



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ  
ΚΡΗΤΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ**

## **Πτυχιακή Εργασία**

**με θέμα**

**«Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου: Ανάπτυξη  
Αναλογικών, Ψηφιακών και  
Προγραμματιζόμενων Λογικών Ελεγκτών  
(PLC)»**

**ΚΟΛΛΙΑΣ ΠΕΤΡΟΣ**

**ΚΑΛΑΪΤΖΟΓΛΟΥ ΣΤΑΜΑΤΗΣ**

**Επιβλέπων Καθηγητής: Φραγκιαδάκης Νικόλαος**

**Χανιά, 2014**

## **Ευχαριστίες**

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον επιβλέποντα καθηγητή κύριο Φραγκιαδάκη Νικόλαο, για την βοήθεια που μας παρείχε σε όλη την διάρκεια της εκπόνησης της πτυχιακής μας εργασίας. Ήταν συνεχώς δίπλα μας και ήταν πάντα πρόθυμος να μας λύσει οποιαδήποτε απορία και να μας παρέχει βοήθεια σε οποιοδήποτε πρόβλημα προέκυπτε.

## Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αποτελεί μια μελέτη πάνω στα συστήματα αυτομάτου ελέγχου. Πιο συγκεκριμένα ασχολούμαστε με την ανάλυση των αναλογικών, ψηφιακών και προγραμματιζόμενων ελεγκτών. Μέσα από τις σελίδες της εργασίας αυτής θα δούμε αναλυτικά τους διάφορους τίτλους ελεγκτών, όπως ο αναλογικός P, ο ολοκληρωτικός I, ο διαφορικός D και ο συνδυασμός των τριών αυτών ελεγκτών. Παραθέτουμε τα πλεονεκτήματα, τα μειονεκτήματα αλλά και τις εφαρμογές τόσο των αναλογικών όσο και των ψηφιακών ελεγκτών στη βιομηχανία και στην καθημερινή μας ζωή.

Το τρίτο μέρος της διατριβής ασχολείται με προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές, με ιδιαίτερη έμφαση στην ανάλυση των επιμέρους στοιχείων ενός PLC και τις εφαρμογές τους στη σύγχρονη βιομηχανία.

Με το έργο αυτό έχουμε ως στοχεύουμε στην καλύτερη κατανόηση των αυτόματων συστημάτων ελέγχου, τη λειτουργία και την εφαρμογή τους.

## **Abstract**

The present essay is a study on the automatic control systems. In particular it analyses the analog, digital and programmable controllers. In this essay various types of controllers, such as proportional P, the integral I, the differential D as well as the combination of these three controllers are being elaborated. Moreover the advantages, disadvantages and applications of both analog and digital controllers in industry and everyday life are being introduced.

The third part of the thesis deals with programmable controllers, with particular emphasis on the analysis of individual components of PLC controller and their applications in modern industry.

Through this project we aim to help better understanding of automatic control systems, their operation and their implementation.

## Περιεχόμενα

Εισαγωγή

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ Σ.Α.Ε.

1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

1.2 Βασικά στοιχεία συστημάτων ελέγχου

1.2.1 Γενικά

1.2.2 Block diagrams

1.2.3 Συναρτήσεις μεταφοράς

1.2.4 Συστήματα ελέγχου ανοικτού βρόγχου

1.2.5 Συστήματα ελέγχου κλειστού βρόγχου

1.2.6 Απόδοση συστημάτων ελέγχου

1.2.7 Βασικές βαθμίδες συστημάτων ελέγχου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΑΝΑΛΟΓΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ

2.1 Εισαγωγή

2.2 Αναλογικοί Ελεγκτές

2.3 Ελεγκτής δυο θέσεων (ON-OFF)

2.4 Αναλογικός (P) ελεγκτής

2.4.1 Ηλεκτρονικό Κύκλωμα Αναλογικού Ελεγκτή Τύπου P

2.5 Ολοκληρωτικός (I) ελεγκτής

2.5.1 Ηλεκτρονικό Κύκλωμα Ελεγκτή Τύπου I

2.6 Διαφορικός (D) ελεγκτής

2.6.1 Ηλεκτρονικό Κύκλωμα Ελεγκτή Τύπου D

2.7 Αναλογικός – Ολοκληρωτικός (PI) ελεγκτής

2.7.1 Ηλεκτρονικό Κύκλωμα Ελεγκτή Τύπου PI

2.8 Αναλογικός – Διαφορικός (PD) Ελεγκτής

2.8.1 Ηλεκτρονικό Κύκλωμα Ελεγκτή PD

2.9 Αναλογικός – Ολοκληρωτικός – Διαφορικός (PID) Ελεγκτής

2.9.1 Ηλεκτρονικό Κύκλωμα Ελεγκτή Τύπου PID

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΨΗΦΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ

3.1 Εισαγωγή

3.2 Πλεονεκτήματα ψηφιακών ελεγκτών

3.3 Μειονεκτήματα ψηφιακών ελεγκτών

3.4 Εφαρμογές ψηφιακών ελεγκτών

3.5 Χρήσιμες διατάξεις στον αυτοματισμό με υπολογιστές

3.6 Βασική δομή ψηφιακών συστημάτων ελέγχου

3.7 Δειγματοληψία και κράτηση

3.8 Επίπεδα λειτουργίας του ψηφιακού ελεγκτή

3.9 Ψηφιακός Ελεγκτής PID

3.9.1 Διαφορετικές μορφές PID

3.9.2 Αλγόριθμος για Ελεγκτή PID Διακριτού Χρόνου

3.9.3 Ρύθμιση του Ελεγκτή PID

3.9.4 Μέθοδος Ziegler-Nichols Frequency Domain (ZNFD)

3.9.5 Αυτόματη Ρύθμιση

3.9.5.1 Παρατηρήσεις σχετικά με την αυτόματη ρύθμιση

3.9.6 Δειγματοληψία σε Ελεγκτές PID

3.9.7 Αλγοριθμικός έλεγχος

- 3.11 Μέθοδος παραγωγού
- 3.12 Προηγμένος Έλεγχος
- 3.13 Ελεγκτής τύπου ON/OFF
  - 3.13.1 Αλγόριθμος ON/OFF
- 3.14 Έλεγχος σειριακής ζεύξης
- 3.15 Έλεγχος ορθής τροφοδοσίας
- 3.16 Προσαρμοστικοί ελεγκτές
- 3.17 Πολυμεταβλητός Έλεγχος

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟΙ ΛΟΓΙΚΟΙ ΕΛΕΓΚΤΕΣ (PLC)

- 4.1 Ιστορική αναδρομή
- 4.2 Πλεονεκτήματα PLC
- 4.3 Περιγραφή και τρόπος λειτουργίας των PLC
- 4.4 Βασικά μέρη ενός PLC
  - 4.4.1 Μονάδα τροφοδοσίας
  - 4.4.2 Κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU)
    - 4.4.2.1 Χάρτης μνήμης
    - 4.4.2.2 Προσωρινές αποθήκες μνήμης (Register)
    - 4.4.2.3 Κύρια ρελέ ελέγχου (MCR)
    - 4.4.2.4 Χρονικά
    - 4.4.2.5 Αριθμητές
    - 4.4.2.6 Αριθμητικές λειτουργίες
  - 4.4.3 Μονάδα εισόδων/εξόδων (I/O)
    - 4.4.3.1 Χωρητικότητα I/O

- 4.4.3.2 Στοιχείο εισόδου
- 4.4.3.3 Είσοδοι αριθμητών μεγάλης ταχύτητας & έλεγχος παλμών
- 4.4.3.4 Αναλογικές εισοδοι
- 4.4.3.5 Στοιχείο εξόδου
- 4.4.3.6 AC Τμήματα εξόδων
- 4.4.3.7 Ρελέ εξόδου
- 4.4.3.8 DC τμήματα εξόδων
- 4.4.4 Προγραμματίστριες
  - 4.4.4.1 Προγραμματίστριες γραφείου
  - 4.4.4.2 Φορητές προγραμματίστριες
  - 4.4.4.3 Σύγχρονος τρόπος προγραμματισμού
- 4.4.5 Περιφερειακά
- 4.5 Προσαρμογή ψηφιακών συσκευών
  - 4.5.1 Ψηφιακές συσκευές εισόδου
  - 4.5.2 Ψηφιακές Συσκευές εξόδου
- 4.6 Προσαρμογή αναλογικών συσκευών
- 4.7 Προγραμματισμός ενός PLC
  - 4.7.1 Πολυγραμμικά διαγράμματα
    - 4.7.1.1 Διάγραμμα ladder
    - 4.7.1.2 Κανόνες διαγραμμάτων ladder
  - 4.7.2 Μέθοδος προγραμματισμού Boole
    - 4.7.2.1 Άλγεβρα Boole
  - 4.7.3 Μέθοδος προγραμματισμού Grafcet



## 4.8 Δομή ενός προγράμματος PLC

### 4.8.1 Λειτουργικό σύστημα

### 4.8.2 Πρόγραμμα εφαρμογής

## 4.9 Επεξεργασία προγράμματος

### 4.9.1 Γραμμικό πρόγραμμα

### 4.9.2 Τμηματοποιημένο πρόγραμμα

### 4.9.3 Δομημένο πρόγραμμα

## 4.10 Τύποι διαθέσιμων block

### 4.10.1 Block οργάνωσης OB (Organization Blocks)

### 4.10.2 Συναρτήσεις FC (Functions)

### 4.10.3 Block Συναρτήσεων FB (Function Block)

### 4.10.4 Block δεδομένων DB (Data Blocks)

#### 4.10.4.1 Block γενικών δεδομένων (Global Data Block GD)

#### 4.10.4.2 Πρότυπα block δεδομένων (Instance Data Block)

### 4.10.5 Δομή των Block

## 4.11 Στάδια εργασίας υλοποίησης αυτοματισμού

## 4.12 Παράδειγμα βιομηχανικής εφαρμογής με PLC

## 4.13 Παράδειγμα βιομηχανικής εφαρμογής με PLC No 2

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα συστήματα αυτομάτου ελέγχου αποτελούν ένα από τα πιο σημαντικά και ταχύτερα αναπτυσσόμενο κομμάτι της τεχνολογίας. Η ανάγκη για μεγαλύτερη ταχύτητα εκτέλεσης των εργασιών αλλά και η ανάγκη για οικονομία οδήγησαν στην τεράστια ανάπτυξη των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου.

Χάρη στην αυτοματοποίηση της παραγωγής οι βιομηχανικές επιχειρήσεις αυξάνουν την παραγωγικότητα τους μειώνοντας παράλληλα το κόστος παραγωγής με αποτέλεσμα να μπορούν να ανταπεξέλθουν καλύτερα στον μεγάλο ανταγωνισμό.

Οι αυτοματισμοί συναντώνται παντού στην καθημερινότητα μας, όπως για παράδειγμα το ψυγείο, το πλυντήριο ρούχων ή ο θερμοσίφωνας. Οι αυτοματισμοί είναι ιδιαίτερα διαδεδομένοι και χρήσιμοι σε τομείς όπως οι τηλεπικοινωνίες, η ρομποτική, η ηλεκτρονική, ακόμα και σε τομείς της επιστήμης που δεν σχετίζονται με την τεχνολογία, όπως είναι η νευρολογία, η ιατρική και η βιολογία.

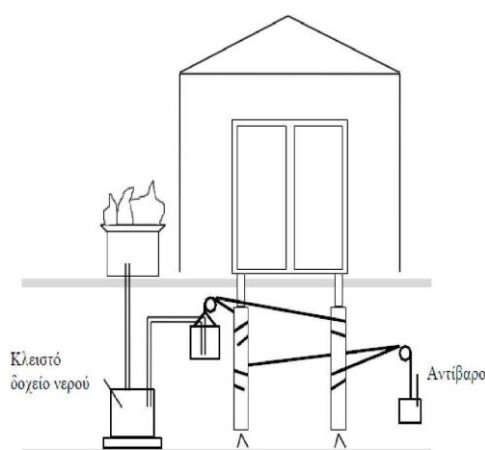
Κατανοούμε λοιπόν πως τα συστήματα αυτομάτου ελέγχου αποτελούν ένα αναπόσπαστο κομμάτι του σύγχρονου κόσμου αφού εξασφαλίζουν την βέλτιστη λειτουργία και την μέγιστη δυνατή απόδοση.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

### 1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Τα συστήματα αυτομάτου ελέγχου είχαν επινοηθεί ήδη από την αρχαιότητα. Ένα από τα πρώτα συστήματα αυτοματισμού είναι ο «Ρυθμιστής του Ήρωνος του Αλεξανδρέως».

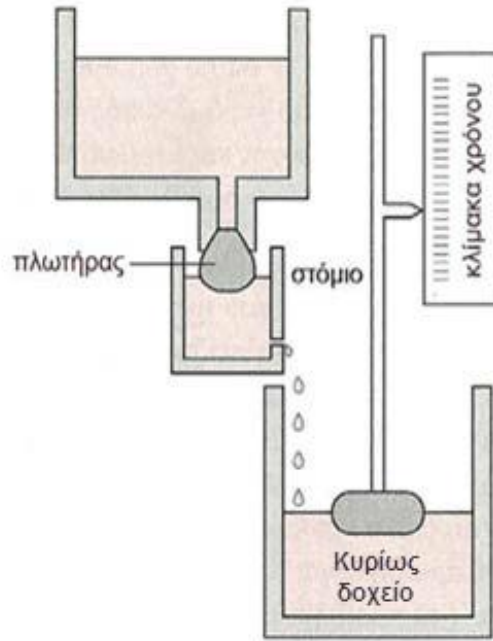


Εικόνα 1: Ο ρυθμιστής του Ήρωνος του Αλεξανδρέως

Ο ρυθμιστής αυτός είχε σχεδιασθεί έτσι ώστε η πύλη ενός ναού άνοιγε αυτόματα όταν άναβε η φωτιά στον βωμό και έκλεινε όταν έσβηνε η φωτιά.

Ο αυτοματισμός αυτός επιτυγχανόταν ως εξής: Η φωτιά ζέσταινε τον αέρα κάτω από τον βωμό, ο οποίος με την σειρά του έσπρωχνε το νερό από το πρώτο δοχείο στο δεύτερο. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα το δεύτερο δοχείο να κατεβαίνει προς τα κάτω. Όταν το βάρος του δεύτερου δοχείου ξεπερνούσε το βάρος του αντίβαρου, κατέβαινε προς τα κάτω και έτσι η πύλη άνοιγε. Όταν έσβηνε η φωτιά στον βωμό, το νερό από το δεύτερο δοχείο επέστρεφε στο πρώτο. Έτσι το δεύτερο δοχείο επέστρεφε στην αρχική του θέση και η θύρα έκλεινε.

Ένα άλλο γνωστό παράδειγμα αυτοματισμού στην αρχαιότητα είναι το «Ρολόι νερού του Κτησίβιου». Το ρολόι αυτό αποτελεί ένα κλασικό παράδειγμα ανάδρασης. Μπορούσε να λειτουργεί αδιάκοπα χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση.



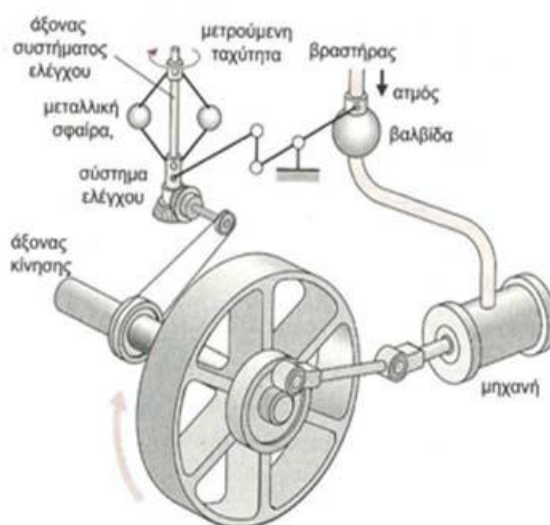
Εικόνα 2: Ρολόι νερού του Κτησίβιου

Κατά το 250 π.Χ ο Φίλων κατασκεύασε μια λάμπα λαδιού στην οποία χρησιμοποίησε ένα είδος φλωτέρ για την διατήρηση του λαδιού σε σταθερή στάθμη.

Για αρκετά χρόνια ο αυτόματος έλεγχος δεν έχει να επιδείξει αξιόλογα επιτεύγματα. Το πρώτο σύστημα αυτομάτου ελέγχου κλειστού βρόχου που εφευρέθηκε στην Ευρώπη είναι ο ρυθμιστής θερμοκρασίας και αποδίδεται στον Ολλανδό Cornelis Drebbel. Λίγα χρόνια αργότερα, το 1681, ο Dennis Papin θα εφεύρει τον πρώτο ρυθμιστή πίεσης για ατμολέβητες. Πρόκειται για μια ασφαλιστική διάταξη παρόμοια με τη βαλβίδα εκτόνωσης που χρησιμοποιείται σήμερα στις χύτρες ταχύτητας.

Το 1769 αποτελεί έτος σταθμό για τα συστήματα αυτομάτου ελέγχου αφού κατασκευάζεται ο φυγοκεντρικός ρυθμιστής ταχύτητας από τον James Watt. Η κατασκευή αυτή χρησιμοποιήθηκε ευρέως στις ατμομηχανές. Ο τρόπος λειτουργίας της ήταν ο εξής: 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 στην Εικόνα 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.



Εικόνα 3: Φυγοκεντρικός Ρυθμιστής Ταχύτητας

Βλέπουμε λοιπόν ότι η βιομηχανική επανάσταση αποτέλεσε αφορμή για την ανάπτυξη των συστημάτων ελέγχου κυρίως εμπειρικά και χωρίς καμία θεωρητική βάση. Οι πρώτες βάσεις που συνιστούν το μαθηματικό υπόβαθρο των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου τοποθετήθηκαν από τους Maxwell (1868) και Vyshnegradskii (1877) οι οποίοι ασχολήθηκαν κυρίως με τον φυγοκεντρικό ρυθμιστή του Watt.

Όπως ήταν φυσικό κατά την διάρκεια του Β' παγκοσμίου πολέμου τα συστήματα αυτομάτου ελέγχου αναπτύχθηκαν σημαντικά. Η ανάπτυξη αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι υπήρξε άμεση ανάγκη κατασκευής στρατιωτικών οχημάτων όπως οι διατάξεις οδήγησης αεροπλάνων, οι διατάξεις ελέγχου θέσης οπλικών συστημάτων κλπ. Τα σημαντικότερα επιτεύγματα αυτής της περιόδου οφείλονται κυρίως στους Nickols, Bode, Wiener και Evans.

Μέχρι το τέλος αυτής της περιόδου οι αυτοματισμοί ήταν καθαρά μηχανικοί, ο έλεγχος δηλαδή γινόταν αποκλειστικά με την κίνηση γραναζιών και μοχλών. Η τεχνολογία όμως εξελίσσεται συνεχώς, έτσι στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα έχουμε τις πρώτες ηλεκτρονικές συσκευές. Η ανακάλυψη του Transistor το 1950 έδωσε το έναυσμα για μια σειρά ανακαλύψεων.

Το 1975 κατασκευάζεται ο πρώτος μικροϋπολογιστής που αποτελεί και την βάση για όλα τα μετέπειτα συστήματα αυτοματισμού. Τα ηλεκτρονικά συστήματα χρησιμοποιούνταν ελάχιστα στην βιομηχανία μέχρι και την δεκαετία του 80, όπου και κάνει την εμφάνιση του το πρώτο PLC

(Programmable Logic Controller). Το PLC αποτέλεσε μια επαναστατική αλλαγή στον τρόπο με τον οποίο λειτουργούσε η βιομηχανία.

## 1.2 Βασικά στοιχεία συστημάτων ελέγχου

### 1.2.1 Γενικά

Σαν σύστημα αυτομάτου ελέγχου ορίζεται ένα σύστημα που τα διάφορα μέρη του είναι συνδεδεμένα μεταξύ του έτσι ώστε να συμπεριφέρονται αυτόματα κατά ένα προκαθορισμένο επιθυμητό τρόπο.<sup>3</sup>

Κάθε σύστημα ελέγχου περιγράφεται από ένα σύνολο μαθηματικών εξισώσεων οι οποίες προσδιορίζουν τα χαρακτηριστικά του κάθε εξαρτήματος που περιλαμβάνει.



Εικόνα 4: Σχηματικό διάγραμμα συστήματος με είσοδο και έξοδο

### 1.2.2 Block diagrams

Ένας απλοϊκός αλλά παράλληλα αρκετά περιεκτικός τρόπος αναπαράστασης των συστημάτων ελέγχου είναι τα διαγράμματα βαθμίδων (block diagrams). Χρησιμοποιώντας τα διαγράμματα βαθμίδων επιτυγχάνεται ο εύκολος έλεγχος του τρόπου διασύνδεσης και αλληλεπίδρασης των επιμέρους βαθμίδων που συνθέτουν ένα σύστημα ελέγχου. Κάθε βαθμίδα του δομικού διαγράμματος, αντιστοιχεί σε μια βαθμίδα του φυσικού συστήματος και μπορεί να αποτελείται από ένα ή περισσότερα φυσικά στοιχεία κατάλληλα διασυνδεδεμένα.

### 1.2.3 Συναρτήσεις μεταφοράς

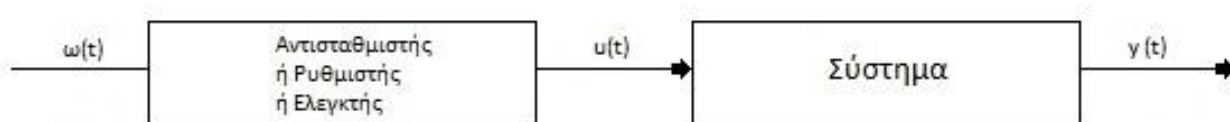
Η συνάρτηση μεταφοράς αποτελεί έναν από τους βασικούς τρόπους περιγραφής της εισόδου και της εξόδου μιας βαθμίδας. Ως συνάρτηση μεταφοράς ενός γραμμικού συστήματος, ορίζουμε το λόγο της μεταβλητής εξόδου προς την μεταβλητή είσοδο, θεωρώντας μηδενικές αρχικές συνθήκες. Η συνάρτηση μεταφοράς είναι η σχέση που περιγράφει τη δυναμική του

συστήματος. Η συνάρτηση μεταφοράς σχετίζεται μόνο με την είσοδο και την έξοδο του συστήματος και δεν παρέχει καμία πρόσθετη πληροφορία για την φυσική του δομή.

### 1.2.4 Συστήματα ελέγχου ανοικτού βρόγχου

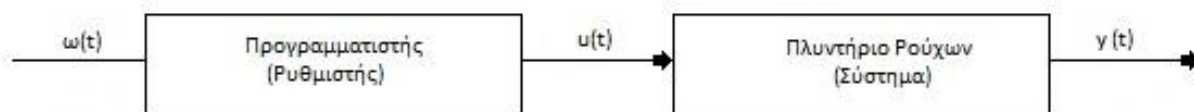
Ως σύστημα ελέγχου ανοικτού βρόγχου ορίζεται ένα σύστημα στο οποίο η είσοδος δεν αποτελεί συνάρτηση της εξόδου.

Στα συστήματα ανοικτού βρόγχου το σήμα εισόδου δεν είναι ένα σήμα που παράγεται απευθείας από μια γεννήτρια αλλά η έξοδος ενός πρόσθετου συστήματος που ονομάζεται αντισταθμιστής. Ο αντισταθμιστής διεγείρεται από μια εξωτερική διέγερση ενώ η έξοδος του αποτελεί διέγερση για το υπο έλεγχο σύστημα.



Εικόνα 5: Ανοικτό Σύστημα

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα συστήματος ανοικτού βρόγχου είναι το πλυντήριο ρούχων. Στο παράδειγμα αυτό, σαν ρυθμιστής χρησιμοποιείται ένα σύστημα που θέτει το πλυντήριο σε μια σειρά από λειτουργίες. Κατά την διάρκεια των λειτουργιών αυτών η έξοδος του συστήματος δεν λαμβάνεται υπόψη. Σαν έξοδο του συστήματος θεωρούμε το κατά πόσο τα ρούχα πλένονται ικανοποιητικά.



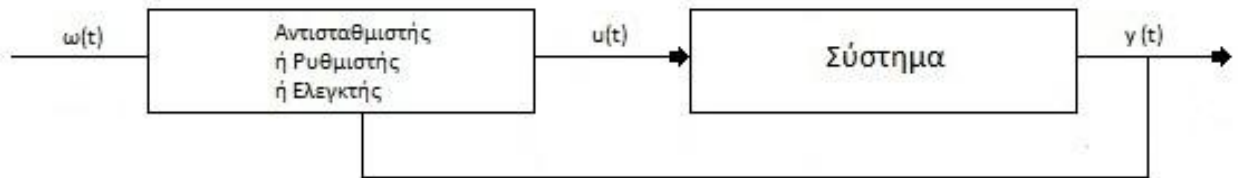
Εικόνα 6: Το πλυντήριο ρούχων ως ανοικτό σύστημα

Όπως μπορούμε να διακρίνουμε και από την παραπάνω εικόνα, το πλυντήριο εκτελεί τις εντολές που λαμβάνει στην είσοδο του χωρίς να επηρεάζεται από την έξοδο.

### 1.2.5 Συστήματα ελέγχου κλειστού βρόγχου

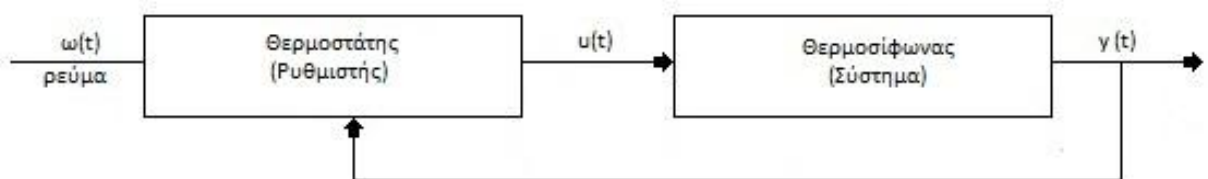
Ως σύστημα ελέγχου κλειστού βρόγχου ορίζεται ένα σύστημα στο οποίο η είσοδος αποτελεί συνάρτηση της εξόδου.

Στα συστήματα κλειστού βρόγχου το σήμα εισόδου δεν είναι ένα σήμα που παράγεται απευθείας από μια γεννήτρια αλλά η έξοδος ενός πρόσθετου συστήματος που ονομάζεται αντισταθμιστής. Ο αντισταθμιστής διεγείρεται και από την έξοδο του υπο έλεγχου συστήματος, οπότε η  $u(t)$  είναι συνάρτηση της  $y(t)$ .



Εικόνα 7: Κλειστό Σύστημα

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα κλειστού συστήματος είναι ο θερμοσίφωνας. Στο παράδειγμα αυτό σαν σύστημα θεωρούμε τον θερμοσίφωνα ενώ σαν έξοδο ορίζουμε την θερμοκρασία του νερού που περιέχει. Η θερμοκρασία του νερού προκαθορίζεται να κυμαίνεται από  $65^\circ$  έως  $70^\circ$ . Ως ρυθμιστής χρησιμοποιείται ένας θερμοστάτης ο οποίος διατηρεί την θερμοκρασία του νερού στους  $65^\circ$  με  $70^\circ$ .



Εικόνα 8: Ο θερμοσίφωνας ως κλειστό σύστημα ελέγχου

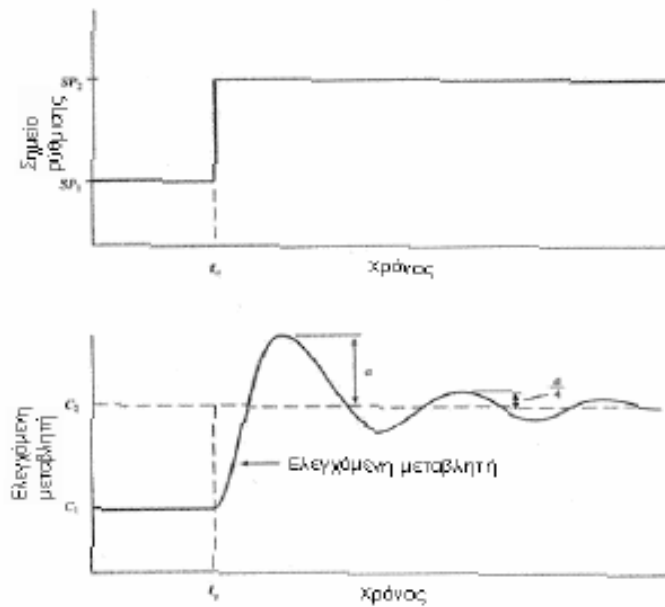
Παρατηρώντας την εικόνα 8 βλέπουμε ότι ο ρυθμιστής (θερμοστάτης), δίνει την κατάλληλη είσοδο  $u(t)$  στον θερμοσίφωνα. Η είσοδος αυτή επηρεάζεται από την έξοδο  $y(t)$  του θερμοσίφωνα, δηλαδή την θερμοκρασία του νερού. Επομένως εδώ έχουμε ένα κλασικό παράδειγμα κλειστού συστήματος, όπου η είσοδος είναι συνάρτηση της εξόδου.

### 1.2.6 Απόδοση συστημάτων ελέγχου

Για να ελέγξουμε εάν ένα σύστημα αυτομάτου ελέγχου είναι αποδοτικό θα πρέπει αφενός να ορίσουμε μια διαδικασία ελέγχου και αφετέρου δε να επιλέξουμε τα κριτήρια καλού ελέγχου.

Μια τυπική διαδικασία της αποδοτικότητας ενός συστήματος ελέγχου είναι αυτή που βλέπουμε παρακάτω:





Εικόνα 9: Γραφική παράσταση φθοράς τετάρτου του πλάτους

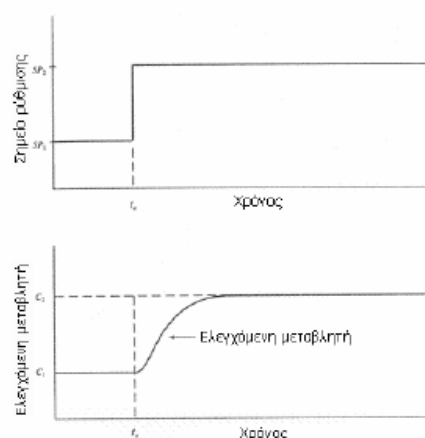
Τα τρία πιο κοινά κριτήρια καλού ελέγχου είναι τα εξής:

- *Φθορά τετάρτου του πλάτους*

Αυτό το κριτήριο ορίζει μια μετρημένη ταλάντωση στην οποία κάθε διαδοχική θετική τιμή κορυφής του σήματος είναι το τέταρτο της προηγούμενης θετικής τιμής της κορυφής.

- *Κρίσιμη απόσβεση*

Η κρίσιμη απόσβεση χρησιμοποιείται όταν επιθυμούμε να αποφύγουμε την υπέρβαση του σημείου ρύθμισης. Σαν κρίσιμη απόσβεση ορίζουμε την ελάχιστη ποσότητα απόσβεσης που θα παράγει μια απόκριση χωρίς υπέρβαση και ταλάντωση.



Εικόνα 10: Γραφική παράσταση κρίσιμης απόσβεσης

- *Ολοκλήρωμα της απόλυτης τιμής του σφάλματος*

Το κριτήριο αυτό ορίζει ότι η ολική επιφάνεια κάτω από την καμπύλη σφάλματος πρέπει να είναι ελάχιστη. Το σφάλμα είναι η απόσταση μεταξύ του C2 και της καμπύλης της ελεγχόμενης μεταβλητής. Το ολοκλήρωμα της απόλυτης τιμής του σφάλματος είναι η ολική σκιασμένη περιοχή στην καμπύλη.

### 1.2.7 Βασικές βαθμίδες συστημάτων ελέγχου

Οι βασικές βαθμίδες των συστημάτων ελέγχου είναι οι εξής:

- **Είσοδος (input)**

Διέγερση που εφαρμόζεται στο σύστημα από εξωτερική πηγή

- **Μετατροπέας (Transducer)**

Βοηθάει στην μετατροπή ενός είδους ενέργειας σε ένα άλλο (π.χ. μηχανική σε ηλεκτρική)

- **Ελεγχόμενη μεταβλητή  $c(t)$**

Πρόκειται για μια φυσική ποσότητα (π.χ. θερμοκρασία, πίεση κλπ) η οποία ελέγχεται από το σύστημα. Συνήθως αναφέρεται ως έξοδος

- **Διαταραχή (Disturbance)**

Διαταραχή είναι κάθε ανεπιθύμητο σήμα που επηρεάζει την έξοδο του συστήματος

- **Αθροιστής**

Αθροίζει αλγεβρικά τα εισερχόμενα σήματα για να παράγει ένα σήμα εξόδου

- **Ελεγκτής (Controller)**

Αποτελεί ίσως το πιο σημαντικό κομμάτι ενός συστήματος ελέγχου αφού ελέγχει την έξοδο που παράγει ένα σύστημα και έχει σαν σκοπό τον μηδενισμό του σφάλματος της εξόδου και γενικότερα την βελτιστοποίηση του συστήματος

- **Ελεγχόμενη διεργασία**

Σαν ελεγχόμενη διεργασία ορίζουμε κάθε τι που απαιτείται για τον έλεγχο της φυσικής ποσότητας.

- **Ανάδραση (Feedback)**

Ανάδραση καλείται η διαδικασία κατά την οποία η έξοδος (ή μέρος αυτής) επιστρέφει στον αθροιστή μέσω του κλάδου ανατροφοδότησης ώστε να μπορεί να συγκριθεί με την είσοδο του συστήματος. Η ανάδραση αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές διαδικασίες σε ένα σύστημα ελέγχου αφού επιφέρει ευστάθεια και ακρίβεια στο σύστημα.

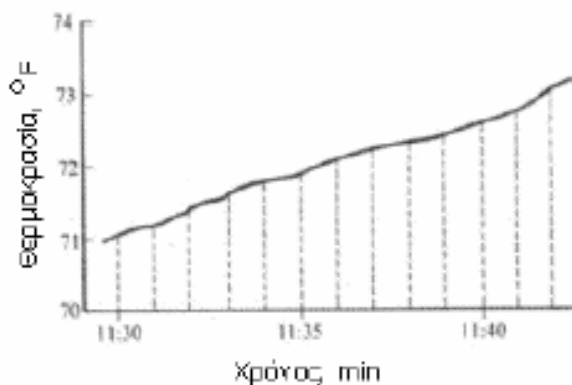
## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2**

### **ΑΝΑΛΟΓΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ**

#### **2.1 Εισαγωγή**

Ο αναλογικός έλεγχος, αποτελεί την πιο απλή μορφή ελέγχου. Ο αναλογικός έλεγχος αναφέρεται σε συστήματα ελέγχου τα οποία χρησιμοποιούν αναλογικά σήματα (αναλογικά συστήματα ελέγχου)

Αναλογικό σήμα καλείται το σήμα που μπορεί να πάρει οποιαδήποτε τιμή μεταξύ δυο οριακών τιμών, δηλαδή είναι συνεχής συνάρτηση του χρόνου.



Εικόνα 11: Αναλογικό σήμα

#### **2.2 Αναλογικοί Ελεγκτές**

Στον σχεδιασμό ενός συστήματος ελέγχου ο πρωταρχικός στόχος του σχεδιαστή είναι το υπό έλεγχο σύστημα να λειτουργεί όσο το δυνατόν καλύτερα και με λιγότερα σφάλματα στην έξοδο του.

Για να μπορέσει να καλυφθεί αυτή η ανάγκη είναι απαραίτητη η προσθήκη της βαθμίδας ελέγχου σε κάθε υπό έλεγχο σύστημα. Ο ελεγκτής βοηθάει τον σχεδιαστή να εντοπίσει τα σφάλματα και να τροποποιήσει τα

επιμέρους στοιχεία του συστήματος ώστε να πετύχει το επιθυμητό αποτέλεσμα.

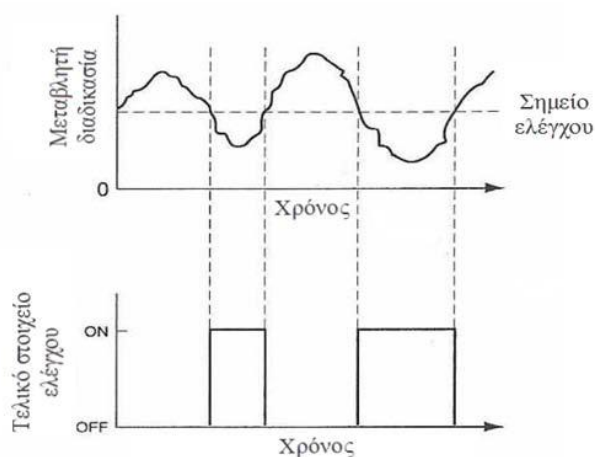
Ο ελεγκτής στην ουσία συγκρίνει την πραγματική τιμή της εξόδου ενός συστήματος με την επιθυμητή τιμή και αφού βρει την απόκλιση παράγει ένα ρυθμιστικό σήμα ελέγχου με σκοπό την μείωση ή την διαφορά της απόκλισης και κατ'επέκταση του σφάλματος.

