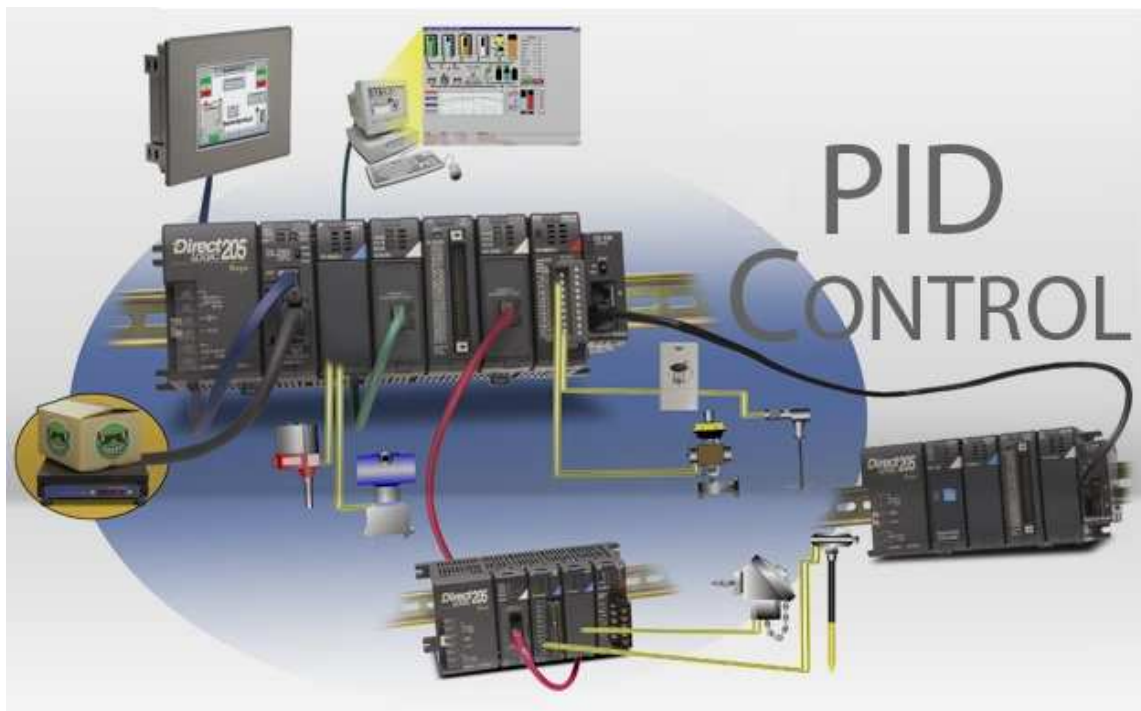




ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΕΛΕΓΚΤΕΣ
CONTROLLERS**

ΚΑΚΟΛΕΒΑ ΑΓΓΕΛΙΚΗ - ΤΣΑΝΤΑΚΗΣ ΑΝΔΡΕΑΣ

Επιβλέπων Καθηγητής : ΦΡΑΓΚΙΑΔΑΚΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ.....	6
1.1 ΣΥΝΤΟΜΗ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ.....	7
1.2. ΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ.....	9
1.3 ΒΑΣΙΚΑ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ.....	9
1.4 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ (TRANSFER FUNCTION).....	12
1.5 ΜΠΛΟΚ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ (BLOCK DIAGRAMS).....	13
1.6 ΔΟΜΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ.....	15
1.6.1 ΕΝΑ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ.....	19
1.7 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΚΑΙ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΒΡΟΓΧΟΥ (ανάλογα με το αν χρησιμοποιείται ανατροφοδότηση ή όχι).....	24
1.7.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΒΡΟΓΧΟΥ.....	24
1.7.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΒΡΟΓΧΟΥ.....	25
1.7.2.1 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΒΡΟΓΧΟΥ.....	26
1.7.2.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΒΡΟΓΧΟΥ.....	29
1.8 ΑΝΑΛΟΓΙΚΟΣ ΚΑΙ ΨΗΦΙΑΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ.....	32
1.9 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ FOLLOW- UP.....	34
1.10 ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΟΤΗΤΕΣ	34

1.11 ΑΠΟΣΒΕΣΗ ΚΑΙ ΑΣΤΑΘΕΙΑ.....	37
1.12 ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ.....	38
1.13 ΣΤΟΧΟΙ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ.....	41
1.14 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΤΟΥ ΚΑΛΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ.....	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ	46
2.1 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ ΕΛΕΓΚΤΩΝ.....	47
2.2 ΔΥΟ ΘΕΣΕΩΝ ΤΡΟΠΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ (TWO-POSITION)	49
2.3 ΚΛΙΜΑΚΩΤΟΣ ΤΡΟΠΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ (FLOATING).....	50
2.4 ΑΝΑΛΟΓΙΚΟΣ ΤΡΟΠΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ (PROPORTIONAL).....	51
2.4.1 ΑΝΑΛΟΓΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΡΩΤΗΣ ΤΑΞΗΣ.....	56
2.4.2 ΑΝΑΛΟΓΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΤΑΞΗΣ.....	60
2.5 ΟΛΟΚΛΗΡΩΤΙΚΟΣ ΤΡΟΠΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ (INTEGRAL).....	61
2.5.1 ΟΛΟΚΛΗΡΩΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΡΩΤΗΣ ΤΑΞΗΣ.....	64
2.5.2 ΟΛΟΚΛΗΡΩΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΤΑΞΗΣ.....	66
2.6 ΡΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΑΛΟΓΙΚΟΣ ΚΑΙ ΟΛΟΚΛΗΡΩΤΙΚΟΣ ΤΡΟΠΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ.....	67
2.6.1 ΈΛΕΓΧΟΣ ΡΙ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΡΩΤΗΣ ΤΑΞΗΣ.....	70
2.6.2 ΡΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΤΑΞΗΣ.....	71
2.7 ΔΙΑΦΟΡΙΚΟΣ ΤΡΟΠΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ.....	72
2.8 ΑΝΑΛΟΓΙΚΗ ΚΑΙ ΔΙΑΦΟΡΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ (PD).....	75
2.8.1 PD ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΤΑΞΗΣ.....	77
2.9 PID ΑΝΑΛΟΓΙΚΟΣ-ΟΛΟΚΛΗΡΩΤΙΚΟΣ-ΔΙΑΦΟΡΙΚΟΣ ΤΡΟΠΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ.....	80
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΤΥΠΟΙ ΕΛΕΓΚΤΩΝ.....	83
3.1 ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΙ ΑΝΑΛΟΓΙΚΟΙ ΕΛΕΓΚΤΕΣ.....	84
3.2 ΨΗΦΙΑΚΟΙ ΕΛΕΓΚΤΕΣ.....	89
3.2.1 ΨΗΦΙΑΚΟΣ ΕΛΕΓΚΤΗΣ PID.....	89
3.3 ΠΡΟΗΓΜΕΝΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ.....	96
3.4 ΣΕΙΡΙΑΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ.....	96

3.5 ΕΛΕΓΧΟΣ ΟΡΘΗΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ.....	97
3.6 ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΤΙΚΟΙ ΕΛΕΓΚΤΕΣ.....	99
3.7 ΠΟΛΥΜΕΤΑΒΛΗΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ	100
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟΙ ΛΟΓΙΚΟΙ ΕΛΕΓΚΤΕΣ.....	102
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΥΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟΥΣ ΛΟΓΙΚΟΥΣ ΕΛΕΓΚΤΕΣ (PLC)....	103
4.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ PLC.....	103
4.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ.....	104
4.4 ΔΟΜΗ ΕΝΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟΥ ΛΟΓΙΚΟΥ ΕΛΕΓΚΤΗ.....	106
5 ΕΠΙΛΟΓΟΣ	108
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	110

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματεύεται τους ελεγκτές των συστημάτων αυτόματου ελέγχου. Σε αυτή την πτυχιακή θα παρουσιαστούν

- Τι είναι ένα συστήματα αυτόματου ελέγχου (λειτουργία, δομή).
- Κατηγορίες των συστημάτων.
- Επίσης παρουσιάζονται οι ελεγκτές.
- οι τρόποι και μέθοδοι ελέγχου αυτών.
- Δίνονται παραδείγματα και προβάλλεται το αντικείμενο και οι προοπτικές τους.

PREFACE

The present final work deals with the controllers of systems of automatic control. In this final they will be presented:

- What is systems of automatic control (operation, structure).
- Categories of systems.
- Also presents controllers
- The ways and methods of the controllers.
- Are given examples and appeared the object and their prospects.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

1.1 ΣΥΝΤΟΜΗ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

Τα συστήματα αυτόματου ελέγχου είναι σήμερα μία από τις σημαντικότερες περιοχές της επιστήμης και της τεχνολογίας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο αυτοματισμός είναι συνυφασμένος με την ανάπτυξη σχεδόν κάθε μορφής τεχνολογίας.



Ο αυτοματισμός φαίνεται ότι είχε επινοηθεί από την αρχαιότητα. Ένα γνωστό αρχαίο σύστημα αυτόματου ελέγχου είναι ο ρυθμιστής του Ήρωνος του Αλεξανδρέως. Ο ρυθμιστής αυτός είχε σχεδιασθεί έτσι ώστε η πύλη ενός ναού να άνοιγε αυτόματα

όταν άναβε η φωτιά στο βωμό και έκλεινε όταν έσβηνε η φωτιά (κατά πάσα πιθανότητα για να εντυπωσιάζει τους πιστούς, δεδομένου ότι το σύστημα αυτοματισμού ήταν κρυμμένο μέσα στο έδαφος).

Μετά τα μέσα του 18^{ου} αιώνα, ο αυτοματισμός αρχίζει σιγά-σιγά να παρουσιάζει αξιόλογες επιτεύξεις. Το έτος 1769, ο James Watt κατασκεύασε τον πρώτο φυγοκεντρικό ρυθμιστή ταχύτητας, ο οποίος χρησιμοποιήθηκε ευρέως στη βιομηχανία για τον αυτόματο έλεγχο ατμομηχανών. Ο Maxwell το 1868, και ο Vyshnegradskii το 1877, έδωσαν τις πρώτες μαθηματικές βάσεις του αυτοματισμού εφαρμόζοντας τα θεωρητικά (μαθηματικά) τους αποτελέσματα κυρίως στον φυγοκεντρικό ρυθμιστή του Watt. Σημαντικά επίσης ήταν και τα αποτελέσματα του Routh το 1877.

Τα συστήματα αυτόματου ελέγχου αναπτύχθηκαν ραγδαία τα τελευταία εξήντα χρόνια. Σημαντικό σταθμό στην ιστορία των συστημάτων αυτόματου ελέγχου αποτελεί η δεκαετία του '30 κατά την οποία εμφανίστηκαν αξιόλογα θεωρητικά και πρακτικά αποτελέσματα, όπως αυτά του Nyquist και του Black. Τα επόμενα έτη, και μέχρι το έτος 1957 περίπου, συμπληρώθηκε περαιτέρω αξιόλογη έρευνα που χαρακτηρίζεται σήμερα ως κλασική θεωρία των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου. Τα σημαντικότερα επιτεύγματα της περιόδου αυτής οφείλονται στον Nichols, στον Bode, στον Wiener και στον Evans. Τα διάφορα επιτεύγματα από το 1957 μέχρι σήμερα έδωσαν μια νέα διάσταση και μια μεγάλη ώθηση στον αυτοματισμό και χαρακτηρίζονται ως σύγχρονη θεωρία των συστημάτων αυτόματου ελέγχου. Τα σημαντικότερα αποτελέσματα της τελευταίας αυτής περιόδου οφείλονται κατά κύριο λόγο στον Kalman. Σημαντική επίσης είναι η συμβολή πολλών άλλων ερευνητών, όπως π.χ. των Astrom, Athans, Bellman, Brockett, Jury, Kaliath, Luenberger, Rosenbrock, Wonham, και άλλων.

Σημαντική ώθηση στην εξέλιξη, των μεν κλασικών μεθόδων ελέγχου έδωσε ο Β΄ παγκόσμιος πόλεμος, των δε σύγχρονων μεθόδων ελέγχου έδωσε η εκτόξευση του διαστημοπλοίου Σπούτνικ από τους Σοβιετικούς του 1957 και στη συνέχεια το πρόγραμμα Απόλλων των Η.Π.Α που κατάφερε να στείλει τον άνθρωπο στη Σελήνη το 1969.

Τα τελευταία είκοσι περίπου χρόνια έχει γίνει μία εντυπωσιακή ανάπτυξη μεθόδων σχεδίασης συστημάτων αυτόματου ελέγχου με υπολογιστές, που έχουν εφαρμοστεί και στα πλέον συνθετότερα και πολυπλοκότερα συστήματα που κατασκευάζει σήμερα ο άνθρωπος.

1.2. ΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

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

- ❖ Θέση (x,y,z)
- ❖ Ταχύτητα
- ❖ Πίεση
- ❖ Ηλεκτρική τάση
- ❖ Θερμοκρασία κ.λπ.

1.3 ΒΑΣΙΚΑ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ

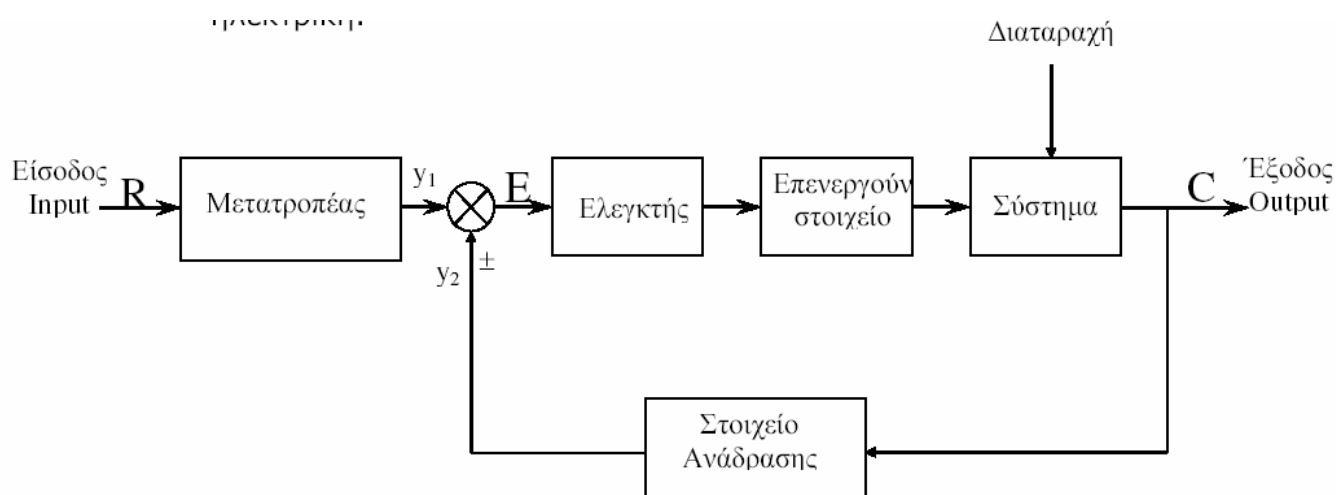
Τα βασικά εξαρτήματα των Συστημάτων Αυτόματου Ελέγχου είναι:

❖ 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.



Εικόνα 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 ανοιχτού 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, η στάθμη υγρού μπορεί να ελέγχει 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 μια φυσική ποσότητα όπως θερμοκρασία, πίεση κ.λπ. που πρέπει να ελέγχει από το σύστημα. Συνήθως αναφέρεται σαν **έξοδος**. Το σύστημα διεγερόμενο 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 τάσεων 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 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 καμιά επικοινωνία μεταξύ εισόδου και έτσι έχουμε **σύστημα ανοιχτού βρόγχου**, έτσι 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 επιθυμητή. Τα πλέον συνηθισμένα είναι προπόρειας υστέρησης, προπόρειας-υστέρησης κ.λπ.

- ❖ **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

1.4 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ (TRANSFER FUNCTION)

Το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό ενός εξαρτήματος είναι η σχέση μεταξύ του σήματος εισόδου και του σήματος εξόδου. Η σχέση αυτή ερμηνεύεται από τη συνάρτηση μεταφοράς του εξαρτήματος και ορίζεται ως ο λόγος του μετασχηματισμένου κατά Laplace σήματος εξόδου προς το μετασχηματισμένο κατά Laplace σήμα εισόδου. Η συνάρτηση μεταφοράς αποτελείται από δυο μέρη

- 1) Ένα μέρος είναι η σχέση μεγέθους μεταξύ της εισόδου και της εξόδου**
- 2) Το άλλο μέρος είναι η σχέση τους ως προς το χρόνο ανάμεσα στην είσοδο και την έξοδο.**

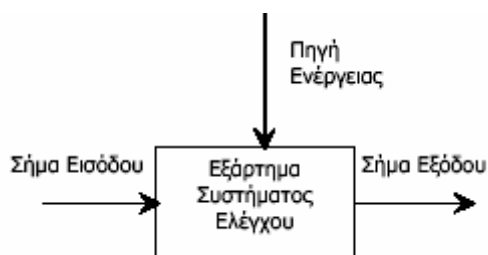
Αν το εξάρτημα είναι γραμμικό και το σήμα εισόδου είναι ένα ημιτονοειδές σήμα, η σχέση μεγέθους μετριέται με το κέρδος (gain) και ο χρόνος με τη διαφορά φάσης (phase difference). Το κέρδος του εξαρτήματος είναι ο λόγος του μεγέθους του σήματος εξόδου προς το μέγεθος του σήματος εισόδου. Η διαφορά φάσης του εξαρτήματος είναι η γωνία φάσης του σήματος εξόδου μείον τη γωνία φάσης του σήματος εισόδου. Το κέρδος ενός εξαρτήματος εκφράζεται σαν ο λόγος της αλλαγής στο μέγεθος της εξόδου προς την ανταποκρινόμενη αλλαγή στο μέγεθος της εισόδου. Το κέρδος ενός εξαρτήματος μας δίνει το μέγεθος των μονάδων εξόδου πάνω σ αυτών

της εισόδου. Το κέρδος και η διαφορά φάσης ενός εξαρτήματος για μια συγκεκριμένη συχνότητα αναφέρονται σαν απόκριση συχνότητας του εξαρτήματος σ' αυτή τη συχνότητα.

Η συνάντηση μεταφοράς ενός εξαρτήματος περιγράφει τη σχέση μεγέθους και χρόνου μεταξύ του σήματος εισόδου και εξόδου.

1.5 ΜΠΛΟΚ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Τα μπλοκ διαγράμματα (Block Diagrams) είναι μια μέθοδος αναπαράστασης ενός συστήματος ελέγχου η οποία επικεντρώνεται κυρίως σ' αυτό το γνώρισμα του κάθε εξαρτήματος. Γραμμές σημάτων αναπαριστούν τα σήματα εισόδου και εξόδου των εξαρτημάτων. Στην εικόνα μας βλέπουμε το μπλοκ διάγραμμα ενός στοιχείου ελέγχου:



Εικόνα 7: αναπαράσταση μπλοκ διαγράμματος ενός στοιχείου ελέγχου

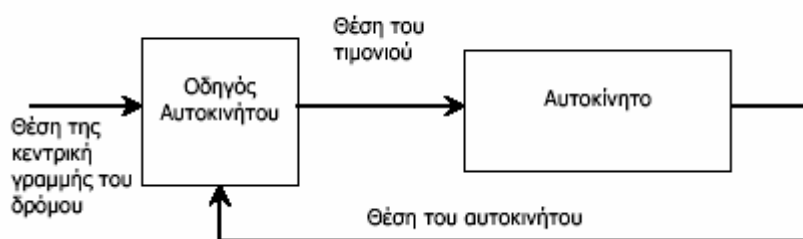
Κάθε εξάρτημα λαμβάνει ένα σήμα εισόδου από κάποιο μέρος του συστήματος που παράγει σήμα εξόδου για κάποιο άλλο μέρος του συστήματος. Τα σήματα μπορεί να είναι ηλεκτρικά, ρεύματος, τάσης, πίεσης αέρα, ροής υγρών και άλλα, καθώς επίσης

και οι διαδρομές που αυτά ακλουθούν μπορεί να είναι ηλεκτρικά καλώδια, μηχανικοί σύνδεσμοι κ.λπ.

Ένα μπλοκ διάγραμμα αποτελείται από ένα τετράγωνο που αντιπροσωπεύει το κάθε εξάρτημα σε σύστημα ελέγχου και συνδέεται με γραμμές οι οποίες αντιπροσωπεύουν τις διαδρομές των σημάτων.

➤ Παράδειγμα ενός μπλοκ διαγράμματος

Το παρακάτω σχήμα μας είναι ένα απλό μπλοκ διάγραμμα ενός ατόμου που οδηγεί ένα αυτοκίνητο.



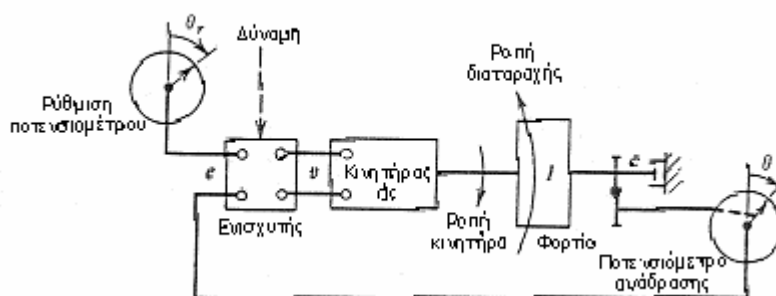
Εικόνα 8: απλοποιημένο μπλοκ διάγραμμα ενός ατόμου που οδηγεί ένα αυτοκίνητο.

Η αίσθηση της όρασης του οδηγού μας δίνει τα δυο σήματα εισόδου δηλ την θέση του αυτοκίνητου και την θέση του κέντρου του δρόμου. Ο οδηγός συγκρίνει αυτές τις δυο θέσεις και καθορίζει την θέση του τιμονιού το οποίο θα δώσει τη σωστή θέση στο όχημα. Την εφαρμογή της απόφασης αναλαμβάνουν τα χέρια του οδηγού και κατευθύνουν το τιμόνι στη σωστή θέση. Το όχημα ανταποκρίνεται στην αλλαγή της θέσης του τιμονιού με την αντίστοιχη αλλαγή της κατεύθυνσης του. Αφού περάσει ένα μικρό χρονικό διάστημα η νέα κατεύθυνση μετακινεί το όχημα στη νέα του θέση. Έτσι βλέπουμε ότι υπάρχει μια καθυστέρηση ανάμεσα στην αλλαγή της θέσης του τιμονιού και της θέσης του αυτοκίνητου. Η καθυστέρηση αυτή περιλαμβάνεται στην μαθηματική εξίσωση του μπλοκ που αναπαριστά το αυτοκίνητο. Η γραμμή που κλείνει τον κύκλο του σήματος στο μπλοκ διάγραμμα μαρτύρα μια θεμελιώδη έννοια ελέγχου.

Η πραγματική θέση του αυτοκίνητου χρησιμοποιείται σαν σήμα εισόδου για να καθοριστεί η απαραίτητη διόρθωση ώστε να διατηρηθεί η επιθυμητή θέση. Η έννοια αυτή λέγεται ανάδραση.

1.6 ΔΟΜΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ

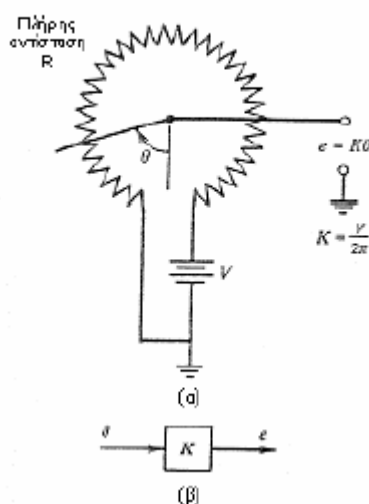
Το ηλεκτρομηχανικό σύστημα ελέγχου θέσης που παρουσιάζεται στην εικόνα 2



Εικόνα 2: σύστημα ελέγχου θέσης με κινητήρα dc.

επεξηγεί τη δομή ενός χαρακτηριστικού συστήματος ελέγχου. Ένα φορτίο A με μια αδράνεια I πρόκειται να τοποθετηθεί σε κάποια επιθυμητή γωνία θ_r . Ο dc κινητήρας παρέχεται για αυτόν το λόγο. Το σύστημα περιέχει την απόσβεση, και μια ροπή διαταραχής T_d που δρα στο φορτίο, σε αντίθεση με τη ροπή της μηχανής T . Η προέλευση της ροπής διαταραχής εξαρτάται από την ιδιαίτερη εφαρμογή. Εάν το φορτίο που τοποθετείται είναι μια κεραία ραντάρ, παραδείγματος χάριν, ο αέρας φυσά παράγοντας μια ροπή a της οποίας το μέγεθος και ο χρόνος εμφάνισης είναι άγνωστος ως ένα ορισμένο βαθμό. Εάν ο κινητήρας πρόκειται να ελέγξει τη θέση μιας βαλβίδας σε μια γραμμή ροής (όπως μια διάταξη απόσβεσης σε ένα σύστημα θέρμανσης με αέρα), η ροπή διαταραχής θα προέκυπτε από μια αλλαγή στις ρευστές δυνάμεις που προκαλούνται από μια αλλαγή στην πίεση παροχής στη γραμμή. Και στα δύο παραδείγματα, τα αποτελέσματα της τριβής Coulomb θα μπορούσαν επίσης να διαμορφωθούν ως διαταραχή, υπό την έννοια ότι το μέγεθος μιας τέτοιας ροπής είναι δύσκολο να προβλεφθεί (οι συντελεστές της τριβής δεν υπολογίζονται εύκολα και δεν είναι συνήθως σταθερές). Λόγω της διαταραχής, η γωνιακή θέση θ από το φορτίο δεν θα είναι ίση απαραίτητως με την επιθυμητή αξία θ_r . Για αυτόν τον λόγο, ένα ποτενσιόμετρο χρησιμοποιείται για να μετρήσει τη μετατόπιση θ . Ένα ποτενσιόμετρο

αποτελείται από ένα τυλιγμένο με σύρμα αντιστατή συνδεδεμένο με μια ηλεκτρική επαφή, ή ψήκτρα. Όπως φαίνεται στην εικόνα 2, όταν περιστρέφεται η ψήκτρα, η αντίσταση μεταξύ της επαφής της ψήκτρας και της γείωσης αλλάζει. Αυτό παράγει μια τάση στην ψήκτρα που είναι συνάρτηση της γωνιακής μετατόπισής της. Εάν η αντίσταση της ψήκτρας είναι ομοιόμορφη, και εάν το κύκλωμα ψηκτρών τραβά το αμελητέο ρεύμα, η τάση ψηκτρών είναι ανάλογη προς τη γωνιακή μετατόπιση, έτσι ώστε $e = K\theta$. Μια απλή ανάλυση του κυκλώματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δείξει ότι $K = V/2\pi$, όπου V είναι η σταθερή τάση που παρέχεται στο ποτενσιόμετρο. Τα ποτενσιόμετρα είναι επίσης διαθέσιμα για τις εφαρμογές στις οποίες η μετατόπιση είναι μια μετακίνηση και όχι μια περιστροφή.



Εικόνα 3: Περιστροφικό ποτενσιόμετρο και το μπλοκ διάγραμμα του.

Η τάση του ποτενσιόμετρου που αντιπροσωπεύει την ελεγχόμενη θέση θ συγκρίνεται με την τάση που παράγεται από το ποτενσιόμετρο εντολής. Αυτή η συσκευή επιτρέπει στο χειριστή να σχηματίσει την επιθυμητή γωνία θ_r . Ο ενισχυτής βλέπει τη διαφορά e μεταξύ των δύο τάσεων των ποτενσιόμετρων. Η βασική λειτουργία του ενισχυτή είναι να αυξάνει τη μικρή τάση σφάλματος e στο επίπεδο τάσης που απαιτείται από το κινητήρα και να παρέχει το ρεύμα που απαιτείται από το κινητήρα για να οδηγήσει το φορτίο. Επιπλέον, ο ενισχυτής μπορεί να διαμορφώσει το σήμα τάσης με ορισμένους τρόπους για να βελτιωθεί η απόδοση του συστήματος.

