

## **ΣΑΕ-II**

### **5<sup>η</sup> Εργαστηριακή Άσκηση**

**Έλεγχος (State Feedback + Outer Loop Gain Compensator)**

**Κινούμενου Ανεστραμμένου Εκκρεμούς**

Γιώργος Μπολάτογλου

Ο κώδικας που υλοποιήσαμε στο προηγούμενο εργαστήριο:

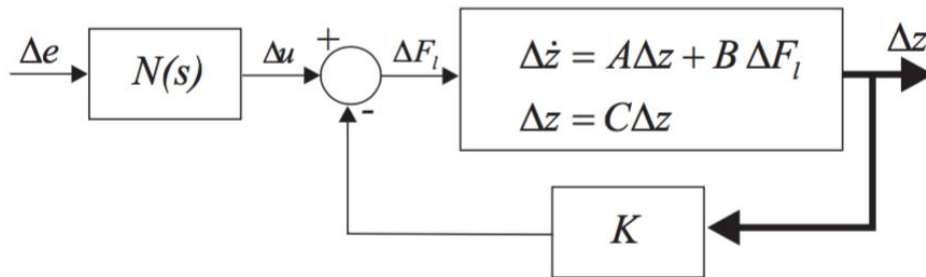
```

1 -   clc;
2 -   clear;
3
4 -   M=1;m=1;l=1;B_l=0.3;B_r=0.3;g=10;
5
6 -   A_lin=zeros(4,4);B_lin=zeros(4,1);
7
8 -   A_lin(1,2)=1;
9 -   A_lin(2,2)=-B_r/(m*l^2)-B_r/(M*l^2);
10 -  A_lin(2,1)=(m+M)*g/M*l;
11 -  A_lin(2,3)=m*g/M;
12 -  A_lin(2,4)=-B_r/l/M;
13 -  A_lin(3,4)=1;
14 -  A_lin(4,2)=-B_l/M/l;
15 -  A_lin(4,3)=(m*g/M/l)+g/l;
16 -  A_lin(4,4)=(-B_r/m/l^2)+(-B_r/M/l^2);
17
18 -  B_lin(2)=1/M*l;
19 -  B_lin(4)=1/M/l;
20
21 -  C_lin=eye(4);
22 -  D_lin=zeros(4,1);|
23   % state space form for x and \dot{x}
24   % u=K_1 x + K_2 \dot{x}
25 -  K_f_xdx=place(A_lin,B_lin,[-1;-2;-3;-4]);
26 -  A_lin_2=A_lin-B_lin*K_f_xdx;
27 -  t=[0:0.01:10];u=ones(size(t));
28 -  xdx_cl=lsim(A_lin_2,B_lin,C_lin,D_lin,u,t);
29 -  G = ss(A_lin_2,B_lin,C_lin,D_lin);
30
31 -  [n,d]=ss2tf(A_lin_2,B_lin,C_lin,D_lin);
32
33 -  n1=n(1,:);
34 -  Dx = tf(n1,d);

```

Χρησιμοποιούμε μόνο διάνυσμα Δx.

A)



```
40 - s=tf('s');
41 - N=50/(s+5);
42 - Y=series(N,Dx);
```

Η Συνάρτηση μεταφοράς που προκύπτει:

$$Y = \frac{50 s^2 + 15 s - 500}{s^5 + 15 s^4 + 85 s^3 + 225 s^2 + 274 s + 120}$$

B)

Υπολογισμός πόλων και μηδενικών της παραπάνω συνάρτησης μεταφοράς:

```
44 - poles=pole(Y)
45 - zeroes=zero(Y)
```

