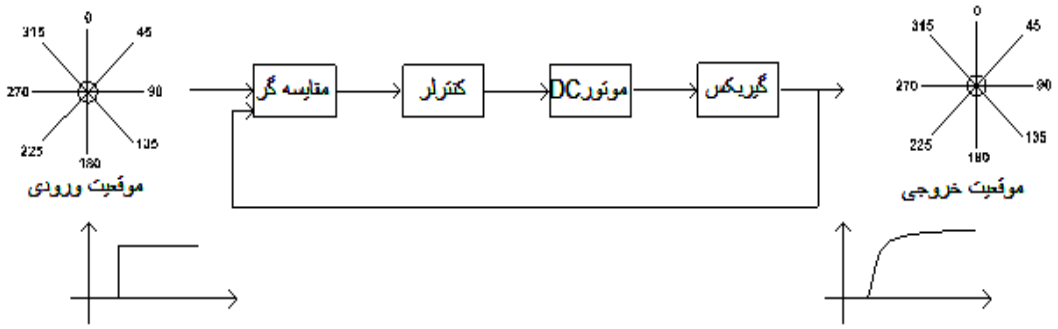
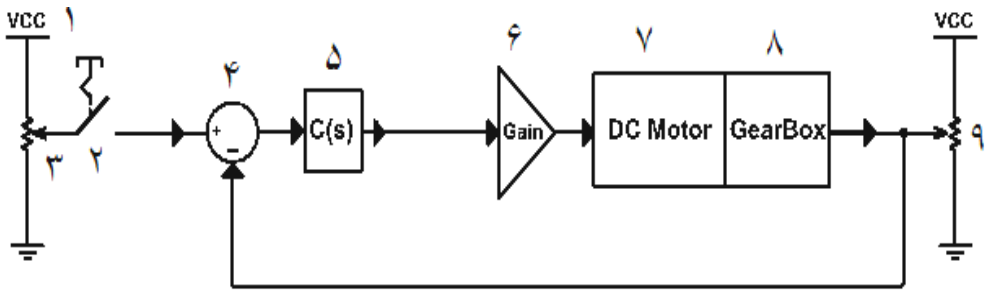
دستورکار آزمایشگاه کنترل خطی



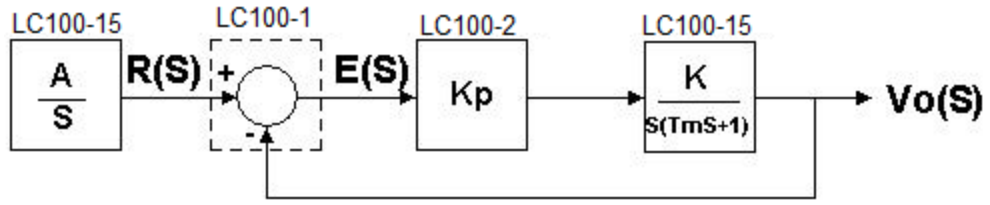


شرکت آزما تجهیز پارتیان

www.atcosanat.ir

info@atcosanat.ir

آزمایش۱: کنترل موقعیت سرو موتور به کمک کنترل کننده تناسبی (P-CONTROLLER)



شکل ۱- ۱

تابع تبدیل برای کنترل موقعیت یک سرو موتور به صورت زیر است. که یک فرآیند مرتبه دوم است .

$$M(s) = \frac{k}{s(\tau_m s + 1)}$$

تابع تبدیل حلقه باز آن به صورت زیر است.

$$T(s) = \frac{kk_p}{s(\tau_m s + 1)}$$

خطای ماندگار آن به صورت زیر است :

$$E(s) = \lim_{s\to 0} \frac{sR(s)}{1 + T(s)} = \lim_{s\to 0} \frac{sR(s)}{1 + \frac{kk_p}{s(\tau_m s + 1)}}$$

خطای حالت ماندگار برای ورودی پله به صورت زیر بدست می‌آید .

$$E(s) = \lim_{s\to 0} \frac{s\left(\frac{1}{s}\right)}{1 + \frac{kk_p}{s(\tau_m s + 1)}} = 0$$

بهره k_p ، بر روی خطای ماندگارتاثیری ندارد .

اجزای سروو سیستم مورد آزمایش (AT- LC100-15):

۱- ولتاژ DC تثبیت شده جهت تغذیه ولوم های موجود در مدار (+12v DC)

۲- کلید چکشی جهت اعمال ولتاژ ورودی به سیستم به عنوان موقعیت ورودی

۳- ولوم خطی جهت تعیین دامنه ولتاژ پله ی ورودی به سیستم به عنوان موقعیت ورودی .

٤- ماژول Summing Junction که به عنوان یک مقایسه گر عمل می نماید.

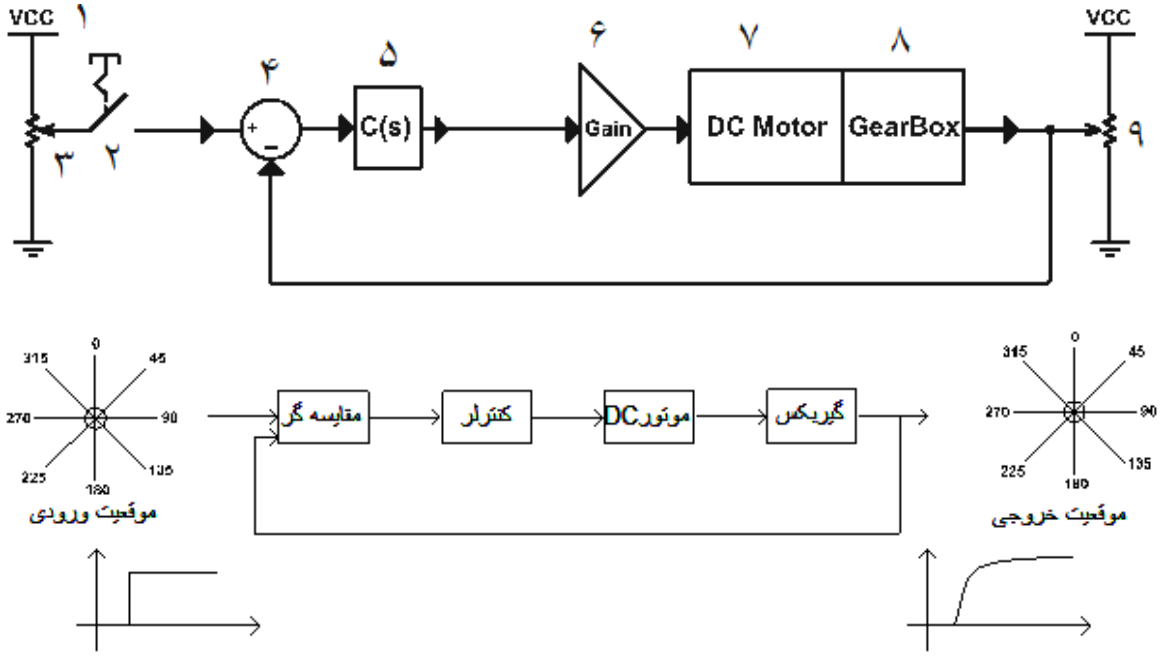
٥- ماژول های کنترلر مانند کنترل کننده تناسبی Kp ، انتگرال گیر Ki و مشتق گیر Kd به عنوان کنترل PID ، که در این سیستم با C(s) مشخص شده است.

٦- درایور موتور **DC** که در این سیستم با Gain نشان داده شده است.

٧- موتور Dc جهت چرخش ولوم.

٨- گیربکس یا جعبه دنده برای کاهش سرعت موتور DC جهت چرخش دسته ولوم

٩- ولوم خطی تعیین کننده زاویه خروجی به عنوان موقعیت خروجی سیستم.



تابع تبدیل ساده شده $Gm(s)$ سرو موتور به این صورت می‌باشد :

$$Gm(s) = \frac{V_\theta(s)}{E_a(s)} = \frac{K}{s(\tau_m s + 1)}$$

همچنین تابع تبدیل حلقه بسته $M(s)$ نیز عبارت است از :

$$M(s) = \frac{V_\theta(s)}{R(s)} = \frac{3KpK}{\tau_m s^2 + s + 3KpK)}$$

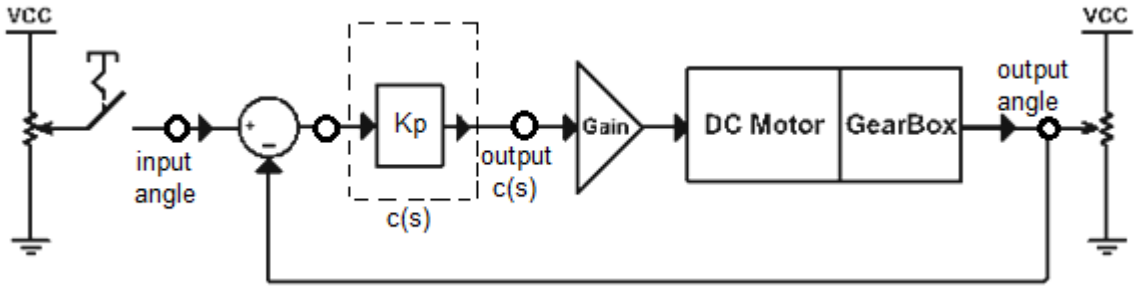
انجام آزمایش :

بلوک های مورو نیاز :