Το σύστημα λειτουργεί ως εξής. Εάν και τα δύο ποτενσιόμετρα έχουν την ίδια σταθερά K , η τάση σφάλματος είναι

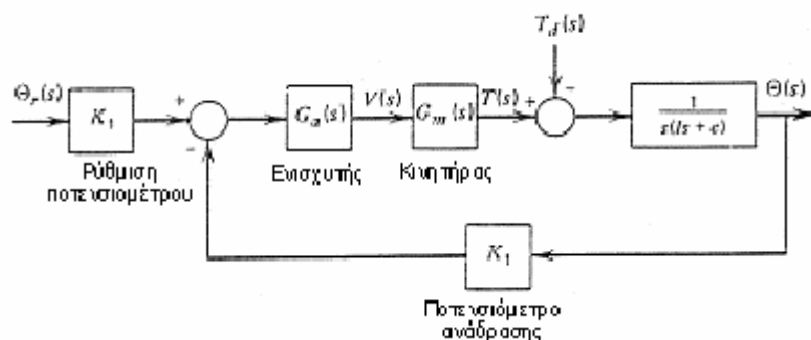
$$e = K (\theta_r - \theta)$$

Όταν το θ δεν είναι ίσο με θ_r , μια διαφορετική από το μηδέν τάση e εμφανίζεται στους ακροδέκτες εισόδου του ενισχυτή. Ας υποθέσουμε για τώρα ότι ο ενισχυτής παράγει μια τάση v ανάλογη προς την τάση e και με το ίδιο σύμβολο, αυτό είναι, $v = K_a e$, όπου K_a είναι το κέρδος των ενισχυτών. Τότε εάν $\theta_r > \theta$, e και v είναι θετικά, και ο κινητήρας παράγει μια ροπή T που αυξάνει το θ . Αυτό συνεχίζεται μέχρι $e = 0$ και επομένως $\theta = \theta_r$. Παρόμοια γεγονότα εμφανίζονται εάν $\theta_r < \theta$. Όταν η δράση μιας ροπής διαταραχής αναγκάζει το θ να παρεκκλίνει στο θ_r , η ίδια διαδικασία ενεργεί στο θ για να αποκαταστήσει την επιθυμητή τιμή του. Κατά συνέπεια, το σύστημα ελέγχου φαίνεται να παρέχει δύο βασικές λειτουργίες: (1) να αποκριθεί σε μια εντολή που εισάγεται και ορίζει μια νέα επιθυμητή τιμή για την ελεγχόμενη μεταβλητή και (2) να κρατήσει την ελεγχόμενη μεταβλητή κοντά στην επιθυμητή τιμή παρά τις διαταραχές. Η παρουσία του συστήματος ανατροφοδότησης, με το οποίο η μέτρηση της ελεγχόμενης μεταβλητής χρησιμοποιείται για να αλλάξει τη λειτουργία της μηχανής, φαίνεται να είναι ζωτικής σημασίας και στις δύο λειτουργίες.

Ένα μπλοκ διάγραμμα αυτού του συστήματος θα βοηθήσει να αναλύσει την απόδοσή του. Αυτό παρουσιάζεται στο σχήμα 3, όπου οι συναρτήσεις μεταφοράς για τον ενισχυτή και τον κινητήρα έχουν δοθεί γενικά διαμορφωμένα έτσι ώστε να μπορούμε να εξετάσουμε τα διάφορα πρότυπα αργότερα. Είναι σημαντικό να υπενθυμιστούν αυτή τη στιγμή μερικές υποθέσεις των αντιπροσωπευτικών μπλοκ διαγραμμάτων. Τα σε σειρά στοιχεία πρέπει να προσδίδουν φορτίο στο σύστημα. Παραδείγματος χάριν, ο κινητήρας δεν μπορεί άμεσα να επηρεάσει την τάση v που προέρχεται από τον ενισχυτή (εκτός μέσω από το σύστημα ανατροφοδότησης). Κατά συνέπεια, ο κινητήρας πρέπει να έχει μια υψηλή σύνθετη αντίσταση εισόδου. Ομοίως, η παραγωγή ποτενσιόμετρων υποθέτει ότι το ρεύμα ψηκτρών είναι αμελητέο, δηλαδή, ο ενισχυτής πρέπει να έχει μια υψηλή σύνθετη αντίσταση εισόδου. Εάν αυτές οι υποθέσεις δεν ισχύουν, το ολόκληρο υποσύστημα πρέπει να αντιπροσωπευθεί από μια ενιαία λειτουργία μεταφοράς που προέρχεται από τις βασικές αρχές παρά από τη μείωση των διαγραμμάτων.

Οι παροχές ηλεκτρικού ρεύματος που απαιτούνται για τα ποτενσιόμετρα και τους ενισχυτές δεν παρουσιάζονται στα μπλοκ διαγράμματα των συστημάτων ελέγχου, επειδή δεν συμβάλλουν στη λογική ελέγχου. Εντούτοις, η ύπαρξή τους δεν μπορεί να αγνοηθεί. Οι τρέχουσες σχέσεις ροπής -ρεύματος είναι $T = K_i i$. Επομένως, καθώς το φορτίο στο κινητήρα αυξάνεται, απαιτεί πιο πολύ ρεύμα από τον ενισχυτή. Εάν το διαθέσιμο ρεύμα είναι περιορισμένο (που ισχύει για όλα τα πραγματικά συστήματα), πρέπει να λάβουμε αυτόν τον περιορισμό υπόψη πριν δεχτούμε οποιαδήποτε σχέδια ελεγκτών ως τελικά.

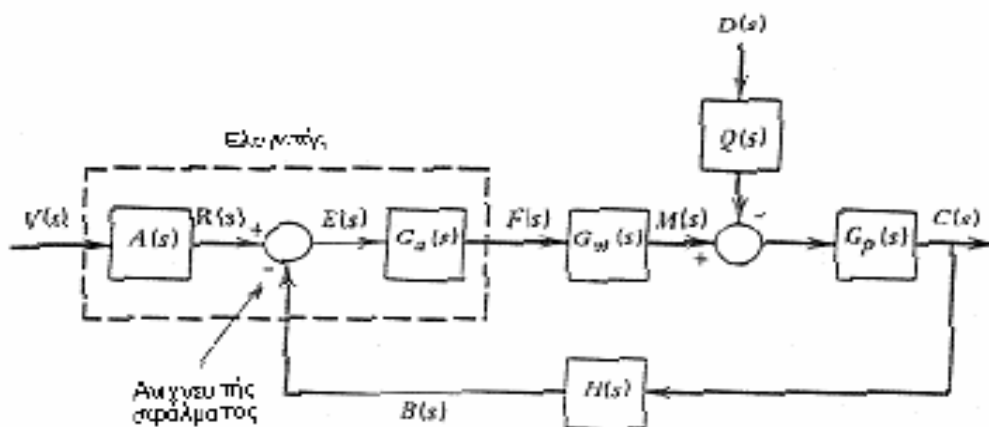
Μερικές πρόσθετες προσεγγίσεις διαμόρφωσης πρέπει επίσης να περιληφθούν στο διάγραμμα. Έχουμε πάρει τις ροπές των κινητήρων, της απόσβεσης και της διαταραχής στην αδράνεια I του φορτίου. Αυτό υπονοεί ότι η αδράνεια του κινητήρα έχει συσσωρευτεί σε αυτή του φορτίου. Στην πραγματικότητα, η ροπή απόσβεσης, παραδείγματος χάριν, μπορεί να προκύψει από τα ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα μέσα στην ίδια τη μηχανή, και ο κινητήρας ροπής να δρα άμεσα στο ρότορα. Αλλά η προσέγγιση είναι συνήθως καλή, ειδικά όταν ο άξονας που συνδέει τον κινητήρα και το φορτίο είναι δύσκαμπτος.



Εικόνα 4: μπλοκ διάγραμμα του dc συστήματος ελέγχου θέσης της εικόνας 1.

1.6.1 ΕΝΑ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ

Το ηλεκτρομηχανικό σύστημα θέσης καθιστά τη γενική δομή ενός συστήματος ελέγχου (εικόνα 5). Αυτό το σχήμα δίνει επίσης κάποια τυποποιημένη ορολογία.



Στοιχεία	Σήματα
$A(s)$ Στοιχεία εισόδου	$B(s)$ Σήμα ανόδρασης
$G_c(s)$ Στοιχεία λογικού ελέγχου	$C(s)$ Έξοδος
$G_m(s)$ Στοιχεία τεχνικού ελέγχου	$D(s)$ Είσοδος διαταραχής
$G_p(s)$ Στοιχεία εγκατάστασης	$E(s)$ Σφάλμα
$H(s)$ Στοιχεία ανόδρασης	$F(s)$ Σήμα ελέγχου
$Q(s)$ Στοιχεία διαταραχής	$M(s)$ Χειριζόμενη μεταβλητή
	$R(s)$ Είσοδος αναφοράς
	$V(s)$ Είσοδος ελέγχου

Εικόνα 5: Ορολογία και βασική δομή ενός συστήματος ελέγχου ανατροφοδότησης

Ο ελεγκτής θεωρείται γενικά ως στοιχείο λογικής που συγκρίνει το σήμα εντολής με τη μέτρηση του παραγόμενου αποτελέσματος και αποφασίζει τι πρέπει να γίνει. Τα στοιχεία εισόδου και ανατροφοδότησης είναι μετατροπείς για τη μετατροπή ενός τύπου σήματος σε έναν άλλο τύπο. Το ποτενσιόμετρο μετατρέπει τη μετατόπιση σε τάση. Αυτό επιτρέπει στον ανιχνευτή σφάλματος να συγκρίνει άμεσα δύο σήματα του ίδιου τύπου (π.χ., δύο τάσεις). Δεν παρουσιάζονται όλες οι λειτουργίες ως χωριστά

φυσικά στοιχεία. Ο ανιχνευτής σφάλματος στο σχήμα 6.4 είναι απλά τα τερματικά εισόδου του ενισχυτή. Τα στοιχεία λογικού ελέγχου παράγουν το σήμα ελέγχου, το οποίο στέλνεται στα *τελικά στοιχεία ελέγχου*. Αυτές είναι οι συσκευές που αναπτύσσουν αρκετή ροπή, πίεση, θερμότητα, κ.λπ., για να επηρεάσουν τα στοιχεία υπό έλεγχο. Κατά συνέπεια, τα τελικά στοιχεία ελέγχου είναι ο "μυς" του συστήματος, ενώ τα στοιχεία λογικού ελέγχου είναι ο "εγκέφαλος".

Το αντικείμενο που ελέγχεται είναι η *εγκατάσταση*. Η *χειρισμένη μεταβλητή* παράγεται από τα τελικά στοιχεία ελέγχου για αυτόν το λόγο. Η εισαγωγή διαταραχών επίσης δρα στην εγκατάσταση. Αυτό είναι μια εισαγωγή πέρα από την οποία ο σχεδιαστής δεν έχει κανέναν έλεγχο, και ίσως για τον οποίο λίγες πληροφορίες είναι διαθέσιμες για το μέγεθος, τη λειτουργική μορφή, ή το χρόνο του φαινομένου. Η διαταραχή μπορεί να είναι μια τυχαία εισαγωγή, όπως τα ρεύματα αέρα σε μια κεραία ραντάρ, ή συγκεκριμένη, όπως τα αποτελέσματα τριβής Coulomb. Στην τελευταία περίπτωση, μπορούμε να συμπεριλάβουμε τη δύναμη μιας τριβής στο πρότυπο των συστημάτων με τη χρησιμοποίηση μιας ονομαστικής τιμής για το συντελεστή της τριβής. Η εισαγωγή διαταραχής θα ήταν έπειτα η απόκλιση της δύναμης τριβής από αυτήν την κατ' εκτίμηση τιμή και θα αντιπροσώπευε την αβεβαιότητα στην εκτίμησή μας. Διάφορες ταξινομήσεις συστημάτων ελέγχου μπορούν να γίνουν σε σχέση με το σχήμα 4. Ένας *ρυθμιστής* είναι ένα σύστημα ελέγχου στο οποίο η ελεγχόμενη μεταβλητή πρόκειται να κρατηθεί σταθερή παρά τις διαταραχές. Ένα παράδειγμα είναι το σύστημα ελέγχου θερμοκρασίας για ένα σπίτι. Μόλις τεθεί η επιθυμητή θερμοκρασία στους 68° F, ο ελεγκτής πρόκειται να κρατήσει τη θερμοκρασία δωματίου κοντά σ' αυτό το επίπεδο. Αυτή η εντολή εισαγωγής για έναν ρυθμιστή είναι το *καθορισμένο σημείο*. Από την άλλη πλευρά, ένα *ακόλουθο σύστημα* είναι υποτιθέμενο να κρατήσει την ελεγχόμενη μεταβλητή κοντά στη τιμή εντολής, το οποίο αλλάζει με το χρόνο. Ένα παράδειγμα ενός ακόλουθου συστήματος είναι μια εργαλειομηχανή στην οποία κεφαλή κοπής πρέπει να επισημάνει μια συγκεκριμένη πορεία προκειμένου να διαμορφωθεί το προϊόν κατάλληλα. Αυτό είναι επίσης ένα παράδειγμα ενός (*σερβομηχανισμού*, servomechanism), ο οποίος είναι ένα σύστημα ελέγχου του οποίου η ελεγχόμενη μεταβλητή είναι μια μηχανική θέση, μια ταχύτητα, ή μια επιτάχυνση. Τα συστήματα των θερμοστατών δεν είναι ένας (σερβομηχανισμός, servomechanism) αλλά ένα *σύστημα ελέγχου*, όπου η ελεγχόμενη μεταβλητή περιγράφει μια θερμοδυναμική διαδικασία. Χαρακτηριστικά, τέτοιες μεταβλητές είναι η θερμοκρασία, η πίεση, το ποσοστό ροής, το υγρό επίπεδο, η χημική συγκέντρωση, και ούτω καθ' εξής.

Η συνάρτηση μεταφοράς για το σύστημα που παρουσιάζεται στην εικόνα 4 είναι

$$C(s)/V(s) = A(s) G_a(s)G_m(s)G_p(s) / 1 + G_a(s)G_m(s)G_p(s)H(s)$$

Η συνάρτηση μεταφοράς της διαταραχής είναι

$$C(s)/V(s) = - Q(s) G_p(s) / 1 + G_a(s)G_m(s)G_p(s)H(s)$$

Ένα σημαντικό μέτρο απόδοσης ενός συστήματος ελέγχου είναι το σήμα σφάλματος $E(s)$. Η άλγεβρα των μπλοκ διαγραμμάτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δείξει ότι για το σύστημα της εικόνας 4, το $E(s)$ συσχετίζεται με το $V(s)$ και το $D(s)$ όπως ακολουθεί:

$$E(s) = A(s)V(s) + G_p(s)H(s)Q(s)D(s) / 1 + G_a(s)G_m(s)G_p(s)H(s)$$

Η διάταξη που παρουσιάζεται στην εικόνα 4 είναι αυτή ενός βασικού συστήματος ελέγχου, αλλά δεν είναι η μόνη που χρησιμοποιείται. Όπως θα δούμε, οι βελτιώσεις στην απόδοση συστημάτων μπορούν μερικές φορές να γίνουν με τη χρησιμοποίηση των διατάξεων που παρουσιάζονται στην εικόνα 5.

Το σύστημα που παρουσιάζεται στην εικόνα 5.a χρησιμοποιεί την αντιστάθμιση ανατροφοδότησης. Από το μπλοκ διάγραμμα μπορούμε να γράψουμε τις ακόλουθες σχέσεις:

$$F(s) = G_a E(s) + G_f R(s)$$

$$C(s) = [G_m F(s) - D(s)] G_p$$

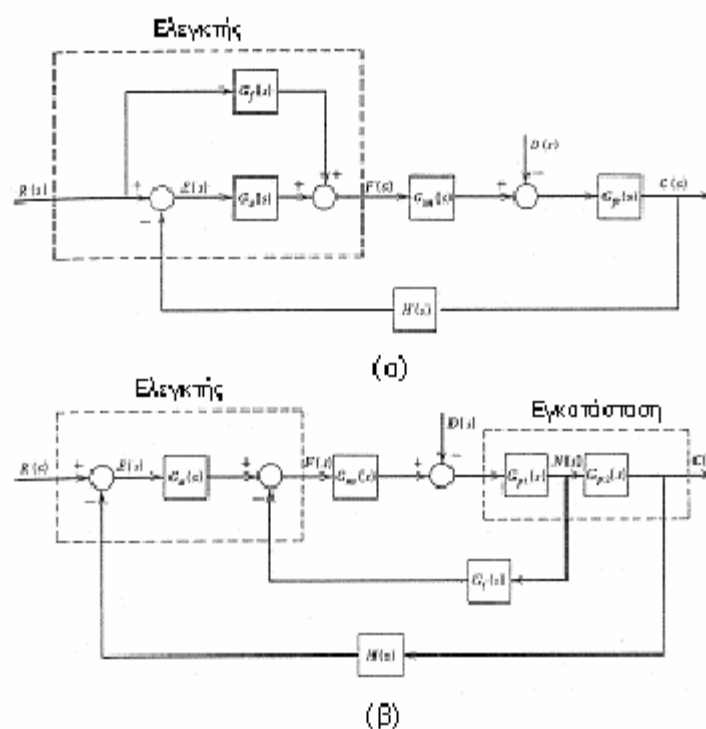
$$E(s) = R(s) - H C(s)$$

Ορίζεται το $D(s) = 0$, και αφαιρούμε όλες τις άλλες μεταβλητές εκτός από το $C(s)$ και το $R(s)$ για να πάρουμε την αρχική συνάρτηση μεταφοράς.

$$C(s)/R(s) = G_p G_m (G_a + G_f) / 1 + G_a G_m G_p H$$

Αν αντικαταστήσετε το $D(s)$, και θέσουμε το $R(s) = 0$. Κατόπιν αφαιρούμε όλες τις μεταβλητές εκτός από το $C(s)$ και το $D(s)$ και παίρνουμε τη συνάρτηση μεταφοράς της διαταραχής

$$C(s) / D(s) = -G_p / 1 + G_a G_m G_p H$$



Εικόνα 6: εναλλακτικές διατάξεις συστήματος ελέγχου.

Τελικά, η σχέση σφάλματος είναι

$$E(s) = (1 - G_f G_m G_p H) R(s) + G_p H D(s) / 1 + G_\alpha G_m G_p H$$

Το σύστημα που παρουσιάζεται στην εικόνα 6.8β δείχνει την εσωτερική αντιστάθμιση ανατροφοδότησης. Οι εγκαταστάσεις διαμορφώνονται με δύο συναρτησεις μεταφοράς τη $G_{p1}(s)$ και τη $G_{p2}(s)$, και οι ενδιάμεσες εγκαταστάσεις με μεταβλητό $N(s)$ ανατροφοδοτούνται προς χρήση από τον ελεγκτή. Οι σχέσεις των συστημάτων είναι:

$$\begin{aligned} F(s) &= G_\alpha E(s) - G_i N(s) \\ E(s) &= R(s) - H C(s) \\ C(s) &= G_{p2} N(s) \\ N(s) &= G_{p1} [G_m F(s) - D(s)] \end{aligned}$$

Διαδοχικά ορίζουμε το $D(s) = 0$ και το $R(s) = 0$ και αφαιρούμε τις μεταβλητές όπως πριν, έχουμε

$$\begin{aligned} C(s) / R(s) &= K / P \\ C(s) / D(s) &= L / P \\ E(s) &= (1 + G_{p1} G_m G_i) / P R(s) - L H / P D(s) \end{aligned}$$

όπου

$$\begin{aligned} K &= G_{p1} G_{p2} G_m G_\alpha \\ L &= - G_{p1} G_{p2} \\ P &= 1 + G_{p1} G_{p2} G_\alpha G_m H + G_{p1} G_m G_i \end{aligned}$$

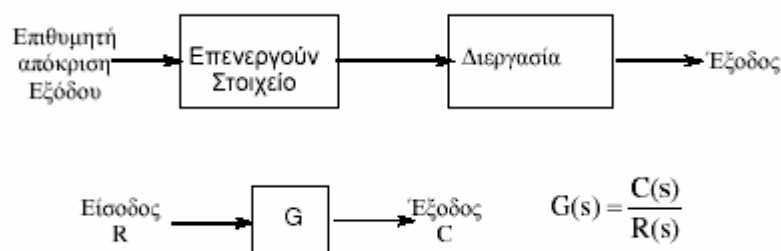
1.7 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΚΑΙ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΒΡΟΓΧΟΥ

(ανάλογα με το εάν χρησιμοποιείται ανατροφοδότηση ή όχι)

1.7.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΒΡΟΓΧΟΥ

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

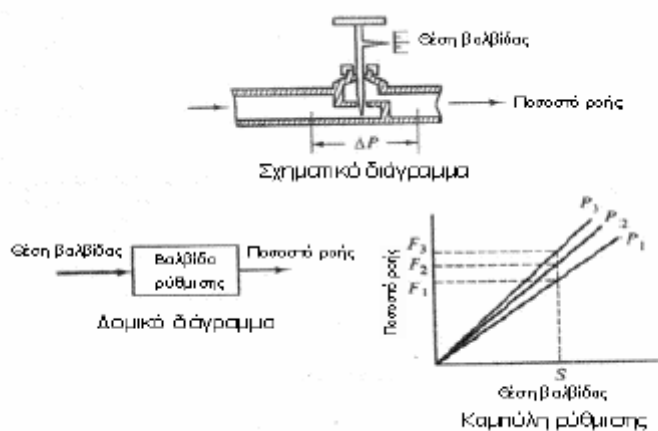
1. Είναι απλής κατασκευής.
2. Η ακρίβεια εξαρτάται από την ρύθμιση διάφορων στοιχείων
3. Δεν παρουσιάζουν συνήθως προβλήματα αστάθειας.



Εικόνα 9: Δομικό διάγραμμα συστήματος ελέγχου ανοιχτού βρόγχου.

Ένα σύστημα έλεγχου ανοιχτού βρόγχου δεν συγκρίνει το αποτέλεσμα με την επιθυμητή τιμή για να καθορίσει την ενέργεια ελέγχου, αλλά χρησιμοποιεί μια καθορισμένη ρύθμιση νωρίτερα, υπολογισμένη με κάποιου είδος υπολογισμό ή διαδικασία, για να πετύχει το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Ένα παράδειγμα ενός συστήματος ελέγχου ανοιχτού βρόγχου είναι η βελόνα της βαλβίδας με διαβαθμισμένη ένδειξη. Η καμπύλη ρύθμισης λαμβάνεται μετρώντας την ροή F2 και χρησιμοποιείται μια ρύθμιση S τότε όσο η πτώση της βαλβίδας παραμένει P2, η ροή θα παραμένει F2. Αν η πτώση της πίεσης αλλάξει σε P1, η ροή θα αλλάξει σε F1. Ο έλεγχος ανοιχτού βρόγχου δεν μπορεί να διορθώσει αναπάντεχες αλλαγές στην αλλαγή πίεσης.



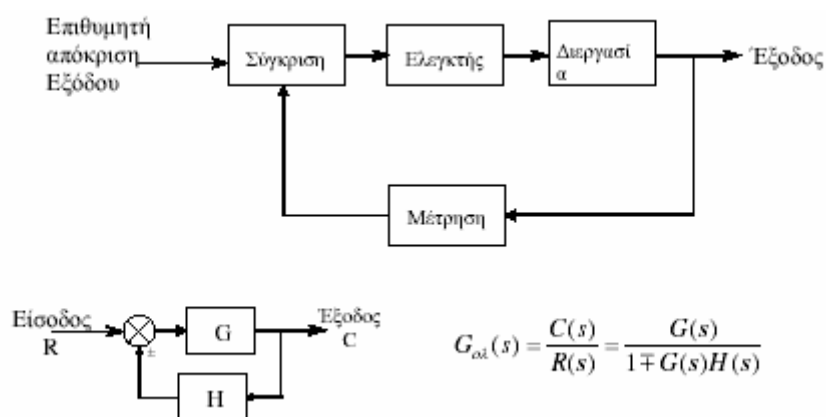
Εικόνα 10: παράδειγμα συστήματος ελέγχου ανοιχτού βρόγχου

Το κύριο πλεονέκτημα του ελέγχου ανοιχτού βρόγχου είναι ότι είναι λιγότερο ακριβός από αυτόν του κλειστού ελέγχου, λόγω του ότι δεν είναι απαραίτητο να μετρηθεί το υπαρκτό αποτέλεσμα. Εκτός αυτού ο ελεγκτής είναι πολύ πιο απλός διότι δεν χρειάζονται διορθωτικές ενέργειες βασισμένες στο σφάλμα. Το μειονέκτημα του ελέγχου ανοιχτού βρόγχου είναι ότι υπάρχουν σφάλματα λόγω αναπάντεχων αναταραχών που δεν διορθώνονται.

1.7.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΒΡΟΓΧΟΥ

Ένα σύστημα κλειστού βρόγχου χρησιμοποιεί τη μέτρηση του σήματος και την ανατροφοδοτεί για να συγκριθεί με το σήμα αναφοράς (είσοδος – επιθυμητή έξοδος). Ο όρος κλειστός βρόγχος αναφέρεται στον βρόγχο που δημιουργείται από τη διαδρομή της ανάδρασης. Ένα σύστημα ελέγχου κλειστού βρόγχου (ή σύστημα ελέγχου με ανάδραση) μετράει τη διαφορά ανάμεσα στην πραγματική τιμή της μεταβλητής ελέγχου και την τιμή της επιθυμητής τιμής (ή το setpoint) και χρησιμοποιεί τη διαφορά για να οδηγήσει την πραγματική τιμή προς το επιθυμητό αποτέλεσμα.

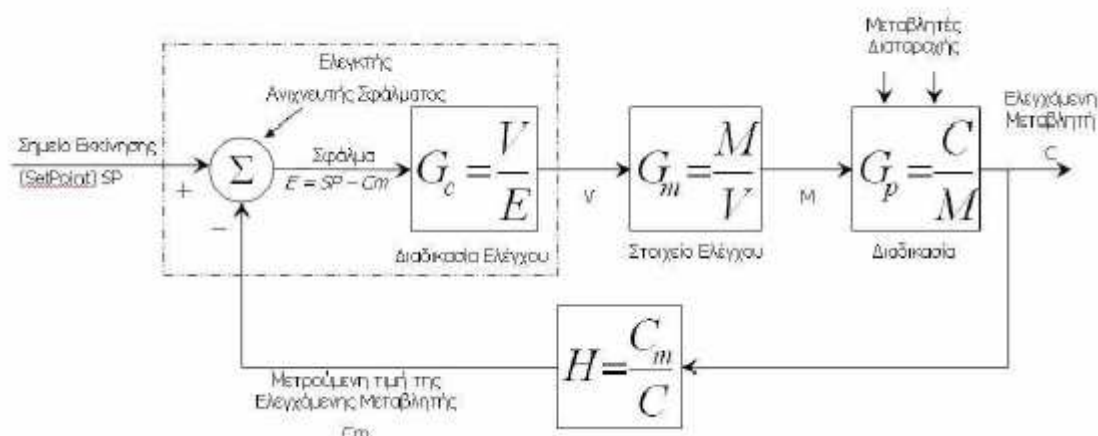
1. Μεγάλη ακρίβεια
2. Πολυπλοκότερα συστήματα
3. Παρουσιάζουν προβλήματα αστάθειας
4. Έχουν εύρος λειτουργίας.



Εικόνα 11: Δομικό διάγραμμα συστήματος ελέγχου κλειστού βρόγχου.

1.7.2.1 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΒΡΟΓΧΟΥ

Παρακάτω φαίνεται το μπλοκ διάγραμμα ενός συστήματος ελέγχου κλειστού βρόγχου. Θα πρέπει κανείς να είναι εξοικειωμένος με τέτοιους όρους καθώς και τις διεργασίες που ακολουθούν οι οποίες σχηματίζουν την βάση των συστημάτων ελέγχου με ανάδραση.



Εικόνα 12: Μπλοκ διάγραμμα ενός συστήματος ελέγχου διαδικασιών κλειστού βρόχου.

Λειτουργίες που εκτελούνται από ένα Σύστημα Έλεγχου με Ανάδραση

Μέτρηση : μέτρηση της τιμής της μεταβλητής ελέγχου (*controlled variable*)

Απόφαση : υπολογισμός του σφάλματος (επιθυμητή τιμή μείον την πραγματική) και χρήση του σφάλματος ώστε να σχηματιστεί μια πράξη ελέγχου.

Χειρισμός : χρήση της πράξης ελέγχου ώστε να χειραγωγηθούν κάποιες μεταβλητές στην διαδικασία με τέτοιο τρόπο ώστε να μειώσουν το σφάλμα.

Στην εικόνα μας το σημείο ρύθμισης (setpoint, είναι η τιμή που λέμε στο σύστημα ότι θα πρέπει να έχει, η αναφορά μας) είναι η είσοδος στο σύστημα ελέγχου διεργασιών, και η μεταβλητή ελέγχου (c) είναι η έξοδος. Η ροή της ανάδρασης αποτελείται από ένα εξάρτημα, το αισθητήριο με συνάρτηση μεταφοράς (H). Η κανονική ροή αποτελείται από τρία εξαρτήματα (το εξάρτημα που διενεργεί τον έλεγχο) με συναρτήσεις μεταφοράς G_c , G_m , G_p αντίστοιχα. Η συνολική συνάρτηση μεταφοράς της κανονικής ροής (G) είναι το γινόμενο των συναρτήσεων μεταφοράς των τριών αυτών εξαρτημάτων.

$$G = G_c \cdot G_m \cdot G_p$$

Η επίδοση ενός συστήματος ελέγχου βασίζεται συνήθως στη σύγκριση μεταξύ της τιμής εκκίνησης (setpoint) και της μετρούμενης τιμής της μεταβλητής ελέγχου (C_m είναι η ελεγχόμενη μεταβλητή). Ο λόγος που χρησιμοποιείται η C_m και όχι η C είναι ότι η C_m είναι μετρήσιμη και διαθέσιμη. Έτσι η συνάρτηση μεταφοράς C_m/SP του συστήματος ελέγχου κλειστού βρόγχου προκύπτει όπως φαίνεται παρακάτω:

$$\begin{aligned}\text{Έχουμε} \quad E &= SP - C_m \\ C &= EG \\ C_m &= CH\end{aligned}$$

Και αντικαθιστώντας έχουμε

$$\begin{aligned}C_m = EGH &\Leftrightarrow C_m = (SP - C_m)GH \Leftrightarrow C_m + C_m GH = (SP)GH \Leftrightarrow G_m(1 + GH) = (SP)GH \Leftrightarrow \\ C_m/SP &= GH/1 + GH \quad (1)\end{aligned}$$

Η εξίσωση (1) είναι η συνάρτηση μεταφοράς ενός συστήματος ελέγχου διεργασιών κλειστού βρόγχου.

