

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Έλεγχος θερμοκρασίας ξηραντήριου για την παραγωγή γυψοσανίδας

Ανάργυρος Τίγκας
Αριθμός Μητρώου: 2013030117

Επιβλέπων :

Μπεκιάρης - Λυμπέρης Νικόλαος

Επίκουρος καθηγητής

Χανιά, Ιούλιος 2019

Περίληψη

Ο σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η εύρεση της αποδοτικότερης στρατηγικής ελέγχου της θερμοκρασίας ξηραντήριου σε εργοστάσιο παραγωγής γυψοσανίδας. Για την εύρεση αυτή, η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε συμπεριλαμβάνει αρχικά την αναγνώριση του μαθηματικού μοντέλου που περιγράφει την διεργασία. Η αναγνώριση του μοντέλου έγινε με την βοήθεια μετρήσεων εισόδου-εξόδου της διεργασίας του ξηραντήριου που πάρθηκαν από το εργοστάσιο της Knauf. Έπειτα πραγματοποιήθηκε η βαθμονόμηση του ελεγκτή μέσω των μεθόδων Lambda, Ziegler-Nichols και Cohen-Coon οι οποίες εφαρμόστηκαν διαδοχικά σε τρία πιθανά σενάρια μοντέλου και ελεγκτή. Τα συμπεράσματα που διεξήχθησαν προσδιορίζουν το ιδανικό μαθηματικό μοντέλο για την περιγραφή της διεργασίας του ξηραντήριου καθώς και την αποδοτικότερη μέθοδο βαθμονόμησης του εν δυνάμει ελεγκτή.

TECHNICAL UNIVERSITY OF CRETE

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING



DIPLOMA THESIS

Dryer temperature control for drywall production

Anargiros Tigkas
Registration Number: 2013030117

Supervisor:

Nikolaos Bekiaris-liberis

Assistant Professor

Chania, July 2019

Abstract

The purpose of this thesis is finding the most effective temperature control strategy for use in drying units in drywall production factories. To accomplish this, the methodology used involves recognizing the mathematical model which describes this process. This was achieved with the help of input/output measurements of the process obtained in the Knauf. factory drying unit. Afterwards, the controller was configured using Lambda, Ziegler-Nichols and Cohen-Coon methods, which were applied consecutively to three possible scenarios of models and controllers. The results of these scenarios determine the ideal mathematical model which describes the process of the drying unit as well as the most effective method of configuring the possible controller.

Ευχαριστίες

Καταρχήν, ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου και τα αδέρφια μου, που με αμέριστη αγάπη και υπομονή με στηρίζουν και με βοηθούν στις επιλογές και τους στόχους μου όλα αυτά τα χρόνια.

Ευχαριστώ ιδιαίτερα τον καθηγητή και επιβλέποντά μου κ. Νικόλαο Λυμπέρη-Μπεκιάρη, Δρ. Ηλεκτρολόγο Μηχανικό & Μηχανικό Ηλεκτρονικών Υπολογιστών, για την δυνατότητα που μου έδωσε να ασχοληθώ με την παρούσα διπλωματική, όπως επίσης και για τη συνεχή και πολύτιμη βοήθειά του, καθ'όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας αυτής.

Τέλος, ευχαριστώ θερμά τους συμφοιτητές και φίλους μου για τη βοήθεια, τη συνεργασία, τη φιλοξενία και την ανταλλαγή ιδεών και εμπειριών, σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου .

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη.....	2
Abstract.....	4
Ευχαριστίες.....	5

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 Εισαγωγή.....	12
1.2 Δομή εργασίας.....	14

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 Περιγραφή ΣΑΕ – Μαθηματικά μοντέλα.....	15
2.2 Περιγραφή ΣΑΕ – Ελεγκτές (PID,PI).....	16

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 Περιγραφή εργοστασίου.....	19
3.2 Ξηραντήριο.....	20

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1 Αναγνώριση συστήματος.....	22
4.2 Σύστημα με καθυστέρηση χρόνου.....	26
4.3 Σύστημα χωρίς καθυστέρηση χρόνου.....	28

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1 Η σχεδίαση του ΣΑΕ και οι μέθοδοι.....	31
5.2 Διεργασία δευτέρου βαθμού με χρόνο καθυστερήσεις με PI ελεγκτή και μέθοδο βαθμονόμησης Lambda.....	33
5.2.1 Περιγραφή μέθοδο βαθμονόμησης Lambda.....	33
5.2.2 Αποτελέσματα μεθόδου βαθμονόμησης Lambda.....	35
5.3 Διεργασία δευτέρου βαθμού με χρόνο καθυστερήσεις με PID ελεγκτή και μέθοδο βαθμονόμησης Ziegler – Nichols.....	38
5.3.1 Περιγραφή μεθόδου βαθμονόμησης Ziegler – Nichols.....	38
5.3.2 Αποτελέσματα μεθόδου βαθμονόμησης Ziegler – Nichols.....	39
5.4 Διεργασία δευτέρου βαθμού με χρόνο καθυστερήσεις με PID ελεγκτή και μέθοδο βαθμονόμησης Cohen-Coon.....	43
5.4.1 Περιγραφή μεθόδου βαθμονόμησης Cohen -Coon.....	43
5.4.2 Αποτελέσματα μεθόδου βαθμονόμησης Cohen-Coon.....	44
5.5 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα.....	47

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Συμπεράσματα.....48

Βιβλιογραφία.....49

Κατάλογος σχημάτων

1.1.1 Δομή ενός ΣΑΕ κλειστού βρόγχου.....	13
2.1.1 Ένα γενικό διάγραμμα ενός συστήματος υπό την δράση PID ελεγκτή.....	18
2.1.2 Ένα γενικό διάγραμμα ενός συστήματος υπό την δράση PI ελεγκτή.....	18
3.2.1 Ένα διάγραμμα ροής του εργοστασίου.....	21
4.1.1 Τα μετρούμενα από την διεργασία μεγέθη εισόδου εξόδου.....	23
4.2.1 Η πειραματική έξοδος του μοντέλου συγκριτικά με την μετρούμενη.....	26
4.2.3 Βηματική απόκριση μοντέλου.....	27
4.3.1 Η πειραματική έξοδος του μοντέλου συγκριτικά με την μετρούμενη.....	28
4.3.3 Βηματική απόκριση μοντέλου.....	29
5.1.1 Απόκριση του υφιστάμενου συστήματος συγκριτικά με την θερμοκρασία αναφοράς ($235\text{ }^{\circ}\text{C}$).....	32
5.2.2.1 προσδιορισμός G_p, T_d, T	35
5.2.2.2 Δομή κλειστού βρόγχου μέθοδο βαθμονόμησης Lambda.....	36

5.2.2.3 Η έξοδος του συστήματος με μέθοδο βαθμονόμησης Lambda συγκριτικά με την έξοδο του υφιστάμενου συστήματος.....	37
5.2.2.4 Η έξοδος του ελεγκτή που μπαίνει σαν είσοδος στο μοντέλο.....	37
5.3.2.1 προσδιορισμός L, T	40
5.3.2.2 Δομή κλειστού βρόγχου μέθοδο βαθμονόμησης Z-N.....	41
5.3.2.3 Η έξοδος του συστήματος με μέθοδο βαθμονόμησης Z- N συγκριτικά με την έξοδο του υφιστάμενου συστήματος.....	41
5.3.2.4 Η έξοδος του ελεγκτή που μπαίνει σαν είσοδος στο μοντέλο.....	42
5.4.2.1 προσδιορισμός G_p, T_d, T	44
5.4.2.2 Δομή κλειστού βρόγχου μέθοδο βαθμονόμησης C-C.....	45
5.4.2.3 Η έξοδος του συστήματος με μέθοδο βαθμονόμησης C-C συγκριτικά με την έξοδο του υφιστάμενου συστήματος.....	45
5.4.2.4 Η έξοδος του ελεγκτή που μπαίνει σαν είσοδος στο μοντέλο.....	46

Κατάλογος πινάκων

3.2.2 Σφάλματα αναγνώρισης για SOPTD μοντέλο.....	27
4.3.2 Σφάλματα αναγνώρισης για SO μοντέλο.....	29
4.4.1 Σφάλματα αναγνώρισης των μοντέλων.....	30
5.1.2 Χρονική παράμετροι της αποκρίσεις του υφιστάμενου συστήματος.....	33
5.2.1.1 Κανόνας βαθμονόμησης μεθόδου Lambda.....	34
5.2.2.5 Χρονική παράμετροι της αποκρίσεις της μεθόδου Lambda.....	38
5.3.1.1 Κανόνας βαθμονόμησης μεθόδου Z-N.....	39
5.3.2.5 Χρονική παράμετροι της αποκρίσεις της μεθόδου Z-N.....	42
5.4.1.1 Κανόνας βαθμονόμησης μεθόδου C-C.....	43
5.4.2.5 Χρονική παράμετροι της αποκρίσεις της μεθόδου C-C.....	46
4.6.1 Χρονική παράμετροι της αποκρίσεις όλων των μεθόδων.....	47

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 Εισαγωγή

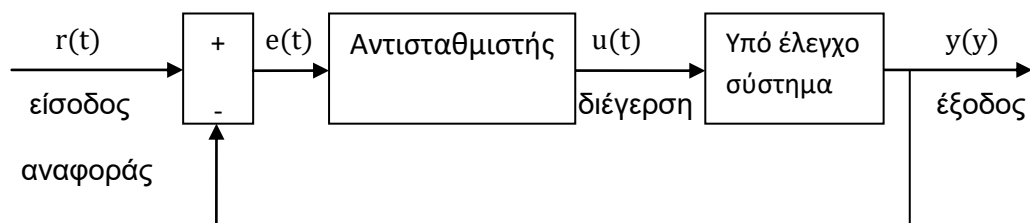
Ένας ελεγκτής είναι ένα όργανο που χρησιμοποιείται σε εφαρμογές βιομηχανικού ελέγχου για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας, της ροής, της πίεσης, της ταχύτητας και άλλων μεταβλητών της διαδικασίας. Οι ελεγκτές χρησιμοποιούν έναν μηχανισμό ανάδρασης βρόγχου ελέγχου για τον έλεγχο των μεταβλητών της.

Ο έλεγχος είναι ένας καθιερωμένος τρόπος οδήγησης ενός συστήματος προς μια θέση στόχου ή ένα επίπεδο. Είναι πρακτικά πανταχού παρόν ως μέσο ελέγχου και βρίσκει εφαρμογή σε χιλιάδες διεργασίες αυτοματοποίησης. Ο έλεγχος χρησιμοποιεί ανατροφοδότηση ελέγχου κλειστού βρόγχου για να διατηρήσει την πραγματική έξοδο από μια διαδικασία όσο το δυνατόν πλησιέστερη προς την έξοδο του στόχου ή της επιθυμητής τιμής.

Πιο συγκεκριμένα σύμφωνα και με την φύση της συγκεκριμένης διεργασίας ένας ελεγκτής θερμοκρασίας, όπως υπονοεί το όνομά του, είναι ένα όργανο που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της θερμοκρασίας, κυρίως χωρίς εκτεταμένη εμπλοκή του χειριστή. Ένας ελεγκτής σε ένα σύστημα ελέγχου θερμοκρασίας θα δέχεται έναν αισθητήρα θερμοκρασίας όπως ένα θερμοστοιχείο ως είσοδο και θα συγκρίνει την πραγματική θερμοκρασία με την επιθυμητή θερμοκρασία ελέγχου ή με το επιθυμητό σημείο ρύθμισης. Στη συνέχεια παρέχει έξοδο σε ένα στοιχείο ελέγχου.

Η πρώτη εξέλιξη του ελεγκτή αναπτύχθηκε το 1911 από τον Elmer Sperry. Ωστόσο, μέχρι το 1933 η Taylor Instrumental Company (TIC) εισήγαγε τον πρώτο ελεγκτή με έναν πλήρως συντονισμένο αναλογικό ελεγκτή. Λίγα χρόνια αργότερα, οι μηχανικοί ελέγχου εξάλειψαν το σφάλμα μόνιμης κατάστασης που εντοπίστηκε στους αναλογικούς ελεγκτές, επαναφέροντας το σημείο σε κάποια τεχνητή τιμή, εφόσον το σφάλμα δεν ήταν μηδέν. Αυτή η επαναφορά ενσωμάτωσε το σφάλμα και έγινε γνωστός ως ο αναλογικός-ενσωματωμένος ελεγκτής. Ωστόσο, μέχρι το 1942, όταν εισήχθησαν κανόνες ρύθμισης Ziegler και Nichols, οι μηχανικοί ήταν σε θέση να βρουν και να ορίσουν τις κατάλληλες παραμέτρους των ελεγκτών.