Στα συστήματα ελέγχου υπάρχουν διάφορα είδη ελεγκτών που επιτελούν διαφορετικό ρόλο και ενσωματώνονται στο σύστημα με διαφορετικό τρόπο. Ανάλογα με τις ιδιότητες του συστήματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφοροι συνδυασμοί των παρακάτω ελεγκτών :

- Ελεγκτής δυο θέσεων (ON-OFF)
- Αναλογικός (P) ελεγκτής
- Ολοκληρωτικός (I) ελεγκτής
- Διαφορικός (D) ελεγκτής
- Αναλογικός – Ολοκληρωτικός (PI) ελεγκτής
- Αναλογικός – Διαφορικός (PD) ελεγκτής
- Αναλογικός – Ολοκληρωτικός – Διαφορικός (PID) ελεγκτής

### 2.3 Ελεγκτής δυο θέσεων (ON-OFF)

Ο ελεγκτής δυο θέσεων (γνωστός και ως ελεγκτής ON-OFF) επιτρέπει μόνο δυο βασικές ενέργειες (άνοιγμα/κλείσιμο) οι οποίες εξαρτώνται από το σήμα ελέγχου. Η μια αφορά την περίπτωση που η τιμή της μετρούμενης μεταβλητής ξεπερνάει το επιθυμητό σημείο και η άλλη την περίπτωση που η τιμή της μετρούμενης μεταβλητής είναι κάτω από το επιθυμητό σημείο. Ο ελεγκτής αυτός δεν παραμένει ποτέ σε μια ενδιάμεση θέση.

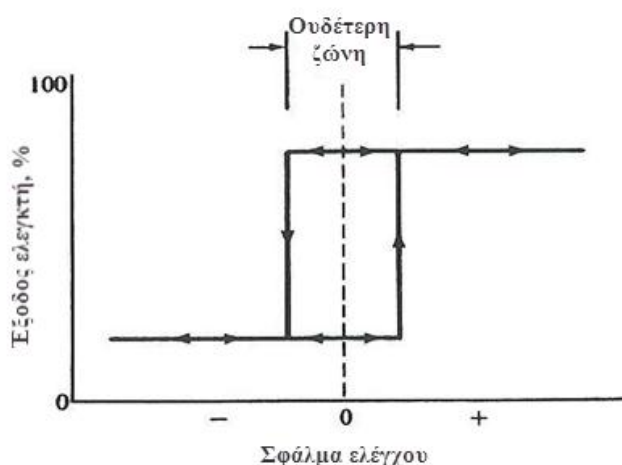


Εικόνα 12: Ελεγκτής ON-OFF

Όπως βλέπουμε στην εικόνα 12, όταν η μετρούμενη μεταβλητή ξεπερνάει το σημείο ελέγχου του ελεγκτή η έξοδος του ελεγκτή είναι μηδενική. Η έξοδος παραμένει μηδέν μέχρι την στιγμή που η μετρούμενη μεταβλητή περνάει κάτω από το σημείο ελέγχου. Από εκείνη την στιγμή, και μέχρι η μετρούμενη μεταβλητή να γίνει μεγαλύτερη από το σημείο ελέγχου η έξοδος του ελεγκτή είναι ανοικτή.

Ο ελεγκτής δυο θέσεων χρησιμοποιείται ευρέως σε βιομηχανικά συστήματα αφού το κόστος του είναι πολύ μικρό. Επίσης χρησιμοποιείται πολύ συχνά και σε συστήματα καθημερινής χρήσεως όπως είναι το σύστημα κλιματισμού ή ο θερμοστάτης χώρου.

Η χαρακτηριστική εισόδου-εξόδου ενός τυπικού ελεγκτή δύο θέσεων, φαίνεται στην εικόνα 13. Όπως διαπιστώνουμε παρατηρώντας την χαρακτηριστική εισόδου – εξόδου, οι ελεγκτές ON-OFF διαθέτουν μια ουδέτερη ζώνη για την αποφυγή σφαλμάτων.



Εικόνα 13: Χαρακτηριστική εισόδου – εξόδου ενός ελεγκτή ON-OFF

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.

Ο συγκεκριμένος τύπος ελεγκτή στέλνει παλμούς ενέργειας στο υπό έλεγχο σύστημα με αποτέλεσμα να προκαλεί ταλάντωση της ελεγχόμενης μεταβλητής.

Συνοψίζοντας όλα τα παραπάνω καταλήγουμε στα εξής συμπεράσματα για τους ελεγκτές δυο θέσεων:

### Πλεονεκτήματα

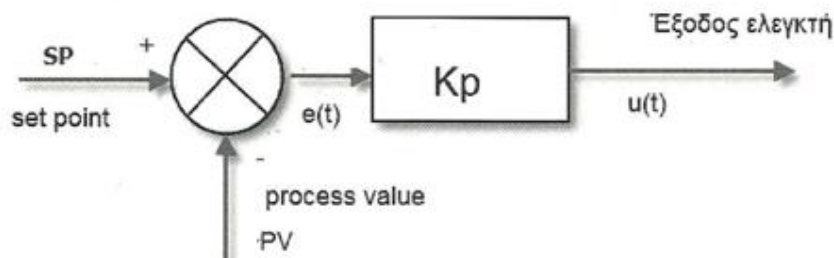
- Ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας
- Δυνατότητα ελέγχου σε ευρείες περιοχές λειτουργίας (τάση, θερμοκρασία κλπ)
- Είναι εύκολος στην ρύθμιση
- Ελάχιστο κόστος

### Μειονεκτήματα

- 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.

## 2.4 Αναλογικός (P) ελεγκτής

Ο αναλογικός ελεγκτής (Proportional Control) στέλνει στην έξοδο του σήμα ανάλογο με το σφάλμα που λαμβάνει στην είσοδο του. Πρόκειται λοιπόν για μια διάταξη ενίσχυσης του σφάλματος με κέρδος  $K_p$ .



Εικόνα 14: Αναλογικός ελεγκτής τύπου P

Παρατηρώντας την εικόνα 14 διαπιστώνουμε ότι η συνάρτηση μεταφοράς ενός ελεγκτή τύπου P θα είναι της μορφής:

$$P(s) = K_p$$

Ο αναλογικός ελεγκτής αυξάνει την ταχύτητα απόκρισης του συστήματος αλλά σε πολλές περιπτώσεις δημιουργεί σφάλμα μόνιμης κατάστασης ανάλογο με τον τύπο του συστήματος, ενώ για μηδενικό σφάλμα θα έχει και μηδενική έξοδο.

Αν υποθέσουμε ότι το υπό έλεγχο σύστημα είναι 1<sup>ης</sup> τάξης με συνάρτηση μεταφοράς  $G(s) = \frac{1}{s+A}$ , η συνάρτηση μεταφοράς του συστήματος κλειστού βρόγχου με ελεγκτή τύπου P θα είναι:

$$G_{C(s)} = \frac{\frac{Kp}{s+A}}{1 + \frac{Kp}{s+A}} \Rightarrow G_{C(s)} = \frac{Kp}{s+A+Kp}$$

Αν λοιπόν διεγείρουμε το σύστημα με ένα σήμα μοναδιαίας βηματικής συνάρτησης μπορούμε να εντοπίσουμε το σφάλμα μόνιμης κατάστασης. Το σφάλμα μόνιμης κατάστασης προκύπτει από την σχέση:

$$e_{ss} = 1 - \lim_{s \rightarrow 0} \left( s * G_{C(s)} * \frac{1}{s} \right) = 1 - \lim_{s \rightarrow 0} \frac{Kp}{s+A+Kp} \Leftrightarrow$$

$$e_{ss} = 1 - \frac{Kp}{A+Kp}$$

Παρατηρώντας την παραπάνω σχέση διαπιστώνουμε ότι όσο αυξάνεται το κέρδος του αναλογικού ελεγκτή τόσο μειώνεται το σφάλμα μόνιμης κατάστασης. Αυτό όμως σε πρακτικό επίπεδο είναι αδύνατο αφού δεν μπορούμε να έχουμε άπειρο κέρδος.

Ας υποθέσουμε τώρα ότι το σύστημα είναι 2<sup>ης</sup> τάξης με συνάρτηση μεταφοράς  $G(s) = \frac{1}{s^2+s*A+B}$ . Σε αυτή την περίπτωση η συνάρτηση μεταφοράς του συστήματος κλειστού βρόγχου με P ελεγκτή θα είχε την μορφή:

$$G_{C(s)} = \frac{\frac{Kp}{s^2+s*A+B}}{1 + \frac{Kp}{s^2+s*A+B}} \Leftrightarrow G_{C(s)} = \frac{Kp}{s^2+s*A+B+Kp}$$

Και σε αυτή την περίπτωση, αν διεγείραμε το σύστημα με σήμα εισόδου μοναδιαία βηματική συνάρτηση θα μπορούσαμε να εντοπίσουμε το σφάλμα μόνιμης κατάστασης από την σχέση:

$$e_{ss} = 1 - \lim_{s \rightarrow 0} \left( s * G_{C(s)} * \frac{1}{s} \right) =$$

$$1 - \lim_{s \rightarrow 0} \frac{Kp}{s^2+s*A+B+Kp} \Leftrightarrow e_{ss} = 1 - \frac{Kp}{B+Kp}$$

Βλέπουμε λοιπόν ότι και σε ένα σύστημα 2<sup>ης</sup> τάξης όσο αυξάνεται το κέρδος του ελεγκτή τόσο μειώνεται το σφάλμα ενώ παράλληλα αυξάνεται και

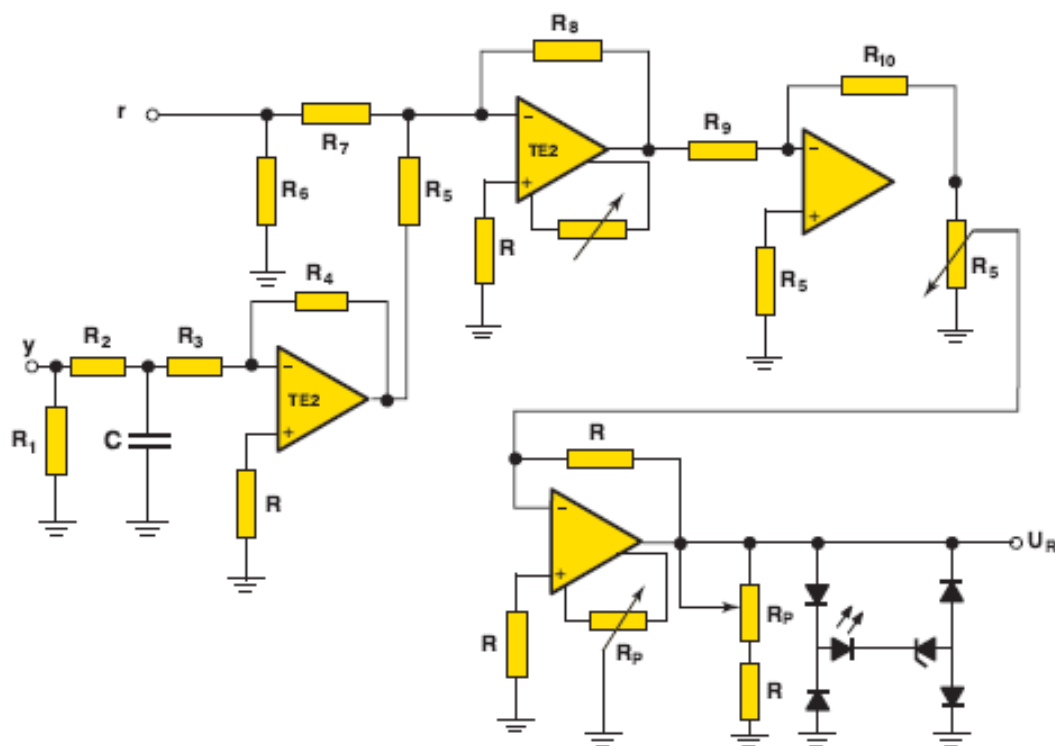
η φυσική συχνότητα του συστήματος, με αποτέλεσμα το σύστημα να έχει ταχύτερη απόκριση.

### 2.4.1 Ηλεκτρονικό Κύκλωμα Αναλογικού Ελεγκτή Τύπου P

Σε κάθε είσοδο του ελεγκτή τύπου P υπάρχει ο συγκριτής. Ο συγκριτής αποτελείται από δυο εισόδους και μια έξοδο.

Στην μη αναστρέφουσα είσοδο συνδέεται ο δότης επιθυμητής τιμής ενώ στην ανατρέφουσα είσοδο συνδέεται το σήμα της ελεγχόμενης μεταβλητής. Επίσης θα πρέπει να συνδέσουμε στην αναστρέφουσα είσοδο ένα ηλεκτρονικό φίλτρο ώστε να πετύχουμε εξομάλυνση του σήματος από τον θόρυβο που δημιουργείται από τις μικρές διαταραχές που συνοδεύουν το σήμα και είναι ανεπιθύμητες.

Παρακάτω βλέπουμε το Ηλεκτρονικό Κύκλωμα ενός P-ελεγκτή:

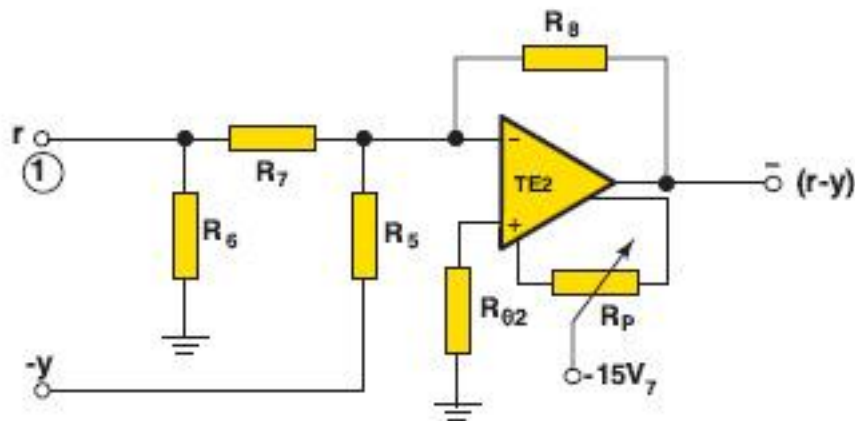


Εικόνα 15: Ηλεκτρονικό Κύκλωμα Ελεγκτή Τύπου P

Όπως παρατηρούμε παραπάνω, το δικτύωμα (1), που αποτελείται από τις αντιστάσεις  $R_1$  και  $R_2$  καθώς επίσης και τον πυκνωτή  $C$ , είναι το φίλτρο του σήματος της ελεγχόμενης μεταβλητής ( $y$ ). Στην συνέχεια, μέσω του κυκλώματος του τελεστικού ενισχυτή  $TE_2$  και  $R_3, R_4$  αναστρέφεται η πολικότητα του σήματος ( $y$ ).



Το ανεστραμμένο πλέον σήμα οδηγείται μέσω της αντίστασης  $R_5$  στον συγκριτή:

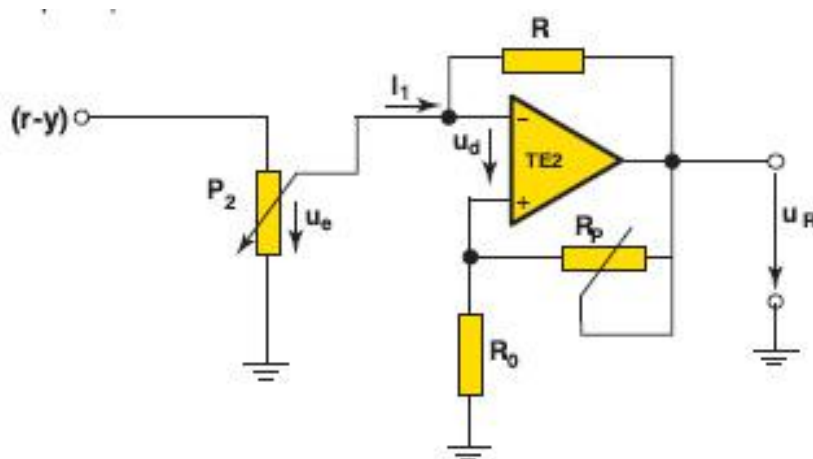


Εικόνα 16: Κύκλωμα συγκριτή

Στον συγκριτή προστίθενται τα σήματα  $(r)$  και  $(y)$  και στην συνέχεια το αποτέλεσμα της σύγκρισης αναστρέφεται. Παίρνει δηλαδή την μορφή:

$$-[r + (-y)] = -(r - y)$$

Επειδή η διαφορά  $[r-y]$  έχει αναστραφεί λόγω του  $TE_2$  θα πρέπει το σήμα να οδηγηθεί στον  $TE_3$  ώστε να λάβουμε την διαφορά των δύο σημάτων χωρίς αναστροφή. Στην συνέχεια το σήμα οδηγείται σε ένα ποτενσιόμετρο και από την μεσαία λήψη σε έναν τελεστικό ενισχυτή σε μη αναστρέφουσα συνδεσμολογία.



Εικόνα 17: Βαθμίδα Ενίσχυσης

Έχουμε λοιπόν:

$$\left. \begin{array}{l} i_1 = 0 \\ U_d = 0 \end{array} \right\} u_e = u_{R_0}$$

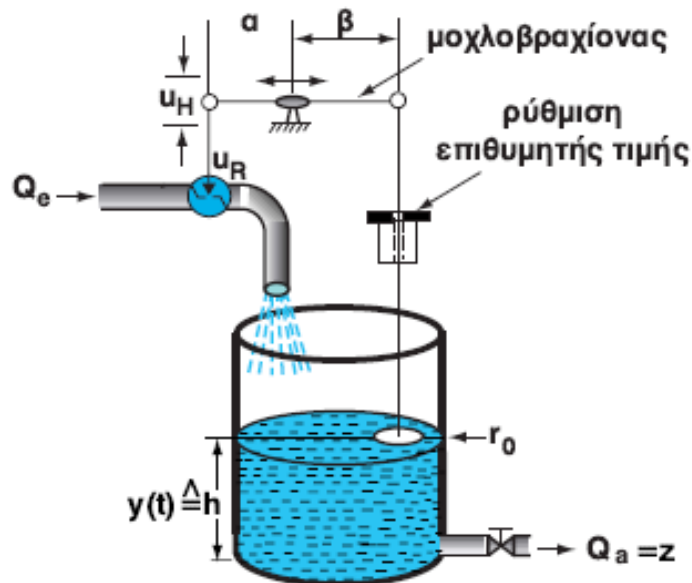
$$\left. \begin{array}{l} u_R = i_p(R_p + R_0) \\ u_{R_0} = u_e = i_p R_0 \end{array} \right\} \frac{u_R}{u_e} = \frac{R_p + R_0}{R_0}$$

$$u_R = u_e \frac{R_0 + R_p}{R_0} = \left(1 + \frac{R_p}{R_0}\right) u_e \text{ άρα}$$

$$K_p = \frac{u_R}{u_e} = 1 + \frac{R_p}{R_0} = \text{ενίσχυση}$$

### Παράδειγμα λειτουργίας αναλογικού ελεγκτή τύπου P

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται ένα μηχανικό σύστημα αυτομάτου ελέγχου στάθμης υγρού. Η ελεγχόμενη μεταβλητή  $y(t)$  είναι το ύψος της στάθμης του υγρού μέσα στο δοχείο.



Εικόνα 18: Μηχανικό σύστημα αυτομάτου ελέγχου στάθμης

Ρυθμιστικό σήμα  $u_R$  είναι το άνοιγμα (H) της βαλβίδας. Η εκροή του νερού  $Q_a$  δρα σαν διαταραχή (z). Το ύψος του νερού (h) της δεξαμενής μετριέται με την βοήθεια πλωτήρα (φλοτέρ). Όταν η στάθμη του νερού ανεβαίνει, τότε αντίστοιχα η βάνα με την βοήθεια του μοχλοβραχίονα κλείνει το άνοιγμα της ροής του νερού.

Αντίθετα, όταν έχουμε εκροή του νερού της δεξαμενής, η βαλβίδα με την βοήθεια του μοχλού ανοίγει την οπή και έτσι έχουμε μεγαλύτερη εισροή

του υγρού. Η επιθυμητή στάθμη ρυθμίζεται με αύξηση ή μείωση του μήκους του πλωτήρα.

Συνοψίζοντας όλα τα παραπάνω καταλήγουμε στα εξής όσον αφορά τους αναλογικούς ελεγκτές τύπου P:

### Πλεονεκτήματα

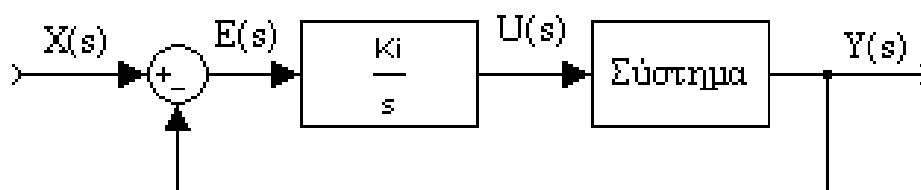
- Οι αναλογικοί ελεγκτές τύπου P αντιδρούν άμεσα στην ύπαρξη σφάλματος
- Επιτυγχάνουν μείωση του σφάλματος μόνιμης κατάστασης
- Αυξάνουν την ταχύτητα απόκρισης του συστήματος

### Μειονεκτήματα

- Αδυνατούν να εξαλείψουν τελείως το σφάλμα μόνιμης κατάστασης αφού για να υπάρξει μέγιστη εξάλειψη του σφάλματος μόνιμης κατάστασης το κέρδος τους θα πρέπει να είναι εξαιρετικά μεγάλο
- Δημιουργούν σημαντική υπερύψωση και ταλαντώσεις με την αύξηση του κέρδους

## 2.5 Ολοκληρωτικός (I) ελεγκτής

Ο ολοκληρωτικός ελεγκτής (Integral Controller) δίνει στην έξοδο του σήμα ανάλογο του ολοκληρώματος του σφάλματος που δέχεται στην είσοδο του. Στον ολοκληρωτικό ελεγκτή υπάρχει και η παράμετρος  $K_i$  η οποία είναι γνωστή ως συντελεστής ολοκλήρωσης.



Εικόνα 19: Αναλογικός ελεγκτής τύπου I

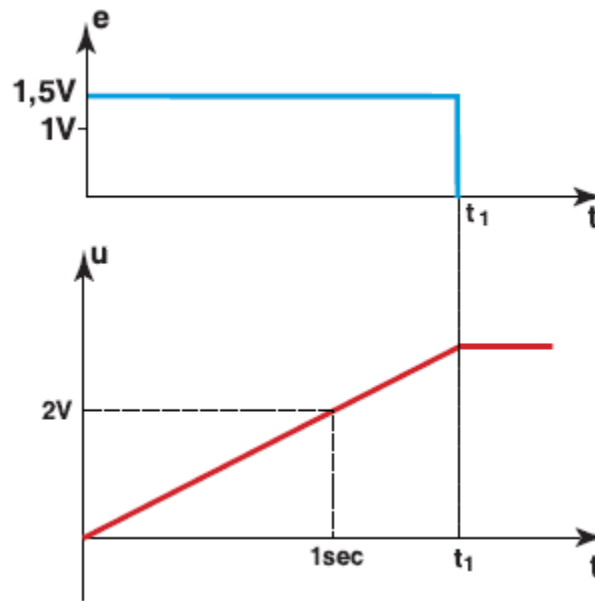
Παρατηρώντας την εικόνα 19 διαπιστώνουμε ότι η συνάρτηση μεταφοράς του ολοκληρωτή είναι της μορφής:

$$I(s) = \frac{K_i}{s}$$

Όπως θα δούμε και στην συνέχεια ο ολοκληρωτικός ελεγκτής υπερτερεί του ελεγκτή τύπου P αφού η προσθήκη του ολοκληρωτή στην συνάρτηση

μεταφοράς του ελεγκτή βοηθάει στην αποτελεσματική εξάλειψη του σφάλματος.

Ο ολοκληρωτικός ελεγκτής όταν δεχθεί βηματική διέγερση χρειάζεται κάποιο χρονικό διάστημα μέχρι να εντοπίσει την είσοδο ενώ όταν το σφάλμα μηδενίζεται η έξοδος του ελεγκτή παραμένει σταθερή. Αυτό διαπιστώνεται ξεκάθαρα αν παρατηρήσουμε την εικόνα 20



Εικόνα 20: Βηματική χρονική απόκριση ελεγκτή τύπου I

Αν υποθέσουμε ότι το υπό έλεγχο σύστημα είναι 1<sup>ης</sup> τάξης με συνάρτηση μεταφοράς  $G_{(s)} = \frac{1}{s+A}$  τότε η συνάρτηση μεταφοράς του συστήματος κλειστού βρόγχου με ελεγκτή τύπου I θα είναι της μορφής:

$$G_{c(s)} = \frac{\frac{K_i}{s*(s+A)}}{1 + \frac{K_i}{s*(s+A)}} \Leftrightarrow G_{c(s)} = \frac{K_i}{s*(s+A) + K_i} \Leftrightarrow G_{c(s)} = \frac{K_i}{s^2 + A*s + K_i}$$

Αν διεγείρουμε το υπό έλεγχο σύστημα χρησιμοποιώντας ως είσοδο την μοναδιαία βηματική συνάρτηση μπορούμε να βρούμε το σφάλμα μόνιμης κατάστασης από την σχέση:

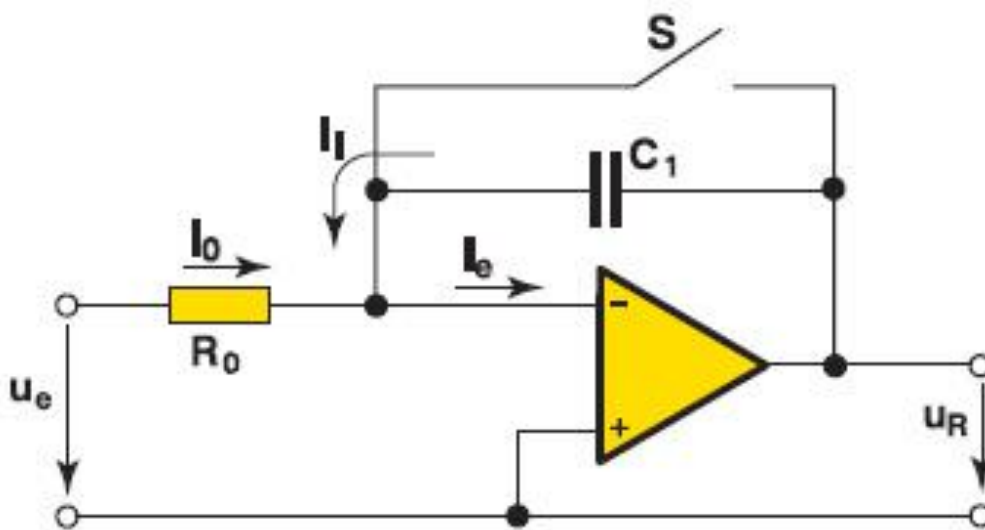
$$e_{ss} = 1 - \lim_{s \rightarrow 0} (s * G_{c(s)} * \frac{1}{s}) = 1 - \lim_{s \rightarrow 0} \frac{K_i}{s^2 + A*s + K_i} \Leftrightarrow$$

$$1 - \frac{K_i}{K_i} \Leftrightarrow e_{ss} = 0$$

Βλέπουμε λοιπόν ότι το σφάλμα μόνιμης κατάστασης μηδενίζεται όταν χρησιμοποιούμε ολοκληρωτή. Επίσης παρατηρούμε ότι με την χρήση του ολοκληρωτή το σύστημα μετατράπηκε σε 2<sup>ης</sup> τάξης από 1<sup>ης</sup> τάξης και η τιμή του συντελεστή ολοκλήρωσης είναι ίδια με αυτή της φυσικής συχνότητας του συστήματος. Όσο αυξάνεται ο συντελεστής ολοκλήρωσης τόσο αυξάνεται και η φυσική συχνότητα του συστήματος και μειώνεται ο συντελεστής απόσβεσης.

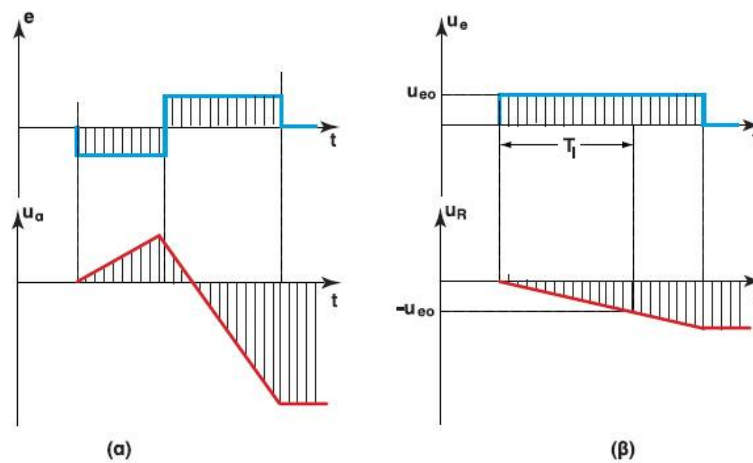
### 2.5.1 Ηλεκτρονικό Κύκλωμα Ελεγκτή Τύπου I

Το ηλεκτρονικό κύκλωμα ελεγκτή I αποτελείται από ένα τελεστικό ενισχυτή με πυκνωτή στον κλάδο ανάδρασης. Παρακάτω βλέπουμε το ηλεκτρονικό κύκλωμα ενός ελεγκτή τύπου I:



Εικόνα 21: Ηλεκτρονικό Κύκλωμα Ολοκληρωτή

Η συμπεριφορά του κυκλώματος του ολοκληρωτή μπορεί να φανεί από τις παρακάτω βηματικές συναρτήσεις:



Εικόνα 22: Βηματική Απόκριση Ελεγκτή Τύπου I

Η ταχύτητα μεταβολής του σήματος εξόδου  $\frac{\Delta u_a}{\Delta \tau}$ , όταν το σήμα εξόδου είναι σταθερό, εξαρτάται από τον χρόνο ολοκλήρωσης  $T_I$ . Μικρός χρόνος  $T_I$  συνεπάγεται μεγάλη αύξηση της τάσης  $u_a$  και αντιστρόφως. Η ταχύτητα μεταβολής εξαρτάται επίσης και από το ύψος του σήματος εισόδου. Μεγάλο σήμα εισόδου προκαλεί ταχεία αύξηση του σήματος εξόδου  $u_a$ .

Συνοψίζοντας όλα τα παραπάνω καταλήγουμε στα εξής συμπεράσματα που αφορούν τους ολοκληρωτικούς ελεγκτές:

### Πλεονεκτήματα

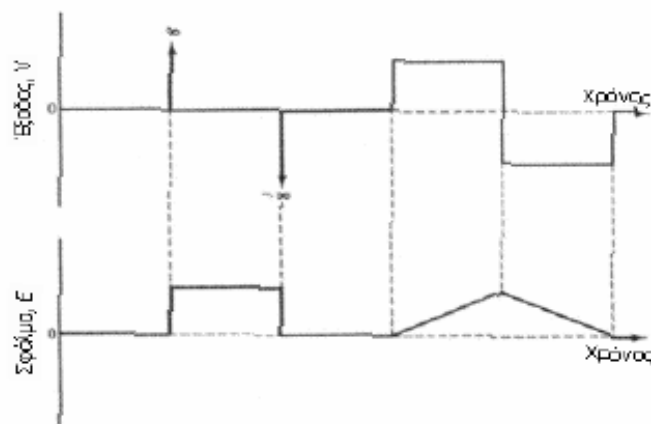
- Οι ολοκληρωτικοί ελεγκτές εξαλείφουν εντελώς το σφάλμα μόνιμης κατάστασης
- Αντιμετωπίζουν με επιτυχία αποκλίσεις από πιθανές διαταραχές του υπο έλεγχο συστήματος

### Μειονεκτήματα

- Οι ολοκληρωτικοί ελεγκτές είναι αργοί αφού αυξάνεται ο χρόνος αποκατάστασης του συστήματος

## 2.6 Διαφορικός (D) ελεγκτής

Ο διαφορικός ελεγκτής τύπου D (Differential Controller) αντιλαμβάνεται άμεσα την αλλαγή στην είσοδο του. Όταν το σήμα του σφάλματος που λαμβάνει έχει την μορφή βηματικής διέγερσης η έξοδος του διαφορικού ελεγκτή είναι η κρουστική συνάρτηση με θεωρητικά άπειρο πλάτος για  $t=0$ . Όταν το σφάλμα είναι σταθερό η έξοδος του είναι μηδέν. Στην εικόνα 23 μπορούμε να κατανοήσουμε καλύτερα την λειτουργία ενός διαφορικού ελεγκτή:

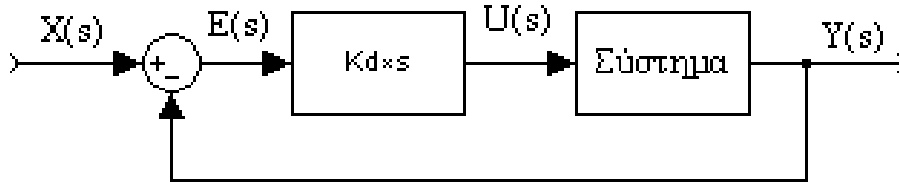


Εικόνα 23: Λειτουργία ιδανικού διαφορικού ελεγκτή

Η συνάρτηση μεταφοράς του διαφορικού ελεγκτή έχει την μορφή

$$D(s) = K_d * s$$

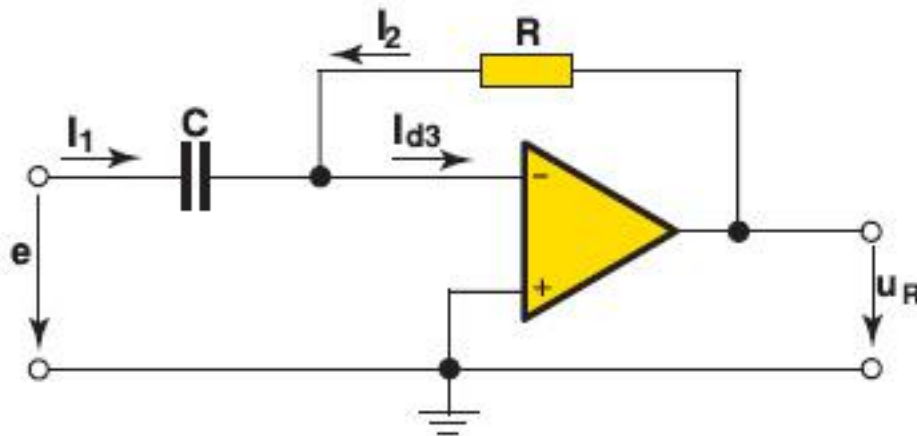
αυτό μπορούμε να το διαπιστώσουμε παρατηρώντας την παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 24: Διαφορικός ελεγκτής

### 2.6.1 Ηλεκτρονικό Κύκλωμα Ελεγκτή Τύπου D

Το βασικό ηλεκτρονικό κύκλωμα ενός ελεγκτή τύπου D φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 25: Ηλεκτρονικό Κύκλωμα Διαφορικού Ελεγκτή

Συνοψίζοντας για τους διαφορικούς ελεγκτές μπορούμε να πούμε:

#### Πλεονεκτήματα

- Αυξάνουν την ευαισθησία του υπό έλεγχο συστήματος
- Βελτιώνουν την συμπεριφορά της βηματικής απόκρισης του συστήματος
- Αντιλαμβάνονται άμεσα τις απότομες αλλαγές του σφάλματος

#### Μειονεκτήματα

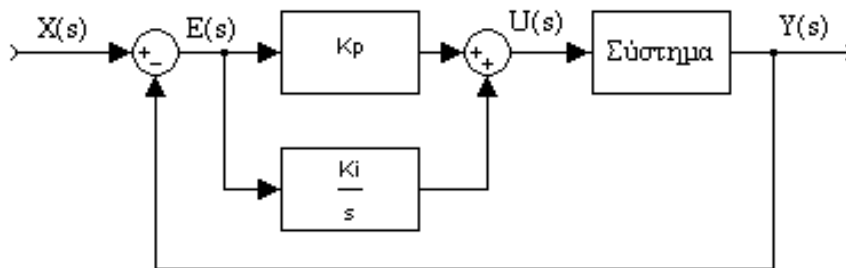
- Οι διαφορικοί ελεγκτές έχουν μειωμένη ευαισθησία στον ανεπιθύμητο θόρυβο που εμφανίζεται συχνά στην πράξη
- Στην πράξη οι διαφορικοί ελεγκτές δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνοι τους

## 2.7 Αναλογικός – Ολοκληρωτικός (PI) ελεγκτής

Οι ελεγκτές P, I και D τους οποίους γνωρίσαμε παραπάνω έχουν θετικά αλλά και αρνητικά. Έτσι μας εξυπηρετεί καλύτερα να χρησιμοποιούμε τους ελεγκτές αυτούς σε διάφορους συνδυασμούς.

Ο ελεγκτής P υστερεί λόγω της αδυναμίας του να μηδενίσει το σφάλμα μόνιμης κατάστασης. Την λύση σε αυτό το πρόβλημα δίνει ο ολοκληρωτικός ελεγκτής I, ο οποίος όμως είναι αρκετά αργός γεγονός το οποίο έρχεται να διορθώσει ο ελεγκτής P.

