



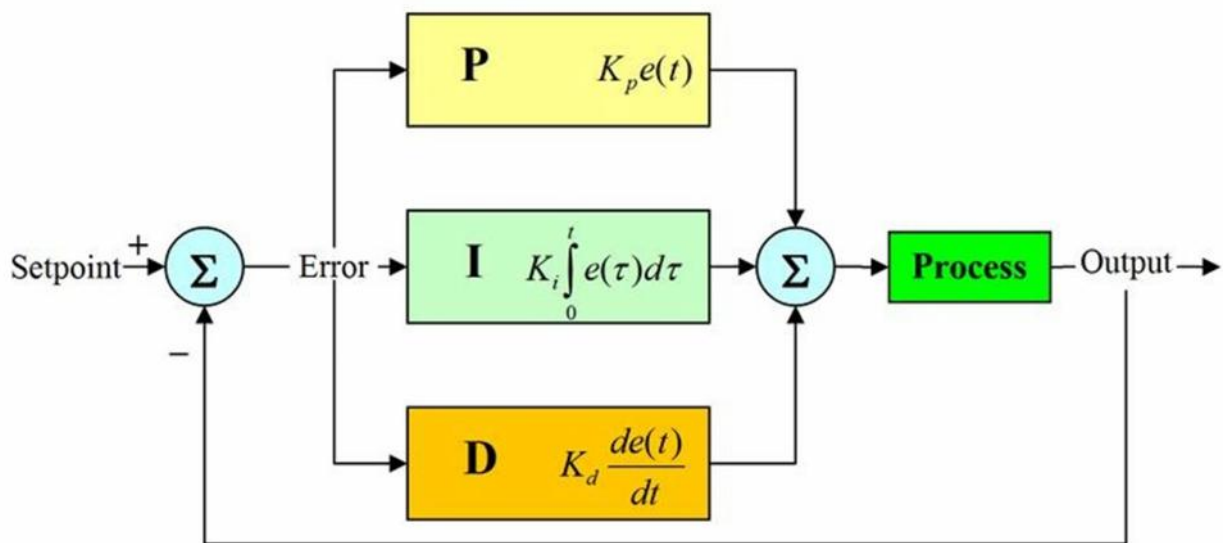
دانشگاه زنجان

دانشکده مهندسی

گروه برق

دستور کار آزمایشگاه سیستم‌های کنترل خطی

(پاییز ۹۸)



نگارنده

دکتر عباس غایبلو

مقدمه

دستور کار حاضر جهت استفاده در آزمایشگاه کنترل خطی نگارش شده است. در نگارش این دستور کار سعی شده است، جنبه‌های مفهومی و عملی کنترل در آزمایشات مورد توجه قرار گیرد همچنین دستورات MATLAB که استفاده زیادی در درس کنترل خطی دارند، علاوه بر آزمایش اول در طول آزمایشات به فراخور موضوع مورد استفاده و سوال قرار گیرند. علاوه بر اینها به جنبه‌های تئوری و شبیه‌سازی توجه بسیار ویژه‌ای شده است، به طوری که این بخش‌ها به صورت پیش‌گزارش طراحی شده است و حداقل در حدود ۷۰ درصد آزمایشات را شامل می‌شوند. این توجه ویژه به جنبه‌های تئوری و شبیه‌سازی علاوه بر اینکه آمادگی کافی قبل از انجام آزمایش را فراهم می‌آورد، محیط انجام آزمایشات و انتظارات را از قالب تکنسینی به مهندسی سوق می‌دهد زیرا سه مرحله یک کار مهندسی که تحلیل، شبیه‌سازی و آزمایش عملی است، اجرا می‌شود و از روال مرسوم آزمایشگاه‌ها که بدون آمادگی اولیه آزمایشات متعدد انجام می‌شود و توجیه نتایج عملی به جای تایید نتایج تحلیلی صورت می‌پذیرد، فاصله می‌گیرد. تعداد آزمایشات برای انجام در یازده جلسه طراحی شده است و با سیستم‌های موجود مطابقت دارد. همچنین سعی شده است برخی از اشکالات منجمله سرعت بسیار کم سیستم‌ها و تعداد زیاد آزمایشات برطرف گردد. در پایان از اساتید گرانقدر و دانشجویان عزیز درخواست می‌شود که هر گونه اشکالات و ایرادات موجود و یا پیشنهادات سازنده خود را به نگارنده منتقل نمایند.

فهرست آزمایشات

آزمایش صفر: آشنایی با مفاهیم اساسی علم کنترل

آزمایش یک: آشنایی با دستورات MATLAB در کنترل خطی

آزمایش دو: بررسی سیستم مرتبه اول حلقه باز

آزمایش سه: کنترل حلقه بسته سیستم مرتبه اول با کنترل کننده P و PI

آزمایش چهار: کنترل حلقه بسته سیستم مرتبه اول با کنترل کننده PD و PID

آزمایش پنج: بررسی سیستم مرتبه دوم حلقه باز

آزمایش شش: کنترل حلقه بسته سیستم مرتبه دوم با کنترل کننده Lead-Lag

آزمایش هفت: کنترل حلقه بسته سیستم مرتبه سه با کنترل کننده PID طراحی شده به روش زیگلر نیکولز

آزمایش هشت: بررسی سیستم سرو موتور حلقه باز

آزمایش نه: کنترل حلقه بسته سرعت سیستم سرو موتور با کنترل کننده PID

آزمایش ده: کنترل حلقه بسته موقعیت سیستم سرو موتور با کنترل کننده PD

آزمایش یازده: بررسی یک PID واقعی الکترونیکی، نیوماتیکی و صنعتی

نکات کلی که باید در این آزمایشگاه رعایت کرد:

