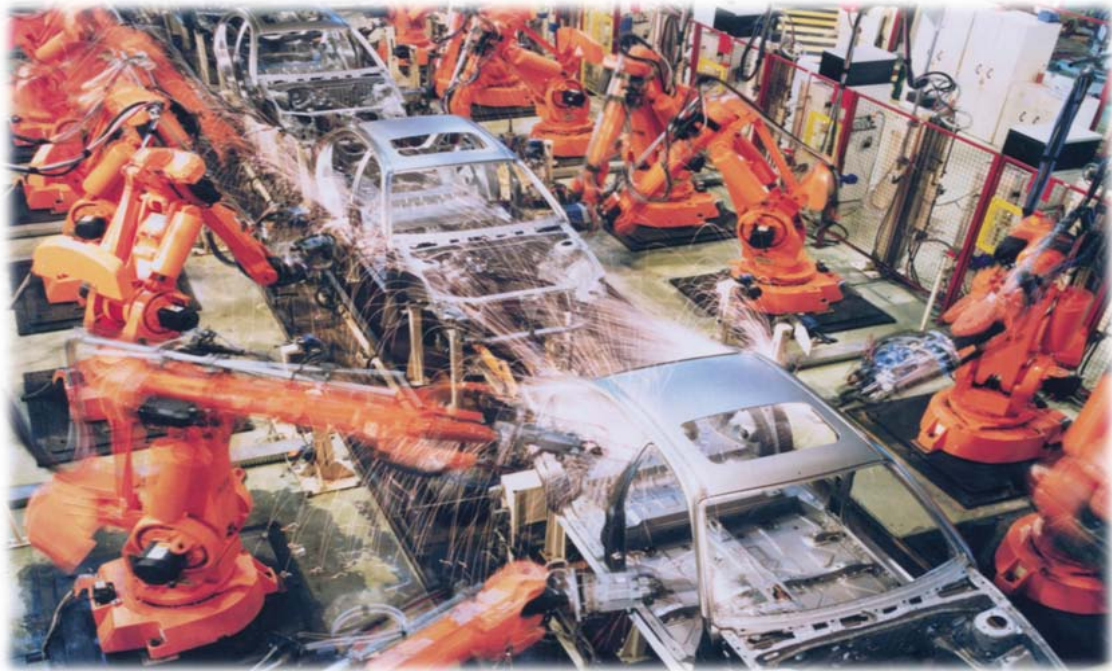




**ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ**



ΘΕΜΑ

**«Μελέτη Αναλογικών, Ψηφιακών και
Προγραμματιζόμενων Ελεγκτών»**

Υπεύθυνος Καθηγητής: Φραγκιαδάκης Νικόλαος
Όνομα φοιτητή: Κωνσταντίνου Κωνσταντίνος
Α.Μ.: 4188

ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ ΕΤΟΣ 2011-2012

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα κ. Φραγκιαδάκη Νικόλαο, Καθηγητή Εφαρμογών του τμήματος Ηλεκτρονικής του Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Κρήτης που με τη συνεργασία του και τις γνώσεις του με βοήθησε στην ολοκλήρωση της παρούσας πτυχιακής και ήταν πάντα πρόθυμος να λύσει τις απορίες μου και οποιαδήποτε πρόβλημα προέκυπτε κατά τη διάρκεια αυτής.

Περίληψη

Η εργασία αυτή αποτελεί την απαραίτητη εργασία που πρέπει να εκπονηθεί, καλούμενη “πτυχιακή εργασία” ώστε να καταστεί κανείς πτυχιούχος ηλεκτρονικός μηχανικός.

Στα πλαίσια οριοθέτησης αυτής της εργασίας γίνεται η μελέτη για τους αναλογικούς, ψηφιακούς και προγραμματιζόμενους ελεγκτές. Πιο συγκεκριμένα αναλύουμε διάφορους τύπους ελεγκτών όπως τον αναλογικό P, τον ολοκληρωτικό I, τον διαφορικό D και συνδυασμούς αυτών όπως ο πολύ διαδεδομένος PID ελεγκτής. Παραθέτουμε τα πλεονεκτήματα, τα μειονεκτήματα αλλά και τις εφαρμογές τόσο των αναλογικών όσο και των ψηφιακών ελεγκτών στη βιομηχανία και στην καθημερινή μας ζωή. Επιπλέον, βλέπουμε τις αποκρίσεις τους μέσω του Simulink του Matlab και έτσι κατανοούμε καλύτερα την λειτουργία και την χρησιμότητα του κάθε ελεγκτή.

Στη συνέχεια, ασχολούμαστε με τους προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές αναφέροντας επίσης, τα πλεονεκτήματα, τα μειονεκτήματα και έναν μεγάλο αριθμό εφαρμογών. Επιπροσθέτως, εμβαθύνουμε τις γνώσεις μας αναλύοντας τον τρόπο λειτουργίας τους και τις γλώσσες προγραμματισμού που χρησιμοποιούν δίνοντας ορισμένα παραδείγματα για την ομαλότερη κατανόηση τους.

Abstract

The present final work constitute the necessary project which must be done, calling “diploma exercise” in order to become someone qualified electronic engineer.

In the limits which come from this project becomes the study for the proportional, digital and programmable logic controllers. More specifically, we analyze various types of controllers like the proportional P, the integral I, the derivative D and combination of them like the well-known PID controller. We quote the advantages, disadvantages and the applications both of the proportional and digital controllers at the industry and our daily life. Moreover, we see their outputs through the Simulink of Matlab and thus, we understand better the function and the utility each of them.

In addition, we deal with the programmable logic controller mentioned also, the benefits, the drawbacks and a big amount of applications. Furthermore, we deepen our knowledge analyzing the way that they work and programmable languages they use giving some examples for our better comprehension.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη.....	3
Abstract.....	4
Εισαγωγή.....	8

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

1.1. Ιστορική ανασκόπηση των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου.....	11
1.2. Περιγραφή συστημάτων ελέγχου.....	17
1.2.1. Διαγράμματα βαθμίδων (block diagrams).....	18
1.2.2. Συναρτήσεις μεταφοράς (Transfer function).....	20
1.3. Βασική δομή ενός συστήματος αυτομάτου ελέγχου.....	24
1.3.1. Συστήματα ελέγχου ανοιχτού βρόγχου.....	24
1.3.2. Δομή Σ.Α.Ε. ανοιχτού βρόγχου.....	26
1.3.3. Σύστημα ελέγχου κλειστού βρόγχου.....	28
1.3.4. Δομή Σ.Α.Ε. κλειστού βρόγχου.....	31
1.4. Κριτήρια καλού ελέγχου.....	33
1.5. Απόσβεση.....	33
1.6. Ευστάθεια.....	34

2. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ

2.1. Εισαγωγή.....	38
2.1.1. Αναλογικά και ψηφιακά συστήματα ελέγχου.....	38
2.1.2. Ρυθμιστικά και ακολουθιακά συστήματα.....	40
2.1.3. Σερβομηχανισμοί.....	41
2.1.4. Διαδοχικός έλεγχος.....	41
2.1.5. Αριθμητικός έλεγχος.....	42

3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΝΑΛΟΓΙΚΩΝ ΕΛΕΓΚΤΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

3.1. Εισαγωγή.....	44
3.1.1. Ελεγκτές δυο θέσεων (on-off).....	47
3.1.2. Ελεγκτής τύπου P.....	52
3.1.3. Ελεγκτής τύπου I.....	55
3.1.4. Ελεγκτής τύπου D.....	57
3.1.5. Ελεγκτής τύπου PI.....	60
3.1.6. Ελεγκτής τύπου PD.....	64
3.1.7. Ελεγκτής τύπου PID.....	66
3.1.8. Προσομοίωση ελεγκτών αυτομάτου ελέγχου με το Simulink (Matlab).....	68
3.2. Σχεδίαση ελεγκτών PID.....	74
3.2.1. Πρώτη μέθοδος Ziegler-Nichols.....	75
3.2.2. Δεύτερη μέθοδος Ziegler-Nichols.....	77

4. ΜΕΛΕΤΗ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΕΛΕΓΚΤΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

4.1. Εισαγωγή.....	81
4.2. Πλεονεκτήματα ψηφιακών ελεγκτών.....	82
4.3. Μειονεκτήματα ψηφιακών ελεγκτών.....	83
4.4. Εφαρμογές ψηφιακών ελεγκτών.....	83
4.5. Χρήσιμες διατάξεις στον αυτοματισμό με υπολογιστές.....	86
4.5.1. Βασική δομή ενός συστήματος ελέγχου με υπολογιστή.....	87
4.5.2. Δειγματοληψία και κράτηση.....	89
4.6. Ψηφιακός ελεγκτής.....	89
4.6.1. Ελεγκτής PID.....	91
4.6.2. Ελεγκτής τύπου P.....	92
4.6.3. Ελεγκτής τύπου I.....	92

4.6.4. Ελεγκτής τύπου D.....	93
4.6.5. Ελεγκτής τύπου PID.....	94

5. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟΙ ΛΟΓΙΚΟΙ ΕΛΕΓΚΤΕΣ (PLCs)

5.1. Εισαγωγή στους προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές (PLCs).....	99
5.2. Πλεονεκτήματα προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών.....	99
5.3. Μειονεκτήματα προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών.....	101
5.4. Εφαρμογές προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών...102	
5.5. Δομή ενός προγραμματιζόμενου λογικού ελεγκτή.....103	
5.6. Αρχή λειτουργίας ενός προγραμματιζόμενου λογικού ελεγκτή.....	109
5.7. Ο προγραμματισμός ενός προγραμματιζόμενου λογικού ελεγκτή.....	112
5.7.1. Γλώσσες προγραμματιζόμενου λογικού ελεγκτή.....	113
5.7.2. Παράδειγμα προγράμματος σε γλώσσα λογικών εντολών (STL) και σε γλώσσα λογικού διαγράμματος (FDB).....	118
5.7.3. Συσκευές προγραμματιζόμενου λογικού ελεγκτή.....	120
Συμπεράσματα - Διαπιστώσεις.....	121
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	123

Εισαγωγή

Τα συστήματα αυτομάτου ελέγχου είναι σήμερα μια από τις σημαντικότερες περιοχές της επιστήμης και της τεχνολογίας. Σε ένα σύστημα αυτόματου ελέγχου τα διάφορα μέρη του είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους έτσι ώστε να συμπεριφέρονται αυτόματα κατά ένα προκαθορισμένο επιθυμητό τρόπο.

Εάν εξετάσουμε προσεκτικά τα διάφορα μηχανήματα που κατασκευάζει σήμερα ο άνθρωπος θα δούμε ότι σχεδόν πάντοτε τα μηχανήματα αυτά λειτουργούν εν μέρει ή εξολοκλήρου, αυτόματα. Π.χ. τα αυτοκίνητα, το αεροπλάνο, ο ηλεκτρονικός υπολογιστής, το διαστημόπλοιο, οι τηλεπικοινωνίες οι βιομηχανικές μονάδες, τα οπλικά συστήματα κ.α.

Ο αυτοματισμός είναι μια έννοια που δεν συναντάται μόνο στην τεχνολογία αλλά και στην οικονομία, στην διοίκηση, στις ανθρωπιστικές επιστήμες, στη βιολογία κ.λ.π. Ειδικά για τη βιολογία μπορούμε να πούμε ότι τόσο ο φυτικός όσο και ο ζωικός κόσμος, όχι μόνο κυριαρχούνται από τον αυτοματισμό αλλά οφείλουν την ύπαρξη τους σ' αυτόν.

Όπως κατανοούμε τα συστήματα αυτομάτου ελέγχου βρίσκονται παντού γύρω μας ακόμα και στον άνθρωπο. Ο άνθρωπος είναι ένα περίπλοκο σύστημα, όπου ένας μεγάλος αριθμός διαδικασιών ρυθμίζονται αυτόματα όπως είναι η πείνα, η δίψα, η πέψη, η θερμοκρασία του σώματος, η κυκλοφορία του αίματος, η αναπνοή, η αναπαραγωγή κυττάρων, η επούλωση μιας πληγής κ.λ.π.

Για παράδειγμα η οδήγηση ενός αυτοκινήτου είναι ένας τρόπος κατά τον οποίον το ανθρώπινο σώμα λειτουργεί σαν ένα σύστημα ελέγχου. Τα μάτια είναι οι αισθητήρες που ανιχνεύουν τη θέση του αυτοκινήτου όσον αφορά το κέντρο του δρόμου. Ένας σύνθετος ελεγκτής, ο εγκέφαλος συγκρίνει τη θέση αυτή και καθορίζει τις ενέργειες που πρέπει να γίνουν για να έχουμε

το επιθυμητό αποτέλεσμα. Το σώμα εκτελεί την κίνηση του ελέγχου απλά στρίβοντας το τιμόνι του αυτοκινήτου παίρνοντας οδηγίες από τον εγκέφαλο. Ένας ικανός οδηγός θα είναι προετοιμασμένος για όλες τις μορφές διαταραχών που μπορεί να εμφανιστούν στο σύστημα όπως ένα κακό σημείο στο οδόστρωμα, ο άνεμος, οι καιρικές συνθήκες, οι στροφές του δρόμου, η κλίση του οδοστρώματος κ.λ.π.

Τα συστήματα αυτομάτου ελέγχου χρησιμοποιούνται για να ρυθμίζουν την θέρμανση των κατοικιών και γενικά μεγάλων κτιρίων. Επηρεάζουν την παραγωγή των αγαθών διασφαλίζοντας την ποιότητα των φαγητών που τρώμε αλλά και των προϊόντων που προέρχονται από διάφορες βιομηχανίες όπως χαρτοβιομηχανίες, βιομηχανίες σιδήρου και άλλους τύπους εργοστασίων παραγωγής. Τα συστήματα ελέγχου συμβάλουν επίσης στην προστασία του περιβάλλοντος ελαχιστοποιώντας τον όγκο των σκουπιδιών που πρέπει να πεταχτούν χρησιμοποιώντας την μέθοδο της ανακύκλωσης.

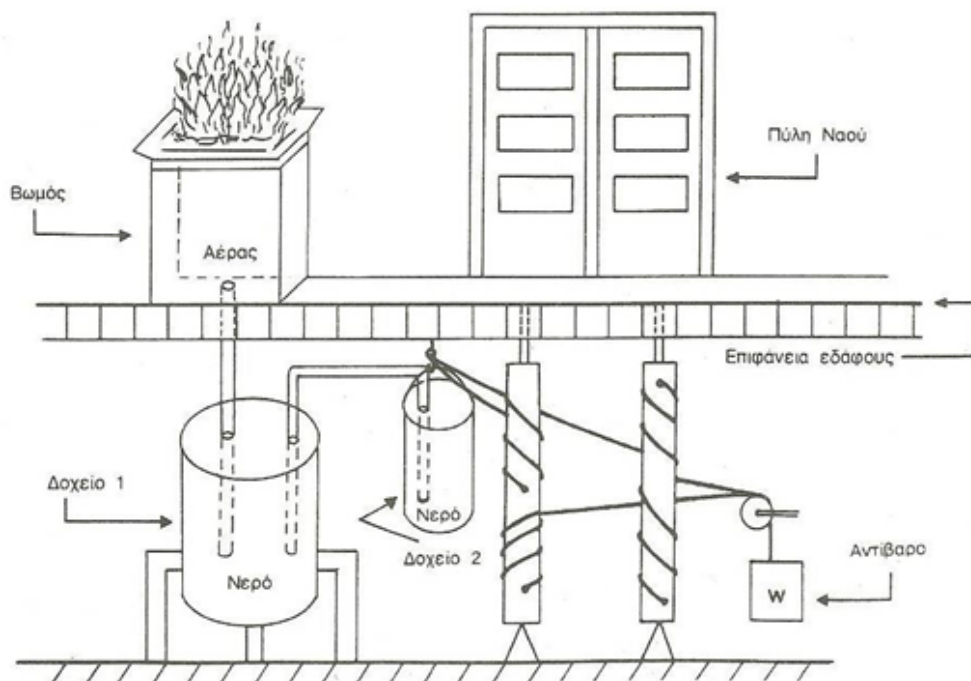
Ένα σύστημα ελέγχου είναι οποιαδήποτε ομάδα από εξαρτήματα η οποία πετυχαίνει ένα επιθυμητό αποτέλεσμα ή διατηρεί την τιμή μιας μεταβλητής σταθερή. Από τα παραπάνω παραδείγματα φαίνεται ότι μια μεγάλη γκάμα από εξαρτήματα ή συσκευές μπορεί να είναι μέρος ενός συστήματος ελέγχου, είτε αυτά είναι ηλεκτρικά, μηχανικά, ηλεκτρονικά, πνευματικά, ανθρώπινα ή συνδυασμός αυτών. Το επιθυμητό αποτέλεσμα είναι μια τιμή κάποιας μεταβλητής στο σύστημα. Για παράδειγμα η κατεύθυνση ενός αυτοκινήτου, η θερμοκρασία ενός δωματίου ή στάθμη του υγρού σε μια δεξαμενή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

1.1. Ιστορική ανασκόπηση των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου

Ο αυτόματος έλεγχος είχε επινοηθεί από την αρχαιότητα. Ένα από τα γνωστά συστήματα αυτομάτου ελέγχου που αναφέρονται στην ιστορία είναι ο μηχανισμός που επινόησε ο Ήρωνος ο Αλεξανδρινός για το αυτόματο άνοιγμα των πυλών του ναού. Η διάταξη φαίνεται στο παρακάτω σχήμα και λειτουργούσε ως εξής:

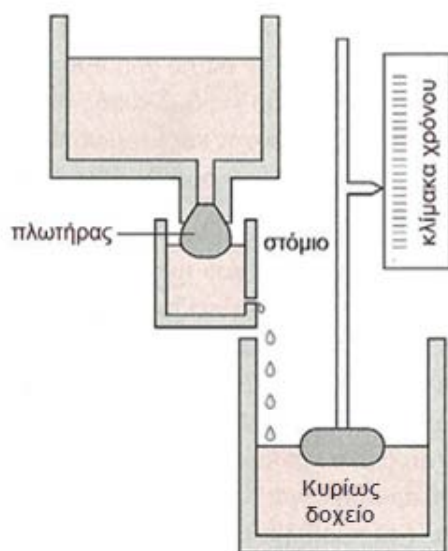


Σχήμα 1.1 Ο ρυθμιστής του Ήρωνος του Αλεξανδρέως

Όταν άναβε η φωτιά στον βωμό ο αέρας κάτω από αυτόν ζεσταινόταν σπρώχνοντας το νερό από το δοχείο 1 στο δοχείο 2 το οποίο ήταν άδειο. Το δοχείο αυτό ήταν κρεμασμένο με σχοινιά τυλιγμένα κατάλληλα σε ένα μηχανισμό με ένα αντίβαρο. Όταν το δοχείο 2 γινόταν βαρύτερο κατέβαινε προς

τα κάτω ενώ το αντίβαρο ανέβαινε προς τα πάνω με αποτέλεσμα τα σχοινιά να ανοίγουν τις πύλες. Όταν έσβηνε η φωτιά το νερό επέστρεφε στο δοχείο 1 και το αντίβαρο κατέβαινε προς τα κάτω, ενώ το δοχείο 2 ανέβαινε προς τα πάνω, με αποτέλεσμα η πύλη να κλείνει. Ο μηχανισμός αυτός χρησιμοποιείται πιθανόν για να εντυπωσιάσει τους πιστούς καθώς το σύστημα αυτοματισμού ήταν κρυμμένο μέσα στο έδαφος.

Η πρώτη εφαρμογή ανάδρασης καταγράφεται στην αρχαία Ελλάδα, σ'ένα μηχανισμό ρύθμισης στάθμης υγρών τύπου φλοτέρ, περίπου το 3000 π.Χ. Το ρολόι νερού του Κτησίβιου χρησιμοποιεί ένα τέτοιο τύπου μηχανισμό.



Σχήμα 1.2 Το ρολόι νερού του Κτησίβιου

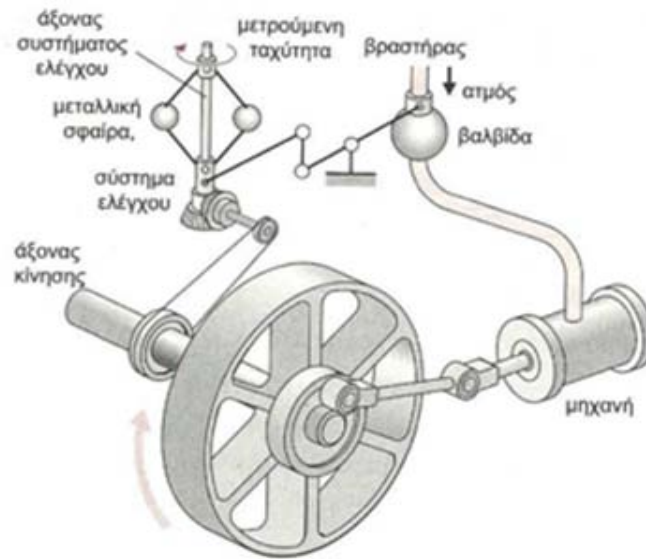
Στην διάταξη αυτή όπως φαίνεται στο σχήμα ένα κύριο δοχείο χρησιμεύει για την συγκέντρωση νερού. Προκειμένου να διατηρεί τη ροή προς την δεξαμενή σταθερή, ο Κτησίβιος χρησιμοποίησε ένα δεύτερο δοχείο ρύθμισης. Στο δοχείο αυτό η στάθμη ελεγχόταν με την βοήθεια ενός κωνικού πλωτήρα. Όταν η στάθμη κατέβαινε ο πλωτήρας κατερχόμενος αποκάλυπτε

περισσότερο το στόμιο και επέτρεπε να περάσει περισσότερο νερό, άρα η στάθμη ξανανέβαινε. Η σταθερή στάθμη στο δεύτερο δοχείο επιβάλλει σταθερή ροή προς το κύριο. Με τον τρόπο αυτό κατάφερε να διατηρεί σταθερή τη ροή του νερού και άρα πέτυχε τη δημιουργία μιας σταθερής μονάδας μέτρησης του χρόνου.

Κατά το 250 π.Χ. ο Φίλων παρουσιάζει την πρώτη λάμπα λαδιού στην οποία επίσης χρησιμοποιήθηκε ένα είδος φλοτέρ για την διατήρηση του καυσίμου λαδιού σε σταθερή στάθμη.

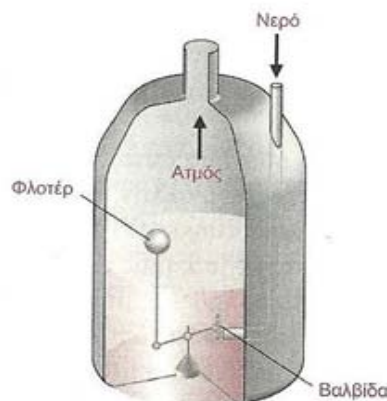
Το πρώτο σύστημα αυτομάτου ελέγχου κλειστού βρόχου που εφευρέθηκε στην Ευρώπη είναι ο ρυθμιστής θερμοκρασίας και αποδίδεται στον Ολλανδό Cornelis Drebbel (1572-1663). Ο Dennis Papin (1647-1712) εφεύρε τον πρώτο ρυθμιστή πίεσης για ατμολέβητες το 1681. Ο ρυθμιστής πίεσης του Papin είναι μια ασφαλιστική διάταξη παρόμοια με τη βαλβίδα εκτόνωσης που χρησιμοποιείται σήμερα στις χύτρες ταχύτητας.

Το πρώτο όμως σύστημα αυτομάτου ελέγχου κλειστού βρόχου που χρησιμοποιήθηκε σε βιομηχανικό περιβάλλον, ήταν ο φυγοκεντρικός ρυθμιστής ταχύτητας του James Watt. Κατασκευάστηκε το 1769 και χρησιμοποιήθηκε ευρέως στο σύστημα ελέγχου ταχύτητας μιας ατμομηχανής. Η μηχανική αυτή διάταξη μετρούσε την ταχύτητα περιστροφής του άξονα κίνησης και χρησιμοποιούσε τις διαβαθμίσεις στην κίνηση μιας μεταλλικής σφαίρας για τον έλεγχο της βαλβίδας ατμού και, κατά συνέπεια, της ποσότητας του ατμού που περνούσε μέσα στη μηχανή. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.3 ο άξονας του συστήματος ελέγχου συνδεόταν μέσω γραναζιών με τον άξονα κίνησης της ατμομηχανής. Όσο αυξανόταν η ταχύτητα περιστροφής, οι σφαίρες απομακρύνονταν από τον άξονα του συστήματος ελέγχου, λόγω της φυγοκεντρικής δύναμης. Στην περίπτωση αυτή η βαλβίδα έκλεινε και η μηχανή επιβράδυνε.



Σχήμα 1.3 Ο φυγοκεντρικός ρυθμιστής ταχύτητας του Watt

Ιστορικά, σύμφωνα με τους ισχυρισμούς των Ρώσων, το πρώτο σύστημα αυτομάτου ελέγχου ήταν ο αυτόματος ρυθμιστής στάθμης νερού με διακόπτη τύπου φλοτέρ ο οποίος εφευρέθηκε από τον Ivan Polzunov το 1745. Το σύστημα αυτό παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα. Ο διακόπτης φλοτέρ ανίχνευε τη στάθμη νερού και έλεγχε μια βαλβίδα η οποία με τη σειρά της έλεγχε την εισαγωγή νερού στον βραστήρα.



Σχήμα 1.4 Ρυθμιστής στάθμης νερού με διακόπτη τύπου φλοτέρ

Η περίοδος μέχρι το 1868 χαρακτηρίζεται ως μια περίοδος όπου ο αυτόματος έλεγχος αναπτύχθηκε αρκετά αλλά από διαίσθηση μόνο, χωρίς δηλαδή μία θεωρητική μαθηματική βάση. Έτσι η ανάγκη κατάρτισης μιας θεωρίας αυτομάτου ελέγχου ήταν επιτακτική. Το 1868 ο J.C Maxwell διατύπωσε μια μαθηματική θεωρία σχετική με τον αυτόματο έλεγχο, χρησιμοποιώντας μια διαφορετική εξίσωση μοντελοποίησης ενός ελεγκτή. Η μελέτη του Maxwell εξέταζε την επίδραση διαφόρων παραμέτρων του συστήματος στη συνολική του συμπεριφορά. Την ίδια περίοδο ο I.A. Vyshnegradskii διατύπωσε μια αντίστοιχη μαθηματική θεωρία για τα συστήματα των ρυθμιστών.

Πριν το δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο, τόσο η θεωρία όσο και η πρακτική των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου στις ΗΠΑ και στην Δυτική Ευρώπη αναπτύχθηκαν με διαφορετικούς τρόπους σε σχέση με αυτούς που αναπτύχθηκαν στη Ρωσία και στην Ανατολική Ευρώπη. Σημαντικό σταθμό για την χρήση των συστημάτων ανάδρασης έδωσε η ανάπτυξη των συστημάτων τηλεφωνίας και των ηλεκτρονικών ενισχυτών με ανάδραση από τους Bode, Nyquist και Black στα εργαστήρια της Bell Telephone. Η ανάλυση στο πεδίο της συχνότητας (frequency domain) χρησιμοποιήθηκε αρχικά για την περιγραφή των φασματικών χαρακτηριστικών των ενισχυτών ανάδρασης (feedback amplifiers). Αντίθετα με όλα αυτά πολλοί διαπρεπείς μαθηματικοί και μηχανικοί της πρώην Σοβιετικής Ένωσης υπήρξαν εμπνευστές αλλά και κυρίαρχοι της θεωρίας ελέγχου στο πεδίο του χρόνου. Έτσι λοιπόν οι Σοβιετικοί έδειχναν μια προτίμηση στις θεωρητικές διατυπώσεις στο πεδίο του χρόνου, χρησιμοποιώντας διαφορικές εξισώσεις.

Τα επόμενα έτη, και κυρίως η κήρυξη του Δευτέρου Παγκοσμίου Πολέμου, έδωσε μια ακόμη μεγαλύτερη ώθηση στην ανάπτυξη των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου, σε θεωρητικό και σε πρακτικό επίπεδο. Αυτό συνέβη διότι

εμφανίστηκε η ανάγκη σχεδίασης κατασκευής ενός μεγάλου πλήθους στρατιωτικών συστημάτων όπως οι διατάξεις αυτόματης οδήγησης αεροπλάνων (αυτόματος πιλότος), οι διατάξεις ελέγχου θέσεις οπλικών συστημάτων και οι διατάξεις ελέγχου κεραιών συστημάτων αεροναυτιλίας (radar). Η πολυπλοκότητα και η αναμενόμενη επιθυμητή συμπεριφορά των στρατιωτικών συστημάτων δημιούργησε την ανάγκη για επέκταση των μεθόδων, στρέφοντας το ενδιαφέρον γενικότερα στον αυτόματο έλεγχο και ειδικότερα στην ανάπτυξη νέων θεωρητικών προσεγγίσεων και νέων μεθόδων. Πριν το 1940, οι διαδικασίες σχεδίασης των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου ήταν εμπειρικές και βασίζονταν στη μέθοδο δοκιμής-διόρθωσης σφάλματος (trial-error). Κατά τη δεκαετία του 1940, διατυπώνονταν με γρήγορους ρυθμούς αναλυτικές και μαθηματικές μέθοδοι καθιστώντας τον αυτόματο έλεγχο μια ιδιαίτερη εφαρμοσμένη επιστήμη.

Στη δεκαετία του 1980, η χρήση ψηφιακών υπολογιστών για την υλοποίηση των συνιστωσών ελέγχου γίνεται ρουτίνα. Η εξέλιξη της επιστήμης των ηλεκτρονικών και των ψηφιακών κυκλωμάτων, καθώς και η εμφάνιση μικρού κόστους ηλεκτρονικών υπολογιστών, μικροϋπολογιστών και μικροελεγκτών έδωσε μια τεράστια ώθηση στα συστήματα αυτομάτου ελέγχου. Έχουμε φθάσει σε τέτοιο σημείο προόδου ώστε ο έλεγχος της παραγωγής μιας βιομηχανικής εγκαταστάσεως να εκτελείται ολοκληρωτικά μέσω ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Με την αποστολή του Sputnik και την είσοδο στην διαστημική εποχή, δίνεται νέα ώθηση στις τεχνικές του αυτομάτου ελέγχου. Δημιουργούνται νέες ανάγκες σχεδιασμού πολύπλοκων συστημάτων αυτομάτου ελέγχου υψηλής ακρίβειας για τους πυραύλους και τις ανιχνευτικές διατάξεις διαστημικής χρήσης. Επιπλέον, η απαίτηση ελαχιστοποίησης του βάρους των δορυφόρων και η ανάγκη διενέργειας ελέγχου με μεγάλη

ακρίβεια, έφερε στο προσκήνιο ένα νέο πεδίο, αυτό του βέλτιστου ελέγχου. Εξαιτίας αυτών των απαιτήσεων οι ποικίλες μέθοδοι στο πεδίο του χρόνου που αναπτύχθηκαν από τους Liapunov και Minorsky, έγιναν αντικείμενο ζωντανού ενδιαφέροντος. Προς την ίδια κατεύθυνση συνεισέφεραν και οι σύγχρονες θεωρίες βέλτιστου ελέγχου που αναπτύχθηκαν από τον Σοβιετικό L. S. Pontryagin και τον R. Bellman στις ΗΠΑ καθώς και διάφορες μελέτες σχετικά με την ανάλυση των εύρωστων συστημάτων. Σήμερα είναι ξεκάθαρο ότι οι αναλύσεις στα πεδία του χρόνου και συχνότητας, θα πρέπει να λαμβάνονται εξίσου υπόψη όταν αναλύσουμε και σχεδιάσουμε τα συστήματα αυτομάτου ελέγχου.

Τα συστήματα αυτομάτου ελέγχου αποτελούν σήμερα μια ιδιαίτερα αξιόλογη περιοχή επιστημονικής έρευνας και τεχνολογικής ανάπτυξης. Αυτό μπορεί να υποστηριχθεί από το γεγονός ότι ένας μεγάλος αριθμός ερευνητών, σε παγκόσμια κλίμακα, ασχολείται με την προαγωγή της επιστήμης των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου και εφαρμογή της σε όσο το δυνατό περισσότερες πλευρές της ανθρώπινης δραστηριότητας.

