دستور کار

آزمایشگاه کنترل

دانشکده مهندسی مکانیک

دانشگاه صنعتی شریف

فهرست

مقدمه ۲
آشنایی با آزمایشگاه کنترل ۳
C1 -آشنایی با Matlab ۴
C2 -آزمایش شبیه ساز فرآیند ۱۵
C3-کنترل پروسس حرارتی ۲۱
C4 بررسی منحنیهای مشخصه موتورهای DC و رفتار مدار بسته آن ۲۷
C5 -بررسی کنترلی موتور و ژنراتور ۳۹
C6-آزمایش کنترل دبی ۴۴
C7 - دستگاه شبیه ساز خطای کنترلر PID ۴۷

مقدمه

کنترل از جمله علومی می‌باشد که در بسیاری از حوزه‌های مهندسی و غیر مهندسی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مفاهیم کنترلی انواع متنوعی از کنتـرلرها وجود دارند که هریک دارای ویژگـی‌های خاصی می‌باشند. بعضی کنترلرها به منظور پایدارسازی سیستم‌های دینامیکی و برخی دیگر جهت رهگیری یک سیگنال کنترلی مورد استفاده قرار می‌گیرند. کاربرد کنترلرها تنها محدود به حوزه سیستم‌های صنعتی نبوده و اخیراً از مفاهیم کنترلی در سیستم‌های اقتصادی، زیست‌شناسی و جامعه‌شناسی نیز استفاده می‌شود.

برای طراحی کنترلر می‌توان از روش‌های خطی و غیرخطی استفاده کرد (در درس کنترل اتوماتیک، به مفاهیم کنترل خطی به طور جامع پرداخته شده است). یکی از روش‌های بررسی عملکرد کنترلر، شبیه‌سازی آن در محیط‌های نرم‌افزاری می‌باشد که در این آزمایشگاه از این روش استفاده می‌شود. کنترلرهای خطی به‌خصوص کنترلر PID کاربردهای فراوانی در سیستم-های صنعتی دارد. در این آزمایشگاه کاربردهایی از کنترلرهای PID به منظور بررسی اثرات ناشی از اعمال اغتشاش به سیستم (ورودی‌های ناخواسته)، ورودی‌های کنترلی مختلف مورد بررسی قرار گرفته و هم‌چنین رفتار کنترلر تعیین می‌گردد.

در راستای نگارش جدید دستور کار، از دکتر حسن سالاریه و مهندسین مرآت، صادقیان و مرتضی پوراقدم که با نظراتشان به کامل شدن دستور کار کمک شایانی کرده‌اند تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

آزمایشگاه کنترل دانشکده مهندسی مکانیک
دانشگاه صنعتی شریف

آشنایی با آزمایشگاه کنترل

ضمن عرض خوش‌آمدگویی به آزمایشگاه کنترل، پاره‌ای از قوانین و مقررات این آزمایشگاه به شرح ذیل به اطلاع دانشجویان عزیز رسانده می‌شود. مسلماً رعایت این نکات در بهبود کیفیت این آزمایشگاه موثر بوده و موجب خواهد شد که اهداف آموزشی به نحو احسن به وقوع بپیوندند.

۱- حضور به موقع و دائم در آزمایشگاه ضروری است، به این معنی که دانشجو باید موقع حضور و غیاب استاد در آزمایشگاه حضور داشته باشد. هر تاخیر موجب کسر بخشی از نمره نهایی خواهد شد.

۲- دانشجویان باید با آمادگی قبلی و مطالعه دستورکار به آزمایشگاه بیایند.

۳- گزارش مربوط به هر آزمایش می‌بایست حداکثر تا ۲ هفته بعد از انجام آزمایش تحویل داده شود.

۴- گزارش‌ها باید در برگه A4 و به صورت یک‌رو نوشته شوند.

گزارش‌کارها می‌بایست شامل هریک از بخش‌های خواسته شده زیر باشند:

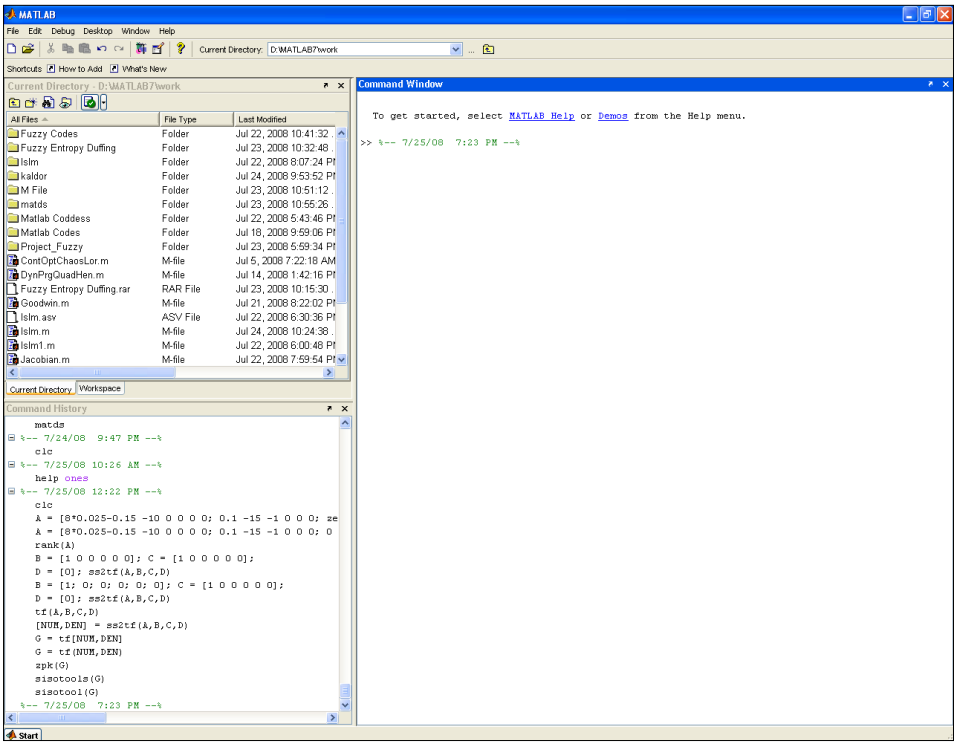
۱. هدف از انجام آزمایش
۲. شرح دستگاه آزمایش
۳. روش انجام آزمایش
۴. خواسته‌های آزمایش
۵. مراجع

C1 -آشنایی با Matlab

امروزه در دنیای مهندسی نرم‌افزارهای فراوانی وجود دارد که به کمک آن‌ها می‌توان مفاهیم مهندسی را مدل‌سازی کرده و نتایج آن‌ها را تحلیل کرد. مدل‌سازی مفاهیم کنترل نیز توسط برخی نرم‌افزارهای موجود صورت می‌پذیرد.

➢ تعریف تابع تبدیل و طراحی جبران ساز

در Matlab برای بررسی تابع تبدیل ابتدا می‌بایست صورت و مخرج کسر تعریف گردد. کدهای مربوط به تعریف صورت و مخرج به ترتیب با آرایه‌های num و den تعریف می‌شوند.



صفحه کاری Matlab

به منظور تحلیل تابع تبدیل، ضرایب صورت و مخرج تعریف می‌شود.

Matlab Codes-Defining numerator and denominator

```
>> num = [0 0 0 1]
num =
     0     0     0     1
>> den = [1 1 1 1]
den =
     1     1     1     1
```

صورت کسر تابع تبدیل یاد شده ثابت و مخرج آن درجه ۳ است. تعریف تابع تبدیل به صورت زیر خواهد بود.

Transfer function

```
>> G = tf(num,den)
Transfer function:
      1
----------------
s^3 + s^2 + s + 1
```

برای دیدن عملکرد هر کد ابتدا help یا doc را نوشته و سپس نام تابع مربوطه را وارد می‌سازیم، به عنوان مثال :

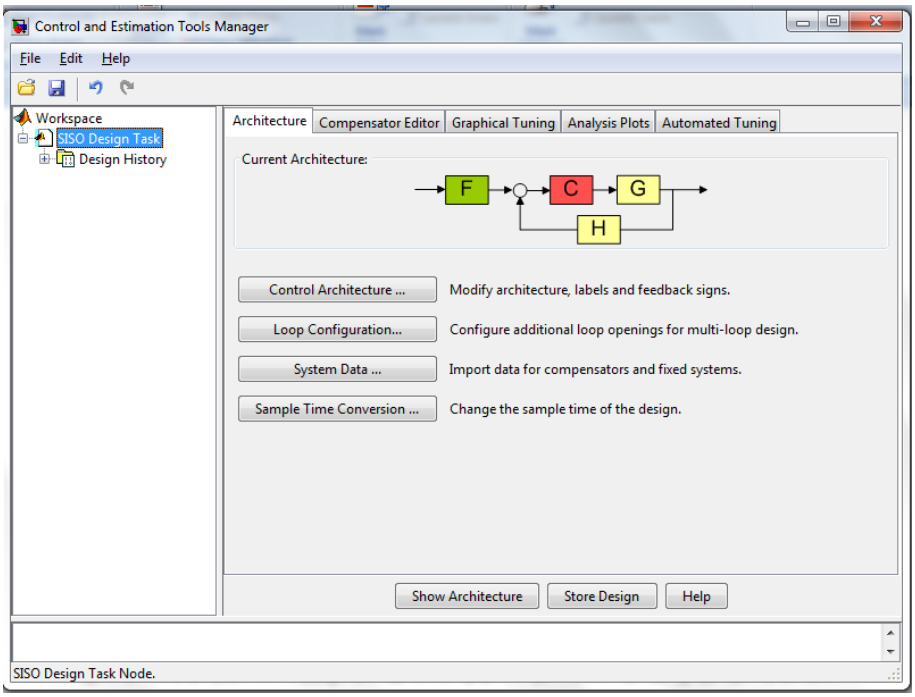
Help []

```
>> help tf
>> doc tf
```

برای طراحی کنترلر می‌توان از دیگر قابلیت‌های برنامه استفاده کرد. برای این منظور باید SISO Package را فراخوانده تا فعال گردد، لذا در پنجره دستورات چنین وارد می‌کنیم:

SISO Package

```
>> sisotool(G)
```



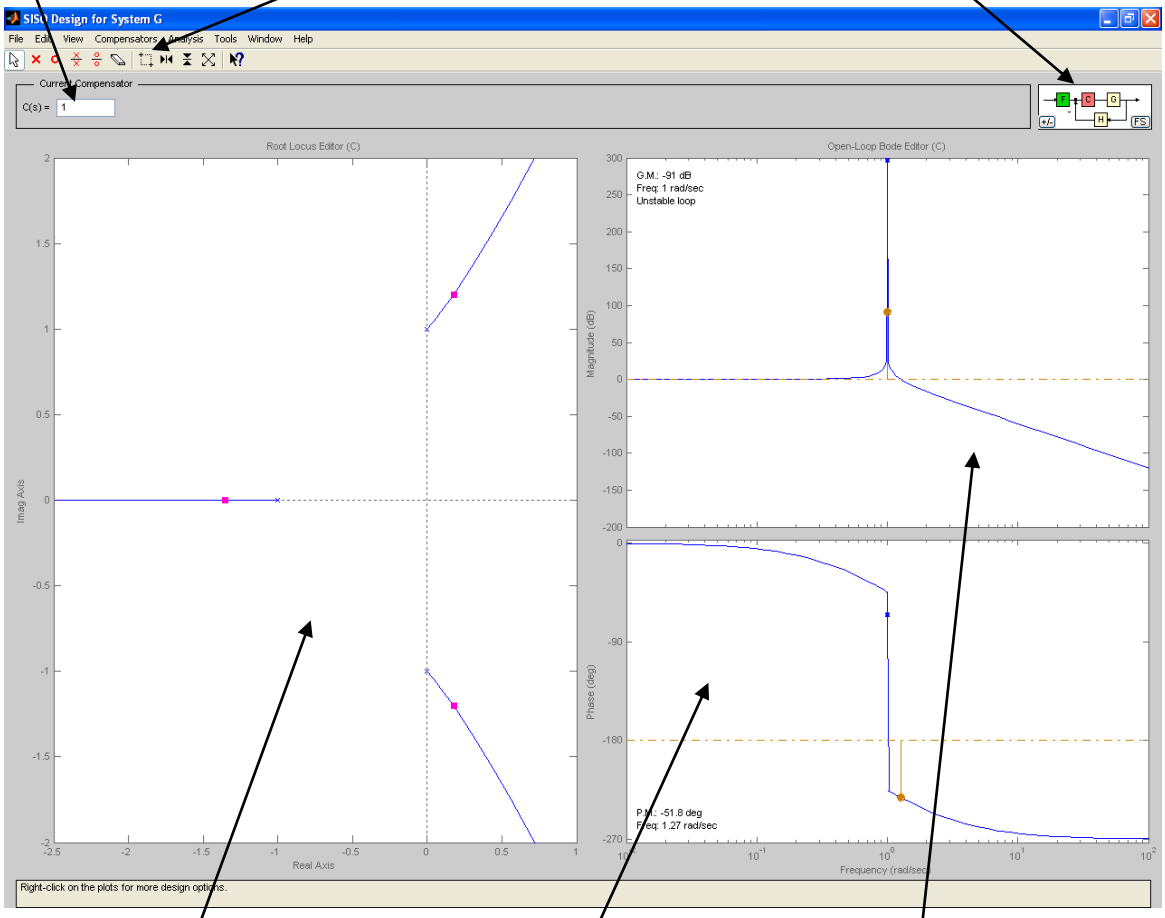
با توجه به شکل‌های نشان داده شده، همانطور که در صفحه کاری مشخص است، می‌توان سیستم را با اضافه کردن قطب و صفر پایدار نموده و مدار کنترلری را طراحی کرد. مربع‌های نمایش داده شده روی نمودارها نمایانگر قطب-های مدار بسته هستند که اگر در سمت راست واقع شده باشند به مفهوم آن است که سیستم ناپایدار است. برای پایدارسازی می‌توان به کمک این برنامه کنترلرهای مختلفی طراحی کرد. توجه داشته باشید که با اضافه کردن قطب یا صفر و یا حتی تغییر مقدار بهره، تغییرات دیگر نمودارها نیز مورد بررسی قرار گیرد. البته به دلیل ساده بودن سیستم مورد نظر، می‌توان با اضافه کردن تنها یک صفر تمامی شاخه‌هایی که ناپایدار هستند را به سمت چپ کشید.

.

