینوسی با فرکانس ω_d است که به تدریج (با توجه به سرعت به صفر رسیدن $e^{-\sigma t}$) از بین می‌رود. پاسخ دارای جهش است که میزان آن نسبت به مقدار نهایی خروجی بر حسب درصد $P.O. = 100e^{-\pi\zeta \tan\theta}$ و زمان رسیدن به این نقطه (اولین نقطهٔ حداکثر) $t_p = \frac{\pi}{\omega_d}$ است. مدت زمانی که طول می‌کشد تا خروجی برای اولین بار به مقدار نهایی برسد را زمان خیز (*rise time*) می‌گویند. برای زمان خیز از ۱۰٪ تا ۹۰٪ مقدار نهایی روابط تقریبی مرتبهٔ اول $t_r = \frac{0/8+2/5\zeta}{\omega_n}$ و تقریب مرتبهٔ دوم $t_r = \frac{1+1/1\zeta+1/4\zeta^2}{\omega_n}$ می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند.

به عنوان مثال پاسخ سیستم $G(s) = \frac{۵}{s^۲+۲s+۵۰}$ به ورودی پلهٔ واحد را در شکل ۱-۲ (الف) مشاهده می‌کنید. می‌توانید پارامترهای مختلف مطرح شده را از روی شکل اندازه گرفته و با نتیجهٔ روابط داده شده مقایسه نمایید.

در پاسخ فرکانسی این سیستم نیز مشاهده می‌کنیم که عمدهٔ تغییرات در فواصل کمتر از یک دهه نسبت به فرکانس طبیعی قطب رخ ω_d می‌دهند. در فرکانس‌های پایین (خیلی کمتر از فرکانس طبیعی) خروجی مقدار ثابتی معادل بهرهٔ *DC* دارد (با شیب صفر). در فرکانس‌های بالا (خیلی بیشتر از فرکانس طبیعی) خروجی با شیب معادل ۲ قطب $۲۰ \times ۲\ db/decade$ سقوط می‌کند. در نزدیکی فرکانس قطب، بهره از مقدار بهرهٔ *DC* بیشتر می شود. مقدار حداکثر بهره در فرکانسی بنام فرکانس تشدید (رزونانس) معادل $\omega_r = \frac{\omega_n}{\sqrt{۱-۲\zeta^۲}}$ رخ داده و بهره در این فرکانس $M_r = \frac{۱}{۲\zeta\sqrt{۱-\zeta^۲}}$ خواهد بود. فاز نیز در فرکانس طبیعی معادل -۹۰° بوده و هر چه ضریب میرایی کوچکتر باشد شیب تغییرات آن در نزدیکی فرکانس طبیعی بیشتر می‌شود. پاسخ فرکانسی برای سیستم نمونهٔ قبلی در شکل ۱-۲ (ب) مشاهده می‌شود.

یادآور می‌شود که پاسخ فرکانسی سیستم مرتبهٔ ۲ با دو قطب ساده از جمع نمودارهای بهره و فاز تک تک قطب‌ها به دست می‌آید.



(ب) (الف)

شکل ۱-۲ (الف) پاسخ پله سیستم مرتبه دو نمونه، (ب) پاسخ فرکانسی سیستم مرتبه دو نمونه

۱،۲،۳ نکاتی در مورد بدست آوردن پاسخ سیستم

می‌دانیم پلهٔ واحد سیگنالی است که در $t = ۰$ از مقدار صفر به مقدار یک تغییر وضعیت داده و تا زمان بینهایت در مقدار یک باقی می‌ماند. برای بررسی پاسخ پله صبر کردن تا زمان بینهایت لازم نیست. اگر پس از تغییر حالت سیگنال ورودی، زمان آنقدر بگذرد که تغییرات حالت‌های درونی سیستم (و طبیعتاً خروجی سیستم) ناچیز شود، به حالت پایدار رسیده است و در این صورت با دقت کافی پاسخ به ورودی پله بدست آمده است. در آزمایش معمولاً بجای ورودی پله از ورودی مربعی استفاده می‌کنیم. باید دقت نمود پریود ورودی مربعی آنقدر زیاد باشد که خروجی سیستم مورد بررسی به حالت پایدار برسد (درحالت پایدار خروجی ثابت مانده و تغییر نمی‌کند.) برای به دست آوردن پاسخ فرکانسی سیستم لازم نیست در محدوده‌ای گسترده با فواصل خاص اندازه‌گیری انجام شود.

واضح است که هر سیستم خطی را با صفرها، قطب‌ها و بهرهٔ DC آن می‌توان کاملاً مشخص نمود. تغییرات در نمودار*Bode* تنها در نزدیکی قطب‌ها و صفرها رخ می‌دهند و در فاصلهٔ دور از آنها نمودار به خط مستقیم (که ادامهٔ آن قابل پیش بینی است) تبدیل می شود. اگر تابع انتقال (و در نتیجه صفرها و قطب‌های سیستم) را بدانید، کافیست در نقاط فرکانس قطب (و صفر در صورت وجود) اندازه‌گیری انجام شود. علاوه بر نقاط فرکانس قطب دو اندازه‌گیری دیگر نیز لازم خواهد بود: بهره و فاز در فرکانس پایین (DC) و در فرکانس بالا. این نقاط می‌توانند مثلاً ۰/۱کوچکترین فرکانس قطب یا صفر و ۱۰ برابر بزرگترین فرکانس صفر یا قطب باشند. لذا برای سیستم مرتبهٔ ۱، سه نقطه اندازه‌گیری، برای سیستم مرتبهٔ ۲، چهار نقطه اندازه‌گیری و برای سیستم مرتبهٔ ۳، پنج نقطه اندازه‌گیری کافیست. برای قطب‌های مختلط اندازه‌گیری در فرکانس طبیعی و یک نقطه نزدیک آن (فرکانس تشدید در صورت وجود مناسب‌تر است) در نظر گرفته شود.

حال این سوال پیش می‌آید که **در صورتی که سیستم خطی در اختیار داشته باشیم که قطب‌ها و صفرهای آن ناشناخته باشد چه راه‌هایی برای تشخیص قطب‌ها و صفرها وجود دارد؟**

روند به ابزار اندازه‌گیری و فرصت برای اندازه‌گیری وابسته است. مؤثرترین روش، استفاده از ورودی نویز، اندازه‌گیری و ذخیرهٔ ورودی و خروجی سیستم در کامپیوتر و استفاده از الگوریتم‌های شناسایی برای به دست آوردن مشخصهٔ سیستم است.

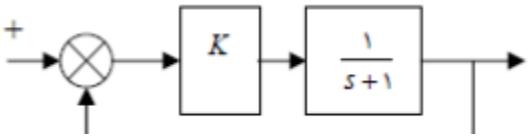
استفاده از ورودی‌های دیگر مانند ضربه، پله و ذخیرهٔ ورودی و خروجی در کامپیوتر نیز می‌تواند اطلاعات مناسبی از قطب‌ها و صفرها بدست دهد، اما از آنجا که طیف فرکانسی اینگونه ورودی‌ها همچون نویز یکنواخت نیست در برخی نواحی از طیف فرکانسی دقت کاهش می‌یابد. با این حال از آنجا که تولید ورودی پله یا ضربه ساده‌تر از تولید نویز است ممکن است ترجیح دهیم از این روند استفاده کنیم. روند تولید سیگنال شبه نویز نیز می‌تواند جایگزین نویز شود.

روش‌های ساده‌تری نیز وجود دارد که متناسب با سادگی آن از میزان توانایی یا دقت آن کاسته می‌شود. در صورتی که از ورودی پله استفاده نماییم تشخیص سیستم‌های مرتبهٔ ۱ یا ۲ با دقت قابل قبولی امکان پذیر است. ویژگی‌های پاسخ به ورودی پله برای سیستم‌های مرتبهٔ ۱ و ۲ قبلاً توضیح داده شده است.

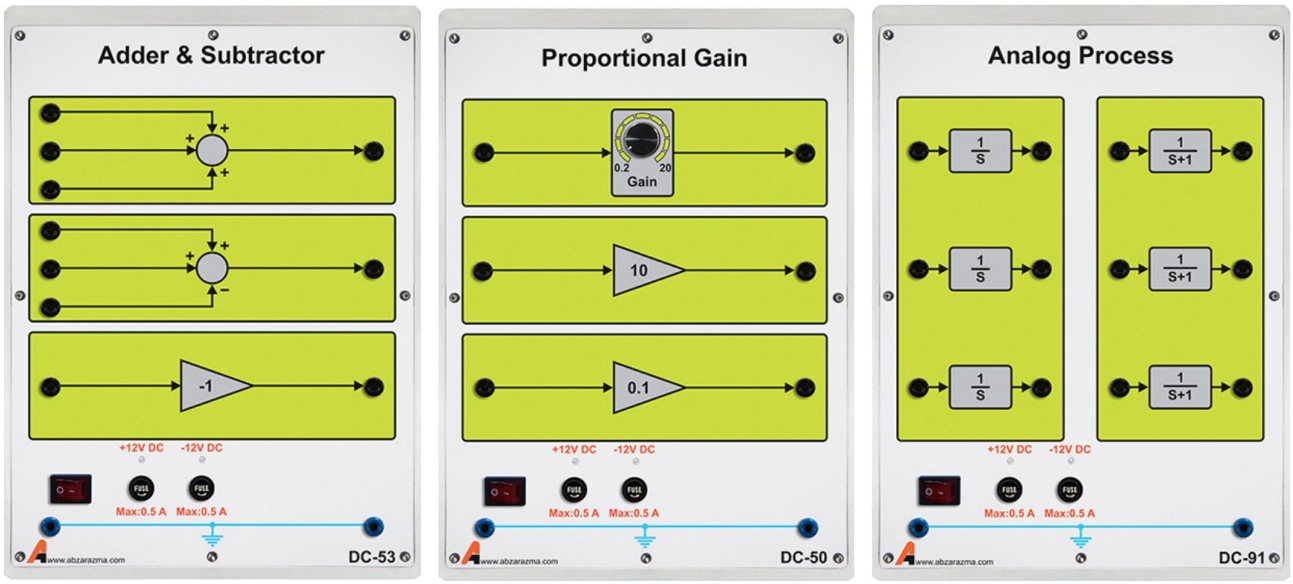
به کمک پاسخ فرکانسی اطلاعات بیشتری از سیستم را می‌توان بدست آورد. پاسخ پله محدود به سیستم‌های مرتبهٔ اول و دوم است اما برای پاسخ فرکانسی محدودیتی وجود ندارد. توجه به هر دو مشخصهٔ بهره و فاز لازم است اما مشخصهٔ فاز بطور مؤثرتری می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. می‌دانیم مشخصهٔ فاز به ازای هر قطب -۹۰° (و به ازای هرصفر $+۹۰^\circ$ طی دو دهه(*decade*) تغییر می‌کند، بنابراین چناچه امکان جارو کردن فرکانس (اعمال ورودی سینوسی و تغییر آن با سرعت دلخواه) وجود داشته باشد با توجه به جهت و میزان تغییرات فاز (و توجه به دهه‌ها) قطب‌ها و صفرها را می‌توان تشخیص داد. در صورتی که قطب‌ها و صفرها با فاصلهٔ کافی (بیشتر از یک دهه) از یکدیگر قرار گرفته باشند به کمک این روش با دقت خوبی قطب‌ها و صفرها مشخص می‌شوند (نقاط ضریب ۴۵° مهم هستند). اگر فواصل کمتر از یک دهه باشد اندازه‌گیری در نقاط بیشتر و مقایسه با ترکیب‌های ممکن می‌تواند منجر به تشخیص قطب‌ها و صفرها شود، با این حال محدودهٔ کلی صفرها و قطب‌ها را می‌توان به سادگی مشخص نمود.

۱,۳ پاسخ پله حلقه باز سیستم مرتبه ۱

در این آزمایش به بررسی پاسخ پله یک سیستم مرتبه یک پرداخته می شود.. در این سیستم به کمک ماژول‌های نشان داده شده در شکل برای مقادیر و ۱، $K=۰,۲۵$ پاسخ به ورودی پله و پاسخ فرکانسی سیستم حاصل را اندازه‌گیری کرده و نتایج را در جدول‌ها و نمودارهای زیر وارد کنید. در هر یک از مقادیر فوق تابع تبدیل سیستم را با تقریب مشخص کنید.



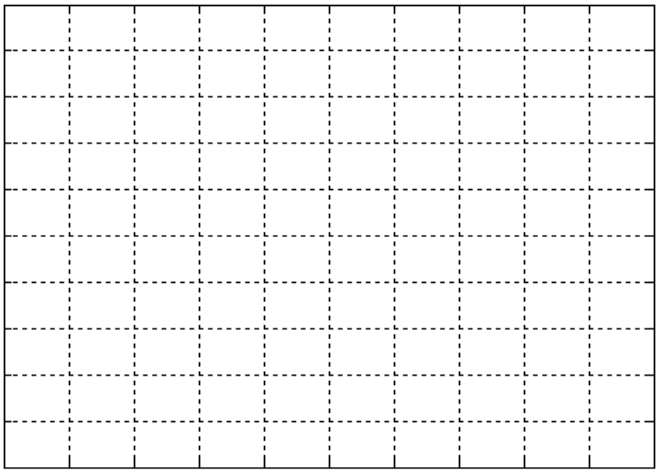
شکل ۱-۳ سیستم مرتبه یک



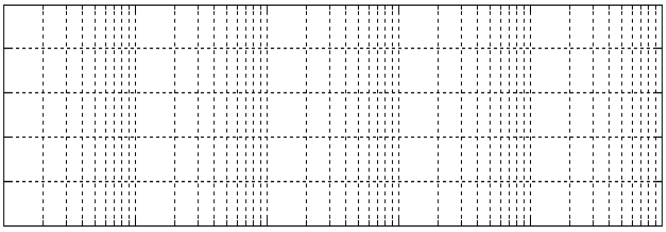
شکل ۱-۴ ماژول‌های مورد استفاده برای پیاده‌سازی سیستم مرتبه یک مورد مطالعه

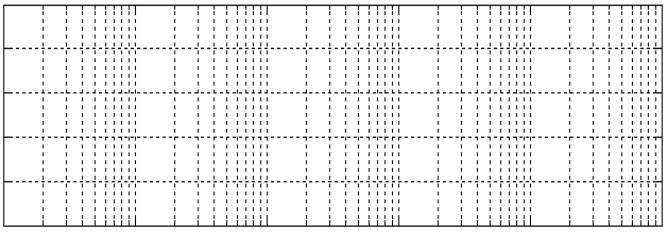
k=۰ /۲۵

$$\begin{cases} G(S) = \\ \\ \\ S_{1,2} = \end{cases}$$



شکل ۱-۵ پاسخ سیستم مرتبه اول به ورودی پله به ازای ۰/۲۵ =k





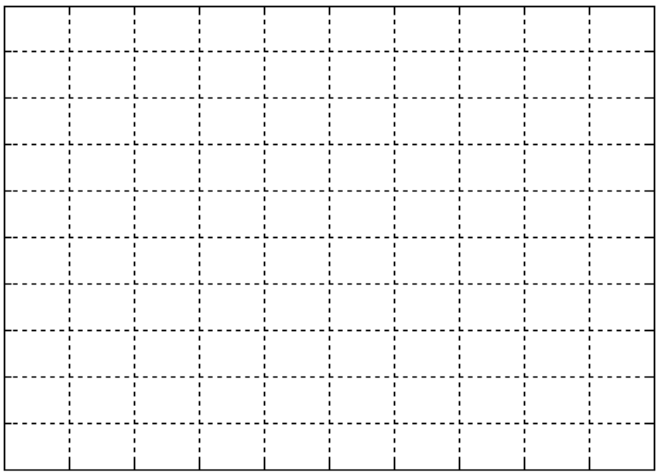
شکل ۱-۶ پاسخ فرکانسی سیستم مرتبه اول مورد به ازای ۰/۲۵ =k

0.1	0.5	1.5	3	10	*Frequency*
					Gain
					Gain(db)
					Phase

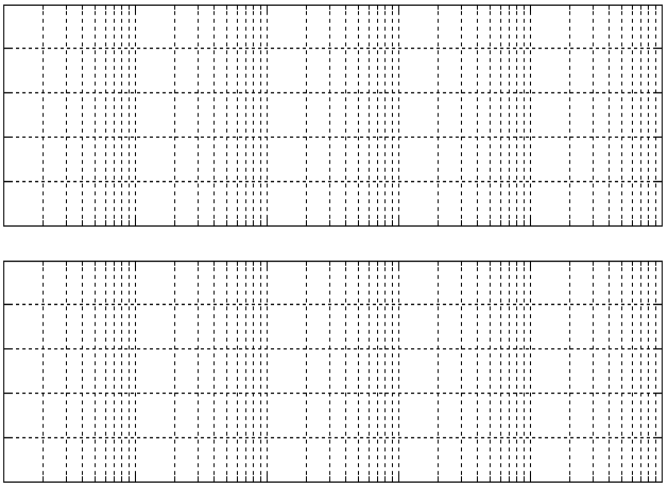
k=۱

$G(S) =$

$S_{1,2} =$



شکل ۱-۷ پاسخ سیستم مرتبه اول به ورودی پله به ازای k= ۱

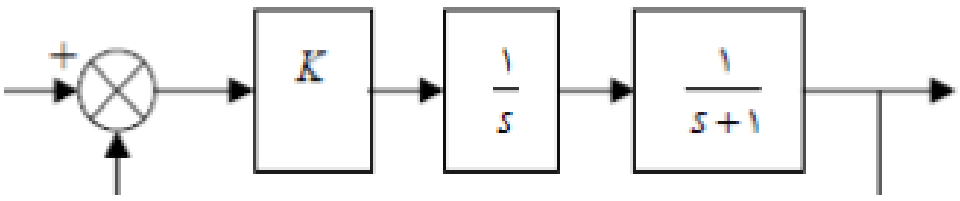


شکل ۱-۸ پاسخ فرکانسی سیستم مرتبه اول مورد به ازای k=۱

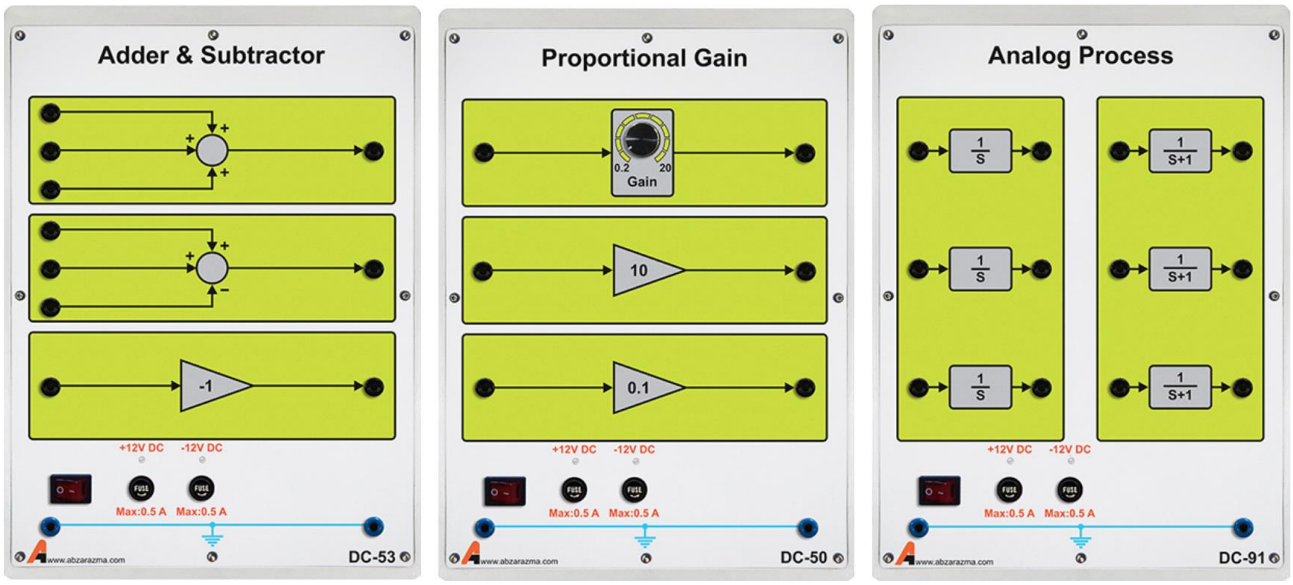
0.1	0.5	1.5	3	10	*Frequency*
					Gain
					Gain(db)
					Phase

۱-۴ پاسخ پله حلقه باز سیستم مرتبه ۲

اکنون پاسخ حلقه باز را برای سیستم مرتبه ۲ محاسبه نمایید توجه داشته باشید که این پاسخها در تنظیم کنترل کننده PID مورداستفاده قرار خواهد گرفت.



