



به نام خدا



دانشگاه تهران

دانشکدان فنی

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

## آزمایشگاه سیستم‌های کنترل خطی

### آزمایش شماره 5

عارف نیک رفتار -- 810199507

کوثر اسدمسجدی -- 810199373

محمد تقی زاده -- 810198373

گروه 1

نیمسال دوم 1402-03

## فهرست

شماره صفحه

3

4

7

عنوان

چکیده

بخش 1

بخش 2

چکیده

## بخش 1: شناسایی حسگر سرعت

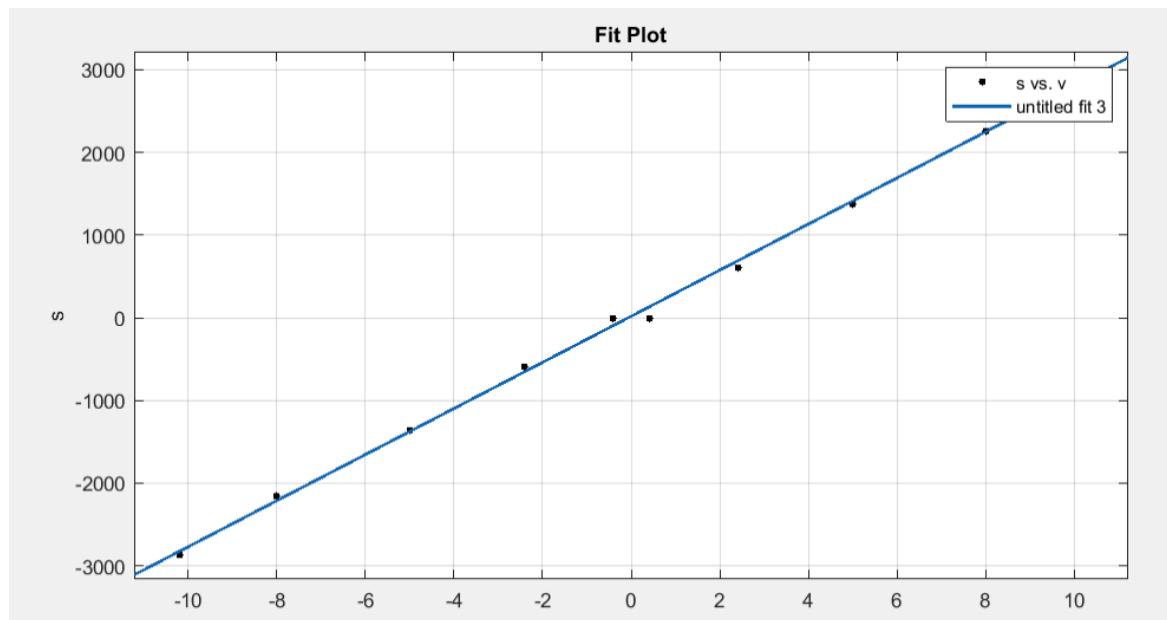
سنسورهای متفاوتی که وجود دارند بایستی پارامتری که میخواهند حس کنند را به نحوی و با یک تابع تبدیلی به یک ولتاژ تبدیل کنند. در این قسمت ما با اندازه گیری سرعت در ولتاژ های متفاوت و با انجام خطی سازی به کمک مطلب میخواهیم معادله خط سرعت به ولتاژ را بدست بیاوریم.

برای این کار بایستی با اعمال ولتاژ DC به موتور، در هر ولتاژ، سرعت موتور را خوانده و جدول زیر را کامل کنیم:

	<b>4</b>		<b>8</b>		<b>12</b>		<b>16</b>		<b>20</b>	
<b>-2</b>	<b>2</b>	<b>-4</b>	<b>4</b>	<b>-6</b>	<b>6</b>	<b>-8</b>	<b>8</b>	<b>-10</b>	<b>10</b>	<b>V<sub>in</sub></b>
<b>-0.4</b>	<b>0.4</b>	<b>-2.4</b>	<b>2.4</b>	<b>-5</b>	<b>5</b>	<b>-8</b>	<b>8</b>	<b>-10.2</b>	<b>10.2</b>	<b>V<sub>out</sub></b>
<b>0</b>	<b>0</b>	<b>-585</b>	<b>600</b>	<b>-1362</b>	<b>1376</b>	<b>-2153</b>	<b>2251</b>	<b>-2871</b>	<b>2929</b>	<b>Spee d</b>

جدول 1: مقادیر حسگر ولتاژ خروجی و سرعت موتور به ازای ولتاژ های ورودی مختلف

در ادامه برای یافتن رابطه بین سرعت موتور و ولتاژ حسگر، از ابزار *cftool* استفاده می‌کنیم. ابتدا داده‌ها را در *cftool* و سپس در *cftool* وارد کرده و منحنی برآذش شده توسط *MATLAB* را بررسی می‌کنیم.



برآذش منحنی سرعت موتور بر حسب حسگر ولتاژ خروجی با ابزار *cftool*

همان طور که در تصویر فوق مشاهده می‌شود، رابطه ولتاژ خروجی و سرعت موتور تقریباً خطی است، به این صورت که با افزایش اندازه حسگر ولتاژ، سرعت چرخش نیز به صورت تقریباً خطی افزایش یافته است. در صورتی که ولتاژ منفی شود نیز، جهت چرخش برعکس شده است. حال با استفاده از نتایج برآذش بدست آمده، رابطه خطی را بدست می‌آوریم:

```
Linear model Poly1:
f(x) = p1*x + p2
Coefficients (with 95% confidence bounds):
p1 =      278.8 (269.7, 287.8)
p2 =       18.5 (-38.61, 75.61)
```

```
Goodness of fit:
SSE: 4.908e+04
R-square: 0.9984
Adjusted R-square: 0.9982
RMSE: 78.32
```

با توجه به تصویر فوق، اگر سرعت چرخش موتور را با ( $\omega$ ) (rpm) و ولتاژ حسگر سرعت را با ( $v$ ) (V) نشان دهیم:

$$\omega = 278.8 v + 18.5$$

$$\Rightarrow v = \frac{1}{278.8} \omega - \frac{18.5}{278.8}$$

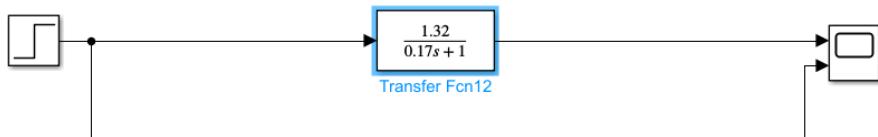
$$\Rightarrow v = 0.003587 \omega - 0.066356$$

## بخش 2: کنترل سرعت موتور DC

همانطور که از آزمایش های قبلی داشتیم تابع تبدیل موتور به صورت زیر بدست آمده بود:

$$G(s) = \frac{Km}{1+Tms} = \frac{1.32}{1+0.17s}$$

لذا بلوك دیاگرام سیستم حلقه باز به صورت زیر میباشد:



تصویر 2-1 سیستم حلقه باز سرموتور

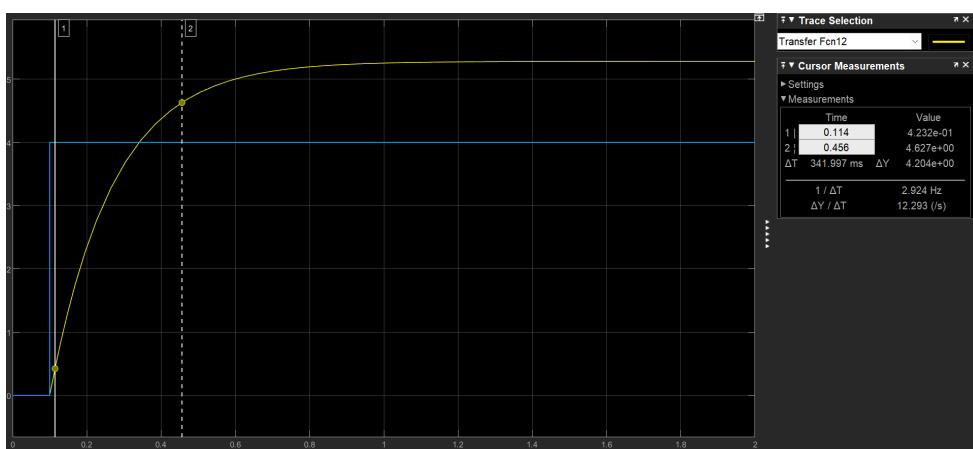
همانطور که در دستور کار گفته شده یک پالس مربعی با آفست 5 ولت و فرکانس 100 میلی هرتز و پیک تا پیک 4 ولت را به عنوان ورودی به سیستم تصویر 2-1 می دهیم.

