آزمایش اول

مدل سازی الکترونیکی سیستم های و شناسایی سیستم های مرتبه اول در عمل

1-1- مقدمه

در بحث تحلیل و طراحی سیستم های کنترل چهار بحث اصلی را می توان برشمرد که عبارتند از:

۱ - مدلسازی استاتیکی سیستم.

۲ - شناسایی سیستم.

۳ - تحلیل سیستم شامل تحلیل های حوزه زمان و فرکانس و تحلیل پایداری.

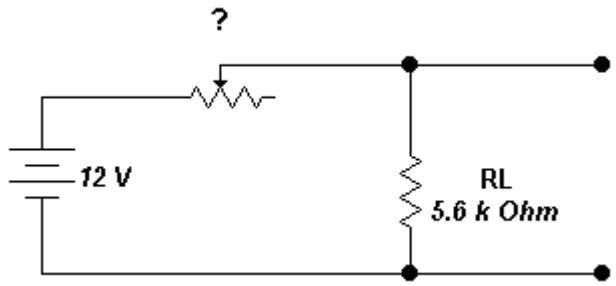
۴ - طراحی کنترل کننده ها و جبرانسازها.

در این آزمایش هدف اولیه آشنایی با مدلسازی الکترونیکی و عملی سیستم ها, کنترل کنند ها و جبرانساز ها و سپس شناسایی سیستم ها در حوزه زمان و فرکانس می باشد.

2-1- بافر

در بخش اول از این آزمایش ابتدا با اثر بارگذاری در مدارهای الکتریکی و الکترونیکی آشنا شده و سپس به منظور رفع این نقیصه استفاده از بافر پیشنهاد می گردد.

با استفاده از منبع ولتاژ با اختلاف پتانسیل 10 ولت و بستن مداری بصورت شکل (1-1) یک ولتاژ 6 ولت تولید نمایید.

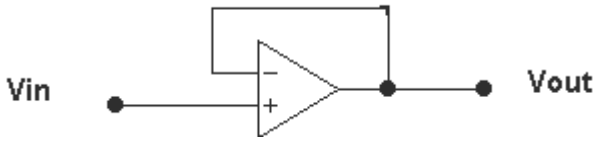


شکل (1-1)

حال با قرار دادن یک مقاومت $10^{k\Omega}$ به جای $R_L = 5.6^{k\Omega}$ مقدار ولتاژ خروجی را اندازه بگیرید. مجددا با تغییر پتانسیومتر مقدار ولتاژ خروجی را به 6 ولت برسانید و مجددا مقاومت $10^{k\Omega}$ دیگری را بصورت موازی با مقاومت قبلی قرار داده و مقدار ولتاژ را بخوانید.

علت تغییر ولتاژ چیست؟ (تحلیل خود را بطور کامل بنویسید)

به منظور رفع این مشکل می توان از بافر استفاده نمود. مدار بافری که در شکل (2-1) دیده می شود را به خروجی پتانسیومتر بسته و مجددا مراحل فوق را تکرار نمایید.(نتیجه را در گزارش خود بیاورید.)

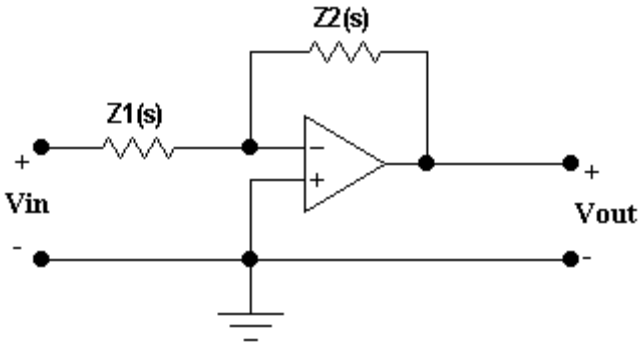


شکل(1-2), بافر

1-3- پیاده سازی توابع تبدیل با استفاده از تقویت کننده های عملیاتی

در مرحله دوم از این آزمایش یک تابع تبدیل را با استفاده از Op-Amp ساخته و سپس مشخصه های زمانی و فرکانسی سیستم مورد بررسی قرار خواهد گرفت. تاریخچه پیاده سازی الکترونیکی سیستم ها و خصوصا کنترل کننده ها به 1930 میلادی باز می گردد. این امر اولین بار در دانشگاه MIT صورت گرفت و نتایج جالبی را در ساخت و پیاده سازی عملی کنترل کننده ها به همراه داشت. در اینجا نیز با پیاده سازی توابع تبدیل مختلف با استفاده از تقویت کننده های عملیاتی سعی بر آشنایی بیشتر با این تکنیک و استفاده از آن در درک بهتر تئوری کنترل سیستم ها داریم.

در صورتی که تقویت کننده عملیاتی را مطابق شکل (3-1) در مدار به کار ببریم آنگاه با فرض بهره بالای تقویت کننده عملیاتی نسبت ورودی به خروجی (تابع انتقال متناظر) بصورت رابطه (1) خواهد بود. حال با انتخاب مناسب $Z_1(s)$ و $Z_2(s)$ می توان توابع تبدیل مختلف را تحقق بخشید.