شکل ۱-۹ سیستم مرتبه ۲



شکل ۱-۱۰ ماژول‌های مورد استفاده برای پیاده‌سازی سیستم مرتبه دو مورد مطالعه

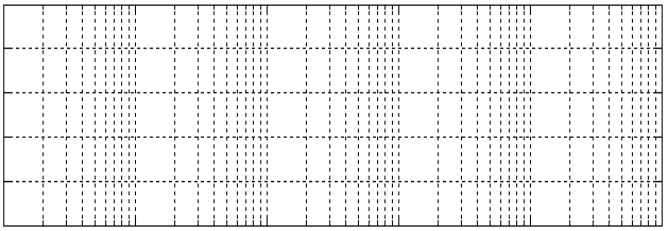
k=۰ / ۲۵

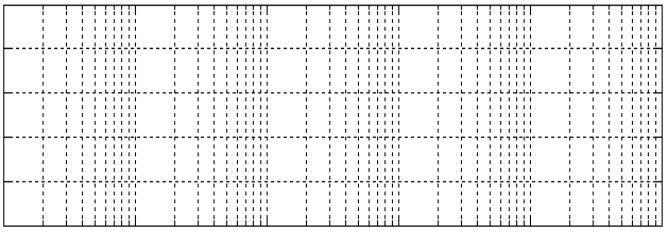
$$G(s) = \frac{۱}{s(s+۱)}$$

$G(S) =$

$S_{1,2} =$

شکل ۱-۱۱ پاسخ سیستم مرتبه دوم مورد مطالعه به ورودی پله به ازای k=۰ /۲۵





شکل ۱-۱۲ پاسخ فرکانسی سیستم مرتبه ۲ مورد به ازای k=۰/۲۵

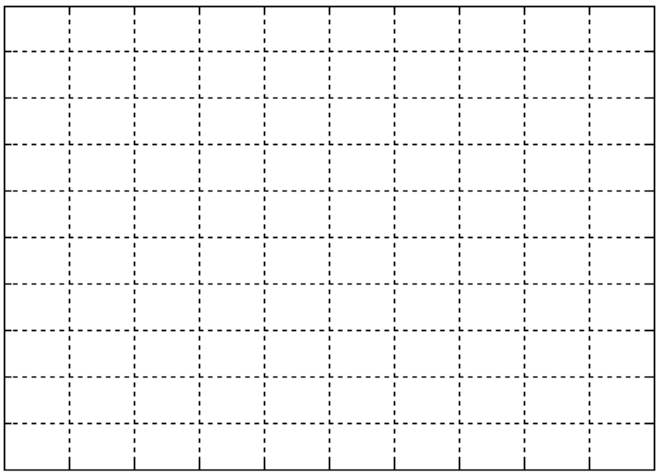
۰,۱	۰,۵	۱,۵	۳	۱۰	*Frequency*
					Gain
					Gain(db)
					Phase

k=۱

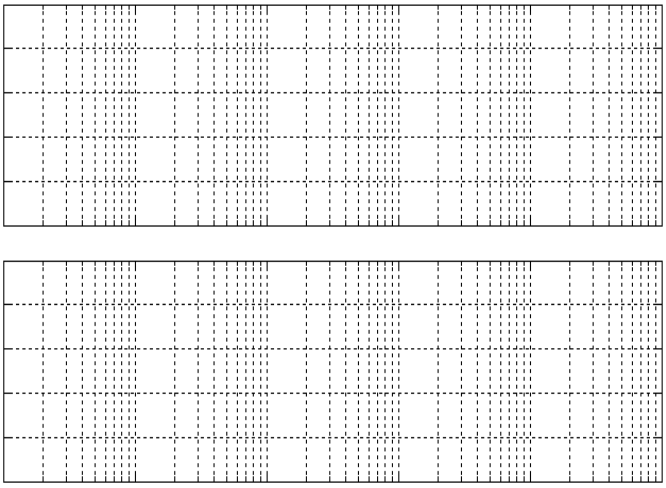
$$G(s) = \frac{۱}{s(s+۱)}$$

$G(S) =$

$S_{1,2} =$



شکل ۱-۱۳ پاسخ سیستم مرتبه دوم مورد مطالعه به ورودی پله به ازای k= ۱

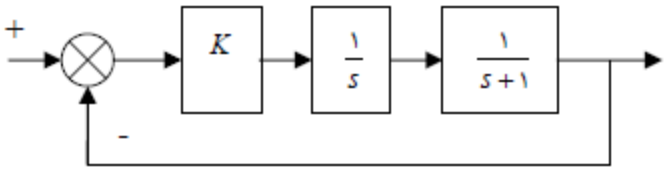


شکل ۱-۱۴ پاسخ فرکانسی سیستم مرتبه دوم مورد به ازای k= ۱

۰,۱	۰,۵	۱,۵	۳	۱۰	*Frequency*
					Gain
					Gain(db)
					Phase

۱-۵ پاسخ پله سیستم حلقه بسته

در این آزمایش به بررسی پاسخ پله یک سیستم مرتبه دو پرداخته می‌شود.

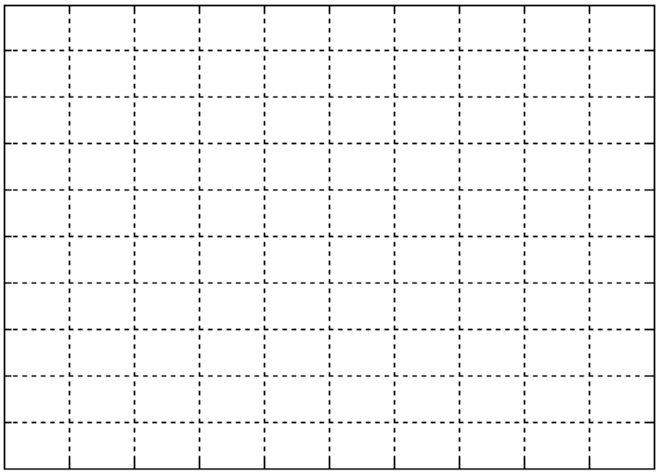


شکل ۱۱-۱۵ بلوک دیاگرام سیستم مرتبه ۲

در مرحله اول $K=1$ قرار داده و پاسخ پله را بدست آورید و در مرحله بعد بهره K را آنقدر تغییر داده تا در مرز نوسانی قرار گیرد در این صورت پاسخ را رسم نمایید مقادیر این شکل برای تنظیم ضرایب کنترل کننده PID می تواند مورد استفاده قرار گیرد.

k =۱

$$G(s) = \frac{۱}{s(s+۱)}$$



شکل ۱-۱۶ پاسخ سیستم مرتبه دوم مورد مطالعه به ورودی پله به ازای $k=۱$

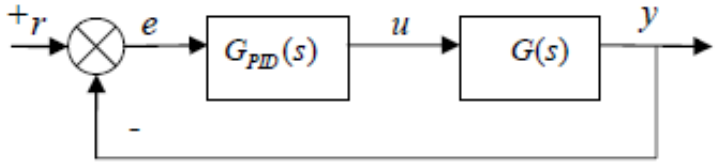
۲ طراحی کنترل کنندهٔ *PID* آنالوگ و دیجیتال

۲,۱ کنترل کننده PID آنالوگ

شکل پایهٔ استفاده از کنترل‌کننده‌ها قرار دادن آنها در مسیر مستقیم قبل از فرآیند است، بنابراین کنترل کننده سیگنال خطا را دریافت کرده و با توجه به تابع انتقالش سیگنال کنترلی لازم را به فرآیند اعمال می‌نماید. کنترل کنندهٔ *PID* (تناسبی – انتگرالی - مشتقی) را به صورت کلی با تابع انتقال زیر تعریف می‌کنند.

$$G_{PID}(s) = K\left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s\right) \quad \text{یا} \quad G_{PID}(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s$$

(در این آزمایشگاه عموماً از نمایش دوم استفاده می‌کنیم.) در واقع این کنترل کننده حاصل جمع ضریبی از سیگنال خطا (بخش تناسبی) و ضریبی از انتگرال خطا و ضریبی از مشتق خطا را به فرآیند اعمال می‌کند.



شکل ۲ ۲- ۱ بلوک دیاگرام فرآیند کنترلی حلقه بسته در شرایط بکارگیری کنترلر PID

حال سوال این است که **بخشهای مختلف کنترل کننده چگونه بر روی خروجی حلقه اثر خواهند گذاشت؟**

به طور کلی افزایش بهرهٔ حلقه منجر به افزایش پهنای باند حلقه و در نتیجه افزایش سرعت پاسخ می‌گردد. از طرف دیگر بهرهٔ حلقه، خطای حالت دائم را (با در نظر گرفتن نوع سیستم حلقه و نوع ورودی) نیز کاهش می‌دهد. یادآور می‌شود که خطای حالت دائم با توجه به نوع سیستم حلقه و نوع سیگنال ورودی قابل کنترل است. می‌دانید که نوع سیستم با توجه به تعداد انتگرال‌های موجود در آن تعریف می‌شود. اگر نوع سیگنال را نیز با توجه به توان پارامتر زمان در آن تعریف کنیم (به این ترتیب نوع سیگنال پله : صفر، شیب : یک، سهمی : دو و ... خواهد بود) خطای حالت دائم هر سیستم به ورودی با نوع مساوی، متناهی غیر صفر است. در این شرایط می‌توان با تنظیم بهرهٔ حلقه، خطای حالت دائم را تنظیم نمود. در صورتی که نوع سیستم حلقه از نوع سیگنال ورودی بزرگتر باشد خطای حالت دائم صفر خواهد شد و نیازی به تنظیم پارامتر خاصی نخواهد بود. اگر نوع سیستم حلقه از نوع سیگنال ورودی بزرگتر باشد خطای حالت دائم بینهایت است و تنظیم هیچ پارامتری خطا را بهبود نخواهد داد.

انتگرال‌گیر موجب ایجاد بهرهٔ بینهایت در فرکانس صفر می‌گردد، بنابراین به کمک انتگرال‌گیر می‌توان خطای حالت دائم را کاهش داد بدون اینکه پهنای باند سیستم بیش از حد مورد نیاز گسترش یابد. کاهش T_i موجب افزایش سرعت انتگرال گیر می‌گردد.

مشتق گیر سیگنال کنترلی متناسب با تغییرات خروجی (با ضریب منفی بخاطر عبور سیگنال خروجی از تفریق کننده) به فرآیند اعمال می‌کند. به این ترتیب در حالت کلی حضور (افزایش ضریب) مشتق گیر نوسان‌های خروجی را کند می‌نماید و لذا جهت بهبود فراجهش(*P.O*) مورد استفاده قرار می‌گیرد. افزایش T_d موجب میراتر شدن نوسان‌ها می‌گردد.

افزایش هر یک از سه ضریب کنترل کنندهٔ *PID* می‌تواند میزان پایداری نسبی حلقه را کاهش داده و در نهایت سیستم را ناپایدار کند.

کنترل کننده *PID* در ترکیب‌های *P*، *PD*، *PI* و *PID* مورد استفاده قرار می‌گیرد. بر اساس معیارهای فوق انتخاب ترکیب کنترل کننده می‌تواند انجام شود.

نکتهٔ دیگری که در انتخاب نوع کنترل کننده باید در نظر گرفت تفاضل تعداد قطب و صفر سیستم حلقه است. می‌دانیم تعداد مجانب‌های مکان هندسی معادل تفاضل تعداد قطب و صفر سیستم حلقه است. کنترل کنندهٔ *PID* در ترکیبهای *P* و *PI* تفاضل تعداد قطب و صفر حلقه را تغییر نمی‌دهد، اما در ترکیب‌های *PD* و *PID* یک صفر بیشتر به حلقه اضافه می‌کند و بنابراین تفاضل تعداد قطب و صفر یکی کم

می شود. بنابراین تعداد مجانب‌های مکان هند سی قطب‌ها یکی کا سته شده و اگر به سی ستم با تفا ضل قطب و صفر ۲ یا کمتر بر سیم، سیستم حلقه در بهرهٔ زیاد نیز کاملاً پایدار خواهد بود.

معمولاً شکل ساده معیار مورد نظر برای پا سخ فرآیند به صورت سرعت پا سخ (t_s یا t_r یا t_p) ، فراجهش ($P.O$) و یا خطای حالت دائمی (e_{ss}) است. با در نظر گرفتن ابزار موجود در صفحهٔ مختلط S از دو معیار سرعت پاسخ و فراجهش می‌توان قطب‌هایی را تعیین نمود که بتوانند این معیارها را برآورده کنند (سرعت پاسخ با ω_n و ζ و فراجهش با ζ ارتباط دارند و ریشه‌های معادلهٔ $s^2 + 2\zeta\omega_n s + {\omega_n}^2 = s^2 + 2\sigma s + (\sigma^2 + {\omega_d}^2)$ قطب‌های مورد نظر را بدست می‌دهند.)

از طرف دیگر چنانچه چندجمله‌ای مخرج سی ستم حلقه بسته را بد ست آوریم و شرایطی را تعیین کنیم که ریشه‌های معادلهٔ فوق (قطب های مورد نظر) در آن صدق کنند م سئله حل شده ا ست. لذا مثلاً اگر درجهٔ مخرج ۲ با شد (که در آن ضرایب کنترل کننده به صورت مجهول قرار دارند) و آنرا بر حسب توان‌های S مرتب نماییم (ضریب بالاترین توان یک با شد و اگر چنین نیست چندجمله‌ای را بر ضریب بالاترین توان تقسیم می‌کنیم.) با مساوی قرار دادن ضریب S و ضریب ثابت از دو چندجمله‌ای و حل این دو معادله، ضرایب کنترل کننده محاسبه می‌شود. اگر درجهٔ مخرج حلقه ۳ یا بیشتر باشد نیز استفاده از این روش امکان پذیر است اما جهت بدست آوردن پاسخ یکتا نیاز به در نظر گرفتن فرض‌های مناسب اضافی است. از جملهٔ این فرض‌ها قرار دادن صفر (یا صفرهای) کنترل کننده بر روی نزدیکترین قطب فرآیند به مبدأ، نزدیک قرار دادن صفر کنترل کننده به قطب‌های مورد نظر حلقه و دور در نظر گرفتن قطب‌های دیگر حلقه نسبت به قطب مورد نظر حلقه می‌توانند در نظر گرفته شوند.

ا ستفاده از قواعد زاویه و بهره نیز بطور م شابه می‌تواند مورد ا ستفاده قرار گیرد، در واقع این روش شرط قرار گرفتن قطب مورد نظر بر روی مکان هندسی ریشه‌ها را تأمین می‌کند و کاملاً معادل روش استفادهٔ مستقیم از چند جمله‌ای مخرج حلقه بسته است.

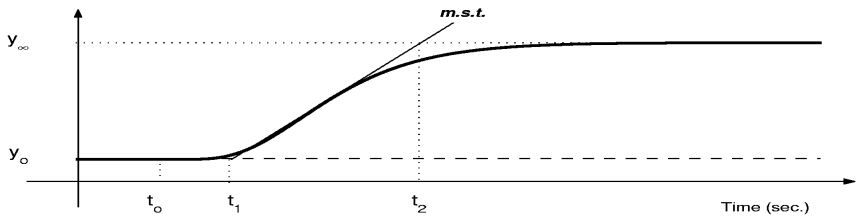
به کمک روند فوق قطب‌های مورد نظر در حلقه بسته ایجاد می‌شوند، اما غالب بودن قطب‌ها تضمین نشده است. پس از حل مسئله و بد ست آوردن ضرایب کنترل کننده، لازم ا ست مؤثر بودن حل آزمایش شود، در واقع باید بررسی نمود آیا قطب‌های مورد نظر که در حلقه بسته ایجاد شده اند غالب نیز هستند؟ وجود قطب یا صفر، نزدیک یا سمت را ست قطب مورد نظر پا سخ حلقه را از پا سخ مطلوب منحرف می‌کند؛ در این صورت روند طراحی با فرضیات بهتری باید تکرار گردد.

برای طراحی کنترل کننده دو رویکرد ا ستفاده از نتایج آزمایشگاهی و جداول طراحی ضرایب زیگلر-نیکلز و همچنین رویکرد 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 سیستم مرتبه ۲ مورد استفاده می تواند استفاده شود.

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 سی ستم ورودی پله اعمال می نمائیم و بر ا ساس تغییرات پا سخ پله و روابط جدول زیر، طراحی کنترل کننده صورت می گیرد. این پاسخ در آزمایش قبل بدست آمده است .



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

	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 ۲-۲ 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 ۲-۱: 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	$0.6K_u$	$0.5T_u$	$0.125T_u$

با توجه به م شخص بودن تابع تبدیل سی ستم ضرایب کنترل کننده PID را با ا ستفاده از نرم افزار متلب نیز برای بالازدگی ۵ در صد بدست آورده و در جدول مربوطه در زیر وارد نمایید.

جدول ۲-۲ : تنظیم ضرایب کنترلی با استفاده از متلب

Td	Tr	Kp	
			P
			PI
			PID

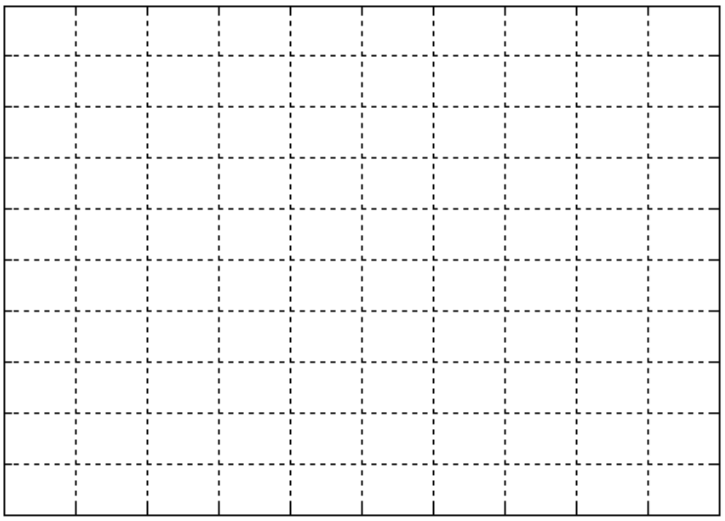
با ا ستفاده از شکل های آزمایش قبل ضرایب کنترلی را به روش زیگلر نیکولز در دو حوزه زمان و فرکانس تنظیم نموده و در جداول زیر ثبت نمایید.

جدول ۲-۳ : تنظیم ضرایب کنترلی در روش زیگلر نیکولز حوزه زمان

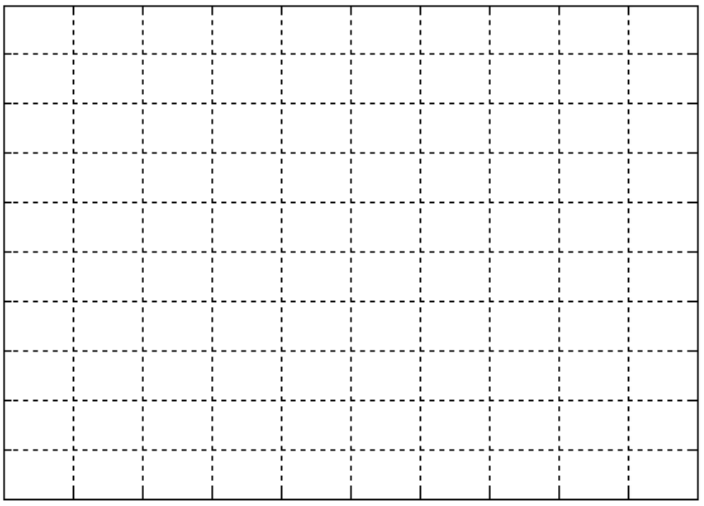
Td	Tr	Kp	
			P
			PI
			PID

جدول ۲-۴ : تنظیم ضرایب کنترلی در روش زیگلر نیکولز حوزه فرکانس

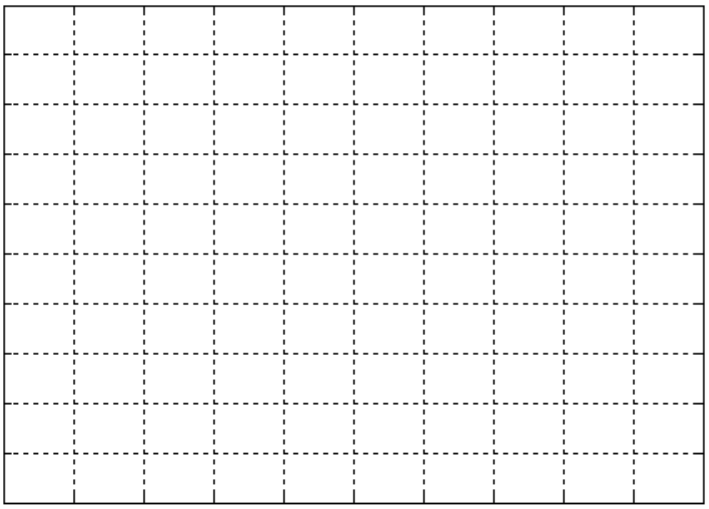
Td	Tr	Kp	
			P
			PI
			PID



شکل ۲-۳ پاسخ فرآیند کنترل سرعت به ازای ورودی پله با دامنه ۵ ولت و کنترل‌کننده تناسبی



شکل ۲-۴ پاسخ فرآیند کنترل سرعت به ازای ورودی پله با دامنه ۵ ولت و کنترل‌کننده تناسبی- انتگرالی



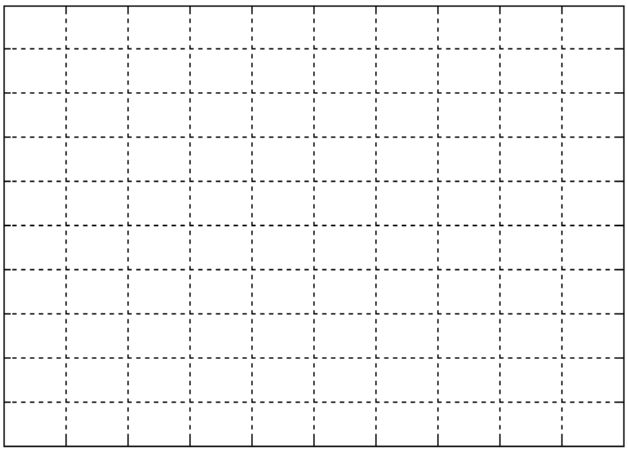
شکل ۲-۵ پاسخ فرآیند کنترل سرعت به ازای ورودی پله با دامنه ۵ ولت و کنترل‌کننده PID

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

جدول ۲-۵ مقایسه کنترلرهای مورد طراحی از دیدگاه ویژگی‌های حالت گذرا

روش/ویژگی	خطای حالت دائمی	زمان صعود	درصد فراجهش	زمان صعود با تنظیم روش فرکانسی	زمان صعود با تنظیم با متلب
کنترل‌کننده تناسبی				***	***
کنترل‌کننده تناسبی- انتگرالی				***	***
کنترل‌کننده PID					

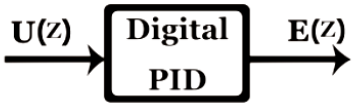
از آنجایی که روش زیگلر نیکلز تجربی می باشد و در عمل مقادیر تا حدی به صورت میدانی نیز تنظیم می‌شوند با تنظیم میدانی ضرایب کنترل‌کننده PID، عملکرد پاسخ را بهبود ببخشید و نمودار پاسخ پله بهبود یافته را رسم نمائید.



