



دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

دستور کار

آزمایشگاه سیستمهای کنترل خطی

تهیه کننده:

دکتر ناصر اسکندریان

صلوات

تقدیم به ارواح مقدس

حضرت رسول و آل او

این دستور کار در سال ۱۳۷۱ همگام با راه اندازی آزمایشگاه توسط این جانب تهیه و در سال ۱۳۹۴ مورد تجدید نظر قرار گرفته است.

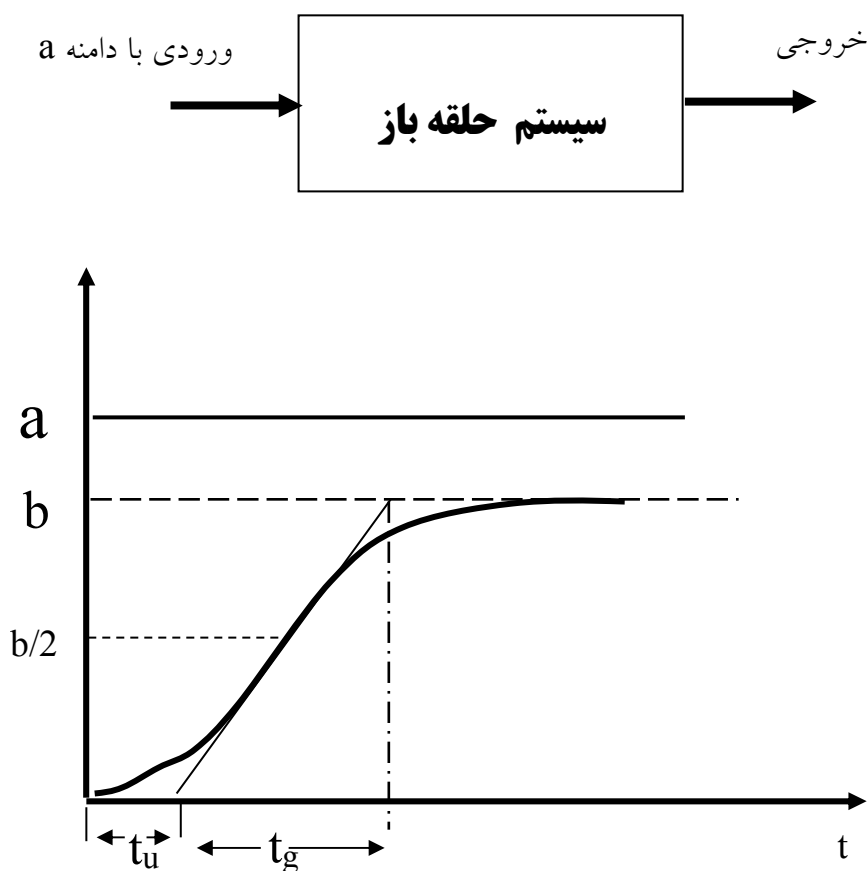
مقدمه:

در کنترل سیستم ها هدف دست یابی به کنترل کننده ای است که سیستم کنترل شونده در حداقل زمان با حداقل خطا به فرمان داده شده پاسخ دهد. برای مثال در طراحی و ساخت یک کنترل کننده برای یک ربات سعی بر این است که الگوریتم های کنترل به گونه ای اختیار شوند که ربات در حداقل زمان و تا حد ممکن بدون خطا از فرمان های صادر شده اطاعت کند. فیدبک عاملی است که امکان کنترل بهتر را برایمان فراهم می نماید و چون هدف پایداری سیستم ها می باشد لذا فیدبک باید از نوع منفی باشد. اما استفاده از فیدبک رفتار سیستم را با رفتار دلخواه زیاد نزدیک نمی نماید در این راستا برای بهبود عملکرد سیستم از کنترل کننده استفاده می نماییم. برحسب نوع سیستم میتوان از کنترل کننده های P , PI , PD , PID استفاده نمود. در درس سیستم های خطی و کنترل با داشتن معادله حاکم بر سیستم و با استفاده از روش های مختلف رفتار سیستم مورد بررسی قرار گرفته و درانتها برای سیستم کنترل کننده طرح می شد. یک روش عملی برای طراحی کنترل کننده، شناخت معادله ی دینامیکی حاکم بر سیستم و طراحی بر اساس نتایج حاصله است که در بعضی از سیستم های کنترل بکار گرفته می شود

و در شرایط مختلف معادله ی سیستم توسط یک سیستم خبره شناسایی و تخمین زده شده و سپس کنترل کننده ی مناسب برای آن طرح می شود این روش از حیطه این درس خارج بوده و لذا در اینجا نمی توان از آنها استفاده کرد روش های دیگری وجود دارد که از آنها میتوان در طراحی کنترل کننده بهینه برای یک سیستم بهره جست که در ادامه به تشریح این روشها می پردازیم

۱- استفاده از پاسخ استاتیکی (حلقه باز) سیستم

این روش که به روش (Chain, Hrones, Reswick) یا CHR معروف است از پاسخ حلقه باز سیستم سه پارامتر زمان مردگی، t_u و زمان جبران t_g و گین حلقه باز سیستم K_s را استخراج نموده و به کمک جدول زیر ضرایب کنترل کننده را بدست آورد.



بهره DC و حلقه باز سیستم از رابطه $K_s = b/a$ قابل محاسبه است

پارامترهای کنترل کننده شامل K_p ، T_n ، T_v می باشد که به ترتیب ضرایب کنترل کننده متناسب کنترل کننده انتگرال گیر و کنترل کننده مشتق گیر هستند.

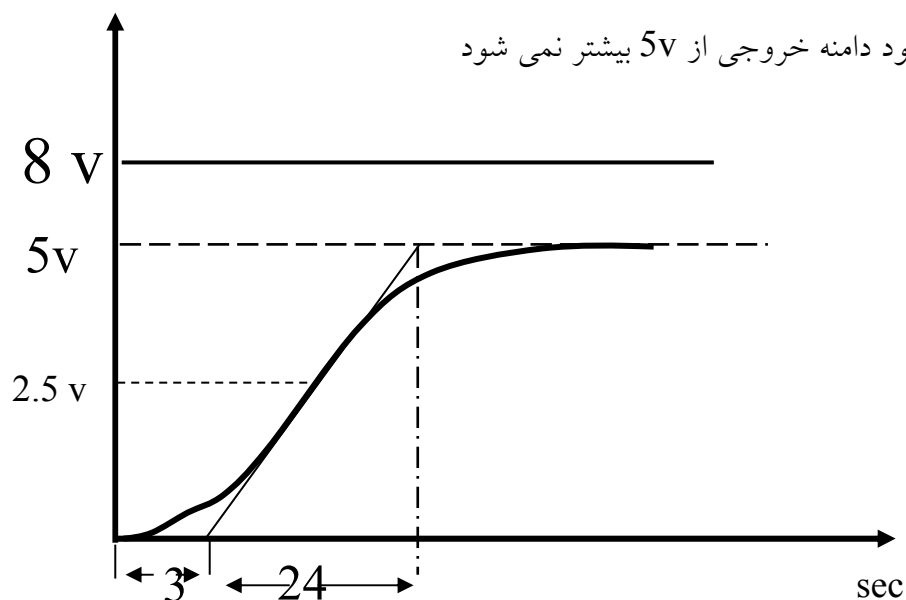
ضرایب پاسخ غیر پریودیک

ضرایب پاسخ با
۲۰٪ اورشوت

Type	Parameter	Setpoint	<u>Disturbance</u>	<u>Setpoint with 20% overshoot</u>	<u>Disturbance with 20% overshoot</u>
P	$K_s.K_p$	$0.3 T_g/T_u$	$0.3 T_g/T_u$	$0.7 T_g/T_u$	$0.7 T_g/T_u$
PI	$K_s.K_p$	$0.35 T_g/T_u$	$0.5 T_g/T_u$	$0.5 T_g/T_u$	$0.7 T_g/T_u$
	T_n	$1.2 T_g$	$4.0 T_g$	$1.0 T_g$	$2.3 T_g$
PID	$K_s.K_p$	$0.6 T_g/T_u$	$0.95 T_g/T_u$	$0.95 T_g/T_u$	$1.2 T_g/T_u$
	T_n	$1.0 T_g$	$2.4 T_g$	$1.35 T_g$	$2.0 T_g$
	T_v	$0.5 T_u$	$0.42 T_u$	$0.47 T_u$	$0.42 T_u$

مثال پاسخ حلقه باز یک سیستم بصورت زیر است دقت شود درحالی که ورودی 8v به سیستم

اعمال می شود دامنه خروجی از 5v بیشتر نمی شود



بهره DC و حلقه باز سیستم $K_s = 5/8$ خواهد شد

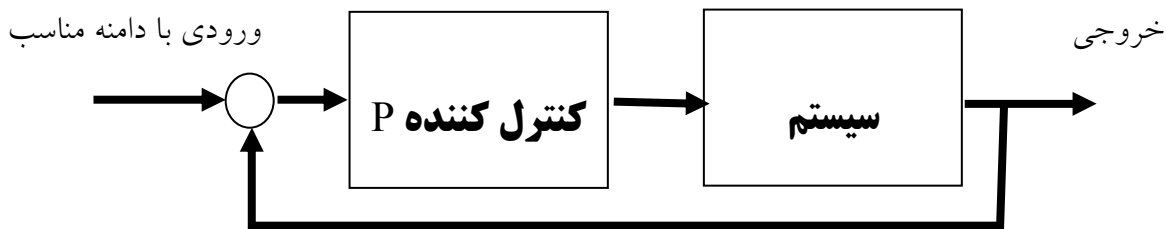
ضرایب کنترل کننده PID برای شرایط پاسخ غیر پریودیک بصورت زیر محاسبه می شود

$$K_p=0.6 \text{ Tg/Tu. } K_s= 0.6 *24/(3*5/8)=7.68$$

$$T_n = T_g=24 \text{ sec}$$

$$T_v = 0.5 T_u = 0.5 *3 =1.5 \text{ sec}$$

۲- استفاده از پاسخ دینامیکی (حلقه بسته) سیستم



این روش به روش ZN (Ziegler-Nichols) معروف است. در این روش سیستم را به صورت حلقه بسته با کنترل کننده متناسب و با فیدبک واحد به کار میگیریم. پس از اعمال ورودی بهره بحرانی K_{pcrit} از روی کنترل کننده P و پرپود نوسانات از روی اسیلوسکوپ T_{crit} را بدست می آوریم برای این کار بهره کنترل کننده متناسب را آنقدر زیاد می کنیم تا سیستم نوسانی شود (حداقل بهره لازم برای نوسانی شدن سیستم یا محل برخورد مکان ریشه ها با محور موهومی) با استفاده از این دو کمیت وبا استفاده از جدول آورده شده در صفحه بعدی ضرایب کنترل کننده بهینه برای سیستم فوق قابل استخراج میباشد لازم به ذکر است که این روش ساده تر از روش CHR است. ولی امکان نوسانی شدن سیستم باید وجود داشته باشد

سوال : درچه سیستم هایی با افزایش بهره امکان نوسانی شدن پاسخ وجود دارد؟

Controller	Type	K_P / K_{Pcrit}	T_N / T_{crit}	T_v / T_{crit}
P		0.5	-----	-----
PI		0.45	0.85	-----
PID		0.6	0.5	0.12

مثال : روش ZN را برای یک سیستم اجرا کردیم. سیستم در $K_{Pcrit} = 6.4$ نوسانی شده و پریود نوسانات آن $T=0.4 \text{ sec}$ می باشد ضرایب کنترل کننده PID را محاسبه نمایید

$$K_p = 0.6 K_{Pcrit} = 0.6 * 6.4 = 3.84$$

$$T_n = 0.5 T_{crit} = 0.2 \text{ sec}$$

$$T_v = 0.12 T_{crit} = 0.12 * 0.4 = 0.048 \text{ sec}$$

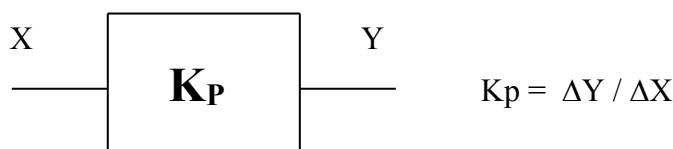
۳- روش سعی و خطا با استفاده از پاسخ سیستم :

در این روش سیستم به صورت حلقه بسته و با یک کنترل کننده PID به کار گرفته می شود. ابتدا کنترل کننده D , I را با خاموش کردن کلید مربوطه از مدار حذف می نماییم وبا افزایش K_p بهره بحرانی یا K_{Pcrit} را بدست می آوریم K_p سیستم را یک دوم K_{Pcrit} قرار داده و سپس انتگرال گیر باروشن نمودن کلید آن را در مدار قرار می دهیم ضریب انتگرال گیر را از مقادیر بزرگ به سمت مقادیر کوچک تغییر می دهیم تا جایی که سیستم در آستانه نوسان قرار گیرد . ضریب فوق در واقع همان ضریب انتگرال گیر کنترل کننده مطلوب است . سپس کنترل کننده مشتق گیر را در مدار قرار داده و ضریب آنرا از مقادیر کوچک به سمت مقادیر بزرگ افزایش می دهیم تا حدی که سیستم پایدار شده و خطای سیستم صفر گردد. بدین ترتیب ضرایب کنترل کننده بدست می آیند. برای مثال دریک سیستم بازاء $K_p = 7$ سیستم نوسانی می شود $K_p = 3.5$ میزان مناسب ضریب کنترل کننده متناسب است با قرار دادن $K_p = 3.5$ کنترل کننده انتگرال گیر را روشن نموده و از مقادیر بزرگ بارامی آنرا کم می کنیم در $T_n = 0.15 \text{ sec}$ سیستم شروع به نوسان می کند این مقدار ضریب مناسب برای کنترل کننده انتگرال گیر است با قرار دادن $T_n = 0.15 \text{ sec}$ کنترل کننده مشتق گیر را روشن نموده و مقادیر آن را از کم به زیاد افزایش می دهیم در $T_v = 0.06 \text{ sec}$ نوسانات از بین رفته و خطا صفر می شود (روی برد کنترل کننده PID نور سبز رنگ LED ثابت می ماند) این سه ضریب ضرایب کنترل کننده مطلوب هستند

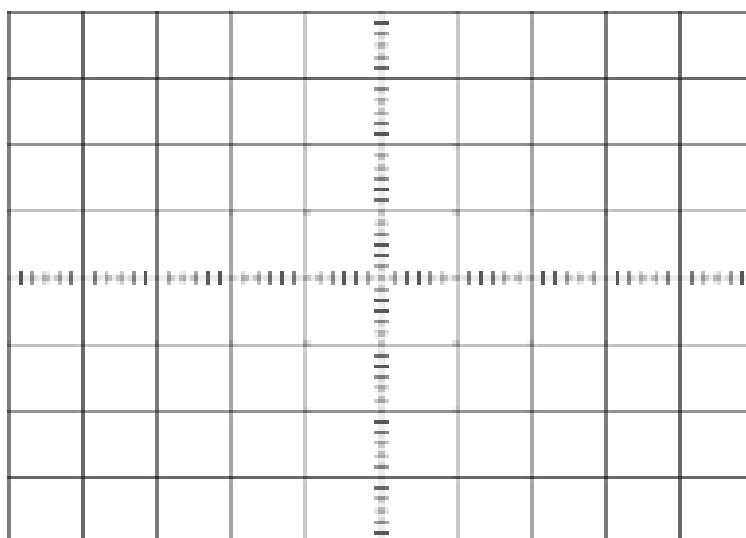
آزمایش اول شناخت کنترل کننده ها

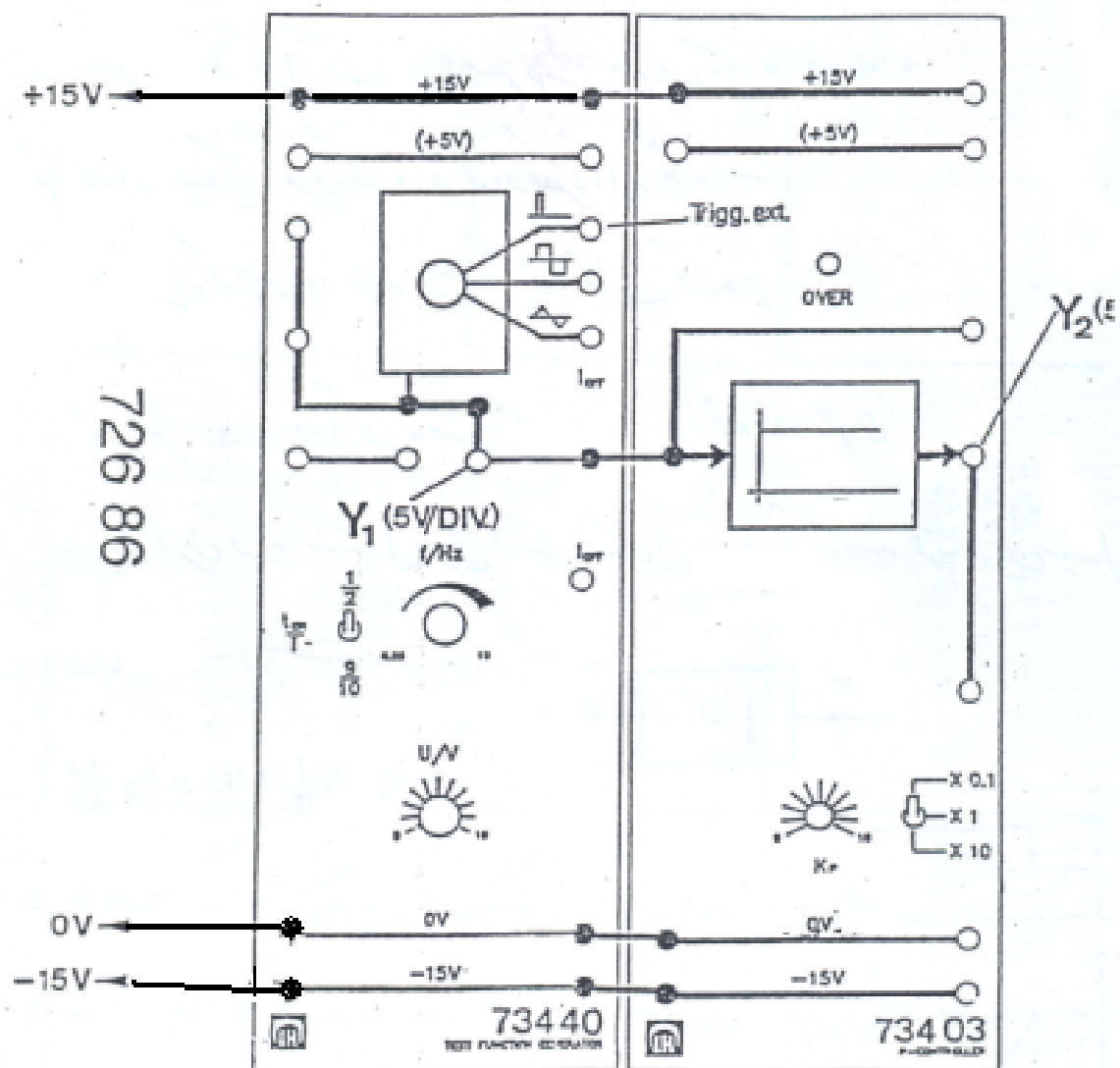
آزمایش (۱-۱) کنترل کننده متناسب

کنترل کننده p یک تقویت کننده ی خطی است که هیچ تأخیری در سیستم ایجاد نمی نماید و تنها بهره حلقه کنترل را تغییر می دهد. که حد بالای تغییرات این کنترل کننده مرز نوسان سیستم می باشد و برای بهره های بالاتر از بهره بحرانی ، رفتار بی اهمیتی دارد. میزان تقویت این کنترل کننده k_p می تواند کوچکتر یا بزرگتر از یک باشد.



