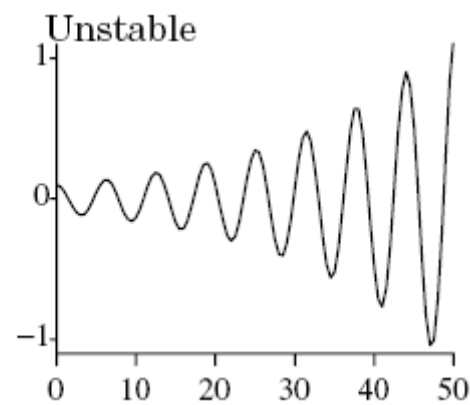
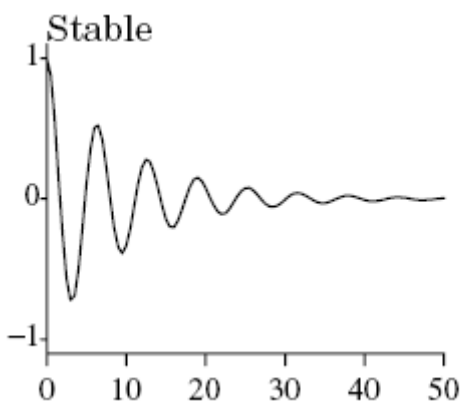
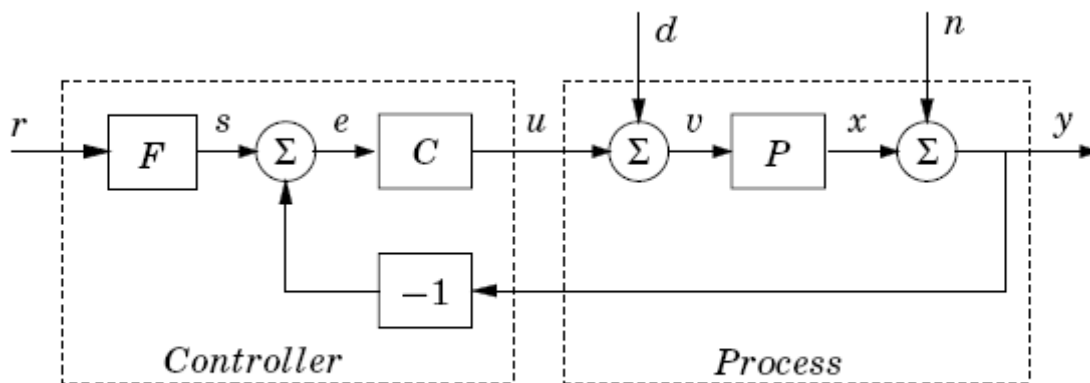




دانشگاه فردوسی
دانشکده مهندسی
گروه برق

دستور کار آزمایشگاه سیستمهای کنترل خطی



بنام خدا

تدوین دستورکار آزمایشگاه ویژگیهایی دارد که از طرفی باید حتی الامکان با سرفصل درس مربوطه منطبق باشد و از طرف دیگر با توجه به ابزار آزمایشگاهی موجود قابل اجرا باشد. واضح است که ابزار موجود در آزمایشگاه قالب کار را تعیین می کند و محدودیتهای اساسی را اعمال می نماید. دستورکار حاضر جهت درس آزمایشگاهی سیستمهای کنترل خطی تهیه و تدوین شده است. متن قبلی که حدود ۱۵ سال پیش تهیه شده بود نقایصی داشت که سعی شده است در این متن مرتفع شود. در این متن سعی شده است مطالب سرفصل درس کنترل خطی بطور کامل پوشش داده شود ضمن اینکه درک مناسبی نیز از نکاتی که در تجربه عملی ممکن است مورد نیاز باشد بدست آید. همچنین سعی شده است عمده مطالب پیش زمینه در متن گنجانده شود و دستورکار از این جهت کمتر نیاز به مراجع بیرونی دارد.

در این دستورکار در ابتدا سعی می شود رابطه بین قطبها و صفرهای یک سیستم خطی با پاسخهای زمانی (ورودی پله) و فرکانسی مرور شود. به این ترتیب انتظار می رود دانشجو بتواند تابع انتقال یک سیستم ناشناخته را بکمک ابزار ساده ای چون سیگنال ژنراتور و اسیلوسکوپ با دقت قابل تحمل تعیین نماید. سپس طی چند آزمایش شبیه سازی آنالوگ و کامپیوتری، طراحی و پیاده سازی کنترل کننده ها بر روی سیستمهای ساده و کمی پیچیده خطی تجربه می شوند. در نهایت دانشجویان درگیر فرآیند تعیین تابع انتقال و کنترل بر روی یک نمونه واقعی سیستم سروموتور DC نیز خواهند شد.

در هر آزمایش لازم است دانشجویان نتایج را درون دستورکار وارد کنند و محاسبات بعدی و نمودارها نیز حتی الامکان درون همین دستورکار انجام شوند. در پایان هر عنوان آزمایش نتایج وارد شده در دستورکار بررسی می شوند. همچنین از دانشجو انتظار می رود بتواند این نتایج را بطور شفاهی تحلیل نماید.

نمره نهایی آزمایشگاه شامل ۱۰ نمره بابت فعالیت آزمایشگاهی، نتایج آزمایشها و توان تحلیل نتایج (شفاهی) و ۱۰ نمره امتحان عملی پایان ترم خواهد بود.

امید آنکه دانشجویان با گذراندن آیین آزمایشگاه درک مناسبی از مطالب کنترلی تئوری و عملی بدست آورند.

مجید شرکاء

تابستان ۱۳۸۶

۱- آشنایی با سیستمهای مرتبه اول، دوم و سوم

سیستمهایی که قطبهایشان در نیم صفحه سمت چپ صفحه فرکانس مختلط s قرار دارند (دارای بخش حقیقی منفی هستند)، می شود.

۱-۱- مقدمه

در مبحث سیستمهای خطی، شناخت سیستمها بخش پایه کار است. می دانیم یکی از روشهای مشخص نمودن یک سیستم خطی SISO با قطبها، صفرها و بهره انتقال در قالب تابع انتقال (ناشی از تبدیل لاپلاس یا فوریه) به صورتهای $G(s) = K \frac{\prod (s + z_i)}{\prod (s + p_j)}$ یا $G(j\omega) = K \frac{\prod (j\omega + z_i)}{\prod (j\omega + p_j)}$ است. روشهای دیگری نیز برای نشان دادن سیستمها (خطی یا غیر خطی) وجود دارند. کلیه ویژگیهای یک سیستم را می توان 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) می توان تابع انتقال سیستم را مشخص نمود.

۱-۲- هدف

در این آزمایش سعی بر مرور برخی نکات تئوری دروس سیستمهای خطی و تجربه آنها به صورت واقعی تر می باشد. پاسخ به ورودی پله (زمانی) و سینوسی (فرکانسی) مد نظر است. سیستمهای مرتبه اول، دوم و سوم (سیستمهای با ۱، ۲ و ۳ قطب) در نظر گرفته می شوند. آزمایشها بر روی دستگاه شبیه ساز فرآیند انجام می شوند. ضمن اینکه مقایسه پاسخها با شبیه سازی بر روی کامپیوتر نیز مفید خواهد بود.

انتظار می رود در پایان آزمایش دانشجو بتواند با توجه به یادآوری ویژگیهای مختلف پاسخهای زمانی و فرکانسی سیستمهای خطی، روابط بین مکان قطبها در صفحه s با جنبه های مختلف پاسخهای زمانی و فرکانسی تحلیل نموده و از آنها در بررسی عملی سیستمها استفاده نماید.

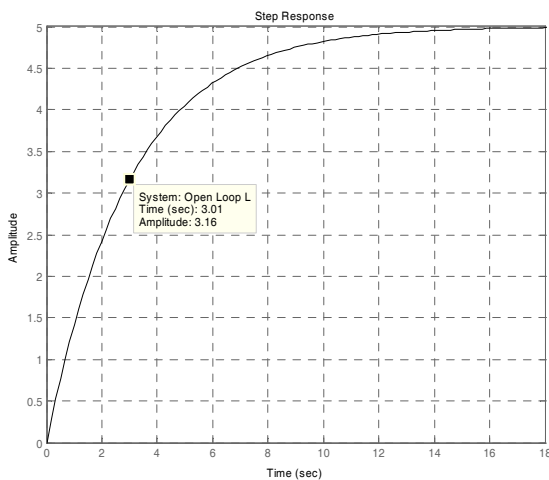
۱-۳- پیش زمینه

جهت یادآوری مطالب مورد نیاز، رفتار سیستمهای مختلف مورد نظر در این آزمایش را مرور می کنیم. توجه شود که سیستمهای مورد بحث تنها معطوف به سیستمهای پایدار، یعنی

۱-۳-۱- سیستم مرتبه یک

برای سیستم ساده $G(s) = \frac{K}{s+a} = K' \frac{1}{1+\tau s}$ که یک قطب ساده در $s = -a$ دارد پاسخ به ورودی پله واحد $x(t) = u(t)$ به صورت $y(t) = K'(1 - e^{-at})$ یا $y(t) = K'(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$ خواهد بود. ثابت زمانی τ مدت زمانی است که خروجی به 0.63 مقدار نهایی خود می رسد. مقدار نهایی خروجی K' است.

شکل زیر پاسخ به ورودی $G(s) = \frac{1/667}{s+0.333} = 5 \frac{1}{1+3s}$ را نشان می دهد. این سیستم یک قطب در $s = -0.333 \text{ rad/s}$ داشته که ثابت زمانی ۳ را موجب می شود. بهره DC این سیستم نیز ۵ است.



پاسخ در زمان طولانی به مقداری ثابت (معادل بهره DC) میل می کند. لذا می توان فرض کرد که خروجی بعد از مدتی تقریباً با 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 کمتر از ۷٪ با مقدار نهایی تفاوت دارد. این مدت را زمان نشست t_s می نامند.

پاسخ فرکانسی سیستم فوق مطابق شکل زیر خواهد بود.

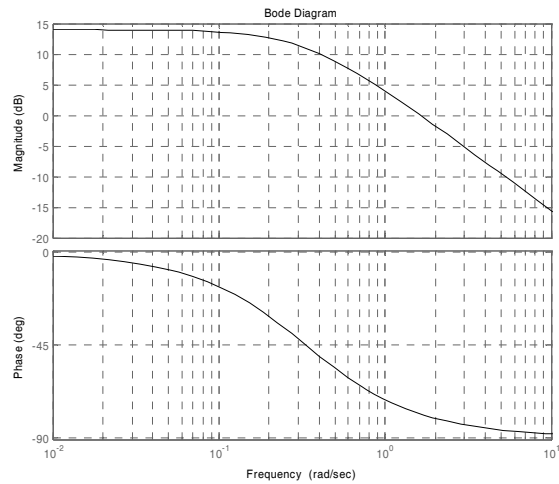
۱-۳-۲- سیستم مرتبه دو

تابع انتقال کلی یک سیستم مرتبه ۲ به صورت $G(s) = \frac{K}{s^2 + cs + d}$ را در نظر می‌گیریم. بهره DC این سیستم $\frac{K}{d}$ است. چند جمله‌ای مخرج می‌تواند دو ریشه حقیقی یا دو ریشه مختلط (مزدوج) داشته باشد.

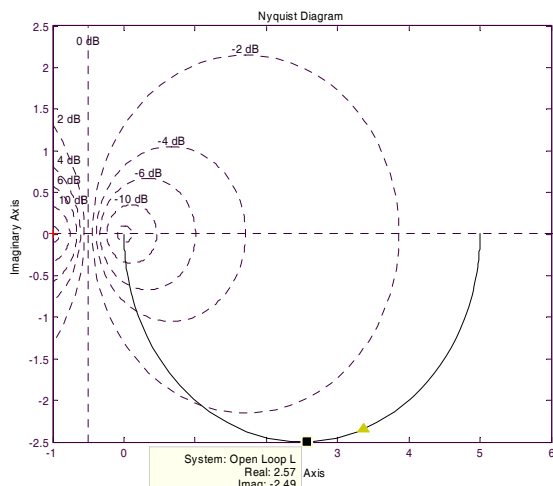
در صورتی که ریشه‌های مخرج حقیقی باشند می‌توان چندجمله‌ای مخرج را به صورت $s^2 + cs + d = (s+a)(s+b)$ نوشت که در آن $c = a+b$ و $d = ab$ بوده و ریشه‌های مخرج $s_1 = -a$ و $s_2 = -b$ هستند. پاسخ به ورودی پله واحد به صورت $y(t) = \frac{K}{ab} \left(1 - \frac{b}{b-a} e^{-at} - \frac{a}{b-a} e^{-bt} \right)$ خواهد بود. دیده می‌شود اگر فاصله دو قطب زیاد باشد، مثلاً $a > 10b$ ، ضریب جمله متناظر با قطب نزدیکتر به مبدأ $(-b)$ تقریباً مساوی یک شده اما ضریب جمله قطب دورتر از مبدأ $(-a)$ کوچکتر از واحد خواهد بود. در نتیجه ضمن اینکه جمله متناظر با قطب بزرگتر سریعتر به صفر می‌رسد دامنه تغییرات آن نیز بسیار کوچکتر از واحد بوده و از اینرو اثر آن در پاسخ ناچیز است. در این شرایط قطب نزدیکتر به مبدأ که دامنه 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 باشد، نمی‌توان از اثر یکی در مقابل دیگری صرفنظر نمود. با اینحال از تحلیل قبلی می‌توان دریافت که در پاسخ سیستم به ورودی پله اثر قطب نزدیکتر به مبدأ بیشتر دیده می‌شود.