تغییر ترکیب مدار بندی سیستم

محل اضافه کردن قطب و صفر حقیقی و مجازی برای طراحی کنترلر

محل نشان دادن جبران ساز (همان کنترلر) برای ایجاد پایداری در سیستم

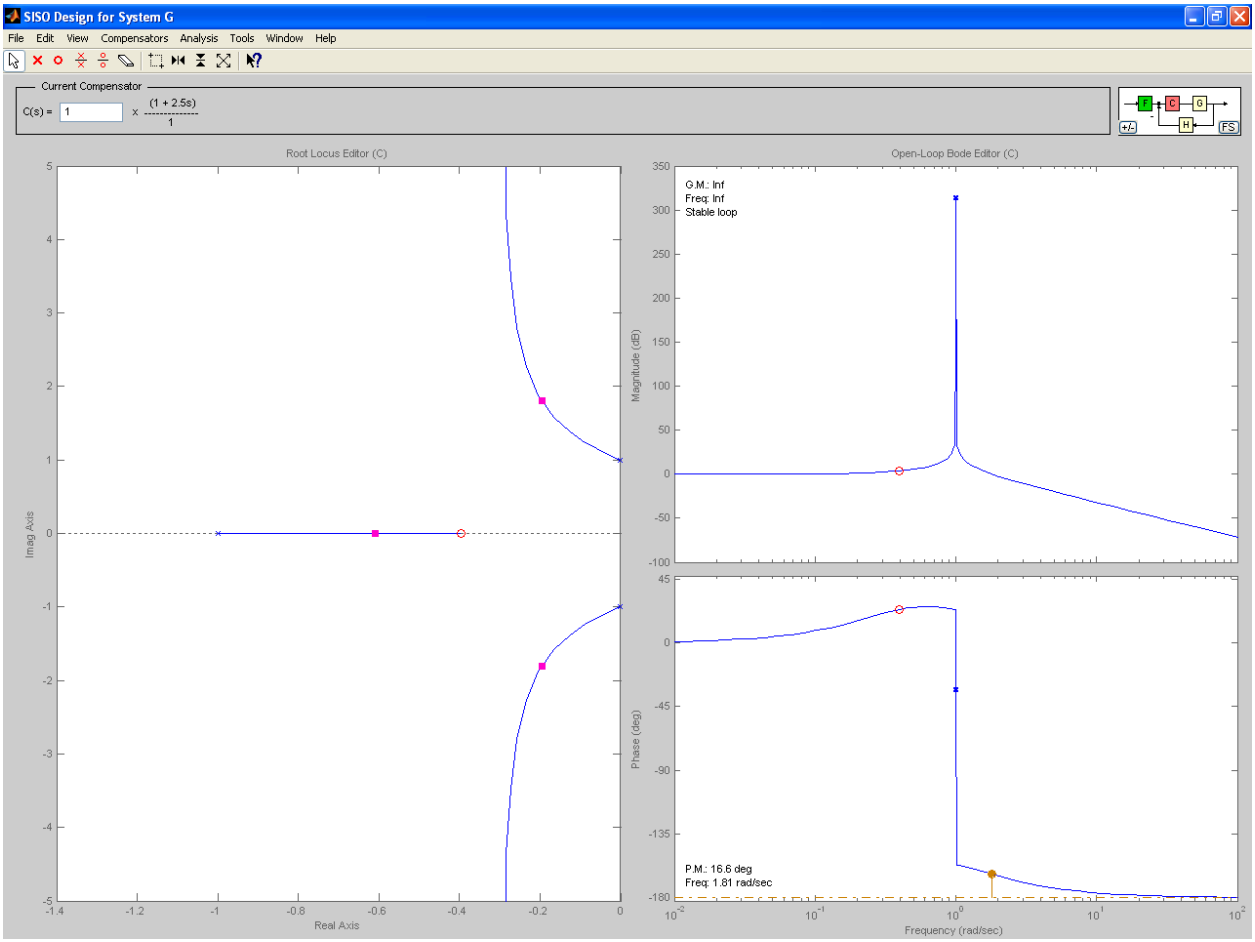


مکان هندسی ریشه ها

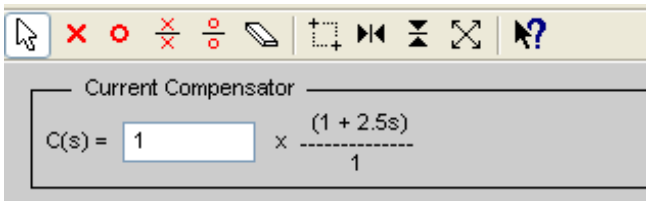
Phase Margin

دیاگرام بود مدار باز سیستم

صفحه طراحی کنترلر SISO

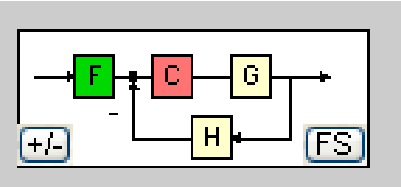


تغییر شکل نمودارها با تغییر کنترلر



نمایش صفر اضافه شده برای جبران‌سازی

در برخی مواقع علاقمند هستیم که ساختار سیستم کنترلی را تغییر بدهیم و جبران ساز را موازی با سیستم اصلی قرار دهیم. برای این کار روی دکمه FS کلیک می‌کنیم. در صورت تمایل به داشتن پسخوراند مثبت، روی +/- کلیک می‌کنیم:

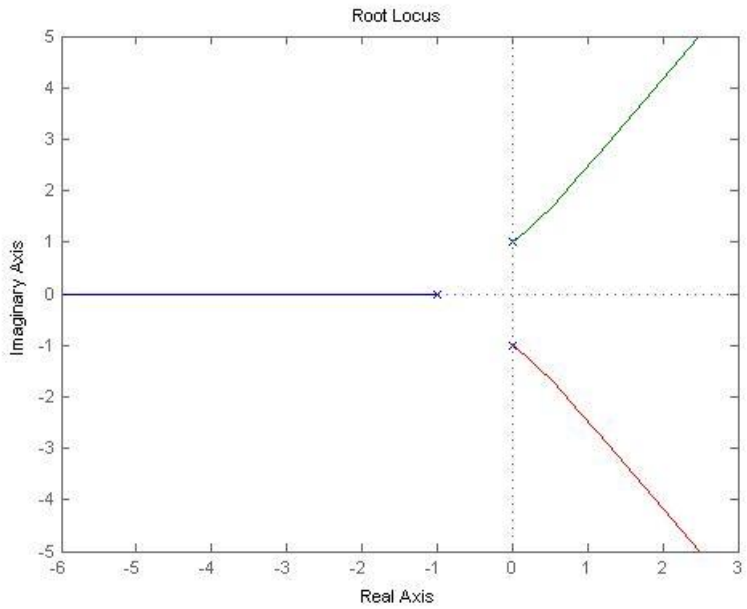


مثبت و یا منفی کردن پسخوراند

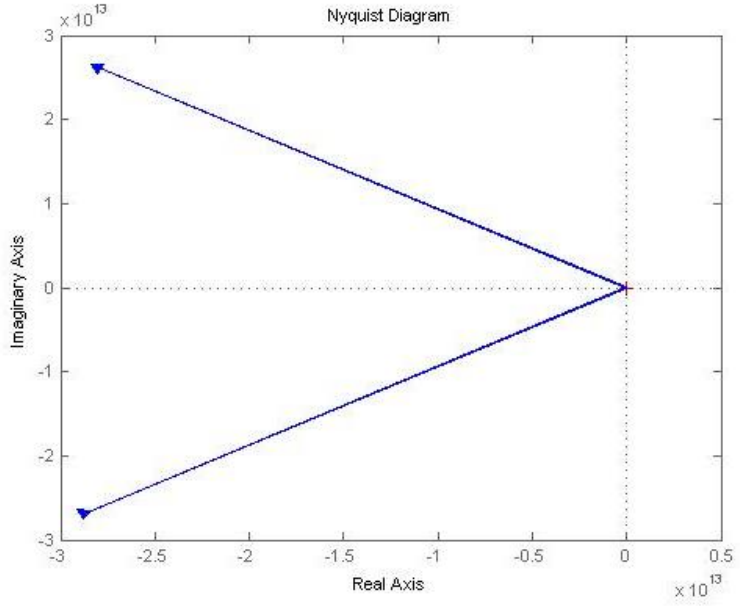
برای مشاهده نمودار مکان هندسی ریشه‌ها ونمودار نایکوئیست می‌توان از صفحه‌ی اصلی نیز استفاده کرد. بعد از تعریف تابع تبدیل وارد می کنیم:

Root Locus and Nyquist Commands

```
>> rlocus(G)
>> nyquist(G)
```



نمودار مکان هندسی ریشه‌های سیستم مداربسته



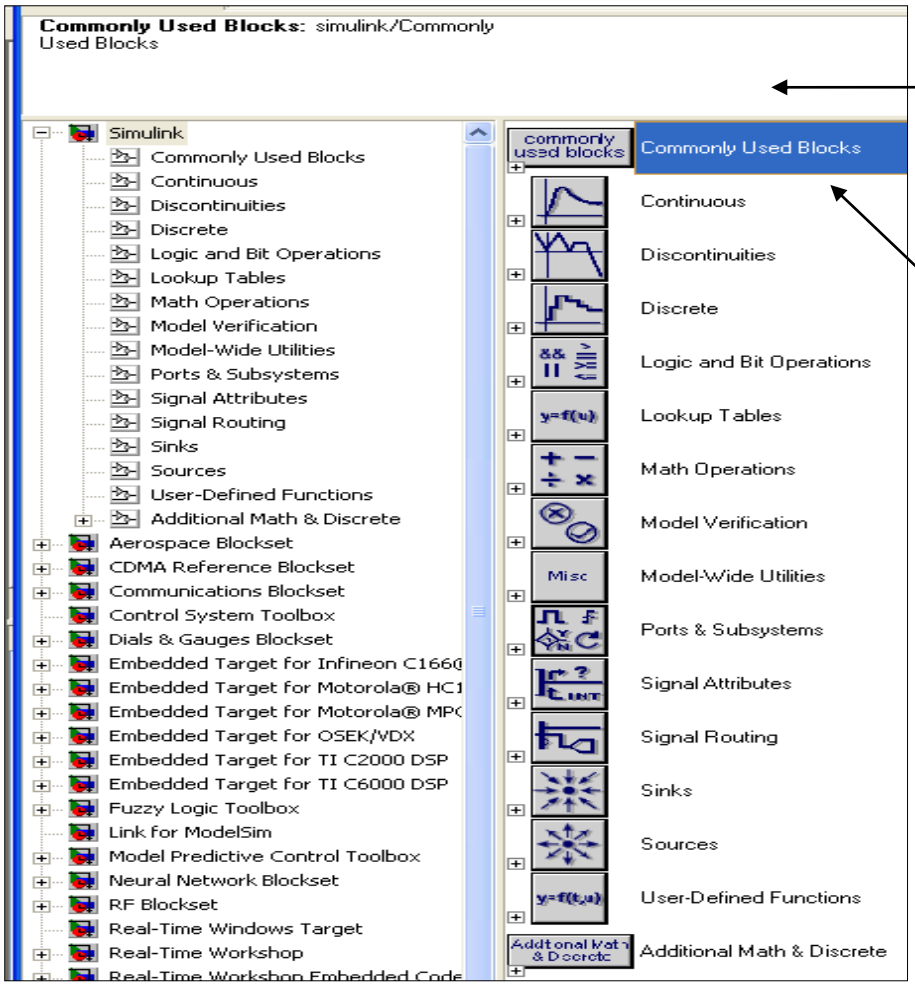
نمودار نایکوئیست تابع تبدیل

- **سیمولینک (Simulink)**

برنامه Simulink می‌تواند مدل‌های واقعی را بدون نیاز به کدنویسی‌های سنگین شبیه‌سازی کند که این مورد از قابلیت‌های Matlab به حساب می‌آید. برای باز کردن محیط شبیه سازی در پنجره دستورات وارد می‌کنیم:

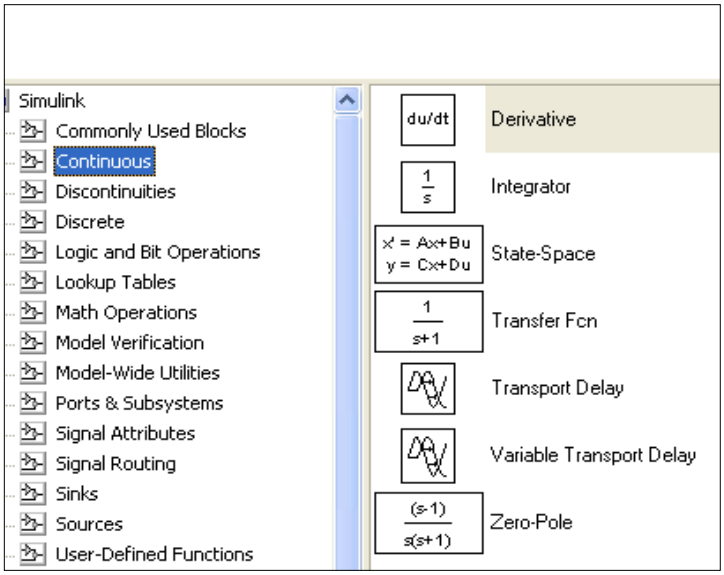
Simulink Initializer
>> **simulink**

صفحه مربوط به محیط Simulink باز می‌گردد. این محیط شامل المان‌هایی است که می‌توان دینامیک ریاضی سیستم به خصوصی را شبیه سازی کند.



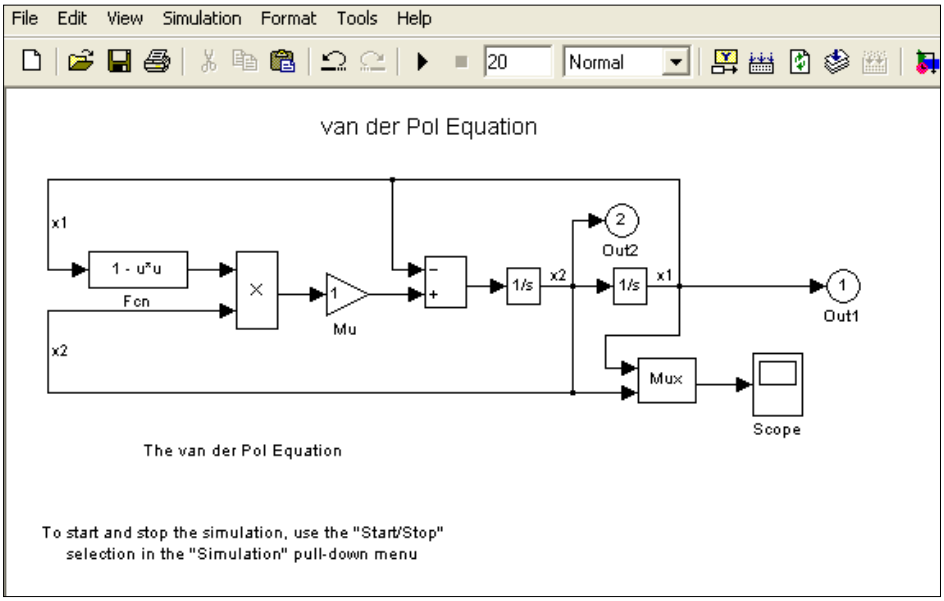
در این قسمت می‌توان نام یک Block را جستجو کرد.

نحوه انتخاب المان‌ها در شبیه ساز

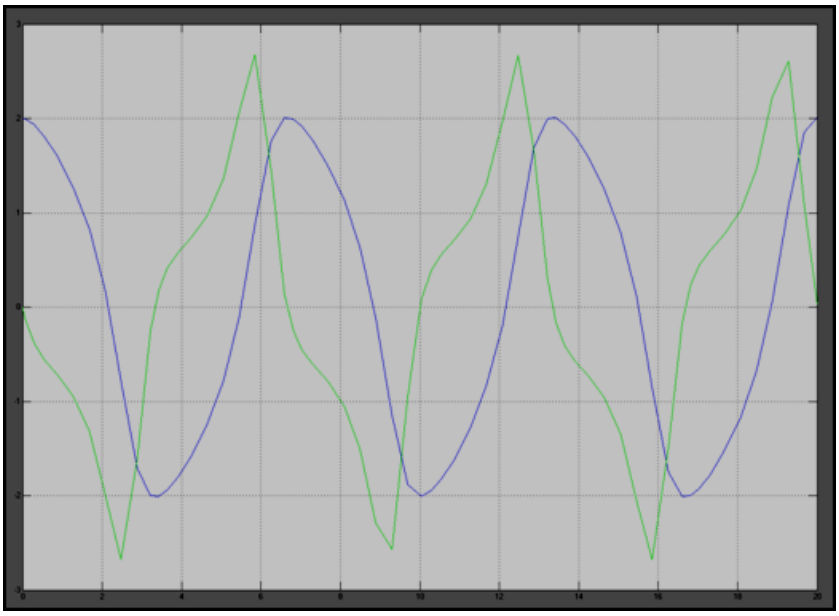


به‌عنوان مثال در اینجا به ذکر شبیه‌سازی دینامیک معادله "ون در پل" پرداخته می‌شود.

المان‌های مربوطه شامل انتگرال‌گیر، جمع، Scope و غیره از طریق Library انتخاب می‌شوند و با اتصال مناسب آنها معادله‌ی مربوطه شبیه سازی می‌شود. برای مشاهده خروجی ابتدا برنامه را Run کرده و سپس روی Scope دوبار کلیک کرده تا نمودارهای خروجی نشان داده شوند.



