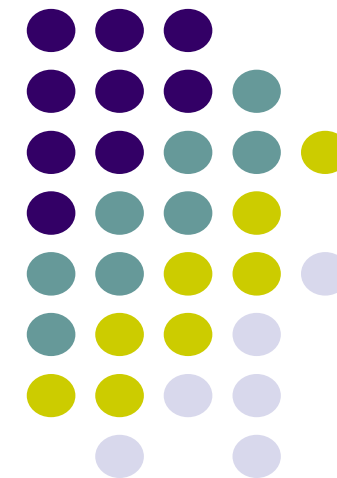


Δυναμική & Ρύθμιση Διεργασιών

Διάλεξη 20:
συστοιχία ρυθμιστών
Ρυθμιστές πρόδρασης/ανάδρασης

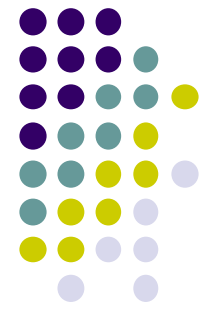


Βήματα της Ρύθμισης Διεργασιών, μέρος Β

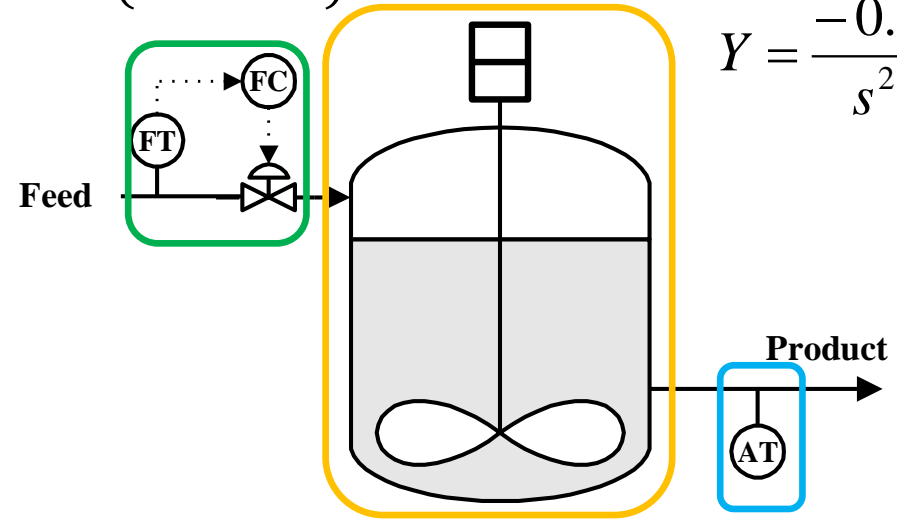


1. Καθορίστε τη διαδικασία που εξετάζεται
2. Ανάλυση Διεργασίας
3. **Σύνθεση δομής ελέγχου**
 - a. Διατύπωση της ερώτησης ελέγχου
 - b. Προσθήκη ενεργοποιητών/αισθητήρων στην περιγραφή
 - c. **Κατασκευή των ρυθμιστών**
 - d. Κατασκευή των παρατηρητών
 - e. **Ανάλυση κλειστού βρόγχου**
 - f. **Βαθμονόμηση ρυθμιστών**
 - g. Βαθμονόμηση παρατηρητών
 - h. Αναδιατύπωση του ερωτήματος ελέγχου και επιστροφή στο [e]
 - i. Διασφάλιση ασφαλούς λειτουργίας και πρόσθεση συναγερμών
4. Έκδοση μελέτης και εγχειριδίου λειτουργίας
 - a. Περιγραφή συστήματος ρύθμισης
 - b. Συστάσεις και σημεία προσοχής

Διάγραμμα βαθμίδων: ΑΣΑ και εξοπλισμός

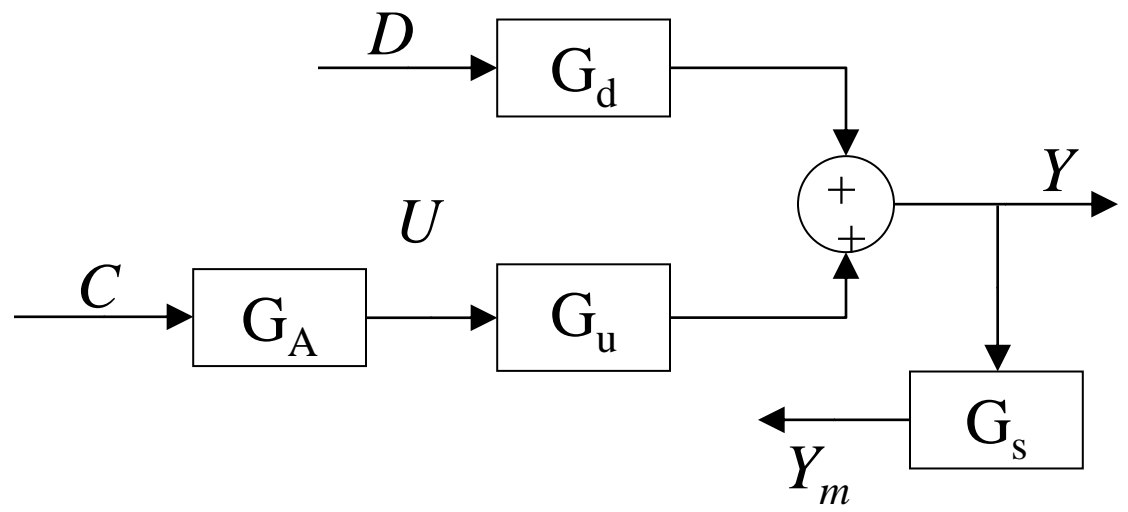


$$U(s) = \frac{1}{(0.5s + 1)} C(s)$$



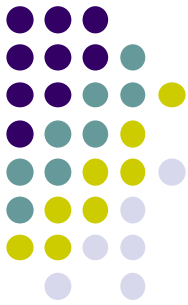
$$Y = \frac{-0.0011s + 0.001842}{s^2 + 4.006s + 3.502} U + \frac{0.4101}{s^2 + 4.006s + 3.502} D$$

$$Y_m(s) = \frac{1}{(0.33 + 1)} Y(s)$$



$$Y_m = \frac{1}{(0.33s + 1)} \frac{-0.0011s + 0.001842}{s^2 + 4.006s + 3.502} \frac{1}{(0.5s + 1)} C(s) + \frac{1}{(0.33s + 1)} \frac{0.4101}{s^2 + 4.006s + 3.502} D$$

Μοντέλο Ρυθμιστή PID με φίλτρο



Για ένα ρυθμιστή τύπου PID,

$$c(t) = c_0 + K_c \left[e_f(t) + \frac{1}{\tau_I} \int_0^t e_f(t) dt + \tau_D \frac{de_f}{dt}(t) \right]$$

$$\tau_f \frac{de_f}{dt} = e - e_f$$

$$C(s) = \frac{K_c}{\tau_f s + 1} \left[1 + \frac{1}{\tau_I s} + \tau_D s \right] E(s)$$

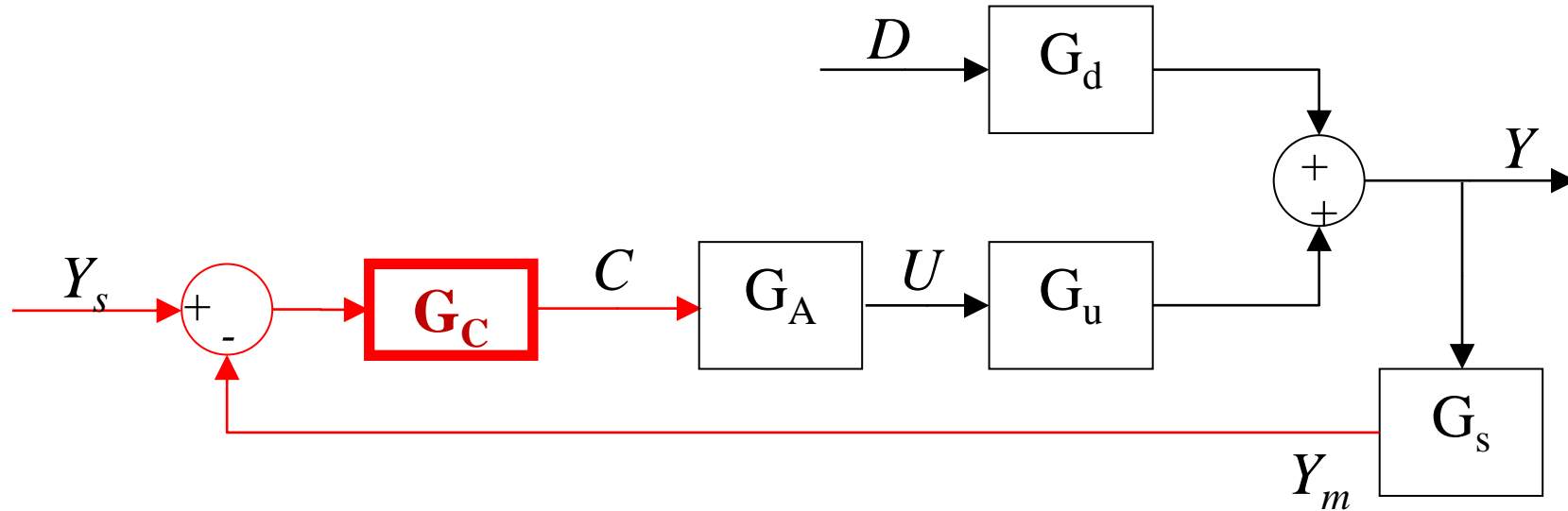
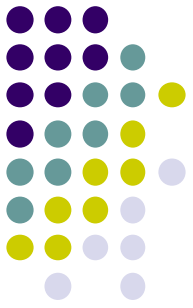
$$= K_c \frac{\tau_I \tau_D s^2 + \tau_I s + 1}{\tau_f \tau_I s^2 + \tau_I s} E(s)$$

- όπου:
- K_c = Ενίσχυση ρυθμιστή
 - e = Ρυθμιστική απόκλιση (set point **μείον** μετρούμενη τιμή)
 - τ_i = Χρονική σταθερά ολοκληρωτικού όρου
 - τ_d = Χρονική σταθερά διαφορικού όρου
 - τ_f = Χρονική σταθερά φίλτρου

Η έξοδος του ρυθμιστή είναι ανάλογο με το σφάλμα, το ολοκλήρωμα στο χρόνο του σφάλματος και τον ρυθμό μεταβολής του σφάλματος.

K_c , τ_i , τ_d και τ_f είναι οι παράμετροι του ρυθμιστή που καθορίζει ο χειριστής.

Κατασκευή ρυθμιστή ανάδρασης



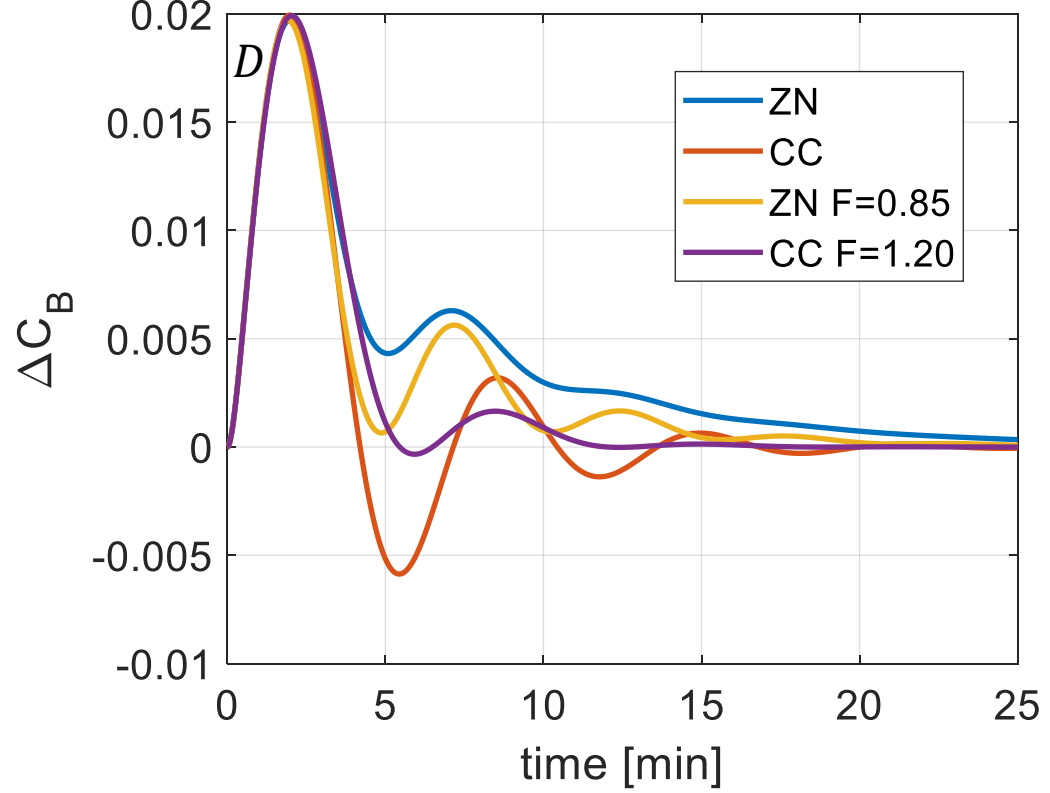
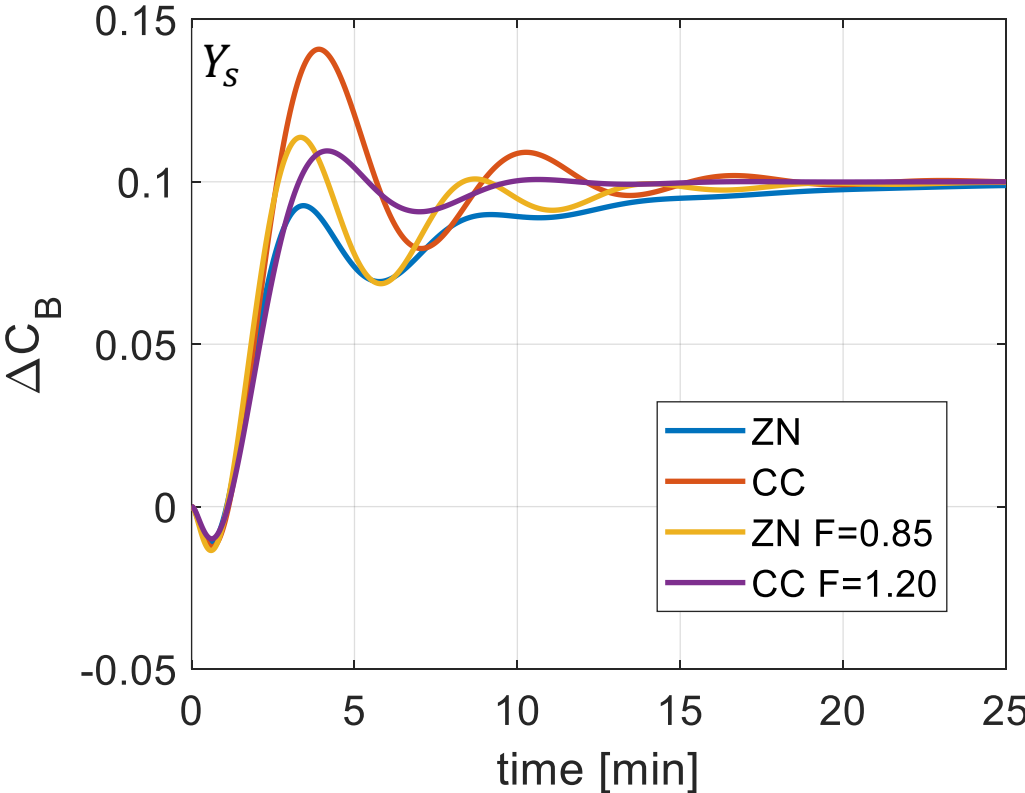
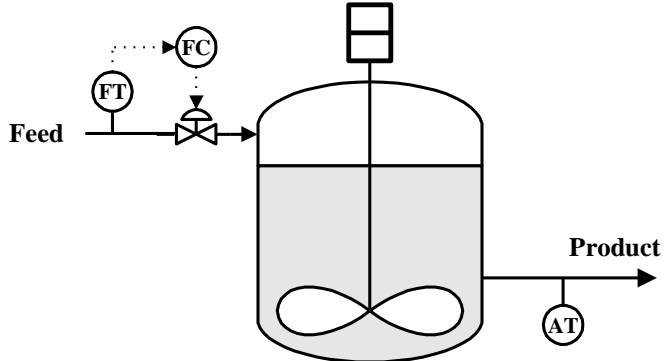
$$\frac{Y(s)}{D(s)} = \frac{G_d(s)}{G_u(s)G_a(s)\mathbf{G_c(s)}G_s(s) + 1}$$

$$\frac{Y(s)}{Y_s(s)} = \frac{G_u(s)G_a(s)G_c(s)}{G_u(s)G_a(s)\mathbf{G_c(s)}G_s(s) + 1}$$

- Πρόβλημα εξυπηρέτησας
- Στόχος: Η συνάρτηση μεταφοράς Y/Y_s έχει επιθυμητά χαρακτηριστικά
- Χρήση τυπικού ρυθμιστή
 - Βαθμονόμηση ρυθμιστή: Τιμές παραμέτρων ρυθμιστή.
 - Ανοικτές μέθοδοι (Responce curves & CC, ZN, TL, κτλ)
 - Κλειστές μέθοδοι. (ATV, F)

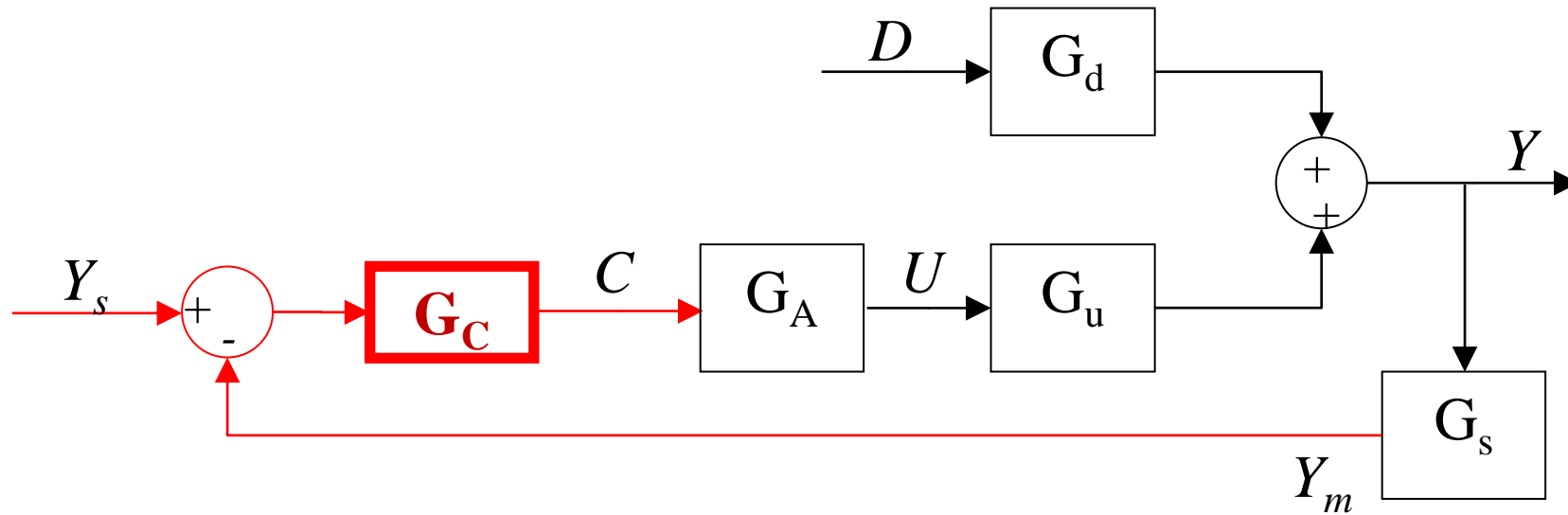
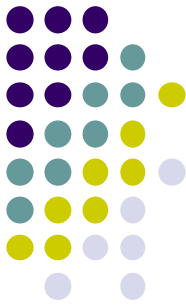
ΑΣΑ και Ανάδραση

10% βηματική αλλαγή σε



$$Y_m = \frac{1}{(0.33s + 1)} \frac{-0.0011s + 0.001842}{s^2 + 4.006s + 3.502} \frac{1}{(0.5s + 1)} C(s) + \frac{1}{(0.33s + 1)} \frac{0.4101}{s^2 + 4.006s + 3.502} D$$

Κατασκευή ρυθμιστή ανάδρασης



$$\frac{Y(s)}{D(s)} = \frac{G_d(s)}{G_u(s)G_a(s)\mathbf{G_c(s)}G_s(s) + 1}$$

$$\frac{Y(s)}{Y_s(s)} = \frac{G_u(s)G_a(s)G_c(s)}{G_u(s)G_a(s)\mathbf{G_c(s)}G_s(s) + 1}$$

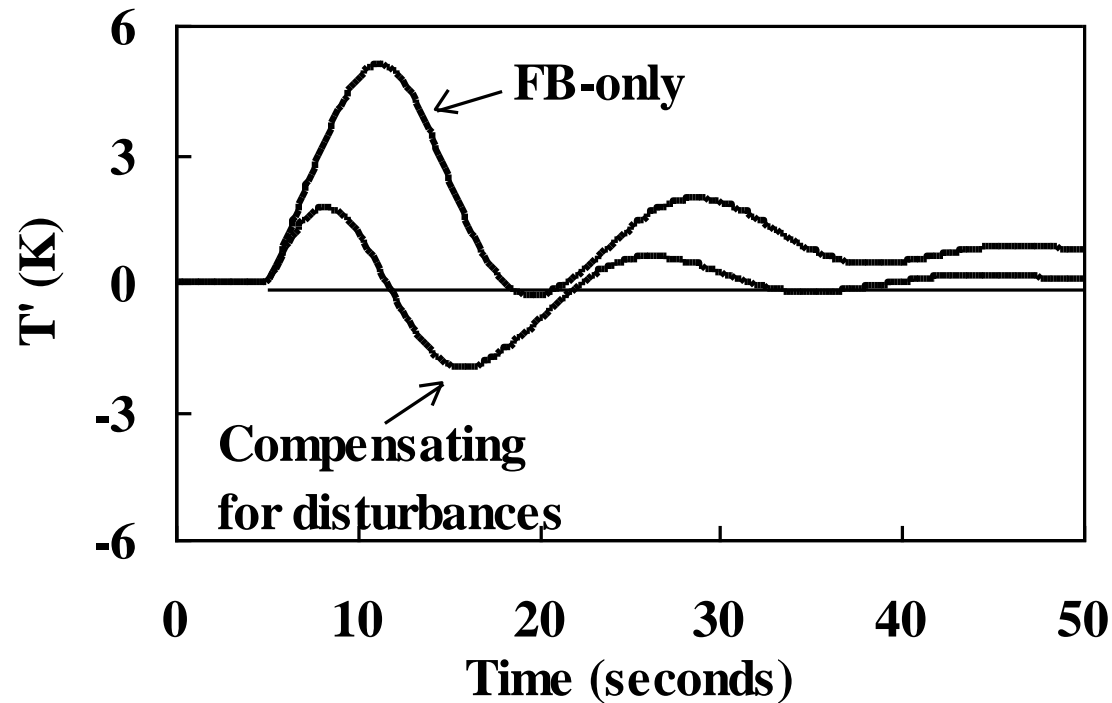
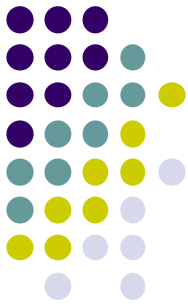
- Πρόβλημα εξυπηρέτησας
- Στόχος: Η συνάρτηση μεταφοράς Y/Y_s έχει επιθυμητά χαρακτηριστικά
- Χρήση τυπικού ρυθμιστή και βαθμονόμηση ρυθμιστή.
- Βελτίωση της απόδοσης της ρύθμισης;
 - Καλύτερη λύση του προβλήματος απορρίψεως
 - Επιτάχυνση της απόκρισης του κλειστού βρόχου
- **Αλλαγή της δομής ρύθμισης**

Ρύθμιση συστοιχίας, πρόδρασης, λόγου

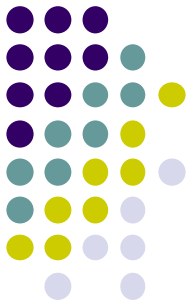


- Κάθε μία από τις τεχνικές προτείνει πλεονεκτήματα για το πρόβλημα φορτίου:
 - Η συστοιχία μειώνει την επίδραση συγκεκριμένων διαταραχών.
 - Αργές διεργασίες
 - Ο λόγος ελαττώνει την επίδραση των διαταραχών σε ρυθμούς ροής
 - Η πρόδραση είναι μια γενική μεθοδολογία για την αντιστάθμιση μετρούμενων διαταραχών.
- **Απαιτούν περισσότερο εξοπλισμό από ένα σύστημα ανάδρασης.**

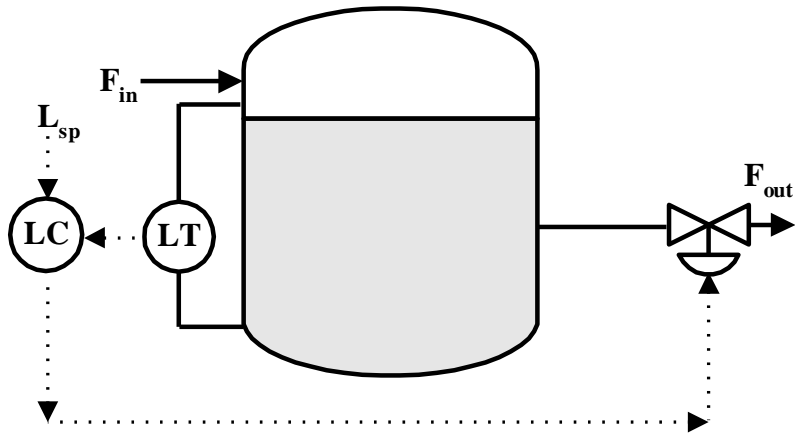
Η αντιστάθμιση των διαταραχών ελαττώνει απόκλιση ρύθμισης και χρόνο απόκρισης



