

به نام خدا



دانشگاه تهران

پردیس دانشکده‌های فنی

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

آزمایشگاه سیستم‌های کنترل خطی

آزمایش شماره 6

شیرین جمشیدی - محمدصابر بهادری - محیا شهشهانی

810199598 - 810199387 - 810199570

اردیبهشت ماه 1402

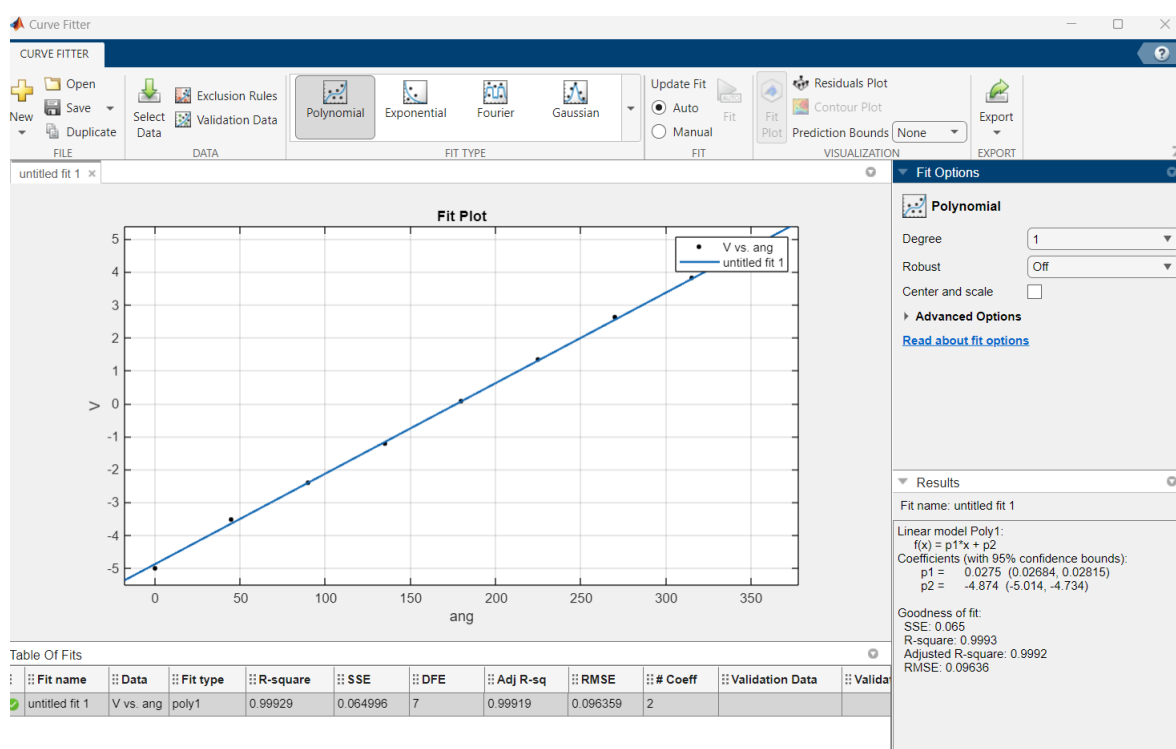
چکیده

این آزمایش، هدف بررسی شناسایی حسگر موقعیت و در ادامه تحلیل عملکرد سروموتور DC در حضور کنترل‌کننده موقعیت و در نهایت پیاده سازی عملی این کنترل‌کننده است. با پیاده سازی عملی دو کنترل‌کننده اثر پدیده غیرخطی ناحیه مرده موجود در سیستمهای فیزیکی را در حضور پسخور در رفتار سیستم مشاهده خواهیم کرد. در نهایت اثر حضور یک تاخیر مرتبه یک را در پایداری سیستم بررسی میکنیم.

بخش 1-شناسایی حسگر موقعیت

نتایجی که از آزمایش بدست آوردیم.

| زاویه | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° | 225° | 270° | 315° | 360° |
|-------------|----|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| مقدار ولتاژ | -5 | -3.52 | -2.4 | -1.2 | 0.08 | 1.36 | 2.64 | 3.84 | 4.88 |



نتیجه نهایی برازش با متلب

همانطور که مشخص است زمانی که که نتایجی که با آزمایش بدست آوردیم نیز بصورت خطی در آمدند و معادله خط خروجی از برازش در قسمت سمت راست پایین مشخص است.

$$V = 0.0275 \theta - 4.874$$

بخش 2- مفاهیم نظری مربوط به آزمایش

• کنترل کننده تناسبی

$$\begin{aligned}\frac{\theta_0(s)}{\theta_{in}(s)} &= \frac{KK_1}{Ts^2 + s + KK_1} \rightarrow \theta_0(s) = \theta_{in}(s) \frac{KK_1}{Ts^2 + s + KK_1} \\ E(s) &= \theta_{in}(s) - \theta_0(s) = \theta_{in}(s) \left(1 - \frac{KK_1}{Ts^2 + s + KK_1}\right) \\ &= \theta_{in}(s) \left(\frac{Ts^2 + s}{Ts^2 + s + KK_1}\right) = \frac{1}{s^2} \left(\frac{Ts^2 + s}{Ts^2 + s + KK_1}\right) \\ e_{ss} &= \lim_{s \rightarrow 0} sE(s) = \frac{1}{s} \left(\frac{Ts^2 + s}{Ts^2 + s + KK_1}\right) = \lim_{s \rightarrow 0} \left(\frac{Ts + 1}{Ts^2 + s + KK_1}\right) \\ &= \frac{1}{KK_1}\end{aligned}$$

همانطور که میبینید با افزایش K_1 خطای حالت ماندگار کاهش میابد.

