

**Τ.Ε.Ι. ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ**

**Σημειώσεις για το εργαστήριο του μαθήματος
ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ Ι**



Κεφάλαιο 1^ο

- ❖ Ορισμός Συστημάτων Αυτόματου Ελέγχου
- ❖ Βασικά Εξαρτήματα των Συστημάτων Ελέγχου
- ❖ Παραδείγματα Συστημάτων Αυτόματου Ελέγχου
- ❖ Κατηγορίες Συστημάτων Αυτόματου Ελέγχου
- ❖ Κίνητρα για τη χρήση ανατροφοδότησης
- ❖ Μετασχηματισμός Laplace
- ❖ Αντίστροφος μετασχηματισμός Laplace
- ❖ Μιγαδικοί αριθμοί
- ❖ Βασικές συναρτήσεις διέγερσης Συστημάτων

Κεφάλαιο 1

1.1 Ορισμός Συστήματος Αυτόματου Ελέγχου	4
1.2 Βασικά εξαρτήματα των Συστημάτων Ελέγχου	4
1.3 Παραδείγματα Συστημάτων Αυτόματου Ελέγχου	6
1.4 Κατηγορίες Συστημάτων Αυτόματου Ελέγχου	6
<i>1.4.1 Ανάλογα με τη φύση του μέσου ελέγχου</i>	<i>7</i>
<i>1.4.2 Ανάλογα με το εάν χρησιμοποιείται ή όχι ανατροφοδότηση</i>	<i>9</i>
<i>1.4.3 Ανάλογα με την τεχνική επεξεργασία των σημάτων έλεγχου</i>	<i>10</i>
<i>1.4.4 Ανάλογα με των τύπο των εξαρτημάτων</i>	<i>11</i>
<i>1.4.5 Ανάλογα με την εφαρμογή τους</i>	<i>11</i>
1.5 Κίνητρα για την χρήση ανατροφοδότησης	12
1.6 Μετασχηματισμός Laplace	12
1.7 Αντίστροφος Μετασχηματισμός Laplace	13
1.8 Μιγαδικοί Αριθμοί	13
1.9 Βασικές Συναρτήσεις Διέγερσης Συστημάτων	13

1.1 Ορισμός Συστήματος Αυτόματου Ελέγχου(Σ.Α.Ε)

Σύστημα αυτομάτου ελέγχου ονομάζεται ένα σύνολο (τεχνητό ή φυσικό) στοιχείων και εξαρτημάτων, κατάλληλα συνδεδεμένα μεταξύ τους, που μπορεί να ελέγχει μια διεργασία ή ορισμένα μεταβλητά μεγέθη όπως:

- ❖ θέση (x, y, z)
- ❖ ταχύτητα
- ❖ πίεση
- ❖ ηλεκτρική τάση
- ❖ θερμοκρασία κ.λ.π.

1.2 Βασικά εξαρτήματα των Συστημάτων Ελέγχου(Σ.Α.Ε.)