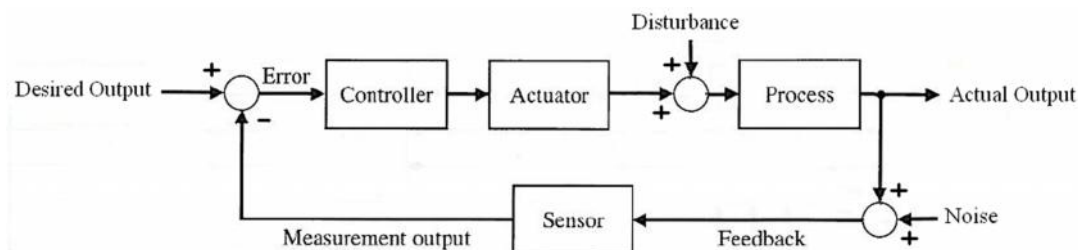
- گزارش کار آزمایش صفر در همان جلسه اول نوشته شده و تحویل داده می‌شود و گزارش کار آزمایش ۱۱ در جلسه امتحان تحویل داده می‌شود.
- در تمامی آزمایشات ۱-۱۰ بخش تئوری و شبیه‌سازی به صورت پیش‌گزارش (قبل از انجام بخش عملی) آماده شده و نتایج بخش عملی در همان جلسه در گزارش کار مذکور وارد شده و تحویل داده می‌شود.
- در تمامی آزمایشات نتایج عددی حاصل از بخش تئوری، شبیه‌سازی و عملی باید در یک جدول واحد آورده شده و مقایسه شوند و علل اختلاف تحلیل مهندسی شود.
- در طراحی کنترل‌کننده‌ها به روش سعی و خطا دقت شود با توجه به عدم امکان اعمال عملی، مقادیر طراحی شده برای K_p و K_i کمتر از ۵۰۰ و برای K_d کمتر از ۱ باشد.
- تنظیم مقادیر پارامترهای ماژول‌ها را طبق دستوالعمل زیر انجام دهید:
- مقدار پارامترهای تنظیمی (a و b) برای ماژول سیستم (E307)، برابر با مقدار مقاومت تنظیمی مربوط به آن بر حسب کیلو اهم است. به عنوان مثال اگر در آزمایشی مقدار خواسته شده برای پارامتر a برابر ۱۰ باشد، مقاومت مربوطه را روی ۱۰ کیلو اهم باید قرار داد.
 - برای تنظیم مقدار پارامترهای تنظیمی (K_p ، K_i و K_d) برای ماژول‌های کنترل‌کننده تناسبی، انتگرالی و مشتقی (E302، E303 و E304)، به عدد سلکتور توجه شود. مقادیر این پارامترها برابر با مقدار مقاومت تنظیمی مربوط به آن بر حسب کیلو اهم ضربدر مقدار سلکتور است.
 - مقدار پارامتر تنظیمی (K_d) برای ماژول کنترل‌کننده مشتقی (E304)، برابر یک صدم مقدار مقاومت تنظیمی مربوط به آن بر حسب کیلو اهم است.
 - برای اینکه بهره ماژول جمع‌کننده (E305)، واحد شود، باید پیچ تنظیم آن در مقدار ماکزیمم تنظیم گردد.
- در تمامی آزمایشات ولتاژ ورودی را مربعی، با دامنه ۱/۵ ولت (بین صفر و ۱/۵ ولت) و فرکانس ۱ هرتز قرار دهید.
- ابتدا اتصالات مربوط به آزمایش را برقرار نموده و پارامترهای مورد نیاز را تنظیم نمایید. آنگاه پس از اطمینان از درستی اتصالات آزمایش و تغذیه‌های هر کدام از ماژول‌ها، اقدام به اتصال برق نمائید.
- در اتصال تغذیه ماژول‌ها به هم دقت شود که به هیچ وجه جایجا وصل نگردند زیرا در این صورت ماژول تغذیه آسیب جدی خواهد دید.
- پس از انجام آزمایشات میز را مرتب و تمامی وسایل را در جای خود قرار دهید. دستورکار حاضر صرفاً برای استفاده در آزمایشگاه می‌باشد. لطفاً آن را از آزمایشگاه خارج نکنید و برای تهیه فایل دستورکار به سایت دانشگاه مراجعه نمائید.

آزمایش صفر: آشنایی با مفاهیم اساسی علم کنترل

هدف از آزمایش: آشنایی با مفاهیم و سیستم‌های کنترل

- ۱- مفهوم سیستم یا Plant یا فرآیند یا Process را شرح دهید.
- ۲- خروجی در یک سیستم چه مفهومی دارد؟ مفهوم سخت‌افزاری خروجی در یک سیستم چه می‌باشد؟
- ۳- ورودی در یک سیستم چه مفهومی دارد؟ تفاوت ورودی کنترلی و ورودی اغتشاشی و ورودی نویز چه می‌باشد؟
- ۴- مدل یک سیستم به چه معنی است و چگونه به دست می‌آید؟ انواع آن چیست و کدام نوع مدل در کنترل خطی استفاده زیادتری دارد؟
- ۵- منظور از مرتبه سیستم چه می‌باشد؟ برای یک سیستم فیزیکی مرتبه سیستم را به صورت شهودی چگونه به دست آوریم؟
- ۶- مفهوم ریاضی و فیزیکی قطب و صفر در یک سیستم چه می‌باشد؟
- ۷- ابزار تابع تبدیل در کنترل برای مطالعه چه سیستم‌هایی است؟ (خطی یا غیر خطی، چند ورودی چند خروجی، متغیر یا نا متغیر با زمان، معین یا نامعین، با یا بدون شرایط اولیه).
- ۸- به صورت شهودی چگونه تشخیص دهیم که سیستم مفروض خطی است یا غیر خطی؟
- ۹- به صورت شهودی چگونه تشخیص دهیم که سیستم مفروض متغیر با زمان است یا نامتغیر با زمان؟
- ۱۰- مفهوم کنترل‌کننده در یک سیستم چه می‌باشد؟ چه کنترل‌کننده‌ای خوب است؟ چند کنترل‌کننده نام ببرید.
- ۱۱- مفهوم محرک یا Actuator یا درایور یا تقویت‌کننده یا ... در سیستم کنترل چیست و به چه منظوری به کار می‌رود؟
- ۱۲- مفهوم سنسور یا حسگر یا مبدل یا Transducer در یک سیستم کنترل چیست؟
- ۱۳- پس‌خورد یا feedback به چه مفهومی است و چه تفاوتی با پیش‌خورد یا feedforward دارد؟ مزایای فیدبک چیست؟
- ۱۴- به صورت شهودی بگوئید فیدبک منفی چرا باعث پایداری و فیدبک مثبت باعث ناپایداری می‌شود؟
- ۱۵- تعریف پایداری و ناپایداری در کنترل خطی چیست؟
- ۱۶- مفهوم فیزیکی پایداری و ناپایداری چیست؟
- ۱۷- آیا پایداری همواره خوب و ناپایداری همواره بد است؟ برای هر یک مثال نقض بزنید.
- ۱۸- برای سیستم‌های زیر بلوک‌ها و سیگنال‌های سیستم کنترل استاندارد نشان داده شده در شکل زیر را بنویسید.