شکل ۲-۶ پاسخ فرآیند کنترل سرعت به ازای ورودی پله با دامنه ۵ ولت و کنترل‌کننده PID با ضرایب بهبود یافته

۲,۲ کنترل کننده PID دیجیتال

در این بخش هدف طراحی کنترل کننده یک سیستم مرتبه ۲ با کنترل کننده PID 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.



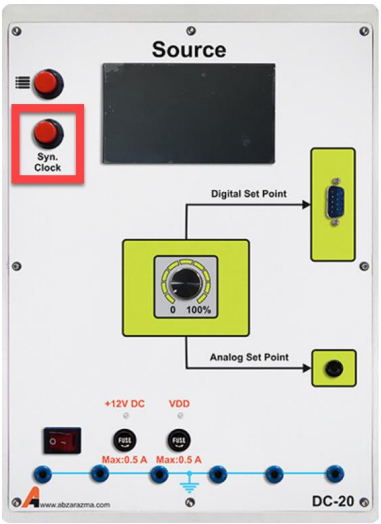
$$U(z)=\left(K_p+\frac{1}{T_i}\frac{T}{1-z^{-1}}+T_D\frac{1-z^{-1}}{T}\right)E(z)$$

شکل ۲-۷ کنترل‌کننده PID دیجیتال

با توجه به جدول زیگلر نیکولز و وجود بهره K ، می توان مقادیر ضرایب کنترل کننده PID دیجیتال را با توجه به روابط زیر بدست آورد. لازم به ذکر است در رابطه فوق این ضریب برابر یک فرض شده است.

$K_i=K/T_i \quad K_P= K- K_i/2 \quad K_D= KT_D$

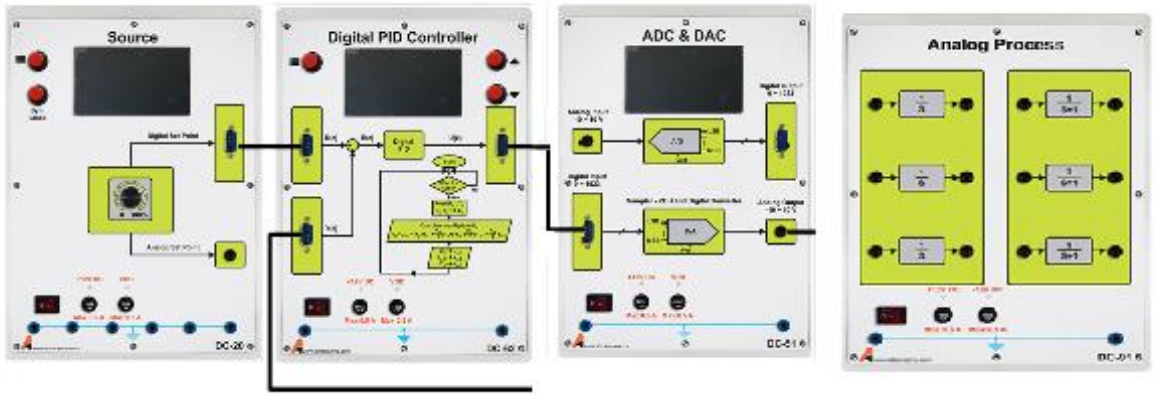
از آنجایی که همه پی شامدها در کنترل دیجیتال با یک clock م شخص سنکرون ه ستند لذا لازم ا ست در آزمای شات مربوط به کنترل دیجیتال، کلاک سنکرون ساز از ماژول Source به سایر ماژول‌ها متصل باشد. این کلاک از طریق یک کابل فلت ۱۴ رشته با سوکت IDC ۲*۷ در پشت ماژول‌ها متصل شده ا ست. این کار به منظور هماهنگ سازی بلوک 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.



شکل۲-۸ کلید مربوط به تغییر فرکانس کلاک سنکرون‌ساز

۲,۳ آزمایش و تحلیل

برر سی فرآیند کنترل سیستم مرتبه ۲ به کمک کنترلر دیجیتال به صورت زیرمی‌تواند انجام پذیرد. مدار شکل زیر کامل نیست. پس از تکمیل با تنظیم ضرایب دیجیتال پاسخهای مربوط را ثبت نمایید.



شکل ۲-۹ اتصال ماژول‌های مورد نیاز جهت انجام فرآیند کنترل دیجیتال

۲,۳,۱ کنترل کننده تناسبی (P)

جهت ا ستفاده از ماژول کنترلر PID دیجیتال در فرآیند کنترل پرو سس مطابق شکل ۵۵-۲ ماژول‌های مورد نیاز را به یکدیگر مت صل کنید..

مقدار مرجع سیگنال را ۵ ولت تنظیم نمائید و طبق جدول زیر تنها ضریب تنا سبی را تنظیم کنید و ضریب م شتقی و انتگرالی صفر باشند. جدول زیر را بر اساس مشاهدات کامل کنید. مقدار سیگنال خطا را از روی نمایشگر ماژول کنترلر دیجیتال بدست آورید.

جدول۲-۶ : بررسی فرآیند کنترل پروسس با بکارگیری کنترلر تناسبی

ضریب تناسبی	۰,۱	۰,۵	۱	۵	۱۰	۵۰	۱۰۰	مقدار محاسبه شده از طریق جدول زیگلر-نیکولز
مقدار حقیقی فرآیند یا PV								
مقدار خطا								
مقدار خروجی فیدبک								

۲,۳,۲ کنترل کننده تناسبی انتگرالی (PI)

مراحل بند قبلی را برای کنترل کننده PI با مقدار سیگنال ۵ ولت تکرار نمائید. جدول زیر را براساس مشاهدات پر کنید.

جدول۲-۷ : بررسی فرآیند کنترل پروسس با بکارگیری کنترلر تناسبی-انتگرالی

مقدار سرعت مبنا	P=1 I =1	P=5 I=0.5	P=5 I=5	P=10 I=1	P=10 I=10	P=1 I=10	مقدار محاسبه شده از طریق جدول زیگلر-نیکولز
مقدار حقیقی فرآیند یا PV							
مقدار خطا							
مقدار خروجی فیدبک							

۲,۳,۳ کنترل کننده تناسبی، مشتقی ، انتگرالی PID

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

جدول۲-۸ : بررسی فرآیند کنترل پروسس با بکارگیری کنترلر PID

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

جدول ۲-۹ مقایسه کنترلرهای مورد طراحی از دیدگاه ویژگی‌های حالت گذرا

روش/ویژگی	خطای حالت دائمی	زمان صعود	درصد فراجهش	زمان صعود با تنظیم روش فرکانسی	زمان صعود با تنظیم با متلب
کنترل‌کننده تناسبی				***	***
کنترل‌کننده تناسبی- انتگرالی				***	***
کنترل‌کننده PID					

با بررسی روشهای فوق دقت آنها را بررسی کنید

۳ مقدمه‌ای بر فرآیند کنترل سرعت و موقعیت سروو موتور

۳,۱ پیش زمینه

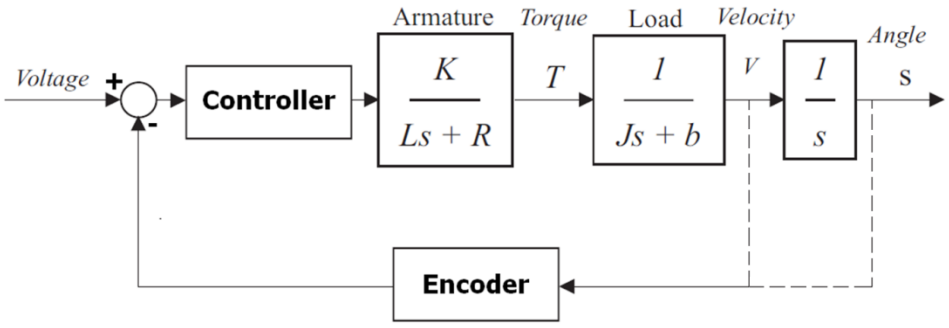
موتورهایی که انرژی الکتریکیDC را به انرژی مکانیکی تبدیل می کند، موتور DC نامیده می شـوند. سـروو موتورها دسـته ای خاص از موتور ها هستند که برای کارهای کنترل موقعیت، سرعت یا گشتاور ساخته شده اند. از این رو معمولا شکل هندسی کشیده‌ای دارند و بر روی آنها انکدر نصب شده است.

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 دسـتورکار آزمایشـات مربوط به کنترل سـرعت و موقعیت سـروو موتور در قالب چند آزمایش ارائه می‌گردند که مفاهیم اصلی در رابطه با طراحی کنترل‌کننده و کنترل آنالوگ و دیجیتال سروو موتور را در بر گرفته است.

۳,۲ شناسایی مدل استاتیکی و دینامیکی

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 ا ست 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.

۳,۳ آزمایش و تحلیل

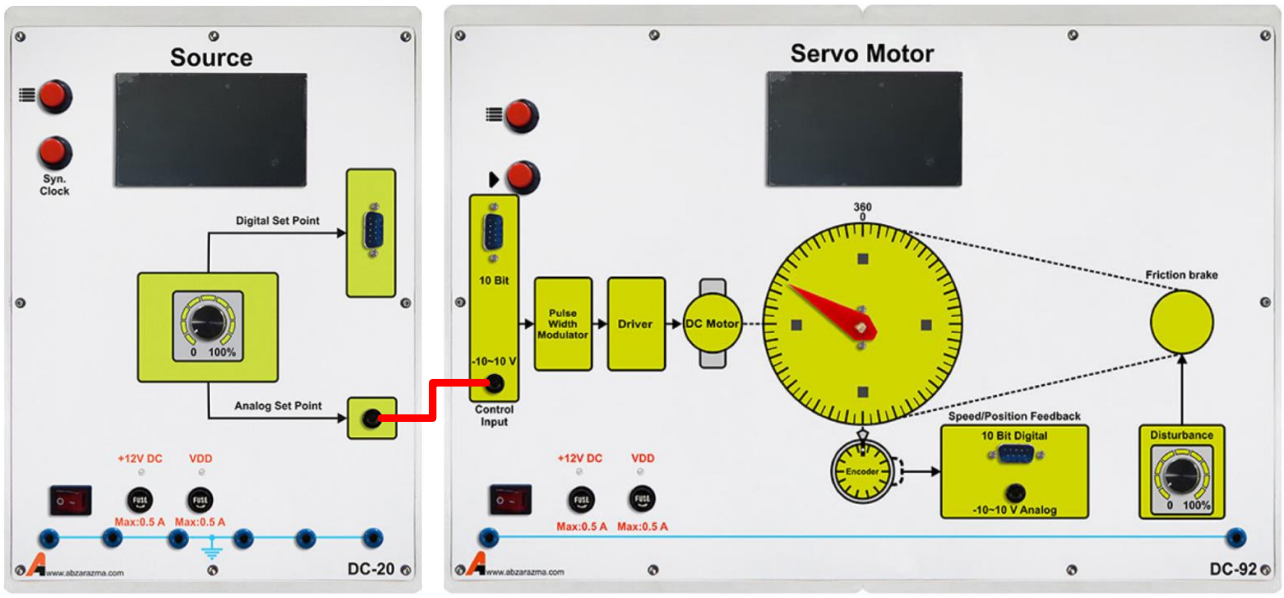
در ادامه شناسایی مدل استاتیکی سیستم سروموتور مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۳,۳,۱ 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.

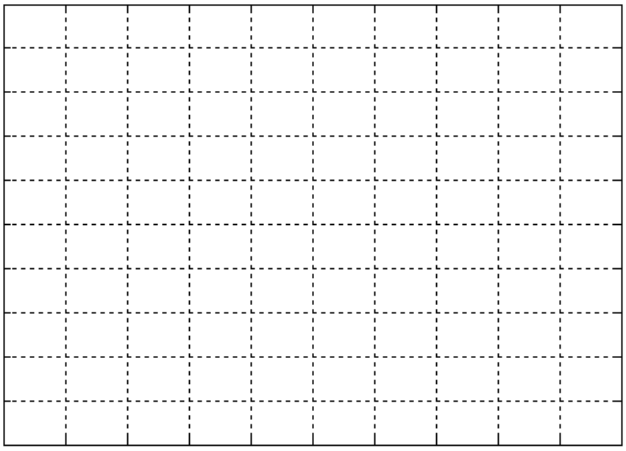


شکل ۳۳-۲: ماژول های مورد استفاده در تعیین مدل استاتیکی

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 ۳-۱ نمودار تغییرات سرعت سروو موتور/ ولتاژ خروجی سنسور سرعت بر حسب ولتاژ آنالوگ

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

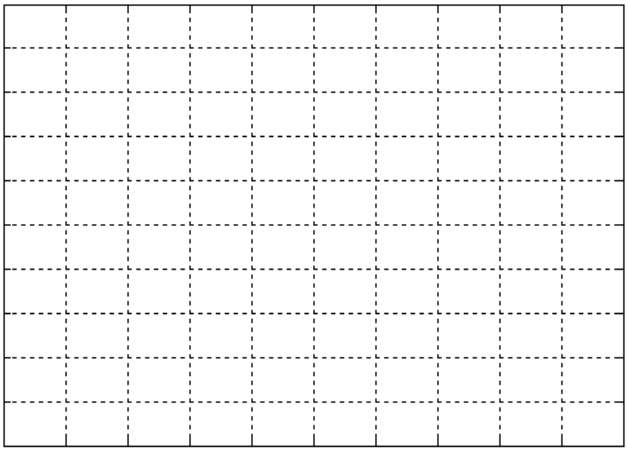
جدول ۳۳-۲: نتایج بررسی اثر اعمال اغتشاش بر روی سرعت موتور

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

۳,۳,۲ 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 اساس روش های تقریب مدل دینامیکی ۲ پارامتری و ۳ پارامتری سیستم را با یک تابع انتقال مرتبه یک و۲ می‌توان تقریب زد. روش دوم به دست آوردن مدل دینامیکی استفاده از جعبه ابزار System Identification نرم افزار MATLAB می باشد. به این منظور ابتدا داده های حالت گذرای پا سخ پله را از نمودار ا سیلو سکوپ حافظه دار ا ستخراج 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.

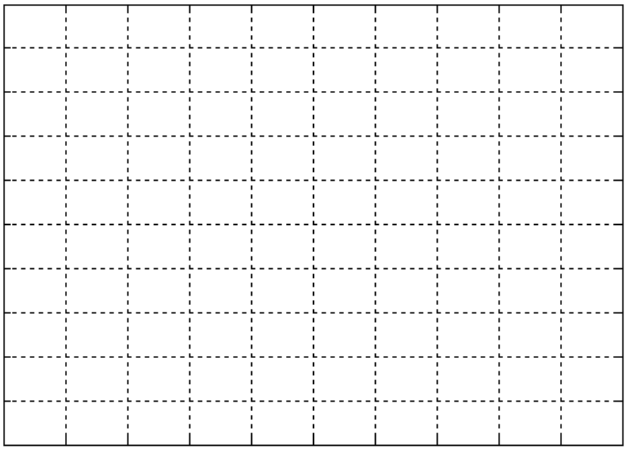
با ا ستفاده از شکل های آزمایش قبل ضرایب کنترل کننده PID را به روش زیگلر نیکولز در حوزه زمان بد ست آورده و در جدول زیر ثبت نمایید.

جدول ۳-۳ : تنظیم ضرایب کنترلی در روش زیگلر نیکولز حوزه زمان

Td	Tr	Kp	
			P
			PI
			PID

۳,۳,۳ 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 **Error! Reference source not found.** رسم کنید و به کمک آن ضرایب کنترل‌کننده را بدست اورید و در **Error! Reference source not found.** یادداشت کنید.



شکل۳-۵ پاسخ فرآیند کنترل سرعت به ازای ورودی پله

با استفاده از شکل موج خروجی و جدول زیگلر نیکولز فرکانسی ضرایب مناسب را برای کنترل کننده های P، PI و PID بدست آورید

جدول ۳-۴ : تنظیم ضرایب کنترلی در روش زیگلر نیکولز حوزه فرکانس

Td	Tr	Kp	
			P
			PI
			PID

۳,۴ 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- مشخصه به دست آمده در بخش۲-۲-۱ چه کاربردی دارد؟

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

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

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

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

۸- 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 طراحی کنترل کننده آنالوگ سرعت سروو موتور

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

۴,۱ مقدمه

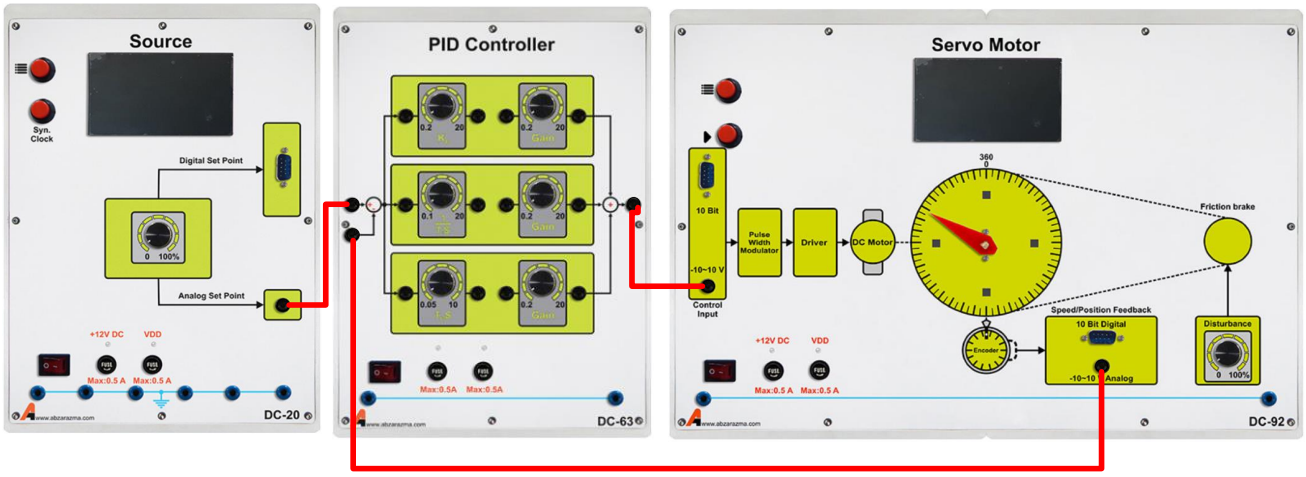
استفاده از فیدبک در سیستم های حلقه بسته می تواند فرآیند کنترلی را به سمت پایداری، عملکرد گذرا و ماندگار مطلوب تر هدایت کند. در این آزمایش استفاده از انواع کنترل کننده ها برای کنترل حلقه بسته سرعت موتور سروو موتور مورد بررسی قرار می گیرد. در این آزمایش استفاده از کنترل کننده های P، PI، PD و PID برای کنترل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

سوال : مقدار بهینه بدست آمده با جدول فوق چه تفاوتی با مقدار جداول زیگلر نیکولز دارد؟

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 ۴-۱: 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 برابر مقدار محاسبه شده از جدول زیگلر نیکولز قرار داد ه و جدول زیر را کامل 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										

حال ضرایب کنترل کننده را تغییر داده 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 ۴-۶: 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 ۴-۷: 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 ، انتگرالی PID

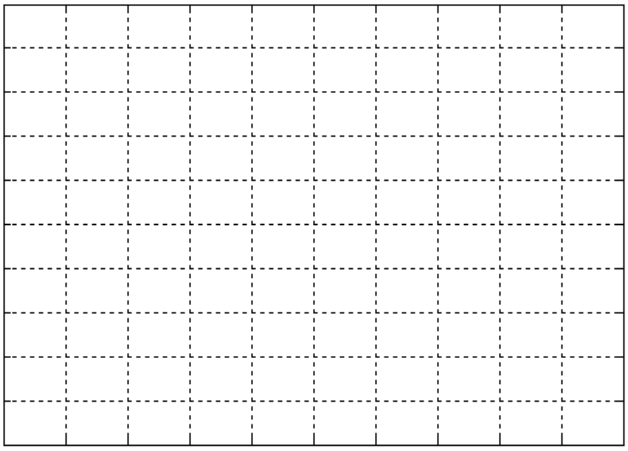
با وجود طراحی کنترل کننده های متعدد، ولی هنوز کنترل کننده PID بسیار مورد استفاده قرار می گیرد. برای بهره گیری از خواص کنترل PI و PD از کنترل کننده PID که متداول‌ترین کنترل کننده در صنعت به شما می آید، استفاده می شود. مشابه حالت قبل نقطه کار سیستم مورد مطالعه را ۴,۵ ولت قرار دهید سپس ضرایب کنترل کننده ی تناسبی-انتگرالی-مشتقی را مطابق مقادیر بدست آمده از جدول زیگلر نیکولز تنظیم کنید. مقدار کمترین خطای بدست آمده را یادداشت نمایید.