Ρύθμιση στάθμης υγρού σε δεξαμενή



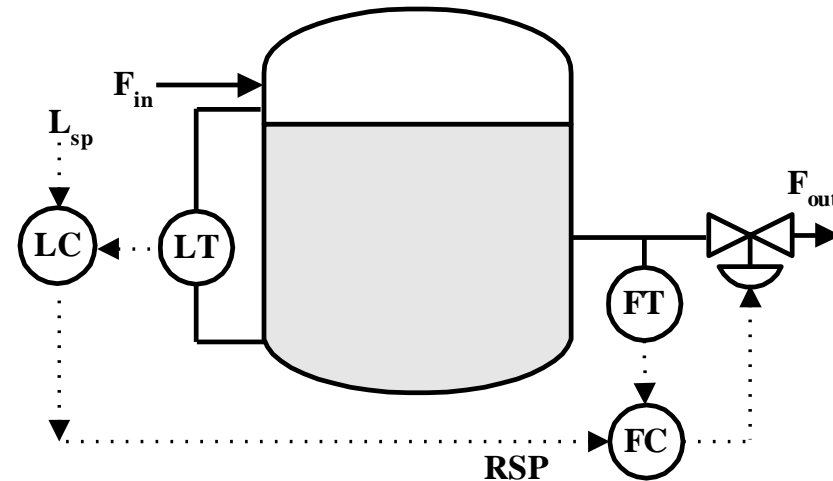
Σύστημα ανάδρασης



- Ένας βρόχος

- Ένας ρυθμιστής
 - Συνδέεται με την βάννα
- Ένας αισθητήρας
 - Μέτρηση στάθμης
- Ένα σημείο ρύθμισης

Σύστημα συστοιχίας



- Δύο βρόχοι

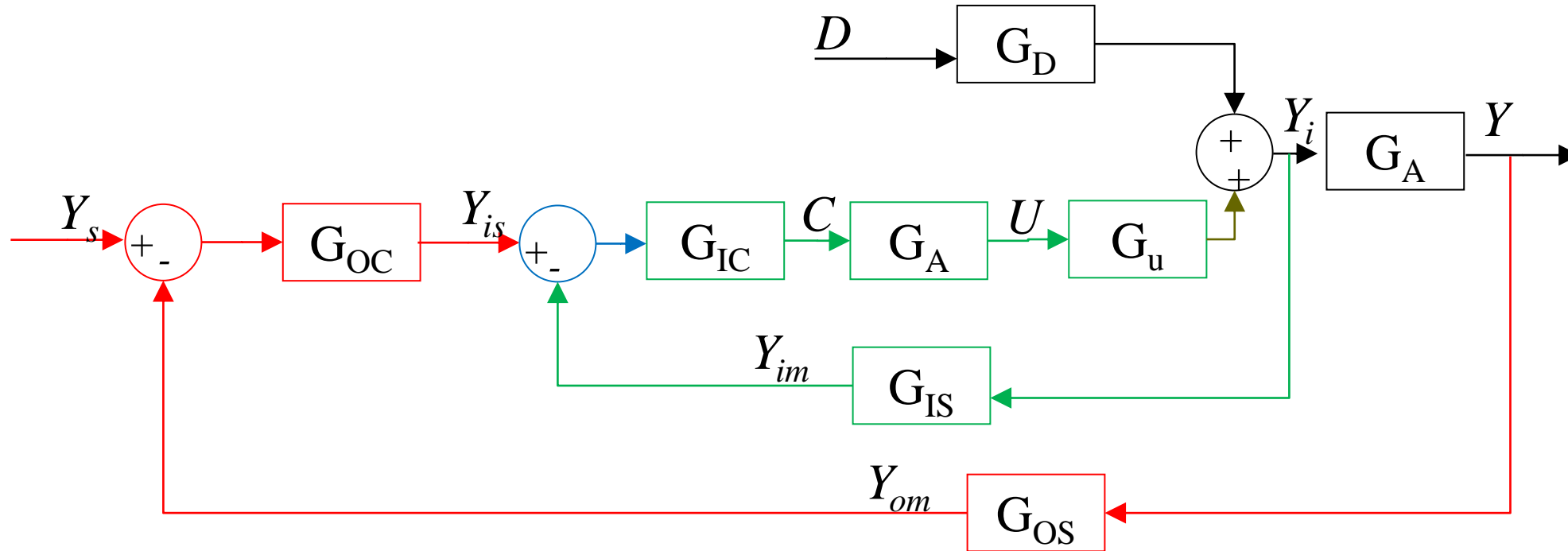
- Ο δευτερεύον βρόχος συνδέεται με την βάννα
 - Έξτρα ρυθμιστής
 - Έξτρα αισθητήρας ρυθμού ροής
 - Στόχος ρύθμισης η ροή στην έξοδο
- Ο πρωτεύον βρόχος συνδέεται με τον 2^{ον} βρόχο
 - Βασικός ρυθμιστής δίνει το σημείο ρύθμισης

Ανάλυση του παραδείγματος



- Χωρίς τη ρύθμιση συστοιχίας αλλαγές στην πίεση στην έξοδο
 - Θα αλλάξουν την ροή εξόδου και θα διαταράξουν την στάθμη της δεξαμενής.
 - Με την αλλαγή στην στάθμη θα αντιδράσει ο ρυθμιστής
- Με την ρύθμιση συστοιχίας, αλλαγές στην πίεση στην έξοδο
 - Θα απορροφηθούν από τον ρυθμιστή ροής
 - Γρήγορη απόκριση στη διαταραχή
 - Η στάθμη θα αλλάξει λίγο και θα αντιδράσει ο ρυθμιστής στάθμης

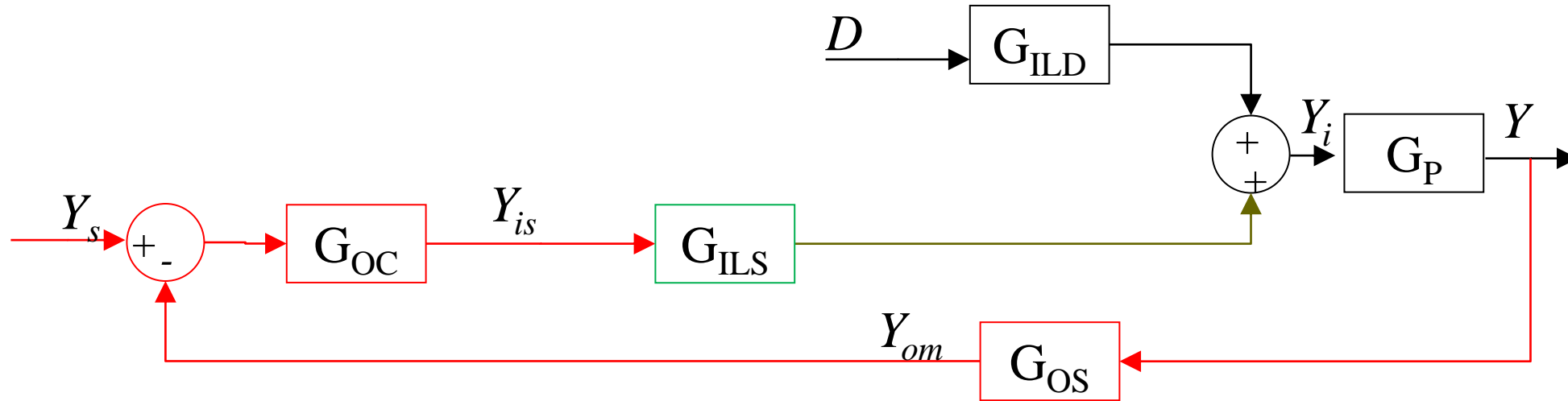
Διάγραμμα βαθμίδων ρύθμισης συστοιχίας



- Δευτερεύον βρόχος πρώτα!

$$Y_i = (G_D D + G_u G_A G_{IC} (Y_{is} - G_{IS} Y_i)) \Rightarrow Y_i = \frac{G_D}{1 + G_u G_A G_{IC} G_{IS}} D + \frac{G_u G_A G_{IC}}{1 + G_u G_A G_{IC} G_{IS}} Y_{is}$$

Διάγραμμα βαθμίδων ρύθμισης συστοιχίας



$$G_{ILS} = \frac{G_u G_A G_{IC}}{1 + G_u G_A G_{IC} G_{IS}}$$

$$G_{ILD} = \frac{G_D}{1 + G_u G_A G_{IC} G_{IS}}$$

- Πρωτεύον βρόχος δεύτερος!

$$Y = G_P (G_{ILD} D + G_{ILS} G_{OC} (Y_s - G_{OS} Y)) \Rightarrow Y = \frac{G_P G_{ILD}}{1 + G_P G_{ILS} G_{OC} G_{OS}} D + \frac{G_P G_{ILS} G_{OC}}{1 + G_P G_{ILS} G_{OC} G_{OS}} Y_s$$

Βασικά χαρακτηριστικά για να είναι επιτυχής η ρύθμιση συστοιχίας



- Ο 2^ον βρόχος αντισταθμίζει μια ή περισσότερες διαταραχές.
- Ο 2^ον βρόχος είναι τουλάχιστον 3 φορές γρηγορότερος από τον 1^ον βρόχο.
- Η ρυθμιζόμενη μεταβλητή του 2^ον βρόχου έχει άμεση επίδραση στη ρυθμιζόμενη μεταβλητή του 1^ον βρόχου.
- Ο 2^ον βρόχος βαθμονομείται επιθετικά.

Ρύθμιση θερμοκρασίας αντιδραστήρα



- Ένας αντιδραστήρας όπου αντίδραση λαμβάνει χώρα
 - Χρήση μανδύα ψύξης
 - Λόγω μεγέθους έχει αρκετά μεγάλο χαρακτηριστικό χρόνο
 - Νερό ψύξης είναι στην διάθεση της διεργασίας
 - Η θερμοκρασία του υγρού στην είσοδο είναι μεταβλητή

$$G_{valve} = \frac{1}{2s + 1}$$

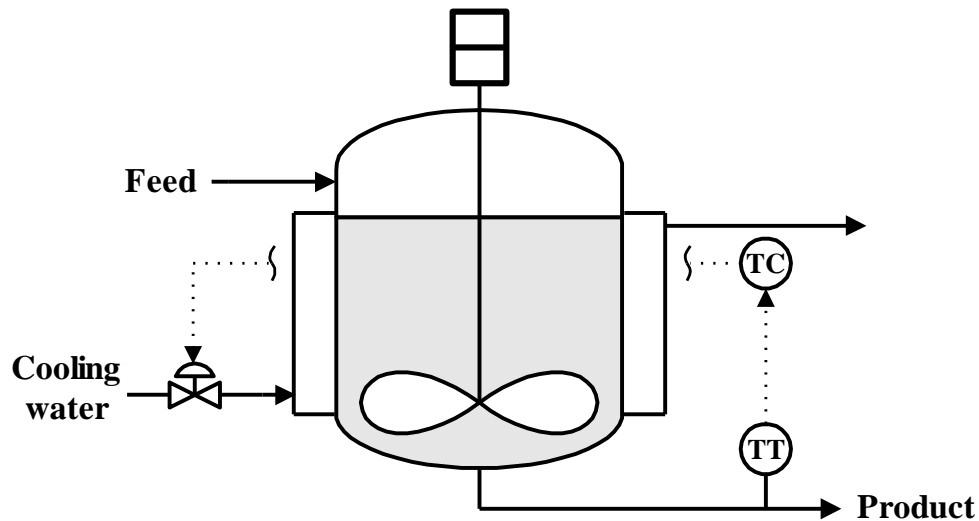
$$G_{jacket} = \frac{1}{5s + 1}$$

$$G_{reactor} = \frac{1}{10s + 1}$$

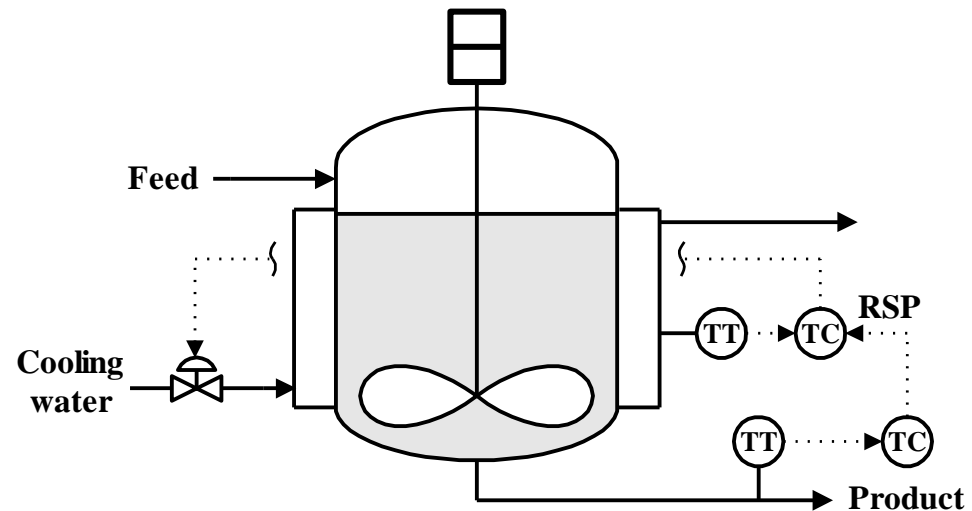
$$G_{sensor} = \frac{1}{0s + 1}$$

$$G_{jacket\ sensor} = \frac{1}{s + 1}$$

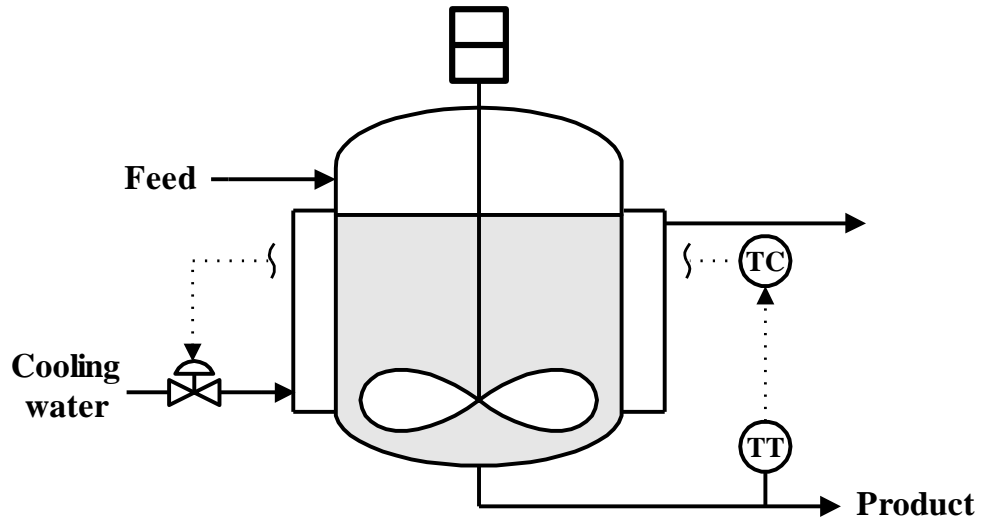
Σύστημα ανάδρασης



Σύστημα συστοιχίας



Ρύθμιση θερμοκρασίας αντιδραστήρα



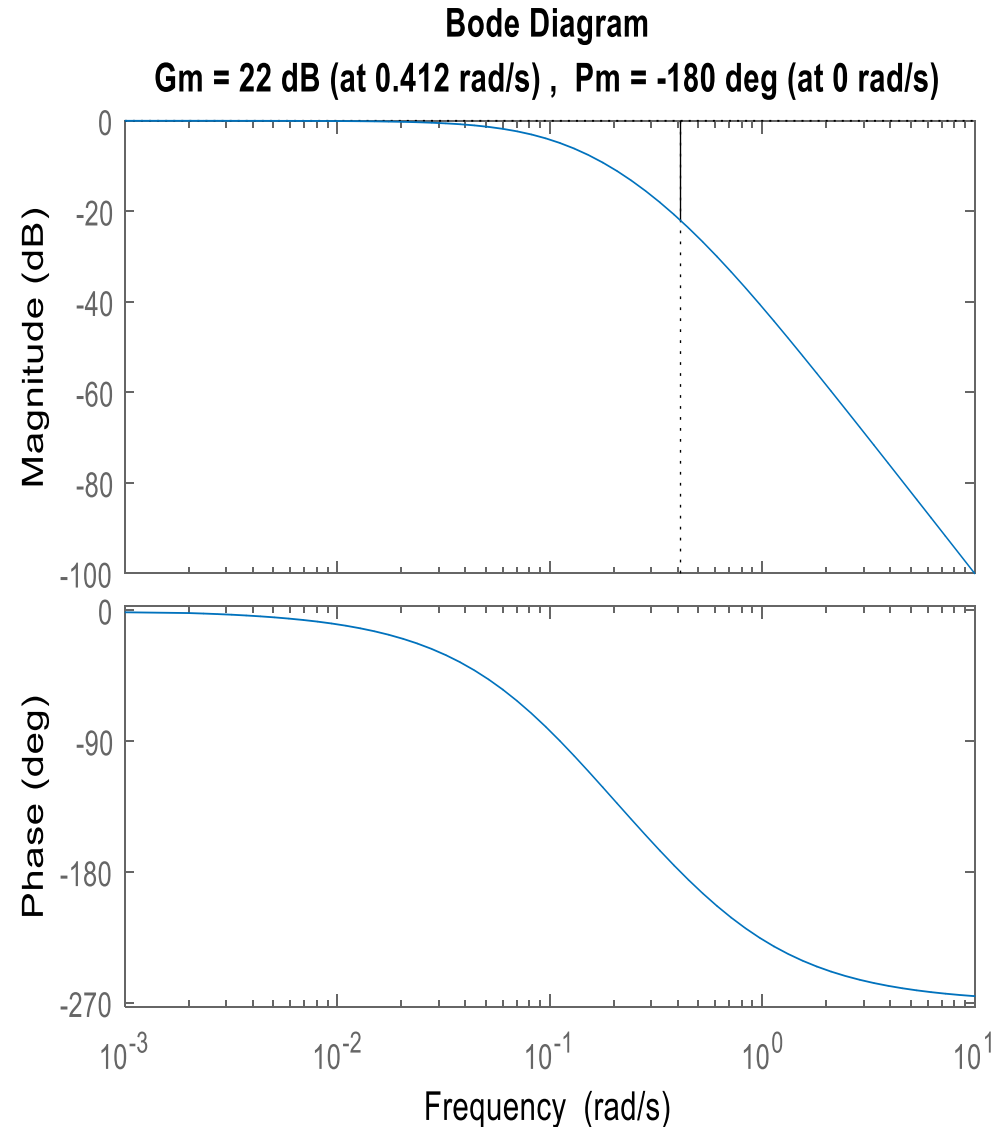
- Σύστημα ανάδρασης

- Χρήση Bode

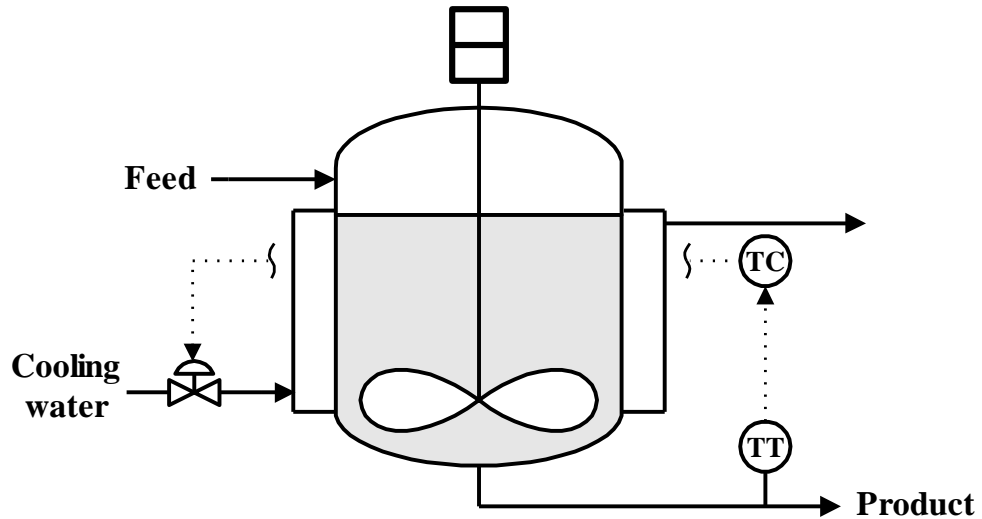
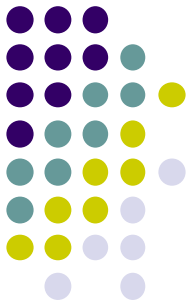
$$\omega_c = 0.412, K_u = 12.6, P_u = 15.25$$

- Ziegler-Nichols

- $K_C = 5.67, \tau_I = 12.7$



Ρύθμιση θερμοκρασίας αντιδραστήρα



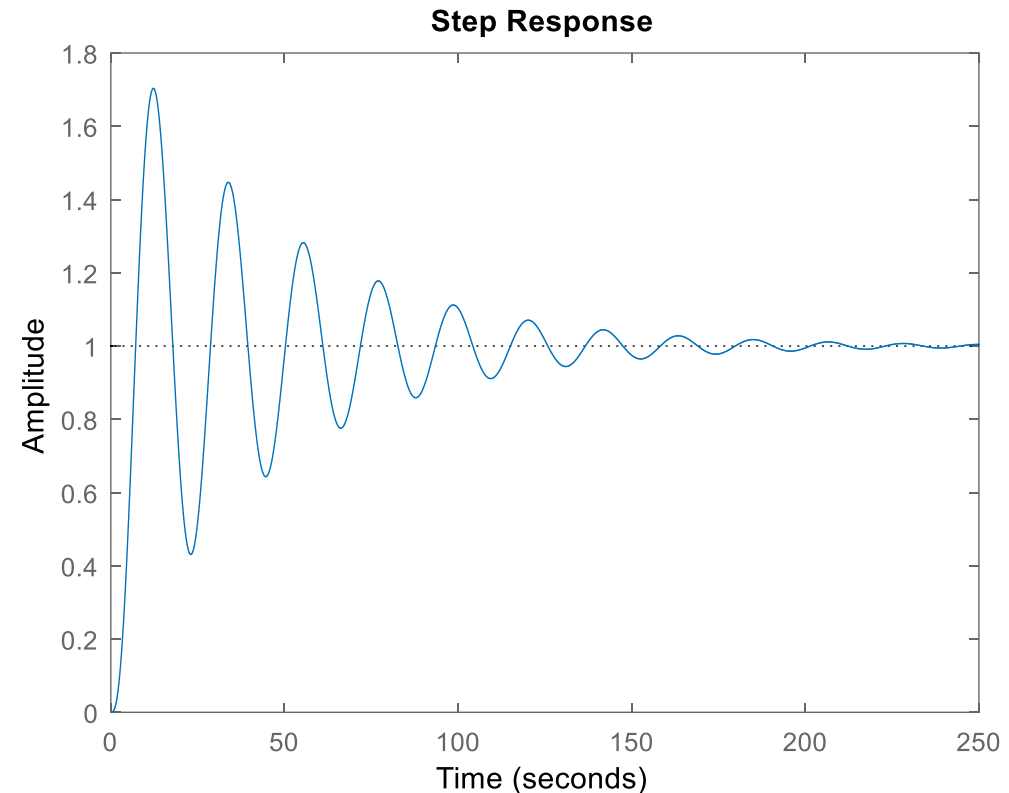
- Σύστημα ανάδρασης

- Χρήση Bode

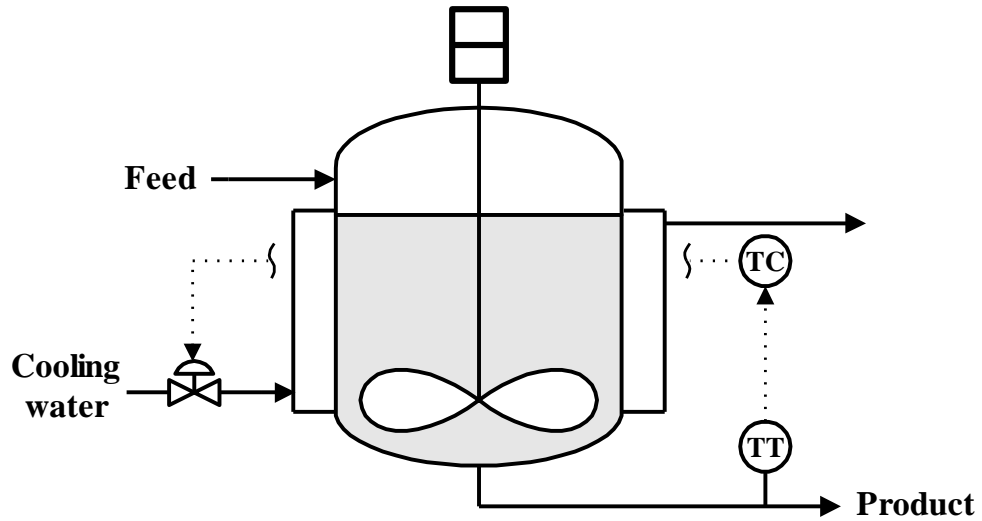
$$\omega_c = 0.412, K_u = 12.6, P_u = 15.25$$

- Ziegler-Nichols

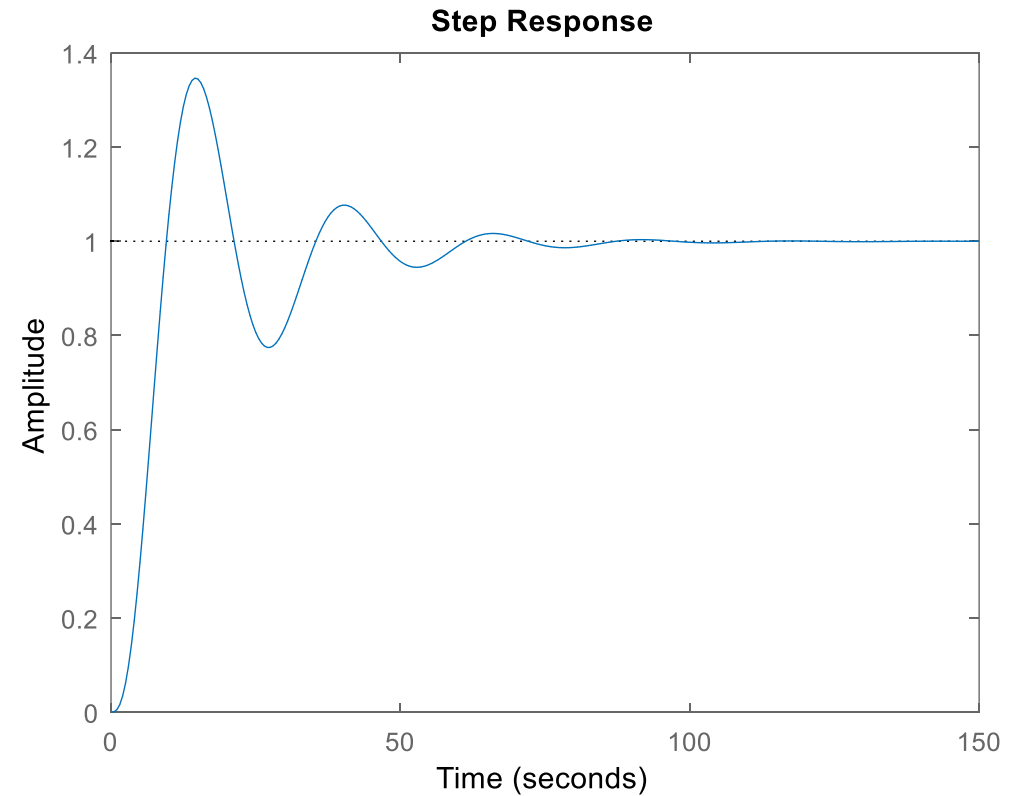
- $K_c = 5.67, \tau_I = 12.7$



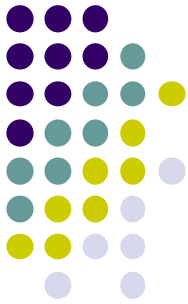
Ρύθμιση θερμοκρασίας αντιδραστήρα



- Σύστημα ανάδρασης
 - Ziegler-Nichols
 - $K_C = 5.67, \tau_I = 12.7$
 - Optimized (1/6 rule)
 - $K_C = 3.67, \tau_I = 20.0$

