

# ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ

## ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 1

### ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΠΙΔΟΣΗΣ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ PCU

Η παρούσα εργαστηριακή άσκηση αποσκοπεί στην κατανόηση των ζωτικών χαρακτηριστικών του συστήματος, που είναι ουσιώδη για τον προσδιορισμό της αποτελεσματικότητας ενός βρόχου ελέγχου.

### ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Χρησιμοποιώντας τη Μονάδα Ελέγχου Διεργασίας με χρήση κύκλου ελέγχου ροής μέσω του υπολογιστή, η επίδειξη των ζωτικών χαρακτηριστικών μπορεί να γίνει εύκολα, μεταβάλλοντας το συντονισμό του ελεγκτή PID. Μπορεί να διαμορφωθεί ο παρακάτω πίνακας αποτελεσμάτων:

### **ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ**

ΡΥΘΜΙΣΗ ΕΛΕΓΚΤΗ			ΚΟΡΥΦΗ ΥΠΕΡΒΑΣΗΣ	ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	ΧΡΟΝΟΣ ΑΝΟΔΟΥ	ΣΦΑΛΜΑ ΣΤΑΘΕΡΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	ΥΠΕΡΞΑΣΘΕΝΗΜΕΝΟ ΥΠΟΕΞΑΣΘΕΝΗΜΕΝΟ Ή ΚΡΙΣΗΜΟ
P	I	D					

## ΛΥΣΗ

Στον παρακάτω πίνακα δίνεται η προτεινόμενη περιοχή των παραμέτρων ελέγχου, προκειμένου να επιτευχθούν οι επακόλουθες αποκρίσεις του συστήματος:

Σημείο ρύθμισης (στόχος)=1 λίτρο / λεπτό

ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΚΡΙΣΕΙΣ	PG	PB	IAT	DAT
ΥΠΕΕΞΑΣΘΕΝΗΜΕΝΟ				
ΥΠΕΡΕΞΑΣΘΕΝΗΜΕΝΟ				
ΚΡΙΣΙΜΗ ΕΞΑΣΘΕΝΙΣΗ ΟΠΩΣ ΕΙΝΑΙ ΠΡΟΡΥΘΜΙΣΜΕΝΟ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΤΗΣ PCU				

## **ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 2**

### **ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΟΥ ΕΛΕΓΚΤΗ ΡΙD**

Τα στοιχεία ελέγχου ΡΙD μπορούν να αξιολογηθούν εύκολα, με χρήση του κύκλου ελέγχου ροής από υπολογιστή της PCU.

Παρακάτω προτείνονται ορισμένες περιοχές που παρουσιάζουν ενδιαφέρον.:

#### **ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ**

##### **1. Αναλογική Απόκλιση**

α) Ρυθμίστε το χρόνο ενέργειας ολοκληρώματος ροής (IAT) και το χρόνο ενέργειας παραγωγού (DAT) στο μηδέν.

β) Συντονίστε τον αναλογικό ελεγκτή από χαμηλή σε υψηλή απολαβή, καταγράφοντας την απόκριση του συστήματος είτε με εκτύπωση είτε αποθηκεύοντας την σε αρχείο δίσκου.

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ** - Η απόκριση θα παρουσιάσει ΑΠΟΚΛΙΣΗ η οποία θα ελαττώνεται καθώς θα αυξάνεται το κέρδος. Εντούτοις, καθώς θα αυξάνεται το κέρδος, η απόκριση θα γίνει ασταθής. Σε μία συγκεκριμένη τιμή κέρδους και για οποιοδήποτε σημείο ρύθμισης θα παράγεται μόνιμη ταλάντωση.

##### **2. Αποτέλεσμα της Μεταβολής Φορτίου σε Αναλογικό Ελεγκτή**

α) Με ένα από τους παρακάτω τρόπους, προκαλέστε μεταβολή φορτίου:

Εκτρέποντας τη ροή του υγρού διαμέσου του ψύκτη χρησιμοποιώντας τη χειροκίνητη βαλβίδα του εκτροπέα , ή

Στρέφοντας τη χειροκίνητα ελεγχόμενη βαλβίδα πύλης περιορίζοντας τη ροή του υγρού.

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ** - Η έξοδος του αναλογικού ελεγκτή προς την αντλία θα παραμείνει αμετάβλητη, όπως φαίνεται στον ενδείκτη LED του ελέγχου της αντλίας. Θα προκληθεί επομένως, μεγαλύτερη αναλογική απόκλιση.

### **3. Αποτέλεσμα της Ενέργειας Ολοκληρώματος**

α) Χρησιμοποιώντας το προηγούμενα συντονισμένο σύστημα, με σταθερή αναλογική απόκλιση, εισάγετε σταδιακά, Ενέργεια Ολοκληρώματος.

β) Καταγράψτε την απόκριση του συστήματος είτε ως εκτύπωση είτε αποθηκεύοντας την σε αρχείο δίσκου.

γ) Εισάγετε μια μεταβολή φορτίου, όπως εξηγείται στη διαδικασία 2, καταγράφοντας το αποτέλεσμα στον ελεγκτή.

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ-** Έχοντας εισάγει μεταβολή του φορτίου, παρακολουθείστε την έξοδο προς την αντλία, που φαίνεται στον ενδείκτη LED του ελέγχου της αντλίας. Η ενέργεια ολοκληρώματος θα προκαλέσει την αύξηση της εξόδου του ελεγκτή, προκειμένου να αντιμετωπιστεί η μεταβολή του φορτίου.

### **4. Αποτέλεσμα της Ενέργειας Παραγωγού**

α) Χρησιμοποιώντας τον άριστα συντονισμένο ελεγκτή PI που αναπτύχθηκε στη διαδικασία 3, εισάγετε σταδιακά Ενέργεια Παραγωγού.

β) Καταγράψτε την απόκριση του συστήματος είτε ως εκτύπωση είτε αποθηκεύοντας την σε αρχείο δίσκου.

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ** - Η ενέργεια παραγωγού θα βελτιώσει το χρόνο απόκρισης του συστήματος, θα οδηγήσει όμως παράλληλα με ευκολία σε ασταθές σύστημα ενώ ταυτόχρονα θα αυξηθεί και ο θόρυβος σήματος. Ο κύκλος ροής της Μονάδας Ελέγχου Διεργασίας έχει μικρή σταθερή χρόνου και συνεπώς δεν παρουσιάζεται μεγάλη ανάγκη ενέργειας παραγωγού, προκειμένου να αυξηθεί ο χρόνος απόκρισης. Η ενέργεια παραγωγού εφαρμόζεται καλύτερα στον κατά πολύ βραδύτερο κύκλο ελέγχου θερμοκρασίας.