Για τη δομή ενός ΣΑΕ κλειστού βρόγχου παρουσιάζεται το παρακάτω διάγραμμα λειτουργίας όπου φαίνεται ο τρόπος που συμμετέχουν τα στοιχεία ελέγχου για την επιθυμητή λειτουργία του συστήματος. Στο διάγραμμα ο ελεγκτής έχει είσοδο μια εξωτερική διέγερση και παρέχει την κατάλληλη είσοδο $u(t)$ στο υπό έλεγχο σύστημα, ενώ η έξοδος $y(t)$ ανατροφοδοτείται στον ελεγκτή. Η $u(t)$ είναι συνάρτηση της εξόδου.



Σχήμα 1.1.1: Δομή ενός ΣΑΕ κλειστού βρόγχου

1.2 Δομή εργασίας

Στο πρώτο μέρος της εργασίας, γίνεται μία εκτενής παρουσίαση των συστημάτων αυτομάτου έλεγχου αναφορικά με τη δομή τους, τα πλεονεκτήματά τους, τα χαρακτηριστικά τους ώστε να γίνει κατανοητή η σημαντικότητά του ρόλου τους. Συγκεκριμένα γίνεται ανάλυση σχετικά με την μαθηματική μοντελοποίηση του υπό έλεγχο συστήματος ,καθώς και για την λειτουργία του ελεγκτή.

Στο δεύτερο μέρος, παρουσιάζεται η περιγραφή του εργοστασίου με τα διάφορα τμήματα που το αποτελούν .Στην συνέχεια γίνεται μια εκτενή αναφορά στον τρόπο λειτουργίας του ξηραντήριου και στο πως αυτό αλληλεπιδρά με τα υπόλοιπα τμήματα.

Στο τρίτο μέρος, περιγράφεται αναλυτικά η διαδικασία αναγνώρισης του μαθηματικού μοντέλου που προσομοιώνει το υπό έλεγχο σύστημα. Αρχικά παρουσιάζονται τα βήματα της αναγνώρισης καθώς και τα μετρά αποτιμήσεις των αποτελεσμάτων αυτής. Στη συνέχεια γίνεται η προσέγγιση του μοντέλου με δυο τρόπους, με συνάρτηση μεταφοράς δευτέρου βαθμού με καθυστέρηση χρόνου και χωρίς .Τέλος διεξάγονται τα συμπεράσματα σχετικά με την καταλληλότερη προσέγγιση.

Το τέταρτο μέρος, αφορά τις μεθόδους βαθμονομήσεις που ακολουθηθήκαν για την ρύθμιση των ελεγκτών .Ποιο συγκεκριμένα γίνεται ανάλυση των μεθόδων ως προς την διαδικασία της διεξαγωγής των παραμέτρων των ελεγκτών , καθώς και παρουσίαση των αποκρίσεων του συστήματος με τις ανώτερο ρυθμίσεις .Τέλος γίνεται αποτίμηση και σύγκριση των πειραματικών αποκρίσεων συγκριτικά με την υφιστάμενη.

Στο τελευταίο μέρος, γίνεται η ανάλυση και η εξαγωγή των συμπερασμάτων από τα αποτελέσματα του προηγούμενου μέρους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 Περιγραφή ΣΑΕ – Μαθηματικά μοντέλα

Καταλυτικό ρολό στον ορισμό των παραμέτρων του ελεγκτή παίζει και η μαθηματική μοντελοποίηση της διεργασίας. Η ανάλυση (π.χ. χρονική απόκριση), η μελέτη της δομής και των ιδιοτήτων ενός συστήματος (π.χ. μελέτη της ευστάθειας) καθώς και η βελτίωση της συμπεριφοράς του, απαιτεί την εξαγωγή ενός μαθηματικού μοντέλου που να προσεγγίζει το φυσικό σύστημα. Το μοντέλο αυτό πρέπει να συνδέει φυσικές ποσότητες (π.χ. τάση ή ρεύμα) με στοιχεία του συστήματος. Γενικά, το μαθηματικό μοντέλο ενός συστήματος είναι μία μαθηματική έκφραση που συσχετίζει την είσοδο, στο σύστημα και την έξοδο έτσι ώστε να μπορούμε να υπολογίσουμε την έξοδο του συστήματος για οποιαδήποτε διέγερση.

Τα επικρατέστερα μαθηματικά μοντέλα είναι α) οι ολοκληροδιαφορικές εξισώσεις (ο.δ.ε.), β) η συνάρτηση μεταφοράς, γ) η κρουστική απόκριση και δ) οι εξισώσεις κατάστασης. Οι ο.δ.ε., η συνάρτηση μεταφοράς και η κρουστική απόκριση ονομάζονται και περιγραφές εισόδου – εξόδου, επειδή συσχετίζουν την είσοδο με την έξοδο χωρίς να μας δίνουν πληροφορίες για την κατάσταση του συστήματος. Αντίθετα οι εξισώσεις κατάστασης εκτός του ότι μπορούν να περιγράψουν περισσότερες κατηγορίες συστημάτων σε σχέση με τα παραπάνω μοντέλα, παρέχουν επίσης την πληροφορία για την κατάσταση του συστήματος.

Ποιο συγκεκριμένα στην παρούσα εργασία ο τρόπος προσέγγισης του μοντέλου έγινε μέσω της συνάρτησης μεταφοράς. Η περιγραφή συστημάτων με τη συνάρτηση μεταφοράς είναι μια περιγραφή στο πεδίο της μιγαδικής συχνότητας ($s = \sigma + j\omega$) και ισχύει μόνο για γραμμικά και χρονικά αμετάβλητα συστήματα με μηδενικές αρχικές συνθήκες. Η συνάρτηση μεταφοράς είναι ο λόγος του μετασχηματισμού Laplace της εξόδου $y(t)$ προς τον μετασχηματισμό Laplace της εισόδου $u(t)$, δηλαδή:

$$H(s) = \frac{L\{y(t)\}}{L\{u(t)\}} = \frac{Y(s)}{U(s)} \quad (1)$$

2.2 Περιγραφή ΣΑΕ – Ελεγκτές (PID, PI)

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω αναπόσπαστο κομμάτι ενός συστήματος αυτομάτου έλεγχου είναι ο ελεγκτής, ο οποίος θα αναλυθεί σε αυτή την ενότητα. Στην παρούσα εργασία γίνεται την χρήση δυο τύπων ελεγκτών και οι οποίοι αναλύονται παρακάτω.

Αρχικά, παρατίθενται οι συναρτήσεις μεταφοράς που τους διέπουν, είναι η εξής:

$$G_{cPID}(s) = k_p \times \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s\right) \quad (2)$$

$$G_{cPI}(s) = k_p \times \left(1 + \frac{1}{T_i s}\right) \quad (3)$$

Με k_p , T_i και T_d που είναι αντίστοιχα:

- k_p = Αναλογικό κέρδος
- T_i = Ολοκληρωτική σταθερά του χρόνου
- T_d = Διαφορική σταθερά του χρόνου

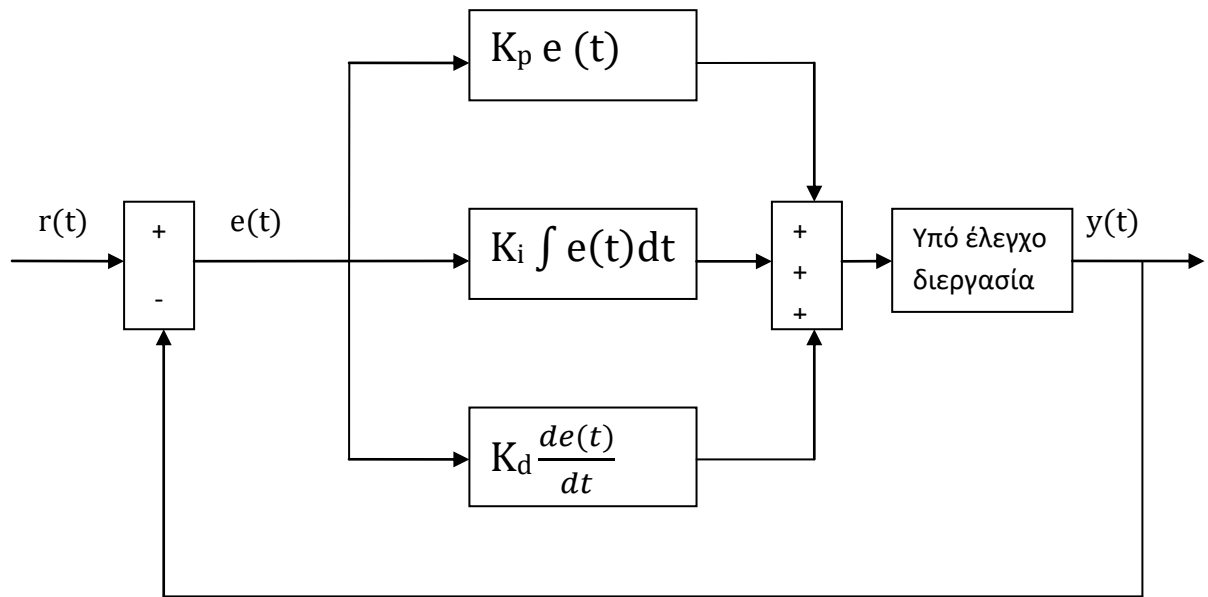
Ο τρόπος που συμπεριφέρεται ένας ελεγκτής, ο οποίος δουλεύει σε σύστημα κλειστού βρόγχου, όπως στο Σχήμα 1.1.1. Η μεταβλητή $e(t)$ αντιπροσωπεύει το σφάλμα παρακολούθησης, δηλαδή την διαφορά ανάμεσα στην τιμή της επιθυμητής εισόδου $r(t)$ και σε εκείνη της πραγματικής εξόδου $y(t)$. Αυτό το σήμα σφάλματος $e(t)$ θα σταλεί στον ελεγκτή και ο ελεγκτής θα υπολογίσει τόσο την παράγωγο όσο και το ολοκλήρωμα αυτού του σήματος. Το σήμα $u(t)$ αμέσως μετά τον ελεγκτή είναι πλέον ίσο με το αναλογικό κέρδος (K_p) επί την τιμή του σφάλματος, συν το ολοκληρωτικό κέρδος (K_i) επί το ολοκλήρωμα του σφάλματος για τον PI και συν το διαφορικό κέρδος (K_d) επί την παράγωγο του σφάλματος για τον PID όπως φαίνετε και από τις εξισώσεις τους.

$$u_{PID}(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t)dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (4)$$

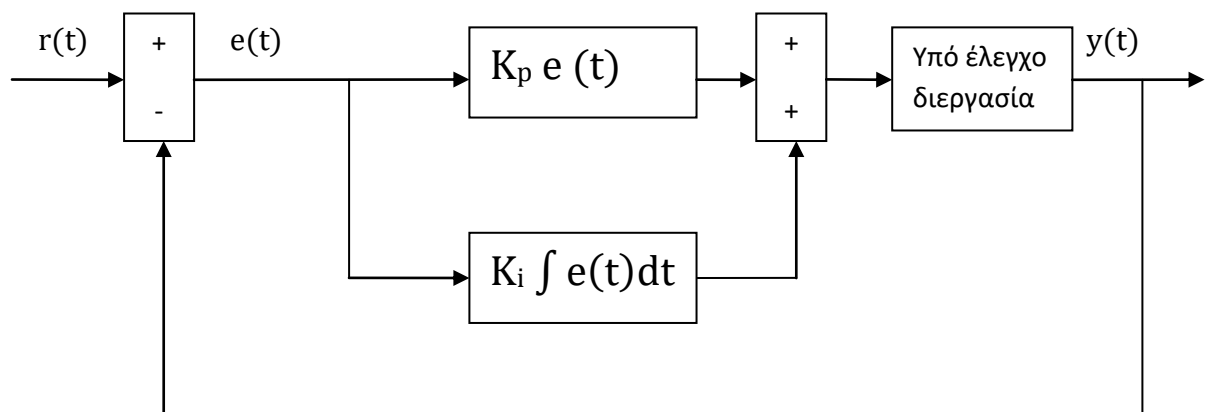
$$u_{PI}(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t)dt \quad (5)$$

Το σήμα αυτό θα σταλεί στο σύστημα προς έλεγχο και στη συνέχεια θα λάβουμε ένα νέο σήμα εξόδου $y(t)$. Η νέα έξοδος $y(t)$ θα σταλεί ξανά πίσω στο αισθητήριο για να ανιχνεύσει και αυτό με τη σειρά του το νέο σήμα σφάλματος $e(t)$. Ο ελεγκτής θα πάρει αυτό το νέο σήμα σφάλματος και θα υπολογίσει ξανά την παράγωγο και το ολοκλήρωμα και η ίδια διαδικασία θα επαναλαμβάνεται συνέχεια.

