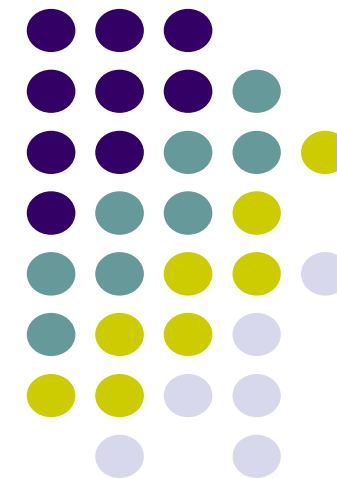


Δυναμική & Ρύθμιση Διεργασιών

Διάλεξη 16:
Διαγράμματα βαθμίδων



Βήματα της Ρύθμισης Διεργασιών,



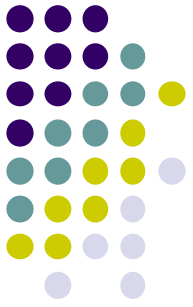
1. Καθορίστε τη διεργασία που εξετάζεται
 - b. Ταξινόμηση μεταβλητών (χειριζόμενες, διαταραχές, εσωτερικές, ελεγχόμενες, μετρούμενες)
 - c. Διατύπωση μοντέλου διεργασίας
 - e. Διατύπωση περιγραφής χώρου κατάστασης
 - f. Διατύπωση περιγραφής συναρτήσεων μεταφοράς
2. Ανάλυση Διεργασίας
3. **Σύνθεση δομής ελέγχου**
 - a. Διατύπωση της ερώτησης ελέγχου
 - b. Προσθήκη ενεργοποιητών/αισθητήρων στην περιγραφή
 - c. Κατασκευή των ρυθμιστών
 - d. Κατασκευή των παρατηρητών
 - e. Ανάλυση κλειστού βρόχου
 - f. Βαθμονόμηση ρυθμιστών
 - g. Βαθμονόμηση παρατηρητών

Εξερεύνηση δυναμικής συμπεριφοράς

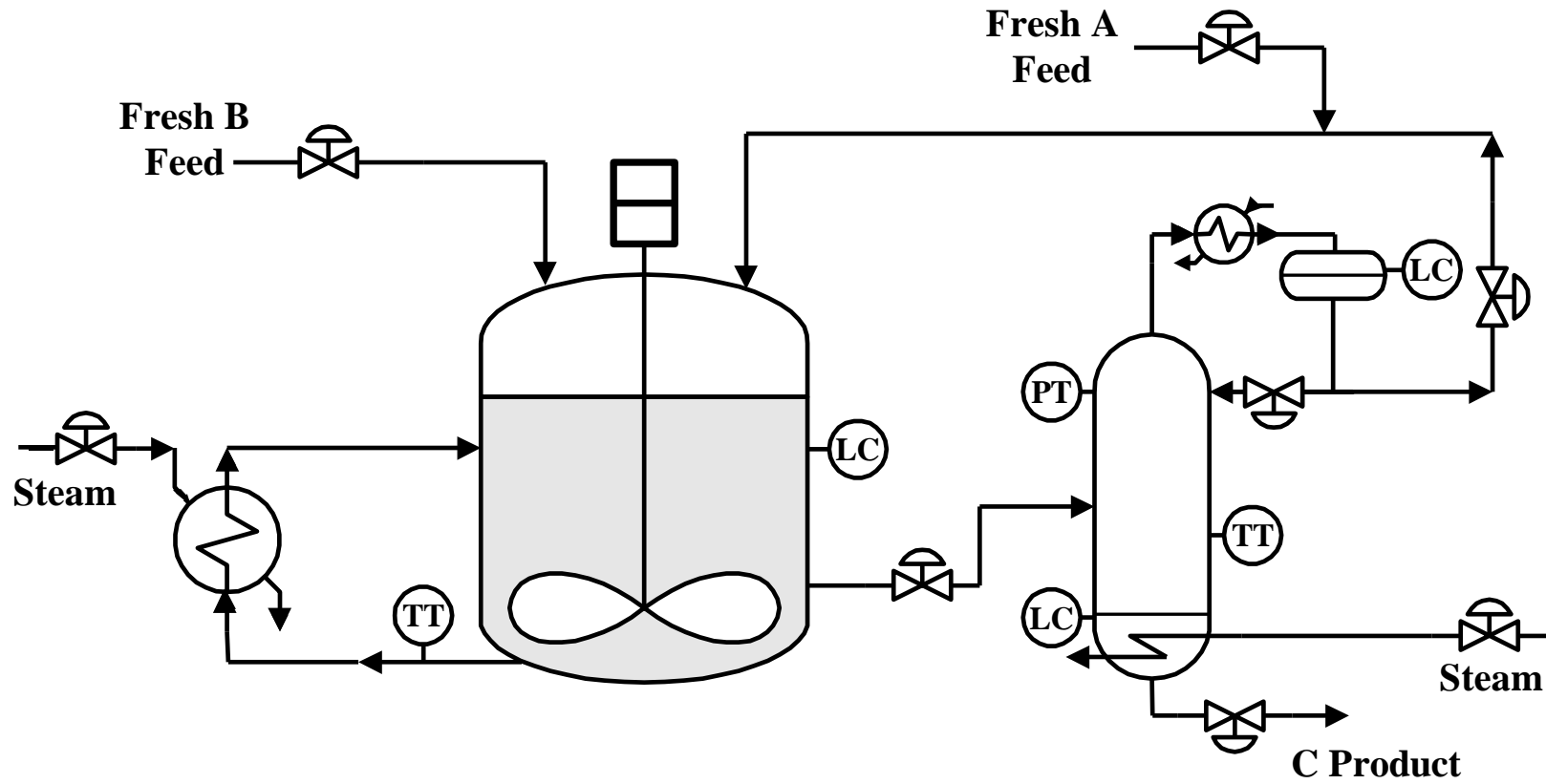


- Η δυναμική συμπεριφορά του συστήματος είναι απαραίτητο να κατανοηθεί και να βρεθεί ένα ελάχιστος αριθμός μεταβλητών που να την περιγράφουν (προσεγγιστικά).
- Για την εξερεύνηση της δυναμικής συμπεριφοράς του συστήματος πρότυπες μεταβολές της εισόδου χρησιμοποιούνται.
 - Βήμα
 - Παλμός
 - Κρουστικός παλμός
 - Γραμμική μεταβολή
 - Ημίτονο
- Είναι όμως εύκολο να έχουμε μια περιγραφή για ολόκληρο το σύστημα;
 - Ο εξοπλισμός επηρεάζει την περιγραφή
 - Μπορούμε να απλοποιήσουμε την περιγραφή ώστε να μπορούμε να κατανοήσουμε τις επιμέρους διεργασίες;