### **5. Δυνατότητα Βηματικής Εισόδου του Λογισμικού**

Το Λογισμικό της Μονάδας Ελέγχου Διεργασίας έχει τη δυνατότητα εισαγωγής βηματικής αλλαγής στο σημείο ρύθμισης κατά το χρόνο λειτουργίας. Με τον

παρακάτω τρόπο μπορεί να γίνει επίδειξη σε βασικό μειονέκτημα της χρήσης σταθερών συντονισμένων βρόχων ελέγχου PID:

α) Χρησιμοποιώντας τον κύκλο ελέγχου ροής με σημείο ρύθμισης τα 1,5λίτρα/λεπτό, συντονίστε το σύστημα για κρίσιμη απόκριση

β) Με το σύστημα σε λειτουργία, εισάγετε βηματική αλλαγή μέχρι 0,2λίτρων/λεπτό, ως εξής:

Πιέστε το F1

Πιέστε το E <CR>

0,2 <HOME>

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ** –Ο ελεγκτής είναι σχεδόν βέβαιο ότι θα γίνει ΑΣΤΑΘΗΣ, πράγμα που επιδεικνύει την ανάγκη για πιο πολύπλοκους ελεγκτές όπως είναι ο αλγόριθμος συντονισμένος σε ζώνη ή ο αυτοσυντονιζόμενος αλγόριθμος.

## **6. Καθυστερήσεις του Συστήματος**

Η Μονάδα Ελέγχου Διεργασίας παρουσιάζει καθυστέρηση στις σωληνώσεις κατά την εκκίνηση λόγω της εκροής νερού έξω από τις σωληνώσεις, όταν η αντλία είναι εκτός λειτουργίας. Όταν ενεργοποιηθεί εκ νέου η αντλία, απαιτείται κάποιος χρόνος μέχρι να φτάσει το νερό στο μετρητή ροής. Η καθυστέρηση αυτή στην ανατροφοδότηση οδηγεί στην αρχική υπεροδήγηση της αντλίας που προκαλεί μία αρχική έξαρση. Η κατάσταση αυτή επιδεικνύεται με χρήση των παρακάτω τιμών:

α) ΧΡΟΝΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΥΚΛΟΥ = >100 sec

ΣΗΜΕΙΟ ΡΥΘΜΙΣΗΣ = 1 Λίτρο/ Λεπτό

P = 0,5

PB = 200%

IAT = 3 sec

DAT = 0,1sec

β) Μετά την παρέλευση περίπου 25sec, εισάγετε μια βηματική μεταβολή μέχρι 1,5λίτρων/λεπτό.

γ) Μετά την παρέλευση περίπου 70sec, εισάγεται μια βηματική μεταβολή μέχρι 0,8Λίτρων/Λεπτό.

δ) Καταγράψτε την απόκριση του συστήματος είτε με εκτύπωση είτε αποθηκεύοντας την σε αρχείο δίσκου.

### ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 3

### ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΣ ΒΡΟΧΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ PID ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΥ ZIEGLER & NICHOLS

#### **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Η μέθοδος Ziegler & Nichols είναι μια ημι-εμπειρική μέθοδος συντονισμού ελεγκτή, που προσφέρει ένα λογικό οδηγό για την τιμή του κέρδους αναλογίας (PG), του χρόνου ενέργειας ολοκληρώματος (IAT) και του χρόνου ενέργειας παραγώγου (DAT).

#### **Διαδικασία Μεθόδου Συντονισμού Ziegler & Nichols 1**

1. Επιλέξτε τον κύκλο ελέγχου ροής από υπολογιστή.
2. Θέστε, IAT =0

$$DAT=0$$

Αυξήστε σταδιακά το κέρδος PG, όπως φαίνεται στο σχήμα 8.3, μέχρι το σημείο έναρξης μόνιμης ταλάντωσης, που παριστάνεται στο σχήμα 8.3. Στο σημείο αυτό σημειώστε το κέρδος  $K_p$  καθώς και την περίοδο ταλάντωσης T.

3. Οι προτεινόμενες σύμφωνα με τους Ziegler & Nichols ρυθμίσεις του ελεγκτή είναι:

$$\text{Έλεγχος PI: } PG=0,45 \cdot K_p \quad IAT=0,83 \cdot T$$

$$\text{Έλεγχος PID: } PG=0,6 \cdot K_p \quad IAT=0,5 \cdot T \quad DAT=0,125 \cdot T$$

Οι ρυθμίσεις αυτές του ελεγκτή είναι προσεγγιστικές και μπορεί να συντονιστούν με ακρίβεια σε συνδυασμό με το Λογισμικό της Μονάδας Ελέγχου Διεργασίας.

#### **Διαδικασία Μεθόδου Συντονισμού Ziegler & Nichols 2**

Η μέθοδος συντονισμού 2, υποθέτει ότι το σύστημα μπορεί να καταστεί ασταθές με χρήση αποκλειστικά και μόνο αναλογικού ελέγχου. Μία εναλλακτική λύση είναι η χρήση μεθόδου που αναλύει τη βηματική απόκριση

ανοικτού βρόχου του συστήματος. Αυτό επιδεικνύεται καλύτερα με χρήση του κύκλου ελέγχου θερμοκρασίας της Μονάδας Ελέγχου Διεργασίας, επειδή εξαιτίας των μεγάλων σταθερών χρόνου, είναι δύσκολο να τεθεί ο εν λόγω βρόχος σε ταλάντωση. Για τη λήψη της απόκρισης ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΒΡΟΧΟΥ:

1. Από το κεντρικό μενού του λογισμικού της PCU επιλέξτε τον Έλεγχο Θερμοκρασίας (Temperature Control).
2. Στη "Σελίδα επιλογών (Options Page) επιλέξτε το ΧΕΙΡΟΝΙΚΗΤΟ Έλεγχο (Manual Control).
3. Εισάγετε ένα σημείο ρύθμισης στο μέσο της ζώνης προκειμένου να εξασφαλίσετε ότι ο κύκλος θα λειτουργεί στη γραμμική περιοχή του.
4. Επιλέξτε ένα διάγραμμα πραγματικού χρόνου και ανοίξτε περίπου κατά το  $\frac{1}{2}$  τη χειροκίνητη είσοδο θερμότητας.
5. Καταγράψτε τα αποτελέσματα είτε με εκτύπωση ή αποθηκεύοντας τα αποτελέσματα στο δίσκο.

Σχεδιάζοντας την επαπτόμενη στην απόκριση του συστήματος, μπορούν να εκτιμηθούν οι τιμές των R και L όπως φαίνεται στο σχήμα 5.

Οι προτεινόμενες ρυθμίσεις του ελεγκτή είναι οι εξής:

Ελεγκτής P:  $PG = \frac{\Delta u}{R \cdot L}$

Ελεγκτής PI:  $PG = \frac{0,9 \cdot \Delta u}{R \cdot L}$   $IAT = 3,3 \cdot L$

Ελεγκτής PID:  $PG = \frac{1,2 \cdot \Delta u}{R \cdot L}$   $IAT = 2 \cdot L$   $DAT = 0,5 \cdot L$

Οι ρυθμίσεις αυτές του ελεγκτή είναι προσεγγιστικές και μπορεί να συντονιστούν με ακρίβεια σε συνδυασμό με το Λογισμικό της Μονάδας Ελέγχου Διεργασίας.

