

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αριθμός: 1346

**ΒΑΣΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ ΕΛΕΓΚΤΩΝ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ:

ΚΑΝΕΛΛΟΠΟΥΛΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ:

ΚΑΡΕΛΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

ΠΑΤΡΑ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2013

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία παρουσιάζει τους ελεγκτές που χρησιμοποιούνται στα συστήματα αυτομάτου ελέγχου. Παρουσιάζονται:

- § Τι είναι ένα σύστημα αυτομάτου ελέγχου (λειτουργία, δομή, κατηγορίες).
- § Οι τρόποι και μέθοδοι ελέγχου που χρησιμοποιούνται από τα συστήματα (αναλογικός έλεγχος, ολοκληρωτικός έλεγχος, έλεγχος PI, έλεγχος PD, έλεγχος PID.
- § Οι τύποι των ελεγκτών (αναλογικοί ελεγκτές, ψηφιακοί ελεγκτές, προσαρμοστικοί ελεγκτές)
- § Γίνεται ξεχωριστή αναφορά στους προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές (PLC) (δομή, λειτουργία, εφαρμογές)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα συστήματα αυτόματου ελέγχου είναι σήμερα μία από τις σημαντικότερες περιοχές της επιστήμης και της τεχνολογίας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο αυτοματισμός, ο έλεγχος δηλαδή και η ρύθμιση φυσικών σημάτων όπως θερμοκρασία, υγρασία, πίεση, κίνηση, ηλεκτρική τάση, θέση, ταχύτητα κτλ είναι συνυφασμένος με την ανάπτυξη και εξέλιξη σχεδόν κάθε μορφής τεχνολογίας .

Μιλώντας για αυτόματο έλεγχο, στην ουσία αναφερόμαστε σε συστήματα κλειστού βρόχου, συστήματα δηλαδή με ανατροφοδότηση. Αυτά αποτελούνται από βαθμίδες όπως το φυσικό σύστημα το οποίο επιθυμούμε να ελέγξουμε, βαθμίδες ανάδρασης-ανατροφοδότησης και κέρδους και φυσικά τη βαθμίδα του ελεγκτή, ο οποίος επιλέγεται ανάλογα με τη μορφή του εκάστοτε φυσικού συστήματος και από τη σωστή επιλογή του εξαρτάται ο αποτελεσματικός έλεγχος και η εν τέλει ορθή και επιθυμητή λειτουργία του ελεγχόμενου σήματος ή συστήματος. Είναι γνωστό ότι ο αναλογικός αυτόματος έλεγχος είναι πολύ σημαντικός, όχι μόνο γιατί χρησιμοποιείται σε πολλά επιστημονικά πεδία, αλλά και γιατί πολλοί ψηφιακοί ελεγκτές εφαρμόζουν αλγορίθμους αναλογικού ελέγχου μιας και τα συστήματα που επιθυμούμε να ελέγξουμε έχουν ως είσοδο αναλογικά σήματα.

Μερικά παραδείγματα συστημάτων αυτομάτου ελέγχου είναι

- § Αυτόματος Πιλότος αεροσκαφών
- § Έλεγχος θέσης ανάγνωσης κεφαλής σκληρού δίσκου
- § Σύστημα ελέγχου ρομποτικού βραχίονα
- § Αυτόματο σύστημα ελέγχου ταχύτητας οχημάτων (cruise control system)

Η παρούσα πτυχιακή εργασία παρουσιάζει τους ελεγκτές των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου. Σε αυτή την πτυχιακή θα παρουσιαστούν

- § Τι είναι ένα συστήματα αυτόματου ελέγχου (λειτουργία, δομή, κατηγορίες).
- § Οι τρόποι και μέθοδοι ελέγχου που χρησιμοποιούνται από τα συστήματα (αναλογικός έλεγχος, ολοκληρωτικός έλεγχος, έλεγχος PI, έλεγχος PD, έλεγχος PID).
- § Οι τύποι των ελεγκτών (αναλογικοί ελεγκτές, ψηφιακοί ελεγκτές, προσαρμοστικοί ελεγκτές)
- § Γίνεται ξεχωριστή αναφορά στους προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές (PLC) (δομή, λειτουργία, εφαρμογές)

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	I
----------------	---

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	II
----------------	----

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
----------------	---

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου - Γενικές Έννοιες 3

1.1	Βασικά εξαρτήματα των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου	3
1.2	Συναρτήσεις Μεταφοράς	5
1.3	Μπλοκ Διαγράμματα	5
1.4	Συστήματα ανοικτού και κλειστού βρόγχου	6
1.4.1	Συστήματα ελέγχου ανοικτού βρόγχου	6
1.4.2	Συστήματα ελέγχου κλειστού βρόγχου	8
1.4.3	Περιγραφή εξαρτημάτων συστήματος ελέγχου κλειστού βρόγχου	8
1.5	Αναλογικός και Ψηφιακός Έλεγχος	11
1.6	Συστήματα σταθεροποίησης και Follow-Up	12
1.7	Μη γραμμικότητες	12
1.8	Απόσβεση και αστάθεια	15
1.9	Στόχοι ενός συστήματος ελέγχου	16
1.10	Κριτήρια του καλού ελέγχου	17

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - Μέθοδοι και Τρόποι Ελέγχου20

2.1	Δύο θέσεων τρόπος ελέγχου(Two-Position)	20
2.2	Κλιμακωτός Τρόπος Ελέγχου (Floating)	20
2.3	Αναλογικός Τρόπος Ελέγχου (Pproportional)	20
2.4	Ολοκληρωτικός Τρόπος Ελέγχου (Integral)	21
2.5	PI αναλογικός και ολοκληρωτικός τρόπος ελέγχου	21
2.6	Διαφορικός Τρόπος Ελέγχου	22
2.7	Αναλογικός και Διαφορικός Τρόπος Ελέγχου (PD)	22
2.8	PID Αναλογικός-Ολοκληρωτικός-Διαφορικός Τρόπος Ελέγχου	22
2.9	Επιρροή των όρων P, I και D στην απόκριση του συστήματος	23
2.10	Επιρροή των όρων P, I και D στην απόκριση του συστήματος κλειστού βρόγχου	23
2.11	Σύστημα 2 ^{ης} τάξης – Επίδραση των όρων P, I και D	24

2.11.1	Διάγραμμα ανοικτού βρόχου χωρίς ελεγκτή	25
2.11.2	P Controller - Αναλογικός Ελεγκτής	25
2.11.3	PI Controller Αναλογικός-Ολοκληρωτικός Ελεγκτής	26
2.11.4	PD Controller Αναλογικός-Διαφορικός Ελεγκτής	27
2.11.5	PID Controller Αναλογικός-Ολοκληρωτικός-Διαφορικός Ελεγκτής	28
2.12	Επίδραση του Αναλογικού, Ολοκληρωτικού και Διαφορικού κέρδους στη Δυναμική Απόκριση του Συστήματος	29
2.12.1	Μεταβολή του κέρδους σε Αναλογικό Ελεγκτή	29
	Εικόνα 20: Μεταβολή του κέρδους σε Αναλογικό Ελεγκτή	29
2.12.2	Αναλογικός Ελεγκτής με μεγάλο κέρδος	30
	Εικόνα 21: Αναλογικός Ελεγκτής με μεγάλο κέρδος	30
2.12.3	Ολοκληρωτικός Ελεγκτής	30
2.12.4	Αύξηση του κέρδους σε Αναλογικό-Ολοκληρωτικό Ελεγκτή (PI)	31
	Εικόνα 22: Ολοκληρωτικός Ελεγκτής	31
2.12.5	Διαφορικός Ελεγκτής	31
2.12.6	Αύξηση του κέρδους σε Αναλογικό-Διαφορικό Ελεγκτή (PD)	32
	Εικόνα 23: Αύξηση του κέρδους σε Αναλογικό- Διαφορικό Ελεγκτή	32
2.12.7	Μεταβολές κέρδους σε Ελεγκτή PID	32
	Εικόνα 24: Ελεγκτής PID	32
2.13	Ο ελεγκτής PID μέσα από ένα παράδειγμα	33
2.14	Πρακτική υλοποίηση ελεγκτών PID	35
2.14.1	1 ^η εφαρμογή: Τελεστικός Ενισχυτής	35
2.14.2	2 ^η Εφαρμογή: Όργανο πίνακα ελέγχου θερμοκρασίας ή υγρασίας.	36
2.15	Γενικές συμβουλές για την σχεδίαση ενός ελεγκτή PID	39

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - Τύποι Ελεγκτών40

3.1	Δύο θέσεων τρόπος ελέγχου(Two-Position)	40
3.2	Ψηφιακός ελεγκτής	41
3.2.1	Ψηφιακό σύστημα συλλογής δεδομένων	43
3.2.2	Ιεραρχικός έλεγχος	44
3.3	Ψηφιακός PID Ελεγκτής	46
3.4	Προηγμένος Έλεγχος	46
3.5	Σειριακός Έλεγχος	47
3.6	Έλεγχος Ορθής Τροφοδοσίας	48

3.7	Προσαρμοστικοί Ελεγκτές	49
3.8	Πολυμεταβλητός Έλεγχος	49

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - Προγραμματιζόμενοι Λογικοί Ελεγκτές (PLC)52

4.1	Τι είναι ο προγραμματιζόμενος λογικός ελεγκτής.	53
4.2	Πλεονεκτήματα των προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών.	55
4.3	Η δομή ενός προγραμματιζόμενου λογικού ελεγκτή.	56
4.3.1	Πλαίσιο τοποθέτησης μονάδων.	58
4.3.2	Μονάδα τροφοδοσίας.	58
4.3.3	Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας.	59
4.3.4	Μνήμη RAM	59
4.3.5	Μνήμη EEPROM.	60
4.3.6	Μνήμη ROM.	60
4.3.7	Μονάδες εισόδων - εξόδων.	61

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ63

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο αυτόματος έλεγχος, και ειδικά η εφαρμογή της ανάδρασης, ήταν θεμελιώδους σημασίας για την ανάπτυξη του αυτοματισμού. Αρχικά, η ανάγκη για ακριβή μέτρηση του χρόνου έδωσε την ώθηση για την μελέτη αυτόματων συστημάτων. Γύρω στο 270 π.Χ. στην Αλεξάνδρεια της Αιγύπτου ο Έλληνας Κτεσίβιος εφεύρε ένα είδος ρυθμιστή στάθμης για τη χρήση του σε ένα ρολόι νερού. Ο ρυθμιστής αυτός διατηρούσε σταθερή τη στάθμη του νερού μιας δεξαμενής το οποίο είχε ως αποτέλεσμα τη σταθερή ροή νερού προς μια δεύτερη δεξαμενή, η στάθμη της οποίας εξαρτιόταν από το χρόνο που είχε περάσει από την έναρξη της διαδικασίας. Χρησιμοποιήθηκαν από Έλληνες και Άραβες για να ελέγχουν συσκευές όπως κλεψύδρες, λάμπες λαδιού και διανομείς κρασιού, όπως και το επίπεδο του νερού στις δεξαμενές. Τα πιο γνωστά Ελληνικά ονόματα, που ασχολήθηκαν με τέτοια συστήματα, είναι του Κτεσίβιου, του Φίλωνα (3ος αιώνας π.Χ.) και του Χίρωνα (πρώτος αιώνας μ.Χ.), οι οποίοι δραστηριοποιήθηκαν στην ανατολική Μεσόγειο(Αλεξάνδρεια). Ακόμη, πολύ Άραβες μηχανικοί σχεδίασαν συστήματα που βασιζόταν στην αρχή της ανατροφοδότησης. Δυστυχώς, όμως, οι έρευνες τους διακόπηκαν το 1258 όταν οι Μογγόλοι κατέλαβαν τη Βαγδάτη.

Η εφεύρεση της ατμομηχανής από τον Watt το 1769, σηματοδοτεί την έναρξη της Βιομηχανικής Επανάστασης στην Ευρώπη. Η ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας έκανε δύσκολο το χειροκίνητο χειρισμό των προηγμένων, για την εποχή, μηχανημάτων. Αυτό οδήγησε στην εμφάνιση ποικίλων συσκευών ελέγχου κάποιες από τις οποίες αφορούσαν ρυθμιστές στάθμης, ρυθμιστές θερμοκρασίας, πίεσης και ταχύτητας. Το 1788 ο Watt χρησιμοποίησε τη φυγόκεντρο συσκευή αυτομάτου ελέγχου για τη ρύθμιση της ταχύτητας της περιστρεφόμενης ατμομηχανής.

Καθώς τα συστήματα ελέγχου άρχισαν να γίνονται ιδιαίτερα περίπλοκα, η μέθοδος σχεδίασης δοκιμής και λάθους συνδυασμένη με τη διαίσθηση των μηχανικών άρχισε να αποδεικνύεται ανεπαρκής. Στα μέσα του 19ου αιώνα χρησιμοποιήθηκαν για πρώτη φορά τα μαθηματικά για τον έλεγχο της ευστάθειας των συστημάτων ανατροφοδότησης. Από τις διαφορικές εξισώσεις έως το κριτήριο ευστάθειας του Routh και τις συναρτήσεις μεταφοράς, αυτή η μαθηματική μοντελοποίηση προωθήθηκε μέχρι το 1900 οπότε και κάνει την εμφάνισή της η θεωρία συστημάτων ελέγχου. Το 1840, ο Βρετανός αστρονόμος Airy ανέπτυξε μία συσκευή που έδινε τη δυνατότητα για εκτενέστερη παρατήρηση ενός άστρου με το τηλεσκόπιο. Η συσκευή διέθετε ένα σύστημα ελέγχου ταχύτητας το οποίο περιστρέφει το τηλεσκόπιο ώστε να αντιτίθεται στην αλλαγή θέσης λόγω της περιστροφής της γης. Ο Airy ήταν ο πρώτος που χρησιμοποίησε διαφορικές εξισώσεις για την μελέτη της ευστάθειας του συστήματος κλειστού βρόγχου.

Μέχρι τον 20ο αιώνα η ανάλυση των συστημάτων ελέγχου γινόταν στο πεδίο του χρόνου. Μόνο στη δεκαετία του 20 και του 30 το πεδίο της συχνότητας με τα μαθηματικά του Laplace, Fourier και Cauchy άρχισε να παίζει σημαντικό ρόλο. Το κύριο πρόβλημα στα συστήματα μαζικής επικοινωνίας ήταν η ανάγκη για περιοδική ενίσχυση των σημάτων φωνής σε μακρές τηλεφωνικές γραμμές χωρίς την ταυτόχρονη ενίσχυση και του θορύβου. Σε αυτή την περιοχή ήταν που ο H.S.Blackέδειξε τη χρησιμότητα της αρνητικής ανατροφοδότησης το 1927 με τους Nyquist και Bode να

εισάγουν νέες τεχνικές σχεδίασης την επόμενη δεκαετία. Κατά τη διάρκεια των παγκόσμιων πολέμων, η ανάπτυξη του ελέγχου με ανατροφοδότηση έγινε ένα θέμα επιβίωσης. Ήταν το κλειδί στην ανάπτυξη συστημάτων ελέγχου των πλοίων, συστημάτων πλοήγησης καθώς και ακριβείας σκόπευσης των όπλων. Επίσης, η εξάλειψη του θορύβου έγινε και πάλι σημαντικό ζήτημα κατά τη διάρκεια μελέτης των προβλημάτων της επεξεργασίας των πληροφοριών η οποία συνδέθηκε με την εφεύρεση του «ραντάρ».

Μετά τον δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο αρχίζει η ηλεκτρονική εποχή. Ήδη από τις αρχές του 20ου αιώνα έχουμε τις πρώτες ηλεκτρονικές συσκευές, το ραδιόφωνο και, αργότερα, την τηλεόραση, τους ασύρματους και τα ραντάρ. Το κύριο εξάρτημα αυτών των συσκευών ήταν η ηλεκτρονική λυχνία. Η ανακάλυψη του τρανζίστορ το 1950 ήταν η αρχή της ηλεκτρονικής επανάστασης των ημιαγωγών. Το θαυματουργό αυτό στοιχείο αντικατέστησε την ακριβή, ογκώδη και ενεργειοβόρα ηλεκτρονική λυχνία και έκανε τις ηλεκτρονικές συσκευές μικρότερες, εύκολες στην κατασκευή και απειρώς πιο φθηνές.

Το 1945 κατασκευάστηκε ο πρώτος ηλεκτρονικός υπολογιστής, ο ENIAC, ο οποίος χρησιμοποιούσε λυχνίες. Ο ENIAC δεν θύμιζε σε τίποτα τους σημερινούς υπολογιστές, ήταν ένα ολόκληρο εργοστάσιο το οποίο έλυνε μαθηματικές εξισώσεις. Μετά το 1950 και με τη χρήση των τρανζίστορ έχουμε τους πρώτους πραγματικούς υπολογιστές, οι οποίοι χρησιμοποιούνται κυρίως στο θέμα της μηχανογράφησης, δηλαδή στην αποθήκευση και διαχείριση μεγάλων αρχείων δεδομένων.

Προς το τέλος της δεκαετίας του '50, Η σχεδίαση συστημάτων ελέγχου στράφηκε και πάλι προς το πεδίο του χρόνου. Μπορεί αρχικά να φαίνεται παράξενο αλλά τελικά έχει νόημα με την εισαγωγή σύνθετων, μη γραμμικών πολλών μεταβλητών συστημάτων που έχουν σχέση με εφαρμογές της αεροδιαστημικής.

Από τη δεκαετία του '60 ήδη οι μηχανικοί άρχισαν να σκέφτονται τρόπους για να αξιοποιήσουν τις καταπληκτικές δυνατότητες των υπολογιστών στη βιομηχανία. Από τις πρώτες εφαρμογές των υπολογιστών στη βιομηχανία ήταν οι αυτόματες εργαλειομηχανές (τόρνοι, φρέζες κ.λπ.), οι οποίες μέχρι τότε χρησιμοποιούσαν κυρίως μηχανολογικούς και λιγότερο ηλεκτρολογικούς αυτοματισμούς. Η επιτυχημένη αυτή εφαρμογή οδήγησε τους μηχανικούς να αρχίσουν να σκέφτονται την αντικατάσταση όλων των αυτοματισμών ενός εργοστασίου από ένα υπολογιστή.

Σήμερα οι ψηφιακοί υπολογιστές έχουν ολοκληρωτικά επικρατήσει των αναλογικών. Εκατομμύρια απ' αυτούς είναι εγκατεστημένοι στη βιομηχανία όπου ελέγχουν διεργασίες παρακολουθώντας και ελέγχοντας πλήθος μεταβλητών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου - Γενικές Έννοιες

1.1 Βασικά εξαρτήματα των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου

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.

§ 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, 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 προπόρευσης υστέρησης, προπόρευσης-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

1.2 Συναρτήσεις Μεταφοράς

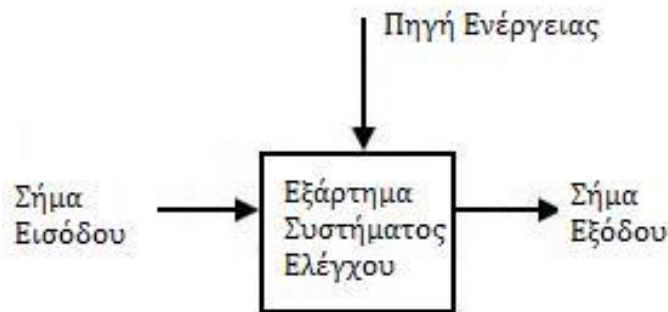
Το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό ενός εξαρτήματος είναι η σχέση μεταξύ του σήματος εισόδου και του σήματος εξόδου. Η σχέση αυτή ερμηνεύεται από τη συνάρτηση μεταφοράς του εξαρτήματος και ορίζεται ως ο λόγος του μετασχηματισμένου κατά Laplace σήματος εξόδου προς το μετασχηματισμένο κατά Laplace σήμα εισόδου.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

1.3 Μπλοκ Διαγράμματα

Τα μπλοκ διαγράμματα 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 1 βλέπουμε το μπλοκ διάγραμμα ενός στοιχείου ελέγχου:



Εικόνα 1: 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 ακολουθούν μπορεί να είναι ηλεκτρικά καλώδια, μηχανικοί σύνδεσμοι κ.λπ.