مدار صفحه بعد را ببندید. کانال یک اسیلوسکوپ را به ورودی کنترل کننده و کانال دو را به خروجی آن متصل نمایید سوئچ Ton / T را روی $9/10$ قرارداده و فرکانس را طوری تنظیم نمایید که $Ton = 90ms$ و $Toff = 10ms$ گردد. در حالیکه دامنه ورودی $V_1 = 0.5 p-p$ است مقدار $k_p = 1$ را انتخاب کرده مقادیر V_2 و اختلاف فاز بین ورودی و خروجی را اندازه گیری و شکل آنرا رسم نمایید.

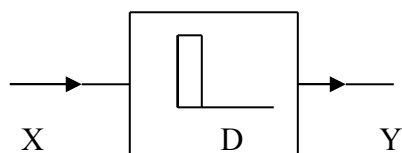




- _ اگر $V_1 = 1.5V_{p-p}$ باشد با $k_p = 4$ ، $k_p = 6$ ، $k_p = 10$ دامنه خروجی چقدر است
- _ اگر $V_1 = 10 V_{p-p}$ باشد دامنه V_2 چقدر است. با k_p بیشتر دامنه خروجی بیشتر می شود.
- _ مشخصه انتقال کنترل کننده p را رسم نمائید و در مورد آن بحث نمائید.
- _ رفتار دینامیکی کنترل کننده در محدوده عملکرد آن چقدر است.
- _ آیا کنترل کننده فوق می تواند بصورت یک تضعیف کننده عمل نماید

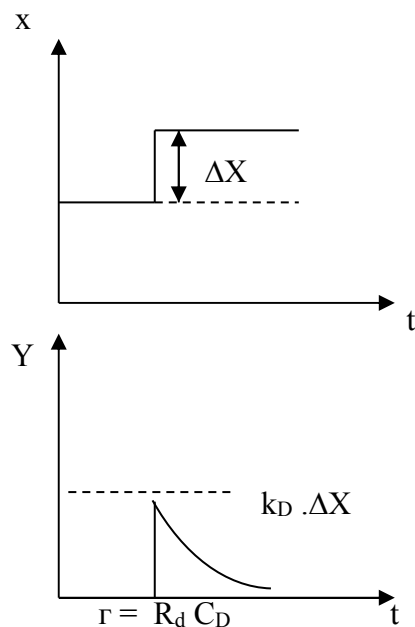
آزمایش (۲-۱) کنترل کننده مشتق گیر (Differential)

_ در این کنترل کننده سیگنال خروجی مشتق سیگنال ورودی می باشد. ارتباط بین سیگنال ورودی و خروجی به صورت زیر است.



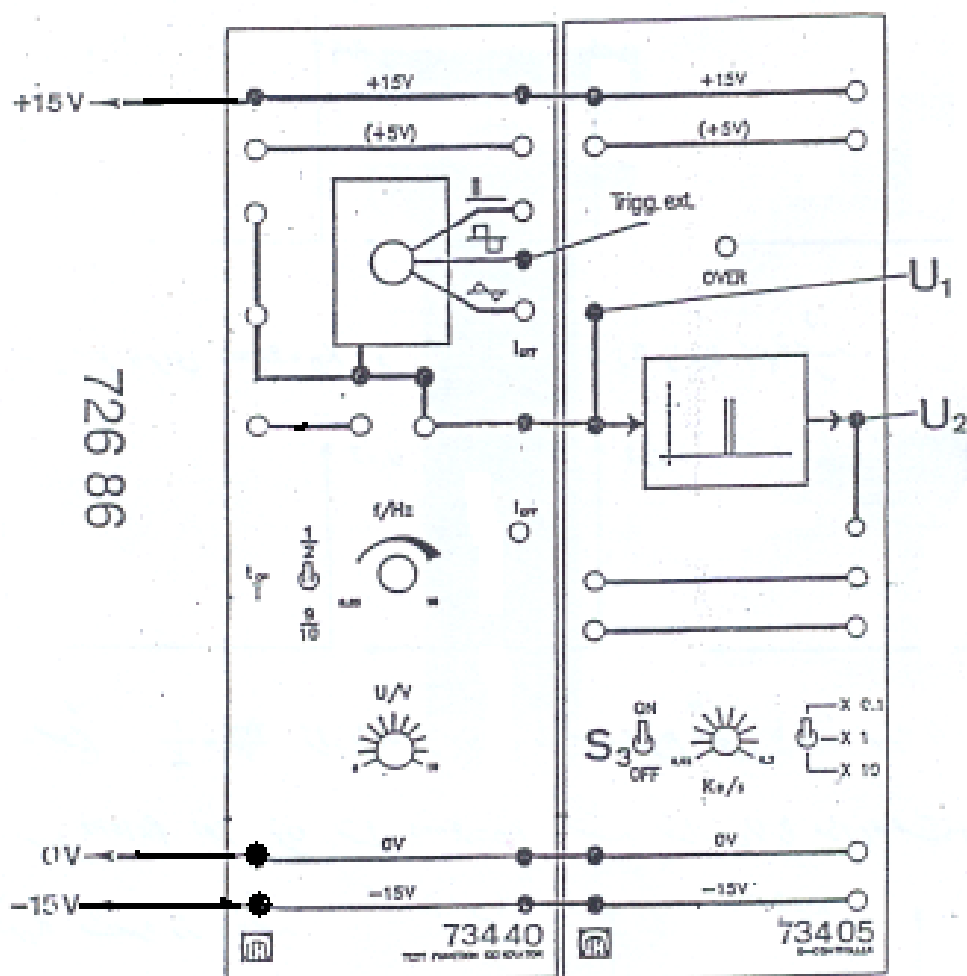
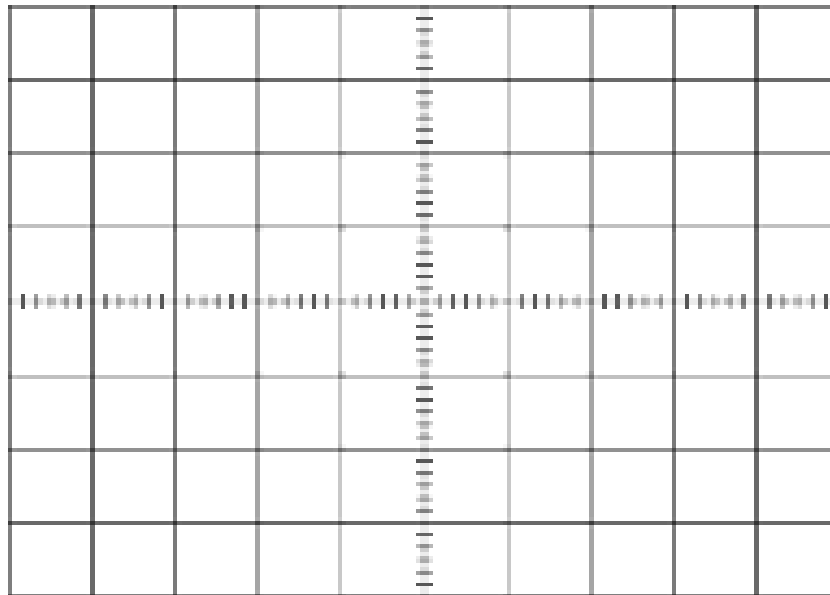
$$Y(t) = k_p d / dt$$

$$X(t) = k_D \Delta X / \Delta t$$



R_d مقاومت دامنه منبع و تمام مقاومت های مدار شارژ را نشان میدهد و C_D ظرفیت خازن مشتق گیر را بیان میدارد.

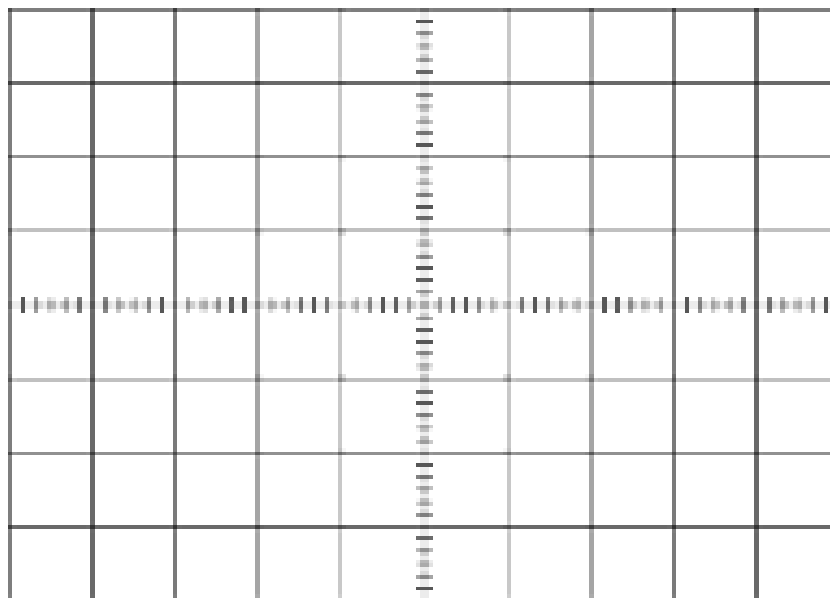
شکل مدار زیر را ببندید سوئچ $t_{on} / T = 9/10$ اختیار کنید دامنه ورودی $V_1 = 2V_{p-p}$ و فرکانس $f = 10\text{Hz}$ باشد پاسخ را برای $K_D = 0.2$ مشاهده و رسم نمایید.



_ سوئیچ $\text{ton} / T = 1/2$ قرار داده و ورودی را یک موج مثلثی با دامنه $V_1 = 4V_{p-p}$ با فرکانس

$f = 10\text{Hz}$ اختیار کرده مقدار $k_D = 2\text{ms}$ باشد مقدار V_2 را در این حالت و حالت $k_D = 0.2$

ms مشاهده و رسم نمائید

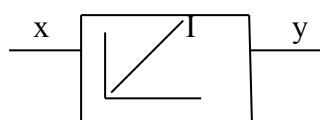


_ نتایج این آزمایش را براساس رابطه زیر تحقیق کنید.

$$U_2 = K_D (\Delta V_1 / \Delta t)$$

_ آزمایش (۱-۳) کنترل کننده انتگرال گیر (Integral)

در این کنترل کننده همانگونه که از نامش پیداست خروجی ضربی از انتگرال ورودی است به عبارت دیگر داریم .

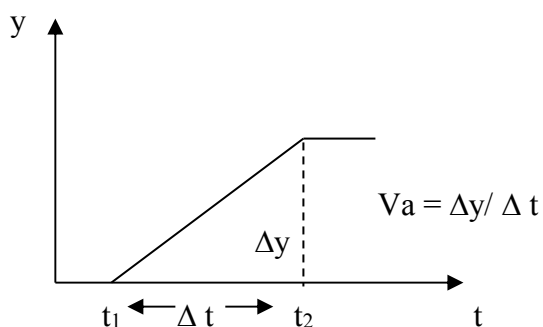
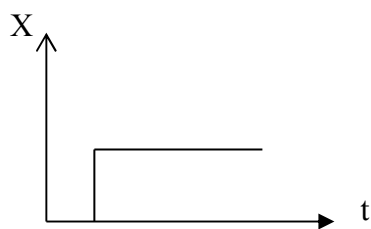


$$Y(t) = \int k_I x(t) dt = k_I \int X(t) dt$$

پارامتر انتگرال گیر در واقع یک قطب به سیستم اضافه می کند و باعث کاهش خطا و در عوض

خراب شدن پایداری می گردد. در حالیکه مشتق گیر یک صفر به سیستم اضافه نموده و باعث جبران

تأخیر و افزایش خطا میشود



$$Y = K_I X$$

$$K_I = Y/x = V_a / X$$

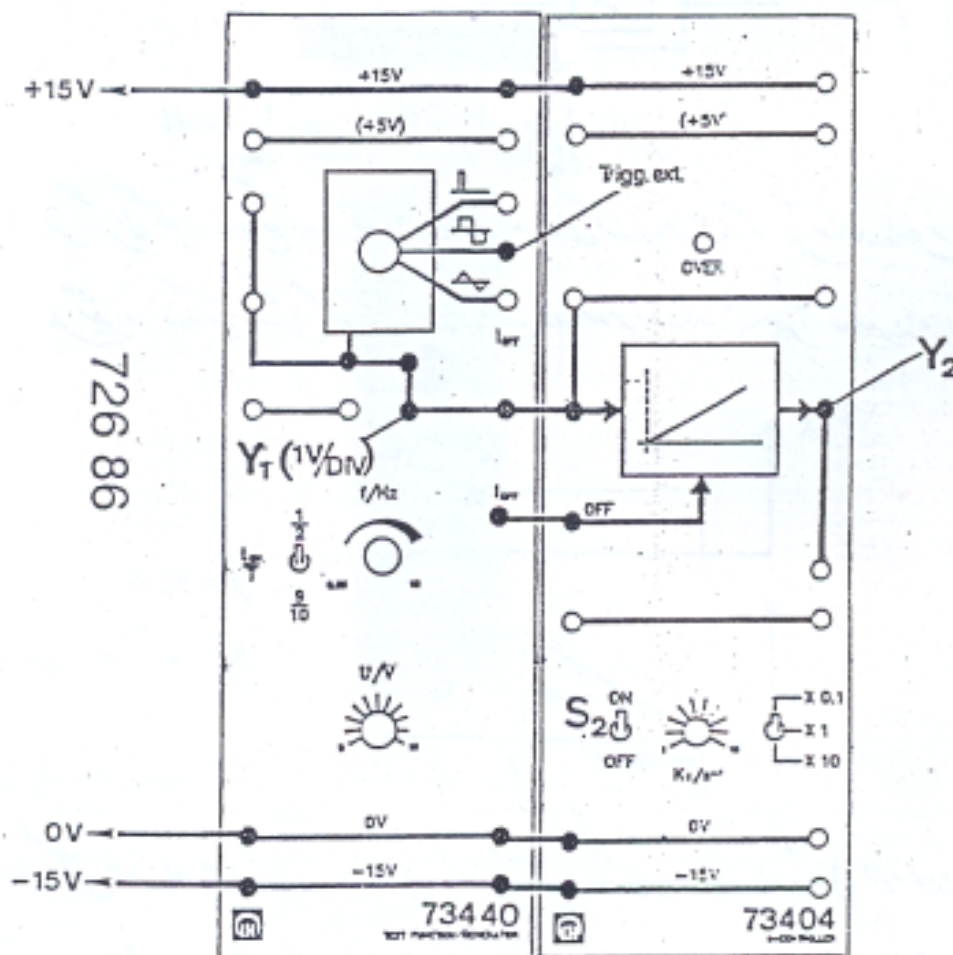
مدار شکل صفحه بعد را ببندید. با اتصال کانال یک اسکوپ به ورودی و کانال را به خروجی و کلید ton / T روی ۹/۱۰ پریود نوسانات را روی $T = 20 \text{ s}$ در دامنه ورودی $V_1 = 1 \text{ Vp-p}$ خروجی را مشاهده و رسم نمایید.

با تغییر K_I مقدار K_I را با $t_2 = 8 \text{ s}$ و $t_2 = 16 \text{ s}$ در ورودی $V_1 = 1 \text{ Vp-p}$ بدست آورید

اگر $K_I = 0.25 \text{ s}$ باشد مقدار دامنه خروجی بعد از 16 s چقدر است

ورودی را از مربعی به مثلثی تغییر دهید شکل موج خروجی را ببینید

اتصال I_{off} را قطع کنید شکل موج چه تغییری می کند چرا؟



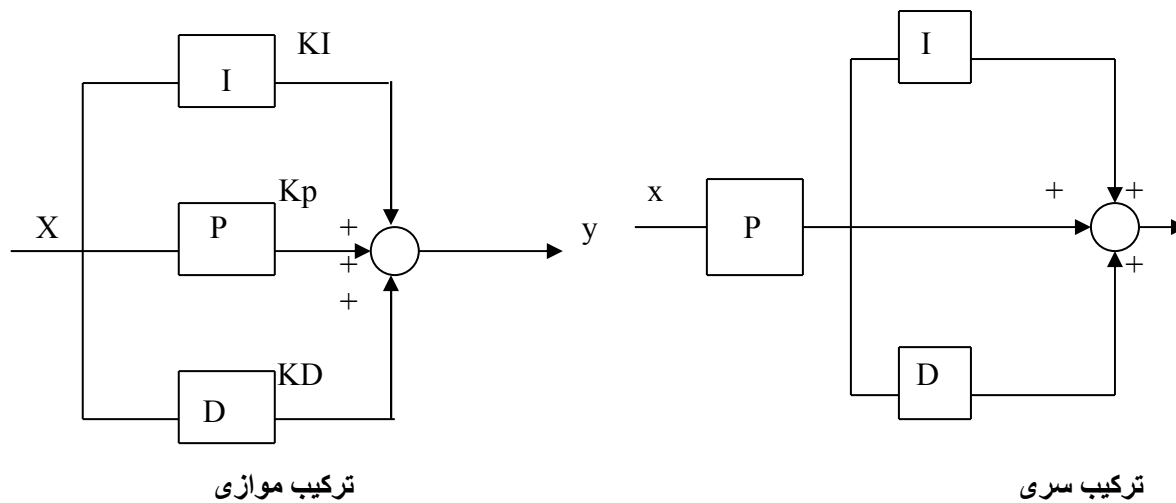
آزمایش (۴-۱) کنترل کننده متناسب انتگرالگیر PI

کنترل کننده های p ، i ، D بکار رفته در یک آزمایش یا یک سیستم معرف رفتار آن در مقابل ورودی پله یا شیب در یک سیستم می باشد، مثلاً کنترل کننده p نیاز به یک سیگنال ورودی، برای دریافت خروجی دارد.

$$Y = KpX$$

در این صورت این کنترل کننده قادر به جبران سازی برای سیستم که از خروجی نمونه برداری کرده و با ورودی مقایسه میکند نیست و معرف یک کنترل کننده سریع می باشد. در شرایط دائمی steady-state کنترل کننده i دارای یک مقدار KI میباشد. و این عامل باعث میشود تا کنترل کننده قادر به جبران باشد. کنترل کننده D هیچ سیگنالی در خروجی در حالت دائمی ندارد چون در این حالت تغییرات صفر است بنابراین به نظر میرسد که برای بدست آوردن مشخصه خوب باید کنترل کننده ها را با هم ترکیب کرد. برای مثال اگر خواسته باشیم در یک حلقه کنترل با فید بک خطای حالت دائم صفر باشد از کنترل کننده PI استفاده می نمائیم به عبارت دیگر در اینجا سرعت اهمیت زیادی ندارد. ولی اگر برای حل مسئله جبران نیاز به سرعت بیشتری باشد باید از

کنترل کننده PD استفاده کرد. حال اگر سرعت زیاد با خطای صفر مد نظر باشد باید از PID استفاده میشود. این ترکیبها به دو صورت موازی و سری استفاده میشوند