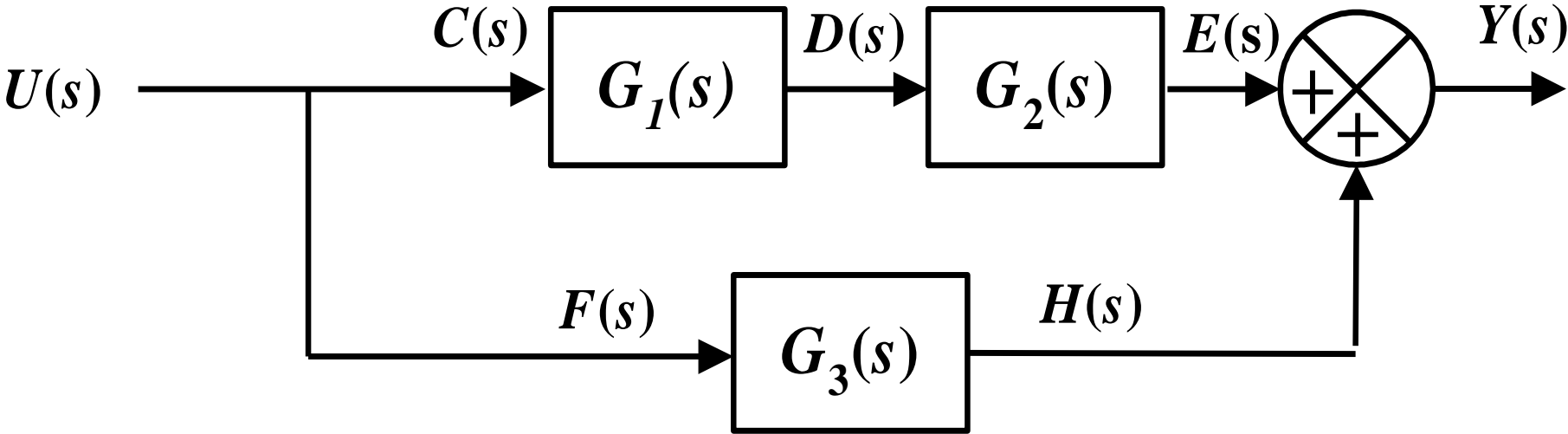
Εξερεύνηση δυναμικής συμπεριφοράς



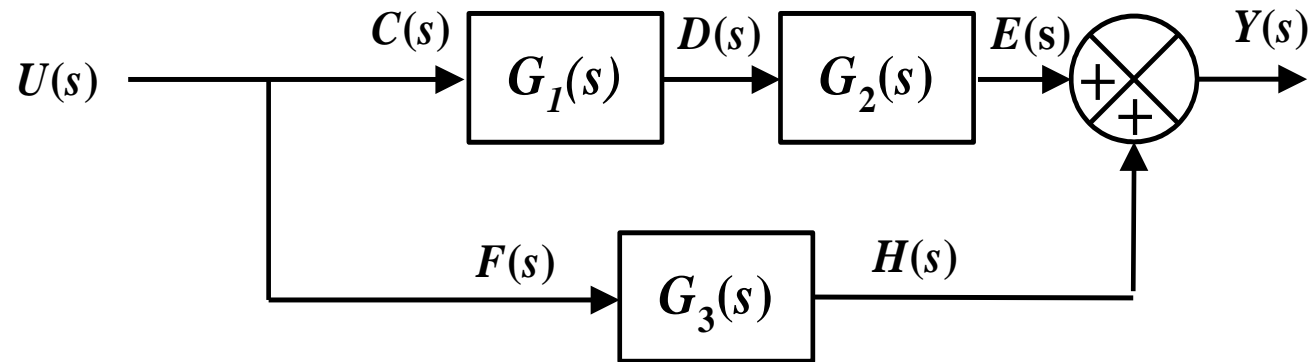
- Διάγραμμα ροής



Διάγραμμα βαθμίδων: Πράξεις



Διάγραμμα βαθμίδων: άλγεβρα



Στόχος: Θέλουμε να προσδιορίσουμε τη σχέση $Y(s)/U(s)$

0. Ξεκινάμε από το τέλος (πάμε πάντα ανάποδα στην ροή πληροφορίας)

1. Προσθέτουμε σύμβολα για την πληροφορία (C, D, E, F, H)

2. Προσθέτουμε $Y(s) = E(s) + H(s)$ (summation function)

3. Στη σειρά $E(s)/C(s) = G_1(s)G_2(s)$ (series of transfer functions)

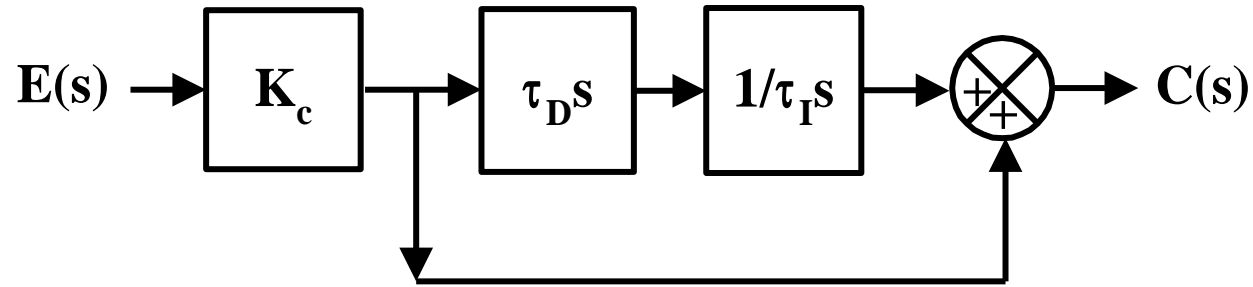
4. Διαιρούμε $U(s) = C(s) = F(s)$ (divider function)

5. Ορίζουμε $H(s)/F(s) = G_3(s)$ (transfer function definition)

6. Αντικαθιστούμε στην 1^η $Y(s) = G_1(s)G_2(s)U(s) + G_3(s)U(s)$

7. Αναδιοργανώνουμε $G_{OA}(s) = Y(s)/U(s) = G_1(s)G_2(s) + G_3(s)$

Διάγραμμα βαθμίδων: Παράδειγμα



Στόχος: Θέλουμε να προσδιορίσουμε τη σχέση $C(s)/E(s)$

1. Προσθέτουμε

$$C(s) = ($$

2. Στη σειρά

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

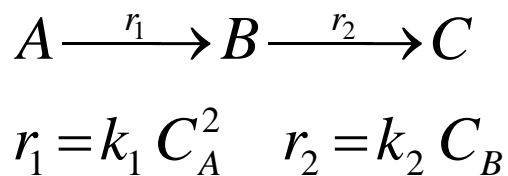
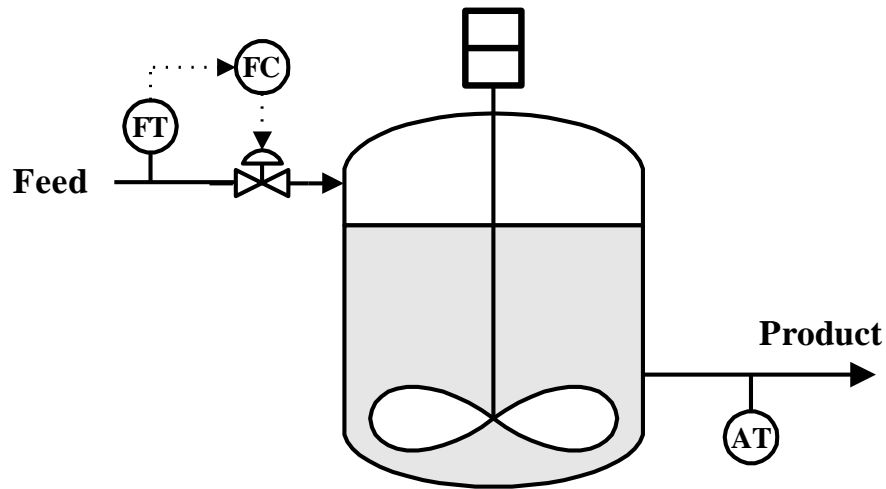
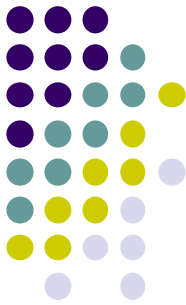
3. Προσθέτουμε

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

4. Αναδιοργανώνουμε

$$G_P(s) = \frac{C(s)}{E(s)} = K_c + K_c \frac{\tau_D}{\tau_I}$$

Παράδειγμα: Ισοθερμοκρασιακός ΑΣΑ

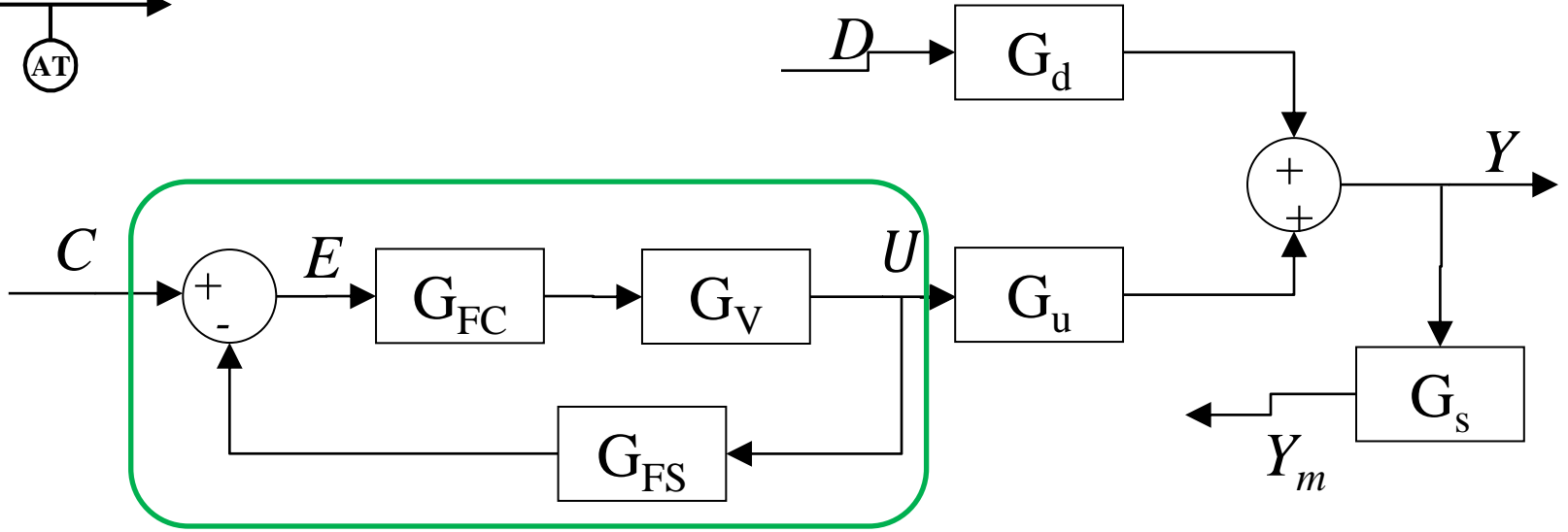
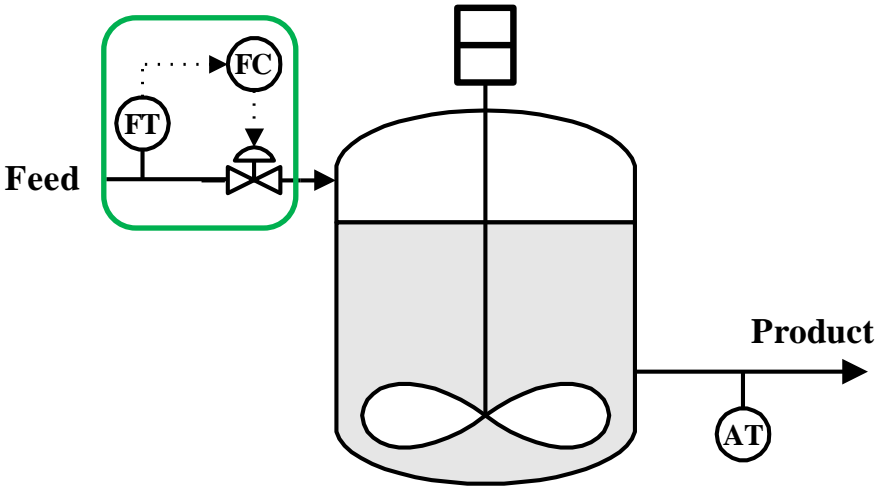


