

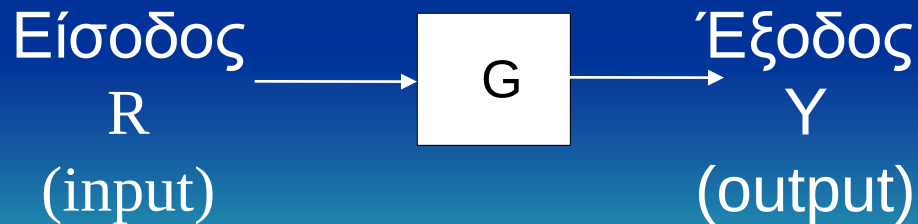
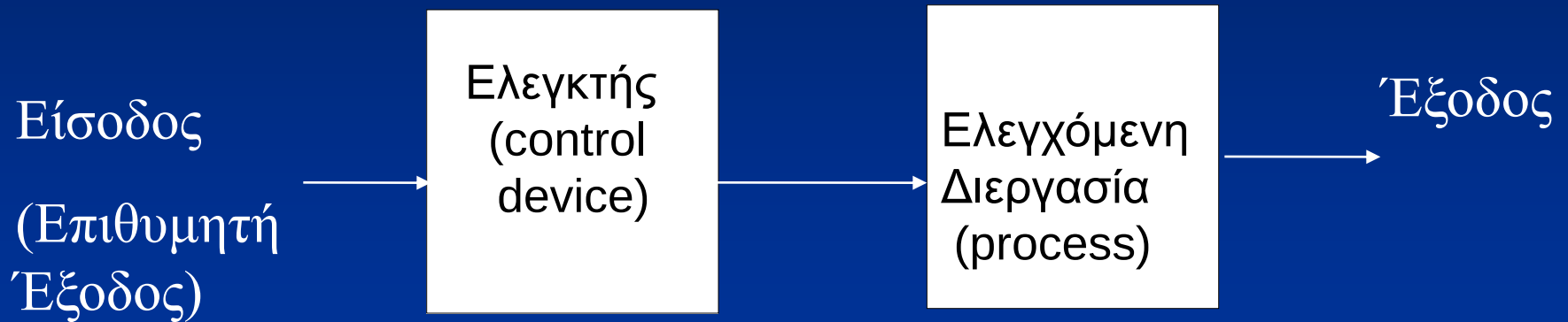
Εισαγωγικές έννοιες θεωρίας Συστημάτων Αυτομάτου Ελέγχου

(Introductory concepts to control engineering)

