

Ενότητα_1: Εισαγωγή

Σύστημα

Σύστημα είναι ένα σύνολο φυσικών στοιχείων, πραγμάτων, ατόμων, μεγεθών ή εννοιών, που σχηματίζουν μια ενότητα και λειτουργούν ως μια ενότητα.

Ένα σύστημα που επικοινωνεί με το περιβάλλον του ονομάζεται **ανοιχτό σύστημα**.

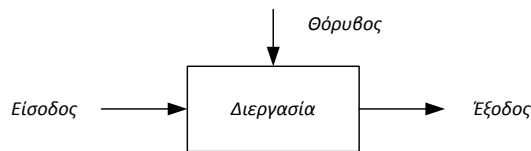
Τα **μεγέθη επικοινωνίας** ενός ανοιχτού συστήματος με το περιβάλλον του ονομάζονται **είσοδος** και **έξοδος** του συστήματος.

Είσοδος είναι το ερέθισμα, η διέγερση, η επίδραση, γενικότερα το αίτιο, που δέχεται ένα ανοιχτό σύστημα από το περιβάλλον του.

Έξοδος είναι η αντίδραση ή η απόκριση, γενικότερα το αποτέλεσμα (αιτιατό) που παράγεται από το ανοιχτό σύστημα και απευθύνεται προς το περιβάλλον του.

Θόρυβος είναι κάθε διαταραχή, δηλαδή κάθε τυχαία και μη επιθυμητή είσοδος στο σύστημα.

Ένα ανοιχτό σύστημα μπορεί να παρασταθεί με τη μορφή ενός **δομικού στοιχείου** (Σχ. 1.1).



Σχήμα 1.1 Παράσταση ενός ανοιχτού συστήματος

Η γραφική απεικόνιση των δομικών στοιχείων του συστήματος και της διαδοχής των λειτουργιών του ονομάζεται **λειτουργικό δομικό διάγραμμα** ή **δομικό διάγραμμα** ή **λειτουργικό διάγραμμα** (ή λειτουργικό διάγραμμα βαθμίδων ή διάγραμμα βαθμίδων).

Έλεγχος - Σύστημα Αυτομάτου Ελέγχου

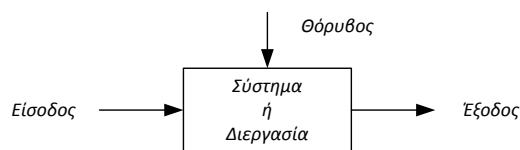
Έλεγχος ενός συστήματος ή μιας διεργασίας είναι η διαδικασία καθορισμού, παραγωγής, πρόκλησης του κατάλληλου σήματος εισόδου έτσι ώστε η έξοδος του συστήματος να ακολουθεί μια επιθυμητή πορεία ή να διατηρεί μια επιθυμητή τιμή.

Ο μηχανισμός, η ενεργός διάταξη, που υλοποιεί τη διαδικασία ελέγχου σε ένα σύστημα ονομάζεται **ελεγκτής** ή **κατευθυντής**.

Ένα **Σύστημα Αυτομάτου Ελέγχου**:

- αντιστοιχεί σε ένα σύνολο κατάλληλα συνδεδεμένων στοιχείων με τέτοια μορφή ώστε να επιτυγχάνεται η επιθυμητή απόκριση σε ένα σύστημα ή μια διεργασία,
- ή
- είναι μια διάταξη φυσικών στοιχείων συνδεδεμένων ή συσχετισμένων με τέτοιο τρόπο ώστε να κατευθύνουν, να ρυθμίζουν ή να σταθεροποιούν αυτό το ίδιο το σύστημα ή κάποιο άλλο σύστημα,
- ή
- είναι ένα σύνθετο σύστημα ικανό να ελέγχει, να επηρεάζει, να προσαρμόζει τη συμπεριφορά του, σύμφωνα με μια προδιαγεγραμμένη επιθυμητή πορεία.

Ένα **Σύστημα** ή μια **Διεργασία** που πρόκειται να υποβληθεί σε αυτόματο έλεγχο, μπορεί να παρασταθεί με τη μορφή ενός **δομικού στοιχείου** (Σχ. 1.2).



Σχήμα 1.2 Παράσταση ενός συστήματος ή Διεργασίας

Είσοδος του συστήματος είναι η διέγερση ή η εντολή (γενικά το αίτιο) που εφαρμόζεται σε ένα σύστημα ελέγχου και αποσκοπεί στην πρόκληση μιας καθορισμένης επιθυμητής απόκρισης ή συμπεριφοράς από το σύστημα ελέγχου.

Η επιθυμητή απόκριση ή η προδιαγεγραμμένη συμπεριφορά του συστήματος αποτελεί την είσοδο αναφοράς του συστήματος ελέγχου και περιγράφεται με μια μεταβλητή.

Έξοδος είναι η πραγματική απόκριση του συστήματος ελέγχου.

