# ΣΧΟΛΗ Η.Μ.Μ.Υ
# ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

## ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

Δ/ντης: Καθηγητής Μιχάλης Ζερβάκης

Διδάσκοντας: Επ. Καθηγητής Ν. Μπεκιάρης
-Λυμπέρης

Ε.ΔΙ.Π. Μανόλης Ντουντουνάκης

ΣΥΣ201

1η ΑΣΚΗΣΗ

(Εργαστήριο)

## Technical Details

CASSY-Interfaces and CASSY Lab 2

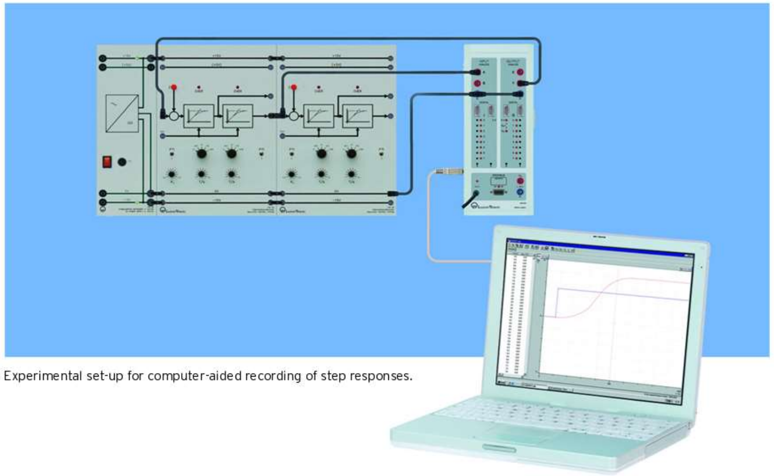
The CASSY family consists of various hardware components
and the dedicated software package CASSY Lab 2.

**CASSY Lab 2**

CASSY Lab 2 is a modern 32-bit software, applicable for Windows XP/Vista/7 with the following features:

- Data recording
- Multimeter
- Oscilloscope
- XY-plotter
- FFT-analysis
- Variety of evaluation aids
- Export of measurement data and diagrams.

- Πειραματική μελέτη – εξοικείωση στην απόκριση σε πρότυπες εισόδους των ευσταθών ΓΧΑ συστημάτων πρώτης και δεύτερης τάξης,
- Πειραματική μελέτη – εξοικείωση στα χαρακτηριστικά της βηματικής απόκρισης των ευσταθών ΓΧΑ συστημάτων.



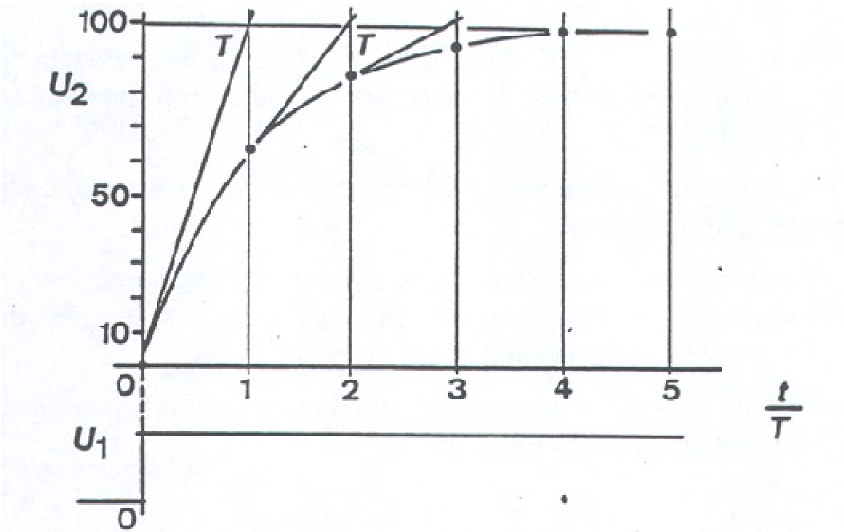
Experimental set-up for computer-aided recording of step responses.