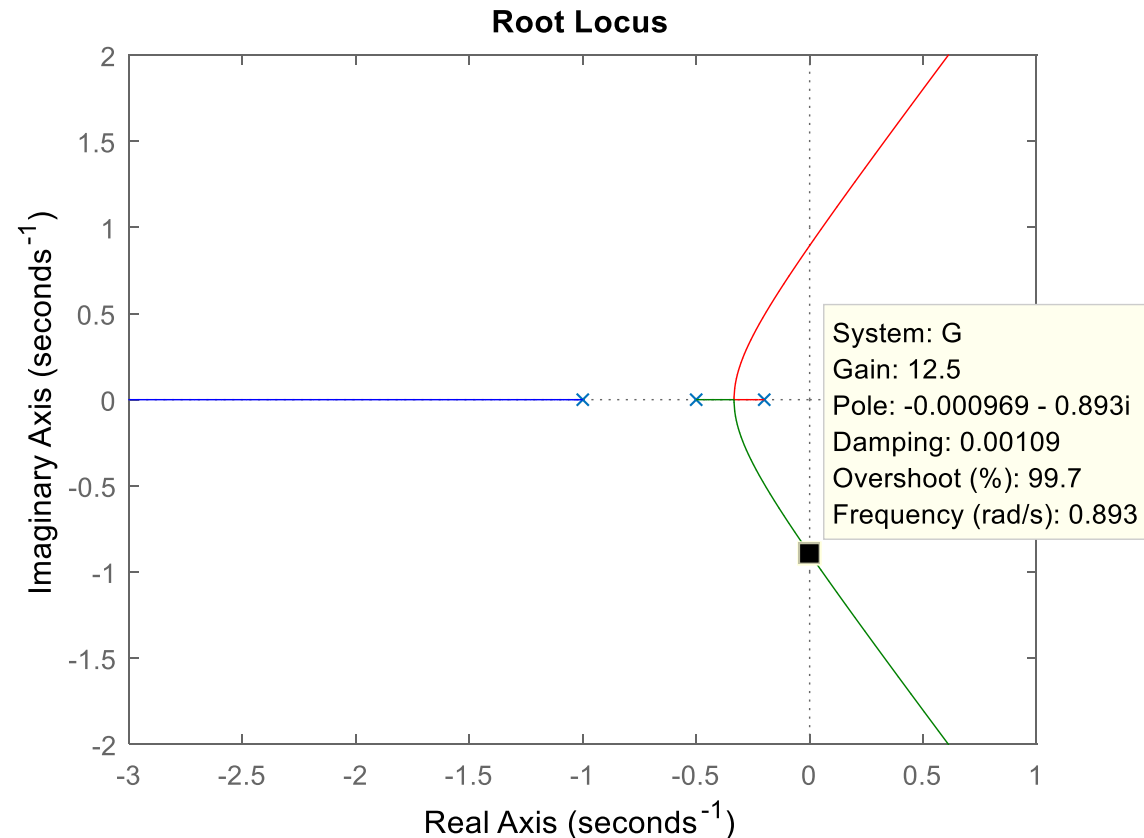
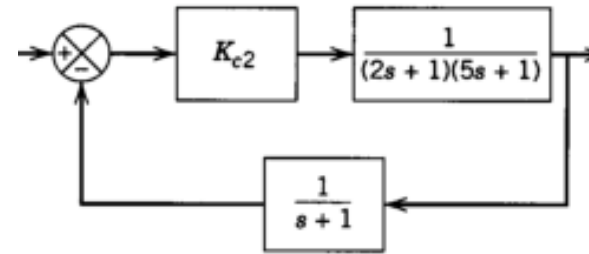


Ρύθμιση θερμοκρασίας αντιδραστήρα



- 1^ο βήμα
 - Αναλογικός ρυθμιστής
 - Μέθοδος ανάθεσης πόλων
 - $K_u = 12.6$
 - Χρησιμοποιώ $K_c = 10.00$

$$G_{ILS} = \frac{0.91(s + 1)}{0.91s^3 + 1.55s^2 + 0.73s + 1}$$

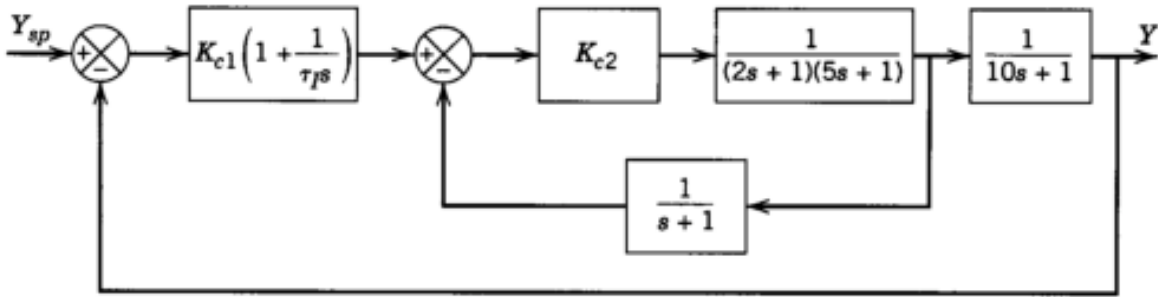
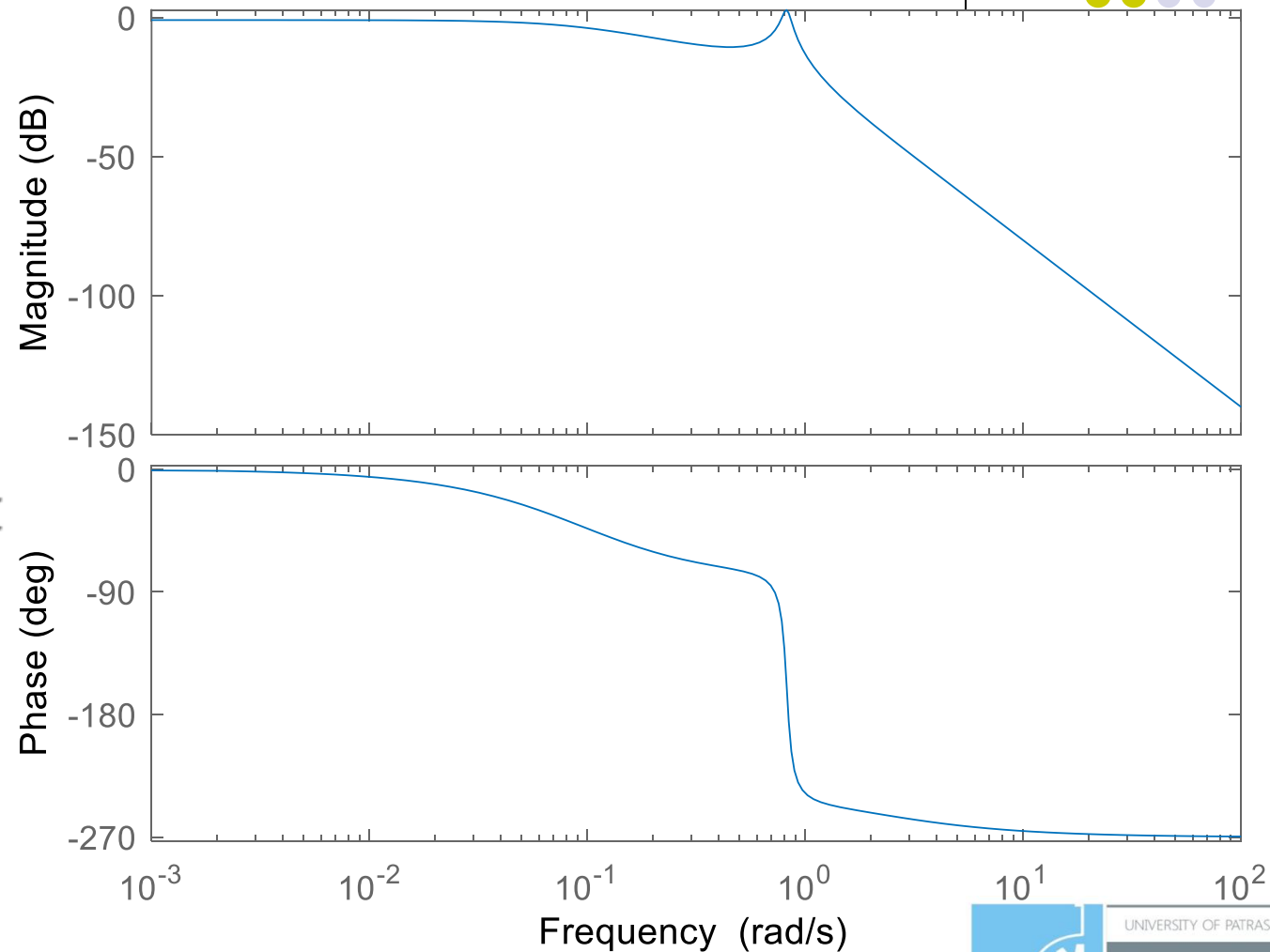


Ρύθμιση θερμοκρασίας αντιδραστήρα

- 2^ο βήμα
 - Αναλογικός-Ολοκληρωτικός ρυθμιστής
 - Μέθοδος Ziegler-Nichols



Bode Diagram

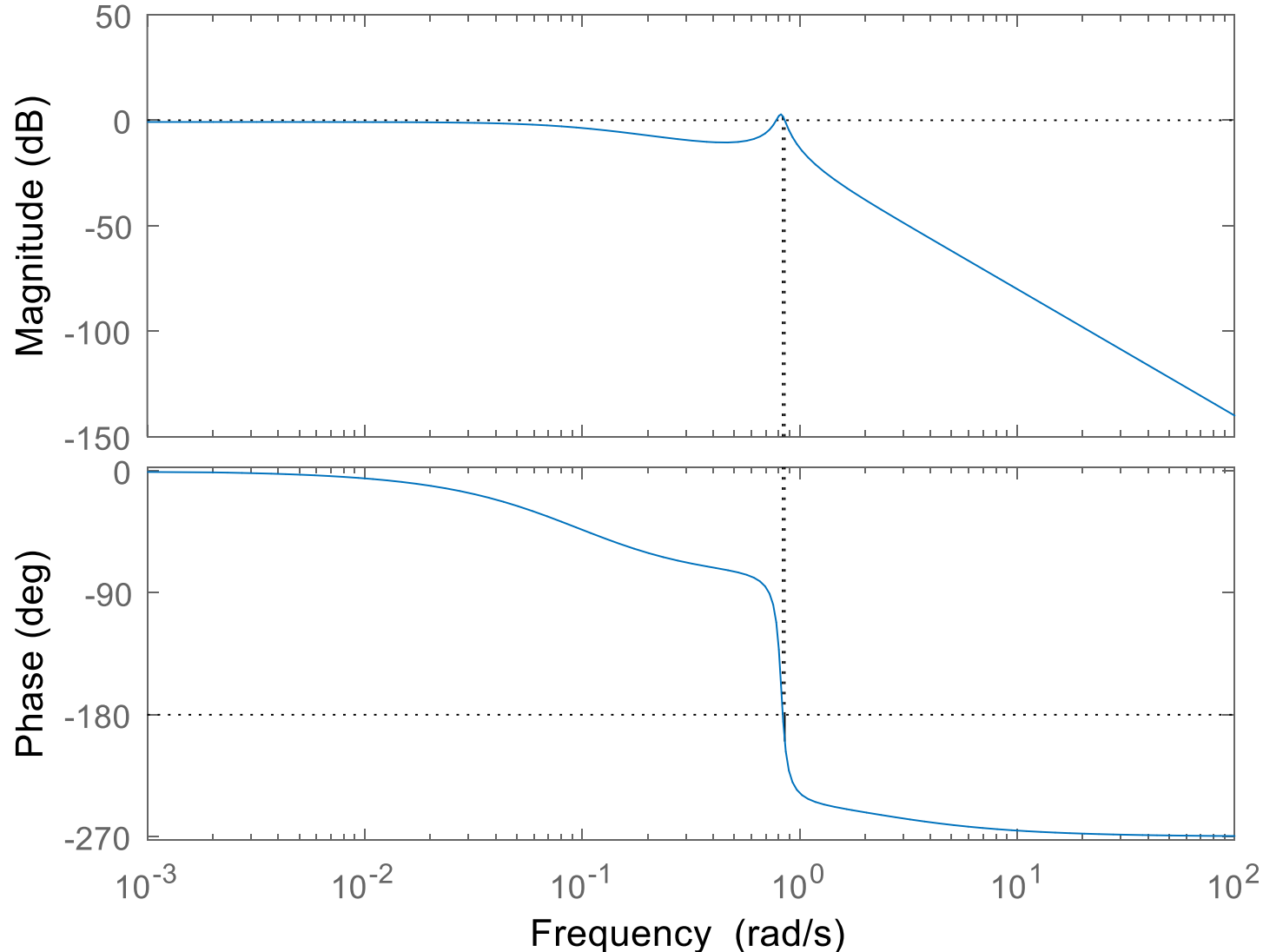


Ρύθμιση θερμοκρασίας αντιδραστήρα



Bode Diagram

$G_m = -2.03 \text{ dB}$ (at 0.836 rad/s) , $P_m = -19.7 \text{ deg}$ (at 0.854 rad/s)



Εντολή «margin»

Δίνει το K_u , ω_c μαζί με δ. Bode

$$\omega_c = 0.836$$

$$K_u = 0.8$$

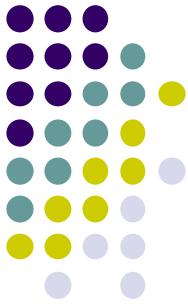
$$P_u = 7.52$$

ZN:

$$K_C = 0.36$$

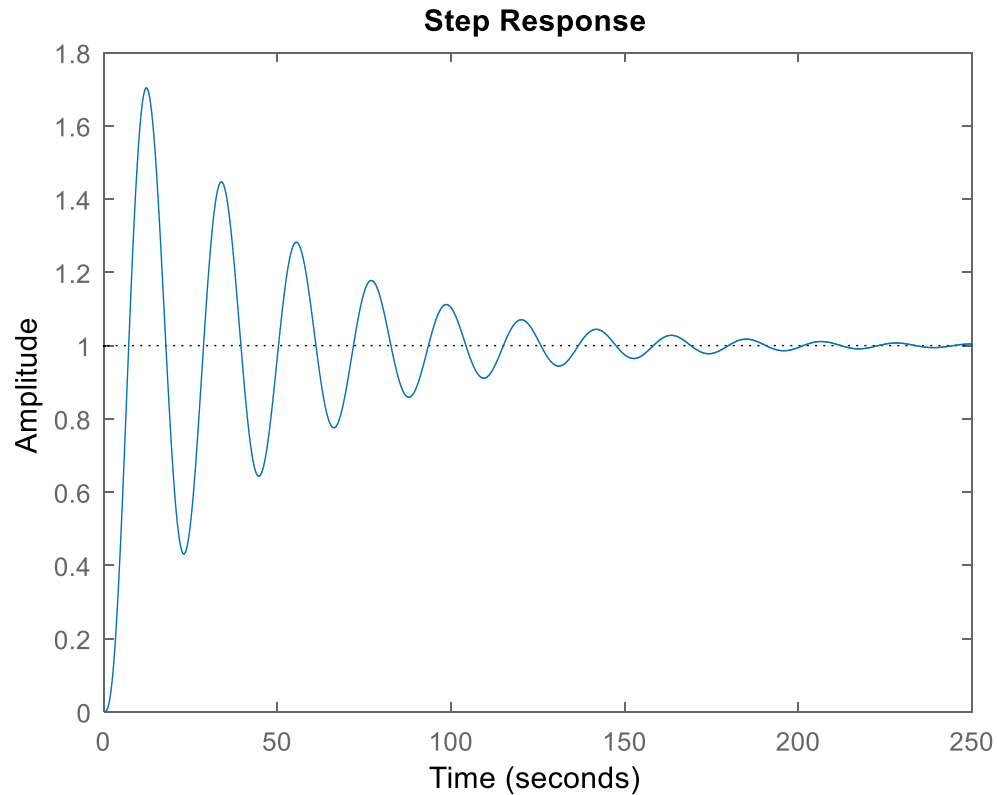
$$\tau_I = 6.27$$

Ρύθμιση θερμοκρασίας αντιδραστήρα



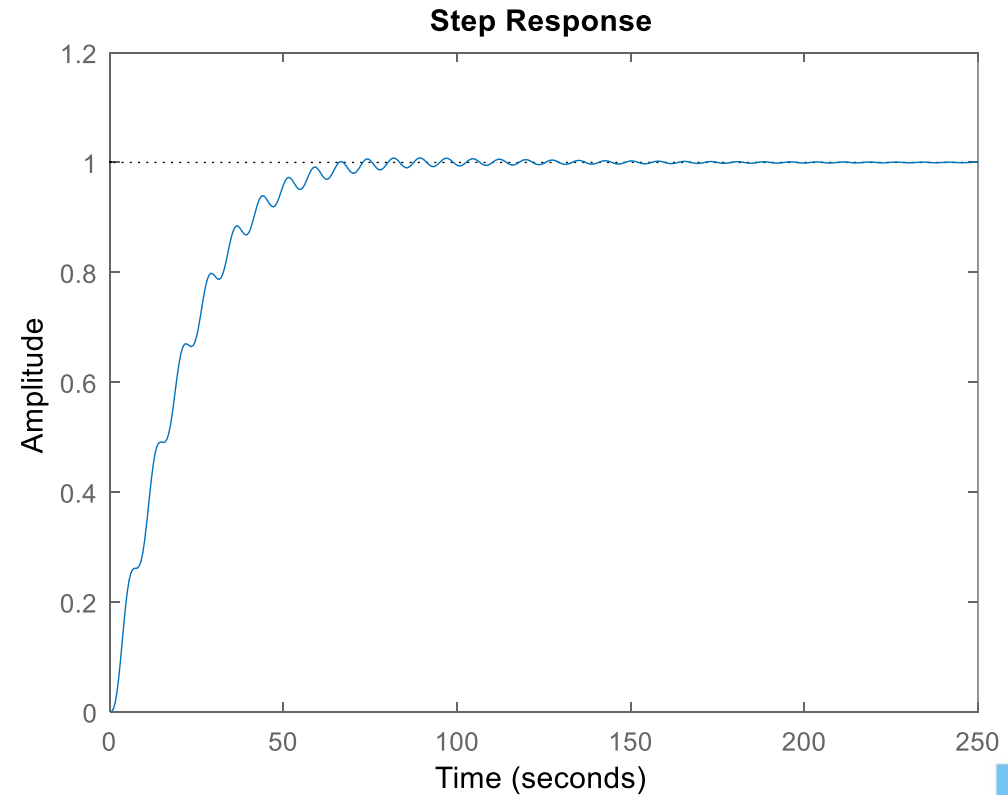
Σύστημα ανάδρασης

$$K_C = 5.67, \tau_I = 12.7$$

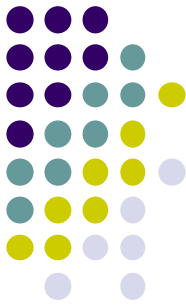


Σύστημα συστοιχίας

$$K_C = 0.36, \tau_I = 6.27$$

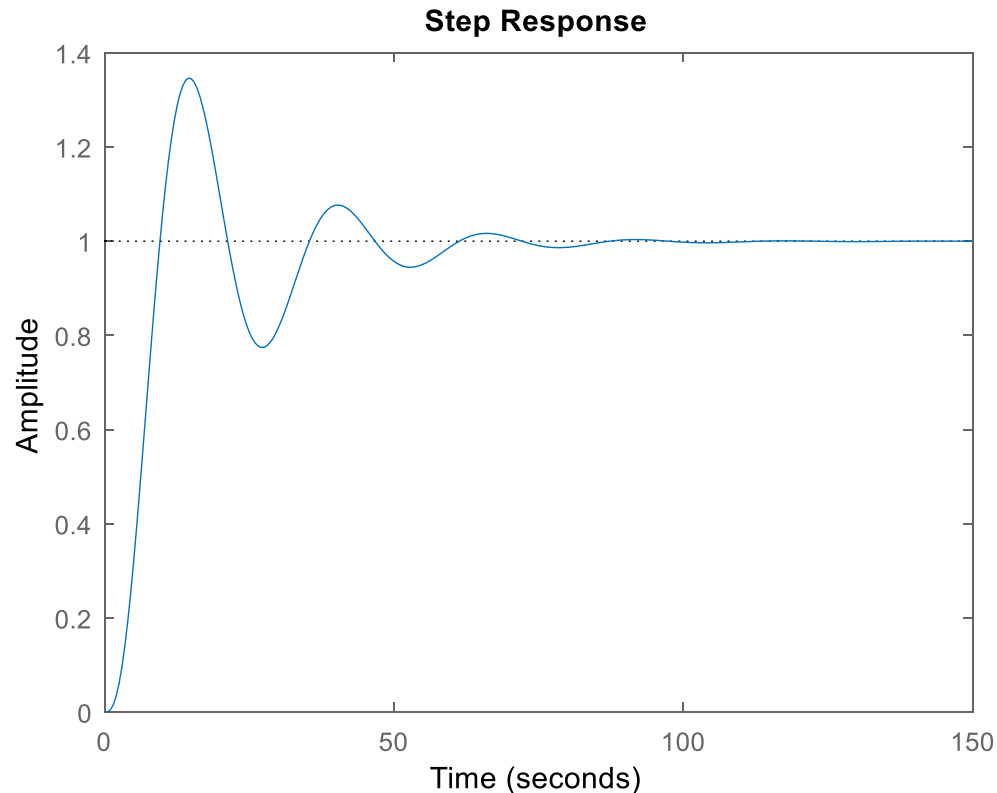


Ρύθμιση θερμοκρασίας αντιδραστήρα



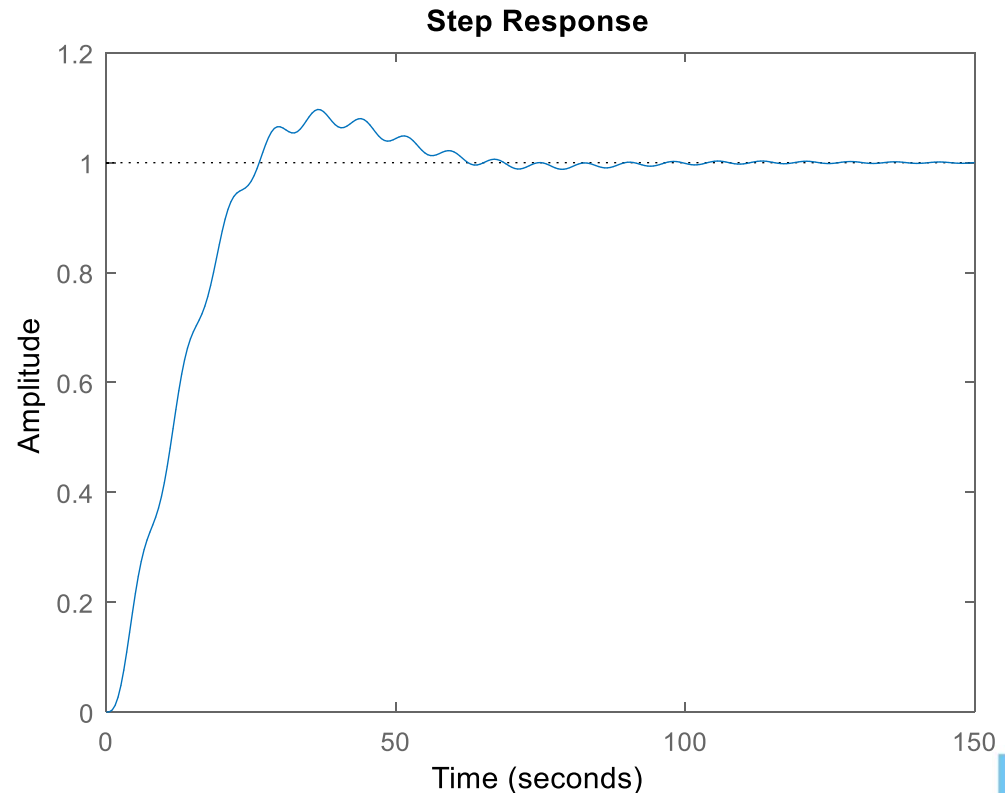
Σύστημα ανάδρασης

$$K_C = 3.67, \tau_I = 20$$

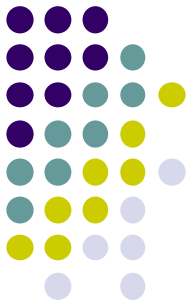


Σύστημα συστοιχίας

$$K_C = 0.250, \tau_I = 2.27$$

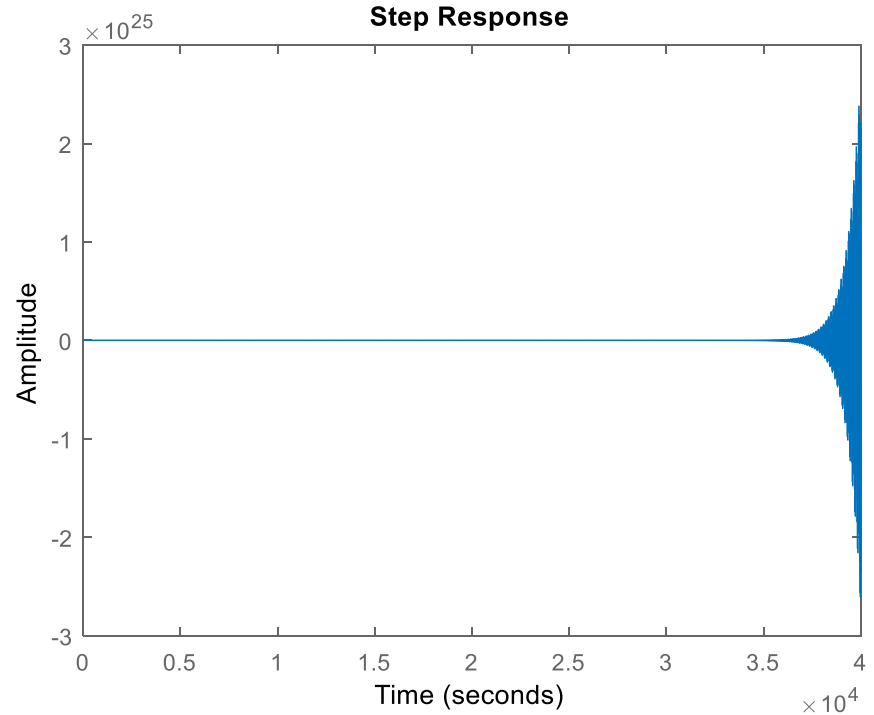


Ρύθμιση θερμοκρασίας αντιδραστήρα



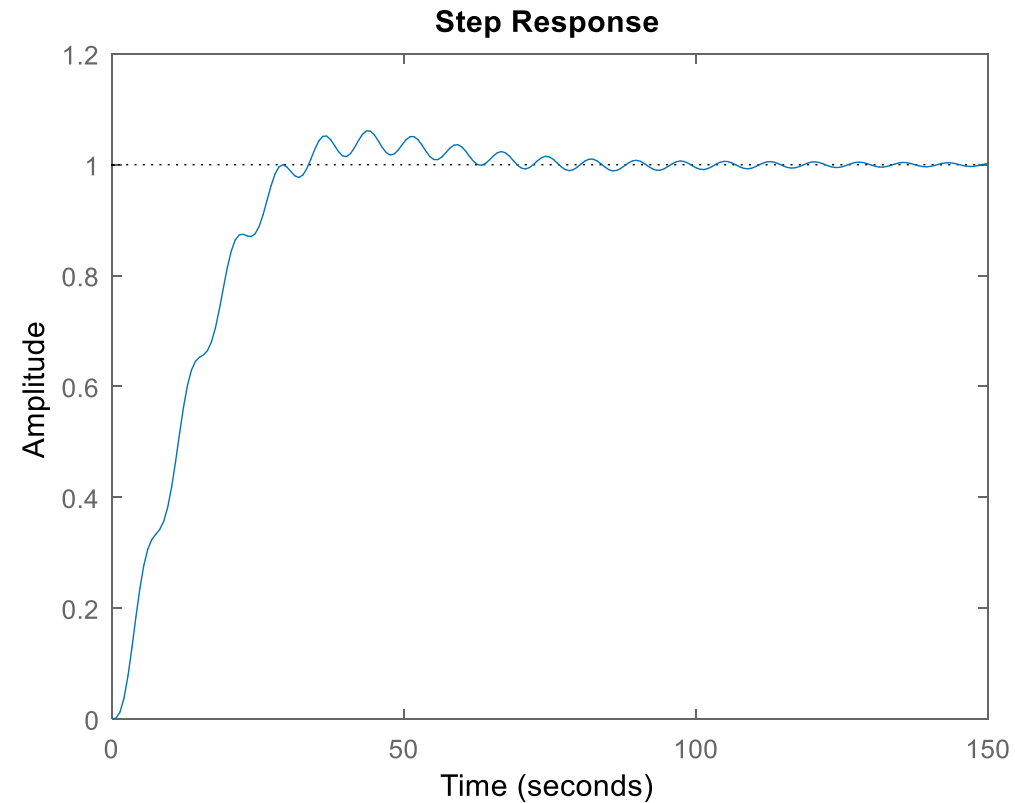
Σύστημα ανάδρασης

$$K_C = 5.00, \tau_I = 20$$



Σύστημα συστοιχίας

$$K_C = 0.350, \tau_I = 3.27$$

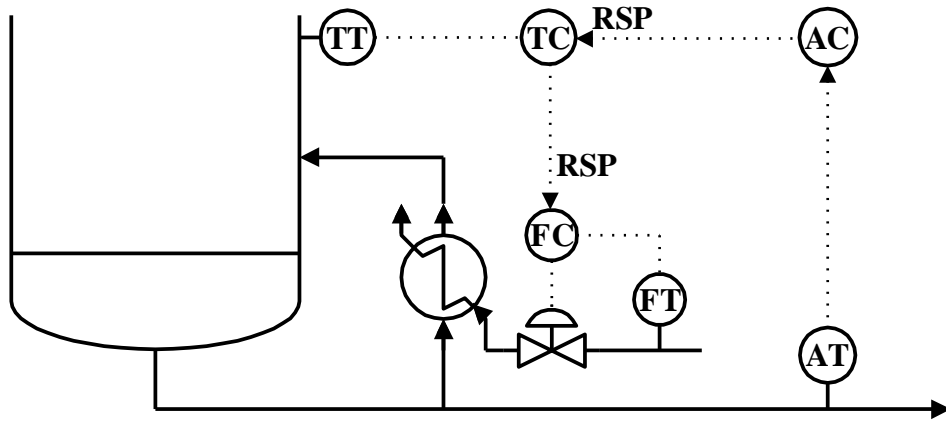


Ανάλυση του παραδείγματος



- Χωρίς την ρύθμιση συστοιχίας, οι αλλαγές στη θερμοκρασία του νερού ψύξης θα δημιουργήσουν σημαντική αναστάτωση στη θερμοκρασία του αντιδραστήρα.
- Με την ρύθμιση συστοιχίας, οι αλλαγές στη θερμοκρασία του νερού ψύξης θα απορροφηθούν από τον 2^ο βρόχο πριν μπορέσουν να επηρεάσουν σημαντικά τη θερμοκρασία του αντιδραστήρα.

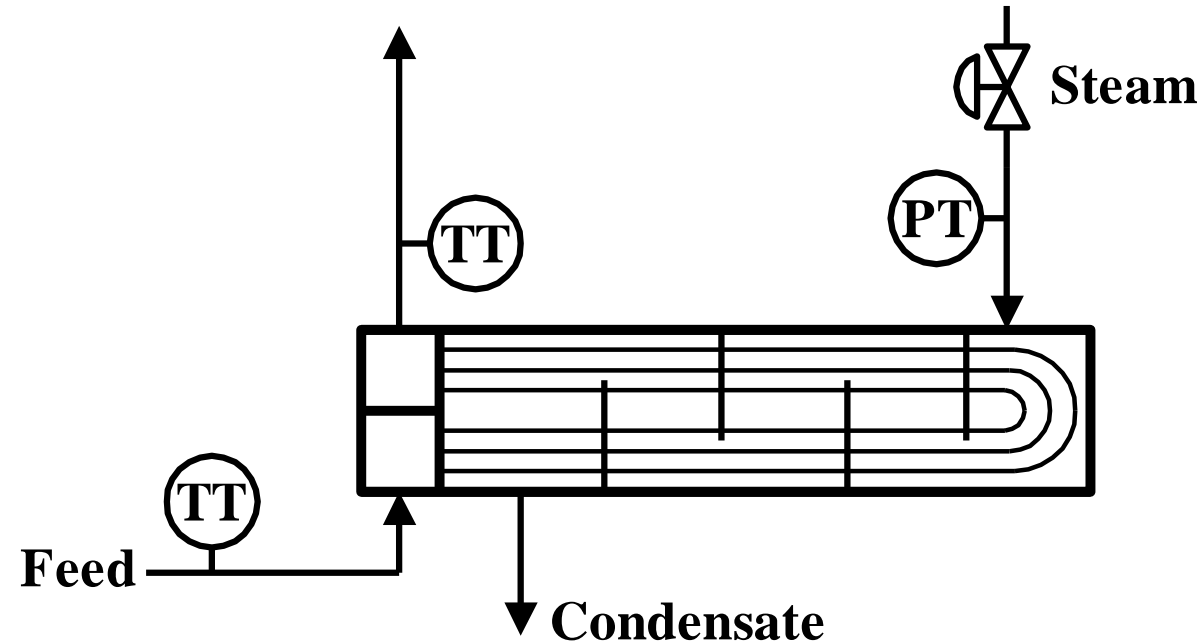
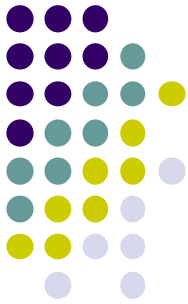
Παράδειγμα πολλαπλών συστοιχιών



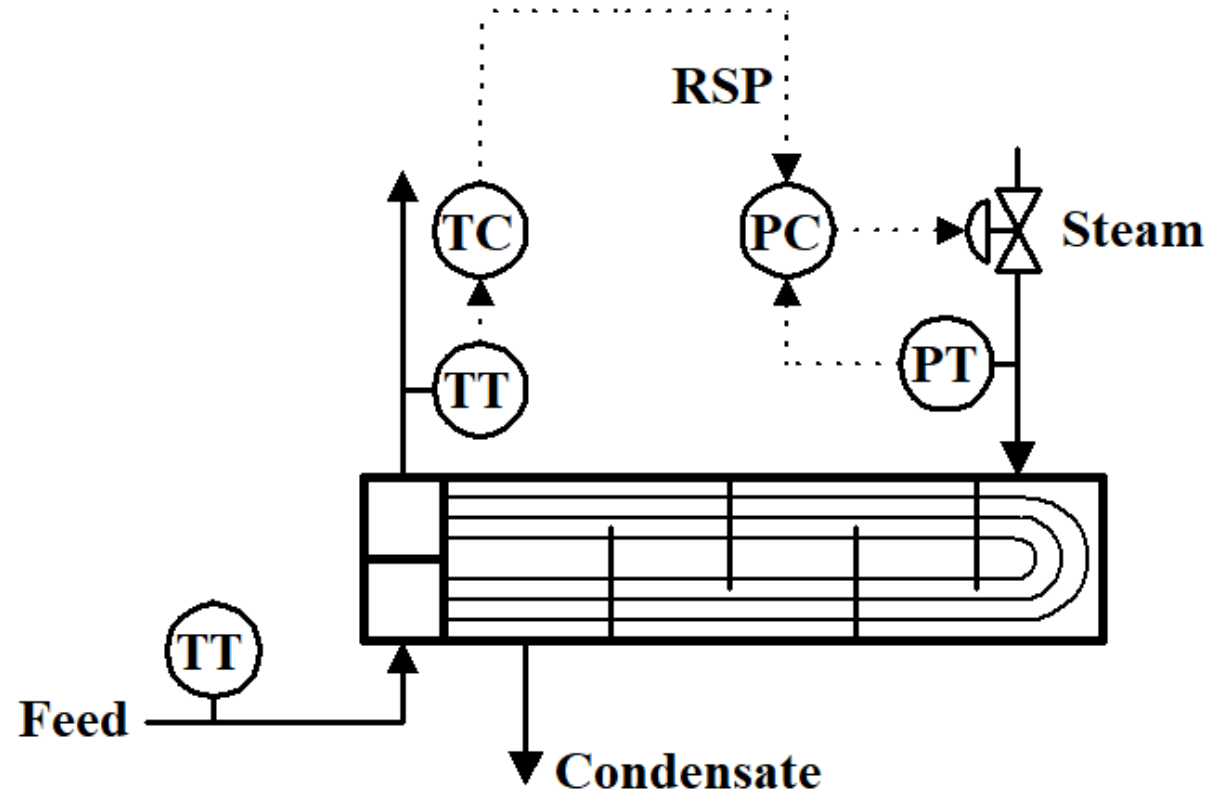
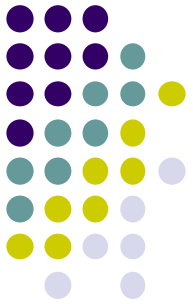
- Τρεις βρόχοι
 - 1^{ος} βρόχος ελέγχου σύνθεσης
 - 2^{ος} βρόχος ελέγχου θερμοκρασίας
 - 3^{ος} βρόχος ελέγχου ροής

- Αυτή η προσέγγιση λειτουργεί επειδή ο βρόχος ελέγχου ροής είναι πολύ ταχύτερος από τον βρόχο ελέγχου θερμοκρασίας που είναι πολύ ταχύτερος από τον βρόχο ελέγχου σύνθεσης.

Παράδειγμα προσέγγισης



- Κατασκευάστε μια δομή που χρησιμοποιεί τις μετρήσεις.
- Ρυθμιζόμενη: θερμοκρασία εξόδου
- Διαταραχή: θερμοκρασία εισόδου
- Χειριζόμενη: Παροχή ατμού



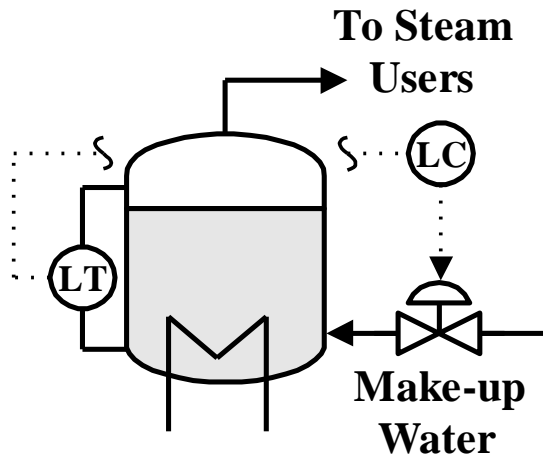
- Συστοιχία ρυθμιστών
 - Ο 1^{ον} βρόχος εμπεριέχει τον ρυθμιστή της θερμοκρασίας εξόδου που δίνει το σημείο ρύθμισης
 - Ο 2^{ον} βρόχος εμπεριέχει τον ρυθμιστή πίεσης του ατμού που χειρίζεται την βάνα ροής του ατμού

Ρύθμιση στάθμης με πρόδραση / ανάδραση



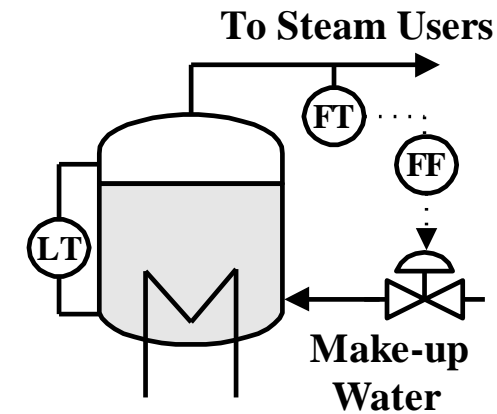
Σύστημα ανάδρασης

- Στόχος: Διατήρηση στάθμης



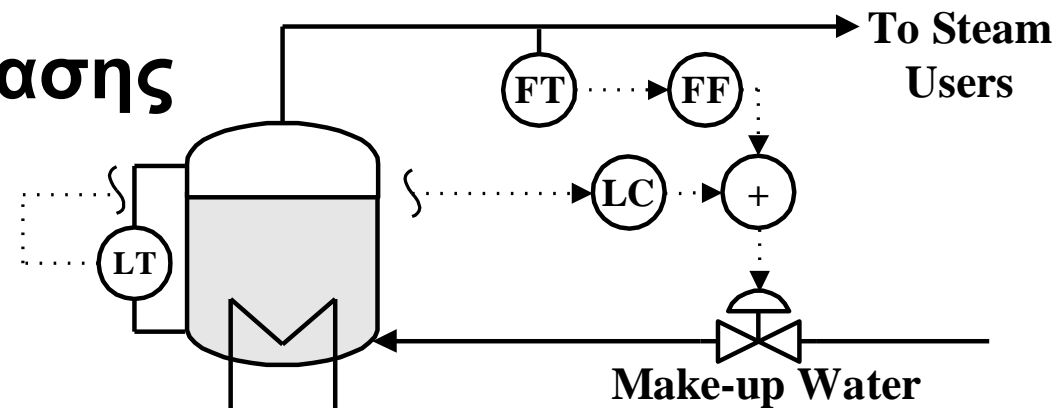
Σύστημα πρόδρασης

- Στόχος: Αντιστάθμιση της αλλαγής φορτίου



- **Σύστημα πρόδρασης/ανάδρασης**

- Αντιστάθμιση της αλλαγής
- Διατήρηση στάθμης

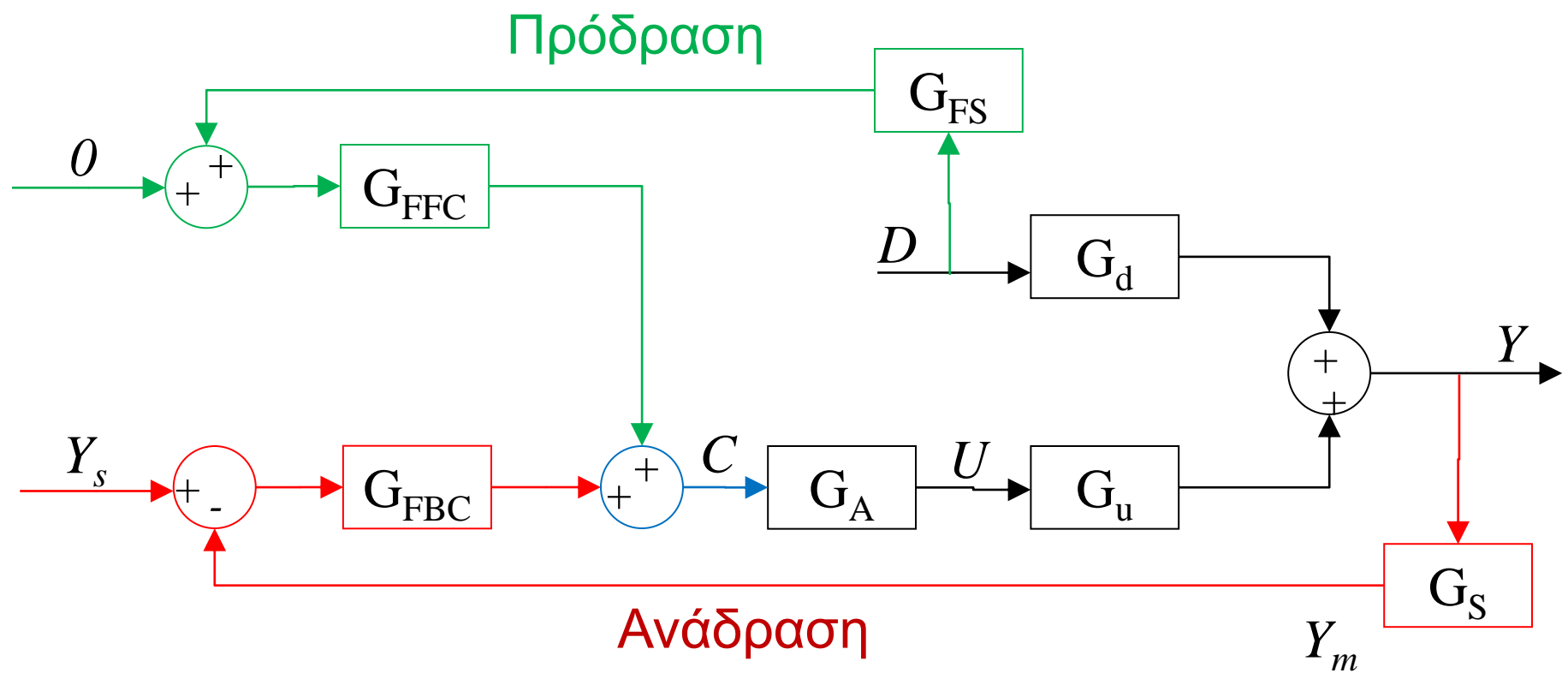


Ανάλυση της αρχιτεκτονικής

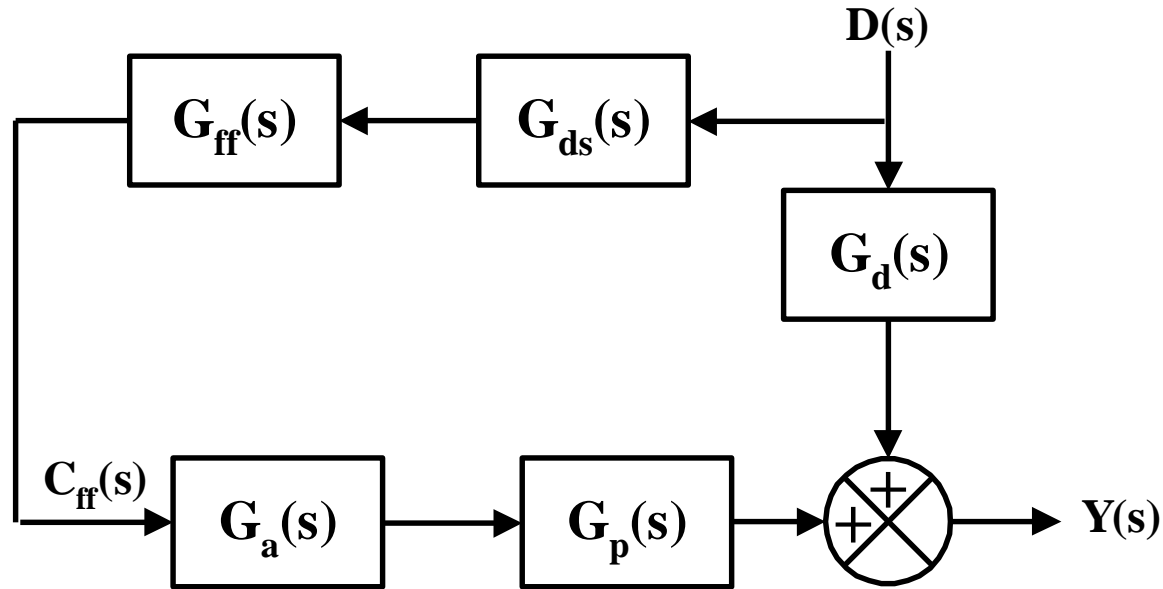
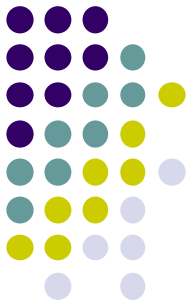


- Η ανάδραση μόνη της αντισταθμίζει την αλλαγή φορτίου χρήσης ατμού μέσω της στάθμης που αλλάζει στον βραστήρα. Θέλει όμως χρόνο...
- Η πρόδραση μόνη της αντισταθμίζει την αλλαγή φορτίου γρήγορα. Αλλά μικρές αποκλίσεις στην μέτρηση ροής θα οδηγήσουν σε υπερχείλιση ή άδειασμα του βραστήρα...
- Εάν συνδυαστούν οι δύο ρυθμιστές έχουμε τα καλύτερα χαρακτηριστικά και των δύο.

Διάγραμμα βαθμίδων αρχιτεκτονικής



Κατασκευή ρυθμιστή πρόδρασης (FFC)



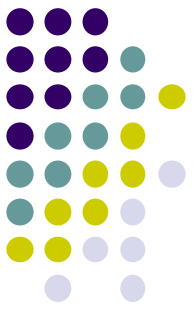
- Στόχος: Απόρριψη της διαταραχής

- Μαθηματικά: $Y(s) = 0 \Rightarrow D(s)G_{ds}(s)G_{ff}(s)G_a(s)G_p(s) + D(s)G_d(s) = 0$

- Λύση:

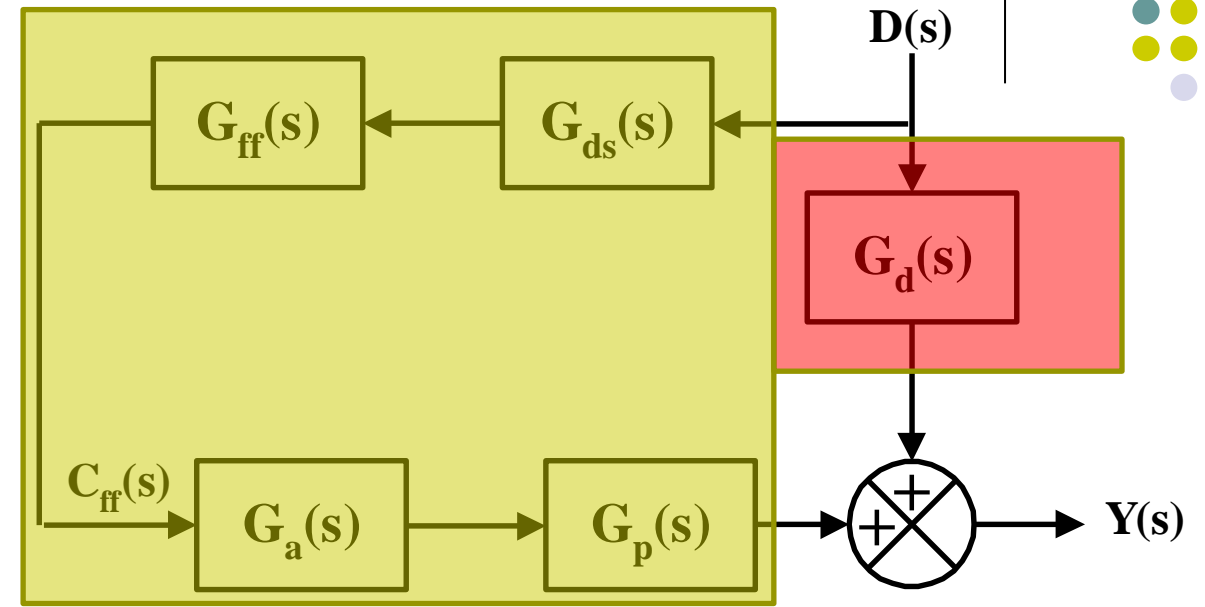
$$G_{ff}(s) = \frac{-G_d(s)}{G_{ds}(s)G_a(s)G_p(s)}$$

Επίλυση μέσω FODS περιγραφή της συμπεριφοράς (LLC)



$$G_{ds}(s)G_a(s)G_p(s) = \frac{K_p e^{-\theta_p s}}{\tau_p s + 1}$$

$$G_d(s) = \frac{K_d e^{-\theta_d s}}{\tau_d s + 1}$$



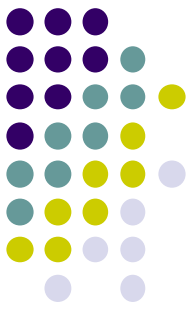
Ζητώ $Y(s)/D(s) = G_d + (G_{ds}G_aG_p)G_{ff} = 0$ Άρα:

$$G_{ff}(s) = -\frac{K_d(\tau_p s + 1)e^{-\theta_d s}}{K_p(\tau_d s + 1)e^{-\theta_p s}} = \frac{K_{ff}(\tau_{ld} s + 1)e^{-\theta_{ff} s}}{\tau_{lg} s + 1}$$

Lead/Lag Controller

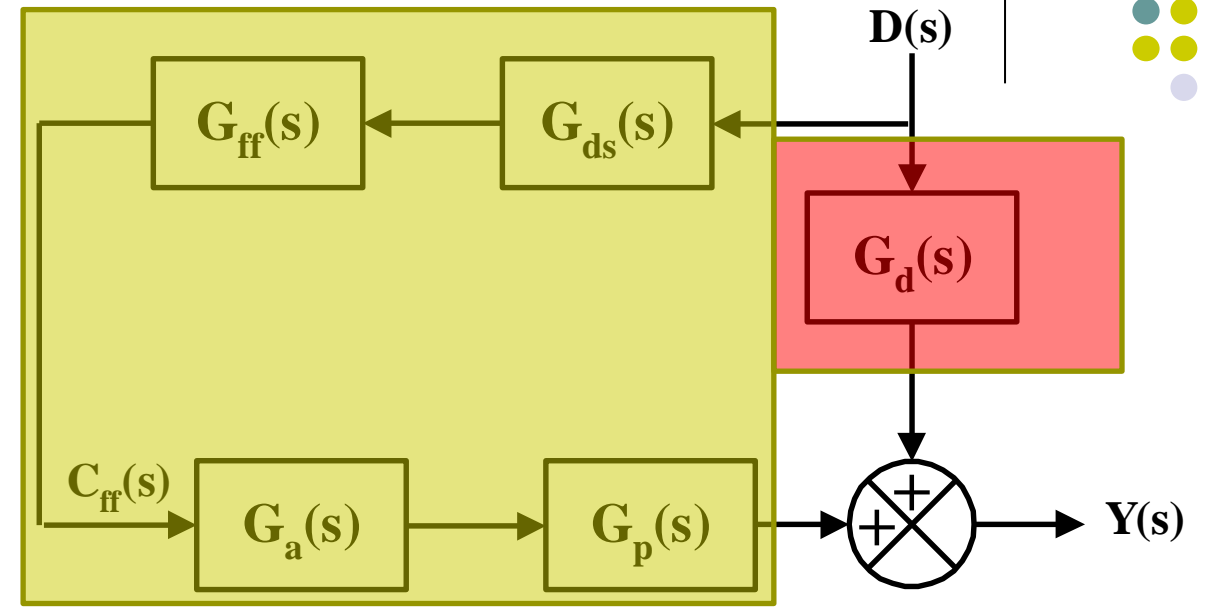
Παράμετροι: $K_{ff}, \tau_{ld}, \tau_{lg}, \theta_{ff} (> 0)$