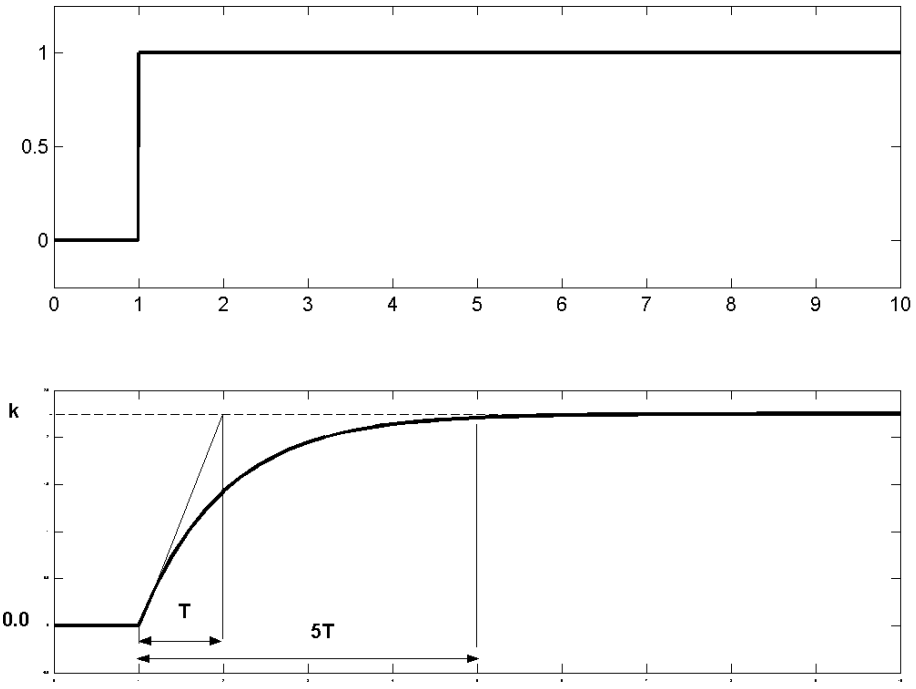


شکل(1-3), تحقق تابع انتقال

$$\frac{Vout}{Vin} = -\frac{Z_2(s)}{Z_1(s)} \qquad (1)$$

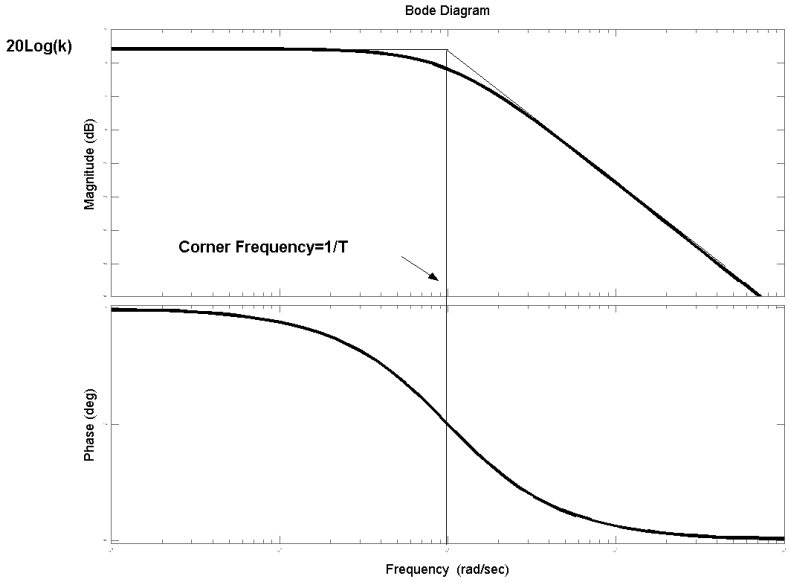
تذکر: در این آزمایش از تراشه TL074 که تعداد 4 عدد تقویت کننده عملیاتی با مقاومت ورودی بسیار بالا را در خود جا داده است استفاده می شود. مشخصات این تقویت کننده در شکل (1-6) نشان داده شده است.

- با استفاده از مطالب بالا مداری را ببندید که توسط آن بهره های DC با مقادیر 0/1 الی 10 را بتوان ایجاد نمود.
- با انتخاب مناسب $Z_1(s)$ و $Z_2(s)$ تابع تبدیل $G(s) = \frac{1}{0.0033s + 1}$ را محقق نمایید.
- پاسخ زمانی مدار نسبت به ورودی پله را مشاهده نموده و با استفاده از مشخصات پاسخ زمانی صحت طراحی را تحلیل نمایید. (از مشخصات شکل(1-4) کمک بگیرید.)
- با استفاده از پاسخ پله یک سیستم چگونه می توان تابع تبدیل آن سیستم را بدست آورد؟ (توضیح کامل)

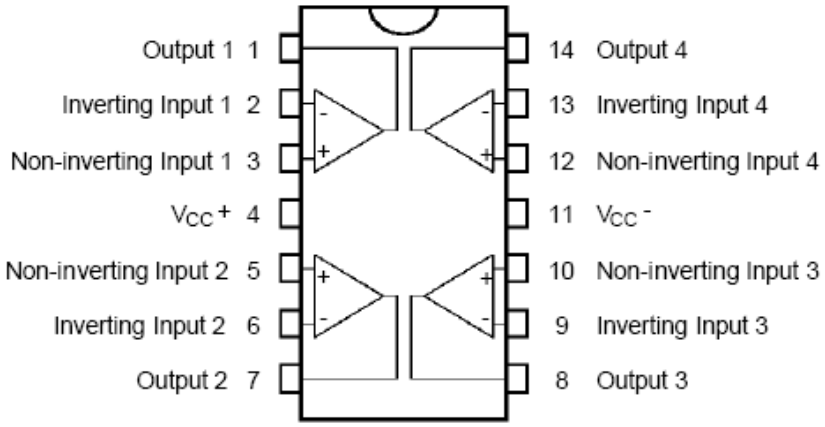


شکل (1-4), مشخصات پاسخ پله یک سیستم مرتبه اول نوعی بصورت $\frac{k}{Ts+1}$

- پاسخ فرکانسی مدار(نمودار bode) را مشاهده نموده و صحت طراحی خود را تحلیل نمایید.
- با فرض مینیمم فاز بودن یک سیستم و با استفاده از پاسخ فرکانسی (نمودار bode) آن سیستم چگونه می توان تابع تبدیل آن سیستم را بدست آورد؟ (از شکل (1-5) کمک بگیرید)



شکل (1-5), نمودار بود یک سیستم مرتبه اول نوعی بصورت $\frac{k}{Ts+1}$



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter		Value	Unit
V_{CC}	Supply Voltage - (note 1)		±18	V
V_i	Input Voltage - (note 3)		±15	V
V_{id}	Differential Input Voltage - (note 2)		±30	V
P_{tot}	Power Dissipation		680	mW
	Output Short-circuit Duration - (note 4)		Infinite	
T_{oper}	Operating Free Air Temperature Range	TL074C,AC,BC TL074I,AI,BI TL074M,AM,BM	0 to 70 –40 to 105 –55 to 125	°C

074-02.TBL

شکل (1-6), مشخصات تراشه TL074

آزمایش دوم

سیستم های مرتبه اول با حضور فیدبک و بهره تناسبی

2-1- مقدمه

یکی از مهمترین مباحث در سیستم های کنترلی حضور فیدبک و اثرات ناشی از آن می باشد. فیدبک یکی از بخش های مهم یک سیستم کنترلی است که از بدو خلقت, انسان همواره در زندگی روزمره خود از آن استفاده نموده است. اگر فیدبک را رکن اصلی در یک سیستم کنترلی تلقی نماییم گزاف نگفته ایم چرا که بدون حضور فیدبک, کنترل سیستم ها دچار مشکلات عمده ای می گردند. اما اضافه بر این, حضور فیدبک مناسب موجب بهبود عملکرد سیستم شامل کاهش ثابت زمانی, افزایش سرعت سیستم, کاهش حساسیت, کاهش خطای حالت ماندگار و ... می گردد. در این آزمایش هدف آشنایی با فیدبک مثبت و منفی و اثرات آن می باشد همچنین اثر حضور بهره ثابت در مسیر پیشرو و پسخور بررسی گشته و تلاش کنترلی[1](سیگنال کنترل) نیز معرفی خواهد گشت.

