

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

PROJECT 2021

ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΙΣΤΑΤΙΑΔΗΣ

AEM : 9175

nikoista@auth.ece.gr

Project

Βέλτιστη επιλογή κερδών ελεγκτή τύπου PID με χρήση μεθόδων εξελικτικής υπολογιστικής.

Έστω φυσικό σύστημα δύο εισόδων - δύο εξόδων που περιγράφεται από την εξίσωση

$$\frac{dx}{dt} = f(x,u)$$

όπου $x = [x_1, x_2, x_3, x_4] \in \mathbb{R}^4$ είναι το διάνυσμα κατάστασης, $y = [x_1, x_3] \in \mathbb{R}^2$ [rad] είναι η έξοδος και $u = [u_1, u_2] \in \mathbb{R}^2$ [V] είναι η είσοδος ελέγχου. Η συνάρτηση $f: \mathbb{R}^4 \times \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^4$ είναι άγνωστη. Παρότι δε γνωρίζουμε τις ακριβείς αναλυτικές εκφράσεις του παραπάνω συστήματος, είναι γνωστό από συσσωρευμένη εμπειρία ότι μπορεί να ελεγχθεί με τη βοήθεια ελεγκτή τύπου PID, δηλαδή

$$u(t) = -K_p e(t) - K_i \int_0^t e(\tau) d\tau - K_d \dot{e}(t)$$

είναι τα σφάλματα παρακολούθησης εξόδου, και $K_p = \text{diag}(K_{p1}, K_{p2})$,

$K_i = \text{diag}(K_{i1}, K_{i2})$, $K_d = \text{diag}(K_{d1}, K_{d2})$ με $K_{p1}, K_{p2}, K_{i1}, K_{i2}, K_{d1}, K_{d2}$ είναι οι πίνακες κερδών ελέγχου.

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η επιλογή των προαναφερθέντων κερδών του ελεγκτή τύπου PID.

Το σύστημα θεωρείται αρχικά στη θέση

$$[x_1(0) \ x_2(0) \ x_3(0) \ x_4(0)] = \left[\frac{110}{180}\pi \ 0 \ \frac{100}{180}\pi \ 0 \right]^T$$

Ο στόχος ελέγχου είναι η έξοδος του συστήματος να παρακολουθεί τις τροχιές

$$y_{d,1}(t) = \frac{90}{180}\pi + \frac{30}{180}\pi \cos(t) , y_{d,2}(t) = \frac{90}{180}\pi + \frac{30}{180}\pi \sin(t)$$

με

- 1.σφάλματα παρακολούθησης εξόδου στη μόνιμη κατάσταση το πολύ $\frac{\pi}{180}$ [rad]
- 2.υπερύψωση στα σφάλματα παρακολούθησης εξόδου το πολύ $\frac{\pi}{180}$ [rad]
3. χρόνος αποκατάστασης των σφαλμάτων παρακολούθησης εξόδου στη ζώνη , $[-\frac{\pi}{180} , \frac{\pi}{180}]$ το πολύ 1 [s] ,
4. είσοδο ελέγχου που η στιγμιαία της τιμή είναι κατά το δυνατό μικρότερη και σε κάθε περίπτωση όχι μεγαλύτερη από 18 [V],
5. είσοδο ελέγχου που η στιγμιαία της μεταβολή είναι κατά το δυνατό μικρότερη και σε κάθε περίπτωση όχι μεγαλύτερη από 160 [V/s],
6. είσοδο ελέγχου που η συνολική της μεταβολή είναι κατά το δυνατό μικρότερη

Ερώτημα Α

Να οριστούν δείκτες $J1, J2, \dots, J6$ κατάλληλοι για τη μέτρηση χαρακτηριστικών στα σήματα $x1(t), x2(t), x3(t), x4(t), u(t), u'(t)$, που σχετίζονται με τις απαιτήσεις 1-6 που διατυπώθηκαν παραπάνω.