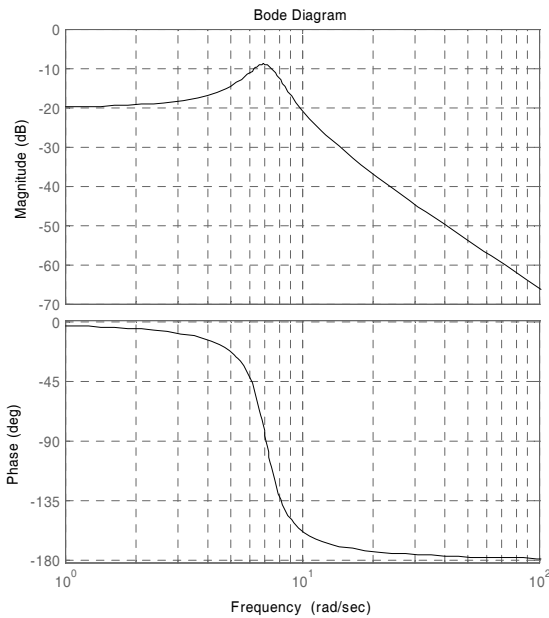
ممکن است سیستم دارای یک جفت قطب مختلط (مزدوج) به صورت $s_{1,2} = -\sigma \pm j\omega_d$ باشد که در آن σ فرکانس حقیقی و ω_d فرکانس موهومی قطب هستند. تعریف می‌کنیم: زاویه قطب با محور حقیقی $\theta = \tan^{-1} \frac{\omega_d}{\sigma}$ ، ضریب میرایی $\zeta = \cos \theta$ و فرکانس طبیعی $\omega_n^2 = \omega_d^2 + \sigma^2$ 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 پله واحد به صورت



مشاهده می‌شود که تغییرات عمده این نمودار در نزدیکی محل قطب $s = -0.333 \text{ rad/s}$ رخ می‌دهد. در واقع در ورای فاصله یک دهه (decade) از محل قطب، نمودار را می‌توان بسادگی با مجانبهایی (خطوط مستقیم) معادل فرض کرد. بهره در محل قطب $0.7 \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \right)$ مقدار در فرکانس پایین (نزدیک فرکانس صفر یا کمتر از 0.1 فرکانس قطب) و فاز -45° است. نمودار بهره در فرکانس پایین مقداری ثابت به اندازه بهره DC (با شیب صفر) داشته و پس از فرکانس قطب (فرکانس بالا = بیش از ده برابر فرکانس قطب) با شیب 20 dB/decade سقوط می‌کند. نمودار فاز در طی دو دهه (decade) تقریباً 90° را پشت سر می‌گذارد (تغییرات نزولی است و فاز به -90° می‌رسد). در صورتیکه پاسخ فرکانسی بصورت رابطه مستقیم بهره با فاز در نمودار قطبی رسم شود به آن دیاگرام قطبی یا نایکویست (می‌گویند) (چون از آن در تحلیل نایکویست نیز استفاده می‌شود). دیاگرام قطبی پاسخ فرکانسی سیستم فوق را در شکل زیر مشاهده می‌کنید.

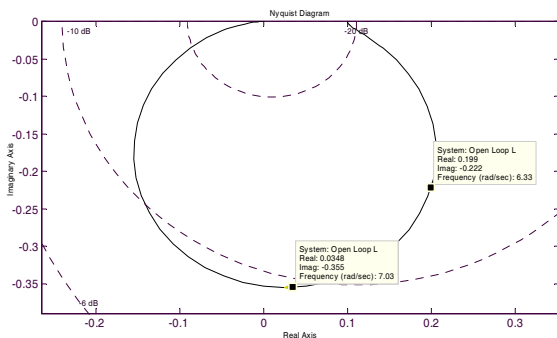


معادل $M_r = \frac{1}{2\zeta\sqrt{1-\zeta^2}}$ خواهد بود. فاز نیز در فرکانس طبیعی معادل -90° بوده و هر چه ضریب میرایی کوچکتر باشد شیب تغییرات آن در نزدیکی فرکانس طبیعی بیشتر می شود. پاسخ فرکانسی برای سیستم نمونه قبلی در زیر مشاهده می شود.



متذکر می شود که پاسخ فرکانسی سیستم مرتبه ۲ با دو قطب ساده از جمع نمودارهای بهره و فاز تک تک قطبها بدست می آید.

نمودار قطبی سیستم فوق نیز در ذیل آمده است.

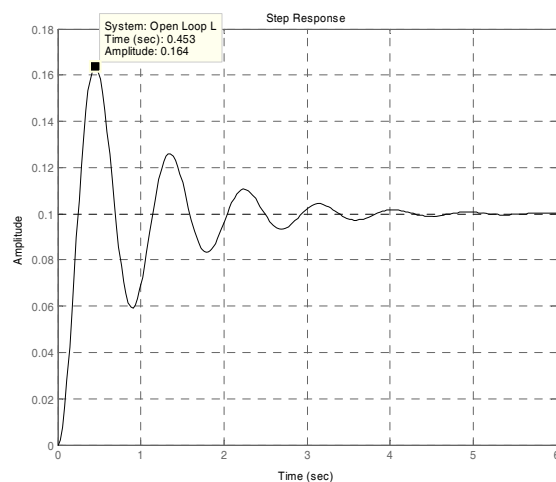


۱-۳-۳- سیستم مرتبه سه

سیستمهای مرتبه ۱ و ۲ را تاکنون بررسی کرده ایم. واضح است که چندجمله ای مخرج سیستمهای مرتبه ۳ و بالاتر را می توان به حاصلضرب چندجمله ایهای مرتبه ۱ و ۲ سازنده آن تجزیه نمود (یک سیستم مرتبه ۳ می تواند ۳ قطب حقیقی یا یک قطب حقیقی به اضافه یک جفت قطب مختلط (مزدوج) داشته

پاسخ دارای نوسانات سینوسی با فرکانس ω_d است که بتدریج (با توجه به سرعت به صفر رسیدن $e^{-\sigma t}$) از بین می رود. پاسخ دارای جهش است که میزان آن نسبت به مقدار نهایی خروجی بر حسب درصد $P.O. = 100 \cdot e^{-\pi \zeta \tan \theta}$ و زمان رسیدن به این نقطه (اولین نقطه حداکثر) $t_p = \frac{\pi}{\omega_d}$ است. مدت زمانی که طول می کشد تا خروجی برای اولین بار به مقدار نهایی برسد را زمان خیز (rise time) می گویند. برای زمان خیز از ۱۰٪ تا ۹۰٪ مقدار نهایی روابط تقریبی مرتبه اول $t_r = \frac{0.8 + 2/\zeta}{\omega_n}$ و تقریب مرتبه دوم $t_r = \frac{1 + 1/\zeta + 1/4\zeta^2}{\omega_n}$ می توانند مورد استفاده قرار گیرند.

به عنوان مثال پاسخ سیستم $G(s) = \frac{5}{s^2 + 2s + 5.0}$ به ورودی پله واحد را در شکل زیر مشاهده می کنید. می توانید پارامترهای مختلف مطرح شده را از روی شکل اندازه گرفته و با نتیجه روابط داده شده مقایسه نمایید.



در پاسخ فرکانسی این سیستم نیز مشاهده می کنیم که عمده تغییرات در فواصل کمتر از یک دهه نسبت به فرکانس طبیعی قطب ω_n رخ می دهند. در فرکانسهای پایین (خیلی کمتر از فرکانس طبیعی) خروجی مقدار ثابتی معادل بهره DC دارد (با شیب صفر). در فرکانسهای بالا (خیلی بیشتر از فرکانس طبیعی) خروجی با شیب معادل ۲ قطب $2 \times 20 \text{ dB/decade}$ سقوط می کند. در نزدیکی فرکانس قطب بهره از مقدار بهره DC بیشتر می شود. مقدار حداکثر بهره در فرکانسی بنام فرکانس تشدید (رزونانس) معادل $\omega_r = \frac{\omega_n}{\sqrt{1-2\zeta^2}}$ رخ داده و بهره در این فرکانس

اگر صفر در نیم صفحه سمت راست واقع باشد و آنرا به صورت $1 - \tau s$ نشان دهیم (توجه شود که در این نمایش بهره فرکانس پایین (DC) مثبت است) مشابه تحلیل قبلی متوجه می شویم که پاسخ به ورودی پله معادل پاسخ پله سیستم بدون صفر ($G'(s)$) منهای τ برابر مشتق پاسخ پله $G(s)$ می شود. دلیل کسر شدن مشتق پاسخ پله از پاسخ پله، در نزدیکی زمان صفر خروجی در جهت عکس ورودی پله حرکت می کند و پس از آنکه دامنه پاسخ پله به مقدار کافی برسد حرکت به جهت ورودی پله برمی گردد. این حرکت اولیه در خلاف جهت ورودی از ویژگیهای بارز صفر در نیم صفحه سمت راست است.

نمودار بهره پاسخ فرکانسی برای سیستم دارای صفر در نیم صفحه سمت راست $1 - \tau s$ کاملاً مشابه پاسخ فرکانسی سیستم با صفر قرینه آن (در $1 + \tau s$) است. اما نمودار فاز متفاوت خواهد بود. در نمایش مورد استفاده تا کنون، فاز در فرکانس پایین صفر و در فرکانس بالا به -90° می رسد. اگر صفر به صورت $1 - \tau s$ در نظر گرفته می شد فاز از -180° شروع شده و به -90° می رسد. به همین دلیل به سیستمهای دارای صفر نیم صفحه سمت راست (non-minimum phase) «فاز غیر حداقل» اطلاق می شود.

۳-۵- نکاتی در مورد بدست آوردن پاسخ سیستم

می دانیم پله واحد سیگنالی است که در $t = 0$ از مقدار صفر به مقدار یک تغییر وضعیت داده و تا زمان بینهایت در مقدار یک باقی می ماند. برای بررسی پاسخ پله صبر کردن تا زمان بینهایت لازم نیست. اگر پس از تغییر حالت سیگنال ورودی، زمان آنقدر بگذرد که تغییرات حالتی درونی سیستم (و طبیعتاً خروجی سیستم) ناچیز بشود (رسیدن به حالت پایدار) در اینصورت با دقت کافی پاسخ به ورودی پله بدست آمده است. در آزمایش معمولاً بجای ورودی پله از ورودی مربعی استفاده می کنیم. باید دقت نمود پیروی ورودی مربعی آنقدر زیاد باشد که خروجی سیستم مورد بررسی به حالت پایدار برسد (در حالت پایدار خروجی ثابت مانده و تغییر نمی کند).

برای بدست آوردن پاسخ فرکانسی سیستم لازم نیست در محدوده‌ای گسترده با فواصل خاص اندازه گیری انجام شود. واضح است که هر سیستم خطی را با صفرها، قطبها و بهره DC آن می توان کاملاً مشخص نمود. تغییرات در نمودار bode تنها

باشد). پاسخ به ورودی پله و پاسخ فرکانسی سیستم از ترکیب پاسخ این بخشهای مرتبه ۱ و ۲ بدست می آیند.

برای پاسخ پله قطبهای سیستم را بر حسب میزان نزدیکی بخش حقیقی به مبدأ مرتب می کنیم. اثر قطبهای نزدیکتر به مبدأ در پاسخ پله بیشتر است و اگر فاصله قطبها به حد کافی زیاد باشد می توان از اثر قطبهای دورتر صرف نظر نمود.

برای پاسخ فرکانسی (نمودار Bode)، با توجه به ویژگی جمع پذیری پاسخ جداگانه قطبها (و صفرها) در هر دو بخش بهره و فاز در نمودار Bode، مشخصه بهره و فاز تک تک قطبها (و صفرها) را بدست آورده و با هم جمع می کنیم.

۱-۳-۴- اثر صفر

تابع انتقال سیستمی را در نظر بگیرید که تنها یک صفر داشته باشد. اگر تابع انتقال صفر را به صورت $1 + \tau s$ و باقیمانده تابع انتقال را $G'(s)$ در نظر بگیریم بطوریکه حاصل جمع دو بخش $G'(s)$ و τs برابر $G(s)$ خواهد بود. پاسخ به ورودی پله واحد نیز معادل پاسخ پله $G'(s)$ با اضافه τ برابر مشتق پاسخ پله $G'(s)$ می شود. جمله دوم با نزدیک شدن صفر به مبدأ و با بزرگ شدن مشتق (تغییرات شدید در پاسخ پله $G'(s)$) بزرگتر می شود. اگر صفر از قطب غالب به اندازه کافی دورتر (نسبت به مبدأ) باشد اثر آن ناچیز خواهد بود. با نزدیک شدن صفر به قطب غالب اثر آن بیشتر می شود که نتیجه آن وجود جهش بیشتر در پاسخ پله است. اگر صفر از قطب غالب به مبدأ نزدیکتر باشد جهش قابل توجهی در پاسخ دیده می شود که با نزدیکتر شدن آن به مبدأ اندازه جهش به بینهایت میل می کند.

نمودار بهره در پاسخ فرکانسی برای صفر $1 + \tau s$ در فرکانس پایین (خیلی کمتر از فرکانس صفر یعنی خیلی کمتر از $\frac{1}{\tau}$) مقدار واحد است (با شیب صفر) و در فرکانس بالا (خیلی بیشتر از $\frac{1}{\tau}$) با شیب 20 db/decade صعود می کند. در $\frac{1}{\tau}$ بهره به $1/\sqrt{2}$ می رسد. فاز در فرکانس پایین صفر، در 45° و در فرکانس بالا 90° خواهد بود.

بکمک پاسخ فرکانسی اطلاعات بیشتری از سیستم را می‌توان بدست آورد. پاسخ پله محدود به سیستمهای مرتبه اول و دوم است اما برای پاسخ فرکانسی محدودیتی وجود ندارد. توجه به هر دو مشخصه بهره و فاز لازم است اما مشخصه فاز بطور مؤثرتری می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. می‌دانیم مشخصه فاز به ازای هر قطب 90° - (و به ازای هر صفر $90^\circ+$) طی دو دهه تغییر می‌کند. لذا چنانچه 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) رسیدن به قطبها و صفرها را می‌توان تشخیص داد. در صورتی که قطبها و صفرها با فاصله کافی (بیشتر از یک دهه) از یکدیگر قرار گرفته باشند بکمک این روش با دقت خوبی قطبها و صفرها مشخص می‌شوند (نقاط ضریب 45° 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 اینحال محدوده کلی صفرها و قطبها را می‌توان بسادگی مشخص نمود.

۱-۴-۱- آزمایش :

۱-۴-۱-۱- وسایل مورد نیاز:

شبیه‌ساز فرآیند، اسیلوسکوپ، سیگنال ژنراتور و کامپیوتر

۱-۴-۱-۲- سیستم مرتبه یک :

سیستم با تابع انتقال $G(s) = \frac{1}{s+1}$ را بر روی شبیه‌ساز در نظر بگیرید. با اعمال پالس مربعی پاسخ زمانی ورودی پله آنرا در شکل زیر رسم نمایید. مقیاسهای انحراف افقی (time/div) و عمودی (volt/div) اسیلوسکوپ را در کنار شکل مشخص نمایید.

نکته: همواره سعی کنید بزرگترین حالت شکل پاسخ بدست آمده را بر روی اسیلوسکوپ تشکیل دهید (با استفاده از تغییر بهره کانالهای ورودی volt/divها و سرعت جاروب اشعه time/div). همچنین از آنجا که پاسخ پله سیستم مد نظر است، کفایت پاسخ به یکی از لبه‌های بالارونده یا پایین‌رونده را بر روی اسیلوسکوپ تشکیل داده و آنرا رسم نمایید.

