ΤΟΜΕΑΣ ΣΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ,

ΡΟΜΠΟΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

3Η ΣΕΙΡΑ ΑΣΚΗΣΕΩΝ ΣΤΟ ΜΑΘΗΜΑ

“ΝΕΥΡΟ-ΑΣΑΦΗΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ”

ΜΠΕΚΡΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

ΑΜ:03117116

Σχεδίαση Προσαρμοστικών Συστημάτων Ελέγχου

Άσκηση 1:

Δίνονται το φυσικό σύστημα:

$$\left\{\begin{matrix} \dot{\theta}=\omega \\ J\dot{\omega}=-K_m i_a \sin(N\theta)+K_m i_b \cos(N\theta)-B\omega-T_L(\theta) \end{matrix}\right\}(1)$$

και το σύστημα αναφοράς:

$$\begin{bmatrix}\dot{\theta}_r \\ \dot{\omega}_r\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0 & 1 \\ -24 & -10\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\theta_r \\ \omega_r\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}0 \\ 24\end{bmatrix}\theta_c,\ A_m=\begin{bmatrix}0 & 1 \\ -24 & -10\end{bmatrix}, B=\begin{bmatrix}0 \\ 24\end{bmatrix},$$

Για την σχεδίαση του ζητούμενου ελεγκτή μετασχηματίσαμε το μη-γραμμικό σύστημα εξισώσεων σε γραμμικό, ώστε να μπορέσουμε να κάνουμε χρήση των τύπων της μεθόδου MRAC.

Επομένως, στο σύστημα (1), θέτουμε $\left\{\begin{matrix} i_a=-\sin(N\theta)u \\ i_b=\cos(N\theta)u \end{matrix}\right\}$ και προκύπτει:

$$\left\{\begin{matrix} \dot{\theta}=\omega \\ J\dot{\omega}=-B\omega+K_m u-T_L(\theta) \end{matrix}\right\}$$

1, 2)
Θεωρούμε μηδενική εξωτερική ροπή, οπότε προκύπτει:

$$\begin{Bmatrix} \dot{\theta} = \omega \\ J\dot{\omega} = -B\omega + K_m u \end{Bmatrix}$$

Μετατρέποντας σε εξισώσεις κατάστασης, έχουμε:

$$\begin{bmatrix} \dot{\theta} \\ \dot{\omega} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & \frac{-B}{J} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta \\ \omega \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{K_m}{J} \end{bmatrix} u \,,\ A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & \frac{-B}{J} \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{K_m}{J} \end{bmatrix},$$

Για να χρησιμοποιήσουμε τη μέθοδο MRAC, με είσοδο $u = \hat{K}_x^T x + \hat{K}_r^T r$ πρέπει να ελέγξουμε αν ισχύουν τα matching conditions.

Τα matching condition είναι τα εξής:

$$\begin{Bmatrix} A + BK_x^T = A_m \\ BK_r^T = B_m \end{Bmatrix}$$

Για να ισχύουν αρκεί ο πίνακας B, να είναι αντιστρέψιμος. Αφού ο B δεν είναι τετραγωνικός εργαζόμαστε αναλυτικά και καταλήγουμε:

$$BK_x^T = Am - A \rightarrow \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{K_m}{J} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} k_{x1} k_{x2} \end{bmatrix} = A_m - A \rightarrow \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ k_{x1}\frac{K_m}{J} & k_{x2}\frac{K_m}{J} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \frac{B}{J} - 24 & -10 \end{bmatrix} \rightarrow$$

$$\begin{Bmatrix} k_{x1} = (\frac{B}{J} - 24)\frac{J}{K_m} \\ k_{x2} = -10\frac{J}{K_m} \end{Bmatrix}$$

Επίσης, για το K_r^T , έχουμε $k_r = 24\frac{J}{K_m}$

Άρα, αρκεί $J \neq 0, K_m \neq 0$, που ισχύει οπότε μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τους τύπους.

Θέλουμε παρακολούθηση και εκμηδενισμό του σφάλματος $e = x - x_m (2)$. Παραγωγίζοντας τη (2) προκύπτει:

$$\dot{e} = A_m e + B(\Delta K_x^T x + \Delta k_r r)$$

Επιλέγοντας υποψήφια συνάρτηση Lyapunov:

$$V(e, \Delta \hat{K}_x, \Delta \hat{k}_r) = e^T P e + trace(\Delta \hat{K}_x^T \Gamma_x^{-1} \Delta \hat{K}_x) + \Delta \hat{k}_r^2 \gamma_r^{-1} (3)$$

και παραγωγίζοντας την (3), έχουμε:

$$\dot{V} = -e^T Q e + 2\,trace(\Delta K_x^T (x e^T P B + \Gamma_x^{-1} \dot{\hat{K}}_x^T)) + 2 \Delta k_r (e^T P B r + \gamma^{-1} \dot{\hat{k}}_r)$$

Επιλέγω τους νόμους προσαρμογής, ώστε να μηδενίζονται οι όροι εκτός του $-e^T Q e$.

$$\begin{Bmatrix} \dot{\hat{k}}_x^T = -\Gamma_x x e^T P B \\ \dot{\hat{k}}_r = -\gamma_r r e^T P B \end{Bmatrix}$$

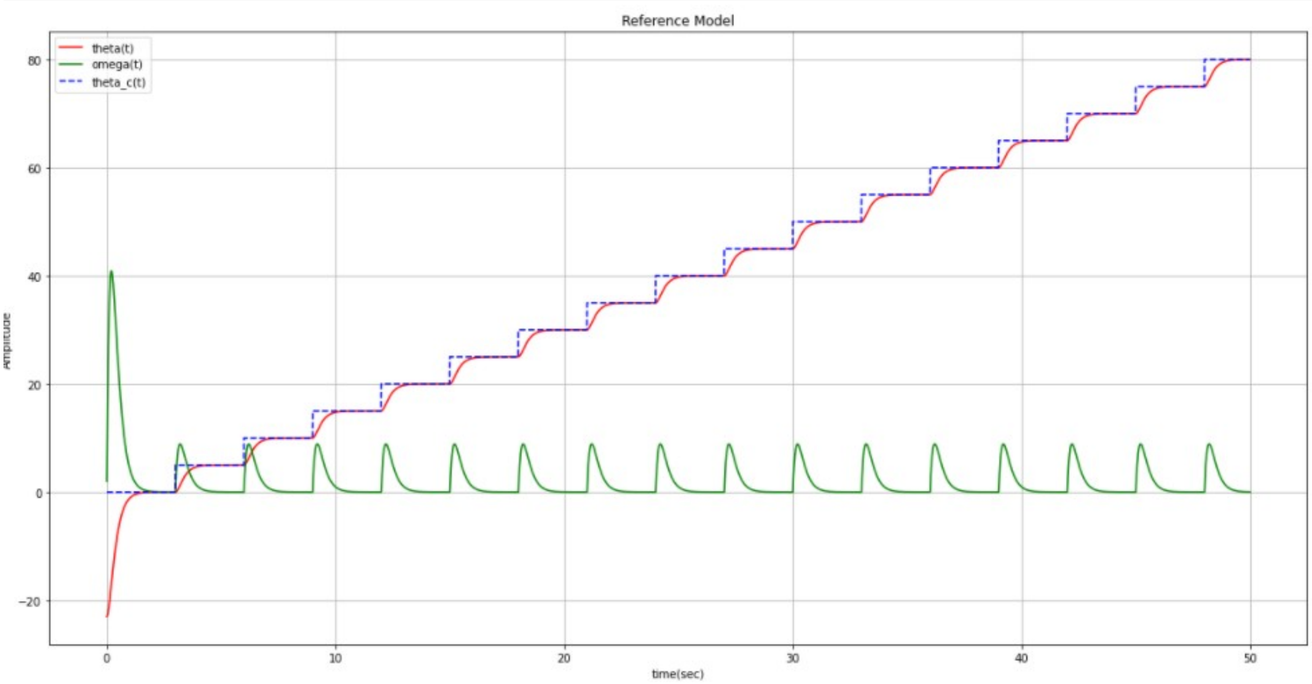
Επομένως, $\dot{V} \le 0$, αρνητικά ημι-ορισμένη και όλα τα σήματα κλειστού βρόγχου είναι φραγμένα, καθώς $\ddot{V} = -(\dot{e}^Q e + e^T Q \dot{e}) < 0$. Από Barbala's Lemma, $\lim \dot{V} = 0 \rightarrow \|e\| = 0$

Σύμφωνα με την παραπάνω ανάλυση έγινε η ζητούμενη προσομοίωση. Η αβεβαιότητα στο σύστημα εισήλθε από τις ποσοστιαίες παρεκκλίσεις των ιδανικών τιμών των κερδών. Παρακάτω παρουσιάζονται τα σχετικά διαγράμματα.

Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι εξής:

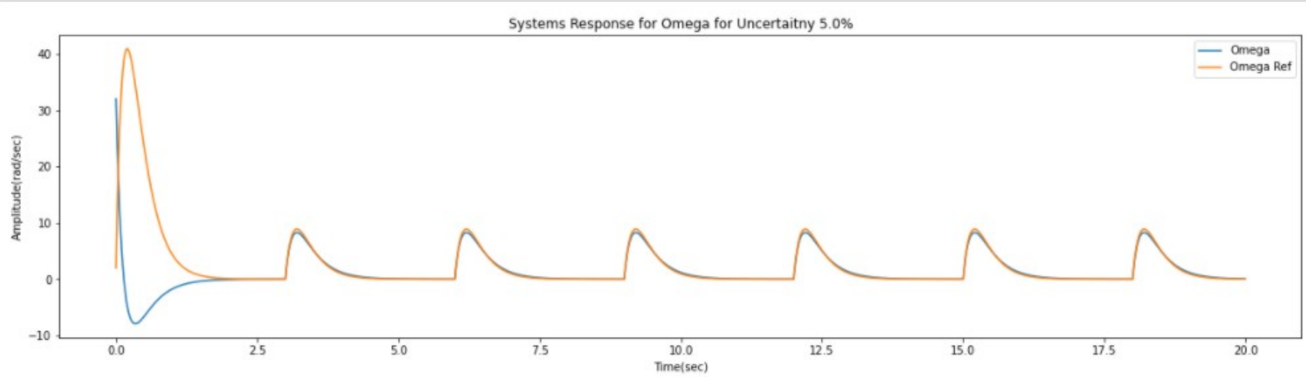
```
J= 4.5 * 10**(-5)
B = 8 * 10 **(-4)
N = 50
K_m = 0.19
A = np.array([[0,1],[0 , -B/J]])
BL = np.array([[0, K_m/J]]).T

A_m = np.array([[0,1],[-24,-10]])
B_m = np.array([[0,24]]).T


l = [0.05, 0.25, 0.5, 0.75] #uncertainty

#matching conditions
AmA = A_m - A
Kx_ideal = np.array([[AmA[1,0]/BL[1] , AmA[1,1]/BL[1]]]).T
Kr_ideal = B_m[1]/BL[1]

Gx = np.array([[50**(-4),0],[0, 50**(-4)]])
gr = 50**(-4)
Q = np.eye(2) * 10**(-3)
```

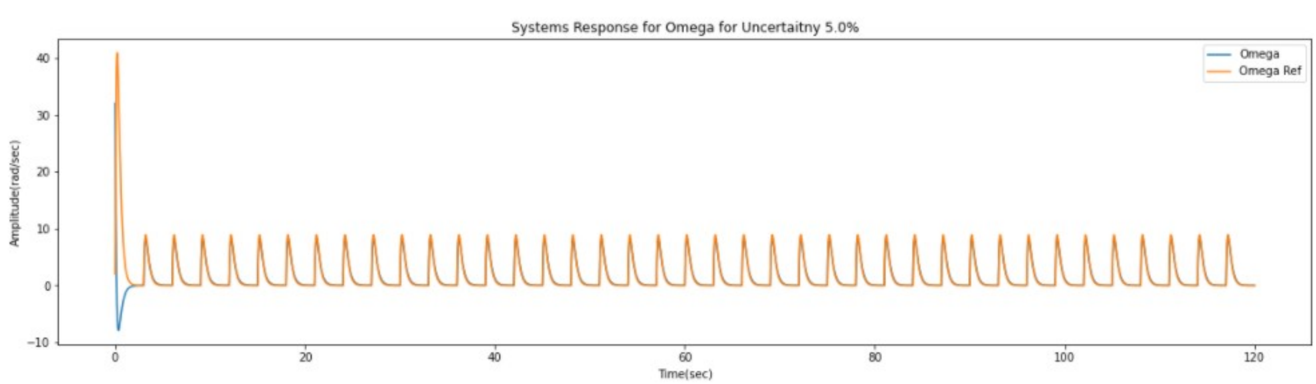
Αρχικά, παρουσιάζουμε το reference model και τη βηματική είσοδο.

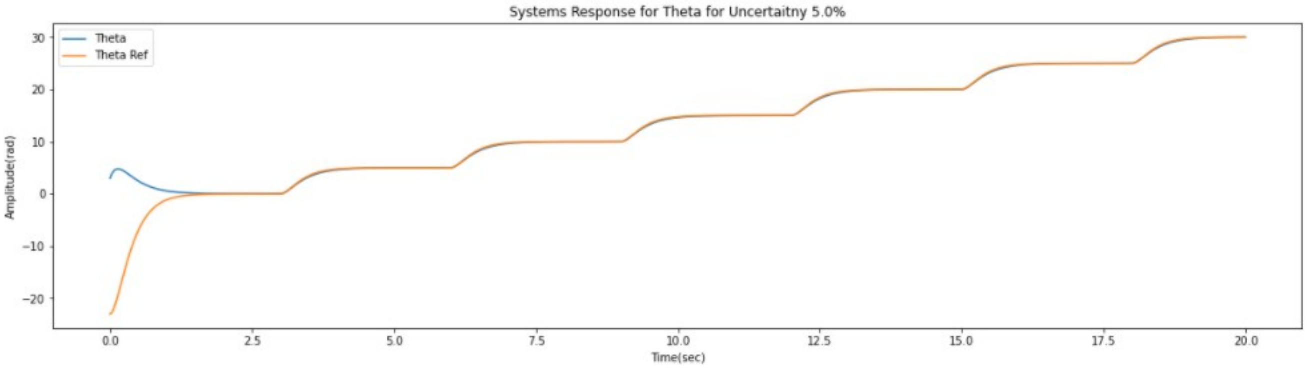


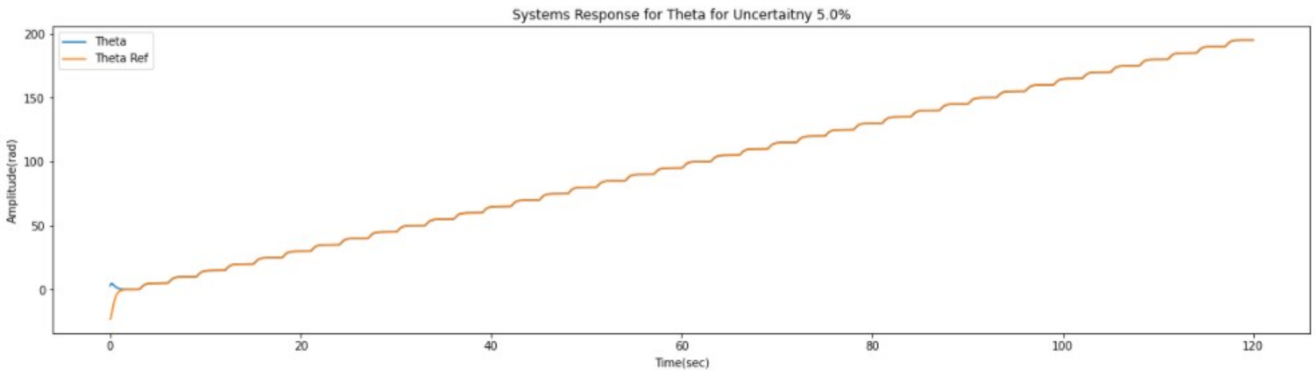
Παρατηρούμε μια διακύμανση στην αρχή, καθώς έχει επιλεχθεί αρχική συνθήκη για το reference model $x_{m0}=\begin{bmatrix}-23\\2\end{bmatrix}$. Ενώ για το φυσικό σύστημα, επιλέχθηκε $x_0=\begin{bmatrix}3\\32\end{bmatrix}$.