Θεωρητική Ανάλυση

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές της εκφώνησης έχουμε τους εξής δείκτες

- $J1 = \max_{t \geq 0} |ess(t)|$
- $J2 = \max_{t \geq 0} |Mpe|$
- $J3 = \max_{t \geq 0} |ts|$
- $J4 = \max_{t \geq 0} |ui(t)| < 18 [V] , i = 1, 2$
- $J5 = \max_{t \geq 0} |dui(t)/dt| < 160 [V/s] , i = 1, 2$
- $J6 = \max_{t \geq 0} |\Delta ui(t)| < C$ με επιλογή $C = 20$

Ερώτημα Β

β) Να επαναδιατυπωθούν οι παραπάνω δείκτες στην περίπτωση που είναι διαθέσιμες μόνο μετρήσεις με δειγματοληψία σταθερής περιόδου των σημάτων $x(t)$ και $u(t)$. Με άλλα λόγια, τα σήματα είναι διαθέσιμα στη μορφή $x1[n]$, $x2[n]$, $x3[n]$, $x4[n]$, $x5[n]$, $x6[n]$, με $n = 0, \dots, N-1$ όπου N ο συνολικός αριθμός μετρήσεων, $q1[n] = q1(Tn)$ κοκ.

Θεωρητική Ανάλυση

Το αρχείο `simclosedloop.p` που δίνεται χρησιμεύει στην λήψη των μετρήσεων των σημάτων $x1(t), x2(t), x3(t), x4(t), u1(t), u2(t)$

Χρησιμοποιείται ως εξής: $[x, t, u] = \text{simclosedloop}(kp1, kp2, ki1, ki2, kd1, kd2, tf)$,

Με συχνότητα δειγματοληψίας είναι ορισμένη στα 0.1 [s].

- $J1 = \max |ess[n]| = \max |xi(nT) - yd,j(nT)|$, $i = 1, 3$, $j = 1, 2$
- $J2 = \max |Mpe[n]| = \max (|etpi(nT) - ess(nT)| / |ess(nT)|)$, $i = 1, 2$
- $J3 = \max |ts[n]| = \max |ts(nT)|$
- $J4 = \max |ui[n]| = \max |ui(nT)| < 18 [V]$, $i = 1, 2$
- $J5 = \max |dui/dt[n]| = \max |dui/dt(nT)| < 160 [V/s]$, $i = 1, 2$
- $J6 = \max |\Delta ui[n]| = \max | \max(ui(nT)) - \min(ui(nT)) | < C$ έστω $C = 20$

Ερώτημα Γ

γ) Με τη βοήθεια του ερωτήματος (β) να οριστεί κατάλληλη συνάρτηση ικανότητας (fitness function) για την επίλυση με χρήση μεθόδων εξελικτικής υπολογιστικής του προβλήματος βέλτιστης επιλογής κερδών του ελεγκτή τύπου PID. Η συνάρτηση ικανότητας θα πρέπει να διαθέτει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

1. η τιμή ικανότητας που αποδίδεται σε κάθε χρωμόσωμα να ανήκει στο διάστημα $[0,100)$, με το 0 να αντιστοιχεί στη βέλτιστη τιμή ικανότητας.
2. από την τιμή της συνάρτησης ικανότητας θα πρέπει να είναι φανερό αν το χρωμόσωμα ικανοποιεί ή όχι τις προϋποθέσεις σχεδίασης (βλ. και Παρατηρήσεις παρακάτω).

Η συνάρτηση ικανότητας μπορεί να οριστεί με συνδυαστικό/αλγοριθμικό τρόπο, π.χ. με συνδυασμό μαθηματικών εκφράσεων, λογικών ελέγχων κλπ. Σε κάθε περίπτωση πρέπει να εξηγείται ενδελεχώς η λειτουργία της.

Θεωρητική Ανάλυση

Εξελικτική Υπολογιστική - Γενετική αλγόριθμοι

Αποτελούν στοχαστικούς αλγορίθμους ολικής αναζήτησης, που μιμούνται την διαδικασία φυσικής εξέλιξης. Σημαντική ιδιότητα τους είναι η αποφυγή τοπικών ακροτάτων. Συνεπώς γίνεται αρχικοποίηση ενός πληθυσμού με 20-100 στοιχεία (Χρωμοσώματα). Στην συνέχεια χρησιμοποιούμε μια αντικειμενική συνάρτηση (fitness function) που δίνει σε κάθε χρωμόσωμα μια τιμή (fitness-performance) και χρησιμοποιώντας την τεχνική survival of the fittest για κάθε χρωμόσωμα επιλέγουμε το καλύτερο.