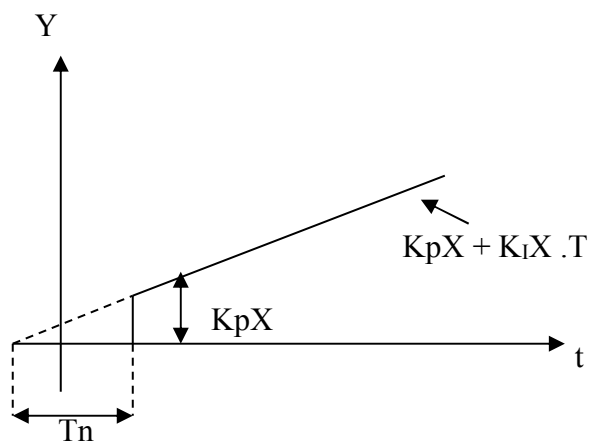
زمان جبران $T_n = 1 / K_I$

زمان جبران $T_n = K_P / K_I$

زمان تأخیر $T_v = K_D$

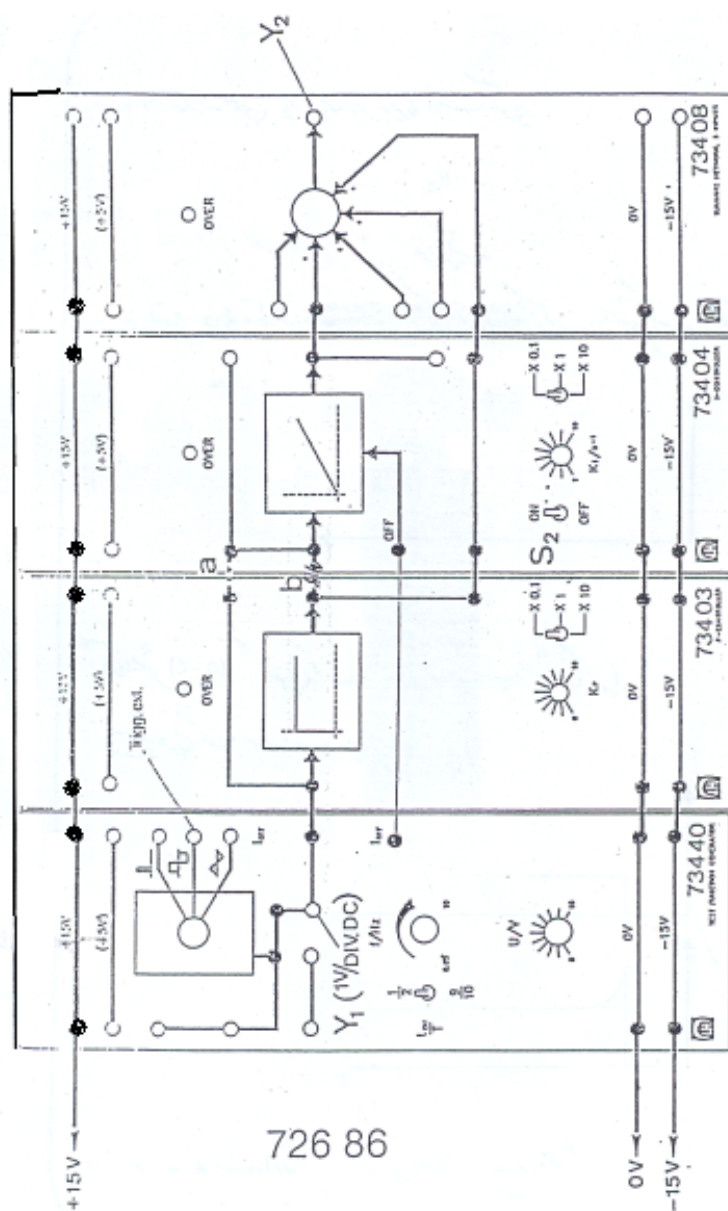
زمان عمل مشتق $T_v = K_D / K_P$

کنترل کننده PI در مقابل ورودی X پاسخ Y را میدهد.



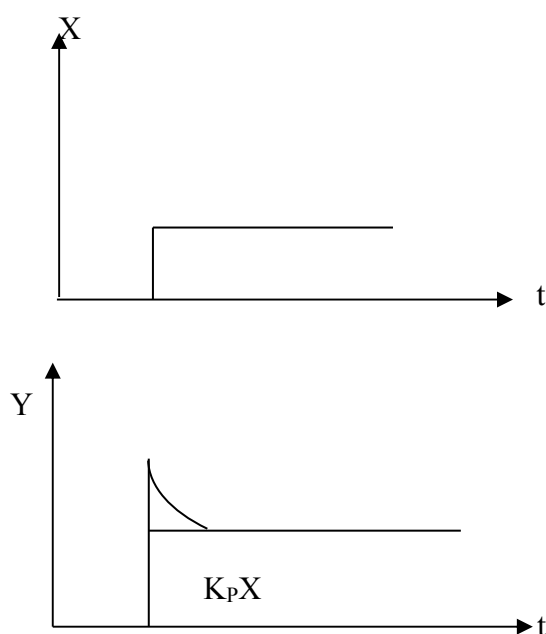
_ مدار شکل صفحه بعد را ببندید درحالیکه $T_{on} / T = 9/10$ ، دامنه ورودی $Y1 = 1V_{p-p}$ و $T = 100\text{ ms}$ می باشد و $K_I = 20\text{ s}^{-1}$ و $K_p = 1$ و سوئیچ $S2$ در وضعیت on قرار دارد منحنی $Y2$ را برحسب زمان رسم نمائید (اتصال a وصل و اتصال b قطع باشد).
 _ با استفاده از منحنی $Y2$ مقادیر K_I و K_p بدست آورید.

_ حال اتصال a را قطع نموده دو مرحله قبلی را تکرار نموده نوع ترکیب را مشخص کنید(التصال b را وصل نمائید)

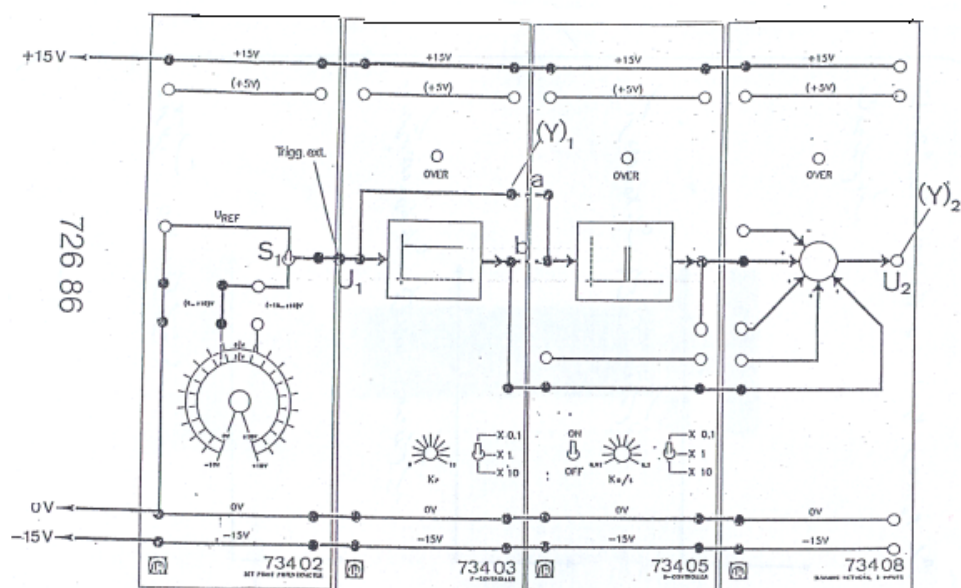


آزمایش (۵-۱) کنترل کننده PD (متناسب مشتق گیر)

پاسخ پله کنترل کننده به صورت زیر است



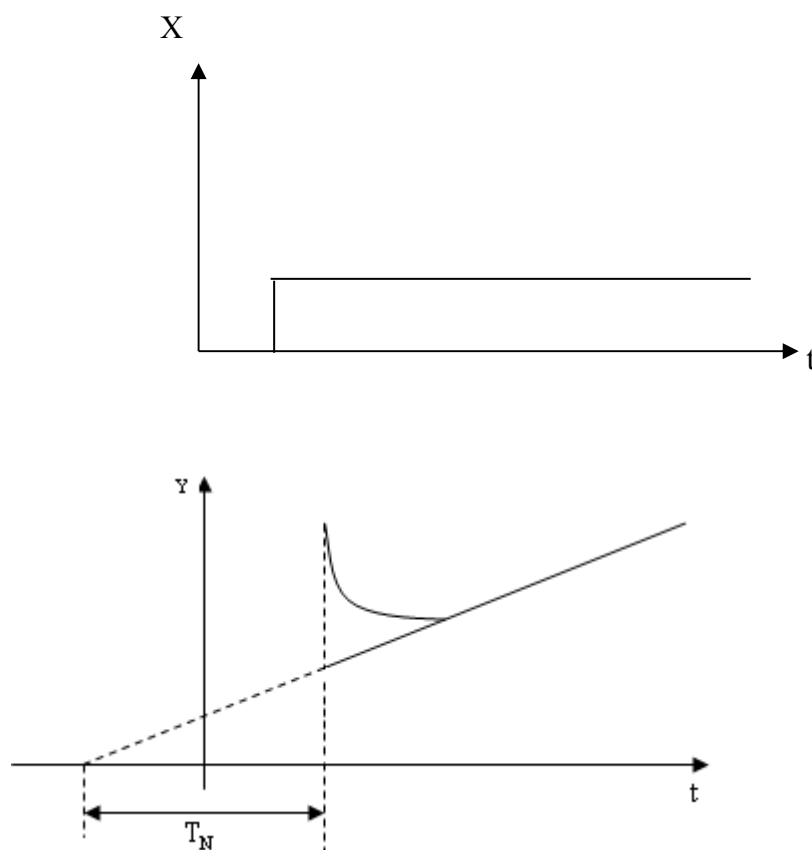
- _ مدار صفحه بعد را ببندید (اتصال a وصل واتصال b قطع می باشد)
- _ مقدار ولتاژ ورودی $V_1=1V$ و $K_p = 1$ و $K_D=0.2\ s$ باشد پاسخ پله مدار را مشاهده و رسم نمائید
- _ اگر $K_D = 0.25$ باشد پاسخ را مشاهده و رسم کنید.
- _ در صورتیکه $K_D = 0.025$ باشد پاسخ مدار را مشاهده و رسم کنید.
- _ اثر تغییرات K_D روی پاسخ چیست ؟



آزمایش (۱-۶) کنترل کننده متناسب انتگرال و مشتق گیر PID

تجربه روی کنترل کننده های PD , PI نشان میدهد که برای بدست آوردن نتایج بهینه باید از کنترل کننده های PID استفاده نماییم. در کنترل کننده های P اگر به ورودی یک سیگنال اعمال شود خیلی سریع یک سیگنال در خروجی ایجاد میگردد اما از این کنترل کننده برای جبران در سیستمهای دارای فیدبک نمی توان استفاده کرد. کنترل کننده ی PI به آرامی به ورودی خودش پاسخ می دهد. اما از آن می توان برای جبران خطا استفاده کنیم کنترل کننده ی PD خیلی سریع تر از کنترل کننده ی P به ورودی خودش پاسخ می دهد از این کنترل کننده می توان برای آشکارسازی تغییرات استفاده نمود اما برای از بین بردن خطا مفید نیست. کنترل کننده ی PID علاوه بر اینکه به همان سرعت کنترل کننده ی PD پاسخ میدهد میتواند همانند کنترل کننده ی PI برای جبران کنترل حلقه بسته نیز به کار رود.

— شکل زیر پاسخ پله برای کنترل کننده ی PID را نمایش می دهد



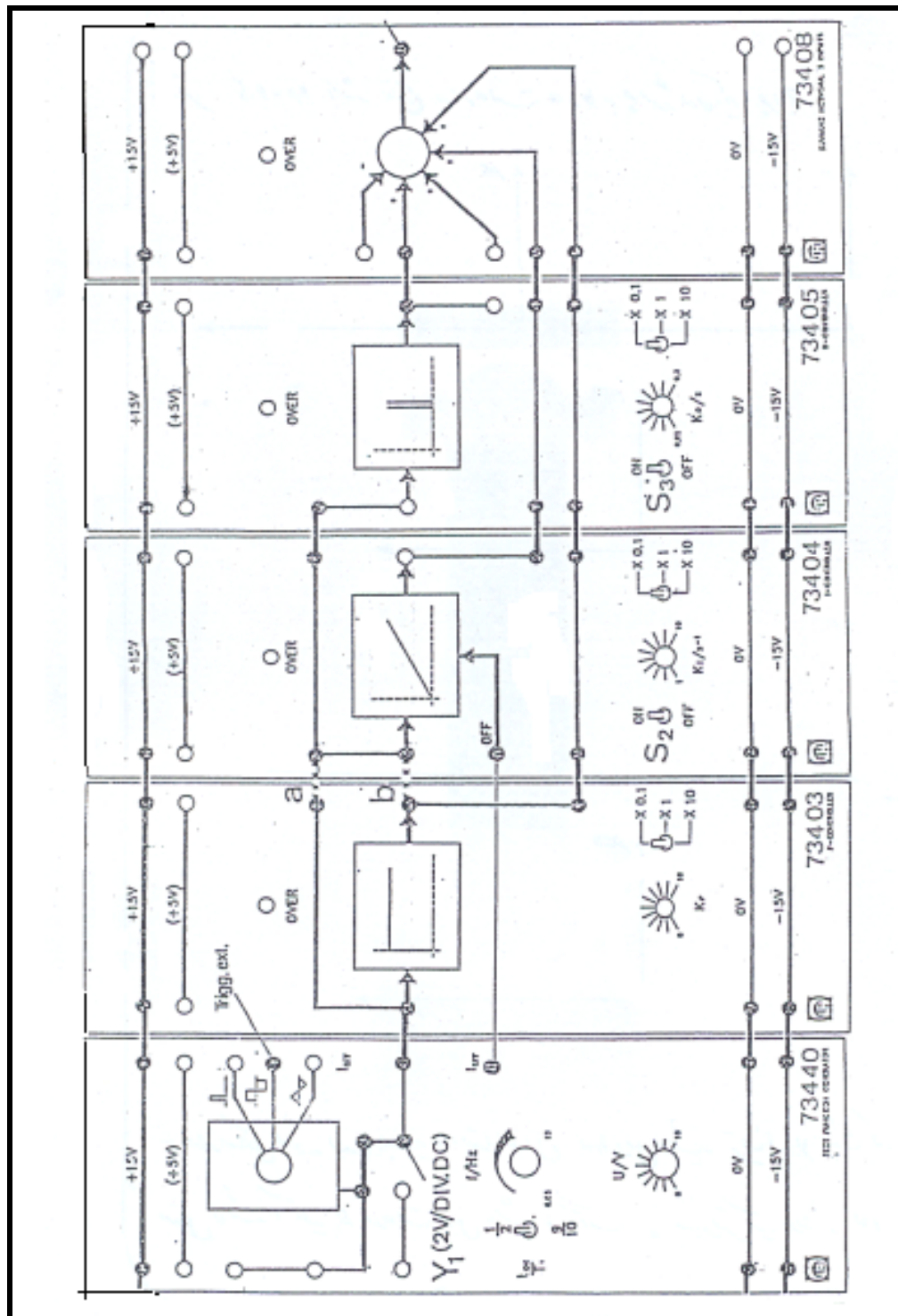
— مدار شکل صفحه بعد را ببینید در حالی که $T_{on}/T = 9/10$ و $V_{p_p} = 1$, $T = 100 \text{ ms}$ باشد مقادیر ضرایب به صورت زیر میباشد

$$K_D = 0.08 , K_p = 1 , K_i = 100$$

پاسخ پله ی P و PID , PI رارسم کنید

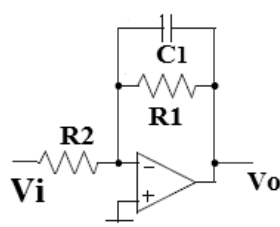
— ازاین سه پاسخ چه نتیجه ای میگیرید

— اتصال نقطه a را قطع و اتصال b را وصل نمایید و پاسخ پله ی P و PID , PI رارسم کنید



آزمایش دوم معادل سازی یک کوره و کنترل آن

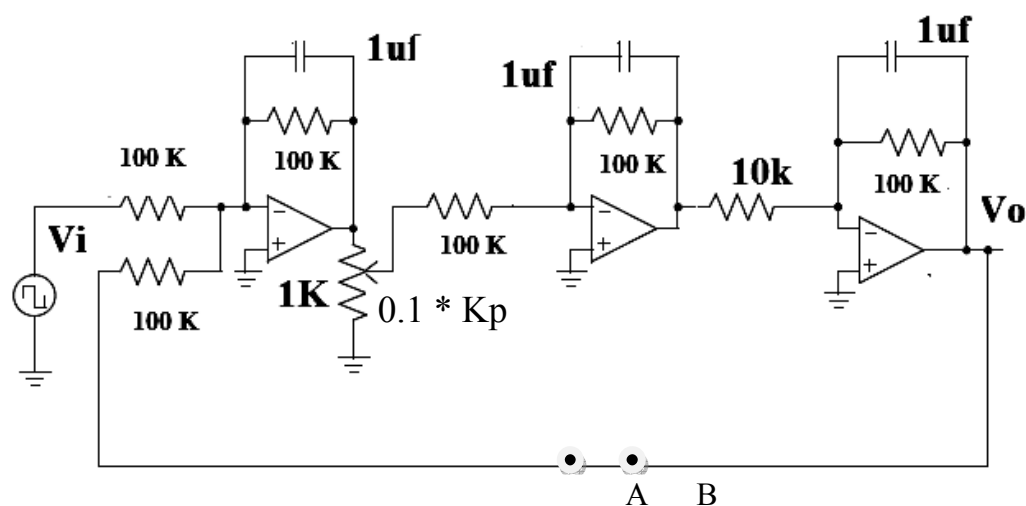
در این آزمایش یک کوره حرارتی را توسط آنالوگ کامپیوتر شبیه سازی می نماییم و در انتها اثر کنترل کننده های مختلف را بر روی آنها بررسی می نماییم. در ابتدا تابع انتقال مدار شکل ۱-۲ را بدست آورید



شکل ۱-۲

آزمایش (۱-۲) سیستم معادل سازی شده

تابع تبدیل یک سیستم کوره حرارتی را می توان بصورت $G(s) = \frac{\alpha}{(TS+1)^3}$ تقریب زد و در آن $T=0.1$ Sec فرض می شود بنابراین با توجه به قابلیت های تقویت کننده های عملیاتی در ساخت کامپیوترهای آنالوگ مدار حاصل بصورت زیر خواهد بود.



شکل ۲-۲

- مدار فوق را ببندید. سیستم فوق را بصورت بلوک دیاگرام مدل کنید و تابع انتقال هر بلوک را مشخص کنید

(پتانسیومتر یک تضعیف کننده با نسبت کمتر از یک است مثلاً اگر سر وسط نسبت به سر پایینی ۳۰۰ اهم تنظیم شود $K_p=3$ خواهد شد)

- به ورودی یک سیگنال مربعی با دامنه 1V و فرکانس $f=0.05H$ اعمال نمایید. با تغییر پتانسیومتر به ازای $K_p = 1,2,3,5,7$ تغییرات خطای دائمی را اندازه گیری و منحنی مربوطه را رسم کنید. و نتیجه را با تئوری مقایسه نمایید.

- با تغییر مقدار K_p مشخصات گذرای پاسخ سیستم (زمان نشست، زمان صعود، مقدار اورشوت) را بررسی نمایید.

