

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΘΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ  
ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ



ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ

# Αρχές

ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΑ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΗΡΙΑ

# Αυτοματισμού



ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΕΚΔΟΣΕΩΣ ΔΙΔΑΚΤΙΚΩΝ ΒΙΒΛΙΩΝ  
Α Θ Η Ν Α

#### **ΟΜΑΔΑ ΣΥΓΓΡΑΦΗΣ**

- **Ν. Γλώσσας**, Καθηγητής Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης
- **Δρ. Δ. Ι. Τσελές**, Καθηγητής Τ.Ε.Ι. Πειραιά

#### **ΟΜΑΔΑ ΚΡΙΣΗΣ**

- Τ. Κουσιουρής, Καθηγητής Ε.Μ.Π.
- Σ. Ματακιάς, Καθηγητής Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης
- Σ. Παλαιοκρασσάς, Σύμβουλος Π.Ι.

#### **ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΟΥ ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟΥ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟΥ**

Κανελλόπουλος Δ. Χαράλαμπος, Σύμβουλος του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου.

#### **ΓΛΩΣΣΙΚΗ ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ**

Δ. Γούλα, Καθηγήτρια Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης

#### **ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΞΩΦΥΛΛΟΥ & ΠΡΟΕΚΤΥΠΩΣΗ ΒΙΒΛΙΟΥ**

ΣΥΝΘΕΣΗ

#### **ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ**

Επιστημονικός Υπεύθυνος του τομέα «ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ»,

Δρ. ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ ΔΗΜ. ΚΑΝΕΛΛΟΠΟΥΛΟΣ (Ph.D)

(Σύμβουλος του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου)

Με απόφαση της Ελληνικής Κυβερνήσεως τα διδακτικά βιβλία του Δημοτικού, του Γυμνασίου και του Λυκείου τυπώνονται από τον Οργανισμό Εκδόσεων Διδακτικών Βιβλίων και διανέμονται δωρεάν.

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

---

Ο Αυτοματισμός σαν έκφραση της δραστηριότητας του ανθρώπου έχει ιστορία πολλών αιώνων. Εμφανίστηκε πριν ακόμη διατυπωθούν οι θεωρίες που εξηγούν την λειτουργία του. Στο 20ο αιώνα όμως η μεγάλη ανάπτυξη της πολεμικής βιομηχανίας, και τα διαστημικά προγράμματα, έδωσαν μια τεράστια ώθηση στην ανάπτυξη της τεχνολογίας και όλων των επιστημών που είναι συνδεδεμένες με αυτή. Η κατασκευή ημιαγωγών και η δημιουργία ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, έδωσε την δυνατότητα δημιουργίας αυτοματισμών ιδιαίτερα μικρών σε όγκο και χαμηλού κόστους. Τέλος η ραγδαία ανάπτυξη της πληροφορικής έκανε δυνατή την ανάπτυξη συστημάτων ικανών να αυτοματοποιήσουν μια σειρά από παραγωγικές διαδικασίες.

Το βιβλίο αυτό φιλοδοξεί να παρουσιάσει μερικές από τις δυνατότητες που προσφέρει σήμερα ο αυτοματισμός σε διάφορα πεδία. Η έλλειψη ενός τέτοιου βιβλίου από την Ελληνική βιβλιογραφία, έκανε την προσπάθεια αυτή ιδιαίτερα δύσκολη, αλλά ταυτόχρονα απαραίτητη.

Κύριος στόχος του βιβλίου είναι να δοθούν οι αρχές του αυτοματισμού με τρόπο απλό, χωρίς μαθηματικές αναλύσεις. Επιδίδεται να γίνει κατανοητό πως τίθεται το πρόβλημα του αυτοματισμού, τι εργαλεία διατίθενται για την επίλυσή του, ενώ ταυτόχρονα προτείνονται διάφορες ειδικές λύσεις που έχουν αποδειχθεί επιτυχείς. Ιδιαίτερη βαρύτητα δίνεται στην παρουσίαση των διαφόρων αισθητηρίων που υπάρχουν στην αγορά για την κάθε εφαρμογή, αφού η επιλογή του κατάλληλου αισθητηρίου θα καθορίσει κατά πολύ και την σχεδίαση του υπόλοιπου αυτοματισμού.

Στο 1<sup>ο</sup> κεφάλαιο δίνεται μια πρώτη περιγραφή ενός συστήματος αυτοματισμού και των στοιχείων που τον αποτελούν.

Στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο ορίζονται τα αισθητήρια και οι μετατροπείς και περιγράφονται τα χαρακτηριστικά των αισθητηρίων που θα καθορίσουν την επιλογή του πλέον κατάλληλου για μια εφαρμογή.

Στα κεφάλαια 3, 4 και 5 περιγράφονται τα αισθητήρια και τα κυκλώματα μέτρησης και ελέγχου για μια σειρά προβλημάτων, όπως η μέτρηση της πίεσης, της κάμψης, ο έλεγχος του φωτισμού, της θερμοκρασίας και της θέσης.

Στο 6<sup>ο</sup> κεφάλαιο γίνεται προσπάθεια να περιγραφεί με όσο γίνεται απλούστερο τρόπο η θεωρία των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου, και παρουσιάζονται οι πλέον σύγχρονες μορφές αυτομάτου ελέγχου.

Στα κεφάλαια 7 και 8 παρουσιάζονται μια σειρά εφαρμογών συστημάτων αυτομάτου ελέγχου που συναντάμε στην καθημερινή ζωή αλλά και στην βιομηχανία.

Τέλος στο 9<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζεται μια εισαγωγή στους προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές (PLC).

Φιλοδοξία μας είναι το βιβλίο αυτό να φανεί χρήσιμο στους μαθητές των ΤΕΕ αλλά και σε όποιον ενδιαφέρεται για θέματα αυτοματισμού, αφού σε αυτό θα βρει έτοιμες λύσεις για μια σειρά προβλημάτων, αλλά και πληροφορίες για την σχεδίαση μιας δικής του εφαρμογής.

Τέλος θέλουμε να ευχαριστήσουμε όσους μας βοήθησαν κατά την συγγραφή του βιβλίου αυτού, καθώς και τους εκπαιδευτικούς που θα το διδάξουν στους μαθητές.

Οι συγγραφείς

Οκτώβριος 1999

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1. ΕΘΛΑΓΩΓΗ</b>	1
1.1 ΔΙΣΑΓΧΓΗ .....	1
1.2 ΙΣΣΟΡΙΚΗ ΔΕΔΛΙΕΗ ΣΟΤ ΑΤΣΟΜΑΣΙΣΜΟΤ .....	2
1.3 ΓΟΜΗ ΣΥΣΣΗΜΑΣΟΣ ΑΤΣΟΜΑΣΙΣΜΟΤ .....	3
1.4 ΑΠΛΑ ΚΑΙ ΣΤΝΘΔΣΑ ΣΤΣΣΗΜΑΣΑ ΑΤΣΟΜΑΣΙΣΜΟΤ .....	5
1.4.1 Δςθς ή αιζθηηήπια .....	6
1.5 ΓΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΤΣΟΜΑΣΙΣΜΟΤ .....	7
1.6 ΚΤΚΛΧΜΑ ΔΛΔΓΥΟΤ - ΚΤΚΛΧΜΑ ΙΣΥΤΟΣ .....	9
1.7 ΔΡΧΣΗΣΔΙΣ .....	10
<b>2. ΑΙΣΘΗΣΗΡΘΑ- ΜΕΣΡΗΣΕΙΣ</b>	12
2.1 ΥΑΡΑΚΣΗΡΙΣΣΙΚΑ ΜΔΣΡΗΣΔΧΝ .....	12
2.1.1 Μεηπήζειρ και ζςζήμηαηα μονάδυ ν .....	12
2.1.2 Μέθοδοι μεηπήζειρ ν .....	14
2.1.3 Σθάλμαηα μεηπήζειρ ν-ακπίβεια μέηηζειρ ηρ .....	14
2.2 ΑΙΣΘΗΣΗΡΙΑ - ΔΙΓΗ ΑΙΣΘΗΣΗΡΙΧΝ .....	15
2.3 ΥΑΡΑΚΣΗΡΙΣΣΙΚΑ ΑΙΣΘΗΣΗΡΙΧΝ .....	17
2.4 ΔΙΓΙΚΑ ΥΑΡΑΚΣΗΡΙΣΣΙΚΑ ΑΙΣΘΗΣΗΡΙΧΝ .....	23
2.5 ΑΣΚΗΣΔΙΣ .....	24
2.6 ΔΡΧΣΗΣΔΙΣ .....	27
<b>3. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΙΣΘΗΣΗΡΘΩΝ</b>	29
3.1 ΔΙΣΑΓΧΓΗ .....	29
3.2 ΜΟΝΑΓΔΣ ΣΟΤ ΚΤΚΛΧΜΑΣΟΣ ΔΛΔΓΥΟΤ .....	30
3.2.1 Κςκλώμαηα πποζ απμογήρ αιζθηηηίος .....	30
3.2.2 Κύκλυ μα ενίς σςζειρ ηος ζήμαηορ εις όδοσ .....	31
3.2.3 Κύκλυ μα ζύγκπιζειρ .....	31
3.2.4 Τλικά αςηομαηί μών .....	33
3.3 ΜΔΣΡΗΣΗ ΠΙΕΣΗΣ ΚΑΙ ΣΣΑΘΜΗΣ ΥΓΡΟΤ .....	34
3.3.1 Αιζθηηήπια πίεζειρ .....	35
3.3.2 Μέηηηζειρ πίεζειρ .....	36
3.3.3 Μέηηηζειρ ζηάθμηρ .....	37
3.4 ΔΛΔΓΥΟΣ ΦΧΣΙΣΜΟΤ .....	39
3.4.1 Αιζθηηήπια θυ ηόρ .....	40
3.4.2 Κςκλώμαηα ελέγςος θυ ηεινήρ ζηάθμηρ .....	42
3.5 ΜΔΣΡΗΣΗ ΚΑΜΦΗΣ .....	45
3.5.1 Αιζθηηήπια δύναμηρ .....	45
3.5.2 Μέηηηζειρ κάμη ηρ .....	46
3.6 ΘΟΡΤΒΟΣ - ΓΔΙΧΣΔΙΣ .....	47
3.6.1 Θόπςβορ .....	47
3.6.2 Γειώζειρ, βπόσορ γευί ζηρ .....	49



3.7 ΔΡΧΣΗΣΔΙΣ .....	52
<b>4. ΜΕΣΡΗΣΗ ΚΑΘ ΕΛΕΓΧΟΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ</b>	<b>55</b>
4.1 ΔΙΣΑΓΧΓΗ .....	55
4.2 ΑΙΣΘΗΣΗΡΙΑ ΘΑΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΜΔΣΑΒΛΗΣΗΣ ΑΝΕΙΣΣΑΣΗΣ	56
4.2.1 Φαινόμενο ασηοθέπμανζ ηρ .....	57
4.2.2 Θεπμίζ ηοπ .....	57
4.2.3 Αιζθηρήπια ανηζ ηαζ ηρ .....	61
4.2.3 Κύκλυ μα ελέγσοσ θεπμοκπαζίαρ .....	61
4.3 ΘΑΡΜΟΗΛΔΚΣΡΙΚΑ ΑΙΣΘΗΣΗΡΙΑ .....	63
4.4 ΟΛΟΚΛΗΡΧΜΔΝΑ ΑΙΣΘΗΣΗΡΙΑ ΔΠΑΦΗΣ ΡΝ .....	67
4.5 ΣΤΓΚΡΙΣΗ ΣΧΝ ΑΙΣΘΗΣΗΡΙΧΝ ΘΑΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ .....	69
4.6 ΔΡΧΣΗΣΔΙΣ .....	70
<b>5. ΜΕΣΡΗΣΗ ΚΑΘ ΕΛΕΓΧΟΣ ΘΕΣΗΣ - ΓΩΝΙΑΣ</b>	<b>72</b>
5.1 ΔΙΣΑΓΧΓΗ .....	72
5.2 ΑΙΣΘΗΣΗΡΙΑ ΠΟΣΔΝΣΙΟΜΔΣΡΟΤ .....	73
5.2.1 Σθάλυμα μέηπζ ηρ .....	74
5.3 ΔΠΑΓΧΓΙΚΑ ΑΙΣΘΗΣΗΡΙΑ .....	75
5.4 ΜΑΓΝΗΣΙΚΑ ΑΙΣΘΗΣΗΡΙΑ .....	79
5.4.1 Αιζθηρήπιο θαινομένοσ Hall .....	79
5.5 ΟΠΣΙΚΑ ΑΙΣΘΗΣΗΡΙΑ .....	81
5.5.1 Ανισνεσ ηέρ πποζέγγιζ ηρ με πολυ μένο θώρ .....	82
5.5.2 Αιζθηρήπιο πλέγμαηορ .....	83
5.5.3 Γπαμμικά οπηικά αιζθηρήπια .....	84
5.6 ΥΧΡΗΣΙΚΟΙ ΑΝΙΥΝΔΤΣΕΣ ΚΙΝΗΣΗΣ .....	86
5.7 ΑΝΙΥΝΔΤΣΕΣ ΘΕΣΗΣ .....	87
5.8 ΔΡΧΣΗΣΔΙΣ .....	88
<b>6. ΑΡΥΕΣ ΣΤΣΤΗΜΑΣΩΝ ΑΤΣΟΜΑΣΟΤ ΕΛΕΓΥΟΤ</b>	<b>91</b>
6.1 ΔΙΣΑΓΧΓΗ .....	91
6.2 ΠΛΗΡΔΣ ΓΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΝΟΣ ΑΤΣΟΜΑΣΙΣΜΟΤ .....	91
6.2.1 Κύκλυ μα μέηπζ ηρ .....	92
6.2.2 Κύκλυ μα ζςγλογήρ δεδομένοσ ν .....	93
6.2.3 Κύκλυ μα επεξεπγαζίαρ .....	93
6.2.4 Δθαπμογή .....	94
6.3 ΛΔΙΣΟΤΡΓΙΚΟ ΓΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΑΙ ΓΙΑΓΡΑΜΜΑ ΒΑΘΜΙΓΧΝ ..	95
6.3.1 Σςζ ηήμαηα ελέγσοσ ανοικηοά και κλειζ ηηοά βπόσοσ .....	97
6.4 ΑΝΑΛΤΣΗ ΚΑΙ ΣΤΝΘΕΣΗ ΣΤΣΣΗΜΑΣΧΝ .....	98
6.4.1 Πεδίο σπόνοσ .....	98
6.4.2 Πεδίο ζςσνοήηρ ν .....	101
6.5 ΔΤΣΣΑΘΔΙΑ. ΑΠΛΟΙ ΔΛΔΓΚΕΣΕΣ .....	105
6.5.1 Δςζ ηάθαα .....	105

6.5.2	Απλοί ελεγκτές .....	107
6.6	ΣΤΓΥΡΟΝΕΣ ΜΟΡΦΔΣ ΑΤΣΟΜΑΣΟΤ ΔΛΔΓΥΟΤ .....	109
6.6.1	Απιζηορέλεγοο .....	109
6.6.2	Πποζ απμοζ ηηκόο έλεγοο .....	110
6.6.3	Λογικόο έλεγοο .....	110
6.6.4	Δύτυ ζηορέλεγοο .....	111
6.6.5	Αζαθήο έλεγοο .....	111
6.7	ΦΗΦΙΑΚΟΣ ΔΛΔΓΥΟΣ - ΔΛΔΓΥΟΣ ΓΙΑΡΓΑΣΙΧΝ .....	112
6.8	ΔΤΦΤΗΣ ΔΛΔΓΥΟΣ .....	114
6.8.1	Σεσνικέο εςθςούο έλέγοο .....	115
6.8.2	Δμπεπα ζςζήμαηα .....	115
6.8.3	Αζαθήο λογική .....	117
6.8.4	Νεοπυ νικά δίκηοα .....	117
6.9	ΔΡΧΣΗΣΔΙΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΣΑ .....	119
<b>7.</b>	<b>ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΥΣΣΗΜΑΣΩΝ ΑΤΣΟΜΑΣΟΤ ΕΛΕΓΥΟΤ</b> .....	<b>122</b>
7.1	ΔΙΣΑΓΧΓΗ .....	122
7.2	ΟΙΚΙΑΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΔΣ .....	123
7.2.1	Δλεγοοοοηζμού .....	124
7.2.2	Αζηόμαηο πώηζμα .....	125
7.2.3	Σςζήμαηα ζςναγεμού .....	125
7.2.4	Αζηόνομη θέπμανζη .....	125
7.2.5	Κλιμαηζμόο .....	126
7.3	ΔΛΔΓΥΟΣ ΓΙΑΡΓΑΣΙΧΝ ΣΤΝΔΥΟΤΣ ΡΟΗΣ .....	127
7.4	ΔΛΔΓΥΟΣ ΣΣΑΘΜΗΣ ΤΓΡΟΤ .....	129
7.5	ΔΛΔΓΥΟΣ ΠΔΡΙΒΑΛΛΟΝΣΟΣ .....	130
7.6	ΔΛΔΓΥΟΣ ΑΣΜΟΛΔΒΗΣΧΝ .....	132
7.7	ΔΛΔΓΥΟΣ ΑΤΣΟΚΙΝΗΣΧΝ .....	133
7.8	ΔΡΧΣΗΣΔΙΣ .....	135
<b>8.</b>	<b>ΒΘΜΗΑΝΘΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ</b> .....	<b>136</b>
8.1	ΔΙΣΑΓΧΓΗ .....	136
8.2	ΚΛΑΣΣΙΚΔΣ ΔΓΚΑΣΑΣΣΑΣΔΙΣ ΑΤΣΟΜΑΣΙΣΜΟΤ .....	137
8.3	ΑΤΣΟΜΑΣΑ ΣΤΣΣΗΜΑΣΑ ΣΤΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗΣ .....	139
8.4	ΑΡΙΘΜΗΣΙΚΑ ΣΤΣΣΗΜΑΣΑ ΔΛΔΓΥΟΤ .....	140
8.5	ΡΟΜΠΟΣΙΚΑ ΣΤΣΣΗΜΑΣΑ .....	144
8.6	ΣΤΣΣΗΜΑΣΑ ΥΔΙΡΙΣΜΟΤ ΚΑΙ ΑΠΟΘΗΚΔΤΣΗΗ .....	148
8.7	ΔΤΔΛΙΚΣΑ ΣΤΣΣΗΜΑΣΑ ΠΑΡΑΓΧΓΗΣ .....	149
8.8	ΣΤΣΣΗΜΑΣΑ ΠΟΙΟΣΙΚΟΤ ΔΛΔΓΥΟΤ .....	150
8.9	ΣΤΣΣΗΜΑΣΑ ΑΝΑΓΝΧΡΙΣΗΣ ΤΠΟΓΡΑΦΧΝ .....	151
8.10	ΣΥΔΓΙΑΣΗ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΑΝΙΚΗ ΠΑΡΑΓΧΓΗ ΜΔ Η/Τ .....	152
8.11	ΑΝΑΓΝΧΡΙΣΗ ΜΟΡΦΧΝ .....	154
8.12	ΣΔΥΝΗΣΗ ΟΡΑΣΗ .....	155
8.13	ΔΡΧΣΗΣΔΙΣ .....	156

<b>9. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΣΘΩΜΕΝΟΘ ΛΟΓΘΚΘΘ ΕΑΕΓΚΣΕΣ - PLC</b>	158
9.1 ΔΙΣΑΓΧΓΗ .....	158
9.2 ΓΟΜΗ ΣΟΤ PLC .....	160
9.3 ΣΤΠΟΙ PLC .....	164
9.4 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΣΙΣΜΟΣ PLC .....	165
9.4.1 Γενικά .....	165
9.4.2 Βαζικέρ ενηρλέρ ηηργλώζζαρ Ladder .....	166
9.4.3 Απλέρ οδηγίερ ππογμαμμαζζμού .....	168
9.4.4 Απλέρ εθαπμογέρ .....	169
9.5 ΣΤΣΣΗΜΑΣΑ ΣΤ ΛΛΟΓΗΣ ΚΑΙ ΔΠΔΞΔΡΓΑΣΙΑΣ ΓΔΓΟΜΔΝΧΝ	172
9.6 ΑΣΚΗΣΔΙΣ .....	174
9.7 ΔΡΧΣΗΣΔΙΣ .....	174
<b>10. ΒΘΒΘΟΠΡΑΦΘΑ</b>	177
<b>11. ΕΤΡΕΣΗΡΘΘ ΦΩΝ</b>	178



## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### **ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ ΚΑΙ ΜΑΘΗΣΙΑΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ**

Σκοπός του κεφαλαίου αυτού είναι η εισαγωγή στην έννοια του αυτοματισμού και η περιγραφή ενός γενικού συστήματος αυτοματισμού και των δομικών στοιχείων του.

Στόχος του κεφαλαίου είναι να μπορεί ο μαθητής να αναγνωρίζει ένα απλό σύστημα αυτοματισμού, να μπορεί να το περιγράψει και να είναι σε θέση να σχεδιάζει ένα απλό διάγραμμα για τη μελέτη ενός πραγματικού συστήματος.

### 1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μια απλή παρατήρηση των συσκευών που βρίσκονται γύρω μας θα μας πείσει ότι όλες λειτουργούν εν μέρει ή ολικά αυτόματα, δηλαδή χωρίς την παρέμβαση του ανθρώπου. Τέτοιες συσκευές είναι το ηλεκτρικό ψυγείο, το πλυντήριο ρούχων, το θερμοσίφωνο, κ.ά. Ο αυτοματισμός στην καθημερινή ζωή έχει σκοπό να κάνει την ζωή των ανθρώπων πιο εύκολη. Συγκρίνετε π.χ. τον τρόπο πλυσίματος των ρούχων "στο χέρι" με το πλύσιμο στο ηλεκτρικό πλυντήριο.

Αυτοματισμούς μπορεί να συναντήσουμε τόσο στην καθημερινή μας ζωή, όσο και στη βιομηχανική παραγωγή, στις επιστημονικές δραστηριότητες και αλλού.

*Τα συστήματα αυτοματισμού ή συστήματα αυτομάτου ελέγχου λειτουργούν χωρίς να χρειάζονται ανθρώπινη επιτήρηση ή παρέμβαση και δρουν κατά προκαθορισμένο τρόπο, ώστε να επιτευχθεί κάποιο επιθυμητό αποτέλεσμα με προκαθορισμένη ακρίβεια.*

Για παράδειγμα, το σύστημα ελέγχου του κλιματιστικού μας είναι σε θέση, μετά την αρχική του ρύθμιση, να ελέγχει τη λειτουργία του κλιματιστικού μας, ώστε το άμεσο περιβάλλον μας (π.χ. η αίθουσα διδασκαλίας) να έχει σταθερή θερμοκρασία, ανεξάρτητα από τις μεταβολές της εξωτερικής θερμοκρασίας, τον αριθμό των ατόμων κ.ο.κ. και χωρίς να απαιτείται να ξαναρυθμίσουμε το σύστημα, αν δεν αλλάξει η επιθυμητή τιμή της θερμοκρασίας του άμεσου περιβάλλοντος.

Ιδιαίτερη σημασία έχουν οι αυτοματισμοί στην βιομηχανική παραγωγή. Με την αυτοματοποίηση της παραγωγής, οι επιχειρήσεις προσπαθούν να βελτιώσουν την παραγωγικότητά τους μειώνοντας ταυτόχρονα το κόστος παραγωγής. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω:

- ✓ Εξοικονόμησης ενέργειας
- ✓ Καλύτερης διαχείρισης των πρώτων υλών
- ✓ Βελτίωσης της ποιότητας των προϊόντων
- ✓ Μείωσης του κόστους εργασίας

Η ιδέα εφαρμογής συστημάτων αυτοματισμού απορρέει από την ανάγκη να απαλλαγεί ο άνθρωπος από εργασίες επικίνδυνες ή ιδιαίτερα κοπιαστικές. Με τον καιρό όμως επεκτάθηκε σε όλες σχεδόν τις δραστηριότητες της παραγωγικής διαδικασίας, αφού με τα συστήματα αυτοματισμού επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ακρίβεια, λιγότερα σφάλματα και μικρότερο κόστος παραγωγής. Έτσι, τα συστήματα αυτοματισμού υποκατέστησαν τον άνθρωπο σε μεγάλο βαθμό στην παραγωγική διαδικασία. Σήμερα λειτουργούν βιομηχανίες, όπου στην παραγωγική διαδικασία η αυτοματοποίηση ξεπερνά το 95%.

Στις διάφορες επιστημονικές και ερευνητικές δραστηριότητες (διαστημικά ταξίδια, έρευνα σε μεγάλα θαλάσσια βάθη) απαιτείται ιδιαίτερα μεγάλη ακρίβεια ενεργειών και αποφυγή σφαλμάτων, κάτι που ο άνθρωπος δύσκολα μπορεί να επιτύχει. Και εδώ οι διαδικασίες αυτοματισμού έδωσαν λύσεις προωθώντας σημαντικά την επιστήμη και την τεχνολογία.

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιασθούν οι βασικές έννοιες που σχετίζονται με τη λειτουργία ενός συστήματος αυτοματισμού, διάφοροι τύποι και κατηγορίες αυτοματισμού και θα περιγραφεί ένα απλό σύστημα αυτοματισμού. Ιδιαίτερη προσοχή θα δοθεί στις μονάδες, από τις οποίες αποτελείται ένα σύστημα αυτοματισμού, και στον ρόλο της κάθε μονάδας κατά τη λειτουργία του.

## 1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

Συστήματα και διαδικασίες αυτοματισμού φαίνεται ότι είχαν επινοηθεί από την αρχαιότητα. Σαν πρώτη συσκευή αυτοματισμού μπορεί να θεωρηθεί ο ρυθμιστής του Ήρωνος του Αλεξανδρέως (περί το 130 π.Χ.). Ο ρυθμιστής αυτός είχε κατασκευαστεί κατά τέτοιο τρόπο, ώστε με το άναμμα φωτιάς στο βωμό που βρισκόταν μπροστά από ένα ναό, άνοιγε η πύλη του. Η λειτουργία του βασιζόταν σε ένα πρωτόλειο πνευματικό σύστημα (δηλαδή ένα σύστημα που δούλευε με την δύναμη του ατμού), που βρισκόταν στο έδαφος και με το οποίο μετακινιόταν η πύλη του ναού, με την βοήθεια ζεστού αέρα.

Αλλά, ενώ κατά την αρχαιότητα φαίνεται να έχουν κατασκευαστεί αρκετές "αυτόματες" μηχανές, στα κατοπινά χρόνια δεν έχουμε σημαντική πρόοδο στον τομέα αυτό. Από το 18<sup>ο</sup> αιώνα αρχίζει ξανά η έρευνα πάνω σε θέματα αυτοματισμών, με κυριότερη ανακάλυψη τον πρώτο φυγοκεντρικό ρυθμιστή ταχύτητας, που εφαρμόστηκε στον έλεγχο της ταχύτητας των ατμομηχανών.

Όλες αυτές οι κατασκευές βασίστηκαν στο ταλέντο και στην εμπειρία των εφευρετών και στερούσαν θεωρητικής μαθηματικής βάσης. Το κενό αυτό το καλύπτουν οι Maxwell (1868) και Vyshnegradski (1876), που δημιούργησαν μαθηματικά μοντέλα, κυρίως για το ρυθμιστή του Watt. Από την εποχή αυτή και μετά τα συστήματα αυτόματου ελέγχου που κατασκευάζονται βασίζονται στην αναγκαία θεωρητική μελέτη. Το 1934

εμφανίζεται η έννοια της ανατροφοδότησης (feedback), της τροφοδοσίας δηλαδή της εισόδου ενός συστήματος με ένα σήμα που εξαρτάται από την έξοδο του συστήματος, το οποίο 'προστίθεται' στο σήμα εισόδου. Η δυνατότητα αυτορύθμισης, που προκύπτει με τον τρόπο αυτό, έδωσε σημαντική ώθηση στην ανάπτυξη συστημάτων αυτοματισμού. Έτσι, από το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο και μετά έχουμε ραγδαία εξέλιξη τόσο στη θεωρία, όσο και στην κατασκευή των συστημάτων αυτοματισμού. Εισάγεται η θεωρία των Συστημάτων Αυτομάτου Ελέγχου (ΣΑΕ) και αναπτύσσονται διάφορες μέθοδοι θεωρητικής σχεδίασης ελεγκτών.

Η ανάπτυξη της μικροηλεκτρονικής έδωσε νέα ώθηση στον τομέα του αυτοματισμού, αφού κατασκευάστηκαν σύνθετα συστήματα μετρήσεων και ελέγχου, με ιδιαίτερα μικρό όγκο. Τέλος η ανάπτυξη τεχνικών για την επεξεργασία της πληροφορίας και την λήψη αποφάσεων, όπως τα νευρωνικά δίκτυα, η τεχνητή νοημοσύνη και τα έμπειρα συστήματα, έδωσαν την δυνατότητα δημιουργίας αυτοματισμών με υψηλό βαθμό ευφυΐας.

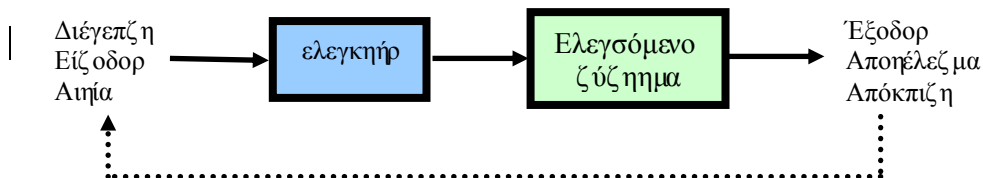
### 1.3 ΔΟΜΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

Στο Σχήμα 1.3.1 διακρίνουμε ένα σύστημα, το οποίο συμβολίζεται με ένα πλαίσιο. Το σύστημα αυτό αντιστοιχεί στο πρότυπο (μοντέλο) μιας διαδικασίας (ή ελεγχόμενο σύστημα) (plant) και εμφανίζεται να δέχεται μια ή περισσότερες διεγέρσεις (εισόδους) και να δίνει μια ή περισσότερες αποκρίσεις (εξόδους).



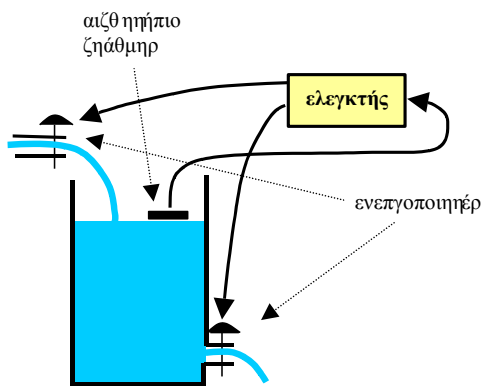
Σχήμα 1.3.1. Απεικόνιση συστήματος

Το βασικό πρόβλημα του αυτοματισμού είναι η σχεδίαση κατάλληλης διάταξης, η οποία, όταν επιδρά στο σύστημα, να δίνει για συγκεκριμένη (γνωστή) είσοδο μια προκαθορισμένη έξοδο. Η διάταξη αυτή ονομάζεται ελεγκτής (controller). Έτσι το Σχήμα 1.3.1 τροποποιείται όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.3.2.



Σχήμα 1.3.2. Απεικόνιση συστήματος αυτοματισμού

Έτσι, μία μονάδα αυτοματισμού αποτελείται (συνολικά) από την είσοδο, τον ελεγκτή και το ελεγχόμενο σύστημα, προκειμένου να δημιουργηθεί η επιθυμητή έξοδος-αποτέλεσμα. Να σημειώσουμε ότι ο ελεγκτής προϋποθέτει την ύπαρξη κάποιων στοιχείων, στα οποία θα επιδράσει και τα οποία ρυθμίζουν τις λειτουργίες εκείνες του ελεγχόμενου συστήματος που εξασφαλίζουν την επιθυμητή έξοδο. Τα στοιχεία αυτά ονομάζονται ενεργοποιητές (actuators). Επίσης στο σύστημα είναι απαραίτητα κάποια στοιχεία μέτρησης που ονομάζονται αισθητήρια (sensors), και θα δίνουν την κατάσταση των μεγεθών, από τα οποία εξαρτάται το σύστημα. Έτσι, εάν π.χ. επιδιώκουμε να ελέγξουμε τη στάθμη σε μια δεξαμενή, εκτός από τη δεξαμενή και τον ελεγκτή θα υπάρχουν και τα αισθητήρια που μετρούν την στάθμη του νερού, καθώς και ηλεκτροβάνες (ενεργοποιητές) στις οποίες επιδρά ο ελεγκτής και ρυθμίζουν την ποσότητα νερού, που εισέρχεται ή εξέρχεται από τη δεξαμενή.