- Θέλουμε να παράγουμε οικονομικά συστατικό B
- Έχουμε δοθεί την T από βελτιστοποίηση
- Έχουμε δοθεί την βέλτιστη C_B
- Γνωρίζουμε τον μηχανισμό των αντιδράσεων
- Η συγκέντρωση στο ρεύμα εισόδου ταλαντώνεται
- Γνωρίζουμε τον εξοπλισμό

$$V = 100 \text{ L}, k_1 = 0.2 \text{ [min/moL min]}, k_2 = 3 \text{ [1/min]}$$

- Μετά την βελτιστοποίηση μας δίδεται
 $C_{B,S} = 0.11 \text{ [moL/L]}, C_{A0,S} = 2 \text{ [moL/L]}$

Παράδειγμα: Ισοθερμοκρασιακός ΑΣΑ

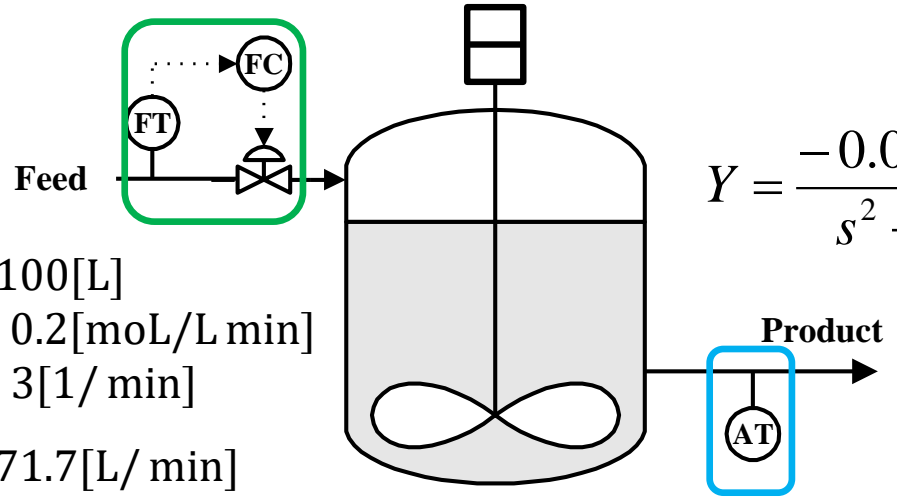


$$\frac{U}{C} = \frac{G_{FC} G_V}{1 + G_{FS} G_{FC} G_V} = G_A$$

Διάγραμμα βαθμίδων: ΑΣΑ και εξοπλισμός



$$\frac{dF}{dt} = \frac{1}{\tau_v} [F_{spec} - F] \quad \frac{du}{dt} = \frac{1}{\tau_v} [c - u] \quad U(s) = \frac{1}{(\tau_v s + 1)} C(s)$$



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

$V = 100[\text{L}]$
 $k_1 = 0.2[\text{mol/L min}]$
 $k_2 = 3[1/\text{min}]$
 $F = 71.7[\text{L/min}]$
 $C_{A0,s} = 2.00[\text{mol/L}]$
 $C_{A,s} = 1.4298[\text{mol/L}]$
 $C_{B,s} = 0.1100[\text{mol/L}]$

$$\frac{dC_{Bs}}{dt} = \frac{1}{\tau_s} [C_B - C_{Bs}] \quad \frac{dy_m}{dt} = \frac{1}{\tau_s} [y - y_m] \quad Y_m(s) = \frac{1}{(\tau_s s + 1)} Y(s)$$

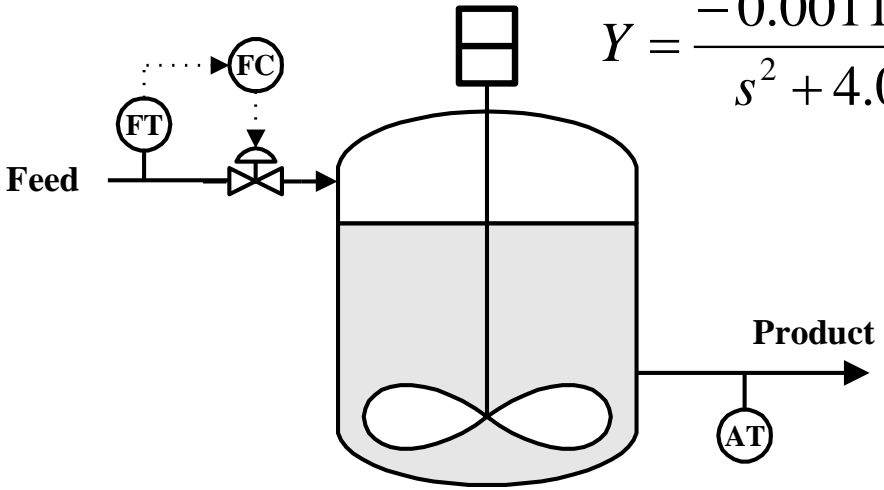
$\tau_v = 0.5 \text{ min}$
 $\tau_s = 0.33 \text{ min}$

