

به نام خدا



دانشگاه تهران

پردیس دانشکده‌های فنی

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

## آزمایشگاه سیستم‌های کنترل خطی

### پیش گزارش آزمایش شماره ۳

محیا شهشهانی -- شیرین جمشیدی

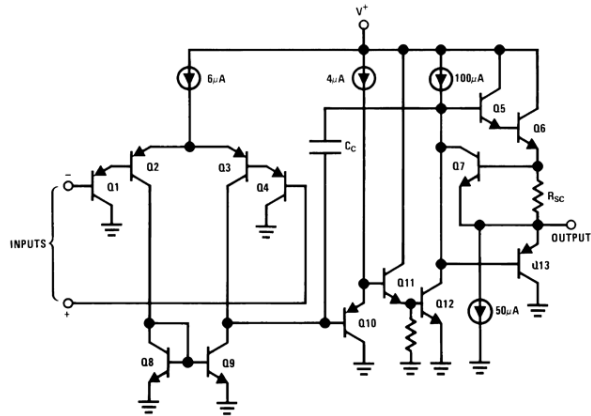
۸۱۰۱۹۹۵۷۰ -- ۸۱۰۱۹۹۵۹۸

گروه ۵

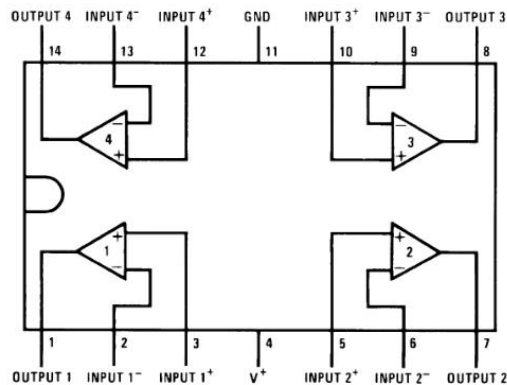
فروردین ماه ۱۴۰۲

## بخش ۱) تقویت کننده عملیاتی چهارتایی LM324N

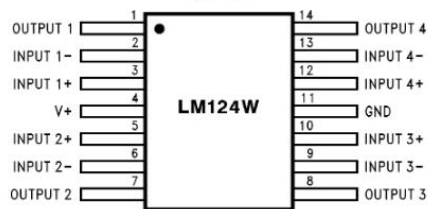
شکل کلی و ترتیب پایه‌های مدار مجتمع:



**J Package  
14-Pin CDIP  
Top View**



**D Package  
14-Pin SOIC  
Top View**



**Pin Functions**

PIN		TYPE	DESCRIPTION
NAME	NO.		
OUTPUT1	1	O	Output, Channel 1
INPUT1-	2	I	Inverting Input, Channel 1
INPUT1+	3	I	Noninverting Input, Channel 1
V+	4	P	Positive Supply Voltage
INPUT2+	5	I	Noninverting Input, Channel 2
INPUT2-	6	I	Inverting Input, Channel 2
OUTPUT2	7	O	Output, Channel 2
OUTPUT3	8	O	Output, Channel 3
INPUT3-	9	I	Inverting Input, Channel 3
INPUT3+	10	I	Noninverting Input, Channel 3
GND	11	P	Ground or Negative Supply Voltage
INPUT4+	12	I	Noninverting Input, Channel 4
INPUT4-	13	I	Inverting Input, Channel 4
OUTPUT4	14	O	Output, Channel 4