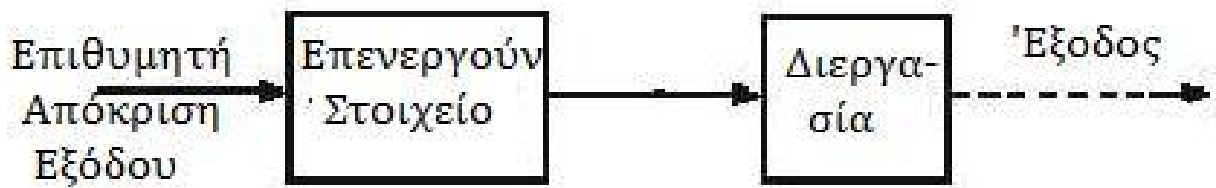
Ένα μπλοκ διάγραμμα αποτελείται από ένα τετράγωνο που αντιπροσωπεύει το κάθε εξάρτημα σε σύστημα ελέγχου και συνδέεται με γραμμές οι οποίες αντιπροσωπεύουν τις διαδρομές των σημάτων.

1.4 Συστήματα ανοικτού και κλειστού βρόγχου

1.4.1 Συστήματα ελέγχου ανοικτού βρόγχου

Ένα σύστημα ανοικτού βρόγχου χρησιμοποιεί μια ενεργό συσκευή (που παράγει το σήμα εισόδου) για να ελέγξει απευθείας την διεργασία χωρίς την χρήση ανατροφοδότησης. Το σύστημα αυτό έχει τα παρακάτω πλεονεκτήματα

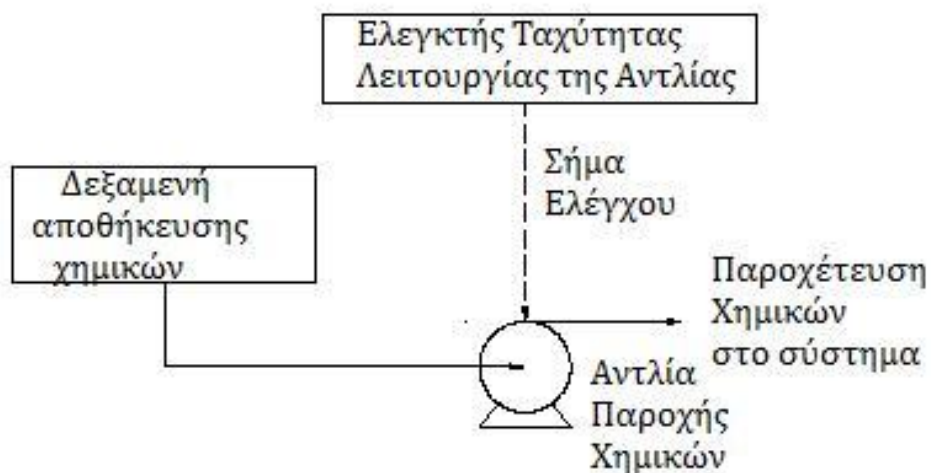
- § Απλή κατασκευή
- § Η ακρίβεια εξαρτάται από την ρύθμιση διάφορων στοιχείων
- § Δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερα προβλήματα αστάθειας.



Εικόνα 2: 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 εκ των προτέρων μια καθορισμένη ρύθμιση, υπολογισμένη για να πετύχει το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Ένα παράδειγμα ενός συστήματος ελέγχου ανοιχτού βρόγχου φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί. Η αντλία παροχής χημικών σε ένα σύστημα ελέγχεται από έναν ελεγκτή ταχύτητας ο οποίος όμως ρυθμίζεται άπαξ και δεν υπάρχει δυνατότητα αυτόματης αλλαγής της ρύθμισής του αν υπάρξει ανάγκη αλλαγής της ταχύτητας της αντλίας ως απόρροια αλλαγής συνθηκών του συστήματος.



Εικόνα 3: Παράδειγμα συστήματος ελέγχου ανοιχτού βρόγχου

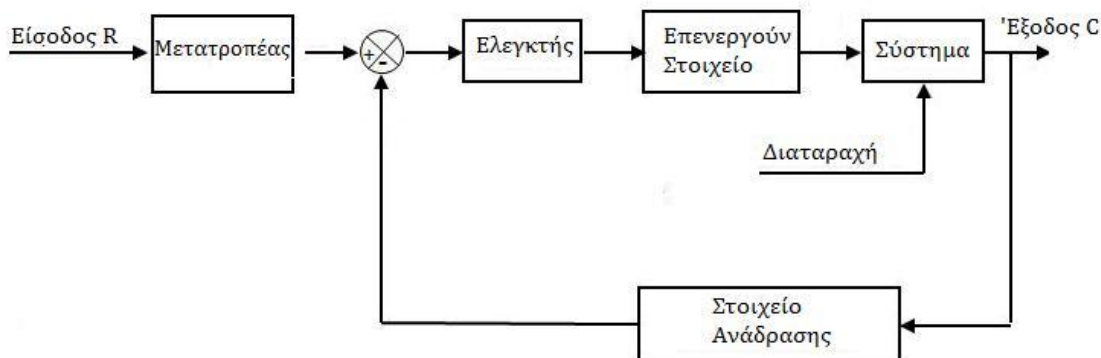
Το κύριο πλεονέκτημα του ελέγχου ανοιχτού βρόγχου είναι ότι είναι λιγότερο ακριβός από αυτόν του κλειστού ελέγχου, λόγω του ότι δεν είναι απαραίτητο να μετρηθεί το

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.

1.4.2 Συστήματα ελέγχου κλειστού βρόγχου

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 (η 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 οδηγή την πραγματική τιμή προς το επιθυμητό αποτέλεσμα. Εξαιτίας της κατασκευής του στο σύστημα κλειστού βρόγχου διακρίνεται από τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- § Μεγάλη ακρίβεια
- § Πολυπλοκότερα συστήματα
- § Παρουσιάζουν προβλήματα αστάθειας



Εικόνα 4: Δομικό διάγραμμα συστήματος ελέγχου κλειστού βρόγχου.

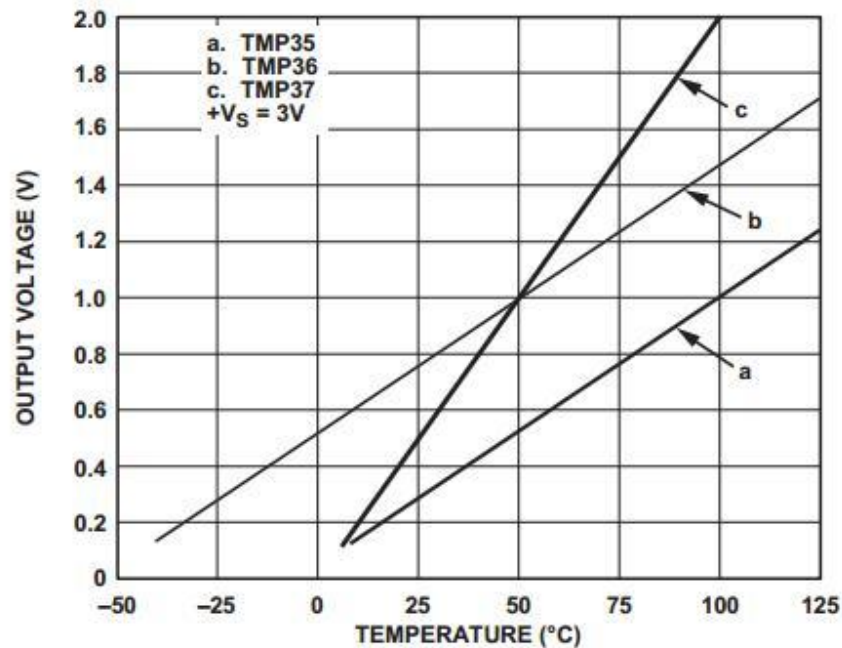
1.4.3 Περιγραφή εξαρτημάτων συστήματος ελέγχου κλειστού βρόγχου

§ Διεργασία (process)

Το μπλοκ διεργασίας 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 5 δείχνει την καμπύλη εισόδου/εξόδου τριών αισθητήρων θερμοκρασίας, των TMP35, TMP36 και TMP37 της εταιρίας Analog Devices.



Εικόνα 5: Γραφική παράσταση εισόδου/εξόδου τριών αισθητήρων μέτρησης θερμοκρασίας.

§ 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: $\text{Error} = \text{setpoint} - \text{measured value of controlled variable}$ $\Delta E = SP - Cm$. 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 Αναλογικός 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.
- **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 βασιζόμενη 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.

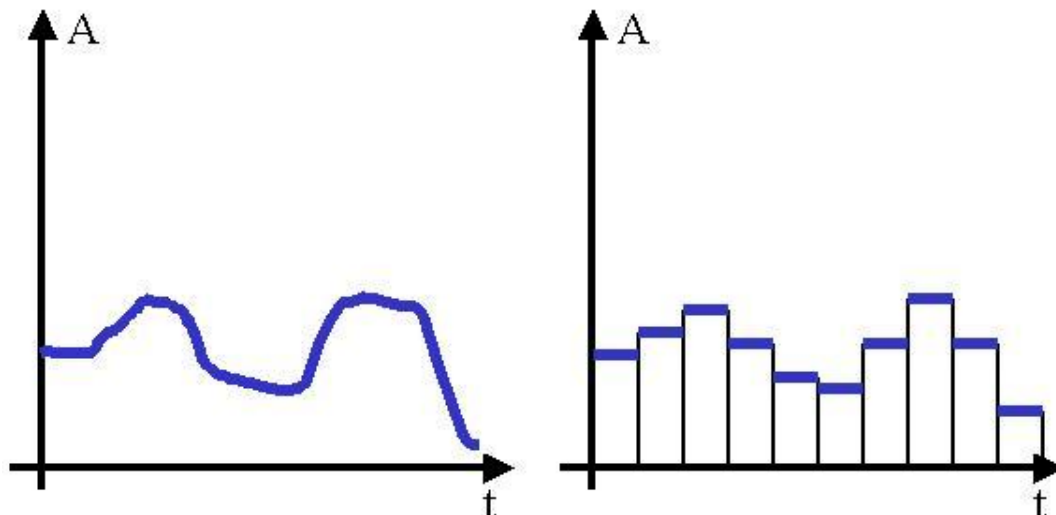
§ Ονόματα Μεταβλητών

- **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.
- **Η αναφορά (setpoint, SP)** είναι η επιθυμητή τιμή της μεταβλητής ελέγχου.
- **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.
- **Το σφάλμα (E)** είναι η διαφορά ανάμεσα στην αναφορά και την μετρούμενη τιμή της μεταβλητής ελέγχου. Υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση: $E = SP - C_m$
- **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.

- Η **ελεγχόμενη μεταβλητή (manipulated variable M)** είναι η μεταβλητή που ρυθμίζεται από το τελικό στοιχείο ελέγχου ώστε να επιτευχθεί 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.
- 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.

1.5 Αναλογικός και Ψηφιακός Έλεγχος

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 εικόνα 6



Εικόνα 6 : 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 ακανόνιστη γραμμή.

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 μεταπηδήσει 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.

1.6 Συστήματα σταθεροποίησης και Follow-Up

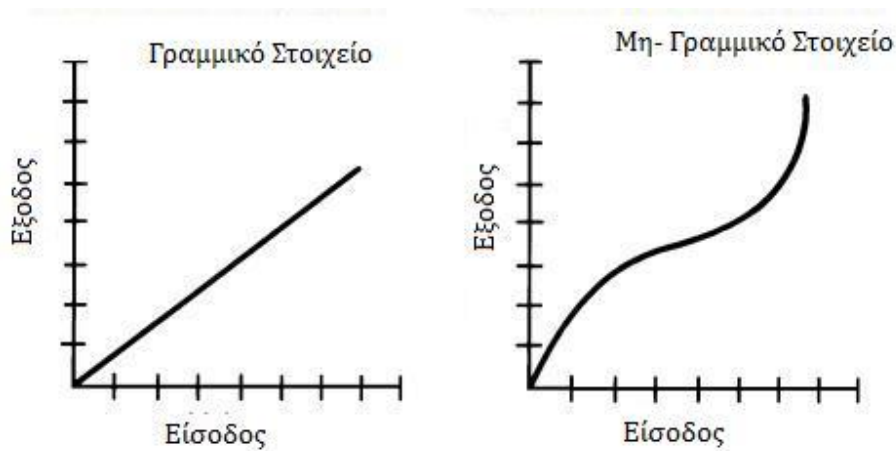
Ένα σύστημα σταθεροποίησης είναι ένα σύστημα ελέγχου ανάδρασης στο οποίο το σημείο ρύθμισης σπάνια αλλάζει και η κύρια λειτουργία του είναι να διατηρεί την ελεγχόμενη μεταβλητή σταθερή παρά τις όποιες ανεπιθύμητες αλλαγές φορτίου. Ένα οικιακό σύστημα θέρμανσης, ένας σταθεροποιητής πίεσης και ένας σταθεροποιητής 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 followup 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.

1.7 Μη γραμμικότητες

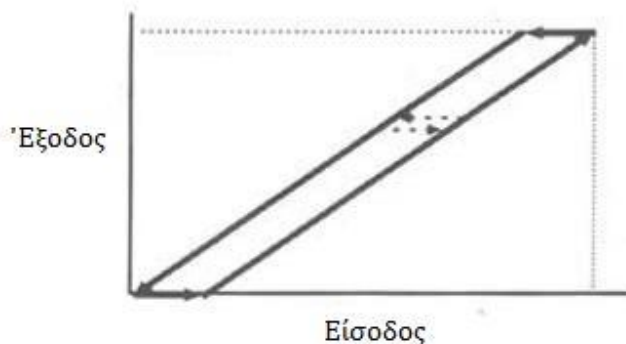
Το μεγαλύτερο μέρος της ανάλυσης και σχεδίασης των συστημάτων ελέγχου γίνεται με την παραδοχή ότι όλα τα στοιχεία στο σύστημα είναι γραμμικά. Στην πραγματικότητα υπάρχουν πολλές μορφές μη γραμμικότητας που προκύπτουν στα στοιχεία.

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 7 : Γραφική παράσταση εισόδου/εξόδου ενός γραμμικού και ενός μη γραμμικού στοιχείου

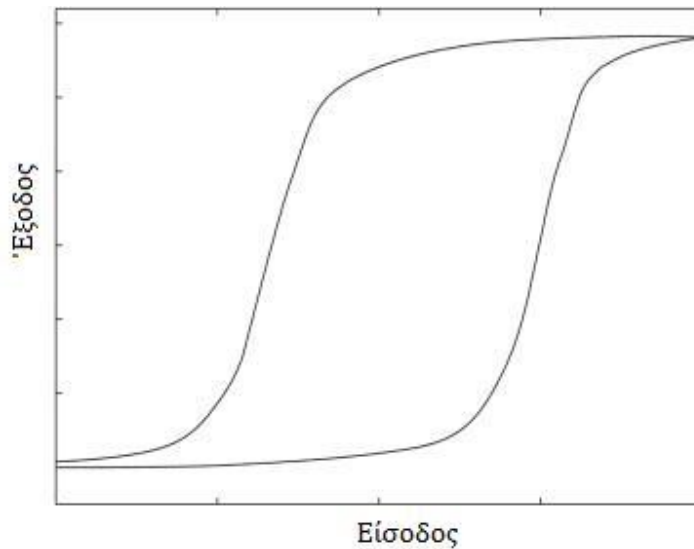
Εκφράζουμε τη γραμμικότητα ως τη μέγιστη απόκλιση μεταξύ μιας μέσης εισόδου/εξόδου γραφικής παράστασης και μιας ευθείας γραμμής που τοποθετούνται έτσι ώστε να ελαχιστοποιεί τη μέγιστη απόκλιση. Η μέση είσοδος/έξοδος γραφική παράσταση κατασκευάζεται με τον υπολογισμό του μέσου όρου των τιμών που λαμβάνονται 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 καμία διαφορά στην εξόδο. Η εικόνα 8 δείχνει την γραφική παράσταση εισόδου/εξόδου ενός στοιχείου με νεκρή ζώνη.



Εικόνα 8 : Γραφική παράσταση εισόδου/εξόδου ενός στοιχείου με νεκρή ζώνη

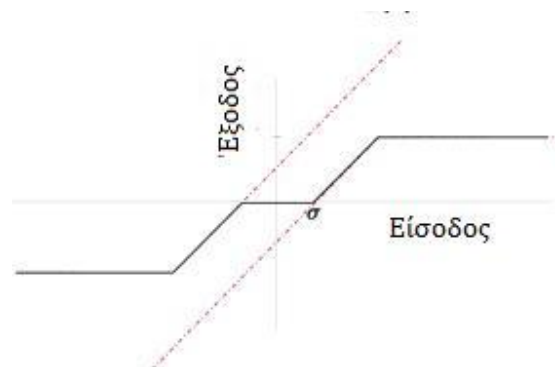
Η νεκρή ζώνη είναι η διαφορά μεταξύ των δυο καταγεγραμμένων τιμών εισόδου, μπορεί να εκφραστεί ως η διαφορά μεταξύ της μέγιστης και της ελάχιστης τιμής εξόδου για ένα κύκλο δοκιμής. Αυτό γίνεται αν το στοιχείο έχει νεκρή ζώνη και υστέρηση ταυτόχρονα.

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 9 : 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 ελάχιστης τιμής εξόδου για έναν απλό κύκλο διαδρομής. Ο κορεσμός αναφέρεται στα όρια του εύρους τιμών εξόδου για ένα στοιχείο.



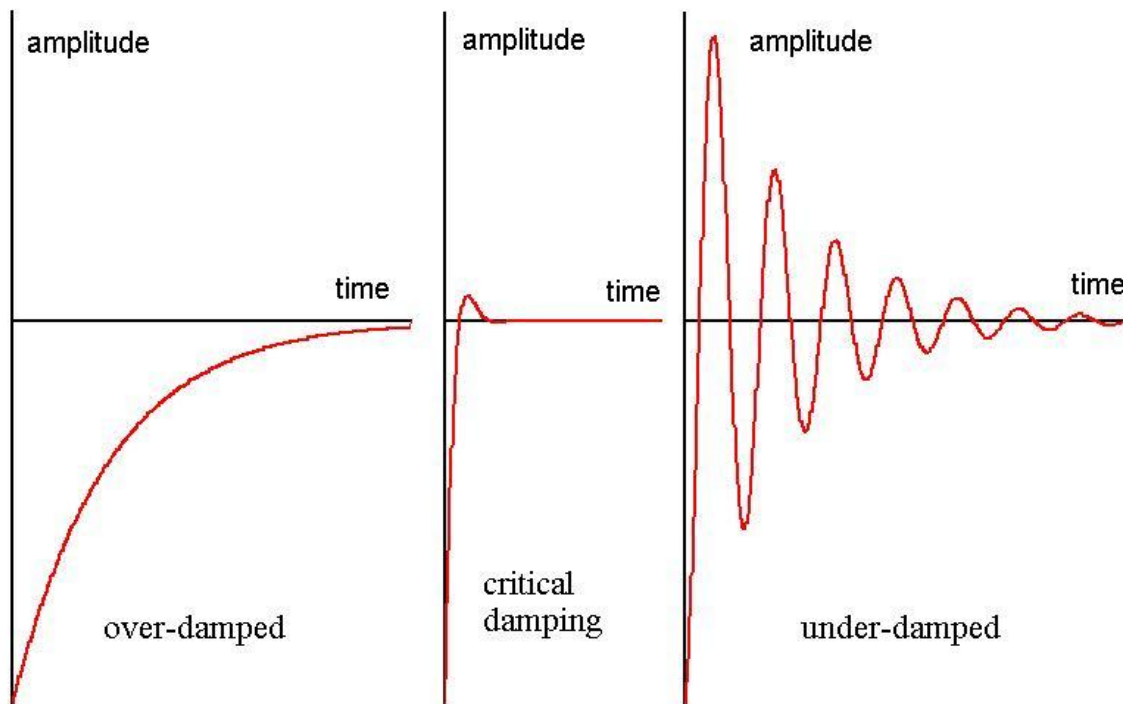
Εικόνα 10: Γραφική παράσταση εισόδου/εξόδου ενός στοιχείου με κορεσμό

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

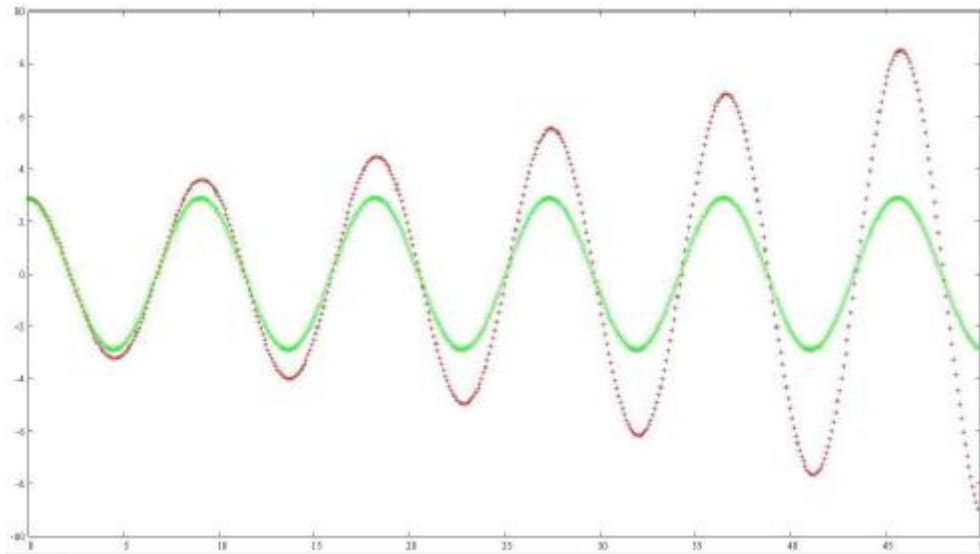
1.8 Απόσβεση και αστάθεια

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 11: Οι τρεις πρώτες καταστάσεις της απόκρισης (υπεραποσβεσμένο, κρίσιμα αποσβεσμένο, υποαποσβεσμένο)



Εικόνα 12: Οι δύο τελευταίες καταστάσεις της απόκρισης (ασταθές με σταθερό πλάτος, ασταθές με αυξανόμενο πλάτος)

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 παραγωγού 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.