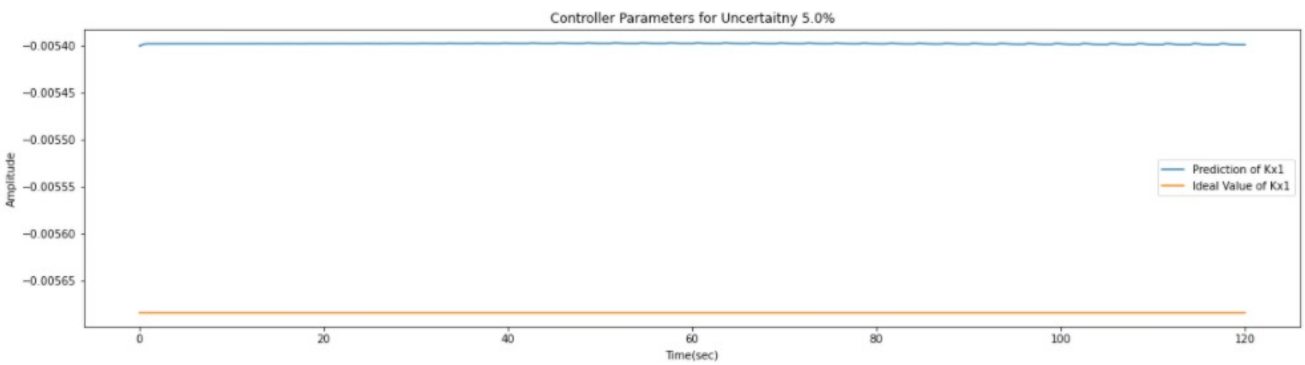
Για αβεβαιότητα a = 5%:

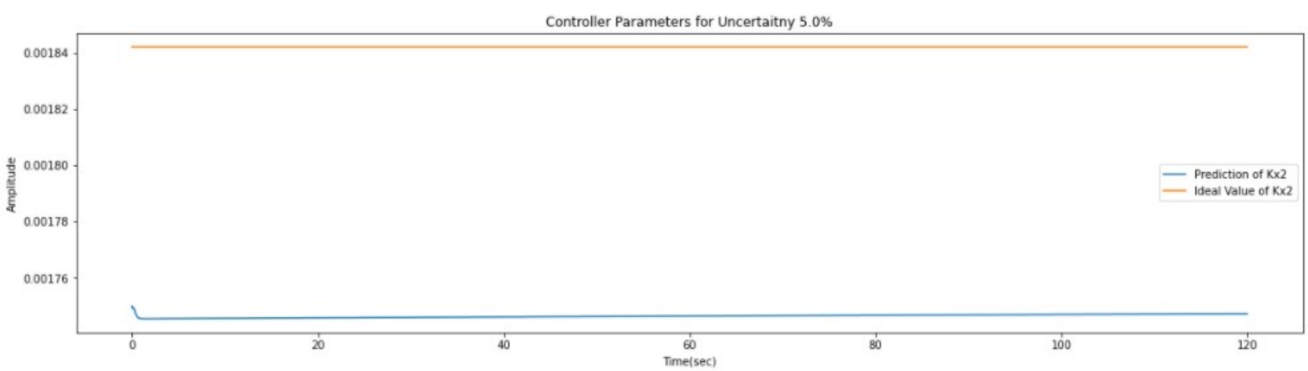


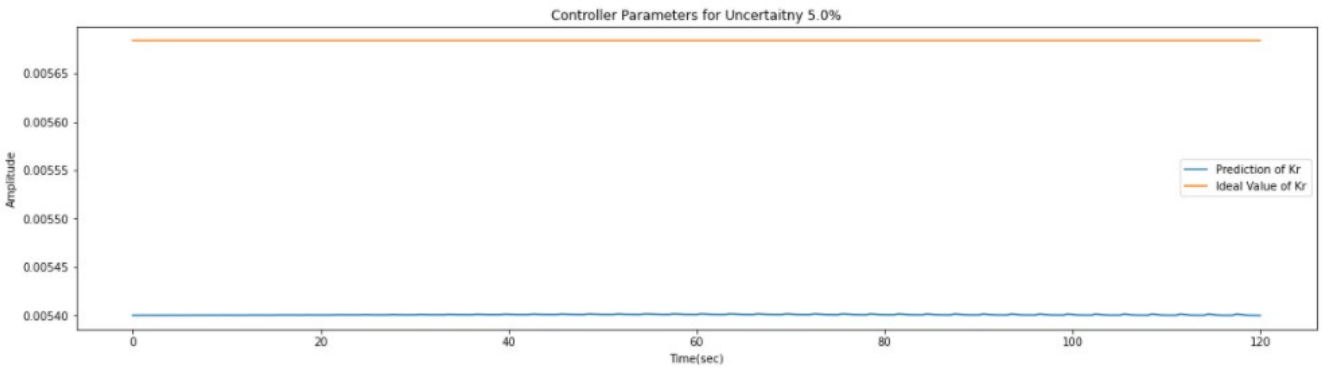


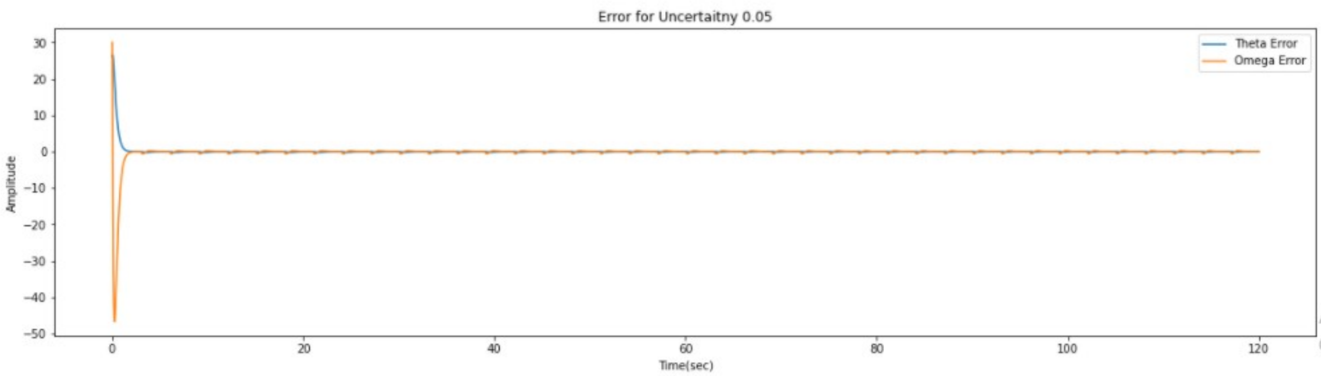

Systems Response for Theta for Uncertaitny 5.0%
Theta
Theta Ref
Amplitude(rad)
Time(sec)
30
20
10
0
−10
−20
0.0
2.5
5.0
7.5
10.0
12.5
15.0
17.5
20.0

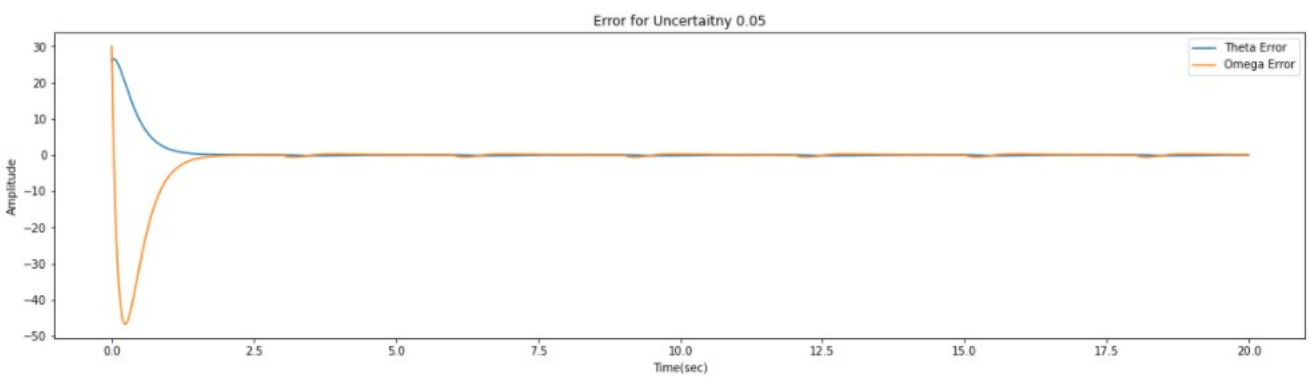

Systems Response for Theta for Uncertaitny 5.0%
Theta
Theta Ref
Amplitude(rad)
Time(sec)
200
150
100
50
0
0
20
40
60
80
100
120

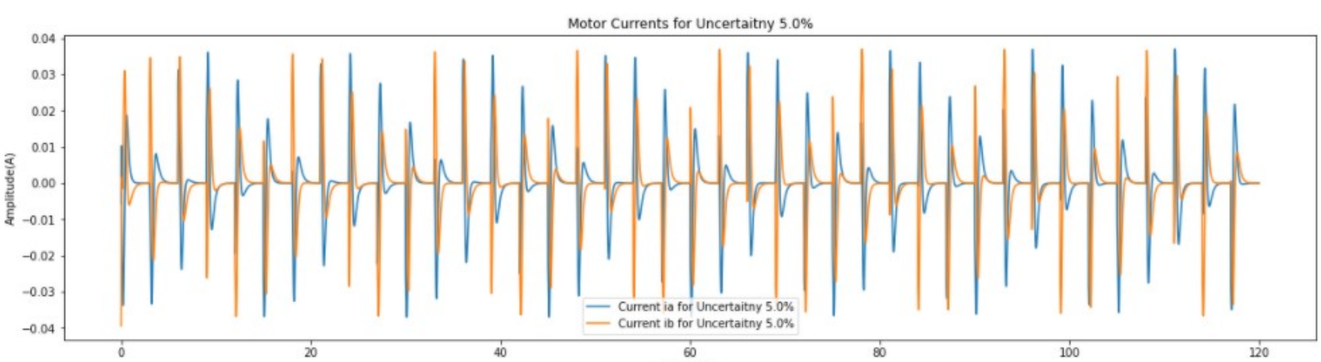

Controller Parameters for Uncertaitny 5.0%
Prediction of Kx1
Ideal Value of Kx1
Amplitude
Time(sec)
−0.00540
−0.00545
−0.00550
−0.00555
−0.00560
−0.00565
0
20
40
60
80
100
120


Controller Parameters for Uncertaitny 5.0%
Prediction of Kx2
Ideal Value of Kx2
Amplitude
Time(sec)
0.00184
0.00182
0.00180
0.00178
0.00176
0
20
40
60
80
100
120

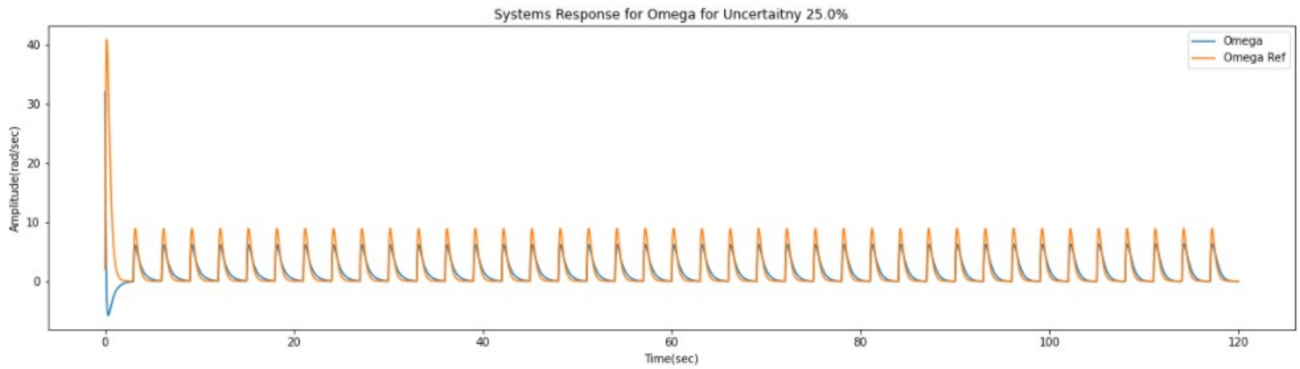

Controller Parameters for Uncertaitny 5.0%
Amplitude
Time(sec)
Prediction of Kr
Ideal Value of Kr

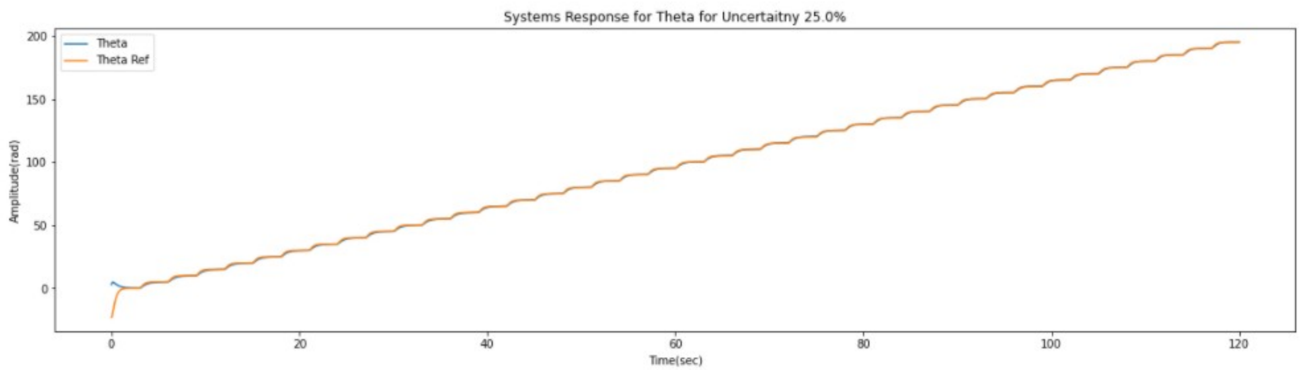

Error for Uncertaitny 0.05
Amplitude
Time(sec)
Theta Error
Omega Error

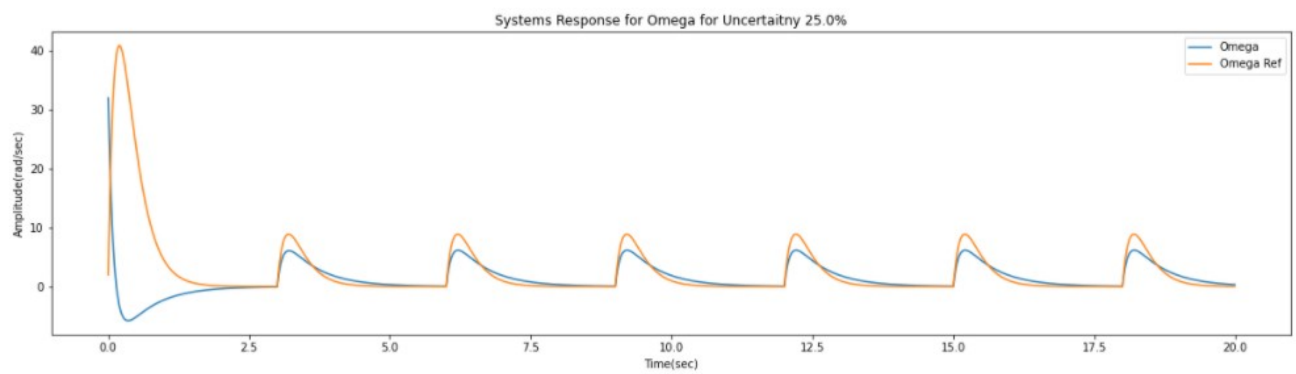

Error for Uncertaitny 0.05
Amplitude
Time(sec)
Theta Error
Omega Error

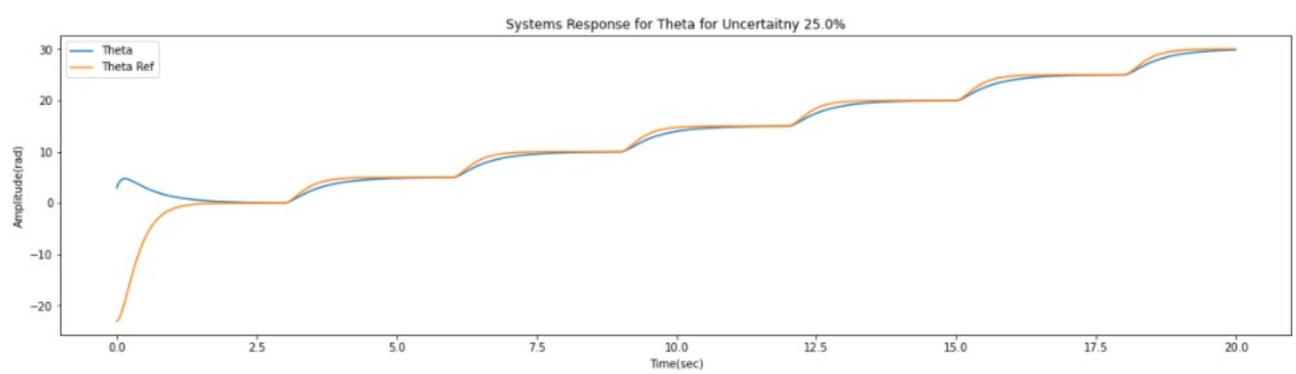

Motor Currents for Uncertaitny 5.0%
Amplitude(A)
Time(sec)
Current ia for Uncertaitny 5.0%
Current ib for Uncertaitny 5.0%

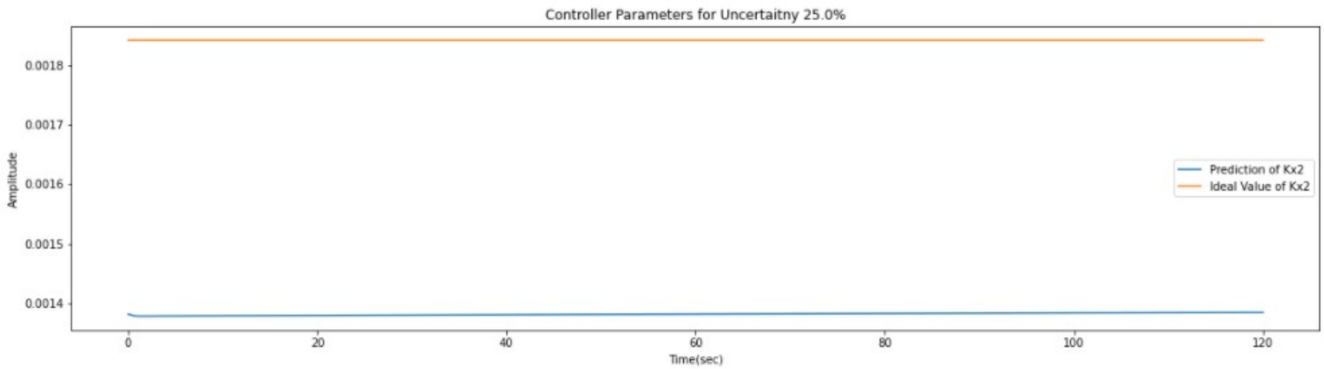
Για αβεβαιότητα a = 25%:

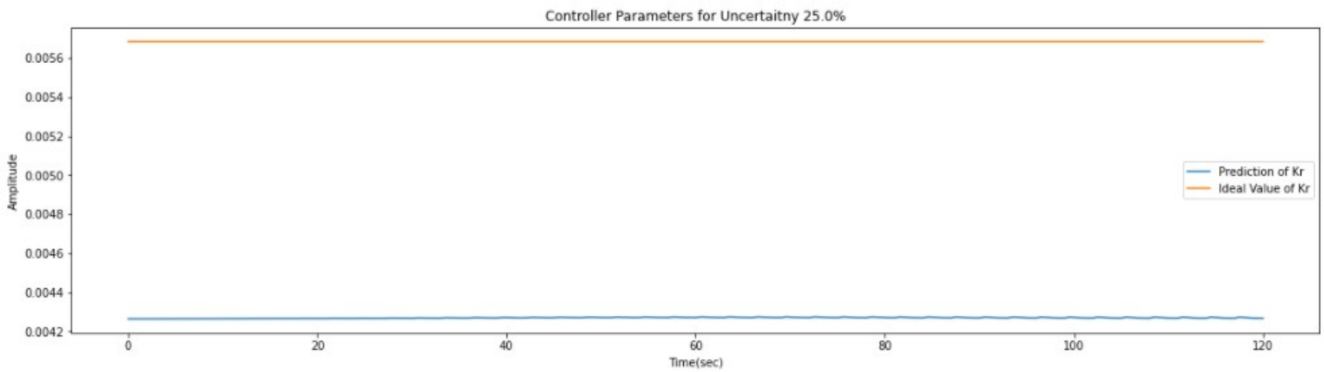


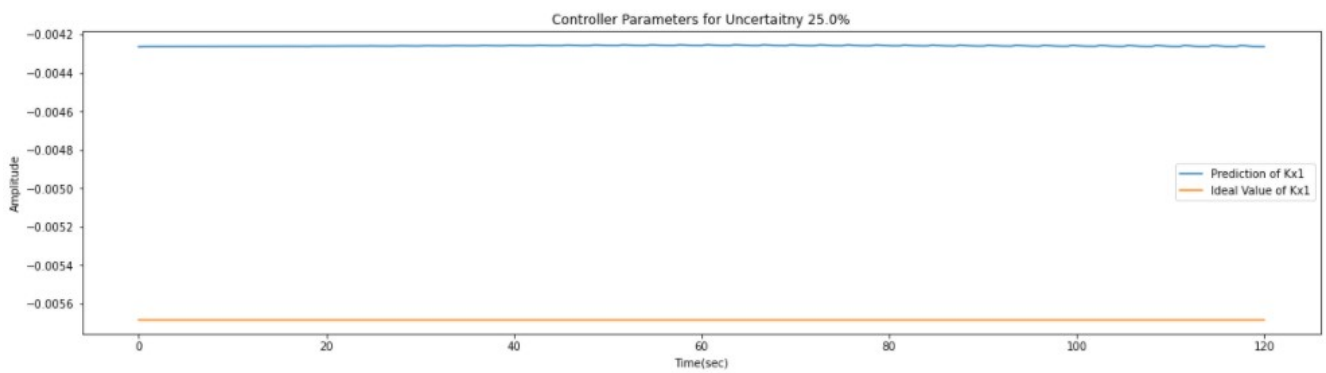


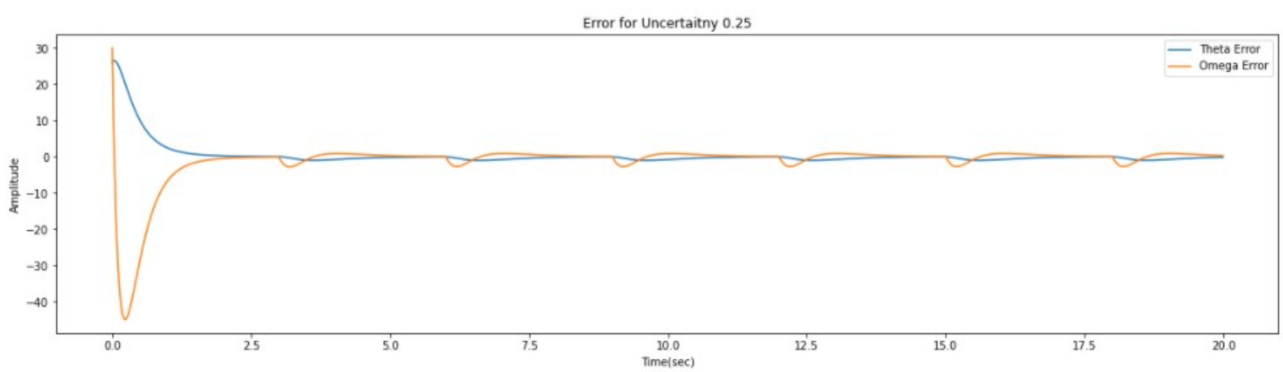


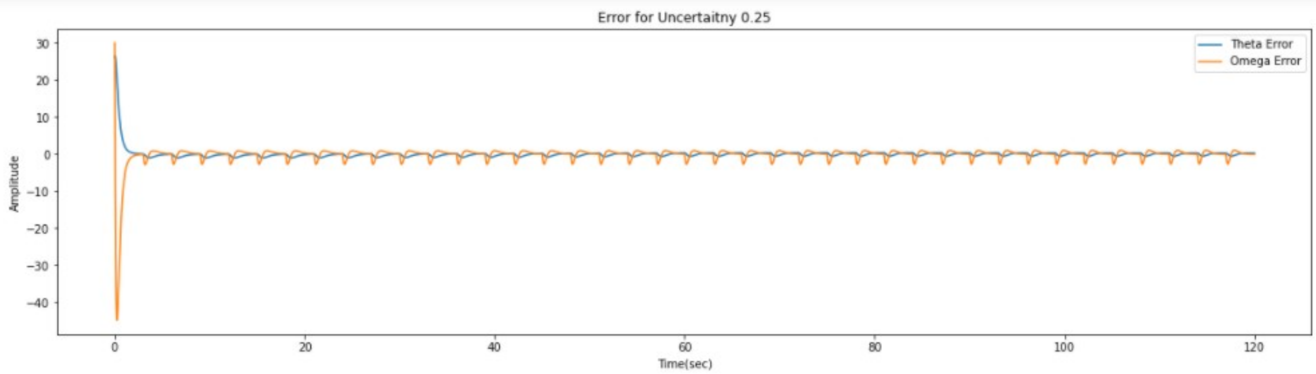


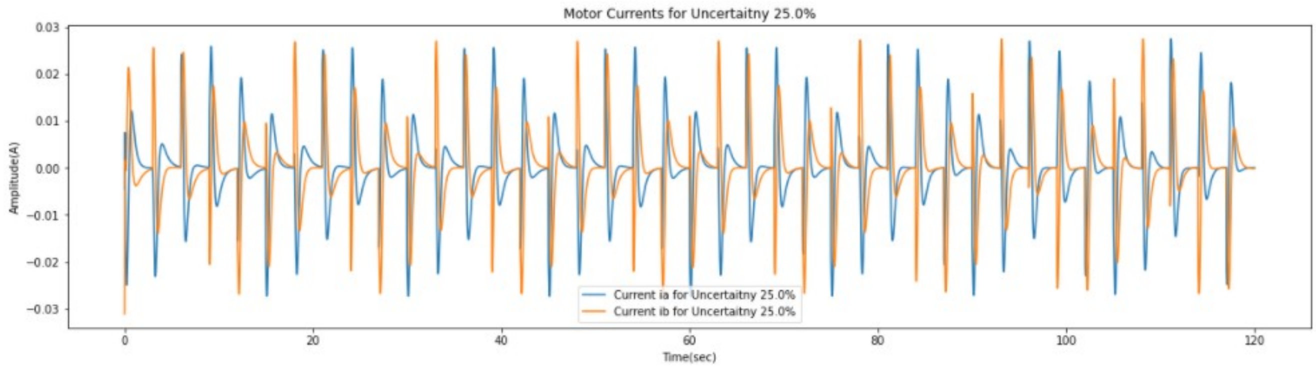

Controller Parameters for Uncertaitny 25.0%
Prediction of Kx2
Ideal Value of Kx2
Amplitude
Time(sec)


Controller Parameters for Uncertaitny 25.0%
Prediction of Kr
Ideal Value of Kr
Amplitude
Time(sec)

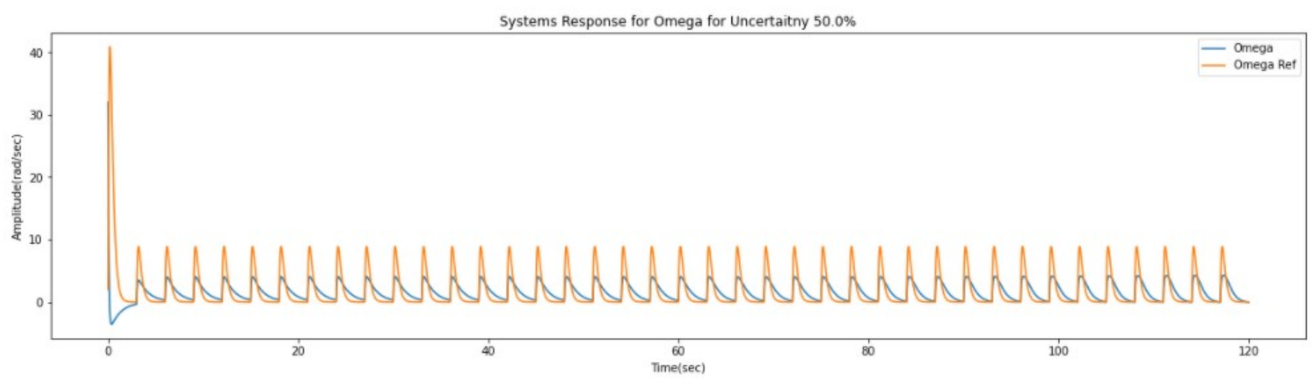

Controller Parameters for Uncertaitny 25.0%
Prediction of Kx1
Ideal Value of Kx1
Amplitude
Time(sec)

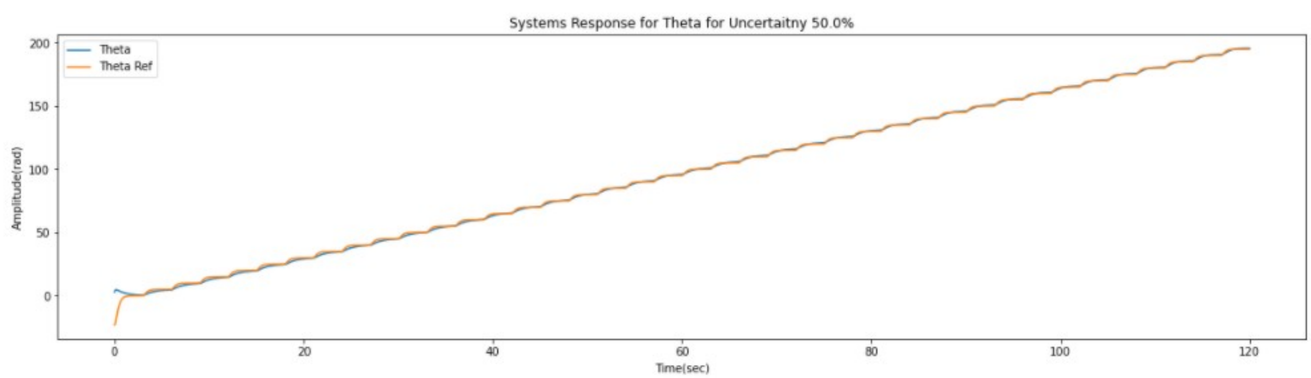

Error for Uncertaitny 0.25
Theta Error
Omega Error
Amplitude
Time(sec)

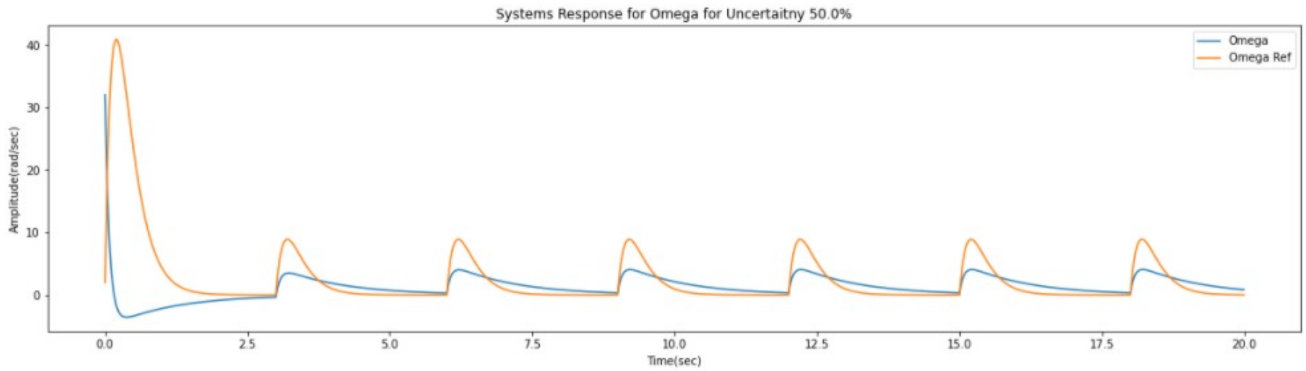


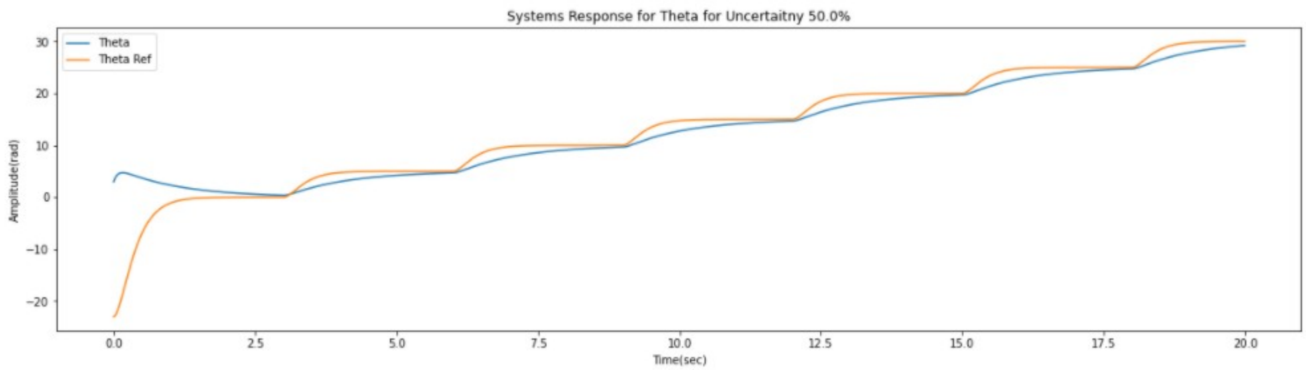


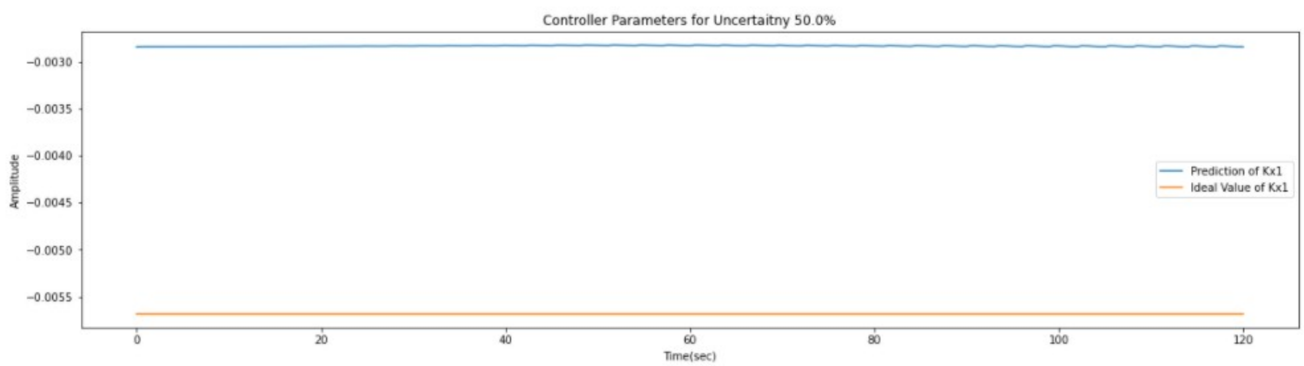
Για αβεβαιότητα a = 50%:

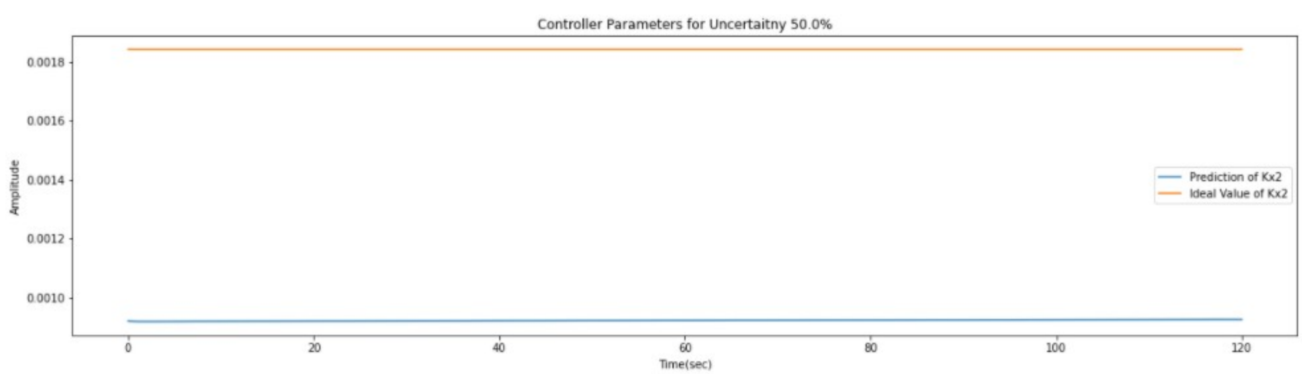


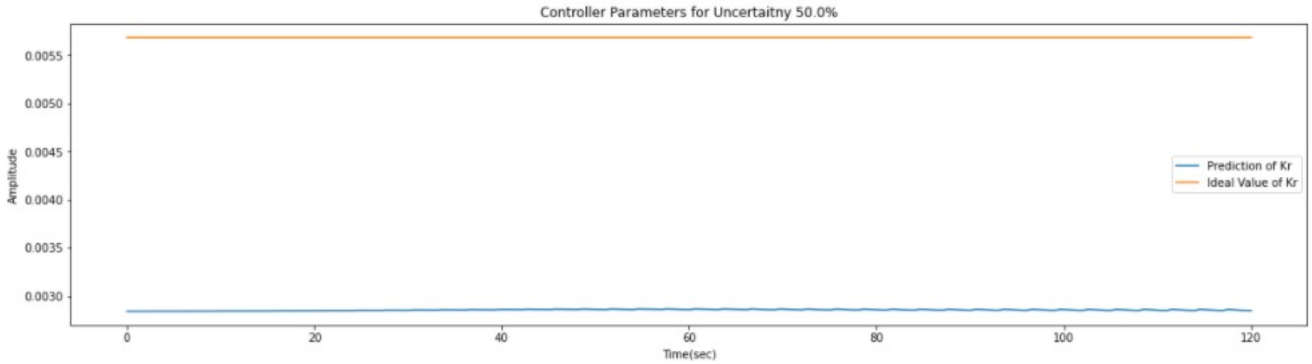


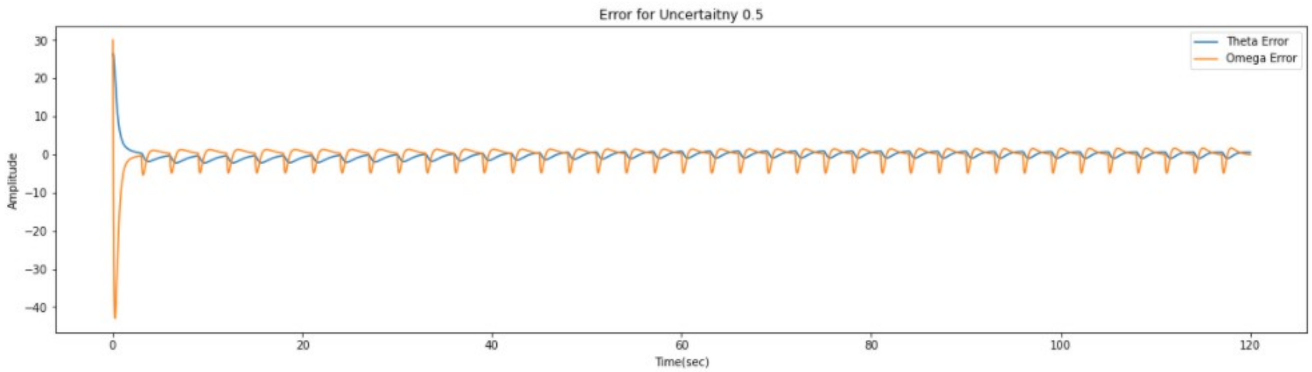

Systems Response for Omega for Uncertaitny 50.0%
Omega
Omega Ref
Amplitude(rad/sec)
Time(sec)

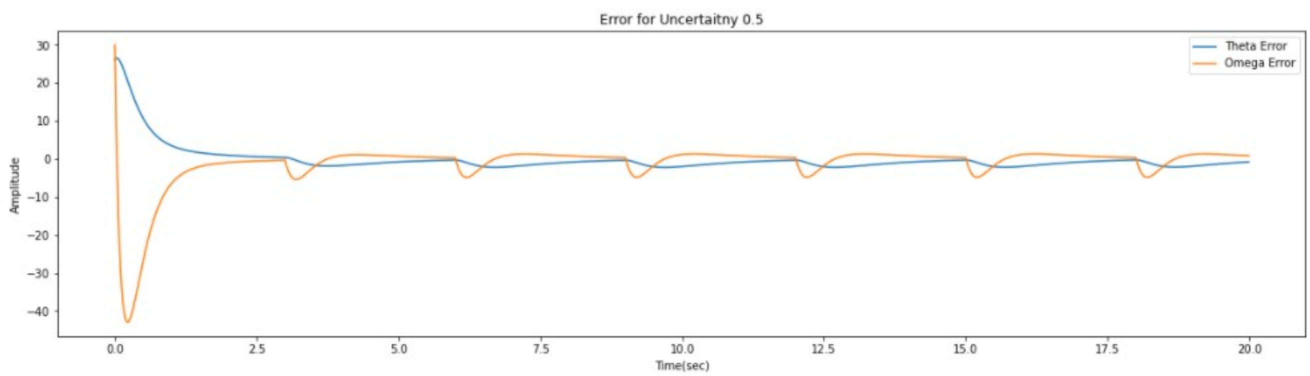

Systems Response for Theta for Uncertaitny 50.0%
Theta
Theta Ref
Amplitude(rad)
Time(sec)

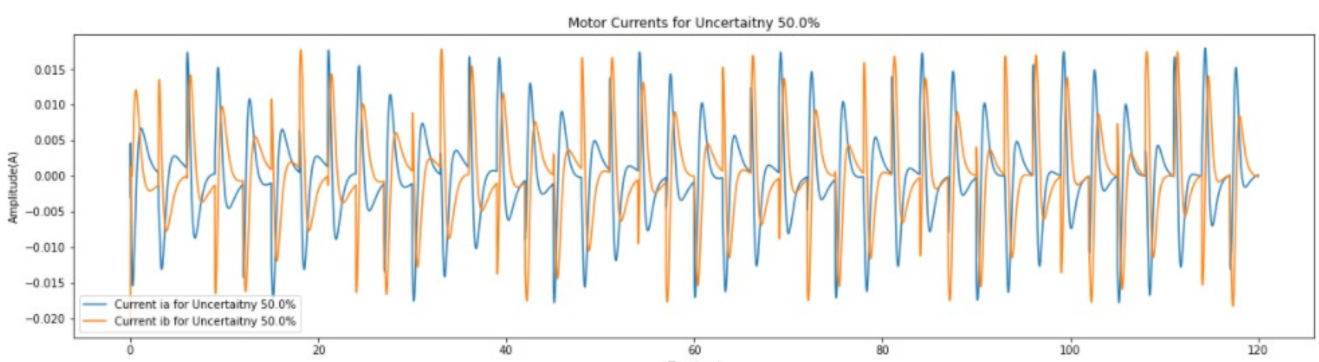

Controller Parameters for Uncertaitny 50.0%
Prediction of Kx1
Ideal Value of Kx1
Amplitude
Time(sec)


Controller Parameters for Uncertaitny 50.0%
Prediction of Kx2
Ideal Value of Kx2
Amplitude
Time(sec)

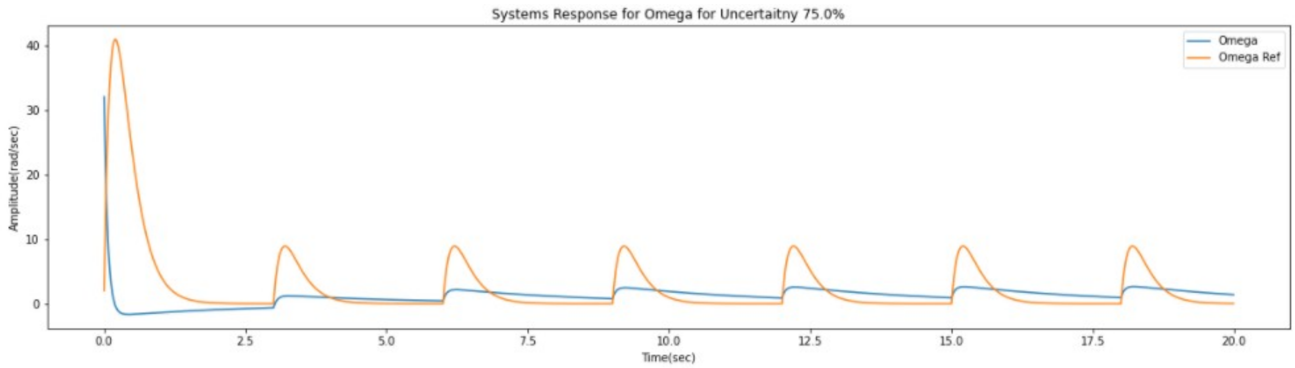

Controller Parameters for Uncertaitny 50.0%
Amplitude
Time(sec)
Prediction of Kr
Ideal Value of Kr

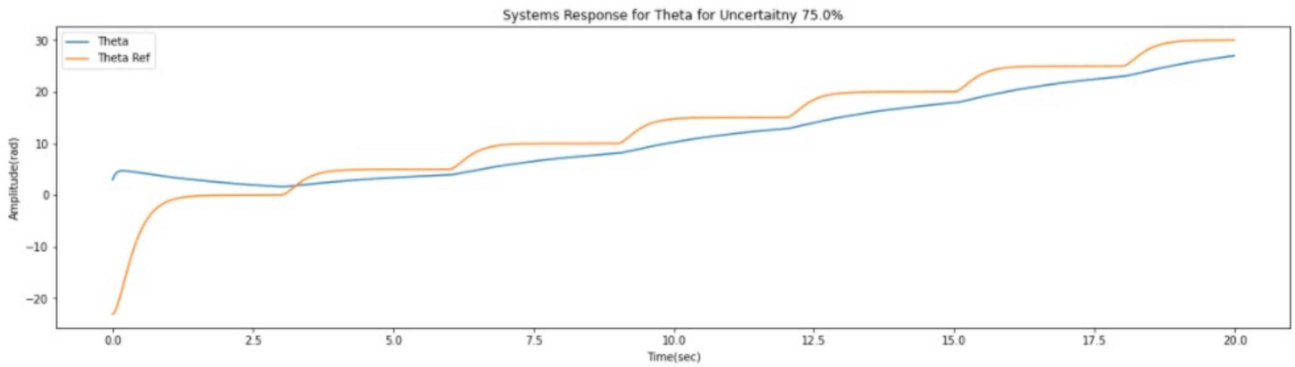

Error for Uncertaitny 0.5
Amplitude
Time(sec)
Theta Error
Omega Error

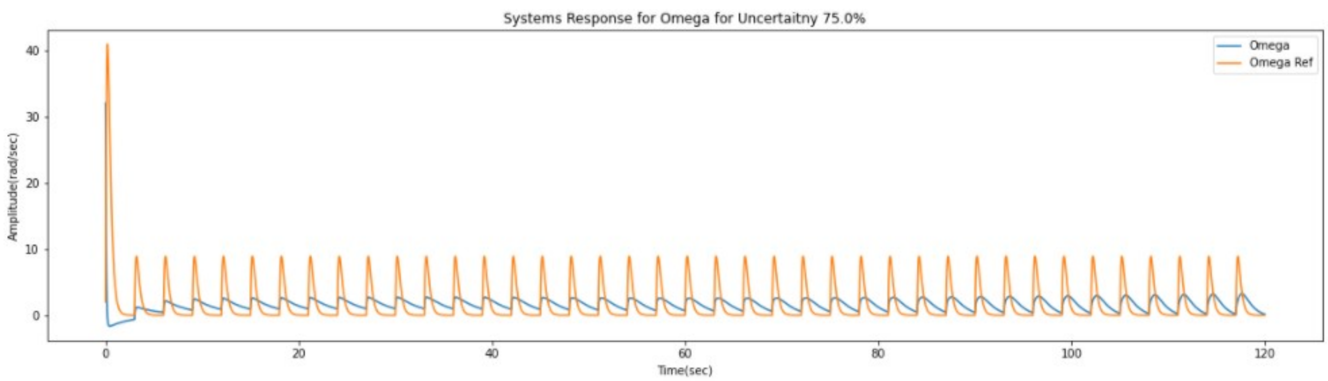

Error for Uncertaitny 0.5
Amplitude
Time(sec)
Theta Error
Omega Error

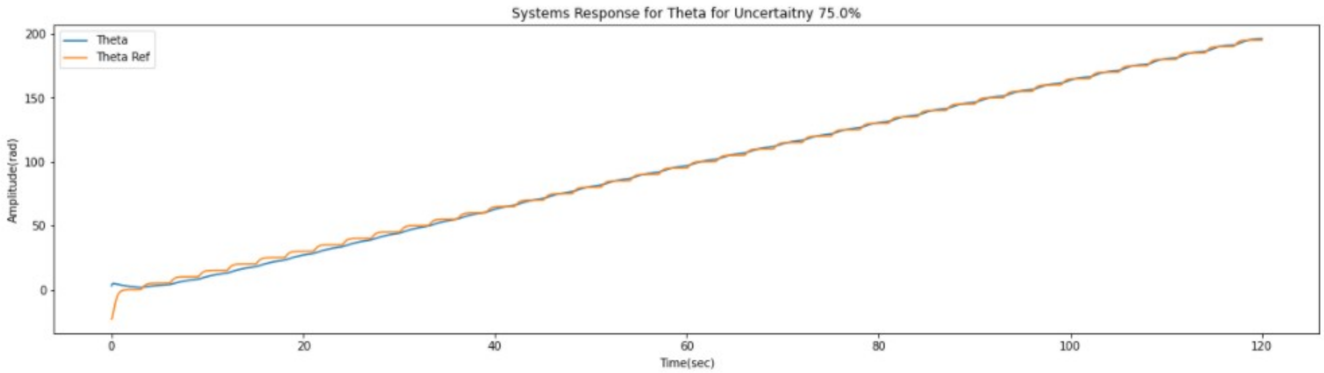

Motor Currents for Uncertaitny 50.0%
Amplitude(A)
Time(sec)
Current ia for Uncertaitny 50.0%
Current ib for Uncertaitny 50.0%

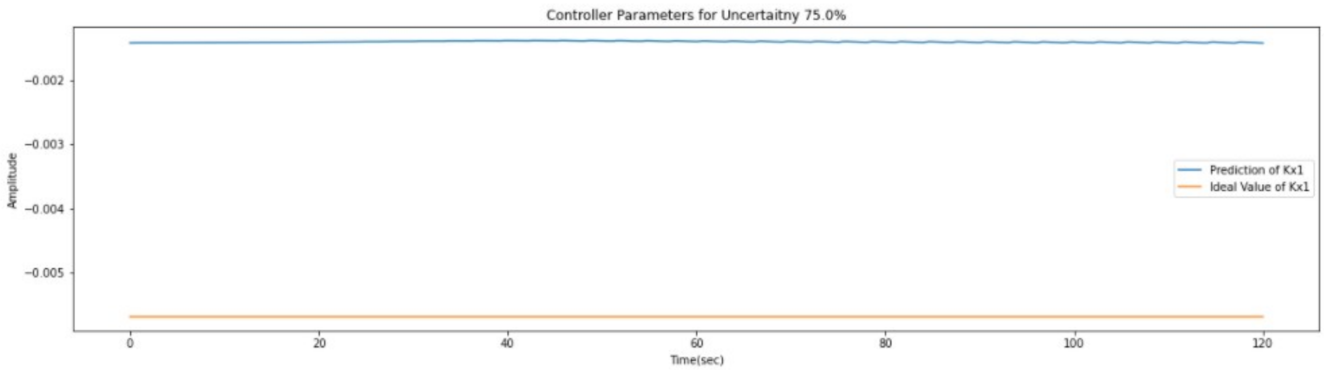
Για αβεβαιότητα a = 75%:

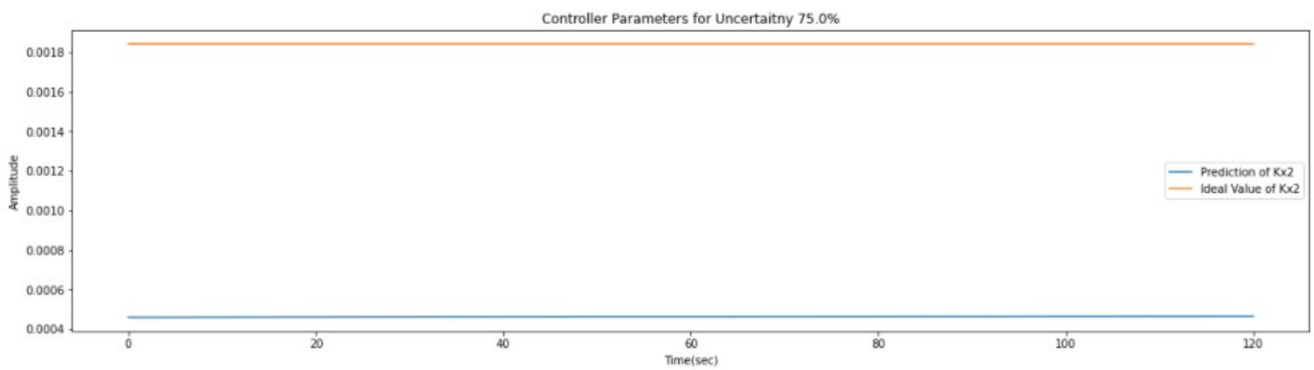


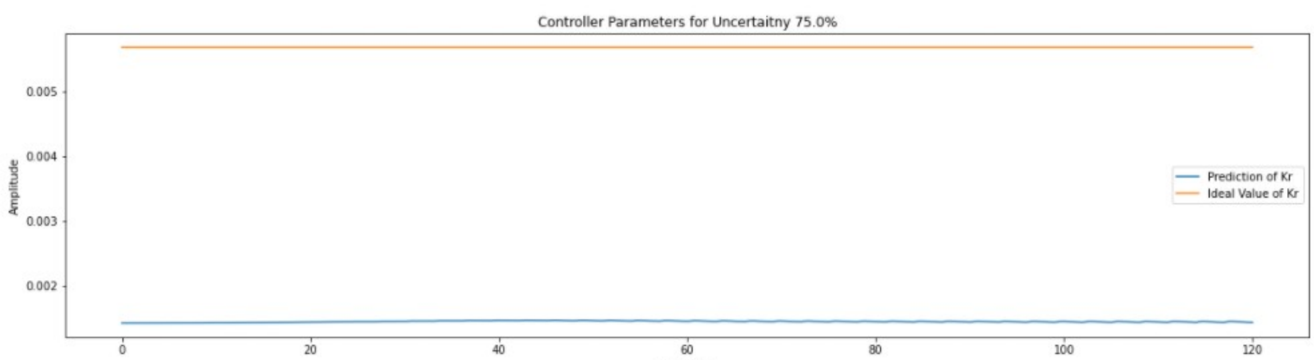


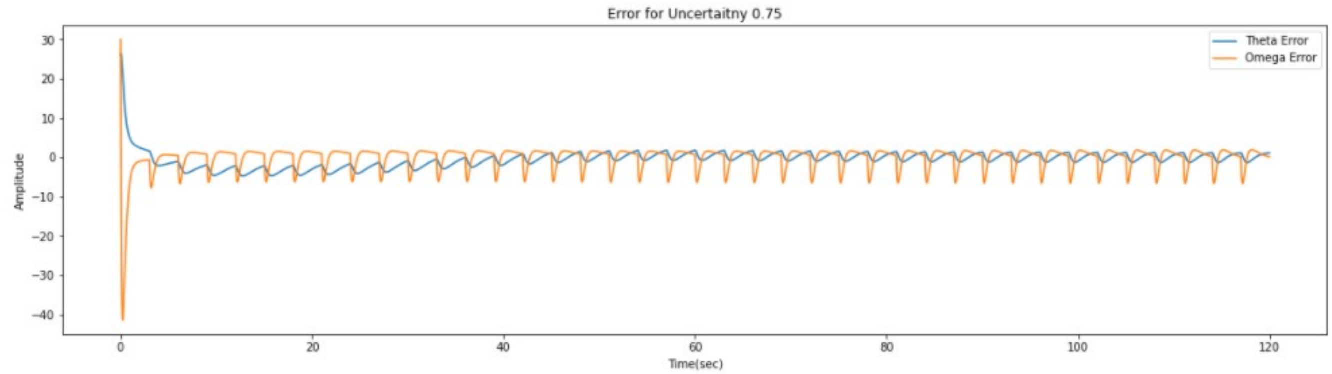


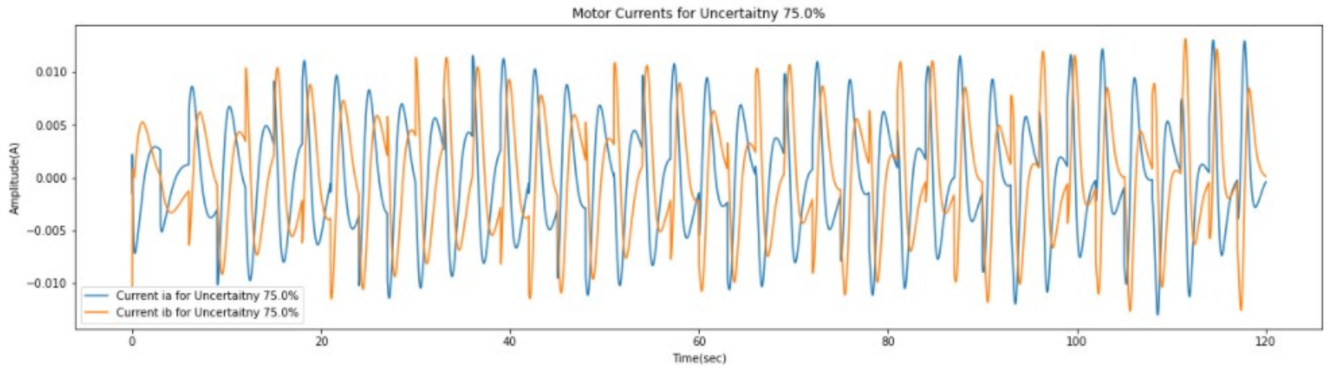

Systems Response for Theta for Uncertaitny 75.0%
Theta
Theta Ref
Amplitude(rad)
Time(sec)


Controller Parameters for Uncertaitny 75.0%
Prediction of Kx1
Ideal Value of Kx1
Amplitude
Time(sec)


Controller Parameters for Uncertaitny 75.0%
Prediction of Kx2
Ideal Value of Kx2
Amplitude
Time(sec)


Controller Parameters for Uncertaitny 75.0%
Prediction of Kr
Ideal Value of Kr
Amplitude
Time(sec)





Σχόλια:

1. Από τα παραπάνω διαγράμματα, μπορεί να παρατηρήσει κανείς την διαφορετική απόκριση του συστήματος για τις διαφορετικές αβεβαιότητες. Όσο η αβεβαιότητα αυξάνεται, τόσο περισσότερο διαρκεί το μεταβατικό φαινόμενο.
2. Οι τιμές των κερδών είναι σχεδόν σταθερές με πολύ μικρές διακυμάνσεις, καθώς οι αρχικές τιμές τους δεν αποκλίνουν πολύ από τις ιδανικές τιμές. Επίσης, δεν παρατηρείται parameter drift.
3. Δίνονται διαγράμματα για 20 sec, για να φανεί η διαφορά στο μεταβατικό φαινόμενο της απόκρισης, αλλά και για 120 sec για να γίνει εμφανής η μη-ύπαρξη parameter drift.
4. Οι παράμετροι δεν συγκλίνουν στις πραγματικές τιμές, γεγονός το οποίο σηματοδοτεί ότι, η είσοδος δεν είναι PE.

3):

Στο 3ο μέρος καλούμαστε να ακολουθήσουμε την ίδια διαδικασία, με μόνη διαφορά την μη μοντελοποιημένη αβεβαιότητα, την οποία προσφέρει το RBF-net.

Για την εκπαίδευση του μοντέλου δόθηκαν οι εξής παράμετροι:

```
NUM_SAMPLES = 1000
X = np.random.uniform(0., 1, NUM_SAMPLES)
X = np.sort(X, axis=0)
y = 10**(-3) * (np.cos(2*np.pi*X))**2 * np.sin(3*np.pi* X)

rbfnet = RBFNet(lr=0.1, k=5, epochs = 2000)
rbfnet.fit(X, y)
```

Όπως, φαίνεται και στην παραπάνω εικόνα, το NN καλείται να προσεγγίσει την συνάρτηση:

$$\boldsymbol{f(x)=10^{3}\cos^{2}(2\pi x)\sin(3\pi x)} \quad (4)$$

Πλέον το σύστημα έχει τη μορφή:

$$\dot{x}=Ax+B\Lambda(u-f(x))$$

Επομένως, επιλέγουμε νόμο ελέγχου $u=\hat{K}_x^T x+\hat{K}_r^T r+\Theta^T \Phi(x)$. Το διάνυσμα $\vec{\Phi}(x)$, απαρτίζεται από τις συναρτήσεις βάσεις, οι οποίες προκύπτουν από τα κέντρα και τις διασπορές, που παρήχθησαν από το δίκτυο για την προσέγγιση της συνάρτησης. Συνεπώς, προκύπτει το σφάλμα $e_f(x)$, το οποίο δεν μπορεί να μοντελοποιηθεί και είναι υπεύθυνο για το drift των παραμέτρων.

Επιλέγοντας ως υποψήφια συνάρτηση Lyapunov την:

$$V(e,\Delta\hat{K}_x,\Delta\hat{k}_r,\Delta\Theta)=e^T P e+trace(\Delta\hat{K}_x^T\Gamma_x^{-1}\Delta\hat{K}_x)+\Delta\hat{k}_r^2\gamma_r^{-1}+trace(\Delta\Theta^T\Gamma^{-1}\Delta\Theta)$$

και παραγωγίζοντας καταλήγουμε

$$\dot{V}=-e^T Qe+2\,trace(\Delta K_x^T(x e^T PB+\Gamma_x^{-1}\dot{\hat{K}}_x^T))+2\Delta k_r(e^T PBr+\gamma^{-1}\dot{\hat{k}}_r)+2\,trace(\Delta\Theta^T\Gamma^{-1}\dot{\hat{\Theta}})$$

Επιλέγουμε τους εξής νόμους προσαρμογής:

$$\begin{cases} \dot{\hat{k}}_x^T = -\Gamma_x x e^T PB \\ \dot{\hat{k}}_r = -\gamma_r r e^T PB \\ \dot{\hat{\Theta}} = -\Gamma_\theta \Phi(x) e^T P B \end{cases}$$

Όπως αναφέρονται στις διαφάνειες, ισχύει $\dot{V} < 0$ μόνο εκτός του set.

$$\boxed{E \triangleq \left\{ e : \|e\| \leq \frac{2\|P B\| \lambda_{\max}(\Lambda) \varepsilon}{\lambda_{\min}(Q)} \right\}}$$

Για την αποφυγή της τυχόν αστάθειας και του parameter drift, πραγματοποιήθηκε e-modification.

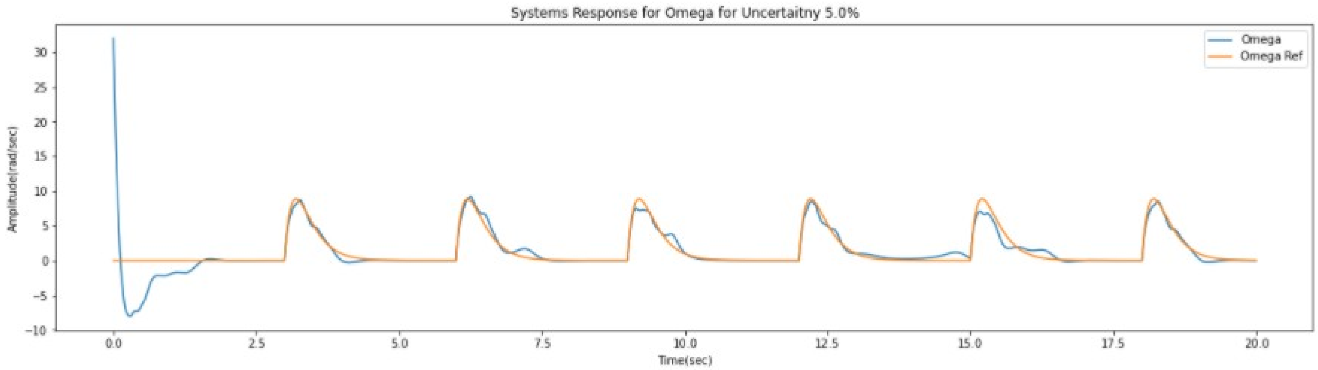
```
from numpy import linalg as LA
def Kx2(kx, t, x, e, Gx, P, BL, sx):
    x = np.array([[x[0]],[x[1]]])#2x1
    e = np.array([[e[0]],[e[1]]]).T#1x2
    kx = np.array([[kx[0]], [kx[1]]])
    norm = LA.norm(multi_dot((e, P, BL)))
    dkxdt = np.dot(-Gx, multi_dot([x, e, P, BL]) + sx*norm*kx)
    return np.squeeze(dkxdt)
```

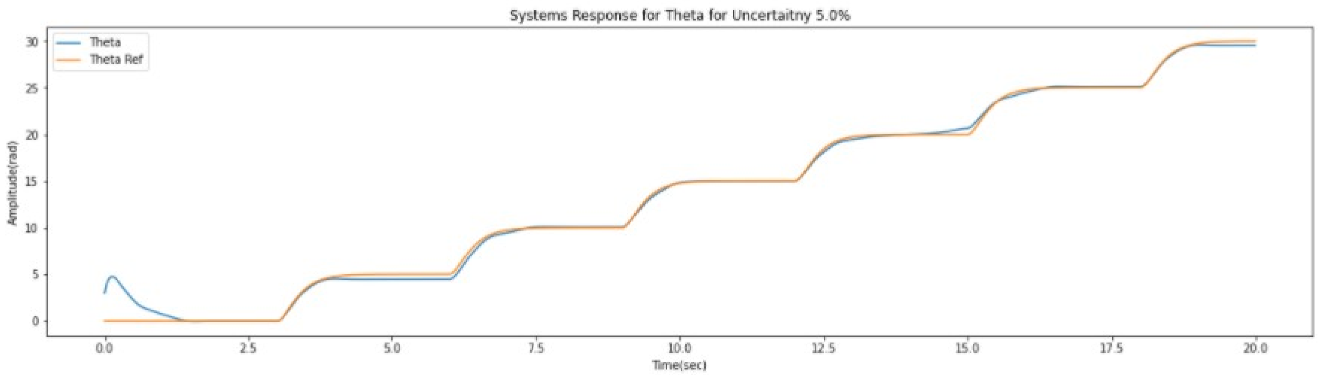
```
def Kr2(kr, t, e, gr, P, BL, sr):
    r = 5* (t//3)
    e = np.array([[e[0]],[e[1]]]).T
    norm = LA.norm(multi_dot((e, P, BL)))
    dkrdt = -gr*(r*multi_dot([e, P, BL]) + sx*norm*kr)
    return np.squeeze(dkrdt)
```

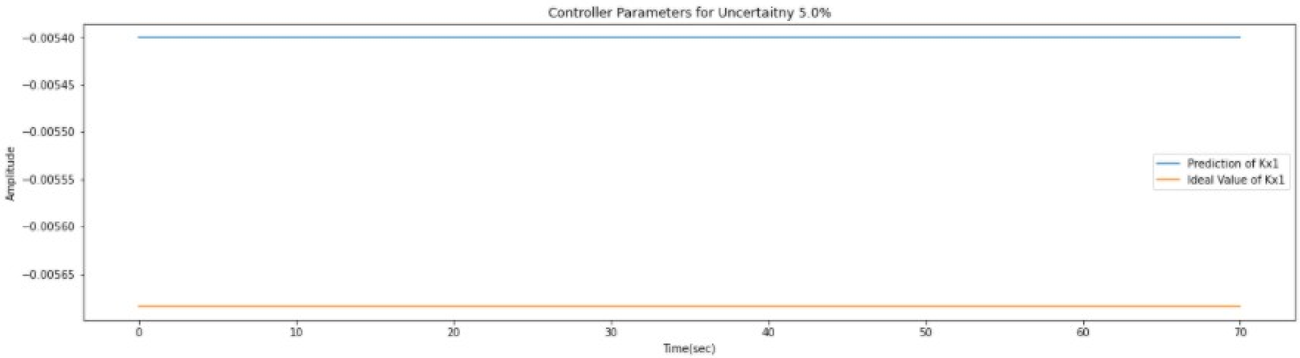
```
def Th(th, t, x, e, Gth, P, BL, sth, centers, stds, k):
    th = np.array([[th[0]], [th[1]], [th[3]], [th[3]], [th[4]]])
    Fx=np.zeros((5,1))
    for i in range(k):
        Fx[i] = rbf(x[0],centers[i],stds[i])
    x = np.array([[x[0]],[x[1]]])#2x1
    e = np.array([[e[0]],[e[1]]]).T#1x2
    norm = LA.norm(multi_dot((e, P, BL)))
    dthdt = np.dot(-Gth, multi_dot([Fx, e, P, BL]) + sth*norm*th)
    return np.squeeze(dthdt)
```

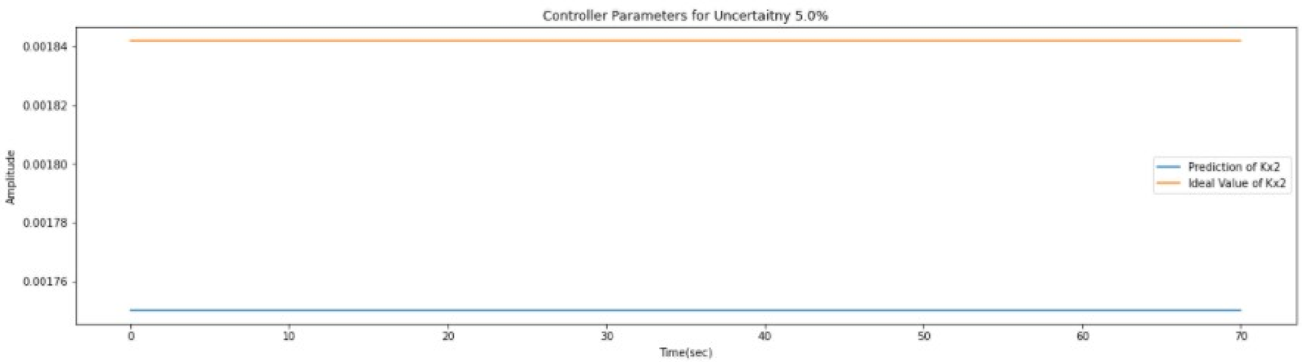
Όπως και στο πρώτο μέρος, παρήχθησαν διαγράμματα για όλες τις τιμές αβεβαιότητας. Δίνονται διαγράμματα για 20 sec, για να φανεί η διαφορά στο μεταβατικό φαινόμενο της απόκρισης, αλλά και για 70 sec για να γίνει εμφανής η ταλάντωση των παραμέτρων και η μη-ύπαρξη drift(το αντιμετωπίσαμε με e-modification).

