

عنوان پروژه:

سیستم تعلیق خودرو برای یک چرخ (systems Suspensions)

محقق:

حامد حیدری (89121501)

استاد راهنما:

دکتر شهرام نصرتی

(استاد درس کنترل اتوماتیک)

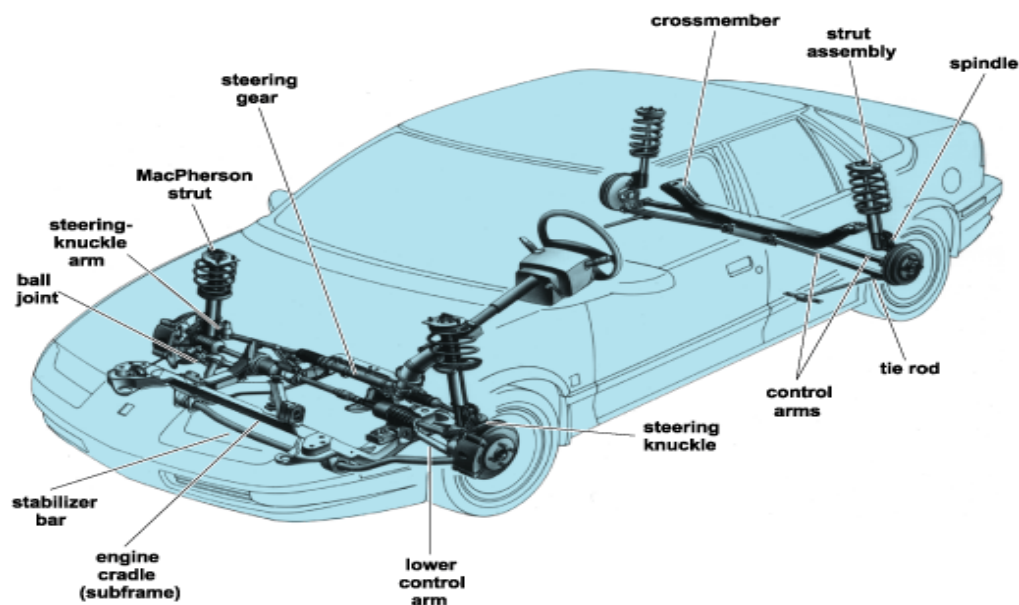


دانشگاه صنعتی قم
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

بهار 1392

فهرست

صفحه	عنوان
3	مقدمه.....
7	مدلسازی.....
11	پاسخ پله سیستم ها.....
15	پاسخ ضربه سیستم ها.....
17	معادلات فضای حالت.....
18	تملیل پایداری سیستم با روش روث.....
19	اغتشاش.....
22	مکان هندسی ریشه ها.....
24	نمودار بود.....
26	نمودار نایکویست.....
28	وارد کردن تاخیر 0.2 ثانیه و مشاهده نمودار نایکویست.....



سیستم تعلیق بر پایه پارامترهای سفتی و میرایی به قرار زیر دسته بندی می شود :

1- سیستم تعلیق ایستا :

در سیستم تعلیق ایستا هیچ منبع انرژی بیرونی وجود نداشته و این سیستم تنها توانایی بازیابی و میرایش انرژی را دارد. بنابراین اثرات نافواسته و نارامت کننده مرکبات غلتش بدنه در هنگام چرخش خودرو ، کله زدن بدنه در هنگام شتاب گیری و ترمزدهی ، بلند شدن و جابه جایی مانای بدنه نسبت به سیستم تعلیق در هنگام چرخش پایدار خودرو و ... هیچگاه از بین نمی رود. از آنجا که در این سیستم منبع انرژی بیرونی وجود ندارد ، بنابراین ساده ، ارزان و قابل اعتماد است در بیشتر این سیستم ها مقادیر سفتی فنر و میرایی لرزه گیر ثابت بوده و با برگزیدن ضرایب مناسب و کاهش بلندی گرانیگاه خودرو می توان به کیفیت فوش سواری و فرمان پذیری فوبی دست یافت. فنر نرم بر واکنش شتاب گیری ، ترمز گیری و چرخش خودرو تاثیرات منفی دارد .

2-سیستم تعلیق پویا :

سیستم تعلیق پویا برای نیل به شرایط آرمانی سواری و فرمان پذیری خودرو ایجاد گردیده است. در حالت آرمانی آنچه که از سیستم تعلیق خودرو انتظار می رود ، فراهم کردن پایداری حرکت و فرمان پذیری خودرو همراه با تامین آرامش و فوش سواری می باشد. اما در عمل این دو ویژگی در تقابل با یکدیگر بوده و هر یک سیستم تعلیقی با پارامترهای متضاد نسبت به دیگری طلب می کند . فوش سواری مناسب نیازمند یک سیستم تعلیق نرم بوده ، حال آنکه دستیابی به فرمان پذیری بالا نیازمند یک سیستم تعلیق سفت است . ایده بکارگیری سیستم های تعلیق پویا به منظور ایجاد آزادی عمل بیشتر در طراحی سیستم های تعلیق و دستیابی همزمان به فرمان پذیری و فوش سواری بهتر شکل گرفته است .

3-سیستم تعلیق کنا :

این نوع سیستم تعلیق گونه آرمانی سیستم تعلیق می باشد که در حالت کلی از یک عملکرد که میان جرم معلق و نامعلق خودرو قرار گرفته است ، شکل گرفته است. هنگامی که یکی از چرخ ها روی ناهمواری قرار می گیرد ، شتاب و بار عمودی چرخ ، توسط مسگرهایی اندازه گیری می شوند و مقادیر به سیستم کنترلی فرستاده می شود. در آنجا سرعت و جابه جایی مورد نیاز اعمال گردد .

تجهیزات سفت افزاری بکار رفته در سیستم تعلیق کنا بسیار پیچیده و گران بها بوده و نیز توان بالایی مصرف می شود. این امر سبب افزایش مصرف سوخت خودرو می گردد. در صورت بروز هرگونه اشکال در خودرو سیستم تعلیق از کار می افتد

برتری های عمده سیستم تعلیق کنا به قرار زیر است :

- 1-در این سیستم میان فوش سواری بهینه و فرمان پذیری بهینه توازن ایجاد می شود .
- 2-قوانین کنترلی سیستم تعلیق کنا ، بسته به فضای کاری تعلیق خودرو و شرایط کاری مختلف قابل تطبیق می باشد.
- 3-قوانین کنترلی که استفاده از آنها در مورد اجزای سیستم ایستا عملی نیست در مورد سیستم پویا قابل استفاده می باشد .
- 4-این سیستم ها به صورت خودکار ارتفاع را تنظیم می نمایند . این سیستم ها فراهم گر فوش سواری فوبی نسبت به سیستم تعلیق ایستا می باشد .

4- سیستم تعلیق نیمه کنا :

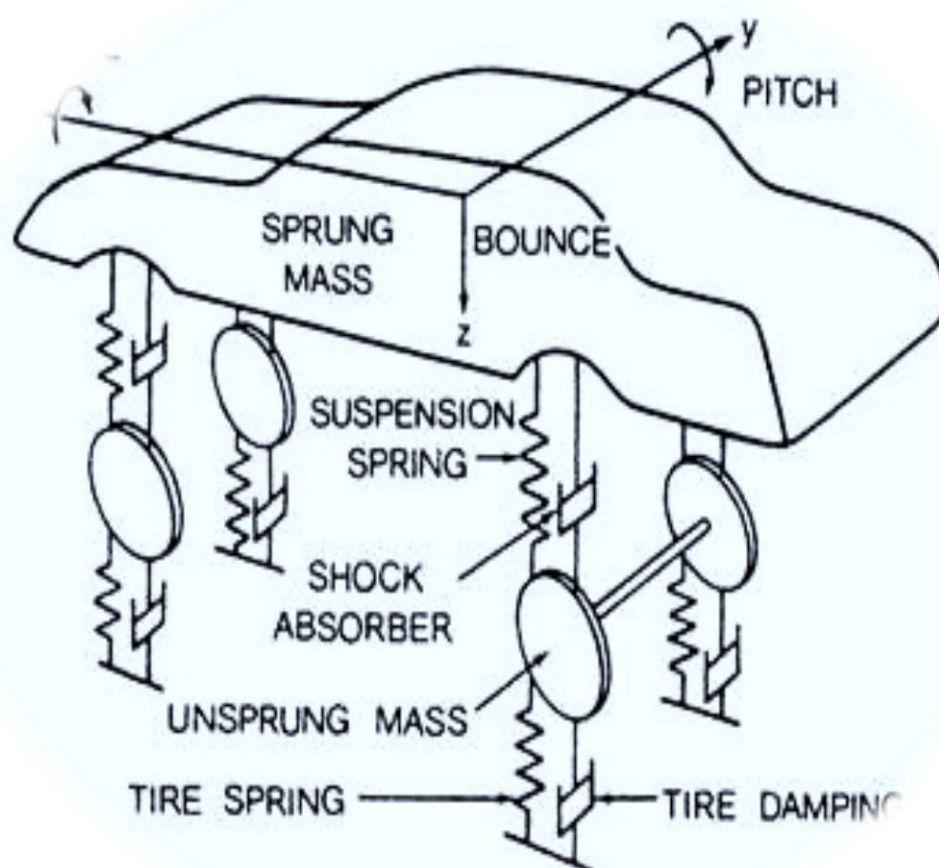
سیستم تعلیق نیمه کنا به عنوان تلاشی برای ارایه طرح مناسب از دیدگاه مهندسی میان سیستم های ایستا و کنا مطرح شده است. این سیستم شامل زیر بخش های پویایی در سافتمان خود برای کنترل و تنظیم ارتفاع بدنه در مضور اغتشاشات و نویزهای جاده و نیروهای لفتی می باشند . سیستم تعلیق نیمه کنا سیستمی جهت بهبود همزمان پایداری و فوش سواری خودرو از طریق تغییر ویژگی های لرزه گیر می باشد. در این سیستم عملگرها لرزه گیری هایی با پارامترهای قابل تنظیم می باشند که به طور موازی با سیستم تعلیق ایستا خودرو قرار گرفته اند . با بکارگیری این سیستم می توان مرکات غلت زنی و کله زنی خودرو را در مانورهای پرفشی و ترمزگیری تا مد قابل توجهی کاهش داد . با توجه به اینکه این سیستم برای عملکرد در بسامدهای پایین طرایی می شود ، سفت افزارهای مورد استفاده در آن ساده تر و کم هزینه تر بوده و توان مصرفی آنها نیز نسبت به سیستم تعلیق پویا به مراتب پایین تر می باشد. به دلایل بالا کاربرد این سیستم در خودروها رایج تر می باشد .