1.9 Στόχοι ενός συστήματος ελέγχου

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

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

1.10 Κριτήρια του καλού ελέγχου

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

αποφάσεις:

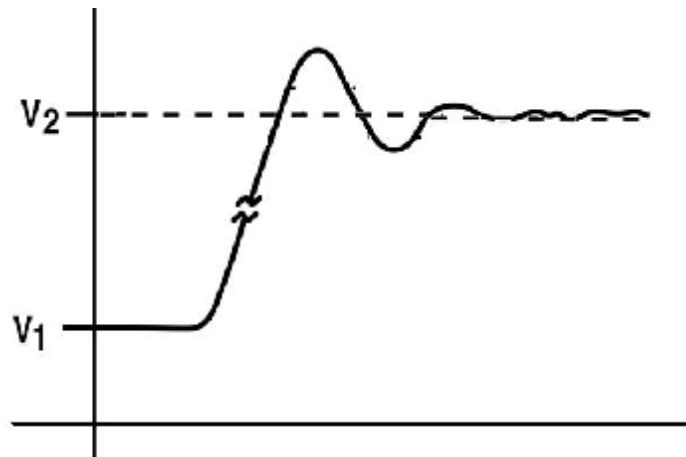
1. Πρέπει να οριστεί η διαδικασία ελέγχου
2. Πρέπει να επιλεγούν τα κριτήρια του καλού ελέγχου

Μια βηματική αλλαγή στο φορτίο ή στο σημείο ρύθμισης είναι η πιο κοινή δοκιμή. 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 13: Γραφική παράσταση φθοράς τετάρτου του πλάτους.

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 14 : 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.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Μέθοδοι και Τρόποι Ελέγχου

2.1 Δύο θέσεων τρόπος ελέγχου(Two-Position)

Ο τρόπος ελέγχου δύο θέσεων 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 η 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 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.

2.2 Κλιμακωτός Τρόπος Ελέγχου (Floating)

Ο κλιμακωτός τρόπος ελέγχου είναι μια ειδική εφαρμογή του 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. 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).

2.3 Αναλογικός Τρόπος Ελέγχου (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 .

2.4 Ολοκληρωτικός Τρόπος Ελέγχου (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.

2.5 PI αναλογικός και ολοκληρωτικός τρόπος ελέγχου

Ο ολοκληρωτικός τρόπος συνδυάζεται συχνά με τον αναλογικό τρόπο για να παράξει μια αυτόματη δράση αποβάλλοντας το ανάλογο offset. Ο συνδυασμός αναφέρεται ως αναλογικός συν ολοκληρωτικός τρόπος ελέγχου (PI). Το ολοκληρωτικό mode παρέχει ένα reset που σταθερά αλλάζει την έξοδο του ελεγκτή έως ότου μειωθεί το λάθος σε μηδέν.

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.

2.6 Διαφορικός Τρόπος Ελέγχου

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 προβλεπτεί 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.

2.7 Αναλογικός και Διαφορικός Τρόπος Ελέγχου (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.

2.8 PID Αναλογικός-Ολοκληρωτικός-Διαφορικός Τρόπος Ελέγχου

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.

2.9 Επιρροή των όρων P, I και D στην απόκριση του συστήματος

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

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

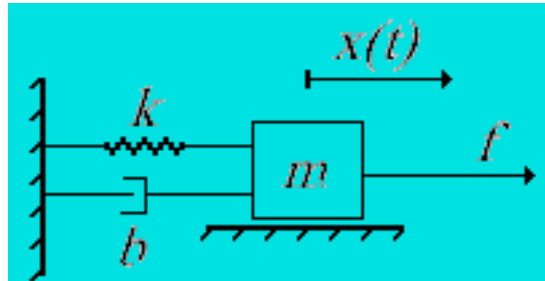
Ο διαφορικός όρος D αυξάνει την ευστάθεια του συστήματος και βελτιώνει τη συμπεριφορά του κατά τη μεταβατική κατάσταση, αλλά λόγω της επιβολής στην πράξη περιορισμού της εξόδου του ελεγκτή δεν χρησιμοποιείται ποτέ από μόνος του.

2.10 Επιρροή των όρων P, I και D στην απόκριση του συστήματος κλειστού βρόγχου

	Χρόνος ανόδου ή ανύψωσης (t_r)	Μέγιστη υπερύψωση (y_m)	Χρόνος αποκατάστασης (t_s)	Μόνιμο σφάλμα
P	Μείωση	Αύξηση	Μικρή αλλαγή	Μείωση
I	Μείωση	Αύξηση	Αύξηση	Εξάλειψη
D	Μικρή αλλαγή	Μείωση	Μείωση	Μικρή αλλαγή

2.11 Σύστημα 2^{ης} τάξης – Επίδραση των όρων P, I και D

Έστω ότι έχουμε το εικονιζόμενο μηχανικό σύστημα.



Εικόνα 15: Σύστημα 2^{ης} τάξης

Η μαθηματική περιγραφή είναι: $m\ddot{x} + b\dot{x} + kx = f$

Μετασχηματίζοντας σε Laplace, παίρνουμε: $ms^2 X(s) + bsX(s) + kX(s) = F(s)$

Η συνάρτηση μεταφοράς είναι: $\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{ms^2 + bs + k}$

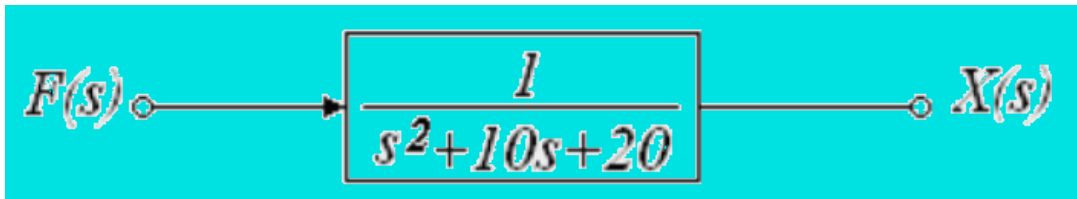
Έστω $m = 1\text{kg}$, $b = 10\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}$, $k = 20\text{N}/\text{m}$, $f = 1\text{N}$

Με αυτές τις τιμές η συνάρτηση που προκύπτει είναι: $\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{s^2 + 10s + 20}$

Σκοπός μας είναι να δούμε, πως κάθε ένας από τους όρους K_p , K_i και K_d συμβάλει στο να έχουμε:

- § Μικρό χρόνο ανόδου
- § Ελάχιστη υπερέψωση
- § Μηδενικό μόνιμο σφάλμα

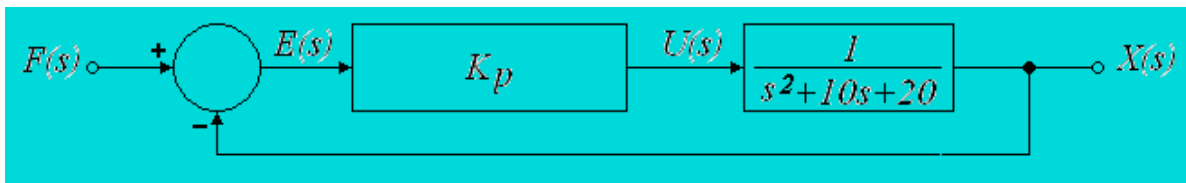
2.11.1 Διάγραμμα ανοικτού βρόχου χωρίς ελεγκτή



Η συνάρτηση μεταφοράς ανοικτού βρόχου είναι: $\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{s^2 + 10s + 20}$

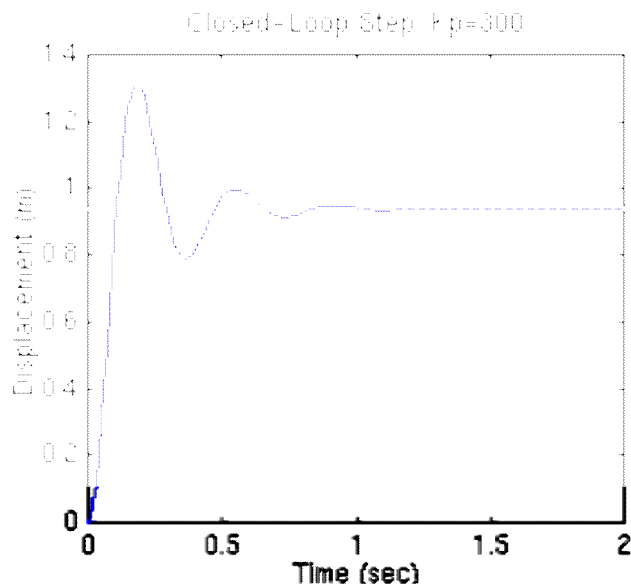
Η τιμή της εξόδου στη μόνιμη κατάσταση είναι: $x_{ss} = \lim_{t \rightarrow \infty} x(t) = \lim_{s \rightarrow 0} sX(s) = \lim_{s \rightarrow 0} sF(s) \frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{20}$

2.11.2 P Controller - Αναλογικός Ελεγκτής



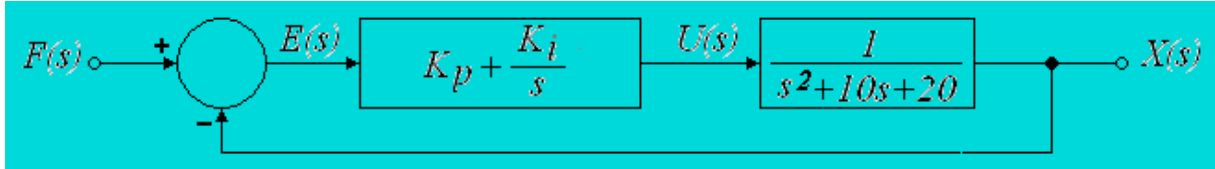
Η **ΣΜ** του συστήματος κλειστού βρόχου είναι: $\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{\frac{K_p}{s^2 + 10s + 20}}{1 + \frac{K_p}{s^2 + 10s + 20}} = \frac{K_p}{s^2 + 10s + (20 + K_p)}$

Επιλέγοντας $K_p=300$, από τη γραφική παράσταση της απόκρισης φαίνεται ότι ο αναλογικός ελεγκτής, μειώνει το χρόνο ανόδου και το μόνιμο σφάλμα αυξάνει την υπερύψωση και επιφέρει Μικρή αλλαγή στο χρόνο αποκατάστασης



Εικόνα 16:Γραφική παράσταση της απόκρισης αναλογικού ελεγκτή

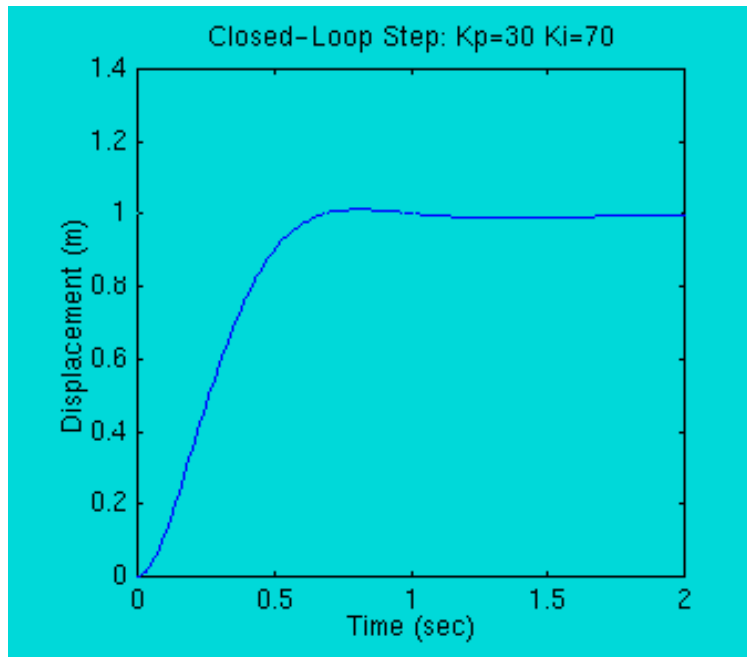
2.11.3 PI Controller Αναλογικός-Ολοκληρωτικός Ελεγκτής



Η ΣΜ του συστήματος κλειστού βρόγχου είναι:

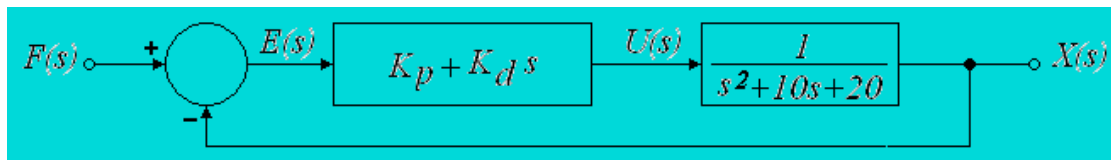
$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{\frac{K_p + K_i/s}{s^2 + 10s + 20}}{1 + \frac{K_p + K_i/s}{s^2 + 10s + 20}} = \frac{K_p s + K_i}{s^3 + 10s^2 + (20 + K_p)s + K_i}$$

Επιλέγοντας $K_p=30$, $K_i=70$, από τη γραφική παράσταση της απόκρισης φαίνεται ότι ο αναλογικός ολοκληρωτικός ελεγκτής, μειώνει το χρόνο ανόδου και μηδενίζει το μόνιμο σφάλμα.



Εικόνα 17:Γραφική παράσταση της απόκρισης αναλογικού – ολοκληρωτικού ελεγκτή

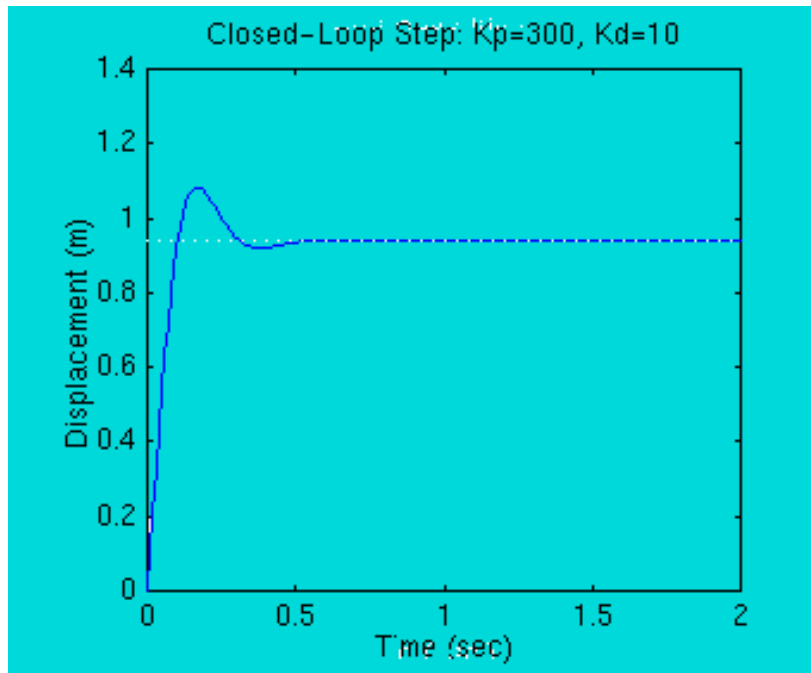
2.11.4 PD Controller Αναλογικός-Διαφορικός Ελεγκτής



Η ΣΜ του συστήματος κλειστού βρόγχου είναι:

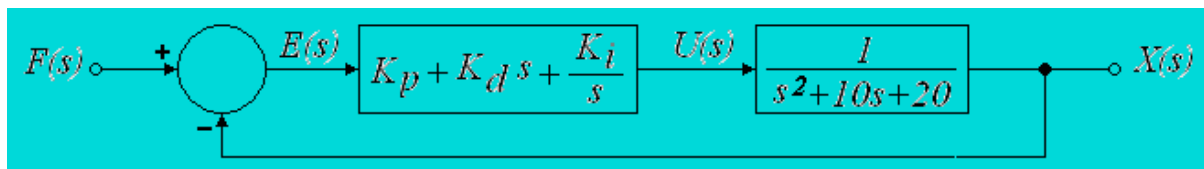
$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{\frac{K_p + K_d s}{s^2 + 10s + 20}}{1 + \frac{K_p + K_d s}{s^2 + 10s + 20}} = \frac{K_p + K_d s}{s^2 + (10 + K_d)s + (20 + K_p)}$$

Επιλέγοντας $K_p=300$, $K_d=10$, από τη γραφική παράσταση της απόκρισης φαίνεται ότι ο Αναλογικός-Διαφορικός ελεγκτής, μειώνει την υπερύψωση και το χρόνο αποκατάστασης ενώ έχει μικρή επιρροή στο χρόνο ανύψωσης και στο μόνιμο σφάλμα



Εικόνα 18:Γραφική παράσταση της απόκρισης αναλογικού – διαφορικού ελεγκτή

2.11.5 PID Controller Αναλογικός-Ολοκληρωτικός-Διαφορικός Ελεγκτής

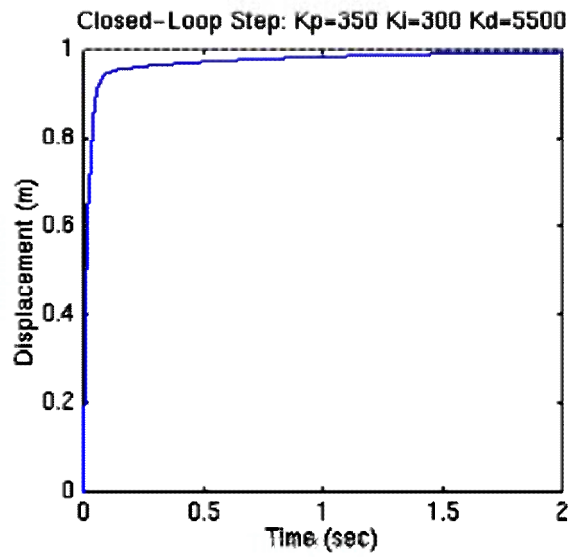


Η ΣΜ του συστήματος κλειστού βρόγχου είναι:

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{\frac{K_p + K_d s + K_i / s}{s^2 + 10s + 20}}{1 + \frac{K_p + K_d s + K_i / s}{s^2 + 10s + 20}} = \frac{K_d s^2 + K_p s + K_i}{s^3 + (10 + K_d)s^2 + (20 + K_p)s + K_i}$$

Για $K_p = 350$, $K_i = 300$, $K_d = 5500$

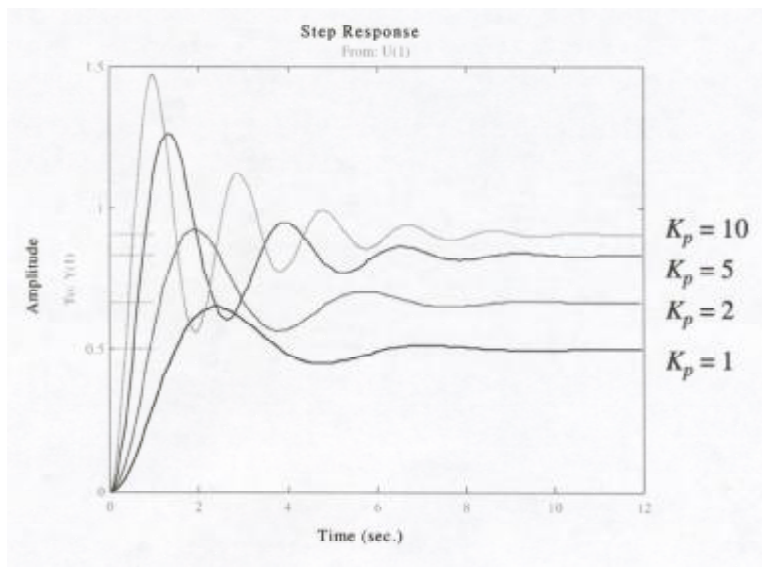
Έχουμε βέλτιστη απόκριση



Εικόνα 19: Γραφική παράσταση της απόκρισης αναλογικού – ολοκληρωτικού – διαφορικού ελεγκτή

2.12 Επίδραση του Αναλογικού, Ολοκληρωτικού και Διαφορικού κέρδους στη Δυναμική Απόκριση του Συστήματος

2.12.1 Μεταβολή του κέρδους σε Αναλογικό Ελεγκτή

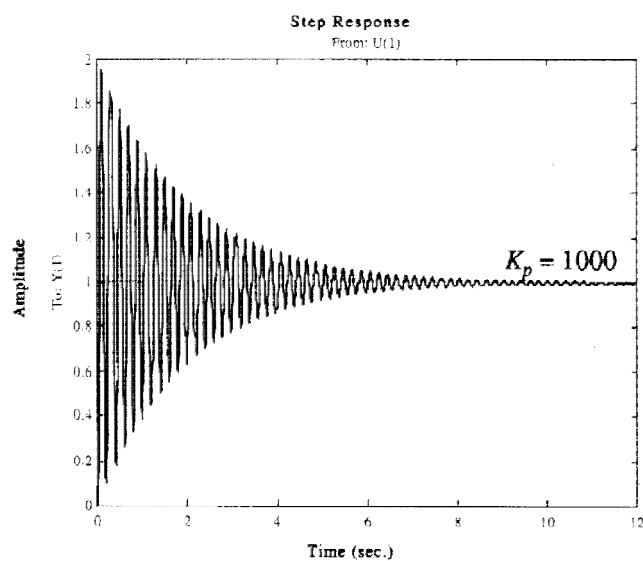


Εικόνα 20: Μεταβολή του κέρδους σε Αναλογικό Ελεγκτή

Αύξηση του κέρδους:

- § Βελτιώνει την μεταβατική και την μόνιμη απόκριση
- § Μειώνει το μόνιμο σφάλμα.
- § Μειώνει την Ευστάθεια !

2.12.2 Αναλογικός Ελεγκτής με μεγάλο κέρδος



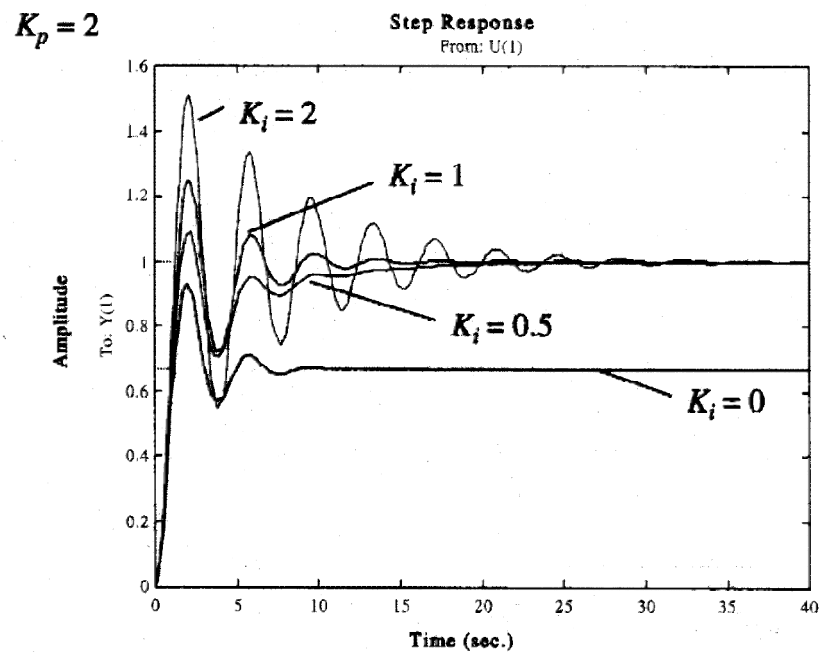
Εικόνα 21: Αναλογικός Ελεγκτής με μεγάλο κέρδος

2.12.3 Ολοκληρωτικός Ελεγκτής

Το Ολοκλήρωμα του σφάλματος με σταθερό κέρδος επιφέρει:

- § Αύξηση του τύπου του συστήματος κατά 1
- § Εξάλειψη του μόνιμου σφάλματος σε βηματική διέγερση
- § Αύξηση της υπερύψωσης και των ταλαντώσεων

2.12.4 Αύξηση του κέρδους σε Αναλογικό-Ολοκληρωτικό Ελεγκτή (PI)



Εικόνα 22: Ολοκληρωτικός Ελεγκτής

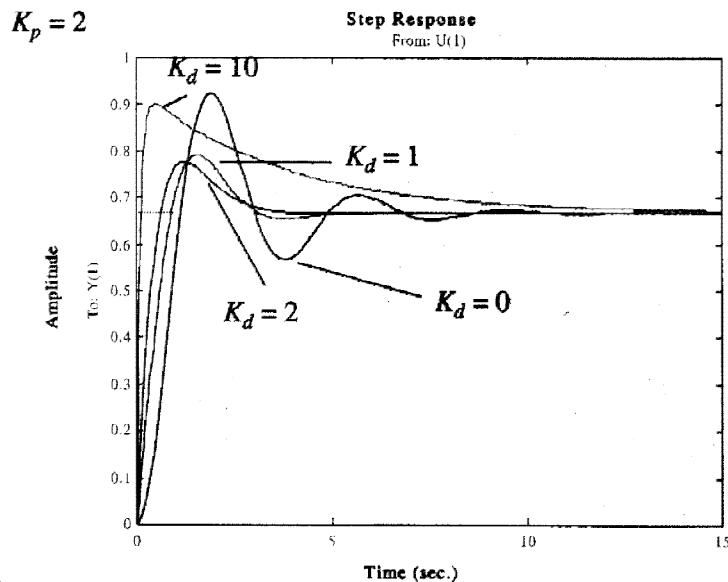
- § Δεν βελτιώνει τη μόνιμη απόκριση
- § Αυξάνει ελαφρώς το χρόνο αποκατάστασης
- § Αύξηση της υπερύψωσης και των ταλαντώσεων

2.12.5 Διαφορικός Ελεγκτής

Διαφόριση του σφάλματος με σταθερό κέρδος

- § γρήγορη ανίχνευση των μεταβολών της εξόδου
- § μείωση υπερύψωσης και ταλαντώσεων
- § δεν επηρεάζει τη μόνιμη απόκριση
- § βελτίωση της μεταβατικής απόκρισης

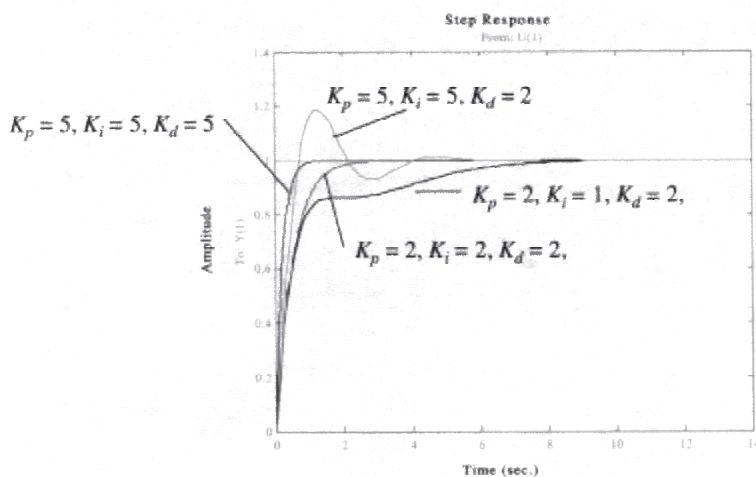
2.12.6 Αύξηση του κέρδους σε Αναλογικό-Διαφορικό Ελεγκτή (PD)



Εικόνα 23: Αύξηση του κέρδους σε Αναλογικό- Διαφορικό Ελεγκτή

- § βελτίωση της μεταβατικής απόκρισης
- § Μείωση της κορυφής και του χρόνου ανόδου
- § *Αύξηση της υπερύψωσης και του χρόνου αποκατάστασης!*

2.12.7 Μεταβολές κέρδους σε Ελεγκτή PID



Εικόνα 24: Ελεγκτής PID

§ βελτίωση της μεταβατικής απόκρισης

§ Αυξάνοντας το αναλογικό κέρδος μειώνεται το μόνιμο σφάλμα, αν όμως το αυξήσουμε πολύ το σύστημα αποσταθεροποιείται.

§ Ο Ολοκληρωτικός έλεγχος επιφέρει ισχυρή μείωση του μόνιμου σφάλματος, αλλά συχνά μειώνει την ευστάθεια του συστήματος.

§ Ο Διαφορικός έλεγχος αυξάνει την απόσβεση και βελτιώνει την ευστάθεια χωρίς να επηρεάζει το μόνιμο σφάλμα

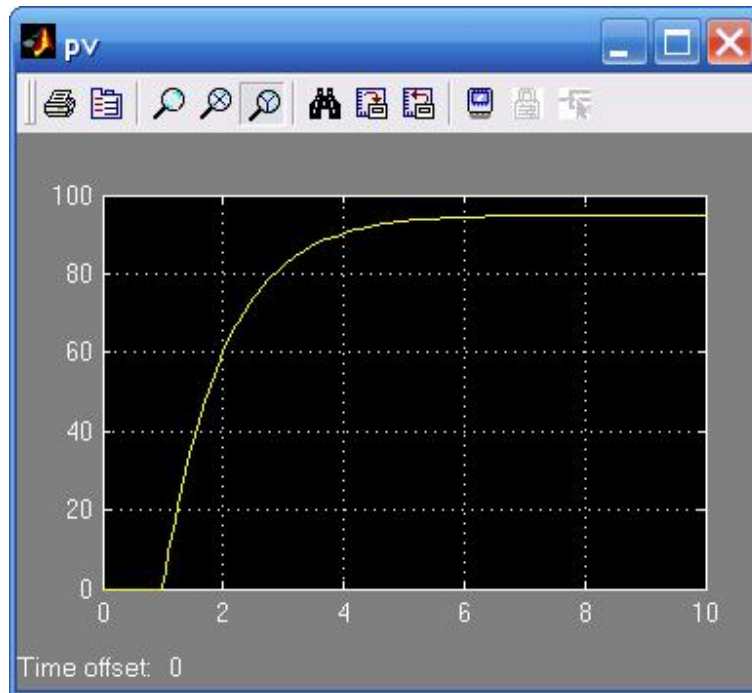
2.13 Ο ελεγκτής PID μέσα από ένα παράδειγμα

Έχετε ένα αμάξι που με τέρμα γκάζι πηγαίνει 200χλμ..Σας λέει κάποιος λοιπόν ότι θέλει να πάτε με 100 ακριβώς. Λέει κάποιος άλλος ..θα πατήσω το γκάζι μέχρι την μέση και άρα θα πάει ακριβώς 100!!



Εικόνα 25:Ιδεατή μετάβαση

Σωστό.. αλλά!! Λόγω αντίστασης κτλ. θα πάτε 95. Επίσης η ταχύτητα σας θα είναι κάπως έτσι:



Εικόνα 26: Η πραγματική αλλαγή της ταχύτητας

Έρχεται λοιπόν και η πραγματικότητα. Πατάτε τέρμα γκάζι και όταν φτάσατε τα 100 περίπου «κόβετε».. και πατάτε τόσο το γκάζι ώστε να έχετε ακριβώς 100χλμ.

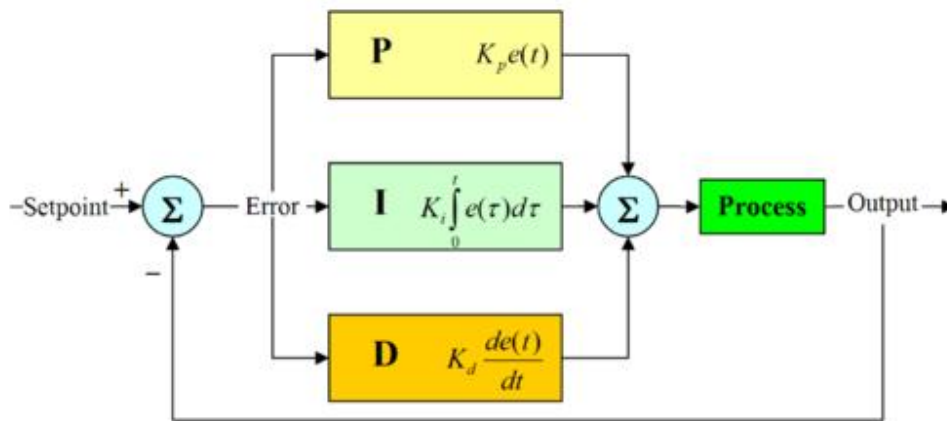
Ένας αναλογικός-ολοκληρωτικός-παραγωγικός ελεγκτής (ελεγκτής PID) είναι ένας γενικός μηχανισμός με ανατροφοδότηση βρόχων ελέγχου που χρησιμοποιείται ευρέως στα βιομηχανικά συστήματα ελέγχου. Ένας ελεγκτής PID προσπαθεί να διορθώσει το λάθος μεταξύ μιας μετρημένης μεταβλητής-διαδικασίας (ProcessValue) και ενός επιθυμητού σημείου λειτουργίας (setpoint) με τον υπολογισμό και έπειτα την έξοδο μιας διορθωτικής δράσης που μπορεί να ρυθμίσει τη διαδικασία αναλόγως.

Ο υπολογισμός της εξόδου του ελεγκτή PID (αλγόριθμος) περιλαμβάνει τρεις ξεχωριστούς όρους. Τον αναλογικό, ολοκληρωτικό και παραγωγικό όρο. Το αναλογικό κέρδος καθορίζει την αντίδραση στο τρέχον λάθος, το ολοκλήρωμα καθορίζει την αντίδραση βασισμένη στο άθροισμα των λαθών και η παράγωγος καθορίζει την αντίδραση βάση του ποσοστού στο οποίο το λάθος έχει αλλάξει. Το σταθμισμένο ποσό αυτών των τριών ενεργειών χρησιμοποιείται για να ρυθμίσει τη διαδικασία μέσω ενός στοιχείου ελέγχου όπως η θέση μιας βαλβίδας ελέγχου ή η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος ενός στοιχείου θέρμανσης, κινητήρα κτλ.

Με "το συντονισμό" των τριών σταθερών στον αλγόριθμο ελεγκτών PID το PID μπορεί να παρέχει τη δράση ελέγχου που χρειάζεται για τις συγκεκριμένες απαιτήσεις της διαδικασίας. Η έξοδος του ελεγκτή μπορεί να περιγραφεί από τον τρόπο της απόκρισης του ελεγκτή σε ένα λάθος, ο βαθμός στον οποίο ο ελεγκτής κάνει υπερανύψωση από το

setpoint και το βαθμό των ταλαντώσεων του συστήματος. Σημειώστε ότι η χρήση του αλγορίθμου PID για τον έλεγχο δεν εγγυάται το βέλτιστο έλεγχο του συστήματος.

Μερικές εφαρμογές μπορούν να απαιτήσουν μόνο έναν ή δύο όρους για να παρέχουν τον κατάλληλο έλεγχο συστημάτων. Αυτό επιτυγχάνεται με τον καθορισμό του κέρδους των ανεπιθύμητων όρων ελέγχου σε μηδέν. Ένας ελεγκτής PID θα λέγεται ελεγκτής p_i , pd , p ή i ανάλογα με την έλλειψη των αντίστοιχων όρων ελέγχου. Οι ελεγκτές p_i είναι ιδιαίτερα κοινοί, δεδομένου ότι η δράση του παραγωγικού όρου είναι πολύ ευαίσθητη στο θόρυβο μέτρησης.

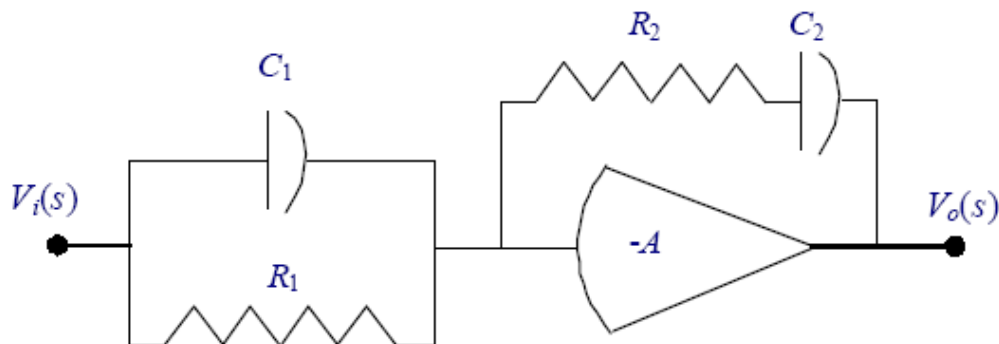


Εικόνα 27: Οι τρεις όροι του ελεγκτή PID

2.14 Πρακτική υλοποίηση ελεγκτών PID

2.14.1 1^η εφαρμογή: Τελεστικός Ενισχυτής

Η βασική μονάδα υλοποίησης των ελεγκτών PID είναι ο τελεστικός ενισχυτής. Το ηλεκτρικό του κύκλωμα φαίνεται στην εικόνα 28



Εικόνα 28: Υλοποίηση PID ελεγκτή με χρήση ΤΕ

Χρησιμοποιώντας βασικούς κανόνες ηλεκτρικών κυκλωμάτων, η συνάρτηση μεταφοράς του παραπάνω σχήματος είναι,

$$G_c(s) = - \left[\left(\frac{R_2}{R_1} + \frac{C_1}{C_2} \right) + R_2 C_1 s + \frac{1}{s} \frac{R_1 C_2}{s} \right]$$

Πρέπει να σημειωθεί ότι στους τελεστικούς ενισχυτές η σταθερή απολαβή A θεωρείται ιδεατά άπειρη.

2.14.2 2^η Εφαρμογή: Όργανο πίνακα ελέγχου θερμοκρασίας ή υγρασίας.