• کنترل کننده فیدبک موقعیت- سرعت

در این کنترل کننده از خروجی سرعت نیز فیدبکی گرفته شده است و خروجی آن در یک بهره ضرب شده است.

حال خطای حالت ماندگار را محاسبه مینماییم:

$$\begin{aligned}\bullet \quad \frac{\theta_0(s)}{\theta_{in}(s)} &= \frac{KK_1}{Ts^2 + (1 + KK_1K_2)s + KK_1} \rightarrow \theta_0(s) = \theta_{in}(s) \frac{KK_1}{Ts^2 + (1 + KK_1K_2)s + KK_1} \\ E(s) &= \theta_{in}(s) - \theta_0(s) = \theta_{in}(s) \left(1 - \frac{KK_1}{Ts^2 + (1 + KK_1K_2)s + KK_1}\right) \\ &= \theta_{in}(s) \left(\frac{Ts^2 + (1 + KK_1K_2)s}{Ts^2 + (1 + KK_1K_2)s + KK_1}\right) \\ &= \frac{1}{s^2} \left(\frac{Ts^2 + (1 + KK_1K_2)s}{Ts^2 + (1 + KK_1K_2)s + KK_1}\right) \\ e_{ss} &= \lim_{s \rightarrow 0} sE(s) = \frac{1}{s} \left(\frac{Ts^2 + (1 + KK_1K_2)s}{Ts^2 + (1 + KK_1K_2)s + KK_1}\right) \\ &= \lim_{s \rightarrow 0} \left(\frac{Ts + 1 + KK_1K_2}{Ts^2 + s + KK_1}\right) \\ &= \frac{1 + KK_1K_2}{KK_1} = K_2 + \frac{1}{KK_1}\end{aligned}$$

همانطور که مشاهده می شود با افزایش K_2 خطا افزایش می یابد.

$$\begin{aligned}
\frac{\theta_0(s)}{\theta_{in}(s)} &= \frac{KK_1}{Ts^2 + (1 + KK_1K_2)s + KK_1} = \frac{\frac{KK_1}{T}}{s^2 + \frac{(1 + KK_1K_2)}{T}s + \frac{KK_1}{T}} \\
&= \frac{\frac{KK_1}{T}}{s^2 + \frac{(1 + KK_1K_2)}{T}s + \frac{KK_1}{T}} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\eta\omega_n + \omega_n^2} \\
\Rightarrow \left\{ \begin{aligned} \omega_n &= \sqrt{\frac{KK_1}{T}} \\ \eta &= \frac{\frac{(1 + KK_1K_2)}{T}}{2\sqrt{\frac{KK_1}{T}}} = \frac{(1 + KK_1K_2)}{2\sqrt{KK_1T}} \end{aligned} \right.
\end{aligned}$$

طبق رابطه بالا می توانیم پارامتر های پاسخ گذرای سیستم را کنترل کنیم.

بخش 3- کنترل موقعیت سروموتور DC

- باتوجه به بخش یک و معادله بدست آمده، ولتاژ صفر معادل موقعیت زاویه 177.2 درجه و ولتاژ سه ولت معادل قرار گیری در زاویه 286.32 درجه میباشد. که به ازای پیک تو پیک سه ولتی، 109.12 درجه تغییرات زاویه داریم.