1.2. Περιγραφή συστημάτων ελέγχου

Οποιαδήποτε σύστημα ελέγχου μπορεί να περιγραφεί από ένα σύνολο μαθηματικών εξισώσεων οι οποίες προσδιορίζουν τα χαρακτηριστικά του κάθε εξαρτήματος που περιλαμβάνει. Μια μεγάλη ποικιλία από προβλήματα ελέγχου τα οποία μπορεί να περιλαμβάνουν ή να επηρεάζουν διαδικασίες, εργαλειομηχανές, σερβομηχανισμούς, διαστημόπλοια, συγκοινωνίες, οικονομικά και άλλα, μπορούν να αναλυθούν με τις ίδιες μαθηματικές μεθόδους. Το σημαντικό χαρακτηριστικό του κάθε εξαρτήματος

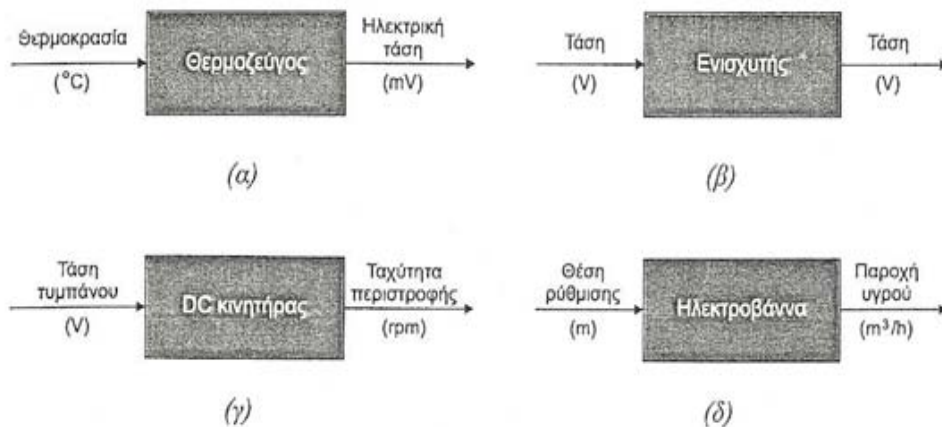
είναι κατά πόσο αυτό επηρεάζει το σύστημα. Τα διαγράμματα βαθμίδων (block diagrams), είναι μια μέθοδος αναπαράστασης ενός συστήματος ελέγχου η οποία επικεντρώνεται κυρίως σε αυτό το γνώρισμα του κάθε εξαρτήματος. Γραμμές σημάτων αναπαριστούν τα σήματα εισόδου και εξόδου των εξαρτημάτων. Κάθε εξάρτημα λαμβάνει ένα σήμα εισόδου από κάποιο μέρος του συστήματος και παράγει το σήμα εξόδου για κάποιο άλλο μέρος του συστήματος. Τα σήματα μπορεί να είναι ηλεκτρικά, ρεύματος, τάσης, πίεσης, αέρα, ροής υγρών, θερμοκρασίας, ταχύτητας, επιτάχυνσης, θέσης, κατεύθυνσης, και άλλα, καθώς επίσης και οι διαδρομές που αυτά ακολουθούν μπορεί να είναι ηλεκτρικά, καλωδιακά, υδραυλικοί σωλήνες, μηχανικοί σύνδεσμοι κ.λ.π.

1.2.1. Διαγράμματα βαθμίδων (block diagrams)

Τα διαγράμματα βαθμίδων ή δομικά διαγράμματα (block diagrams), αποτελούν ένα απλοποιημένο αλλά αρκετά περιεκτικό τρόπο εποπτικής παράστασης των φυσικών συστημάτων και γενικότερα των συστημάτων ελέγχου. Με τη χρήση τους επιτυγχάνεται πλήρης εποπτεία των διαφόρων σημάτων καθώς και του τρόπου διασύνδεσης και αλληλεπίδρασης των επιμέρους φυσικών συνιστωσών που συνθέτουν το όλο σύστημα. Κάθε βαθμίδα του δομικού διαγράμματος, αντιστοιχεί σε μια βαθμίδα του φυσικού συστήματος και μπορεί να αποτελείται από ένα ή περισσότερα φυσικά στοιχεία κατάλληλα διασυνδεδεμένα. Η σχηματική παράσταση της κάθε βαθμίδας γίνεται με ένα ορθογώνιο παραλληλόγραμμο, μέσα στο οποίο σημειώνεται είτε το όνομα της βαθμίδας (π.χ. ενισχυτής) είτε η αντίστοιχη συνάρτηση

μεταφοράς της βαθμίδας. Τα σήματα εισόδου και εξόδου των διαφόρων βαθμίδων που συνθέτουν το σύστημα, παρίστανται με ευθείες γραμμές. Τα βέλη δείχνουν τη φορά ροής των σημάτων.

Τα σήματα εισόδου-εξόδου των επιμέρους βαθμίδων μπορεί να είναι οποιαδήποτε φυσικά μεγέθη, π.χ. τάσεις, ρεύματα, πιέσεις, θερμοκρασίες, μήκη, ταχύτητες, κ.λ.π. Οι φυσικές διαστάσεις του σήματος εισόδου μιας βαθμίδας δεν είναι απαραίτητο να ταυτίζονται με τις φυσικές διαστάσεις του αντίστοιχου σήματος εξόδου. Για παράδειγμα το θερμοζεύγος του σχήματος 1.5 έχει ως είσοδο θερμοκρασία και ως έξοδο τάση.



Σχήμα 1.5 Παράσταση συστήματος με διαγράμματα βαθμίδων

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης των δομικών διαγραμμάτων είναι η ευκολία με την οποία καταρτίζονται και οι πληροφορίες που παρέχουν για τη δυναμική συμπεριφορά του συστήματος. Επίσης με τη χρήση ειδικής άλγεβρας διαγραμμάτων βαθμίδων (block diagram algebra), σύνθετες παραστάσεις σχετικά εύκολα μετατρέπονται σε πολύ απλούστερες μορφές με λιγότερα συναρτησιακά τετράγωνα (βαθμίδες), διευκολύνοντας κατ'αυτό τον τρόπο τη μελέτη και την ανάλυση σύνθετων συστημάτων.

1.2.2. Συναρτήσεις μεταφοράς (Transfer functions)

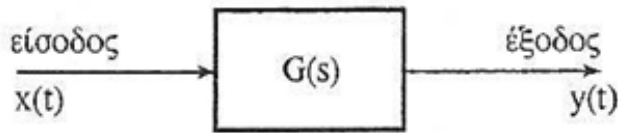
Ένα από τα κυριότερα εργαλεία περιγραφής εισόδου-εξόδου μιας βαθμίδας είναι η συνάρτηση μεταφοράς (transfer function). Η ιδέα της χρήσης συναρτήσεων μεταφοράς για την περιγραφή φυσικών συστημάτων είναι μια φυσική συνέπεια της χρήσης των μεθόδων του μετασχηματισμού Laplace για τη λύση γραμμικών διαφορικών συστημάτων.

Ως συνάρτηση μεταφοράς ενός γραμμικού συστήματος, ορίζουμε το λόγο του μετασχηματισμού Laplace της μεταβλητής εξόδου προς το μετασχηματισμό Laplace της μεταβλητής εισόδου, θεωρώντας μηδενικές αρχικές συνθήκες. Η συνάρτηση μεταφοράς είναι η σχέση που περιγράφει τη δυναμική του συστήματος.

Η συνάρτηση μεταφοράς ορίζεται μόνο για γραμμικά μη χρονικά μεταβαλλόμενα συστήματα με σταθερές παραμέτρους. Τα χρονικά μεταβαλλόμενα συστήματα χαρακτηρίζονται από μια ή και περισσότερες χρονομεταβλητές παραμέτρους. Για τα συστήματα αυτά ενδέχεται να μην ορίζεται ο μετασχηματισμός Laplace. Επιπλέον, η συνάρτηση μεταφοράς είναι απλώς μια σχέση περιγραφής της σχέσης εισόδου-εξόδου. Δεν περιέχει πληροφορίες σχετικά με την εσωτερική δομή και συμπεριφορά του συστήματος.

Μπορούμε όταν μας δίνεται η διαφορική εξίσωση ενός συστήματος να βρούμε την συνάρτηση μεταφοράς του αλλάζοντας με τη χρήση του μετασχηματισμού Laplace την εξίσωση από το πεδίο του χρόνου στο πεδίο της μιγαδικής συχνότητας.

Συνήθως η συνάρτηση μεταφοράς $G(s)$ παριστάνεται γραφικά όπως φαίνεται στο σχήμα 1.6



Σχήμα 1.6 Σχηματική παράσταση απλού γραμμικού συστήματος μιας εισόδου μιας εξόδου

Σύμφωνα με το δομικό διάγραμμα του σχήματος 1.6, ο μόνος περιορισμός που έγινε στον ορισμό της συνάρτησης μεταφοράς είναι ότι οι μεταβλητές εισόδου και εξόδου σχετίζονται μέσω μιας γραμμικής διαφορικής εξίσωσης με σταθερούς συντελεστές. Έστω λοιπόν γραμμική διαφορική εξίσωση n-τάξης, της οποίας η γενική μορφή είναι

$$A_n \frac{d^n c(t)}{dt^n} + \dots + A_1 \frac{dc(t)}{dt} + A_0 c(t) = B_m \frac{d^m r(t)}{dt} + \dots + B_1 \frac{dr(t)}{dt} + B_0 r(t)$$

όπου $c(t)$ η συνάρτηση εξόδου και $r(t)$ η συνάρτηση εισόδου

Στα φυσικά συστήματα ισχύει $n \geq m$. Μετασχηματίζοντας κατά Laplace την παραπάνω σχέση, θεωρώντας όλες τις αρχικές συνθήκες μηδενικές, έχουμε

$$A_n s^n C(s) + \dots + A_1 s C(s) + A_0 C(s) = B_m s^m R(s) + \dots + B_1 s R(s) + B_0 R(s) \rightarrow$$

$$(A_n s^n + \dots + A_1 s + A_0) C(s) = (B_m s^m + \dots + B_1 s + B_0) R(s)$$

Ο λόγος $C(s)/R(s)$, είναι η συνάρτηση μεταφοράς $G(s)$ του συστήματος. Δηλαδή

$$G(s) = \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{B_m s^m + B_{m-1} s^{m-1} + \dots + B_0}{A_n s^n + A_{k-1} s^{k-1} + \dots + A_0} = \frac{P(s)}{Q(s)}$$

Το πολυώνυμο του παρονομαστή της συνάρτησης μεταφοράς ονομάζεται χαρακτηριστικό πολυώνυμο του συστήματος και η μελέτη του μας δίνει τη δυνατότητα να ελέγξουμε ορισμένες προδιαγραφές του συστήματος όπως η ευστάθεια κ.λ.π.

Θέτοντας το πολυώνυμο του παρονομαστή ίσο με το μηδέν, σχηματίζεται η λεγόμενη χαρακτηριστική εξίσωση του συστήματος (X.E), επειδή οι ρίζες της προσδιορίζουν τη συμπεριφορά της απόκρισης του συστήματος.

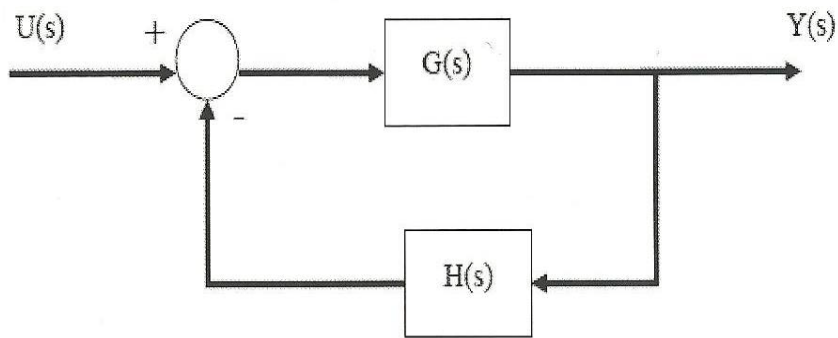
Από την παραγοντοποίηση των πολυωνύμων $P(s)$ και $Q(s)$ της Σ.Μ. η οποία εν γένει στα φυσικά συστήματα οδηγεί σε διακεκριμένες ρίζες, πραγματικές ή μιγαδικές, προκύπτει:

$$G(s) = \frac{P(s)}{Q(s)} = \frac{K(s + z_1)(s + z_2)\dots(s + z_m)}{(s + p_1)(s + p_2)\dots(s + p_n)}$$

Η σταθερά K , στην ορολογία των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου είναι γνωστή ως κέρδος ή σταθερά ενίσχυσης και είναι πραγματικός αριθμός. Οι ρίζες, z_1, \dots, z_m του πολυωνύμου $P(s)$ του αριθμητή, ονομάζονται μηδενικά της Σ.Μ. Αντίστοιχα οι ρίζες, p_1, \dots, p_n του πολυωνύμου $Q(s)$ του παρονομαστή, ονομάζονται πόλοι της Σ.Μ.

Τέλος από τη συνάρτηση μεταφοράς ενός συστήματος εντοπίζεται και η τάξη του συστήματος. Η τάξη του συστήματος δίνεται από τη μεγαλύτερη δύναμη στην οποία είναι υψωμένη η μιγαδική συχνότητα s στο πολυώνυμο του παρονομαστή.

Στο σχήμα 1.7 δίνεται ένα δομικό διάγραμμα για την περίπτωση ενός συστήματος ελέγχου κλειστού βρόγχου με είσοδο $u(t)$ και έξοδο $y(t)$.



Σχήμα 1.7

Ισχύει ότι η συνάρτηση μεταφοράς του κλειστού συστήματος (closed loop tf) ισούται με:

$$G_{cl}(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{G(s)}{1 + G(s)H(s)}$$

Το πολυώνυμο $G(s)H(s)$ ονομάζεται χαρακτηριστικό πολυώνυμο (Χ.Π), ενώ η εξίσωση $1 + G(s)H(s) = 0$ ονομάζεται χαρακτηριστική εξίσωση (Χ.Ε) του συστήματος.

Συνοψίζοντας τα βασικά χαρακτηριστικά της χρήσης των συναρτήσεων μεταφοράς είναι:

- Η Σ.Μ. είναι μια ιδιότητα του ίδιου του συστήματος και είναι ανεξάρτητη από το είδος και το μέγεθος της διέγερσης.
- Αν και η Σ.Μ. συσχετίζεται με την είσοδο και την έξοδο, δεν παρέχει καμία πρόσθετη πληροφορία για τη φυσική δομή του συστήματος. Είναι λοιπόν δυνατόν, τελείως διαφορετικά φυσικά συστήματα να έχουν τις ίδιες συναρτήσεις μεταφοράς.
- Γνωστής της Σ.Μ. ενός φυσικού συστήματος, η έξοδος (απόκριση) αυτού μπορεί να προσδιορισθεί για οποιαδήποτε μορφή της εισόδου.

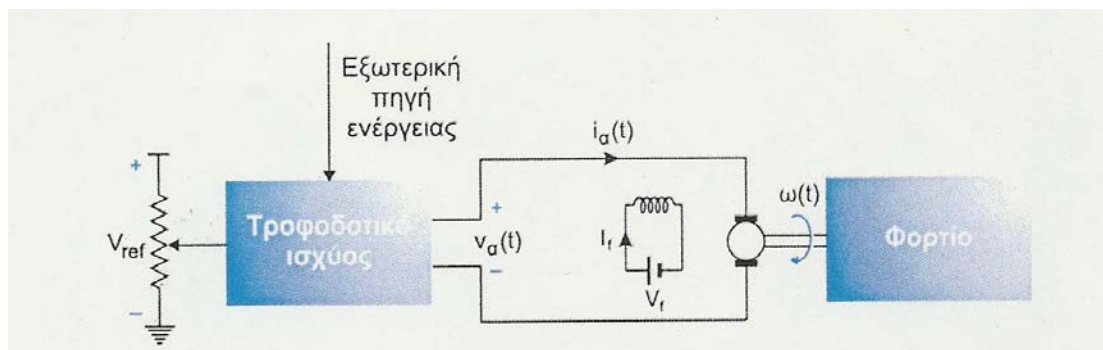
1.3. Βασική δομή ενός συστήματος αυτομάτου ελέγχου

Σύστημα είναι ένα σύνολο εξαρτημάτων, συσκευών ή λειτουργιών τα οποία είναι κατάλληλα συνδεδεμένα μεταξύ τους για να επιτελέσουν κάποιο έργο. Στα συστήματα αυτομάτου ελέγχου ασχολούμαστε με δύο ειδών συστήματα, αυτά του ανοιχτού και του κλειστού βρόχου.

1.3.1. Σύστημα ελέγχου ανοιχτού βρόγχου

Σύστημα ελέγχου ανοιχτού βρόγχου ονομάζεται εκείνο στο οποίο η μεταβλητή εξόδου δεν έχει καμία επίδραση στη μεταβλητή εισόδου του συστήματος, ή πιο απλά η είσοδος του υπό έλεγχο συστήματος δεν επηρεάζεται από τις μεταβολές της εξόδου.

Παράδειγμα λειτουργίας συστήματος ανοιχτού βρόγχου αποτελεί ο κινητήρας Σ.Ρ ξένης διέγερσης (με σταθερό ρεύμα διέγερσης) οποίος τροφοδοτεί συγκεκριμένο φορτίο.



Σχήμα 1.8 Τυπικό παράδειγμα Σ.Α.Ε. ανοιχτού βρόγχου

Μέσω του ποτενσιόμετρου δημιουργείται μια τάση μεταφοράς και η οποία μέσω του τροφοδοτικού αντιστοιχεί σε μια συγκεκριμένη τιμή της τάσης του τυλίγματος τυμπάνου, έτσι ώστε ο κινητήρας να στρέφεται στον επιθυμητό αριθμό στροφών. Εάν τώρα για οποιοδήποτε λόγο εμφανιστεί στο σύστημα κάποια διαταραχή (π.χ. μεταβολή φορτίου), θα έχει ως αποτέλεσμα την απόκλιση των στροφών από την επιθυμητή τιμή. Σε περίπτωση που θέλουμε να επαναφέρουμε τις στροφές στην αρχική τιμή τους, θα πρέπει να επέμβουμε χειροκίνητα και να μεταβάλλουμε ανάλογα το σήμα αναφοράς και κατ' επέκταση την τάση τροφοδοσίας του τυλίγματος τυμπάνου.

Από το προηγούμενο παράδειγμα είναι προφανές ότι η βάση ενός συστήματος ελέγχου ανοιχτού βρόχου είναι ότι αυτό ελέγχεται από ένα σήμα που έχει προκαθορισμένη τιμή. Αυτή η προκαθορισμένη τιμή θεωρεί ότι ο απαιτούμενος έλεγχος μπορεί να πραγματοποιείται χωρίς να μετριέται η επίδραση της εξόδου του συστήματος στην παράμετρο που πρέπει να ελέγχεται. Η προκαθορισμένη τιμή δεν θα αλλάξει ακόμα και αν άλλοι παράγοντες αλλάξουν, και επομένως καταστήσουν την έξοδο του συστήματος ανακριβή. Έτσι τα συστήματα ανοιχτού βρόχου στερούνται ακρίβειας και ευκαμψίας και η χρήση τους περιορίζεται στους απλούστερους τύπους εφαρμογών.

Άλλα ενδεικτικά παραδείγματα Σ.Α.Ε. ανοιχτού βρόχου είναι:

- Το σύστημα κεντρικής θέρμανσης, του οποίου ο καυστήρας ελέγχεται μέσω χρονοδιακόπτη για τον καθορισμό των περιόδων λειτουργίας και παύσης. Στην περίπτωση αυτή διαταραχές όπως μεταβολές της εξωτερικής θερμοκρασίας, ανοίγματα θυρών, παραθύρων κ.λ.π., οι οποίες επηρεάζουν το σύστημα δεν λαμβάνονται υπόψη.
- Το σύστημα σηματοδότησης της κυκλοφορίας λειτουργεί και αυτό βάσει χρονικού προγράμματος. Δηλαδή δεν

λαμβάνεται υπόψη το πραγματικό κυκλοφοριακό ρεύμα καθώς επίσης και άλλους είδους διαταραχές όπως οι καιρικές συνθήκες, μαζικές κοινωνικές εκδηλώσεις, ατυχήματα, κ.λ.π.

- Γενικά όλες οι συσκευές και οι διατάξεις που λειτουργούν βάσει χρονικού προγράμματος, αποτελούν σύστημα ανοιχτού βρόγχου (π.χ. πλυντήριο ρούχων)

Συνοπτικά τα βασικά χαρακτηριστικά των Σ.Α.Ε ανοιχτού βρόγχου είναι τα ακόλουθα:

Πλεονεκτήματα:

- Απλή κατασκευή και ευκολία συντήρησης
- Μικρό κόστος
- Δεν παρουσιάζουν προβλήματα αστάθειας

Μειονεκτήματα:

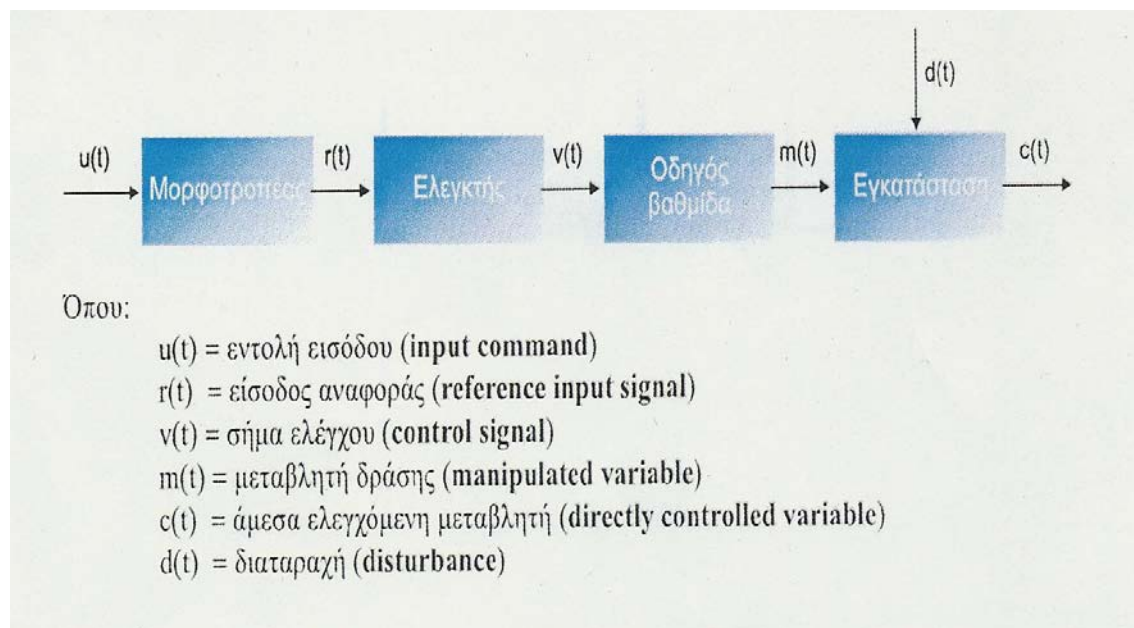
- Τυχόν διαταραχές (εσωτερικές, εξωτερικές), προκαλούν σφάλματα της εξόδου τα οποία έχουν ως αποτέλεσμα την εκτροπή της εξόδου από την επιθυμητή τιμή
- Για τη διατήρηση των επιδιωκόμενων χαρακτηριστικών της εξόδου, απαιτείται περιοδική επαναρύθμιση των επιμέρους συνιστωσών.

1.3.2. Δομή Σ.Α.Ε ανοιχτού βρόγχου

Οι βασικές μονάδες που απαρτίζουν ένα Σ.Α.Ε. ανοιχτού βρόγχου σύμφωνα με την εικόνα 1.9 είναι ο ελεγκτής (controller), η οδηγός βαθμίδα (actuator) και η υπό έλεγχο εγκατάσταση. Εάν και εφόσον απαιτείται, πριν τη μονάδα του ελεγκτή μπορεί να παρεμβάλλεται ένας μορφομετατροπέας

(transducer), για την κατάλληλη προσαρμογή του σήματος εισόδου στην είσοδο του ελεγκτή.

Σύμφωνα με το σχήμα 1.9 η εντολή εισόδου μέσω του μορφομετατροπέα μετατρέπεται σε σήμα αναφοράς, δηλαδή σε σήμα κατάλληλης μορφής για τη διέγερση του συστήματος.



Σχήμα 1.9 Δομή Σ.Α.Ε. ανοιχτού βρόγχου

Η είσοδος του ελεγκτή είναι ένα σήμα αναφοράς $r(t)$, η δε έξοδος είναι το σήμα ελέγχου $v(t)$, το οποίο δρα στο ελεγχόμενο σύστημα ή στην εγκατάσταση και επιβάλλει στην ελεγχόμενη μεταβλητή $c(t)$ την επιθυμητή συμπεριφορά. Η διαταραχή $d(t)$ τείνει να επηρεάσει δυσμενώς τη συμπεριφορά της ελεγχόμενης μεταβλητής. Επειδή στις περισσότερες των περιπτώσεων το σήμα εξόδου του ελεγκτή είναι χαμηλής ισχύος, μεταξύ των βαθμίδων του ελεγκτή και του φυσικού συστήματος παρεμβάλλεται μια επιπλέον βαθμίδα η λεγόμενη οδηγός βαθμίδα η οποία στην ουσία παρέχει στην εγκατάσταση την απαιτούμενη ισχύ σύμφωνα με τη λογική του σήματος ελέγχου.

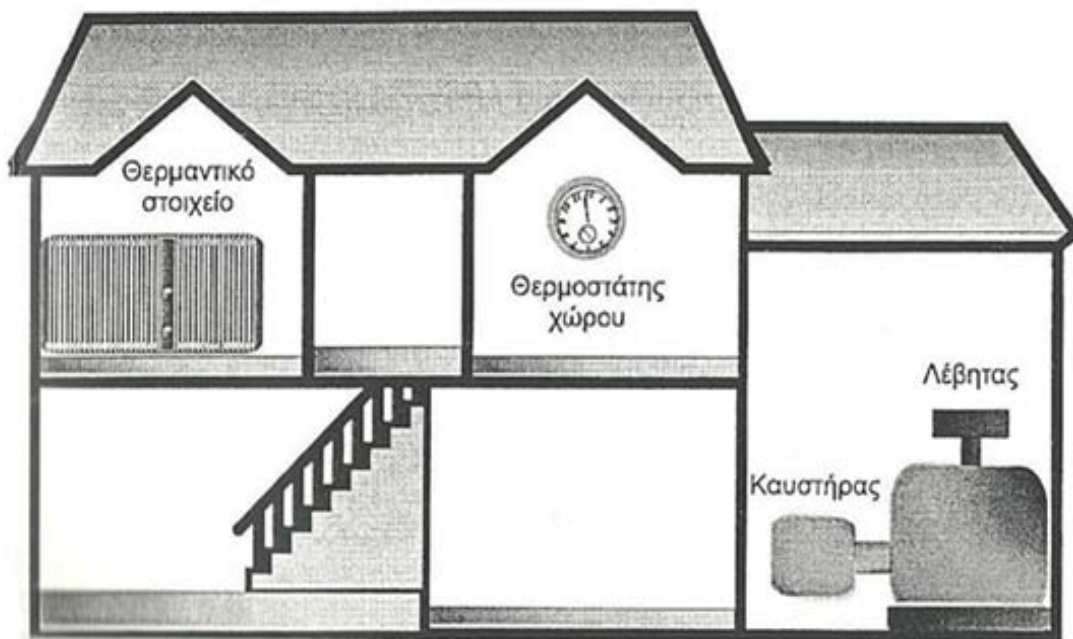
1.3.3. Συστήματα ελέγχου κλειστού βρόγχου

Συστήματα ελέγχου στα οποία οι μεταβολές της εισόδου επηρεάζονται άμεσα από τις μεταβολές της εξόδου, είναι γνωστά ως συστήματα αυτομάτου ελέγχου κλειστού βρόγχου.

Τα Σ.Α.Ε. κλειστού βρόγχου περιέχουν την έννοια της ανάδρασης ή ανατροφοδότησης (feedback). Ο όρος ανάδραση, προέρχεται από τη διεύθυνση στην οποία ταξιδεύει το μετρούμενο σήμα της ελεγχόμενης μεταβλητής, δηλαδή από την πραγματική έξοδο προς την επιθυμητή είσοδο.

Στόχος ενός συστήματος ελέγχου κλειστού βρόγχου, είναι η συνεχής αναπροσαρμογή της εισόδου (λαμβάνοντας υπόψη τις μεταβολές της εξόδου), ώστε να αντισταθμίζει τις επιδράσεις των διαφόρων τύπων διαταραχών που επιδρούν αρνητικά στο σύστημα. Αυτό επιτυγχάνεται με τον κλάδο της ανάδρασης, δηλαδή τη μέτρηση της ελεγχόμενης μεταβλητής και τη σύγκριση της με την είσοδο αναφοράς (η οποία αντιπροσωπεύει την επιθυμητή τιμή της ελεγχόμενης μεταβλητής). Ανάλογα λοιπόν με το μέγεθος του σφάλματος εισόδου ο ελεγκτής της εγκατάστασης ρυθμίζει ανάλογα τη μεταβλητή, ώστε το σύστημα να επανέλθει στην αρχική του κατάσταση πριν τη διαταραχή.

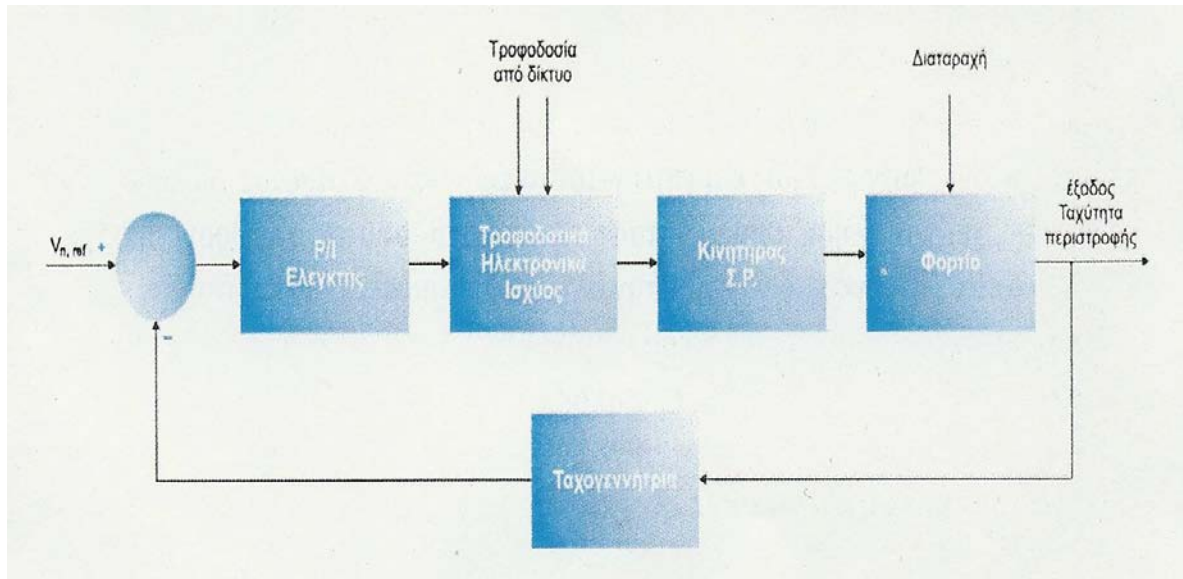
Ένα απλό και χαρακτηριστικό παράδειγμα της καθημερινής μας ζωής για συστήματα κλειστού βρόγχου είναι το σύστημα θέρμανσης μια κατοικίας του σχήματος 1.10



Σχήμα 1.10 Σύστημα θέρμανσης κατοικίας σε κλειστό βρόγχο

Μέσω του θερμοστάτη χώρου, γίνεται σύγκριση της επιθυμητής θερμοκρασίας με την εσωτερική θερμοκρασία του χώρου. Η μεταβολή της εξωτερικής θερμοκρασίας καθώς και τα ανοίγματα των θυρών και των παραθύρων, αποτελούν τις διαταραχές του συστήματος. Ο θερμοστάτης δεχόμενος την επίδραση των διακυμάνσεων της θερμοκρασίας, παράγει το σήμα σφάλματος προκαλώντας είτε τη μεταβολή της παροχής του καυσίμου είτε του χρονικού κύκλου λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης, με κύριο στόχο την επαναφορά της εσωτερικής θερμοκρασίας στην επιθυμητή τιμή και κατά συνέπεια το μηδενισμό του σφάλματος.

Άλλα παραδείγματα είναι ο έλεγχος στροφών κινητήρα σε κλειστό βρόγχο μέσω ταχογεννήτριας.



