Δυναμική & Ρύθμιση Διεργασιών

Διάλεξη 14:

Αναγνώριση συστημάτων

Βήματα της Ρύθμισης Διεργασιών, μέρος Α

1. **Καθορίστε τη διεργασία που εξετάζεται**
   a. Διατύπωση υποθέσεων
   b. Ταξινόμηση μεταβλητών (χειριζόμενες, διαταραχές, εσωτερικές, ελεγχόμενες, μετρούμενες)
   c. Διατύπωση μοντέλου διεργασίας
   d. Προσδιορισμός του επιθυμητού σημείου λειτουργίας
   e. Διατύπωση περιγραφής χώρου κατάστασης
   f. Διατύπωση περιγραφής συναρτήσεων μεταφοράς
   g. **Αναγνώριση διεργασιών (αν χρειάζεται)**

2. **Ανάλυση Διεργασίας**
   a. Ανάλυση παρατηρησιμότητας
   b. Ανάλυση ελεγξιμότητας / ρυθμισιμότητας
   c. Ανάλυση ευστάθειας
   d. Ανάλυση δυναμικής συμπεριφοράς
      a. Απόκριση σε παλμική αλλαγή
      b. Απόκριση σε ημιτονική αλλαγή

Εξερεύνηση δυναμικής συμπεριφοράς

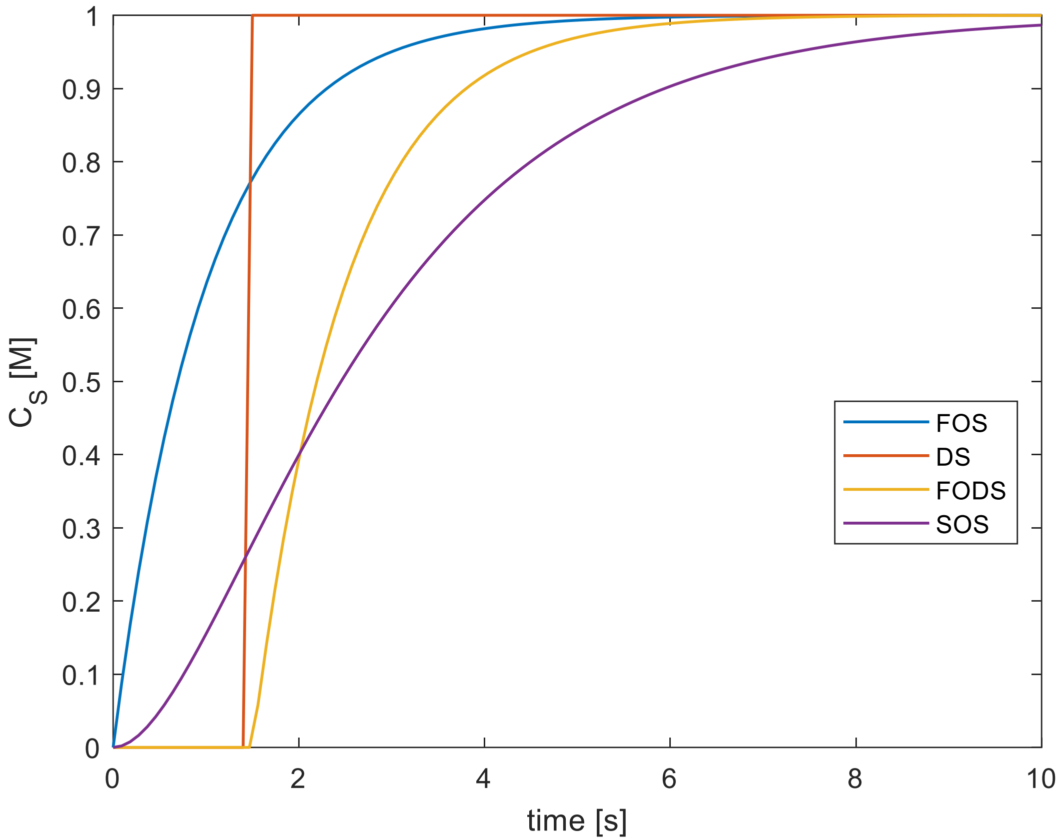
- Η δυναμική συμπεριφορά του συστήματος είναι απαραίτητο να κατανοηθεί για εγγυηθεί η ασφαλής και επιτυχής λειτουργία διεργασίας.
  - Να βρεθεί ο ελάχιστος αριθμός μεταβλητών που να την περιγράφουν (προσεγγιστικά).
- Για την εξερεύνηση της δυναμικής συμπεριφοράς του συστήματος πρότυπες μεταβολές της εισόδου χρησιμοποιούνται.
  - Βήμα
  - Παλμός / Κρουστικός παλμός
  - Γραμμική μεταβολή
  - Ημίτονο
- Είναι όμως εύκολο να έχουμε μια περιγραφή για το σύστημα;
  - Ο εξοπλισμός επηρεάζει την περιγραφή: Πρέπει να έχουμε την περιγραφή του
  - Η κατασκευή μοντέλου μιας διεργασίας μέσω ισοζυγίων μπορεί να είναι δύσκολη

Κατασκευή εμπειρικού μοντέλου για χρήση στην ανάλυση και ρύθμιση

Εξερεύνηση δυναμικής συμπεριφοράς

- Η μεταβατική συμπεριφορά του συστήματος είναι απαραίτητο να κατανοηθεί και να βρεθεί ένα ελάχιστος αριθμός μεταβλητών που να την περιγράφουν (προσεγγιστικά).
-

	ΠΧΚ	**ΠΕΕ**
DS	$y(t) = Ku(t-\theta)$	$y(t) = Ku(t-\theta)$
FOS	$\tau\frac{dy}{dt} = -y + Ku(t)$	$\tau\frac{dy}{dt} + y = Ku(t)$
FODS	$\tau\frac{dy}{dt} = -y + Ku(t-\theta)$	$\tau\frac{dy}{dt} + y = Ku(t-\theta)$
SODS	$\tau\frac{dy_1}{dt} = -y_1 + Ku(t-\theta)$ $\tau_2\frac{dy_2}{dt} = -y_2 + y_1$	$\tau\frac{d^2y}{dt^2} + \tau\zeta\frac{dy}{dt} + y = Ku(t-\theta)$



Εξερεύνηση δυναμικής συμπεριφοράς

- Η μεταβατική συμπεριφορά του συστήματος είναι απαραίτητο να κατανοηθεί και να βρεθεί ένα ελάχιστος αριθμός μεταβλητών που να την περιγράφουν (προσεγγιστικά).

- **ΠΧΚ** **ΠΣΜ**

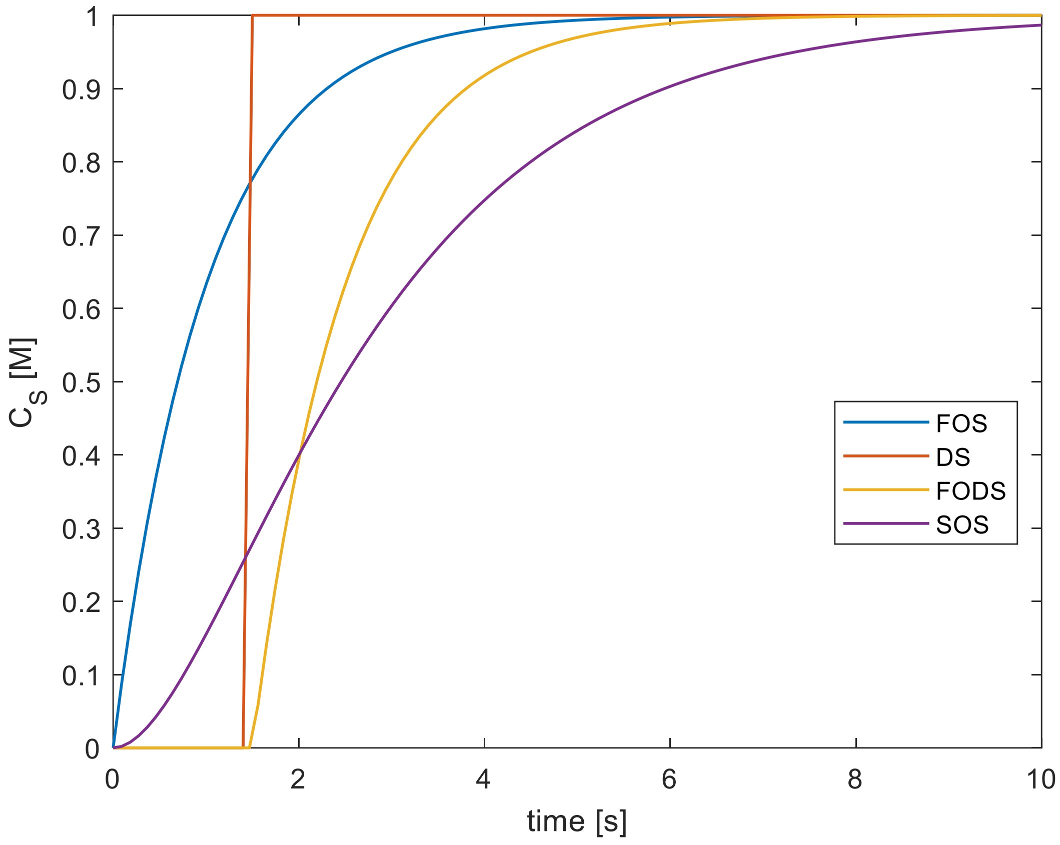
DS $y(t) = Ku(t-\theta)$ $Y(s) = Ke^{-\theta s}U(s)$

FOS $\tau\frac{dy}{dt} = -y + Ku(t)$ $Y(s) = \frac{K}{\tau s + 1}U(s)$

FODS $\tau\frac{dy}{dt} = -y + Ku(t-\theta)$ $Y(s) = \frac{Ke^{-\theta s}}{\tau s + 1}U(s)$

SODS $\tau\frac{dy_1}{dt} = -y_1 + Ku(t-\theta)$

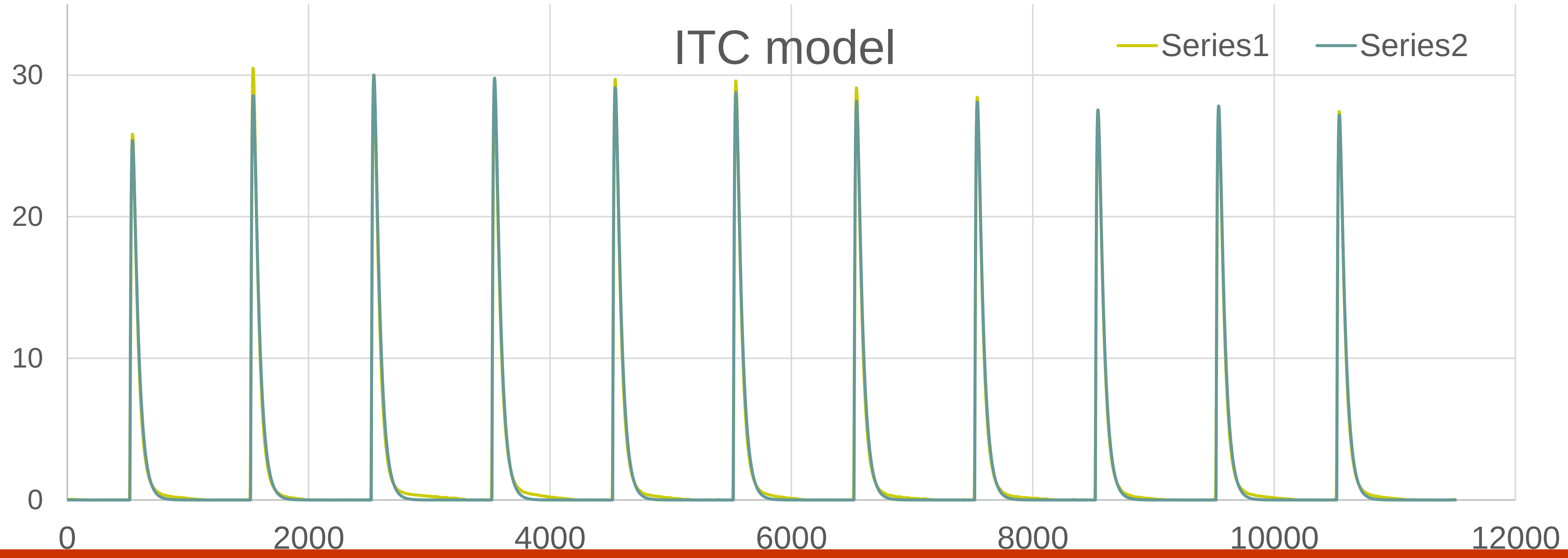
$\tau_2\frac{dy_2}{dt} = -y_2 + y_1$ $Y(s) = \frac{Ke^{-\theta s}}{\tau^2 s^2 + 2\zeta\tau s + 1}U(s)$



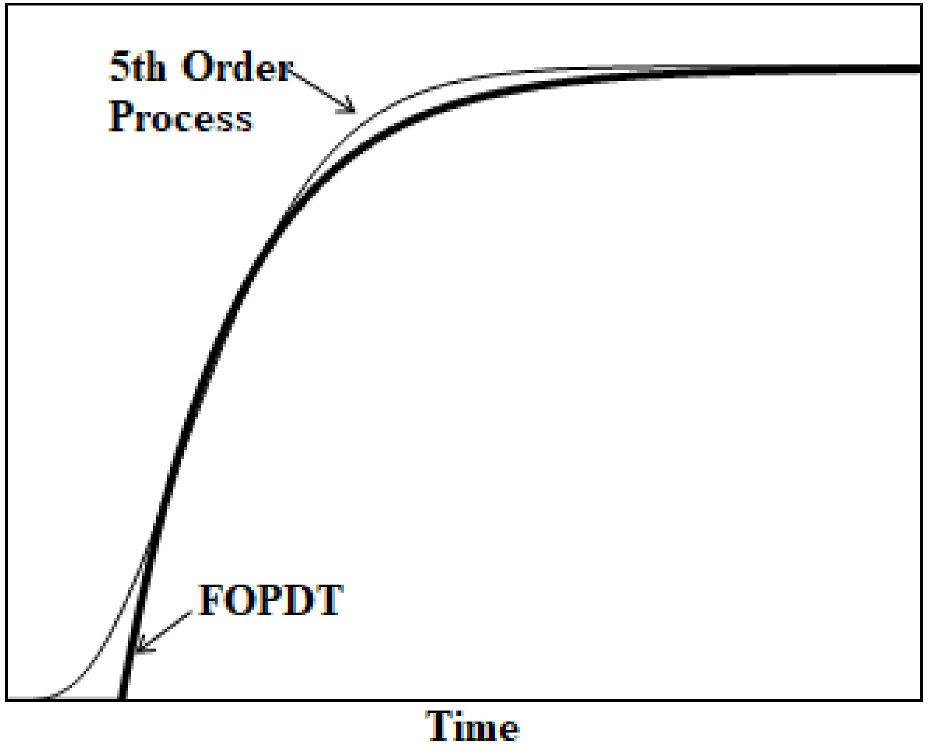
Κατασκευή δυναμικού μοντέλου

1. Εξασφαλίστε ότι η διεργασία είναι ασφαλής
2. Εισάγετε διάφορα σήματα εισόδου (διέγερση της διεργασίας)
3. Συλλέξετε δεδομένα
4. Λύστε πρόβλημα παραμετρικής βελτιστοποίησης

Data and Model Output Comparison

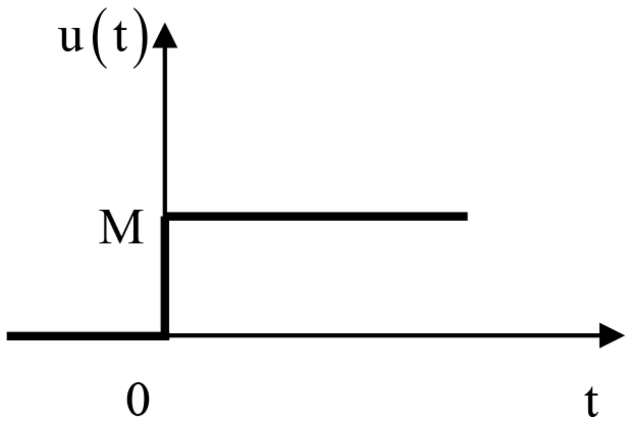


Αναγνώριση συστήματος FOPDT (=FODS).



- Συστήματα υψηλής τάξης αντιπροσωπεύονται καλά από τα μοντέλα FOPDT. Ως αποτέλεσμα, τα μοντέλα FOPDT κάνουν καλύτερη δουλειά στην προσέγγιση των βιομηχανικών διεργασιών από άλλα εξιδανικευμένα δυναμικά μοντέλα.
- **Οι διεργασίες δεν παρουσιάζουν σημαντικές ταλαντώσεις ή σημαντικές αντίστροφες αποκρίσεις**.

Απόκριση συστήματος 1ης τάξης σε βηματική μεταβολή της εισόδου



$$u(t)=\begin{cases}0 \ , & t<0\\ M \ , & t\geq 0\end{cases}$$

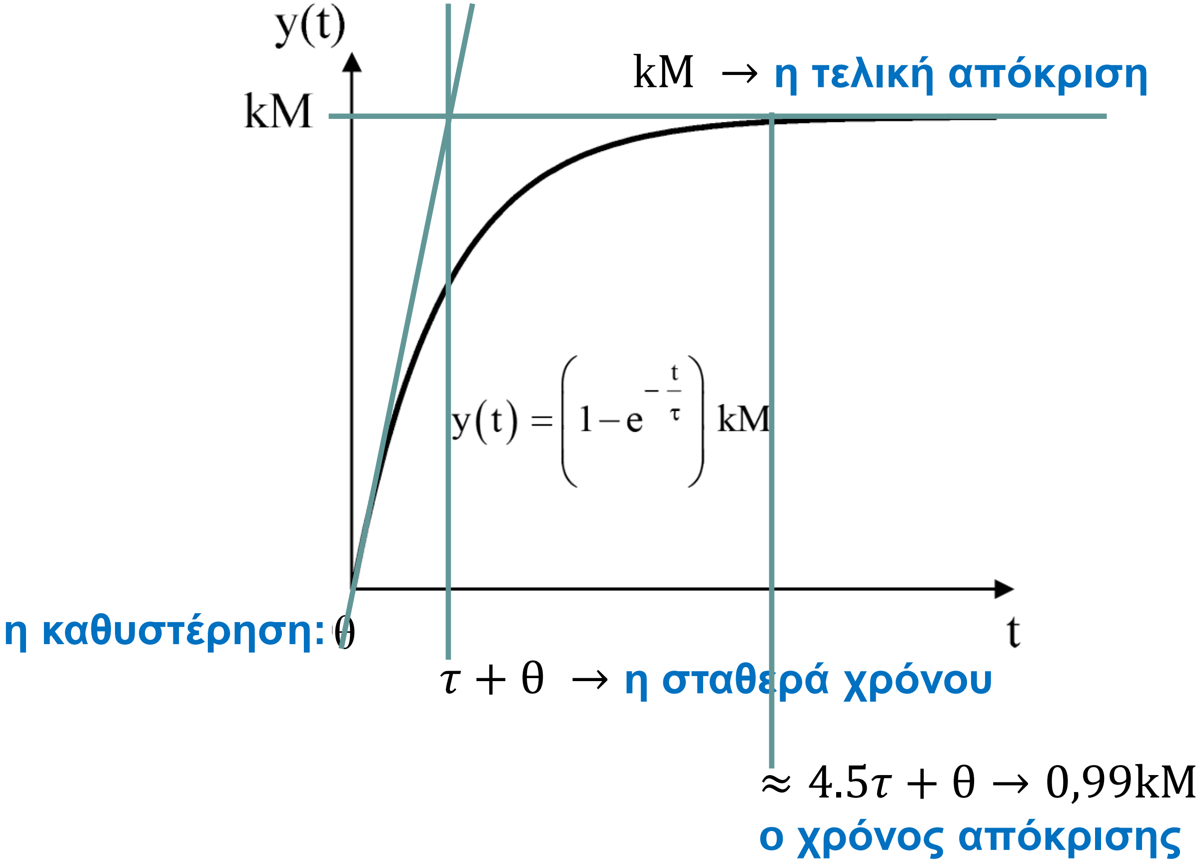
$$U(s)=\frac{M}{s}$$

$$U(s)\longrightarrow \boxed{\frac{k}{\tau s+1}} \longrightarrow Y(s)$$

$$Y(s)=\frac{k}{\tau s+1}\cdot\frac{M}{s}=\frac{k\dfrac{M}{\tau}}{\left(s+\dfrac{1}{\tau}\right)s}=\frac{kM}{s}-\frac{kM}{s+\dfrac{1}{\tau}} \quad\Rightarrow\quad y(t)=\left(1-e^{-\frac{t}{\tau}}\right)kM$$