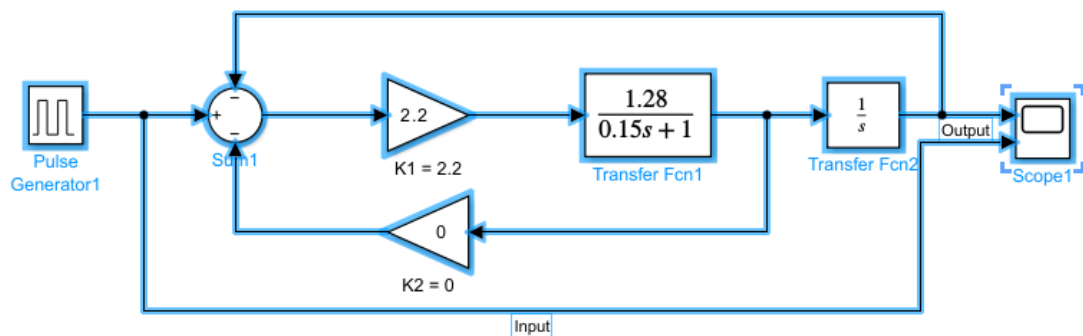
$$V = 0.0275\theta - 4.874$$

از آزمایش قبلی میدانیم

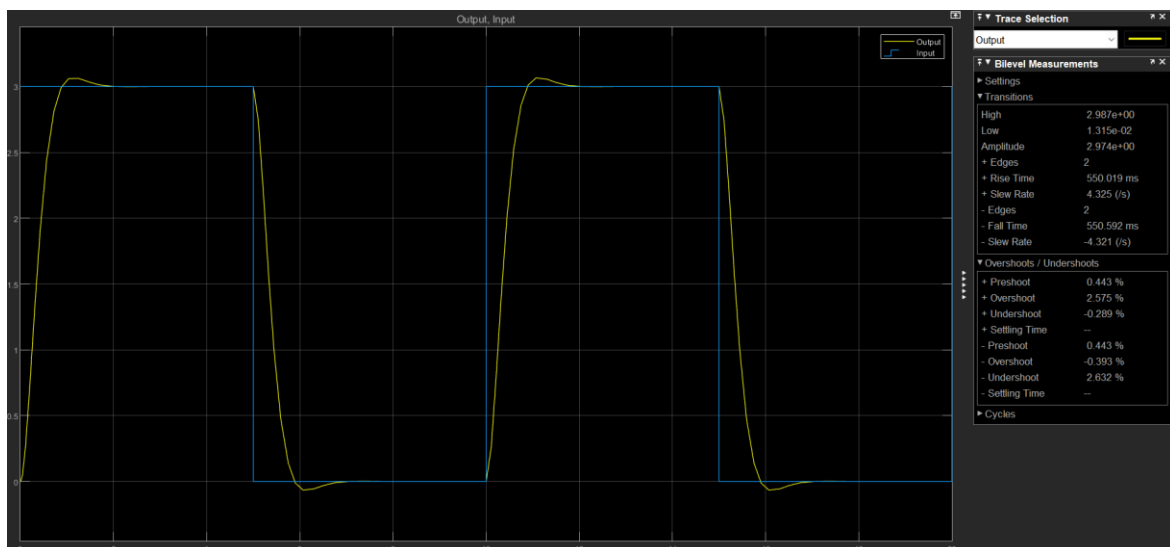
$$G(s) = \frac{1.28}{1 + 0.15s}$$

حال با استفاده از نرم افزار متلب شبیه سازی میکنیم:

$$K_1 = 2.2, K_2 = 0$$



بلوک دیاگرامی در محیط شبیه سازی متلب

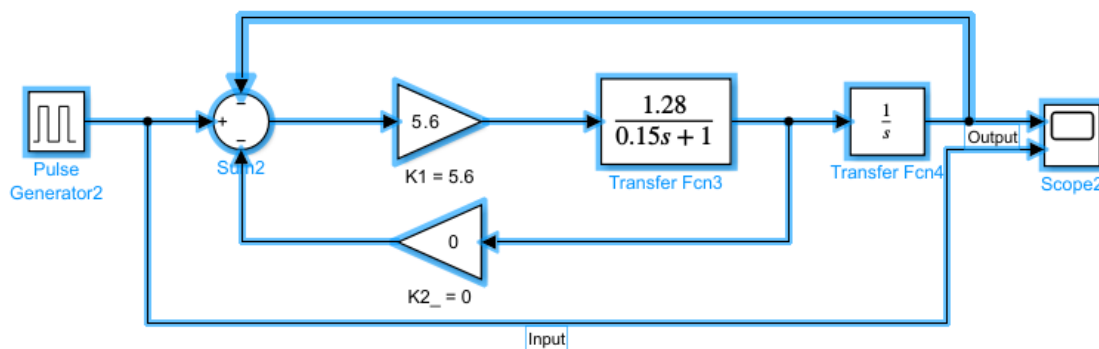


نمودار خروجی شبیه سازی متلب

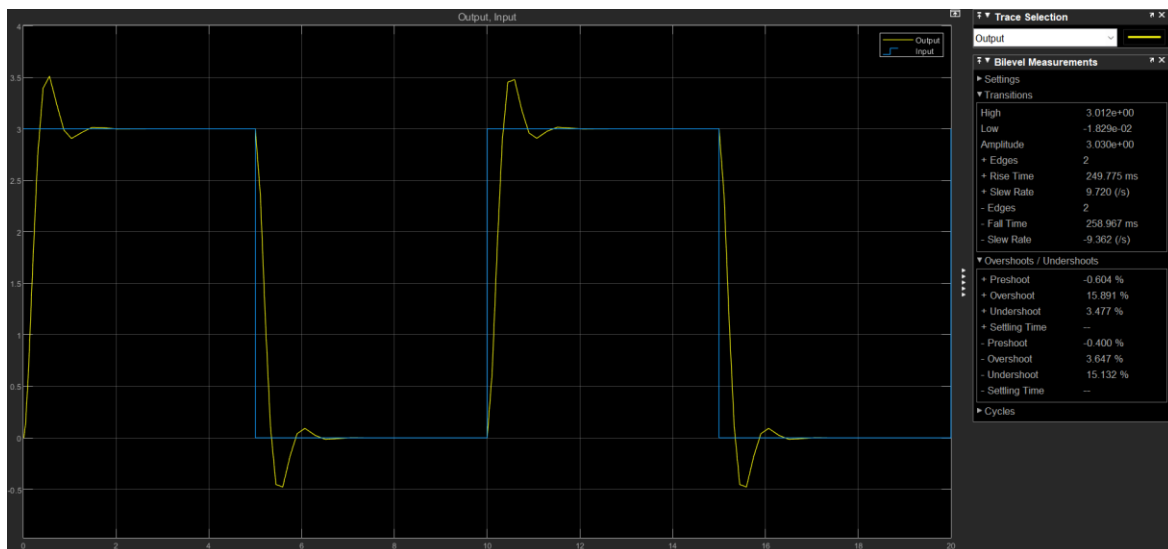
همانطور که از نمودار مشخص است

$\begin{cases} \text{Rise Time: } 550.019 \text{ ms} \\ \text{Overshoot: } 2.575\% \end{cases}$