در نزدیکی قطبها و صفرها رخ می‌دهند و در فاصله دور از آنها نمودار به خط مستقیم (که ادامه آن قابل پیش‌بینی است) تبدیل می‌شود. با توجه به اینکه در این آزمایش تابع انتقال (و در نتیجه صفرها و قطبهای سیستم) را می‌دانیم، کفایت 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 (یا DC) و در فرکانس بالا. این نقاط می‌توانند مثلاً $0/1$ کوچکترین فرکانس قطب یا صفر و 10 برابر بزرگترین فرکانس صفر یا قطب باشند. لذا برای سیستم مرتبه ۱، سه نقطه اندازه‌گیری، برای سیستم مرتبه ۲، چهار نقطه اندازه‌گیری و برای سیستم مرتبه ۳، پنج نقطه اندازه‌گیری کفایت. برای قطبهای مختلط اندازه‌گیری در فرکانس طبیعی و یک نقطه نزدیک آن (فرکانس تشدید در صورت وجود مناسبتر است) در نظر گرفته شود.

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 ذخیره ورودی و خروجی سیستم در کامپیوتر و استفاده از الگوریتمهای شناسایی سیستم برای بدست آوردن مشخصه سیستم است.

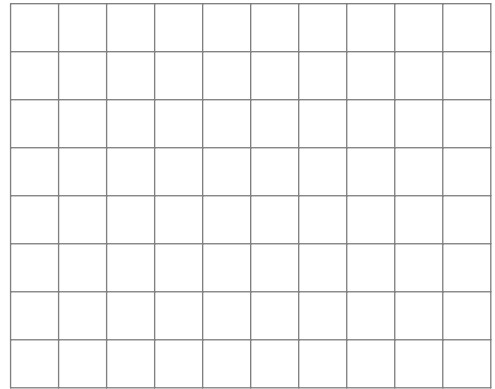
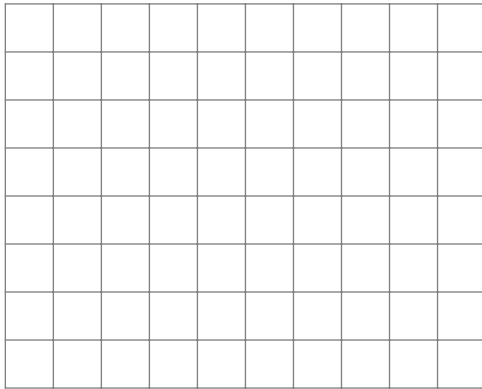
استفاده از ورودیهای دیگر مانند ضربه، پله و ذخیره ورودی و خروجی در کامپیوتر نیز می‌تواند اطلاعات مناسبی از قطبها و صفرها بدست دهد، اما از آنجا که طیف فرکانسی اینگونه ورودیها همچون نویز یکنواخت نیست در برخی نواحی از طیف فرکانسی دقت کاهش می‌یابد. با اینحال از آنجا که تولید ورودی پله یا ضربه ساده‌تر از نویز میسر است ممکن است ترجیح دهیم از این روند استفاده کنیم. روند تولید سیگنال شبه‌نویز 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 مرتبه ۱ یا ۲ با دقت قابل قبولی امکان‌پذیر است. ویژگیهای پاسخ به ورودی پله برای سیستمهای مرتبه ۱ و ۲ قبلاً توضیح داده شده است.

$G(s) =$

$K = 0.0675$

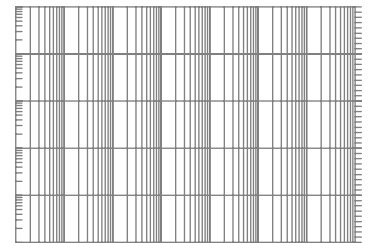
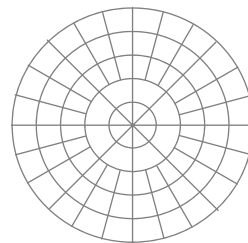
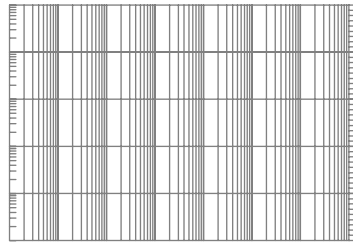
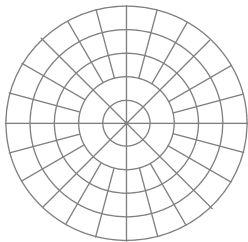
$s_{1,2} =$



اینک پاسخ فرکانسی این سیستم را بدست آورید. یادآوری می شود با توجه به اینکه سیستم مرتبه ۱ است، اندازه گیری پاسخ فرکانسی تنها در ۳ فرکانس (که مقادیر آنها را قبلاً مشخص کرده ایم: فرکانس قطب، ۰/۱ فرکانس قطب و ۱۰ برابر فرکانس قطب) کافیست.

Frequency					
Gain					
Gain(db)					
Phase					

Frequency					
Gain					
Gain(db)					
Phase					

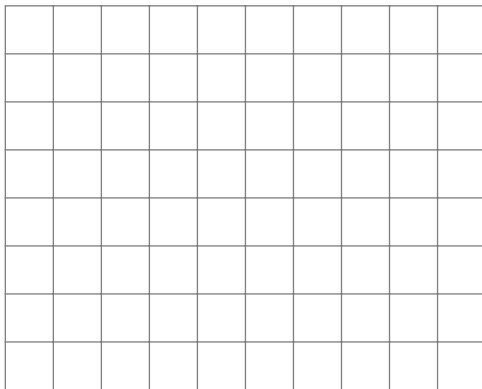


بر اساس مقادیر بدست آمده پاسخ فرکانسی سیستم را در نمودارهای زیر رسم نمایید.

$G(s) =$

$K = 0.25$

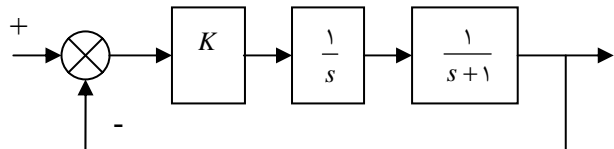
$s_{1,2} =$

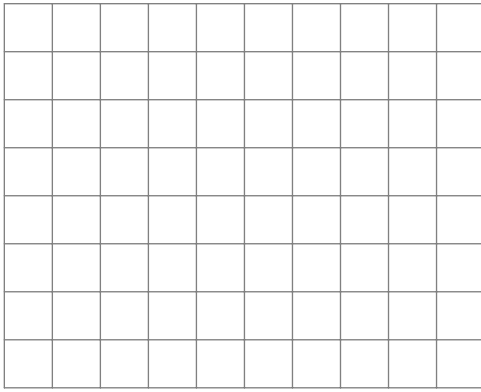


۱-۴-۳- سیستم مرتبه دو :

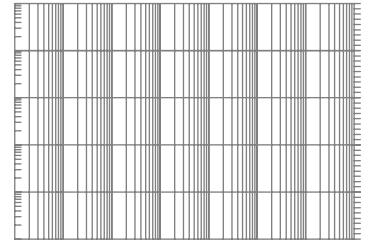
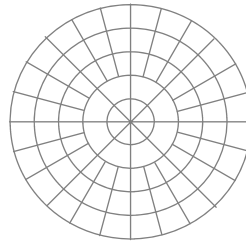
برای ساختن مدل سیستم مرتبه ۲ با ترکیب قطبهای مورد نظر این آزمایش، از یک سیستم حلقه بسته مطابق شکل زیر استفاده می کنیم. برای مقادیر ۰/۰۶۷۵، ۰/۲۵، ۰/۵، ۱ و ۱۶ $K =$ پاسخ به ورودی پله و پاسخ فرکانسی سیستم حاصل را اندازه گیری کرده و نتایج را در جداول و نمودارهای زیر وارد کنید.

Frequency					
Gain					





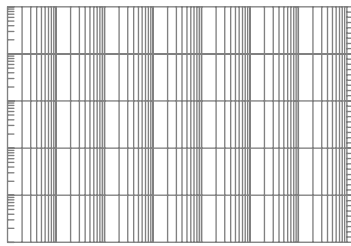
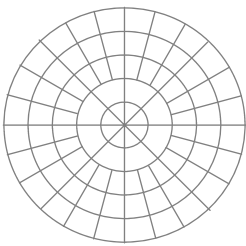
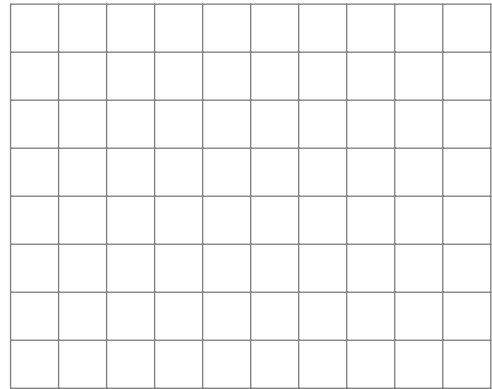
<i>Gain(db)</i>						
<i>Phase</i>						



<i>Frequency</i>						
<i>Gain</i>						
<i>Gain(db)</i>						
<i>Phase</i>						

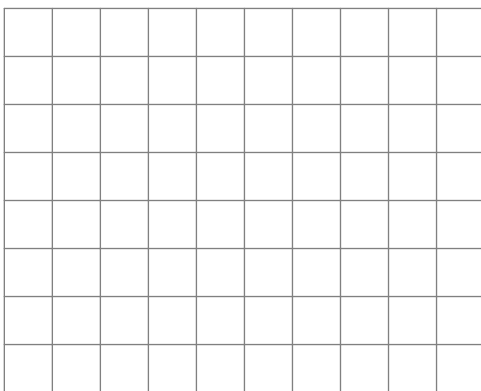
$$G(s) = \quad K = \cdot / \Delta$$

$$s_{1,2} =$$

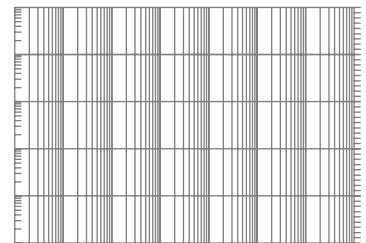
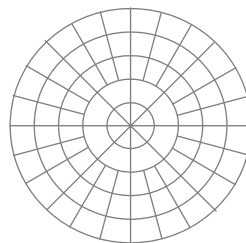


$$G(s) = \quad K = 16$$

$$s_{1,2} =$$



<i>Frequency</i>						
<i>Gain</i>						
<i>Gain(db)</i>						
<i>Phase</i>						

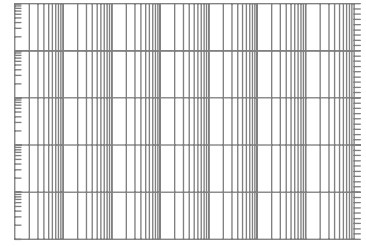
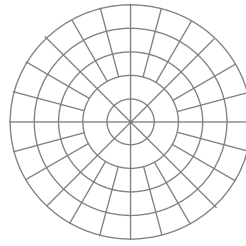


<i>Frequency</i>						
<i>Gain</i>						
<i>Gain(db)</i>						
<i>Phase</i>						

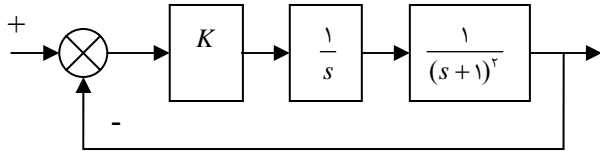
$$G(s) = \quad K = 1$$

$$s_{1,2} =$$

برای ساختن دو مدل دیگر از سیستمهای مرتبه ۳ با ترکیب قطبهای مورد نظر این آزمایش، از یک سیستم حلقه بسته مطابق شکل زیر استفاده می کنیم. برای مقادیر $1/5$ و $K = 6$ پاسخ به ورودی پله و پاسخ فرکانسی سیستم حاصل را اندازه گیری کرده و نتایج را در جداول و نمودارهای زیر وارد کنید.

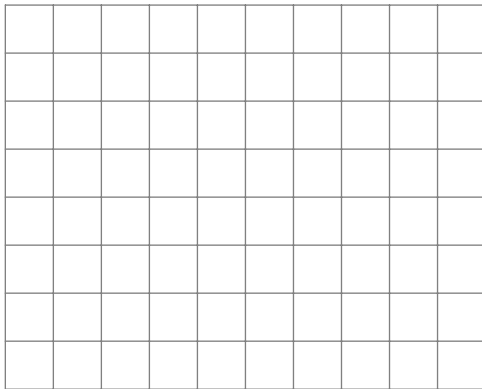


۱-۲-۲- سیستم مرتبه سه :



$G(s) =$ $K = 1/5$

$s_{1,2,3} =$

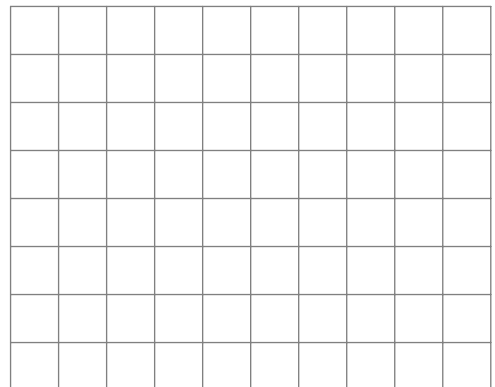


سیستم با تابع انتقال $G(s) = \frac{1}{(s+1)^2}$ را بر روی شیب ساز

در نظر بگیرید. پاسخ زمانی ورودی پله و پاسخ فرکانسی آنرا اندازه گیری نموده و حاصل را در جدول و نمودارهای زیر وارد نمایید.