زمان خیز و صفر و قطب این سیستم بصورت زیر محاسبه میشود:

$$G(s) = \frac{1.32}{1+0.17s} \Rightarrow P = -5,88$$

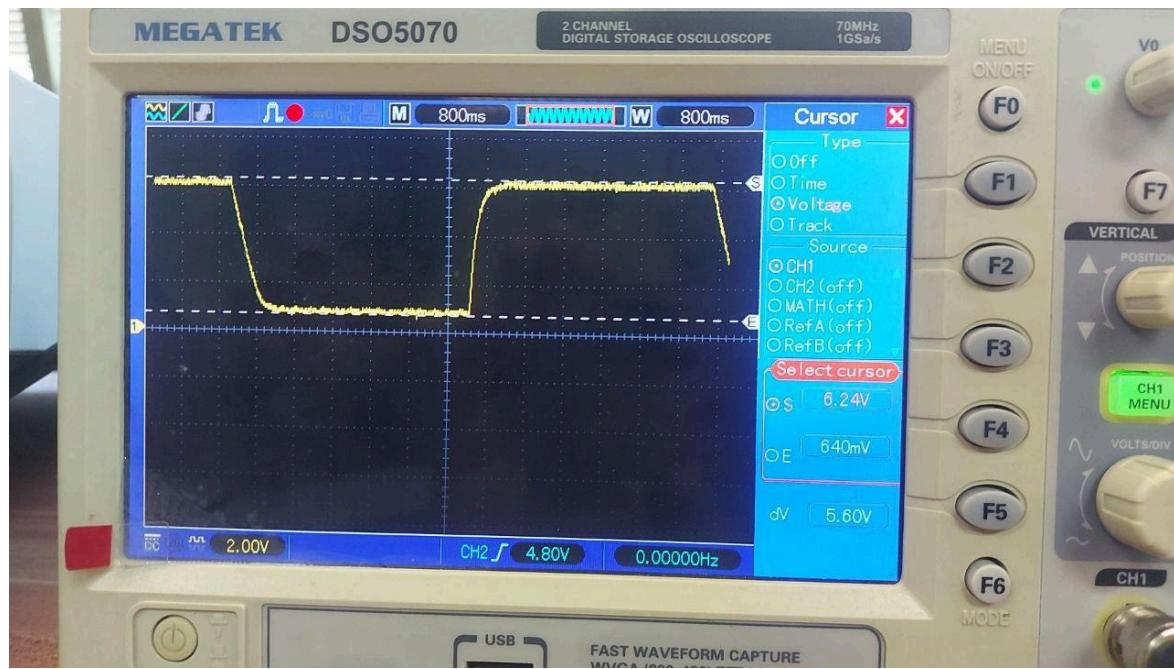
$$Tr = \frac{2.2}{5.88} = 0.37s = 370 \text{ ms}$$

با استفاده از سیمولینک نیز این شبیه سازی انجام شده (تصویر 2-2)، مشاهده میشود زمان خیز برابر 341 میلی ثانیه است.



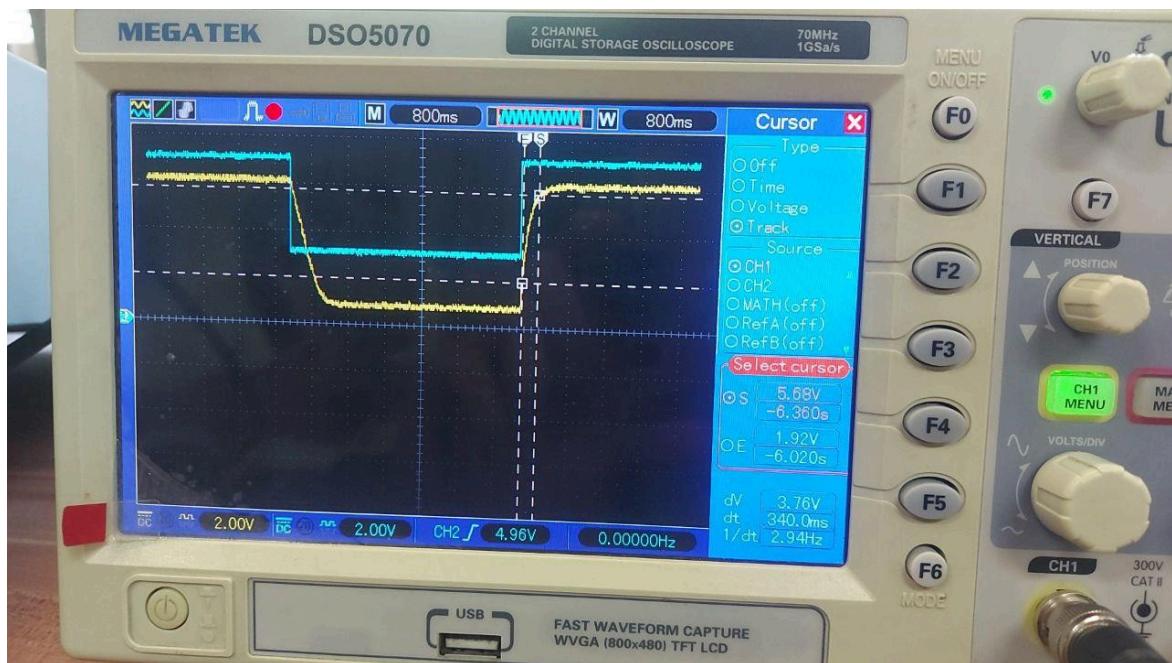
تصویر 2-2 ورودی و خروجی سیستم حلقه باز

خروجی این سیستم در اسیلوسکوپ در تصویر 2-3 آمده است:



تصویر 2- خروجی سرومتر حلقه باز بصورت عملی (خطای حالت ماندگار)

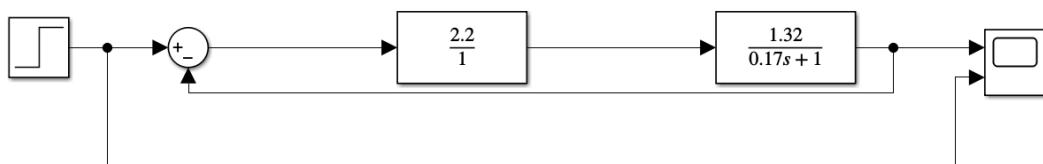
زمان خیز این سیستم در تصویر 2- دیده میشود که 340 میلی ثانیه میباشد:



تصویر 2- زمان خیز سیستم حلقه باز بصورت عملی

$$: K_p = 2.2$$

بلوک دیاگرام این مرحله در تصویر 2-5 اورده شده است:



تصویر 2-5 بلوک دیاگرام سیستم با بیهوده 2.2

زمان خیز و قطب این سیستم بصورت زیر محاسبه شده است:

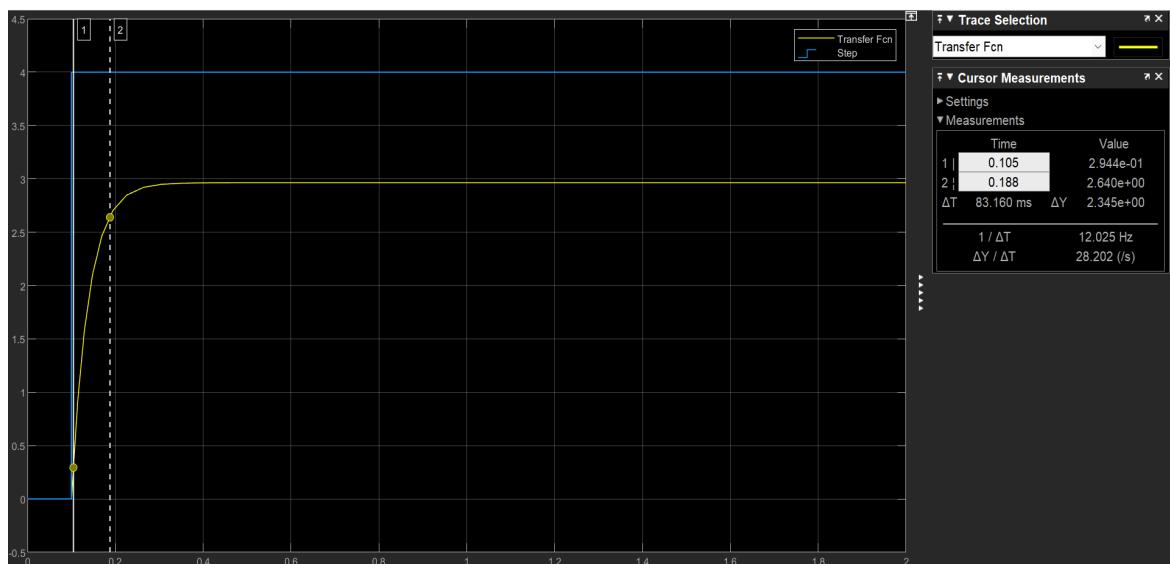
$$k_p = 2.2$$

$$G(s) = \frac{2.2 \times \frac{1.32}{0.17s+1}}{1 + 2.2 \times \left( \frac{1.32}{0.17s+1} \right)} = \frac{2.904}{0.17s + 3.904} \Rightarrow P = -22.9$$