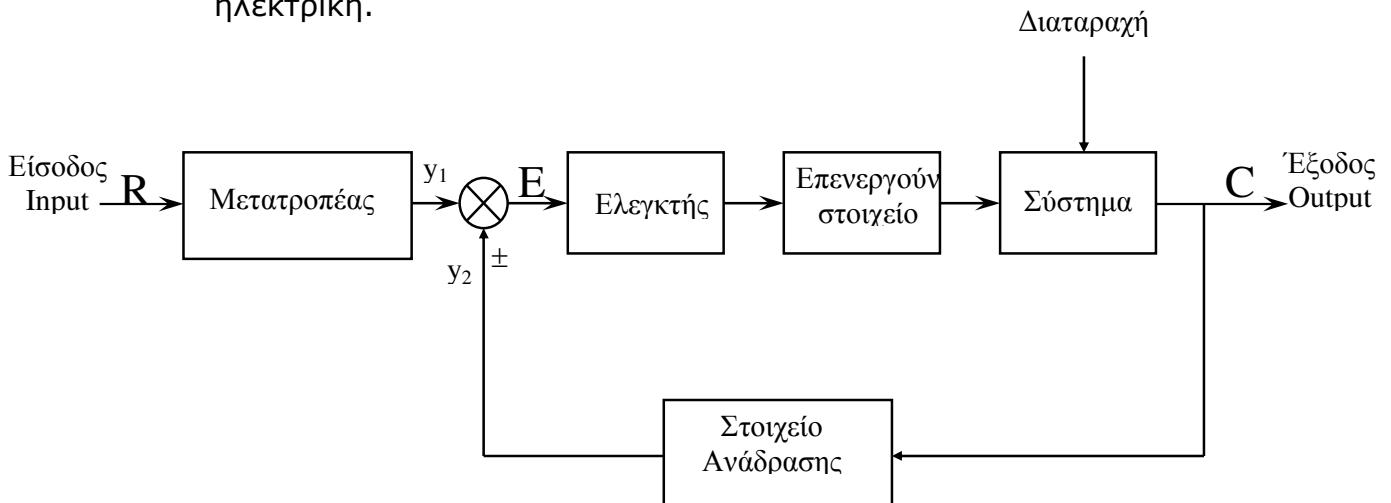
Τα βασικά εξαρτήματα των Συστημάτων Αυτόματου Ελέγχου είναι:

❖ **Είσοδος (input)**

Μια διέγερση που εφαρμόζεται στο σύστημα από εξωτερική πηγή.

❖ **Μετατροπέας (transducer)**

Μετατρέπει μια μορφή ενέργειας σε μια άλλη π.χ. μηχανική σε ηλεκτρική.



Σχήμα 1.1 Βασική δομή ενός συστήματος ελέγχου κλειστού βρόγχου

❖ **Αθροιστής**

Είναι συσκευή που αθροίζει αλγεβρικά τα εισερχόμενα σήματα για να παράγει ένα σήμα εξόδου. Συνήθως αναφέρεται και σαν συγκριτής ή ανιχνευτής σφάλματος.

❖ **Ελεγκτής (Controller)**

Σε όλα σχεδόν τα συστήματα ελέγχου η είσοδος του ελεγκτή είναι το σφάλμα που παράγεται από τον **αθροιστή** στα συστήματα ελέγχου κλειστού βρόγχου ή την ίδια την **είσοδο** στα συστήματα ελέγχου ανοικτού βρόγχου. Είναι μηχανισμός ελέγχου που παράγει μια έξοδο που οδηγεί την ελεγχόμενη διεργασία με σκοπό τον μηδενισμό του σφάλματος και γενικά την βελτιστοποίηση των χαρακτηριστικών του συστήματος.

❖ **Ελεγχόμενη διεργασία**

Κάθε φυσική ποσότητα όπως θερμοκρασία, πίεση, ή στάθμη υγρού μπορεί να ελεγχθεί μέσω διεργασίας που περιλαμβάνει κάθε τι που επηρεάζει τις φυσικές μεταβλητές. Μ' άλλα λόγια, η ελεγχόμενη διεργασία περιλαμβάνει κάθε τι που απαιτείται για τον έλεγχο της φυσικής ποσότητας.

❖ **Ελεγχόμενη μεταβλητή[c(t)]**

Η ελεγχόμενη μεταβλητή είναι μία φυσική ποσότητα όπως θερμοκρασία, πίεση κ.λ.π. που πρέπει να ελεγχθεί από το σύστημα. Συνήθως αναφέρεται σαν **έξοδος**. Το σύστημα διεγείρομενο από την είσοδο παράγει ένα **σήμα εξόδου** σαν απόκριση.

❖ **Επενεργούν στοιχείο (Actuator)**

Το Επενεργούν Στοιχείο είναι η συσκευή που αποδίδει την απαιτούμενη ενέργεια (π.χ. κινητική) στην διεργασία (π.χ. η συσκευή που αναγκάζει την διεργασία να εξασφαλίσει την έξοδο).