Επίλυση μέσω FODS περιγραφή της συμπεριφοράς (LLC)



$$G_{ds}(s)G_a(s)G_p(s) = \frac{K_p e^{-\theta_p s}}{\tau_p s + 1}$$

$$G_d(s) = \frac{K_d e^{-\theta_d s}}{\tau_d s + 1}$$



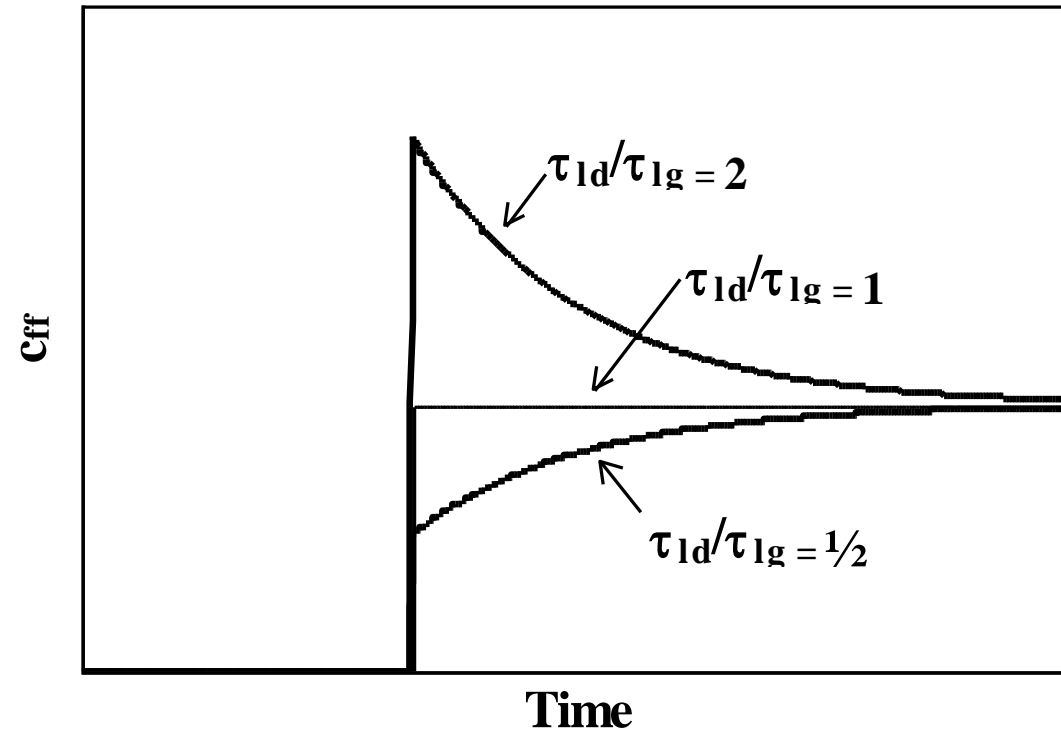
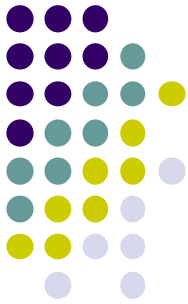
Ζητώ $Y(s)/D(s) = G_d + (G_{ds}G_aG_p)G_{ff} = 0$ Άρα:

$$G_{ff}(s) = -\frac{K_d(\tau_p s + 1)e^{-\theta_d s}}{K_p(\tau_d s + 1)e^{-\theta_p s}} = \frac{K_{ff}(\tau_{ld} s + 1)e^{-\theta_{ff} s}}{\tau_{lg} s + 1}$$

Παράμετροι: $K_{ff}, \tau_{ld}, \tau_{lg}, \theta_{ff} (> 0)$

Lead/Lag Controller
(PD με φίλτρο+καθ)

Επίδραση του λόγου Lead/Lag



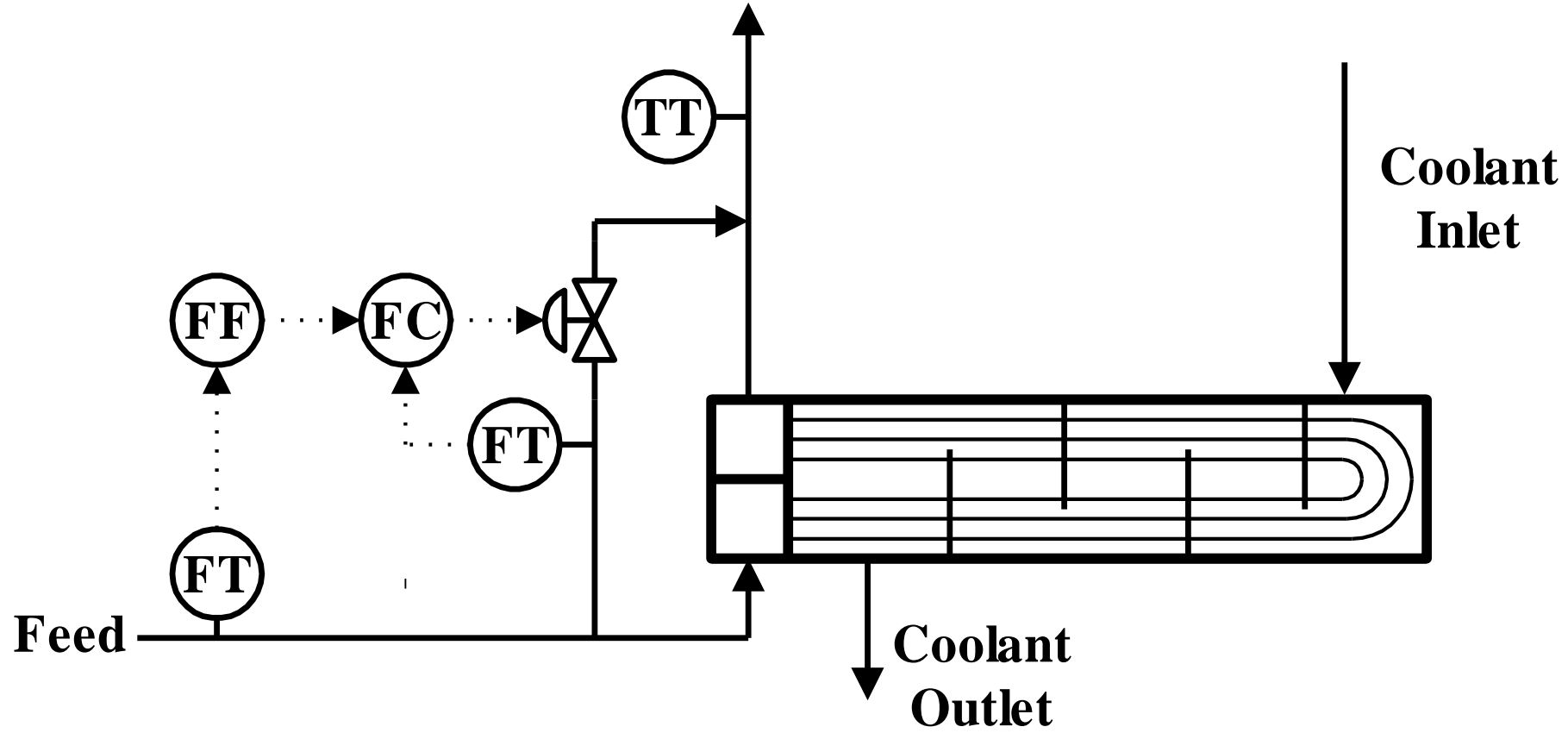
Αναλογικός ρυθμιστής FFC



- Ένας αναλογικός ρυθμιστής κάνει διόρθωση που είναι άμεσα ανάλογη με την αλλαγή διαταραχής.
- Ο αναλογικός ρυθμιστής χρησιμοποιείται όταν η διαδικασία ανταποκρίνεται με παρόμοιο τρόπο σε αλλαγή στη διαταραχή και τη χειριζόμενη μεταβλητή.
- Είναι ο συνηθέστερος ρυθμιστής πρόδρασης

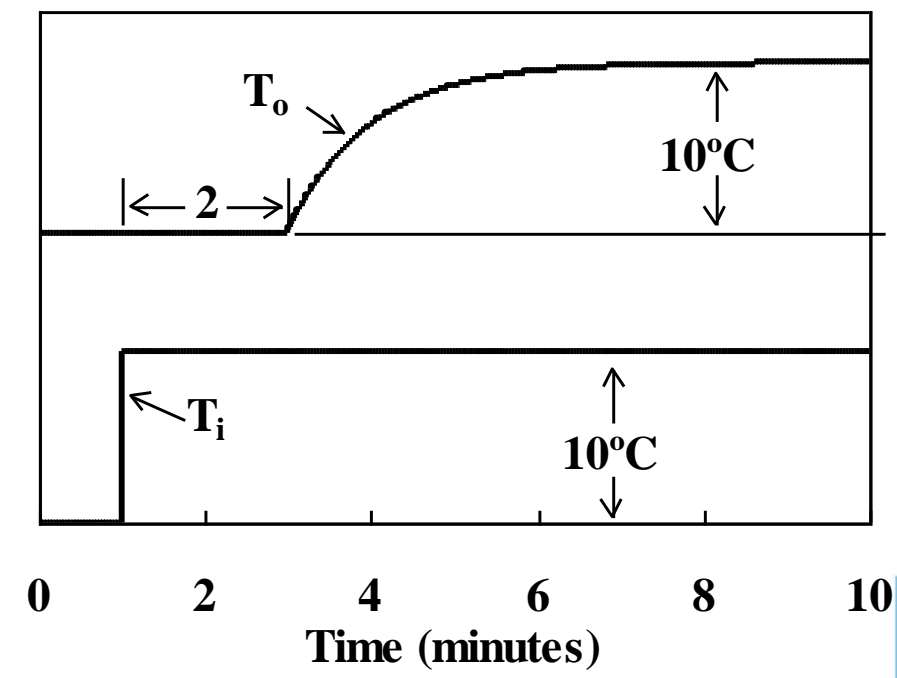
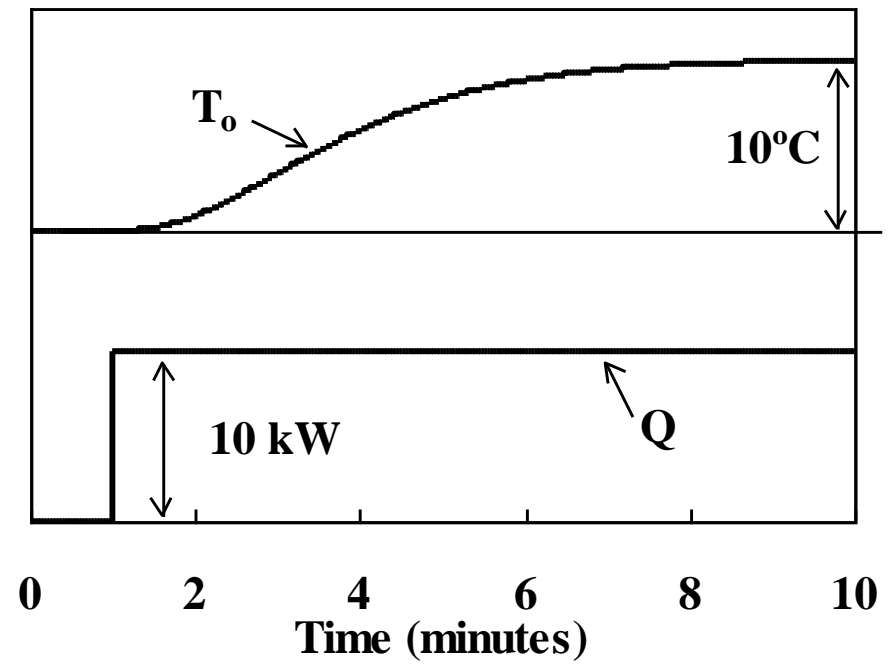
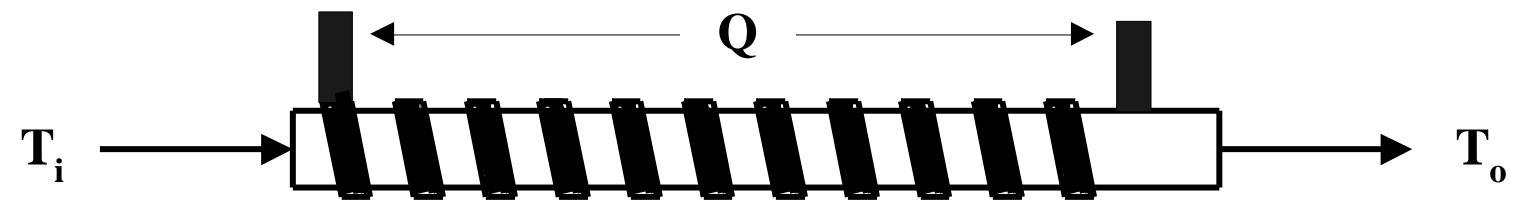
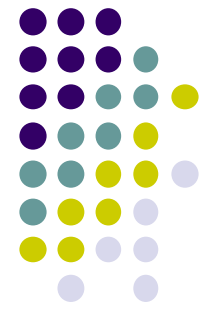
- Μαθηματική περιγραφή:
$$G_{ff}(s) = K_{ff}$$

FFC όταν $\tau_p \ll \tau_d$

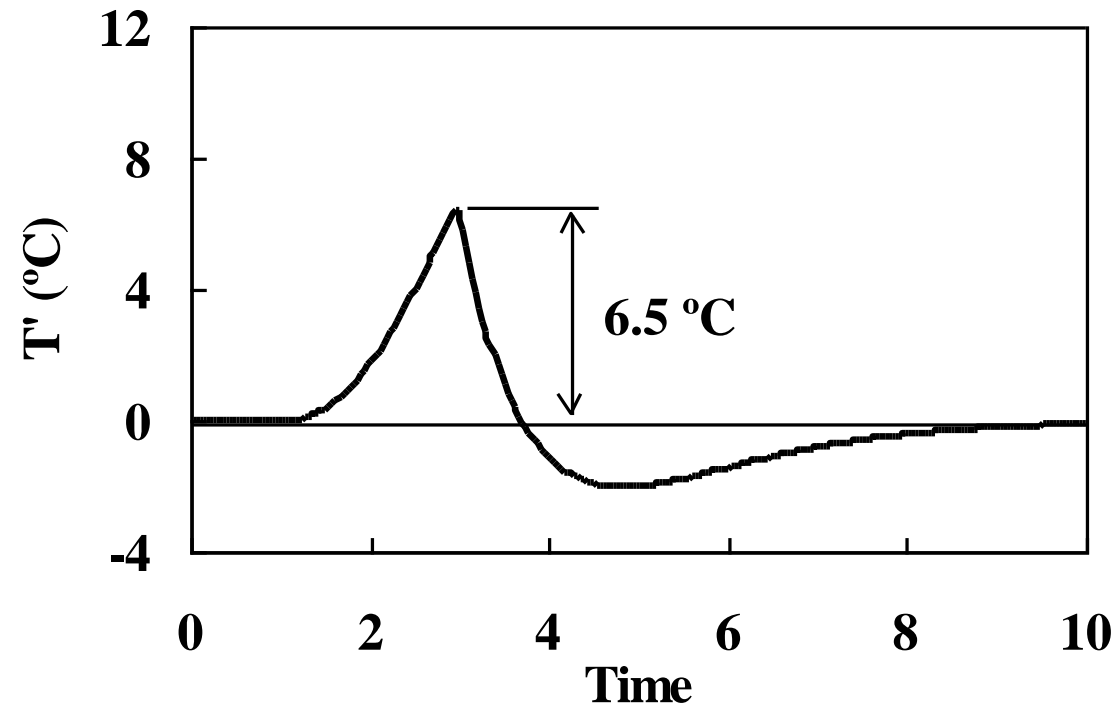
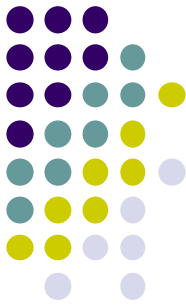


$$G_{ff}(s) = \frac{K_{ff} e^{-\theta_{ff}s}}{\tau_{lg}s + 1}$$

Παράδειγμα FFC όταν $\tau_d < \tau_p$

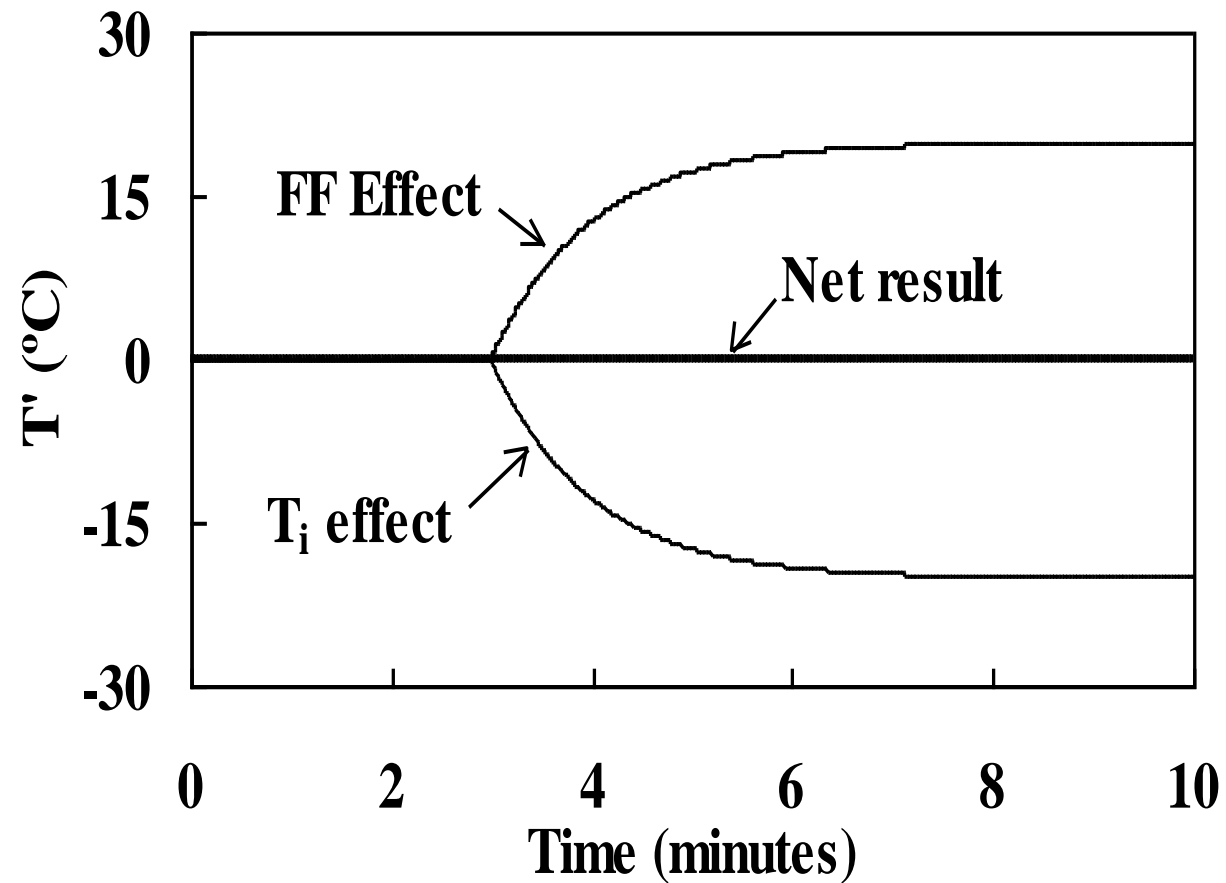
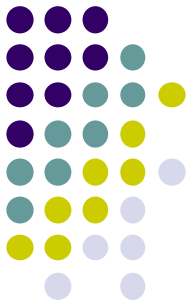


Αποτελέσματα αναλογικού FFC



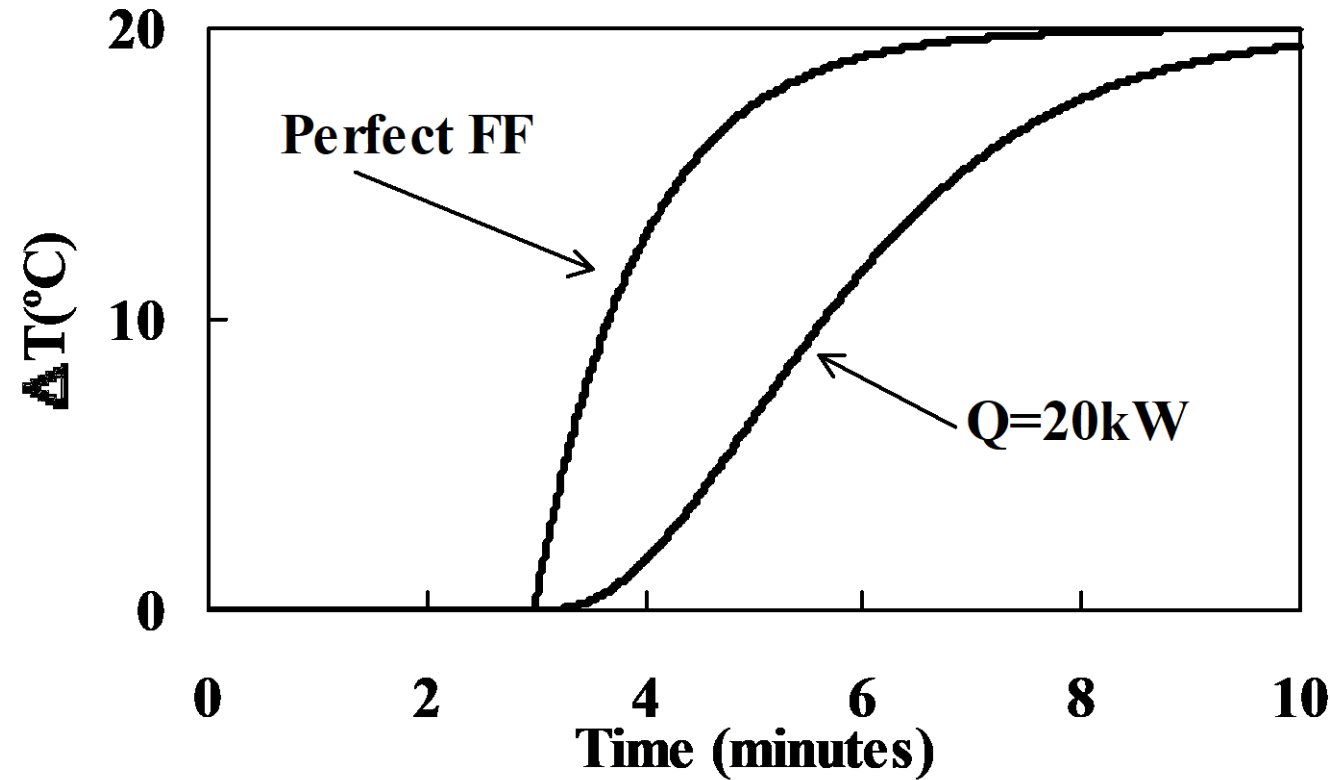
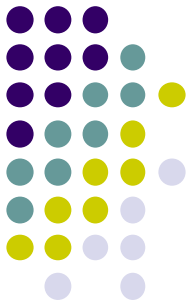
- Όταν η θερμοκρασία στην είσοδο μειώνεται κατά 20°C , Q αυξάνεται άμεσα κατά 20 kW.
- Αποκλείσεις από το σημείο ρύθμισης εμφανίζονται λόγω της διαφοράς στην δυναμική απόκριση