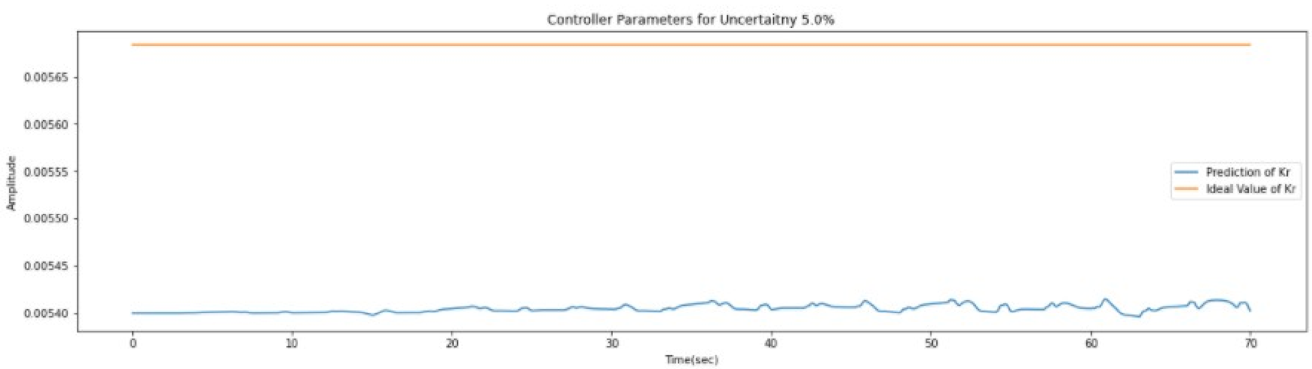
<u>Για α = 5%:</u>





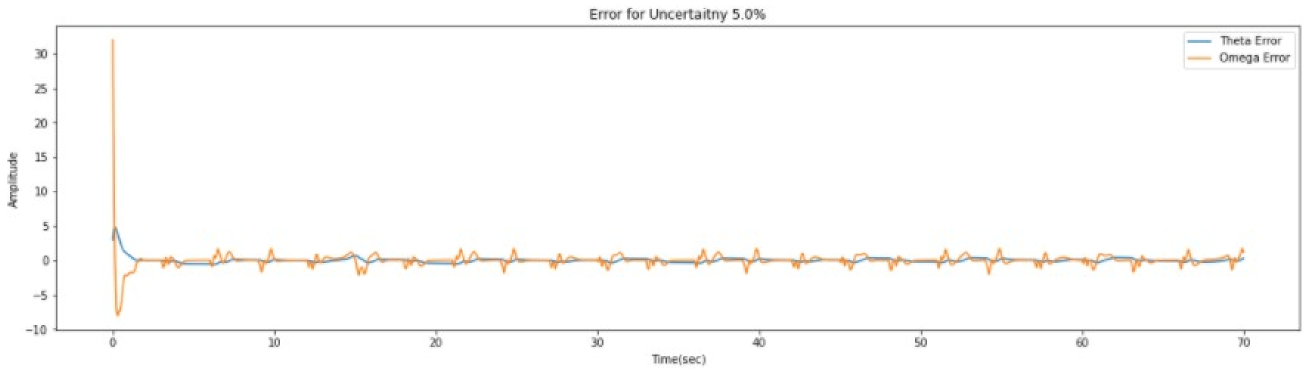


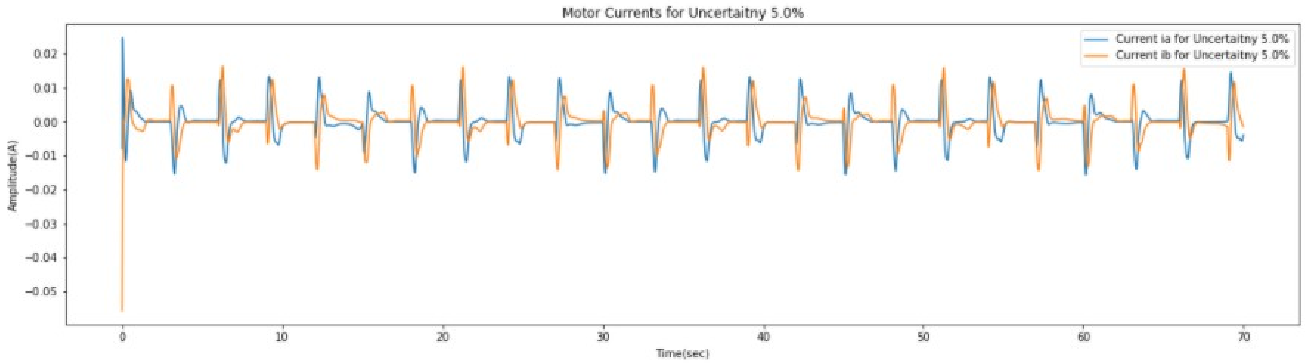




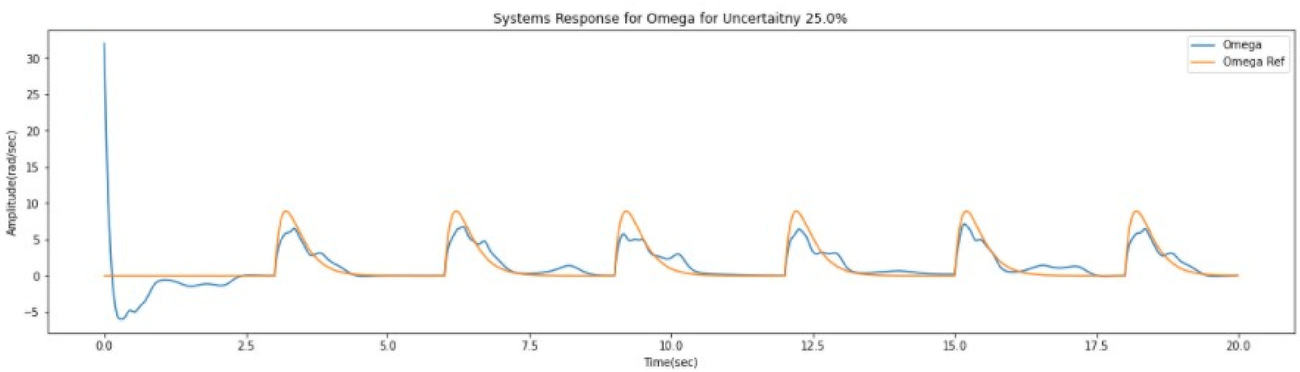
Σχόλιο:

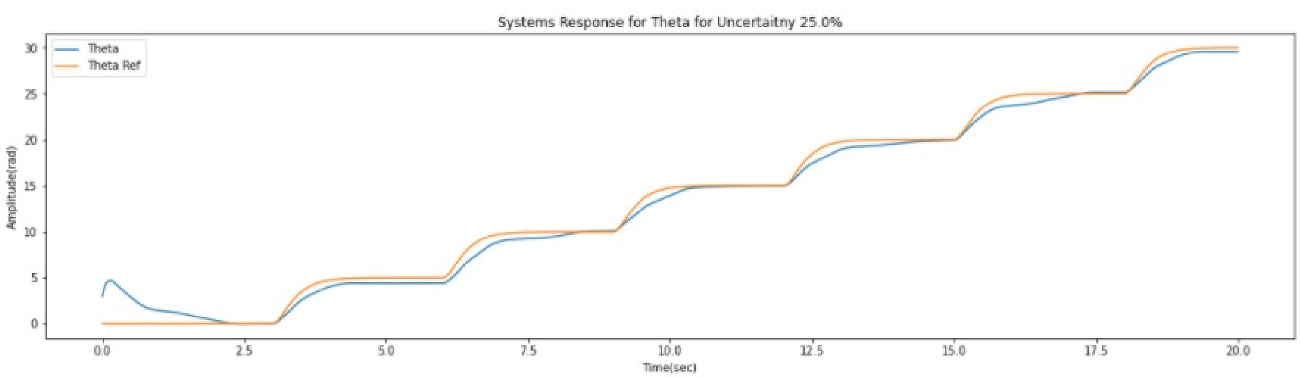
- Είναι εμφανής η ταλάντωση των παραμέτρων, γεγονός το οποία προκαλεί η αβεβαιότητα $e_f(x)$.
- Παρατηρούμε ότι, τα k_x είναι σχεδόν σταθερά.

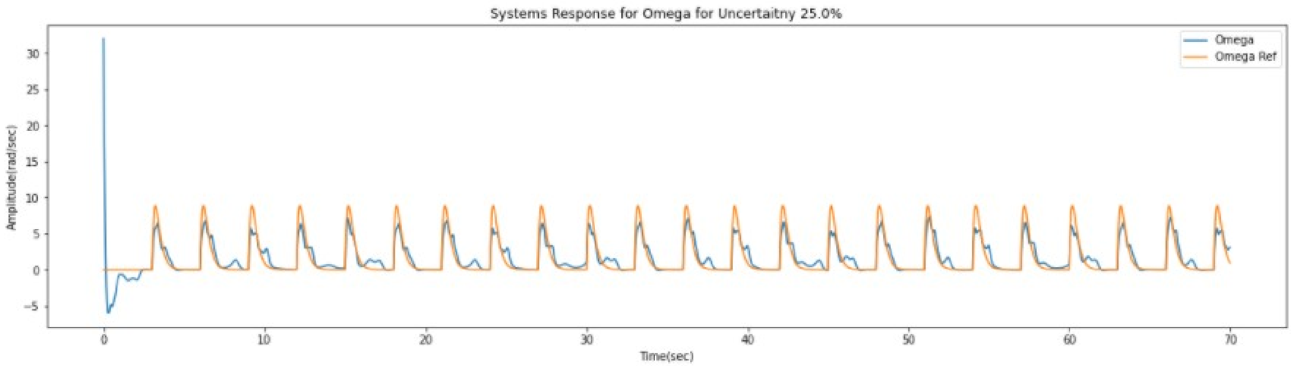

Error for Uncertaitny 5.0%
Theta Error
Omega Error
Amplitude
Time(sec)

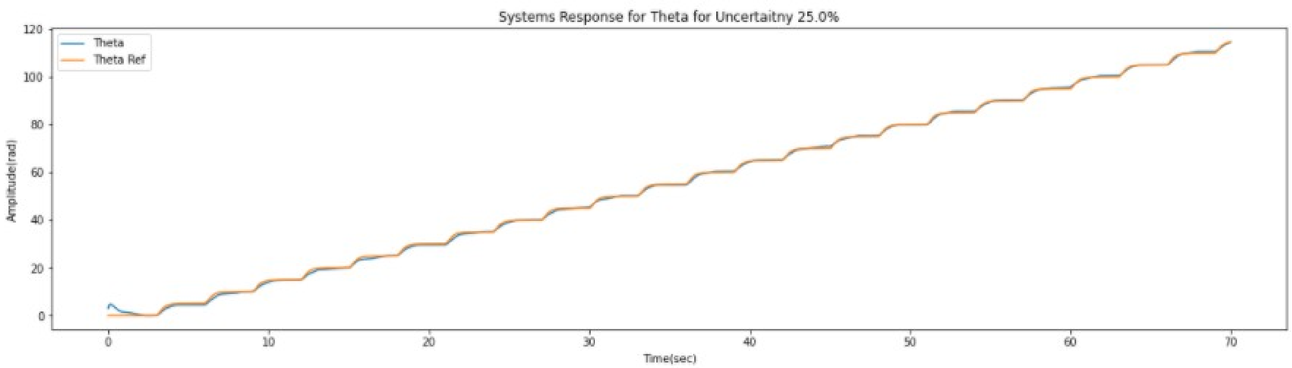

Motor Currents for Uncertaitny 5.0%
Current ia for Uncertaitny 5.0%
Current ib for Uncertaitny 5.0%
Amplitude(A)
Time(sec)

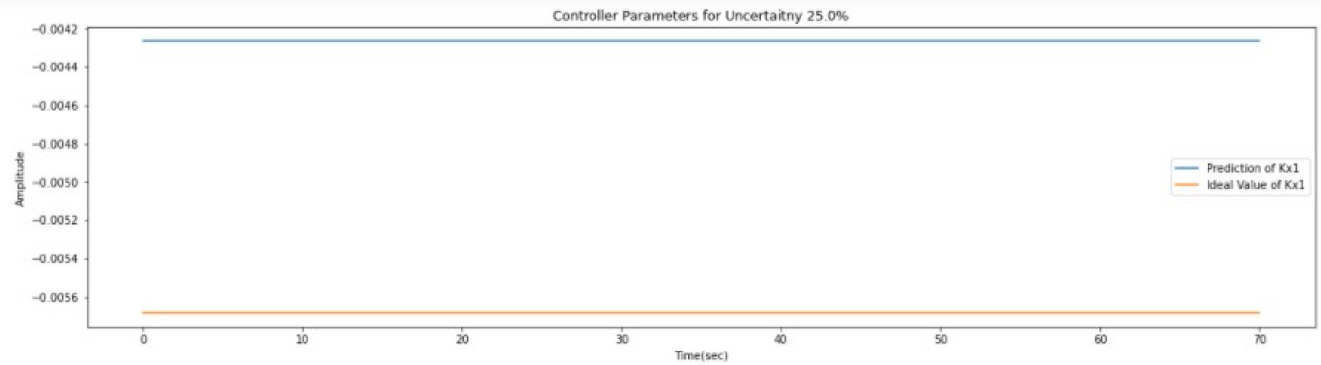
<u>Για α = 25%:</u>


Systems Response for Omega for Uncertaitny 25.0%
Omega
Omega Ref
Amplitude(rad/sec)
Time(sec)

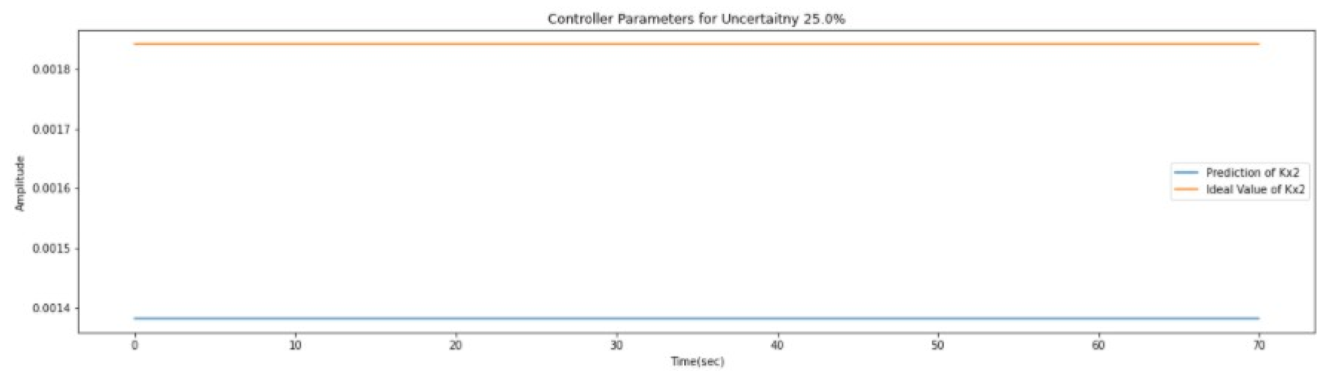

Systems Response for Theta for Uncertaitny 25.0%
Theta
Theta Ref
Amplitude(rad)
Time(sec)


Systems Response for Omega for Uncertaitny 25.0%
Omega
Omega Ref
Amplitude(rad/sec)
Time(sec)
30
25
20
15
10
5
0
−5
0
10
20
30
40
50
60
70

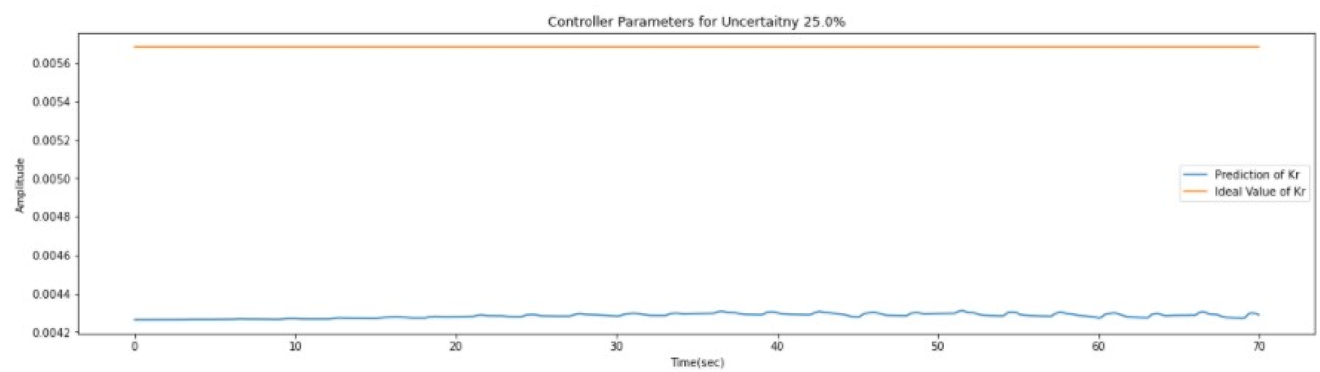

Systems Response for Theta for Uncertaitny 25.0%
Theta
Theta Ref
Amplitude(rad)
Time(sec)
120
100
80
60
40
20
0
0
10
20
30
40
50
60
70