Συνδυάζοντας λοιπόν αυτούς τους δυο τύπους ελεγκτή προκύπτει ένας καινούριος ελεγκτής τύπου PI, γνωστός και ως Αναλογικός – Ολοκληρωτικός ελεγκτής. Στην παρακάτω εικόνα μπορούμε να δούμε την συνδεσμολογία ενός PI ελεγκτή:



Εικόνα 26: Αναλογικός – Ολοκληρωτικός ελεγκτής

Η συνάρτηση μεταφοράς του ελεγκτή PI είναι η εξής:

$$PI_{(s)} = K_p + \frac{K_i}{s} = \frac{s \cdot K_p + K_i}{s} \Leftrightarrow PI_{(s)} = K_p * \frac{s + \frac{K_i}{K_p}}{s}$$

Αν υποθέσουμε ότι το υπο έλεγχο σύστημα είναι 1<sup>ης</sup> τάξης με συνάρτηση μεταφοράς  $G_{(s)} = \frac{1}{s+A}$ , η συνάρτηση μεταφοράς του συστήματος κλειστού βρόγχου με PI ελεγκτή θα είναι:



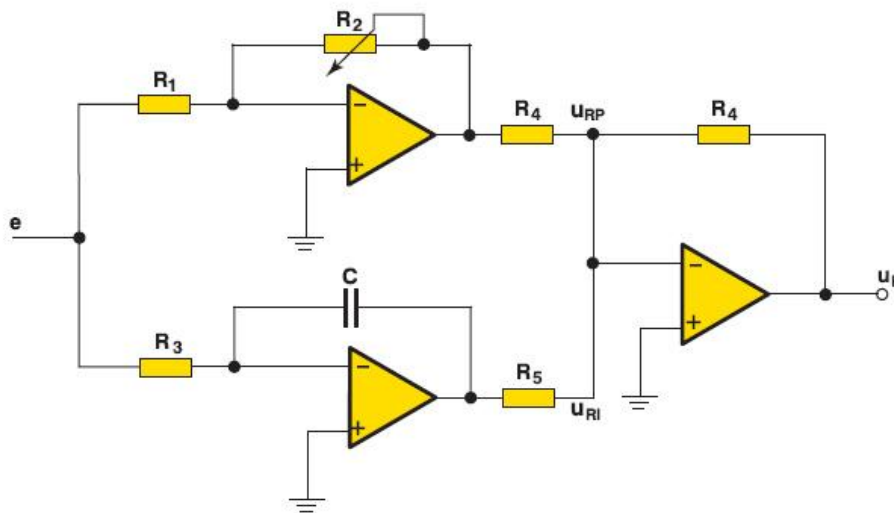
$$G_{c(s)} = \frac{\frac{s \cdot K_p + K_i}{s} \cdot \frac{1}{s+A}}{1 + \frac{s \cdot K_p + K_i}{s} \cdot \frac{1}{s+A}} \Leftrightarrow G_{c(s)} = \frac{s \cdot K_p + K_i}{s \cdot (s+A)} \Leftrightarrow \frac{s \cdot K_p + K_i}{\frac{s \cdot (s+A) + s \cdot K_p + K_i}{s \cdot (s+A)}}$$

$$G_{c(s)} = \frac{s \cdot K_p + K_i}{s^2 + A \cdot s + s \cdot K_p + K_i} \Leftrightarrow G_{c(s)} = \frac{s \cdot K_p + K_i}{s^2 + (A + K_p) \cdot s + K_i}$$

Παρατηρούμε ότι το σύστημα γίνεται 2<sup>ης</sup> τάξης με  $\omega_n = K_i$  και  $2 \cdot \zeta \cdot \omega_n = A + K_p$ . Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι αυξάνοντας τον ολοκληρωτικό όρο  $K_i$  αυξάνεται η φυσική συχνότητα  $\omega_n$  του συστήματος, ενώ αυξάνοντας τον αναλογικό συντελεστή  $K_p$  αυξάνεται το γινόμενο χωρίς όμως να μεταβάλλεται η  $\omega_n$ . Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση της υπερύψωσης αφού αυξάνεται ο συντελεστής απόσβεσης του υπο έλεγχο συστήματος.

### 2.7.1 Ηλεκτρονικό Κύκλωμα Ελεγκτή Τύπου PI

Παρακάτω βλέπουμε το ηλεκτρονικό κύκλωμα ενός ελεγκτή τύπου PI:



Εικόνα 27: Ηλεκτρονικό Κύκλωμα Ελεγκτή PI

### Παράδειγμα με ελεγκτή τύπου PI

Έστω ότι ένας ελεγκτής PI διεγείρεται με μια τάση  $e=1V$ . Θα σχεδιάσουμε το σήμα εξόδου όταν  $K_p=2$  και  $K_I=0,5sec^{-1}$

Η εξίσωση του ελεγκτή-PI στην απλή της μορφή είναι:

$$u_R = K_p * e + K_I * e * \Delta t$$

Αντικαθιστώντας τα δεδομένα στην παραπάνω εξίσωση έχουμε:

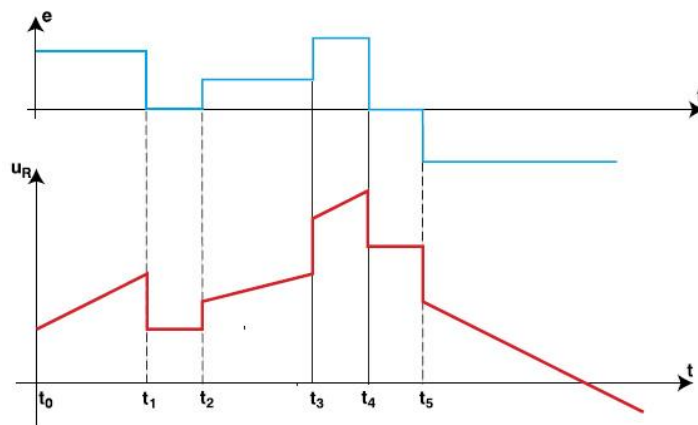
$$u_R = 2 * 1V + 0,5 * 1 * \Delta t * sec^{-1} * V * sec$$

Παίρνοντας διάφορες τιμές του  $\Delta t$  προκύπτει ο παρακάτω Πίνακας:

t	$K_p e_o$	$K_p e_o$	$u_R$
0	2	0	2
1	2	0,5	2,5
2	2	1	3
3	2	1,5	3,5
4	2	2	4
5	2	2,5	4,5
6	2	3	5
7	2	3,5	5,5
8	2	4	6
9	2	4,5	6,5
10	2	5	7
11	2	5,5	7,5
12	2	6	8
13	2	6,5	8,5
14	2	7	9
15	2	7,5	9,5
16	2	8	10
			Κόρος

Πίνακας1

Για να υπάρξει καλύτερη κατανόηση της συμπεριφοράς του ελεγκτή τον διεγείρουμε με ένα μεταβλητό σήμα και παρατηρούμε τις μεταβολές του σήματος εξόδου  $u_R$  τα αποτελέσματα μπορούμε να τα παρατηρήσουμε στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 28: Σήμα εξόδου του ελεγκτή PI για διάφορες μεταβολές του σήματος εισόδου

Η παραπάνω χρονική εξέλιξη μας βοηθάει να συμπεράνουμε τα εξής:

- Σε κάθε μεταβολή του σφάλματος ( $e$ ) προς τα πάνω ή προς τα κάτω έχουμε και μια αντίστοιχη μεταβολή του σήματος εξόδου ( $u_R$ ). Αυτό σημαίνει ότι ο ελεγκτής είναι γρήγορος (σημεία  $t_0, t_2, t_3$ ). Αυτό οφείλεται στο στοιχείο P του ελεγκτή.
- Το σήμα εξόδου ( $u_R$ ) ανέρχεται, όταν υπάρχει σφάλμα στην είσοδο. Συνεπώς, αυξάνεται και η ροή την ενέργειας δια μέσου του τελικού στοιχείου ελέγχου προς το ελεγχόμενο σύστημα (περιοχή  $t_0 \div t_1, t_2 \div t_4$ ), μέχρι να μηδενιστεί το σφάλμα.
- Όταν το σφάλμα μηδενίζεται [ελεγχόμενη μεταβλητή ( $y$ ) = επιθυμητή τιμή ( $r$ )], τότε η έξοδος του ελεγκτή PI σταθεροποιείται. Δηλαδή διατηρεί την τελευταία τιμή, για την οποία μηδενίσθηκε το σφάλμα (περιοχή  $t_1 \div t_2, t_4 \div t_5$ ).
- Όταν η ελεγχόμενη μεταβλητή ( $y$ ) είναι μεγαλύτερη από την επιθυμητή τιμή ( $r$ ), τότε το σφάλμα είναι αρνητικό. Στην περίπτωση αυτή το σήμα εξόδου μειώνεται και μπορεί να πάρει αρνητικές τιμές (περιοχή  $t_5 \div t$ ).

Συνοψίζοντας όλα τα παραπάνω μπορούμε να συμπεράνουμε τα εξής:

### **Πλεονεκτήματα**

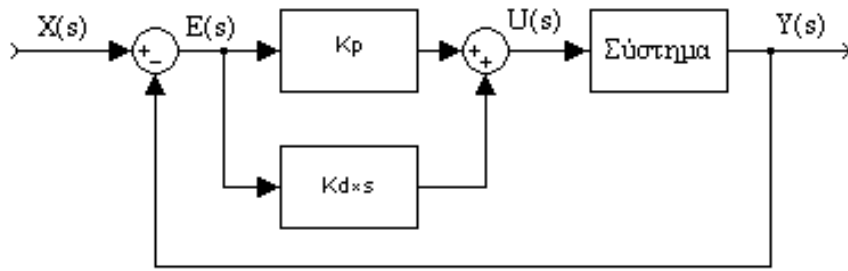
- Οι ελεγκτές PI συνδυάζουν τα χαρακτηριστικά των ελεγκτών PI. Είναι δηλαδή γρήγοροι ενώ παράλληλα εξαλείφουν το σφάλμα μόνιμης κατάστασης

### **Μειονεκτήματα**

- Η προσθήκη του δεύτερου όρου, εφόσον αυξάνει τον βαθμό του συστήματος, προκαλεί μεγαλύτερη αστάθεια στο υπο έλεγχο σύστημα

## **2.8 Αναλογικός – Διαφορικός (PD) Ελεγκτής**

Όπως αναφέραμε και παραπάνω ο Διαφορικός ελεγκτής δεν χρησιμοποιείται ποτέ μόνος του. Μια από τις υλοποιήσεις του Διαφορικού ελεγκτή είναι ο συνδυασμός του με τον Αναλογικό. Όπως βλέπουμε και στην εικόνα παρακάτω ο Διαφορικός ελεγκτής συνδυάζεται αθροιστικά με τον αναλογικό:



Εικόνα 29: Αναλογικός – Διαφορικός ελεγκτής

Παρατηρώντας το Block διάγραμμα του PD ελεγκτή μπορούμε εύκολα να διαπιστώσουμε ότι η συνάρτηση μεταφοράς του συγκεκριμένου ελεγκτή θα είναι της μορφής:

$$PD_{(s)} = K_p + s * K_d \Leftrightarrow PD_{(s)} = s + \frac{K_p}{K_d}$$

Αν υποθέσουμε ότι το υπο έλεγχο σύστημα είναι ένα σύστημα 2<sup>ης</sup> τάξης με συνάρτηση μεταφοράς της μορφής:

$$G_{(s)} = \frac{1}{s^2 + A*s + B}$$

τότε η συνάρτηση μεταφοράς του συστήματος κλειστού βρόγχου με PD ελεγκτή θα είναι:

$$G_{c(s)} = \frac{[(K_p + s*K_d) * \frac{1}{s^2 + A*s + B}]}{1 + (K_p + s*K_d) * \frac{1}{s^2 + A*s + B}} \Leftrightarrow G_{c(s)} = \frac{\frac{(K_p + s*K_d)}{s^2 + A*s + B}}{\frac{s^2 + A*s + B + K_p + s*K_d}{s^2 + A*s + B}} \Leftrightarrow$$

$$G_{c(s)} = \frac{K_p + s*K_d}{s^2 + (A + K_d)*s + (B + K_p)}$$

Παρατηρώντας τα παραπάνω διαπιστώνουμε ότι:

$$\omega_n = B + K_p$$

και

$$2*\zeta*\omega_n = A + K_d$$

Διαπιστώνουμε λοιπόν ότι η αύξηση του αναλογικού κέρδους  $K_p$  προκαλεί αύξηση της φυσικής συχνότητας του συστήματος, επομένως και σε ταχύτερη απόκριση αυτού. Επίσης η αύξηση του διαφορικού συντελεστή  $K_d$  οδηγεί στην σε αύξηση του γινομένου  $2*\zeta*\omega_n$  με αμετάβλητη την φυσική

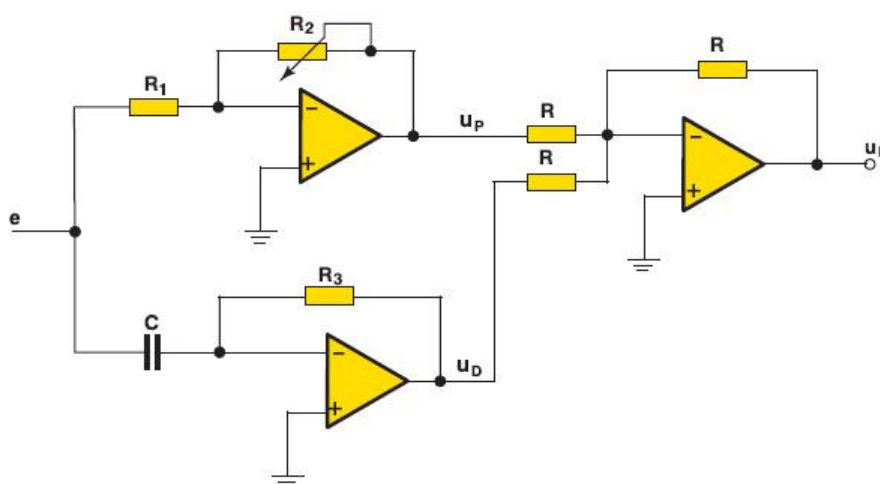
συχνότητα, άρα αυξάνεται ο συντελεστής απόσβεσης του συστήματος που οδηγεί στη μείωση της υπερύψωσης της απόκρισης του συστήματος.

Σο σφάλμα μόνιμης κατάστασης μειώνεται όσο αυξάνουμε το αναλογικό κέρδος ενώ δεν επηρεάζεται από τη μεταβολή του διαφορικού συντελεστή.

Η προσθήκη ενός ελεγκτή PD στο υπο έλεγχο σύστημα επηρεάζει το τμήμα των υψηλών συχνοτήτων αυξάνοντας την γωνία της φάσης με αποτέλεσμα την αύξηση της ευστάθειας και κατά συνέπεια την ταχύτητα απόκρισης.

### 2.8.1 Ηλεκτρονικό Κύκλωμα Ελεγκτή PD

Στην παρακάτω εικόνα μπορούμε να δούμε το ηλεκτρονικό κύκλωμα ενός ελεγκτή τύπου PD:



Εικόνα 30: Ηλεκτρονικό Κύκλωμα Ελεγκτή Τύπου PD

Συνοψίζοντας όλα τα παραπάνω στοιχεία καταλήγουμε στα εξής σχετικά με του ελεγκτές τύπου PD:

#### Πλεονεκτήματα

- Αυξάνουν την απόσβεση του υπό έλεγχο συστήματος
- Περιορίζουν την υπερύψωση της απόσβεσης
- Αυξάνουν το αναλογικό κέρδος με αποτέλεσμα την βελτίωση του σφάλματος μόνιμης κατάστασης
- Βελτιώνουν την ταχύτητα απόκρισης του υπό έλεγχο συστήματος

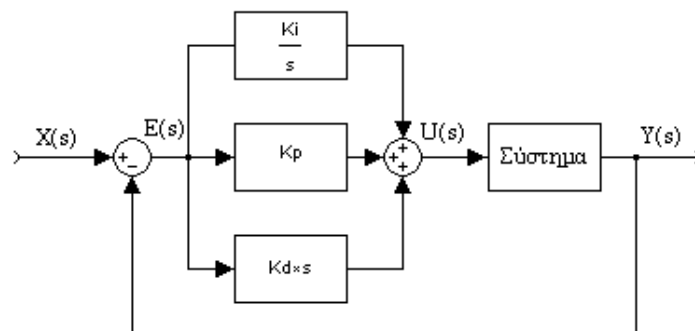
## Μειονεκτήματα

- Δεν μειώνουν άμεσα το σφάλμα μόνιμης κατάστασης
- Ενισχύουν τον θόρυβο ο οποίος μπορεί να εμφανιστεί στην απόκριση του συστήματος
- Δημιουργούν προβλήματα σε περίπτωση που υπάρχουν απότομες αλλαγές στο σήμα αναφοράς

## 2.9 Αναλογικός – Ολοκληρωτικός – Διαφορικός (PID) Ελεγκτής

Ο PID ελεγκτής ή αλλιώς ελεγκτής τριών όρων χρησιμοποιείται σε πολλές εφαρμογές ελέγχου εξαιτίας της πολύ καλής συμπεριφοράς του σε ένα μεγάλο εύρος λειτουργικών συνθηκών. Εκτός αυτού η απλότητα στην κατασκευή του εξασφαλίζει ευκολία στον χειρισμό.

Όπως βλέπουμε και στην εικόνα 31, ο PID ελεγκτής συνδυάζει αθροιστικά τους τρεις βασικούς τύπους ελέγχου (Αναλογικός, Ολοκληρωτικός, Διαφορικός).



Εικόνα 31: Αναλογικός – Διαφορικός –Ολοκληρωτικός ελεγκτής

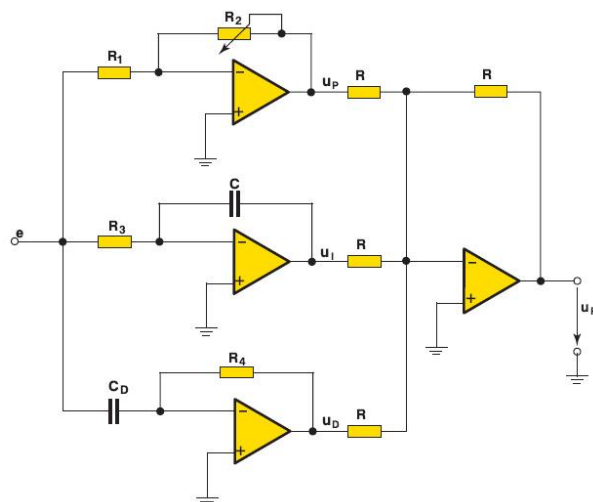
Όπως προκύπτει από το παραπάνω διάγραμμα η συνάρτηση μεταφοράς του PID ελεγκτή θα έχει την μορφή:

$$G_{c(s)} = K_p + s * K_d + \frac{K_i}{s} \Leftrightarrow G_{c(s)} = \frac{K_d * s^2 + K_p * s + K_i}{s}$$

Η χρήση ενός ελεγκτή τύπου PID απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή στην κατάλληλη επιλογή των τριών παραμέτρων, του αναλογικού κέρδους, του ολοκληρωτικού συντελεστή και του διαφορικού συντελεστή έτσι ώστε το σύστημα κλειστού βρόγχου 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  $K_p$ ,  $K_d$  και  $K_i$  έτσι ώστε το ένα μην επιδρά αρνητικά στη λειτουργία του άλλου.

## 2.9.1 Ηλεκτρονικό Κύκλωμα Ελεγκτή Τύπου PID

Στο παρακάτω κύκλωμα φαίνεται ένα τυπικό κύκλωμα ελεγκτή PID:



Εικόνα 32: Ηλεκτρονικό Κύκλωμα Ελεγκτή PID

Συνοψίζοντας όλα τα παραπάνω καταλήγουμε στα εξής συμπεράσματα για τους Αναλογικούς – Διαφορικούς – Ολοκληρωτικούς (PID) ελεγκτές:

### Πλεονεκτήματα

- Εμφανίζουν ταχεία απόκριση και μηδενική υπερύψωση
- Μηδενίζουν το σφάλμα μόνιμης κατάστασης

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΨΗΦΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ

#### 3.1 Εισαγωγή

Η περιοχή της τεχνολογίας η οποία αναφέρεται στην ανάπτυξη μεθόδων σχεδίασης ελεγκτών με την χρήση υπολογιστών (computer control systems), μικροϋπολογιστών (microcomputer control systems) ή μικροεπεξεργαστών (microprocessor control systems), είναι γνωστή σαν ψηφιακός έλεγχος. Η έρευνα στον τομέα του ψηφιακού ελέγχου είναι εξαιρετικά ανεπτυγμένη τα τελευταία χρόνια, 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 πρώτοι ψηφιακοί υπολογιστές χρησιμοποιήθηκαν αρχικά σε διαστημικές ή στρατιωτικές εφαρμογές αφού το κόστος για μαζική παραγωγή ήταν δυσβάσταχτο. Με την πάροδο των χρόνων, και την εξέλιξη της τεχνολογίας των υπολογιστών, το κόστος παραγωγής έπεφτε με αποτέλεσμα η χρήση τους να διευρυνθεί στην βαριά βιομηχανία και τις τηλεπικοινωνίες.

Ένας ψηφιακός υπολογιστής αποτελείται από τρία βασικά στοιχεία. Την κεντρική μονάδα επεξεργασίας, την μονάδα μνήμης και τις μονάδες εισόδου και εξόδου.

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.



Εικόνα 33: Ψηφιακός Ελεγκτής Θερμανσης

Οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές συνδέονται με το ελεγχόμενο σύστημα με διάφορους τρόπους:

- Σύνδεση του ηλεκτρονικού υπολογιστή με τέτοιο τρόπο ώστε τα σήματα εξόδου να χρησιμοποιούνται ως επιθυμητές τιμές από άλλους υφιστάμενους ελεγκτές. Σε αυτή την περίπτωση ο υπολογιστής οδηγεί ένα ή περισσότερα συστήματα αυτομάτου ελέγχου (set point control)
- Άμεση σύνδεση του ηλεκτρονικού υπολογιστή με τα υπό έλεγχο συστήματα. Ο υπολογιστής λαμβάνει τις τιμές της ελεγχόμενης μεταβλητής από τους μετατροπείς, τις συγκρίνει με τις επιθυμητές τιμές και παράγει μόνος του τα ρυθμιστικά σήματα για τα τελικά



στοιχεία ελέγχου. Ο έλεγχος αυτός ονομάζεται άμεσος ψηφιακός έλεγχος (Direct Digital Control).

### 3.2 Πλεονεκτήματα ψηφιακών ελεγκτών

Η χρήση των ψηφιακών ελεγκτών είναι πλέον ευρέως διαδεδομένη αφού παρουσιάζουν πολλά και σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι των αναλογικών ελεγκτών. Παρακάτω θα αναλύσουμε μερικά από τα πλεονεκτήματα των ψηφιακών συστημάτων ελέγχου.

- *Μεγάλη ευελιξία στην αλλαγή των χαρακτηριστικών του ελεγκτή*

Η αλλαγή των χαρακτηριστικών ενός ψηφιακού ελεγκτή μπορεί να γίνει εύκολα και γρήγορα απλά τροποποιώντας το πρόγραμμα του ελεγκτή. Αντίθετα, στους αναλογικούς ελεγκτές, η αλλαγή των χαρακτηριστικών είναι συνήθως δύσκολη και δαπανηρή γιατί απαιτεί αλλαγή στοιχείων και διατάξεων.

- *Ευκολία στην επεξεργασία των δεδομένων*

Οι ψηφιακοί ελεγκτές μπορούν να εκτελέσουν εύκολα και γρήγορα πολύπλοκες μαθηματικές πράξεις και συναρτήσεις χωρίς να είναι απαραίτητη η παρεμβολή του χειριστή.

- *Δυνατότητα αποθήκευσης δεδομένων*

Οι ψηφιακοί ελεγκτές διαθέτουν εσωτερική μνήμη στην οποία μπορούν να αποθηκευτούν διάφορα δεδομένα. Τα δεδομένα αυτά μπορεί να αφορούν τις ρυθμίσεις του ελεγκτή για μετέπειτα χρήση ή ακόμα και αναφορές σφαλμάτων οι οποίες βοηθούν τον χειριστή στον εντοπισμό και την διόρθωση των σφαλμάτων αυτών.

- *Καλύτερη τεχνική συμπεριφορά από τους αναλογικούς ελεγκτές σε ότι αφορά:*
  - α. ολίσθηση σημείου λειτουργίας (drift effects)
  - β. ευαισθησία
  - γ. εσωτερικούς θορύβους
  - δ. αξιοπιστία
- *Μικρότερο κόστος σε σχέση με τους αναλογικούς ελεγκτές*
- *Μικρό μέγεθος και βάρος*
- *Απαιτούν λιγότερες καλωδιώσεις από του αναλογικούς ελεγκτές*

### 3.3 Μειονεκτήματα ψηφιακών ελεγκτών

Παρόλο που οι ψηφιακοί ελεγκτές έχουν πολλά πλεονεκτήματα και υπερτερούν κατά πολύ των αναλογικών ελεγκτών έχουν δυο βασικά μειονεκτήματα:

- Το σημαντικότερο μειονέκτημα είναι τα σφάλματα που εισάγονται, τόσο κατά την δειγματοληψία των συνεχών συστημάτων, όσο και κατά την κβαντοποίηση των σημάτων διακριτού χρόνου.
- Ένα άλλο μειονέκτημα είναι το γεγονός ότι λόγω της δυσκολίας κατανόησης της λειτουργίας τους απαιτούν εξειδικευμένο τεχνικό προσωπικό.

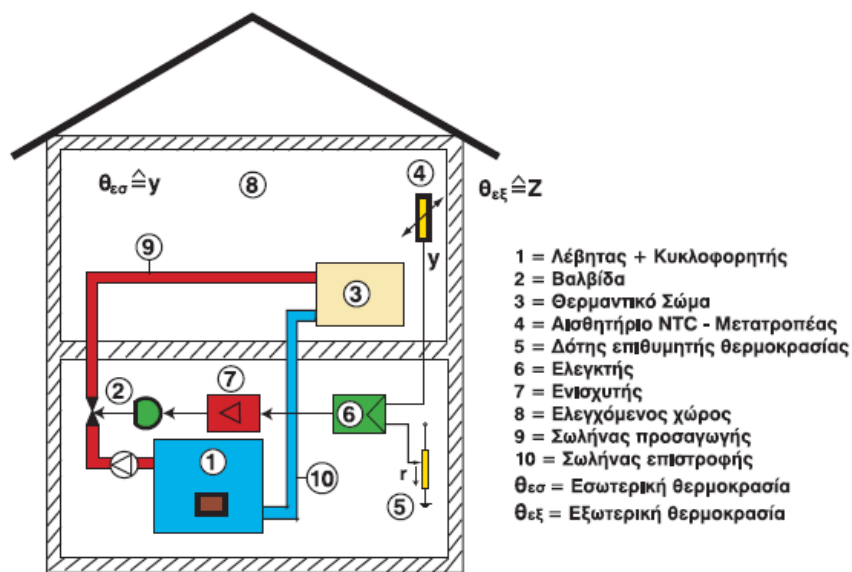
### 3.4 Εφαρμογές ψηφιακών ελεγκτών

Τα τελευταία τριάντα χρόνια ο αριθμός των βιομηχανικών συστημάτων που βασίζονται σε ψηφιακούς υπολογιστές έχει αυξηθεί κατά κόρον. Ενδεικτικό είναι το γεγονός ότι πλέον υπάρχουν σχεδόν 100 εκατομμύρια συστήματα ελέγχου που βασίζονται σε ψηφιακούς υπολογιστές. Το υπό έλεγχο σύστημα μπορεί να είναι οποιοδήποτε σύστημα. Ενδεικτικά αναφέρουμε τα εξής:

- Σερβομηχανισμοί (θέσης, ταχύτητας, κ.λ.π.).
- Έλεγχος τάσης, θερμοκρασίας, πίεσης, στάθμης υγρού, ταχύτητας ροής υγρού, κ.λ.π.
- Βιομηχανικός έλεγχος
- Ενεργειακά συστήματα
- Αντιδραστήρες (πυρηνικοί, χημικοί).
- Συστήματα θαλάσσιας μεταφοράς (πλοία, δελφίνια, υποβρύχια, κ.λ.π.).
- Συστήματα επίγειας μεταφοράς (ανελκυστήρες, αυτοκίνητα, τράινα, 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.).
- Τηλεπικοινωνιακά συστήματα
- 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).

Στην παρακάτω εικόνα διακρίνουμε ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα εφαρμογής ψηφιακού ελέγχου. Πρόκειται για ένα από τα κοινά χρησιμοποιούμενα συστήματα ψηφιακού ελέγχου και αφορά το σύστημα αυτομάτου ελέγχου θερμοκρασίας σε ένα σπίτι.



Εικόνα 34: Σχηματική παράσταση συστήματος ελέγχου θερμοκρασίας

Το σύστημα ελέγχου θερμοκρασίας λειτουργεί με τον εξής τρόπο:

Το νερό θερμαίνεται στον λέβητα (1) και με την βοήθεια των σωληνώσεων (9) το ζεστό πλέον νερό φθάνει στα θερμαντικά σώματα (3). Τα θερμαντικά σώματα αποδίδουν την θερμότητα στον χώρο με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας. Το νερό, με μειωμένη πλέον θερμοκρασία επιστρέφει μέσω των σωληνώσεων (10) στον λέβητα, για να θερμανθεί εκ νέου.

Το αισθητήριο NTC (4) μετράει την θερμοκρασία του χώρου και την μετατρέπει σε τάση. Η τάση ( $y$ ) συγκρίνεται με την τάση ( $r$ ) την οποία ρυθμίζουμε με το ποτενσιόμετρο (θερμοστάτης).

Η εσωτερική θερμοκρασία ( $y$ ) επηρεάζεται από διάφορες αιτίες – διαταραχές, όπως η εξωτερική θερμοκρασία, ο αριθμός των ατόμων μέσα στο σπίτι, η ηλεκτρική κουζίνα, οι ανοικτές πόρτες και τα παράθυρα κλπ.

Ανάλογα με το αποτέλεσμα της σύγκρισης που θα κάνει ο ψηφιακός ελεγκτής θα έχουμε μια από τις παρακάτω περιπτώσεις:

- Αν  $r-y > 0$ , η επιθυμητή τιμή είναι μεγαλύτερη από την θερμοκρασία χώρου ( $r > y$ ). Στην περίπτωση αυτή ο ελεγκτής ανοίγει περισσότερο την βαλβίδα κι έτσι αυξάνεται η ποσότητα του ζεστού νερού που ρέει προς τα θερμαντικά σώματα.
- Αν  $r=y$ , τότε  $e=r-y=0$ . Αυτό σημαίνει ότι η θερμοκρασία ( $y$ ) του χώρου έχει γίνει ίση με την επιθυμητή θερμοκρασία. Όταν έχει επιτευχθεί η επιθυμητή θερμοκρασία του χώρου, τότε ο ελεγκτής κρατάει το άνοιγμα της βαλβίδας σταθερό. Επομένως και η ποσότητα του θερμού νερού που διοχετεύεται στα θερμαντικά σώματα είναι σταθερή.
- Αν  $r-y < 0$ , τότε  $y > r$ . Στην περίπτωση αυτή η θερμοκρασία του χώρου είναι μεγαλύτερη από την επιθυμητή. Η διαφορά  $e=r-y$  είναι αρνητική και ο ελεγκτής κλείνει την αναλογική βαλβίδα.

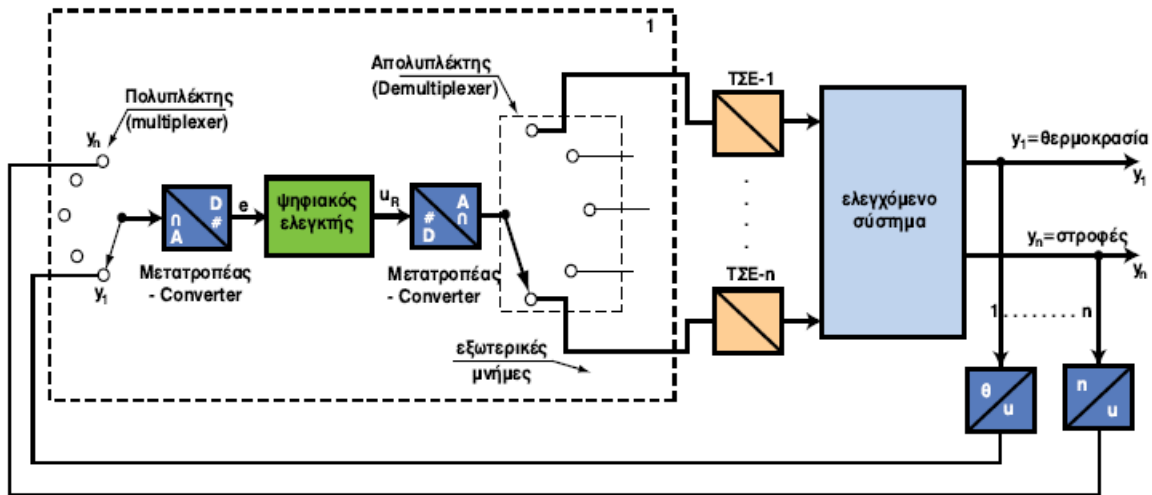
### 3.5 Χρήσιμες διατάξεις στον αυτοματισμό με υπολογιστές

- **Μετατροπείς  $A/\Delta$  και  $\Delta/A$ :** Ένας μετατροπέας  $A/\Delta$  δέχεται αναλογικά σήματα και δίνει διακριτά σήματα. Είναι ουσιαστικά ένας δειγματολήπτης. Ο μετατροπέας  $\Delta/A$  δέχεται σήματα διακριτού χρόνου και δίνει σήματα συνεχούς χρόνου. Είναι ουσιαστικά ένα δίκτυο συγκράτησης.
- **Δειγματολήπτης:** Σε ένα ψηφιακό σύστημα ελέγχου επεισέρχονται 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.
- **Δίκτυο συγκράτησης:** Το δίκτυο συγκράτησης είναι ουσιαστικά ένας  $\Delta/A$  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.

- **Συγκριτής:** Ο συγκριτής υπολογίζει το σφάλμα ( $e$ ) με ψηφιακό τρόπο, αφού η επιθυμητή τιμή καθώς επίσης και η ελεγχόμενη αποτελούν ψηφιακά σήματα

### 3.6 Βασική δομή ψηφιακών συστημάτων ελέγχου

Παρατηρώντας την παρακάτω εικόνα διακρίνουμε ένα Block διάγραμμα συστήματος αυτομάτου ελέγχου (DDC).

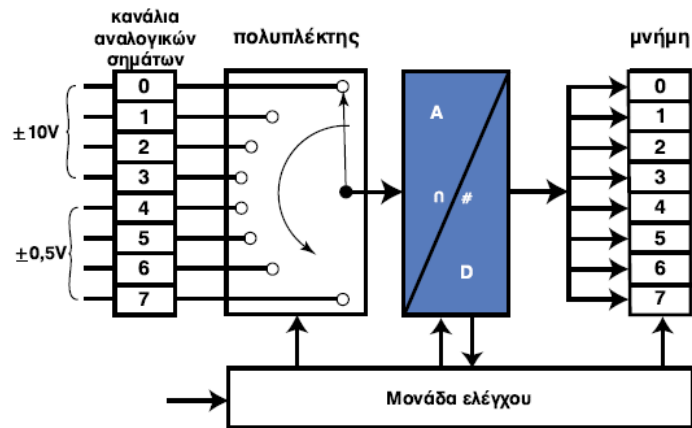


Εικόνα 35: Λειτουργικό διάγραμμα βαθμίδων κλειστού συστήματος ελέγχου με H/Y

Στο παραπάνω διάγραμμα ο ψηφιακός υπολογιστής λαμβάνει την ελεγχόμενη μεταβλητή (π.χ. θερμοκρασία, στροφές κλπ) η οποία μετατρέπεται σε ένα αναλογικό σήμα, συνήθως ρεύμα 4-20mA ή τάση  $\pm 10V$ . Στην συνέχεια τα σήματα των μετατροπέων εισάγονται στην είσοδο ενός πολυπλέκτη. Ο πολυπλέκτης εργάζεται κυκλικά και επιλέγει κάθε φορά ένα σήμα εισόδου. Το σήμα αυτό συνδέεται με την έξοδο του.

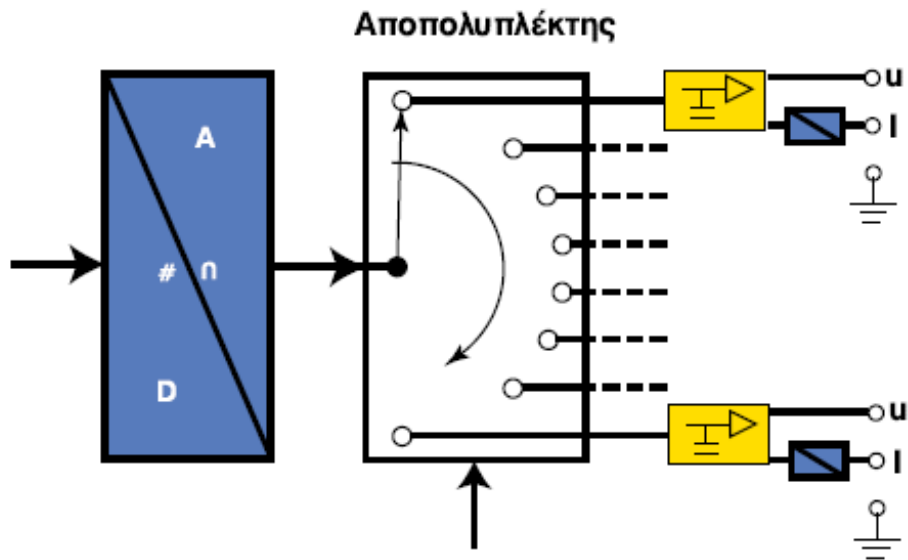
Στην ουσία λοιπόν ο πολυπλέκτης συνδέει διαδοχικά τα σήματα της εισόδου με την έξοδο. Η επιλογή των εισόδων γίνεται με την βοήθεια ενός κωδικοποιημένου σήματος, το οποίο έρχεται από την μονάδα ελέγχου. Τα σήματα εξόδου του πολυπλέκτη οδηγούνται στον αναλογικό-ψηφιακό μετατροπέα και στην συνέχεια αποθηκεύονται στην μνήμη του υπολογιστή.

Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε το Block διάγραμμα ενός πολυπλέκτη και ενός A/D-μετατροπέα:



Εικόνα 36: Πολυπλέκτης και A/D-Μετατροπέας

Ο ψηφιακός ελεγκτής, ανάλογα με την εξίσωση (αλγόριθμο) που τον διέπει, παράγει ψηφιακά σήματα, τα οποία οδηγούνται στον D/A-μετατροπέα. Τέλος, το αναλογικό σήμα από την έξοδο του D/A- μετατροπέα οδηγείται με την βοήθεια του αποπολυπλέκτη στα τελικά στοιχεία ελέγχου υπό μορφή τυποποιημένων σημάτων  $\pm 10V, 0 \dots 20mA$  και  $4 \dots 20mA$ .