$$K_1 = 5.6, K_2 = 0$$



بلوک دیاگرامی در محیط شبیه سازی متلب

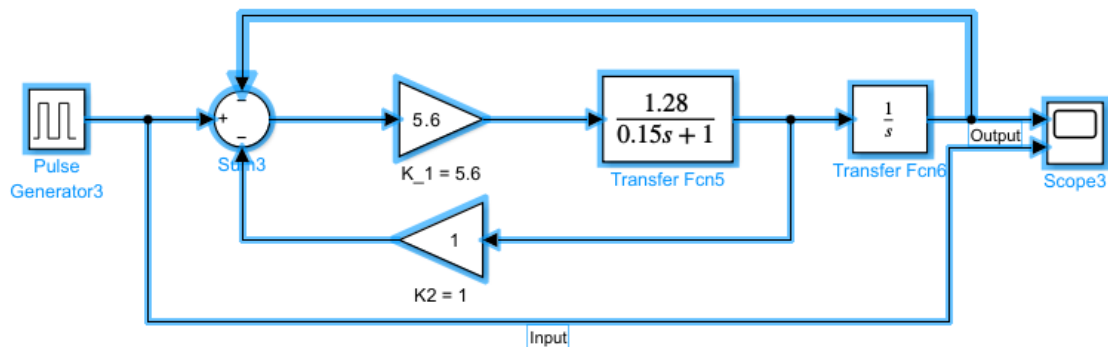


نمودار خروجی شبیه سازی متلب

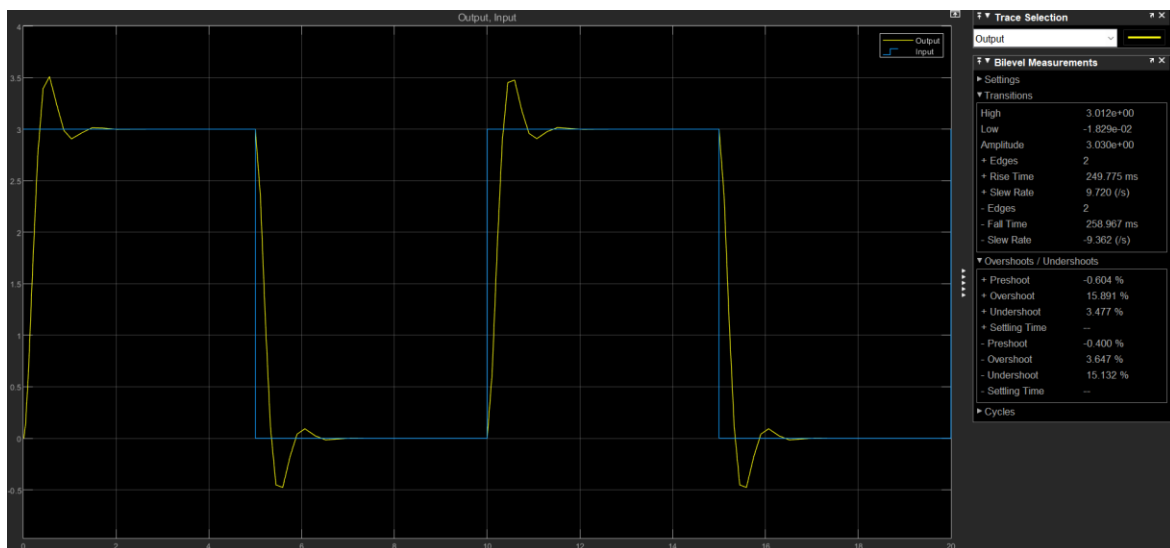
همانطور که از نمودار مشخص است

$\begin{cases} \text{Rise Time: } 249.775 \text{ ms} \\ \text{Overshoot: } 15.891\% \end{cases}$