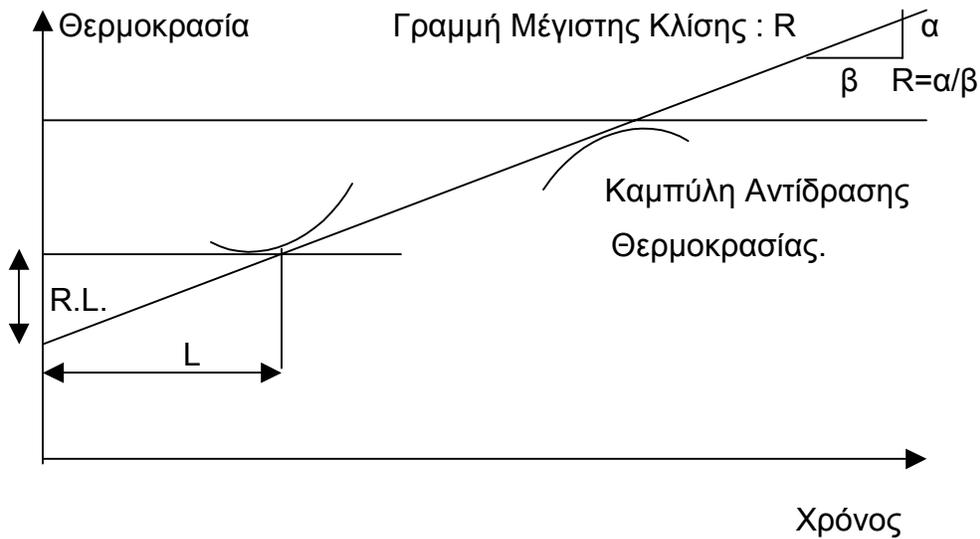
**ΣΗΜΕΙΩΣΗ** -Το  $\Delta u$  αντιπροσωπεύει τη βηματική είσοδο που χρησιμοποιείται προκειμένου να ληφθεί η καμπύλη αντίδρασης ως κλάσμα της ολικής

περιοχής εισόδου. Πχ, εάν η αρχική είσοδος προς το θερμαντικό στοιχείο ήταν 0,2KW και στη συνέχεια αυξήθηκε βηματικά στα 1,5KW, τότε το  $\Delta u$  θα ήταν:

$$\Delta u = \frac{(1,5 - 0,2KW)}{2,4KW} = 0,54$$

Τα 2,400KW είναι η μέγιστη ισχύς εισόδου του θερμαντικού στοιχείου 240 Va.c.

### Σχήμα 5 Υπολογισμός Κλίσης (R) και Καθυστέρησης (L) για την Καμπύλη Αντίδρασης της Διεργασίας



## **ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 4**

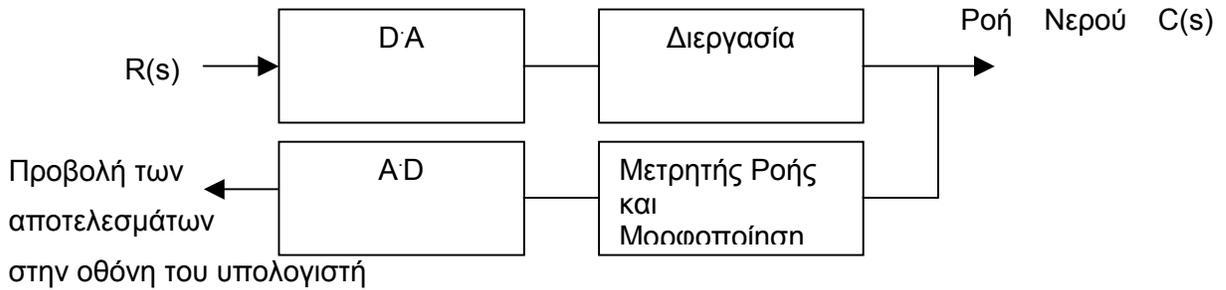
### **ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΟΝΑΔΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ CALDWELL κα**

Η μέθοδος Caldwell κα, και αφορά στην εκτίμηση των σταθερών χρόνου του συστήματος για σύστημα δεύτερης τάξης, από την απόκριση ανοικτού βρόχου, ή από την καμπύλη αντίδρασης της διεργασίας. Έχοντας λάβει την προσέγγιση της Σ.Μ., μπορείτε να την προσομοιώσετε μέσω κάποιου πακέτου όπως το CODAS που αναφέρεται στην παράγραφο 8.9.3., προκειμένου να τη συντονίσετε με ακρίβεια με την πραγματική καμπύλη αντίδρασης της διεργασίας. Χρησιμοποιώντας τη βελτιωμένη Σ.Μ. μπορείτε να προσδιορίσετε την ευστάθεια κλειστού βρόχου του συστήματος μέσω των διαγραμμάτων Bode ή Nyquist. Από τα αποτελέσματα, μπορούν να σχεδιαστούν οποιοδήποτε ελεγκτές / αντισταθμιστές είναι απαραίτητοι για τη βελτίωση της επίδοσης του συστήματος (το θέμα αναφέρεται στην Εργαστηριακή άσκηση 6).

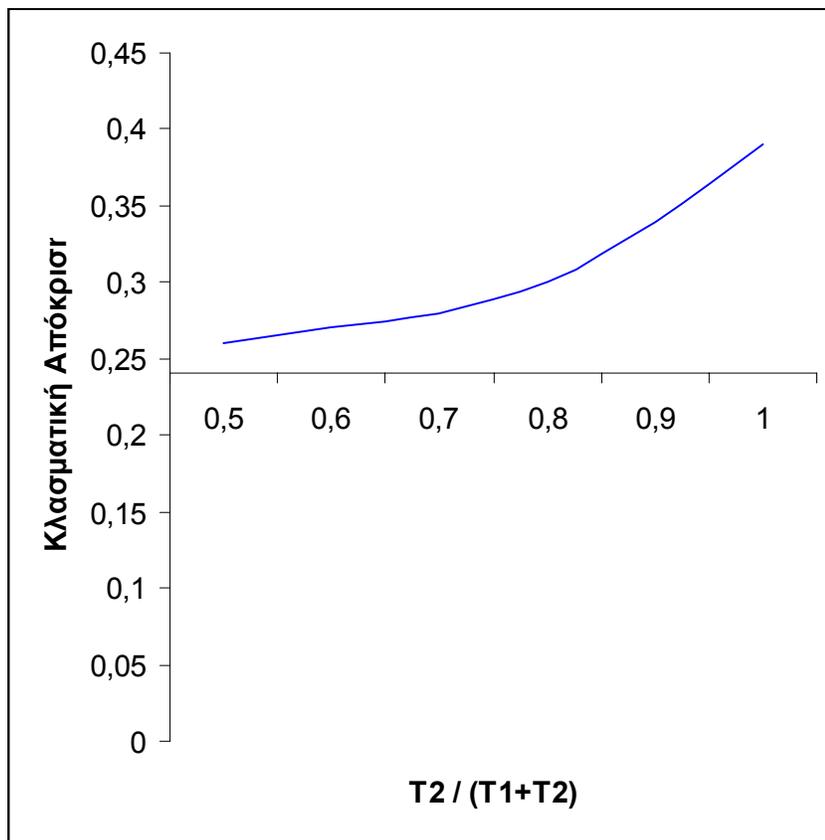
### **ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ**