Ακλουθούν δυο μπλοκ διαγράμματα όπου αναπαριστούν την ανώτερο διαδικασία και για τους δυο τύπους ελεγκτών που θα χρησιμοποιηθούν στην συνέχεια της παρούσας εργασίας .



Σχήμα 2.1.1: Ένα γενικό διάγραμμα ενός συστήματος υπό την δράση PID ελεγκτή



Σχήμα 2.1.2: Ένα γενικό διάγραμμα ενός συστήματος υπό την δράση PI ελεγκτή

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 Περιγραφή εργοστασίου

Η γραμμή παραγωγής γυψοσανίδας αποτελεί την βασική γραμμή παραγωγής του εργοστασίου της Knauf Αμφιλοχίας. Απασχολεί 20 εργαζόμενους (χωρίς τις βοηθητικές θέσεις) και λειτουργεί 3 βάρδιες ανά ημέρα και 7 ημέρες την εβδομάδα. Γεωγραφικά η γραμμή καταλαμβάνει κτήριο περίπου 5.200m² και χωρίζεται στα τμήματα:

Σταθμός Προετοιμασία (χώρος αποθήκευσης και δοσομετρητής των στερεών και υγρών προσμίκτων, χώρος προετοιμασίας των ρολών του χαρτιού, σιλό του γύψου και τροφοδοσία του).

Μίξερ (μηχανή ανάμειξης των στερεών και υγρών προσμείκτων και τραπέζι φορμαρίσματος όπου ο χυλός που εκρέει από το μίξερ οδηγείται και μορφοποιείται ανάμεσα στα 2 φύλλα του χαρτιού).

Ταινία και ραουλόδρομος μεταφοράς.

Ψαλίδι.

Ξηραντήριο.

Παραλαβή και παλεοποίηση τελικού προϊόντος.

2 ρολά χαρτού βάρους περίπου 2 τόνους το κάθε ένα ξετυλίγονται στην αρχή της γραμμής για να δημιουργήσουν την επιφάνεια όπου θα φορμαριστεί ο χυλός που εκρέει από το μίξερ και αποτελείται κυρίως από ψημένο γύψο και νερό. Το προϊόν ταξιδεύει πάνω στον ταινιόδρομο και τον ραουλόδρομο και περίπου 125m και κατόπιν κόβεται στο επιθυμητό μήκος τελικού προϊόντος και εισάγεται στο ξηραντήριο. Εκεί γίνεται η αφύγρανση (αποβολή μέσω εξάτμιση του επιπλέον νερού) και κατόπιν το προϊόν αφού περνά τελική κατεργασία (λείανση των άκρων) οδηγείται στην παλεοποίηση. Το τελικό προϊόν σε παλέτες συνήθως των 50 τεμαχίων πηγαίνει στην αποθήκη.

3.2 Ξηραντήριο

Ειδικότερα η διεργασία του ξηραντήριου με την οποία θα ασχοληθούμε στην παρούσα εργασία με σκοπό την βελτίωση του έλεγχου της περιγράφεται παρακάτω. Η διαδικασία της Ξήρανσης αναφέρεται στην αποβολή της περισσεϊας νερού από το προϊόν.

Στο μίξερ, ο ψημένος γύψος αναμιγνύεται με στερεά και υγρά πρόσμικτα αλλά και με νερό. Το ποσοστό του νερού στην συνταγή παραγωγής είναι αυτό που απαιτείται για την επανυδάτωση του ψημένου γύψου αλλά και επιπλέον ποσότητα που χρειάζεται για την μορφοποίηση του χυλού και την επίτευξη σωστής κρυσταλλικής δομής στο τελικό προϊόν. Στο τέλος της ταινίας παραγωγής ,αμέσως πριν το ξηραντήριο, έχει ολοκληρωθεί η διαδικασία της επανυδάτωσης και έχει ολοκληρωθεί η κρυσταλλική δομή του προϊόντος. Στο ξηραντήριο λοιπόν, πρέπει να αποβληθεί μέσω εξάτμισης η ποσότητα του επιπλέον νερού.

Στο εργοστάσιο της Αμφιλοχίας το ξηραντήριο είναι 6 ορόφων με τροφοδοσία 2 σανίδων ανά όροφο. Έχει συνολικό μήκος 67 m, ύψος 3m και πλάτος 4,5m. Είναι ξηραντήριο κατά μήκους λειτουργίας ξήρανσης ενώ υπάρχει και εναλλάκτης θερμότητας για την ανάκτηση ενέργειας από τα καυσαέρια για την προθέρμανση του αέρα καύσης.

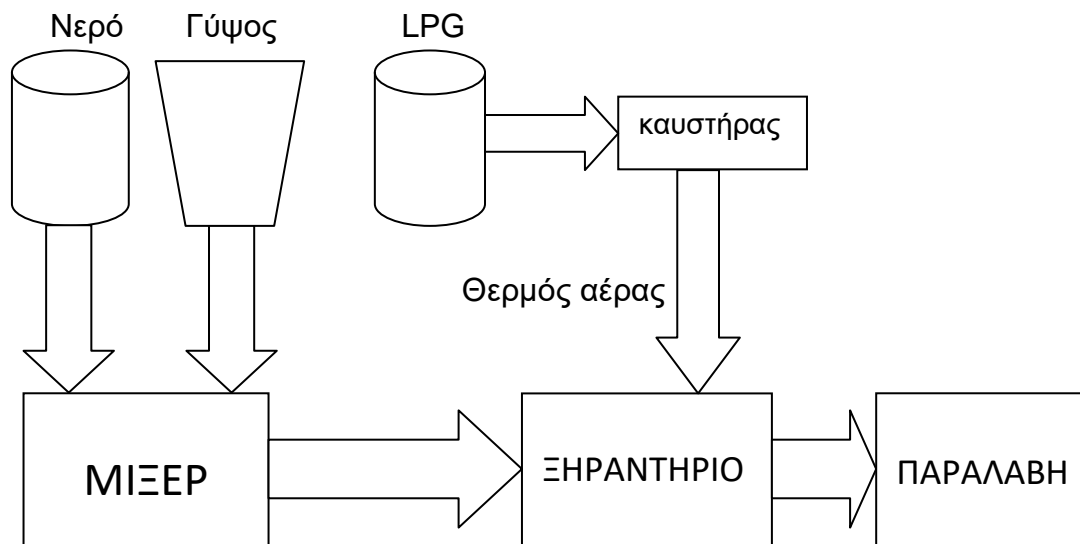
Ενδεικτικές Τιμές κατανάλωσης και απόδοσης:

Κατανάλωση Καυσίμου ανά ώρα λειτουργίας του ξηραντήριου ≈ 1.000 lit (υγρού LPG)

Ενδεικτική απόδοση ξηραντήριου ≈ 800 Kcal/kg_{H2O}

Ο στόχος της εταιρίας μέσω της παρούσας εργασίας είναι η σχεδίαση του αυτομάτου έλεγχου της διεργασίας με σκοπό την ταχύτερη απόκριση του συστήματος καθώς και την εξάλειψη διαταραχών προκειμένου να έχει έναν καλύτερο λόγο απόδοσης και κατ' επέκταση εξοικονόμηση πόρων πράγμα που είναι πολύ σημαντικό για την λειτουργία της .

Ακολουθεί ένα διάγραμμα ροής του εργοστασίου όπου φαίνεται το ξηραντήριο και οι διαφορές διεργασίες που περιγράφηκαν παραπάνω:



Σχήμα 3.2.1: Ένα διάγραμμα ροής του εργοστασίου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1 Αναγνώριση συστήματος

Η ανάλυση (π.χ. χρονική απόκριση), η μελέτη της δομής και των ιδιοτήτων ενός συστήματος (π.χ. μελέτη της ευστάθειας) καθώς και η βελτίωση της συμπεριφοράς του, απαιτεί την εξαγωγή ενός μαθηματικού μοντέλου που να προσεγγίζει το φυσικό σύστημα. Το μοντέλο αυτό πρέπει να συνδέει φυσικές ποσότητες (π.χ. τάση ή ρεύμα) με στοιχεία του συστήματος (π.χ. αντίσταση, χωρητικότητα, αυτεπαγωγή). Ο προσδιορισμός του συστήματος είναι μια μεθοδολογία για την κατασκευή μαθηματικών μοντέλων δυναμικών συστημάτων χρησιμοποιώντας μετρήσεις των σημάτων εισόδου και εξόδου του συστήματος.

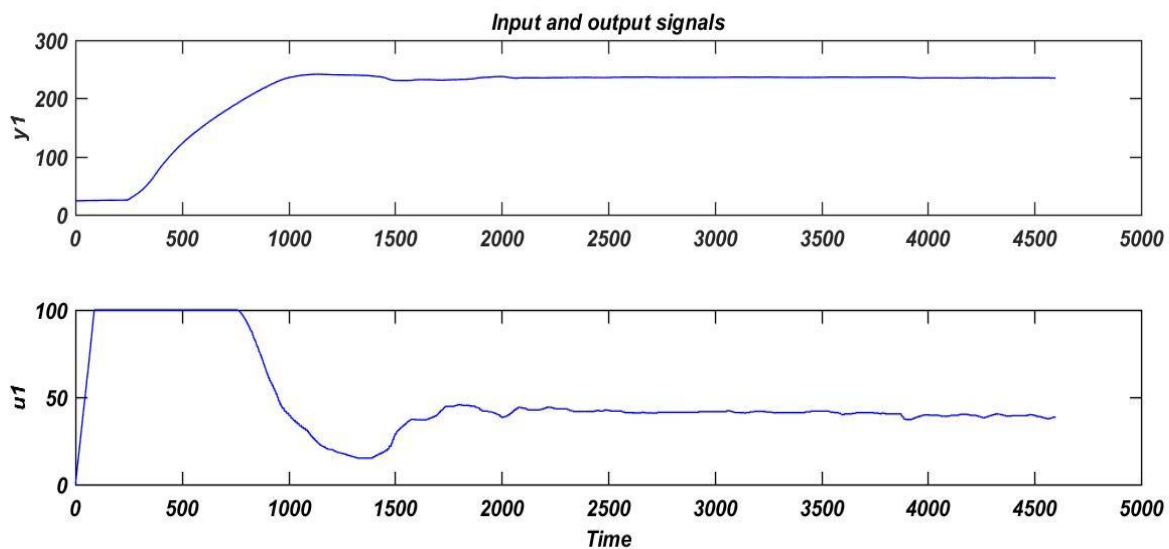
Η αναγνώριση του συστήματος χρησιμοποιεί τα σήματα εισόδου και εξόδου που μετριοούνται από ένα σύστημα για να εκτιμήσει τις τιμές των ρυθμιζόμενων παραμέτρων σε μια δεδομένη δομή μοντέλου. Η απόκτηση ενός καλού μοντέλου του συστήματος εξαρτάται από το πόσο καλά τα μετρημένα δεδομένα αντικατοπτρίζουν τη συμπεριφορά του συστήματος.

Η προσέγγιση που ακολουθήθηκε για τον προσδιορισμό του συστήματος είναι μέσω της εργαλειοθήκης του Matlab και πιο συγκεκριμένα του app system identification, για το οποίο παρατίθεται μια περιγραφή του πως δουλεύει και τις προϋποθέσεις για την εξαγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων.

Η διαδικασία αναγνώρισης του συστήματος περιλαμβάνει τα εξής βήματα :

Μέτρηση των σημάτων εισόδου και εξόδου από το σύστημά στον τομέα χρόνου.

Έτσι από την μέτρηση που έγινε κατά την εκκίνηση της διεργασίας από ανενεργή κατάσταση προκύπτουν τα παρακάτω δεδομένα.