Αναγνώριση παραμέτρων FODS. Τρόπος Α

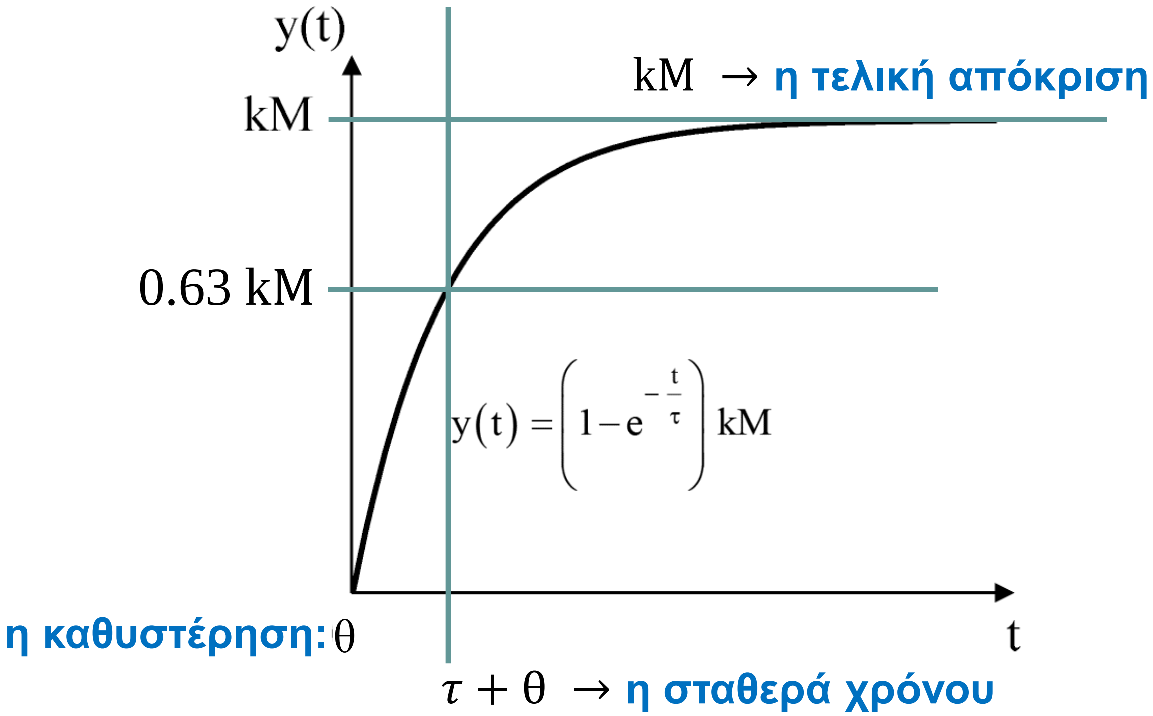
Αναγνώριση από την τελική απόκριση και από την αρχική κλίση (ή καλύτερα τον χρόνο απόκρισης)



t	y(t) / kM
0	0
τ	0,632
2τ	0,865
3τ	0,950
4τ	0,982
5τ	0,993

Αναγνώριση παραμέτρων FODS. Τρόπος Β

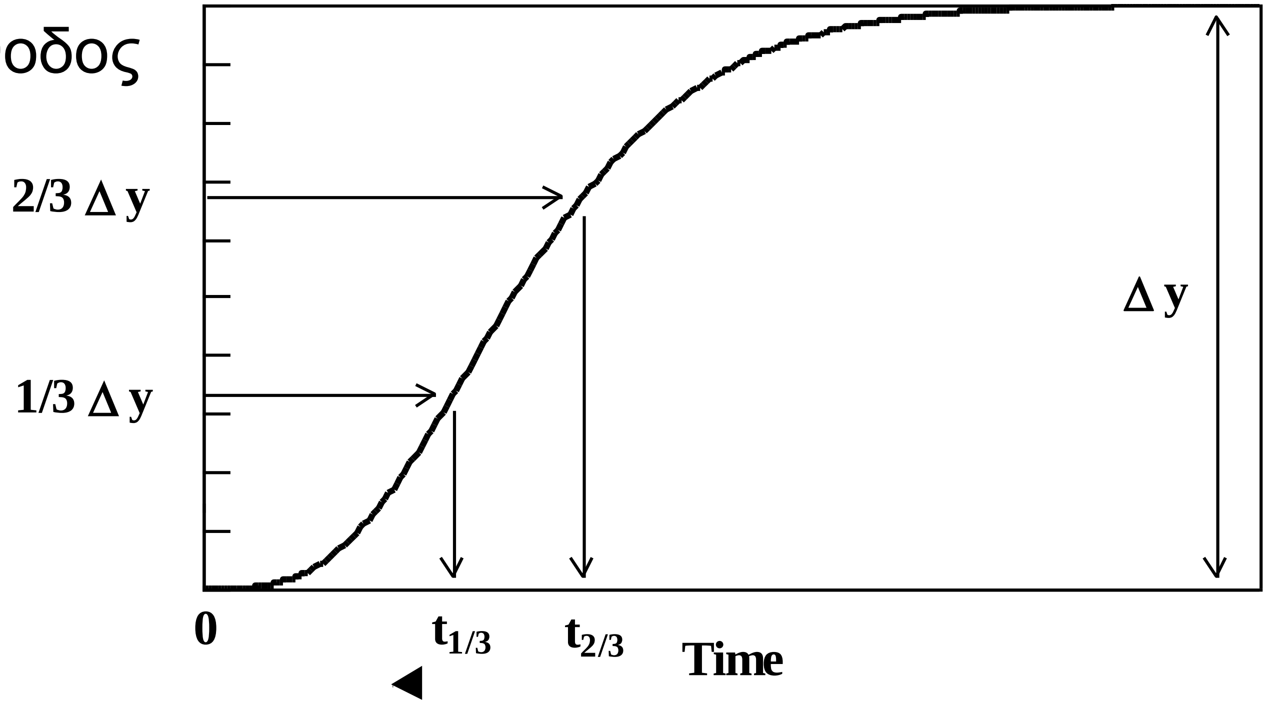
Αναγνώριση από την τελική απόκριση και από τον χρόνο 63% απόκρισης



t	y(t) / kM
0	0
τ	0,632
2τ	0,865
3τ	0,950
4τ	0,982
5τ	0,993

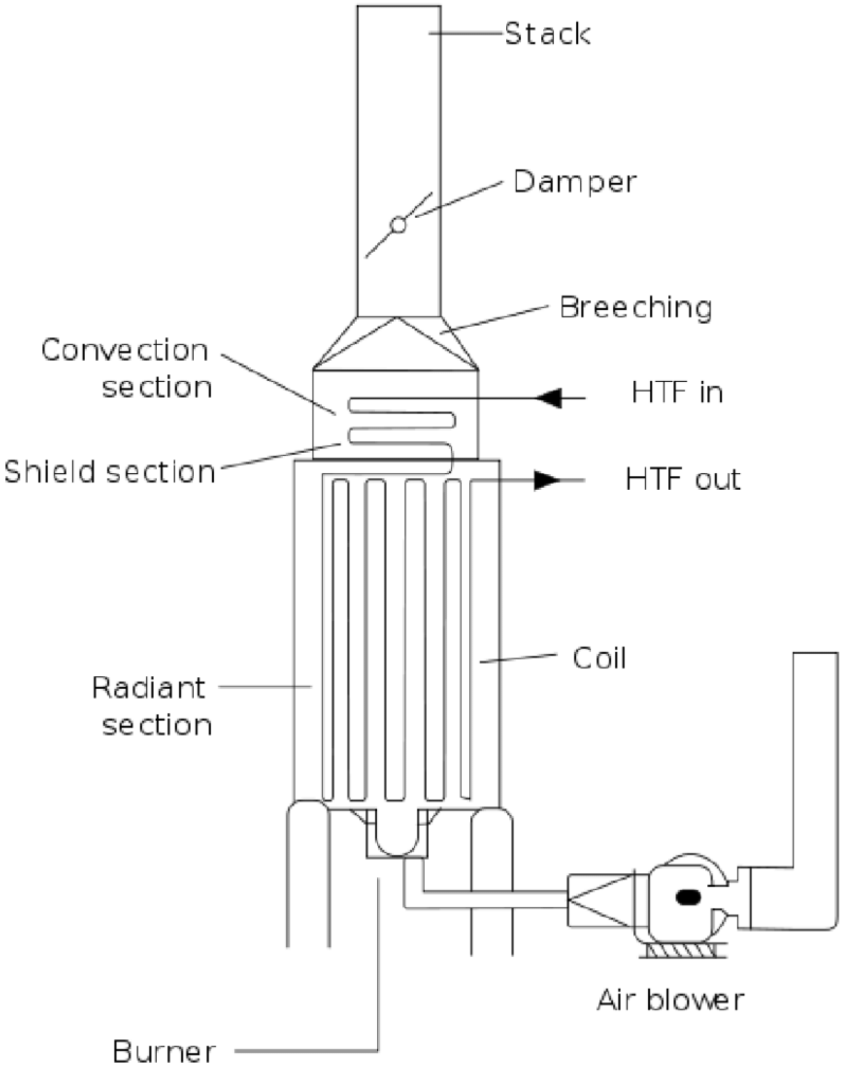
Αναγνώριση παραμέτρων FODS. Τρόπος Γ

Η 1/3 2/3 μέθοδος



- Προσδιορίστε το χρόνο έως το ένα τρίτο της συνολικής αλλαγής και το χρόνο έως τα δύο τρίτα της συνολικής αλλαγής μετά από μια αλλαγή εισόδου
- Παράμετροι FODS: $\tau_p = \dfrac{t_{2/3} - t_{1/3}}{0.7}$ $\theta_p = t_{1/3} - 0.4\tau_p$ $K_p = \dfrac{\Delta y}{\Delta u} = \dfrac{y(\infty) - y(0)}{M}$

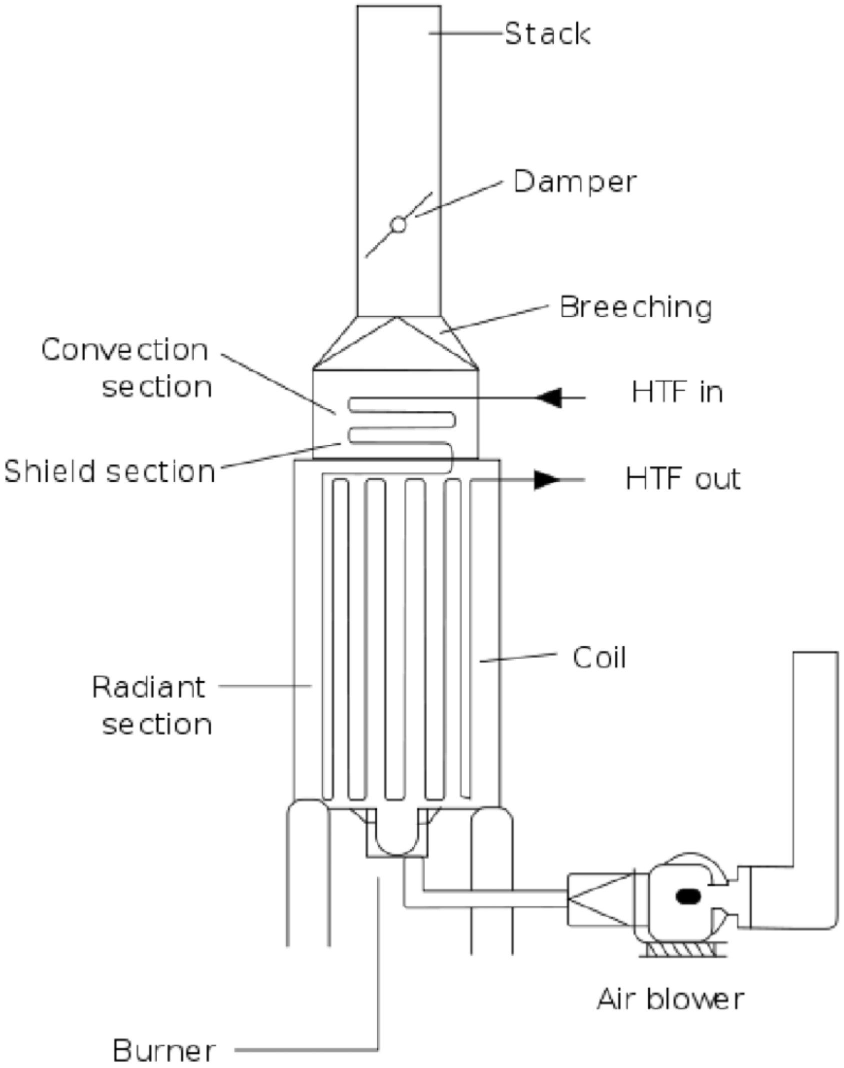
Παράδειγμα: Φούρνος



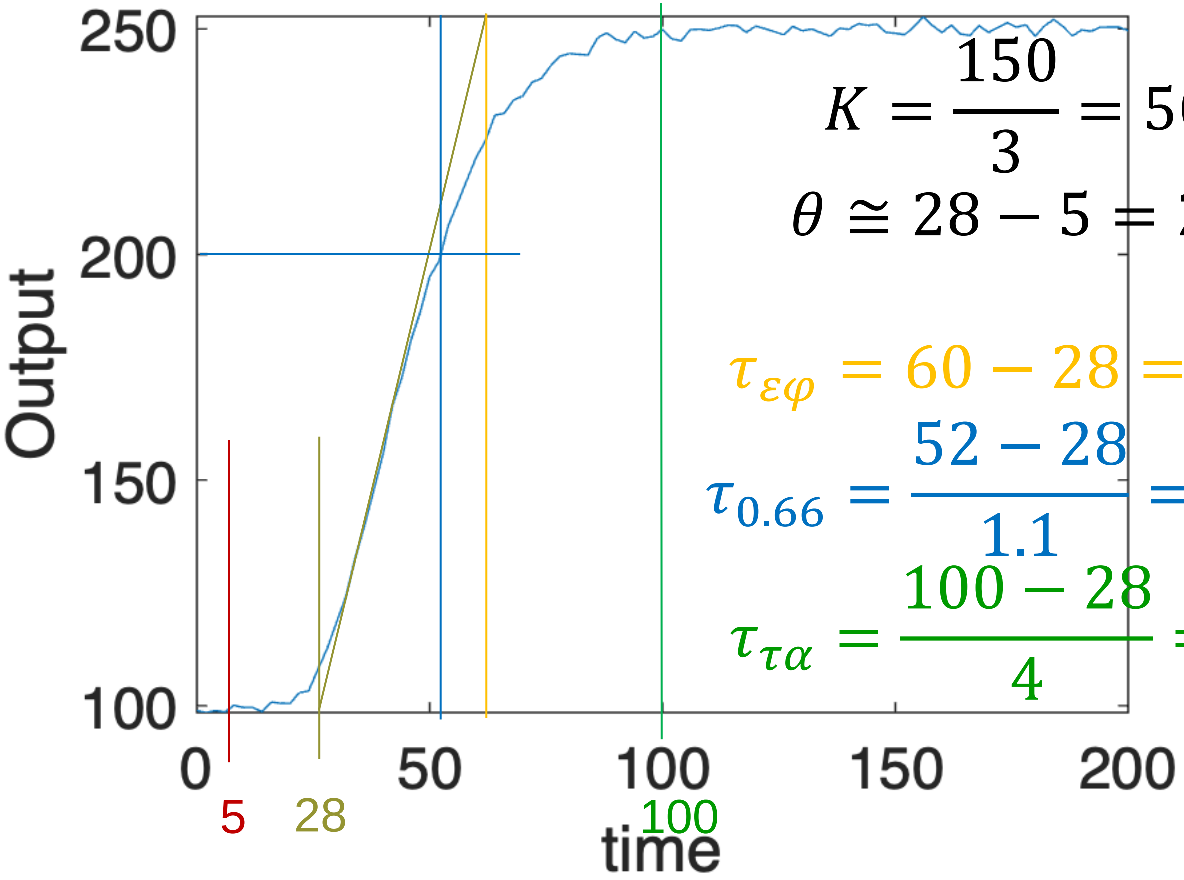
- Απόκριση σε βηματική αλλαγή στην είσοδο
  - Αύξηση στη βάνα καυσίμου από 10% σε 13%
    - Ο παλμός γίνεται την στιγμή t=5 sec.
    - Άρα Δu=13-10=3 (αυτό είναι το Μ μας)
  - Μέτρηση ανά δευτερόλεπτο
  - Θόρυβος

UNIVERSITY OF PATRAS
Department Of Chemical Engineering
ChemEngUP

Παράδειγμα: Φούρνος (τρόπος Α, Β)



- FODS: $G = \frac{50}{21.8s+1} e^{-23s}$



$K = \frac{150}{3} = 50$

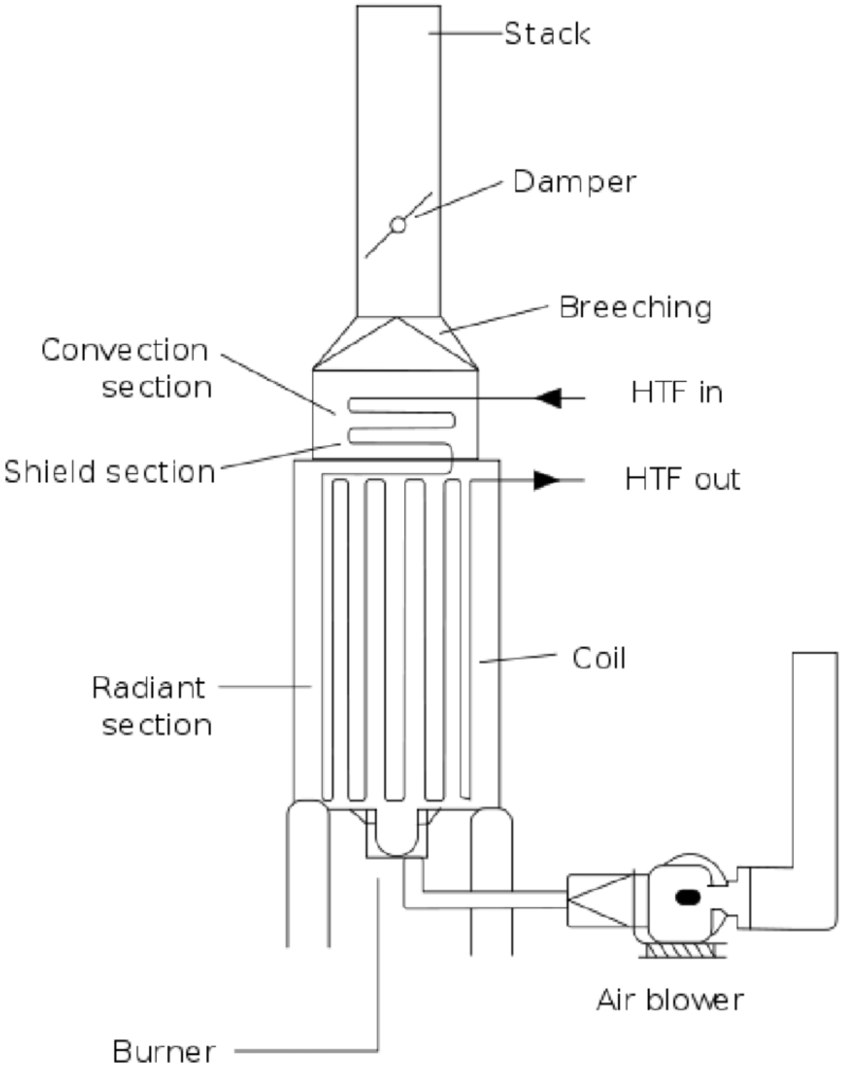
$\theta \cong 28 - 5 = 23$

$\tau_{\varepsilon\varphi} = 60 - 28 = 32!!$

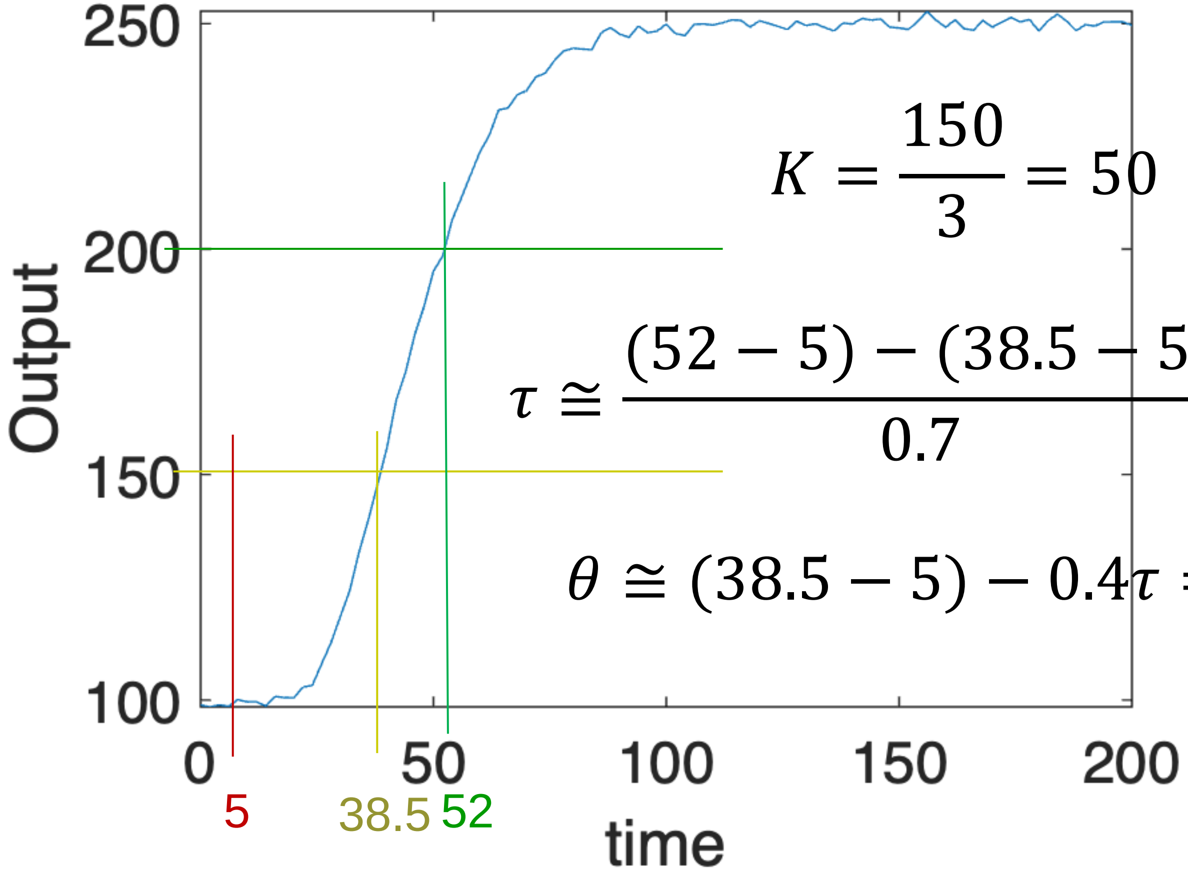
$\tau_{0.66} = \frac{52 - 28}{1.1} = 21.8$