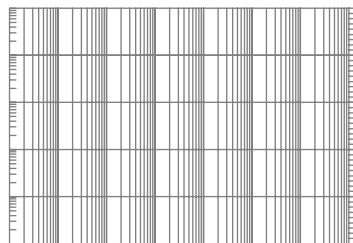
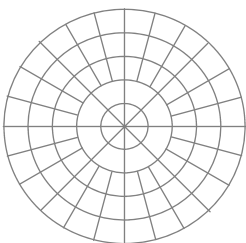
$G(s) =$

$s_{1,2,3} =$



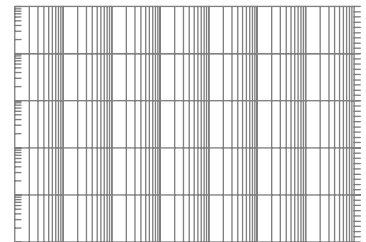
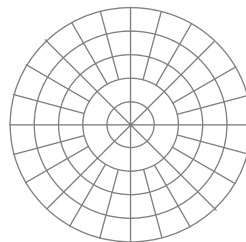
Frequency					
Gain					
Gain(db)					
Phase					

Frequency					
Gain					
Gain(db)					
Phase					

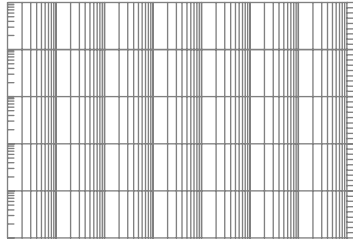
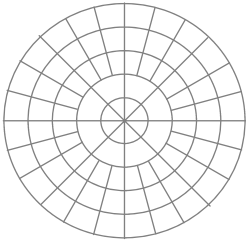


$G(s) =$ $K = 6$

$s_{1,2,3} =$



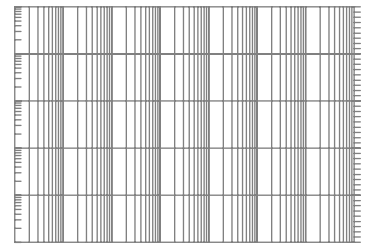
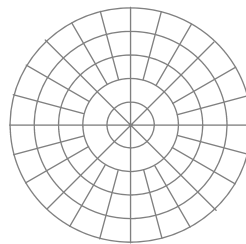
<i>Frequency</i>						
<i>Gain</i>						
<i>Gain(db)</i>						
<i>Phase</i>						



$G(s) =$

$s_{1,2,3} =$

<i>Frequency</i>						
<i>Gain</i>						
<i>Gain(db)</i>						
<i>Phase</i>						



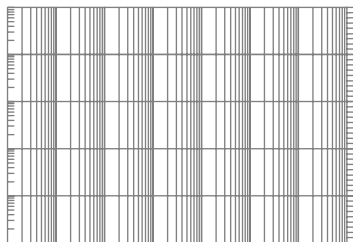
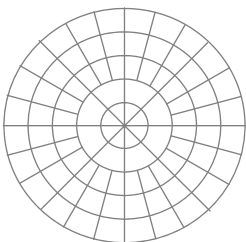
دو مدل بعدی سیستم مرتبه ۳ از ترکیب (اتصال سری)

سیستم با تابع انتقال $\frac{1}{s^2 + s + 1}$ یکبار با قطب $s_p = -0.5$ و بار دیگر با قطب $s_p = -0.5 \pm j0.866$ پاسخ می‌آیند. پاسخ به ورودی پله و پاسخ فرکانسی سیستمهای حاصل را اندازه‌گیری کرده و نتایج را در جداول و نمودارهای زیر وارد کنید.

$G(s) =$

$s_{1,2,3} =$

<i>Frequency</i>						
<i>Gain</i>						
<i>Gain(db)</i>						
<i>Phase</i>						



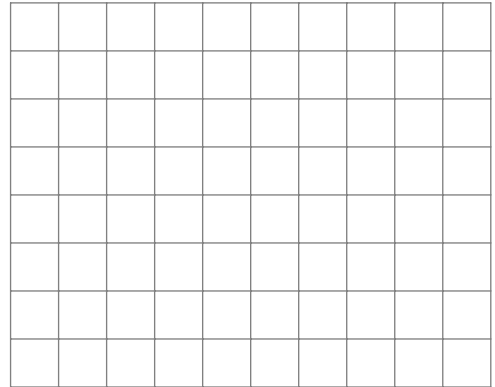
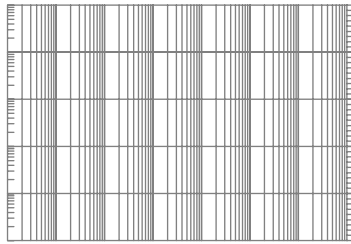
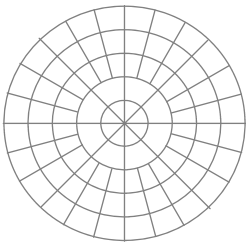
۱-۴-۵- اثر صفر :

سیستم با تابع انتقال $G(s) = \frac{1}{(s+1)^2}$ را بر روی شیب ساز در نظر بگیرید. آنرا با صفر به صورت $1 + \tau s$ سری نمایید که در آن $\tau = 0.1$ و 1 و 2 باشد. پاسخ زمانی ورودی پله و پاسخ فرکانسی را در نمودارهای زیر رسم نمایید.

Frequency					
Gain					
Gain(db)					
Phase					

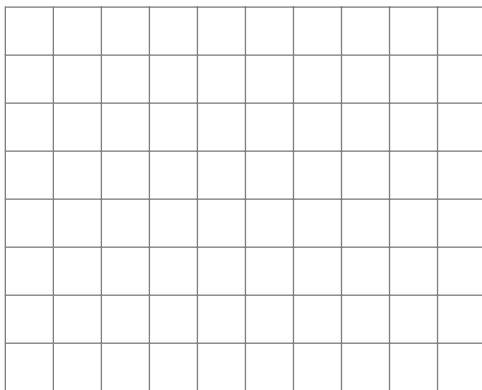
$G(s) =$

$\tau = 0.1$

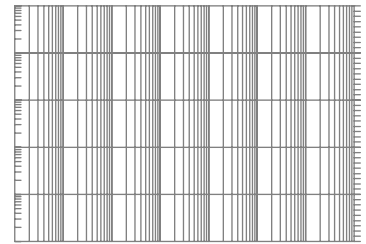
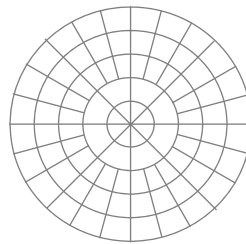


$G(s) =$

$\tau = 2$



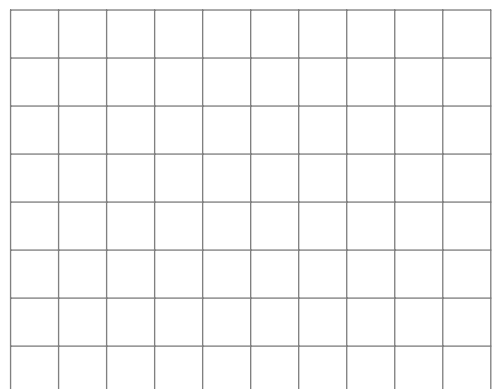
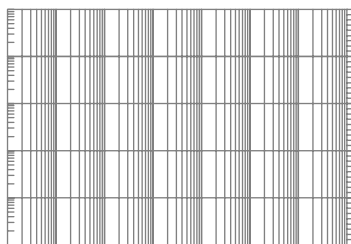
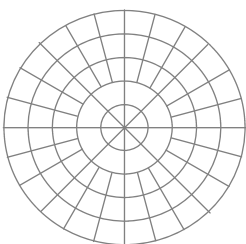
Frequency					
Gain					
Gain(db)					
Phase					



$G(s) =$

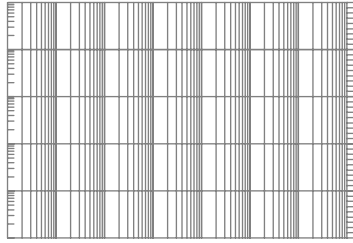
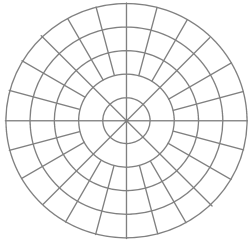
$\tau = 1$

Frequency					
Gain					
Gain(db)					
Phase					



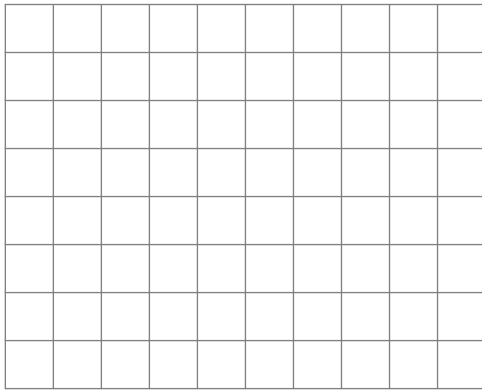
<i>Frequency</i>						
<i>Gain</i>						
<i>Gain(db)</i>						
<i>Phase</i>						

سیستم با تابع انتقال $G(s) = \frac{1}{(s+1)^2}$ را بر روی شبیه‌ساز در نظر بگیرید. آنرا با صفر به صورت $1-\tau s$ سری نمایید که در آن $\tau = 0.1$ و 1 باشد. پاسخ زمانی ورودی پله و پاسخ فرکانسی را در نمودارهای زیر رسم نمایید.



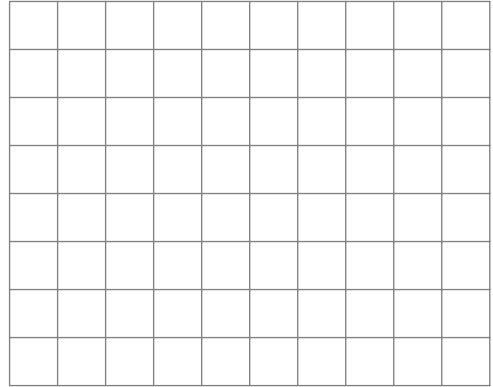
$G(s) =$

$\tau = 2$



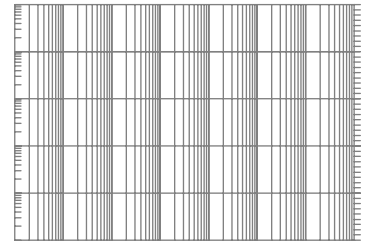
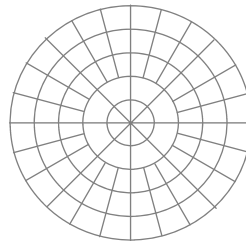
$G(s) =$

$\tau = 0.1$



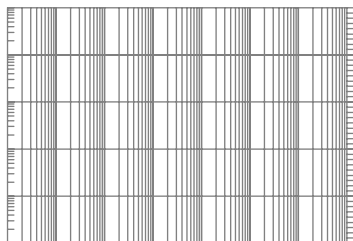
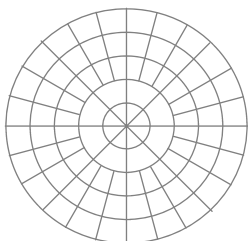
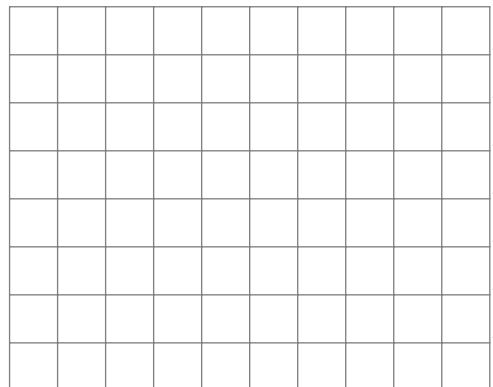
<i>Frequency</i>					
<i>Gain</i>					
<i>Gain(db)</i>					
<i>Phase</i>					

<i>Frequency</i>					
<i>Gain</i>					
<i>Gain(db)</i>					
<i>Phase</i>					



$G(s) =$

$\tau = 1$



۲- آشنایی با روشهای پایه کنترل خطی

انتظار می‌رود در پایان آزمایش دانشجو بتواند در برخورد با سیستمهای ساده خطی از عهده طراحی و اعمال کنترل کننده مناسب جهت دستیابی به معیارهای مورد نظر برآید.

۱-۲- مقدمه

هنگامی که یک فرآیند را مورد نظر قرار می‌دهیم، در موارد مختلفی نیاز به کنترل و فیدبک پیش می‌آید که مهمترین آنها عبارتند از:

۱- فرآیند ناپایدار است. جهت پایدار کردن سیستم به فیدبک و کنترل نیاز است.

۲- پاسخ فرآیند به ورودی تعیین شده معیارهای مورد نظر را برآورده نمی‌کند. نمونه معیارها می‌تواند سرعت پاسخ (t_s یا t_r یا t_p)، حالت گذرا ($P.O.$)، خطای حالت دائم (e_{ss}) باشد. بکمک ساختار فیدبک و کنترل کننده مناسب به معیارهای مناسب دست می‌یابیم.

۳- پاسخ فرآیند نسبت به اغتشاش یا پارامترهای درونی فرآیند که ممکن است تغییر کنند حساسیت قابل توجهی دارد که بکمک فیدبک و کنترل کننده مناسب میزان آن کاهش می‌یابد.

در مبحث سیستمهای خطی ساختارهای کنترلی مختلف و روشهای متنوعی برای تعیین مشخصات آنها در اختیار هستند که در این آزمایش به برخی از آنها می‌پردازیم.

۲-۲- هدف

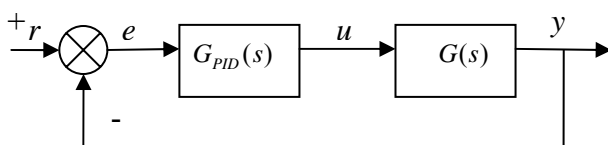
در این آزمایش نکات تئوری دروس سیستمهای خطی در تعیین مشخصات و ساختارهای کنترلی مورد بررسی قرار می‌گیرد. روشهایی که در این بخش مورد بررسی قرار می‌گیرند: کنترل کننده‌های PID، جبران‌سازهای Lead-Lag - که هر دو در مسیر مستقیم قبل از فرآیند قرار می‌گیرند- و ساختارهای کنترلی خاص هستند. آزمایشها بر روی دستگاه شبیه‌ساز فرآیند و کامپیوتر انجام می‌شوند. ضمن اینکه مقایسه پاسخهای شبیه‌ساز فرآیند با شبیه‌سازی بر روی کامپیوتر نیز مفید خواهد بود.

۲-۳- پیش‌زمینه

اینک سعی می‌شود روند طراحی کنترل کننده یا جبران‌ساز به اجمال مرور شود.

۲-۳-۱- کنترل کننده‌های PID

شکل پایه استفاده از کنترل کننده‌ها قرار دادن آنها در مسیر مستقیم قبل از فرآیند است. لذا کنترل کننده سیگنال خطا را دریافت کرده و با توجه به تابع انتقالش سیگنال کنترلی لازم را به فرآیند اعمال می‌نماید. کنترل کننده PID (تناسبی-انتگرال-مشتق) را به صورت کلی با تابع انتقال $G_{PID}(s) = K(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s)$ یا $G_{PID}(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s$ در نظر می‌گیریم (در این آزمایشگاه عموماً از نمایش دوم استفاده می‌کنیم). در واقع این کنترل کننده حاصل جمع ضربی از سیگنال خطا (بخش تناسبی) و ضربی از انتگرال خطا و ضربی از مشتق خطا را به فرآیند اعمال می‌کند.



بخشهای مختلف کنترل کننده چگونه بر روی خروجی حلقه اثر خواهند گذاشت؟ بطور کلی افزایش بهره حلقه منجر به افزایش پهنای باند حلقه و در نتیجه افزایش سرعت پاسخ می‌گردد. از طرف دیگر بهره 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

قطب و صفر ۲ یا کمتر برسیم، سیستم حلقه در بهره زیاد نیز کاملاً پایدار خواهد بود.