Σχήμα 4.1.1 :Τα μετρούμενα από την διεργασία μεγέθη εισόδου εξόδου

Συστήματα τα οποία έχουν απόκριση όπως αυτή του παραπάνω σχήματος, δηλαδή παρουσιάζουν ταλάντωση στην έξοδο είναι συστήματα δεύτερης τάξης και εκφράζονται από τη συνάρτηση μεταφοράς:

$$G(s) = \frac{\kappa \omega_n^2}{s^2 + 2\zeta \omega_n s + \omega_n^2} \quad (6)$$

Ο τρόπος με τον οποίο η εφαρμογή κάνει την προσέγγιση είναι ο εξής:

Το λογισμικό System Identification Toolbox εκτιμά τις παραμέτρους του μοντέλου ελαχιστοποιώντας το σφάλμα μεταξύ της εξόδου του μοντέλου και της μετρημένης απόκρισης. Το y του γραμμικού μοντέλου δίνεται από:

$$Y_{\text{μοντέλου}}(s) = G(s) U(s) \quad (7)$$

Όπου G είναι η λειτουργία μεταφοράς.

Για τον προσδιορισμό του G , η εργαλειοθήκη ελαχιστοποιεί τη διαφορά μεταξύ της εξόδου $y_{\text{μετ}}(t)$ και της μετρημένης απόδοσης $y_{\text{μοντέλου}}(t)$.

Το *κριτήριο ελαχιστοποίησης* είναι ένας σταθμισμένος κανόνας του σφάλματος $v(t)$, όπου:

$$v(t) = y_{\text{μετ}}(t) - y_{\text{μοντέλου}}(t) \quad (8)$$

Συνεπώς, το σφάλμα $v(t)$ ονομάζεται σφάλμα προσομοίωσης ή σφάλμα πρόβλεψης. Οι αλγόριθμοι εκτίμησης προσαρμόζουν τις παραμέτρους στη δομή του μοντέλου G έτσι ώστε ο κανόνας αυτού του σφάλματος να είναι όσο το δυνατόν μικρότερος.

Σύμφωνα με τα παραπάνω έγινε προσέγγιση δυο μοντέλων δεύτερης τάξης με χρόνο καθυστέρησης και χωρίς τα αποτελέσματα παρατίθενται παρακάτω.

Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η αποτίμηση των μοντέλων:

Ως προς την αποτίμηση των δυο εξαγόμενων μοντέλων τα μετρά που λύθηκαν είναι αυτά του τελικού σφάλματος πρόβλεψης(FPE) , σχετικού τετραγωνικού σφάλματος(MSE). Οπού FPE το τελικό σφάλμα πρόβλεψης το οποίο προκύπτει από την παρακάτω σχέση:

$$FPE = \det\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e(t, \hat{\theta}_n)(e(t, \hat{\theta}_n))^T\right)^{\frac{1+\frac{d}{n}}{1-\frac{d}{n}}} \quad (9)$$

Με:

- n συνολικός αριθμός εκτιμώμενων δεδομένων
- $e(t)$ πίνακας των σφαλμάτων πρόβλεψης
- θ_n αντιπροσωπεύει τις εκτιμώμενες παραμέτρους
- d ο αριθμός των εκτιμώμενων παραμέτρων

Και το MSE σχετικό τετραγωνικό σφάλμα αντίστοιχα από:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_I)^2 \quad (10)$$

Με:

- n συνολικός αριθμός εκτιμώμενων δεδομένων
- Y_i οι μετρούμενες τιμές
- \hat{Y}_I οι προβλεπόμενες τιμές

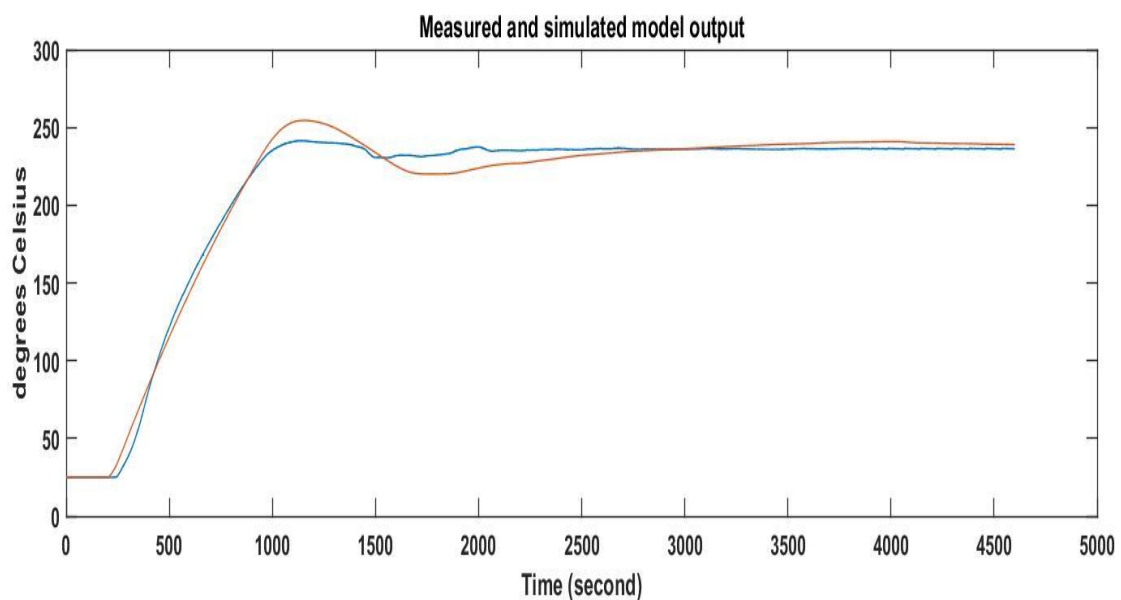
4.2 Σύστημα με καθυστέρηση χρόνου

Είναι σύστημα δεύτερης τάξης με χρόνο καθυστέρησης και εκφράζεται από τη συνάρτηση μεταφοράς:

$$G_1(s) = \frac{K\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} e^{-Ls} \quad (11)$$

Το μοντέλο αυτό έχει τέσσερις παραμέτρους:

- τη φυσική συχνότητα $\omega_n=0,0008354$
- το στατικό κέρδος $K=5,93$
- τη σχετική απόσβεση $\zeta= 8,648$
- την καθυστέρηση $L=223$



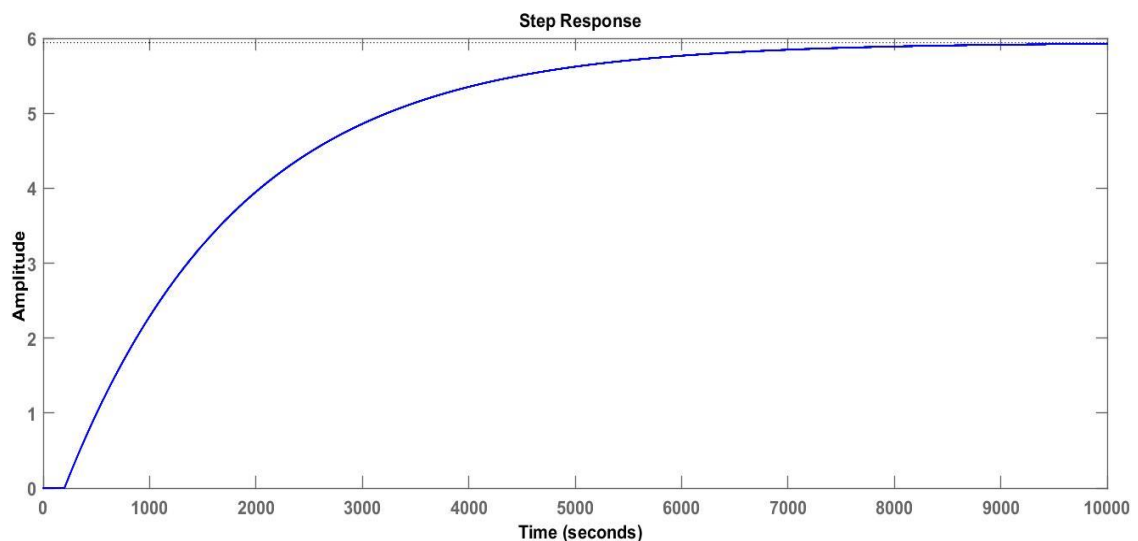
Σχήμα 4.2.1: Η πειραματική έξοδος του μοντέλου συγκριτικά με την μετρούμενη

Τα αποτελέσματα του μοντέλου αναφορικά με τα μετρά (FPE,MSE) φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Τύπος μοντέλου	FPE	MSE
SOPTD	28,72	28,63

Πίνακας 3.2.2: Σφάλματα αναγνωρίσεις για SOPTD μοντέλο

Παρακάτω φαίνεται η βηματική απόκριση του μοντέλου.



Σχήμα 4.2.3 Βηματική απόκριση μοντέλου

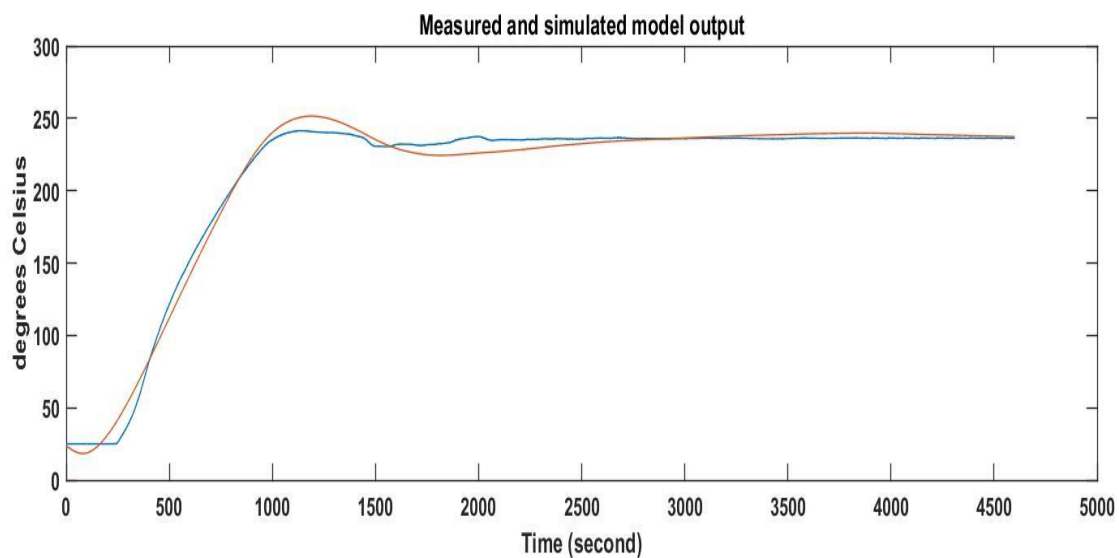
4.3 Σύστημα χωρίς καθυστέρηση χρόνου

Είναι σύστημα δεύτερης τάξης χωρίς χρόνο καθυστέρησης και εκφράζεται από τη συνάρτηση μεταφοράς:

$$G_2(s) = \frac{K\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (12)$$

Το μοντέλο αυτό έχει τρεις παραμέτρους:

- το στατικό κέρδος $K=5,87$
- τη φυσική συχνότητα $\omega_n = 0,004862$
- τη σχετική απόσβεση $\zeta = 1,3136$



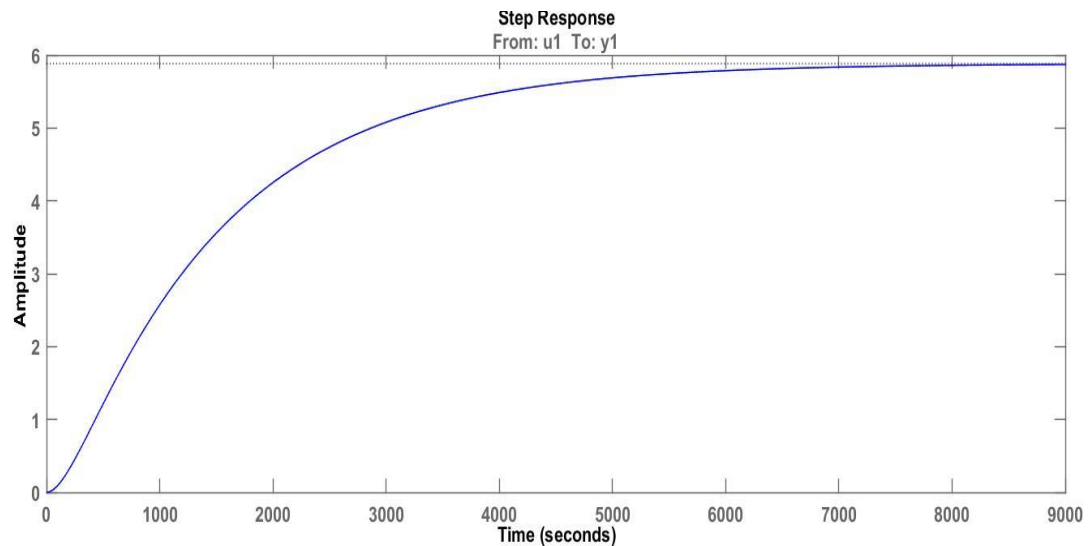
Σχήμα 4.3.1: Η πειραματική έξοδος του μοντέλου συγκριτικά με την μετρούμενη

