

Άσκηση 1

- Εμπειρικές μέθοδοι σχεδίασης βιομηχανικών ελεγκτών τριών όρων, PID, με έμφαση στις μεθόδους ZN2 και CHR, Γραμμικών Συστημάτων.

Σύνταξη - Επιμέλεια:

Ε.ΔΙ.Π Μανόλης Ντουντουνάκης

Μ.Δ.Ε. Ηλεκτρολόγος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Υποψήφιος Διδάκτορας Πολυτεχνείου Κρήτης

Σκοπός της άσκησης

- Εμπειρικές μέθοδοι σχεδίασης βιομηχανικών ελεγκτών τριών όρων, PID, με έμφαση στις μεθόδους ZN2 και CHR, Γραμμικών Συστημάτων.

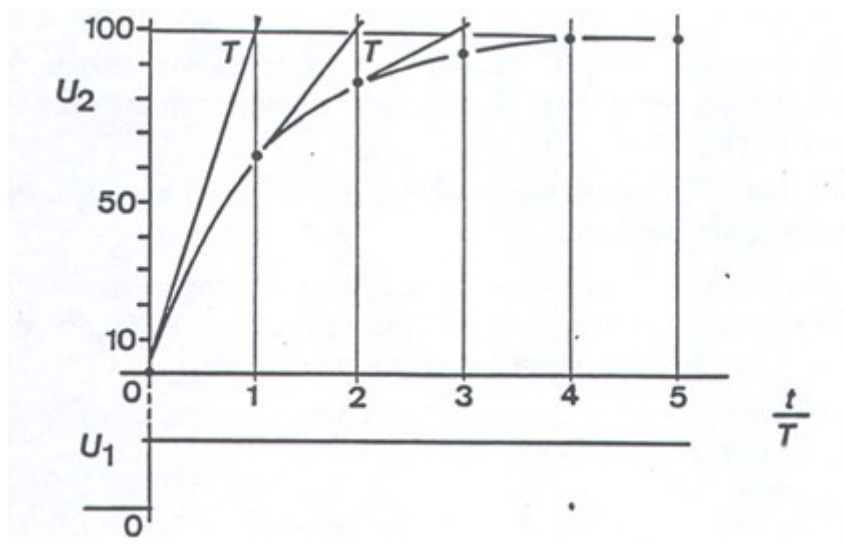
Προαπαιτούμενες γνώσεις

- 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

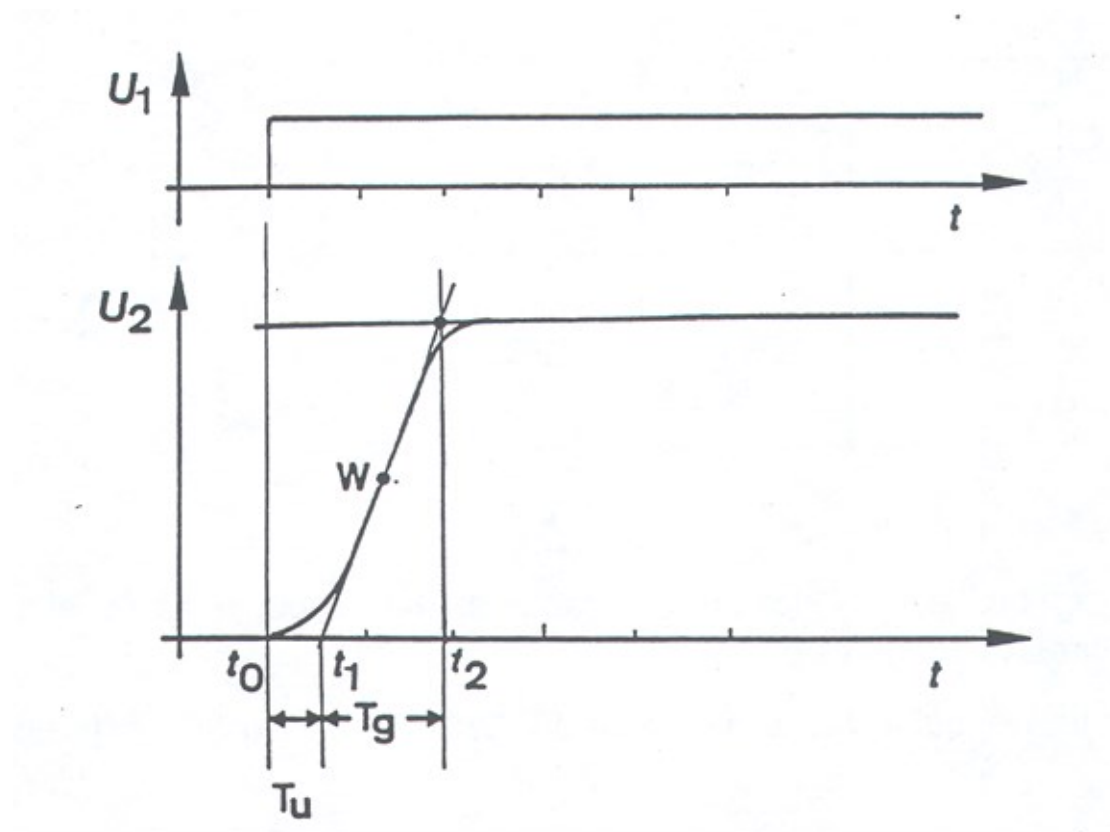
Η συνάρτηση μεταφοράς του δευτεροβάθμιου εξομοιωμένου συστήματος του εργαστηρίου δίνεται από την παρακάτω σχέση:

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

- 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:

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

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

$$T_\Sigma = T_1 + T_2$$

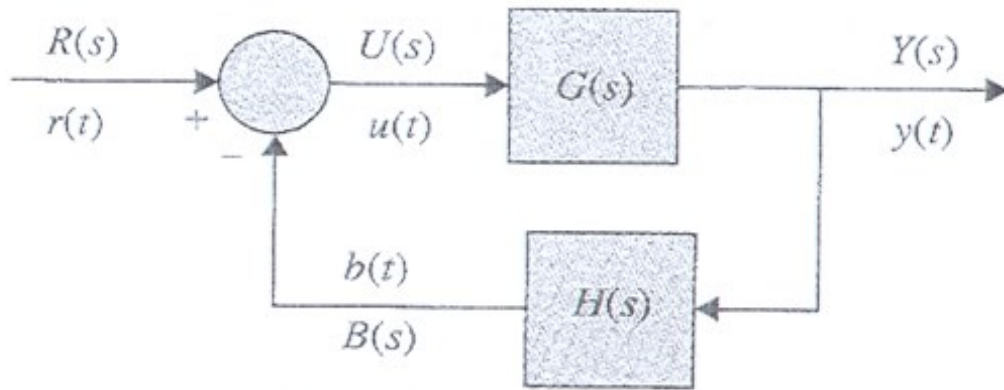
Ορισμοί και σύμβολα (σύμφωνα με το DIN)

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

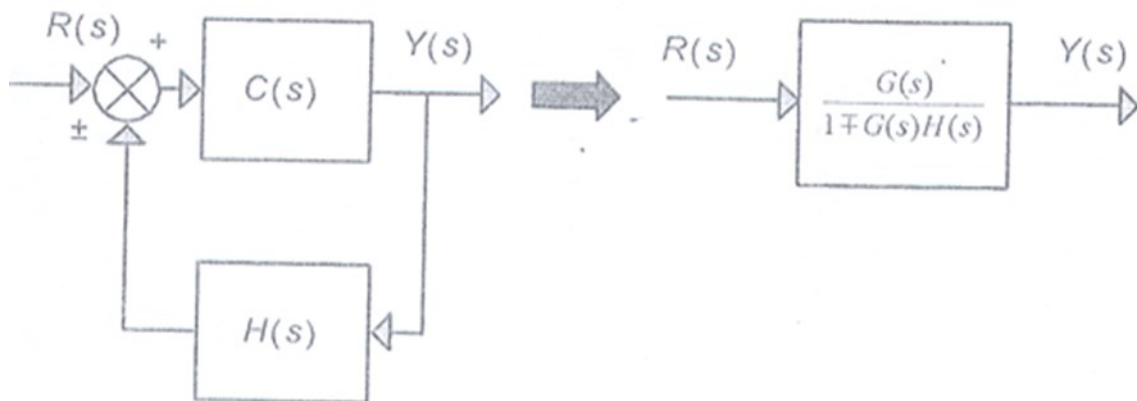
Για τις παραμέτρους του PID ελεγκτή, χρησιμοποιούνται τα παρακάτω σύμβολα

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

Κλειστό Σύστημα Ελέγχου

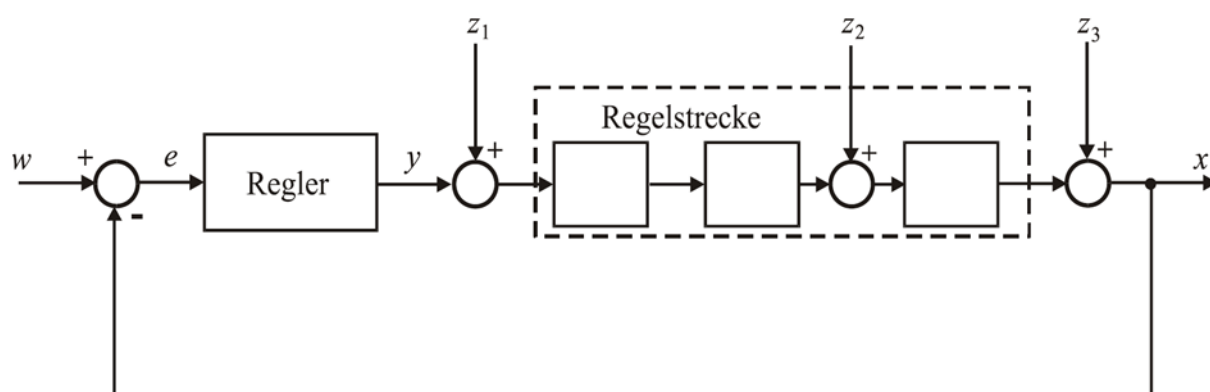


Τρόπος απλοποίησης συστημάτων κλειστού βρόγχου



Γενική απόδοση και απαιτήσεις

Προκειμένου να ικανοποιηθούν οι βασικές ποιοτικές απαιτήσεις για έναν κλειστό βρόχο 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 βρόχου.

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.