- آیا می توان K_p را بگونه ای تنظیم کرد که سیستم اورشوت نداشته باشد این مطلب را هم بصورت عملی و هم بصورت تئوری بررسی و نتیجه را با هم مقایسه کنید.

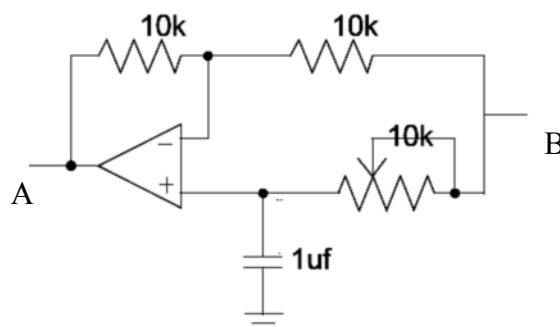
- آیا با افزایش K_p سیستم نوسانی می گردد، $K_{p\text{crit}}$ مرز نوسان و فرکانس را اندازه گیری نمایید و با مقادیر تئوری مقایسه کنید.

- با استفاده از نتیجه مرحله قبل و رابطه ذیل، سیستم را برای حد بهره (Gain margin) حدود 2.5^{dB} تنظیم کنید و مقدار K_p را برای این حالت یادداشت نمایید.

$$\text{Gain margin} = -20 \log \frac{K_p}{K_{p\text{crit}}}$$

- در این حالت بدون تغییر K_p با استفاده از Phase Shifter مقدار حد فاز (Phase margin) سیستم را اندازه گیری نمایید. برای این کار مدار شیفتر فاز زیر را بین دو نقطه B,A در شکل ۲-۲ قرار دهید.

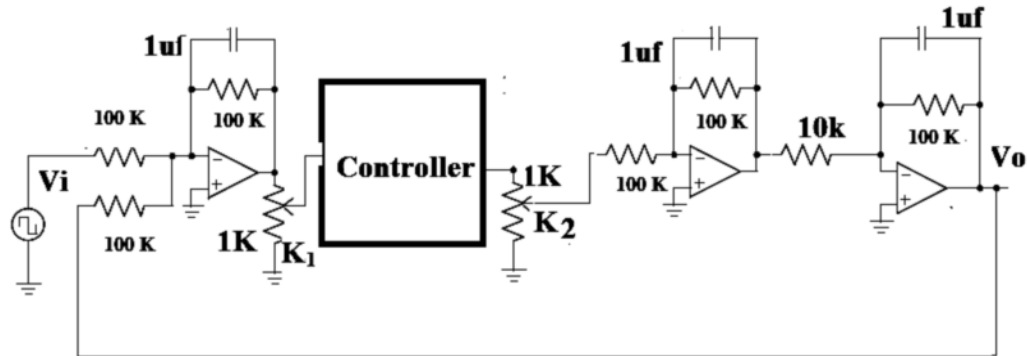
- با تغییر پتانسیومتر نقطه آغاز نوسانات را مشخص کنید مقدار بدست آمده پتانسیومتر را از طریق آزمایش با حالت تئوری مقایسه نمایید.



شکل ۲-۳

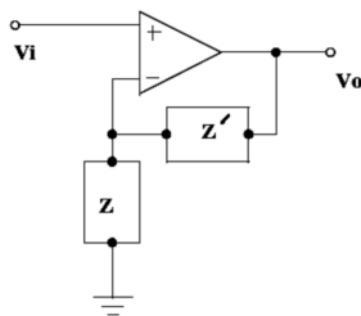
آزمایش (۲-۳) اثر کنترل کننده ها

مدار شکل قبل را بصورت ذیل تغییر دهید.



شکل ۲-۴

مدار قسمت کنترل کننده



شکل ۲-۵

$$H(s) = 1 + \frac{Z'}{Z}$$

- با انتخاب $Z = 1m\Omega$, $Z' = 1\mu f$ و تعریف $K_p = 0.1K_1K_2$ ، تابع تبدیل $H(s)$ را بدست

آورید. آنگاه K_p را برای مقدار ۳ تنظیم کنید. و مقادیر خطای حالت دائم، اورشوت و زمان

صعود را اندازه گیری کنید. در این سیستم مرز نوسان K_{pcrit} و فرکانس نوسان را بدست

آورید.

- نوع کنترل کننده در این حالت چیست، اثر آن در پاسخ گذرا (خطا، زمان صعود، اورشوت زمان نشست) چیست.
- با انتخاب $Z = 470^k \| 1\mu f, Z' = 100K$ و تعریف $K = 0.12K_1K_2$ ، تابع تبدیل $H(s)$ را بدست آورید. آنگاه K_P را برای مقدار ۳ تنظیم کنید. و مقادیر خطای حالت دائم، اورشوت و زمان صعود را اندازه گیری نمایید، سپس مرز نوسان K_{Pcrit} و فرکانس سیستم را بدست آورید.
- نوع کنترل کننده در این حالت را بیان دارید، اثر این کنترل کننده در پاسخ گذرا (خطا، زمان صعود، زمان نشست، اورشوت) چیست. نتایج این مرحله را با حالت قبل مقایسه نمایید.
- این بار Z' را یک خازن $1\mu f$ سری با مقاومت $220K\Omega$ و Z را یک خازن $1\mu f$ موازی با مقاومت $100K\Omega$ اختیار کنید در این جا $K_P = 0.4K_1K_2$ تعریف میشود K_P را برای مقدار ۳ تنظیم کرده و مقادیر خطای حالت دائم، اورشوت و زمان صعود و زمان نشست را اندازه گیری کنید.
- مرز نوسان سیستم K_P را با فرکانس نوسان مشخص کنید.
- نوع کنترل کننده را مشخص نمایید و در مورد اثر آن در پاسخ گذرا تحقیق کنید.
- در جدولی مقادیر بدست آمده برای آزمایشهای فوق به ازاء $K_P=3$ را با هم مقایسه کنید و روی نتایج بدست آمده بحث نمایید، مطلوبترین حالت کدام است، در هر حالت مکان ریشه‌ها را بطور تقریبی مشخص کرده و حد فاز و حد بهره سیستم با کنترل کننده را بدست آورید.
- باید دقت نمود که گین K_P بر حسب K_1K_2 و فرم کلی کنترل کننده های PI یعنی $(K'(1+\frac{T}{S}))$ و PD یعنی $K'(1+DS)$ و PID یعنی $K'(1+DS+\frac{T}{S})$ و گین حلقه بسته برابر با $K_P = 0.1K'_1K_2$ بدست می آید.
- اگر Z, Z' از خازن و مقاومت های موازی تشکیل شده باشند تابع تبدیل کنترل کننده فرم کلی زیر را خواهد داشت.

$$Z = R \parallel C, Z' = R' \parallel C'$$

$$H(s) = \frac{R + R'}{R} \cdot \frac{1 + (R \parallel R')(C + C')S}{1 + R'C'S} = \frac{C + C'}{C'} \cdot \frac{S + \frac{1}{(R \parallel R')(C + C')}}{S + \frac{1}{R'C'}}$$

اگر در یک کنترل کننده با رابطه

$$H(s) = \frac{S + \frac{1}{Z'}}{S + \frac{1}{Z}} \quad Z' > Z$$

$Z' > Z$ باشد کنترل کننده lead و اگر $Z' < Z$ باشد کنترل کننده Lag است. مدار کنترل کننده

را به دو حالت زیر تغییر داده و پاسخ گذرای سیستم را مورد بررسی قرار دهید.

$$\text{lead} \begin{cases} Z' = 51K\Omega \parallel 1\mu f \\ Z = 1m\Omega \parallel 1\mu f \\ K = 0.2K_1K_2 \end{cases} \quad \text{lag} \begin{cases} Z' = 1K\Omega \parallel 1\mu f \\ Z = 320K\Omega \parallel 1\mu f \\ K = 0.35K_1K_2 \end{cases}$$

کدامیک از این دو کنترل کننده ها باعث پایدار تر شدن سیستم می گردد. برای کاهش خطای دائم

از کدامیک باید استفاده نمود. آیا نتایج فوق با تئوری مطابقت دارد.

آزمایش (۳-۳) فیدبک حالت:

یک سیستم خطی مستقل از زمان را می توان بصورت معادلات حالت بیان کرد و بجای استفاده از

فیدبک خروجی از فیدبک حالت استفاده نمود. یک سیستم خطی را می توان به صورت زیر نشان

داد.

$$\begin{cases} \underline{X} = \underline{A}\underline{X} + \underline{B}\underline{U} \\ \underline{Y} = \underline{C}\underline{X} \end{cases}$$

بطوریکه $\underline{X}$ بردار حالت با بعد $\underline{U}, \underline{X} \times 1$ بردار ورودی با بعد $\underline{Y}, \underline{n} \times \underline{m}$ بردار خروجی با بعد $\underline{l} \times \underline{x}$ است که $\underline{X}$ مرتبه سیستم، $\underline{m}$ تعداد ورودی و $\underline{l}$ تعداد خروجی را نشان می دهد.

پس داریم:

$$\underline{X}(s)(\underline{I}S - \underline{A}) = \underline{B}\underline{U} \rightarrow \underline{X}(s) = (\underline{I}S - \underline{A})^{-1} \underline{B}\underline{U}$$

$$\underline{Y}(s) = \underline{C}(\underline{I}S - \underline{A})^{-1} \underline{B}\underline{U} \Rightarrow \underline{G}(s) = \underline{C}(\underline{I}S - \underline{A})^{-1} \underline{B}$$

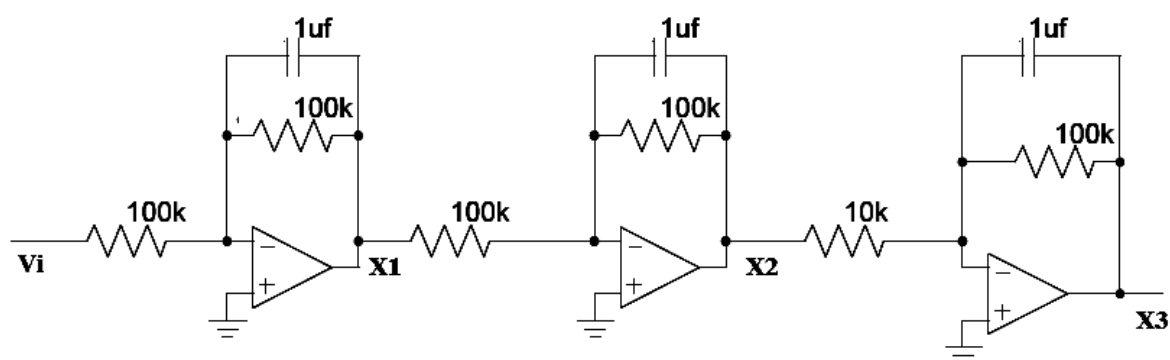
اگر روی سیستم فیدبک حالت اعمال کنیم در این صورت $\underline{U} = \underline{K}\underline{X} + r$ که در آن $\underline{K}$ بردار

فیدبک و $\underline{r}$ ورودی سیستم حلقه بسته است. بنابراین می توان ثابت کرد که

$$\underline{G}(s) = \underline{C}(\underline{I}S - \underline{A} + \underline{B}\underline{K})^{-1} \underline{B}$$

خواهد بود. بدین ترتیب با اعمال فیدبک حالت مناسب می توان قطبهای سیستم را به هر مکان دلخواهی انتقال داد.

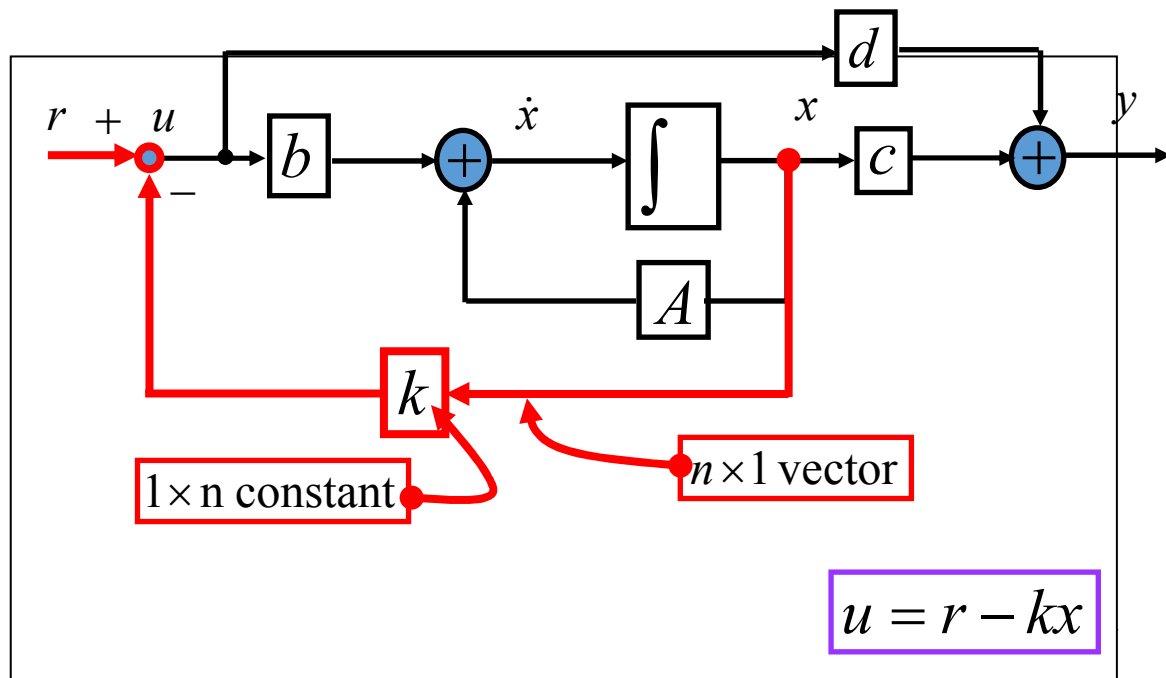
اکنون سیستم کوره حرارتی را به صورت معادلات حالت بیان می کنیم، این سیستم که در شکل زیر بعد آمده است دارای سه حالت می باشد (سیستم مرتبه سه می باشد) و خروجی هر واحد انتگرال گیر به عنوان یک متغیر حالت در نظر گرفته می شود.



- با توجه به متغیرهای حالت تعریف شده معادلات سیستم حلقه باز را بدست آورید.

- با اعمال فیدبک مناسب $\underline{K} = (\underline{K}_1, \underline{K}_2, \underline{K}_3)$ سیستم حلقه بسته را در شرایطی قرار دهید که :

- سیستم دارای دو قطب غالب گردد بطوریکه $t_s \leq \frac{1}{2} \text{Sec}, P.O. \leq 40\%$



- تابع تبدیل سیستم را در این حالت بدست آورده و درستی پاسخ را تحقیق کنید.
- رسم مدار همراه با فیدبک محاسبه مقادیر آلمانها را در گزارش کار خود بیاورید.

آزمایش سوم

انواع سیستمهای کنترل شونده و کنترل آنها:

۱- سیستم های کنترل با رفتار دینامیکی و بدون رفتار دینامیکی:

سیستم های کنترل بدون رفتار دینامیکی، در واقع سیستم های متناسب (P-controlled sys) هستند.

از سیستم های با رفتار دینامیکی می توان به سیستم های همراه با تاخیر یاد کرد.

۲- سیستم های کنترل با خود تنظیمی و بدون خود تنظیمی:

۲-۱: سیستم های کنترل با پروسه خود تنظیم به چند دسته تقسیم میشوند:

الف: سیستم های کنترل شونده متناسب، مانند ترانس ها، مقسم ولتاژها

ب: سیستم های کنترل شونده متناسب حلقه بسته با زمان مردگی (Dead Time)

ج: سیستم های کنترل شونده با حلقه تاخیری مرتبه اول، مانند سیستم کنترل دمای اتاق

د: سیستم های کنترل شونده با حلقه تاخیری مرتبه بالاتر همانند سیستم کنترل درجه حرارت یک کوره

۲-۲: سیستم های کنترل شونده بدون پروسه خود تنظیمی که به چند دسته تقسیم میشوند:

الف: سیستم های حلقه بسته با انتگرال گیر در حلقه فیدبک، همانند سیستم کنترل سطح

بدون خروجی و سرریز

ب: سیستم های کنترل شونده با پاسخ پله مرتبه دوم (ارتباط بین ورودی و مشتق دوم

خروجی)

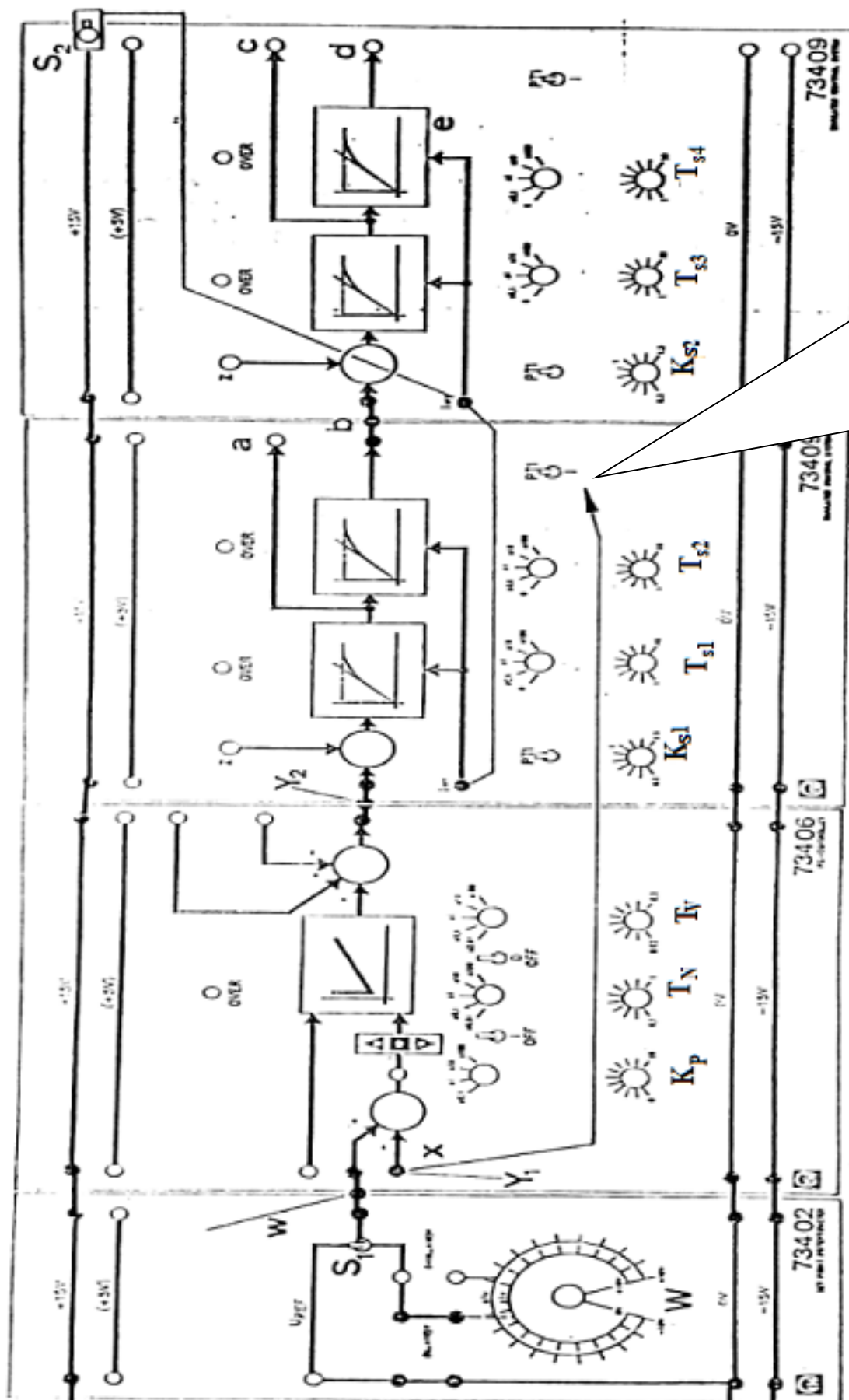
در این آزمایش چند نمونه از این سیستمها را که توسط مدارهای الکترونیکی مشابه سازی شده اند را مورد بررسی قرار می دهیم. روی هر برد شماره (۷۳۴۰۹) دو بلوک قرار دارد که هریک