❖ **Σύστημα (plant)**

- Σύστημα τύπου **follow-up**: Τα συστήματα των οποίων η έξοδος θα πρέπει να μεταβάλλεται σε συνάρτηση των μεταβολών του σήματος εισόδου (π.χ. σύστημα ελέγχου θερμοκρασίας χώρου).
- Σύστημα τύπου **regulator**: Τα συστήματα των οποίων η έξοδος θα πρέπει να παραμένει σταθερή ακόμα και όταν υπάρχουν μεταβολές του σήματος εισόδου (π.χ. σταθεροποιητής τάσεως DC).

❖ **Διαταραχή (disturbance)**

Διαταραχή είναι κάθε μη επιθυμητό σήμα που επηρεάζει την **έξοδο**.

❖ **Ανάδραση (feedback)**

Ένα σύστημα χρησιμοποιεί ανάδραση εάν η **έξοδος** ή μέρος της **εξόδου** επιστρέφει μέσω του κλάδου ανατροφοδότησης (ανάδρασης) στον αθροιστή, έτσι που να μπορεί να συγκριθεί με

Συστήματα Αυτόματου Ελέγχου(ΣΑΕ Ι)

την **είσοδο**. Η χρήση της ανάδρασης συνήθως επιφέρει ευστάθεια και ακρίβεια στο σύστημα. Ένα σύστημα μπορεί να χρησιμοποιεί πολλές **αναδράσεις**. Πάντως πρωτεύουσα ανάδραση είναι εκείνη όπου το σήμα εξόδου επιστρέφει και συγκρίνεται με την **είσοδο**. Αν δεν υπάρχει καμία επικοινωνία μεταξύ εισόδου και εξόδου έχουμε **σύστημα ανοιχτού βρόγχου**, ενώ αν κάθε φορά παίρνουμε την έξοδο την ελέγχουμε και την οδηγούμε σε μια είσοδο αναφοράς έχουμε **σύστημα κλειστού βρόγχου**. Ο κλάδος (δρόμος) που οδηγεί την έξοδο στην είσοδο λέγεται κλάδος **ανάδρασης**. Αν το σήμα εξόδου προστίθεται στην είσοδο έχουμε **θετική ανάδραση** και αν αφαιρείται **αρνητική ανάδραση**.

❖ **Κύκλωμα αντιστάθμισης**

Κύκλωμα που χρησιμοποιείται για να τροποποιήσει την συνάρτηση μεταφοράς και κατ' επέκταση την έξοδο του συστήματος έτσι που να είναι η επιθυμητή. Τα πλέον συνηθισμένα είναι: **προπορείας, υστέρησης, προπορείας - υστέρησης** κ.λ.π.

❖ **Σφάλμα** κλειστού Σ.Α.Ε. είναι η διαφορά της εισόδου και της εξόδου.

❖ **Απ' ευθείας δρόμος** (forward path) είναι ο δρόμος από το σημείο άθροισης μέχρι την έξοδο .

1.3 Παραδείγματα Συστημάτων Αυτόματου Ελέγχου(Σ.Α.Ε.)

Μερικά παραδείγματα Συστημάτων Αυτόματου Ελέγχου είναι:

- ❖ Αυτόματος πιλότος αεροσκαφών
- ❖ Έλεγχος θέσης ανάγνωσης κεφαλής σκληρού δίσκου
- ❖ Σύστημα Ελέγχου Ρομποτικού βραχίονα
- ❖ Αυτόματο Σύστημα Ελέγχου ταχύτητας οχημάτων (cruise control system)

1.4 Κατηγορίες Συστημάτων Αυτόματου Ελέγχου(Σ.Α.Ε.)