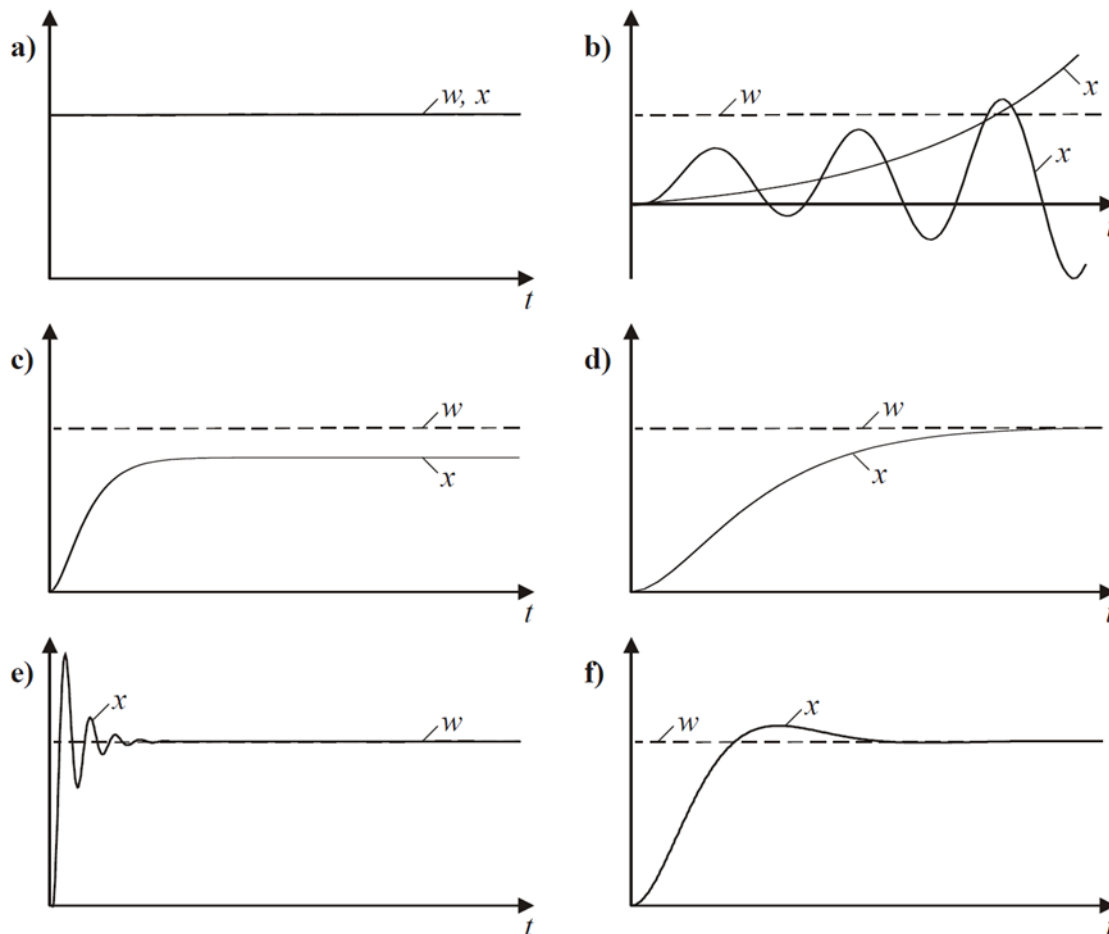
Απόσβεση. Ένα σύστημα ελέγχου αποσβένεται όταν η ελεγχόμενη μεταβλητή λαμβάνει τη νέα σταθερή τελική τιμή χωρίς μεγάλη υπέρβαση μετά από αλλαγή της μεταβλητής διαταραχής ή ονομαστικής τιμής.

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

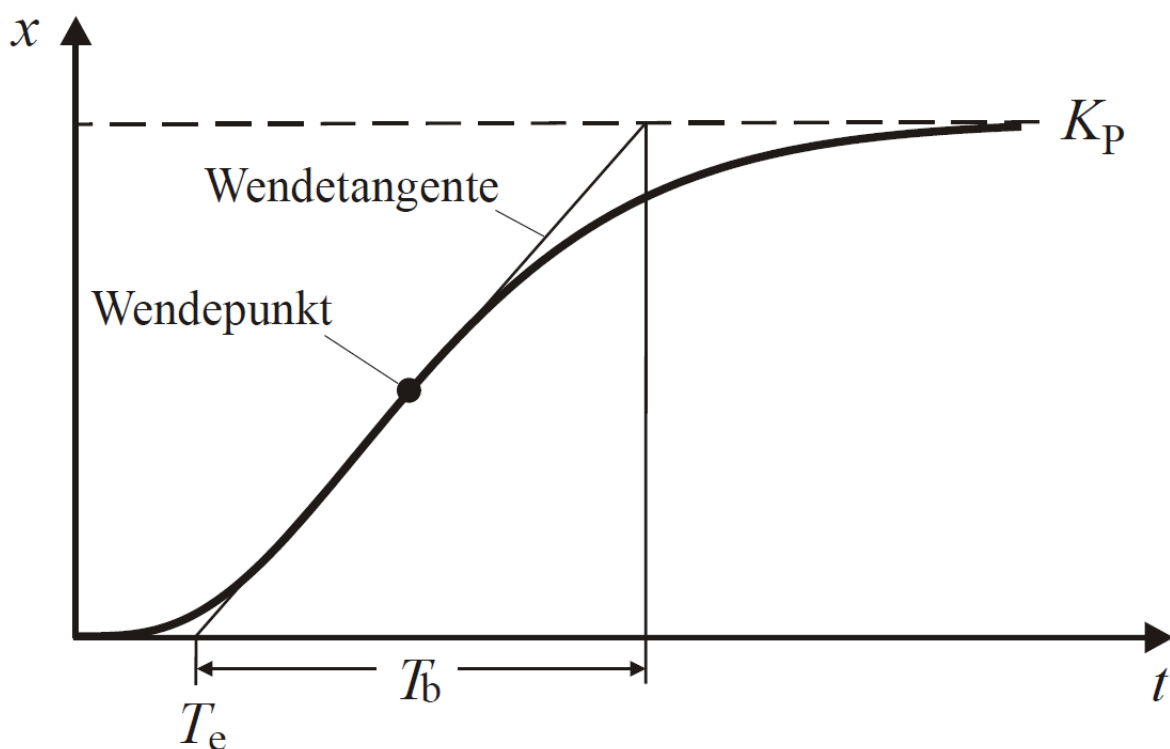
Ευστάθεια σε P έλεγχο

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 καμπής) 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 καμπής)