1.7.2.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΒΡΟΓΧΟΥ

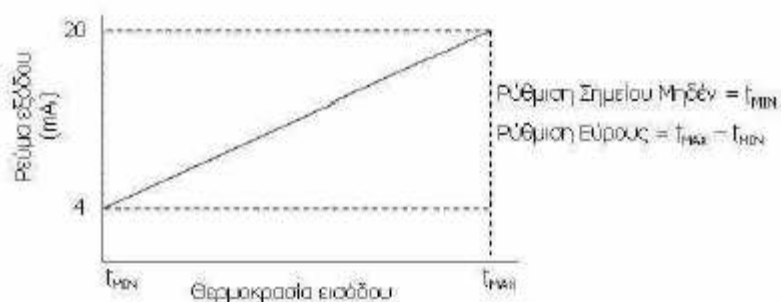
Διεργασία (process)

Το μπλοκ διεργασίας στην παραπάνω εικόνα αντιπροσωπεύει οτιδήποτε εκτελείται μέσα και από τον εξοπλισμό από τον οποίο μια μεταβλητή ελέγχεται. Η διεργασία περιλαμβάνει όλα όσα επηρεάζουν την μεταβλητή ελέγχου.

Αισθητήριο (measurement transmitter)

Ο αισθητήρας μετράει την τιμή της μεταβλητής ελέγχου και την μετατρέπει σε ένα εύχρηστο σήμα. Παρόλο που ο αισθητήρας θεωρείται ότι είναι ένα μπλοκ, συνήθως αποτελείται από ένα αισθητήριο στοιχείο και ένα μετατροπέα σήματος.

Η εικόνα δείχνει την καμπύλη εισόδου/εξόδου ενός αισθητήρα θερμοκρασίας.



Εικόνα 13: Γραφική παράσταση εισόδου/εξόδου ενός αισθητήρα μέτρησης θερμοκρασίας.

Το αισθητήριο στοιχείο μπορεί να είναι ένα θερμοζεύγος, μια αντίσταση ή ένα θερμίστορ. Ο μετατροπέας σήματος λαμβάνει την έξοδο του αισθητήριου στοιχείου και παράγει ένα σήμα ηλεκτρικού ρεύματος.

Ελεγκτής (controller)

Ο ελεγκτής περιλαμβάνει τον ανιχνευτή σφάλματος και μια μονάδα που εκτελεί τις διάφορες μορφές ελέγχου. Ο ανιχνευτής σφάλματος υπολογίζει τη διαφορά μεταξύ της μετρούμενης τιμής της μεταβλητής ελέγχου και της επιθυμητής τιμής. Η διαφορά τους καλείται **σφάλμα** και υπολογίζεται σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση:

$$\text{Error} = \text{setpoint} - \text{measured value of controlled variable} \Leftrightarrow E = SP - C_m$$

οι διάφορες μορφές ελέγχου μετατρέπουν το σφάλμα σε μια πράξη ελέγχου ή έξοδο του ελεγκτή η οποία θα τείνει να μειώσει το σφάλμα. Οι τρεις πιο γνωστές μορφές ελέγχου είναι ο αναλογικός (proportional P), ο ολοκληρωτικός (integral I), και ο παράγωγος (derivative D).

Ο Ανάλογος Έλεγχος : είναι η πιο απλή μορφή ελέγχου. Παράγει μια ενέργεια ελέγχου η οποία είναι αναλογική ως προς το σφάλμα. Αν το σφάλμα είναι μικρό, τότε η αναλογική μορφή ελέγχου παράγει μια μικρή πράξη ελέγχου. Αν το σφάλμα είναι μεγάλο, αντίστοιχα θα είναι το μέγεθος της πράξης ελέγχου. Η αναλογική μορφή επιτυγχάνεται απλά πολλαπλασιάζοντας το σφάλμα με μια σταθερά κέρδους K.

Ο Ολοκληρωτικός Έλεγχος : παράγει μια πράξη ελέγχου η οποία συνεχίζει να αυξάνει την διορθωτική της επίδραση για όσο χρονικό διάστημα το σφάλμα παραμένει. Αν το σφάλμα είναι μικρό, τότε η ολοκληρωτική μορφή αυξάνει τη διόρθωση αργά. Αν το σφάλμα είναι μεγάλο, η ολοκληρωτική πράξη αυξάνει τη διόρθωση γρήγορα. Για την ακρίβεια, ο ρυθμός με τον οποίο η διόρθωση αυξάνει είναι ανάλογος του σήματος του σφάλματος. Μαθηματικά η ολοκληρωτική πράξη ελέγχου επιτυγχάνεται σχηματίζοντας το ολοκλήρωμα του σήματος σφάλματος.

Τέλος ο Διαφορικός Έλεγχος : παράγει μια πράξη ελέγχου η οποία είναι ανάλογη του ρυθμού με τον οποίο το σφάλμα αλλάζει. Για παράδειγμα, αν το σφάλμα αυξάνεται απότομα, δεν θα περάσει πολύς χρόνος πριν να έχουμε να αντιμετωπίσουμε ένα πολύ μεγάλο σφάλμα. Αυτή η μορφή ελέγχου επιχειρεί να προλάβει αυτό το μελλοντικό σφάλμα παράγοντας μια διορθωτική ενέργεια αναλογική στο ποσό γρήγορα αλλάζει το σφάλμα. Ο παράγωγος έλεγχος είναι μια προσπάθεια να είμαστε προετοιμασμένοι για ένα μεγάλο σφάλμα και να το αποτρέπουμε με μια διορθωτική κίνηση βασισμένη στο πόσο γρήγορα αλλάζει το σφάλμα. Μαθηματικά ο παράγωγος τρόπος επιτυγχάνεται σχηματίζοντας την παράγωγο του σήματος του σφάλματος. Οι μορφές αυτές χρησιμοποιούνται με τους εξής τρόπους : P, PI, PD, PID.

ΟΝΟΜΑΤΑ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ

1. **Η μεταβλητή ελέγχου (controlled variable, C)** μιας διαδικασίας είναι η μεταβλητή εξόδου που είναι να ελεγχτεί. Σε ένα σύστημα ελέγχου, η μεταβλητή ελέγχου είναι συνήθως μια μεταβλητή εξόδου που είναι μια καλή μέτρηση της ποιότητας του προϊόντος. Οι πιο συνηθισμένες μεταβλητές ελέγχου είναι η θέση, ταχύτητα, θερμοκρασία, πίεση, στάθμη και ροή.
2. **Η αναφορά (setpoint, SP)** είναι η επιθυμητή τιμή της μεταβλητής ελέγχου.
3. **Η μετρούμενη μεταβλητή (C_m)** είναι η μετρούμενη τιμή της μεταβλητής ελέγχου. Είναι η έξοδος των μετρούμενων μέσων και συνήθως διαφέρει κατά ένα πολύ μικρό πόσο από την πραγματική τιμή της μεταβλητής ελέγχου.
4. **Το σφάλμα (E)** είναι η διαφορά ανάμεσα στην αναφορά και την μετρούμενη τιμή της μεταβλητής ελέγχου. Υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση: $E = SP - C_m$
5. **Η έξοδος του ελεγκτή (V)** είναι η πράξη ελέγχου που πρόκειται να οδηγήσει τη μετρούμενη τιμή της μεταβλητής ελέγχου προς την τιμή της αναφοράς. Η πράξη ελέγχου εξαρτάται από το σήμα του σφάλματος (E) και από τις μορφές ελέγχου που χρησιμοποιούνται στον ελεγκτή.
6. **Η ελεγχόμενη μεταβλητή (manipulated variable M)** είναι η μεταβλητή που ρυθμίζεται από το τελικό στοιχείο ελέγχου ώστε να επιτευχτεί η επιθυμητή τιμή της μεταβλητής ελέγχου. Προφανώς η ελεγχόμενη μεταβλητή θα πρέπει να είναι ικανή να επιτύχει μια αλλαγή στην μεταβλητή ελέγχου. Η ελεγχόμενη μεταβλητή είναι μια από τις τιμές εισόδου μιας διαδικασίας. Αλλαγές στο φορτίο μιας διαδικασίας επιβάλλουν αλλαγές στην ελεγχόμενη μεταβλητή ώστε να διατηρηθεί η κατάσταση ισορροπίας του συστήματος. Γι' αυτό το λόγο η τιμή της μεταβλητής αυτής χρησιμοποιείται σαν μέτρο του φορτίου της διαδικασίας.

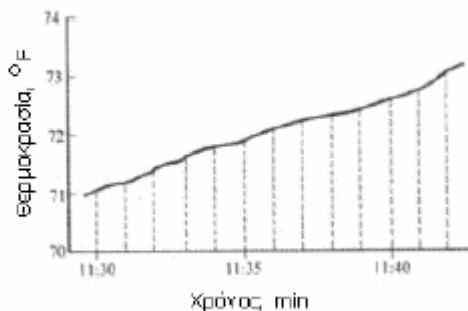
7. **Οι μεταβλητές διαταραχής (disturbance variable D)** είναι οι μεταβλητές εισόδου μιας διαδικασίας οι οποίες επηρεάζουν τη μεταβλητή ελέγχου όμως δεν ρυθμίζονται από το σύστημα ελέγχου. Οι μεταβλητές διαταραχής είναι ικανές να μεταβάλλουν το φορτίο μιας διαδικασίας και είναι ο κύριος λόγος που χρησιμοποιούμε συστήματα ελέγχου κλειστού βρόγχου.

Το κυρίως πλεονέκτημα του ελέγχου κλειστού βρόγχου είναι η δυνατότητα για πιο ακριβή έλεγχο μιας διαδικασίας. Υπάρχουν δυο μειονεκτήματα είναι πιο ακριβός απ'ότι ο έλεγχος ανοιχτού βρόγχου και η λειτουργία ανάδρασης ενός συστήματος κλειστού βρόγχου είναι πιθανό να προκαλέσει αστάθεια στο σύστημα .

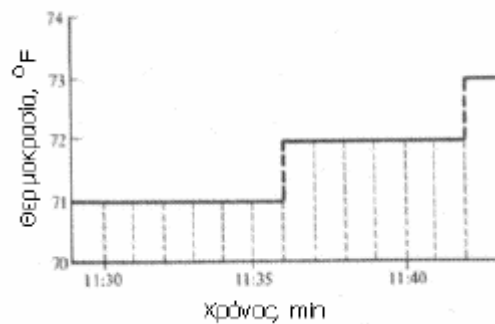
1.8 ΑΝΑΛΟΓΙΚΟΣ ΚΑΙ ΨΗΦΙΑΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ (ανάλογα με την τεχνική επεξεργασία των συστημάτων ελέγχου)

❖ ΑΝΑΛΟΓΙΚΟΣ ΚΑΙ ΨΗΦΙΑΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

Τα σήματα σε ένα σύστημα ελέγχου χωρίζονται σε δυο γενικές κατηγορίες :τα αναλογικά και τα ψηφιακά. Οι γραφικές παραστάσεις ενός αναλογικού και ενός ψηφιακού σήματος παρουσιάζονται στην γραφική εικόνα 14



Αναλογικό σήμα εξωτερικής θερμοκρασίας αέρα



Ψηφιακό σήμα εξωτερικής θερμοκρασίας αέρα.

Εικόνα 14: γραφική παράσταση ενός αναλογικού και ενός ψηφιακού σήματος.

Ένα αναλογικό σήμα διαφέρει με ένα συνεχή τρόπο και μπορεί να πάρει οποιαδήποτε τιμή ανάμεσα στα όρια του. Ένα παράδειγμα αναλογικού σήματος είναι η συνεχής μέτρηση της εξωτερικής θερμοκρασίας αέρα. Η καταγραφή είναι μια συνεχής γραμμή (αυτό είναι ένα χαρακτηριστικό όλων των αναλογικών σημάτων).

Ένα ψηφιακό σήμα διαφέρει με έναν διακριτό τρόπο και μπορεί να πάρει διακριτές τιμές ανάμεσα στα όρια του. Ένα παράδειγμα ενός διακριτού σήματος είναι μια πινακίδα που απεικονίζει την εξωτερική θερμοκρασία του αέρα στον κοντινότερο βαθμό κελσίου και αλλάζει μια φορά κάθε λεπτό. Η γραφική παράσταση που προκύπτει από το σήμα της πινακίδας μένει στάσιμη στο χρονικό διάστημα ανάμεσα στις αλλαγές, αλλά μπορεί να πηδήξει απότομα σε μια νέα τιμή στο επόμενο διάστημα.

Ο αναλογικός έλεγχος αναφέρεται σε συστήματα ελέγχου που χρησιμοποιούν αναλογικά σήματα και ο ψηφιακός έλεγχος σε αυτά που χρησιμοποιούν ψηφιακά.

1.9 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ FOLLOW-UP

(ανάλογα με το πως χρησιμοποιούνται)

❖ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ FOLLOW-UP

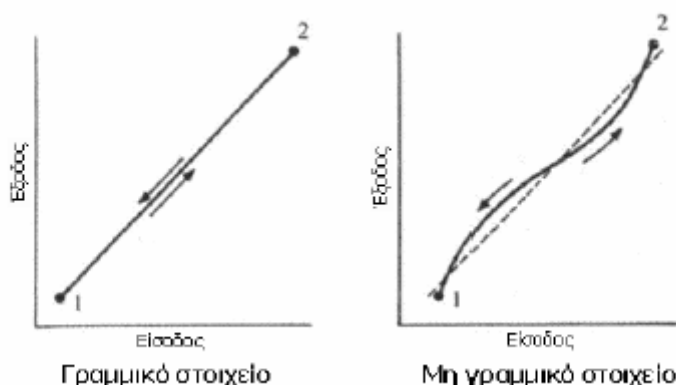
Ένα σύστημα σταθεροποίησης είναι ένα σύστημα ελέγχου ανάδρασης στο οποίο το σημείο ρύθμισης σπάνια αλλάζει και η κύρια λειτουργία του είναι να διατηρεί την ελεγχόμενη μεταβλητή σταθερή παρά τις όποιες ανεπιθύμητες αλλαγές φορτίου. Ένα οικιακό σύστημα θέρμανσης, ένας σταθεροποιητής πίεσης και ένας σταθεροποιητής τάσης είναι παραδείγματα συστημάτων σταθεροποίησης. Πολλά συστήματα ελέγχου χρησιμοποιούνται για να διατηρήσουν σταθερές τις συνθήκες επεξεργασίας και επομένως ένα σύστημα σταθεροποίησης.

Ένα follow-up είναι ένα σύστημα ελέγχου ανάδρασης στο οποίο το σημείο ρύθμισης αλλάζει συχνά. Η κύρια λειτουργία του είναι να κρατά την ελεγχόμενη μεταβλητή σε κοντινή αντιστοιχία με το σημείο ρύθμισης ενώ αυτό αλλάζει. Σε ένα σύστημα follow-up το σημείο ρύθμισης ονομάζεται συχνά μεταβλητή αναφοράς. Ένα σύστημα ελέγχου αναλογίας και η θέση της κεραίας ενός συστήματος εντοπισμού ραντάρ είναι παραδείγματα follow-up συστημάτων.

1.10 ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΟΤΗΤΕΣ

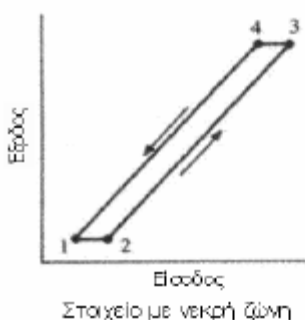
Το μεγαλύτερο μέρος της ανάλυσης και σχεδίασης των συστημάτων ελέγχου γίνεται με την παραδοχή ότι όλα τα στοιχεία στο σύστημα είναι γραμμικά. Στην πραγματικότητα υπάρχουν πολλές μορφές μη γραμμικότητας που προκύπτουν στα στοιχεία.

Γραμμικότητα σημαίνει ότι η γραφική παράσταση εισόδου/εξόδου του στοιχείου είναι μια τέλεια ευθεία. Ο όρος γραμμικότητα επίσης αναφέρεται στο πόσο πιστά το γράφημα της εισόδου/εξόδου του στοιχείου προσεγγίζει μια ευθεία.



Εικόνα 15: Γραφική παράσταση εισόδου/εξόδου ενός γραμμικού και ενός μη γραμμικού στοιχείου

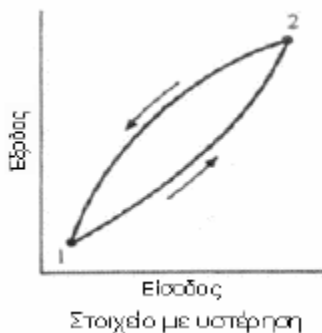
Εκφράζουμε τη γραμμικότητα ως τη μέγιστη απόκλιση μεταξύ μιας μέσης εισόδου/εξόδου γραφικής παράστασης και μιας ευθείας γραμμής που τοποθετούνται έτσι ώστε να ελαχιστοποιεί τη μέγιστη απόκλιση. Η μέση είσοδος/έξοδος γραφική παράσταση κατασκευάζεται με τον υπολογισμό του μέσου όρου των τιμών που λαμβάνονται από τουλάχιστον δυο πλήρεις διαδρομές στις τιμές εισόδου σε κάθε κατεύθυνση. Κατά συνέπεια μετράμε τη μη γραμμικότητα και την εκφράζουμε ως γραμμικότητα. Η νεκρή ζώνη είναι το εύρος των τιμών όπου η τιμή εισόδου μπορεί να αλλάξει χωρίς να παράγει καμιά διαφορά στην εξόδο. Η εικόνα δείχνει την γραφική παράσταση εισόδου/εξόδου ενός στοιχείου με νεκρή ζώνη.



Εικόνα 16: Γραφική παράσταση εισόδου/εξόδου ενός στοιχείου με νεκρή ζώνη.

Η νεκρή ζώνη είναι η διαφορά μεταξύ των δυο καταγεγραμμένων τιμών εισόδου, μπορεί να εκφραστεί ως η διαφορά μεταξύ της μέγιστης και της ελάχιστης τιμής εξόδου για ένα κύκλο δοκιμής. Αυτό γίνεται αν το στοιχείο έχει νεκρή ζώνη και υστέρηση ταυτόχρονα.

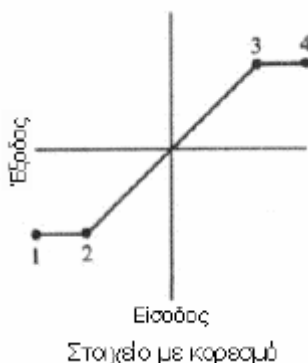
Η υστέρηση είναι η μη γραμμικότητα που έχει ως αποτέλεσμα η τιμή εξόδου για μια δοσμένη είσοδο να εξαρτάται από τις προηγούμενες τιμές εισόδου.



Εικόνα 17: Γραφική παράσταση εισόδου/εξόδου ενός στοιχείου με υστέρηση

Η γραφική παράσταση εισόδου/εξόδου ενός στοιχείου με υστέρηση σχηματίζει ένα βρόγχο όταν η είσοδος αλλάξει από μια τιμή σε μια άλλη και μετά ξανά στην πρώτη. Η υστέρηση εκφράζεται ως η διαφορά μεταξύ της μέγιστης και της ελαχίστης τιμής εξόδου για έναν απλό κύκλο διαδρομής.

Ο κορεσμός αναφέρεται στα όρια του εύρους τιμών εξόδου για ένα στοιχείο.



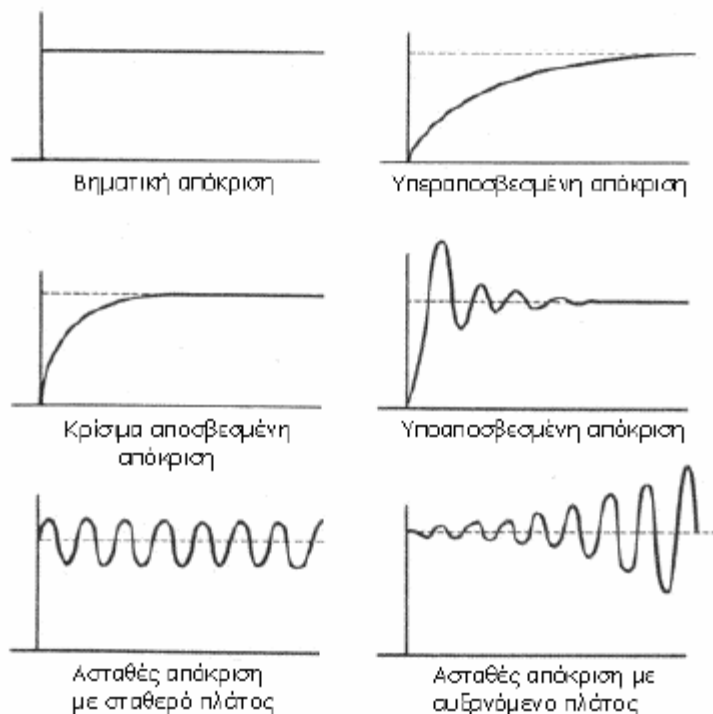
Εικόνα 18: Γραφική παράσταση εισόδου/εξόδου ενός στοιχείου με κορεσμό

Όλα τα πραγματικά στοιχεία φτάνουν σε ένα όριο κορεσμού, όταν η είσοδος αυξάνεται ή μειώνεται πέρα από την οριακή τιμή τους.

1.11 ΑΠΟΣΒΕΣΗ ΚΑΙ ΑΣΤΑΘΕΙΑ

Το κέρδος του ελεγκτή καθορίζει ένα βασικό χαρακτηριστικό της απόκρισης του συστήματος ελέγχου. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι ο τύπος της απόσβεσης ή αστάθειας που παρουσιάζει το σύστημα σαν απόκριση. Δεδομένου ότι το κέρδος του ελεγκτή αυξάνεται, η απόκριση αλλάζει στην ακόλουθη σειρά.

- Υπεραποσβεσμένο (overdamped)
- Κρίσιμα αποσβεσμένο (critically damped)
- Υποαποσβεσμένο (underdamped)
- Ασταθές με σταθερό πλάτος (unstable with constant amplitude)
- Ασταθές με αυξανόμενο πλάτος (unstable with increasing amplitude)



Εικόνα 19: Οι πέντε γενικές καταστάσεις της απόκρισης

Προφανώς ούτε η ασταθής απόκριση ούτε η υπεραποσβεσμένη ικανοποιούν τον στόχο της μείωσης του σφάλματος. Ακριβώς πόση απόσβεση είναι βέλτιστη εξαρτάται από την διαδικασία. Υπάρχουν πολλές σταθεροποιητικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται για να αυξήσουν την απόσβεση σε ένα σύστημα και να επιτρέψουν μια μεγαλύτερη ενίσχυση στον ελεγκτή. Η γενική ιδέα είναι να βρεθεί μια δύναμη ή σήμα που θα αντικρούει τις αλλαγές στην ελεγχόμενη μεταβλητή. Ένα τέτοιο σήμα είναι ο ρυθμός αλλαγής της ελεγχόμενης μεταβλητής. Ένα άλλο σταθεροποιητικό σήμα είναι η παράγωγος του σήματος σφάλματος. Αν η ρυθμιζόμενη τιμή είναι σταθερή, το σήμα αυτό είναι ίσο με την αντίθετη τιμή της παραγώγου της ελεγχόμενης μεταβλητής. Η κολλώδης απόσβεση είναι μια σταθεροποιητική τεχνική που χρησιμοποιείται κάποιες φορές στα συστήματα ελέγχου θέσης. Λειτουργεί με βάση το γεγονός ότι οι δυνάμεις αντιτίθενται πάντα στην κίνηση.

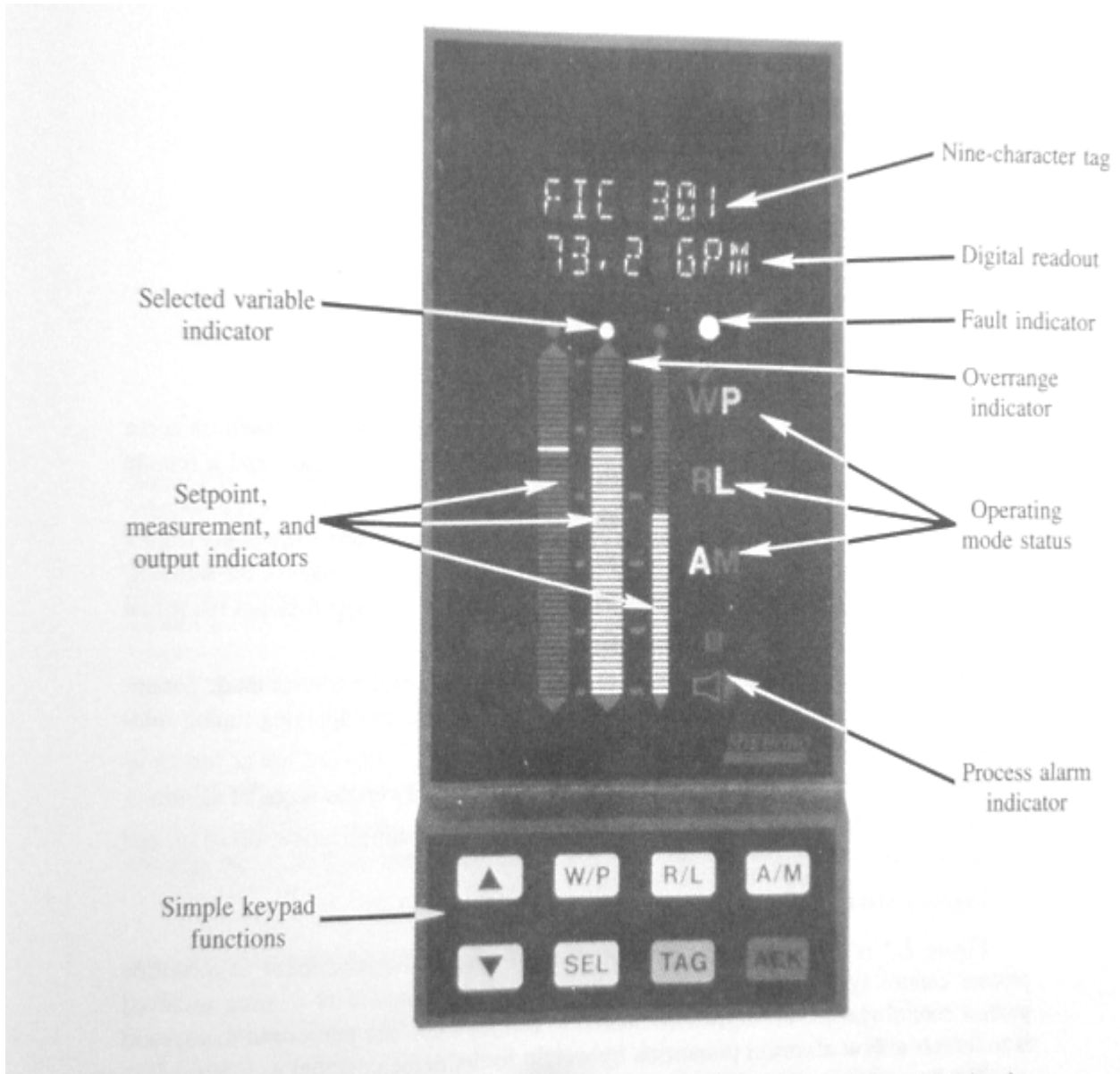
1.12 ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

Ο έλεγχος διαδικασίας εμπλέκει την ρύθμιση των μεταβλητών σε μια διαδικασία. Μια διαδικασία είναι οποιοσδήποτε συνδυασμός υλικών και εξοπλισμού που παράγει ένα επιθυμητό αποτέλεσμα μέσα από αλλαγές στην ενέργεια ή τις φυσικές και χημικές ιδιότητες. Μια συνεχής διαδικασία παράγει μια αδιάκοπη ροή ενός προϊόντος για μια εκτεταμένη χρονική περίοδο. Αντίθετα μια διαδικασία ομάδας, έχει μια διακοπτόμενη και περιοδική ροή προϊόντος. Παραδείγματα διαδικασιών περιλαμβάνουν μια γαλακτοκομική μονάδα, ένα διυλιστήριο πετρελαίου, ένα εργοστάσιο λιπάσματος, μια μονάδα επεξεργασίας τροφής, μια μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και ένα οικιακό σύστημα θέρμανσης. Οι συνηθέστερα ελεγχόμενες μεταβλητές σε μια διαδικασία είναι η θερμοκρασία, η πίεση, ο ρυθμός ροής και η στάθμη, η πυκνότητα, η σύσταση, το χρώμα, η αγωγιμότητα, το PH και η σκληρότητα. Τα περισσότερα συστήματα ελέγχου διαδικασίας διατηρούν σταθερές κάποιες συνθήκες επεξεργασίας και επομένως είναι συστήματα σταθεροποίησης.

Τα συστήματα ελέγχου διαδικασίας μπορεί να είναι ανοιχτού ή κλειστού βρόγχου, με αυτά του κλειστού βρόγχου να είναι συνηθέστερα. Η βιομηχανία ελέγχου διαδικασιών έχει αναπτύξει πρότυπους και ευέλικτους ελεγκτές διαδικασιών για συστήματα ελέγχου κλειστού βρόγχου. Στο πέρασμα του χρόνου αυτοί οι ελεγκτές έχουν εξελιχτεί από πνευματικούς αναλογικούς ελεγκτές σε ηλεκτρονικούς αναλογικούς ελεγκτές και από αυτούς σε ψηφιακούς ελεγκτές βασισμένους σε μικροεπεξεργαστή. Η κινητήριος δύναμη σε αυτή την εξέλιξη ήταν οι αυξημένες δυνατότητες και η ευελιξία ειδικά στους μικροελεγκτές, που αξιοποιούσαν την ισχύ των μικροεπεξεργαστών.