برتری های عمده سیستم تعلیق کنا به قرار زیر است :

- 1- در این سیستم میان فوش سواری بهینه و فرمان پذیری بهینه توازن ایجاد می شود .
- 2- قوانین کنترلی سیستم تعلیق کنا ، بسته به فضای کاری تعلیق خودرو و شرایط کاری مختلف قابل تطبیق میباشد.
- 3- قوانین کنترلی که استفاده از آنها در مورد اجزای سیستم ایستا عملی نیست در مورد سیستم پویا قابل استفاده می باشد.
- 4- این سیستم ها به صورت خودکار ارتفاع را تنظیم می نمایند .
- 5- این سیستم ها فراهم گر فوش سواری فوبی نسبت به سیستم تعلیق ایستا می باشد .

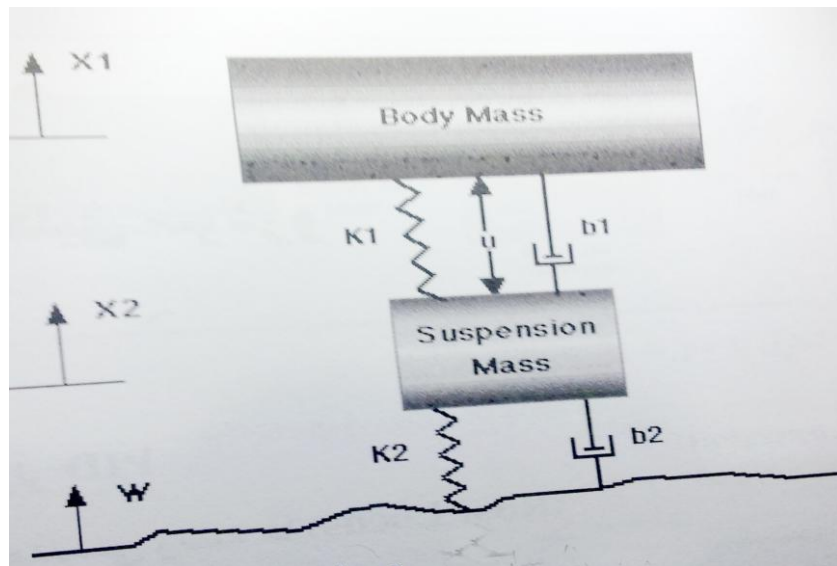
درپایان باید به این نکته اشاره کرد که دلیل وهدف انجام این پروژه بررسی سیستم تعلیق خودرو برای بدست آوردن بهترین شرایط کنترلی و پایداری سیستم میباشد تا فروجی مطلوب حاصل گردد.

البته دلیل عمده وهدف اصلی انتخاب این پروژه اهمیت سیستم تعلیق در راحتی و آسایش سرنشینان خودرو در مقابل ناهمواری ها که به صورت اغتشاشات عملکرد سیستم تعلیق را تحت تاثیر قرار میدهد بوده است و فواسته ی یک مهندس کنترل نیز جدا از این موضوع نیست



سیستم تعلیق ایستا

مدلسازی :



M_1 جرم بدنه خودرو k_1 ضریب سفتی فنر سیستم تعلیق =

M_2 جرم سیستم تعلیق = k_2 ضریب سفتی تایر خودرو =

b_1 ضریب اصطکاک سیستم تعلیق = b_2 ضریب اصطکاک تایر خودرو =

نیروی نوسانات خودرو (W) نیروی وارد به بدنه از طرف کنترلگر (U)

حال باید با استفاده از قوانین نیوتون تابع تبدیل سیستم را محاسبه کنیم

$$F = k \cdot \Delta x$$

$$F = b \cdot \Delta \dot{x}$$

$$\sum F = M \cdot a$$

$$M_1 \ddot{x}_1 = -b_1(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) - k_1(x_1 - x_2) + u$$

$$M_2 \ddot{x}_2 = b_1(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + k_1(x_1 - x_2) + k_2(w - x_2) - u$$

با فرض اینکه تمامی شرایط اولیه برابر صفر می باشد با گرفتن تبدیل لاپلاس از طرفین معادلات بالا تابع تبدیل سیستم بدست می آید

این سیستم دو ورودی دارد بنابراین منجر به دو تابع تبدیل میشود و خروجی سیستم تفاضل جابجایی هاست

$$(M_1 s^2 + b_1 s + k_1)X_1(s) - (b_1 s + k_1)X_2(s) = U(s)$$

$$-(b_1 s + k_1)X_1(s) + (M_2 s^2 + (b_1 + b_2)s + (k_1 + k_2))X_2(s) = (b_2 s + k_2)W(s) - U(s)$$

$$\begin{bmatrix} (M_1 s^2 + b_1 s + k_1) & -(b_1 s + k_1) \\ -(b_1 s + k_1) & (M_2 s^2 + (b_1 + b_2)s + (k_1 + k_2)) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1(s) \\ X_2(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U(s) \\ (b_2 s + k_2)W(s) - U(s) \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} (M_1 s^2 + b_1 s + k_1) & -(b_1 s + k_1) \\ -(b_1 s + k_1) & (M_2 s^2 + (b_1 + b_2)s + (k_1 + k_2)) \end{bmatrix}$$

$$\Delta = \det(A) = (M_1 s^2 + b_1 s + k_1) * (M_2 s^2 + (b_1 + b_2)s + (k_1 + k_2)) - (b_1 s + k_1) * (b_1 s + k_1)$$

$$\begin{bmatrix} X_1(s) \\ X_2(s) \end{bmatrix} = \frac{1}{\Delta} \begin{bmatrix} (M_2 s^2 + b_2 s + k_2) & (b_1 b_2 s^2 + (b_1 k_2 + b_2 k_1)s + k_1 k_2) \\ -M_1 s^2 & (M_1 b_2 s^3 + (M_1 k_2 + b_1 b_2)s^2 + (b_1 k_2 + b_2 k_1)s + k_1 k_2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U(s) \\ W(s) \end{bmatrix}$$

اگر تنها نیروی ورودی $W(s)$ باشد و قرار دهیم $U(s) = 0$ تابع تبدیل $G_1(s)$ به صورت زیر بدست می آید

$$G_1(s) = \frac{X_1(s) - X_2(s)}{U(s)} = \frac{(M_1 + M_2)s^2 + b_2 s + k_2}{(M_1 s^2 + b_1 s + k_1) * (M_2 s^2 + (b_1 + b_2)s + (k_1 + k_2)) - (b_1 s + k_1) * (b_1 s + k_1)}$$

اگر تنها نیروی ورودی $U(s)$ باشد و قرار دهیم $W(s) = 0$ تابع تبدیل $G_2(s)$ به صورت زیر بدست می آید

$$G_2(s) = \frac{X_1(s) - X_2(s)}{W(s)} = \frac{(-M_1 b_2 s^3 - M_1 k_2 s^2)}{(M_1 s^2 + b_1 s + k_1) * (M_2 s^2 + (b_1 + b_2)s + (k_1 + k_2)) - (b_1 s + k_1) * (b_1 s + k_1)}$$

در این سیستم مقادیر و پارامترهای فیزیکی را به صورت زیر در نظر میگیریم:

توجه: پارامترهای ذکر شده سیستم را در حالت پایدار نشان میدهد.

$$M_1 = 2500 \text{ Kg}$$

$$M_2 = 320 \text{ Kg}$$

$$K_1 = 80000 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

$$K_2 = 500000 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

$$b_1 = 350 \text{ N} \cdot \frac{\text{s}}{\text{m}}$$

$$b_2 = 15020 \text{ N} \cdot \frac{\text{s}}{\text{m}}$$

$$G_1(s) = \frac{0.282s^2 + 1.502s + 50}{80s^4 + 3853.7s^3 + 148085.7s^2 + 137660s + 4000000}$$

$$G_2(s) = \frac{-3755s^3 - 125000s^2}{80s^4 + 3853.7s^3 + 148085.7s^2 + 137660s + 4000000}$$

$$\rightarrow \boxed{G_t(s)} \rightarrow \boxed{G_a(s)} \rightarrow \boxed{G_1(s)} \rightarrow \boxed{G_s(s)} \rightarrow$$

$$G_a(s) = \frac{40(s+1.1)}{(s+2)^2} \quad G_t(s) = \frac{3000}{s+3000} \quad G_s(s) = \frac{8(s+2)}{(s+8)^2}$$

تابع تبدیل کلی سیستم ملقه باز به صورت زیر میباشد :

دستورات MATLAB

```
G1=tf([0.282 1.502 50],[80 3853.7 148085.7 137660 4000000])
G2=tf([-3755 -125000 0 0],[80 3853.7 148085.7 137660 4000000])
Gs=tf([8 16],[1 16 64])
Ga=tf([40 44],[1 4 4])
H1=series(G1,Gt)
H2=series(Gs,Ga)
G=series(H1,H2)
step(G)
```

$$G_1' = \frac{1.128(s+1.997)(s+1.101)(s^2+5.329s+177.4)}{(s^2+16.21s+65.74)(s^2+3.92s+3.904)(s^2+0.1969s+27.59)(s^2+47.85s+1800)}$$

$$G_2'(s) = \frac{-15020s^2(s+33.29)(s+2)(s+1.1)}{(s+8)^2(s+2)^2(s^2+0.2197s+27.58)(s^2+47.95s+1813)}$$

توجه: از آنجایی که تابع $G_t(s) = \frac{3000}{s + 3000}$ دارای قطب غیر غالب 3000- می باشد که تأثیر پندانی بر پایداری سیستم ندارد و برای رامتی در محاسبات میتوان آنرا حذف کرد البته باید اثرات قطب حذف شده در نظر گرفته شود

تابع تبدیل کلی سیستم ملقه بسته به صورت زیر می باشد:

MATLAB دستورات

```
num=[90.24 760.4 1.77e04 5.066e04 35200]
den=[80 5454 2.35e05 3.63e06 2.75e07 1.46e08 6.1e08 1.31e09 1.02e09]
[numG1,denG1]=cloop(num,den,-1)

printsys(numG1,denG1)
```

```
num=[-3.605e09 -1.312e011 -3.799e011 2.64e011 0 0]
den=[80 2.455e005 1.66e007 7.108e008 1.093e010 8.281e010 4.402e011 1.831e012
3.947e012 3.072e012]
[numG2,denG2]=cloop(num,den,-1)

printsys(numG1,denG1)
```

$$G'_{c1} = \frac{1.128(s + 1.997)(s + 1.101)(s^2 + 5.329s + 177.4)}{(s^2 + 3.92s + 3.904)(s^2 + 16.21s + 65.74)(s^2 + 0.1968s + 27.59)(s^2 + 47.85s + 1800)}$$

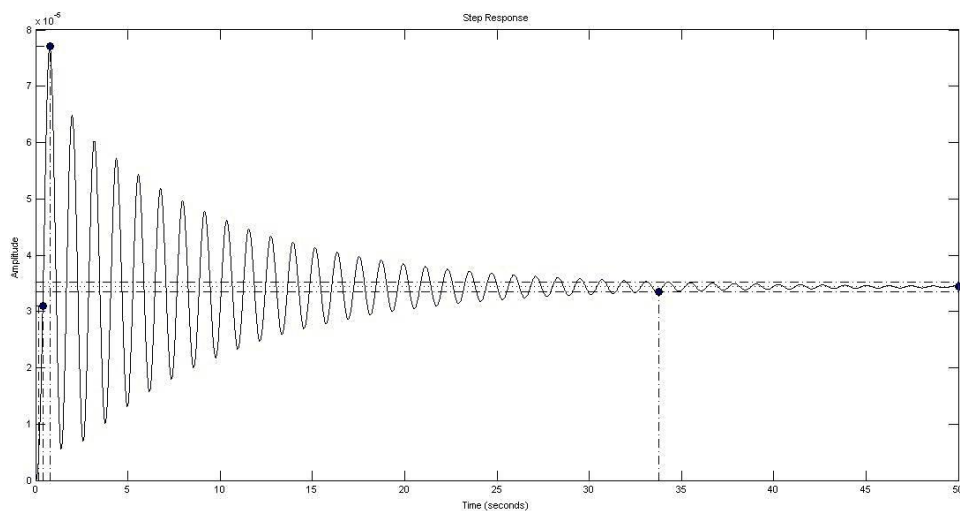
$$G'_{c2}(s) = \frac{-15020s^2(s + 33.29)(s + 2)(s + 1.1)}{(s + 20.4)(s + 2)(s^2 + 3.451s + 3.591)(s^2 - 9.872s + 39.6)(s^2 + 52.19s + 2206)}$$

پاسخ پله سیستم ها:

پاسخ پله $G_1'(s)$

دستورات MATLAB

```
num=[90.24 760.4 1.77e04 5.066e04 35200]
den=[80 5454 2.35e05 3.63e06 2.75e07 1.46e08 6.1e08 1.31e09 1.02e09]
G1=tf(num,den)
Step(G1)
Stepinfo(G1)
```



Step info

Rise time	0.243
SettlingTime	33.75
Overshoot	124.32
Peak	7.71e-5
Peak time	0.76
Steady state	3.44e-5

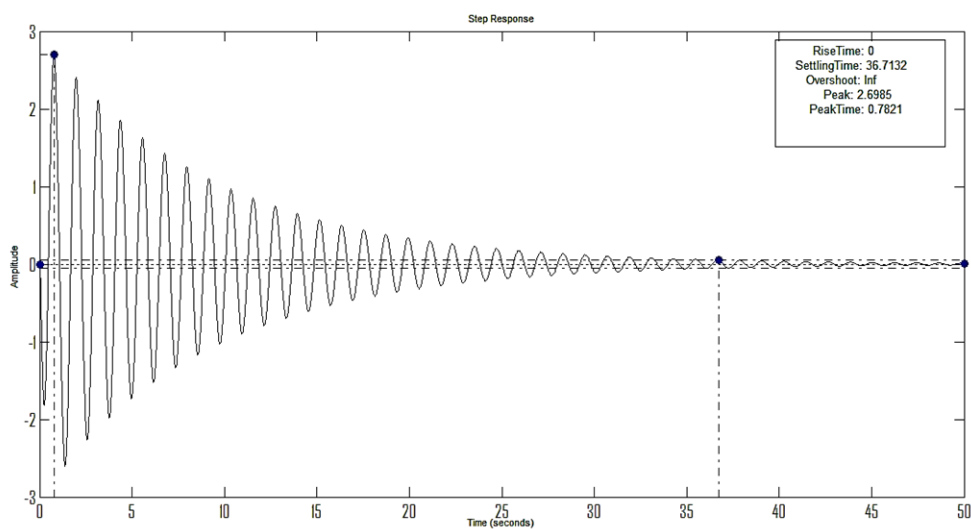
چون سرنشینان خودرو به مدت طولانی 33.75 ثانیه نوسانات کوچکی را حس میکنند برای حذف فضای حالت

ماندگار در مراحل بعد از کنترلر استفاده میکنیم

پاسخ پله $G_2'(s)$

دستورات MATLAB

```
num=[-1.202e006 -4.372e007 -1.266e008 -8.8e007 0 0]
den=[80 5454 2.357e05 3.634e06 2.755e07 1.465e008 6.1e008
1.315e009 1.024e009]
G2=tf(num,den)
Step(G2)
Stepinfo(G2)
```

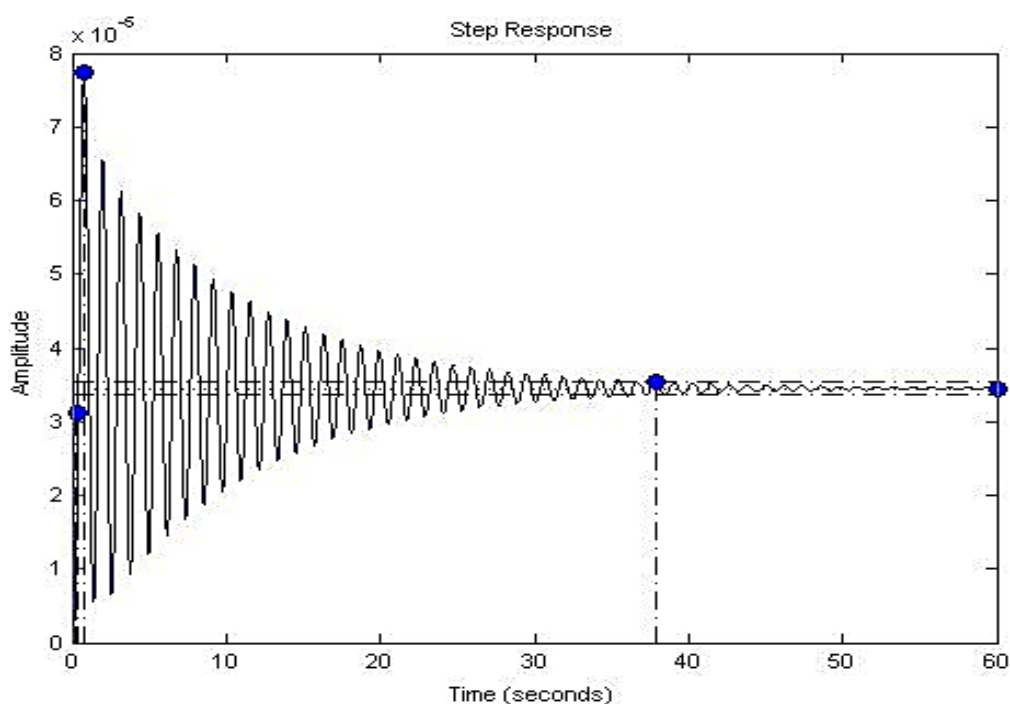


ITEM	NEEDED
Rise time	0
SettlingTime	36.14
Overshoot	inf
Peak	2.69
PeakTime	0.78
Pencils	2

پاسخ پله $G_{c1}(s)$

دستورات MATLAB

```
;num=[90.24 760.4 1.77e04 5.066e04 35200]
den=[80 5454 2.35e05 3.63e06 2.75e07 1.46e08 6.1e08 1.31e09 1.02e09]
G1=tf(num,den)
Gc1=feedback(Gc1,1)
Step (Gc1)
Stepinfo(Gc1)
```



Step info

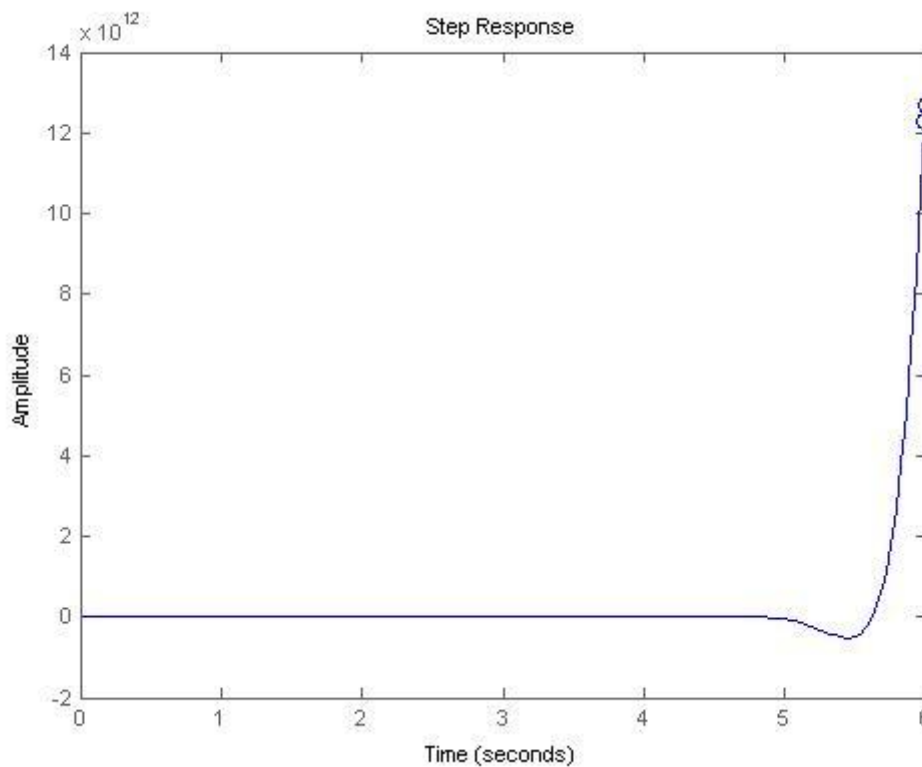
Rise time	0.243
SettlingTime	37.9
Overshoot	124.32
Peak	7.73e-5
Peak time	0.77
Steady state	3.45e-5

از مقایسه نمودار ملقه باز و ملقه بسته اینطور برداشت میشود که فیدبک واحد

موجب بهبودی چندان سیستم نشده است.