معمولاً شکل ساده معیار مورد نظر برای پاسخ فرآیند به صورت سرعت پاسخ (t_s یا t_r یا t_p)، حالت گذرا ($P.O.$) و خطای حالت دائم (e_{ss}) است. با در نظر گرفتن ابزار موجود در صفحه مختلط s از دو معیار سرعت پاسخ و حالت گذرا می توان قطبهایی را تعیین نمود که بتوانند این معیارها را برآورده کنند (سرعت پاسخ با ω_n و ζ و حالت گذرا ($P.O.$) با γ ارتباط دارند و ریشه های معادله $s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2 = s^2 + 2\sigma s + (\sigma^2 + \omega_d^2)$ نظر را بدست می دهند).

از طرف دیگر چنانچه چند جمله ای مخرج سیستم حلقه بسته را بدست آوریم و شرایطی را تعیین کنیم که ریشه های معادله فوق (قطبهای مورد نظر) در آن صدق کنند مسئله حل شده است. لذا مثلاً اگر درجه مخرج ۲ باشد (که در آن ضرایب کنترل کننده به صورت مجهول قرار دارند) و آنرا بر حسب توانهای s مرتب نماییم (ضریب بالاترین توان یک باشد و اگر چنین نیست چند جمله ای را بر ضریب بالاترین توان تقسیم می کنیم). با مساوی قرار دادن ضرایب s^0 و s^1 از دو چند جمله ای و حل این دو معادله ضرایب کنترل کننده محاسبه می شوند. اگر درجه 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 جمله 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 می توانند در نظر گرفته شوند.

استفاده از قواعد زاویه و بهره نیز بطور مشابه می تواند مورد استفاده قرار گیرد. در واقع این روش شرط قرار گرفتن قطب مورد نظر بر روی مکان هندسی ریشه ها را تأمین می کند و کاملاً معادل روش استفاده مستقیم از چند جمله ای مخرج حلقه بسته است.

بکمک روند فوق قطبهای مورد نظر در حلقه بسته ایجاد می شوند. اما غالب بودن قطبها تضمین نشده است. پس از حل

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، متنهای غیر صفر است. در این شرایط می توان با تنظیم بهره 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.

انتگرال گیر موجب ایجاد بهره بینهایت در فرکانس صفر می گردد. لذا بکمک انتگرال گیر می توان 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 می گردد.

مشتق گیر سیگنال کنترلی متناسب با تغییرات خروجی (با ضریب منفی بخاطر عبور سیگنال خروجی از تفریق کننده) به فرآیند اعمال می کند. به این ترتیب در حالت کلی حضور (افزایش ضریب) مشتق گیر نوسانات خروجی را کُند می نماید و لذا جهت بهبود حالت گذرا ($P.O.$) مورد استفاده واقع می شود. افزایش T_d موجب میرا تر شدن نوسانات می گردد.

افزایش هر یک از سه ضریب کنترل کننده PID بویژه بهره و انتگرال گیر می تواند میزان پایداری نسبی حلقه را کاهش داده و نهایتاً سیستم را ناپایدار کند.

کنترل کننده PID در ترکیبهای P، PD، PI و PID مورد استفاده قرار می گیرد. بر اساس معیارهای فوق انتخاب ترکیب کنترل کننده می تواند انجام شود.

نکته دیگری که در انتخاب نوع کنترل کننده باید در نظر گرفت تفاضل تعداد قطب و صفر سیستم حلقه است. می دانیم تعداد مجانبهای مکان هندسی معادل تفاضل تعداد قطب و صفر سیستم حلقه است. کنترل کننده PID در ترکیبهای P و PI تفاضل تعداد قطب و صفر حلقه را تغییر نمی دهد. اما در ترکیبهای PD و PID یک صفر بیشتر به حلقه اضافه می کند و لذا تفاضل تعداد قطب و صفر یکی کم می شود. بنابراین تعداد مجانبهای مکان هندسی قطبها یکی کاسته شده و اگر به سیستم با تفاضل

معادله $s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2 = s^2 + 2\sigma s + (\sigma^2 + \omega_d^2)$ قطبهای مورد نظر را بدست می دهند).

می دانیم افزایش بهره حلقه موجب جابجا شدن نمودار بهره در پاسخ فرکانسی: افزایش سرعت پاسخ بدلیل افزایش پهنای باند و کاهش خطای حالت دائم بدلیل افزایش بهره DC می گردد. لذا در روند طراحی جبران سازهای Lead-Lag اولین مرحله تعیین میزان بهره جبرانی حلقه (بهره ای که لازم است به حلقه افزوده شود) است. معمولاً این میزان بهره ناشی از نیاز به افزایش سرعت پاسخ در نظر گرفته می شود و برای جبران خطای حالت دائم از بخش Lag استفاده می شود. اگر فرض کنیم در نهایت در حلقه بسته یک جفت قطب مختلط غالب داشته باشیم با استفاده از رابطه پهنای باند یک سیستم مرتبه ۲ با مقادیر ζ و ω_n : $BW = \omega_n(\sqrt{1-2\zeta^2} + \sqrt{4\zeta^4 - 4\zeta^2 + 2})$ پهنای باند مورد نیاز بدست می آید. K_b را بهره اضافی مورد نیاز جهت تأمین پهنای باند در نظر می گیریم.

پس از مشخص شدن بهره اضافی مورد نیاز حلقه و پهنای باند نهایی حلقه، اینک می توان وضعیت حالت گذرا را تنظیم نمود. برای یک سیستم مرتبه ۲ و برای $\zeta < 0.7$ رابطه تقریبی برای حد فاز (PM: Phase Margin) بر حسب درجه به صورت $PM \approx 100\zeta$ است. به این ترتیب حد فاز مورد نیاز سیستم با توجه به $P.O.$ مشخص است. میزان فاز جبرانی از تفاضل حد فاز مورد نیاز و حد فاز موجود بدست می آید $\theta_m = PM_{cd} - PM_{uc}$. این میزان فاز در محل بهره واحد مشخصه فرآیند باید افزوده شود. α از رابطه $\alpha = \frac{1 + \sin \theta_m}{1 - \sin \theta_m}$ محاسبه می شود. محل بیشترین فاز جبران ساز Lead را ω_m می نامیم و باید در فرکانسی که بهره فرآیند معادل $|G(s)| = \frac{1}{\sqrt{\alpha}}$ قرار گیرد. ضریب T از رابطه $T = \frac{1}{\omega_m \sqrt{\alpha}}$ بدست می آید.

در صورتیکه نیاز به جبران خطای حالت دائم بکمک جبران ساز Lag باشد کفایت نسبت $K_e = \frac{\beta}{\gamma}$ را به اندازه بهره اضافی مورد نیاز در حلقه (جهت جبران خطای حالت دائم) در نظر بگیریم. ضمناً لازم است محل جبران ساز از قطبهای غالب (یا معادل آن فرکانس بهره واحد حلقه) به میزان کافی دور (نزدیک به مبدأ) باشد. مثلاً می توان فرکانس صفر را

مسئله و بدست آوردن ضرایب کنترل کننده، لازم است 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 راست قطب مورد نظر پاسخ حلقه را از پاسخ مطلوب منحرف می کند. در این صورت روند طراحی با فرضیات بهتری باید تکرار گردد.

۲-۳-۲- جبران سازهای Lead-Lag

شکل کلی جبران ساز Lead را $G_{lead}(s) = \frac{1 + \alpha Ts}{1 + Ts}$ در نظر می گیریم که در آن $\alpha > 1$ در نظر گرفته می شود. خصلتهایی شبیه به مشتق گیر در کنترل کننده PID دارد و از آن عموماً جهت بهبود حالت گذرای پاسخ ($P.O.$) استفاده می شود.

شکل کلی جبران ساز Lag را $G_{lag}(s) = \frac{s + \beta}{s + \gamma}$ در نظر می گیریم که در آن $\beta > \gamma$ در نظر گرفته می شود. خصلتهایی شبیه به انتگرال گیر در کنترل کننده PID دارد و از آن عموماً جهت بهبود خطای حالت دائم (e_{ss}) استفاده می شود.

از آنجا که جبران سازهای Lead و Lag تفاضل تعداد قطب و صفر حلقه را تغییر نمی دهند قابلیت های کمتری نسبت به کنترل کننده های PID دارند. آنچه استفاده از این جبران سازها را همچنان مفید می سازد امکان طراحی جبران ساز بدون شناختن دقیق سیستم فرآیند است. طراحی در صفحه s نیاز به دانستن دقیق مکان قطبها و صفرهای فرآیند دارد و در غیر اینصورت امکان طراحی کنترل کننده وجود ندارد. اما روند مناسبی برای طراحی جبران سازهای Lead و Lag وجود دارد که با دانستن پاسخ فرکانسی فرآیند در چند نقطه (یک نقطه در فرکانس پایین - معادل فرکانس صفر - و چند نقطه اطراف گذر از بهره واحد) امکان تعیین مشخصات جبران ساز وجود دارد.

همانند آنچه در بخش کنترل کننده PID آمد، معمولاً شکل ساده معیار مورد نظر برای پاسخ فرآیند به صورت سرعت پاسخ (t_p یا t_r یا t_s)، حالت گذرا ($P.O.$) و خطای حالت دائم (e_{ss}) داده می شود. با در نظر گرفتن ابزار موجود در صفحه مختلط s از دو معیار سرعت پاسخ و حالت گذرا می توان قطبهایی را تعیین نمود که بتوانند این معیارها را برآورده کنند (سرعت پاسخ با ω_n و ζ و حالت گذرا ($P.O.$) با γ ارتباط دارند و ریشه های

۲-۳-۳-۲- استفاده از چند حلقه فیدبک در ساختار

کنترل

برای برخی فرآیندها این امکان وجود دارد که اندازه‌گیریهایی از برخی نقاط میانی فرآیند (قبل از خروجی) اخذ شود. در اینصورت می‌توان حلقه‌هایی درون حلقه اصلی تشکیل داد که بکمک آنها قابلیت‌های سیستم کنترلی افزایش می‌یابد. در برخی شرایط حتی نیازی به افزایش دینامیک سیستم (تفاوت رتبه سیستم حلقه‌بسته نسبت به فرآیند در چند جمله‌ایهای مخرج یا صورت) نخواهد بود بدین معنی که تنها بکمک افزودن چند بخش بهره ساده در ساختار کنترلی عمل کنترل انجام خواهد شد.

۲-۴-۱- آزمایش :

۲-۴-۱- وسایل مورد نیاز:

شبیه‌ساز فرآیند، اسیلوسکوپ، سیگنال ژنراتور و کامپیوتر

۲-۴-۲- کنترل‌کننده PID :

در هر یک از مورد زیر کنترل‌کننده PID را طراحی کنید تا معیارهای خواسته شده برای ورودی پله برآورده شوند :

$$1- \text{سیستم با تابع انتقال } G(s) = \frac{1}{s+1} \text{ برای دستیابی به } P.O. < 5\% \text{ و } t_s < 1/2_s, e_{ss} < 2\%$$

اینک پاسخ خروجی سیستم حاصل را به ورودی پله در شکل زیر رسم نمایید.

همچنین سیگنال اعمال شده از کنترل‌کننده به فرآیند (u) را در شکل زیر رسم کنید.

$\beta = 0.1BW$ و فرکانس قطب را $\gamma = \frac{\beta}{K_d}$ در نظر گرفت.

جبران‌ساز نهایی دارای تابع انتقال $G_c(s) = K_b \frac{1 + \alpha Ts}{1 + Ts} \frac{s + \beta}{s + \gamma}$ خواهد بود.

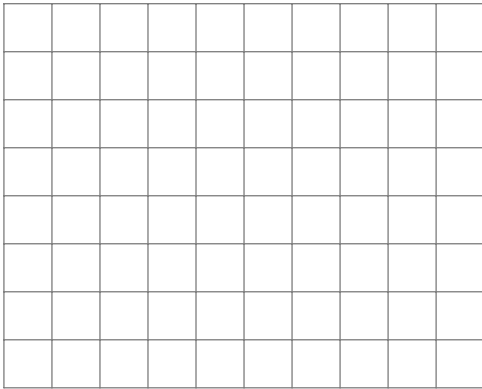
در مورد جبران‌ساز Lag باید توجه داشت از آنجا که صفر و قطب اضافه شده به مبدأ نزدیک هستند اگر بهره موجود در حلقه (K) زمانی که معادله حلقه به صورت $G_{Loop}(s) = K \frac{\prod (s + \alpha_i)}{\prod (s + \beta_j)}$ نوشته شود) به میزان کافی از یک بزرگتر باشد آنگاه در سیستم حلقه‌بسته، قطب بلوک Lag به اندازه کافی به صفر آن نزدیک شده و اثر ناچیزی از آنها در پاسخ حلقه‌بسته ظاهر می‌شود در غیر اینصورت وجود قطب و صفر نزدیک به مبدأ باعث کند شدن پاسخ خواهد شد.

۲-۳-۳- ساختارهای خاص در کنترل

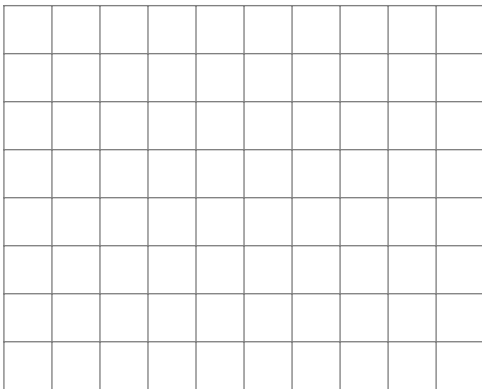
آنچه تا کنون مطرح گردید برای کنترل‌کننده‌هایی است که در مسیر مستقیم قبل از فرآیند قرار می‌گیرند. ساختارهای مؤثر دیگری نیز ارائه شده و مورد استفاده قرار می‌گیرند که سه نمونه از آنها در این بخش بررسی می‌شوند.

۲-۳-۳-۱- قرار دادن کنترل‌کننده در مسیر فیدبک

می‌دانیم قطبهای سیستم حلقه‌بسته ریشه‌های رابطه $1 + G_{Loop}(s)$ هستند. اگر سیستم کنترلی تنها دارای یک حلقه باشد، قرار دادن کنترل‌کننده در مسیر فیدبک همان قطبهایی را در حلقه‌بسته بدست می‌دهد که قبلاً با قرار دادن کنترل‌کننده در مسیر مستقیم بدست می‌آمد. با اینحال صفرهای حلقه‌بسته در دو سیستم متفاوت خواهند بود. در حالت اول صفرهای کنترل‌کننده در خروجی حلقه‌بسته ظاهر خواهند شد. در حالت دوم قطبهای کنترل‌کننده به صورت صفر در خروجی حلقه‌بسته دیده می‌شوند اما صفرهای آن در خروجی حلقه‌بسته دیده نمی‌شوند. به این ترتیب می‌توان برخی خصیصه‌های جدید برای کنترل‌کننده‌ها بدست آورد.