$\tau_{\tau\alpha} = \frac{100 - 28}{4} = 18$

Παράδειγμα: Φούρνος (τρόπος Γ)



- FODS: $G = \frac{50}{19.3s+1} e^{-25.8s}$

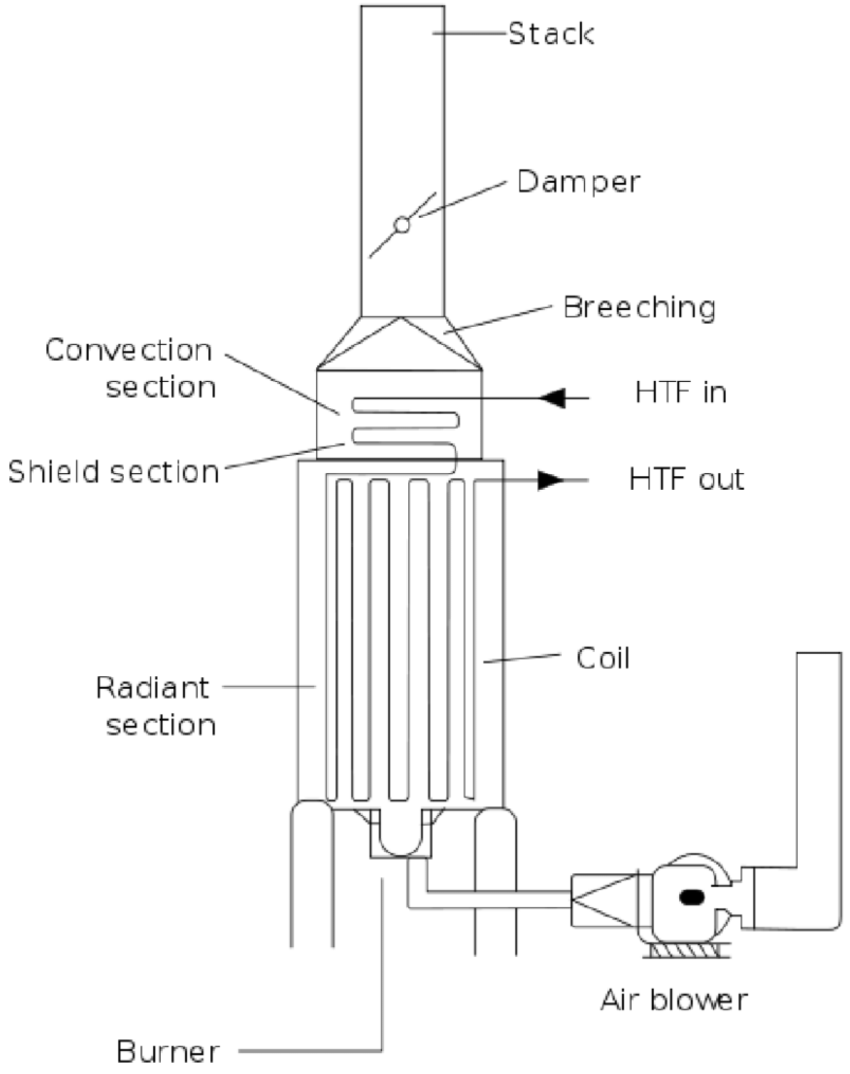


$$K = \frac{150}{3} = 50$$

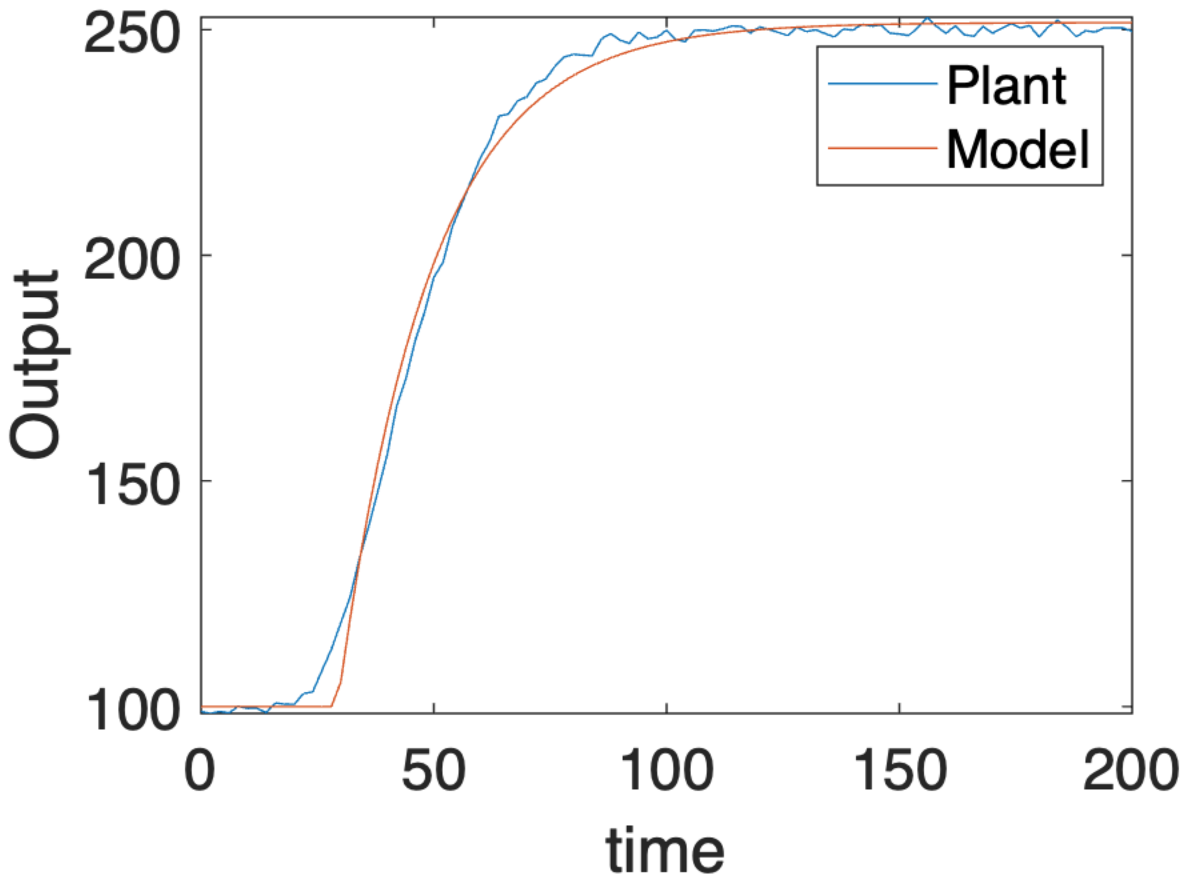
$$\tau \cong \frac{(52-5)-(38.5-5)}{0.7} = 19.3$$

$$\theta \cong (38.5-5) - 0.4\tau = 25.8$$

Παράδειγμα: Φούρνος (από βελτιστοποίηση)



- FODS: $G = \frac{50.5}{20s+1}e^{-24s}$



Αναγνώριση συστήματος FODS. Τρόπος Δ

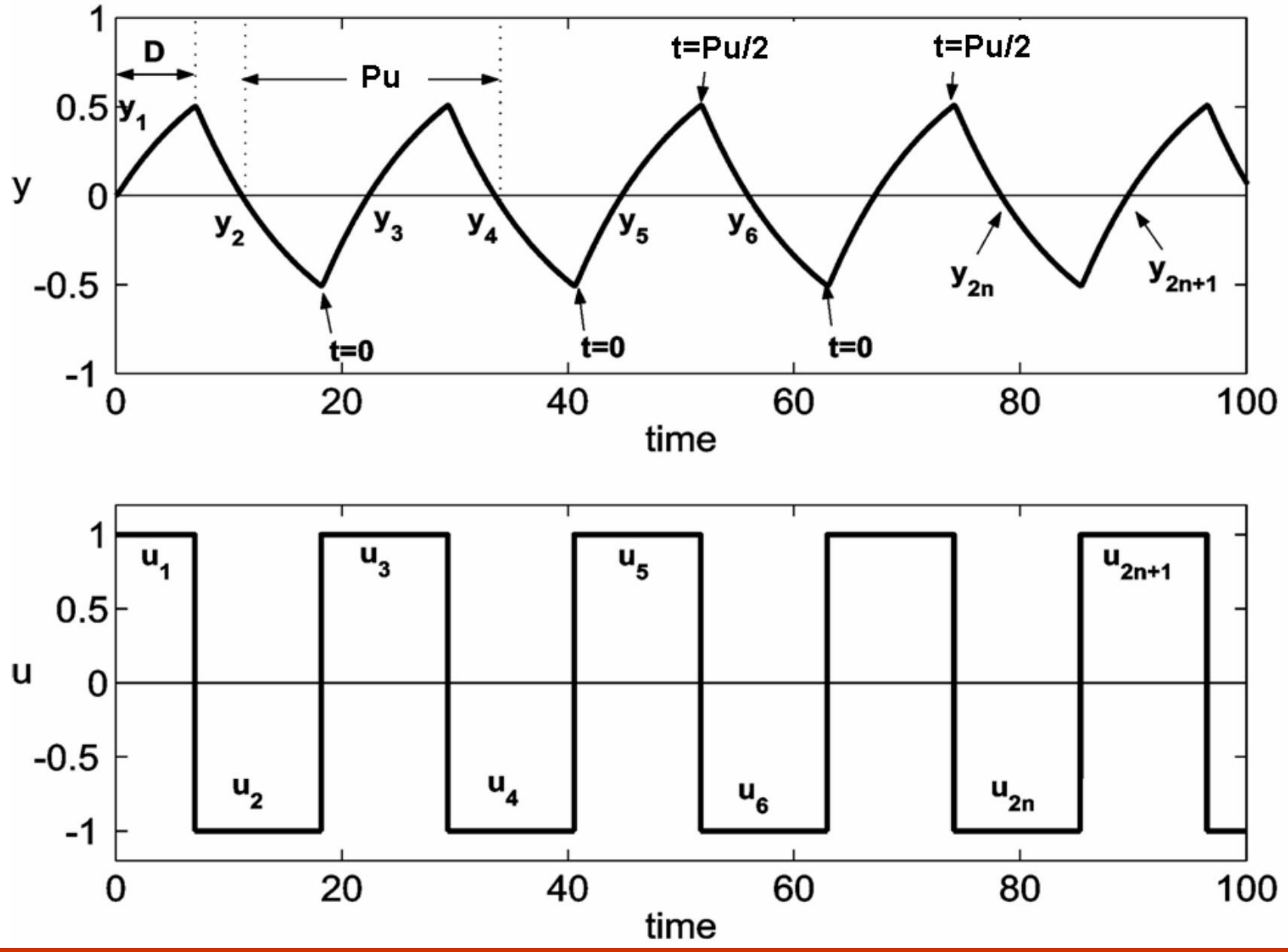
- Χρήση ενός βήματος για σήμα εισόδου
  - Δίνει απλή καμπύλη απόκρισης
    - Εύκολοι υπολογισμοί
    - Μπορεί να γίνει χαρακτηρισμός από το διάγραμμα
  - Το σύστημα μπορεί να έχει μεγάλη απόκριση
    - Μη γραμμική συμπεριφορά μπορεί να παρουσιαστεί
- Χρήση παλμών για σήμα εισόδου (ATV=AutoTuneVariables)
  - Προσεγγίζει το ημιτονοειδές σήμα
    - Πλουσιότερη απόκριση ⇒ καλύτερος χαρακτηρισμός συμπεριφοράς
    - Συνεχής διέγερση διεργασίας ⇒ καλύτερος χαρακτηρισμός
  - Περιπλοκότερο διάγραμμα απόκρισης
    - Το σύστημα ταλαντώνεται γύρω από το σημείο λειτουργίας
    - Χαρακτηρισμός μέσω προβλήματος βελτιστοποίησης
  - Το σήμα εισόδου είναι «δυσκολότερο» να βελτιστοποιηθεί

Αναγνώριση συστήματος FODS. Τρόπος Δ

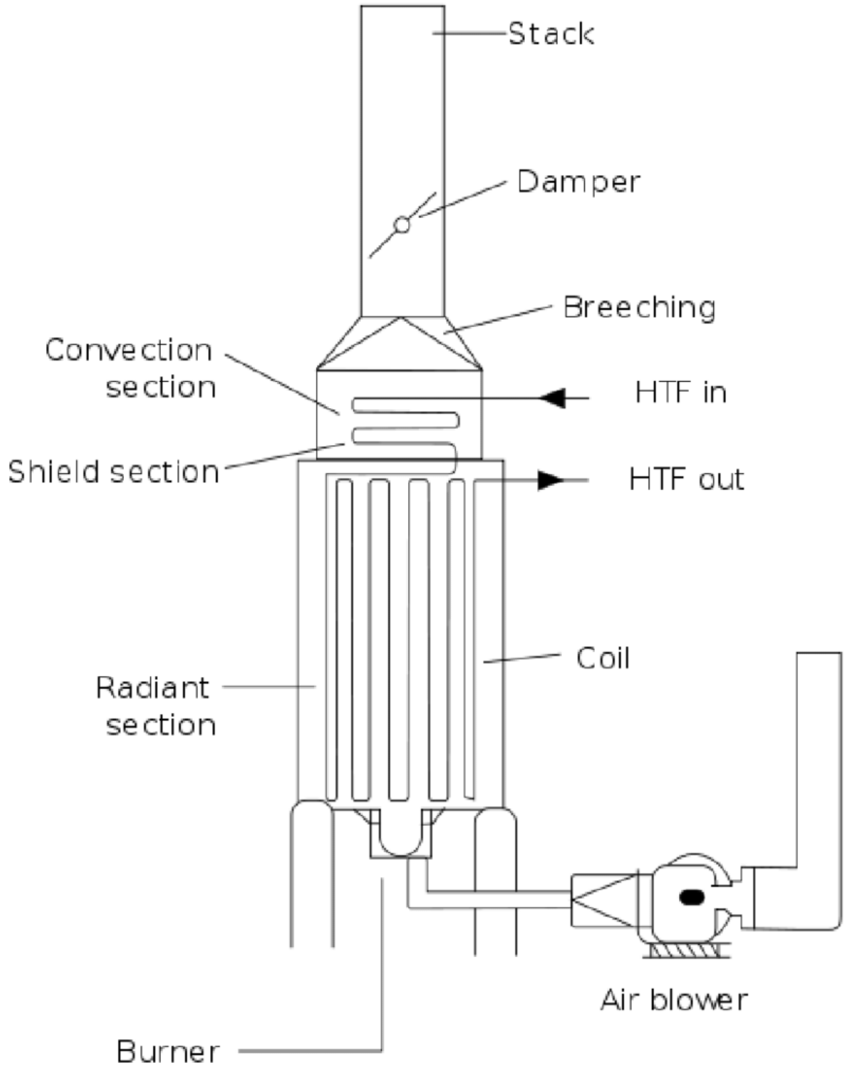
- Χρήση παλμών για σήμα εισόδου (ATV)
  - Το σήμα εισόδου είναι $u = u_0$. Η διεργασία ισορροπεί στο y_0.
  - Το σήμα εισόδου είναι $u = u_0 + \delta u$.
    - Μετράται ο χρόνος μέχρι να αρχίσει να αποκρίνεται. Χρόνος $t = \theta$.
    - Η διεργασία αποκρίνεται και δημιουργείται δy
  - Μετά από λίγο σήμα εισόδου είναι $u = u_0 - \delta u$. Το δy μειώνεται.
  - Όταν γίνει $\delta y < 0$, τότε $u = u_0 + \delta u$. Χρόνος $t = 0$.
  - Όταν γίνει $\delta y > 0$, τότε $u = u_0 - \delta u$. Χρόνος $t = T_u$.
  - Επαναλαμβάνουμε μέχρι να σταθεροποιηθεί η τιμή του T_u *(κρίσιμη περίοδος)*
  - Υπολογίζουμε το $K_u = \frac{4}{\pi}\frac{\delta u}{\max(\delta y)}$ *(κρίσιμη ενίσχυση)*
  - Ορίζουμε $\tau = \frac{T_u}{2\pi}\tan\left(\pi - \frac{2\pi\,\theta}{T_u}\right)$ και $K = \frac{\sqrt{4\pi^2\tau^2 + T_u^2}}{T_u K_u}$

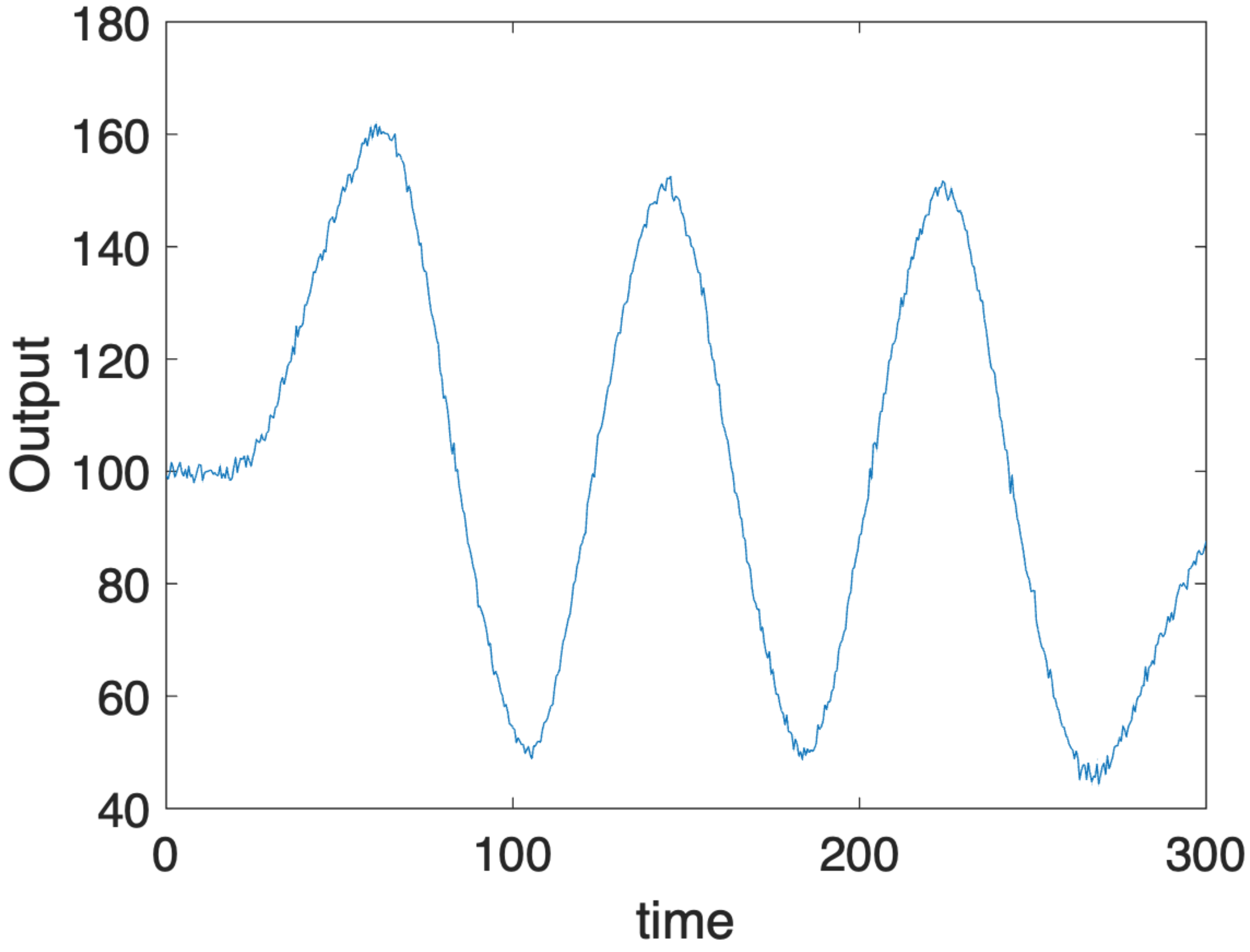
UNIVERSITY OF PATRAS
Department Of Chemical Engineering
ChemEngUP