Τα Σ.Α.Ε. μπορούμε να τα κατατάξουμε σε κατηγορίες ως εξής:

- ❖ Ανάλογα με τη φύση του μέσου ελέγχου
- ❖ Ανάλογα με το αν χρησιμοποιείται ή όχι ανάδραση (ανατροφοδότηση)
- ❖ Ανάλογα με την τεχνική επεξεργασία των σημάτων ελέγχου.
- ❖ Ανάλογα με τον τύπο των εξαρτημάτων
- ❖ Ανάλογα με την εφαρμογή τους

1.4.1 Ανάλογα με τη φύση του μέσου ελέγχου

❖ Ηλεκτρικά – ηλεκτρονικά συστήματα

Το μέσο ελέγχου είναι ένα ηλεκτρικό σήμα, που μπορεί να ενισχυθεί κατάλληλα με ηλεκτρικούς ενισχυτές και να διεγείρει κάποιον ηλεκτρικό κινητήρα, που με την σειρά του θα κάνει ανάλογη διόρθωση στον μηχανισμό με τον οποίο είναι συνδεδεμένος.

Πλεονεκτήματα

1. Έχουν μεγάλο βαθμό απόδοσης.
2. Δεν χρειάζονται αεροσυμπιεστές, αντλίες.
3. Είναι καθαρά συστήματα και τυχόν διαρροές δεν προκαλούν βλάβες σε διπλανές συσκευές.

Μειονεκτήματα

1. Μικρή συγκέντρωση ισχύος (δηλαδή $\frac{\text{ωφέλιμος ισχύς}}{\text{βάρος εγκατάστασης}}$ λόγος μικρός)
2. Προκαλούν σπινθήρες και δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εύφλεκτο περιβάλλον.
3. Η συντήρησή τους είναι πολύπλοκη.
4. Συνοδεύονται με ακριβές ηλεκτρονικές μονάδες.

❖ Πνευματικά συστήματα

Το μέσο ελέγχου είναι αέρας με πίεση που προέρχεται από κάποιο συμπιεστή (compressor) και διεγείρει κάποια βαλβίδα που μέσω κυλίνδρου με έμβολο κάνει την αναγκαία διόρθωση.

Πλεονεκτήματα

1. Είναι πολύ απλά στην κατασκευή και τη λειτουργία τους.
2. Χρησιμοποιούν αέρα που είναι ελεύθερος στην φύση και δεν εγκυμονεί κινδύνους πυρκαγιάς. (Η τυχόν διαρροή αέρα δεν προκαλεί βλάβες σε διπλανά συστήματα).
3. Οι μεταβολές της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος δεν έχουν επίδραση στο ιξώδες του μέσου λειτουργίας.
4. Η συντήρησή τους είναι εύκολη και γίνεται σε αραιά χρονικά διαστήματα.
5. Αποθηκεύεται ποσότητα αέρα στις αεροφιάλες και έτσι λειτουργούν για λίγο, και μετά την διακοπή του αεροσυμπιεστή.

Μειονεκτήματα

1. Είναι αναγκαία η ύπαρξη τουλάχιστον δύο αεροσυμπιεστών, πολλών αεροφιαλών και κατάλληλου δικτύου σωλήνων.

Συστήματα Αυτόματου Ελέγχου(ΣΑΕ Ι)

2. Παρουσιάζουν δυσκολία στην λίπανση των κινούμενων μερών.
3. Λόγω της συμπιεστικότητας του αέρα δεν έχουμε ταχεία ανάπτυξη δύναμης στην έξοδο του συστήματος ούτε ακρίβεια εξόδου.

❖ **Υδραυλικά συστήματα**

Το μέσο ελέγχου είναι συνήθως λάδι που έρχεται από κάποια αντλία, ελέγχεται από βαλβίδα και κινεί υδραυλικό κινητήρα ή έμβολο κυλίνδρου.

Πλεονεκτήματα

1. Υψηλή απόδοση ακόμα και σε μεγάλη ισχύ και ταχύτητα.
2. Μπορούμε να επιτύχουμε μεγάλη ισχύ εξόδου.
3. Το λάδι είναι ασυμπίεστο και έχουμε ταχύτητα απόκρισης.
4. Αυτολίπανση με το κυκλοφορούν λάδι.
5. Σε περίπτωση ανωμαλίας ο επενεργητής (υδραυλικός κινητήρας ή κύλινδρος με έμβολο) παραμένει στην θέση του, γιατί υπάρχουν ειδικές ανεπίστροφες βαλβίδες στις γραμμές παροχής και επιστροφής.