Εικόνα 37: D/A-Μετατροπέας και Αποπολυπλέκτης

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. Με την σειρά του ο μετατροπέας Δ/A μετατρέπει ένα σήμα διακριτού χρόνου σε 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.

Οι ψηφιακοί ελεγκτές σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να εκτελούν απλές αλλά και πιο σύνθετες λειτουργίες. Ένας ψηφιακός ελεγκτής λοιπόν θα μπορούσε να λειτουργήσει ως ένας απλός διακόπτης, να παίρνει κάποιες απλές αποφάσεις, ή να εκτελεί μια δυναμική και σύνθετη διαδικασία για την επεξεργασία του σφάλματος και στην συνέχεια να δίνει την κατάλληλη εντολή για την βελτίωση του υπό έλεγχο συστήματος.

### 3.7 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.

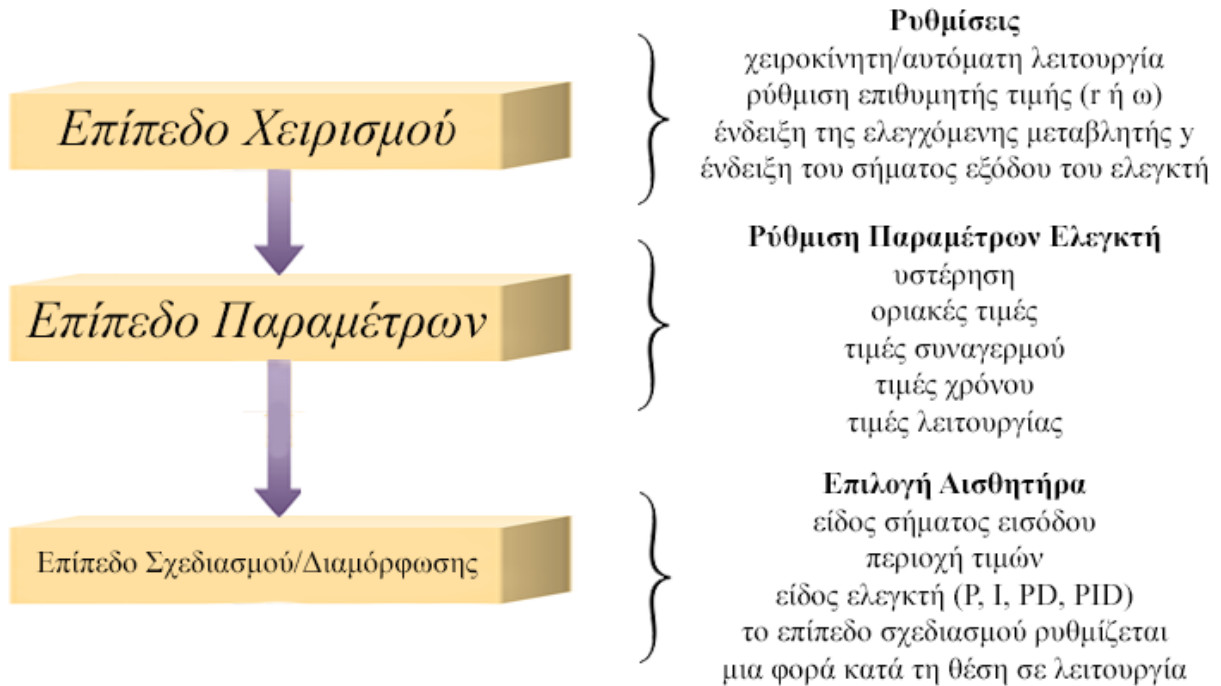
### 3.8 Επίπεδα λειτουργίας του ψηφιακού ελεγκτή

Η πρόσβαση του χρήστη στην λειτουργία του ψηφιακού ελεγκτή γίνεται σε τρία επίπεδα. Τα επίπεδα λειτουργίας είναι χωρισμένα μεταξύ τους ώστε να μην υπάρξουν λάθος χειρισμοί. Τα επίπεδα λειτουργίας ενός ψηφιακού ελεγκτή είναι τα εξής:

- **Επίπεδο χειρισμού:** Στο πρώτο επίπεδο, το επίπεδο χειρισμού ο χρήστης έχει την δυνατότητα να ρυθμίσει την επιθυμητή τιμή και να λάβει ενδείξεις για τις στιγμιαίες τιμές της μεταβλητής (y) και του σήματος εξόδου του ελεγκτή.
- **Επίπεδο παραμέτρων:** Το επίπεδο παραμέτρων αποτελεί το δεύτερο επίπεδο λειτουργίας ενός ψηφιακού ελεγκτή. Στο επίπεδο αυτό ο χρήστης μπορεί να ρυθμίσει τα τεχνικά χαρακτηριστικά και τις παραμέτρους του ελεγκτή.
- **Επίπεδο σχεδιασμού ή διαμόρφωσης:** Το τρίτο και τελευταίο επίπεδο λειτουργίας του ψηφιακού ελεγκτή είναι το επίπεδο του σχεδιασμού. Το επίπεδο σχεδιασμού ρυθμίζεται κατά την έναρξη της λειτουργίας του ελεγκτή και δεν επιτρέπονται συνεχείς μεταβολές.

Στο επίπεδο αυτό γίνεται επιλογή του είδους του ελεγκτή και ρύθμιση των παραμέτρων του προγράμματος.

Στην εικόνα παρακάτω μπορούμε να παρατηρήσουμε σχηματικά τα τρία επίπεδα λειτουργίας ενός ψηφιακού ελεγκτή.



Εικόνα 38: Επίπεδο λειτουργίας ενός ψηφιακού υπολογιστή

### 3.9 Ψηφιακός Ελεγκτής PID

Ο αναλογικός – ολοκληρωτικός – διαφορικός (PID) έλεγχος χρησιμοποιείται ακόμα ευρέως στην βιομηχανία λόγω της απλότητας του. Δεν χρειάζεται κάποιος εξειδικευμένος σχεδιασμός αφού ο χρήστης απλά εγκαθιστά τον ελεγκτή και ρυθμίζει τα τρία κομμάτια του (P, I και D) ώστε να πετύχει την μέγιστη δυνατή απόδοση. Σήμερα οι περισσότεροι PID ελεγκτές είναι ψηφιακοί.

#### 3.9.1 Διαφορετικές μορφές PID

Η πιο κοινή μορφή της εξίσωσης ενός PID είναι αυτή που βλέπουμε παρακάτω:

$$u(t) = K \left( e_t + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (1)$$



Στην παραπάνω εξίσωση το σφάλμα  $e(t)$ , η διαφορά μεταξύ του σήματος ελέγχου και της εξόδου, αποτελεί την είσοδο του ελεγκτή, και η μεταβλητή ελέγχου  $u(t)$  είναι η έξοδος του ελεγκτή. Οι τρεις παράμετροι είναι  $K$  (proportional gain),  $T_i$  (integral time) Και  $T_d$  (derivative time).

Εφαρμόζοντας τον μετασχηματισμό Laplace στην σχέση (1) θα έχουμε:

$$G(s) = K \left( 1 + \frac{1}{sT_i} + sT_d \right) \quad (2)$$

Μια άλλη μορφή της εξίσωσης ενός ελεγκτή PID είναι η παρακάτω, η οποία είναι γνωστή και ως παράλληλη:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (3)$$

Με μετασχηματισμό Laplace:

$$G(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + sK_d \quad (4)$$

Μπορούμε εύκολα να μετατρέψουμε τους επιμέρους παράγοντες από την μια μορφή στην άλλη παρατηρώντας ότι:

$$K_p = K$$

$$K_i = \frac{K}{T_i}$$

$$K_d = KT_d$$

### 3.9.2 Αλγόριθμος για Ελεγκτή PID Διακριτού Χρόνου

Για την ψηφιακή υλοποίηση ενδιαφερόμαστε κυρίως για τον μετασχηματισμό  $Z$  της σχέσης (3):

$$U(z) = \left[ K_p + \frac{K_i}{1-z^{-1}} + K_d(1-z^{-1}) \right] E(z) \quad (5)$$

Η παραπάνω μπορεί να γραφεί:

$$U(z) = \left[ \frac{(K_p + K_i + K_d) + (-K_p - 2K_d)z^{-1} + K_d z^{-2}}{1-z^{-1}} \right] E(z) \quad (6)$$

Ορίζουμε τα εξής:

$$K_1 = K_p + K_i + K_d$$

$$K_2 = -K_p - 2K_d$$

$$K_3 = K_d$$

Αντικαθιστώντας, η (6) μπορεί να γραφεί ως εξής:

$$U(z) - z^{-1}U(z) = [K_1 + K_2z^{-1} + K_3z^{-2}]E(z) \quad (7)$$

Το οποίο στην συνέχεια γίνεται:

$$u[k] = u[k - 1] + K_1e[k] + K_2e[k - 1] + K_3e[k - 2] \quad (8)$$

Το παραπάνω αποτελεί μια μορφή κατάλληλη για εκτέλεση.

### 3.9.3 Ρύθμιση του Ελεγκτή PID

Η ρύθμιση των κερδών ενός PID ελεγκτή ώστε να πετύχει μια καλή απόκριση είναι αρκετά δύσκολη για τον κάποιον χρήστη που δεν διαθέτει την κατάλληλη εμπειρία. Για τον λόγο αυτό οι περισσότεροι εμπορικοί PID ελεγκτές έχουν ενσωματωμένες λειτουργίες που ρυθμίζουν αυτόματα τις τρεις αυτές παραμέτρους. Αυτή η δυνατότητα αποκαλείται «autotuning». Υπάρχουν αρκετές παραλλαγές των μεθόδων αυτόματης ρύθμισης μια από αυτές είναι η μέθοδος Ziegler-Nichols Frequency Domain (ZNFD) την οποία και αναλύουμε παρακάτω

### 3.9.4 Μέθοδος Ziegler-Nichols Frequency Domain (ZNFD)

Για να ρυθμίσουμε έναν PID ελεγκτή με την μέθοδο ZNFD, ξεκινάμε απενεργοποιώντας τόσο τον ολοκληρωτικό όσο και τον διαφορικό όρο του ελεγκτή. Από την σχέση (1) βλέπουμε ότι αυτό μπορεί να γίνει κάνοντας το  $T_i \rightarrow \infty$  και το  $T_d \rightarrow 0$ . Έτσι, ο ελεγκτής έχει μόνο το αναλογικό κέρδος  $K$ . Ενισχύουμε το  $K$  έως ότου το κύκλωμα κλειστού βρόγχου αρχίσει να ταλαντεύεται. Σε αυτό το σημείο, η έξοδος του υπό έλεγχο συστήματος θα αρχίσει να ταλαντεύεται κάνοντας μια σταθερή ημιτονοειδή κίνηση. Ούτε θα αυξάνεται ούτε θα εξασθενεί. Κρατάμε αυτή την τιμή και την ορίζουμε ως  $K_u$ . Στην συνέχεια μετράμε την περίοδο της ταλάντωσης. Ορίζουμε την περίοδο ως  $T_u$ . Τέλος χρησιμοποιούμε τον παρακάτω πίνακα ώστε να βρούμε τις τιμές των παραμέτρων του PID ελεγκτή.

Controller Form	K	T <sub>i</sub>	T <sub>d</sub>
P	0.5K <sub>u</sub>	-	-
PI	0.4K <sub>u</sub>	0.8T <sub>u</sub>	-
PID	0.6K <sub>u</sub>	0.5T <sub>u</sub>	0.125T <sub>u</sub>

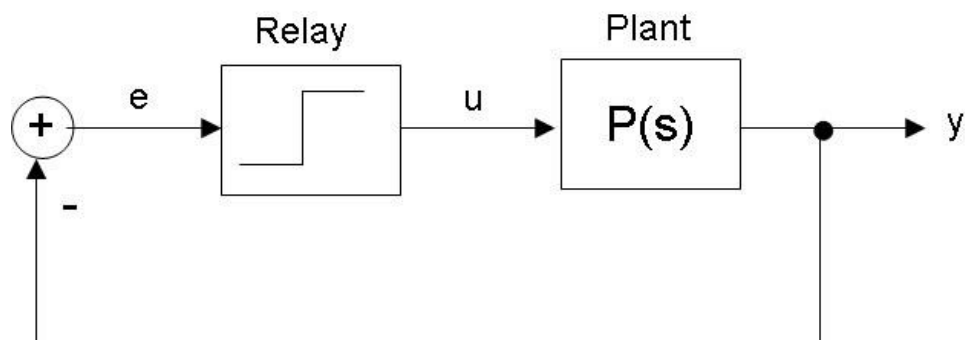
Πίνακας 2: Προτεινόμενες παράμετροι για ελεγκτή PID (μέθοδος ZNFD)

### 3.9.5 Αυτόματη Ρύθμιση

Όσο απλή κι αν φαίνεται, η μέθοδος ZNFD είναι δύσκολο να εφαρμοστεί σε βιομηχανικές εφαρμογές. Είναι δύσκολο να ρυθμιστεί το κέρδος ώστε το σύστημα κλειστού βρόγχου να ταλαντωθεί. Αν υπάρξει λίγο μεγαλύτερη ταλάντωση θα υπάρξει αστάθεια. Η αυτόματη ρύθμιση εκμεταλλεύεται κάποια στοιχεία που μπορούν να κάνουν το υπό έλεγχο σύστημα να ταλαντωθεί, αλλά όχι να γίνει ασταθές. Ένα από αυτά τα στοιχεία είναι το γνωστό σε όλους ρελέ.

#### Παράδειγμα με αυτόματη ρύθμιση

Στην παραπάνω εικόνα βλέπουμε ένα κύκλωμα στο οποίο έχουμε αντικαταστήσει τον PID ελεγκτή με ένα ρελέ.

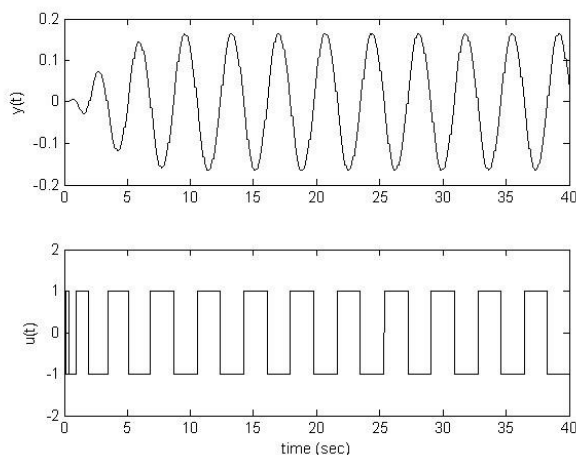


Εικόνα 39: Διάγραμμα ανάδρασης με ρελέ

Η έξοδος του ρελέ εναλλάσσεται σε  $\pm 1$ . Χρησιμοποιώντας σαν είσοδο το:

$$P(s) = \frac{1}{(s + 1)^3}$$

Μπορούμε να παρατηρήσουμε την ταλάντωση της εξόδου αν κοιτάξουμε την παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 40: Απόκριση ταλάντωσης από την ανάδραση του ρελέ

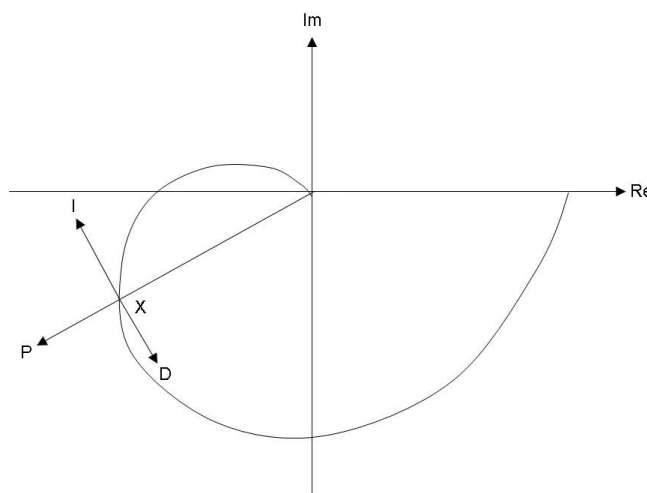
Βλέπουμε ότι η ταλάντωση είναι αυτόματη και το μέγεθος της εξόδου είναι συνάδει με την έξοδο του ρελέ.

### 3.9.5.1 Παρατηρήσεις σχετικά με την αυτόματη ρύθμιση

Λόγω του γεγονότος ότι το ρελέ είναι ένα μη γραμμικό στοιχείο, πρέπει να βρούμε κάποια γραμμική αναπαράσταση χρησιμοποιώντας κάποιο μαθηματικό εργαλείο. Μια καλή προσέγγιση θα ήταν να χρησιμοποιήσουμε μια περιγραφική συνάρτηση. Χρησιμοποιώντας αυτή την τεχνική, το ρελέ αντικαθίσταται από ένα εξαρτώμενο κέρδος  $N(a)$  όπου  $a$  είναι το μέγεθος της εξόδου του ρελέ. Και η συνθήκη για την ενίσχυση θα είναι:

$$N(a)P(i\omega) = -1 \quad (9)$$

Θα μπορούσαμε να ελέγξουμε εύκολα την κατάσταση γραφικά τοποθετώντας το  $-1/N(a)$  στο παρακάτω διάγραμμα Nyquist:



Εικόνα 41: Κίνηση ενός σημείου με έλεγχο PID στην καμπύλη Nyquist

Αν οι γραφικές των  $-1/N(\alpha)$  και  $P(i\omega)$  τέμνονται, σημαίνει ότι η ανάδραση του ρελέ πρέπει να ταλαντωθεί, εκεί όπου το μέγεθος και η συχνότητα της ταλάντωσης εξισώνονται με τις τιμές του σημείου τομής. Έτσι αν μπορούμε να μετρήσουμε το μέγεθος και την συχνότητα ταλάντωσης, μπορούμε να προσδιορίσουμε το σημείο τομής.

Σε περίπτωση που το ρελέ είναι χωρίς υστέρηση, η συνάρτηση του θα είναι:

$$N(\alpha) = \frac{4d}{\pi\alpha} \quad (10)$$

Όπου το  $d$  είναι το μέγεθος του σήματος του ρελέ και το  $\alpha$  είναι το μέγεθος της ταλάντωσης της εξόδου. Αξίζει να σημειώσουμε ότι η σχέση 10 είναι μια πραγματική συνάρτηση, άρα το σύστημα θα πρέπει να ταλαντωθεί αν η καμπύλη Nyquist τέμνει τον αρνητικό πραγματικό άξονα. Ως εκ τούτου η ανάδραση του ρελέ μπορεί να μας βοηθήσει να βρούμε το σημείο τομής ανάμεσα στην καμπύλη Nyquist και στον αρνητικό πραγματικό άξονα, το οποίο θα είναι το ίδιο σημείο που εντοπίσαμε χρησιμοποιώντας την χειροκίνητη μέθοδος ZNFD.

Από την Εικόνα 40 μπορούμε να μετρήσουμε ότι το  $\alpha \approx 0.15$  και το  $d=1$ . Από την σχέση (10) μπορούμε να υπολογίσουμε ότι η καμπύλη Nyquist θα τέμνει τον αρνητικό πραγματικό άξονα στα  $-1/N(\alpha)$ , ή 0.118.

### 3.9.6 Δειγματοληψία σε Ελεγκτές PID

Οι ψηφιακοί ελεγκτές λαμβάνουν τιμές από την ελεγχόμενη μεταβλητή σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα ο χρόνος αυτός ονομάζεται χρόνος δειγματοληψίας (sample time) και συμβολίζεται με  $\Delta t$ . Κάθε δείγμα της υπό έλεγχο μεταβλητής μετατρέπεται σε έναν δυαδικό αριθμό. Αυτό είναι μια απαραίτητη διαδικασία ώστε τα δεδομένα αυτά να εισαχθούν σε έναν ψηφιακό υπολογιστή ή μικροϋπολογιστή.

Ο υπολογιστής αφαιρεί κάθε δείγμα της μετρήσιμης μεταβλητής από το σημείο ρύθμισης για να υπολογίσει ένα σύνολο από δείγματα σφάλματος. Δηλαδή:

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

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

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

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

### 3.9.7 Αλγοριθμικός έλεγχος

Μετά τον υπολογισμό κάθε δείγματος σφάλματος ο ψηφιακός PID ελεγκτής ακολουθεί μια διαδικασία γνωστή ως αλγόριθμος PID, έτσι ώστε να υπολογίσει την έξοδο του ελεγκτή βασιζόμενος στα δείγματα σφάλματος  $e_1, e_2, e_3, \dots, \dots, e_n$ . Ο αλγόριθμος PID συναντάται σε δυο εκδοχές. Την εκδοχή θέσης (positional) και την εκδοχή αύξησης (επαυξητική).

Ο αλγόριθμος PID υπολογίζει την θέση της βαλβίδας  $V_n$ , βασιζόμενος στα σήματα σφάλματος που λαμβάνει. Μια πιο απλοποιημένη εκδοχή του αλγορίθμου θέσης μπορούμε να δούμε παρακάτω:

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

Όπου:

$V_n$  = η θέση της βαλβίδας σε ποσοστό επί τοις εκατό του συνόλου

$P$  = κέρδος ελεγκτή

$e_n$  = δείγμα σφάλματος σε ποσοστό επί τοις εκατό του συνόλου

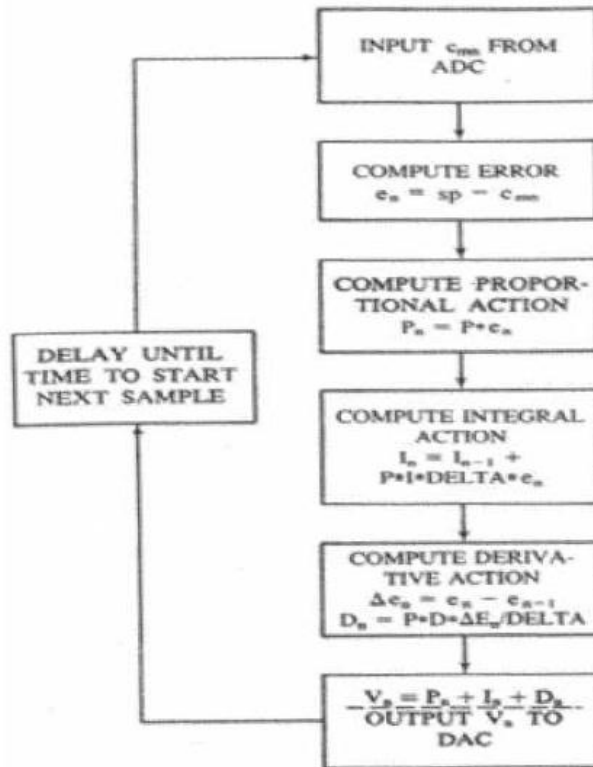
$\Delta t$  = ο χρόνος του δείγματος σε sec

$I$  = το αναλογικό ποσοστό σε  $\text{sec}^{-1}$

$D$  = η διαφορική χρονική σταθερά σε sec

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

Στην παρακάτω εικόνα μπορούμε να παρατηρήσουμε ένα διάγραμμα ροής αλγορίθμου θέσης PID:



Εικόνα 42: Διάγραμμα ροής ενός αλγορίθμου θέσης PID

Ο επαυξητικός αλγόριθμος PID χρησιμοποιείται για να καθορίσει την αλλαγή στην θέση των βαλβίδων  $\Delta v_n = v_n - v_{n-1}$ , που βασίζεται στα δείγματα σφάλματος. Ο αλγόριθμος αυτός μπορεί να καθοριστεί χρησιμοποιώντας την εξίσωση:

$$V_n = P e_n + P I \Delta t \sum_{j=1}^{j=n} e_j + P D \frac{\Delta e_n}{\Delta t}$$

Κάνοντας το παραπάνω θα καθορίσουμε τα  $V_n$  και  $V_{n-1}$  και στην συνέχεια, αφαιρώντας, θα έχουμε τα εξής:

$$V_{n-1} = P e_{n-1} + P I \Delta t \sum_{j=1}^{j=n-1} e_j + P D \frac{\Delta e_{n-1}}{\Delta t}$$

$$\Delta V_n = P \Delta e_n + P I \Delta t e_n + P D \left( \frac{\Delta e_n - \Delta e_{n-1}}{\Delta t} \right)$$

Όπου

$$\Delta V_n = V_n - V_{n-1}$$

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

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

Ο επαυξητικός αλγόριθμος είναι ιδανικός για συσκευές επαυξητικής παραγωγής όπως τα βηματικά μοτέρ. Ο αλγόριθμος θέσης είναι πιο φυσιολογικός και έχει το πλεονέκτημα ότι ο ελεγκτής συγκρατεί την θέση των βαλβίδων. Στην περίπτωση που το δείγμα του χρόνου  $\Delta t$  είναι πολύ πιο σύντομο από την ολοκληρωτική χρονική σταθερά  $T_i = 1/I$ , ο αλγόριθμος θέσης θα συμπεριφερθεί όπως ένας αναλογικός ελεγκτής.

### 3.10 Μέθοδος ολοκληρώματος

Η μέθοδος ολοκληρώματος στην εξίσωση  $V_n = P e_n + P I \Delta t \sum_{j=1}^{j=n} e_j + P D \frac{\Delta e_n}{\Delta t}$  μπορεί να παράγει προβλήματα τα οποία μπορεί να μας οδηγήσουν σε μη ικανοποιητικά αποτελέσματα. Ο ολοκληρωτικός τρόπος δίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

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

Για κάθε δείγμα η μέθοδος ολοκληρώματος πρέπει να παράγει μια αλλαγή που θα δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\text{Αλλαγή μεθόδου ολοκληρώματος} = P I \Delta t e_j$$

Όταν η τιμή του  $P I \Delta t$  είναι μικρότερη του 1, είναι προτιμότερο να εργαστούμε με τον αντίστροφο του  $P I \Delta t$ , που μπορεί να αποθηκευτεί στον υπολογιστή ως ακέραιος. Σε αυτή την περίπτωση η παραπάνω εξίσωση θα πάρει την μορφή:

$$I_{DIV} = \frac{1}{P I \Delta t}$$

$$\text{Αλλαγή μεθόδου ολοκληρώματος} = \frac{e_j}{I_{DIV}}$$

Αν η τιμή του  $P I \Delta t$  είναι πολύ μικρή, ο υπολογιστής μπορεί να αγνοήσει τα σχετικά μεγάλα σφάλματα λόγω ανεπαρκούς ανάλυσης. Αν για παράδειγμα έχουμε έναν ψηφιακό ελεγκτή με μήκος λέξης 12 bit, η ανάλυση ενός αριθμού 12 bit είναι 1 μέρος από τα 4096. Ας υποθέσουμε τώρα ότι ένας δυαδικός



αριθμός 12 bit χρησιμοποιείται για να αναπαραστήσει ένα εύρος σφαλμάτων από -2048 έως 2047. Αν  $P=0.5$ ,  $\Delta t=1s$  και  $I=0.002s^{-1}$ , τότε:

$$PI\Delta t = (0,5)(1)(0,002) = 0,001$$

$$I_{DIV}=1000$$

Κάθε τιμή σφάλματος μεγαλύτερη του -1000 και μικρότερη του +1000 (48% του εύρους της πλήρους κλίμακας) θα έχει ως αποτέλεσμα μια αλλαγή στην μέθοδο ολοκληρώματος μικρότερη του 1 η οποία θα αγνοηθεί από τον υπολογιστή. Αυτή η μικρή αλλαγή θα χαθεί, εκτός κι αν υπάρξει ειδική πρόβλεψη ώστε να ενσωματωθεί η αλλαγή αυτή σε επόμενους υπολογισμούς για το ίδιο δείγμα.

Το τελικό αποτέλεσμα είναι ένα μόνιμο σφάλμα μετατόπισης που η μέθοδος ολοκληρώματος δεν μπορεί να εξαλείψει. Αυτό το πρόβλημα θα μπορούσε να λυθεί αν αυξήσουμε την ακρίβεια, αυξάνοντας το μήκος της λέξης στον υπολογιστή. Μια λέξη με μήκος 16 bit θα έχει ακρίβεια 1 σε 65.536 και μπορεί να παραστήσει μια σειρά λαθών από -32.768 μέχρι +32.768. Αυτό θα μπορούσε να μειώσει το σφάλμα μετατόπισης περίπου στο 3% της κλίμακας πλήρους εύρους.

Μια άλλη λύση, όπως αναφέραμε και παραπάνω, είναι η πρόσθεση του αχρησιμοποίητου μέρους του αθροίσματος των δειγμάτων σφάλματος στο τρέχον δείγμα σφάλματος,  $e_n$ , πριν υπολογιστεί η αλλαγή μεθόδου ολοκληρώματος. Αν υποθέσουμε ότι στο παραπάνω παράδειγμα υπήρχε ένα σφάλμα μεγέθους 900 σε δυο διαδοχικά δείγματα, τότε δεν θα υπήρχε καμία αλλαγή μεθόδου ολοκληρώματος αφού το κάθε δείγμα είναι κάτω από 1000. Παρόλα αυτά αν στο πρώτο δείγμα διατηρηθεί το άθροισμα με μέγεθος 1800 θα προκληθεί μια αλλαγή  $1800/1000=1$  με υπόλοιπο 800.

Το υπόλοιπο αυτό μπορεί να διατηρηθεί έτσι ώστε να το προσθέσουμε στο επόμενο δείγμα σφάλματος. Κάθε φορά που το συσσωρευμένο υπόλοιπο συν το τρέχον σφάλμα είναι μεγαλύτερο από 1000, μια ακόμα αύξηση θα προστίθεται στην αλλαγή μεθόδου ολοκληρώματος.

### 3.11 Μέθοδος παραγώγου

Η μέθοδος παραγώγου (διαφορική) παρουσιάζει επίσης προβλήματα στην εξίσωση  $V_n = Pe_n + PI\Delta t \sum_{j=1}^{j=n} e_j + PD \frac{\Delta e_n}{\Delta t}$ , τα οποία μπορεί να μας οδηγήσουν σε ανεπιθύμητα αποτελέσματα. Για παράδειγμα ένα αργά μεταβαλλόμενο σήμα θα μπορούσε να οδηγήσει σε μια μη ομαλή διαφορική δράση. Παρακάτω λοιπόν θα δούμε πως μπορεί να εμφανιστεί αυτό και τι

διαδικασία πρέπει να ακολουθήσουμε για να το διορθώσουμε. Η μέθοδος παραγώγου δίνεται από την παρακάτω συνάρτηση:

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

Στην ουσία ο όρος  $\frac{(e_n - e_{n-1})}{\Delta t}$  είναι μια εκτίμηση του ποσοστού αλλαγής του σφάλματος  $de/dt$ . Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι το  $\Delta t$  καθορίζεται από το ποσοστό δειγματοληψίας, θα εστιάσουμε στον όρο  $(e_n - e_{n-1})$  τον οποίο θα εκφράσουμε ως  $est_1$ . Τον διαφορικό όρο που παράγεται από το  $est_1$  θα το ονομάσουμε  $D_1$

Έτσι έχουμε:

$$est_1 = e_n - e_{n-1}$$

$$D_1 = PD \frac{est_1}{\Delta t}$$

Αν  $P=6$ ,  $\Delta t=1s$ , και  $D=100s$  τότε  $D_1=(6)(100/1)(est_1)=(600)(est_1)$ . Στον παρακάτω πίνακα μπορούμε να δούμε τον διαφορικό όρο που παράγεται από μια ελεγχόμενη μεταβλητή που μειώνεται με ποσοστό  $0,5\%/sec$ . Ο διαφορικός όρος ( $D_1$ ) κυμαίνεται μεταξύ 0 και 600, επειδή η εκτίμηση του  $est_1$ , ταλαντεύεται μεταξύ 0 και 1. Για να διορθωθεί αυτό απαιτείται μια καλύτερη εκτίμηση του  $\Delta e$ . Για να το κάνουμε αυτό θα χρησιμοποιήσουμε τα προηγούμενα δείγματα. Για να γίνει αυτό καλύτερα κατανοητό θα χρησιμοποιήσουμε έναν εκτιμητή που παίρνει τα τελευταία τέσσερα δείγματα για να υπολογίσει το  $\Delta e$ . Η εκτίμηση αυτή θα ονομαστεί  $est_2$ , και ο διαφορικός όρος ο οποίος παράγεται,  $D_2$ .

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

$$D_2 = PD \frac{est_2}{2^2 \Delta t}$$

Αν  $P=6$ ,  $\Delta t=1s$  και  $D=100s$  τότε

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

n	c	c <sub>m</sub>	e	est <sub>1</sub>	D <sub>1</sub>	est <sub>2</sub>	D <sub>2</sub>
1	9.5	9	0	0	0	0	0
2	9.0	9	0	0	0	0	0
3	8.5	8	1	1	600	1	150
4	8.0	8	1	0	0	2	300
5	7.5	7	2	1	600	2	300
6	7.0	7	2	0	0	2	300
7	6.5	6	3	1	600	2	300
8	6.0	6	3	0	0	2	300
9	5.5	5	4	1	600	2	300
10	5.0	5	4	0	0	2	300

Πίνακας 3: Δράση που παράγεται από δυο εκτιμητές

Από τον παραπάνω πίνακα μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι ο απλός εκτιμητής έχει εξαλείψει τον διαφορικό όρο. Ο est<sub>2</sub> έχει μια αποτελεσματική περίοδο δειγμάτων 2s, χρησιμοποίησε δυο δείγματα για να υπολογίσει το e<sub>n-2</sub>. Ο όρος 2<sup>2</sup> στην εξίσωση D<sub>2</sub> εκφράζει τον διπλασιασμό της περιόδου των δειγμάτων και την χρήση δυο δειγμάτων έτσι ώστε να μπορέσει να καθορίσει έναν μέσο όρο. Η ιδέα του est<sub>2</sub> εκτιμητή μπορεί να επεκταθεί για να συμπεριλάβει περισσότερα προηγούμενα δείγματα. Ένας est<sub>5</sub> εκτιμητής θα μπορούσε να αυξήσει τον αποτελεσματικό χρόνο δειγμάτων σε 5s και θα χρησιμοποιούσε πέντε δείγματα για να υπολογίσει το e<sub>n</sub> και πέντε δείγματα για να υπολογίσει το e<sub>n-5</sub>. Έτσι θα έχουμε:

$$est_5 = (e_n + e_{n-1} + e_{n-3} + e_{n-4}) - (e_{n-5} + e_{n-6} + e_{n-7} + e_{n-8} + e_{n-9})$$

$$D_s = PD est_5 / 5^2 \Delta t$$

### 3.12 Προηγμένος Έλεγχος

Ο προηγμένος έλεγχος αφορά διάφορες μεθόδους που χρησιμοποιούν κάτι παραπάνω από ένα σύστημα ελέγχου, ενός βρόγχου, μιας μεταβλητής ανάδρασης και τριών μεθόδων ελέγχου. Ο προηγμένος έλεγχος λοιπόν περιλαμβάνει τον έλεγχο σειριακής ζεύξης, τον έλεγχο ορθής τροφοδοσίας, τους ελεγκτές προσαρμόσιμης αυτό – ρύθμισης και τα συστήματα ελέγχου πολλών μεταβλητών.

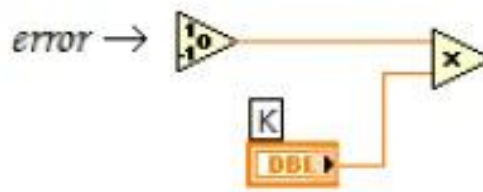
### 3.13 Ελεγκτής τύπου ON/OFF

Ο ελεγκτής τύπου ON/OFF αποτελεί έναν από τους πιο απλούς ελεγκτές. Αν υποθέσουμε ότι έχουμε ένα σύστημα Σ και ένα σήμα αναφοράς το οποίο συμβολίζει και την επιθυμητή έξοδο, τότε για να εισάγουμε τον

ελεγκτή αρκεί σε κάθε επανάληψη να πολλαπλασιάζουμε το πρόσημο του σφάλματος μεταξύ της πραγματικής εξόδου του  $\Sigma$  από την επιθυμητή και από το μέγεθος του  $u_{max}$ . Όσο μεγαλύτερο, τόσο γρηγορότερη είναι η σύγκλιση. Θα πρέπει να είμαστε πάντα προσεκτικοί με τα επίπεδα στα οποία πρέπει να κυμαίνεται το  $u_{max}$ , μιας και αν ξεφύγει από ένα εύρος τότε το σύστημα μπορεί να οδηγηθεί σε αστάθεια. Η απόκριση ενός συστήματος με ελεγκτή on/off στην μόνιμη κατάσταση παρουσιάζει ταλαντώσεις. Το εύρος και η περίοδος αυτών εξαρτώνται από το σύστημα και από τις προεπιλεγμένες παραμέτρους

### 3.13.1 Αλγόριθμος ON/OFF

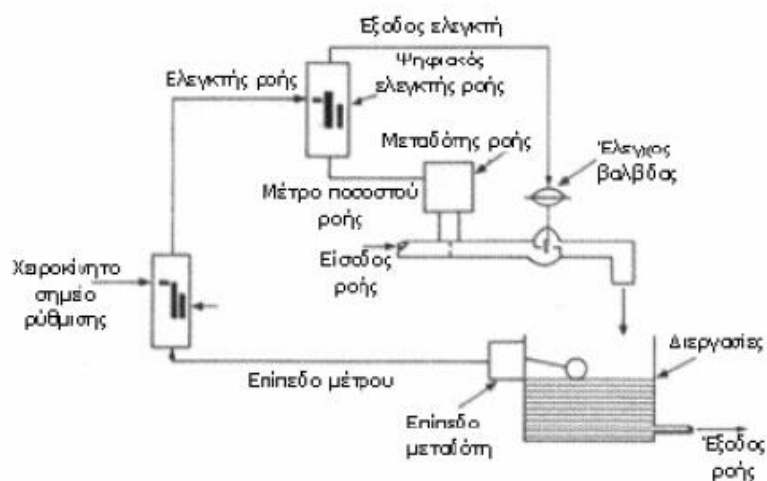
Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε την υλοποίηση ενός ON/OFF ελεγκτή σε περιβάλλον LabView:



Εικόνα 43: Υλοποίηση On/Off ελεγκτή σε περιβάλλον LabView

### 3.14 Έλεγχος σειριακής ζεύξης

Ο έλεγχος σειριακής ζεύξης χρησιμοποιεί δυο ελεγκτές με την έξοδο του κυρίου ελεγκτή να παρέχει το σημείο ρύθμισης για τον δευτερεύων ελεγκτή.