$$K_1 = 5.6, K_2 = 1 \quad \bullet$$



بلوک دیاگرامی در محیط شبیه سازی متلب

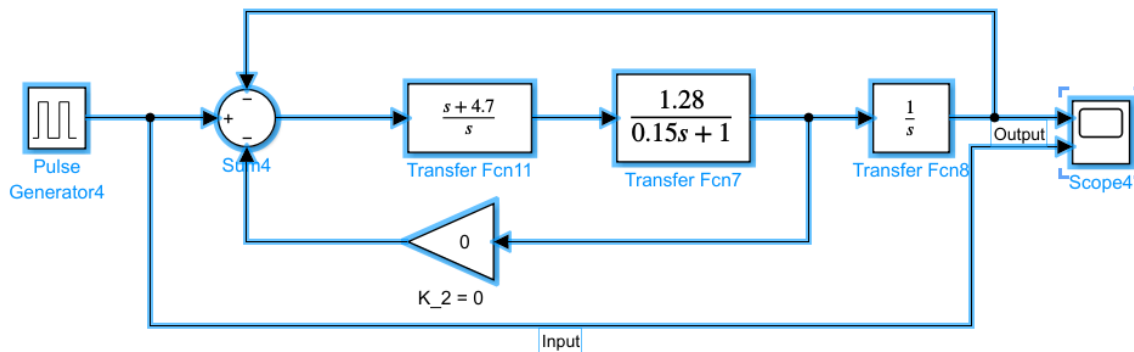


نمودار خروجی شبیه سازی متلب

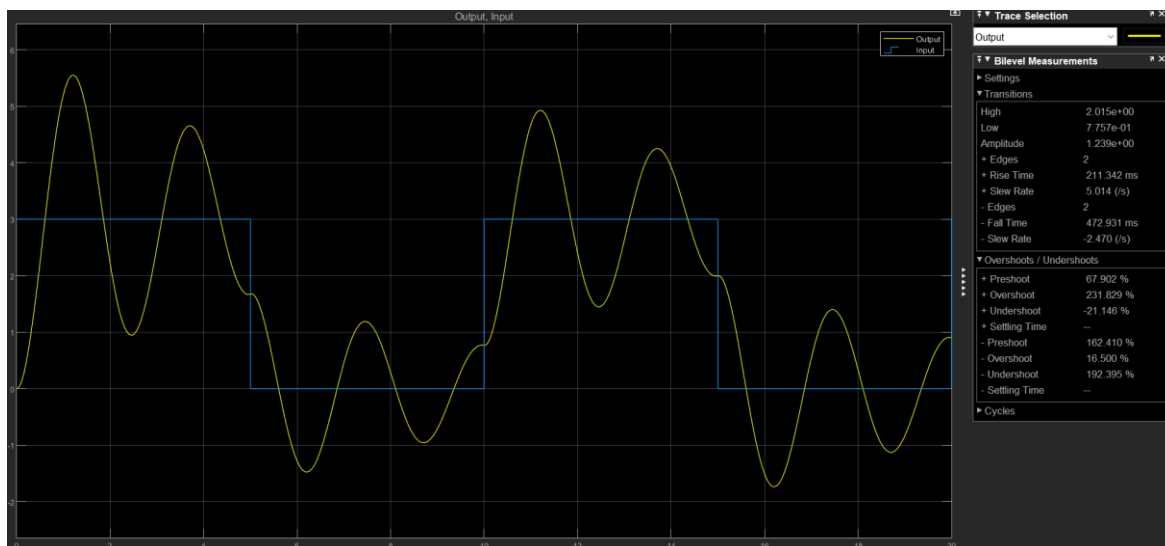
همانطور که از نمودار مشخص است

$\left\{ \begin{array}{l} \text{Rise Time: } 249.775 \text{ ms} \\ \text{Overshoot: } 15.891\% \end{array} \right.$

• $K_1 = 1 + \frac{4.7}{s}, K_2 = 0$ (با مشتق گیر)



بلوک دیاگرامی در محیط شبیه سازی متلب

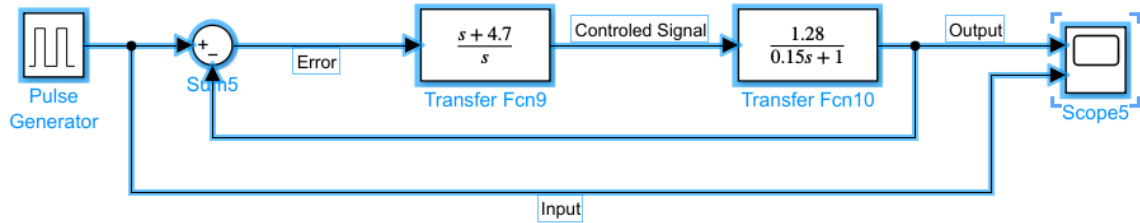


نمودار خروجی شبیه سازی متلب

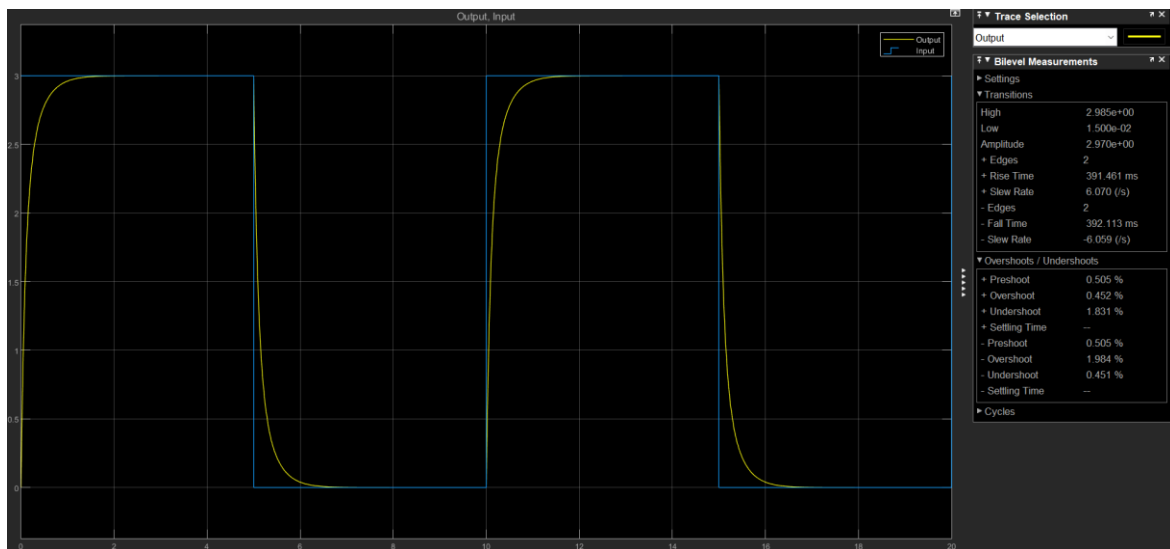
همانطور که از نمودار مشخص است

$$\begin{cases} \text{Rise Time: } 211.342 \text{ ms} \\ \text{Overshoot: } 16.5\% \end{cases}$$