محیط شبیه ساز و شبیه سازی مدل ون در پل

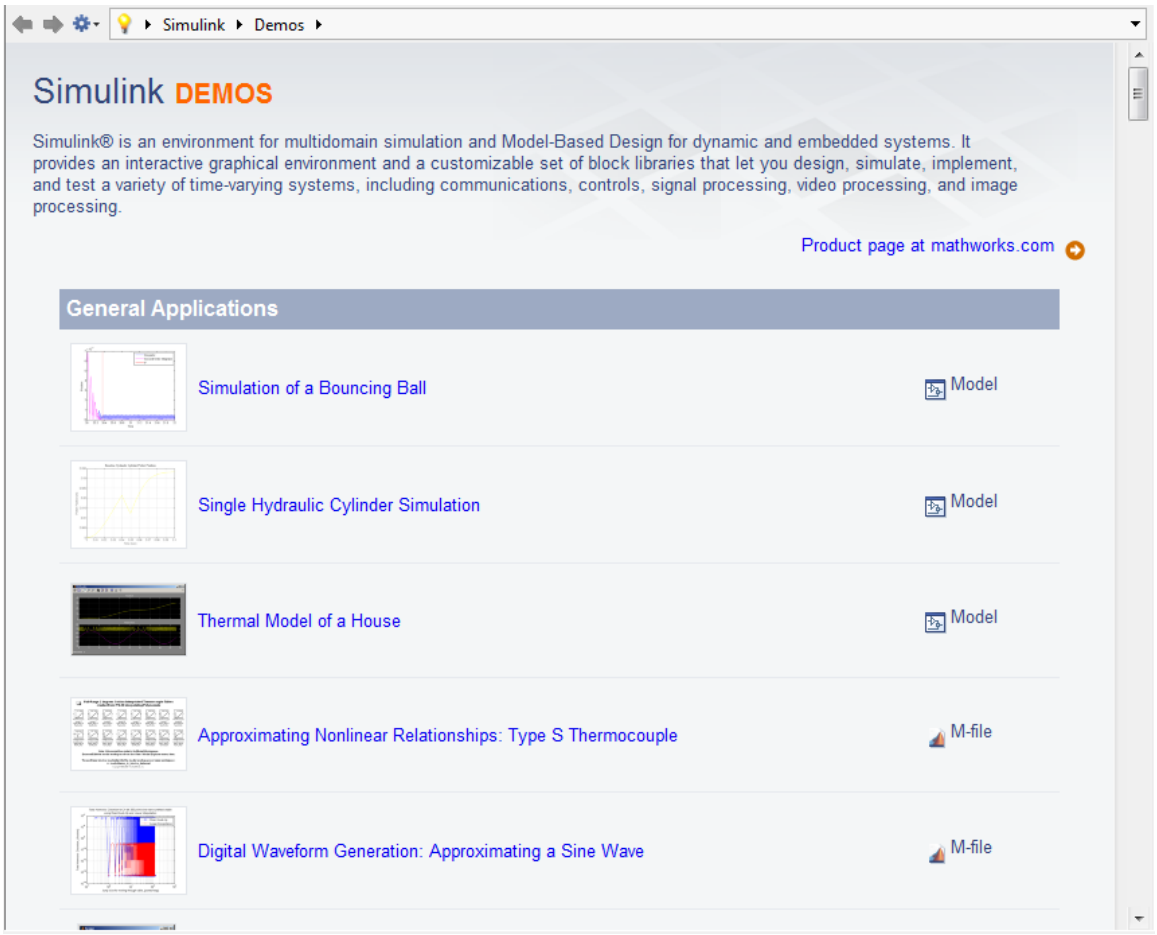


نمایش خروجی معادله

برای آشنایی بیشتر با نرم افزار شبیه ساز می‌توانید در محیط اصلی کد زیر را وارد کنید:

Demo
>> demo simulink

در این قسمت می‌توانید نمونه‌هایی از مدل‌های پیش‌ساخته در نرم‌افزار را مشاهده کنید.



➢ کدهای جانبی

در این بخش به معرفی چند دستور در محیط Matlab پرداخته خواهد شد.

۱- برای تبدیل فرمت فضای حالت به تابع تبدیل تنها لازم است ماتریس‌های A,B,C,D که به صورت زیر هستند را وارد کرده و سپس با استفاده از دستور ss2tf خواهیم داشت:

$$\dot{X} = AX + Bu$$
$$Y = CX + Du$$

State Space representation
>>[NUM,DEN] = ss2tf(A,B,C,D); **>>G = tf(NUM,DEN)** **>>[z,p,k] = zpk(G)**

دستور zpk صفرها، قطب‌ها و عدد ثابت تابع تبدیل را به ترتیب در z,p,k نمایش خواهد داد.

۲- برای تبدیل فرمت تابع تبدیل به فرمت فضای حالت تنها لازم است ضرایب چندجمله‌ای های صورت و مخرج را وارد کرده و ماتریس‌های A,B,C,D محاسبه خواهند شد(b و a به ترتیب ضرایب صورت و مخرج می‌باشند).

```
>>[A,B,C,D] = tf2ss(b,a)
```

منابع

1- K. Ogata, “Modern Control Engineering”, Prentice-Hall, 4th Edition, 2002
2- Sergey E. Lychevski, “Engineering and Scientific Computations using Matlab”, Wiley-Interscience, 2003
3- Matlab v 7.0 *Help*, Registered TradeMark of The MathWorks, Inc.

C2 - آزمایش شبیه ساز فرآیند

هدف:

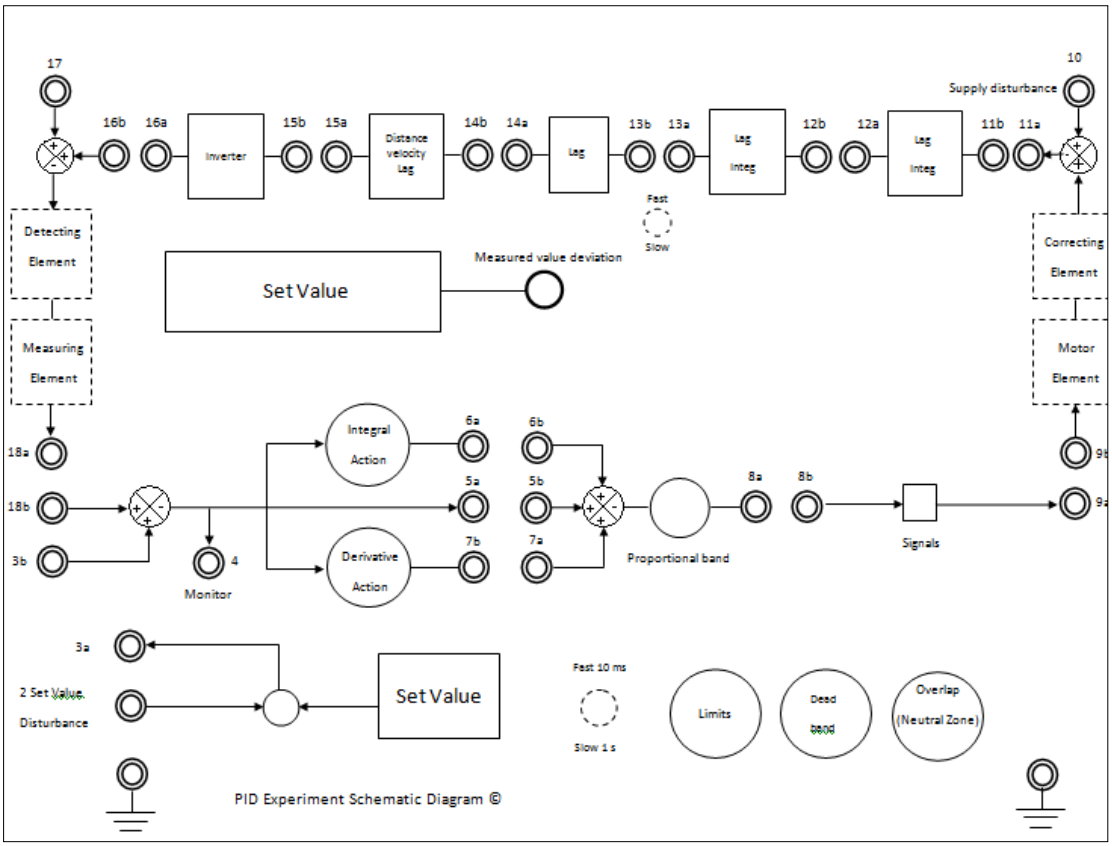
شبیه‌سازی و بررسی عملکرد سیستم کنترلی

تئوری:

در صنعت بسیاری از فرآیندها شبیه‌سازی شده و با استفاده از تکنیک مشخص کردن سیستم یا شناسایی سیستم[1] توابع تبدیل مورد نظر استخراج می‌شوند و بر اساس رسته‌ی آن‌ها مورد تحلیل قرار می‌گیرند. تابع تبدیل می‌تواند دارای تاخیر[2] و یا حتی زمان مرده[3] باشد. هر چند روش‌های شناسایی گوناگون و متنوعی وجود دارد ولی در صنعت هدف تقریب رفتار سیستم با توابع درجه پایین و ساده می‌باشد و این کار معمولا با بررسی پاسخ زمانی سیستم انجام می‌پذیرد تا در صورت امکان از کنترلرهای معمول مانند PID برای کنترل آن‌ها استفاده شود.

رفتار یک سیستم مکانیکی را می‌توان بوسیله‌ی ابزار الکتریکی مورد بررسی قرار داد و از هزینه‌های زیادی که صرف ساختن نمونه می‌شود جلوگیری کرد و هدف اصلی در شبیه‌سازی نیز همین می‌باشد. در این آزمایش پاسخ زمانی توابع مختلفی بررسی می‌شوند و اثرات مختلف کنترلر روی پاسخ زمانی نیز مورد بررسی قرار می‌گیرد.

[1] System Identification
[2] Lag
[3] Dead time



شکل دستگاه PID

شرح دستگاه:

۱. فرآیند (Process)

Lag/Integrator: این قسمت مربوط به تابع تبدیل‌های مورد استفاده می‌باشد. بلوک مربوطه را می‌توان با استفاده از یک کلید از حالت تاخیردار $\frac{1}{Ts+1}$ به حالت انتگرالگیر $\frac{1}{Ts}$ تغییر داد.

- یک بلوک تاخیردار درجه‌ی اول با تابع تبدیل $\frac{1}{Ts+1}$
- یک بلوک Distance Velocity Lag با زمان مرده‌ی $T = ۱۰\text{ms}$ با تابع تبدیل e^{-Ts}
- بلوک معکوس‌کننده با تابع تبدیل ۱-

در بلوک‌های فوق علاوه بر زمان مرده، می‌توان ثابت زمانی T را توسط یک کلید دیگر روی مقدار Fast به اندازه‌ی 10ms و یا روی مقدار Slow به اندازه‌ی 1s تعیین نمود.

۲. کنترلر

بخش فعال دستگاه کنترلر ضریب تناسبی P می‌باشد که از مقدار ۲۰۰٪ تا ۴٪ تغییر کرده که متناظر با مقادیر زیر می-باشد :

$$K_p = \frac{100}{p} \quad : \quad p: 200\% \xrightarrow{\tau} 4\%$$

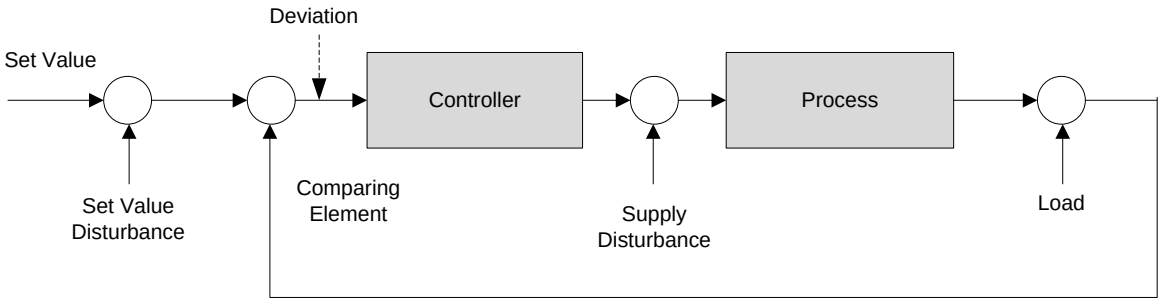
$$K_p: 0.5 \xrightarrow{\tau} 25$$

ولتاژ مرجع[۴] توسط یک پتانسیومتر بین ۱۰- ولت تا ۱۰+ ولت قابل تنظیم است.

۳. نمایشگر اندازه‌گیری

این قسمت دارای ۲ نمایشگر با مرکز صفر می‌باشد که قسمت زیرین ولتاژ مرجع را نشان می‌دهد و قسمت فوقانی می-تواند دو مقدار خروجی فرآیند و انحراف[۵] ، خطا را نمایش دهد. اگر کلید کناری این قسمت روی Measured Value قرار گیرد مقدار نشان داده شده، خروجی فرآیند می‌باشد و اگر کلید روی Deviation قرار گیرد مقدار نشان داده شده خروجی برابر است با:

Deviation = Measured value – Set value



[4] Set Value
[5] Deviation

آزمایش ۱ : سیستم مدار بسته رسته یک با کنترلر تناسبی

هدف بررسی اثر بهره کنترلر تناسبی روی خطای ماندگار است. مدار را بصورت نشان داده شده در زیر ببندید.

$$(3a \to 3b),(5a \to 5b),(8a \to 8b),(9a \to 13b),(14a \to 15b),(16a \to 16b),(18a \to 18b)$$

دکمه نمایشگر اندازه‌گیری را روی انحراف (Deviation) تنظیم کنید. هر دو دکمه Fast, Slow را در فرآیند و کنترلر روی Fast قرار دهید. در فرآیند، سیستم را در حالت Fast قرار می‌دهیم تا پاسخ سیستم سریع‌تر همگرا شود.

پیچ سیگنال مرجع را روی ۱۰+ ولت قرار دهید و باند تناسبی را از ۲۰۰٪ تا ۵٪ تغییر داده و برای هر مقدار انحراف را یادداشت کرده و جدول (۱) را کامل کنید.

جدول (۱)

مقدار بهره تناسبی	میزان خطا

آزمایش ۲ : اثرات بهره کنترلر تناسبی روی ثابت زمانی سیستم مدار بسته درجه ی ۱

با قطع $(3a \to 3b)$ سیگنال مرجع را از مدار خارج کنید. با استفاده از ترمینال یک سیگنال ژنراتور به پورت $(3b)$ وصل نمایید و Common را به پورت زمین در دستگاه اصلی وصل کنید. دستگاه مولد تابع را روی موج مربعی با تناوب sec ۱۰ با ۰/۱ هرتز تنظیم کنید و دامنه موج را روی ۲ ولت قرار دهید. ترمینال‌های دستگاه مولد را به کانال اسیلوسکوپ متصل کنید و کانال (۱) اسیلوسکوپ را به پورت‌های (۱) و $(16b)$ متصل نمایید.

در بخش کنترلر دستگاه اصلی هر دو دکمه Fast, Slow را در فرآیند و کنترلر را روی Slow قرار دهید. (کنترلر لزومی ندارد چون $K_i = K_D = 0$)

خواسته‌ها

۱. باند تناسبی را از ۲۰۰٪ تا ۵٪ تغییر داده و از روی اسیلوسکوپ پاسخ سیستم مدار بسته را مشاهده کنید. با تغییر بهره $K_p = \frac{100}{p}$ چه تغییری در ثابت زمانی سیستم مدار بسته بوجود می‌آید ؟

۲. با استفاده از تابع مدار بسته، رابطه‌ای برای ثابت زمانی سیستم مدار بسته T_c و باند تناسبی بدست آورده و برای مقادیر مختلف T_c و P را محاسبه کنید.

۳. پورت‌های (1) و $(16b)$ دستگاه را به ترمینال (۱) اسیلوسکوپ متصل کرده و با استفاده از نرم‌افزار مقادیر خروجی سیستم را برای چند سیگنال ضبط نمایید. با رسم پاسخ خروجی سیستم بر حسب زمان، ثابت زمانی مدار بسته را برای مقادیر مختلف P بدست آورده و با قسمت ۲ مقایسه کنید.

آزمایش ۳ : اثر بهره روی خطا برای سیستم درجه ۲ با کنترلر تناسبی

سیستم را به صورت زیر ببندید.

$$(3a \to 3b),(5a \to 5b),(8a \to 8b),(9a \to 12b),(13a \to 13b),(14a \to 16b),(18a \to 18b)$$

دکمه بلوک Lag/Integrator را در وضعیت Lag قرار دهید و سایر دکمه‌ها را مانند آزمایش ۱ تنظیم کنید. مراحل آزمایش (۱) را مجددا تکرار کرده و نتایج را در جدول (۲) یادداشت نمایید.

جدول (۲)

مقدار بهره تناسبی	میزان خطا

خواسته‌ها

نتایج آزمایش ۳ را با نتایج حاصل از آزمایش ۱ مقایسه نمایید.

آزمایش ۴ : اثر بهره ی کنترلر تناسبی روی ثابت زمانی سیستم مدار بسته ۲

با قطع اتصال $(3a \to 3b)$ و اتصال دستگاه‌های اسیلوسکوپ و مولد تابع همانند آزمایش (۲) مراحل مختلف آزمایش ۲ را تکرار کنید. بجای اندازه‌گیری ثابت زمانی در این آزمایش در صورت میرایی نمایی ثابت زمانی سیستم و در صورت نوسانات فرکانس‌های ω_a, ω_d را از روی میرایی نمایی و با استفاده از رابطه زیر محاسبه کنید.

$$V_3 / V_1 = e^{-2\pi\zeta/\sqrt{1-\zeta^2}}$$

خواسته‌ها:

معادله خطای دائم سیستم برای ورودی پله بدست آورده و مقادیر خطا را برای ضرایب بهره مختلف با مقادیر خوانده شده مقایسه کنید، سپس درباره‌ی حذف خطای دایم توسط کنترلر تناسبی بحث کنید.