Ορισμός Συστήματος Ελέγχου

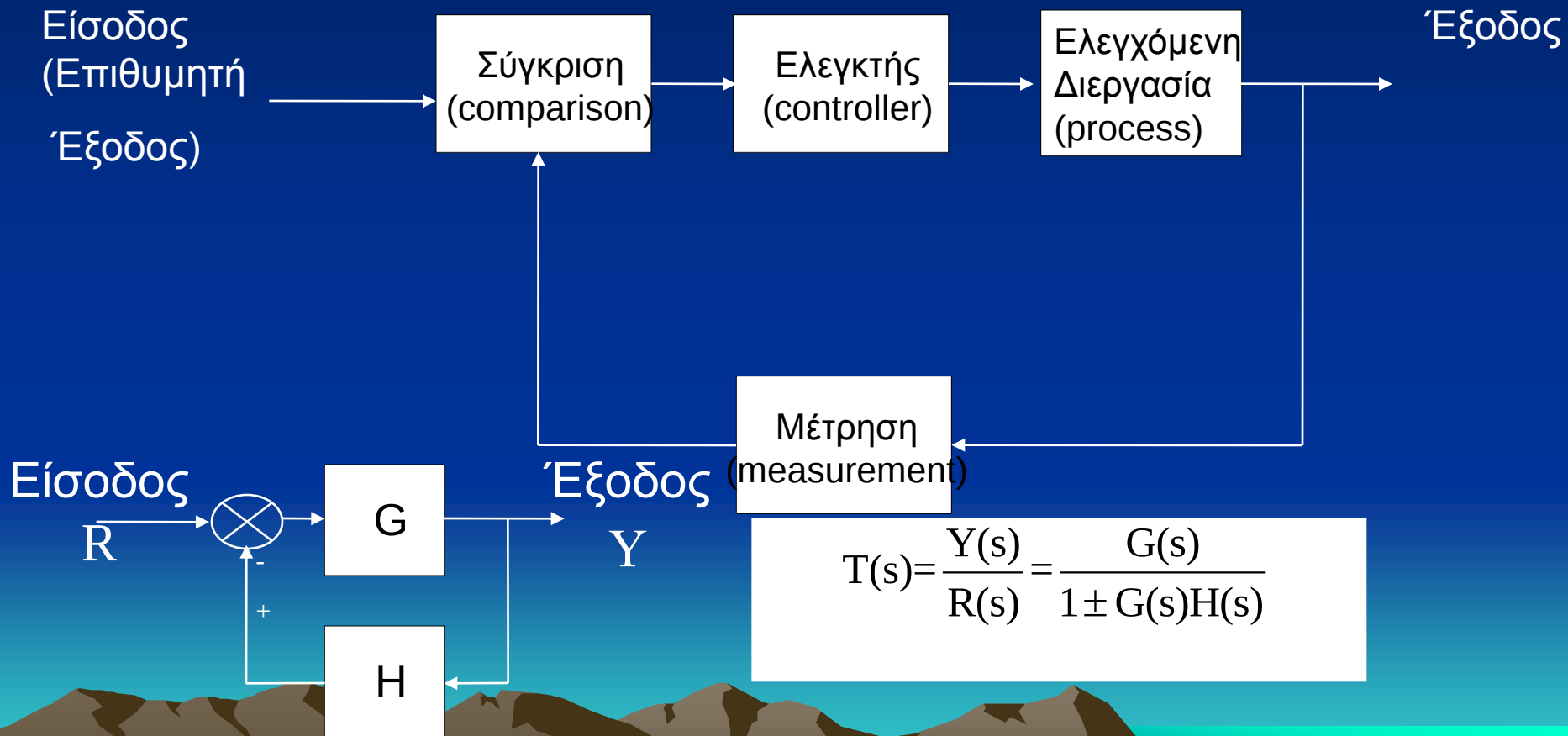
Το σύστημα ελέγχου (control system) είναι το μέσο με το οποίο οποιαδήποτε χαρακτηριστική ποσότητα (θέση, ταχύτητα, πίεση, ηλεκτρική τάση, θερμοκρασία κ.λ.π.), που μας ενδιαφέρει σ' ένα μηχανισμό ή σύστημα (ελεγχόμενη διεργασία, controlled process), διατηρείται ή αλλάζει μ' ένα επιθυμητό τρόπο. Όταν αυτό γίνεται χωρίς την ανάμειξη του ανθρώπου τότε έχουμε ένα Σύστημα Αυτομάτου Ελέγχου (ΣΑΕ).

Βασική Δομή Συστήματος Ελέγχου Ανοικτού Βρόγχου (open-loop control system)