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

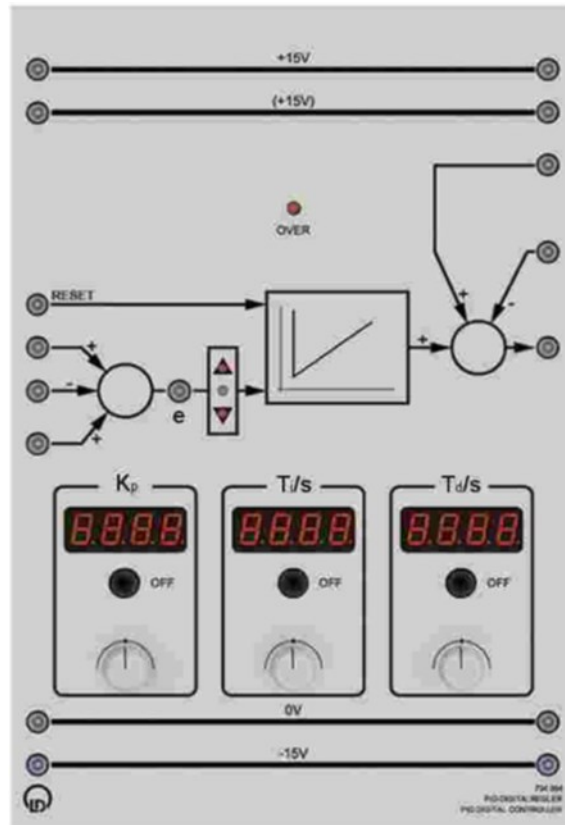
συστήματος, όταν σχεδιάζεται ο ελεγκτής. Στο παρακάτω Πίνακα δίνονται συγκεντρωτικά τα παραπάνω:

Λόγος T_e / T_b	Ελενξιμότητα
< 0.1	Πολύ καλή
$0.1 \dots 0.2$	Καλή
$0.2 \dots 0.4$	Μέτρια
$0.4 \dots 0.8$	Κακή
> 0.8	Πολύ κακή

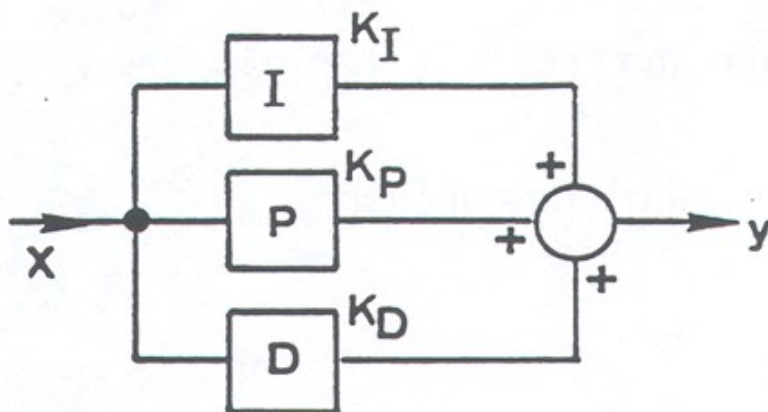
Πίνακας 2.

PID ελεγκτής

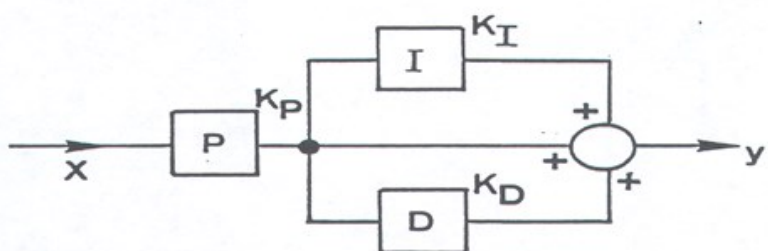




Παράλληλη συνδεσμολογία PID ελεγκτή



Σειριακή διαμόρφωση PID ελεγκτή



Εμπειρικές μέθοδοι

Η εύρεση των τιμών των παραμέτρων του βέλτιστου ελεγκτή (με βάση τις προδιαγραφές που επιλεγει ο σχεδιαστής μηχανικός), μπορεί να ειπωθεί σαν τη λύση ενός προβλήματος βελτιστοποίησης. Η διαδικασία είναι επίπονη, αλλά βρίσκει ολικό βέλτιστο. Εναλλακτικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν εμπειρικές μέθοδοι, που δίνουν γρήγορα αποτελέσματα, χωρίς τη χρήση μαθηματικών, αλλά δίνουν τοπικό ελάχιστο. Οι πιο χαρακτηριστικές εκπρόσωποι των εμπειρικών μεθόδων είναι οι ZN & CHR.

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.