# Ευσταθή συστήματα με πόλους, ένα η περισσότερους, πραγματικούς και αρνητικούς (Διακόπτες PT1/I στη θέση PT1)

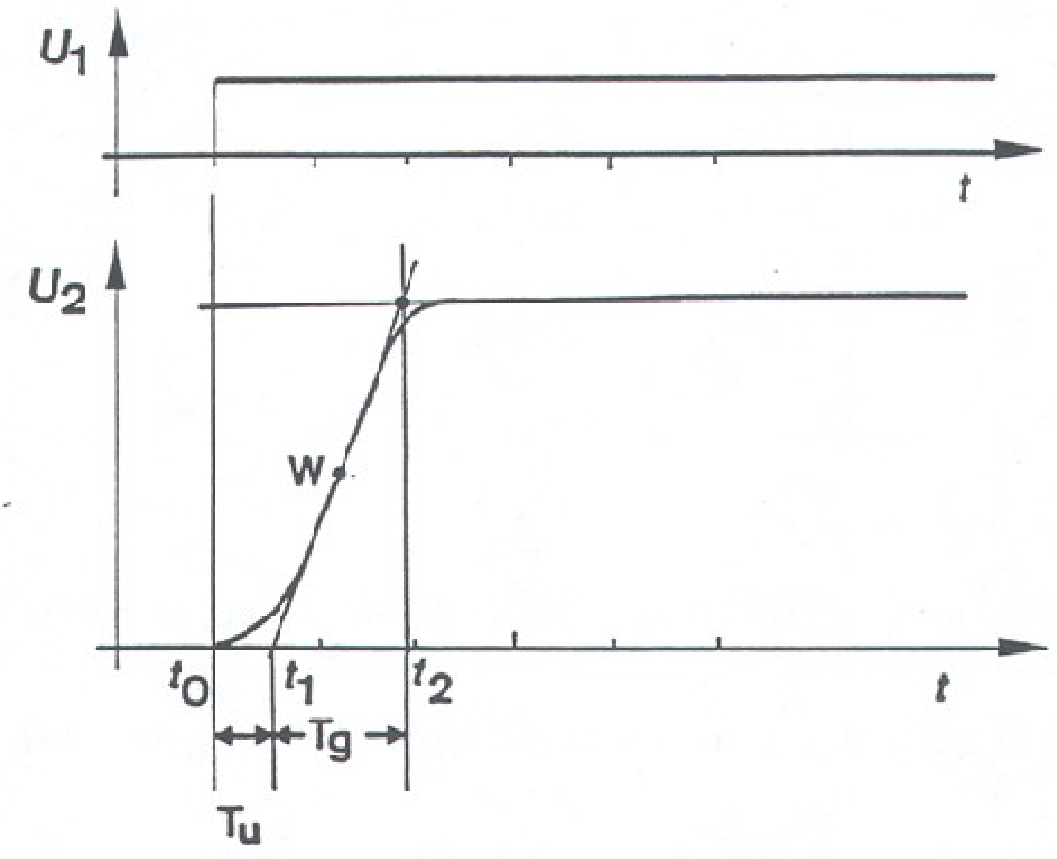
$$H(s)=K_s\frac{1}{T_1s+1}\frac{1}{T_2s+1}\ldots \qquad T_i\in R^+,\ i\in N$$