Οι περισσότεροι ελεγκτές διαδικασιών μοιράζονται έναν αριθμό κοινών λειτουργιών. Καταδεικνύουν την τιμή του ρυθμιζόμενου σημείου, την μεταβλητή διαδικασίας και την έξοδο του ελεγκτή σε αναλογική ή ψηφιακή ένδειξη. Επιτρέπουν στον χειρίστη να μεταβάλει το σημείο ρύθμισης και να επιλέξει ανάμεσα σε αυτόματο ή χειροκίνητο έλεγχο. Όταν επιλέγει ο χειροκίνητος έλεγχος επιτρέπουν στον χειρίστη να ρυθμίσει την έξοδο του ελεγκτή να τροποποιήσει την χειριζόμενη μεταβλητή σε μια κατάσταση ελέγχου ανοιχτού βρόγχου. Επιτρέπουν επίσης στον χειρίστη να ρυθμίσει τις μεθόδους ελέγχου προκειμένου να συντονίσει τον ελεγκτή για μεγίστη απόκριση. Πολλοί ελεγκτές παρέχουν τη δυνατότητα για απομακρυσμένη ρύθμιση του σημείου ρύθμισης από ένα εξωτερικό σήμα, όπως η έξοδος ενός άλλου ελεγκτή. Ένας διακόπτης είναι αυτός που επιτρέπει στον χειρίστη να μεταβεί από την μια κατάσταση ρύθμισης στην άλλη.

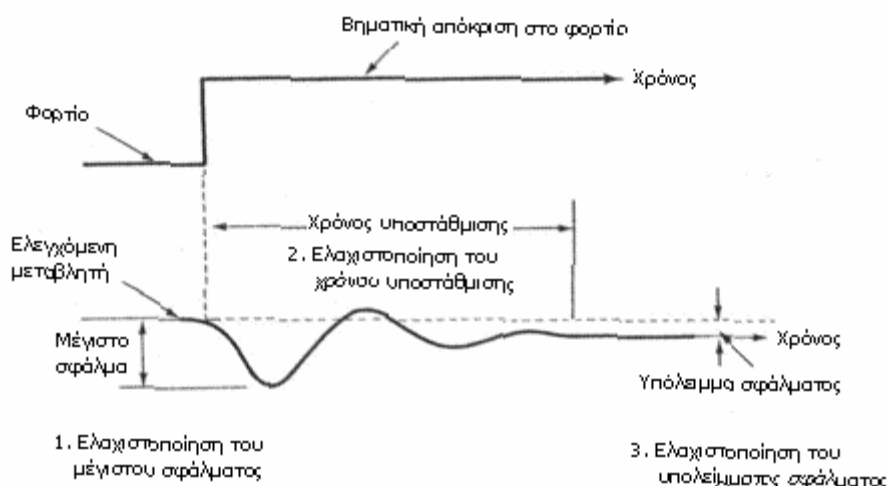
Το σχήμα παρουσιάζει τον κεντρικό πίνακα ενός χαρακτηριστικού ψηφιακού ελεγκτή διαδικασιών.



Εικόνα 20: Βασικός μικροεπεξεργαστής ψηφιακού ελεγκτή.

1.13 ΣΤΟΧΟΙ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ

Γενικά ο στόχος ενός συστήματος ελέγχου είναι να διατηρεί την τιμή της ελεγχόμενης μεταβλητής πάντα σταθερή σε ένα σημείο ρύθμισης. Για να το επιτύχει αυτό το σύστημα πρέπει να ανταποκριθεί σε μια αλλαγή πριν συμβεί το σφάλμα. Δυστυχώς όμως η ανάδραση δεν είναι ποτέ τέλεια διότι δεν ενεργεί πριν συμβεί το σφάλμα. Η αλλαγή φορτίου πρέπει να αλλάξει την ελεγχόμενη μεταβλητή, όμως αυτό παράγει ένα σφάλμα. Έπειτα ο ελεγκτής ενεργεί πάνω στο λάθος για να παράγει μια αλλαγή στην χειριζόμενη μεταβλητή



Εικόνα 21: Οι τρεις στόχοι ενός συστήματος ελέγχου κλειστού βρόχου.

Τέλος η αλλαγή στην χειριζόμενη μεταβλητή κατευθύνει την ελεγχόμενη μεταβλητή προς το σημείο ρύθμισης. Είναι πιο ρεαλιστικό για εμάς να περιμένουμε από ένα σύστημα ελέγχου να διατηρεί μια όσο το δυνατόν τελειότερη λειτουργία. Εφόσον τα σφάλματα σε ένα σύστημα ελέγχου παρουσιάζονται μετά από αλλαγές φορτίου οι αλλαγές στο σημείο ρύθμισης, φαίνεται φυσικό να ορίσουμε τους στόχους σε όρους της αντίδρασης σε τέτοιες αλλαγές. Ένας προφανής στόχος είναι να ελαχιστοποιήσουμε την μέγιστη τιμή του σήματος σφάλματος. Μερικά συστήματα ελέγχου (με τη μέθοδο του ολοκληρώματος) θα μειώσουν σταδιακά το σφάλμα στο

μηδέν, ενώ άλλα απαιτούν ένα υπόλειμμα σφάλματος για να ισοσταθμίσουν μια αλλαγή φορτίου. Σε οποιαδήποτε περίπτωση το σύστημα ελέγχου πρέπει τελικά να μεταφέρει το σφάλμα σε μια σταθερή τιμή.

Ο χρόνος που χρειάζεται για να γίνει αυτό ονομάζεται χρόνος υποστάθμισης (setting time). Ένας δεύτερος στόχος είναι να ελαχιστοποιήσει τον χρόνο υποστάθμισης. Και ένας τρίτος είναι να ελαχιστοποιήσει το υπόλειμμα σφάλματος μετά την υποστάθμιση.

Δυστυχώς αυτοί οι στόχοι τείνουν να είναι ασυμβίβαστοι. Για παράδειγμα το πρόβλημα της μείωσης του υπολείμματος σφάλματος μπορεί να επιλυθεί αυξάνοντας την ενίσχυση του ελεγκτή ώστε να χρειάζεται μικρότερο υπόλειμμα λάθους για να παραχθεί η αναγκαία διορθωτική ενέργεια ελέγχου. Παρόλα αυτά μια αύξηση στην ενίσχυση τείνει να αυξήσει τον χρόνο υποστάθμισης και επομένως να αυξήσει και την μέγιστη τιμή του σφάλματος.

Στόχοι του ελέγχου:

Μετά από μια αλλαγή φορτίου η σημείου ρύθμισης το σύστημα ελέγχου πρέπει

- Να ελαχιστοποιήσει την μέγιστη τιμή του σφάλματος
- Να ελαχιστοποιήσει τον χρόνο υποστάθμισης
- Να ελαχιστοποιήσει το υπόλειμμα σφάλματος

1.14 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΤΟΥ ΚΑΛΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

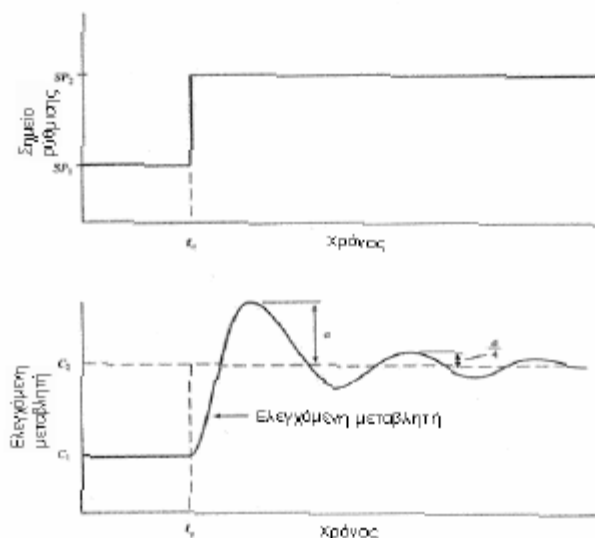
Για να πούμε ότι ένα σύστημα ελέγχου είναι αποδοτικό πρέπει να παρθούν δυο αποφάσεις:

1. Πρέπει να οριστεί η διαδικασία ελέγχου
2. Πρέπει να επιλεγούν τα κριτήρια του καλού ελέγχου

Μια βηματική αλλαγή στο φορτίο ή στο σημείο ρύθμισης είναι η πιο κοινή δοκιμή. Μια τυπική δοκιμή βλέπουμε στην εικόνα 14 . Τα τρία πιο κοινά κριτήρια καλού ελέγχου είναι :

1. Η φθορά τετάρτου του πλάτους. Αυτό το κριτήριο ορίζει μια μετρημένη ταλάντωση στην οποία κάθε διαδοχική θετική τιμή κορυφής του σήματος είναι

το τέταρτο της προηγούμενης θετικής τιμής της κορυφής. Η φθορά τετάρτου πλάτους είναι ένα πολύ δημοφιλές κριτήριο διότι είναι εύκολο να εφαρμοστεί στην πράξη και σχεδόν παρέχει βέλτιστο συμβιβασμό ανάμεσα στους τρεις στόχους ελέγχου.

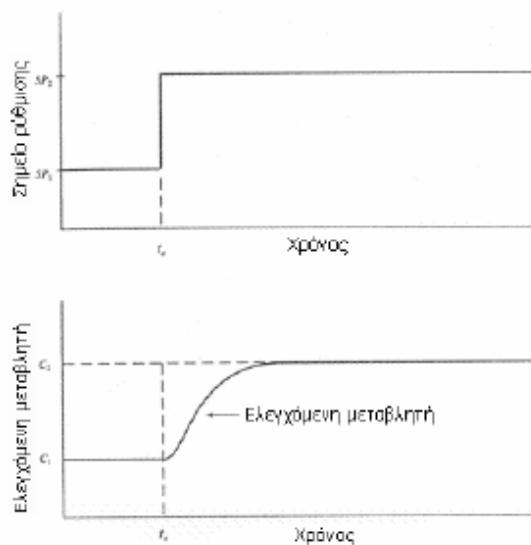


Εικόνα 22: Γραφική παράσταση φθοράς τετάρτου του πλάτους.

Μια παραλλαγή της φθοράς τετάρτου του πλάτους είναι η υπέρβαση ποσοστού κορυφής (peak percent overshoot, PPO). Είναι ένα μέτρο υπέρβασης της κορυφής της ελεγχόμενης μεταβλητής ανάλογα με το μέγεθος του βήματος. Το PPO 50% είναι σχεδόν ισότιμο με την φθορά του τετάρτου του πλάτους. Το PPO δίνεται από τη σχέση:

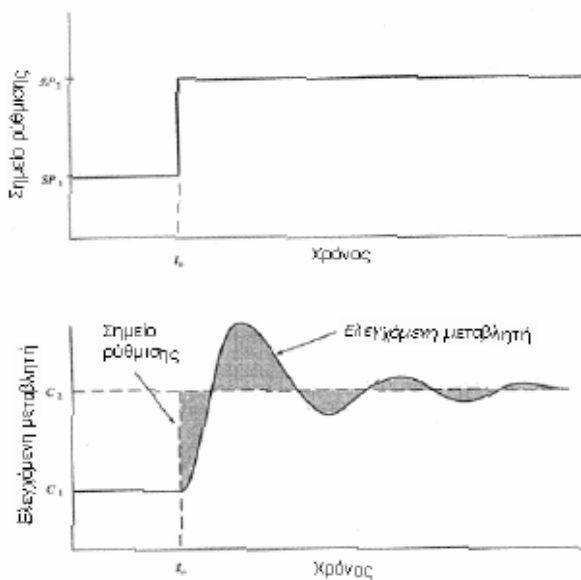
$$PPO = 100 \left(\frac{\alpha}{C_2 - C_1} \right)$$

2. Η κρίσιμη απόσβεση. Αυτό το κριτήριο χρησιμοποιείται όταν η υπέρβαση του σημείου ρύθμισης είναι ανεπιθύμητη. Η κρίσιμη απόσβεση είναι η ελάχιστη ποσότητα απόσβεσης που θα παράγει μια απόκριση χωρίς υπέρβαση και ταλάντωση. Τα ηλεκτρικά όργανα μέτρησης και μερικές διαδικασίες χρησιμοποιούν κρίσιμη απόσβεση.



Εικόνα 23: Γραφική παράσταση κρίσιμης απόσβεσης.

3. Το ολοκλήρωμα της απόλυτης τιμής του σφάλματος. Το κριτήριο αυτό ορίζει ότι η ολική επιφάνεια κάτω από την καμπύλη σφάλματος πρέπει να είναι ελάχιστη.



Εικόνα 24: Γραφική παράσταση ολοκληρώματος της απόλυτης τιμής του σφάλματος.

Το σφάλμα είναι η απόσταση μεταξύ του C_2 και της καμπύλης της ελεγχόμενης μεταβλητής. Το ολοκλήρωμα της απόλυτης τιμής του σφάλματος είναι η ολική σκιασμένη περιοχή στην καμπύλη. Αυτό το κριτήριο είναι εύκολο να χρησιμοποιηθεί όταν χρησιμοποιείται μαθηματικό μοντέλο για να αξιολογήσει ένα σύστημα ελέγχου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ

2.1 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ ΕΛΕΓΚΤΩΝ

Ελεγκτές είναι τα κύρια στοιχεία που ελέγχουν και καθορίζουν τον τρόπο λειτουργίας των διάφορων ενεργειακών συστημάτων ανάλογα με τις παραμέτρους που παίρνουν έτσι ώστε η μεταβλητή που παίρνουμε στην έξοδο τους να είναι μέσα στην επιθυμητή για μας τιμή.

Η κύρια δουλειά του κάθε ελεγκτή είναι να μας κρατεί την έξοδο σε επιθυμητή τιμή ανεξαρτήτως από της όποιες ανωμαλίες προκύπτουν στην διαδικασία. Αν και είναι συχνά πολύ δύσκολο να το πετύχουμε αυτό, μπορούμε να έχουμε πολύ καλά αποτελέσματα με την ανατροφοδότηση της εξόδου της διαδικασίας .

Ο ελεγκτής αποτελείται από έναν ανιχνευτή λάθους και μια μονάδα τρόπου ελέγχου.

Ο ανιχνευτής λάθους υπολογίζει το λάθος αφαιρώντας την μετρούμενη μεταβλητή (c_m) από το setpoint (SP)(σημείο εκκίνησης). Η μονάδα ελέγχου χρησιμοποιεί το σήμα λάθους για να παραγάγει τη δράση ελέγχου (v). Ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά ενός ελεγκτή είναι ο τρόπος που χρησιμοποιεί το λάθος για να διαμορφώσει τη δράση ελέγχου. Οι διαφορετικοί τρόποι που ο ελεγκτής διαμορφώνει τη δράση ελέγχου καλούνται τρόποι ελέγχου.

Οι κοινοί τρόποι ελέγχου περιλαμβάνουν

- Δυο θέσεων (on-off controller)
- Κλιμακωτός (floating)
- Αναλογικός (proportional)
- Ολοκληρωτικός (integral)
- Διαφορικός (derivative)

Ο ελεγκτής μπορεί να εφαρμοστεί από τα πνευματικά κυκλώματα, αναλογικά ηλεκτρονικά κυκλώματα, ή ψηφιακά ηλεκτρονικά κυκλώματα. Οι πνευματικοί ελεγκτές χρησιμοποιούν ένα πνευματικό αντίτιμο του λειτουργικού ενισχυτή για να παραγάγουν τη δράση ελέγχου. Οι ηλεκτρονικοί αναλογικοί ελεγκτές χρησιμοποιούν ένα ανθεκτικό κύκλωμα για να υπολογίσουν το λάθος και έναν λειτουργικό ενισχυτή για να παραγάγουν τη δράση ελέγχου. Οι ψηφιακοί ελεγκτές χρησιμοποιούν έναν μικροεπεξεργαστή και έναν αλγόριθμο ελέγχου για να παραγάγουν τη δράση ελέγχου.

ΣΥΜΒΟΛΟ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΜΟΝΑΔΕΣ
D	Derivative action time constant	seconds
e	Time-domain error	% of F.S ^a
E	Frequency-domain error	% of F.S
I	Integral action rate	1/s
P	Proportion gain	b
v	Time-domain controller output	% of F.S ^a
v ₀	Controller output when error =0	% of F.S
V	Frequency-domain output	% of F.S
a	Derivative limiter coefficient	(none)

Πίνακας 1: Μεταβλητές που χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν τους τρόπους ελέγχου

^aF.s = πλήρης - κλίμακα

^bGain :κέρδος: είναι αμελητέο όταν το λάθος και η έξοδος εκφράζονται στην πλήρη-κλίμακα

Οι εξισώσεις του πεδίου συχνότητας απλοποιούνται από την υπόθεση ότι v₀ είναι μηδέν

➤ ΤΡΟΠΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ

2.2 ΔΥΟ ΘΕΣΕΩΝ ΤΡΟΠΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ (TWO-POSITION)

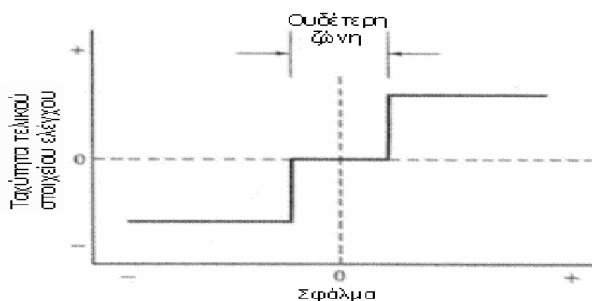
Ο TWO-POSITION (ΔΥΟ ΘΕΣΕΩΝ) τρόπος ελέγχου είναι ο απλούστερος και ο λιγότερο ακριβός τρόπος ελέγχου. Ο ελεγκτής εξόδου έχει μόνο δύο θετικές τιμές, ανάλογα με την ένδειξη του λάθους. Εάν οι διπλές κατευθύνσεις είναι πλήρως ανοιχτές ή πλήρως κλειστές, ο ελεγκτής ονομάζεται on-off ελεγκτής. Οι περισσότεροι two-position ελεγκτές έχουν μια ουδέτερη ζώνη για να αποτρέψουν chattering. Ο two-position έλεγχος είναι κατάλληλος μόνο για τις διαδικασίες που έχουν μια αρκετά μεγάλη χωρητικότητα είναι απλός και ανέξοδος.

Ένα σύστημα οικιακής θέρμανσης είναι ένα παράδειγμα του two-position συστήματος ελέγχου. ο αέρας στο σπίτι έχει μια σχετικά μεγάλη θερμική χωρητικότητα, και το dead time lag είναι μικρό. Το ποσοστό εισαγωγής θερμότητας από το φούρνο είναι ακριβώς επαρκές για να θερμάνει το σπίτι τη βαρύτερη χειμερινή ημέρα, και είναι μικρό έναντι της χωρητικότητας του δωματίου. Η θερμοκρασία δωματίου ρέει σε ένα αποδεκτό όριο για τον άνθρωπο. Αυτό είναι ένα παράδειγμα μιας καλής εφαρμογής του two-position τρόπου ελέγχου.

2.3 ΚΛΙΜΑΚΩΤΟΣ ΤΡΟΠΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ (FLOATING)

Ο **FLOATING**(κλιμακωτός) τρόπος ελέγχου είναι μια ειδική εφαρμογή του **two-position** (δύο θέσεων) τρόπου στον οποίο το τελικό στοιχείο ελέγχου είναι στάσιμο εφ' όσον παραμένει το σφάλμα μέσα στην ουδέτερη ζώνη. Όταν το σφάλμα είναι έξω από την ουδέτερη ζώνη, το τελικό στοιχείο ελέγχου αλλάζει σε ένα σταθερό ποσοστό σε μια κατεύθυνση που καθορίζεται από το σημάδι του σφάλματος. Το τελικό στοιχείο ελέγχου συνεχίζει να αλλάζει έως ότου επιστρέψει το σφάλμα στην ουδέτερη ζώνη, ή έως ότου φθάσει το τελικό στοιχείο ελέγχου σε μια από την ακραία θέση του.

Η καμπύλη εισόδου/εξόδου του κλιμακωτού ελεγκτή απεικονίζεται στη παρακάτω εικόνα :



Εικόνα 25: Καμπύλη εισόδου/εξόδου του κλιμακωτού ελεγκτή

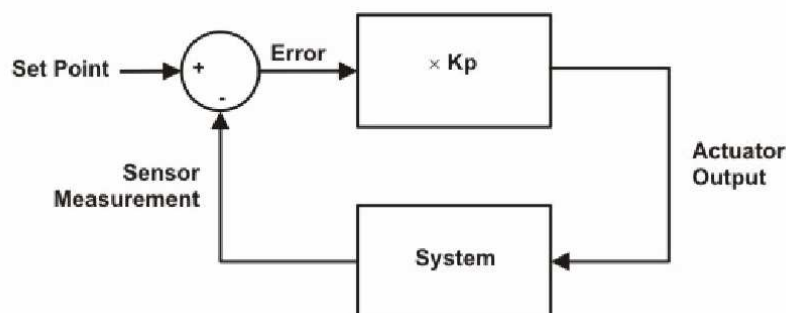
Ο **κλιμακωτός** έλεγχος χρησιμοποιείται όταν αναμένονται οι μεγάλες αλλαγές φορτίων, και η ικανότητα είναι αρκετά μεγάλη να αντιδράσει στα αποτελέσματα της χρονοκαθυστερίσης και την ταχύτητα του τελικού στοιχείου ελέγχου. Ο **κλιμακωτός** έλεγχος χρησιμοποιείται συχνά επειδή ενυπάρχει στον τύπο του ενεργοποιητή που χρησιμοποιείται για να οδηγήσει το τελικό στοιχείο ελέγχου (π.χ., οι ηλεκτρικές μηχανές και υδραυλικές λειτουργίες που χρησιμοποιούν τους on off ηλεκτρονόμους).

2.4 ΑΝΑΛΟΓΙΚΟΣ ΤΡΟΠΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ (PROPORTIONAL)

Ο **αναλογικός ελεγκτής P** βοηθά στη βελτίωση της συμπεριφοράς των συστημάτων στην μεταβατική αλλά και στη μόνιμη κατάσταση. Από μόνος του όμως δεν μπορεί να αντιμετωπίσει όλες τις πιθανές διαταραχές που μπορούν να συμβούν σε ένα σύστημα και για αυτό απαιτείται ο συνδυασμός του με τους άλλους ελεγκτές. Η χρησιμοποίηση ενός αναλογικού ελεγκτή (P) έχει ως αποτέλεσμα την ελάττωση του χρόνου ανύψωσης (κάνει το σύστημα πιο γρήγορο) αλλά δεν μπορεί ποτέ να εξαλείψει το μόνιμο σφάλμα.

Ο Αναλογικός έλεγχος είναι πολύ διαδεδομένος τόσο στην βιομηχανία όσο και στην ρομποτική .

Το Block διάγραμμα του αναλογικού ελέγχου φαίνεται στη εικόνα 26.



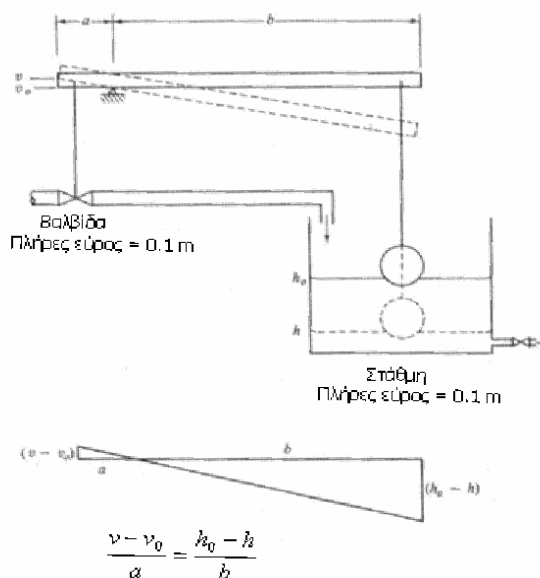
Εικόνα 26: Block διάγραμμα του αναλογικού έλεγχου

Το κυκλάκι στην αρχή ονομάζεται συγκριτής και συγκρίνει την επιθυμητή τιμή με την πραγματική τιμή (αυτή που μετρήθηκε από το αισθητήριο), το αποτέλεσμα που παράγει ονομάζεται σφάλμα και είναι αυτό που πρέπει να διορθώσει ο ελεγκτής.

Ο αναλογικός ελεγκτής P προσπαθεί να εξαλείψει το σφάλμα πολλαπλασιάζοντας το με κάποια σταθερά (Κ_p). Ένα πρόβλημα με τον αναλογικό τρόπο ελέγχου είναι ότι δεν μπορεί πλήρως να εξαλείψει το σφάλμα που προκαλείται από μια αλλαγή φορτίων. Ο αναλογικός τρόπος ελέγχου χρησιμοποιείται όταν μπορεί να γίνει το κέρδος αρκετά μεγάλο να μειώσει το ανάλογο offset σε ένα αποδεκτό επίπεδο για τη μεγαλύτερη αναμενόμενη αλλαγή φορτίων.

Ο αναλογικός τρόπος ελέγχου χρησιμοποιείται στις διαδικασίες με μικρή χωρητικότητα και γρήγορες αλλαγές φορτίων όταν μπορεί να είναι το κέρδος αρκετό ώστε να μειώσει το offset σε ένα αποδεκτό επίπεδο. Αυτό συνεπάγεται μια διαδικασία με μια χωρητικότητα που είναι πάρα πολύ μικρή για να επιτρέψει τη χρήση του **two-position** (δυο θέσεων) ή του **floating** (κλιμακωτού) ελέγχου.

Ένα απλό παράδειγμα ενός ελεγκτή αναλογικού έλεγχου παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα



Εικόνα 27: Παράδειγμα ενός ελεγκτή αναλογικού έλεγχου

Η ελεγχόμενη μεταβλητή είναι το υγρό επίπεδο στη δεξαμενή. Το φλοτέρ είναι το όργανο μέτρησης, η βαλβίδα είναι το στοιχείο χειρισμού, και ο μοχλός παρέχει τη δράση ελέγχου. Να διευκρινίσουμε ότι υπάρχει μια διαφορετική θέση βαλβίδων για κάθε επίπεδο. Το επιθυμητό επίπεδο είναι το h_0 και v_0 είναι η θέση βαλβίδων που αντιστοιχεί στο h_0 (v_0 είναι η θέση της βαλβίδας όταν το λάθος είναι μηδέν). Η θέση βαλβίδων (v) δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$\frac{v-v_0}{a} = \frac{h_0-h}{b}$$

$$\text{Σφάλμα} = e = h_0 - h$$

$$V = \frac{a}{b}e + v_0$$

Όπου

v = θέση βαλβίδων, (m)

v_0 = θέση βαλβίδων χωρίς σφάλμα, (m)

e = σφάλμα, (m)

Το κέρδος (P) του αναλογικού ελεγκτή στο σχήμα 3.4 είναι η αλλαγή στη θέση βαλβίδων που διαιρείται με την αντίστοιχη αλλαγή στο επίπεδο. Και οι δύο εκφράζονται σε ποσοστό επί τοις εκατό της πλήρους κλίμακας.

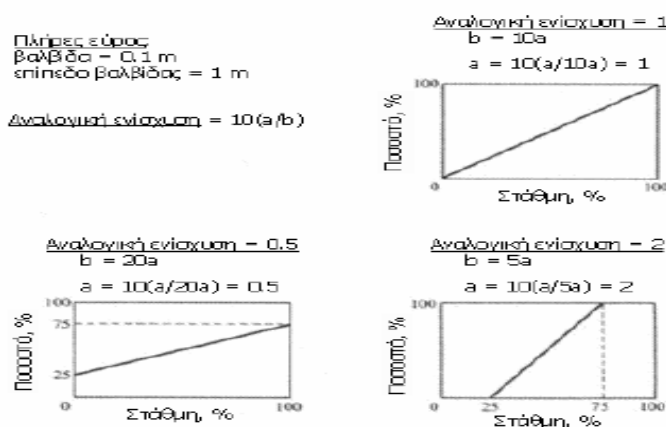
$$\text{Επί τοις εκατό αλλαγή στη θέση βαλβίδων} = \frac{100 (v-v_0)}{0.1} = 1000 (v - v_0)$$

$$\text{Επί τοις εκατό αλλαγή στο επίπεδο} = \frac{100 (h_0-h)}{1} = 100 (h_0-h)$$

$$\text{Κέρδος, } P = \frac{1000 (v-v_0)}{100 (h_0-h)} = 10 \left(\frac{v-v_0}{h_0-h} \right) = 10 (a/b)$$

Η εικόνα 28 περιλαμβάνει τις γραφικές παραστάσεις εισόδου/ εξόδου των αναλογικών ελεγκτών με κέρδη 0,5, 1, και 2. Γενικά, μια αύξηση στο κέρδος μειώνει το μέγεθος του σφάλματος που απαιτείται για να παραγάγει μια αλλαγή 100% στη θέση βαλβίδων. Με άλλα λόγια, ένα υψηλό κέρδος απαιτεί ένα μικρό σφάλμα για να

παραγάγει την αλλαγή στη θέση βαλβίδων απαραίτητη να ισορροπήσει τη διαδικασία. Αν και αυτό φαίνεται να υπονοεί ότι το κέρδος πρέπει να είναι όσο το δυνατόν υψηλότερο, δυστυχώς, η αύξηση του κέρδους αυξάνει την τάση για την ταλάντωση της ελεγχόμενης μεταβλητής. Ένας συμβιβασμός είναι απαραίτητος στον οποίο το κέρδος γίνεται όσο το δυνατόν μεγαλύτερο χωρίς την παραγωγή των απαράδεκτων ταλαντώσεων.