Αναγνώριση συστήματος FODS. Τρόπος Δ

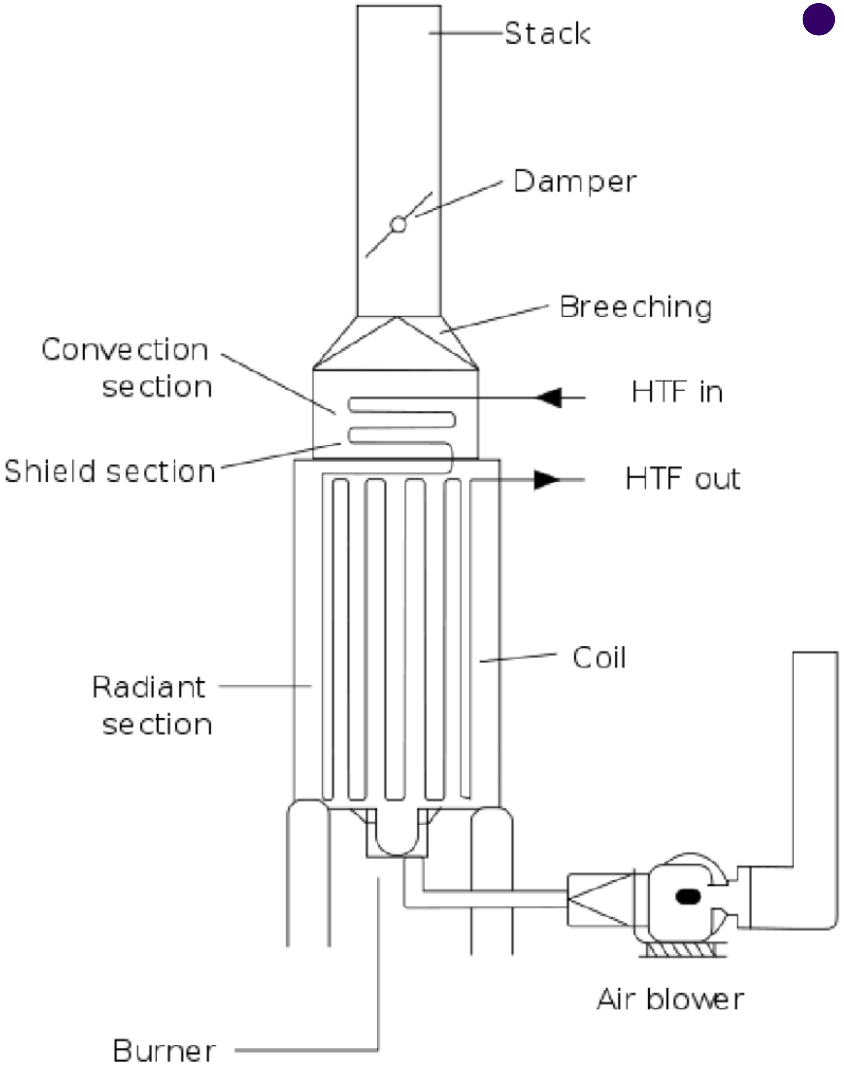


Παράδειγμα: Φούρνος

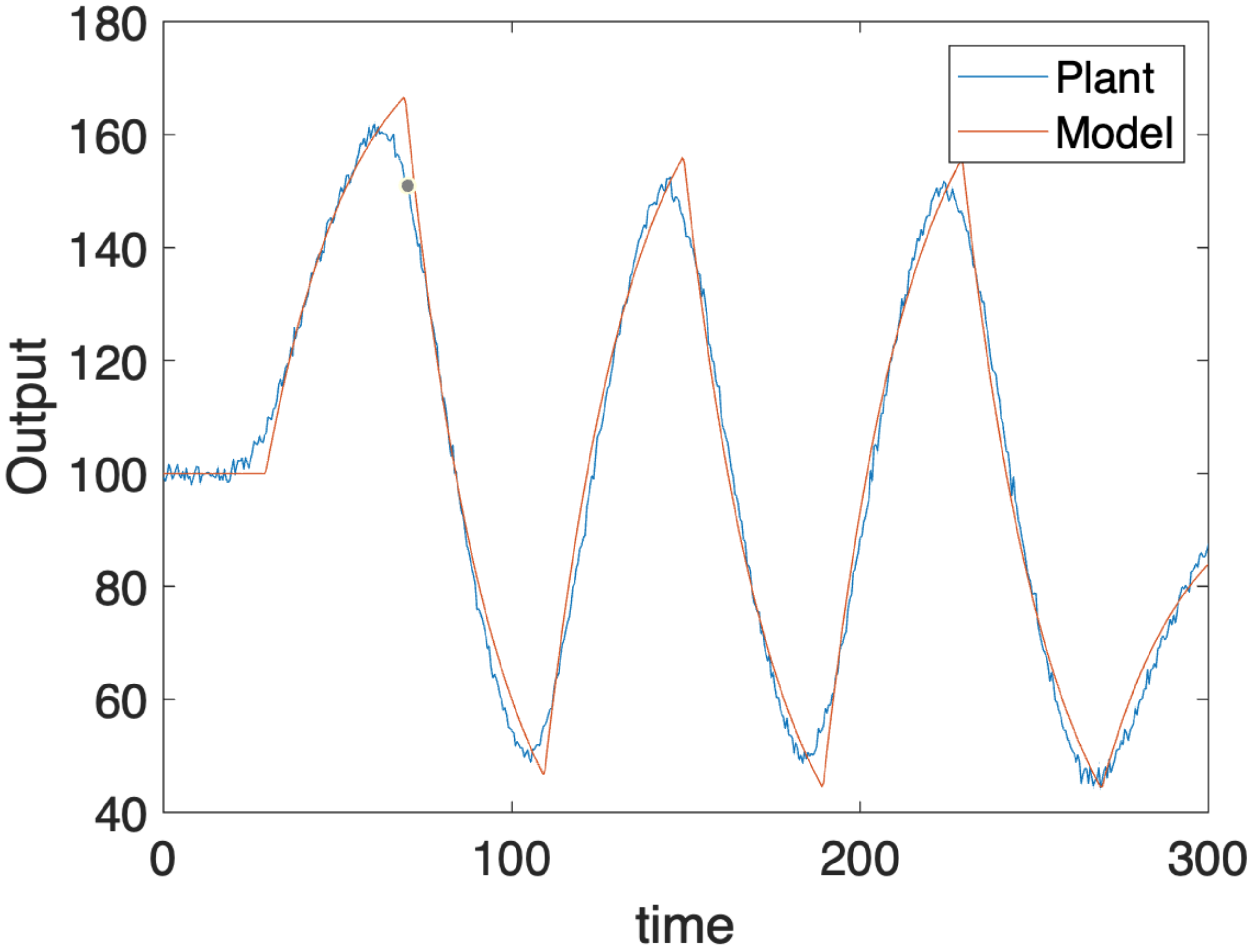




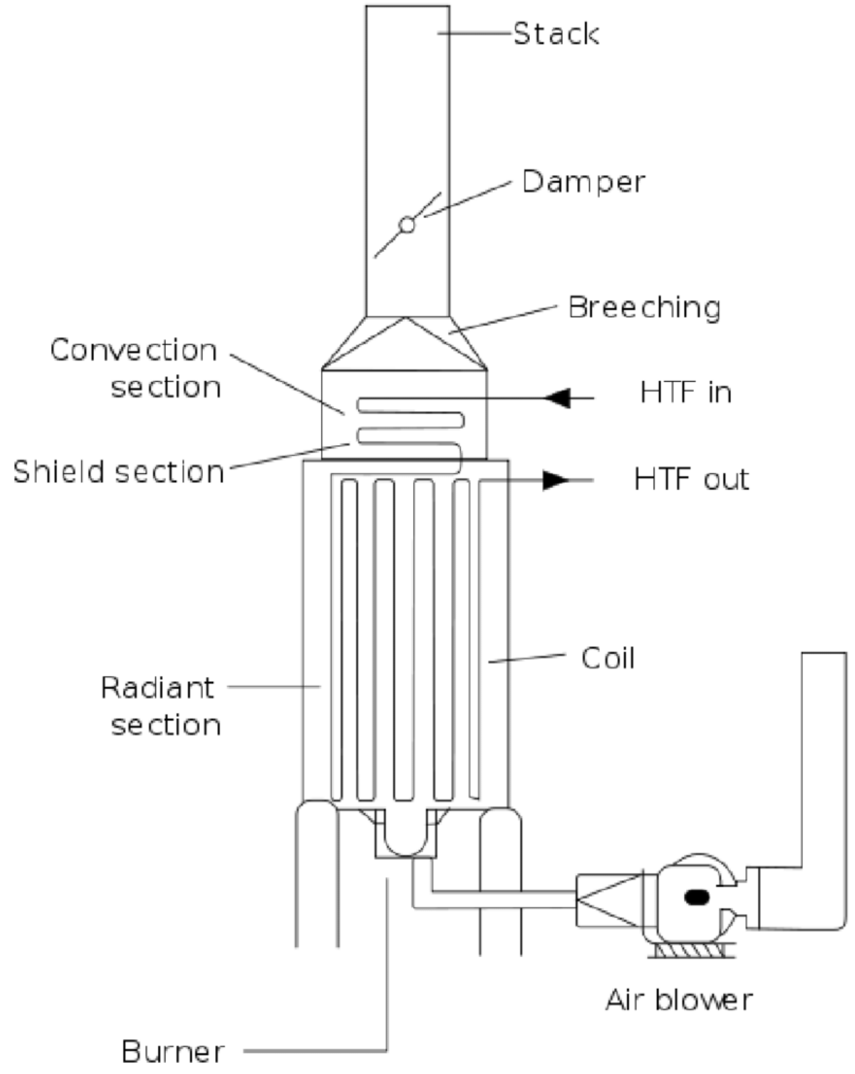
Παράδειγμα: Φούρνος (από βελτιστοποίηση)

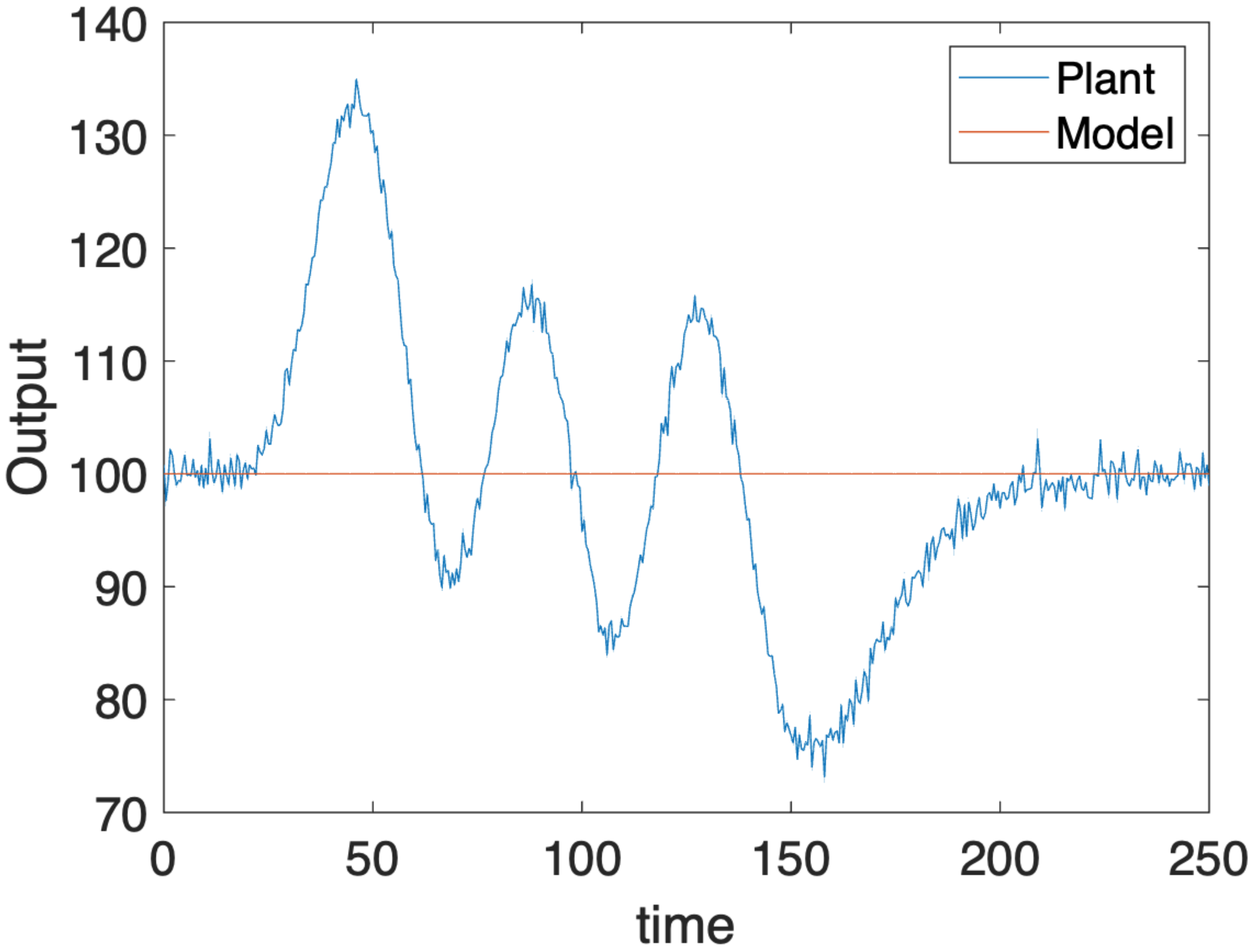


- Διεργασία 1ης τάξης: $G = \frac{55.5}{24s+1}e^{-24s}$

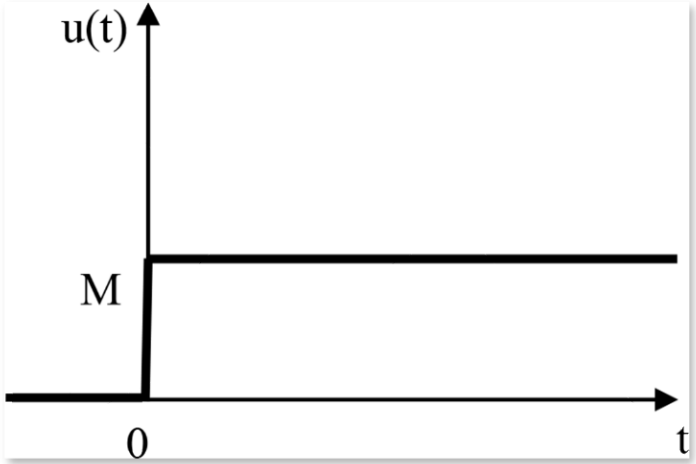


Παράδειγμα: Φούρνος





Απόκριση συστήματος 2ης τάξης σε βηματική μεταβολή της εισόδου



$$u(t)=\begin{cases}0 & , \; t<0\\ M & , \; t\geq 0\end{cases}$$

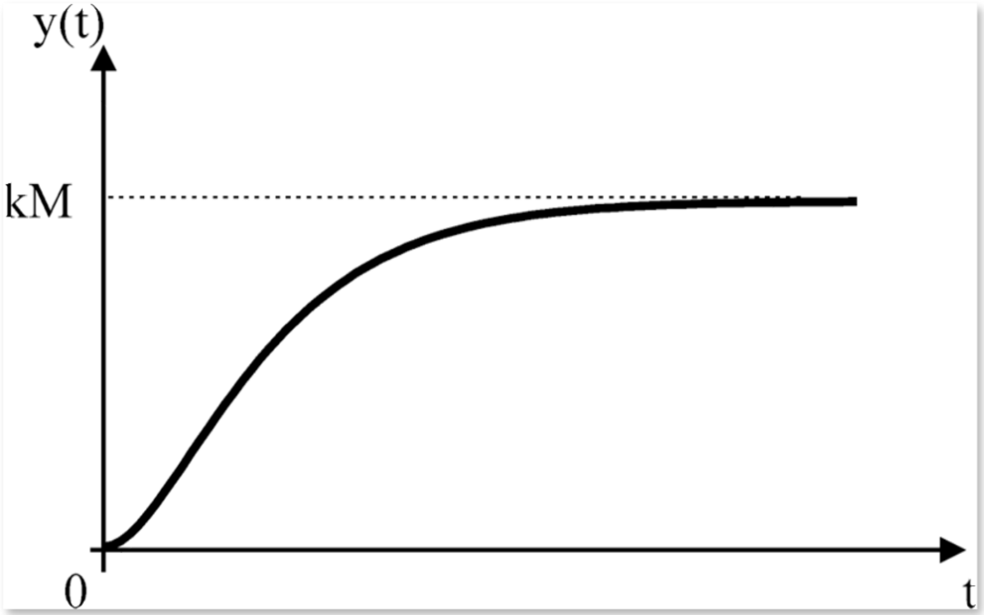
$$U(s)=\frac{M}{s}$$

$$U(s)=\frac{M}{s} \longrightarrow \boxed{\frac{k}{\tau^2 s^2+2\zeta\tau s+1}} \xrightarrow{Y(s)}$$

$$Y(s)=\frac{kM}{s\left(\tau^2 s^2+2\zeta\tau s+1\right)}$$

Συντελεστής απόσβεσης ζ>1

$$Y(s)=\left\{\frac{1}{s}-\frac{\frac{1}{2}\left(1+\frac{\zeta}{\sqrt{\zeta^2-1}}\right)}{s+\frac{\zeta}{\tau}-\frac{\sqrt{\zeta^2-1}}{\tau}}-\frac{\frac{1}{2}\left(1-\frac{\zeta}{\sqrt{\zeta^2-1}}\right)}{s+\frac{\zeta}{\tau}+\frac{\sqrt{\zeta^2-1}}{\tau}}\right\}kM$$



$$y(t)=\left[1-\frac{1}{2}\left(1+\frac{\zeta}{\sqrt{\zeta^2-1}}\right)\exp\left\{-\left(\frac{\zeta-\sqrt{\zeta^2-1}}{\tau}\right)t\right\}-\frac{1}{2}\left(1-\frac{\zeta}{\sqrt{\zeta^2-1}}\right)\exp\left\{-\left(\frac{\zeta+\sqrt{\zeta^2-1}}{\tau}\right)t\right\}\right]kM$$

$$=\left[1-e^{-\frac{\zeta}{\tau}t}\left(\cosh\left\{\frac{\sqrt{\zeta^2-1}}{\tau}t\right\}+\frac{\zeta}{\sqrt{\zeta^2-1}}\sinh\left\{\frac{\sqrt{\zeta^2-1}}{\tau}t\right\}\right)\right]kM$$

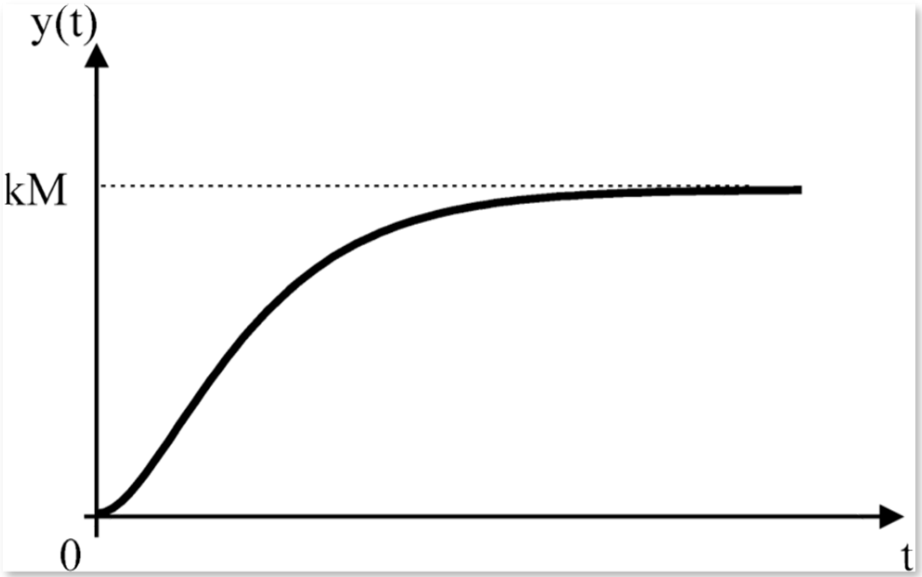
UNIVERSITY OF PATRAS
Department Of Chemical Engineering
ChemEngUP

Συντελεστής απόσβεσης ζ=1

$$Y(s) = \frac{kM}{s(\tau s+1)^2}$$

$$= \left(\frac{1}{s} - \frac{1}{s+\frac{1}{\tau}} - \frac{\frac{1}{\tau}}{\left(s+\frac{1}{\tau}\right)^2} \right) kM$$

$$y(t) = \left(1 - \left(1+\frac{t}{\tau}\right) e^{-\frac{t}{\tau}} \right) kM$$