C3-کنترل پروسس حرارتی

هدف:

مشاهده‌ی اثر کنترلرهای مختلف بر روی پروسه‌ی حرارتی

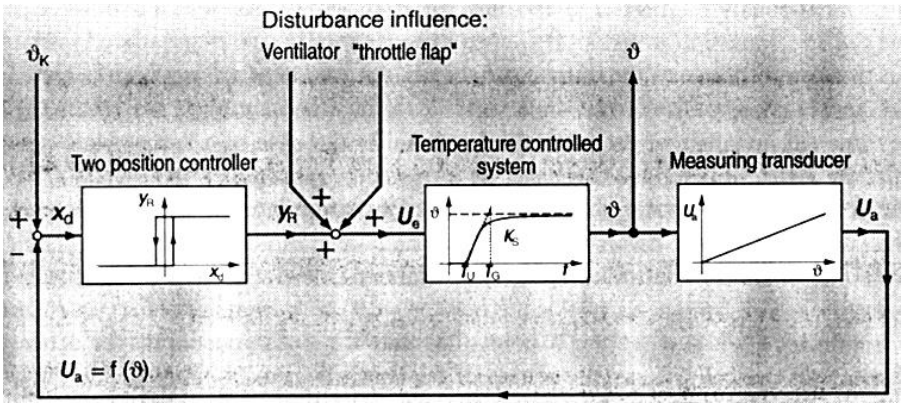
شرح دستگاه:

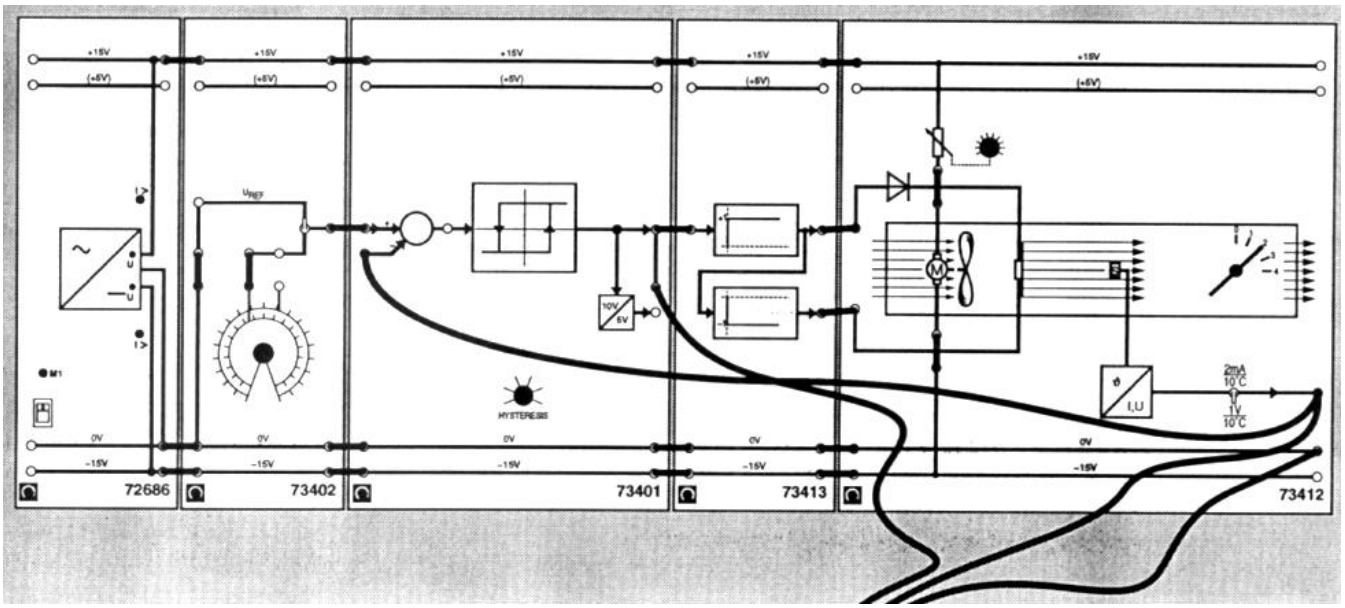
المان‌های مورد استفاده در این آزمایش عبارتند از :

سیستم کنترل دما	۷۳۴۱۲
آمپلی فایر قدرت	۷۳۴۱۳
ژنراتور متغیر مرجع	۷۳۴۰۲
کنترل دو وضعیته	۷۳۴۰۱
کنترلر PID	۷۳۴۰۶۳
ژنراتور توابع آزمون	۷۳۴۴۰

از کنترلرهای دو وضعیته بیشتر در مسائل ترمواستاتیکی مانند یخچال‌ها، فن‌کویل‌ها و ... استفاده می‌شود. در این آزمایش هوا از طریق دمنده به‌داخل لوله دمیده می‌شود و میزان هوای وارد شده به سیستم را می‌توان با استفاده از دریچه‌ی خروج هوا تنظیم کرد. به این ترتیب جریان قابل کنترلی از سیم‌ها گذشته و بسته به مقدار جریان هوا سیم‌ها گرم می‌شوند. خروجی سیستم به صورت یک سیگنال ولتاژ بوده و مبدل دما به ولتاژ بکار رفته می‌تواند به ازای هر ۱۰ درجه ۱ ولت خروجی دهد به صورتی‌که ۴۰ درجه را ۴ ولت روی صفحه نمایش کامپیوتر نشان می‌دهد.

در شکل زیر مدار بندی آزمایش مشخص است.





مدار سیستم حرارتی

شرح آزمایش:

محفظه plant شامل موتور، فن، لامپ، یکسوکننده جریان و دریچه قابل تنظیم عبور هوا می‌باشد. موتور فن دارای پیچ تنظیم دور بوده و توسط این فن و دریچه عبور هوا می‌توان جریان هوای داخل محفظه را تنظیم نمود. لامپ به عنوان المان حرارتی در محفظه مورد استفاده قرار می‌گیرد به گونه‌ای که با عبور جریان هوا از روی آن درجه حرارت نقطه مورد بررسی تغییر می-یابد .

ابتدا با توجه به دمای مطلوب ولتاژ مرجع انتخاب شده و به عنوان ورودی به مجموعه اعمال می شود (R)، این ولتاژ توسط یک پتانسیومتر قابل تنظیم می‌باشد. دمای نقطه مورد نظر در Plant اندازه گیری شده و به ولتاژ تبدیل می شود . ولتاژ حاصله به عنوان سیگنال فیدبک با ولتاژ مرجع مقایسه شده (فیدبک منفی) و سیگنال حاصله (سیگنال خطا) به بخش کنترلر دستگاه وارد می‌شود . در این آزمایش از کنترلرهای ON/OFF , P , PI ,PID استفاده شده است. با توجه به نوع کنترلر، تغییراتی برروی سیگنال خطا اعمال شده و فرمان حاصله به plant وارد می‌گردد . بر اساس این فرمان، جریان عبوری از لامپ و به تبع

آن حرارت تولید شده در آن تغییر کرده که در نهایت منجر به تغییرات دمایی نقطه مورد نظر و رسیدن آن به میزان مطلوب می‌شود.

کنترلر PID : این کنترلر شامل کنترلر تناسبی، انتگرالگیر و مشتق گیر می‌باشد که می‌توان از ترکیب‌های مختلف آن‌ها برای کنترل سیستم استفاده نمود و فرم کلی آن به صورت زیر می‌باشد :

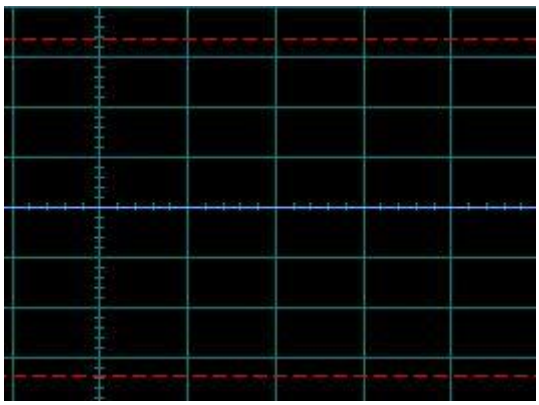
$$K_P\left(1+\frac{1}{ST_i}+T_dS\right)$$

K_p : ضریب بهره

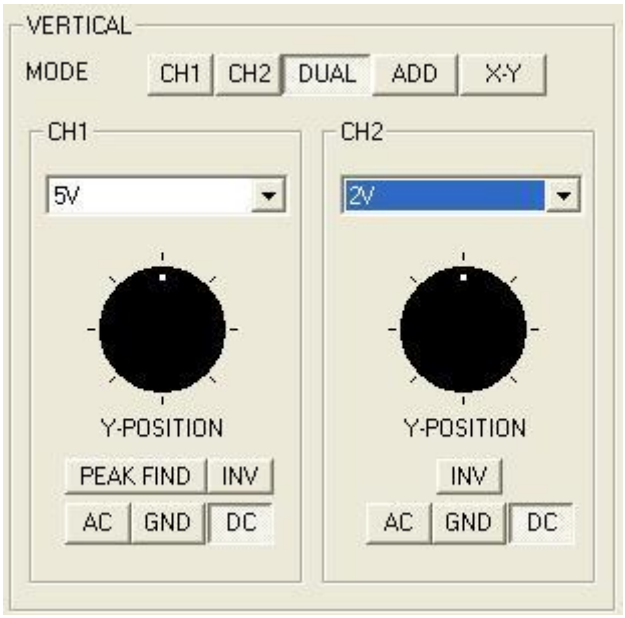
T_i : ضریب انتگرالگیر

T_d : ضریب مشتق گیر

اسیلوسکوپ: توسط اسیلوسکوپ می‌توان سیگنال‌های مورد نظر در هر نقطه از مدار کنترلی را بر حسب زمان رسم نمود. این دستگاه دارای دو کانال ۱و۲ بوده که برای مقایسه بهتر می‌توان هم‌زمان نیز سیگنال‌های آن‌ها را در یک نمودار رسم نمود. صفحه نمایش اسیلوسکوپ به صورت شطرنجی بوده که می توان مقیاس ضلع های افقی را از لحاظ زمانی و هم‌چنین مقیاس ضلع‌های عمودی را از لحاظ ولتاژ تعیین نمود .

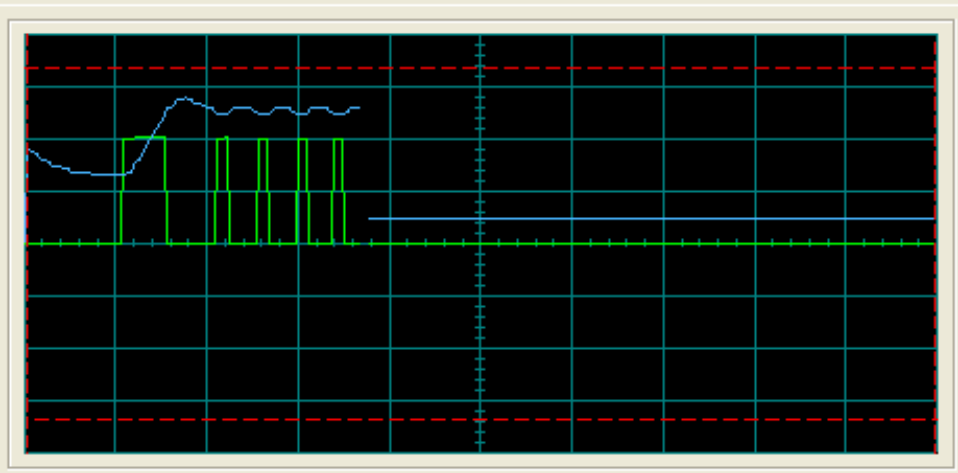


به عنوان مثال در شکل زیر در کانال ۱ مقیاس عرضی هرکدام از مربع ها ۵ ولت و در کانال ۲ مقیاس عرضی هرکدام از آنها ۲ ولت می‌باشد . به دلیل dc بودن اجزای مدار، برای هردو کانال ولتاژ dc انتخاب می شود .



آزمایش ۱: کنترل دما توسط کنترلر on-off

کنترلر دو وضعیته را به صورتی پسخوراند منفی وارد سیستم کنید. کنترلر دو وضعیته (On-Off Controller) بدین مفهوم است که اگر خطا در سیستم از حدی افزایش یابد جریان ورودی به سیستم کنترل دما را قطع می‌کند و لامپ مربوطه خاموش می‌شود. به همین صورت اگر خطا از حدی کاهش یابد (خطا منفی شود) دوباره کنترلر دو وضعیته جریان را وارد کرده که منتج به روشن شدن مجدد سیستم می‌شود. نمودارهای مربوطه توسط برنامه ثبت می‌شوند که در زیر برخی از آن‌ها نمایش داده شده است.



آزمایش ۱ - بخش اول

در این آزمایش درجه‌ی دریچه خروج هوا را کاملاً بسته و مقدار هیسترزیس را روی صفر قرار دهید. دستگاه را روشن کرده و منحنی‌های به دست آمده توسط کامپیوتر را ثبت کنید.

آزمایش ۱- بخش دوم

در این آزمایش دریچه خروجی هوا را روی درجه ۲ قرار داده و مجددا هیسترزیس را روی صفر قرار داده و نمودارها را ثبت کنید. برای حالت بعدی مقدار هیسترزیس را روی ۰/۵ ولت قرار دهید و مجددا نمودارها را ثبت کنید. سیگنال ورودی روی DC، پسخوراند از دامنه ۲ ولت و سیگنال خروجی از کنترلر ۵ ولت استفاده شود. پس از اندازه‌گیری، سیستم را سرد کنید تا به دمای محیط برسد. این کار را می‌توانید با قطع کردن سیگنال ورودی و روشن کردن فن انجام دهید.

خواسته ها

۱. تاخیر سیستم از چه نوعی است؟ (Lag یا Dead Time)
۲. برای کاهش خطا در این سیستم چه روشی پیشنهاد می‌کنید؟ (در مورد اضافه کردن FeedForward بحث کنید)
۳. آیا ثابت زمانی قطع و وصل برابر است؟

آزمایش۲: کنترل دما توسط PID

طراحی کنترلرهای PID در سیستم‌های کنترلی بدین منظور صورت می‌پذیرد که خطای ماندگار سیستم، overshoot و زمان پاسخ سیستم به ورودی را کاهش داد.کنترلر دو وضعیته را از مدار خارج سازید و کنترلر PID را بطور سری با مدار اصلی قرار دهید (پسخوراند منفی باشد). برای دریافت نمودارها از تنظیمات قسمت قبل استفاده کنید و فقط واحد محور زمان را روی ۱ دقیقه قرار دهید.

ابتدا فقط با کنترلر تناسبی کا را پیش می‌بریم. سعی کنید سیستم را با کنترلر تناسبی کنترل کنید. برای بهترین حالت پاسخ، مقدار ضریب مربوطه را ثبت کنید. سپس انتگرالگیر را وارد سازید و برای بهترین حالت پاسخ ضرایب را ثبت کنید. پس از

اندازه‌گیری، سیستم را سرد کنید تا به دمای محیط برسد. در مرحله بعد مشتقگیر را وارد کرده و مجددا مرحله قبل را تکرار کنید. ممکن است حتی مقدار بهینه قبل را تغییر دهید. در نهایت بهترین حالت پاسخ را ثبت کنید.

برای اطلاع از پاسخ سیستم به اغتشاش از مولد تولید موج‌های مربعی و مثلثی استفاده کنید که دامنه آن برابر ۱ ولت و فرکانس را به ۰.۵ تا ۲ هرتز است. تاثیرات ضرایب کنترلری را بر اغتشاشات وارده بررسی کنید. اغتشاشات را یک بار از قبل از کنترل کننده و بار دیگر بعد از کنترلر وارد سیستم کنید.

خواسته‌ها:

۱. مشاهدات خود را از آزمایش (کنترلر تناسبی، انتگرالگیر و مشتقگیر) با دلایل علمی توجیه کنید.

۲. تاثیرات ضرایب کنترلی بروی زمان نشست چگونه است؟

۳. شبیه ساز سیستم را در Matlab به دست آورید. برای این کار سیستم را با معادله حرارتی مرتبه اول مدل کنید، سپس به همراه کنترلر ورودی‌های مختلف به سیستم بدهید و حتی الامکان با نتایج بدست آمده مقایسه کنید.

C4 -بررسی منحنی‌های مشخصه موتورهای DC و رفتار مدار بسته آن

هدف

آشنایی با اجزاء سیستم‌های سرومکانیزم و کنترل دور موتور DC و بررسی مشخصات ماندگار این سیستم‌ها

تئوری آزمایش:

مجموعه موتور DC، سروآمپلی‌فایر و منبع تغذیه را می‌توان به عنوان یک سیستم دینامیکی در نظر گرفت که خروجی آن یعنی سرعت موتور تابع ورودی یعنی ولتاژ ورودی به (سروآمپلی فایر) است. در کاربردهای صنعتی لازم است در بعضی موارد سرعت یک موتور DC بر روی مقدار ثابتی قرار گیرد و یا به شکلی دلخواه تغییر کند انجام این عمل کنترل سرعت نام دارد. توجه داشته باشید که در صورت تغییر شرایط خارجی و داخلی سیستم دینامیکی، این کنترل سرعت هم‌چنان باقی بماند. در ادامه توضیح مختصری درباره دو نوع کنترل، شامل کنترل مدار باز و کنترل مدار بسته آورده شده است.