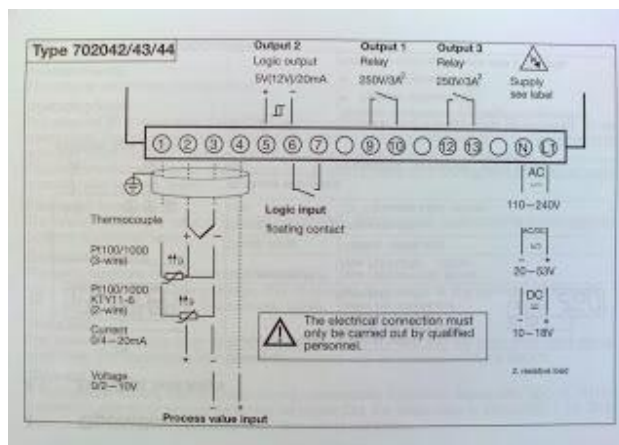
Εικόνα 29: Το όργανο ελέγχου θερμοκρασίας jumo iTRON με το βιβλίο του.

Είναι αρκετές οι εφαρμογές που θέλουμε να έχουμε σταθερή θερμοκρασία ή υγρασία σε ένα χώρο όπως ένας φούρνος για επεξεργασία ή συντήρηση προϊόντων ή κάτι άλλο.



Εικόνα 30: Η πίσω όψη του ελεγκτή όπου γίνονται οι συνδέσεις

Μια πολύ καλή λύση για τέτοιου είδους εφαρμογές είναι οι PID ελεγκτές. Για έλεγχο θερμοκρασίας έχουν πολύ καλύτερη καμπύλη απόκρισης από ότι οι απλοί θερμοστάτες που "βγάζουν" πριονωτό διάγραμμα θερμοκρασίας.



Εικόνα 31: Το σχέδιο για τις απαραίτητες ηλεκτρικές συνδέσεις του ελεγκτή

Υπάρχουν αρκετά μοντέλα στην αγορά, ένα από αυτά είναι και το iTRON της jumo (προφέρεται γιούμο). Η τάση λειτουργίας τους παίρνει όλες τις γνωστές τιμές ανάλογα με το μοντέλο.



Εικόνα 32:Όργανο ελέγχου θερμοκρασίας Θέλουμε 155 βαθμούς και την στιγμή της φωτογραφίας ήταν 153,7

Η πρώτη έξοδος ρελέ που διαθέτει χρησιμοποιείται συνήθως για τον έλεγχο της θερμοκρασίας και μια δεύτερη έξοδος για alarm. Είναι βέβαια προγραμματιζόμενες και μπορούν να ρυθμιστούν ανάποδα.

Ένα από τα καλύτερα χαρακτηριστικά αυτών των οργάνων, ανάλογα και το μοντέλο, είναι η ύπαρξη αυτόματης διαδικασίας ρύθμισης των πιο κρίσιμων παραμέτρων του PID Controller, έτσι επιτυγχάνεται ένα αποτέλεσμα ελέγχου κοντά στο βέλτιστο δυνατό.

Άλλες παράμετροι προσδιορίζουν τον τύπο της εισόδου του σήματος της θερμοκρασίας, τον τύπο του αισθητηρίου, τα δεκα δικά της ένδειξης, τον τρόπο και τα όρια ενεργοποίησης του alarm, ρυθμίσεις για το καλιμπράρισμα, όρια περιοχών ελέγχου, κ.α.

Για έλεγχο υγρασίας χρησιμοποιείται και ορίζεται ως είσοδος στο όργανο, το σήμα 4 με 20 mA που με την κατάλληλη παραμετροποίηση μεταφράζεται σε ποσοστό υγρασίας. Η ίδια είσοδος είναι στην πραγματικότητα μια γενική είσοδος που μπορεί να "μεταφραστεί" σε οποιοδήποτε φυσικό μέγεθος με τον κατάλληλο μετατροπέα

2.15 Γενικές συμβουλές για την σχεδίαση ενός ελεγκτή PID

1. Παρατηρούμε την απόκριση στο σύστημα ανοιχτού βρόγχου και καθορίζουμε ποιο σημείο χρειάζεται βελτίωση
2. Προσθέτουμε τον αναλογικό έλεγχο για να βελτιωθεί ο χρόνος ανύψωσης.
3. Προσθέτουμε τον διαφορικό έλεγχο για να βελτιωθεί η υπέρβαση.
4. Προσθέτουμε τον ολοκληρωτικό έλεγχο για να εξαλειφθεί το μόνιμο σφάλμα
5. Τροποποιείται καθένα από τα K_p , K_i και K_d μέχρι να επιτευχθεί μία συνολική επιθυμητή απόκριση.

Πρέπει να έχουμε πάντα κατά νου, ότι δεν χρειάζεται να εφαρμοσθούν και οι τρεις ελεγκτές (αναλογικό, διαφορικός και ολοκληρωτικό) σε ένα σύστημα, εάν αυτό δεν είναι απαραίτητο. Για παράδειγμα, εάν ένας PI ελεγκτής δίνει μία αρκετά καλή απόκριση, τότε δεν χρειάζεται να προστεθεί και διαφορικός ελεγκτής στο σύστημα. Καλό είναι να διατηρείται ο ελεγκτής όσο πιο απλός γίνεται.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

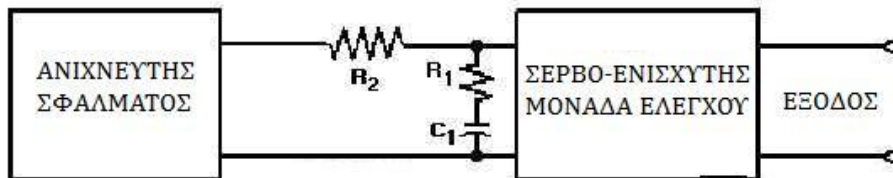
Τύποι Ελεγκτών

3.1 Δύο θέσεων τρόπος ελέγχου (Two-Position)

Ένας ηλεκτρονικός αναλογικός ελεγκτής έχει δύο κύρια μέρη:

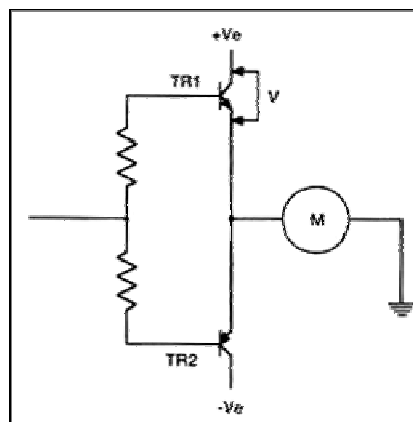
- § τον ανιχνευτή σφάλματος
- § και τη μονάδα ελέγχου

Ένα παράδειγμα ενός ηλεκτρικού ανιχνευτή σφάλματος είναι διευκρινισμένο στην εικόνα 33.



Εικόνα 33: Ηλεκτρικός ανιχνευτής σφάλματος με τη μονάδα ελέγχου

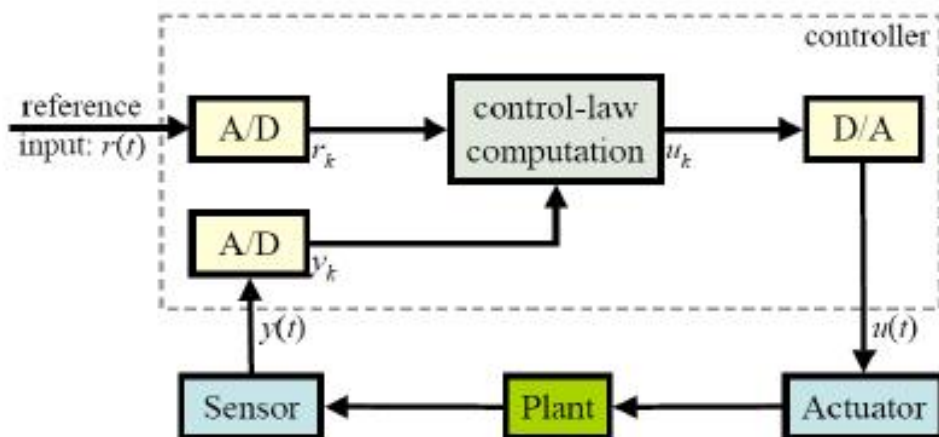
Η τάση εξόδου του ανιχνευτή σφάλματος διαιρείται πάνω στις δύο αντιστάσεις R_1 και R_2 . Όσο πιο μεγάλος είναι ο χρόνος εξόδου της τάσης σφάλματος, τόσο περισσότερο φορτίζεται ο πυκνωτής C_1 και επομένως τόσο μεγαλύτερη είναι η τάση εισόδου του σερβοενισχυτή. Φυσικά μεσολαβεί ένα χρονικό διάστημα μέχρι να φορτίσει ο πυκνωτής από τη στιγμή που εφαρμόζεται το σήμα εξόδου του ανιχνευτή σφάλματος. Επομένως και ο σερβοενισχυτής δεν είναι δυνατόν να αποκριθεί ακαριαία στο σφάλμα.



Εικόνα 34: Ηλεκτρικός ανιχνευτής σφάλματος εσωτερικό κύκλωμα

3.2 Ψηφιακός ελεγκτής

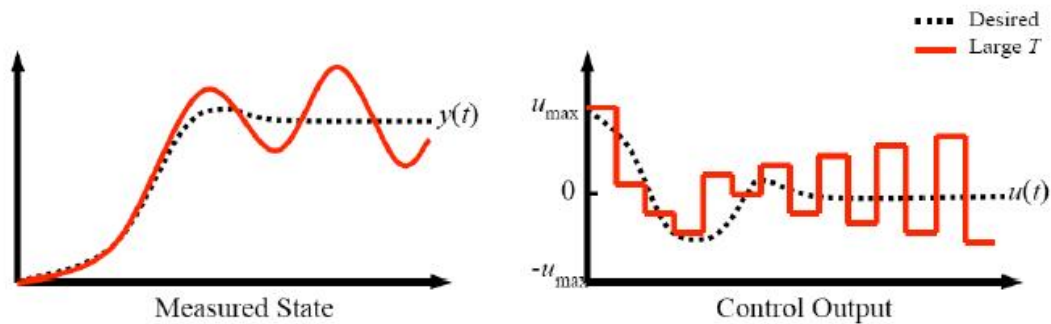
Κάθε αυτόματο σύστημα ελέγχεται από έναν ελεγκτή, που η δουλειά του είναι να συγκρίνει κάθε στιγμή την πραγματική κατάσταση ενός συστήματος με την επιθυμητή και να παράγει ένα διορθωτικό σήμα που να οδηγεί το σύστημα προς την επιθυμητή κατάσταση. Ένας ελεγκτής μπορεί να υλοποιηθεί και με αναλογικό τρόπο, σήμερα όμως οι ελεγκτές σχεδιάζονται με βάση τις αρχές των ψηφιακών συστημάτων. Για παράδειγμα, ας θεωρήσουμε την επιθυμητή τροχιά ενός ρομποτικού μηχανισμού. Έστω $r(t)$ η επιθυμητή τροχιά, που τη σχεδιάζουμε με την βοήθεια υπολογισμών, έχοντας κατά νου πού θέλουμε να οδηγήσουμε στην πραγματικότητα το ρομπότ. Το σήμα $r(t)$ είναι, λοιπόν, το «σήμα αναφοράς». Με τη βοήθεια αισθητήρων είναι δυνατό να μετρά το ρομπότ κατά την διάρκεια της κίνησης, ποια είναι η πραγματική του θέση. Έστω $y(t)$ η μετρούμενη θέση του ρομποτικού μηχανισμού. Η διαφορά $e(t)=r(t)-y(t)$ αντιπροσωπεύει το σφάλμα της κίνησης, δηλαδή την διαφορά ανάμεσα στην επιθυμητή και τη μετρούμενη τιμή. Ο ελεγκτής αναλαμβάνει με βάση το σφάλμα $e(t)$ να παράγει ένα διορθωτικό σήμα $u(t)$ που θα οδηγήσει τους κινητήρες του ρομπότ κατάλληλα, ώστε να διορθωθεί το σφάλμα της θέσης. Κατόπιν, οι αισθητήρες μετρούν την νέα θέση και ο κύκλος της διόρθωσης επαναλαμβάνεται. Η εικόνα 35 δείχνει το διάγραμμα βαθμίδων ενός ψηφιακού ελεγκτή.



Εικόνα 35: Διάγραμμα βαθμίδων ψηφιακού ελεγκτή

Για την ψηφιακή εκδοχή του ελεγκτή θα πρέπει να λαμβάνονται δείγματα του σήματος αναφοράς $r(t)$ και να συγκρίνονται με δείγματα του σήματος που παράγουν οι αισθητήρες της θέσης. Τη λειτουργία αυτή την αποκαλούμε δειγματοληψία των σημάτων. Ένας μετατροπέας αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (ADC) αναλαμβάνει να κάνει την μετατροπή των σημάτων του αισθητήρα σε κατάλληλη ψηφιακή μορφή. Έτσι, τα συνεχή σήματα γίνονται διακριτά. Μια σημαντική παράμετρος του ψηφιακού συστήματος, λοιπόν, είναι η **περίοδος T** της δειγματοληψίας. Από την συχνότητα με την οποία λαμβάνουμε δείγματα προκειμένου να εκτελέσουμε τις εργασίες που

προαναφέρθηκαν, εξαρτάται η καλή λειτουργία και το κόστος του συστήματος. Αν ο χρόνος T είναι μεγάλος, τότε θα έχουμε ένα φθινό σύστημα, που όμως δεν θα οδηγείται σωστά. Αν ο χρόνος T είναι πολύ μικρός, τότε θα έχουμε πολύ καλή οδήγηση του ρομπότ, όμως το όλο σύστημα θα έχει μεγάλο κόστος.



Εικόνα 36: Ένα σήμα ελέγχου $u(t)$ (δεξιά) παράγει μια μεταβολή στη θέση $y(t)$ (αριστερά). Η επιθυμητή απόκριση του συστήματος φαίνεται με τελείες και η απόκριση για μεγάλο T με συνεχή γραμμή.

Σαν ένα παράδειγμα του παραπάνω ελεγκτή, ας σκεφτούμε ένα χειριστήριο που μεταδίδει εντολές προς το σύστημα κατεύθυνσης ενός οχήματος. Το χειριστήριο παράγει τα σήματα αναφοράς στα οποία πρέπει να υπακούει το σύστημα στροφής του οχήματος. Ένας αισθητήρας μετρά την πραγματική στροφή του άξονα. Ανάλογα με τη διαφορά ανάμεσα στην ζητούμενη θέση και στην πραγματική θέση, παράγεται το σήμα οδήγησης u που ενεργεί σε ένα μοτέρ και στρίβει τον άξονα.

Όσο πιο γρήγορα πρέπει να αποκρίνεται ένα σύστημα στις αλλαγές του σήματος αναφοράς, τόσο πιο γρήγορα πρέπει να μεταβάλλονται τα σήματα οδήγησης προς τους ενεργοποιητές (μοτέρ, ηλεκτρονόμοι κλπ). Για να συμβαίνει αυτό, η περίοδος δειγματοληψίας πρέπει να είναι μικρή. Αν η περίοδος T είναι μεγαλύτερη από ένα όριο, τότε η χειριστής θα αισθάνεται ότι το σύστημα δεν υπακούει άμεσα στο χειριστήριο και θα δυσκολεύεται να το κατευθύνει. Ας σημειωθεί ότι ένας σύνθετος ψηφιακός ελεγκτής μπορεί να περιλαμβάνει υποσυστήματα που το καθένα να χρειάζεται τη δική του περίοδο για τον βρόγχο ελέγχου. Τέτοια συστήματα ονομάζονται πολλαπλού ρυθμού (multirate systems).

Οι ψηφιακοί ελεγκτές έχουν μια σειρά από πλεονεκτήματα όπως :

- § Βελτιωμένη ευαισθησία
- § Αυξημένη ταχύτητα υπολογισμών με μεγάλη ακρίβεια
- § Μικρότερο κόστος
- § Μικρότερη ευαισθησία σε θορύβους και διαταραχές
- § Πιο συμπαγής μορφή, μικρότερο βάρος

§ Μεγάλη ευελιξία. Η αλλαγή της λειτουργίας τους γίνεται απλά με την αλλαγή του προγράμματος που εκτελούν.

Ωστόσο, ένα ψηφιακό σύστημα ελέγχου δεν περιλαμβάνει μόνο υλικό εξοπλισμό (εξαρτήματα και καλωδιώσεις), αλλά περιέχει και λογισμικό. Για το λόγο αυτό, θα πρέπει να λάβουμε υπόψη επιπλέον ζητήματα, όπως:

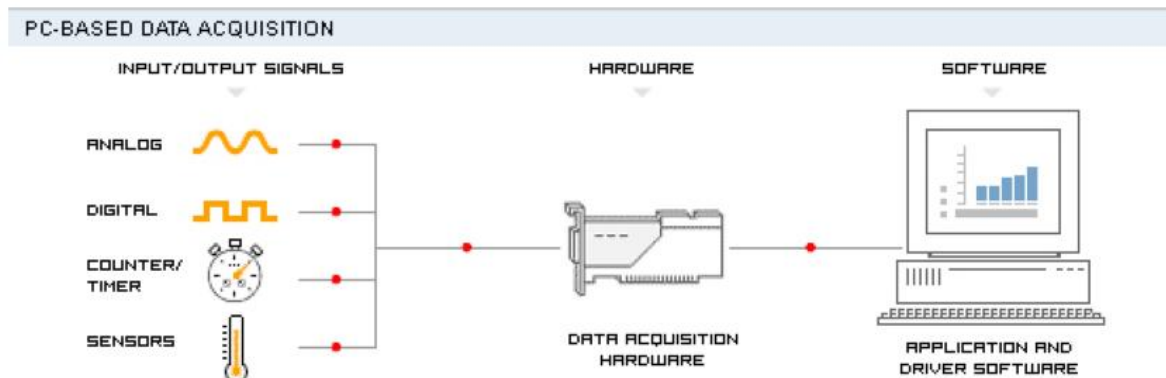
- § Σφάλματα που εισάγονται εξαιτίας της μετατροπής A/D και D/A, καθώς και λόγω του πεπερασμένου μήκους λέξης που χρησιμοποιείται στους υπολογισμούς
- § Η ανάπτυξη λογισμικού συνοδεύεται πάντοτε από λάθη. Έχει διαπιστωθεί ότι ένα μεγάλο ποσοστό των σφαλμάτων στον ψηφιακό έλεγχο οφείλεται στο πρόγραμμα ελέγχου. Προκύπτει, λοιπόν, η ανάγκη ύπαρξης μηχανισμών ελέγχου και επικύρωσης του παραγόμενου κώδικα και, επομένως, απαιτείται η συνεργασία μηχανικών ελέγχου και λογισμικού (*control and software engineers*)
- § Τα περισσότερα συγγράμματα πάνω στον ψηφιακό έλεγχο θεωρούν ότι η δειγματοληψία είναι περιοδική, σύγχρονη και ομοιόμορφη, κάτι που συνεπάγεται μηδενικό χρόνο εκτέλεσης του αλγόριθμου ελέγχου. Ωστόσο, η παραπάνω υπόθεση δεν είναι ρεαλιστική, καθώς η εκτέλεση του προγράμματος ελέγχου απαιτεί κάποιο χρόνο, εισάγοντας έτσι μια καθυστέρηση από τη στιγμή που λαμβάνεται το δείγμα μέχρι τη στιγμή που το σήμα ελέγχου εμφανίζεται στην έξοδο (*control or feedback delay*)
- § Η διάρκεια εκτέλεσης του αλγορίθμου ελέγχου μπορεί να αλλάζει από δείγμα σε δείγμα.

3.2.1 Ψηφιακό σύστημα συλλογής δεδομένων

Ένα σύστημα συλλογής δεδομένων αποτελείται από ένα σύνολο αισθητηρίων που μετατρέπουν τα προς μέτρηση φυσικά μεγέθη σε σήματα τάσης ή ρεύματος. Ένας μετατροπέας αναλογικού σήματος σε ψηφιακό κάνει τη μετατροπή της αναλογικής τάσης του αισθητηρίου σε ψηφιακή, λαμβάνοντας δείγματα του αναλογικού σήματος σε τακτά χρονικά διαστήματα. Η μετατροπή αυτή μπορεί να γίνει με τις λεγόμενες κάρτες DAQ που είναι ειδικό υλικό ψηφιακών μετρήσεων. Κατόπιν, η μέτρηση μεταφέρεται προς έναν υπολογιστή, όπου αποθηκεύεται με την μορφή αρχείου ή καταγράφεται σε πραγματικό χρόνο. Επίσης, το σήμα της μέτρησης μπορεί να υποστεί επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο.