Μειονεκτήματα

1. Συχνή συντήρηση των δικτύων υψηλής πίεσης για να μην υπάρχουν διαρροές.
2. Η τυχόν διαρροή λαδιού εγκυμονεί κινδύνους βλάβης των διπλανών συσκευών.
3. Με την αύξηση της θερμοκρασίας μεταβάλλεται το ιξώδες του λαδιού και φυσικά η απόδοση του συστήματος.
4. Η ύπαρξη λαδιού δημιουργεί ένα επιπλέον κόστος στην συντήρηση.
5. Αν στο υδραυλικό δίκτυο υπάρχει θυλάκιο αέρα δεν έχουμε ακρίβεια στην έξοδο (φαινόμενο αερισμού).

❖ **Ηλεκτροϋδραυλικά συστήματα**

Η βασική διαφορά τους με τα προηγούμενα είναι ότι η ρυθμιστική βαλβίδα δεν είναι μηχανική αλλά ηλεκτρική δηλαδή λειτουργεί ανάλογα με κάποιο ηλεκτρικό σήμα που θα της στείλουμε από μακριά και καθορίζει έτσι το μέγεθος και τη φορά της ροής λαδιού προς τον υδραυλικό κινητήρα (ή έμβολο).

❖ **Ηλεκτροπνευματικά συστήματα**

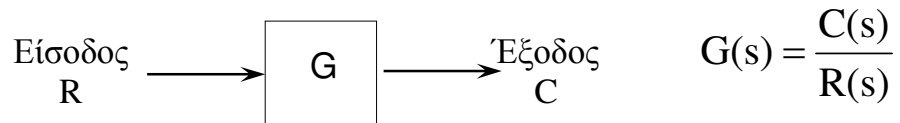
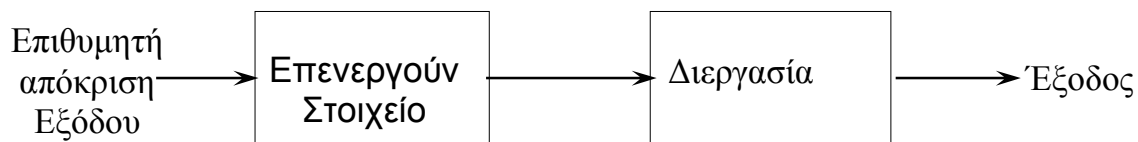
Η βασική διαφορά τους με τα πνευματικά συστήματα είναι στο ότι διαθέτουν ηλεκτροπνευματική βαλβίδα που μπορεί να ρυθμιστεί από μακριά με κάποιο ηλεκτρικό σήμα.

1.4.2 Ανάλογα με το εάν χρησιμοποιείται ή όχι ανατροφοδότηση

❖ Συστήματα ανοιχτού βρόγχου

Ένα σύστημα ανοιχτού βρόγχου χρησιμοποιεί μία ενεργό συσκευή (που παράγει το σήμα εισόδου) για να ελέγξει απευθείας την διεργασία χωρίς την χρήση ανατροφοδότησης.

1. Είναι πολύ απλής κατασκευής.
2. Η ακρίβεια εξαρτάται από τη ρύθμιση διαφόρων στοιχείων.
3. Δεν παρουσιάζουν συνήθως προβλήματα αστάθειας.