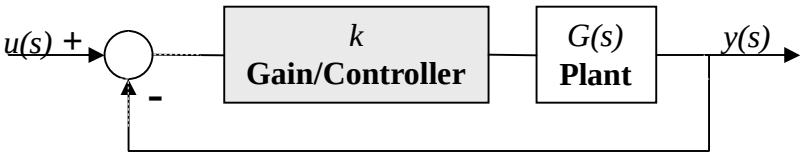
2-2- فیدبک های مثبت و منفی

سیستم های حلقه بسته می توانند دارای فیدبک مثبت و/یا منفی باشند. از دیدگاه کلی فیدبک مثبت موجب ناپایداری سیستم گشته و کاملا نامطلوب است و فیدبک منفی پارامتری کارا و مهم در کنترل سیستم ها محسوب می شود. (البته ذکر این نکته مفید خواهد بود که مطلوب و/یا نامطلوب بودن نوع فیدبک به مسئله مورد نظر یک مهندس باز می گردد.)

2-2-1- فیدبک منفی

در شکل (2-1) بلوک دیاگرام یک سیستم حلقه بسته با فیدبک منفی را مشاهده می نمایید. تابع تبدیل این بلوک دیاگرام بصورت $T(s)=\frac{y(s)}{u(s)}=\frac{kG(s)}{1+kG(s)}$ می باشد.

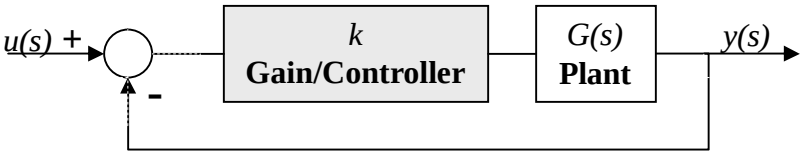
[1] Control Effort



شکل (2-1), فیدبک منفی

2-2-2- فیدبک مثبت

در شکل (2-2) بلوک دیاگرام یک سیستم حلقه بسته با فیدبک مثبت را مشاهده می نمایید.

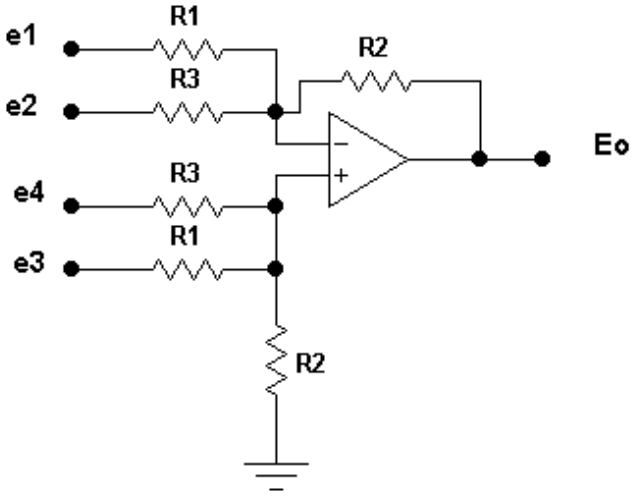


شکل(2-2), فیدبک مثبت

2-3- ایجاد فیدبک

به منظور ساخت *مقایسه گر* مثبت/منفی و نیز ایجاد فیدبک می توان از مدار شکل (2-3) بهره جست. ارتباط خروجی و ورودی های مدار شکل (2-3) را در رابطه (1) می توان دید.

$$Eo = \frac{R_2}{R_1}(e_3 - e_1) + \frac{R_2}{R_3}(e_4 - e_2) \qquad (1)$$

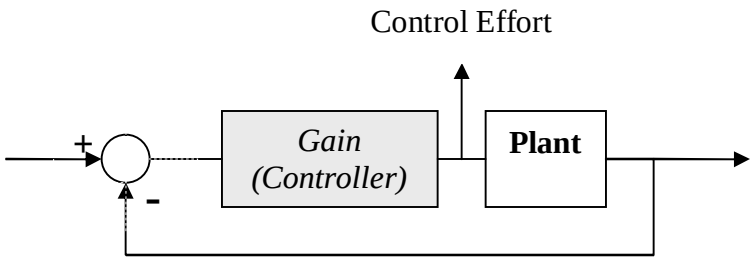


شکل (2-3), مقایسه گر

- تابع انتقال $G(s)=\frac{1}{0.0033s+1}$ را که در آزمایش اول تحقق داده اید در نظر گرفته و با بستن فیدبک مثبت نشان دهید که سیستم ناپایدار خواهد شد. (چگونگی این اتفاق را تحلیل نمایید)
- مجددا تابع انتقال $G(s)=\frac{1}{0.0033s+1}$ را تحقق داده و با بستن فیدبک منفی نشان دهید که سرعت سیستم افزایش (کاهش زمان نشست) یافته است. چگونگی انجام این کار را تحلیل نمایید.
- آیا افزایش سرعت سیستم را می توان به افزایش پهنای باند سیستم مربوط ساخت؟ این امر را به کمک نرم افزار MATLAB نشان دهید.
- اگر در مسیر پیشرو (*forward*) از بهره k استفاده نماییم آیا می توان قطب سیستم حلقه بسته را در 1000- جایگزین نمود؟ چگونه؟ مدار مربوطه را بسته و نتایج را نشان دهید.
- اگر در مسیر پسخور (*feedback*) از بهره k استفاده نماییم آیا می توان قطب سیستم حلقه بسته را در 1000- جایگزین نمود؟ چگونه؟ مدار مربوطه را بسته و نتایج را نشان دهید.
- با توجه به نتایج دو قسمت پیشین تفاوت حضور بهره در مسیر پیشرو و پسخور چیست؟ چرا؟

4-2- تلاش کنترلی (Control Effort)

تلاش کنترلی عبارت است از سیگنالی که کنترل کننده به منظور کنترل سیستم تحت کنترل خود به ورودی سیستم می فرستد تا رفتار مورد نظر طراح را در خروجی سیستم ایجاد نماید(شکل(2-4)). در طراحی و پیاده سازی عملی کنترل کننده ها این سیگنال از اهمیت بسیاری برخوردار است, نرم بودن این سیگنال, نداشتن ریپل با فرکانس بالا و نداشتن دامنه زیاد از جمله خواص مورد نظر کلیه طراحی ها در بررسی سیگنال تلاش کنترلی می باشد.