poles =

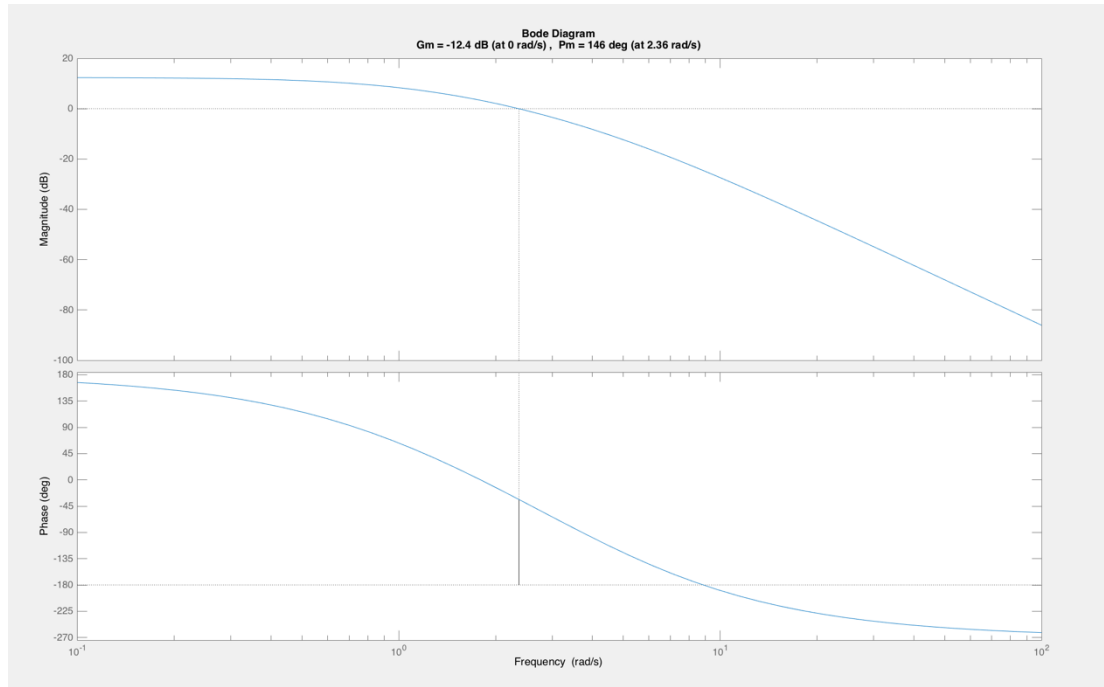
```
-5.0000
-4.0000
-3.0000
-2.0000
-1.0000
```

zeroes =

```
-3.3158
3.0158
```

$\Gamma$ )

```
47 - bode(Y);  
48 - margin(Y);  
49 - [Gm,Pm] == margin(Y)
```



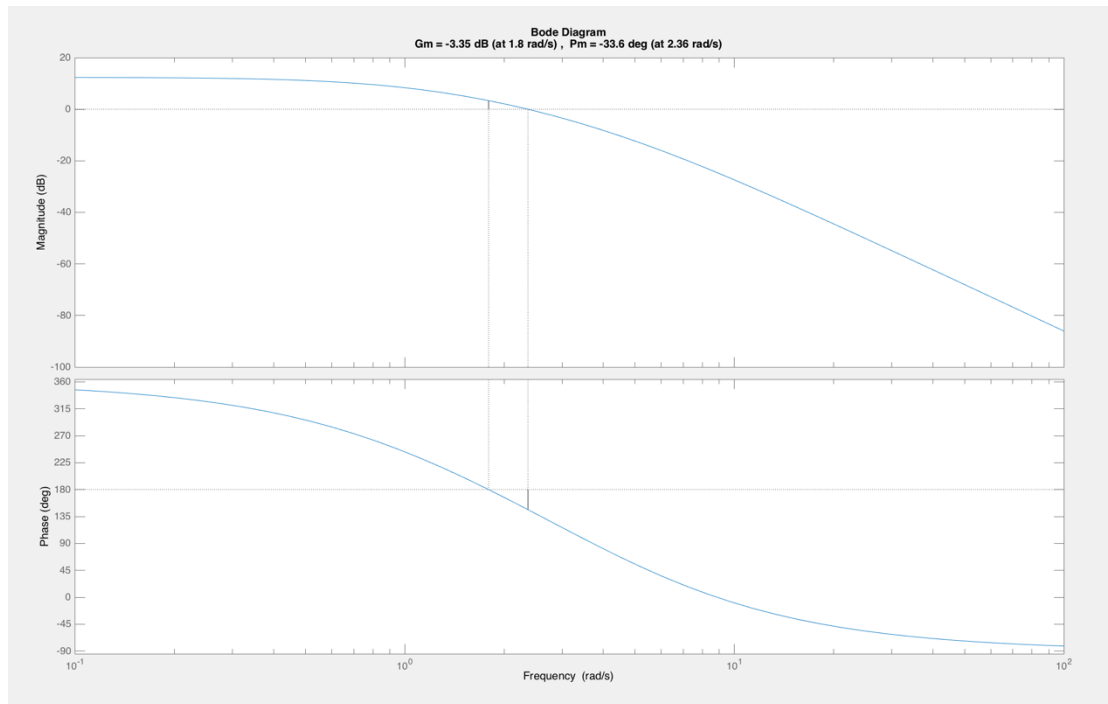
Gm =

0.2400

Pm =

146.4191

Ομοίως και για -Y:



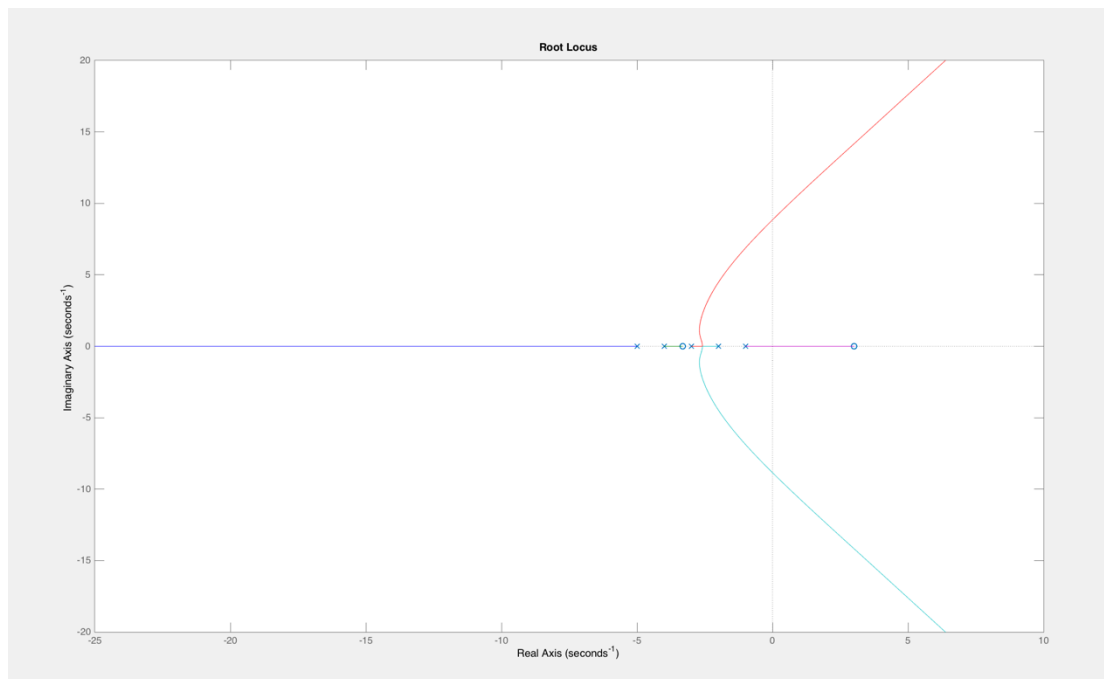
Gm =

0.6801

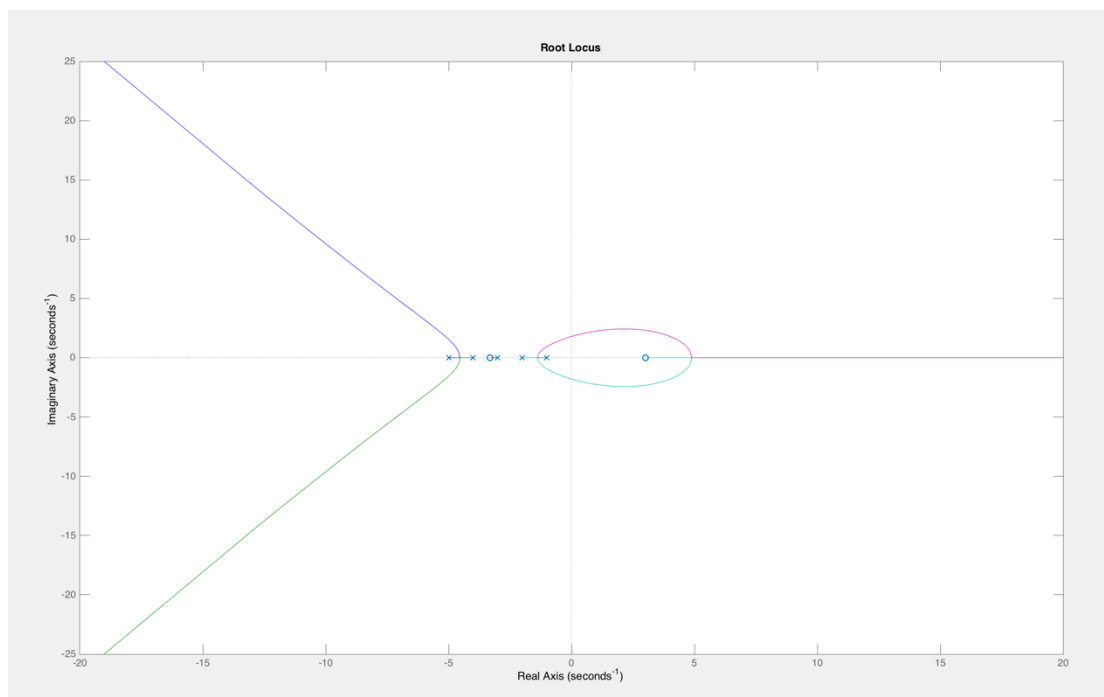
Pm =