- **کنترل مدار باز:**

اگر شرایط خارجی مثلاً بار وارد شده به موتور ثابت باشد و یا نحوه تغییر آن از قبل مشخص باشد و هم‌چنین در صورتی که مطمئن باشیم سیستم دینامیکی ما در طول زمان تغییر نخواهد کرد، می‌توان با استفاده از یک کنترل مدار باز سرعت موتور را کنترل کرد. برای این کار لازم است رابطه میان سرعت موتور و ورودی سیستم (ولتاژ پتانسیومتر) را بدست آوریم (مانند آزمایش ۱). با معلوم شدن رابطه میان سرعت موتور و ورودی سیستم، سرعت موتور در صورت نبودن بار، تنها با استفاده از ورودی قابل تعیین است ولی در صورت افزایش بار موتور دیگر نمی‌توان با استفاده از رابطه بدست آمده سرعت موتور را مشخص کرد.

- **کنترل مدار بسته:**

در صورتیکه بخواهیم سرعت موتور را حتی با تغییر بار خارجی در مقداری ثابت نگاه داریم، یک راه حل برای این کار استفاده از کنترل مدار بسته و پسخوراند گرفتن از سرعت است. با انجام این کار در واقع از اطلاعات خروجی، در کنترلر استفاده می شود. در اینجا آزمایش کنترل مدار بسته با استفاده از کنترلر PID انجام می‌پذیرد. در ادامه اجزاء مهم واحد PID معرفی شده‌اند.

شرح دستگاه:

دستگاه شامل:

۱- منبع تغذیه Power Supply Unit مدل PS 150E :

منبع تغذیه دارای سه خروجی 15+، و COM و 15- ولت است که می‌تواند سایر اجزا دستگاه را تغذیه نماید. ولتاژی که توسط آن جریان‌های میدان یا آرمیچر موتور کنترل می‌شود، می‌تواند توسط هر یک از دو ورودی ۱ و ۲ به این دستگاه داده شود.

۲- مدار سرو آمپلی فایر مدل SA 150D:

این مدار جریان مورد نیاز راه‌اندازی موتور را از طریق منبع تغذیه تأمین می‌نماید. بر روی این آمپلی فایر یک مدار رسم شده است که اگر نقاطی که توسط خطچین‌های A به هم مربوط شده‌اند را متصل نماییم نوع کنترل موتور از نوع آرمیچر می‌گردد، و اگر نقاطی که توسط خطچین‌های F به هم مربوط شده‌اند را متصل کنیم کنترل میدان خواهیم داشت.

کنترل آرمیچر : (3-6), (4-5), (7-8)

کنترل میدان: (3-4),(6-7),(5-8)

۳- موتور DC مدل MT 150F :

به یک سر محور این موتور یک تاکومتر[6] وصل شده است. تاکومتر ژنراتوری است که در اثر چرخش محور آن یک ولتاژ DC متناسب با سرعت دوران محور ایجاد می‌نماید. این ولتاژ توسط نقاط (Com، 1+) و یا عکس آن توسط نقاط (Com , 2-) اندازه‌گیری می‌گردد. به سر دیگر موتور یک دیسک فلزی وصل شده است که میان دو صفحه مغناطیسی (ترمز مغناطیسی به عنوان Load) قرار می‌گیرد تا یک گشتاور مقاوم بر روی محور ایجاد کند.

۴- پتانسیومتر Attenuator مدل AU150 B:

نقاط 4 و 6 دو سر مقاومت 10K اهم این پتانسیومتر به ولتاژ 15+ و Com یا صفر وصل می شوند و ولتاژ عقربه خروجی پتانسیومتر به صورت خواهد بود (نقطه 5) . بدین ترتیب هر درجه روی پیچ برابر ولتاژ ۱.۵ ولت می‌گردد.

۵- PID Controller Unit:

در این واحد ورودی‌ها وارد جمع کننده می‌شود و با گذشتن از یک مدار تناسبی P، تناسبی – انتگرالی PI و یا تناسبی – انتگرالی – مشتقی PID که در صورت نیاز به راحتی می‌توان هر کدام از آن‌ها را وارد مدار کرده و ضرایب هر کدام از واحدها قابل تنظیم می‌باشد. خروجی این کنترلر باید به ورودی سروآمپلی فایر متصل باشد. اجزاء مهم واحد PID عبارتند از:

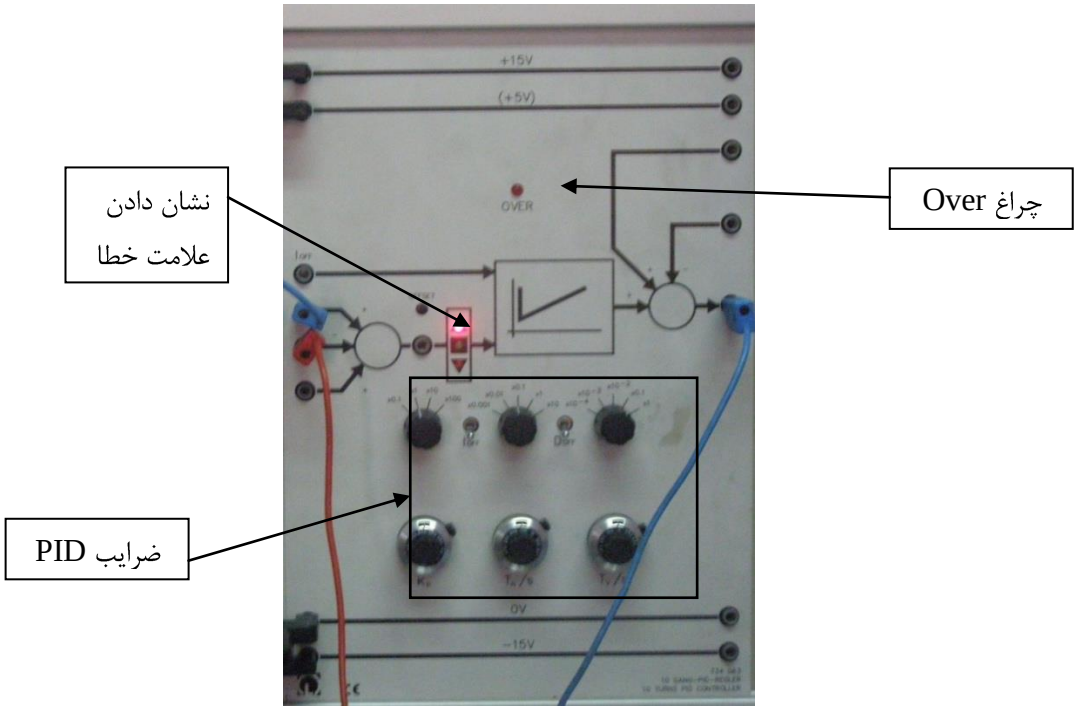
- جمع کننده با سه ورودی در سمت چپ دستگاه قرار دارد که با علائم + و یا منفی مشخص شده. از این پایانه‌ها برای دادن ولتاژ به کنترلر یا اتصال فیدبک استفاده می‌کنیم.
- خروجی کنترلر در سمت راست آن قرار دارد که به ورودی سروآمپلی فایر متصل می‌شود.

سه چراغ کوچک در مسیر سیگنال خطا که چراغ میانی سبز رنگ است و دو چراغ بالا و پایین قرمزند که علامت سیگنال خطا را نمایش می دهند. چراغ قرمز پایین و بالا به ترتیب منفی و مثبت بودن و چراغ سبز صفر بودن سیگنال خطا را نشان می‌دهد.

- کلیدهای I_{off} و D_{off} : این کلیدها خاموش بودن عملگر I (انتگرال گیر) و D (مشتق گیر) را در کنترلر نشان می‌دهند.
- پیچ‌های تنظیم ضرایب: با استفاده از این سه پیچ تنظیم مقدار ضرایب تناسبی، انتگرالی و مشتقی تعیین می‌شوند.

[6] Tachometer

- چراغ Over : این چراغ قرمز اشباع شدن کنترلر را به دلیل افزایش بیش از حد ولتاژ خروجی نشـان مـی‌دهـد. هرگاه این چراغ روشن شود نمی‌توان به عملکرد کنترلر اطمینان کرد و نتایج آزمایش بی‌معنی خواهـد بـود. در صورت برخورد با چنین وضعیتی آزمایش را تحت بار کمتر و یا ورودی پایین‌تر تکرار کنید.



نمای شکل PID

شرح آزمایش:

سروموتورها کاربردهای زیادی در صنایع مختلف دارند. به طور مثال کاربرد آن‌ها در ربات‌ها، ماشین‌هـای ابـزار NC و CNC، مدارهای کنترل هواپیماها و بسیاری موارد دیگر را می‌توان مشاهده نمود.

در بعضی از کاربردها لازم است که توسط موتور، موقعیت و زاویه یک محور کنترل گردد و در بعضی از کاربردها سرعت دورانی می‌بایست روی مقدار خاصی تنظیم گردد. در این آزمایش با خواص کنترل‌هـای کلاسـیک، P و PI و PID بـرای تنظـیم دور موتور DC تحت بار آشنا می‌شویم.

در این آزمایش به بررسی رفتار کنترل موتور DC پرداخته می‌شود. یک موتور DC از دو قسـمت آرمیچـر و اسـتاتور تشـکیل شده است. استاتور می‌تواند دارای مغناطیس دائم و یا دارای سیم پیچ جداگانـه باشـد. مـدار سـروموتورهای DC از یـک جـزء حس‌کننده سرعت یا زاویه و یک تقویت کننده سروموتور تشکیل شده است. در یک سـروموتور اگـر جریـان الکتریکـی ایجـاد کننده میدان مغناطیسی در استاتور ثابت باشد و جریان الکتریکی آرمیچر قابـل تنظـیم باشـد، سـروموتور بـا کنتـرل آرمیچـر

Armature Control نامیده می‌شود. بر عکس اگر جریان میدان متغیر و جریان آرمیچر ثابت باشد، سروموتور با کنترل میدان Field Control گفته می‌شود.

آزمایش ۱: بررسی سرعت موتور نسبت به ولتاژ ورودی (ضریب کالیبراسیون)

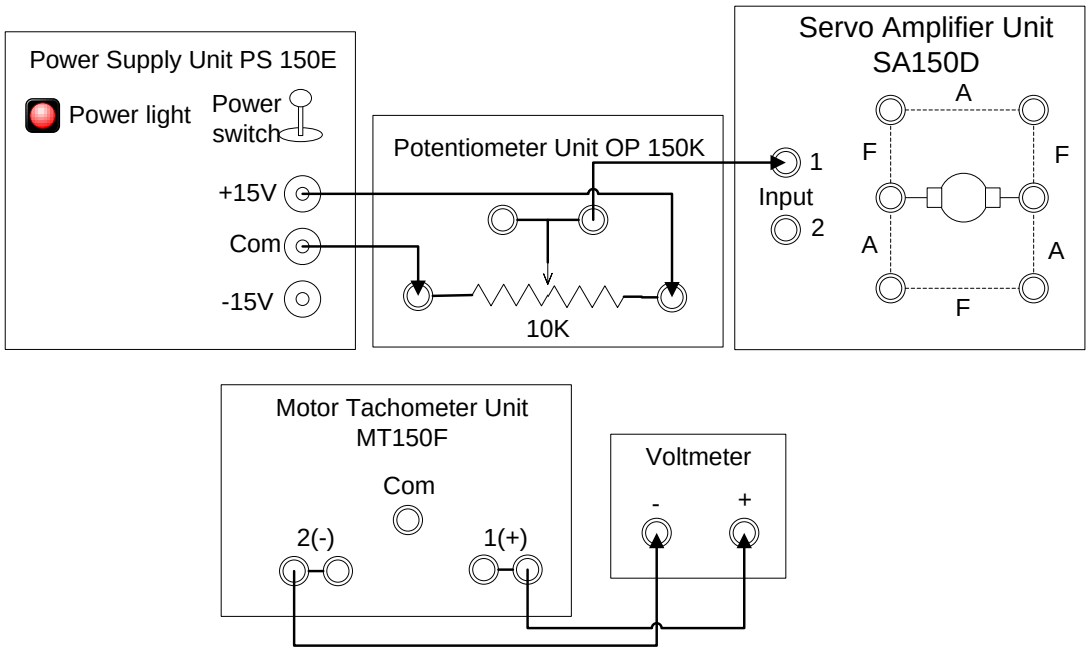
الف- مدار دستگاه های MT150F,AU150B,SA150D,PS150E را مطابق شکل متصل نمایید.

ب- یک ولتمتر 0-15 VDC را به ترمینال 1 و 2 دستگاه MTF150F متصل نمایید. (خروجی تاکومتر)

ج- پتانسیومتری که روی AU150B قرار دارد را روی صفر تنظیم کنید.

د- دستگاه PS150E را روشن نموده و سرعت موتور را (روی ولتمتر) به ازای هر یک از درجات مختلف پتانسیومتر یادداشت نمایید و جدول (۱) را کامل کنید.

توجه کنید که در این حالت درجه ی پتانسیومتر بیشتر از ۴۰ درجه نشود.



شکل اتصالات برای حالت مدار باز

جدول (۱)

خروجی تاکومتر	زوایای خوانده شده در حالت پایدار (Steady)

خواسته‌ها:

مقادیر مربوطه را بصورت یک نمودار رسم کنید. شیب نمودار نشان دهنده‌ی چه کمیتی می‌باشد؟

آزمایش ۲: بررسی سرعت موتور نسبت به گشتاور خروجی

الف) موتور (واحد SA150D) را به صورت کنترل آرمیچر ببندید. اتصالات را مانند حالت مدار باز مربوط به آزمایش ۱ وصل کنید.

ب) ترمز مغناطیسی را در کنار دیسک محور موتور چنان با دقت قرار دهید که وقتی زاویه ترمز روی (صفر) است ترمز اصلاً دیسک را نپوشاند و در حالت زاویه ۱۰ ترمز کاملاً دیسک موتور را در برگیرد. دقت شود برای تمامی حالات نباید دیسک به صفحات ترمز (حتی در حالت حرکت) برخورد نماید. وقتی که دیسک در میدان مغناطیسی بین دو صفحه ترمز دوران می‌کند یک ولتاژ در آن القاء می‌شود که با سرعت چرخش مخالفت می‌کند. این امر باعث می‌شود که یک گشتاور مقاوم به موتور وارد شود و دور موتور را کاهش می‌دهد.

ج- پتانسیومتر دستگاه AU150B را روی صفر قرار دهید و دستگاه PS150E را روشن نمایید. ترمز باید در زاویه صفر قرار گیرد.

د- پتانسیومتر دستگاه را آنقدر بچرخانید تا ولت‌متر سرعت موتور را متناسب با 5 ولت نشان دهد.

هـ) ترمز را آهسته به دیسک نزدیک کنید و در زوایای مختلف ولتاژ متناسب با سرعت موتـور را بخوانیـد و یادداشـت نماییـد. درجه آمپرمتر موتور را نیز از روی دستگاه PS150 E بخوانید و یادداشت کنید. جدول ۲ را کامل کنید.

جدول(۲)

درجه ترمز	سرعت	جریان

و- آزمایش بالا را برای سرعت متناسب با ۷ ولت تکرار نمایید و جدول ۳ را کامل کنید.

جدول(۳)

درجه ترمز	سرعت	جریان

خواسته ها:

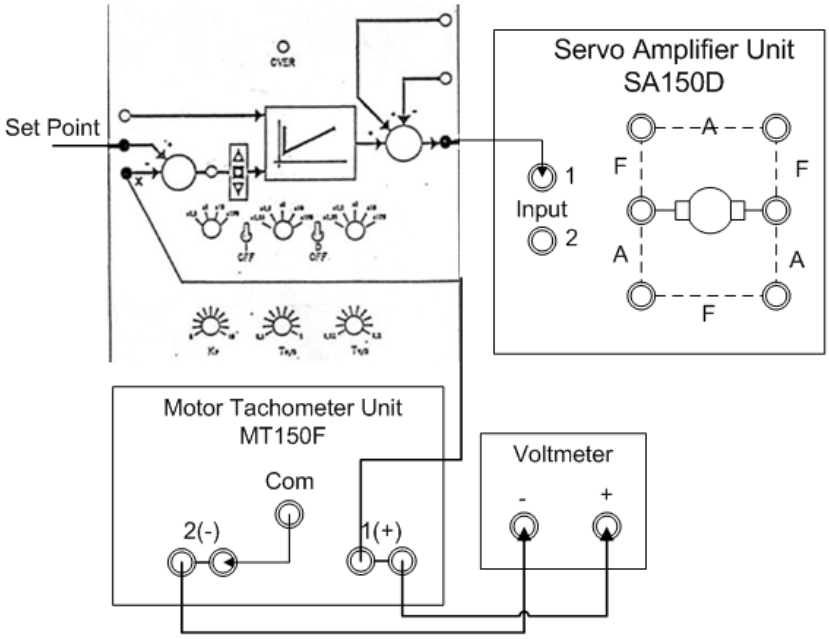
۱- منحنی سرعت موتور (ولتاژ تاکومتر) و گشتاور موتور (آمپرموتور) را بر حسب درجه ترمز (گشتاور مقاوم) رسم نمایید. اگر گشتاور ترمز یک ورودی ناخواسته (اغتشاش) باشد و قصد تنظیم سرعت موتور را داشته باشیم آیا کنترل مدار باز هدف را تامین می‌کند؟ توضیح دهید.