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

**Βηματική απόκριση συστήματος με μνήμη πρώτης τάξης**

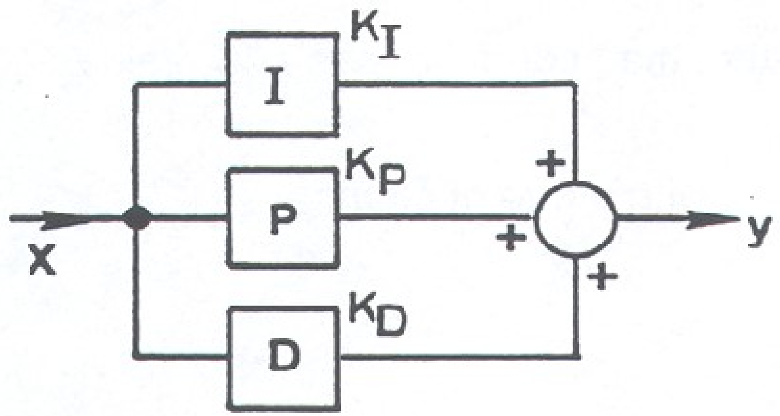


# Βηματική απόκριση συστήματος με μνήμη μεγαλύτερης τάξης

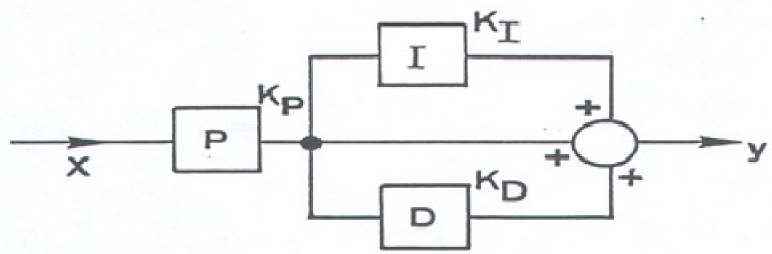


# PID ελεγκτής

**Παράλληλη συνδεσμολογία PID ελεγκτή**



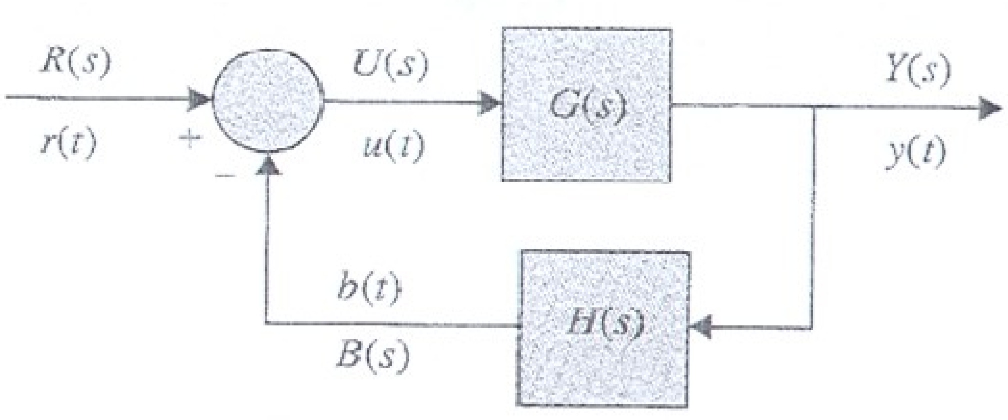

**Σειριακή διαμόρφωση PID ελεγκτή**



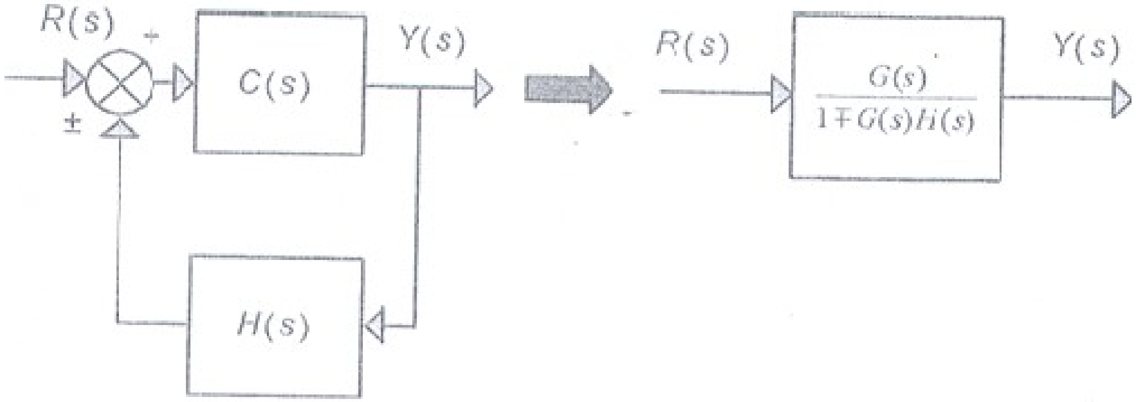
# Πάνελ (ΙΙ)

- Πειραματική μελέτη της δράσης ενός P ελεγκτή σε ευσταθή ΓΧΑ συστήματα
- Δράση P, PI, PD, PID ελεγκτή σε ευσταθή ΓΧΑ συστήματα

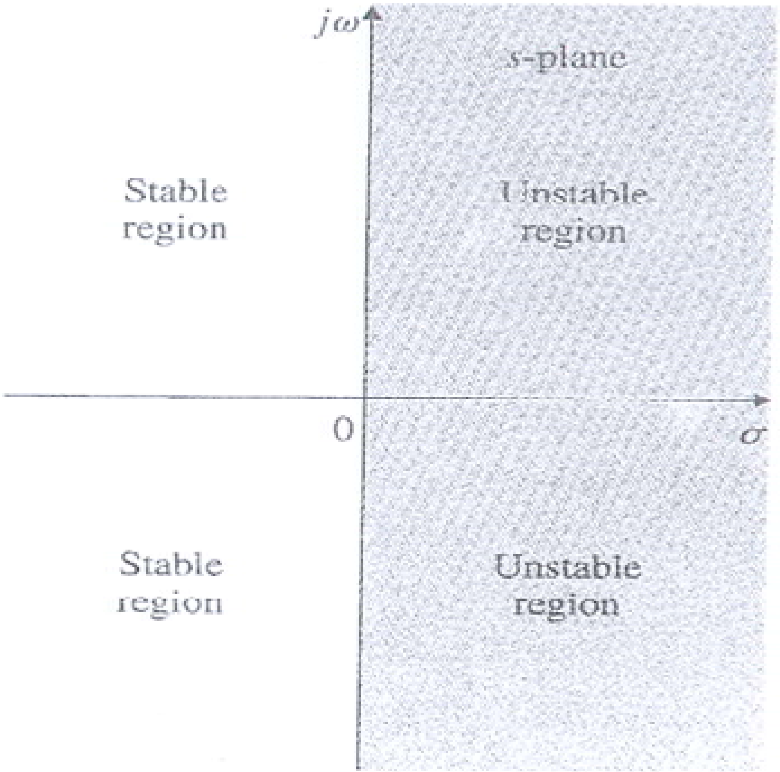
# Κλειστό Σύστημα Ελέγχου



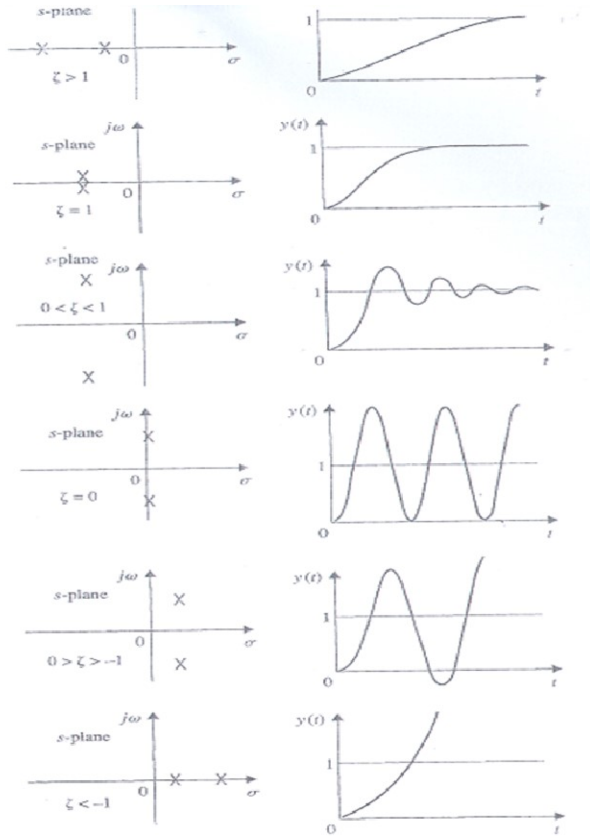
# Τρόπος απλοποίησης συστημάτων κλειστού βρόγχου