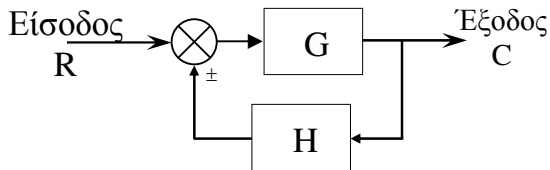
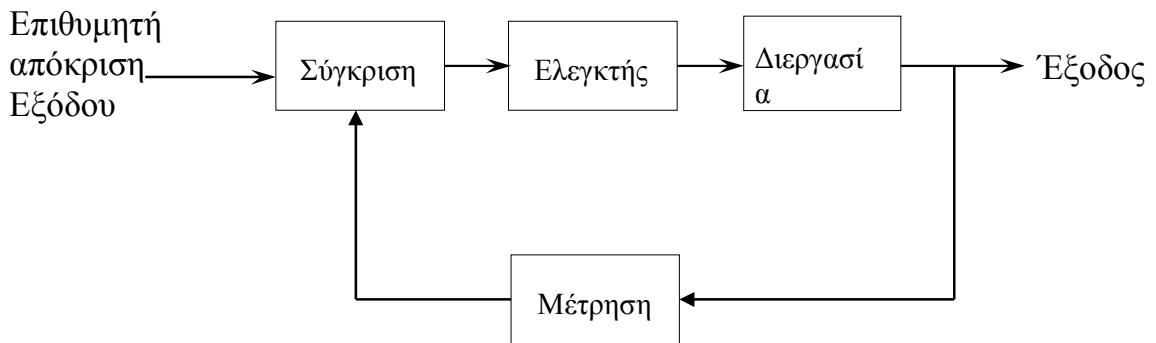


Σχήμα 1.2 Δομικό διάγραμμα συστήματος ελέγχου ανοιχτού βρόγχου

❖ Συστήματα Ελέγχου Κλειστού Βρόγχου

Ένα σύστημα κλειστού βρόγχου χρησιμοποιεί τη μέτρηση του σήματος εξόδου και την ανατροφοδοτεί για να συγκριθεί με το σήμα αναφοράς (είσοδος – επιθυμητή έξοδος).

1. Μεγάλη ακρίβεια.
2. Πολυπλοκότερα συστήματα.
3. Παρουσιάζουν προβλήματα αστάθειας.
4. Έχουν εύρος λειτουργίας.



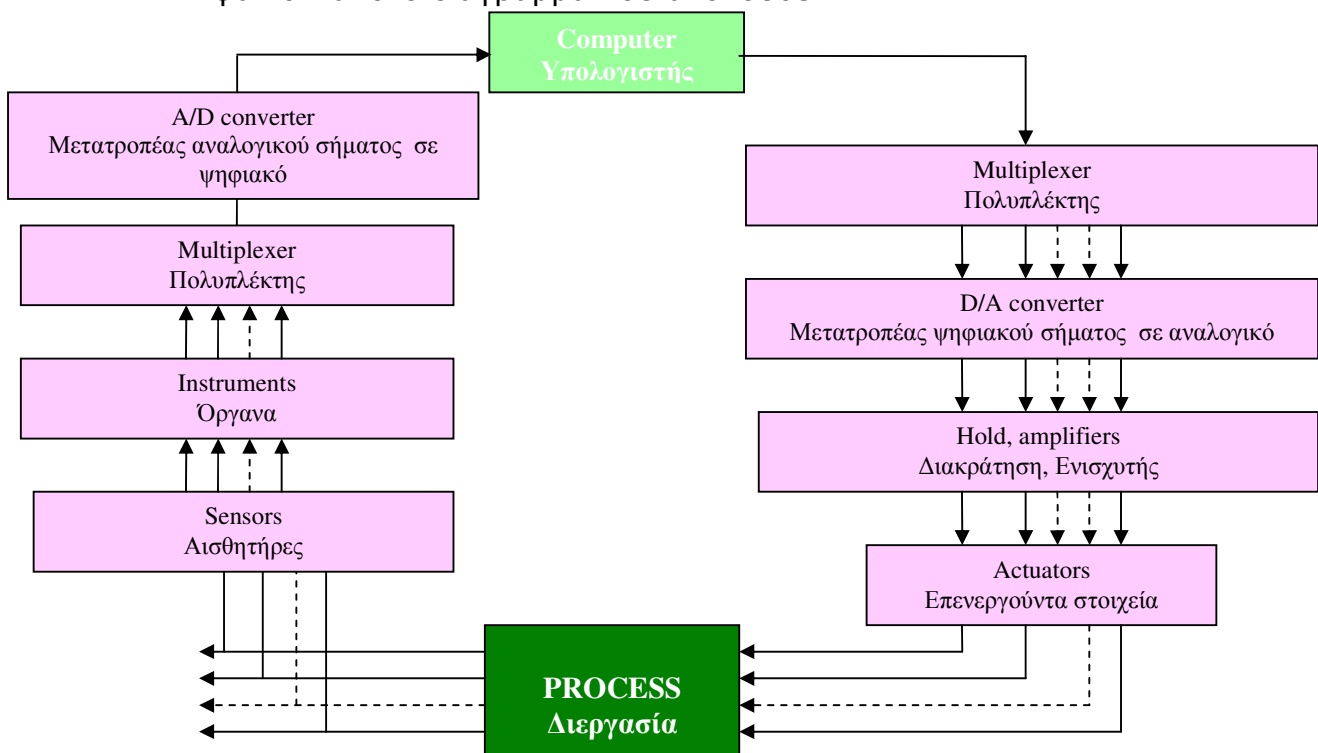
$$G_{ολ}(s) = \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1 \mp G(s)H(s)}$$