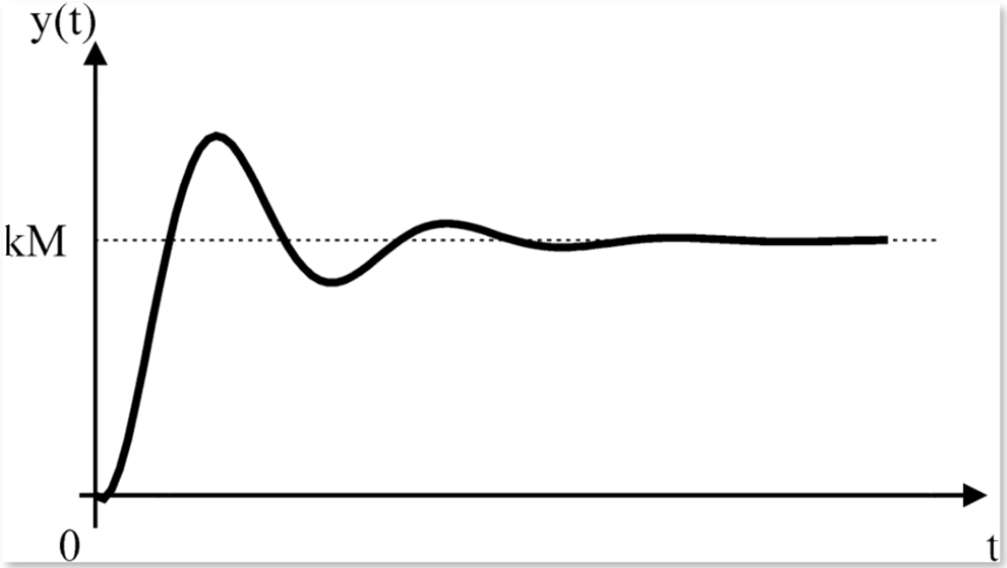


UNIVERSITY OF PATRAS
Department Of Chemical Engineering
ChemEngUP

Συντελεστής απόσβεσης 0<ζ<1

$$Y(s)=\left[\frac{1}{s}-\frac{\frac{1}{2}\left(1+i\frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}\right)}{s+\frac{\zeta}{\tau}-i\frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{\tau}}-\frac{\frac{1}{2}\left(1-i\frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}\right)}{s+\frac{\zeta}{\tau}+i\frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{\tau}}\right]kM$$

$$=\left[\frac{1}{s}-\frac{s+\frac{\zeta}{\tau}}{\left(s+\frac{\zeta}{\tau}\right)^2+\frac{1-\zeta^2}{\tau^2}}-\frac{\frac{\zeta}{\tau}}{\left(s+\frac{\zeta}{\tau}\right)^2+\frac{1-\zeta^2}{\tau^2}}\right]kM$$



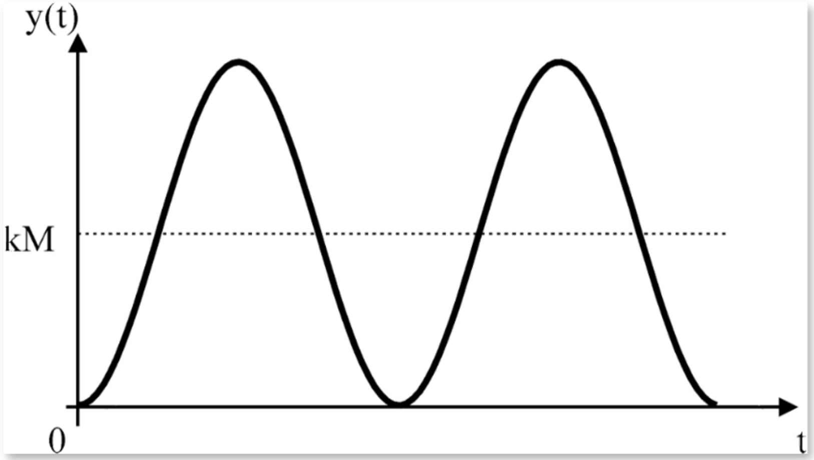
$$y(t)=\left[1-e^{-\frac{\zeta}{\tau}t}\left[\cos\left(\frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{\tau}t\right)+\frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}\sin\left(\frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{\tau}t\right)\right]\right]kM$$

UNIVERSITY OF PATRAS
Department Of Chemical Engineering
ChemEngUP

Συντελεστής απόσβεσης ζ=0

$$Y(s)=\frac{kM}{s\left(\tau^2 s^2+1\right)}=\left[\frac{1}{s}-\frac{s}{s^2+\frac{1}{\tau^2}}\right]kM$$

$$y(t)=\left(1-\cos\left(\frac{t}{\tau}\right)\right)kM$$



UNIVERSITY OF PATRAS
Department Of Chemical Engineering
ChemEngUP

Σημασία συντελεστή απόσβεσης ζ

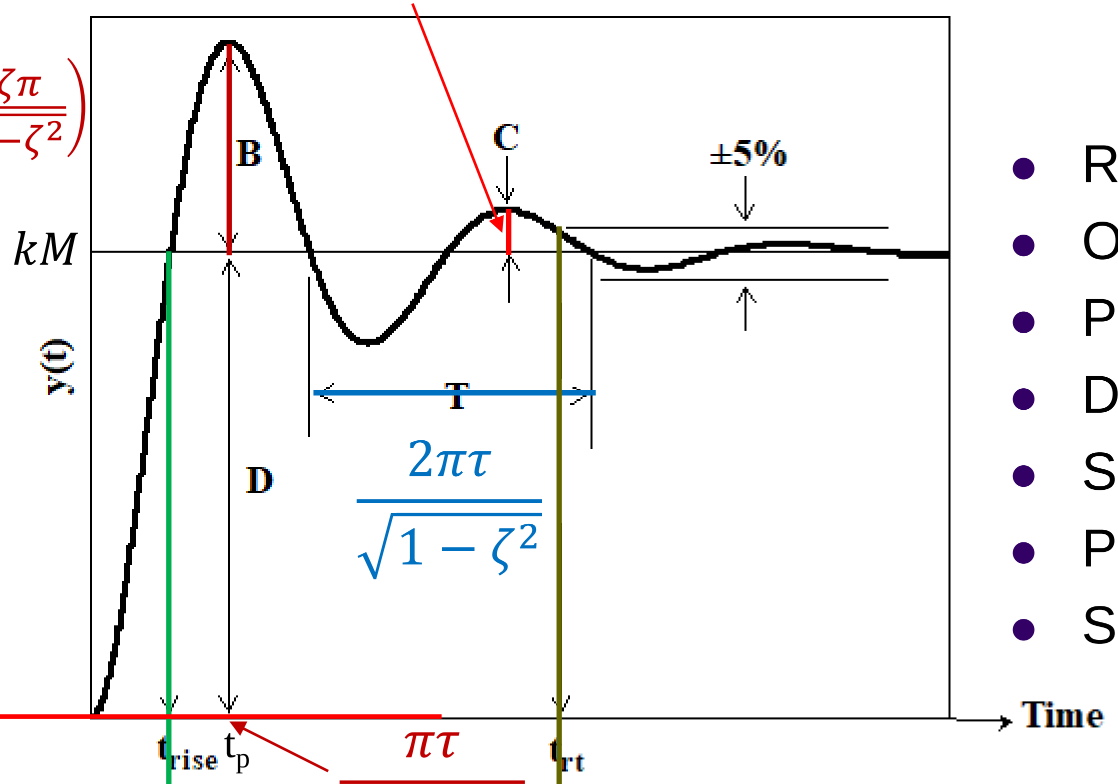
Περίπτωση		Ρίζες παρονομαστή της συναρτήσεως μεταφοράς	Φύση των ριζών του παρονομαστή της συναρτήσεως μεταφοράς
Υπερκρίσιμη απόσβεση	$\zeta > 1$	$-\frac{\zeta}{\tau} \pm \frac{\sqrt{\zeta^2 - 1}}{\tau}$	Πραγματικές αρνητικές απλές ρίζες
Κρίσιμη απόσβεση	$\zeta = 1$	$-\frac{1}{\tau}, -\frac{1}{\tau}$	Πραγματική αρνητική διπλή ρίζα
Υποκρίσιμη απόσβεση	$0 < \zeta < 1$	$-\frac{\zeta}{\tau} \pm i\frac{\sqrt{1 - \zeta^2}}{\tau}$	Μιγαδικές συζυγείς με αρνητικό πραγματικό μέρος
Μηδενική απόσβεση	$\zeta = 0$	$\pm i\frac{1}{\tau}$	Φανταστικές συζυγείς

Χαρακτηριστικά υποκρίσιμης απόσβεσης

$$G_p(s) = \frac{K}{\tau^2 s^2 + 2\zeta\tau s + 1}$$

$$\mathrm{C/B} = e^{\left(\frac{-2\zeta\pi}{\sqrt{1-\zeta^2}}\right)}$$

$$kMe^{\left(\frac{-\zeta\pi}{\sqrt{1-\zeta^2}}\right)}$$



$$T = \frac{2\pi\tau}{\sqrt{1-\zeta^2}}$$

Initial angle

$$t_p = \frac{\pi\tau}{\sqrt{1-\zeta^2}}$$

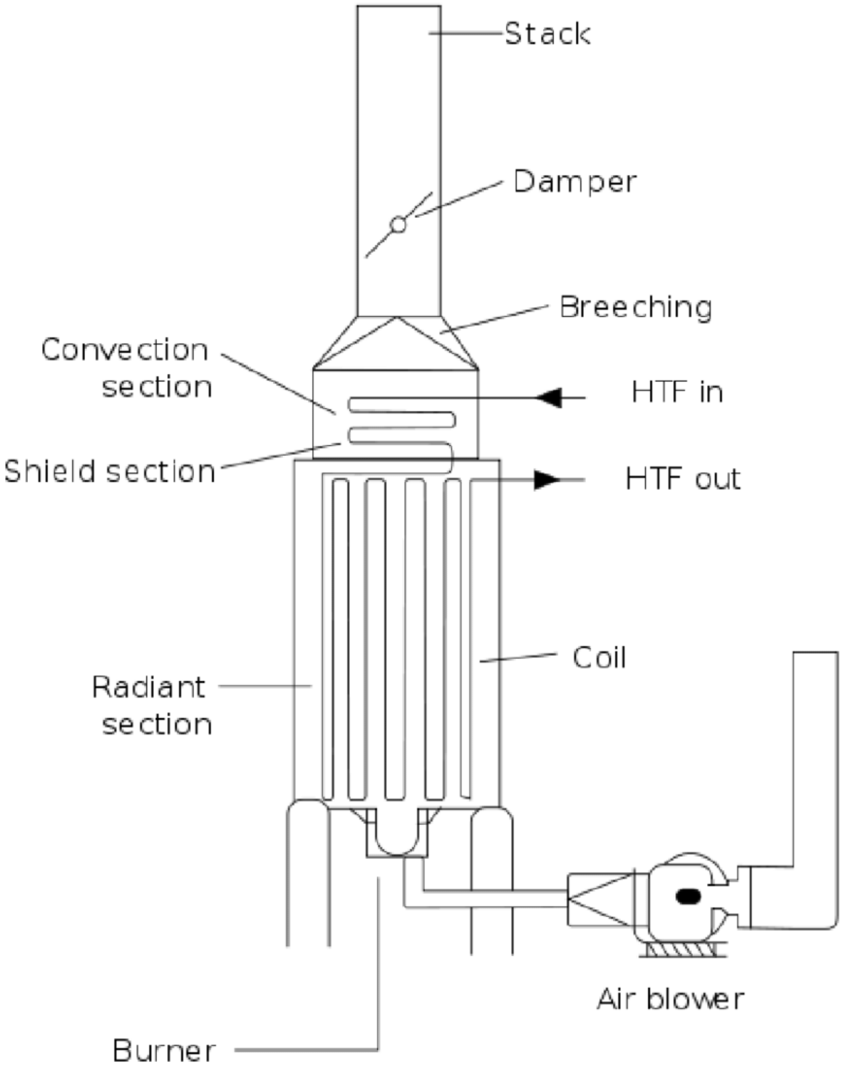
$$t_{rt} \approx 4\frac{\tau}{\zeta} \quad (\sim 2\%)$$

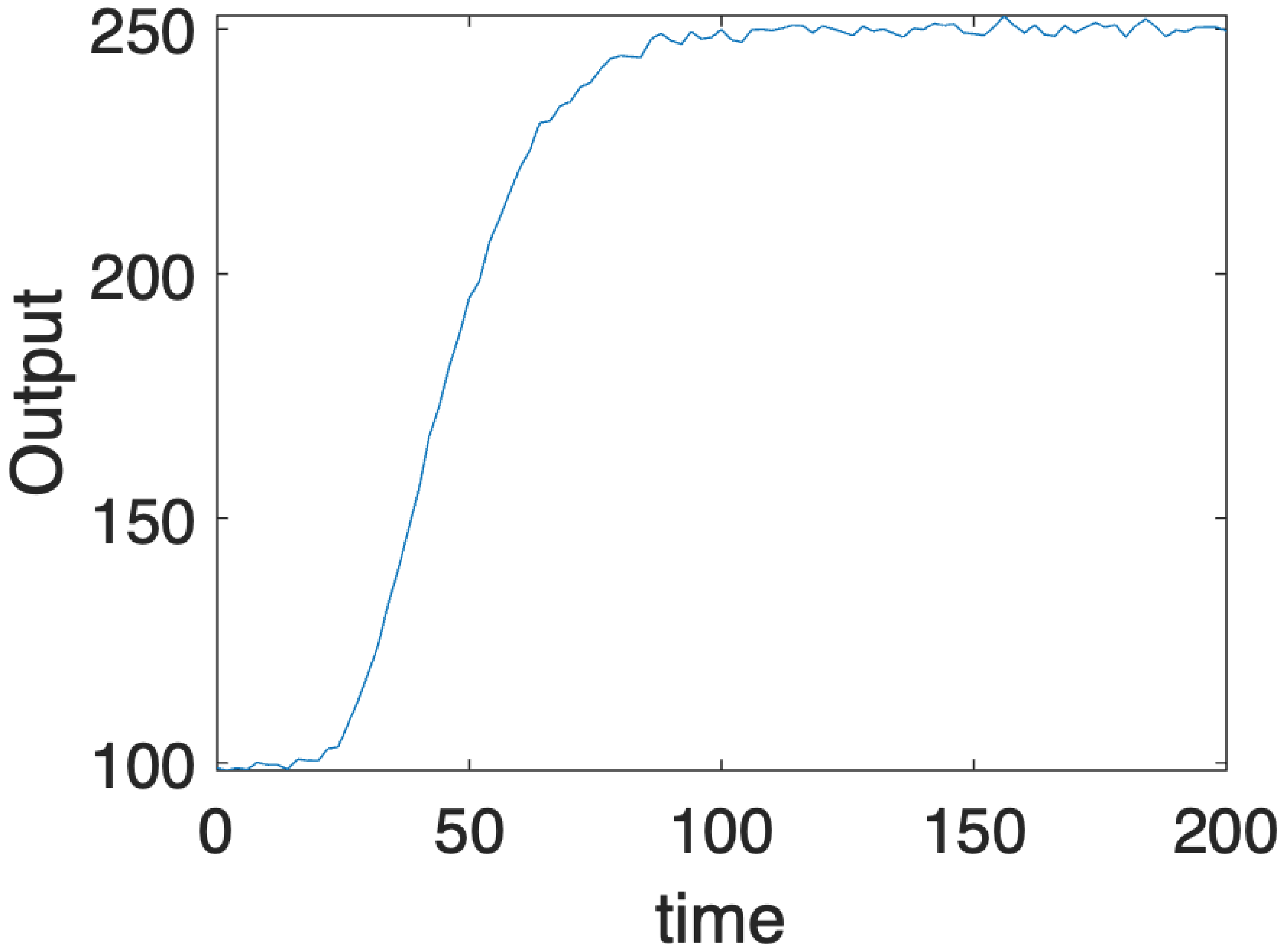
$$t_{rise} = \tau \frac{\pi - \tan^{-1}\frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta}}{\sqrt{1-\zeta^2}}$$

- Rise time - Χρόνος ανύψωσης (t_{rise})
- Overshoot – Υπέρβαση (B)
- Peak time – Χρόνος μέγιστης απόκρισης (t_p)
- Decay ratio – Λόγος απόσβεσης (C/B)
- Settling time – Χρόνος απόκρισης (t_{rt})
- Period – Περίοδος (T)
- Settled response – Τελική απόκριση

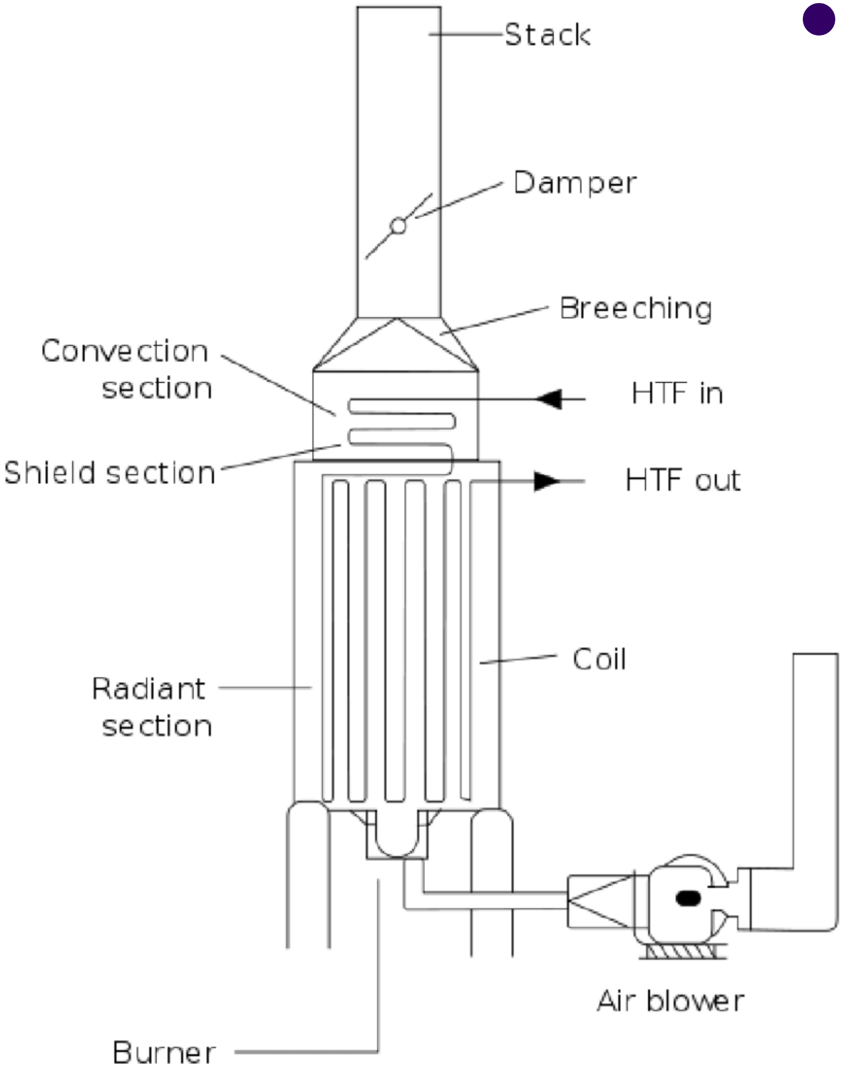
UNIVERSITY OF PATRAS
Department Of Chemical Engineering
ChemEngUP