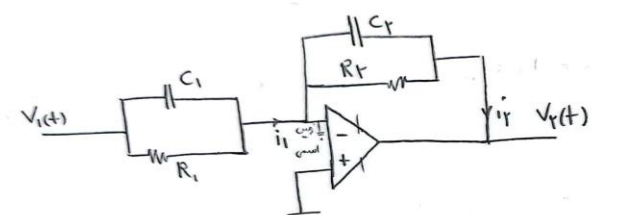
حداکثر ولتاژ تغذیه قابل اعمال: ۳۲ ولت

حداکثر ولتاژ قابل اعمال به پایه‌های ورودی: ۳۲ ولت

جریان ورودی: ۵۰ میلی آمپر

این مدار مجتمع مشابه هر قطعه الکترونیکی دیگری، محدودیت‌هایی دارد. این محدودیت‌ها در حوزه‌های دامنه ولتاژ و جریان ورودی (که به آن پرداخته شد)، دما و فرکانس کاری هستند. همانطور که در Datasheet ذکر شده، اگر به هر کدام از این محدودیت‌ها توجه نشود، مدار مجتمع عملکرد مناسب و مطلوبی نخواهد داشت و در مواردی منجر به سوختن قطعه و خراب شدن آن می‌شود.

## بخش ۲) شبیه‌سازی معادلات دیفرانسیل در محیط editor(mFile)

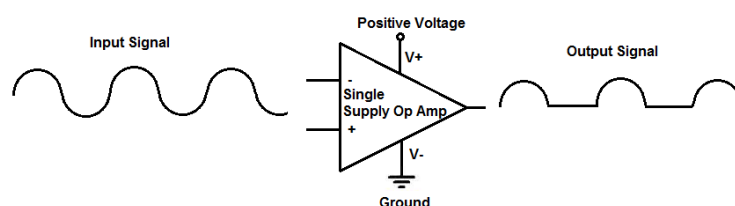


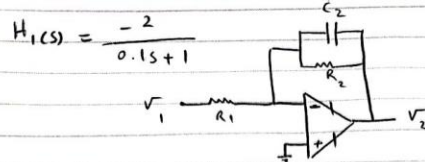
$$\bar{I}_1 = \bar{I}_2 \Rightarrow \frac{0 - V_1}{\frac{1}{C_1 s} \parallel R_1} = \frac{V_2 - 0}{\frac{1}{C_f s} \parallel R_f}$$

$$\Rightarrow \frac{V_2}{V_1} = - \frac{\frac{R_f / C_f s}{R_1 / C_1 s + 1/C_1 s}}{\frac{R_f / C_f s}{R_1 / C_1 s + 1/C_1 s}} = - \frac{R_f}{R_1} \cdot \frac{1 + R_1 C_1 s}{1 + R_f C_f s} \quad \checkmark$$

بخش سه:

بله می‌توانیم پایه منفی اپ‌امپ را به زمین وصل کرده و پایه مثبت را به یک منبع تغذیه متصل کنیم. پیاده‌سازی از این روش که single supply نام دارد، باعث ایجاد محدودیتی در دامنه ولتاژ خروجی می‌شود. در این شرایط ولتاژ منفی نداریم و ولتاژ خروجی حداکثر به مقدار ولتاژ منبع تغذیه خواهد رسید. و اگر ولتاژ خروجی بخواهد منفی، نمیتواند از صفر کمتر شود و روی صفر باقی می‌ماند.

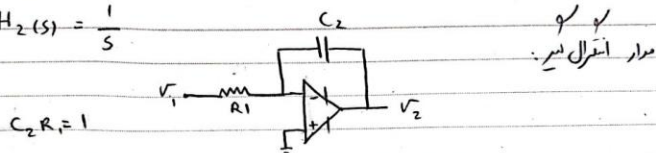




$$\frac{R_2}{R_1} = 2, \quad R_2 C_2 = 0.1, \quad R_1 C_1 = 0$$

$$\rightarrow C_1 = 0, \quad C_2 = 0.1 \mu F, \quad R_1 = 500 k\Omega, \quad R_2 = 1 M\Omega$$