Σχήμα 1.3 Δομικό διάγραμμα συστήματος ελέγχου κλειστού βρόγχου

1.4.3 Ανάλογα με την τεχνική επεξεργασία των σημάτων έλεγχου

- ❖ **Αναλογικά**
- ❖ **Ψηφιακά**

Το ψηφιακό σύστημα ελέγχου περιλαμβάνει τα εξαρτήματα που φαίνονται στο διάγραμμα που ακολουθεί.



1.4.4 Ανάλογα με των τύπο των εξαρτημάτων

❖ Γραμμικά

Ένα σύστημα θεωρείται γραμμικό όταν ακολουθεί την αρχή της επαλληλίας.

Π.χ.

Αν όλες οι αρχικές συνθήκες ενός συστήματος είναι μηδενικές, δηλαδή αν το σύστημα είναι σε ηρεμία, τότε το σύστημα είναι γραμμικό αν έχει την ακόλουθη ιδιότητα: Αν

(α) μία είσοδος $u_1(t)$ παράγει μια έξοδο $y_1(t)$, και

(β) μία είσοδος $u_2(t)$ παράγει μια έξοδο $y_2(t)$, τότε,

(γ) η είσοδος $c_1u_1(t) + c_2u_2(t)$ παράγει μια έξοδο $c_1y_1(t) + c_2y_2(t)$, για οποιοδήποτε ζευγάρι εισόδων $u_1(t)$ και $u_2(t)$ και σταθερές c_1 και c_2 .

Τα γραμμικά συστήματα μπορούν συχνά να παρασταθούν με γραμμικές διαφορικές εξισώσεις και γραμμικές εξισώσεις διαφοράς.

❖ Μη γραμμικά

Όλα τα υπόλοιπα είναι μη γραμμικά

Π.χ.

Οι συνήθεις διαφορικές εξισώσεις $(dy/dt)^2 + y = 0$ και $d^2y/d^2t + \cos y = 0$ είναι μη - γραμμικές διότι ο όρος της πρώτης εξίσωσης είναι $(dy/dt)^2$ είναι δευτέρου βαθμού, και ο όρος $\cos y$ στην δεύτερη εξίσωση δεν είναι πρώτου βαθμού πράγμα που ισχύει για όλες τις υπερβατικές συναρτήσεις.

1.4.5 Ανάλογα με την εφαρμογή τους

❖ Σερβομηχανισμοί

Είναι εκείνα τα συστήματα ελέγχου των οποίων η έξοδος ή ελεγχόμενη μεταβλητή είναι μηχανική θέση η ρυθμός μεταβολής της μηχανικής θέσης (ταχύτητα ή επιτάχυνση). Συστήματα ελέγχου ταχύτητας περιστροφής άξονα κινητήρα DC και ελέγχου θέσεως βηματικού κινητήρα είναι χαρακτηριστικά παραδείγματα σερβομηχανισμών.