Διάγραμμα βαθμίδων: ΑΣΑ και τελική ΠΣΜ

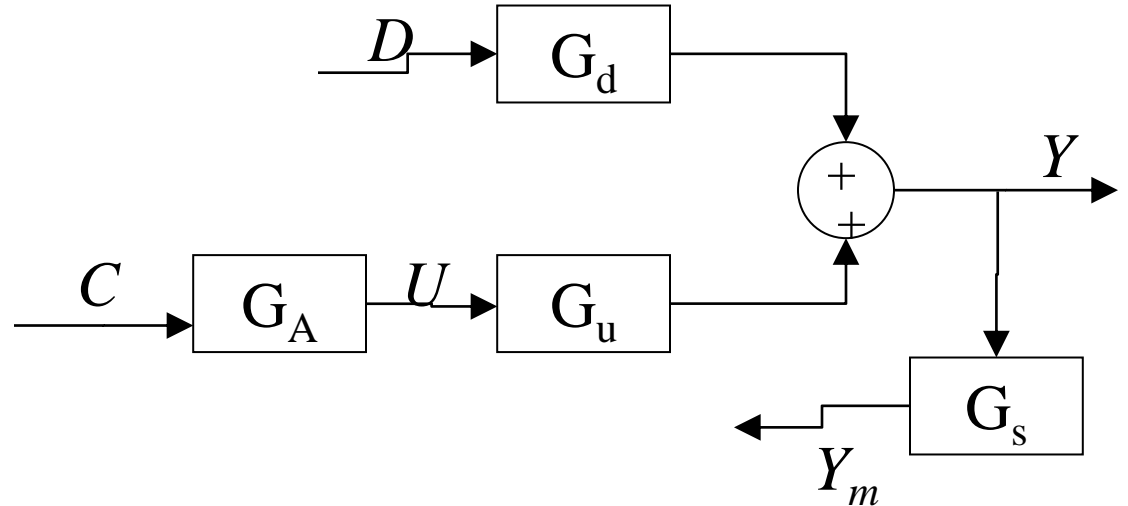


$$U(s) = \frac{1}{(0.5s + 1)} C(s)$$

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



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



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

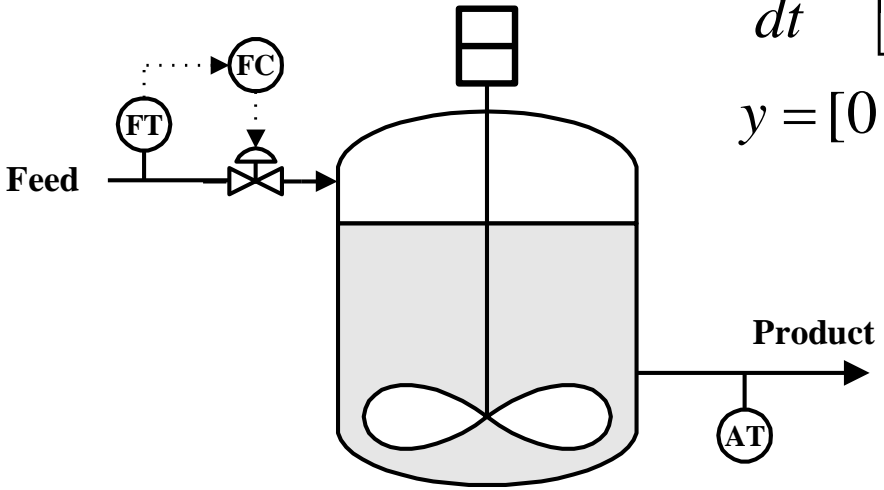
Διάγραμμα βαθμίδων: ΑΣΑ και τελική ΠΧΚ



$$\frac{dc_3}{dt} = 2[c - c_3]$$

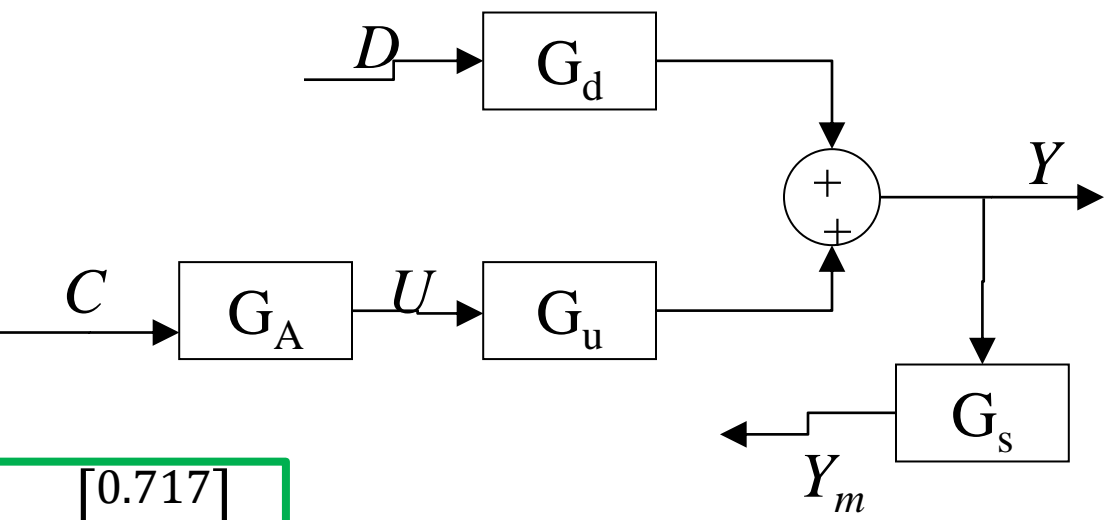
$$\frac{dx}{dt} \cong \begin{bmatrix} -1.2889 & 0 \\ 0.5719 & -2.717 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0.0057 \\ -0.0011 \end{bmatrix} u + \begin{bmatrix} 0.717 \\ 0 \end{bmatrix} d$$

$$y = [0 \quad 1] x$$



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

$$\frac{dy_m}{dt} = 3[y_2 - y_m]$$



$$\frac{dx}{dt} = \begin{bmatrix} -1.2889 & 0 & 0.0057 & 0 \\ 0.5719 & -2.717 & -0.0011 & 0 \\ 0 & 0 & -2 & 0 \\ 0 & 3 & 0 & -3 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 2 \\ 0 \end{bmatrix} c + \begin{bmatrix} 0.717 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} d$$

$$y = [0 \quad 0 \quad 0 \quad 1] x$$

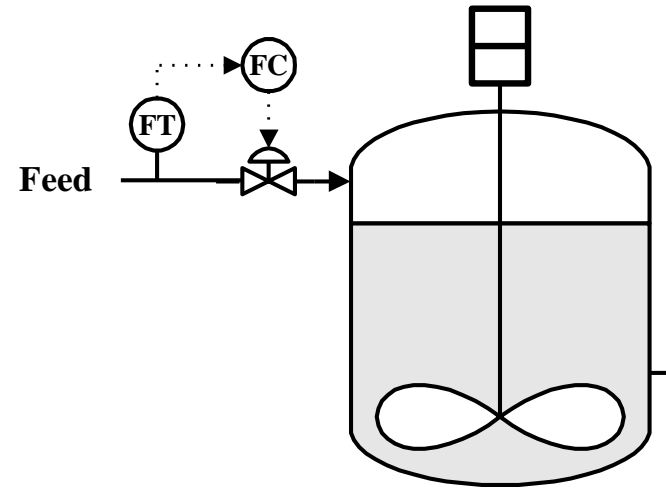


Διάγραμμα βαθμίδων: ΑΣΑ και τελική ΠΧΚ

$$\frac{du}{dt} = 2[c - u] \quad \frac{dx_3}{dt} = 2[c - x_3]$$

$$\frac{dx}{dt} \cong \begin{bmatrix} -1.2889 & 0 \\ 0.5719 & -2.717 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0.0057 \\ -0.0011 \end{bmatrix} u + \begin{bmatrix} 0.717 \\ 0 \end{bmatrix} d$$

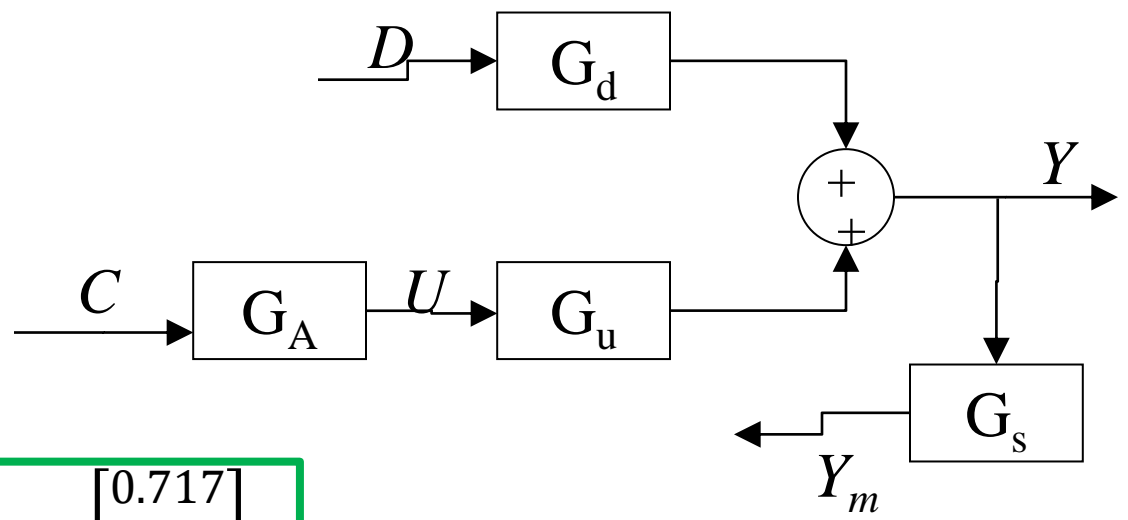
$$y = [0 \quad 1]x$$



$$\frac{dy_m}{dt} = 3[y - y_m]$$

$$\frac{dx_4}{dt} = 3[x_2 - x_4]$$

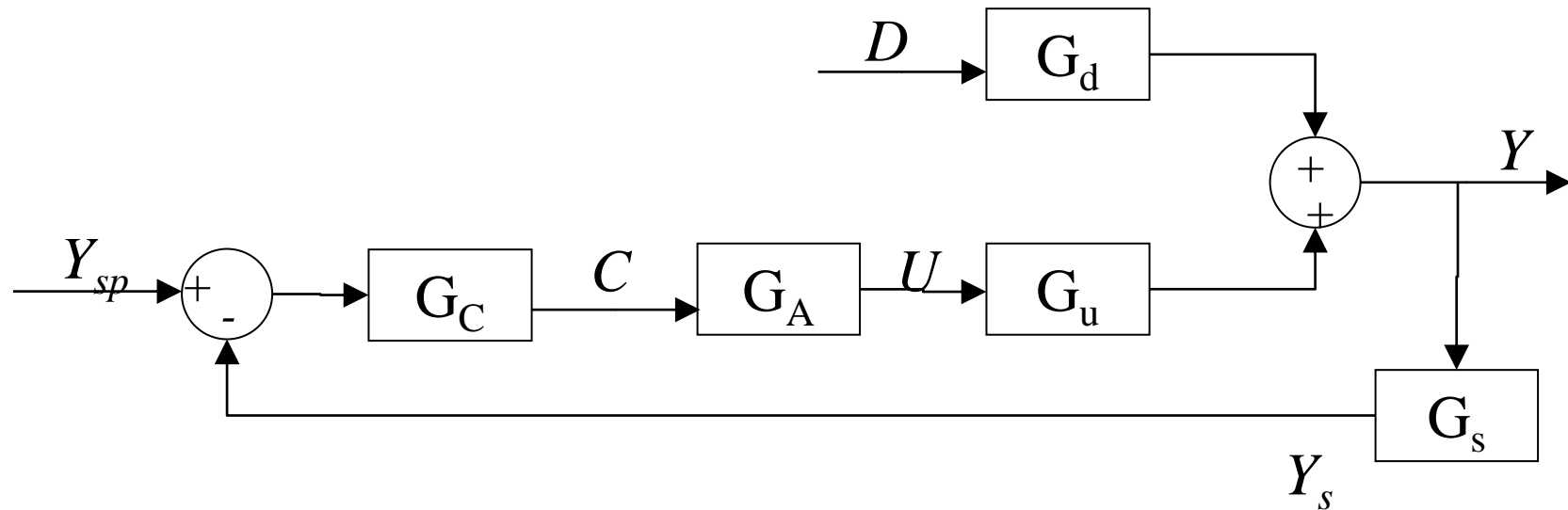
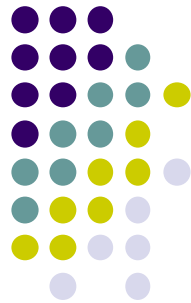
$\tau_v = 0.5 \text{ min}$
 $\tau_s = 0.33 \text{ min}$