) کنترل دمای اتاق با بخاری توسط شخص) کنترل دبی خط لوله توسط پمپ
) کنترل تورم توسط دولت) کنترل سرعت خودرو توسط راننده
) کنترل ارتفاع پروازی هواپیما) یک سیستم خودتان مثال بزنید.



- ۱۹- با ماژول‌های مجموعه آموزشی و نحوه کار با اسیلوسکوپ دیجیتال آشنا شوید.

آزمایش اول: آشنایی با دستورات MATLAB در کنترل خطی

برای سیستمی با تابع تبدیلی با ضرایب صورت برابر سه رقم اول شماره دانشجویی از سمت چپ به صورت نزولی و ضرایب مخرج برابر پنج رقم بعدی شماره دانشجویی به صورت نزولی موارد زیر را اعمال کنید.

۱. تابع تبدیل سیستم را تعریف کنید.
 ۲. صفرها و قطب‌های سیستم را محاسبه کرده و پایداری سیستم حلقه باز را بررسی کنید.
 ۳. اندازه و زاویه تابع تبدیل را در $z+3-1$ محاسبه کنید. آیا این نقطه جزء مکان هندسی ریشه‌ها است؟
 ۴. تابع تبدیل را به کسرهای جزئی تجزیه کنید.
 ۵. سیستم را به فضای حالت تبدیل کرده و با محاسبه مقادیر ویژه پایداری سیستم حلقه باز را بررسی کنید.
 ۶. پاسخ به ورودی شیب سیستم حلقه بسته با فیدبک منفی واحد را رسم و خطای حالت ماندگار را به دست آورید.
 ۷. با رسم مکان هندسی ریشه‌ها، محدوده k برای پایداری حلقه بسته را به دست آورید.
 ۸. با رسم منحنی نایکوئیست، درستی محدوده k به دست آمده در بخش قبل را تحقیق کنید.
 ۹. با رسم نمودار بود فرکانس قطع فاز، فرکانس قطع بهره، حاشیه فاز و حاشیه بهره را محاسبه کنید.
 ۱۰. با شبیه‌سازی سیستم در محیط سیمولینک، با سعی و خطا کنترل‌کننده‌ای طراحی کنید که سیستم حلقه بسته به ازای ورودی پله خطای حالت ماندگار زیر ۵ درصد، بالازدگی زیر ۱۰ درصد و زمان نشست زیر ۲ ثانیه داشته باشد.
- توجه: نتایج ۱ تا ۹ را در یک فایل Word (به صورت کد و سپس نتیجه) و نتایج ۱۰ را به صورت فایل سیمولینک تحویل دهید.

راهنمایی: می‌توانید از دستورات زیر برای این تمرین استفاده کنید. برای راهنمایی بیشتر از دستور help استفاده کنید.

توضیح	دستور	توضیح	دستور
محاسبه فرم جردن	$[V,J]=jordan(A)$	تعریف تابع تبدیل با ضرایب	tf (بردار ضرایب مخرج, بردار ضرایب صورت)
پاسخ پله	step (تابع تبدیل)	تعریف تابع تبدیل با صفر و قطب	zpk (بهره, بردار قطب‌ها, بردار صفرها)
پاسخ ضربه	impz (تابع تبدیل)	صفرهای تابع تبدیل	zero (تابع تبدیل)
ضرب دو تابع تبدیل	series (تابع تبدیل ۱, تابع تبدیل ۲)	قطب‌های تابع تبدیل	pole (تابع تبدیل)
جمع دو تابع تبدیل	parallel (تابع تبدیل ۱, تابع تبدیل ۲)	ریشه‌های چند جمله‌ای	roots (بردار ضرایب چند جمله‌ای)
پاسخ به ورودی دلخواه	lsim (زمان, ورودی, تابع تبدیل)	تبدیل تابع تبدیل به صفر و قطب	tf2zp (بردار ضرایب مخرج, بردار ضرایب صورت)
بردارها و مقادیر ویژه	$[V,D]=eig(A)$	محاسبه چند جمله‌ای از ریشه‌ها	poly (بردار ریشه‌های چند جمله‌ای)
مکان هندسی ریشه‌ها	locus (تابع تبدیل)	محاسبه مقدار چند جمله‌ای	polyval (عدد, بردار ضرایب چند جمله‌ای)
نمودار بود	bode (تابع تبدیل)	فضای حالت به صفر و قطب	$[Z,P,K]=ss2zp(A,B,C,D)$
زاویه عدد مختلط	phase (عدد)	صفر و قطب به فضای حالت	$[A,B,C,D]=zp2ss(Z,P,K)$
زاویه عدد مختلط	angle (عدد)	تبدیل تابع تبدیل به فضای حالت	$[A,B,C,D]=tf2ss$ (مخرج ضرایب, ضرایب صورت)
اندازه عدد مختلط	abs (عدد)	تبدیل فضای حالت به تابع تبدیل	$[Num,Den]=ss2tf(A,B,C,D)$
تبدیل رادیان به درجه	rad2deg (عدد)	ضرب دو چند جمله‌ای	conv (ضرایب چند جمله‌ای ۱, ضرایب چند جمله‌ای ۲)
تجزیه به کسرهای جزئی	$[r,p,k]=residue$ (تابع تبدیل)	فیدبک دو تابع تبدیل	feedback (نوع فیدبک, تابع تبدیل ۱, تابع تبدیل ۲)
حد فاز و بهره	$[Gm,Pm,Wcg,Wcp]=margin$ (تابع تبدیل)	نمودار نایکوئیست	nyquist (تابع تبدیل)