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

جدول ۴-۲: نتایج بررسی عملکرد کنترل‌کننده تناسبی مشتقی به ازای نقاط کار متفاوت

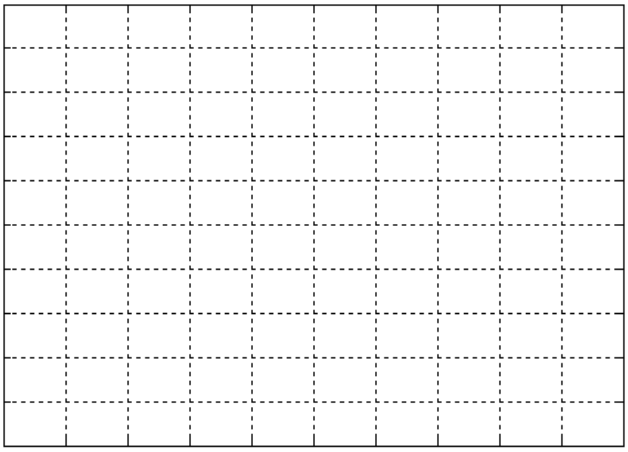
مقادیر نقطه کار	+۱۰	+۸	+۶	+۴	+۲	-۲	-۴	-۶	-۸	-۱۰
مقدار خطا										
سرعت موتور										
ولتاژ خروجی سنسور سرعت										

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.



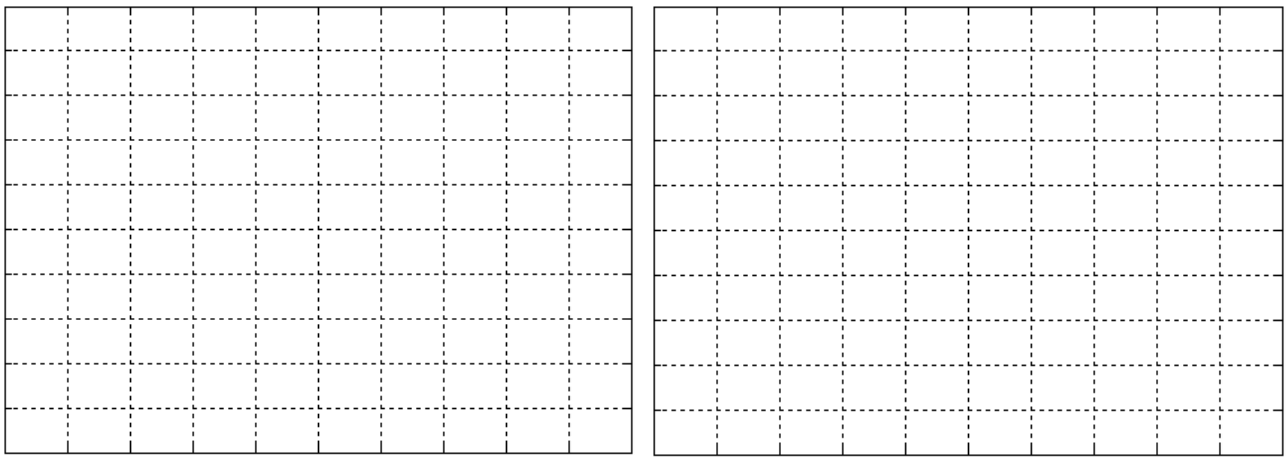
شکل۴-۲ حالت گذرای پاسخ سیستم در شرایط به‌کارگیری کنترلر PID

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 ۴۴-۳ 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 ۴-۴ نمودار پاسخ پله به ازای الف) ورودی با دامنه ۳,۵ ولت؛ ب) ورودی با دامنه ۶,۵ ولت

جدول۴-۹ : 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 برر سی عملکرد کنترل کننده در مقابل اغتشاش با تغییر میزان ترمز در سه حالت ۱۰، ۲۰ و ۳۰ در صد ترمز، جدول زیر را تکمیل نمائید

جدول ۴-۱۰ : 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			

۴,۲,۴ 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 پی شنهاد می گردد. در هر حال، کنترل کننده کلا سیک طراحی شده را در محیط متلب پیاده سازی و تحلیل نمائید.

۴,۳ سؤالات

۱- در آزمایش سی ستم حلقه ب سته با کنترل کننده تنا سبی اثر اغت شاش بر خطای حالت دائمی را با اثر اغت شاش 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.

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

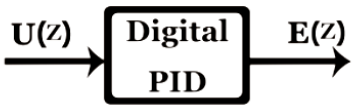
۸- کنترل کننده تئوری طراحی شده عملکرد مقاوم تری از خود نشان داد یا کنترل کننده زیگلر-نیکلز؟

۵ طراحی کنترل کننده دیجیتال حلقه بسته سرعت سروو موتور

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

۵,۱ مقدمه

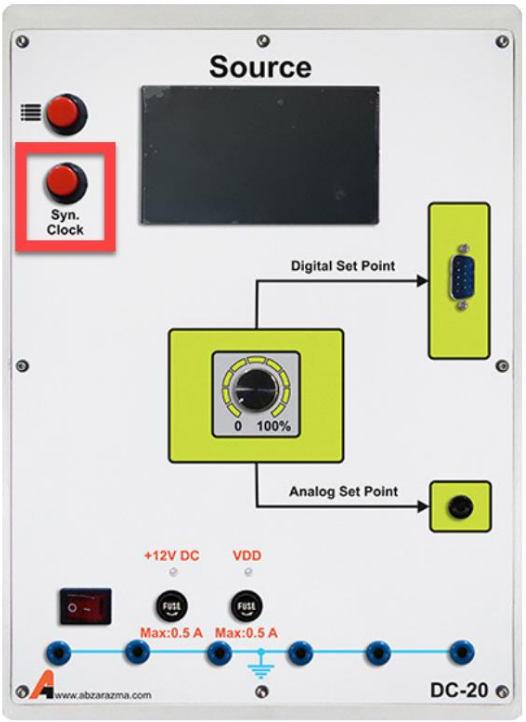
در این بخش هدف بررسی کنترل سرعت موتور DC با کنترل کننده دیجیتال است. در درسهای تئوری کنترل، با روش طراحی کنترل کننده PID، که در اینجا آن را به شکل زیر نمایش می دهیم، آشنا شده اید. بسته به اینکه فرایند تحت کنترل از چه نوع و با چه ویژگیهایی باشد، استفاده از اشکال مختلف این کنترل کننده یعنی P، PD ، PI ویا 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 ۵-۱ : 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 ۵۵-۱ :کلید مربوط به تغییر فرکانس کلاک سنکرون‌ساز

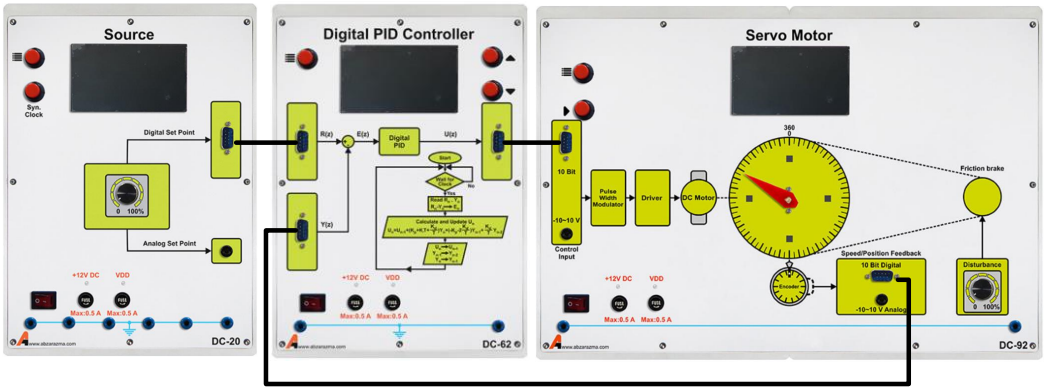
۵,۲ آزمایش و تحلیل

با استفاده از آزمایشهای قبل و فرکانس نمونه برداری انتخاب شده ضرایب کنترل کننده دیجیتال را برای فرآیند کنترل سرعت بدست آورید و در جدول زیر وارد کنید

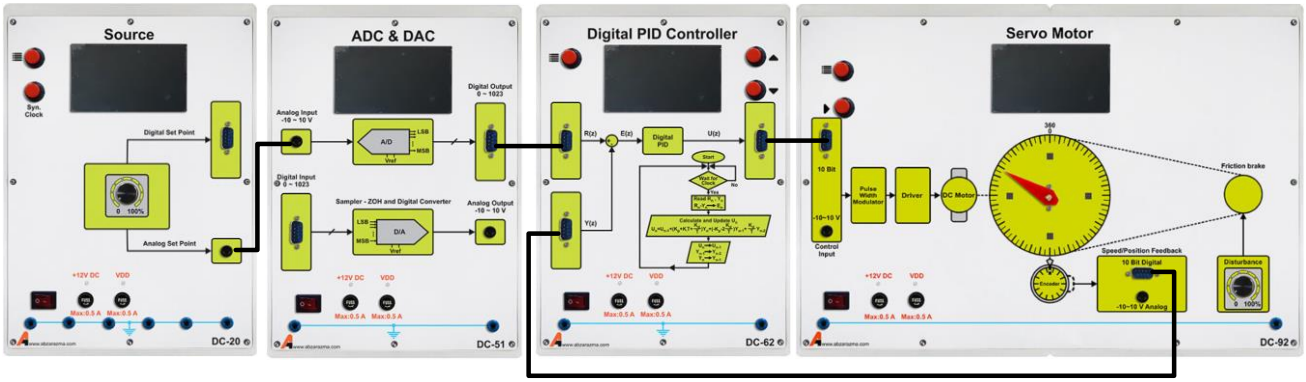
جدول ۵-۱ : تنظیم ضرایب کنترلی در روش زیگلر نیکولز برای کنترل کننده دیجیتال

K_D	K_I	Kp	T=
			P
			PI
			PID

فرایند کنترل سرعت و موقعیت سروو موتور به کمک کنترلر دیجیتال به دو صورت مستقیم (شکل ۵۵-۲) و غیر مستقیم (شکل ۵۵-۳) می‌تواند انجام پذیرد



شکل ۵۵-۲ :اتصال ماژول‌های مورد نیاز جهت انجام فرآیند کنترل دیجیتال به‌طور مستقیم



شکل ۵۵-۳ اتصال ماژول‌های مورد نیاز جهت انجام فرآیند کنترل دیجیتال به طور غیر مستقیم

۵,۲,۱ کنترل کننده تناسبی (P)

جهت استفاده از ماژول کنترلر PID دیجیتال در فرآیند کنترل سرعت مطابق شکل ۵۵-۲ 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 ۵-۲: بررسی فرآیند کنترل دیجیتال سرعت سروو موتور با بکارگیری کنترلر تناسبی

ضریب تناسبی	۰,۱	۰,۵	۱	۵	۱۰	۵۰	۱۰۰	P= مقدار محاسبه شده	P= مقدار بهینه
مقدار حقیقی فرآیند یا PV									
مقدار خطا									
مقدار خروجی فیدبک									

۵,۲,۲ 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 ۵-۳: بررسی فرآیند کنترل دیجیتال سرعت سروو موتور با بکارگیری کنترلر تناسبی-انتگرالی

مقدار سرعت مبنا	۱۰	۳۰	۷۰	۱۱۰	-۳۰	-۵۰	-۷۰	P = I= مقدار محاسبه شده	P= I= مقدار بهینه
مقدار حقیقی فرآیند یا PV									
مقدار خطا									
مقدار خروجی فیدبک									

۵,۲,۳ کنترل کننده تناسبی، مشتقی ، انتگرالی PID

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

جدول ۵-۱: بررسی فرآیند کنترل دیجیتال سرعت سروو موتور با بکارگیری کنترلر PID

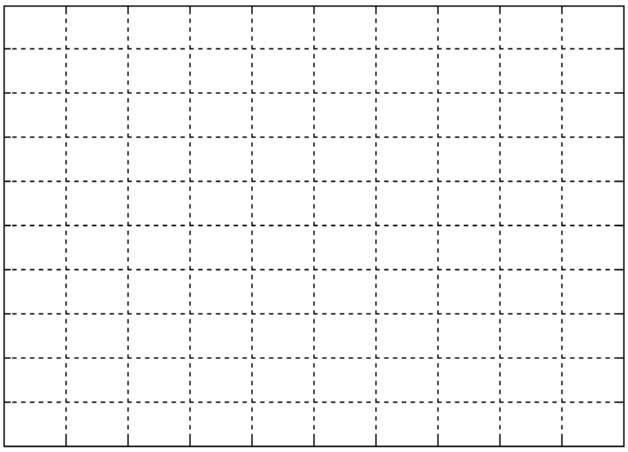
مقدار سرعت مبنا	۱۰	۳۰	۱۵۰	۲۵۰	-۳۰	-۵۰	-۱۵۰	P = I= D= مقدار محاسبه شده	P= I= D= مقدار بهینه
مقدار حقیقی فرآیند یا PV									
مقدار خطا									
مقدار خروجی فیدبک									

۵,۳ مقایسه نتایج

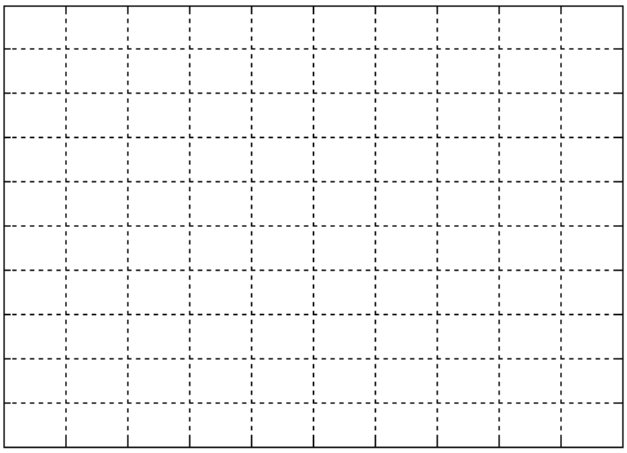
روند به دست آوردن پاسخ زمانی مشابه آزمایش های قبلی می باشد. به این منظور مطابق شکل ۵۵-۳، سیگنال ژنراتور را با تنظیم مناسب به ورودی ADC متصل نمائید و خروجی ماژول ADC، به عنوان سیگنال مرجع برای ماژول کنترلر دیجیتال قرار می‌گیرد.

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 ۵۵-۴ پاسخ پله به ازای نقطه کار ۱۰۰ RPM در شرایط بکارگیری کنترلر PID



شکل ۵-۵ پاسخ پله به ازای نقطه کار ۲۰۰ RPM در شرایط بکارگیری کنترلر PID

جدول ۵۵-۲: بررسی عملکرد کنترل‌کننده مورد طراحی با تغییر نقطه کار

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

۵,۴ 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.

۶ طراحی کنترل کننده آنالوگ و دیجیتال 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.

مدار این آزمایش مشابه شکل ٤- است با این اختلاف که بایستی حالت سروو موتور بر روی کنترل موقعیت تنظیم شود. در ادامه ضرایب کنترلی چهار نوع کنترل‌کننده تناسبی، انتگرالی تناسبی و کنترل‌کننده PID به روش جدول زیگلر – نیکولز 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 طراحی کنترل‌کننده به کمک روش زیگلر نیکلز حوزه فرکانس

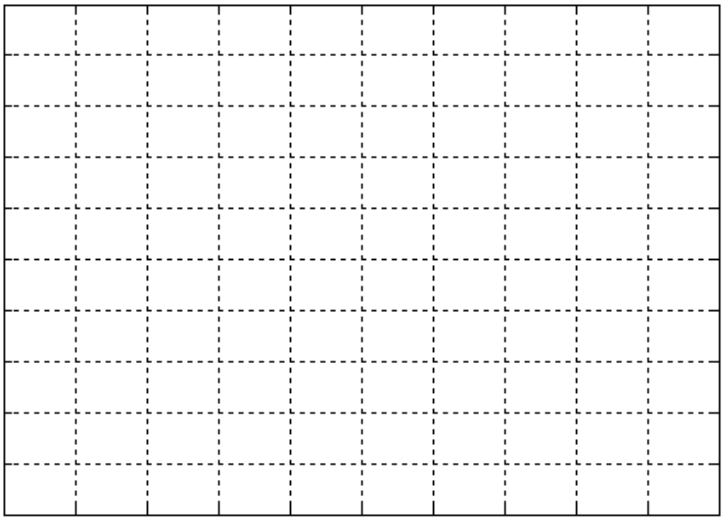
در روش طراحی کنترل‌کننده به روش زیگلر نیکولز حوزه فرکانس، سیستم حلقه بسته با کنترل کننده تناسبی را راه‌اندازی کنید و ضریب تناسبی را چنان تنظیم نمائید که سیستم در حالت نوسان قرار گیرد. پاسخ نوسانی فرآیند را به ازای ورودی پله با دامنه ۵ ولت در شکل ۶-۱ ر سم کنید و بر ا ساس **Error! Reference source not found.**، ضرایب کنترل‌کننده را بد ست اورید و در جدول ۶-۱ یادداشت کنید.

با پیاده سازی کنترلرهای P، PI و PID با ضرایب طراحی شده و سیگنال ورودی با دامنه ۵ ولت؛ شکل پا سخ فرآیند را م شاهده و در شکل۶-۲ تا شکل ۶-۴ رسم نمایید.

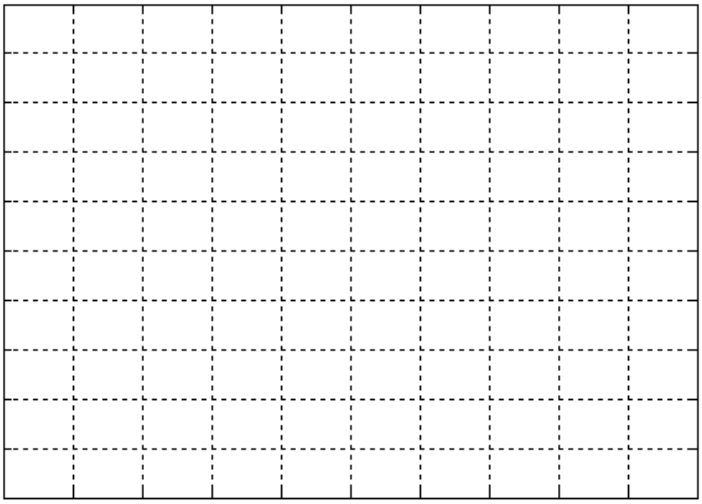
شکل ۶-۱ پاسخ فرآیند کنترل سرعت به ازای ورودی پله

جدول ۶-۱: تنظیم ضرایب کنترلی در روش زیگلر نیکولز حوزه فرکانس

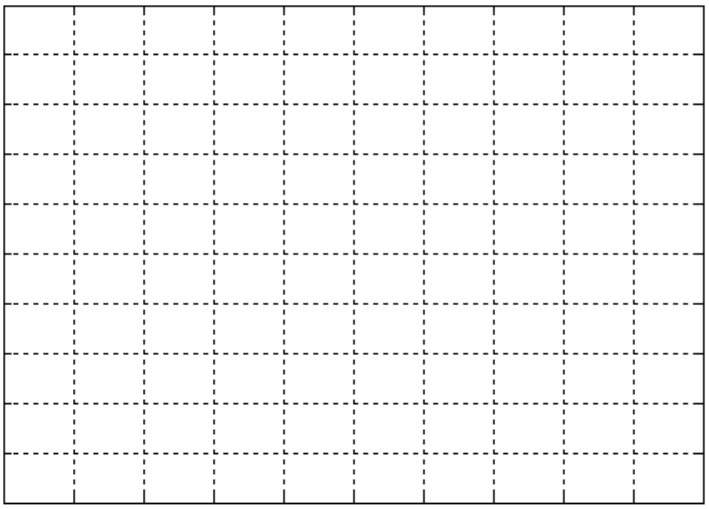
Td	Tr	Kp	
			P
			PI
			PID



شکل۶-۲ پاسخ پله فرآیند با پیاده‌سازی کنترل‌کننده تناسبی به روش زیگلر نیکولز حوزه فرکانس



شکل ۶-۳ پاسخ پله فرآیند با پیاده‌سازی کنترل‌کننده تناسبی – انتگرالی به روش زیگلر نیکولز حوزه فرکانس



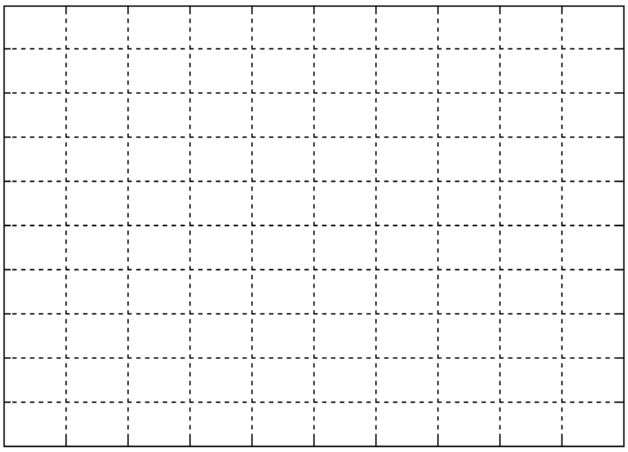
شکل ۶-۴ پاسخ پله فرآیند با پیاده‌سازی کنترل‌کننده PID به روش زیگلر نیکولز حوزه فرکانس

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

جدول ۶۶-۲: بررسی ویژگی‌های حالت گذرا در کنترل‌کننده‌های P،PI 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 نیکولز 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 ۶-۵ پاسخ پله بهبود یافته در کنترل‌کننده PID طراحی شده به روش نیکولز حوزه فرکانس

۶,۳ طراحی کنترل کننده دیجیتال موقعیت

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

۶,۳,۱ کنترل کننده تناسبی (P)