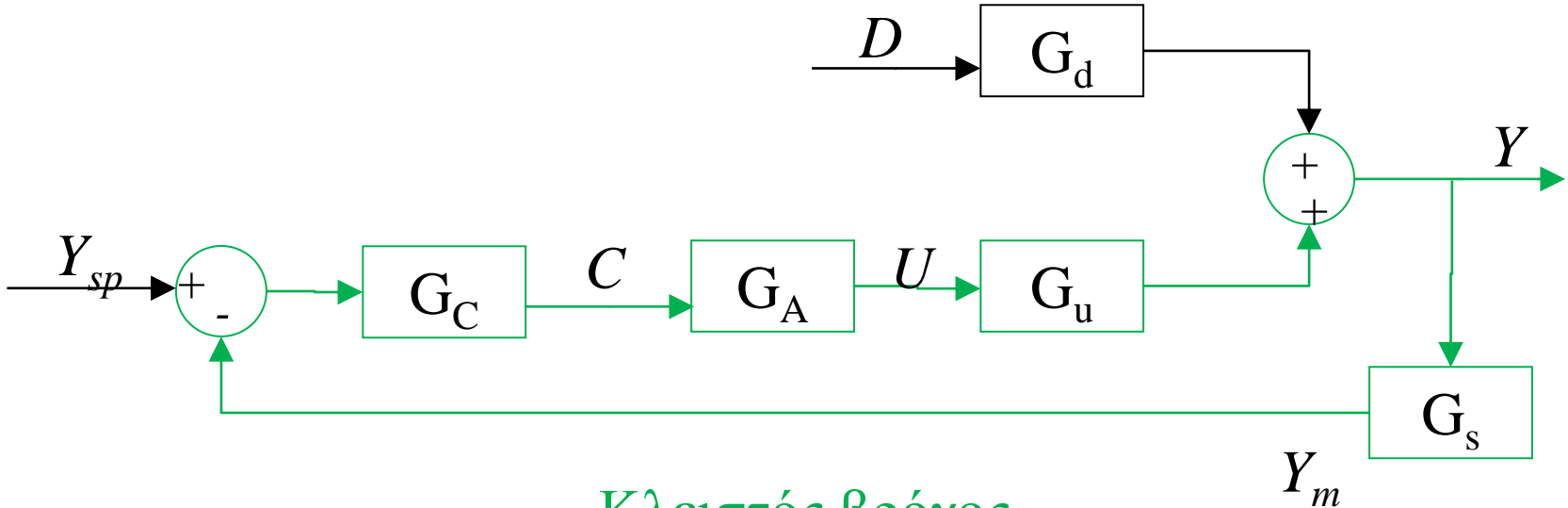
$$\frac{dx}{dt} = \begin{bmatrix} -1.2889 & 0 & 0.0057 & 0 \\ 0.5719 & -2.717 & -0.0011 & 0 \\ 0 & 0 & -2 & 0 \\ 0 & 3 & 0 & -3 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 2 \\ 0 \end{bmatrix} c + \begin{bmatrix} 0.717 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} d$$