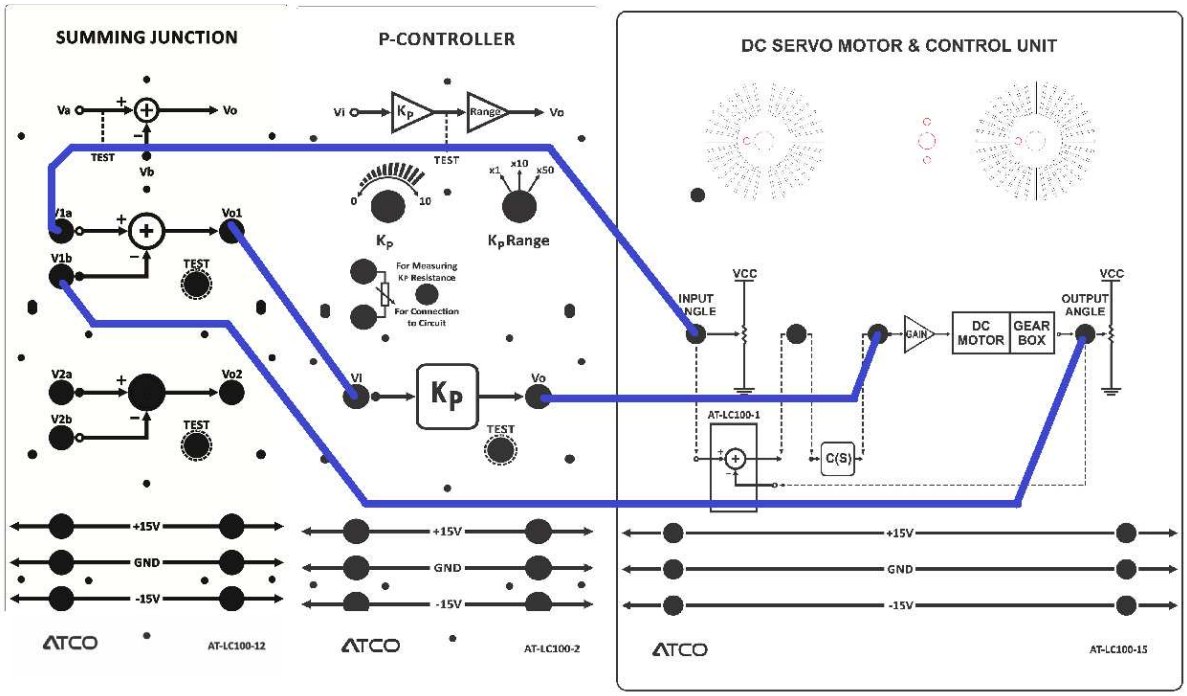
١- سرو سیستم کنترل موقعیت موتور DC

٢- کنترلر تناسبی Kp(P controller)

٣- Summing junction



از روی بلوک دیاگرام زیر ،اتصالات لازم برای انجام آزمایش را برقرار کنید:



شکل ۱- ۲

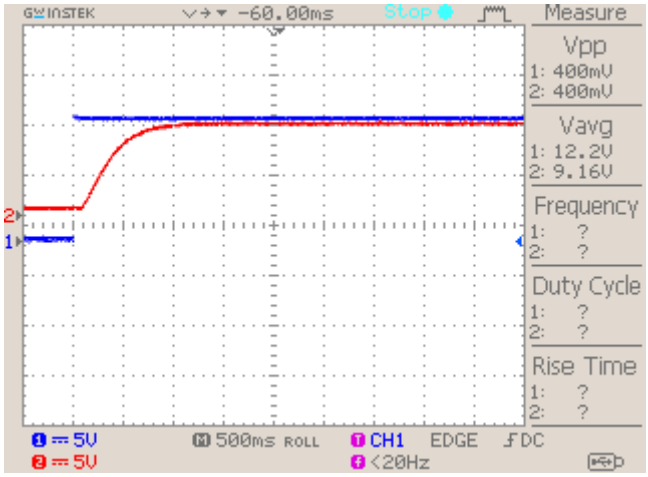
۱- ابتدا ماژول ها را طبق مراحل زیر تنظیم کنید :

P-controller: Rang=×1 volum=10k (gain=1)

Input angle: max

Oscop: volt/div ch1=ch2=5v time/div=500ms

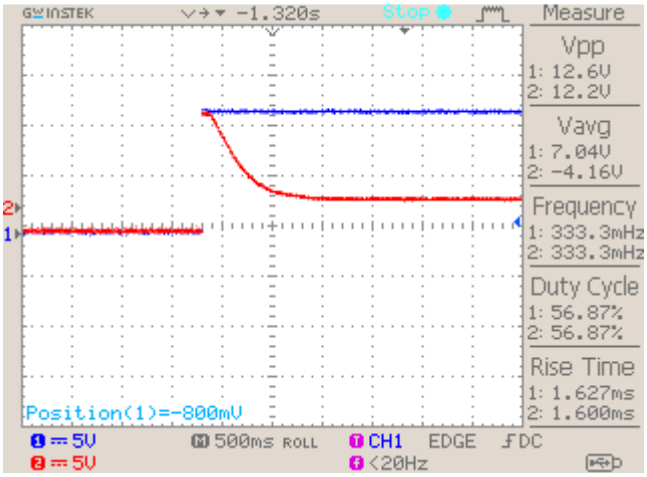
۲- ولوم زاویه ورودی را MAX کرده و کلید اعمال زاویه ورودی را وصل کنید.شکل موج ورودی (input angle)و خروجی (output angle)را رسم کنید.زمان نشست را بدست آورده و یادداشت کنید.



شکل ۱- ۳

۳- ابتدا با صفر نمودن زاویه ورودی واعمال به سیستم ،زاویه خروجی را صفر کرده و سپس کلید را قطع نمایید.

۴- زوایه ورودی را Max کرده وبا وصل کلید شکل موج خروجی ماژول LC100-1را با شکل موج ورودی روی اسیلوسکوپ مشاهده وذخیره کنید.



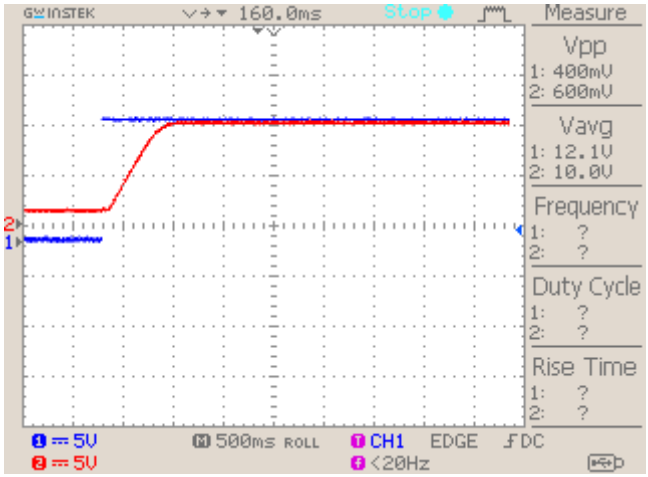
شکل ۱-۴

۵- تنظیمات ماژول ها را به فرم زیر تغییر دهید:

P-controller: Rang=×1 volum=20k (gain=1*2=2)

Input angle: max
Oscop: volt/div ch1=ch2=5v time/div=500ms

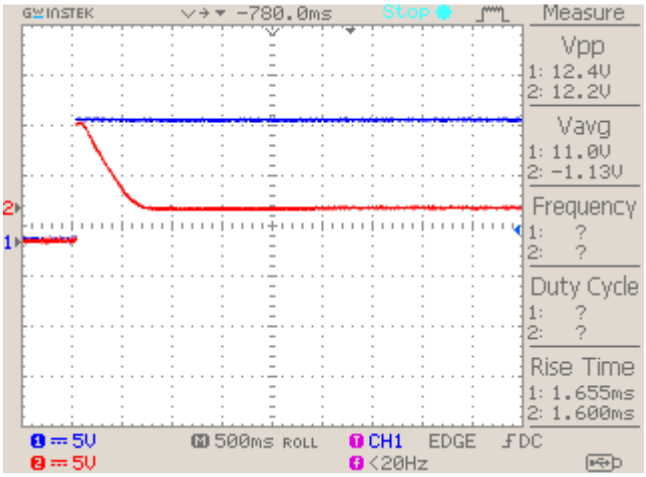
حال زاویه ورودی را MAX کرده وبا وصل کلید به سیستم اعمال کرده وشکل موج ورودی وخروجی را رسم کنید.زمان نشست را بدست آورده وبا مرحله قبل مقایسه کنید.



شکل ۱-۵

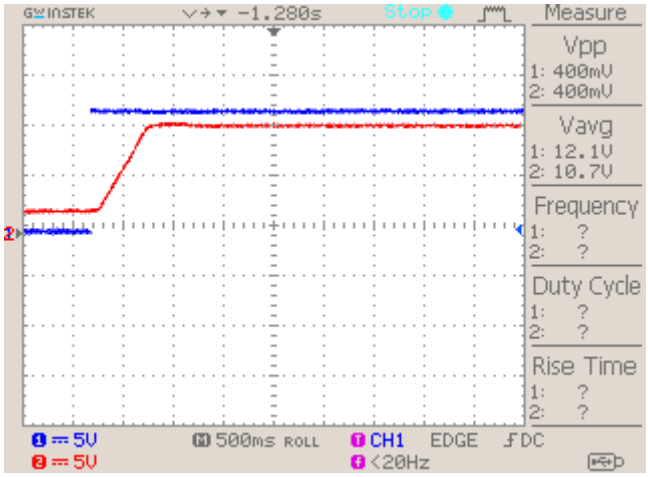
۶- ابتدا با صفر نمودن زاویه ورودی واعمال به سیستم ،زاویه خروجی را صفر کرده و سپس کلید را قطع نمایید.

۷- زوایه ورودی را Max کرده وبا وصل کلید شکل موج خروجی ماژول LC100-1را با شکل موج ورودی روی اسیلوسکوپ مشاهده وذخیره کنید.