معرف یک سیستم مرتبه اول با تابع انتقال $G(s) = \frac{Ks}{\tau s + 1}$ است که K_s و τ روی برد قابل

انتخابند. بنابراین هربرد می تواند یک سیستم مرتبه دوم را مشابه سازی نماید. و با استفاده از توالی دو برد می توان به یک سیستم مرتبه چهارم دست یافت. برای آشنایی تابع انتقال

$$G(s) = \frac{2}{6(s+1)^3(s+2)}$$

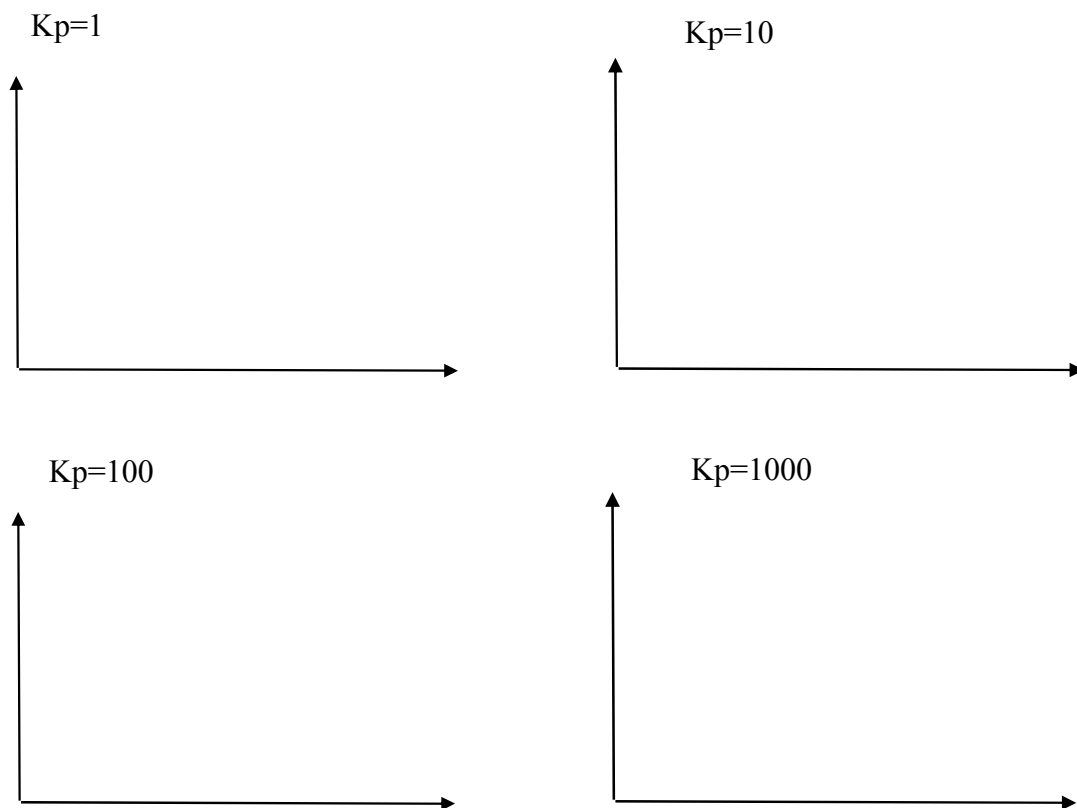
را روی سیستم بنا کنید.



بر حسب
مورد در
هر حالت
به هریک
از
خروجی
های a تا
d متصل
میشود

آزمایش (۳-۱): کنترل کننده متناسب در سیستمهای کنترل شونده متناسب، مرتبه اول تا چهارم

- مدار صفحه ی قبل را ببندید.
- مقدار ورودی را برابر ۵ ولت قرار داده و سیستم کنترل شونده را روی حالت $0^* : T_{s1}$ (ضرب در صفر) قرار داده K_{s1} را روی سیستم مشابه شده نیز برابر یک قرار دهید. خروجی را از نقطه a گرفته و K_p را روی کنترل کننده آنقدر تغییر دهید تا V_a برابر ۵ ولت گردد.
- حال فیدبک را وصل نموده، مقدار V_a را اندازه گیری کنید. علت تغییر خروجی چیست؟
- K_{p1} را مساوی یک و $T_{s1} = 10s$ قرار دهید. پاسخ پله سیستم را به ازای مقادیر $K_p = 1$ ، $K_p = 10$ ، $K_p = 100$ و $K_p = 1000$ در وردی پنج ولت مشاهده و رسم کنید.



از این آزمایش چه نتیجه ای می گیرید؟

- در هر مرحله از انجام آزمایش بعدی، با قطع و وصل کلید S_2 ، سیستم را دشارژ کنید.
- حال فیدبک را از خروجی b گرفته و $K_s = 1$ و $T_{s2} = 10s$ و $K_p = 1000$ را قرار داده پاسخ پله سیستم را مشاهده و رسم کنید.



- تابع انتقال سیستم را محاسبه کنید و پاسخ پله آن را بدست آورده و با نتیجه حالت قبل مقایسه کنید.

- خروجی را از نقطه c بگیرید و $T_{s3} = 3s$ و $K_{s2} = 1$ و $K_p = 30$ را انتخاب کنید. پاسخ پله سیستم را مشاهده و رسم کنید.



- آیا پاسخ نوسانی است؟ (فرکانس نوسانات را بدست آورید).

- تابع انتقال سیستم را در این حالت بدست آورید پاسخ پله آنرا حساب کنید و نتیجه را با نتایج حاصله در حالت قبل مقایسه کنید.

- خروجی را از نقطه d بگیرید در حالیکه $T_{s4} = 1s$ و $K_{s2} = 1$ و $K_p = 30$ می باشد پاسخ پله سیستم را مشاهده و رسم کنید.



- تابع انتقال سیستم را بدست آورده پاسخ پله آنرا محاسبه نموده و با نتایج حالت قبل مقایسه کنید.

آزمایش (۲-۳): بکارگیری انواع کنترل کننده ها در سیستم های مرتبه چهار و پایداری آنها

یک سیستم حلقه بسته هنگامی مفید است که پایدار باشد. به عبارت دیگر سیستمی بتواند بر تغییرات ورودی و یا اغتشاشات غلبه کند. اگر در یک سیستم در فرکانس f ، اختلاف فاز بین ورودی و خروجی صفر یا $\pm 180^\circ$ باشد، سیستم ناپایدار است. و اگر گین حلقه کوچکتر از یک باشد، سیستم پایدار خواهد بود. معیار بررسی پایداری، بررسی پاسخ پله سیستم هاست. در این راستا همیشه دو پارامتر اورشوت و زمان نشست (Settling Time) در نظر قرار می گیرند. و هدف از طراحی کنترل کننده ها، اپتیمم کردن هر دو پارامتر می باشد. در واقع هر تلاشی در راه کاهش یکی، دیگری را افزایش می دهد. و هدف، با بکارگیری کنترل کننده مناسب قابل دست یابی است. لازم به یادآوری است که عموماً سیستم های کنترل شونده، همانند یک فیلتر پایین گذر عمل میکنند و گوشه های پالس های مربعی را به صورت خمیده درمی آورد. برای اصلاح این عملکرد، کنترل کننده باید همانند فیلتر بالاگذر عمل کند (PD). و بکارگیری کنترل کننده PD به تنهایی کافی نیست، چرا که ترکیب PD، میزان خطا را زیاد می کند. ترکیب I و اختلاف در دامنه را جبران می کند. پس باید ترکیبی از P و I و D را بکار گیریم.

- مدار آزمایش قبل را ببندید.

- فیدبک را قطع نمایید (خروجی نقطه d می باشد) در بلوک کنترل کننده $K_p = 1$ و انتگرال گیکرو مشتق گیر در حالت off قرار داده شده و مشابه سازی شود. $K_{s1} = K_{s2} = T_{s1} = T_{s2} = T_{s3} = T_{s4} = 1$ را اختیار کنید و سپس به کمک کلید S_2 سیستم را دشارژ نمایید. (بعد از انجام هرآزمایش این عمل را تکرار کنید).
- با انتخاب $U_w = 5^v$ پاسخ پله سیستم را مشاهده و رسم کنید مقادیر T_u و T_g را بدست آورید.



- فیدبک را به خروجی متصل نمایید و برای $K_p = 1$ و $U_w = 4.5^v$ پاسخ پله را مشاهده و رسم کنید (زمان نشست چقدر است؟)

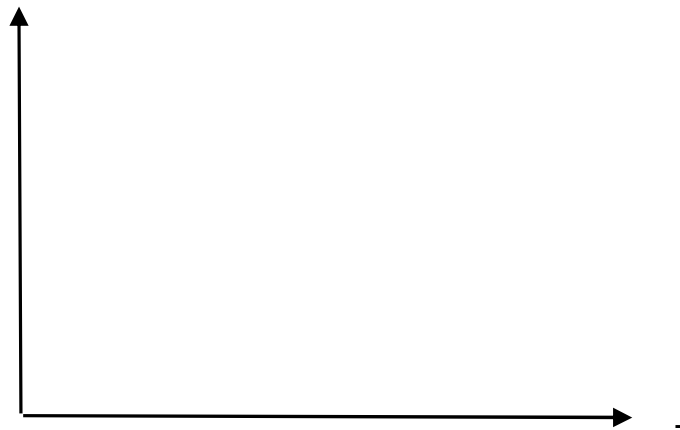


- برای $K_p = 2.5$ و $K_p = 5$ اورشوت و زمان نشست را بدست آورید.
- حال کلید مشتق گیر را روشن نموه، $K_p = 5$ و $T_v = 0.8^s$ قرار داده پاسخ پله سیستم را مشاهده و رسم کنید.



- میزان اورشوت، زمان نشست و خطا چقدر است؟

- کلید مشتق گیر را خاموش و کلید انتگرال گیر را روشن نموده و $K_p = 1$ و $T_N = 4$ قرار داده و پاسخ پله سیستم را مشاهده و رسم کنید.



- در حالیکه کلید انتگرال گیر روشن است کلید مشتق گیر را نیز در حالت on قرار دهید و $K_p = 2$ و $T_N = 5$ و $T_V = 1$ انتخاب نموده، پاسخ پله سیستم را مشاهده و رسم کنید.



- مقدار اورشوت و زمان نشست چقدر است؟ چرا؟

- T_N را به $T_N = 7$ افزایش داده و پاسخ پله را مشاهده و رسم کنید.



- T_N را به $T_N = 0.9$ کاهش داده پاسخ پله را مشاهده و رسم کنید.



- مقادیر $T_N = 1$ و $T_N = 6.5$ را اختیار کرده و در زمان $t = 25$ ورودی را قطع کنید. پاسخ سیستم را مشاهده و رسم کنید.



همانگونه که قبلاً گفته شد، به دو روش می توان میزان پارامترهای کنترل کننده بهینه را انتخاب نمود:

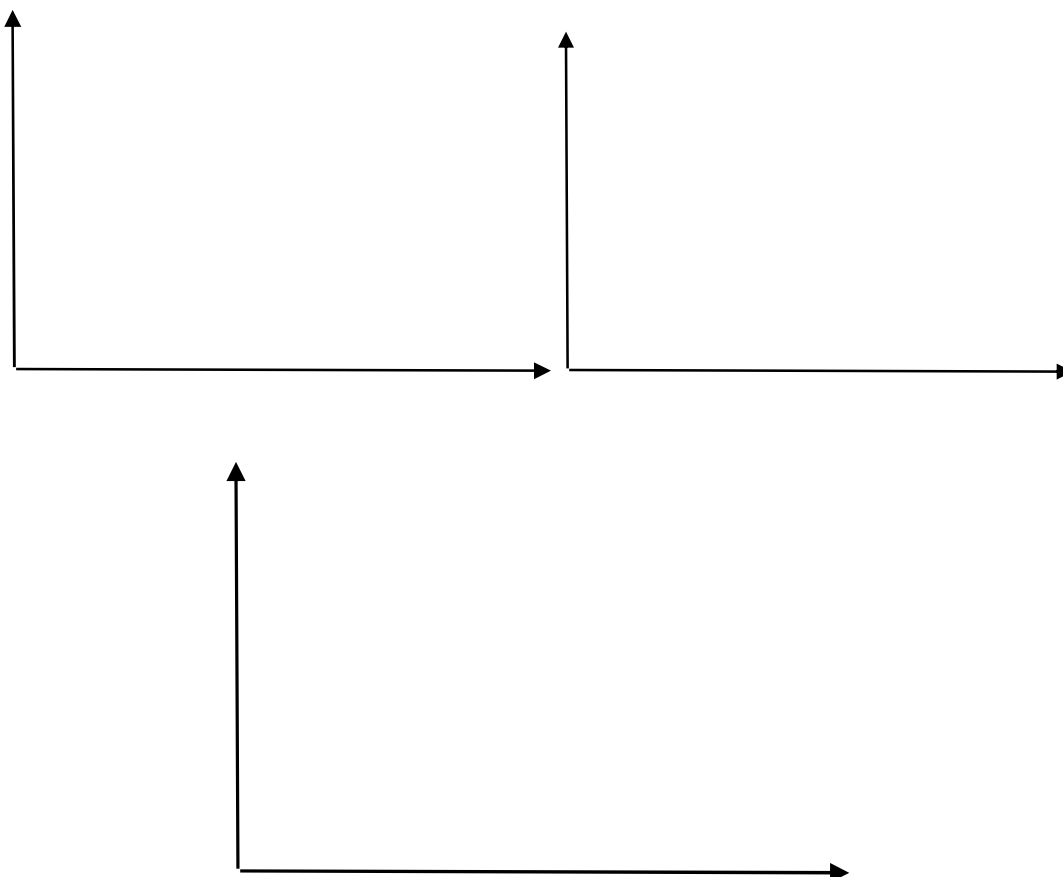
۱- استفاده از پاسخ دینامیکی سیستم یا روش (ZN)

۲- استفاده از پاسخ استاتیک سیستم یا روش (CHR)

البته روش دیگری نیز وجود دارد که بر مبنای سعی و خطا استوار می باشد. و در اینجا مد نظر نیست.

آزمایش (۳-۳): طراحی کنترل کننده P ، PI ، PID به کمک معیار ZN

در مدار آزمایش (۱-۳) فرض کنید که $K_{s1} = K_{s2} = T_2 = T_3 = T_4 = 1$ و $T_1 = 5$ باشد در ورودی $U_w = 5^v$ مقادیر حدگین $K_{p,crit}$ و T_{cirt} را بدست آورده و از روی این مقادیر و به کمک جدول ضرایب کنترل کننده را برای سه حالت P ، PI ، PID بدست آورید و پاسخ پله سیستم را در هر یک از شرایط فوق مشاهده و رسم نمایید.



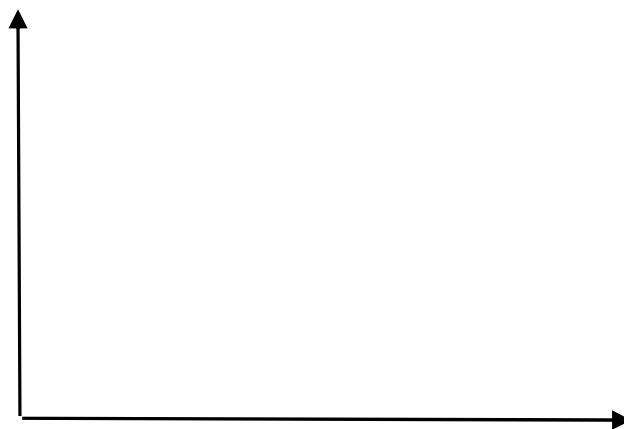
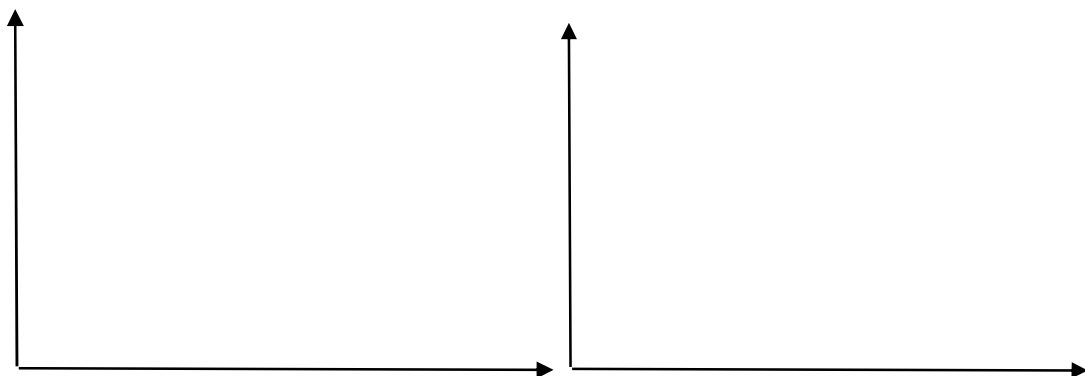
- به کمک روابط ذیل پارامترهای سیستم را محاسبه کنید و بر اساس مقادیر بدست آمده پارامترهای کنترل کننده را بدست آورید و با ورودی $U_w = 5^v$ پاسخ پله هر حالت را مشاهده و رسم کنید. فرض کنید $T_U = 1.6$ و $T_g = 6.34$ باشد.