آزمایش دوم: بررسی سیستم مرتبه اول حلقه باز

هدف از آزمایش: بررسی اثر محل قطب و مقدار بهره سیستم در مشخصه‌های پاسخ سیستم مرتبه اول در حالت حلقه باز

تئوری:

- ۱- یک سیستم مرتبه اول که در اطراف خود می‌بینید مثال بزنید و استدلال خود را بر مرتبه اول بودن آن شرح دهید.
- ۲- برای سیستم مرحله قبل به صورت شهودی ثابت زمانی و بهره آن را محاسبه و با استدلال بیان کنید.
- ۳- پاسخ سیستم مرتبه اول استاندارد زیر در حوزه زمان به ورودی پله با دامنه مورد نظر را به دست آورده و اثر افزایش هر یک از پارامترهای a ، b و T را روی مشخصه‌های پاسخ از جمله ثابت زمانی و خطای حالت ماندگار تحقیق کنید.



- ۴- به ازای مقادیر زیر ثابت زمانی و خطای حالت ماندگار سیستم به ورودی پله با دامنه مورد نظر را محاسبه کنید.

شماره	a	b	T
۱	۴	۳	۱
۲	۶	۳	۱
۳	۶	۵	۱

شبیه‌سازی:

آزمایشات بخش تئوری را در محیط Simulink به ازای ورودی پله با دامنه مورد نظر شبیه‌سازی کرده و نتایج عددی به دست آمده از شبیه‌سازی (ثابت زمانی و خطای حالت ماندگار) را با تئوری مقایسه کنید.

عملی:

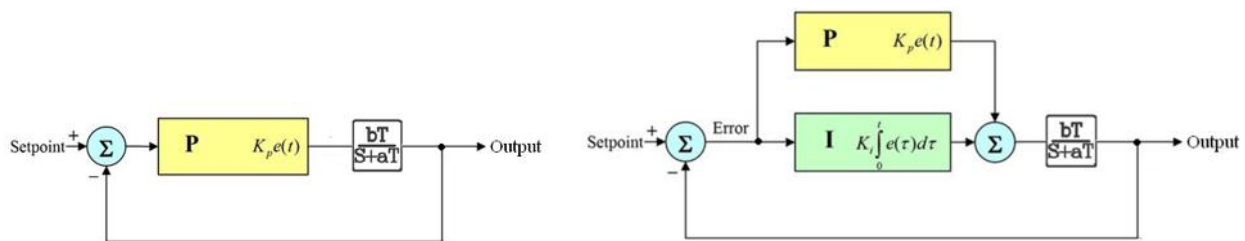
۱. آزمایشات گفته شده را به صورت عملی انجام دهید و نتایج عددی حاصل از آن (ثابت زمانی و خطای حالت ماندگار) را با نتایج تئوری و شبیه‌سازی در یک جدول مقایسه کنید. در صورت اختلاف تحلیل مهندسی خود را ارائه دهید.
۲. با تنظیم مقادیر نامشخص برای a ، b به روش شناسایی پاسخ پله پارامترهای مجهول سیستم (a ، b) را به روش عملی به دست آورده و سپس با اندازه‌گیری مقاومت‌های مربوطه نتیجه را با واقعیت مقایسه کنید.

آزمایش سوم: کنترل حلقه بسته سیستم مرتبه اول با کنترل کننده P و PI

هدف از آزمایش: بررسی اثر ضرایب کنترل کننده‌های P و PI در مشخصه‌های پاسخ سیستم مرتبه اول در حالت حلقه بسته

تئوری:

۱. ساختار یک کنترل کننده P، PI، PID واقعی (مکانیکی یا الکترونیکی یا کد و...) را از کتب کنترل خطی یا صنعتی شرح دهید.
۲. اثرات عمومی افزایش و کاهش هر یک از ضرایب کنترل کننده PID روی پاسخ سیستم‌ها (پایداری، خطای حالت ماندگار، نویزپذیری، سرعت پاسخ، پهنای باند، حد بهره، حد فاز، نوسان و...) را از مراجع مختلف تحقیق و ذکر کنید.
۳. پاسخ سیستم کنترل حلقه بسته مرتبه اول با کنترلرهای تناسبی و تناسبی-انتگرالی را در حوزه زمان به ورودی پله با دامنه مورد نظر به دست آورده و اثر افزایش یا کاهش هر یک از پارامترهای a ، b ، T ، K_P و K_I را روی مشخصه‌های پاسخ از جمله ثابت زمانی، خطای حالت ماندگار، بالازدگی، زمان نشست و زمان خیز تحقیق کنید.



شبیه‌سازی:

۱. با شبیه‌سازی سیستم مرتبه اول با پارامترهای داده شده در جدول، کنترل کننده مربوطه را با سعی و خطا طوری طراحی کنید که پاسخ، مشخصات خواسته شده را به صورت حداقلی دارا باشد.

شماره	کنترلر	a	b	T	خطای حالت ماندگار (%)	زمان خیز ۰ تا ۹۰ درصد	بالازدگی (%)	K_P	K_I	ess	tr	MP
۱	P	۲	۵	۱	۵	۰/۰۵	۰					
۲	P	۵	۱۰	۱۰	۵	۰/۰۵	۰					
۳	PI	۴	۴	۱	۰	۰/۱	۱۰					
۴	PI	۱۰	۱۰	۱۰	۰	۰/۱	۲۰					

۲. با بازنویسی معادله مشخصه و رسم مکان هندسی ریشه‌ها برای مورد سوم جدول، اثر تغییرات هر یک از ضرایب کنترل کننده را با فرض ثابت بودن دیگری بر روی محل قطب‌های حلقه بسته و نوع پاسخی که انتظار دارید، تحقیق کنید.