مطابق شکل ۵۵-۲ 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 بدست آورید. مقیاس‌بندی ماژول Source بدین صورت است 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 ۶۶-۳: بررسی فرآیند کنترل دیجیتال موقعیت سروو موتور با بکارگیری کنترلر تناسبی

ضریب تناسبی	۰,۱	۰,۵	۱	۵	۱۰	۵۰	۱۰۰	P= مقدار محاسبه شده	P= مقدار بهینه
مقدار حقیقی فرآیند یا PV									
مقدار خطا									
مقدار خروجی فیدبک									

۶,۳,۲ 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. سپس با مقادیر P و Iمحاسبه شده برای سرعت ۱۰۰ تکرار کنید

جدول ۶۶-۴: بررسی فرآیند کنترل دیجیتال موقعیت سروو موتور با بکارگیری کنترلر تناسبی-انتگرالی

موقعیت مرجع	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰	۲۰۰	۳۰۰	۳۳۰	I= و P= محاسبه شده در موقعیت ۱۰۰
مقدار حقیقی فرآیند یا PV								
مقدار خطا								
مقدار خروجی فیدبک								

۶,۳,۳ کنترل کننده تناسبی، مشتقی ، انتگرالی PID

با تنظیم P=10 و I=1 و D=2، جدول زیر را براساس مشاهدات پر کنید. سپس ضرایب کنترل کننده را از جدول زیگلر نیکولز جایگزین نموده و قسمت فوق را برای سرعت ۱۰۰ تکرار کنید

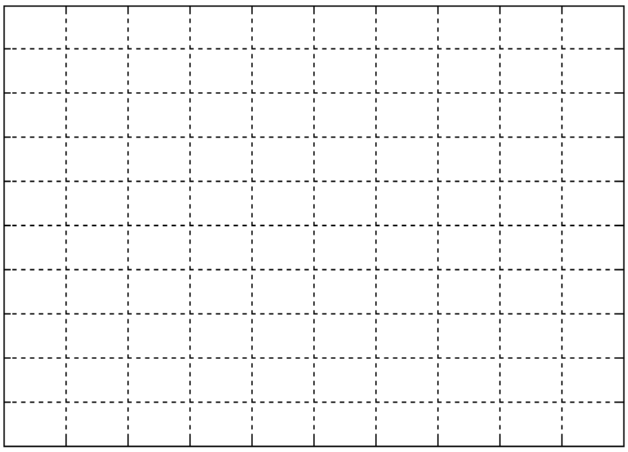
جدول ۶۶-۵: بررسی فرآیند کنترل دیجیتال موقعیت سروو موتور با بکارگیری کنترلر PID

موقعیت مرجع	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰	۲۰۰	۳۰۰	۳۳۰	P= و I= و D= محاسبه شده در موقعیت ۱۰۰
مقدار حقیقی فرآیند یا PV								
مقدار خطا								
مقدار خروجی فیدبک								

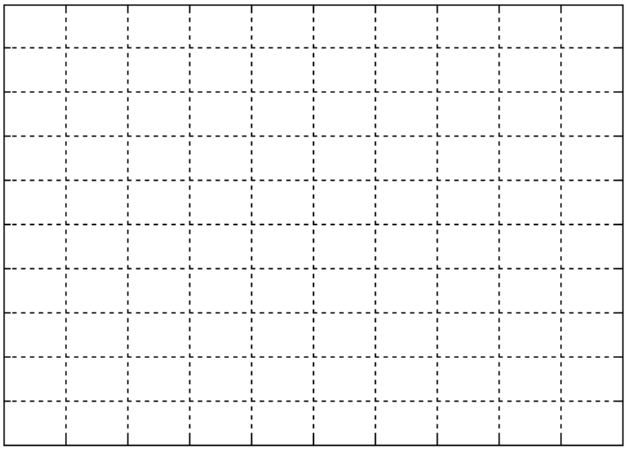
۶,۴ مقایسه نتایج

روند به دست آوردن پاسخ زمانی مشابه آزمایش های قبلی می باشد. به این منظور مطابق شکل ۵۵-۳، 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 تنظیم منا سب سیگنال ژنراتور از مقیاس‌بندی ماژول Source ا ستفاده 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 ۶-۶ پاسخ پله به ازای نقطه کار ۱۵۰ DEG در شرایط بکارگیری کنترلر PID



شکل ۶-۷ پاسخ پله به ازای نقطه کار ۲۵۰ DEG در شرایط بکارگیری کنترلر PID

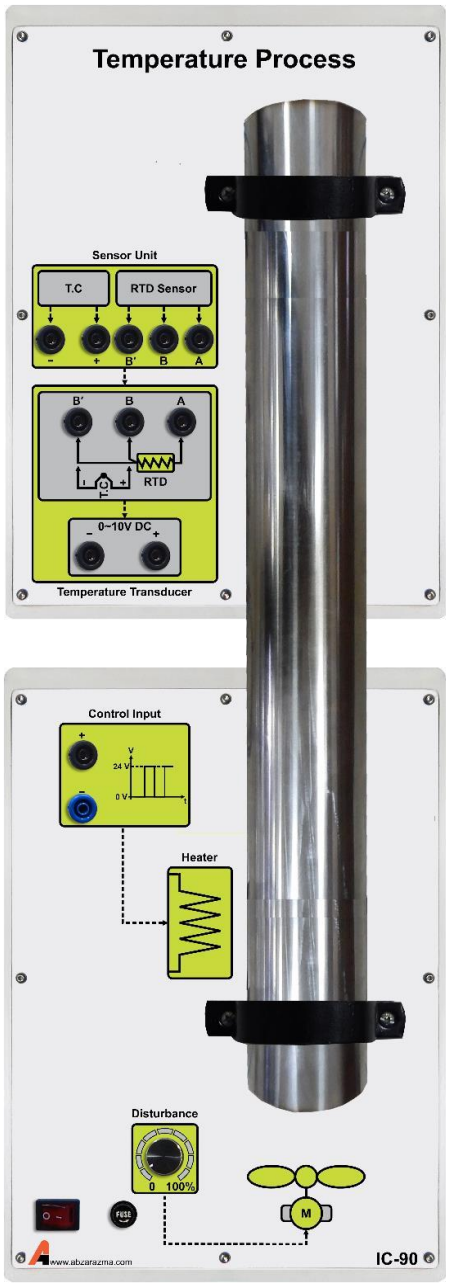
جدول ۶-۶: بررسی عملکرد کنترل‌کننده مورد طراحی با تغییر نقطه کار

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

۷ کنترل حلقه بسته آنالوگ و دیجیتال کنترل دما IC90

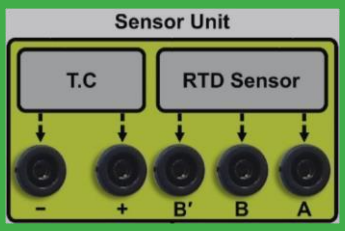
هدف: طراحی کنترل کننده مناسب برای کنترل دما

در این ماژول فرایند کنترل دما مورد بررسی قرار خواهد گرفت. از این ماژول جهت انتقال مفاهیم سیستم های کنترل از جمله کنترل صنعتی، کنترل دیجیتال و آنالوگ به عنوان دستگاه (پلنت) استفاده می شود. این دستگاه در شکل زیر نشان داده شده است. در ادامه قسمت ها و ماژولهای مورد نیاز جهت آزمایش در آموزنده های کنترل دیجیتال و آنالوگ این سیستم شرح داده خواهند شد



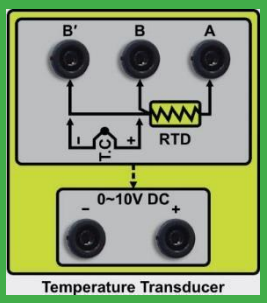
شکل ۷-۱ دستگاه فرآیند کنترل دما

درگاه سنسورها



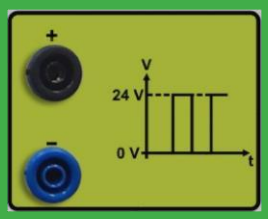
همانطور که در این شکل مشخص ا ست در این سیستم از دو نوع سنسور دما، ترموکوپل و RTD استفاده شده است.
جهت استفاده از هر کدام از سنسورها پایه های آن در دسترس می باشد.

ترانسدیوسر دما



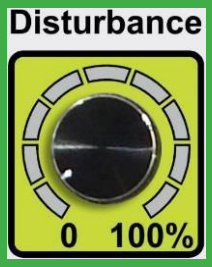
این واحد عمل تبدیل خروجی سنسورها به ولتاژ ۰-۱۰ ولت جهت کنترل را برعهده دارد.
با انتخاب نوع سنسور و اتصال پایه های آن متناسب با واحد سنسورها، خروجی سنسورها با ولتاژ ۰ تا ۱۰ ولت در دسترس می باشد.

درگاه وردی کنترل



از این واحد جهت اعمال سیگنال کنترل کننده به هیتر (عملگر) استفاده می شود.
ورودی عملگر دما از نوع PWM می باشد. با توجه به نوع خروجی کنترل کننده از ماژولهای مخصوص جهت تبدیل ورودی مناسب به عملگر استفاده می شود.

واحد اغتشاش

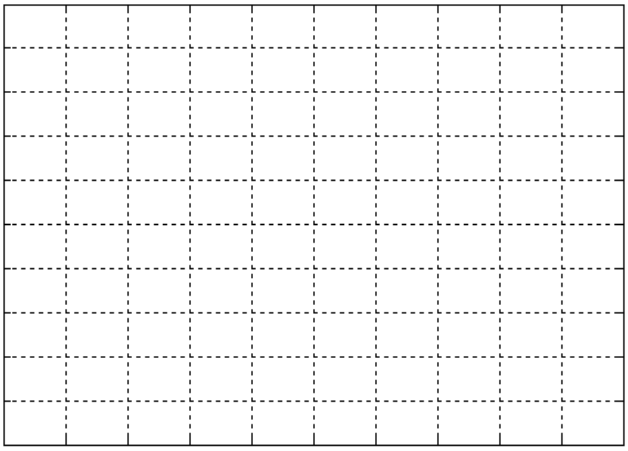


از این ولوم جت ایجاد اغتشاش در سیستم تحت کنترل استفاده می شود. متناسب باچرخش ولوم سرعت فن دمنده کم و زیاد می گردد.

شکل ۷-۲ سنسورها و عملگر پروسه کنترل دما

۷,۱ طراحی کنترل‌کننده PID آنالوگ به کمک روش زیگلر نیکلز حوزه زمان

در این بخش برای یافتن مدل دینامیکی می بایست به ورودی حلقه باز سیستم یک پله به صورت تناوبی اعمال گردد تا با مشاهده 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 برسد. تغییرات خروجی سنسور را به کمک اسیلوسکوپ مشاهده نمائید و بر روی شکل زیر رسم نمائید.



شکل ۷-۳ تغییرات خروجی سنسور دما در صورت اعمال سیگنال PWM به ورودی هیتر

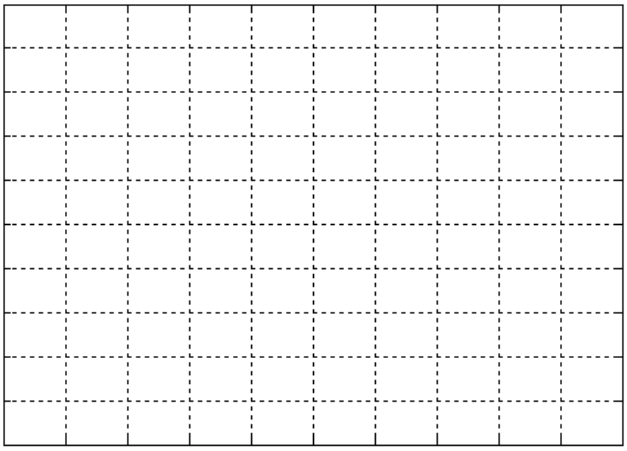
بر اساس روش های تقریب مدل دینامیکی ۲ پارامتری و ۳ پارامتری سیستم را با یک تابع انتقال مرتبه یک و۲ می‌توان تقریب زد. روش دوم به دست آوردن مدل دینامیکی استفاده از جعبه ابزار System Identification نرم افزار MATLAB می باشد. به این منظور ابتدا داده های حالت گذرای پا سخ پله را از نمودار ا سیلو سکوپ حافظه دار ا ستخراج نموده و همراه با داده های تغییرات ورودی هیتر در نرم افزار وارد نمائید. مدل حاصل و دقت پاسخ آن به‌راحتی در این نرم افزار قابل تحلیل و مشاهده است.

با ا ستفاده از شکل های آزمایش قبل ضرایب کنترل کننده PID را به روش زیگلر نیکولز در حوزه زمان بد ست آورده و در جدول زیر ثبت نمایید.

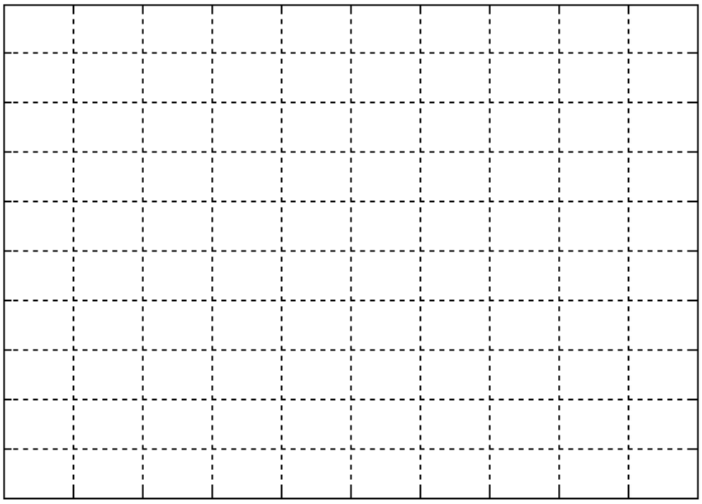
جدول ۷-۱ : تنظیم ضرایب کنترلی در روش زیگلر نیکولز حوزه زمان

Td	Tr	Kp	
			P
			PI
			PID

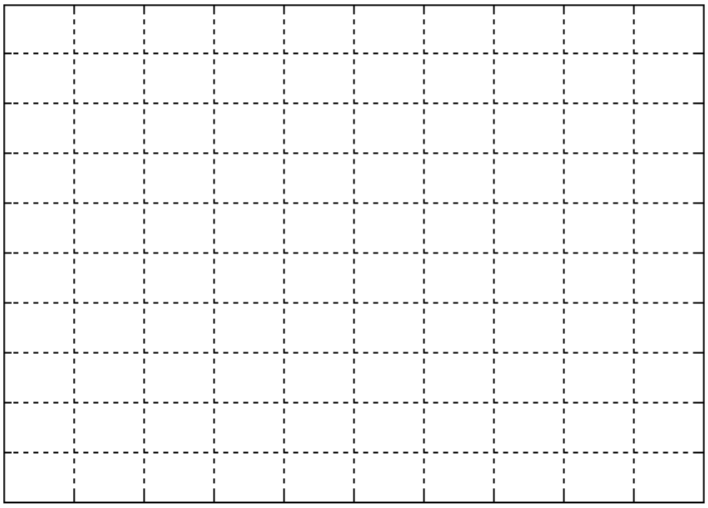
با پیاده سازی کنترلرهای P، PI و PID با ضرایب طراحی شده و سیگنال ورودی با دامنه ۵ ولت؛ شکل پا سخ فرآیند را م شاهده و در شکل۶-۲ تا شکل ۶-۴ رسم نمایید.



شکل ۷-۴ پاسخ فرآیند کنترل دما به ازای ورودی پله



شکل ۷-۵ پاسخ پله فرآیند دما با پیاده‌سازی کنترل‌کننده تناسبی – انتگرالی به روش زیگلر نیکولز



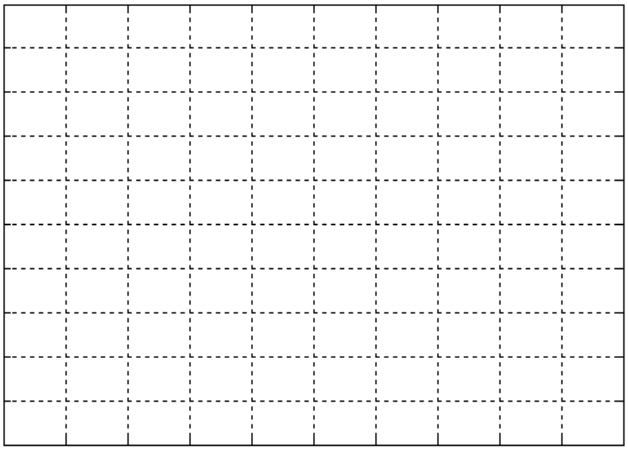
شکل ۷-۶ پاسخ پله فرآیند دما با پیاده‌سازی کنترل‌کننده PID به روش زیگلر نیکولز

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

جدول ۷-۱: 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 نیکولز 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 ۷-۷ پاسخ پله بهبود یافته در کنترل‌کننده PID طراحی شده به روش نیکولز

۷,۲ طراحی کنترل کننده دیجیتال دما

مطابق شکل ۵۵-۲ 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 دماهای مختلف بین دمای محیط تا ... درجه نگاشت می‌شود بنابراین موقعیت مطلوب به ازای سیگنال ۵ ولت ۲۷درجه است.

جدول ۷-۳: بررسی فرآیند کنترل دیجیتال دما با بکارگیری کنترلر تناسبی

ضریب تناسبی	۰,۱	۰,۵	۱	۵	۱۰	۵۰	۱۰۰	P= مقدار محاسبه شده	P= مقدار بهینه
مقدار حقیقی فرآیند یا PV									

مقدار خطا									
مقدار خروجی فیدبک									

۷,۲,۱ 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. سپس با مقادیر P و Iمحاسبه شده برای سرعت ۱۰۰ تکرار کنید

جدول ۷۷-۴: بررسی فرآیند کنترل دیجیتال‌دما با بکارگیری کنترلر تناسبی-انتگرالی

موقعیت مرجع	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰	۲۰۰	۳۰۰	۳۳۰	P= و I= محاسبه شده در موقعیت ۱۰۰
مقدار حقیقی فرآیند یا PV								
مقدار خطا								
مقدار خروجی فیدبک								

۷,۲,۲ کنترل کننده تناسبی، مشتقی ، انتگرالی PID

با تنظیم P=10 و I=1 و D=2، جدول زیر را براساس مشاهدات پر کنید. سپس ضرایب کنترل کننده را از جدول زیگلر نیکولز جایگزین نموده و قسمت فوق را برای سرعت ۱۰۰ تکرار کنید

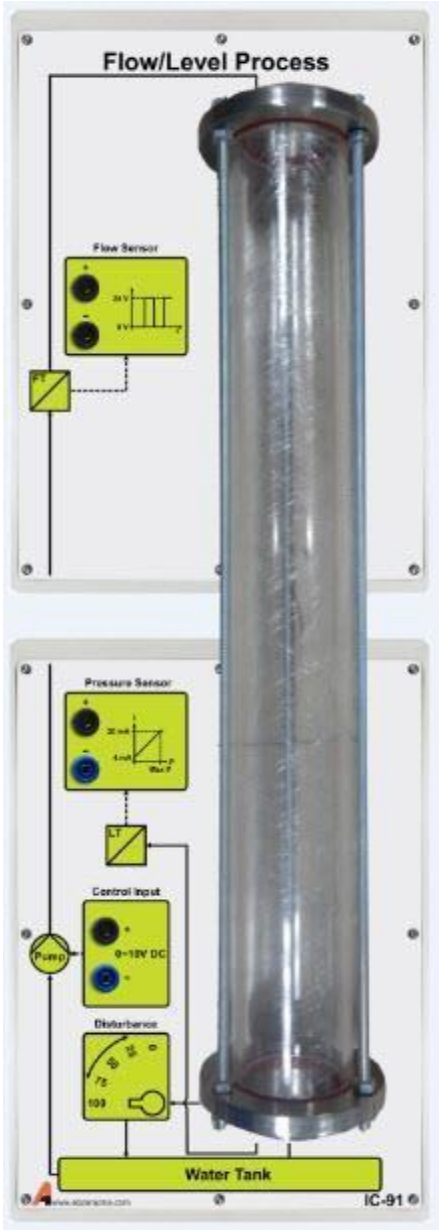
جدول ۷-۵: بررسی فرآیند کنترل دیجیتال دما با بکارگیری کنترلر PID

موقعیت مرجع	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰	۲۰۰	۳۰۰	۳۳۰	P= و I= و D= محاسبه شده در موقعیت ۱۰۰
مقدار حقیقی فرآیند یا PV								
مقدار خطا								
مقدار خروجی فیدبک								

۸ کنترل حلقه بسته آنالوگ و دیجیتال کنترل سطح IC91

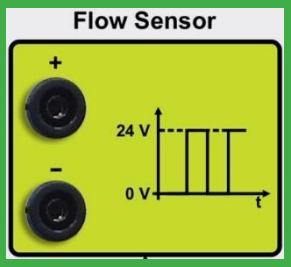
هدف: طراحی کنترل کننده مناسب برای کنترل سطح

در این ماژول فرایند کنترل سطح و دبی به طور جداگانه مورد بررسی قرار خواهد گرفت. از این ماژول جهت انتقال مفاهیم سیستم های کنترل از جمله کنترل صنعتی، کنترل دیجیتال و آنالوگ به عنوان دستگاه استفاده می شود. پرو سه کنترل سطح از طریق اندازه گیری فشار توسط سنسور فشار و کنترل فلو از طریق اندازه گیری فلو توسط سنسور فلو انجام می پذیرد . این دستگاه در شکل زیر نشان داده شده است. در ادامه، قسمت ها و ماژول های مورد نیاز جهت آزمایش در آموزنده های کنترل دیجیتال و آنالوگ این سیستم شرح داده خواهند شد



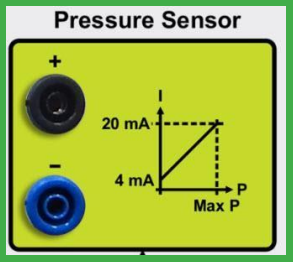
شکل ۸-۱ دستگاه فرآیند کنترل سطح

درگاه سنسور فلو (دبی)



این واحد، خروجی سنسور فلو از نوع پالس ۰-۲۴ ولت را جهت اعمال به کنترل کننده در اختیار آزمایش کننده قرار می دهد.
این سنسور در مسیر ورودی مایع به مخزن قرار دارد.