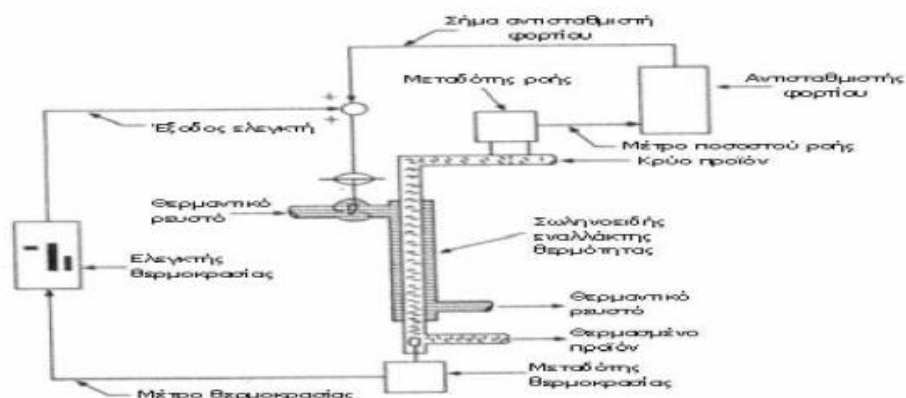
Εικόνα 44: Εφαρμογή Σειριακού Ελέγχου

Στην παραπάνω εικόνα βλέπουμε μια εφαρμογή του σειριακού ελέγχου. Οι αλλαγές στην στάθμη συμβαίνουν αργά λόγω της χωρητικότητας της δεξαμενής, σε αντίθεση με τις αλλαγές της ροής που συμβαίνουν πολύ πιο γρήγορα. Όταν εμφανιστεί μια διαταραχή η οποία θα προκαλέσει αλλαγή στο ποσοστό ροής της εισόδου, υπάρχει μια μεγάλη καθυστέρηση μέχρι η στάθμη να αλλάξει αρκετά ώστε να διορθωθεί η διαταραχή. Η διαταραχή έχει συχνές διακυμάνσεις μέχρι να επιτευχθεί η διόρθωση. Οι διακυμάνσεις της στάθμης οφείλονται στην αργή διόρθωση των διαταραχών. Ο σειριακός έλεγχος χρησιμοποιείται για να βελτιώσει το σύστημα ελέγχου στάθμης.

Ένας πομπός σημάτων ροής και ο δευτερεύων ελεγκτής σχηματίζουν έναν βρόγχο ελέγχου ροής μέσα στον βρόγχο ελέγχου στάθμης. Η έξοδος του ελεγκτή στάθμης είναι το ελάχιστο σημείο ρύθμισης του ελεγκτή ροής. Ο βρόγχος ελέγχου ροής ανταποκρίνεται γρήγορα στις αναταραχές ροής, θεωρητικά εξαλείφοντας τις διακυμάνσεις στάθμης που προκαλούνται σε έναν απλό βρόγχο ελέγχου στάθμης.

### 3.15 Έλεγχος ορθής τροφοδοσίας

Ο έλεγχος ορθής τροφοδοσίας χρησιμοποιεί ένα μοντέλο της διαδικασίας για να κάνει αλλαγές στην έξοδο του ελεγκτή ως απόκριση των μετρήσιμων αλλαγών σε μια κύρια μεταβλητή φορτίου χωρίς να περιμένει να συμβεί ένα σφάλμα.



Εικόνα 45: Εφαρμογή Ελέγχου Ροής Τροφοδοσίας

Στην παραπάνω εικόνα μπορούμε να παρατηρήσουμε μια εφαρμογή του ελέγχου ροής τροφοδοσίας. Όπως μπορούμε να δούμε στην εικόνα, ένας μεταδότης ροής μετρά τον ρυθμό ροής του προϊόντος και στέλνει σήμα σε έναν αντισταθμιστή φορτίου. Στην συνέχεια, ο αντισταθμιστής φορτίου υπολογίζει την απαραίτητη διόρθωση έτσι ώστε να ρυθμίσει το ποσοστό ροής του προϊόντος. Η έξοδος του αντισταθμιστή φορτίου προστίθεται με την έξοδο του

ελεγκτή θερμοκρασίας. Η διόρθωση θα επιτευχθεί μόλις μετρηθεί η αλλαγή στο ποσοστό ροής του προϊόντος. Εάν η αντιστάθμιση ορθής τροφοδοσίας είναι τέλεια και δεν υπάρχει καμία άλλη μεταβλητή διαταραχής στη διαδικασία, ο βρόγχος ανάδρασης μπορεί να εξαλειφθεί. Στην πράξη όμως αυτές οι ιδανικές συνθήκες δεν υπάρχουν, έτσι τα συστήματα ελέγχου τροφοδοσίας περιλαμβάνουν πάντα έναν βρόγχο ανάδρασης έτσι ώστε να κάνουν τις τελικές προσαρμογές.

### 3.16 Προσαρμοστικοί ελεγκτές

Οι προσαρμοστικοί ελεγκτές αλλάζουν τις παραμέτρους τους έτσι ώστε να προσαρμοστούν στις αλλαγές της διαδικασίας. Ένας προσαρμοστικός ελεγκτής υπολογίζει τις σωστές τιμές των P, I και D και κάνει τις απαραίτητες αλλαγές ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Οι προσαρμοστικοί ελεγκτές χωρίζονται σε δυο βασικές κατηγορίες:

- Προσαρμοστικοί ελεγκτές που χρησιμοποιούν ένα προκαθορισμένο πρότυπο διαδικασίας ως βάση για τον συντονισμό
- Προσαρμοστικοί ελεγκτές που χρησιμοποιούν ως βάση την αναγνώριση προτύπων και την αποθηκευμένη γνώση, για τον συντονισμό

Οι ελεγκτές της πρώτης κατηγορίας εισάγουν μια βηματική αλλαγή στο σημείο ρύθμισης και παρατηρούν την απόκριση που προκύπτει από την διαδικασία. Στην συνέχεια, διαμορφώνουν ένα μοντέλο που χρησιμοποιούν σαν πρότυπο. Το πρότυπο αυτό είναι βασισμένο στην βηματική αλλαγή.

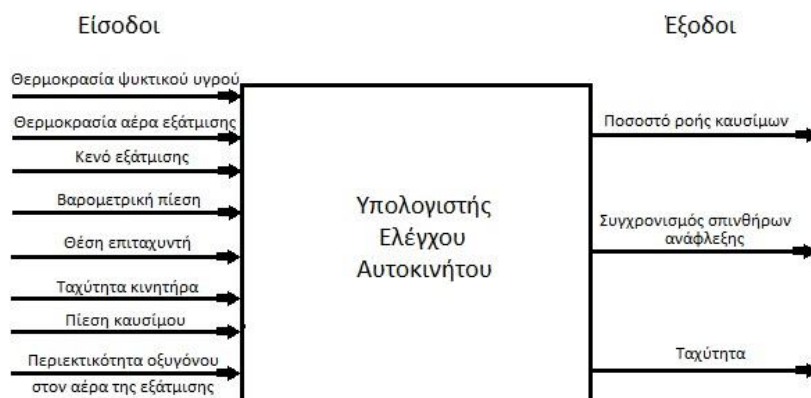
Αυτή η διαδικασία αυτορύθμισης επαναλαμβάνεται και οι παράμετροι του προτύπου ρυθμίζονται συνεχώς μέχρι να ταιριάζουν με την πραγματική διαδικασία.

Οι ελεγκτές της δεύτερης κατηγορίας χρησιμοποιούν μια γραφική παράσταση των σφαλμάτων ανά τον χρόνο. Αυτό επιτυγχάνεται εξετάζοντας συνεχώς την απόκριση στις φυσικές διαταραχές και ψάχνοντας για απουσία ή παρουσία κορυφών, για το χρονικό διάστημα μεταξύ αυτών των διαταραχών, καθώς επίσης και την αναλογική μετατόπιση.

Μόλις οι ελεγκτές εντοπίσουν μια διαταραχή υπολογίζουν αυτόματα τα P, I και D βασιζόμενοι στο παρατηρούμενο πρότυπο απόκρισης και στην γνώση που είναι αποθηκευμένη στην μνήμη τους.

### 3.17 Πολυμεταβλητός Έλεγχος

Ο πολυμεταβλητός έλεγχος συνδυάζει τις μετρήσεις πολλαπλών μεταβλητών μιας διαδικασίας. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα πολυμεταβλητού ελεγκτή είναι το σύστημα ψεκασμού καυσίμου και χρονισμού των μπουζί στο αυτοκίνητο.



Εικόνα 46: Εφαρμογή Πολυμεταβλητού Ελέγχου

Το παραπάνω σύστημα ελέγχου, ελέγχει το ποσοστό ροής του ψεκαστή καυσίμων, τον χρονισμό των μπουζί και την ταχύτητα του ρελαντί. Το σύστημα σαν έχει οκτώ εισόδους: την θερμοκρασία του ψυκτικού υγρού, την θερμοκρασία του αέρα της εξάτμισης, το κενό της εξάτμισης, την βαρομετρική πίεση, την θέση του επιταχυντή, την ταχύτητα του κινητήρα, την πίεση του καυσίμου και τέλος την περιεκτικότητα σε οξυγόνο του αέρα της εξάτμισης. Ένας απλός υπολογιστής ελέγχει τις τρεις εξόδους του συστήματος οι οποίες είναι: το ποσοστό ροής των καυσίμων, ο συγχρονισμός των σπινθήρων ανάφλεξης και η ταχύτητα του ρελαντί.

Το παραπάνω σύστημα έχει έξι διαφορετικές καταστάσεις λειτουργίας. Πιο αναλυτικά:

- **Έναρξη:** Ο ελεγκτής ρυθμίζει την ποσότητα του καυσίμου που ψεκάζεται ανάλογα με την θερμοκρασία του κινητήρα. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι ένας κρύος κινητήρας λαμβάνει μεγαλύτερο ποσοστό καυσίμου από έναν θερμό. Επίσης, το σύστημα εκκίνησης παράγει τον χρονισμό των μπουζί εσωτερικά και αγνοεί τα σήματα συγχρονισμού του υπολογιστή.
- **Κανονική λειτουργία:** Ο ελεγκτής χρησιμοποιεί τέσσερα από τα οκτώ σήματα εισόδου έτσι ώστε να μπορέσει να διατηρήσει μια ιδανική αναλογία αέρα/καυσίμων. Τα τέσσερα σήματα εισόδου που χρησιμοποιεί ο ελεγκτής είναι η θερμοκρασία του αέρα, το κενό της

εξάτμισης, η πίεση των καυσίμων και η περιεκτικότητα σε οξυγόνο του αέρα της εξάτμισης. Επίσης, ο ελεγκτής λαμβάνει υπόψη του την ταχύτητα της μηχανής, το κενό της εξάτμισης, την θερμοκρασία του ψυκτικού μέσου, καθώς επίσης και την βαρομετρική πίεση, έτσι ώστε να μπορέσει να τροποποιήσει τον συγχρονισμό ανάφλεξης.

- **Ψυχρή λειτουργία:** Μόλις η θερμοκρασία του ψυκτικού πέσει κάτω από μια προκαθορισμένη τιμή, ο ελεγκτής παρέχει πρόσθετο καύσιμο στον κινητήρα.
- **Επιτάχυνση:** Ο ελεγκτής παρέχει επιπλέον καύσιμο κατά την επιτάχυνση.
- **Επιβράδυνση:** Ο ελεγκτής παρέχει λιγότερο καύσιμο κατά την επιβράδυνση.
- **Ρελαντί:** Όταν η θερμοκρασία του ψυκτικού είναι κάτω από μια προκαθορισμένη τιμή, η ταχύτητα του ρελαντί αυξάνεται. Επίσης, η ταχύτητα του ρελαντί αυξάνεται και σε περίπτωση που η τάση της μπαταρίας είναι χαμηλή, η σχέση της ταχύτητας αλλάζει σε όπισθεν, ή όταν λειτουργεί το κλιματιστικό.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟΙ ΛΟΓΙΚΟΙ ΕΛΕΓΚΤΕΣ (PLC)

#### 4.1 Ιστορική αναδρομή

Η ανάγκη για μεγαλύτερη ταχύτητα παραγωγής με ακόμα μικρότερο κόστος οδήγησε την ανεύρεση νέων λύσεων αυτοματισμού. Οι μέχρι τότε ελεγκτές είχαν ένα βασικό μειονέκτημα. Κάθε φορά που γινόταν μια αλλαγή στον σχεδιασμό ενός συστήματος έπρεπε να φτιαχτεί ένα αντίστοιχο σύστημα ελέγχου το οποίο θα μπορούσε να εκτελέσει αυτή την λειτουργία. Την λύση σε αυτό το πρόβλημα έδωσε η ανακάλυψη των PLC. Οι πρώτοι προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές (PLC) έκαναν την εμφάνισή τους το 1960 στην Αμερικάνικη αυτοκινητοβιομηχανία.

Ένας άλλος σκοπός της χρήσης των PLC ήταν η αντικατάσταση των ρελέ και των συστημάτων ελέγχου με χρήση ρελέ. Τα ρελέ, αν και είναι πολύ χρήσιμα σε κάποιες εφαρμογές, έχουν επίσης πολλά μειονεκτήματα. Το βασικό μειονέκτημα τους είναι το γεγονός ότι είναι μηχανικά. Αυτό στην πράξη σημαίνει ότι καταστρέφονται και πρέπει να αντικαθίστανται πολύ συχνά. Επίσης τα ρελέ καταλαμβάνουν πολύ περισσότερο χώρο από τα PLC. Αυτό, μαζί με άλλες παραδοχές οδήγησαν στην ανάπτυξη των προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών.



Ακόμα περισσότερες βελτιώσεις στα PLC έγιναν την δεκαετία του 70. Το 1973 προστέθηκε η δυνατότητα δυο PLC να επικοινωνούν μεταξύ τους. Αυτό ουσιαστικά έκανε δυνατό τον απομακρυσμένο έλεγχο του PLC.



Εικόνα 47: Toshiba TCU111 PLC

Ωστόσο, την περίοδο εκείνη, η έλλειψη τυποποίησης στα PLC δημιούργησε άλλα προβλήματα. Αυτό βελτιώθηκε σημαντικά το 1980. Με την πάροδο των χρόνων το μέγεθος των PLC μειώθηκε αρκετά. Το 1990 βρέθηκαν ακόμα περισσότεροι τρόποι με τους οποίους ένας ελεγκτής PLC μπορούσε να προγραμματιστεί (block διαγράμματα, instruction list, γλώσσα C, κλπ). Σε κάποιες περιπτώσεις μάλιστα τα PLC αντικαταστάθηκαν από τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Παρόλα αυτά τα PLC χρησιμοποιούνται μέχρι και σήμερα σε όλων των ειδών τις βιομηχανίες και είναι σίγουρο ότι θα παραμείνουν για αρκετά χρόνια ακόμα στην ζωή μας.

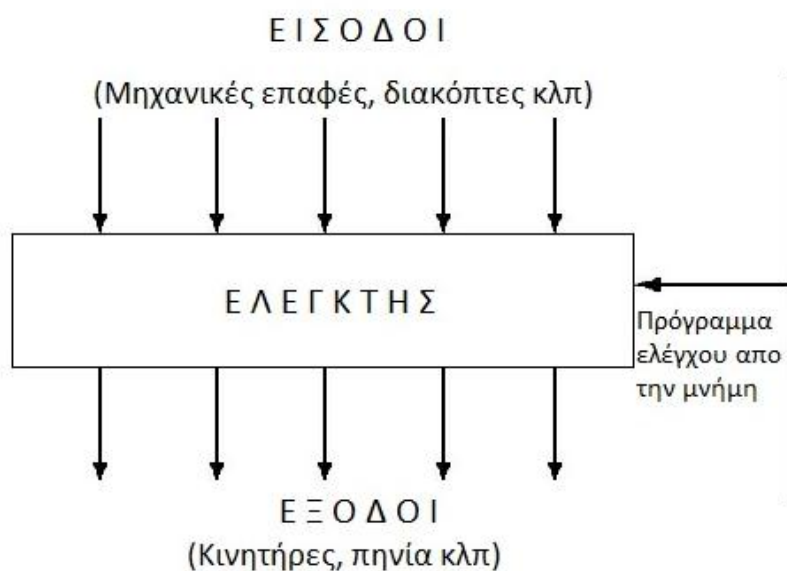
## 4.2 Πλεονεκτήματα PLC

Οι προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές συγκριτικά με τους κλασικούς ελεγκτές έχουν πολλά και σημαντικά πλεονεκτήματα. Ενδεικτικά αναφέρουμε:

- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε όλων των ειδών τις εφαρμογές.
- Δεν υπάρχει περιορισμός στον συνολικό αριθμό επαφών, χρονικών, απαριθμητών κλπ αφού δεν αποτελούν φυσικές οντότητες αλλά στοιχεία μνήμης της CPU.
- Η λειτουργία τους μπορεί να τροποποιηθεί σύμφωνα με τις ανάγκες μας σε οποιοδήποτε στάδιο (μελέτη, κατασκευή, θέση σε λειτουργία κλπ).
- Καταλαμβάνουν πολύ λιγότερο χώρο σε σχέση με τα στοιχεία του κλασικού αυτοματισμού (ρελέ κλπ).

### 4.3 Περιγραφή και τρόπος λειτουργίας των PLC

Ο προγραμματιζόμενος λογικός ελεγκτής ορίζονται ως μια ψηφιακή ηλεκτρονική συσκευή η οποία χρησιμοποιεί μια προγραμματιζόμενη μνήμη για την αποθήκευση οδηγιών, και ειδικές λειτουργίες όπως είναι η λογική, η ακολουθία, ο χρόνος, η αρίθμηση κλπ για να ελέγξει τις μηχανές και την διαδικασία.



Εικόνα 48: Έλεγχος μέσα από PLC

Στην παραπάνω εικόνα μπορούμε να παρατηρήσουμε πως επιτυγχάνεται ο έλεγχος με την χρήση ενός PLC. Οι συσκευές εισόδου (π.χ. μηχανικές επαφές, διακόπτες κλπ) και οι συσκευές εξόδου (π.χ. κινητήρες, πηνία) που ελέγχονται από την μηχανή ή την διαδικασία είναι συνδεδεμένες στον PLC. Ο χειριστής μπορεί να εισάγει μια σειρά εντολών (πρόγραμμα) στην μνήμη του PLC και στην συνέχεια ο ελεγκτής μεταδίδει συνεχώς την κατάσταση των εισόδων και των εξόδων σύμφωνα με το πρόγραμμα που έχει ορίσει ο χειριστής.

Ένας προγραμματιζόμενος λογικός ελεγκτής κατά την λειτουργία του ακολουθεί κάποια συγκεκριμένα βήματα τα οποία θα αναλύσουμε.

**Βήμα 1<sup>ο</sup>:** Με την εκκίνηση του PLC ο μικροεπεξεργαστής διαβάζει τις εισόδους και ελέγχει αν έχουν υψηλή τάση (λογικό 1) ή χαμηλή τάση (λογικό 0). Οι τιμή που έχει κάθε είσοδος αποθηκεύεται σε μια ειδική περιοχή της μνήμης, γνωστή και ως εικόνα εισόδων.

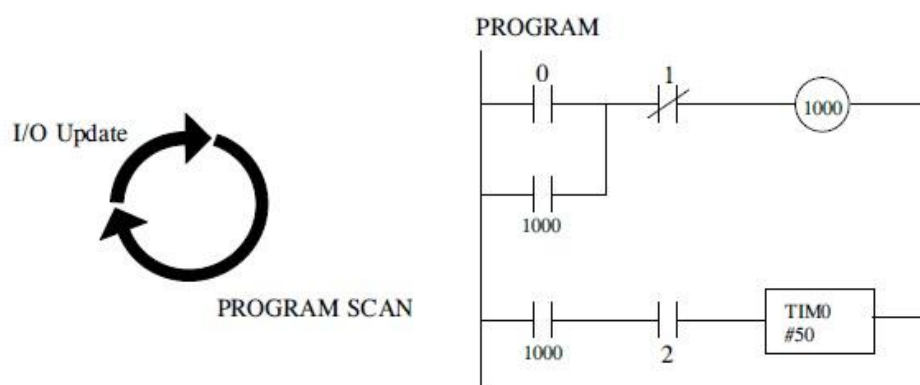
**Βήμα 2<sup>ο</sup>:** Ο μικροεπεξεργαστής ακολουθεί τις εντολές του προγράμματος σε συνάρτηση με τις τιμές που διάβασε από τις εισόδους.

Ακολουθώντας την ροή του προγράμματος ο μικροεπεξεργαστής εκτελεί λογικές πράξεις τα αποτελέσματα των οποίων αποθηκεύονται στην αντίστοιχη περιοχή της μνήμης η οποία ονομάζεται εικόνα εξόδων.

**Βήμα 3<sup>ο</sup>:** Ο μικροεπεξεργαστής θέτει τις τιμές της εικόνας εξόδων στις αντίστοιχες εξόδους με αποτέλεσμα να εκτελούνται οι απαραίτητες ενέργειες.

Μόλις ολοκληρωθεί το τρίτο βήμα της παραπάνω διαδικασίας ο PLC εκτελεί όλα τα βήματα από την αρχή. Αυτό επαναλαμβάνεται συνεχώς, εκτός φυσικά αν το πρόγραμμα προβλέπει κάτι διαφορετικό.

Η παραπάνω διαδικασία ονομάζεται κύκλος λειτουργίας ενός PLC. Αν θέλαμε να δώσουμε έναν ορισμό για τον κύκλο λειτουργίας θα μπορούσαμε να πούμε ότι πρόκειται για μια συνεχόμενη και διαδοχική διαδικασία ανάγνωσης της κατάστασης των εισόδων, της αξιολόγησης και τέλος της ανανέωσης των εξόδων. Η χρονική διάρκεια μέσα στην οποία πραγματοποιείται ο κύκλος λειτουργίας υποδεικνύει πόσο γρήγορα μπορεί ο PLC να αντιδράσει στα σήματα των εισόδων και να εκτελέσει τις απαραίτητες λειτουργίες.



Εικόνα 49: Κύκλος λειτουργίας

Ο χρόνος ο οποίος απαιτείται για να ολοκληρωθεί ένας κύκλος λειτουργίας διαφέρει από 0.1ms μέχρι μερικά δέκατα του ms και εξαρτάται από την ταχύτητα επεξεργασίας της CPU και το μέγεθος του προγράμματος που εκτελεί. Η χρήση απομακρυσμένων υποσυστημάτων I/O αυξάνει επίσης τον χρόνο ολοκλήρωσης ενός κύκλου λειτουργίας αφού ο PLC θα πρέπει να επικοινωνήσει με τα υποσυστήματα αυτά ώστε να λάβει και να στείλει τιμές. Ένας άλλος παράγοντας που μπορεί να αυξήσει τον χρόνο αυτό είναι ο έλεγχος της λειτουργίας του προγράμματος αφού η CPU θα πρέπει να χρησιμοποιεί πόρους ώστε να στέλνει την κατάσταση των πηνίων και των επαφών στην συσκευή που εκτελεί τον έλεγχο του προγράμματος.

## 4.4 Βασικά μέρη ενός PLC

Οι προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές αποτελούνται από πέντε βασικά μέρη. Αυτά είναι:

- Μονάδα τροφοδοσίας
- Κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU)
- Μονάδα εισόδων-εξόδων (I/O)
- Προγραμματίστρια
- Περιφερειακά

Παρακάτω θα δούμε αναλυτικότερα αυτά τα πέντε τμήματα που συνθέτουν έναν προγραμματιζόμενο λογικό ελεγκτή.

### 4.4.1 Μονάδα τροφοδοσίας

Η μονάδα τροφοδοσίας αποτελεί ένα από τα πιο βασικά κομμάτια των PLC καθώς προσαρμόζει την AC τάση στην επιθυμητή στάθμη, την ανορθώνει σε DC και την εξομαλύνει. Τα εσωτερικά λογικά κυκλώματα ενός PLC λειτουργούν με τάση 5-15V DC, ανάλογα με τον τύπο του ελεγκτή. Η τάση αυτή θα πρέπει να έχει ψαλιδισμένες κορυφές, και να μην υπάρχουν παράσιτα. Η μονάδα τροφοδοσίας μπορεί να είναι είτε ενσωματωμένη στην κεντρική μονάδα επεξεργασίας είτε να λειτουργεί σαν ξεχωριστή μονάδα.

### 4.4.2 Κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU)

Όπως στους κοινούς ηλεκτρονικούς υπολογιστές, έτσι και στα PLC, η κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU) αποτελεί την καρδιά του συστήματος. Αποτελείται από έναν μικροεπεξεργαστή, μνήμες, από κυκλώματα τα οποία είναι απαραίτητα ώστε να αποθηκεύουν και να επαναφέρουν πληροφορίες από την μνήμη, και τα κυκλώματα επικοινωνίας.

Η επικοινωνία ανάμεσα στα διάφορα τμήματα της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας επιτυγχάνεται με τις γραμμές επικοινωνίας. Οι γραμμές επικοινωνίας (π.χ. ομάδα παράλληλων αγωγών που χρησιμοποιούνται για την μεταφορά ψηφιακών σημάτων), σχηματίζουν κοινό δεσμό για να επιτρέψουν σε κάθε ένα στοιχείο να συμμετέχει στην πληροφορία.

Ο μικροεπεξεργαστής είναι μια συσκευή η οποία αναλαμβάνει να ανιχνεύσει την κατάσταση των συσκευών εισόδου, να διερευνήσει και να επιλύσει την λογική του προγράμματος που χρησιμοποιείται καθώς επίσης και να ελέγξει την κατάσταση των συσκευών εξόδου. Το τμήμα της μνήμης του μικροεπεξεργαστή αποτελείται από δυο κομμάτια. Από την μνήμη που εμείς

του ορίζουμε και η οποία μπορεί να αλλάξει ανά πάσα στιγμή και την μνήμη η οποία είναι μόνιμα τοποθετημένη. Η μνήμη που μπορεί να αλλάξει, είναι αυτή που προγραμματίζεται μέσα από ένα διάγραμμα σειράς (ladder). Η μόνιμα τοποθετημένη μνήμη, αποτελεί το κομμάτι εκείνο της μνήμης στο οποίο αποθηκεύονται πληροφορίες για την κατάσταση των συσκευών εισόδου και εξόδου, οι προκαθορισμένες τιμές των χρονικών και των αριθμητών, οι τιμές για τις αριθμητικές πράξεις κλπ. Και τα δυο κομμάτια αυτά της μνήμης αποτελούνται από εκατοντάδες ή χιλιάδες σημεία στα οποία μπορεί να αποθηκευτεί μια πληροφορία.

Η μνήμη μπορεί και αυτή με την σειρά της να χωριστεί σε δυο τύπους. Ο πρώτος τύπος είναι η μνήμη η οποία χάνει την πληροφορία όταν πάψει να τροφοδοτείται από ρεύμα ενώ ο δεύτερος τύπος είναι η μνήμη η οποία διατηρεί την αποθηκευμένη πληροφορία ακόμα και όταν διακοπεί η τροφοδοσία της με ρεύμα.

Ο πιο κοινός τύπος μνήμης είναι η μνήμη τυχαίας προσπέλασης γνωστή και ως μνήμη RAM. Σε αυτή την μνήμη μπορούμε να γράψουμε και να διαβάσουμε πληροφορίες. Υπάρχουν διάφοροι τύποι μνημών RAM: MOS, HMOS, CMOS. Ένας άλλος κοινός τύπος μνήμης είναι η ROM (Read Only Memory). Από την μνήμη αυτή μπορούμε μόνο να διαβάσουμε πληροφορίες οι οποίες έχουν αποθηκευτεί από τον κατασκευαστή και δεν μπορούμε να τις αλλάξουμε. Άλλοι τύποι μόνιμης μνήμης είναι οι PROM, EPROM, EEPROM κλπ.



Εικόνα 50: Μνήμη EPROM

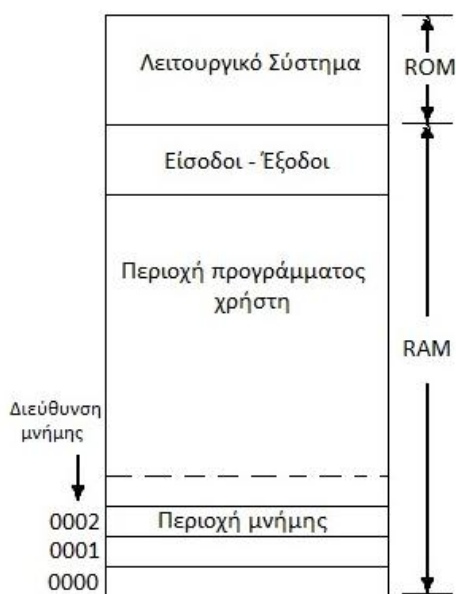
Κάθε PLC χρησιμοποιεί κάποιες πληροφορίες οι οποίες προορίζονται αποκλειστικά και μόνο για δική του χρήση, τέτοιες πληροφορίες ονομάζονται ψευδείς πληροφορίες. Ένα τμήμα της μνήμης εισόδου χρησιμοποιείται για ψευδείς πληροφορίες και έχει σαν στόχο να κρατάει την κατάσταση των ατομικών εισόδων (ON/OFF). Για να οριστούν αυτές οι καταστάσεις

χρησιμοποιείται το δυαδικό σύστημα. Μια μνήμη για ψευδείς πληροφορίες στην κατάσταση ON αποθηκεύεται σαν δυαδικό 1 και στην κατάσταση OFF σαν δυαδικό 0.

Στην συνέχεια η κεντρική μονάδα επεξεργασίας επεξεργάζεται την δυαδική πληροφορία η οποία έχει αποθηκευτεί στην ψευδή μνήμη εισόδου και κρατάει μια αντίστοιχη πληροφορία στην ψευδή μνήμη εξόδου. Οι τιμές των bit που κρατούνται στην ψευδή μνήμη εξόδου καθορίζουν την αντίστοιχη θύρα εξόδου που θα χρησιμοποιηθεί. Όπως και με τις εισόδους, έτσι και στις εξόδους, ένα δυαδικό 1 θέτει την θύρα εξόδου σε κατάσταση ON ενώ ένα δυαδικό 0 σε κατάσταση OFF.

#### 4.4.2.1 Χάρτης μνήμης

Σαν χάρτης μνήμης ορίζεται η κατάσταση με την οποία οι θύρες εισόδου/εξόδου ελέγχονται με την μνήμη που μπορεί να γραφεί σαν ψευδή μνήμη.



Εικόνα 51: Χάρτης Μνήμης

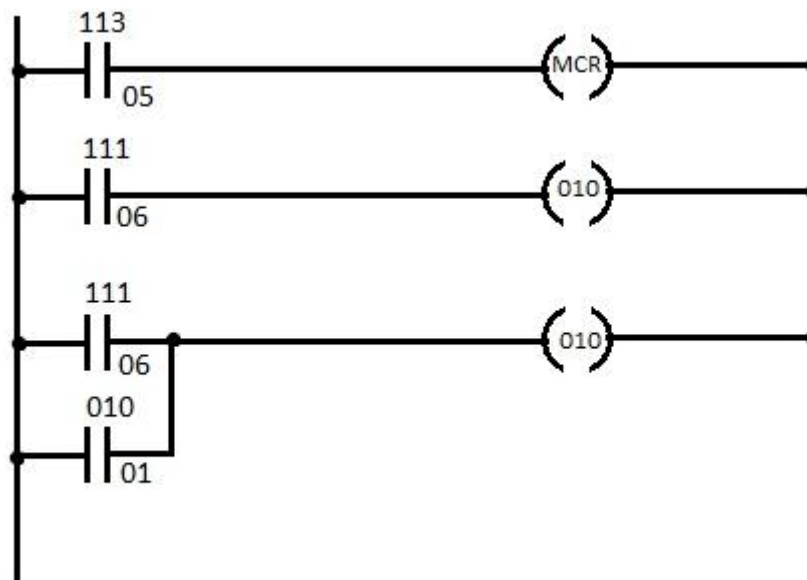
Ένα διάγραμμα στο οποίο μπορούμε να δούμε τον εντοπισμό των διευθύνσεων της μνήμης ROM, της μνήμης RAM και των εισόδων εξόδων ονομάζεται χάρτης μνήμης. Στην παραπάνω εικόνα βλέπουμε έναν χάρτη μνήμης για ένα κοινό PLC. Όπως μπορούμε να δούμε τα ψευδή bits καταχωρούνται στην μνήμη RAM πάνω από το πρόγραμμα και τις πληροφορίες, τους απαριθμητές και τα χρονικά. Στους περισσότερους προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές ο χάρτης μνήμης είναι ήδη διαμορφωμένος από τον κατασκευαστή.

#### 4.4.2.2 Προσωρινές αποθήκες μνήμης (Register)

Για να εξασφαλιστεί η ομαλή λειτουργία της CPU απαιτείται η χρήση προσωρινών αποθηκών μνήμης οι οποίες αποτελούν ένα στοιχείο μνήμης που χρησιμοποιείται για την προσωρινή αποθήκευση μιας ομάδας bits. Οι προσωρινές αποθήκες μνήμης είναι τοποθετημένες μέσα στον μικροεπεξεργαστή. Προσωρινές αποθήκες πληροφοριών υπάρχουν και εντός της μνήμης RAM και χρησιμεύουν στην αποθήκευση σταθερών σημάτων, απαριθμητών, χρονικών και άλλων τύπων πληροφοριών.

#### 4.4.2.3 Κύρια ρελέ ελέγχου (MCR)

Στους PLC, το κύριο ρελέ ελέγχου μπορεί να προγραμματιστεί έτσι ώστε να ελέγχει ένα ολόκληρο κύκλωμα ή μόνο επιλεγμένες βαθμίδες ενός κυκλώματος.



Εικόνα 52: Τρόπος προγραμματισμού κύριου ρελέ ελέγχου

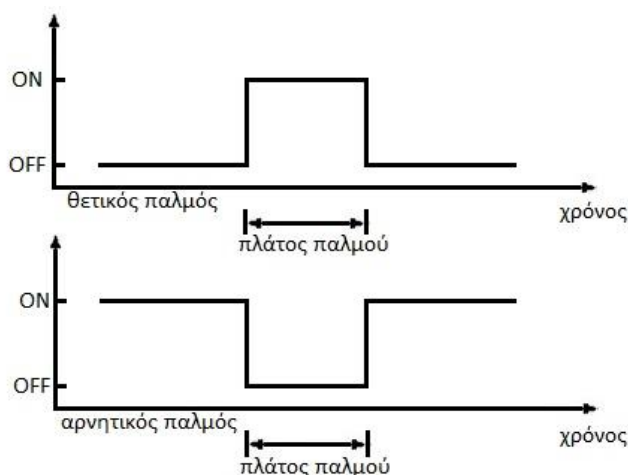
Αν το MCR είναι προγραμματισμένο με τον τρόπο που βλέπουμε στην παραπάνω εικόνα, κάθε βαθμίδα μπορεί να ενεργοποιηθεί μόνο στην περίπτωση που το MCR είναι ενεργοποιημένο. Στην περίπτωση που το κύριο ρελέ ελέγχου είναι «αληθές», οι έξοδοι στις βαθμίδες που ακολουθούν ελέγχονται σύμφωνα με τον λογικό προγραμματισμό κάθε βαθμίδας. Στην περίπτωση που το MCR είναι απενεργοποιημένο, οι βαθμίδες που βρίσκονται κάτω από αυτό δεν μπορούν να ενεργοποιηθούν ακόμα και αν η προγραμματισμένη λογική κάθε βαθμίδας είναι «αληθής».

#### 4.4.2.4 Χρονικά

Κάθε κεντρική μονάδα επεξεργασίας διαθέτει ενσωματωμένο έναν ωρολογιακό ταλαντωτή, ο οποίος αποτελεί ένα εσωτερικό ρολόι. Η CPU χρησιμοποιεί το σήμα από αυτό το εσωτερικό ρολόι ώστε να παράγει μια καθυστέρηση χρόνου. Για παράδειγμα χρησιμοποιώντας την καθυστέρηση χρόνου μπορεί να κρατήσει ένα ρελέ ενεργοποιημένο για μια ορισμένη χρονική περίοδο.