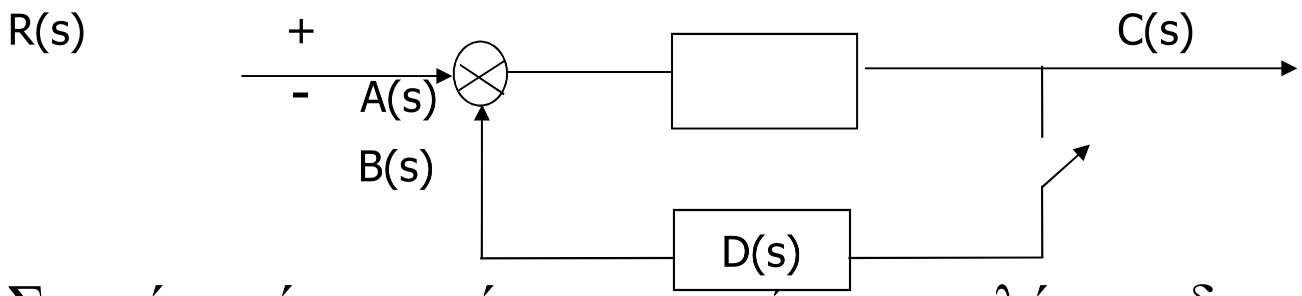
# Περιοχές ευστάθειας και αστάθειας στο S - επίπεδο



# Βηματική απόκριση του συστήματος δεύτερης τάξης για τις διάφορες θέσεις των ριζών στο S-επίπεδο



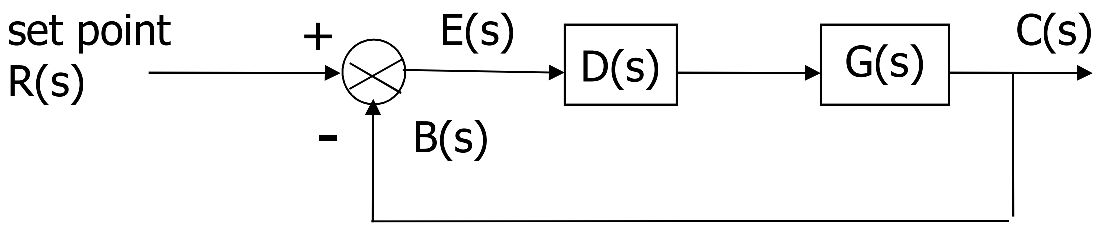
# Σύστημα Ελέγχου Διεργασίας




Σκοπός ενός συστήματος αυτόματου ελέγχου διεργασίας είναι να διατηρεί σταθερή την έξοδό του σε επίδραση διαταραχών (απορρίπτει τις διαταραχές που οφείλονται σε μεταβολές του φορτίου κλπ.)

Η συνολική συνάρτηση μεταφοράς με αρνητική ανάδραση είναι:

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1+G(s)D(s)}$$




- Ο ελεγκτής ενεργοποιείται σύμφωνα με την ύπαρξη ή όχι σφάλματος: σφάλμα(e) = set point R(s) – B(s) μεταβλητή διεργασίας
- Συνάρτηση μεταφοράς κλειστού βρόγχου:

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G(s)D(s)}{1 + G(s)D(s)}$$

# Διαδικασία σχεδίασης

Μια προτεινόμενη μέθοδος σχεδίασης δίνεται ως ακολούθως:

**<u>Προδιαγραφές καλής απόδοσης</u>**

Εννοιολογικός σχεδιασμός

Μαθηματική μοντελοποίηση

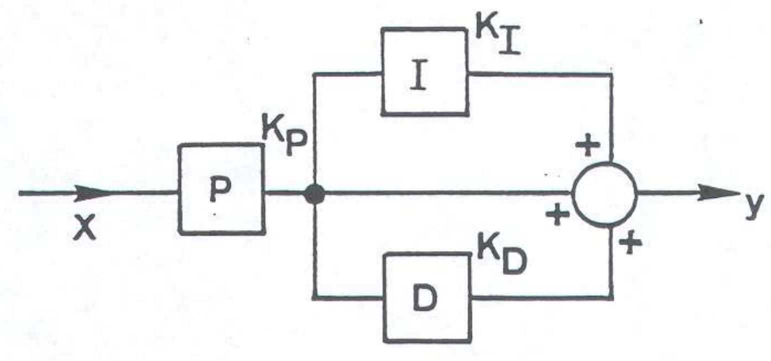
Εγκυρότητα μοντέλου και αναγνώριση μοντέλων