-33.5809

Δ) Χρησιμοποιώντας την εντολή rlocus(Y);

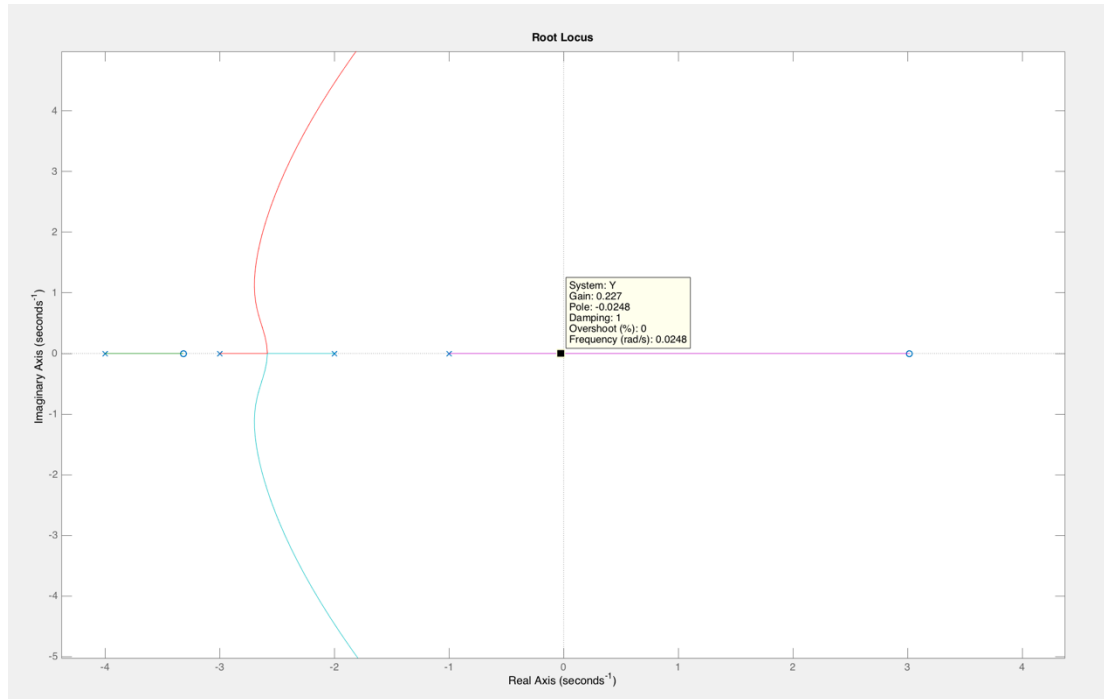


και για  $-Y$ :