Τα χρονικά μετράνε σε δευτερόλεπτα ή κλάσματα του δευτερολέπτου. Ρυθμίζονται εκ των προτέρων σε μια περιοχή από 0,1 έως 999 sec, σε βαθμίδες του 0,1sec. Υπάρχουν οι εξής διαφορετικοί τύποι χρονικών:

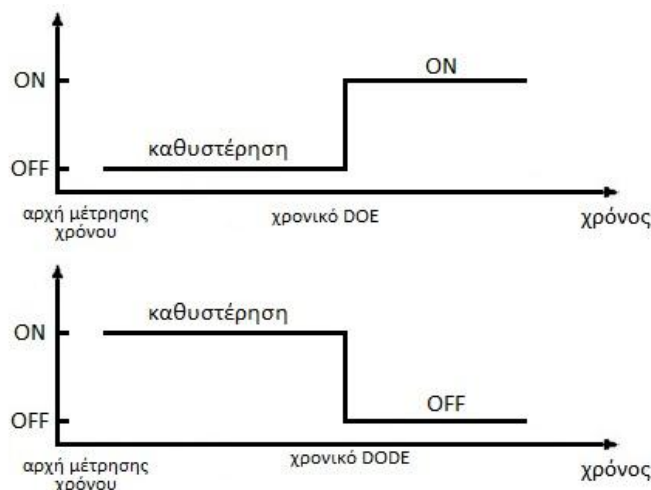
- **Χρονικά παλμών:** Ο συγκεκριμένος τύπος χρονικού παράγει έναν απλό παλμό συγκεκριμένου πλάτους. Τα χρονικά παλμών μπορούν να παράγουν δυο τύπων παλμούς. Τους θετικούς και τους αρνητικούς. Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε το πλάτος του παλμού στα χρονικά παλμών



Εικόνα 53: Χρονικά Παλμών

- **Χρονικό DOE:** Το χρονικό DOE παράγει μια καθορισμένη περίοδο πριν τεθεί OFF. Όλοι οι προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές χρησιμοποιούν χρονικά DOE.
- **Χρονικό DODE:** Το χρονικό DODE επιτελεί λειτουργία αντίθετη από το DOE. Δηλαδή όταν ξεκινήσει παραμένει ON για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και στην συνέχεια η κατάσταση του αλλάζει σε OFF





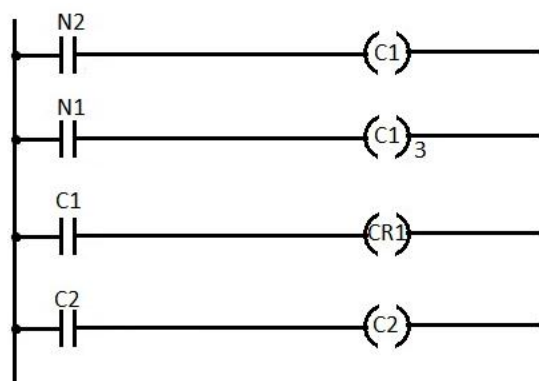
Εικόνα 54: Χρονικά DOE και DODE

- **Κυκλικά χρονικά (επαναλαμβανόμενα):** Τα κυκλικά χρονικά επιτρέπουν στα πηνία την επαναλαμβανόμενη ON και OFF λειτουργία τους σε κανονικά διαστήματα.

#### 4.4.2.5 Αριθμητές

Οι αριθμητές χρησιμοποιούνται από την CPU για το μέτρημα ενός ειδικού αριθμού λειτουργιών των επαφών. Ένα διάγραμμα ladder αριθμητή περιλαμβάνει δυο πηνία, ένα για το μέτρημα των παλμών και ένα για την επαναφορά του αριθμητή.

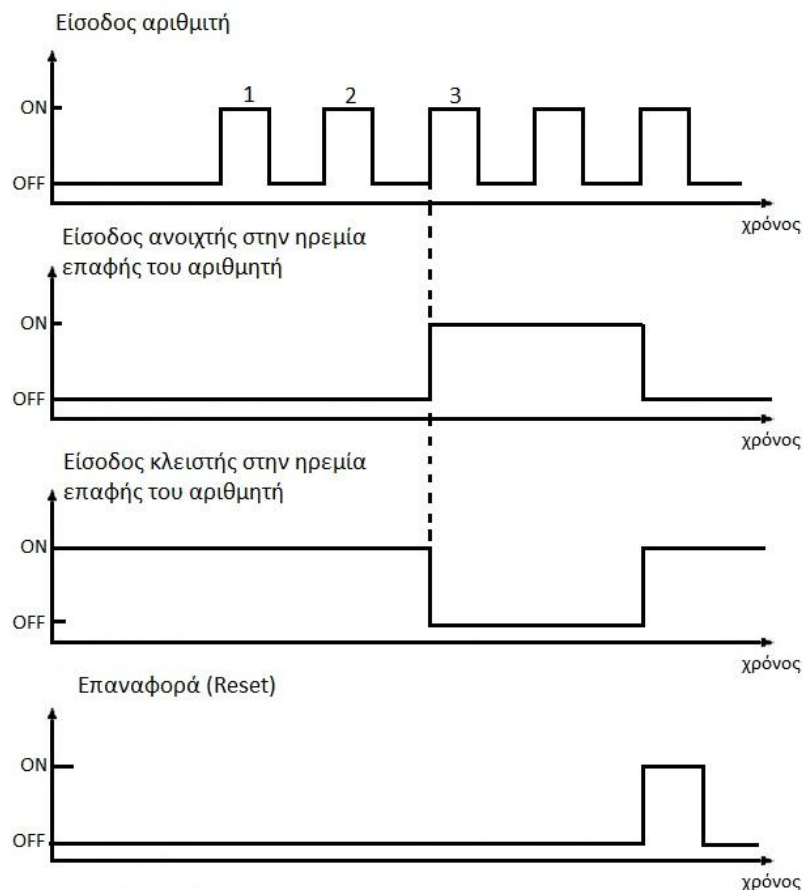
Όλοι οι αριθμητές έχουν μια συνεργαζόμενη επαφή, η οποία αντιπροσωπεύει την μέτρηση που χρειάζεται. Η σταθερά αυτή ονομάζεται προτοποθετημένη τιμή. Υπάρχουν δυο τύποι αριθμητών. Οι αριθμητές που μετρούν από το μηδέν προς τα πάνω και μόλις φτάσουν την προτοποθετημένη τιμή οι επαφές αλλάζουν κατάσταση, και εκείνοι που αρχίζουν το μέτρημα από την προτοποθετημένη τιμή και μόλις φτάσουν στο μηδέν οι επαφές αλλάζουν κατάσταση.



Εικόνα 55: Διάγραμμα ladder αριθμητών

Στην παραπάνω εικόνα διακρίνουμε ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα διαγράμματος ladder το οποίο χρησιμοποιεί αριθμητή. Τα δυο πηνία C1 συνθέτουν τον αριθμητή. Το πρώτο πηνίο χρησιμεύει στην μέτρηση των λειτουργιών διακοπής της επαφής IN1 ενώ το δεύτερο επιτελεί την επαναφορά του αριθμητή.

Στο παράδειγμα μας η προτοποθετημένη τιμή είναι 3. Η ανοικτή στην ηρεμία επαφή του αριθμητή και η κλειστή στην ηρεμία επαφή, συνδέονται με τα πηνία CR1 και CR2 αντίστοιχα. Αρχικά το CR1 είναι απενεργοποιημένο ενώ το CR2 είναι ενεργοποιημένο. Όταν η IN1 κλείσει και ανοίξει τρεις, γεγονός το οποίο σημαίνει ότι μετρήθηκαν τρεις παλμοί εισόδου, ο αριθμητής περνάει σε κατάσταση OFF και ενεργοποιεί τις επαφές του, ενεργοποιώντας το CR1 και απενεργοποιώντας το CR2. Ο αριθμητής επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση μέσα από την επαφή IN2. Στην παρακάτω εικόνα μπορούμε να παρατηρήσουμε το διάγραμμα χρόνων λειτουργίας για τον συγκεκριμένο αριθμητή.



Εικόνα 56: Διάγραμμα χρόνων λειτουργίας αριθμητή

Η προτοποθετημένη τιμή ενός αριθμητή μπορεί να πάρει τιμή από 1 μέχρι 999. Σε περίπτωση που είναι απαραίτητο μεγαλύτερο εύρος τιμών μπορούν να συνδεθούν περισσότεροι αριθμητές.

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι οι αριθμητές χρησιμοποιούνται στο να μετρούν ψηφιακούς παλμούς οι οποίοι παράγονται από συσκευές συνδεδεμένες σε θύρες εισόδου. Μια έξοδος συνήθως παράγεται από έναν προκαθορισμένο παλμό εισόδων που έχουν μετρηθεί. Η τιμή του αριθμού αυτού είναι αποθηκευμένη στην προσωρινή αποθήκη πληροφοριών.

#### **4.4.2.6 Αριθμητικές λειτουργίες**

Στην πλειοψηφία τους οι PLC έχουν την ικανότητα να εκτελούν απλές αριθμητικές λειτουργίες, με δεδομένα αποθηκευμένα σε καταλόγους. Συνήθως περιλαμβάνονται τρεις κατάλογοι, δυο για αποθήκευση των πληροφοριών που θα χειριστούν και ένας που χρησιμοποιείται για αποθήκευση του αποτελέσματος. Η πληροφορία που είναι αποθηκευμένη είναι τύπου BCD και περιλαμβάνει τις πράξεις της πρόσθεσης, της αφαίρεσης, του πολλαπλασιασμού και τις διαίρεσης.

#### **4.4.3 Μονάδα εισόδων/εξόδων (I/O)**

Η μονάδα I/O αποτελείται από το ικρίωμα και από τα χωριστά τμήματα I/O. Σε περίπτωση που χρησιμοποιείται ξεχωριστή μονάδα τροφοδοσίας από τον επεξεργαστή, στην μονάδα I/O περιλαμβάνεται και μια πηγή τροφοδοσίας DC. Η μονάδα I/O στην ουσία συνδέει την κεντρική μονάδα επεξεργασίας με τον έξω κόσμο. Περιλαμβάνει στοιχεία εισόδου τα οποία μεταφέρουν πληροφορίες στην κεντρική μονάδα επεξεργασίας και στοιχεία εξόδου τα οποία λαμβάνουν πληροφορίες από την κεντρική μονάδα επεξεργασίας.

Τα περισσότερα στοιχεία περιέχουν περισσότερες από μια εισόδους και εξόδους. Κάθε στοιχείο εισόδου μπορεί να συνδεθεί με εξωτερικές συσκευές όπως μπουτόν, φλοτεροδιακόπτες ή τερματοδιακόπτες. Κάθε στοιχείου εξόδου μπορεί να συνδεθεί με εξωτερικές συσκευές όπως ενδεικτικές λυχνίες, πηνία κλπ. Η τάση λειτουργίας των στοιχείων αυτών μπορεί να είναι είτε AC είτε DC και να είναι 120V ή 24V αντίστοιχα.

##### **4.4.3.1 Χωρητικότητα I/O**

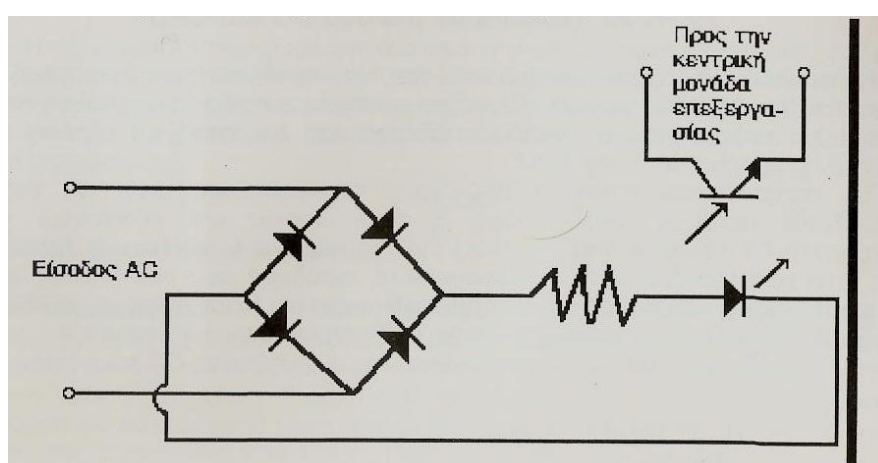
Η χωρητικότητα της μονάδας I/O αφορά τον αριθμό των εισόδων και των εξόδων που θα έχει η μονάδα. Η χωρητικότητα αποτελεί έναν από τους βασικούς παράγοντες που καθορίζουν το μέγεθος και το κόστος ενός PLC.

Πολλές μικρές μονάδες είναι σχεδιασμένες να έχουν 32 εισόδους/εξόδους ενώ οι μεγάλες μονάδες μπορούν να έχουν μερικές εκατοντάδες εισόδους/εξόδους.

#### 4.4.3.2 Στοιχείο εισόδου

Η κεντρική μονάδα επεξεργασίας ενός PLC είναι εξαιρετικά ευαίσθητη στις αιχμές της τάσης. Για να αποφευχθεί λοιπόν καταστροφή της από αιχμές τάσης, χρησιμοποιούνται οπτικοί απομονωτές οι οποίοι χωρίζουν ηλεκτρικά το σήμα εισόδου από τον επεξεργαστή.

Στην παρακάτω εικόνα διακρίνουμε ένα τυπικό κύκλωμα το οποίο χρησιμοποιείται για την είσοδο:



Εικόνα57: Κύκλωμα μιας εισόδου

Ο ανορθωτής γέφυρας πραγματοποιεί μετατροπή από AC σε DC. Η αντίσταση που υπάρχει σε σειρά εξυπηρετεί στο να περιορίζει το ρεύμα στην φωτοδίοδο. Μόλις το LED ενεργοποιηθεί, ένα φωτοτρανζίστορ ανιχνεύει το φως και δίνει σήμα στον επεξεργαστή ότι υπάρχει σήμα στην είσοδο. Σε περίπτωση που το στοιχείο διαθέτει περισσότερες από μια εισόδους, υπάρχουν αντίστοιχες ανορθωτικές γέφυρες οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους.

#### 4.4.3.3 Είσοδοι αριθμητών μεγάλης ταχύτητας & έλεγχος παλμών

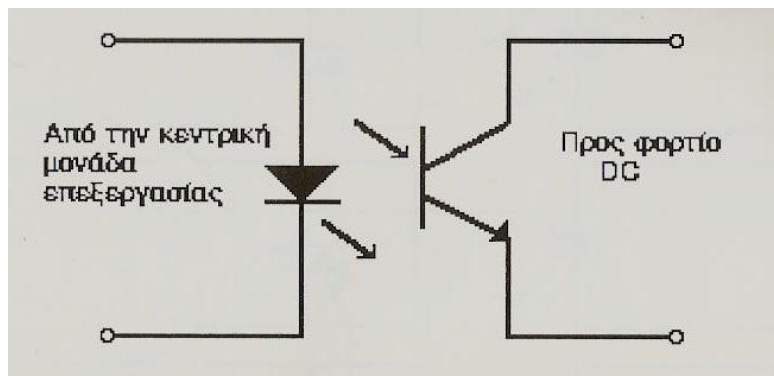
Οι ελεγκτές PLC συχνά χρειάζεται να διαβάσουν παλμούς μεγάλης ταχύτητας από μια συσκευή εισόδου. Λόγω του γεγονότος ότι ο χρόνος ανίχνευσης είναι ένας περιορισμένος παράγοντας, οι θύρες των PLC δεν έχουν την δυνατότητα να παράγουν ή να διαβάσουν παλμούς μεγάλης ταχύτητας. Λύση σε αυτό το πρόβλημα δίνουν συσκευές οι οποίες λειτουργούν ανεξάρτητα από την ανίχνευση, αλλά είναι ικανές να διακόψουν όταν χρειάζεται κάποια δράση.

#### 4.4.3.4 Αναλογικές εισόδοι

Μπορεί οι PLC να καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο μέρος της αγοράς πλέον, όμως υπάρχουν ακόμα πολλοί τύποι μετατροπέων οι οποίοι παράγουν αναλογικά σήματα (πχ οι κινητήρες μεταβλητής ταχύτητας ελέγχονται από ένα αναλογικό σήμα ταχύτητας). Συνεπώς στην κατασκευή των PLC προβλέπονται ειδικές εισόδοι που δέχονται σήματα παρόμοια με τα ψηφιακά. Αυτά βασίζονται σε μετατροπή του αναλογικού σήματος σε ψηφιακό.

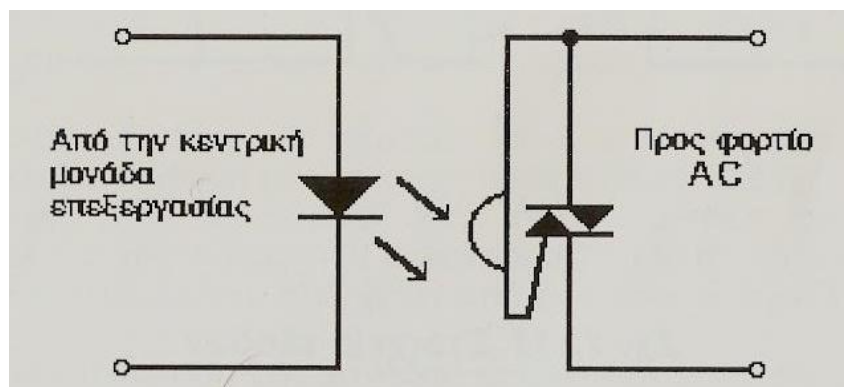
#### 4.4.3.5 Στοιχείο εξόδου

Το στοιχείο εξόδου συνδέει την κεντρική μονάδα επεξεργασίας με το φορτίο. Η έξοδος αποτελείται από ένα οπτικά απομονωμένο ρελέ ημιαγωγών. Το ποσοστό ρεύματος μπορεί να ρυθμιστεί ανάμεσα σε 0,5A έως 3A ενώ η τάση μπορεί να πάρει τιμές 25V ή 120V DC ή AC.



Εικόνα 58: Κύκλωμα μιας εισόδου

Στην παραπάνω εικόνα βλέπουμε το κύκλωμα της εξόδου ελέγχου τάσης DC. Όπως βλέπουμε χρησιμοποιείται ένα τρανζίστορ ισχύος το οποίο ελέγχει το φορτίο. Το τρανζίστορ είναι ένα φωτοτρανζίστορ το οποίο ενεργοποιείται από μια φωτοδίοδο. Το LED με την σειρά του ενεργοποιείται από την κεντρική μονάδα επεξεργασίας.

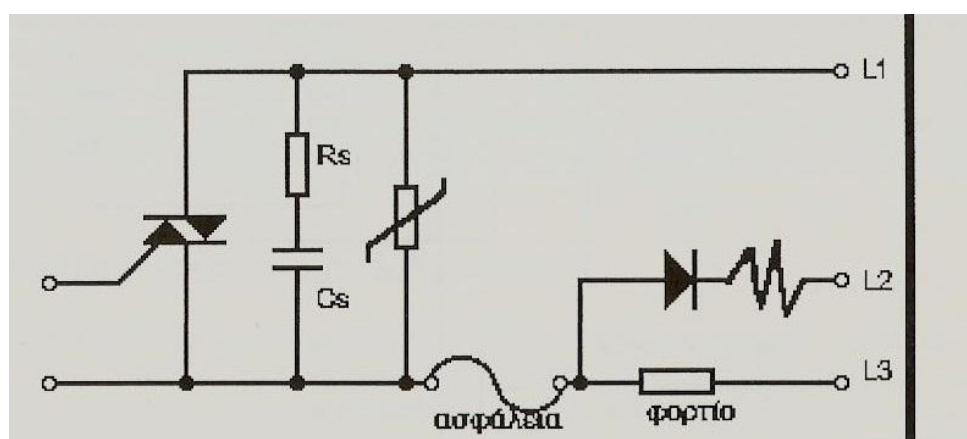


Εικόνα 59: Κύκλωμα μιας εισόδου

Στην περίπτωση που η έξοδος είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε να ελέγχει ένα φορτίο AC, όπως στην παραπάνω εικόνα, σαν συσκευή ελέγχου χρησιμοποιούμε ένα triac. Ένα φωτοκύτταρο συνδέεται με την πύλη του triac και όταν το LED ανάψει από την κεντρική μονάδα επεξεργασίας, το φωτοκύτταρο επιτρέπει να περάσει ρεύμα από την πύλη του triac ενεργοποιώντας το.

#### 4.4.3.6 AC Τμήματα εξόδων

Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε ένα τυπικό κύκλωμα τμήματος εξόδου AC. Η έξοδος συνήθως είναι ένα triac αλλά υπάρχουν περιπτώσεις στις οποίες χρησιμοποιείται και θυρίστορ.



Εικόνα 60: Κύκλωμα μιας εισόδου

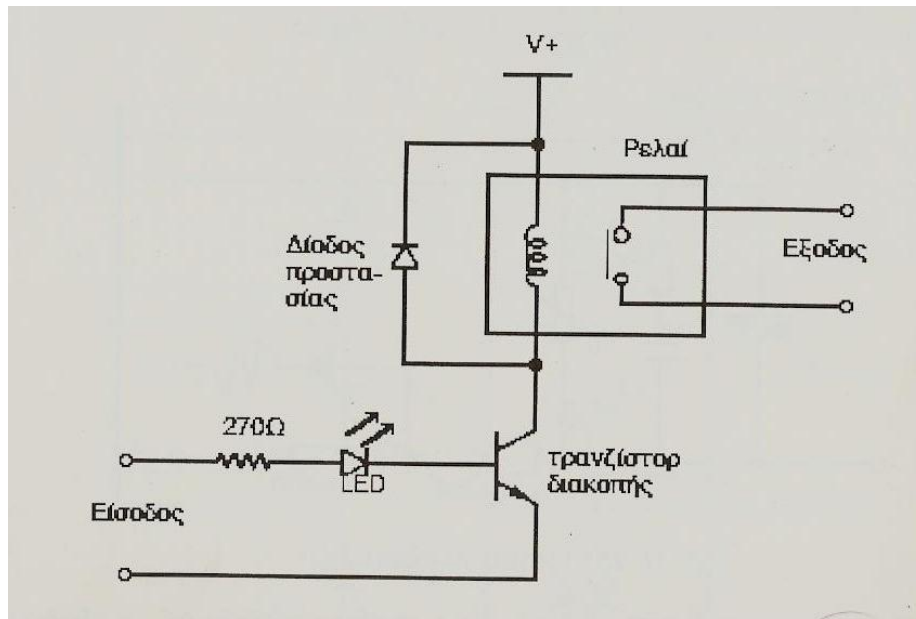
Το triac είναι ισοδύναμο με δυο θυρίστορ σε ανάστροφη παράλληλη σύνδεση με μια κοινή πύλη η οποία ελέγχει το triac. Μόλις φτάσει στην πύλη του triac παλμός τάσης, αυτό άγει σε οποιαδήποτε κατεύθυνση. Ο παλμός της πύλης ενεργοποιεί το triac το οποίο με την σειρά του ενεργοποιεί μια συσκευή εξόδου. Ο παλμός αυτός ελέγχεται από ένα λογικό σήμα που ρυθμίζεται από τον επεξεργαστή.

#### 4.4.3.7 Ρελέ εξόδου

Το γνωστό σε όλους μας ρελέ είναι στην ουσία ένας διακόπτης που ελέγχεται από έναν ηλεκτρομαγνήτη. Τα ρελέ βρίσκουν εφαρμογή και στους PLC αφού μπορούν να αντέξουν μεγάλα ρεύματα ενώ παράλληλα προσφέρουν πολύ μεγάλη μόνωση ανάμεσα στα κυκλώματα του PLC και στα κυκλώματα φορτίου.

Στην παρακάτω εικόνα μπορούμε να δούμε ένα τυπικό ηλεκτρομαγνητικό ρελέ πάνω στο οποίο βασίζεται το κύκλωμα εξόδου. Το

τρανζίστορ NPN διακόπτει το ρεύμα από το πηνίο του ρελέ. Το τρανζίστορ ελέγχεται από το κύκλωμα της ψευδούς μνήμης.



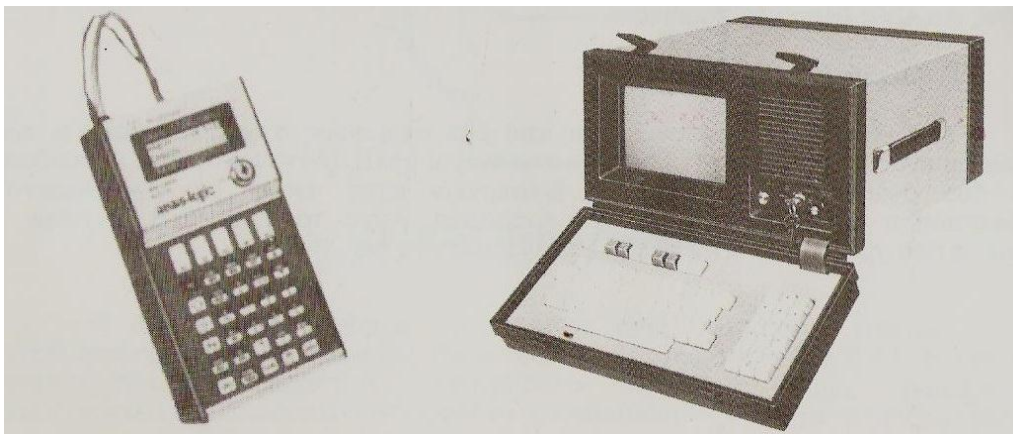
Εικόνα 61: Κύκλωμα μιας εισόδου

#### 4.4.3.8 DC τμήματα εξόδων

Σε αντίθεση με τα AC τμήματα εξόδων τα οποία χρησιμοποιούν triac, τα DC τμήματα εξόδων χρησιμοποιούν τρανζίστορ ισχύος για την λειτουργία τους. Τα DC τμήματα εξόδων είναι διαθέσιμα σε περιοχές από 12 έως 240V.

#### 4.4.4 Προγραμματίστριες

Για την ρύθμιση του προγραμματιζόμενου λογικού ελεγκτή χρησιμοποιούνται ειδικές συσκευές γνωστές και ως προγραμματίστριες. Υπάρχουν προγραμματίστριες γραφείου και φορητές. Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε αυτά τα δυο είδη:



Εικόνα 62: Φορητή προγραμματίστρια και προγραμματίστρια γραφείου

Εκτός από τον προγραμματισμό οι προγραμματίστριες χρησιμοποιούνται και για τον εντοπισμό, και την επιδιόρθωση, βλαβών σε ένα κύκλωμα. Όταν μια προγραμματίστρια συνδέεται σε έναν PLC, στην οθόνη της εμφανίζεται το κύκλωμα αυτό, στο οποίο όλα τα στοιχεία φαίνονται σαν ανοικτές ή κλειστές επαφές. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο επεξεργαστής δεν μπορεί να εντοπίσει αν μια επαφή ελέγχεται από ένα μπουτόν, έναν διακόπτη ή οποιαδήποτε άλλη συσκευή, αλλά βλέπει μόνο ανοικτές ή κλειστές επαφές.

#### **4.4.4.1 Προγραμματίστριες γραφείου**

Οι προγραμματίστριες γραφείου κατασκευάζονται έτσι ώστε να είναι ανθεκτικές σε μηχανικές καταπονήσεις, να λειτουργούν σε ηλεκτρομαγνητικό περιβάλλον και σε υψηλές θερμοκρασίες. Οι προγραμματίστριες γραφείου αποτελούνται από μια οθόνη, από ένα πληκτρολόγιο και από το απαραίτητο ηλεκτρονικό κύκλωμα και μνήμη για ανάπτυξη, τροποποίηση και φόρτωση του προγράμματος στην μνήμη του επεξεργαστή. Η οθόνη δίνει μια οπτική εικόνα του προγράμματος μέσα από μια λυχνία καθοδικών ακτίνων, το μέγεθος της οποίας κυμαίνεται από 5” μέχρι 12”.

Το πληκτρολόγιο περιλαμβάνει, εκτός από τα γνωστά πλήκτρα (γράμματα και αριθμοί), ηλεκτρικά σύμβολα και ειδικά λειτουργικά πλήκτρα. Τα ηλεκτρικά σύμβολα στο πληκτρολόγιο αντιπροσωπεύουν ανοικτές ή κλειστές επαφές, αρχή και τέλος κλάδων κυκλωμάτων, πηνία, χρονικά, αριθμητές κλπ.

#### **4.4.4.2 Φορητές προγραμματίστριες**

Οι φορητές προγραμματίστριες, όπως και οι προγραμματίστριες γραφείου, μπορούν να προγραμματίσουν έναν PLC με την διαφορά ότι οι δυνατότητες απεικόνισης είναι περιορισμένες. Ορισμένες φορητές προγραμματίστριες μπορούν να απεικονίσουν μια βαθμίδα με μέχρι το πολύ τέσσερις οριζόντιες γραμμές, ενώ άλλες μπορούν να απεικονίσουν μια γραμμή ή ένα στοιχείο την φορά. Η απεικόνιση γίνεται είτε με LED είτε με υγρούς κρυστάλλους.

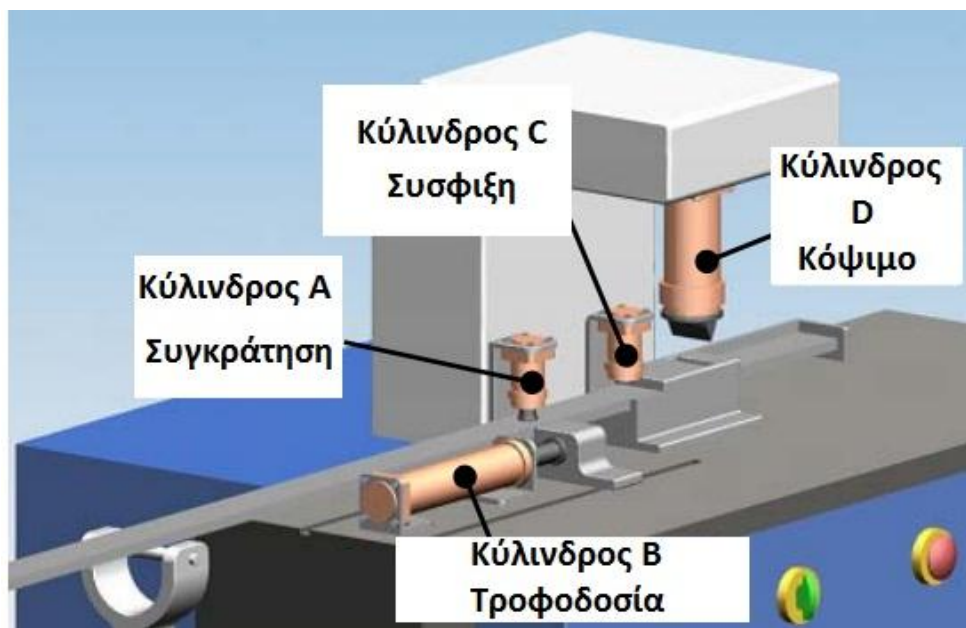
Οι φορητές προγραμματίστριες χρησιμοποιούνται κυρίως σε εγκαταστάσεις όπου απαιτούνται συχνές αλλαγές στο σύστημα ελέγχου. Είναι πιο οικονομικές γι αυτό και χρησιμοποιούνται σαν εργαλεία επισκευής.



#### 4.4.4.3 Σύγχρονος τρόπος προγραμματισμού

Με την πάροδο του χρόνου και την εξέλιξη των PLC η χρήση των Προγραμματιστριών έπαψε να είναι τόσο εκτενής. Πλέον οι PLC μπορούν να προγραμματιστούν από οποιοδήποτε σταθερό υπολογιστή χρησιμοποιώντας το κατάλληλο πρόγραμμα, αλλά ακόμα και από τα ειδικά πλήκτρα που βρίσκονται πάνω στους PLC. Παρακάτω ακολουθεί ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα προγραμματισμού ενός PLC μέσω υπολογιστή, καθώς επίσης και επεξήγηση του τρόπου λειτουργίας του προγράμματος.

#### Παράδειγμα προγραμματισμού PLC μέσω υπολογιστή

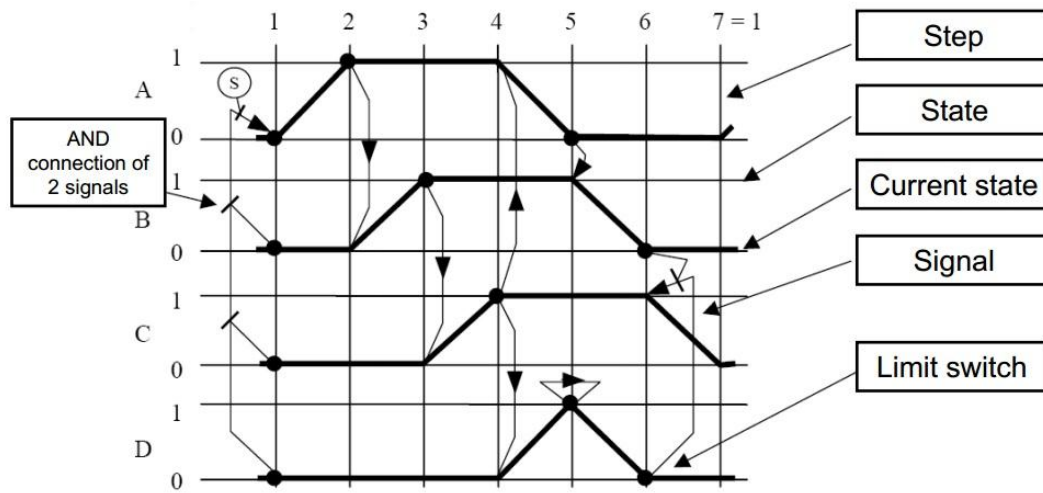


Εικόνα 63: Σύστημα κοπής

Στην παραπάνω εικόνα βλέπουμε ένα σύστημα κοπής στο οποίο:

- Ο κύλινδρος A συγκρατεί το υλικό →A:1
- Ο κύλινδρος B τροφοδοτεί με υλικό την γραμμή →B:1
- Ο κύλινδρος C σφίγγει το υλικό στην θέση όπου πρέπει να κοπεί →C:1
- Ο κύλινδρος A απελευθερώνει την συγκράτηση και ο κύλινδρος D επεκτείνεται και κόβει το υλικό →A:0 & D:1
- Οι κύλινδροι B&D επανέρχονται στην αρχική τους θέση →B:0&D:0
- Ο κύλινδρος C επανέρχεται στην αρχική του θέση και απελευθερώνει την σύσφιξη →C:0

Στο παρακάτω διάγραμμα μπορούμε να παρατηρήσουμε τον τρόπο λειτουργίας του προγράμματος:



Εικόνα 64: Path-Step διάγραμμα συσκευής κοπής

#### 4.4.5 Περιφερειακά

Τα περιφερειακά, όπως και στους κλασικούς υπολογιστές, είναι συσκευές οι οποίες συνδέονται στον επεξεργαστή ώστε να δώσουν μια βοηθητική λειτουργία υποστήριξης. Τέτοιες συσκευές μπορεί να είναι ένας εκτυπωτής, διάφοροι μετατροπείς κλπ.

#### 4.5 Προσαρμογή ψηφιακών συσκευών

Για την αυτοματοποίηση της διαδικασίας ελέγχου, απαιτείται η χρήση κάποιων στοιχείων ελέγχου. Πρόκειται για στοιχεία τα οποία συνδέουν το PLC με τον έξω κόσμο, ψηφιακές ή αναλογικές συσκευές εισόδου και εξόδου οι οποίες παράγουν ένα σήμα το οποίο στην συνέχεια παραλαμβάνεται από τις θύρες εισόδου ή εξάγεται αντίστοιχα από τις θύρες εξόδου του PLC.

##### 4.5.1 Ψηφιακές συσκευές εισόδου

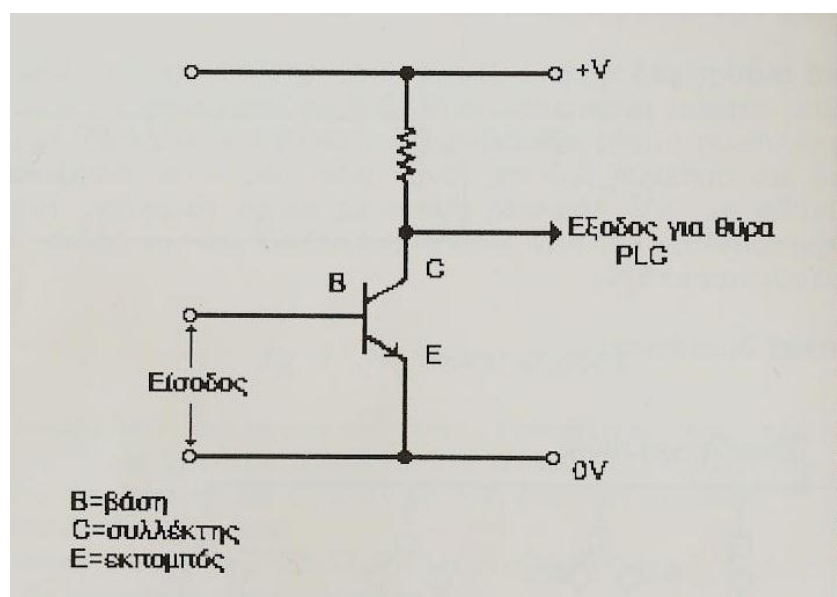
Τα ψηφιακά αισθητήρια ή οι μετατροπείς που συνδέονται απευθείας στις θύρες εισόδου αποτελούν είτε πηγές ρεύματος, είτε βύθιση ρεύματος. Μερικές συσκευές όπως τα ρελέ ή τα τρανζίστορς μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σαν αισθητήρια αλλά και για δράση. Παρακάτω αναλύουμε τις συσκευές εισόδου:

## A. Μηχανικοί διακόπτες

Οι μηχανικοί διακόπτες αποτελούν την απλούστερη μορφή ψηφιακής συσκευής. Υπάρχουν σε πολλές μορφές οι οποίες διαφέρουν ανάλογα με τον αριθμό των πόλων ή τον αριθμό των δυνατών θέσεων. Ένας απλός διακόπτης ON/OFF μπορεί να είναι μονοπολικός μιας θέσης ή μονοπολικός δυο θέσεων ή διπολικός δυο θέσεων.