Ανάλυση του μαθηματικού μοντέλου

**Τροποποίηση και επαναλήψεις**

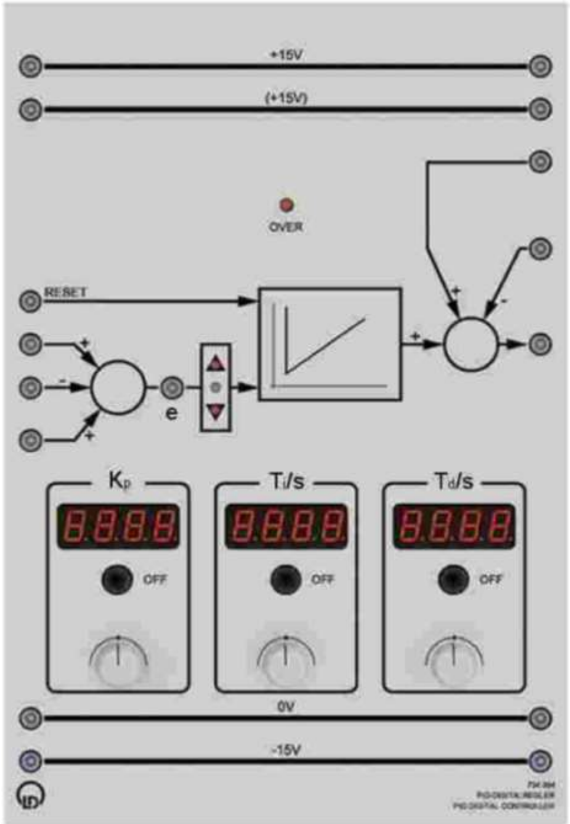
**Κατασκευή και έλεγχος**

# PID ελεγκτής (73406)

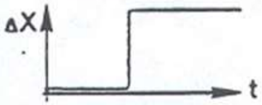
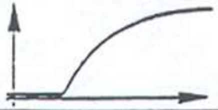
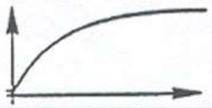
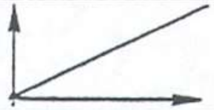
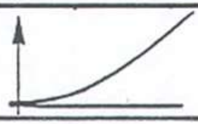



# Digital PID ελεγκτής (734064)

734 061 PID Controller is also possible



# Επιλογή είδους ελεγκτή

| Controlled system step response | Primary controlled variables | Applicable controllers | Inapplicable controllers |
|---|---|---|---|
|   | Flow-through transport | I , PI | P , PD , PID |
|  | Mixture | I, PI , PID | P , PD |
|  | Pressure | P , PI | I |
|  | Fluid level | P reference<br>PI disturbance | I ! |
|  | Level course | PD reference<br>PID disturbance | I ! |

| | Controller | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Controlled system** | P | I | PI | PD | PID |
| net dead time | | | + | | |
| P element | | + | + | | |
| PT1 with little dead time | + | + | + | + | ++ |
| PT2 with little dead time | + | | + | | ++ |
| Higher order system | | | | | ++ |
| I element and delay | + | | + | ++ | ++ |

+: appropriate controller type
++: particularly appropriate controller type

# Μέθοδος Zeigler-Nichols

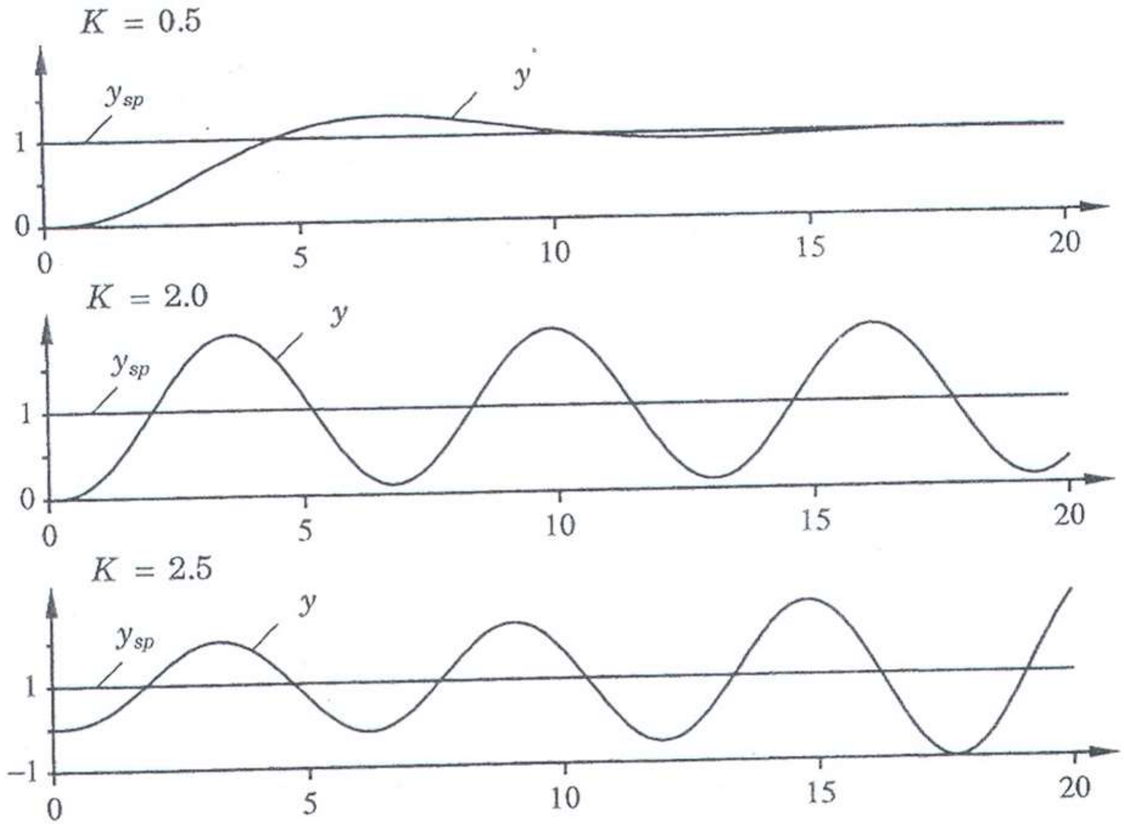
- Οι παράμετροι των όρων ολοκλήρωσης και διαφόρισης τοποθετούνται στη χαμηλότερη δυνατή τιμή (δηλαδή τα $T_i$, $T_d = 0$) και το κέρδος $K_c$ αυξάνεται σταδιακά μέχρι να παρατηρηθεί ταλάντωση σταθερού εύρους στην έξοδο
- Το κέρδος σε αυτή την περίπτωση αντιστοιχεί στο $K_p$ ενώ η περίοδος είναι $T_o$ και στη συνέχεια από τις παρακάτω εξισώσεις υπολογίζονται οι παράμετροι του ελεγκτή PID