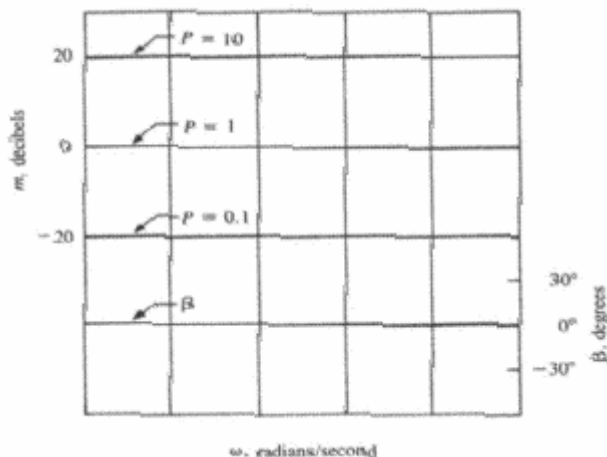


Εικόνα 28: Γραφικές παραστάσεις εισόδου/εξόδου ελεγκτών αναλογικού έλεγχου με ενίσχυση 0.5 , 1 και 2

Ένα πρόβλημα με τον αναλογικό τρόπο ελέγχου είναι ότι δεν μπορεί πλήρως να εξαλείψει το λάθος που προκαλείται από μια αλλαγή φορτίων. Ένα παραμένον λάθος απαιτείται πάντα για να διατηρήσει τη βαλβίδα σε κάποια θέση εκτός από v_0 . Αυτό είναι προφανές στην εξίσωση $V = \frac{a}{b}e + v_0$ και είναι εξίσου προφανές στο απλό σύστημα που διευκρινίζεται στην εικόνα 3.4. Μια αλλαγή φορτίων σημαίνει ότι μια διαφορετική θέση βαλβίδων απαιτείται για να διατηρήσει μια ισορροπία στη διαδικασία.

Αυτή η αλλαγή είναι ένα παραμένον λάθος και καλείται αναλογικό offset. Το μέγεθος του offset είναι άμεσα ανάλογο προς το μέγεθος των αλλαγών φορτίων και αντιστρόφως ανάλογο προς το κέρδος (P). Ο αναλογικός τρόπος ελέγχου χρησιμοποιείται όταν μπορεί να γίνει το κέρδος αρκετά μεγάλο να μειώσει το ανάλογο offset σε ένα αποδεκτό επίπεδο για τη μεγαλύτερη αναμενόμενη αλλαγή φορτίων.

Η απάντηση της αναλογικής δράσης ελέγχου είναι στιγμιαία. Δεν υπάρχει καμία καθυστέρηση μεταξύ της αλλαγής στο επίπεδο και της αντίστοιχης αλλαγής στη θέση βαλβίδων. Το διάγραμμα Bode στην εικόνα 29 είναι ένας άλλος τρόπος για να δούμε την απάντηση του αναλογικού τρόπου ελέγχου.



Εικόνα 29: Διάγραμμα Bode της αναλογικής μεθόδου για τιμές ενίσχυσης 0.1 , 1 και 10

Σημειώνεται ότι η γωνία φάσης είναι 0° για όλες τις τιμές της συχνότητας. Η απουσία οποιασδήποτε καθυστέρησης φάσης είναι μια άλλη ένδειξη της απάντησης του αναλογικού τρόπου ελέγχου. Το κέρδος είναι επίσης σταθερό για όλες τις τιμές της συχνότητας, με το decibel επίπεδο που καθορίζεται από την αξία του κέρδους ,P.

ΑΝΑΛΟΓΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ P

Εξίσωση στο πεδίο του χρόνου

$$V = P_e + V_0$$

Εξίσωση στο πεδίο της συχνότητας

$$V = PE$$

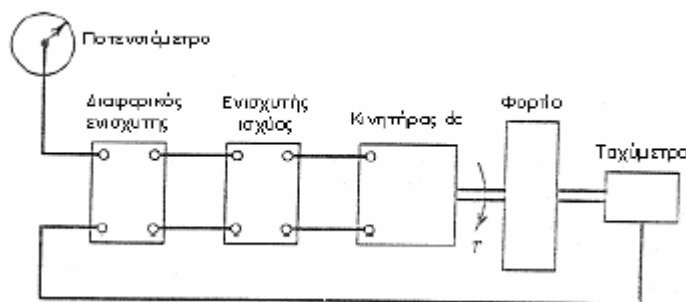
Συνάρτηση μεταφοράς

$$V/E = P$$

Ο αναλογικός τρόπος ελέγχου χρησιμοποιείται στις διαδικασίες με μικρή χωρητικότητα και γρήγορες αλλαγές φορτίων όταν μπορεί να είναι το κέρδος αρκετό ώστε να μειώσει το offset σε ένα αποδεκτό επίπεδο. Αυτό συνεπάγεται μια διαδικασία με μια χωρητικότητα που είναι πάρα πολύ μικρή για να επιτρέψει τη χρήση του **two-position**(δύο θέσεων) ή του **floating**(κλιμακωτού) ελέγχου.

2.4.1 ΑΝΑΛΟΓΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΡΩΤΗΣ ΤΑΞΗΣ

Για να ερευνήσουμε τη συμπεριφορά του αναλογικού ελέγχου, μελετάμε το σύστημα ελέγχου ταχύτητας που παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα

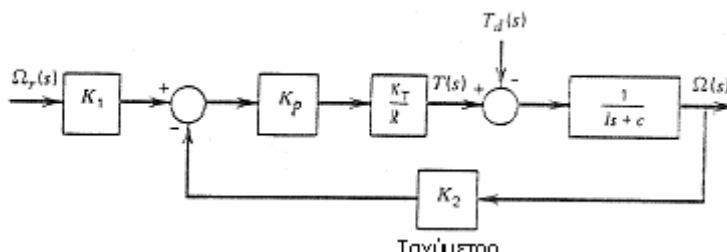


Εικόνα 30: Ταχύτητα ενός συστήματος ελέγχου που χρησιμοποιεί ένα dc κινητήρα

Ένας γραμμικός διαφορικός ενισχυτής παράγει μια έξοδο ανάλογη προς τη διαφορά μεταξύ των τάσεων εισόδου. Εάν ο ενισχυτής ισχύος είναι επίσης γραμμικός, μπορούμε να συνδυάσουμε τα κέρδη τους σε ένα, δείχνοντας το K_p . Το σύστημα φαίνεται έτσι να έχει τον ανάλογο έλεγχο στον οποίο η τάση των κινητήρων είναι ανάλογη προς τη διαφορά μεταξύ της τάσης εντολής και της τάσης ανάδρασης από το ταχύμετρο.

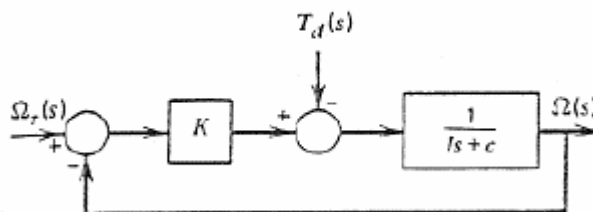
Υποθέτουμε ότι ο κινητήρας είναι ένας τομέας ελέγχου με μια αμελητέα ηλεκτρική χρονική σταθερά. Η διαταραχή είναι μια ροπή T_d , παραδείγματος χάριν, ως αποτέλεσμα της τριβής. Επιλέγουμε τον όρο ισορροπίας αναφοράς για να είναι $T_d = T = 0$ και $\omega r = \omega = 0$.

Το Block διάγραμμα παρουσιάζεται στην εικόνα 31



Εικόνα 31: Μπλοκ διάγραμμα της ταχύτητας του συστήματος ελέγχου

Για ένα σημαντικό σήμα σφάλματος που παράγεται, τα K_1 και K_2 πρέπει να είναι ίσα. Με αυτήν την απλοποίηση, το διάγραμμα γίνεται σε αυτό που παρουσιάζεται στο παρακάτω εικόνα32 όπου $K = K_1 K_p K_T / R$.



Εικόνα 32: απλουστευμένη μορφή της εικόνας 31

Οι συναρτήσεις μεταφοράς είναι :

$$\Omega(s)/\Omega_r(s) = K / (s + c + K) \quad (1)$$

$$\Omega(s)/T_d(s) = -1 / (s + c + K) \quad (2)$$

Μια αλλαγή στην επιθυμητή ταχύτητα μπορεί να απομνηθεί από ένα βήμα που εισάγεται στο ω_r . Η γραμμικότητα επιτρέπει σε μας να χρησιμοποιήσουμε ένα μοναδιαίο βήμα και να τοποθετήσουμε τα αποτελέσματα αναλόγως. Για $\Omega_r(s) = 1/s$, έχουμε

$$\Omega(s) = K / Is + c + K 1/s$$

Η απόκριση μπορεί να υπολογιστεί από τη μερική επέκταση κλάσματος όπως πριν. Η ταχύτητα πλησιάζει την τιμή της σταθερής κατάστασης

$$\Omega_{ss} = \lim_{s \rightarrow 0} s K/Is + c + K 1/s = K/c + K < 1$$

Κατά συνέπεια, η τελική αξία είναι μικρότερη από την επιθυμητή αξία 1, αλλά μπορεί να είναι αρκετά κοντά εάν η απόσβεση c είναι μικρή. Ο χρόνος που απαιτείται για να φθάσει σε αυτήν την τιμή είναι περίπου τέσσερις χρονικές σταθερές, ή $4\tau = 4I / (c + K)$.

Μια ξαφνική αλλαγή στη ροπή φορτίων μπορεί επίσης να διαμορφωθεί από μια συνάρτηση μοναδιαίου βήματος $T_d(s) = 1/s$. Η απόκριση που οφείλεται απλώς στη διαταραχή βρίσκεται από την παρακάτω σχέση

$$\Omega(s) = -1/Is + c + K 1/s$$

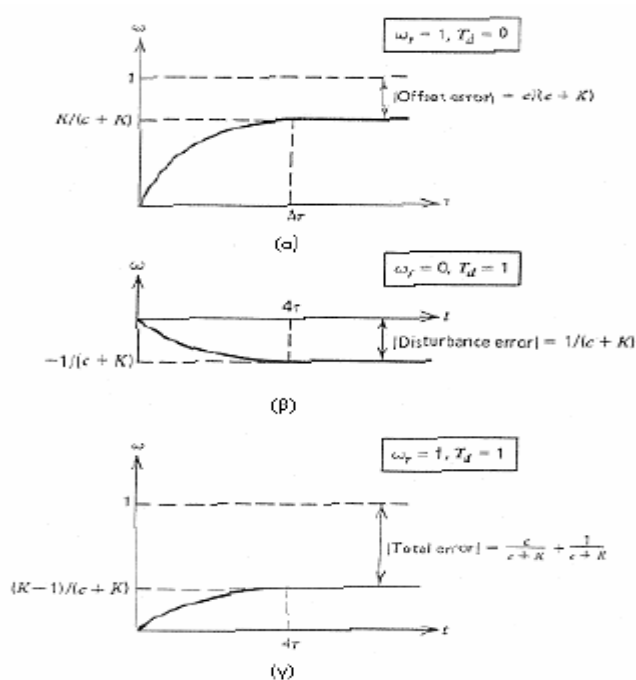
Η επίδραση της σταθερής κατάστασης της διαταραχής βρίσκεται με το θεώρημα τελικής τιμής και είναι $-1/(c + K)$. Εάν $(c + K)$ είναι μεγάλο, τότε το σφάλμα θα είναι μικρό.

Η απόδοση του ανάλογου νόμου ελέγχου μπορεί επίσης να συνοψιστεί ως εξής. Για ένα σύστημα πρώτης τάξης του οποίου οι είσοδοι είναι οι βηματικές συναρτήσεις

1) Η έξοδος δεν φθάνει ποτέ στην επιθυμητή τιμή της, ακόμη και ελλείψει μιας διαταραχής εάν η αντίσταση είναι $(c \neq 0)$, αν και μπορεί να προσεγγιστεί με την επιλογή ενός αρκετά μεγάλου κέρδους K .

- 2) Η έξοδος πλησιάζει την τελική τιμή της χωρίς ταλάντωση. Ο χρόνος για να επιτευχθεί αυτή η τιμή είναι αντιστρόφως ανάλογος προς το K .
- 3) Το σφάλμα εξόδου λόγω της διαταραχής της σταθερής κατάστασης είναι αντιστρόφως ανάλογο προς το κέρδος K . Αυτό το σφάλμα είναι παρόν ακόμη και ελλείψει της αντίστασης ($c=0$).

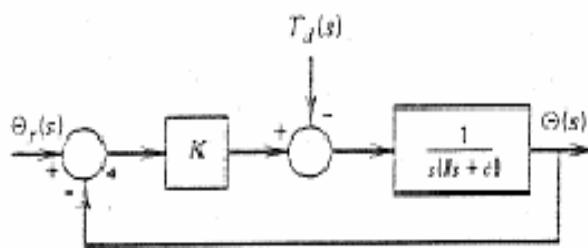
❖ Τύποι σφαλμάτων σε ένα σύστημα αναλογικού ελέγχου πρώτης τάξης



Ένα πλεονέκτημα στον αναλογικό έλεγχο είναι ότι το σήμα ελέγχου αποκρίνεται στο σφάλμα στιγμιαία (θεωρητικά τουλάχιστον). Χρησιμοποιείται στις εφαρμογές που απαιτούν γρήγορη δράση. Οι διαδικασίες με χρονικές σταθερές πολύ μικρές για τη χρήση του ελέγχου των δύο θέσεων είναι πιθανοί υποψήφιοι για τον αναλογικό έλεγχο.

2.4.2 ΑΝΑΛΟΓΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΤΑΞΗΣ

Ο αναλογικός έλεγχος μιας ουδέτερης σταθερής εγκατάστασης δεύτερου βαθμού αντιπροσωπεύεται από τον ελεγκτή θέσης στην εικόνα 33 εάν η συνάρτηση μεταφοράς του κινητήρα είναι μια σταθερά $G_a(s) = K_a$. Η συνάρτηση μεταφοράς του κινητήρα είναι $G_m(s) = K_T/R$ όπως πριν. Το τροποποιημένο μπλοκ διάγραμμα δίνεται στο σχήμα 3.9 με $K = K_1 K_a K_T/R$.



Εικόνα 33: Μπλοκ διάγραμμα ενός σερβομηχανισμού θέσης με αναλογικό έλεγχο

Οι συναρτήσεις μεταφοράς είναι :

$$\Theta(s)/\Theta_r(s) = K / Is^2 + cs + K \quad (1)$$

$$\Theta(s)/T_d(s) = -1 / Is^2 + cs + K \quad (2)$$

Το σύστημα κλειστού βρόγχου είναι σταθερό εάν I , c και K είναι θετικοί. Για καμία απόσβεση ($c = 0$), το κλειστό σύστημα βρόχων είναι σταθερό.

Χωρίς τη διαταραχή και μια εντολή μοναδιαίου βήματος, $\Theta_r(s) = 1/s$, η έξοδος σταθερής κατάστασης είναι

$$\theta_{ss} = K/K = 1$$

Το **offset** είναι μηδέν εάν το σύστημα είναι σταθερό ($c > 0$, $K > 0$). Η απόκλιση της εξόδου λόγω μιας διαταραχής μοναδιαίου βήματος είναι $-1/K$. Αυτή η απόκλιση μπορεί να μειωθεί με την επιλογή του μεγαλύτερου K .

Σημειώνεται ότι το λάθος **offset** για τον αναλογικό έλεγχο ενός συστήματος δεύτερης τάξης δεν είναι πάντα μηδέν. Η παροδική συμπεριφορά υποδεικνύεται από την αναλογία απόσβεσης.

$$\zeta = c / 2\sqrt{IK}$$

Για τη μικρή απόσβεση, η απόκριση σε μια βηματική εισαγωγή θα είναι πολύ ταλαντωμένη και πολύ υπερυψωμένη. Η κατάσταση επιδεινώνεται εάν το κέρδος K γίνει μεγάλο για να μειώσει την απόκριση λόγω της διαταραχής.

Το σφάλμα σταθερής κατάστασης αυτού του συστήματος για μια μοναδιαία είσοδο κεκλιμένων ραμπών είναι $e_{ss} = c/K$. Κατά συνέπεια, εάν το c είναι μεγάλο, το σύστημα δεν είναι πολύ ταλαντωμένο, αλλά το σφάλμα των κεκλιμένων ραμπών είναι μεγάλο. Για μια διαταραχή κεκλιμένων ραμπών, $e_{ss} = \infty$. Καταλήγουμε επομένως ότι ο αναλογικός έλεγχος αυτού του τύπου της δεύτερης τάξης των εγκαταστάσεων δεν είναι μια καλή επιλογή.

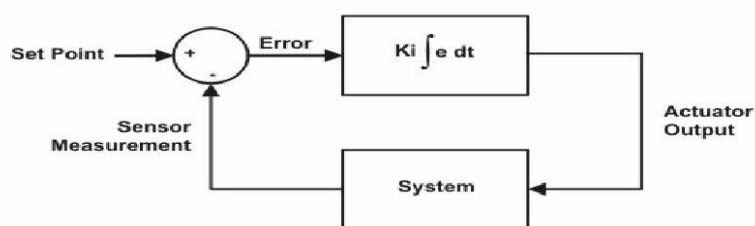
2.5 ΟΛΟΚΛΗΡΩΤΙΚΟΣ ΤΡΟΠΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ (INTEGRAL)

Ο ολοκληρωτικός έλεγχος **I** χρησιμοποιείται όπου τα συστήματα παρουσιάζουν σφάλμα στη μόνιμη κατάσταση τους γιατί όσο χρόνο υπάρχει σφάλμα η έξοδος του ελεγκτή λόγω του ολοκληρώματος αυξάνεται με αποτέλεσμα την εξάλειψη του σφάλματος.

Ο ολοκληρωτικός έλεγχος έχει το προσόν ότι μπορεί να εξαλείψει το σφάλμα, κάτι που δεν μπορεί να κάνει ο ελεγκτής **P**.

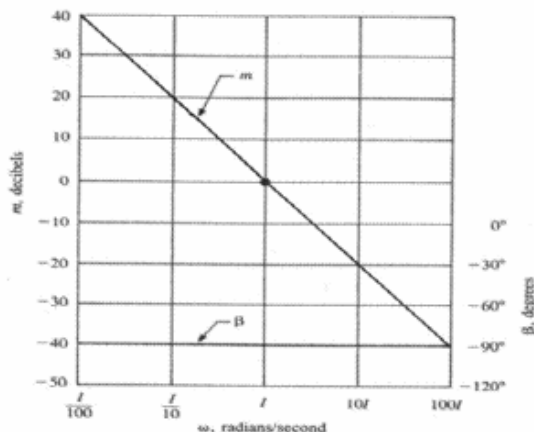
Με την προσθήκη του ολοκληρωτικού όρου έχουμε τη δυνατότητα κατά κάποιο τρόπο να παρακολουθούμε την πορεία του σφάλματος σε σχέση με το χρόνο και να το μηδενίσουμε.

Στη παρακάτω εικόνα φαίνεται το μπλοκ διάγραμμα του ολοκληρωτικού ελέγχου. Ο όρος $K_i \int e dt$ σημαίνει ότι το κέρδος –σταθερά k_i πολλαπλασιάζεται με το ολοκλήρωμα του σφάλματος e ως προς τον χρόνο



Εικόνα 34: Block διάγραμμα του ολοκληρωτικού ελέγχου

Το διάγραμμα Bode του ολοκληρωτικού τρόπου ελέγχου παρουσιάζεται στην εικόνα 35



Εικόνα 35: Διάγραμμα Bode του ολοκληρωτικού τρόπου ελέγχου

Το κέρδος μειώνεται σε ποσοστό 20 DB ανά δεκάδα στη συχνότητα, και περνά μέσω 0 DB σε μια συχνότητα ακτινίου ίση με I , όπου το I είναι η ολοκλήρωση. Η γωνία φάσης είναι μια σταθερά -90^0 για όλες τις τιμές της συχνότητας. Ο ολοκληρωτικός τρόπος σχεδόν πάντα χρησιμοποιείται με τον αναλογικό τρόπο ελέγχου

ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΑΤΟΣ I

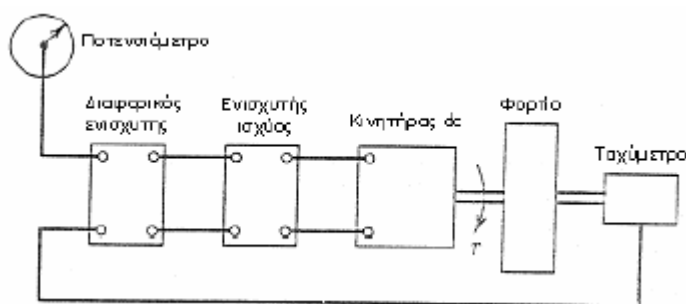
Εξίσωση στο πεδίο του χρόνου $v = 1 \int_0^t dt + v_0$

Εξίσωση στο πεδίο της συχνότητας $V = (1/s)E$

Συνάρτηση μεταφοράς $V/E = 1/s$

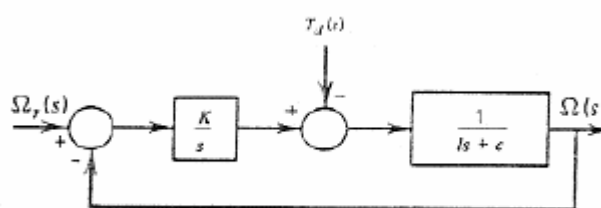
2.5.1 ΟΛΟΚΛΗΡΩΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΡΩΤΗΣ ΤΑΞΗΣ

Ο ολοκληρωτικός έλεγχος της ταχύτητας παρουσιάζεται στο παρακάτω σύστημα



Το μπλοκ διάγραμμα του παραπάνω σχήματος είναι

όπου $K = K_I K_T K_T / R$.



Εικόνα 36: Διάγραμμα της ταχύτητας ενός συστήματος με ολοκληρωτικό έλεγχο

Οι συναρτήσεις μεταφοράς για το σύστημα κλειστού βρόχων είναι:

$$\Omega(s)/\Omega_r(s) = K / Is^2 + cs + K \quad (1)$$

$$\Omega(s)/T_d(s) = -s / Is^2 + cs + K \quad (2)$$

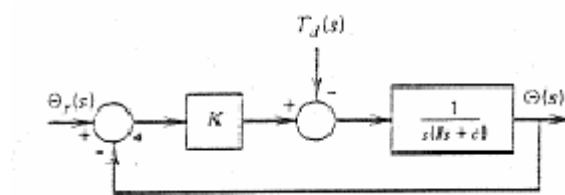
Το σύστημα ελέγχου είναι σταθερό για τα I , c , και K θετικά. Για μια μοναδιαία είσοδο, $\omega_{ss} = K/K = 1$, έτσι το σφάλμα μετατόπισης είναι μηδέν. Για μια διαταραχή μοναδιαίου βήματος η απόκλιση σταθερής κατάστασης είναι μηδέν εάν το σύστημα είναι σταθερό. Η απόδοση σταθερής κατάστασης που χρησιμοποιεί τον ολοκληρωτικό έλεγχο είναι άριστη για αυτές τις εγκαταστάσεις με βηματικές εισόδους.

Η αναλογία απόσβεσης είναι : $\zeta = c / 2\sqrt{IK}$

Για τη μικρή απόσβεση, η απόκριση θα είναι ταλαντευόμενη και όχι εκθετική όπως με τον αναλογικό έλεγχο. Η βελτιωμένη απόδοση σταθερής κατάστασης έχει ληφθεί εις βάρος της υποβιβασμένης μεταβατικής απόδοσης. Η σύγκρουση μεταξύ της σταθερής κατάστασης και των παροδικών προδιαγραφών είναι ένα κοινό θέμα στο σχεδιασμό των συστημάτων ελέγχου. Εφ' όσον το σύστημα είναι underdamped, η χρονική σταθερά είναι $\tau = 2I/c$ και δεν είναι επηρεασμένη από το κέρδος K , όπου επηρεάζει μόνο τη συχνότητα ταλάντωσης σε αυτήν την περίπτωση. Μπορεί να είναι φυσικά δυνατό να γίνει το K αρκετά μικρό έτσι ώστε $\zeta \geq 1$, αλλά η απόκριση θα τείνει να είναι αργή. Οι παροδικές προδιαγραφές για τη γρήγορη απόκριση απαιτούν συχνά $\zeta < 1$. Η δυσκολία με το $\zeta < 1$ είναι ότι το τ καθορίζεται από το c και το I . Εάν c και I είναι τέτοια έτσι ώστε $\zeta < 1$, τότε το τ είναι μεγάλο εάν $I \gg c$.

2.5.2 ΟΛΟΚΛΗΡΩΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΤΑΞΗΣ

Ο αναλογικός έλεγχος της θέσης του σερβομηχανισμού στο παρακάτω σχήμα



δίνει μια διαφορετική από τη μηδενική απόκλιση της σταθερής κατάστασης λόγω της διαταραχής.

Ο ολοκληρωτικός έλεγχος που εφαρμόζεται σε αυτό το σύστημα έχει τις ακόλουθες συναρτήσεις μεταφοράς:

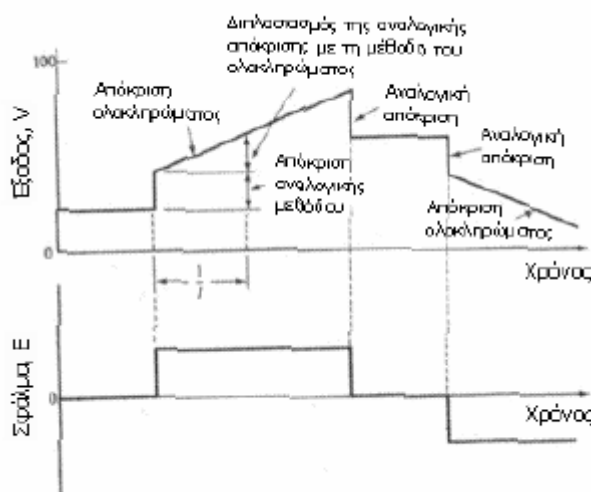
$$\Theta(s)/\Theta_r(s) = K / Is^3 + cs^2 + K \quad (1)$$

$$\Theta(s)/T_d(s) = -s / Is^3 + cs^2 + K \quad (2)$$

Με το κριτήριο **Routh**, αμέσως βλέπουμε ότι το σύστημα δεν είναι σταθερό λόγω του ελλείποντος όρου s . Κατά συνέπεια, το θεώρημα τελικής τιμής δεν μπορεί να εφαρμοστεί. Ο ολοκληρωτικός έλεγχος είναι χρήσιμος στη βελτίωση της απόδοσης της σταθερής κατάστασης, αλλά γενικά το τ δεν βελτιώνει και μπορεί ακόμη και να υποβιβάσει την μεταβατική απόδοση. Εσφαλμένα εφαρμοσμένο, μπορεί να παραγάγει ένα ασταθές σύστημα ελέγχου. Χρησιμοποιείται καλύτερα από κοινού με άλλους τρόπους ελέγχου.

2.6 ΡΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΑΛΟΓΙΚΟΣ ΚΑΙ ΟΛΟΚΛΗΡΩΤΙΚΟΣ ΤΡΟΠΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ

Ο ολοκληρωτικός τρόπος συνδυάζεται συχνά με τον αναλογικό τρόπο για να παράγει μια αυτόματη δράση αποβάλλοντας το ανάλογο offset. Ο συνδυασμός αναφέρεται ως αναλογικός συν ολοκληρωτικός τρόπος ελέγχου (PI). Το ολοκληρωτικό mod παρέχει ένα reset που σταθερά αλλάζει την έξοδο του ελεγκτή έως ότου μειωθεί το λάθος σε μηδέν. Η εικόνα 37 επεξηγεί το step response (βηματική απόκριση) ενός αναλογικού συν ενός ολοκληρωτικού ελεγκτή.

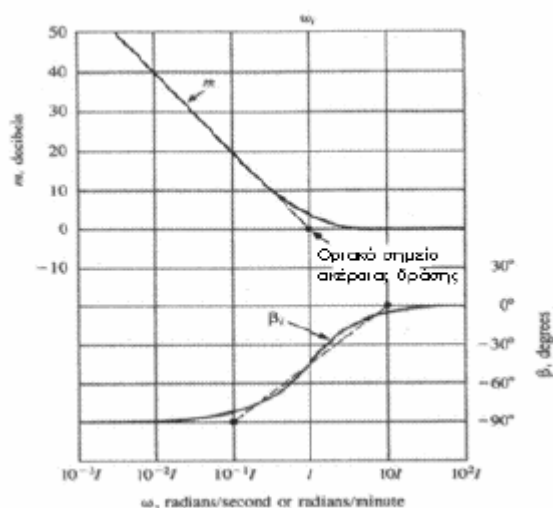


Εικόνα 37: Βηματική απόκριση ενός PI ελεγκτή

Ο αναλογικός τρόπος παρέχει μια αλλαγή στην έξοδο του ελεγκτή που είναι ανάλογη προς το σήμα λάθους. Ο ολοκληρωτικός τρόπος παρέχει μια πρόσθετη αλλαγή στην έξοδο που είναι ανάλογη προς το ολοκλήρωμα του σήματος λάθους. Το ολοκληρωτικό ποσοστό δράσης (I) είναι αντιστρόφως ανάλογο του χρόνου που απαιτείται για τον ολοκληρωτικό τρόπο για να ταιριάζει με την αλλαγή που παράγεται στην έξοδο από τον αναλογικό τρόπο.

