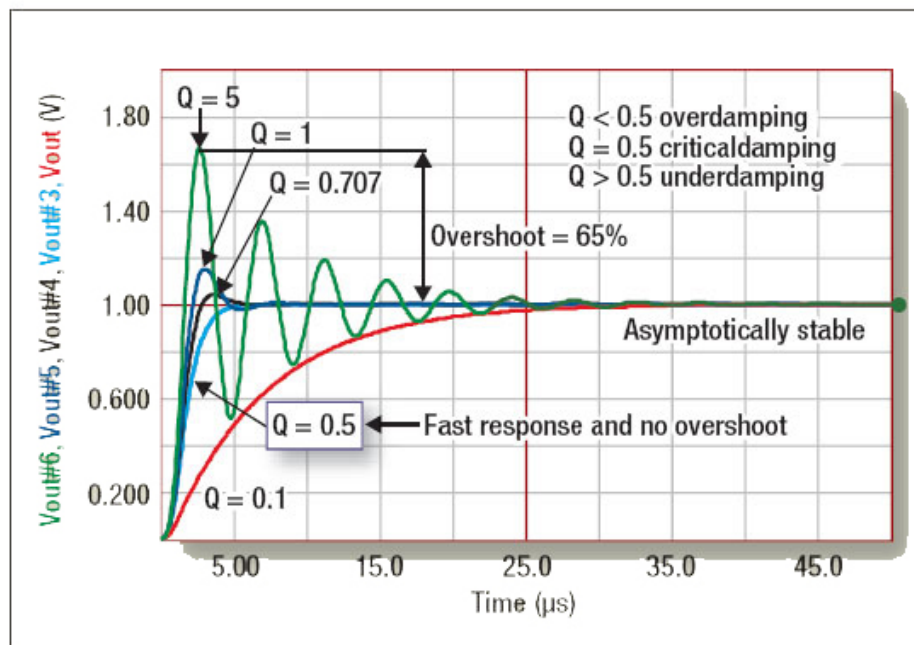




دانشگاه آزاد اسلامی

واحد جهرم

آزمایشگاه سیستم‌های کنترل



تهیه کننده

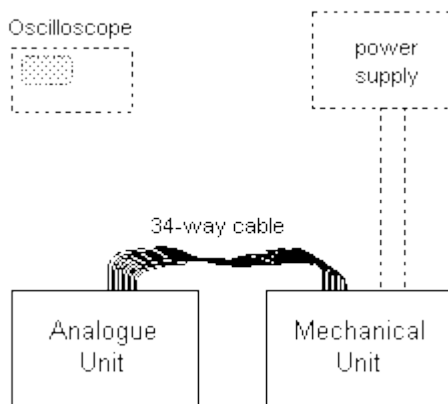
محمد کریم شفیعیان

آزمایشگاه های فنی و مهندسی

بخش مهندسی برق

آزمایش ۱: معرفی و آشنایی با دستگاه‌های آزمایشگاه سیستم‌های کنترل

مجموعه دستگاه‌های مورد استفاده در آزمایشگاه سیستم های کنترل از چهار بخش عمده مطابق شکل ۱-۱ تشکیل شده است :



شکل ۱-۱

۱- بخش آنالوگ

۲- بخش مکانیکی

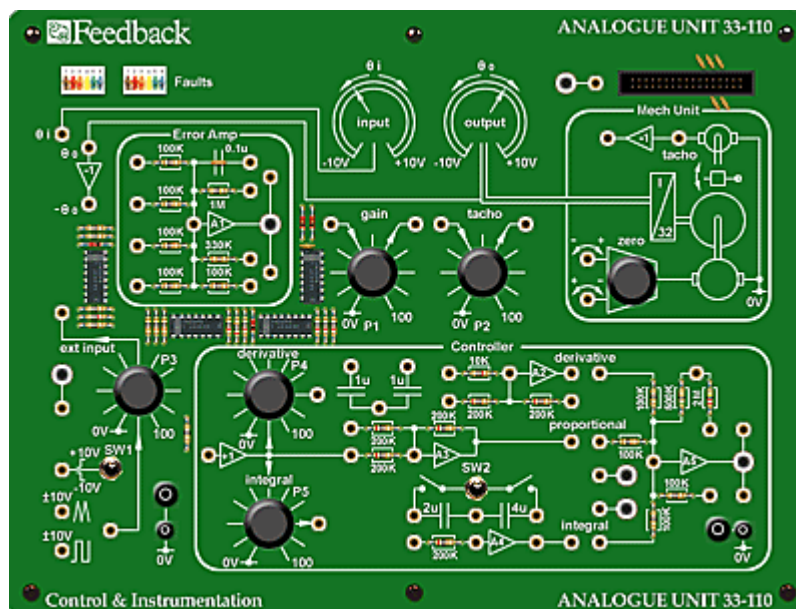
۳- اسیلوسکوپ

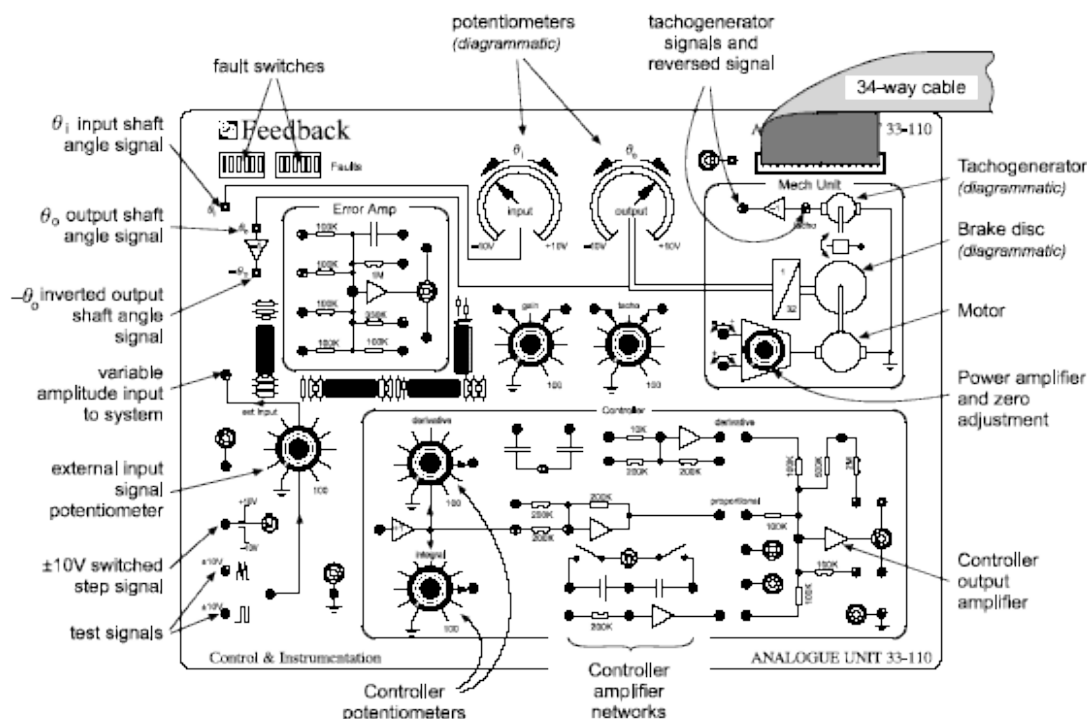
۴- منبع تغذیه

درمیان اجزای فوق با اسیلوسکوپ و منبع تغذیه آشنا هستید ، در ادامه به معرفی بخش های آنالوگ و مکانیکی دستگاه خواهیم پرداخت .

بخش آنالوگ :

شمای کلی بخش آنالوگ در تصاویر ۱-۲ رسم شده است . در این بخش کلیه بلوک های کنترلی لازم ، پیچ‌های تنظیم گین و ورودی و خروجی های متعدد قرار داده شده است . در ادامه هر قسمت به اختصار معرفی می شود. اما توصیف دقیق هر بلوک و نحوه کار آن را در هنگام انجام آزمایش مربوطه فرا خواهید گرفت.





شکل ۲-۱

Fault switches: این سویچ‌ها میزان خطای معینی را به سیستم مورد آزمایش وارد می‌کنند. در حالت معمولی (بدون خطا) بایستی همگی در حالت خاموش باشند.

Error Amplifier: این قسمت برای مشاهده تاثیر خطا در سیستم‌های کنترلی بکار می‌رود.

Potentiometers (P1 & P2): پتانسیومتر $P1$ گین سیستم و پتانسیومتر $P2$ سیگنال تاکو ژنراتور را تنظیم می‌نمایند.

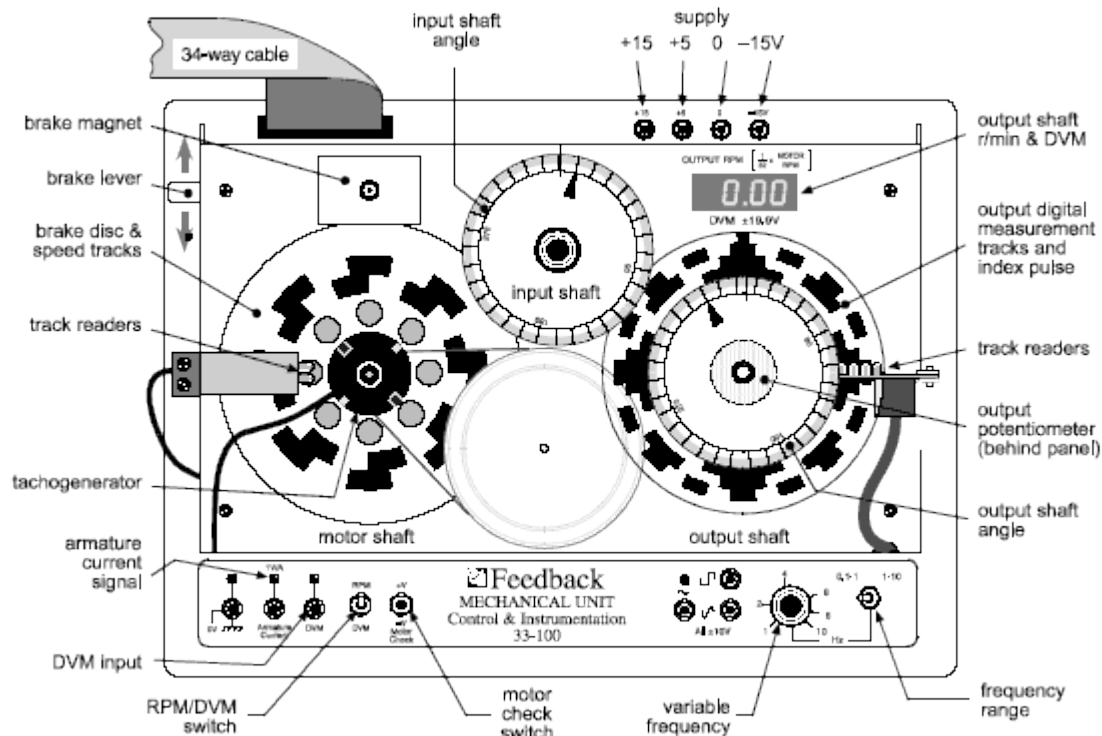
Mechanical Unit: این قسمت رابط بخش آنالوگ و مکانیکی دستگاه است و اجزای مختلف تنظیم کننده بار و ولتاژ موتور در اینجا تعبیه شده است.