• $K_1 = 1 + \frac{4.7}{s}$, $K_2 = 0$ (بی مشتق گیر)



بلوک دیاگرامی در محیط شبیه سازی متلب



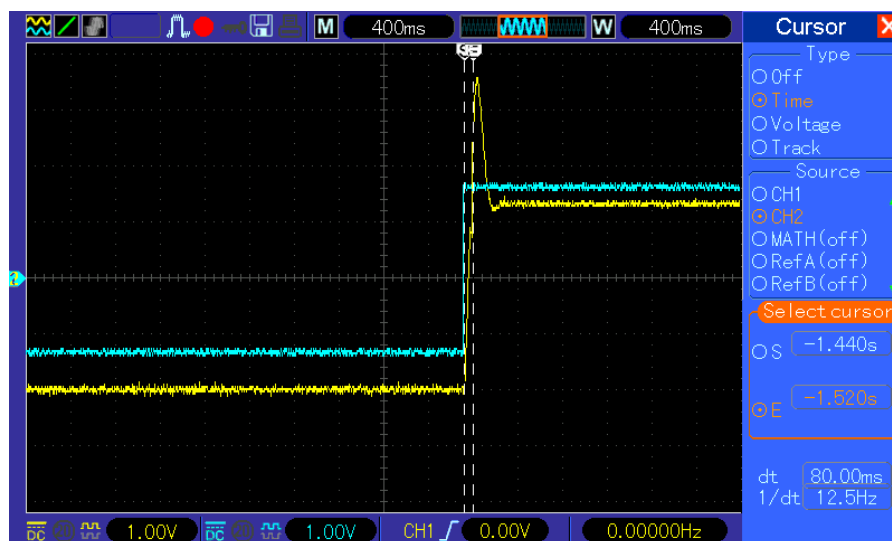
نمودار خروجی شبیه سازی متلب

همانطور که از نمودار مشخص است

$$\begin{cases} \text{Rise Time: } 391.461 \text{ ms} \\ \text{Overshoot: } 0.452\% \end{cases}$$

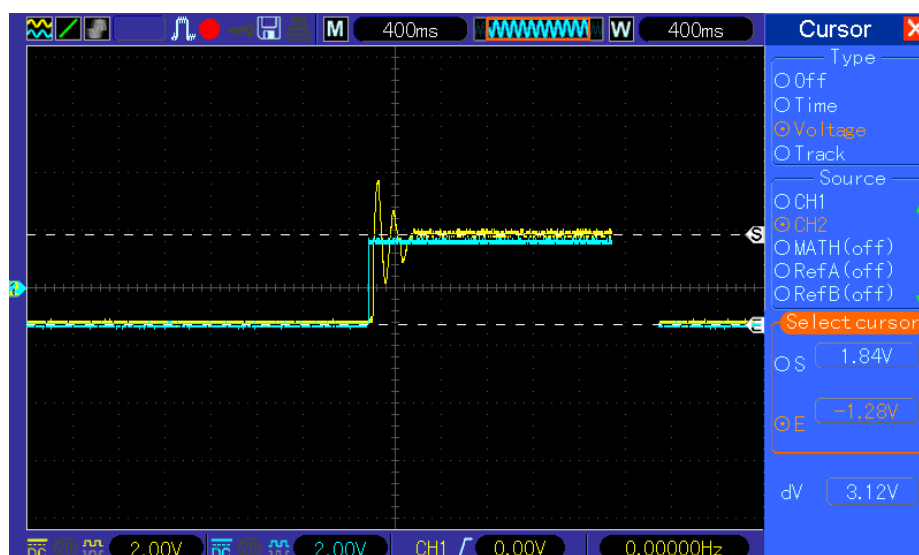
پیاده‌سازی عملی:

$K_1 = 2.2, K_2 = 0$ •



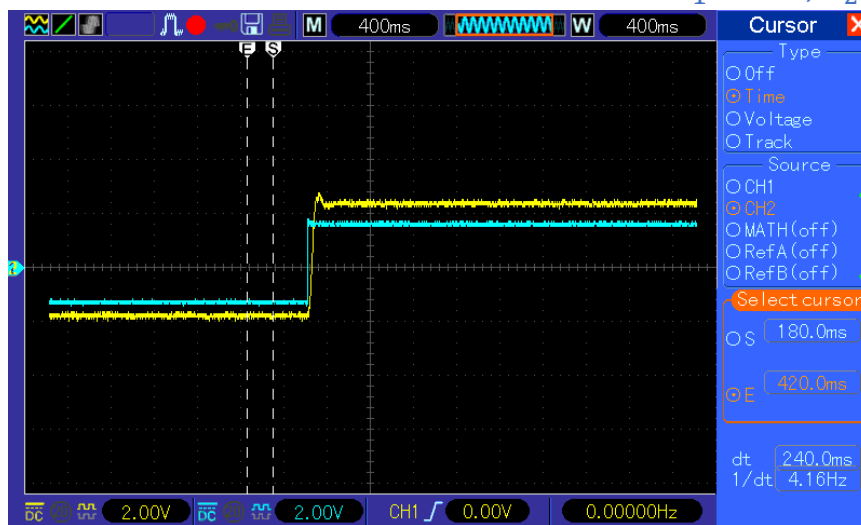
| خطای حالت ماندگار | درصد فراجهدش خروجی | زمان صعود خروجی |
|-------------------|--------------------|-----------------|
| -320mv | 68.67% | 80ms |