$$G(s) = \frac{Y(s)}{R(s)}$$

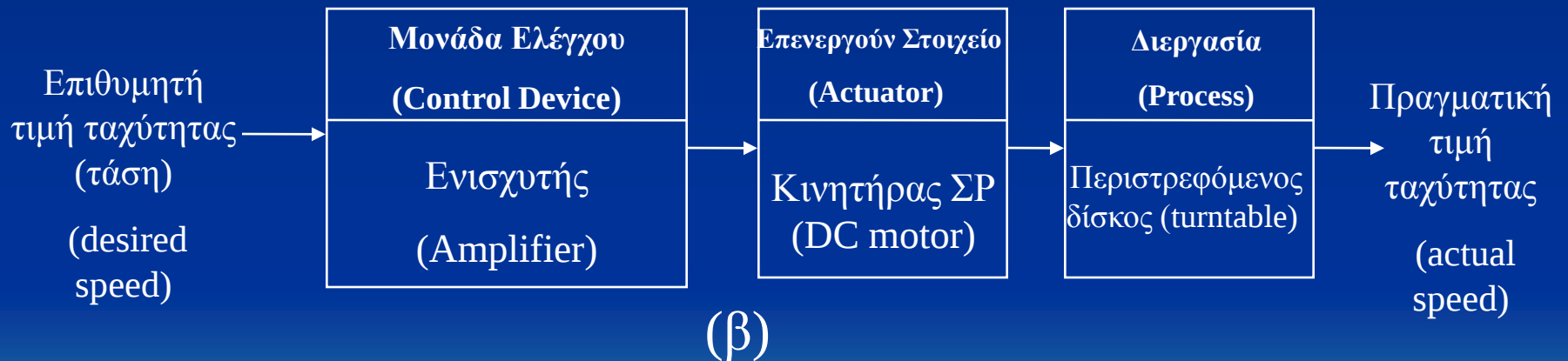
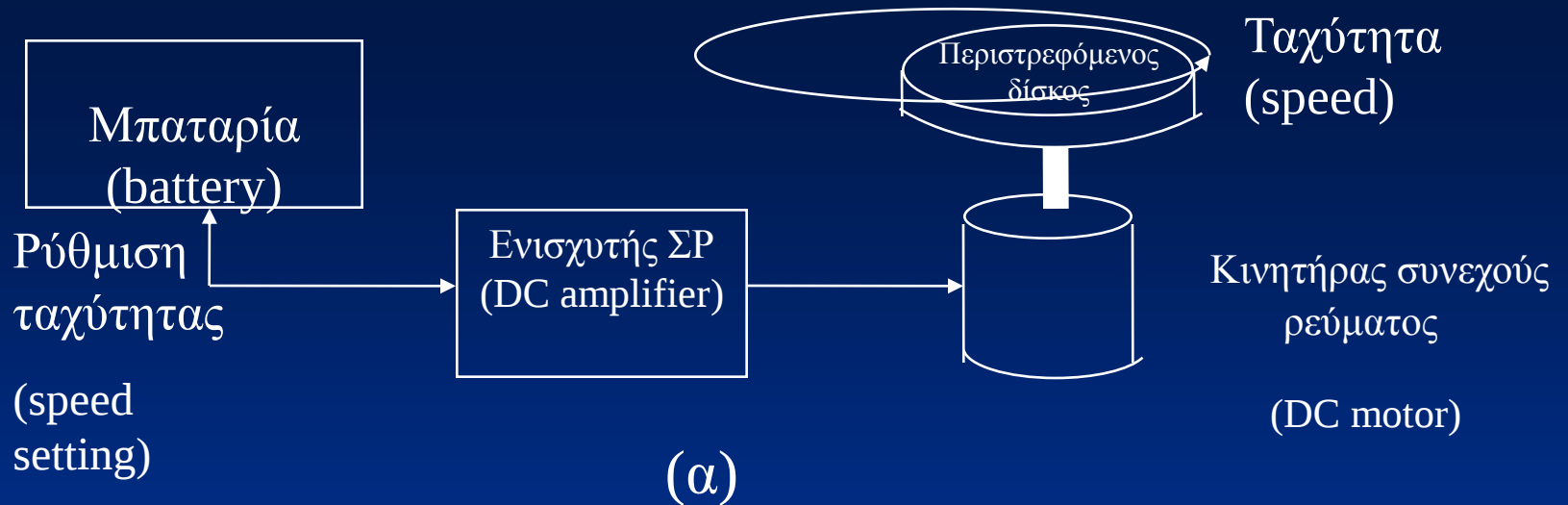
Βασική Δομή Συστήματος Ελέγχου Κλειστού Βρόγχου (closed-loop control system)