Τα αποτελέσματα του μοντέλου αναφορικά με τα μετρά (FPE, MSE) φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Τύπος μοντέλου	FPE	MSE
SO	33,38	33,26

Πίνακας 4.3.2: Σφάλματα αναγνωρίσεις για SO μοντέλο

Παρακάτω φαίνεται η βηματική απόκριση του μοντέλου με βάση την οποία θα προσδιοριστούν τα κέρδοι των ελεγκτών



Σχήμα 4.3.3 Βηματική απόκριση μοντέλου

4.4 Σύγκριση και επιλογή μοντέλου

Παρακάτω παρατίθενται τα συνολικά αποτελέσματα για την αναγνώριση του μαθηματικού μοντέλου προσομοιώσεις της διεργασίας:

Τύπος μοντέλου	FPE	MSE
SOPTD	28,72	28,63
SO	33,38	33,26

Πίνακας 4.4.1: Σφάλματα αναγνώρισης των μοντέλων

Όπως γίνεται σαφές από τα αποτελέσματα του Πινάκα **4.4.1** καθώς και από τις εικόνες **4.2.1** και **4.3.1** η μέθοδος που προσεγγίζει με μεγαλύτερη ακριβία τα μετρούμενα δεδομένα είναι αυτή της δεύτερης τάξης με χρόνο καθυστέρησης. Έτσι η υπό έλεγχο διεργασία που θα μελετηθεί στην συνέχεια προκείμενου να βαθμονομηθεί ο ελεγκτής της θα είναι αυτού του τύπου.

Τα μοντέλα δεύτερης τάξης και καθυστέρησης χρόνου (SOPTD) έχουν λάβει μεγάλη προσοχή λόγω της ευρείας χρήσης τους σε τεχνικές ρύθμισης των ελεγκτών. Απλά μοντέλα διαδικασίας με τρεις παραμέτρους κατ'ανώτατο όριο κυριαρχούν για τον σχεδιασμό του ελέγχου σε βιομηχανικές εφαρμογές. Ωστόσο τα μοντέλα FOPTD είναι περιορισμένα κατά τη διαδικασία και έχουν μειωμένη συμπεριφορά ή δυναμική υψηλής τάξης. Ορισμένα μοντέλα υψηλότερης τάξης όταν προσεγγίζονται σε ένα μοντέλο FOPTD δίνουν αρνητική χρονική σταθερά ως εκ τούτου είναι απαραίτητο το μοντέλο δεύτερης τάξης

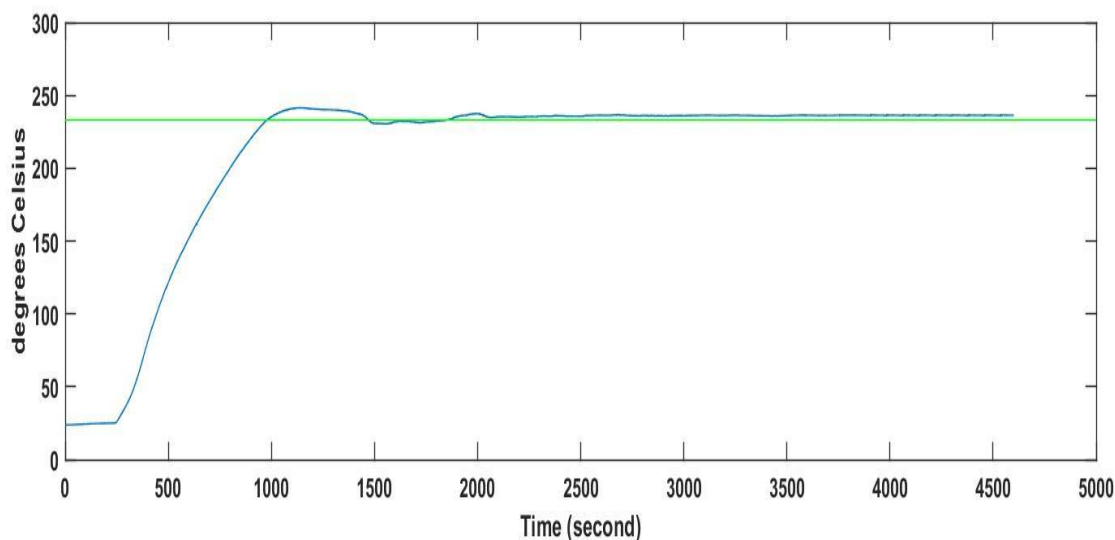
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1 Η σχεδίαση του ΣΑΕ και οι μέθοδοι

Η σχεδίαση ενός ΣΑΕ είναι το πρόβλημα όπου, για ένα δεδομένο σύστημα για το οποίο έχουμε προδιαγεγραμμένη απόκριση, αναζητούμε την ανάπτυξη κατάλληλου σήματος $u(t)$ στην είσοδο του συστήματος για το οποίο θα έχουμε την προδιαγραφείς απόκριση. Για τη σύνθεση του κατάλληλου σήματος εισόδου $u(t)$ θα χρειαστεί να σχεδιάσουμε έναν ελεγκτή.

Υποθέτουμε ότι για το σύστημα που εξετάζουμε αν αυξήσουμε το σήμα εισόδου του u , τότε αυξάνεται και το σήμα εξόδου y . Σύμφωνα με αυτή την υπόθεση η αρχή της ανάδρασης μπορεί να διατυπωθεί ως εξής. Αυξάνεται το u όταν το y είναι μικρότερο από το σήμα διέγερσης, ενώ το u μειώνεται όταν το y είναι μεγαλύτερο από το σήμα διέγερσης. Αυτός ο τύπος ανάδρασης ονομάζεται αρνητική ανάδραση επειδή η έξοδος του ελεγκτή u κινείται αντίθετα από την απόκριση του συστήματος y . Για την συγκεκριμένοι διεργασία θα κάνουμε τέσσερα σενάρια όπου θα προσπαθήσουμε να βρούμε την πλέον κατάλληλη διάταξη έτσι ώστε τα αποτελέσματα για την υπό Έλεγχο διεργασία να είναι το δυνατόν καλύτερα συγκριτικά με το υφιστάμενο σύστημα το οποίο αναλύεται παρακάτω.

Συμφώνα με τα μετρούμενα δεδομένα η απόκριση του υφιστάμενου συστήματος σχετικά με την θερμοκρασία αναφοράς παρουσιάζεται ως εξής:



Σχήμα 5.1.1:Αποκριση του υφιστάμενου συστήματος συγκριτικά με την θερμοκρασία αναφοράς (235 C°)

Οι παρατηρήσεις σχετικά με την απόκριση του σχήματος **5.1.1** παρουσιάζονται αναλυτικά στον ακόλουθο πίνακα οι οποίες έγιναν με βάσει τα ακόλουθα μεγέθη. **op (overshoot)**: μέγιστη υπερύψωση. Είναι ο λόγος της διαφοράς ανάμεσα στη μέγιστη τιμή y_m και στην τελική τιμή y_0 της $y(t)$ προς την τελική τιμή y_0 της $y(t)$.

t_s: χρόνος αποκατάστασης. Είναι ο χρόνος που χρειάζεται για να φθάσει και να παραμείνει η $y(t)$ μέσα σε μια ορισμένη περιοχή τιμών. Η περιοχή αυτή είναι συνήθως το $p=2\%$ της μόνιμης κατάστασης της $y(t)$.

t_r: χρόνος ανύψωσης. Είναι ο χρόνος που χρειάζεται για να φθάσει η $y(t)$ από το 10% στο 90% της τελικής της τιμής.

e_{ss}: σφάλμα μόνιμης κατάστασης. Είναι η τιμή του σφάλματος ελέγχου e στη μόνιμη κατάσταση και ορίζεται ως $e_{ss} = y_{sp} - y_0$

σ_p (%)	t_s (sec)	t_r (sec)	e_{ss} ($^{\circ}$)
2,7	2050	620	2

Πίνακας 5.1.2: Χρονική παράμετροι του υφιστάμενου συστήματος

5.2 Διεργασία δευτέρου βαθμού με χρόνο καθυστερήσεις με PI ελεγκτή και μέθοδο βαθμονόμησης Lambda

5.2.1 Περιγραφή μεθόδου βαθμονόμησης Lambda

Ο κανόνας συντονισμού Lambda παρουσιάστηκε για πρώτη φορά (Dahlin, 1968) και (Higham, 1968). Βασίζεται στο πείραμα απόκρισης βημάτων 63%. Έχει γίνει πολύ δημοφιλής στη βιομηχανία ελέγχου των διαδικασιών , ιδιαίτερα στη βιομηχανία χαρτοπολτού και χαρτιού .

Οι κανόνες βαθμονόμησης Lambda προσφέρουν τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- Η μεταβλητή της διαδικασίας δεν θα υπερβεί το καθορισμένο σημείο της μετά από διαταραχή ή αλλαγή.
- Ο συντονισμός είναι πολύ ισχυρός, που σημαίνει ότι ο βρόχος ελέγχου θα παραμείνει σταθερός ακόμα και αν τα χαρακτηριστικά της διαδικασίας αλλάξουν δραματικά από αυτά που χρησιμοποιούνται για τον συντονισμό.
- Ένας βρόγχος ελέγχου Lambda απορροφά μια διαταραχή . Αυτό είναι ένα πολύ ελκυστικό χαρακτηριστικό για τη χρήση του συντονισμού Lambda σε εξαιρετικά διαδραστικές διαδικασίες.
- Ο χρήστης μπορεί να καθορίσει τον επιθυμητό χρόνο απόκρισης (στην πραγματικότητα τη χρονική σταθερά κλειστού βρόχου) για τον βρόχο ελέγχου. Αυτό παρέχει έναν παράγοντα συντονισμού που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επιταχύνει και να επιβραδύνει την απόκριση του βρόχου.

Δυστυχώς, οι κανόνες συντονισμού Lambda έχουν επίσης ένα μειονέκτημα. Ρυθμίζουν τον ενσωματωμένο χρόνο του ελεγκτή ίσο με τη χρονική σταθερά της διαδικασίας. Εάν μια διαδικασία έχει πολύ μεγάλη χρονική σταθερά, ο ελεγκτής θα έχει συνεπώς πολύ μακρύ ολοκληρωμένο χρόνο. Συγκριτικά με τα πλεονεκτήματα της μεθόδου για την συγκεκριμένη διεργασία το μειονέκτημα αυτό δεν είναι μεγάλης σημασίας. Για την βαθμονόμηση του ελεγκτή σύμφωνα με την μέθοδο Lambda, χρειάζονται οι παράμετροι G_p , t_d και T (η χρονική σταθερά της συνάρτησης μεταφοράς μοντέλου, που είναι ο χρόνος που χρειάζεται για να φθάσει το σύστημα στο 63% της τελικής του τιμής).

Η μέθοδος Lambda βαθμονομεί τον ελεγκτή σύμφωνα με τον Πίνακα 5.2.1.1

controller	k_p	T_i
PI	$\frac{T}{G_p \times (T + t_d)}$	T

Πίνακας 5.2.1.1: Κανόνας βαθμονόμησης μεθόδου Lambda

Οι μεταβλητές t_d , T και G_p προκύπτουν από την ανάλυση της βηματικής απόκρισης του συστήματος ποιο συγκεκριμένα.