## B. Διακόπτες τρανζίστορ

Στο παρακάτω κύκλωμα βλέπουμε έναν διακόπτη τρανζίστορ NPN:



Εικόνα 65: Διακόπτης τρανζίστορ NPN

Η κύρια λειτουργία του διακόπτη με τρανζίστορ NPN επιτελείται ανάμεσα στον εκπομπό και τον συλλέκτη. Όταν το ρεύμα βάσης αυξηθεί τόσο όσο ώστε να ενεργοποιήσει το τρανζίστορ, το κύκλωμα εκπομπού-συλλέκτη αποκαθίσταται με αποτέλεσμα να έχουμε έξοδο

## Γ. Προσεγγιστικοί διακόπτες

Σαν προσεγγιστικούς διακόπτες ορίζουμε τους διακόπτες ημιαγωγών, οι οποίοι δεν διαθέτουν επαφές και αναζητούν την παρουσία ενός αντικειμένου χωρίς φυσική επαφή με αυτό. Σε αντίθεση με τους μηχανικούς διακόπτες δεν διαθέτουν κινούμενα μέρη. Ένα ακόμα πλεονέκτημα τους είναι το γεγονός ότι μπορούν να λειτουργήσουν άψογα σε χώρους όπου υπάρχει λάδι ή σκόνη, σε αντίθεση με τους μηχανικούς διακόπτες. Η προσεγγιστικοί διακόπτες χωρίζονται σε δυο κατηγορίες: τους επαγωγικούς και τους χωρητικούς.

Οι επαγωγικοί προσεγγιστικοί διακόπτες αναζητούν μόνο μεταλλικά αντικείμενα. Η λειτουργία τους βασίζεται στην επαγωγή ενός πηνίου η οποία αλλάζει όταν ένα μεταλλικό αντικείμενο κινηθεί μέσα σε ένα συγκεκριμένο πεδίο.

Οι χωρητικοί προσεγγιστικοί διακόπτες αναζητούν και άλλα αντικείμενα, εκτός από τα μεταλλικά, αφού μπορούν να αντιληφθούν την αλλαγή της διηλεκτρικής σταθεράς που συμβαίνει όταν ένα αντικείμενο κινηθεί κοντά στην συσκευή.

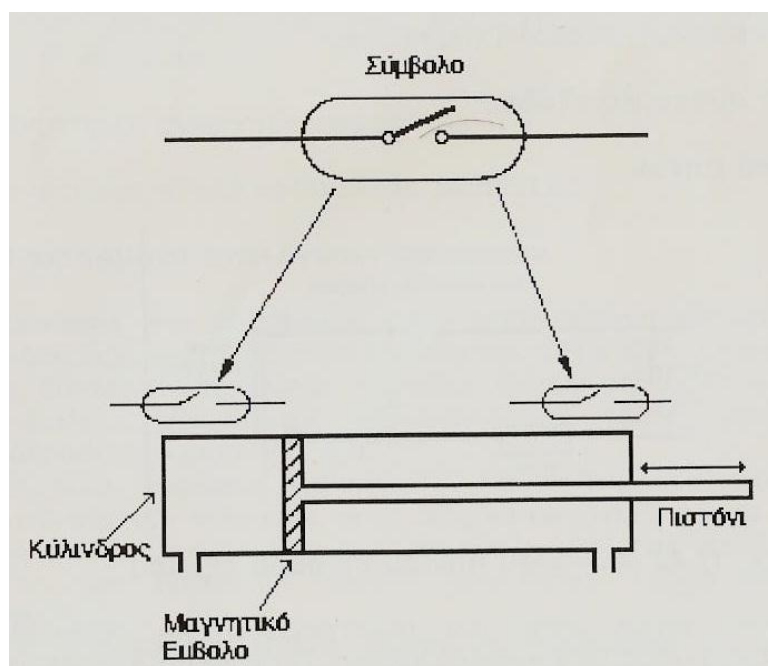
Οι προσεγγιστικοί διακόπτες DC υλοποιούνται τόσο με τρανζίστορ NPN όσο και με τρανζίστορ PNP. Λειτουργούν με απόκριση συχνότητας μεγαλύτερης του 1kHz. Η περιοχή ευαισθησίας ενός προσεγγιστικού διακόπτη εξαρτάται από το υλικό του αντικειμένου που θα ανιχνευθεί.

#### Δ. Φωτοδιακόπτες

Οι φωτοδιακόπτες χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό της διακοπής ή της ανάκλασης μιας φωτεινής δέσμης. Αποτελούνται από τον εκπομπό φωτεινής δέσμης και τον δέκτη.

#### Ε. Πνευματικοί διακόπτες

Οι πνευματικοί διακόπτες είναι διακόπτες μαγνητικής λειτουργίας. Όπως μπορούμε να δούμε και στο παρακάτω σχήμα, αποτελούνται από δυο επαφές, η μια πάνω στην άλλη, χωρίς όμως επαφή μεταξύ τους.



Εικόνα 66: Πνευματικός Διακόπτης

Οι επαφές αυτές είναι σφραγισμένες μέσα σε ένα γυάλινο περίβλημα με αδρανές αέριο. Οι επαφές αναγκάζονται να κλείσουν από ένα μαγνητικό πεδίο, το οποίο μπορεί να παραχθεί από έναν μόνιμο μαγνήτη ή πηνίο. Οι πνευματικοί διακόπτες διαθέτουν υψηλή ταχύτητα λειτουργίας και χαμηλή αντίσταση επαφής. Οι πνευματικοί διακόπτες συνήθως ενσωματώνονται έξω από αεριοκίνητους κυλίνδρους ώστε να εντοπίζουν την παρουσία ενός μαγνητικού εμβόλου.

### **ΣΤ. Μετατροπείς κίνησης σε ψηφιακό σήμα**

Οι μετατροπείς αυτοί πραγματοποιούν στην ουσία ψηφιοποίηση της κίνησης, είτε πρόκειται για γραμμική είτε περιστροφική κίνηση. Οι γραμμικοί μετατροπείς μετατρέπουν την γραμμική μετατόπιση σε ψηφιακό σήμα ενώ οι αξονικοί μετατροπείς μετατρέπουν την περιστροφή.

Οι μετατροπείς κίνησης χωρίζονται σε δυο βασικές κατηγορίες, τους αυξητικούς και τους απόλυτους. Οι αυξητικοί μετρούν την σχετική θέση σε κάποιο αναφερόμενο σημείο, ενώ οι απόλυτοι παράγουν έναν κωδικοποιημένο αριθμό ο οποίος αντιστοιχεί σε μια θέση.

### **Ζ. Διακόπτες θερμοκρασίας**

Οι διακόπτες θερμοκρασίας είναι συσκευές ημιαγωγών (θερμίστορες) οι οποίες μόλις εντοπίσουν μεταβολή της θερμοκρασίας παρουσιάζουν μια γρήγορη αλλαγή στην αντίστασή τους.

### **Η. Διακόπτες πίεσης**

Οι διακόπτες πίεσης είναι συσκευές οι οποίες ενεργοποιούνται ή απενεργοποιούνται όταν εντοπίσουν μια συγκεκριμένη μεταβολή της πίεσης.

## **4.5.2 Ψηφιακές Συσκευές εξόδου**

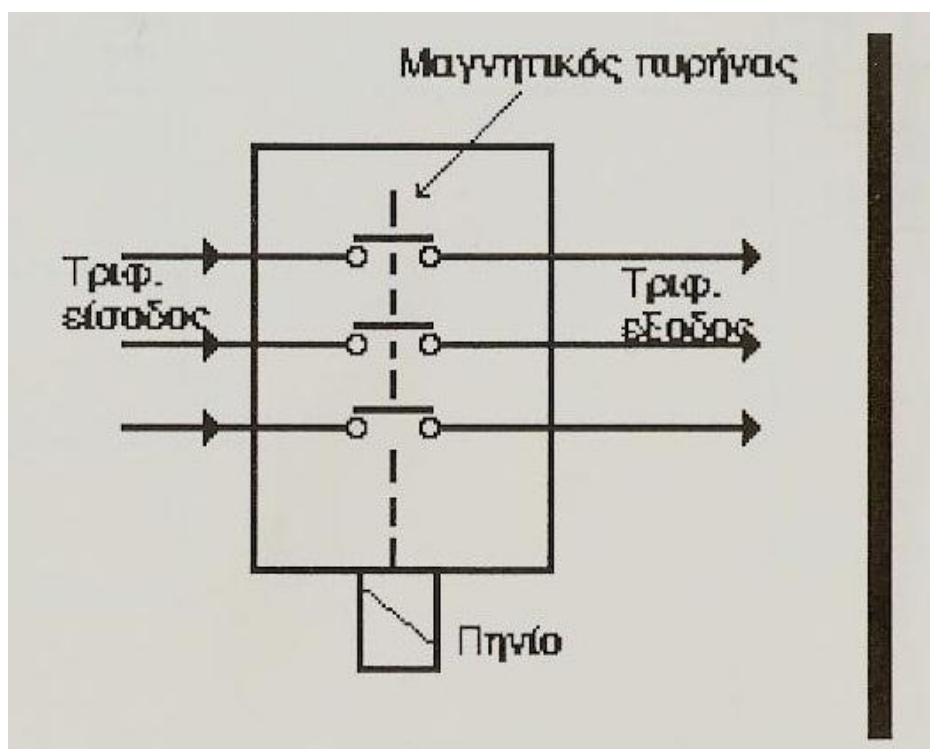
### **Α. Επαγωγικό πηνίο**

Το επαγωγικό πηνίο είναι μια ηλεκτρομαγνητική συσκευή η οποία μετατρέπει ένα ηλεκτρικό σήμα σε μηχανική κίνηση. Αποτελείται από ένα πηνίο και έναν κινητό οπλισμό. Όταν το πηνίο ενεργοποιείται, ο οπλισμός κινείται.

### **Β. Επαφείας**

Ο επαφείας είναι στην ουσία ένας διακόπτης υψηλών ρευμάτων, ο οποίος ενεργοποιείται είτε μηχανικά είτε ηλεκτρικά. Στην παρακάτω εικόνα μπορούμε να παρατηρήσουμε μια υλοποίηση επαφείας που ενεργοποιείται

ηλεκτρικά. Ο επαφέας αποτελείται από ένα πηνίο, από έναν μαγνητικό πυρήνα και από επαφές. Όταν ενεργοποιείται το πηνίο, τραβάει τον πυρήνα και κλείνουν οι επαφές.



Εικόνα 67: Επαφέας

### Γ. Ρελέ στερεής κατάστασης (ηλεκτρονικά)

Τα ηλεκτρονικά ρελέ λειτουργούν με τον ίδιο ακριβώς τρόπο όπως το συμβατικό ρελέ, με την μόνη διαφορά ότι δεν διαθέτει κινούμενα μέρη.

#### 4.6 Προσαρμογή αναλογικών συσκευών

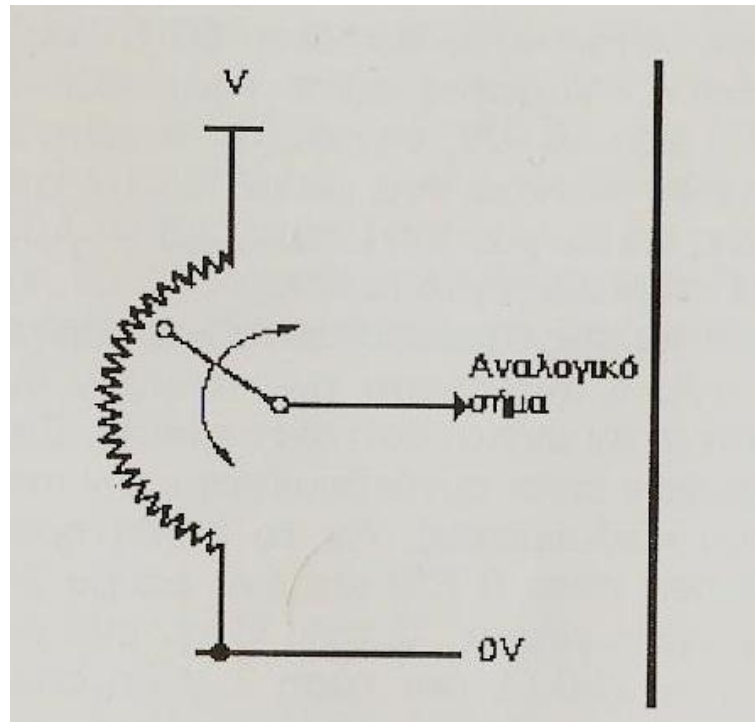
Οι αναλογικές συσκευές είναι πολύ διαφορετικές από τις ψηφιακές. Οι ψηφιακές συσκευές διαθέτουν δυο ξεχωριστά επίπεδα λειτουργίας ON και OFF, ενώ οι αναλογικές συσκευές παρέχουν συνεχώς σήμα το οποίο μεταβάλλεται. Οι αναλογικές συσκευές χρησιμοποιούνται για αναγνώριση τάσης, ρεύματος, ταχύτητας, θερμοκρασίας κλπ.

Ένα αναλογικό αισθητήριο μπορεί να σχεδιαστεί ώστε να λειτουργεί σε μια κλίμακα 10-300°C ή 0-100PSI. Τέτοια αισθητήρια χρησιμοποιούνται ώστε να μπορεί να απεικονιστεί ένα εύρος τιμών αντί για μια απλή λειτουργία ON/OFF.

Μερικές αναλογικές συσκευές που χρησιμοποιούνται συχνά από τους PLC είναι:

## A. Ποτενσιόμετρα

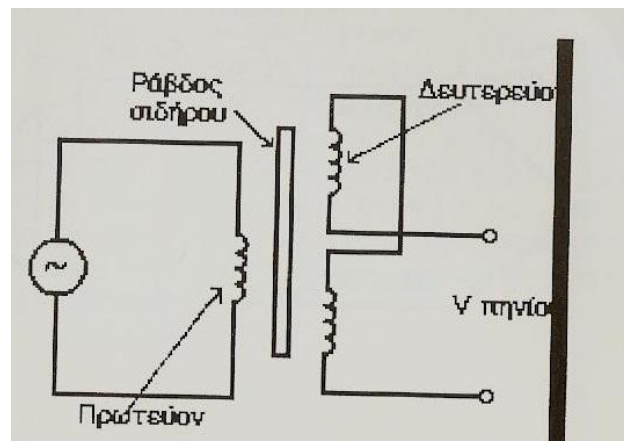
Ο πιο απλός τρόπος παραγωγής μιας αναλογικής εισόδου είναι η χρήση ενός κυκλώματος ποτενσιόμετρου. Η θέση του δρομέα του ποτενσιόμετρου μετατρέπεται σε σήμα τάσης. Τα γραμμικά και τα περιστροφικά ποτενσιόμετρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν μετατροπείς θέσης.



Εικόνα 68: Ποτενσιόμετρο

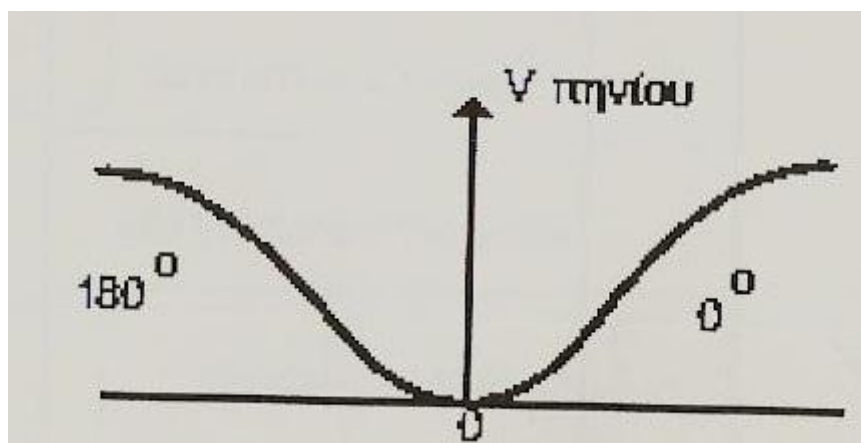
## B. Γραμμικός διαφορικός μεταβλητός Μ/Σ

Ο γραμμικός διαφορικός μεταβλητός μετασχηματιστής είναι ένας μετατροπέας μετατόπισης. Αποτελείται από μια μεταλλική ράβδο η οποία κινείται ανάμεσα σε ένα πρωτεύον κι ένα δευτερεύον πηνίο.



Εικόνα 69: Γραμμικός διαφορικός μεταβλητός Μ/Σ

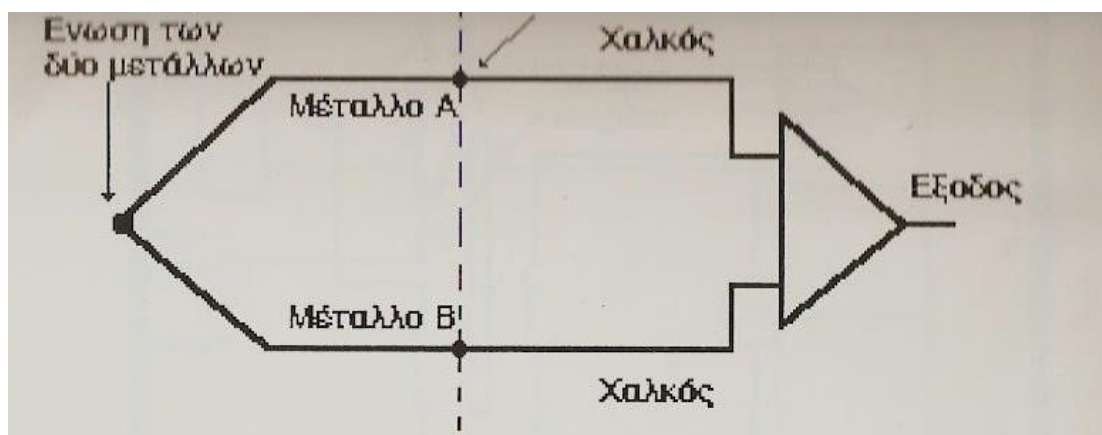
Το πρωτεύον πηνίο τροφοδοτείται με εναλλασσόμενο ρεύμα, με αποτέλεσμα να έχουμε επαγωγή τάσης στα δυο τμήματα του δευτερεύοντος. Με την κίνηση της ράβδου υπάρχει μεταβολή της τάσης στο δευτερεύον πηνίο. Παρατηρώντας την χαρακτηριστική της τάσης εξόδου όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι υπάρχει μια μοναδική έξοδος για κάθε θέση του πυρήνα.



Εικόνα 70: Χαρακτηριστική τάσης γραμμικού διαφορικού μεταβλητού Μ/Σ

### Γ. Θερμοζεύγος

Τα θερμοζεύγη αποτελούνται από δυο ανόμοιους αγωγούς οι οποίοι είναι τοποθετημένοι όπως στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 71: Θερμοζεύγος

Οι αγωγοί αυτοί μπορεί να είναι κατασκευασμένοι από Χρόμιο (E), Σίδηρο (J), Χρόμιο/αλουμίνιο (K) και Χαλκό (T). Μόλις το σημείο σύνδεσης των δυο αγωγών ζεσταθεί παράγεται τάση.

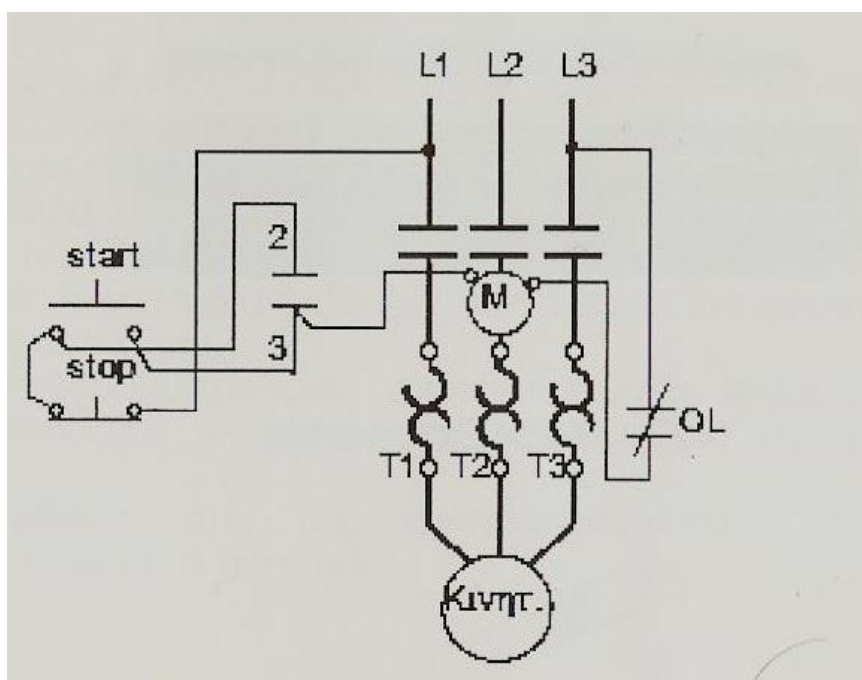


## 4.7 Προγραμματισμός ενός PLC

Ο προγραμματισμός ενός PLC αποτελεί το βασικό στάδιο της εγκατάστασης του. Με τον προγραμματισμό ορίζονται οι βασικές λειτουργίες του καθώς επίσης και οι είσοδοι/έξοδοι. Όπως είδαμε παραπάνω υπάρχουν πολύ τρόποι προγραμματισμού ενός PLC. Με όποιον τρόπο κι αν γίνει ο προγραμματισμός του, υπάρχουν δυο βασικές μέθοδοι τις οποίες αναλύουμε παρακάτω.

### 4.7.1 Πολυγραμμικά διαγράμματα

Τα πολυγραμμικά διαγράμματα αναπαριστούν την συρμάτωση μιας διάταξης (π.χ. ρελέ, χρονικό κλπ) στον πραγματικό της προσδιορισμό. Χρησιμοποιώντας αυτόν τον τύπο διαγράμματος μπορούμε εύκολα να εντοπίσουμε τα στοιχεία και να παρατηρήσουμε που ακριβώς συρματώνονται. Το πρόβλημα είναι ότι δεν αναπαριστά την απλούστερη μορφή του κυκλώματος. Για να διορθωθεί αυτό το πρόβλημα και να μπορέσουμε να κατανοήσουμε τον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί ένα κύκλωμα χρησιμοποιούμε τα διαγράμματα σειράς (ladder).

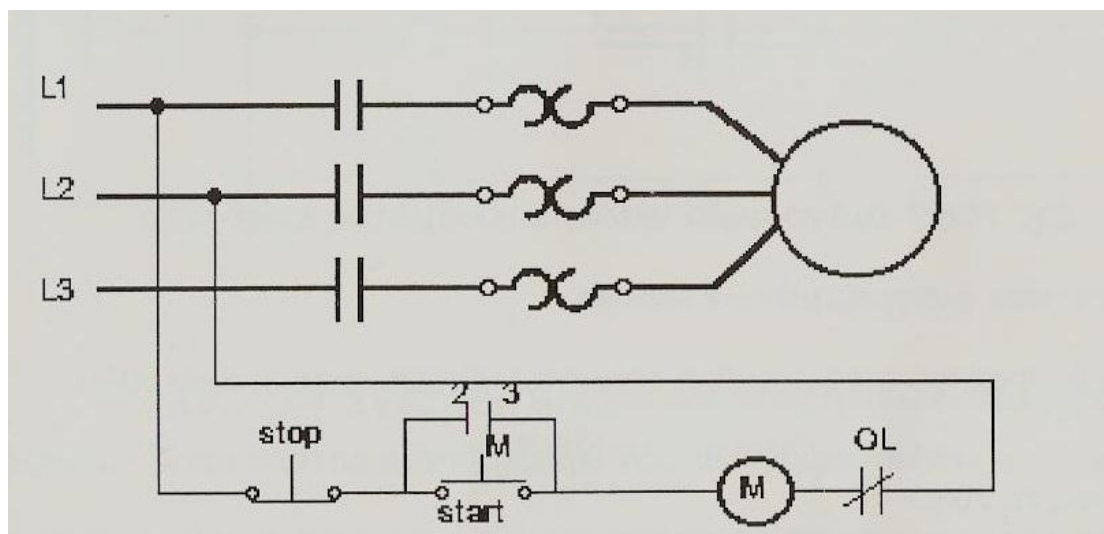


Εικόνα 72: Πολυγραμμικό Διάγραμμα

#### 4.7.1.1 Διάγραμμα ladder

Τα διαγράμματα ladder είναι γνωστά και ως σχηματικά διαγράμματα. Χρησιμοποιούνται από τους τεχνικούς για την γρήγορη κατανόηση της

λειτουργίας ενός κυκλώματος. Στην παρακάτω εικόνα παρατηρούμε το αντίστοιχο διάγραμμα ladder του κυκλώματος της εικόνας 72



Εικόνα 73: Μετατροπή του πολυγραμμικού διαγράμματος σε διάγραμμα ladder

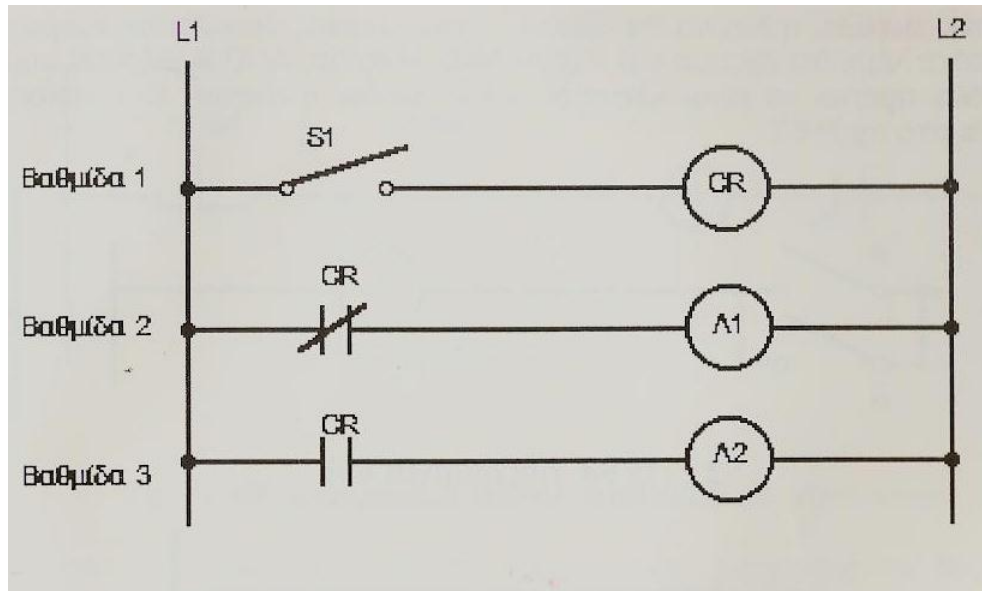
Παρατηρούμε ότι το κύκλωμα ισχύος του παραπάνω κυκλώματος φαίνεται διαφορετικό από το τμήμα ελέγχου, και δεν επιχειρείται να δειχθεί ακριβώς η φυσική τοποθέτηση των στοιχείων του κυκλώματος. Αυτό γίνεται ώστε να επιτευχθεί η απλοποίηση του διαγράμματος και η ευκολότερη ανάγνωση του. Η ισχύς που απαιτείται από το κύκλωμα ελέγχου σχεδιάζεται πάντα με δυο κάθετες γραμμές.

#### 4.7.1.2 Κανόνες διαγραμμάτων ladder

1. Μερικοί βασικοί κανόνες που διέπουν τα διαγράμματα ladder είναι οι εξής:
2. Τα διαγράμματα ladder διαβάζονται όπως ένα βιβλίο, από αριστερά προς τα δεξιά και από επάνω προς τα κάτω.
3. Οι κάθετες γραμμές ισχύος ενός διαγράμματος ladder αντιπροσωπεύουν το δυναμικό του κυκλώματος. Το δυναμικό μπορεί να είναι είτε AC είτε DC και να κυμαίνεται από 6 έως 480V. Συμβολίζονται με  $L_1$  και  $L_2$ . Στο AC, το  $L_1$  αντιστοιχεί στην φάση και το  $L_2$  στον ουδέτερο. Στο DC, το  $L_1$  αντιστοιχεί στο (+) ενώ το  $L_2$  στο (-). Οι γραμμές ισχύος μπορούν να συμβολιστούν με  $X_1$  και  $X_2$  όταν το δυναμικό προέρχεται από μετασχηματιστή.
4. Οι συσκευές ή τα στοιχεία σχεδιάζονται στην θέση που θεωρείται ότι είναι αναγκαία. Αυτό εξηγεί και το γεγονός ότι στο κύκλωμα της παραπάνω εικόνας το stop είναι τοποθετημένο πριν το start. Για λόγους ασφαλείας το μπουτόν stop παίζει σπουδαιότερο ρόλο από το start.

5. Οι ηλεκτρικές συσκευές σχεδιάζονται πάντα σε κατάσταση ηρεμίας.
6. Οι επαφές που συνδέονται με στοιχεία όπως τα ρελέ, ή τα χρονικά πάντα έχουν τον ίδιο αριθμό ή γράμμα με την συσκευή που τα ελέγχει.

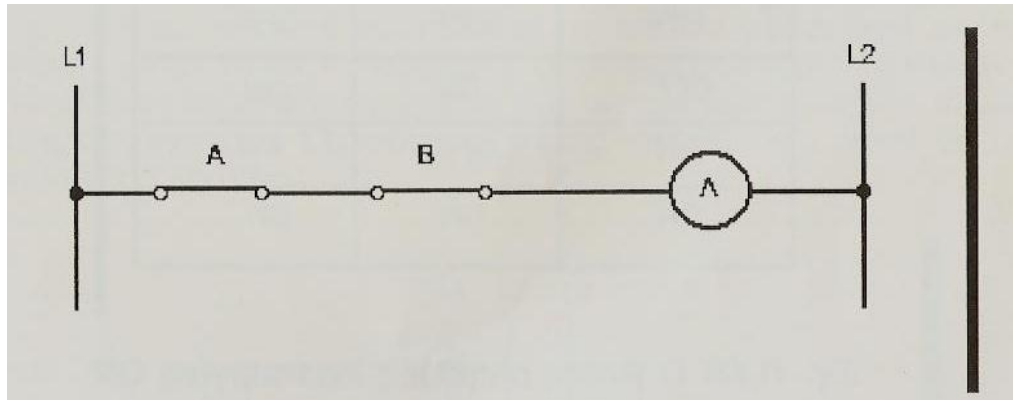
Όλες οι επαφές που συνδέονται με μια συσκευή θα αλλάζουν κατάσταση όταν η συσκευή αυτή ενεργοποιηθεί.



Εικόνα 74: Σχεδίαση πηνίου και βοηθητικών επαφών του ίδιου πηνίου

Στην πρώτη βαθμίδα του σχήματος της παραπάνω εικόνας διακρίνουμε ένα ρελέ (CR) που ελέγχεται από έναν διακόπτη S1. Η δεύτερη βαθμίδα του διαγράμματος ladder δείχνει την κλειστή στην ηρεμία επαφή CR σε σειρά με την λυχνία Λ1. Τέλος, η τρίτη βαθμίδα δείχνει την ανοικτή στην ηρεμία επαφή CR σε σειρά με την λυχνία Λ2. Όταν εφαρμοσθεί ισχύς στο κύκλωμα, η μόνη συσκευή που θα λειτουργήσει θα είναι η λυχνία Λ1, λόγω της συνέχειας του κυκλώματος μέσα από την κλειστή στην ηρεμία επαφή CR. Όταν ο διακόπτης S1 κλείσει, το ρελέ CR στην βαθμίδα 1 θα ενεργοποιηθεί, η κλειστή επαφή CR στην βαθμίδα 2 θα ανοίξει, ενώ η ανοικτή επαφή CR στην βαθμίδα 3 θα κλείσει. Η λειτουργία αυτή των επαφών θα απενεργοποιήσει την λυχνία Λ1 στην βαθμίδα 2 και θα ενεργοποιήσει την λυχνία Λ2 στην βαθμίδα 3.

7. Στα διαγράμματα ladder, οι συσκευές που προσφέρουν λειτουργία Stop, συρματώνονται στην σειρά. Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε δυο διακόπτες κλειστούς στην ηρεμία οι οποίοι ελέγχουν μια λυχνία Λ.



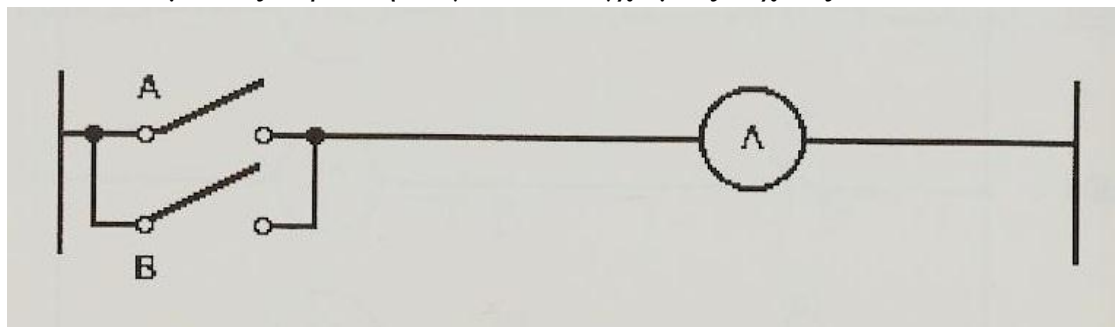
Εικόνα 75: Λειτουργία AND

Όταν και οι δυο διακόπτες είναι κλειστοί η λυχνία ανάβει, αν κάποιος από τους δυο διακόπτες ανοίξει η λυχνία θα σβήσει. Όταν οι επαφές των διακοπτών συνδέονται στην σειρά έχουμε την σχέση AND. Ο πίνακας αληθείας της σχέσης AND φαίνεται παρακάτω:

Διακόπτης A	Διακόπτης B	Λυχνία Λ
OFF	OFF	OFF
OFF	ON	OFF
ON	OFF	OFF
ON	ON	ON

Πίνακας 4: Πίνακας αληθείας λειτουργίας AND

1. Σε αντίθεση με τις συσκευές που παρέχουν λειτουργία Stop, οι συσκευές που παρέχουν λειτουργία Start συρματώνονται παράλληλα. Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε δυο διακόπτες συνδεδεμένους παράλληλα, για τον έλεγχο μιας λυχνίας.



Εικόνα 76: Λειτουργία OR

Στην διάταξη αυτή, αν ένας από τους δυο διακόπτες κλείσει η λυχνία θα ανάψει. Η παράλληλη σύνδεση δυο διακοπτών ονομάζεται σχέση OR. Ο πίνακας αληθείας της σχέσης OR φαίνεται παρακάτω.

Διακόπτης A	Διακόπτης B	Λυχνία Λ
OFF	OFF	OFF
OFF	ON	ON
ON	OFF	ON
ON	ON	ON

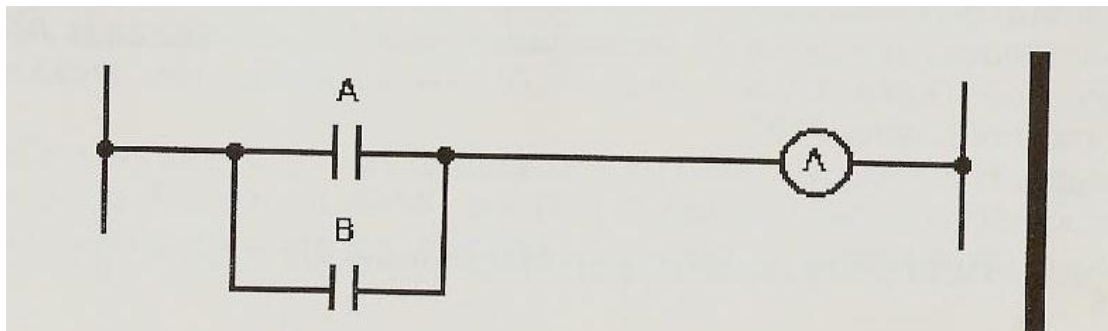
Πίνακας 5: Πίνακας αληθείας λειτουργίας OR

## 4.7.2 Μέθοδος προγραμματισμού Boole

Η μέθοδος προγραμματισμού Boole βασίζεται στην ομώνυμη άλγεβρα. Η μέθοδος προγραμματισμού Boole χρησιμοποιείται κυρίως σε μικρούς PLC. Αυτού του τύπου οι PLC μπορούν (όπως και οι μεγάλοι) να εκτελέσουν επανατοποθέτηση υπάρχοντων ρελέ, αλλά προσφέρουν επίσης και λειτουργίες χρονικών/αριθμητών, μαθηματικές πράξεις, σύγκριση δεδομένων, μετακίνηση καταλόγων κλπ.

### 4.7.2.1 Άλγεβρα Boole

Η άλγεβρα Boole εμπνεύστηκε από τον George Boole το 1854 και βασίζεται στην παραδοχή ότι σε ένα λογικό πρόβλημα υπάρχουν μόνο δυο καταστάσεις, η αληθής και η εσφαλμένη. Η άλγεβρα Boole διαφέρει κατά πολύ από την κοινή άλγεβρα. Υπάρχουν μόνο δυο ψηφία, το 0 και το 1 και κάθε αριθμός αποπτελείται από μονάδες (1) και μηδενικά (0).