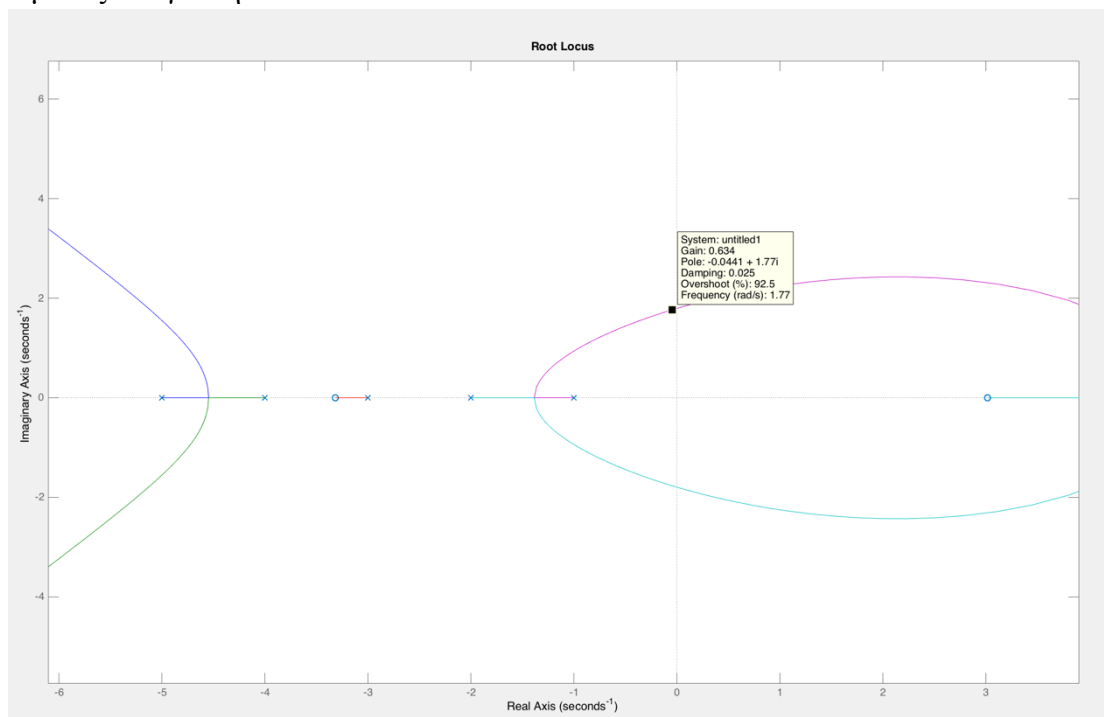


E)

Χρησιμοποιούμε τον κέρσορα για να βρούμε το όριο του  $K$ . Τα σημεία για τα οποία διατηρείται η ευστάθεια είναι εκεί που η πορεία των πόλων, καθώς αυξάνεται το  $K$ , θα τέμνει τον  $y$  άξονα για πρώτη φορά.



Ομοίως και για την  $-Y$ :



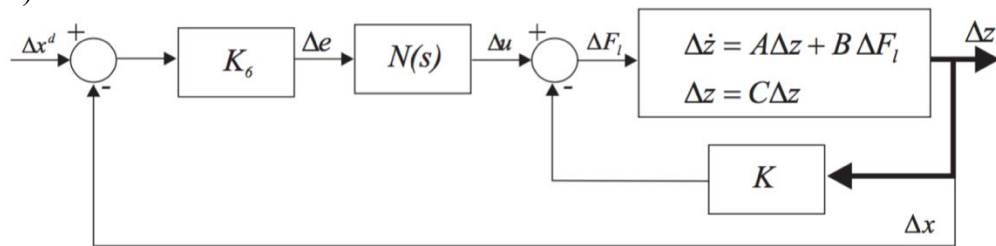
Άρα προσεγγιστικά με τον κέρσορα έχουμε:  $K \in [-0.634, 0.227]$

Συγκρίνουμε με το gm των bode που  $K \in [-0.68011, 0.24]$ .

Παρατηρούμε ότι έχουμε μια σημαντική απόκλιση αν χρησιμοποιήσουμε τις τιμές προσεγγιστικά! Αν χρησιμοποιήσουμε και την εντολή `format long` στο command window θα έχουμε πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια με περισσότερα δεκαδικά. Για παράδειγμα το gm για  $-Y$  θα είναι:

0.680082904563807

ΣΤ)