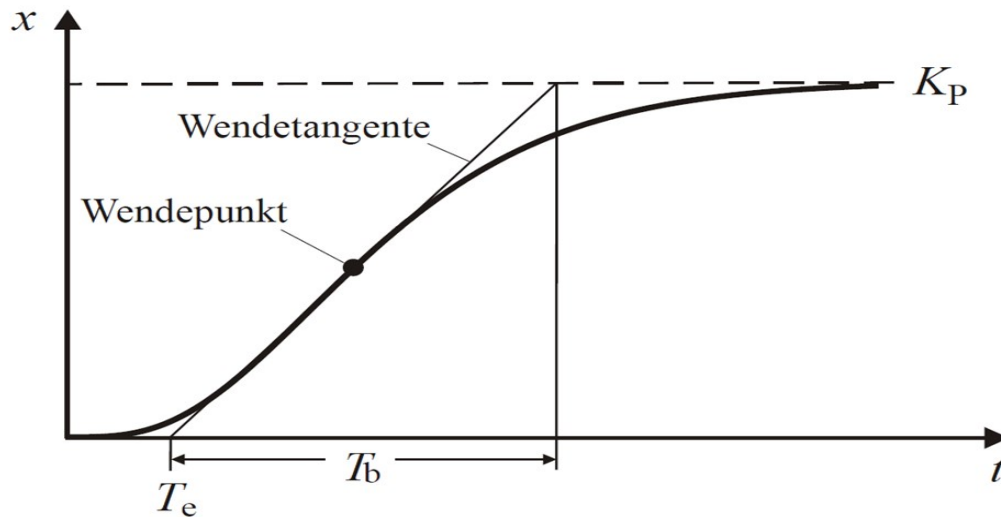
Παρατήρηση1. Η παραπάνω διαδικασία, είναι κατάλληλη μόνο για συστήματα που μπορούν να ταλαντωθούν, χωρίς να προκληθεί ζημιά . Επιπλέον το υπό έλεγχο σύστημα θα πρέπει να μπορεί να ταλαντωθεί με ένα P ελεγκτή.

Παρατήρηση2. «Κρυφή» σχεδιαστική παράμετρος της μεθόδου 20% υπερύψωση.

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	$\frac{0.6 T_g}{K T_u}$	$4 T_u$		$\frac{0.6 T_g}{K T_u}$	$2.3 T_u$	
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	$\frac{0.3 T_g}{K T_u}$			$\frac{0.7 T_g}{K T_u}$		
PI	$\frac{0.35 T_g}{K T_u}$	1.2 T _g		$\frac{0.6 T_g}{K T_u}$	T _g	
PID	$\frac{0.6 T_g}{K T_u}$	T _g	0.5 T _u	$\frac{0.95 T_g}{K T_u}$	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

$$T_b > 3 T_e$$

B1. Πειραματικό μέρος

(Να υπολογίζονται οι παράμετροι του συστήματος (χρόνος ανόδου, υπερύψωσης κλπ.) της απόκρισης), σε κάθε μέτρηση, χωρίς τη χρήση του Matlab.

Όλες οι μετρήσεις γίνονται ως εξής:

- Καταγραφή με δυο κανάλια ((κανάλι X) – (κανάλι A))
- Τα Volt/div και Time/div ρυθμίζονται αυτόματα από το πρόγραμμα Cassy Lab 2
- Με τη βοήθεια των εργαστηριακών βοηθών ενεργοποιήστε τα κανάλια, A του καταγραφικού και X της γεννήτριας κυματογράφων
- Τα πάνελ συνδέονται μεταξύ τους με συνδέσμους στα +15 Volt, –15 Volt και 0 Volt (όχι στα +5 Volt)

Χρήση του διακόπτη εκφόρτωσης (Toggle switch, single pole)

Ο διακόπτης εκφόρτωσης, χρησιμοποιείται για την εκφόρτωση του συστήματος υπό έλεγχο, δηλαδή μηδενικές αρχικές συνθήκες. Το 0 του διακόπτη συνδέεται στα +15 Volt και το 1 με όλα τα I_{OFF} των