Τέλειος FFC



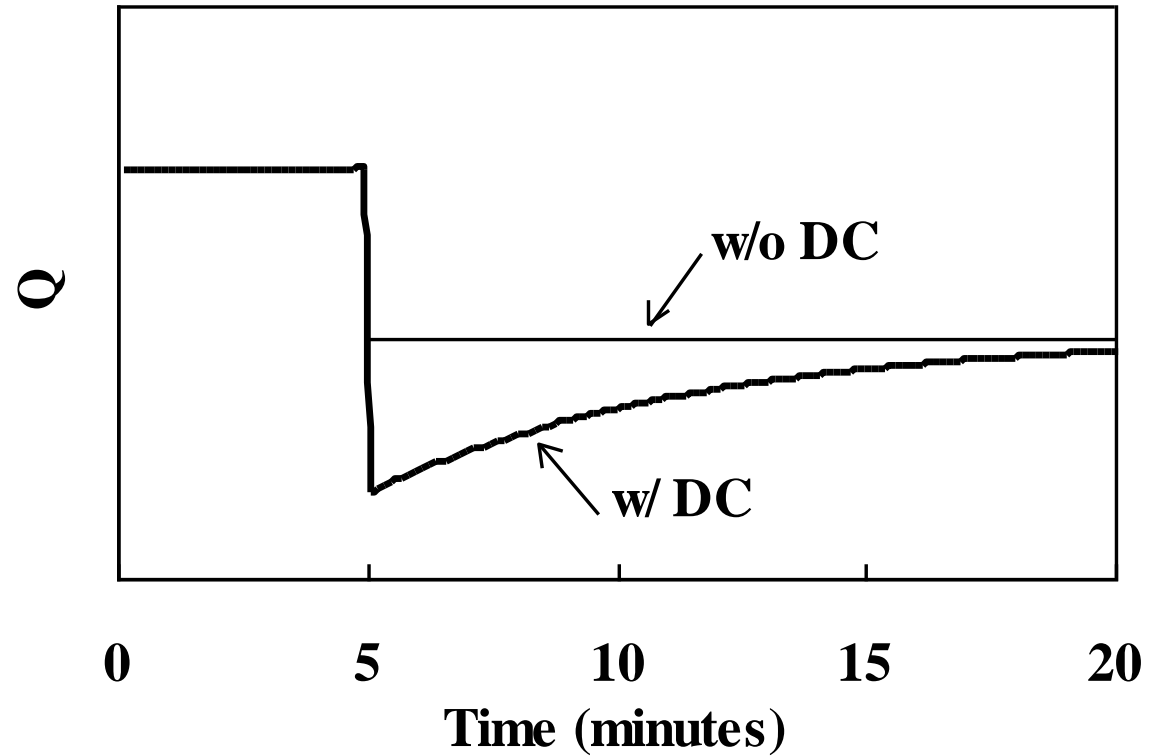
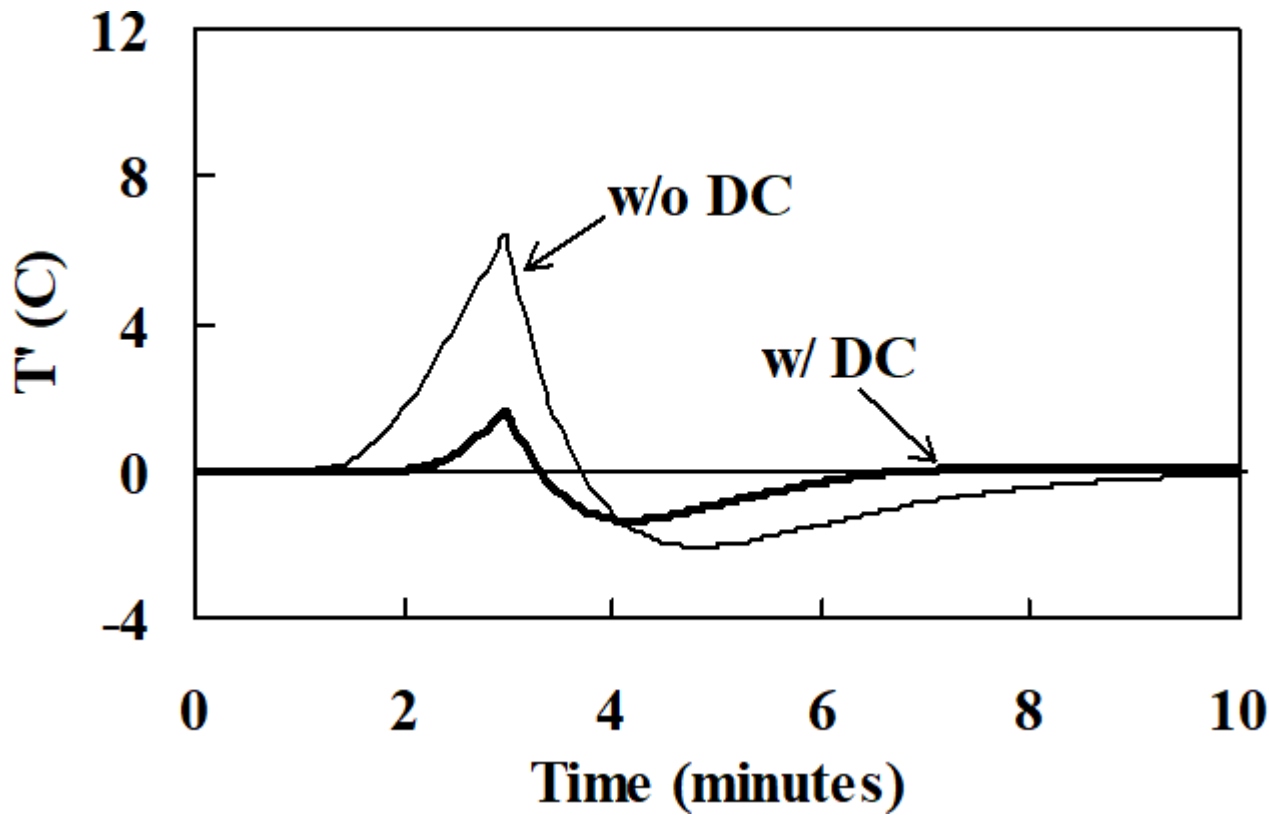
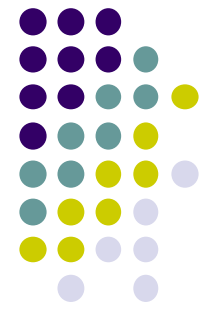
- Η διόρθωση του FF καθρεφτίζει την απόκριση στην διαταραχή
- Το αποτέλεσμα είναι καμία αλλαγή στην ρυθμιζόμενη μεταβλητή.

Αντιστάθμιση της διαφοράς στη δυναμική

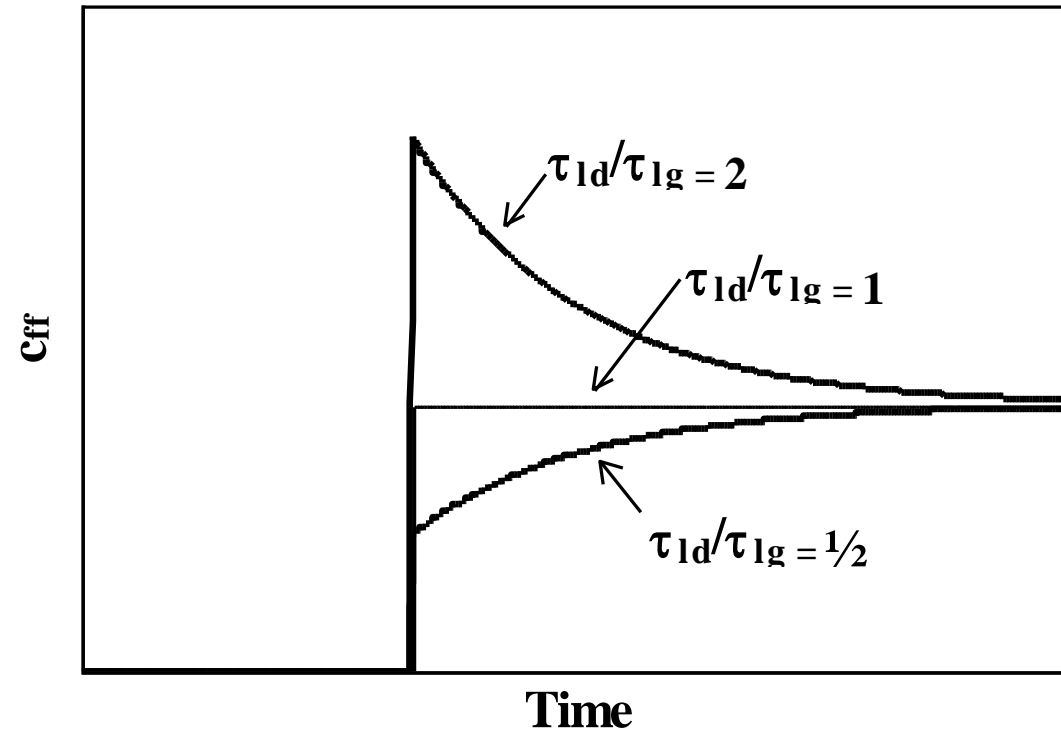
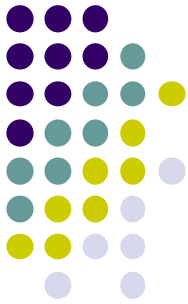


- Αφού το Q επηρεάζει την διεργασία πιο αργά από το T_i , αρχικά πρέπει να προκαλέσουμε υπέρβαση στο Q πάνω από τα 20KW που απαιτούνται (για να εξουδετερωθεί το T) ακολουθούμενο από μείωση του Q στα 20 KW.

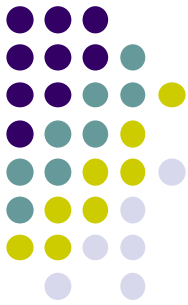
Αποτέλεσμα χρήσης δυναμικού FFC



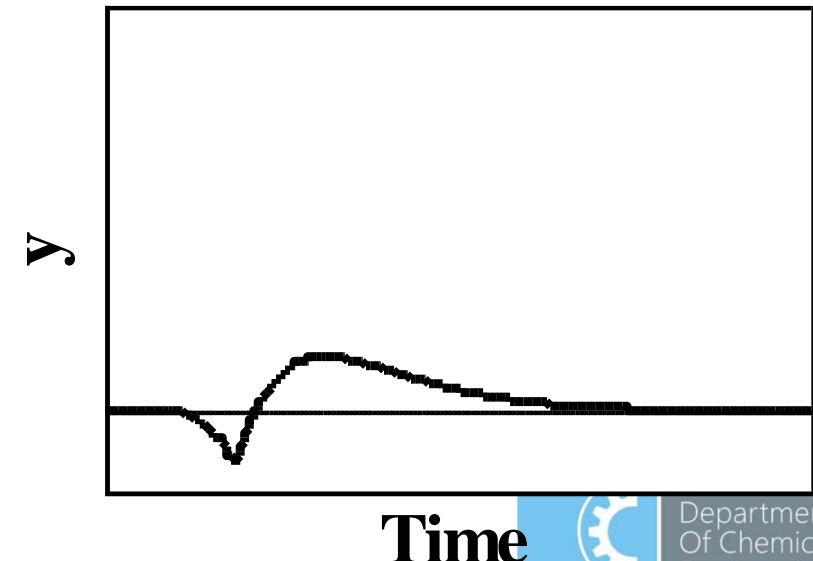
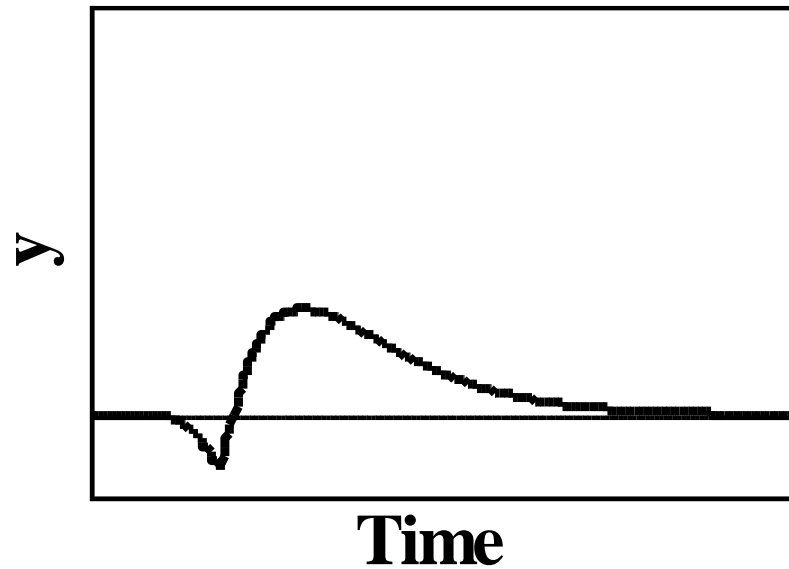
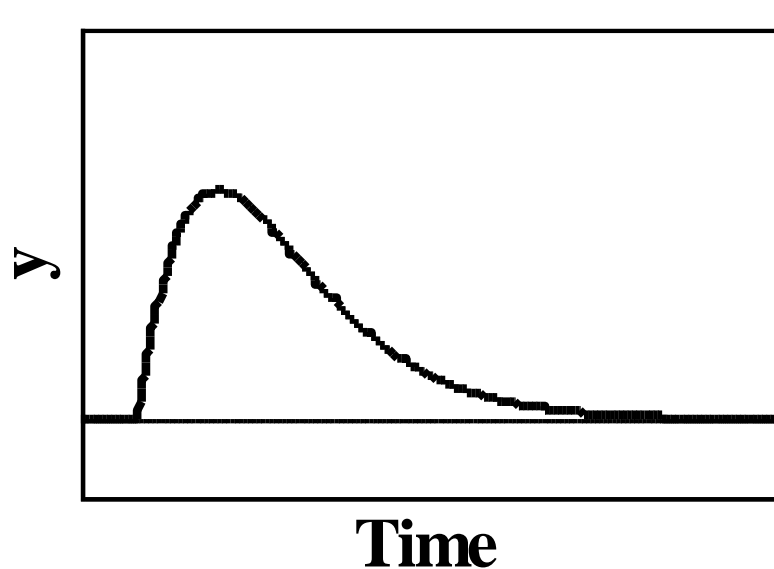
Επίδραση του λόγου Lead/Lag



Βαθμονόμηση του FFC ποιοτικά



- Αρχική εκτίμηση των lead/lag παραμέτρων βάση της γνώσης της διεργασίας.
- Στον ανοικτό βρόγχο βαθμονομήστε το K_{ff} μέχρι η τελική απόκλιση να είναι η ελάχιστη.
- Αναλύοντας την διαφορά στη δυναμική, βαθμονομήστε το θ_{ff} .
- Τέλος, βαθμονομήστε το $(\tau_{ld} - \tau_{lg})$ μέχρι το εμβαδό της απόκλισης πάνω και κάτω από το σημείο ρύθμισης είναι περίπου το ίδιο.



Ανάδραση

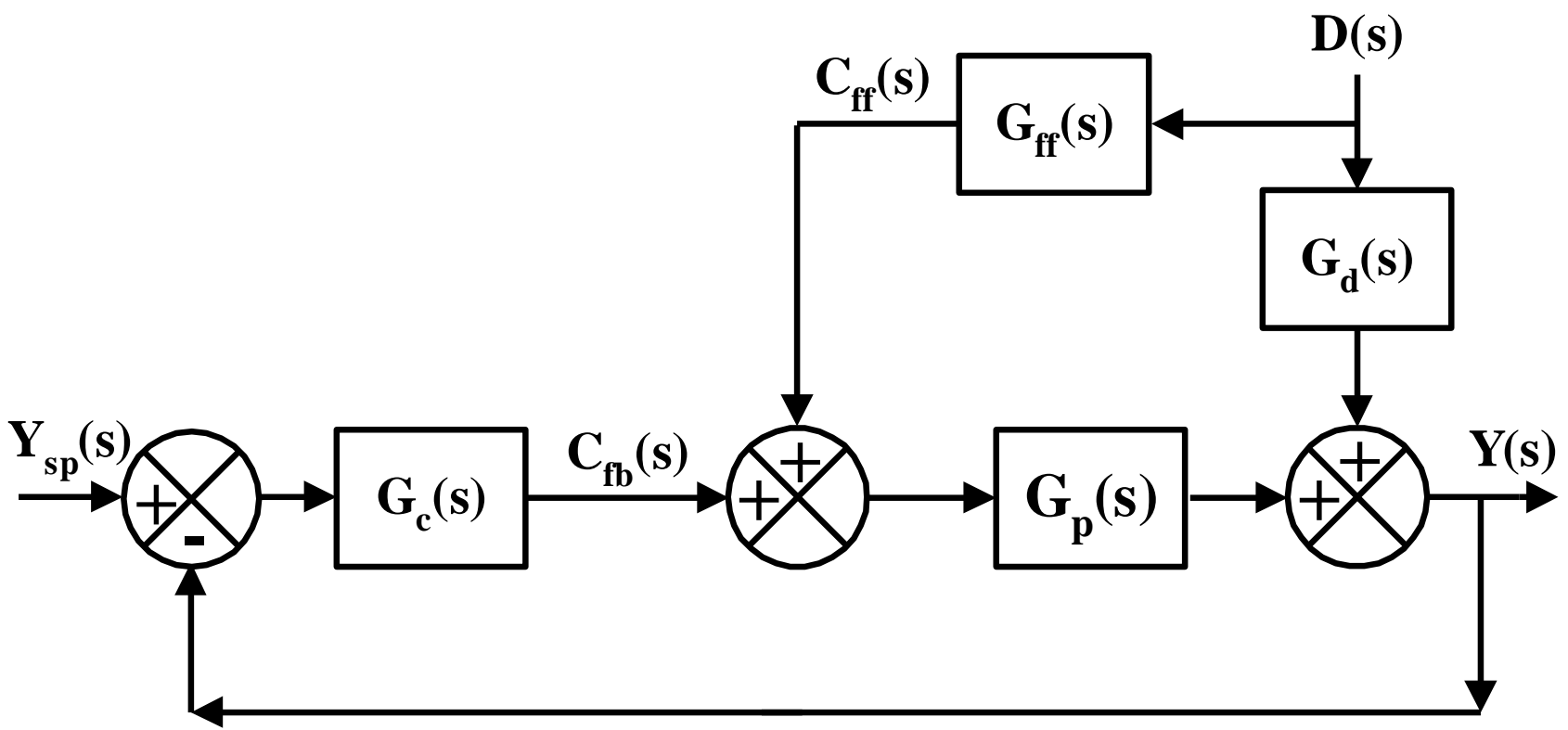
- Μπορεί να εξαλείψει αποτελεσματικά τις διαταραχές για διεργασίες ταχείας απόκρισης.
- Αλλά περιμένει μέχρι η διαταραχή να αναστατώσει τη διεργασία πριν αρχίσει τις διορθώσεις.
- Μπορεί να γίνει ασταθής λόγω μη γραμμικότητας και διαταραχής.

Πρόδραση

- Αντισταθμίζει την διαταραχή πριν επηρεαστεί η διεργασία
- Πιο αποτελεσματικό για αργές διεργασίες και για διεργασίες με σημαντική υστέρηση.
- Μπορεί να βελτιώσει την αξιοπιστία του ρυθμιστή ανάδρασης μειώνοντας την απόκλιση από το σημείο ρύθμισης.
- Είναι γραμμικός ελεγκτής, άρα η απόδοσή του επιδεινώνεται με μη γραμμικότητα.



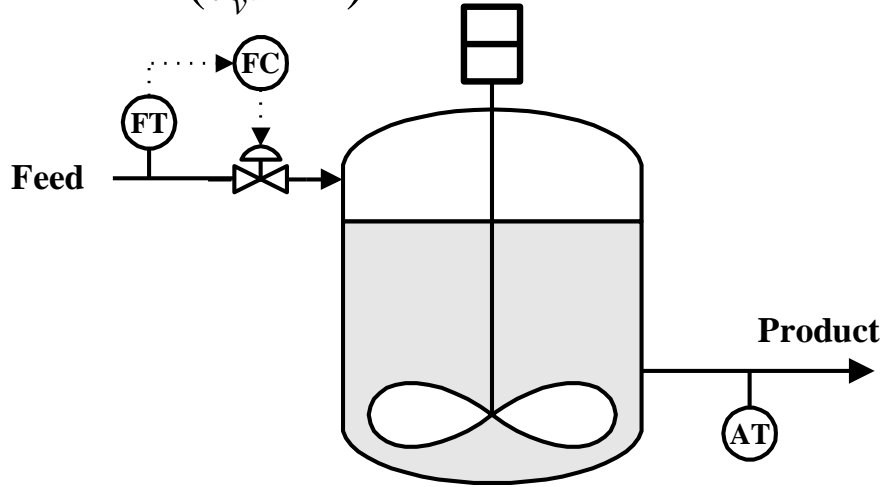
Συνδυασμός πρόδρασης και ανάδρασης



Παράδειγμα διεργασίας: Αντιδραστήρας



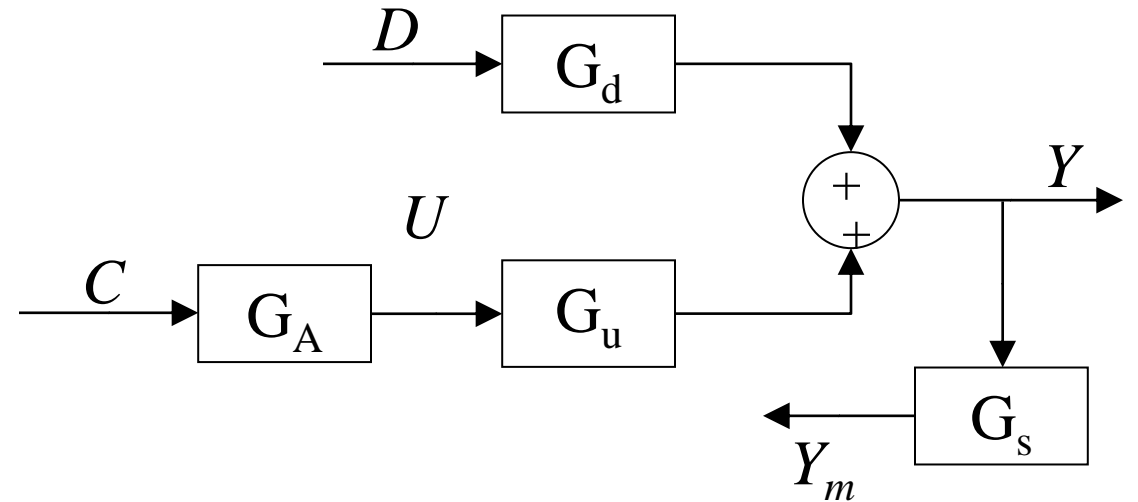
$$U(s) = \frac{1}{(\tau_v s + 1)} C(s)$$



$$\tau_v = 0.5 \text{ min}$$

$$\theta_s = 0.33 \text{ min}$$

$$Y_m(s) = e^{-\theta_s s} Y(s)$$

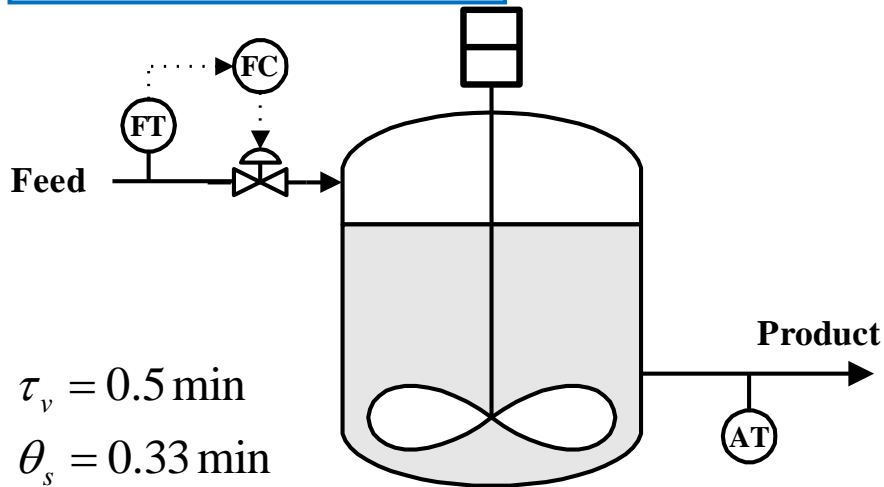


$$Y = \frac{-0.0011s + 0.001842}{s^2 + 4.006s + 3.502} U + \frac{0.4101}{s^2 + 4.006s + 3.502} D$$

Παράδειγμα: Βαθμονόμηση ΑΣΑ



$$U(s) = \frac{1}{(\tau_v s + 1)} C(s)$$



$\tau_v = 0.5 \text{ min}$
 $\theta_s = 0.33 \text{ min}$

$$Y_m(s) = e^{-\theta_s s} Y(s)$$

$$Y = \frac{-0.0011s + 0.001842}{s^2 + 4.006s + 3.502} U$$

ZN:

$$K_c = 1372$$

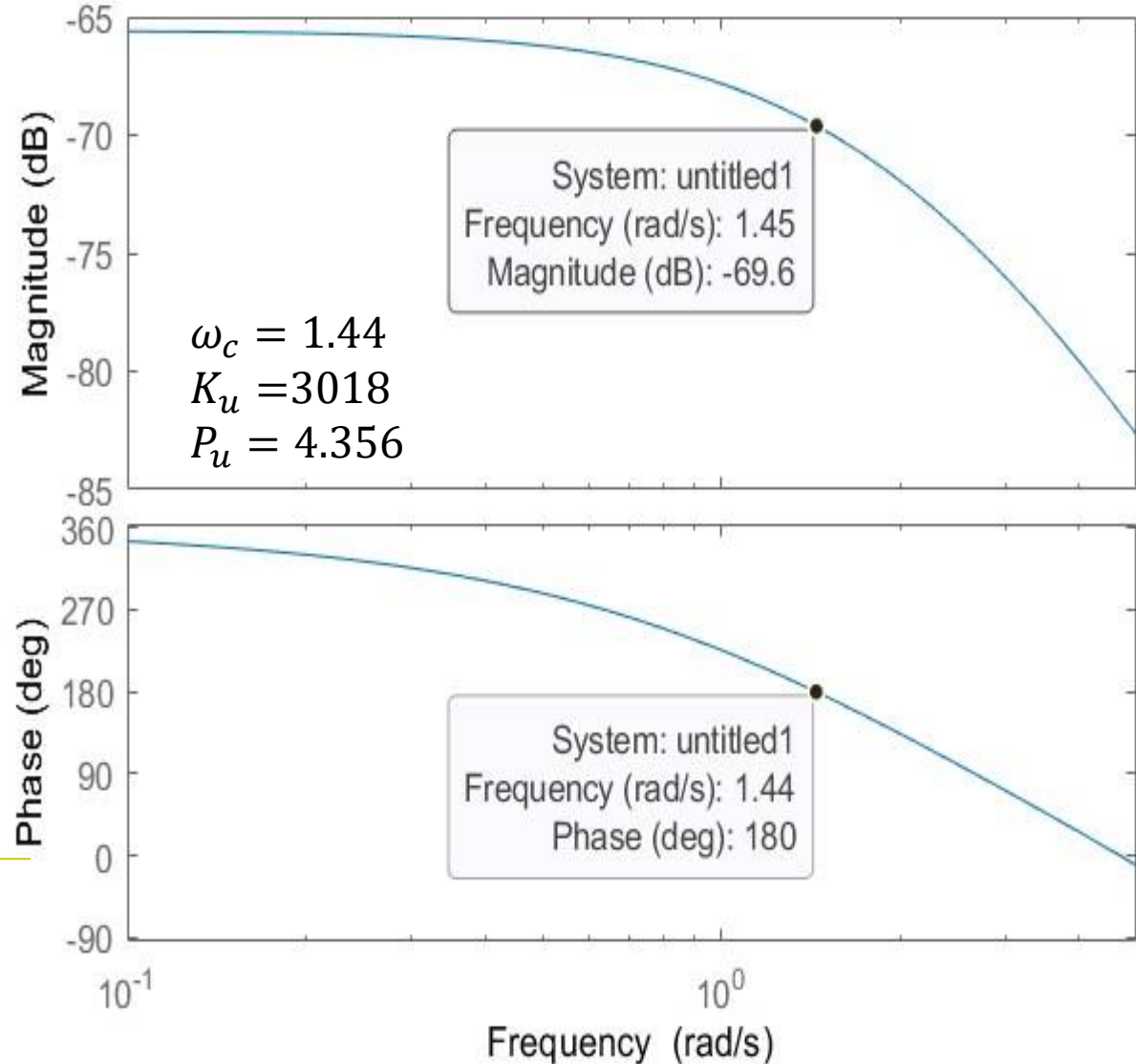
$$\tau_I = 3.63$$

Optimized:

$$K_c = 626$$

$$\tau_I = 1.00$$

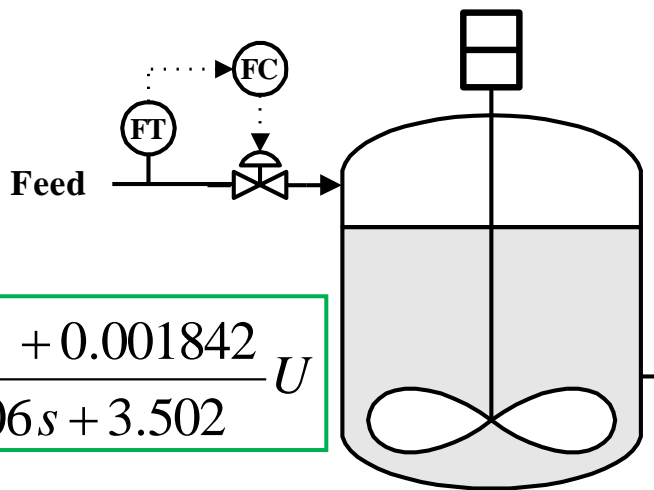
Bode Diagram





Κλείσιμο βρόγχου και δοκιμές

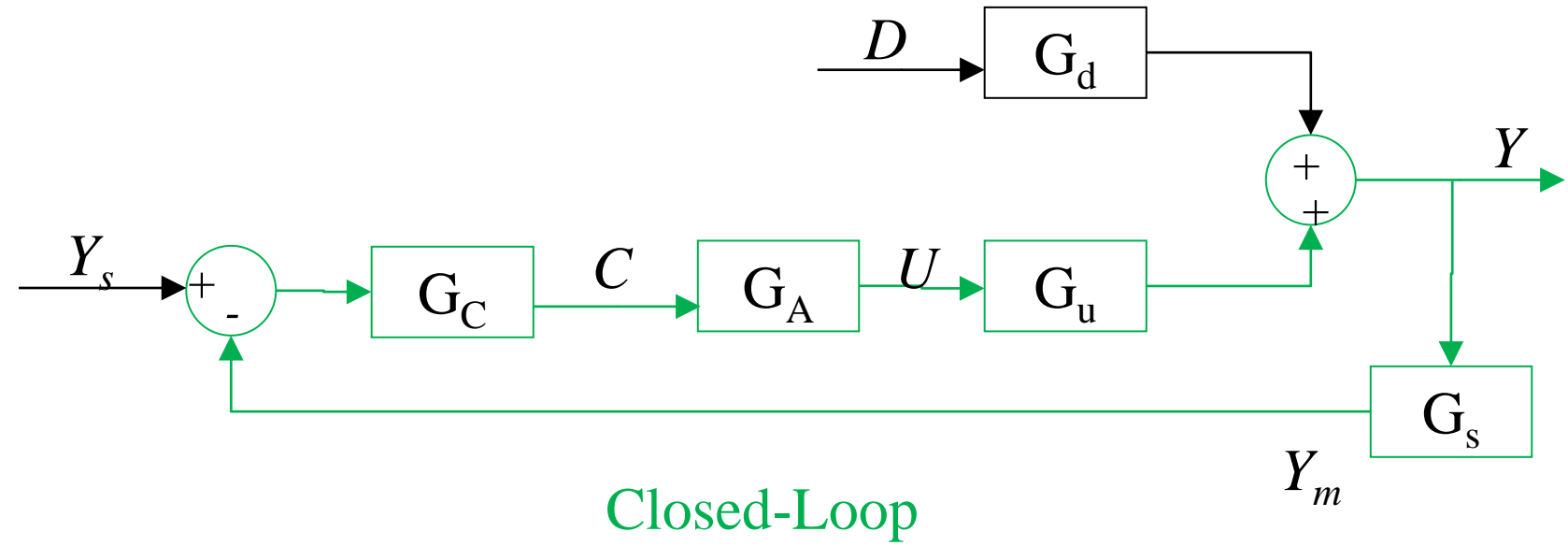
$$U(s) = \frac{1}{(\tau_v s + 1)} C(s)$$