$$K_{P,crit} = \frac{1}{K_s} \left(\frac{\pi T_g}{2 T_u} + 1 \right)$$

$$K_s = \left(\frac{y}{x_{t \rightarrow \infty}} \right)$$

$$T_{crit} = 2.T_u \quad \text{وقتی که} \quad T_u \gg T_g$$

$$T_{crit} = 4.T_u \quad \text{وقتی که} \quad T_u \ll T_g$$

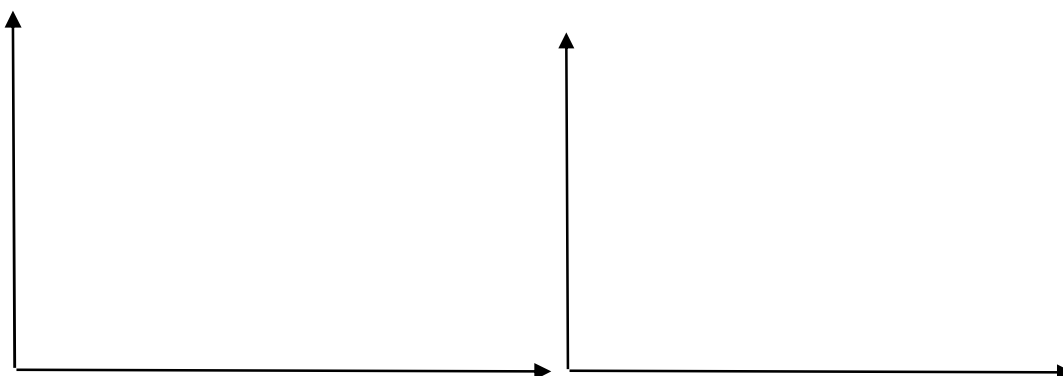
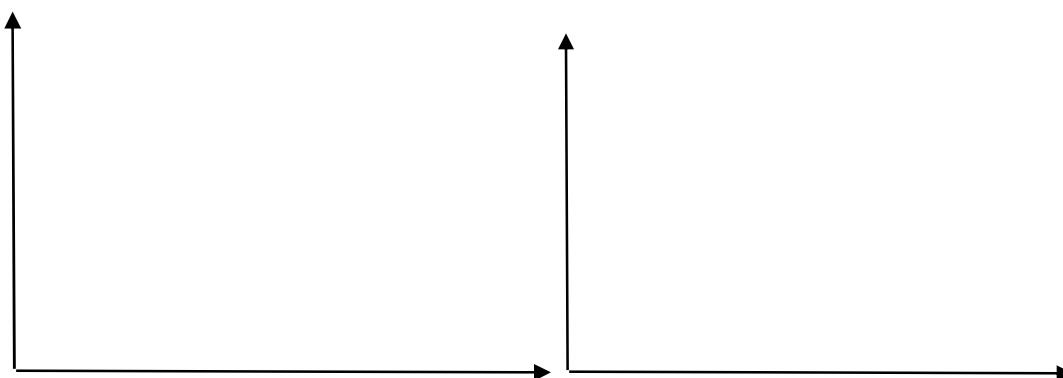


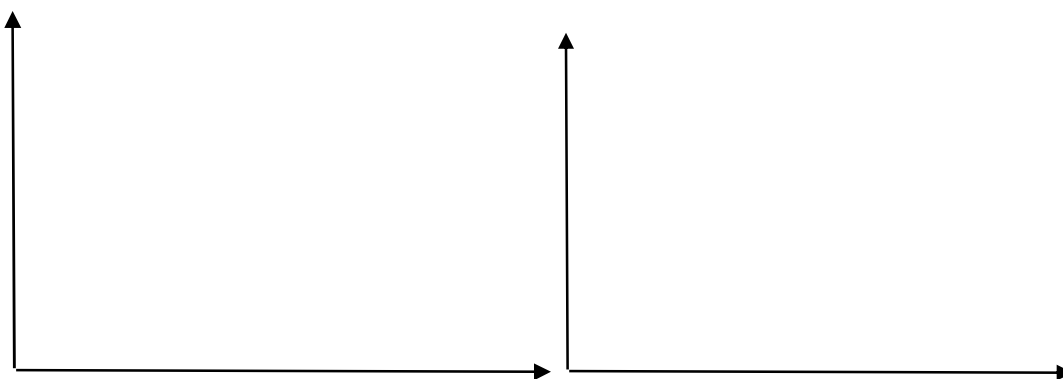
۲-آزمایش (۳-۴): طراحی کنترل کننده به کمک معیار CHR

روش CHR با جزئیات بیشتری نسبت به روش ZN عمل میکند. دامنه کاربرد آن وسیعتر از روش ZN می باشد.

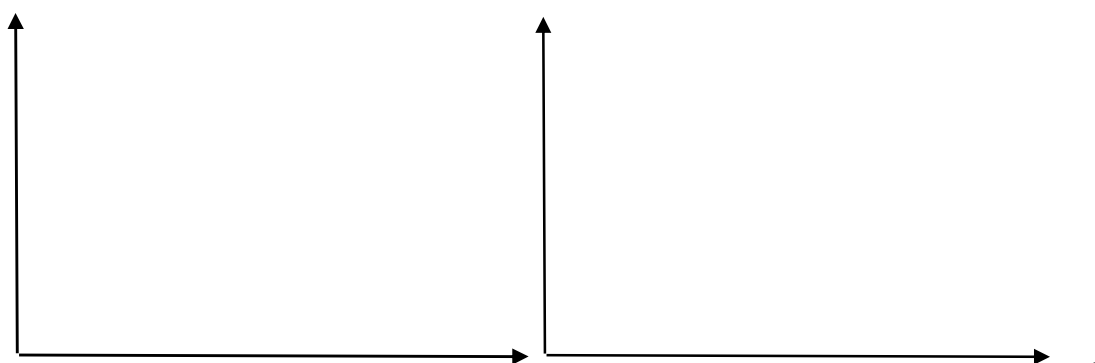
- مدار آزمایش قبل را بسته و $U_W = 5^v$ و $T_{s1} = 5$ و $K_{s1} = K_{s2} = K_s = T_{s2} = T_{s3} = T_{s4} = 1$ و $T_U = 1.6$ و $T_g = 6.34$ را انتخاب کنید.

- ضرایب کنترل کننده P ، PI ، PID را برای پاسخ غیر پریودیک و پاسخ با 20% اورشوت محاسبه و در ورودی $U_W = 5^v$ پاسخ پله سیستم را مشاهده و رسم کنید.

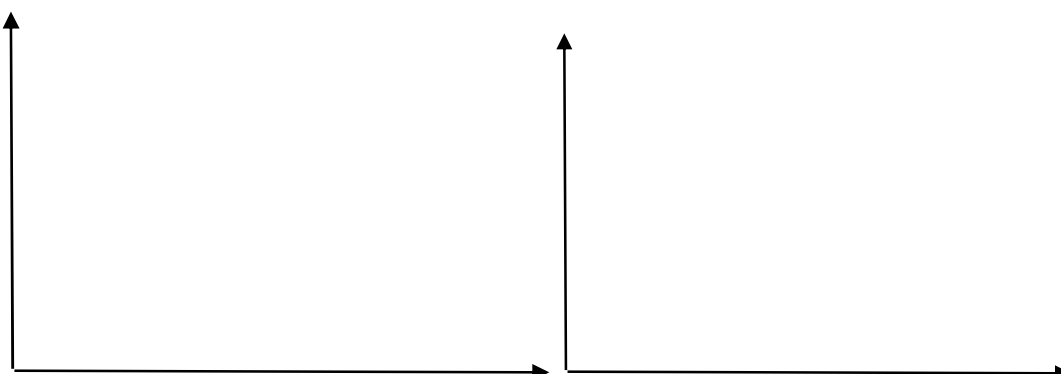




- به کمک کلیدهای فشاری Z در روی سیستم مشابه سازی شده (در ابتدا و وسط سیستم) دو اغتشاش به سیستم وارد کنید و پاسخ هر حالت را مشاهده و رسم کنید. (کنترل کننده PID)



- حال ضرایب را به کمک جدول مربوط به محاسبه پارامترهای کنترل کننده PID به کمک معیار CHR برای حالت اغتشاش تنظیم و پاسخ را در دو حالت مشاهده و رسم کنید.

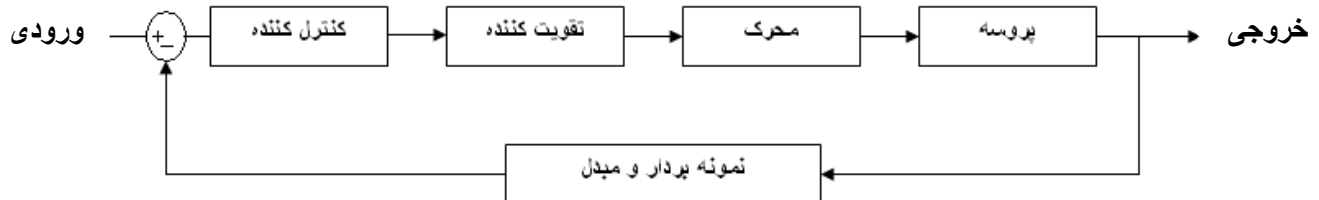


آزمایش چهارم

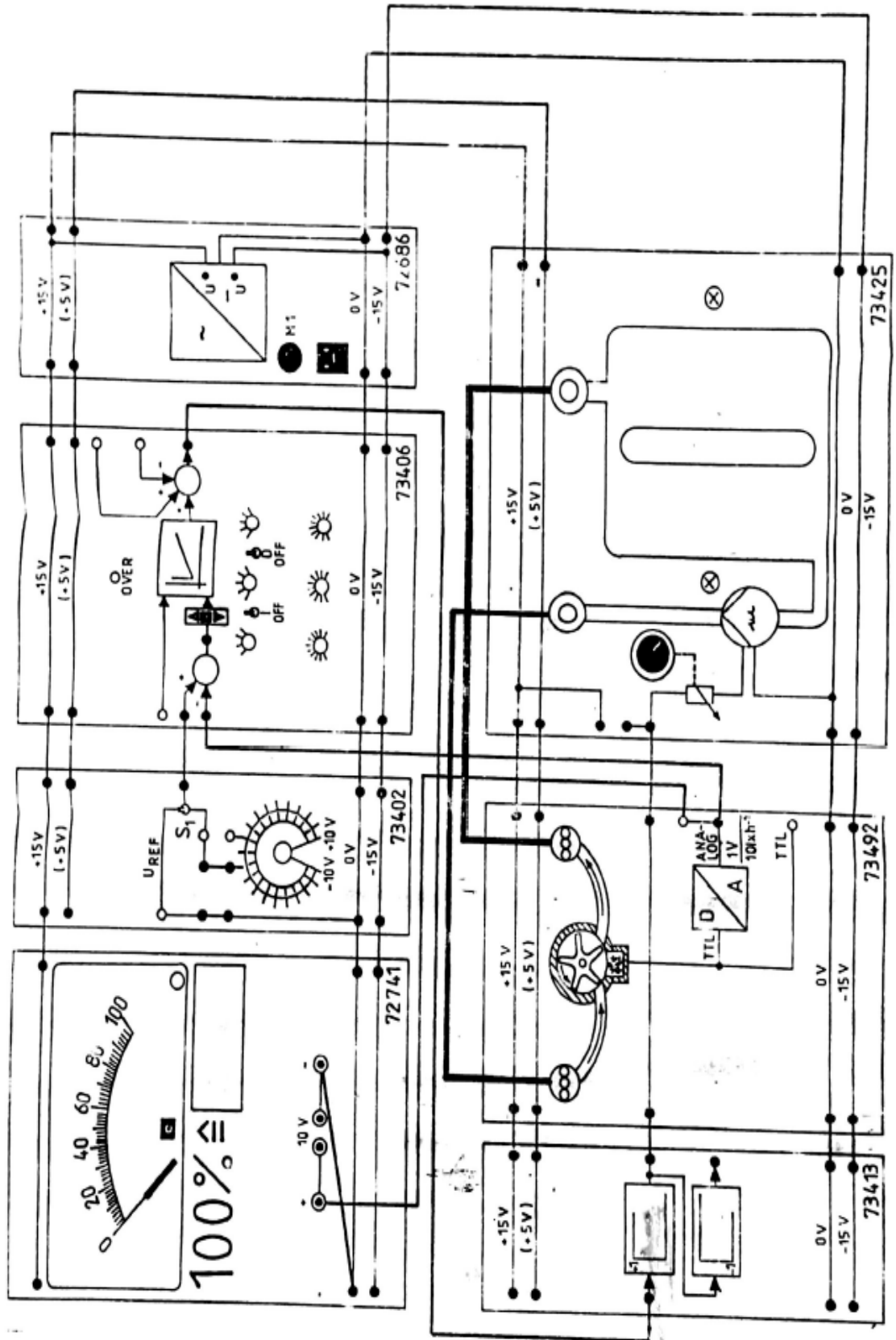
کنترل جریان مایعات

مقدمه :

در صفحه بعدی مدار یک سیستم کنترل دبی آب آورده شده است. در این سیستم آب توسط یک پمپ کوچک ، از مخزن ذخیره در داخل یک مسیر جاری و سپس به مخزن ذخیره می ریزد. پمپ توسط یک موتور کوچک جریان مستقیم به حرکت درآورده می شود. موتور به وسیله تقویت کننده تغذیه شده و تقویت کننده ورودی خویش را از کنترل کننده می گیرد. بنابراین سیستم فوق را می توان با بلوک دیاگرام ذیل نمایش داد :



- مدار صفحه بعد را ببندید .



- در این سیستم:

- ورودی توسط چه المانی تعیین و چگونه به سیستم اعمال می شود؟
- کنترل کننده کدام است و از چه نوعی می باشد؟
- محرک چیست و خروجی پروسه کدام است؟
- نمونه بردار و مبدل کدام است و چگونه کار می کند؟
- برای آنکه دبی پمپ ۲ لیتر در ساعت باشد ، ورودی چه مقدار باید باشد؟
- اگر ورودی را ۵ ولت قرار دهیم در یک ساعت چقدر آب توسط پمپ جابجا می شود؟
- آیا از نمونه بردار و مبدل سیستم فوق می توان در یک سیستم کنترل دیجیتالی استفاده نمود؟

- با قطع فیدبک و حذف کنترل کننده در مدار و قرار دادن اتصال کوتاه به جای آن در ورودی ۸

ولت ، پاسخ حلقه باز سیستم را مشاهده و رسم نمایید. می دانیم که پاسخ فوق پاسخ استاتیک سیستم بوده و از روی آن پارامترهای T_u ، T_g و K_s سیستم قابل استخراج است. K_s گین حلقه باز سیستم بوده و از حاصل تقسیم خروجی به ورودی در حالت دائمی به دست می آید)

- کنترل کننده را در مدار قرار داده و فیدبک را وصل نمایید. در حالی که فقط کنترل کننده متناسب

در مدار قرار دارد با اعمال ورودی ۴ ولتی به سیستم K_p را آنقدر افزایش دهید تا سیستم نوسانی

گردد. K_{pcrit} گین آستانه نوسانات سیستم است که گین بحرانی خوانده می شود و f_{crit} فرکانس

آستانه نوسانات سیستم است. (پریود نوسانات $T_{crit} = \frac{1}{f_{crit}}$) این دو پارامترکه از مشخصات

دینامیکی سیستم هستند و از این آزمایش بدست می آیند .

- به کمک نتایج حاصله از دو آزمایش قبل و جدول محاسبه ضرایب کنترل کننده ها در روش های CHR و ZN می توان جدول زیر را تکمیل نمود :

معيار محاسبه نوع كنترلر	پاسخ غيرپريوديك (معيار CHR)	پاسخ با ۲۰٪ اورشوت (معيار CHR)	معيار ZN
P	$K_p =$	$K_p =$	$K_p =$
PI	$K_p =$ $T_N =$	$K_p =$ $T_N =$	$K_p =$ $T_N =$
PID	$K_p =$ $T_N =$ $T_V =$	$K_p =$ $T_N =$ $T_V =$	$K_p =$ $T_N =$ $T_V =$

آزمایش (۴-۱): کنترل کننده متناسب (Proportional)

- ورودی را در صورتی که $K_p < ۲/۵$ است ۴ ولت و در صورتی که $K_p > ۲/۵$ است ۳/۵ ولت قرار دهید .

- سیستم را با کنترل کننده P و برقراری فیدبک به کار گیرید .

- تغییرات دبی در حالت گذرا (در هر یک از حالت ها) چقدر است؟ در حالت دائمی دبی در هر حالت چقدر است؟

- آیا می توان با سعی و خطا پاسخ مناسب تری را یافت؟ با تغییر K_p این مطلب را بررسی نمایید .

- پاسخ بهینه به دست آمده از روش سعی و خطا را مشاهده و رسم نمایید .

- چهار روش را با هم مقایسه نمایید. بهترین روش کدام است؟

آزمایش (۲-۴): کنترل کننده متناسب انتگرال گیر (PI)

- ورودی را ۳ ولت قرار دهید. سیستم را با کنترل کننده PI و برقراری فیدبک به کار گیرید .

- تغییرات دبی در حالت گذرا را در هر یک از حالت ها با هم مقایسه نمایید. در حالت دائمی،

دبی در هر حالت چقدر است؟ کدام یک از روش ها سریع تر به پاسخ می رسند؟

- با افزودن انتگرال گیر چه تغییری در سرعت پاسخ، خطای حالت دائم و میزان اورشوت ایجاد می

شود؟ اثر کنترل کننده PI در حد بهره چیست؟ چه موقع از کنترل کننده PI استفاده می نماییم؟

- با تغییر (افزایش و کاهش) K_p تغییر ایجاد شده در پاسخ را بررسی کنید. سپس با تغییر T_N

(افزایش و کاهش) تغییر ایجاد شده در پاسخ را بررسی کنید. آیا می توان با روش سعی و خطا

پاسخ مناسب تری یافت؟ پاسخ بهینه به دست آمده از روش سعی و خطا را رسم نمایید .

آزمایش (۳-۴): کنترل کننده متناسب انتگرال - مشتق گیر (PID)

- ورودی را ۲/۵ ولت قرار دهید. سیستم را با کنترل کننده PID و برقراری فیدبک به کار گیرید .

- میزان اورشوت، سرعت پاسخ و میزان خطای حالت دائم را در سه حالت مختلف با هم مقایسه

کنید .

K_p را تا یک میزان دلخواه افزایش داده و پاسخ سیستم را مشاهده کنید. K_p را به مقدار اولیه

کاهش داده و T_N را تا یک حد دلخواه افزایش داده و پاسخ پله سیستم را مشاهده نمایید. T_N را به

مقدار اولیه کاهش داده و T_v را تا یک حد دلخواه افزایش داده و پاسخ پله سیستم را مشاهده نمایید.

- به کمک روش سعی و خطا مشخصات کنترل کننده PID مناسب را به دست آورده و پاسخ آن را رسم کنید. برای این کار ابتدا کنترل کننده های I و D را از مدار حذف کنید. K_p را آنقدر افزایش دهید تا سیستم نوسانی گردد. سپس K_p را برابر یک دوم گین نوسان قرار دهید. کنترل کننده I را در مدار قرار داده و T_N را از مقادیر بزرگ کاهش دهید تا اینکه سیستم در آستانه نوسان قرار گیرد. حال کنترل کننده D را در مدار قرار داده و T_v را از مقادیر کوچک افزایش داده تا اینکه نوسانات سیستم حذف شده و خطا صفر گردد. پاسخ بهینه به دست آمده از روش سعی و خطا را رسم نمایید.

آزمایش (۴-۴): کنترل دبی با فیدبک و فیدفوروارد کنترلرها

کار کنترل کننده اعمال الگوی کنترل صحیح است ، به گونه ای که خروجی ، ورودی را دنبال نموده و اغتشاشات را دفع کند. برای آنکه کنترل کننده اثر نویزها و اغتشاشات را خنثی کند باید صبر نماید تا اثر آن ها در خروجی ظاهر گردد و سپس در پی جبران آن برآید. اگر بتوانیم به نوعی اغتشاش را پیش بینی و اندازه گیری نماییم، با استفاده از فیدفوروارد کنترل می توانیم اثر نویز را خنثی کنیم. برای مثال در کنترل موقعیت و سرعت اتومبیل، ترمز نقش فیدبک را دارد. حال اگر بتوانیم مانع سر راه را پیش بینی کنیم و با کاهش سرعت با کم کردن گاز، اتومبیل را کنترل نماییم ، سرعت پاسخ بهتر و سریع تر خواهد بود.