σχήμα 1.3.3. Έλεγχος στάθμης δεξαμενής

Το σήμα εισόδου του κυκλώματος προέρχεται από ένα ή περισσότερα αισθητήρια, δηλαδή διατάξεις που είναι ευαίσθητες σε μεταβολές διαφόρων φυσικών μεγεθών (σήματα) και αντιδρούν σ'αυτές παράγοντας ηλεκτρικό, κατά κανόνα, σήμα. Μια σημαντική περίπτωση είναι όταν κάποιο από τα αισθητήρια βρίσκεται στο χώρο εξόδου και επηρεάζεται από το αποτέλεσμα. Τότε έχουμε μία λειτουργία που ονομάζεται ανατροφοδότηση- AT (feedback), όπου η έξοδος του συστήματος επηρεάζει την λειτουργία του ελεγκτή. (Στο σχήμα 1.3.2 η γραμμή A/T φαίνεται με διακεκομμένη γραμμή) και το σύστημα ονομάζεται κλειστό ή σύστημα κλειστού βρόχου (closed loop system). Αν αντίθετα δεν υπάρχει η λειτουργία αυτή και η λειτουργία του ελεγκτή είναι ανεξάρτητη της εξόδου του συστήματος, τότε το σύστημα ονομάζεται ανοικτό σύστημα ή σύστημα ανοικτού βρόχου (open loop system). Περισσότερα γι αυτά όμως θα πούμε στο 6<sup>ο</sup> κεφάλαιο.

Ένα παράδειγμα κλειστού συστήματος αποτελεί το θερμοσίφωνο. Σαν ελεγχόμενο σύστημα θεωρείται το τμήμα της συσκευής που ζεσταίνει το νερό και σαν ελεγκτής ο θερμοστάτης. Είσοδος του συστήματος είναι το ηλεκτρικό ρεύμα και έξοδος η θερμοκρασία του νερού. Ο θερμοστάτης παρακολουθεί την θερμοκρασία του νερού (έξοδος) και όταν αυτή γίνει μικρότερη από μια επιθυμητή τιμή επιτρέπει το ηλεκτρικό ρεύμα (είσοδος) να φτάσει στην αντίσταση που θερμαίνει το νερό. Όταν η θερμοκρασία ξεπεράσει κάποια δεδομένη τιμή, ο θερμοστάτης αποκόπτει την τροφοδοσία της αντίστασης. Βλέπουμε λοιπόν ότι η είσοδος του συστήματος επιρεάζεται από την έξοδό του.

Παράδειγμα ανοικτού συστήματος αποτελεί το ηλεκτρικό πλυντήριο. Εδώ ελεγχόμενο σύστημα είναι το πλυντήριο και ελεγκτής ο "εγκέφαλος" του. Είσοδοι του συστήματος είναι η ποσότητα του απορυπαντικού, η ποσότητα του νερού που θα χρησιμοποιηθεί και το ηλεκτρικό ρεύμα ενώ έξοδος είναι η καθαρότητα των ρούχων. Η μονάδα που ονομάζουμε "εγκέφαλο" οδηγεί το πλυντήριο σε μια σειρά από λειτουργίες (πλύσιμο, στύψιμο, κ.λ.π.) σε χρονική σειρά, χωρίς όμως να εξετάζει τα αποτελέσματά τους. Αν δηλαδή τα ρούχα δεν πλύθηκαν καλά, δεν πρόκειται να αλλάξει κάτι στην σειρά των λειτουργιών που εκτελεί. Δηλαδή η έξοδος δεν επιρεάζει την είσοδο του συστήματος.

#### **1.4 ΑΠΛΑ ΚΑΙ ΣΥΝΘΕΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ.**

Ένας αυτοματισμός, σχεδόν πάντα, μπορεί να πραγματοποιηθεί με περισσότερους από έναν τρόπους. Κάθε τρόπος μεταφέρει κάποιο βαθμό "ευφυΐας". Έτσι έχουμε λιγότερο ή περισσότερο ευφυείς αυτοματισμούς.

Έστω ότι θέλουμε ένα κύκλωμα φωτισμού να ενεργοποιείται τη νύκτα και να σβήνει την ημέρα. Ένας απλός τρόπος είναι να χρησιμοποιήσουμε σαν κύκλωμα ελέγχου ένα χρονοδιακόπτη. Με τον τρόπο αυτό η λειτουργία των λαμπτήρων θα ελέγχεται για χρονική περίοδο μιας ημέρας και τελικά θα ανάβουν για κάποιο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Ένας δεύτερος τρόπος είναι να χρησιμοποιήσουμε έναν φωτοδιακόπτη. Στη περίπτωση αυτή το κύκλωμα ελέγχου ενεργοποιεί τους λαμπτήρες, όταν ο φωτισμός του χώρου πέσει κάτω από μια επιθυμητή στάθμη. Είναι προφανές ότι με την πρώτη μέθοδο το αποτέλεσμα που θα έχουμε δεν θα είναι το καλύτερο δυνατό, αφού η χρονική διάρκεια της νύχτας δεν είναι ίδια όλες τις εποχές οι ίδιες. Αντίθετα με την δεύτερη μέθοδο το κύκλωμα αυτοματισμού "αντιλαμβάνεται" πότε νυχτώνει και "αντιδρά", ενεργοποιώντας το κύκλωμα φωτισμού.

Η ευφυΐα ενός αυτοματισμού εξαρτάται αφ' ενός από τα αισθητήρια που χρησιμοποιούνται στην είσοδο, αφ' ετέρου από την επεξεργασία της πληροφορίας, που αυτά δίνουν, για τη λήψη της τελικής απόφασης. Οι σημερινοί αυτοματισμοί ξεκινούν από χαμηλό βαθμό ευφυΐας και φθάνουν σε ιδιαίτερα υψηλό βαθμό, με τη χρήση πολύπλοκων αισθητηρίων και

σύνθετων τεχνικών επεξεργασίας και λήψης αποφάσεων, όπως είναι τα νευρωνικά δίκτυα και η τεχνητή νοημοσύνη. Ακριβώς η ύπαρξη τέτοιας διαδικασίας λήψης αποφάσεων, με βάση τα ερεθίσματα που μεταφέρουν τα αισθητήρια, διαφοροποιεί έναν απλό (συνήθως χρονικό) από έναν "έξυπνο" αυτοματισμό.

Σκοπός ενός αυτοματισμού είναι να αντιλαμβάνεται καταστάσεις όπως ο άνθρωπος και να αντιδρά όπως αυτός, εξαλείφοντας την περίπτωση σφάλματος.

### **1.4.1. Ευφυή αισθητήρια**

Με τον όρο "ευφυές αισθητήριο" προσδιορίζεται ένα αισθητήριο που έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Ψηφιακή έξοδο, δηλαδή σήμα με διακριτές χρονικά τιμές και με προκαθορισμένες στάθμες τάσης, το οποίο είναι, συνήθως, κατάλληλο να τροφοδοτήσει τις εισόδους ψηφιακού ηλεκτρονικού υπολογιστή.
- Αμφίδρομη επικοινωνία, δηλαδή έχει τη δυνατότητα να δίνει σήματα πληροφορίας (ανάλογα με τις τιμές των μετρούμενων φυσικών μεγεθών) και να δέχεται εντολές που σχετίζονται με τη λειτουργία του.
- Δυνατότητα προσπέλασης σε συγκεκριμένη θέση μνήμης του ψηφιακού συστήματος, με το οποίο είναι συνδεδεμένο.
- Δυνατότητα εκτέλεσης εντολών και λογικών ενεργειών, οι οποίες διαβιβάζονται σ'αυτό από το ψηφιακό σύστημα (κάποιου είδους ηλεκτρονικό υπολογιστή), με το οποίο είναι συνδεδεμένο.

Επιπλέον, είναι επιθυμητό να περιλαμβάνει εξελεγμένες λειτουργίες, όπως:

- Αντιστάθμιση δευτερευουσών παραμέτρων (όπως θερμοκρασία), δηλαδή τρόπους εξουδετέρωσης των επιπτώσεων των μεταβολών αυτών των παραμέτρων στην ομαλή λειτουργία του.
- Ανίχνευση λάθους, δηλαδή δυνατότητα αντίληψης περί της ορθής λειτουργίας και διάγνωσης μιας πιθανής απόκλισης απ'αυτήν.
- Αυτοέλεγχο, δηλαδή δυνατότητα αυτοκαθορισμού των τιμών των διαφόρων ιδιοτήτων του, με βάση πληροφορίες ή επιδράσεις του περιβάλλοντος.

Οι λειτουργίες αυτές επιτυγχάνονται είτε με την ενσωμάτωση ηλεκτρονικών κυκλωμάτων στο πακέτο του αισθητηρίου, είτε με την κατασκευή του αισθητηρίου και του αναγκαίου ηλεκτρονικού κυκλώματος στο ίδιο κομμάτι ημιαγωγού.

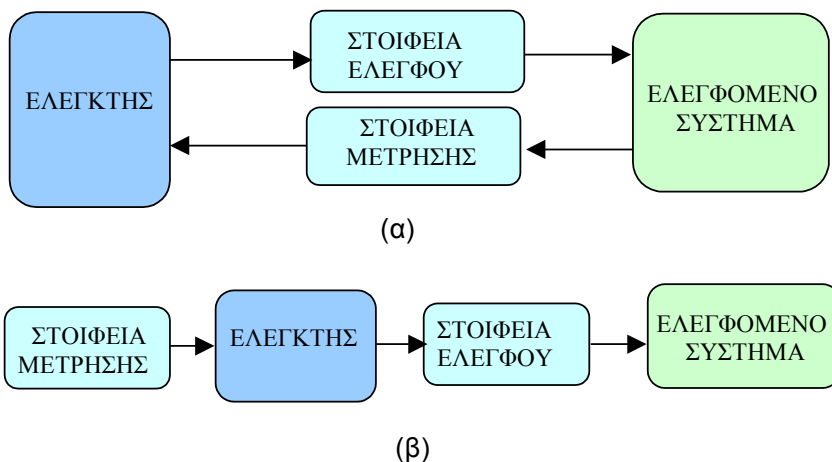
Τα αισθητήρια εξελίχθηκαν μέσα από διαδοχικές γενεές. Η πρώτη γενεά δεν είχε ηλεκτρονικό κύκλωμα. Η δεύτερη είχε ηλεκτρονικά κυκλώματα, χωριστά όμως από το υπόλοιπο αισθητήριο. Στην τρίτη γενεά, που αφορά τα σημερινά αισθητήρια, στην κατασκευή του αισθητηρίου συνυπάρχει και ηλεκτρονικό κύκλωμα (τουλάχιστον για ενίσχυση του

σήματος). Η έξοδος των αισθητηρίων αυτών είναι αναλογικό ηλεκτρικό σήμα και η πληροφορία που μεταφέρουν βρίσκεται είτε στην τάση, είτε στην ένταση, είτε στη συχνότητα του σήματος. Το σήμα αυτό μετατρέπεται σε ψηφιακό στη μονάδα επεξεργασίας.

Τα αισθητήρια τέταρτης γενεάς, που κατασκευάζονται σήμερα, περιλαμβάνουν τα ηλεκτρονικά και τα ψηφιακά ηλεκτρονικά συστήματα στο ίδιο κομμάτι ημιαγωγού με το αισθητήριο, δίνοντας στο αισθητήριο τη δυνατότητα αμφίπλευρης επικοινωνίας με τον υπολογιστή. Τέλος στα αισθητήρια πέμπτης γενεάς, που ήδη σχεδιάζονται, η μετατροπή των δεδομένων γίνεται στο αισθητήριο, οπότε η αμφίπλευρη επικοινωνία αισθητηρίου και υπολογιστή είναι ψηφιακή. Τα αισθητήρια αυτά περιέχουν τρία βασικά κυκλώματα : α) κύκλωμα επεξεργασίας του σήματος (ενίσχυση, φιλτράρισμα, πολυπλεξία) β) κύκλωμα ψηφιοποίησης του σήματος γ) κύκλωμα προσαρμογής, ώστε τα αισθητήρια να επικοινωνούν με έναν ελεγκτή χωρίς τη μεσολάβηση άλλου κυκλώματος (interface)

## 1.5 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

Ένα διάγραμμα αυτοματισμού έχει την μορφή του σχήματος 1.5.1

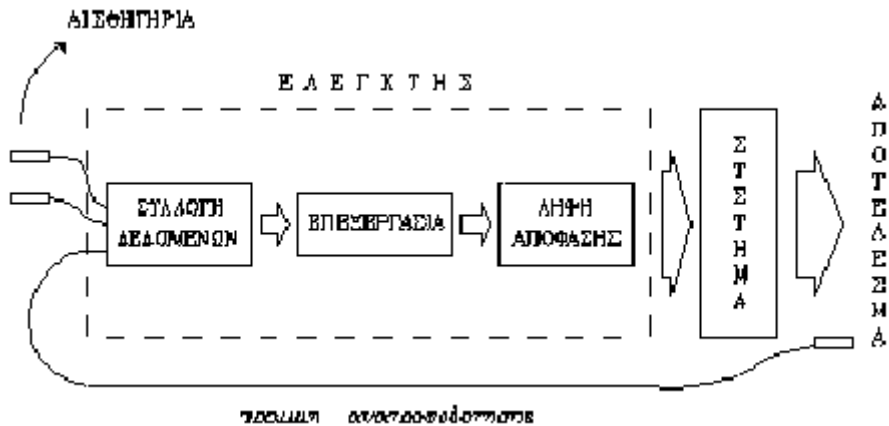


Σχήμα 1.5.1. Διάγραμμα (α) κλειστού και (β) ανοικτού συστήματος αυτομάτου ελέγχου

Στο Σχήμα 1.5.2 φαίνεται ένα περισσότερο αναλυτικό διάγραμμα, κυρίως σε ότι αφορά τις μονάδες, από τις οποίες αποτελείται ο ελεγκτής. Σαν εισοδοί στο κύκλωμα χρησιμοποιούνται διάφορα αισθητήρια (sensors). Σκοπός των αισθητηρίων είναι να μετατρέπουν (πιθανόν με την βοήθεια ηλεκτρονικού κυκλώματος) κάποιο γεγονός ή φυσικό φαινόμενο σε κατάλληλο ηλεκτρικό σήμα. Η σύγκριση του σήματος αυτού με κάποιο



άλλο που θεωρούμε αυθαίρετα σαν μονάδα, ονομάζεται ηλεκτρονική μέτρηση. Θα πούμε περισσότερα για αυτό σε επόμενο κεφάλαιο.



Σχήμα 1.5.2. Αναλυτικό διάγραμμα ελεγκτή

Το επόμενο βήμα είναι η συλλογή της πληροφορίας από τα διάφορα αισθητήρια. Η μεταφορά αυτή γίνεται είτε μέσω απλού καλωδίου, είτε μέσω ομάδας καλωδίων που σχηματίζουν ένα δίαυλο (bus). Το μήκος των καλωδίων περιορίζεται από την μορφή του σήματος των αισθητηρίων. Μεγάλο μήκος καλωδίου μεταφοράς πιθανόν να αλλοιώνει το σήμα. Η διαδικασία σύνδεσης των αισθητηρίων και συλλογής των δεδομένων τους, που σε απλούς αυτοματισμούς φαίνεται ασήμαντη, είναι ιδιαίτερα σημαντική σε πιο σύνθετους αυτοματισμούς. Και αυτό γιατί σε αρκετές περιπτώσεις είναι δυνατόν να έχουμε μεγάλο όγκο δεδομένων, με ταχύτητα μεταφοράς μεγαλύτερη από την ταχύτητα επεξεργασίας του ελεγκτή. Στην περίπτωση αυτή, κάποια δεδομένα χάνονται και το σύστημα μπορεί να οδηγηθεί σε λάθος απόφαση. Έτσι, στους σύνθετους αυτοματισμούς υπάρχει πρόβλεψη προσωρινής αποθήκευσης των δεδομένων, στην περίπτωση που υπάρχει αδυναμία άμεσης επεξεργασίας τους.

Επόμενο στάδιο είναι η επεξεργασία των δεδομένων. Στο στάδιο αυτό περιλαμβάνονται μια σειρά από μετατροπές, που πρέπει να υποστεί το σήμα που έρχεται από ένα αισθητήριο (ενίσχυση, γραμμικοποίηση, φιλτράρισμα) προκειμένου να γίνει εκμεταλλεύσιμο. Σε επόμενα κεφάλαια θα δούμε αναλυτικά τις βαθμίδες αυτές.

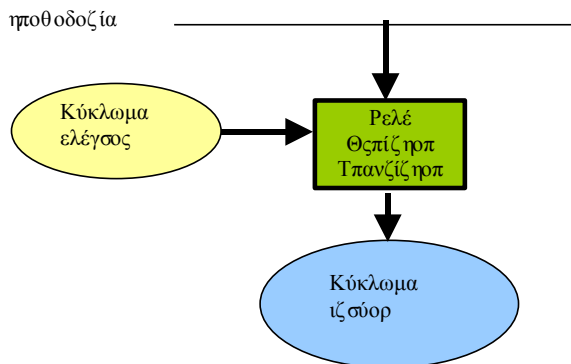
Αφού το σήμα πάρει την κατάλληλη μορφή, εισέρχεται στη μονάδα λήψης απόφασης. Η μονάδα αυτή μπορεί να είναι ένα απλό κύκλωμα ανίχνευσης του σήματος του αισθητηρίου (συγκεκριμένης στάθμης), οπότε δίνεται στο σύστημα η εντολή να εκτελέσει μια λειτουργία, μπορεί όμως να είναι και ένα σύνθετο κύκλωμα ή πρόγραμμα (software), που με μια σειρά σύνθετες λειτουργίες επιλέγει την καλύτερη από ένα σύνολο δυνατών ενεργειών.

Μία σημαντική ενέργεια είναι να ελεγχθεί εάν η λειτουργία που εξετέλεσε το σύστημα ήταν η σωστή (στην περίπτωση π.χ. που το ελεγχόμενο σύστημα είναι ένας κινητήρας, όταν δοθεί από τον ελεγκτή σήμα να ξεκινήσει, θα πρέπει να ελεγχθεί αν πράγματι ξεκίνησε). Για το λόγο αυτό απαιτείται ένα ή περισσότερα αισθητήρια να παρακολουθούν την έξοδο του συστήματος και να ρυθμίζουν ανάλογα τη λειτουργία του ελεγκτή. Αν τελικά η σωστή λειτουργία δεν εκτελείται, θα πρέπει να ενεργοποιηθεί ένα κύκλωμα σήμανσης. Η δράση των αισθητηρίων αυτών αποτελεί μέρος της ανατροφοδότησης του κυκλώματος.

Με βάση τα ανωτέρω καταλήγουμε ότι ένα κύκλωμα αυτοματισμού αποτελείται από τις βαθμίδες που επιτελούν τις λειτουργίες: μέτρηση, συλλογή δεδομένων, επεξεργασία και έλεγχος.

## 1.6 ΚΥΚΛΩΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ – ΚΥΚΛΩΜΑ ΙΣΧΥΟΣ

Ένα κύκλωμα αυτοματισμού ενεργοποιεί στοιχεία (ενεργοποιητές) που για την λειτουργία τους απαιτούν ισχυρά ρεύματα (ηλεκτροβάνες, αντιστάσεις θέρμανσης, κινητήρες, κ.α.). Σε ένα κύκλωμα ελέγχου όμως τα ρεύματα που διαρέουν τους αγωγούς έχουν μικρή τιμή. Είναι λοιπόν αδύνατο με το κύκλωμα ελέγχου να ρυθμίζουμε απ' ευθείας την λειτουργία ενός ενεργοποιητή. Για να ξεπεραστεί το πρόβλημα αυτό το κύκλωμα αυτοματισμού διαιρείται σε δύο τμήματα: το κύκλωμα ισχύος και το κύκλωμα ελέγχου. Το κύκλωμα ισχύος ενεργοποιεί τις μονάδες που απαιτούν υψηλά ρεύματα για τη λειτουργία τους, ενώ το κύκλωμα ελέγχου (ή βοηθητικό κύκλωμα) ελέγχει τη λειτουργία του κυκλώματος ισχύος. Το συνδυαστικό στοιχείο των δύο κυκλωμάτων πρέπει να μπορεί να διαρρέεται από υψηλά ρεύματα και ταυτόχρονα η λειτουργία του να ελέγχεται από ρεύμα χαμηλής τιμής. Τέτοια στοιχεία είναι οι ηλεκτρονόμοι (ρελέ – θα εξετάσουμε αργότερα την λειτουργία τους), τα θυρίστορ και τα τρανζίστορ ισχύος σε σύνδεση διακόπτη, τα οποία στο κύκλωμα του αυτοματισμού αποτελούν μέρος των ενεργοποιητών. Το μεν κύκλωμα ισχύος ενεργοποιείται μέσω του στοιχείου αυτού, το δε κύκλωμα ελέγχου ρυθμίζει την λειτουργία του στοιχείου.



Σχήμα 1.6.1. Συνδεσμολογία συστήματος αυτοματισμού.

Στο σχήμα 1.6.1 βλέπουμε σχηματικά την συνδεσμολογία ενός συστήματος αυτοματισμού.

Να σημειώσουμε εδώ ότι σε μερικές περιπτώσεις οι απαιτήσεις για την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος στο κύκλωμα ισχύος είναι ιδιαίτερα υψηλές (π.χ. στην περίπτωση λειτουργίας κινητήρα). Στην περίπτωση αυτή μεταξύ του ενεργοποιητή και του στοιχείου διέγερσής του μεσολαβεί ένα ακόμη στοιχείο, το ρελέ ισχύος.

Στο βιβλίο αυτό θα ασχοληθούμε αποκλειστικά με το κύκλωμα ελέγχου. Έτσι, όταν αναφερόμαστε σε αυτοματισμούς, θα αναφερόμαστε στο κύκλωμα ελέγχου μιας διαδικασίας. Το κύκλωμα ισχύος αποτελεί το ελεγχόμενο σύστημα.

### **ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ**

Τα συστήματα αυτομάτου ελέγχου ή συστήματα αυτοματισμού λειτουργούν χωρίς την ανάγκη επιτήρησης ή ανθρώπινης επέμβασης και επιδρούν στο ελεγχόμενο σύστημα, ώστε από αυτό να προκύψει η επιθυμητή έξοδος.

Ένα σύστημα αυτοματισμού αποτελείται από τις μονάδες μέτρησης, συλλογής δεδομένων, επεξεργασίας και ελέγχου.

Όταν για τον έλεγχο λαμβάνονται υπόψη οι μετρήσεις της εξόδου του ελεγχόμενου συστήματος, τα συστήματα αναφέρονται ως κλειστά συστήματα αυτομάτου ελέγχου. Όταν το σήμα ελέγχου είναι ανεξάρτητο της τιμής της εξόδου του ελεγχόμενου συστήματος, τα συστήματα αναφέρονται ως ανοικτά συστήματα αυτομάτου ελέγχου.

Για τις μετρήσεις χρησιμοποιούμε διατάξεις, οι οποίες μετατρέπουν τα φυσικά σήματα σε ηλεκτρικά σήματα κατάλληλης μορφής και ονομάζονται αισθητήρια. Τα αισθητήρια εξελίσσονται συνεχώς και ενσωματώνουν όλο και περισσότερη ευφυΐα.

Επίσης οι ελεγκτές δρουν σε στοιχεία που ονομάζονται ενεργοποιητές και που σκοπό έχουν να ρυθμίζουν τις λειτουργίες εκείνες που εξασφαλίζουν την επιθυμητή έξοδο.

## 1.7 ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

### **A.** Να απαντήσετε συνοπτικά στις ερωτήσεις

1. Από ποιους παράγοντες εξαρτάται η ευφυΐα ενός αυτοματισμού;
2. Ποιο είναι το μειονέκτημα ενός αυτοματισμού με χρονοδιακόπτη;
3. Από ποιες μονάδες αποτελείται ένας αυτοματισμός;
4. Ποια είναι η σημασία του κυκλώματος ανατροφοδότησης σε ένα κύκλωμα αυτοματισμού;
5. Να γίνει το δομικό διάγραμμα ενός κυκλώματος αυτοματισμού που ανεβάζει ή κατεβάζει τις τέντες μιας οικίας. Τι αισθητήρια νομίζετε ότι χρειάζονται; Πώς θα γίνει ο έλεγχος σωστής λειτουργίας του;
6. Όλες οι οικιακές ηλεκτρικές συσκευές είναι απλά κυκλώματα αυτοματισμού. Διακρίνате τις επιμέρους βαθμίδες σε κάθε μια από αυτές. Ποιές διαθέτουν περισσότερη ευφυΐα; Πώς θα μπορούσε να βελτιωθεί η ευφυΐα των λιγότερο "έξυπνων" συσκευών;

### **B.** Να συμπληρώσετε τα κενά στις προτάσεις

1. Συστήματα αυτοματισμού ή συστήματα ..... λέγονται συστήματα που τα διάφορα μέρη τους είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους, έτσι ώστε να δρουν κατά έναν ..... τρόπο.
2. Στις διάφορες επιστημονικές και ερευνητικές δραστηριότητες απαιτείται μεγάλη ..... , και αποφυγή ..... , κάτι που ο άνθρωπος δύσκολα μπορεί να επιτύχει.
3. Σκοπός του αυτοματισμού είναι να αναγκάζει ένα ..... να δουλεύει κατά έναν ..... τρόπο.
4. Ένα κύκλωμα αυτοματισμού αποτελείται από δύο τμήματα: το κύκλωμα ..... και το κύκλωμα .....
5. Η διαδικασία κατά την οποία η είσοδος επηρεάζει την έξοδο του κυκλώματος ονομάζεται..... Και το κύκλωμα αποτελεί ένα σύστημα .....

### **Γ.** Να επιλέξετε την σωστή απάντηση στις ερωτήσεις

1. Σε ένα σύστημα ανοικτού βρόχου
  - i. Υπάρχει πάντα ανατροφοδότηση
  - ii. Δεν υπάρχει ποτέ ανατροφοδότηση
  - iii. Είναι πιθανόν να υπάρχει ανατροφοδότηση
2. Ένα μπουτόν κανονικά ανοικτό NC έχει μια επαφή, η οποία
  - i. ανοίγει μόλις το μπουτόν πατηθεί
  - ii. είναι ανοικτή πριν το μπουτόν πατηθεί
3. Ο ρόλος του ελεγκτή σε ένα κύκλωμα αυτοματισμού είναι

Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup> : ΕΙΣΑΓΩΓΗ

- i. να οδηγεί το σύστημα σε μια προκαθορισμένη έξοδο
  - ii. να περιορίζει την έξοδο του συστήματος
  - iii. να βελτιώνει την ταχύτητα του συστήματος
4. Ένας μη ευφυής αυτοματισμός (όπως ένας χρονοδιακόπτης) αντικαθιστά τον άνθρωπο
- i. σε εργασίες μεγάλης ακρίβειας
  - ii. σε πολύπλοκες εργασίες
  - iii. σε απλές επαναλαμβανόμενες εργασίες

## 2. ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ - ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

### **ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ ΚΑΙ ΜΑΘΗΣΙΑΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ**

Σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι η κατανόηση της έννοιας της μέτρησης φυσικών μεγεθών, της λειτουργίας των αισθητηρίων και η ταξινόμηση των αισθητηρίων, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους. Επίσης η παρουσίαση των βασικών χαρακτηριστικών των αισθητηρίων, όπως είναι η συνάρτηση μεταφοράς του, η ευαισθησία του, ο κορεσμός, κ.ά.

Στόχος του κεφαλαίου είναι να μπορεί ο μαθητής να διατυπώνει τους βασικούς ορισμούς για τις μετρήσεις (ακρίβεια, ανοχές κ.λ.π.) και να αντιλαμβάνεται τα χαρακτηριστικά των αισθητηρίων. Τέλος να μπορεί να διακρίνει τα αισθητήρια από τους μετατροπείς και τους ανιχνευτές.

Το πρώτο στάδιο κάθε αυτοματισμού είναι η μετατροπή των γεγονότων ή φυσικών μεγεθών, που επηρεάζουν την εξέλιξη της διαδικασίας, σε ηλεκτρικό σήμα. Η μετατροπή αυτή γίνεται με διατάξεις που ονομάζονται αισθητήρια (*sensors*).

Η σύγκριση της τιμής του σήματος με κάποια τιμή που θεωρούμε αυθαίρετα σαν μονάδα, ονομάζεται μέτρηση.

Η σημασία της ακριβούς μέτρησης είναι μεγάλη στα κυκλώματα αυτοματισμού, αφού αυτή καθορίζει την πορεία του ελέγχου. Μόνο με σωστές μετρήσεις μπορούμε να έχουμε σωστό έλεγχο.

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιάσουμε τις βασικές παραμέτρους των μετρήσεων, όπως είναι οι μονάδες μέτρησης, η ακρίβεια της μέτρησης, η ανοχή, κ.λ.π. Θα αναφέρουμε, επίσης, τις βασικές κατηγορίες αισθητηρίων, καθώς και τα κυριότερα χαρακτηριστικά τους, όπως η ευαισθησία, η συνάρτηση μεταφοράς τους, η καμπύλη ρύθμισης, κ.λ.π.

### 2.1. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως μέτρηση είναι η σύγκριση ενός μεγέθους  $A$ , που ονομάζεται μετρούμενο με κάποια τιμή του  $a$ , που αυθαίρετα ή κατόπιν συμφωνίας θεωρούμε σαν μονάδα.

Δηλαδή ισχύει

$$A = v \cdot a \quad 2.1.1$$

Όπου  $v$  είναι αριθμητικά η τιμή της μέτρηση σε μονάδες που καθορίζει το  $a$ .

#### **2.1.1. Μονάδες και συστήματα μονάδων**

Τα συστήματα μονάδων χωρίζονται σε δύο ομάδες:

- Τις θεμελιώδεις μονάδες, που αναπαρίστανται με πρότυπα μέτρα και σταθμά

➤ Τις παράγωγες μονάδες, που ορίζονται με βάση τις θεμελιώδεις.

Οι μονάδες μέτρησης ορίζονται σε κάθε χώρα με νομοθεσία που παίρνει υπ' όψιν της τις διεθνείς συμβάσεις, ώστε να υπάρχει τυποποίηση των μονάδων σε διεθνή κλίμακα. Σήμερα χρησιμοποιείται το Διεθνές Σύστημα μονάδων (System International - SI), που έχει σαν θεμελιώδεις μονάδες:

- ◆ Το μέτρο – m, για το μήκος
- ◆ Το χιλιόγραμμα – Kgr, για τη μάζα
- ◆ Το δευτερόλεπτο – sec, για το χρόνο
- ◆ Το Αμπέρ – A, για την ένταση του ρεύματος
- ◆ Τον βαθμό Κέλβιν - °K, για τη θερμοκρασία
- ◆ Το κηρίο – cd, για την ένταση του φωτός

Οι παράγωγες μονάδες προκύπτουν από τις βασικές με την βοήθεια των τύπων της φυσικής και των μαθηματικών.

Οι διάφορες μονάδες μπορούν να χρησιμοποιηθούν με πολλαπλάσια ή υποπολλαπλάσια. Στον Πίνακα 1 εικονίζονται τα πολλαπλάσια και τα υποπολλαπλάσια των μονάδων.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1.1**

υποπολλαπλάσια			πολλαπλάσια		
συμβολο	ονομα	μεγεθος	συμβολο	ονομα	μεγεθος
m	μιλι	$10^{-3}$	K	κιλο	$10^3$
μ	μικρο	$10^{-6}$	M	μεγα	$10^6$
n	νανο	$10^{-9}$	G	γιγα	$10^9$
p	πικο	$10^{-12}$	T	τερα	$10^{12}$

Στις ηλεκτρικές μετρήσεις θα συναντήσουμε συχνά ένα σύνολο από παράγωγα μεγέθη. Τα κυριότερα από αυτά είναι:

- ◆ Το φορτίο με μονάδα το Κουλόμπ (Coulomb)-Cb . Πιο συχνά χρησιμοποιείται το mCb= $10^{-3}$ Cb ή το μCb= $10^{-6}$ Cb.
- ◆ Η τάση με μονάδα το Βόλτ (Volt) - V.
- ◆ Η αντίσταση με μονάδα το Ωμ (Ohm)-Ω . Πιο συχνά χρησιμοποιείται το KΩ= $10^3$ Ω και το MΩ= $10^6$ Ω
- ◆ Η χωρητικότητα με μονάδα το Φαράντ (Farad)-F. Πιο συχνά χρησιμοποιείται το μF= $10^{-6}$ F

Επίσης μια πολύ σημαντική μονάδα, που χρησιμοποιείται κυρίως σε κυκλώματα ενίσχυσης, είναι το ντεσιμπέλ (decibel - dB) και εκφράζεται από το λογάριθμο του πηλίκου δύο ομοειδών μεγεθών.

Για την ισχύ ορίζεται:

$$1dB = 10 \log \frac{P_1}{P_2} \quad 2.1.2$$



ενώ για την τάση και την ένταση του ρεύματος ισχύει:

$$1\text{dB} = 20\log \frac{U_1}{U_2} = 20\log \frac{I_1}{I_2} \quad 2.1.3$$

### 2.1.2 Μέθοδοι μετρήσεων

Στις ηλεκτρονικές μετρήσεις χρησιμοποιούμε κυρίως τρεις μεθόδους μετρήσεων. Αυτές είναι:

- ◆ *Μέθοδος σύγκρισης.* Στη μέθοδο αυτή το μετρούμενο μέγεθος συγκρίνεται με ένα "πρότυπο" μέγεθος. Τυπικό παράδειγμα της μεθόδου αυτής είναι η μέτρηση μάζας με μια ζυγαριά και η μέτρηση ηλεκτρικών μεγεθών με γέφυρα. Σκοπός της μέτρησης είναι να επιτευχθεί ισορροπία ανάμεσα στο μετρούμενο μέγεθος και στο πρότυπο..
- ◆ *Μέθοδος άμεσης εκτίμησης.* Με τη μέθοδο αυτή παίρνουμε το αποτέλεσμα της μέτρησης από ένα όργανο μέτρησης, που είναι βαθμονομημένο σε μονάδες του μετρούμενου μεγέθους, με τη βοήθεια πρότυπων μεγεθών. Παράδειγμα της μεθόδου αυτής είναι η μέτρηση τάσης με βολτόμετρο. Έχει μικρότερη ακρίβεια από την προηγούμενη μέθοδο.
- ◆ *Διαφορική μέθοδος.* Είναι τροποποίηση της πρώτης μεθόδου. Εδώ δίνεται με άμεση εκτίμηση η διαφορά του μετρούμενου μεγέθους και ενός γνωστού (μέτρου). Παράδειγμα της μεθόδου αυτής είναι η μέτρηση της τιμής μιας αντίστασης με γέφυρα.