Ένα πρόβλημα με τον ολοκληρωτικό τρόπο είναι ότι αυξάνει την τάση για την ταλάντωση της ελεγχόμενης μεταβλητής. Το κέρδος του αναλογικού ελεγκτή πρέπει να μειωθεί όταν συνδυάζεται με τον ολοκληρωτικό τρόπο. Αυτό μειώνει τη δυνατότητα του ελεγκτή να ανταποκριθεί στις γρήγορες αλλαγές φορτίων. Εάν η διαδικασία έχει μεγάλη χρονοκαθυστέρηση, το σήμα σφάλματος δεν θα απεικονίσει αμέσως το πραγματικό σφάλμα στη διαδικασία. Αυτή η καθυστέρηση οδηγεί συχνά στο **overcorrection** από τον ολοκληρωτικό τρόπο - δηλαδή ο ολοκληρωτικός τρόπος συνεχίζει να αλλάζει την έξοδο του ελεγκτή αφότου μειώνεται πραγματικά το σφάλμα σε μηδέν επειδή ενεργεί σε ένα "παλαιό" σήμα.

Το διάγραμμα Bode του PI τρόπου ελέγχου παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα



Εικόνα 38: Διάγραμμα Bode του PI ελέγχου

Το διάγραμμα διαιρείται σε δύο μισά με την ολοκληρωτική δράση **break-point frequency**, η οποία είναι ίση με το ολοκληρωτικό ποσοστό δράσης.

$$\omega_i = I$$

Στην αριστερή πλευρά του διαγράμματος ($\omega < \omega_i$), η ολοκλήρωση επιδρά με το κέρδος που μειώνεται σε 20 DB ανά δεκάδα και γωνία φάσης ίση με -90^0 . Στην άλλη πλευρά

του διαγράμματος ($\omega > \omega_i$), η αναλογική δράση κυριαρχεί με μια γωνία φάσης 0° και ένα μέγεθος που καθορίζεται από το ανάλογο κέρδος, P .

Η περιοχή μεταξύ $0,1 \omega_i$ και $10 \omega_i$ είναι μια ζώνη μετάβασης μεταξύ των δύο πλευρών του διαγράμματος. Στο σχήμα 3.13, το αναλογικό κέρδος, P , είναι ίσο με 1, το οποίο δίνει ένα μέγεθος 0dB στο Bode διάγραμμα. Η επίδραση ενός αναλογικού κέρδους, P , εκτός από 1 (όταν δεν είναι 1 δηλαδή) είναι να αυξήσει ή να χαμηλώσει τη καμπύλη κέρδους χωρίς να επηρεαστεί η καμπύλη φάσης. Ένα κέρδος του $P=10$, παραδείγματος χάριν, θα αύξανε ολόκληρη την καμπύλη κέρδους σε 20dB. Ένα κέρδος $0,1$ θα χαμήλωνε ολόκληρη την καμπύλη κέρδους σε 20 dB.

Ο αναλογικός συν τον ολοκληρωτικό τρόπο ελέγχου χρησιμοποιείται στις διαδικασίες με τις αλλαγές φορτίων όταν ο αναλογικός τρόπος δεν είναι ικανός να θέσει το offset σε ένα αποδεκτό επίπεδο. Ο ολοκληρωτικός τρόπος παρέχει ότι το reset αποβάλλει το ανάλογο offset.

ΑΝΑΛΟΓΙΚΟΣ ΣΥΝ ΟΛΟΚΛΗΡΩΤΙΚΟΣ ΤΡΟΠΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ (PI)

Εξίσωση στο πεδίο του χρόνου

$$v = P_e + PI \int_0^t dt + v_0$$

Εξίσωση στο πεδίο της συχνότητας

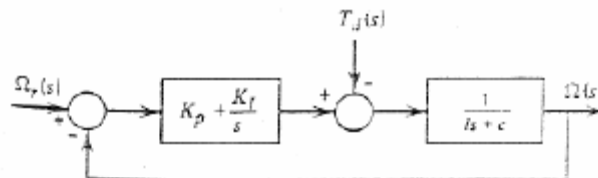
$$V = PE + P(1/s)E$$

Συνάρτηση μεταφοράς

$$V/e = P \frac{1+s}{s}$$

2.6.1 ΈΛΕΓΧΟΣ ΡΙ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΡΩΤΗΣ ΤΑΞΗΣ

Η αναλογική συν την ολοκληρωτική δράση ελέγχου που απευθύνεται στην ταχύτητα του ελεγκτή, δίνει το διάγραμμα που παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα



Εικόνα 39: Διάγραμμα ενός σερβομηχανισμού ταχύτητας με έλεγχο ΡΙ

Οι συναρτήσεις μεταφοράς είναι

$$\Omega(s)/\Omega_r(s) = K_p s + K_I / Is^2 + (c + K_p)s + K_I \quad (1)$$

$$\Omega(s)/T_d(s) = -s / Is^2 + (c + K_p)s + K_I \quad (2)$$

όπου K_p και K_I τα κέρδη.

Το σύστημα είναι σταθερό για τις θετικές τιμές K_p και K_I . Για $\Omega_r(s) = 1/s$, $\omega_{ss} = K_I / K_I = 1$, και το σφάλμα μετατόπισης είναι μηδέν, όπως και με την ολοκληρωτική δράση. Ομοίως, η απόκλιση λόγω μιας διαταραχής μοναδιαίου βήματος είναι μηδενική στη σταθερή κατάσταση.

Η αναλογία απόσβεσης είναι

$$\zeta = c + K_p / 2 \sqrt{IK_I}$$

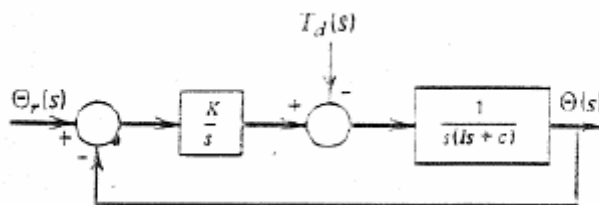
Η παρουσία του K_p επιτρέπει στην αναλογία απόσβεσης να επιλεγεί χωρίς το καθορισμό της αξίας της κυρίαρχης χρονικής σταθεράς. Παραδείγματος χάριν, εάν το σύστημα είναι underdamped, η χρονική σταθερά είναι

$$\tau = 2I / c + K_p, (\zeta < 1)$$

Το κέρδος K_p μπορεί να επιλεγεί για να λάβει την επιθυμητή χρονική σταθερά, ενώ το K_I χρησιμοποιείται για να θέσει την αναλογία απόσβεσης. Μια παρόμοια ευελιξία υπάρχει εάν $\zeta = 1$

2.6.2 ΡΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΤΑΞΗΣ

Ο ολοκληρωτικός έλεγχος για το σερβομηχανισμό θέσης συν τον ολοκληρωτικό τρόπο που εφαρμόζεται μας δίνει το ακόλουθο μπλοκ διάγραμμα στο παρακάτω σχήμα



Εικόνα 40 : μπλοκ διάγραμμα ενός σερβομηχανισμού θέσης με έλεγχο ολοκληρώματος

Οι συναρτήσεις μεταφοράς είναι

$$\Theta(s)/\Theta_r(s) = K_p s + K_I / Is^3 + cs^2 + K_p s + K_I \quad (1)$$

$$\Theta(s)/T_d(s) = -s / Is^2 + cs^2 + K_p s + K_I \quad (2)$$

Η απόδοση σταθερής κατάστασης είναι αποδεκτή όπως πριν εάν το σύστημα είναι σταθερό. Αυτό ισχύει εάν το κριτήριο **Routh** είναι ικανοποιημένο, δηλαδή εάν I , c , K_p , και K_I είναι θετικοί και $cK_p - IK_I > 0$. Η δυσκολία εμφανίζεται εδώ όταν η απόσβεση είναι μικρή. Για μικρό c , το κέρδος K_p πρέπει να είναι μεγάλο προκειμένου να ικανοποιηθεί ο τελευταίος όρος, και αυτό μπορεί να είναι δύσκολο να εφαρμοστεί φυσικά.

2.7 ΔΙΑΦΟΡΙΚΟΣ ΤΡΟΠΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ

Το κύριο χαρακτηριστικό του διαφορικού ελέγχου είναι ότι μπορεί να αντιληφτεί τις απότομες αλλαγές του σφάλματος, οι οποίες συνήθως προέρχονται από εξωτερικές πηγές (διαταραχές, θόρυβος κτλ) και προκαλούν αστάθεια στο σύστημα μας.

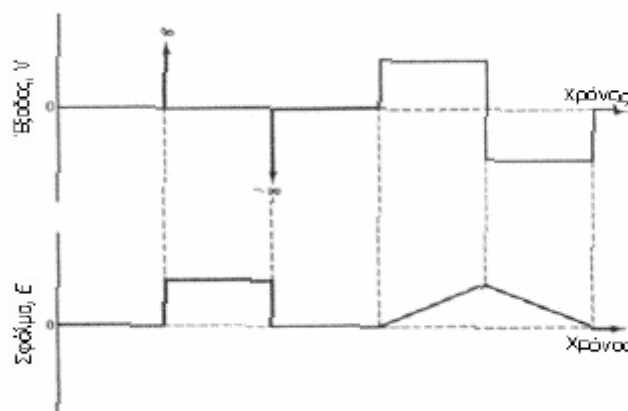
Όπως είπαμε η δουλειά του διαφορικού ελεγκτή είναι να αντιδρά στις απότομες αλλαγές του συστήματος. Ο διαφορικός τρόπος ελέγχου αλλάζει την έξοδο του αναλογικού ελεγκτή προς το ποσοστό αλλαγής του σήματος λάθους. Αυτή η αλλαγή μπορεί να προκληθεί από μια παραλλαγή στη μετρούμενη μεταβλητή, στο setpoint (σημείο εκκίνησης). ή και στα δύο. Ο διαφορικός τρόπος είναι μια προσπάθεια να προβλεπτή ένα λάθος παρατηρώντας πόσο γρήγορα το σφάλμα αλλάζει, και χρησιμοποιώντας το ποσοστό αλλαγής για να παραγάγει μια δράση ελέγχου που θα μειώσει το αναμενόμενο σφάλμα. Ο διαφορικός τρόπος συμβάλλει στην έξοδο του ελεγκτή μόνο όταν το σφάλμα αλλάζει.

Για αυτόν τον λόγο, ο διαφορικός τρόπος ελέγχου χρησιμοποιείται πάντα σε συνδυασμό με τον αναλογικό, αναλογικός συν ολοκληρωτικός.

Ο διαφορικός τρόπος ελέγχου δεν χρησιμοποιείται ποτέ μόνος.

Χρησιμοποιείται πάντα σε συνδυασμό με τον αναλογικό, ή αναλογικό συν τον ολοκληρωτικό.

Το **step ramp** (απόκριση βήματος) που ανταποκρίνεται στον ιδανικό διαφορικό τρόπο ελέγχου δίνεται στην παρακάτω εικόνα



Εικόνα 41: Η απόκριση βήματος και ράμπας της ιδανικής διαφορικής μεθόδου ελέγχου

Σε κάθε στιγμή, η έξοδος του διαφορικού τρόπου ελέγχου είναι ανάλογη προς την κλίση ή το ποσοστό αλλαγής του σήματος σφάλματος. Το βήμα υποδεικνύει το λόγο για τον οποίο ότι ο ιδανικός διαφορικός τρόπος ελέγχου δεν χρησιμοποιείται ποτέ στους χρήσιμους ελεγκτές. Η καμπύλη σφάλματος έχει μια άπειρη αλλαγή στην έξοδο του ελεγκτή. Στους χρήσιμους-πρακτικούς ελεγκτές, η αντίδραση της διαφορικής δράσης στα γρήγορα μεταβαλλόμενα σήματα είναι περιορισμένη.

Αυτό μειώνει πολύ την ευαισθησία του ελεγκτή στον ανεπιθύμητο θόρυβο που εμφανίζεται συχνά στην πράξη. Το διάγραμμα Bode του ιδανικού διαφορικού τρόπου (που δεν παρουσιάζεται) είναι το αντίθετο του ολοκληρωτικού διαγράμματος που παρουσιάζεται στο σχήμα 3.11.

Το κέρδος αυξάνεται σε ένα ποσοστό του 20dB ανά δεκάδα αυξάνεται συχνά, και περνά από 0 DB σε μια συχνότητα ακτινίου ίση με $1/D$. Η γωνία φάσης είναι σταθερά $+90^0$ για όλες τις τιμές της συχνότητας.

ΔΙΑΦΟΡΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ D

Εξίσωση στο πεδίο του χρόνου $V = D \, de/dt$

Εξίσωση στο πεδίο των συχνοτήτων $V = DsE$

Συνάρτηση μεταφοράς $V/E = Ds$

2.8 ΑΝΑΛΟΓΙΚΗ ΚΑΙ ΔΙΑΦΟΡΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ (PD)

Ο διαφορικός τρόπος ελέγχου χρησιμοποιείται μερικές φορές με τον αναλογικό τρόπο για να μειώσει την τάση των ταλαντώσεων και να επιτρέψει μια υψηλότερη ανάλογη ρύθμιση κέρδους.

Ο συνδυασμός αναλογικού τρόπου παρέχει μια αλλαγή στην έξοδο του ελεγκτή που είναι ανάλογη προς το σήμα λάθους. Ο διαφορικός τρόπος προβλέπει τη μελλοντική αξία του σήματος λάθους και αλλάζει την έξοδο του ελεγκτή αναλόγως.

Αυτή η προβλεπτική δράση καθιστά τον διαφορικό τρόπο χρήσιμο στον έλεγχο των διαδικασιών με ξαφνικές αλλαγές φορτίων. Για αυτόν τον λόγο, ο διαφορικός τρόπος χρησιμοποιείται συνήθως με τον αναλογικό, ή αναλογικός συν τον ολοκληρωτικό έλεγχο που αντιτίθεται στην αλλαγή μιας ελεγχόμενης μεταβλητής, και οι οποίες ανακόπτουν τις ταλαντώσεις της ελεγχόμενης μεταβλητής

Ο αναλογικός συν τον διαφορικό έλεγχο χρησιμοποιείται στη διαδικασία με τις ξαφνικές αλλαγές φορτίων όταν ο αναλογικός τρόπος δεν είναι μόνος του σε θέση να κρατήσει το λάθος μέσα σε ένα αποδεκτό επίπεδο. Ο διαφορικός τρόπος παρέχει μια προκαταβολική δράση που μειώνει το μέγιστο λάθος που παράγεται από τις ξαφνικές αλλαγές φορτίων. Επιτρέπει επίσης ένα υψηλότερο κέρδος που θέτει ποιες βοήθειες μειώνουν το ανάλογο offset.

ΑΝΑΛΟΓΙΚΗ ΚΑΙ ΔΙΑΦΟΡΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ PD

Εξίσωση στο πεδίο του χρόνου

$$v = Pe + PD \frac{de}{dt} - aD \frac{dv}{dt} + v_0$$

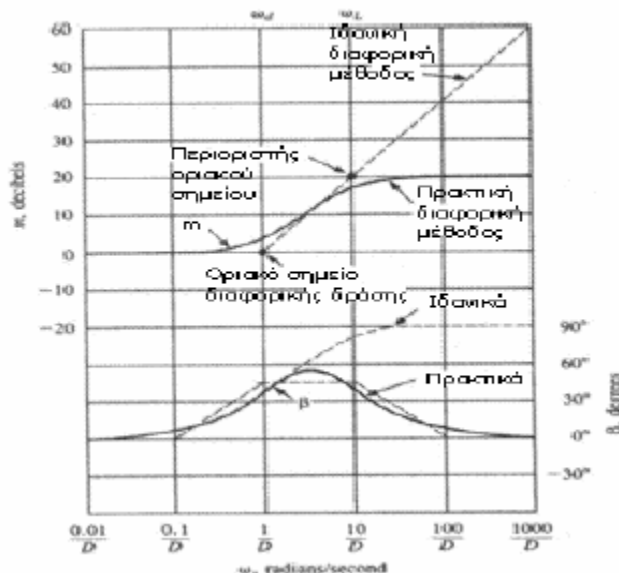
Εξίσωση στο πεδίο των συχνοτήτων

$$V = PE + PDsE - aDsV$$

Συνάρτηση μεταφοράς

$$V/E = P \left(\frac{1 + Ds}{1 + aDs} \right)$$

Το διάγραμμα Bode ενός PD τρόπου ελέγχου παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα



Εικόνα 42: Διάγραμμα Bode μιας πρακτικής διαφορικής μεθόδου ελέγχου με a=0.1

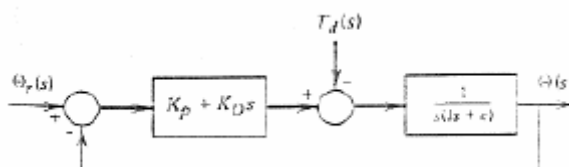
Ο αναλογικός τρόπος επικρατεί στην αριστερή πλευρά του διαγράμματος (όπου $\omega < \omega_d = 1/D$). Το αναλογικό κέρδος αυξάνει ή χαμηλώνει ολόκληρη την καμπύλη κέρδους, ακριβώς όπως έκανε και στον τρόπο ελέγχου PI. Ο διαφορικός τρόπος αναγκάζει την καμπύλη κέρδους για να κλίνει μέχρι 20dB ανά δεκάδα στο οριακό σημείο ενέργειας παραγωγού. Ο διαφορικός περιοριστής αναγκάζει το κέρδος να επιστρέψει σε οριζόντια θέση.

Το διάγραμμα επιδεικνύει σαφώς πώς ο διαφορικός τρόπος ενισχύει τα υψηλής συχνότητας σήματα, και πώς ο διαφορικός περιοριστής μειώνει την ενίσχυση των υψηλής συχνότητας σημάτων. Σημειώνεται επίσης ότι ο περιοριστής αναγκάζει την καθυστέρηση φάσης να επιστρέψει σε 0° στις υψηλότερες συχνότητες. Στην πραγματικότητα, ο PD τρόπος ελέγχου παρέχει μια καθοδήγηση της φάσης πέρα από την ζώνη των συχνοτήτων. Ο σχεδιασμός των ελεγκτών περιλαμβάνει την τοποθέτηση της φάσης εκεί που θα είναι καλύτερα.

2.8.1 PD ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΝΟΣ ΣΥΤΣΗΜΑΤΟΣ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΤΑΞΗΣ

Ο σχεδιασμός ενός ελεγκτή και με τους τρεις τρόπους αυξάνει το κόστος του συστήματος (εκτός ίσως για τα ψηφιακά συστήματα, όπου οι μόνες αλλαγές είναι μια τροποποίηση λογισμικού). Υπάρχουν εφαρμογές της θέσης του σερβομηχανισμού στον οποίο μια διαφορετική από το μηδέν απόκλιση ως αποτέλεσμα της διαταραχής μπορεί να ανεχτεί, αλλά επιδιώκουμε μια βελτίωση στην παροδική αντίδραση πέρα από το αναλογικό αποτέλεσμα ελέγχου. Η ολοκληρωτική δράση δεν θα απαιτηθεί, και ο ρυθμός ενέργειας μπορεί να αντικατασταθεί για να βελτιώσει την μεταβατική απόκριση.

Η εφαρμογή ενός PD ελέγχου σε αυτό το σύστημα δίνει το μπλοκ διάγραμμα στην εικόνα 43.



Εικόνα 43: μπλοκ διάγραμμα ενός σερβομηχανισμού θέσης με PD έλεγχο

και τις ακόλουθες συναρτήσεις μεταφοράς

$$\Theta(s)/\Theta_r(s) = K_p + K_D s / Is^2 + (c + K_D)s + K_p \quad (1)$$

$$\Theta(s)/T_D(s) = -1 / Is^2 + (c + K_D)s + K_p \quad (2)$$

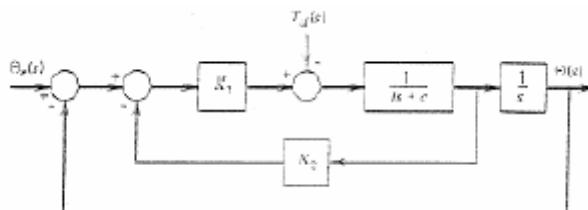
Το σύστημα είναι σταθερό για τις θετικές τιμές K_D και K_p . Η παρουσία του ρυθμού ενέργειας δεν έχει επιπτώσεις στην απόκριση της σταθερής κατάστασης για τις βηματικές εισόδους, και τα αποτελέσματα της σταθερής κατάστασης είναι ίδια με εκείνων του P έλεγχου, δηλαδή, μηδενικό σφάλμα μετατόπισης και μια απόκλιση $-1/K_p$ λόγω της διαταραχής. Η αναλογία απόσβεσης είναι

$$\zeta = c + K_D / 2\sqrt{IK_p}$$

Για τον P έλεγχο, $\zeta = c/2\sqrt{IK_p}$. Η εισαγωγή του ρυθμού ενέργειας επιτρέπει στο ανάλογο κέρδος K_p να είναι μεγάλο για να μειώσει την απόκλιση της σταθερής κατάστασης, ενώ το K_D μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επιτύχει μια αποδεκτή αναλογία απόσβεσης. Ο ρυθμός ενέργειας βοηθά επίσης να σταθεροποιήσει το

σύστημα με την προσθήκη της απόσβεσης (εάν $c = 0$, το σύστημα με το P έλεγχο δεν είναι σταθερό).

Το μπλοκ διάγραμμα παρουσιάζεται στην εικόνα 44



Εικόνα 44: μπλοκ διάγραμμα ενός ταχύμετρου ρύθμισης της ανατροφοδότησης ενός σερβομηχανισμού θέσης με PD έλεγχο

Το κέρδος του συνδυασμού ενισχυτής-μηχανή-ποτενσιόμετρο είναι K_1 , και K_2 και είναι το κέρδος του ταχυμέτρου.

Οι συναρτήσεις μεταφοράς είναι

$$\Theta(s)/\Theta_r(s) = K_1 / Is^2 + (c + K_1K_2)s + K_1 \quad (1)$$

$$\Theta(s)/T_d(s) = -1 / Is^2 + (c + K_1K_2)s + K_1 \quad (2)$$

Αυτό το σύστημα επομένως θα είναι κάπως πιο αργό από το σύστημα με τον καθαρό PD έλεγχο. Τα κέρδη K_1 και K_2 μπορούν να επιλεγτούν για να παραγάγουν την επιθυμητή αναλογία απόκλισης και απόσβεσης της σταθερής κατάστασης όπως έγινε με το K_p και K_D .

2.9 PID ΑΝΑΛΟΓΙΚΟΣ-ΟΛΟΚΛΗΡΩΤΙΚΟΣ-ΔΙΑΦΟΡΙΚΟΣ ΤΡΟΠΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ

Ο τρόπος ελέγχου PID είναι ένας συνδυασμός των αναλογικών, ολοκληρωτικών, και διαφορικών τρόπων ελέγχου. Ένας ελεγκτής PID αναφέρεται επίσης ως ελεγκτής τριών μεθόδων. Ο ολοκληρωτικός τρόπος χρησιμοποιείται για να αποβάλει το ανάλογο offset που προκαλείται από τις μεγάλες αλλαγές φορτίων. Ο διαφορικός τρόπος μειώνει την τάση σε σχέση με τις ταλαντώσεις και παρέχει μια δράση ελέγχου που προλαμβάνει τις αλλαγές στο σήμα λάθους. Ο διαφορικός τρόπος είναι ιδιαίτερα χρήσιμος όταν η διαδικασία έχει ξαφνικές αλλαγές φορτίων.

Ο αναλογικός - συν- ολοκληρωτικός-συν-διαφορικός τρόπος ελέγχου χρησιμοποιείται στις διαδικασίες με τις ξαφνικές, μεγάλες αλλαγές φορτίων όταν ένας ή δύο τρόποι ελέγχου δεν είναι σε θέση να κρατήσει το λάθος μέσα στα αποδεκτά όρια. Ο διαφορικός τρόπος παράγει μια προκαταβολική δράση που μειώνει το μέγιστο λάθος που παράγεται από τις ξαφνικές αλλαγές φορτίων. Ο ολοκληρωτικός τρόπος παρέχει μια δράση (reset) που αποβάλλει το ανάλογο offset.

ΑΝΑΛΟΓΙΚΗ-ΟΛΟΚΛΗΡΩΤΙΚΗ-ΔΙΑΦΟΡΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ (PID)

Εξίσωση στο πεδίο του χρόνου

$$v = Pe + PI \int_0^t e \, dt + PD \, de/dt - aD \, dv/dt + v_0$$

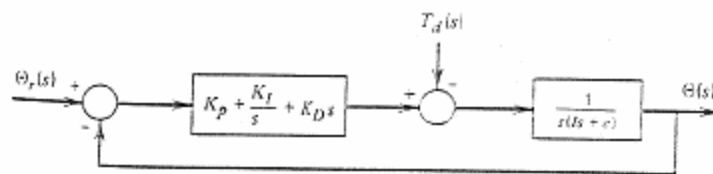
Εξίσωση στο πεδίο της συχνότητας

$$V = PE + P(1/s)E + PDsE - aDsV$$

Συνάρτηση μεταφοράς

$$V/E = P \left(\frac{1+s+Ds^2}{s+aDs^2} \right)$$

Το σχέδιο θέσης σερβομηχανισμών με τον έλεγχο PI δεν είναι απολύτως ικανοποιητικό λόγω των δυσκολιών που συναντιούνται όταν η απόσβεση c είναι μικρή. Αυτό το πρόβλημα μπορεί να λυθεί με τη χρησιμοποίηση του συνόλου PID-νόμου ελέγχων.



Εικόνα 45: μπλοκ διάγραμμα ενός σερβομηχανισμού θέσης με PID έλεγχο

Από την εικόνα 45 έχουμε τις ακόλουθες συναρτήσεις μεταφοράς:

$$\Theta(s)/\Theta_r(s) = K_D s^2 + K_p s + K_I / I s^3 + (c + K_D) s^2 + K_p s + K_I \quad (1)$$

$$\Theta(s)/T_d(s) = -s / I s^3 + (c + K_D) s^2 + K_p s + K_I \quad (2)$$

Ένα σταθερό σύστημα έχει αποτέλεσμα εάν όλα τα κέρδη είναι θετικά και εάν

$$(c + K_D) K_p - I K_I > 0$$

Η παρουσία του K_D χαλαρώνει κάπως την απαίτηση ότι το K_p να είναι μεγάλο για να επιτύχει η σταθερότητα. Το σφάλμα σταθερής κατάστασης είναι μηδέν, και η μεταβατική απόκριση μπορεί να βελτιωθεί, επειδή τρεις από τους συντελεστές της χαρακτηριστικής εξίσωσης μπορούν να επιλεγτούν.

Όπως φαίνεται και πιο πάνω η μέθοδος ελέγχου PID είναι ένας συνδυασμός των μεθόδων P,I,D. Ένας ελεγκτής PID αναφέρεται και ως ελεγκτής τριών όρων.

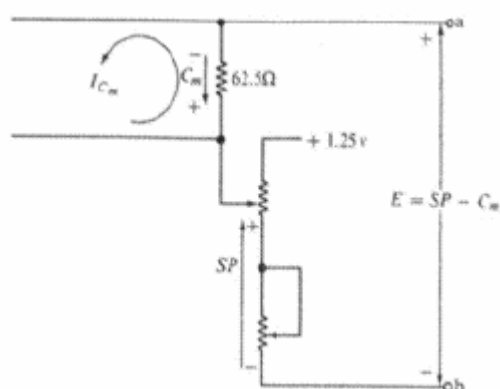
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3
ΤΥΠΟΙ ΕΛΕΓΚΤΩΝ

3.1 ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΙ ΑΝΑΛΟΓΙΚΟΙ ΕΛΕΓΚΤΕΣ

Ένας ηλεκτρονικός αναλογικός ελεγκτής έχει δύο κύρια μέρη:

- τον ανιχνευτή σφάλματος
- και τη μονάδα ελέγχου

Ένα παράδειγμα ενός ηλεκτρικού ανιχνευτή σφάλματος είναι διευκρινισμένο στην εικόνα 46.



Εικόνα 46: ανιχνευτής ηλεκτρικού σφάλματος

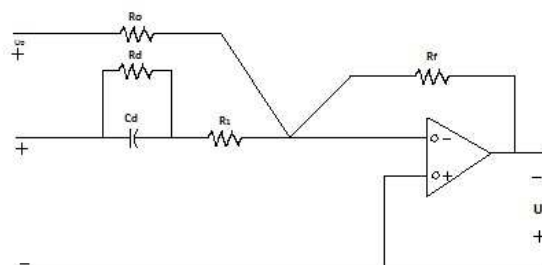
Η έξοδος του πομπού μέτρησης είναι ένα σήμα ηλεκτρικής ροής 4-εως-20mA. Κάθε αξία του ρεύματος αντιπροσωπεύει μια μοναδική τιμή της ελεγχόμενης μεταβλητής (c). Το σήμα 4- mA αντιπροσωπεύει την ελάχιστη τιμή του c, και το 20- mA σήμα αντιπροσωπεύει τη μέγιστη τιμή. Το σήμα του ρεύματος εφαρμόζεται σε μια αντιστάτη 62,5Ω- , καταλήγοντας στα 0,25- με 1,25-V .