۲- نتایج مربوط به ولتاژهای مختلف را در یک نمودار نشان دهید.

آزمایش ۳:

الف- کنترل تناسبی

- پورت ۲ و Com تاکومتر را به هم متصل کنید پورت ۱ تاکومتر را به ورودی فیدبک کنترلر (با علامت منفی) متصل کنید. ضریب تناسبی را بر مقدار دو (k=2) تنظیم کنید. با تغییر پتانسیومتر سرعت موتور را به مقداری معادل 5V تاکومتر برسانید.



(نحوه ی اتصال مدار بسته ی سیستم)

- ترمز مغناطیسی را وارد کنید تا جایی که چراغ Over روشن نشود و مشابه آزمایش ۲ اعداد را بخوانید و جدول ۴ را کامل کنید.

جدول(۲)

درجه ترمز	سرعت	جریان

- بهره تناسبی را افزایش دهید، مثلاً K=4. آزمایش بالا را تکرار کنید و جدول ۵ را کامل کنید.

جدول(۵)

درجه ترمز	سرعت	جریان

خواسته ها:

- در این حالت میزان افت سرعت چگونه است؟ توضیح دهید.
- اعداد بدست آمده را با اعداد جدول ۲ مقایسه کنید.
- وقتی ضریب تناسبی افزایش می یابد میزان افت چگونه تغییر می‌کند؟

ب- کنترلر PI

- کلید I_{off} را به حال روشن در آورید
- بهره انتگرالی را بر روی $Ti = 1$ و بهره تناسبی را نیز روی $K=2$ تنظیم کنید.
- با افزودن درجه ترمز مغناطیسی، جدول ۶ را کامل کنید.

جدول(۶)

درجه ترمز	سرعت	جریان

- جدول (۷) را برای $Ti =0.1$ کامل کنید.

جدول(۷)

درجه ترمز	سرعت	جریان

خواسته‌ها:

- نتایج بدست آمده را تحلیل کنید. نقش انتگرال‌گیر چیست؟ معایب وارد ساختن انتگرال‌گیر چیست؟

ج- سرعت پاسخ گویی در کنترل PID

- با وارد کردن بخش D کنترلر، تأثیر مشتقگیر را در کنترل سرعت بررسی کنید.
- مشاهدات خود را یادداشت کنید و بهترین و بهینه‌ترین مقدار مشتقگیر را ثبت کنید.

خواسته‌ها:

- چه محدودیت‌هایی در اعمال مشتقگیر در سیستم‌ها داریم؟ چگونه می‌توان آنها را رفع کرد؟
- افزایش مقدار مشتقگیر چه مشکلاتی ایجاد می‌کند؟

د- پاسخ پله

- خروجی موتور (ولتاژ تاکومتر) و ورودی سیستم (ولتاژ پتانسیومتر) را به یک دستگاه نمایشگر اسیلوسکوپ متصل کنید.
- به سیستم یک ورودی پله وارد کنید (از کلید قطع و وصل در المان ولتاژ متغیر استفاده کنید) و پاسخ را در حالات زیر بدست آورید.

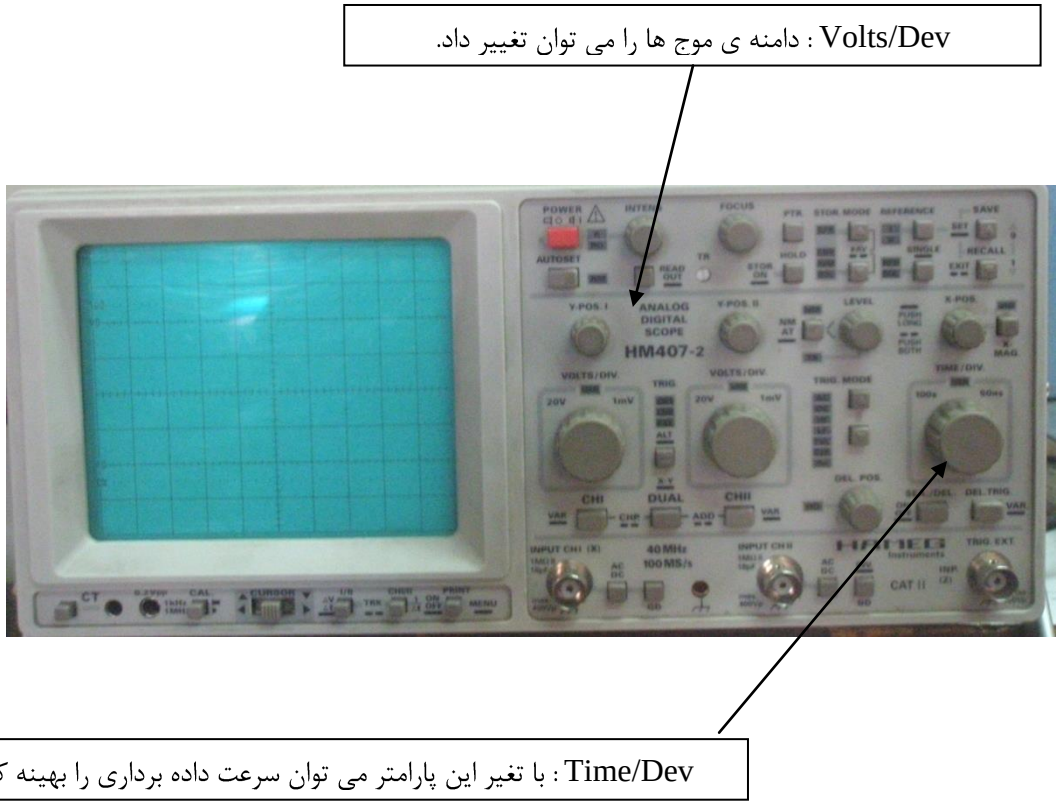
  الف- سیستم مدار باز

  ب- سیستم مدار بسته با کنترلر تناسبی P

  ج- سیستم مدار بسته با کنترلر PI

  د - سیستم مدار بسته با کنترلر PID

- برای ثبت نمودار دکمه‌ی Hold روی اسیلوسکوپ را فشار دهید و پارامترهای خواسته شده را در جدول ۸ یادداشت کنید.
- بهترین مقادیر بهره را از آزمایش قبل انتخاب کرده و در این آزمایش رفتار آن را در حضور ورودی پله بررسی کنید.



جدول (۸)

سیستم رسته ۱ (P)		سیستم رسته ۲ (PI)		سیستم رسته ۲ (PID)	
ثابت زمانی		زمان Peak		زمان Peak	
زمان نشست		زمان Rise		زمان Rise	
خطای ماندگار		میزان Overshoot		میزان Overshoot	
		زمان نشست		زمان نشست	
		خطای ماندگار		خطای ماندگار	

خواسته ها:

- تاثیرات اعمال هر یک از پارامتر ها را در پاسخ بدست آمده بررسی کنید.
- دلیل استفاده از تقویت کننده‌ی موتور را توضیح دهید.

C5 - بررسی کنترلی موتور و ژنراتور

هدف:

بررسی کنترل مدار باز و مدار بسته موتور و ژنراتور

شرح دستگاه:

لیست قطعات به شرح ذیل می‌باشد.

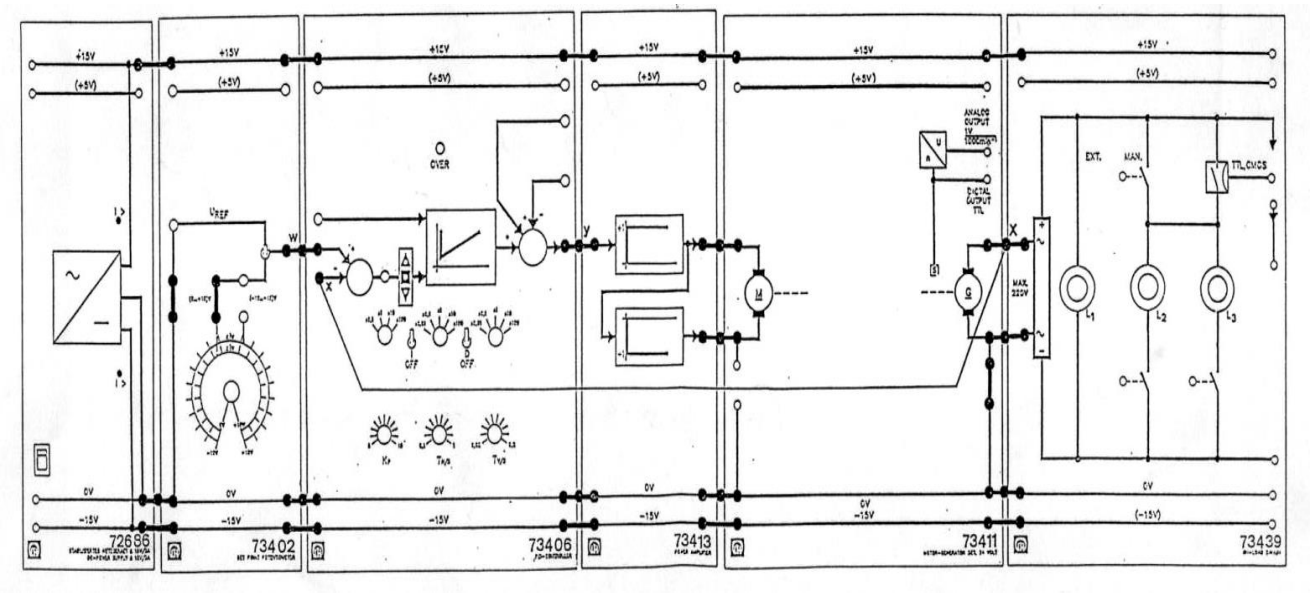
تولید کننده سیگنال اغتشاش	۷۳۴۴۰
منبع تغذیه	۷۲۶۸۶
منبع ولتاژ متغیر	۷۳۴۰۲
کنترلر تناسبی انتگرالگیر مشتقگیر	۷۳۴۰۶
آمپلی فایر قدرت	۷۳۴۱۳
موتور و ژنراتور	۷۳۴۱۱
بار (۳ لامپ)	۷۳۴۳۹
حسگر Cassy	۵۲۴۰۱۰

شرح آزمایش:

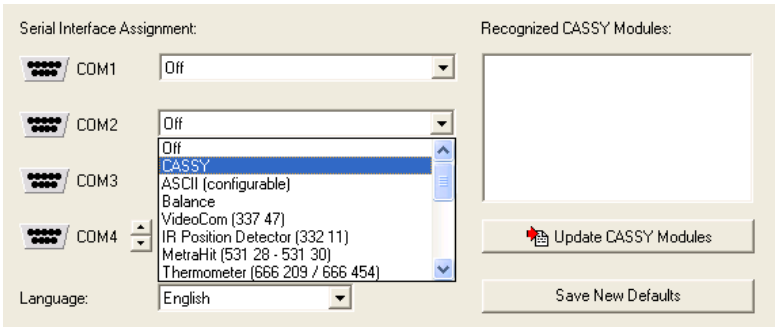
در این آزمایش سعی در تحلیل کنترلی مدار باز و بسته یک مدار کنترلی برای موتور DC شده است. اتصالات در آزمایش به این ترتیب از منبع ولتاژ متغیر به آمپلی‌فایر قدرت و سپس به موتور و ژنراتور و در نهایت به بار، صورت می‌گیرد. برای بهینه-سازی خروجی از کنترلر PID استفاده می‌شود. طبق توضیحات داده شده مدار را مطابق شکل ۱ ببندید.

آزمایش۱-آزمایش مدار باز سیستم

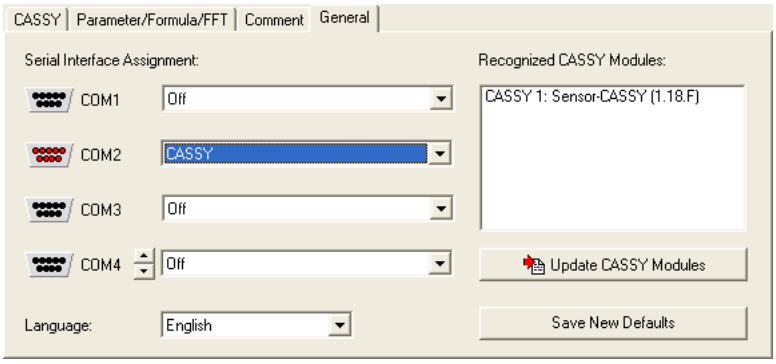
- ولتاژ ورودی مبنا را روی 5 ولت تنظیم کنید و سپس بارهای مربوطه را به ترتیب ۱لامپ،۲ لامپ و ۳ لامپ تغییر دهید.
- نمودارهای ولتاژ خروجی ژنراتور (Ux) بر حسب زمان را برای هر حالت با استفاده از برنامه Cassy-Lab دریافت کنید. در هنگام اجرای برنامه Cassy-Lab (در صورت فعال نبودن) COM2 را فعال کنید. شکل (۲و۳)



شکل ۱ – مدار بسته سیستم



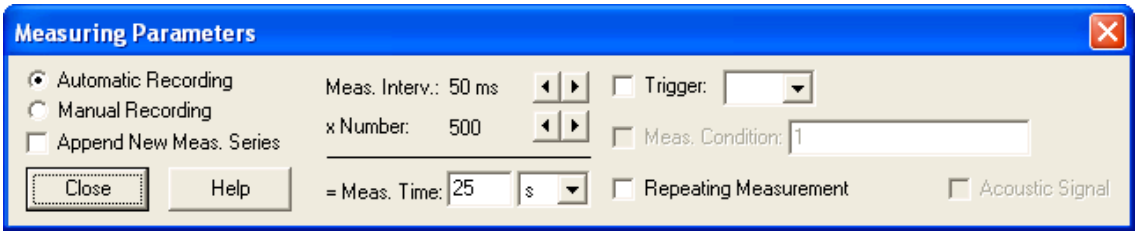
شکل ۲ – صفحه مربوط به Cassy-Lab



شکل ۳ – نحوه فعال کردن COM2 برای دریافت کردن نمودارها

- مراحل ذکر شده را برای ولتاژ مبنا 7 ولت نیز تکرار کرده و نمودارهای ولتاژ خروجی موتور و ژنراتور (U_x) را دریافت کنید. (توجه: برای دریافت بهتر نمودارها مطابق شکل زیر پارامترها را تغییر دهید.)

- پارامترهای مورد نیاز جهت طراحی کنترلر به روش زیگلر-نیکولز را از طریق آزمایش، برای سیستم به دست آورید.



شکل ۴- تغییر پارامترها

خواسته ها

- نمودارهای بدست آمده ولتاژ خروجی دور موتور (1V/1000rpm) بر حسب زمان را تحلیل کنید.
- با استفاده از روش زیگلر نیکولز کنترلری برای سیستم طراحی کنید.
- در کل طبق نمودارهای بدست آمده چه کنترلری را پیشنهاد می کنید.

آزمایش۲- آزمایش مدار بسته سیستم

در این آزمایش سعی شده است دور موتور (که نماینده ولتاژ خروجی ژنراتور است) توسط کنترلر PID کنترل شود.

- ولتاژ متغیر مبنا روی ۲ ولت تنظیم گردد (معادل 2000rpm). بار را روی یک لامپ قرار دهید.
- از خروجی موتور و ژنراتور به ورودی کنترلر منفی آن وصل کنید.
- قسمت‌های انتگرالگیر- مشتقگیر کنترلر خاموش باشد و برای مقادیر مختلف بهره تناسبی نمودارهای ولتاژ خروجی بر حسب زمان را ثبت کنید.
- انتگرالگیر را وارد کرده و با تغییر مقادیر آن نمودارهای ولتاژ خروجی بر حسب زمان را دریافت کنید.
- مشتقگیر D را روشن کنید و با تغییرات ضریب مشتقگیر ولتاژ خروجی بر حسب زمان را دریافت کنید.
- مراحل انجام شده را برای ولتاژ ورودی ۲ ولت و با سه لامپ در مدار مجدداً تکرار کنید.