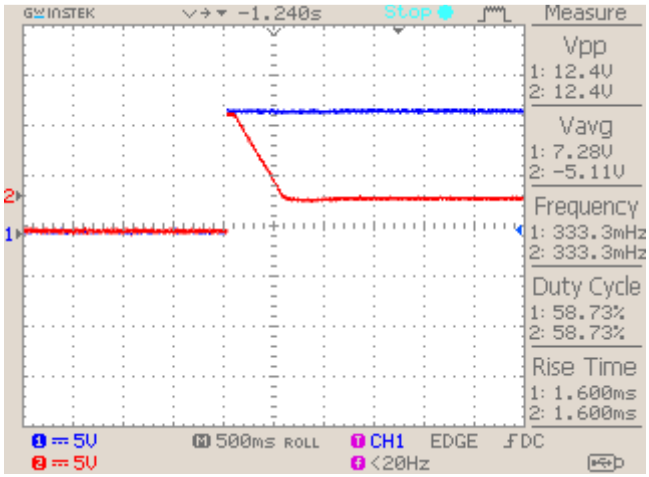


شکل ۱-۶

۸- مراحل ۵ و۶ و ۷ را برای ولوم kp=50k تکرار کنید:

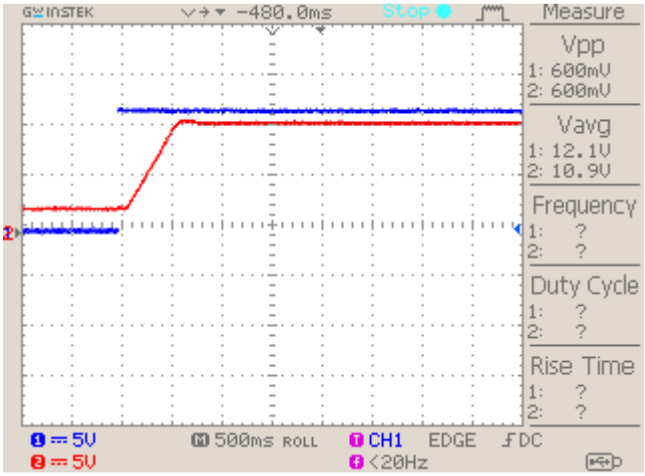


شکل ۱-۷ خروجی و ورودی

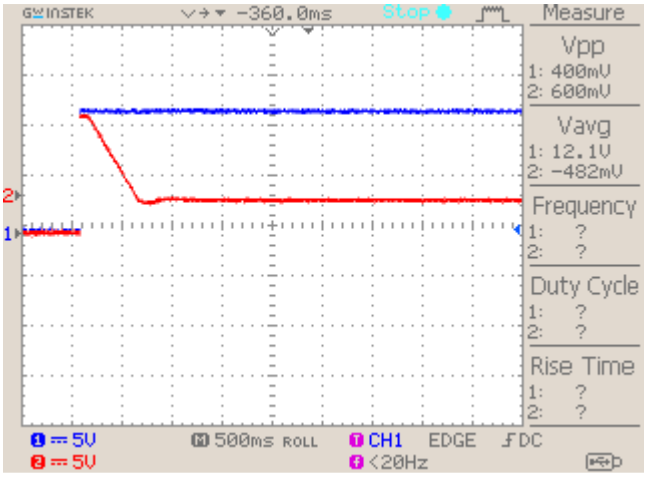


شکل ۱-۸ خروجی و خطا

۹- مرحله قبل را برای ولوم kp=100k تکرار کنید:

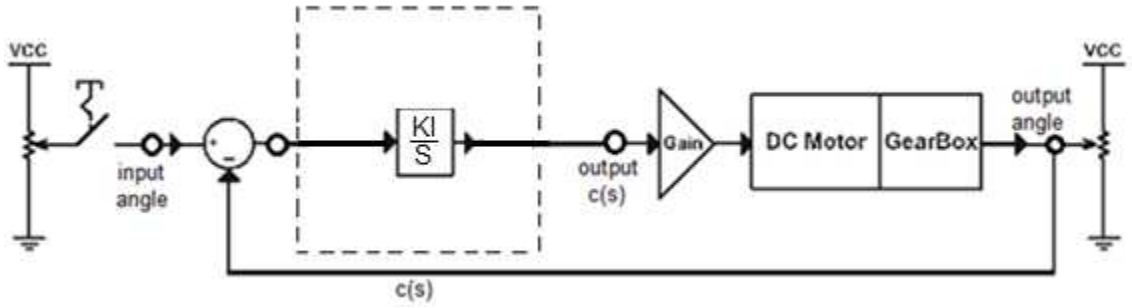


شکل ۱-۹ ورودی و خروجی



شکل ۱-۱۰ ورودی وخطا

آزمایش۲: کنترل موقعیت سرو موتور به کمک کنترل کننده انتگرالی (I-CONTROLLER)



شکل ۲- ۱

تابع تبدیل برای کنترل موقعیت یک سرو موتور به صورت زیر است. که یک فرآیند مرتبه دوم است .

$$M(s) = \frac{k}{s(\tau_m s + 1)}$$

تابع تبدیل حلقه باز آن به صورت زیر است.

$$T(s) = \frac{kk_i}{s^2(\tau_m s + 1)}$$

خطای ماندگار آن به صورت زیر است :

$$E(s) = \lim_{s\to 0} \frac{sR(s)}{1 + T(s)} = \lim_{s\to 0} \frac{sR(s)}{1 + \frac{kk_i}{s^2(\tau_m s + 1)}}$$

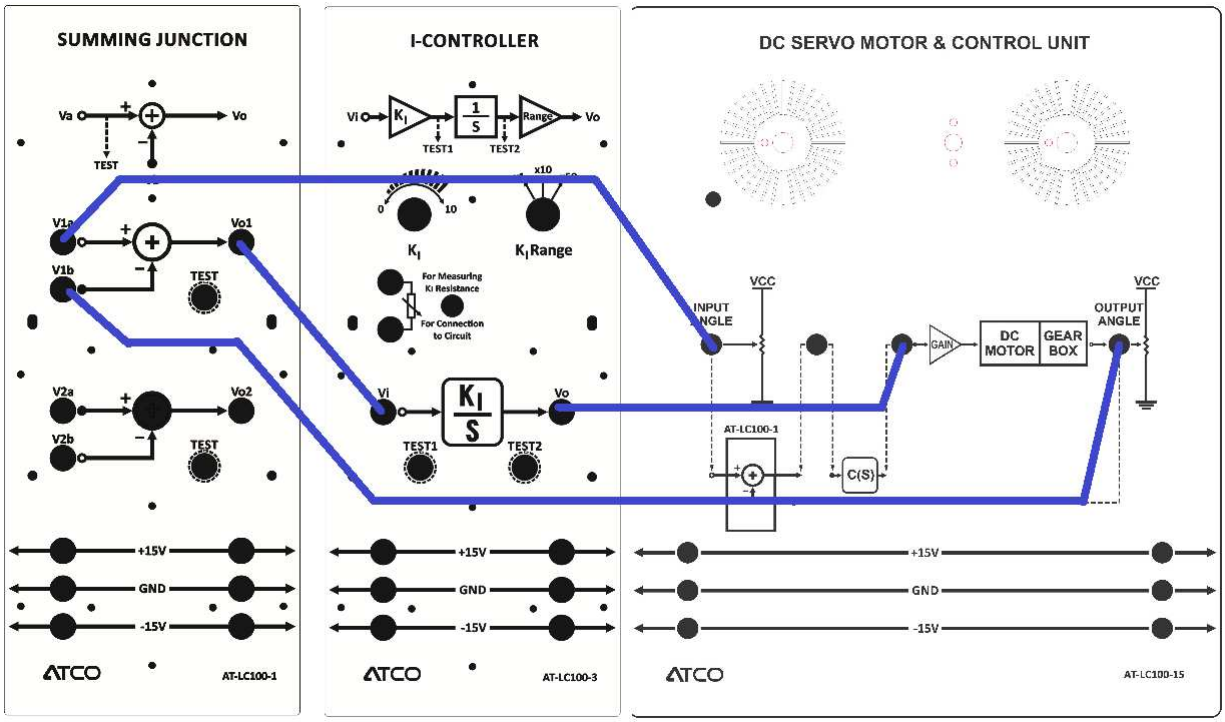
خطای حالت ماندگار برای ورودی پله به صورت زیر بدست می‌آید .

$$E(s) = \lim_{s\to 0} \frac{s\left(\frac{1}{s}\right)}{1 + \frac{kk_i}{s^2(\tau_m s + 1)}} = 0$$

بهره k_p ، بر روی خطای ماندگار تاثیری ندارد .

مراحل آزمایش :

۱- سیستم را همانند بلوک دیاگرام نشان داده شده سیم کشی نمایید .