$K_1 = 5.6, K_2 = 0$ •



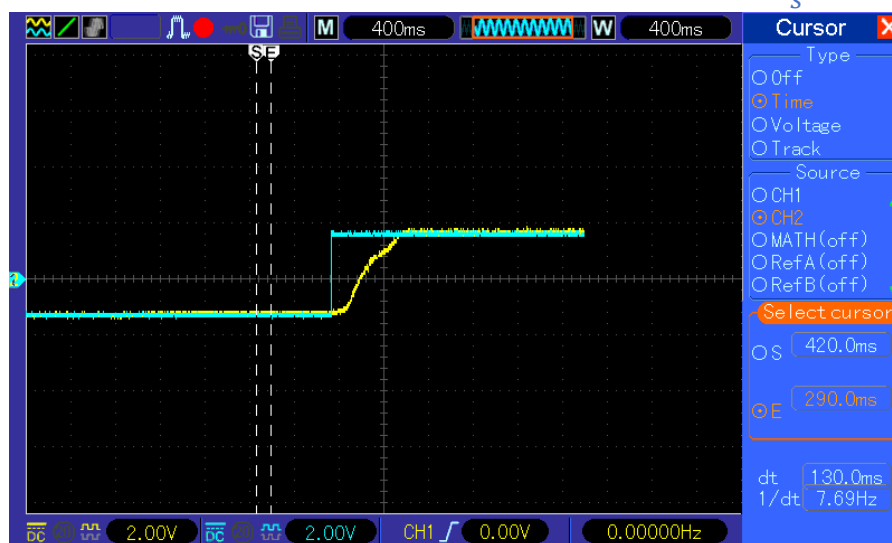
| خطای حالت ماندگار | درصد فراجهدش خروجی | زمان صعود خروجی |
|-------------------|--------------------|-----------------|
| -200mv | 57.5% | 48ms |

$$:K_1 = 5.6, K_2 = 1 \quad \bullet$$



| خطای حالت ماندگار | درصد فراجهش خروجی | زمان صعود خروجی |
|-------------------|-------------------|-----------------|
| -1.16v | 11.53% | 65ms |

$$:K_1 = 1 + \frac{4.7}{s}, K_2 = 0 \quad \bullet$$

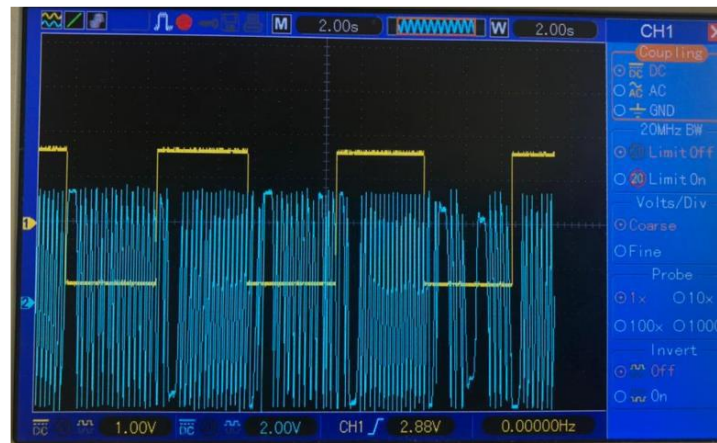


| خطای حالت ماندگار | درصد فراجهش خروجی | زمان صعود خروجی |
|-------------------|-------------------|-----------------|
| -40mv | 0% | 430ms |

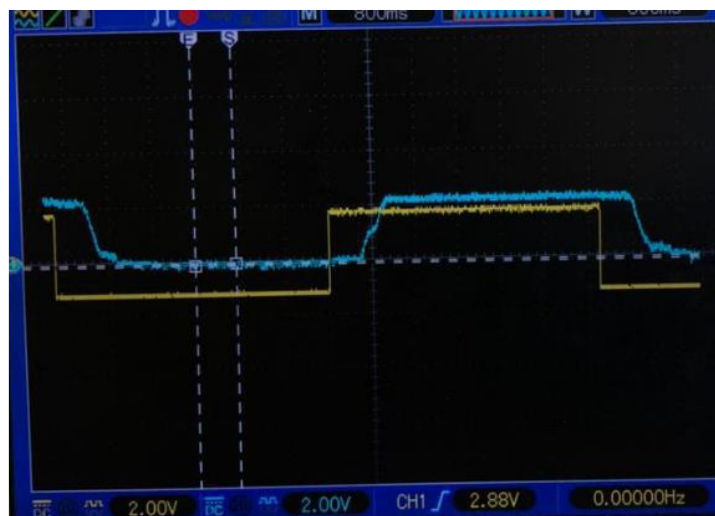
اثر اغتشاش: با اعمال اغتشاش به سیستم ها اثر این اغتشاش بر روی سیگنال خروجی مشاهده میشود. به گونه‌ای که موقعیتی که سیستم در آن می‌ایستد، موقعیت متفاوتی با حالت بدون اغتشاش می‌باشد. علت این اتفاق این است که سیگنال کنترلی کند بوده و آرام آرام ولتاژ را زیاد و کم میکند. اتفاقی که می‌فتد این است که سیگنال کنترلی (ورودی منهای خروجی $\times k_1$) هی کم و کم تر میشود تا جایی که خطای حالت ماندگار 0 شود. اما این اتفاق نخواهد افتاد زیرا وارد ناحیه مرده میشویم و دیگر موتور نمی‌چرخد تا خود را دقیقاً در موقعیت مطلوب قرار دهد. با افزایش k_1 ، سیگنال کنترلی سریع‌تر میشود و همچنین دیرتر وارد ناحیه مرده میشود. (به ازای سیگنال خطای کوچکتری وارد ناحیه مرده میشویم.) و خطای حالت ماندگار کاهش می‌یابد.