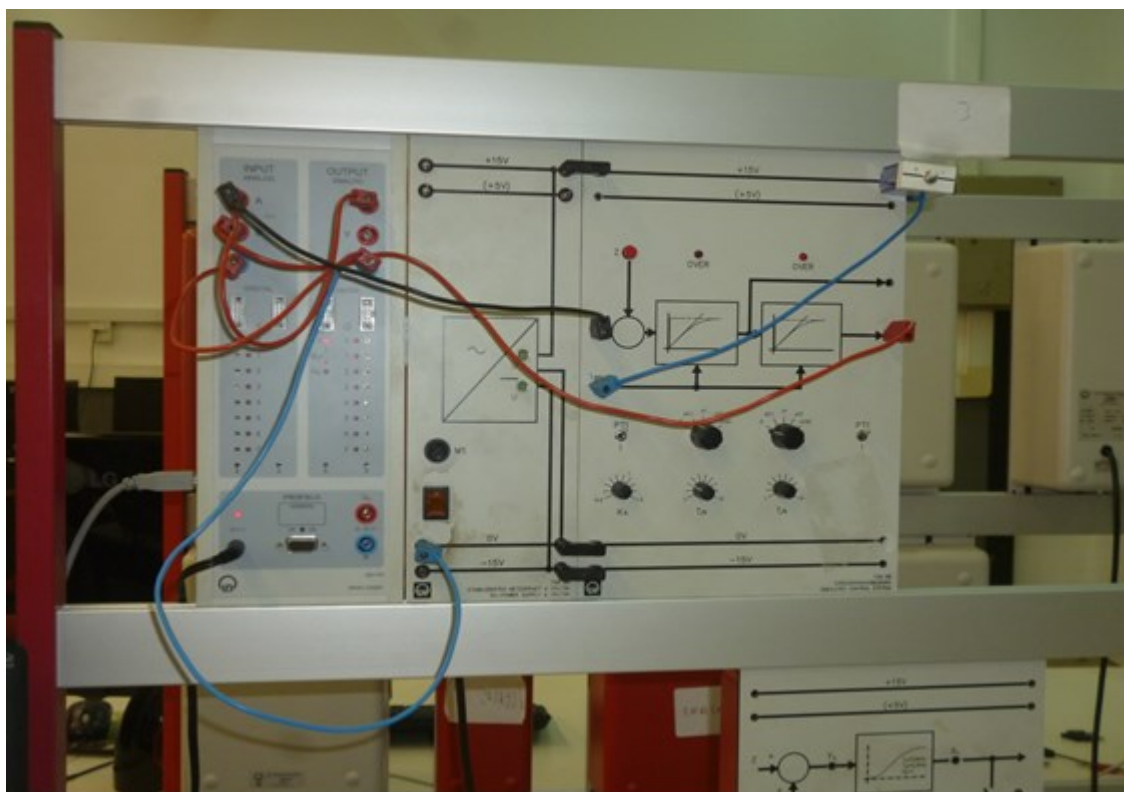
συστημάτων Πριν από κάθε μέτρηση γίνεται εκφόρτωση ως εξής. Με τη τροφοδοσία ανοικτή, το διακόπτη στο Set Point Potentiometer πάνω, ανοίγουμε το διακόπτη εκφόρτωσης μέχρι η απόκριση του συστήματος να επιστρέψει μόνιμα στο μηδέν. Μετρήσεις παίρνονται με το διακόπτη εκφόρτωσης κλειστό. Εναλλακτικά, χωρίς το διακόπτη εκφόρτωσης, γίνεται εκφόρτωση κλείνοντας τη τροφοδοσία και περιμένοντας λίγα δευτερόλεπτα πριν την ανοίξουμε ξανά.

Σημείωση 1: Όπου υπάρχουν αμφιβολίες για τη διάταξη ή και τις ρυθμίσεις, που πρέπει να υλοποιήσετε, συμβουλευτείτε τους διδάσκοντες του εργαστηρίου

Σημείωση 2: Πάντα οδηγούμε το σήμα εισόδου, που παράγεται από τη γεννήτρια κυματογράφων, πχ X, μέσω του καναλιού του καταγραφικού, πχ A, στην επιθυμητή θέση.

Συστήματα 2^{ης} τάξης

Να υλοποιήσετε τη συνδεσμολογία του διαγράμματος 1.1. Να κάνετε τις ακόλουθες ρυθμίσεις:



Διάγραμμα 1.1: Βηματική απόκριση συστημάτων δεύτερης τάξης

Στο εξομοιωμένο σύστημα:

- $K_s = 1.0$ και
- Διακόπτες PT1/I στη θέση PT1

Στη γεννήτρια κυματογράφων, X, του Profi - CASSY:

- Range -10 V...10 V
- Signal Form: DC
- V : 5.0 Volt

Στα κανάλια του καταγραφικού:

- Κανάλι A: στην είσοδο του συστήματος
- Κανάλι B: στην έξοδο του συστήματος
- Κανάλι X: στο κανάλι A του καταγραφικού

Να καταγράψετε τη βηματική απόκριση του ανοικτού συστήματος, με τη βοήθεια του διακόπτη εκφόρτισης, για $T_1 = T_2$ όταν:

- $T_1 = 1 \text{ sec}$, και
- $T_1 = 2 \text{ sec}$

Να υπολογίσετε τη συνάρτηση μεταφοράς του υπό έλεγχο συστήματος. Σε κάθε περίπτωση να υπολογίζονται οι χρόνοι T_u, T_g , και ανόδου, από τη γραφική παράσταση.

Να καταγράψετε τη βηματική απόκριση του ανοικτού συστήματος, με τη βοήθεια του διακόπτη εκφόρτισης, για $T_2 = 5 \cdot T_1$ όταν:

- $T_1 = 1 \text{ sec}$

Να υπολογίσετε τη συνάρτηση μεταφοράς του υπό έλεγχο συστήματος. Σε κάθε περίπτωση να υπολογίζονται οι χρόνοι T_u, T_g , και ανόδου από τη γραφική παράσταση.