برای از بین بردن اثر اغتشاش باید تابع انتقال فیدفوروارد کنترل کننده را تخمین زد. در مدار صفحه بعد کنترل کننده فیدفوروارد ، از نوع مشتق گیر است. برای اعمال کنترل فیدفوروارد در یک سیستم با حلقه فیدبک باید به روش زیر عمل نماییم :

(۱) ابتدا نقطه اثر و نوع اغتشاش را باید شناسایی نمود و سپس تابع انتقال فیدفوروارد کنترلر

را محاسبه و به فرم زیر مدار را تکمیل نمود :

(۲) مدار صفحه بعد را ببندید . ضرایب کنترل کننده PID را طبق مقادیر به دست آمده در

قسمت اول آزمایش به سیستم اعمال کنید. مقدار K_D را روی کنترل کننده مشتق گیر که

کنترل کننده فیدفوروارد است روی ماکزیمم مقدارش جای دهید .

(۳) در حالی که ورودی سیستم $U_W = 4$ ولت و دامنه اغتشاش U_D روی $2/5$ ولت تنظیم

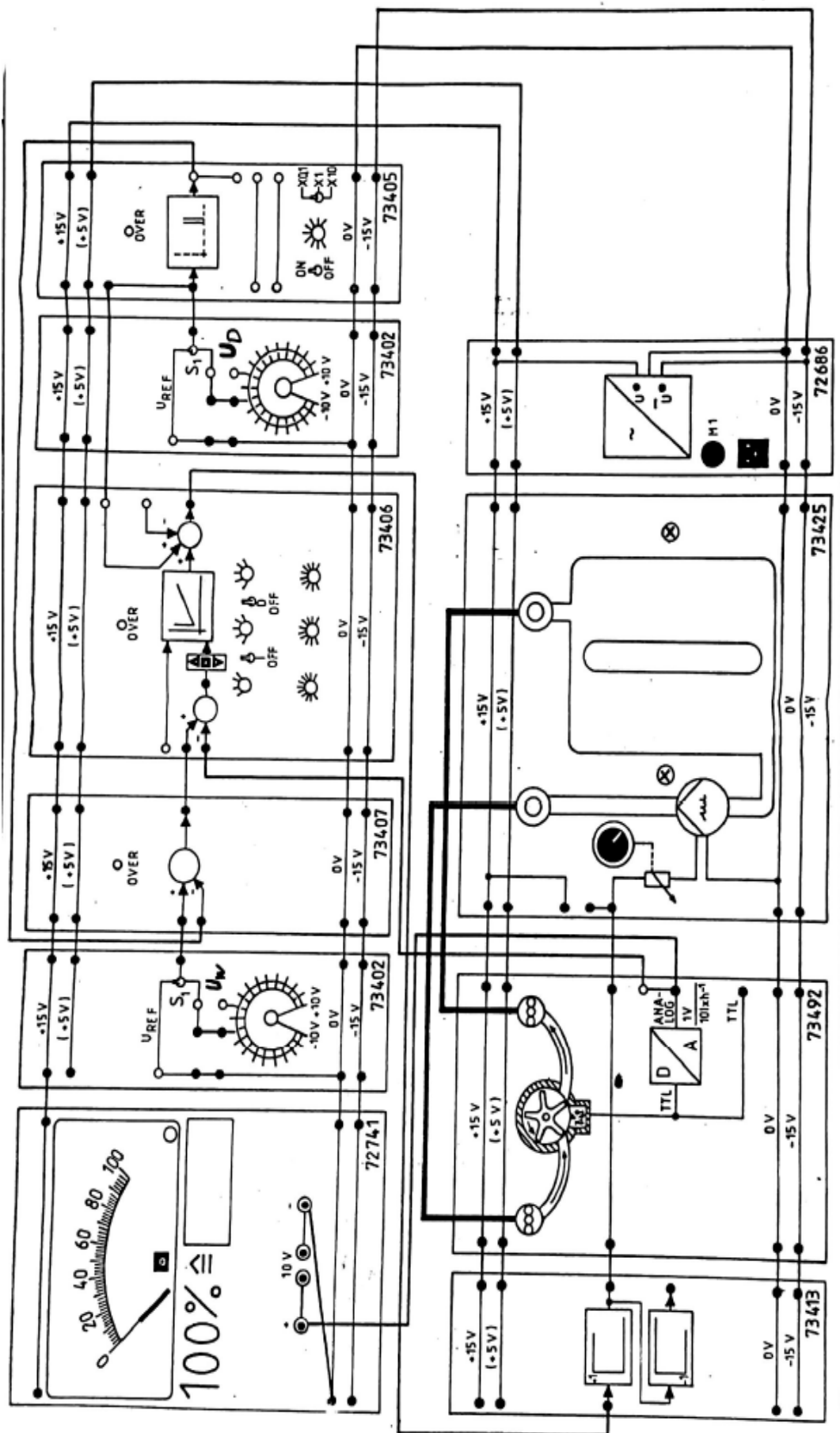
شده است ، به سیستم (در حالی که به صورت دائمی در حال کار است و کلید مشتق گیر

روی بلوک فیدفوروارد خاموش است) یک نویز وارد کنید و پاسخ حالت گذرا را مشاهده

و رسم نمایید .

(۴) کلید مشتق گیر را روشن نموده و یک نویز به سیستم وارد کنید و پاسخ گذرا را مشاهده و

رسم نمایید .



آزمایش پنجم سیستم کنترل حرارت

مقدمه :

در این آزمایش هدف کنترل دمای یک محفظه است . در این راستا دو نوع کنترل کننده خطی و غیر خطی به کار گرفته شده و رفتار سیستم را در هر حالت مورد مطالعه و بررسی قرار می دهیم .

(۱) کنترل کننده غیر خطی :

در سیستم هایی همچون سیستم حرارتی که تغییر پارامتر مورد نظر به کندی صورت می گیرد و به عبارتی دارای ثابت زمانی زیادی است می توان از کنترل کننده غیر خطی استفاده نمود . اگر چه به کارگیری این نوع کنترل کننده خطای حالت دائمی را صفر نمی کند ولی ساخت آن بسیار آسان بوده و لذا بسیار مورد توجه بوده و از آن استفاده می شود. برای مثال به راحتی می توان با یک رله ساده ، یک کنترل کننده قدرت توان بالا ساخت . در صفحه بعد ، مدار سیستم کنترل دما که در آن از کنترل کننده غیر خطی (از نوع دو وضعیتی ON-OFF) استفاده شده ، آورده شده است. این کنترل کننده در واقع یک کنترل کننده متناسب است که گین آن به سمت بی نهایت میل می کند .

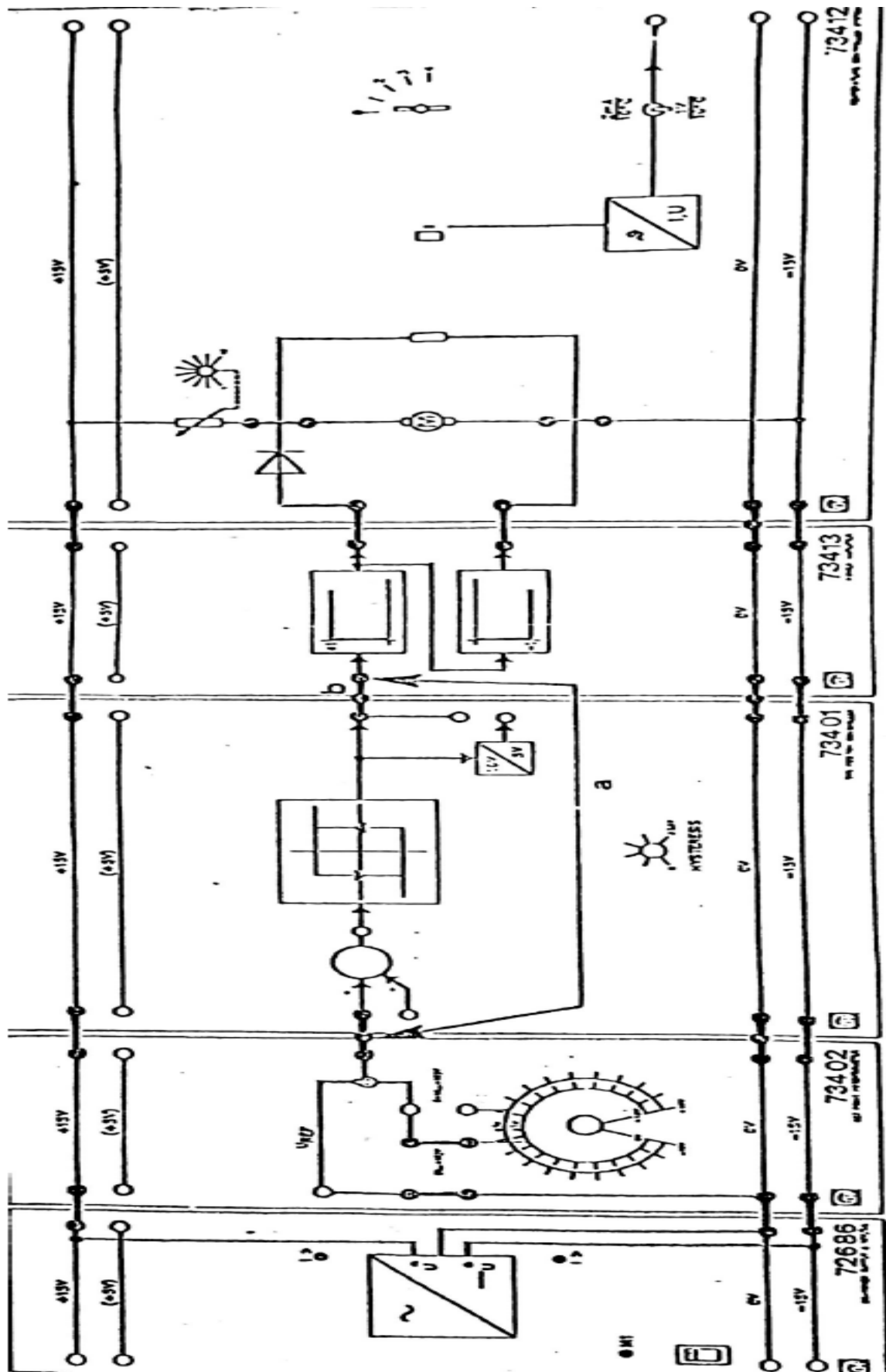
(۲) کنترل کننده خطی :

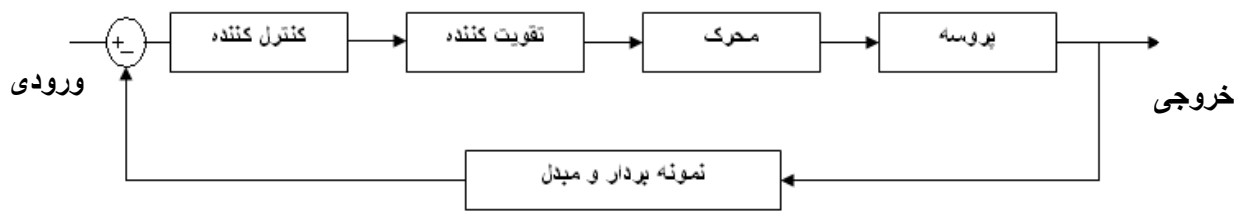
برای آنکه در پروسه های حرارتی خطای حالت ماندگار برابر با صفر داشته باشیم ، باید از کنترل کننده های خطی استفاده نمائیم. باید توجه نمود که ساخت تقویت کننده های خطی قدرت بالا مشکل بوده و لذا جز در موارد خاص از کنترل کننده های غیر خطی در کنترل دما استفاده می شود. کنترل کننده خطی می تواند از نوع متناسب یا متناسب انتگرال گیر و یا متناسب انتگرال گیر مشتق گیر باشد . در انتهای این آزمایش از یک کنترل کننده PID برای کنترل دما کمک گرفته می شود.

مقایسه عملکرد این دو نوع کنترل کننده از اهداف این آزمایش به شمار می آید .

در این آزمایش از اسیلواسکوپ در مد Roll با زمان 20 sec/cm استفاده نمایید

- مدار صفحه بعد را ببندید و اجزای آنرا با دیاگرام زیر تطابق دهید.





- در این سیستم :

- ورودی توسط چه المانی تعیین و چگونه به سیستم اعمال می شود؟
- کنترل کننده از چه نوعی بوده و چگونه در سیستمهای قدرت بالا ساخته می شود؟
- محرک چیست و خروجی پرونده کدام است؟
- نمونه بردار و مبدل کدام است و چگونه کار می کند؟
- برای آن که دمای محفظه ۳۰ گردد ، ورودی چه مقدار باید باشد؟
- کار فن و دریچه در این سیستم چیست؟

○ لازم به ذکر است که محفظه توسط یک لامپ هالوژنی گرم می شود و به همراه هیت سینک اولین المان ذخیره ساز (تأخیری) را می سازد. یک PTC به عنوان سنسور به همراه مقاومت حرارتی بین سنسور و منبع حرارت دومین المان ذخیره ساز (تأخیری) را تشکیل می دهد . در ابتدای محفظه یک فن هوا را به داخل کانال می فرستد و میزان هوای خروجی توسط یک دریچه (Flap) کنترل می شود . در این آزمایش تابع انتقال سیستم به ازای فن و دریچه ۲ محاسبه می شود و تمام مراحل آزمایش برای این مقادیر انجام می گردد . تغییر میزان فن و دریچه به صورت نويز عمل می کند .

آزمایش (۵-۱) : کنترل دما با کنترل کننده دو وضعیتی

- در مدار قبل فیدبک را متصل نموده و کنترل کننده را در مدار قرار دهید . میزان هیستریزیس را صفر ولت تعیین نمایید. به کمک ولت‌متر و با اندازه گیری ولتاژ خروجی سنسور ، دمای محیط را اندازه گیری کنید .

- ورودی را ۳/۵ ولت قرار داده و پاسخ پله سیستم را به کمک اسیواسکوپ یا رکورد ر رسم کنید .
- با اندازه گیری تغییرات ولتاژ خروجی نمونه بردار و مبدل ، تغییرات دمای محفظه را به دست آورید .

○ توجه : با قطع ورودی و افزایش دور فن از میزان ۲ به ۶ ، دمای محفظه را با دمای محیط یکسان نمایید و سپس دور فن را به ۲ واحد کاهش دهید و این کار را بعد از انجام هر مرحله از آزمایش تکرار کنید .

- در همان ورودی ۳/۵ ولت با اعمال پله به سیستم خروجی کنترل کننده را رسم نمایید .
- در حالی که ورودی همان ۳/۵ ولت است میزان هیستریزیس را به ± 0.25 ولت تغییر داده و پاسخ پله سیستم را رسم نمایید.

- با اندازه گیری تغییرات ولتاژ خروجی نمونه بردار و مبدل ، تغییرات دمای محفظه را به دست آورید و سپس علت تغییرات زیاد را بیان دارید؟

- در همان ورودی ۳/۵ ولت با میزان هیستریزیس ± 0.5 ولت پاسخ سیستم را رسم نموده و محدوده تغییرات دما را به دست آورید. - اثر میزان هیستریزیس در میزان خطا و پریود قطع و وصل محرک چگونه است ؟

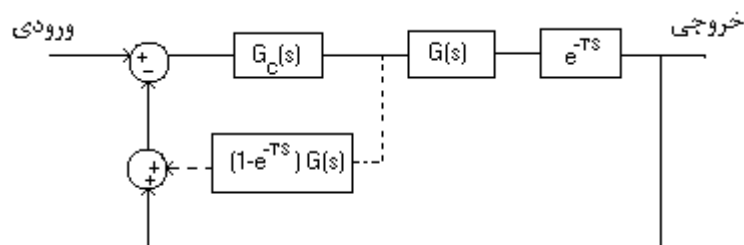
- در ورودی ۳/۵ ولت و هیستریزیس صفر ولت میزان فن را از ۲ واحد به ۴ واحد افزایش داده و پاسخ را رسم نمائید . تغییرات دما و پریود قطع و وصل چگونه است ؟

- در ورودی ۳/۵ ولت و هیستریزیس صفر ولت ، دریچه را ۴ واحد باز کنید و فن را روی ۲ واحد قرار دهید و سپس پاسخ پله سیستم را رسم نمائید. تغییرات دما و پریود قطع و وصل چگونه است ؟

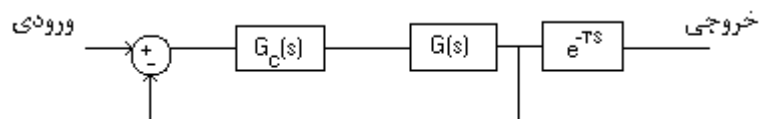
- اثر هر یک از اغتشاشات فن و دریچه روی سیستم چگونه است ؟

آزمایش (۵-۲) : کنترل دما با تأخیر در حلقه فیدبک

نرخ تبادل حرارت در گازها کم بوده ولذا تغییر دما در یک محیط گازی به کندی صورت می گیرد. این امر موجب تأخیر در پروسه های کنترل دما شده و کار کنترل را کمی با مشکل مواجه می سازد. تأخیر موجود در سیستم را می توان جبران نمود. برای این کار از خروجی کنترل کننده نمونه برداری کرده و از یک سیستم تابع انتقال تناسبی وارد در حلقه فیدبک استفاده می نمائیم و خروجی این سیستم را با خروجی نمونه برداری شده محیط گرم شونده جمع می نمائیم و این مجموع را به ورودی مقایسه کننده (تفریق کننده) اعمال می کنیم. فرض کنید سیستم اصلی دارای تابع انتقال $G(s)$ با یک تأخیر e^{-Ts} می باشد و از کنترل کننده $G_c(s)$ برای کنترل خروجی در آن استفاده شده است. برای جبران تأخیر از یک سیستم با تابع انتقال $(1-e^{-Ts})G(s)$ استفاده می نمائیم.



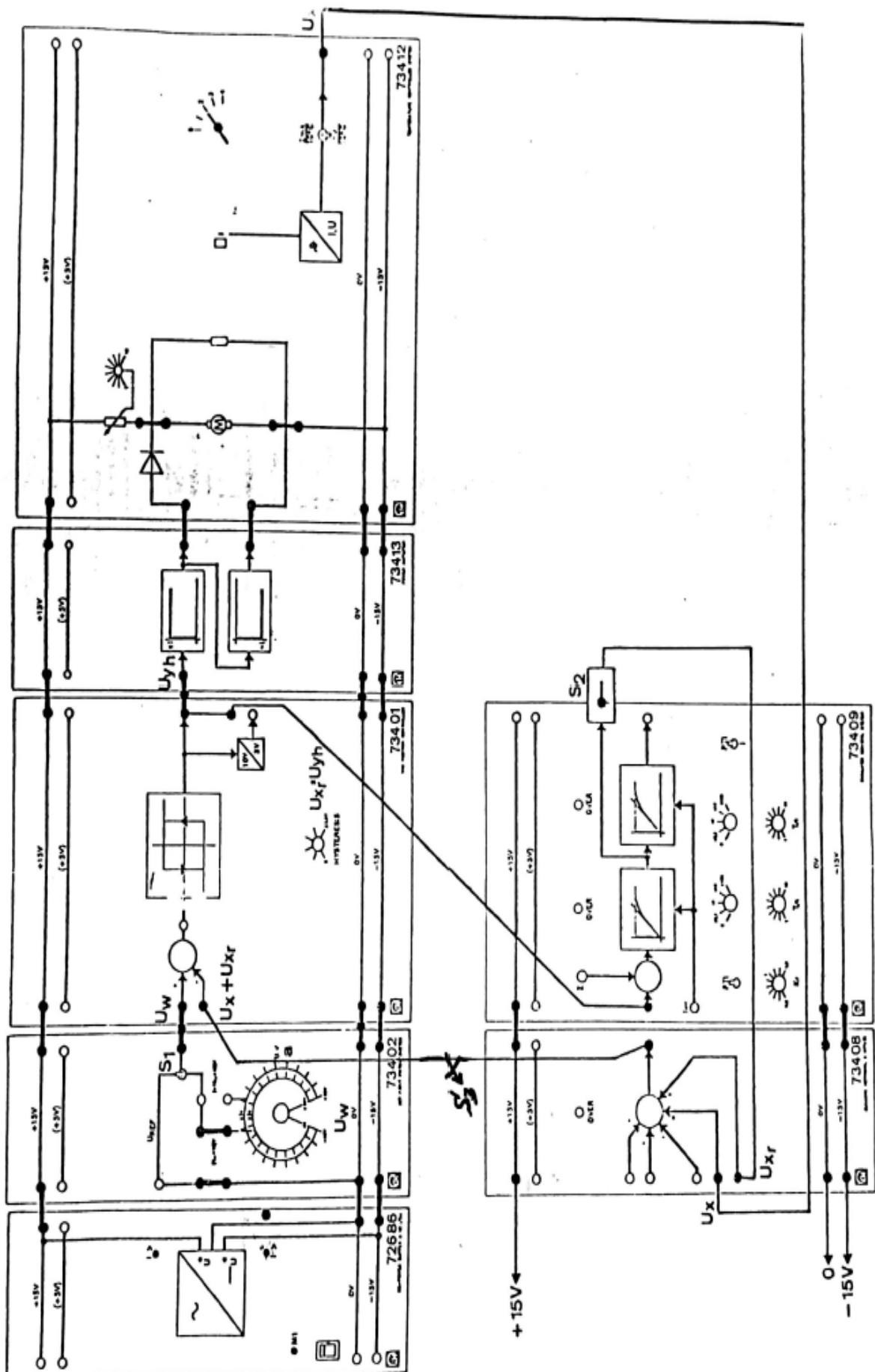
با بکارگیری سیستم جبران تأخیر در حلقه فیدبک میتوان گفت که بلوک دیاگرام سیستم به صورت زیر در می آید :



به عنوان تمرین ثابت کنید که در معادله مشخصه سیستم جبران شده به روش فوق جمله وابسته به T وجود ندارد. برای مدلسازی تأخیر در سیستم به کار گرفته شده در حلقه فیدبک باید میزان تأخیر تخمین زده شود.

اگر تأخیر تخمین زده شده کمتر از مقدار واقعی باشد احتمال ناپایداری سیستم وجود دارد و اگر میزان تأخیر تخمین زده شده از مقدار واقعی بیشتر باشد در کار سیستم ایجاد محدودیت می کند. استفاده از این نوع جبران کننده امکان افزایش سرعت پاسخ سیستم را فراهم کرده و پهنای باند سیستم حلقه بسته بیشتر از حالت عادی خواهد بود.

- مدار صفحه بعد را ببینید .



- روی سیستم مشابه سازی شده $K_{PI}=1$ و $T=50 \text{ sec}$ را قرار دهید و مقدار هیستریزیس را روی ± 0.5 تنظیم نمایید. در حالیکه کلید S_3 بسته و S_2 باز است ، در ورودی ۵ ولت پاسخ پله سیستم را به کمک اسیلواسکوپ یا رکورد ر رسم نمایید. توجه نمایید که در این حالت تنها فیدبک خروجی داریم.

- در حالیکه کلید S_3 بسته است کلید S_2 را نیز ببندید با ورودی ۵ ولت پاسخ پله سیستم را به کمک اسیلواسکوپ یا رکورد ر رسم نمایید.

- میزان تأخیر روی سیستم مشابه سازی شده را به $T=5 \text{ sec}$ کاهش دهید و مرحله قبل را تکرار کنید .

- آیا می توان گفت که خطای حالت ماندگار خروجی در دو حالت اخیر کاهش یافته است . چرا ؟
- میزان هیستریزیس را به ± 0.25 کاهش داده و برای $T=25 \text{ sec}$ پاسخ سیستم را رسم نمایید .

آزمایش (۳-۵) : کنترل دما با کنترل کننده خطی

- مدار صفحه بعد را ببندید.

- با قطع فیدبک و حذف کنترل کننده در مدار و قرار دادن اتصال کوتاه به جای آن ، در ورودی ۸ ولت پاسخ حلقه باز سیستم را به کمک اسیلواسکوپ یا رکورد ر رسم نمایید . می دانیم که پاسخ فوق ، پاسخ استاتیک سیستم بوده و از روی آن پارامترهای T_g , T_u , K_s سیستم ، قابل استخراج هستند.

- به کمک نتایج حاصله و جدول محاسبه ضرایب کنترل کننده ها ، می توان جدول زیر را تکمیل نمود :

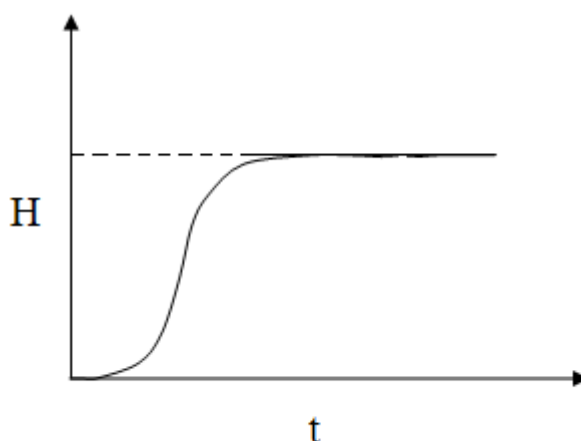
	P	PI	PID
پاسخ غیر پریودیک (روش CHR)	$K_P=$	$K_P=$ $T_N=$	$K_P=$ $T_N=$ $T_V=$

- از روی جدول محاسبه شده در ابتدای آزمایش ، پارامترهای کنترل کننده را در سه حالت P و PI و PID به سیستم اعمال و پاسخ پله سیستم را در هر حالت با ورودی ۴ ولت رسم نمائید .
- خطای حالت دائم در هر حالت را به دست آورید . میزان اورشوت و زمان پاسخ سیستم را ، با هم مقایسه نمائید .
- با فرض $K_s=0.51$ و $T_g=85 \text{ sec}$ و $T_u=4.5 \text{ sec}$ پارامترهای کنترل کننده را برای سه حالت P و PI و PID به کمک روش CHR (پاسخ غیر پریودیک) به دست آورده و در ورودی ۴ ولت پاسخ پله سیستم را رسم نمائید .
- نتایج این مرحله را با مرحله قبل مقایسه نمائید .

آزمایش ششم کنترل ولتاژ ژنراتور

مقدمه :

در این آزمایش یک موتور و ژنراتور کوچک به عنوان سیستم کنترل شونده مورد استفاده قرار می‌گیرند. به خاطر جرم متصل به محور موتور و ژنراتور می‌توان سیستم را به عنوان یک سیستم مرتبه اول در نظر گرفت. وجود اصطکاک باعث ایجاد یک زمان مردگی (dead time) می‌شود. حال اگر تحریک موتور به کمک یک سیم‌پیچ شنت صورت گیرد ، در این صورت یک المان ذخیره کننده (عامل ایجاد تأخیر) با ثابت زمانی $\tau=L/R$ که L میزان سلف و R میزان مقاومت مربوط به سیم‌پیچ شنت می‌باشد به سیستم اضافه می‌گردد و تابع انتقال آن فرمی بصورت روبرو که اصطلاحاً S فرم نامیده می‌شود ، خواهد داشت.



در سیستم‌هایی که تابع انتقال آنها فرم S دارد معیار CHR و ZN برای طراحی بهینه کنترل‌کننده قابل استفاده است. در این آزمایش اگرچه سیستم مرتبه اول است لکن نوسانی شدن سیستم این حقیقت را اثبات می‌کند که در سیستم فوق المانهای ذخیره‌ساز دیگری نیز وجود دارند پس در اینجا نیز می‌توان از معیارهای CHR و ZN برای طراحی کنترل‌کننده بهینه استفاده نمود. در این آزمایش دو پروسه کنترل ولتاژ خروجی و کنترل سرعت را داریم .

آزمایش (۶-۱) : کنترل ولتاژ خروجی ژنراتور

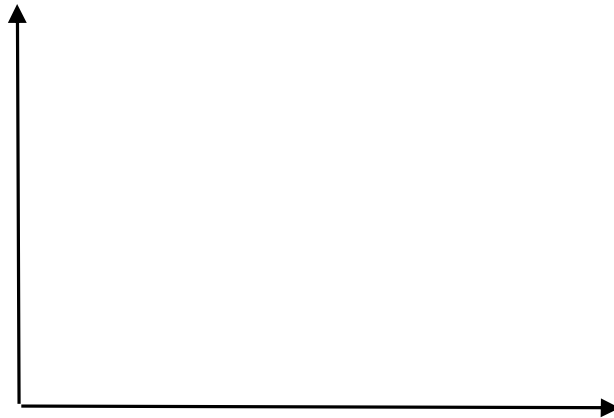
- مدار صفحه بعد را ببندید . سیستم رابط بین خروجی ژنراتور و جمع کننده را بردارید .

- K_p را برابر یک و مقدار $U_w = 5\text{ v}$ قرار داده و در حالت بی بار ، با بار یک لامپی و سه

لامپی، گین DC سیستم (K_s) را بدست آورید .

$$K_s = U_x / U_w \quad (t \rightarrow \infty)$$

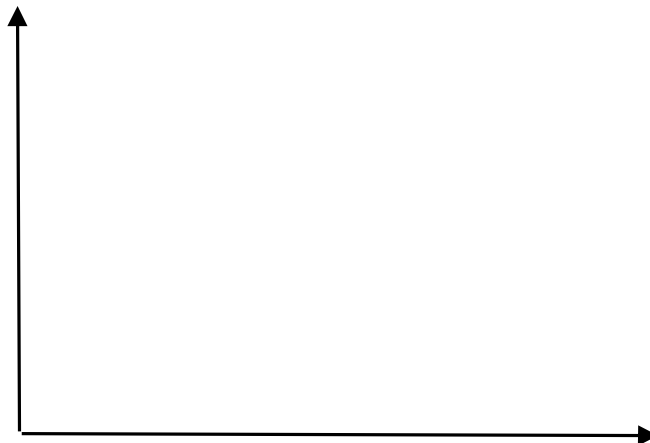
- پاسخ پله سیستم را در حالت بار یک لامپی و سه لامپی مشاهده و رسم کنید .

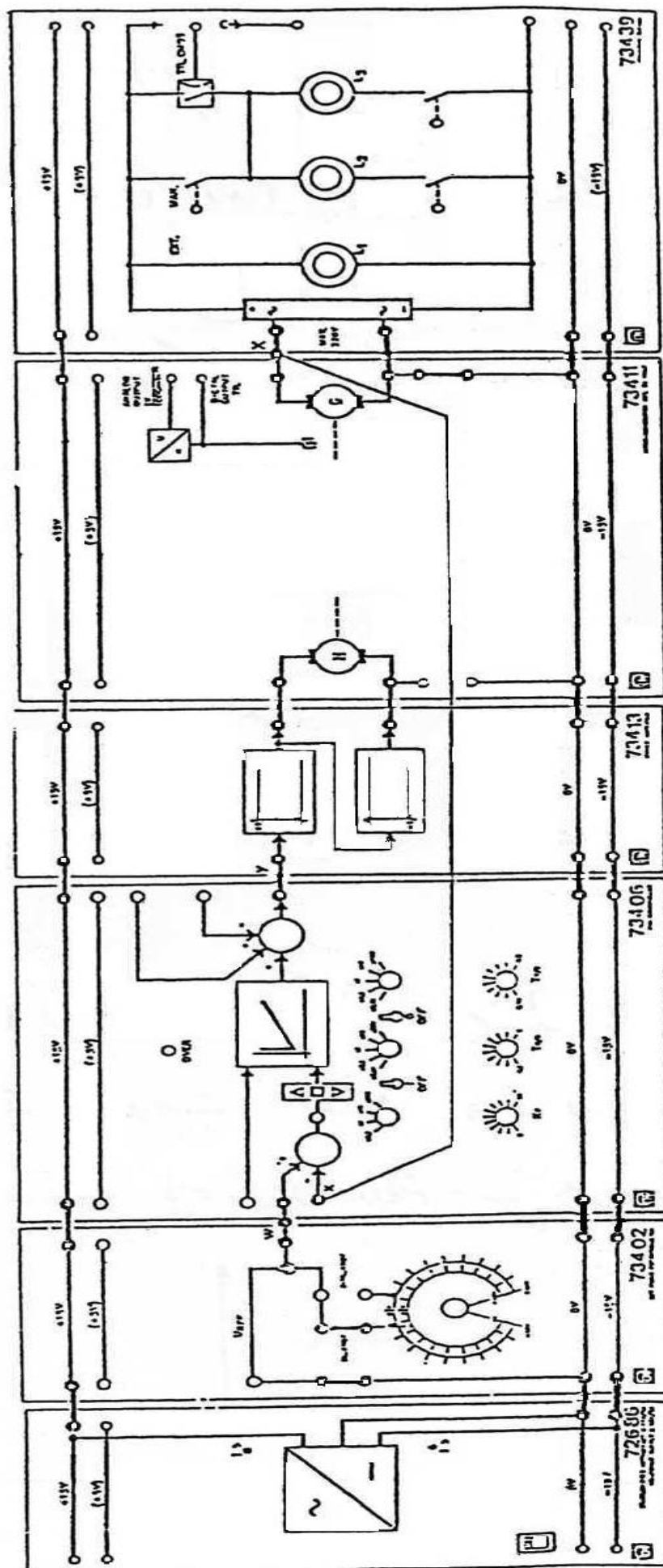


- حلقه فیدبک را به کمک سیم رابط بسته و در حالت $K_p=1$ و $U_N=5$ و با بار یک لامپی به آرامی

K_p را زیاد نموده تا اندازه ای که سیستم نوسان نماید . در این نقطه فرکانس نوسان و نیز K_p را

یادداشت نموده و در این گین پاسخ پله سیستم را مشاهده و رسم کنید .





• در صورتیکه سیستم نوسان نمی‌نماید دلیل آنرا بیان کنید .

- میزان K_p را برابر ۳ قرار دهید در این صورت خطا $e = w-x$ بزرگتر از صفر خواهد شد . به کمک انتگرال گیر (T_N) سعی در صفر نمودن خطای e نمایید . برای این کار از مقادیر T_N بزرگ شروع نمایید و کاهش را آنقدر ادامه دهید تا نوسانات سیستم شروع شود. به کمک مشتق گیر T_V سیستم را پایدار کنید. برای این کار T_V را از صفر تغییر داده تا جایی که پایداری حاصل شود. مقادیر K_p ، T_N ، T_V را یادداشت نموده و با این مقادیر پاسخ پله سیستم را رسم کنید .

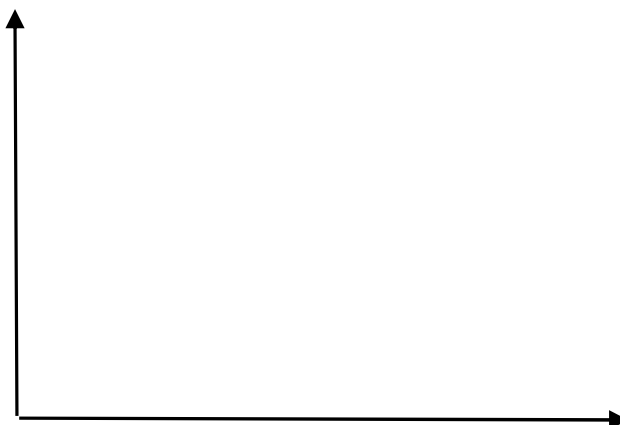


- به نظر شما در این سیستم نیازی به کنترل کننده PID می‌باشد ؟

آزمایش (۶-۲) : کنترل کننده های مختلف در سیستم کنترل ولتاژ

- کنترل کننده I را در حالت on قرار داده و در ورودی $U_w = 5v$ برای $K_p = 1$ و $T_N = 0.1$ و

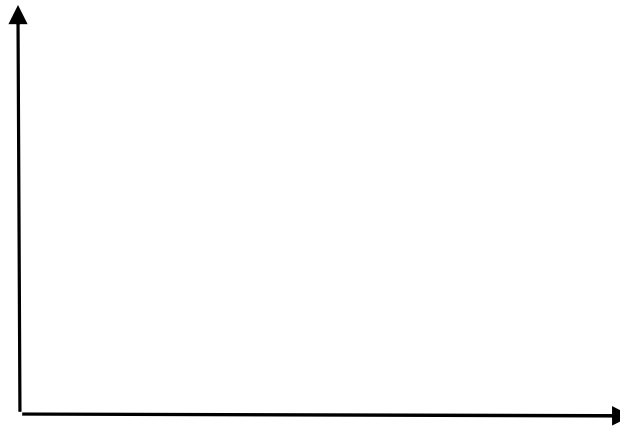
$T_N = 100$ پاسخ گذرا و دائم سیستم را رسم کنید و در هر حالت میزان $w-x$ را اندازه بگیرید



- ضرایب کنترل کننده را به صورت زیر تغییر داده و نتایج را در هر حالت مشاهده و رسم کنید.

کلید I خاموش

$$K_P=10, T_V=0.01$$



$$K_P=15, T_V=0.01$$



- افزایش K_P چه اثری در پاسخ دارد؟ چرا؟

- تغییر T_V چه تأثیری در پاسخ سیستم به وجود می‌آورد؟ ضرایب T_V ده برابر بزرگ و کوچک

کنید

- کنترل کننده‌های P و PI و PD را از نظر خطا و پایداری با یکدیگر مقایسه کنید .

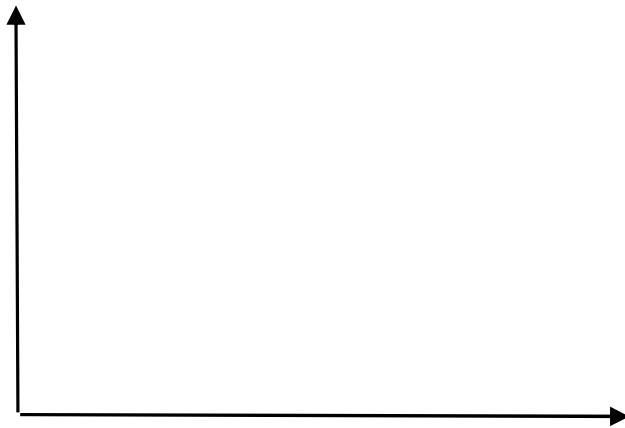
- در این حالت با روشن نمودن کلید I کنترل کننده PID را بسازید و در همان ورودی

$$U_W=5V \text{ پاسخ سیستم را با مقادیر داده شده مشاهده و رسم کنید . } K_P=10,$$

$$T_N=0.1, T_V=0.01$$



- حال $K_p=10$ قرار داده و با $T_N=100$ و $T_N=0.1$ پاسخ گذرا و دائم سیستم را رسم کنید .



-

- اثر افزایش K_p در پاسخ سیستم را بیان کنید .

- کدامیک از این چهار حالت پاسخ مناسب‌تر دارند؟ چرا ؟

کنترل‌کننده PID را با کنترل‌کننده‌های قبلی مقایسه کرده و اثر تغییر هر یک از پارامترهای کنترل

کننده را در پاسخ سیستم شرح دهید .