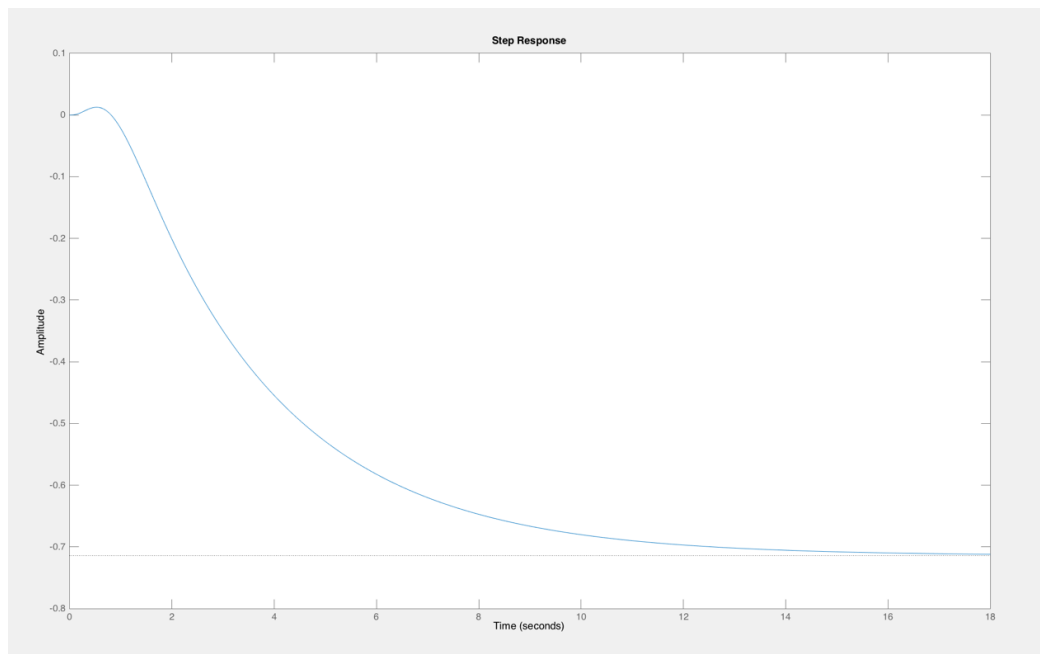
Υλοποιούμε το κλειστό σύστημα της φωτογραφίας με τις εξής εντολές:

```
40 - s=tf('s');  
41 - N=50/(s+5);  
42 - Y=series(N,Dx);  
  
51 - k=0.1;  
52 - OUTPUT=k*Y;  
53 - H=feedback(OUTPUT,1);  
54 - step(H)
```

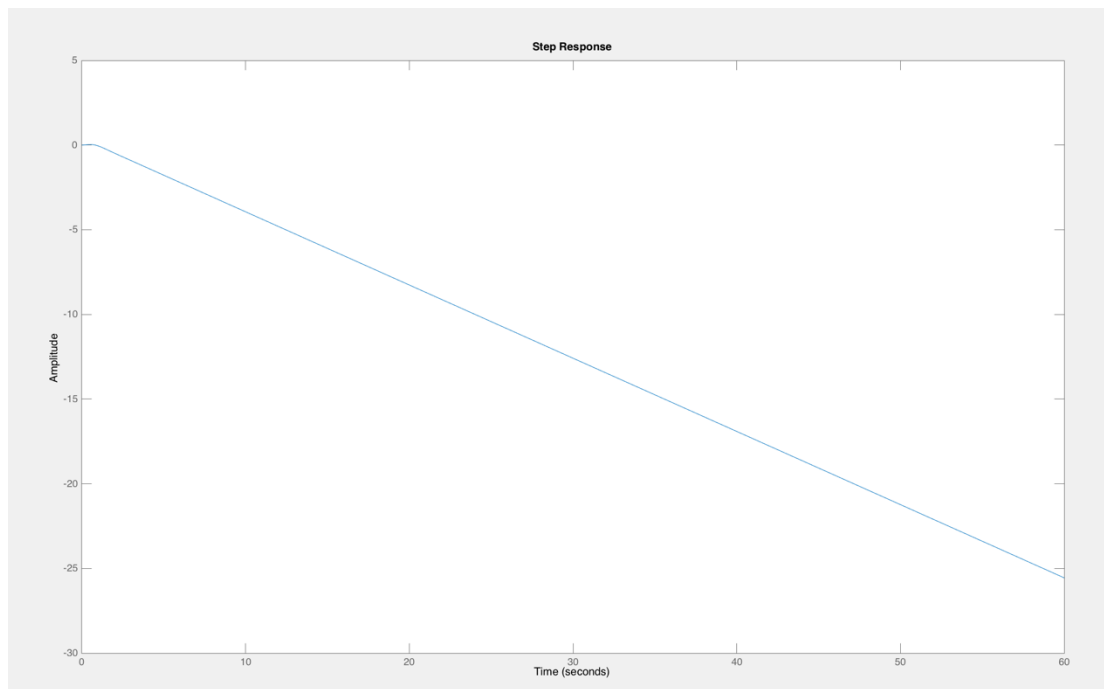
και δοκιμάζουμε για το  $K$  διάφορες αρνητικές και θετικές τιμές.