عملی:

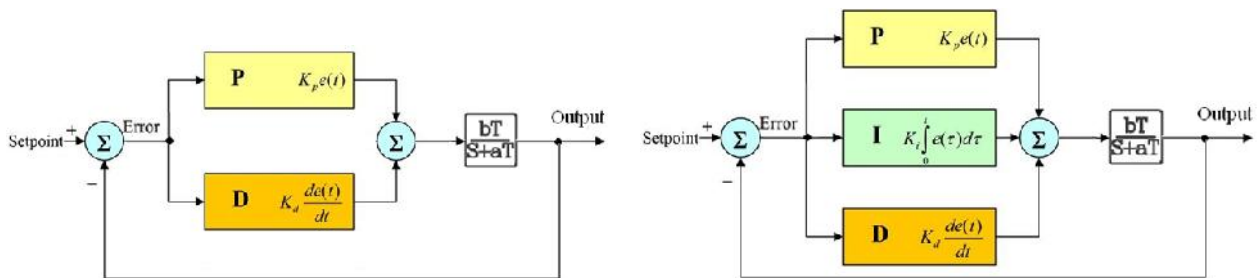
آزمایشات گفته شده را به صورت عملی انجام دهید و نتایج عددی حاصل از آن (زمان خیز، خطای حالت ماندگار، بالازدگی) را با نتایج تئوری و شبیه‌سازی در یک جدول مقایسه و در صورت اختلاف، تحلیل مهندسی خود را ارائه دهید.

آزمایش چهارم: کنترل حلقه بسته سیستم مرتبه اول با کنترل کننده PD و PID

هدف از آزمایش: بررسی اثر ضرایب کنترل کننده‌های PD و PID در مشخصه‌های پاسخ سیستم مرتبه اول در حالت حلقه بسته

تئوری:

۱. پاسخ سیستم کنترل حلقه بسته مرتبه اول با کنترلرهای تناسبی-مشتقی و تناسبی-انتگرالی-مشتقی را در حوزه زمان به ورودی پله با دامنه مورد نظر به دست آورده و اثر افزایش یا کاهش هر یک از پارامترهای K_P و K_I و K_D را روی مشخصه‌های پاسخ از جمله ثابت زمانی، خطای حالت ماندگار، بالادگی، زمان نشست و زمان خیز تحقیق کنید.



شبیه‌سازی:

۱. با شبیه‌سازی سیستم مرتبه اول با پارامترهای داده شده در جدول، کنترل کننده مربوطه را طوری طراحی کنید که پاسخ، مشخصات خواسته شده را به صورت حداقلی دارا باشد.

شماره	کنترلر	a	b	T	خطای حالت ماندگار (%)	زمان خیز ۰ تا ۹۰ درصد	بالادگی (%)	K_P	K_I	K_D	ess	tr	MP
۱	PD	۲	۵	۱	۱۰	۰/۱	۰						
۲	PD	۵	۱۰	۱۰	۱۰	۰/۱	۰						
۳	PID	۴	۴	۱	۰	۰/۲	۲۰						
۴	PID	۱۰	۱۰	۱۰	۰	۰/۲	۲۰						

۲. با بازنویسی معادله مشخصه و رسم مکان هندسی ریشه‌ها برای مورد دوم جدول، اثر تغییرات هر یک از ضرایب کنترل کننده را با فرض ثابت بودن بقیه پارامترها بر روی محل قطب‌های حلقه بسته و نوع پاسخی که انتظار دارید، تحقیق کنید.

۳. با محاسبه حد فاز و بهره برای هر یک از آزمایشات بر روی ارتباط این مفاهیم با مشخصه‌های زمانی پاسخ بحث کنید.

عملی:

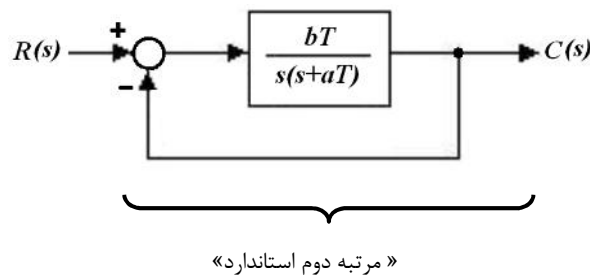
آزمایشات گفته شده را به صورت عملی انجام دهید و نتایج عددی حاصل از آن (زمان خیز، خطای حالت ماندگار، بالادگی) را با نتایج تئوری و شبیه‌سازی در یک جدول مقایسه کنید. در صورت اختلاف تحلیل مهندسی خود را ارائه دهید.

آزمایش پنجم: بررسی سیستم مرتبه دوم استاندارد حلقه باز

هدف از آزمایش: بررسی اثر محل قطب‌ها و مقدار بهره سیستم در مشخصه‌های پاسخ سیستم مرتبه دوم در حالت حلقه باز

تئوری:

- ۱- یک سیستم مرتبه دوم که در اطراف خود می‌بینید مثال بزنید و استدلال خود را بر مرتبه دوم بودن آن شرح دهید.
- ۲- برای سیستم مرحله قبل به صورت شهودی زمان خیز، بالازدگی و بهره آن را محاسبه و با استدلال بیان کنید.
- ۳- پاسخ سیستم مرتبه دوم استاندارد زیر در حوزه زمان به ورودی پله با دامنه مورد نظر را به دست آورده و اثر تغییر هر یک از پارامترهای a ، b و T را روی مشخصه‌های پاسخ از جمله زمان خیز، زمان نشست، درصد بالازدگی، زمان پیک و خطای حالت ماندگار به ورودی پله و شیب واحد را تحقیق کنید.



- ۴- به ازای های جدول زیر مقادیر a ، b و T را بدست آورید. محل قطب‌های حلقه بسته، فرکانس طبیعی نامیرا، فرکانس میرایی، زمان‌های خیز، نشست و پیک، درصد بالازدگی به ورودی پله با دامنه مورد نظر و خطای حالت ماندگار به ورودی شیب واحد را محاسبه کنید.