Input Unit: در این قسمت امکان ایجاد و تنظیم ولتاژ ورودی برای بخش های مختلف سیستم‌های مورد آزمایش فراهم می‌گردد. سیگنال‌های مربعی و مثلثی با دامنه حداکثر ± 10 که به کمک پتانسیومتر $P3$ تنظیم می‌شوند.

Controller: این قسمت از بخش های پرکاربرد دستگاه بوده که به کمک تقویت کننده های عملیاتی موجود در آن می‌توان بلوک های مدارات مشتق گیر، انتگرال گیر و ... را ایجاد کرد. در اینجا نیز با استفاده از پتانسیومترهای $P4$ و $P5$ می‌توان پارامترهای مختلف را کنترل کرد.

بخش مکانیکی :

شمای کلی بخش مکانیکی در شکل ۳-۱ رسم شده است . در این بخش موتورها و و کنترل کننده‌های مکانیکی سیستم تعبیه شده اند. اجزای مهم این بخش عبارتند از:



شکل ۳-۱

Brake disk & magnet : ترمز را به صورت دستی روی موتور اعمال می کند. برای دقت بیشتر این ترمز به صورت مدرج در کنار دستگاه قرار گرفته است . برای استفاده از ترمز باید ابتدا آن را از حالت قفل خارج کنید و سپس به آرامی به سمت پایین بیاورید . در حالت کار عادی دستگاه حتماً توجه کنید که دسته ترمز بالا باشد.

Motor check switch : این سویچ موتور را تست می کند. با تغییر این سویچ در دو جهت مختلف ، موتور نیز باید در دو جهت به حرکت در بیاید.

Test signal frequency & range switch : این بخش شامل یک اسیلاتور داخلی است که سیگنال ± 10 مربعی ، مثلثی و سینوسی را با فرکانس های $0/1$ تا 10 هرتز را تولید می کند. میزان فرکانس موج خروجی به وسیله یک سویچ و پیچ متغیر کنترل می شود.

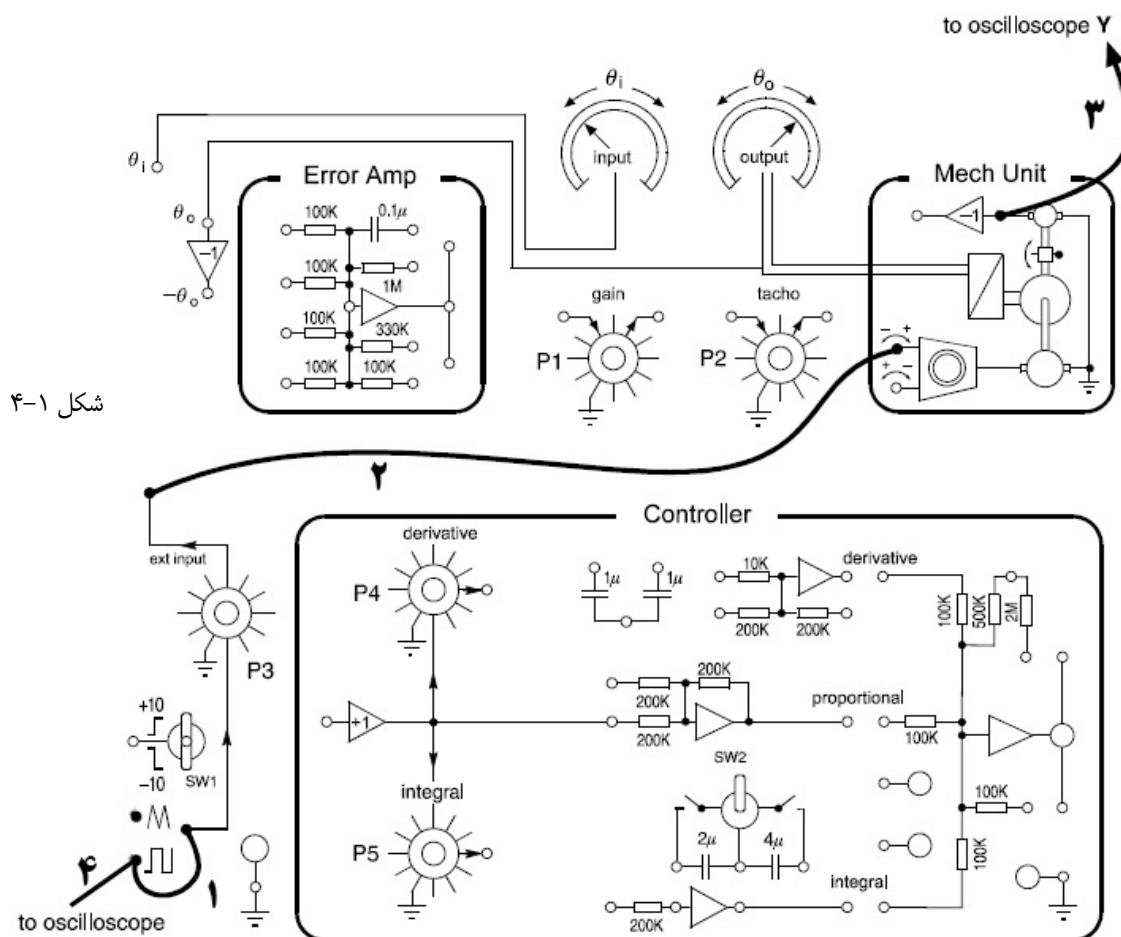
Output speed display : این قسمت یک صفحه دیجیتالی است که میزان سرعت موتور را بر حسب RPM نشان می‌دهد.

نکات ضروری در کار با دستگاه : 

- ۱- هیچگاه به اتصالات ثابت منبع تغذیه دستگاه و بخش‌های دیگر آن دست نزنید و آنها را جابجا نکنید.
- ۲- همیشه پس از بستن کامل اتصالات یک آزمایش ، دستگاه را با اجازه استاد یا کارشناس مربوطه روشن نمایید.
- ۳- هنگامی که قصد دارید اتصالی را جابجا یا تعویض کنید حتماً دستگاه را قبلاً خاموش کنید.

شرح آزمایش : نمایش سرعت پاسخ موتور

در این آزمایش می‌خواهیم سرعت پاسخ یک موتور و تاثیر پارامترهای مختلف کنترلی را بر روی آن مشاهده کنیم. مدار مورد نظر در شکل ۴-۱ رسم شده است. اتصالات موجود در شکل را مطابق



ترتیب معین شده ببندید.

پتانسیومتر $P3$ را روی صفر قرار داده و فرکانس موج ورودی را روی 0.2 هرتز تنظیم کنید. پس از

اتصال کانال‌های اسیلوسکوپ به نقاط مورد نظر، اسیلوسکوپ و دستگاه را روشن کنید.

پتانسیومتر $P3$ را به آرامی روی 30 قرار دهید. موتور شروع به چرخیدن در دو جهت می‌کند. در این

حالت شکل موج‌های ورودی و خروجی دستگاه را مشاهده و رسم نمایید.

تمام قسمت‌های اسیلوسکوپ را روی $X-Y$ قرار داده و شکل حاصل را روی دستگاه مشاهده کنید.

ضمن رسم شکل مذکور، نحوه ایجاد و رابطه آن را با چگونگی چرخش موتور توجیه نمایید.

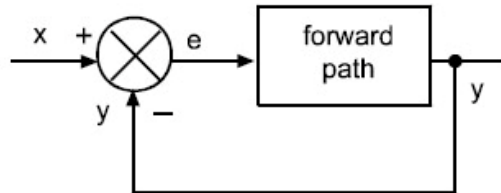
برای بررسی تاثیر فرکانس روی سیستم مذکور، فرکانس موج ورودی را بین 0.1 تا 1 هرتز تغییر

دهید و اثر کاهش و افزایش فرکانس بر نحوه عملکرد موتور و همچنین روی نمودار سرعت آن

مشاهده نمایید و علت را توضیح دهید.

آزمایش ۲: بررسی تاثیر Gain

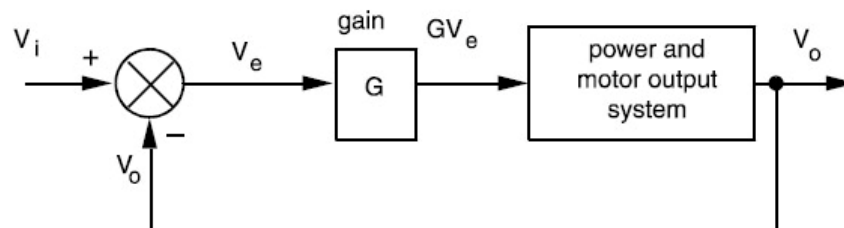
یک سیستم کلی مطابق شکل ۱-۲ نشان داده شده است. در این سیستم ورودی X و خروجی Y با هم مقایسه می‌شوند و خطای e طبق رابطه $e = X - Y$ به دست می‌آید.



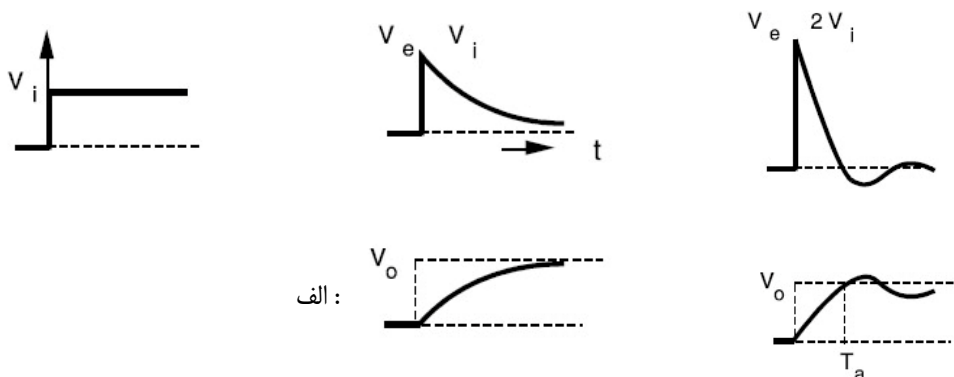
شکل ۱-۲

فرآیند مقایسه با نمادی که در شکل فوق رسم شده ، نشان داده می‌شود و برای یک سیستم الکتریکی خالص ، مقایسه‌گر معمولاً یک تقویت کننده عملیاتی است. پاسخ پله در یک سیستم ، اطلاعات مفیدی از خصوصیات کلی سیستم را در اختیار ما قرار می‌دهد. توجه شود که در یک سیستم ، فرم پاسخ پله به مقدار زیادی تحت تاثیر گین آن سیستم است ، لذا با بررسی سیستم تحت گین‌های متفاوت و مطالعه پاسخ‌های آن می‌توان به اطلاعات مفیدی دست یافت.

یک سیستم الکتریکی خالص مطابق شکل ۲-۲ در نظر بگیرید .



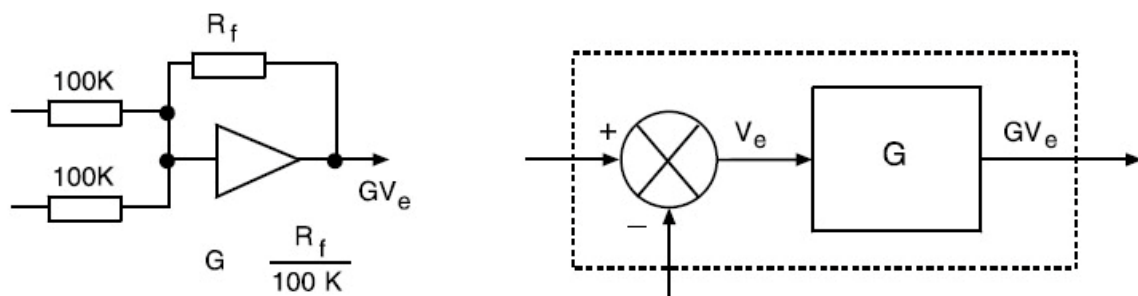
شکل ۲-۲



در سیستم مذکور V_i ورودی، V_o خروجی و V_e خطا است که همگی از جنس ولتاژند و از یک بلوک تقویت کننده با گین G در مسیر مستقیم عبور می کنند که در نهایت ولتاژ GV_e به یک موتور اعمال می گردد. اگر ورودی V_i پله باشد، مقدار اولیه V_e تا زمانی که V_o صفر است برابر با V_i است. (شکل ۲-۲ الف) اگر گین تقویت کننده یک باشد، ولتاژ V_i به موتور اعمال می گردد و موتور به آرامی شروع به حرکت می کند. در همین حین ولتاژ خروجی V_o متناسب با ورودی افزایش می یابد و V_e نیز رو به کاهش است. روند فوق در نمودارها کاملاً مشهود است. اگر گین تقویت کننده ۲ باشد پس ولتاژ اعمالی به موتور مطابق شکل ۲-۲ ب برابر $2V_i$ است که موجب می شود موتور سریع تر حرکت کند. در این حالت اگرچه خطا نیز سریع تر کاهش می یابد اما موتور برای رسیدن به وضعیت نهایی ممکن است مقداری **Overshoot** نیز داشته باشد. (چرا؟)

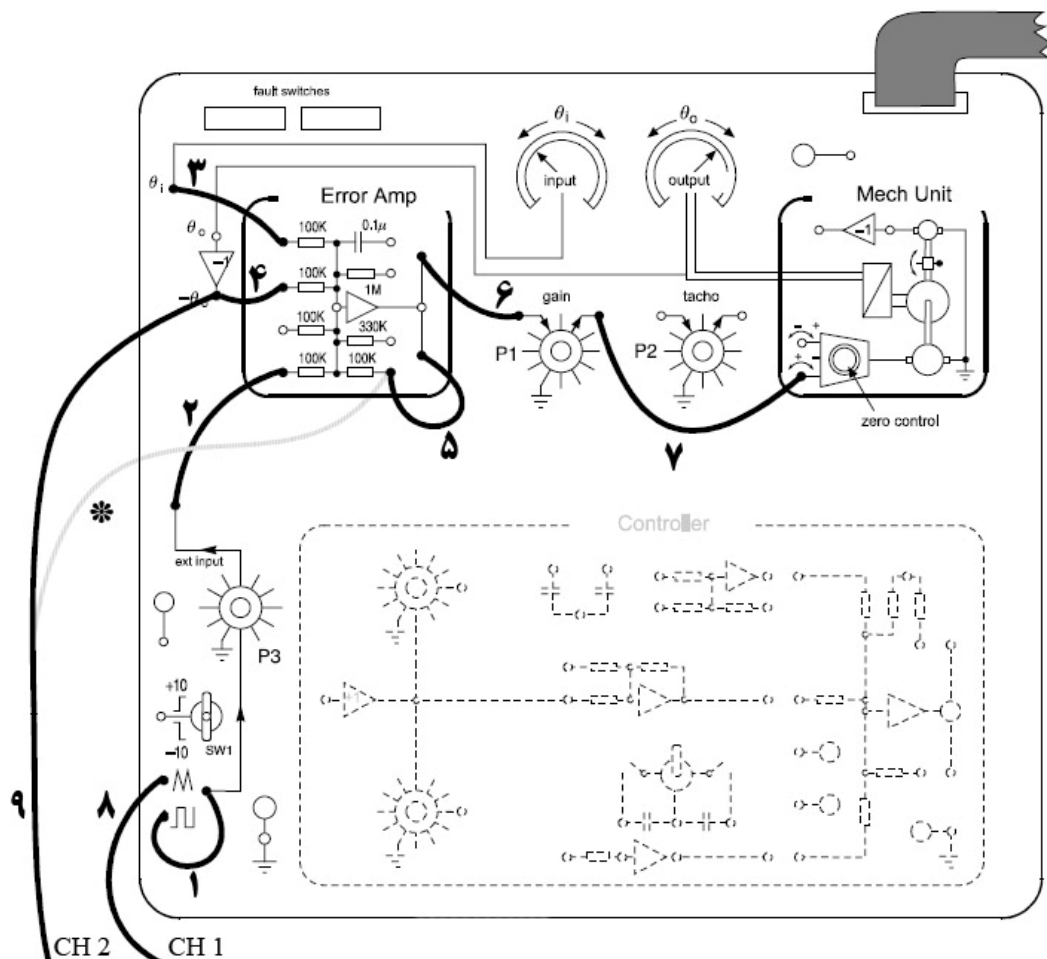
شرح آزمایش :

در این آزمایش تاثیر متغیرهای مختلف را روی گین یک سیستم مطابق شکل ۲-۳ بررسی می کنیم. همانطور که در نمودار بلوک دیاگرام آن مشهود است، عنصر قابل مشاهده و اندازه گیری GV_e یعنی خروجی تقویت کننده می باشد. واضح است که در این مدار $G = R_f / 100K$ خواهد بود.



شکل ۲-۳

اکنون مدار عملی را طبق شکل ۲-۴ ببندید و اتصالات را مطابق ترتیب تعیین شده برقرار نمایید. همانطور که مشاهده می شود در این حالت $R_f = 100K$ است و در نتیجه $G = 1$ خواهد بود. فرکانس سیگنال تست را روی ۰/۱ هرتز تنظیم کنید و پتانسیومتر **P3** را بگونه ای تغییر دهید تا موج مربعی با دامنه ± 5 ولت در ورودی ایجاد شود. پتانسیومتر **P1** را صفر کنید و اسیلوسکوپ را روی حالت **X-Y** قرار دهید و دستگاه را روشن نمایید.



شکل ۴-۲

پتانسیومتر $P1$ را زیاد کنید تا جایی که موتور شروع به حرکت کند. نحوه حرکت موتور و چگونگی رسیدن به وضعیت پایدار را توصیف نمایید.

پتانسیومتر $P1$ را افزایش دهید تا جایی که در سیستم **Overshoot** ایجاد شود. در این حالت زمان صعود (T_a) را محاسبه کنید. پتانسیومتر $P1$ را روی حداکثر قرار دهید و تغییرات در حرکت موتور و مقدار T_a را توصیف کنید.

با تغییر در اتصال شماره ۵، مقاومت فیدبک را به $R_f = 330K$ تغییر دهید. واضح است که در این حالت گین تقویت کننده به $3/3$ افزایش می‌یابد. اتصال شماره ۹ را جدا کنید و به جای آن اتصال * را قرار دهید. پتانسیومتر $P1$ را روی ۱۰۰ بگذارید و پتانسیومتر $P3$ را بگونه‌ای تغییر دهید تا حداکثر دامنه خروجی تقویت کننده، یعنی مقدار $G V_e$ حدود ۱۰ ولت باشد. در این حالت اگر چه زمان

صعود کاهش می‌یابد اما نوسانات زیادی در سیستم ایجاد می‌گردد. این روند را مشاهده و علت را شرح دهید.

مشابه قسمت قبل ، با تغییر در اتصال شماره ۵ ، مقاومت فیدبک را $R_f = 1M$ قرار دهید که در نتیجه مقدار گین به ۱۰ افزایش می‌یابد. با تغییر در پتانسیومتر $P3$ حداکثر دامنه خروجی تقویت کننده را روی ۱۰ ولت تنظیم کنید و چگونگی کار سیستم در این حالت را نیز تشریح کنید.

پرسش :

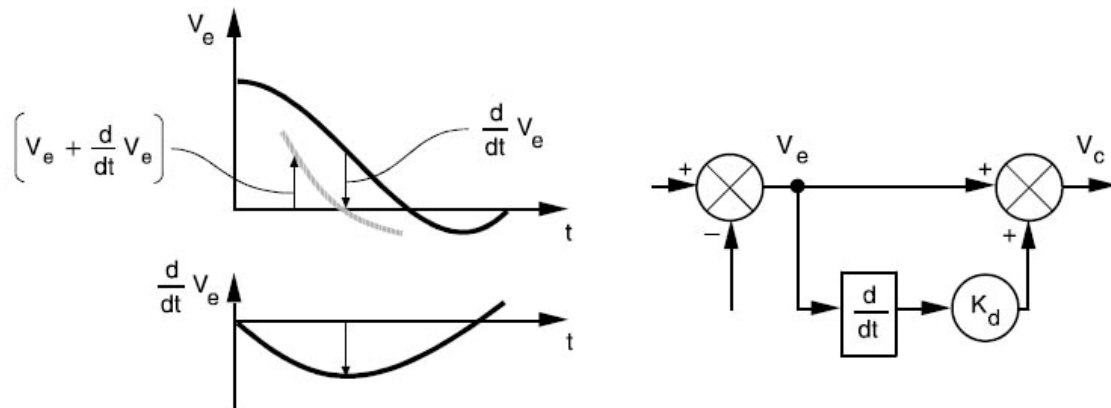
۱- با توجه به نتایج آزمایش ، تاثیر افزایش گین را بر چگونگی پاسخ یک سیستم شرح دهید ؟

۲- چرا در قسمت‌های دوم و سوم آزمایش ، مقدار خروجی تقویت کننده به ۱۰ ولت محدود می‌شد ؟ به نظر شما افزایش بیش از حد این پارامتر چه تاثیری در روند کار سیستم در حالت گذرا دارد ؟

آزمایش ۴: طراحی کنترل کننده‌ها

در آزمایش‌های گذشته تاثیر گین بر یک سیستم کنترلی بررسی گردید و مزایا و معایب افزایش گین تشریح شد. غیر از افزایش گین، یک روش کلی برای بهبود کارایی و پاسخ یک سیستم این است که سیگنال راه‌انداز موتور یا هر المان خروجی به صورت ترکیبی از سیگنال خطا همراه با مشتق (نرخ تغییرات) و انتگرال خطا باشد. از آنجایی که سیگنال راه‌انداز نهایی، سه جزء کلی دارد این فرآیند را کنترل *3-Term* یا *PID* می‌نامند.

مشتق خطا: یک کنترل کننده مشتق‌گیر در شکل ۴-۱ رسم شده است. مطابق شکل هنگامی که ورودی پله به سیستم اعمال شود، فرم کلی سیگنال خطا رسم گردیده است. واضح است مشتق یا نرخ تغییرات سیگنال خطا بستگی به شیب نمودار آن دارد. با این تعبیر نحوه تشکیل فرم کلی مشتق این سیگنال در شکل ۴-۱ توجیه پذیر است.



شکل ۴-۱

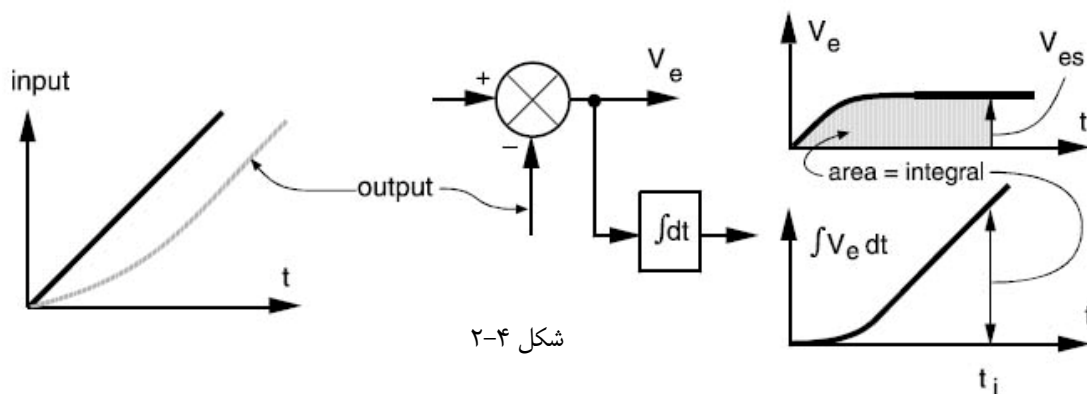
اگر مشتق سیگنال خطا به سیگنال خطا اضافه شود، آنگاه سیگنال راه‌انداز V_C برابر است با:

$$V_C = V_e + K_d \frac{d}{dt} V_e$$

که در آن مقدار سیگنال مشتق با ضریب K_d قابل تنظیم است. چنانچه سیگنال فوق به موتور اعمال شود آنگاه پاسخ گذرای سیستم بهبود می‌یابد. (چرا؟)

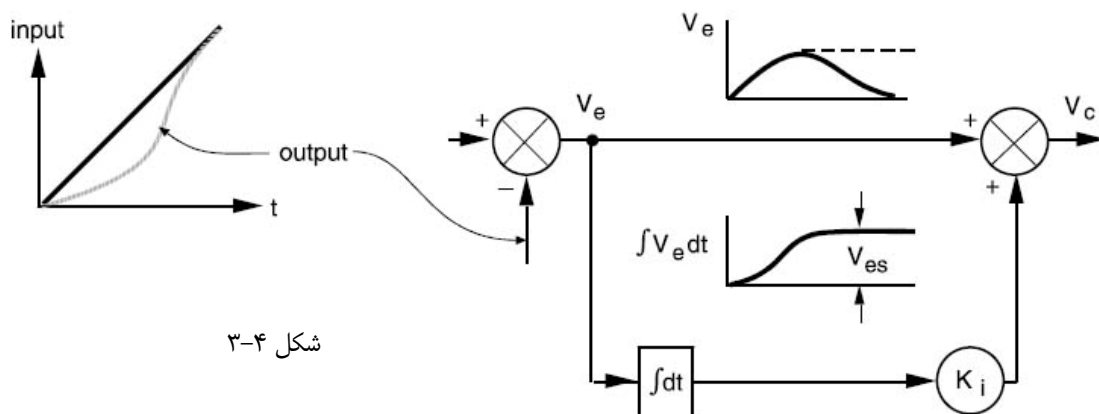
انتگرال خطا: فرض کنید ورودی شیب به یک بلوک انتگرال گیر مانند شکل ۴-۲ وارد می‌شود. همانطور که در شکل مشهود است، مقدار انتگرال در هر لحظه فرضی t_i برابر با مساحت سطح زیر

منحنی خطا است. اگر خطا به مقدار ثابت V_{es} برسد انتگرال آن بطور خطی افزایش می‌یابد. و در نهایت در این زمان، خروجی هر چه بیشتر بر ورودی منطبق می‌گردد.



یک کنترل کننده انتگرال گیر در شکل ۳-۴ رسم شده است. چون در اینجا انتگرال سیگنال خطا به آن اضافه شده است پس سیگنال راه انداز خروجی برابر است با:

$$V_c = V_e + K_i \int V_e dt$$



مطابق شکل ۳-۴ در لحظه اول که ورودی شیب به سیستم اعمال می‌شود خطا افزایش می‌یابد پس انتگرال خطا نیز ایجاد شده و رو به افزایش است. این موضوع سبب می‌شود سرعت موتور به آرامی افزایش یابد. پس از مدتی اگر چه خطا کاهش می‌یابد اما مقدار انتگرال آن رو به افزایش

است تا جایی که خطا صفر می‌شود. در این زمان مقدار انتگرال خطا نیز به مقدار ثابت حالت ماندگار V_{es} می‌رسد که در حقیقت همان سیگنال راه‌انداز موتور خواهد بود.

استفاده از کنترلر انتگرال گیر این مزیت را دارد که هنگامی که خروجی انتگرال گیر ، مقدار ولتاژ خروجی را جهت راه‌اندازی موتور ایجاد کرد ، خطا رو به کاهش می‌رود تا صفر شود و روند افزایش سرعت و کاهش خطا کاملاً سنکرون است.

یک عیب عمده کنترلر انتگرال گیر این است که تصحیح سیگنال خروجی و کاهش خطا نسبتاً به کندی انجام می‌گیرد. چنانچه شرایط کاری سیستم سریعاً تغییر کند ، انتگرال گیر نمی‌تواند به سرعت این تغییر را دنبال کرده و اصلاح کند. این مساله منجر به ایجاد نوسانات ناخواسته در پاسخ گذرای سیستم می‌شود.

شرح آزمایش :

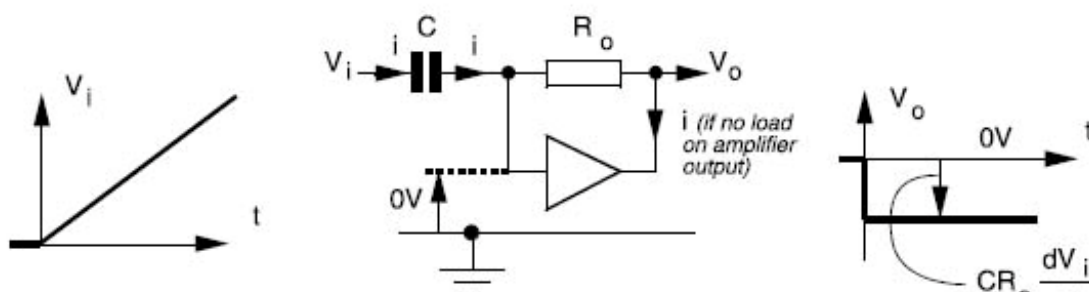
الف : طراحی کنترل کننده مشتق‌گیر با OP-AMP :

چنانچه ولتاژ ورودی یک خازن به شکل ورودی شیب باشد واضح است جریان ثابت i در آن ایجاد می‌گردد که مقدار آن برابر است با :

$$i = C \frac{dv}{dt}$$

مطابق شکل ۴-۴ چنانچه خازن به عنوان عنصر ورودی یک OP-AMP قرار گیرد ، خروجی نهایی مدار مذکور ولتاژ ثابت V_o خواهد بود که برابر است با :

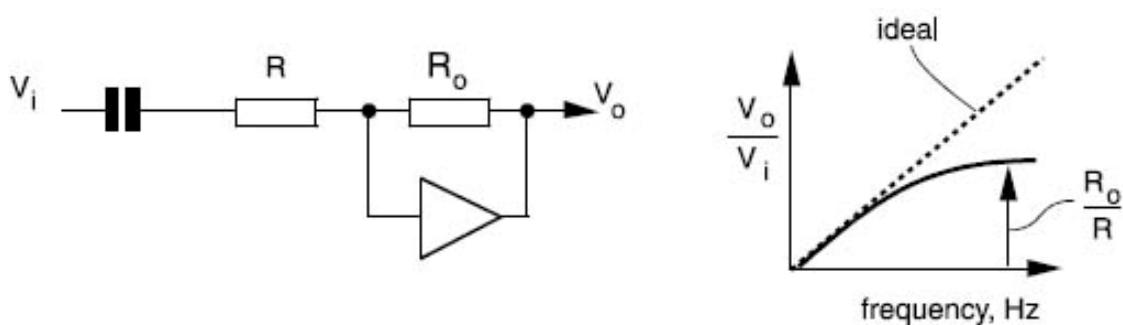
$$V_o = -CR_o \frac{dV_i}{dt}$$



شکل ۴-۴

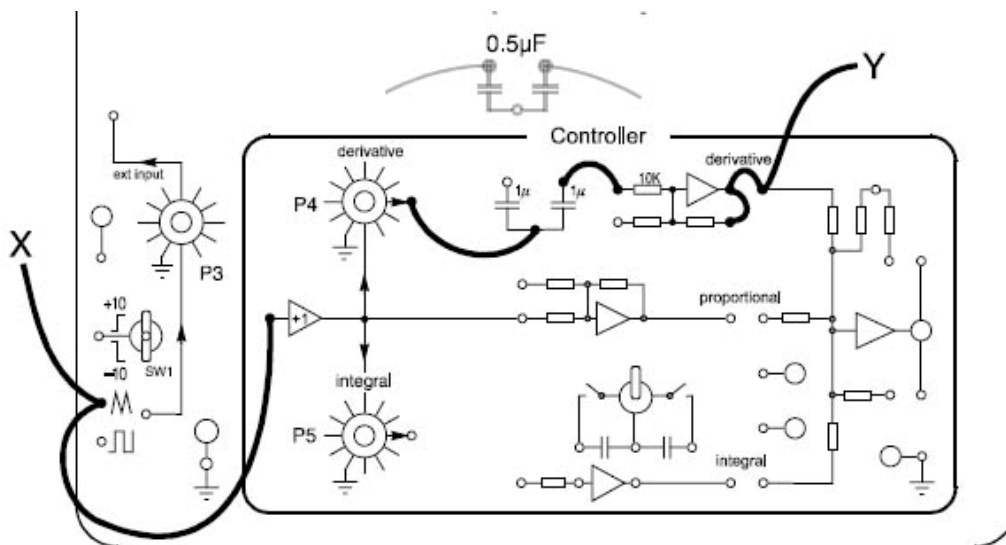
طبق رابطه فوق واضح است که مشتق سیگنال ورودی در خروجی ظاهر شده است که با ضریب $(-CR_o)$ می‌توان میزان مشتق‌گیری را کنترل نمود.

اگر چه مدار فوق به صورت تئوری مشتق‌گیری کاملی را ایجاد می‌کند اما در عمل با مشکلاتی مواجه است. مثلاً اگر سیگنال ورودی دچار اغتشاش شود یا تغییرات سریع در ورودی رخ دهد ممکن است تقویت کننده به اشباع برود. یکی از راه‌های محدود کردن تاثیر تغییرات آنی روی سیستم، سری کردن یک مقاومت با خازن در ورودی مطابق شکل ۴-۵ است. (رجوع به پرسش ۱)



شکل ۴-۵

اکنون مدار طراحی فوق را بر اساس شکل ۴-۶ ببینید. در ورودی طبقه مشتق‌گیر دو خازن $1\ \mu F$ وجود دارد که می‌توان با سری کردن آنها خازن $0.5\ \mu F$ و با موازی کردن آنها خازن $2\ \mu F$ نیز در مدار قرار داد.



شکل ۴-۶

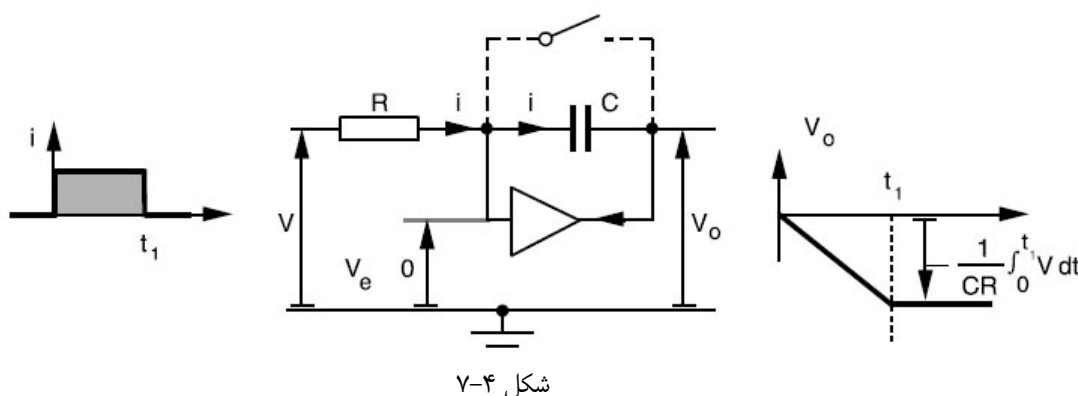
در ابتدا خازن ورودی را برابر $1 \mu F$ قرار دهید. اسیلوسکوپ را کالیبره کنید و فرکانس سیگنال ورودی را 1 Hz و پتانسیومتر $P4$ را روی ۱۰۰ قرار دهید. شکل موج‌های ورودی و خروجی را مشاهده کنید. آیا مشتق‌گیری انجام شده است؟ شکل موج خروجی را رسم و مقدار ولتاژ خروجی را اندازه بگیرید. با توجه به اینکه تمام مقادیر معلوم هستند، مقدار ولتاژ خروجی را به صورت تئوری نیز محاسبه کنید. مقدار خازن ورودی را $0.5 \mu F$ قرار دهید و کلیه مراحل فوق را تکرار نمایید.

ب: طراحی کنترل کننده مشتق‌گیر با OP-AMP :

مشابه حالت قبل رابطه ولتاژ و جریان در یک خازن به صورت زیر است :

$$V = \frac{1}{C} \int i dt$$

ایجاد یک مدار انتگرال‌گیر با استفاده از OP-AMP مطابق شکل ۷-۴ امکان‌پذیر است.



مطابق شکل، ولتاژ ورودی V باعث ایجاد جریان $i = V/R$ در ورودی خازن است. پس ولتاژ خروجی مدار برابر است با :

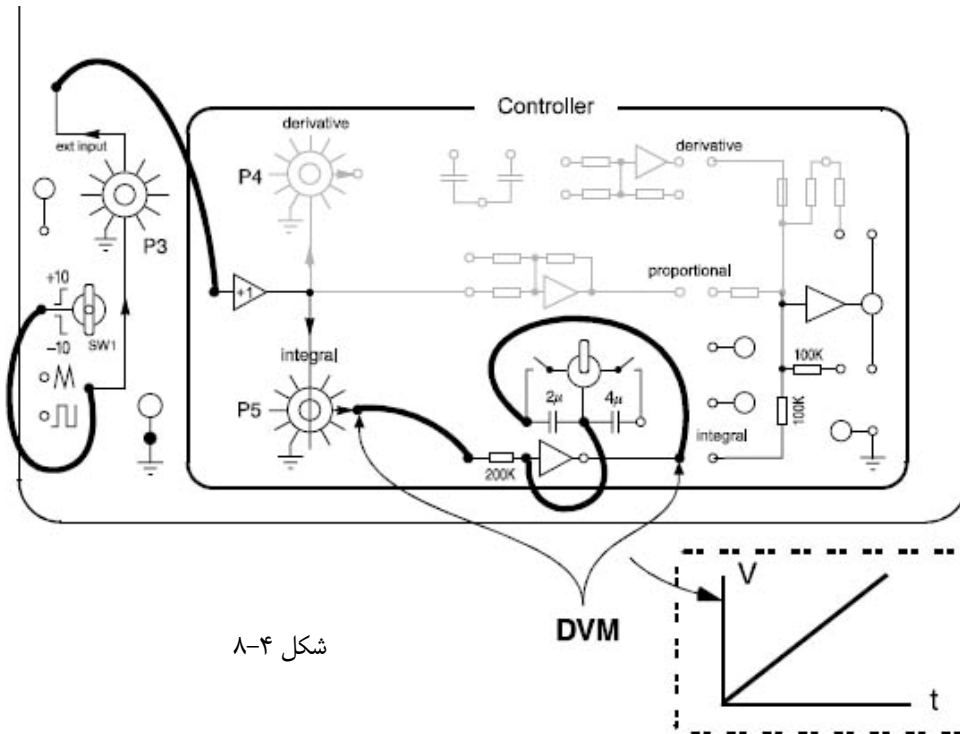
$$V_o = -\frac{1}{RC} \int V dt$$

واضح است که در مدار فوق، انتگرال ورودی در خروجی ظاهر شده است که با ضریب $(-1/RC)$ کنترل می‌گردد.

اغلب لازم است که خروجی مدار انتگرال‌گیر قبل از شروع صفر شود (حالت اولیه صفر). این عمل به کمک یک سویچ الکترونیکی یا مکانیکی مانند آنچه در شکل ۷-۴ آمده امکان‌پذیر است. این

سویچ خازن را دشارژ می‌کند. ضمناً توجه کنید تا زمانی که سویچ باز نشود ، انتگرال‌گیری نیز آغاز نخواهد شد.

اکنون مدار مذکور را طبق شکل ۴-۸ ببینید. در بخش انتگرال‌گیر روی دستگاه ، خازن‌های $2\mu F$ و $4\mu F$ به همراه سویچ‌هایی جهت دشارژ آنها تعبیه شده است.



شکل ۴-۸

مقدار خازن را برابر $2\mu F$ و سویچ $SW1$ را روی ۱۰- ولت قرار دهید. پتانسیومتر $P3$ را بگونه‌ای تنظیم کنید که ولتاژ ۳- ولت به ورودی کنترلر اعمال گردد. خازن را اتصال کوتاه کنید و ورودی انتگرال‌گیر را به DVM متصل کنید و با تغییر پتانسیومتر $P5$ ورودی مدار انتگرال‌گیر را روی ۱- ولت تنظیم کنید. اتصال DVM را از ورودی قطع و به خروجی مدار وصل کنید و سویچ اتصال کوتاه خازن را باز کنید. تغییر در ولتاژ خروجی را مشاهده و علت را شرح دهید. آیا خاصیت انتگرال‌گیری ایجاد شده است؟

برای تکرار مجدد ، خازن را اتصال کوتاه کنید و مدت زمانی که طول می‌کشد تا خروجی از صفر به ۱۰ ولت برسد (ورودی بر خروجی منطبق شود) را با کرنومتر اندازه بگیرید. با توجه به اینکه تمام مقادیر معلوم است ، این زمان را به صورت تئوری نیز محاسبه کنید.
مقدار خازن را به $4\mu F$ تغییر دهید و کلیه مراحل فوق را تکرار نمایید.

پرسش :

۱- با توجه به نمودار رسم شده در شکل ۴-۵ ، تاثیر مقاومت R در مدار مشتق‌گیر را شرح دهید؟ (راهنمایی : روی پاسخ فرکانسی بحث کنید)

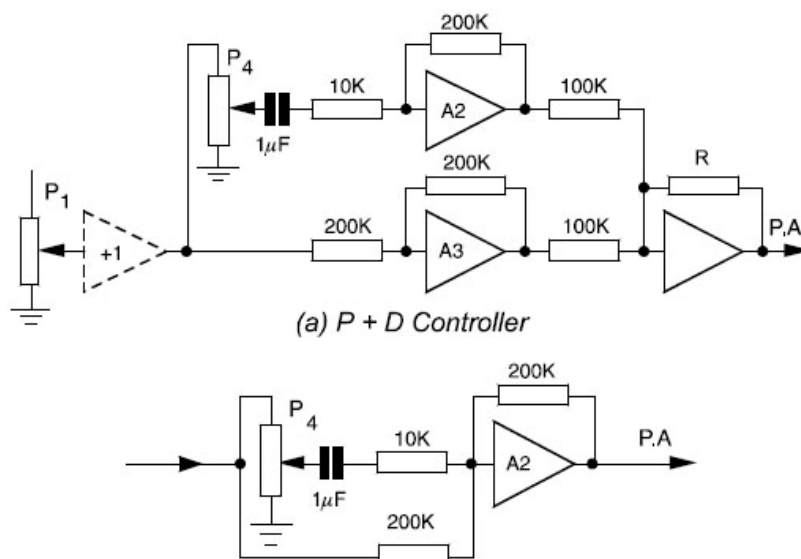
۲- مزایا و معایب کنترلرهای مشتق‌گیر و انتگرال‌گیر چیست؟

آزمایش ۵: کنترل کننده‌های ترکیبی

در آزمایش قبل به بررسی و نحوه عملکرد مدارات تناسبی، مشتقی و انتگرالی پرداخته شد. در این آزمایش به بررسی کنترل کننده‌های ترکیبی شامل تناسبی-مشتقی، تناسبی-انتگرالی و تناسبی-انتگرالی-مشتقی خواهیم پرداخت.

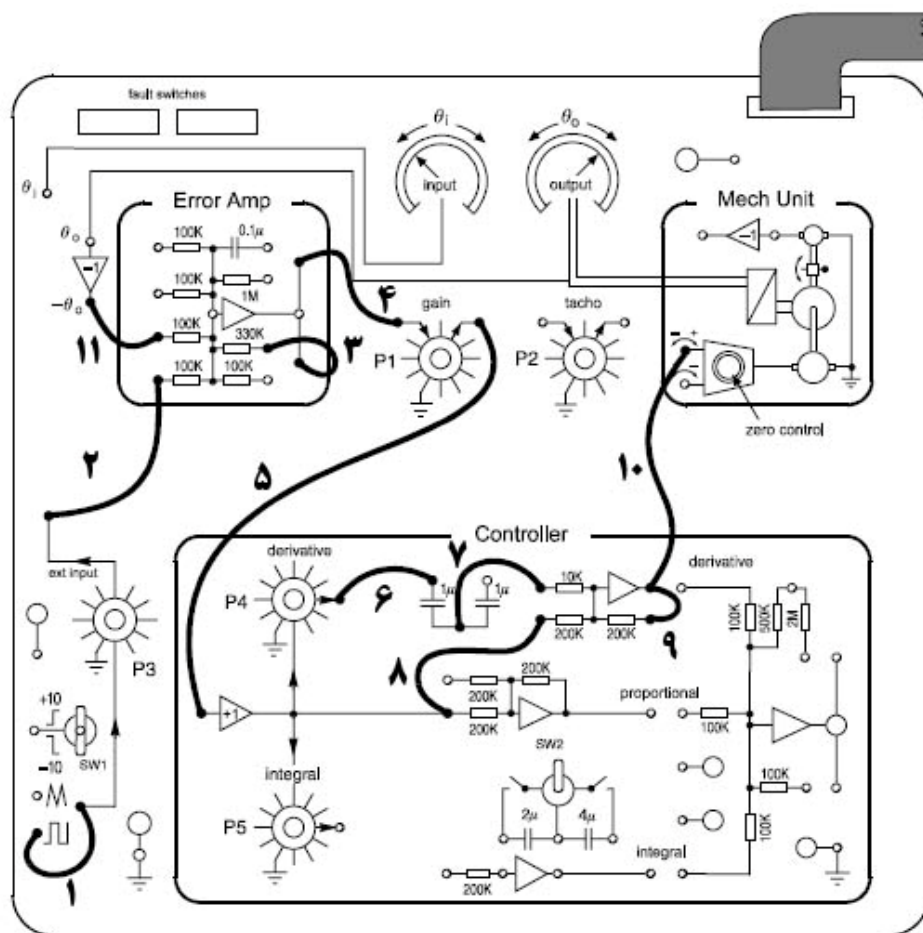
الف: کنترل کننده تناسبی-مشتقی (P+D):

مدار رسم شده در شکل ۵-۱ یک کنترلر تناسبی-مشتقی است.



شکل ۵-۱

مدار فوق را طبق شکل ۵-۲ و بر اساس شماره اتصال‌ها روی دستگاه ببندید. مطابق شکل در این حالت گین سیستم برابر با $\frac{3}{3}$ می‌باشد. پتانسیومترهای P1 P3 P4 را صفر کنید. در گام اول وجود فیدبک منفی را بررسی کنید. برای این کار پتانسیومتر P1 را به آرامی زیاد کنید. چنانچه موتور چند درجه منحرف شود و حول زاویه صفر نوسان کند و سپس صفر شود، فیدبک منفی به درستی ایجاد شده است. در غیر این صورت چنانچه موتور از صفر دور شود، پلاریته موتور را عوض کنید تا فیدبک منفی برقرار گردد. پتانسیومتر P1 را روی ۱۰۰ و فرکانس موج را روی ۰/۱ هرتز قرار دهید. پتانسیومتر P3 را بگونه‌ای تنظیم کنید که حرکت با زاویه $\pm 45^\circ$ درجه ایجاد شود. با توجه به اینکه پتانسیومتر P4 صفر است پس هیچ کنترلی به سیستم اعمال نمی‌گردد. حرکت موتور را در این حالت مشاهده و توصیف نمایید.

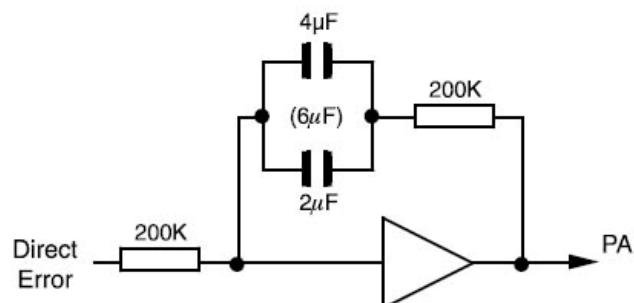


شکل ۵-۲

پتانسیومتر P4 را به آرامی زیاد کنید. در این حالت کنترلر به موتور اعمال می‌شود. چه تغییری در نحوه حرکت موتور ایجاد می‌شود؟ چرا؟ نحوه حرکت موتور در این حالت را نیز بررسی نمایید.

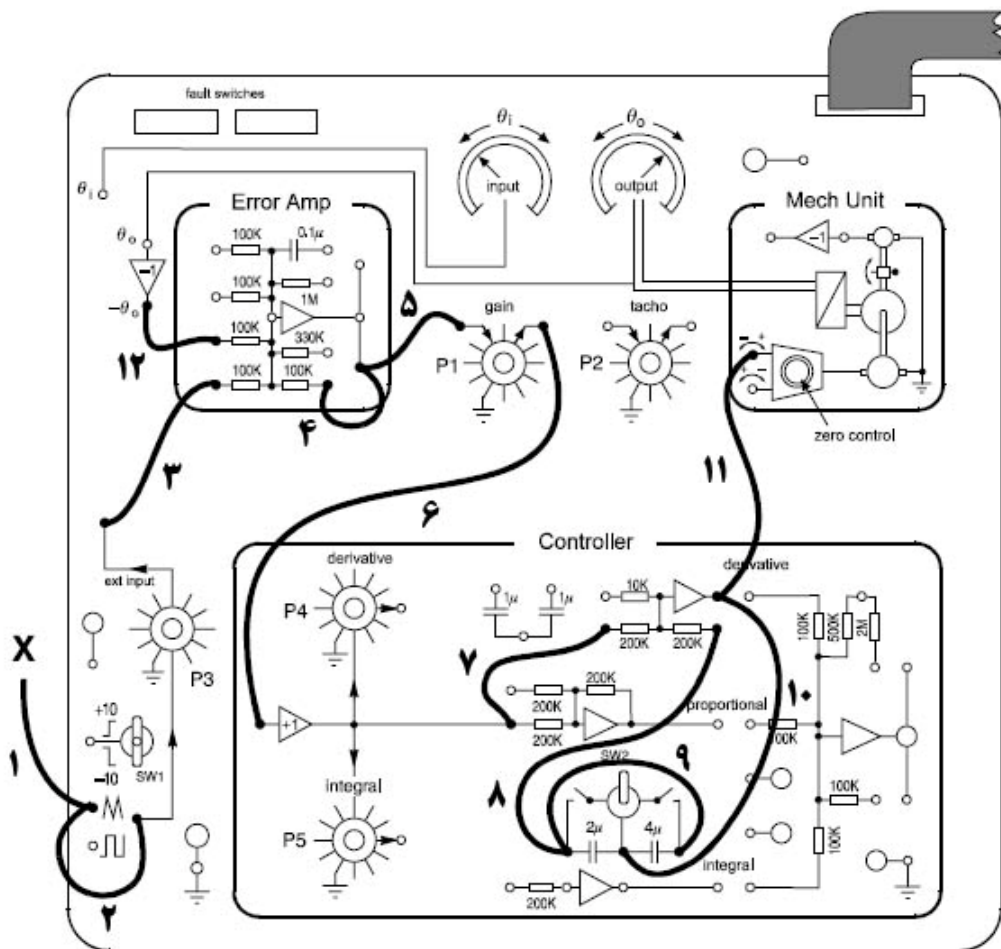
ب : کنترل کننده تناسبی-انتگرالی (P+I) :

مدار کنترلر تناسبی-انتگرالی را در شکل ۵-۳ مشاهده می‌کنید. (برای درک بهتر به پرسش ۱ پاسخ دهید.)



شکل ۵-۳

مدار فوق را طبق شماره مانند شکل ۴-۵ ببندید. (به نحوه موازی کردن دو خازن توجه کنید) سوییچ SW2 را اتصال کوتاه کنید و پتانسیومتر P1 را روی ۱۰۰ بگذارید. واضح است گین طبقه تقویت کننده در این حالت برابر یک است. فرکانس را روی ۰/۱ هرتز تنظیم کنید و پتانسیومتر P3 را بگونه‌ای تغییر دهید تا زاویه حرکت موتور $\pm 90^\circ$ گردد. در این حالت به نحوه حرکت موتور توجه کنید و میزان خطا را از طریق مقایسه حرکت موتور با ورودی سیستم توصیف کنید.

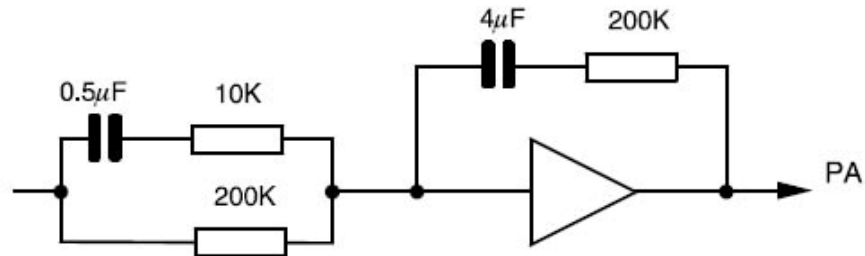


شکل ۴-۵

سوییچ SW2 را باز کنید تا کنترلر به سیستم اعمال گردد. هر گونه تغییر در رفتار سیستم را بررسی نموده و علت را شرح دهید.

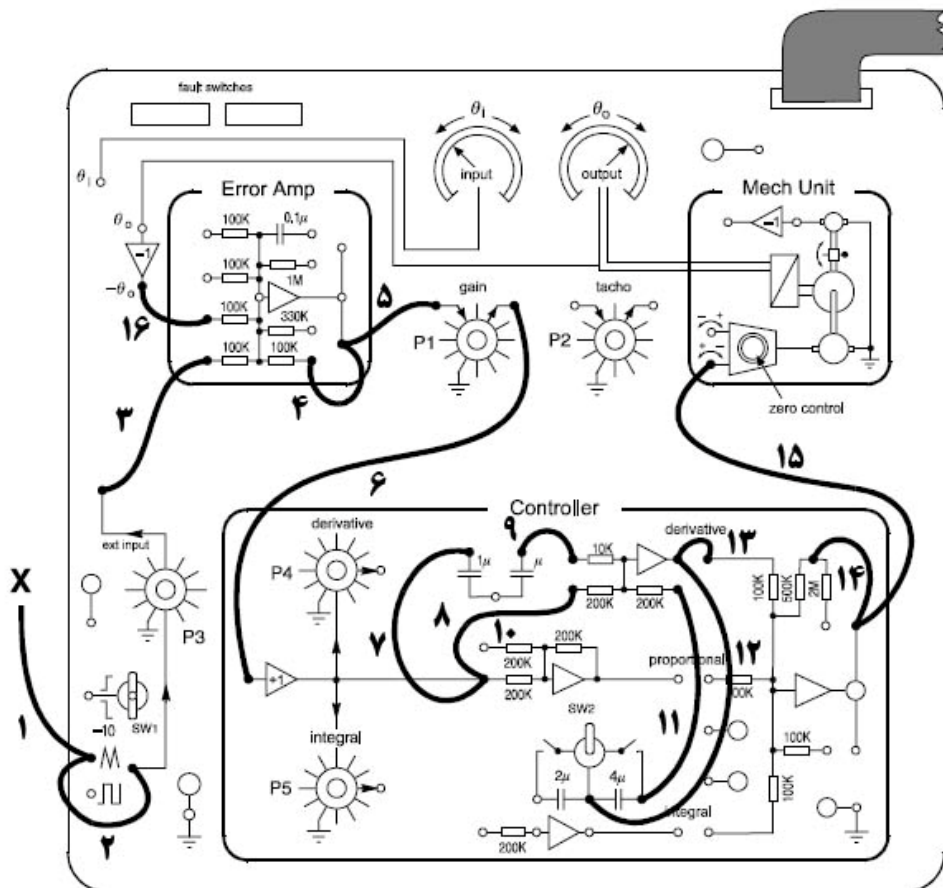
پ : کنترل کننده تناسبی- انتگرالی- مشتقی (P+I+D) :

از آنجایی که کنترل مشتقی پاسخ گذرای سیستم را بهبود می بخشد (چرا؟) یک بلوک مشتق گیر مثلاً یک مدار ساده RC را به کنترلر PI می افزاییم در نتیجه کنترل کننده PID مطابق شکل ۵-۵ ایجاد می گردد.



شکل ۵-۵

سیستم فوق را طبق شماره اتصالات شکل ۵-۶ ببینید.

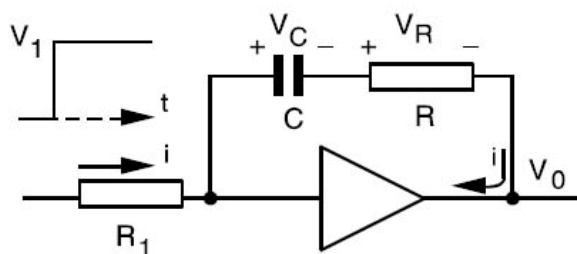


شکل ۵-۶

پتانسیومتر P1 را روی ۱۰۰ بگذارید و فرکانس را روی ۰/۱ هرتز تنظیم کنید. پتانسیومتر P3 را بگونه‌ای تغییر دهید تا زاویه حرکت موتور $\pm 90^\circ$ گردد. نحوه حرکت موتور را مشاهده و بررسی نمایید. نسبت به قسمت ب چه تغییری در رفتار سیستم مشاهده می‌گردد. مقدار خازن در قسمت مشتق‌گیر را به $2\mu F$ تغییر دهید و رفتار سیستم را توصیف کنید.

پرسش :

۱- در سیستم زیر ورودی V_1 را پله فرض کنید و V_0 را محاسبه کنید. سیستم مذکور چه نوع کنترلی است؟



۲- در مدار شکل ۳-۵ مقاومت $200K$ که سری با خازن قرار دارد به عنوان بخش تناسبی کنترلر عمل می‌نماید، اما این مقاومت در اصل برای پایداری سیستم تعبیه شده است. به نظر شما چرا سیستم مذکور نیاز به چنین مقاومتی جهت پایداری سیستم دارد؟

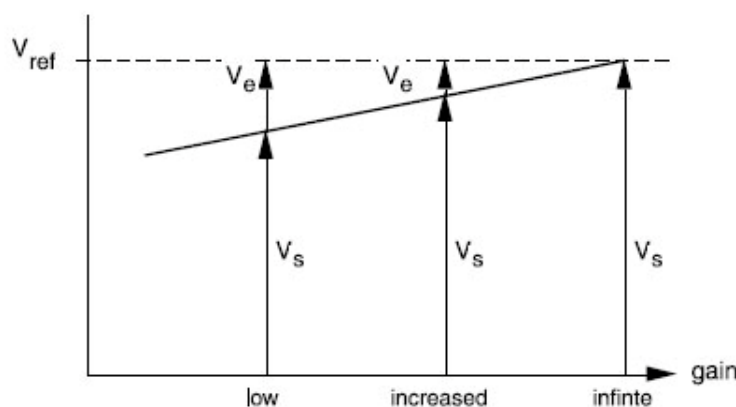
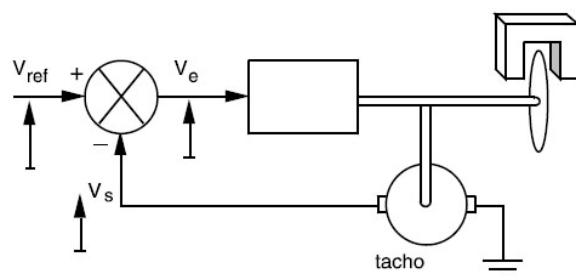
(راهنمایی: به نوع کنترلر توجه کنید.)

آزمایش ۶: کاربرد کنترل کننده‌ها

پس از بررسی کنترلرهای مختلف در دو آزمایش قبل و بررسی چگونگی رفتار و عملکرد انواع کنترلرها، در این آزمایش به کاربردهای عملی کنترلرها در سیستم‌های مختلف می‌پردازیم. (مطالعه آزمایش ۳ و بررسی نتایج آن پیش از انجام این آزمایش ضروری است).

الف: سیستم کنترل سرعت با مدار انتگرال‌گیر

یک سیستم کلی کنترل سرعت در بلوک دیاگرام شکل ۶-۱ رسم شده است. سیستم مذکور در آزمایش ۳ بطور کامل بررسی شد و مشخص شد که مطابق نمودار شکل ۶-۱ هر چه گین مسیر forward افزایش یابد، تغییرات سرعت (افت سرعت) با اعمال بار کمتر است.