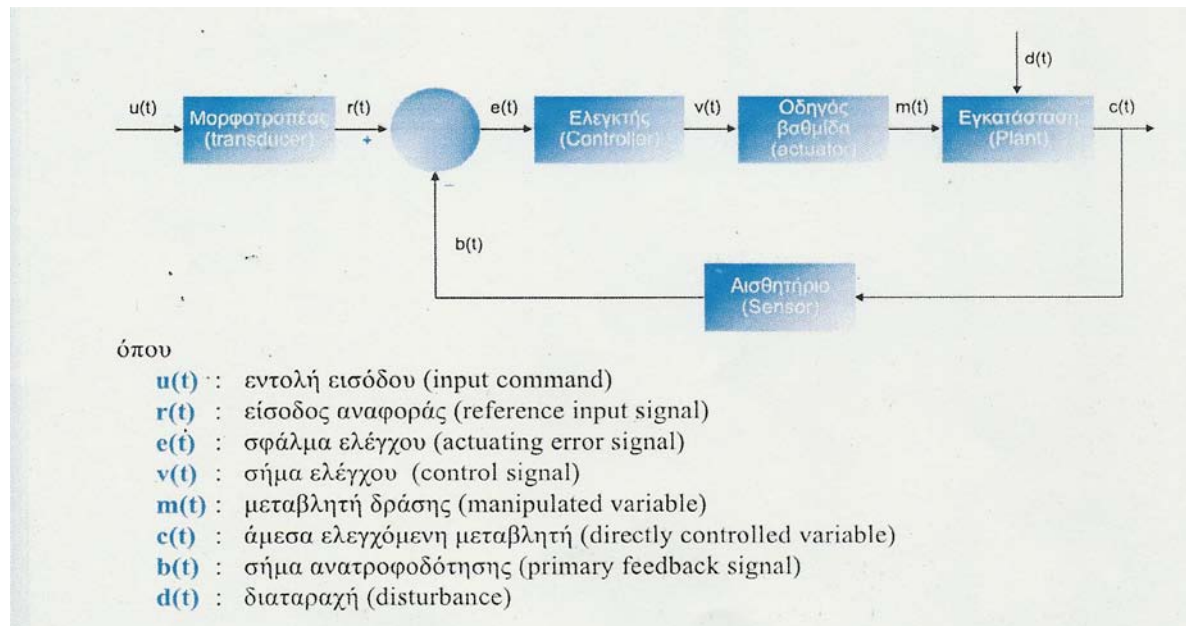
Σχήμα 1.11 Έλεγχος στροφών κινητήρα σε κλειστό βρόγχο

Σύμφωνα με το σχήμα 1.11 σε κάθε χρονική στιγμή οι πραγματικές στροφές του κινητήρα μέσω της ταχογεννήτριας μετατρέπονται σε τάση και στη συνέχεια συγκρίνονται με την τάση εισόδου του σήματος αναφοράς, της οποίας η τιμή αντιστοιχεί στον επιθυμητό αριθμό στροφών. Η βαθμίδα του ελεγκτή (συνήθως PI-controller), έχει ως είσοδο το σφάλμα των στροφών. Το σήμα ελέγχου στην έξοδο του ρυθμίζει ανάλογα την οδηγό βαθμίδα (μονάδα τροφοδοσίας του κινητήρα), με στόχο την αύξηση ή τη μείωση της παραγόμενης ηλεκτρικής ροπής, ώστε να αντισταθμίσει τη μεταβολή του φορτίου και οι στροφές να επανέλθουν στην αρχική τιμή τους πριν τη διαταραχή.

Συνοψίζοντας με τον όρο κλειστό σύστημα ή σύστημα ελέγχου με ανάδραση, εννοούμε το σύστημα εκείνο το οποίο από μόνο του (χωρίς την παρουσία του ανθρώπινου παράγοντα), τείνει να διατηρήσει προκαθορισμένη σχέση μεταξύ των μεταβλητών εισόδου και εξόδου.

1.3.4. Δομή Σ.Α.Ε. κλειστού βρόγχου

Με βάση τα παραπάνω, η βασική δομή ενός συστήματος αυτομάτου ελέγχου κλειστού βρόγχου, υπό μορφή δομικών διαγραμμάτων θα έχει τη μορφή του σχήματος 1.12



Σχήμα 1.12 Βασική δομή Σ.Α.Ε. κλειστού βρόγχου

Επομένως σύμφωνα με το σχήμα 1.12 ένα στοιχειώδες σύστημα κλειστού βρόγχου, περιλαμβάνει τον μορφομετατροπέα εισόδου, τον ελεγκτή, την οδηγό βαθμίδα και το αισθητήριο (sensor) του βρόχου ανάδρασης. Ο ελεγκτής παράγει μια έξοδο που οδηγεί την ελεγχόμενη διεργασία με σκοπό τον περιορισμό ή και τον μηδενισμό του σφάλματος μεταξύ της πραγματικής τιμής και της επιθυμητής τιμής. Η διαφορά αυτών των τιμών λέγεται σφάλμα. Το αισθητήριο εξασφαλίζει ότι από την διαδικασία μέτρησης προκύπτει μια καλή προσέγγιση της πραγματικής εξόδου.

Το σήμα σφάλματος τροποποιείται έτσι ώστε να ρυθμίζεται η απόδοση του συστήματος. Για παράδειγμα, εάν το σήμα

σφάλματος είναι ένα ηλεκτρικό σήμα, μπορεί να χρειάζεται ενίσχυση. Το τροποποιημένο σήμα σφάλματος ονομάζεται σήμα ελέγχου (control signal). Το σήμα ελέγχου στη συνέχεια ρυθμίζει την έξοδο του συστήματος έτσι ώστε το σήμα ανάδρασης να πλησιάζει την τιμή του σήματος αναφοράς. Τότε το σήμα σφάλματος θα μειωθεί στο μηδέν και έτσι θα επιτευχθεί η επιθυμητή τιμή.

Είναι εμφανές από τα μέχρι τώρα, ότι σε ένα Σ.Α.Ε. κλειστού βρόγχου επιτελούνται τρεις συγκεκριμένες και θεμελιώδεις λειτουργίες. Η μέτρηση, η απόφαση και η δράση ή χειρισμός. Η λειτουργία της μέτρησης αφορά τη μέτρηση της τιμής της μεταβλητής ελέγχου. Η λειτουργία της απόφασης οφείλεται στις βαθμίδες σύγκρισης και ελέγχου. Δηλαδή το σφάλμα ελέγχου που αποτελεί την έξοδο του συγκριτή, τροφοδοτεί τη μονάδα του ελέγχου μέσω της οποίας καθορίζεται και επιλέγεται το είδος και το μέγεθος της διορθωτικής δράσης, για την πλήρη αποκατάσταση του. Είναι προφανής ο καθοριστικός ρόλος του σήματος ανατροφοδότησης στην όλη διαδικασία ελέγχου και αυτό προϋποθέτει την όσο το δυνατόν ακριβέστερη μέτρηση της ελεγχόμενης μεταβλητής ώστε να αντικατοπτρίζεται όσο είναι δυνατόν ακριβέστερα στο σύστημα ελέγχου η πραγματική εικόνα της διαταραχής. Στη συνέχεια με τον όρο χειρισμό, εννοούμε την χρήση της πράξης ελέγχου ώστε να χειραγωγηθούν κάποιες μεταβλητές στην διαδικασία με τέτοιο τρόπο ώστε θα τείνουν να μειώσουν το σφάλμα.

Από τα μέχρι τώρα είναι επίσης προφανές ότι ο ρόλος της ανάδρασης συντελεί στην ελαχιστοποίηση του σφάλματος, δηλαδή της διαφοράς μεταξύ της εξόδου του συστήματος και της εισόδου αναφοράς. Ο περιορισμός (ακόμη και μηδενισμός) του σφάλματος, είναι μεν ένα σπουδαίο λειτουργικό χαρακτηριστικό που η ανάδραση προσδίδει στο σύστημα, αλλά δεν είναι και το μοναδικό. Η ανάδραση επιδρά επίσης θετικά και σε διάφορα άλλα βασικά λειτουργικά χαρακτηριστικά του

συστήματος, όπως στην ευστάθεια (stability), στο εύρος λειτουργίας (bandwidth), στο συνολικό κέρδος (overall gain), στη μείωση της ευαισθησίας (sensitivity) έναντι των διαφόρων τύπων διαταραχών, κ.λ.π.

1.4. Κριτήρια καλού ελέγχου

Για να εκτιμήσουμε την απόδοση ενός συστήματος ελέγχου, πρέπει πρώτα να αποφασίσουμε για δύο πράγματα, δηλαδή το είδος της δοκιμής και στη συνέχεια τα κριτήρια με βάση τα οποία θα βγουν τα συμπεράσματα για την ποιότητα του ελέγχου.

Μερικά από τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται περισσότερο στην πράξη, για την εκτίμηση της απόδοσης ενός συστήματος ελέγχου είναι τα εξής:

- Απόσβεση τετάρτου του πλάτους
- Κρίσιμη απόσβεση
- Ελαχιστοποίηση του ολοκληρώματος της απόλυτης τιμής του σφάλματος

1.5. Απόσβεση

Με τον όρο απόσβεση στον αυτόματο έλεγχο, εννοούμε μια δύναμη ή γενικότερα ένα σήμα το οποίο αντιτίθεται στο χρονικό ρυθμό μεταβολής της ελεγχόμενης μεταβλητής. Στην πράξη είναι επιθυμητό τα συστήματα να διαθέτουν κάποιο ικανοποιητικό ποσοστό απόσβεσης, διότι αυτό επιτρέπει τη λειτουργία του ελεγκτή με υψηλότερο κέρδος, το οποίο έχει ως

αποτέλεσμα την αύξηση της ταχύτητας απόκρισης και κυρίως τη βελτίωση της ακρίβειας εξόδου. Για την αύξηση της απόσβεσης των συστημάτων σε ικανοποιητικά επίπεδα, έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές αντιστάθμισης. Για παράδειγμα στα συστήματα ηλεκτρικής κίνησης διάφοροι τύποι φρένων χρησιμοποιούνται για να εξασφαλίσουν την απαιτούμενη απόσβεση.

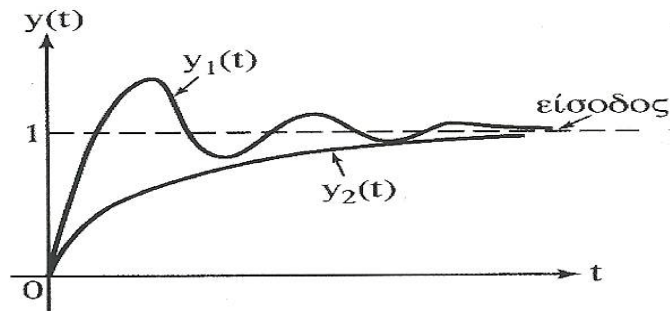
1.6. Ευστάθεια συστημάτων

Τα συστήματα αυτομάτου ελέγχου παρουσιάζουν μερικά χαρακτηριστικά όπως π.χ. η ευστάθεια που παίζει αποφασιστικό ρόλο στη συμπεριφορά τους αλλά και κατά τη σχεδίαση ενός συστήματος ελέγχου.

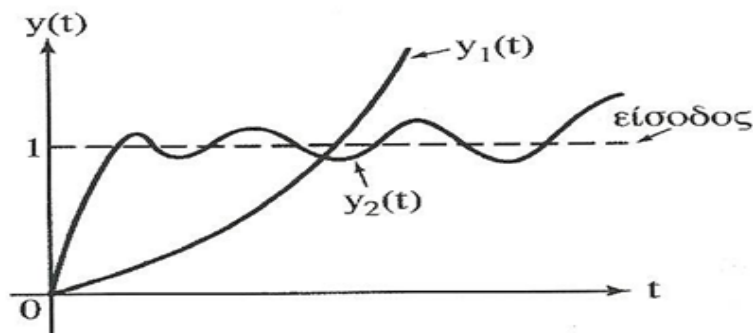
Ένα σύστημα λέγεται ευσταθές, αν για οποιαδήποτε φραγμένη είσοδο, η έξοδος του είναι επίσης φραγμένη. Αντίθετα ένα σύστημα λέγεται ασταθές, αν έστω και για μια φραγμένη είσοδο, η έξοδος δεν είναι φραγμένη.

Ένα από τα βασικά πρακτικά προβλήματα της επιστήμης των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου είναι η σχεδίαση ενός συστήματος τέτοιου ώστε η έξοδος του να ακολουθεί την είσοδο του όσο γίνεται πιο πιστά. Τα ασταθή συστήματα δεν μπορούν να μας εξασφαλίσουν μια τέτοια συμπεριφορά και επομένως δεν είναι χρήσιμα. Γι' αυτό, κατά την σχεδίαση ενός συστήματος αυτομάτου ελέγχου, επιδιώκεται πρώτα και πάνω απ' όλα η εξασφάλιση της ευστάθειας του συστήματος. Μετά την εξασφάλιση της ευστάθειας επιδιώκεται η ικανοποίηση άλλων απαιτήσεων σχεδίασης, όπως η ταχύτητα και η ακρίβεια απόκρισης, το εύρος ζώνης, το σφάλμα στη μόνιμη κατάσταση, κ.λ.π.

Η έξοδος ενός ευσταθούς συστήματος βρίσκεται μέσα σε επιτρεπτά όρια σχήμα 1.16 ενώ η έξοδος ενός ασταθούς συστήματος αυξάνει θεωρητικά προς το άπειρο όπως φαίνεται στην σχήμα 1.17

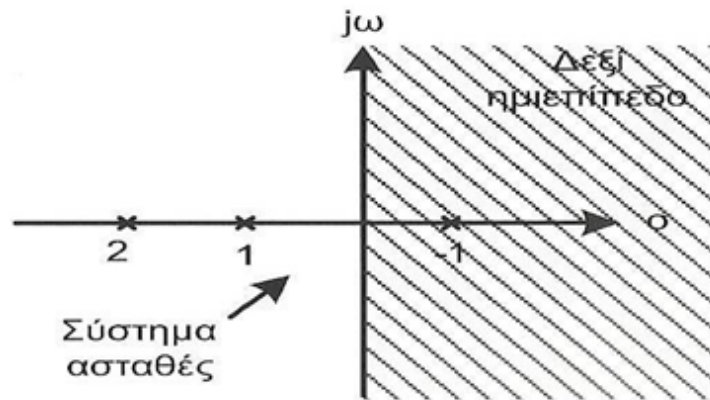
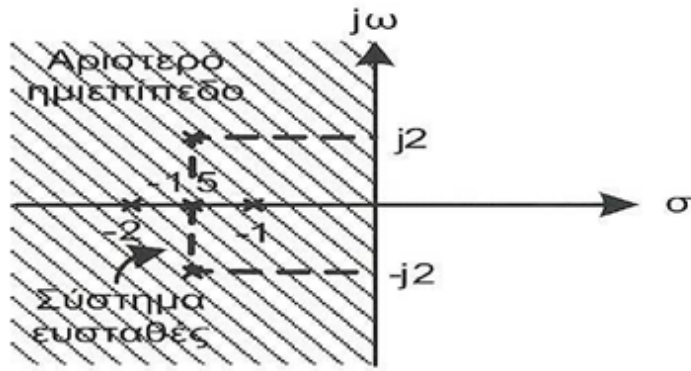


Σχήμα 1.16 Απόκριση ευσταθούς συστήματος



Σχήμα 1.17 Απόκριση ασταθούς συστήματος

Στα γραμμικά μη χρονικά μεταβαλλόμενα συστήματα, ισχύει το γεγονός ότι η ευστάθεια συνδέεται με τη θέση των ριζών της χαρακτηριστικής εξίσωσης στο μιγαδικό επίπεδο. Στην περίπτωση αυτή, ένα σύστημα είναι ευσταθές αν όλες οι ρίζες του χαρακτηριστικού πολυωνύμου βρίσκονται στο αριστερό μιγαδικό ημιεπίπεδο. Αν έστω και μια ρίζα του χαρακτηριστικού πολυωνύμου βρίσκεται στο δεξιό μιγαδικό ημιεπίπεδο, το σύστημα είναι ασταθές.



Σχήμα 1.18

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ

2.1. Εισαγωγή

Μέχρι τώρα είδαμε τη βασική διάκριση των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου σε συστήματα ελέγχου κλειστού και ανοιχτού βρόχου, από το εάν χρησιμοποιείται βρόχος ανάδρασης της ελεγχόμενης μεταβλητής ή όχι. Πέρα από τη βασική αυτή διάκριση, τα συστήματα αυτομάτου ελέγχου μπορούν να ταξινομηθούν σε διάφορες άλλες κατηγορίες, λαμβάνοντας υπόψη επιπρόσθετες παραμέτρους και ιδιότητες, όπως π.χ. το είδος των σημάτων ελέγχου που χρησιμοποιούν, τη λογική ελέγχου κ.λ.π. Με βάση λοιπόν τα παραπάνω, τα συστήματα ελέγχου ταξινομούνται στις εξής κατηγορίες.

2.1.1. Αναλογικά και ψηφιακά συστήματα ελέγχου

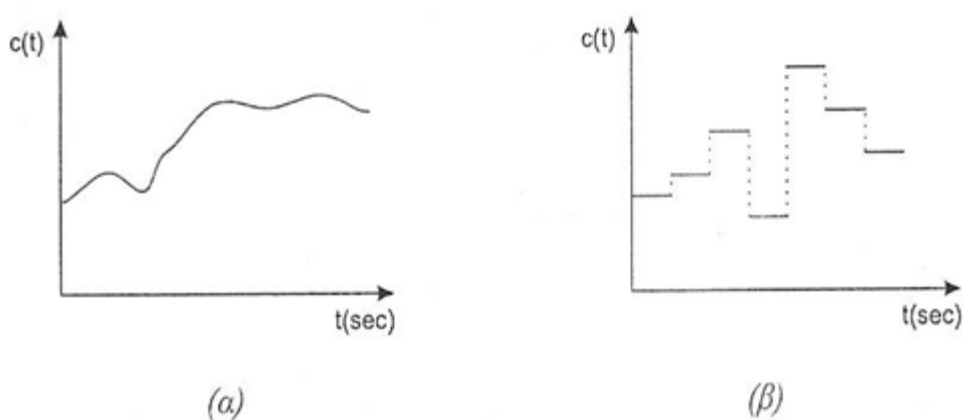
Ο όρος αναλογικός έλεγχος αναφέρεται σε συστήματα ελέγχου τα οποία χρησιμοποιούν αναλογικά σήματα και τα οποία κατ' επέκταση καλούνται αναλογικά συστήματα ελέγχου ή συστήματα συνεχούς χρόνου.

Αναλογικό σήμα καλείται το σήμα που μπορεί να πάρει οποιαδήποτε τιμή μεταξύ δυο οριακών τιμών, δηλαδή είναι συνεχής συνάρτηση του χρόνου όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.1 (α).

Σε αντίθεση με τα σήματα συνεχούς χρόνου στα συστήματα ελέγχου διακριτού χρόνου, σε ένα ή και περισσότερα σημεία του συστήματος εμφανίζονται σήματα τα οποία δεν αποτελούν συνεχείς συναρτήσεις του χρόνου αλλά μια ακολουθία τιμών, είτε υπό μορφή σειράς παλμών είτε σε ψηφιακή μορφή, του σχήματος 2.1 (β).

Η αλματώδης εξέλιξη της μικροηλεκτρονικής και ιδιαίτερα στην περιοχή των μικροεπεξεργαστών τόσο σε ταχύτητα επεξεργασίας όσο και σε δυνατότητες προγραμματισμού, παράλληλα με τη διαρκή μείωση του κόστους τείνουν να καθιερώσουν τη χρήση των συστημάτων ελέγχου διακριτού χρόνου, ως βασικές συνιστώσες των μονάδων ελέγχου στα σύγχρονα συστήματα αυτοματισμού για έλεγχο σε πραγματικό χρόνο.

Τα συστήματα στα οποία η βασική μονάδα ελέγχου βασίζεται στη χρήση μικροεπεξεργαστών (ή γενικότερα ηλεκτρονικών υπολογιστικών συστημάτων), είναι γνωστά ως συστήματα ελέγχου διακριτού χρόνου, λόγω του γεγονότος ότι τα σήματα τα οποία επεξεργάζονται είναι σε διακριτή μορφή και όχι σε συνεχή μορφή.



Σχήμα 2.1 Σήματα ελέγχου (α) αναλογικό σήμα (β) διακριτό σήμα σήμα

Οι αυξημένες δυνατότητες ταχύτητας επεξεργασίας και προγραμματιστικών τεχνικών των μικροεπεξεργαστών, έχουν ως αποτέλεσμα τα διακριτά συστήματα ελέγχου σε σχέση με τα αντίστοιχα αναλογικά συστήματα, να υπερτερούν σε θέματα

αξιοπιστίας, ευστάθειας, ευελιξίας στον έλεγχο και σε αρκετές περιπτώσεις και σε θέματα κόστους, όγκου και βάρους.

2.1.2. Ρυθμιστικά και ακολουθιακά συστήματα

Τα κλειστά συστήματα ελέγχου ανάλογα με τη χρήση τους ταξινομούνται σε δυο βασικές κατηγορίες, τα ρυθμιστικά (regulator systems) και τα ακολουθιακά συστήματα (follow-up systems).

Ρυθμιστικό συστήματα καλείται το σύστημα του οποίου η είσοδος αναφοράς παραμένει σταθερή ή αλλάζει σπανίως. Τα συστήματα αυτού του είδους έχουν ως στόχο τη διατήρηση της τιμής της ελεγχόμενης μεταβλητής, στην τιμή που καθορίζεται από τη συγκεκριμένη είσοδο αναφοράς, ανεξαρτήτως των μεταβολών του φορτίου εγκατάστασης. Παράδειγμα ρυθμιστικών συστημάτων αποτελούν, το σύστημα κεντρικής θέρμανσης μιας κατοικίας, όπου ο θερμοστάτης χώρου για την χειμερινή περίοδο ρυθμίζεται σε μια θερμοκρασία περίπου 18-20°C και η σταθερή αυτή ρύθμιση είναι ιδιαίτερα ικανοποιητική (για τον ελλαδικό χώρο).

Σε αντίθεση με τα ρυθμιστικά, στα ακολουθιακά συστήματα οι αλλαγές της τιμής της εισόδου αναφοράς είναι αρκετές συχνές. Ο στόχος της λειτουργίας ενός ακολουθιακού συστήματος, δεν είναι η σταθερότητα της ελεγχόμενης μεταβλητής σε μια καθορισμένη τιμή, αλλά η μεταβολή της σε πλήρη αντιστοιχία με τις αντίστοιχες μεταβολές της εισόδου αναφοράς. Δηλαδή σε ένα ακολουθιακό σύστημα, η ελεγχόμενη μεταβλητή ακολουθεί τις μεταβολές του σήματος εισόδου. Το σύστημα ελέγχου θέσης ραντάρ ή ενός ρομποτικού βραχίονα, το σύστημα προσανατολισμού με τον ήλιο της επιφάνειας ενός

ηλιακού συλλέκτη, αποτελούν παραδείγματα ακολουθιακών συστημάτων.

2.1.3. Σερβομηχανισμοί

Τα συστήματα ελέγχου κλειστού βρόχου στα οποία η ελεγχόμενη μεταβλητή ως μέγεθος έχει διαστάσεις θέσης, ταχύτητας ή επιτάχυνσης, καλούνται σερβομηχανισμοί. Ανάλογα με το είδος λειτουργίας τους οι σερβομηχανισμοί μπορούν να ανήκουν σε μια από τις δυο προηγούμενες κατηγορίες. Το υδραυλικό τιμόνι είναι ένα παράδειγμα σερβομηχανισμού.

2.1.4. Διαδοχικός έλεγχος

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα συστήματα εκείνα τα οποία πραγματοποιούν ένα σύνολο λειτουργιών κατά ένα συγκεκριμένο τρόπο, δηλαδή λειτουργιών βάσει χρονικού προγράμματος. Ανάλογα με το πώς γίνεται η έναρξη και η παύση των διαφόρων εντολών (λειτουργιών), τα συστήματα αυτά ταξινομούνται σε δυο κατηγορίες.

Τα συστήματα των οποίων οι διάφορες λειτουργίες ενεργοποιούνται βάσει κάποιου γεγονότος το οποίο λαμβάνει χώρα π.χ το πάτημα ενός μπουτόν, το κλείσιμο ενός τερματικού διακόπτη κ.λ.π.

Τα συστήματα εκείνα στα οποία η χρονική στιγμή ενεργοποίησης της κάθε εντολής καθώς και η διάρκεια της, καθορίζονται βάσει του προγράμματος. Το σύστημα

σηματοδότησης της κυκλοφορίας, το πλυντήριο ρούχων, ο φούρνος μικροκυμάτων κ.λ.π., αποτελούν παραδείγματα τέτοιων συστημάτων.

2.1.5. Αριθμητικός έλεγχος

Ο αριθμητικός έλεγχος, χρησιμοποιεί προκαθορισμένες εντολές για τον έλεγχο της κίνησης των εξαρτημάτων μηχανών στη βιομηχανία κατασκευών. Οι εντολές είναι συνήθως κωδικοποιημένες σε συμβολικό πρόγραμμα.

Οι εφαρμογές του αριθμητικού ελέγχου, εκτείνονται σε πλήθος βιομηχανικών κατασκευών, π.χ. μηχανές διάτρησης, λείανσης, κοπής, περιτύλιξης κ.λ.π.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΝΑΛΟΓΙΚΩΝ ΕΛΕΓΚΤΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

3.1. Εισαγωγή

Κατά την σχεδίαση ενός συστήματος ελέγχου, ο επιθυμητός στόχος είναι η υπό έλεγχο εγκατάσταση να λειτουργεί όσο το δυνατό περισσότερο ικανοποιητικά, με βάση καθορισμένα τεχνο-οικονομικά κριτήρια που καθορίζονται από συγκεκριμένες προδιαγραφές λειτουργίας και οι οποίες έχουν άμεση σχέση με την ποιότητα του τελικού προϊόντος.

Για να επιτευχθούν τα παραπάνω, στις περισσότερες περιπτώσεις είναι απαραίτητη η προσθήκη της βαθμίδας ελέγχου ή τον ελεγκτή. Με τον τρόπο αυτό θα μπορέσουμε να τροποποιήσουμε ορισμένα χαρακτηριστικά που αφορούν τη στατική και τη δυναμική συμπεριφορά της υπό έλεγχο εγκατάστασης, ώστε να ικανοποιούνται οι λειτουργικές προδιαγραφές.

Ο ελεγκτής είναι ένα στοιχείο ή συσκευή, που συγκρίνει την πραγματική τιμή της εξόδου ενός συστήματος με την επιθυμητή τιμή, βρίσκει την απόκλιση (διαφορά) και παράγει ένα σήμα ελέγχου, το οποίο έχει ως σκοπό τη μείωση ή το μηδενισμό της αποκλίσεως.

Το πρόβλημα λοιπόν ανάγεται , αφενός στην επιλογή του κατάλληλου ελεγκτή και αφετέρου στη ρύθμιση των παραμέτρων που υπεισέρχονται, ώστε να ικανοποιηθούν κατά το μέγιστο δυνατό οι προδιαγραφές λειτουργίας της υπό έλεγχο εγκατάστασης.

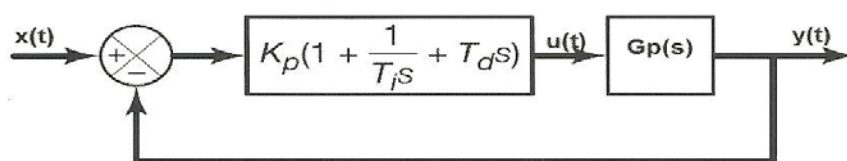
Υπάρχουν πολλά είδη ελεγκτών με διαφορετικό τρόπο ενσωμάτωσης τους στα συστήματα αυτομάτου ελέγχου. Όσον αφορά την τοποθέτηση τους στο σύστημα μπορούν να τοποθετηθούν σε σειρά ή στο βρόχο ανάδρασης. Η κατάλληλη επιλογή βασίζεται σε καθαρά τεχνο-οικονομικά κριτήρια, όπως οι προδιαγραφές λειτουργίας της υπό έλεγχο εγκατάστασης, το

επίπεδο ισχύος στα διάφορα μέρη του συστήματος, τη φύση των σημάτων κ.λ.π. Σε γενικές γραμμές, η τοποθέτηση του ελεγκτή σε σειρά αν και απαιτεί υψηλό κέρδος είναι απλούστερη από αυτή στον βρόχο ανάδρασης και αποτελεί την πιο συνηθισμένη μορφή στον κλασικό έλεγχο. Ανάλογα με τις ιδιότητες του συστήματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφοροι συνδυασμοί των παρακάτω ελεγκτών :

- Ελεγκτές δύο θέσεων (ON-OFF controllers)
- Αναλογικοί ελεγκτές (Proportional controllers)
- Ολοκληρωτικοί ελεγκτές (Integral controllers)
- Διαφορικοί ελεγκτές (Derivative controllers)
- Αναλογικο-ολοκληρωτικό ελεγκτές (PI controllers)
- Αναλογικο-διαφορικό ελεγκτές (PD controllers)
- Αναλογικο-ολοκληρωτικο-διαφορικό ελεγκτές (PID controllers)

Ο συχνότερα χρησιμοποιημένος ελεγκτής σε πραγματικές βιομηχανικές εφαρμογές (σε ποσοστό έως 90%) είναι ο ελεγκτής PID ή αλλιώς ελεγκτής τριών όρων.

Γενικά κάθε κλειστό σύστημα με ελεγκτή σειράς έχει τη δομή του σχήματος 3.1:



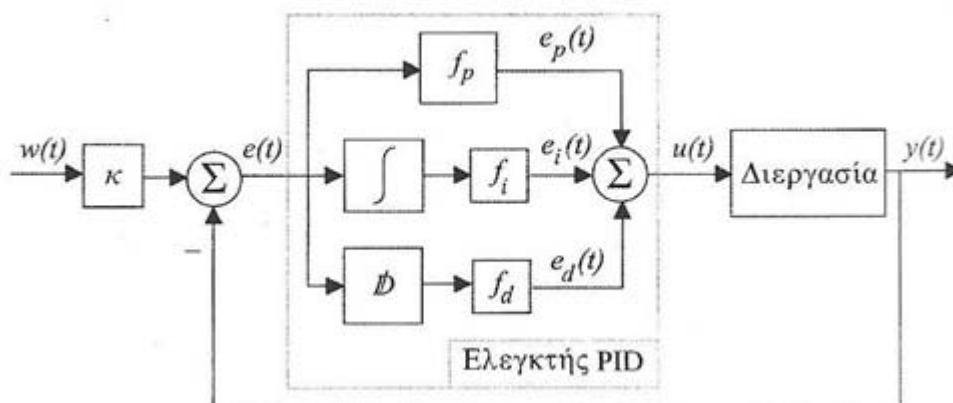
Σχήμα 3.1

Η $G_p(s)$ είναι η συνάρτηση μεταφοράς του υπό έλεγχο συστήματος και η $G_c(s)$ είναι η συνάρτηση μεταφοράς του ελεγκτή τριών όρων.

Ο ελεγκτής τριών όρων περιγράφεται από το νόμο ελέγχου:

$$u(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) = PID$$

όπου $u(t)$ είναι η μεταβλητή ελέγχου (control variable) και αποτελεί την έξοδο του ελεγκτή και είσοδο της διαδικασίας. Το $e(t) = y_{\text{set point}} - y(t) = y_{\text{sp}} - y(t)$ είναι το σφάλμα (error) δηλαδή η διαφορά ανάμεσα στην επιθυμητή τιμή της εισόδου (SET POINT) και σε εκείνης της πραγματικής εξόδου που μετρήθηκε από το αισθητήριο της διαδικασίας υπό έλεγχο. Η μεταβλητή ελέγχου, δηλαδή η έξοδος του ελέγχου (output of the control process) είναι το άθροισμα των τριών όρων: του αναλογικού όρου P (δηλαδή ανάλογο του σφάλματος), του ολοκληρωτικού όρου I (δηλαδή ανάλογο του ολοκληρώματος του σφάλματος) και του διαφορικού όρου (δηλαδή ανάλογο της παραγώγου του σφάλματος). Στο σχήμα 3.2 απεικονίζεται το δομικό διάγραμμα του ελεγκτή τριών όρων.



Σχήμα 3.2

Οι παράμετροι ενός βιομηχανικού ελεγκτή τριών όρων είναι:

1. Το αναλογικό κέρδος K_p (Proportional Gain)
2. Ο χρόνος ολοκλήρωσης T_i (Integral Action Time)
3. Ο χρόνος παραγώγισης T_d (Derivative Action Time)

Χαρακτηριστικά των ελεγκτών P-I-D:

- Η χρησιμοποίηση ενός αναλογικού ελεγκτή (P) έχει ως αποτέλεσμα τη ελάττωση του χρόνου ανύψωσης (κάνει το σύστημα πιο γρήγορο) αλλά δεν μπορεί ποτέ να εξαλείψει το μόνιμο σφάλμα.
- Ο ολοκληρωτικός όρος (I) θα εξαλείψει το μόνιμο σφάλμα αλλά θα χειροτερέψει την μεταβατική απόκριση (ο αριθμός των ταλαντώσεων μέχρι τη τελική ισορροπία του συστήματος)
- Ο διαφορικός όρος (D) θα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της σταθερότητας του συστήματος, μειώνοντας την υπερύψωση και βελτιώνοντας την μεταβατική απόκριση.

Τα αποτελέσματα της επίδρασης καθενός από τους τρεις όρους σε ένα σύστημα κλειστού βρόχου, συνοψίζονται στον πίνακα 3.1 και εξηγούνται αναλυτικότερα παρακάτω.