دستورات MATLAB

```
num=[-1.202e006 -4.372e007 -1.266e008 -8.8e007]
den=[80 5454 2.357e05 3.634e06 2.755e07 1.465e008 6.1e008
1.315e009 1.024e009]
G=tf(num,den)
G2=feedback(G,1)
Step(G2)
Stepinfo(G2)
```



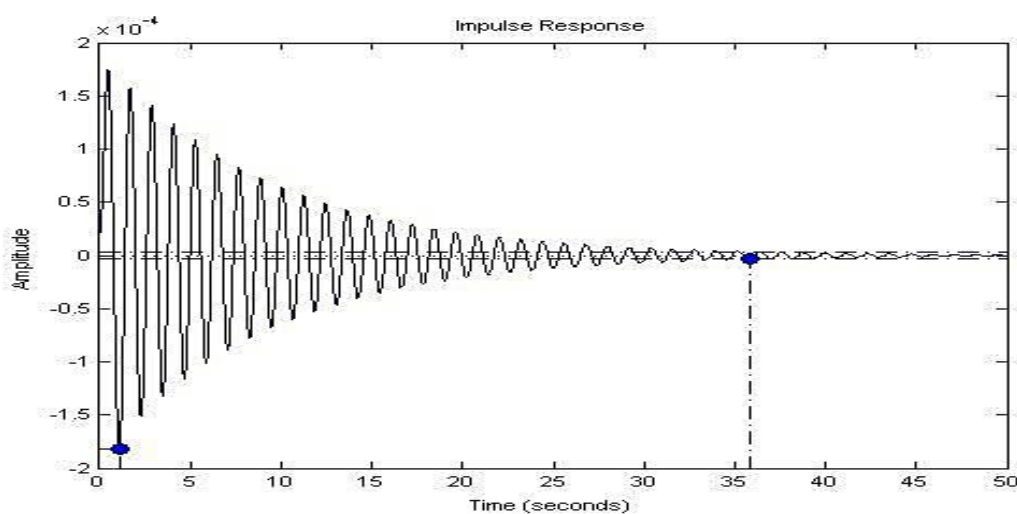
با وجود اینکه سیستم ملقه باز پایدار است ملاحظه میشود که سیستم ملقه بسته دارای دو قطب ناپایدار با $4.9 + 3.9484i$ و $4.9 - 3.9484i$ می باشد. نتیجه میشود که همیشه با بستن ملقه فیدبک و امده سیستم بهبود پیدانمیکند و گاهی ممکن است سیستم به کلی ناپایدار شود بنابر این باید از کنترلر استفاده کرد.

پاسخ ضربه سیستم ها:

پاسخ ضربه $G_1(s)$

دستورات MATLAB

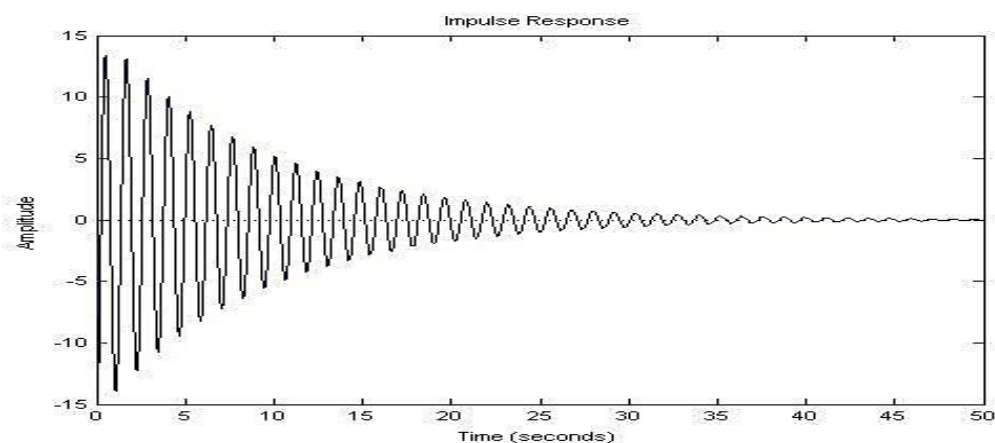
```
num=[90.24 760.4 1.77e04 5.066e04 35200]
den=[80 5454 2.35e05 3.63e06 2.75e07 1.46e08 6.1e08 1.31e09 1.02e09]
G1=tf(num,den)
Impulse(G1)
```



پاسخ ضربه $G_2(s)$

دستورات MATLAB

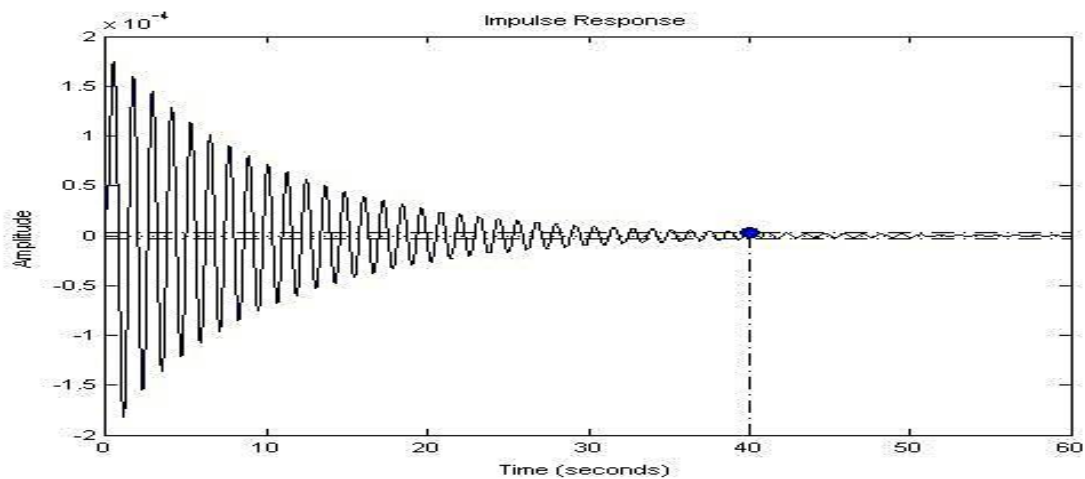
```
num=[-1.202e006 -4.372e007 -1.266e008 -8.8e007]
den=[80 5454 2.357e05 3.634e06 2.755e07 1.465e008 6.1e008]
G2=tf(num,den)
Impulse(G2)
```



پاسف ضربه $G'_{c1}(s)$

دستورات MATLAB

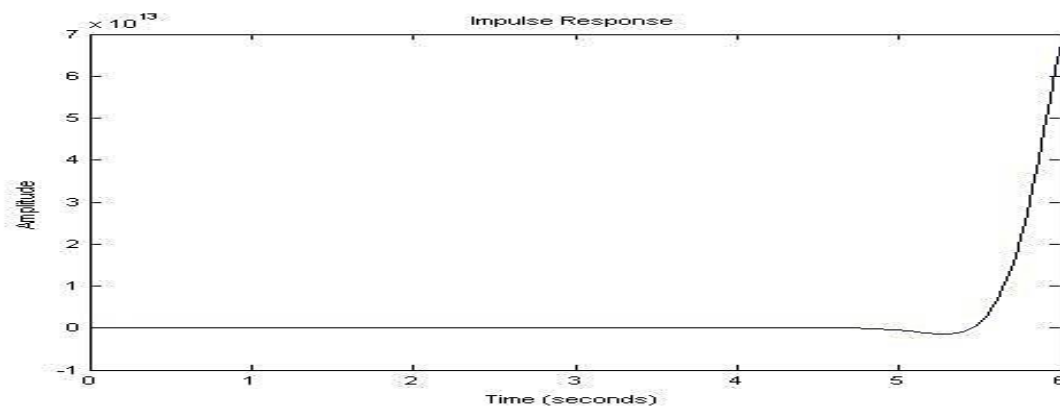
```
;num=[90.24 760.4 1.77e04 5.066e04 35200]
den=[80 5454 2.35e05 3.63e06 2.75e07 1.46e08 6.1e08 1.31e09 1.02e09]
G1=tf(num,den)
Gc1=feedback(G1,1)
Impulse(Gc1)
```



پاسف ضربه $G'_{c2}(s)$

دستورات MATLAB

```
num=[-1.202e006 -4.372e007 -1.266e008 -8.8e007]
den=[80 5454 2.357e05 3.634e06 2.755e07 1.465e008 6.1e008
1.315e009 1.024e009]
G2=tf(num,den)
Gc2=feedback(G2,1)
Impuls(Gc2)
```



معادلات فضای حالت:

دستورات MATLAB

[A B C D]=tf2ss(num,den)

1-معادله حالت تابع تبدیل $G_{c1}(s)$

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \\ \dot{x}_5 \\ \dot{x}_6 \\ \dot{x}_7 \\ \dot{x}_8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -68.175 & -2937.5 & -45375 & -343751 & -1825009.5 & -7625221.25 & -16375633.25 & -12750440 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \\ x_7 \\ x_8 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} U$$

$$y = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1.128 & 9.5 & 221.25 & 663 & 440 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \\ x_7 \\ x_8 \end{bmatrix} + DU$$

D=0

2-معادله حالت تابع تبدیل $G_{c2}(s)$

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \\ \dot{x}_5 \\ \dot{x}_6 \\ \dot{x}_7 \\ \dot{x}_8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -68.17 & -2946.3 & -45425 & -3.4e5 & -1.8e6 & -7e6 & -1.48e7 & -1.17e7 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \\ x_7 \\ x_8 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} W$$

$$y = [0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad -15025 \quad -546500 \quad -1582500 \quad 1100000] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \\ x_7 \\ x_8 \\ x_9 \end{bmatrix} + DW$$

$$D=0$$

تملیل پایداری سیستم با روش راث:

تابع $G'_1(s)$

$$\begin{bmatrix} s^8 \\ s^7 \\ s^6 \\ s^5 \\ s^4 \\ s^3 \\ s^2 \\ s^1 \\ s^0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 2937.38 & (343717.13 + 1.128k) & (7623331.2 + 219.36k) & (12745700.6 + 390.28k) \\ 68.17 & 45373.8 & (1824715.25 + 9.2k) & (16370524 + 579.4k) & 0 \\ 2271.8 & (316950 + .99k) & (7383188.5 + 210.86k) & (12745700.6 + 390.28k) & 0 \\ (35863 - .02k) & (1603167.5 + 2.87k) & (16060123 + 576.68k) & 0 & 0 \\ (k + 3530885) & (210k + 71346165) & (12745700.6 + 390.28k) & 0 & 0 \\ (44.87k - 139955999.5) & (80.87k - 285253334) & 0 & 0 & 0 \\ (208.2k + 69946839.8) & (12745700.6 + 390.28k) & 0 & 0 & 0 \\ (-3.2k + 577457647.3) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ (12745700.6 + 390.28k) & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$35863 - .02k > 0 \Rightarrow k < 1793150$$

$$k + 3530885 > 0 \Rightarrow k > -3530885$$

$$44.87k - 139955999.5 > 0 \Rightarrow k > 3119144$$

$$208.2k + 69946839.8 > 0 \Rightarrow k > -3359598.4 \Rightarrow -32657.83 < k < 1793150$$

$$-3.2k + 577457647.3 > 0 \Rightarrow k < 180455514.8$$

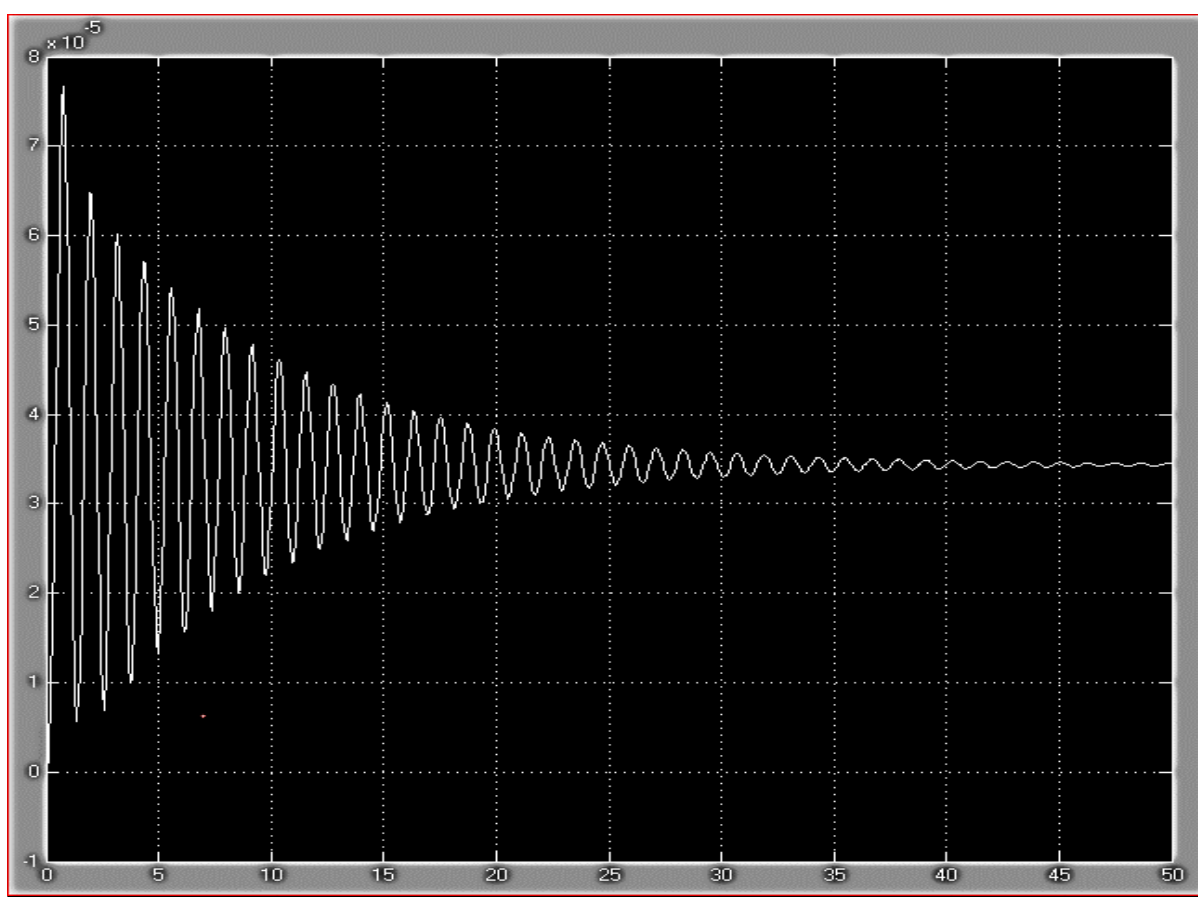
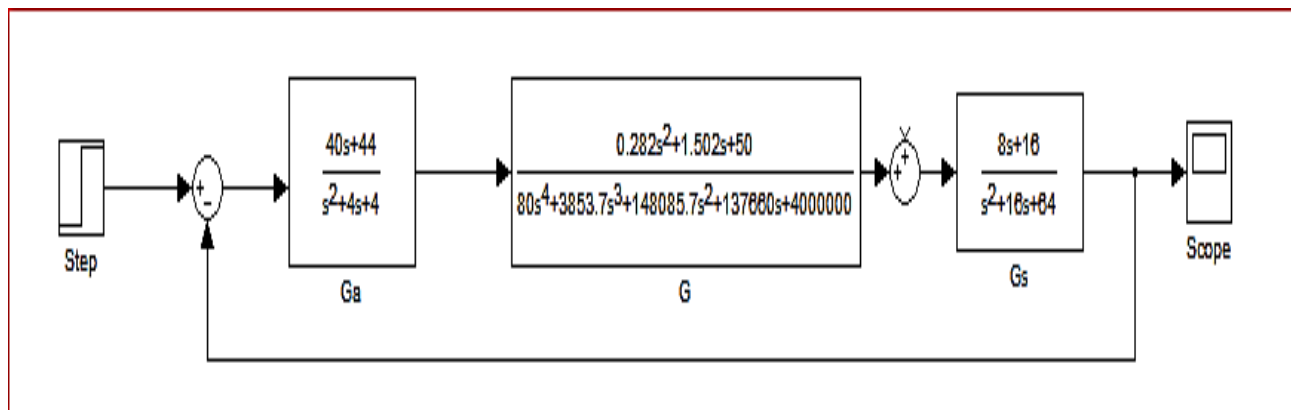
$$12745700.6 + 390.28k > 0 \Rightarrow k > -32657.83$$

به ازای این محدوده k در ستون اول جدول راث هیچگونه تغییر علامتی مشاهده نمیشود بنابراین در این محدوده

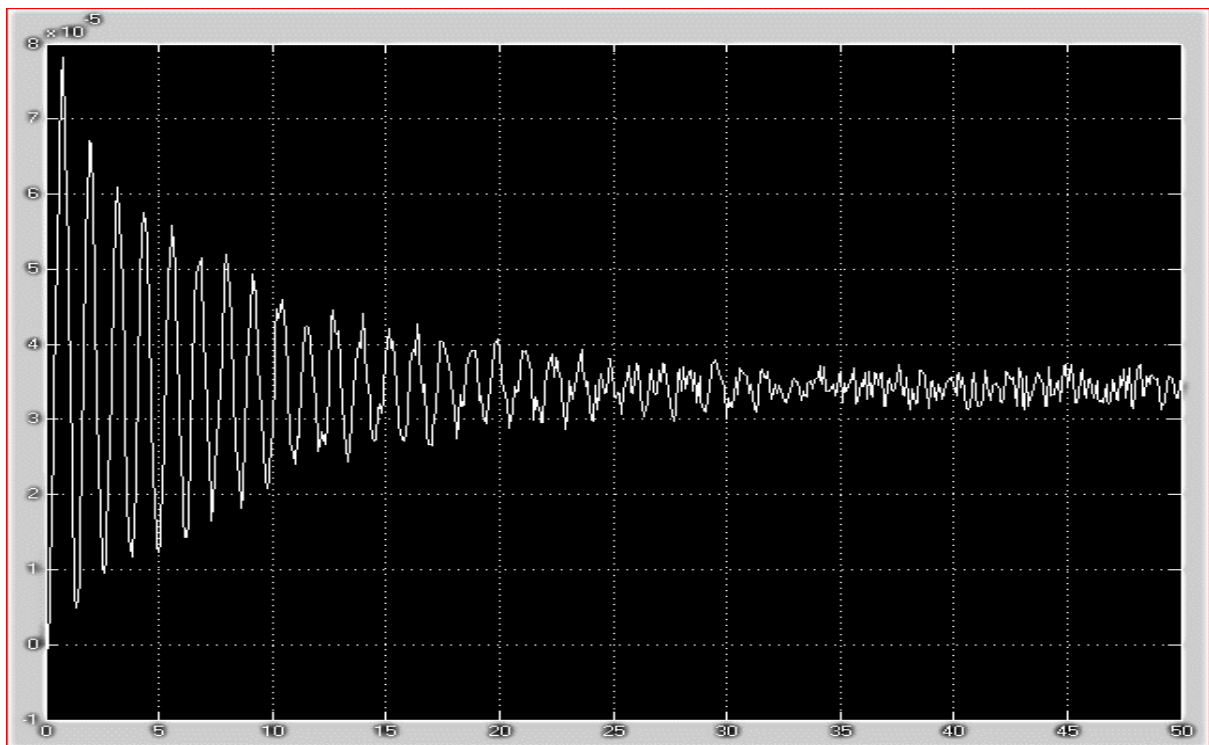
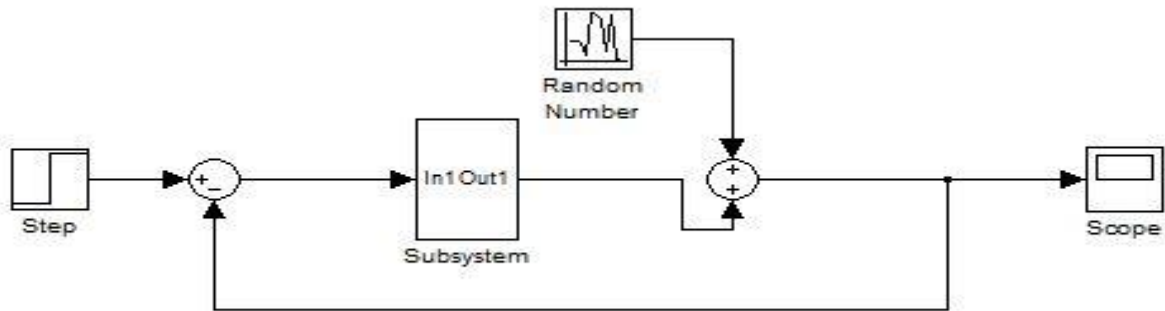
k سیستم پایدار میباشد