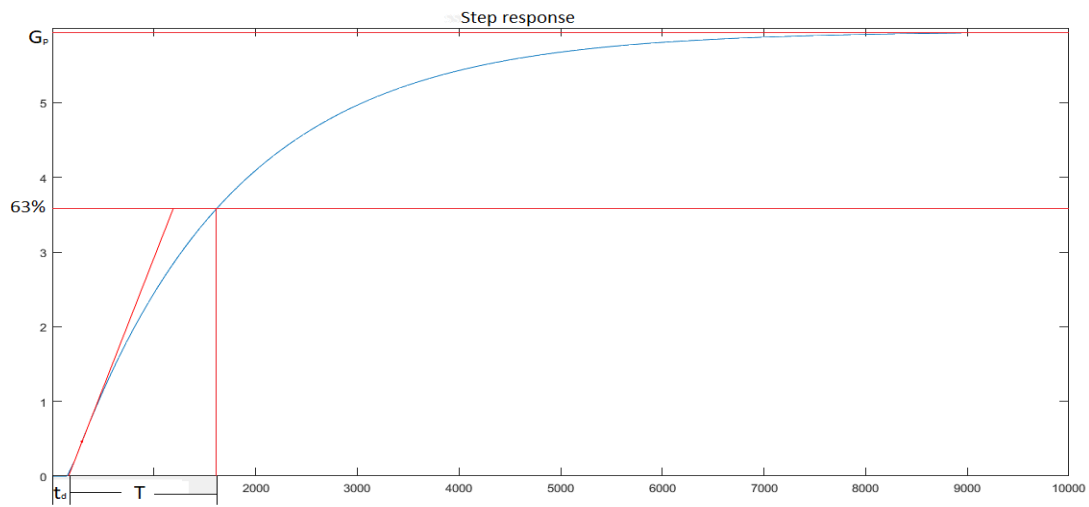
T : είναι το διάστημα όπου η εφαπτομένη που παίρνει από το σημείο καμπής της βηματικής αποκρίσεις τέμνει τον άξονα του χρόνου ως το σημείο που είναι ο χρόνος που χρειάζεται για να φθάσει το σύστημα στο 63% της τελικής του τιμής.

t_d : είναι το διάστημα όπου η εφαπτομένη που παίρνει από το σημείο καμπής της βηματικής αποκρίσεις τέμνει τον άξονα του χρόνου ως την αρχή των αξόνων.

G_p : το στατικό κέρδος της $G_1(s)$.

5.2.2 Αποτελέσματα μεθόδου βαθμονόμησης Lambda

Όπως προαναφέρθηκε η μεταβλητές που χρησιμοποιούνται για την βαθμονόμηση με την μέθοδο Lambda προκύπτουν από την επεξεργασία της βηματικής απόκρισης του μοντέλου με τον τρόπο που φαίνεται παρακάτω:



Σχήμα 5.2.2.1: προσδιορισμός G_p , t_d , T

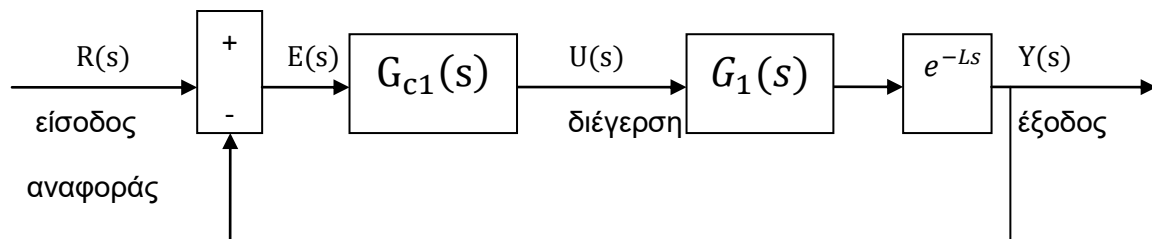
Βρίσκοντας $t_d = 248$, $T = 1630$ και $G_p = 5.93$ προκύπτει ότι ο ελεγκτής που δίνεται από την παρακάτω εξίσωση θα βαθμονομηθεί ως εξής:

$$G_{c1}(s) = k_p \times \left(1 + \frac{1}{T_i s}\right) \quad (13)$$

Με:

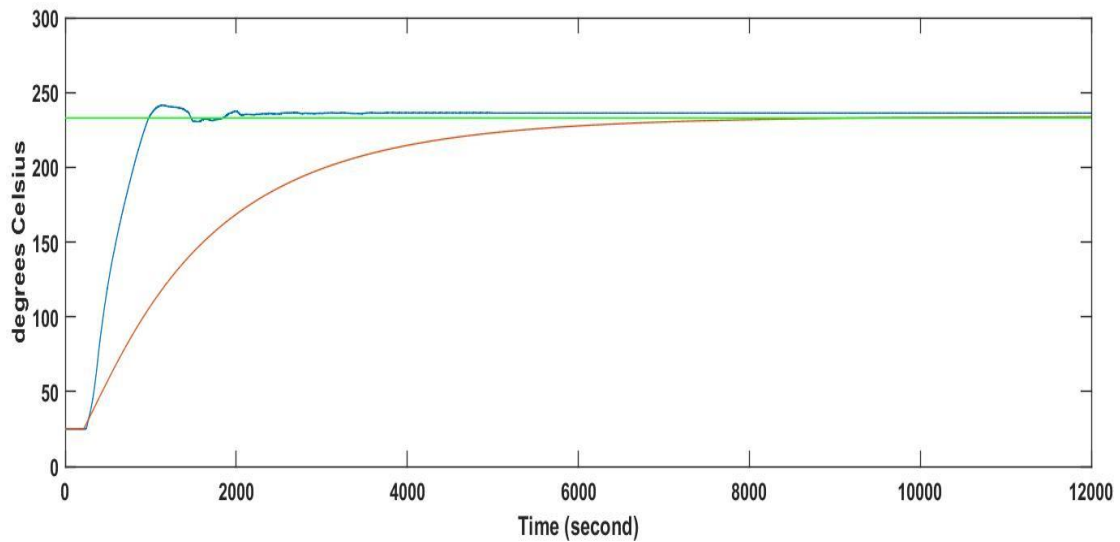
- Το αναλογικό κέρδος $k_p=0.1463$
- Η ολοκληρωτική σταθερά χρόνου $T_i=1878.24$

Ρυθμίζοντας με τις παραπάνω τιμές τον PI ελεγκτή όπου υπάρχει στην αρχή της αρνητικής ανάδρασης που δίνεται από το διάγραμμα βαθμίδων του παρακάτω σχήματος:



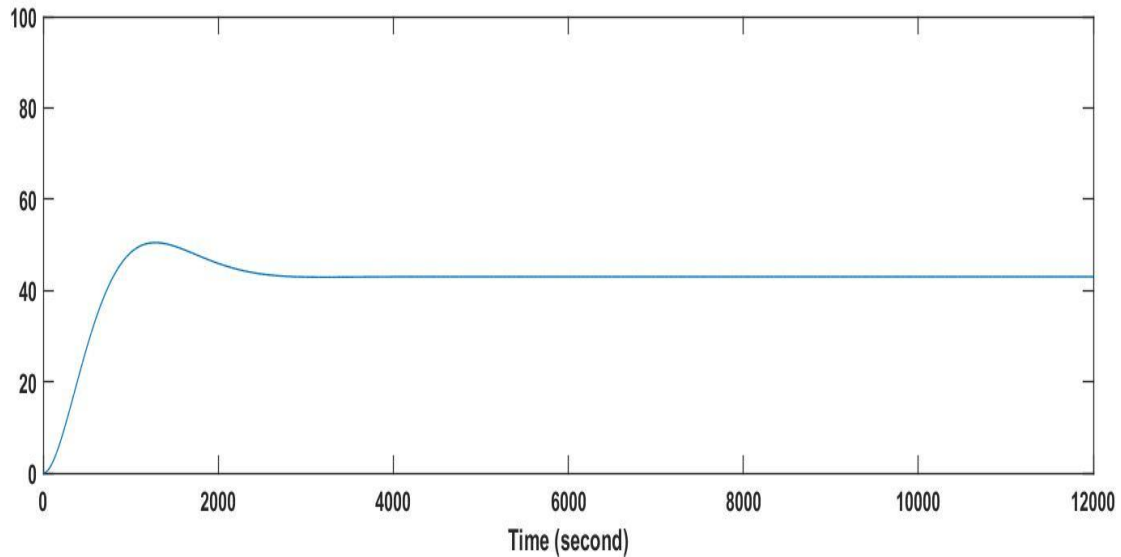
Σχήμα 5.2.2.2

Η απόκριση συστήματος που εξάγεται μετά και την ρύθμιση του ελεγκτή με της παραπάνω προδιαγραφές παρουσιάζεται σε σύγκριση με την απόκριση του εφιστάμενου συστήματος στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 5.2.2.3: Η έξοδος του συστήματος με μέθοδο βαθμονόμησης Lambda συγκριτικά με την έξοδο του υφιστάμενου συστήματος.

Η είσοδος στη διεργασία όπως αναλύθηκε στην εξίσωση (5) είναι η έξοδος του PI ελεγκτή, όπως απεικονίζεται παρακάτω.



Σχήμα 5.2.2.4: Η έξοδος του ελεγκτή που μπαίνει σαν είσοδος στο μοντέλο.

Οι παρατηρήσεις σχετικά με την απόκριση του σχήματος **5.2.2.3** παρουσιάζονται αναλυτικά στον ακόλουθο πίνακα οι οποίες έγιναν με βάσει τα μεγέθη(o_p , t_s , t_r , e_{ss}) :

op (%)	t_s (sec)	t_r (sec)	e_{ss} (%)
0	7842	5238	0

Πίνακας 5.2.2.5: Χρονική παράμετροι της αποκρίσεις της μεθόδου Lambda

5.3 Διεργασία δευτέρου βαθμού με χρόνο καθυστερήσεις με PID ελεγκτή και μέθοδο βαθμονόμησης Ziegler - Nichols

5.3.1 Περιγραφή μεθόδου βαθμονόμησης Ziegler - Nichols

Η πρώτη μέθοδος Ziegler - Nichols στηρίζεται στον πειραματικό προσδιορισμό της βηματικής απόκρισης της διεργασίας. Η μέθοδος χαρακτηρίζεται από δύο παραμέτρους που αφορούν την καθυστέρηση της απόκρισης και τη μέγιστη ταχύτητα της βηματικής απόκρισης

- Ειδικότερα, η είσοδος της διεργασίας τίθεται ίση με το βηματικό σήμα συνεχούς χρόνου σχετικά μικρού πλάτους, άλλα αρκετού ώστε να μπορούν να προσδιοριστούν τα χαρακτηριστικά της βηματικής απόκρισης
- Για την εύρεση των δύο παραμέτρων Z-N σημειώνεται το σημείο της βηματικής απόκρισης όπου ο ρυθμός (δηλαδή η κλίση) είναι μέγιστος
- Στο σημείο αυτό χαράσσεται η εφαπτομένη που τέμνει τους άξονες του πλάτους και του χρόνου

Για την βαθμονόμηση του ελεγκτή σύμφωνα με την μέθοδο Z-N, χρειάζονται οι παράμετροι L και T

Η μέθοδος Z-N βαθμονομεί τον ελεγκτή σύμφωνα με τον Πίνακα **5.3.1.1**

controller	k_p	T_i	T_d
PID	$1.2 \times \frac{T}{L}$	$2 \times L$	$0.5L$

Πίνακας 5.3.1.1: Κανόνας βαθμονόμησης μεθόδου Z-N

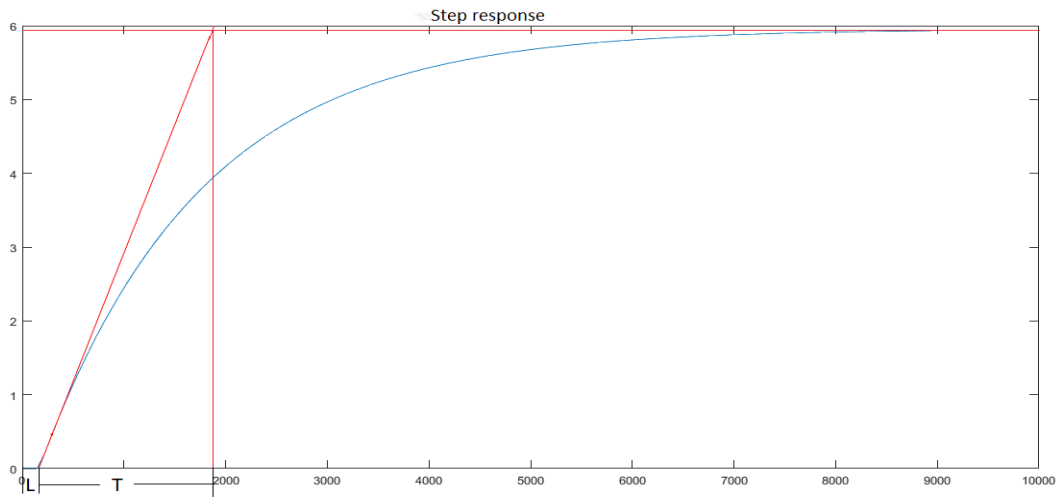
Οι μεταβλητές T και L προκύπτουν από την ανάλυση της βηματικής απόκρισης του συστήματος ποιο συγκεκριμένα.