شماره	a	b	T
=0			
$0 < 1$			
=1			
> 1			

شبیه‌سازی: ۱. آزمایشات بخش تئوری را در محیط Simulink به ازای ورودی پله با دامنه مورد نظر شبیه‌سازی کرده و نتایج عددی به دست آمده از شبیه‌سازی (زمان‌های خیز، نشست و پیک، درصد بالازدگی) را با تئوری مقایسه کنید.

۲. با رسم مکان هندسی ریشه‌ها برای بهره حلقه، اثر تغییرات پارامتر b را برای آزمایش ۲ روی محل قطب‌ها و پاسخ مورد انتظار تحقیق کنید.

عملی: ۱. آزمایشات گفته شده را به صورت عملی انجام دهید و نتایج عددی به دست آمده (زمان‌های خیز، نشست و پیک، درصد بالازدگی) را با نتایج تئوری و شبیه‌سازی در یک جدول مقایسه کنید. در صورت اختلاف تحلیل مهندسی خود را ارائه دهید.

۲. با تنظیم مقادیر نامشخص برای a ، b به روش شناسایی پاسخ پله، پارامترهای مجهول سیستم (a ، b) را به روش عملی به دست آورده و سپس با اندازه‌گیری مقاومت‌های مربوطه نتیجه را با واقعیت مقایسه کنید.

آزمایش ششم: کنترل حلقه بسته سیستم مرتبه دوم با کنترل کننده Lead و Lag

هدف از آزمایش: بررسی و مقایسه پاسخ حلقه بسته سیستم مرتبه دوم با کنترل کننده‌های Lead و Lag

تئوری:

۱. ویژگیها و مزایای و معایب کنترل کننده‌های Lead و Lag را بنویسید.
۲. کنترل کننده‌های صنعتی PI، PD و PID چه ارتباطی به کنترلرهای Lead و Lag دارند؟
۳. مراحل طراحی کنترل کننده Lead و Lag به روش مکان هندسی ریشه‌ها را توضیح دهید.
۴. برای سیستم با تابع تبدیل حلقه باز $\frac{2}{s(s+8)}$ کنترل کننده‌ای طراحی کنید که پاسخ حلقه بسته دارای بالازدگی ۱۰ درصد و زمان نشست ۰/۵ ثانیه باشد.
۵. چقدر انتظار رسیدن به پاسخ مد نظر با کنترلر طراحی شده را دارید؟ چرا؟
۶. اگر حداقل ثابت خطای سرعت برابر ۱۰ مد نظر باشد آیا کنترلر طراحی شده توانایی برآورده کردن این خواسته را دارد؟ در صورت پاسخ منفی چه پیشنهادی دارید؟

شبیه‌سازی:

سیستم حلقه بسته با کنترل کننده طراحی شده را شبیه‌سازی کنید و صحت موارد خواسته شده را تحقیق کنید.

عملی:

سیستم حلقه بسته با کنترل کننده طراحی شده را به صورت عملی پیاده‌سازی کرده و نتایج عددی به دست آمده (زمان نشست، درصد بالازدگی و خطای حالت ماندگار) را با نتایج تئوری و شبیه‌سازی در یک جدول مقایسه کنید. در صورت اختلاف تحلیل مهندسی خود را ارائه دهید.

آزمایش هفتم: کنترل حلقه بسته سیستم مرتبه سه با کنترل کننده PID طراحی شده به روش زیگلر-نیکولز

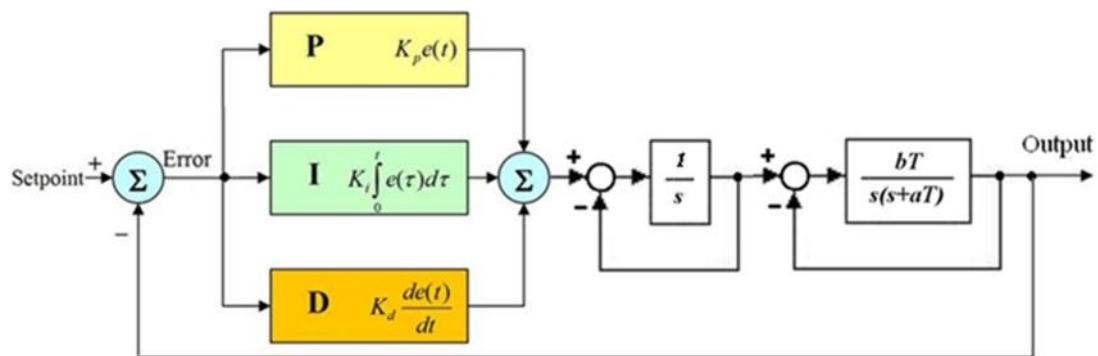
هدف از آزمایش: بررسی و مقایسه پاسخ حلقه بسته سیستم مرتبه سه با کنترلرهای طراحی شده به روش زیگلر-نیکولز

تئوری:

دو روش طراحی کنترل کننده‌های P، PI و PID به روش زیگلر-نیکولز را از مراجع بنویسید.

شبیه‌سازی:

- به ازای مقادیر جدول زیر، ضرایب کنترل کننده PID را به سه روش زیگلر-نیکولز روش اول (حوزه زمان)، زیگلر-نیکولز روش دوم (حوزه فرکانس) و سعی و خطا طراحی کرده و سیستم حلقه بسته را شبیه‌سازی نمایید. کیفیت پاسخ (زمان‌های خیز، نشست و درصد بالازدگی و خطای حالت ماندگار) را در سه روش را به دست آورده و در جدول نوشته و با هم مقایسه کنید.



e _{ss}	MP	t _s	t _r	K _d	K _i	K _p	نتایج شناسایی		روش	T	b	a	شماره
							K یا	T یا a					
									روش اول ZN	۱	۱۵	۵	۱
									روش دوم ZN				
									سعی و خطا				
									روش اول ZN	۱	۱۵	۱۰	۲
									روش دوم ZN				
									سعی و خطا				

۲. برای دو آزمایش فوق ثابت زمانی شناسایی شده در روش اول را با کاهش مرتبه محاسبه و با شبیه‌سازی مقایسه کنید.