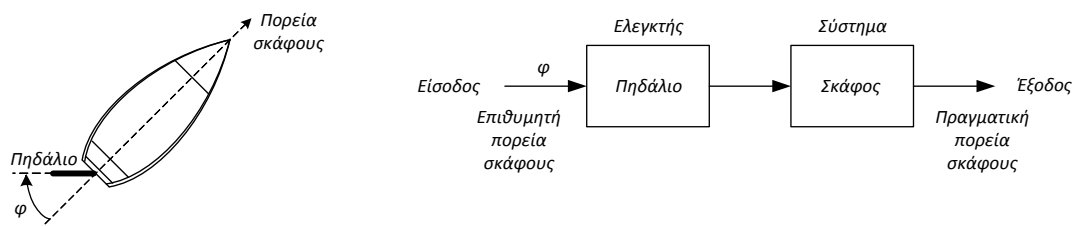
Θόρυβος είναι κάθε διαταραχή, δηλαδή κάθε τυχαία και μη επιθυμητή είσοδος στο σύστημα.

Ένα σύστημα αυτόματου ελέγχου περιλαμβάνει το καθαυτό **ελεγχόμενο σύστημα** και τον **ελεγκτή** με τον οποίο επιδιώκεται ο έλεγχος της συμπεριφοράς, της απόκρισης, της εξόδου του ελεγχόμενου συστήματος.

Παράδειγμα 1: Έλεγχος πορείας σκάφους

Το πηδάλιο του πλοίου είναι η ενεργός διάταξη ελέγχου (ο ελεγκτής), μέσω του οποίου ελέγχεται το ελεγχόμενο σύστημα (το σκάφος) ή η ελεγχόμενη διεργασία (η πορεία του σκάφους).

Η επιθυμητή πορεία του σκάφους καθορίζεται από τη γωνία φ του πηδαλίου.

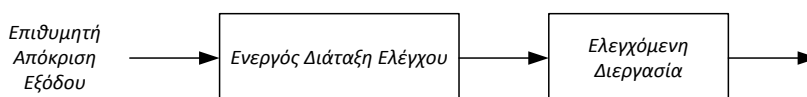


Σχήμα 1.3 Έλεγχος πορείας σκάφους – Δομικό διάγραμμα

Σύστημα Αυτομάτου Ελέγχου Ανοιχτού Βρόχου

Σε ένα Σύστημα Αυτομάτου Ελέγχου **Ανοιχτού Βρόχου** χρησιμοποιείται ένας κατάλληλος **ελεγκτής** (κατευθυντής) ή κάποια άλλη ενεργός διάταξη, με τη βοήθεια της οποίας επιτυγχάνεται η επιθυμητή απόκριση του συστήματος (Σχ. 1.4).

Ένα σύστημα αυτομάτου ελέγχου ανοιχτού βρόχου αντιστοιχεί σε ένα σύστημα χωρίς ανάδραση (ανατροφοδότηση).

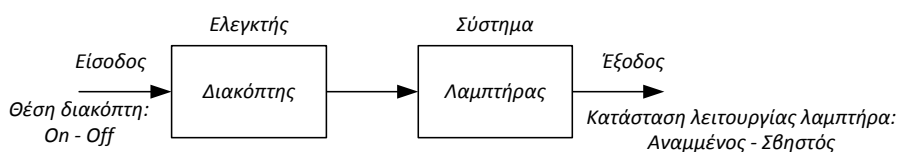


Σχήμα 1.4 Σύστημα Αυτομάτου Ελέγχου Ανοιχτού Βρόχου (χωρίς ανάδραση)

Παράδειγμα 2: Ηλεκτρικός διακόπτης φωτισμού

Ο ηλεκτρικός διακόπτης είναι ένα σύστημα ελέγχου της τροφοδοσίας με ηλεκτρικό ρεύμα ενός λαμπτήρα. Το ελεγχόμενο σύστημα είναι ο λαμπτήρας, με έξοδο την κατάσταση λειτουργίας του (αναμμένος – σβηστός). Ο ελεγκτής του συστήματος είναι ο ηλεκτρικός διακόπτης, με τον οποίο ελέγχουμε την τροφοδοσία ή μη του λαμπτήρα με ηλεκτρικό ρεύμα και καθορίζουμε την κατάσταση λειτουργίας του. Η είσοδος του συστήματος είναι η θέση του διακόπτη (On – Off).

Ο άνθρωπος που ανοιγοκλείνει το διακόπτη δεν αποτελεί μέρος του συστήματος ελέγχου.



Σχήμα 1.5 Έλεγχος λειτουργίας λαμπτήρα μέσω διακόπτη On/Off – Δομικό διάγραμμα

Παράδειγμα 3: Ηλεκτρική τοστιέρα

Η τοστιέρα είναι σύστημα ανοιχτού βρόχου που ελέγχεται από ένα χρονοδιακόπτη. Ο χρόνος που απαιτείται για ένα “καλό τοστ” εκτιμάται και καθορίζεται από τον χρήστη, ο οποίος δεν αποτελεί μέρος του συστήματος ελέγχου. Ο έλεγχος για την ποιότητα του τοστ (έξοδος) τελειώνει με την επιλογή του χρόνου (είσοδος), μέσω ενός χρονοδιακόπτη (ελεγκτής).