Το σήμα setpoint (σημείο ρύθμισης) παράγεται από ένα ποτενσιόμετρο με έξοδο στα 0,25- 1.25 V. Τα δύο σήματα τάσης είναι συνδεδεμένα αντίθετα έτσι ώστε η τάση μεταξύ των σημείων α και β να είναι ίση με το σήμα setpoint μείον το μετρημένο σήμα .

$$e = sp - c_m$$

Η μονάδα ελέγχου καλείται μερικές φορές "ελεγκτής", αν και είναι πραγματικά ένα μέρος της μονάδας που καλείται συνήθως από εκείνο το όνομα. Ο ηλεκτρονικός αναλογικός ελεγκτής χρησιμοποιεί έναν απλό ενισχυτή λειτουργίας και μερικές αντιστάσεις και πυκνωτές για να διαμορφώσει τη μονάδα ελέγχου. Ο ενισχυτής λειτουργίας χρησιμοποιείται ως γεννήτρια, και οι αντιστάσεις και οι πυκνωτές κανονίζονται για να εφαρμόσουν τη λειτουργία μεταφοράς του επιθυμητού τρόπου ελέγχου ή το συνδυασμό αυτών.

Ο αναλογικός ελεγκτής χρησιμοποιεί τρεις αντιστάσεις για να διαμορφώσει έναν ανάστροφο ενισχυτή εικόνα 47.



Εικόνα 47: Ο αναλογικός ελεγκτής είναι ουσιαστικά ένας op-amp αναστρέφων ενισχυτής

$$\text{Συνάρτηση μεταφοράς} = \frac{V}{E} = P \left[\frac{1+Ds}{1+aDs} \right]$$

$$P = \frac{R_f}{R_i + R_d} = \text{κέρδος}$$

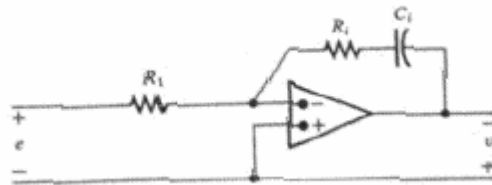
$$D = R_d C_d$$

$$a = \frac{R_i}{R_i + R_d}$$

$$R_0 = R_f$$

Το κύκλωμα έχει δύο εισόδους, το λάθος (e) και το offset της εξόδου (v_0). Το αναλογικό κέρδος (P) είναι ίσο με την αντίσταση ανατροφοδότησης (R_f) που διαιρείται με την αντίσταση λάθους της εισόδου (R_i). Το offset της αντίστασης (R_0) πρέπει να είναι ίσο με την αντίσταση ανατροφοδότησης (R_f) για να ικανοποιήσει την εξίσωση του χρόνου. Οι γραμμές της εξόδου μπορούν να διατηρηθούν για να καταστήσουν την έξοδο είτε θετική είτε αρνητική όσον αφορά το σφάλμα. Μερικές εφαρμογές του ελεγκτή θα απαιτήσουν μια θετική είσοδο για το σφάλμα, και άλλες εφαρμογές θα απαιτήσουν μια αρνητική έξοδο για ένα θετικό σφάλμα.

- Ο αναλογικός συν τον ολοκληρωτικό ελεγκτή χρησιμοποιεί δύο αντιστάσεις και ένα πυκνωτή για να εφαρμόσει την PI συνάρτηση μεταφοράς.



$$\text{Συνάρτηση μεταφοράς} = \frac{V}{E} = K \left[\frac{1+s}{s} \right]$$

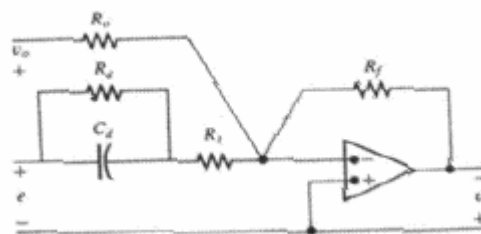
$$P = \frac{R1}{Ri} = \text{κέρδος}$$

$$I = 1/(RiCi)$$

Εικόνα 48: Αναλογικός ελεγκτής PI

Ο πυκνωτής (Ci) τοποθετείται σε σειρά με την αντίσταση ανατροφοδότησης (Ri). Το κέρδος (P) είναι ίσο με την αντίσταση ανατροφοδότησης (Ri) που διαιρείται με την αντίσταση εισόδου (R1). Το ολοκληρωτικό ποσοστό δράσης ισούται με το αντίστροφο κλάσμα της αντίστασης της εισόδου (R1) και του πυκνωτή (CI).

- Ο αναλογικός συν τον διαφορικό ελεγκτή χρησιμοποιεί τέσσερις αντιστάσεις και έναν πυκνωτή για να εφαρμόσει τον PD τρόπο



Εικόνα 49: Αναλογικός ελεγκτής PD

$$\text{Συνάρτηση μεταφοράς} = \frac{V}{E} = P\left[\frac{1+Ds}{1+aDs}\right]$$

$$P = \frac{R_f}{R_i + R_d} = \text{κέρδος}$$

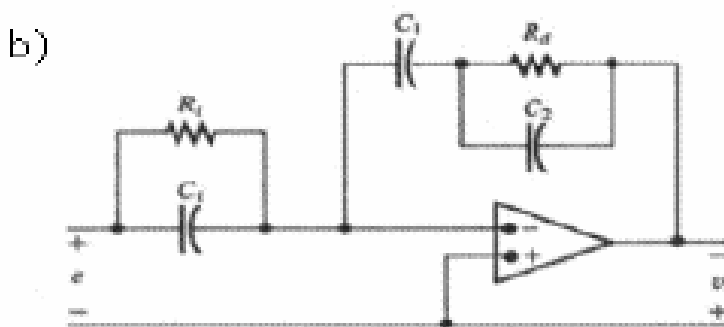
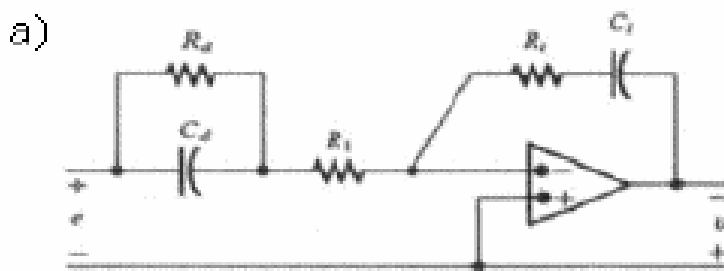
$$D = R_d C_d$$

$$a = \frac{R_i}{R_i + R_d}$$

$$R_0 = R_f$$

Το κύκλωμα είναι αναλογικός ελεγκτής με έναν παράλληλο συνδυασμό αντίστασης (R_d) και πυκνωτή (C_d) που τοποθετείται στη σειρά με την είσοδο και την ολοκληρωτική δράση από την πλευρά της εξόδου.

- Δυο εκδόσεις του αναλογικού ελεγκτή PID παρουσιάζονται στην εικόνα 4.5(a,b). Η μια έκδοση (εικόνα 4.5a) σχηματίζει την διαφορική δράση στη μεριά της εισόδου και την ολοκληρωτική δράση στη μεριά της εξόδου. Η άλλη εκδοχή (εικόνα 4.5b) κάνει ακριβώς το αντίθετο και διαμορφώνει την ολοκληρωτική δράση από την πλευρά της εισόδου και την διαφορική δράση από την πλευρά της εξόδου.



$$\text{Συνάρτηση μεταφοράς} \quad \frac{V}{E} = P \left[\frac{1+s}{s} \right] \left[\frac{1+Ds}{1+aDs} \right]$$

$$\text{a) } P = \frac{Ri}{Ri+Rd}$$

$$\text{b) } P = C/Ci$$

$$a = \frac{Ri}{Ri+Rd}$$

$$a = \frac{c2}{c1+c2}$$

$$I = 1/(RiCi)$$

$$I = 1/(R_2C_2)$$

$$D = RdCd$$

$$D = Rd(C_1+C_2)$$

Η συνάρτηση μεταφοράς για τον αναλογικό ελεγκτή PID είναι μια τροποποιημένη έκδοση της εξίσωσης $\frac{V}{E} = P \left(\frac{1+s+Ds}{s+aDs} \right)$

Η τροποποίηση γίνεται για λόγους οικονομίας. Η εφαρμογή της εξίσωσης $\frac{V}{E} = P \left(\frac{1+s+Ds}{s+aDs} \right)$ για κάθε μέθοδο απαιτεί τρεις λειτουργικούς ενισχυτές.

Οι διαφορικοί και ολοκληρωτικοί όροι πρέπει να διαμορφωθούν παράλληλα και να αθροιστούν έπειτα με έναν ενισχυτή αθροίσματος. Η τροποποίηση αποτελείται από την παρεμβολή ενός όρου αλληλεπίδρασης (PIDe) στην εξίσωση του χρόνου όπως παρουσιάζεται κατωτέρω.

$$v = Pe + PIDe + PI \int_0^t e \, dt + PD \, de/dt - aD \, dv/dt + v_0$$

Ένας μετασχηματισμός Laplace της ανωτέρω εξίσωσης με $v_0 = 0$ δίνει την ακόλουθη εξίσωση πεδίου συχνότητας:

$$V = PE + PIDe + P(1/s) E + PDsE - aDsV$$

Η επίλυση για το λόγο V/E δίνει την ακόλουθη συνάρτηση μεταφοράς:

$$\frac{V}{E} = \frac{P + PID + \frac{PI}{s} + PDs}{1 + \alpha Ds^2} \quad (1)$$

ή

$$\frac{V}{E} = P \left(\frac{I + (1 + ID)s + Ds^2}{s + \alpha Ds^2} \right) \quad (2)$$

3.2 ΨΗΦΙΑΚΟΙ ΕΛΕΓΚΤΕΣ

Οι βασισμένοι σε μικροεπεξεργαστή ψηφιακοί ελεγκτές είναι τώρα πολύ κοινοί στα βιομηχανικά συστήματα ελέγχου. Υπάρχουν πολλοί λόγοι για τη δημοτικότητα των ψηφιακών ελεγκτών. Η ισχύς του μικροεπεξεργαστή παρέχει τα προηγμένα χαρακτηριστικά γνωρίσματα όπως ο προσαρμοστικός αυτορυθμιστικός, πολυμεταβλητός έλεγχος, και τα ειδικά συστήματα.

Η ικανότητα του μικροεπεξεργαστή που επικοινωνεί μέσω ενός διαύλου ή ενός τοπικού δικτύου είναι ένας άλλος λόγος για την ευρεία αποδοχή του ψηφιακού ελεγκτή. Οι ψηφιακοί ελεγκτές που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο κλειστών βρόγχων εφαρμόζουν γενικά τους τρόπους ελέγχου PI, PD, ή PID.

3.2.1 ΨΗΦΙΑΚΟΣ ΕΛΕΓΚΤΗΣ PID

ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ

Ένας ψηφιακός ελεγκτής μετρά την ελεγχόμενη μεταβλητή σε συγκεκριμένους χρόνους που χωρίζονται από ένα χρονικό διάστημα αποκαλούμενο ο χρόνος δειγματοληψίας, Δt . Κάθε δείγμα (ή μέτρηση) της ελεγχόμενης μεταβλητής μετατρέπεται σε έναν δυαδικό αριθμό για την εισαγωγή σε έναν ψηφιακό υπολογιστή

ή σε έναν μικροϋπολογιστή. Ο υπολογιστής αφαιρεί κάθε δείγμα της μετρημένης μεταβλητής από το setpoint για να καθορίσει ένα σύνολο από δείγματα σφάλματος.

$$e_1 = sp - c_{m1} = \text{πρώτο δείγματα σφάλματος}$$

$$e_2 = sp - c_{m2} = \text{δεύτερο δείγμα σφάλματος}$$

$$e_3 = sp - c_{m3} = \text{τρίτο δείγμα σφάλματος}$$

.

.

.

.

$$e_n = sp - c_{mn} = \text{n-οστό δείγμα σφάλματος}$$

ΑΛΓΟΡΙΘΜΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

Αφού υπολογίσουμε κάθε δείγμα σφάλματος, ένας ψηφιακός ελεγκτής PID ακολουθεί μια διαδικασία αποκαλούμενη αλγόριθμος PID για να υπολογίσει την έξοδο του ελεγκτή βασισμένη στο δείγμα σφάλματος $e_1, e_2, e_3, \dots, e_n$. Ο αλγόριθμος PID έχει δύο εκδόσεις, τη positional έκδοση (αλγόριθμος θέσης) και την επαυξητική έκδοση. Ο αλγόριθμος θέσης PID καθορίζει τη θέση βαλβίδων, v_n , βασισμένος στα σήματα σφάλματος. Η παρακάτω εξίσωση είναι μια απλουστευμένη έκδοση του αλγόριθμου θέσης.

$$v_n = P e_n + PI \Delta t \sum_{j=1}^{j=n} e_j + PD \frac{\Delta e_n}{\Delta t}$$

Όπου

v_n = η θέση της βαλβίδας, επί τοις εκατό

P = κέρδος του ελεγκτή

e_n = δείγμα σφάλματος, επί τοις εκατό

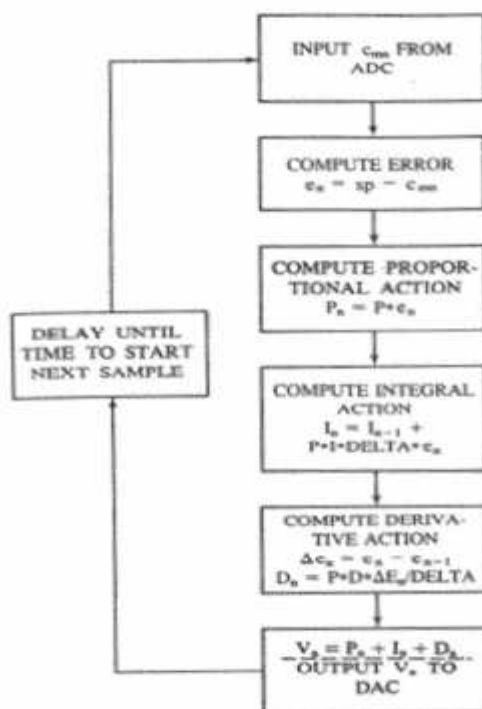
Δt = ο χρόνος του δείγματος, σε second

I = το αναλογικό ποσοστό, σε second^{-1}

D = διαφορική χρονική σταθερά, σε second

$\Delta e_n = e_n - e_{n-1}$ = αλλαγή στο σήμα σφάλματος

Ένα διάγραμμα ροής ενός αλγορίθμου θέσης PID παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα 50.



Εικόνα 50: Διάγραμμα ροής ενός αλγορίθμου PID

Ο επαυξητικός αλγόριθμος PID καθορίζει την αλλαγή στη θέση βαλβίδων, $\Delta v_n = v_n - v_{n-1}$, που βασίζεται στα δείγματα σφάλματος. Ο επαυξητικός αλγόριθμος μπορεί να καθοριστεί με τη χρησιμοποίηση της εξίσωσης $v_n = P e_n + PI \Delta t \sum_{j=1}^{j=n} e_j + PD \frac{\Delta e_n}{\Delta t}$ για να καθορίσει το v_n και το v_{n-1} και έπειτα αφαιρώντας να έχουμε τα παρακάτω:

$$v_{n-1} = P e_{n-1} + PI \Delta t \sum_{j=1}^{j=n-1} e_j + PD \frac{\Delta e_{n-1}}{\Delta t}$$

$$\Delta v_n = P \Delta e_n + PI \Delta t e_n + PD \left(\frac{\Delta e_n - \Delta e_{n-1}}{\Delta t} \right)$$

Όπου

$$\Delta v_n = v_n - v_{n-1}$$

$$\Delta e_n = e_n - e_{n-1}$$

$$\Delta e_n - \Delta e_{n-1} = e_n - 2e_{n-1} + e_{n-2}$$

Ο επαυξητικός αλγόριθμος ταιριάζει ιδιαίτερα στις συσκευές επαυξητικής παραγωγής όπως **stepper motors** (βηματικά μοτέρ). Ο αλγόριθμος θέσης είναι ποιο φυσιολογικός και έχει το πλεονέκτημα ότι ο ελεγκτής "θυμάται" τη θέση των βαλβίδων. Εάν το δείγμα του χρόνου Δt , είναι πολύ πιο σύντομο από την ολοκληρωτική χρονική σταθερά $T_i = 1/I$, ο αλγόριθμος θέσης θα παραγάγει μια συμπεριφορά παρόμοια με έναν αναλογικό ελεγκτή.



Ο ΟΛΟΚΛΗΡΩΤΙΚΟΣ ΤΡΟΠΟΣ

Ο ολοκληρωτικός τρόπος στην εξίσωση $v_n = P e_n + PI \Delta t \sum_{j=1}^{j=n} e_j + PD \frac{\Delta e_n}{\Delta t}$ παρουσιάζει υπολογιστικά ότι μπορεί να παραγάγει ανεπαρκή αποτελέσματα. Ο ολοκληρωτικός τρόπος δίνεται από τον ακόλουθο όρο

$$\text{Ολοκληρωτικός όρος} = PI \Delta t \sum_{j=1}^{j=n} e_j$$

Για κάθε δείγμα, ο ολοκληρωτικός τρόπος πρέπει να παραγάγει μια αλλαγή που δίνεται από την ολοκληρωτική αλλαγή $= PI \Delta t e_j$. Όταν η αξία του $PI \Delta t$ είναι λιγότερο από 1, είναι καταλληλότερο να χρησιμοποιήσουμε το αντίστροφο κλάσμα του $PI \Delta t$, το οποίο θα μπορούσε να αποθηκευτεί στον υπολογιστή ως ακέραιος αριθμός. Σε αυτήν την περίπτωση, η εξίσωση $PI \Delta t e_j$ θα γίνει ως εξής:

$$I_{DIV} = 1/ PI \Delta t$$

Αλλαγή μεθόδου ολοκληρώματος $= e_j / I_{DIV}$

Εάν το $PI \Delta t$ είναι πολύ μικρό, ο υπολογιστής μπορεί να αγνοήσει τα σχετικά μεγάλα σφάλματα λόγω ανεπαρκούς ανάλυσης. Παραδείγματος χάριν, αν έχουμε έναν ψηφιακό ελεγκτή με ένα μήκος λέξης 12-bit. Η ανάλυση του δυαδικού αριθμού 12-bit ο δυαδικός αριθμός είναι 1 μέρος του 4096. Να επεξηγηθεί ένα σημείο, υποθέτουμε ότι ένας δυαδικός αριθμός 12-bit χρησιμοποιείται για να αντιπροσωπεύσει μια σειρά από λάθη από -2048 έως + 2047.

Αν

$$P=0.5, \Delta t = 1s, \text{ και } I=0.002s^{-1},$$

τότε

$$PI \Delta t = (0.5)(1)(0.002) = 0.001$$

$$I_{DIV} = 1000$$

Οποιαδήποτε αξία σφάλματος μεγαλύτερη από -1000 και + λιγότερο από 1000 (δηλ....., 48% της πλήρους κλίμακας) θα οδηγούσε σε μια αλλαγή του ολοκληρωτικού τρόπου που θα ήταν λιγότερο από 1, η οποία θα αγνοούταν. Αυτή η μικρή αλλαγή θα χανόταν έπειτα εκτός αν ειδικά μέτρα λαμβάνονται για να συμπεριλάβουν την αλλαγή στους υπολογισμούς για το επόμενο δείγμα. Το τελικό αποτέλεσμα είναι ένα μόνιμο λάθος του offset που ο ολοκληρωτικός τρόπος είναι ανίκανος να αποβάλει. Μια λύση σε αυτό το πρόβλημα είναι να αυξήσουμε την ακρίβεια αυξάνοντας το μήκος της λέξης στον υπολογιστή. Ένα δεκαεξάμπιτο μήκος λέξης έχει μια ακρίβεια 1 σε 65.536, τα οποία θα μπορούσαν να αντιπροσωπεύσουν μια σειρά των λαθών από -32.768 + 32.768. Αυτό θα μείωνε το σφάλμα του offset σε περίπου 3%. Μια άλλη λύση είναι να προστεθεί το αχρησιμοποίητο τμήμα του ποσού των δειγμάτων σφάλματος στο

τρέχον δείγμα σφάλματος. Στο προηγούμενο παράδειγμα, ένα λάθος 900 σε κάθε ένα από τα δύο διαδοχικά δείγματα δεν θα παρήγε μια ολοκληρωτική αλλαγή επειδή κάθε δείγμα είναι λιγότερο από 1000. Εντούτοις, εάν το πρώτο δείγμα παραμένει, το ποσό 1800 θα παρήγε μια ολοκληρωτική αλλαγή $1800/1000=1$ με ένα υπόλοιπο 800. Το υπόλοιπο 800 θα διατηρούνταν για να προστεθεί στο επόμενο δείγμα σφάλματος. Κάθε φορά που το συσσωρευμένο υπόλοιπο συν το τρέχον σφάλμα είναι μεγαλύτερο από 1000, μια άλλη αύξηση θα προστεθεί στον ολοκληρωτικό έλεγχο.

ΔΙΑΦΟΡΙΚΟΣ ΤΡΟΠΟΣ

Ο διαφορικός τρόπος στην εξίσωση $v_n = Pe_n + PI \Delta t \sum_{j=1}^{j=n} e_j + PD \frac{\Delta e_n}{\Delta t}$ επίσης παρουσιάζει τα υπολογιστικά προβλήματα που μπορούν να παραγάγουν τα ανεπαρκή αποτελέσματα. Ένα αργά μεταβαλλόμενο σήμα, παραδείγματος χάριν, οδηγεί σε μια "νευρική" διαφορική δράση. Ας εξετάσουμε πώς αυτό μπορεί να εμφανιστεί και τι μπορεί να γίνει για να απαλύνει την διαφορική δράση. Ο διαφορικός τρόπος δίνεται από τον ακόλουθο όρο

$$\text{Διαφορικός όρος} = PD (e_n - e_{n-1}) / \Delta t$$

Ο όρος $(e_n - e_{n-1}) / \Delta t$ είναι πραγματικά μια εκτίμηση του ποσοστού αλλαγής του σφάλματος, de/dt . Δεδομένου ότι το Δt καθορίζεται από το ποσοστό δειγματοληψίας, η προσοχή μας θα εστιάσει στον όρο $(e_n - e_{n-1})$ τον οποίο θα εκφράσουμε ως est_1 . Ο διαφορικός όρος που παράγεται από το est_1 θα αποκαλείται D_1 .

$$est_1 = e_n - e_{n-1} \quad (14.30)$$

$$D_1 = PD est_1 / \Delta t \quad (14.31)$$

If $P = 6$, $\Delta t = 1s$, and $D = 100s$, then

$$D_1 = (6) (100/1) (est_1) = (600)(est_1)$$

Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει τον διαφορικό όρο που παράγεται από μια ελεγχόμενη μεταβλητή που μειώνεται στο ποσοστό 0,5 τοις εκατό ανά δευτερόλεπτο. Σημειώνεται πώς ο διαφορικός όρος (D1) πηδά πέρα δώθε μεταξύ 0 και 600, επειδή η εκτίμηση του est_1 , ταλαντεύεται μεταξύ 0 και 1. Αυτό που απαιτείται είναι μια καλύτερη εκτίμηση του Δe . Ωστόσο, ένα απλό παράδειγμα θα επιδείξει πώς ένας καλός εκτιμητής μπορεί να απαλύνει τον διαφορικό όρο. Η ιδέα ενός εκτιμητή είναι να χρησιμοποιηθούν τα προηγούμενα δείγματα για να βελτιώσει την εκτίμηση. Για το παράδειγμά μας, χρησιμοποιούμε έναν εκτιμητή που χρησιμοποιεί τα τελευταία τέσσερα δείγματα για να υπολογίσει το Δe . Θα καλέσουμε αυτήν την εκτίμηση est_2 , και τον διαφορικό όρο που παράγει, D2.

$$est_2 = (e_n + e_{n-1}) - (e_{n-2} + e_{n-3})$$

$$D2 = PD \ est_2 / 2^2 \Delta t$$

If $P=6$, $\Delta t = 1 \text{ s}$, and $D= 100\text{s}$,

τότε

$$D_2 = 6 (100/ 4) \ est_2 = 150est_2$$

n	c	c_m	e	est₁	D1	est₂	D2
1	9.5	9	0	0	0	0	0
2	9.0	9	0	0	0	0	0
3	8.5	8	1	1	600	1	150
4	8.0	8	1	0	0	2	300
5	7.5	7	2	1	600	2	300
6	7.0	7	2	0	0	2	300
7	6.5	6	3	1	600	2	300
8	6.0	6	3	0	0	2	300
9	5.5	5	4	1	600	2	300
10	5.0	5	4	0	0	2	300

πίνακας 2 Derivative Action Produced by Two Estimators^a

Setpoint, $sp = 9\%$

Ο πίνακας 2 επιδεικνύει πώς ο απλός εκτιμητής μας έχει απαλύνει τον διαφορικό όρο. Ο $est2$ εκτιμητής έχει μια αποτελεσματική περίοδο δειγμάτων 2 s. χρησιμοποίησε δύο δείγματα για να υπολογίσει το e_n και δύο περισσότερα δείγματα για να υπολογίσει το e_{n-2} . Ο όρος 2^2 στην εξίσωση D2 αποτελεί το διπλασιασμό της περιόδου δειγμάτων και τη χρήση δύο δειγμάτων για να καθορίσει έναν μέσο όρο. Η ιδέα του $est2$ εκτιμητή μπορεί να επεκταθεί για να συμπεριλάβει περισσότερα προηγούμενα δείγματα. Ένας $est5$ εκτιμητής θα αύξανε τον αποτελεσματικό χρόνο δειγμάτων σε 5 s και θα χρησιμοποιούσε πέντε δείγματα για να υπολογίσει το e_n και πέντε δείγματα για να υπολογίσει το e_{n-5} .

$$est5 = (e_n + e_{n-1} + e_{n-2} + e_{n-3} + e_{n-4}) - (e_{n-5} + e_{n-6} + e_{n-7} + e_{n-8} + e_{n-9})$$

$$D_5 = PD \ est5 / 5^2 \Delta t$$

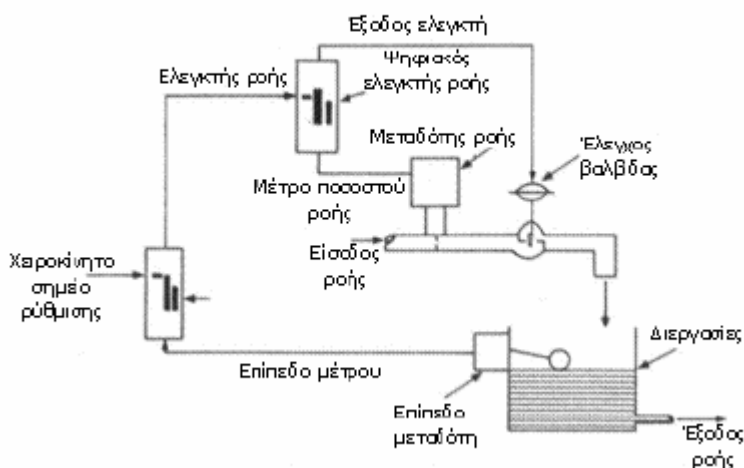
3.3 ΠΡΟΗΓΜΕΝΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

Ο προηγμένος έλεγχος αναφέρεται στις διάφορες μεθόδους του απλού βρόγχου μιας μεταβλητής ανάδρασης του συστήματος έλεγχου με τρεις τρόπους ελέγχου. Ο προηγμένος έλεγχος περιλαμβάνει τον σειριακό έλεγχο, τον έλεγχο ορθής τροφοδοσίας, τους προσαρμοστικούς **self-tuning** (αυτορυθμιζόμενους) ελεγκτές, και τα πολυμεταβλητά συστήματα ελέγχου.

3.4 ΣΕΙΡΙΑΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

Ο σειριακός έλεγχος περιλαμβάνει δύο ελεγκτές με την έξοδο του αρχικού ελεγκτή που παρέχει το setpoint του δεύτερου ελεγκτή. Ο βρόχος ελέγχου παρέχει μια άριστη εφαρμογή του σειριακού ελέγχου. Οι αλλαγές στη στάθμη εμφανίζονται αργά λόγω της χωρητικότητας της δεξαμενής. Αντίθετα, οι αλλαγές στη ροή εμφανίζονται πολύ γρήγορα. Όταν μια διαταραχή προκαλεί μια αλλαγή στο ποσοστό ροής της εισόδου, υπάρχει μια ιδιαίτερη καθυστέρηση προτού να αλλάξει αρκετά η στάθμη για να

διορθώσει τη διαταραχή. Η διαταραχή αλλάζει συχνά προτού να γίνει η διόρθωση. Η αργή διόρθωση των διαταραχών οδηγεί στις διακυμάνσεις της στάθμης. Ο σειριακός έλεγχος χρησιμοποιείται για να βελτιώσει το σύστημα ελέγχου στάθμης.