$$y = [0 \quad 0 \quad 0 \quad 1]x$$

Διάγραμμα βαθμίδων: Κλειστός βρόχος

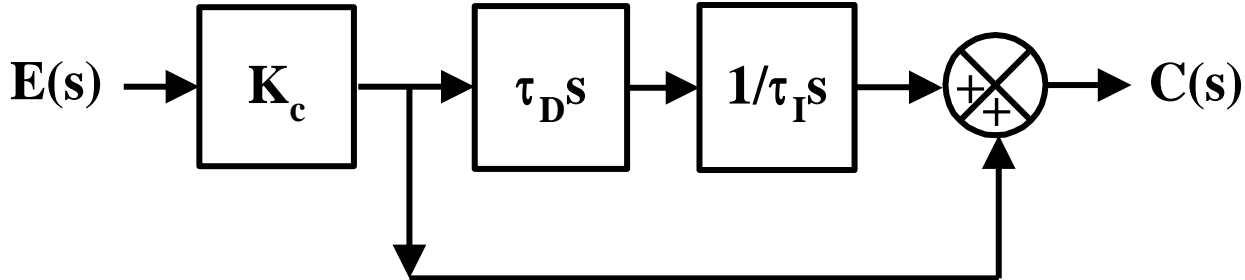


Διάγραμμα βαθμίδων: Κλειστός βρόχος

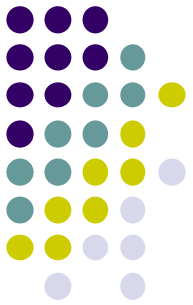


Κλειστός βρόχος

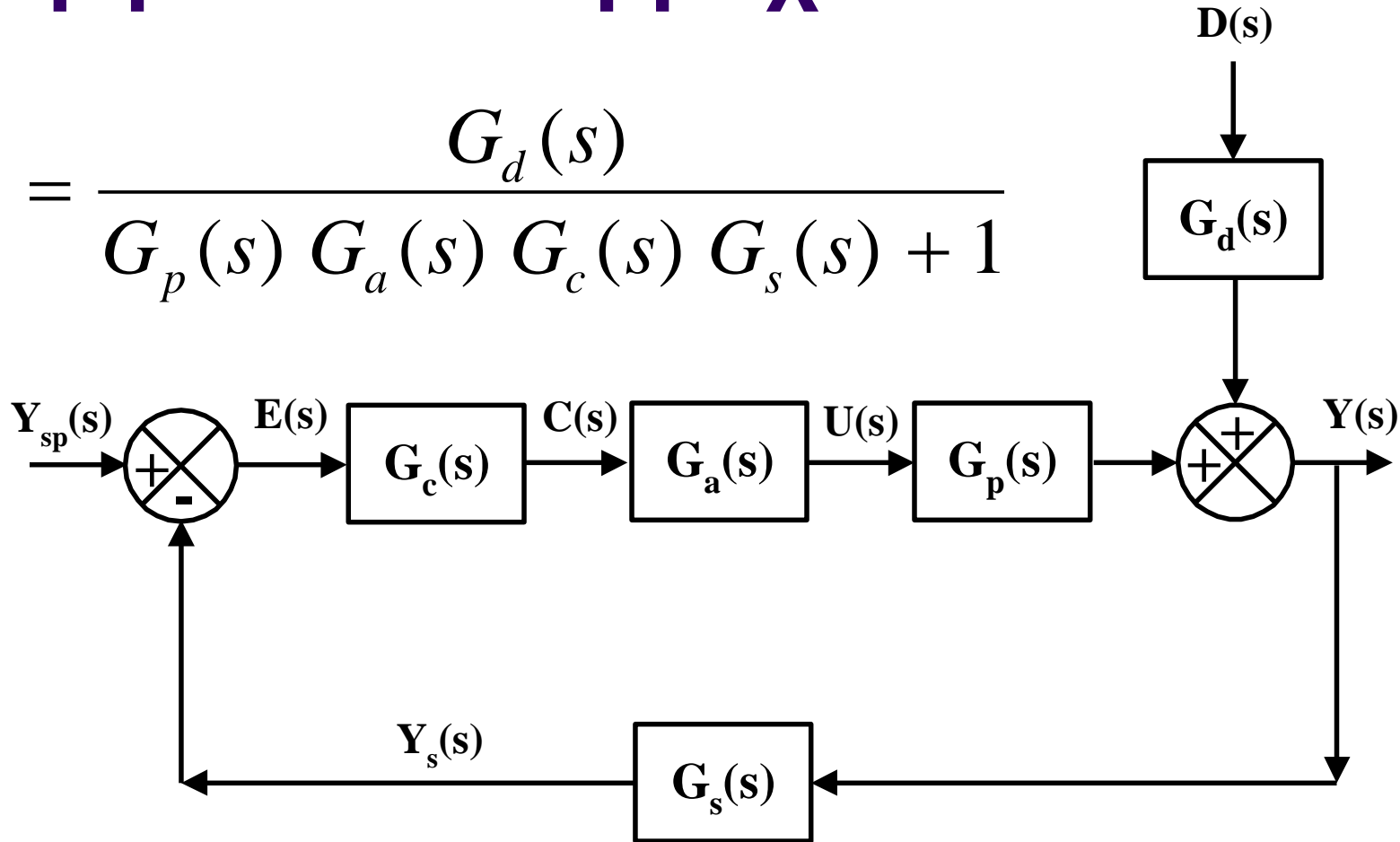
Αυτό το ΔB δεν έχει κλειστό βρόχο



Περιγραφή κλειστού βρόχου

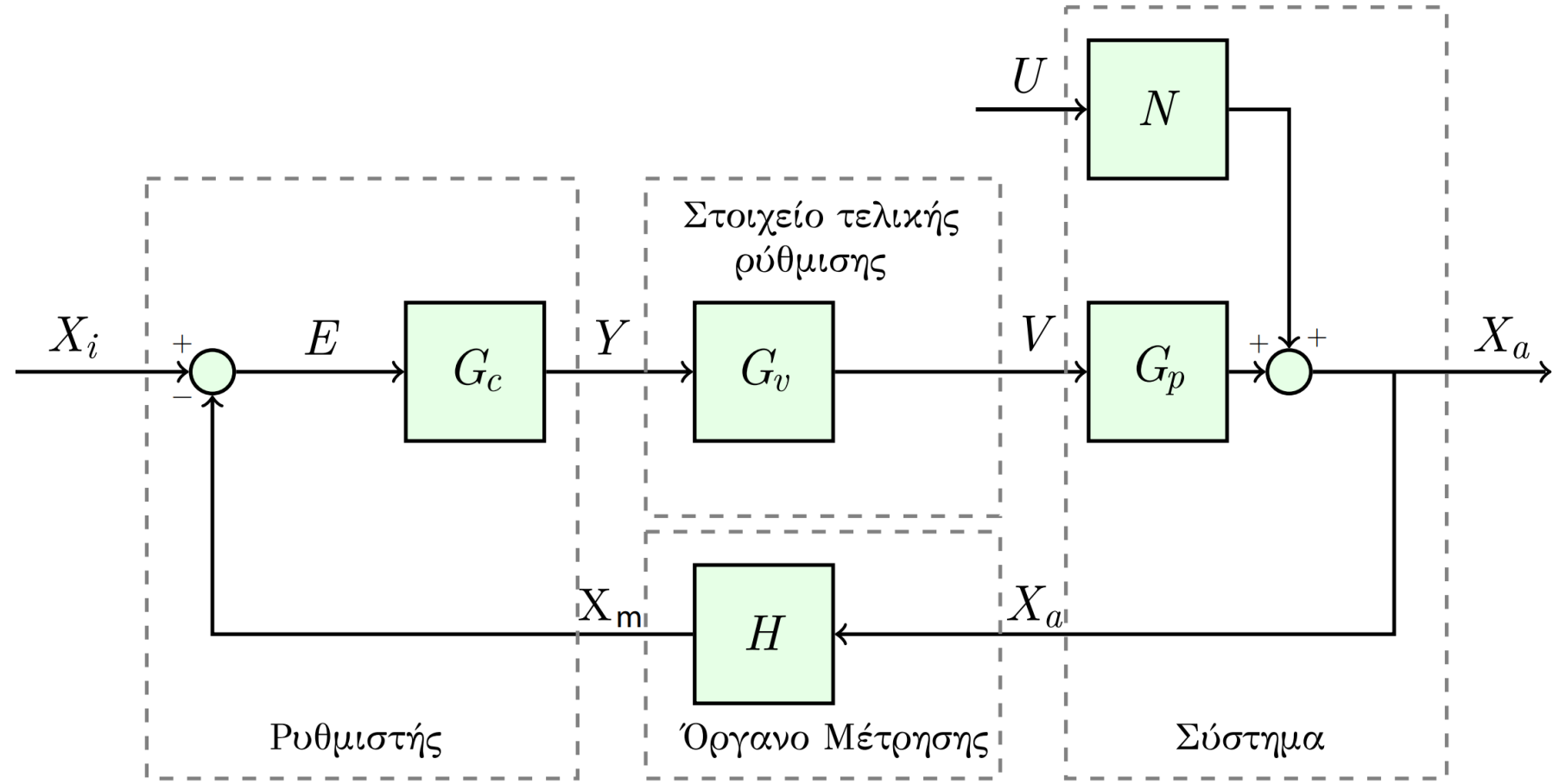
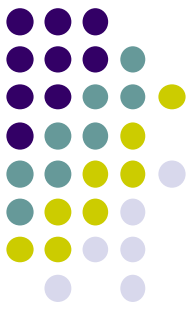


$$\frac{Y(s)}{D(s)} = \frac{G_d(s)}{G_p(s) G_a(s) G_c(s) G_s(s) + 1}$$

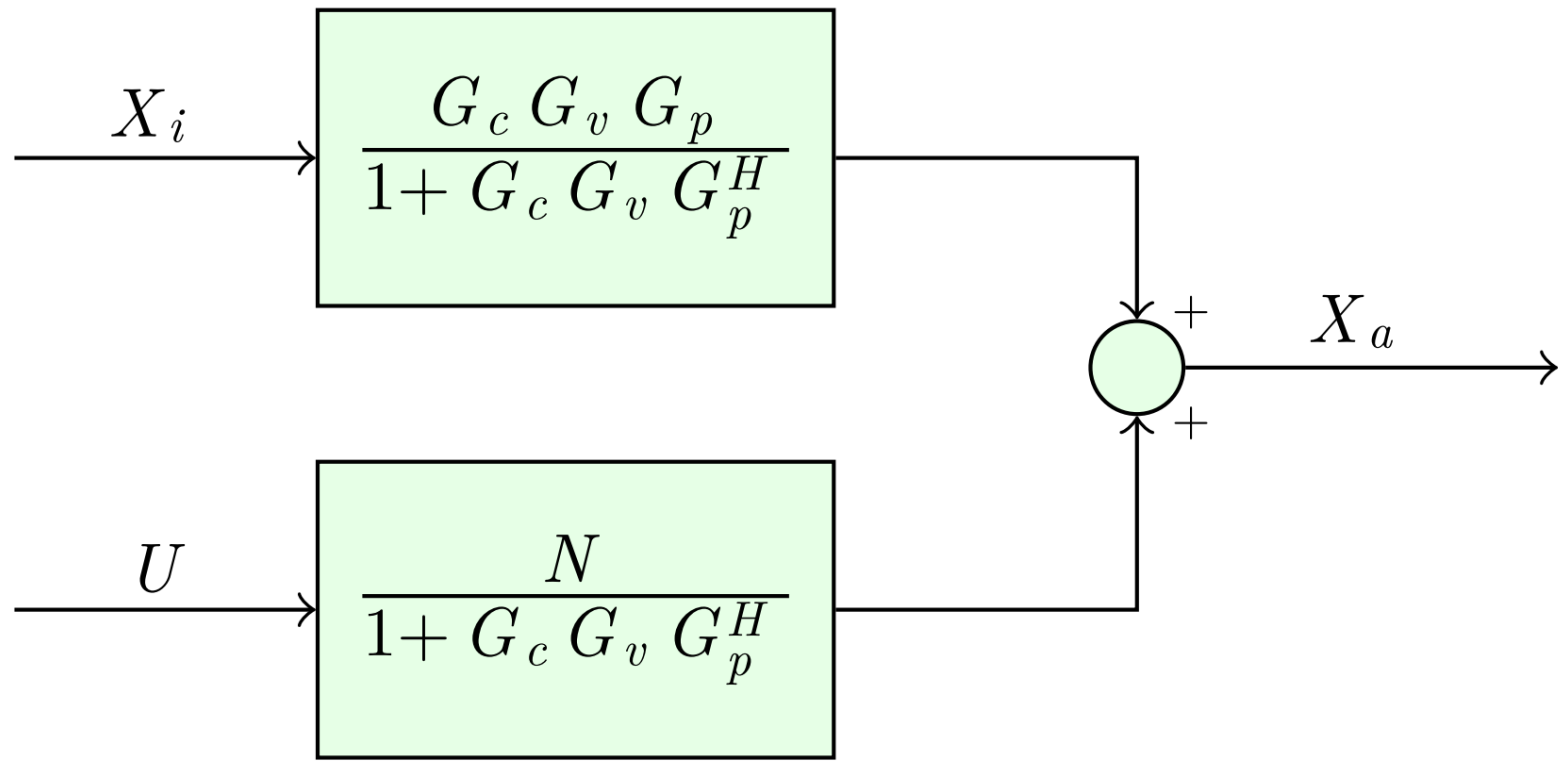
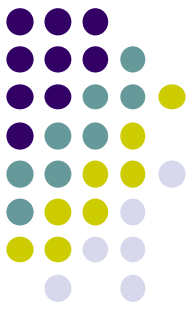


$$\frac{Y(s)}{Y_{sp}(s)} = \frac{G_p(s) G_a(s) G_c(s)}{G_p(s) G_a(s) G_c(s) G_s(s) + 1}$$