### 2.1.3 Σφάλματα μετρήσεων - ακρίβεια μέτρησης

Κατά την διεξαγωγή μιας μέτρησης, είναι σχεδόν αναπόφευκτη η ύπαρξη σφάλματος. Τα σφάλματα αυτά μπορεί να οφείλονται σε:

- Αίτια που προέρχονται από την υπό μέτρηση διαδικασία
- Εξωτερικά αίτια - Θόρυβο
- Ατέλειες του οργάνου μέτρησης
- Λάθος ανάγνωση του οργάνου μέτρησης από τον χρήστη

Τα σφάλματα ταξινομούνται στις εξής κατηγορίες:

- *Συστηματικά σφάλματα.* Είναι σταθερά και επαναλαμβανόμενα σφάλματα, που συνήθως οφείλονται στην κατασκευή και βαθμολόγηση του οργάνου ή στο περιβάλλον της μέτρησης.
- *Τυχαία σφάλματα.* Έχουν ασταθή χαρακτήρα και δεν μπορούν να προσδιοριστούν εύκολα. Συνήθως ελαχιστοποιείται η επίδρασή τους με επανάληψη της μέτρησης.
- *Άστοχα σφάλματα.* Είναι τα σφάλματα που οφείλονται στον ανθρώπινο παράγοντα.

Τα είδη των σφαλμάτων είναι τα εξής :

- **Απόλυτο σφάλμα.** Ισούται με τη διαφορά  $\Delta X$  μεταξύ της μετρούμενης τιμής  $X$  και της πραγματικής τιμής  $X_0$ .

$$\Delta X = X - X_0 \quad 2.1.4$$

- **Σχετικό σφάλμα.** Ισούται με το λόγο του απόλυτου σφάλματος  $\Delta X$  προς την πραγματική τιμή  $X_0$ .

$$\gamma = \frac{\Delta X}{X_0} \quad 2.1.5$$

Το σφάλμα αυτό συνήθως εκφράζεται ως ποσοστό στα εκατό (%) Από το απόλυτο ή το σχετικό σφάλμα μπορούμε να εκτιμήσουμε την **ακρίβεια** της μέτρησης. Σαν ακρίβεια  $a$  ορίζουμε το πηλίκο του απόλυτου σφάλματος προς τη μέγιστη ένδειξη της κλίμακας

$$a = \frac{\Delta X}{X_{\max}} \quad 2.1.6$$

Έτσι αν π.χ. χρησιμοποιούμε ένα θερμομέτρο χώρου μέγιστης ένδειξης  $80^{\circ}\text{C}$ , το οποίο όταν η θερμοκρασία είναι  $25^{\circ}\text{C}$ , δείχνει  $26^{\circ}\text{C}$ , τότε

Απόλυτο σφάλμα :  $\Delta T = T - T_0 = 26 - 25 = 1^{\circ}\text{C}$

Σχετικό σφάλμα :  $\gamma = \frac{\Delta T}{T_0} = \frac{1}{25} = 0.04$  ή 4%

Ακρίβεια :  $a = \frac{\Delta T}{T_{\max}} = \frac{1}{80} = 0.0125$  ή 1.25%

Όπως είναι φανερό, μεγαλύτερη ακρίβεια προκύπτει προς το τέλος της κλίμακας μέτρησης.

Πρακτικά τα όργανα χρησιμοποιούνται για μετρήσεις στο τελευταίο τρίτο της κλίμακας. Μετρήσεις στην αρχή της κλίμακας περιέχουν μεγάλο σχετικό σφάλμα.

## 2.2 ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ - ΕΙΔΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΩΝ

**Αισθητήρια (sensors)** είναι κυκλώματα που δέχονται ένα σήμα ή μια διέγερση από το περιβάλλον και απαντούν με ένα ηλεκτρικό σήμα.

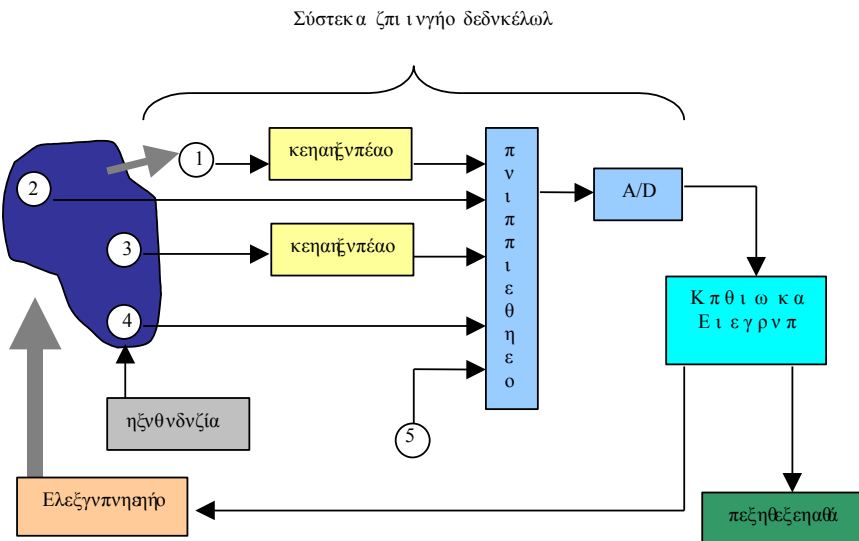
Μπορούμε να πούμε, δηλαδή, ότι τα αισθητήρια είναι ένα είδος "μετατροπέων" μη ηλεκτρικών μεγεθών σε ηλεκτρικά. Όταν μιλάμε για ηλεκτρικό σήμα, εννοούμε ένα σήμα που μπορεί να συλλεχθεί, να ενισχυθεί και να διαμορφωθεί από ηλεκτρονικά κυκλώματα. Η μορφή ενός τέτοιου σήματος μπορεί να είναι τάση, ρεύμα ή φορτίο. Τα χαρακτηριστικά μεγέθη του είναι πλάτος, συχνότητα και φάση. Έτσι, ένα αισθητήριο έχει χαρακτηριστικά εισόδου που οφείλονται στο φυσικό μέγεθος ή γεγονός που τον επηρεάζει και χαρακτηριστικά εξόδου, που σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά του ηλεκτρικού σήματος εξόδου.

Ο όρος αισθητήριο (sensor) πρέπει να διακρίνεται από το όρο μετατροπέας (transducer). Ο πρώτος χαρακτηρίζει συσκευές που μετατρέπουν μια μορφή ενέργειας σε ηλεκτρική, ενώ ο δεύτερος χαρακτηρίζει συσκευές που μετατρέπουν μια μορφή ενέργειας σε άλλη μορφή, όχι απαραίτητα ηλεκτρική. Παράδειγμα αισθητηρίου είναι το μικρόφωνο, ενώ μετατροπέα το μέγáφωνο.

Τα αισθητήρια είναι πάντα μονάδες ενός γενικότερου συστήματος συλλογής δεδομένων (data acquisition system). Κατά την επιλογή ενός αισθητηρίου βασικός παράγων είναι η λειτουργία του να μην επιρεάζει την λειτουργία του υπολοίπου συστήματος.

Υπάρχουν δύο κατηγορίες αισθητηρίων: τα παθητικά και τα ενεργά. Τα παθητικά αισθητήρια δημιουργούν απ' ευθείας ένα ηλεκτρικό σήμα, αποκρινόμενα στην εξωτερική διέγερση. Δεν έχουν δηλαδή ανάγκη εξωτερικής τροφοδοσίας. Αντίθετα τα ενεργά για να λειτουργήσουν χρειάζονται εξωτερική τροφοδοσία. Παράδειγμα παθητικού αισθητηρίου είναι το θερμοζεύγος και ενεργού το θερμίστορ. Και τα δύο έχουν είσοδο τη φωτεινή ακτινοβολία. Το πρώτο όμως έχει έξοδο μεταβαλλόμενη ηλεκτρική τάση, ενώ το δεύτερο έχει σαν έξοδο μεταβαλλόμενη αντίσταση. Δεν δημιουργεί δηλαδή μόνο του ηλεκτρικό σήμα, αλλά χρειάζεται εξωτερική τροφοδοσία.

Μια κατηγορία ενεργού αισθητηρίου είναι οι ανιχνευτές (detectors). Τα αισθητήρια αυτά έχουν συνήθως έξοδο μορφής διακόπτη, που αλλάζει κατάσταση, όταν αντιλαμβάνεται κάποιο συγκεκριμένο γεγονός. Με σύνδεση εξωτερικής τάσης, έχει τη δυνατότητα να εμφανίζει στην έξοδό του ηλεκτρικό σήμα.



Σχίμα 2.2.1. Σύστημα συλλογής δεδομένων και ελέγχου

Στο Σχήμα 2.2.1 απεικονίζεται το λειτουργικό διάγραμμα ενός συστήματος συλλογής δεδομένων και του κυκλώματος ελέγχου. Το μπλέ σχήμα είναι το αντικείμενο που πρόκειται να ελεγχθεί (π.χ. αυτοκίνητο, δεξαμενή υγρού, κ.λ.π.). Τα 1,2,3,4,5 είναι αισθητήρια. Από αυτά το 4 είναι ενεργό, αφού χρειάζεται εξωτερική τροφοδοσία, και τα υπόλοιπα παθητικά. Επίσης μερικά από αυτά (2,3,4), είναι σε άμεση επαφή με το αντικείμενο που πρόκειται να ελεγχθεί, ενώ άλλα όχι (1,5). Το αισθητήριο 1 αντιλαμβάνεται το αντικείμενο χωρίς να είναι σε άμεση επαφή μαζί του (π.χ. κάμερα), ενώ το αισθητήριο 5 παρακολουθεί την καλή λειτουργία του συστήματος συλλογής δεδομένων. Δύο αισθητήρια, τα 1 και 3, δεν μπορούν να συνδεθούν απ' ευθείας στο κυρίως ηλεκτρονικό σύστημα, γιατί η μορφή του σήματος εξόδου είναι μη συμβατή. Ετσι, παρεμβάλλεται ένα κύκλωμα μετατροπέα.

Από τις υπόλοιπες μονάδες που φαίνονται στο Σχήμα 2.2.1, ο πολυπλέκτης οδηγεί το ένα μετά το άλλο τα αισθητήρια στο κύκλωμα ψηφιοποίησης (A/D). Η παρεμβολή του κυκλώματος αυτού είναι απαραίτητη, αν προτιμηθεί η ψηφιακή επεξεργασία της πληροφορίας από την αναλογική. Στους σύνθετους αυτοματισμούς προτιμάμε την ψηφιακή, ενώ στους απλούστερους την αναλογική. Το κύκλωμα ελέγχου θα αποφασίσει για τη λειτουργία που θα πραγματοποιηθεί με βάση τις υπάρχουσες διεγέρσεις (σήματα αισθητηρίων) και το κύκλωμα δράσης θα υλοποιήσει την απόφαση αυτή.

## 2.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΩΝ

Από την είσοδο μέχρι την έξοδο, ένα αισθητήριο μπορεί να πραγματοποιήσει αρκετές μετατροπές, πριν παράγει το ηλεκτρικό σήμα. Στην παράγραφο αυτή θα εξετάσουμε τα χαρακτηριστικά μεγέθη των αισθητηρίων, αδιαφορώντας για τη φυσική τους λειτουργία ή για τα στάδια των μετατροπών που απαιτούνται, μέχρι να παραχθεί το ηλεκτρικό σήμα. Θα εξετάσουμε δηλαδή το αισθητήριο σαν ένα "μαύρο κουτί", όπου ενδιαφερόμαστε μόνο για τη σχέση μεταξύ των σημάτων εισόδου και εξόδου.

### 1. Συνάρτηση μεταφοράς (transfer function)

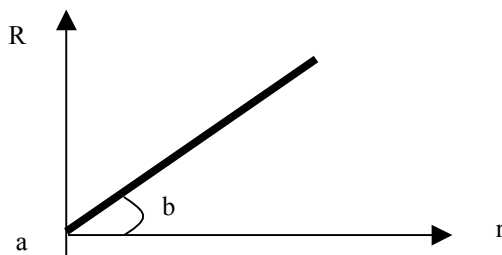
Σαν συνάρτηση μεταφοράς ορίζεται η ιδανική σχέση (θεωρητική), μεταξύ του σήματος εισόδου (διέγερση) και του σήματος εξόδου του αισθητηρίου. Αν  $R$  είναι το σήμα εξόδου, που αντιστοιχεί στην διέγερση  $r$  τότε :

$$R = f(r) \quad 2.3.1$$

Η εξίσωση αυτή μπορεί να είναι γραμμική, λογαριθμική, εκθετική ή πολυωνυμική. Στα περισσότερα αισθητήρια επιδιώκεται να είναι γραμμική. Επιδιώκεται δηλαδή να είναι της μορφής:

$$R = br \quad 2.3.2$$

Η γραφική παράσταση της εξίσωσης αυτής είναι της μορφής του σχήματος 2.3.1



Σχήμα 2.3.1. Γραμμική συνάρτηση μεταβολής

Ο συντελεστής  $b$  ονομάζεται και ευαισθησία (sensitivity) του αισθητηρίου.

#### 2. Εύρος εισόδου (input full scale-FS)

Εύρος εισόδου ονομάζεται η δυναμική στάθμη της διέγερσης, που μπορεί να υποστεί μετατροπή από ένα αισθητήριο. Αντιστοιχεί στη μεγαλύτερη δυνατή τιμή της εισόδου που μπορεί να εφαρμοστεί στο αισθητήριο, χωρίς να προκαλέσει ανεπιθύμητη ανακρίβεια. Οι μονάδες της είναι αυτές της διέγερσης. Αν το σήμα εισόδου είναι μη γραμμικό, τότε για να αποφύγουμε μεγάλες τιμές του εύρους, το εκφράζουμε σε dB.

#### 3. Εύρος εξόδου (full scale output-FSO)

Εύρος εξόδου ονομάζεται η διαφορά των τιμών που δίνει η έξοδος του αισθητηρίου, όταν σ' αυτό εφαρμοστεί η μεγαλύτερη και η χαμηλότερη διέγερση.

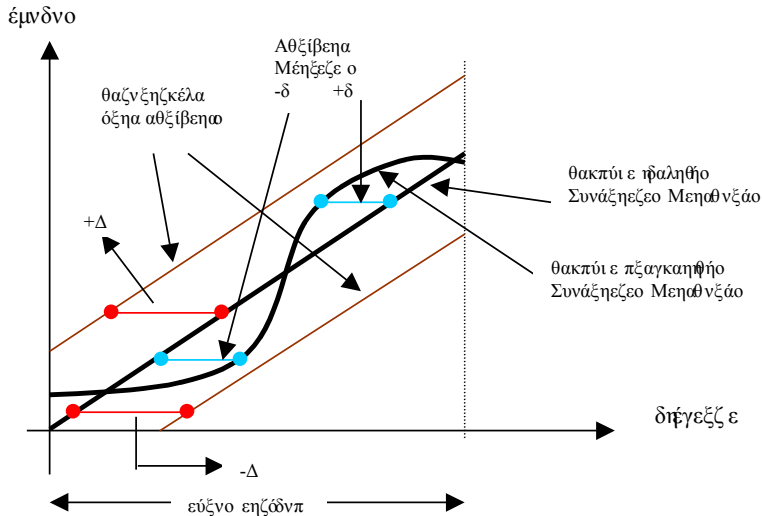
#### 4. Ακρίβεια (accuracy-a)

Ακρίβεια ονομάζεται η μεγαλύτερη απόκλιση της τιμής της εξόδου του αισθητηρίου για μια συγκεκριμένη διέγερση, από την ιδανική. Ιδανική απόκλιση θεωρείται αυτή που θεωρητικά υπολογίζεται από την ιδανική συνάρτηση μεταφοράς του.

Στο Σχήμα 2.3.2 βλέπουμε γραφικά τις έννοιες που μέχρι τώρα εξηγήσαμε.

Ιδανική συνάρτηση μεταφοράς είναι αυτή που περιγράφεται με μια μαθηματική συνάρτηση. Αντίθετα η πραγματική συνάρτηση μεταφοράς δεν περιγράφεται με μαθηματική συνάρτηση, αλλά με έναν πίνακα τιμών μεταξύ εισόδου και εξόδου. Η συνάρτηση αυτή, όπως παρατηρείτε στο σχήμα 2.3.2, δεν είναι ούτε αύξουσα, ούτε μονότονη.

Λόγω μεταβολής των υλικών κατασκευής, σφαλμάτων σχεδίασης, ανοχών κατά την κατασκευή και άλλων περιορισμών, είναι δυνατόν να έχουμε μια μεγάλη οικογένεια από πραγματικές συναρτήσεις μεταφοράς (και αντίστοιχες καμπύλες). Όλες, όμως, βρίσκονται μέσα στα καθορισμένα όρια ακρίβειας. Αυτά τα ανεκτά όρια διαφέρουν από την καμπύλη της ιδανικής συνάρτησης μεταφοράς κατά  $\pm\Delta$ . Η πραγματική συνάρτηση αποκλίνει από την ιδανική κατά  $\pm\delta$ , όπου  $\delta \leq \Delta$ .



Σχήμα 2.3.2. Χαρακτηριστικά απόκρισης

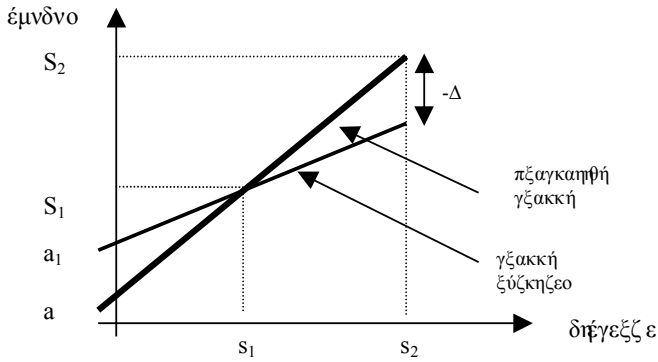
Στα πιο σύγχρονα αισθητήρια, αντί για την ακρίβεια χρησιμοποιείται η έννοια της αβεβαιότητας, που θα την εξετάσουμε αργότερα.

##### 5. Σφάλμα ρύθμισης (calibration error)

Το σφάλμα ρύθμισης υπεισέρχεται κατά τη διαδικασία της βαθμονόμησης του αισθητηρίου στο εργοστάσιο. Είναι ένα συστηματικό σφάλμα και προστίθεται στα σφάλματα που οδηγούν στην πραγματική συνάρτηση μεταφοράς.

Για παράδειγμα, ας θεωρήσουμε μια βαθμονόμηση ενός γραμμικού αισθητηρίου με δύο σημεία (μια ευθεία καθορίζεται από δύο σημεία).

Για να ορίσουμε την αρχική τιμή και την κλίση της ευθείας, εφαρμόζουμε δύο διεγέρσεις  $s_1$  και  $s_2$  στον αισθητήρα. Το αισθητήριο αποκρίνεται με δύο τιμές εξόδου  $S_1$  και  $S_2$ . Έστω ότι η πρώτη απόκριση μετρήθηκε με ακρίβεια, ενώ η δεύτερη με ένα σφάλμα  $-\Delta$ . Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η καμπύλη βαθμονόμησης να διαφέρει από την πραγματική, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.3.3.



Σχήμα 2.3.3. Βαθμονόμηση του αισθητηρίου

Τότε η αρχική κατάσταση θα διαφέρει από την πραγματική

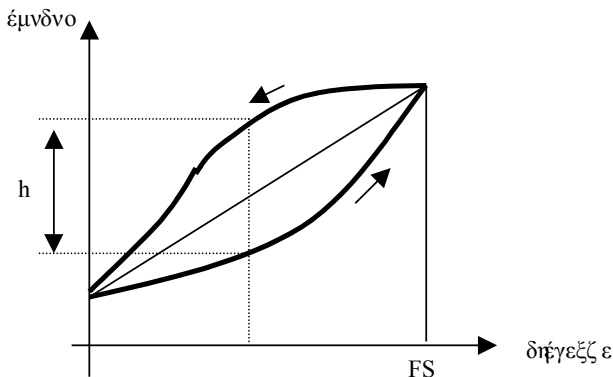
$$\delta_a = a_1 - a \quad 2.3.3$$

και η κλίση θα υπολογίζεται με σφάλμα

$$\delta_b = - \frac{\Delta}{s_2 - s_1} \quad 2.3.4$$

#### 6. Υστέρησηση (hysteresis-h)

Το σφάλμα υστέρησης είναι η απόκλιση που παρουσιάζει το σήμα εξόδου του αισθητηρίου για την ίδια τιμή της διέγερσης, όταν η είσοδος είναι σε αύξουσα κατάσταση και όταν είναι σε φθίνουσα κατάσταση



Σχήμα 2.3.4. Χαρακτηριστική υστέρησης

Οφείλεται στην τριβή και σε ανισοτροπίες που παρουσιάζουν τα υλικά. Στο σχήμα 2.3.4 φαίνεται η απόκλιση αυτή

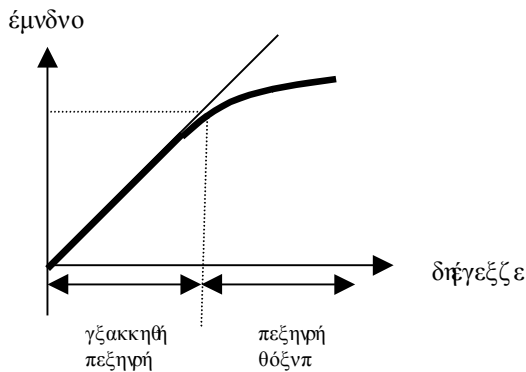


### 7. Μη γραμμικότητα (nonlinearity-L)

Αναφέρεται στα αισθητήρια, που η συνάρτηση μεταφοράς τους μπορεί να προσεγγιστεί από μια ευθεία γραμμή. Σφάλμα μη γραμμικότητας είναι η μέγιστη απόκλιση της πραγματικής συνάρτησης μεταφοράς από την προσεγγιστική γραμμική απεικόνιση. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι προσέγγισης της πραγματικής συνάρτησης μεταφοράς από μια ευθεία γραμμή. Οι πιο γνωστές είναι η μέθοδος των *οριακών σημείων*, η μέθοδος των *ελαχίστων τετραγώνων* και η μέθοδος της *ανεξάρτητης γραμμικότητας*.

### 8. Κορεσμός (Saturation)

Σχεδόν κάθε αισθητήριο έχει όρια λειτουργίας. Έτσι, για ένα αισθητήριο που έχει γραμμική συμπεριφορά, υπάρχει κάποια τιμή της διέγερσης πέρα από την οποία το αισθητήριο δεν αποκρίνεται με τον ίδιο τρόπο. Στο Σχήμα 2.3.5 φαίνεται η συμπεριφορά ενός τέτοιου αισθητηρίου.

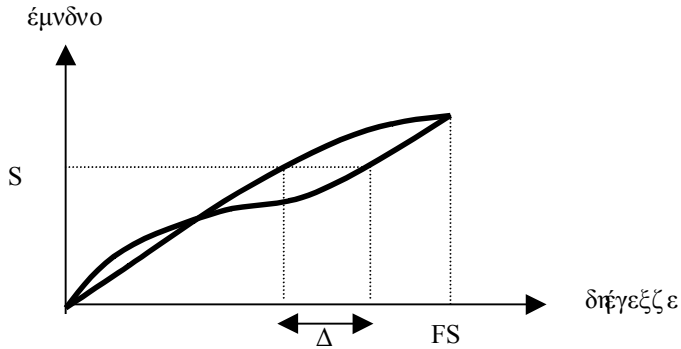


Σχήμα 2.3.5. Χαρακτηριστική με κόρο

Στην περιοχή κορεσμού (ή κόρου), περαιτέρω αύξηση της διέγερσης δεν ισοδυναμεί με ανάλογη αύξηση του σήματος εξόδου. Η αύξηση θα είναι μικρότερη και τελικά μηδενική.

### 9. Επαναληψιμότητα (repeatability)

Η απόκριση του αισθητηρίου, για την ίδια διέγερση, δεν είναι πάντα η ίδια. Έτσι, για κάποια τιμή της εξόδου του αισθητηρίου, η διέγερση δεν είναι καθορισμένη. Ορίζεται το σφάλμα επαναληψιμότητας σαν η μέγιστη διαφορά μεταξύ δύο τιμών διέγερσης, που δίνουν την ίδια έξοδο. Στο Σχήμα 2.3.6 βλέπουμε την γραφική απεικόνιση του σφάλματος αυτού.



Σχήμα 2.3.6. Σφάλμα επαναλησιμότητας

Η μαθηματική διατύπωση του σφάλματος αυτού είναι

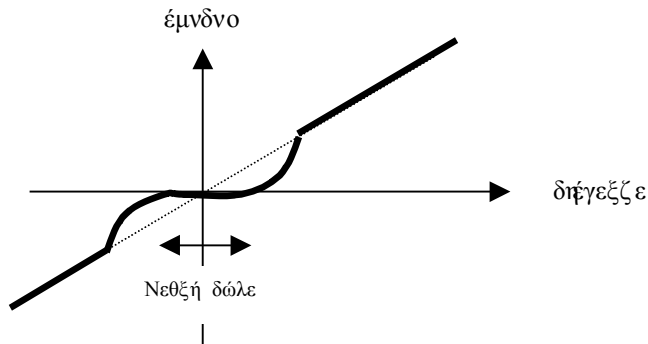
$$\delta_r = \frac{\Delta}{FS} 100\% \quad 2.3.5$$

Πιθανές πηγές δημιουργίας του σφάλματος είναι ο θερμικός θόρυβος, η πλαστικότητα των υλικών κ.λ.π.

10. Νεκρή ζώνη (dead band)

Νεκρή ζώνη ονομάζεται μια περιοχή αναισθησίας του αισθητηρίου. Στο Σχήμα 2.3.7 φαίνεται η σχηματική παράσταση της χαρακτηριστικής καμπύλης λειτουργίας ενός αισθητηρίου με νεκρή ζώνη.

Στην περιοχή αυτή, ενώ η διέγερση μεταβάλλεται, η έξοδος έχει μια σχεδόν σταθερή τιμή, συνήθως μηδέν.



Σχήμα 2.3.7 Χαρακτηριστική με νεκρή ζώνη

11. Ευκρίνεια-διακριτική ικανότητα (Resolution)

Σαν ευκρίνεια ορίζεται η μικρότερη μεταβολή στη διέγερση, που μπορεί να γίνει αντιληπτή από το αισθητήριο (δηλαδή να μεταβάλει την έξοδό του).

Παρατηρώντας την έξοδο του αισθητηρίου, διαπιστώνεται ότι δεν είναι ακριβώς συνεχής, αλλά αυξάνει με μικρά βήματα. Η μεταβολή της εισόδου, που θα έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της εξόδου κατά ένα τέτοιο βήμα, ονομάζεται ακρίβεια σε καθορισμένες συνθήκες.

### 12. Αξιοπιστία (Reliability)

Αξιοπιστία είναι η ικανότητα ενός αισθητηρίου να υλοποιεί τη συνάρτηση μεταφοράς του, κάτω από καθορισμένες συνθήκες, για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα. Εκφράζεται δε σαν η (στατιστική) πιθανότητα που έχει το αισθητήριο να λειτουργήσει χωρίς σφάλμα, για ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα, ή για έναν αριθμό χρήσεων.

### 13. Αβεβαιότητα (Uncertainty)

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, η τιμή που δίνει στην έξοδο ένα αισθητήριο απέχει από την πραγματική τιμή. Επομένως, η μέτρηση περιέχει μια *αβεβαιότητα*, που οφείλεται στην ύπαρξη διαφόρων σφαλμάτων. Να σημειώσουμε εδώ ότι πρέπει να γίνεται διάκριση μεταξύ της έννοιας σφάλμα και της έννοιας αβεβαιότητα. Το σφάλμα μπορεί να μειωθεί, βελτιώνοντας τους παράγοντες που το δημιουργούν. Παρ' όλα αυτά, η αβεβαιότητα μιας μέτρησης μπορεί να εξακολουθεί να είναι μεγάλη. Έτσι, σφάλμα είναι το λάθος που κάνουμε κατά τη μέτρηση χωρίς επίγνωση, ενώ αβεβαιότητα είναι η εκτίμηση του σφάλματος αυτού.

## **2.4 ΕΙΔΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΩΝ**

Εκτός από τα χαρακτηριστικά που αναφέραμε στην προηγούμενη ενότητα, κάθε αισθητήριο έχει και μερικά ακόμη χαρακτηριστικά, που σχετίζονται με την κατάσταση του αισθητηρίου και την κατάσταση του περιβάλλοντος, στο οποίο λειτουργεί.

Ορίζονται σαν *συνθήκες αποθήκευσης (storage conditions)* τα όρια παραμέτρων του περιβάλλοντος, στα οποία το αισθητήριο πρέπει να βρίσκεται κατά την λειτουργία του, ώστε να μην επηρεάζεται η συμπεριφορά του. Τέτοιες συνθήκες είναι η υψηλότερη και η χαμηλότερη θερμοκρασία, η σχετική υγρασία, τα υπάρχοντα ηλεκτρομαγνητικά πεδία κ.ά. Επίσης ορισμένες συνθήκες που εξαρτώνται από την φύση του υλικού του αισθητηρίου (π.χ. μέγιστη ασκούμενη πίεση).

Ο πλέον σημαντικός παράγοντας του περιβάλλοντος που επηρεάζει την καλή λειτουργία του αισθητηρίου είναι η θερμοκρασία. Συνήθως ο κατασκευαστής δίνει την ανώτερη και κατώτερη θερμοκρασία λειτουργίας του αισθητηρίου. Είναι απαραίτητο να διευκριστεί ότι στην ανώτερη θερμοκρασία λειτουργίας περιλαμβάνεται και η θέρμανση του αισθητηρίου, λόγω φαινομένου Joule (εφ' όσον βέβαια διαρρέεται από ρεύμα).

Άλλος παράγοντας που επηρεάζει την λειτουργία αλλά και το "χρόνο ζωής" του αισθητηρίου, είναι η μεταβολή του ρεύματος που το

διαρρέει. Μείωση του ρεύματος τροφοδοσίας οδηγεί σε εσφαλμένη λειτουργία (παροδική βλάβη), ενώ αύξηση του ρεύματος τροφοδοσίας του αισθητηρίου πιθανόν να αλλοιώσει τις ιδιότητες του υλικού κατασκευής, με αποτέλεσμα την εσφαλμένη λειτουργία του και τελικά την καταστροφή του (μόνιμη βλάβη).

Η *βραχύχρονη και μακρόχρονη σταθερότητα* (*short and long term stabilities*) είναι μέρη του καθορισμού της ακρίβειας. Η βραχύχρονη σταθερότητα σχετίζεται με την αλλαγή της συμπεριφοράς του αισθητηρίου, καθώς αυτό λειτουργεί για λεπτά, ώρες ή ακόμη και ημέρες. Οφείλεται συνήθως σε κακή συναρμολόγηση των μερών του αισθητηρίου ή κακή χρήση του. Η μακρόχρονη σταθερότητα σχετίζεται με την αλλαγή της συμπεριφοράς του μετά από μήνες ή χρόνια λειτουργίας, λόγω "γήρανσης", και οφείλεται στην αλλαγή των ηλεκτρικών, μηχανικών, χημικών, ή θερμικών ιδιοτήτων του υλικού, από το οποίο είναι κατασκευασμένο το αισθητήριο.

Η σταθερότητα της λειτουργίας του αισθητηρίου, ανεξάρτητα από τις συνθήκες του περιβάλλοντος, μπορεί να βελτιωθεί, αν το αισθητήριο τοποθετηθεί σε προστατευτικό κουτί και χρησιμοποιηθεί ηλεκτρική και θερμοκρασιακή προστασία.

### **ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ**

Μέτρηση ενός φυσικού μεγέθους είναι η σύγκρισή του με τη μονάδα του. Αυτή μπορεί να γίνει και με άμεσο τρόπο, με τη χρήση κατάλληλου οργάνου, και με διαφορικό τρόπο.

Τα σφάλματα των μετρήσεων διακρίνονται σε συστηματικά, τυχαία και άστοχα. Το σφάλμα σε μια μέτρηση καθορίζει και την ακρίβειά της.

Οι μετρήσεις των φυσικών μεγεθών γίνονται με τη βοήθεια αισθητηρίων, τα χαρακτηριστικά των οποίων καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα των μετρήσεων.

## **2.5 ΑΣΚΗΣΕΙΣ**

1. Κατά τη μέτρηση ενός μεγέθους, η μετρούμενη τιμή βρέθηκε 9.8A, ενώ η πραγματική είναι 9.9A (όπου A η μονάδα μέτρησης του μεγέθους). Να βρεθεί το απόλυτο και το σχετικό σφάλμα, καθώς και η ακρίβεια της μέτρησης, αν το όργανο είναι σε κλίμακα 0-20A.