Παράδειγμα 4: Έλεγχος ρελαντί κινητήρα αυτοκινήτου (σύστημα ανοιχτού βρόχου)

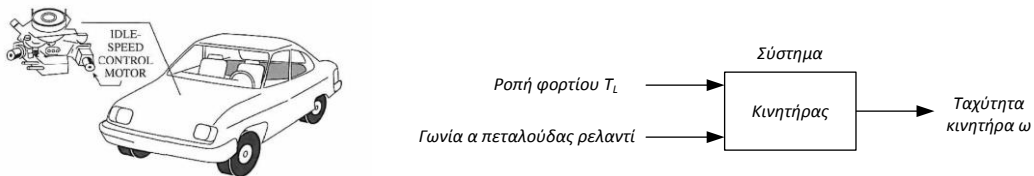
Το ρελαντί είναι η ταχύτητα (στροφές/λεπτό) του κινητήρα του αυτοκινήτου, όταν αυτό βρίσκεται σε στάση.

Χωρίς τον έλεγχο του ρελαντί, οποιαδήποτε απροσδόκητη εφαρμογή φορτίου στον κινητήρα θα οδηγούσε στην πτώση της ταχύτητας του κινητήρα, που θα μπορούσε να προκαλέσει και το σβήσιμό του.

Με το σύστημα ελέγχου επιδιώκεται η διατήρηση του ρελαντί σε μια σχετικά μικρή τιμή (για εξοικονόμηση καυσίμου), ανεξάρτητα από τα εφαρμοζόμενα στον κινητήρα φορτία (π.χ. κλιματιστικό). Επομένως, οι βασικοί στόχοι του συστήματος ελέγχου του ρελαντί είναι:

1. η εξάλειψη ή η ελαχιστοποίηση της ελάττωσης του ρελαντί όταν εφαρμόζεται φορτίο στον κινητήρα,
2. η διατήρηση του ρελαντί σε επιθυμητά επίπεδα.

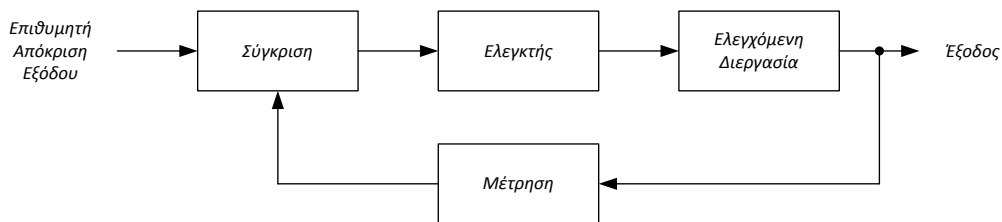
Το σύστημα αυτό έχει δύο εισόδους, τη γωνία α της πεταλούδας τροφοδοσίας του ρελαντί και την εφαρμοζόμενη ροπή φορτίου T_L (εξαιτίας της ενεργοποίησης π.χ. του κλιματιστικού) και η έξοδος είναι η ταχύτητα ω του κινητήρα (στροφές/λεπτό). Ο κινητήρας αποτελεί το ελεγχόμενο σύστημα.



Σχήμα 1.6 Έλεγχος ρελαντί κινητήρα αυτοκινήτου – Δομικό διάγραμμα (σύστημα ανοιχτού βρόχου)

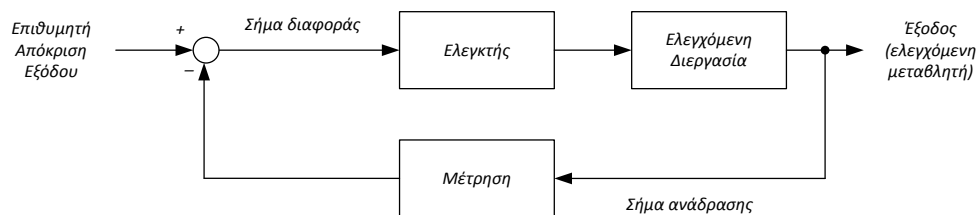
Σύστημα Αυτομάτου Ελέγχου Κλειστού Βρόχου

Σε ένα Σύστημα Αυτομάτου Ελέγχου **Κλειστού Βρόχου** χρησιμοποιείται ένα σήμα το οποίο προέρχεται από την μέτρηση της πραγματικής εξόδου του συστήματος και το οποίο με τη βοήθεια **ανάδρασης** επιστρέφει στην είσοδο του συστήματος, όπου συγκρίνεται με την επιθυμητή απόκριση εξόδου (Σχ. 1.7).



Σχήμα 1.7 Σύστημα Αυτομάτου Ελέγχου Κλειστού Βρόχου (με ανάδραση)

Το σήμα που παράγεται από τη διαδικασία μέτρησης της εξόδου καλείται **σήμα ανάδρασης**. Συνήθως λαμβάνεται μια προκαθορισμένη ποσότητα του σήματος εξόδου (ελεγχόμενη μεταβλητή), καθώς επίσης και ένα **σήμα εισόδου αναφοράς** που αντιστοιχεί στην επιθυμητή απόκριση εξόδου. Η διαφορά που προκύπτει μεταξύ του σήματος που παράγεται από τη μέτρηση της εξόδου και του σήματος αναφοράς είναι το **σήμα σφάλματος**, ή απλά **σφάλμα** (Σχ. 1.8).