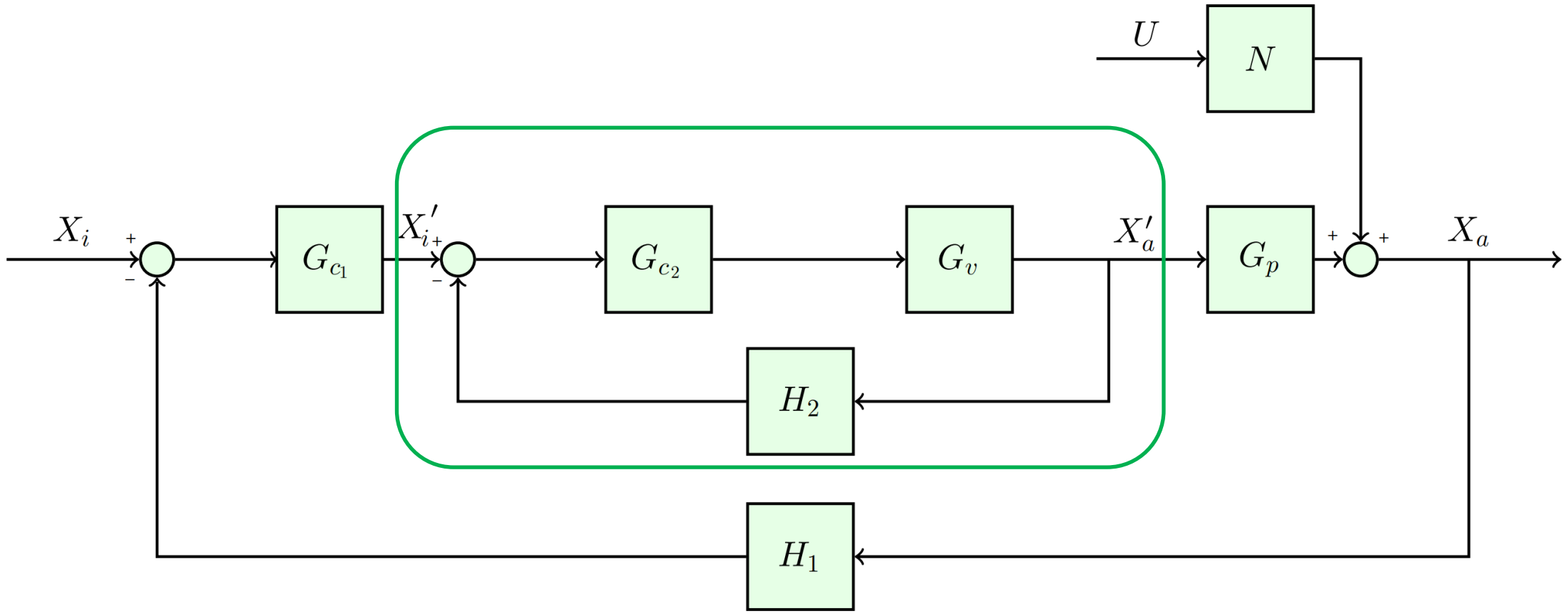
Περιγραφή κλειστού βρόχου



Περιγραφή κλειστού βρόχου

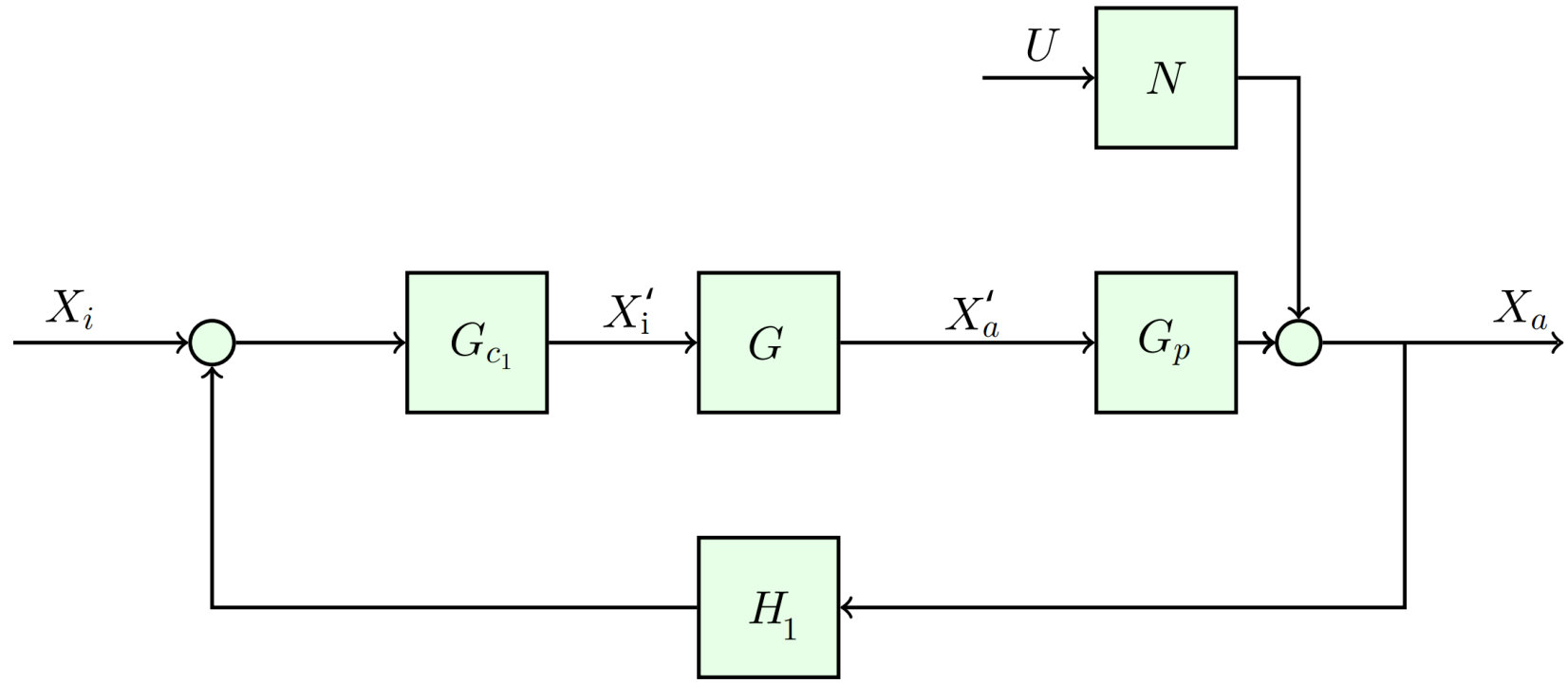


Περιγραφή διπλού κλειστού βρόχου

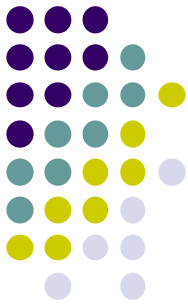


$$\frac{X'_a(s)}{X'_i(s)} = \frac{G_{c2}(s)G_v(s)}{H_2(s)G_v(s)G_{c2}(s) + 1} = G$$

Περιγραφή διπλού κλειστού βρόχου

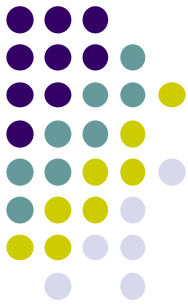


Κανόνες μετασχηματισμού ΔΒΔ, μέρος Α



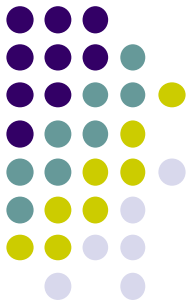
Κανόνας	Εξίσωση	Διάγραμμα βαθμίδων	Μετασχηματισμένο διάγραμμα βαθμίδων
1 Στοιχεία συνδεδεμένα σε σειρά	$Y = G_1 G_2 X$		
2 Στοιχεία συνδεδεμένα παράλληλα	$Y = G_1 \pm G_2 X$		
3 Ανταλλαγή σημείων άθροισης (ή σύγκρισης)	$Y = X_1 \pm X_2 \pm X_3$		

Κανόνες μετασχηματισμού ΔΒΔ, μέρος Β



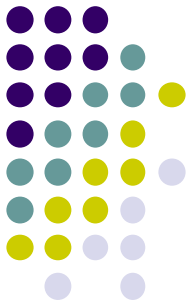
Κανόνας	Εξίσωση	Διάγραμμα βαθμίδων	Μετασχηματισμένο διάγραμμα βαθμίδων
4 Μετατόπιση σημείου άθροισης (ή σύγκρισης) πριν από τη βαθμίδα	$Y = GX_1 + X_2$		
5 Μετατόπιση σημείου άθροισης (ή σύγκρισης) μετά από τη βαθμίδα	$Y = G(X_1 \pm X_2)$		