درگاه سنسور فشار

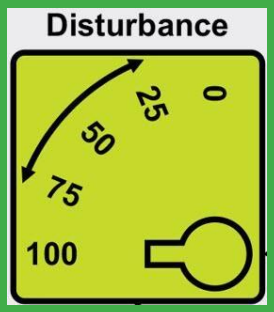


این واحد، خروجی سنسور فشار از نوع جریانی ۴- ۲۰ میلی آمپر را جهت اعمال به کنترل کننده در اختیار آزمایش کننده قرار می دهد.
این سنسور در کف مخزن قرارداده شده است. تغییرات سطح به صورت خطی متناسب با تغییرات فشار می باشد.

درگاه وردی کنترل

از این واحد جهت اعمال سیگنال کنترل کننده از نوع آنالوگ ۰-۱۰ ولت به پمپ (عملگر) استفاده می شود.
سرعت پمپ متناسب با سیگنال کنترلی جهت تنظیم فلوی ورودی به مخزن تغییر پیدا می کند.

L: درگاه اغتشاش

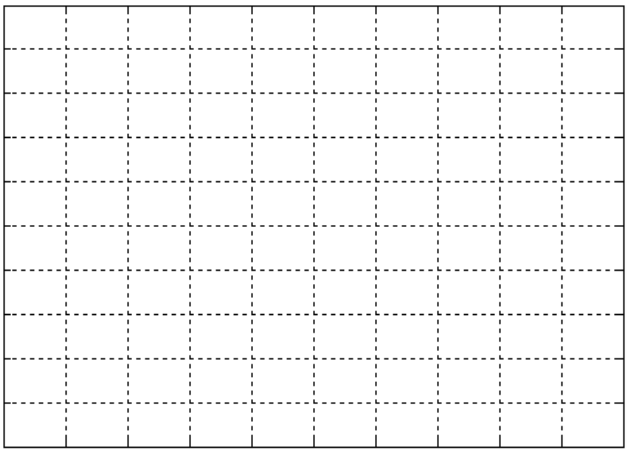


از این شیر جهت ایجاد اغتشاش در سیستم تحت کنترل استفاده می شود. متنا سب بامیزان باز و بسته شدن این شیر سرعت خروجی مایع کم و زیاد می گردد.

شکل ۸-۲ سنسورها و عملگر پروسه کنترل سطح

۸,۱ طراحی کنترل‌کننده PID آنالوگ به کمک روش زیگلر نیکلز حوزه زمان

در این بخش برای یافتن مدل دینامیکی می بایست به ورودی حلقه باز سیستم یک پله به صورت تناوبی اعمال گردد تا با مشاهده 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 برسد. تغییرات خروجی سنسور را به کمک اسیلوسکوپ مشاهده نمائید و بر روی شکل زیر رسم نمائید.



شکل ۸-۳ تغییرات خروجی حلقه باز سنسور فشار در صورت اعمال سیگنال پله به ورودی شیر

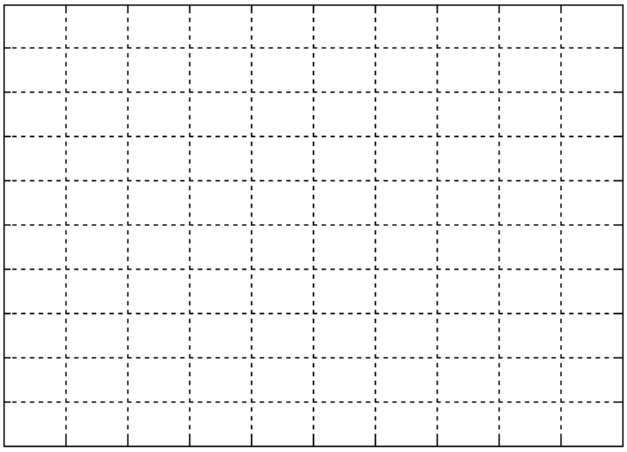
بر اساس روش های تقریب مدل دینامیکی ۲ پارامتری و ۳ پارامتری سیستم را با یک تابع انتقال مرتبه یک و۲ می‌توان تقریب زد. روش دوم به دست آوردن مدل دینامیکی استفاده از جعبه ابزار System Identification نرم افزار MATLAB می باشد. به این منظور ابتدا داده های حالت گذرای پا سخ پله را از نمودار ا سیلو سکوپ حافظه دار ا ستخراج نموده و همراه با داده های تغییرات ورودی هیتر در نرم افزار وارد نمائید. مدل حاصل و دقت پاسخ آن به‌راحتی در این نرم افزار قابل تحلیل و مشاهده است.

با ا ستفاده از شکل های آزمایش قبل ضرایب کنترل کننده PID را به روش زیگلر نیکولز در حوزه زمان بد ست آورده و در جدول زیر ثبت نمایید.

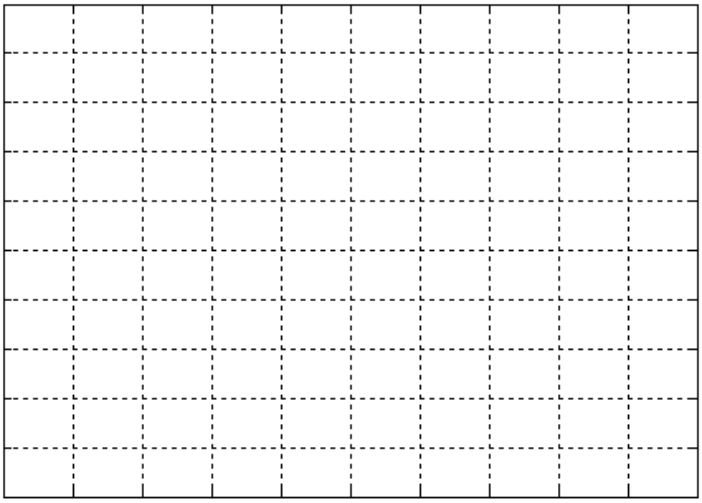
جدول ۸-۱ : تنظیم ضرایب کنترلی در روش زیگلر نیکولز حوزه زمان

	Kp	Tr	Td
P			
PI			
PID			

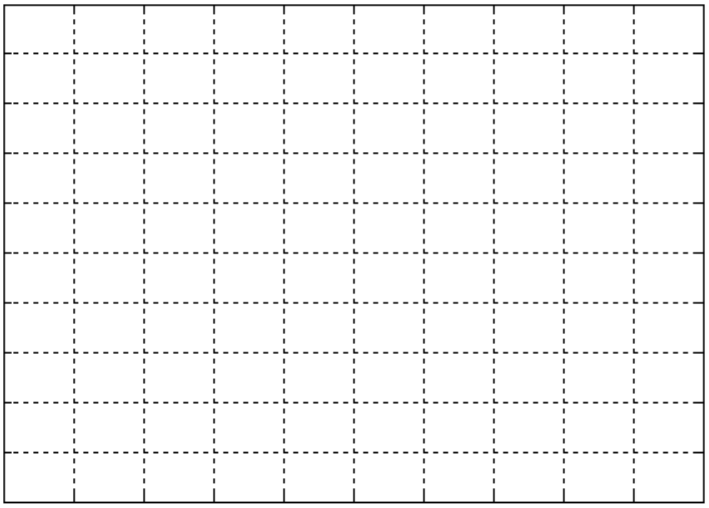
با پیاده سازی کنترلرهای P، PI و PID با ضرایب طراحی شده و سیگنال ورودی با دامنه ۵ ولت؛ شکل پا سخ فرآیند را م شاهده و در شکل۶-۲ تا شکل ۶-۴ رسم نمایید.



شکل ۸۸-۴ پاسخ حلقه بسته فرآیند کنترل کننده تناسبی سطح به ازای ورودی پله



شکل ۸۸-۵: پاسخ پله فرآیند کنترل سطح با پیاده‌سازی کنترل‌کننده تناسبی – انتگرالی به روش زیگلر نیکولز



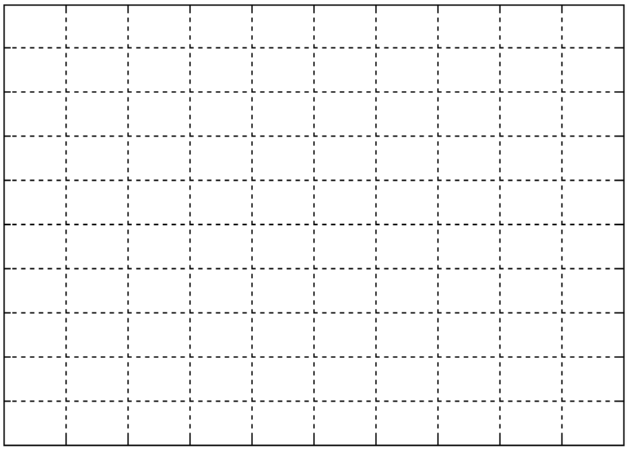
شکل ۸۸-۶ : پاسخ پله فرآیند کنترل سطح با پیاده‌سازی کنترل‌کننده PID به روش زیگلر نیکولز

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

جدول ۸-۱: 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 نیکولز 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 ۸۸-۷ پاسخ پله بهبود یافته در کنترل‌کننده PID طراحی شده به روش نیکولز

۸,۲ طراحی کنترل کننده دیجیتال کنترل سطح

مطابق شکل ۵۵-۲ 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 دماهای مختلف بین دمای محیط تا ... درجه نگاشت می‌شود بنابراین موقعیت مطلوب به ازای سیگنال ۵ ولت ۲۷درجه است.

جدول ۸-۳: بررسی فرآیند کنترل دیجیتال سطح با بکارگیری کنترلر تناسبی

ضریب تناسبی	۰,۱	۰,۵	۱	۵	۱۰	۵۰	۱۰۰	P= مقدار محاسبه شده	P= مقدار بهینه
مقدار حقیقی فرآیند یا PV									

مقدار خطا									
مقدار خروجی فیدبک									

۸,۲,۱ 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. سپس با مقادیر P و Iمحاسبه شده برای سرعت ۱۰۰ تکرار کنید

جدول ۸-۴: بررسی فرآیند کنترل دیجیتال سطح با بکارگیری کنترلر تناسبی-انتگرالی

موقعیت مرجع	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰	۲۰۰	۳۰۰	۳۳۰	I= و P= محاسبه شده در موقعیت ۱۰۰
مقدار حقیقی فرآیند یا PV								
مقدار خطا								
مقدار خروجی فیدبک								

۸,۲,۲ کنترل کننده تناسبی، مشتقی ، انتگرالی PID

با تنظیم P=10 و I=1 و D=2، جدول زیر را براساس مشاهدات پر کنید. سپس ضرایب کنترل کننده را از جدول زیگلر نیکولز جایگزین نموده و قسمت فوق را برای سرعت ۱۰۰ تکرار کنید

جدول۸-۵: بررسی فرآیند کنترل دیجیتال سطح با بکارگیری کنترلر PID

موقعیت مرجع	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰	۲۰۰	۳۰۰	۳۳۰	D= و I= و P= محاسبه شده در موقعیت ۱۰۰
مقدار حقیقی فرآیند یا PV								
مقدار خطا								
مقدار خروجی فیدبک								

پیوست ۱: آشنایی با تجهیزات آموزنده کنترل دیجیتال و آنالوگ

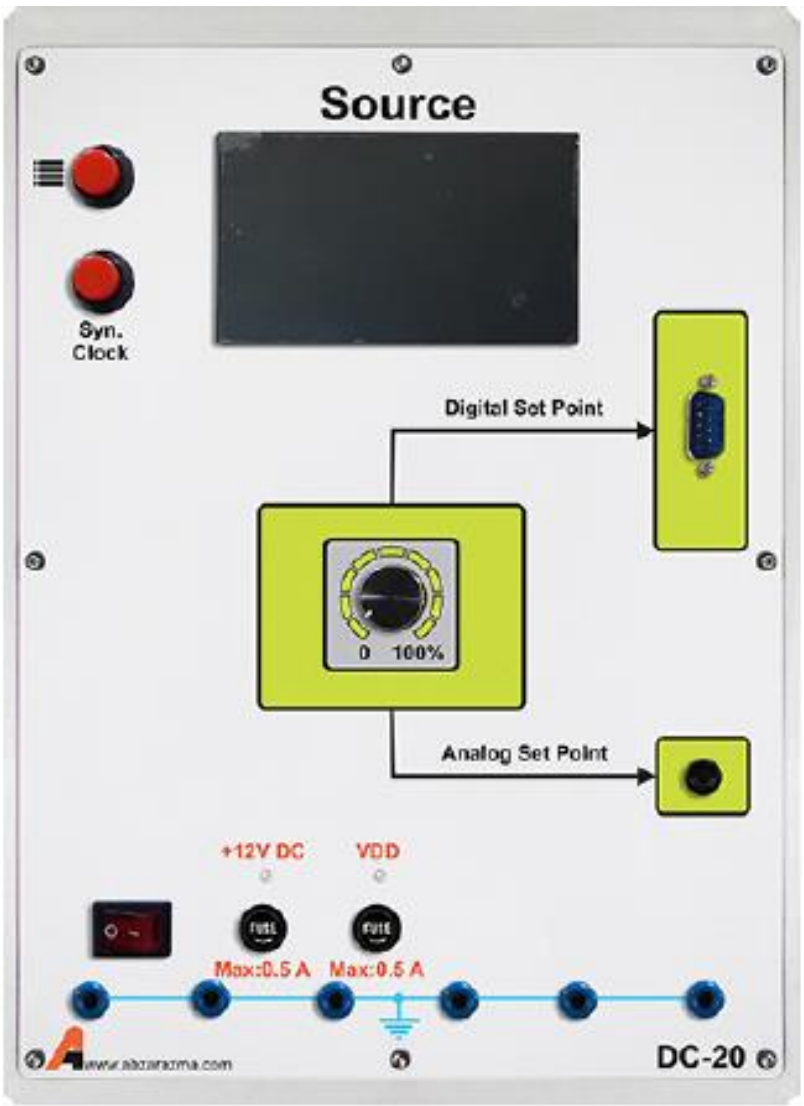
یکی از مباحث اساسی در یادگیری آزمایشگاه، استفاده صحیح و بهینه از تجهیزات آزمایشگاهی می‌باشد. به منظور استفاده هر چه بهتر از سیستم آزمایشگاهی لازم است تا اطلاعات کافی از تمامی اجزا داشته باشیم. بنابراین در این پیوست بخش‌های مختلف سیستم کنترل آنالوگ و دیجیتال توضیح داده می‌شوند.

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.

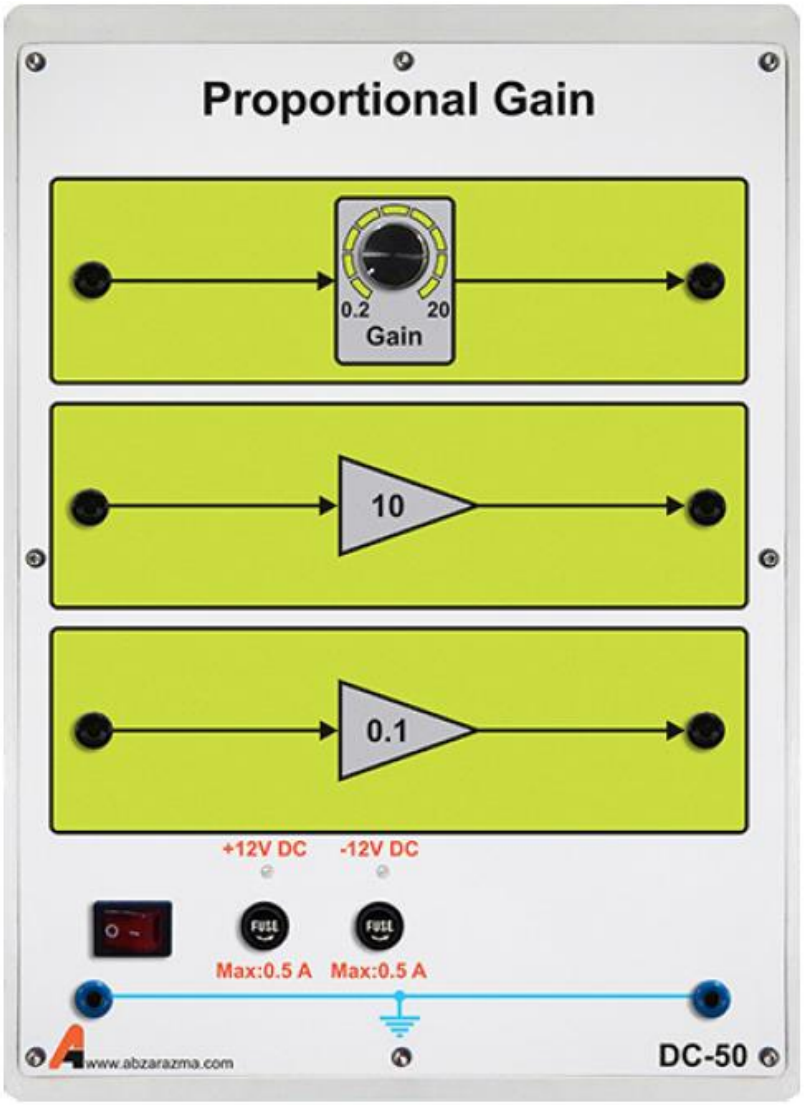
این ماژول دارای یک خروجی دیجیتال 10 بیتی و یک خروجی آنالوگ بین 10 – تا + 10 ولت اســـت. همچنین قابلیت تغییر فرکانس کلاک دیجیتال از ۰,۱ هرتز تا ۱۰۰ هرتز را دارد.

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.