Στο παράδειγμα αυτό, η περίοδος της δειγματοληψίας παίζει σημαντικό ρόλο. Ανάλογα με τη φύση του σήματος που πρέπει να καταγραφεί σε πραγματικό χρόνο, η περίοδος αυτή μπορεί να είναι μικρότερη ή μεγαλύτερη. Για παράδειγμα, αν το σήμα που θέλουμε να καταγράψουμε περιέχει διάφορες συχνότητες από τις οποίες η μεγαλύτερη είναι τα 20 KHz, τότε σύμφωνα με το κριτήριο του Nyquist η συχνότητα της δειγματοληψίας δεν πρέπει να είναι μικρότερη από $2f_{max} = 40$ KHz.

Άρα, η περίοδος της δειγματοληψίας πρέπει να είναι μικρότερη ή ίση από $1/40\text{KHz} = 25\mu\text{s}$. Αν πάλι το σήμα που θέλουμε να καταγράψουμε μεταβάλλεται πολύ αργά, όπως συμβαίνει, για παράδειγμα, με το σήμα που παράγει ένα θερμομέτρο δωματίου, τότε αρκεί μια περίοδος δειγματοληψίας της τάξης του ενός δευτερολέπτου. Άρα, και πάλι ο σχεδιασμός και το κόστος του συστήματος συνδέονται με τους χρονικούς περιορισμούς της συγκεκριμένης εφαρμογής. Στην Εικόνα 37 φαίνονται οι βασικές βαθμίδες ενός ψηφιακού συστήματος συλλογής δεδομένων.

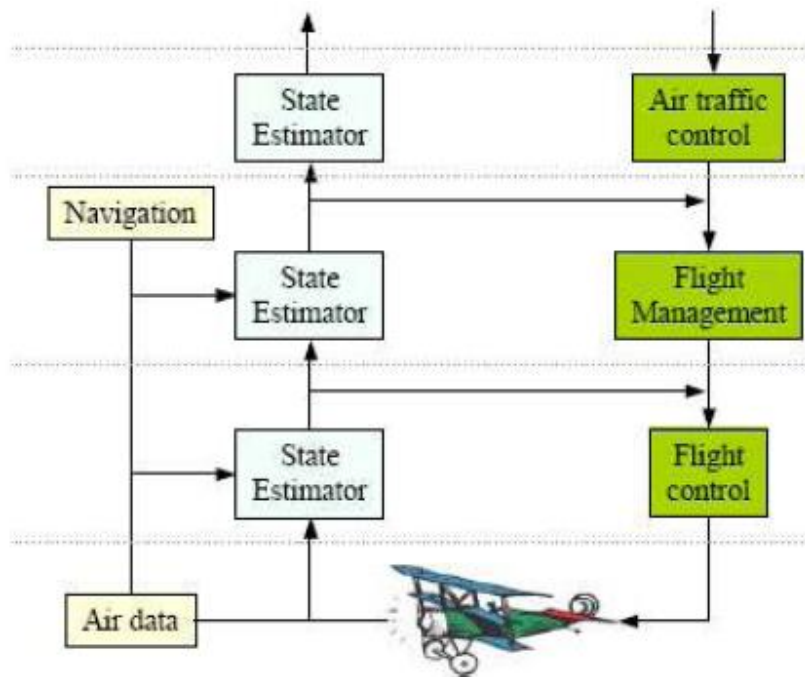


Εικόνα 37: Ψηφιακό σύστημα συλλογής δεδομένων

Εκτός από το ρυθμό δειγματοληψίας, οι ανάγκες επεξεργασίας σε πραγματικό χρόνο βάζουν τους δικούς τους χρονικούς περιορισμούς. Για παράδειγμα, έστω ότι καταγράφουμε ένα ηχητικό σήμα που προέρχεται από ένα μικρόφωνο. Ας υποθέσουμε ότι επιθυμούμε να παράγουμε το φάσμα Fourier του σήματος σε πραγματικό χρόνο. Με τον τρόπο αυτό θα ξέρουμε πώς μεταβάλλεται το συχνοτικό περιεχόμενο σε κάθε στιγμή. Η ανάλυση Fourier είναι αρκετά απαιτητική υπολογιστική διαδικασία και η εκτέλεση των αντίστοιχων αλγορίθμων είναι χρονοβόρα. Θα πρέπει λοιπόν, να σχεδιάσουμε κατάλληλα τους αλγόριθμους, ώστε να εκτελούνται κατά το δυνατόν γρηγορότερα, μέσα στα χρονικά όρια που επιβάλλει η εφαρμογή. Σε ορισμένες περιπτώσεις θα πρέπει να αναθέσουμε αυτό το μέρος της επεξεργασίας σε εξειδικευμένο υλικό.

3.2.2 Ιεραρχικός έλεγχος

Όσο πιο σύνθετο γίνεται το σύστημα ελέγχου, τόσο πιο πολλά επίπεδα ελέγχου χρειάζεται. Πολλές φορές, όλα αυτά τα επίπεδα ελέγχου χρειάζεται να εκτελούνται σε πραγματικό χρόνο, αλλά το καθένα έχει τους δικούς του χρονικούς περιορισμούς. Ένα τυπικό παράδειγμα είναι ο έλεγχος της πτήσης ενός αεροπλάνου, που περιλαμβάνει τα εξής επίπεδα: στο χαμηλότερο επίπεδο υπάρχει ο έλεγχος των πτητικών συστημάτων του αεροσκάφους (flight control), σε αμέσως ψηλότερο επίπεδο υπάρχει το σύστημα διαχείρισης της πτήσης (flight management) και τέλος, στο ανώτερο ιεραρχικά επίπεδο υπάρχει το σύστημα ελέγχου της εναέριας κυκλοφορίας (air-traffic control).

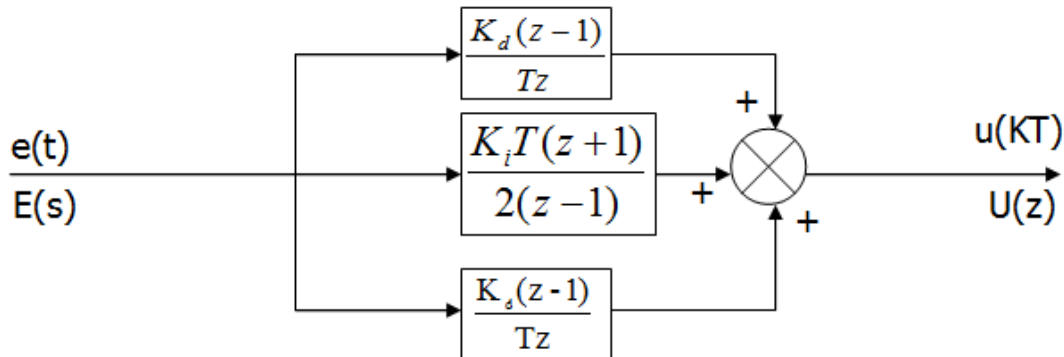


Εικόνα 38:Ιεραρχικός έλεγχος αεροσκάφους

Ο εναέριος έλεγχος ρυθμίζει την ροή των αεροσκαφών σε κάθε αεροδρόμιο, θέτοντας χρονικά όρια στην άφιξη κάθε αεροσκάφους σε προκαθορισμένα γεωγραφικά σημεία. Το σύστημα διαχείρισης της πτήσης σε κάθε αεροσκάφος χαράζει την καλύτερη δυνατή πορεία του αεροπλάνου, ώστε αυτό να φτάσει στο προκαθορισμένο σημείο στον προβλεπόμενο χρόνο. Φυσικά, λαμβάνει υπόψη του τους κανόνες εναέριας κυκλοφορίας, τον καιρό και την κατανάλωση καυσίμων. Τέλος, ο ελεγκτής πτήσης ρυθμίζει τα υποσυστήματα του αεροπλάνου (ταχύτητα, στροφή, ρυθμός ανόδου/καθόδου) ώστε το αεροπλάνο να ανταποκριθεί στην προβλεπόμενη πορεία.

Προφανώς, τα διάφορα επίπεδα ελέγχου στο παράδειγμά μας έχουν διαφορετικούς χρονικούς περιορισμούς. Συνήθως τα ψηλότερα επίπεδα ελέγχου έχουν λιγότερο αυστηρές προθεσμίες για την εκτέλεση μιας εργασίας. Για παράδειγμα, το στίγμα και οι «μεταβλητές κατάστασης» κάθε αεροσκάφους πρέπει να ανανεώνονται στις οθόνες των ραντάρ περίπου κάθε ένα ή δύο δευτερόλεπτα. Το σύστημα διαχείρισης πτήσης μπορεί να καταστρώνει το σχέδιο πτήσης ακόμη και πριν την απογείωση, ενώ οι σχετικοί υπολογισμοί που είναι απαραίτητοι κατά την διάρκεια της πτήσης έχουν ένα περιθώριο αρκετών δευτερολέπτων ή λεπτών. Οι ψηφιακοί ελεγκτές που ελέγχουν τα πτητικά υποσυστήματα του αεροσκάφους, όμως, έχουν πολύ αυστηρούς περιορισμούς, καθώς οι έλεγχοι πρέπει να γίνονται δεκάδες ή εκατοντάδες φορές το δευτερόλεπτο.

3.3 Ψηφιακός PID Ελεγκτής



Εικόνα 39: Ψηφιακός PID Ελεγκτής

Η ευστάθεια του συστήματος επιτυγχάνεται δίνοντας κατάλληλες τιμές στους συντελεστές K_p , K_i και K_d .

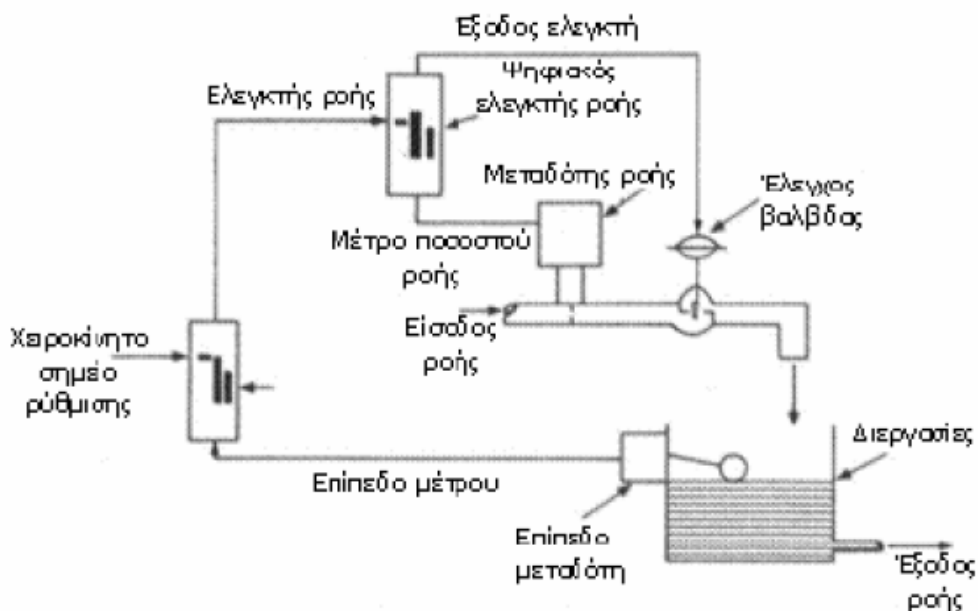
- § Ο ψηφιακός έλεγχος είναι ακριβής και ανεξάρτητος από θερμοκρασιακή ολίσθηση, γήρανση και ανοχή των υλικών.
- § Οι συντελεστές K_p , K_i και K_d μπορούν να αποθηκευτούν σε μία μνήμη και μπορούν να μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια λειτουργίας του παλμομετατροπέα και να τον αντισταθμίζουν κατάλληλα σε διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας.
- § Εκτός του PID ελέγχου υπάρχει η δυνατότητα χρησιμοποίησης επιπλέον ψηφιακών φίλτρων για αύξηση των διαθέσιμων πόλων και μηδενικών.

3.4 Προηγμένος Έλεγχος

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.

3.5 Σειριακός Έλεγχος

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.

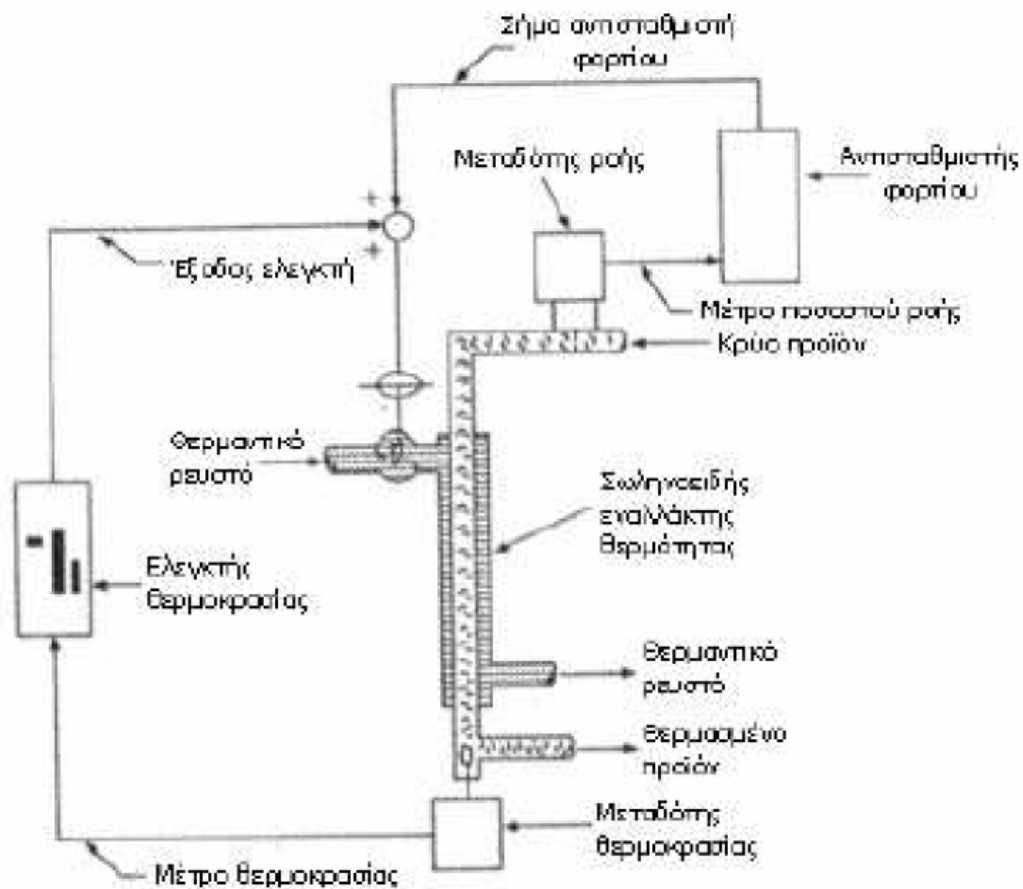


Εικόνα 40: Εφαρμογή σειριακού ελέγχου

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.

3.6 Έλεγχος Ορθής Τροφοδοσίας

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 41, ένας πομπός αποστολής σημάτων ροής μετρά το ποσοστό ροής προϊόντων και στέλνει το σήμα σε ένα αντισταθμίζων φορτίο.



Εικόνα 41: 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 μετρείται 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 ελέγχου ορθής τροφοδοσίας σταθερά περιλαμβάνουν ένα βρόγχο ανάδρασης για να κάνουν τις τελικές προσαρμογές.

3.7 Προσαρμοστικοί Ελεγκτές

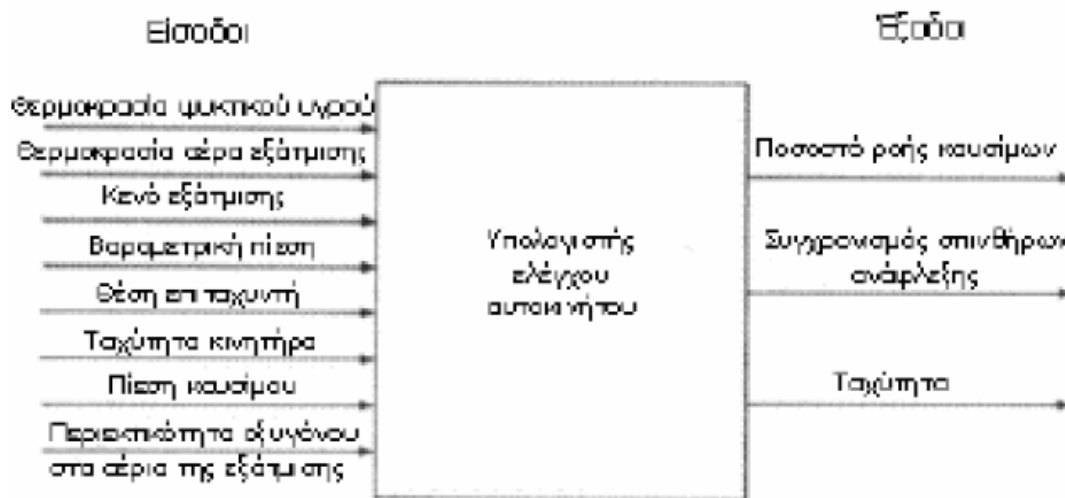
Οι προσαρμοστικοί ελεγκτές αλλάζουν τις παραμέτρους των ελεγκτών "που προσαρμόζονται" στις αλλαγές της διαδικασίας. Ένας προσαρμοστικός ελεγκτής καθορίζει τις τιμές του P, I, και D και κάνει τις απαραίτητες αλλαγές. Πολλές διαφορετικές τεχνικές χρησιμοποιούνται για "να προσαρμόσουν" τον ελεγκτή στις 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 βασισμένο 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.

3.8 Πολυμεταβλητός Έλεγχος

Ο πολυμεταβλητός έλεγχος χρησιμοποιεί τις μετρήσεις διάφορων μεταβλητών της διαδικασίας και μπορεί να περιλαμβάνει το χειρισμό περισσότερων από μιας μεταβλητής διαδικασίας. Τα συστήματα ελέγχου υπολογιστών που χρησιμοποιούνται για να ελέγξουν τους ψεκαστές καυσίμου και τον χρονισμό του μπουζί στα αυτοκίνητα είναι ένα άριστο παράδειγμα ενός πολυμεταβλητού συστήματος ελέγχου. Η εικόνα 42 επεξηγεί ένα σύστημα ελέγχου αυτοκινήτου.



Εικόνα 42: Εφαρμογή πολυμεταβλητού έλεγχου

Ο σκοπός του συστήματος που παρουσιάζεται στην Εικόνα 42 είναι να ελεγχθεί το ποσοστό ροής του ψεκαστή καυσίμων, ο χρονισμός των μπουζί και της ταχύτητας του ρελαντί. Οι εισόδοι 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 έλεγχου 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 χρονισμό 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 λειτούργει το κλιματιστικό του αυτοκινήτου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Προγραμματιζόμενοι Λογικοί Ελεγκτές (PLC)

Στις αρχές της δεκαετίας του '80 οι εταιρείες παραγωγής ηλεκτρολογικού υλικού εμφανίζουν στους μηχανικούς και τεχνικούς της βιομηχανίας ένα νέο προϊόν αυτοματισμού, το οποίο ονόμασαν PLC. Η πλήρης ονομασία αυτής της νέας συσκευής είναι Programmable Logic Controller (Προγραμματιζόμενος Λογικός Ελεγκτής). Οι εταιρείες δεν χρησιμοποίησαν αρχικά στην αγορά την πλήρη ονομασία, μιλώντας απλά για plc πράγμα που ίσως έγινε έντεχνα για να μην τρομάζουν το τεχνικό κατεστημένο της Βιομηχανίας.