Παράδειγμα

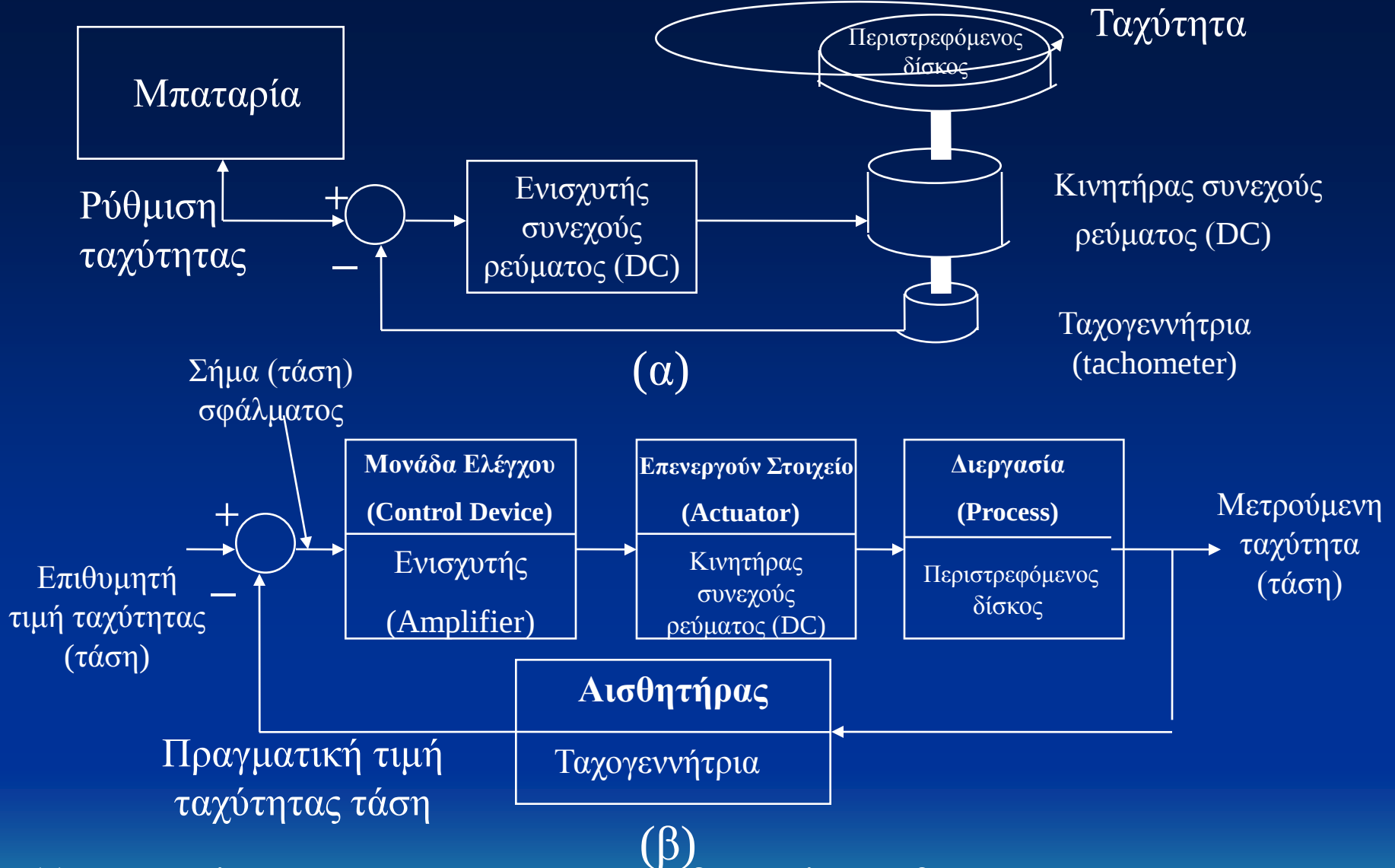
Έλεγχος Ταχύτητας Περιστρεφόμενου Δίσκου (turntable speed control)

Αρκετές σύγχρονες διατάξεις χρησιμοποιούν μια κυκλική βάση πάνω στην οποία περιστρέφεται ένας δίσκος με σταθερή ταχύτητα. Για παράδειγμα, διατάξεις όπως μια συσκευή αναπαραγωγής ήχου από συμπαγείς δίσκους (CD), το σύστημα ενός σκληρού δίσκου του υπολογιστή και μια συσκευή αναπαραγωγής και καταγραφής φωτογραφιών, απαιτούν σταθερή ταχύτητα περιστροφής έναντι οποιωνδήποτε ανοχών του αντίστοιχου κινητήρα ή και άλλων εξαρτημάτων του συστήματος.