Πίνακας 3.1

Τύπος ελεγκτή	Χρόνος Ανόδου	Υπερύψωση	Χρόνος Αποκατάστασης	Μόνιμο Σφάλμα
P	Μείωση	Αύξηση	Μικρή Αλλαγή	Μείωση
I	Μείωση	Αύξηση	Αύξηση	Εξάλειψη
D	Μικρή Αλλαγή	Μείωση	Μείωση	Μικρή Αλλαγή

3.1.1. Ελεγκτές δυο θέσεων (ON-OFF)

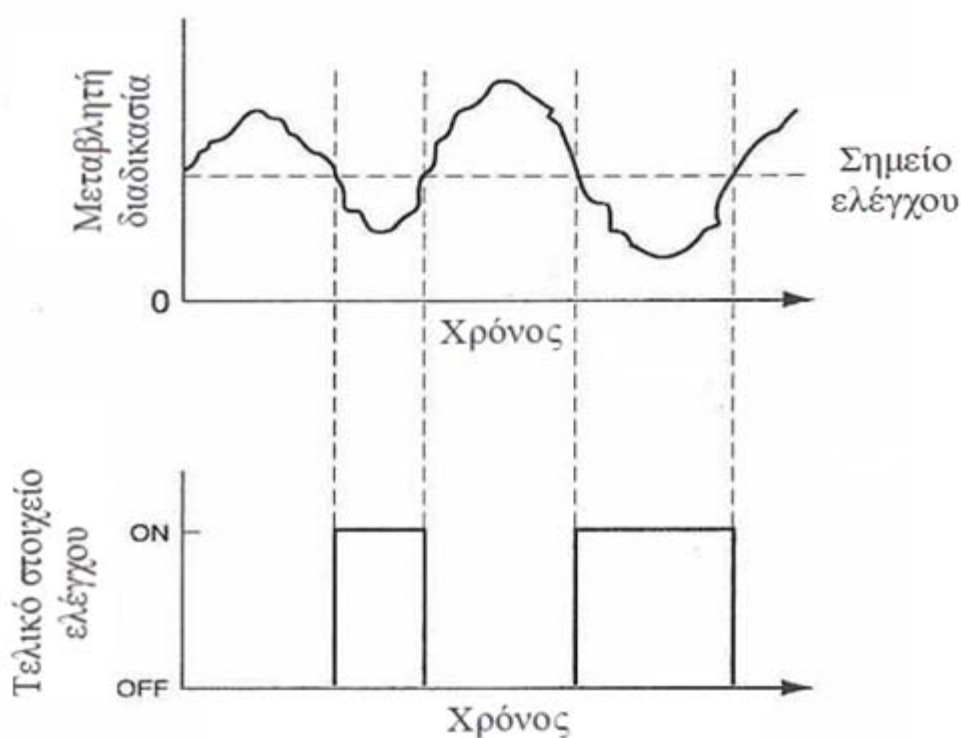
Ο ON-OFF ελεγκτής ή ελεγκτής δύο θέσεων επιτρέπει ανάλογα με το σήμα ελέγχου, μόνο δυο ενέργειες, δηλαδή

άνοιγμα ή κλείσιμο. Μια περίπτωση όταν η τιμή της μετρούμενης μεταβλητής είναι πάνω από το επιθυμητό σημείο και η άλλη όταν η τιμή είναι κάτω από το επιθυμητό σημείο (που έχει ορίσει ο χρήστης). Ο ελεγκτής δεν κρατάει ποτέ το τελικό στοιχείο ελέγχου σε μια ενδιάμεση θέση. Στο σχήμα 3.3 βλέπουμε ένα ελεγκτή θερμοκρασίας δύο θέσεων.



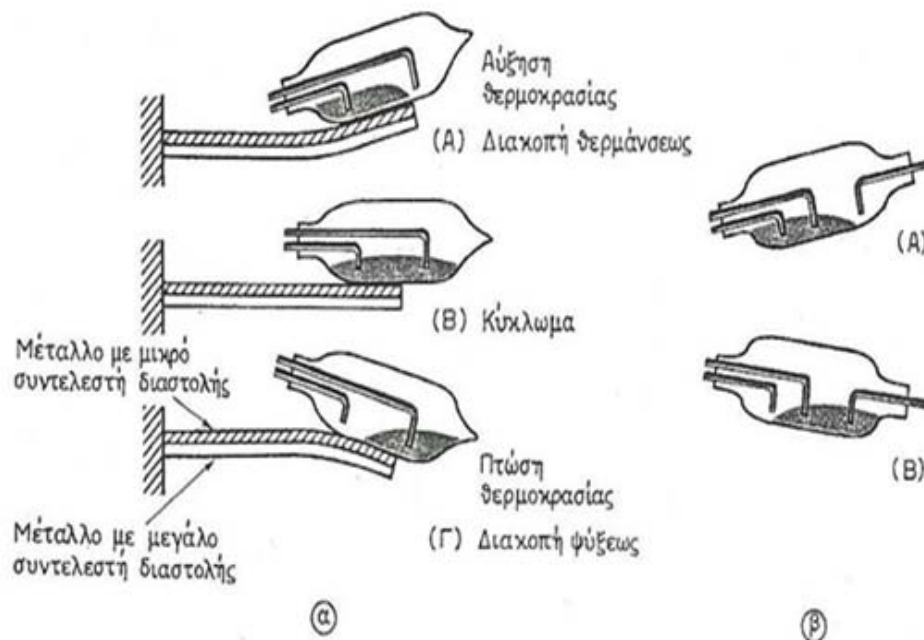
Σχήμα 3.3 Ελεγκτής θερμοκρασίας δύο θέσεων

Στο σχήμα 3.4 παρουσιάζεται ένας πιο απλός τρόπος λειτουργίας για τον ON-OFF ελεγκτή. Όταν η μετρούμενη μεταβλητή είναι πάνω από το σημείο ελέγχου, το τελικό στοιχείο ελέγχου κλείνει. Θα παραμείνει κλειστό μέχρι η μεταβλητή πάει κάτω από το σημείο ελέγχου. Τότε, το τελικό στοιχείο ελέγχου θα ανοίξει.



Σχήμα 3.4 Απλούστερος τρόπος ελέγχου του on-off ελεγκτή

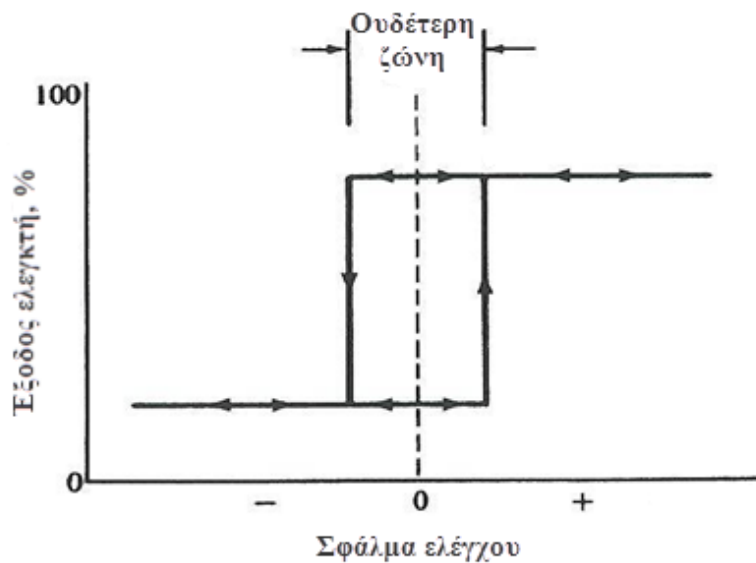
Λόγω του χαμηλού κόστους, χρησιμοποιείται πολύ συχνά σε βιομηχανικά συστήματα αυτομάτου ελέγχου καθώς και σε πολλά άλλα συστήματα της καθημερινής χρήσεως. Παραδείγματα ελεγκτή δυο θέσεων είναι το σύστημα κλιματισμού αλλά και ο γνωστός σε όλους μας θερμοστάτης χώρου, στον οποίο μέσω διμεταλλικού ελάσματος γίνεται η σύγκριση της πραγματικής και της επιθυμητής θερμοκρασίας και μέσω μιας κατάλληλης επαφής (ON-OFF) που διαθέτει, επιτυγχάνεται η διορθωτική δράση. Οι περισσότεροι ελεγκτές αυτού του τύπου χρησιμοποιούν το σύστημα της διμεταλλικής ράβδου σε συνδυασμό με ένα διακόπτη υδραργύρου όπως φαίνετε στο σχήμα 3.5.



Σχήμα 3.5 Λειτουργία διμεταλλικού ελεγκτή με διακόπτη υδραργύρου

Στο πρώτο μέρος του σχήματος παριστάνεται ένας διακόπτης με δυο ακροδέκτες και στο δεύτερο μέρος ένας διακόπτης με τρεις ακροδέκτες. Η διμεταλλική ράβδος είναι ένας μεταλλάκτης, ο οποίος αποτελείται από δυο ενσωματωμένα μέταλλα με μεγάλη διαφορά συντελεστών θερμικής διαστολής μεταξύ τους. Όταν το μέταλλο με το μεγάλο συντελεστή διαστολής βρίσκεται από κάτω, με την πτώση της θερμοκρασίας, η ράβδος κάμπτεται προς τα κάτω, ενώ με αύξηση της θερμοκρασίας, κάμπτεται προς τα πάνω.

Η χαρακτηριστική εισόδου-εξόδου ενός τυπικού ελεγκτή δύο θέσεων, δείχνεται στο σχήμα 3.6.



Σχήμα 3.6 Χαρακτηριστική εισόδου-εξόδου ενός ελεγκτή δυο θέσεων

Οι περισσότεροι ελεγκτές δύο θέσεων έχουν μια ουδέτερη ζώνη για να αποτρέψουν την άσκοπη χρήση. Η ουδέτερη ζώνη (neutral zone), η οποία είναι συνήθως συμμετρική, είναι μια περιοχή τιμών του σφάλματος ελέγχου γύρω από το μηδέν εντός της οποίας η έξοδος του ελεγκτή αδρανεύει. Η έξοδος αλλάζει κατάσταση (προς τη μία ή την άλλη κατεύθυνση), όταν η απόλυτη τιμή του σφάλματος ξεπεράσει τα όρια της ουδέτερης ζώνης.

Με το συγκεκριμένο ελεγκτή η υπό έλεγχο εγκατάσταση δέχεται παλμούς ενέργειας, οι οποίοι έχουν σαν αποτέλεσμα την ταλάντωση της ελεγχόμενης μεταβλητής. Το μέγεθος των ταλαντώσεων αυτών επηρεάζονται άμεσα από την χωρητικότητα και την καθυστέρηση νεκρού χρόνου της εγκατάστασης, καθώς επίσης και από το μέγεθος των μεταβολών του φορτίου της.

Λόγω της εμφάνισης ταλαντώσεων ο ON-OFF ελεγκτής χρησιμοποιείται σε διαδικασίες με αρκετά μεγάλη χωρητικότητα έτσι ώστε η ταλάντωση να ελαττώνεται σε ένα αποδεκτό επίπεδο. Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι:

Τα πλεονεκτήματα του on-off ελεγκτή είναι:

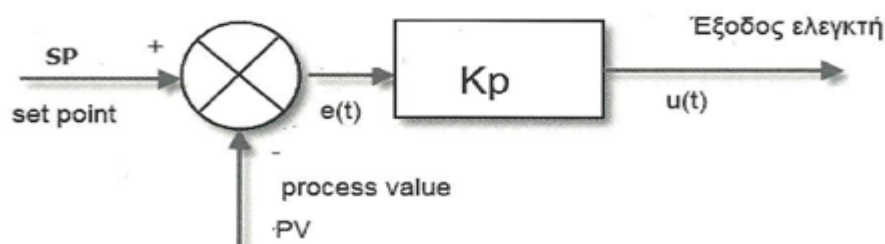
- Απλό και χαμηλού κόστους κύκλωμα οδήγησης. Αποτελεί μια καλή λύση για μη κρίσιμες εφαρμογές.
- Ελάχιστη σχετικά κατανάλωση.
- Λειτουργεί για ευρείες περιοχές λειτουργίας (τάσης, θερμοκρασίας κ.τ.λ.).
- Απαιτεί ελάχιστη ρύθμιση.

Τα μειονεκτήματα του on-off ελεγκτή είναι:

- Διαχειρίζεται μεγάλα ρεύματα εκκίνησης κατά την εκκίνηση (κατάσταση ON, start up) και άρα απαιτεί στοιχεία δράσης σχεδιασμένα για μεγαλύτερα ρεύματα.
- Μειώνει την αξιοπιστία οδήγησης εξόδου του συστήματος λόγω βλαβών.

3.1.2. Ελεγκτής τύπου P

Ο ελεγκτής-P έχει απλή κατασκευή και επομένως μικρό κόστος. Με την κατάλληλη επιλογή του αναλογικού όρου (K_p) του ελεγκτή τύπου P (σχήμα 3.7) εξαλείφονται οι ταλαντώσεις στη μόνιμη κατάσταση και σταθεροποιείται το σήμα εξόδου του κλειστού συστήματος.



Σχήμα 3.7 Ελεγκτής P

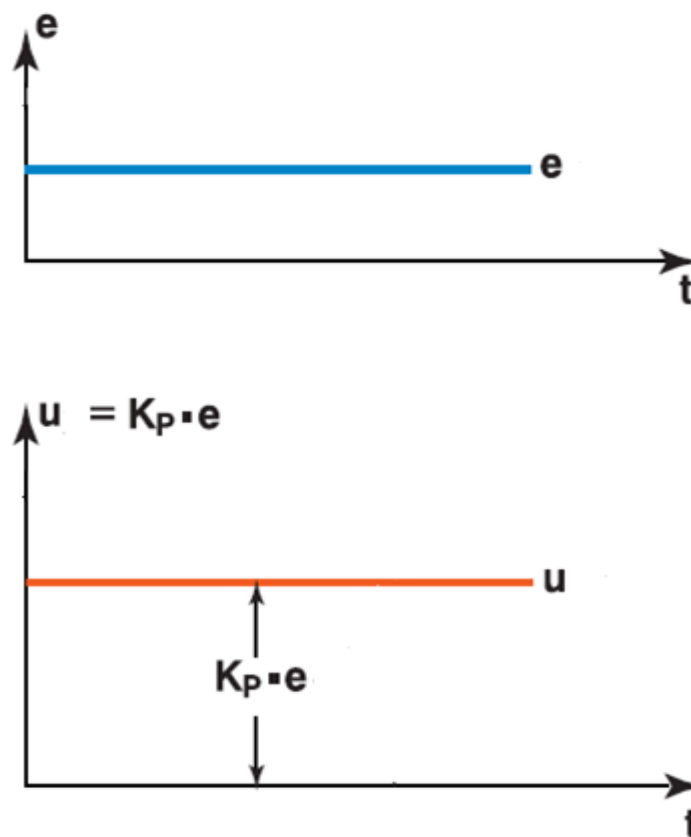
Από την παρατήρηση της χρονικής απόκρισης (σχήμα 3.8) προκύπτει ότι το σήμα εξόδου του ελεγκτή $u(t)$ είναι ανάλογο του σήματος εισόδου $e(t)$.

Επομένως, ισχύει η σχέση που περιγράφει την συμπεριφορά του ελεγκτή μεταξύ εισόδου και εξόδου:

$$u(t) = K_p e(t)$$

ή αν πάρουμε το μετασχηματισμό Laplace, έχουμε τη σχέση μεταφοράς:

$$G_c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p$$



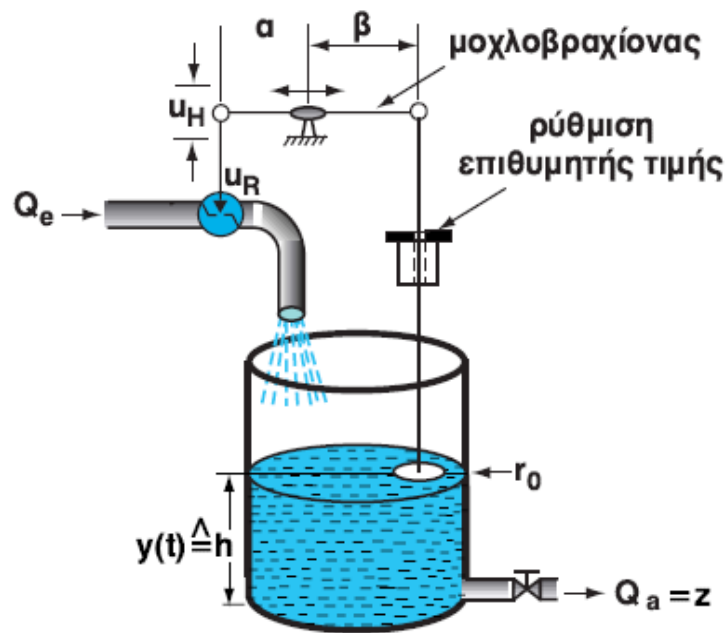
Σχήμα 3.8 Βηματική χρονική απόκριση ελεγκτή-P

Από την παραπάνω χρονική απόκριση του ελεγκτή διαπιστώνει κανείς εύκολα, ότι ο ελεγκτής-P:

- Είναι ένας γρήγορος ελεγκτής και αντιδρά στις διαταραχές χωρίς χρονική καθυστέρηση.
- Επιπλέον χρειάζεται πάντα ένα σήμα (σφάλμα) στην είσοδο του, για να λειτουργήσει και γι' αυτό χρησιμοποιείται εκεί που δεν απαιτείται ακριβής έλεγχος.

Το σοβαρό μειονέκτημα του αναλογικού ελεγκτή είναι το ότι αδυνατεί να εξαλείψει πλήρως το σφάλμα ελέγχου, με αποτέλεσμα την ύπαρξη μόνιμου σφάλματος. Στις περιπτώσεις που απαιτείται πλήρης μηδενισμός του σφάλματος το σύστημα θα πρέπει να είναι εφοδιασμένο με χειροκίνητη δευτερεύουσα ρύθμιση. Για παράδειγμα ας αναφέρουμε ένα κινητήρα Σ.Ρ. ξένης διέγερσης, στον οποίο γίνεται έλεγχος στροφών μέσω της τάσης του τυλίγματος τυμπάνου. Σε περίπτωση που για κάποιο λόγο αυξηθεί το φορτίο στον άξονα του, τότε για να ανταποκριθεί το σύστημα στη νέα λειτουργική κατάσταση, θα πρέπει να γίνει αύξηση στην τάση τροφοδοσίας και κατ' επέκταση, στην παραγόμενη ηλεκτρική ροπή.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ένα μηχανικό σύστημα αυτομάτου ελέγχου στάθμης υγρού. Η ελεγχόμενη μεταβλητή $y(t)$ είναι το ύψος της στάθμης του υγρού στο δοχείο. Ρυθμιστικό σήμα U_R είναι το άνοιγμα (H) της βαλβίδας. Η εκροή του νερού Q_a δρα σαν διαταραχή (z). Το ύψος (h) της δεξαμενής μετريέται με τη βοήθεια του πλωτήρα. Όταν η στάθμη του νερού ανεβαίνει, τότε αντίστοιχα η βάνα με τη βοήθεια του μοχλοβραχίονα κλείνει το άνοιγμα της ροής του νερού. Αντίθετα, όταν έχουμε εκροή του νερού της δεξαμενής, η βαλβίδα με τη βοήθεια του μοχλού ανοίγει την οπή και έτσι έχουμε μεγαλύτερη εισροή του υγρού. Η επιθυμητή στάθμη ρυθμίζεται με αύξηση ή με μείωση του μήκους του πλωτήρα.



Σχήμα 3.9 Μηχανικό σύστημα αυτομάτου ελέγχου στάθμης

3.1.3. Ελεγκτής τύπου I

Όπως φάνηκε προηγουμένως, ο αναλογικός έλεγχος καταλήγει σε μόνιμο σφάλμα μεταξύ της επιθυμητής και πραγματικής εξόδου του συστήματος γεγονός που είναι γενικώς ανεπιθύμητο.

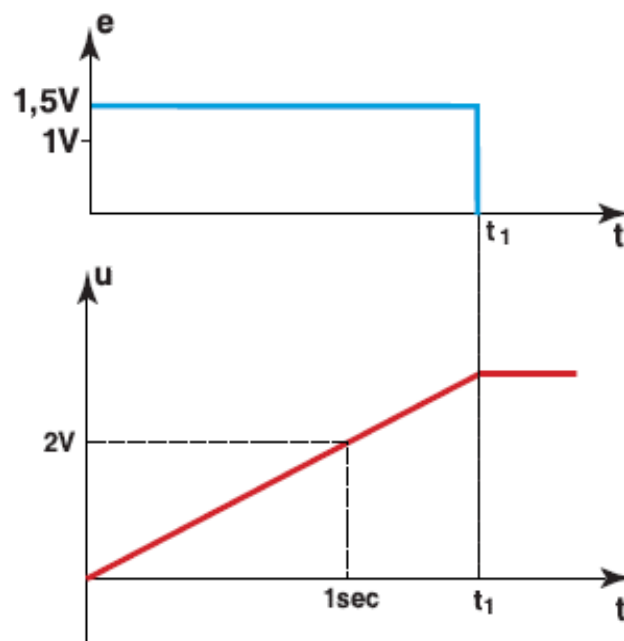
Ένας αποτελεσματικός τρόπος εξάλειψης του μόνιμου σφάλματος είναι η προσθήκη ενός ολοκληρωτικού όρου στη συνάρτηση μεταφοράς του ελεγκτή. Αυτό επιτυγχάνεται με την αριθμητική ολοκλήρωση. Η εξίσωση που περιγράφει τη συμπεριφορά του ελεγκτή μεταξύ εισόδου και εξόδου είναι:

$$u(t) = K_i \int e(t) dt = \frac{K_p}{T_i} \int e(t) dt$$

ή από τη συνάρτηση μεταφοράς:

$$G_c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = \frac{K_i}{s}$$

Η λειτουργία του ελεγκτή γίνεται περισσότερο κατανοητή από την παρακάτω βηματική χρονική απόκριση.



Σχήμα 3.10 Βηματική χρονική απόκριση του ελεγκτή-I

Παρατηρώντας το σχήμα 3.10 διαπιστώνουμε ότι:

- Ενώ το σήμα στην είσοδο μεταβάλλεται απότομα, το ρυθμιστικό σήμα U μεταβάλλεται αργά. Ο ελεγκτής I είναι αργός.
- Όσο χρονικό διάστημα υπάρχει σφάλμα στην είσοδο του ελεγκτή, η έξοδος του (U) συνεχώς ανεβαίνει. Επομένως και το τελικό στοιχείο ελέγχου αυξάνει αντίστοιχα τη ροή της ενέργειας προς το ελεγχόμενο σύστημα.

- Το σύστημα εξόδου U του ελεγκτή διατηρεί την τελευταία του τιμή, ακόμη και όταν το σήμα εισόδου (το σφάλμα) έχει μηδενιστεί.

Αυτό σημαίνει ότι σε ένα κλειστό σύστημα αυτομάτου ελέγχου το ρυθμιστικό σήμα θα αυξάνει συνεχώς, μέχρις ότου μηδενιστεί το σφάλμα.

Το μειονέκτημα στον ολοκληρωτικό ελεγκτή είναι ότι αυξάνεται ο χρόνος αποκατάστασης t_s του συστήματος δηλαδή πόσο γρήγορα θα φθάσει το σύστημα στην έξοδο κάνοντας τον αργό. Αυτό οφείλεται στην προσθήκη ενός επιπλέον πόλου στο μιγαδικό επίπεδο. Η προσθήκη αυτή έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του τύπου του συστήματος κατά ένα και ως εκ τούτου εάν το αρχικό σύστημα ήταν τύπου '0' γίνεται τύπου '1'.

Από την άλλη πλευρά η προσθήκη του συγκεκριμένου πόλου έχει ως αποτέλεσμα την προς τα δεξιά μετατόπιση του αρχικού γεωμετρικού τόπου ριζών, γεγονός το οποίο αφενός κάνει το σύστημα πιο αργό και αφετέρου χειροτερεύει τη σχετική του ευστάθεια. Δηλαδή, ο μηδενισμός του σφάλματος γίνεται σε βάρος της ταχύτητας απόκρισης και της ευστάθειας του συστήματος.

Εξαιτίας των ιδιοτήτων που αναφέρθηκαν παραπάνω, ο ελεγκτής-Ι χρησιμοποιείται σε σύστημα αυτομάτου ελέγχου όπου απαιτείται ακριβής έλεγχος.

3.1.4. Ελεγκτής τύπου D

Στόχος του διαφορικού όρου του ελεγκτή τύπου D είναι κυρίως η αύξηση της ευστάθειας του κλειστού συστήματος και η βελτίωση συμπεριφοράς της βηματικής απόκρισης του

συστήματος. Στις περισσότερες βιομηχανικές διαδικασίες υπάρχει έμφυτα κάποια αδράνεια και καθυστέρηση της απόκρισης μετά από διέγερση. Έτσι με τον όρο παραγωγισμού ουσιαστικά γίνεται πρόβλεψη της εισόδου της διαδικασίας ώστε να της δώσει ευκαιρία να αντιδράσει έγκαιρα σε σφάλματα. Η εξίσωση που περιγράφει τη συμπεριφορά του ελεγκτή μεταξύ εισόδου και εξόδου είναι:

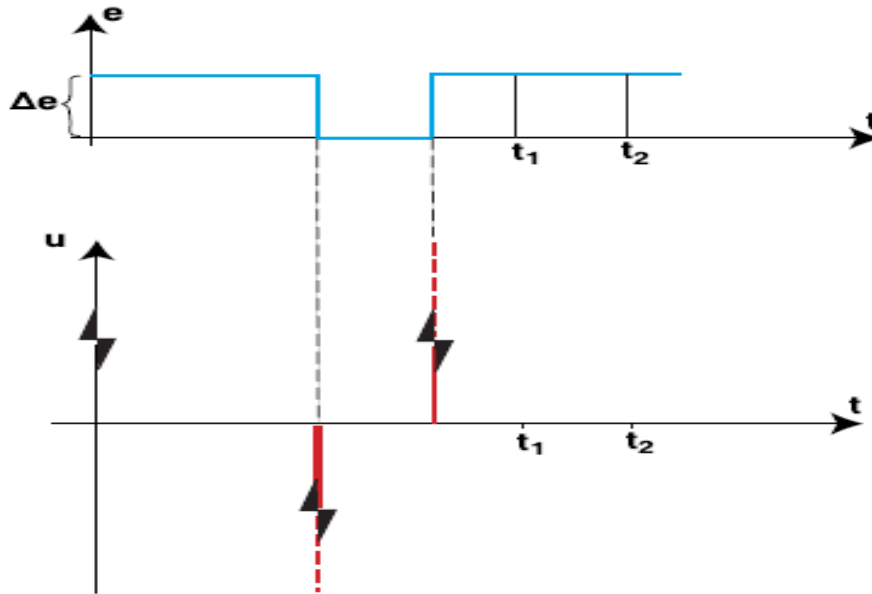
$$u(t) = K_d \frac{d(e(t))}{dt} = K_p T_d \frac{d(e(t))}{dt}$$

ή από τη συνάρτηση μεταφοράς:

$$G_c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_d s$$

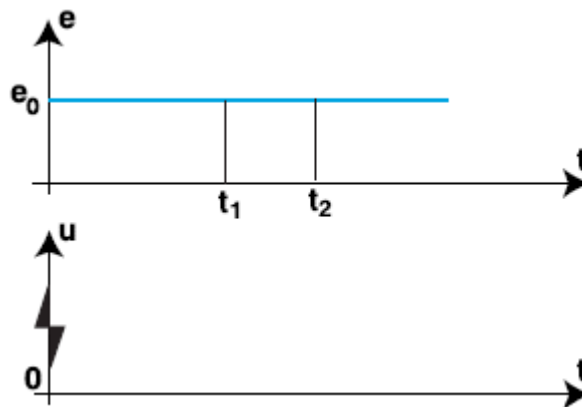
Ο διαφορικός όρος εισάγει ένα πρόσθετο μηδενικό στο γεωμετρικό τόπο ριζών του συστήματος στην αρχή των αξόνων, βελτιώνοντας μεν την ταχύτητα απόκρισης αλλά αυξάνοντας δε την πιθανότητα ύπαρξης μόνιμου σφάλματος, λόγω της μείωσης του τύπου του συστήματος.

Διαβάζοντας την εξίσωση του ελεγκτή τύπου D παρατηρούμε ότι, όταν η μεταβολή του σήματος εισόδου (Δe) λαμβάνει χώρα σε χρόνο που τείνει στο μηδέν, το σήμα στην έξοδο τείνει στο άπειρο.



Σχήμα 3.11 Βηματική χρονική απόκριση του ελεγκτή-D

Αντίθετα, όταν το σήμα στην είσοδο είναι σταθερό, τότε έχουμε:



Σχήμα 3.12 Βηματική χρονική απόκριση του ελεγκτή-D

Παρατηρούμε ότι:

- Όταν το σήμα εισόδου του ελεγκτή-D είναι σταθερό, τότε η έξοδος είναι μηδέν.
- Άρα, ο ελεγκτής-D χρησιμοποιείται, όταν η ελεγχόμενη μεταβλητή εμφανίζει απότομες μεταβολές. Για παράδειγμα αν έχουμε ένα σταθερό σφάλμα -3 θα

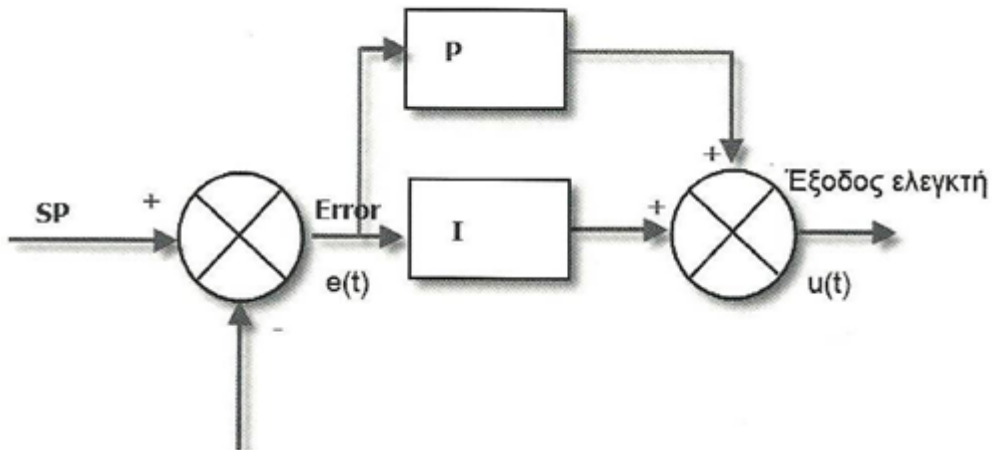
αντιμετωπιστεί από τους P και I ελεγκτές χωρίς να εμπλακεί ο όρος D. Μια σειρά σφαλμάτων στην ίδια τιμή δεν παρουσιάζει καμία αλλαγή. Αν όμως έχουμε μεταβολή στο σφάλμα από -3 στο +4 τότε θα έχουμε την αντίδραση του ελεγκτή. Λόγω αυτής της συμπεριφοράς του ο ελεγκτής δεν χρησιμοποιείται ποτέ μόνος ως ελεγκτής αλλά πάντοτε σε συνδυασμό με τον αναλογικό ή αναλογικό-ολοκληρωτικό.

Το σημαντικό μειονέκτημα στη χρήση του διαφορικού όρου προέρχεται από την ενίσχυση του θορύβου της μέτρησης. Αυτός είναι και ο σημαντικότερος λόγος που αποφεύγεται η χρήση του. Για να ξεπεραστεί το πρόβλημα αυτό συνηθίζεται να χρησιμοποιείται κάποιο φίλτρο σε συνδυασμό με την παραγωγή.

3.1.5. Ελεγκτής τύπου *PI*

Μέχρι τώρα γνωρίσαμε την συμπεριφορά των απλών ελεγκτών. Απομένει, λοιπόν να γνωρίσουμε το συνδυασμό αυτών των ελεγκτών. Ο ελεγκτής-P, ως γνωστόν, μειονεκτεί, διότι δεν μπορεί να μηδενίσει το σφάλμα. Αυτό το μειονέκτημα έρχεται να εξουδετερώσει ο ελεγκτής-I. Όμως ο ελεγκτής-I είναι αργός. Το μειονέκτημα αυτό έρχεται να εξουδετερώσει ο ελεγκτής-P.

Ο συνδυασμός λοιπόν των ελεγκτών-P και-I μας δίνει ένα νέο ελεγκτή (σχήμα 3.13), ο οποίος εμφανίζει τα πλεονεκτήματα των απλών ελεγκτών χωρίς τα μειονεκτήματά τους και γι' αυτό χρησιμοποιείται όπου απαιτείται ταχεία, ακριβής ρύθμιση.



Σχήμα 3.13 Ελεγκτής PI

Η εξίσωση που περιγράφει τη συμπεριφορά του ελεγκτή μεταξύ εισόδου και εξόδου είναι:

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int e(t) dt$$

ή από τη συνάρτηση μεταφοράς:

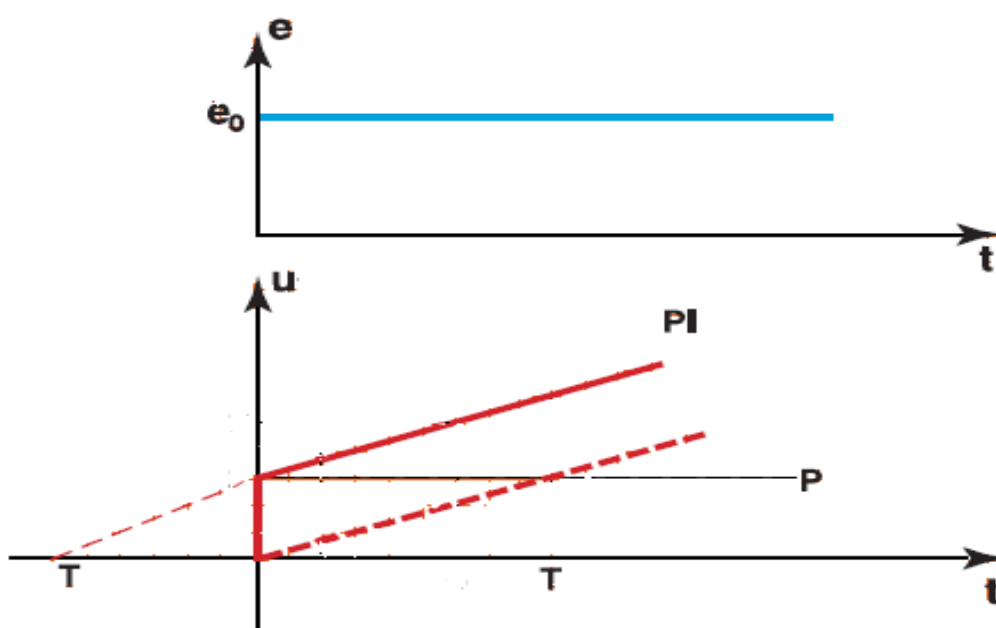
$$G_c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p + \frac{K_i}{s} = \frac{sK_p + K_i}{s} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right)$$

Επομένως ο PI ελεγκτής προσθέτει στο γεωμετρικό τόπο ριζών του συστήματος ένα πόλο στην αρχή των αξόνων καθώς επίσης και ένα επιπλέον μηδενικό $s = -\frac{K_i}{K_p}$. Η προσθήκη του

ελεύθερου ολοκληρωτή, αυξάνει τον τύπο του συστήματος κατά ένα, με αποτέλεσμα το μηδενισμό του μόνιμου σφάλματος για βηματικές διαταραχές τουλάχιστον.