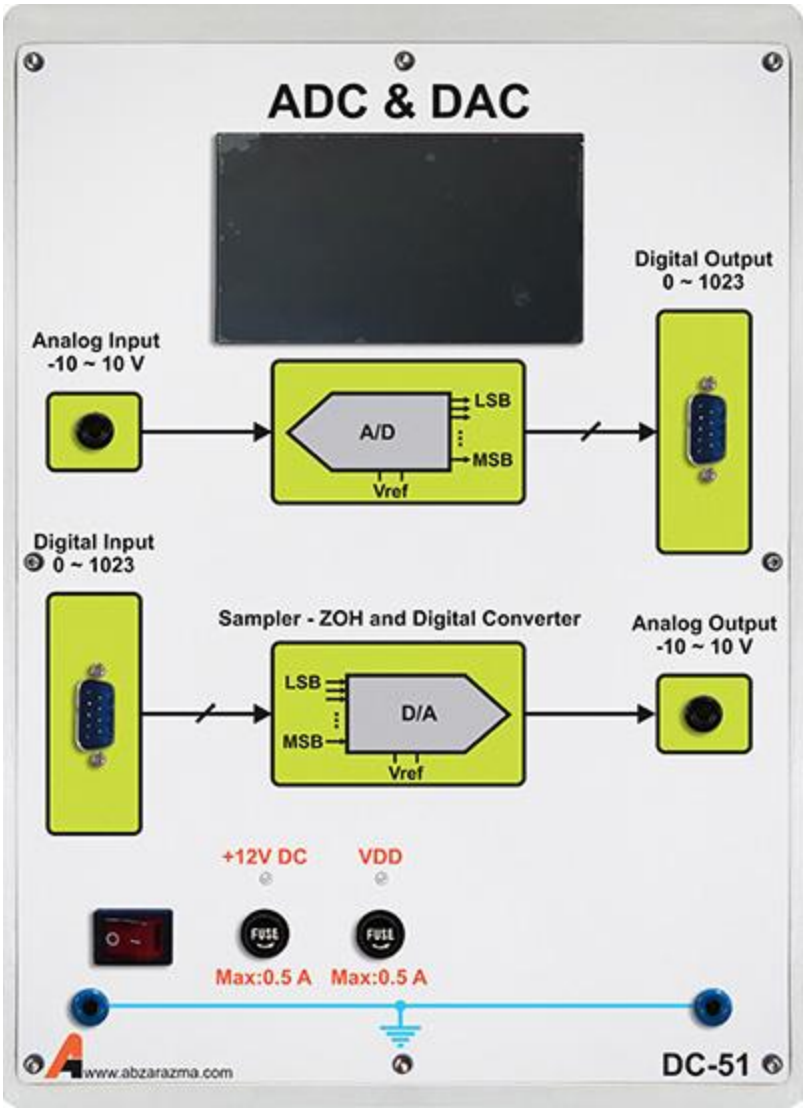


۳- ماژول مبدل آنالوگ به دیجیتال و دیجیتال به آنالوگ

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

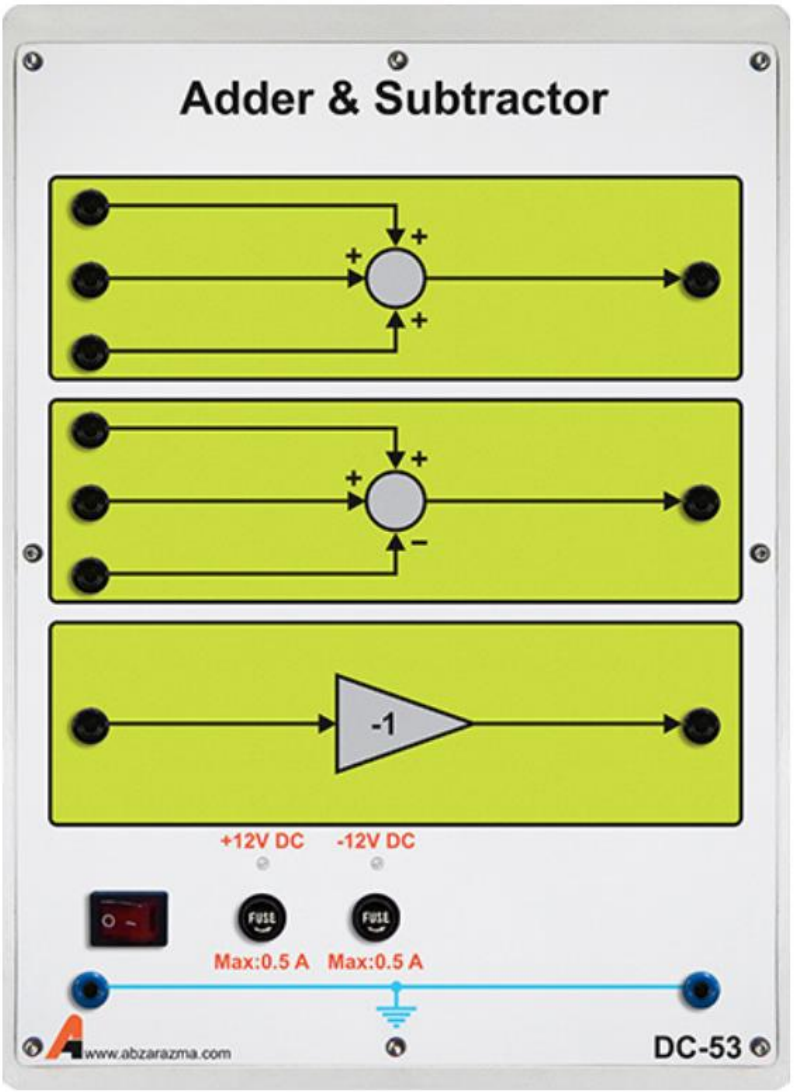


۴- ماژول جمع‌کننده و تفریق‌کننده

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

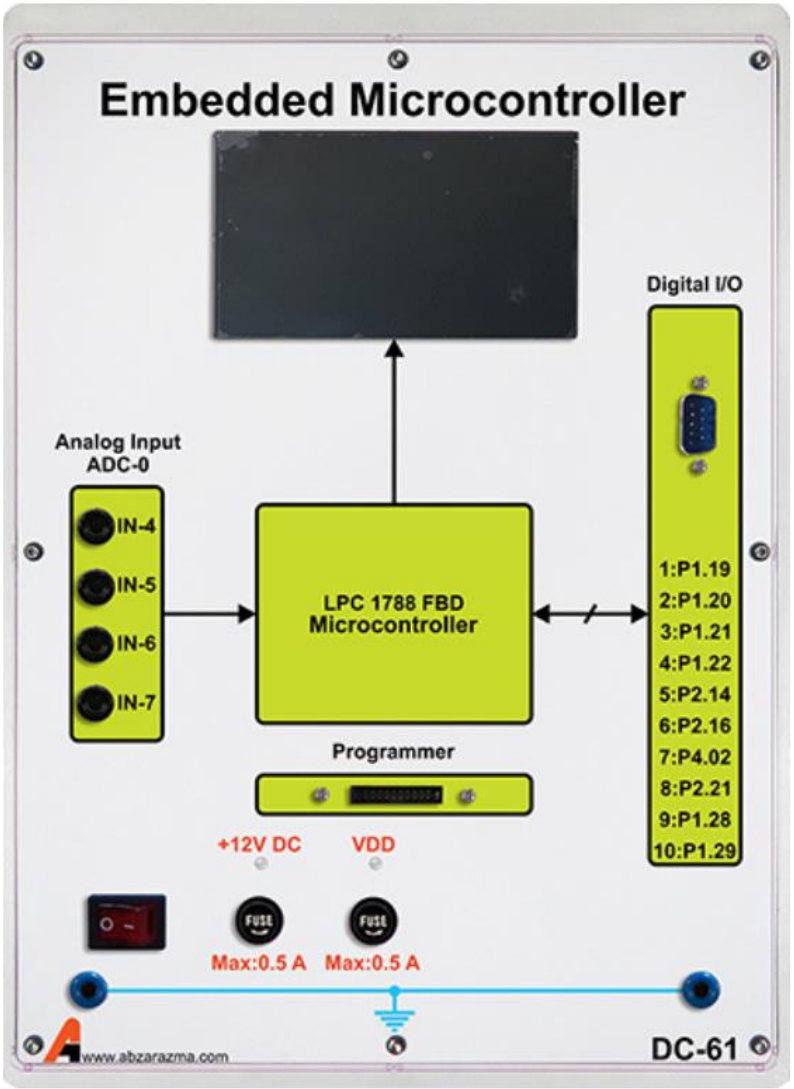


۵- ماژول میکروکنترلر با قابلیت برنامه‌نویسی

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

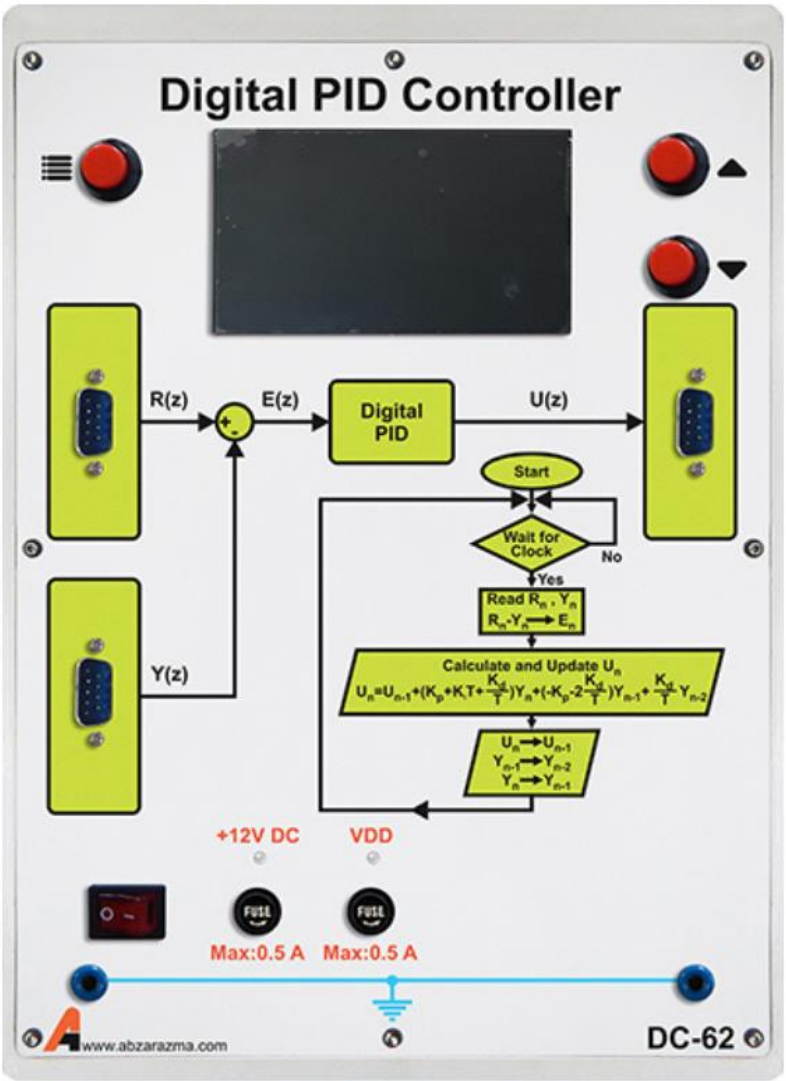


۶- ماژول کنترل‌کننده PID دیجیتال

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 ....

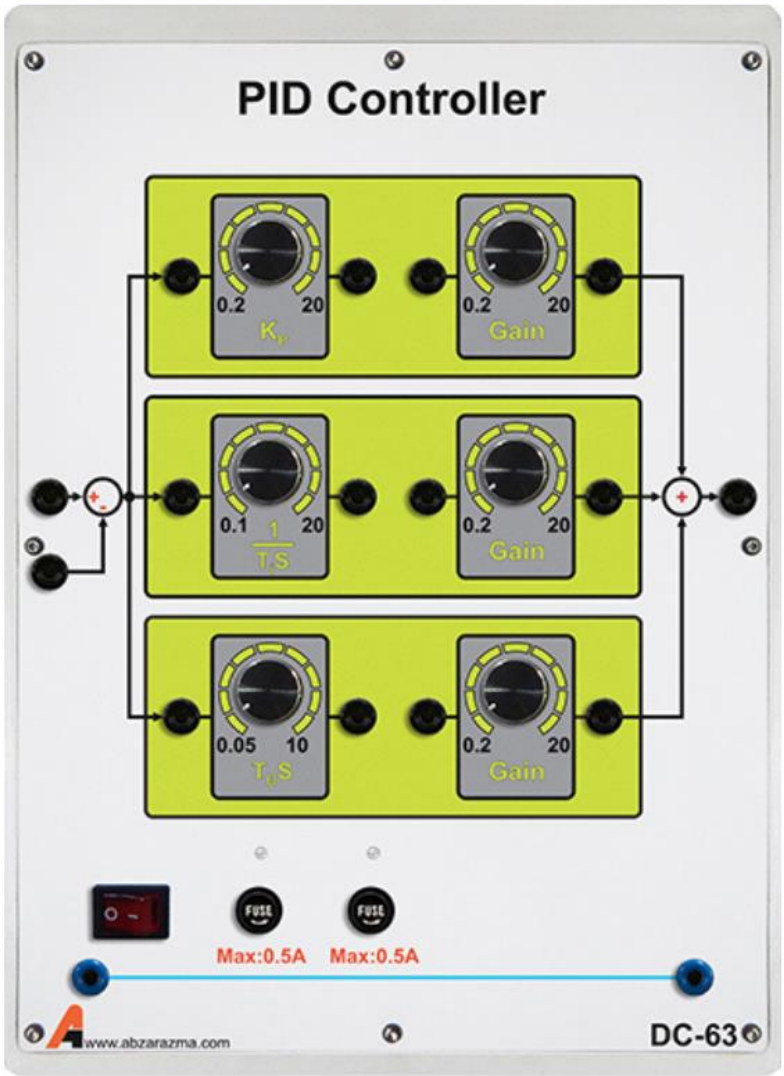


۷- ماژول کنترل‌کننده PID آنالوگ

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

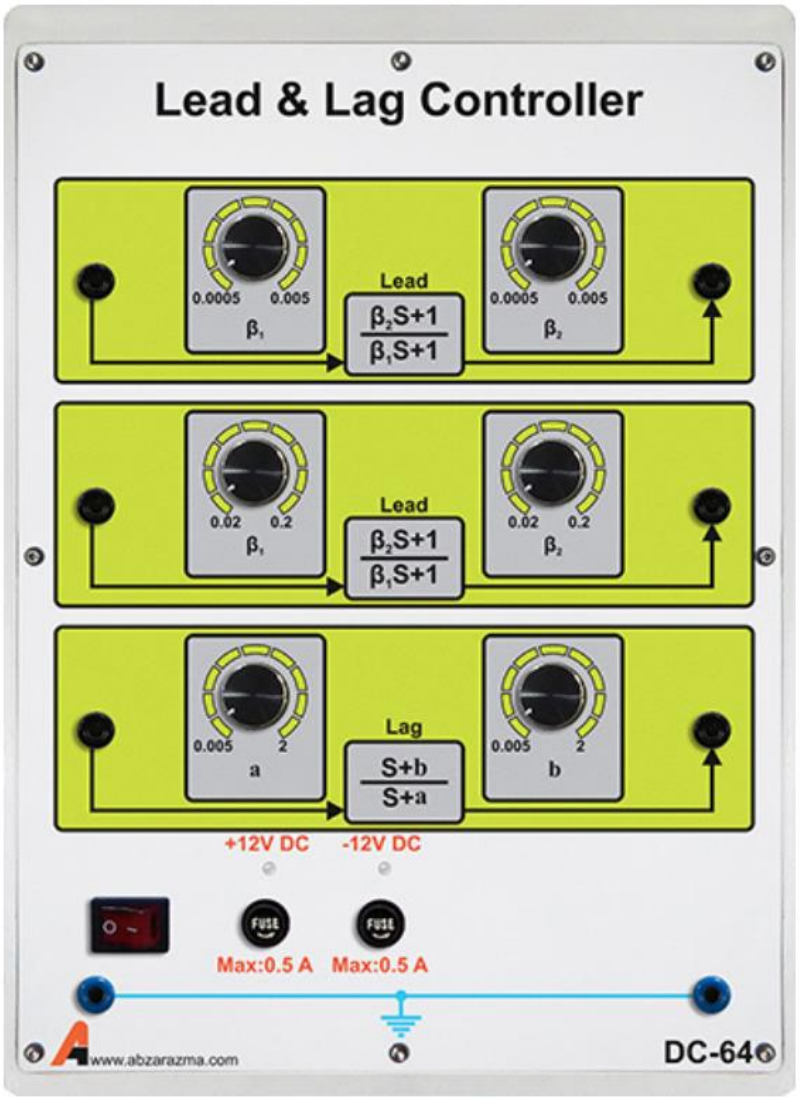


۸- ماژول کنترل‌کننده پس‌فاز و پیش‌فاز

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

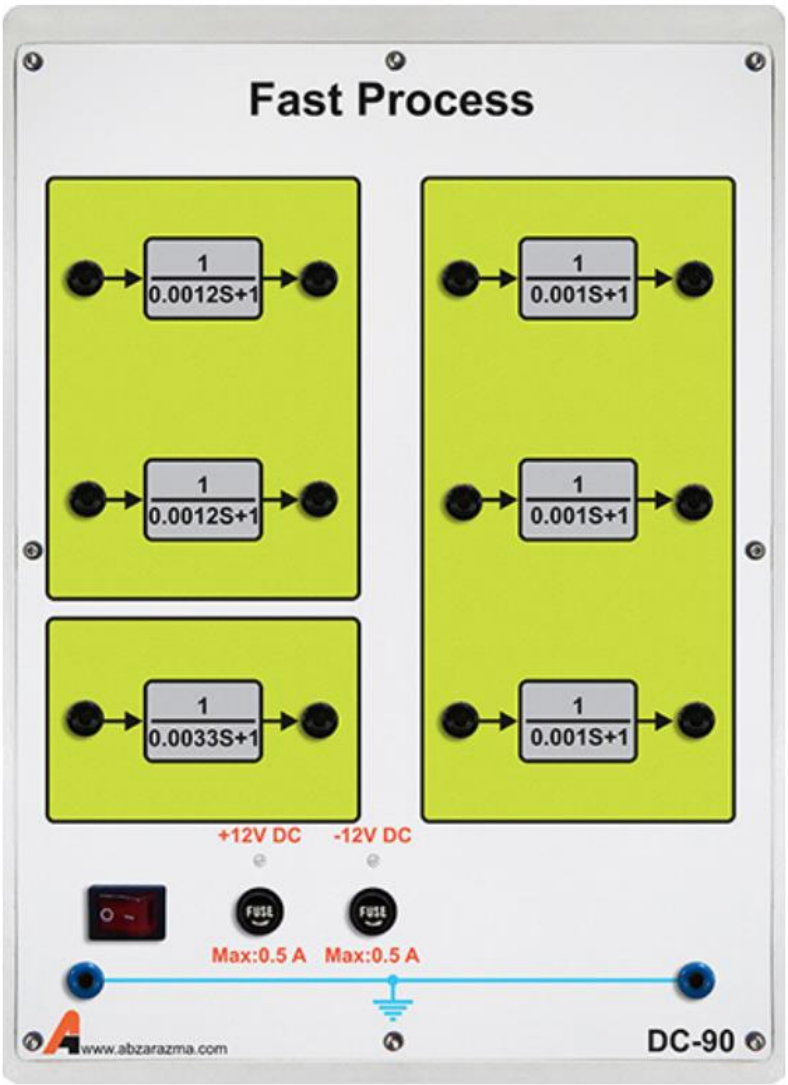


۹- ماژول مدل‌ساز ۶ فرآیند سریع

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 $1/(0.001S+1)$

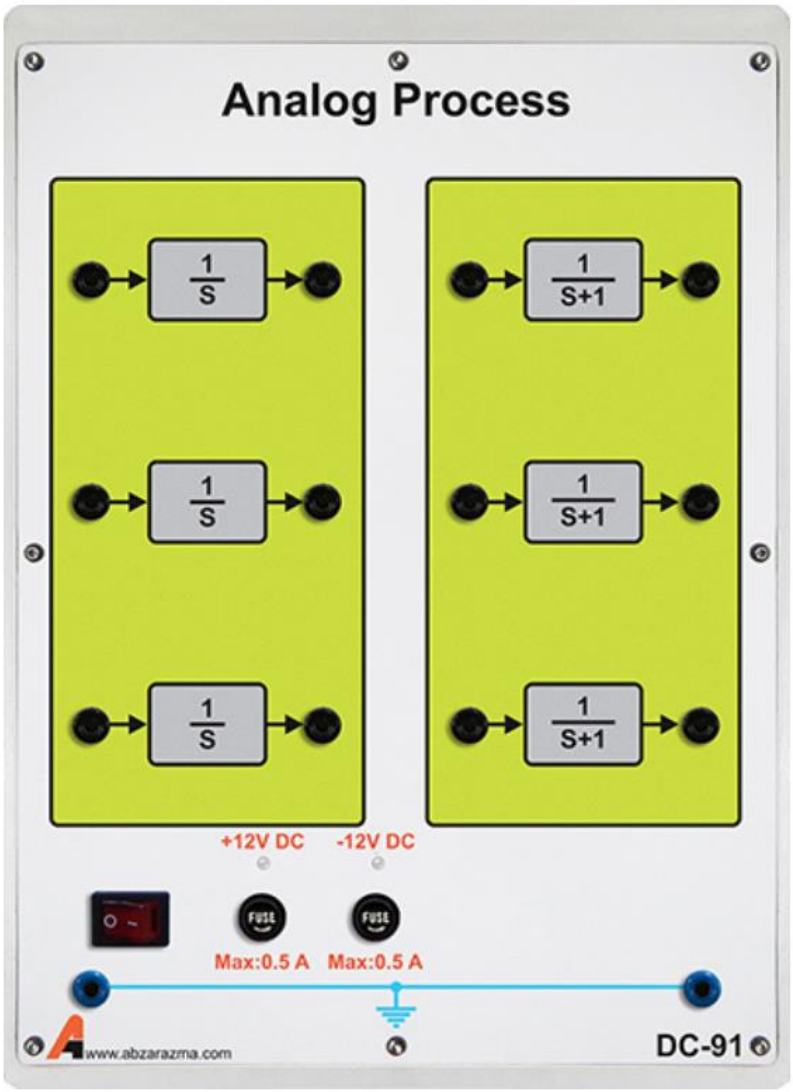


۱۰-ماژول مدل‌ساز ۶ فرآیند آنالوگ

این ماژول قادر به پیاده‌سازی شش فرآیند آنالوگ پایه می‌باشد.