۳. برای دو آزمایش فوق بهره و دوره تناوب نوسانات نامبرای شناسایی شده در روش دوم را با راث، مکان، بود و نایکوئیست به دست آورده و با مقادیر به دست آمده شبیه‌سازی مقایسه کنید.

عملی:

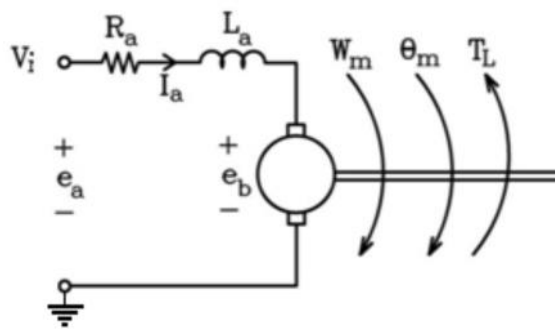
آزمایشات گفته شده را به صورت عملی انجام دهید و نتایج عددی به دست آمده (زمان‌های خیز و نشست، درصد بالازدگی و خطای حالت ماندگار) را با نتایج تئوری و شبیه‌سازی در یک جدول مقایسه کنید. در صورت اختلاف، تحلیل مهندسی خود را ارائه دهید.

آزمایش هشتم: بررسی سیستم سرو موتور DC حلقه باز

هدف از آزمایش: مدلسازی و بررسی سیستم سرو موتور DC

تئوری:

- ۱- تابع تبدیل یک موتور DC تحریک مستقل با کنترل ولتاژ آرمیچر و خروجی سرعت زاویه‌ای و سپس با خروجی موقعیت زاویه‌ای را با نوشتن معادلات الکتریکی، مغناطیسی و مکانیکی حاکم به دست آورید.
- ۲- پارامترهای موجود در مدل (مقاومت و اندوکتانس آرمیچر، ممان اینرسی و...) را برای موتور DC واقعی از دیتاشیت آن و یا نرم‌افزارهای شبیه‌ساز بیابید و با توجه به آنها ثابت زمانی و بهره DC تقریب مرتبه اول مدل (خروجی سرعت) را محاسبه کنید.
- ۳- چند سیستم کنترل واقعی که از موتور برای کنترل یک متغیر فیزیکی استفاده می‌کنند، مثال بزنید.
- ۴- از کتب ابزار دقیق، ساختار و اصول عملکرد دو سنسور سرعت زاویه‌ای و دو سنسور موقعیت زاویه‌ای را تشریح کنید.



شبیه‌سازی:

مدل الکترومغناطیسی-مکانیکی موتور DC مرحله دوم بخش تئوری را در محیط Simulink شبیه‌سازی کرده و با اعمال ولتاژ نامی پله، ثابت زمانی و بهره DC آن را با تئوری مقایسه کنید.

عملی:

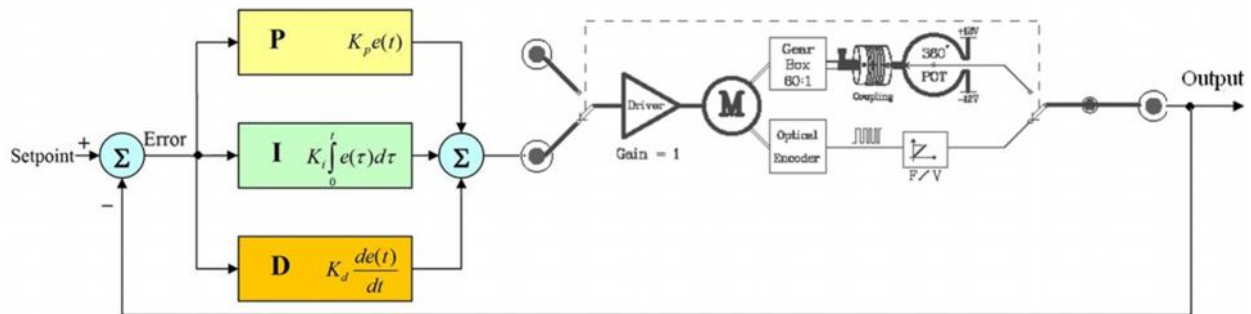
۱. با اعمال ولتاژ پله‌ای به موتور DC موجود، ثابت زمانی و بهره DC آن را شناسایی کنید.
۲. سنسور سرعت و موقعیت موجود بر روی سیستم سرو موتور را به طور کامل تشریح کنید.

آزمایش نهم: کنترل حلقه بسته سرعت سیستم سرو موتور با کنترل کننده PID

هدف از آزمایش: بررسی اثر ضرایب کنترل کننده PID در مشخصه‌های پاسخ سیستم کنترل سرعت سرو موتور

تئوری:

- برای مدل شناسایی شده موتور DC در آزمایش قبل، به روش جابجایی قطب و صفر کنترل کننده PID را طوری طراحی کنید که قطب‌های حلقه بسته در $\pm 2j$ قرار گیرند و ثابت خطای سرعت (k_v) برابر ۲۰ باشد.
- مشخصه‌های پاسخ از جمله خطای حالت ماندگار، بالازدگی، زمان نشست و زمان خیز را با توجه به محل قطب‌های غالب محاسبه نمایید.
- چقدر انتظار دارید پاسخ مشخصه‌های محاسبه شده را دارا باشد. در این مورد بحث کنید.



شبیه‌سازی:

- با شبیه‌سازی سیستم کنترل سرعت حلقه بسته سرو موتور DC با مدل شناسایی شده موتور DC در آزمایش قبل مشخصه‌های پاسخ از جمله خطای حالت ماندگار، بالازدگی، زمان نشست و زمان خیز را به دست آورده و با مقادیر محاسبه شده در بخش تئوری مقایسه کنید.
- رسم مکان هندسی ریشه‌ها تحقیق کنید که محل قطب‌های حلقه بسته برای بهره واحد در $\pm 2j$ قرار دارند.
- محدوده پایداری سیستم حلقه بسته را به ازای تغییرات K_p با معیار پایداری نایکوئیست، مکان هندسی ریشه‌ها، نمودارهای بود و روش راث بدست آورید.
- به روش سعی و خطا کنترل کننده PID با زمان پیک حداکثر ۰/۱ ثانیه، زمان نشست حداکثر ۱/۵ ثانیه و بالازدگی حداکثر ۱۰ درصد طراحی کنید و مقادیر آنها را برای کنترلر طراحی شده گزارش کنید.