شکل (2-4), تلاش کنترلی

- حال با توجه به آشنایی با سیگنال تلاش کنترلی, بهره k را یک بار در مسیر پیشرو و بار دیگر در مسیر پسخور قرار داده و سیگنال تلاش کنترلی هر یک را مشاهده نمایید. با توجه به خواصی که در بالا متذکر گشتیم تفاوت حضور بهره در مسیر پیشرو و پسخور را بررسی نمایید.
- اگر بخواهیم از به اشباع رفتن Op-Amp ها جلوگیری نماییم. بهره را به چه صورتی استفاده نماییم؟ (پیشرو یا پسخور؟)

آزمایش سوم

سیستم های مرتبه دوم, حضور فیدبک و کنترل تناسبی

3- 1- مقدمه

پس از آشنایی با نحوه مدلسازی وشناسایی سیستم های مرتبه اول و بحث مهم اثرات حضور فیدبک, در این آزمایش هدف اولیه آشنایی با سیستم های مرتبه دوم است. این بحث از آنجایی حائز اهمیت است که در بسیاری از موارد در صنعت می توان سیستم های ناشناخته را با سیستم های مرتبه اول و دوم مدل نمود و طراحی سیستم کنترل را بر این اساس انجام داد. لازم به یادآوری است که از دیدگاه تئوری نیز کلیه سیستم ها از هر مرتبه ای قابلیت تفکیک به سیستم های مرتبه اول و دوم را دارا می باشند. در این آزمایش ابتدا به منظور مقایسه سرعت ما بین سیستم های مرتبه اول و دوم دیدگاه تازه ای را مورد بررسی قرا داده و سپس به سراغ اثر حضور فیدبک و بهره تناسبی (بحث مکان هندسی ریشه ها) بر سیستم های مرتبه دوم خواهیم رفت.

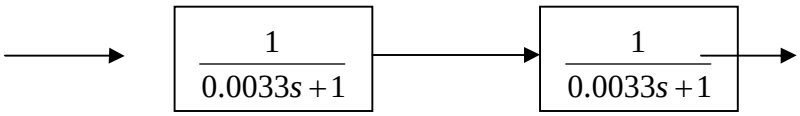
3-2- سیستم های مرتبه دوم و مقایسه با سیستم های مرتبه اول از دیدگاه سرعت پاسخ

یکی از ارکان اصلی در بحث تحلیل پاسخ زمانی سیستم ها, تحلیل سیستم های مرتبه دو و خصوصیات آن می باشد.

به منظور آنجام آزمایش ابتدا سیستم حلقه باز با تابع انتقال (1) را تحقق دهید. همانگونه که مشاهده می نمایید $G(s)$ را میتوان یک سیستم مرتبه دو با میرایی بحرانی در نظر گرفت که با توجه به بحثهای تئوری, این سیستم دارای ماکزیمم سرعت ممکن در یک سیستم مرتبه دو می باشد.

$$G(s) = \frac{1}{(0.0033s+1)(0.0033s+1)} \qquad (1)$$

به منظور تحقق این سیستم می توان از ایده تفکیک توابع استفاده نمود و $G(s)$ را بصورت شکل (1-3) بازنویسی نمود.

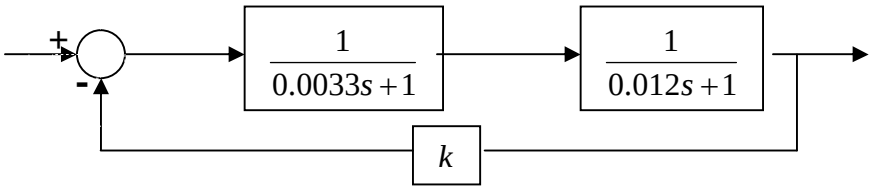


شکل (3-1), تفکیک سیستم

- در مقایسه بین $G(s)$ به عنوان یک سیستم مرتبه دو و سیستمی با تابع انتقال $\frac{1}{0.0033s+1}$ به عنوان یک سیستم مرتبه اول با انجام آزمایش کدام سیستم سریعتر است؟ علت آن را توضیح دهید.

3-3- قطبهای حلقه بسته

یکی از مباحث مهم در تحلیل سیستم ها بحث مکان هندسی ریشه ها در تحلیل پایداری سیستم حلقه بسته, نوع پاسخ سیستم حلقه بسته و تحلیل اثرات تغییر بهره در رفتار پاسخ زمانی سیستم می باشد. اگر چه در آزمایشگاه رسم مکان هندسی ریشه ها هدف نیست و این بحث به حد کافی در درس سیستم های کنترل خطی مطرح گشته است ولیکن قصد داریم با توجه به مشاهده شکل و نوع پاسخ خروجی به ازای تغییرات بهره از سویی و نظر به مکان هندسی ریشه ها از سوی دیگر, درستی مطالب گفته شده را در عمل مشاهده نماییم.



شکل (3-2), سیستم مرتبه دو حلقه بسته

- با افزایش بهره (k) چه چیزی را مشاهده می نمایید؟ (از نظر سرعت, خطای حالت ماندگار, نوع پاسخ و ....)
- در چه مقدار بهره, حداکثر سرعت برای سیستم فوق اتفاق خواهد افتاد؟

- مقدار فراجهش را در بهره حدود 4 په مقدار است؟ این مطلب با آنچه در پیشگزارش و شبیه سازی آمده است مطابقت دارد؟
- اگر بهره را از حدود صفر تا بی نهایت افزایش دهیم و در هر مرحله قطب ها را با توجه به شکل پاسخ بدست آوریم به چه چیزی دست خواهیم یافت؟
- اگر بهره را در مسیر پیشرو قرار می دادیم چه اتفاقی رخ خواهد داد؟ مزیت این کار چیست؟ با قرار دادن بهره در مسیر پیشرو این امر را نشان دهید.
- آیا با استفاده از فیدبک تناسبی میتوان محل قطب های سیستم را در هر محل دلخواهی جایگزین نمود؟ چرا؟

4-3- اثر فیدبک مثبت

با استفاده از فیدبک مثبت و بهره در مسیر فیدبک, حلقه را بسته و نشان دهید می توان با افزایش بهره سیستم را ناپایدار نمود.