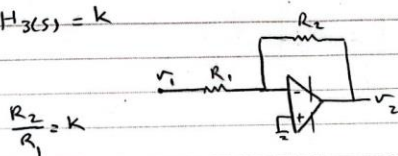
$H_2(s) = \frac{1}{s}$



$$C_2 R_1 = 1$$

$$R_1 = 100 k\Omega, \quad C_2 = 10 \mu F, \quad C_1 = R_2 = 0$$

$H_3(s) = k$

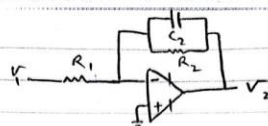


$$\frac{R_2}{R_1} = k$$

$$R_2 = k R_1 \rightarrow R_2 = 100 k\Omega, \quad R_1 = 10 k\Omega, \quad C_1 = C_2 = 0$$

$$k = 10$$

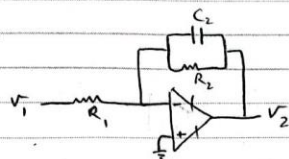
$H_4(s) = \frac{0.1}{s+1}$



$$\frac{R_2}{R_1} = 0.1, \quad R_2 C_2 = 1, \quad R_1 C_1 = 0$$

$$\rightarrow R_2 = 100 k\Omega, \quad R_1 = 10 k\Omega, \quad C_2 = 10 \mu F, \quad C_1 = 0$$

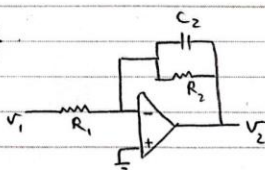
$H_5(s) = \frac{0.235}{s+1}$



$$\frac{R_2}{R_1} = 0.235, \quad R_2 C_2 = 1, \quad R_1 C_1 = 0$$

$$\rightarrow C_1 = 0, \quad R_1 = 470 k\Omega, \quad C_2 = 10 \mu F, \quad R_2 = 100 k\Omega$$

$H_6(s) = \frac{0.33}{s+1}$



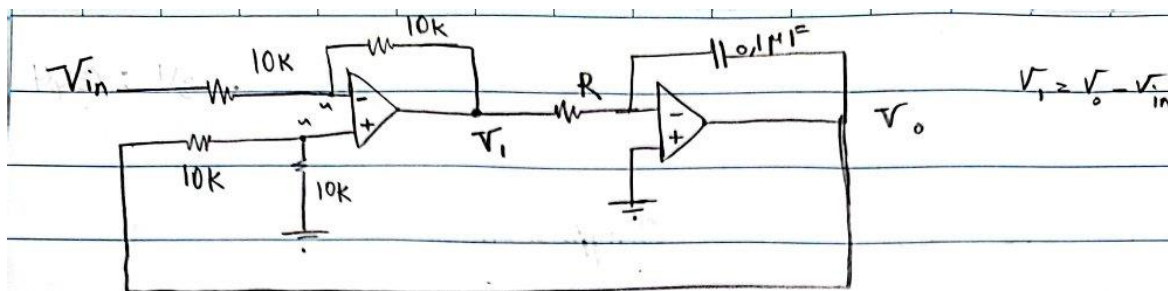
$$\frac{R_2}{R_1} = 0.33, \quad R_2 C_2 = 1, \quad R_1 C_1 = 0$$

$$\rightarrow C_1 = 0, \quad R_1 = 330 k\Omega, \quad C_2 = 10 \mu F, \quad R_2 = 100 k\Omega$$

بخش چهارم:

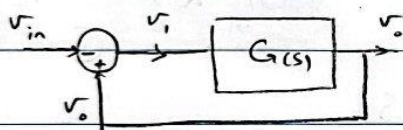
اگر مقاومت  $R_2$  را ۱۰۰۰ کیلو اهم، ظرفیت خازن دوم را ۰.۱ میکروفاراد قرار دهیم، مقاومت اول را نیز ۵۰۰ کیلو اهم (در آزمایشگاه ۴۷۰) (یا با موازی کردن مقاومت ها) بگذاریم، به پاسخ مطلوب میرسیم.