| | | |
|---|---|---|
| **PID**: | $K_p = 0.6K_{\kappa\rho.}$ <br> $K_i = 2K_p/T_o$ <br> $K_d \geq 0.125K_pT_o$ | $K_c = 0.6K_{\kappa\rho.}$ <br> $T_i = 0.5T_o = T_o/2$ <br> $T_d = 0.125T_o = T_o/8$ |
| **PI:** | $K_p = 0.45K_{\kappa\rho.}$ <br> $K_i \leq 1.2K_p/T_o$ | $K_c = 0.45K_{\kappa\rho}$ <br> $T_i = 0.83T_o = T_o/1.2$ |
| **P:** | $K_p = 0.5K_{\kappa\rho.}$ | |

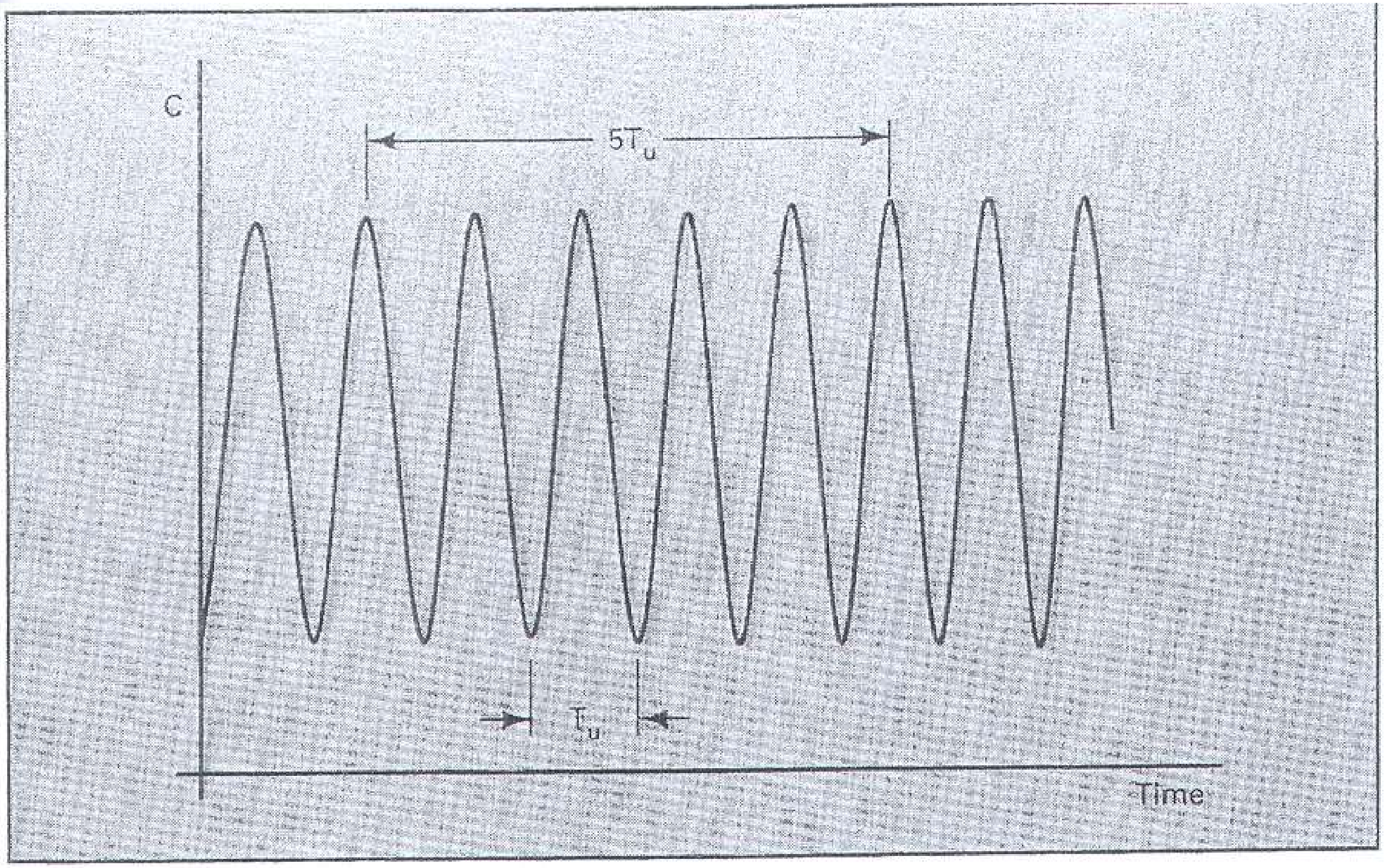
# ZN

1. Καταγράφουμε τη βηματική απόκριση του κλειστού συστήματος με μοναδιαία ανάδραση χωρίς δράση ελεγκτή (Kp=1, I off, D off)
2. Αυξάνουμε σταδιακά το κέρδος του P ελεγκτή (I off, D off) μέχρι να έχουμε μόνιμες ταλαντώσεις και υπολογίζω τις παραμέτρους Kp,crit, Tcrit
3. Επιλέγουμε το είδος του κατάλληλου ελεγκτή με βάση τις προδιαγραφές (P, PI, PD, PID)
4. Από πίνακες υπολογίζουμε τις ρυθμίσεις του κατάλληλου ελεγκτή
5. Καταγράφουμε τη βηματική απόκριση του κλειστού συστήματος με τον κατάλληλο ελεγκτή ρυθμισμένο. Συγκρίνουμε με 1
6. Fine-tuning

# Διαδικασία υπολογισμού παραμέτρων ZN (1)



# Διαδικασία υπολογισμού παραμέτρων ZN (2)

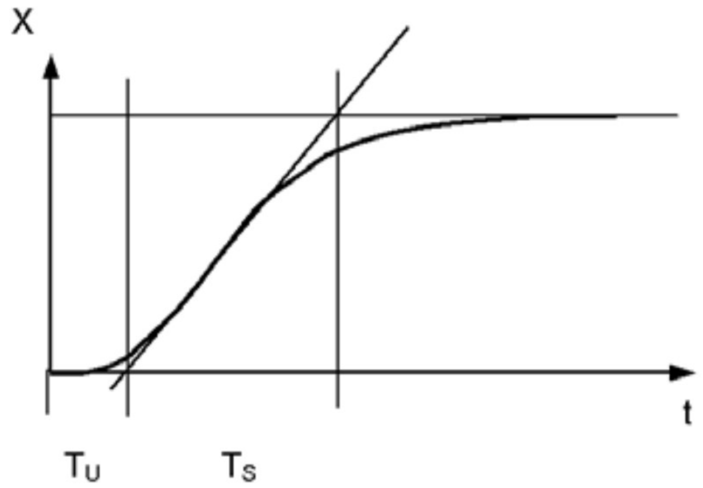


# Πινάκας υπολογισμού παραμέτρων ελεγκτή

| Ελεγκτής | K | $T_i$ | $T_d$ |
|---|---|---|---|
| **P** | 0.5 $K_{p,crit}$ | | |