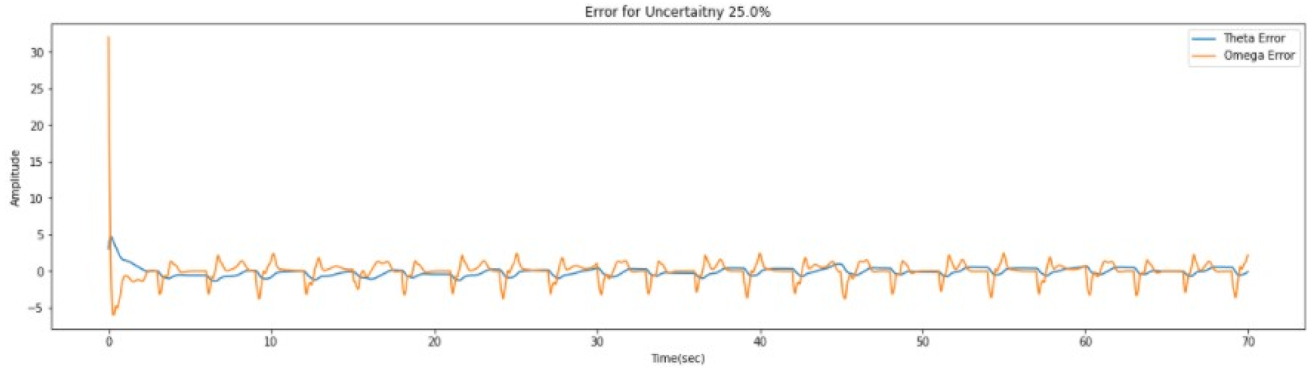
Controller Parameters for Uncertaitny 25.0%
Amplitude
Time(sec)
Prediction of Kx1
Ideal Value of Kx1

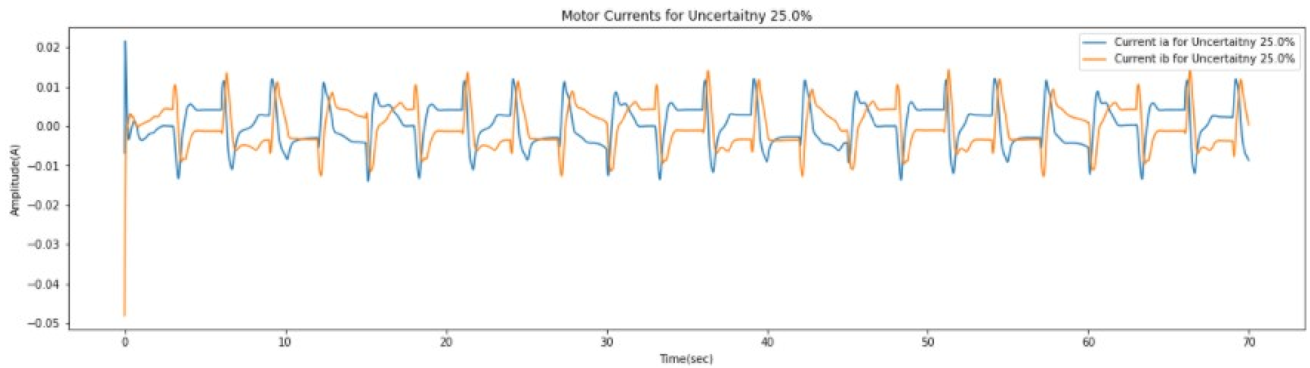


Controller Parameters for Uncertaitny 25.0%
Amplitude
Time(sec)
Prediction of Kx2
Ideal Value of Kx2

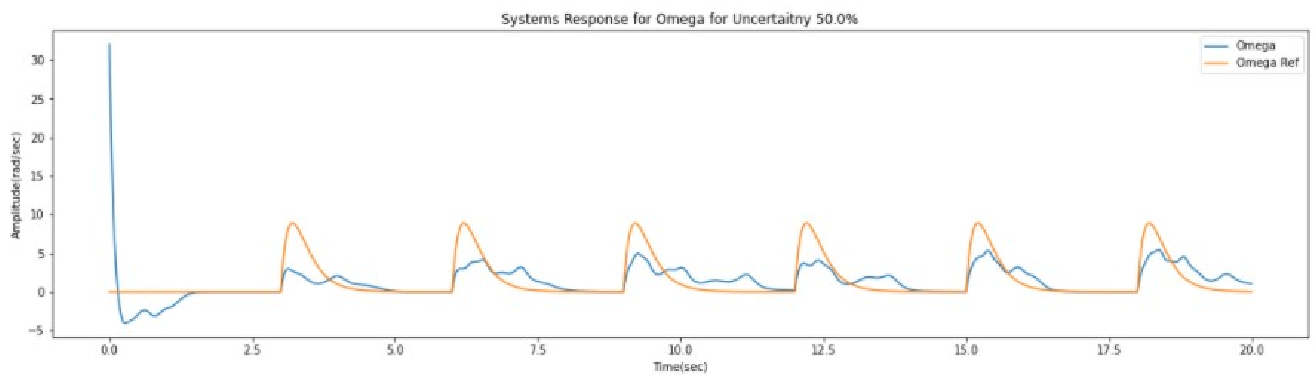


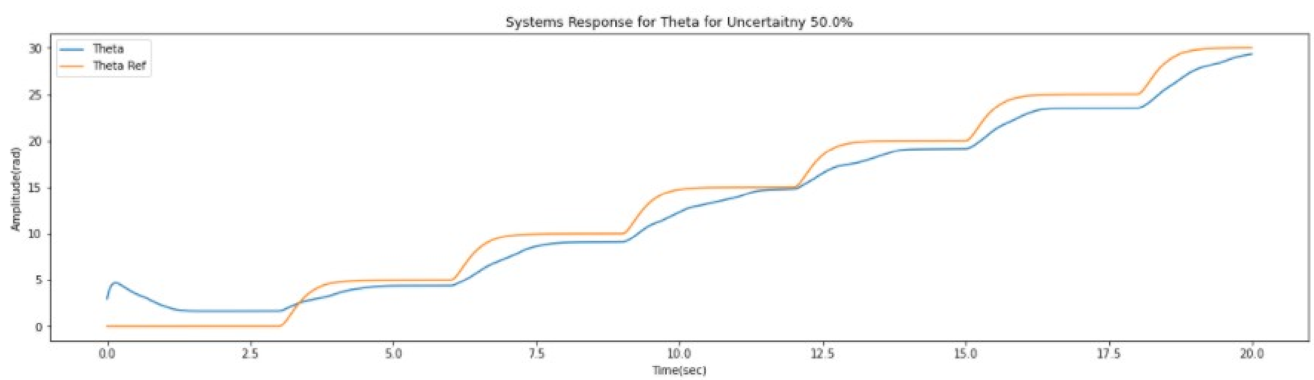
Controller Parameters for Uncertaitny 25.0%
Amplitude
Time(sec)
Prediction of Kr
Ideal Value of Kr

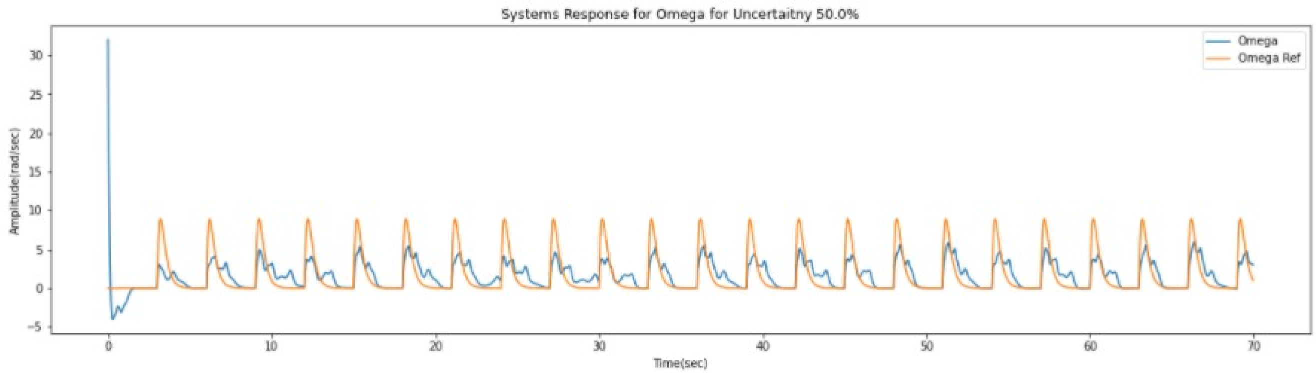

Error for Uncertaitny 25.0%
Theta Error
Omega Error
Amplitude
Time(sec)

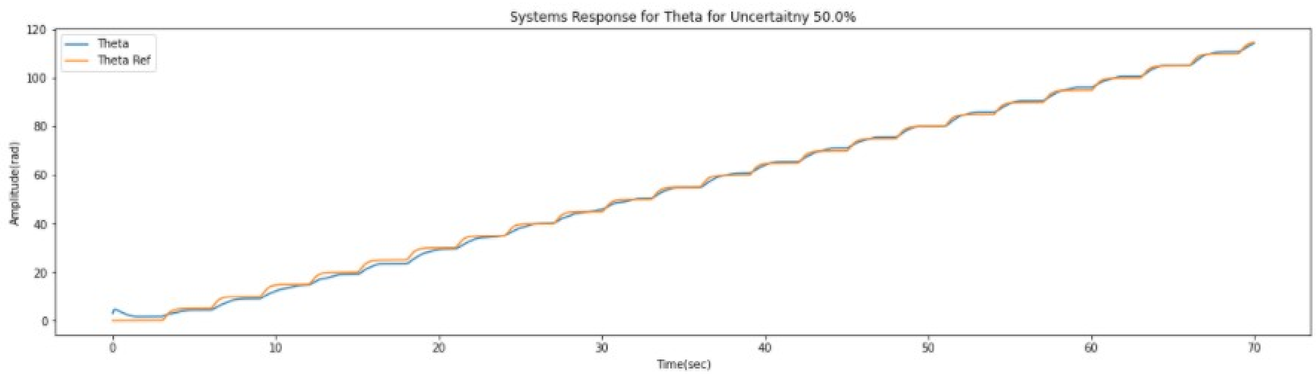

Motor Currents for Uncertaitny 25.0%
Current ia for Uncertaitny 25.0%
Current ib for Uncertaitny 25.0%
Amplitude(A)
Time(sec)

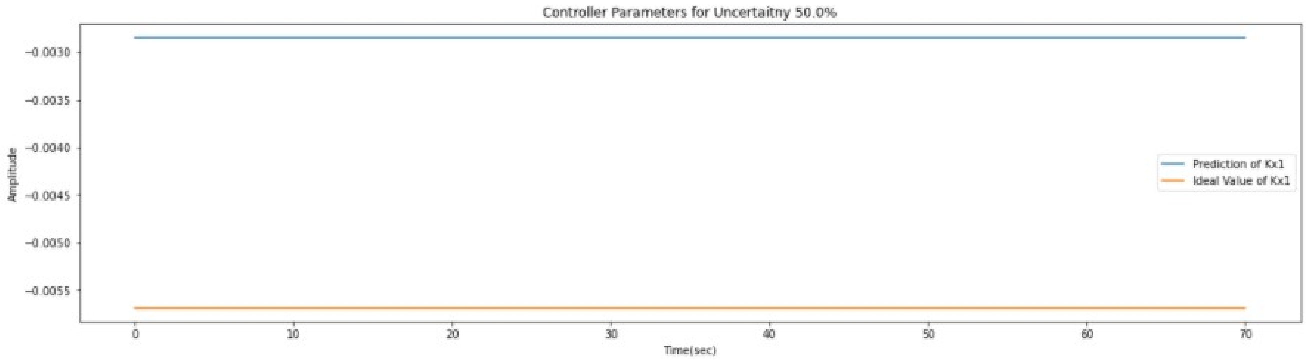
<u>Για α = 50%:</u>

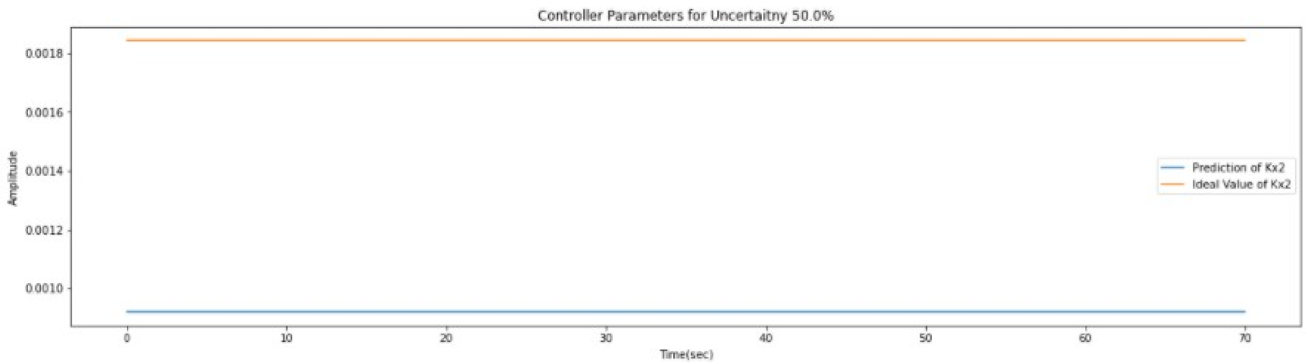

Systems Response for Omega for Uncertaitny 50.0%
Omega
Omega Ref
Amplitude(rad/sec)
Time(sec)

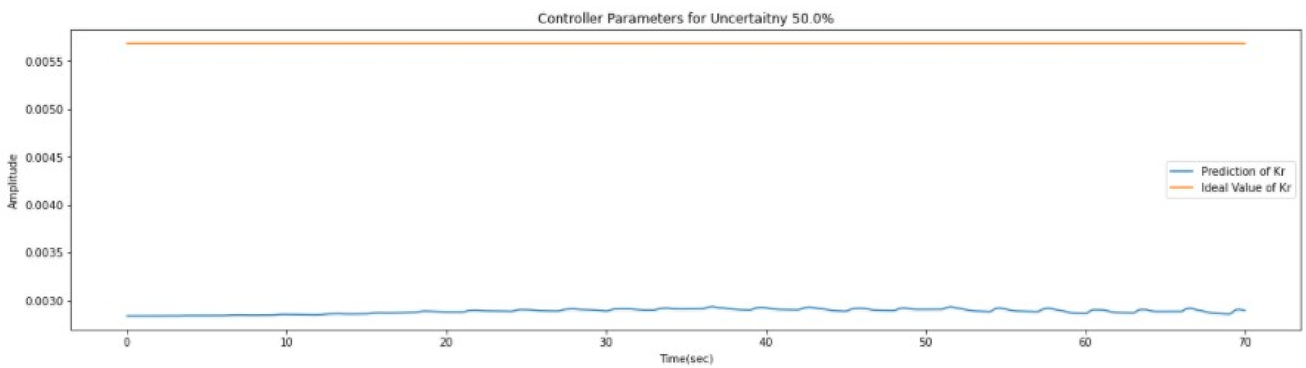

Systems Response for Theta for Uncertaitny 50.0%
Theta
Theta Ref
Amplitude(rad)
Time(sec)

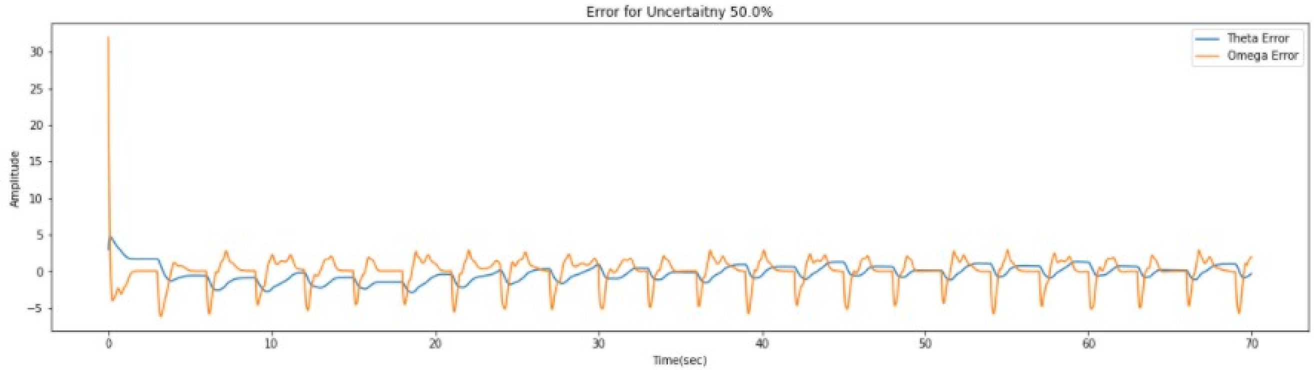

Systems Response for Omega for Uncertaitny 50.0%
Omega
Omega Ref
Amplitude(rad/sec)
Time(sec)