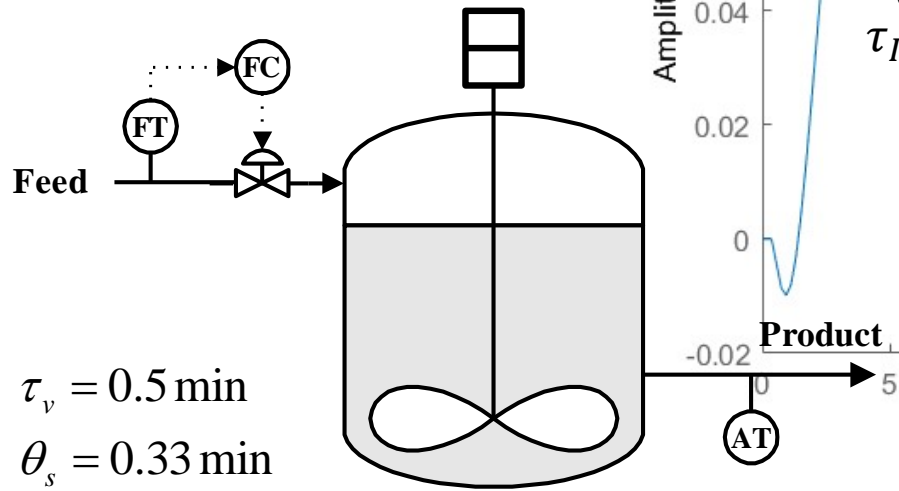


$$Y = \frac{0.4101}{s^2 + 4.006s + 3.502} D$$

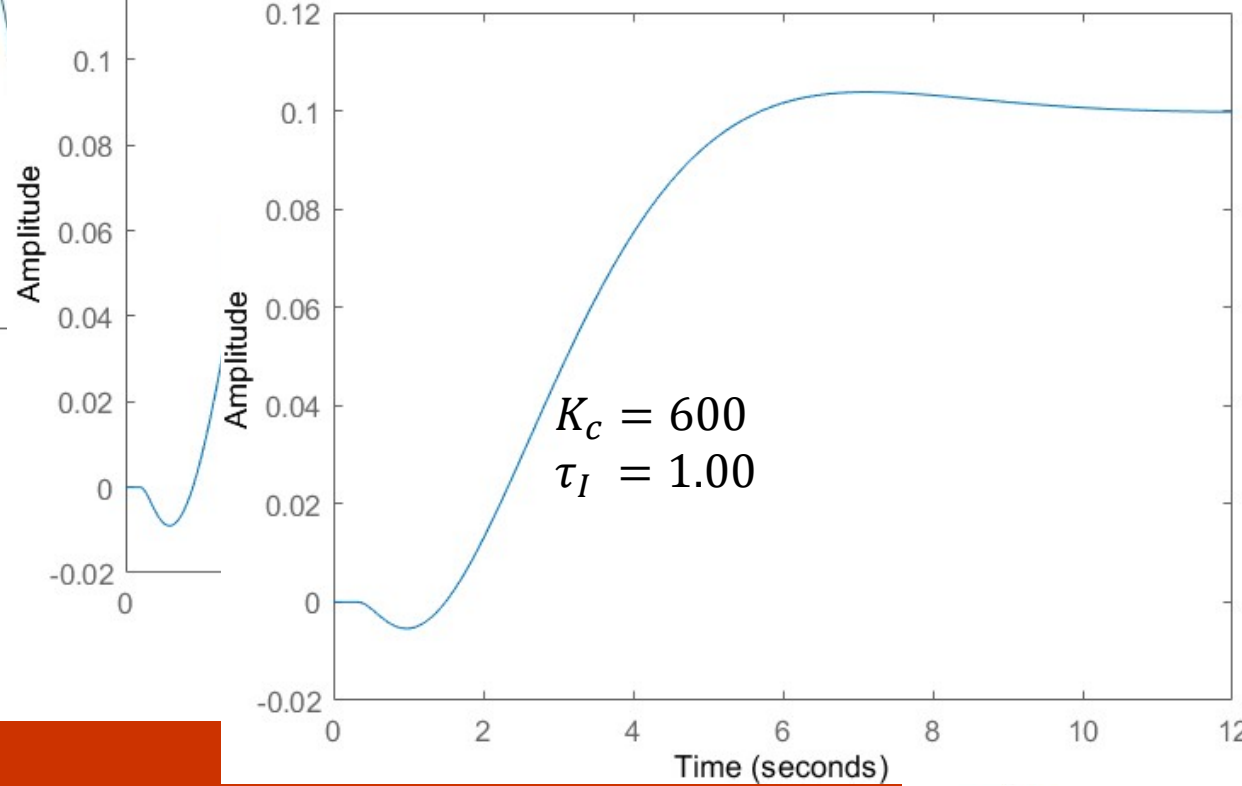
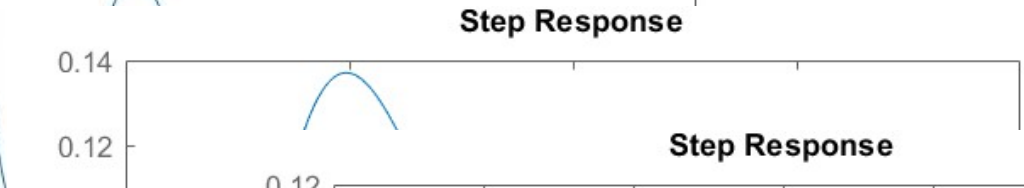
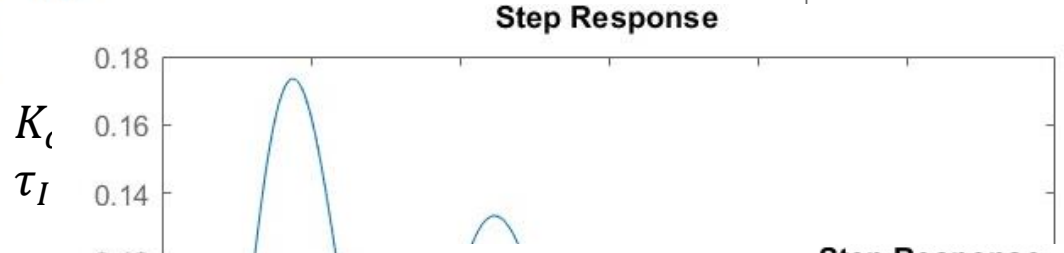
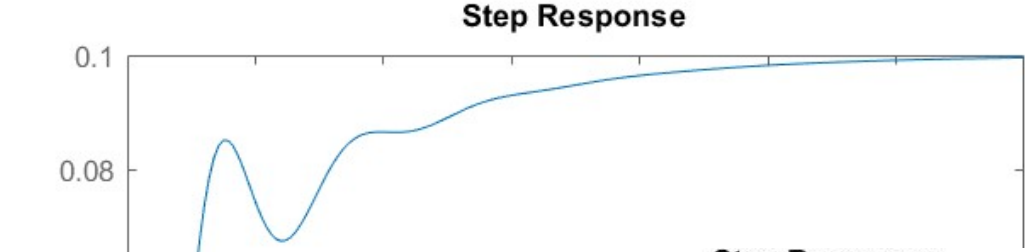
$$Y = \frac{-0.0011s + 0.001842}{s^2 + 4.006s + 3.502} U$$

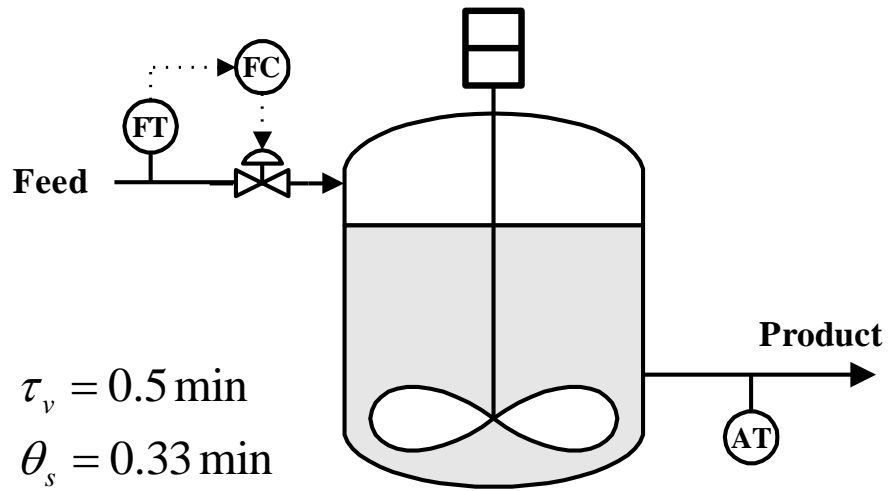
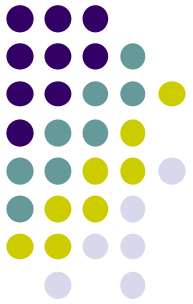
$$Y_m(s) = e^{-\theta_s s} Y(s)$$



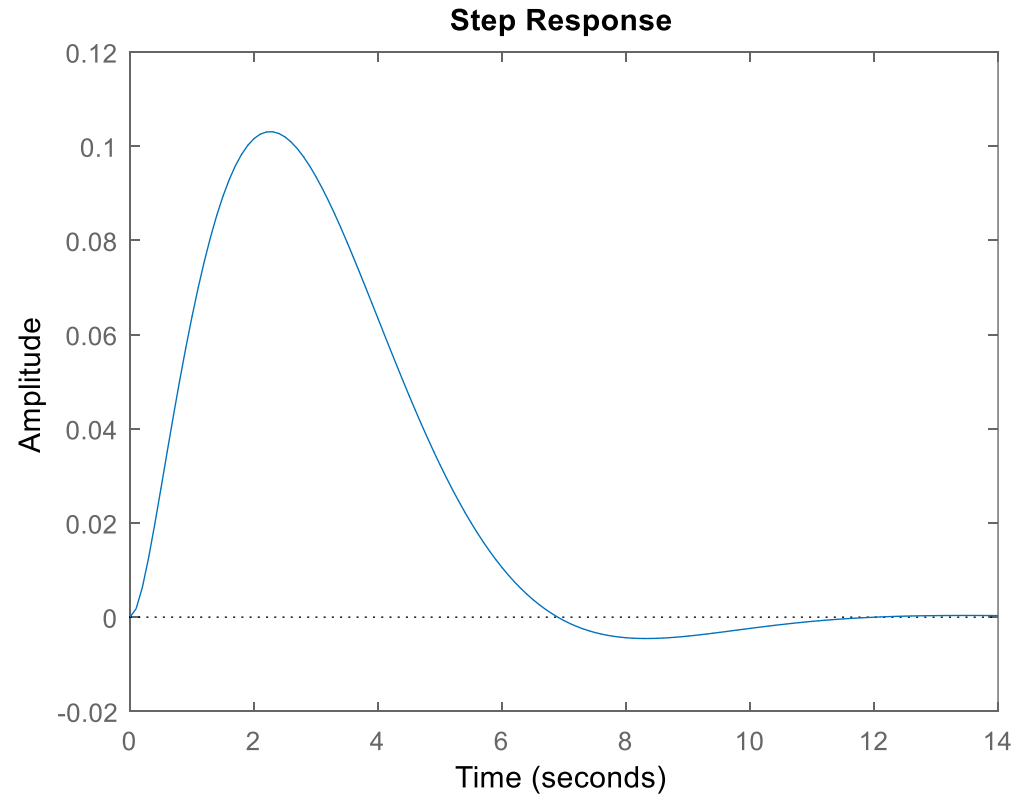


$$Y = \frac{-0.0011s + 0.001842}{s^2 + 4.006s + 3.502} U$$





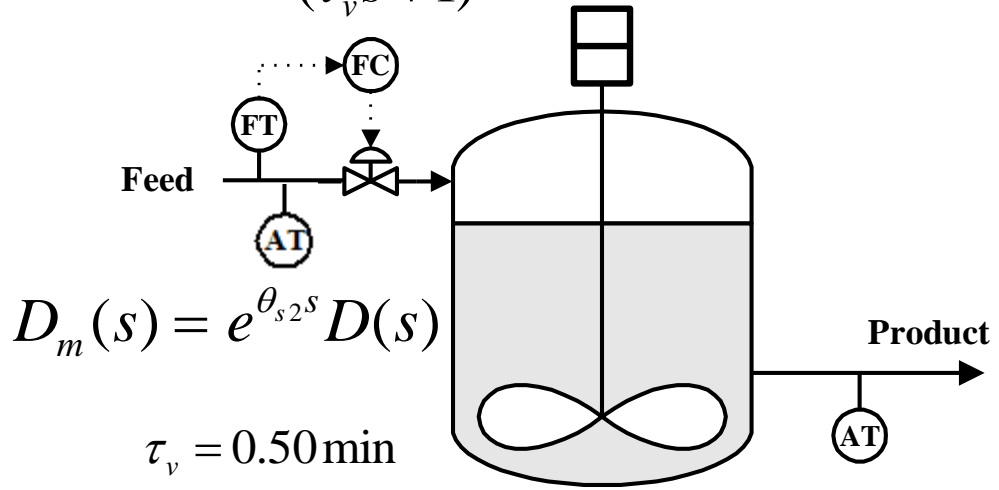
$$Y = \frac{0.4101}{s^2 + 4.006s + 3.502} D$$



Αντιδραστήρας: Νέος εξοπλισμός



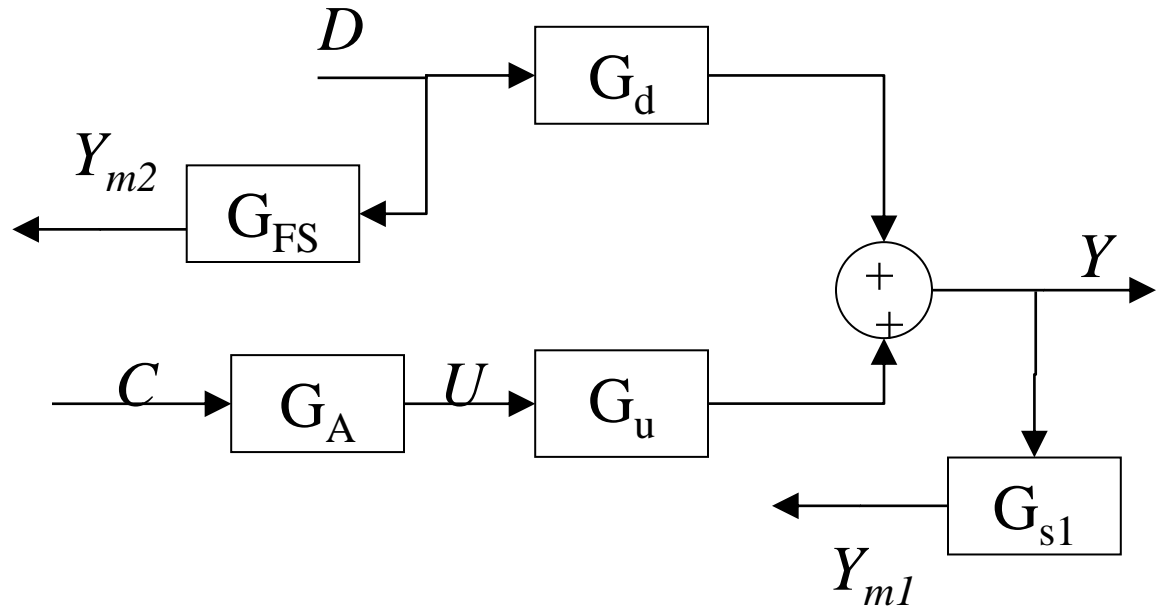
$$U(s) = \frac{1}{(\tau_v s + 1)} C(s)$$



$$D_m(s) = e^{\theta_{s2}s} D(s)$$

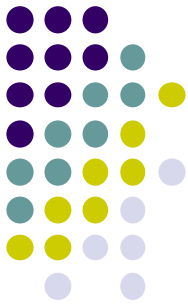
- $\tau_v = 0.50 \text{ min}$
- $\theta_s = 0.33 \text{ min}$
- $\theta_{s2} = 0.10 \text{ min}$

$$Y_m(s) = e^{-\theta_s s} Y(s)$$

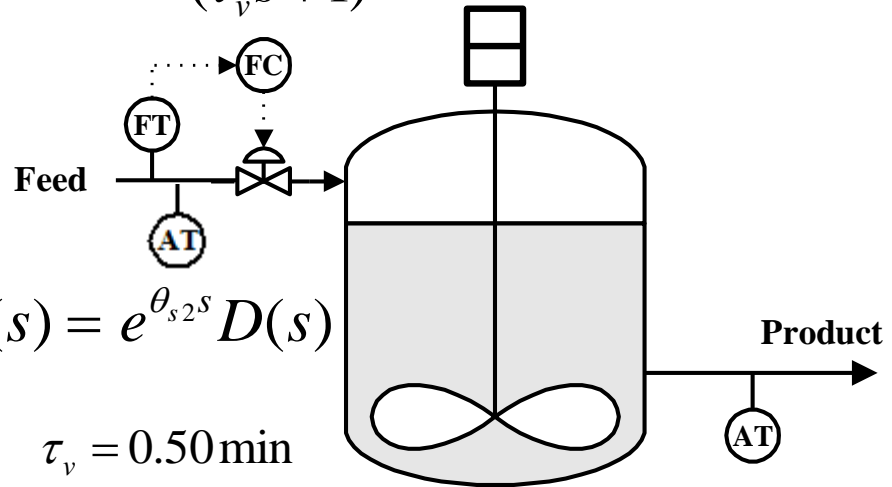


$$Y = \frac{-0.0011s + 0.001842}{s^2 + 4.006s + 3.502} U + \frac{0.4101}{s^2 + 4.006s + 3.502} D$$

Αντιδραστήρας: Νέος εξοπλισμός



$$U(s) = \frac{1}{(\tau_v s + 1)} C(s)$$



$$D_m(s) = e^{\theta_{s2}s} D(s)$$

$$\tau_v = 0.50 \text{ min}$$

$$\theta_s = 0.33 \text{ min}$$

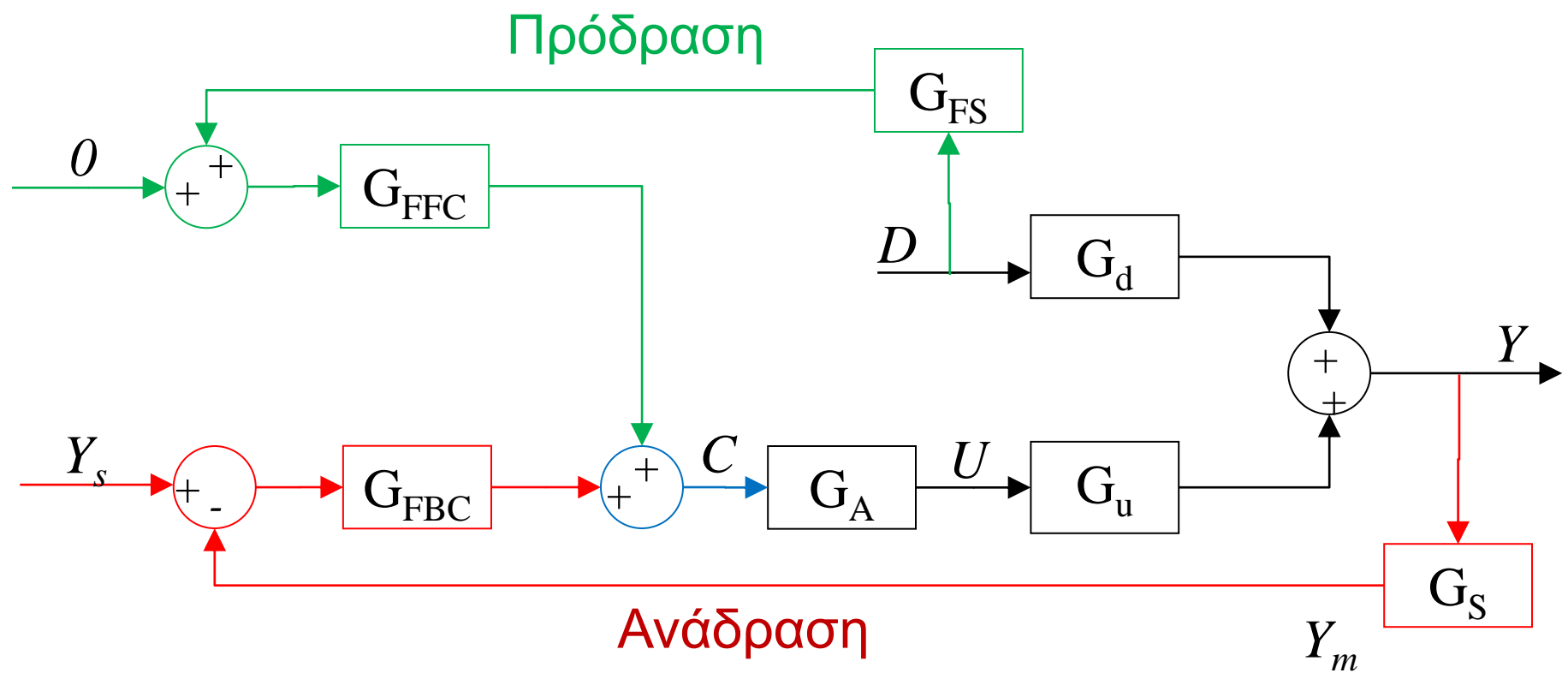
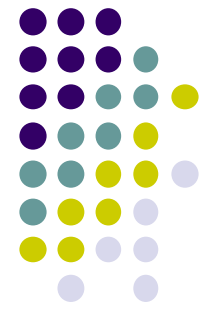
$$\theta_{s2} = 0.10 \text{ min}$$

$$Y_m(s) = e^{-\theta_s s} Y(s)$$

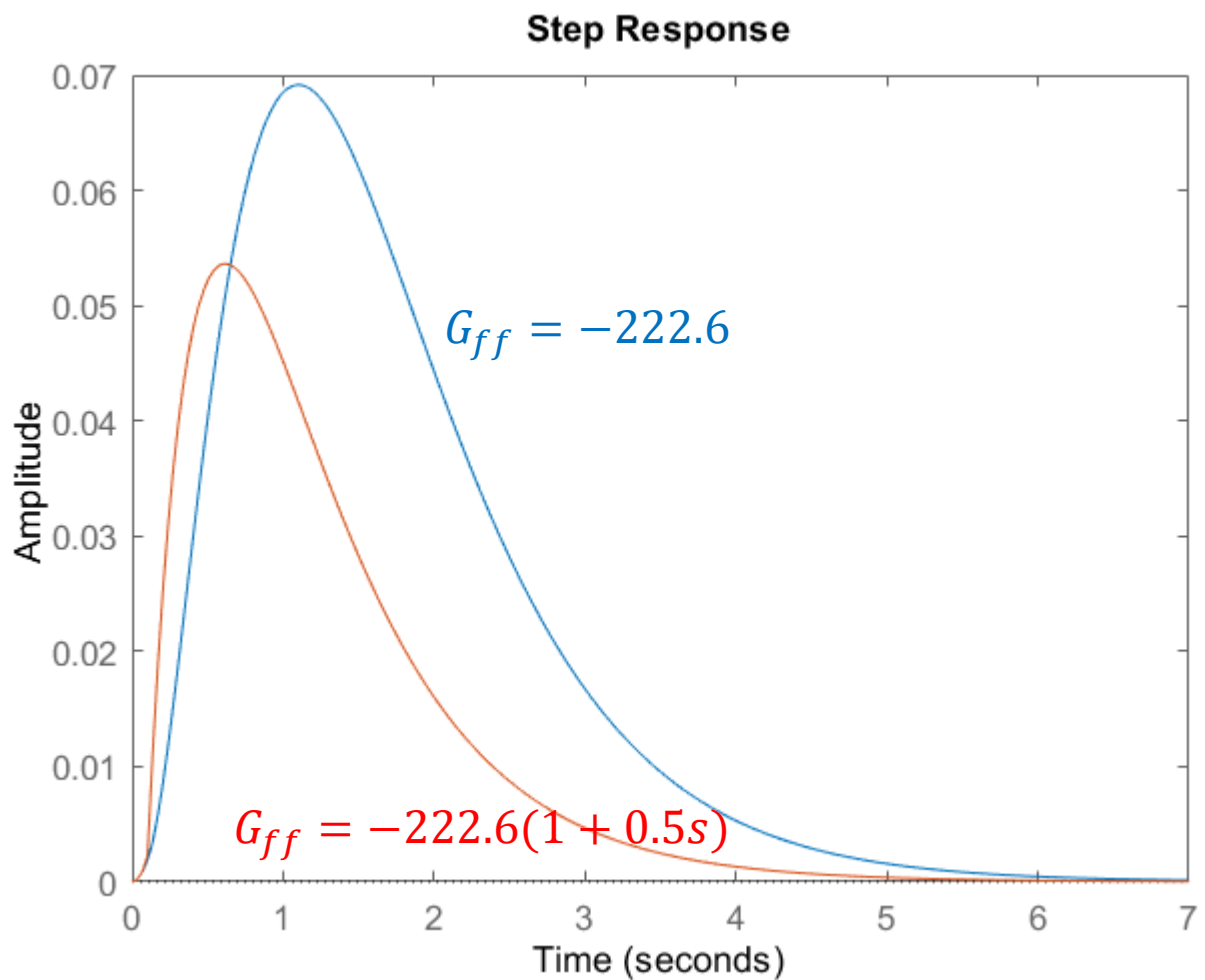
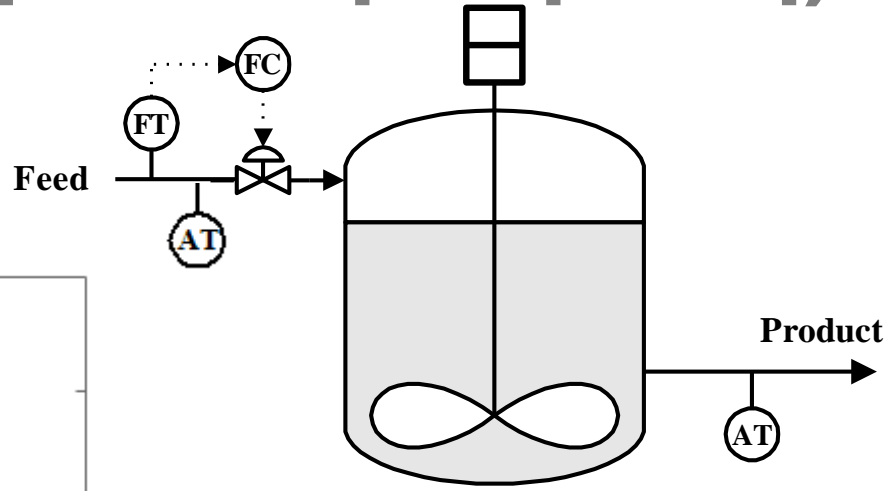
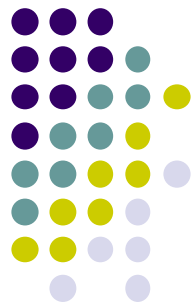
$$G_{FF} = \frac{-G_d}{G_{FS} G_A G_u} = -\frac{111.3s + 222.6}{-0.597s + 1} e^{+0.1s}$$

$$Y = \frac{-0.0011s + 0.001842}{s^2 + 4.006s + 3.502} U + \frac{0.4101}{s^2 + 4.006s + 3.502} D$$