1. Λάβετε μία απόκριση ανοικτού βρόχου του συστήματος για βηματική είσοδο ενδιάμεσης τιμής λαμβάνοντας υπόψη τις οδηγίες που αναφέρθηκαν στην παράγραφο 7.6.7.1. Για να διευκολυνθείτε στην εκτίμηση των σταθερών χρόνου του συστήματος, είναι ευκολότερο να γίνει κλιμάκωση του διαγράμματος ως κλασματική απόκριση της βηματικής εισόδου ως προς το χρόνο. Για να λάβετε την καμπύλη αντίδρασης της διεργασίας για τον κύκλο ροής της Μονάδας Ελέγχου Διεργασίας, επιλέξτε την επιλογή του μενού 5, της δισκέτας εργαστηριακών ασκήσεων (Labwork) Ελέγχου Διεργασίας.

Το πρόγραμμα θα ελέγξει τον κύκλο ροής της Μονάδας Ελέγχου Διεργασίας, όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα βαθμίδων.



**Σχήμα 6 Διάγραμμα Αναφοράς Caldwell**



2. Εκτυπώστε την απόκριση ανοικτού βρόχου.
3. Σύμφωνα με τη μέθοδο Caldwell κ.α. ισχύει ότι:
- α)  $T_{73\%}$  = Άθροισμα των Σταθερών Χρόνου,  
 1.32 όπου  $T_{73\%}$  είναι ο χρόνος που απαιτείται για τη λήψη του 73% της Τελικής Τιμής της Σταθερής Κατάστασης.
- β) Από την εκτύπωση της καμπύλης αντίδρασης της διεργασίας βρείτε το χρόνο που αντιστοιχεί στο 73% της τιμής σταθερής κατάστασης και υπολογίστε με βάση τη σχέση α) το άθροισμα των σταθερών χρόνου.
- γ) Υπολογίστε το μισό των σταθερών χρόνου και βρείτε από την καμπύλη αντίδρασης της διεργασίας την κλασματική απόκριση που αντιστοιχεί στο χρόνο αυτό.
- δ) Χρησιμοποιείστε την παρακάτω κλασματική απόκριση για να υπολογίστε το

$$(x) = \frac{T_2}{T_1 + T_2} \text{ από το σχήμα 6}$$

$$(x) = \frac{T_2}{T_1 + T_2} = \frac{T_2}{\text{Άθροισμα των Σταθερών Χρόνου}}$$

Και  $T_2 = x \cdot \text{Άθροισμα των Σταθερών Χρόνου}$

$T_1 = \text{Άθροισμα των Σταθερών Χρόνου} \cdot T_2$

Η προσέγγιση της συνάρτησης μεταφοράς σύμφωνα με τους Caldwell κ.α. είναι:

$$Gp(s) = \frac{1}{(T_1 s + 1) \cdot (T_2 s + 1)}$$

## ΛΥΣΗ

Περισσότερο θεωρητική προσέγγιση της μεθόδου μοντελοποίησης συστήματος Caldwell κ.α. θα βρείτε στο βιβλίο. Από τη δοκιμή μιας Μονάδας

Ελέγχου Διεργασίας πήραμε την καμπύλη αντίδρασης της διεργασίας που φαίνεται στο σχήμα 7.

$T_{73\%}$  = Άθροισμα των Σταθερών Χρόνου,  
1.32 όπου  $T_{73\%}$  είναι ο χρόνος που απαιτείται για τη λήψη του 73% της Τελικής Τιμής της Σταθερής Κατάστασης.

### Από το σχήμα 7:

Χρόνος που απαιτείται για τη λήψη του 73% της Τελικής Τιμής Σταθερής Κατάστασης = 0,8sec

Επομένως: Άθροισμα των Σταθερών Χρόνου ( $T_1 + T_2$ ) = 0.8/1.32 = 0.606sec

Άρα :  $[$ Άθροισμα των Σταθερών Χρόνου $]/2 = 0.30\text{sec}$

### Από το σχήμα 8.7:

0.30sec μετά από την αρχή τις καμπύλης αντίδρασης:

Κλασματική Απόκριση = 0.29

Από το σχήμα 6.:

Με Κλασματική Απόκριση 0,29 έχουμε:

$$\left[ \frac{T_2}{T_1 + T_2} \right] = 0.73$$

Επομένως:  $T_2 = 0.606 \times 0.73 = 0.44 \text{ sec}$

Άρα  $T_1 = 0.606 - 0.404 = 0.17\text{sec}$

Τελικά:  $Gp(s) = \frac{1}{(0.44s + 1) \cdot (0.17s + 1)}$

Η προσέγγιση αυτή μπορεί να βελτιωθεί με χρήση ενός πακέτου προσομοίωσης όπως είναι το CODAS που περιγράφεται στην παράγραφο 7.9.3, ώστε να ταιριάζει με την πραγματική καμπύλη αντίδρασης διεργασίας που λαμβάνεται από τον κύκλο ροής της PCU. Έχοντας λάβει τη βελτιωμένη Σ.Μ. μπορείτε να την αναλύσετε για ευστάθεια κλειστού βρόχου μέσω των διαγραμμάτων Bode ή Nyquist που περιγράφονται στις παραγράφους 7.6.5. και 7.6.6. Μπορούν να προστεθούν ελεγκτές / αντισταθμιστές προκειμένου να βελτιωθεί η απόκριση κλειστού βρόχου του συστήματος, όπως περιγράφεται στην παράγραφο 7.7.

## ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 5

### ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΟΝΑΔΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ SUNDARESAN

#### κ.α.

Η μέθοδος Sungaresan κ.α. είναι εναλλακτική της μεθόδου Caldwell κ.α. που χρησιμοποιήθηκε στην Εργαστηριακή Άσκηση 4 για την εκτίμηση των σταθερών χρόνου ενός συστήματος δεύτερης τάξης από την καμπύλη αντίδρασης της διεργασίας, έτσι ώστε να περιλάβει και νεκρό χρόνο.