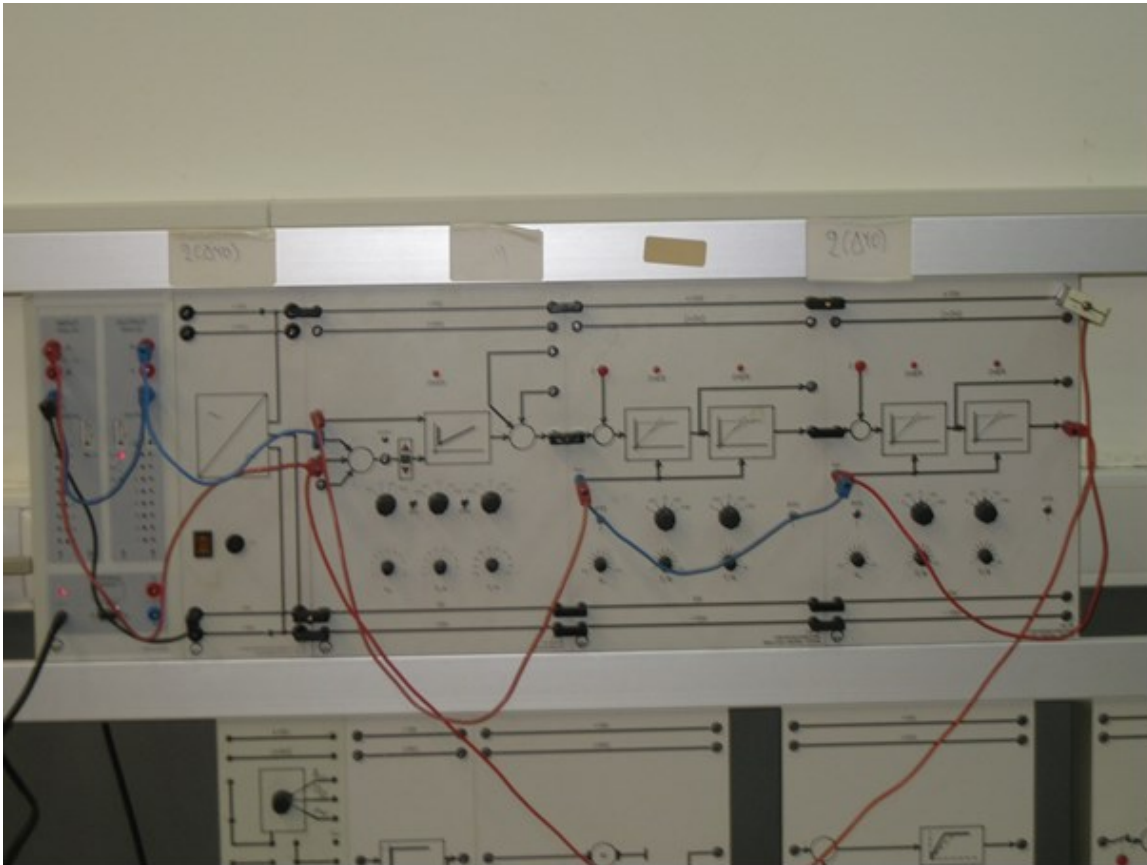
Να καταγράψετε τη βηματική απόκριση του ανοικτού συστήματος, με τη βοήθεια του διακόπτη εκφόρτισης, όταν:

- $T_1 = 0.1 \text{ sec}$ και $T_2 = 10 \text{ sec}$

Να υπολογίσετε τη συνάρτηση μεταφοράς του υπό έλεγχο συστήματος. Σε κάθε περίπτωση να υπολογίζονται οι χρόνοι T_u, T_g , και ανόδου, από τη γραφική παράσταση.

B2 . Πειραματικό μέρος ZN – CHR

Να υλοποιήσετε τη συνδεσμολογία του διαγράμματος 1.2. Να κάνετε τις ακόλουθες ρυθμίσεις:



Διάγραμμα 1.2

Στο υπό έλεγχο σύστημα, 3^{ης} τάξης:

$K_{s,1} = 1.0$, $T_1 = 2.0$ sec, διακόπτης PT1/I στο PT1, και $T_2 = 2.0$ sec, διακόπτης PT1/I στο PT1, στο πρώτο πάνελ και

$K_{s,2} = 1.0$, $T_3 = 2.0$ sec, διακόπτης PT1/I στο PT1 και $T_4 = 0.0$ sec, διακόπτης PT1/I στο PT1, στο δεύτερο πάνελ.

Στον ελεγκτή:

$K_p = 10 \times 0.1 = 1.0$,

I_{off} και

D_{off} .

Στη γεννήτρια κυματογράφων, X, του Profi - CASSY:

- Range -10 V ... 10 V
- Signal Form: DC.
- V : 5.0 Volt

Στα κανάλια του καταγραφικού:

Κανάλι A: στην έξοδο του συστήματος,

Κανάλι X: στην (+) είσοδο του ελεγκτή.

- Να υπολογίσετε τη συνάρτηση μεταφοράς του συστήματος που υλοποιήσατε. Να καταγράψετε, τη βηματική απόκριση, **του κλειστού συστήματος, με ανάδραση.**
- Να υπολογίσετε, τις τιμές των παραμέτρων $K_{p,crit}$, T_{crit} με βάση τη μέθοδο ZN2. (Αυξήστε τη τιμή του αναλογικού κέρδους του ελεγκτή, K_p , με βήμα 0.5 και επαναλάβετε το πείραμα, μέχρι να επιτύχετε μόνιμες ταλαντώσεις του ελεγχόμενου συστήματος, $K_{p,crit}$. Υπολογίστε τη περίοδο της ταλάντωσης T_{crit}).
- Να καταγράψετε τις αντίστοιχες καμπύλες, που προέκυψαν στη διαδικασία εντοπισμού και υπολογισμού των παραμέτρων $K_{p,crit}$, T_{crit} .
- Να υπολογίσετε, στο εργαστήριο, τις ρυθμίσεις ενός P, PI και PID ελεγκτή, με βάση τη μέθοδο ZN.
- Στη συνέχεια να καταγράψετε, 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 τη συνδεσμολογία του διαγράμματος 3.1. Να κάνετε τις ακόλουθες ρυθμίσεις:

Στο υπό έλεγχο σύστημα, 3^{ης} τάξης:

$K_{s,1} = 1.0$, $T_1 = 2.0$ sec, διακόπτης PT1/I στο PT1, και $T_2 = 2.0$ sec, διακόπτης PT1/I στο PT1, στο πρώτο πανέλο και

$K_{s,2} = 1.0$, $T_3 = 2.0$ sec, διακόπτης PT1/I στο PT1 και $T_4 = 0.0$ sec, διακόπτης PT1/I στο PT1, στο δεύτερο πανέλο.