- مقدار بهره ای که سیستم شروع به ناپایدار شدن می نماید چقدر است؟ و چرا؟
- آیا امکان نوسان پاسخ سیستم وجود دارد؟

آزمایش چهارم

سیستم های می نیمم فاز و غیر می نیمم فاز

4-1- مقدمه

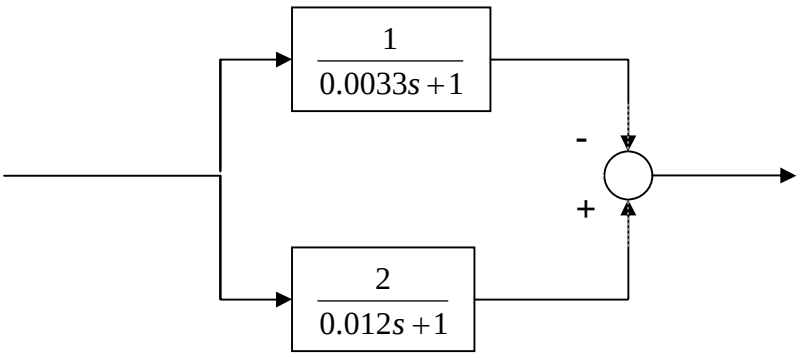
یکی از دسته بندی های مهم و قابل ذکر در بحث تحلیل سیستم های خطی دسته بندی آنها به سیستم های می نیمم فاز و غیر می نیمم فاز می باشد. این دسته بندی از سیستم ها را با توجه به فاز سیستم در نمودار بود یا منحنی نایکوئیست سیستم انجام داده اند ولیکن این امر را می توان بر اساس محل صفر و قطب های سیستم یا پاسخ زمانی سیستم نیز انجام داد. درعمل سیستم هایی نظیر بویلر, PH سنج از جمله سیستم های غیر مینیمم فاز می باشند. (تمامی سیستم هایی که در سه آزمایش گذشته مورد بررسی قرار گرفته اند می نیمم فاز بوده اند.)

4-2- معرفی سیستم های غیر می نیمم فاز

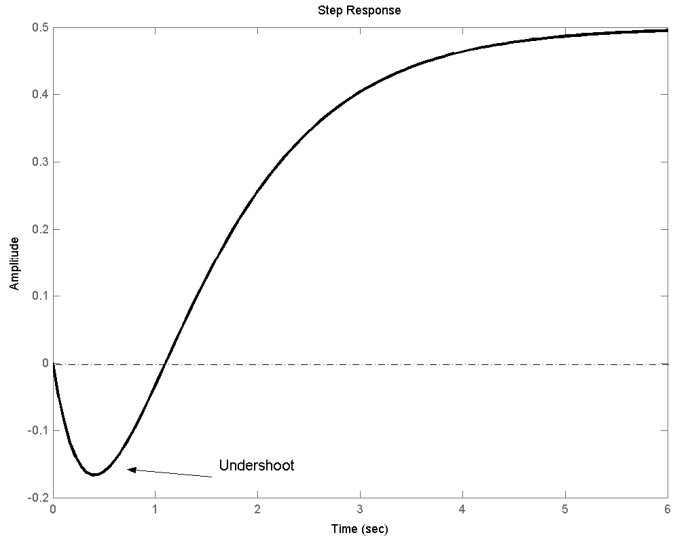
سیستم هایی را که دارای صفر/ قطب سمت راست باشند, غیر می نیمم فاز می نامند ولیکن آنچه در این آزمایش مد نظر ما است آزمایش بر روی سیستم های دارای صفر سمت راست می باشد.

4-2-1- تحقق یک سیستم با صفر سمت راست

به منظور ایجاد یک سیستم مرتبه 2 با صفر سمت راست می توان از بلوک دیاگرام شکل (4-1) سود جست. پاسخ پله این دسته از سیستم ها دارای فروجهشی بصورت شکل (4-2) می باشد که یکی از راههای شناخت سیستم های غیر می نیمم فاز می باشد.



شکل (4-1), مدلسازی یک سیستم غیر می نیمم فاز



شکل (4-2), پاسخ پله یک سیستم غیر می نیمم فاز

4-3- بررسی پاسخ های زمانی برای یک سیستم غیر مینیمم فاز

- پاسخ پله سیستم فوق را بررسی کرده و با پاسخ سیستم های می نیمم فاز مقایسه نمایید.
- اگر حلقه سیستم با فیدبک منفی واحد بسته شود پاسخ سیستم به چه صورتی می باشد؟ با انجام عملی این آزمایش این امر را بررسی نمایید.
- با توجه به پاسخ مرحله قبل و رسم مکان هندسی ریشه ها انتظار شما از افزایش بهره در مسیر فیدبک برای سیستم غیر مینیمم فاز چیست؟ به ازای چه مقداری از بهره سیستم ناپایدار می گردد؟
- با توجه به این آزمایش آیا کنترل سیستم های غیر می نیمم فاز مشکل تر از سیستم های می نیمم فاز است؟ چرا؟

آزمایش پنجم

طراحی جبرانساز پیش فاز

5-1- مقدمه

یکی از راههای پیشنهادی به منظور دست یافتن به پاسخ های مطلوب برای سیستم استفاده از جبرانسازها است. از مهمترین این جبرانسازها می توان به جبرانسازهای پیش فاز و پس فاز اشاره نمود. هر یک از این جبرانسازها رویکرد متفاوتی را در کنترل و بهبود پاسخ سیستم در پیش گرفته اند و لازم است با اطلاع کافی از خواص آنه‌ا در طراحی استفاده گردند. در این آزمایش پس از آشنایی بیشتر با خواص جبرانساز پیش فاز نحوه طراحی و بررسی خواص آن مد نظر خواهد بود.

5-2-معرفی جبرانساز پیش فاز (Phase Lead Compensator)

همانگونه که از نام جبرانساز پیش فاز به ذهن می رسد این جبرانساز با افزایش فاز به بهبود رفتار سیستم خواهد پرداخت. تابع تبدیل این جبرانساز بصورت (1) می باشد. که مقدار $a>1$ است.