شکل ۲- ۲

تنظیمات ماژو ل ها را مطابق فرم زیر قرار دهید:

I-controller: Rang=×1 volum=0.5k (KI=0.5)

Input angle: %50

Oscop: volt/div ch1=ch2=5v time/div=1s

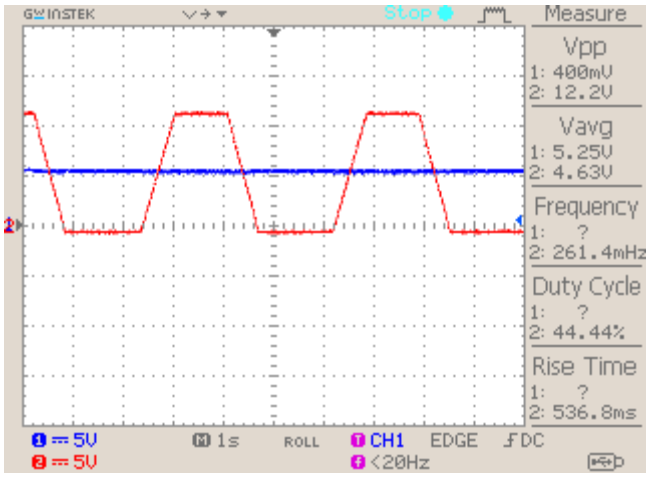
۲- تابع تبدیل ساده شده $Gm(s)$ سرو موتور به این صورت می‌باشد :

$$Gm(s) = \frac{V_\theta(s)}{E_a(s)} = \frac{K}{s(\tau_m s + 1)}$$

همچنین تابع تبدیل حلقه بسته $M(s)$ نیز عبارت است از :

$$M(s) = \frac{V_\theta(s)}{R(s)} = \frac{KiKsK}{\tau_m s^3 + s^2 + KiKsK}$$

۳- با اسیلوسکوپ خروجی پین OUTPUT AANGLE و ورودی INPUT ANGLE را در ماژول LC100-15اندازه گیری و ثبت نمایید .



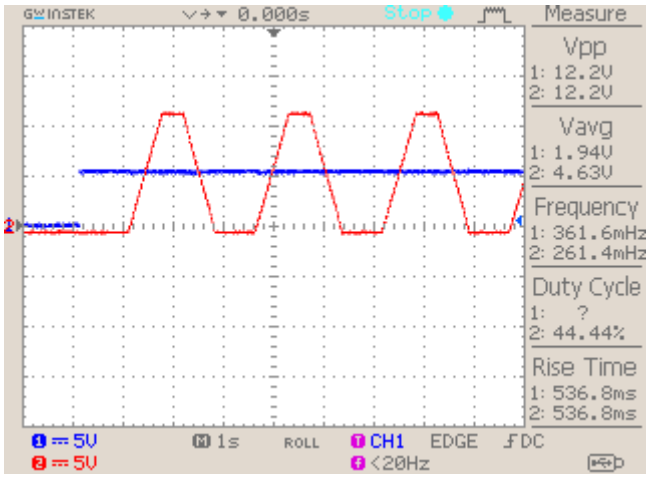
شکل ۲- ۳

۴- مقادیر تنظیمات I-controllerرا به فرم زیر تغییر داده و خواسته های مرحله قبل را پاسخ دهید.

I-controller: Rang=×1 volum=5k

Input angle: %50

Oscop: volt/div ch1=ch2=5v time/div=1s



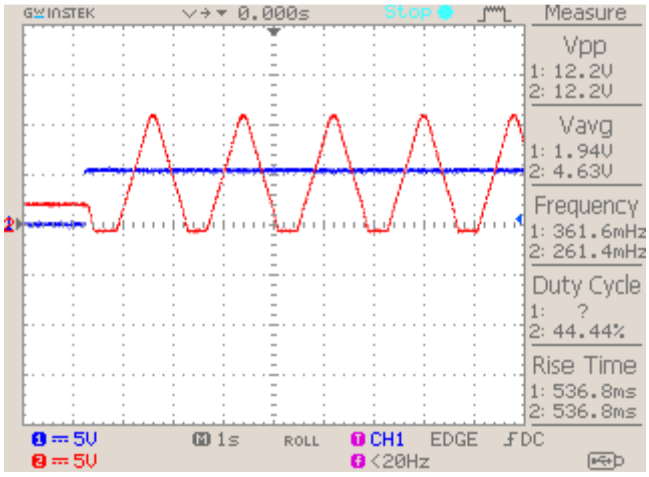
شکل ۲-۴

۵- مقادیر تنظیمات I-controllerرا به فرم زیر تغییر داده و خواسته های مرحله قبل را پاسخ دهید.

I-controller: Rang=×1 volum=10k

Input angle: %50

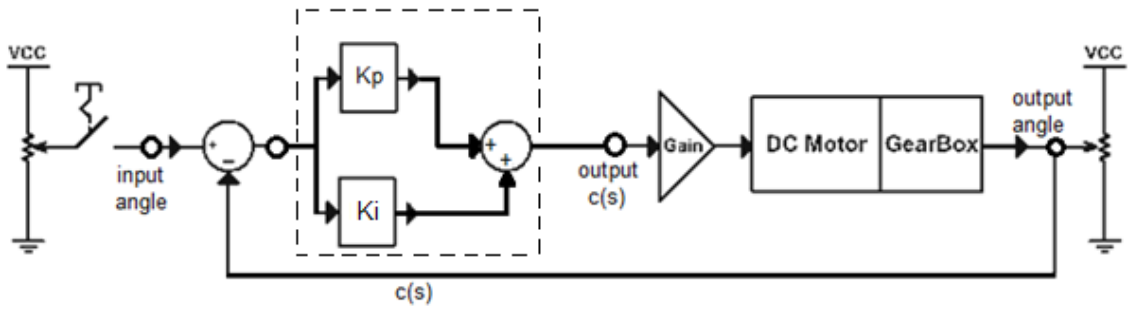
Oscop: volt/div ch1=ch2=5v time/div=1s



شکل ۲-۵

****

آزمایش ۳۰: کنترل موقعیت سرو موتور به کمک کنترل کننده تناسبی انتگرالی (PI-CONTROLLER)



شکل ۳- ۱

تابع تبدیل برای کنترل موقعیت یک سرو موتور به صورت زیر است. که یک فرآیند مرتبه دوم است .

$$M(s) = \frac{k}{s(\tau_m s + 1)}$$

تابع تبدیل حلقه باز آن به صورت زیر است.

$$T(s) = \frac{k(sk_p + k_i)}{s^2(\tau_m s + 1)}$$

خطای ماندگار آن به صورت زیر است :

$$E(s) = \lim_{s\to 0} \frac{sR(s)}{1 + T(s)} = \lim_{s\to 0} \frac{sR(s)}{1 + \frac{k(sk_p + k_i)}{s^2(\tau_m s + 1)}}$$

خطای حالت ماندگار برای ورودی پله به صورت زیر بدست می‌آید .

$$E(s) = \lim_{s\to 0} \frac{s\left(\frac{1}{s}\right)}{1 + \frac{k(sk_p + k_i)}{s^2(\tau_m s + 1)}} = 0$$

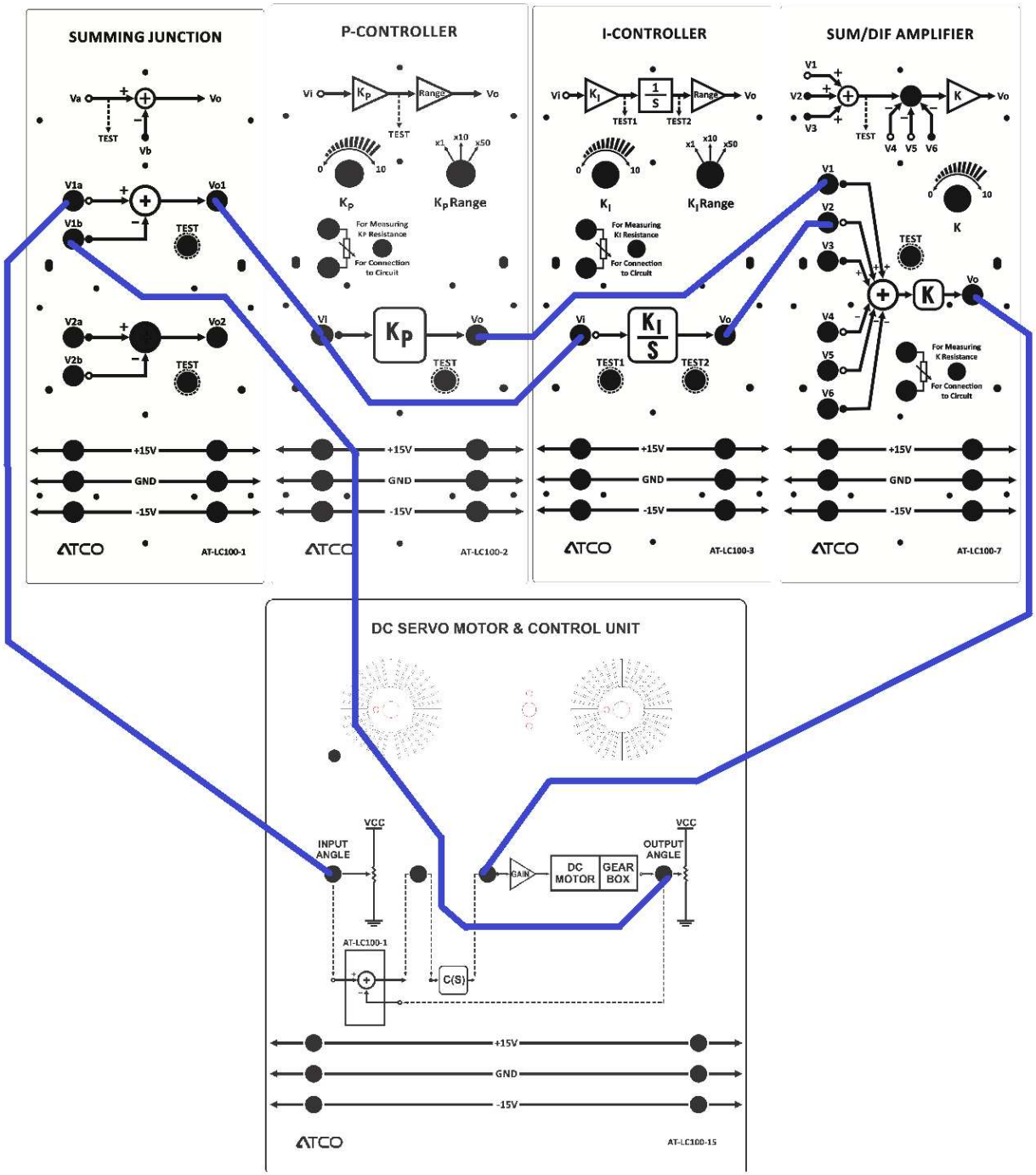
با افزایش بهره k_p ، بر روی خطای ماندگار تاثیری ندارد .