Fitness Function

Αρχικοποιούμε έναν πληθυσμό από κέρδη με τυχαίο τρόπο σύμφωνα με τα όρια που μας έχουν δοθεί. Ορίζουμε τις τιμές των προδιαγραφών μας και υπολογίζουμε τις τιμές των σημάτων μέσω του αρχείου `simclosedloop.p`.

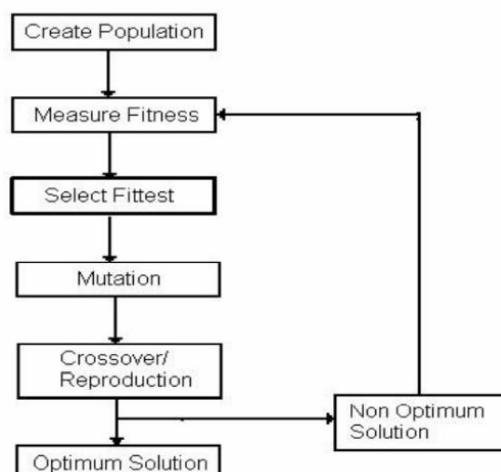
Στην συνέχεια υπολογίζουμε τους δείκτες που ορίσαμε στο β) , μετράμε το fitness με την χρήση if – ifelse - else δομής ενώ ταυτόχρονα έχουμε υπόψη ότι η παραβίαση μιας απαίτησης αντιστοιχεί στο διάστημα (50,100) για την τιμή του fitness. Όσο πιο κοντά είμαστε στο 50 τόσο λιγότερες απαιτήσεις παραβιάζονται.

```
%% ΔΕΙΚΤΕΣ J1,...J6
```

```
ss = 0.9*(size(tf,2)-1);
[~,I1] = find(max(e(:,1)));
[~,I2] = find(max(e(:,2)));
t1=0.1*I1+0.5;
t2=0.1*I2+0.5;

J1(1,1) = (abs(e(ss,1)));
J1(1,2) = (abs(e(ss,2)));
J2(1,1) = max(abs(overshoot(e(:,1)))/100);
J2(1,2) = max(abs(overshoot(e(:,2)))/100);
J3(1,1) = t1;
J3(1,2) = t2;
J4 = max(abs(u));
J5 = max(abs(gradient(u)));
J6(1,1) = max(max(u(:,1)) - min(u(:,1)));
J6(1,2) = max(max(u(:,2)) - min(u(:,2)));
```

```
if(c == 5)
    fitness = 50;
end
if(c == 4)
    fitness = 60;
end
if(c == 3)
    fitness = 70;
end
if(c == 2)
    fitness = 80;
end
if(c == 1)
    fitness = 90;
end
if(c == 0)
    fitness = 100;
end
```



Ερώτημα Δ

δ) Να χρησιμοποιηθεί η συνάρτηση ικανότητας από το ερώτημα (γ) και να επιλυθεί το πρόβλημα της επιλογής βέλτιστων κερδών του ελεγκτή με τη βοήθεια γενετικών αλγορίθμων ή εξελικτικών στρατηγικών στο MATLAB.

Θεωρητική Ανάλυση

Διαδικασία υπολογισμού Γενετικών αλγορίθμων

1. Αρχικοποίηση ενός τυχαίου πληθυσμού από στοιχεία με συγκεκριμένο αριθμό.
2. Μέτρηση του fitness μέσω του fitness function για τον πληθυσμό αυτό.
3. Επιλέγω τα καλύτερα σύμφωνα με το fitness μέλοι του πληθυσμού.
4. Reproduction με τυχαίο τρόπο
5. Εκτέλεση Crossover στον αναδημιουργημένο πληθυσμό.
6. Εκτέλεση Mutation με πιθανότητα 0.01%
7. Επιστροφή στο βήμα 2 μέχρις ότου να έχουμε το καλύτερο πληθυσμό από κέρδη.

Πιο αναλυτικά τα στάδια του Γενετικού αλγορίθμου είναι :

1) Reproduction

Χρησιμοποιείται στην διαδικασία επιλογής για το fitness. Όσο μεγαλύτερο τόσο περισσότερες πιθανότητες να επιλεγθεί. Υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι επιλογής εμείς θα χρησιμοποιήσουμε τυχαίο τρόπο.