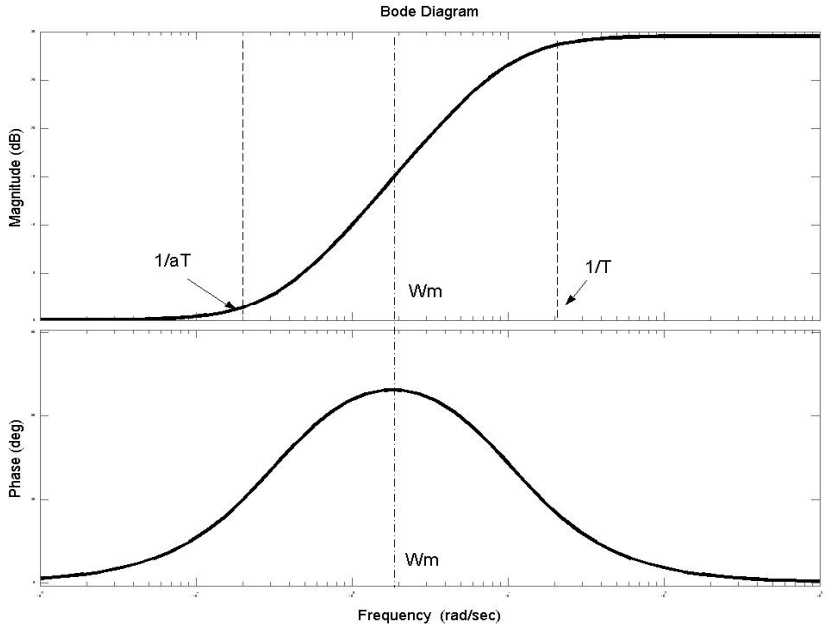
$$C(s)=\frac{aTs+1}{Ts+1} \qquad (1)$$

منحنی بود(Bode) این جبرانساز بصورت شکل (5-1) می باشد. همانطور که از این شکل مشاهده می شود این جبرانساز افزایش فاز سیستم را به همراه خواهد داشت و از این خاصیت در طراحی استفاده می شود. خواص جبرانساز پیش فاز عبارتند از:

۱ - خطای حالت ماندگار را تغییر نمی دهد. (ولیکن با اضافه نمودن بهره ثابت می توان آن در جهت کاهش خطای حالت ماندگار تلاش نمود)

۲ - موجب افزایش سرعت سیستم و/یا به عبارت دیگر کاهش زمان نشست می گردد. این امر به علت افزایش پهنای باند صورت می گیرد.

۳ - کاهش فراجهش



شکل(5-1), نمودار بود جبرانساز پیش فاز

5-3- نحوه طراحی جبرانساز پیش فاز

به منظور طراحی جبرانساز پیش فاز لازم است مراحل زیر را انجام پذیرد:

1- بدست آوردن مقدار بهره (k), لازم را برای رسیدن به مقدار خطای حالت ماندگار مطلوب.

$$e_{ss} = \frac{1}{1+kG(0)} \qquad (2)$$

2- رسم نمودار بود تابع تبدیل حلقه باز با حضور بهره ثابت ($kG(s)$) و محاسبه مقدار حاشیه فاز(φ_o) برای آن.

3- مقدار حاشیه فاز مطلوب با توجه به رابطه ($\varphi_d = 100\xi$) تعیین گردد و از مقدار حاشیه فاز مرحله دوم کم نموده و مقدار فازی را که جبرانساز لازم است جبران نماید(φ_m) بدست آورید.

$$\varphi_m = \varphi_d - \varphi_o \qquad (3)$$

4- محاسبه مقدار a از رابطه (4)

$$a = \frac{1+\sin(\varphi_m)}{1-\sin(\varphi_m)} \qquad (4)$$

5- بدست آوردن مقدار فرکانس ω_m , ω_m فرکانسی است که در آن نمودار دامنه بود برابر با $-10\log_{10}^{a}$ باشد بدست آورید.

6- محاسبه مقدار T از رابطه (5)

$$T = \frac{1}{\omega_m \sqrt{a}} \qquad (5)$$

7- رسم نمودار بود سیستم جبران شده و بررسی درستی طراحی.

4-5- استفاده از جبرانساز پیش فاز در بهبود رفتار سیستم

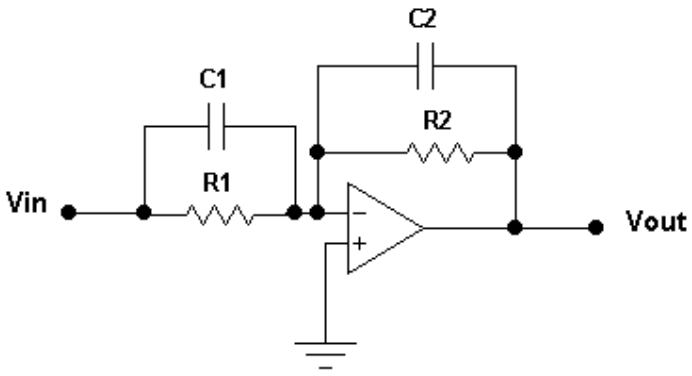
در این بخش هدف طراحی یک جبرانساز پیش فاز برای سیستمی با تابع تبدیلی بصورت (6) می باشد.

$$G(s) = \frac{1}{(0.0033s+1)(0.012s+1)} \qquad (6)$$

هدف از طراحی رسیدن به خطای حالت ماندگار کمتر از 10% و فراجهشی در حدود 10% می باشد.

- طراحی جبرانساز پیش فاز را برای این تابع تبدیل انجام داده و با شبیه سازی نشان دهید که جبرانساز پیشنهادی شما توانایی انجام این کار را دارد.
- آیا خواص جبرانساز پیش فاز را که در بالا اشاره شد در پاسخ سیستم مشاهده می نمایید؟

تذکر: به منظور تحقق مداری جبرانساز پیش فاز می توان از مدار شکل (2-5) استفاده نمود. این مدار دارای تابع تبدیلی بصورت $\frac{Vout}{Vin} = -\frac{R_2(R_1C_1S+1)}{R_1(R_2C_2S+1)}$ می باشد.



شکل (5-2), مدار پیشنهادی برای جبرانساز پیش فاز

آزمایش ششم

طراحی جبرانساز پس فاز

1-6- مقدمه

یکی دیگر از جبرانسازهای مطرح در کنترل سیستم های خطی جبرانساز پس فاز می باشد. در این آزمایش پس از آشنایی بیشتر با خواص جبرانساز پس فاز نحوه طراحی و بررسی خواص آن مد نظر خواهد بود.