تابع تبدیل حلقه بسته آن به صورت زیر است.

$$G(s) = \frac{V_o(s)}{R(s)} = \frac{k(sk_p + k_i)}{s^2(\tau_m s + 1) + k(sk_p + k_i)}$$

مراحل آزمایش :

۱- سیستم را همانند بلوک دیاگرام نشان داده شده سیم کشی نمایید .



شکل ۳- ۲

۱- تنظیمات ماژو ل ها را مطابق فرم زیر قرار دهید:

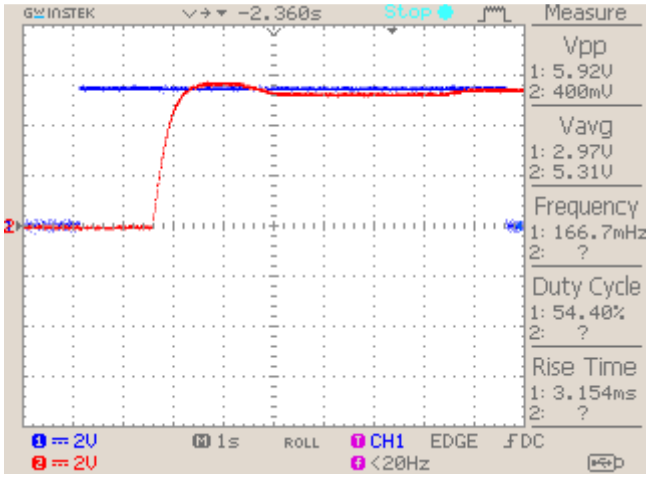
P-controller: Rang=×1 volum=10k

I-controller: Rang=×1 volum=1k

Input angle: %50

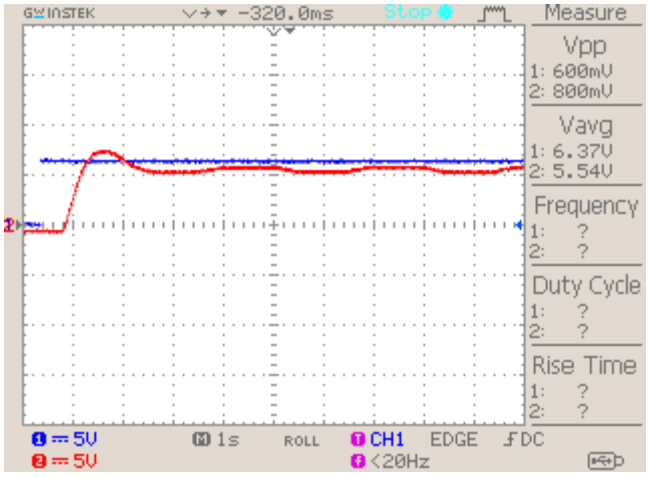
Oscop: volt/div ch1=ch2=5v time/div=1s

۲- کلید زاویه ورودی را وصل نموده وسپس شکل موج ورودی INPUT ANGLE وخروجی PUTPUT ANGLE را رسم نمایید.زمان نشست ، درصد فراجهش و از همه مهم تر خطای حالت ماندگار (Ess)را یادداشت کنید.



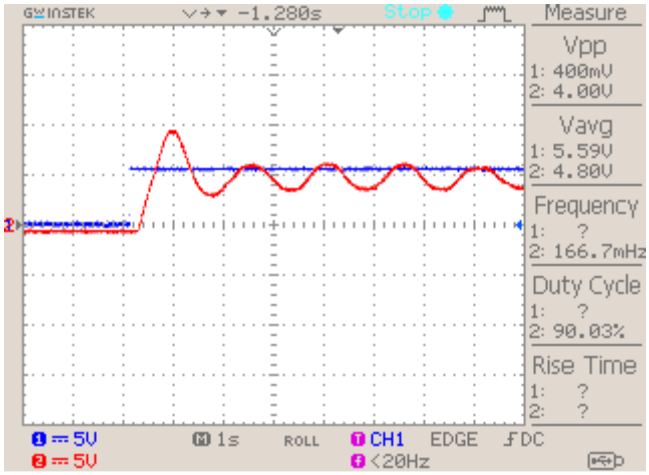
شکل ۳- ۳

۲- مراحل قبلی آزمایش را با مقدار KI=2K نیز تکرار نمایید و نتایج را ثبت و بررسی نمایید .



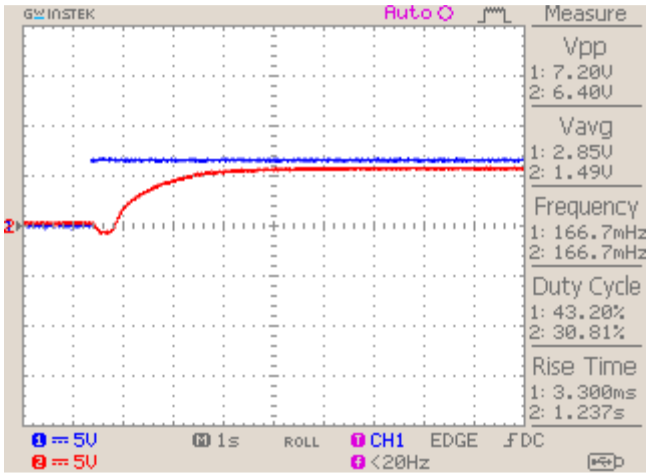
شکل ۳- ۴

۳- مراحل قبلی آزمایش را با مقدار KI=5K نیز تکرار نمایید و نتایج را ثبت و بررسی نمایید .



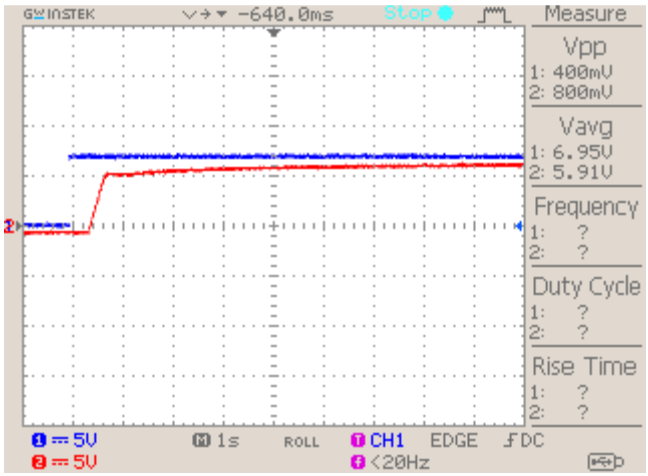
شکل ۳- ۵

۴- مقدار Ki را برابر با 2k اهم قرار دهید .kp=20kتنظیم گردد.مرحله قبل را تکرار کنید.

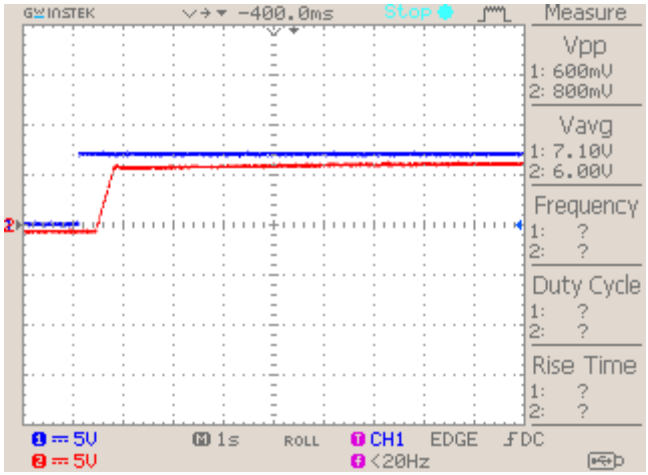


شکل ۳-۶

۵- با مقادیر kp=50kو kp=100k نتایج را دوباره مشاهده نمایید.

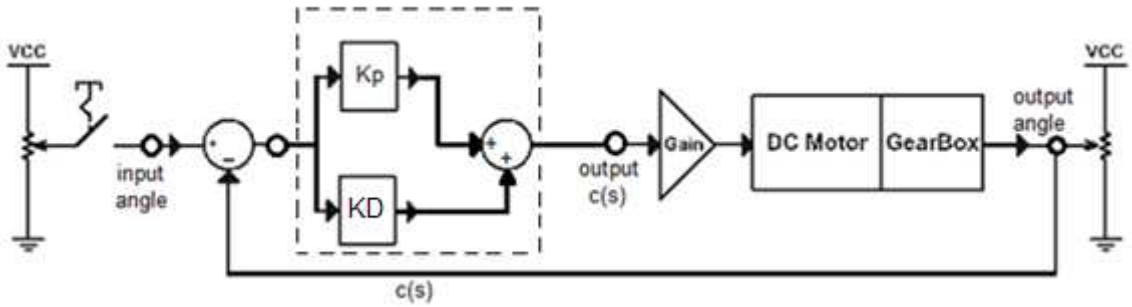


شکل ۳-۷



شکل ۳-۸

آزمایش ۴: کنترل موقعیت سرو موتور به کمک کنترل کننده تناسبی مشتقی (PD-CONTROLLER)



شکل ۴-۱

تابع تبدیل برای کنترل سرعت یک سرو موتور به صورت زیر است. که یک فرآیند مرتبه اول است .