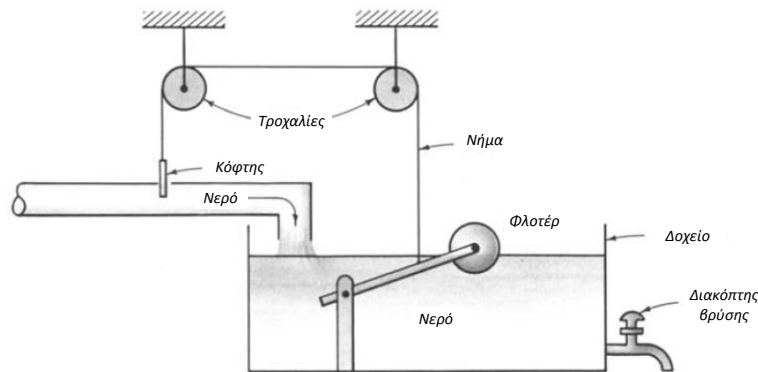
Σχήμα 1.8 Σύστημα Αυτομάτου Ελέγχου Κλειστού Βρόχου

Παράδειγμα 5: Έλεγχος πλήρωσης δοχείου νερού

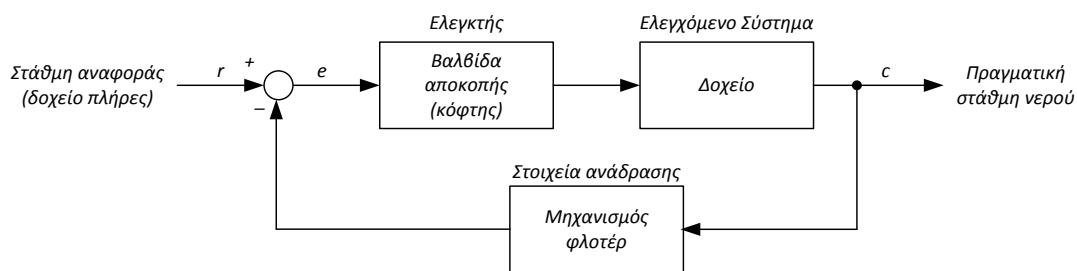
Το σύστημα ελέγχου ελέγχει τη στάθμη του νερού μέσα στο δοχείο.

Όταν αδειάζει νερό από τη βρύση, το φλοτέρ κατεβαίνει με αποτέλεσμα να ανοίγει η βαλβίδα αποκοπής (κόφτης) και να εισέρχεται νερό στο δοχείο.

Καθώς γεμίζει το δοχείο, το φλοτέρ ανεβαίνει και όταν το νερό φτάσει στην επιθυμητή στάθμη (π.χ. χείλος του δοχείου) κλείνει η βαλβίδα αποκοπής (κόφτης).



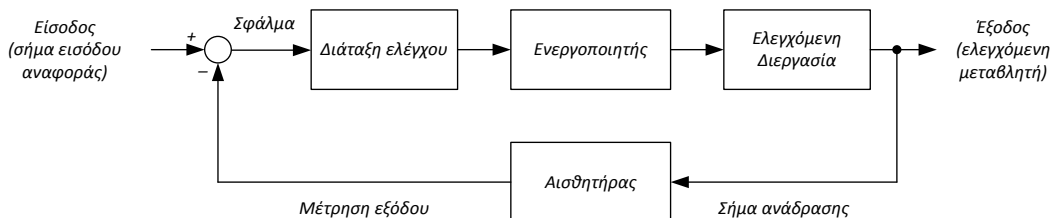
(α)



(β)

Σχήμα 1.9 (α) Σύστημα ελέγχου (κλειστού βρόχου) πλήρωσης δοχείου νερού.
(β) Δομικό διάγραμμα του συστήματος.