(α) Σύστημα ελέγχου ταχύτητας περιστρεφόμενου δίσκου ανοικτού βρόγχου (χωρίς ανάδραση)

(β) Το λειτουργικό διάγραμμα του συστήματος.



(α) Σύστημα ελέγχου ταχύτητας περιστρεφόμενου δίσκου κλειστού βρόγχου

(β) Το λειτουργικό διάγραμμα του συστήματος.

Κίνητρα για την χρήση ανάδρασης (advantages of introducing feedback)

Οι κυριότεροι λόγοι για την χρήση ανάδρασης είναι οι παρακάτω:

- Μείωση της ευαισθησίας (sensitivity) σε μεταβολές των παραμέτρων (parameter variations) του συστήματος και των ατελειών του μοντέλου (ignorance of the exact values) που χρησιμοποιήθηκε στον σχεδιασμό.
- Μείωση της επίδρασης των εξωτερικών διαταραχών (effect of disturbance signals) και του θορύβου των αισθητήρων (sensor noise).
- Βελτίωση των χαρακτηριστικών της μεταβατικής απόκρισης (transient response).
- Μείωση του μόνιμου σφάλματος (steady-state error).

Το κόστος της ανάδρασης (cost of feedback)

- Αυξημένος αριθμός στοιχείων και πολυπλοκότητα του αντίστοιχου συστήματος (increased number of components and complexity).
- Απώλεια κέρδους (loss of gain) (ΣΑΒ: $G(s)$, ΣΚΒ: $G(s)/1+G(s)H(s)$).
- Πιθανή αστάθεια (possibility of instability).

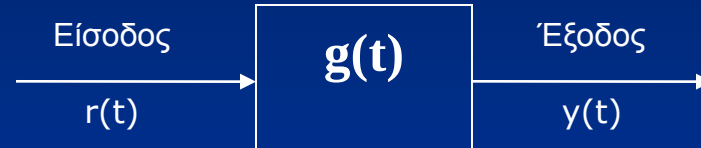
Περιγραφή Συστημάτων (mathematical models)

Με το όρο περιγραφή ενός συστήματος εννοούμε γενικά μια μαθηματική σχέση, που συνδέει φυσικές ποσότητες και στοιχεία ενός συστήματος. Η μαθηματική αυτή σχέση συνθέτει το μαθηματικό μοντέλο του συστήματος. Τα επικρατέστερα μαθηματικά μοντέλα για την περιγραφή συστημάτων είναι:

1. Οι ολοκληροδιαφορικές εξισώσεις (differential equations).
2. Η συνάρτηση μεταφοράς (transfer function).
3. Οι εξισώσεις κατάστασης (state differential equations).
4. Η κρουστική απόκριση (impulse response).

Περιγραφή Συστημάτων-Μαθηματικά μοντέλα

1. Η περιγραφή αυτή αποτελείται από το σύνολο των γραμμικά ανεξάρτητων περιοριστικών ολοκληρωδιαφορικών εξισώσεων ενός συστήματος, καθώς και των απαραίτητων αρχικών συνθηκών.



$$\frac{d^n y(t)}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} y(t)}{dt^{n-1}} + \dots + a_0 y(t) = \frac{d^m r(t)}{dt^m} + b_{m-1} \frac{d^{m-1} r(t)}{dt^{m-1}} + \dots + b_0 r(t)$$

2. Η Συνάρτηση μεταφοράς του Σ.Α.Ε. που περιγράφεται από την παραπάνω διαφορική εξίσωση είναι το πηλίκο της μετασχηματισμένης εξόδου (με M/T Laplace) προς τη μετασχηματισμένη είσοδο με μηδενικές αρχικές συνθήκες.

$$G(s) = \frac{\text{Μετασχηματισμένη_Έξοδος}}{\text{Μετασχηματισμένη_Είσοδος}}$$

Περιγραφή Συστημάτων

$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_1 s + b_0}{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0}$$



3. Η κατάσταση ενός συστήματος είναι ένα σύνολο μεταβλητών (μη μοναδικό), η γνώση των οποίων σε συνδυασμό με τις συναρτήσεις εισόδου και τις διαφορικές εξισώσεις α' τάξης (που περιγράφουν τη δυναμική του συστήματος), μας παρέχουν πληροφορίες για τη μελλοντική κατάσταση του συστήματος καθώς και των αντίστοιχων εξόδων του.