Το PLC δεν είναι τίποτα άλλο παρά ένας μικροϋπολογιστής, κατάλληλα προσαρμοσμένος ώστε να χρησιμοποιείται για τη λειτουργία αυτοματισμών. Τα PLC προορίζονταν να αντικαταστήσουν τον κλασικό πίνακα αυτοματισμού με τους ηλεκτρονόμους. Όπως γίνεται εύκολα κατανοητό μιλάμε για μια τεράστια αλλαγή στον τρόπο που μέχρι τότε δούλευε η βιομηχανία, δηλαδή έπρεπε να περάσει κατευθείαν από τους ηλεκτρονόμους στους υπολογιστές. Εδώ ήταν που οι εταιρείες παραγωγής PLC έπαιξαν ένα σπουδαίο "παιχνίδι" μάρκετινγκ. Προσάρμοσαν τον τρόπο χρήσης του PLC στον τρόπο που δούλευε μέχρι τότε η βιομηχανία, δηλαδή:

- § Έντεχνα απέφυγαν να χρησιμοποιήσουν λέξεις που θα "τρόμαζαν" το τεχνικό κατεστημένο της βιομηχανίας, όπως για παράδειγμα υπολογιστής, προγραμματισμός κ.λπ. Ακόμη και το όνομα του νέου προϊόντος απέφυγαν να το χρησιμοποιήσουν ολοκληρωμένο και προτιμούσαν να αναφέρουν τη συσκευή σαν PLC
- § Προσπάθησαν να μην αλλάξουν τον μέχρι τότε τρόπο εργασίας στον τομέα των αυτοματισμών. Δεν άλλαξαν δηλαδή τίποτα σε σχέση με τον σχεδιασμό ενός αυτοματισμού. Απλά είπαν, στους τεχνικούς: "αυτό το σχέδιο αντί να το δώσετε στον ηλεκτρολόγο για να το κατασκευάσει, θα το φτιάξετε με τον τρόπο που θα σας δείξουμε", και στην ουσία τους μάθαιναν προγραμματισμό.
- § Οι πρώτες γλώσσες προγραμματισμού δεν έκαναν τίποτα παραπάνω από το να αντιγράφουν με πλήκτρα σε μία ειδική συσκευή προγραμματισμού το σχέδιο του ηλεκτρολογικού αυτοματισμού.

Με τον τρόπο αυτό η είσοδος του PLC στη βιομηχανία υπήρξε επιτυχής και ομαλή. Σήμερα, ο κλασικός αυτοματισμός με ηλεκτρονόμους τείνει να εκλείπει. Όλες οι καινούριες εγκαταστάσεις χρησιμοποιούν PLC. Μετά από λίγα χρόνια ελάχιστες εγκαταστάσεις θα χρησιμοποιούν πίνακες κλασικού αυτοματισμού.

Σήμερα, τα PLC έχουν εξελιχτεί πάρα πολύ σε σχέση με τα πρώτα μοντέλα της δεκαετίας του '80. Και βέβαια το προσωπικό της βιομηχανίας έχει εκπαιδευτεί κατάλληλα στον χειρισμό και προγραμματισμό τους. Σήμερα ένας ηλεκτρολόγος πρέπει

να γνωρίζει στοιχειώδη πράγματα από τα ηλεκτρονικά και τις βασικές αρχές των υπολογιστών, αλλιώς θα είναι πολύ δύσκολο να διαβάσει και να καταλάβει ακόμη και το πιο απλό εγχειρίδιο ενός PLC.

Η χρήση των PLC παρέχει πάρα πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τον κλασικό αυτοματισμό. Η καθολική όμως γενίκευση της χρήσης τους δεν οφείλεται μόνο στα πλεονεκτήματα που παρέχουν στον τελικό χρήστη. Η χρήση των PLC σε σχέση με τον κλασικό αυτοματισμό συμφέρει πρώτιστα στις εταιρείες που παράγουν είδη αυτοματισμού. Σε μια εταιρεία παραγωγής ηλεκτρολογικού εξοπλισμού η παραγωγή ενός τεράστιου αριθμού βοηθητικών ηλεκτρονόμων και ενός μεγάλου αριθμού χρονικών και απαριθμητών κοστίζει πολύ περισσότερο από το να παράξει μια και μοναδική συσκευή, το PLC. Η ψηφιοποίηση σε όλους τους τομείς (και όχι μόνο στον τομέα των αυτοματισμών) οδηγεί σε τρομακτική μείωση του κόστους παραγωγής των αντίστοιχων συσκευών.

Στο σημείο αυτό αξίζει να παρατηρήσουμε ότι ενώ σε όλους τους τομείς της παραγωγής περάσαμε από τις ηλεκτρολογικές συσκευές, στις ηλεκτρονικές με λυχνίες, μετά στις ηλεκτρονικές με ημιαγωγούς (τρανζίστορ) και τέλος φθάσαμε στις συσκευές με μικροϋπολογιστές, στις ψηφιακές συσκευές δηλαδή, στον τομέα των αυτοματισμών περάσαμε σχεδόν κατευθείαν από τους ηλεκτρολογικούς αυτοματισμούς στους αυτοματισμούς με PLC. Αν θέλουμε να αναζητήσουμε την αιτία γι' αυτό, θα λέγαμε ότι μάλλον δεν προλάβαμε. Οι εξελίξεις στην ηλεκτρονική ήταν ραγδαίες, ενώ αντίθετα η βιομηχανική τεχνολογία αλλάζει με πολύ πιο αργούς ρυθμούς.

4.1 Τι είναι ο προγραμματιζόμενος λογικός ελεγκτής.

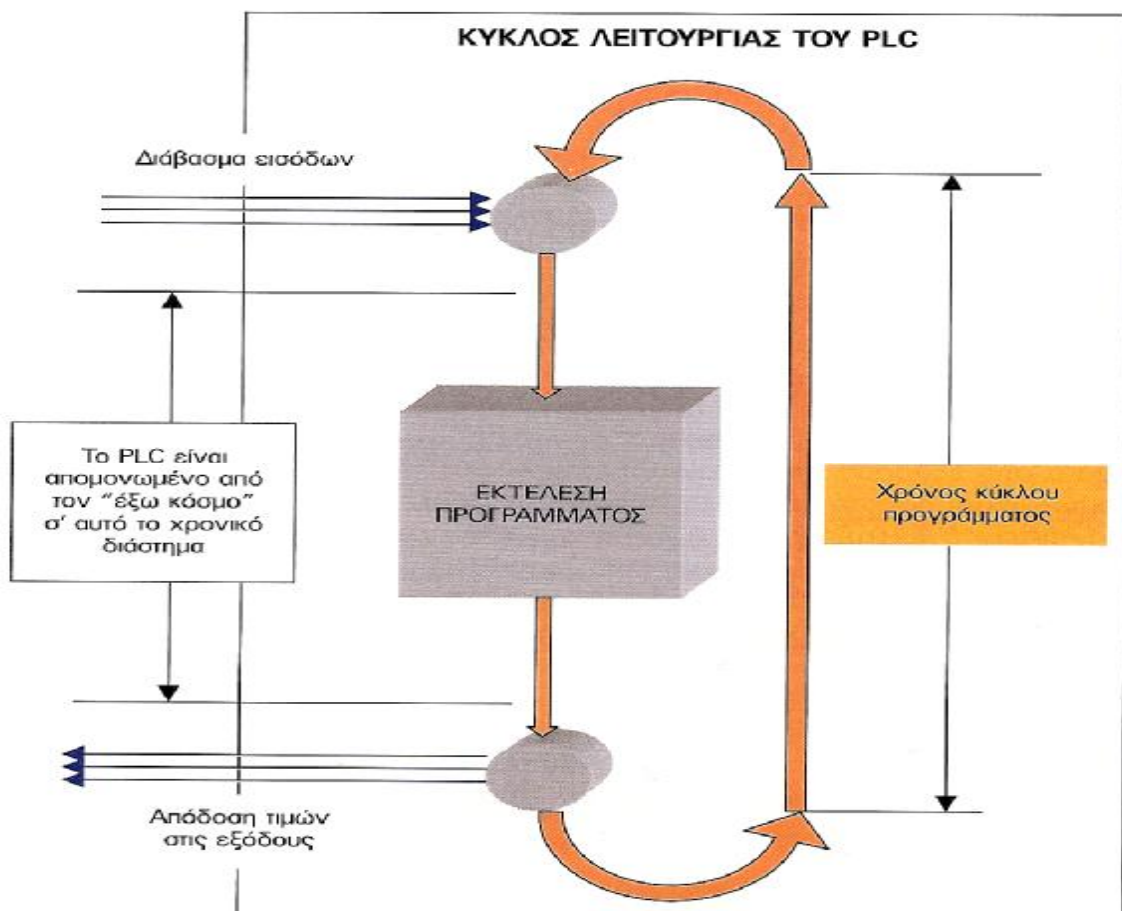
Στον κλασικό αυτοματισμό της καλωδιωμένης λογικής (τον αυτοματισμό με ηλεκτρονόμους) τα στάδια εργασίας από το σχεδιασμό και την κατασκευή ενός αυτοματισμού μέχρι το σημείο της πλήρους λειτουργίας είναι τα εξής:

1. Περιγραφή τους αυτοματισμού.
2. Ανάπτυξη του λειτουργικού σχεδίου του αυτοματισμού.
3. Ανάπτυξη του σχεδίου εφαρμογής του πίνακα (σχέδιο καλωδίωσης).
4. Κατασκευή του πίνακα της εγκατάστασης.
5. Εγκατάσταση και σύνδεση στους ακροδέκτες (κλέμες) του πίνακα των αισθητήρων που δίνουν τις πληροφορίες (εντολές) και των συσκευών (αποδεκτών) που εκτελούν τις εργασίες.
6. Δοκιμή λειτουργίας της εγκατάστασης.
7. Πλήρης λειτουργία του αυτοματισμού.

Ο Προγραμματιζόμενος Λογικός Ελεγκτής είναι μια ειδική συσκευή, η οποία έρχεται να αντικαταστήσει στον πίνακα του κλασικού αυτοματισμού όλους τους βοηθητικούς ηλεκτρονόμους, τα χρονικά και τους απαριθμητές. Αντί για την κατασκευή ενός πίνακα με πολύπλοκες συνδεσμολογίες μεταξύ των παραπάνω υλικών, που έχουμε στον κλασικό

αυτοματισμό, με την χρήση του PLC η λειτουργία του αυτοματισμού "προγραμματίζεται" μέσω μιας ειδικής συσκευής (προγραμματιστή) ή μέσω ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή με τη βοήθεια ειδικού λογισμικού. Τα στάδια εργασίας για το σχεδιασμό και την κατασκευή ενός αυτοματισμού στην προγραμματιζόμενη λογική είναι τα εξής:

1. Περιγραφή τους αυτοματισμού.
2. Ανάπτυξη του σχεδίου εφαρμογής του πίνακα (σχέδιο καλωδίωσης).
3. Κατασκευή του πίνακα της εγκατάστασης.
4. Ανάπτυξη του προγράμματος λειτουργίας του αυτοματισμού και εισαγωγή του προγράμματος στο PLC μέσω του προγραμματιστή.
5. Εγκατάσταση και σύνδεση στους ακροδέκτες (κλέμες) του πίνακα των αισθητήρων που δίνουν τις πληροφορίες (είσοδοι) και των συσκευών (αποδεκτών) που εκτελούν τις εργασίες (έξοδοι).
6. Δοκιμή λειτουργίας της εγκατάστασης.
7. Πλήρης λειτουργία του αυτοματισμού.



Εικόνα 43: Ο Κύκλος Λειτουργίας του PLC

Παρατηρούμε ότι τα στάδια, τα οποία αλλάζουν στις εργασίες σχεδιασμού και κατασκευής ενός αυτοματισμού, όταν χρησιμοποιούμε την προγραμματιζόμενη λογική, είναι τα 2, 3 και 4. Αντί για την κατασκευή ενός πίνακα, με πλήθος υλικών και πολύπλοκες καλωδιώσεις, έχουμε την κατασκευή ενός πίνακα με ελάχιστα υλικά, απλές καλωδιώσεις και τον προγραμματισμό του PLC. Ο χρόνος, που απαιτείται για τον προγραμματισμό του PLC και την κατασκευή του μικρού και απλού πίνακα αυτοματισμού, είναι πολύ μικρός σε σχέση με τον χρόνο, που απαιτείται για τη μελέτη και την κατασκευή του αντίστοιχου πολύπλοκου πίνακα κλασικού αυτοματισμού. Στην εικόνα 43 φαίνεται ο κύκλος λειτουργίας του PLC.

4.2 Πλεονεκτήματα των προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών.

Τα πρώτα μεγάλα πλεονεκτήματα των PLC αφορούν τους κατασκευαστές εξοπλισμού αυτοματισμών και πινάκων αυτοματισμού και ήδη τα έχουμε αναφέρει:

- § Το κόστος κατασκευής ενός PLC είναι σημαντικά μικρότερο από το κόστος παραγωγής ενός μεγάλου αριθμού βοηθητικών ηλεκτρονόμων, χρονικών και απαριθμητών.
- § Ο χρόνος κατασκευής του αυτοματισμού είναι μηδαμινός σε σχέση με την κατασκευή ενός κλασικού πίνακα αυτοματισμού.

Υπάρχουν όμως πολλά πλεονεκτήματα που έχουν σχέση με τον τελικό χρήστη, τις βιομηχανίες δηλαδή που εφαρμόζουν τους αυτοματισμούς, και είναι αυτά που μας ενδιαφέρουν περισσότερο. Κατά σειρά σπουδαιότητας αναφέρουμε:

- § Τα PLC ελαχιστοποιούν το κόστος συντήρησης του πίνακα αυτοματισμού. Το κόστος αυτό αναλύεται ως εξής: Συχνότητα βλαβών, χρόνος εντοπισμού μιας βλάβης και αποκατάστασής της. Δηλαδή, όταν υπάρχει μια βλάβη στον πίνακα μιας εγκατάστασης κλασικού αυτοματισμού, υπάρχει καθυστέρηση στην παραγωγή μέχρι να εντοπιστεί η βλάβη. Αφού εντοπιστεί, πρέπει να έχουμε διαθέσιμο το κατάλληλο ανταλλακτικό στην αποθήκη, γιατί διαφορετικά θα υπάρξει σημαντική καθυστέρηση, αφού θα χρειαστεί να γίνει η σχετική παραγγελία και η προμήθεια. Στον αυτοματισμό με PLC δεν υπάρχει ουσιαστικό θέμα βλάβης εσωτερικά στον πίνακα της εγκατάστασης. Θα πείτε, δεν "χαλά" το PLC. Αυτό συμβαίνει σπάνια και οι εγγυήσεις είναι πάρα πολύ μεγάλες.
- § Τα PLC είναι ευέλικτα στην τροποποίηση της λειτουργίας του αυτοματισμού. Δηλαδή, αν υποθέσουμε ότι θέλουμε να κάνουμε μια αλλαγή στον αυτοματισμό, αυτή μπορεί να γίνει μέσα σε λίγα λεπτά, αρκεί μόνο να αλλάξουμε το πρόγραμμα. Σε ένα πίνακα κλασικού αυτοματισμού, τέτοιου είδους αλλαγές είναι πράγμα πολύ δύσκολο και χρονοβόρο.
- § Ο αυτοματισμός με PLC επεκτείνεται πολύ εύκολα. Αυτό γίνεται είτε απλά αλλάζοντας το πρόγραμμα, είτε με την τοποθέτηση νέων μονάδων εισόδων και εξόδων. Κάθε επέκταση στον κλασικό αυτοματισμό είναι πολύ δύσκολη.

- § Ο αυτοματισμός με PLC μας παρέχει καταπληκτικές δυνατότητες. Μπορούμε να δημιουργούμε πολύ εύκολα πολύπλοκες και έξυπνες επεξεργασίες, οι οποίες στον κλασικό αυτοματισμό είναι εξαιρετικά δύσκολο να υλοποιηθούν.
- § Σε μια εγκατάσταση, που χρησιμοποιεί αυτοματισμούς με PLC σήμερα παρέχονται δυνατότητες σύνδεσης με κεντρικό ηλεκτρονικό υπολογιστή, σύνδεσης με το σύστημα αποθήκης, λογιστηρίου κ.λπ.
- § Το PLC καταλαμβάνει ελάχιστο χώρο σε σχέση με τον αντίστοιχο πίνακα κλασικού αυτοματισμού.

Βλέπουμε ότι από τη χρήση των PLC προκύπτουν μόνο πλεονεκτήματα. Θα μπορούσαμε ίσως να θεωρήσουμε μειονέκτημα την έλλειψη επαρκούς ενημέρωσης των τεχνικών όλων των βαθμίδων, ειδικά στην Ελλάδα, πράγμα το οποίο δυσκολεύει και δημιουργεί προβλήματα στην εφαρμογή των PLC

Η τελική ερώτηση, που προκύπτει, είναι: Πόσο κοστίζουν τελικά τα PLC, συμφέρει να χρησιμοποιούμε σε κάθε εγκατάσταση PLC; Η απάντηση είναι ότι οι τιμές "πέφτουν" καθημερινά και οι εταιρείες βγάζουν συνεχώς νέα μοντέλα που κάνουν για όλων των επιπέδων τις εφαρμογές. Παρ' όλα αυτά δεν συμφέρει ακόμη η χρήση του PLC όταν έχουμε πολλούς κινητήρες (πολλούς ηλεκτρονόμους ισχύος) και απλό αυτοματισμό (λίγους βοηθητικούς ηλεκτρονόμους, χρονικά και απαριθμητές). Όμως είναι σίγουρο ότι η χρήση βοηθητικών ηλεκτρονόμων και άλλων κλασικών υλικών αυτοματισμού έχει περιορισθεί και θα περιορίζεται συνεχώς.

4.3 Η δομή ενός προγραμματιζόμενου λογικού ελεγκτή.

Στην αγορά υπάρχουν σήμερα εκατοντάδες μοντέλα PLC κατασκευασμένα από πλήθος διαφορετικών εταιρειών. Γενικά, σε ένα PLC μπορούμε να διακρίνουμε τα παρακάτω μέρη:

- § Την κεντρική μονάδα επεξεργασίας (Central Processing Unit, CPU), που αποτελεί και την καρδιά ή μάλλον τον εγκέφαλο του PLC
- § Τη μονάδα τροφοδοσίας.
- § Τις μονάδες εισόδων - εξόδων (I/O Ports).

Η κεντρική μονάδα, η μονάδα τροφοδοσίας και οι μονάδες εισόδων - εξόδων αποτελούν την κύρια μονάδα αυτοματισμού, δηλαδή το κύριο μέρος του PLC. Σε πολλά μοντέλα, κυρίως στα μικρά μοντέλα των εταιρειών, οι τρεις παραπάνω μονάδες βρίσκονται ενσωματωμένες σε μια συσκευή.

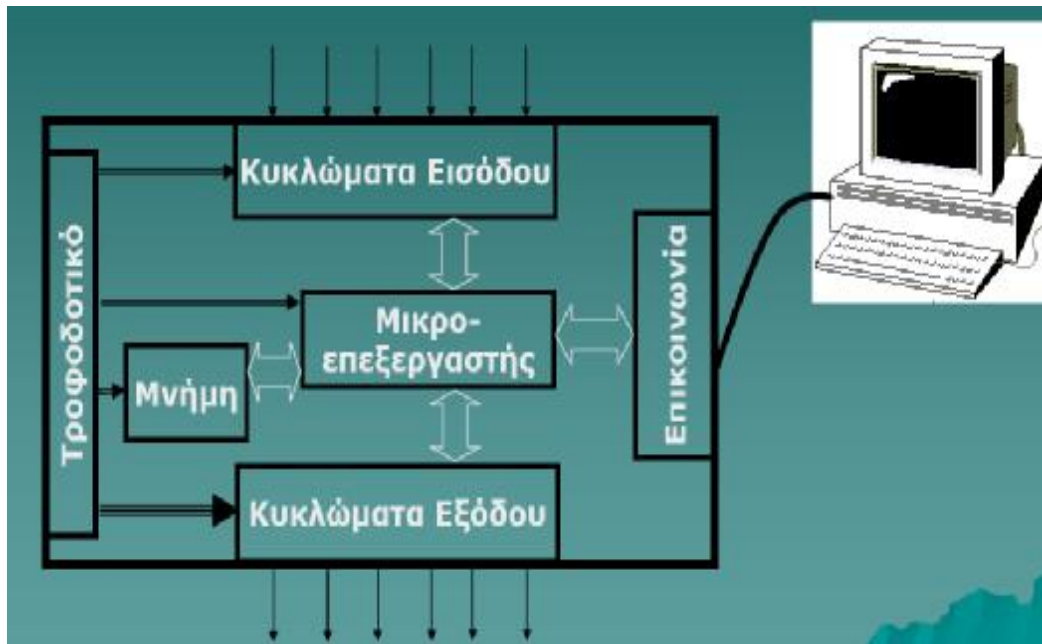
Εκτός από την κεντρική μονάδα αυτοματισμού, σε ένα PLC είναι ακόμη απαραίτητα:

- § Το πλαίσιο (ή τα πλαίσια) για την τοποθέτηση των μονάδων και των τυχόν επεκτάσεών τους.
- § Η συσκευή προγραμματισμού (προγραμματιστής, programmer) για τον

προγραμματισμό του PLC. Ο προγραμματιστής είναι μια συσκευή τελείως ξεχωριστή από την μονάδα αυτοματισμού. Χρησιμοποιείται για την εισαγωγή του προγράμματος στο PLC και την παρακολούθηση της εξέλιξης του αυτοματισμού μέσα από την οθόνη, που διαθέτει. Με ένα μόνο προγραμματιστή μπορούμε να χειριζόμαστε όλες τις μονάδες PLC μιας αυτοματοποιημένης εγκατάστασης .



Εικόνα 44: Δομή ενός PLC(εξωτερικά)



Εικόνα 45: Δομή ενός PLC (εσωτερικά)

4.3.1 Πλαίσιο τοποθέτησης μονάδων.

Οι μονάδες ενός μεγάλου PLC τοποθετούνται σε ένα κεντρικό πλαίσιο. Στο πλαίσιο αυτό είναι ενσωματωμένο ένα σύστημα αγωγών (σύστημα ζυγών) μέσω των οποίων επικοινωνούν οι διάφορες μονάδες με την Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας. 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 ένα ή περισσότερα πλαίσια επέκτασης για την τοποθέτηση των πρόσθετων μονάδων. Κάθε πλαίσιο επέκτασης διασυνδέεται με το κεντρικό πλαίσιο ή με τα άλλα πλαίσια επέκτασης μέσω ειδικής μονάδας διασύνδεσης και καλωδίου. Κάθε εταιρεία και το κάθε μοντέλο έχει το δικό του σύστημα πλαισίου.

4.3.2 Μονάδα τροφοδοσίας.

Η μονάδα τροφοδοσίας ενός PLC έχει σκοπό να δημιουργήσει από την τάση του δικτύου τροφοδοσίας τις απαραίτητες εσωτερικές τάσεις, που απαιτούνται για την τροφοδοσία των ηλεκτρονικών στοιχείων (τρανζίστορ, ολοκληρωμένα κυκλώματα κ.λπ.) του PLC. Οι τυπικές εσωτερικές τάσεις των PLC είναι συνήθως: DC 5V, DC 9V, DC 24V.

Σε ορισμένα μοντέλα, όταν το PLC δεν τροφοδοτείται από το δίκτυο, η μονάδα τροφοδοσίας διατηρεί το περιεχόμενο της μνήμης του PLC με την βοήθεια μιας

μπαταρίας (συνήθως λιθίου), που διαθέτει. Σε άλλα μοντέλα PLC η παραπάνω μπαταρία βρίσκεται στην Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας. Χρειάζεται προσοχή ώστε να μην προκαλέσουμε υπερφόρτιση της μονάδας τροφοδοσίας. Για τον σκοπό αυτό συμβουλευόμαστε τα τεχνικά φυλλάδια της εταιρείας κατασκευής του PLC

4.3.3 Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας.

Είναι η βασική μονάδα του PLC η οποία είναι υπεύθυνη για τη 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 ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα, το οποίο αποτελεί τον "εγκέφαλο" κάθε μικροϋπολογιστή. Οι μικροεπεξεργαστές εξελίσσονται με ταχύτατους ρυθμούς, το όνομά τους δίνει συνήθως και το όνομα στο μοντέλο του μικροϋπολογιστή. Στα PLC πολύ λίγο μας ενδιαφέρει να ξέρουμε ποιον μικροεπεξεργαστή χρησιμοποιεί η κεντρική μονάδα, αν και πολλές φορές μπορούμε να το διαβάσουμε στα χαρακτηριστικά που δίνουν οι εταιρείες. Ο μικροεπεξεργαστής για το PLC είναι ο κύριος υπεύθυνος για όλες τις λειτουργίες του. Η μνήμη της κεντρικής μονάδας διακρίνεται σε μνήμη RAM, ROM και EEPROM.

4.3.4 Μνήμη RAM

Η μνήμη RAM (Random Access Memory, μνήμη τυχαίας προσπέλασης) είναι εκείνη στην οποία μπορούμε να γράφουμε και να σβήνουμε, και η οποία σβήνει μόλις λείπει η ηλεκτρική τροφοδοσία της. Στη μνήμη RAM η κεντρική μονάδα αποθηκεύει μια σειρά από πληροφορίες σε ξεχωριστές περιοχές εργασίας. Μπορούμε να διακρίνουμε τις εξής περιοχές:

- § Περιοχή μνήμης όπου αποθηκεύονται οι καταστάσεις των εισόδων και των εξόδων. Η περιοχή αυτή ονομάζεται για τις εισόδους "εικόνα εισόδων" και για τις εξόδους "εικόνα εξόδων".
- § Περιοχή μνήμης όπου αποθηκεύονται οι ενδιάμεσες πληροφορίες, που αφορούν τη λειτουργία του αυτοματισμού.
- § Περιοχή μνήμης των χρονικών.
- § Περιοχή μνήμης των απαριθμητών.
- § Περιοχή μνήμης όπου αποθηκεύονται τα προγράμματα του χρήστη, δηλαδή τα προγράμματα που λειτουργούν ένα συγκεκριμένο αυτοματισμό.

Η μνήμη RAM σβήνει μόλις σταματήσει η τροφοδοσία της. Όμως το πρόγραμμα που λειτουργεί τον αυτοματισμό πρέπει να παραμένει αναλλοίωτο στη μνήμη και αφού κλείσουμε την τροφοδοσία. Γι' αυτό το λόγο η μνήμη BAM παραμένει πάντα σε τροφοδοσία μέσω μιας μπαταρίας (συνήθως λιθίου)

4.3.5 Μνήμη EEPROM.

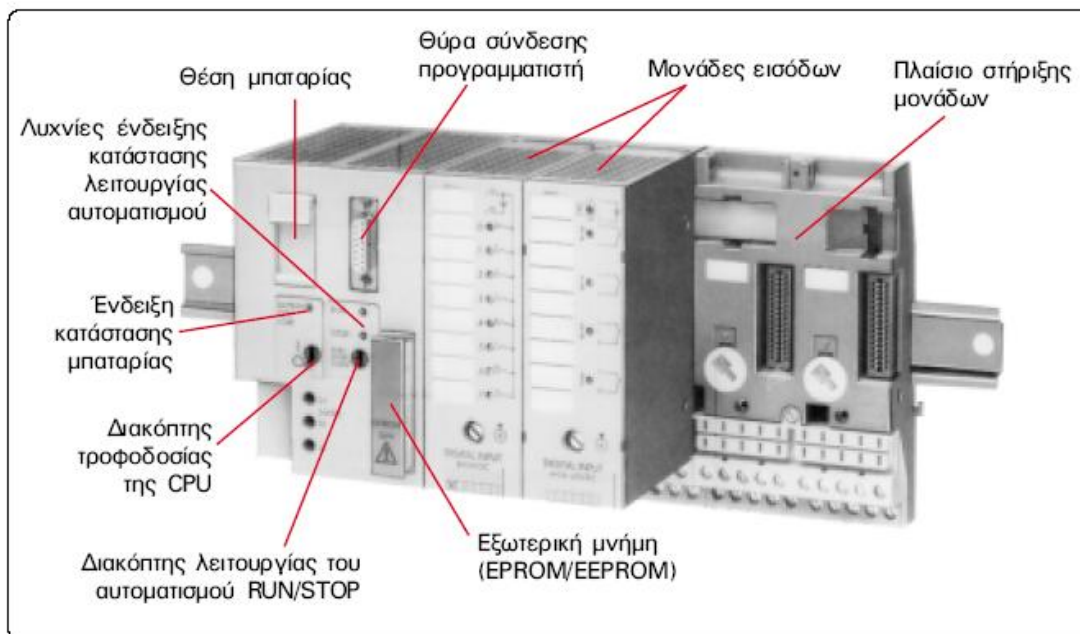
Τα διάφορα PLC δεν χρησιμοποιούν μόνο τον παραπάνω τρόπο, της "πάντα τροφοδοτούμενης μνήμης RAM", για να διατηρήσουν το πρόγραμμα στη μνήμη. Ένας πιο ασφαλής τρόπος είναι η χρήση της μνήμης EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory), μνήμης η οποία προγραμματίζεται και σβήνει ηλεκτρικά. Πρόκειται για μνήμη που δε σβήνει, όταν μείνει χωρίς τροφοδοσία, στην οποία μπορούμε να γράφουμε, να σβήνουμε και να ξαναγράψουμε μέσω ειδικού μηχανήματος. Σε πολλά PLC η EEPROM χρησιμοποιείται σαν "κασέτα" για την εύκολη αλλαγή του τρόπου λειτουργίας του αυτοματισμού από ένα απλό χειριστή. Δηλαδή έχουμε "γραμμένο" το εναλλακτικό πρόγραμμα σε ένα "τσιπάκι" EEPROM και απλά αλλάζουμε την ηλεκτρονική πλακέτα του PLC, όταν θέλουμε να αλλάξουμε το πρόγραμμα λειτουργίας του αυτοματισμού.

4.3.6 Μνήμη ROM.

Στη μνήμη ROM ο κατασκευαστής αποθηκεύει το λειτουργικό σύστημα του PLC, δηλαδή τις οδηγίες (το πρόγραμμα) για όλες τις βασικές λειτουργίες που είναι απαραίτητες για να δουλέψει το PLC.

Εξωτερικά σε μια κεντρική μονάδα επεξεργασίας συνήθως υπάρχουν:

- § Θέση σύνδεσης (ειδικός κονέκτορας) της συσκευής προγραμματισμού.
- § Θέση σύνδεσης επεκτάσεων.
- § Διακόπτης δύο θέσεων (συνήθως) ο οποίος θέτει το PLC σε κατάσταση RUN ή STOP, δηλαδή σε κατάσταση λειτουργίας του αυτοματισμού (RUN) ή όχι (STOP).
- § Λυχνίες ένδειξης, όπως: λυχνία ένδειξης ότι το PLC είναι σε τροφοδοσία, λυχνία ένδειξης ότι το PLC είναι σε κατάσταση RUN (λειτουργεί ο αυτοματισμός), λυχνία ένδειξης ότι το PLC είναι σε κατάσταση STOP και λυχνία που δείχνει αν έχει πρόβλημα η μπαταρία



Εικόνα 46: Κεντρική μονάδα επεξεργασίας και μονάδες εισόδων ενός PLC

4.3.7 Μονάδες εισόδων - εξόδων.

Οι μονάδες των εισόδων και των εξόδων αποτελούν τις μονάδες επικοινωνίας της κεντρικής μονάδας με τον έξω κόσμο, δηλαδή με τους αισθητήρες, τους διακόπτες και τα μπουτόνς, που δίνουν τις πληροφορίες (εντολές), καθώς και με τους ηλεκτρονόμους ισχύος των κινητήρων, ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες, ενδεικτικές λυχνίες και γενικά τους αποδέκτες που εκτελούν τις εντολές του αυτοματισμού.

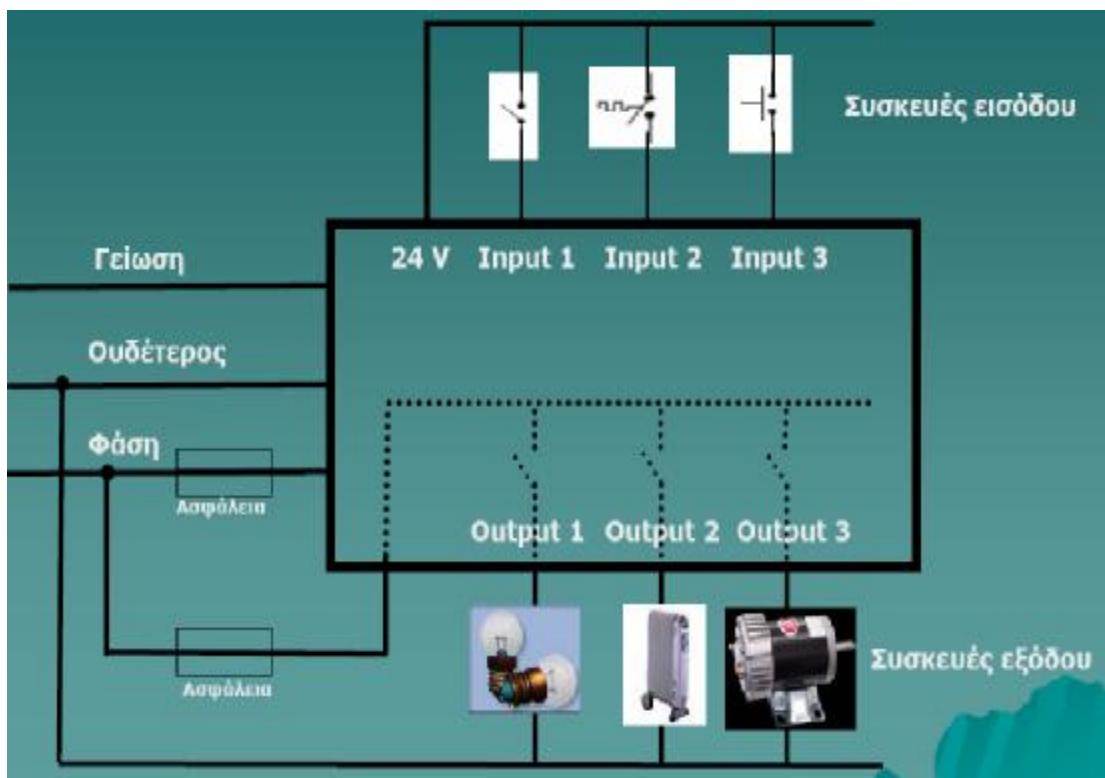
Η κεντρική μονάδα μπορεί να δεχτεί ψηφιακά σήματα εισόδου και εξόδου χαμηλής τάσης και πολύ μικρού ρεύματος. Η τάση που δέχεται η κεντρική μονάδα είναι συνήθως 0 Volt για το λογικό "0" και 5 Volt για το λογικό "1". Το ρεύμα εισόδου καθώς και το ρεύμα εξόδου δεν μπορεί να περάσει τα μερικά mA. Οι μονάδες εισόδων και εξόδων αναλαμβάνουν να προσαρμόσουν τα σήματα εισόδου και εξόδου, που έχουμε στον αυτοματισμό, με τα σήματα που μπορεί να δεχτεί η κεντρική μονάδα, τόσο από άποψη τάσεων όσο και από άποψη ρευμάτων.

Η προσαρμογή αυτή γίνεται με τη χρήση ηλεκτρονικών στοιχείων ισχύος, δηλαδή τρανζίστορ ισχύος, θυρίστορ και τριάκ είτε ακόμη με τη χρήση κατάλληλων μικροηλεκτρονικών.

Κάθε σύστημα PLC καταλήγει πάντα σε ακροδέκτες (κλέμες). Οι ακροδέκτες αυτοί ανήκουν στις μονάδες εισόδων και εξόδων του PLC. Στους ακροδέκτες εισόδων καταλήγουν οι αγωγοί που έρχονται από αισθητήρες (τερματικούς διακόπτες, πιεζοστάτες, κ.λπ.), διακόπτες, μπουτόνς κ.λπ. Στους ακροδέκτες εξόδων καταλήγουν οι αγωγοί που τροφοδοτούν πηνία ηλεκτρονόμων ισχύος, ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες,

λυχνίες ένδειξης και λοιπούς αποδέκτες. Στους διαφόρους τύπους των PLC οι μονάδες εισόδων και εξόδων αντιμετωπίζονται με διαφορετικό τρόπο. Γενικά ισχύουν τα παρακάτω:

- § Μία μονάδα εισόδων ή εξόδων μπορεί να λειτουργεί με συνεχή τάση ή με εναλλασσόμενη τάση. Τυπικές τάσεις που συναντούμε είναι: DC 24V, 48V, 60V και AC 24V, 48V, 115V, 230V, με συνηθέστερες τις DC 24v και AC 115V και 230V.
- § Η τάση αυτή δεν παρέχεται συνήθως από τη μονάδα τροφοδοσίας του PLC. Πρέπει να τη δημιουργήσουμε εμείς με άλλη τροφοδοτική μονάδα.
- § Τα κυκλώματα και οι τάσεις των εισόδων είναι τελείως ανεξάρτητα από τα κυκλώματα και τις τάσεις των εξόδων. Επομένως η τάση για τις εισόδους μπορεί να είναι διαφορετική από την τάση για τις εξόδους. Αν η τάση εξόδων είναι η ίδια με την τάση των εισόδων μπορεί να χρησιμοποιηθεί το ίδιο τροφοδοτικό (για τάσεις DC), ή μετασχηματιστής χειρισμού (για τάσεις AC) για τις εισόδους και τις εξόδους.
- § Η τάση εισόδων (δηλαδή η τάση που θα φθάσει σε μια είσοδο, όταν ενεργοποιηθεί ο αντίστοιχος αισθητήρας) διαχωρίζεται συνήθως γαλβανικά από το υπόλοιπο εσωτερικό κύκλωμα του PLC. Τα ίδια ισχύουν και για τις εξόδους. Αν σε κάποιες μονάδες εισόδων ή εξόδων δεν έχουμε γαλβανική απομόνωση πρέπει να προσέξουμε ιδιαίτερα το θέμα των γειώσεων.



Εικόνα 47: Παράδειγμα διασύνδεσης ενός PLC

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Κεφάλαιο 1

1. <http://sae.ee.teikoz.gr/>
2. <http://openticle.com/2007/11/16/principles-of-control-systems/>
3. <http://www.controlguru.com/2007/020507.html>
4. http://www.ladyada.net/media/sensors/TMP35_36_37.pdf
5. <http://www.rpi.edu/dept/phys/SciT/InformationTransfer/sigtransfer/signalcharacteristics.html>
6. <http://www.answers.com/topic/nonlinearity>
7. <http://www.1controlvalve.com/technology-8.html>
8. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0952197607000991>
9. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S000510981100121X>
10. <http://www.bmb.leeds.ac.uk/illingworth/control/>
11. <http://www2.hawaii.edu/~kyamanuh/Assingment8EulerRungaKutta.html>

Κεφάλαιο 2

1. <https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWFpbNxbMWTlc2VuZW5fGd4OjVhNWlwNzEyZjdjMDk0ODc>
2. https://www.google.gr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=10&cad=rja&ved=0CFkQFjAJ&url=http%3A%2F%2Fauto.teipir.gr%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Fcontrols.pps&ei=IG5iUdmeJ4LcOZSfgfG&usq=AFQjCNGPsIIscn_myRQozCTfSpjKHWZj6A
3. <https://sites.google.com/site/a1keseneng/systemata-automatou-elenchou>
4. <http://www.mechatronics.gr/el/rd/12-pid-controller.html>
5. <http://greekelectrician.blogspot.gr/2011/12/pid-controller.html>
6. <http://pouliezos.dpem.tuc.gr/>
7. http://library.tee.gr/digital/m2107/m2107_valsamopoulos.pdf
8. <http://gun.teipir.gr/DSAELAB/Ergastiriakes/pidtutorial.pdf>

Κεφάλαιο 3

1. http://electriciantraining.tpub.com/14187/css/14187_104.htm
2. <http://zone.ni.com/devzone/cda/ph/p/id/238>
3. [http://www.teiser.gr/icd/staff/kalomiros/Real time/Theoria/Real time total new.pdf](http://www.teiser.gr/icd/staff/kalomiros/Real%20time/Theoria/Real%20time%20total%20new.pdf)
4. <http://msc.berkeley.edu>

Κεφάλαιο 4

1. http://courseware.mech.ntua.gr/ml23194/extras/PLC_Lesson1.pdf
2. http://users.sch.gr/imarinakis/automatizms_modern.htm