2) Crossover

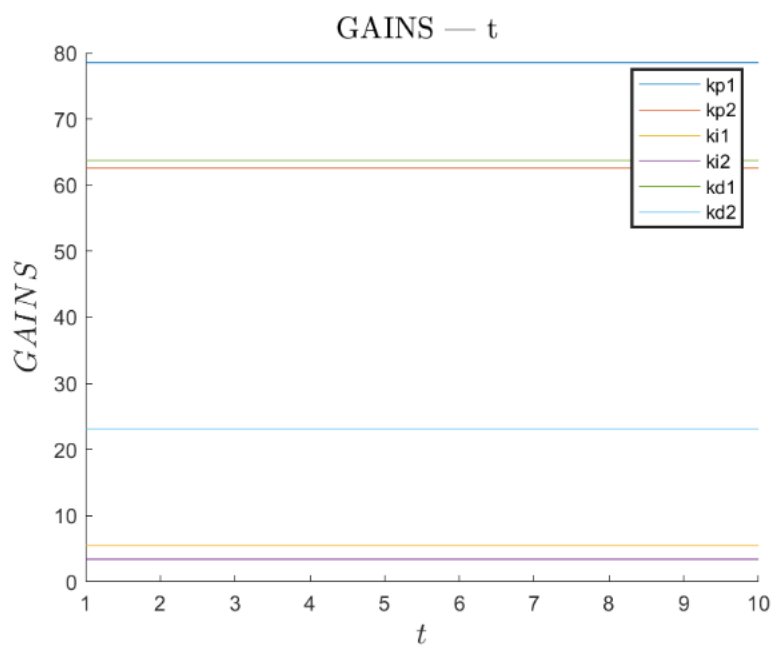
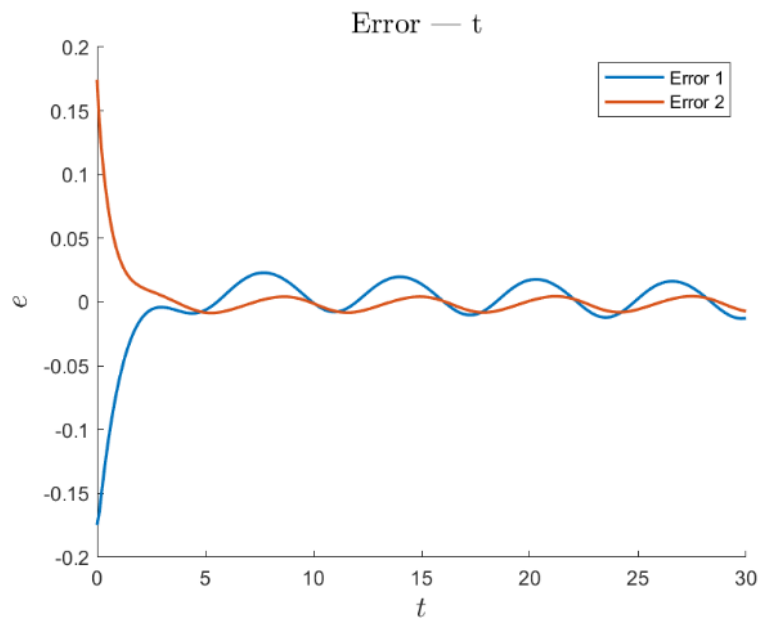
Διαδικασία που αντιμετωπίζει συγκεκριμένα σημεία από τα 2 επιλεγμένα χρωμοσώματα. Έχει ως στόχο να πάρει τα καλύτερα στοιχεία του παλιού χρωμοσώματος και να φτιάξει ένα νέο καλύτερο. Όταν έχουμε ποσοστό 0% σημαίνει ότι ο απόγονος είναι ίδιος με το γονέα ενώ όταν έχουμε 100% σημαίνει ότι κάθε γενιά αποτελείται από καινούριους απογόνους. Υπάρχουν οι τεχνικές simple crossover και multi-point crossover.