همچنین سیگنال اعمال شده از کنترل کننده به فرآیند (u) را در شکل زیر رسم کنید.

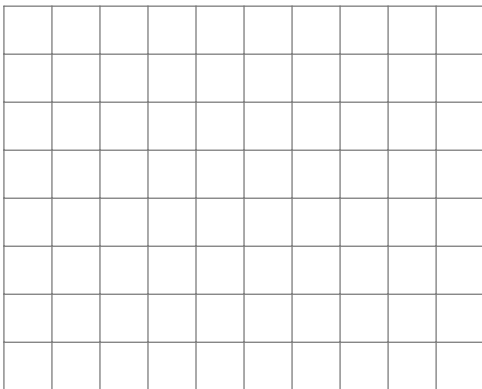


۲-۴-۳- جبران ساز Lead-Lag :

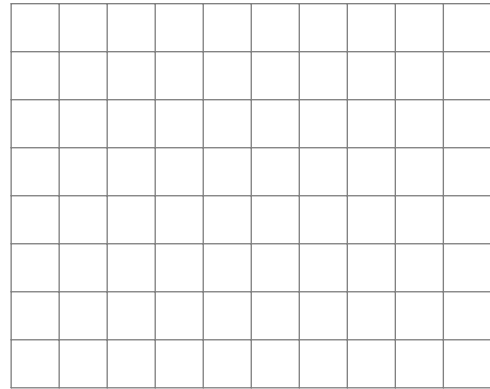
در هر یک از مورد زیر جبران ساز Lead-Lag را طراحی کنید تا معیارهای خواسته شده برای ورودی پله برآورده شوند :

۱- سیستم با تابع انتقال $G(s) = \frac{1}{s(s+1)}$ برای دستیابی به $P.O. < 5\%$ و $t_s < 1/2_s$ ، $e_{ss} < 2\%$

اینک پاسخ خروجی سیستم حاصل را به ورودی پله در شکل زیر رسم نمایید.



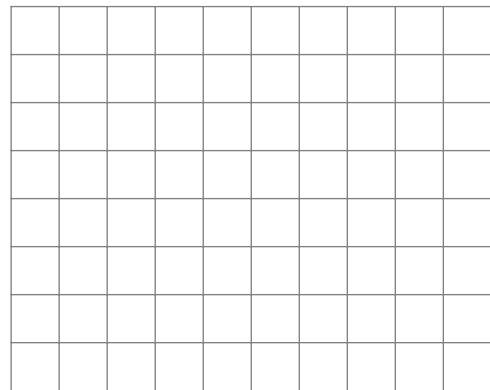
همچنین سیگنال اعمال شده از کنترل کننده به فرآیند (u) را در شکل زیر رسم کنید.



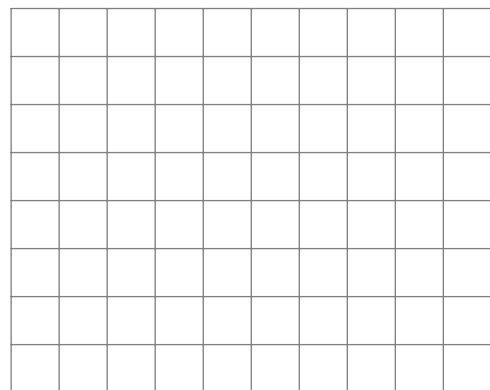
۲- سیستم با تابع انتقال $G(s) = \frac{1}{s(s+1)}$ برای دستیابی

به $P.O. < 5\%$ و $t_s < 1/5_s$ ، $e_{ss} < 2\%$

اینک پاسخ خروجی سیستم حاصل را به ورودی پله در شکل زیر رسم نمایید.



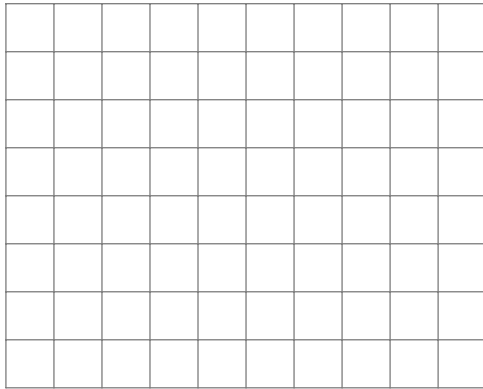
همچنین سیگنال اعمال شده از کنترل کننده به فرآیند (u) را در شکل زیر رسم کنید.



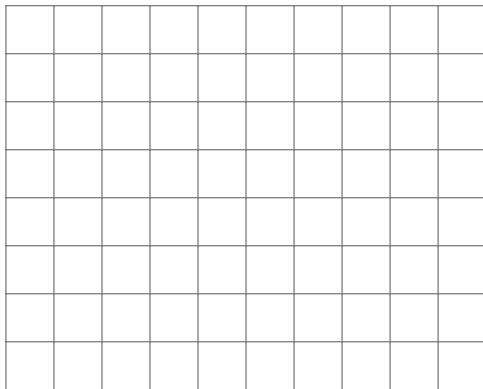
۳- سیستم با تابع انتقال $G(s) = \frac{1}{s(s+1)^2}$ برای دستیابی

به $e_{ss} < 2\%$ و حداقل جهش قابل دسترسی

اینک پاسخ خروجی سیستم حاصل را به ورودی پله در شکل زیر رسم نمایید.

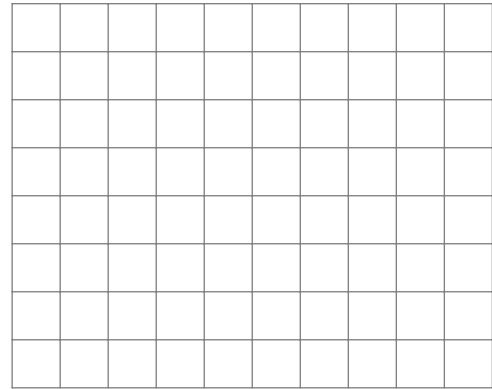


همچنین سیگنال اعمال شده از کنترل کننده به فرآیند (u) را در شکل زیر رسم کنید.



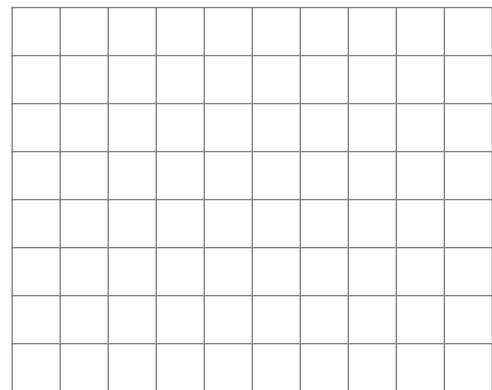
۲-۴-۴- ساختارهای خاص در کنترل :

۱- می دانیم صفر مسیر مستقیم و قطب مسیر فیدبک در خروجی حلقه به صورت صفر ظاهر می شوند. یکی از مشکلاتی که در کار با کنترل کننده ها با آن مواجه می شویم اثر صفر در خروجی است که موجب انحراف مشخصات پاسخ از هدف طراحی می گردد (روشهای طراحی بر اساس دستیابی به قطبهایی که معیار را فراهم می کنند استوارند). بعنوان مثال طراحی کنترل کننده PD برای دستیابی به $e_{ss} < 2\%$ ، $t_s < 1/5_s$ و $P.O. < 5\%$ در سیستم با تابع انتقال $G(s) = \frac{1}{s(s+1)}$ را در نظر بگیرید. اگر کنترل کننده را در مسیر مستقیم قرار دهیم اثر صفر در خروجی ظاهر می شود. اینک در حالیکه کنترل کننده در مسیر فیدبک قرار گرفته باشد آزمایش را انجام دهید و پاسخ به ورودی پله را رسم نمایید.

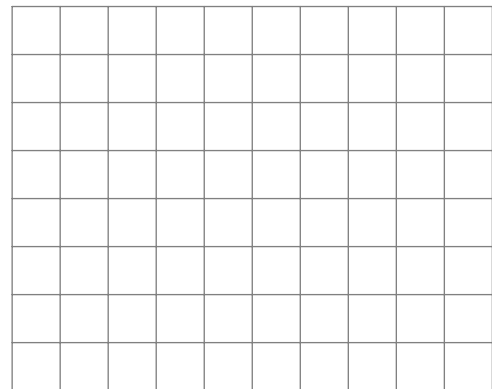


۲- سیستم با تابع انتقال $G(s) = \frac{1}{s^2}$ برای دستیابی به $P.O. < 5\%$ و $t_s < 2/5_s$ ، $e_{ss} < 2\%$

اینک پاسخ خروجی سیستم حاصل را به ورودی پله در شکل زیر رسم نمایید.

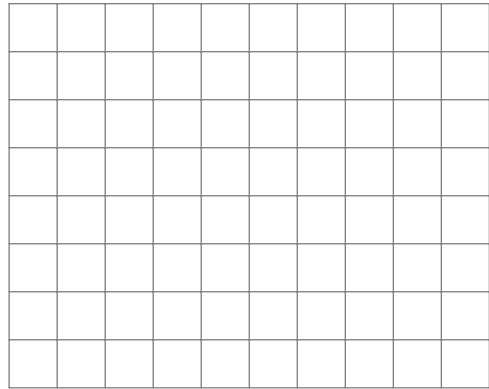


همچنین سیگنال اعمال شده از کنترل کننده به فرآیند (u) را در شکل زیر رسم کنید.

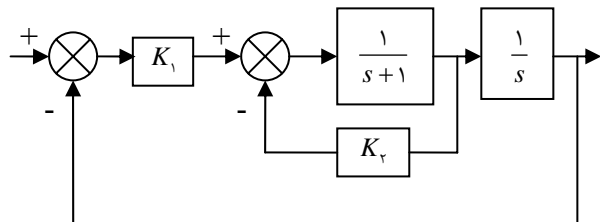


۳- سیستم با تابع انتقال $G(s) = \frac{1}{(s+1)^2}$ برای دستیابی به $P.O. < 5\%$ و $t_s < 3_s$ ، $e_{ss} < 2\%$

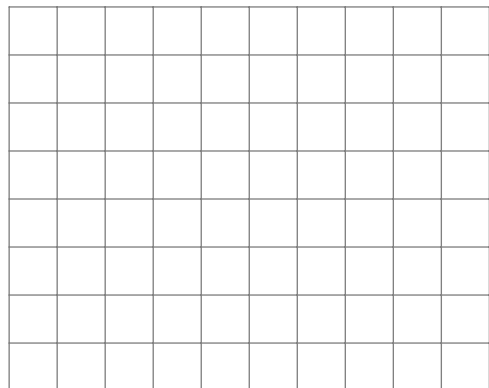
اینک پاسخ خروجی سیستم حاصل را به ورودی پله در شکل زیر رسم نمایید.



۲- استفاده از حلقه‌های داخلی نیز می‌تواند در کنترل فرآیندها مورد استفاده واقع شود. فرض کنید فرآیند با تابع انتقال $G(s) = \frac{1}{s(s+1)}$ بگونه‌ای در اختیار است که می‌توان آنرا به دو قسمت $G_1(s) = \frac{1}{s+1}$ و $G_2(s) = \frac{1}{s}$ تقسیم نمود. اگر از هر دو بخش فیدبک بهره مطابق شکل زیر بگیریم به ساختار کنترلی بسیار مؤثری معادل فیدبک حالت دست می‌یابیم (در برخی فرآیندها همچون موتور DC چنین امکانی وجود دارد).



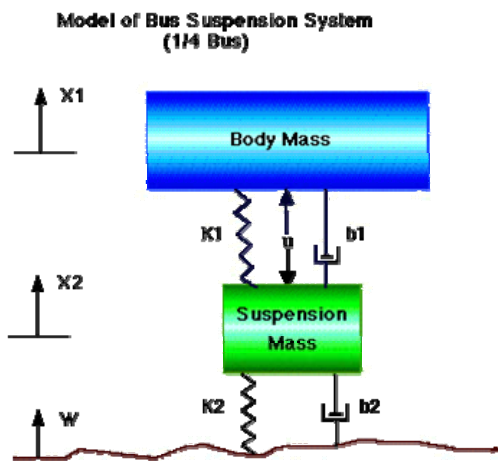
اینک ضرایب بهره فیدبک را برای دستیابی به $e_{ss} < 2\%$ ، $t_s < 1/5_s$ و $P.O. < 5\%$ محاسبه کنید. آزمایش را انجام دهید و پاسخ به ورودی پله را رسم نمایید.



۳- پیادهسازی کنترل بر روی نمونه‌هایی از سیستمهای واقعی

مناسب می‌تواند به صورت ویژگیهای پاسخ به ورودی پله یا پاسخ فرکانسی مطرح شود. در شکل ساده مسئله تابع انتقال برای یک چهارم خودرو (تعلیق یک چرخ) بررسی می‌شود. در حالتی کلی‌تر مسئله می‌تواند برای نیم خودرو و یا تمام خودرو داده شود.

اینک تابع انتقال سیستم تعلیق یک‌چهارم یک خودرو را در نظر می‌گیریم. این مجموعه شامل ۲ خاصیت فنی (فنی و لاستیک خودرو)، ۲ جرم (یک چهارم بدنه و چرخ) و ۲ ضریب میرایی (کمک‌فنر و لاستیک) است.



متغیرهای این تابع انتقال برای یک نمونه خودرو چنین تعریف می‌شوند.

$m_1=2500;$
 $m_2=320;$
 $k_1=80000;$
 $k_2=500000;$
 $b_1=350;$
 $b_2=15020;$

برای ساختن تابع انتقال در فضای نرم‌افزار MATLAB مقادیر فوق و عبارتهای زیر را در فضای MATLAB وارد کنید. تابع انتقال در ساختار فضای حالت بیان شده است.

```
A=[0 1 0 0;
    -(b1*b2)/(m1*m2)
    0
    ((b1/m1)*((b1/m1)+(b1/m2)+(b2/m2)))-(k1/m1)
    -(b1/m1);
    b2/m2 0 -((b1/m1)+(b1/m2)+(b2/m2)) 1;
    k2/m2 0 -((k1/m1)+(k1/m2)+(k2/m2)) 0];
B=[0 0 1/m1 (b1*b2)/(m1*m2);
```

۳-۱- مقدمه

فرآیندهای تجربه شده در آزمایش قبل فرآیندهای ساده‌ای بوده‌اند. در کار با فرآیندهای پیچیده‌تر نکاتی وجود دارد که در این آزمایش بررسی می‌شوند.

۳-۲- هدف

توابعی که در آزمایش قبل برای کنترل در نظر گرفته شده بودند دارای قطبهای ساده و بدون صفر بودند. در این آزمایش محدوده وسیعتری از توابع ممکن در نظر گرفته می‌شوند. به عنوان مثال این فرآیندها می‌توانند توابعی با قطبهای مختلط نزدیک به مبدأ یا حتی ناپایدار باشند. با استفاده از یکی روشهای طراحی در حوزه زمان یا در حوزه فرکانس کنترل‌کننده‌ای طراحی می‌شود که مشخصات مورد نظر مسئله برآورده شود. آزمایشها بر روی دستگاه شبیه‌ساز فرآیند و کامپیوتر انجام می‌شوند.

انتظار می‌رود در پایان آزمایش دانشجو بتواند در برخورد با سیستمهای ساده خطی از عهده طراحی و اعمال کنترل‌کننده مناسب جهت دستیابی به معیارهای مورد نظر برآید.

۳-۳- طرح مسئله

مسائل مختلفی را می‌توان جهت بررسی معرفی کرد. در آزمایشگاه فرآیندهای مختلفی برای گروههای مختلف آزمایشگاه ارائه خواهد شد. به عنوان نمونه یک مثال در مورد سیستم تعلیق خودرو مطرح می‌شود که روند مورد نظر در این آزمایش با این مثال مشخص خواهد شد.

۳-۳-۱- سیستم تعلیق خودرو

اتاقک خودرو بواسطه فنر و کمک‌فنر به چرخهای خودرو متصل است. ضرایب فنر و کمک‌فنر بگونه‌ای تعیین می‌شوند که اثر ناصافی جاده منجر به نوسانات ملایم اتاقک شود. معیار پاسخ

$$0 \quad -(b_2/m_2) \quad (1/m_1)+(1/m_2) \quad -(k_2/m_2)];$$

$$C=[0 \quad 0 \quad 1 \quad 0];$$

$$D=[0 \quad 0];$$

همانطور که مشاهده می‌شود فرآیند تعلیق خودرو در حالت عادی ورودی ندارد. بلکه اغتشاش وارد شده از طرف سطح جاده موجب می‌شود تعادل موجود در سیستم موقتاً بر هم خورده و جابجایی ایجاد شود. از آنجا که این مجموعه یک سیستم پایدار است سیستم نهایتاً به حالت پایدار (موقعیتهای نسبی قبل از اغتشاش) برمی‌گردد. هدف تنظیم حالت گذرای برگشتن به حالت پایدار خواهد بود. هر چه زمان برگشتن طولانی‌تر و نوسانات ملایم‌تر باشد سیستم تعلیق برای سرنشین مطلوبتر است. البته از جهات دیگر محدودیتهایی وجود دارد که این زمانها نمی‌توانند بیش از حد طولانی باشند.

نخست سیستم را بر روی کامپیوتر شبیه‌سازی کنید (استفاده از محیط Simulink توصیه می‌شود). پاسخ به اغتشاش ناشی از یک تغییر سریع (پله) از طرف جاده را بررسی نمایید.

برای اعمال کنترل: فرض کنید به محرکی دسترسی داشته باشیم که بتواند به موازات فنر و کمک فنر نیروی مورد نیاز مورد نظر را به فرآیند اعمال نماید. خروجی کنترل‌کننده مورد نظر این نیرو را تعیین خواهد کرد.

اینک با توجه به اطلاعاتی که از ساختار سیستم بدست آورده‌اید هدف کنترلی را تعریف نمایید. سپس با استفاده از روشهای تجربه شده کنترل‌کننده مناسب را برای دستیابی به اهداف کنترلی محاسبه نموده و در فضای Simulink اعمال نموده و پاسخ را بررسی نمایید. در صورت نیاز فرآیند طراحی و حتی تعریف اهداف کنترلی را اصلاح نمایید تا نهایتاً پاسخ مناسب از سیستم بدست آید.

۴- سیستم سروکنترل

پتانسیومتر خروجی، بلوک ترمز مغناطیسی و دیسکهای بار می شود که عملکرد هر یک به اجمال مرور می شوند.

۴-۱- مقدمه

۴-۳-۱- منبع تغذیه - Power Supply Unit

PS150E

این بخش جهت تغذیه بلوکهای مختلف مجموعه مورد استفاده قرار می گیرد. ولتاژهای $24V_{DC}$ ، $15V_{DC} \pm$ و $227V_{AC} \pm$ را تولید می کند. ولتاژ $24V_{DC}$ جهت تحریک موتور بوده که از طریق کابلی از این بخش به بخش موتور منتقل می شود. جریان مصرفی موتور بر روی آمپرمتری بر روی این بخش مشاهده می شود. ولتاژهای $15V_{DC} \pm$ جهت تغذیه بلوکهای خارجی تولید می شود که دانشجو باید قبل از شروع آزمایش از طریق این بخش تغذیه بلوکهای خارجی مورد استفاده را تأمین کند. ولتاژهای $227V_{AC} \pm$ دو ولتاژ متناوب با اختلاف فاز 180° هستند که در این آزمایش مورد استفاده قرار نمی گیرند. در صورت مصرف جریان بیش از حد فیوزهای حرارتی که در پشت این بخش قرار دارند عمل می کنند.

۴-۳-۲- محرک الکترونیکی موتور Servo

Amplifier - SA 150D

این بلوک ولتاژ لحظه ای مناسب را به موتور اعمال می کند. از طریق یک کابل به تغذیه و از طریق کابل دیگر به موتور متصل می شود. شش پین بر روی آن قرار دارد که برای شروع آزمایش باید اتصالات مشخص شده با حرف F دو به دو متصل شوند. از طریق ورودیهای ۱ و ۲ فرمان حرکت چپگرد و راستگرد موتور اعمال می شود. این دو ورودی متناظر با خروجیهای ۳ و ۴ بر روی بلوک تقویت کننده مقدماتی طراحی شده اند (باید به آنها متصل شوند).

۴-۳-۳- مجموعه موتور-تاکو DC Motor-Tacho

Unit - MT 150F

این بخش شامل موتور DC و تاکوژنراتور است که با یکدیگر کوپل شده اند. موتور از طریق یک کابل به بخش

اطلاعاتی که در بخشهای قبلی بدست آمده اند شامل بررسی فرآیند و بدست آوردن تابع انتقال، روشهای تحلیل (ریاضی) فرآیند و حلقه کنترلی، روشهای طراحی کنترل کننده ها و شبیه سازی بخشی از مسیر پیاده سازی یک فرآیند کنترلی را تشکیل می دهند. این ابزار کمک خواهند کرد تا با استفاده از روندی منظم برای تحلیل، طراحی و پیاده سازی فرآیند کنترلی، دستیابی به خواسته های کنترلی میسر شود.

سیستم سروکنترل DC امکان تجربه کنترلی یک فرآیند واقعی را بدست می دهد.

۴-۲- هدف

در این آزمایش روند تعیین تقریبی تابع تبدیل یک فرآیند واقعی انجام شده که بکمک آن کنترل کننده هایی جهت دستیابی به ویژگیهای معقول در پاسخ سیستم طراحی و پیاده و اعمال می شود.

در پایان آزمایش انتظار می رود دانشجو بتواند در برخورد با سیستمهای مقدماتی وساده واقعی، که بتوان برای آنها بطور تقریبی تابع تبدیل خطی در نظر گرفت، از عهده تعیین تابع انتقال و طراحی و اعمال کنترل کننده مناسب جهت دستیابی به معیارهای مورد نظر برآید.

۴-۳- پیش زمینه

در ابتدا لازم است مجموعه موتور DC موجود در آزمایشگاه معرفی شود. این مجموعه شامل بخشهای منبع تغذیه، محرک الکترونیکی موتور (تقویت کننده قدرت یا درایور)، مجموعه موتور-تاکو، بلوک تقویت کننده مقدماتی، بلوک تقویت کننده عملیاتی، بلوک کنترل کننده PID، بلوک پتانسیومتر ورودی، بلوک

۴-۳-۷- بلوک کنترل کننده PID 150Y

جهت تولید سیگنال کنترل استفاده می شود و ۲ ورودی اصلی دارد. ورودی بالایی مسیرهای بهره واحد و انتگرال گیر را تغذیه می کند و ورودی پایینی مخصوص مشتق گیر است. در انتهای این مسیرها یک جمع کننده قرار دارد که کلیدهای موجود در هر مسیر اگر در حالت IN باشند سیگنال مربوطه به جمع کننده اعمال می شود. سه مقدار ثابت زمانی انتگرال گیر، ثابت زمانی مشتق گیر و بهره بکمک ولومهای موجود قابل تنظیم هستند که محدوده تغییرات هر یک بکمک یک کلید در ۱۰ ضرب می شود. سیگنال ورودی پس از اعمال تابع PID با تابع انتقال $G_{PID}(s) = K(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s)$ در خروجی 0° و منهای آن در خروجی 180° تولید می شود.

۴-۳-۸- بلوک پتانسیومتر ورودی

دارای یک پتانسیومتر $10K\Omega$ است و امکان چرخیدن تنها 300° را دارد. معمولاً دو سر ثابت آن با ولتاژ $\pm 15V_{DC}$ تغذیه شده و از ولتاژ سر وسط (لغزنده) آن به عنوان سیگنال فرمان دستی استفاده می شود.

۴-۳-۹- بلوک پتانسیومتر خروجی

دارای یک پتانسیومتر $10K\Omega$ است که محور آن می تواند به خروجی جعبه دنده موتور متصل شود. امکان چرخیدن کامل 360° (دورهای متعدد) را دارد. معمولاً دو سر ثابت آن با ولتاژ $\pm 15V_{DC}$ تغذیه شده و از ولتاژ سر وسط (لغزنده) آن به عنوان سیگنال اندازه گیری موقعیت استفاده می شود.

۴-۳-۱۰- بلوک ترمز مغناطیسی

شامل ۲ مغناطیس دائم نعلی است که می تواند دیسک سبک نصب شده بر روی محور موتور را در بر بگیرد. به عنوان بار برای موتور استفاده می شود.

۴-۳-۱۱- دیسکهای بار

۲ نوع دیسک برای نصب بر روی محور موتور در اختیار است. جرم نوع سبک $32g$ و جرم نوع سنگین $320g$ و در صورت نصب اینرسی موتور را افزایش می دهند. بکمک نوع سبک بار مصرفی (ترمز مغناطیسی) نیز می توان به فرآیند اعمال نمود.

محرک موتور متصل است. موتور دارای میدان دو تکه (Split-Field) است که باعث می شود بتوان با تغذیه تک قطبی موتور را در دو جهت حرکت داد. دارای دو محور خروجی است. امتداد محور اصلی موتور از دو طرف آن بیرون آمده که از یک طرف آزاد بوده و جهت نصب دیسکهای مختلف بکار می رود و از طرف دیگر به تاکوژنراتور کوپل شده است. محور موتور، در طرف آزاد، قبل از خروج از محفظه موتور از جعبه دنده ای عبور می کند که در آن حرکت با نسبت ۳۰:۱ کاهش می یابد. خروجی جعبه دنده عمود بر محور اصلی موتور از دو طرف خارج شده است که به آن پتانسیومتر خروجی کوپل می شود. بخش تاکو ولتاژی DC متناسب با سرعت چرخش محور موتور تولید می کند که خروجیهای آن بر روی صفحه بالای موتور در اختیار هستند.

۴-۳-۴- بلوک تقویت کننده مقدماتی Pre-**Amplifier Unit - PA 150C**

این بخش سیگنال دو قطبی (مثبت یا منفی) را دریافت کرده و پس از تقویت، متناظر با آن، در خروجیهای ۳ و ۴ دو سیگنال مثبت مناسب برای تحریک ورودیهای ۱ و ۲ محرک موتور تولید می کند. کلید موجود باید همواره بر روی حالت Normal باشد و فقط از ورودیهای ۱ و ۲ آن استفاده می کنیم. قبل از شروع به کار باید Offset خروجی آن بکمک دکمه موجود حذف شود.

۴-۳-۵- بلوک تقویت کننده عملیاتی Op_Amp**Unit - OU 150 A**

در این بخش یک تقویت کننده عملیاتی قرار دارد که مدار فیدبک آن بکمک یک سلکتور انتخاب می شود. در آزمایشها فقط از فیدبک مقاومت استفاده می کنیم. در اینصورت حاصل جمع ۳ ورودی آن با بهره ۱- در خروجی تولید می شود. قبل از شروع به کار باید Offset خروجی آن بکمک دکمه موجود حذف شود. از این بلوک جهت بدست آوردن خطا (مقایسه ورودی فرمان با خروجی) استفاده می کنیم.

۴-۳-۶- بلوک تضعیف کننده Attenuator Unit**AU 150B**

شامل ۲ پتانسیومتر $10K\Omega$ است که ۳ سر هر یک جداگانه در اختیار هستند. برای تضعیف سیگنال استفاده می شوند.

۴-۴- آزمایش :

۴-۴-۱- وسایل مورد نیاز:

سیستم موتور DC، اسیلوسکوپ، سیگنال ژنراتور و کامپیوتر

۴-۴-۲- بدست آوردن تابع انتقال موتور:

در هر یک از مورد زیر کنترل کننده PID را طراحی کنید تا معیارهای خواسته شده برای ورودی پله برآورده شوند :

۱- بکمک یک پتانسیومتر از بلوک تضعیف کننده که به دو

سر ثابت آن ولتاژهای $+15V_{DC}$ و زمین متصل است

یک ولتاژ متغیر مثبت بسازید. این ولتاژ را به ورودی ۳

درایور موتور بدهید. ولتاژ اعمالی را از صفر بتدریج

بالا برده تا موتور شروع به حرکت کند. بکمک ساعت

دارای ثانیه شمار و شمردن دورهای دیسک نصب شده

یا پتانسیومتر خروجی سرعت چرخش محور موتور را

(دور بر دقیقه rpm) بدست آورید. در همین حالت

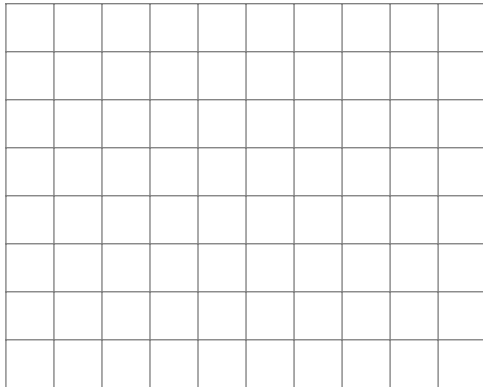
ولتاژ خروجی تاکو ژنراتور را نیز بخوانید و در جدول

یادداشت نمایید. از این نقطه تا رسیدن به دور

2000rpm در چهار تا پنج نقطه دیگر این کار را تکرار

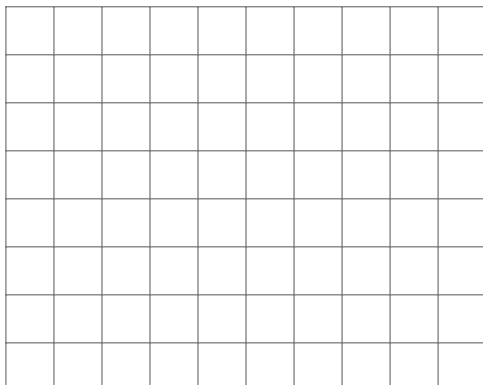
نمایید. رابطه دور ولتاژ موتور و تاکوژنراتور را در

نمودارهای زیر رسم کنید.