عملی:

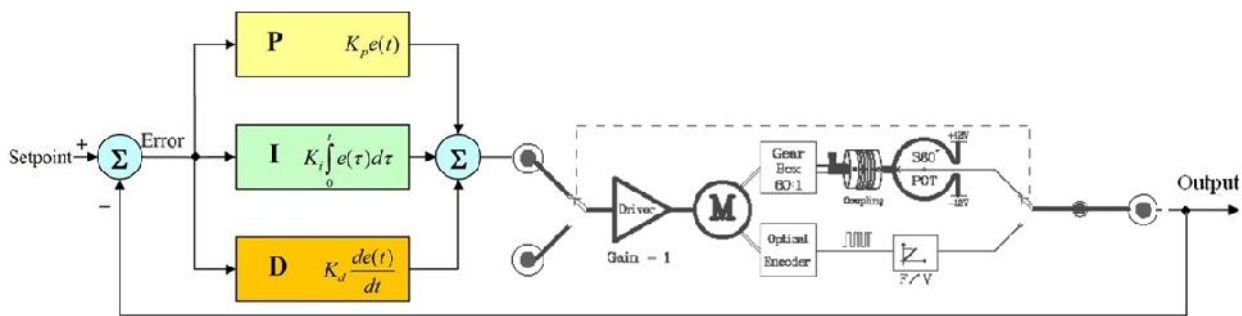
- سیستم کنترل سرعت حلقه بسته سرو موتور DC را به ازای دو کنترل کننده طراحی شده پیاده‌سازی کنید و نتایج عددی حاصل از آن (خطای حالت ماندگار، بالازدگی، زمان نشست و زمان خیز) را با نتایج تئوری و شبیه‌سازی در یک جدول مقایسه کنید. در صورت اختلاف تحلیل مهندسی خود را ارائه دهید.
- محدوده پایداری به دست آمده را به صورت عملی تحقیق کنید.

آزمایش دهم: کنترل حلقه بسته موقعیت سیستم سرو موتور با کنترل کننده PD

هدف از آزمایش: بررسی اثر ضرایب کنترل کننده PD در مشخصه‌های پاسخ سیستم کنترل موقعیت سرو موتور

تئوری:

- برای مدل شناسایی شده موتور DC در آزمایش هشتم به همراه یک انتگرالگیر برای خروجی موقعیت به همراه بهره مربوط به گیربکس و سنسور موقعیت $(\frac{1}{6} \times \frac{2}{\pi})$ ، به روش جابجایی قطب و صفر کنترل کننده PD را طوری طراحی کنید که قطب‌های حلقه بسته در $2.5 \pm j5$ قرار گیرند.
- مشخصه‌های پاسخ از جمله خطای حالت ماندگار، بالازدگی، زمان نشست و زمان خیز را با توجه به محل قطب‌های غالب محاسبه نمایید.
- چقدر انتظار دارید پاسخ مشخصه‌های محاسبه شده را دارا باشد. در این مورد بحث کنید.
- چرا در این سیستم جمله انتگرالگیر در کنترل کننده استفاده نشده است؟
- آیا پاسخ در ابتدا Under Shoot دارد؟ چرا؟



شبیه‌سازی:

- با شبیه‌سازی سیستم کنترل موقعیت حلقه بسته سرو موتور DC، مشخصه‌های پاسخ از جمله خطای حالت ماندگار، بالازدگی، زمان نشست و زمان خیز را به دست آورده و با مقادیر محاسبه شده در بخش تئوری مقایسه کنید.
- با رسم مکان هندسی ریشه‌ها تحقیق کنید که محل قطب‌های حلقه بسته در $2.5 \pm j5$ قرار دارند.
- محدوده پایداری سیستم حلقه بسته را به ازای تغییرات K_d با نمودارهای نایکوئیست، مکان، بود و روش راث بدست آورید.
- به روش سعی و خطا کنترل کننده PD با زمان پیک 0.1 ثانیه، زمان نشست 0.5 ثانیه و بالازدگی 15 درصد طراحی کنید.

عملی:

- سیستم کنترل موقعیت حلقه بسته سرو موتور DC را به ازای دو کنترل کننده طراحی شده پیاده‌سازی کنید و نتایج عددی حاصل از آن (خطای حالت ماندگار، بالازدگی، زمان نشست و زمان خیز) را با نتایج تئوری و شبیه‌سازی در یک جدول مقایسه کنید و در صورت اختلاف تحلیل مهندسی خود را ارائه دهید.
- محدوده پایداری به دست آمده را به صورت عملی تحقیق کنید.

آزمایش یازدهم: بررسی یک PID واقعی دیجیتال، الکترونیکی، نیوماتیکی و صنعتی

هدف از آزمایش: بررسی کنترل‌کننده‌های PID واقعی

- ۱- کد مربوط به PID دیجیتال را به صورت کد MATLAB بنویسید و برای یک سیستم مشخص نتایج شبیه‌سازی با بلوک PID را با کد نوشته شده مقایسه کنید و در صورت اختلاف علت آن را تحلیل کنید.
- ۲- یک مدار الکترونیکی کنترل‌کننده PID را از مراجع به طور کامل تشریح کرده و مقدار قطعات را بر حسب ضرایب کنترل‌کننده به دست آورید.
- ۳- ساختار یک کنترل‌کننده PID نیوماتیکی را از کتاب کنترل صنعتی یا مراجع دیگر به طور کامل تشریح کرده و نحوه تنظیم ضرایب کنترل‌کننده را شرح دهید.
- ۴- دیتا شیت یک نمونه PID صنعتی را به طور کامل مطالعه کنید. مشخصه‌های فنی آن را ذکر کرده و نحوه تنظیم ضرایب کنترل‌کننده را شرح دهید.
- ۵- در مورد مزایا و معایب هر کدام از روش‌های پیاده‌سازی PIDها بحث کنید.