اغتشاش :

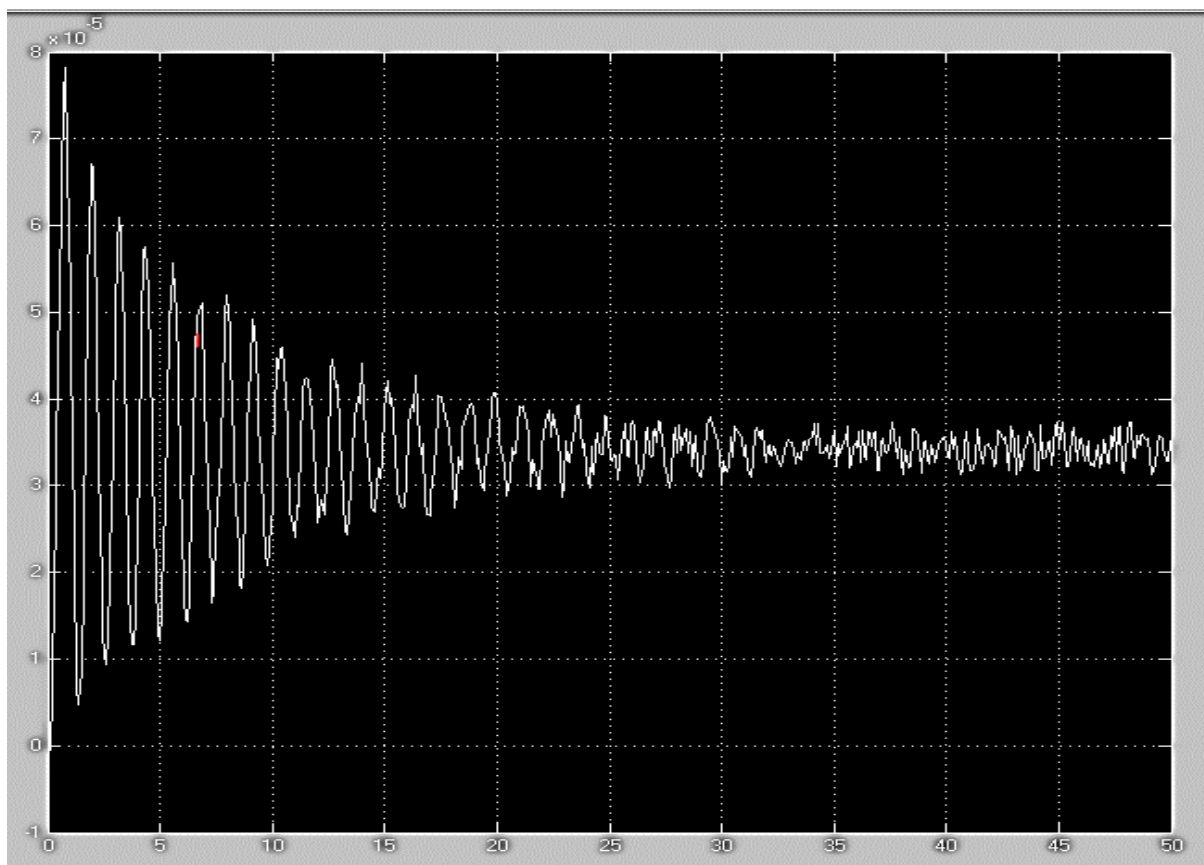
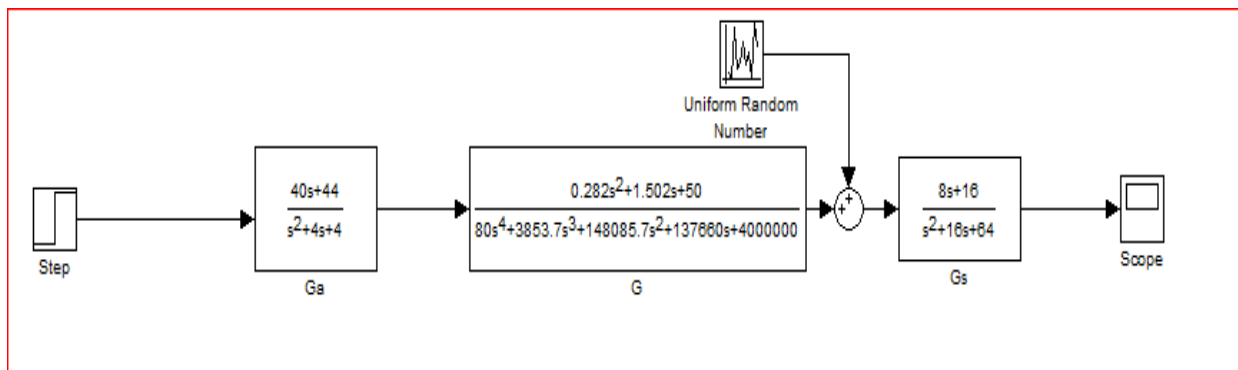
بررسی تاثیر اغتشاش در فروجی به کمک سیمولینک (سیستم بدون اغتشاش):



تأثیر اغتشاش بر روی سیستم ملقه بسته:



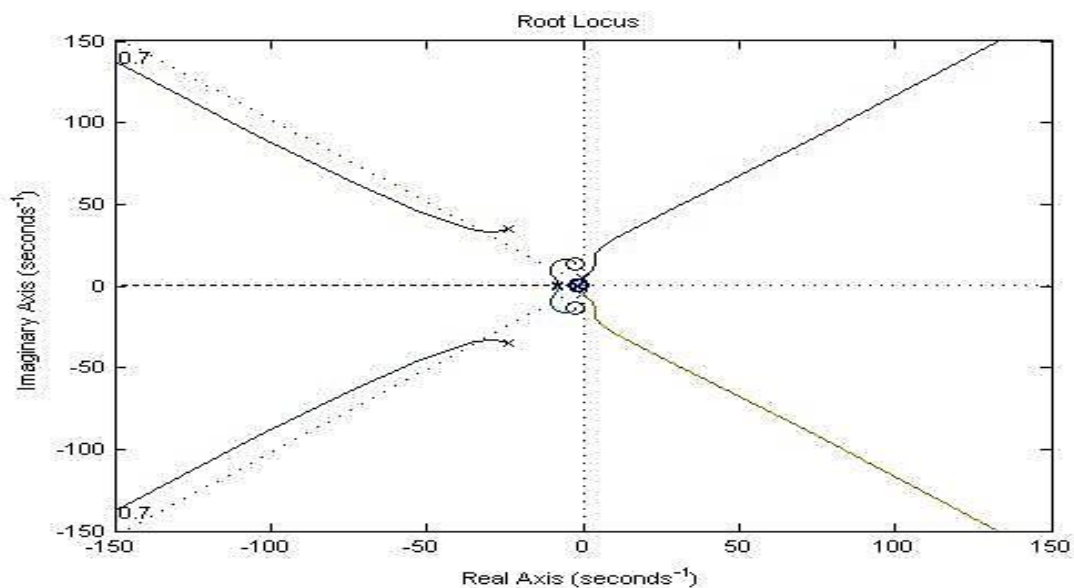
تأثير اغتشاش بر روى سيستم ملقه باز:



مکان هندسی ریشه ها: مکان هندسی ریشه ها $G_1(s)$

دستورات MATLAB

```
num=[90.24 760.4 1.77e04 5.066e04 35200]
den=[80 5454 2.35e05 3.63e06 2.75e07 1.46e08 6.1e08 1.31e09 1.02e09]
G1=tf(num,den)
Rlocuse(G1)
Sgrid([0.7],[1])
```