Η συνάρτηση μεταφοράς ενός Υπερεξασθενημένου Συστήματος Δεύτερης Τάξης Με Νεκρό Χρόνο είναι:

$$Gp(s) = \frac{e^{-\theta_{ds}}}{(T_1 \cdot s + 1) \cdot (T_2 \cdot s + 1)}$$

Εναλλακτικά, η συνάρτηση μεταφοράς ενός Υποεξασθενημένου Συστήματος Δεύτερης Τάξης Με Νεκρό Χρόνο είναι:

$$Gp(s) = \frac{e^{-\theta_{ds}}}{(1/W_n^2) \cdot s^2 + (2 \cdot \varepsilon/W_n) \cdot s + 1}$$

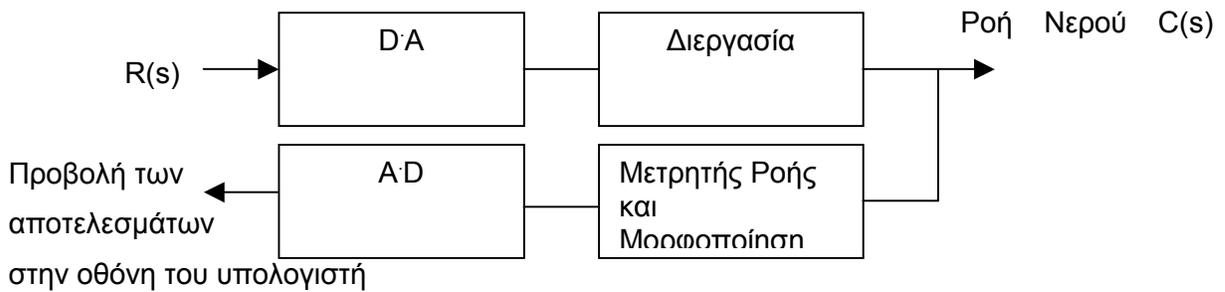
Ο αντικειμενικός σκοπός είναι ο καθορισμός των τριών παραμέτρων  $\theta_{ds}$ ,  $T_1$  και  $T_2$  ή  $\theta_{ds}$ ,  $W_n$  και  $\varepsilon$  του μοντέλου, από την καμπύλη αντίδρασης της Διεργασίας.

#### **ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ**

1. Λάβετε την απόκριση Ανοικτού Βρόχου του συστήματος σε ενδιάμεσης τιμής βηματική είσοδο, λαμβάνοντας υπόψη τις οδηγίες που αναφέρθηκαν στην παράγραφο 8.6.7.1. Για να διευκολυνθείτε στην εκτίμηση του συστήματος, είναι ευκολότερο να γίνει κλιμάκωση του διαγράμματος ως κλασματική απόκριση της βηματικής εισόδου ως προς το χρόνο. Για να λάβετε την καμπύλη αντίδρασης της διεργασίας για τον κύκλο ροής της

Μονάδας Ελέγχου Διεργασίας, επιλέξτε την επιλογή του μενού 5, της δισκέτας εργαστηριακών ασκήσεων (Labwork) Ελέγχου Διεργασίας.

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ-** Το πρόγραμμα θα ζητήσει την έξοδο βήματος μεταξύ 0 και 200. Επειδή θέλουμε να μοντελοποιήσουμε το νεκρό χρόνο του Συγκροτήματος Συστήματος, επιλέξτε βηματική αλλαγή με αρχική ροή μηδέν. Το πρόγραμμα θα ελέγξει τον ανοικτό βρόχο κύκλου ροής της PCU όπως φαίνεται στο διάγραμμα βαθμίδων πιο πίσω.



## 2. Εκτιμήτριες Sundaesan κ.α.

### α) Προσέγγιση Υπερεξασθενημένου Συστήματος Δεύτερης Τάξης

i. Από την εκτύπωση της καμπύλης αντίδρασης διεργασίας υπολογίστε το εμβαδόν της γραμμοσκιασμένης περιοχής  $m$ , που φαίνεται στο σχήμα 8.8

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ** – Εάν χρησιμοποιείτε την επιλογή 5 του λογισμικού της Μονάδας Ελέγχου Διεργασίας, η επιφάνεια  $m$ , υπολογίζεται κατά τη διάρκεια της δοκιμής ανοικτού βρόχου.

ii. Χαράξτε την εφαπτόμενη που διέρχεται από το ευθύγραμμο τμήμα της καμπύλης απόκρισης. Ορίστε την κλίση της ευθείας αυτής ως  $M1$  και το σημείο τομής της με την τελική τιμή του  $C(t)$  ως  $t_m$ .

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ**- Και πάλι το λογισμικό της PCU υπολογίζει αυτόματα τα  $M1$  και  $t_m$  αμέσως μόλις ο χρήστης θέσει την εφαπτόμενη.

iii. Χρησιμοποιώντας τη σχέση  $\lambda = t_m - m_1 \cdot M1$  (υπολογισμός του  $\lambda$ )

iv. Εάν  $\lambda > e^{-1}$  τότε το σύστημα είναι υποεξασθενημένο οπότε θα πρέπει να ακολουθήστε τη διαδικασία για υποεξασθενημένο σύστημα.

v. Από το σχήμα 8.9 βρείτε το  $n$  που αντιστοιχεί στο  $\lambda$ .

vi. Χρησιμοποιώντας τη σχέση  $M1 = \frac{n^{1/(1-n)}}{(n-1)^\infty}$  υπολογίστε το  $\infty$

vii. Χρησιμοποιώντας τις σχέσεις:

$$T_1 = \frac{n^{1/(1-n)}}{M1}$$

$$T_2 = \frac{n^{1/(1-n)}}{M1} \text{ και}$$

$$\theta d = m_1 - \frac{n^{1/(1-n)}}{M1} \cdot \frac{n^{1/(1-n)}}{n}$$

Υπολογίστε τα  $T_1$ ,  $T_2$  και  $\theta d$ .

Η προσέγγιση υπερεθασθημένης Συνάρτησης Μεταφοράς δεύτερης τάξης σύμφωνα με τον Sundaesan κ.α. είναι:

$$Gp(s) = \frac{e^{-\theta ds}}{(T_1 \cdot s + 1) \cdot (T_2 \cdot s + 1)}$$

### β) Προσέγγιση Υποεθασθημένου Συστήματος Δεύτερης Τάξης

- i. Ακολουθείστε τη διαδικασία για το υπερεθασθημένο σύστημα μέχρι το (iv). Εάν το  $\lambda > e^{-1}$  τότε από το σχήμα 8.8 στο  $\lambda$  βρείτε το  $\varepsilon$ .
- ii. Χρησιμοποιώντας τη σχέση

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ**-Βεβαιωθείτε ότι χρησιμοποιείτε ακτίνια (rad)

$$ed = m_1 - \frac{2 \cdot \varepsilon}{W_n}$$

Η προσέγγιση υποεθασθημένης Συνάρτησης Μεταφοράς δεύτερης τάξης σύμφωνα με τον Sundaesan κ.α. είναι:

### ΛΥΣΗ

Για περισσότερο θεωρητική προσέγγιση της μεθόδου μοντελοποίησης συστήματος Sundaesan κ.α. αναφερθείτε στη βιβλιογραφική αναφορά 4. Η bytronic έχει υποβάλει σε δοκιμή μια Μονάδα Ελέγχου Διεργασίας και η αντίστοιχη καμπύλη αντίδρασης της διεργασίας φαίνεται στο σχήμα 8.10.

Τα αποτελέσματα λήφθηκαν με χρήση του προγράμματος 5 των εργαστηριακών ασκήσεων.

Η επιφάνεια  $m_1 = 1.089$

Η επιφάνεια  $M_1 = 1.157$  και

$$T_m = 1.316 \text{sec}$$

Από τη σχέση  $\lambda = (t_m - m_1) \cdot M_1$

$$\lambda = (1.316 - 1.089) \cdot 1.157$$

$$\lambda = 0.266$$

Αφού  $\lambda > e^{-1}$ , το σύστημα είναι υπερεξασθενημένο.

Επομένως, ακολουθώντας την τεχνική Προσέγγισης Υπερεξασθενημένου Συστήματος Δεύτερης Τάξης Sundaresan κ.α., από το σχήμα 8.9 βρίσκουμε το  $n$  που αντιστοιχεί στο  $\lambda = 0.266$   $n = 0.18$

$$T_1 = \frac{n^{1/(1-n)}}{M_1}$$

$$\text{Επομένως } T_1 = \frac{0.18^{0.18/(1-0.18)}}{1.157}$$

$$\text{Άρα } T_1 = 0.593$$

$$T_2 = \frac{1}{n^{(1-n)}} \cdot \frac{1}{M_1}$$

$$\text{Επομένως } T_2 = \frac{1}{0.18^{(1-0.18)}} \cdot \frac{1}{1.157} \text{ και}$$

$$\text{Άρα } T_2 = 0.107$$

$$\text{Και } \theta d = m_1 - \left[ \frac{1}{M_1} \cdot \frac{n+1}{n} \right]$$

$$\theta d = 1.089 - \left[ \frac{0.18^{1/(1-0.18)}}{1.157} \cdot \frac{0.18+1}{0.18} \right]$$

$$\text{Και } \theta d = 0.389$$

Επομένως, η Προσέγγιση Συνάρτησης Μεταφοράς, σύμφωνα με τον Sundaesan κ.α. είναι:

$$Gp(s) = \frac{e^{-0.39s}}{(0.59s + 1) \cdot (0.11s + 1)}$$

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα αυτά με τα αντίστοιχα της εργαστηριακής άσκησης 4 (μέθοδος Caldwell κ.α.), διαπιστώνεται ότι μοιάζουν αρκετά.

Η μέθοδος Sundaesan κ.α. όμως, λαμβάνει υπόψη το νεκρό χρόνο των 0.39 sec.

## ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 6

### ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΕΝΟΣ ΕΛΕΓΚΤΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

#### **ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΟΙ ΣΚΟΠΟΙ**

Ο καθορισμός και η δοκιμή των παραμέτρων ενός :

α) Ελεγκτή PI

β) Ελεγκτή PD

που θα ελέγχουν τον κύκλο ροής της Μονάδας Ελέγχου Διεργασίας σύμφωνα με τις ακόλουθες προδιαγραφές:

i. Βέλτιστος Χρόνος Αποκατάστασης

ii. Μέγιστη Τιμή Υπέρβασης 10%

iii. Μηδενικό Σφάλμα Σταθερής Κατάστασης

iv. Το Σύστημα Πρέπει να είναι ΕΥΣΤΑΘΕΣ

v. Ρύθμιση του Κέρδους του ελεγκτή στο 0.5

Επιπρόσθετα, ο υπολογισμός της ενεργού περιοχής συντονισμού των παραμέτρων ελέγχου ολοκληρώματος και παραγώγου.

#### **ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ**

Το σύστημα θα πρέπει να αναλυθεί είτε :

1. Ως συνεχές Σύστημα

2. ή ως Διάκριτο Σύστημα

#### **Διαδικασία 1 - Υποθέτοντας ότι το Σύστημα είναι Αναλογικό**

Θεωρούμε ότι η συνάρτηση μεταφοράς της Μονάδας Ελέγχου Διεργασίας είναι αυτή που πήραμε, με προσέγγιση στις εργαστηριακές ασκήσεις 4 και 5:

$$Gp(s) = \frac{1}{(0.44s + 1) \cdot (0.17s + 1)}$$

$$Gp(s) = \frac{e^{-0.39s}}{(0.59s + 1) \cdot (0.11s + 1)}$$

Χρησιμοποιώντας τεχνικές μετασχηματισμού Laplace εκτιμήστε:

- α) Το Ανηγμένο (απλοποιημένο) Διάγραμμα Βαθμίδων του Συστήματος
- β) Τη Συνάρτηση Μεταφοράς Κλειστού Βρόχου του Συστήματος
- γ) Την τιμή Σταθερής Κατάστασης, χρησιμοποιώντας το Θεώρημα Τελικής Τιμής
- δ) Χρησιμοποιώντας Άνυσμα Routh, καθορίστε τις Παραμέτρους Περιορισμού Ελέγχου, προκειμένου να εξασφαλίσετε ότι το Σύστημα είναι Ευσταθές.
- ε) Το επίπεδο Ευστάθειας του Συστήματος από Διάγραμμα Bode ή Nyquist
- στ) Δοκιμάστε τον Ελεγκτή μέσω του Λογισμικού Αλληλεπίδρασης της Μονάδας Ελέγχου Διεργασίας.

## **Διαδικασία 2 - Ανάλυση Ψηφιακού Ελέγχου**

Χρησιμοποιώντας ψηφιακές τεχνικές ανάλυσης (με μετασχηματισμούς Z), και λαμβάνοντας τη Συνάρτηση Μεταφοράς της διάταξης συγκράτησης μηδενικής τάξης ως:

$$G_{on}(s) = \frac{1 - e^{-Ts}}{s}$$

υπολογίστε:

- α) Το Ανηγμένο Διάγραμμα Βαθμίδων του Συστήματος, λαμβάνοντας υπόψη τα Δειγματοληπτημένα Σήματα και τη Διάταξη Συγκράτησης Μηδενικής Τάξης.
- β) Τη Συνάρτηση Μεταφοράς Παλμού.
- γ) Την Τιμή Σταθερής Κατάστασης, χρησιμοποιώντας το Θεώρημα Τελικής Τιμής του Μετασχηματισμού Z.
- δ) Την Ευστάθεια του Συστήματος χρησιμοποιώντας Ανάλυση Επιπέδου W.
- ε) Δοκιμάστε τον Ελεγκτή μέσω του Λογισμικού Αλληλεπίδρασης της Μονάδας Ελέγχου Διεργασίας.

# ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

## Εισαγωγή

Στον κόσμο της βιομηχανίας, η λέξη “διεργασία” αναφέρεται σε ένα σύνολο λειτουργιών που οδηγούν στην κατασκευή ή στην ανάπτυξη ορισμένου προϊόντος. Σε όλες τις περιπτώσεις στις βιομηχανικές διεργασίες, το τελικό προϊόν πρέπει να διαθέτει συγκεκριμένες και καθορισμένες ιδιότητες, οι οποίες εξαρτώνται από τον έλεγχο των αντιδράσεων και των λειτουργιών που παράγουν το προϊόν.

Οι πρώτες παράγραφοι του κεφαλαίου αυτού εξηγούν αρχικά τους τρεις κύριους τύπους ελέγχου, οι οποίοι ονομαστικά είναι οι εξής:

Έλεγχος ON/OFF

Ανοικτού βρόχου

Κλειστού βρόχου

Αυτό επεκτείνεται στις παραγράφους 7.5 και 7.6 όπου επεξηγούνται ορισμένες βασικές αρχές ελέγχου που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το μαθηματικό προσδιορισμό της επίδοσης του συστήματος. Επειδή το εν λόγω θέμα είναι πολύ προχωρημένο, οι πληροφορίες που παρέχονται εδώ εξυπηρετούν μόνο ως δείκτες των περιοχών που πρέπει να μελετηθούν και θα πρέπει να γίνει αναφορά στον κατάλογο βιβλιογραφίας που διατίθεται με το παρόν εγχειρίδιο. Η επόμενη παράγραφος, δηλαδή η 7.7, θα παρουσιάσει, πιθανόν, περισσότερο ενδιαφέρον.

Στην παράγραφο 7.7, επεξηγούνται οι ελεγκτές 3 όρων σε συνδυασμό με μια κοινή τεχνική συντονισμού που οδηγεί στη βελτιστοποίηση της επίδοσης.

Στην παράγραφο 7.8 γίνεται σε περισσότερο σύνθετη ανάλυση των συστημάτων διακριτού ψηφιακού ελέγχου, με χρήση τεχνικών μετασχηματισμού Z, που οδηγούν στην ανάπτυξη εξειδικευμένων αλγορίθμων αντιστάθμισης ελέγχου.

Με τη συνεχή ανάπτυξη της υπολογιστικής ισχύος, έχει αποβεί ζωτικά σημαντική η επίγνωση των πακέτων Προσομοίωσης με Υπολογιστή που μπορούν να βοηθήσουν στη διεργασία της αξιολόγησης συστήματος και στη σχεδίαση ελεγκτών. Καθώς οι δυνατότητες των πακέτων αυτών ποικίλλουν σε σημαντικό βαθμό, η παράγραφος 7.9 επιχειρεί σύντομη επισκόπησή τους.

Τέλος, το παρόν κεφάλαιο καταλήγει με ορισμένες προτεινόμενες περιοχές πιο προχωρημένης εργασίας που μπορεί να εκτελεστεί σε συνδυασμό με τη Μονάδα Ελέγχου Διεργασίας της Bytronic.

Σε όλη την παράγραφο αυτή, και προκειμένου να διευκολυνθεί η διαδικασία της μάθησης, προσφέρονται αρκετές προτεινόμενες εργαστηριακές ασκήσεις, οι οποίες περιγράφονται στο κεφάλαιο 8.

## **7.2 Έλεγχος ON/OFF**

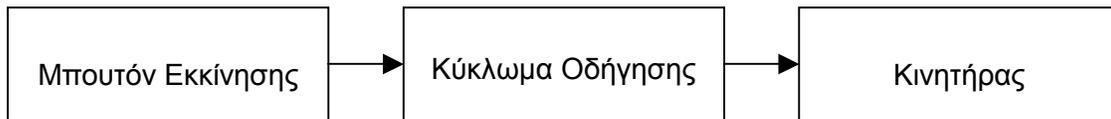
Ο μικρο-ελεγκτής αποστέλλει απλά ψηφιακά σήματα εξόδου σε απομακρυσμένες συσκευές, προκειμένου να εκτελεστεί ποικιλία διακοπτικών λειτουργιών. Αυτόν τον τύπο ελέγχου μπορεί να τον εκτελέσει εύκολα ένας μικροϋπολογιστής που διαθέτει μόνο μία ή δύο θύρες εισόδου / εξόδου.

Ο έλεγχος ON/OFF επιδεικνύεται στη Μονάδα Ελέγχου Διεργασίας, με τον έλεγχο του ψύκτη, του αναδευτήρα των πηνίων και των ενδεικτών κατάστασης.

## **7.3 Έλεγχος ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΒΡΟΧΟΥ**

Ο έλεγχος ανοικτού βρόχου είναι σύστημα το οποίο δεν διαθέτει τρόπο αντιστάθμισης των μεταβολών εξόδου. Αυτό σημαίνει ότι δεν διαθέτει οποιαδήποτε ανατροφοδότηση πληροφορίας και κατά συνέπεια δεν είναι δυνατός ο ακριβής έλεγχος της εξόδου. Στην περίπτωση κατά την οποία συμβεί κάποιο σφάλμα εξόδου το γεγονός θα περάσει χωρίς να εντοπιστεί από το σύστημα.

Για παράδειγμα: Απλό Κύκλωμα Κινητήρα



Εάν ελαττωθεί η ταχύτητα εξόδου εξαιτίας μιας μεταβολής στις συνθήκες φορτίου, δεν υπάρχει ενσωματωμένη μέθοδος αντιστάθμισης για αυτό το σφάλμα ταχύτητας. Εντούτοις, ο ανοικτό βρόχος είναι η οικονομικότερη μορφή ελέγχου και μπορεί να αποδειχθεί ικανοποιητική σε ορισμένες περιπτώσεις.