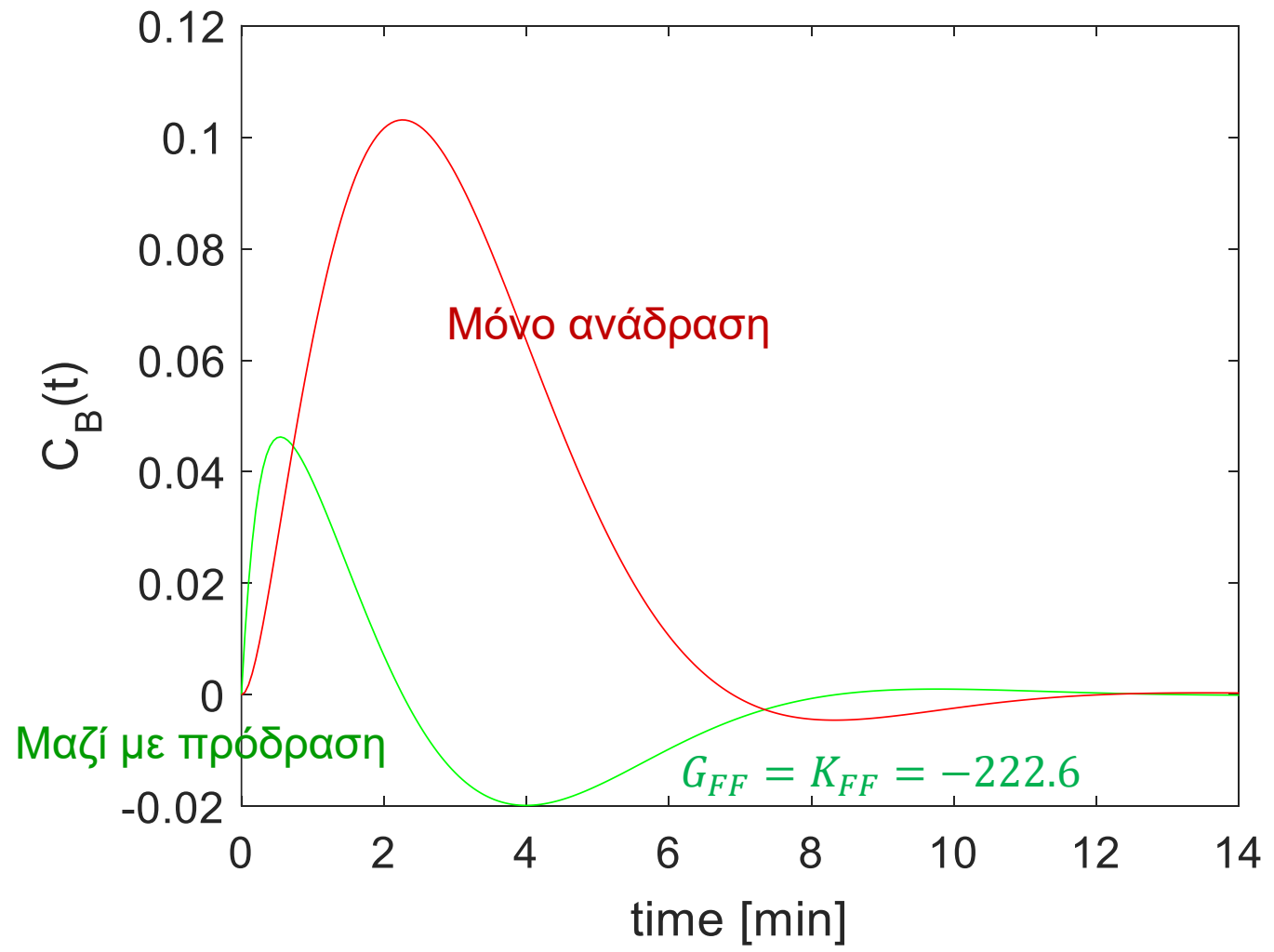
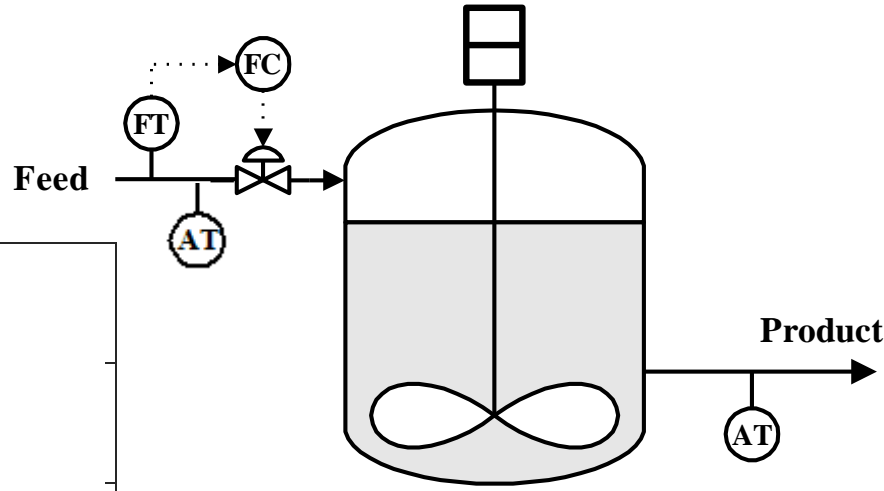
Διάγραμμα βαθμίδων αρχιτεκτονικής



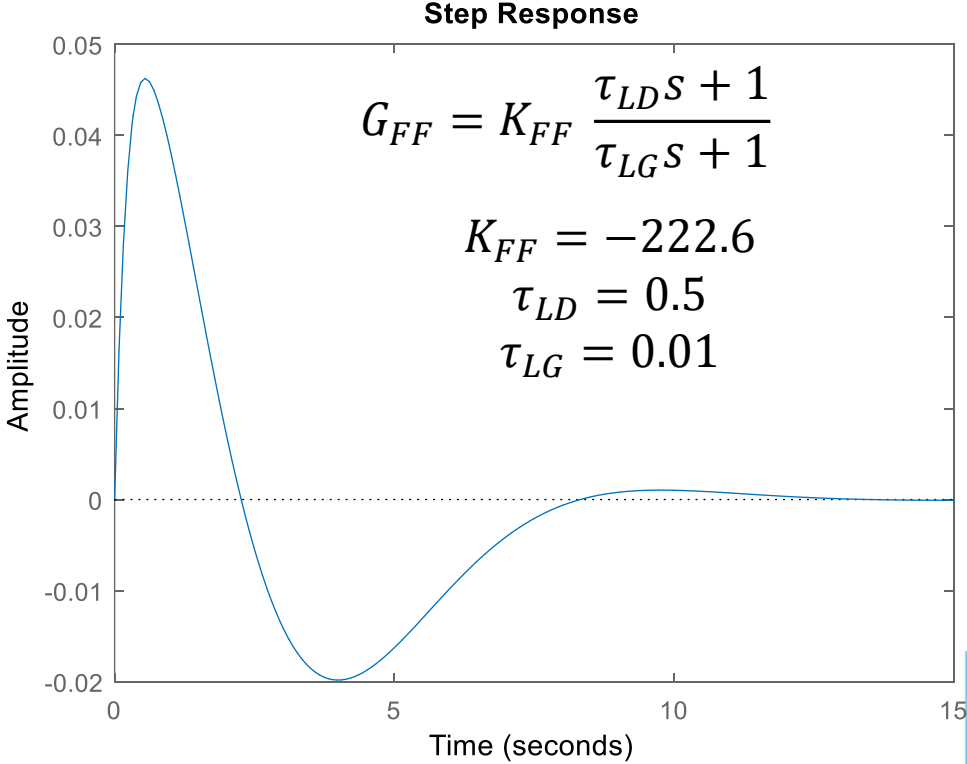
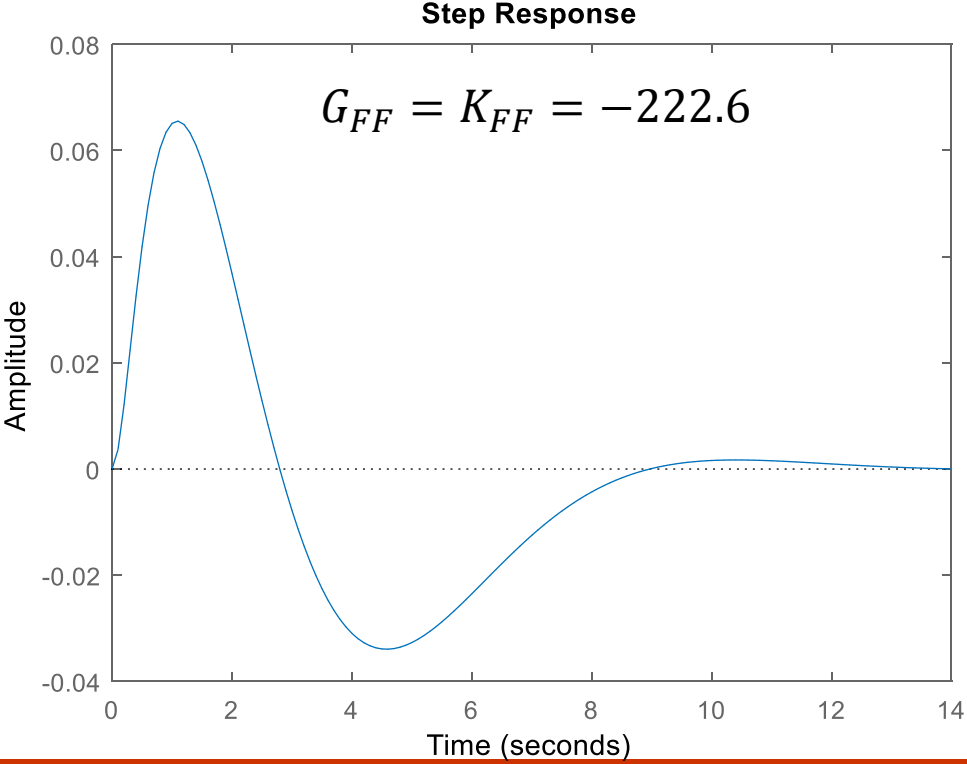
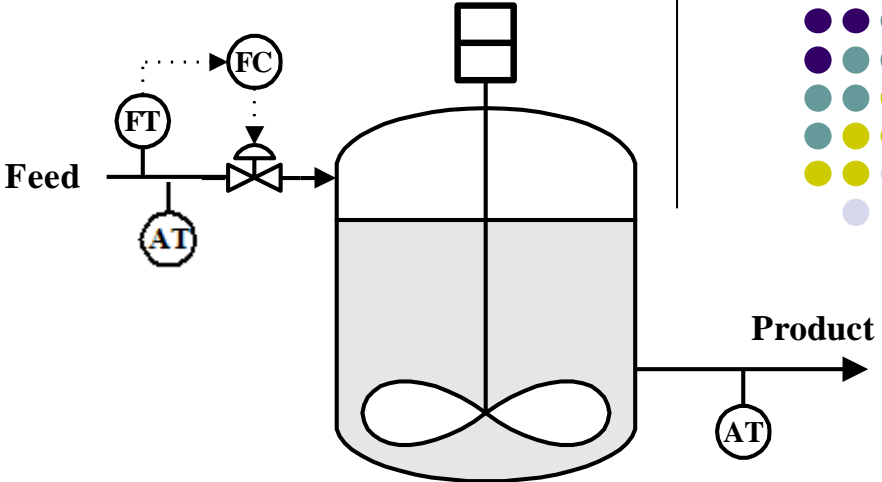
Απόκριση σε διαταραχή (μόνο πρόδραση)



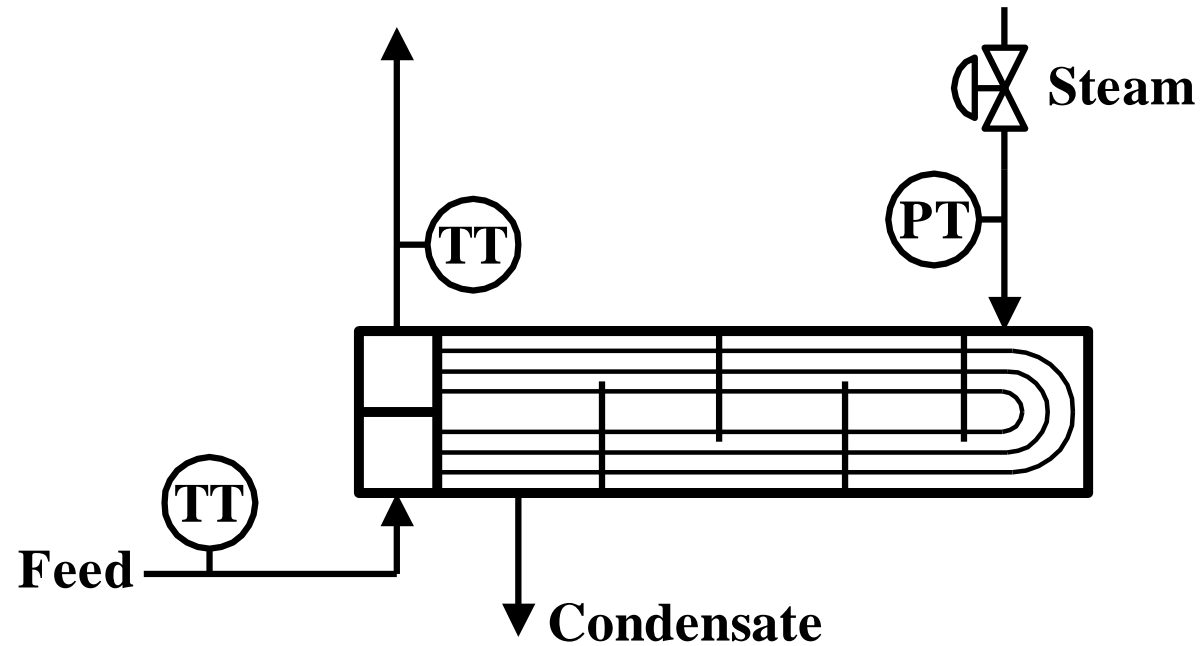
Απόκριση σε διαταραχή



Βαθμονόμηση του FFC

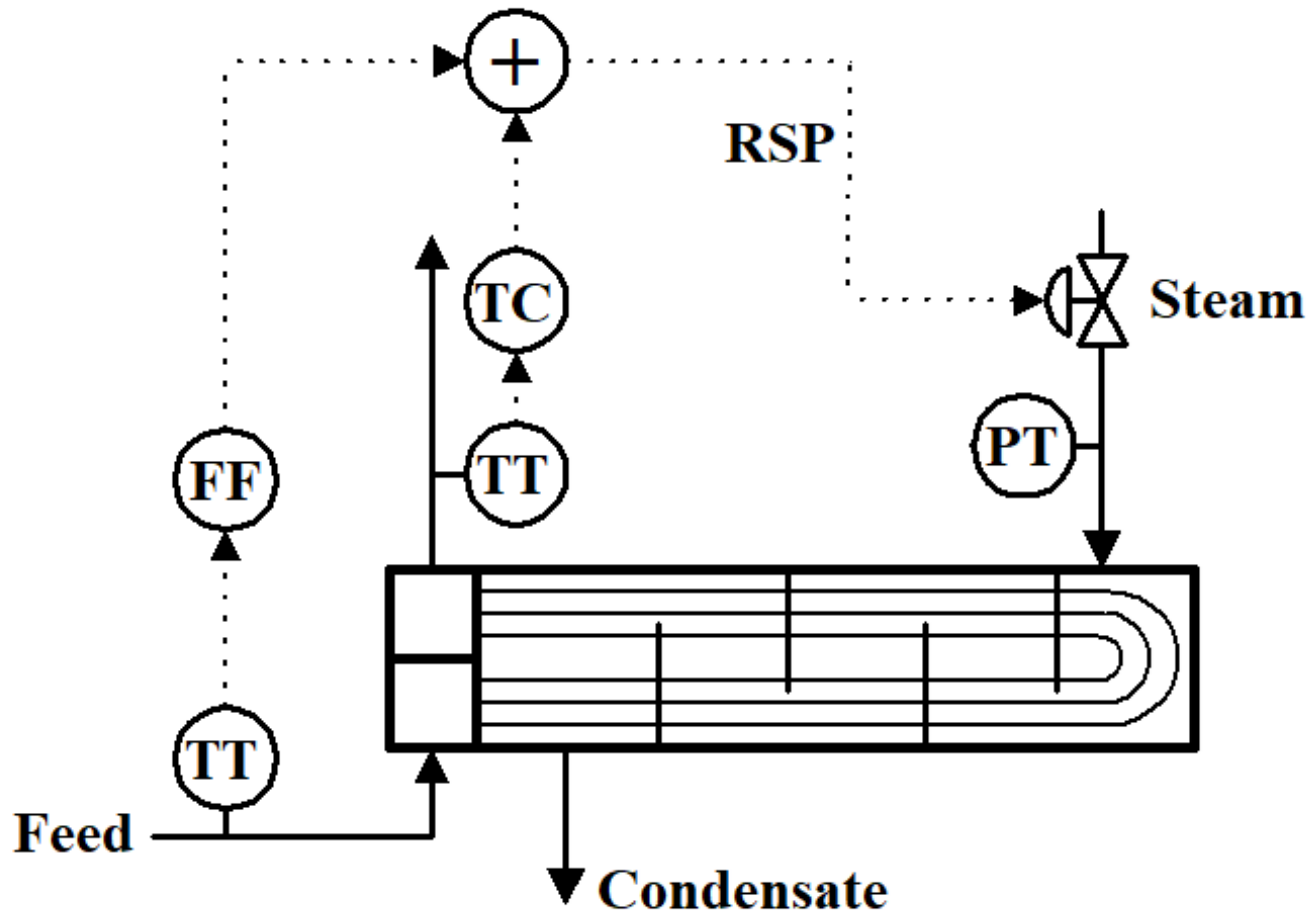


Παράδειγμα προσέγγισης

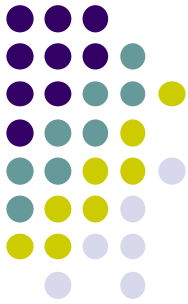


- Κατασκευάστε μια δομή που χρησιμοποιεί τις μετρήσεις.
- Ρυθμιζόμενη: θερμοκρασία εξόδου
- Διαταραχή: θερμοκρασία εισόδου
- Χειριζόμενη: Παροχή ατμού

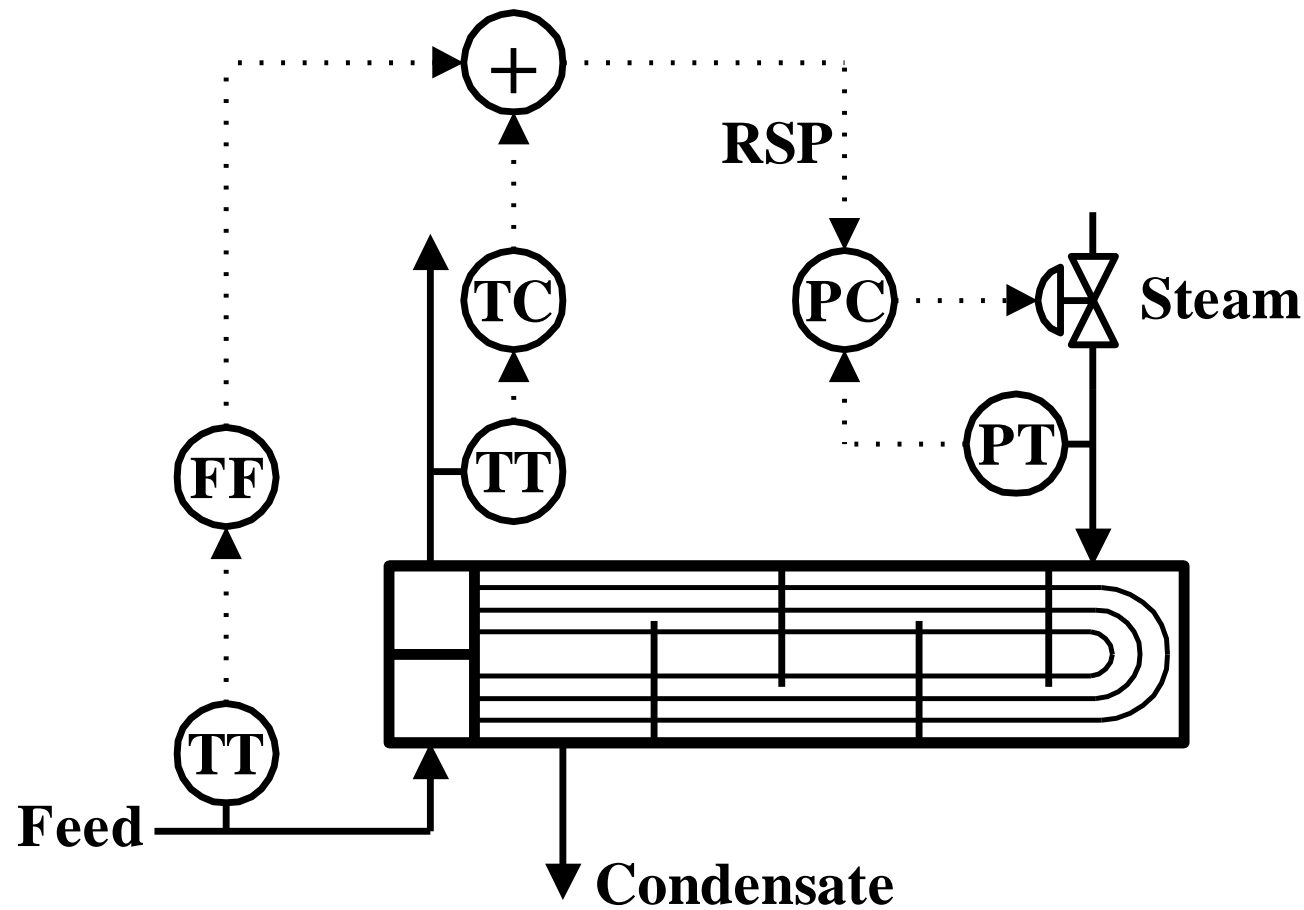
Λύση



- Ένας βρόχος ανάδρασης που μετρά και ρυθμίζει την θερμοκρασία εξόδου.
- Ένας βρόχος πρόδρασης που μετρά και αποκρίνεται στη θερμοκρασία εισόδου.



Λύση



- Ένας βρόχος ανάδρασης που μετρά και ρυθμίζει την θερμοκρασία εξόδου.
- Ένας βρόχος πρόδρασης που μετρά και αποκρίνεται στη θερμοκρασία εισόδου.
- Μαζί είναι ο 1^ο βρόχος σε συστοιχία που χειρίζεται την ροή του ατμού!



Ανασκόπηση



- Η συστοιχία ρυθμιστών μπορεί να αφαιρέσει αποτελεσματικά ορισμένες διαταραχές εάν ο δευτερεύων βρόχος είναι τουλάχιστον 3 φορές ταχύτερος από τον κύριο βρόχο.
- Ο έλεγχος αναλογίας είναι αποτελεσματικός για διαδικασίες που κλιμακώνονται με το ρυθμό τροφοδοσίας.
- Η πρόδραση μπορεί να είναι αποτελεσματική για μετρούμενες διαταραχές ειδικά σε διεργασίες αργής απόκρισης, εφόσον η μη γραμμικότητα της διαδικασίας δεν είναι πολύ μεγάλη.