$$M(s) = \frac{k}{s(\tau_m s + 1)}$$

تابع تبدیل حلقه باز آن به صورت زیر است.

$$T(s) = \frac{k(k_p + sk_d)}{s(\tau_m s + 1)}$$

خطای ماندگار آن به صورت زیر است :

$$E(s) = \lim_{s\to 0} \frac{sR(s)}{1 + T(s)} = \lim_{s\to 0} \frac{sR(s)}{1 + \frac{k(k_p + sk_d)}{s(\tau_m s + 1)}}$$

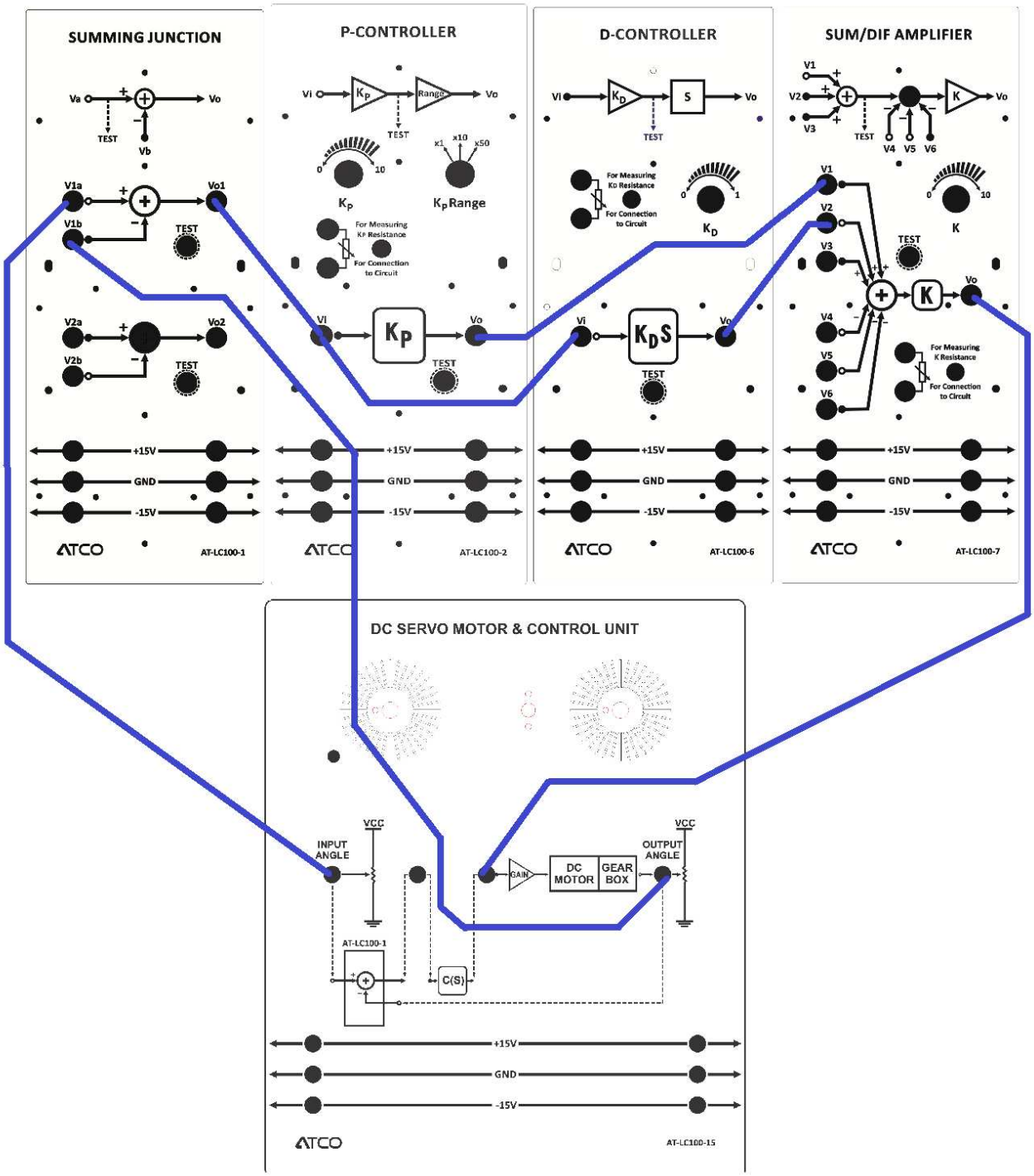
خطای حالت ماندگار برای ورودی پله به صورت زیر بدست می‌آید .

$$E(s) = \lim_{s\to 0} \frac{s\left(\frac{1}{s}\right)}{1 + \frac{k(k_p + sk_d)}{s(\tau_m s + 1)}} = 0$$

خطای ماندگار سیستم صفر است و افزایش بهره روی آن تاثیری نمیگذارد.

مراحل آزمایش :

۱- سیستم را همانند بلوک دیاگرام نشان داده شده سیم کشی نمایید .



شکل ۴- ۲

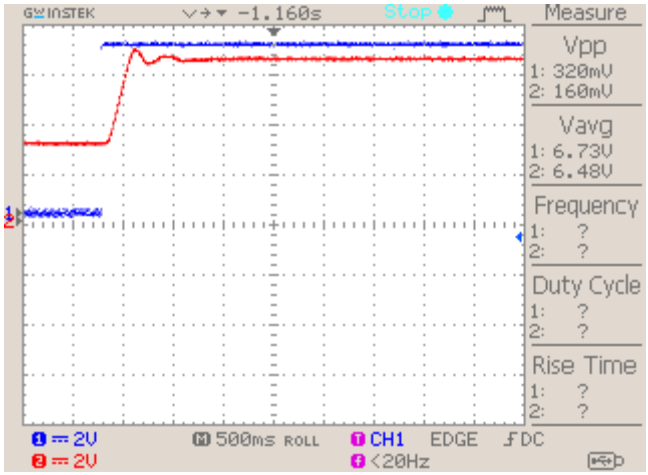
۲- ماژول ها را طبق مراحل زیر تنظیم نمایید:

P-controller: Rang=×10 volum=20k

D-controller: volum=0

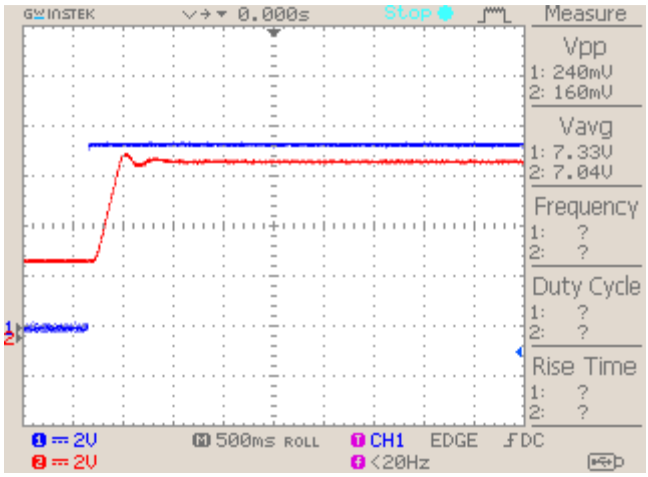
Input angle: 50%

Oscop: volt/div ch1=ch2=10v time/div=1s



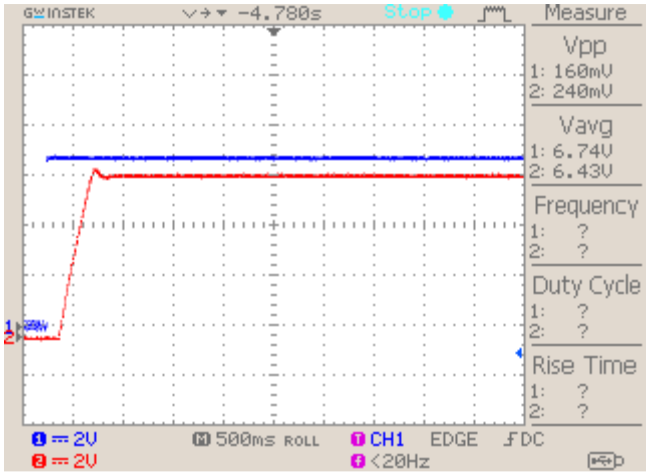
شکل ۴- ۳

۳- مراحل قبلی آزمایش را با مقدار KD=5Kنیز تکرار نمایید و نتایج را ثبت و بررسی نمایید .