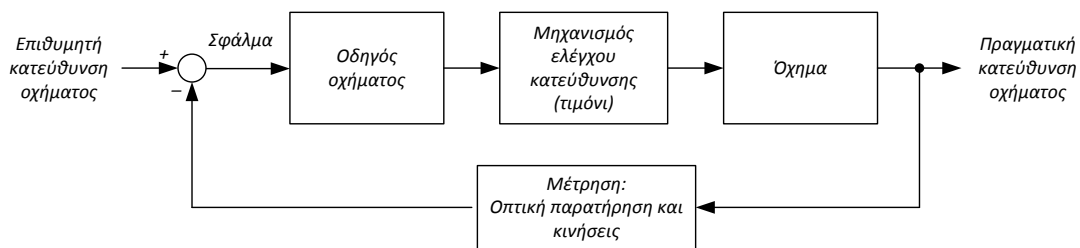
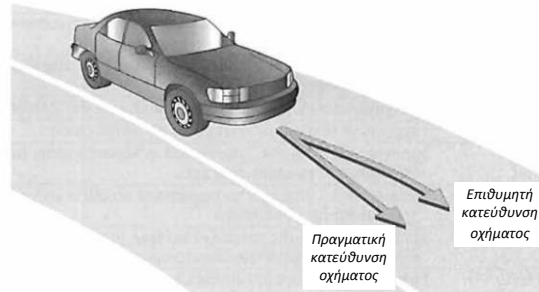
Συνήθως, ανάμεσα στη διάταξη ελέγχου (ελεγκτής) και την ελεγχόμενη διεργασία (ελεγχόμενο σύστημα) μεσολαβεί συχνά ένα **ενεργοποιητής** (Σχ. 1.10), ο οποίος μετατρέπει και ενισχύει το σήμα εξόδου της διάταξης ελέγχου σε ένα σήμα αφενός ικανό να διεγείρει το ελεγχόμενο σύστημα (π.χ. μετατρέπει ένα ηλεκτρικό σήμα σε ένα ισχυρό μηχανικό μέγεθος) και αφετέρου να διαμορφώνει με τέτοιο τρόπο την ελεγχόμενη διεργασία ώστε να ελαχιστοποιείται το σφάλμα (π.χ. διόρθωση της πορείας ενός οχήματος με κατάλληλη επέμβαση στο σύστημα διεύθυνσης).



Σχήμα 1.10 Σύστημα Αυτομάτου Ελέγχου Κλειστού Βρόχου με ενεργοποιητή

Παράδειγμα 6: Σύστημα διεύθυνσης αυτοκινήτου

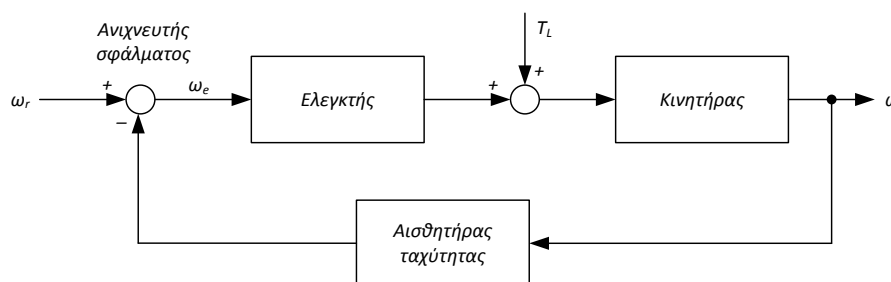
Κατά την οδήγηση ο οδηγός (ελεγκτής) ελέγχει συνεχώς (οπτική μέτρηση) την πραγματική πορεία του αυτοκινήτου (ελεγχόμενο σύστημα) και ρυθμίζει με το τιμόνι (ενεργοποιητής) τη διεύθυνσή του στην περίπτωση που παρατηρεί οποιαδήποτε απόκλιση (σφάλμα) από την επιθυμητή πορεία.



Σχήμα 1.11 Σύστημα ελέγχου διεύθυνσης αυτοκινήτου – Δομικό διάγραμμα

Παράδειγμα 7: Έλεγχος ρελαντί κινητήρα αυτοκινήτου (σύστημα κλειστού βρόχου)

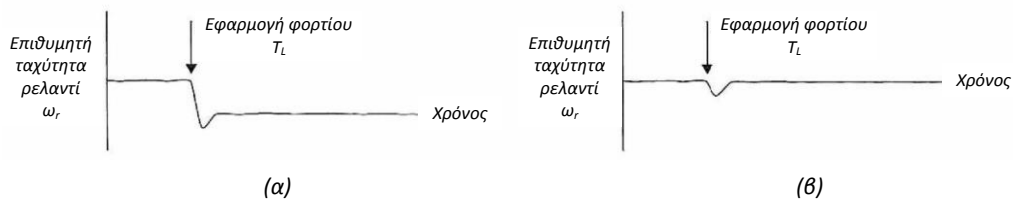
Στο Παράδειγμα 4 εξετάστηκε το σύστημα ελέγχου ανοιχτού βρόχου του ρελαντί κινητήρα αυτοκινήτου. Το αντίστοιχο σύστημα ελέγχου κλειστού βρόχου περιγράφεται στο Σχήμα 1.12. Η είσοδος αναφοράς ω_r είναι η επιθυμητή ταχύτητα (στροφές/λεπτό) του κινητήρα του αυτοκινήτου, όταν αυτό βρίσκεται σε στάση (ρελαντί), ενώ η έξοδος ω είναι η πραγματική τιμή του ρελαντί και θα πρέπει να συμφωνεί με την τιμή αναφοράς ω_r . Η εφαρμογή οποιασδήποτε διαταραχής, όπως η ροπή ενός φορτίου T_L , έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της ταχύτητας ω του κινητήρα. Η μεταβολή αυτή της ταχύτητας ω του κινητήρα ανιχνεύεται από τον αισθητήρα ταχύτητας (ανάδραση) και ακολούθως από τον ανιχνευτή σφάλματος, με αποτέλεσμα τη δημιουργία σήματος σφάλματος $\omega_e \neq 0$. Ο ελεγκτής θα λειτουργήσει δίνοντας μια εντολή για τη ρύθμιση της γωνίας α της πεταλούδας του ρελαντί, ώστε να διορθωθεί το σφάλμα.