بخش پنجم:



$$\frac{u - V_o}{10k} = -\frac{u}{10k} \rightarrow \frac{2u}{10k} = \frac{V_o}{10k} \rightarrow u = \frac{V_o}{2}$$

$$\frac{V_o/2 - V_{in}}{10k} = \frac{V_1 - V_o/2}{10k} \rightarrow \boxed{V_o - V_{in} = V_1}$$



$$G(s) = \frac{V_o}{V_1} = \frac{1}{CRS}$$

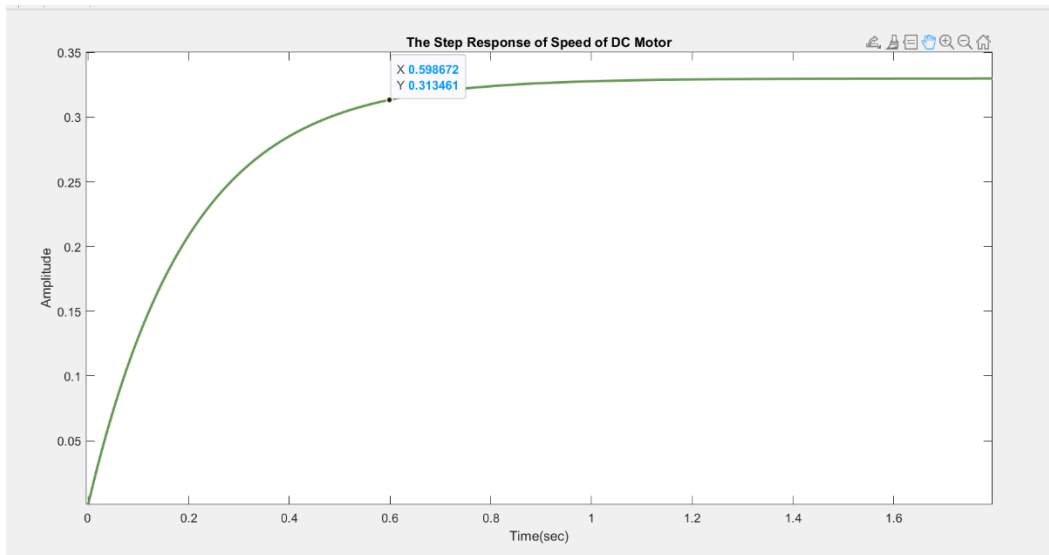
$$t_s = \frac{4}{\omega_n} \approx 1 \rightarrow \tau = \frac{1}{4}$$

$$H(s) = \frac{\frac{1}{CRS}}{1 + \frac{1}{CRS}} = \frac{1}{1 + CRS} \rightarrow \tau = RC \rightarrow R = \frac{\frac{1}{4}}{0.1} = 2.5 \text{ M}\Omega$$

\* با معیار دو درصد برای زمان نشست

## بخش ۶)

میدانیم پس از طی کردن سه ثابت زمانی میزان نمودار به ۹۵ درصد می‌رسد، مقدار نهایی (بهره حالت ماندگار) ۰.۳۳ است و ۹۵ درصد آن برابر با ۰.۳۱۳۵ است.



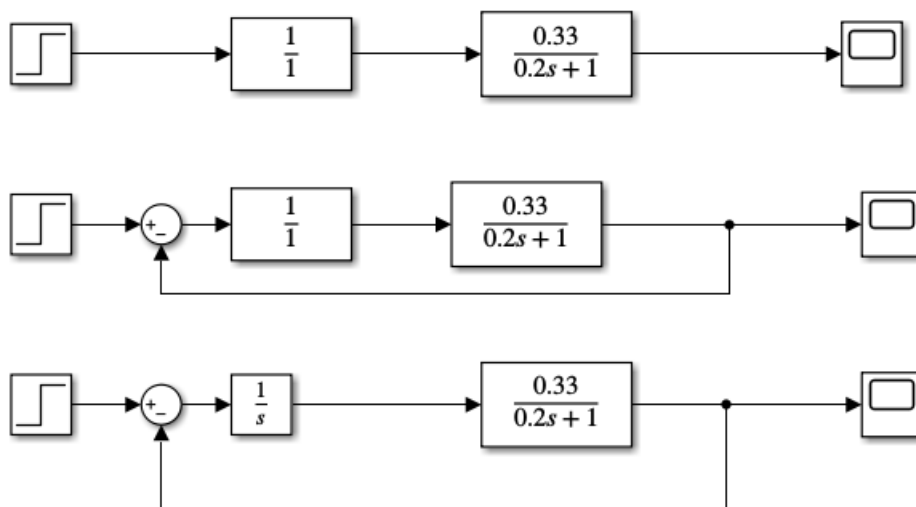
که در ۰.۵۹۸ رخ میدهد. در نتیجه ثابت زمانی برابر است با: ۰.۱۹۹