خواسته ها

- نمودارها را با یکدیگر مقایسه و تحلیل کنید.
- آیا کنترلر PID تنها گزینه ممکن برای کنترل کردن سیستم می‌باشد؟
- افزایش و یا کاهش بار روی کنترلر چه تاثیراتی می‌تواند داشته باشد؟

آزمایش۳- آزمایش مدار بسته سیستم در حضور اغتشاش (بعد از کنترلر)

هدف در این آزمایش بررسی پیروی سیگنال خروجی از سیگنال ورودی است. لذا برای هر یک از موج ها سعی شود با تغییر مقادیر کنترلر، سیگنال خروجی با حداقل خطا سیگنال ورودی را دنبال کند.

- تولید کننده سیگنال اغتشاش را وارد مدار کنید، این تولید کننده می تواند امواج مربعی، پالس و مثلثی بعنوان اغتشاش وارد کند.
- t_{on} را روی ۱/۲ قرار داده (این امر به این مفهوم است که مدت زمان On و Off موج یکسان باشد)
- فرکانس مربوطه را روی ۱۰ هرتز قرار دهید.
- دامنه اغتشاش را روی ۱ ولت تنظیم کنید و هر ۳ لامپ را وارد مدار کنید.

توجه : برای دریافت بهتر نمودارها در قسمت Measuring Parameters پارامترها را بصورت گفته شده تغییر دهید:

Meas Interval: 20 ms

Number: 500

Time: 10 s

برای هر یک از موج‌های ورودی سعی کنید با تغییر مقادیر کنترلر، سیگنال خروجی با حداقل خطا سیگنال ورودی را دنبال کند. ولتاژ متغیر ورودی را روی ۵ ولت و دامنه اغتشاش را نیز روی ۱ ولت تنظیم کنید. سپس با استفاده از مقادیر بهینه بدست آمده در آزمایش قبل، ورودی مربعی را به عنوان اغتشاش وارد کنید و نمودارهای ولتاژ خروجی موتور و ژنراتور (U_x) را دریافت کنید. با تغییر پارامترهای کنترلر PID سعی در کنترل اغتشاش وارده شود.

خواسته ها

- با تحلیل نمودارها اثر ورود اغتشاش بر روی موتور و ژنراتور را بررسی کنید.

آزمایش۴- شناسایی سیستم در فضای زمان

برای بیشتر سیستم‌ها معمولاً مدل‌های خوبی که بیانگر ماهیت آن‌ها است وجود دارد که معمولا توام با متغیرهای غیرخطی و یا فرآیندهای تصادفی است که نیازمند تحلیل‌های پیچیده می‌باشند. شناسایی سیستم در فضای زمان یکی از روش‌های معمول برای مدل کردن و شناسایی پارامترهای سیستم است. بدین ترتیب که به سیستم سیگنال‌هایی بعنوان ورودی داده

می‌شود و براساس خروجی پارامترهای مدل مد نظر گرفته شده، استخراج می‌شود. هر چند این روش مدل کاملی را ارائه نخواهد کرد ولی کاربرد فراوانی دارد، زیرا اطلاعات مطلوبی در رابطه با پارامترهای سیستم بوسیله آزمایش مستقیم می‌دهد.

- به مدار باز موتور ورودی پله ۵ ولت وارد کنید و نمودار مربوطه را دریافت کنید.
- با توجه به شکل به دست آمده تابع تبدیل مربوطه را بدست بیاورید.
- به مدار باز سیستم ورودی شبه ضربه بدهید و نمودار بدست آمده را ذخیره کنید. سعی کنید با ستفاده از نمودار بدست آمده بهترین منحنی نمایی (مربوط به سیستم رسته ۲) که از اعداد می‌گذرد را استخراج کنید. تبدیل لاپلاس مربوطه را گرفته و پاسخ خروجی آن را برای ورودی پله بدست آورید و با قسمت قبل مقایسه کنید.

خواسته ها

۱- دلیل انتخاب ورودی ضربه به سیستم مدار باز را توضیح دهید.

۲- اگر بنا باشد سیستم در فضای فرکانسی شناسایی شود چه پیشنهادی می دهید؟

C6-آزمایش کنترل دبی

هدف:

هدف از انجام این آزمایش آشنایی با سیستم‌های کنترلی است که در آن‌ها حرکت سیال مورد بررسی قرار می‌گیرد. مفـاهیمی هم چون کالیبره کردن و کنترل دبی و هم‌چنین کاربرد کنترلر PID مورد بررسی قرار می‌گیرد.

شرح دستگاه:

مخزن تانک	۷۳۴۲۶۲
Cassey-Lab	۵۲۴۱۱
کنترلر PID	۷۳۴۰۶۹
منبع تغذیه	۷۲۶۸۶
تغییر دهنده ی ولتاژ	۷۳۴۰۲
تولید کننده‌ی سیگنال	۷۳۴۴۰

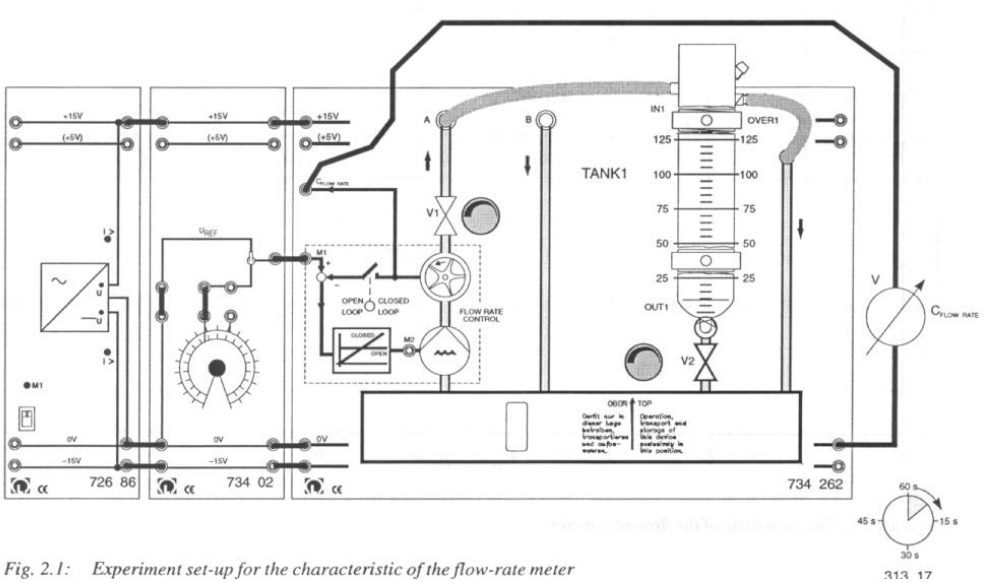


Fig. 2.1: Experiment set-up for the characteristic of the flow-rate meter

آزمایش ۱- کالیبره کردن دستگاه کنترل دبی:

دستگاه اندازه‌گیری دبی از نوع آسیاب بادی است و از جمله دستگاه‌های اندازه‌گیری غیر مستقیم حجمی است. در این دستگاه حجم مایع عبور کننده از مقطع یک لوله با اندازه‌گیری سرعت سیال به عنوان متغیر واسطه محاسبه می‌شود. در این آزمایش سرعت چرخشی آسیاب بادی متناسب با دبی سیال است.

- مخزن را خالی کنید و شیر خروج سیال از مخزن را ببندید.
- پمپ را روشن کنید و ولتاژ خروجی دستگاه اندازه‌گیری دبی را بر حسب حجم پر شده در واحد زمان یادداشت کنید. برای این کار، ولتاژ ورودی پمپ را پله به پله تغییر دهید و در هر حالت اجازه دهید سیستم به حالت یکنواخت خود برسد آنگاه زمان لازم برای ورود مقدار مشخصی از سیال به مخزن را اندازه‌گیری کنید. از تقسیم آن حجم مشخص بر زمان، دبی متوسط مجموعه به دست می‌آید.
- فرآیند بالا را برای حالت رفت و برگشت (یعنی وقتی ولتاژ از کم به سمت زیاد می‌رود و برعکس) تکرار کنید و نتایج را مقایسه کنید.

خواسته ها

نتایج را بر روی نمودار رسم نمایید و آن را تحلیل کنید.

آزمایش ۲- طراحی کنترل PID

هدف از این آزمایش بررسی اثر مقدار بهره کنترل تناسبی بر روی شکل پاسخ است. پاسخ پله‌ی وارد شده به سیستم را توسط کامپیوتر ذخیره کنید. مطابق دستور العمل طراحی کنترل، ضرایب مناسب برای کنترل P، PI و PID را بیابید. کنترلر P را وارد مدار کنید و پاسخ پله‌ی سیستم را رسم کنید. مقدار بهره‌ی کنترل را آنقدر تغییر دهید تا سیستم به مرز ناپایداری برسد (در این حالت اگر به سیستم اغتشاشی وارد شود سیستم نمی تواند آن را میرا کند و این اغتشاش به صورت نوسانی ادامه می یابد). به ازای مقادیر بین، قبل و بعد از این مقدار بهره پاسخ سیستم مدار بسته را رسم نمایید. همین کار را برای کنترل PI نیز انجام دهید با این تفاوت که بهره‌ی بخش تناسبی را ثابت نگه دارید و فقط بهره بخش انتگرالی را عوض کنید تا به مقدار بحرانی برسید.

آزمایش ۳- بررسی اثر مقدار ورودی مبنا بر روی خصوصیات پاسخ گذرا

برای این منظور سیستم کنترلی را بر روی مقادیر نامی کنترلر PID بگذارید و با پله‌های کوچک ورودی را تغییر دهید و پاسخ پله‌ی سیستم را رسم کنید. ورودی مبنا را روی ۶ ولت و ۸ ولت قرار دهید.

خواسته‌ها:

- در صورت مشاهده رفتار عجیب از سیستم، علت آن را توضیح دهید.

آزمایش ۴- پاسخ سیستم به ورودی نوسانی و بررسی اغتشاش

به کمک تولید کننده سیگنال، به سیستم موجی سینوسی با فرکانسی در حدود ۳.۰ وارد کنید و نمودار پاسخ سیستم در مقابل ورودی را در حضور کنترلرهای گوناگون بررسی کنید. یک بار اغتشاش در جمع‌کننده و بار دیگر آن را در خروجی کنترلر وارد کنید.

خواسته‌ها:

- نتایج حاصله از نمودارهای به دست آمده را شرح دهید.

آزمایش ۵- کنترل سطح مایع

با استفاده المان اندازه‌گیری فشار، یک سیستم کنترلی برای کنترل سطح آب در مخزن طراحی کنید. اثر کنترلرهای P، PI و PID را با وارد کردن هر یک از این کنترلرها به سیستم کنترلی که خودتان بسته اید بررسی کنید.

خواسته‌ها:

- آیا می‌توان با استفاده از کنترلر P به تنهایی خطای ماندگار را به صفر رساند؟ چرا؟
- چه تفاوتی بین سیستم کنترل دبی و کنترلر سطح آب وجود دارد؟

C7 - دستگاه شبیه ساز خطای کنترلر PID

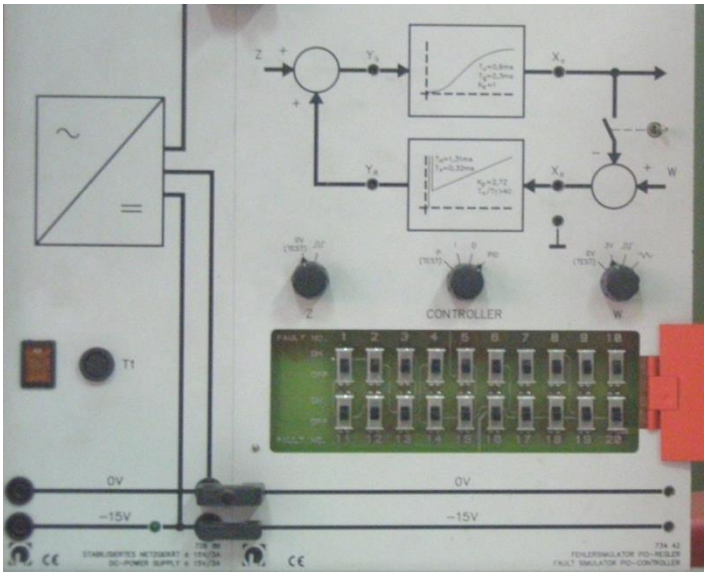
هدف آزمایش:

امروزه سیستم‌های کنترلی PID به طور گسترده در صنایع مورد استفاده قرار می گیرند. در حین استفاده از این سیستم‌ها، ممکن است خطاهایی در بخش‌هایی از مدار اتفاق بیفتد. به عنوان مثال هر یک از اجزاءD,I,P به طور مناسبی عمل نکنند و یا ارتباط مدار در بخشی از سیستم به دلایلی قطع شود. اهداف این آزمایش را می‌توان به شرح زیر ذکر کرد:

- آشنایی با خطاهای احتمالی به وجود آمده در یک سیستم کنترلر PID
- آشنایی با اثر خطاهای به وجود آمده بر روی عملکرد سیستم
- آشنایی با نحوه خطایابی در سیستم با کنترلر PID
- ارزیابی کیفیت کنترل، انحراف، میرایی، زمان تصحیح وتوانایی تشخیص یک سیستم خطادار، با بررسی این عوامل
- ثبت پاسخ پله سیستم و تعیین مشخصات سیستم بر اساس اطلاعات بدست آمده (Identification)

شرح دستگاه:

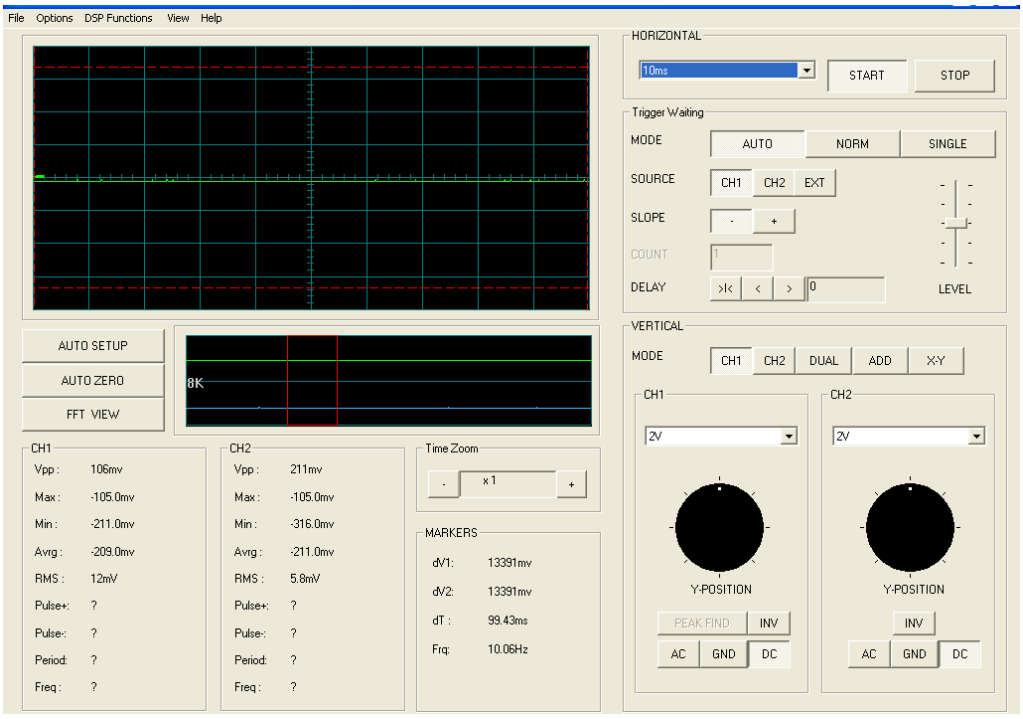
شکل دستگاه در زیر نمایش داده شده است. در این آزمایش یک کنترلر PID و یک سیستم کنترل شده (Plant) در اختیار داریم. توسط کلیدهای شماره‌گذاری شده از ۱ تا ۲۰ می‌توان ۲۰ نوع خطای مختلف را به سیستم اعمال کرد و اثرات خطاهای به وجود آمده در سیستم و چگونگی خطایابی را بررسی کرد.



شکل منبع تغذیه و کنترلر خطای PID

شرح آزمایش:

برای گرفتن نمودارهای لازم ابتدا باید برنامه ی TNM اجراء شود. شکل زیر محیط نرم افزاری TNM را نشان می دهد.