❖ Αριθμητικά συστήματα ελέγχου

Είναι εκείνα τα συστήματα που ενεργούν επί αριθμητικών δεδομένων που είναι αποθηκευμένα σε κάποιο αποθηκευτικό μέσο ηλεκτρονικής ή άλλης φύσεως.

Τα CNC είναι χαρακτηριστικό παράδειγμα αριθμητικού συστήματος ελέγχου.

❖ Ακολουθιακά συστήματα Ελέγχου

Είναι τα συστήματα που η λειτουργία τους είναι προδιαγεγραμμένη και προσδιορισμένης χρονικής διάρκειας.

❖ **Συστήματα πολύπλοκων διεργασιών (Βιομηχανικά συστήματα)**

Παραδείγματα τέτοιων συστημάτων θα μπορούσαν να είναι: Μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, Μονάδες συναρμολόγησης οχημάτων, Μονάδες κλωστοϋφαντουργίας, Διυλιστήρια, Μονάδες βιολογικού καθαρισμού, κ.λ.π.

Διευκρίνιση: Θα πρέπει να τονιστεί ότι η κατάταξη ενός συστήματος σε μια από τις παραπάνω κατηγορίες δεν είναι πάντα δυνατή και αυτό διότι ένα σύστημα μπορεί να εμπεριέχει χαρακτηριστικά που θα επέτρεπαν την κατάταξή του σε περισσότερες από μια από τις παραπάνω κατηγορίες. Στη συνέχεια θα ασχοληθούμε με τη μελέτη των συστημάτων ανοικτού και κλειστού βρόγχου (όποιας φύσεως και αν είναι αυτά) που ίσως είναι και η κατηγορία που έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον διότι εμπεριέχει την έννοια της αυτοματοποίησης όπως αυτή εννοείται όταν δεν παρεμβαίνει ο άνθρωπος (συστήματα κλειστού βρόγχου).

1.5 Κίνητρα για την χρήση ανατροφοδότησης

Οι κυριότεροι λόγοι για την χρήση ανατροφοδότησης είναι οι παρακάτω:

- ❖ Μείωση της ευαισθησίας σε μεταβολές των παραμέτρων του συστήματος και των ατελειών του μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε στον σχεδιασμό.
- ❖ Μείωση των επιδράσεων των εξωτερικών διαταραχών και του θορύβου των αισθητήρων.

Η ανατροφοδότηση μπορεί επίσης

- ❖ Να βελτιώσει τα χαρακτηριστικά της μεταβατικής απόκρισης.
- ❖ Να μειώσει το μόνιμο σφάλμα.

1.6 Μετασχηματισμός Laplace

$$F(s) = \int_0^{\infty} f(t)e^{-st} dt$$

$$L[f(t)] = F(s)$$

$$L^{-1}[F(s)] = f(t)$$

Οι ιδιότητες του μετασχηματισμού LAPLACE παρουσιάζονται στο Παράρτημα 2. Επίσης στο Παράρτημα 2 παρουσιάζονται οι Μετασχηματισμοί Laplace των βασικών συναρτήσεων.

1.7 Αντίστροφος Μετασχηματισμός Laplace

Ο αντίστροφος μετασχηματισμός Laplace, η περίπτωση διακεκριμένων πόλων αλλά και η περίπτωση πολλαπλών πόλων, παρουσιάζονται στο Παράρτημα 3.

1.8 Μιγαδικοί Αριθμοί

Μια θεωρητική προσέγγιση των μιγαδικών αριθμών καθώς και τις ιδιότητές τους μπορείτε να τις βρείτε στο Παράρτημα 1.

1.9 Βασικές Συναρτήσεις Διέγερσης Συστημάτων

Οι βασικές συναρτήσεις διέγερσης συστημάτων παρουσιάζονται στο Παράρτημα 5.