بخش 4- اثر تاخیر بر پایداری و پایدارسازی سیستم توسط فیدبک سرعت

مطابق دستور کار ابتدا $k_1=1$ و $K_2=0$ قرار می‌دهیم. در ابتدا موتور در حالت مرده قرار دارد و موتور نمی‌چرخد. با $k_1=8.2$ سیستم شروع به حرکت کرده و ناپایدار می‌شود:



با افزایش K_2 سعی در پایدار کردن سیستم داریم. سر انجام در $k_2=2.2$ ، سیستم به پایداری می‌رسد.



- تابع تبدیلی که برای موتور در نظر گرفتیم:

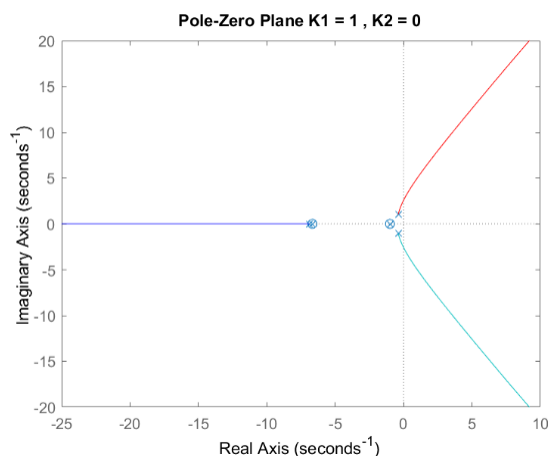
$$G(s) = \frac{1.28}{0.15s + 1}$$

با اعمال تاخیر و مطابق با دستور کار آزمایش خواهیم داشت:

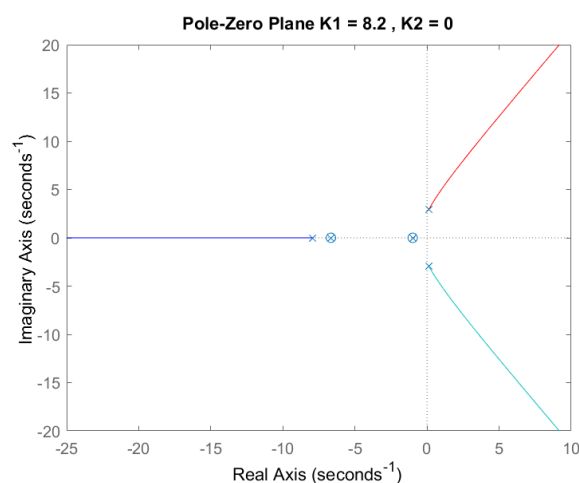
$$H(s) = \frac{1}{s + 1} \left(\frac{1.28}{0.15s + 1} \right)$$

$$\frac{\theta_0(s)}{\theta_{in}(s)} = \frac{\frac{1}{s} \left(\frac{K_1 H(s)}{1 + K_2 K_1 H(s)} \right)}{1 + \frac{1}{s} \left(\frac{K_1 H(s)}{1 + K_2 K_1 H(s)} \right)} = \frac{K_1 H(s)}{s (K_1 K_2 H(s) + 1) + K_1 H(s)}$$

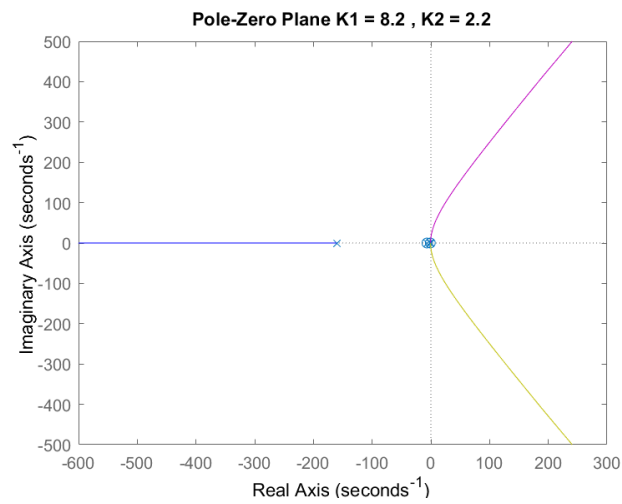
با رسم منحنی مکان ریشه‌ها به ازای $k_1=1$ و $k_2=0$ خواهیم داشت:



مشاهده میکنیم که با افزایش k_1 دو قطب به سمت راست محور منتقل می شوند. در نتیجه سیستم ناپایدار شده و برای پایداری مجدد از k_2 کمک میگیریم.



با افزایش مقدار k_2 ، قطب‌ها از سمت راست محور روی صفر موجود در مکان هندسی صفر منتقل میشوند که همین امر منجر به پایداری شدن سیستم میشود.



در عمل با قرار دادن $K_1=8.2$ و $K_2=2.2$ شاهد پایدار شدن سیستم بودیم که همانطور که انتظار داشتیم قطب‌ها در سمت راست محور موهومی قرار ندارند.