Σχήμα 1.12 Έλεγχος ρελαντί κινητήρα αυτοκινήτου – Δομικό διάγραμμα (σύστημα κλειστού βρόχου)

Στο Σχήμα 1.13 συγκρίνονται οι τυπικές καμπύλες λειτουργίας συστημάτων ελέγχου ανοιχτού και κλειστού βρόχου του ρελαντί του κινητήρα.

Στο Σχήμα 1.13 (α) η ταχύτητα στο σύστημα ανοιχτού βρόχου θα ελαττωθεί μετά την εφαρμογή του φορτίου T_L και θα σταθεροποιηθεί σε μια νέα τιμή, μικρότερη της αρχικής. Στο Σχήμα 1.13 (β) η ταχύτητα στο σύστημα κλειστού βρόχου θα ελαττωθεί στιγμιαία μετά την εφαρμογή του φορτίου T_L , αλλά θα επανέλθει γρήγορα στην προκαθορισμένη τιμή της.



Σχήμα 1.13 Τυπική απόκριση του συστήματος ελέγχου ρελαντί κινητήρα αυτοκινήτου: (α) σύστημα ανοιχτού βρόχου, (β) σύστημα κλειστού βρόχου

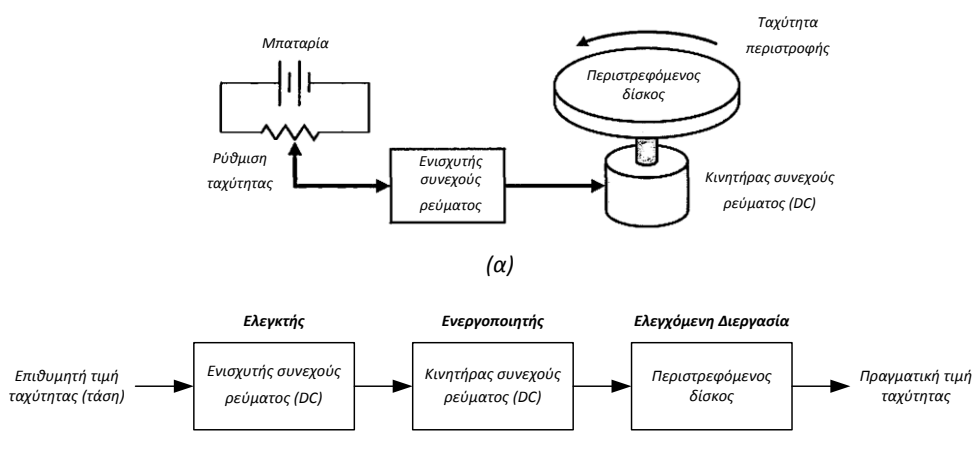
Παράδειγμα 8: Έλεγχος ταχύτητας περιστρεφόμενου δίσκου

Στόχος του συγκεκριμένου συστήματος είναι ο έλεγχος της ταχύτητας ενός περιστρεφόμενου δίσκου με τέτοιο τρόπο ώστε η πραγματική τιμή της ταχύτητας περιστροφής να βρίσκεται μέσα σε προκαθορισμένα όρια ανοχών σε σχέση με την επιθυμητή ταχύτητα. Για την περιστροφή του δίσκου χρησιμοποιείται ως ενεργοποιητής ένας κινητήρας συνεχούς ρεύματος, επειδή η ταχύτητα περιστροφής του είναι ανάλογη της εφαρμοζόμενης τάσης. Για την τροφοδότηση του κινητήρα χρησιμοποιείται ένας κατάλληλος για να παρέχει την απαιτούμενη ισχύ ενισχυτής συνεχούς ρεύματος. Για την παροχή τάσης ανάλογης με την επιθυμητή ταχύτητα η τροφοδοσία του συστήματος γίνεται με μια μπαταρία.

Σύστημα ελέγχου ανοιχτού βρόχου:

Στο Σχήμα 1.14 (α) φαίνεται το σύστημα ελέγχου ανοιχτού βρόχου. Η τάση που παρέχεται από την μπαταρία, αφού ενισχυθεί, εφαρμόζεται στον κινητήρα. Η ταχύτητα περιστροφής ρυθμίζεται από την τάση εξόδου της μπαταρίας.

Στο Σχήμα 1.14 (β) φαίνεται το δομικό διάγραμμα του συστήματος.

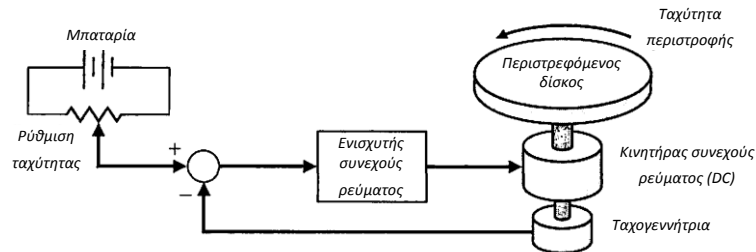


Σχήμα 1.14 (α) Σύστημα ελέγχου ταχύτητας περιστρεφόμενου δίσκου ανοιχτού βρόχου. (β) Δομικό διάγραμμα του συστήματος.