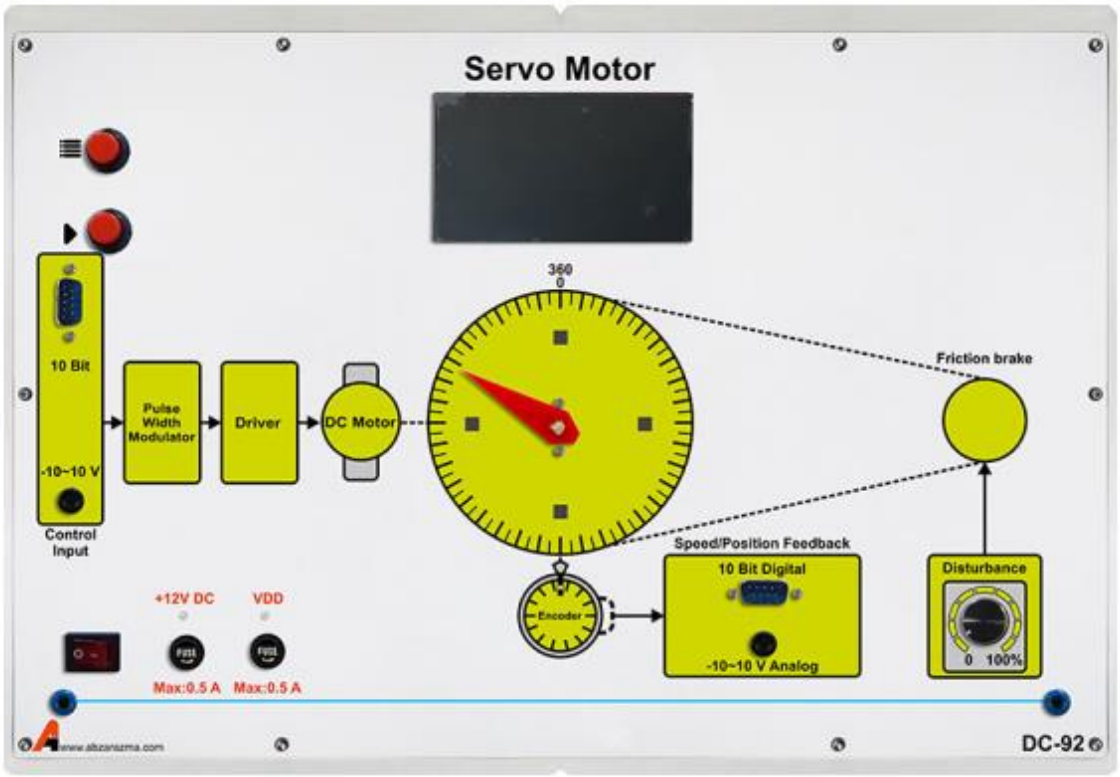
مشخصات این ماژول به شرح زیر است

- 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

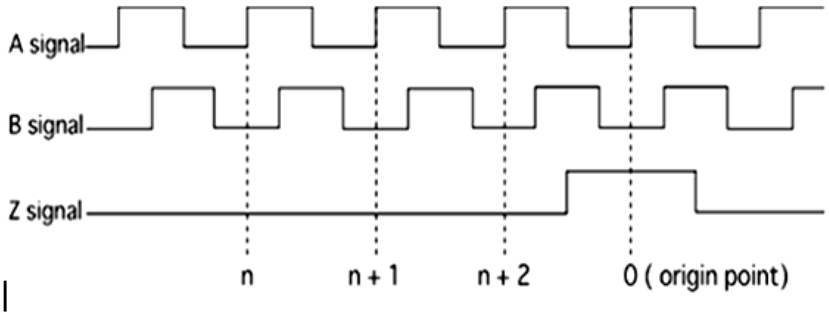
یکی از ابزارهای تشخیص موقعیت یا سرعت به منظور تأمین فیدبک برای کنترل دقیق در فرآیندهای صنعتی، انکودر می باشد. انکودر از جمله ابزارهای دیجیتال در تعیین موقعیت یا سرعت می باشد. هر انکودر بسته به نوع آن دارای خروجی های متفاوتی است. انکودری که در سیستم کنترل مورد نظر استفاده شده است دارای سه خروجی بصورت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

۱- خروجی فاز A

۲- خروجی فاز B

۳- خروجی فاز Z

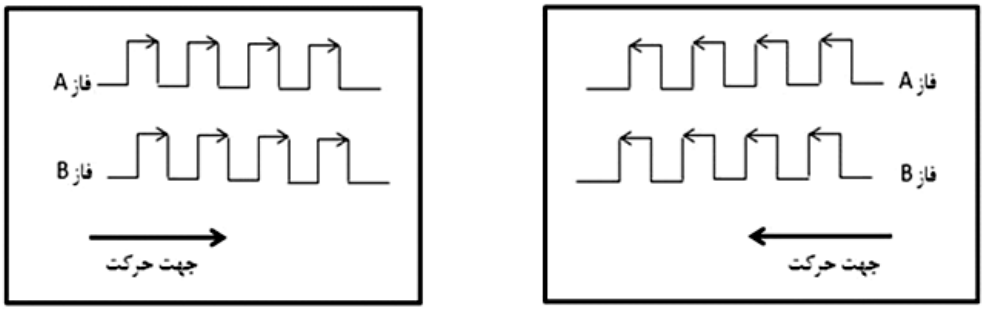
تعداد پالس های فاز A مشـــابه پالس های فاز B می باشـــد با این تفاوت که پالس های فاز B، ۹۰ درجه اختلاف فاز مکانی دارد. از این اختلاف فاز در پیدا کردن جهت چرخش انکودر استفاده می کنیم.



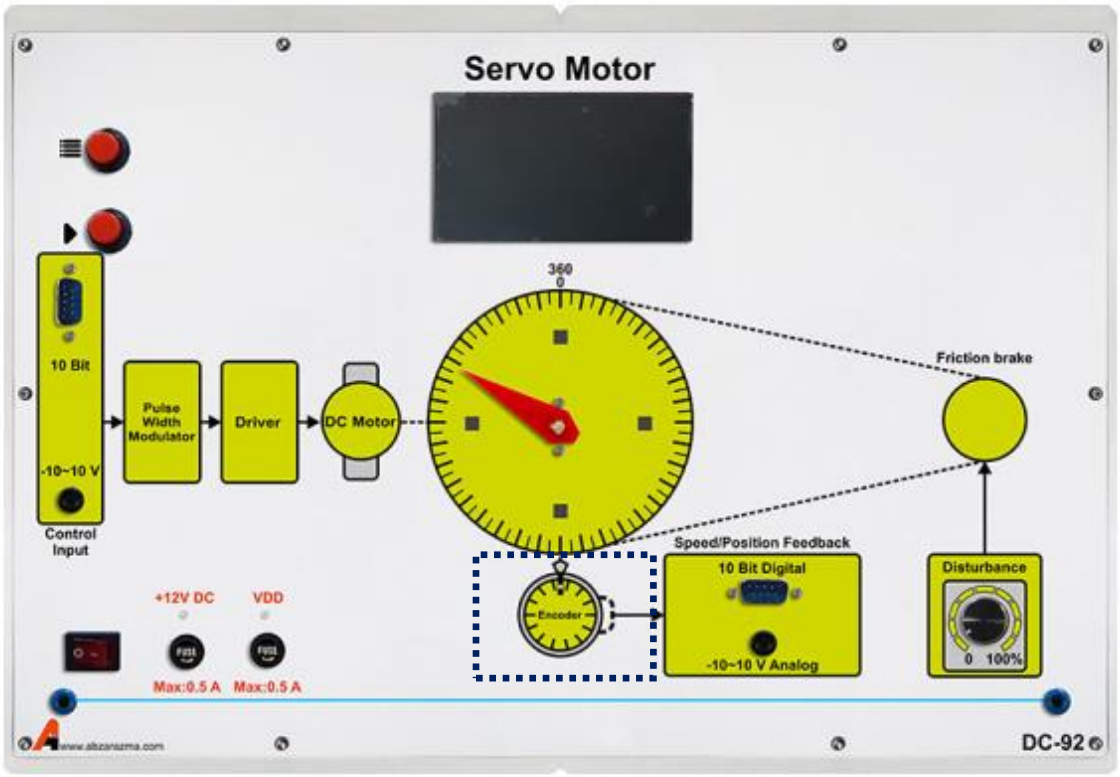
شکل ۰-۱ خروجی سیگنال های انکودر

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

در این آزمایشـــگاه جهت تبدیل اطلاعات خروجی انکدر به اطلاعات مورد اســـتفاده در ســـیســـتم 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.

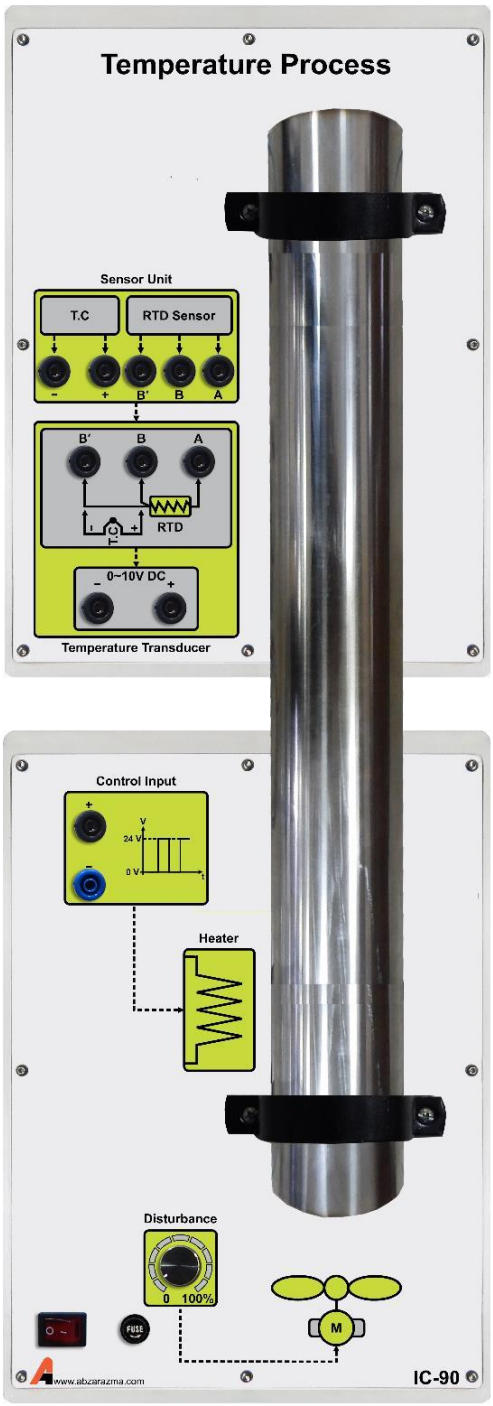


شکل ۰-۲ تشخیص جهت در انکودر نوری افزایشی

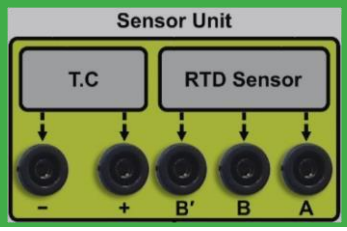


مشخصات ماژول شبیه ساز کنترل دما IC۹۰

در این ماژول فرایند کنترل دما مورد بررس ی قرار خواهد گرفت. از این ماژول جهت انتقال مفاهیم سیستم های کنترل از جمله کنترل صنعتی، کنترل دیجیتال و آنالوگ به عنوان پلانت استفاده می شود. این پلانت در شکل زیر نشان داده شده است. در ادامه قسمت ها و ماژولهای مورد نیاز جهت آزمایش در آموزنده های کنترل دیجیتال و آنالوگ این سیستم شرح داده خواهند شد



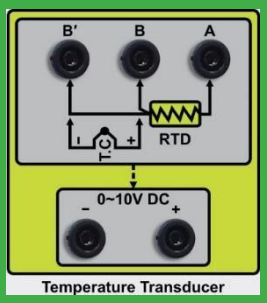
درگاه سنسورها



همانطور که در این شکل مشخص ا ست در این سیستم از دو نوع سنسور دما، ترموکوپل و RTD استفاده شده است.

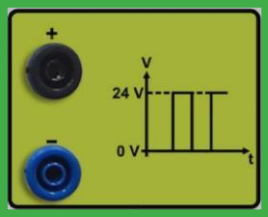
جهت استفاده از هر کدام از سنسورها پایه های آن در دسترس می باشد.

ترانسدیوسر دما



این واحد عمل تبدیل خروجی سنسورها به ولتاژ ۰-۱۰ ولت جهت کنترل را برعهده دارد. با انتخاب نوع سنسور و اتصال پایه های آن متناسب با واحد سنسورها، خروجی سنسورها با ولتاژ ۰ تا ۱۰ ولت در دسترس می باشد.

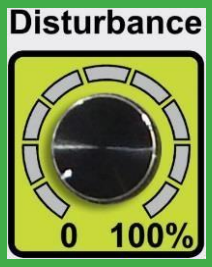
درگاه وردی کنترل



از این واحد جهت اعمال سیگنال کنترل کننده به هیتر (عملگر) استفاده می شود.

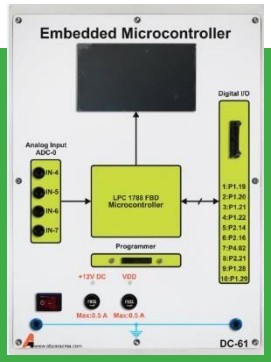
ورودی عملگر دما از نوع PWM می باشد. با توجه به نوع خروجی کنترل کننده از ماژولهای مخصوص جهت تبدیل ورودی مناسب به عملگر استفاده می شود.

واحد اغتشاش



از این ولوم جت ایجاد اغتشاش در سیستم تحت کنترل استفاده می شود. متناسب باچرخش ولوم سرعت فن دمنده کم و زیاد می گردد.

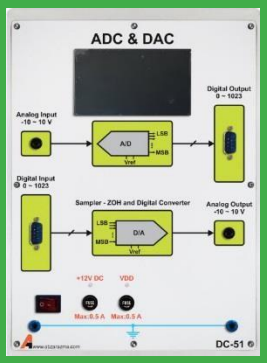
میکرو کنترلر با قابلیت برنامه ریزی



این ماژول یک کنترل کننده تعبیه شده کامل می باشد. از این ماژول در پروسه کنترل دما جهت ایجاد پالس های کنترلی متناسب با خروجی کنترل کننده (PWM) استفاده می شود.

این ماژول جهت پیاده سازی انواع کنترل کننده های دیجیتال مورداستفاده قرار می گیرد.

DC-۶۱	Embedded Microcontroller



مبدل آنالوگ به دیجیتال و دیجیتال به آنالوگ

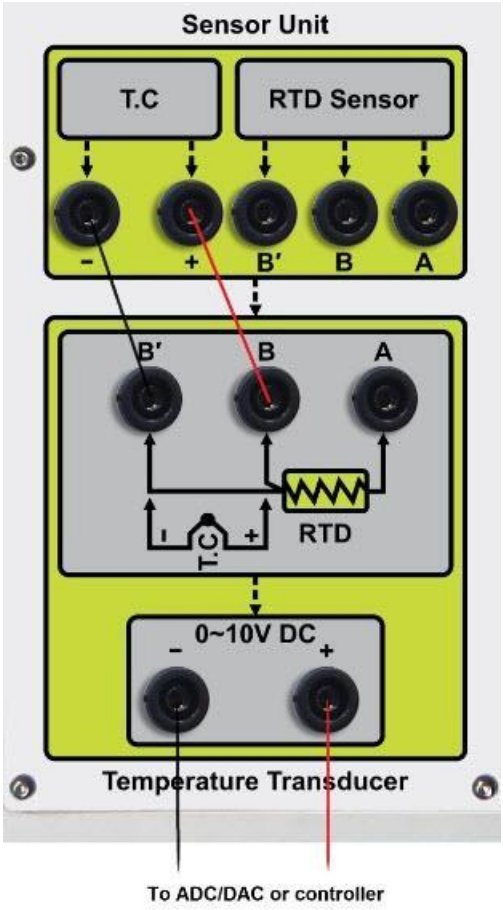
این ماژول جهت تبدیل سیگنال آنالوگ به دیجیتال و برعکس مورد استفاده قرار میگیرد.

از این ماژول در پروسه کنترل دما جهت تبدیل خروجی کنترل کننده دیجیتال به آنالوگ و اعمال به ماژول کنترل کننده تعبیه شده برای تبدیل به پالس مورد نیاز عملگر (هیتر) استفاده می شود.

DC-۵۱	ADC & DAC

- ✓ تمام آزمایشاتی که با آموزنده های کنترل دیجیتال و آنالوگ بر روی پلا نت سرو موتور انجام می شود بر روی ماژول کنترل دما 90 IC قابل اجرا می باشد.

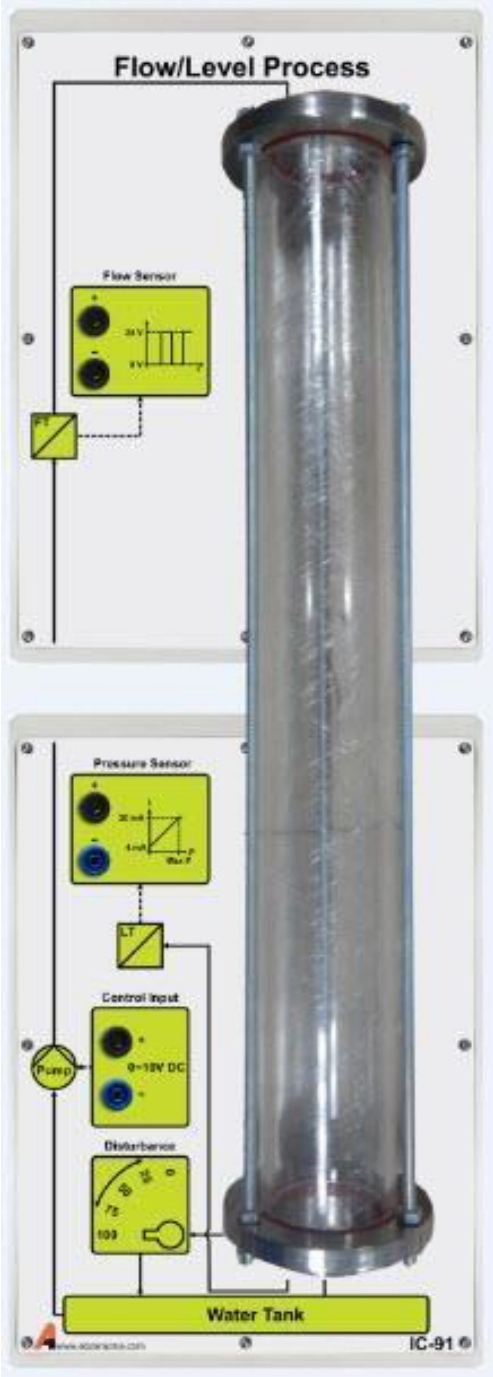
در شکل زیر سیم بندی آزمایش کنترل دما با استفاده از ترموکوپل نمایش داده شده است.



مشخصات ماژول شبیه ساز کنترل سطح IC 91

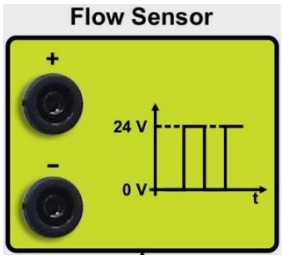
در این ماژول فرایند کنترل سطح و دبی به طور جداگانه مورد بررسی قرار خواهد گرفت. از این ماژول جهت انتقال مفاهیم سیستم های کنترل از جمله کنترل صنعتی، کنترل دیجیتال و آنالوگ به عنوان پلانت استفاده می شود. پرو سه کنترل سطح از طریق اندازه گیری فشار توسط سنسور فشار و کنترل فلو از طریق اندازه گیری فلو توسط سنسور فلو انجام می پذیرد . این پلانت در شکل زیر نشان داده

شده است. در ادامه، قسمت ها و ماژول های مورد نیاز جهت آزمایش در آموزنده های کنترل دیجیتال و آنالوگ این سیستم شرح داده خواهند شد



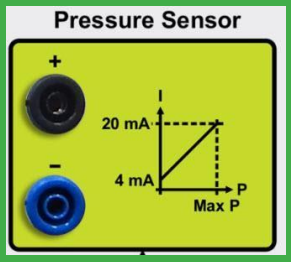
درگاه سنسور فلو (دبی)

این واحد، خروجی سنسور فلو از نوع پالس ۰-۲۴ ولت را جهت اعمال به کنترل کننده در اختیار آزمایش کننده قرار می دهد.
این سنسور در مسیر ورودی مایع به مخزن قرار دارد.



درگاه سنسور فشار

این واحد، خروجی سنسور فشار از نوع جریانی ۴- ۲۰ میلی آمپر را جهت اعمال به کنترل کننده در اختیار آزمایش کننده قرار می دهد.
این سنسور در کف مخزن قرارداده شده است. تغییرات سطح به صورت خطی متناسب با تغییرات فشار می باشد.

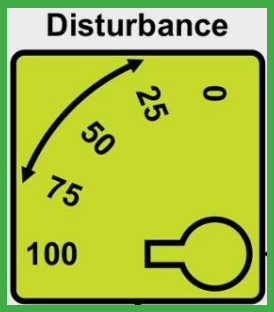


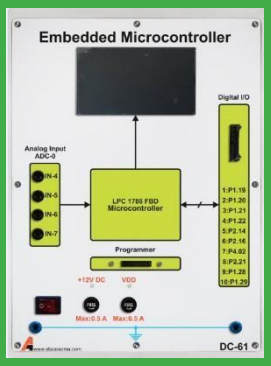
درگاه وردی کنترل

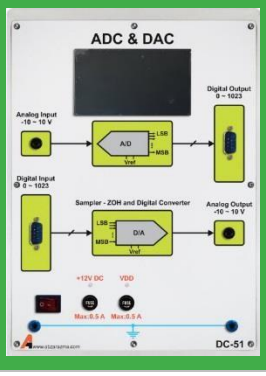
از این واحد جهت اعمال سیگنال کنترل کننده از نوع آنلوگ ۰-۱۰ ولت به پمپ (عملگر) استفاده می شود.
سرعت پمپ متناسب با سیگنال کنترلی جهت تنظیم فلوی ورودی به مخزن تغییر پیدا می کند.

L: درگاه اغتشاش

از این شیر جهت ایجاد اغتشاش در سیستم تحت کنترل استفاده می شود. متنا سب بامیزان باز و بسته شدن این شیر سرعت خروجی مایع کم و زیاد می گردد.



	میکرو کنترلر با قابلیت برنامه ریزی		
	این ماژول یک کنترل کننده تعبیه شده کامل می باشد. از این ماژول در پروسه کنترل دما جهت ایجاد پالس های کنترلی متناسب با خروجی کنترل کننده (PWM) استفاده می شود. این ماژول جهت پیاده سازی انواع کنترل کننده های دیجیتال مورد استفاده قرار می گیرد.		
	Embedded Microcontroller	DC-۶۱	

	مبدل آنالوگ به دیجیتال و دیجیتال به آنالوگ		
	این ماژول جهت تبدیل سیگنال آنالوگ به دیجیتال و برعکس مورد استفاده قرار می گیرد از این ماژول در پروسه کنترل دما جهت تبدیل خروجی کنترل کننده دیجیتال به آنالوگ و اعمال به ماژول کنترل کننده تعبیه شده برای تبدیل به پالس مورد نیاز عملگر (هیتر) استفاده می شود.		
	ADC & DAC	DC-۵۱	

- ✓ تمام آزمایشاتی که با آموزنده های کنترل دیجیتال و آنالوگ بر روی پلانت سرو موتور انجام می شود بر روی ماژول کنترل دما IC90 قابل اجرا می باشد.
- ✓ از این ماژول می توان در کنترل کننده های PLC به عنوان پلانت استفاده نمود.

در شکل زیر سیم بندی آزمایش کنترل سطح نمایش داده شده است.