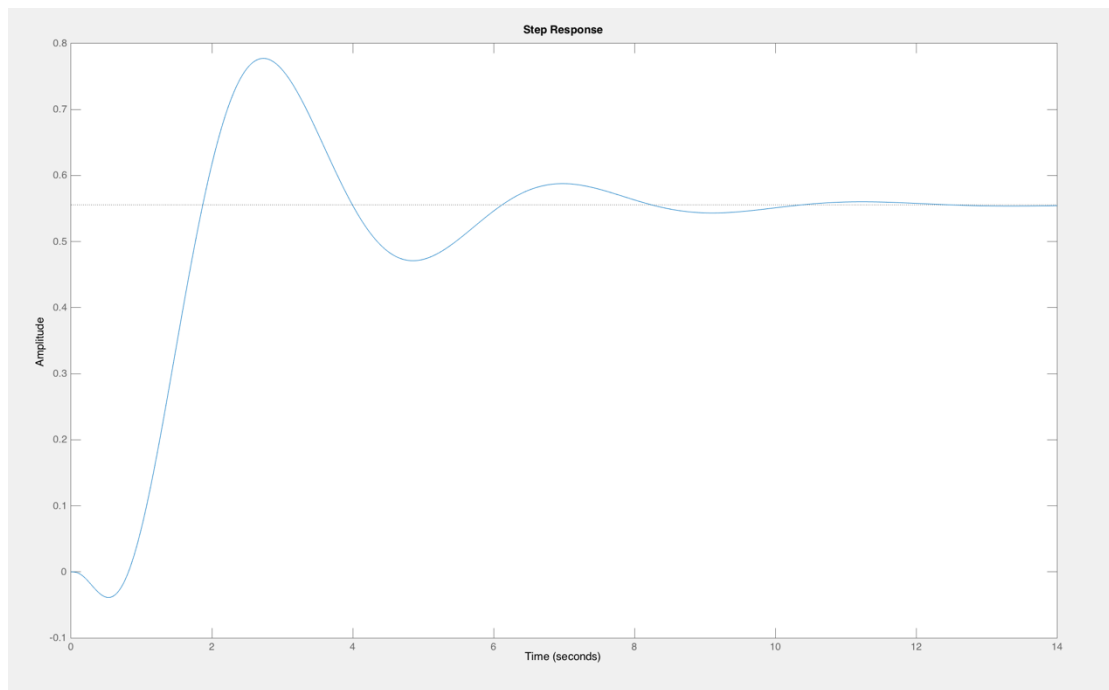
Για  $K=0.1$



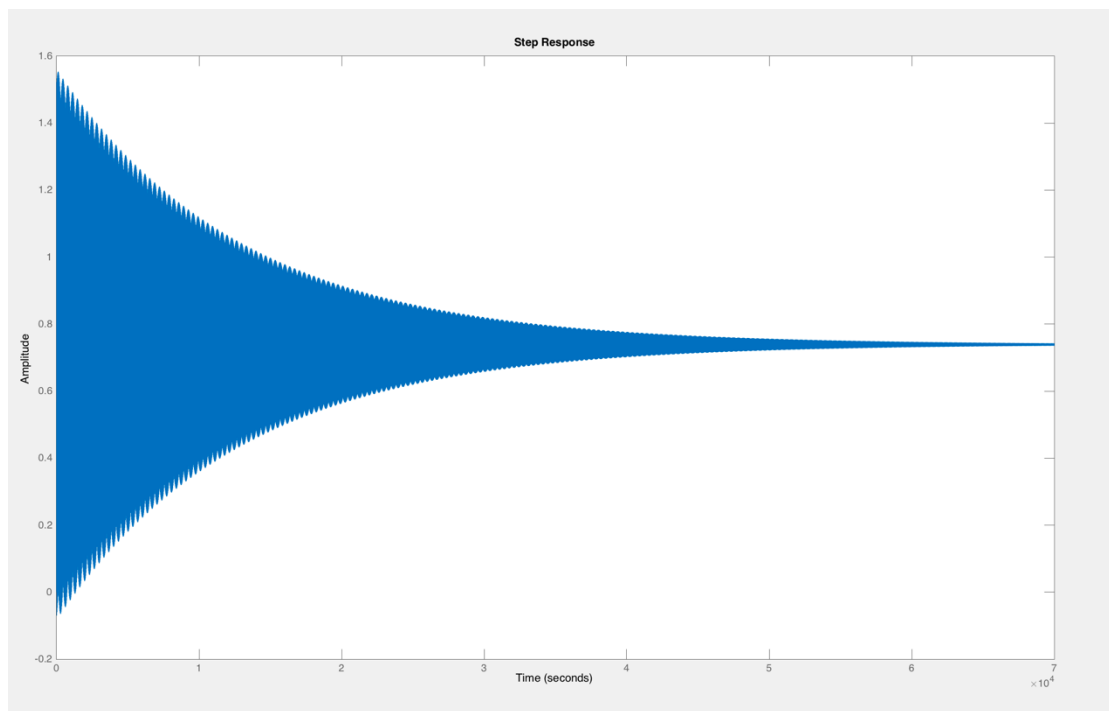
Για την οριακή τιμή  $K=0.24$  που πάει στην αστάθεια:



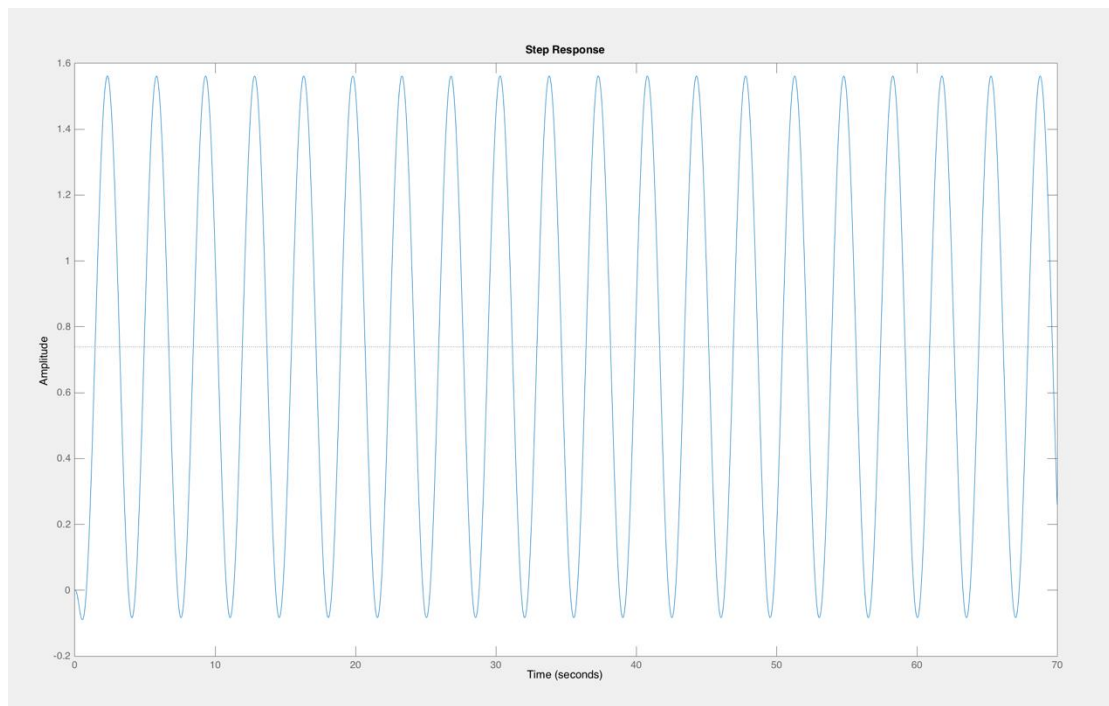
Για  $K=-0.3$



Για  $K=-0.68$



Για την οριακή τιμή  $K=-0.68008294$



Για την τιμή  $K=-0.681$  που μόλις ο ένας πόλος περνά στην αστάθεια:

