

Άσκηση 1

- Απόκριση ΓΧΑ συστημάτων πρώτης, δεύτερης και μεγαλύτερης τάξης
- Εμπειρικές μέθοδοι σχεδίασης βιομηχανικών ελεγκτών τριών όρων, PID, με έμφαση στις μεθόδους ZN2 και CHR, Γραμμικών Συστημάτων.

Σύνταξη - Επιμέλεια:

Ε.ΔΙ.Π Μανόλης Ντουντουνάκης

Σκοπός της άσκησης

- Εξοικείωση των φοιτητών στην απόκριση σε πρότυπες εισόδους των ευσταθών ΓΧΑ συστημάτων πρώτης και δεύτερης τάξης
- Εξοικείωση των φοιτητών στα χαρακτηριστικά της βηματικής απόκρισης των ευσταθών ΓΧΑ συστημάτων δεύτερης τάξης και ανώτερης τάξης
- Εμπειρικές μέθοδοι σχεδίασης βιομηχανικών ελεγκτών τριών όρων, PID, με έμφαση στις μεθόδους ZN2 και CHR, Γραμμικών Συστημάτων.

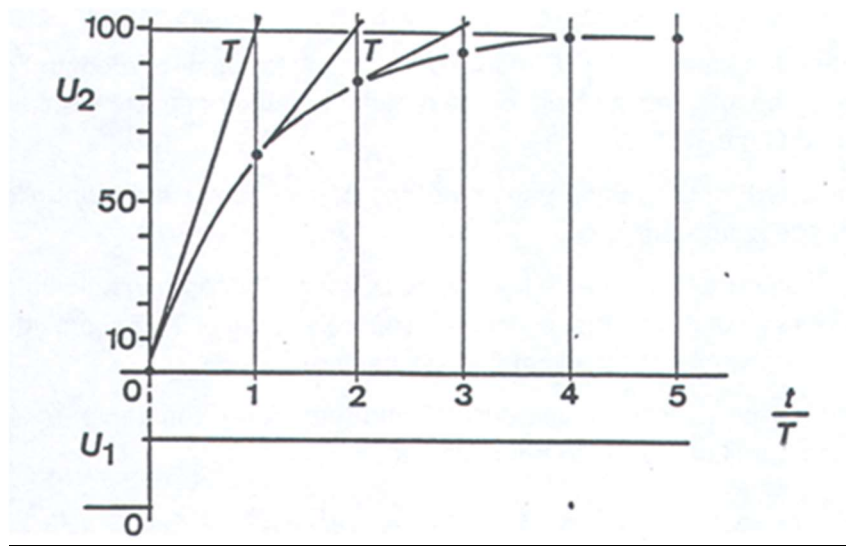
Προαπαιτούμενες γνώσεις

- Κεφάλαια 2, 4 & 5, R.C. Dorf, R.H. Bishop
- Συνοπτική θεωρία εργαστηρίου

A. ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ

ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΠΡΩΤΟΒΑΘΜΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Η βηματική απόκριση του πρωτοβάθμιου εξομοιωμένου συστήματος του εργαστηρίου δίνεται:



$\frac{t}{T}$	1	2	3	4	5
$\frac{U_2}{U_1}$	63.2%	86.5%	95%	98.2%	99.3%

ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ - ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

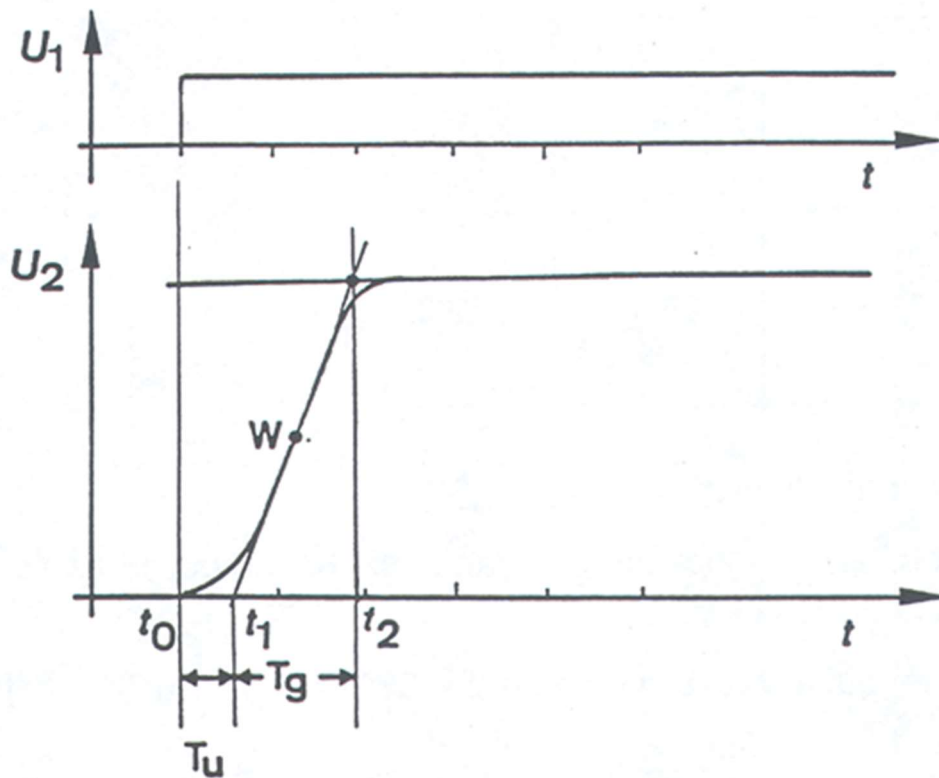
Η συνάρτηση μεταφοράς του δευτεροβάθμιου εξομοιωμένου συστήματος του εργαστηρίου δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$H(s) = K_s \frac{1}{T_1 s + 1} \cdot \frac{1}{T_2 s + 1} = \frac{b_0}{s^2 + a_1 s + a_0} \quad (1)$$

- Χρονικές σταθερές του υπό έλεγχο συστήματος, T_1 and T_2
- Κέρδος, του υπό έλεγχο συστήματος, K_s

Παρατηρώντας στο παλμογράφο τη βηματική απόκριση ενός συστήματος έχουμε, για μη πρωτοβάθμια συστήματα, τις παραμέτρους:

- Χρόνος αργής μεταβολής, $t_u = T_e$, και
- Χρόνος γρήγορης μεταβολής, $t_g = T_b$.



Δίνεται:

$$T_1 = \frac{T_b}{e} \approx 0.37 T_b$$

$$T_2 = \frac{T_e}{3 - e} \approx 3.33 T_e$$

$$T_\Sigma = T_1 + T_2$$

Ορισμοί και σύμβολα (σύμφωνα με το DIN)

Όρος	Σύμβολο	Ορισμός
Υπό έλεγχο σύστημα		Διαδικασία, της οποίας η μεταβλητή εξόδου πρόκειται να ελεγχτεί
Ελεγκτής		Στοιχεία στο βρόγχο ελέγχου που στόχο έχουν να αντιστοιχίζουν την υπό έλεγχο μεταβλητή στην επιθυμητή τιμή
Υπό έλεγχο μεταβλητή	x	Μεταβλητή εξόδου του βρόγχου ελέγχου
Επιθυμητή (setpoint) τιμή	w	Μεταβλητή εισόδου στο βρόγχο ελέγχου
Πραγματική τιμή	x_0	Προκαθορισμένη τιμή για την υπό έλεγχο μεταβλητή
Τιμή αναφοράς	w_0	Προκαθορισμένη τιμή για την επιθυμητή τιμή
Απόκλιση ελέγχου	$e_b = w - x$	Σήμα λάθους, απόκλιση ελέγχου της μεταβλητής εισόδου από την μεταβλητή εξόδου
Μεταβλητή διαταραχών	z	Εξωτερικές επιδράσεις στο υπό έλεγχο σύστημα

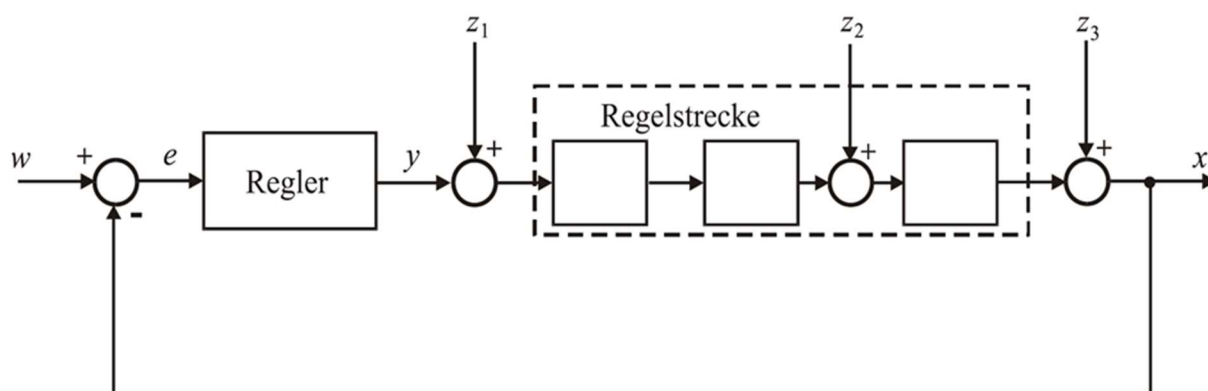
Για τις παραμέτρους του PID ελεγκτή, χρησιμοποιούνται τα παρακάτω σύμβολα

Όρος	DIN	
Αναλογικό Κέρδος P ελεγκτή	K_P	
Χρόνος I ελεγκτή	T_i	T_N
Χρόνος D ελεγκτή	T_d	T_V
Χρόνος αργής μεταβολής	T_e	T_u
Χρόνος γρήγορης μεταβολής	T_b	T_g

Γενική απόδοση και απαιτήσεις

Προκειμένου να ικανοποιηθούν οι βασικές ποιοτικές απαιτήσεις για έναν κλειστό βρόγχο ελέγχου, ο έλεγχος πρέπει να έχει καλή συμπεριφορά αναφοράς και διαταραχής. Η καλή συμπεριφορά

αναφοράς σημαίνει ότι η ελεγχόμενη μεταβλητή πρέπει να ανταποκρίνεται όσο το δυνατόν περισσότερο στις μεταβολές της μεταβλητής αναφοράς. Η καλή συμπεριφορά διαταραχής υπάρχει όταν οι διαταραχές στον βρόχο ελέγχου καταστέλλονται "όσο το δυνατόν περισσότερο". Στην εικόνα 2.1 απεικονίζεται έναν τυπικό βρόχο ελέγχου ενός βρόχου που επηρεάζεται από μια μεταβλητή ονομαστικής τιμής w και διάφορες, μεταβλητή διαταραχές, z_i . Στη περίπτωση αυτή το ελεγχόμενο σύστημα αποτελείται από τρία υποσυστήματα.



Εικόνα. 2.1: Τυπική μορφή ελέγχου, ενός βρόγχου.

Στον υπολογισμό της απόκρισης σε διαταραχές, είναι σημαντικό να λαμβάνεται υπόψη ότι οι διαταραχές μπορούν να συμβαίνουν σε διαφορετικά σημεία, όπως φαίνεται στην εικόνα 2.1, και οι επιδράσεις τους μπορεί να είναι διαφορετικές ανάλογα με το σημείο εισόδου. Παραδείγματα σημείων εισόδου διαταραχών:

- Στην είσοδο του υπό έλεγχο συστήματος (z_1)
- Μέσα στο υπό έλεγχο σύστημα (z_2)
- Στην έξοδο του υπό έλεγχο συστήματος (z_3)

Για να διερευνηθεί η συμπεριφορά αναφοράς και διαταραχής, οι επιδράσεις στις μεταβλητές που δεν είναι σημαντικές για την ανάλυση πρέπει να τεθούν στο μηδέν. Επομένως, για να ερευνηθεί η συμπεριφορά αναφοράς, πρέπει να ρυθμιστούν οι μεταβλητές διαταραχής $z_i = 0$ και να ελεγχθεί η εξέλιξη της ελεγχόμενης μεταβλητής μεταβάλλοντας τη μεταβλητή αναφοράς. Συχνά θα επιλέξετε μια μεταβολή κλιμακωτή. Η προκύπτουσα εξέλιξη της ελεγχόμενης μεταβλητής ονομάζεται **βηματική απόκριση αναφοράς**. Αντίστοιχα, κατά την εκτίμηση της συμπεριφοράς διαταραχής πρέπει να ρυθμιστεί η αντίστοιχη μεταβλητή αναφοράς στο μηδέν (ή σε μια σταθερή τιμή) και να ελεγχθεί η εξέλιξη της ελεγχόμενης μεταβλητής, μεταβάλλοντας τη μεταβλητή διαταραχών που ελέγχεται, π.χ. μεταβολή κλιμακωτή. Η προκύπτουσα εξέλιξη της ελεγχόμενης μεταβλητής σε αυτή την κατάσταση ονομάζεται βηματική απόκριση διαταραχής. Η πρώτη περίπτωση (συμπεριφορά αναφοράς) είναι

σημαντική για μεταβατικές διαδικασίες (εκκίνηση, τερματισμός λειτουργίας, επαναδρομολόγηση). Η συμπεριφορά διαταραχής, από την άλλη πλευρά, είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα για την κατάσταση στατικής διεργασίας, που σημαίνει για μια σταθερή μεταβλητή ονομαστικών τιμών.

Ένας "καλός" έλεγχος αναμένεται γενικά να πληροί τις ακόλουθες απαιτήσεις:

Ευστάθεια. Ένας έλεγχος θεωρείται ευσταθής, όταν εάν η απόκριση του σε κάθε φραγμένη μεταβλητή εισόδου, είναι μια φραγμένη μεταβλητή εξόδου. Δεν εμφανίζονται, σε αυτή την περίπτωση ούτε μόνιμες ούτε αυξανόμενες ταλαντώσεις.

Ακρίβεια. Ένα σύστημα ελέγχου λειτουργεί με ακρίβεια, όταν η υπό έλεγχο μεταβλητή προσεγγίζει την μεταβλητή αναφοράς, και δεν υπάρχουν μόνιμες αποκλίσεις ελέγχου.

Ταχύτητα. Ένα σύστημα ελέγχου λειτουργεί γρήγορα εάν αντιδρά αμέσως μετά από μια αλλαγή στις μεταβλητές των διαταραχών ή των σημείων ρύθμισης, λαμβάνοντας τη νέα μόνιμη του κατάσταση μετά από λίγο χρόνο.

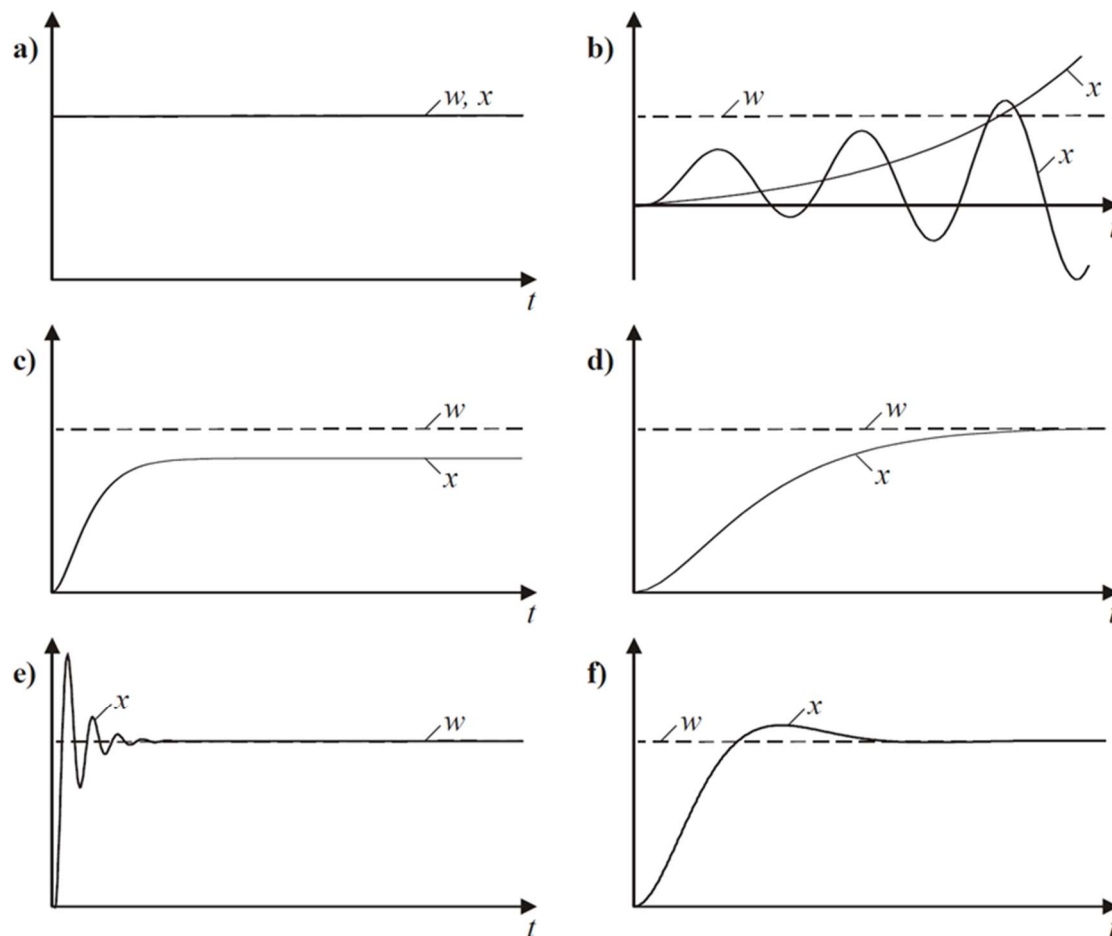
Απόσβεση. Ένα σύστημα ελέγχου αποσβένεται όταν η ελεγχόμενη μεταβλητή λαμβάνει τη νέα σταθερή τελική τιμή χωρίς μεγάλη υπέρβαση μετά από αλλαγή της μεταβλητής διαταραχής ή ονομαστικής τιμής.

Εύρωστο. Ένα σύστημα ελέγχου θεωρείται εύρωστο αν λειτουργεί χωρίς σημαντική υποβάθμιση της απόδοσης του ακόμη και όταν βρίσκεται εκτός του κανονικού του σημείου λειτουργίας ή οι παράμετροι του υπό έλεγχο συστήματος έχουν μεταβληθεί.

Στην εικόνα 2.2 εμφανίζονται τα διαφορά κριτήρια, με τη βοήθεια παραδειγμάτων. Σε όλες τις περιπτώσεις εμφανίζεται η εξέλιξη της υπό έλεγχο μεταβλητής x , σε μια βηματική είσοδο.

- Στο Διάγραμμα a, εμφανίζεται το ιδανικό σχήμα ελέγχου, που δεν μπορεί να υλοποιηθεί για πρακτικούς λόγους.
- Στο διάγραμμα b, εμφανίζονται δυο ασταθή βρόγχοι ελέγχου. Και στις δυο περιπτώσεις η ελεγχόμενη μεταβλητή δεν τείνει σε μια συγκεκριμένη τιμή. Αυτό αναφέρεται ως **μονότονη ή ταλαντωμένη αστάθεια**.
- Στο βρόγχο ελέγχου στο Διάγραμμα c, το σύστημα ελέγχου αντιδρά πολύ γρήγορα, χωρίς υπερύψωση, αλλά εμφανίζει μια μόνιμη απόκλιση ελέγχου, δηλαδή δεν έχουμε ακρίβεια.
- Στο βρόγχο ελέγχου στο διάγραμμα d, το σύστημα ελέγχου, αποκρίνεται πολύ αργά
- Στο βρόγχο ελέγχου στο διάγραμμα e, το σύστημα ελέγχου, αποκρίνεται πολύ γρήγορα και έχει μεγάλη υπερύψωση

- Τέλος, στο Διάγραμμα f, το σύστημα ελέγχου, αποκρίνεται σχετικά γρήγορα και έχει μικρή υπερύψωση



Εικόνα. 2.2: Διάφορα κριτήρια ελέγχου

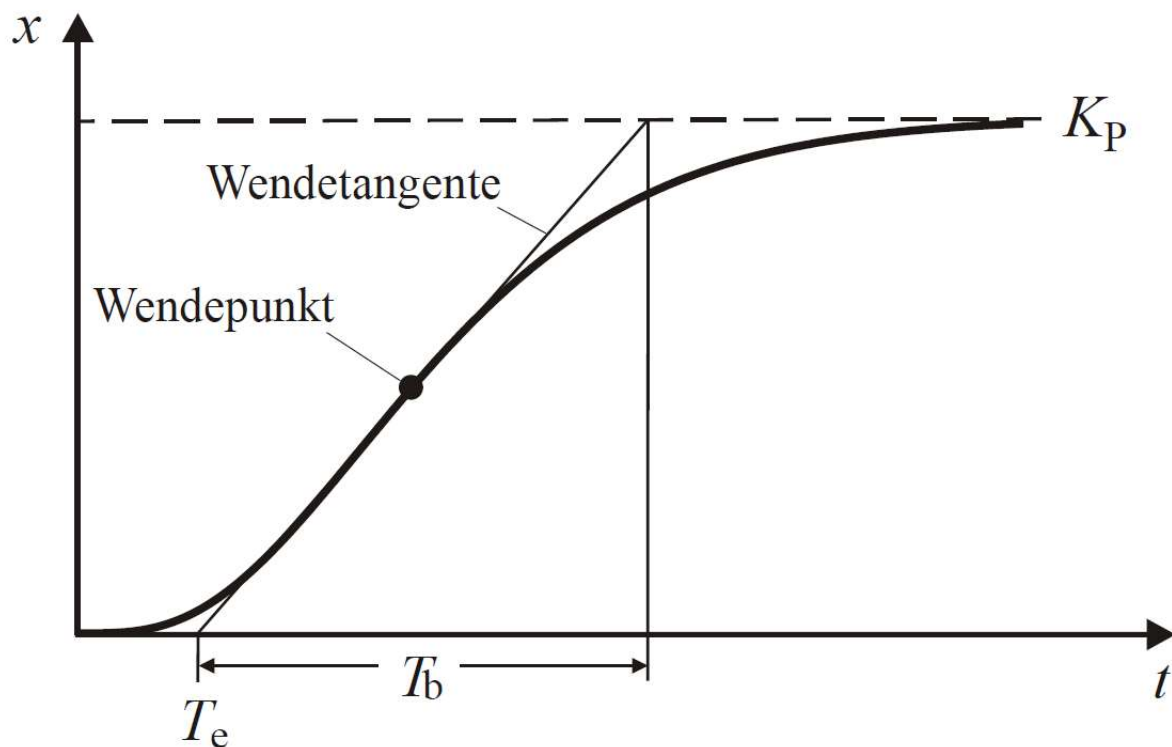
Ευστάθεια σε P έλεγχο

Η ευστάθεια ενός βρόχου ελέγχου είναι η ελάχιστη απαίτηση για αποδεκτή συμπεριφορά ελέγχου. Όταν χρησιμοποιείται ελεγκτής PID, σε μεγάλο βαθμό εξαρτάται από το κέρδος του ανοικτού βρόχου ελέγχου, που είναι το γινόμενο των αναλογικών συντελεστών του ελεγκτή και του ελεγχόμενου συστήματος. Στις περισσότερες πρακτικές περιπτώσεις, η αύξηση του αναλογικού συντελεστή του ελεγκτή πρώτα να αυξάνει την τάση ταλάντωσης του βρόχου ελέγχου και στη συνέχεια οδηγεί στην αστάθεια. Το αποκαλούμενο «κρίσιμο» κέρδος μπορεί να υπολογιστεί μαθηματικά για γνωστές παραμέτρους, με μεθόδους στη περιοχή της συχνότητας (κριτήριο Nyquist).

Ελενξιμότητα των υπό έλεγχο συστημάτων

Καθώς οι χρονικές σταθερές του P-T_n υπό έλεγχο συστήματος, είναι συνήθως άγνωστες σε πρακτικές περιπτώσεις, τα δυναμικά χαρακτηριστικά του υπό έλεγχο συστήματος μπορούν να υπολογιστούν από τη βηματική απόκριση του ανοικτού συστήματος χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της εφαπτομένης (στο σημείο καμψής) και υπολογίζοντας του χρόνους αργής μεταβολής, T_e, και γρήγορης μεταβολής, T_b, όπως φαίνεται στην εικόνα 2.3.

Στη περίπτωση μας, ο χρόνος αργής μεταβολής είναι ένα μετρό του πόσος χρόνος απαιτείται ώστε να το υπό έλεγχο σύστημα να αντιδράσει ουσιαστικά στη μεταβολή του σήματος εισόδου. Ο χρόνος γρήγορης



Εικόνα. 2.3: Βηματική απόκριση χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της κλίσης της εφαπτομένης (στο σημείο καμψής)

μεταβολής είναι ένα μετρό του πόσος χρόνος απαιτείται μέχρι η μεταβατική απόκριση να έχει σχεδόν φτάσει στη νέα τελική, σταθερή τιμή. Όσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος αργής μεταβολής σε σχέση με το χρόνο γρήγορης μεταβολής, με τόση μεγαλύτερη «βραδύτητα» " το P-T_n υπό έλεγχο σύστημα θα αντιδράσει στις μεταβολές εισόδου, και η εμπειρία έχει δείξει ότι αυτό κάνει πιο δύσκολο τον «έλεγχο» του. Στη πράξη, η σχέση του χρόνου αργής μεταβολής και του χρόνου γρήγορης μεταβολής, λαμβάνεται υπόψη για να εκτιμηθεί η δυνατότητα ελέγχου του υπό έλεγχο συστήματος, όταν σχεδιάζεται ο ελεγκτής. Στο παρακάτω Πίνακα δίνονται συγκεντρωτικά τα παραπάνω:

Λόγος T _e / T _b	Ελενξιμότητα
---------------------------------------	--------------

< 0.1	Πολύ καλή
0.1 ... 0.2	Καλή
0.2 ... 0.4	Μέτρια
0.4 ... 0.8	Κακή
> 0.8	Πολύ κακή

Πίνακας 2.

Σχεδίαση ελεγκτή σύμφωνα με τη μεθοδολογία ZN

Η διαδικασία των Ziegler / Nichols (ZN) που παρουσιάστηκε το 1942 βασίζεται στον προσδιορισμό ορισμένων παραμέτρων του υπό έλεγχο συστήματος μέσω ενός πειράματος (δοκιμή ταλάντωσης)

χρησιμοποιώντας τη συγκεκριμένη διεργασία. Στην πράξη, αυτή η διαδικασία είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για τον έλεγχο σε πολύπλοκες συσκευές μέτρησης και συνθέτες αλυσίδες ελέγχου, καθώς τα χαρακτηριστικά τους καταγράφονται αυτόματα κατά τη διάρκεια της δοκιμής ταλάντωσης.

Η διαδικασία αυτής της διαδικασίας έχει ως εξής:

- Κατασκευάστε έναν κλειστό βρόχο ελέγχου που αποτελείται από ένα ελεγχόμενο σύστημα και έναν (αρχικά μόνο) ελεγκτή P
- Προσδιορίστε (οποιοσδήποτε) ρυθμίσεις για τον ελεγκτή που θα παράγουν έναν σταθερό βρόχο ελέγχου (π.χ., από "δοκιμή και σφάλμα")
- Αυξήστε τον αναλογικό συντελεστή K_P του ελεγκτή σταδιακά έως ότου ο βρόχος ελέγχου φθάσει στο όριο ευστάθειας. Η αντίστοιχη τιμή K_P αναφέρεται ως κέρδος κρίσιμου ελεγκτή $K_{P,crit}$
- Προσδιορίστε την αντίστοιχη περίοδο T_{CR} της συνεχούς ταλάντωσης
- Προσδιορίστε τις παραμέτρους του (τελικού) ελεγκτή με τη βοήθεια των ακόλουθων κανόνων ρύθμισης. Οι κανόνες ρύθμισης για τους διάφορους τύπους PID ελεγκτών βρίσκονται στον ακόλουθο πίνακα:

Ελεγκτής	K	T_i	T_d
P	$0.5 K_{p,crit}$		
PI	$0.45 K_{p,crit}$	$0.85 T_{crit}$	
PID	$0.6 K_{p,crit}$	$0.5 T_{crit}$	$0.12 T_{crit}$

Πίνακας 3.1.

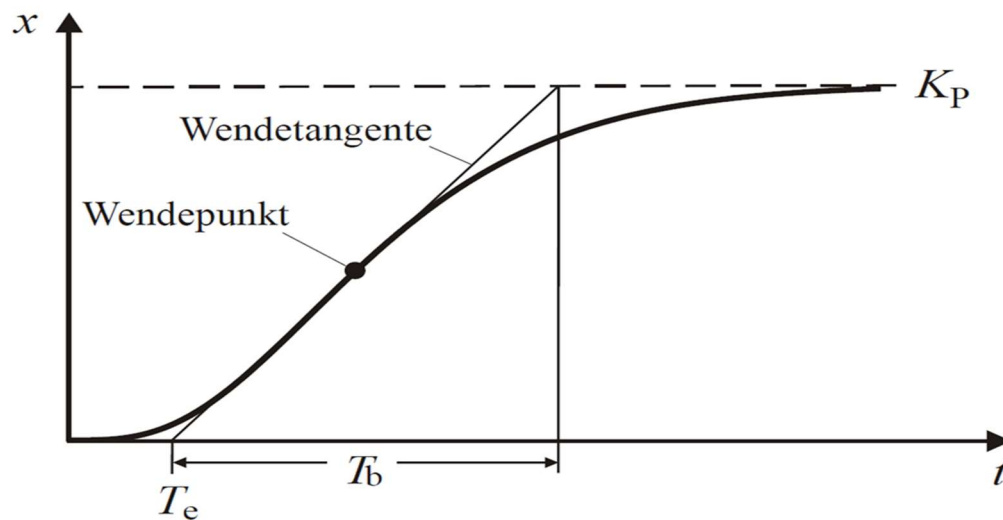
Παρατήρηση. Η παραπάνω διαδικασία, είναι κατάλληλη μόνο για συστήματα που μπορούν να ταλαντωθούν, χωρίς να προκληθεί ζημιά . Επιπλέον το υπό έλεγχο σύστημα θα πρέπει να μπορεί να ταλαντωθεί με ένα P ελεγκτή.

Μεθοδολογία σχεδιασμού ελεγκτή CHR

Πολλές μέθοδοι σχεδιασμού για τους ελεγκτές PID βασίζονται στη βηματική απόκριση του ελεγχόμενου συστήματος. Το παράδειγμα της μεθόδου Chien, Hrones και Reswick (CHR) εξετάζεται σε αυτό το κεφάλαιο. Οι κανόνες συντονισμού σύμφωνα με το πρότυπο CHR δημιουργήθηκαν το 1952. Οι παράμετροι του ελεγκτή υπολογίζονται από την βηματική απόκριση του ανοικτού ελεγχόμενου συστήματος. Συγκεκριμένα:

- Από την βηματική απόκριση του ανοικτού συστήματος υπολογίζονται, το αναλογικό κέρδος του συστήματος (K_p), ο χρόνος αργής μεταβολής, T_e , και ο χρόνος γρήγορης μεταβολής T_b . Αυτές οι τρεις (3) αποτελούν τη βάση για τους υπολογισμούς.
- Οι παράμετροι του ελεγκτή μπορούν στη συνέχεια να προέρχονται από τις ελεγχόμενες παραμέτρους του συστήματος. Ο παρακάτω πίνακας περιέχει όλους τους κανόνες. Πρώτα από όλα, εάν πρέπει να γίνει αποδεκτή ή όχι η υπέρβαση του 20% (ανώτερος πίνακας). Επιπλέον, αν δίνεται προτεραιότητα στην καλή συμπεριφορά αναφοράς (δεξιά στήλη στον πίνακα) ή /

στη καλή συμπεριφορά διαταραχής (αριστερή στήλη του πίνακα). Συνεπώς, υπάρχουν τέσσερις (4) εναλλακτικοί κανόνες συντονισμού για κάθε τύπο ελεγκτή.



Εικόνα.

3.1: Μέθοδος της εφαπτομένης από τη βηματική απόκριση του ανοικτού συστήματος.

Μέθοδος CHR.

Overshoot	0%			20%		
Ελεγκτής	K	T _i	T _d	K	T _i	T _d
P	$\frac{0.3 T_g}{K T_u}$			$\frac{0.7 T_g}{K T_u}$		
PI	$\frac{0.6 T_g}{K T_u}$	4T _u		$\frac{0.6 T_g}{K T_u}$	2.3 T _u	
PID	$\frac{0.95 T_g}{K T_u}$	2.4 T _u	0.42 T _u	$\frac{1.2 T_g}{K T_u}$	2.0 T _u	0.42 T _u

Πίνακας 3.2. Παράμετροι ελεγκτή με τη μέθοδο CHR για load disturbance response με χρήση των όρων K, T_u και T_g.

Overshoot	0%			20%		
Ελεγκτής	K	T _i	T _d	K	T _i	T _d
P	$\frac{0.3}{K} \frac{T_g}{T_u}$			$\frac{0.7}{K} \frac{T_g}{T_u}$		
PI	$\frac{0.35}{K} \frac{T_g}{T_u}$	1.2 T _g		$\frac{0.6}{K} \frac{T_g}{T_u}$	T _g	
PID	$\frac{0.6}{K} \frac{T_g}{T_u}$	T _g	0.5 T _u	$\frac{0.95}{K} \frac{T_g}{T_u}$	1.4T _g	0.47 T _u

Πίνακας 3.3. Παράμετροι ελεγκτή με τη μέθοδο CHR για setpoint response με χρήση των όρων K, T_u και T_g.

Οι κανόνες συντονισμού παρέχουν γενικά χρήσιμα αποτελέσματα

$$T_b > 3 T_e$$

A. (30%)

Προτείνεται η χρήση του *matlab* για τα γραφικά και η χρήση είτε πινάκων μετασχηματισμού Laplace και της συνάρτησης *ilaplace* του *matlab* είτε των συναρτήσεων *impulse*, *step*, *tf* του *matlab*, *control toolbox*, για την εύρεση της απόκρισης στο πεδίο του χρόνου (Δε χρειάζονται μαθηματικά). Να δίνεται το *script file*, επισυνάπτοντας γραφικές παραστάσεις.

Να υπολογίσετε, χωρίς τη χρήση μαθηματικών, με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού (*control toolbox matlab*) τη βηματική απόκριση, την απόκριση παλμού και την απόκριση ράμπας των παρακάτω συναρτήσεων:

$$\frac{1}{(0.3 * s + 1)}, \frac{1}{(0.3 * s + 1)^2}$$

Να υπολογίσετε, χωρίς τη χρήση μαθηματικών, με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού (*control toolbox matlab*), τη βηματική απόκριση των παρακάτω συναρτήσεων:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{(0.1 * s + 1)^2}, \frac{1}{(0.5 * s + 1)^2}, \frac{1}{(s + 1)^2} \\ & \frac{1}{(0.1 * s + 1) * (0.5 * s + 1)}, \frac{1}{(0.4 * s + 1) * (2 * s + 1)}, \frac{1}{(s + 1) * (5 * s + 1)} \\ & \frac{1}{(0.1 * s + 1) * (10 * s + 1)} \\ & \frac{1}{(0.1 * s + 1)^4}, \frac{1}{(0.5 * s + 1)^4}, \frac{1}{(s + 1)^4} \\ & \frac{1}{(0.5 * s + 1)}, \frac{1}{(0.1 * s + 1)^3}, \frac{1}{(2.5 * s + 1)}, \frac{1}{(0.5 * s + 1)^3} \end{aligned}$$

Σημείωση 1. Θα παραδίνονται κώδικες, αποτελέσματα, και επαρκής τεκμηρίωση των αποτελεσμάτων.

Σημείωση 3: Να ρυθμίζετε κατάλληλα το χρόνο παρατήρησης, κάθε φορά, έτσι ώστε στη παρεχόμενη κυματομορφή, να εμφανίζεται όλη η απαιτούμενη πληροφορία.

Σημείωση 3: Η εργαστηριακή αναφορά, εκτός από τις προσωμειώσεις, πρέπει να περιέχει επιπλέον διάφορες πληροφορίες, όπως:

- Υπολογισμός της συνάρτησης μεταφοράς του κλειστού συστήματος που υλοποιήθηκε

- Υπολογισμοί των τριών παραμέτρων του συστήματος (K_s , T_u , T_g)
- Υπολογισμοί των παραμέτρων (χρόνος ανόδου, υπερύψωσης κλπ) της απόκρισης.
- Επιβεβαίωση – Έλεγχος παραμέτρων, όπου είναι δυνατό.

Σημείωση 4: Να σχολιάσετε, ανά μέτρηση, όσο πιο αναλυτικά μπορείτε, τα αποτελέσματα.

B. (70%)

Προτείνεται η χρήση του *matlab* και του, *control toolbox*, για την εύρεση της απόκρισης στο πεδίο του χρόνου (Δε χρειάζονται μαθηματικά).

Να υπολογίσετε, χωρίς τη χρήση μαθηματικών, επισυνάπτοντας γραφικές παραστάσεις, κώδικες, και επαρκής τεκμηρίωση των αποτελεσμάτων, τη θεωρητική απόκριση.

Μέθοδος ZN.

Να υλοποιήσετε ένα σύστημα ανοικτού βρόγχου 3ης τάξης με:

$K_s = 1.0$, $T_1 = 2.0$ sec, $T_2 = 2.0$ sec, $T_3 = 2.0$ sec,

- Να υπολογίσετε τη συνάρτηση μεταφοράς του συστήματος που υλοποιήσατε. Να

καταγράψετε, με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού (*control toolbox matlab*), τη βηματική απόκριση, του κλειστού συστήματος, με μοναδιαία ανάδραση.

- Να υπολογίσετε, με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού (*control toolbox matlab*), τις τιμές των παραμέτρων $K_{p,crit}$, T_{crit} με βάση τη μέθοδο ZN2. (Ξεκινώντας από $K_p = 1.0$, σταδιακά αυξήστε τη τιμή του αναλογικού κέρδους του ελεγκτή, K_P , με βήμα 0.5 και επαναλάβετε το πείραμα, μέχρι να πέτυχετε μόνιμες ταλαντώσεις του ελεγχόμενου συστήματος, $K_{p,crit}$. Υπολογίστε τη περίοδο της ταλάντωσης T_{crit} .

- Να καταγράψετε τις αντίστοιχες καμπύλες, με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού (*control toolbox matlab*), που προέκυψαν στη διαδικασία εντοπισμού και υπολογισμού των παραμέτρων $K_{p,crit}$, T_{crit} .

- Να υπολογίσετε, τις ρυθμίσεις ενός P, PI και PID ελεγκτή, με βάση τη μέθοδο ZN.
- Στη συνέχεια να καταγράψετε, με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού (control toolbox matlab), τη βηματική απόκριση του συστήματος, με P, PI και PID ελεγκτή, με βάση τη μέθοδο ZN. Σε κάθε περίπτωση να δώσετε τη συνάρτηση μεταφοράς του ελεγκτή και του συστήματος υπό έλεγχο, καθώς και τη συνολική συνάρτηση μεταφοράς.

Μέθοδος CHR.

Να υλοποιήσετε, με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού (control toolbox matlab), ένα σύστημα ανοικτού βρόγχου 3ης τάξης με:

$$K_s = 1.0, T_1 = 2.0 \text{ sec}, T_2 = 2.0 \text{ sec}, T_3 = 2.0 \text{ sec},$$

Να καταγράψετε, τη βηματική απόκριση, του ανοικτού συστήματος, χωρίς ανάδραση. Να υπολογίσετε τους χρόνους T_u , T_g από την απόκριση του ανοικτού συστήματος.

(Να χρησιμοποιηθούν οι παρακάτω τιμές των T_u , T_g : $T_u = 1.7 \text{ sec}$ και $T_g = 6.7 \text{ sec}$). Με βάση τους χρόνους που σας δίνονται να υπολογίσετε τη τάξη (order n) του υπό έλεγχο συστήματος καθώς και τις χρονικές σταθερές του απλοποιημένου δευτεροβαθμίου συστήματος.

1. Να υπολογίσετε, τις ρυθμίσεις ενός P, PI και PID ελεγκτή, για 0% υπέρψωση και set point response, με βάση τη μέθοδο CHR.

Στη συνέχεια να καταγράψετε, με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού (control toolbox matlab), την απόκριση του συστήματος, με P, PI και PID ελεγκτή, για 0% υπέρψωση και set point response, με βάση τη μέθοδο CHR. Σε κάθε περίπτωση να δώσετε τη συνάρτηση μεταφοράς του ελεγκτή και του συστήματος υπό έλεγχο, καθώς και τη συνολική συνάρτηση μεταφοράς.

2. Να υπολογίσετε, τις ρυθμίσεις ενός P, PI και PID ελεγκτή, για 20% υπέρψωση και set point response, με βάση τη μέθοδο CHR. Στη συνέχεια να καταγράψετε, με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού (control toolbox matlab), την απόκριση του συστήματος, με P, PI και PID ελεγκτή, για

20% υπερύψωση και set point response, με βάση τη μέθοδο CHR. Σε κάθε περίπτωση να δώσετε τη συνάρτηση μεταφοράς του ελεγκτή και του συστήματος υπό έλεγχο, καθώς και τη συνολική συνάρτηση μεταφοράς.

Σημείωση 1. Θα παραδίνονται κώδικες, αποτελέσματα, και επαρκής τεκμηρίωση των αποτελεσμάτων.

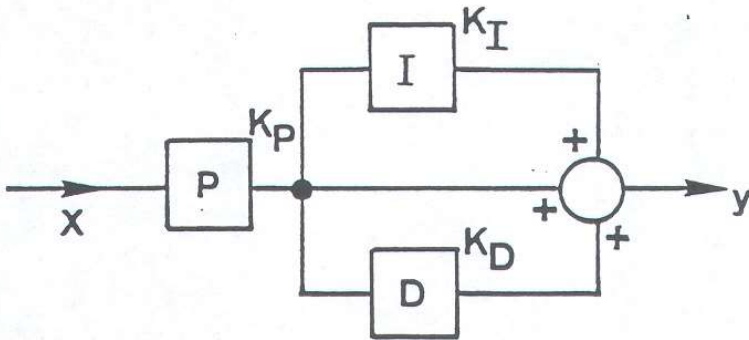
Σημείωση 2: Να ρυθμίζετε κατάλληλα το χρόνο παρατήρησης, κάθε φορά, έτσι ώστε στη παρεχόμενη κυματομορφή, να εμφανίζεται όλη η απαιτούμενη πληροφορία.

Σημείωση 3: Η εργαστηριακή αναφορά, εκτός από τις προσωμειώσεις, πρέπει να περιέχει επιπλέον διάφορες πληροφορίες, όπως:

- Υπολογισμός της συνάρτησης μεταφοράς του κλειστού συστήματος που υλοποιήθηκε
- Υπολογισμοί των τριών παραμέτρων του συστήματος (K_s , T_u , T_g), όπου ορίζονται
- Υπολογισμοί των παραμέτρων (χρόνος ανόδου, υπερύψωσης κλπ) της απόκρισης.
- Επιβεβαίωση – Έλεγχος παραμέτρων, όπου είναι δυνατό.

Σημείωση 4: Να σχολιάσετε, ανά μέτρηση, όσο πιο αναλυτικά μπορείτε, τα αποτελέσματα.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ1
PID Ελεγκτής του εργαστηρίου



$$F_R = \frac{K_p}{s} \left[s + \frac{1}{T_i} + T_d \cdot s^2 \right]$$

Υλοποιείται στο Control Toolbox του Matlab με τη συνάρτηση pidstd(K_p, T_i, T_d).

Εναλλακτικά υλοποιείται με το apps PID Tuner, Form Standard.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

Μέθοδος ZN

1. Καταγράφουμε τη βηματική απόκριση του ανοικτού συστήματος χωρίς δράση ελεγκτή, αν είναι δυνατό.
2. Καταγράφουμε τη βηματική απόκριση του κλειστού συστήματος με μοναδιαία ανάδραση χωρίς δράση ελεγκτή ($K_p=1$, I off, D off)
3. Αυξάνουμε σταδιακά το κέρδος του P ελεγκτή (I off, D off) μέχρι να έχουμε μόνιμες ταλαντώσεις και υπολογίζω τις παραμέτρους $K_{p,crit}$, T_{crit} .
4. Επιλέγουμε το είδος του κατάλληλου ελεγκτή με βάση τις προδιαγραφές (P, PI, PD, PID) (Σελίδα 58 σημειώσεων εργαστηρίου μαθήματος Γραμμικά Συστήματα).
5. Από πίνακες υπολογίζουμε τις ρυθμίσεις του κατάλληλου ελεγκτή.
6. Καταγράφουμε τη βηματική απόκριση του κλειστού συστήματος με τον κατάλληλο ελεγκτή ρυθμισμένο. Συγκρίνουμε με 1,2,4.
7. Fine-tuning.

Μέθοδος CHR

1. Καταγράφουμε τη βηματική απόκριση του ανοικτού συστήματος χωρίς δράση ελεγκτή και υπολογίζουμε τις παραμέτρους K , T_u , T_g .
2. Καταγράφουμε τη βηματική απόκριση του κλειστού συστήματος με μοναδιαία ανάδραση χωρίς δράση ελεγκτή ($K_p=1$, I off, D off)
3. Επιλέγουμε το είδος του κατάλληλου ελεγκτή με βάση τις προδιαγραφές (P, PI, PD, PID) (Σελίδα 58 σημειώσεων εργαστηρίου μαθήματος Γραμμικά Συστήματα).
4. Επιλέγουμε, με βάση τις προδιαγραφές, το επιθυμητό ποσοστό υπερύψωσης (0%, 20%) και το στόχο του έλεγχου (set point response, disturbance).
5. Από πίνακες υπολογίζουμε τις ρυθμίσεις του κατάλληλου ελεγκτή.
6. Καταγράφουμε τη βηματική απόκριση του κλειστού συστήματος με τον κατάλληλο ελεγκτή ρυθμισμένο. Συγκρίνουμε με 1,2,4,5.
7. Fine-tuning.