| **PI** | 0.4 $K_{p,crit}$ | 0.8 $T_{crit}$ | |
| **PID** | 0.6 $K_{p,crit}$ | 0.5 $T_{crit}$ | 0.125 $T_{crit}$ |

# CHR

Ο υπολογισμός του μοντέλου της αγνώστου διεργασίας μπορεί να υπολογιστεί όταν είναι γνωστή η μεταβατική χρονική απόκριση της μεταβλητής εξόδου C(s) σε βηματική μεταβολή της εισόδου R(s) (**ΑΝΟΙΚΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ**)



# CHR (1)

- Καταγράφουμε τη βηματικη απόκριση του ανοικτού συστήματος χωρίς δράση ελεγκτή και υπολογίζουμε τις παραμέτρους K, Tu, Tg
- Επιλέγουμε το είδος του κατάλληλου ελεγκτή με βάση τις προδιαγραφές (P, PI, PD, PID)
- Επιλέγουμε, με βάση τις προδιαγραφές, το επιθυμητό ποσοστό υπερύψωσης (0%, 20%) και το στόχο του έλεγχου (set point response, disturbance)
- Από πίνακες υπολογίζουμε τις ρυθμίσεις του κατάλληλου ελεγκτή
- Καταγράφουμε τη βηματικη απόκριση του κλειστού συστήματος με τον κατάλληλο ελεγκτή ρυθμισμένο
- Fine-tuning

# Παράμετροι ελεγκτή με τη μέθοδο CHR για load disturbance response

| 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** | $\frac{0.6}{K}\frac{T_g}{T_u}$ | $4T_u$ | | $\frac{0.6}{K}\frac{T_g}{T_u}$ | $2.3\ T_u$ | |
| **PID** | $\frac{0.95}{K}\frac{T_g}{T_u}$ | $2.4\ T_u$ | $0.42\ T_u$ | $\frac{1.2}{K}\frac{T_g}{T_u}$ | $2.0\ T_u$ | $0.42\ T_u$ |