*Λύση*

Το απόλυτο σφάλμα είναι

$$\Delta X = 9.9 - 9.8 = 0.1^A$$

Και το σχετικό

$$\gamma = \frac{0.1}{9.9} = 0.01 \text{ ή } 1\%$$

Τέλος, η ακρίβεια είναι

$$a = \frac{0.1}{20} = 0.005 \text{ ή } 0.5\%$$

2. Ένα πιεζοηλεκτρικό αισθητήριο θέσης έχει ευαισθησία εξόδου 1.5mV/μm. Επίσης, παρουσιάζει απόκλιση τιμής λόγω θερμοκρασίας - 5μV/°K. Να βρεθεί τι μέτρηση θα δίνει το αισθητήριο για μετακίνηση 1cm, σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 25°C.

*Λύση*

Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι (περίπου) 25+275 = 300°K. Επομένως δημιουργείται μια απόκλιση στην τιμή της μέτρησης ίση με -5μ\*300 = -1.5mV.

Αυτή αντιστοιχεί σε ένα σφάλμα στη μέτρηση ίσο με 1μm.

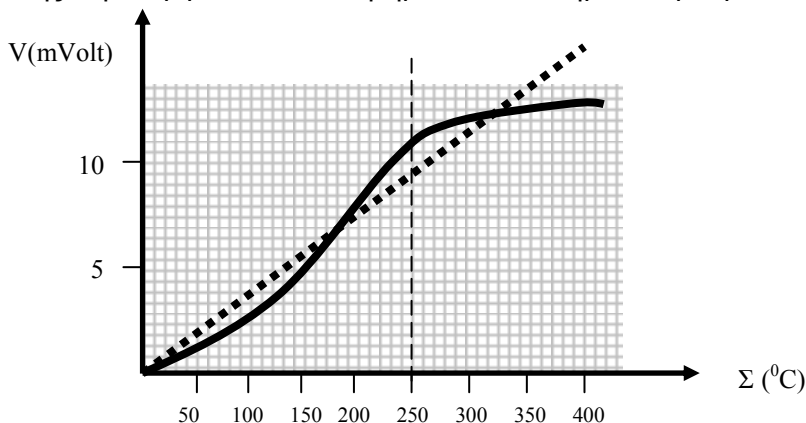
Η μετακίνηση του 1cm δημιουργεί μια τάση

$$\frac{1.5\text{mV}}{10^{-6}} 10^{-2} = 15\text{V},$$

η οποία, λόγω της θερμοκρασίας, γίνεται 15V-1.5mV = 14.9985V

Η τάση αυτή αντιστοιχεί σε μετακίνηση 9,999 cm.

3. Για τη μέτρηση της θερμοκρασίας ενός κλιβάνου πήραμε μια σειρά μετρήσεων, που την αναπαραστήσαμε γραφικά στο παρακάτω διάγραμμα. Στο ίδιο διάγραμμα φαίνεται και η ιδανική λειτουργία του αισθητηρίου (διακεκομμένη γραμμή). Υπολογίστε το απόλυτο και το σχετικό σφάλμα της μέτρησης, στην θερμοκρασία των 250°C. Βρείτε, επίσης, την ακρίβεια του αισθητηρίου και το σημείο κορεσμού του.



*Λύση*

Από το διάγραμμα βλέπουμε ότι για τη θερμοκρασία των 250°C έχουμε πραγματική μέτρηση 10.07mV, ενώ η θεωρητική μέτρηση είναι

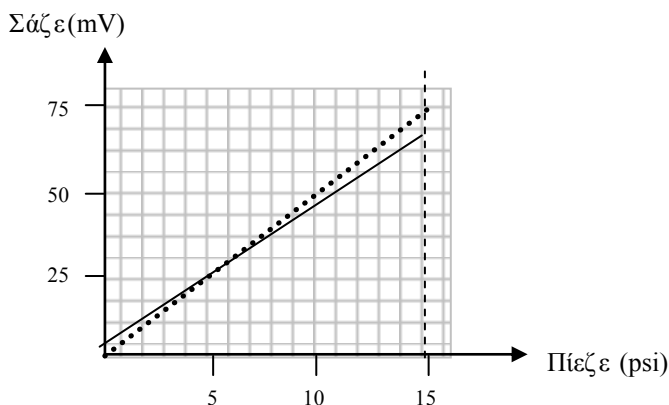
9.95mV. Άρα υπάρχει ένα απόλυτο σφάλμα  $10.07-9.95 = 0.12$  mV, ενώ το σχετικό σφάλμα είναι  $0.12/10.07 = 0.012$  ή 1.2%

Επίσης, από την παρατήρηση του διαγράμματος προκύπτει ότι η ακρίβεια του αισθητηρίου είναι περίπου 3 γραμμές, άρα  $3*10/20 = 1.5$ mV, ενώ το σημείο κορεσμού είναι περίπου στους 300<sup>ο</sup>C.

4. Κατά την βαθμονόμηση ενός γραμμικού αισθητηρίου μέτρησης πίεσης (πιεζοηλεκτρικού), με την μέθοδο των δύο σημείων, έγιναν δύο μετρήσεις. Η πρώτη, για πίεση 2psi, έδωσε έξοδο 10.2 mV, και η άλλη, για πίεση 10psi, έδωσε έξοδο 49mV. Η ιδανική μεταβολή της εξόδου σε συνάρτηση με την είσοδο ακολουθεί την εξίσωση  $V = 5P$  (αριθμητικά), όπου V η τάση εξόδου και P η ασκούμενη πίεση. Να χαραχτούν οι δύο ευθείες. Να βρεθεί η ευαισθησία του οργάνου, σύμφωνα με τις μετρούμενες τιμές, και το σφάλμα ρύθμισης.

### Λύση

Στο παρακάτω διάγραμμα βλέπουμε τις δύο ευθείες (με διακεκομμένη γραμμή η ιδανική)



Η ευθεία ρύθμισης θα έχει την μορφή :

$$V = aP + b$$

Οπότε, για τα ζευγάρια τιμών (2,10.2) και (10,49) προσδιορίζουμε τους συντελεστές a και b. Τελικά έχουμε:

$$V = 4.85P + 0.5$$

Επομένως, η ευαισθησία του οργάνου είναι 4.85 mV/psi

Το σφάλμα στις δύο μετρήσεις είναι 0.2mV και -1mV. Άρα, το σφάλμα στην κλίση είναι:

$$\delta_b = \frac{-1 - 0.2}{10 - 2} = 0.15$$

ενώ στην αρχική τιμή είναι 0.5mV

**2.6 ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ****A. Να απαντήσετε συνοπτικά στις ερωτήσεις**

1. Ποιες είναι οι κυριότερες μέθοδοι μετρήσεων;
2. Ποιες είναι οι κυριότερες αιτίες δημιουργίας σφαλμάτων σε μια μέτρηση; Προτείνετε τρόπους εξάλειψης της κάθε αιτίας.
3. Κατά την επαναληπτική μέτρηση ενός μεγέθους βρήκατε τις τιμές 3.0, 3.2, 2.7, 3.0, 2.9. Ποια θα θεωρήσετε σαν τιμή του μεγέθους; Υπολογίστε το απόλυτο και το σχετικό σφάλμα της κάθε μέτρησης. Αν οι μετρήσεις έγιναν σε κλίμακα 0-5, να βρεθεί η ακρίβεια της κάθε μέτρησης.
4. Ένα αισθητήριο έχει συνάρτηση μεταφοράς  $F = 3s + 1$ , ενώ από διαδοχικές μετρήσεις σχηματίσαμε τον κάτωθι πίνακα:

Είσοδος	0	1	2	3	4	5
Έξοδος	1.5.5	4.3	7.1	10.2	13.5	17.2

Να χαραχθούν η ιδανική και η πραγματική καμπύλη συνάρτησης μεταφοράς και να υπολογιστεί η ακρίβεια ρύθμισης.

5. Να δοθεί η γραφική παράσταση των καμπυλών ιδανικής και πραγματικής συνάρτησης μεταφοράς ενός υποθετικού αισθητηρίου (σε χαρτί μιλιμετρέ) και από αυτές να υπολογιστούν τα όρια της ακρίβειας και η ακρίβεια των δύο μετρήσεων.
6. Τι ονομάζουμε κορεσμό και τί επαναληψιμότητα ενός αισθητηρίου;
7. Τι είναι η βραχύχρονη και τί η μακρόχρονη σταθερότητα ενός αισθητηρίου;
8. Τι ονομάζουμε αξιοπιστία ενός αισθητηρίου;

**B. Να συμπληρώσετε τα κενά στις προτάσεις**

1. Τα συστήματα μονάδων χωρίζονται σε δύο ομάδες: στις ..... και στις .....
2. Τα σφάλματα είναι δυνατόν να είναι ....., ..... ή .....
3. Αισθητήρια είναι κυκλώματα που δέχονται ένα ..... από το περιβάλλον και απαντούν με ένα .....
4. Τα ..... αισθητήρια δεν έχουν ανάγκη εξωτερικής τροφοδοσίας. Αντίθετα τα ..... για να λειτουργήσουν χρειάζονται εξωτερική τροφοδοσία.
5. Σαν συνάρτηση μεταφοράς ορίζεται η ιδανική σχέση μεταξύ του σήματος ..... και του σήματος ..... του αισθητηρίου.
6. Σαν σφάλμα επαναληψιμότητας ορίζεται η μέγιστη διαφορά μεταξύ δύο τιμών ..... που δίνουν την ίδια .....
7. Ένα ..... μετατρέπει ενέργεια κάποιας μορφής σε ηλεκτρική, ενώ ένας ..... μια μορφή ενέργειας σε άλλη μορφή, όχι απαραίτητα ηλεκτρική.



**Γ. Να επιλέξετε την σωστή απάντηση στις ερωτήσεις**

1. Ένας ενισχυτής με ενίσχυση ισχύος 30db έχει ενίσχυση:
  - i. 100
  - ii. 1000
  - iii. 300
  
2. Τα άστοχα σφάλματα οφείλονται:
  - i. στην βαθμολόγηση του οργάνου
  - ii. σε απροσδιόριστα αίτια
  - iii. σε ανθρώπινο παράγοντα
  
3. Διατάξεις που μετατρέπουν μιας μορφής ενέργεια σε ενέργεια άλλης μορφής, λέγονται:
  - i. αισθητήρια (sensors)
  - ii. μεταλλάκτες (transducers)
  - iii. ανιχνευτές (detectors)
  
4. Ακρίβεια ενός αισθητηρίου ονομάζεται:
  - i. η μεγαλύτερη απόκλιση της τιμής της εξόδου του αισθητηρίου, για κάποια συγκεκριμένη διέγερση
  - ii. η μικρότερη απόκλιση της τιμής της εξόδου του αισθητηρίου, για κάποια συγκεκριμένη διέγερση
  - iii. η μεγαλύτερη απόκλιση της τιμής της εξόδου από την τιμή της εισόδου του αισθητηρίου
  
5. Διακριτότητα ενός αισθητηρίου ονομάζεται
  - i. η μικρότερη μεταβολή στην διέγερση, που μπορεί να γίνει αντιληπτή από το αισθητήριο
  - ii. η τιμή της εισόδου, στην οποία παύει να υπάρχει γραμμικότητα στο αισθητήριο
  - iii. η μικρότερη τιμή της εισόδου, που δίνει έξοδο στο αισθητήριο
  
6. Άν ένας κατασκευαστής δίνει μέγιστη θερμότητα λειτουργίας 70<sup>0</sup>C, η θερμοκρασία αυτή αφορά:
  - i. την θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος
  - ii. την θερμοκρασία του χώρου λειτουργίας
  - iii. την θερμοκρασία του χώρου λειτουργίας συν την θερμοκρασία λόγω φαινομένου Joule

### 3.ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΩΝ

#### **ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ ΚΑΙ ΜΑΘΗΣΙΑΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ**

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν μερικά από τα αισθητήρια που χρησιμοποιούνται σε απλές εφαρμογές, καθώς και βασικά κυκλώματα εφαρμογής τους. Θα εξεταστούν επίσης δύο βασικά θέματα που αφορούν τα ηλεκτρονικά κυκλώματα : αυτά του θορύβου και των γειώσεων.

Σκοπός του κεφαλαίου αυτού είναι να κατανοήσει ο μαθητής τον τρόπο με τον οποίο τα αισθητήρια συνδέονται με άλλα στοιχεία, προκειμένου να οργανωθεί ένα σύστημα μετρήσεων, τον τρόπο λειτουργίας των συστημάτων αυτών, καθώς και τις συνθήκες ομαλής λειτουργίας τους.

Στόχος του κεφαλαίου αυτού είναι να μπορεί ο μαθητής να σχεδιάζει βασικά κυκλώματα μέτρησης, να προσαρμόζει σε αυτά διάφορα αισθητήρια, να αντιλαμβάνεται την λειτουργία του συστήματος που προκύπτει, να είναι σε θέση να προσδιορίζει την αιτία πιθανών προβλημάτων (όπως θορύβους, βρόγχο γείωσης) και να μπορεί να τα αντιμετωπίζει.

#### 3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως περιγράψαμε στο πρώτο κεφάλαιο, σε ένα σύστημα αυτοματισμού ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο παίζουν τα αισθητήρια που χρησιμοποιούνται και ο τρόπος σύνδεσής τους στο υπόλοιπο κύκλωμα. Έτσι, για να σχεδιάσουμε ένα κύκλωμα μέτρησης και ελέγχου κάποιου φυσικού μεγέθους, πρέπει πρώτα να γνωρίζουμε τα αισθητήρια που υπάρχουν για τον σκοπό αυτό. Συνήθως, για κάθε φυσικό μέγεθος υπάρχουν περισσότερα από ένα αισθητήρια. Θα πρέπει λοιπόν να γίνει η κατάλληλη επιλογή του αισθητηρίου, ανάλογα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής, και στην συνέχεια να προχωρήσουμε στον σχεδιασμό του κυκλώματος.

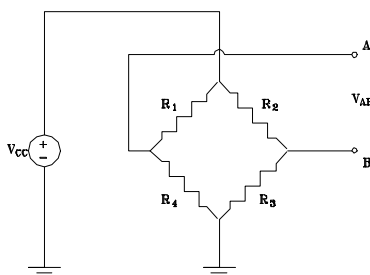
Στο κεφάλαιο αυτό θα δούμε μερικές βασικές εφαρμογές, όπως είναι η μέτρηση πίεσης και κάμψης, ο έλεγχος της στάθμης υγρού και ο έλεγχος φωτεινής στάθμης. Αρχικά θα εξετάσουμε τα αισθητήρια που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κάθε εφαρμογή και, στην συνέχεια, θα προχωρήσουμε στον σχεδιασμό ενός, τουλάχιστον, κυκλώματος μέτρησης ή ελέγχου του αντίστοιχου φυσικού μεγέθους. Στην συνέχεια θα περιγράψουμε τις κυριότερες αιτίες δημιουργίας ηλεκτρικού θορύβου σε κύκλωμα αυτοματισμού και θα δούμε τρόπους μείωσής του. Τέλος θα εξετάσουμε την σημασία της γείωσης και της θωράκισης στα κυκλώματα των αυτοματισμών.

### 3.2 ΜΟΝΑΔΕΣ ΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ

Κατά την κατασκευή ενός αυτοματισμού έχουμε να αντιμετωπίσουμε μια σειρά προβλημάτων, κοινών σε πολλές εφαρμογές. Το πρώτο πρόβλημα είναι ο τρόπος σύνδεσης του αισθητηρίου στο υπόλοιπο κύκλωμα. Στην συνέχεια το σήμα εισόδου πρέπει να ενισχυθεί και τελικά συνήθως συγκρίνεται με κάποιο άλλο σήμα που αποτελεί το σήμα αναφοράς (επιθυμητή τιμή). Στην παράγραφο αυτή θα δούμε μερικές απλές λύσεις για τα προβλήματα αυτά. Θα γνωρίσουμε επίσης μερικά στοιχεία που είναι απαραίτητα στην κατασκευή κάποιου αυτοματισμού.

#### 3.2.1 Κύκλωμα προσαρμογής αισθητηρίου

Το πρώτο πρόβλημα που πρέπει να αντιμετωπισθεί είναι η σύνδεση του αισθητηρίου στο κύκλωμα μέτρησης. Όταν το αισθητήριο είναι παθητικό (δηλαδή χρειάζεται εξωτερική πηγή τροφοδοσίας), ένας συνηθισμένος τρόπος σύνδεσης είναι σε γέφυρα.



Σχήμα 3.2.1 Συνδεσμολογία αισθητηρίων σε γέφυρα

Μία συνδεσμολογία γέφυρας είναι αυτή του σχήματος 3.2.1. Το αισθητήριο μπορεί να είναι μία ή περισσότερες από τις αντιστάσεις του σχήματος. Έτσι, έχουμε:

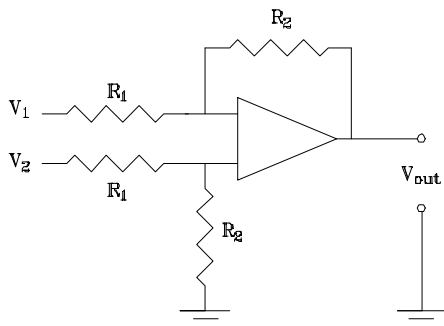
- ✓ *συνδεσμολογία γέφυρας με ένα αισθητήριο.* Στην περίπτωση αυτή, το αισθητήριο τοποθετείται στην θέση της  $R_4$ . Αν υποθέσουμε ότι η (μεταβαλλόμενη) αντίσταση του αισθητηρίου είναι της μορφής  $R(1+\delta)$  και θέσουμε  $R_1 = R_2 = R_3 = R$ , τότε  $V_{AB} = V_{CC} \delta / 4$ , δηλαδή ανεξάρτητο του  $R$ . Άρα, μεταβολή στην θερμοκρασία δεν επηρεάζει τη μέτρηση.
- ✓ *συνδεσμολογία γέφυρας με δύο αισθητήρια.* Τα αισθητήρια τοποθετούνται στις θέσεις των  $R_2$  και  $R_4$  και είναι της μορφής  $R(1+\delta)$ . Οπότε, αν θέσουμε  $R_1 = R_3 = R$ , αποδεικνύεται ότι  $V_{AB} = V_{CC} \delta / 2$ , δηλαδή διπλάσιο από την προηγούμενη περίπτωση. Αυτή η συνδεσμολογία χρησιμοποιείται αν πρόκειται να παρακολουθήσουμε την μεταβολή ενός μεγέθους (π.χ. για μέτρηση δύναμης σε ράβδο,

χρησιμοποιούνται δύο αισθητήρες τύπου strain gauge, που τοποθετούνται αντίθετα στην ράβδο).

- ✓ *συνδεσμολογία γέφυρας με τέσσερα αισθητήρια.* Στην συνδεσμολογία αυτή, στη θέση όλων των αντιστάσεων υπάρχουν αισθητήρια. Στις θέσεις των  $R_2$  και  $R_4$  είναι τύπου  $R(1+\delta)$ , ενώ στις άλλες δύο είναι της μορφής  $R(1-\delta)$ . Αποδεικνύεται ότι  $V_{AB} = V_{CC} \delta$ .

### 3.2.2 Κύκλωμα ενίσχυσης του σήματος εισόδου

Το σήμα που δημιουργείται από τα προηγούμενα κυκλώματα θα πρέπει να ενισχυθεί. Για να οδηγήσουμε το σήμα στον ενισχυτή, χρησιμοποιούμε συνήθως έναν Τελεστικό Ενισχυτή σε συνδεσμολογία διαφορικού ενισχυτή. Στο Σχήμα 3.2.2 φαίνεται ένας τέτοιος ενισχυτής



Σχήμα 3.2.2 Διαφορικός ενισχυτής

Αποδεικνύεται ότι 
$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1} (V_1 - V_2)$$

Το κύκλωμα αυτό παρουσιάζει στην πράξη αρκετά μειονεκτήματα (προβλήματα αντιστάθμισης, γραμμικοποίησης) και γι' αυτό, συνήθως, χρησιμοποιούνται πιο σύνθετα κυκλώματα.

### 3.2.3 Κύκλωμα σύγκρισης

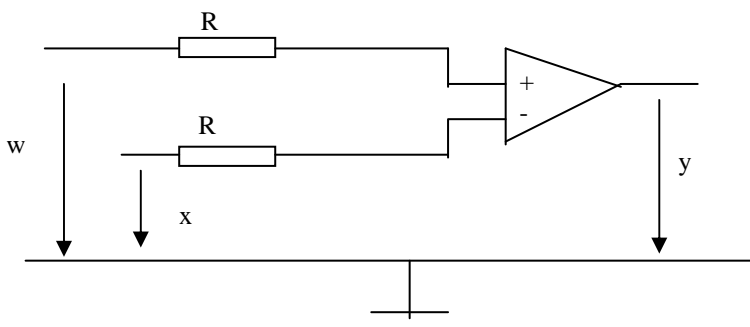
Σχεδόν σε όλα τα συστήματα αυτοματισμού γίνεται σύγκριση της τιμής ενός φυσικού μεγέθους, το οποίο θέλουμε να ελέγξουμε, με μια επιθυμητή τιμή του μεγέθους αυτού. Η σύγκριση αυτή μπορεί να γίνει είτε με αναλογικό, είτε με ψηφιακό τρόπο.

Ο αναλογικός συγκριτής είναι ένα αναλογικό κύκλωμα με δύο εισόδους και μια έξοδο. Στη μια είσοδο έχουμε την επιθυμητή τιμή σαν μια προτοποθετημένη τιμή (preset value), συνήθως μέσω ενός ποτενσιομέτρου. Στη δεύτερη είσοδο οδηγείται η έξοδος του αισθητηρίου, συνήθως μέσω ενός κυκλώματος ενίσχυσης και προσαρμογής. Ανάλογα με

τη σχεδίαση του συγκριτή, η έξοδος του είναι ελάχιστη (min) ή μέγιστη (max), όταν η τιμή του σήματος του αισθητηρίου είναι μεγαλύτερη από την επιθυμητή τιμή. Δηλαδή:

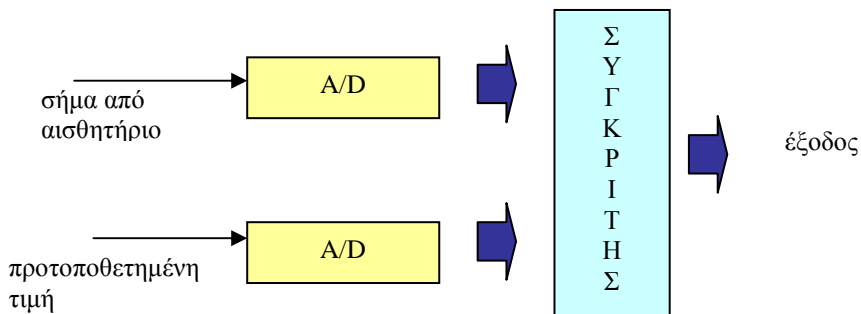
$$y(t) = \begin{cases} Y_{\max} & \text{για.....} w > x \\ Y_{\min} = -Y_{\max} & \text{για.....} w < x \end{cases}$$

Η επιθυμητή τιμή μπορεί να είναι είτε η w, είτε η x. Ένα θεωρητικό κύκλωμα που υλοποιεί τη συνάρτηση αυτή είναι αυτό του σχήματος 3.2.3



Σχήμα 3.2.3. Σχηματικό διάγραμμα αναλογικού συγκριτή

Ο ψηφιακός ή λογικός συγκριτής έχει και αυτός δύο εισόδους και μία έξοδο. Και εδώ έχουμε το σήμα από το αισθητήριο και μια προτοποθετημένη τιμή.



Σχήμα 3.2.4. Διάγραμμα βαθμίδων ψηφιακού συγκριτή

Όμως, τα σήματα οδηγούνται στο κύκλωμα του συγκριτή, αφού πρώτα μετατραπούν σε ψηφιακά (με αναλογοψηφιακούς ετατροπείς-Analog

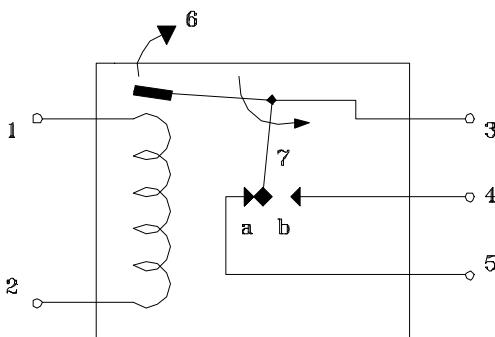
το Digital Converters- A/D), το δε κύκλωμα του συγκριτή είναι και αυτό ψηφιακό\*.

Τελευταία έχουν κυκλοφορήσει ολοκληρωμένα κυκλώματα ψηφιακών συγκριτών. Έτσι το ολοκληρωμένο 74LS85 συγκρίνει δύο λέξεις των 4bits και ενεργοποιεί μία από τρεις εξόδους (για <, >, =). Στο Σχήμα 3.2.4 βλέπουμε το διάγραμμα βαθμίδων ενός ψηφιακού συγκριτή.

### **3.2.4. Υλικά αυτοματισμών**

Κάθε κύκλωμα αυτοματισμού αποτελείται από διάφορα ηλεκτρικά, ηλεκτρονικά, μηχανικά και υδραυλικά στοιχεία, κατάλληλα συνδεδεμένα μεταξύ τους. Τα κυριότερα βοηθητικά στοιχεία του κυκλώματος είναι:

- *Ρελέ ή ηλεκτρονόμοι (H/N)*. Πρόκειται για μηχανισμό που, όταν διεγείρεται, αποκαθιστά ή διακόπτει μια συνδεσμολογία. Στο σχήμα 3.2.5 βλέπουμε σχηματικά την κατασκευή του ηλεκτρονόμου.



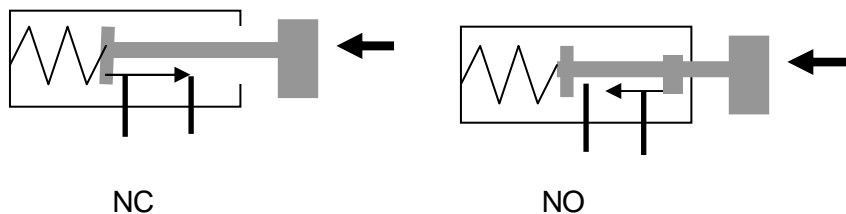
Σχήμα 3.2.5. Σχηματικό διάγραμμα ηλεκτρονόμου

Σε κατάσταση ηρεμίας είναι κλειστή η επαφή a του ρελέ, άρα υπάρχει επαφή μεταξύ των σημείων 3 και 5. Όταν στην είσοδο του ρελέ (σημεία 1 και 2) εφαρμοστεί τάση, το πηνίο διαρρέεται από ρεύμα και έλκει το έλασμα 6 (όπλιση του ρελέ). Τότε ο βραχίονας 7 περιστρέφεται, όπως δείχνει το βέλος, με αποτέλεσμα η επαφή a να ανοίξει και να κλείσει η επαφή b. Τώρα υπάρχει επαφή μεταξύ των σημείων 3 και 4 της εξόδου του ρελέ. Δηλαδή, ανάλογα με την τιμή του ρεύματος εισόδου, ο βραχίονας 7 μεταγεται από την μια επαφή στην άλλη, παρέχοντας τη δυνατότητα να θέσουμε σε λειτουργία ή να αποκόψουμε ένα κύκλωμα, προκαλώντας μεταβολή στην κατάσταση του συστήματος ισχύος. Να

\*Ο ψηφιακός έλεγχος είναι αρκετά σύνθετος. Όπως θα δούμε σε επόμενο κεφάλαιο ο έλεγχος αυτός γίνεται σε διακριτό χρόνο, οπότε απαιτούνται επιπλέον μονάδες δειγματοληψίας και συγκράτησης, που για λόγους απλότητας δεν δεικνύονται στο σχήμα 3.2.4.

σημειώσουμε ότι ένα ρελέ, συνήθως, έχει περισσότερες από μία μεταγωγικές επαφές. Υπάρχει μεγάλη ποικιλία ρελέ, ανάλογα με την τάση διέγερσης, την ισχύ, τον αριθμό και το μέγιστο ρεύμα των επαφών.

- *Όργανα χειρισμών.* Είναι εξαρτήματα, με τα οποία δίνονται στο κύκλωμα χειροκίνητα κάποιες εντολές (όπως εκκίνηση ή διακοπή). Αυτά διακρίνονται σε μπουτόν και διακόπτες. Το μπουτόν διαθέτει μια επαφή, που σε κατάσταση ηρεμίας είναι είτε ανοικτή (normal open-NO) και με πίεση κλείνει στιγμιαία, είτε κλειστή (normal close-NC) και με πίεση ανοίγει στιγμιαία. Στο Σχήμα 3.2.6 φαίνεται η λειτουργία των μπουτόν.



Σχήμα 3.2.6. Σχηματικά διαγράμματα μπουτόν

Οι διακόπτες διαθέτουν μια ή περισσότερες επαφές. Η διαφορά από τα μπουτόν είναι ότι η αλλαγή στην κατάστασή τους είναι μόνιμη και χρειάζεται νέο πάτημα για να επανέλθουν στην αρχική τους κατάσταση (δεν υπάρχει το ελατήριο επαναφοράς).

- *Ενδεικτικά όργανα μετρήσεων.* Αυτά βοηθούν στο να γνωρίζουμε ανά πάσα στιγμή τις τιμές των μεγεθών που ελέγχουμε. Τέτοια όργανα είναι το βολτόμετρο, το αμπερόμετρο, το συχνόμετρο, το βατόμετρο, όργανο μέτρησης πίεσης (μανόμετρο) κ.ά.

### 3.3 ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΙΕΣΗΣ ΚΑΙ ΣΤΑΘΜΗΣ ΥΓΡΟΥ

Η πίεση είναι μια σημαντική παράμετρος σε πολλά κυκλώματα αυτοματισμού, κυρίως σε βιομηχανικές εφαρμογές, και η μέτρηση της τιμής της χρησιμοποιείται στη μέτρηση της ταχύτητας ροής ρευστού και στον υπολογισμό της στάθμης του. Ένα σημαντικό πρόβλημα όμως είναι ότι δεν μπορεί να μετρηθεί άμεσα. Γενικά, ένα μηχανικό κύκλωμα μπορεί να δώσει πληροφορίες μόνο για τη *διαφορά* πίεσης μεταξύ δύο σημείων. Έτσι, για να έχουμε απόλυτη μέτρηση, πρέπει να υποθέσουμε ένα *σημείο αναφοράς (viewpoint)*, ως προς το οποίο θα γίνεται η μέτρηση.

Τα αισθητήρια πίεσης, συνήθως, διατίθενται σε τρεις μορφές, που επιτρέπουν τη μέτρηση *απόλυτης (absolute)*, *διαφορικής (differential)* ή *σχετικής (gauge)* πίεσης.

Τα αισθητήρια διαφορικής πίεσης μετρούν τη διαφορά πίεσης μεταξύ δύο σημείων (πηγών πίεσης), όπου η πίεση του ενός σημείου θεωρείται σαν αναφορά. Αν η πίεση αναφοράς είναι του περιβάλλοντος (ατμοσφαιρική πίεση), τότε η μέτρηση αφορά σχετική πίεση. Αν η πίεση αναφοράς είναι η πίεση του κενού που θεωρείται (εξ ορισμού) ίση με μηδέν, τότε η μέτρηση αφορά την απόλυτη πίεση.

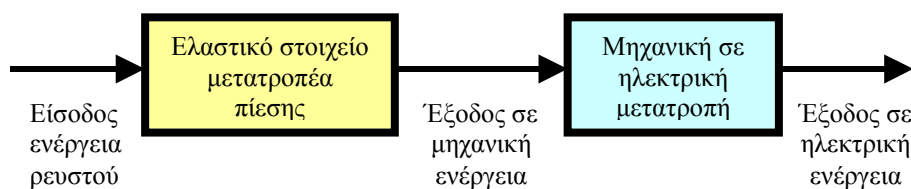
### **3.3.1 Αισθητήρια πίεσης**

Σε όλους τους μετατροπείς (transducers) πίεσης, πρέπει να μετατραπεί ενέργεια από το σύστημα που πρόκειται να μετρηθεί σε άλλη μορφή.

Υπάρχουν δύο κατηγορίες μετατροπέων πίεσης. Στη πρώτη κατηγορία η πίεση μετράται άμεσα με μετατροπή της σε μηχανική κίνηση και σ' αυτήν ανήκουν τα μανόμετρα (manometers) και οι εξισορροπητές πίεσης (pressure-balances) η λειτουργία των οποίων βασίζεται στην εξίσωση

$$\text{Πίεση} = \text{δύναμη} / \text{μονάδα επιφάνειας}$$

Στην δεύτερη κατηγορία η πίεση μετράται έμμεσα με μετατροπή της σε ηλεκτρικό σήμα. Τα όργανα της ομάδας αυτής βασίζονται στη μετατροπή της πίεσης σε ηλεκτρικό σήμα κατάλληλο για επεξεργασία, καθώς το ρευστό που πρόκειται να μελετηθεί πιέζει μια ελαστική επιφάνεια (π.χ. διάφραγμα) που προκαλεί την μεταβολή της αντίστασης ή της χωρητικότητας ενός στοιχείου που με την σειρά της προκαλεί μεταβολή στην τάση ή το ρεύμα ενός στοιχείου. Στο Σχήμα 3.3.1 φαίνεται η αρχή λειτουργίας ενός τέτοιου μετατροπέα



Σχήμα 3.3.1 Αρχή λειτουργίας μετατροπέα πίεσης

Οι μετατροπείς που συνήθως χρησιμοποιούνται είναι αυτοί που δίνουν ηλεκτρικό σήμα. Οι κυριότεροι τύποι που χρησιμοποιούνται βασίζονται στην μεταβολή αντίστασης, επαγωγής ή χωρητικότητας. Είναι περισσότερο ακριβείς από αυτούς της πρώτης κατηγορίας και δίνουν απ' ευθείας ένα ηλεκτρικό σήμα (π.χ. ηλεκτρικό ρεύμα έντασης 4-20mA). Στον πίνακα 3.3.1 παρουσιάζεται μια σύγκριση των τριών αυτών τύπων.