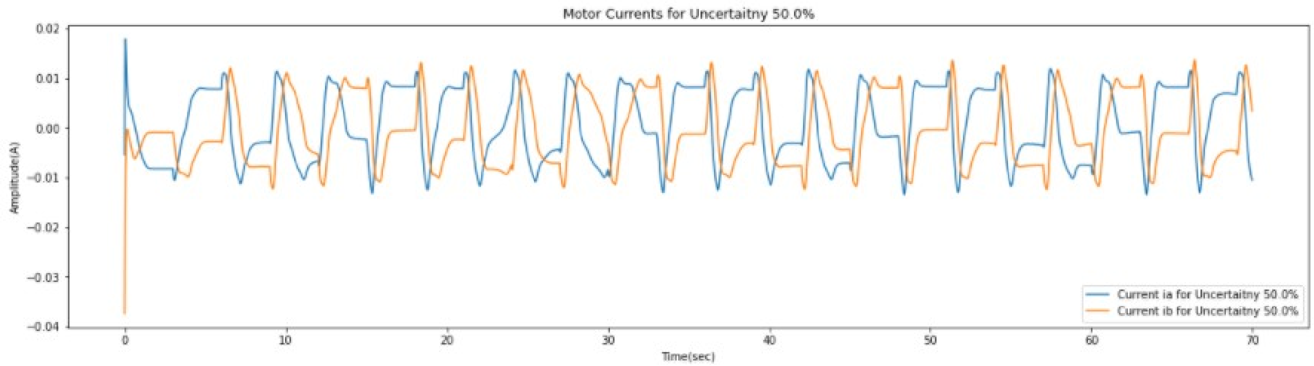

Systems Response for Theta for Uncertaitny 50.0%
Theta
Theta Ref
Amplitude(rad)
Time(sec)


Controller Parameters for Uncertaitny 50.0%
−0.0030
−0.0035
−0.0040
−0.0045
−0.0050
−0.0055
Amplitude
Prediction of Kx1
Ideal Value of Kx1
0
10
20
30
40
50
60
70
Time(sec)

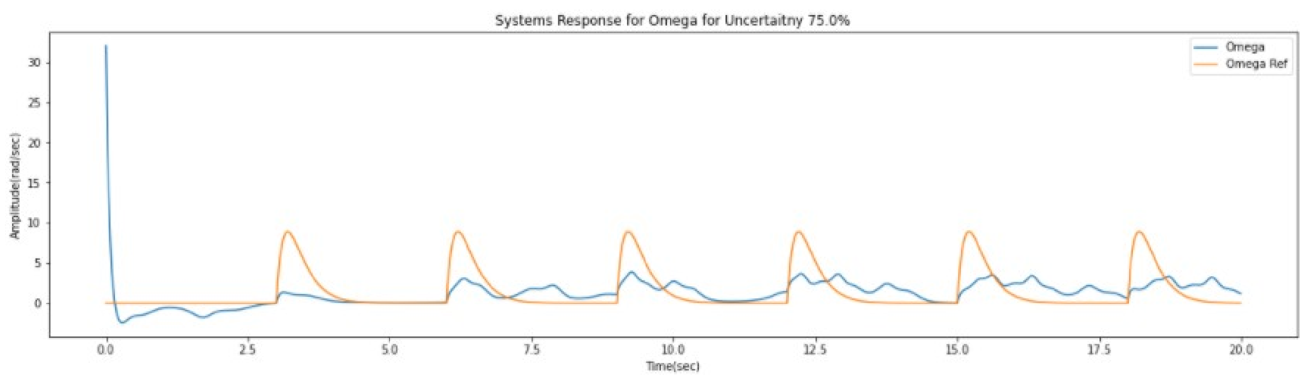

Controller Parameters for Uncertaitny 50.0%
0.0018
0.0016
0.0014
0.0012
0.0010
Amplitude
Prediction of Kx2
Ideal Value of Kx2
0
10
20
30
40
50
60
70
Time(sec)

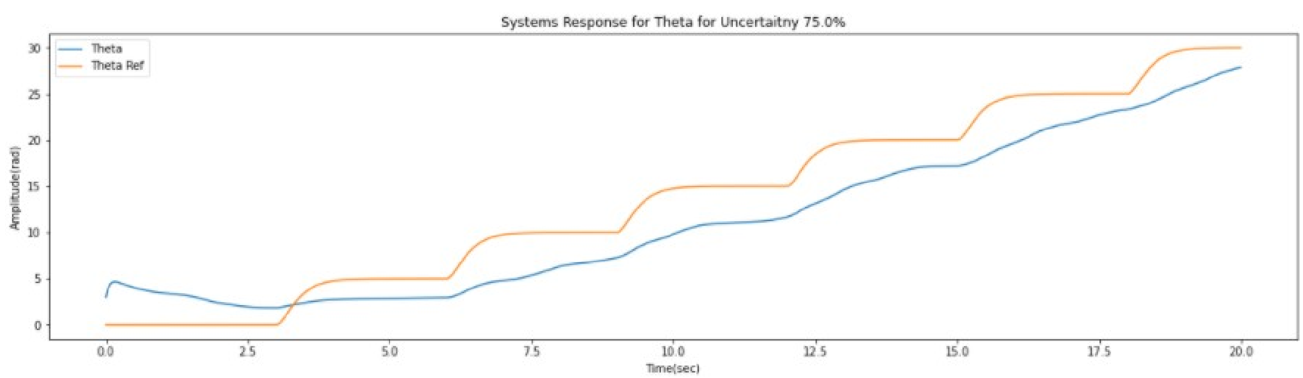

Controller Parameters for Uncertaitny 50.0%
0.0055
0.0050
0.0045
0.0040
0.0035
0.0030
Amplitude
Prediction of Kr
Ideal Value of Kr
0
10
20
30
40
50
60
70
Time(sec)

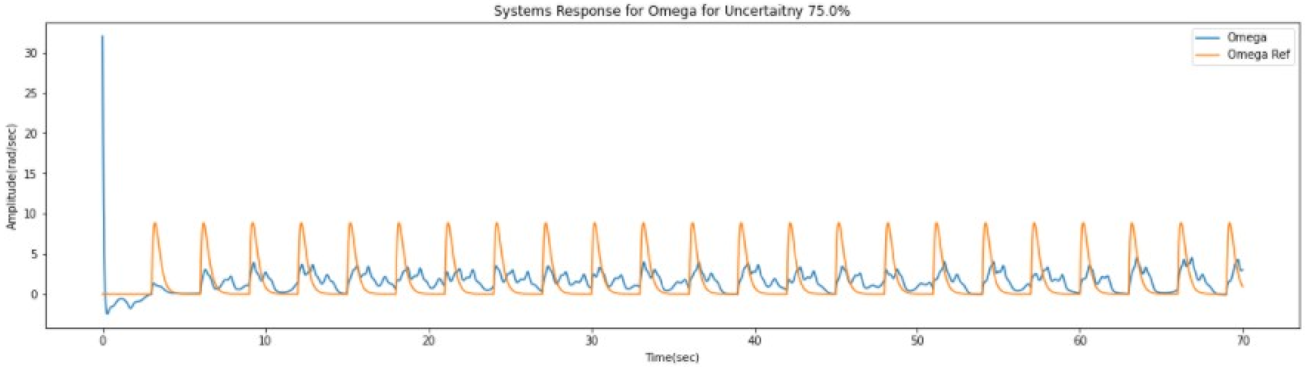

Error for Uncertaitny 50.0%
Theta Error
Omega Error
Amplitude
Time(sec)

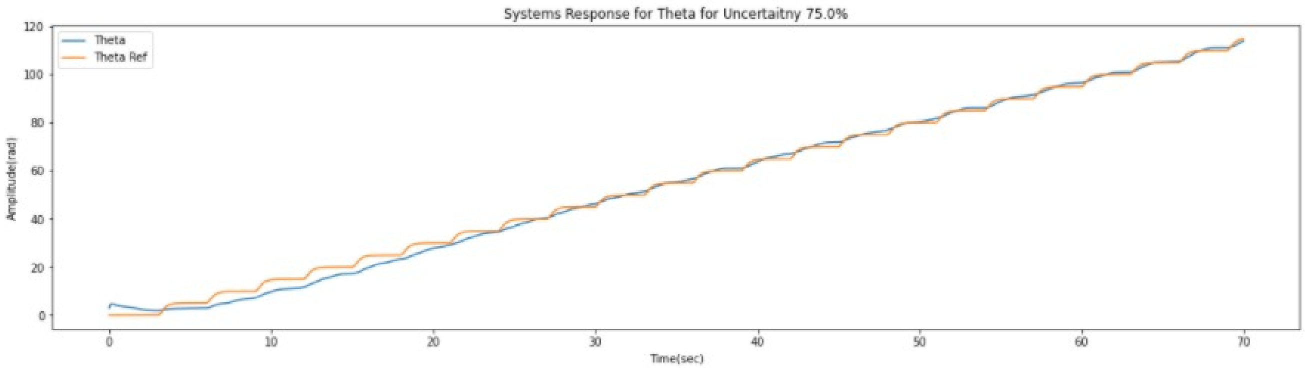

Motor Currents for Uncertaitny 50.0%
Amplitude(A)
Current ia for Uncertaitny 50.0%
Current ib for Uncertaitny 50.0%
Time(sec)

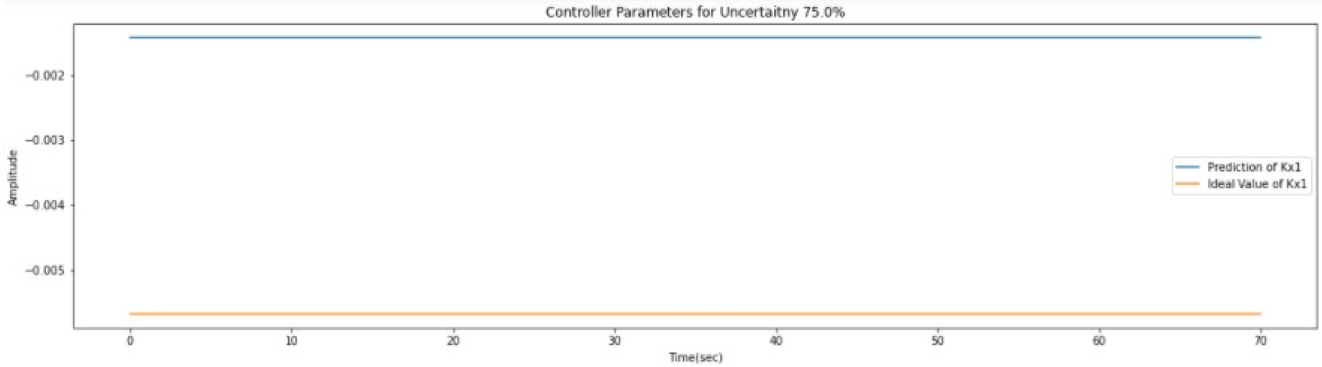
<u>Για α = 75%:</u>

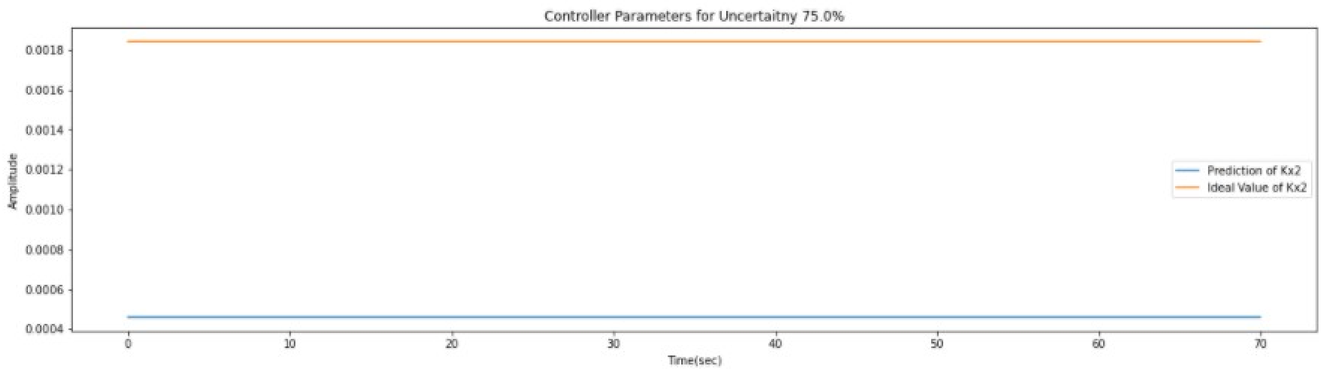

Systems Response for Omega for Uncertaitny 75.0%
Omega
Omega Ref
Amplitude(rad/sec)
Time(sec)

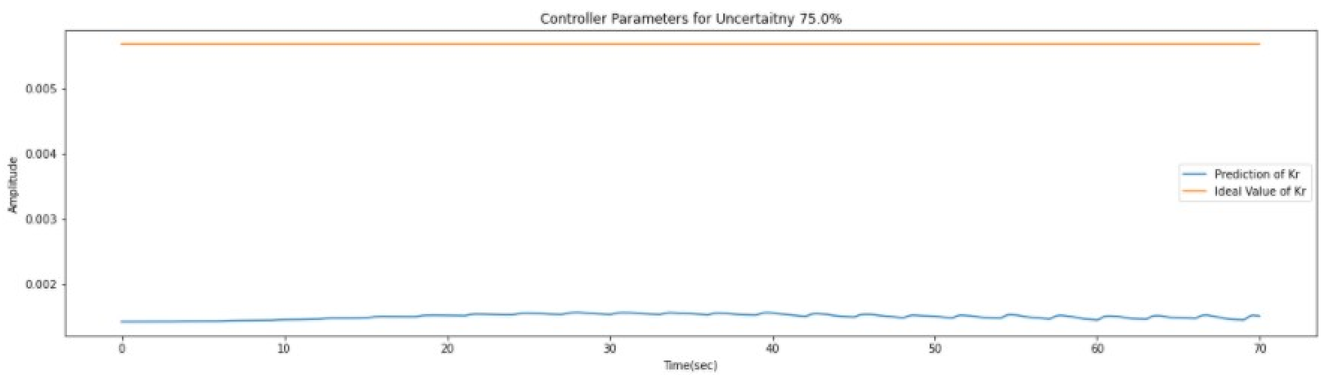

Systems Response for Theta for Uncertaitny 75.0%
Theta
Theta Ref
Amplitude(rad)
Time(sec)

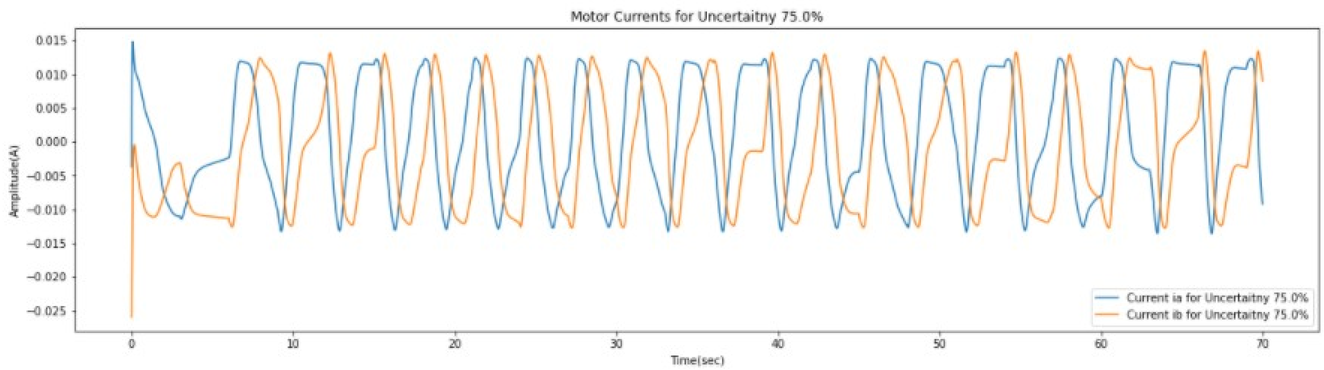

Systems Response for Omega for Uncertaitny 75.0%
Omega
Omega Ref
Amplitude(rad/sec)
Time(sec)


Systems Response for Theta for Uncertaitny 75.0%
Theta
Theta Ref
Amplitude(rad)
Time(sec)


Controller Parameters for Uncertaitny 75.0%
Amplitude
Time(sec)
Prediction of Kx1
Ideal Value of Kx1
−0.002
−0.003
−0.004
−0.005
0
10
20
30
40
50
60
70


Controller Parameters for Uncertaitny 75.0%
Amplitude
Time(sec)
Prediction of Kx2
Ideal Value of Kx2
0.0018
0.0016
0.0014
0.0012
0.0010
0.0008
0.0006
0.0004
0
10
20
30
40
50
60
70


Controller Parameters for Uncertaitny 75.0%
Amplitude
Time(sec)
Prediction of Kr
Ideal Value of Kr
0.005
0.004
0.003
0.002
0
10
20
30
40
50
60
70



<u>Συμπεράσματα:</u>

- Τα συμπεράσματα είναι παρόμοια με προηγουμένως, με τη μόνη διαφορά η αβεβαιότητα να είναι πιο έντονη, γεγονός το οποίο γίνεται αντιληπτό από την αργή σύγκλιση του συστήματος.

Σημείωση:

- Ο κώδικας για την υλοποίηση του RBF-net και το αλγορίθμου K-means, προέρχονται από το site: https://pythonmachinelearning.pro/using-neural-networks-for-regression-radial-basis-function-networks/