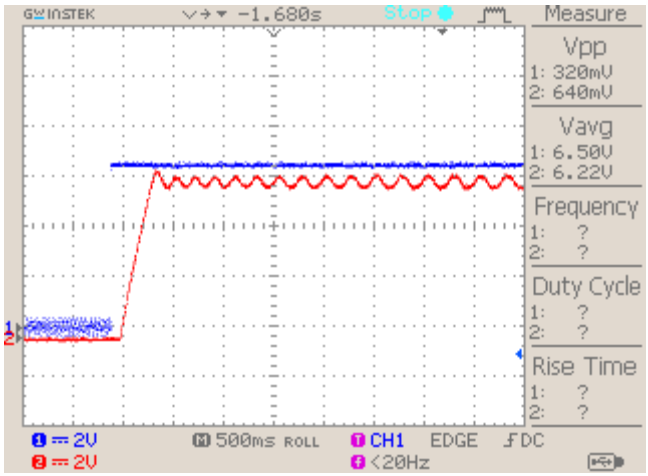
شکل ۴- ۴

۴- KD=10K کرده و خروجی را مشاهده کنید:

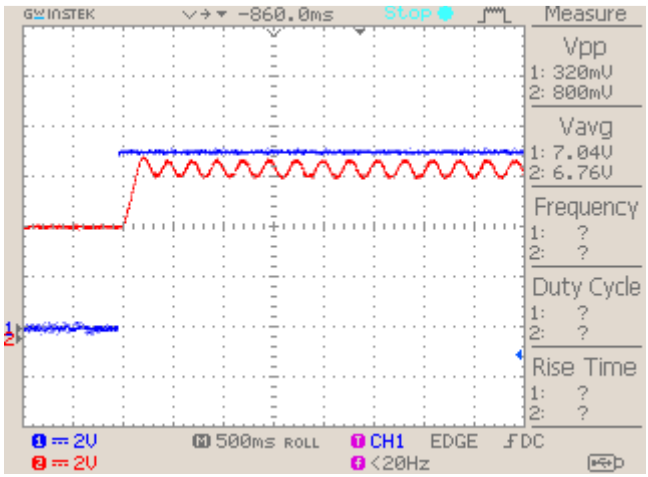


شکل ۴-۵

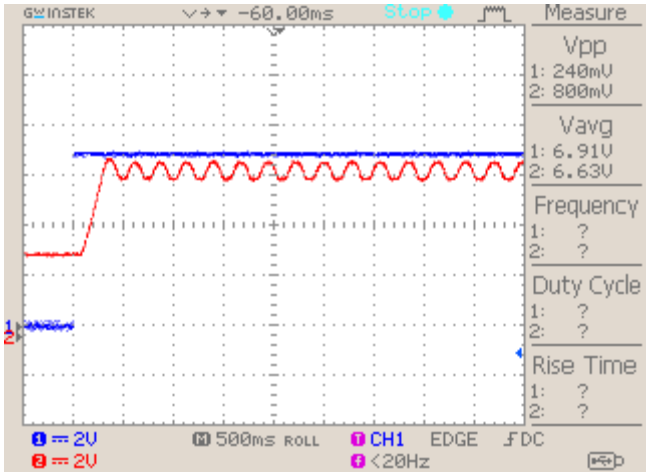
۵- باتنظیم KD=5K به ازای KP= 40K ,60K,100K خروجی را مشاهده کنید:



KP=40K

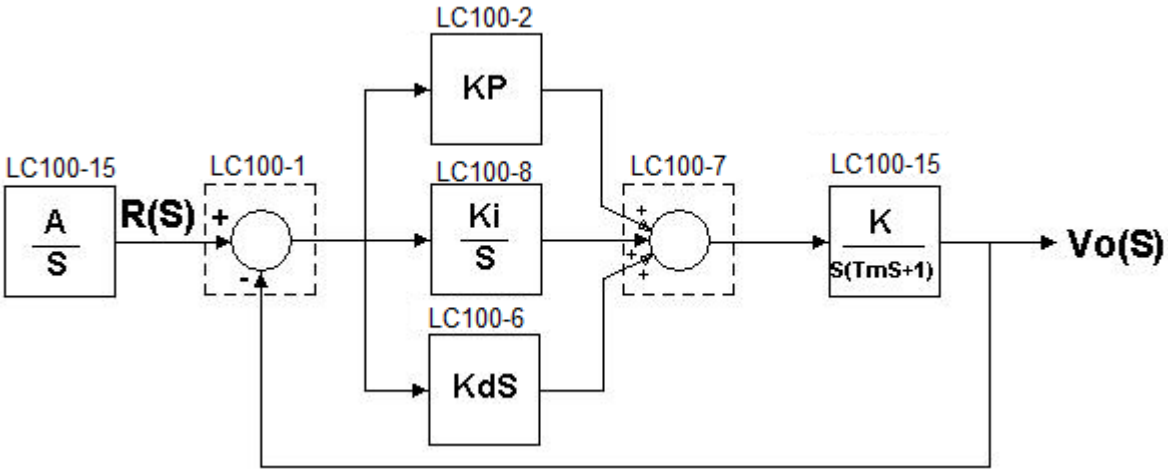


KP=60K



KP=100K

آزمایش ۵: کنترل موقعیت سرو موتور به کمک کنترل کننده تناسبی انتگرالی مشتقی (PID-CONTROLLER)



شکل ۵-۱

تابع تبدیل برای کنترل موقعیت یک سرو موتور به صورت زیر است.

$$M(s) = \frac{k}{s(\tau_m s + 1)}$$

تابع تبدیل حلقه باز آن به صورت زیر است.

$$T(s) = \frac{k(sk_p + s^2k_d + k_i)}{s^2(\tau_m s + 1)}$$

خطای ماندگار آن به صورت زیر است :

$$E(s) = \lim_{s\to 0} \frac{sR(s)}{1 + T(s)} = \lim_{s\to 0} \frac{sR(s)}{1 + \frac{k(sk_p + s^2k_d + k_i)}{s^2(\tau_m s + 1)}}$$

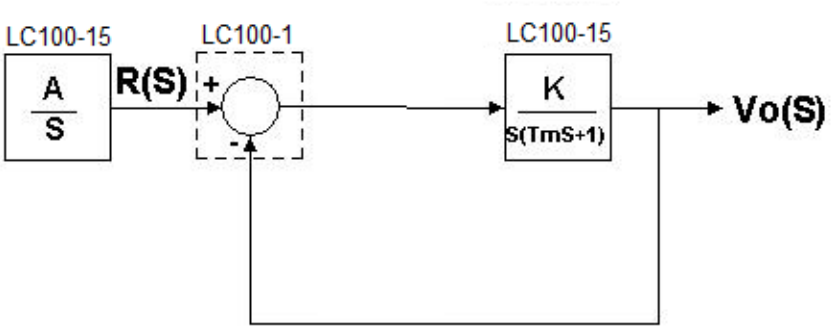
خطای حالت ماندگار برای ورودی پله به صورت زیر بدست می‌آید .

$$E(s) = \lim_{s\to 0} \frac{s\left(\frac{1}{s}\right)}{1 + \frac{k(sk_p + s^2k_d + k_i)}{s^2(\tau_m s + 1)}} = 0$$

خطای ماندگار سیستم صفر است.

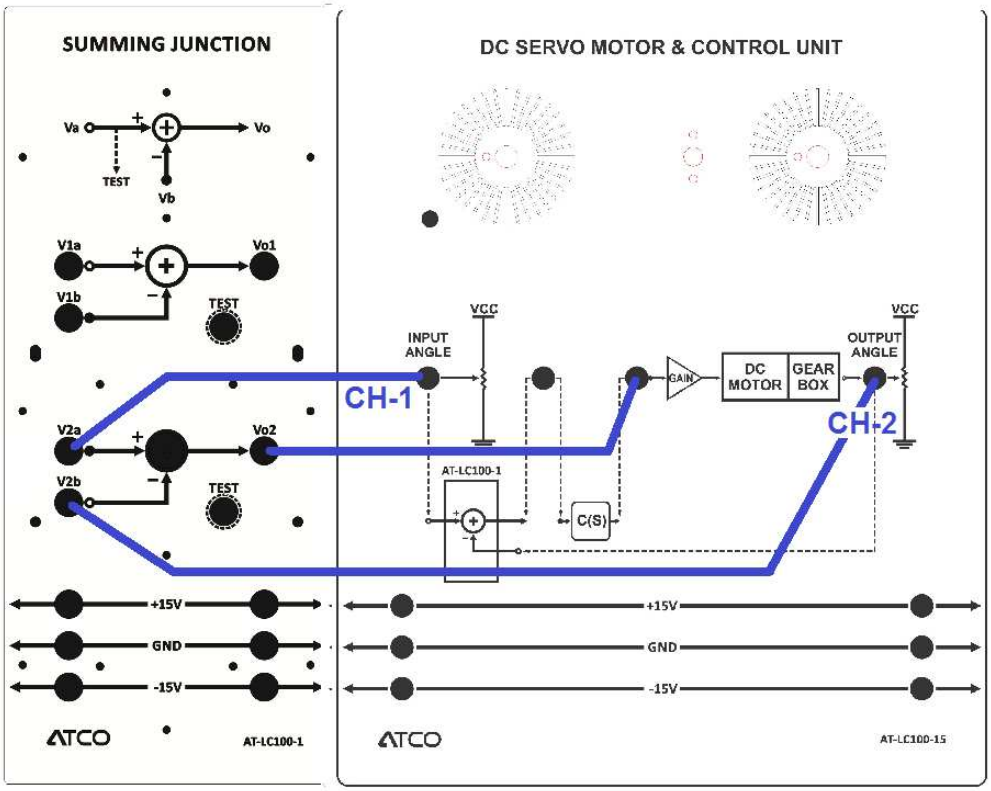
مراحل آزمایش :

۱- سیستم را همانند بلوک دیاگرام نشان داده شده سیم کشی نمایید .



ابتدا بدون وجود کنترلر، بایستی پاسخ خروجی را به ازای حداکثر زاویه ورودی (ماکزیمم مقدار پله ورودی) مشاهده و زمان های t_d و t وهمچنین مقدار ماکزیمم حالت پایدار خروجی را که همان K را بدست می آوریم. سپس طبق قواعد جدول زیگلر – نیکولز که در آزمایشات قبلی اشاره شده بود ، پارامترهای کنترلر PID را تنظیم می نماییم.

controller	Kp	T_i	T_D
P	$t/(k.t_d)$	∞	0
PI	$0.9(t/k.t_d)$	$t_d/0.3$	0
PID	$1.2(t/k.t_d)$	$2t_d$	$0.5t_d$



شکل ۵- ۲

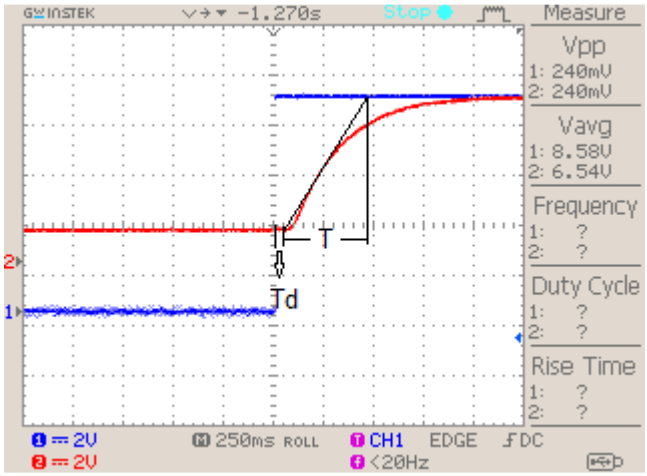
۲- ابتدا کلید زاویه ورودی را وصل کرده و ولوم را صفر کنید.سپس توسط ولوم POSITION عمودی در کانالهای ۱ و ۲ اسکوپ دیجیتال

خطوط مبنای کانال ها را روی خط وسط اسکوپ بر هم منطبق کنید.

۳- سلکتور ولتاژ کانال ۱ و ۲ را روی ۲ولت تنظیم نمایید.

۴- کلید زاویه ورودی را قطع نموده و توسط ولوم، زاویه ورودی را روی 50% تنظیم کنید.

۵- کلید ورودی را وصل نموده و شکل موج ورودی و خروجی را شاهده وذخیره نمایید.



شکل ۵- ۳

۶- از روی نقطه 50% مقدار خروجی ، یک خط مماس بر منحنی خروجی رسم کنید. زمان های T و Td را محاسبه کنید.

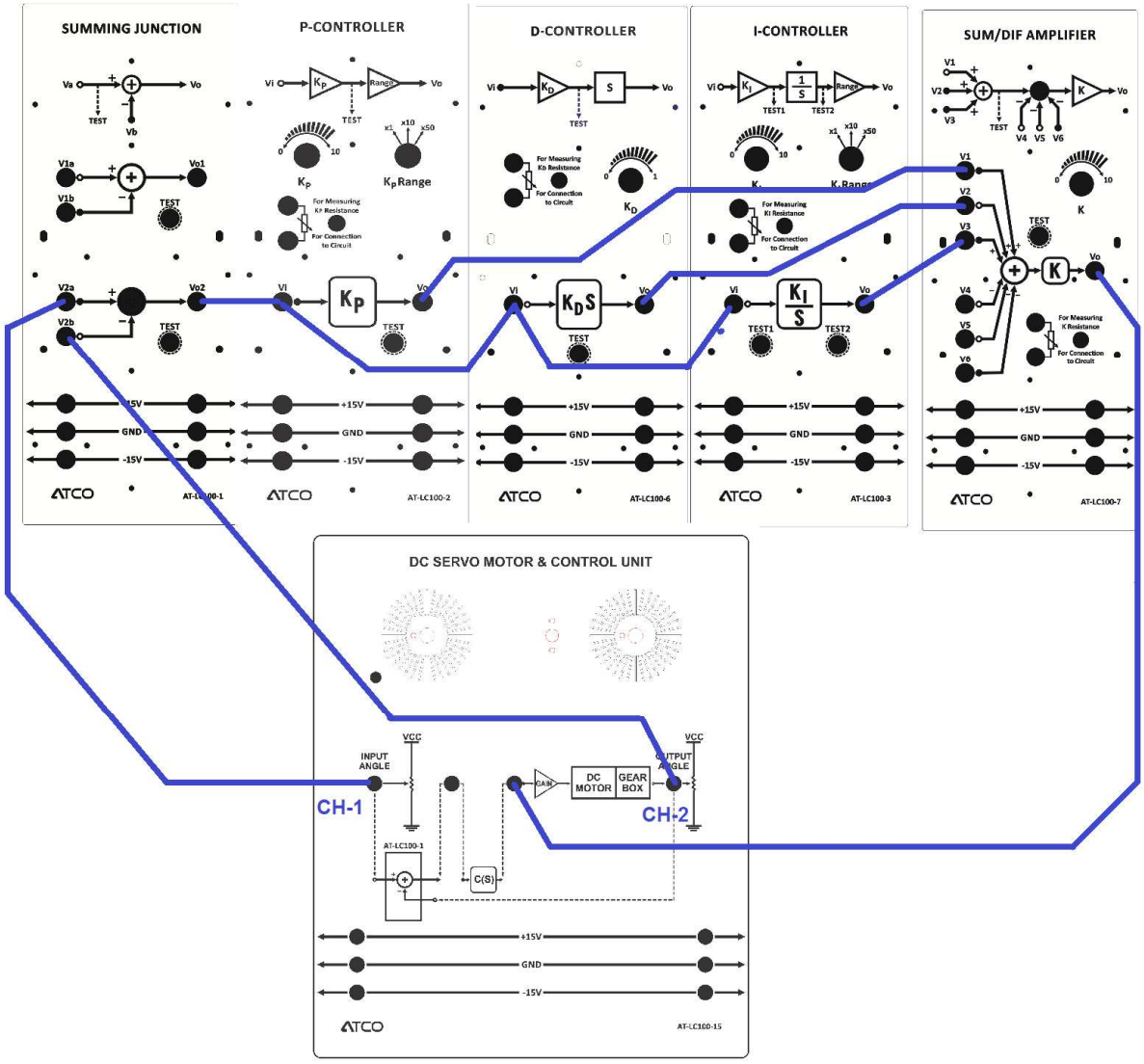
$$K=2.6\times 2=5.2 \quad t=425ms \quad t_d=50ms \quad \rightarrow Kp=\frac{1.2\times t}{K\times td}=\frac{1.2\times 0.425}{5.2\times 0.05}=1.96$$

$$Ti=2\times td=2\times 0.05=0.1s \quad TD=0.5\times td=0.5\times 0.05=0.025s$$

$$Ki=\frac{Kp}{Ti}=\frac{1.96}{0.1}=0.196 \quad Kd=Kp\times TD=1.96\times 0.025=0.05$$

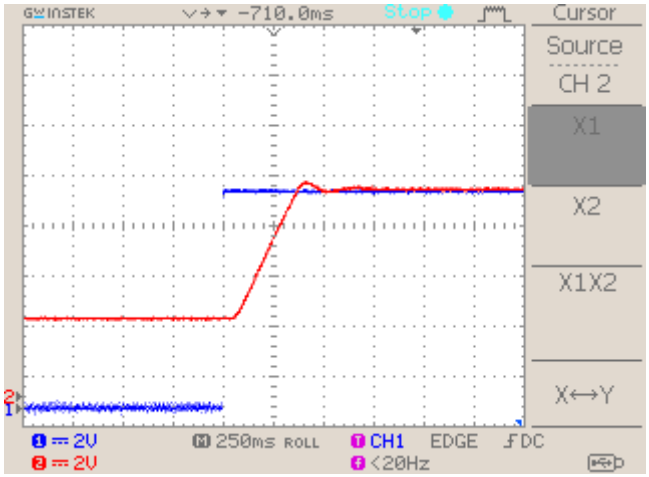
طبق فرمول های بالا مقادیر ضرایب PID عبارتند از:Kp=1.96 وKi=0.196و Kd=0.05 بدست می آید.

۷- سیستم را همانند بلوک دیاگرام نشان داده شده سیم کشی نمایید:



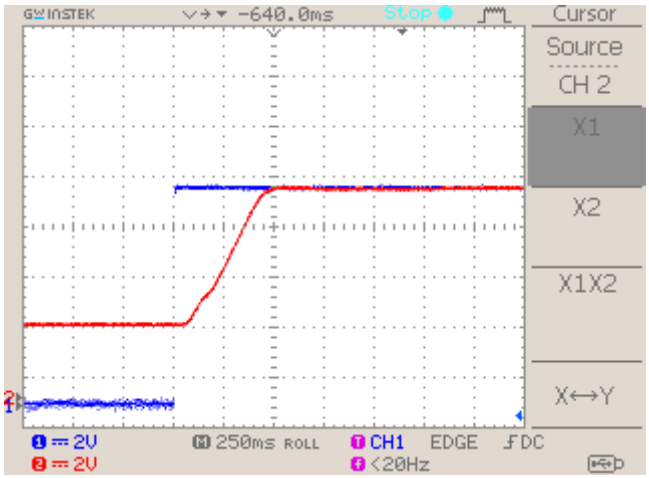
شکل ۵- ۴

۸- ولوم Kp را روی 19.6k اهم و Rang=× 10 باشد. ولوم Kd را روی ۵ کیلو اهم تنظیم کنید.ولوم ki را روی 0.19k اهم قرار دهید.خروجی کانال ۱ و ۲ اسکوپ دیجیتال را مطابق شکل فوق مشاهده ودخیره نمایید:



شکل ۵-۵ Ki=0.19k Kd=5k KP=19.6K

۹- جهت بهینه سازی سیستم مقادیر پارامترهای کنترلر را می توان بگونه ای تغییر داد که پاسخ مطلوب تری بدست آید.مثلاً با کاهش kp از میزان بالازدگی خروجی کاست.همچنین برای کاهش نوسانات خروجی ، میزان Kd را افزایش داد.بدین منظور Kp = 10.17k و Rang=× 1 گردد.Kd= 10k و Ki=10k تنظیم شود.دومرتبه خروجی را مشاهده نمایید.



شکل ۵-۶ Ki=10k Kp=10.17k Kd=10k

با مقایسه شکل فوق با شکل ۳۴-۳ ؛ مشاهده می گردد که هم زمان نشست Ts کاهش یافته و هم زمان خیز. از طرفی هم بالازدگی یا Over shoot نداریم.خطای حالت ماندگار خروجی نیز صفر است.