# Παράμετροι ελεγκτή με τη μέθοδο CHR για setpoint response

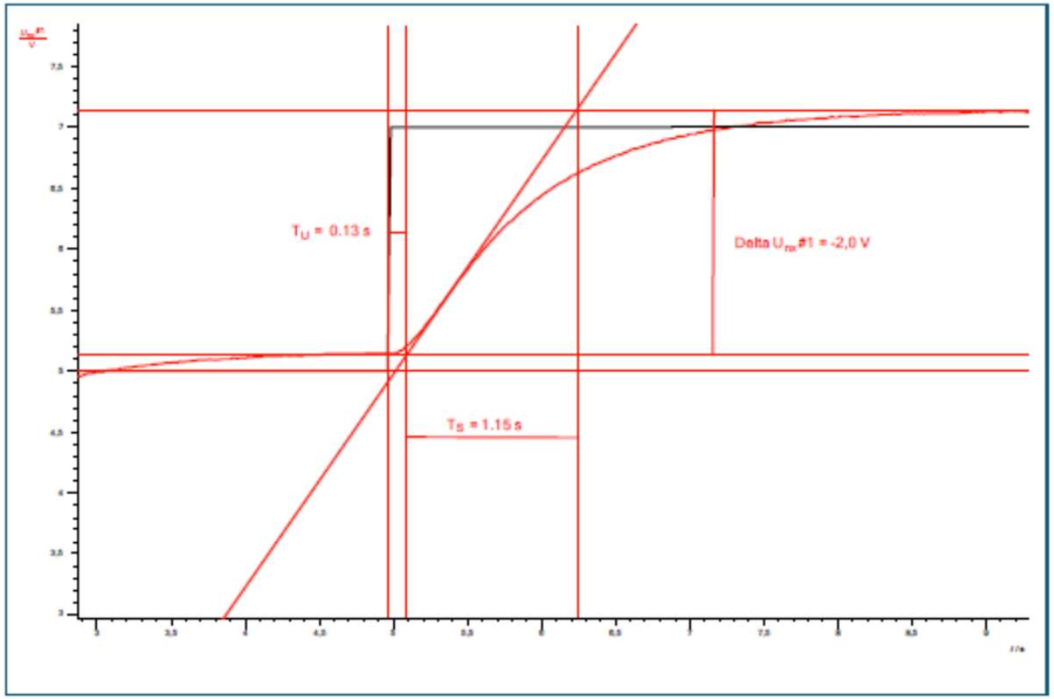
| Overshoot | 0% | | | 20% | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Ελεγκτής** | K | $T_i$ | $T_d$ | K | $T_i$ | $T_d$ |
| **P** | $\frac{0.3}{K}\frac{T_g}{T_u}$ | | | $\frac{0.7}{K}\frac{T_g}{T_u}$ | | |
| **PI** | $\frac{0.35}{K}\frac{T_g}{T_u}$ | 1.2 $T_g$ | | $\frac{0.6}{K}\frac{T_g}{T_u}$ | $T_g$ | |
| **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 $T_u$ |

# Απλοποιημένο Δευτεροβάθμιο Σύστημα

Analysis of the step response

| | | |
|---|---|---|
| $K_S =$ | $T_S =$ | $T_U =$ |
| $K_S = \frac{\Delta U_{ux}}{\Delta U_{IN}}$ | $T_1 = \frac{T_S}{e} \approx 0{,}37 T_S$ | $T_2 = \frac{T_U}{3-e} \approx 3{,}33 T_U$ |
| | $T_1 =$ | $T_2 =$ |

**Unladen Motor: Z = 0 V**




Determination of the system gain: $K_S = \frac{\Delta U_{nx}}{\Delta U_{IN}}$ -> $K_S = \frac{2.00}{2.00} = 1$

The time constants are determined with the tangent at the inflection point: $T_U = 0.13$ *sec* $T_S = 1.15$ *sec.*

A substituted system of n similar PT1 elements is determined by $T_U$ and $T_S$.

| | | |
|---|---|---|
| $K_S = 1$ | $T_S = 1.15$ sec | $T_U = 0.13$ sec |
| $K_S = \frac{\Delta U_{nx}}{\Delta U_{IN}}$ | $T_1 = \frac{T_S}{e} \approx 0{,}37 T_S$ | $T_2 = \frac{T_U}{3-e} \approx 3{,}33 T_U$ |
| | $T_1 = 0.43$ sec | $T_2 = 0.43$ sec |
| $n \approx \frac{T_U}{T_S} 10 + 1$ | n = 2 | |

# MATLAB

Για τον υπολογιστικό μέρος συστήνεται η χρήση της εργαλειοθήκης control του πακέτου Matlab. Παρατίθενται πηγές:

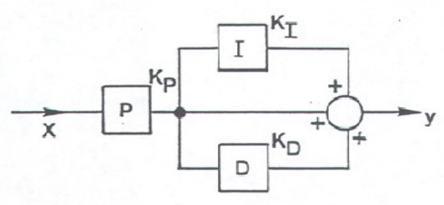
& 2.9, 3.9, 4.9, 5.10, 6.6, 7.9, 8.7, 9.10, 10.13, 11.10, 12.10, Σύγχρονα συστήματα αυτόματου ελέγχου / Richard C. Dorf, Robert H. Bishop; επιμέλεια μετάφρασης Γεώργιος Α. Ροβιθάκης; μετάφραση Κωφίδης Νικόλαος. Δημοσίευση Θεσσαλονίκη : Τζιόλα, c2017.

http://ctms.engin.umich.edu/CTMS/index.php?aux=Home

https://www.mathworks.com/help/control/index.html

http://techteach.no/publications/control_system_toolbox/

# 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(Kp,Ti,Td).

Εναλλακτικά υλοποιείται με το apps PID Tuner, Form Standard.

# Συνήθη λάθη

- Λάθος επιλογή συνάρτησης
- Λάθος χρήση συνάρτησης (Λάθος παραδοχές)
- Εσφαλμένη επιλογή χώρου παρατήρησης