T : είναι το διάστημα όπου η εφαπτομένη που παίρνει από το σημείο καμπής της βηματικής αποκρίσεις τέμνει τον άξονα του χρόνου ως το σημείο που είναι ο χρόνος που χρειάζεται για να φθάσει το σύστημα στο 63% της τελικής του τιμής.

L : είναι το διάστημα όπου η εφαπτομένη που παίρνει από το σημείο καμπής της βηματικής αποκρίσεις τέμνει τον άξονα του χρόνου ως την αρχή των αξόνων

5.3.2 Αποτελέσματα μεθόδου βαθμονόμησης Ziegler – Nichols

Όπως προαναφέρθηκε η μεταβλητές που χρησιμοποιούνται για την βαθμονόμηση με την μέθοδο Ziegler – Nichols προκύπτουν από την επεξεργασία της βηματικής απόκρισης του μοντέλου με τον τρόπο που φαίνεται παρακάτω:



Σχήμα 5.3.2.1: προσδιορισμός L, T

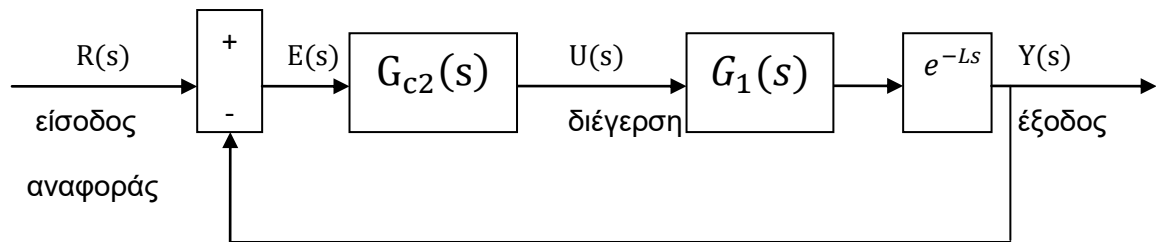
Βρίσκοντας $L=233$ και $T=1757$ προκύπτει ότι ο ελεγκτής που δίνεται από την παρακάτω εξίσωση θα βαθμονομηθεί ως εξής:

$$G_{c2}(s) = k_p \times \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (14)$$

Με:

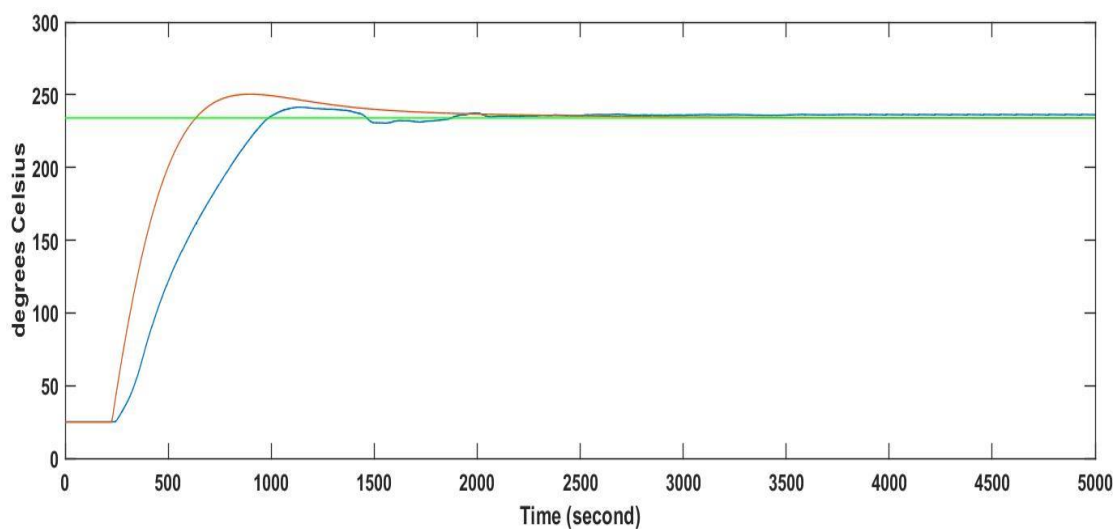
- Το αναλογικό κέρδος $k_p=9,048$
- Η ολοκληρωτική σταθερά χρόνου $T_i=466$
- Η διαφορική σταθερά χρόνου $T_d= 116,5$

Ρυθμίζοντας με τις παραπάνω τιμές τον PID ελεγκτή όπου υπάρχει στην αρχή της αρνητικής ανάδρασης που δίνεται από το διάγραμμα βαθμίδων του παρακάτω σχήματος:



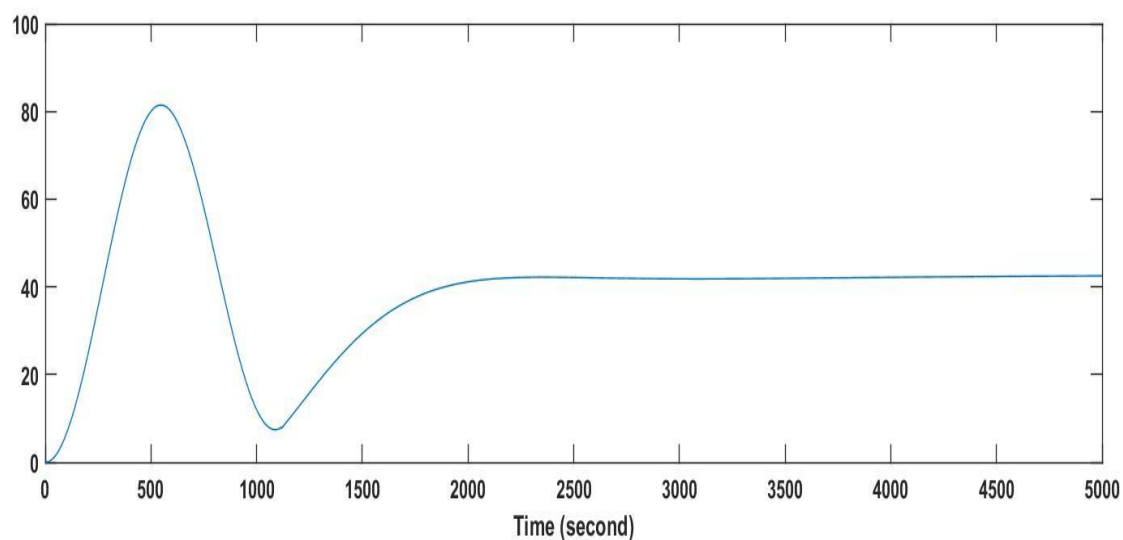
Σχήμα 5.3.2.2

Η απόκριση συστήματος που εξάγεται μετά και την ρύθμιση του ελεγκτή με της παραπάνω προδιαγραφές παρουσιάζεται σε σύγκριση με την απόκριση του υφιστάμενου συστήματος στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 5.3.2.3: Η έξοδος του συστήματος με μέθοδο βαθμονόμησης ΖΝ συγκριτικά με την έξοδο του υφιστάμενου συστήματος.

Η είσοδος στη διεργασία όπως αναλύθηκε στην εξίσωση **(4)** είναι η έξοδος του PID ελεγκτή, όπως απεικονίζεται παρακάτω.



Σχήμα 5.3.2.4: Η έξοδος του ελεγκτή που μπαίνει σαν είσοδο στο μοντέλο.

Οι παρατηρήσεις σχετικά με την απόκριση του σχήματος **5.3.2.3** παρουσιάζονται αναλυτικά στον ακόλουθο πίνακα οι οποίες έγιναν με βάσει τα μεγέθη(op , t_s , t_r , e_{ss}) :

op (%)	t_s (sec)	t_r (sec)	e_{ss} ($^{\circ}C$)
6,3	2154	562	0

Πίνακας 5.3.2.5: Χρονική παράμετροι της αποκρίσεις της μεθόδου Z-N

5.4 Διεργασία δευτέρου βαθμού με χρόνο καθυστερήσεις με PID ελεγκτή και μέθοδο βαθμονόμησης Cohen-Coon

5.4.1 Περιγραφή μεθόδου βαθμονόμησης Cohen-Coon

Οι κανόνες ρύθμισης Ziegler-Nichols λειτουργούν καλά μόνο σε διαδικασίες με πολύ μεγάλες χρονικές σταθερές σε σχέση με τους νεκρούς χρόνους τους και σε βρόχους ελέγχου στάθμης. Ωστόσο, η απόδοσή του δεν είναι καλή όσον αφορά τη ροή, την πίεση του υγρού και πολλούς άλλους βρόχους που απαιτούν γρήγορη ρύθμιση. Αντίθετα, οι κανόνες συντονισμού Cohen-Coon λειτουργούν καλά σε όλες σχεδόν τις διαδικασίες αυτορρύθμισης και έχουν σχεδιαστεί για να δώσουν μια πολύ γρήγορη απόκριση.

Ο αρχικός σχεδιασμός της μεθόδου είχε ως αποτέλεσμα βρόχους με υπερβολικά ταλαντευτική απόκριση και κατά συνέπεια απορρίφτηκε. Ωστόσο, με κάποια τροποποίηση, οι κανόνες ρύθμισης Cohen-Coon απέδειξαν την αξία τους για τους βρόχους ελέγχου που πρέπει να ανταποκριθούν γρήγορα ενώ είναι λιγότερο επιρρεπείς σε ταλαντώσεις.

Για την βαθμονόμηση του ελεγκτή σύμφωνα με την μέθοδο Cohen-Coon, χρειάζονται οι παράμετροι G_p , t_d και T (η χρονική σταθερά της συνάρτησης μεταφοράς μοντέλου, που είναι ο χρόνος που χρειάζεται για να φθάσει το σύστημα στο 63% της τελικής του τιμής).

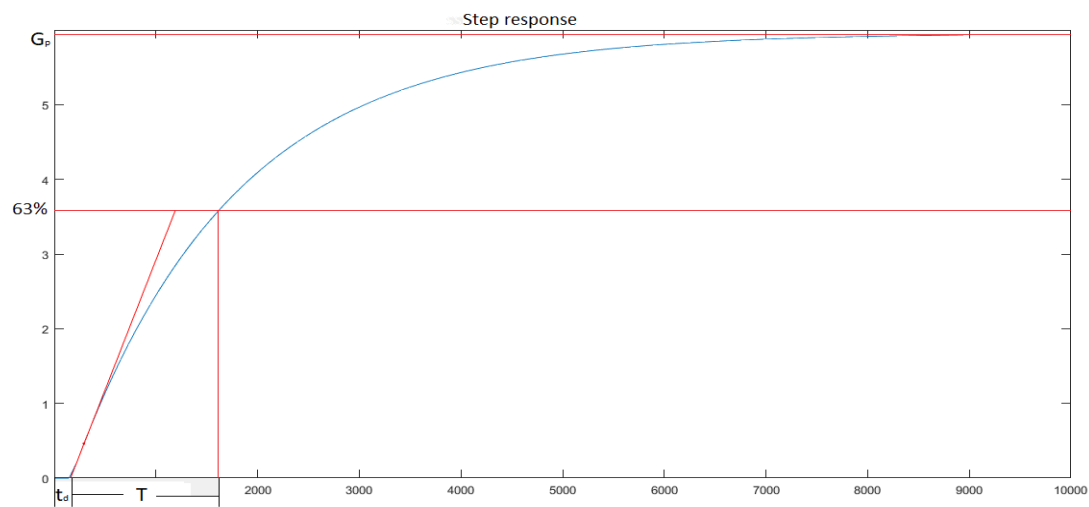
Η μέθοδος Cohen-Coon βαθμονομεί τον ελεγκτή σύμφωνα με τον Πίνακα 5.4.1.1

controller	k_p	T_i	T_d
PID	$\frac{1,35}{G_p} \times \left(\frac{T}{t_d} + 0,185 \right)$	$2,5 \times T_d \times \frac{T+0,185 \times t_d}{T+0,611 \times t_d}$	$0,37 \times t_d \frac{T}{T+0,185 \times t_d}$