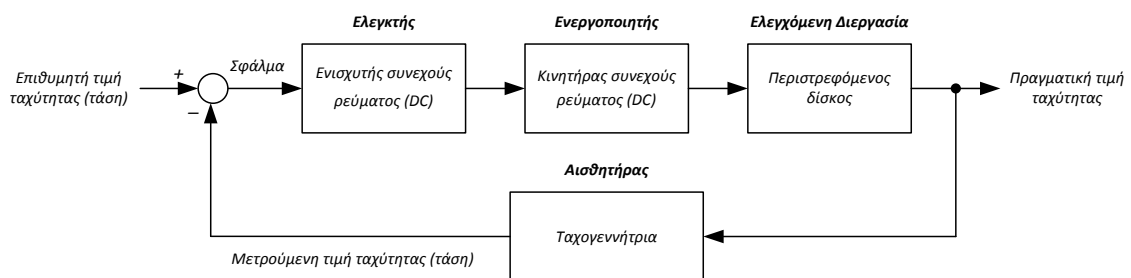
Σύστημα ελέγχου κλειστού βρόχου:

Σε ένα αντίστοιχο σύστημα ελέγχου κλειστού βρόχου είναι αναγκαία η προσθήκη ενός αισθητήρα για την μέτρηση της πραγματικής ταχύτητας του περιστρεφόμενου δίσκου. Ένας κατάλληλος αισθητήρας είναι μια ταχογεννήτρια η οποία παρέχει τάση εξόδου ανάλογη με την ταχύτητα περιστροφής του μηχανικού της άξονα.

Στο Σχήμα 1.15 (α) φαίνεται το σύστημα ελέγχου κλειστού βρόχου και στο Σχήμα 1.15 (β) το δομικό διάγραμμα αυτού. Το σήμα σφάλματος παράγεται από τη διαφορά ανάμεσα στην τάση εισόδου του συστήματος (μπαταρία) και την τάση εξόδου της ταχογεννήτριας.



(α)



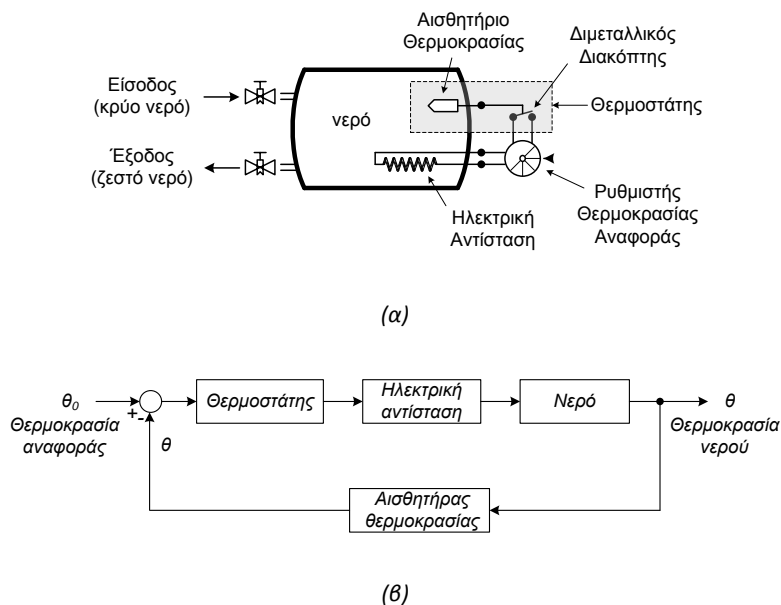
(β)

Σχήμα 1.15 (α) Σύστημα ελέγχου ταχύτητας περιστρεφόμενου δίσκου κλειστού βρόχου.

(β) Δομικό διάγραμμα του συστήματος.

Παράδειγμα 9: Ηλεκτρικός θερμοσίφωνας (σύστημα ελέγχου θερμοκρασίας)