خطای حالت ماندگار:

$$e_{ss} = 1 - gain$$

$$1 - 0.33 = 0.67$$

## بخش ۷)



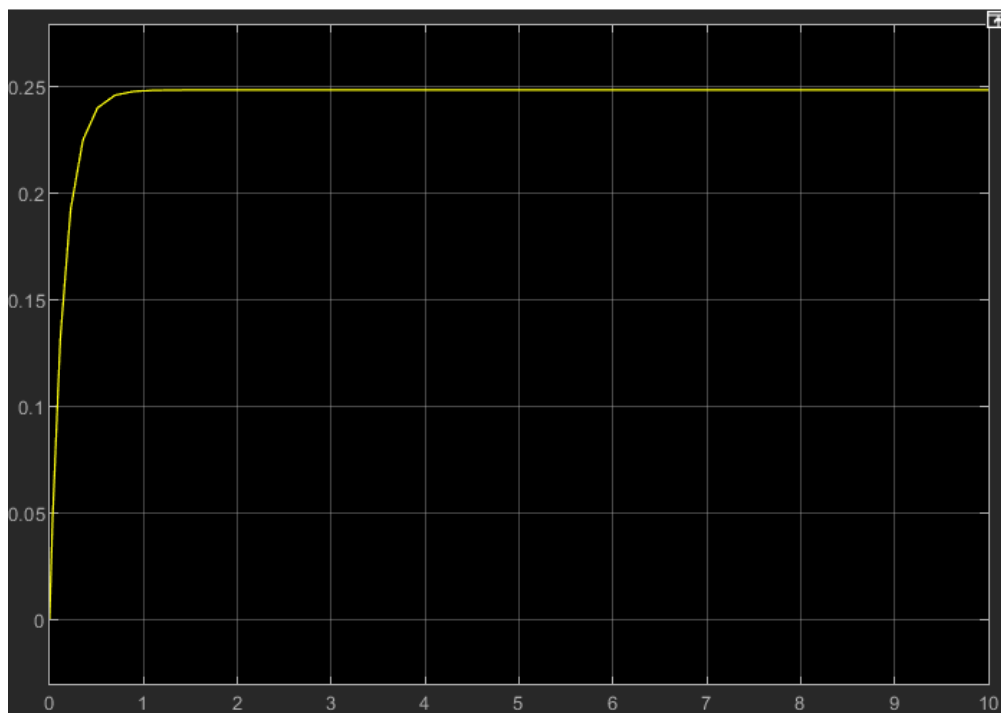
سیستم اول حلقه باز، سیستم دوم حلقه بسته با فیدبک واحد منفی می باشد. و سیستم سوم دارای کنترل کننده می باشد.

شکل موج خروجی:

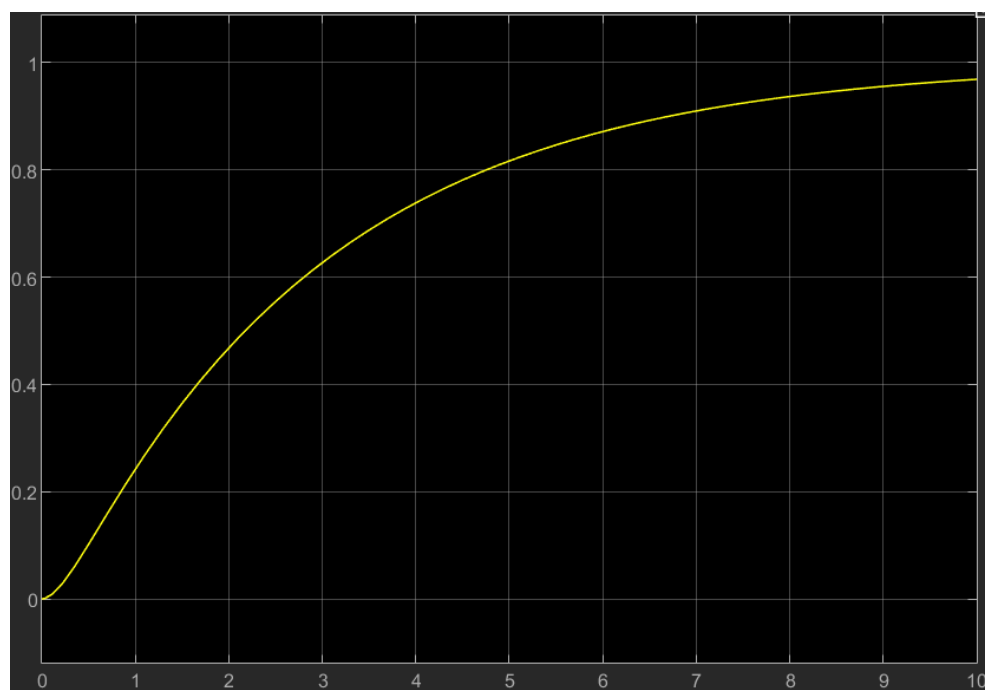
برای سیستم اول: (openloop)



برای سیستم دوم: (first closed loop)



برای سیستم سوم: (second closed loop)



محاسبه خطای ماندگار سیستم اول: (مقدار ماندگار - ۱)

$$1 - 0.33 = 0.67$$



محاسبه ی خطای حالت ماندگار سیستم دوم:

$$E_{steady\ state} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{1 + G(s)} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{1 + \frac{0.33}{0.2s + 1}} = 0.75$$

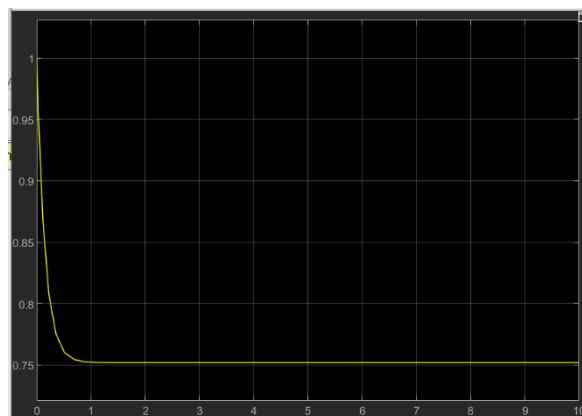
محاسبه ی خطای حالت ماندگار سیستم سوم:

$$E_{steady\ state} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{1 + G(s)} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{1 + \frac{0.33}{s(0.2s + 1)}} = 0$$

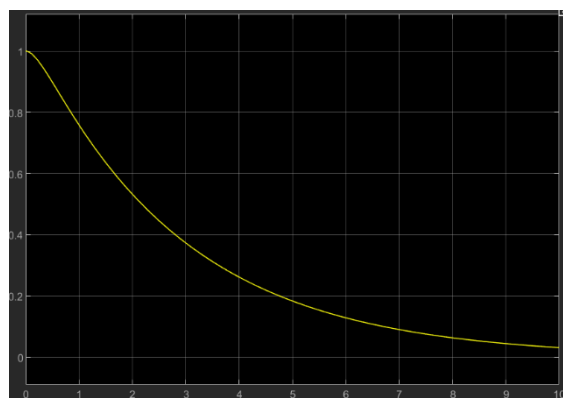
همانطور که دیده می شود مقدار نهایی در این حالت ۱ می باشد و خطای حالت ماندگار همانطوری که محاسبه شد و انتظار داشتیم (چون مرتبه سیستم یک به بالا است) صفر می باشد.

شکل موج خطای ردیابی:

برای سیستم دوم:



برای سیستم سوم:



ورودی برای هر سه سیستم هم پله واحد بوده است.