Πίνακας 5.4.1.1: Κανόνας βαθμονόμησης μεθόδου C-C

5.4.2 Αποτελέσματα μεθόδου βαθμονόμησης Cohen-Coon

Όπως προαναφέρθηκε η μεταβλητές που χρησιμοποιούνται για την βαθμονόμηση με την μέθοδο Cohen-Coon προκύπτουν από την επεξεργασία της βηματικής απόκρισης του μοντέλου με τον τρόπο που φαίνεται παρακάτω:



Σχήμα 5.4.2.1: προσδιορισμός G_p , t_d , T

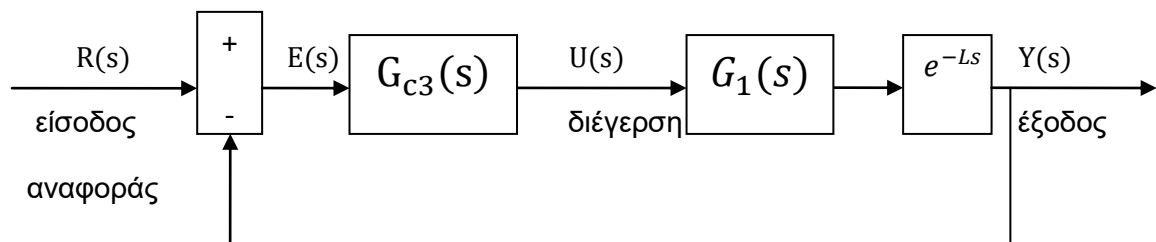
Βρίσκοντας $t_d = 248$, $T = 1878$ και $G_p = 5.93$ προκύπτει ότι ο ελεγκτής που δίνεται από την παρακάτω εξίσωση θα βαθμονομηθεί ως εξής:

$$G_{c3}(s) = k_p \times \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (15)$$

Με:

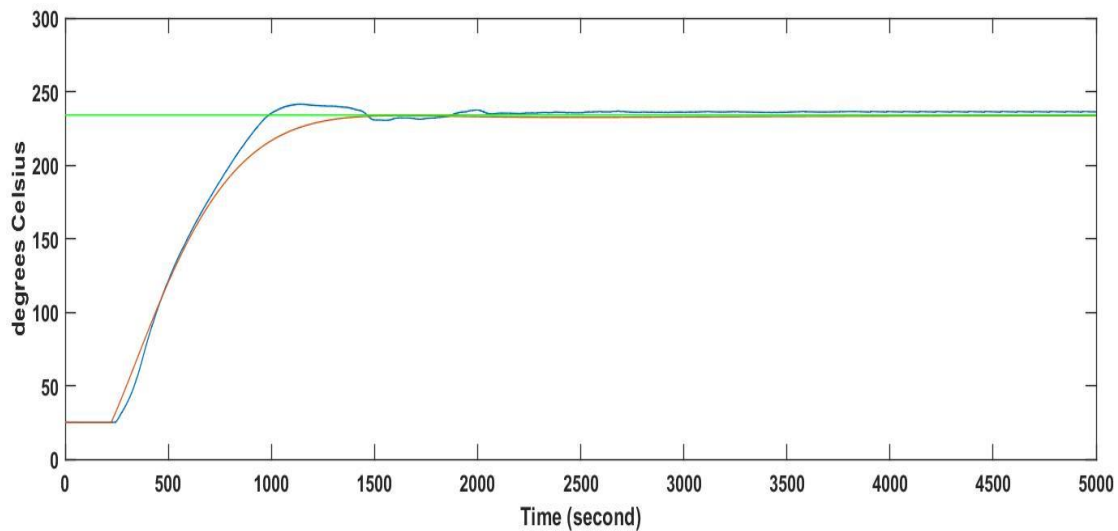
- Το αναλογικό κέρδος $k_p = 2,0206$
- Η ολοκληρωτική σταθερά χρόνου $T_i = 1653,67$
- Η διαφορική σταθερά χρόνου $T_d = 20,54$

Ρυθμίζοντας με τις παραπάνω τιμές τον PID ελεγκτή όπου υπάρχει στην αρχή της αρνητικής ανάδρασης που δίνεται από το διάγραμμα βαθμίδων του παρακάτω σχήματος:



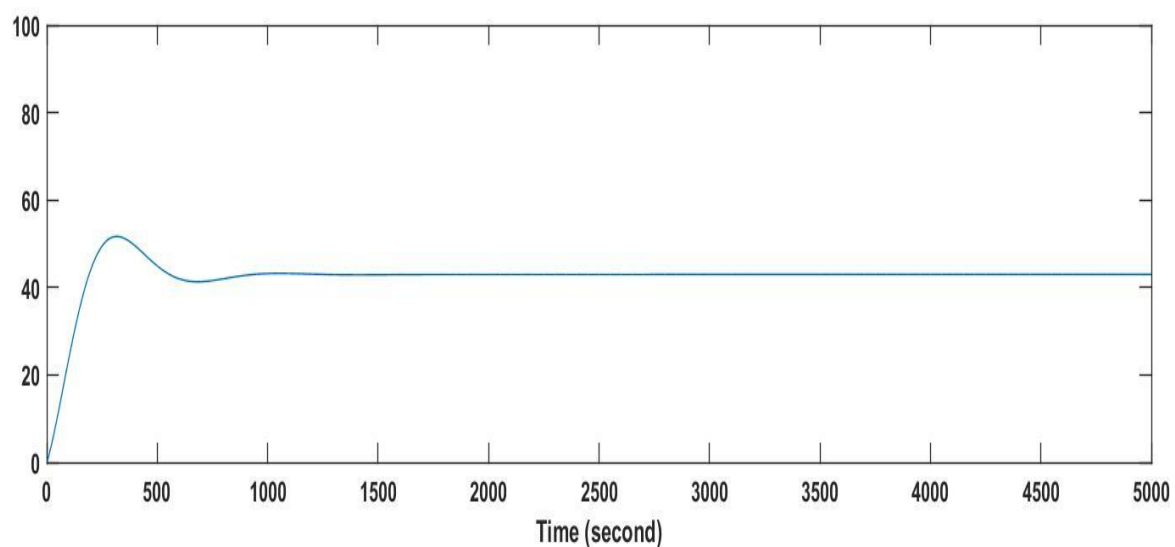
Σχήμα 5.4.2.2

Η απόκριση συστήματος που εξάγεται μετά και την ρύθμιση του ελεγκτή με της παραπάνω προδιαγραφές παρουσιάζεται σε σύγκριση με την απόκριση του εφιστάμενου συστήματος στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 5.4.2.3: Η έξοδος του συστήματος με μέθοδο βαθμονόμησης C-C συγκριτικά με την έξοδο του υφιστάμενου συστήματος.

Η είσοδος στη διεργασία όπως αναλύθηκε στην εξίσωση **(4)** είναι η έξοδος του PID ελεγκτή, όπως απεικονίζεται παρακάτω



Σχήμα 5.4.2.4: Η έξοδος του ελεγκτή που μπαίνει σαν είσοδο στο μοντέλο.

Οι παρατηρήσεις σχετικά με την απόκριση του σχήματος **5.4.2.3** παρουσιάζονται αναλυτικά στον ακόλουθο πίνακα οι οποίες έγιναν με βάσει τα μεγέθη(op , t_s , t_r , e_{ss}) :

op (%)	t_s (sec)	t_r (sec)	e_{ss} ($^{\circ}$)
0	1543	763	0

Πίνακας 5.4.2.5: Χρονική παράμετροι της αποκρίσεις της μεθόδου C-C

5.5 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

Εδώ φαίνονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τις τρεις διαφορετικές μεθόδους βαθμονομήσεις που εφαρμοστήκαν για τους ελεγκτές καθώς και η απόδοση του υφιστάμενου μοντέλου.

Μέθοδος	op (%)	t _s (sec)	t _r (sec)	e _{ss} (c ⁰)
Υφιστάμενη	2,7	2050	620	2
Lambda	0	7842	5238	0
Z-N	6,3	2154	562	0
C-C	0	1543	763	0

Πίνακας 5.5.1: Χρονική παράμετροι της αποκρίσεις όλων των μεθόδων

Όπως φαίνεται ξεκάθαρα από τον πίνακα **5.5.1** το συμπέρασμα που βγαίνει είναι ότι η μέθοδος Cohen-Coon καταλήγει συγκριτικά στα καλύτερα αποτελέσματα. Αναλυτικότερα δεν έχει υπερύψωση καθώς επίσης και καλύτερους χρόνους αποκρίσεις ενώ το μόνιμο σφάλμα είναι μηδέν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Συμπεράσματα

Αυτή η διπλωματική εργασία περιγράφει αρχικά την αναγνώριση του μαθηματικού μοντέλου της διεργασίας με μοντέλα 2^{ης} τάξης με και χωρίς καθυστέρηση χρόνου και συγκριτικά καταλήγει στο συμπέρασμα ότι το μοντέλο 2^{ης} τάξης με καθυστέρηση χρόνου επιτυγχάνει καλύτερο ταίριασμα (fitting) καθώς και χαμηλότερα σφάλματα. Τέλος, εφαρμόστηκαν τρεις διαφορετικοί μέθοδοι βαθμονόμησης καθώς και διαφορετικοί ελεγκτές (PI, PID) συγκριτικά με το υφιστάμενο σύστημα και καταλήγει στο συμπέρασμα πως η αποδοτικότερη μέθοδος είναι PID ελεγκτής με μοντέλο 2^{ης} τάξης με χρονοκαθυστέρηση σύμφωνα με τον πίνακα 5.5.1. Ωστόσο, ένα άλλο σημαντικό συμπέρασμα προκύπτει από την εφαρμογή της βαθμονόμησης LAMBDA με PI για το μοντέλο 2^{ης} τάξης με καθυστέρηση χρόνου όπου το overshoot είναι μηδενικό και ο βρόχος ανάδρασης στιβαρός.

Βιβλιογραφία

[1] S.S.Gade, S.B.Shengade and M.P.Uplane, "Performance Comparison of on Line Auto Tune PID Controller with Conventional PID Controller", International Journal of Computer Science & Communication Vol. 1, No. 1, January-June 2010, pp. 273-277

[2] J. Nagrath, M. Gopal, "Control System Engineering", New Age International Publications, 3rd Edition, 2002

[3] K. Ogata: "Modern Control Engineering", Prentice-Hall India, Fourth Edition

[4] L. Eriksson and T. Oksanen, "PID Controller Tuning for Integrating Processes: Analysis and New Design Approach," In Proc. Fourth International Symposium on Mechatronics and its Applications, harjah, UAE, Mar. 2007

[5] J. G. Ziegler and N. B. Nichols, "Optimum Settings for Automatic Controllers," Trans. ASME, Vol. 64, pp. 759-768, 1942.

[6] K. J. Astrom and T. Hagglund, "The Future of PID Control," IFAC J. Control Engineering Practice, Vol. 9, pp. 1163-1175, 2001

[7] A. O'Dwyer, Handbook of PI and PID controller tuning rules. London, U.K.: Imperial College Press, 1st edition, 2003.

[8] J.G. Ziegler and N.B. Nichols, "Optimum settings for automatic controllers", Trans. ASME, vol. 64, pp. 759-768, 1942.

[9] Neil Kuyvenhove,. “PID Tuning Methods An Automatic PID Tuning Study with MathCad” ,Calvin College ENGR. 315 December 19, 2002

[10] Ala Eldin Abdallah Awoudaa and Rosbi Bin Mamat, “New PID Tuning Rule Using ITAE Criteria” , International Journal of Engineering (IJE), Volume (3), Issue (6) 597

[11] K. Astrom, T. Hagglund. PID Controllers: Theory, Design and Tuning. The Instrumentation, Systems and Automation Society (ISA), 1995

[12] J.A. Romero Perez, P.Balaguer Herrero, “ Extending the AMIGO tuning method to MIMO system” ,IFAC conference on advanced PID control, Brescia (Italy),March 28-30,2012

[13] <https://www.mathworks.com/products/sysid.html>

[14] <https://ch.mathworks.com pid-control-made-easy-98672.html>

[15] <http://blog.opticontrols.com/archives/260>

[16] Γεώργιος Υ. Φραγκούλης, Εισαγωγή στο MATLAB – SIMULINK