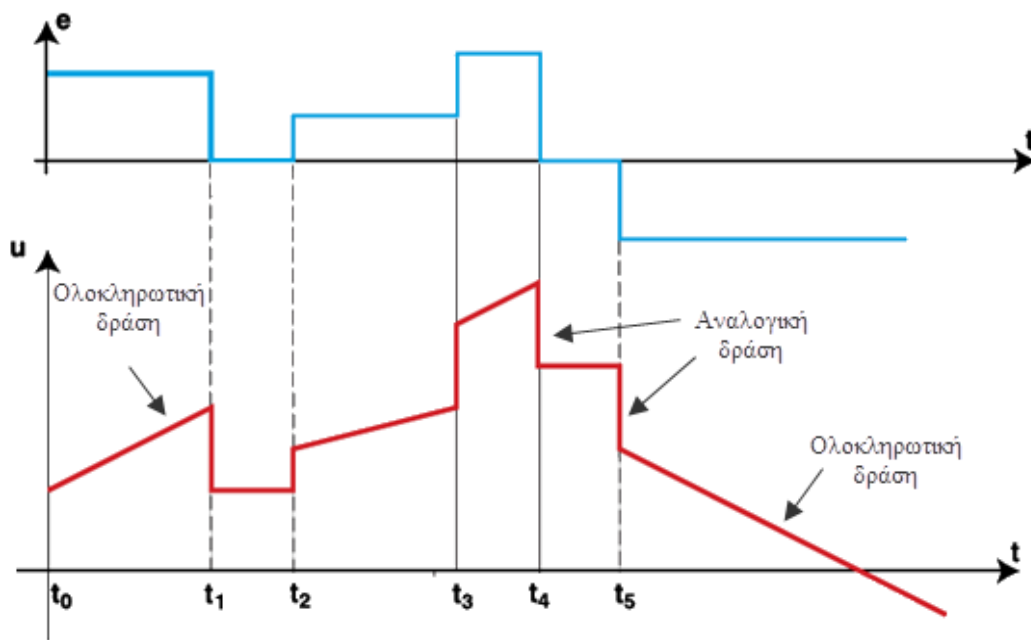
Η δυναμική συμπεριφορά του ελεγκτή-PI εξετάζεται συνήθως με τη βηματική διέγερση (σχήμα 3.14).

Το T_i είναι ο χρόνος που χρειάζεται η έξοδος του ελεγκτή-I, για να φθάσει στην ίδια τιμή με την έξοδο του ελεγκτή-P. Όσο μικρότερος είναι ο χρόνος T_i τόσο γρηγορότερος είναι ο ελεγκτής. Οι μεταβολές του χρόνου T_i έχουν ενισχυτική δράση στην συμπεριφορά του ελεγκτή. Δηλαδή ένας μικρός χρόνος T_i δημιουργεί μεγάλη ενίσχυση.



Σχήμα 3.14 Βηματική χρονική απόκριση του ελεγκτή-PI

Για να αντιληφθούμε καλύτερα τη συμπεριφορά του ελεγκτή τον διεγείρουμε με ένα μεταβλητό σήμα και παρατηρούμε τις μεταβολές του σήματος εξόδου U (σχήμα 3.15).



Σχήμα 3.15 Σήμα εξόδου του ελεγκτή PI για διάφορες μεταβολές του σήματος εισόδου

Από την παραπάνω χρονική εξέλιξη διαπιστώνουμε τα εξής:

- Σε κάθε μεταβολή του σφάλματος (προς τα πάνω ή προς τα κάτω) έχουμε και μια αντίστοιχη μεταβολή του σήματος εξόδου (U). Αυτό σημαίνει ότι ο ελεγκτής είναι γρήγορος. Αυτή η συμπεριφορά οφείλεται στο στοιχείο-P του ελεγκτή.
- Το σήμα εξόδου (U) ανέρχεται, όταν υπάρχει σφάλμα στην είσοδο.
- Όταν το σφάλμα μηδενίζεται (ελεγχόμενη μεταβλητή= επιθυμητή τιμή), τότε η έξοδος του ελεγκτή-PI σταθεροποιείται. Δηλαδή διατηρεί την τελευταία τιμή, για την οποία μηδενίστηκε το σφάλμα.
- Όταν η ελεγχόμενη μεταβλητή είναι μεγαλύτερη από την επιθυμητή τιμή, τότε το σφάλμα είναι αρνητικό. Στην

περίπτωση αυτή το σήμα εξόδου μειώνεται και μπορεί να πάρει και αρνητικές τιμές (περιοχές $t_5 - t$).

Η προσθήκη του δεύτερου όρου έχει και αρνητικές επιπτώσεις εφόσον αυξάνει το βαθμό του συστήματος. Σημειώνεται ότι κάθε αύξηση του βαθμού της διαδικασίας φέρνει το σύστημα πλησιέστερα στην αστάθεια.

3.1.6. Ελεγκτής τύπου PD

Ο αναλογικός – διαφορικός ελεγκτής επιτρέπει τη λειτουργία του συστήματος υπό έλεγχο με μεγαλύτερες τιμές κέρδους (σε σχέση με τον απλό αναλογικό έλεγχο) περιορίζοντας τις ταλαντώσεις του συστήματος και ελαττώνοντας το σφάλμα στη μόνιμη κατάσταση. Έχουμε επίσης αναφέρει ότι ο ελεγκτής-D δε χρησιμοποιείται μόνος του, αλλά πάντα σε συνδυασμό με άλλους ελεγκτές, όπως σε διαδικασίες με ξαφνικές αλλαγές φορτίου όταν ο αναλογικός ελεγκτής από μόνος του δεν είναι ικανός να περιορίσει το σφάλμα σε ανεκτό επίπεδο. Η εξίσωση που περιγράφει την συμπεριφορά του ελεγκτή μεταξύ εισόδου και εξόδου είναι:

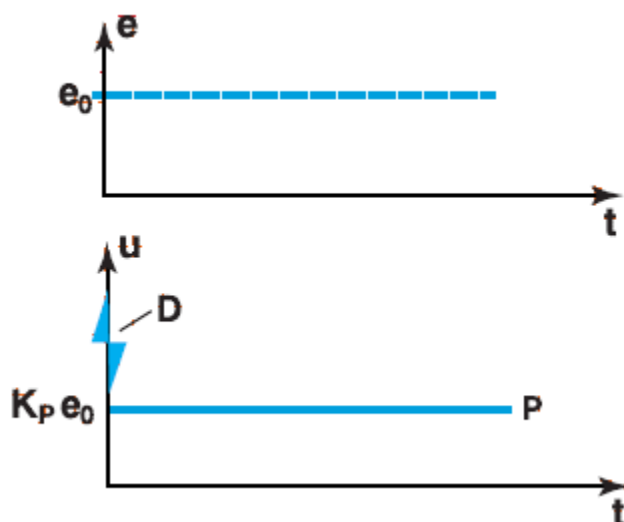
$$u(t) = K_p e(t) + K_d \frac{d(e(t))}{dt}$$

ή από τη συνάρτηση μεταφοράς:

$$G_c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p + K_d s$$

Δηλαδή, ο PD ελεγκτής εισάγει στο γεωμετρικό τόπο ριζών ένα μηδενικό επί του πραγματικού άξονα, προκαλώντας την προς τα αριστερά μετατόπιση του. Αυτός είναι άλλωστε και ο λόγος της μείωσης των ταλαντώσεων και της δυνατότητας αύξησης του αναλογικού κέρδους.

Με βάση την εξίσωση του ελεγκτή μπορούμε να σχεδιάσουμε την βηματική χρονική απόκριση του.



Σχήμα 3.16 Βηματική χρονική απόκριση του ελεγκτή-PD

Παρατηρούμε ότι το σήμα ότι το σήμα εξόδου του ελεγκτή αποτελείται από:

- Το σήμα του ελεγκτή-P το οποίο είναι σταθερό και
- Το σήμα εξόδου του ελεγκτή-D. Το σήμα εξόδου του ελεγκτή-D εμφανίζεται μόνο όταν μεταβάλλεται απότομα το σφάλμα, ενώ όταν το σφάλμα (e) είναι σταθερό, τότε το

$$\text{κλάσμα } \frac{\Delta e}{\Delta t} = 0.$$

Έτσι στην έξοδο του ελεγκτή-PD εμφανίζεται το σήμα του ελεγκτή-P.

Ο ελεγκτής-PD συμπεριφέρεται όπως ο χειριστής ενός αντιαεροπορικού όπλου. Ο χειριστής δε σκοπεύει ακριβώς το

εχθρικό αεροπλάνο, αλλά σ'ένα σημείο μπροστά από το αεροπλάνο. Αν θεωρήσουμε ότι το αεροπλάνο μπορεί στιγμιαία να μεταπηδήσει σε μεγαλύτερη ταχύτητα, τότε το αντιαεροπορικό πρέπει ακαριαία να μετατοπισθεί έτσι, ώστε να στοχεύει σε σημείο πιο μπροστά από το αεροπλάνο. Μπορούμε να πούμε ότι ο ελεγκτής έχει ικανότητες πρόβλεψης.

Στην πράξη ο ελεγκτής-PD εξαιτίας του διαφορικού όρου ενισχύει το θόρυβο ο οποίος μπορεί να εμφανιστεί στη απόκριση του συστήματος και είναι πιθανό να δημιουργηθούν προβλήματα στην περίπτωση που υπάρχουν απότομες αλλαγές στο σήμα αναφοράς.

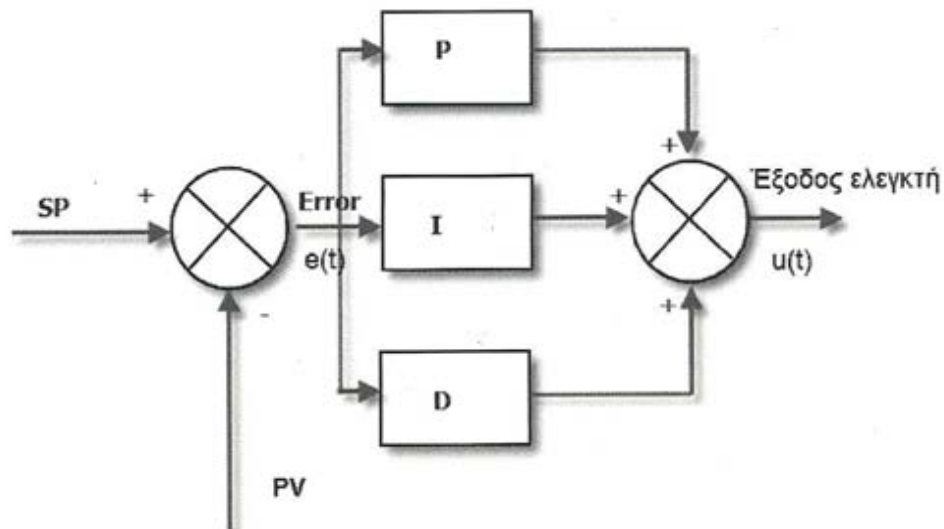
3.1.7. Ελεγκτής τύπου *PID*

Ο αναλογικός – ολοκληρωτικός – διαφορικός ελεγκτής αποτελείται από την σύνθεση των τριών επιμέρους βασικών ελεγκτών (σχήμα 3.17). Έχει μεγάλη απλότητα στην δομή και τα αποτελέσματα του είναι ικανοποιητικά σε μεγάλο φάσμα εφαρμογών, όπως είναι οι βιομηχανίες, οι βιοτεχνίες, τα συστήματα παραγωγής και διανομής ενέργειας, τα μέσα μεταφοράς (πλοία, ελικόπτερα, αεροπλάνα), οι πυρηνικοί αντιδραστήρες, τα συστήματα βιολογικού καθαρισμού, τα ρομπότ κ.λ.π. Αυτός ο ελεγκτής εμφανίζει τα πλεονεκτήματα των βασικών ελεγκτών, δηλαδή:

- Είναι γρήγορος (P)
- Κάνει ακριβή ρύθμιση, μηδενίζει το σφάλμα (I)
- Αντιδρά στις απότομες μεταβολές της ελεγχόμενης μεταβλητής (D)

Λόγω των πλεονεκτημάτων του αυτών, ο ελεγκτής χρησιμοποιείται εκεί όπου απαιτείται ακριβής και γρήγορος

έλεγχος και η ελεγχόμενη μεταβλητή εμφανίζει απότομες μεταβολές.



Σχήμα 3.17 Ελεγκτής PID

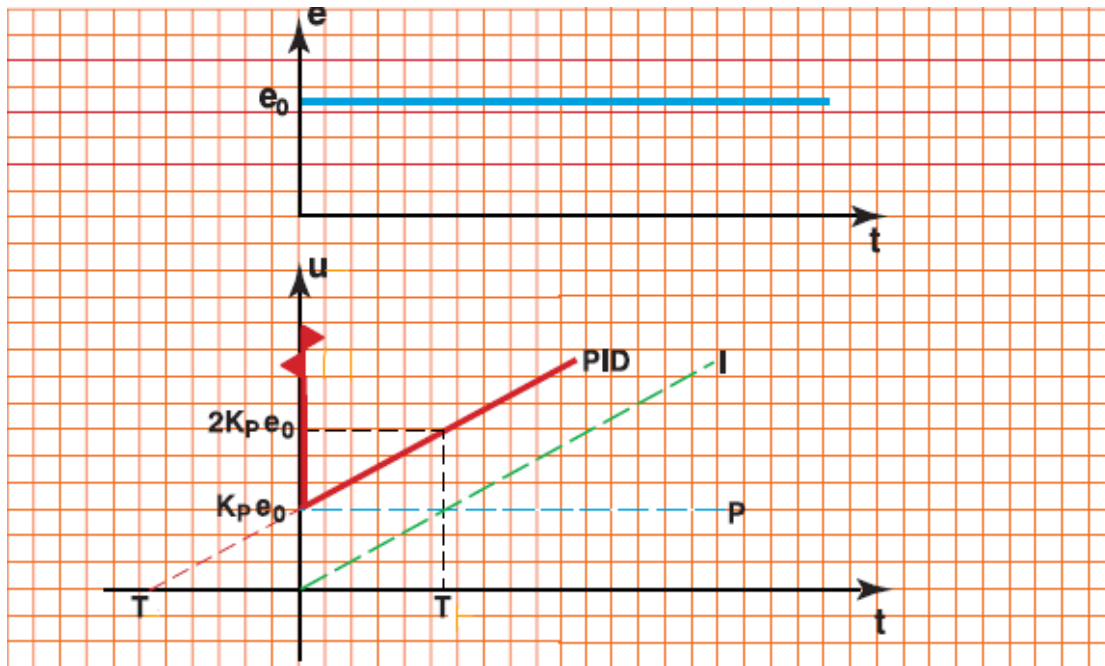
Η εξίσωση που περιγράφει τη συμπεριφορά του ελεγκτή μεταξύ εισόδου και εξόδου είναι:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{d(e(t))}{dt}$$

ή από τη συνάρτηση μεταφοράς:

$$G_c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s = \frac{K_d s^2 + K_p s + K_i}{s} = K_p \left(1 + \frac{1}{sT_i} + T_d s \right)$$

Με βάση την παραπάνω εξίσωση μπορούμε να σχεδιάσουμε τη βηματική απόκριση.



Σχήμα 3.18 Βηματική χρονική απόκριση του ελεγκτή-PID

Για να χρησιμοποιήσουμε ένα τέτοιου είδους ελεγκτή θα πρέπει να σχεδιαστεί με κατάλληλη επιλογή των τριών παραμέτρων του αναλογικού κέρδους, του ολοκληρωτικού συντελεστή και του διαφορικού συντελεστή έτσι ώστε το σύστημα κλειστού βρόχου να έχει τα πλεονεκτήματα όλων των ελεγκτών που συνδυάζονται στον PID ελεγκτή. Στην ουσία το πιο δύσκολο στη σχεδίαση ενός PID ελεγκτή είναι να δοθούν οι κατάλληλες τιμές στα K_p , K_I και K_D έτσι ώστε το ένα να μην επιδρά αρνητικά στη λειτουργία του άλλου.

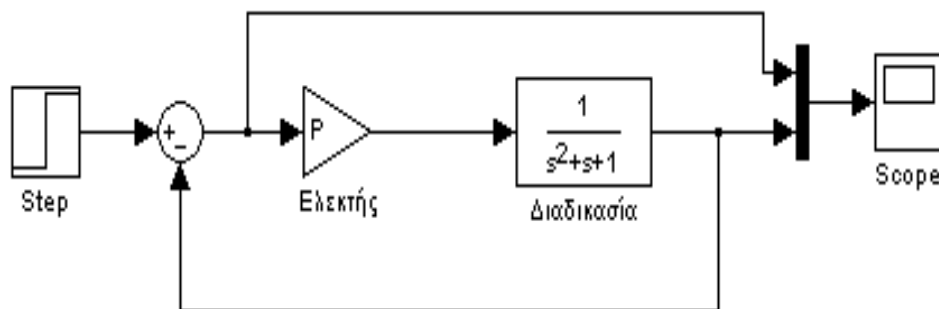
3.1.8. Προσομοίωση ελεγκτών αυτομάτου ελέγχου με το Simulink (Matlab)

Το Simulink είναι ένα εξαιρετικά χρήσιμο εργαλείο του Matlab με το οποίο καθίστανται δυνατή η μοντελοποίηση, προσομοίωση και ανάλυση δυναμικών συστημάτων. Παρ' όλο

που η χρήση του δεν προϋποθέτει γνώση του Matlab, η γνώση αυτή αποτελεί ένα σημαντικό πλεονέκτημα καθώς παρέχει τη δυνατότητα αποδοτικότερης χρήσης του. Ένα από τα σημαντικότερα προτερήματα του Simulink είναι η απλότητα του καθώς, οι διευκολύνσεις που παρέχει στον χρήστη είναι πολυάριθμες.

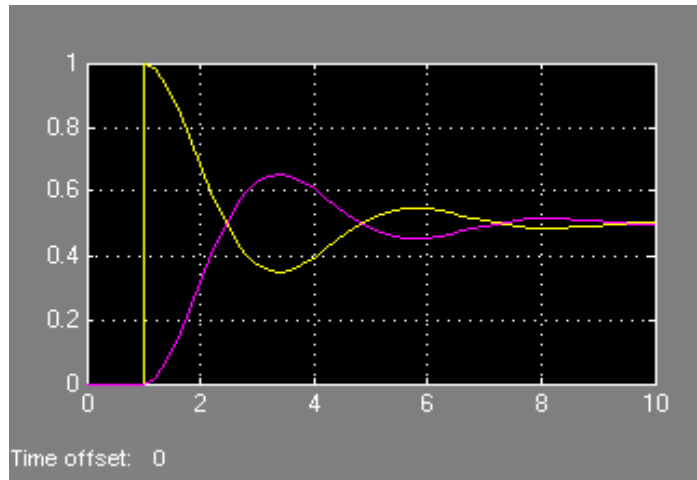
Ας δούμε τώρα ορισμένα παραδείγματα στο Simulink για τον κάθε ελεγκτή ξεχωριστά:

Παράδειγμα 3.1: Έχουμε το διάγραμμα βαθμίδων ενός συστήματος που περιέχει μια διαδικασία με συνάρτηση μεταφοράς $G(s)=1/(s^2+s+1)$ σε σειρά με τον αναλογικό ελεγκτή το οποίο φαίνεται στο σχήμα 3.19.

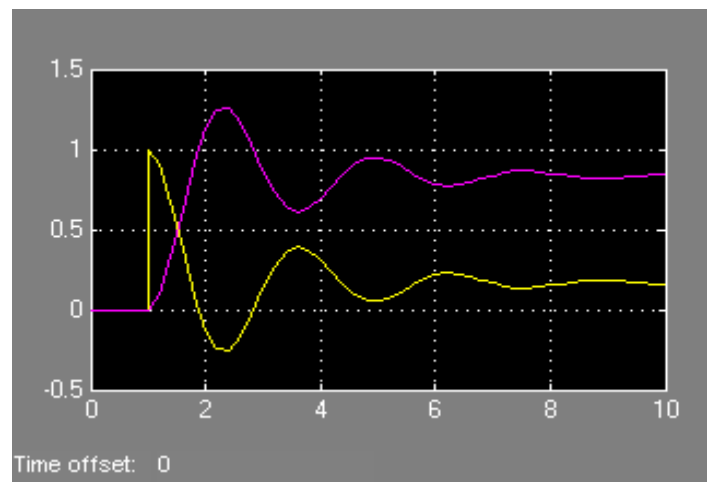


Σχήμα 3.19 Διάγραμμα βαθμίδων συστήματος με αναλογικό ελεγκτή

Η επίδραση του κέρδους στη βηματική απόκριση του αναλογικού ελεγκτή φαίνεται στο σχήμα 3.19 (α) και (β).



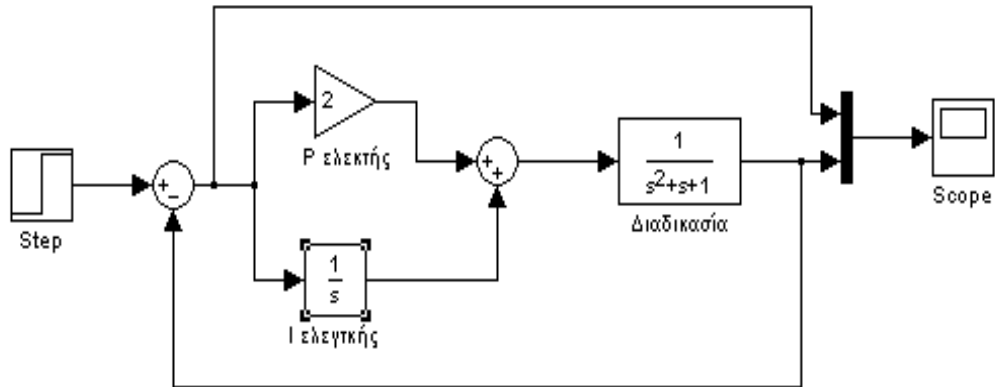
(α) $K_p=1$



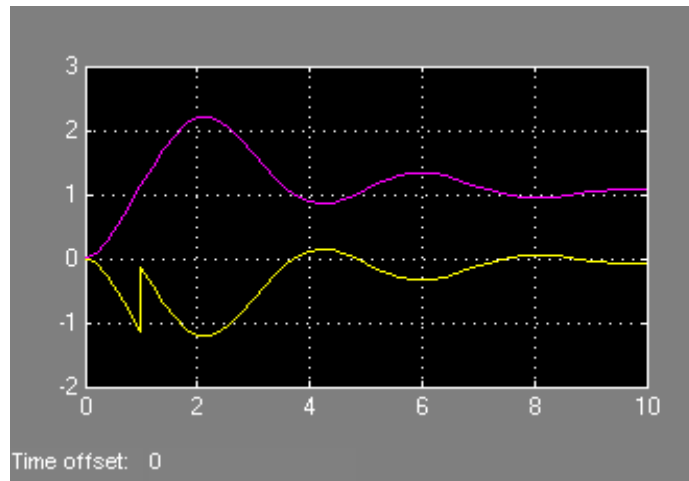
(β) $K_p=5$

Στις βηματικές αποκρίσεις παρατηρούμε ότι όσο αυξάνουμε το κέρδος του βρόγχου ελαττώνεται μεν το μόνιμο σφάλμα αλλά ποτέ δεν μηδενίζεται, γνώρισμα το οποίο έχει ο αναλογικός ελεγκτής.

Παράδειγμα 3.2: Έχουμε το ίδιο διάγραμμα βαθμίδων απλά αντικαθιστώμαι τον P ελεγκτή με έναν ελεγκτή δύο όρων, τον PI.



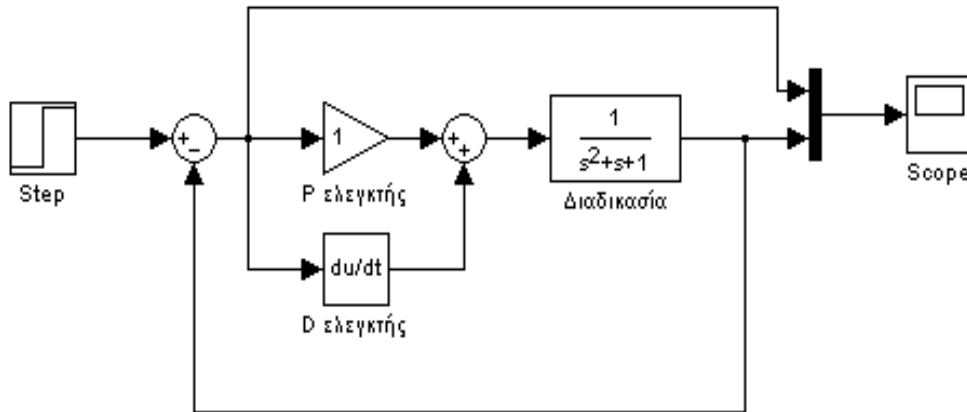
Σχήμα 3.20 Διάγραμμα βαθμίδων συστήματος με ελεγκτή με αναλογικό-ολοκληρωτική δράση



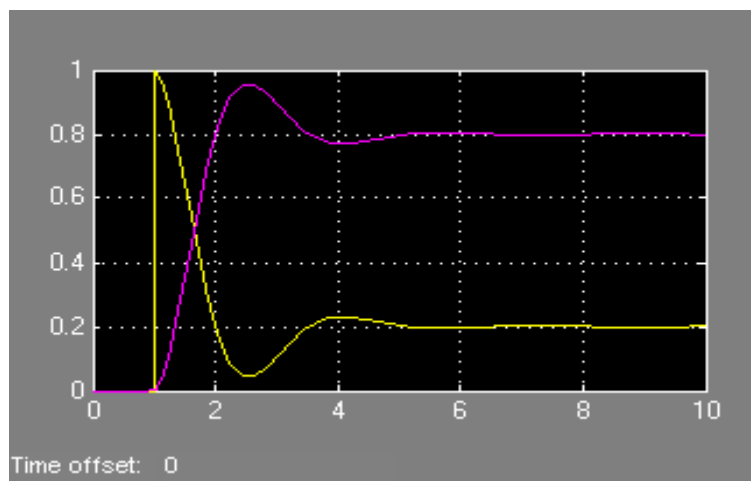
(α)

Στην απόκριση παρατηρούμε ότι γίνεται μείωση του σφάλματος αλλά η προσθήκη του δεύτερου όρου έχει και αρνητικές επιπτώσεις εφόσον αυξάνει το βαθμό του συστήματος. Κάθε αύξηση του βαθμού της διαδικασίας φέρνει το κλειστό σύστημα πλησιέστερα στην αστάθεια.

Παράδειγμα 3.3: Στο παράδειγμα αυτό αντικαθιστώμαι τον PI ελεγκτή με τον PD.



Σχήμα 3.21 Διάγραμμα βαθμίδων μιας διαδικασίας με ελεγκτή με αναλογικό όρο και όρο παραγωγισμού

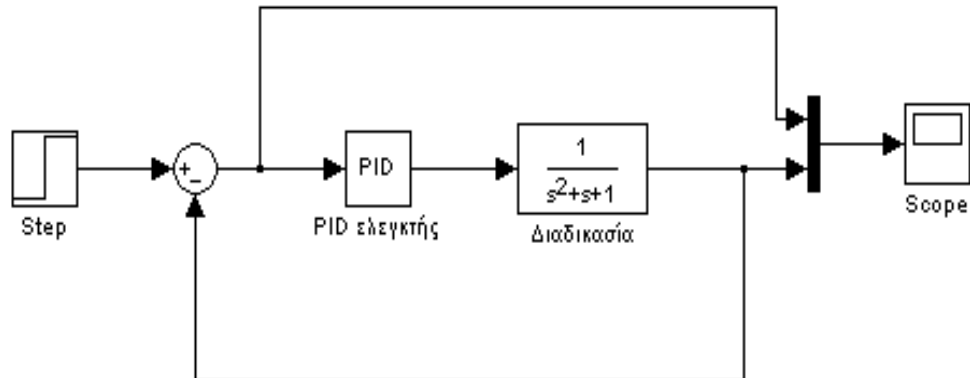


(α)

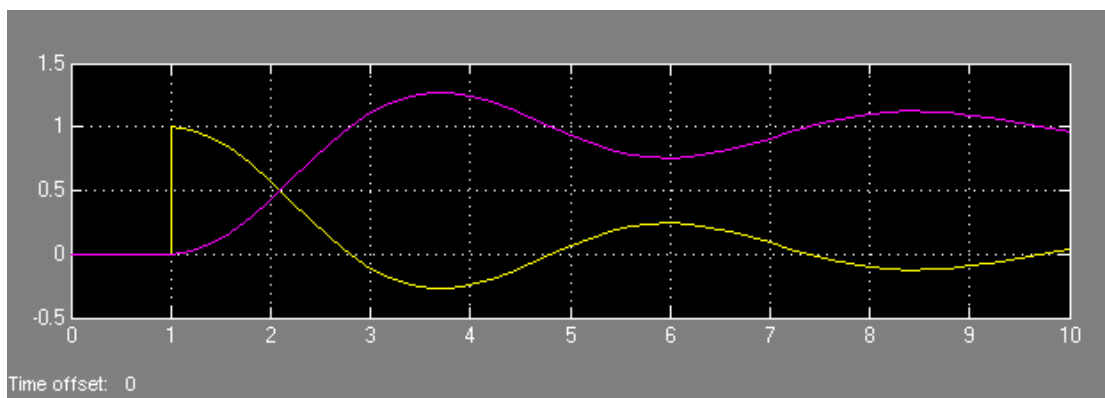
Παρατηρούμε ότι ο ελεγκτής PD ελαττώνει το σφάλμα και περιορίζει τις ταλαντώσεις κάνοντας το σύστημα πιο ευσταθές.

Παράδειγμα 3.4: Η δυναμική απόκριση της διαδικασίας δευτέρου βαθμού του προηγούμενου παραδείγματος με ελεγκτή τριών όρων δίνεται για σύγκριση στο σχήμα 3.22. Εδώ ο αναλογικός όρος και ο ολοκληρωτικός παραμένουν σταθεροί και μόνο ο όρος παραγωγισμού μεταβάλλεται για να εκτιμηθεί η

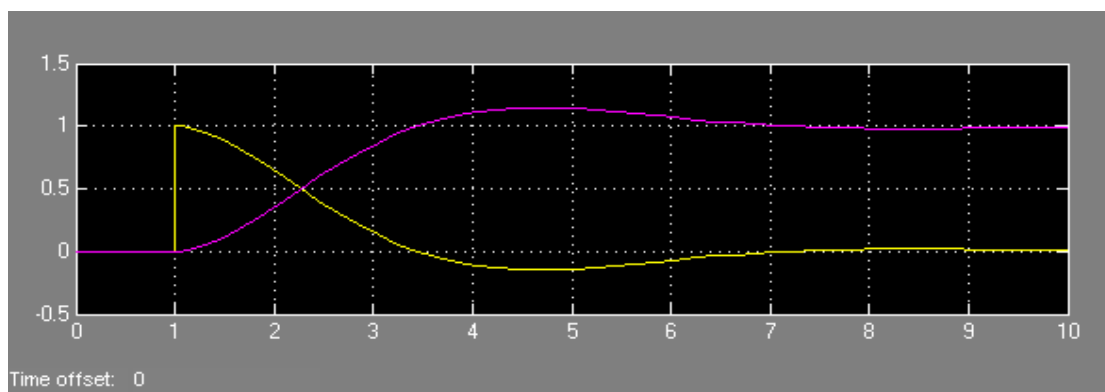
επιρροή του. Όπως αναμενόταν, η σταθεροποιητική δράση του όρου παραγωγισμού είναι εμφανής.