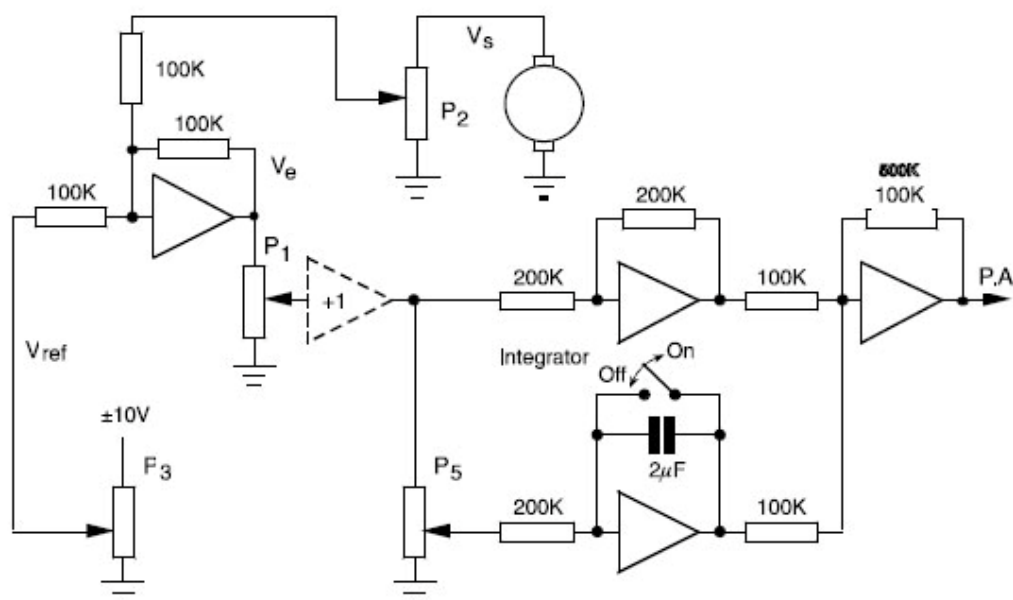
شکل ۶-۱

مساله‌ای که افزایش گین به دنبال دارد، مساله تقویت ریل‌ها و اغتشاشات موجود در سیستم به همراه گین است که ممکن است باعث به اشباع رفتن تقویت کننده‌ها در سیستم گردد. مطابق شکل ۶-۱ داریم:

$$V_e = V_{ref} - V_s$$

طبق نمودار ۶-۱ اگر گین forward کم باشد، V_e بسیار بزرگ بوده و در نتیجه V_s از V_{ref} خیلی کوچک‌تر است. با افزایش گین V_s به V_{ref} نزدیک‌تر می‌شود و چنانچه گین بی‌نهایت شود، V_e صفر شده و $V_s = V_{ref}$ می‌شود. (حالت ایده‌آل)

مدار کنترل سرعت با کنترلر انتگرال‌گیر در شکل ۶-۲ نشان داده شده است.

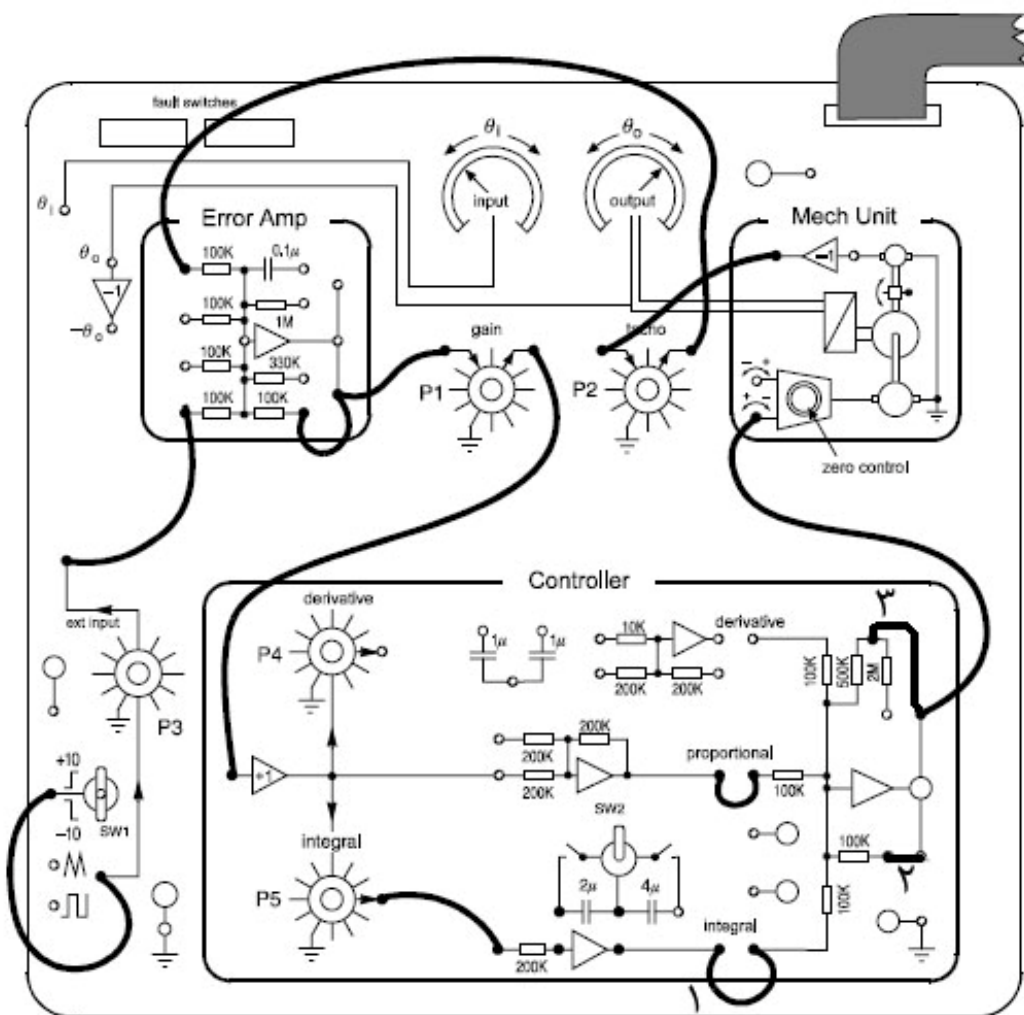


شكل ٦-٢

در ابتدا مدار فوق را مطابق اتصالات شکل ۶-۳ روی دستگاه پیاده‌سازی کنید. سوئیچ SW1 را روی ۱۰+ و پتانسیومترهای P2 , P3 را روی صفر و P1 , P5 را روی ۱۰۰ قرار دهید. سوئیچ SW2 را نیز باز کنید.

در گام اول به بررسی مدار کنترل سرعت بدون حضور کنترلر انتگرال گیر می پردازیم. به این منظور اتصال ۱ را قطع نمایید و اتصال شماره ۲ را وصل و اتصال ۳ را قطع نمایید. واضح است در این حالت گین forward برابر یک خواهد بود.

قبل از بررسی کنترل سرعت ، وجود فیدبک منفی را بررسی کنید. برای این کار دستگاه را روشن کنید و پتانسیومتر P3 را طوری تغییر دهید تا سرعت موتور (31.2 rpm 1000 rpm output) شود. سپس P2 را به آرامی زیاد کنید ، چنانچه سرعت افت کرد فیدبک منفی به درستی ایجاد شده است در غیر این صورت با تغییر پلارایته موتور فیدبک منفی را برقرار نمایید.



شکل ۶-۲

اکنون پتانسیومتر P2 را روی ۱۰۰ قرار دهید و مجدداً با تغییر پتانسیومتر P3، سرعت را روی 31.2 rpm تنظیم نمایید. در این حالت با توجه به این که گین forward یک است، به کمک DVM دستگاه، ولتاژهای V_s ، V_e ، V_{ref} را اندازه‌گیری کنید. میزان اختلاف بین آنها را محاسبه و علت را شرح دهید. (برای پیدا کردن نقاط V_s ، V_e ، V_{ref} به شکل ۶-۱ توجه کنید) دستگاه را خاموش و اتصال ۲ را قطع کنید و به جای آن اتصال ۳ را وصل کنید. در این حالت گین forward پنج برابر خواهد شد. مجدداً سرعت را روی 31.2 rpm تنظیم نمایید. مانند قبل ولتاژهای V_s ، V_e ، V_{ref} را اندازه‌گیری کنید و میزان اختلاف را محاسبه کنید و ضمن مقایسه یا قسمت قبل، علت را شرح دهید.

اکنون به بررسی اعمال کنترلر انتگرال گیر روی سیستم کنترل سرعت می پردازیم. به این منظور بعد از خاموش کردن دستگاه ، اتصال شماره ۱ را برقرار کنید و گین مسیر forward را روی یک قرار دهید. مجدداً به کمک پتانسیومتر P3 ، سرعت را رو نقطه مرجع تنظیم کنید. در این حالت نیز ولتاژهای V_s , V_e , V_{ref} را اندازه گیری نمایید و مشاهدات خود را با ذکر دلیل گزارش نمایید.

ب : بررسی تغییرات بار (روی سیستم)

یکی از مسائلی مهم در سیستم های کنترل سرعت ، چگونگی پاسخ سیستم به تغییرات بار روی آن است که عموماً شامل دو نوع تغییر بار است : تغییرات آنی بار و تغییرات آهسته بار. مدار سیستم کنترل سرعت قبل را ببندید. گین مسیر forward را روی یک و سرعت را روی 31.2 rpm تنظیم نمایید. برای مشاهده تغییرات آنی بار ، ترمز را به یکباره تا آخرین درجه روی سیستم اعمال کنید. چه اتفاقی رخ می دهد و تغییرات سرعت چگونه است؟ ترمز را آزاد کنید. این بار خروجی مدار انتگرال گیر را به DVM متصل نموده و مجدداً ترمز را به یکباره روی موتور اعمال و تغییرات خروجی مدار انتگرال گیر ملاحظه کنید و علت را شرح دهید. برای مشاهده تغییرات آهسته بار مجدداً مدار قبل را در نظر بگیرید. گین مسیر forward را روی یک و سرعت را روی 31.2 rpm تنظیم نمایید. در این حالت ترمز را طبق درجه بندی روی موتور اعمال نموده و تغییرات سرعت را در جدول زیر وارد کنید.

درجه ترمز	۰	۱	۲	۳	۴	۵	۶
سرعت							
خروجی انتگرال گیر							

این بار خروجی مدار انتگرال گیر را به DVM متصل کنید و مجدداً ترمز را روی موتور اعمال نمایید. تغییرات خروجی انتگرال گیر را در جدول فوق وارد کنید. نمودارهای سرعت بر حسب بار و خروجی انتگرال گیر بر حسب بار را رسم و روی آنها بحث کنید. اکنون به پرسش ۱ پاسخ دهید.

پرسش :

۱- سرعت اولیه موتور را روی 50 rpm تنظیم کنید و مشابه قسمت اخیر ، ترمز را مرحله به مرحله روی موتور اعمال کنید. تغییرات سرعت چگونه است؟ چه تفاوتی با قسمت قبل آزمایش در این حالت مشاهده می شود؟ چرا؟