Εκτός των μετατροπέων που αναφέρθηκαν, υπάρχουν και αρκετοί άλλοι, με κυριότερους τους πιεζοηλεκτρικούς. Αυτοί βασίζονται στο



φαινόμενο, που παρουσιάζουν κάποια υλικά, να εμφανίζουν διαφορά δυναμικού στα άκρα τους, όταν ασκηθεί πάνω τους πίεση.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3.1**

ΤΥΠΟΣ	Περιοχή	ακρίβεια	Σχόλια
Χωρητικότητα	0.01Pa-200Kpa	0.2%	Μικρή επίδραση θερμοκρασίας Μεγάλη σταθερά χρόνου
Επαγωγής	1Pa-1Gpa	0.2%	Μικρή επίδραση θερμοκρασίας Μικρή σταθερά χρόνου
Αντίστασης	20Kpa-250Mpa	0.1%	Σημαντική επίδραση θερμοκρασίας Εξαιρετικά μικρή σταθερά χρόνου

Τα χαρακτηριστικά που παρουσιάζει ένας πιεζοηλεκτρικός μετατροπέας φαίνονται συνοπτικά στον πίνακα 3.3.2

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3.2**

Χαρακτηριστικά λειτουργίας	
Περιοχή λειτουργίας	0 έως 15 psi *
Έξοδος	100 mV
Ευαισθησία	7mV/psi
Αντίσταση ειζόδου	8KΩ±10%
Ακρίβεια	±0.1%
Συχνότητα μέτρησης	500KHz

\*psi : pounts per square inch (πάουντς ανά τετραγωνική ίντσα) ≈ 6.9 Kpa.

### **3.3.2 Μέτρηση πίεσης**

Σε ένα κύκλωμα μέτρησης πίεσης, το αισθητήριο συνήθως συνδέεται σε συνδεσμολογία γέφυρας. Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε, λοιπόν, ένα αισθητήριο μεταβολής αντίστασης και να το συνδέσουμε σε γέφυρα, όπως έχουμε ήδη περιγράψει. Στη συνέχεια με ένα διαφορικό ενισχυτή (Σχήμα 3.3.4) οδηγούμε το σήμα σε ένα κύκλωμα ενίσχυσης και γραμμικοποίησης.

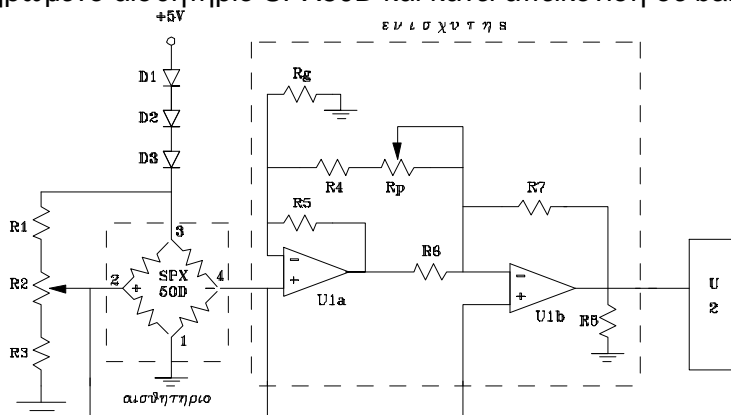
Να σημειώσουμε εδώ, ότι η ενίσχυση που πραγματοποιεί ο ενισχυτής πρέπει να έχει τέτοια τιμή, ώστε το σήμα εξόδου του να είναι συμβατό με το κύκλωμα απεικόνισης.

Εκτός από τη μέθοδο αυτή, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ένα αισθητήριο της σειράς Sensym SPX, που αποτελεί την ολοκληρωμένη μορφή της προηγούμενης διάταξης, αφού έχει το μεταλλάκτη συνδεδεμένο ήδη σε γέφυρα. Οι στάθμες μέτρησης των αισθητηρίων αυτών φαίνονται στον πίνακα 3.3.3.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3.3**

Περιοχή	Τύπος
0-1 PSI	SPX50D
0-10 PSI	SPX50DN
0-15 PSI	SPX-100
0-30 PSI	SPX-200

Στο σχήμα 3.3.2 εικονίζεται ένα κύκλωμα που χρησιμοποιεί το ολοκληρωμένο αισθητήριο SPX50D και κάνει απεικόνιση σε bar-graph .



**Σχήμα 3.3.2** Μέτρηση πίεσης με ολοκληρωμένο κύκλωμα

Τα ολοκληρωμένα που χρησιμοποιούνται είναι ο διπλός τελεστικός ενισχυτής LM358 (U1) και ο οδηγός LED dot display NSM3914B (U2).

Τα αισθητήρια πίεσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για τη μέτρηση της ταχύτητας ροής ενός ρευστού. Από τον νόμο Bernoulli είναι γνωστό ότι:

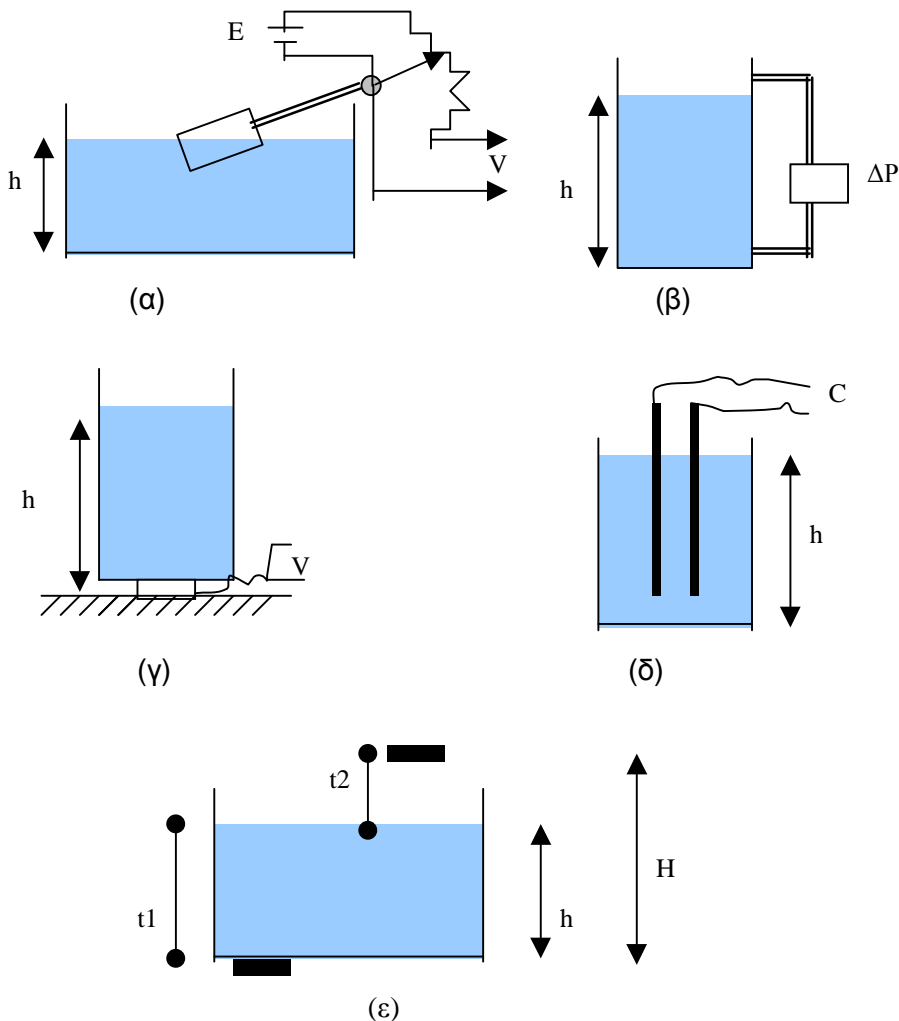
$$v = \sqrt{\frac{2(P_T - P_S)}{\rho}} \quad 3.3.1$$

όπου  $P_T$  η ολική πίεση του ρευστού (λόγω του βάθους που πραγματοποιείται η μέτρηση και της κίνησης του ρευστού),  $P_S$  η στατική (οφειλόμενη μόνο στο βάθος της μέτρησης) και  $\rho$  η πυκνότητα του ρευστού. Οι δύο πιέσεις μπορούν να μετρηθούν με αισθητήρια πίεσης (τοποθετημένα στο ίδιο βάθος) και οι έξοδοί τους να οδηγηθούν σε έναν διαφορικό ενισχυτή.

### **3.3.3 Μέτρηση στάθμης**

Οι μέθοδοι μέτρησης της στάθμης ενός υγρού διαφέρουν στην αρχή λειτουργίας τους καθώς και στον τρόπο υλοποίησή τους

Στο Σχήμα 3.3.3 βλέπουμε μερικές από τις χρησιμοποιούμενες τεχνικές μέτρησης. Η ακρίβεια των μετρήσεων με τις διατάξεις αυτές είναι μικρή, αλλά συνήθως δεν απαιτείται μεγαλύτερη.



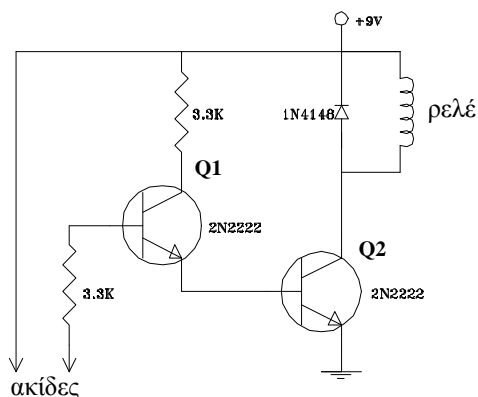
Σχήμα 3.3.3 Αισθητήρια στάθμης

Στο (α) έχουμε την παραγωγή απ' ευθείας τάσης, ανάλογης με τη στάθμη του υγρού ( $V \propto h$ ). Στο (β) δημιουργείται μια διαφορά πίεσης, που μπορεί να μετρηθεί, όπως περιγράψαμε στην προηγούμενη παράγραφο ( $\Delta P \propto h$ ). Στο (γ) το δοχείο ζυγίζεται ηλεκτρικά, οπότε έχουμε ξανά δημιουργία τάσης ( $V \propto h$ ). Στο (δ) το υγρό αποτελεί διηλεκτρικό του πυκνωτή, που σχηματίζουν οι δύο κάθετες επιφάνειες, οπότε η

χωρητικότητα αλλάζει ανάλογα με το ύψος της στάθμης ( $C \propto h$ ). Τέλος, στο (ε) έχουν τοποθετηθεί δύο πομποδέκτες υπερηχητικού σήματος. Τα σήματα που εκπέμπουν αυτοί αντανακλώνονται στην επιφάνεια του υγρού. Έτσι ο χρόνος  $t_1 \propto h$  και  $t_2 \propto (H-h)$ .

Όλες αυτές οι μέθοδοι χρησιμοποιούνται για την μέτρηση ομογενών ρευστών. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τη μέτρηση της πυκνότητας των υγρών, αν το ύψος της στάθμης διατηρείται σταθερό.

Όταν πρόκειται για ανίχνευση μιας δεδομένης στάθμης ενός υγρού, η διάταξη είναι απλούστερη.



Σχήμα 3.3.4 Κύκλωμα ενεργοποίησης ρελέ

Έτσι, στο Σχήμα 3.3.4 βλέπουμε ένα απλό κύκλωμα, που ενεργοποιεί ένα ρελέ, όταν η στάθμη ενός (αγώγιμου) υγρού φτάσει στη θέση των ακίδων. Στο κάτω αριστερό άκρο του κυκλώματος είναι οι ακίδες, που τοποθετούνται στο σημείο της δεξαμενής που επιθυμούμε, ενώ πάνω δεξιά εικονίζεται το πηνίο του ρελέ. Όταν οι ακίδες έρθουν σε επαφή με αγώγιμο υγρό το κύκλωμα κλείνει, οπότε το τρανζίστορ Q1 άγει, το Q2 έρχεται σε κόρο και το ρελέ ενεργοποιείται. Το ρελέ αυτό με την σειρά του θα διεγείρει ένα κύκλωμα ισχύος.

### 3.4 ΕΛΕΓΧΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

Ο έλεγχος του φωτισμού ενός χώρου είναι ένα απλό πρόβλημα με οικιακές, κυρίως, εφαρμογές. Το ζητούμενο είναι να ενεργοποιείται ένας λαμπτήρας ή ένα δίκτυο λαμπτήρων, όταν ο φωτισμός σε ένα χώρο μειωθεί αρκετά. Θα εξετάσουμε κατ' αρχήν μερικά αισθητήρια φωτός και στην συνέχεια θα ασχοληθούμε με το κύκλωμα ελέγχου.

### 3.4.1. Αισθητήρια φωτός

Οι φωτοανιχνευτές (light detectors) διαιρούνται σε δύο κατηγορίες: τους κβαντικούς (*quantum*) και τους θερμικούς (*thermal*), ανάλογα αν ενεργοποιούνται με την ποσότητα της φωτεινής ακτινοβολίας ή με το θερμικό αποτέλεσμά της. Οι ποσοτικοί ανιχνευτές ενεργοποιούνται στην περιοχή του φάσματος από την υπεριώδη έως το μέσον της υπέρυθρης ακτινοβολίας του φωτός, ενώ οι θερμικοί ανιχνευτές ενεργοποιούνται κυρίως στο μέσον και στην ανώτερη περιοχή της υπέρυθρης ακτινοβολίας. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι φωτοδιόδοι, τα φωτοτρανζίστορς και οι φωτοαντιστάσεις, ενώ στη δεύτερη τα θερμοστοιχεία, τα πυροηλεκτρικά αισθητήρια και τα AFIR αισθητήρια.

Οι παράμετροι που εξετάζονται κατά την σύγκριση διαφόρων φωτοανιχνευτών είναι:

- ✓ *Ισοδύναμη ισχύς θορύβου (noise equivalent power-NEP)*. Είναι η ποσότητα του φωτός, που είναι ισοδύναμη με τον θόρυβο που δημιουργεί ο ανιχνευτής. Δηλαδή η ποσότητα της ακτινοβολίας για την οποία ο λόγος σήμα προς θόρυβο ισούται με ένα. Συμβολίζεται με NEP και μετράται σε  $\text{Watt}/\sqrt{\text{Hz}}$ .
- ✓ *Ικανότητα ανίχνευσης (detectivity- $D^*$ )*. Είναι η ικανότητα ανίχνευσης που έχει αισθητήριο περιοχής  $1\text{cm}^2$  για θόρυβο 1Hz.

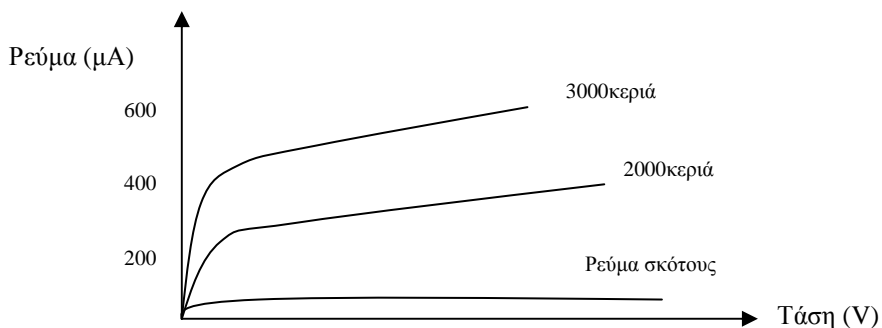
$$D^* = \frac{\sqrt{\text{περιοχή}(\text{cm}^2)}}{\text{NEP}}$$

Η ικανότητα ανίχνευσης είναι ένας άλλος τρόπος μέτρησης του λόγου σήμα-προς-θόρυβο (S/N). Εκφράζεται σε  $\text{cm}\sqrt{\text{Hz}}/\text{W}$  και, όσο μεγαλύτερη είναι, τόσο καλύτερο είναι το αισθητήριο.

- ✓ *Μήκος κύματος αποκοπής (cutoff wavelength- $\lambda_c$ )*. Είναι το μήκος κύματος της ακτινοβολίας που πέφτει στο αισθητήριο, για την οποία η ικανότητα ανίχνευσης πέφτει στο 10% της μέγιστης τιμής της.
- ✓ *Μέγιστο ρεύμα (maximum current)*. Είναι η μέγιστη τιμή του ρεύματος, στην οποία μπορεί να δουλέψει το αισθητήριο.
- ✓ *Μέγιστη ανάστροφη τάση (maximum reverse voltage)*. Υπέρβαση της τάσης αυτής μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφή του αισθητηρίου.
- ✓ *Ευαισθησία ακτινοβολίας (radiant responsivity)*. Είναι ο λόγος της εξόδου του αισθητηρίου προς την ισχύ της ακτινοβολίας ενός τυχαίου μήκους κύματος. Εκφράζεται σε  $\text{A/W}$  ή  $\text{V/W}$ .
- ✓ *Πεδίο ακτινοβολίας (field of view-FOV)*. Είναι η γωνία που καλύπτει το χώρο ακτινοβολίας, που μπορεί να ενεργοποιήσει το αισθητήριο.
- ✓ *Χωρητικότητα επαφής (junction capacitance- $C_j$ )*. Είναι η ισοδύναμη χωρητικότητα της επαφής των ημιαγωγών, που σχηματίζουν το αισθητήριο. Σχετίζεται με την ταχύτητα απόκρισης του ανιχνευτή.

Ας δούμε τώρα τα κυριότερα είδη φωτοανιχνευτών.

1. Φωτοδίοδος (*photodiode*). Η λειτουργία των φωτοδίοδων βασίζεται στη δημιουργία ζευγαριών ηλεκτρονίων-οπών από φωτόνια που προσπίπτουν σε μία επαφή pn. Όταν η δίοδος πολώνεται ορθά, τότε λειτουργεί σαν απλή δίοδος και η μεταβολή του φωτισμού ελάχιστα μεταβάλλει την λειτουργία της. Όταν όμως πολώνεται ανάστροφα, η δίοδος διαρρέεται από ρεύμα, που αυξάνει ανάλογα με την αύξηση του φωτισμού που δέχεται η δίοδος. Για τάση πόλωσης μηδέν και απόλυτο σκοτάδι, περνά ένα ελάχιστο ρεύμα, που ονομάζεται ρεύμα σκότους και οφείλεται στη θερμική δημιουργία ηλεκτρονίων και οπών. Στο σχήμα 3.4.1 φαίνονται οι χαρακτηριστικές καμπύλες ρεύματος - τάσης μιας φωτοδίοδου για διάφορες φωτεινές ροές.



Σχήμα 3.4.1 Χαρακτηριστικές καμπύλες I - V μιας φωτοδίοδου για διάφορες τιμές της φωτεινής ροής

2. Φωτοτρανζίστορ (*phototransistor*). Τα φωτοτρανζίστορ βασίζονται στην ίδια αρχή λειτουργίας με την φωτοδίοδο και επιπλέον, προχωρούν σε ενίσχυση του ρεύματος που εμφανίζεται, αυξάνοντας με τον τρόπο αυτό την ευαισθησία. Η επαφή βάσης-συλλέκτη είναι μία δίοδος ανάστροφα πολωμένη, που λειτουργεί όπως περιγράφηκε προηγούμενα. Με κατάλληλη πόλωση η επαφή βάσης-εκπομπού πολώνεται ορθά και ενισχύει το ρεύμα του συλλέκτη.
3. Φωτοαντίσταση (*photoresistor*). Η λειτουργία της φωτοαντίστασης βασίζεται στη μεταβολή της τιμής της, ανάλογα με την ένταση του φωτός που πέφτει πάνω της. Σε απόλυτο σκοτάδι η αντίσταση είναι μέγιστη. Εφαρμόζοντας όμως τάση στα άκρα της, εμφανίζεται ένα ρεύμα που οφείλεται κυρίως σε θερμική λειτουργία (ρεύμα σκότους). Με την αύξηση της έντασης του φωτός, η αντίσταση του υλικού μικραίνει και επιτρέπει τη δημιουργία μεγάλων ρευμάτων.
4. Φωτο-μετατροπέας (*light to light converter*). Αποτελείται από ένα φωτοτρανζίστορ και μία δίοδο Laser (LD). Ο μετατροπέας αυτός απαιτεί μικρή τάση πόλωσης (4V) και πραγματοποιεί μεγάλη ενίσχυση (πάνω

από  $6 \cdot 10^5$ ), μπορεί μάλιστα να ανιχνεύσει ακτινοβολία με πολύ χαμηλή ισχύ (π.χ.  $7 \text{ nW}$ ).

5. *Ψυχόμενοι ανιχνευτές (cooled detectors)*. Ένας σημαντικός παράγοντας για την καλή λειτουργία ενός ανιχνευτή είναι ο λόγος σήμα προς θόρυβο (signal to noise - S/N). Σε πολλές εφαρμογές (ιδίως όταν η θερμοκρασία λειτουργίας μεγαλώνει) ο θόρυβος αυξάνει, οπότε, στην περίπτωση μεγάλου μήκους κύματος (άρα μικρής συχνότητας και ενέργειας) η ακρίβεια και η ευαισθησία του αισθητηρίου ελαττώνεται κατά πολύ. Αντίθετα, στους ψυχόμενους ανιχνευτές το επίπεδο του θορύβου είναι ιδιαίτερα χαμηλό (αφού μειώνεται ο θερμικός θόρυβος<sup>1</sup>), επομένως μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ανίχνευση ακτινοβολιών με μεγάλο μήκος κύματος. Οι ανιχνευτές αυτοί έχουν μεγάλη ευαισθησία, έχουν όμως πιο αργή απόκριση, αφού η χωρητικότητα επαφής αυξάνει.
6. *Θερμοηλεκτρικά αισθητήρια (thermopile sensors)*. Η λειτουργία του αισθητηρίου αυτού βασίζεται στο θερμοηλεκτρικό φαινόμενο, στο οποίο βασίζεται και η λειτουργία του θερμοζεύγους. Το αισθητήριο περιλαμβάνει μια περιοχή μεγάλης θερμικής μάζας, που αποτελεί τη ψυχρή επαφή, και μια δεύτερη περιοχή, που αποτελεί τη θερμή επαφή. Η περιοχή αυτή καλύπτεται από διαφανή μεμβράνη, που επιτρέπει στην ακτινοβολία να φτάσει στη θερμή περιοχή, αυξάνοντας τη θερμοκρασία της. Η διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στις δύο περιοχές δημιουργεί μια ηλεκτρική τάση. Το αισθητήριο αυτό χαρακτηρίζεται από υψηλή ευαισθησία και χαμηλό θόρυβο. Ο θερμοηλεκτρικός συντελεστής είναι  $230 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ .
7. *Πυροηλεκτρικά αισθητήρια (pyroelectric sensors)*. Η λειτουργία τους βασίζεται στην ιδιότητα κάποιων υλικών να δημιουργούν ηλεκτρική τάση, ανάλογα με τη θερμική ακτινοβολία που δέχονται. Έχουν σχετικά καλή συμπεριφορά στο θόρυβο, αλλά παρουσιάζουν σχετικά μεγάλη καθυστέρηση στην απόκρισή τους.

### **3.4.2 Κυκλώματα ελέγχου φωτεινής στάθμης**

- Ο έλεγχος της φωτεινής στάθμης μπορεί να γίνει με δύο τρόπους.
- ✓ Στην πρώτη περίπτωση η λειτουργία των λαμπτήρων είναι συνεχής και ανάλογα με τον φωτισμό του χώρου μεταβάλλεται και η ένταση του ρεύματος που τους διαρρέει, άρα αλλάζει και η ένταση της ακτινοβολίας τους
  - ✓ Στην δεύτερη περίπτωση η λειτουργία των λαμπτήρων είναι διακοπτόμενη και το κύκλωμα που τους ηλεκτροδοτεί ενεργοποιείται όταν ο φωτισμός του χώρου γίνει χαμηλότερος από κάποια προκαθορισμένη τιμή.

---

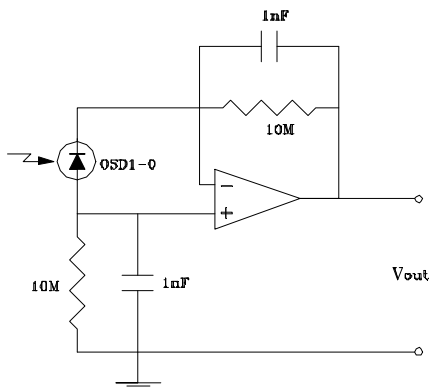
<sup>1</sup> Βλ. ενότητα 3.6.1

Στην παράγραφο αυτή θα ασχοληθούμε με την δεύτερη περίπτωση που είναι και η συνηθέστερη. Θα παρουσιαστούν δηλαδή μερικά κυκλώματα αυτοματισμού που ενεργοποιούν κάποιο σύστημα (π.χ. άνοιγμα και κλείσιμο φώτων), ανάλογα με τη φωτεινή στάθμη. Το σύστημα αυτό αποτελεί το υπό έλεγχο σύστημα, ενώ τα κυκλώματα που παρουσιάζονται είναι τα κυκλώματα ελέγχου. Κάθε κύκλωμα περιλαμβάνει κατάλληλο αισθητήριο (sensor) και ενεργοποιητή (actuator) που είναι είτε ρελέ είτε θυρίστορ.

Αν χρησιμοποιήσουμε για αισθητήριο φωτοδίοδο, υπάρχουν δύο διαφορετικοί τρόποι εφαρμογής της: φωτοαγωγιμότητας (PC) και φωτοτάσης (PV). Στην δεύτερη περίπτωση δεν απαιτείται τάση πόλωσης και η δίοδος λειτουργεί σαν γεννήτρια ρεύματος.

Έτσι, δεν υπάρχει ρεύμα σκότους, οπότε απομένει μόνο ο θερμικός θόρυβος, αυξάνοντας έτσι την ευαισθησία σε χαμηλούς φωτισμούς και βελτιώνοντας τον λόγο σήμα/θόρυβο (S/N). Μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι μεγαλώνει ο χρόνος απόκρισης και μικραίνει η απόκριση σε μεγάλα μήκη κύματος. Στην πρώτη περίπτωση, η δίοδος πολώνεται ανάστροφα με αποτέλεσμα την μείωση της χωρητικότητας επαφής, άρα βελτίωση του χρόνου απόκρισης. Στο Σχήμα 3.4.2 βλέπουμε μια βασική συνδεσμολογία φωτοδίοδου σε συνδεσμολογία PV. Το κύκλωμα αυτό παρουσιάζει πολύ καλή γραμμικότητα (δηλαδή, όσες φορές αυξάνει η φωτεινή ακτινοβολία, τόσες να αυξάνει και η τάση εξόδου).

Η αντίσταση των 10MΩ μεταξύ φωτοδίοδου και γής ρυθμίζει την ευαισθησία της διάταξης (πάντως δεν μπορεί να είναι κατώτερη από 100KΩ).

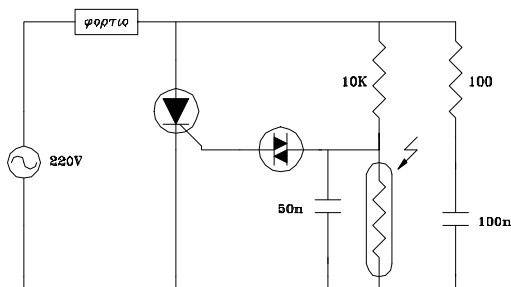


Σχήμα 3.4.2 Κύκλωμα ελέγχου με φωτοδίοδο

Αντί για φωτοδίοδο στο ίδιο κύκλωμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί φωτοτρανζίστορ.

Μια άλλη μέθοδος είναι να χρησιμοποιήσουμε φωτοαντίσταση. Στο κύκλωμα του σχήματος 3.4.3 φαίνεται ένα κύκλωμα που ενεργοποιεί μια συσκευή ή μια σειρά λαμπτήρων, που τοποθετούνται στη θέση "φορτίο".



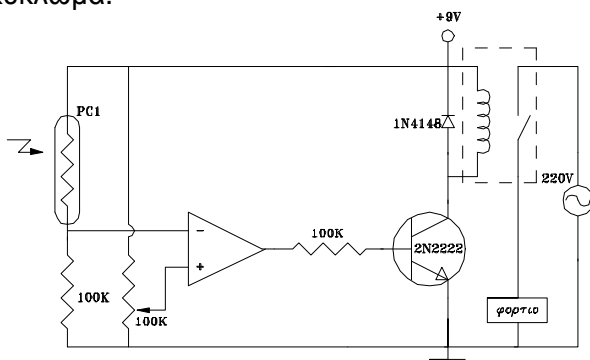


Σχήμα 3.4.3 Κύκλωμα ενεργοποίησης λαμπτήρων

Στο κύκλωμα αυτό ενεργοποιητής είναι ένα θυρίστορ. Το θυρίστορ μπορεί (όπως και το ρελέ) να ελέγχει μεγάλα ρεύματα (του κυκλώματος ισχύος), μέσω μικρών ρευμάτων (του κυκλώματος ελέγχου).

Η φωτοαντίσταση με την αντίσταση των 10K αποτελούν έναν διαιρέτη τάσης για τη πηγή. Όταν ο φωτισμός είναι χαμηλός, η φωτοαντίσταση παρουσιάζει μεγάλη τιμή, οπότε η τάση του DIAC αυξάνει με αποτέλεσμα, τελικά το ρεύμα που οδηγείται στην πύλη του θυρίστορ μέσω του DIAC να αποκτά μεγάλη τιμή. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μικραίνει το σημείο εκκίνησης του θυρίστορ, οπότε τελικά αυτό άγει, με αποτέλεσμα οι λάμπες του φορτίου να διαρέονται από ρεύμα.

Ένα κύκλωμα ενεργοποίησης φορτίου με έλεγχο μέσω ρελέ φαίνεται στο Σχήμα 3.4.4. Ο τελεστικός ενισχυτής λειτουργεί σαν συγκριτής. Όταν ο φωτισμός είναι χαμηλός ενεργοποιείται η έξοδος του τελεστικού που οδηγεί το τρανζίστορ σε κόρο. Τότε ενεργοποιείται το ρελέ και οι λάμπες ανάβουν. Με το ποτενσιόμετρο ρυθμίζουμε την φωτεινότητα, στην οποία θα ενεργοποιηθεί το κύκλωμα.



Σχήμα 3.4.4 Κύκλωμα ενεργοποίησης λαμπτήρων με ρελέ

Ο τελεστικός ενισχυτής μπορεί να είναι ένας απλός 741, ενώ το ρελέ πρέπει να είναι 6Vdc.

### 3.5 ΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΜΨΗΣ

Σε πολλές εφαρμογές χρειάζεται να μετρηθεί η δύναμη ή η πίεση, που ασκείται σε ένα σώμα ή μια επιφάνεια. Πίεση και δύναμη είναι μεγέθη σχετικά, αφού για να μετρηθεί η πίεση, πρέπει να μετρηθεί η δύναμη. Γενικά, μπορούμε να πούμε ότι δύναμη μετράμε σε περιπτώσεις στερεών, ενώ πίεση σε περιπτώσεις ρευστών (υγρών και αερίων).

Επίσης η εφαρμογή ροπής σε μια ράβδο, πιθανόν να την παραμορφώσει. Όπως φαίνεται στο σχήμα 3.5.1, η μια επιφάνεια επιμηκύνεται ενώ η άλλη βραχύνεται. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται *κάμψη*.

#### 3.5.1 Αισθητήρια δύναμης

Τα κυριότερα αισθητήρια μέτρησης δύναμης είναι οι πιεζοαντιστάσεις (*strain gauges*), τα αισθητήρια αφής (*tactile sensors*) και τα πιεζοηλεκτρικά αισθητήρια (*piezoelectric force sensors*).