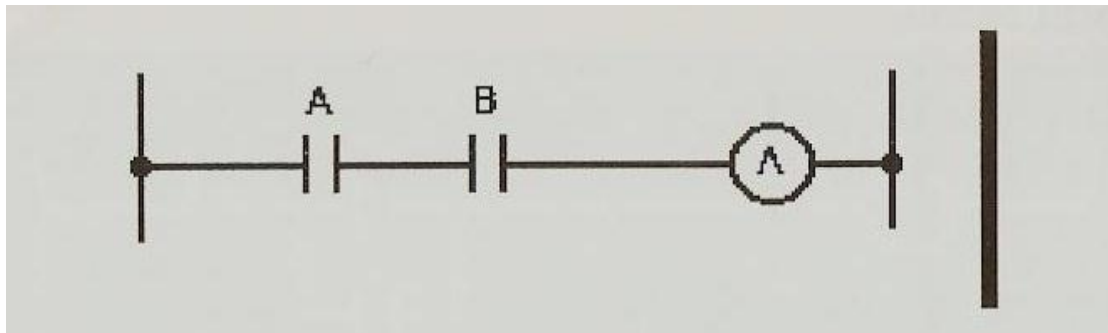
Εικόνα 77: Λειτουργία OR

Στο παραπάνω σχήμα βλέπουμε ένα κύκλωμα που πραγματοποιεί την λειτουργία OR. Οι επαφές είναι συνδεδεμένες παράλληλα, έτσι είτε κλείσουμε την επαφή A είτε την επαφή B η λυχνία Λ θα ανάψει. Φυσικά το ίδιο θα συμβεί ακόμα και αν κλείσουν και οι δυο επαφές μαζί. Η διάταξη αυτή είναι γνωστή σαν λογικό κύκλωμα OR. Η εξίσωση Boole του κυκλώματος αυτού θα είναι  $A+B=\Lambda$ . Το σημείο (+) απεικονίζει το λογικό OR. Ο τύπος αυτός ορίζει ότι αν το A ή το B είναι αληθής τότε και η έξοδος Λ θα είναι αληθής.

Επαφή A	Επαφή B	Λυχνία	Σχέση Boole
0	0	0	$0+0=0$
0	1	1	$0+1=1$
1	0	1	$1+0=1$
1	1	1	$1+1=1$

Πίνακας 6: Πίνακας αληθείας της διάταξης OR

Στην εικόνα παρακάτω παρατηρούμε ότι οι επαφές είναι συνδεδεμένες σε σειρά με την λυχνία. Το κύκλωμα αυτό αποτελεί μια διάταξη AND.



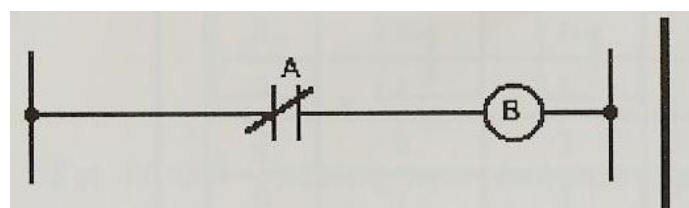
Εικόνα 78: Λειτουργία AND

Σε αυτή την περίπτωση πρέπει και οι δυο επαφές A και B να κλείσουν ώστε να ανάψει η λυχνία. Ο τύπος για αυτή την λειτουργία, στην άλγεβρα Boole είναι  $A \times B = \Lambda$ . Το σύμβολο (x) χρησιμοποιείται σαν λογικό AND.

Επαφή A	Επαφή B	Λυχνία	Σχέση Boole
0	0	0	$0 \times 0 = 0$
0	1	0	$0 \times 1 = 0$
1	0	0	$1 \times 0 = 0$
1	1	1	$1 \times 1 = 1$

Πίνακας 7: Πίνακας αληθείας της διάταξης AND

Μια εξίσου σημαντική λειτουργία είναι η λειτουργία NOT. Η λειτουργία αυτή δρα σαν μια ομάδα κλειστών στην ηρεμία επαφών. Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε την υλοποίηση ενός κυκλώματος με λειτουργία NOT.



Εικόνα 79: Λειτουργία NOT

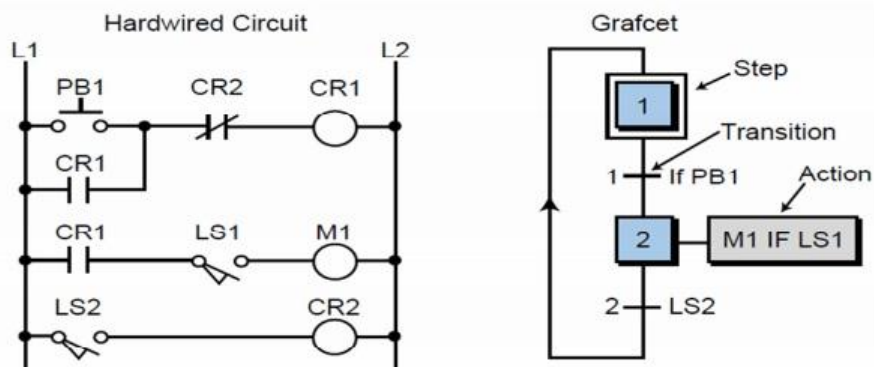
Όταν η επαφή A παραμείνει κλειστή, τότε η λυχνία B ανάβει. Παρακάτω βλέπουμε τον πίνακα αληθείας της λειτουργίας NOT.

Επαφή A	Επαφή B
0	0
1	0

Πίνακας 8: Λειτουργία NOT

### 4.7.3 Μέθοδος προγραμματισμού Grafcet

Η μέθοδος προγραμματισμού Grafcet (Graphe Fonctionnel de Commande Etape Transition) είναι μια συμβολική, γραφική γλώσσα, η οποία δημιουργήθηκε στην Γαλλία. Αναπαριστά το διάγραμμα ελέγχου σαν βήματα ή στάδια στην μηχανή ή την διαδικασία. Στην εικόνα παρακάτω μπορούμε να δούμε ένα απλό κύκλωμα όπως αυτό αναπαρίσταται με την μέθοδο Grafcet.



Εικόνα 80: Λογικό κύκλωμα και αναπαράσταση του σε Grafcet

Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειώσουμε ότι η μέθοδος Grafcet παρέχει μια παρουσίαση (που θυμίζει διάγραμμα ροής) των γεγονότων που λαμβάνουν χώρα σε κάθε στάδιο του προγράμματος ελέγχου. Τα διαγράμματα αυτά χρησιμοποιούν τρία στοιχεία, τα βήματα, τις αλλαγές και τις δράσεις, για να αναπαραστήσουν τα γεγονότα. Αφού προγραμματιστούν σε ένα PC, οι εντολές της Grafcet μπορούν να μεταφερθούν σε ένα PLC μέσω ενός μεταφραστή ή ενός οδηγού που μεταφράζει το Grafcet πρόγραμμα σε διάγραμμα Ladder ή σε πρόγραμμα Boole. Χρησιμοποιώντας αυτή την μέθοδο ένας κατασκευαστής λογισμικού μπορεί να παρέχει σε διαφορετικά PLC το ίδιο πρόγραμμα σαν να χρησιμοποιούν την ίδια γλώσσα.

### 4.8 Δομή ενός προγράμματος PLC

Όταν σχεδιάζουμε ένα πρόγραμμα για PLC, ένα βασικό πράγμα που πρέπει να κάνουμε είναι να καθορίσουμε την δομή του προγράμματος μας, να

ορίσουμε δηλαδή τα μπλοκ και τον τρόπο με τον οποίο αυτά θα συνδέονται μεταξύ τους. Η ανάλυση του τρόπου με τον οποίο δομείται ένα πρόγραμμα μέσα στην CPU θα μας βοηθήσει στον καθορισμό αυτό. Κάθε CPU περιλαμβάνει δυο προγράμματα ανεξάρτητα το ένα από το άλλο. Ας αναλύσουμε λοιπόν αυτούς τους δυο τύπους προγραμμάτων.

#### 4.8.1 Λειτουργικό σύστημα

Το λειτουργικό σύστημα επιτελεί έναν πολύ σημαντικό ρόλο στο PLC. Το λειτουργικό αποτελείται από ένα σύνολο εντολών και ορισμών που ελέγχουν τους πόρους του συστήματος. Το λειτουργικό σύστημα εκτελεί μια σειρά από λειτουργίες όπως η ενημέρωση του ρολογιού πραγματικού χρόνου στην CPU, ο έλεγχος της κατάστασης του διακόπτη της CPU (RUN, STOP), η ρύθμιση των επικοινωνιών. Στο λειτουργικό σύστημα δεν υπάρχει η δυνατότητα πραγματοποίησης αλλαγών, υπάρχει όμως δυνατότητα να διαβαστούν ή να χρησιμοποιηθούν κάποια από τα δεδομένα που εξάγει.

#### 4.8.2 Πρόγραμμα εφαρμογής

Το πρόγραμμα εφαρμογής αποτελείται από ένα σύνολο εντολών και ορισμών το οποίο χρησιμοποιείται από το PLC για τον έλεγχο μιας εγκατάστασης. Στην εικόνα παρακάτω μπορούμε να παρατηρήσουμε την δομή ενός προγράμματος εφαρμογής.



Εικόνα 81: Δομή προγράμματος εφαρμογής

Όπως βλέπουμε και στο παραπάνω διάγραμμα, το πρόγραμμα εφαρμογής αποτελείται από πέντε βαθμίδες, τις οποίες θα αναλύσουμε παρακάτω.

**Πρόγραμμα χρήστη:** Το πρόγραμμα χρήστη είναι το πρόγραμμα το οποίο γράφει ο προγραμματιστής, για τις λειτουργικές ανάγκες του αυτοματισμού. Το πρόγραμμα χρήστη μπορεί να περιλαμβάνει **μπλοκ λογικής** (εντολές) και **μπλοκ δεδομένων** (λίστες με αριθμούς).



**Μπλοκ συστήματος:** Το μπλοκ συστήματος αποτελείται από προκαθορισμένες εντολές οι οποίες είναι καταχωρημένες στο λειτουργικό σύστημα του PLC. Ο χρήστης μπορεί να καλέσει τα μπλοκ συστήματος σε οποιοδήποτε σημείο του προγράμματος θέλει, τους δίνει κάποιες παραμέτρους και παίρνει μόνο τα αποτελέσματα, χωρίς να ενδιαφέρεται για το πώς έχουν αυτά παραχθεί.

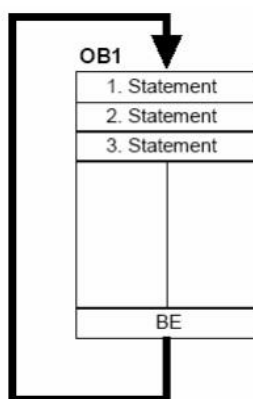
**Standard μπλοκ:** Είναι μπλοκ τα οποία έχουν προκαθορισμένες εντολές και μας προσφέρουν έτοιμες λύσεις για τυποποιημένες εργασίες αυτοματισμό που πιθανόν μας ενδιαφέρει να ενσωματώσουμε στην εγκατάσταση μας.

## 4.9 Επεξεργασία προγράμματος

Η επεξεργασία του προγράμματος είναι το αμέσως επόμενο βήμα της δημιουργίας του. Ανάλογα τον τρόπο με τον οποίο χτίζουμε ένα πρόγραμμα έχουμε τρία διαφορετικά είδη δόμησης.

### 4.9.1 Γραμμικό πρόγραμμα

Στην δόμηση με γραμμικό πρόγραμμα ολόκληρο το πρόγραμμα βρίσκεται σε ένα block το οποίο καλείται αυτόματα σε κάθε κύκλο λειτουργίας.



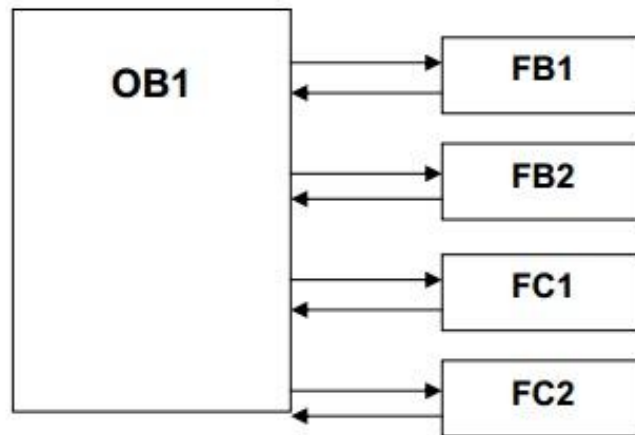
Εικόνα 82: Δομή γραμμικού προγράμματος

Η CPU επεξεργάζεται τις εντολές, με την σειρά που τις λαμβάνει, μέχρι να φτάσει στο τέλος του block και στην συνέχεια αρχίζει την ίδια διαδικασία ξανά από την αρχή. Το πλεονέκτημα του γραμμικού προγράμματος είναι το γεγονός ότι ο προγραμματισμός αρχίζει εύκολα και γρήγορα. Το βασικό του μειονέκτημα είναι ότι σε περίπτωση που το πρόγραμμα είναι μεγάλο, είναι πολύ δύσκολο στον προγραμματιστή να εντοπίσει πότε γίνεται μια

συγκεκριμένη εργασία. Το γραμμικό πρόγραμμα χρησιμοποιείται κυρίως σε μικρές εφαρμογές

#### 4.9.2 Τμηματοποιημένο πρόγραμμα

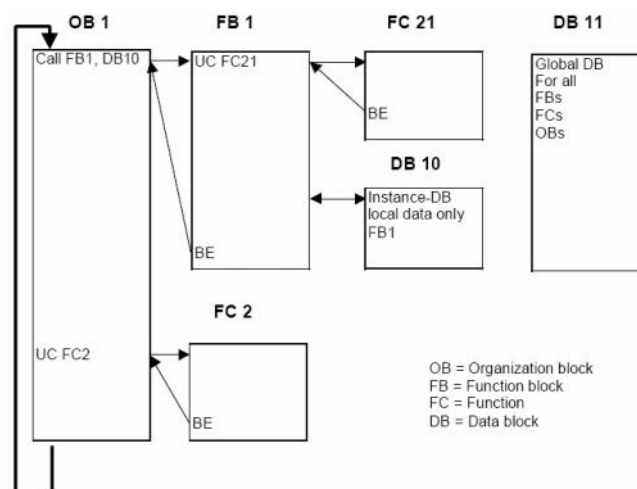
Στην περίπτωση του τμηματοποιημένου προγράμματος, το πρόγραμμα χωρίζεται σε block. Κάθε ένα από αυτά τα block υλοποιεί μια συγκεκριμένη εργασία. Για τον τρόπο με τον οποίο θα καλούνται οι εργασίες, για την σωστή λειτουργία τους, καθώς επίσης και για την σωστή σειρά εκτέλεσης υπεύθυνο είναι ένα block γνωστό και ως block οργάνωσης (OB1).



Εικόνα 83: Δομή τμηματοποιημένου προγράμματος

#### 4.9.3 Δομημένο πρόγραμμα

Ένα δομημένο πρόγραμμα είναι δυνατό να περιλαμβάνει παραμετροποιημένα block. Τα παραμετροποιημένα block είναι σχεδιασμένα με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να είναι γενικής χρήσης.



Εικόνα 84: Δομή δομημένου προγράμματος

Όταν καλείται ένα παραμετροποιημένο block λαμβάνει τις τιμές των παραμέτρων από τον χειριστή/προγραμματιστή ώστε να εκτελέσει την ζητούμενη διαδικασία (διευθύνσεις εισόδων/εξόδων, χρονικά κλπ). Τα δομημένα προγράμματα έχουν δυο βασικά πλεονεκτήματα. Το πρώτο είναι ότι δεν χρειάζεται να επαναλαμβάνουμε την δημιουργία των ίδιων προγραμμάτων με αποτέλεσμα να εξοικονομούμε χώρο στην μνήμη. Το δεύτερο πλεονέκτημα των δομημένων προγραμμάτων είναι το γεγονός ότι οποιαδήποτε αλλαγή στην λογική του αυτοματισμού, ο προγραμματιστής την περνάει μια φορά στο πρόγραμμα και αυτόματα γίνεται η διόρθωση της λειτουργίας όπου χρειάζεται. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εξοικονόμηση χρόνου και την αποφυγή σφαλμάτων από πιθανή λανθασμένη πληκτρολόγηση.

#### **4.10 Τύποι διαθέσιμων block**

Για την δημιουργία ενός προγράμματος έχουμε στην διάθεση μας διάφορα είδη block προγραμματισμού. Η επιλογή τους, ο τρόπος διασύνδεσης και οι παράμετροι τους είναι καθαρά υποκειμενικά κριτήρια και εξαρτώνται από τον τύπο της εφαρμογής που θέλουμε να υλοποιήσουμε και τις λειτουργίες που θέλουμε να εκτελεί. Παρακάτω θα αναφερθούμε στους βασικούς τύπους block και στον τρόπο χρήση τους.

##### **4.10.1 Block οργάνωσης OB (Organization Blocks)**

Τα block οργάνωσης είναι ο σύνδεσμος ανάμεσα στο λειτουργικό σύστημα και το πρόγραμμα του χρήστη. Για παράδειγμα αν συμβεί μια χρονική διακοπή ή μια διακοπή τροφοδοσίας το λειτουργικό σύστημα της CPU καλεί το αντίστοιχο block οργάνωσης. Ίσως το πιο σημαντικό block είναι το OB1. Το συγκεκριμένο block καλείται από την CPU αυτόματα και εκτελείται κυκλικά. Μέσα σε αυτό το block βρίσκεται το κύριο πρόγραμμα του χρήστη. Ένα εξίσου σημαντικό block είναι το OB100 το οποίο εκτελείται μια φορά όταν το σύστημα λάβει τάση. Τα block οργάνωσης ταξινομούνται με τάξεις προτεραιότητας από 0 έως 29. Αν ένα block έχει προτεραιότητα μεγαλύτερη από κάποιο άλλο μπορεί να το διακόψει και να εκτελεστεί αυτό.

##### **4.10.2 Συναρτήσεις FC (Functions)**

Οι συναρτήσεις FC αποτελούν επίσης block με την διαφορά ότι είναι block τα οποία δεν έχουν μνήμη. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι οι προσωρινές μεταβλητές τους αποθηκεύονται στην περιοχή των τοπικών δεδομένων και χάνονται μόλις πραγματοποιηθεί επεξεργασία των αντίστοιχων συναρτήσεων FC. Οι συναρτήσεις FC χρησιμοποιούνται για:

- Υπολογισμό μιας συνάρτησης και απόδοσης τιμής στο block που τις έχει καλέσει
- Έλεγχο μιας τεχνολογικής συνάρτησης (π.χ. έλεγχος ανεξάρτητων τμημάτων εγκατάστασης)
- Συχνά επαναλαμβανόμενες λειτουργίες αυτοματισμού

### **4.10.3 Block συναρτήσεων FB (Function Block)**

Τα block συναρτήσεων προγραμματίζονται επίσης από τον χρήστη και ενσωματώνουν κώδικα. Σε αντίθεση με τις συναρτήσεις FC, τα block συναρτήσεων διαθέτουν μνήμη, διαθέτουν δηλαδή ένα block δεδομένων (DB) σαν δική τους τιμή. Το DB αυτό είναι μόνιμα δεσμευμένο με το block της συνάρτησης. Τα FB παραμετροποιούνται όπως και τα FC με αποτέλεσμα να χρησιμοποιούνται και αυτά σε περιπτώσεις όπου απαιτείται επαναλαμβανόμενη λογική. Σε περίπτωση που δεν παραμετροποιηθούν, η λειτουργία τους δεν διαφέρει από αυτή των FC.

Οι παράμετροι οι οποίες μεταβιβάζονται στα FB καθώς επίσης και οι στατικές μεταβλητές, αποθηκεύονται στο αντίστοιχο DB. Οι προσωρινές μεταβλητές αποθηκεύονται στην περιοχή των τοπικών δεδομένων. Μετά το πέρας της επεξεργασίας του FB όσα δεδομένα αποθηκεύθηκαν στο DB παραμένουν αποθηκευμένα, ενώ τα δεδομένα που αποθηκεύθηκαν στην περιοχή των τοπικών δεδομένων χάνονται. Τα block συναρτήσεων διευκολύνουν τον προγραμματισμό συχνά χρησιμοποιούμενων και σύνθετων συναρτήσεων.

### **4.10.4 Block δεδομένων DB (Data Blocks)**

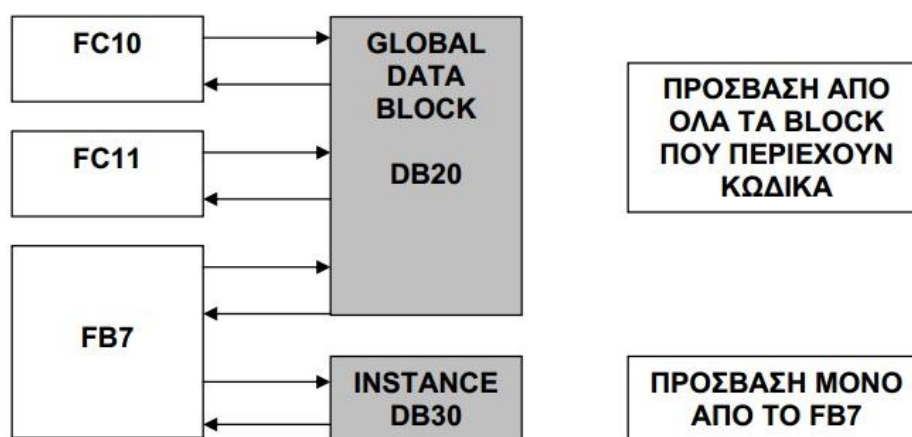
Τα block δεδομένων δεν περιέχουν κώδικα αλλά είναι στην ουσία βάσεις δεδομένων του προγράμματος. Ο προγραμματισμός των block δεδομένων καθορίζει την μορφή με την οποία θα αποθηκευθούν τα δεδομένα (σε ποια block, με ποια σειρά κλπ). Υπάρχουν δυο βασικοί τύποι χρησιμοποίησης των block δεδομένων. Του δυο αυτών τύπους βλέπουμε παρακάτω.

#### **4.10.4.1 Block γενικών δεδομένων (Global Data Block GD)**

Τα block αυτά προορίζονται για γενική χρήση σε ολόκληρο το πρόγραμμα. Τα block γενικών δεδομένων δεν εκχωρούνται σε κάποιο block κώδικα και είναι ελεύθερα για χρήση από τον χρήστη.

#### 4.10.4.2 Πρότυπα block δεδομένων (Instance Data Block)

Σε αντίθεση με τα block γενικών δεδομένων, τα πρότυπα block δεδομένων εκχωρούνται σε ένα block συνάρτησης και αποθηκεύουν ένα μέρος των τοπικών δεδομένων αυτού του block συνάρτησης. Το μέγεθος των DB είναι μεταβαλλόμενο ενώ το μέγιστο μέγεθος εξαρτάται από την CPU. Τα δεδομένα που περιέχονται σε ένα πρότυπο block δεδομένων δεν χάνονται μετά το πέρας της επεξεργασίας. Κάθε FB, FC και OB μπορεί να γράψει και να διαβάσει ένα πρότυπο block δεδομένων.



Εικόνα 85: Τρόποι πρόσβασης σε DB

#### 4.10.5 Δομή των Block

Ένα block που περιέχει κώδικα μπορεί να αποτελείται από τα εξής τμήματα:

- **Κεφαλή του block (block header)** – Η κεφαλή του block περιλαμβάνει τις ιδιότητες και το όνομα του
- **Περιοχή δηλώσεων (declarations)** – Στην περιοχή αυτή δηλώνονται οι τοπικές μεταβλητές του block
- **Περιοχή κώδικα** – Στην περιοχή αυτή περιλαμβάνεται ο κώδικας που καταχωρείται από τον χρήστη, καθώς επίσης και τυχόν σχόλια που υπάρχουν στο πρόγραμμα

#### 4.11 Στάδια εργασίας υλοποίησης αυτοματισμού

Για να υλοποιηθεί επιτυχώς ένας αυτοματισμός με χρήση PLC ακολουθούνται τα εξής βασικά στάδια:

**Τεχνική περιγραφή** – Καταγραφή των αναγκών και των απαιτήσεων από την δημιουργία του αυτοματισμού. Πρόβλεψη των μελλοντικών δυνατοτήτων επέκτασης.

**Επιλογή τύπου PLC** – Η επιλογή του κατάλληλου PLC γίνεται λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις, το χαμηλότερο κόστος.

**Εκπόνηση σχεδίων** – Κατασκευή πίνακα όπου θα τοποθετηθεί το PLC.

**Προγραμματισμός** – Προγραμματισμός του PLC φορτώνοντας το κατάλληλο πρόγραμμα και ορίζοντας τις παραμέτρους που έχουν ζητηθεί και εξυπηρετούν τον αυτοματισμό.

**Τοποθέτηση/Ενεργοποίηση** – Τοποθέτηση του PLC στην εγκατάσταση και συρμάτωση του με τα περιφερειακά στοιχεία που συνθέτουν το σύστημα αυτοματισμού. Στο στάδιο αυτό πραγματοποιείται η ενεργοποίηση του PLC και ο τελικός έλεγχος για την ορθή λειτουργία του.

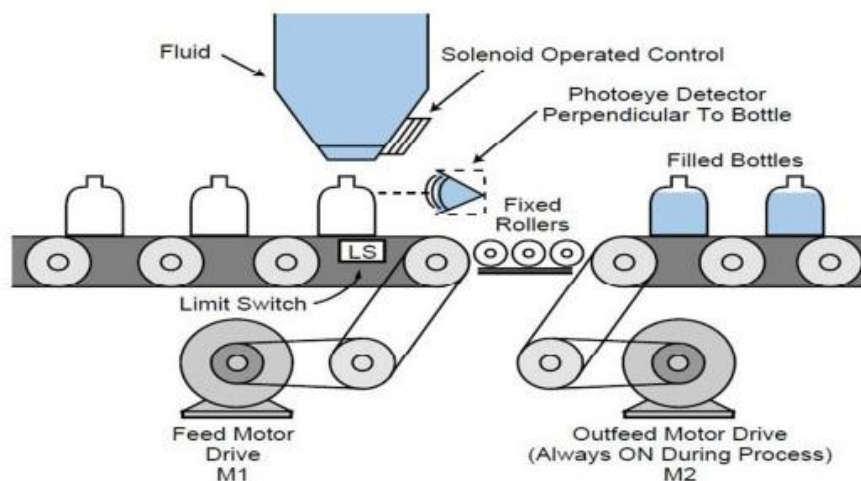
#### **4.12 Παράδειγμα βιομηχανικής εφαρμογής με PLC**

Οι PLC βρίσκουν εφαρμογή κατά κόρον στην βιομηχανία. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα βιομηχανικής εφαρμογής με PLC είναι αυτό του συστήματος συνεχόμενου γεμίσματος μπουκαλιών.

Η εφαρμογή που θα αναλύσουμε παρακάτω αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές διεργασίες για τις βιομηχανίες εμφιάλωσης. Τα μπουκάλια, τα οποία κινούνται πάνω στον ιμάντα μεταφοράς, θα πρέπει να εντοπίζονται αυτόματα όταν βρίσκονται στην κατάλληλη θέση και να γεμίζονται με το επιθυμητό προϊόν. Στην συνέχεια θα πρέπει να γεμίζεται το επόμενο μπουκάλι στην σειρά και ου το καθεξής. Αν η διαδικασία αυτή πραγματοποιούταν χειροκίνητα θα ήταν πολύ χρονοβόρα και οι ποσότητες παραγωγής θα ήταν σαφώς μικρότερες. Έτσι λοιπόν τα PLC γίνονται απαραίτητα για τέτοιου είδους εφαρμογές.

#### **Σκοπός**

Σκοπός μας είναι να εφαρμόσουμε ένα πρόγραμμα ελέγχου το οποίο εντοπίζει την θέση του μπουκαλιού μέσω ενός τερματικού διακόπτη. Το σύστημα περιμένει για 0,5 δευτερόλεπτα, και στην συνέχεια γεμίζει το μπουκάλι μέχρι ο φωτοανιχνευτής να εντοπίσει το γέμισμα του μπουκαλιού. Μόλις το μπουκάλι γεμιστεί, το buzzer χτυπάει και το πρόγραμμα αναμένει άλλα 0,7 δευτερόλεπτα πριν πάει στο επόμενο μπουκάλι.



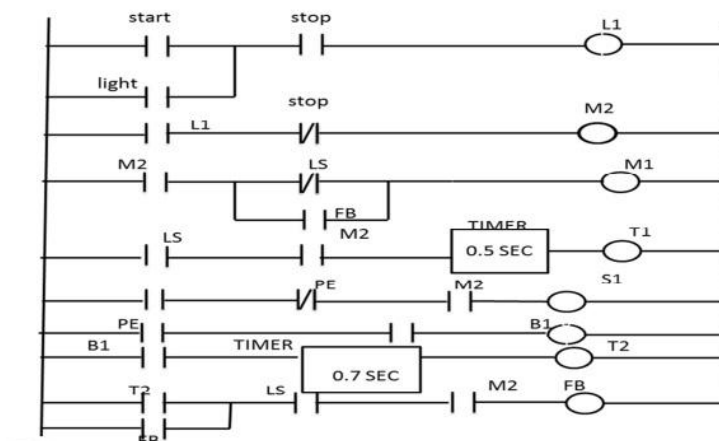
Εικόνα 86: Σύστημα γεμίσματος μπουκαλιών

Μέχρι να δώσει σήμα ο τερματικός διακόπτης, το μοτέρ M1 δίνει κίνηση στην ταινία που μεταφέρει τα μπουκάλια. Το μοτέρ M2 συνεχίζει να λειτουργεί από την στιγμή που ξεκινάει η διαδικασία. Στους παρακάτω πίνακες μπορούμε να παρατηρήσουμε τις εισόδους και τις εξόδους του συστήματος.

Είσοδοι	Διεύθυνση	Έξοδοι	Διεύθυνση
Start	I0:15	Μοτέρ Τροφοδοσίας (M1)	O0:15
Stop	I1:15	Μοτέρ Εξόδου (M2)	O1:15
Τερματικός Διακόπτης(LS)	I2:15	Σωληνοειδής Βαλβίδα (S1)	O2:15
Φωτοανιχνευτής (PE)	I3:15	Φως (L1)	O3:15
-	-	Buzzer (B1)	O4:15

Πίνακας 9: Είσοδοι και έξοδοι συστήματος

Το ladder διάγραμμα της παραπάνω διάταξης ελέγχου διαμορφώνεται ως εξής:



Εικόνα 87: Διάγραμμα ladder συστήματος γεμίσματος μπουκαλιών

## Παρατήρηση

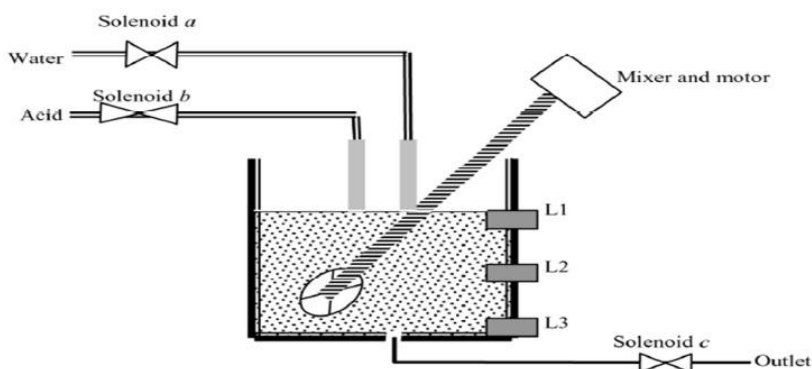
Μόλις πατηθεί το κουμπί start το πράσινο φως (L1) τίθεται σε κατάσταση ON και παραμένει ON μέχρι να πιεστεί το κουμπί stop. Καθώς το φως μεταβαίνει σε κατάσταση ON, το μοτέρ εξόδου (M2) ξεκινάει να δουλεύει. Αφού το M2 ξεκινήσει και μέχρι ο τερματικός διακόπτης (LS) να δώσει σήμα ή μέχρι η κατάσταση του μπουκαλιού να δώσει ένδειξη ότι γέμισε, το μοτέρ τροφοδοσίας (M1) συνεχίζει να δουλεύει. Μόλις ο τερματικός διακόπτης δώσει σήμα, το χρονικό T1 ενεργοποιείται. Μόλις το χρονικό T1 δώσει σήμα ολοκλήρωσης (DN signal) και ο φωτοανιχνευτής (PE) απενεργοποιηθεί, η σωληνοειδής βαλβίδα τίθεται σε λειτουργία. Μόλις ο φωτοανιχνευτής δώσει σήμα η σωληνοειδής βαλβίδα σταματά και το buzzer(B1) ηχεί. Στην συνέχεια ενεργοποιείται το χρονικό T2 το οποίο σταματά την διαδικασία για 0,7 δευτερόλεπτα. Όταν το μπουκάλι γεμίσει ο κύκλος αρχίζει ξανά.

### **4.13 Παράδειγμα βιομηχανικής εφαρμογής με PLC No 2**

Μια άλλη κοινή εφαρμογή των PLC είναι στην ανάμειξη δυο υγρών ώστε να σχηματίσουν ένα μείγμα. Το ποσοστό ροής έχει ήδη καθοριστεί. Εμείς ελέγχουμε μόνο τον χρόνο της ροής. Η στάθμη των υγρών στην δεξαμενή ανιχνεύεται από τους αισθητήρες στάθμης.

## Σκοπός

Σκοπός μας είναι να κάνουμε μια απλή ανάμειξη νερού και οξέος σε ένα δοχείο όπου έχουμε μόνο τρεις αισθητήρες στάθμης (L1,L2,L3) και δυο υγρά να ρέουν μέσα από δυο σωληνοειδείς βαλβίδες, η βαλβίδα a παρέχει νερό, η βαλβίδα b παρέχει οξύ ενώ η αποστράγγιση γίνεται από την βαλβίδα c. Το μείγμα ελέγχεται από ένα χρονικό. Μόλις το μείγμα φτάσει στο απαιτούμενο επίπεδο (εντοπίζεται από τον L1), ο αναδευτήρας λειτουργεί για 3 λεπτά. Τα υγρά αναμειγνύονται με αναλογία 3:2.

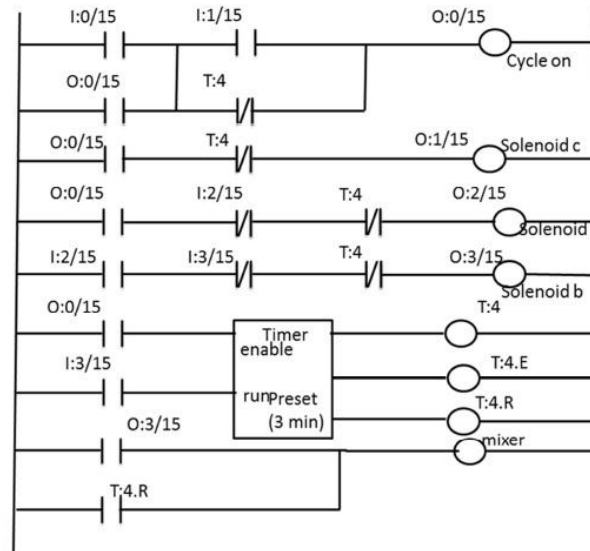


Εικόνα 88: Σύστημα ανάμειξης υγρών



Η διαδικασία ξεκινάει με την βαλβίδα αποστράγγισης ανοικτή, τις βαλβίδες νερού και οξέος κλειστές, τον αναδευτήρα απενεργοποιημένο, και την δεξαμενή άδεια.

### Διάγραμμα Ladder



Εικόνα 89: Διάγραμμα Ladder συστήματος ανάμειξης υγρών

### Παρατήρηση

Όταν πιέζεται το πλήκτρο start η δεξαμενή τροφοδοτείται με νερό μέχρι να φτάσει στο επίπεδο L2 και μόλις φτάσει εκεί σταματάει η τροφοδοσία. Αρχικά, μόλις πιέζεται το start η έξοδος O:0/15 μεταβαίνει σε κατάσταση ON και παραμένει ON μέχρι η δεξαμενή να αδειάσει. Η βαθμίδα 2 κλείνει πριν ενεργοποιηθεί το χρονικό T:4. Η βαθμίδα 3 ενεργοποιεί την σωληνοειδή βαλβίδα a όσο το L2 δίνει σήμα. Μόλις δώσει σήμα, η βαλβίδα a απενεργοποιείται.

Στην συνέχεια ο αναδευτήρας μεταβαίνει σε κατάσταση ON και ανακατεύει για 3 λεπτά. Ομοίως, η βαλβίδα b τροφοδοτεί την δεξαμενή με οξύ μέχρι την στάθμη L3. Μόλις η στάθμη φτάσει το σημείο L3 η βαλβίδα b απενεργοποιείται. Ο αναδευτήρας συνεχίζει να ανακατεύει για 3 λεπτά. Μετά το πέρας των τριών λεπτών η βαλβίδα c ανοίγει και το μείγμα βγαίνει έξω. Μόλις αδειάσει η δεξαμενή, η διαδικασία αρχίζει πάλι από την αρχή.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

### **Ελληνική Βιβλιογραφία**

- Συστήματα αυτομάτου ελέγχου. Βασικές έννοιες με εφαρμογές. Π.Ν. Παρασκευοπουλου
- Συστήματα αυτοματισμών Β' Τόμος. Ζούλης Ν, Καφφετζάκης Π., Σούλης Γ
- Αυτοματισμοί & Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου (Β' Τεύχος) Λιγνός Ι., Μπουσλής Π., Πολίτης Γ., Χαμηλοθώρης Γ.
- Βιομηχανικοί Ελεγκτές. Δρ Κων/νος Αλαφοδήμος
- Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου Θεωρία και Εφαρμογές. Δρ Βολογιαννίδης Σταύρος
- Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου. Παντελής Β. Μαλατέστας
- Βιομηχανικά Ηλεκτρονικά-Αυτοματισμοί. Σταμάτιος Ν. Παλαιοκρασας
- Προγραμματιζόμενοι Λογικοί Ελεγκτές. Νικόλαος Α. Πανταζής

### **Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία**

- Programmable Logic Controllers. Alana Amunrud
- DVP-PLC Application Examples of Programming
- Beginners Guide to PLC Programming. Neal Babcock
- Programmable Logic Controllers (PLCs) An overview
- Digital PID Controllers. Dr. Varodom Toochinda
- PLC Programming for Industrial Automation. Kevin Collins
- A Genetic Algorithm for Resource – Constrained Scheduling. Mathew Bartschi Wall