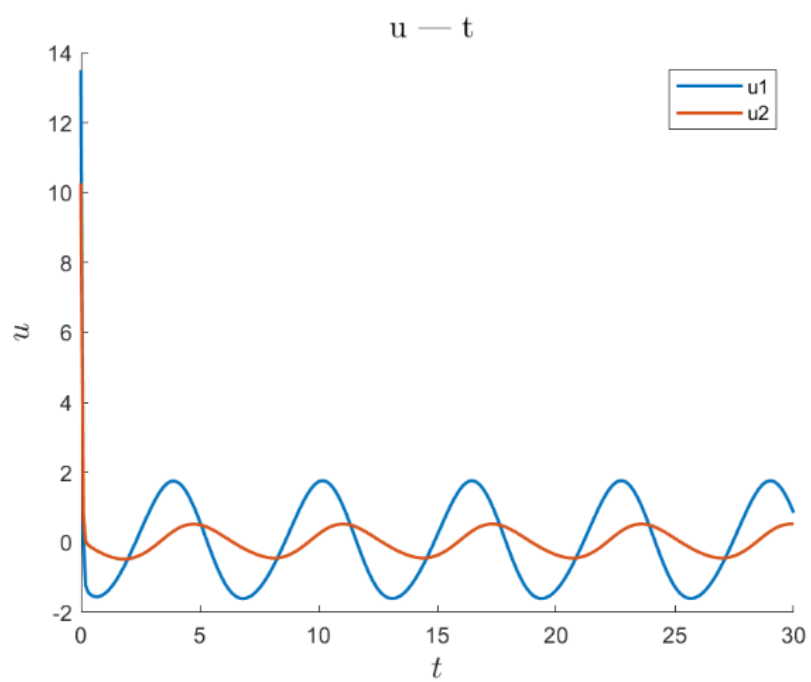
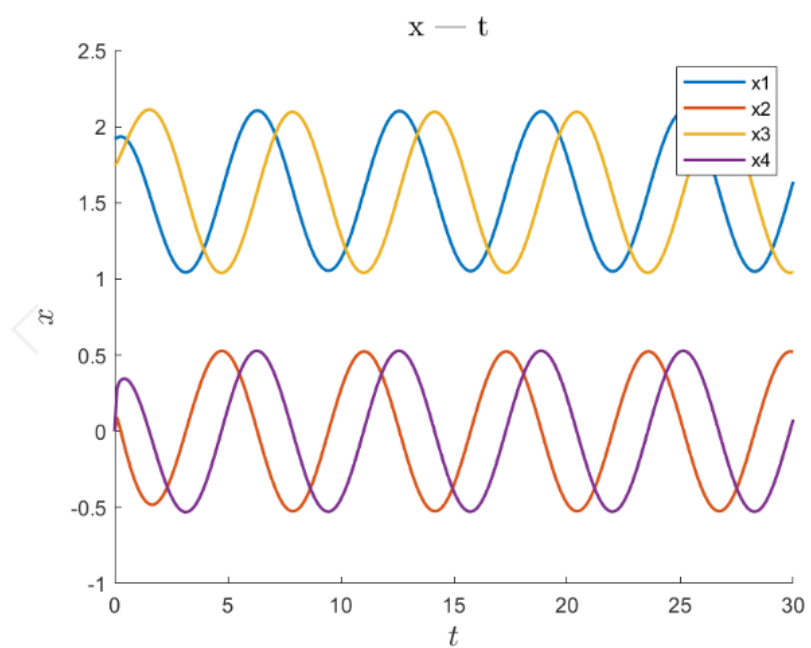
3) Mutation