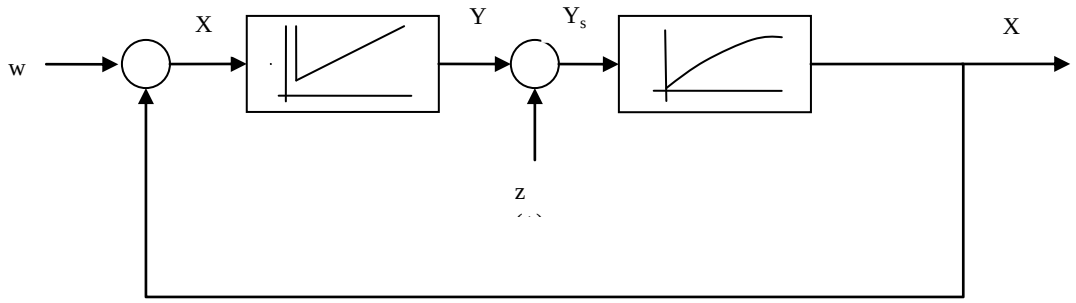


(محیط نرم افزاری TNM)

مقادیر پارامترهای ثابت سیستم عبارتند از:

$T_u = 0.6$ ms	زمان تأخیر
$T_g = 2.3$ ms	زمان تصحیح
$K_s = 1$	ضریب سیستم کنترل شده (plant)
$T_n = 1.3$ ms	زمان جبرانسازی
$T_s = 0.32$ ms	زمان تغییر (Rate time)
$T_v/T_l > 40$	محدوده فرکانس تصحیح موثر المان مشتقگیر با حداکثر gain

دیاگرام جعبه‌ای سیستم کنترلی آزمایش به صورت زیر می‌باشد:



w ورودی و Z اغتشاش (Disturbance) می باشند.

- برای w چهار حالت 0V ،3V تناوبی دندانه اره ای ، تناوبی مربعی
- برای Z دو حالت 0 V و تناوبی مربعی در نظر گرفته شده است.

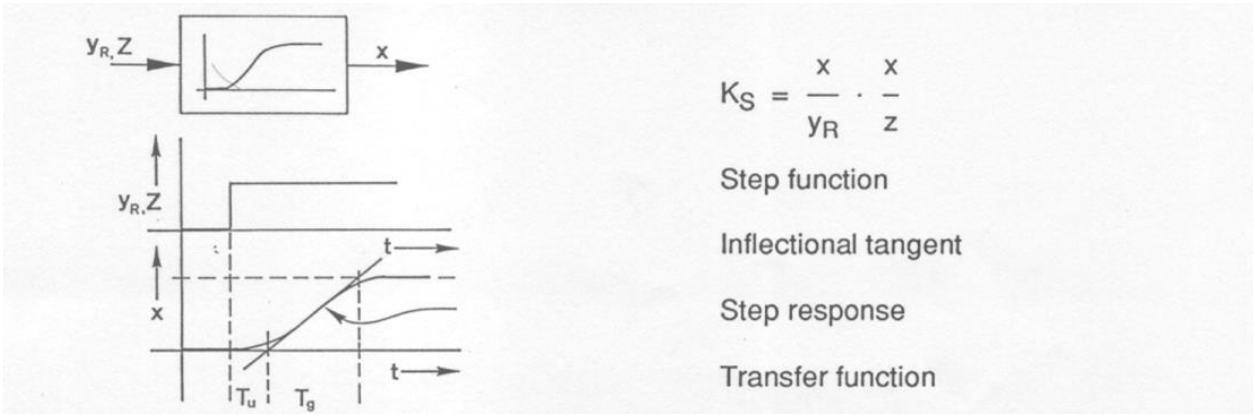
کنترلر نیز می‌تواند توسط کلید دورانی مربوطه به هر یک از حالت‌های P،I D و PID تغییر پیدا کند. توسط یک کلید on /off نیز می توان مدار کنترلی را حلقه بسته یا حلقه باز انتخاب کرد.

تئوری آزمایش:

اغلب فرآیندهای صنعتی را می‌توان با توابع تبدیل ساده‌ای از قبیل سیستم رسته یک و زمان مرده (e^{-Ts}) و یا ترکیبی از آن‌ها با دقت قابل قبولی تقریب زد. در سیستم‌های کنترلی معمولاً تأخیر ناشی از زمان اندازه‌گیری و یا فاصله محرک از فرآیند

می‌باشد و در این حالت تأخیر واقعی در سیستم وجود خواهد داشت. در بعضی حالات نیز درجه سیستم بالاست و تأخیر در پاسخ به وجود می آید که این تأخیر واقعی نمی‌باشد. در صنعت این حالت را با یک سیستم درجه یک و یک تأخیر تقریب می زنند، این تقریب بر اساس پاسخ پله فرآیند قابل استخراج است. در شکل بعد نحوه این تقریب نشان داده شده است. در این شکل خط با ماکزیمم شیب به پاسخ مماس شده است و سپس با توجه به مقادیر K_s، T_u، و T_g که از شکل استخراج می-شوند، تابع تبدیل تقریبی به صورت زیر است:

$$K_s \frac{e^{-T_u s}}{1+T_g s}$$



برای تعیین T_g معیار دیگری نیز وجود دارد که بر اساس ۶۳% مقدار نهایی است. حال برای یافتن پاسخ پله Plant تنظیمات زیر را انجام دهید (در طول آزمایش اسم فایل ثبت شده را برای هر خواسته درون جدول بنویسید.).

آزمایش ۱

آزمایش ۱	شماره و اسم فایل ثبت شده:
تنظیمات: w = ⊓⊔ z = 0 V P Controller Control Loop Open	

خواسته‌ها:

با توجه به شکل ۲ و پاسخ پله ثبت شده توسط اسیلوسکوپ K_s، T_u، و T_g را محاسبه کرده و plant را بدست آورید.

آزمایش ۲- شبیه سازی خطاهای احتمالی PID:

در این قسمت هدف آشنایی با نحوه خطایابی و بررسی اثر انواع خطاهای احتمالی در سیستم کنترلی PID می‌باشد. به این منظور، در هر مرحله با فعال کردن یکی از کلیدهای خطاساز و اندازه‌گیری پارامترهای مختلف Y_s , Y_R , X_d , X_a و مقایسه آن‌ها با حالت بدون خطا، وجود خطا را در سیستم متوجه شده و نوع خطا را تشخیص می‌دهیم و به مطالعه اثرات مختلف این خطا بر روی سیستم می پردازیم. در ادامه برای هر آزمایش تنظیمات مربوطه را انجام داده و جدول را کامل کنید.

در انتهای گزارش فرمول‌ها و نمودارهای کاربردی برای این آزمایش ضمیمه شده است که می‌توانید از آن‌ها برای تحلیل نمودارهای بدست آمده استفاده نمائید.

***دقت داشته باشید که برای هر آزمایش خطای آزمایش قبلی را خاموش کنید و سپس خطای جدید را وارد سازید.**

خطای شماره ۱

(الف) شماره و نام فایل ثبت شده:
تنظیمات: w = 3V z = ⎍ PID - Controller Control Loop **Closed**
محل اندازه گیری: Measurement Point = $\mathbf{X_d}$

(ب) شماره و نام فایل ثبت شده:
تنظیمات: w = 3V z = 0 P - Controller Control Loop **Open**
محل اندازه گیری: Measurement Point = $\mathbf{Y_R}$
خواسته ها: ✓ در حالت **(الف)** بروز خطا ناشی از چه چیزی می باشد؟ ✓ در حالت **(ب)** آیا خطای تولید شده تأثیری در میزان $\mathbf{Y_R}$ داشته است؟ با استفاده از این آزمایش مقدار ضریب تناسبی (K_p) را محاسبه نمایید.

خطای شماره ۲

(الف) شماره و نام فایل ثبت شده:
تنظیمات: w = 3V z = ⊓⊓ PID - Controller Control Loop **Closed**
محل اندازه گیری: Measurement Point = $\mathbf{X_d}$
(ب) شماره و نام فایل ثبت شده:
تنظیمات: w = 3V z = 0V P - Controller Control Loop **Open**
محل اندازه گیری: Measurement Point = $\mathbf{X_a}$
خواسته ها: ✓ با توجه به مقدار X_a و $Y_s = K_s.w$ مقدار K_s را محاسبه نمایید و با مقایسه با مقدار اصلی آن ($K_s = 1$) توضیح دهید که خطای ایجاد شده ناشی از چیست؟

خطای شماره ۵

(الف) شماره و نام فایل ثبت شده:
تنظیمات: w = 3V z = PID - Controller Control Loop **Closed**
محل اندازه گیری: Measurement Point = $\mathbf{X_d}$, $\mathbf{X_a}$
(ب) شماره و نام فایل ثبت شده:
تنظیمات: w = z = 0V P - Controller Control Loop **Open**
محل اندازه گیری: Measurement Point = $\mathbf{Y_R}$
خواسته ها: ✓ نمودار بدست آمده در بخش **(الف)** را تحلیل کنید. ✓ با توجه به مقدار Y_R، مقدار ضریب کنترلر تناسبی (K_p) را در این حالت محاسبه نمایید. با مقایسه با مقدار اصلی آن ($K_p = 2.72$) خطای ایجاد شده ناشی از چه چیزی می باشد؟

خطای شماره ۷

(الف) شماره و نام فایل ثبت شده:
تنظیمات: w = ⊓⊓ z = 0V I - Controller Control Loop **Open**
محل اندازه گیری: Measurement Point = $\mathbf{X_d}$, $\mathbf{Y_R}$
(ب) شماره و نام فایل ثبت شده:
تنظیمات: w = ⩘ z = 0V D - Controller Control Loop **Open**
محل اندازه گیری: Measurement Point = $\mathbf{X_d}$, $\mathbf{Y_R}$
(ج) شماره و نام فایل ثبت شده:
تنظیمات: w = 3V z = ⊓⊓ PID - Controller Control Loop **Closed**
محل اندازه گیری: Measurement Point = $\mathbf{X_d}$
خواسته ها: ✓ در حالت **(الف)** T_n را از رابطه $T_n = K_P/K_I$ محاسبه نمائید. ✓ در حالت **(ب)** T_v را از رابطه $T_v = K_D/K_P$ محاسبه نمائید. ✓ در حالت **(ج)** چنانچه زمان انتگرال T_I را به صورت $T_I = 1 / K_I$ تعریف نماییم، مقدار T_v/T_I را محاسبه نمایید چرا کنترلر P اثر بسیار کمی خواهد داشت؟

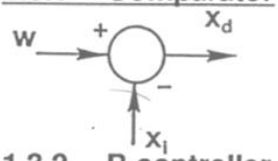
خطای شماره ۱۰

(الف) شماره و نام فایل ثبت شده:
تنظیمات: w =3V z = ⎍ PID - Controller Control Loop **Closed**
محل اندازه گیری: Measurement Point = $\mathbf{X_d}$
(ب) شماره و نام فایل ثبت شده:
تنظیمات: w = 3V z = ⎍ P - Controller Control Loop **Closed**
محل اندازه گیری: Measurement Point = $\mathbf{X_d}$
(ج) شماره و اسم فایل ثبت شده:
تنظیمات: w = 3V z = 0V P - Controller Control Loop **Closed**
محل اندازه گیری: Measurement Point = $\mathbf{X_d}$
خواسته ها: ✓ در حالت **(ج)** چرا در این حالت تابع خطای سیستم بیشتر می شود؟

خطای شماره ۱۲

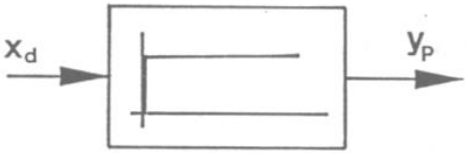
(الف) شماره و نام فایل ثبت شده:
تنظیمات: w =3V z = 0V PID - Controller Control Loop **Closed**
محل اندازه گیری: Measurement Point = $\mathbf{X_d}$
(ب) شماره و نام فایل ثبت شده:
تنظیمات: w = 3V z = 0V P - Controller Control Loop **Closed**
محل اندازه گیری: Measurement Point = $\mathbf{X_d}$
(ج) شماره و اسم فایل ثبت شده:
تنظیمات: w = 0V z = P - Controller Control Loop **Open**
محل اندازه گیری: Measurement Point = $\mathbf{X_a}$
خواسته ها: ✓ برای هر حالت, خطای ایجاد شده را تحلیل کنید.

1.3.1 Comparator



$$x_d = w - x_i$$

1.3.2 P-controller

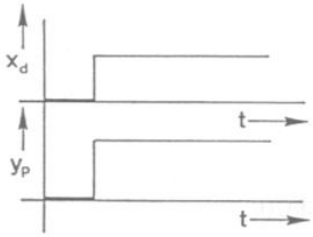


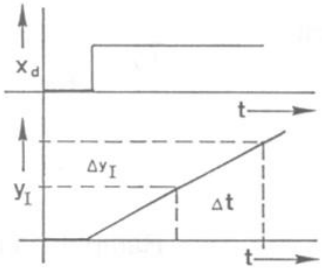
$$y_p = Kp \cdot x_d$$

Step function

Step response

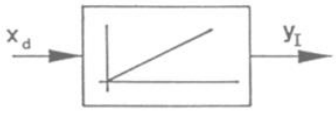
1.3.3 I-Element





$$y_I = K_I \cdot \int_0^T x_d \cdot dt$$

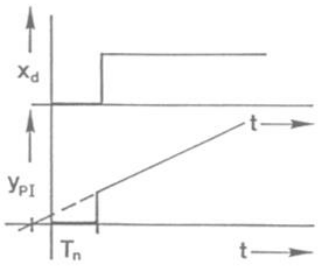
$$K_I = \frac{1}{T_I} = \frac{\Delta y_I}{x_d \cdot \Delta t}$$

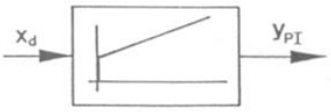


Step function

Step response

1.3.4 PI-Element





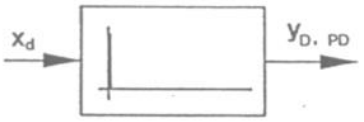
$$y_{PI} = \frac{1}{T_n} \int_0^T x_d \cdot dt$$

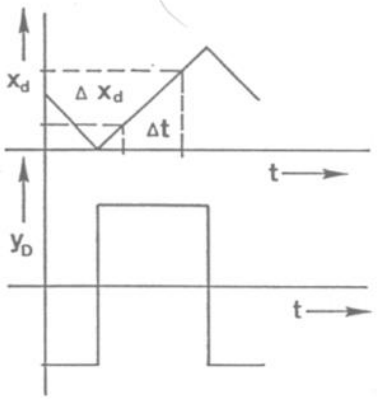
$$T_n = \frac{K_P}{K_I}$$

Step function

Step response

1.3.5 D-Element, PD-Element





$$Y_D = K_D \cdot \frac{d\,x_d}{dt}$$

$$K_D = T_D$$

$$K_D = \frac{y_D \cdot \Delta t}{\Delta x_d}$$

Ramp rise function

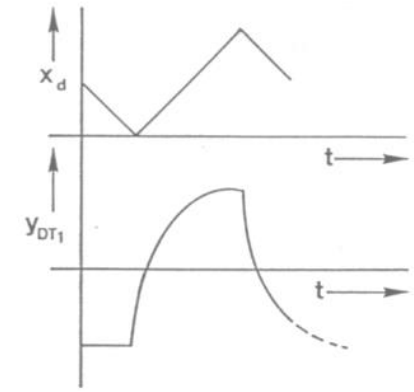
Rise response

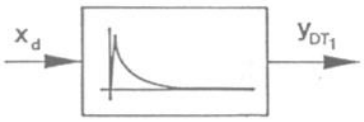
$$\frac{T_V}{T_1} > 40$$

The following applies for the PD element:

$$T_V = \frac{K_D}{K_P}$$

1.3.6 D_t1-Element





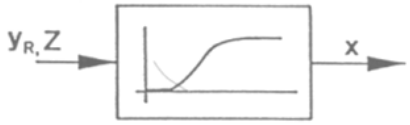
Ramp rise function

Rise response

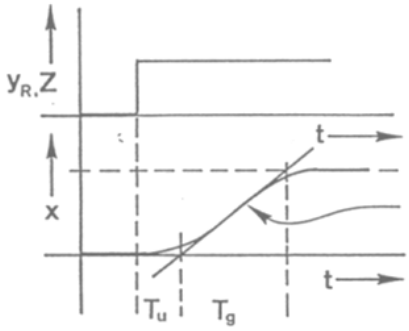
$$\frac{T_V}{T_1} \ll 40$$

1.3.7 Closed loop control circuit

1.3.7.1 Higher-order controlled system with compensation



$$K_S = \frac{x}{y_R} \cdot \frac{x}{z}$$



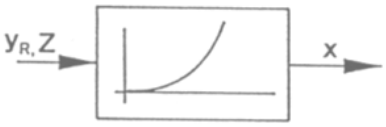
Step function

Inflectional tangent

Step response

Transfer function

1.3.7.2 Higher-order controlled system without compensation



Step function

Step response

Transfer function