Η λειτουργία των πιεζοαντιστάτων βασίζεται στην ιδιότητα ορισμένων υλικών να μεταβάλουν την ηλεκτρική τους αντίσταση, όταν παραμορφώνονται. Τα χαρακτηριστικά ενός τέτοιου αισθητηρίου φαίνονται στον πίνακα 3.5.1

Αντίθετα, τα πιεζοηλεκτρικά αισθητήρια βασίζονται στην ιδιότητα υλικών να εμφανίζουν τάση, όταν ασκείται πάνω τους δύναμη. Τέλος, τα αισθητήρια αφής αποτελούνται από πολλούς στοιχειώδεις πυκνωτές, που αλλάζει η χωρητικότητά τους, καθώς αλλάζει η απόσταση των οπλισμών τους, όταν δέχονται δύναμη.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.5.1**

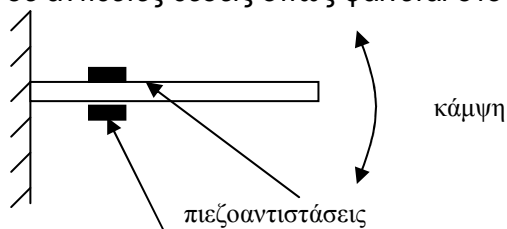
<b>Χαρακτηριστικά Λειτουργίας</b>	
Περιοχή μετρήσεων	30000 max
Ακρίβεια	0.15%
Σφάλμα θερμοκρασίας	$\pm 0.03\% \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
Θερμοκρασία λειτουργίας	-30 $^\circ\text{C}$ έως 80 $^\circ\text{C}$
Αντίσταση	120 $\Omega \pm 0.5\%$
Συντελεστής αντίστασης	2.1 $\pm 1\%$
Συντελεστής θερμοκρασίας	<5% 100 $^\circ\text{C}^{-1}$
Μήκος αισθητηρίου	10mm

Μια κατηγορία των αισθητηρίων αφής είναι οι FSR, που αποτελούνται από στοιχειώδεις αντιστάσεις. Συγκρινόμενοι με τις πιεζοαντιστάσεις, οι FSR έχουν μεγαλύτερη δυναμική περιοχή μετρήσεων, αλλά μικρότερη ακρίβεια (περίπου 10%). Είναι όμως χαμηλού κόστους και χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές, όπου δεν απαιτείται ιδιαίτερη ακρίβεια.

### 3.5.2 Μέτρηση κάμψης

Για μέτρηση δύναμης ενός βραχίονα, συνήθως χρησιμοποιούμε αισθητήρια πιεζοαντίστασης. Το αισθητήριο αυτό συνδέεται σε συνδεσμολογία γέφυρας με ένα, δύο ή τέσσερα στοιχεία.

Ένας συνηθισμένος τρόπος χρήσης είναι η τοποθέτηση δύο αισθητηρίων σε αντίθετες θέσεις όπως φαίνεται στο σχήμα 3.5.1.



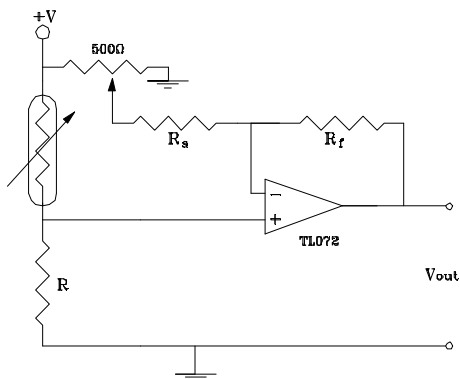
Σχήμα 3.5.1 Αισθητήρια σε ράβδο

Καθώς η ράβδος κάμπτεται, η αντίσταση για το ένα αισθητήριο γίνεται  $R(1+\delta)$ , και για το άλλο  $R(1-\delta)$ , όπου  $\delta=Se$  με  $S$  την ευαισθησία του αισθητηρίου (με τιμές 2 έως 6 για μέταλλα και 40 έως 200 για ημιαγωγούς)

και  $e$  η παραμόρφωση κάμψης,  $e = \frac{\Delta l}{l}$ , όπου  $l$  το μήκος του βραχίονα και  $\Delta l$  η μεταβολή του μήκους.

Οι δύο αντιστάσεις των αισθητηρίων μπορούν να τοποθετηθούν σε γέφυρα, όπως έχει περιγραφεί νωρίτερα.

Στο Σχήμα 3.5.2 φαίνεται ένα κύκλωμα μετατροπής της μεταβολής της αντίστασης σε τάση, που στη συνέχεια μπορεί να οδηγηθεί σε μονάδα απεικόνισης



Σχήμα 3.5.2 Τάση από μεταβολή αντίστασης λόγω κάμψης

Η αντίσταση των 500Ω ρυθμίζει το ρεύμα αντιστάθμισης ώστε η γέφυρα να ισοροπεί, ενώ οι αντιστάσεις  $R_s$  και  $R_f$  καθορίζουν την ενίσχυση του κυκλώματος ( $G = \frac{R_f}{R_s}$ , αφού  $R_s \gg$ ).

### 3.6 ΘΟΡΥΒΟΣ - ΓΕΙΩΣΕΙΣ

Στα κυκλώματα, τα οποία εξετάσαμε, αλλά και σε αυτά που θα εξετάσουμε στη συνέχεια του βιβλίου, υποθέσαμε μια ιδανική λειτουργία των στοιχείων. Στην πράξη όμως, σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα δημιουργούνται ανεπιθύμητα ηλεκτρικά σήματα, που οφείλονται σε διάφορους παράγοντες, καθώς επίσης και διάφορες απρόβλεπτες επιδράσεις, που επηρεάζουν τη σωστή λειτουργία του κυκλώματος.

Στην παράγραφο αυτή θα εξετάσουμε τα αίτια δημιουργίας τόσο των σημάτων αυτών, όσο και των διάφορων διαταραχών και θα προσπαθήσουμε να δώσουμε κάποιες αρχές αντιμετώπισής τους.

#### 3.6.1 Θόρυβος

Σαν θόρυβο (*noise*) ονομάζουμε παρασιτικά σήματα (οφειλόμενα σε τυχαίες καταστάσεις ή γεγονότα), που εμφανίζονται τόσο σε αισθητήρια, όσο και σε κυκλώματα και παραμορφώνουν το σήμα. Ο θόρυβος είναι αδύνατον να εξαλειφθεί, παρά μόνο να μειωθεί. Σημαντικό δεν είναι τόσο η "ποσότητα" του θορύβου, όσο η σχέση της με το σήμα που αλλοιώνει. Για το λόγο αυτό, η ποσότητα που συνήθως ενδιαφέρει είναι ο λόγος σήμα-προς-θόρυβο (signal-to-noise S/N).

Σε ένα κύκλωμα υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες θορύβου : ο *έμφυτος* (*inherent*) *θόρυβος*, που δημιουργείται από το κύκλωμα, και ο *θόρυβος παρεμβολής* (*interference*), που εισέρχεται στο κύκλωμα από εξωτερικούς παράγοντες.

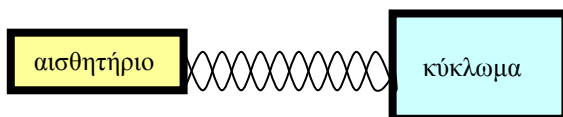
Επίσης, ένα αισθητήριο ποτέ δεν δημιουργεί ένα ηλεκτρικό σήμα, που να είναι ιδανική απεικόνιση της διέγερσης της εισόδου. Τα αίτια της απόκλισης αυτής οφείλονται στην ακρίβεια και στην ευαισθησία. Επίσης, σφάλματα μπορούν να δημιουργηθούν λόγω κακής κατασκευής, κακής ποιότητας υλικών ή κακής ρύθμισης. Όλους αυτούς τους παράγοντες συνήθως τους χαρακτηρίζουμε σαν θόρυβο του αισθητηρίου.

Ας επιστρέψουμε στον θόρυβο που δημιουργείται σε ένα κύκλωμα και ας δούμε αναλυτικότερα τις δύο κατηγορίες του

✓ *έμφυτος θόρυβος*. Για τα αισθητήρια ο έμφυτος θόρυβος σχετίζεται κυρίως με την ακρίβεια του αισθητηρίου. Στο κύκλωμα ενίσχυσης ο θόρυβος μπορεί να οφείλεται στη γραμμή ανατροφοδότησης, στην πόλωση, στον περιορισμό του εύρους συχνοτήτων, στην επίδραση της θερμοκρασίας στις αντιστάσεις (θερμικός θόρυβος) κ.λ.π. Στο κύκλωμα συνεχούς, για να περιορίσουμε το θόρυβο χρησιμοποιούμε αντιστάσεις

με μικρές τιμές, κρατάμε χαμηλά το εύρος συχνοτήτων και χρησιμοποιούμε φίλτρα για να αποκόψουμε το θερμικό θόρυβο (χαμηλές συχνότητες). Στο κύκλωμα εναλλασσόμενου ρεύματος, για να περιορίσουμε το θόρυβο Schottky (που οφείλεται σε μετακίνηση φορτίων σε μία επαφή και έχει την μορφή λεπτών παλμών) χρησιμοποιούμε FET και CMOS ημιαγωγούς και χρησιμοποιούμε φίλτρα χαμηλών συχνοτήτων για τα άλλα είδη θορύβων.

- ✓ Θόρυβος παρεμβολής. Κυριότερες πηγές του θορύβου αυτού είναι η θερμοκρασία, που αλλάζει τις παραμέτρους εξαρτημάτων, μηχανικές καταπονήσεις (κτυπήματα), ηλεκτρικά ή μαγνητικά πεδία, χρήση διακοπών στη γραμμή τροφοδοσίας, πολύ υψηλές τάσεις κ.ά. και εμφανίζεται τόσο στα αισθητήρια, όσο και στα κυκλώματα. Για να περιορίσουμε την επίδρασή του στα αισθητήρια (που είναι ιδιαίτερα σημαντική, γιατί περνώντας από τον ενισχυτή αποκτά μια σημαντική τιμή), χρησιμοποιούμε αισθητήρια σε ζεύγη, όπου το ένα επηρεάζεται από τη διέγερση, ενώ το άλλο δέχεται σταθερή διέγερση (αναφοράς). Αφαιρώντας τα σήματα των εξόδων τους, ο θόρυβος ελαχιστοποιείται. Αν το αισθητήριο βρίσκεται σε απόσταση από το κύκλωμα ελέγχου, συνδέεται σε αυτό μέσω αγωγών. Οι ενώσεις των διαφορετικών μετάλλων των αγωγών και του αισθητηρίου, ή των αγωγών και του κυκλώματος, δημιουργούν παρασιτικά σήματα-θόρυβο που εξαλείφεται αν τα σύρματα των αγωγών σύνδεσης τυλιχθούν μεταξύ τους, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.6.1.



Σχήμα 3.6.1 Σύνδεση αισθητηρίου με το κύκλωμα ελέγχου μέσω αγωγού

Ανάλογα με την αιτία τους οι θόρυβοι ταξινομούνται στις εξής κατηγορίες

- ✓ Θόρυβος Johnson ή θερμικός θόρυβος (thermal noise). Οφείλεται στην τυχαία κίνηση των ηλεκτρονίων στους αγωγούς, λόγω της θερμικής τους κατάστασης. Ετσι καθώς αυξάνει η θερμοκρασία, τα ηλεκτρόνια κινούνται με μεγαλύτερη ταχύτητα, οπότε αυξάνονται οι κρούσεις τους με τα δομικά στοιχεία των αγωγών, με αποτέλεσμα την αύξηση της αντίστασης του αγωγού.
- ✓ Θόρυβος αιχμής (shot noise). Παρουσιάζεται κατά την τυχαία μετακίνηση φορτίων κατά μήκος μιας επαφής (π.χ. σε μια λυχνία κενού ηλεκτρόνια μεταπηδούν τυχαία από την κάθοδο στην άνοδο) και έχει την μορφή παλμών μικρής διάρκειας.

- ✓ Υπερβολικός θόρυβος (Excess noise). Σαν υπερβολικός θεωρείται ο θόρυβος που οφείλεται σε αίτια πέρα του θερμικού και του θορύβου αιχμής και συνήθως εξαρτάται από την συχνότητα. Ο θόρυβος αυτός οφείλεται σε επαγωγικά ρεύματα που δημιουργούνται στους αγωγούς ενός κυκλώματος λόγω της ύπαρξης άλλων ρευματοφόρων αγωγών σε κοντινή τους απόσταση ή στην κυμάτωση της τάσης τροφοδοσίας.

Για το θόρυβο που εμφανίζεται σε ένα κύκλωμα, συνήθως χρησιμοποιούμε φίλτρα. Στον πίνακα 3.6.1 βλέπουμε μερικές πηγές θορύβου και πώς ελαχιστοποιείται ο θόρυβος που δημιουργούν.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.6.1**

<b>Εξωτερική πηγή</b>	<b>Τυπική ποσότητα</b>	<b>Αντιμετώπιση</b>
<b>60/50 Hz τροφοδοσία</b>	100pA	θωράκιση, γείωση, ισοστάθμιση ισχύος τροφοδοσίας
<b>120/100 Hz κυμάτωση τροφοδοσίας</b>	3μV	Εφαρμογή φίλτρων
<b>180/150 Hz μαγνητική επίδραση M/T</b>	0.5μV	Ελεγχος των εξαρτημάτων
<b>ραδιο εκπομπή</b>	1mV	Θωράκιση
<b>δράση διακοπών</b>	1mV	Φίλτρο για 5-100MHz, προστασία, γείωση
<b>ταλαντώσεις</b>	10pA	Κατάλληλες μηχανικές συζεύξεις, περιορισμό υψηλών τάσεων πλησίον αισθητηρίων και εισόδων
<b>ταλάντωση καλωδίου</b>	100pA	Χρήση καλωδίου χαμηλού θορύβου
<b>πλακέτα κυκλώματος</b>	0.01-10pA/Hz για f<10Hz	Καθαρισμός πλακέτας, χρήση τεφλόν για μόνωση

Στον πίνακα αναφέρεται συχνά η **θωράκιση**. Αυτή έχει διπλό σκοπό. Πρώτον, προστατεύει ένα κύκλωμα από την εμφάνιση θορύβου και, δεύτερον, αν ο θόρυβος έχει εμφανιστεί, τον εμποδίζει να προχωρήσει σε ευαίσθητα σημεία του μετατροπέα ή του κυκλώματος.

Ο συνηθέστερος τρόπος θωράκισης είναι με μεταλλικό κουτί γύρω από τις ευαίσθητες περιοχές, ή με αγώγιμο φύλλο γύρω από τον αγωγό στα καλώδια. Με τον τρόπο αυτό, τα πρόσθετα φορτία που δημιουργούνται (π.χ. από ηλεκτρικό πεδίο) δεν προχωρούν στο εσωτερικό του κλωβού, αλλά κατανέμονται στην εξωτερική του επιφάνεια.

Κατά τη χρησιμοποίηση ηλεκτρικής θωράκισης, πρέπει να εφαρμόζονται μερικοί πρακτικοί κανόνες:

- ✓ Η θωράκιση πρέπει να συνδέεται σε ένα δυναμικό αναφοράς. Αν το σήμα είναι γειωμένο (σε πλαίσιο ή στο έδαφος), η θωράκιση πρέπει να συνδέεται στην ίδια γείωση.
- ✓ Αν χρησιμοποιείται θωρακισμένο καλώδιο, η θωράκιση πρέπει να συνδέεται στον κόμβο αναφοράς του σήματος (π.χ. γείωση).
- ✓ Αν η θωράκιση είναι τμηματική (π.χ. καλώδια συνδεδεμένα μεταξύ τους), τότε κάθε κομμάτι θωράκισης πρέπει να συνδέεται με το επόμενο και το πρώτο να συνδέεται στο σημείο αναφοράς του σήματος
- ✓ Ο αριθμός των ανεξάρτητων θωρακίσεων σ' ένα κύκλωμα ισούται με τον αριθμό των ανεξάρτητων μετρήσιμων σημάτων. Κάθε σήμα μπορεί να έχει τη δική του θωράκιση.
- ✓ Μια θωράκιση πρέπει να γειώνεται σ' ένα μόνο σημείο, κατά προτίμηση μετά το αισθητήριο. Η θωράκιση ενός καλωδίου δεν πρέπει ποτέ να γειώνεται και στα δύο άκρα της.
- ✓ Αν ένα αισθητήριο είναι στο εσωτερικό κλωβού θωράκισης και συνδέεται στο κύκλωμα με θωρακισμένο καλώδιο, τότε η θωράκιση του καλωδίου πρέπει να συνδέεται στον κλωβό.
- ✓ Μια θωράκιση πρέπει να γειώνεται μέσω λεπτών καλωδίων για να ελαττώνεται η επαγωγή.

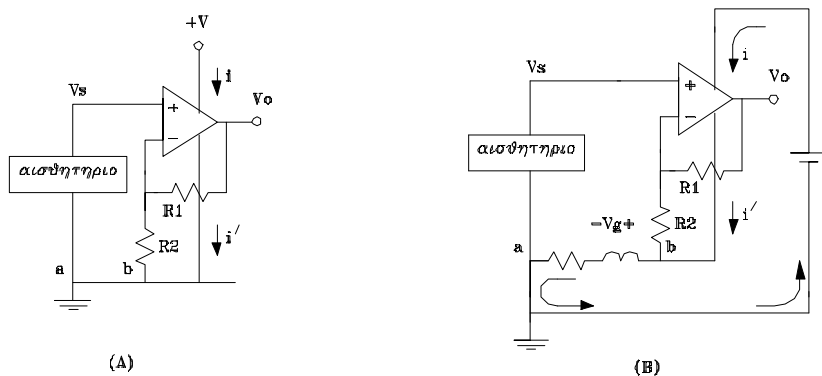
### **3.6.1 Γειώσεις, βρόχος γείωσης**

Όπως αναφέραμε ήδη, σ' ένα κύκλωμα είναι δυνατόν να υπάρχουν παρασιτικές τάσεις ή ρεύματα, που απομακρύνονται με κατάλληλη γείωση. Σε ένα κύκλωμα είναι απαραίτητο να υπάρχουν σημεία γείωσης, ώστε να ελαχιστοποιείται το φαινόμενο επαγωγής που παρουσιάζουν οι γραμμές. Επίσης το σημείο γείωσης είναι το σημείο με μηδενική τάση, ως προς το οποίο μετρούνται όλες οι τάσεις στο κύκλωμα. Υπαρξη διαφορετικών γειώσεων, έχει σαν αποτέλεσμα να μην υπάρχει σταθερό δυναμικό αναφοράς. Η γείωση σ' ένα τυπωμένο κύκλωμα, συνήθως, είναι μία μεταλλική επιφάνειά του. Μερικοί πρακτικοί κανόνες για τη δημιουργία μιας γείωσης είναι:

- ✓ δημιουργήστε μεγάλη επιφάνεια γείωσης, αν είναι δυνατόν στην πλευρά των εξαρτημάτων. Όσο μεγαλύτερες είναι οι συχνότητες των σημάτων, τόσο μεγαλύτερη πρέπει να είναι η επιφάνεια.
- ✓ Η γείωση σε ένα κύκλωμα πρέπει να είναι ενιαία.
- ✓ Το μήκος των άκρων των εξαρτημάτων να είναι μικρό.

Όταν ένα κύκλωμα χρησιμοποιείται για μικρά σήματα, τότε τα προβλήματα της γείωσης ή της θωράκισης, επηρεάζουν την ακρίβεια της λειτουργίας του. Κατά το σχεδιασμό ενός κυκλώματος, είναι απαραίτητη η δημιουργία γραμμών τροφοδοσίας (power supply bus) και γραμμών γείωσης (ground

bus). Μία γραμμή τροφοδοσίας μεταφέρει το ρεύμα τροφοδοσίας σε όλα τα σημεία του κυκλώματος, ενώ μια γραμμή γείωσης μεταφέρει επίσης το ρεύμα τροφοδοσίας, αλλά χρησιμοποιείται και για να καθορίσει το σημείο αναφοράς για τα ηλεκτρικά σήματα. Η αλληλεπίδραση των δύο αυτών λειτουργιών οδηγεί σε ένα πρόβλημα, που λέγεται βρόχος γείωσης. Στο Σχήμα 3.6.2(A) βλέπουμε τη σύνδεση ενός αισθητηρίου σε κύκλωμα ενίσχυσης με τελεστικό ενισχυτή.

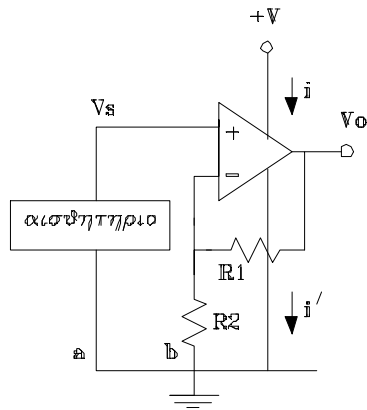


Σχήμα 3.6.2 Σύνδεση αισθητηρίου - τελεστικού ενισχυτή

Ο ενισχυτής συνδέεται σε πηγή τροφοδοσίας και δέχεται ένα ρεύμα  $i$ , που επιστρέφει στη γραμμή γείωσης σαν  $i'$ . Το αισθητήριο δημιουργεί μια τάση  $V_s$ , που εφαρμόζεται στη θετική είσοδο του τελεστικού ενισχυτή. Μια γραμμή γείωσης συνδέεται στο κύκλωμα στο σημείο  $a$ , ακριβώς δίπλα στο άκρο του αισθητηρίου. Το κύκλωμα αυτό, ενώ δεν έχει κάποια ορατή πηγή σφάλματος, παρουσιάζει στην έξοδό του κάποιο πραγματικό σφάλμα. Ο λόγος είναι ότι η ένωση της γείωσης δεν είναι ιδανική, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.6.2(B), λόγω της ύπαρξης δύο κόμβων γείωσης. Έτσι, μεταξύ των σημείων  $a$  και  $b$  του κυκλώματος υπάρχει μια ωμική αντίσταση και μια επαγωγή, που δημιουργούν μια τάση  $V_g$ . Η τάση αυτή αφαιρείται από την τάση του αισθητηρίου, δημιουργώντας έτσι σφάλμα στην μέτρηση. Ο λόγος της δημιουργίας σφάλματος είναι η δημιουργία ενός βρόχου γείωσης (*ground loop*), όπου κυκλοφορεί το ρεύμα πόλωσης (σχήμα 3.6.2 B).

Ένας βασικός κανόνας για την αποφυγή δημιουργίας βρόχων γείωσης είναι όλες οι γραμμές γείωσης να ενώνονται σε ένα σημείο (το σημείο  $b$  του κυκλώματος του σχήματος 3.6.3).





Σχήμα 3.6.3 Αποφυγή βρόχου γείωσης

Βέβαια στην περίπτωση που έχουμε απομακρυσμένες μετρήσεις, δεν μπορούμε να αποφύγουμε διαφορετικές γειώσεις για τις πηγές σήματος και το μετρητικό όργανο. Στην περίπτωση αυτή απαιτείται η χρήση κατάλληλων βαθμίδων εισόδου (instrumentation amplifier).

### ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Για την μέτρηση πίεσης χρησιμοποιούνται συνήθως αισθητήρια που δίνουν ηλεκτρικό σήμα, βασισμένα στην μεταβολή αντίστασης, επαγωγής ή χωρητικότητας. Το κύκλωμα μέτρησης βασίζεται σε έναν διαφορικό ενισχυτή, ενώ το αισθητήριο συνδέεται στο υπόλοιπο κύκλωμα με συνδεσμολογία γέφυρας.

Για τον έλεγχο φωτισμού χρησιμοποιούνται συνήθως φωτοδιόδοι ή φωτοαντιστάσεις, που μέσω κατάλληλου κυκλώματος ηλεκτροδοτούν ή όχι μία ή περισσότερους λάμπες.

Ο συνδυασμός αισθητηρίων και κατάλληλων ενισχυτών παρέχει τη δυνατότητα μετρήσεων διαφόρων μεγεθών και έλεγχο βασικών λειτουργιών. Για την ορθή λειτουργία τέτοιων συστημάτων απαιτείται προστασία από το θόρυβο, δημιουργία γειώσεων και κατάλληλη θωράκιση.

## 3.7 ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

### **A.** Να απαντήσετε συνοπτικά στις ερωτήσεις

1. Εξηγείστε την λειτουργία ενός αναλογικού συγκριτή.
2. Τι τύπο αισθητηρίου θα χρησιμοποιήσετε για να μετρήσετε πιέσεις μερικών δεκάδων Pa, σε περιβάλλον υψηλής θερμοκρασίας; Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας.

3. Εξηγείστε γιατί χρησιμοποιούμε δύο αισθητήρια Strain gauge σε συνδεσμολογία γέφυρας, για να μετρήσουμε την κάμψη μιας ράβδου.
4. Σχεδιάστε ένα κύκλωμα μέτρησης της ταχύτητας ροής ενός ρευστού.
5. Αναφέρατε τις σημαντικότερες παραμέτρους ενός φωτοανιχνευτή.
6. Αναφέρατε τα κυριότερα είδη φωτοανιχνευτών.
7. Στο κύκλωμα του σχήματος 3.3.3, ποιο είναι το τμήμα ισχύος και ποι του ελέγχου;
8. Τι εννοούμε με τον όρο γραμμικοποίηση του αισθητηρίου; Εξηγείστε με την βοήθεια γραφικών παραστάσεων.
9. Τι ονομάζουμε θόρυβο και τι λόγο σήμα-προς-θόρυβο. Από ποιό μπορούμε να συμπεράνουμε για το μέγεθος του θορύβου;
10. Τι επιτυγχάνουμε με τη θωράκιση ενός τμήματος του κυκλώματος;
11. Πώς μπορούμε να αποφύγουμε τη δημιουργία βρόχου γείωσης σε ένα κύκλωμα;

**B. Να συμπληρώσετε τα κενά στις προτάσεις**

1. Οι κυριότεροι τύποι μεταλλακτών βασίζονται σε φαινόμενο ....., ..... και .....
2. Ένας πιεζοηλεκτρικός μεταλλάκτης βασίζεται στο φαινόμενο που παρουσιάζουν κάποια υλικά να εμφανίζουν ..... στα άκρα τους, όταν ασκηθεί πάνω τους .....
3. Σ' ένα κύκλωμα μέτρησης πίεσης, το αισθητήριο συνήθως συνδέεται σε συνδεσμολογία ....., ενώ σαν μονάδα προσαρμογής χρησιμοποιείται ένα κύκλωμα .....
4. Για τη μέτρηση της ταχύτητας ροής ενός ρευστού χρειάζονται δύο ..... και ένας .....
5. Οι ανιχνευτές φωτός (light detectors) διαιρούνται σε ..... και ....., ανάλογα αν ενεργοποιούνται με την ..... της φωτεινής ακτινοβολίας ή με το ..... αποτέλεσμά της.
6. Το ρεύμα που διαρέει μια φωτοδίοδο σε απόλυτο σκοτάδι ονομάζεται .....
7. Η λειτουργία των ..... βασίζεται στην ιδιότητα ορισμένων υλικών να μεταβάλλουν την ηλεκτρική τους ....., όταν δέχονται πίεση.
8. Σε ένα κύκλωμα υπάρχει ο ..... θόρυβος που δημιουργείται από το ..... και ο θόρυβος ..... που εισέρχεται στο κύκλωμα από .....
9. Σκοπός της ..... είναι να απομακρύνει παρασιτικές ..... και .....

**Γ. Να επιλέξετε την σωστή απάντηση στις ερωτήσεις**

1. Κατά την έμμεση μέτρηση της πίεσης, αυτή μετατρέπεται σε
  - i. άλλο τυχαίο φυσικό μέγεθος
  - ii. ηλεκτρικό σήμα
  - iii. μηχανική κίνηση

2. Για τη μέτρηση της ταχύτητας ροής ενός ρευστού, η διαφορά πίεση μεταξύ δύο σημείων υπολογίζεται
- i. με ένα διαφορικό ενισχυτή
  - ii. με ένα λογικό αφαιρέτη
  - iii. με ένα κύκλωμα συγκριτή
3. Στους θερμικούς ανιχνευτές φωτός η λειτουργία τους βασίζεται
- i. στο θερμικό αποτέλεσμα του φωτός
  - ii. στην θερμοκρασία του περιβάλλοντος
  - iii. στην θέρμανση λόγω φαινομένου Joule
4. Μια φωτοδίοδος πολώνεται
- i. πάντα ορθά
  - ii. πάντα ανάστροφα
  - iii. ανάλογα με την εφαρμογή
5. Η λειτουργία ενός αισθητηρίου FSR βασίζεται
- i. σε μεταβολή χωρητικότητας
  - ii. σε μεταβολή αντίστασης
  - iii. σε μεταβολή επαγωγής
6. Για να έχουμε ακριβή εικόνα της αλλοίωσης ενός σήματος από θόρυβο, πρέπει να γνωρίζουμε
- i. το μέγεθος του σήματος
  - ii. το μέγεθος του θορύβου
  - iii. τον λόγο σήμα προς θόρυβο

## 4. ΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

### ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ ΚΑΙ ΜΑΘΗΣΙΑΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ

Να γνωρίσει ο μαθητής τους βασικούς τύπους αισθητηρίων θερμοκρασίας καθώς και κυκλώματα μέτρησης και ελέγχου όπου εφαρμόζονται τα αισθητήρια αυτά.

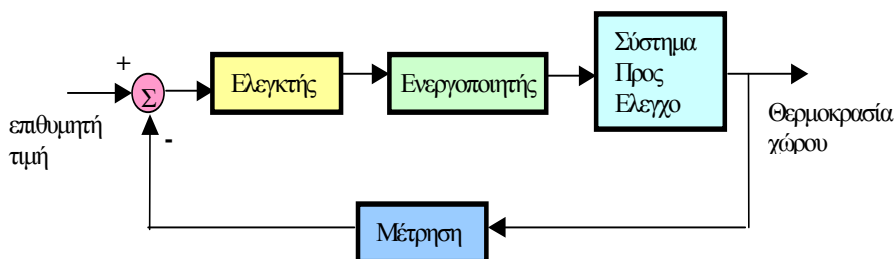
Στόχος είναι να μπορεί ο μαθητής να απαριθμεί τους κυριότερους τύπους αισθητηρίων θερμοκρασίας και να επιλέγει το πλέον κατάλληλο για κάθε εφαρμογή. Επίσης ο μαθητής να μπορεί στα κυκλώματα αυτοματισμού που περιγράφονται, να αναγνωρίζει τις μονάδες ελέγχου και να μπορεί να σχεδιάζει δικές του απλές εφαρμογές ελέγχου θερμοκρασίας.

### 4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μέτρηση και ο έλεγχος της θερμοκρασίας είναι ένα από τα συνηθέστερα προβλήματα αυτοματισμού. Στις περισσότερες οικιακές συσκευές (π.χ. ηλεκτρική κουζίνα, ψυγείο) αλλά και σε πολλές βιομηχανικές εφαρμογές (π.χ. κατεργασίες υλικών, χημικές παρασκευές), απαιτείται η τιμή της θερμοκρασίας να είναι μέσα σε κάποια όρια. Έτσι η μέτρηση της θερμοκρασίας ήταν μία από τις κυριότερες εφαρμογές της μετρολογίας. Σχεδιάστηκαν ένα πλήθος από αισθητήρια, που μετατρέπουν την θερμοκρασία σε ηλεκτρικό σήμα. Η μετατροπή αυτή γίνεται με την εκμετάλλευση των ιδιοτήτων που παρουσιάζουν διάφορα υλικά, καθώς η θερμοκρασία τους αλλάζει.

Αφού γίνει η μετατροπή αυτή, γίνεται η επεξεργασία του σήματος που προκύπτει, ώστε να οδηγηθούμε σε αυτό που ονομάζουμε μέτρηση.

Η μέτρηση της θερμοκρασίας από μόνη της δεν μπορεί να μας δώσει ουσιαστική βοήθεια, αν δεν συνοδεύεται από ένα κύκλωμα ελέγχου. Το κύκλωμα αυτό ενεργοποιεί ή απενεργοποιεί ένα σύστημα θέρμανσης ή ψύξης, ώστε η θερμοκρασία ενός αντικειμένου ή ενός χώρου να έχει μια επιθυμητή τιμή.



Σχήμα 4.1.1 διάγραμμα βαθμίδων κυκλώματος ελέγχου θερμοκρασίας

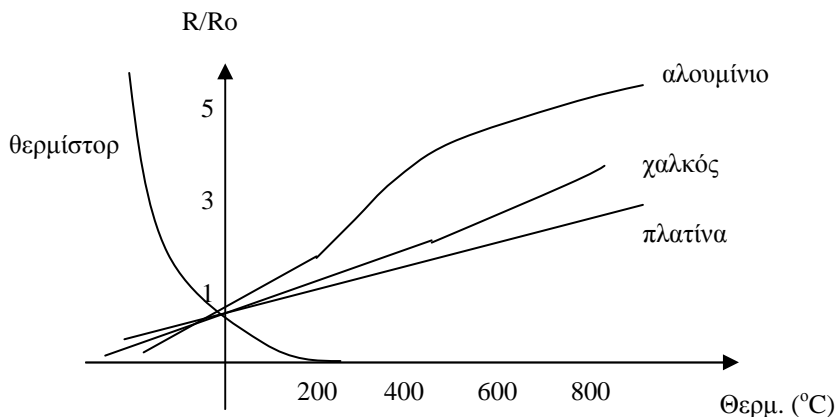
Σχηματικά οι λειτουργίες αυτές περιγράφονται στο σχήμα 4.1.1.

Στο κεφάλαιο αυτό θα εξετάσουμε κατ' αρχήν τα διάφορα αισθητήρια που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την μέτρηση θερμοκρασίας. Ιδιαίτερη προσοχή θα δοθεί στην αρχή λειτουργίας και στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του καθενός, ώστε να είναι δυνατόν κάποιος να επιλέγει το κατάλληλο αισθητήριο για κάθε εφαρμογή.