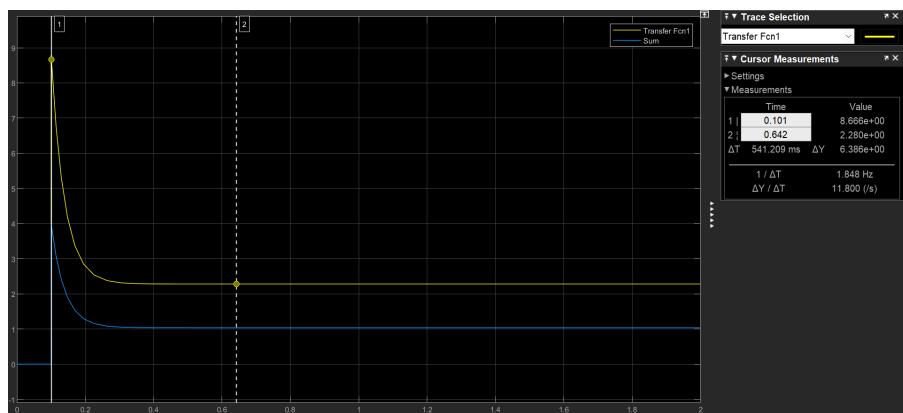
$$T_v = \frac{2.2}{-22.9} = 95 \text{ ms}$$

WWW.MATRIS.CO.IR

با استفاده از سیمولینک نیز این شبیه سازی را برای سیستم گفته شده انجام داده و به نتایج تصاویر 2-6 و 2-7 رسیدیم:

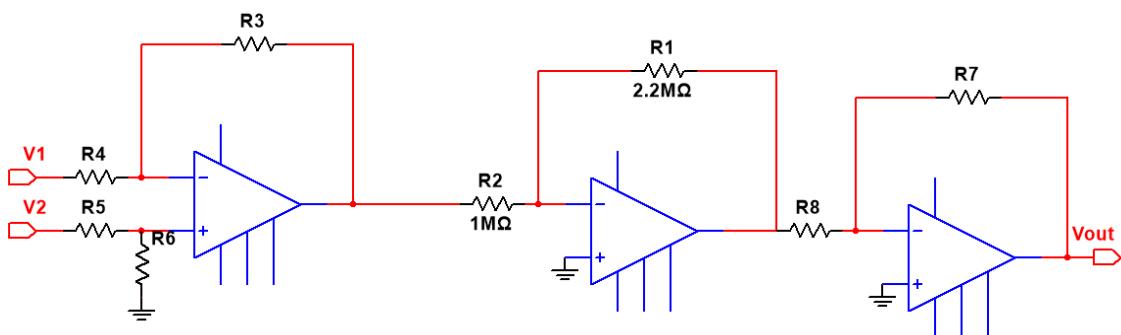


تصویر 2-6 شبیه سازی سیستم با  $K_p=2.2$  و زمان خیز آن.

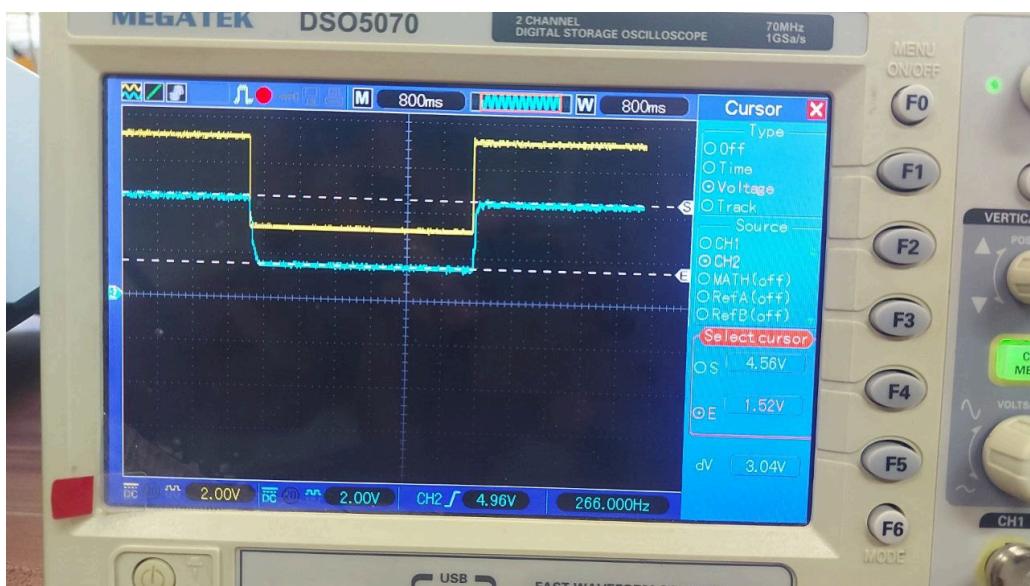


تصویر 2-7 فرآجش سیگنال کنترلی سیستم با  $K_p=2.2$

مدار بسته شده در این مرحله در تصویر 2-8 آورده شده است:

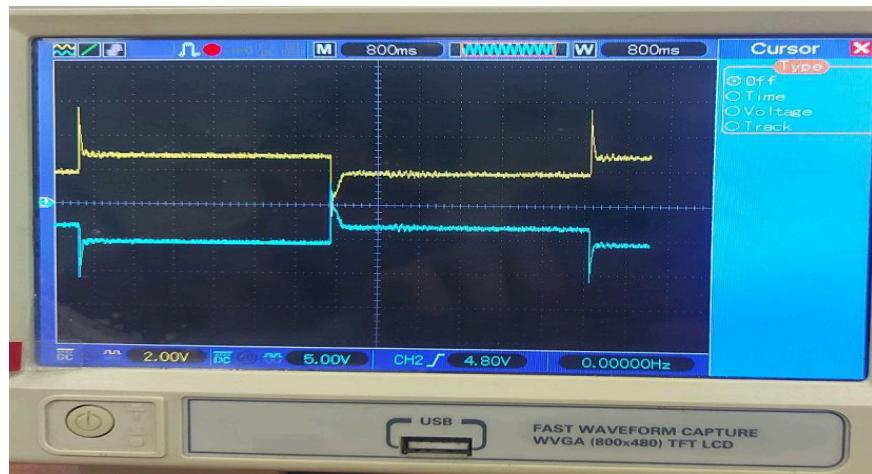


تصویر 2-8 مدار سیستم حلقه بسته با  $K_p=2.2$



تصویر 2-9 خطای حالت ماندگار سیستم حلقه بسته با  $K_p=2.2$

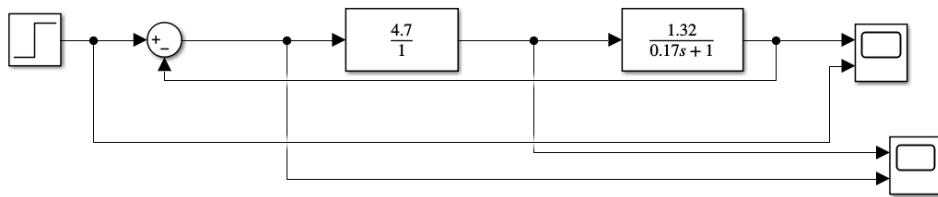
شکل موج سیگنال خطا و کنترل این سیستم در تصویر 2-10 آورده شده است:



تصویر 2-10 سیگنال خطوط کنترل سیستم با  $K_p=2.2$

:  $K_p = 4.7$

بلوک دیاگرام این سیستم در تصویر 2-11 دیده میشود:



تصویر 2-11 بلوک دیاگرام سیستم حلقه بسته سرموتور با  $K_p=4.7$

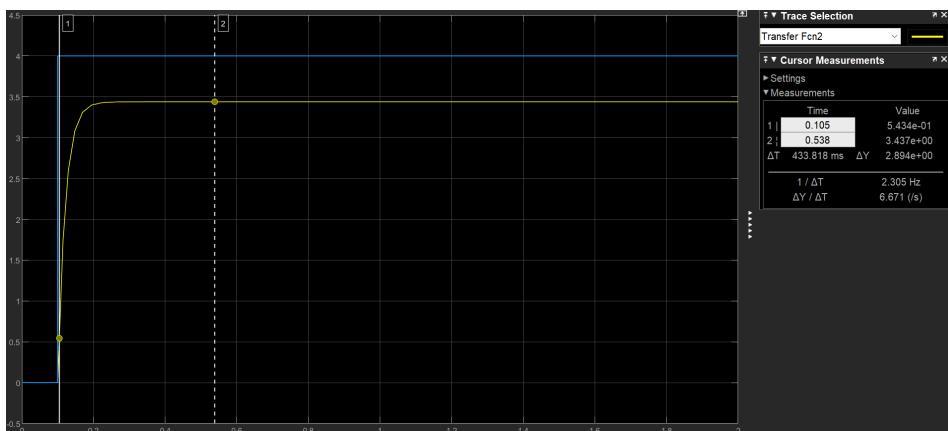
زمان خیز و قطب این سیستم بصورت زیر محاسبه شده است:

$$K_p = 4,7$$

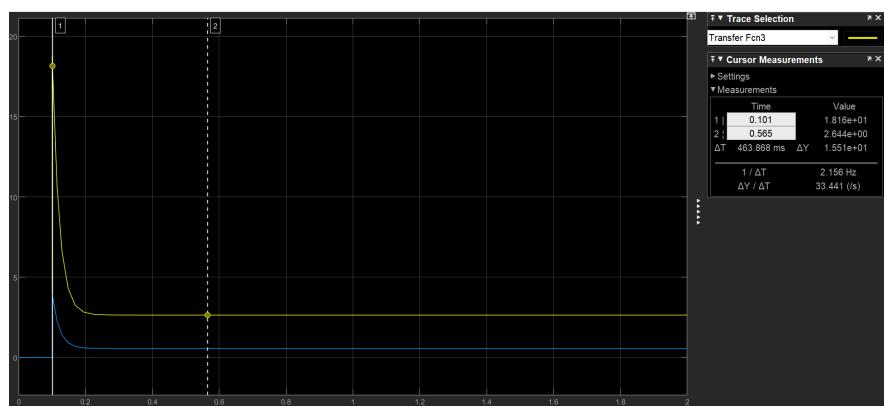
$$G(s) = \frac{4,7 \times \frac{1,32}{0,17s+1}}{1+4,7 \left( \frac{1,32}{0,17s+1} \right)} = \frac{6,204}{0,17s+7,204}$$

$$P = -42,4 \rightarrow T_V = \frac{2,2}{42,4} = 0,052s \rightarrow 52 \text{ ms}$$

شبیه سازی این سیستم با استفاده از سیمولینک انجام شده و نتیجه در تصاویر 2-12 و 2-13 آورده شده:

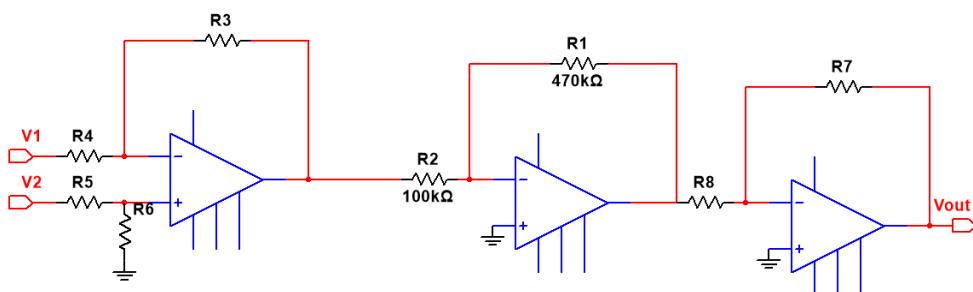


تصویر 2-12 نتیجه شبیه سازی سیستم با  $K_p=4.7$  (زمان خیز)



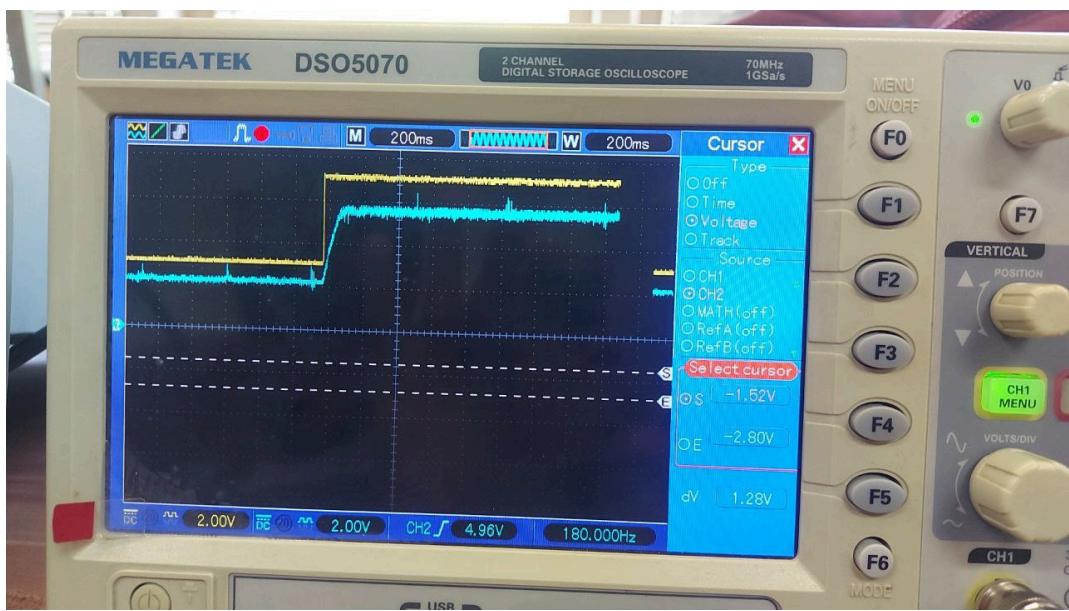
تصویر 2-13 نتیجه شبیه سازی سیستم با  $K_p=4.7$  (فرجہش سیگنال کنترلی)

مدار بسته شده در این مرحله در تصویر 2-14 آورده شده است:



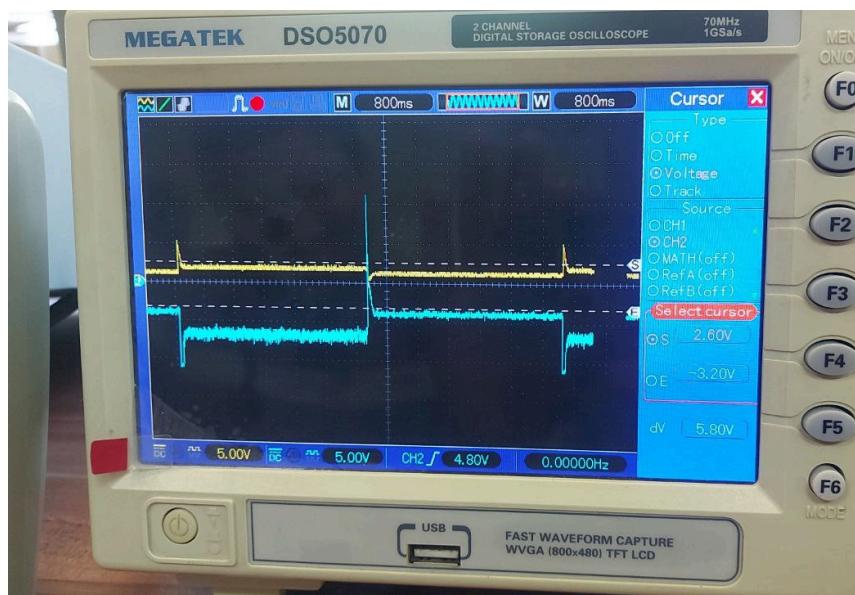
تصویر 2-14 مدار بسته شده برای سیستم با  $K_p=4.7$

شکل موج سیگنال ورودی و خروجی در تصویر 2-15 دیده میشود:



تصویر 2-15 شکل موج ورودی و خروجی سروموموتور با  $K_p=4.7$

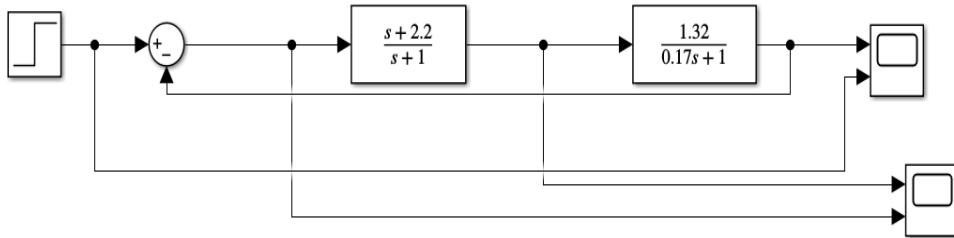
شکل موج سیگنال خط و کنترل در تصویر 2-16 آورده شده :



تصویر 2-16 سیگنال خط و کنترل سیستم با  $K_p=4.7$ . (میزان فراجهش سیگنال کنترلی)

$$G_c(s) = \frac{s + 2.2}{s + 1}$$

بلوک دیاگرام این مرحله در تصویر 2-17 دیده میشود:

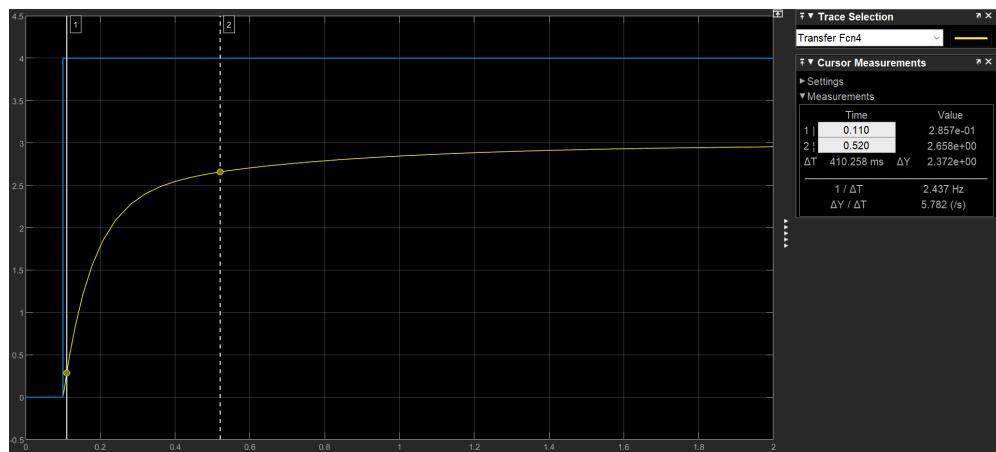


$$G_C(s) = \frac{s+2.2}{s+1}$$

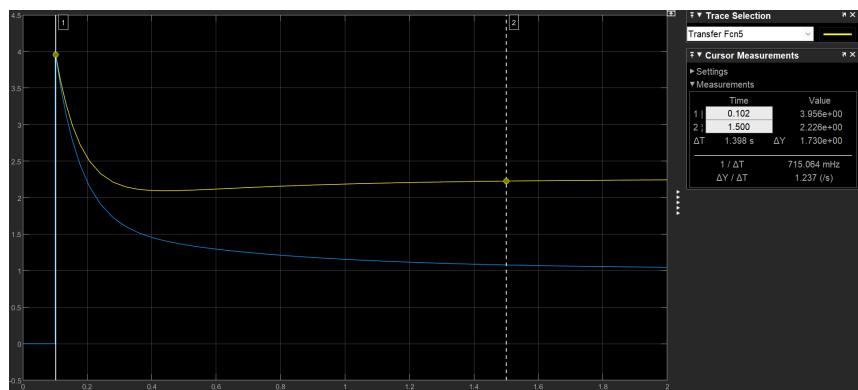
قطب های این سیستم بصورت زیر محاسبه شده است:

$$\begin{aligned} G(s) &= \frac{\cancel{s+2.2}}{\cancel{s+1}} \times \frac{\cancel{1.32}}{\cancel{0.17s+1}} \\ &= \frac{1.32(s+2.2)}{0.17s^2 + 2.49s + 2.904} \\ P_1 &= -1.3, \quad P_2 = -13.3 \end{aligned}$$

تصویر 2-18 و 2-19 شبیه سازی سیستم فوق را در سیمولینک نشان میدهد که در آن فرآجेश سیستم کنترلی و زمان خیز نیز مشاهده میشود:

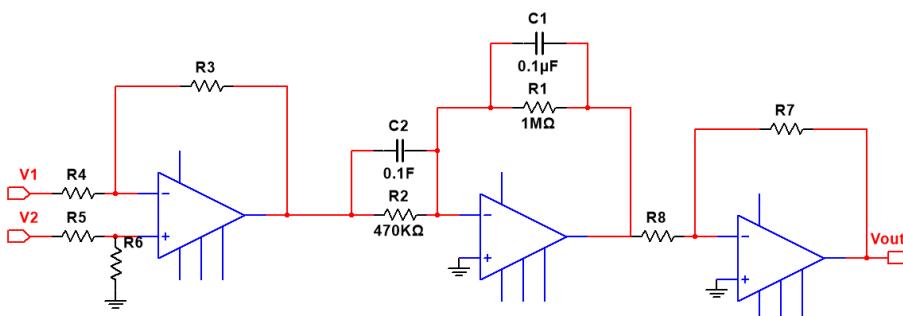


تصویر 2-18 خروجی سیستم حلقه بسته سیستم 4 (زمان خیز مشخص شده)



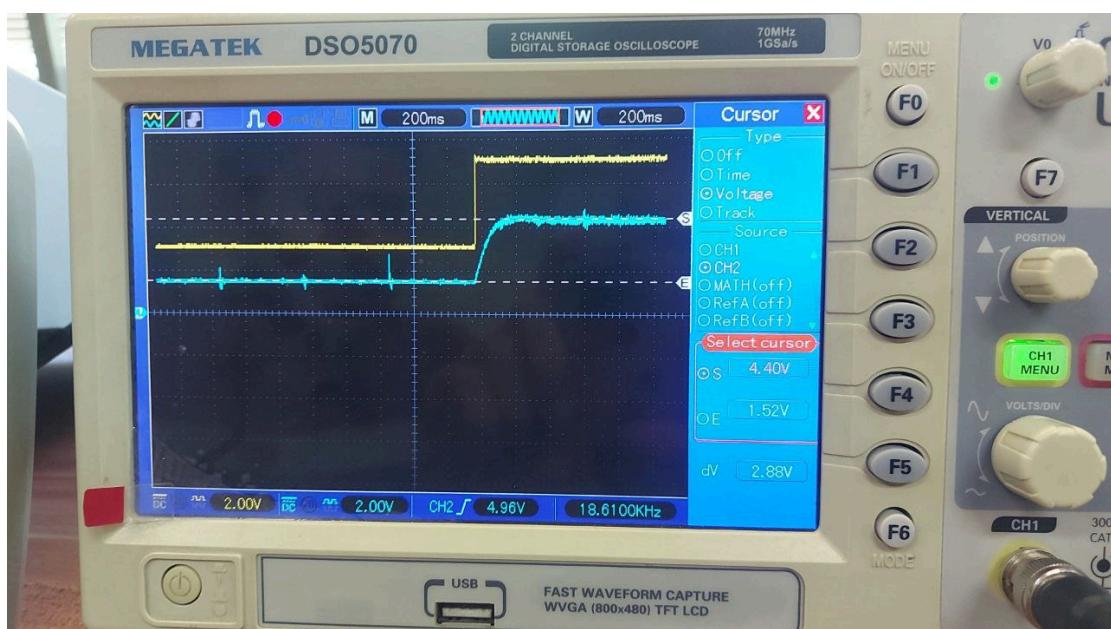
تصویر 2-19 میزان فراجهش سیگنال کنترلی

مدار بسته شده در این مرحله در تصویر 2-20 آورده شده است:



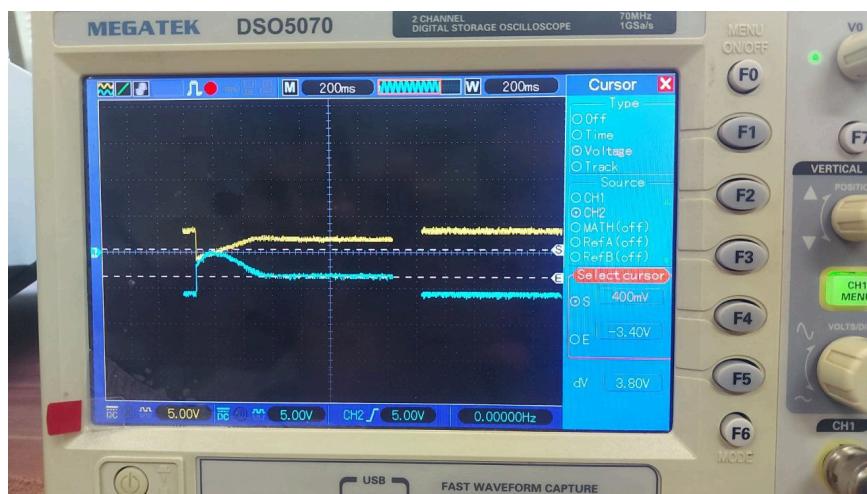
تصویر 2-20 مدار سیستم 4

شكل موج سیگنال ورودی و خروجی در تصویر 2-21 دیده میشود:



تصویر 2-21 شکل موج ورودی و خروجی و خطای حالت ماندگار آن

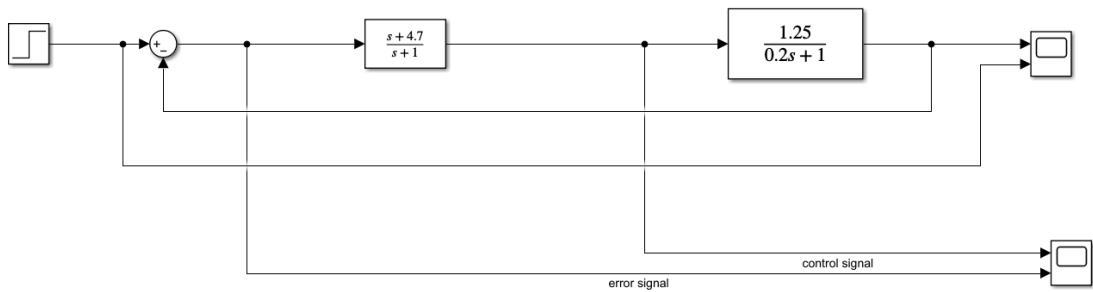
شکل موج سیگنال خط و کنترل در تصویر 22 آورده شده:



تصویر 22 سیگنال خط و کنترلی و میزان فراجهش آن.

$$\frac{s + 4.7}{s + 1}$$

بلوک دیاگرام سیستم بالا به صورت زیر میباشد:



$$Gc(s) = \frac{s + 4.7}{s + 1}$$

قطب های این سیستم به صورت زیر محاسبه شده است:

11.

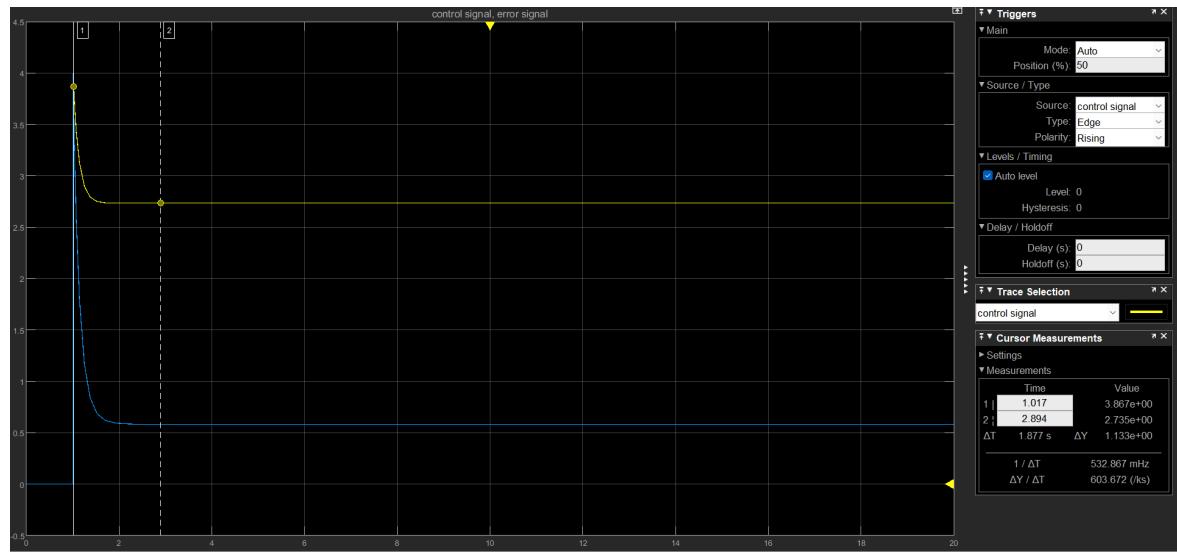
12.

13.

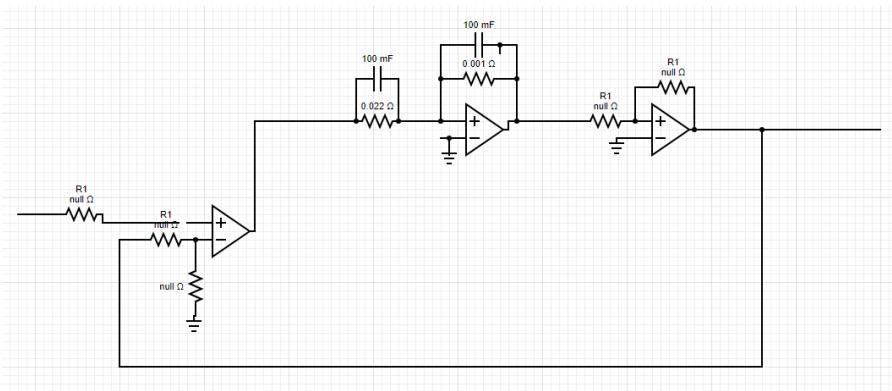
$G_d(s) = \frac{1.25(s + 4.7)}{0.2s^2 + 4.45s + 6.875} \rightarrow p_1 = -4.35 \quad p_2 = -7.9$



تصویر 2-24 خروجی سیستم حلقه بسته سیستم 5 (زمان خیز مشخص شده)

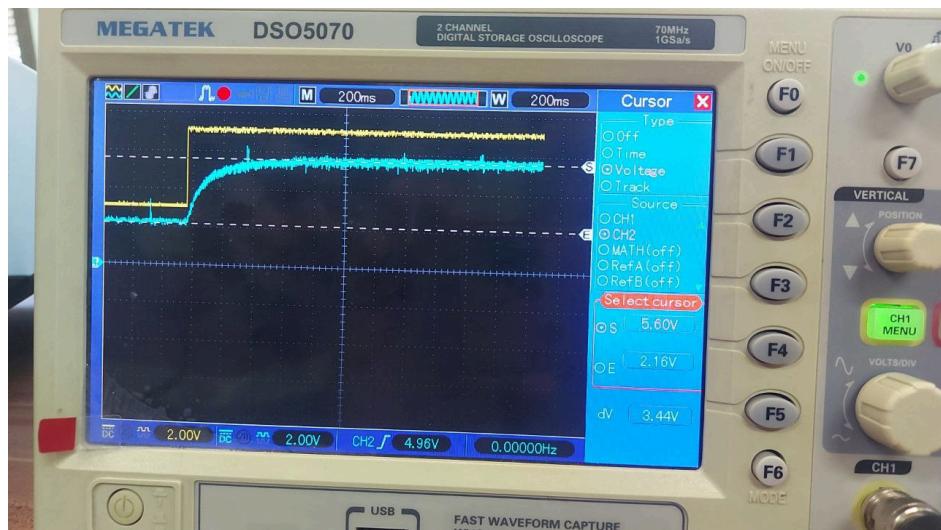


تصویر 2-25 میزان فراجهش سیگنال کنترلی



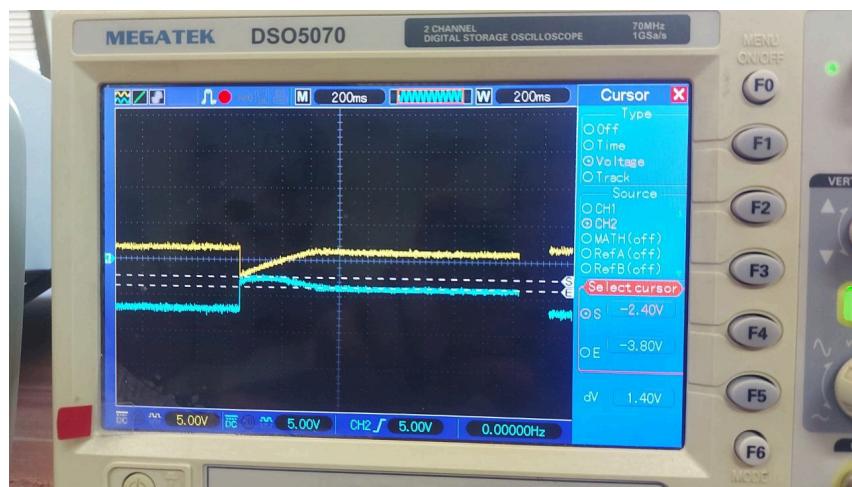
تصویر 26-2 مدار سیستم

شکل موج سیگنال ورودی و خروجی:



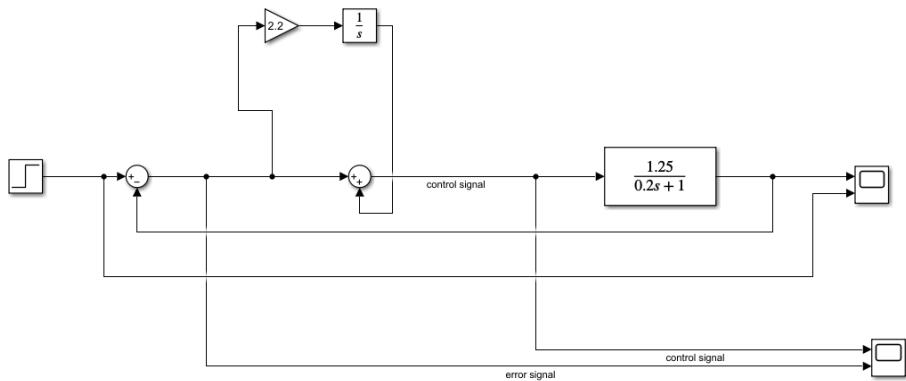
تصویر 27-2

شکل موج سیگنال خطأ و کنترل:



تصویر 28-2

$$1 + \frac{2.2}{s}$$



$$G_C(s) = 1 + \frac{2.2}{s}$$

قطب های این سیستم بصورت زیر محاسبه شده است:

15.

$$\frac{1+2.2}{s}$$

16.

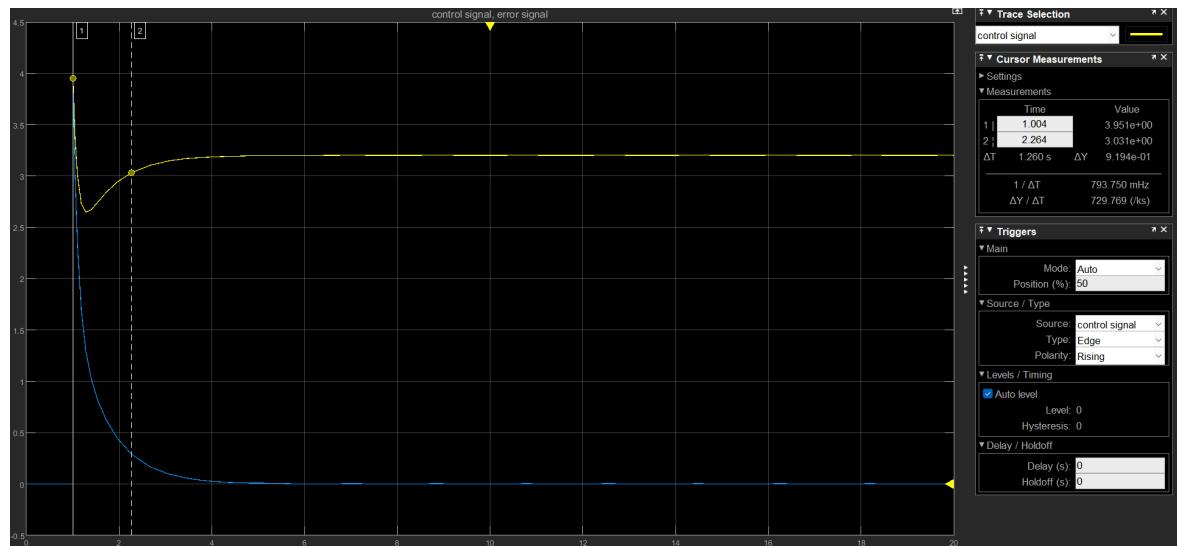
17.

18.

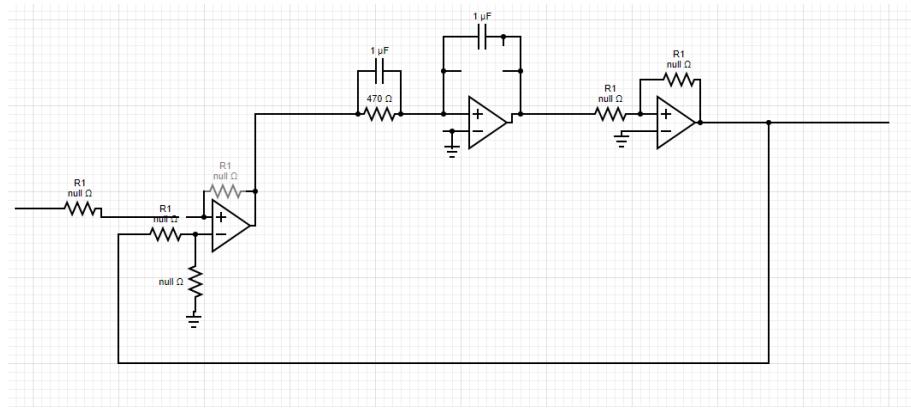
$$G_d(s) = \frac{1.25(s+2.2)}{s^2 + s + 1.25} \quad p_1 = -1.4 \quad p_2 = -9.85$$



تصویر 2-30 خروجی سیستم حلقه بسته سیستم 6 (زمان خیز مشخص شده)

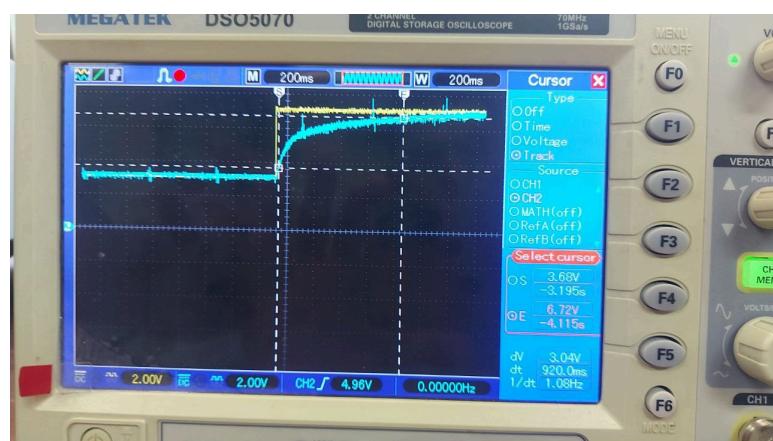


تصویر 2-31 میزان فراجهش سیگنال کنترلی



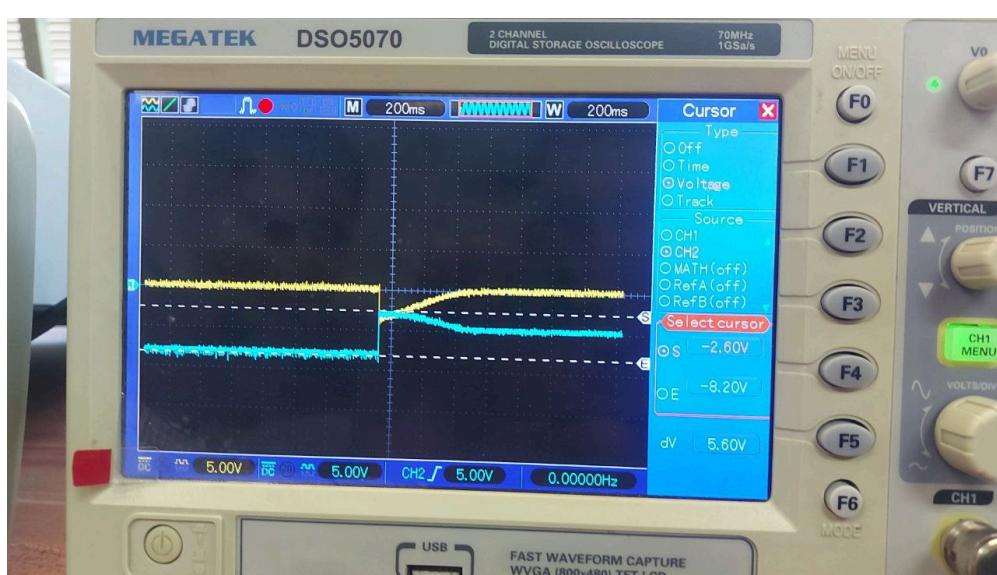
تصویر 2-32 مدار سیستم

شکل موج سیگال ورودی و خروجی:

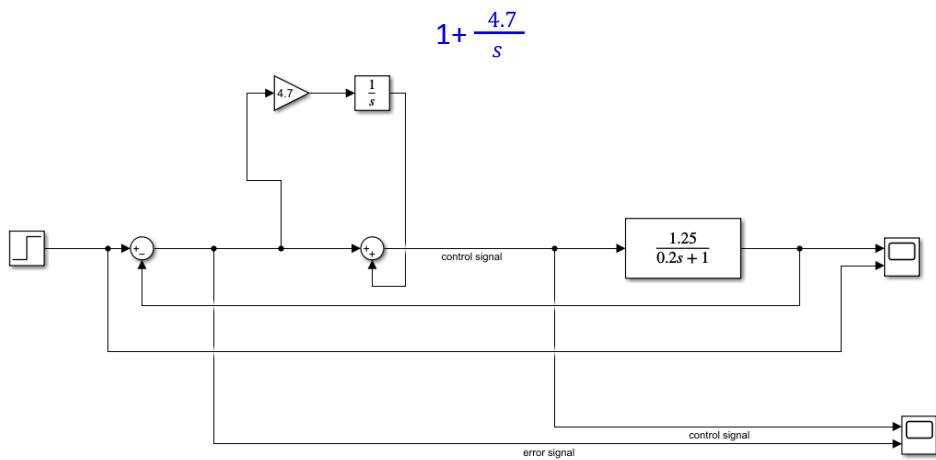


تصویر 2-33

شکل موج سیگال خطأ و کنترل:



تصویر 2-34



$$Gc(s) = \frac{s+4.7}{s+1}$$

قطب های این سیستم بصورت زیر محاسبه شده است:

$\frac{1+4.7}{s}$

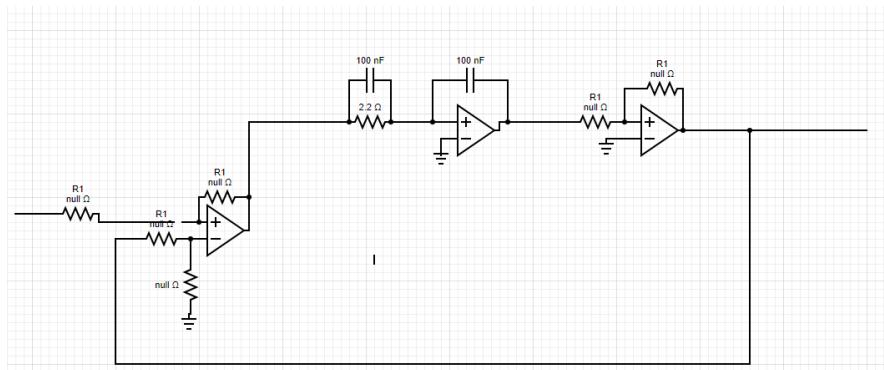
$$G_c(s) = \frac{1.25(s+4.7)}{s^2 + 1.25s + 5.375}$$



تصویر 2-36 خروجی سیستم حلقه بسته سیستم 4 (زمان خیز مشخص شده)

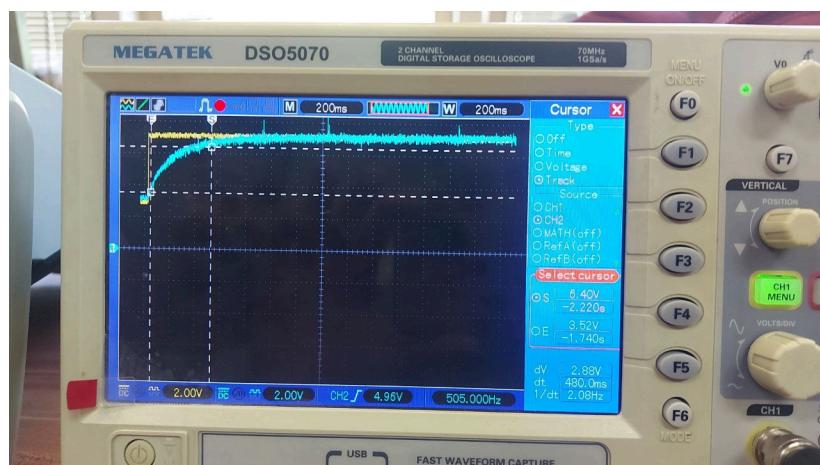


تصویر ۲-۳۷ میزان فراجهش سیگنال کنترلی



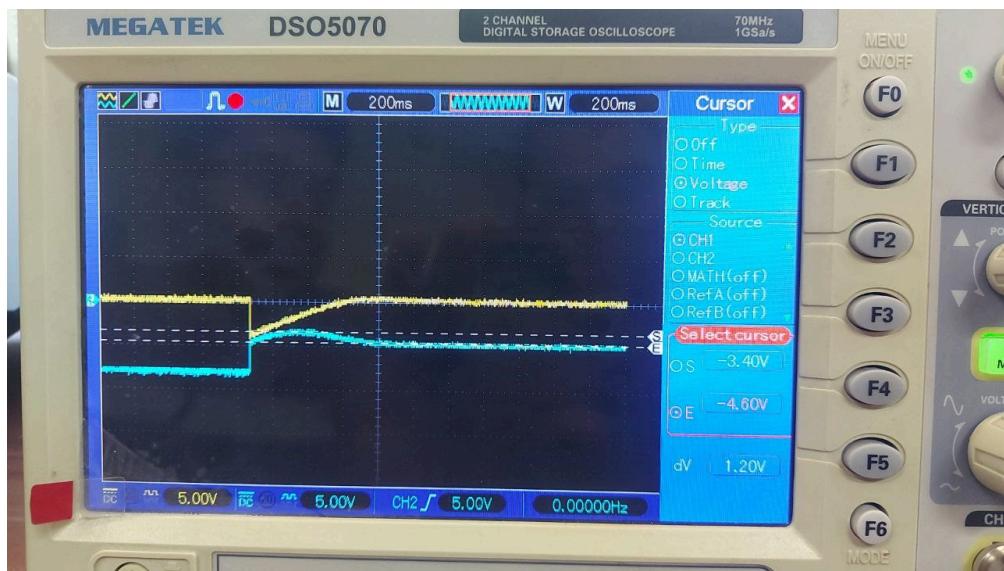
تصویر ۲-۲۳ مدار سیستم ۵

شكل موج سیگنال ورودی و خروجی:



تصویر ۲-۳۴

شكل موج سیگنال خط و کنترل:



تصویر 2-35

جدول اندازه گیری های عملی:

درصد فرجهش سیگنال کنترل	زمان خیز خروجی	خطای حالت ماندگار	شكل موج سیگنال خطا و کنترل	شكل موج سیگنال ورودی و خروجی	جران ساز
-	340ms	1.6	-		حلقه باز
263	60ms	1 v	>>	>>	$K_p = 2.2$
468	70ms	0.72	>>	>>	$K_p = 4.7$
158	100ms	1.12	>>	>>	$\frac{s + 2.2}{s + 1}$
57	175ms	0.56	>>	>>	$\frac{s + 4.7}{s + 1}$
44	920ms	0	>>	>>	$1 + \frac{2.2}{s}$
35	480ms	0	>>	>>	$1 + \frac{4.7}{s}$

جدول اندازه گیری های نظری:

درصد فرجهش سیگنال کنترل	زمان خیز خروجی	خطای حالت ماندگار	پیک تا پیک خروجی	جران ساز
-	320ms	0.6	4.6	حلقه باز
290	160ms	0.72	3.28	$K_p = 2.2$
503	200ms	0.4	3.6	$K_p = 4.7$
106	140ms	1.36	2.64	$\frac{s + 2.2}{s + 1}$
39	240ms	0.72	3.28	$\frac{s + 4.7}{s + 1}$
82	4200ms	0.08	3.92	$1 + \frac{2.2}{s}$
33	440ms	0.2	3.8	$1 + \frac{4.7}{s}$

## مراجع

در صفحه آخر گزارش خود، مراجعی که برای تهیه گزارش خود استفاده کرده‌اید را نیز ذکر کنید. لطفاً مراجع را به شکل استاندارد با قالب IEEE ذکر کنید. پیشنهاد می‌شود از قابلیت‌های WORD یا ابزارهایی مثل EndNote استفاده کنید.