Κανόνες μετασχηματισμού ΔΒΔ, μέρος Γ



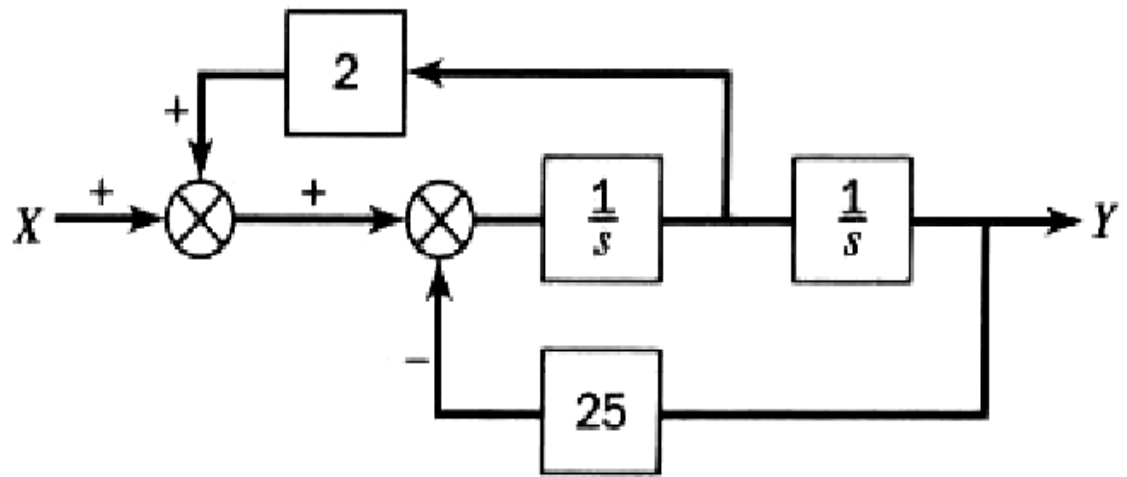
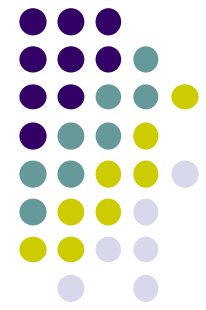
Κανόνας	Εξίσωση	Διάγραμμα βαθμίδων	Μετασχηματισμένο διάγραμμα βαθμίδων
6 Μετατόπιση κόμβου πριν από τη βαθμίδα	$Y = GX$		
7 Μετατόπιση κόμβου μετά από τη βαθμίδα	$Y = GX$		
8 Μετατόπιση κόμβου πριν από το σημείο άθροισης	$Y = X_1 \pm X_2$		
9 Μετατόπιση κόμβου μετά από το σημείο άθροισης	$Y = X_1 \pm X_2$		
10 Απαλοιφή βρόχου ανατροφοδότησης	$Y = \frac{G_1}{1 \pm G_1 G_2} X$		

Κανόνες μετασχηματισμού ΔΒΔ, μέρος Δ

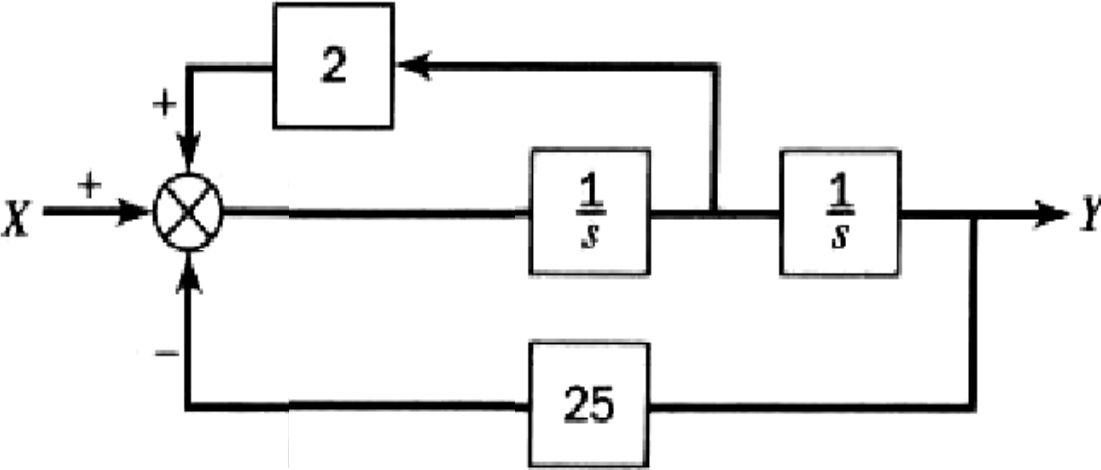


Κανόνας	Εξίσωση	Διάγραμμα βαθμίδων	Μετασχηματισμένο διάγραμμα βαθμίδων
11 Απαλοιφή στοιχείων μεταφοράς από τον κλάδο ανατροφοδότησης	$Y = \frac{G_1}{1+G_1G_2} X$		
12 Παρεμβολή στοιχείου μεταφοράς στον κλάδο ανατροφοδότησης	$Y = \frac{G_1}{1+G_1} X$		
13 Απαλοιφή στοιχείων μεταφοράς από παράλληλο κλάδο	$Y = (G_1 + G_2)X$		
14 Παρεμβολή στοιχείου μεταφοράς σε παράλληλο κλάδο	$Y = G_1 X$		

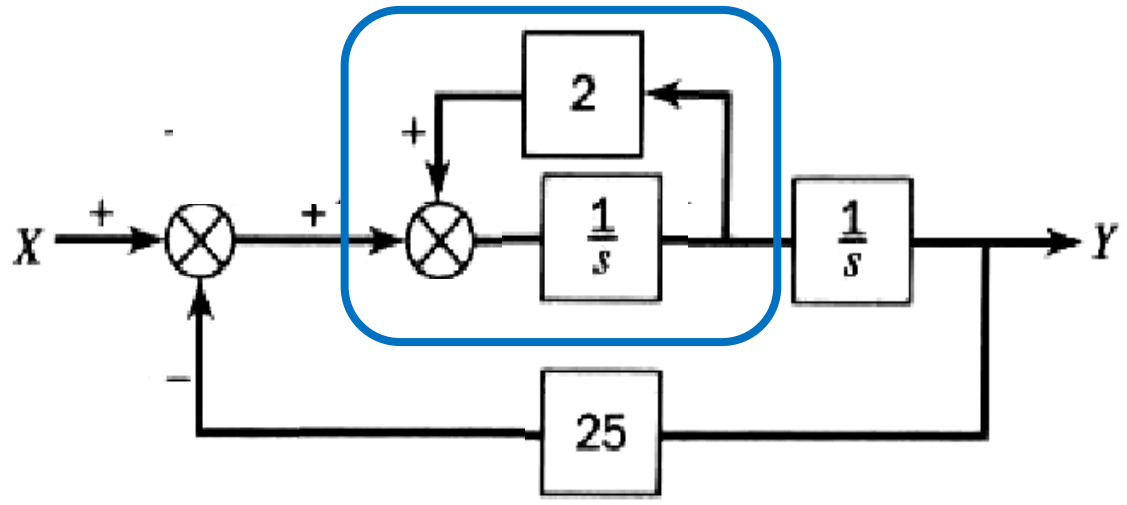
Παράδειγμα κλειστού βρόχου



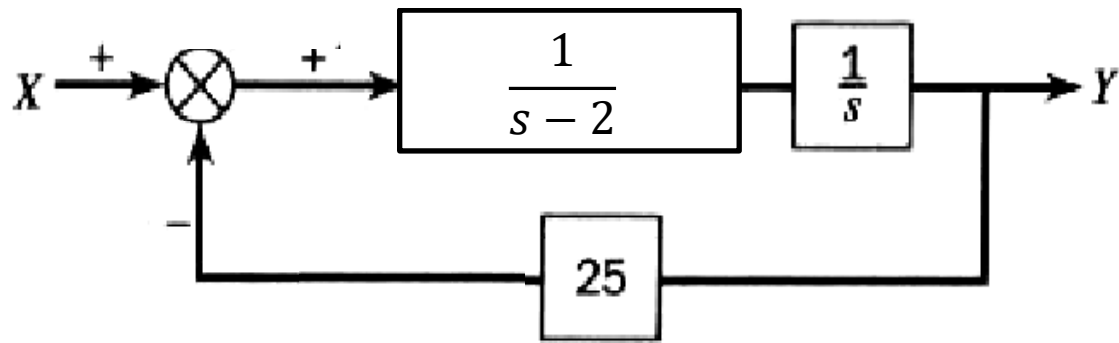
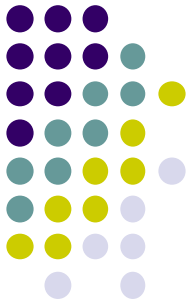
Παράδειγμα κλειστού βρόχου



Παράδειγμα κλειστού βρόχου



Παράδειγμα κλειστού βρόχου



$$Y = \frac{1/25}{\frac{1}{25}s^2 - \frac{2}{25}s + 1}$$

Περίληψη

- Τα διαγράμματα βαθμίδων είναι γραφική περιγραφή των ΠΧΚ και ΠΣΜ
- Παρόμοια με διαγράμματα ροής της χημικής βιομηχανίας
- Τα βέλη δείχνουν την ροή της πληροφορίας
- Οι βαθμίδες περιγράφουν δυναμική συμπεριφορά των στοιχείων του συστήματος
- Κύκλοι περιγράφουν απλές πράξεις (+ ή -)