Παράδειγμα: Φούρνος

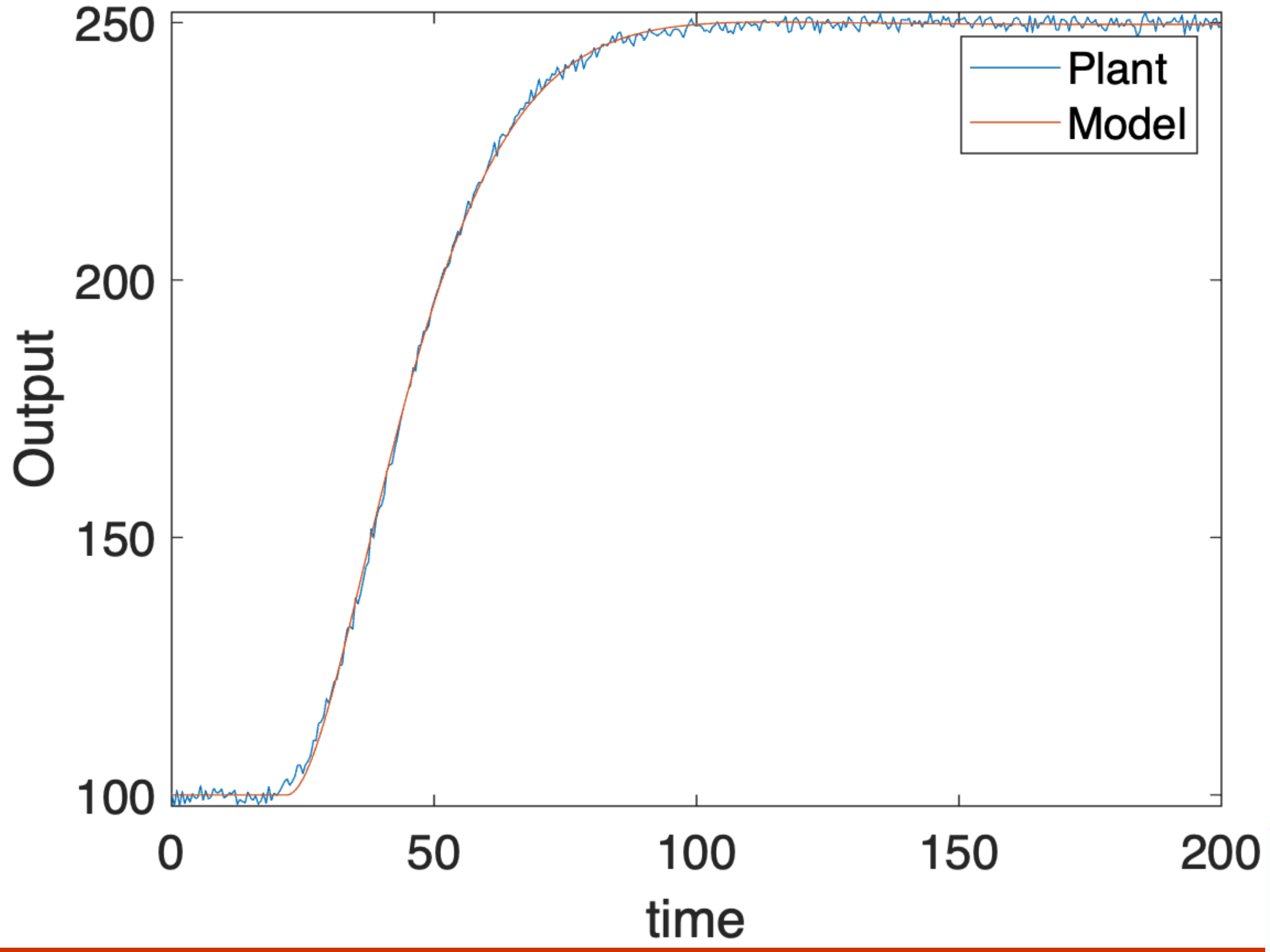




Παράδειγμα: Φούρνος

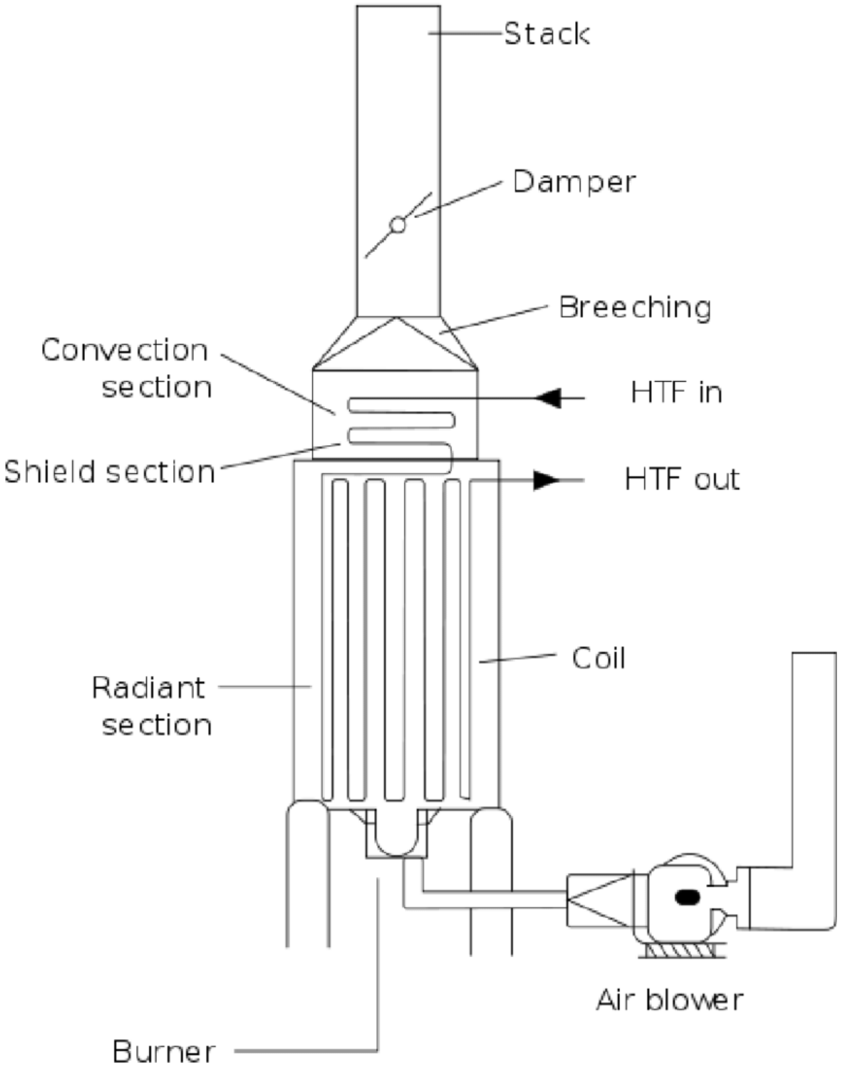


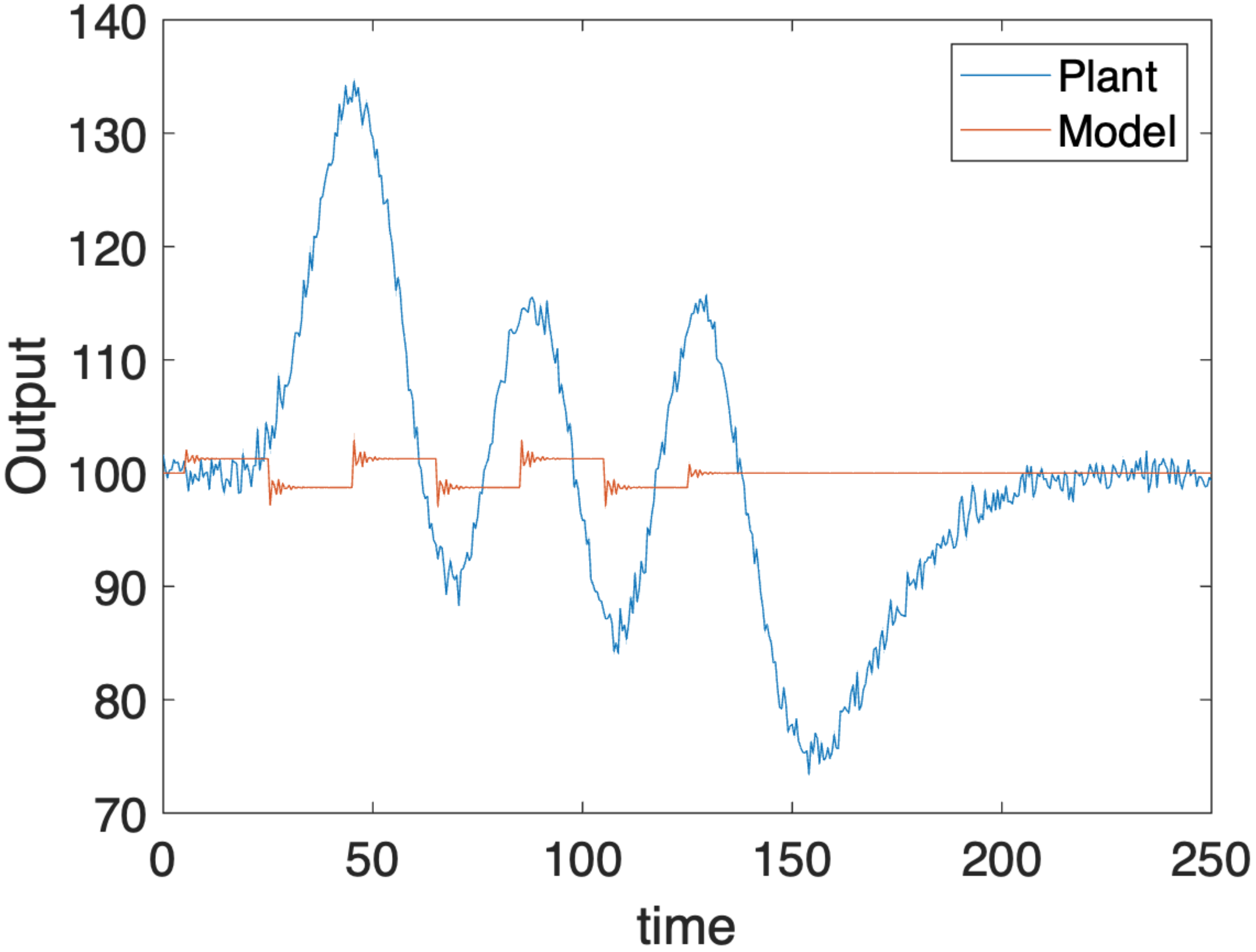
- SODS: $G = \frac{49.9}{(14s)^2 + 2\ 14\ 0.88s + 1} e^{-17s}$



UNIVERSITY OF PATRAS
Department Of Chemical Engineering
ChemEngUP

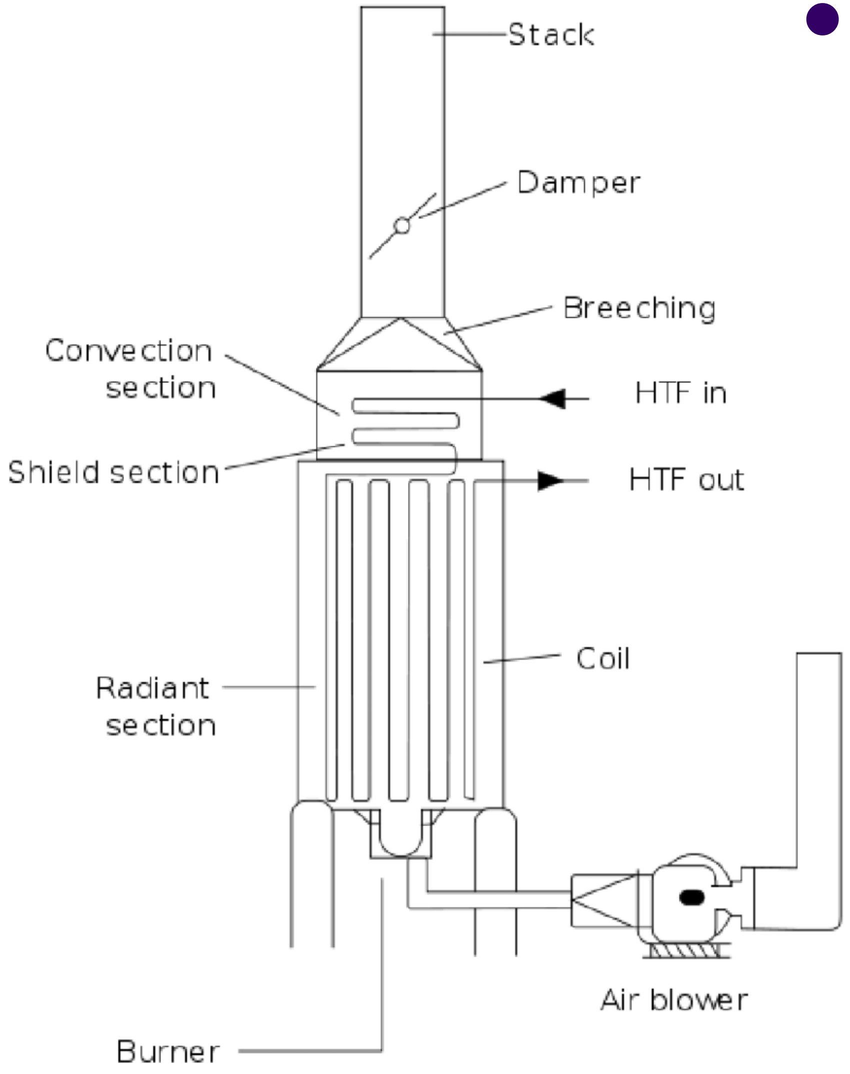
Παράδειγμα: Φούρνος



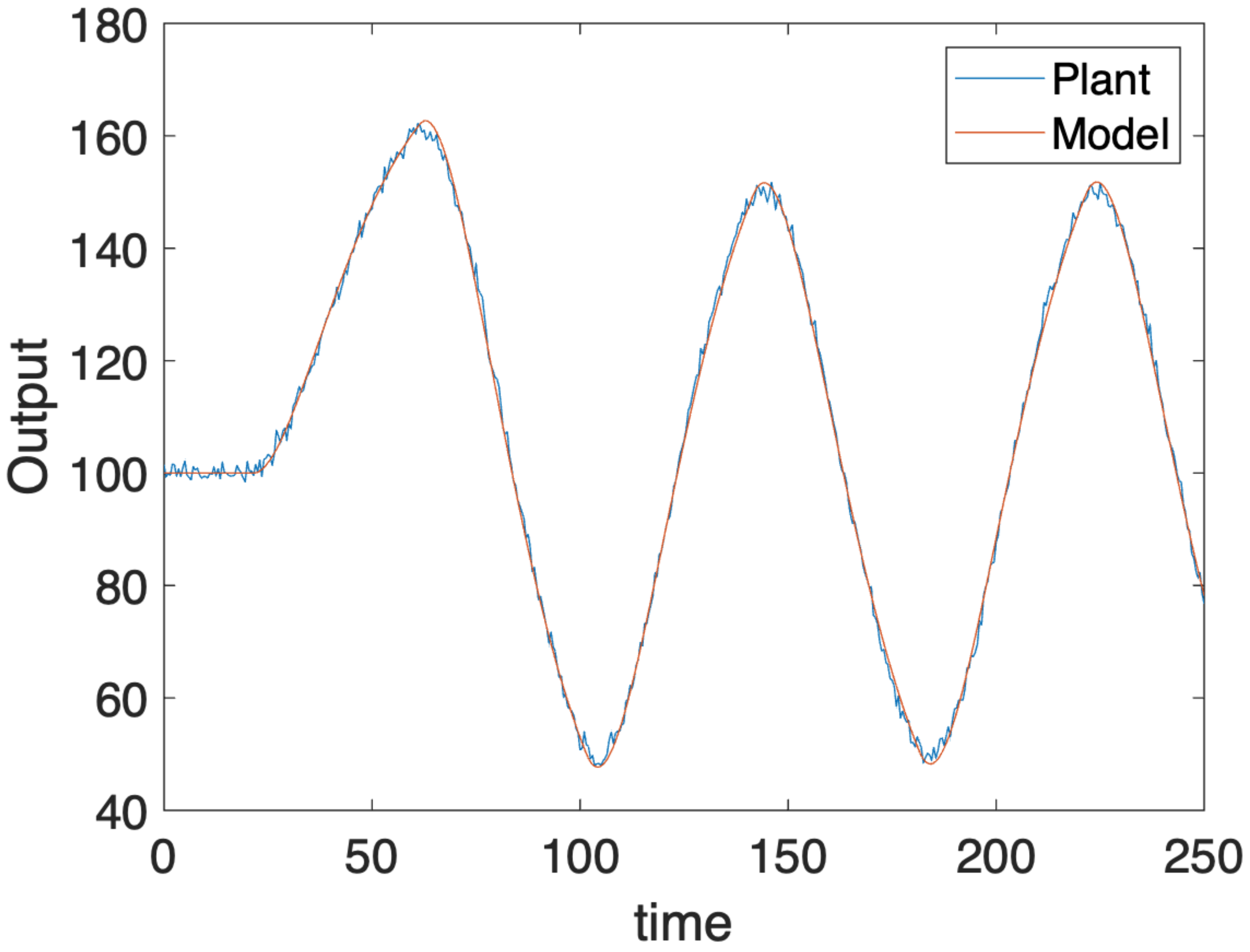


UNIVERSITY OF PATRAS
Department Of Chemical Engineering
ChemEngUP

Παράδειγμα: Φούρνος



- SODS: $G = \dfrac{48.9}{(14.6s)^2 + 2\ 14.6\ 0.82s + 1} e^{-16.5s}$

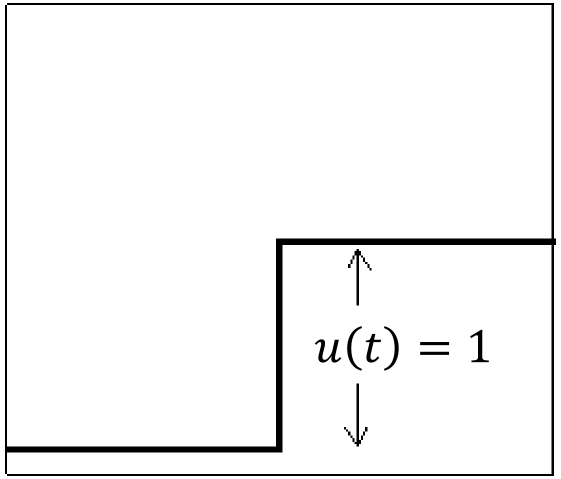


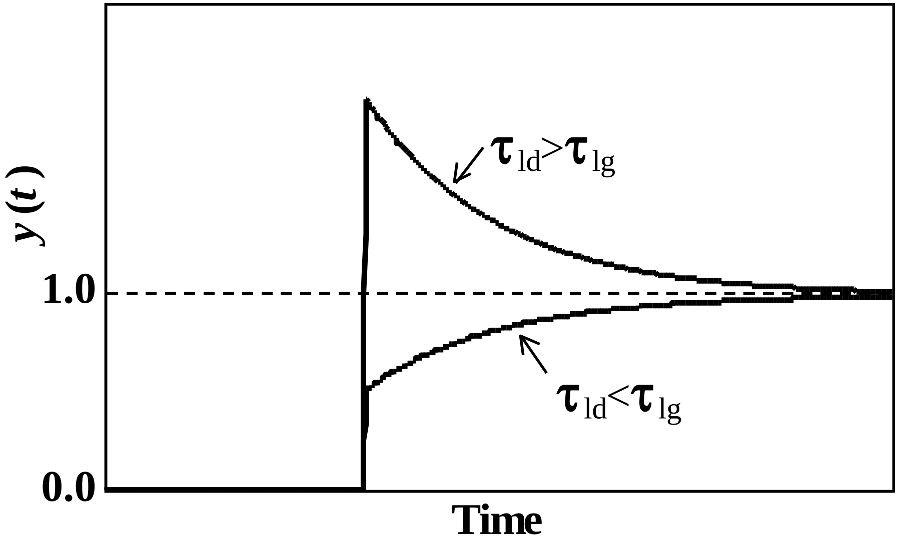
UNIVERSITY OF PATRAS
Department Of Chemical Engineering
ChemEngUP

Lead-Lag Element

$$G(s) = K\frac{\tau_{ld}s + 1}{\tau_{lg}s + 1}$$

$$y = K\left(1 - \frac{\tau_{lg} - \tau_{ld}}{\tau_{lg}} e^{-\frac{t}{\tau_{lg}}}\right)$$





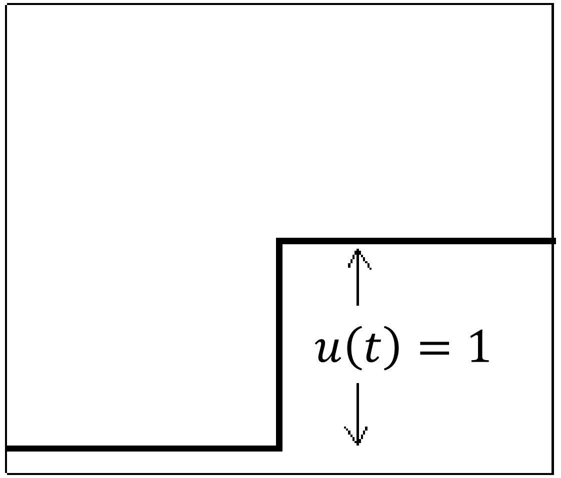
University of Patras
Department Of Chemical Engineering
ChemEngUP