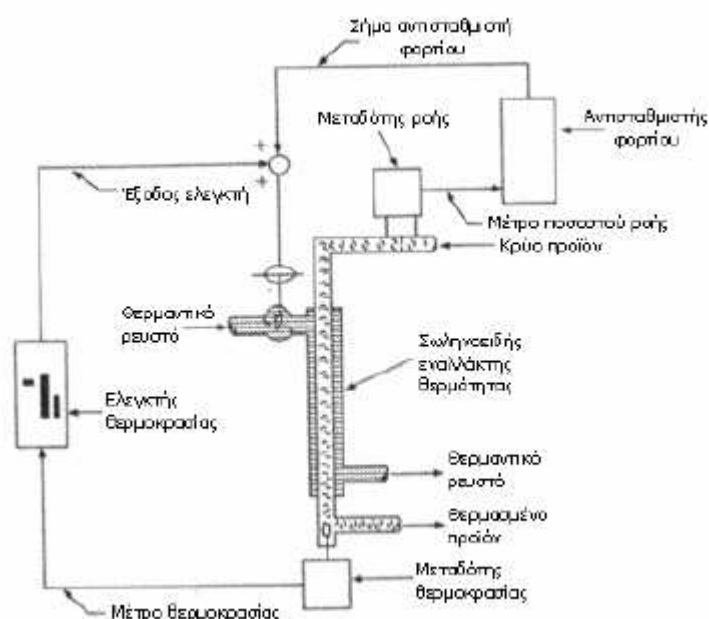


Εικόνα 51: Εφαρμογή σειριακού ελέγχου

Ένας πομπός σημάτων ροής και ένας δευτερεύον ελεγκτής χρησιμοποιούνται για να διαμορφώσουν έναν βρόχο ελέγχου ροής μέσα στο βρόχο ελέγχου στάθμης. Η έξοδος του ελεγκτή στάθμης είναι το ελάχιστο setpoint του ελεγκτή ροής. Ο βρόχος ελέγχου ροής αποκρίνεται γρήγορα στις διαταραχές ροής, αποβάλλοντας ουσιαστικά τις διακυμάνσεις στάθμης που προκληθήκαν σε έναν απλό βρόχο ελέγχου στάθμης. Οι βιομηχανικές διαδικασίες έχουν πολλές εφαρμογές του σειριακού ελέγχου.

3.5 ΕΛΕΓΧΟΣ ΟΡΘΗΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ

Ο έλεγχος ορθής τροφοδοσίας χρησιμοποιεί ένα μοντέλο της διαδικασίας για να κάνει τις αλλαγές στην έξοδο του ελεγκτή σε απάντηση στις αλλαγές σε μια σημαντική μεταβλητή φορτίων χωρίς να περιμένει το σφάλμα να εμφανιστεί. Το ποσοστό ροής του προϊόντος είναι το κύριο φορτίο στη διαδικασία. Μια αύξηση στο ποσοστό ροής του προϊόντος απαιτεί μια αύξηση στο ποσοστό ροής της θερμότητας για να διατηρήσει τη θερμοκρασία του προϊόντος στο setpoint. Στην εικόνα 52, ένας πομπός αποστολής σημάτων ροής μετρά το ποσοστό ροής προϊόντων και στέλνει το σήμα σε ένα αντισταθμίζων φορτίο.



Εικόνα 52: Εφαρμογή έλεγχου ορθής τροφοδοσίας

Ο αντισταθμιστής φορτίων υπολογίζει την απαραίτητη διόρθωση για να ρυθμίσει για το ποσοστό ροής του προϊόντος. Η έξοδος του αντισταθμιστή προστίθεται στην έξοδο του ελεγκτή θερμοκρασίας. η διόρθωση γίνεται μόλις μετριέται η αλλαγή στο ποσοστό ροής του προϊόντος. Ο όρος ορθή τροφοδοσία προέρχεται από το γεγονός ότι το σήμα αντιστάθμισης ταξιδεύει στην ίδια κατεύθυνση με το προϊόν. Αυτό είναι σε αντίθεση με το μετρημένο σήμα θερμοκρασίας, το οποίο ταξιδεύει στην αντίθετη κατεύθυνση με το προϊόν, για αυτό το λόγο δίνουμε το όνομα ορθή τροφοδοσία για τον αρχικό βρόχο. Εάν η αντιστάθμιση ορθής τροφοδοσίας είναι τέλεια και δεν υπάρχει καμία άλλη μεταβλητή διαταραχής στη διαδικασία, ο βρόγχος ανάδρασης μπορεί να εξαληφθεί. Αυτές οι ιδανικές συνθήκες δεν εμφανίζονται ποτέ στην πράξη, έτσι τα συστήματα έλεγχου ορθής τροφοδοσίας σταθερά περιλαμβάνουν ένα βρόχο ανάδρασης για να κάνουν τις τελικές προσαρμογές.

3.6 ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΤΙΚΟΙ ΕΛΕΓΚΤΕΣ

Οι προσαρμοστικοί ελεγκτές αλλάζουν τις παραμέτρους των ελεγκτών "που προσαρμόζονται" στις αλλαγές της διαδικασίας. Παραδείγματος χάριν, μια αλλαγή στο ποσοστό ροής του προϊόντος στο σύστημα ελέγχου θερμοκρασίας στην εικόνα 4.9 θα αλλάξει το νεκρό χρόνο της διαδικασίας. Μια αλλαγή στο νεκρό χρόνο διαδικασίας σημαίνει ότι μια αλλαγή στις παραμέτρους ελεγκτών είναι απαραίτητη για "να συντονίσει" τον ελεγκτή κατά τη διαδικασία. Ένας προσαρμοστικός ελεγκτής καθορίζει τις τιμές του P, I, and D απαραίτητο να προσαρμοστεί στους νέους όρους διαδικασίας και κάνει τις απαραίτητες αλλαγές. Πολλές διαφορετικές τεχνικές χρησιμοποιούνται για "να προσαρμόσουν" τον ελεγκτή στις αλλαγές κατά την διαδικασία.

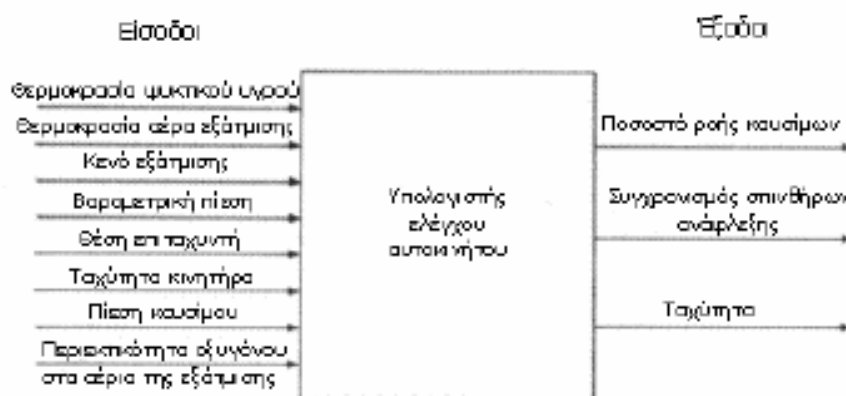
Οι αυτορυθμιζόμενοι ελεγκτές εμπίπτουν σε δύο γενικές κατηγορίες:

- εκείνοι που χρησιμοποιούν ένα πρότυπο της διαδικασίας ως βάση του συντονισμού
- και εκείνων που χρησιμοποιούν την αναγνώριση σχεδίων και την αποθηκευμένη γνώση ως βάση.

Ένας χαρακτηριστικός προσαρμοστικός ελεγκτής εισάγει μια βηματική αλλαγή στο setpoint και παρατηρεί την προκύπτουσα απόκριση της διαδικασίας. Ο ελεγκτής διαμορφώνει έπειτα ένα μοντέλο της διαδικασίας βασισμένος στην βηματική αλλαγή. Η λειτουργία "αυτοδιδασκαλίας" επαναλαμβάνεται και οι παράμετροι προτύπων και συντονισμού ρυθμίζονται και ταιριάζουν με την πραγματική διαδικασία. Η προσέγγιση της αναγνώρισης προτύπων στον προσαρμοστικό έλεγχο χρησιμοποιεί μια γραφική παράσταση των σφαλμάτων ανά το χρόνο. Ο ελεγκτής εξετάζει συνεχώς την απόκριση στις φυσικές διαταραχές, ψάχνοντας την παρουσία ή την απουσία κορυφών, το χρονικό διάστημα μεταξύ των αιχμών, και του ανάλογου offset. Μετά από μια διαταραχή, ο ελεγκτής υπολογίζει αυτόματα P,I, και το D βασισμένο στο παρατηρούμενο πρότυπο απόκρισης και τη γνώση αποθήκευσης στη μνήμη του ελεγκτή.

3.7 ΠΟΛΥΜΕΤΑΒΛΗΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

Ο πολυμεταβλητός έλεγχος χρησιμοποιεί τις μετρήσεις διάφορων μεταβλητών της διαδικασίας και μπορεί να περιλαμβάνει το χειρισμό περισσότερων από μιας μεταβλητής διαδικασίας. Τα συστήματα έλεγχου υπολογιστών που χρησιμοποιούνται για να ελέγξουν τους ψεκαστές καυσίμου και τον χρονισμό του μπουζί στα αυτοκίνητα είναι ένα άριστο παράδειγμα ενός πολυμεταβλητού συστήματος έλεγχου. Η εικόνα 53 επεξηγεί ένα αντιπροσωπευτικό αυτοκινούμενο σύστημα έλεγχου.



Εικόνα 53: Εφαρμογή πολυμεταβλητού έλεγχου

Ο σκοπός του συστήματος που παρουσιάζεται στην εικόνα 4.10 είναι να ελεγχθεί το ποσοστό ροής του ψεκαστή καυσίμων, το χρονισμό των μπουζί και της ταχύτητας του ρελαντί. Οι είσοδοι στον ελεγκτή περιλαμβάνουν τη θερμοκρασία ψυκτικού υγρού, θερμοκρασία αέρα εξάτμισης, βαρομετρική πίεση, τη θέση επιταχυντή, την ταχύτητα του κινητήρα, την πίεση καυσίμων, και την περιεκτικότητα σε οξυγόνο στα αέρια της εξάτμισης. Ένας απλός υπολογιστής ελέγχει και τις τρεις μεταβλητές εξόδου. Το σύστημα έλεγχου έχει οκτώ εισόδους και τρεις εξόδους, που το κάνουν ένα πολυμεταβλητό σύστημα έλεγχου.

Οι σημαντικότεροι λειτουργικοί τρόποι του συστήματος ελέγχου είναι:

- 1) **Έναρξη.** Ο ελεγκτής ποικίλλει το ποσό καυσίμων που ψεκάζονται στην πολλαπλή ποσότητα εισόδου σύμφωνα με τη θερμοκρασία ψυκτικού του κινητήρα. Μια κρύα μηχανή λαμβάνει περισσότερα καύσιμα από μια ζεστή μηχανή. Το σύστημα εκκίνησης παράγει το χρονοισμό των μπουζί εσωτερικά και αγνοεί τα σήματα συγχρονισμού από τον υπολογιστή.
- 2) **Κανονική λειτουργία.** Ο υπολογιστής χρησιμοποιεί τέσσερα σήματα εισόδου για να διατηρήσει μια σχεδόν ιδανική αναλογία αέρα/καύσιμα (περίπου 14.7:1). Οι τέσσερις μεταβλητές εισόδου είναι θερμοκρασία αέρα, κενό εξάτμισης, πίεση καυσίμων, και η περιεκτικότητα σε οξυγόνο. Ο υπολογιστής τροποποιεί επίσης το συγχρονισμό ανάφλεξης βασισμένο στην ταχύτητα της μηχανής, το κενό εξάτμισης, τη θερμοκρασία ψυκτικού μέσου μηχανών, και τη βαρομετρική πίεση.
- 3) **Ψυχρή λειτουργία.** Ο υπολογιστής παρέχει τα πρόσθετα καύσιμα όταν η θερμοκρασία ψυκτικού είναι κάτω από μια προκαθορισμένη τιμή.
- 4) **Επιτάχυνση.** Ο υπολογιστής παρέχει τα πρόσθετα καύσιμα κατά τη διάρκεια της επιτάχυνσης.
- 5) **Επιβράδυνση.** Ο υπολογιστής μειώνει το ποσό καυσίμων κατά την επιβράδυνση για να μειώσει τη ρύπανση που παράγεται από τη μηχανή.
- 6) **Ρελαντί .** Η ταχύτητα του ρελαντί αυξάνεται όταν η θερμοκρασία ψυκτικού είναι κάτω από μια προκαθορισμένη τιμή. Η ταχύτητα του ρελαντί αυξάνεται επίσης όταν η τάση μπαταριών είναι χαμηλή, όταν μετατοπίζεται η μετάδοση στην κίνηση ή αντίστροφα, και όταν λειτουργεί το κλιματιστικό του αυτοκινήτου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟΙ ΛΟΓΙΚΟΙ ΕΛΕΓΚΤΕΣ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΥΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟΥΣ ΛΟΓΙΚΟΥΣ ΕΛΕΓΚΤΕΣ (PLC)

Τα PLC (Programmable Logic Controllers) έκαναν την εμφάνιση τους στο τέλος της δεκαετίας του 1960 για τις ανάγκες αυτοματοποίησης της αμερικάνικης βιομηχανίας αυτοκινήτων. Από εκείνη την εποχή μέχρι σήμερα έχουν αναπτυχθεί τόσο πολύ, έτσι ώστε να αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι κάθε μορφής βιομηχανίας και να χρησιμοποιούνται στον ευρύτερο και πολυσύνθετο χώρο της.

4.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ PLC

Αν θελήσουμε να δώσουμε έναν ορισμό σε έναν προγραμματιζόμενο λογικό ελεγκτή θα μπορούσαμε να πούμε ότι είναι: **μία ψηφιακή ηλεκτρονική συσκευή η οποία χρησιμοποιεί μια προγραμματιζόμενη μνήμη για την αποθήκευση οδηγιών και ειδικές λειτουργίες όπως είναι η λογική, η ακολουθία, ο χρόνος, η αρίθμηση κλπ. για να ελέγξει τις μηχανές και την διαδικασία.** Το PLC είναι μια ηλεκτρονική διάταξη η οποία από την άποψη της λειτουργιάς θα μπορούσε να προσομοιωθεί με έναν πίνακα αυτοματισμού. Έχει δηλαδή εισόδους και εξόδους που συνδέονται με τα στοιχεία μιας εγκατάστασης και βέβαια ένα αλγόριθμο που καθορίζει ότι κάποιος συνδυασμός εισόδων παράγει ένα αποτέλεσμα στις εξόδους. Σε ότι αφορά το υλικό όλα τα PLC αποτελούνται από την CPU, η οποία περιέχει την λογική του αυτοματισμού και η οποία αφού διαβάσει την κατάσταση των καρτών εισόδου (input modules) ενεργοποιεί τις κάρτες εξόδου (output modules) σύμφωνα με τους κανόνες (πρόγραμμα) που έχουμε αποθηκεύσει στην μνήμη του.

Βέβαια το σύστημα ολοκληρώνεται από το τροφοδοτικό και πιθανόν από διατάξεις ενδείξεων και χειρισμών (operator panel, operator display). Η CPU με την βοήθεια της κάρτας εισόδου γνωρίζει κάθε στιγμή την κατάσταση ενός διακόπτη εάν δηλαδή είναι διεγερμένος ή όχι. Επιπλέον με τη βοήθεια της κάρτας εξόδου οπλίζει ένα ρελέ και μέσω αυτού ενεργοποιεί μια διάταξη κίνησης, φωτισμού, κλπ.

Έτσι τώρα το σύνολο του συστήματος λειτουργεί ως εξής:

Αρχικά η CPU διαβάζει τις εισόδους, δηλαδή παρατηρεί την κάθε είσοδο, και αν σε αυτή έχει εμφανιστεί τάση (που σημαίνει ότι έχει κλείσει ο διακόπτης) καταχωρεί ένα

λογικό 1 σε μια περιοχή της μνήμης του που είναι ειδική γι' αυτό τον σκοπό. Η περιοχή αυτή περιέχει σε κάθε στιγμή την κατάσταση των εισόδων και λειτουργεί σαν ενδιάμεσος σταθμός ανάμεσα στο <<έξω κόσμο>> και την CPU. Στη συνέχεια εκτελείται το πρόγραμμα δηλαδή εξετάζεται η τιμή των εισόδων και αποφασίζεται η τιμή της εξόδου η οποία και καταχωρείται σε μια αντίστοιχη περιοχή μνήμης εξόδου. Τέλος η περιοχή της μνήμης εξόδου μεταφέρεται στην κάρτα εξόδου και διεγείρει με την σειρά της το ρελε. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται από την αρχή και διαρκώς. Η διαδικασία αυτή λέγεται κυκλική επεξεργασία στο PLC.

4.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Συγκριτικά με τον κλασσικό αυτοματισμό τα πλεονεκτήματα του προγραμματισμού με PLC είναι πάρα πολλά. Ενδεικτικά μπορεί να γίνει αναφορά σε ότι:

- Είναι συσκευές γενικής χρήσεως – δεν είναι κατασκευασμένοι για ένα συγκεκριμένο είδος παραγωγής.
- Δεν ενδιαφέρει ο συνολικός αριθμός των επαφών, χρονικών, απαριθμητών κλπ που θα χρησιμοποιηθούν μιας και αποτελούν στοιχειά μνήμης της CPU και όχι φυσικές οντότητες.
- Η λειτουργία του αυτοματισμού μπορεί αλλάξει σε οποιοδήποτε στάδιο θελήσουμε (μελέτη, κατασκευή, θέση σε λειτουργία ή αργότερα) χωρίς επέμβαση στο υλικό.
- Εύκολος οπτικός εντοπισμός με μια ματιά, της λειτουργίας η μη στοιχείων της εγκατάστασης με τη βοήθεια των LED που υπάρχουν σε όλες τις κάρτες εισόδου/εξόδου. Με τη βοήθεια συσκευής προγραμματισμού μπορεί να παρακολουθηθεί και η ροή εκτέλεσης του προγράμματος.
- Η κατασκευή του πίνακα που θα τοποθετηθεί το PLC γίνεται παράλληλα με τον προγραμματισμό του, πράγμα το οποίο οδηγεί στην συντομότερη παράδοση του αυτοματισμού.
- Πολύ συχνό είναι το φαινόμενο ο τεχνικός να κληθεί να επισκευάσει μια βλάβη και να δει έκπληκτος ότι άλλα υπάρχουν στα σχέδια και άλλα βλέπει αυτός στην εγκατάσταση. Το πρόβλημα αυτό δεν υπάρχει στα PLC αφού πάντα υπάρχει μόνο ένα σχέδιο αποθηκευμένο –το τελευταίο πρόγραμμα που του έχουν

περάσει. Εάν απαιτούνται περισσότερα προγράμματα, αυτό είναι δυνατό με τη χρήση δισκετών.

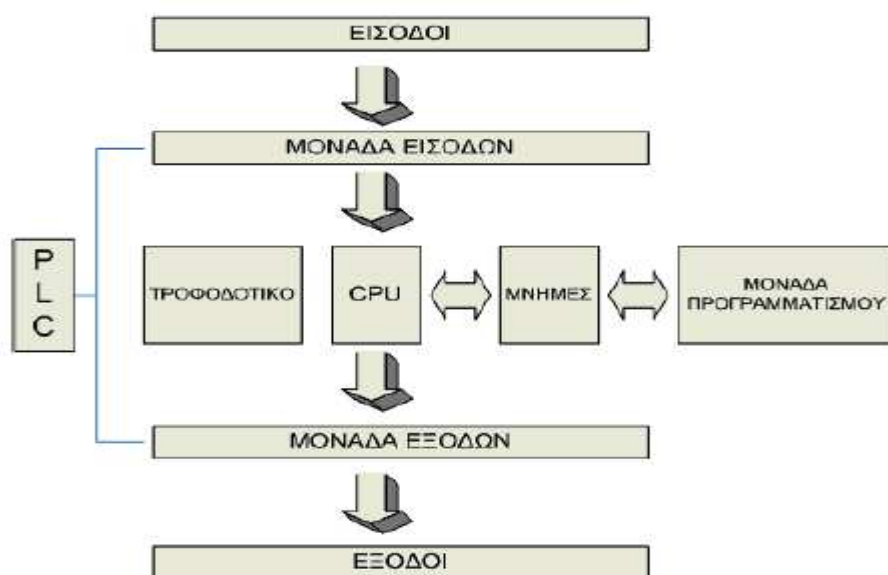
- Τα PLC ως ηλεκτρονικές συσκευές καταλαμβάνουν πολύ μικρότερο χώρο στον πίνακα σε σχέση με τα υλικά του κλασσικού αυτοματισμού και καταναλώνουν πολύ λιγότερη ενέργεια από αυτά.
- Τοποθετούνται άφοβα και σε πεδία ισχύος – ο κατασκευαστής δίνει οδηγίες γι' αυτές τις περιπτώσεις οι οποίες πρέπει να τηρούνται (αποστάσεις , γειώσεις κλπ)
- Η γλώσσες προγραμματισμού καλύπτουν όλο το φάσμα των ανθρώπων που καλούνται να ασχοληθούν με την τεχνολογία αυτή- υπάρχει γλώσσα προγραμματισμού γι' ανθρώπους με γνώση στο συμβατικό αυτοματισμό (Ladder), γλώσσες για όσους έχουν υπόβαθρο σε υπολογιστές (Statement List, SCL,FBD,C++) καθώς και γλώσσες εξειδικευμένες για διάφορες τεχνολογίες (GRAPH 7, HIGRAPH, CSF).
- Τέλος, σαν ψηφιακές συσκευές σήμερα πια δίνουν τη δυνατότητα να συνδεθούν επάνω τους οθόνες , εκτυπωτές , πληκτρολόγια και να καταργηθούν έτσι τα κλασσικά μιμικά διαγράμματα και οι πινάκες χειρισμών. Εύκολη είναι επίσης και η διασύνδεση μεταξύ τους γι' ανταλλαγή πληροφοριών, ο τηλεχειρισμός και η τηλεοπτεία, ο εξ αποστάσεως προγραμματισμός τους και η σύνδεση τους στο internet.

4.4 ΔΟΜΗ ΕΝΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟΥ ΛΟΓΙΚΟΥ ΕΛΕΓΚΤΗ

Στην αγορά υπάρχουν σήμερα πάρα πολλά μοντέλα PLC κατασκευασμένα από πολλές εταιρίες. Η επιλογή ενός προγραμματιζόμενου ελεγκτή (τύπος, μέγεθος, κόστος) εξαρτάται από το πλήθος των στοιχείων που δίνουν εντολή σ' αυτόν (είσοδοι) και το πλήθος των λειτουργιών που απαιτείται να κάνει ο αυτοματισμός (μέγεθος προγράμματος, δηλ απαιτούμενη μνήμη και δυνατότητες της κεντρικής μονάδας).

Ανεξάρτητα όμως από τον τύπο και το μέγεθος ένας προγραμματιζόμενος ελεγκτής συνίσταται από τα εξής στοιχεία.

- A. Πλαίσιο τοποθέτησης των μονάδων
- B. Μονάδα τροφοδοσίας
- Γ. κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU) που αποτελεί τον εγκέφαλο του PLC.
- Δ. Μονάδες εισόδων/εξόδων.
- Ε. Συσκευή προγραμματισμού.



Δομή PLC (Προγραμματιζόμενου Λογικού Ελεγκτή)

A. Πλαίσιο τοποθέτησης μονάδων

Όλες οι μονάδες, από τις οποίες αποτελείται ένας προγραμματιζόμενος ελεγκτής, πρέπει να τοποθετηθούν σε κάποιο πλαίσιο. Σ' αυτό είναι ενσωματωμένο το σύστημα αγωγών (BUS) μέσω των οποίων επικοινωνούν οι διάφορες μονάδες μεταξύ τους για την ανταλλαγή πληροφοριών και για την τροφοδοσία τους.

Αν οι θέσεις του κεντρικού πλαισίου που διατίθεται, δεν επαρκούν για να τοποθετηθούν οι μονάδες εισόδων και εξόδων που απαιτούνται σε μια συγκεκριμένη εφαρμογή, τότε χρησιμοποιούνται περισσότερα πλαίσια επέκτασης για την τοποθέτηση των επιπλέον μονάδων. Κάθε πλαίσιο επέκτασης συνδέεται με το κεντρικό πλαίσιο ή με τα άλλα πλαίσια μέσω ειδικής μονάδας διασύνδεσης και καλωδίου.

B. Μονάδα τροφοδοσίας

Η μονάδα τροφοδοσίας χρησιμεύει για να δημιουργήσει από την τάση του δικτύου τις απαραίτητες εσωτερικές τάσεις για την τροφοδοσία αποκλειστικά των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων, που υπάρχουν μέσα στον προγραμματιζόμενο ελεγκτή (τρανζίστορ,

ολοκληρωμένα κλπ). Οι τυπικές εσωτερικές τάσεις των ελεγκτών είναι συνήθως :DC 5V, DC 9V, DC 24V.

Γ. Κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU)

Είναι η βασική μονάδα του ελεγκτή, η οποία είναι υπεύθυνη για την λειτουργία του αυτοματισμού. Η κεντρική μονάδα επεξεργασίας είναι στην ουσία ένας μικροϋπολογιστής και διακρίνουμε σ αυτήν όλα τα κύρια μέρη ενός μικροϋπολογιστή, δηλαδή τον μικροεπεξεργαστή και τη μνήμη. Ο μικροεπεξεργαστής είναι αυτός που εκτελεί όλες τις λειτουργίες του προγραμματιζόμενου ελεγκτή.

Δ. Μονάδες εισόδων /εξόδων

Οι μονάδες των εισόδων και των εξόδων αποτελούν τις μονάδες επικοινωνίας της κεντρικής μονάδας με τον έξω κόσμο, δλδ με τους αισθητήρες του διακόπτες, τα μπουτόν κ.α. που δίνουν τις πληροφορίες (εντολές) στη κεντρική μονάδα, καθώς και τα ρελε ισχύος των κινητήρων, ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες, ενδεικτικές λυχνίες και γενικά αποδέκτες που εκτελούν τις εντολές της κεντρικής μονάδας.

Ε. Συσκευή προγραμματισμού

Η συσκευή προγραμματισμού είναι μια τελείως ξεχωριστή συσκευή από τη μονάδα αυτοματισμού. Χρησιμοποιείται για την εισαγωγή του προγράμματος στο PLC και την παρακολούθηση της εξέλιξης του αυτοματισμού μέσα από την οθόνη που διαθέτει. Με έναν μόνο προγραμματιστή μπορεί να γίνει ο χειρισμός όλων των μονάδων της ίδιας εταιρίας PLC σε μια αυτοματοποιημένη εγκατάσταση.

5. ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Ελεγκτές είναι τα κύρια στοιχεία που ελέγχουν και καθορίζουν τον τρόπο λειτουργίας των διάφορων ενεργειακών συστημάτων. Ο ελεγκτής **“on-off”** είναι ο πιο απλός και είναι κατάλληλος για συστήματα όπου δεν απαιτείται ακρίβεια ελέγχου. Ο **αναλογικός ελεγκτής 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 ελεγκτής 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. Ο **διαφορικός ελεγκτής 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. Ο **αναλογικός και ολοκληρωτικός ελεγκτής PI**, μειώνει το χρόνο ανόδου και μηδενίζει το μόνιμο σφάλμα. Ο **αναλογικός-διαφορικός ελεγκτής PD** μειώνει την υπερύψωση και το χρόνο αποκατάστασης ενώ έχει μικρή επιρροή στο χρόνο ανύψωσης και στο μόνιμο σφάλμα. Ο **ελεγκτής PID** είναι ένας συνδυασμός των αναλογικών, ολοκληρωτικών και διαφορικών τρόπων ελέγχου. είναι ένας γενικός μηχανισμός με ανατροφοδότηση βρόχων ελέγχου που χρησιμοποιείται ευρέως στα βιομηχανικά συστήματα ελέγχου. Ο αναλογικός-ολοκληρωτικός- διαφορικός ελεγκτής PID χρησιμοποιείται σε εφαρμογές που απαιτούν μεγαλύτερη ακρίβεια αφού αυξάνει η ταχύτητα απόκρισης του συστήματος, εξαλείφει το σφάλμα μόνιμης κατάστασης και το κάνει περισσότερο ευσταθές. Και τέλος έχουμε τα **PLC (Programmable Logic Controllers)** που είναι μικροϋπολογιστικά συστήματα που με κατάλληλο προγραμματισμό λογικών εξισώσεων επιλύουν προβλήματα αυτοματοποίησης. Αν έπρεπε να δώσουμε το κύριο πλεονέκτημα- χαρακτηριστικό των PLC's θα λέγαμε ότι είναι μια διάταξη η οποία μπορεί κάθε φορά να επαναπρογραμματίζεται με σκοπό να εκτελεί μια διαφορετική εργασία, ανάλογα με τις απαιτήσεις που έχουμε. Σε αντίθεση με τον κλασικό αυτοματισμό ο οποίος κάθε φορά σχεδιάζεται για να μπορεί να εκτελεί ένα συγκεκριμένο ρόλο, χωρίς την δυνατότητα αλλαγής με γρήγορο και οικονομικό τρόπο. Τα PLC σήμερα έχουν και επιπλέον λειτουργίες που βοηθούν στην δημιουργία του αυτοματισμού. Οι λειτουργίες αυτές αυξάνουν συνεχώς καθώς τα PLC εξελίσσονται με ταχυτάτους ρυθμούς. Οι σημαντικότερες από αυτές είναι : λειτουργία απαριθμητών, δυνατότητα πραγματικού ρολογιού, αριθμητικές επεξεργασίες, αναλογικές είσοδοι-έξοδοι και δικτύωση PLC.

Βιβλιογραφία

Introduction to control system technology

Robert N. Bateson

Control systems Engineering

William J.Palm

Διαδίκτυο