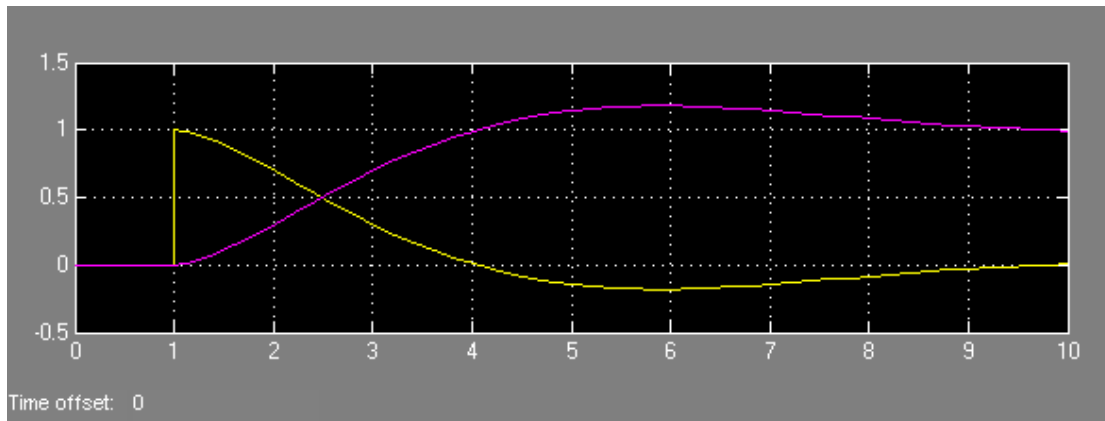
Σχήμα 3.22 Διάγραμμα βαθμίδων μιας διαδικασίας με ελεγκτή τριών όρων



(α) $K=1, K_p=1, T_i=1, T_d=0$



(β) $K=1, K_p=1, T_i=1, T_d=1$



(γ) $K=1, K_p=1, T_i=1, T_d=2$

3.2. Σχεδίαση ελεγκτών PID

Σχεδίαση ελεγκτή PID σημαίνει την κατάλληλη επιλογή των παραμέτρων του (tuning) ώστε το υπό έλεγχο σύστημα να λειτουργεί με τις επιθυμητές προδιαγραφές. Υπάρχουν αρκετές μεθοδολογίες, οι οποίες στηρίζονται στη γνώση του αναλυτικού μοντέλου της εγκατάστασης, το οποίο όμως στις περισσότερες περιπτώσεις στην πράξη δεν είναι γνωστό, καθιστώντας έτσι αδύνατη τη χρήση τους.

Το 1942, οι Ziegler-Nichols, πρότειναν δυο απλές πειραματικές μεθόδους, με βάση τις οποίες είναι δυνατός ο προσδιορισμός των παραμέτρων του ελεγκτή. Το μεγάλο πλεονέκτημα των μεθόδων αυτών, είναι ότι δεν απαιτούν τη γνώση του αναλυτικού μοντέλου της εγκατάστασης. Το μειονέκτημα τους είναι ότι, δεν εφαρμόζονται σε οποιαδήποτε τύπο συστήματος, διότι βασίζονται σε συγκεκριμένα χαρακτηριστικά της δυναμικής συμπεριφοράς. Επιπλέον, υπάρχουν περιπτώσεις οι τιμές των παραμέτρων που θα προκύψουν, να μην ικανοποιούν πλήρως ή ακόμη και περισσότερο τις προδιαγραφές λειτουργίας, κάνοντας έτσι

απαραίτητη την επαναρύθμισή τους (κυρίως με βάση τη μέθοδο δοκιμής-σφάλματος). Όπως και να έχει όμως η πράξη έχει δείξει ότι, οι συγκεκριμένες μέθοδοι μας δίνουν μια αρκετά καλή πρώτη εκτίμηση για περαιτέρω ρύθμιση.

Προφανώς, οι μέθοδοι των Ziegler-Nichols μπορούν να εφαρμοστούν και σε συστήματα των οποίων είναι γνωστό το αναλυτικό μοντέλο. Στις περιπτώσεις αυτές, υπάρχει η επιπλέον δυνατότητα της προσομοίωσης των δοκιμών στον Η/Υ, κάνοντας επίσης πιο εύκολη και πιο σύντομη τη διαδικασία της πιθανής επαναρύθμισης.

3.2.1. Πρώτη μέθοδος Ziegler-Nichols

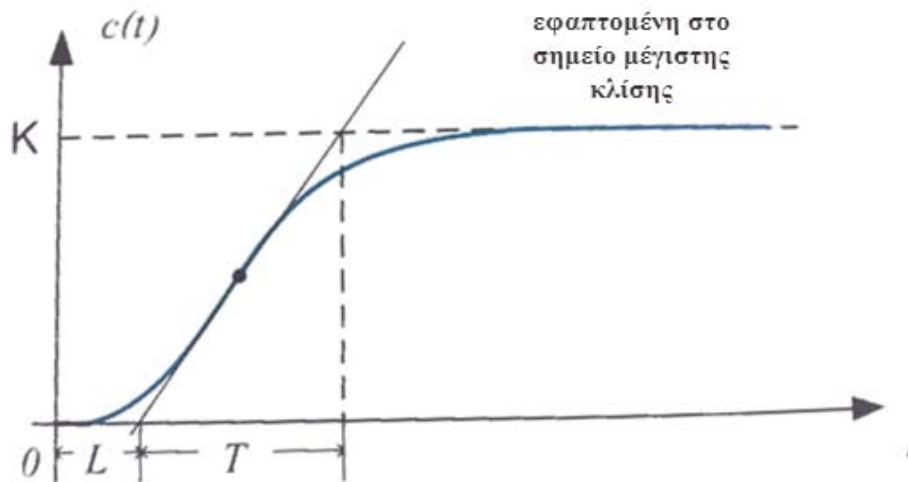
Η πρώτη μέθοδος λέγεται και μέθοδος ης μεταβατικής απόκρισης, στηρίζεται στον πειραματικό προσδιορισμό της βηματικής απόκρισης της διεργασίας και εφαρμόζεται κυρίως σε συστήματα με νωθρή απόκριση.

Προκειμένου να χρησιμοποιήσουμε την πρώτη μέθοδο, απομονώνουμε την εγκατάσταση από το υπόλοιπο σύστημα και εξετάζουμε την απόκριση του συστήματος σε είσοδο μοναδιαίας βαθμίδας.

Η χρήση της μεθόδου ενδείκνυται σε εγκαταστάσεις τύπου '0' για τις οποίες η Σ.Μ. μπορεί κατά προσέγγιση να πάρει τη μορφή

$$G = \frac{K}{T} \frac{e^{-Ls}}{s + 1/T}$$

Η μοναδιαία βηματική απόκριση ενός τέτοιου συστήματος, θα έχει τη μορφή του σχήματος 3.19



Σχήμα 3.19 Επιθυμητή μορφή μοναδιαίας βηματικής απόκρισης για την 1^η μέθοδο Ziegler-Nichols

Σύμφωνα λοιπόν με το σχήμα 3.19, οι παράμετροι L και T , ορίζονται με βάση την εφαπτομένη της καμπύλης, στο σημείο κλίσης.

Πιο συγκεκριμένα, η καθυστέρηση νεκρού χρόνου L , ορίζεται ως το διάστημα από την έναρξη της διαταραχής (αρχή των αξόνων), ως το σημείο τομής της εφαπτομένης με τον οριζόντιο άξονα. Αντίστοιχα, η σταθερά χρόνου T , ορίζεται ως το χρονικό διάστημα από το σημείο του οριζόντιου άξονα στο οποίο η εφαπτομένη τέμνει την οριζόντια διακεκομμένη γραμμή, η οποία αντιπροσωπεύει την τιμή της εξόδου στη μόνιμη κατάσταση. Δηλαδή, μετά την αποκατάσταση της διαταραχής.

Με βάση τις τιμές των L και T , οι προτεινόμενες τιμές των παραμέτρων του ελεγκτή από τους Ziegler-Nichols, δίνονται στον πίνακα 3.2.

Πίνακας 3.2 1^η μέθοδος των Ziegler-Nichols – Επιλογή παραμέτρων ελεγκτή

Τύπος ελεγκτή	K_P	K_I	K_D
P	T/L	0	0
PI	$0.9T/L$	$3.33/L$	0
PID	$1.2T/L$	$0.5/L$	$0.5L$

Σύμφωνα με τις προτεινόμενες τιμές του πίνακα 3.2 η σχέση εισόδου-εξόδου του PID ελεγκτή, παίρνει τη μορφή:

$$u(t) = 1.2 \frac{T}{L} e(t) + 0.6 \frac{T}{L^2} \int_0^t e(t) dt + 0.6T \frac{de(t)}{dt}$$

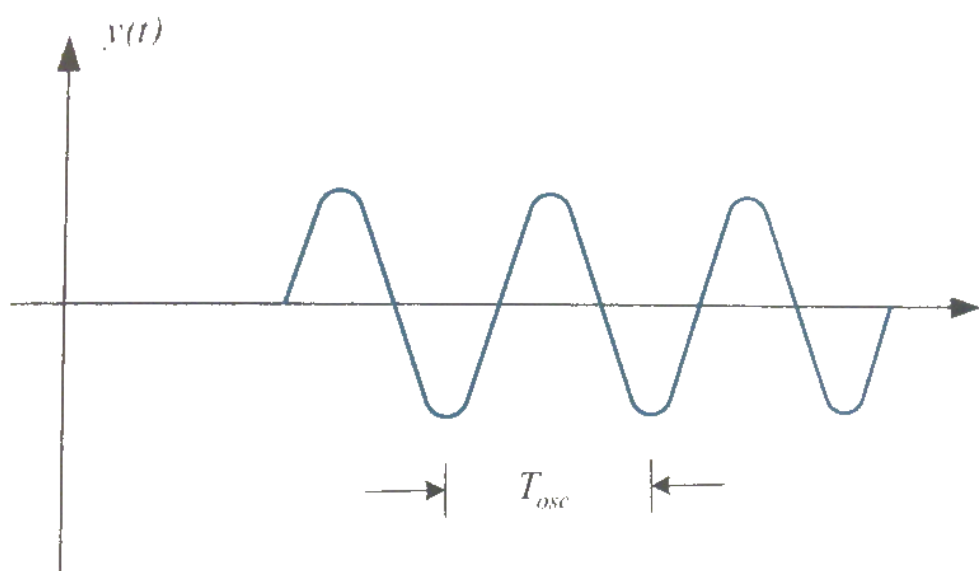
Η συνάρτηση μεταφοράς του ελεγκτή θα είναι της μορφής:

$$G_c(s) = 0.6T \frac{\left(s + \frac{1}{L}\right)^2}{s}$$

3.2.2. Δεύτερη μέθοδος Ziegler-Nichols

Η δεύτερη μέθοδος Ziegler-Nichols που λέγεται και μέθοδος ορίου ευστάθειας βασίζεται στον έλεγχο του συστήματος μόνο με αναλογικό ελεγκτή και εφαρμόζεται για συστήματα στα οποία η έξοδος μπορεί να οδηγηθεί σε αμείωτες ταλαντώσεις. Τα βήματα για τον καθορισμό των δυο παραμέτρων είναι:

Τοποθετείται αναλογικός ελεγκτής με μεταβλητό κέρδος K_p σε σειρά με την εγκατάσταση μηδενίζοντας της παραμέτρου της ολοκληρωτικής και διαφορικής βαθμίδας και έτσι κλείνει ο βρόχος με μοναδιαία αρνητική ανάδραση. Αυξάνεται διαδοχικά το αναλογικό κέρδος K_p του ελεγκτή έως την οριακή εκείνη κρίσιμη τιμή, $K_p = K_{cr}$ για την οποία η έξοδος εμφανίζει συντηρούμενες ταλαντώσεις, σχήμα 3.20. Εάν η έξοδος δεν εμφανίσει σταθερές ταλαντώσεις για οποιαδήποτε τιμή του κέρδους K_p τότε αυτή η μέθοδος δεν μπορεί να εφαρμοστεί.



Σχήμα 3.20 2^η μέθοδος των Ziegler-Nichols, απόκριση εξόδου

Με βάση την κρίσιμη τιμή του κέρδους $K_p = K_{cr}$ και την τιμή T_{osc} της περιόδου της ταλάντωσης, οι προτεινόμενες από τους Ziegler-Nichols τιμές των παραμέτρων (K_p, K_I και K_D) του ελεγκτή, σύμφωνα με τον πίνακα 3.3 είναι:

Πίνακας 3.3 2^η μέθοδος των Ziegler-Nichols – επιλογή παραμέτρων ελεγκτή

Τύπος ελεγκτή	K_P	K_I	K_D
P	$0.5K_{cr}$	0	0
PI	$0.45K_{cr}$	$1.2/T_{osc}$	0
PID	$0.6K_{cr}$	$2/T_{osc}$	$0.125T_{osc}$

Σύμφωνα με τις προτεινόμενες τομές του πίνακα 3.3, η σχέση εισόδου-εξόδου του PID ελεγκτή παίρνει τη μορφή:

$$u(t) = 0.6K_{cr}e(t) + 1.2\frac{K_{cr}}{T_{osc}}\int_0^t e(t)dt + 0.075K_{cr}T_{osc}\frac{de(t)}{dt}$$

Με συνάρτηση μεταφοράς:

$$G_c(s) = 0.075K_{cr}T_{osc}\left(\frac{s + \frac{4}{T_{osc}}}{s}\right)^2$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΜΕΛΕΤΗ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΕΛΕΓΚΤΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

4.1. Εισαγωγή

Ο αυτόματος έλεγχος με υπολογιστές (computer control systems), ή με μικροϋπολογιστές (microcomputer control systems), ή με μικροεπεξεργαστές (microprocessor control systems), ή ψηφιακός έλεγχος (digital control) είναι η περιοχή της τεχνολογίας που αναφέρεται στην ανάπτυξη μεθόδων σχεδίασης ελεγκτών ή ρυθμιστών, όπου ρυθμιστής είναι βασικά ένας ψηφιακός υπολογιστής. Τα αποτελέσματα που έχουν προκύψει μέχρι σήμερα στην περιοχή αυτή είναι σημαντικά, τόσο από θεωρητικής πλευράς όσο και από πλευράς εφαρμογών. Από θεωρητικής πλευράς, τα αποτελέσματα παρουσιάζουν μεγάλο βάθος και ευρύτητα και καλύπτουν πολλά σύγχρονα θέματα ελέγχου. Από πλευράς εφαρμογών, τα αποτελέσματα έχουν εφαρμοστεί επιτυχώς σε μια πληθώρα συστημάτων και διεργασιών.

Οι ψηφιακοί υπολογιστές εφαρμόστηκαν πρώτα σε στρατιωτικές και διαστημικές εφαρμογές, όπου μπορούσε να δικαιολογηθεί το υψηλό κόστος της ανάπτυξης πρωτοποριακών για την εποχή συστημάτων. Βαθμιαία, καθώς το κόστος έπεφτε, άρχισαν να πολλαπλασιάζονται οι εφαρμογές στη βαριά βιομηχανία, τη χημική βιομηχανία και τις τηλεπικοινωνίες. Καθώς η διάδοση των ψηφιακών υπολογιστών επιτάχυνε τη μείωση του κόστους, άρχισαν να εμφανίζονται διαρκώς μικρότερες, ισχυρότερες και φθηνότερες συσκευές που άλλαξαν τη μορφή του κόσμου.

Ένας ψηφιακός υπολογιστής αποτελείται από μια κεντρική μονάδα επεξεργασίας (Central Processing Unit/CPU), τις μονάδες εισόδου-εξόδου και τη μονάδα μνήμης. Τόσο το μέγεθος όσο και η ισχύς του υπολογιστή εξαρτώνται από το μέγεθος, την ταχύτητα και την ισχύ της CPU, καθώς επίσης και

από το μέγεθος, την ταχύτητα και τον τρόπο οργάνωσης της μνήμης. Η χρήση μικρών υπολογιστών, των λεγόμενων *minicomputers*, ήταν πολύ διαδεδομένη μετά το 1980. Βαθμιαία έγιναν διαθέσιμοι οι *microcomputers*, πανίσχυροι υπολογιστές με προσιτή τιμή, που χρησιμοποιούν ψηφιολέξεις των 16 ή των 32 bits. Τα εν λόγω συστήματα χρησιμοποιούν ως CPU ένα μικροεπεξεργαστή (*microprocessor*). Η επιλογή κάποιου από τους διαθέσιμους τύπους υπολογιστών υπαγορεύεται από τη φύση του στόχου στον οποίο αποβλέπει ο σχεδιαστής του συστήματος ελέγχου, τον όγκο των δεδομένων που πρέπει να διατηρούνται στη μνήμη και την απαιτούμενη ταχύτητα υπολογισμών.

4.2. Πλεονεκτήματα ψηφιακών ελεγκτών

Ο έλεγχος με υπολογιστές παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι των γνωστών αναλογικών ελεγκτών. Μερικά από τα πλεονεκτήματα αυτά είναι:

- Μεγάλη ευελιξία στην αλλαγή των χαρακτηριστικών του ελεγκτή. Πράγματι, τα χαρακτηριστικά μπορούν εύκολα να αλλάξουν γιατί αλλάζουν τροποποιώντας το πρόγραμμα. Αντίθετα, στους κλασικούς αναλογικούς ελεγκτές, η αλλαγή των χαρακτηριστικών είναι συνήθως δύσκολη και δαπανηρή γιατί απαιτεί αλλαγή στοιχείων και διατάξεων.
- Η επεξεργασία δεδομένων είναι εύκολη. Πολύπλοκοι υπολογισμοί μπορούν να γίνουν εύκολα και γρήγορα. Οι αναλογικοί ελεγκτές δεν έχουν αυτήν τη δυνατότητα.
- Παρουσιάζουν καλύτερη τεχνική συμπεριφορά από τους αναλογικούς ελεγκτές σε ότι αφορά:

- α. ολίσθηση σημείου λειτουργίας (drift effects)
 - β. ευαισθησία
 - γ. εσωτερικούς θορύβους
 - δ. αξιοπιστία
- Είναι φθηνότεροι
 - Είναι μικρότεροι σε μέγεθος και ελαφρύτεροι σε βάρος
 - Απαιτούν λιγότερες καλωδιώσεις
 - Λόγω της μνήμης που διαθέτει ο ψηφιακός ελεγκτής, μπορεί να αποθηκεύσει και να καταγράψει πλήθος δεδομένων

4.3. Μειονεκτήματα ψηφιακών ελεγκτών

Ο έλεγχος με υπολογιστές παρουσιάζει όμως και κάποια μειονεκτήματα έναντι των αναλογικών ελεγκτών. Το σημαντικότερο μειονέκτημα είναι τα σφάλματα που εισάγονται, τόσο κατά την δειγματοληψία των συνεχών συστημάτων, όσο και κατά την κβαντοποίηση των σημάτων διακριτού χρόνου. Επιπλέον λόγω της δυσκολίας κατανόησης της λειτουργίας τους απαιτούν εξειδικευμένο τεχνικό προσωπικό.

4.4. Εφαρμογές ψηφιακών ελεγκτών

Ο συνολικός αριθμός των βιομηχανικών συστημάτων ελέγχου που βασίζονται σε ψηφιακούς Η/Υ έχει αυξηθεί κατά τις τρεις τελευταίες δεκαετίες. Στις μέρες μας υπάρχουν περίπου 100

εκατομμύρια συστήματα ελέγχου που χρησιμοποιούν Η/Υ. Το υπό έλεγχο σύστημα μπορεί να είναι οποιοδήποτε σύστημα. Πράγματι, η τεχνική ελέγχου με υπολογιστές μπορεί να εφαρμοσθεί, και έχει εφαρμοσθεί, σε μια πληθώρα συστημάτων και διεργασιών. Ενδεικτικά αναφέρουμε τις εξής:

- Σερβομηχανισμοί (θέσης, ταχύτητας, κ.λ.π.).
- Έλεγχος τάσης, θερμοκρασίας, πίεσης, στάθμης υγρού, ταχύτητας ροής υγρού, κ.λ.π.
- Ενεργειακά συστήματα (παραδοσιακές μορφές, όπως είναι οι κινητήρες, οι γεννήτριες, οι σταθμοί παραγωγής ενέργειας, κ.λ.π., και οι ήπιες μορφές όπως είναι τα φωτοβολταϊκά, οι ανεμογεννήτριες, κ.λ.π.).
- Βιομηχανικός έλεγχος (βιομηχανίες παραγωγής χάρτου, τσιμέντου, πλαστικών, λαμαρίνας, αλουμινίου, χάλυβα, αυτοκινήτων, ζάχαρης, τροφίμων, ποτών, έτοιμων ενδυμάτων, κλωστοϋφαντουργικές βιομηχανίες, διυλιστήρια, κ.λ.π.).
- Αντιδραστήρες (πυρηνικοί, χημικοί).
- Συστήματα επίγειας μεταφοράς (ανελκυστήρες, αυτοκίνητα, τραίνα, κ.λ.π.).
- Συστήματα θαλάσσιας μεταφοράς (πλοία, δελφίνια, υποβρύχια, κ.λ.π.).
- Συστήματα εναέριας μεταφοράς (ελικόπτερα, επιβατικά αεροπλάνα, μαχητικά αεροπλάνα, κ.λ.π.).
- Οπλικά συστήματα (πύραυλοι, αντιβαλλιστικοί πύραυλοι, κ.λ.π.).
- Έλεγχος συστημάτων από απόσταση (ο έλεγχος του χρονισμού ανάφλεξης μιας μηχανής, έλεγχος πορείας δορυφόρου, διαστημοπλοίων, αεροπλάνων, πλοίων, κ.λ.π.).
- Ρομπότ (ρομπότ βαφής αυτοκινήτων, συγκόλλησης μετάλλων, περισυλλογής φρούτων, κ.λ.π.).

- Διαστημικές εφαρμογές (διαστημικά τηλεσκόπια, διαστημικοί σταθμοί, προσσελήνωση, κ.λ.π.).
- Τηλεπικοινωνιακά συστήματα (παραδοσιακή τηλεφωνία, κινητή τηλεφωνία, τηλέτυπα, κ.λ.π.).
- Ψηφιακοί υπολογιστές (εκτυπωτές, disk-drivers, magnetic tapes, κ.λ.π.).
- Γεωργία (θερμοκήπια, αυτόματη άρδευση, κ.λ.π.).
- Βιοτεχνολογία, ιατρική, βιολογία (συστήματα μέτρησης της απόλυτης διάθλασης στο ανθρώπινο μάτι).
- Και πολλές άλλες εφαρμογές, όπως στον κυκλοφοριακό έλεγχο μιας πόλης, στην αυτοματοποίηση γραφείου, στην οργάνωση της παραγωγής μιας βιομηχανικής μονάδας, στην εξοικονόμηση ενέργειας σε κτίρια, κ.λ.π.

Στο σχήμα 4.1 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα ελέγχου μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή στη βιομηχανία κατασκευής αεροσκαφών. Συμπεριλαμβάνει μια διάταξη ενδείξεων της κατάστασης των μηχανών και ένα σύστημα προειδοποίησης του πληρώματος. Όλα τα χειριστήρια ελέγχου είναι προσβάσιμα και από τους δύο πιλότους. Το σύστημα ελέγχου συμπεριλαμβάνει ένα αδρανειακό σύστημα αναφοράς που βασίζεται σε γυροσκόπια με λέιζερ και μια ηλεκτρονική διάταξη που παρακολουθεί τη θέση του αεροσκάφους. Υπάρχει επίσης, ένα υπολογιστικό σύστημα διαχείρισης πτήσης που διευρύνει τις δυνατότητες πλοήγησης και τις λειτουργίες επεξεργασίας δεδομένων από τις οποίες καθορίζεται η απόδοση του αεροσκάφους. Όταν το υπολογιστικό σύστημα συνεργάζεται με το σύστημα αυτόματης πλοήγησης (αυτόματος πιλότος), το σύστημα διαχείρισης πτήσης παρέχει ακριβείς ρυθμίσεις πρόωσης στις μηχανές και ακριβείς οδηγίες ελέγχου πορείας κατά τη διάρκεια όλων των φάσεων πτήσης, από την στιγμή που ακολουθεί την απογείωση μέχρι την τελική προσέγγιση του προορισμού και την προσγείωση. Το σύστημα προβλέπει την

ταχύτητα και το ύψος που εξασφαλίζουν τη βέλτιστη κατανάλωση καυσίμων και δίνουν στο αεροπλάνο εντολή να ακολουθήσει την οικονομικότερη και συντομότερη, ταυτόχρονα, διαδρομή.



Σχήμα 4.1 Ηλεκτρονικός εξοπλισμός κονσόλας Boeing 757 και 767

4.5. Χρήσιμες διατάξεις στον αυτοματισμό με υπολογιστές

- **Δειγματολήπτης:** Σ'ένα αυτοματισμό με υπολογιστές συνήθως υπεισέρχονται συνεχή και διακριτά σήματα. Τα διακριτά σήματα είναι μια ακολουθία τιμών για $k=0,1,2,\dots$. Π.χ. το διακριτό σήμα $f(kT)$ είναι η ακολουθία $f(0), f(2T),$

$f(3T), \dots$ για $k=0,1,2,3,\dots$. Ένα συνεχές σήμα $f(t)$ μετατρέπεται σε διακριτό με τον δειγματολήπτη.

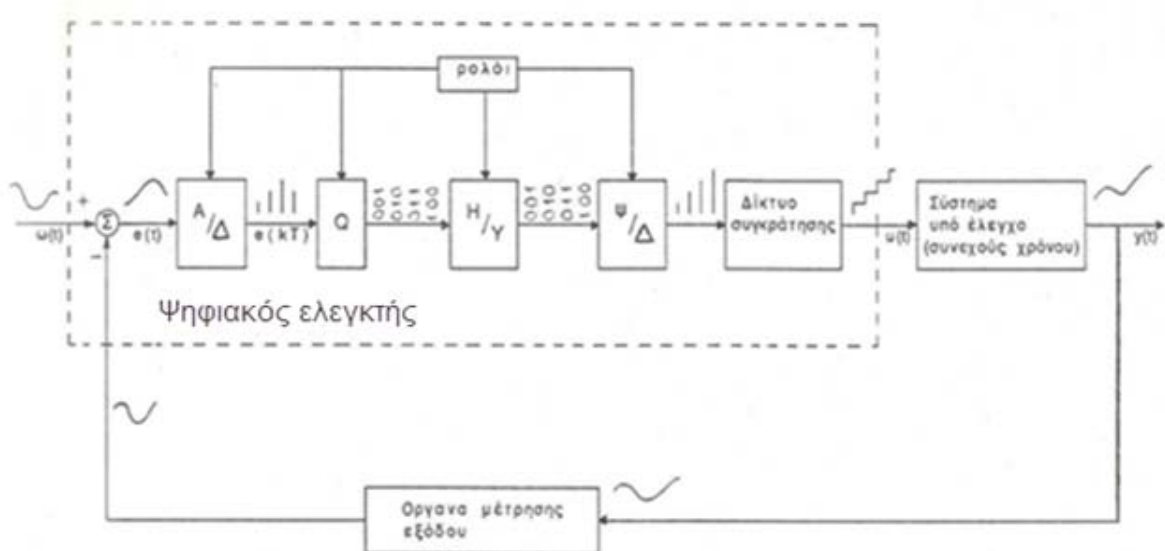
- **Μετατροπείς A/Δ και Δ/A:** Ένας μετατροπέας A/Δ δέχεται αναλογικά σήματα και δίνει διακριτά σήματα. Είναι ουσιαστικά ένας δειγματολήπτης. Ο μετατροπέας Δ/A δέχεται σήματα διακριτού χρόνου και δίνει σήματα συνεχούς χρόνου. Είναι ουσιαστικά ένα δίκτυο συγκράτησης.
- **Το δίκτυο συγκράτησης:** Το δίκτυο συγκράτησης είναι ουσιαστικά ένας Δ/A μετατροπέας, δηλαδή δέχεται ως είσοδο διακριτό σήμα και δίνει έξοδο ένα τμηματικά συνεχές σήμα.
- **Μονάδα καθυστέρησης:** Ο συμβολισμός z^{-1} δηλώνει καθυστέρηση του διακριτού σήματος κατά μια μονάδα χρόνου.

4.5.1. Βασική δομή ενός συστήματος ελέγχου με υπολογιστή

Στο σχήμα 4.2 δίνεται μια εποπτική εικόνα ενός κλειστού συστήματος αυτομάτου ελέγχου με ψηφιακό υπολογιστή. Στην εν λόγω διαμόρφωση, ο ψηφιακός υπολογιστής λαμβάνει το σήμα σφάλματος σε ψηφιακή μορφή και διενεργεί υπολογισμούς για την παραγωγή μιας ψηφιακής εξόδου. Ο υπολογιστής μπορεί να προγραμματιστεί κατάλληλα ώστε να παράγει έξοδο η οποία να εξασφαλίζει ότι η συμπεριφορά της διαδικασίας θα ταυτίζεται ή τουλάχιστον, θα προσεγγίζει την επιθυμητή συμπεριφορά. Πολλοί υπολογιστές έχουν την δυνατότητα να δέχονται και να χειρίζονται, ταυτόχρονα πολλές εισόδους. Έτσι τα συστήματα ελέγχου που βασίζονται σε

ψηφιακούς υπολογιστές είναι συχνά συστήματα πολλαπλών μεταβλητών.

Το υπό έλεγχο σύστημα είναι ένα σύστημα συνεχούς χρόνου (π.χ. ένας κινητήρας, μια μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ένα ρομπότ, κ.λ.π.). Η καρδιά του ελεγκτή ή ρυθμιστή είναι ένας ψηφιακός υπολογιστής. Ο ψηφιακός ελεγκτής εκτελεί τις εργασίες του αναλογικού ελεγκτή αλλά με ψηφιακό τρόπο και σύμφωνα με έναν αλγόριθμο. Η σύγκριση και η συμπεριφορά του ελεγκτή καθορίζονται από το πρόγραμμα που χρησιμοποιείται. Ο μετατροπέας A/Δ μετατρέπει ένα αναλογικό σήμα σε σήμα διακριτού χρόνου. Δηλαδή λειτουργεί ουσιαστικά ως ένας δειγματολήπτης. Ο μετατροπέας Δ/A μετατρέπει ένα σήμα διακριτού χρόνου σ' ένα σήμα συνεχές χρόνου. Ο μετατροπέας Δ/A υλοποιείται με ένα δίκτυο συγκράτησης. Ο κβαντοποιητής Q μετατρέπει ένα σήμα διακριτού χρόνου σε ψηφιακό, δηλαδή σε μια σειρά ψηφίων (bits) 0 και 1. Τέλος ο μετατροπέας Ψ/Δ μετατρέπει ένα ψηφιακό σήμα σε αντίστοιχο διακριτό σήμα.



Σχήμα 4.2 Λειτουργικό διάγραμμα βαθμίδων κλειστού συστήματος ελέγχου με H/Y

Ο ψηφιακός ελεγκτής σχεδιάζεται έτσι ώστε να ικανοποιεί απλές αλλά και πολύπλοκες προδιαγραφές. Μπορεί δηλαδή να λειτουργεί ως ένας απλός διακόπτης, ή να παίρνει κάποιες απλές αποφάσεις, ή ακόμη να κάνει μια δυναμική και πολύπλοκη επεξεργασία του σφάλματος $e(t)$ και στη συνέχεια να δίνει την κατάλληλη εντολή (διέργωση) $u(t)$ στο υπό έλεγχο σύστημα. Η διέργωση $u(t)$ θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε η συμπεριφορά (δηλαδή η έξοδος $y(t)$ του υπό έλεγχο συστήματος), να ικανοποιεί τις επιθυμητές προδιαγραφές.

4.5.2. Δειγματοληψία και κράτηση

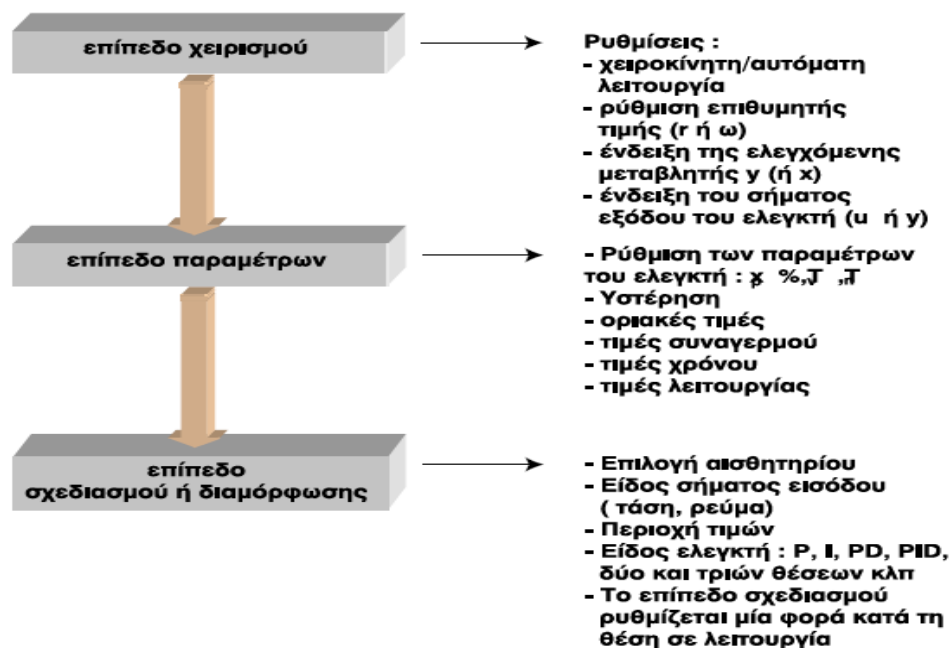
Η μετατροπή ενός αναλογικού σήματος, συνεχούς χρόνου, σε ψηφιακό, διακριτού χρόνου, γίνεται μέσα από μια διαδικασία που ονομάζεται δειγματοληψία (sampling). Σε σταθερά χρονικά διαστήματα ο μετατροπέας A/D λαμβάνει την τρέχουσα τιμή του αναλογικού σήματος και το μετατρέπει στην κατάλληλη δυαδική κωδικοποίηση. Για τον σκοπό αυτό παρεμβάλλεται ανάμεσα στην αναλογική γραμμή και τον μετατροπέα μια συσκευή δειγματοληψίας και κράτησης S/H (sample and hold), που «παγώνει» την τιμή εισόδου για όσο χρόνο απαιτείται για την κωδικοποίηση.