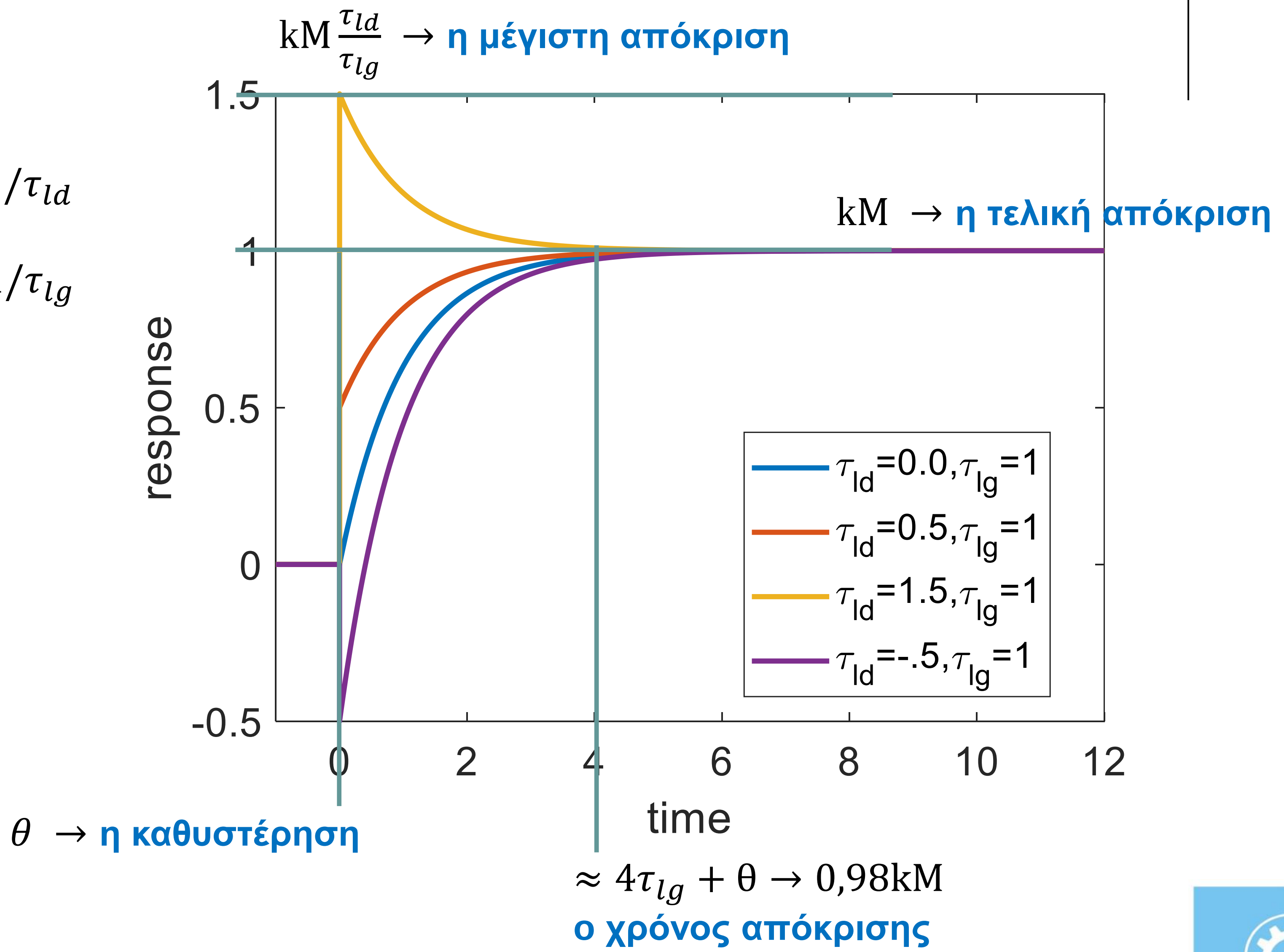
Προβάδισμα-Υστέρηση (lead-lag)

$$G(s) = \frac{\tau_{ld} s + 1}{\tau_{lg} s + 1}$$

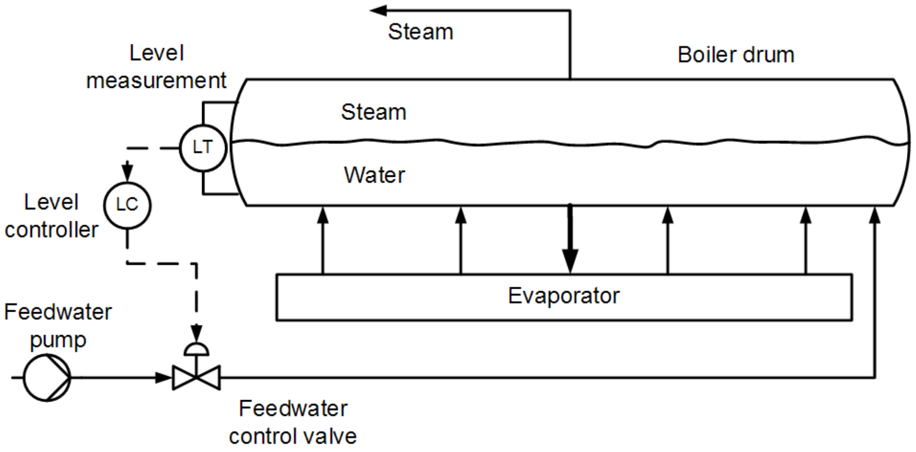
$z_1 = -1/\tau_{ld}$

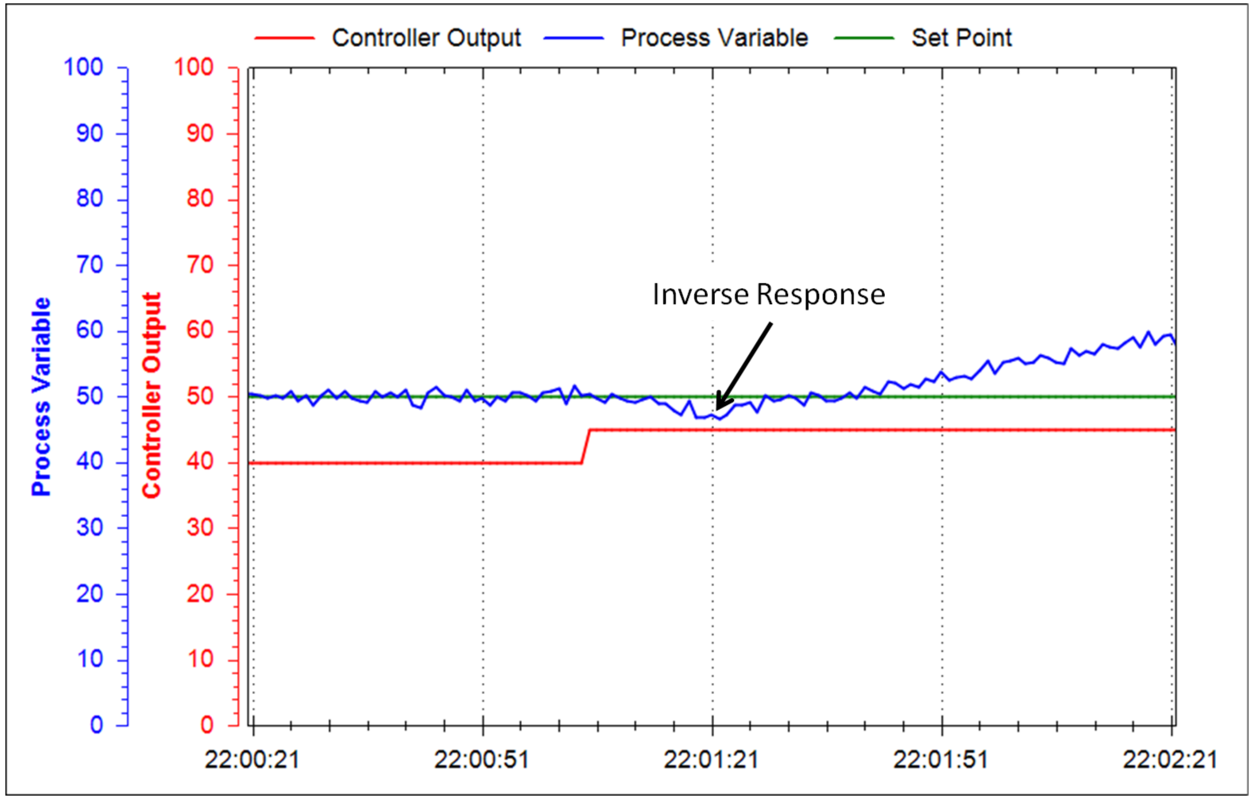
$p_1 = -1/\tau_{lg}$



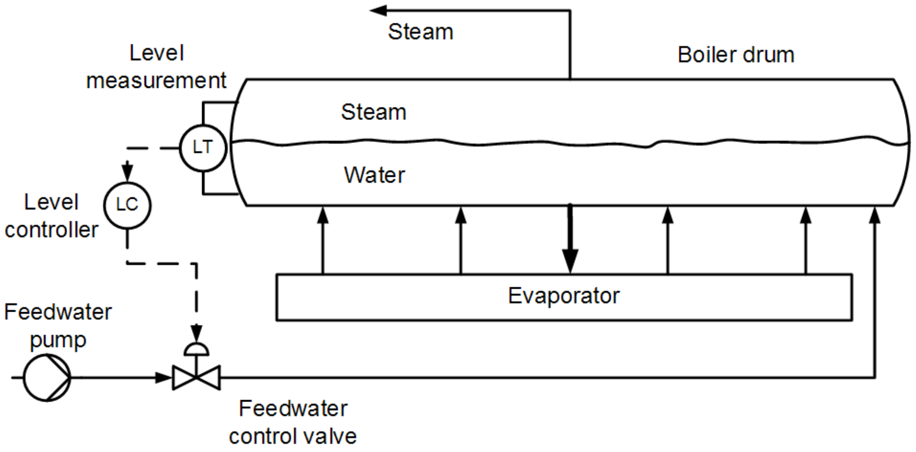


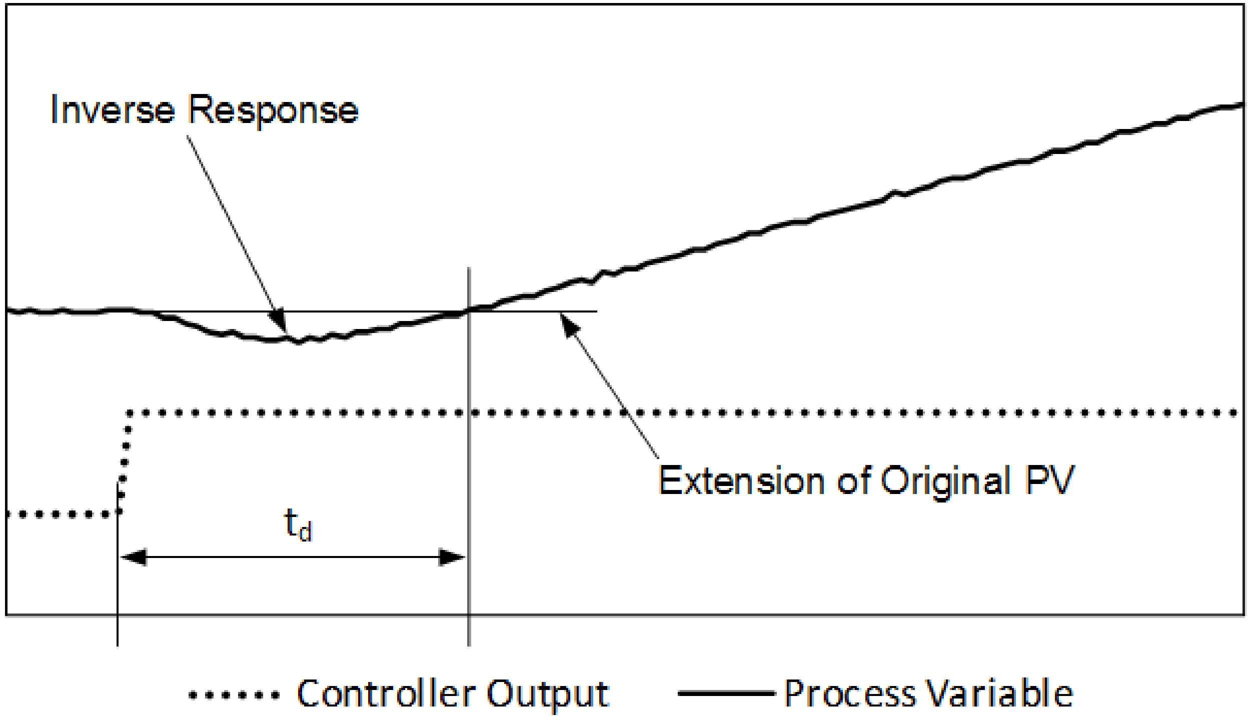
Παράδειγμα αντίστροφης απόκρισης: Στάθμη υγρού σε αναβραστήρα





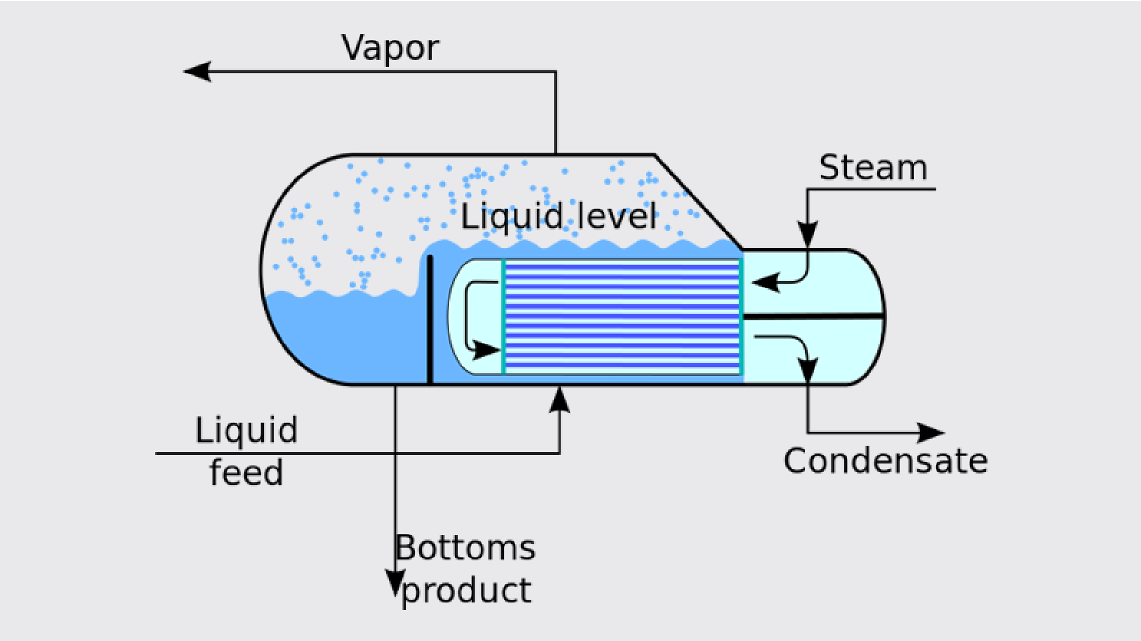
Παράδειγμα αντίστροφης απόκρισης: Στάθμη υγρού σε αναβραστήρα





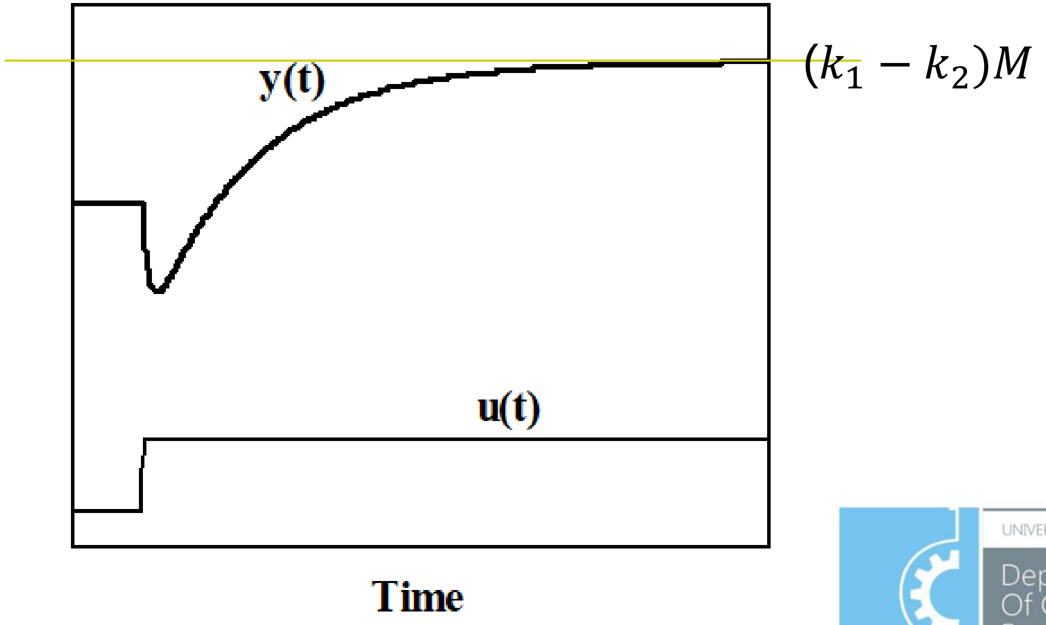
UNIVERSITY OF PATRAS
Department Of Chemical Engineering
ChemEngUP

Παράδειγμα αντίστροφης απόκρισης: Στάθμη υγρού σε αναβραστήρα



$$G(s) = \frac{k_1}{\tau_1 s + 1} - \frac{k_2}{\tau_2 s + 1}$$

$$k_1, k_2 > 0 \Rightarrow \frac{\tau_1}{\tau_2} > \frac{k_1}{k_2} > 1 \qquad \frac{\tau_1}{\tau_2} < \frac{k_1}{k_2} < 1$$

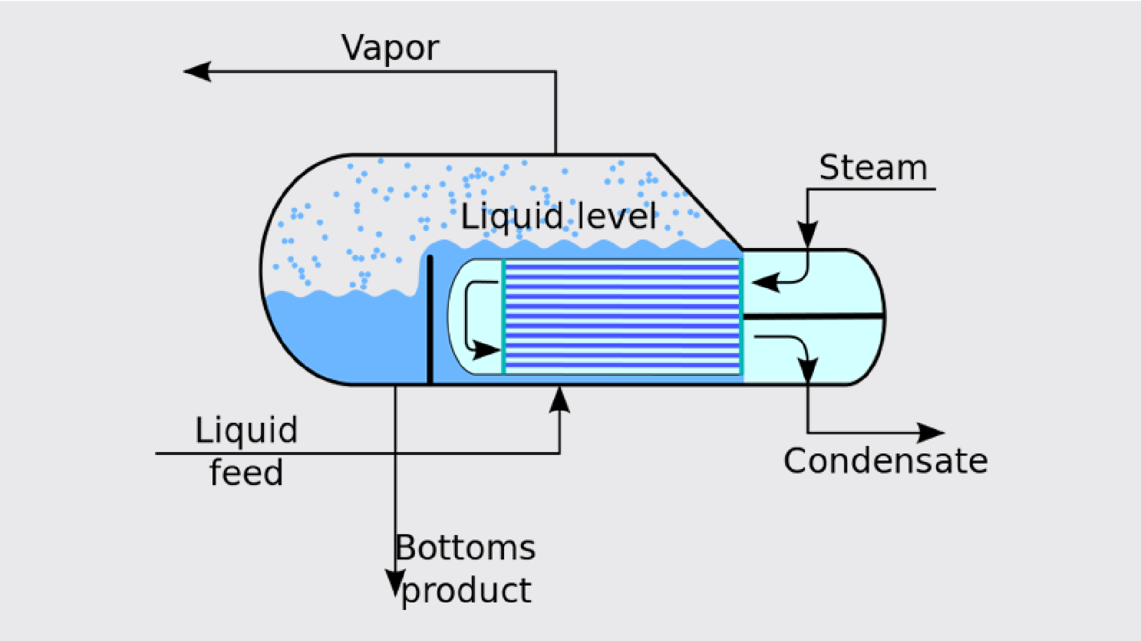


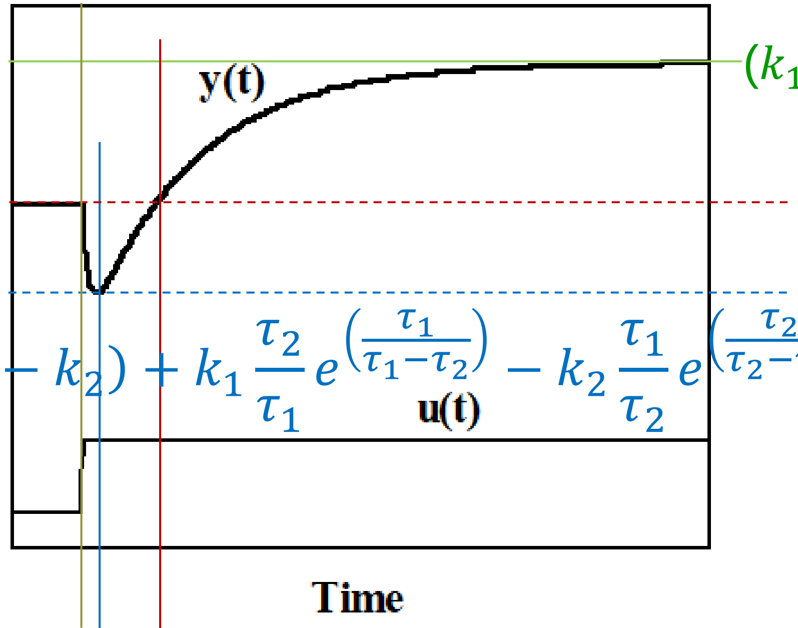
$$G = (k_1 - k_2)\frac{\dfrac{k_1\tau_2 - k_2\tau_1}{k_1 - k_2}s + 1}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)}e^{-\theta s}$$

UNIVERSITY OF PATRAS
Department Of Chemical Engineering
ChemEngUP

Παράδειγμα αντίστροφης απόκρισης: Στάθμη υγρού σε αναβραστήρα

$$k_1, k_2 > 0 \Rightarrow \frac{\tau_1}{\tau_2} > \frac{k_1}{k_2} > 1$$





$$(k_1 - k_2)M$$

$$\frac{y}{M} = (k_1 - k_2) + k_1 \frac{\tau_2}{\tau_1} e^{\left(\frac{\tau_1}{\tau_1 - \tau_2}\right)} - k_2 \frac{\tau_1}{\tau_2} e^{\left(\frac{\tau_2}{\tau_2 - \tau_1}\right)}$$

θ

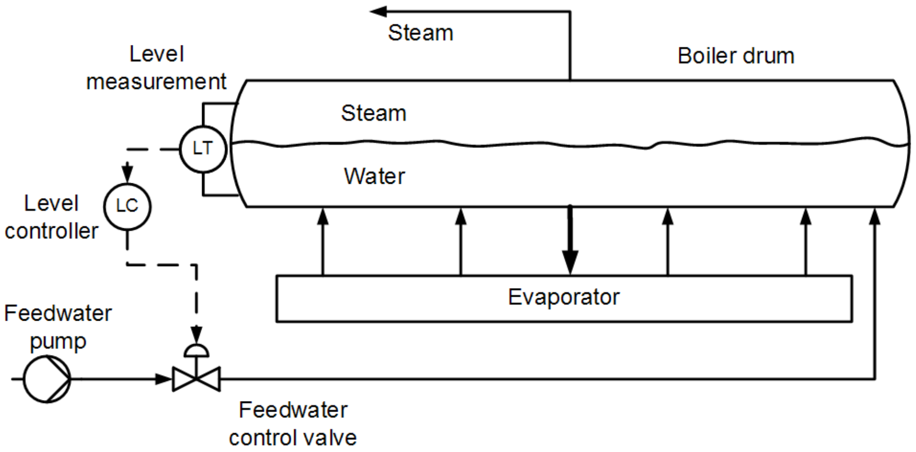
$$t_d = \tau_1 \ln\left(\frac{k_1 - k_2 e^{-\tau_1/\tau_2}}{k_1 - k_2}\right)$$