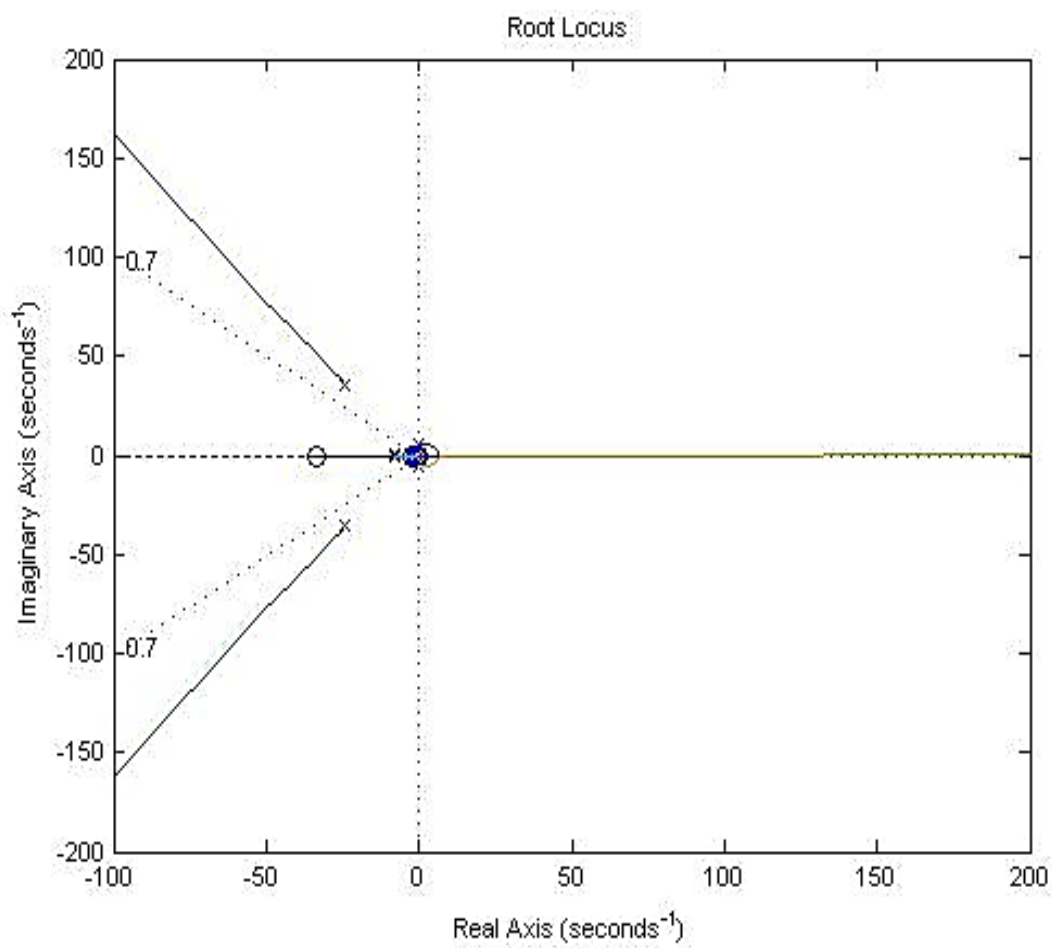
تعداد قطب ها برابر هشت و تعداد صفرها برابر چهار است که همه ی آنها سمت چپ محور $j\omega$ واقع شده اند و همچنین گین کنونی ما 1.128 (این گین تقریباً روی نقطه $-8.1 + 2i$ قرار میگیرد) میباشد که سیستم به ازای آن پایدار است. طبق رابطه $\xi = \cos \Phi = 0.7 \Leftrightarrow \Phi = 45.5^\circ$ از مبدا فضا با زاویه φ رسم می کنیم این خط نمودار را تقریباً در نقاط $-33 + 34i$ و $-33 - 34i$ با گین 1.06e06 و نقاط $-10 + 10i$ و $-10 - 10i$ با گین 1.34e05 قطع میکند ما باید گینی را انتخاب کنیم که به ازای آن سیستم مدافا زمان جهش و زمان نشست و زمان نمو و را داشته باشد که بار رسم تابع پله ی آن نتیجه چنین میشود: (که گین $k=1.34e5$ مطلوب است)

به ازای $k=1.34e5$		به ازای $k=1.06e6$	
Rise time	0.24	Rise time	.24
SettlingTime	33.75	SettlingTime	33.75
Overshoot	0.75	Overshoot	124
Peak	10.33	Peak	81
PeakTime	0.78	PeakTime	0.76

نمودار مکان ریشه $G_2'(s)$ (سیستم ناپایدار):

دستورات MATLAB

```
num=[-1.202e006 -4.372e007 -1.266e008 -8.8e007]
den=[80 5454 2.357e05 3.634e06 2.755e07 1.465e008 6.1e008 1.315e009
1.024e009]
G2=tf(num,den)
rlocus(G2)
```



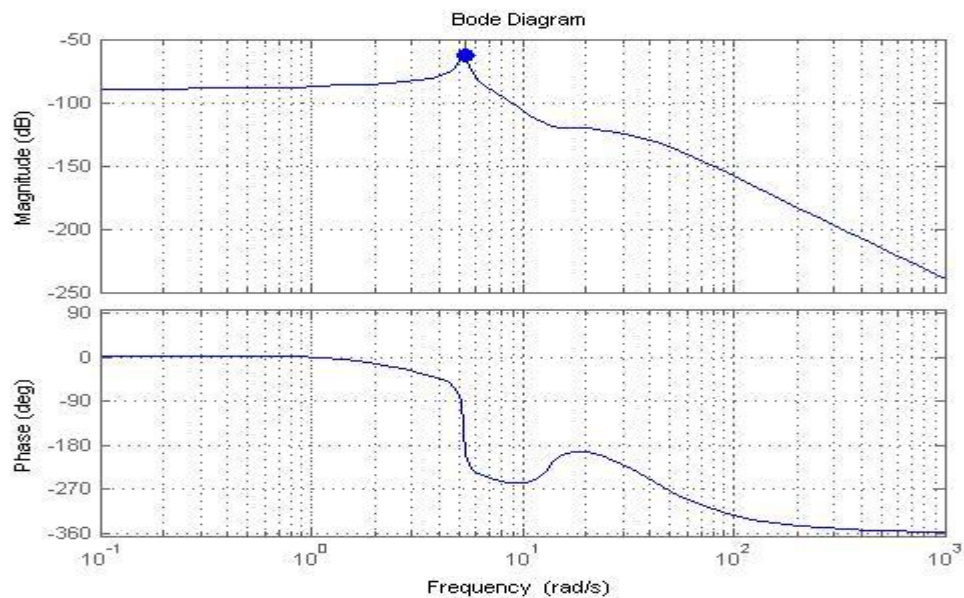
طبق رابطه $\xi = \cos \Phi = 0.7 \Leftrightarrow \Phi = 45.5^\circ$ از مبدا قطبی با زاویه Φ رسم می کنیم

نمودار بود :

نمودار بود $G'_1(s)$

دستورات MATLAB

```
num=[90.24 760.4 1.77e04 5.066e04 35200]
den=[80 5454 2.35e05 3.63e06 2.75e07 1.46e08 6.1e08 1.31e09 1.02e09]
G1=tf(num,den)
Bode(G1)
```

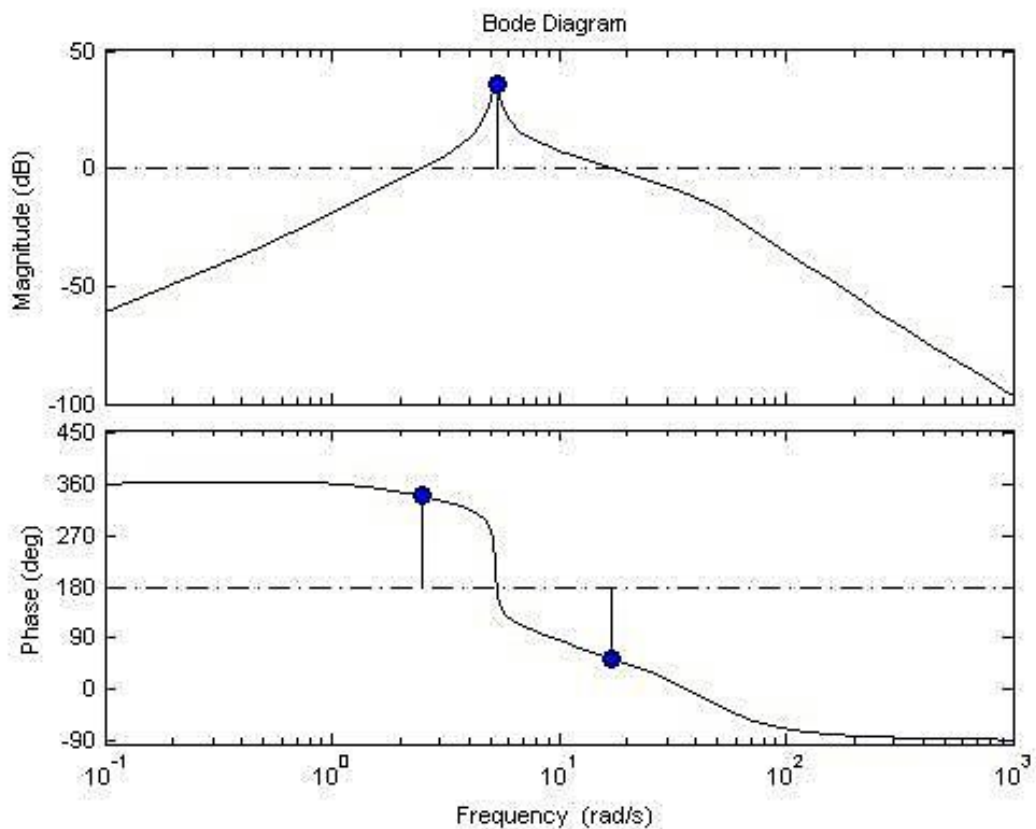


چون قطب در مبدا نداریم پس نمودار فاز از صفر شروع شده و به دلیل داشتن هشت قطب و چهار صفر نمودار به -360 فتم میشود واضح است که ماسیبه بهره برابر 62.3db است.

نمودار بود $G'_2(s)$

دستورات MATLAB

```
num=[-3.605e9 -1.312e11 -3.799e11 -2.64e11 0 0]
den=[80 2.45e5 1.66e7 7.108e8 1.093e10 8.281e10 4.402e11 1.831e12 3.947e12 3.072e12]
G2=tf(num,den)
Gc2=feedback(G2,1)
bode(Gc2)
```

G.M=-35.5db

P.M=-127.32;159

دستورات MATLAB

```
for k=1000:0.01:1300;
G=series(k,G1)
G2=feedback(G,1)
[a phase b c]=margin(G1)
if phase+45<0.001
if phase+45>-0.001
break
end
end
end
```

حال میفواهیم برای تابع G_1 ماشیه فاز را 45 درجه کنیم از روی نمودار بود معلوم است که ماشیه فاز هیچ وقت 45 نمیشود و از آنجا که $\zeta = \cos(\Phi)$ پس ماشیه فاز را -45- انتخاب میکنیم که به ازای آن $k = 1181.86$ میباشد.