4.6. Ψηφιακός ελεγκτής

Η πρόσβαση του χρήστη στη λειτουργία του ψηφιακού ελεγκτή γίνεται σε τρία επίπεδα. Τα επίπεδα λειτουργίας είναι

μεταξύ τους ηλεκτρονικά μανδαλωμένα, για να μην υπάρξουν λανθασμένοι χειρισμοί. Πατώντας π.χ. ένα πλήκτρο για 5sec, αλλάζει η οθόνη του ελεγκτή από το ένα επίπεδο στο άλλο. Η παρέμβαση στα επίπεδα μπορεί να γίνει και δια μέσου του υπολογιστή. Τα επίπεδα λειτουργίας του ελεγκτή είναι τρία όπως φαίνεται στο σχήμα 4.3:

- **Επίπεδο χειρισμού:** Στο επίπεδο αυτό επιλέγουμε τη χειροκίνητη ή αυτόματη λειτουργία, ρυθμίζουμε την επιθυμητή τιμή και λαμβάνουμε ένδειξη για τις στιγμιαίες τιμές της ελεγχόμενης μεταβλητής (y) και του σήματος εξόδου του ελεγκτή ή του τελικού στοιχείου ελέγχου.
- **Επίπεδο παραμέτρων:** Στο επίπεδο αυτό ρυθμίζουμε τα τεχνικά χαρακτηριστικά (ή παραμέτρους) του ελεγκτή.
- **Επίπεδο σχεδιασμού ή διαμόρφωσης:** Το επίπεδο σχεδιασμού ρυθμίζεται κατά την έναρξη λειτουργίας και δεν επιτρέπονται συνεχείς μεταβολές. Στο επίπεδο αυτό γίνεται επιλογή του είδους του ελεγκτή και ρύθμιση των παραμέτρων του προγράμματος.



Σχήμα 4.3 Επίπεδο λειτουργίας ενός ψηφιακού υπολογιστή

Μια τυπική μορφή ενός ψηφιακού υπολογιστή είναι ο ελεγκτής του σχήματος 4.4.



Σχήμα 4.4 Ψηφιακός τυποποιημένος ελεγκτής

Η πρόσοψη των ψηφιακών ελεγκτών είναι τυποποιημένη τόσο ως προς την εξωτερική κατασκευή, όσο και ως προς τα πλήκτρα χειρισμού. Αυτό δίνει το πλεονέκτημα στους χρήστες να αντικαθιστούν έναν ελεγκτή με έναν άλλο άλλης εταιρίας.

4.6.1. Ελεγκτής PID

Ο ελεγκτής PID είναι ένας πολύ διαδεδομένος ελεγκτής χρησιμοποιούμενος στα αναλογικά και στα ψηφιακά συστήματα ελέγχου. Θα εξετάσουμε πρώτα χωριστά τους αναλογικούς (P=proportional), τους ολοκληρωτικούς (I=integral), και τους διαφορικούς (D=derivative) ελεγκτές και στη συνέχεια το σύνθετο ελεγκτή PID.

4.6.2. Ελεγκτής τύπου P

Για τα συστήματα συνεχούς χρόνου ο αναλογικός ελεγκτής περιγράφεται από τη σχέση:

$$u(t) = K_p e(t)$$

και επομένως

$$G_c(s) = K_p$$

Για τα συστήματα διακριτού χρόνου, ο αναλογικός ελεγκτής περιγράφεται από τη σχέση:

$$u(k) = K_p e(k)$$

και επομένως

$$G_c(z) = K_p$$

4.6.3. Ελεγκτής τύπου I

Για τα συστήματα συνεχούς χρόνου, ο ολοκληρωτικός ελεγκτής περιγράφεται από την ολοκληρωτική εξίσωση:

$$u(t) = \frac{K_p}{T_i} \int_{t_0}^t e(t) dt$$

και επομένως

$$G_c(s) = \frac{K_p}{T_i s}$$

Όπου η σταθερά T_i ονομάζεται χρόνος ολοκλήρωσης. Για συστήματα διακριτού χρόνου, η ολοκληρωτική εξίσωση προσεγγίζεται από την εξίσωση διαφορών:

$$\frac{u(k) - u(k-1)}{T} = \frac{K_p}{T_i} e(k)$$

ή

$$u(k) = u(k-1) + \frac{K_p T}{T_i} e(k)$$

και επομένως

$$G_c(z) = \frac{K_p T}{T_i (1-z)^{-1}} = \frac{K_p T z}{T_i (z-1)}$$

4.6.4. Ελεγκτής τύπου D

Για τα συστήματα συνεχούς χρόνου, ο διαφορικός ελεγκτής περιγράφεται από τη διαφορική εξίσωση:

$$u(t) = K_p T_d e(t)$$

και επομένως

$$G_c(s) = K_p T_d s$$

Όπου η σταθερά T_d ονομάζεται χρόνος διαφορίσης. Για συστήματα διακριτού χρόνου, η διαφορική εξίσωση προσεγγίζεται με την εξίσωση διαφορών:

$$u(k) = K_p T_d \left[\frac{e(k) - e(k-1)}{T} \right]$$

και επομένως

$$G_c(z) = K_p T_d \left[\frac{1 - z^{-1}}{T} \right] = \frac{K_p T_d}{T} \left[\frac{z - 1}{z} \right]$$

4.6.5. Ελεγκτής τύπου PID

Αν συνδυάσουμε τα πιο πάνω, τότε έχουμε ότι για τα συστήματα συνεχούς χρόνου, ο ελεγκτής PID περιγράφεται από την ολοκληροδιαφορική εξίσωση:

$$u(k) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_{t_0}^t e(t) dt + T_d e(t) \right]$$

και επομένως

$$G_s = K_p \left[1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right]$$

Στο σχήμα 4.5 δίνεται το διάγραμμα του ελεγκτή του $G_c(s)$.

Για συστήματα διακριτού χρόνου, ο ελεγκτής PID περιγράφεται από την εξίσωση διαφορών:

$$u(k) = K_{pi} \left[e(k) + \frac{T}{T_i} \sum_{i=0}^{k-1} e(i) + \frac{T_d}{T} [e(k) - e(k-1)] \right]$$

επομένως

$$G_c(z) = K_p \left[1 + \frac{T}{T_i} \left[\frac{z}{z-1} \right] + \frac{T_d}{T} \left[\frac{z-1}{z} \right] \right]$$

Μετά από αλγεβρικές πράξεις, η πιο πάνω μορφή της $G_c(z)$ γράφεται ως εξής:

$$G_c(z) = K \left[\frac{z^2 - az + b}{z(z-1)} \right]$$

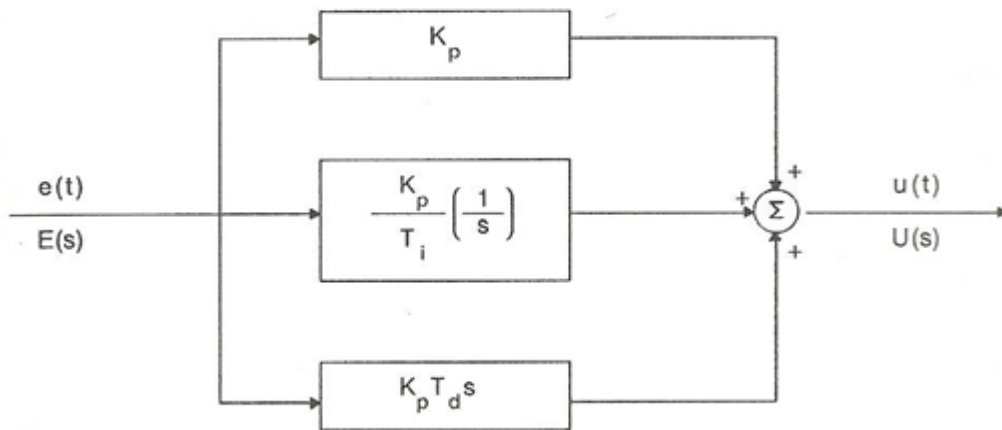
όπου

$$K = K_p \left[\frac{TT_i + T_d T_i + T^2}{T_i T} \right]$$

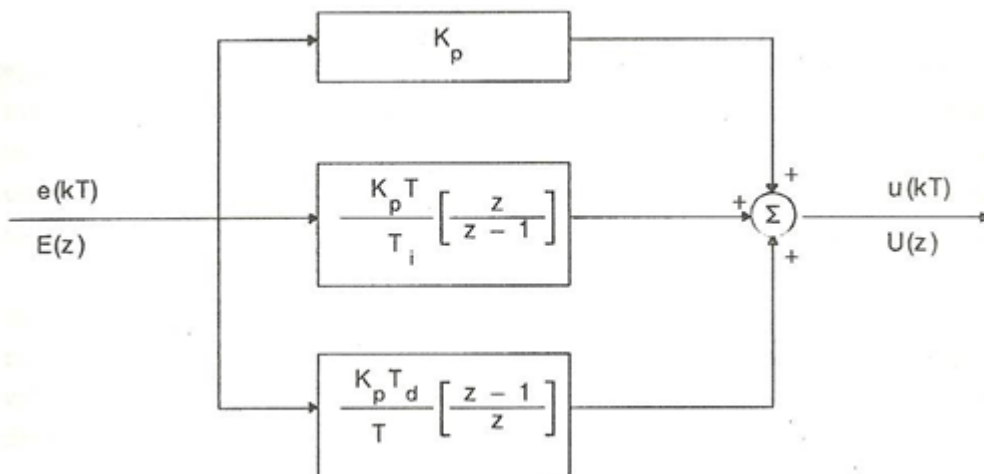
$$a = \frac{T_i T - T_d T_i}{TT_i + T_d T_i + T^2}$$

$$b = \frac{T_d T_i}{T T_i + T_d T_i + T^2}$$

Στο σχήμα 4.6 δίνεται το διάγραμμα βαθμίδων της $G_c(z)$.



Σχήμα 4.5 Το διάγραμμα βαθμίδων του ελεγκτή PID συνεχούς χρόνου



Σχήμα 4.6 Το διάγραμμα βαθμίδων του ελεγκτή PID διακριτού χρόνου

Ως προς τη χρήση του ελεγκτή PID θα πρέπει να έχουμε υπόψιν μας ότι η λειτουργία της ολοκλήρωσης βελτιώνει το σφάλμα σταθερής καταστάσεως (ελεγκτής PI), ενώ η λειτουργία

της παραγωγίσις μειώνει την υπερύψωση στην απόκριση του συστήματος (ελεγκτής PD). Η σχεδίαση του ελεγκτή PID συνίσταται στον υπολογισμό των K_P, K_I και K_D ώστε το σύστημα να ανταποκρίνεται στις προδιαγραφές του. Για τον υπολογισμό των K_P, K_I και K_D μπορούμε να εφαρμόσουμε οποιαδήποτε γενική μέθοδο υπολογισμού των ελεγκτών στο διάστημα της συχνότητας ή του χρόνου (επίπεδο s ή z).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟΙ ΛΟΓΙΚΟΙ ΕΛΕΓΚΤΕΣ (PLCs)

5.1. Εισαγωγή στους Προγραμματιζόμενους Λογικούς Ελεγκτές (PLCs)

Ο Προγραμματιζόμενος Λογικός Ελεγκτής (Programmable Logic Controller - PLC) είναι μια συσκευή που λειτουργεί όπως ένας υπολογιστής. Δέχεται δηλαδή σήματα εισόδου, τα επεξεργάζεται σύμφωνα με ένα πρόγραμμα το οποίο έχει αποθηκευμένο και δίνει στην έξοδο της το αποτέλεσμα του προγράμματος. Αντίθετα με ότι συμβαίνει με τον υπολογιστή, έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί σε βιομηχανικό περιβάλλον. Το PLC 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 τη χρήση του PLC η λειτουργία του αυτοματισμού προγραμματίζεται μέσω μιας ειδικής συσκευής (προγραμματιστή) ή μέσω ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή με τη βοήθεια ειδικού λογισμικού.

5.2. Πλεονεκτήματα προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών

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

- Τα PLC είναι ευέλικτα στην τροποποίηση της λειτουργίας του αυτοματισμού. Δηλαδή αν θέλουμε να κάνουμε μια αλλαγή στον αυτοματισμό, αυτή μπορεί να γίνει μέσα σε λίγα λεπτά, αλλάζοντας απλά το πρόγραμμα.
- Το ίδιο το μηχάνημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εντελώς διαφορετικές εφαρμογές.
- Δεν χρειάζεται κάποια ανώτερη γλώσσα προγραμματισμού, αλλά προγραμματίζεται με βάση το γνωστό στους ηλεκτρολόγους συνδεσμολογικό σχέδιο με επαφές, χρονικά κ.τ.λ. (διάγραμμα LADDER), με λογικό διάγραμμα ή με τη γλώσσα STL (statement list).
- Εύκολος εντοπισμός της κατάστασης των εισόδων και των εξόδων με την βοήθεια των ενσωματωμένων LED στις μονάδες εισόδων και εξόδων του PLC. Με τη βοήθεια της προγραμματίστριας μπορούμε να παρακολουθήσουμε τη ροή εκτέλεσης του προγράμματος.
- Δεν υπάρχει το γνωστό πρόβλημα των μη ενημερωμένων σχεδίων του πίνακα αυτοματισμού μετά από λίγο καιρό. Το PLC αποθηκεύει πάντοτε στη μνήμη του το τελευταίο πρόγραμμα το οποίο μπορεί να διαβαστεί από μια προγραμματίστρια ή να εκτυπωθεί σε ένα χαρτί από κάποιον εκτυπωτή. Έτσι ο τεχνικός θα γνωρίζει πάντοτε ποίο πρόγραμμα θα υπάρχει στο PLC.
- Το PLC καταλαμβάνει ελάχιστο χώρο απ' ότι ένας αντίστοιχος πίνακας αυτοματισμού.
- Ο αυτοματισμός με PLC μας παρέχει πολλές δυνατότητες. Μπορούμε να δημιουργούμε πολύ εύκολα πολύπλοκες και έξυπνες επεξεργασίες, οι οποίες για παράδειγμα είναι εξαιρετικά δύσκολο να υλοποιηθούν στον κλασικό αυτοματισμό.
- Τα PLC ελαχιστοποιούν το κόστος συντήρησης του πίνακα αυτοματισμού. Δηλαδή όταν υπάρχει μια βλάβη

στον πίνακα αυτοματισμού, υπάρχει καθυστέρηση στην παραγωγή μέχρι να εντοπιστεί η βλάβη. Αφού εντοπιστεί θα πρέπει να έχουμε το κατάλληλο ανταλλακτικό για να το αντικαταστήσουμε, διαφορετικά θα πρέπει να περιμένουμε μέχρι να γίνει η σχετική παραγγελία και η παραλαβή. Στα PLC δεν συμβαίνει αυτό καθώς χαλάνε σπάνια και οι εγγυήσεις είναι πάρα πολύ μεγάλες.

- Ο αυτοματισμός με PLC επεκτείνεται πολύ εύκολα αλλάζοντας απλά είτε το πρόγραμμα είτε τοποθετώντας νέες μονάδες εισόδων και εξόδων. Στον κλασικό αυτοματισμό οποιαδήποτε επέκταση θα ήταν πολύ δύσκολη.
- Σε μια εγκατάσταση που χρησιμοποιεί αυτοματισμούς με PLC, σήμερα παρέχονται δυνατότητες σύνδεσης με ηλεκτρονικό υπολογιστή, σύνδεσης με το σύστημα αποθήκευσης ,λογιστηρίου του εργοστασίου κλπ.

5.3. Μειονεκτήματα προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών

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

5.4. Εφαρμογές προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών

Τα τελευταία χρόνια στην Ελλάδα χρησιμοποιούνται σε πάρα πολλές εφαρμογές τείνοντας να αντικαταστήσουν τον κλασσικό αυτοματισμό. Ορισμένες από αυτές είναι:

- Ασανσέρ
- Γκαραζόπορτες
- Συναγερμοί
- Διυλιστήρια
- Καράβια
- Υδροηλεκτρικά φράγματα
- Συστήματα γεννητριών
- Ανεμογεννήτριες
- Αντλιοστάσια
- Κυλιόμενες σκάλες
- Έλεγχο κυκλοφορίας οχημάτων
- Στο φωτισμό αεροδρομίων
- Γραμμές παραγωγής στη βιομηχανία
- Αυτόματες μηχανές συσκευασίας-εμφιάλωσης
- Κυλιόμενες διαφημιστικές πινακίδες

Καλύπτουν λοιπόν ένα τεράστιο φάσμα εφαρμογών και για αυτό το λόγο πολλοί μηχανικοί από διάφορους κλάδους έχουν στραφεί στην ενασχόληση με αυτά.

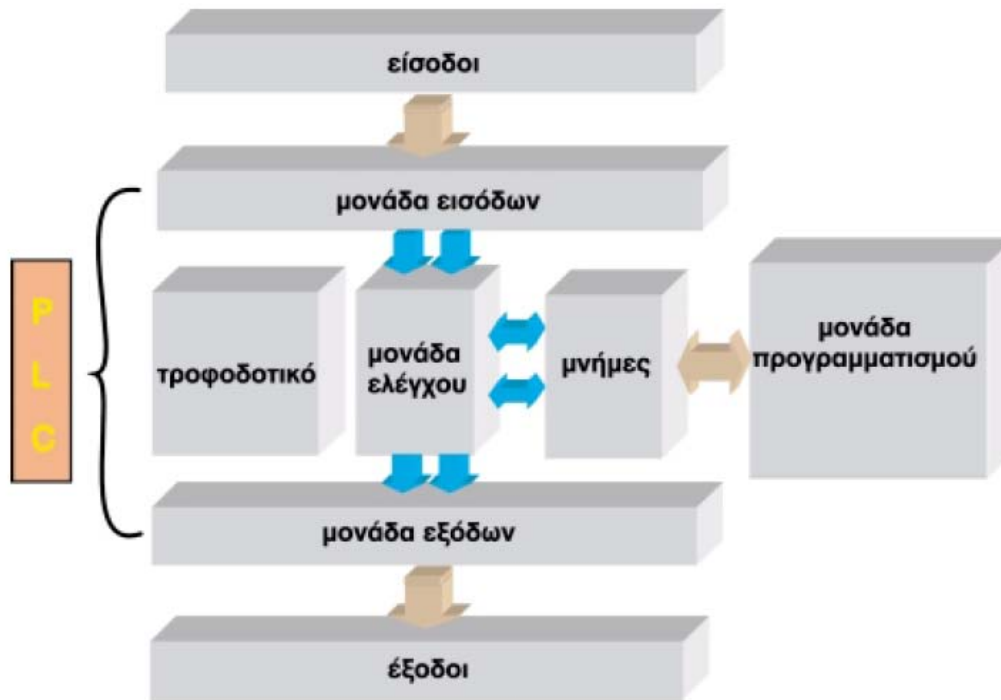
Έχει επίσης αναπτυχθεί και ένας αρκετά κερδοφόρος κλάδος που ονομάζεται «τεχνολογία έξυπνων σπιτιών». Αυτή η τεχνολογία αποτελεί στην ουσία ένα υποσύνολο των δυνατοτήτων των PLC όπως τα γνωρίζουμε στην κλασσική μορφή τους και οι μηχανικοί των PLC που ασχολούνται με αυτήν, προσαρμόζονται πολύ πιο εύκολα.

5.5. Δομή ενός προγραμματιζόμενου λογικού ελεγκτή

Στην αγορά κυκλοφορούν αρκετοί τύποι προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών με διαφορές στον προγραμματισμό ή το μέγεθος που ποικίλουν ανάλογα με την εταιρία κατασκευής. Όμως η βασική δομή τους παραμένει η ίδια, καθώς το PLC είναι ένα μικροϋπολογιστικό σύστημα και το υλικό του μέρος θα μοιάζει με αυτό του Η/Υ. Επομένως ένα PLC θα αποτελείται από τα εξής μέρη:

- α)** Μονάδες εισόδων
- β)** Μονάδες εξόδων
- γ)** Κεντρική μονάδα επεξεργασίας (Central Processing Unit-CPU)
- δ)** Μνήμες
- ε)** Μονάδα τροφοδοσίας
- στ)** Πλαίσια στήριξης-επέκτασης
- ζ)** Διάφορες βοηθητικές μονάδες
- η)** Θύρα επικοινωνίας

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται η δομή ενός προγραμματιζόμενου λογικού ελεγκτή:



Σχήμα 5.1 Δομή ενός προγραμματιζόμενου λογικού ελεγκτή

Οι μονάδες από τις οποίες αποτελείται το PLC πιο αναλυτικά είναι:

α) Μονάδες εισόδων: Αποτελούν τις μονάδες επικοινωνίας της κεντρικής μονάδας με τον έξω κόσμο. Υπάρχουν δυο τύποι τέτοιων μονάδων είτε ψηφιακές είτε αναλογικές.

- Οι ψηφιακές είσοδοι αναγνωρίζουν μόνο δύο τιμές τάσης (υψηλή – χαμηλή). Η τάση αυτή μπορεί να δημιουργείται είτε από το τροφοδοτικό του PLC είτε από δικό μας εξωτερικό τροφοδοτικό.
- Οι αναλογικές είσοδοι “αντιλαμβάνονται” (“ανιχνεύουν”, “αναγνωρίζουν”) όχι δύο διακριτές καταστάσεις όπως στην περίπτωση των ψηφιακών εισόδων – αλλά μια κατάσταση που συνεχώς μεταβάλλεται. Ένα κλασσικό παράδειγμα είναι η μέτρηση στάθμης ενός υγρού υλικού σε μια δεξαμενή. Η

μεταβαλλόμενη στάθμη του υγρού “μεταφράζεται” από το αισθητήριο σε ένα αντίστοιχα μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό σήμα που κυμαίνεται σε μια τυποποιημένη κλίμακα έντασης ρεύματος (π.χ. 4 έως 20 mA) ή τάσης ρεύματος (π.χ. 0 έως 10 V). Η ειδική τύπου αναλογική είσοδος του PLC “αντιλαμβάνεται” τις διαφοροποιήσεις (αυξομειώσεις του ηλεκτρικού ρεύματος ή τάσης) και τις “μεταφράζει” σε μεταβολές (αυξομειώσεις) του φυσικού φαινομένου, δηλαδή της στάθμης του υγρού.

Οι είσοδοι έχουν τον ρόλο να διαβάζουν ένα ηλεκτρικό μέγεθος και να το μετατρέπουν σε έναν αριθμό ο οποίος πλέον μπορεί να αναγνωριστεί και να επεξεργαστεί από την CPU. Σε αυτές συνδέονται εξαρτήματα ελέγχου του αυτοματισμού, όπως μπουτόν (star, stop, αναστροφής) και αισθητήρια (θερμοκρασίας, θέσεως, στάθμης κλπ). Η τάση τροφοδοσίας τους είναι 24V DC, αλλά μερικές φορές και 110 ή 220V AC, ανάλογα με τον τύπο του PLC.

β) Μονάδες εξόδων: Και οι μονάδες εξόδου διακρίνονται σε δυο κατηγορίες, ψηφιακές και αναλογικές.

- Οι ψηφιακές εξοδοι μπορούν να έχουν κατάσταση ON ή OFF. Σε αυτές συνδέονται και ενεργοποιούνται ή απενεργοποιούνται τα φορτία. Η σύνδεση των φορτίων με τις εξόδους γίνεται είτε απ’ ευθείας ή μέσω διατάξεων ενεργοποίησης όπως ρελέ κ.λ.π.
- Οι αναλογικές εξοδοι η κατάσταση των οποίων μεταβάλλεται συνεχώς. Για παράδειγμα μια αναλογική έξοδος μπορεί να παρέχει ηλεκτρικό σήμα του οποίου η τάση μεταβάλλεται από 0 έως 10 V και το οποίο οδηγεί ένα αναλογικό όργανο μέτρησης π.χ. θερμοκρασίας, ταχύτητας ή βάρους.

Οι έξοδοι έχουν τον ρόλο να μετατρέπουν τα σήματα που έχει ήδη επεξεργαστεί η CPU σε κατάλληλες τάσεις τις οποίες στέλνουμε προς εγκατάσταση. Σε αυτές συνδέονται οι ενεργοποιητές όπως τα ρελέ (κινητήρων, ελέγχου) ή οι βαλβίδες, ενδεικτικές λυχνίες κ.λ.π. Η τάση τροφοδοσίας τους είναι 110 ή 220V AC, αλλά μερικές φορές και 24V DC, ανάλογα με τον τύπο του PLC.

Ένα PLC περιλαμβάνει έναν καθορισμένο μέγιστο αριθμό μονάδων εισόδων και εξόδων που εξαρτάται από τις δυνατότητες της CPU. Τον αριθμό αυτό τον καθορίζει ο εκάστοτε κατασκευαστής.

γ) Κεντρική μονάδα επεξεργασίας: Είναι ένα ψηφιακό κύκλωμα που αποτελεί τον εγκέφαλο του PLC. Εδώ εκτελούνται τόσο το λειτουργικό πρόγραμμα του χρήστη όσο και το πρόγραμμα του PLC. Υλοποιεί δηλαδή την λογική και παίρνει τις αποφάσεις με βάση τις εντολές του προγράμματος και την κατάσταση των εισόδων και των εξόδων που επιτηρεί. Η κεντρική μονάδα επεξεργασίας πραγματοποιεί πολλαπλές βασικές λειτουργίες όπως απαριθμήσεις, χρονομετρήσεις, συγκρίσεις δεδομένων, μαθηματικές πράξεις και άλλες λειτουργίες.

δ) Μνήμες: Διακρίνουμε τις εξής:

- **Μνήμη προγράμματος** (τύπου RAM - Random Access Memory - Μνήμη τυχαίας προσπέλασης). Όπως και σε έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή έτσι και στο PLC, κάθε πρόγραμμα που εκτελείται από την CPU, εκτελείται με την βοήθεια της μνήμης όπου το πρόγραμμα που αναπτύσσουμε και τα δεδομένα αποθηκεύονται εκεί προσωρινά. Το ότι είναι τύπου RAM, επιτρέπει γρήγορες αλλαγές στο πρόγραμμα.

Το πρόγραμμα δεν χάνεται άμεσα όταν το PLC αποσυνδεθεί από την τροφοδοσία γιατί συνήθως υπάρχει είτε μια ειδική μπαταρία λιθίου διάρκειας ενός χρόνου είτε ένας πυκνωτής που αποθηκεύουν ενέργεια για να συντηρούν τα δεδομένα για κάποιο χρονικό διάστημα.

- **Μνήμη συστήματος** (τύπου ROM-Read Only Memory - Μνήμη μόνο για ανάγνωση ή PROM - Programmable Read Only Memory – Προγραμματιζόμενη Μνήμη Μόνο για Ανάγνωση). Στη μνήμη ROM ο κατασκευαστής του PLC αποθηκεύει το λειτουργικό σύστημα του PLC, δηλαδή τις οδηγίες για όλες τις βασικές λειτουργίες που είναι απαραίτητες για να δουλέψει το PLC.
- **Μνήμη EEPROM** (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory). Σε αυτή μπορεί να αποθηκευτεί το πρόγραμμα αφού πάρει την τελική του μορφή απελευθερώνοντας έτσι τη μνήμη RAM. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για φύλαξη ή μεταφορά σε διάφορες (παραπάνω από μία) συσκευές PLC.

ε) Μονάδες τροφοδοσίας: Η μονάδα τροφοδοσίας ενός PLC έχει σκοπό να δημιουργήσει τις αναγκαίες εσωτερικές τάσεις που απαιτούνται για την τροφοδοσία των ηλεκτρονικών στοιχείων (τρανζίστορ, ολοκληρωμένα κυκλώματα κ.λ.π.) του PLC.

Σε ορισμένα μοντέλα PLC, όταν το PLC δεν τροφοδοτείται από το δίκτυο, η μονάδα τροφοδοσίας διατηρεί το περιεχόμενο της μνήμης του PLC με τη βοήθεια μιας μπαταρίας (συνήθως λιθίου), που διαθέτει. Σε άλλα μοντέλα η παραπάνω μπαταρία βρίσκεται στην CPU.

Χρειάζεται προσοχή ώστε να μην προκαλέσουμε υπερφόρτιση της μονάδας τροφοδοσίας. Για το σκοπό αυτό συμβουλευόμαστε τα τεχνικά φυλλάδια της εταιρίας κατασκευής του PLC.

στ) Πλαίσια στήριξης – επέκτασης: Ειδικές βάσεις-ράγες στις οποίες τοποθετούνται οι βαθμίδες για τον σχηματισμό ενός PLC. Στη βάση αυτή είναι ενσωματωμένο ένα σύστημα αγωγών μέσω των οποίων επικοινωνούν οι διάφορες μονάδες με την Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας. Αν οι θέσεις του κεντρικού πλαισίου που διατίθενται, 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 εταιρία και το κάθε μοντέλο έχει το δικό του σύστημα πλαισίου.

ζ) Βοηθητικές μονάδες: Πρόκειται για συσκευές που δεν είναι απαραίτητες για την λειτουργία του PLC, δίνουν όμως καλύτερο έλεγχο του αυτοματισμού. Οι κυριότερες είναι:

- Μονάδα προσομοίωσης. Είναι μια σειρά από διακόπτες με τους οποίους μπορούμε να κάνουμε εργαστηριακό έλεγχο του αυτοματισμού.
- Modem. Είναι συσκευές με τις οποίες μπορούμε να διαβιβάσουμε πληροφορίες και να δώσουμε εντολές μέσω τηλεφωνικής γραμμής.
- Οθόνες (monitors) για έγχρωμες απεικονίσεις μιμικών διαγραμμάτων υψηλής ακρίβειας.
- Εκτυπωτές όλων των τύπων.

η) **Θύρα επικοινωνίας:** Χρησιμεύει για ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ του χρήστη και της συσκευής κα μπορεί να γίνει είτε παράλληλα είτε σειριακά.

5.6. Αρχή λειτουργίας ενός προγραμματιζόμενου λογικού ελεγκτή

Ας υποθέσουμε ότι ένα PLC βρίσκεται σε κατάσταση λειτουργίας του αυτοματισμού (RUN). Τα βήματα που ακολουθεί κατά τη λειτουργία του είναι τα εξής:

Βήμα 1^ο: Στην αρχή ο μικροεπεξεργαστής διαβάζει τις εισόδους. Αυτό σημαίνει ότι για κάθε είσοδο ελέγχει αν έχει υψηλή τάση (λογικό 1) ή χαμηλή τάση (λογικό 0). Η τιμή 0 ή 1 για κάθε είσοδο αποθηκεύεται σε μια ειδική περιοχή μνήμης η οποία ονομάζεται εικόνα εισόδων. Την εικόνα εισόδων μπορείτε να τη φανταστείτε σαν ένα πίνακα, όπου ο μικροεπεξεργαστής σημειώνει τις τιμές, που διάβασε. Π.χ. είσοδος I1=0, I2=0, I3=0 και συνεχίζει.