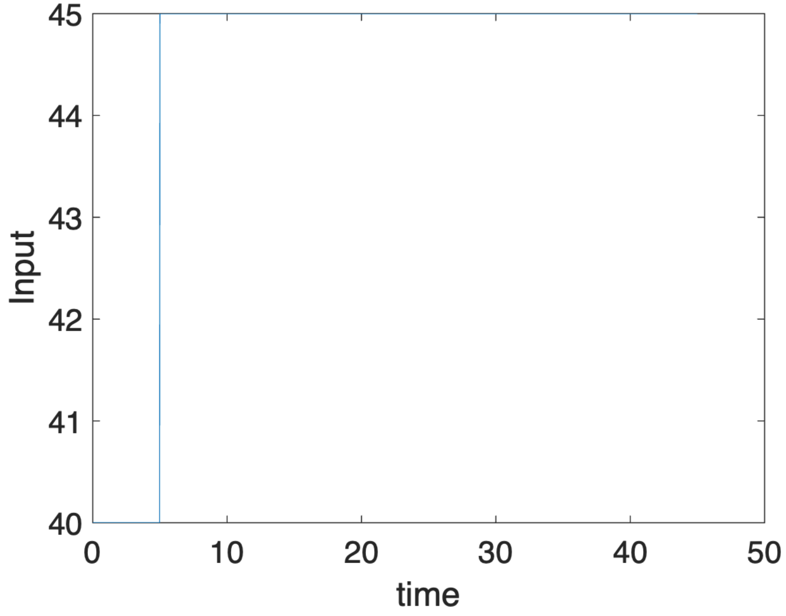
$$G = (k_1 - k_2)\frac{\frac{k_1\tau_2 - k_2\tau_1}{k_1 - k_2}s + 1}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)} e^{-\theta s}$$

$$t_p = \frac{\tau_1 \tau_2}{\tau_1 - \tau_2} \ln\left(\frac{k_2 \tau_1}{k_1 \tau_2}\right)$$

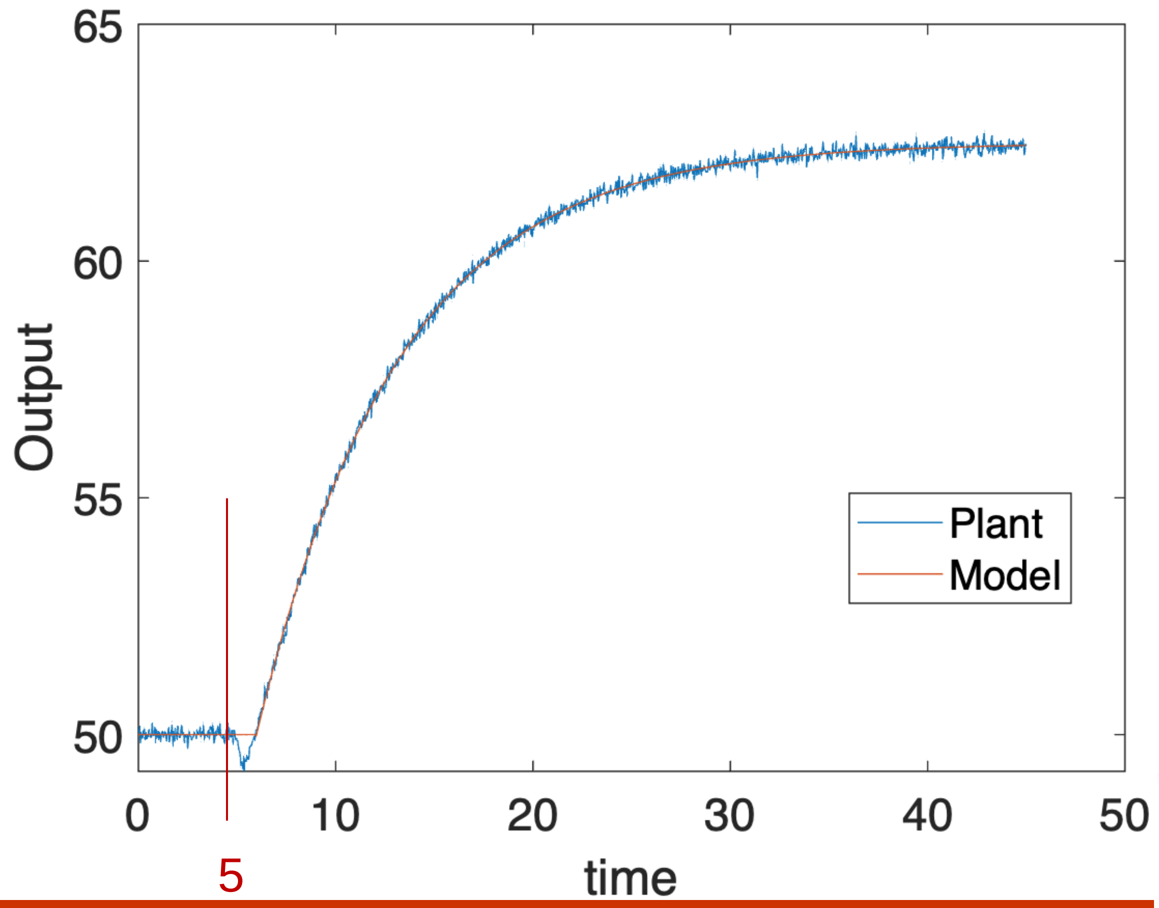
University of Patras Department Of Chemical Engineering ChemEngUP

Παράδειγμα αντίστροφης απόκρισης: Στάθμη υγρού σε αναβραστήρα

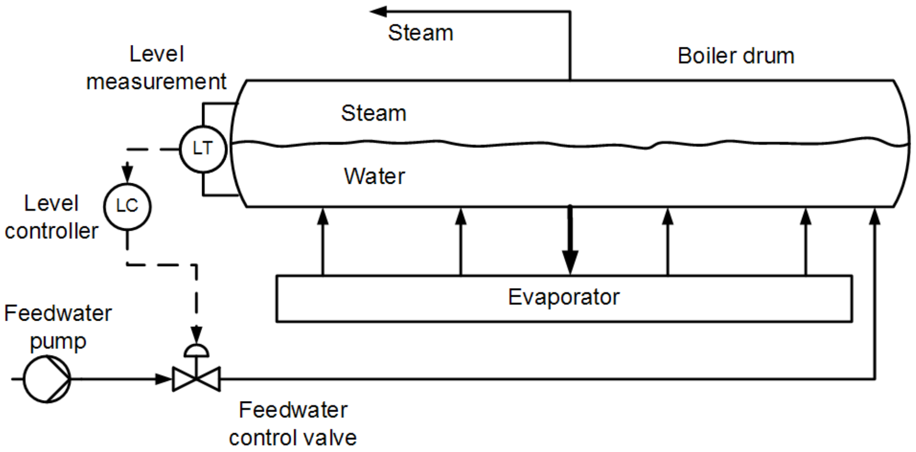




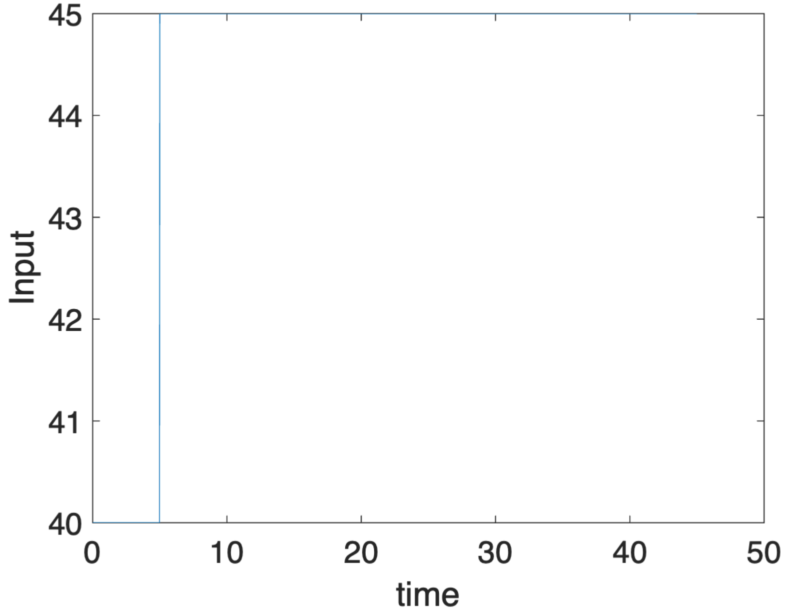
- FODS: $G = \dfrac{2.5(-0.02s+1)}{7.2s+1}e^{-0.96s}$

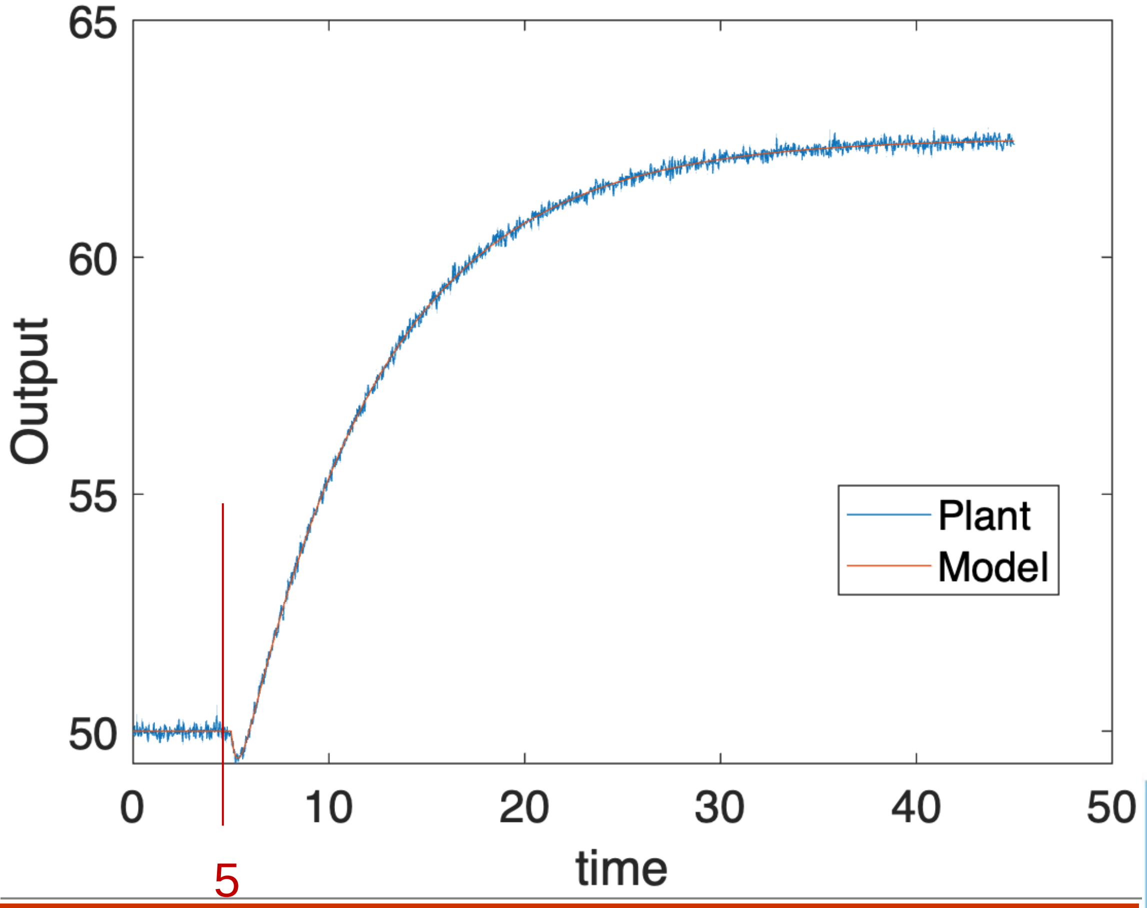


Παράδειγμα αντίστροφης απόκρισης: Στάθμη υγρού σε αναβραστήρα

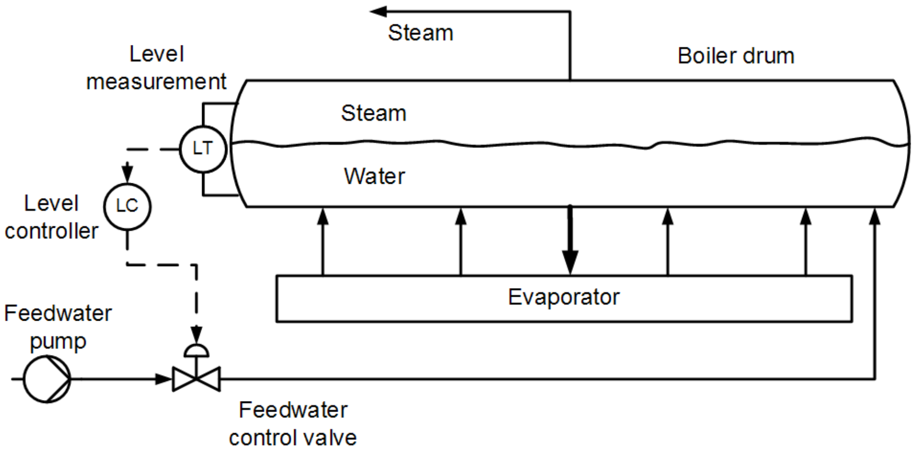


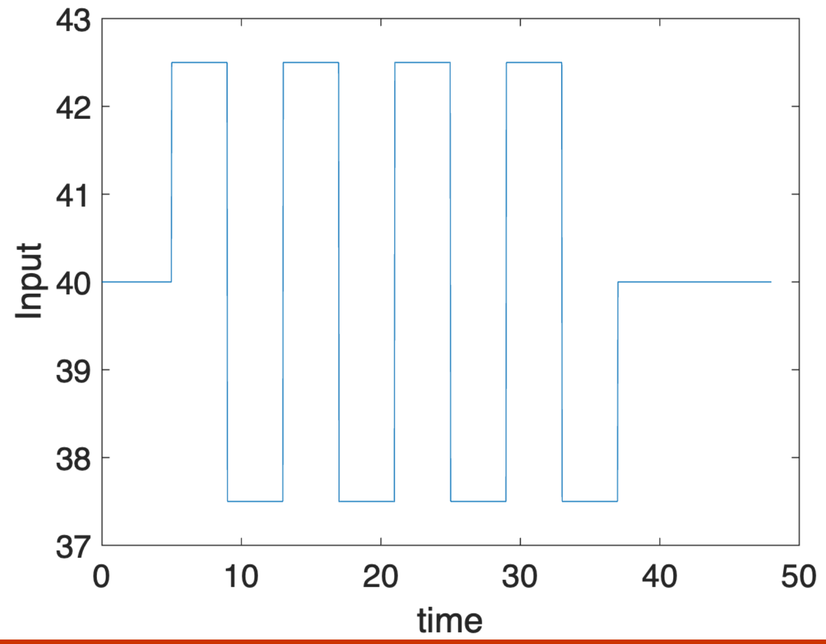
- SODS: $G = \dfrac{2.5(-0.70s+1)}{(1.47s)^2+2\ 1.47\ 2.56s+1}e^{-0.0s}$



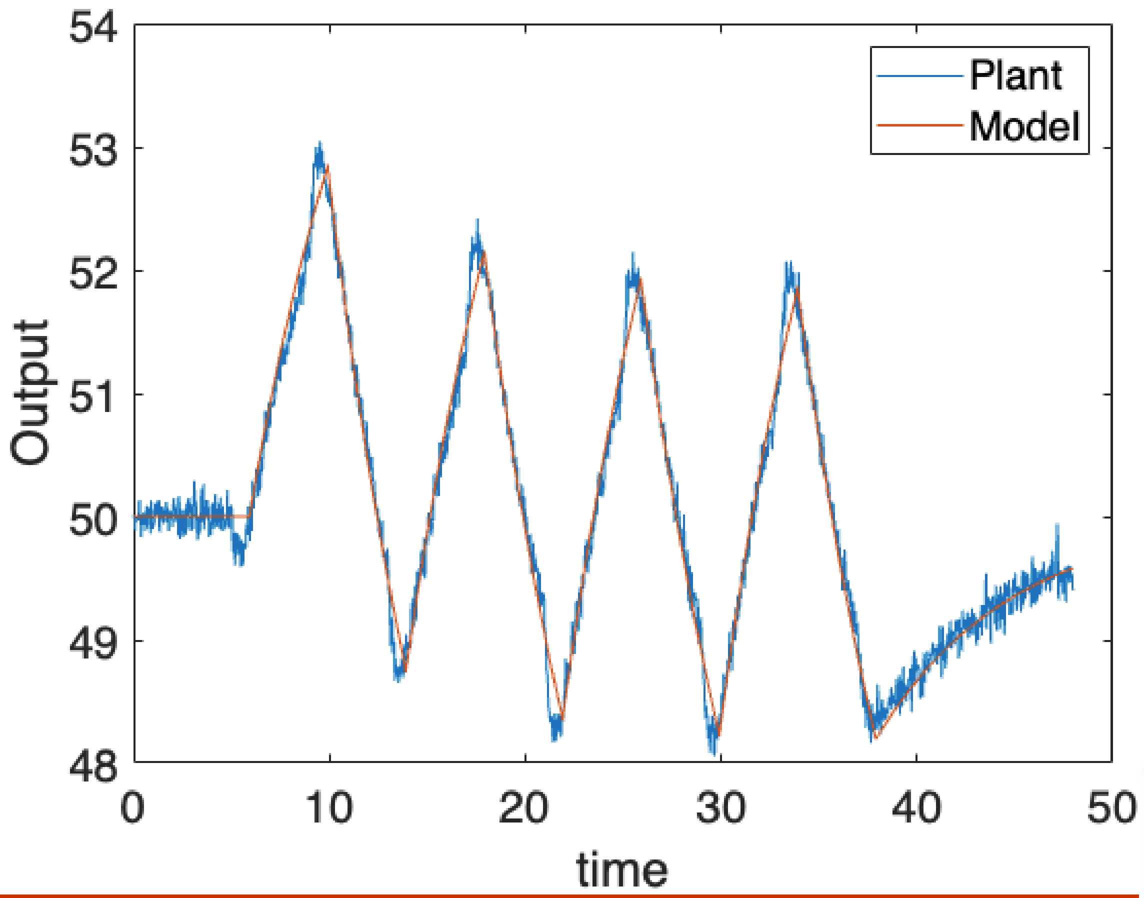


Παράδειγμα αντίστροφης απόκρισης: Στάθμη υγρού σε αναβραστήρα



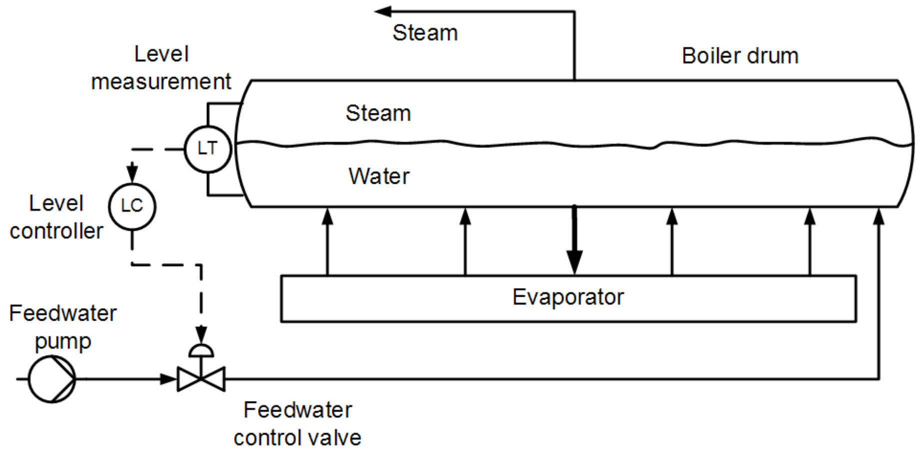


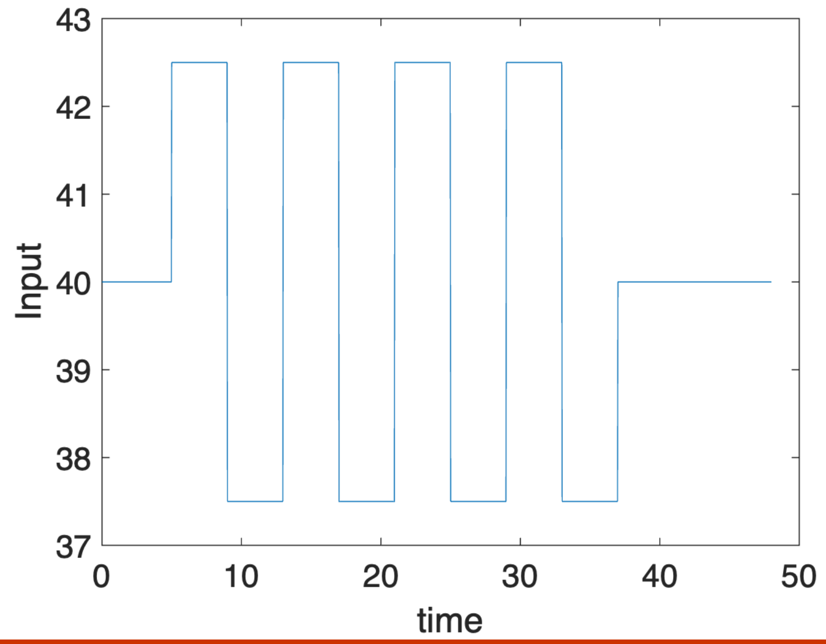
- FODS: $G = \dfrac{2.6(-0.016s+1)}{6.9s+1}e^{-0.90s}$



University of Patras
Department Of Chemical Engineering
ChemEngUP

Παράδειγμα αντίστροφης απόκρισης: Στάθμη υγρού σε αναβραστήρα





- SODS: $G = \dfrac{2.5(-0.71s+1)}{(1.5s)^2+2\ 1.5\ 2.5s+1}e^{-0.0s}$