2-6-معرفی جبرانساز پس فاز (Phase Lag Compensator)

همانگونه که از نام جبرانساز پس فاز به ذهن می رسد این جبرانساز دارای خاصیت نامطلوب کاهش فاز است که در صورت استفاده نابجا میتواند سیستم را به سمت ناپایداری سوق دهد.لذا در این جبرانساز لازم است که از کاهش بهره در فرکانسهای بالا برای جبران استفاده نمود و مواظب کاهش فاز احتمالی بود. تابع تبدیل این جبرانساز بصورت (1) و مشابه تابع تبدیل جبرانساز پس فاز می باشد با این تفاوت که مقدار $a<1$ است.

$$C(s)=\frac{aTs+1}{Ts+1} \qquad (1)$$

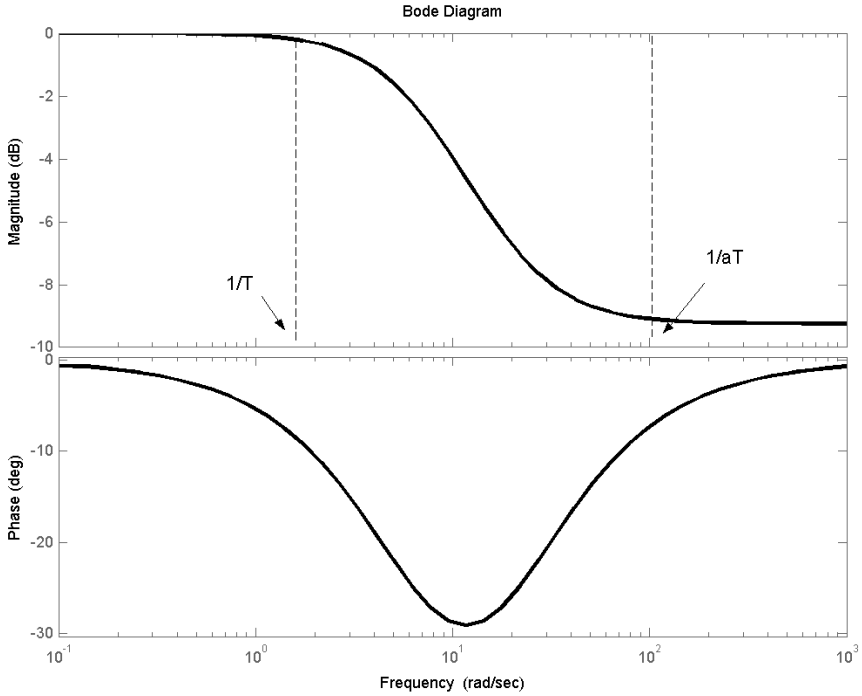
منحنی بود(Bode) این جبرانساز بصورت شکل (6-1) می باشد. همانطور که از این شکل مشاهده می شود این جبرانساز افزایش فاز سیستم را به همراه خواهد داشت و از این خاصیت آن در طراحی استفاده می شود.

خواص جبرانساز پیش فاز عبارتند از:

۱ - خطای حالت ماندگار را تغییر نمیدهد. (ولیکن با اضافه نمودن بهره ثابت می توان آن در جهت کاهش خطای حالت ماندگار تلاش نمود)

۲ - موجب کاهش سرعت سیستم و افزایش زمان نشست می گردد.

۳ - کاهش فراجهش



شکل(6-1), نمودار بود جبرانساز پس فاز

6-3- نحوه طراحی جبرانساز پس فاز

به منظور طراحی جبرانساز پس فاز لازم است که مراحل زیر را صورت داد:

1- بدست آوردن مقدار بهره (k), با توجه به مقدار خطای حالت ماندگار مطلوب (رابطه (2)).

$$e_{ss} = \frac{1}{1+kG(0)} \qquad (2)$$

2- رسم نمودار بود تابع تبدیل حلقه باز با حضور بهره ثابت ($kG(s)$), در این نمودار فرکانس ω_c را بگونه ای انتخاب نمایید که در این فرکانس به حاشیه فاز مطلوب ($\varphi_d = 100\xi$) دست یابید.

3- در فرکانس ω_c مقدار دامنه را از روی نمودار دامنه منحنی bode برحسب dB خوانده و آن را D بنامید و در نهایت با استفاده از رابطه (3) مقدار a را بدست آورید.

$$a = 10^{-\frac{D}{20}} \quad (3)$$

4- با توجه به اینکه لازم است مراقب اثر نامطلوب کاهش فاز بود لذا به منظور دوری از این اثر لازم است مقدار T را از رابطه (4) محاسبه نمود.

$$\frac{1}{aT} = \frac{1}{10}\omega_c \quad \Rightarrow \quad T = \frac{10}{a\omega_c} \quad (4)$$

5- رسم نمودار بود سیستم جبران شده و بررسی درستی طراحی.

4-6- استفاده از جبرانساز پس فاز در بهبود رفتار سیستم

در این بخش هدف طراحی یک جبرانساز پس فاز برای سیستمی با تابع تبدیلی بصورت (6) است.

$$G(s) = \frac{1}{(0.0033s+1)(0.012s+1)} \quad (6)$$

هدف از طراحی رسیدن به خطای حالت ماندگاری کمتر از 10% و فراجهشی در حدود 10% است.

- طراحی جبرانساز پس فاز را برای این تابع تبدیل انجام داده و با شبیه سازی نشان دهید که جبرانساز پیشنهادی شما توانایی انجام این کار را دارد.
- آیا خواص جبرانساز پس فاز را که در بالا اشاره شد در پاسخ سیستم مشاهده می نمایید؟

تذکر: به منظور تحقق مداری جبرانساز پس فاز می توان از مدار شکل (5-2) استفاده نمود. این مدار دارای تابع تبدیلی بصورت $\frac{Vout}{Vin} = -\frac{R_2(R_1C_1S+1)}{R_1(R_2C_2S+1)}$ است.

آزمایش هفتم

طراحی کنترل کننده های PI و PID

۷-۱- مقدمه

در کنار جبرانساز ها کنترل کنند ها نیز نقش بسیار مهمی را در کنترل سیستم ها برعهده دارند. در میان تعداد کثیری از کنترل کننده ها PI, PID نقش ویژه ای را در صنعت بر عهده دارند. در این آزمایش روشی صنعتی در طراحی این دسته از کنترل کننده ها و خواص آنها را مورد بررسی قرار خواهیم داد.