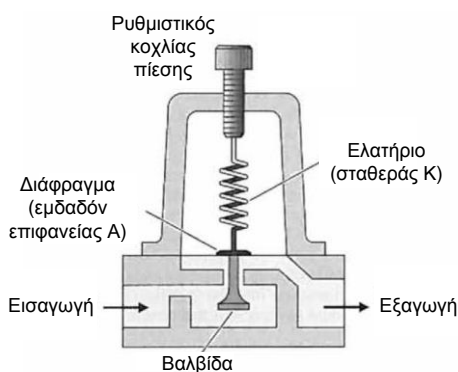
Ο ηλεκτρικός θερμοσίφωνας χρησιμοποιείται για τη θέρμανση νερού σε μια προκαθορισμένη επιθυμητή θερμοκρασία (θερμοκρασία αναφοράς), μέσω ενός θερμαντικού στοιχείου (ηλεκτρική αντίσταση). Για τον έλεγχο της λειτουργίας του θερμοσίφωνα χρησιμοποιούνται ένας αισθητήρας για τη μέτρηση της πραγματικής θερμοκρασίας του νερού και ένας θερμοστάτης που περιλαμβάνει διμεταλλικό διακόπτη. Ο θερμοστάτης συγκρίνει την επιθυμητή με την πραγματική θερμοκρασία του νερού και όταν η πραγματική θερμοκρασία είναι χαμηλότερη της επιθυμητής κλείνει το διμεταλλικό διακόπτη, οπότε ενεργοποιείται το θερμαντικό στοιχείο και θερμαίνει το νερό. Όταν η πραγματική θερμοκρασία του νερού είναι ίση ή μεγαλύτερη της επιθυμητής, ανοίγει ο διμεταλλικός διακόπτης και το θερμαντικό στοιχείο είναι ανενεργό.



Σχήμα 1.16 (α) Σύστημα ελέγχου θερμοκρασίας (Ηλεκτρικός θερμοσίφωνας).
(β) Δομικό διάγραμμα του συστήματος.

Παράδειγμα 10: Ρυθμιστής πίεσης

Στο παρακάτω σχήμα 1.17(α) φαίνεται η τομή ενός κοινού ρυθμιστή πίεσης. Η επιθυμητή πίεση ρυθμίζεται με τη βοήθεια ενός κοχλίας. Με τον τρόπο αυτό συμπιέζεται κατάλληλα το ελατήριο και αναπτύσσεται μια δύναμη η οποία εμποδίζει την μετακίνηση του διαφράγματος προς τα πάνω. Η κάτω πλευρά του διαφράγματος δέχεται την πίεση του νερού, την οποία επιθυμούμε να ελέγξουμε. Έτσι, η μετακίνηση του διαφράγματος αποτελεί ένδειξη της διαφοράς πίεσης μεταξύ της επιθυμητής και της πραγματικής τιμής. Ο μηχανισμός αυτός συμπεριφέρεται ως ένας συγκριτής. Η βαλβίδα συνδέεται στο διάφραγμα και μετακινείται ανάλογα με την υπάρχουσα διαφορά πίεσης μέχρι να φτάσει σε μια συγκεκριμένη θέση όπου η διαφορά πίεσης μηδενίζεται.



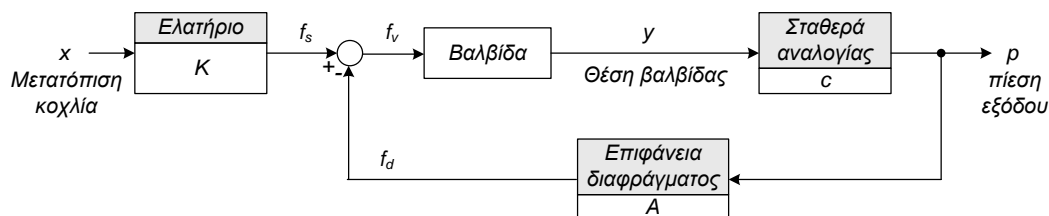
Σχήμα 1.17 (α) Ρυθμιστής πίεσης.

Εάν p = πίεση εξόδου, x = μετατόπιση κοχλίας, y = μετακίνηση βαλβίδας, K = σταθερά ελατηρίου και A = επιφάνεια διαφράγματος, τότε θα έχουμε:

$$f_s = \text{δύναμη ελατηρίου} = Kx, f_d = \text{δύναμη διαφράγματος} = Ap, f_v = \text{δύναμη βαλβίδας} = f_s - f_d.$$

Η μετακίνηση της βαλβίδας περιγράφεται από τη σχέση $y'' = f_v/m$, όπου m η μάζα της βαλβίδας, και η πίεση εξόδου είναι ανάλογη με την μετακίνηση της βαλβίδας, $p = cy$, όπου c μια σταθερά αναλογίας.

Το δομικό διάγραμμα του συστήματος φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 1.17 (β).



Σχήμα 1.17 (β) Δομικό διάγραμμα του συστήματος.

Πηγές:

Για τη σύνθεση αυτών των σημειώσεων χρησιμοποιήθηκε υλικό από την παρακάτω βιβλιογραφία:

- Θεωρία και Προβλήματα στα Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου Αναλογικών και Ψηφιακών Συστημάτων, Joshef J. Distefano III, Allen R. Stubberud, Ivan J. Williams
- Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου - Θεωρία και προβλήματα, Πακτίτης Σπύρος Α.
- Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου, Δ. Καλλιγερόπουλος
- Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου II – Θεωρία, Κ. Λουκάς
- Εισαγωγή στον Αυτόματο Έλεγχο, Π. Ν. Παρασκευόπουλος
- Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου, Benjamin C. Kuo, Farid Golnaraghi
- Σύγχρονα Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου, Richard C. Dorf, Robert H. Bishop
- Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου - Θεωρία και Εφαρμογές με το MATLAB, Ogata K.