Για παράδειγμα: Οδήγηση Βηματικού Κινητήρα



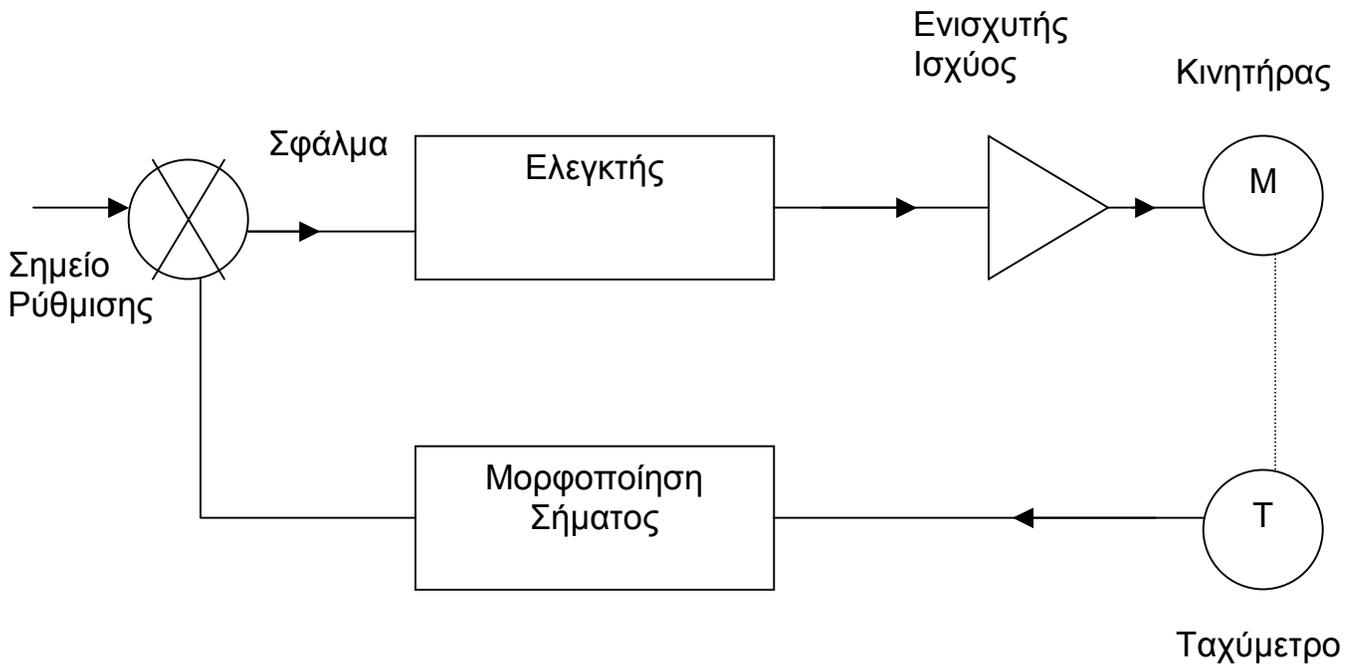
Υποθέτοντας ότι ο βηματικός κινητήρας δεν ολισθαίνει για δεδομένο αριθμό παλμών σε δεδομένο χρόνο, μπορούμε να εγγυηθούμε τη γωνία κατά την οποία έχει στραφεί ο άξονας του κινητήρα καθώς και την ταχύτητα του κινητήρα.

#### **7.4 Έλεγχος ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΒΡΟΧΟΥ**

Το σύστημα κλειστού βρόχου, είναι μια διάταξη που διαθέτει βρόχο ανατροφοδότησης από την έξοδο προς την είσοδο. Αυτό σημαίνει ότι παρακολουθείται η κατάσταση της εξόδου (δηλαδή μετρίεται ) και επομένως μπορεί να εφαρμοστεί αντιστάθμιση για οποιαδήποτε μεταβολή από την απαιτούμενη ρύθμιση. Το σύστημα συνεπώς ενεργοποιείται από σφάλματα, για παράδειγμα, εξαιτίας τριβής, αδράνειας, και άλλων δυναμικών ιδιοτήτων. Είναι αδύνατο να οδηγηθεί στιγμιαία ένα σύστημα σε μηδενικό σφάλμα, επομένως η έξοδος του συστήματος θα καθυστερεί σε σχέση με την επιθυμητή είσοδο, ενώ ορισμένες φορές θα ταλαντώνεται γύρω από την κατάσταση

μηδενικού σφάλματος. Πρόσθετα σφάλματα συστήματος μπορεί να εισαχθούν από τους αισθητήρες, καθώς οι έξοδοί τους δεν είναι πάντοτε ακριβώς ανάλογοι προς τη μεταβλητή την οποία έχουν σχεδιαστεί να μετρούν και επομένως το σήμα ανατροφοδότησης δεν είναι πραγματικό αντίγραφο της μετρούμενης μεταβλητής.

Παράδειγμα τυπικού συστήματος βρόχου είναι ένας ελεγκτής ταχύτητας κινητήρα.



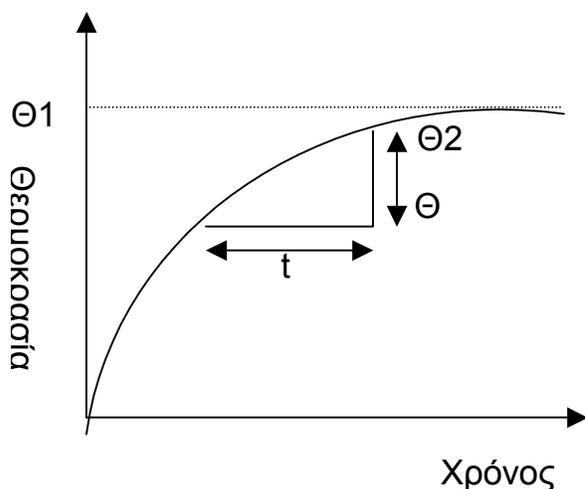
## 7.5 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ

Προκειμένου να γίνει η αξιολόγηση της απόκρισης ενός συστήματος σε δεδομένη διαταραχή, το σύστημα θα πρέπει να μοντελοποιηθεί μαθηματικά. Η διαδικασία αυτή σχετίζεται με την αναπαράσταση των φυσικών διατάξεων με όρους όπως είναι η αδράνεια, η δύναμη απόσβεσης, η χωρητικότητα, η αντίσταση, και ενώ θα πρέπει συχνά να υποτεθούν εξιδανικευμένες συνθήκες, μπορούν να ληφθούν πολύτιμες πληροφορίες. Το ιδανικό σύστημα είναι γραμμικό, πράγμα που σημαίνει ότι αντιπροσωπεύεται από γραμμική διαφορική εξίσωση. Τα συστήματα κατατάσσονται με βάση την τάξη της εξίσωσης που αντιπροσωπεύει τη συμπεριφορά τους, δηλαδή 1ης τάξης, 2ης τάξης.

### 7.5.1 Συστήματα 1ης Τάξης

Ένα σύστημα 1ης τάξης είναι σύστημα του οποίου η συμπεριφορά μπορεί να περιγραφεί από μια γραμμική διαφορική εξίσωση 1ης τάξης. Για παράδειγμα έναν ανιχνευτή θερμοκρασίας με την ακόλουθη απόκριση:

Όπου:



$\Theta_1$  = Θερμοκρασία του μέσου

$\Theta_2$  = Θερμοκρασία του ανιχνευτή

$M$  = Μάζα του ανιχνευτή

$C_p$  = Ειδική Θερμοχωρητικότητα του ανιχνευτή

$U$  = Συντελεστής ολικής μεταφοράς θερμότητα

$A$  = Εμβαδόν επιφάνειας

$t$  = Χρόνος

Εφαρμόζοντας “Ενεργειακή Ισορροπία” στην Ασταθή Κατάσταση  
Ρυθμός μεταφοράς θερμότητας προς τον ανιχνευτή = Ρυθμός συσσώρευσης  
θερμότητας στον ανιχνευτή

**Υποθέτοντας Μηδενικές Απώλειες**

Μεταφορά θερμότητας  $Q = U \cdot A \cdot \Delta\theta = M \cdot C_p \cdot (d\theta_2/dt)$

Επομένως:  $U \cdot A \cdot (\theta_1 - \theta_2) = M \cdot C_p \cdot (d\theta_2/dt)$

Όπου  $d\theta_2/dt$  = ρυθμός μεταβολής θερμοκρασίας του ανιχνευτή