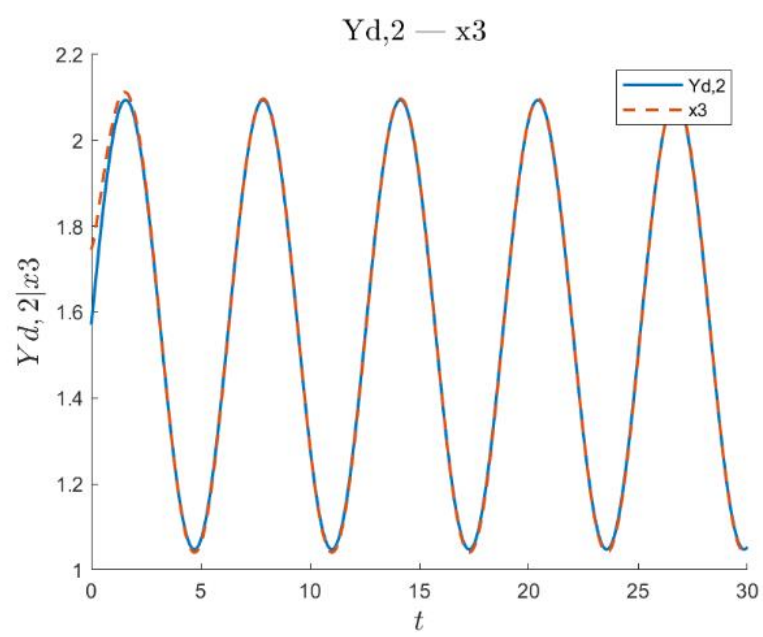
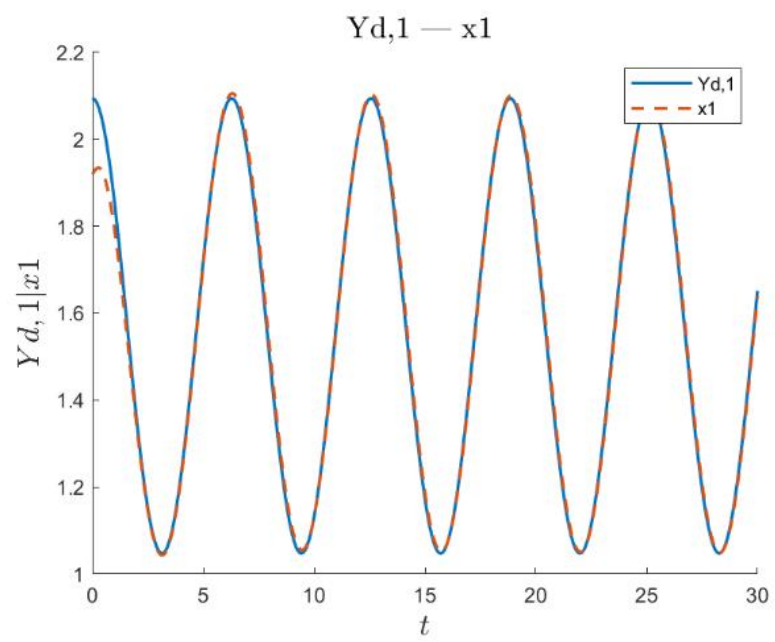
Είναι η διαδικασία μετάλλαξης και αποτελεί την περιστασιακή τυχαία μεταβολή μιας τιμής . Συνήθως η πιθανότητα εκδήλωσης της μετάλλαξης είναι μικρή αλλιώς καταστρέφει το fitness και πάει τον αλγόριθμο σε Τυχαία Αναζήτηση.

Προσομοιώσεις με χρήση Matlab

Εκτελούμε το αρχείο TEX_BEL_PROJECT.m και παίρνουμε τα εξής αποτελέσματα.







Συμπεράσματα

Σε αυτή την εργασία εφαρμόσαμε τους Γενετικούς Αλγορίθμους για την εύρεση κερδών για το σύστημα που μας δίνεται. Επειδή είναι αλγόριθμος ολικού βελτίστου είναι χρονοβόρος με μέσο χρόνο εκτέλεσης τα 8 λεπτά καθώς αυτό εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από την συνάρτηση fitness όπου εκεί γίνεται η υπολογιστική διεργασία των δεικτών, του ελέγχου και των σημάτων του συστήματος. Όπως βλέπουμε στα τελευταία 2 γραφήματα έχουμε πολύ ικανοποιητική παρακολούθηση των επιθυμητών τροχιών $y_{d,1}$ $y_{d,2}$. Επίσης το σφάλμα παρακολούθησης είναι της τάξης του 10^{-3} μετά τα 5(sec). Τέλος εκπληρώνονται οι απαιτήσεις για τα φράγματα των κερδών $(K_{p1}, K_{p2}, K_{d1}, K_{d2}) < 100$ και $(K_{i1}, K_{i2}) < 10$ και οι τιμές που παίρνουμε είναι :

- $K_{p1} = 83.93$
- $K_{p2} = 99.35$
- $K_{i1} = 0.44$
- $K_{i2} = 6.20$
- $K_{d1} = 31.33$
- $K_{d2} = 20.17$