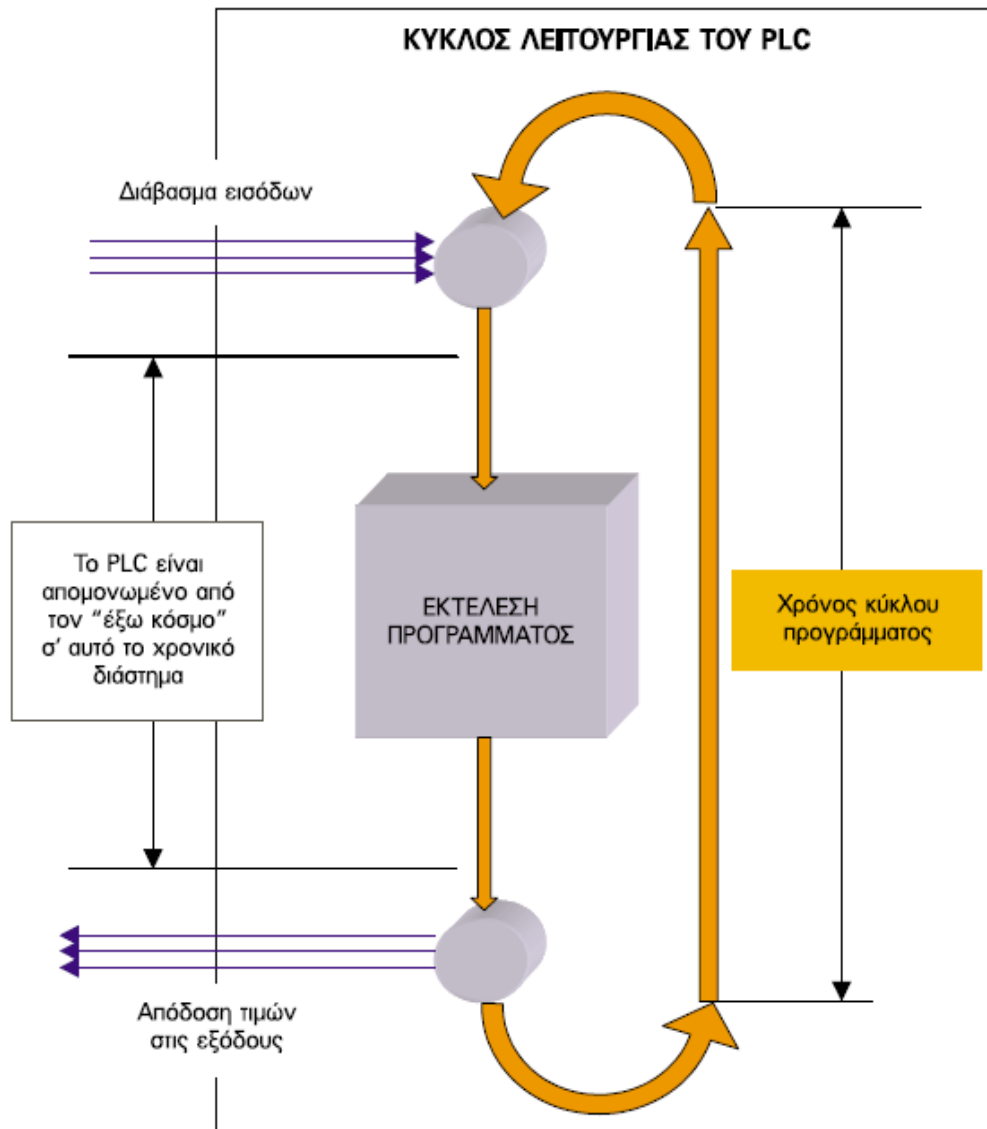
Βήμα 2^ο: Στη συνέχεια ο μικροεπεξεργαστής χρησιμοποιώντας σαν δεδομένα τις τιμές των εισόδων, που διάβασε, εκτελεί τις εντολές του προγράμματος, το οποίο λειτουργεί τον αυτοματισμό. Το πρόγραμμα αυτό στην ουσία περιέχει μια σειρά από λογικές πράξεις.

Η εκτέλεση του προγράμματος θα δώσει αποτελέσματα για τις εξόδους. Τα αποτελέσματα αυτά αποθηκεύονται στην ειδική περιοχή της μνήμης που ονομάζεται εικόνα εξόδων. Όπως η εικόνα εισόδων, η εικόνα εξόδων περιέχει την τιμή (0 ή 1) για κάθε έξοδο, π.χ. Q1=1, Q2=1, Q3=0. Σημειώνουμε ότι οι τιμές αυτές προκύπτουν από την εκτέλεση των λογικών πράξεων του προγράμματος.

Βήμα 3^ο: Στην συνέχεια ο μικροεπεξεργαστής αποδίδει τις τιμές της εικόνας εξόδων στις εξόδους. Αυτό σημαίνει ότι θα δοθεί υψηλή τάση σε όποια έξοδο έχει 1 και θα δοθεί χαμηλή τάση σε όποια έξοδο έχει 0.

Με την συμπλήρωση του 3^{ου} βήματος συμπληρώνεται ένας πλήρης κύκλος λειτουργίας και η διαδικασία ξαναρχίζει από την αρχή. Ο κύκλος λειτουργίας εκτελείται συνεχώς όσο το PLC βρίσκεται σε κατάσταση RUN. Δηλαδή ένα PLC εκτελεί συνεχώς τα βήματα του κύκλου λειτουργίας.

Ο χρόνος που χρειάζεται για να εκτελέσει το PLC ένα πλήρη κύκλο λειτουργίας ονομάζεται χρόνος κύκλου και εξαρτάται από την ταχύτητα του μικροεπεξεργαστή του PLC, αλλά και από τον αριθμό και το είδος των εντολών του προγράμματος. Δηλαδή στο ίδιο PLC για ένα μεγαλύτερο πρόγραμμα έχουμε μεγαλύτερο χρόνο κύκλου. Ο χρόνος κύκλου αποτελεί και ένα μέτρο σύγκρισης μεταξύ των PLC. Για να μπορούν να συγκριθούν τα PLC ως προς την ταχύτητα εκτέλεσης ενός προγράμματος, ορίζουμε το μέσο χρόνο κύκλου, σαν το χρόνο κύκλου ενός προγράμματος που περιλαμβάνει 1 Kbyte δυαδικές εντολές. Πάντως στη χειρότερη περίπτωση και σε ένα αργό PLC, ο χρόνος κύκλου δεν ξεπερνά μερικές εκατοντάδες χιλιοστά του δευτερολέπτου. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται σχηματικά ο κύκλος λειτουργίας ενός PLC.



Σχήμα 5.2 Κύκλος λειτουργίας PLC

Αν μελετήσουμε τον κύκλο λειτουργίας του PLC παρατηρούμε ότι "δεν βλέπει" συνεχώς τον "έξω κόσμο" (την εξωτερική εγκατάσταση), παρά μόνο κατά το χρονικό διάστημα που διαβάζει τις εισόδους και αποδίδει τιμές στις εξόδους. Στον υπόλοιπο χρόνο του κύκλου, το PLC είναι ένας υπολογιστής ο οποίος εκτελεί πράξεις (λογικές ή απ αριθμητικές) απομονωμένο από τον έξω κόσμο. Έτσι αν αλλάξει η κατάσταση μιας εισόδου, η CPU θα το αντιληφθεί στην αρχή του επόμενου κύκλου επεξεργασίας του προγράμματος. Λαμβάνοντας τα παραπάνω

υπόψη θα έλεγε κάποιος ότι τελικά το PLC ανταποκρίνεται πολύ καθυστερημένα στις αλλαγές μιας αυτοματοποιημένης διαδικασίας. Όμως, αυτό δεν είναι πραγματικότητα, αφού ο χρόνος πραγματοποίησης ενός κύκλου προγράμματος από ένα PLC είναι πάρα πολύ μικρός, το πολύ 300ms σε πολύπλοκες εγκαταστάσεις αυτοματισμού. Υπάρχει βέβαια και η δυνατότητα, με χρήση ειδικής κάρτας εισόδων και hardware interrupt, η άμεση πληροφόρηση της CPU για κάθε αλλαγή της εισόδου, ανεξάρτητα αν αυτή γίνεται στην αρχή ή στο μέσον του κύκλου.

5.7. Ο Προγραμματισμός ενός προγραμματιζόμενου λογικού ελεγκτή

Προγραμματισμός ενός PLC σημαίνει να δημιουργήσουμε μια σειρά από εντολές, οι οποίες λύνουν έναν συγκεκριμένο αλγόριθμο που αντιστοιχεί σε μια λειτουργία ενός συστήματος αυτοματισμού. Η διαδικασία που ακολουθούμε για να γράψουμε αυτές τις εντολές, αποτελεί το πρόγραμμα. Δυστυχώς στα PLC δεν υπήρξε τυποποίηση σε κανέναν τομέα λόγω του ανταγωνισμού μεταξύ των εταιριών αλλά ούτε και στο θέμα των γλωσσών προγραμματισμού. Δηλαδή δεν υπάρχουν γλώσσες προγραμματισμού ανεξάρτητα από εταιρία, όπως συμβαίνει στον προγραμματισμό των ηλεκτρονικών υπολογιστών. Παρ' όλα αυτά οι γλώσσες προγραμματισμού των PLC των διαφόρων εταιριών μοιάζουν μεταξύ τους και έτσι μπορούμε να μιλάμε για μια τυποποίηση της αγοράς.

Η επιλογή της γλώσσας προγραμματισμού εξαρτάται από την εμπειρία και την γνώση του χρήστη σε ψηφιακά ηλεκτρονικά,

σε υπολογιστές, σε συστήματα αυτοματισμού που λειτουργούν με κλασικό τρόπο και φυσικά εξαρτάται από την φύση του προβλήματος που έχουμε να αντιμετωπίσουμε.

Οι γλώσσες προγραμματισμού μπορούν να ταξινομηθούν σε γραφικές και μη γραφικές ανάλογα με το είδος των στοιχείων που χρησιμοποιούν.

Οι πρώτες χρησιμοποιούν γραφικά στοιχεία που μοιάζουν αρκετά στα σύμβολα που χρησιμοποιούνται στον κλασικό αυτοματισμό και επίσης σύμβολα λογικών πυλών (AND, OR, NOT κ.λπ.). Είναι πιο προσιτές σε ανθρώπους που έχουν εμπειρία στον κλασικό αυτοματισμό και έχουν το πλεονέκτημα της καλύτερης εποπτείας

Οι δεύτερες χρησιμοποιούν εντολές που η κάθε μία αντιστοιχεί σε μία εντολή της γλώσσας μηχανής.

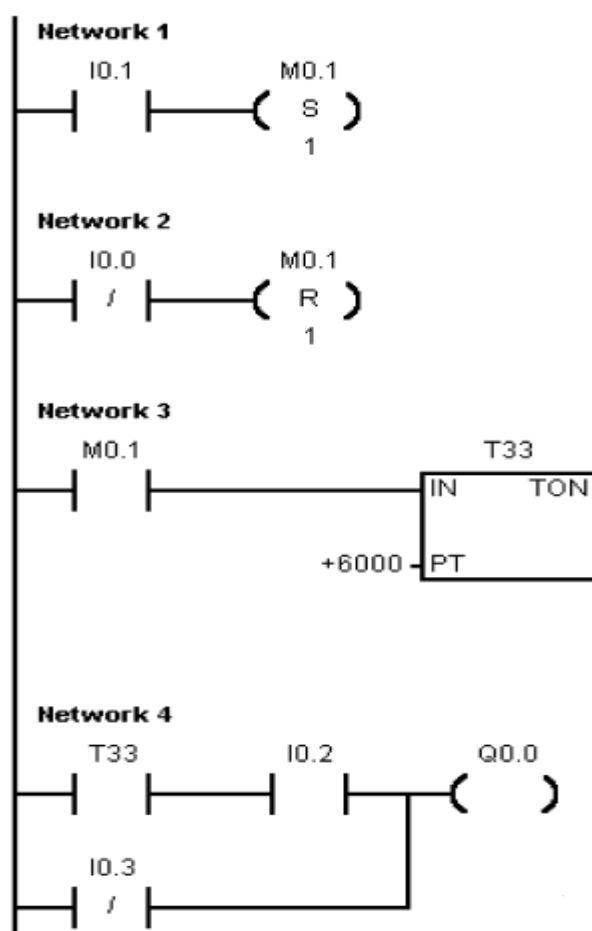
5.7.1. Γλώσσες προγραμματισμού των προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών

Όπως αναφέραμε και προηγουμένως υπάρχουν αρκετές μέθοδοι προγραμματισμού προκειμένου να επιλύσουμε ένα πρόβλημα. Τρεις είναι όμως οι σπουδαιότερες γλώσσες προγραμματισμού για PLC:

1. Γλώσσα LADDER ή γλώσσα ηλεκτρολογικών γραφικών.

Είναι η πρώτη γλώσσα που αναπτύχθηκε ιστορικά. Η γλώσσα LADDER στην ουσία επιτρέπει τη μεταφορά του ηλεκτρολογικού σχεδίου μέσω της συσκευής προγραμματισμού σε γλώσσα κατανοητή από το PLC. Με τη γλώσσα αυτή η εκπαίδευση των τεχνικών, που

ήταν συνηθισμένοι στον κλασσικό αυτοματισμό, γινόταν εύκολα και γρήγορα, αφού δεν άλλαζε ουσιαστικά την εργασία σχεδιασμού του αυτοματισμού. Η γλώσσα LADDER χρησιμοποιεί την Αμερικάνικη προτυποποίηση και όχι την Ευρωπαϊκή στον σχεδιασμό των ηλεκτρικών επαφών. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα PLC αναπτύχθηκαν στην Αμερική. Όμως στη συνέχεια ο τρόπος αυτός βόλεψε και έτσι διατηρήθηκε από και από τις Ευρωπαϊκές εταιρίες.



Σχήμα 5.3 Πρόγραμμα σε γλώσσα LADDER

2. Γλώσσα STL (Statement List) ή γλώσσα λογικών εντολών.

Η γλώσσα αυτή αναπτύχθηκε σχεδόν ταυτόχρονα με τη γλώσσα LADDER, αν και οι εταιρίες έδειξαν στην αρχή δισταγμό στο να την προωθήσουν, φοβούμενες μην τρομάξουν το τεχνικό κατεστημένο της βιομηχανίας. Η γλώσσα αυτή δημιουργεί λίστα προγράμματος με εντολές, οι οποίες αντιστοιχούν στις λογικές πύλες (AND, OR, NOT κ.λ.π.).

Στην αρχή η γλώσσα λίστα εντολών ήταν πολύ φτωχή και περιοριζόταν μόνο στις βασικές λογικές εντολές, οι οποίες αντιστοιχούσαν αμέσως στις γραφικές εντολές της γλώσσας LADDER. Σήμερα έχουν εμπλουτιστεί με στοιχεία από τις γλώσσες υπολογιστών και κυρίως των γλωσσών Assembly. Ο προγραμματισμός σε λίστα εντολών απαιτεί από τον ηλεκτρολόγο να έχει έστω στοιχειώδης γνώσεις προγραμματισμού.

```
NETWORK 1
LD      IO.1
S       MO.1, 1

NETWORK 2
LDN     IO.0
R       MO.1, 1

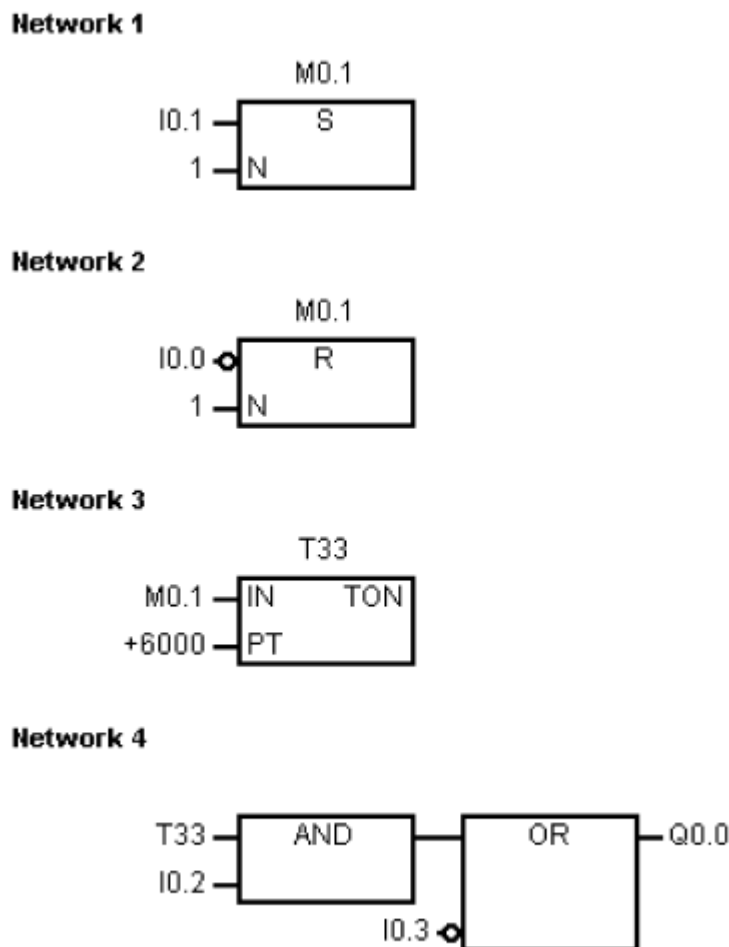
NETWORK 3
LD      MO.1
TON     T33, +6000

NETWORK 4
LD      T33
A       IO.2
ON      IO.3
=       Q0.0
```

Σχήμα 5.4 Πρόγραμμα σε γλώσσα λογικών εντολών (STL)

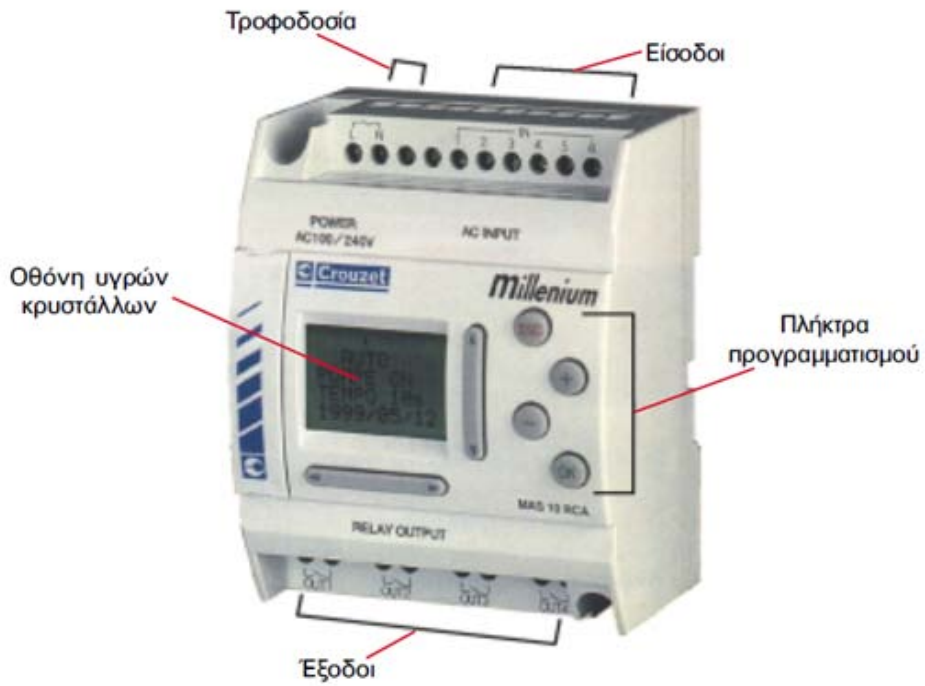
3. Γλώσσα FBD (Function block diagram) λογικών γραφικών ή λογικού διαγράμματος.

Η γλώσσα αυτή είναι επίσης γραφική αλλά αντί του ηλεκτρολογικού σχεδίου του αυτοματισμού χρησιμοποιεί το αντίστοιχο λογικό κύκλωμα. Η γλώσσα αυτή είναι νεότερη και δεν χρησιμοποιείται από όλες τις εταιρίες.

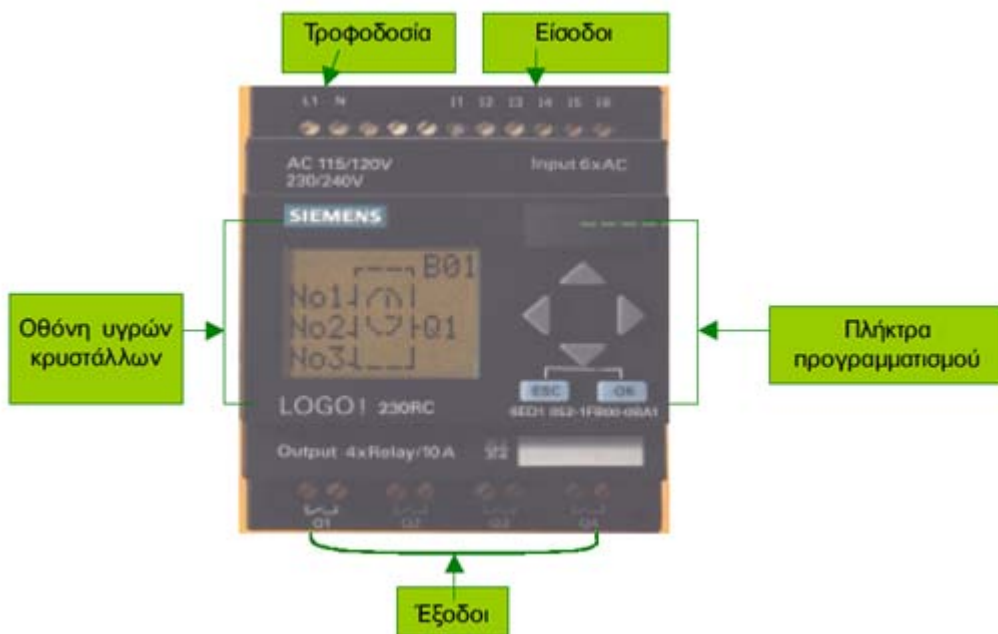


Σχήμα 5.5 Πρόγραμμα σε γλώσσα λογικών γραφικών (FBD)

Σε γλώσσα λογικών γραφικών και μόνο σ'αυτήν προγραμματίζονται δύο μικρά PLC, το Millenium της Crouzet και το LOGO της SIEMENS. Πρόκειται για μικρά και χαμηλού κόστους συμπαγή PLC.



Σχήμα 5.6 PLC Millenium της Crouzet



Σχήμα 5.7 PLC LOGO της SIEMENS

5.7.2. Παράδειγμα προγράμματος σε γλώσσα λογικών εντολών (STL) και σε γλώσσα λογικού διαγράμματος (FBD)

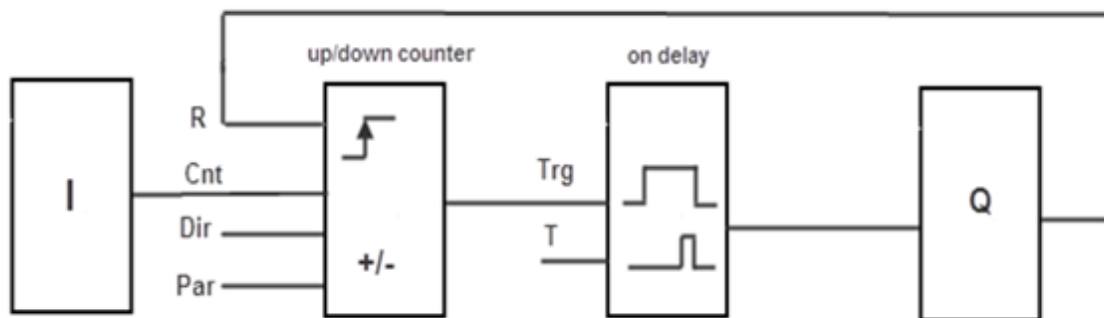
Παράδειγμα: Σε μια διαδικασία ελέγχου θέλουμε να γίνονται τα παρακάτω: Όταν περάσουν 5 αυτοκίνητα από την είσοδο του παρκινγκ να ανάβει μια λυχνία η οποία να φωτοβολεί για 3s. Η διαδικασία να επαναλαμβάνεται συνέχεια.

Απάντηση σε γλώσσα STL:

```
LD    I 0.0
LD    I 0.1
CTU   C34, +5
LD    C34
=     Q0.0
A     C34
TON   T37, +30
LD    T37
R     Q0.0, 1
R     C34, 1
END
```

Επεξήγηση: Στο πρόγραμμα αυτό με τον διακόπτη I0.0 θα μεταβάλλουμε το περιεχόμενο του απαριθμητή ενώ με τον I0.1 θα πρωτοποθετήσουμε την τιμή που επιθυμούμε. Στη συνέχεια εισάγουμε την εντολή απαρίθμησης CTU και όταν περάσουν 5 οχήματα ανάβει η λυχνία Q0.0. Ταυτόχρονα ενεργοποιείται ο timer για 3sec. Τέλος με τις εντολές R Q0.0,1 και R C34,1 κάνουμε reset την έξοδο και τον απαριθμητή.

Απάντηση σε γλώσσα FBD:



Επεξήγηση: Το πρώτο λογικό διάγραμμα είναι η είσοδος του παρκινγκ. Το δεύτερο διάγραμμα είναι ο απαριθμητής up/down με τα εξής σύμβολα:

- R (Reset): Μηδενίζει την έξοδο ή τις εξόδους.
- Cnt (Count): Απαριθμεί παλμούς που δίνουμε στην είσοδο.
- Dir (Direction): Την κατεύθυνση αρίθμησης. Δηλαδή αν θα μετράει προς τα πάνω η προς τα κάτω.
- Par (Parameter): Βάζουμε παραμέτρους μέχρι να απαριθμήσει.

Το τρίτο διάγραμμα είναι το χρονικό on delay με τα παρακάτω σύμβολα:

- Trg (Trigger): Είσοδος η οποία χρησιμοποιείται για να ξεκινήσει ο κύκλος λειτουργίας.
- T (Time): Καθορίζουμε χρονικές διάρκειες.

Το τέταρτο λογικό διάγραμμα είναι η έξοδος

5.7.3. Συσκευές προγραμματισμού

Η κάθε συσκευή προγραμματισμού έχει ως σκοπό να γράφει και να διορθώνει προγράμματα, να τα μεταφράζει σε γλώσσα μηχανής του PLC, να τα μεταφέρει σε αυτό και να τα ελέγχει.

- **Ηλεκτρονικό υπολογιστής (Personal Computer – PC):** Ο προσωπικός υπολογιστής χρησιμοποιείται σήμερα ευρύτατα για να γράφουμε ένα πρόγραμμα, να το διορθώνουμε και να το μεταφέρουμε μεταφρασμένο στο PLC.
- **Φορητές συσκευές προγραμματισμού (Pocket Programmers):** Χρησιμοποιούνται κυρίως για τον επί τόπου έλεγχο της καλής λειτουργίας του αυτοματισμού. Χρησιμοποιούνται επίσης πάρα πολύ για απευθείας προγραμματισμό όταν έχουμε μικρά προγράμματα, αλλά και για να κάνουμε μικροδιορθώσεις στο ήδη υπάρχον πρόγραμμα. Στις μέρες μας πλέον τείνουν να εξαλειφθούν αυτού του είδους οι συσκευές, λόγω της προσιτότητας των φορητών υπολογιστών (Laptops). Άρα η προγραμματίστρια είναι η γέφυρα επικοινωνίας ανάμεσα στο PLC και στον προγραμματιστή. Από την στιγμή που θα δοθεί το πρόγραμμα στο PLC, αυτό θα εκτελείται συνεχώς, γρήγορα και αξιόπιστα.

Κατά τη διάρκεια λειτουργίας του PLC (εκτέλεση του προγράμματος) η προγραμματίστρια δεν είναι πλέον απαραίτητη. Το PLC είναι ικανό από μόνο του, κρατώντας στη μνήμη το πρόγραμμα, να επιτελεί τον αυτοματισμό. Για αυτό οι διάφορες κατασκευάστριες εταιρίες φτιάχνουν τη συσκευή προγραμματισμού ως ξεχωριστή μονάδα, η οποία ενσωματώνεται ή συνδέεται καλωδιακά με τη μονάδα του PLC κάθε φορά που θέλουμε να το

προγραμματίσουμε. Κατόπιν, αποσυνδέεται και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για προγραμματισμό κάποιας άλλης συσκευής PLC ή για την αλλαγή του προγράμματος της ίδιας συσκευής.

Συμπεράσματα – Διαπιστώσεις

Μπορούμε να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι γενικά οι ελεγκτές χρησιμοποιούνται κατά κόρον στην βιομηχανία αλλά και στην καθημερινότητά μας. Η επιλογή τους γίνεται ανάλογα με τις απαιτήσεις που θέλουμε για το σύστημα. Για παράδειγμα ο αναλογικός ελεγκτής P είναι απλός και γρήγορος αλλά δεν μπορεί να εξαλείψει το σφάλμα στο υπό έλεγχο σύστημα. Αυτό έρχεται να διορθώσει ο ολοκληρωτικός ελεγκτής I ο οποίος αφενός εξαλείφει το σφάλμα αφετέρου κάνει το σύστημα ασταθές και αργό. Ο ελεγκτής τύπου D με τη σειρά του κάνει το σύστημα ευσταθές αλλά συμβάλει στην έξοδο μόνο όταν έχουμε απότομες αλλαγές στο σφάλμα, γι' αυτό το λόγο δεν χρησιμοποιείται ποτέ μόνος του αλλά σε συνδυασμό με τον P ή PI. Τέλος έχουμε τον PID ελεγκτή ο οποίος συνδυάζει τα πλεονεκτήματα των παραπάνω ελεγκτών και χρησιμοποιείται εκεί που απαιτείται ακριβής ρύθμιση και γρήγορη καταπολέμηση των διαταραχών.

Ωστόσο η ευελιξία και το μικρό μέγεθος των ψηφιακών ελεγκτών έφεραν σιγά-σιγά το τέλος των αναλογικών ελεγκτών. Οι ψηφιακοί ελεγκτές σήμερα χρησιμοποιούνται όσο κανένας άλλος ελεγκτής και ιδιαίτερα ο ελεγκτής τριών όρων ή PID ελεγκτής. Εξαιτίας της μεγάλης του ακρίβειας και αξιοπιστίας του αποτελεί

τον πυρήνα του βιομηχανικού ελέγχου. Η βιομηχανία έχει ανάγκη από απλούς και αξιόπιστους ελεγκτές, που να λειτουργούν αδιάλειπτα κάτω από αντίξοες και απαιτητικές συνθήκες που επικρατούν στο εργασιακό χώρο. Οι προγραμματιζόμενοι ελεγκτές που ήρθαν να αντικαταστήσουν στον κλασικό πίνακα αυτοματισμού τους βοηθητικούς ηλεκτρονόμους, τα χρονικά και τους απαριθμητές παρόλο τα πολλά πλεονεκτήματά τους και τις αμέτρητες εφαρμογές τους δεν χρησιμοποιούνται τόσο πολύ λόγω της έλλειψης επαρκούς ενημέρωσης των τεχνικών όλων των βαθμίδων. Έτσι δυσχεραίνουν και δημιουργούν προβλήματα στην εφαρμογή τους.

Γρήγορα διαπιστώνουμε ότι δεν υπάρχει κανένας ελεγκτής πιο διαδεδομένος, απλός και αξιόπιστος από τον ελεγκτή τριών όρων. Το πλήθος και το εύρος των βιομηχανικών διαδικασιών, σε ποσοστό έως 90%, που ελέγχονται από ελεγκτές τριών όρων είναι αναμφισβήτητη απόδειξη της χρησιμότητας και δημοτικότητας του ελεγκτή αυτού.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική βιβλιογραφία

- Richard C. Dorf – Robert H. Bishop (2009). **Σύγχρονα Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου**, 11^η έκδοση, εκδόσεις Τζιόλα.
- Π. Ν. Παρασκευοπούλου. **Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου, Θεωρία Και Εφαρμογές, Τόμος Β΄: Σ.Α.Ε. Διακριτού Χρόνου**, πρώτη έκδοση, Αθήνα 2007.
- Π. Ν. Παρασκευοπούλου. **Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου, Βασικές Έννοιες Με Εφαρμογές**, πρώτη έκδοση. Αθήνα 2002.
- Ροβέρτος-Ερρίκος Κινγκ. **Βιομηχανικός Έλεγχος**, Αθήνα 1996, εκδόσεις Παπασωτηρίου.
- Αναστασία Ν. Βελώνη (2011). **Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου, Ανάλυση και Προσομοίωση**, εκδόσεις Τζιόλα.
- Αναστασία Ν. Βελώνη (1997). **Συστήματα αυτομάτου Ελέγχου, Λυμένες Ασκήσεις**, Αθήνα, εκδόσεις Παπασωτηρίου.
- Παντελής Β. Μαλατέστας (2011). **Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου**, Θεσσαλονίκη, εκδόσεις Τζιόλα.
- Γεώργιος Κ. Φλαντίνης (1989). **Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου**, Αθήνα, Ίδρυμα Ευγενιδίου.
- Σταμάτιος Ν. Παλαιοκρασας (1982). **Βιομηχανικά Ηλεκτρονικά-Αυτοματισμοί**, Αθήνα, Ίδρυμα Ευγενιδίου.
- Παντελής Χ. Βαφειάδης. **Μαθήματα Συστημάτων Ελέγχου**, μέρος δεύτερο, μη γραμμικά Σ.Α.Ε., εξισώσεις καταστάσεως, ψηφιακά Σ.Α.Ε., δεύτερη έκδοση.

- Ν. Ι. Κρικέλη. **Εισαγωγή Στον Αυτόματο Έλεγχο, Θεωρία Και Εφαρμογές**, 3^η έκδοση, Αθήνα 2000, εκδόσεις Συμμετρία.
- Raymond T. Stefani, Bahram Shahian, Clement J. Savant, Jr, Gene H. Hostetter. **Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου**, τέταρτη έκδοση.
- Νικόλαος Α. Πανταζής (2001). Προγραμματιζόμενοι Λογικοί Ελεγκτές, 3^η έκδοση, εκδόσεις Ιών.

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

- Robert N. Bateson, P.E. **Introduction To Control System technology**, fifth edition, Prentice Hall, Upper Saddle, New Jersey Columbus, Ohio.
- Katsuhiko Ogata. **Modern Control Engineering**, third edition.
- Frank. D. Petruzela. **Industrial Electronics**, New York 1996.

Διαδίκτυο

- http://www.grobot.gr/PID_Algorithms_Pbasic_v.1.pdf
- gun.teipir.gr/DSAELAB/Ergastiriakes/pidtutorial.pdf
- <http://www.free-ebooks.gr/gre/ebooks/index>
- http://www.fme.aegean.gr/sites/default/files/SAE-Session1_2010.pdf
- http://electricallab.gr/index2.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=51&Itemid=34
- http://vivliothmmy.ee.auth.gr/87/1/diplomatiki_ergasia.pdf