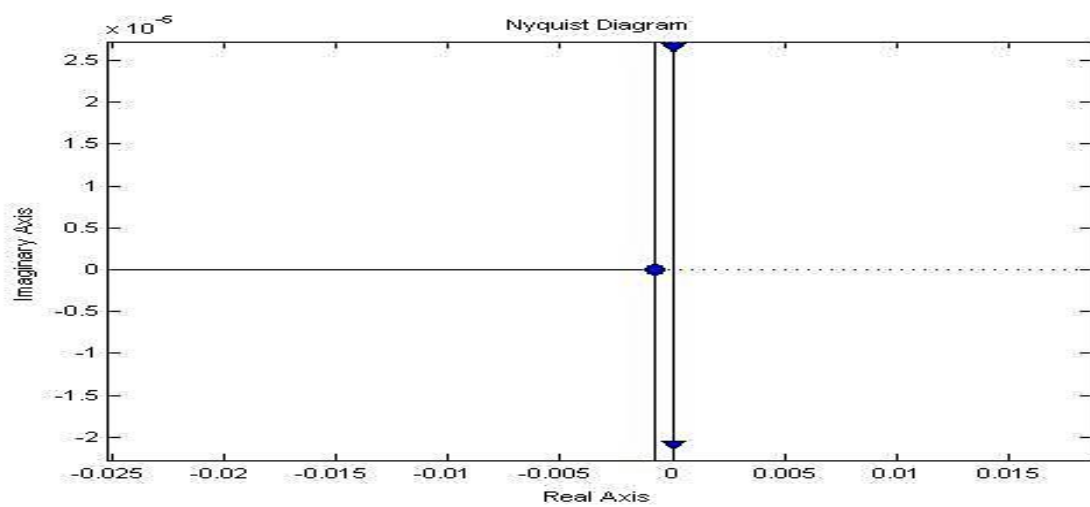
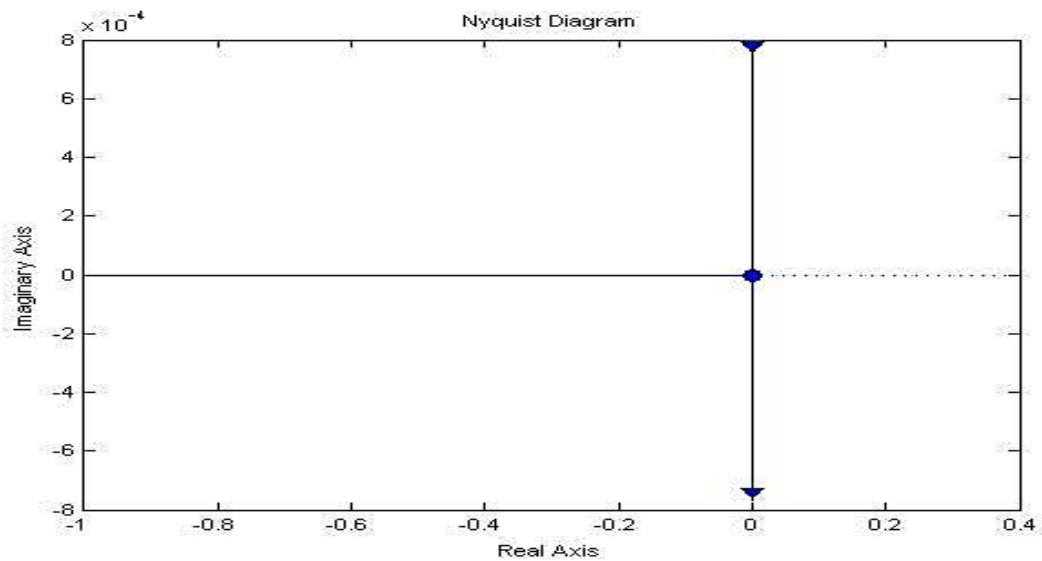
نایکویست: رسم نمودار نمودار نایکویست $G_1'(s)$

دستورات MATLAB

```
num=[-1.202e006 -4.372e007 -1.266e008 -8.8e007]
den=[80 5454 2.35e05 3.63e06 2.75e07 1.46e08 6.1e08 1.31e09 1.02e09]
G1=tf(num,den)
nyquist(G1)
```

G.M=62.3db=1296.85

P.M=inf

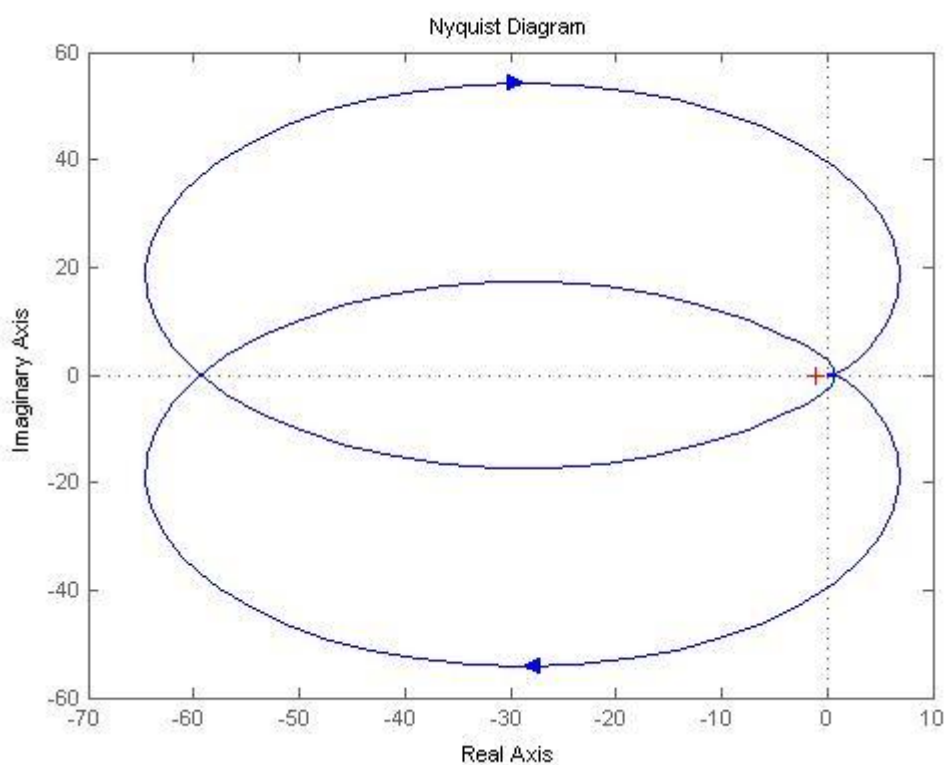


از روی نمودار زوم شده معلوم است که نمودار نایکوئیست 1- را دور نزده است و همچنین قطب سمت راست نداریم پس سیستم پایدار است

رسم نمودار نمودار نایکوئیست $G_2'(s)$

دستورات MATLAB

```
num=[90.24 760.4 1.77e04 5.066e04 35200]
den=[80 5454 2.35e05 3.63e06 2.75e07 1.46e08 6.1e08 1.31e09 1.02e09]
G2=tf(num,den)
nyquist(G2)
```



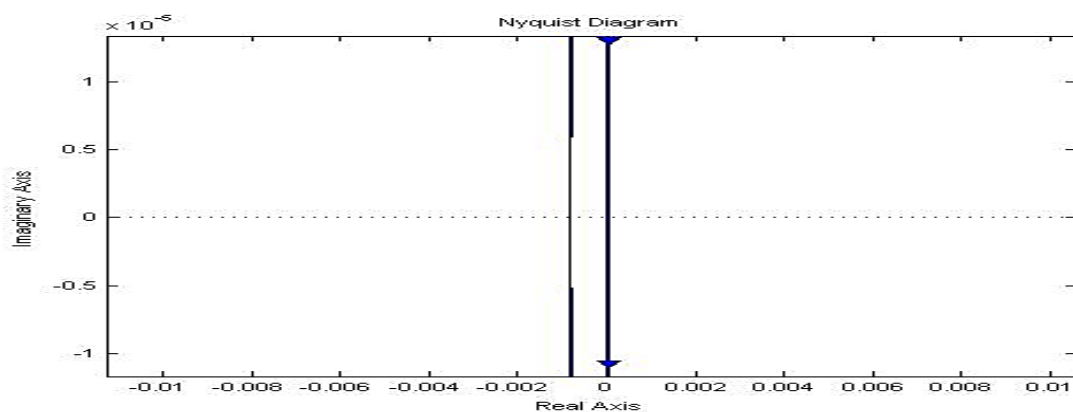
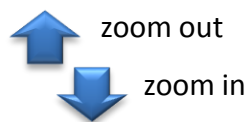
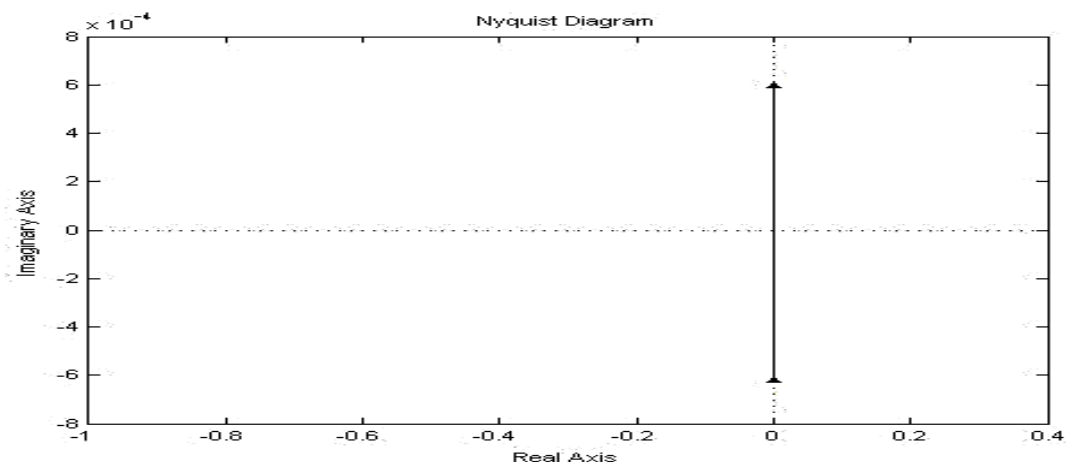
با توجه به نمودار نایکوئیست میتوان پی برد که سیستم ناپایدار است. چون 1- را دور زده است

وارد کردن تاخیر 0.2 ثانیه به سیستم و مشاهده نمودار نایکوئیست:

میدانیم سیستم تاخیر یافته به اندازه $t=0.2$ ثانیه به صورت روبه رو است. حال با گرفتن تبدیل لاپلاس از طرفین به رابطه ی زیر میرسیم:

$$G_1''(t) = G_1(t - t_o) \xrightarrow[t_o=0.2s]{L} G_1''(s) = e^{-0.2s} G_1(s)$$

نمودار نایکوئیست تاخیر یافته $G_1''(s)$:



با مقایسه این نمودار و نمودار نایکوئیست $G_1''(s)$ و $G_1'(s)$ درمیابیم که جهت گردش نمودار نایکوئیست تغییر کرده ولی چون -1 را دور نمیزند همچنان سیستم پایدار است یعنی در این سیستم تاخیر بر پایداری سیستم تاثیری نداشته است