$$\dot{x}_1 = a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n + b_{11}u_1 + \dots + b_{1m}u_m$$

$$\dot{x}_n = a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \dots + a_{nn}x_n + b_{n1}u_1 + \dots + b_{nm}u_m$$

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{Ax} + \mathbf{Bu} \quad \mathbf{A}[n \times n] \dots \mathbf{B}[n \times m] \dots \mathbf{x}[n \times 1] \dots \mathbf{u}[m \times 1]$$

$$y_1 = c_{11}x_1 + c_{12}x_2 + \dots + c_{1n}x_n + b_{11}u_1 + \dots + b_{1m}u_m$$

$$y_r = c_{r1}x_1 + c_{r2}x_2 + \dots + c_{rn}x_n + b_{r1}u_1 + \dots + b_{rm}u_m$$

$$\mathbf{y} = \mathbf{Cx} + \mathbf{Du}$$

$$\mathbf{C}[r \times n] \dots \mathbf{D}[r \times m] \dots \mathbf{y}[r \times 1]$$

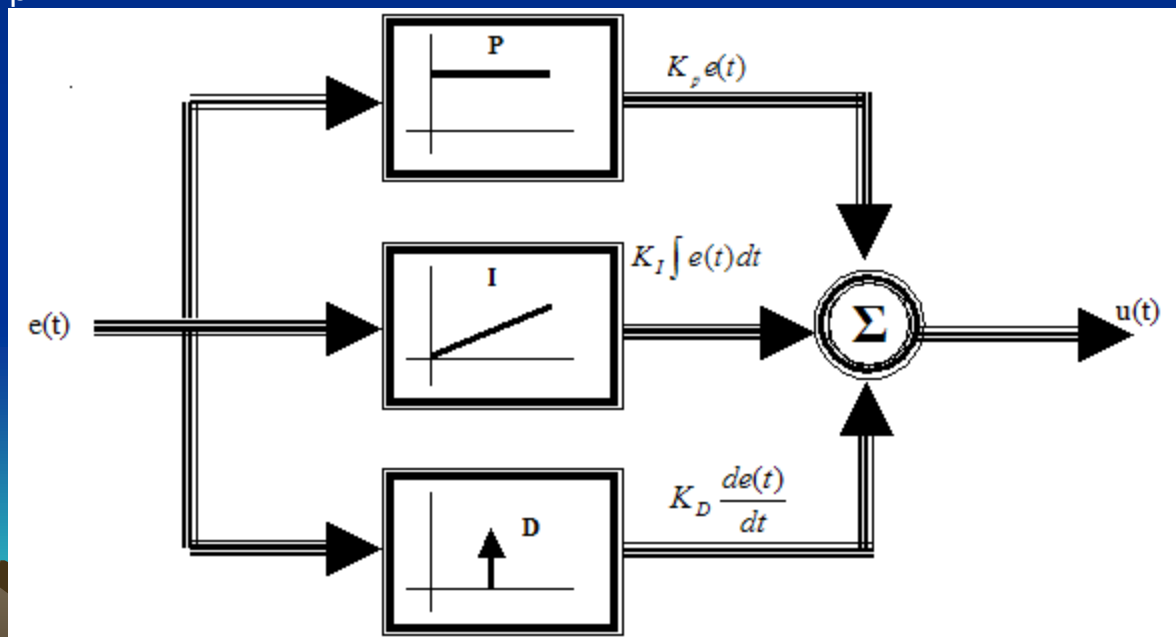
ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗ (COMPENSATION)