Στον ελεγκτή:

$K_p = 10 \times 0.1 = 1.0$,

I_{off} και

D_{off} .

Στη γεννήτρια κυματογράφων, X, του Profi - CASSY:

- Range -10 V ... 10 V
- Signal Form: DC.
- V : 5.0 Volt

Στα κανάλια του καταγραφικού:

Κανάλι A: στην έξοδο του συστήματος,

Κανάλι X: στην είσοδο του συστήματος.

Να υπολογίσετε τη συνάρτηση μεταφοράς του συστήματος που υλοποιήσατε. 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 : $T_u = 1.7$ sec και $T_g = 6.7$ 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.

- Να υπολογίσετε, στο εργαστήριο, τις ρυθμίσεις ενός P, PI και PID ελεγκτή, για 0% υπερύψωση και set point response, με βάση τη μέθοδο CHR.

Στη συνέχεια να καταγράψετε, την απόκριση του συστήματος, με P, PI και PID ελεγκτή, για 0% 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.

2. Να υπολογίσετε, στο εργαστήριο, τις ρυθμίσεις ενός P, PI και PID ελεγκτή, για 20% υπερύψωση και set point response, με βάση τη μέθοδο CHR. Στη συνέχεια να καταγράψετε, 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.

Παρατήρηση. Μετρήσεις παίρνονται μόνο μετά από πλήρη εκφόρτιση του συστήματος είτε με χρήση του διακόπτη toggle switch είτε κλείνοντας τη τροφοδοσία για όσο χρειάζεται.

Γ. Επεξεργασία των αποτελεσμάτων - Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων

Η εργαστηριακή αναφορά, 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 κλπ) της απόκρισης.
- Επιβεβαίωση – Έλεγχος παραμέτρων, όπου είναι δυνατό.

Παρακάτω δίνονται δυο παραδείγματα, του τι πρέπει να περιέχει η εργαστηριακή αναφορά, εκτός από τις μετρήσεις:

A. Απόκριση ανοικτού συστήματος:

- Υπολογισμός συνάρτησης μεταφοράς του υπό έλεγχο συστήματος,
- Υπολογισμοί των τριών παραμέτρων του υπό έλεγχο συστήματος
- Υπολογισμός ισοδυνάμου δευτεροβαθμίου του υπό έλεγχο συστήματος – Σχολιασμός
- Υπολογισμός τάξης του συστήματος – Σχολιασμός

B. Απόκριση κλειστού συστήματος με ή χωρίς PID ελεγκτή και μέθοδο την ZN ή την CHR (0 % ή 20%)

Πρέπει να περιέχονται, τουλάχιστον:

Υπολογισμός συναρτήσεων μεταφοράς του ελεγκτή, του υπό έλεγχο συστήματος καθώς και της συνολικής συνάρτησης μεταφοράς.

Υπολογισμοί των παραμέτρων (χρόνος ανόδου, ποσοστό υπερύψωσης, χρόνος αποκατάστασης). Σύγκριση με τις αντίστοιχες παραμέτρους στην απόκριση του ανοικτού συστήματος, του κλειστού συστήματος χωρίς ελεγκτή, του κλειστού συστήματος με P, PI, PID ελεγκτή.

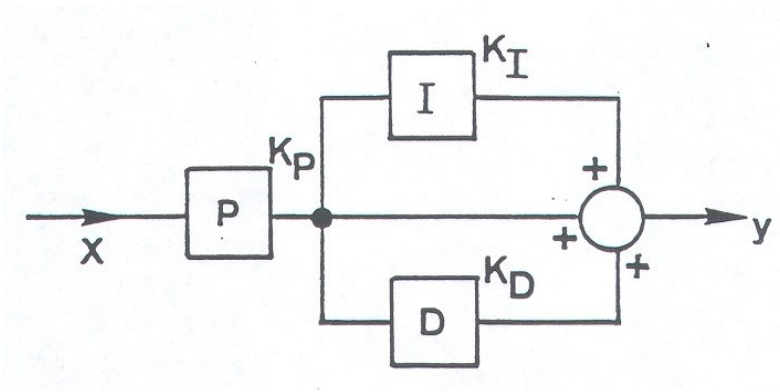
- Σχολιασμός, σε κάθε περίπτωση, της καταλληλότητας του ελεγκτή και της αποτελεσματικότητας της μεθόδου. Σύγκριση με άλλες μεθόδους και ελεγκτές.
- Σχολιασμός για τη κατάλληλη μέθοδο και το κατάλληλο ελεγκτή.

Να σχολιάσετε, ανά μέτρηση, όσο πιο αναλυτικά μπορείτε, τα αποτελέσματα στο πειραματικό μέρος.

Δ. Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων εξομοίωσης.

1. Να σχολιάσετε - δικαιολογήσετε, ανά μέτρηση, όσο πιο αναλυτικά μπορείτε, τυχόν διαφορές ή ομοιότητες μεταξύ των αποτελεσμάτων προσωμείωσης με Matlab στο θεωρητικό μέρος και των πειραματικών αποτελεσμάτων στο πειραματικό μέρος.

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.