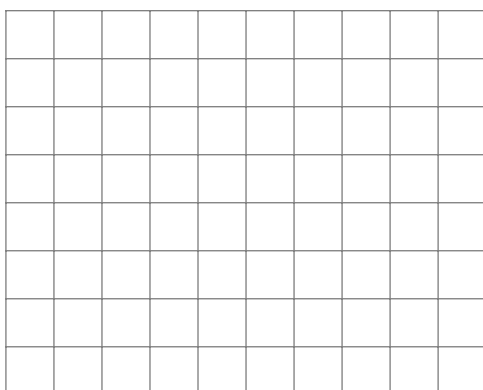


نمودار دور-ولتاژ تاکوژنراتور

با توجه به نمودار بدست آمده برای تاکو، ولتاژ خروجی متناظر با 500rpm را تعیین کنید. ولتاژ ورودی به درایور را بالا ببرید تا موتور به دور ۵۰۰ برسد (از طریق اندازه گیری ولتاژ خروجی تاکو). ولتاژ خروجی تاکو را بر روی اسیلوسکوپ مشاهده کنید. اینک تغذیه را خاموش کرده و تغییرات دور موتور (معادل با آن ولتاژ تاکو) را در شکل رسم کنید (اسیلوسکوپ حافظه دار را روی حالت Single با سرعت نزدیک به 1s/div قرار دهید)

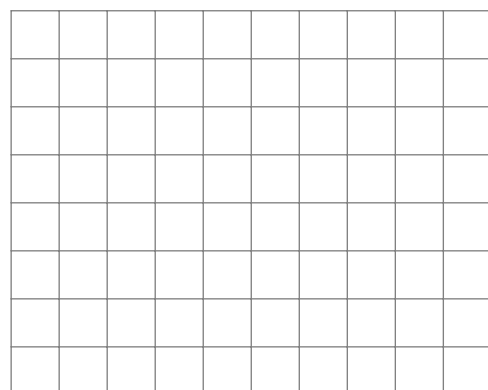


این کار را برای دورهای 250rpm و 1000rpm تکرار کنید.



سعی کنید از نمودارهای بدست آمده یک ثابت زمانی برای موتور بدست آورید.

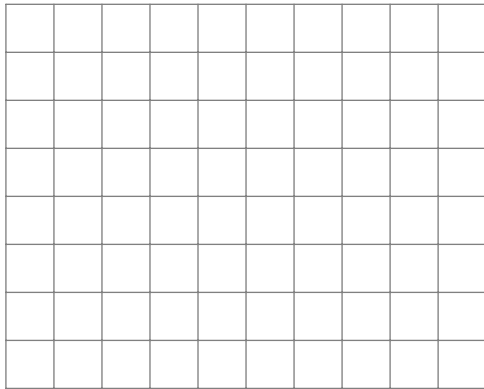
Input voltage (V)							
Motor speed (rpm)							
Tacho voltage (V)							



نمودار دور-ولتاژ موتور-درایور

از این پس زمانی که به موتور اشاره می شود منظور مجموعه تقویت کننده مقدماتی-درایور-موتور است که در آن خروجیهای ۳ و ۴ تقویت کننده مقدماتی به ورودیهای ۱ و ۲ درایور موتور متصل باشند. واضح است که ورودی این مجموعه ورودی تقویت کننده مقدماتی است و برای سهولت خروجی آن را نیز معمولاً ولتاژ تاکوژنراتور در نظر می گیریم.

به ورودی موتور (مجموعه ذکر شده) سیگنال مربعی اعمال نموده و پاسخ را در شکل زیر رسم کنید. با توجه به این پاسخ تابع انتقال موتور را بدست آورید.

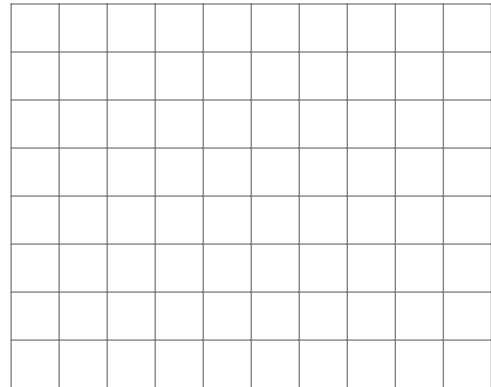


به ورودی موتور (مجموعه ذکر شده) سیگنال سینوسی اعمال نموده و مقادیر بدست آمده برای بهره و فاز را در جدول زیر بنویسید. توجه داشته باشید که اگر برای موتور تابع انتقال مرتبه یک در نظر بگیریم اندازه گیری در فرکانسی که در آن فاز ۴۵- باشد (فرکانس قطب) فرکانس پایین (خیلی قبل از قطب) و فرکانس بالا (خیلی بعد از قطب) کافی است. بر اساس مقادیر بدست آمده تابع انتقال موتور را تعیین کنید.

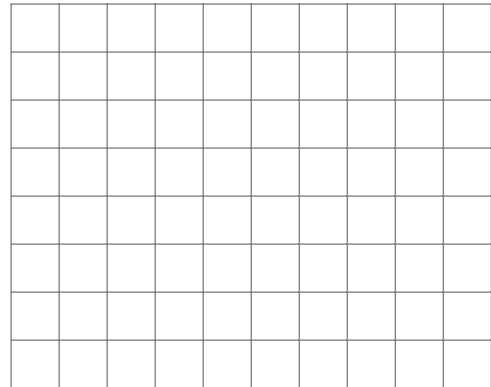
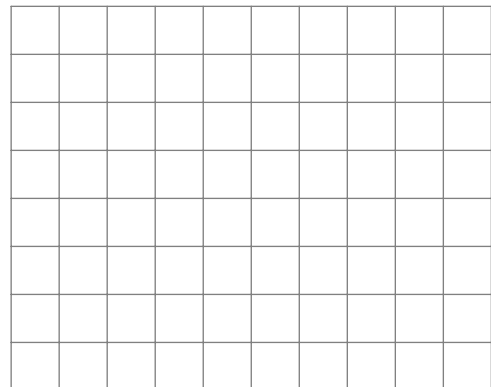
Frequency					
Gain					
Gain(db)					
Phase					

با توجه به تابعهای انتقال بدست آمده در سه قسمت قبل برای موتور تابع انتقال مناسب را تعیین کنید. معیار تعیین تابع انتقال بگونه ای باشد که بتوان برای بخشهای بعد که کنترل سرعت و موقعیت هستند کنترل کننده مناسب را طراحی نمود.

بلوک تقویت کننده مقدماتی را تغذیه کرده و سیگنال سینوسی ۲۰Hz به ورودی ۱ آن اعمال کنید. ورودی و خروجی ۳ را روی اسیلوسکوپ در حالت X-Y ببینید. دامنه و offset ورودی را بگونه ای تنظیم کنید که شیب تغییرات خطی خروجی در بزرگترین حالت روی اسیلوسکوپ مشاهده شود و در دو انتها کمی به اشباع رود. پاسخ را در شکل زیر رسم کنید.



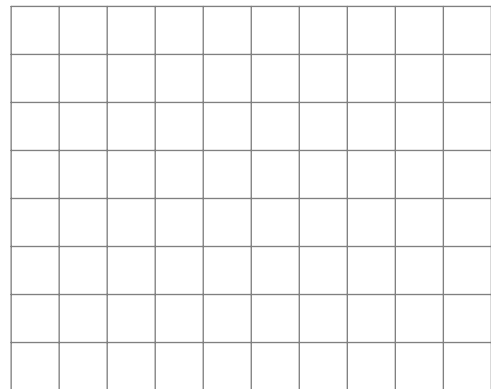
این کار را برای خروجی ۴ تکرار کنید.



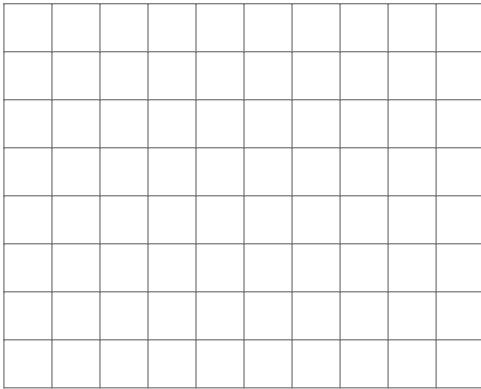
اینک با توجه به مقادیر بدست آمده برای بهره DC مجموعه تقویت کننده مقدماتی-درایور-موتور و ثابت زمانی محاسبه شده تابع انتقال مجموعه را به صورت $G_m(s) = \frac{K}{1 + \tau s}$ تعیین کنید.

۴-۳-۴- کنترل سرعت موتور :

اگر از تاکو فیدبک گرفته شود و با سیگنال فرمان مقایسه گردد حلقه کنترل سرعت شکل می گیرد. بهره منفی فیدبک در حلقه ایجاد می شود. پس از بستن حلقه در سیستم بدون ورودی (ورودی صفر یا قطع)، سیستم را روشن کرده و محور موتور را با دست بچرخانید. اگر بهره حلقه مثبت باشد (حلقه ناپایدار) موتور شروع به حرکت کرده و دور آن زیاد می شود. اما اگر بهره حلقه منفی باشد (حلقه پایدار) حرکت موتور میرا خواهد بود و اگر بهره حلقه زیاد باشد در برابر حرکت مقاومت خواهد کرد. برای ایجاد بهره منفی در حلقه استفاده از بهره منفی در حلقه (مانند خروجی PID) و یا جابجا کردن سیمهای پلاریته دار مسیر (مانند دو سر خروجی تاکو یا ارتباط تقویت کننده مقدماتی به درایور) ممکن است. برای مقایسه کننده از بلوک تقویت کننده عملیاتی استفاده کنید. خروجی آن را که سیگنال خطا خواهد بود از بلوک PID عبور داده و به ورودی موتور متصل کنید. ضرایب PID را برای دستیابی به جهش ۰/۵٪، خطای صفر و سرعت $0/25 (t_r)$ تعیین کنید. سیستم طراحی شده راپیاده کرده و پاسخ را با هدف طراحی مقایسه نمایید. در صورت نیاز تنظیمات جزئی برای بهبود پاسخ اعمال نمایید. پاسخ را در شکل رسم نمایید.

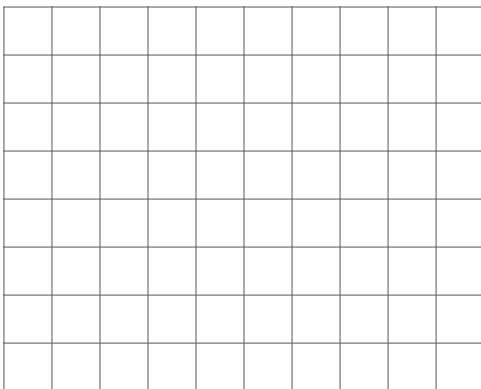


همچنین سیگنال اعمال شده از کنترل کننده به فرآیند (u) را در شکل زیر رسم کنید.



۴-۳-۴- کنترل موقعیت موتور :

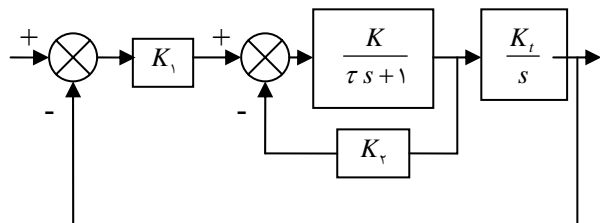
اگر از پتانسیومتر خروجی فیدبک گرفته شود و با سیگنال فرمان مقایسه گردد حلقه کنترل موقعیت شکل می گیرد. بهره منفی فیدبک نیز مشابه قبل در حلقه شکل می گیرد. تغییر در پلاریته سیگنال فیدبک با جابجا کردن دو سر تغذیه پتانسیومتر خروجی حاصل می شود. برای مقایسه کننده از بلوک تقویت کننده عملیاتی استفاده کنید. خروجی آن را که سیگنال خطا خواهد بود از بلوک PID عبور داده و به ورودی موتور متصل کنید. ضرایب PID را برای دستیابی به جهش ۰/۵٪، خطای صفر و سرعت $0/VS (t_r)$ تعیین کنید. سیستم طراحی شده راپیاده کرده و پاسخ را با هدف طراحی مقایسه نمایید. در صورت نیاز تنظیمات جزئی برای بهبود پاسخ اعمال نمایید. پاسخ را در شکل رسم نمایید.



همچنین سیگنال اعمال شده از کنترل کننده به فرآیند (u) را در شکل زیر رسم کنید.

۴-۵- کنترل موقعیت موتور با حلقه داخلی :

از آنجا در موتور موجود در آزمایشگاه هر دو مقدار سرعت و موقعیت اندازه گیری می شوند امکان کنترل بکمک حلقه داخلی نیز فراهم می شود. نحوه پیاده کردن سیستم در شکل زیر آمده است.



K_2 بهره ایست که سیگنال خروجی تاکو را به ورودی تقویت کننده مقدماتی (جمع کننده) برمی گرداند. با توجه به بهره زیاد این حلقه یک تضعیف کننده نیز کفایت می کند. بهره منفی فیدبک نیز مشابه قبل در حلقه ایجاد می شود. پایداری این حلقه بطور مجزا قبل از بستن حلقه موقعیت باید آزمایش شود. بلوک $\frac{K_t}{s}$ تابع انتقال سرعت به موقعیت موتور است. K_t را با توجه به اطلاعات در دست از بلوکهای سازنده محاسبه نمایید. برای بهره K_1 از بلوک PID استفاده کنید. برای حلقه خارجی از پتانسیومتر خروجی فیدبک گرفته می شود و با سیگنال فرمان مقایسه می گردد. پایداری حلقه خارجی نیز باید آزمایش شده و در صورت ناپایدار بودن با تعویض پلاریتته تغذیه پتانسیومتر خروجی پایداری حاصل گردد. ضرایب K_1 و K_2 را برای دستیابی به جهش 0.5% ، خطای صفر و سرعت $0.1/s (t_r)$ تعیین کنید. سیستم طراحی شده را پیاده کرده و پاسخ را با هدف طراحی مقایسه نمایید. در صورت نیاز تنظیمات جزئی برای بهبود پاسخ اعمال نمایید. پاسخ را در شکل رسم نمایید.