Παράλληλα σε κάθε τύπο αισθητηρίου θα εξετάζουμε και την εφαρμογή του σε ένα βασικό κύκλωμα ελέγχου θερμοκρασίας. Όπως θα δούμε το κύκλωμα ελέγχου αλλάζει ανάλογα με το αισθητήριο που χρησιμοποιούμε. Ανάλογα με την εφαρμογή θα πρέπει να γίνεται η σωστή επιλογή αισθητηρίου-κυκλώματος ελέγχου.

#### 4.2 ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ

Πρόκειται για αισθητήρια στα οποία εκμεταλλευόμαστε την μεταβολή της ηλεκτρικής αντίστασης ενός υλικού, καθώς αλλάζει η θερμοκρασία του. Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι : τα θερμίστορ (*thermistors*) και τα αισθητήρια αντίστασης (*resistance temperature detectors - RTD*). Στο σχήμα 4.2.1 βλέπουμε τις καμπύλες μεταβολής της αντίστασης διαφόρων υλικών, συναρτήσει της θερμοκρασίας.



Σχήμα 4.2.1 Καμπύλες μεταβολής της αντίστασης αισθητηρίων συναρτήσει της θερμοκρασίας

Στον κατακόρυφο άξονα έχουμε τον λόγο  $R/R_0$ , όπου  $R$  η αντίσταση του υλικού σε κάποια θερμοκρασία και  $R_0$  η αντίσταση στους  $0^{\circ}\text{C}$ .

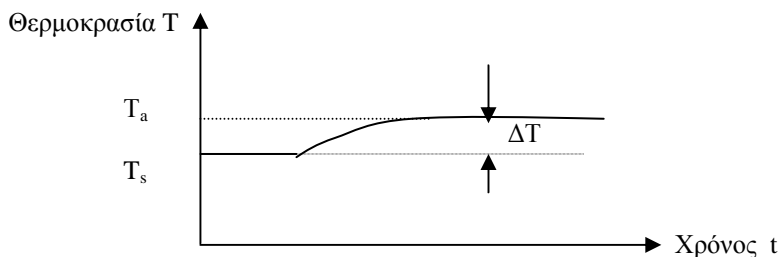
Μια σημαντική παράμετρος των αισθητηρίων αυτών είναι ο θερμικός συντελεστής τους, που εξαρτάται από τον ρυθμό μεταβολής της αντίστασης

του αισθητηρίου με την θερμοκρασία. Αρνητικός θερμικός συντελεστής σημαίνει ότι η αντίσταση μειώνεται, ενώ θετικός ότι αυξάνει.

Πλεονέκτημα των αισθητήρων αυτών είναι η απλότητα του κυκλώματος προσαρμογής τους (δηλαδή του κυκλώματος σύζευξης του αισθητηρίου με το κύκλωμα ελέγχου) και η σταθερότητά τους για μεγάλο διάστημα λειτουργίας. Ταξινομούνται δε σε τρεις κατηγορίες : τα θερμίστορς, τους αντιστάτες RTDs, και τους ανιχνευτές επαφής pn.

#### **4.2.1 Φαινόμενο αυτοθέρμανσης (self-heating effect)**

Ενα σημαντικό μειονέκτημα των αισθητηρίων θερμοκρασίας μεταβλητής αντίστασης είναι το *φαινόμενο αυτοθέρμανσης*. Κατά την λειτουργία του ένα αισθητήριο αντίστασης διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα. Λόγω όμως του φαινομένου Joule μια αντίσταση που διαρρέεται από ρεύμα θερμαίνεται. Έτσι το αισθητήριο θερμαίνεται λόγω του ρεύματος που το διαρέει. Αυτό είναι μια πηγή σφάλματος, αφού η θερμοκρασία του αισθητηρίου δεν επηρεάζεται μόνο από την θερμότητα του αντικειμένου (του οποίου μετρά την θερμοκρασία) αλλά και από την θερμότητα που αναπτύσσεται σε αυτό λόγω του φαινομένου joule. Επειδή η απόκριση του θερμίστορ είναι εξαιρετικά γρήγορη, η τιμή που αυτό μετρά, αρχικά σταθεροποιείται στην πραγματική τιμή. Με την πάροδο του χρόνου όμως, λόγω του φαινομένου της αυτοθέρμανσης, έχουμε μια ελαφρά αύξηση της θερμοκρασίας αυτής, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.2.2.



Σχήμα 4.2.2 Αύξηση θερμοκρασίας λόγω αυτοθέρμανσης

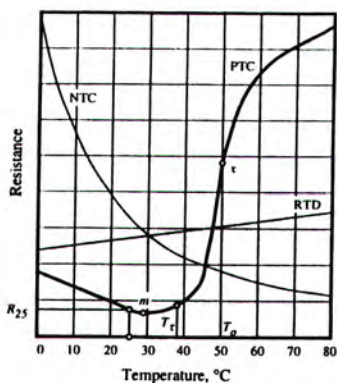
Στο σχήμα αυτό  $T_s$  είναι η πραγματική θερμοκρασία που πρόκειται να μετρηθεί και  $T_a$  η θερμοκρασία που τελικά μετράται. Έτσι αν θέλουμε να πετύχουμε μεγάλη ακρίβεια στην μέτρηση, πρέπει να λάβουμε υπ' όψιν μας την απόκλιση αυτή (συνήθως η διόρθωση γίνεται στις περιπτώσεις εφαρμογών με μικροϋπολογιστή, μέσω προγράμματος).

#### **4.2.2 Θερμίστορ**

Πρόκειται για αντιστάτες, η τιμή των οποίων εξαρτάται από την θερμοκρασία στην οποία βρίσκονται. Κατασκευάζονται από την μίξη

οξειδίων μετάλλων με χαρακτηριστικά ημιαγωγών και έχουν σχήμα κυλινδρικό, σφαιρικό, ορθογώνιο και λεπτού φιλμ. Διαίρονται σε δύο κατηγορίες : αρνητικού συντελεστή θερμοκρασίας (*negative temperature coefficient - NTC*) και θετικού συντελεστή θερμοκρασίας (*positive temperature coefficient - PTC*).

Στο σχήμα 4.2.3 βλέπουμε τις χαρακτηριστικές καμπύλες ενός PTC και ενός NTC θερμίστορ, σε σύγκριση με ένα RTD αισθητήριο.

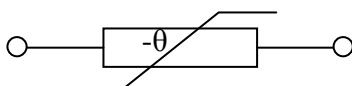


Σχήμα 4.2.3 Χαρακτηριστικές PTC, NTC, RTD.

#### NTC θερμίστορ

Στα θερμίστορ αυτά η αντίσταση μειώνεται καθώς η θερμοκρασία αυξάνει, παρουσιάζουν δηλαδή αρνητικό θερμικό συντελεστή. Η σχέση μεταξύ της αντίστασης και της θερμοκρασίας είναι ισχυρά μη γραμμική\*, όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.2.2.

Στο σχήμα 4.2.4 βλέπουμε τον συμβολισμό ενός NTC.



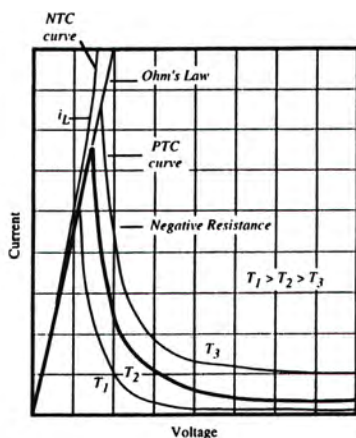
Σχήμα 4.2.4 Συμβολισμός θερμίστορ NTC

#### PTC θερμίστορ

Στα θερμίστορ αυτά σε μια μεγάλη περιοχή θερμοκρασίας, η αντίστασή τους αυξάνει καθώς η θερμοκρασία αυξάνει, παρουσιάζουν δηλαδή θετικό θερμικό συντελεστή. Όλα τα μέταλλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή PTC, παρουσιάζουν όμως χαμηλό θερμικό συντελεστή. Αντίθετα άλλα (κεραμικά) υλικά παρουσιάζουν υψηλό συντελεστή και γι αυτό προτιμούνται.

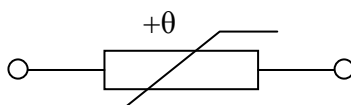
Στο σχήμα 4.2.5 βλέπουμε τις χαρακτηριστικές καμπύλες ρεύματος-τάσης ενός PTC για τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες (σε σύγκριση με την καμπύλη ενός NTC και το νόμο του Ωμ).

\* η έννοια της γραμμικότητας ενός αισθητηρίου έχει παρουσιαστεί στο κεφάλαιο 2.



Σχήμα 4.2.5 Χαρακτηριστικές PTC

Στο σχήμα 4.2.6 βλέπουμε τον συμβολισμό ενός PTC.



Σχήμα 4.2.6 Συμβολισμός PTC

### εφαρμογές

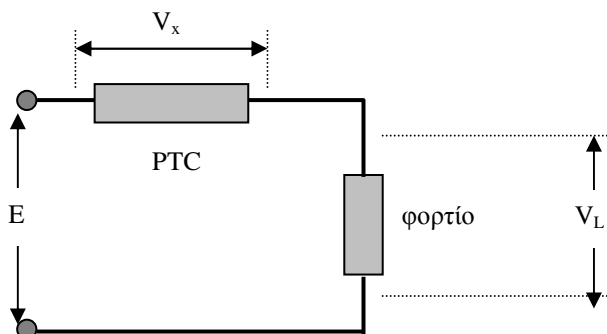
Ένα υλικό που παρουσιάζει αρνητικό συντελεστή θερμικής αντίστασης, όταν συνδεθεί σε πηγή με μικρή αντίσταση εξόδου, ελατώνει την αντίστασή του, λόγω του φαινομένου αυτοθέρμανσης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του ρεύματος που το διαρρέει, άρα μεγαλύτερη θέρμανσή του. Αν δεν υπάρχει απαγωγή θερμότητας από το αισθητήριο, τότε η αυτοθέρμανση θα οδηγήσει σε υπερθέρμανση και πιθανόν καταστροφή του.

Αντίθετα, ένα υλικό με θετικό συντελεστή θερμικής αντίστασης δεν παρουσιάζει υπερθέρμανση, όταν συνδέεται σε πηγή με μικρή αντίσταση εξόδου. Και αυτό γιατί αύξηση της θερμοκρασίας λόγω αυτοθέρμανσης, θα οδηγήσει σε αύξηση της αντίστασης, άρα σε μείωση του ρεύματος που τη διαρρέει, επομένως και της θερμότητας που αναπτύσσεται σ' αυτή. Υπάρχει δηλαδή μια δράση αυτοπεριορισμού.

Η δράση αυτή δίνει την δυνατότητα στα PTC θερμίστορ (προτιμούνται τα PTC από τους αισθητήρες αντίστασης RTD που θα παρουσιαστούν πιο κάτω, γιατί παρουσιάζουν μεγαλύτερη μεταβολή της αντίστασης με την θερμοκρασία) να χρησιμοποιούνται σε αρκετές εφαρμογές, όπως:

- Προστασία κυκλωμάτων από υψηλά ρεύματα. Στο σχήμα 4.2.7 βλέπουμε μια τέτοια συνδεσμολογία





Σχήμα 4.2.7 Κύκλωμα προστασίας από υψηλά ρεύματα

Στην θερμοκρασία δωματίου η τιμή της αντίστασης του PTC είναι χαμηλή (τυπική τιμή μεταξύ 10 και 140 Ω). Ρεύμα  $I$  δημιουργεί μια τάση  $V_L$  στο φορτίο και  $V_s$  στο θερμίστορ ( $V_L \gg V_s$ ). Στο θερμίστορ παρέχεται τότε μια ισχύς  $P=IV_s$  που αυξάνει την θερμοκρασία του. Κατά την κανονική λειτουργία της συσκευής (φορτίο) το ρεύμα  $I$  έχει χαμηλή τιμή, άρα μικρή είναι και η αύξηση της θερμοκρασίας του θερμίστορ, ώστε τελικά δεν επηρεάζεται η τιμή της ολικής αντίστασης του κυκλώματος. Όταν όμως συμβεί κάποιο βραχυκύκλωμα, η αντίσταση του φορτίου ελαττώνεται κατά πολύ, οπότε έχουμε μια μεγάλη αύξηση του ρεύματος. Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του θερμίστορ λόγω αυτοθέρμανσης, με αποτέλεσμα την αύξηση της αντίστασής του. Έτσι η ολική αντίσταση του κυκλώματος αυξάνει και επομένως το ρεύμα μειώνεται.

- Δημιουργία μικρο-θερμοστατών για εφαρμογές στην μικροηλεκτρονική, βιονική, κλπ. Το σημείο σταθεροποίησης της θερμοκρασίας εξαρτάται από τις φυσικές ιδιότητες του υλικού από το οποίο κατασκευάζεται ο θερμοστάτης.
- Δημιουργία κυκλώματος χρονικής υστέρησης.
- Σχεδίαση ροομέτρων και ανιχνευτών στάθμης υγρών.

### Συμπεράσματα

Όπως παρατηρούμε στο σχήμα 4.2.3 τα θερμίστορ (PTC ή NTC) δεν παρουσιάζουν γραμμική συμπεριφορά και γι αυτό δεν χρησιμοποιούνται ευρέως στην βιομηχανία για μέτρηση θερμοκρασίας. Είναι όμως 10 φορές πιο ευαίσθητα σε αλλαγές της θερμοκρασίας από τα θερμοζεύγη και παρουσιάζουν πολύ καλλίτερη σταθερότητα στην συμπεριφορά τους κατά την διάρκεια μακρόχρονης χρήσης του.

Επίσης έχουν μικρές διαστάσεις και δεν χρειάζονται ειδική συρμάτωση. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε θερμοκρασιακές περιοχές από  $-100^{\circ}\text{C}$  έως  $400^{\circ}\text{C}$ . Τα τεχνικά χαρακτηριστικά ενός probe θερμίστορ, φαίνονται στον πίνακα 4.2.1.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2.1**

<u>Τεχνικά χαρακτηριστικά θερμίστορ</u>	
Περιοχή θερμοκρασίας	-10 <sup>ο</sup> C έως 200 <sup>ο</sup> C
Αντίσταση	2000Ω στους 20 <sup>ο</sup> C 1680Ω±2% στους 25 <sup>ο</sup> C 40Ω στους 200 <sup>ο</sup> C
Φαινόμενο αυτοθέρμανσης	1 <sup>ο</sup> C / 1.5mW
Χρόνος απόκρισης	msec
Διάμετρος	4mm
Μήκος ακίδας	150mm

#### **4.2.3 Αισθητήρες αντίστασης (resistance temperature detectors - RTDs)**

Από τον προηγούμενο αιώνα είχε παρατηρηθεί ότι η αντίσταση κάποιων υλικών άλλαζε με την αλλαγή της θερμοκρασίας τους. Μάλιστα ο Callendar το 1887 περιέγραψε την λειτουργία ενός αισθητήρα από πλατίνα, η αντίσταση του οποίου άλλαζε γραμμικά με την θερμοκρασία.

Σήμερα οι αισθητήρες RTD κατασκευάζονται από διάφορα μέταλλα, σε σχήμα σύρματος ή λεπτού φίλμ. Όλα τα μέταλλα μπορούν να αποκριθούν σε μεταβολή της θερμοκρασίας, όμως σχεδόν αποκλειστικά χρησιμοποιείται η πλατίνα, λόγω γραμμικής συμπεριφοράς και σταθερότητας της λειτουργίας του. Όλοι πάντως οι RTDs παρουσιάζουν θετικό θερμικό συντελεστή αντίστασης.

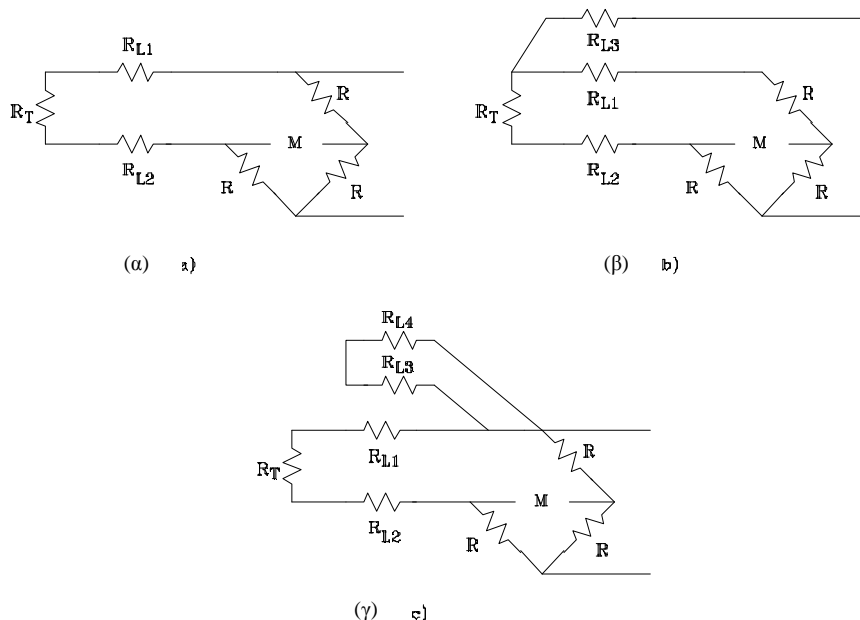
Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μετρήσεις θερμοκρασιών από -200<sup>ο</sup>C έως 600<sup>ο</sup>C, αλλά ειδικές κατασκευές μπορούν να χρησιμοποιηθούν και πέρα από την περιοχή αυτή. Τα τελευταία χρόνια έχει γενικευτεί η χρήση των αισθητηρίων αυτών. Ο πιο γνωστός τύπος είναι το Pt100 (αντίσταση 100Ω στους 0<sup>ο</sup>C).

#### **4.2.4 Κύκλωμα ελέγχου θερμοκρασίας**

Ένα σημείο που χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή είναι η σύνδεση του αισθητηρίου στο υπόλοιπο κύκλωμα μέτρησης και ελέγχου. Συνήθως το σημείο που πρέπει να γίνει η μέτρηση απέχει από όργανο μέτρησης (π.χ. μέτρηση στο εσωτερικό ενός κλιβάνου). Επομένως το αισθητήριο συνδέεται μέσω καλωδίων. Τα καλώδια αυτά όμως παρουσιάζουν αντίσταση, που προστίθεται στην αντίσταση του αισθητηρίου, με αποτέλεσμα την δημιουργία σφάλματος. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται με την σύνδεση του αισθητηρίου μέσω γέφυρας. Στο σχήμα 4.2.8 βλέπουμε τους δυνατούς τρόπους καλωδίωσης ενός τέτοιου αισθητηρίου.

Στο (α) η συνδεσμολογία είναι 2 γραμμών (δηλαδή υπάρχουν δύο αγωγοί σύνδεσης) και η μέτρηση είναι  $R_T + R_{L1} + R_{L2}$  δηλαδή το σφάλμα είναι  $R_{L1} + R_{L2}$ . Στο (β) η συνδεσμολογία είναι τριών γραμμών και το σφάλμα

στην μέτρηση είναι  $R_{L1} - R_{L2}$  . Στο (γ) η συνδεσμολογία είναι τεσσάρων γραμμών και το σφάλμα στην μέτρηση είναι  $R_{L1}+R_{L2} -R_{L3} -R_{L4}$  . Παρατηρούμε ότι στις δύο τελευταίες καλωδιώσεις αν τα σύρματα είναι από το ίδιο υλικό και έχουν τις ίδιες διαστάσεις, τότε θα έχουν την ίδια αντίσταση, άρα το σφάλμα μηδενίζεται.



Σχήμα 4.2.8 Συνδεσμολογία RTD

Η συνδεσμολογία που περιγράφηκε χρησιμοποιείται γενικά σε περιπτώσεις όπου έχουμε αισθητήρια μεταβαλλόμενης αντίστασης.

Τα χαρακτηριστικά ενός probe Pt100 φαίνονται στον πίνακα 4.2.2

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2.2**

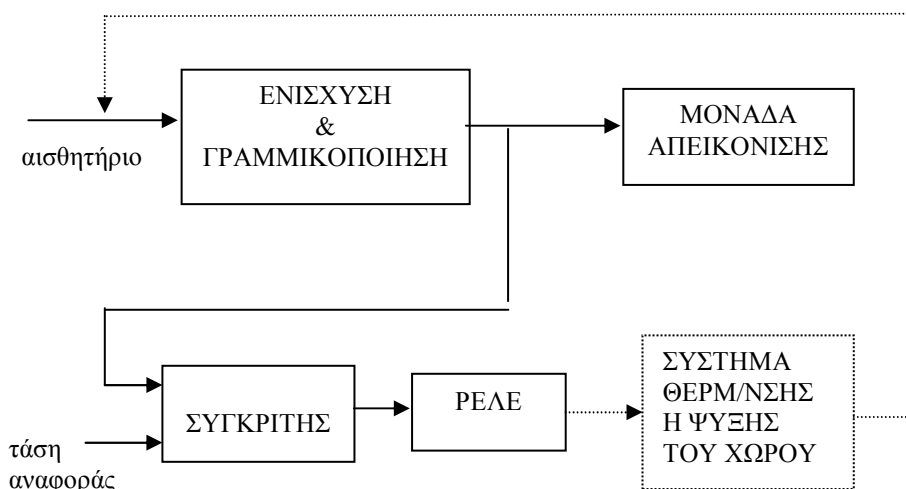
Τεχνικά χαρακτηριστικά Pt100

Περιοχή θερμοκρασίας	-50°C έως 300°C *
Αντίσταση	100Ω±0.1Ω στους 0°C
Ακρίβεια	0.2%
Χρόνο απόκρισης	έως 10sec
Διάμετρος	1mm **
Μήκος ακίδας	30mm

\* όσο μεγαλώνει η περιοχή, μειώνεται η γραμμικότητα του αισθητηρίου, άρα μικραίνει η ακρίβεια

\*\* οι διαστάσεις του αισθητηρίου ποικίλουν

Για την δημιουργία ενός κυκλώματος μέτρησης και ελέγχου θερμοκρασίας ενός χώρου ή ενός αντικειμένου, θα πρέπει κατ' αρχήν το σήμα που προέρχεται από το αισθητήριο να ενισχυθεί και στην συνέχεια να γραμμικοποιηθεί. Η διαδικασία της γραμμικοποίησης είναι ιδιαίτερα σημαντική για την ακρίβεια της μέτρησης, αφού οι μονάδες απεικόνισης (π.χ. displays) λειτουργούν γραμμικά (δηλαδή για διπλασιασμό του σήματος διπλασιάζουν την ένδειξη).



Σχήμα 4.2.9 Διάγραμμα βαθμίδων για τη μέτρηση και τον έλεγχο Θερμοκρασίας

Το στοιχείο ελέγχου είναι ένα ρελέ (όπως έχει εξηγηθεί στο πρώτο κεφάλαιο), που ενεργοποιείται μέσω ενός συγκριτή. Σε απλές κατασκευές ο συγκριτής αυτός μπορεί να είναι αναλογικός (βλ. κεφάλαιο 1), ενώ σε πιο σύνθετες (π.χ. με χρήση Η/Υ) μπορεί να είναι ψηφιακός (ή software). Στο σχήμα 4.2.9 βλέπουμε το διάγραμμα βαθμίδων ενός τέτοιου κυκλώματος (με διακεκομμένη γραμμή είναι το προς έλεγχο σύστημα).

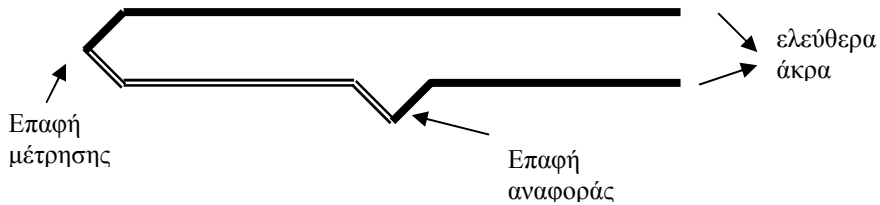
Η τάση αναφοράς εξαρτάται από την επιθυμητή θερμοκρασία του χώρου. Στην θερμοκρασία αυτή ενεργοποιείται μια συσκευή θέρμανσης ή ψήξης.

### 4.3 ΘΕΡΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ

Τα αισθητήρια αυτά παράγουν κατ' ευθείαν ηλεκτρικό σήμα ανάλογο με την θερμοκρασία του χώρου στον οποίο βρίσκονται. Συνήθως αναφέρονται με την λέξη *θερμοζεύγος* (*thermocouple*) γιατί απαιτούνται τουλάχιστον δύο διαφορετικά υλικά για την δημιουργία τους.

Η λειτουργία τους βασίζεται στα φαινόμενα Seebeck και Peltier. Ο Seebeck έδειξε ότι όταν δύο διαφορετικά μέταλλα έλθουν σε επαφή και το

σημείο της ένωσης βρίσκεται σε κάποια θερμοκρασία, τότε ηλεκτρόνια περνούν μέσα από την επαφή. Σχεδιάστηκε λοιπόν ένα αισθητήριο, όπως αυτό του σχήματος 4.3.1 (με διαφορετικές γραμμές σχεδιάζονται τα δύο διαφορετικά μέταλλα). Η επαφή αναφοράς πρέπει να είναι σε μια γνωστή σταθερή θερμοκρασία, ενώ τα ελεύθερα άκρα πρέπει να βρίσκονται στην ίδια θερμοκρασία. Στα ελεύθερα άκρα θα εμφανιστεί μια διαφορά δυναμικού που θα είναι ανάλογη της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ της επαφής μέτρησης και της επαφής αναφοράς.

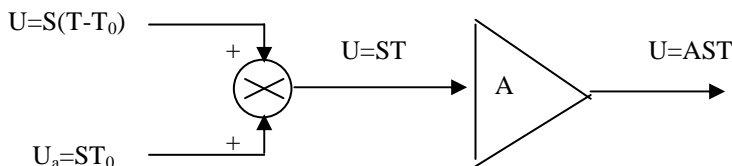


Σχήμα 4.3.1 Σχηματικό διάγραμμα θερμοζεύγους

Έτσι η τάση που αναπτύσσεται στα ελεύθερα άκρα είναι

$$U = S(T - T_0) \quad 4.3.1$$

Όπου  $S$  μία σταθερά,  $T$  η θερμοκρασία της επαφής μέτρησης και  $T_0$  η θερμοκρασία της επαφής αναφοράς. Όπως φαίνεται από την σχέση 4.3.1, η εξίσωση απλοποιείται αν η θερμοκρασία αναφοράς  $T_0$  είναι  $0^\circ\text{C}$ . Για να γίνει αυτό θα πρέπει η επαφή να βρίσκεται διαρκώς σε μισολειωμένο πάγο. Επειδή αυτό προφανώς είναι αδύνατον, η θερμοκρασία αναφοράς είναι η θερμοκρασία του περιβάλλοντος, οπότε πρέπει να προσθέσουμε μια τάση ίση με τη τάση που αντιστοιχεί στην θερμοκρασία αυτή (τάση αντιστάθμισης). Για να μην επηρεάζεται η επαφή αναφοράς από μικρές μεταβολές της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος, τοποθετείται σε μια μεταλλική πλάκα μεγάλης θερμοχωρητικότητας\* (ώστε η θερμοκρασία της να μην αλλάζει εύκολα). Στο σχήμα 4.3.2 φαίνεται η μέθοδος με την οποία δημιουργείται μια τάση ανάλογη της θερμοκρασίας που πρόκειται να μετρηθεί.



Σχήμα 4.3.2 Δημιουργία τάσης ανάλογης με θερμοκρασία

\* Θερμοχωρητικότητα ονομάζεται η ικανότητα ενός σώματος να απορροφά θερμότητα.

Όπου  $U$  η τάση του αισθητηρίου και  $U_a$  η τάση αντιστάθμισης.

Ανάλογα με τα μέταλλα που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του θερμοστοιχείου έχουμε διαφόρους τύπους με διαφορετικά χαρακτηριστικά. Οι κυριότεροι τύποι θερμοζευγών με τα βασικά χαρακτηριστικά τους φαίνονται συνοπτικά στον πίνακα 4.3.1

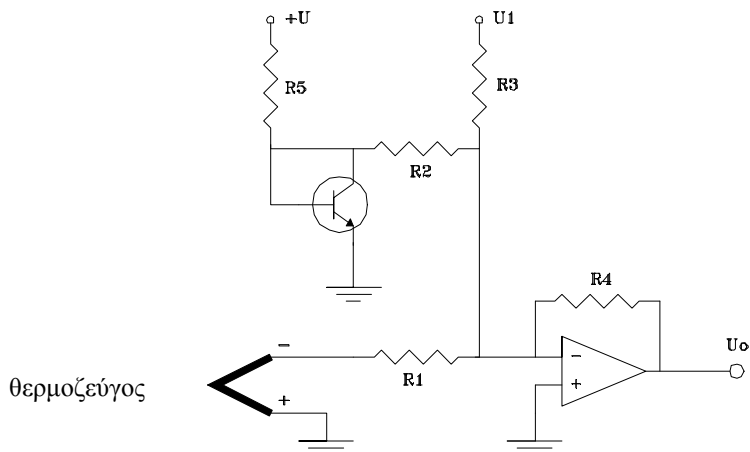
Γενικά τα θερμοζεύγη δεν είναι αισθητήρια μεγάλης ακρίβειας. Επίσης υπάρχει δυσκολία στον σχεδιασμό του κυκλώματος αντιστάθμισης (βλ. πιο κάτω). Είναι όμως γρήγορα στην απόκριση (χρόνος απόκρισης περίπου 1-2 sec) και αρκετά φθηνά

Ανάλογα με την περιοχή θερμοκρασίας που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί, επιλέγεται το κατάλληλο θερμοζεύγος. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στην γραμμικότητα που παρουσιάζει το αισθητήριο που θα επιλεγεί στην περιοχή αυτή.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3.1**

Τύπος	Υλικό κατασκευής	Περιοχή λειτουργίας (σε °C)	Ακρίβεια	Παρατηρήσεις
E	Cr/Con	-200 έως 900	$\pm 1.5$ °C ή 0.5%	Υψηλή ΗΕΔ (56mV στους 750°C)
J	Fe/Con	0 έως 750	$\pm 3$ °C ή 0.75%	Φθηνό Μέτρια ΗΕΔ (42mV στους 750°C)
K	Cr/Al	-200 έως 1260	$\pm 3$ °C ή 0.75%	Σταθερό, Μεγάλη γραμμικότητα
R	Rt/Rh & Pt	0 έως 1400	$\pm 2$ °C ή 0.3%	Χαμηλή ΗΕΔ (30mV στους 750°C) Πολύ σταθερό
S	Rt/Rh & Pt	0 έως 1400	$\pm 2$ °C ή 0.3%	Εξαιρετικά μικρή ΗΕΔ (7mV στους 750°C)
T	Cu/Con	-250 έως 400	$\pm 2$ °C ή 0.75%	Πολύ σταθερό Εξαιρετικά μικρή ΗΕΔ (6.6mV στους 750°C)
B	Pt/Rh	0 έως 1700	$\pm 3$ °C ή 0.3%	Οξειδώνεται στις υψηλές θερμοκρασίες Μέτρια ΗΕΔ (20mV στους 400°C) Εξαιρετικά μικρή ΗΕΔ (8.4mV στους 1000°C)

Τάση ΗΕΔ είναι η ηλεκτρεγερτική στην έξοδο του θερμοζεύγους.



Σχήμα 4.3.2 Συνδεσμολογία θερμοζεύγους

Για να σχεδιάσουμε ένα κύκλωμα μέτρησης θερμοκρασίας, πρέπει να σχεδιάσουμε την μονάδα δημιουργίας της τάσης αντιστάθμισης. Στο σχήμα 4.3.2 βλέπουμε ένα τέτοιο κύκλωμα, όπου σαν στοιχείο αντιστάθμισης χρησιμοποιείται ένα τρανζίστορ. Η τάση βάσης-εκπομπού ενός τρανζίστορ εξαρτάται από την θερμοκρασία και έχει την μορφή

$$U_{CB} = U_{σταθ} + kT_k \quad 4.3.2$$

Όπου  $T_k$  η θερμοκρασία της επαφής και  $k$  ο θερμοκρασιακός συντελεστής της επαφής BC ίσος με  $-2mV/^{\circ}C$  (δηλαδή για κάθε βαθμό που αυξάνεται η θερμοκρασία η τάση επαφής μειώνεται κατά  $2mV$ ). Το σταθερό μέρος της εξίσωσης 4.3.2 αφαιρείται μέσω της τάσης  $U_1$ , οπότε απομένει μόνο η τάση που εξαρτάται από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος και αποτελεί την τάση αντιστάθμισης.

Στον τελεστικό ενισχυτή η τάση αυτή αθροίζεται με την τάση του θερμοστοιχείου και η τάση που προκύπτει ενισχύεται. Η τελική τάση εξόδου είναι η  $U_o$ .

Κυκλώματα μέτρησης έχουν εμφανιστεί και σε μορφή ολοκληρωμένων κυκλωμάτων. Παράδειγμα είναι το ολοκληρωμένο AD595A της Analog Devices που είναι ένας πλήρης διαφορικός ενισχυτής μετρήσεων, με ενσωματωμένη βαθμίδα αντιστάθμισης (της ψυχρής επαφής) του θερμοζεύγους. Σύνδεση του θερμοζεύγους στην είσοδο του ολοκληρωμένου αυτού, οδηγεί στην δημιουργία σήματος εξόδου που μεταβάλλεται με ρυθμό  $10mV/^{\circ}C$ .