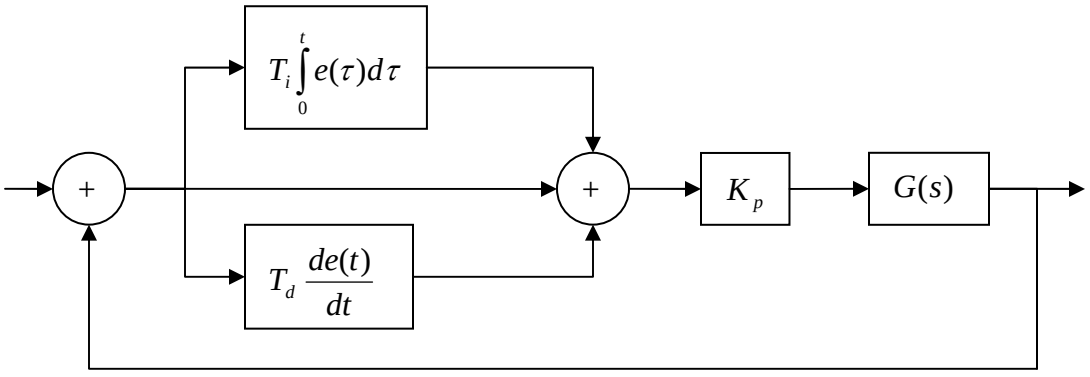
۷-۲-معرفی کنترل کننده PID

به منظور دست یافتن به پاسخ های مطلوب برای سیستم از کنترل کننده استفاده می شود. یکی از مهمترین و پرکاربدترین کنترل کننده ها در صنعت عبارت است از کنترل کننده PID یا به عبارت دیگر کنترل کننده تناسبی, انتگرالی و مشتقگیر. همانگونه که از نام این کنترل کننده مشخص می گردد, این کنترل کننده از سه جزء تشکیل شده است که هر یک دارای خواصی می باشند. از زیر مجموعه های کنترل کننده های PID می توان به کنترل کننده های PI و PD با خواص متضاد اشاره نمود. لازم به تذکر است که بسته به محل استفاده و رفتار مورد نظر طراح می توان از هر یک از کنترل کننده های مذکور سود جست.

رابطه ریاضی توصیف کننده یک کنترل کننده PID در رابطه (۱) نشان داده شده و محل قرار گرفتن این کنترل کننده در بلوک دیاگرم شکل (۱) مشاهده می شود.

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau)d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt} \Rightarrow u(t) = K_p (e(t) + \frac{1}{T_i}\int_0^t e(\tau)d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt}) \qquad (۱-۷)$$

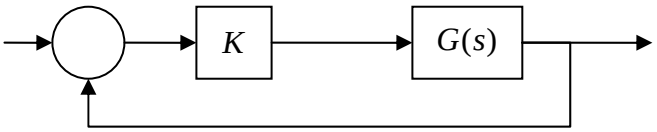
$$U(s) = K_p (1 + \frac{T_i}{s} + T_d s)E(s) \cong K_p (1 + \frac{T_i}{s} + \frac{T_d s}{\frac{T_d}{\beta}s + 1})E(s) \qquad (۲-۷)$$



شکل(۷-۱), بلوک دیاگرام یک سیستم کنترل با استفاده از کنترل کننده PID

۷-۳- تنظیم پارامترهای کنترل کننده PID با استفاده از روش زیگلر-نیکولز حلقه بسته

به منظور طراحی PID با استفاده از روش زیگلر-نیکولز لازم است که سیستم را در بلوک دیاگرامی بصورت شکل (۲) قرار داده و بهره K را تا جایی افزایش داد که سیستم به نوسان درآید. اگر مقدار بهره ای که پاسخ سیستم حلقه بسته به نوسان در می آید را K_{cr} و دوره تناوب این نوسانات را T_{cr} بنامیم, آنگاه با استفاده از جدول (۱) می توان پارامترهای کنترل کننده را تنظیم نمود.

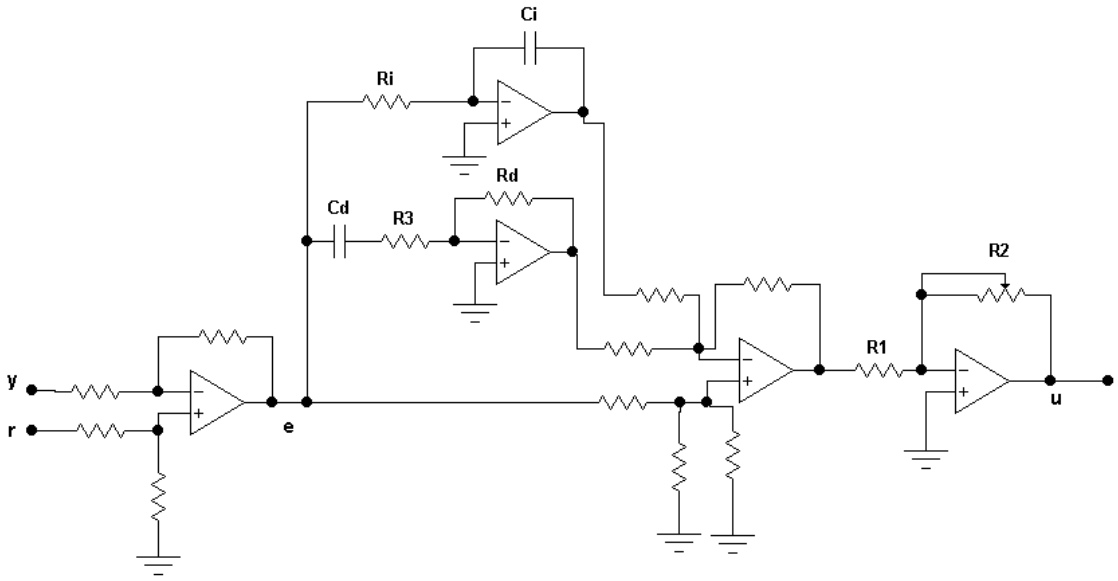


شکل (۷-۲), بلوک دیاگرام یک سیستم حلقه بسته با فیدبک منفی

Controller	K_p	T_i	T_d
P	$0.5K_{cr}$		
PI	$0.4K_{cr}$	$0.8T_{cr}$	
PID	$0.6K_{cr}$	$0.5T_{cr}$	$0.125T_{cr}$

جدول (۷-۱), جدول پارامترهای زیگلر-نیکولز

به منظور پیاده سازی عملی یک PID نیز می توان از مدار زیر و روابط زیر سود جست.



شکل (۷-۳), کنترل کننده PID

$$K_p = \frac{R_2}{R_1}, \qquad T_i = \frac{1}{R_i C_i}, \qquad T_d = R_d C_d, \qquad \beta = \frac{R_D}{R_3} \tag{۳-۷}$$

۷-۴- کنترل یک سیستم

حال با استفاده از آنچه در بخش های قبل گفته شد سیستمی را با تابع تبدیل زیر کنترل نمایید تا یک موج مربعی را دنبال نماید.

$$G(s) = \frac{1}{(0.0033s+1)^2 (0.012s+1)} \tag{۴-۷}$$

۱- ابتدا کنترل کننده PI طراحی نمایید.

۲- کنترل کننده PID طراحی نمایید.

۳- نتایج حاصل را مقایسه نمایید.