- Η μεταβολή (alternation) ή η ρύθμιση (adjustment) ενός συστήματος ελέγχου με σκοπό την επίτευξη μιας ικανοποιητικής συμπεριφοράς (performance), ονομάζεται αντιστάθμιση.
- Αντισταθμιστής (compensator) ή ελεγκτής (controller) είναι ένα επιπλέον εξάρτημα ή κύκλωμα (additional component or circuit) που εισάγεται σ' ένα σύστημα ελέγχου, ώστε να αντισταθμίζει τυχόν ανεπαρκή απόδοση (deficient performance).
- Κάθε ελεγκτής έχει σαν στόχο τη συνεχή ταύτιση της πραγματικής τιμής της εξόδου της διαδικασίας με την επιθυμητή τιμή, ανεξαρτήτως των όποιων διαταραχών προκύψουν κατά τη διαδικασία (έγκαιρος μηδενισμός σφάλματος).
- Από τους διάφορους ελεγκτές που διαθέτει σήμερα η παραγωγική διαδικασία, θα εξετασθούν στις επόμενες ενότητες μόνο οι βιομηχανικοί ελεγκτές (industrial controllers) ή ελεγκτές τριών όρων (terms) PID (με τους διάφορους συνδυασμούς τους), οι οποίοι στις περισσότερες περιπτώσεις έχουν ενσωματωμένο και το στοιχείο της σύγκρισης.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ότι η έξοδος $u(t)$ του ελεγκτή PID σχηματίζεται από το άθροισμα τριών όρων, ενός όρου P (proportional) αναλόγου του σφάλματος (error), ενός όρου I (integral) αναλόγου του ολοκληρώματος του σφάλματος και ενός όρου D (derivative) αναλόγου της παραγώγου του σφάλματος

$$u(t) = K_p e(t) + K_I \int e(t) dt + K_D \frac{de(t)}{dt}$$

Η προτίμηση των ελεγκτών PID οφείλεται εν μέρει στην σθεναρή και εν μέρει στην απλή τους λειτουργία, κάτω από πολλές και διαφορετικές συνθήκες. Η υλοποίηση ενός τέτοιου ελεγκτή βασίζεται στον προσδιορισμό των τριών παραμέτρων K_p , K_I , K_D .



Ο αναλογικός όρος P βοηθά στη βελτίωση της συμπεριφοράς του συστήματος τόσο στην μεταβατική όσο και στην μόνιμη κατάσταση, αλλά αδυνατεί να εξαλείψει πλήρως το μόνιμο σφάλμα. Δεν μπορεί να αντεπεξέλθει ικανοποιητικά σε όλους τους τύπους των συστημάτων και των εξωτερικών διαταραχών, γι' αυτό (όπου απαιτείται) συνδυάζεται μαζί με άλλους όρους.

Ο ολοκληρωτικός όρος I χρησιμοποιείται σε συστήματα που παρουσιάζουν σφάλμα στη μόνιμη κατάσταση, αφού για όσο χρόνο υπάρχει σφάλμα, η έξοδος του ελεγκτή, λόγω του ολοκληρώματος αυξάνεται με αποτέλεσμα την εξάλειψη του σφάλματος, αλλά αυτό γίνεται σε βάρος της ταχύτητας απόκρισης και της ευστάθειας του συστήματος.

Τέλος ο διαφορικός όρος D αυξάνει την ευστάθεια του συστήματος και βελτιώνει τη συμπεριφορά του κατά τη μεταβατική κατάσταση, αλλά λόγω της επιβολής στην πράξη περιορισμού της εξόδου του ελεγκτή δεν χρησιμοποιείται ποτέ από μόνος του.

Η επιλογή του τύπου του ελεγκτή εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του συστήματος ενώ δεν είναι πάντα απαραίτητη η χρήση και των τριών όρων. Συνήθως χρησιμοποιούνται μορφές ενός ή δύο όρων (P, PI, PD) και μόνο σε εξαιρετικές περιπτώσεις, όπου απαιτείται ακριβής έλεγχος χρησιμοποιείται η μορφή PID.

➤ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ



- R. C. Dorf and R.H. Bishop, *Σύγχρονα Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου*, 11^η Έκδοση Τζιόλα, 2010.
- Π. Β. Μαλατέστας, *Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου*, Εκδ. Τζιόλα, 2013.
- G. F. Franklin and al, *Feedback control of Dynamic Systems*, 5th ed., Pearson Prentice Hall, 2006.
- K. Ogata, *Modern Control Engineering*, 4th ed., Pearson Prentice Hall, 2002.
- C. E. Rohrs, J.L. Melsa and D.G. Shultz, *Γραμμικά Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου*, Εκδ. Τζιόλα, 1996.