#### 4.4 ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ ΕΠΑΦΗΣ PN

Η συμπεριφορά μιας επαφής pn, μιας διόδου ή ενός τρανζίστορ, όπως αναφέραμε και στην προηγούμενη παράγραφο, εξαρτάται από την θερμοκρασία στην οποία βρίσκεται. Και αυτό γιατί αύξηση της θερμοκρασίας, σημαίνει ότι στην επαφή παρέχεται ενέργεια, επομένως αυξάνεται η δυνατότητα κίνησης των ελευθέρων ηλεκτρονίων (μειώνεται το ενεργειακό χάσμα), επομένως η αντίσταση που παρουσιάζει η επαφή μειώνεται. Έτσι αν η επαφή συνδεθεί σε μια πηγή ρεύματος, η διαφορά δυναμικού στα άκρα της επαφής θα μειώνεται. Αποδεικνύεται ότι η διαφορά δυναμικού της επαφής  $V$  είναι της μορφής

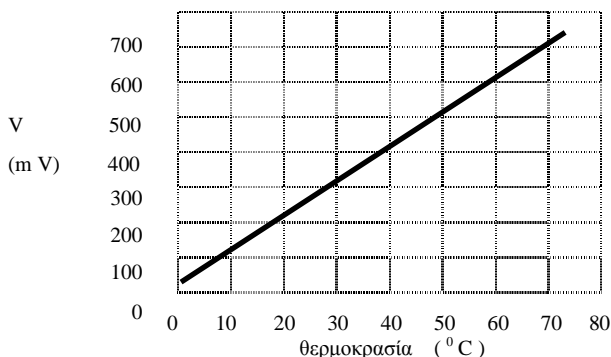
$$V = a - bT \quad 4.4.1$$

όπου  $a, b$  δύο σταθερές και  $T$  η θερμοκρασία της επαφής.

Η μεταβολή της τάσης σε μια επαφή pn, είναι περίπου  $-2\text{mV}/^\circ\text{C}$  (αν το ρεύμα που διαρρέει την επαφή είναι  $10\mu\text{A}$ , η μείωση είναι  $2.3\text{mV}/^\circ\text{C}$ , ενώ αν το ρεύμα είναι  $1\text{mA}$ , η μείωση είναι  $2.0\text{mV}/^\circ\text{C}$ ). Υπάρχουν βέβαια τρανζίστορς, όπου η μείωση της τάσης στην επαφή βάσης – εκπομπού φτάνει και τα  $20\text{mV}/^\circ\text{C}$ , ανάλογα με τον τύπο του. Παρουσιάζουν δηλαδή μια μεγαλύτερη ευαισθησία.

Εκτός από τις απλές διόδους ή τα τρανζίστορ που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν pn αισθητήρια θερμοκρασίας, έχουν σχεδιαστεί διάφορα ειδικά αισθητήρια, που εκμεταλλεύονται το χαρακτηριστικό αυτό της επαφής. Τέτοια είναι το MTS 102 της Motorola, τα LM 34 και 35 της National, το AD 590 της Analog Devices, κ.α. Τα αισθητήρια αυτά παρουσιάζουν απόλυτη γραμμικότητα, είναι πολύ φθηνά και εξαιρετικά εύχρηστα.

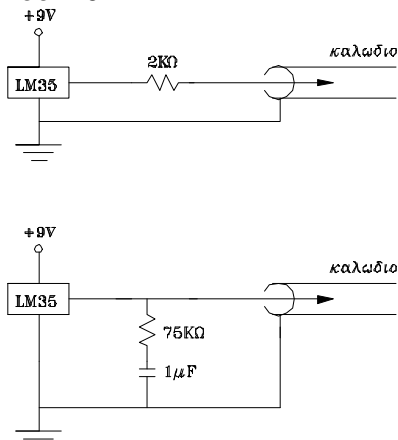
Στο σχήμα 4.4.1 φαίνεται η χαρακτηριστική εισόδου - εξόδου του αισθητηρίου LM35 (παρατηρείστε ότι σε αντίθεση με τις pn επαφές των κοινών διόδων ή τρανζίστορ, η τάση αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας).



Σχήμα 4.4.1 Χαρακτηριστική εισόδου - εξόδου του αισθητηρίου LM35



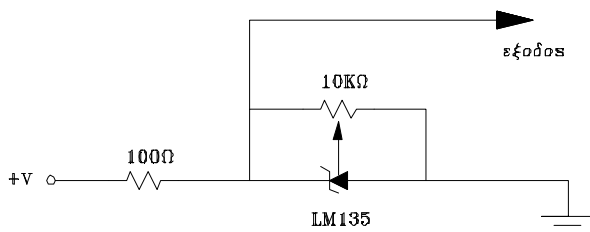
Παρατηρούμε ότι παρουσιάζει μια ευαισθησία  $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$  (η κλίση της ευθείας), ενώ το σφάλμα που οφείλεται στη μη γραμμικότητα του αισθητηρίου είναι περίπου  $\pm 0.1^{\circ}$ .



Σχήμα 4.4.2 Συνδεσμολογία αισθητηρίου – επαφής ρη

Τα αισθητήρια συνδέεται σε καλώδιο είτε μέσω μιας αντίστασης, είτε μέσω ενός RC κυκλώματος (σχήμα 4.4.2)

Επίσης από την Motorola έχουν κατασκευαστεί και τα αισθητήρια LM135 και 334/335 που συμπεριφέρονται σαν δίοδοι Zener. Για την ρύθμιση των αισθητηρίων αυτών (calibration) απαιτείται η σύνδεση του σχήματος 4.4.3, ώστε η τάση ρύθμισης να είναι  $2.98\text{V}$  στους  $25^{\circ}\text{C}$ .



Σχήμα 4.4.3 Κύκλωμα ρύθμισης αισθητηρίων τύπου ZENER

Η τάση εξόδου μεταβάλλεται τότε με ρυθμό  $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ . Επίσης το ολοκληρωμένο NH 02 της Figaro δίνει την δυνατότητα δημιουργίας διατάξεως ελέγχου θερμοκρασίας και υγρασίας. Μειονέκτημά του είναι ότι δεν παρουσιάζει γραμμική συμπεριφορά και έτσι δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διατάξεις μέτρησης, παρά μόνο σε διατάξεις ελέγχου ON/OFF.

Τέλος τα ολοκληρωμένα DS1620 και DS1920 της Dallas Semiconductor μετρούν θερμοκρασίες στην περιοχή  $-55$  έως  $100^{\circ}\text{C}$ , με ακρίβεια  $0.5^{\circ}\text{C}$ .

**4.5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ**

Από τα αισθητήρια που εξετάσαμε, τα ολοκληρωμένα μονολιθικά παρουσιάζουν καλή γραμμικότητα, είναι μικρά σε μέγεθος και εξαιρετικά εύχρηστα αφού δεν χρειάζονται ειδικά κυκλώματα προσαρμογής. Η περιοχή θερμοκρασιών όμως όπου μπορούν να λειτουργήσουν είναι μικρή (-10 έως 50°C) γι'αυτό και χρησιμοποιούνται κυρίως σε οικιακές εφαρμογές.

Επίσης τα θερμίστορ συνήθως δεν χρησιμοποιούνται για μέτρηση θερμοκρασίας, παρά μόνο σε διατάξεις ελέγχου, αφού παρουσιάζουν έντονη μη γραμμικότητα. Επίσης η περιοχή θερμοκρασιών τους είναι μικρή (έως 150°C).

Για βιομηχανικές εφαρμογές μέτρησης και ελέγχου θερμοκρασίας χρησιμοποιούνται συνήθως είτε θερμοζεύγη, είτε RTDs. Στον πίνακα 4.5.1 βλέπουμε συνοπτικά μια σύγκριση των δύο κατηγοριών

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.5.1**

<b>Παράμετρος</b>	<b>RTD</b>	<b>Θερμοζεύγος</b>
<b>Ακρίβεια</b>	Μεγάλη (0.1 - 1°C)	Μεσαία (0.5 - 5°C)
<b>Περιοχή θερμοκρασιών</b>	-200 έως 650°C	-200 έως 1750°C
<b>Κόστος</b>	πιο ακριβό	λιγότερο ακριβό
<b>Ταχύτητα απόκρισης</b>	1 - 50 sec	0.05- 5 sec
<b>Μέγεθος</b>	σχετικά μεγάλο	πολύ μικρό
<b>Κύκλωμα αναφοράς</b>	δεν χρειάζεται	απαιτείται
<b>Εξωτερική τροφοδοσία</b>	απαιτείται	δεν απαιτείται
<b>Αυτοθέρμανση</b>	εμφανίζεται	δεν εμφανίζεται
<b>Σταθερότητα σε διάρκεια</b>	εξαιρετική	λιγότερο ικανοποιητική
<b>Ευρωστία</b>	λιγότερο κατάλληλο	περισσότερο κατάλληλο
<b>Εξοδος</b>	αντίσταση σε γέφυρα μεταβολή περίπου 0.4Ω / °C σχεδόν γραμμική	τάση μεταβολή περίπου 10mV / °C μη γραμμική

### **ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ**

Υπάρχουν τρεις κατηγορίες αισθητηρίων θερμοκρασίας. Τα αισθητήρια μεταβλητής αντίστασης, τα θερμοζεύγη και τα αισθητήρια επαφής ρη. Αισθητήρια μεταβλητής αντίστασης είναι τα θερμίστορς και τα RTDs. Υπάρχουν δύο τύποι θερμίστορς : τα PTC όπου η αντίσταση αυξάνει όταν η θερμοκρασία αυξάνει και τα NTC όπου η αντίσταση μειώνεται.

Στα RTDs αισθητήρια, η αντίσταση αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας και παρουσιάζουν καλύτερη γραμμικότητα από τα θερμίστορ.

Τα θερμοζεύγη παρουσιάζουν στην έξοδό τους μια τάση, που εξαρτάται από την διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ δύο επαφών του. Στα κυκλώματα που χρησιμοποιούνται είναι απαραίτητο να δημιουργείται μια τάση αντιστάθμισης (της ψυχρής επαφής).

Στα αισθητήρια επαφής ρη εμφανίζεται μια τάση, ανάλογη της θερμοκρασίας στην οποία βρίσκεται η επαφή. Τα αισθητήρια αυτά παρουσιάζουν την καλλίτερη γραμμικότητα από όλα, αλλά έχουν μικρό εύρος θερμοκρασιών μέτρησης.

## **4.6 ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ**

### **A. Να απαντήσετε συνοπτικά στις ερωτήσεις**

1. Αναφέρατε μερικές εφαρμογές των θερμίστορ. Γιατί δεν χρησιμοποιούνται σε διατάξεις μέτρησης θερμοκρασίας;
2. Ποιους παράγοντες θα εξετάσετε για να επιλέξετε ένα αισθητήριο θερμοκρασίας που πρόκειται να χρησιμοποιήσετε σε μια διάταξη μέτρησης;
3. Τι είναι το φαινόμενο αυτοθέρμανσης και σε ποια αισθητήρια εμφανίζεται;
4. Τι ονομάζουμε ρύθμιση (calibration) ενός αισθητηρίου;
5. Ποιος είναι ο ρόλος της τάσης αντιστάθμισης στα θερμοζεύγη;
6. Ποια είδη θερμοζευγών γνωρίζετε;
7. Γιατί αποφεύγεται να συνδέεται ένα RTD σε όργανο μέτρησης απλά με δύο σύρματα; Πώς προτιμάται να συνδέεται;
8. Ποια είναι τα πλεονεκτήματα της χρήσης ενός RTD έναντι ενός θερμοζεύγους;
9. Που βασίζεται η δημιουργία ρη αισθητηρίων θερμοκρασίας; Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον σκοπό αυτό ένα απλό τρανζίστορ;
10. Σε ποιες εφαρμογές θα προτιμήσετε να χρησιμοποιήσετε ολοκληρωμένο αισθητήριο και γιατί;

### **B. Να συμπληρώσετε τα κενά στις προτάσεις**

1. Σύμφωνα με την μέτρηση σε ..... η μέτρηση ολοκληρώνεται, όταν παύει να υπάρχει θερμοκρασιακή ..... μεταξύ του αντικειμένου και του ..... μέτρησης που υπάρχει στο αισθητήριο.

2. Τα θερμίστορ είναι ....., η τιμή των οποίων εξαρτάται από την ..... στην οποία βρίσκονται
3. Στα PTC θερμίστορ η αντίσταση ..... ενώ η θερμοκρασία ....., ενώ στα NTC η αντίσταση ..... όταν η θερμοκρασία .....
4. Το φαινόμενο αυτοθέρμανσης οφείλεται στο ..... που διαρρέει το αισθητήριο.
5. Το αισθητήριο Pt100 είναι ένα αισθητήριο ..... . Στους 0°C παρουσιάζει αντίσταση ....Ω.
6. Τα θερμοζεύγη είναι αισθητήρια για την μέτρηση ..... Κατά την μεταβολή της ..... Στα άκρα τους εμφανίζεται μια ..... που είναι ανάλογη με την διαφορά ..... μεταξύ της επαφής ..... και της επαφής .....
7. Τα ..... αισθητήρια θερμοκρασίας παρουσιάζουν απόλυτη ..... κατά την λειτουργία τους

**Γ. Να επιλέξετε την σωστή απάντηση στις ερωτήσεις**

1. Κατά την μέτρηση με πρόβλεψη
  - i. επιτυγχάνεται θερμοκρασιακή ισορροπία
  - ii. παρακολουθείται η ταχύτητα μεταβολής της θερμοκρασίας
  - iii. μετράται η διαφορά θερμοκρασίας με το περιβάλλον
2. Σε ένα αισθητήριο RTD μεταβάλλεται
  - i. η αντίσταση
  - ii. η χωρητικότητα
  - iii. η επαγωγή
3. Το φαινόμενο αυτοθέρμανσης σε ένα αισθητήριο οφείλεται
  - i. στην θερμοκρασία του περιβάλλοντος
  - ii. στο ηλεκτρικό ρεύμα που το διαρρέει
  - iii. σε κακή κατασκευή του αισθητηρίου
4. Σε ένα θερμοζεύγος η επαφή αναφοράς
  - i. δημιουργεί την τάση μέτρησης
  - ii. δημιουργεί μια τάση που αναιρεί το φαινόμενο αυτοθέρμανσης
  - iii. δημιουργεί μια τάση που αφαιρείται από αυτή του αισθητηρίου
5. Η σύνδεση ενός αισθητηρίου RTD σε γέφυρα είναι απαραίτητη γιατί
  - i. ελαχιστοποιείται ο ηλεκτρομαγνητικός θόρυβος
  - ii. δημιουργείται μια δεύτερη τάση που αφαιρείται από την μετρούμενη
  - iii. αφαιρείται το σφάλμα που δημιουργούν οι αγωγοί σύνδεσης

## 5. ΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΘΕΣΗΣ-ΓΩΝΙΑΣ

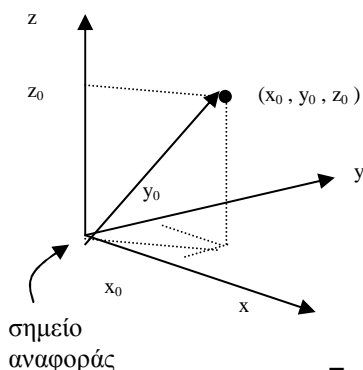
### ΣΚΟΠΟΣ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ ΚΑΙ ΜΑΘΗΣΙΑΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ

Σκοπός του κεφαλαίου είναι να γνωρίσουν οι μαθητές τους βασικούς τύπους αισθητήριων μετατόπισης. Επίσης να γνωρίσουν κυκλώματα μέτρησης και ελέγχου μετατόπισης ή γωνίας στροφής ενός αντικειμένου.

Στόχος του κεφαλαίου είναι να μπορεί ο μαθητής να επιλέγει το κατάλληλο αισθητήριο για την κάθε εφαρμογή και να υπολογίζει το σφάλμα μέτρησης. Επίσης να μπορεί να σχεδιάζει απλά κυκλώματα ελέγχου μετατόπισης ή περιστροφής ενός αντικειμένου, στηριζόμενος στα κυκλώματα που προτείνονται.

### 5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένα από τα σημαντικά προβλήματα στον αυτοματισμό είναι η μέτρηση και ο έλεγχος της μετατόπισης και περιστροφής ενός αντικειμένου. Η λειτουργία αυτή βρίσκει μεγάλη εφαρμογή στην βιομηχανία, στην ρομποτική, στα συστήματα ασφαλείας, κ.λ.π. Με το όρο *θέση* ορίζουμε τις συντεταγμένες ενός σημείου  $x_0, y_0, z_0$  ως προς κάποιο σημείο αναφοράς  $0,0,0$  (σχήμα 5.1.1). Στην μετρολογία πολλές φορές δεν μας ενδιαφέρει η θέση ενός αντικειμένου αλλά η μετατόπισή του. Δηλαδή η απόσταση της θέσης του από μια προηγούμενη θέση (όχι αναγκαστικά από το σημείο αναφοράς). Επίσης πολλές φορές είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε την γωνιακή μετατόπιση - περιστροφή ενός αντικειμένου, όπως π.χ. στην περίπτωση ενός ραντάρ που παρακολουθεί την πτήση ενός αεροσκάφους.



Σχήμα 5.1.1

Ένα άλλο πρόβλημα είναι να ανιχνευτεί αν ένα αντικείμενο φτάσει σε κάποια συγκεκριμένη θέση ή αν πλησιάζει κάποιο άλλο αντικείμενο.

Στο κεφάλαιο αυτό θα εξετάσουμε αισθητήρια που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ανιχνεύσουν και να μετρήσουν την μετατόπιση ενός αντικειμένου (αισθητήρια θέσης-position sensors), καθώς και

αισθητήρια που μπορούν να ανιχνεύσουν την προσέγγισή του αντικειμένου σε κάποιο σημείο (αισθητήρια προσσέγγισης - proximity sensors). Θα δούμε επίσης μερικά κυκλώματα με τα οποία μπορούμε (με χρήση των κατάλληλων αισθητηρίων) να μετρήσουμε την γραμμική ή την γωνιακή μετατόπιση ενός αντικειμένου, ή να ελέγξουμε την κίνησή του.

## 5.2 ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ ΠΟΤΕΝΣΙΟΜΕΤΡΟΥ

Ενας απλός μετατροπέας (transducer) μπορεί να κατασκευαστεί από ένα γραμμικό ποτενσιόμετρο. Η αρχή λειτουργίας του μετατροπέα αυτού στηρίζεται στην εξίσωση που υπολογίζει την αντίσταση ενός αντιστάτη

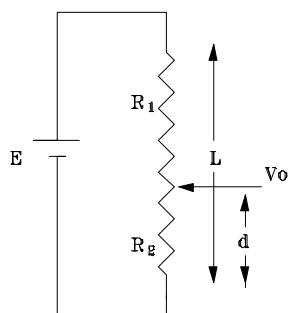
$$R = \rho \frac{d}{S} \quad 5.2.1$$

όπου  $R$  η τιμή της αντίστασης,  $\rho$  η ειδική αντίσταση (εξαρτάται από το υλικό κατασκευής),  $d$  το μήκος του αντιστάτη και  $S$  η διατομή του. Βλέπουμε δηλαδή ότι η αντίσταση εξαρτάται γραμμικά από το μήκος του αντιστάτη.

Στο κύκλωμα το σχήματος 5.2.1 τα δύο μέρη του ποτενσιόμετρου σχηματίζουν ένα διαιρέτη τάσης, οπότε έχουμε

$$\begin{aligned} V_o &= \frac{R_2}{R_1 + R_2} E \Leftrightarrow V_o = \frac{R_2}{R} E \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow V_o = \frac{\rho \frac{d}{S}}{L} E \Leftrightarrow V_o = \frac{E}{L} d \end{aligned} \quad 5.2.2$$

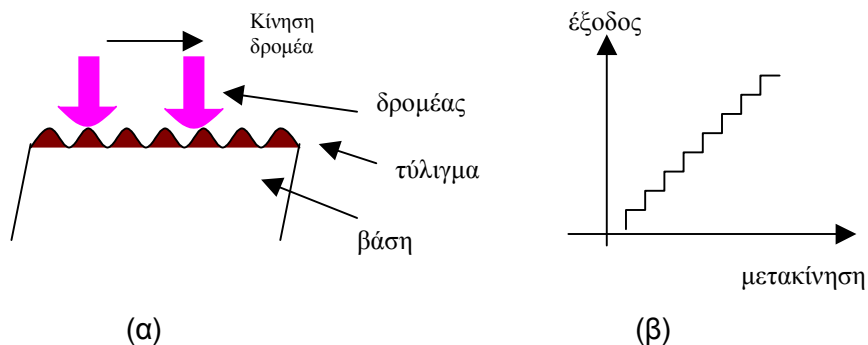
όπου  $d$  το μήκος της  $R_2$  και  $L$  το μήκος ολόκληρου του αντιστάτη



Σχήμα 5.2.1 Διαιρέτης τάσης αισθητηρίου θέσης

Η σχέση βέβαια μεταξύ της τάσης  $V_0$  και του μήκους  $d$  είναι γραμμική εφ' όσον στην έξοδο του ποτενσιόμετρου δεν είναι συνδεδεμένο κάποιο φορτίο. Στην περίπτωση που υπάρχει φορτίο, η γραμμικότητα αυτή καταστρέφεται. Για τον λόγο αυτό συνήθως στο αισθητήριο δημιουργείται ηλεκτρική αντιστάθμιση.

Ένα άλλο πρόβλημα που δημιουργείται οφείλεται στον τρόπο κατασκευής του ποτενσιόμετρου. Ένα ποτενσιόμετρο δημιουργείται τυλίγοντας ένα σύρμα σε μια μονωτική βάση.



Σχήμα 5.2.2 Αρχή λειτουργίας αισθητηρίου ποτενσιόμετρου

Όταν ο δρομέας διατρέχει το ποτενσιόμετρο, δεν παρακολουθεί το τύλιγμα του σύρματος, αλλά κινείται όπως φαίνεται στο σχήμα 5.2.2 (α). Επομένως η μεταβολή της αντίστασης δεν είναι στην πραγματικότητα συνεχής αλλά γίνεται κατά μικρές διακριτές ποσότητες (ίσες με την αντίσταση μιας σπείρας). Στο σχήμα 5.2.2 (β) φαίνεται η μεταβολή της εξόδου του αισθητηρίου συναρτήσει της μετακίνησης. Ετσι αν το ποτενσιόμετρο αποτελείται από  $N$  σπείρες, τότε το αισθητήριο παρουσιάζει μια μέση ακρίβεια  $n = 100/N \%$ .

Τα ποτενσιομετρικά αισθητήρια έχουν αρκετά καλή ακρίβεια, ανάλογα με την κατασκευή τους. Συνήθως είναι περίπου 0.1%, αλλά για κατασκευή με αγώγιμο φιλμ η ακρίβεια βελτιώνεται. Παράγοντες που επηρεάζουν την ακρίβεια του αισθητηρίου, είναι ανομοιομορφίες του υλικού (που καταστρέφουν την γραμμικότητά του) καθώς και ο θόρυβος από το κύκλωμα προσαρμογής.

### 5.2.1 σφάλμα μέτρησης

Εχουμε δείξει ότι η τάση στην έξοδο του κυκλώματος του σχήματος 5.2.1 είναι

$$V_o = \frac{d}{L} E \quad 5.2.3$$

όμως οι ποσότητες  $d$  και  $L$  δεν μεταβάλλονται κατά συνεχή τρόπο. Έτσι αν  $N$  ο ολικός αριθμός σπειρών,  $k$  οι σπείρες που έχει διατρέξει ο δρομέας για να προχωρήσει κατά  $d$ , και  $s$  το μήκος κάθε σπείρας, τότε η τάση εξόδου θα είναι

$$V_o = \frac{ks}{Ns} E = \frac{k}{N} E \quad 5.2.4$$

Από το σχήμα όμως 5.2.2 φαίνεται ότι κατά την κίνηση του δρομέα υπάρχει απόκλιση κατά μία σπείρα. Έτσι η τάση εξόδου θα είναι

$$V = \frac{k \pm 1}{N} E \quad 5.2.5$$

επομένως από τα όσα ορίστηκαν στο κεφάλαιο 2, η τάση απόλυτου σφάλματος είναι

$$\Delta V = \pm \frac{1}{N} E \quad 5.2.6$$

και το σχετικό σφάλμα

$$\gamma = \pm \frac{1}{k} E = \pm \frac{1}{N} \frac{L}{d} E \quad 5.2.7$$

από την σχέση 5.2.7 φαίνεται ότι το σχετικό σφάλμα είναι μεγαλύτερο σε μικρές μετατοπίσεις και μικρότερο στις μεγαλύτερες. Το αισθητήριο αυτό επομένως μπορεί να χρησιμοποιηθεί για σχετικά μεγάλες μετατοπίσεις.

Από όσα ήδη περιγράφηκαν είναι φανερό ότι η τάση εξόδου δεν μεταβάλλεται συνεχώς, αλλά κατά ποσότητες  $(1/N)E$ . Έτσι αν η μέγιστη τάση εξόδου  $E$ , αντιστοιχεί στην μέγιστη μετατόπιση  $a$  που μπορεί να μετρηθεί, τότε η  $(1/N)E$  θα αντιστοιχεί σε μια μετατόπιση  $a/N$ . Μετατοπίσεις μικρότερες από αυτή δεν μεταβάλουν την τάση εξόδου της μετρητικής διάταξης. Επομένως η τιμή αυτή αποτελεί την *διακριτική ικανότητα* του αισθητηρίου

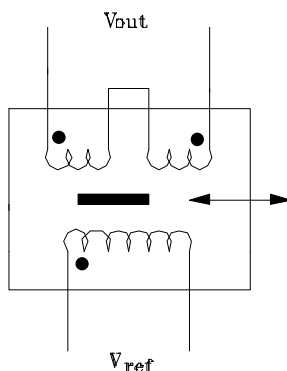
### 5.3 ΕΠΑΓΩΓΙΚΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ

Η μετακίνηση και η θέση ενός αντικειμένου μπορούν να μετρηθούν με την βοήθεια αισθητηρίου που βασίζεται στην μαγνητική επαγωγή. Κατασκευαστικά ένα επαγωγικό αισθητήριο αποτελείται από δύο πηνία, πρωτεύον και δευτερεύον, σε μαγνητική σύζευξη. Το δευτερεύον αποτελείται από δύο τυλίγματα, που είναι τυλιγμένα κατά αντίθετη φορά (σχήμα 5.3.1). Στο πρωτεύον εφαρμόζεται μια εναλλασσόμενη τάση αναφοράς  $V_{ref}$ , που δημιουργεί μια τάση από επαγωγή στο δευτερεύον. Το μέγεθος της τάσης αυτής εξαρτάται από την σύζευξη των πηνίων (δηλαδή από την μαγνητική ροή που περνά από το πρωτεύον στο δευτερεύον).

Υπάρχουν δύο τεχνικές, με τις οποίες η μετακίνηση μπορεί να αλλάξει την σύζευξη των πηνίων. Σύμφωνα με την πρώτη η μετακίνηση ενός αντικειμένου μετατρέπεται σε μετακίνηση ενός σιδηρομαγνητικού



υλικού στο εσωτερικό των πηνίων. Με τον τρόπο αυτό αλλάζει η μαγνητική αντίσταση του διακένου, με αποτέλεσμα να αλλάζει η μαγνητική ροή που περνά στα τυλίγματα του δευτερεύοντος. Στο σχήμα 5.3.1 βλέπουμε το διάγραμμα ενός τέτοιου αισθητηρίου. Παρατηρείστε ότι το δευτερεύον αποτελείται από δύο τμήματα συνδεδεμένα σε αντίθετη φάση. Έτσι όταν ο πυρήνας είναι στο μέσον του μαγνητικού κενού, τα σήματα της εξόδου αναιρούνται και έτσι η έξοδος του αισθητηρίου είναι μηδέν. Όταν ο πυρήνας κινείται αλλάζει η σύζευξη μεταξύ του πρωτεύοντος και των τυλιγμάτων του δευτερεύοντος, με αποτέλεσμα να εμφανιστεί εναλλασσόμενη τάση στην έξοδο με πλάτος που εξαρτάται από το μέγεθος της μετακίνησης και φάση που εξαρτάται από την φορά της.



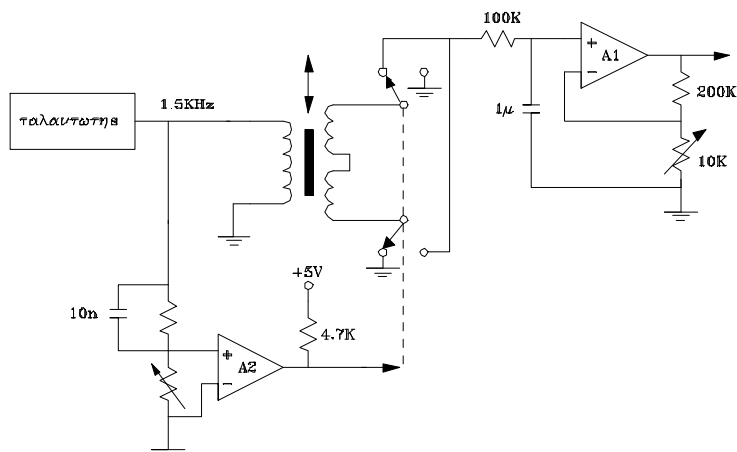
Σχήμα 5.3.1 Διάγραμμα λειτουργίας επαγωγικού αισθητηρίου

Αυτή είναι η βάση για την λειτουργία των LVDT αισθητηρίων (γραμμικών-Linear Variable Differential Transformers), των RVDT (περιστροφικών-Rotation Variable Differential Transformers), καθώς και αισθητηρίων προσέγγισης.

Σύμφωνα με την δεύτερη μέθοδο η μετακίνηση ενός αντικειμένου μετατρέπεται σε κίνηση του ενός πηνίου ως προς το άλλο (δευτερεύον ως προς το πρωτεύον).

Στο σχήμα 5.3.2 βλέπουμε ένα κύκλωμα που μετατρέπει την μετακίνηση του πυρήνα σε συνεχή τάση, κατάλληλη για μέτρηση.

Ο ταλαντωτής δημιουργεί το εναλλασσόμενο σήμα αναφοράς στο πρωτεύον. Ο τελεστικός ενισχυτής A2 μετατρέπει το εναλλασσόμενο σήμα του ταλαντωτή σε τετραγωνικούς παλμούς. Το ποτενσιόμετρο στην είσοδο του A2 ρυθμίζει την έξοδο του A1 στην τιμή μηδέν, όταν ο οπλισμός βρίσκεται στο μέσον του διακένου. Το τετραγωνικό σήμα που παράγεται, αλλάζει την κατάσταση σε έναν πολυπλέκτη που συνδέει την έξοδο του αισθητήρα με τον ενισχυτή A1.

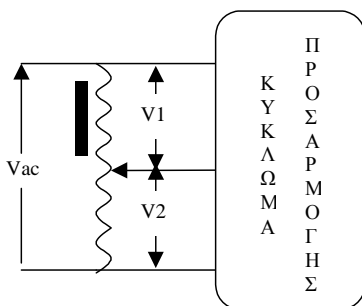


Σχήμα 5.3.2 Κύκλωμα μετατροπής μετακίνησης σε τάση

Το ποτενσιόμετρο των 10K ρυθμίζει την ενίσχυση του κυκλώματος. Η έξοδος του ενισχυτή είναι μία συνεχής τάση, κατάλληλη να συνδεθεί σε κύκλωμα μέτρησης. Η τιμή της δίνει την απόσταση που μετακινείται ο πυρήνας και το πρόσημό της την φορά της μετακίνησης.

Το RVDT αισθητήριο έχει την ίδια αρχή λειτουργίας με την διαφορά ότι χρησιμοποιείται ένας περιστροφικός πυρήνας. Το RVDT χρησιμοποιείται για μέτρηση γωνιών. Η γραμμικότητα στις μετρήσεις αυτές είναι περίπου  $\pm 40^\circ$  με σφάλμα μη γραμμικότητας 1%. Το κύκλωμα μέτρησης είναι ίδιο με αυτό του σχήματος 5.3.2.

Για ευκολία μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το ολοκληρωμένο AD598 της Analog Devices, που περιλαμβάνει ταλαντωτή, φίλτρο, και ενισχυτή και με είσοδο ένα αισθητήριο LVDT ή RVDT δίνει στην έξοδο συνεχή τάση.



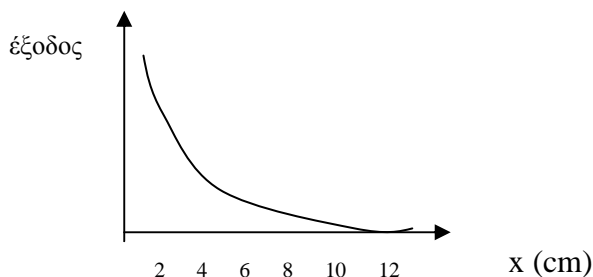
Σχήμα 5.3.3 RVDT με αυτομετασχηματιστή

Μια τροποποίηση του RVDT αισθητηρίου, αντί για δύο πηνία χρησιμοποιείται ένας αυτομετασχηματιστής, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.3.3.

Σαν τάση εξόδου θεωρείται η διαφορά  $V_2-V_1$ . Καθώς ο πυρήνας μετακινείται η τάση αυτή αλλάζει, επιτρέποντας μετρήσεις ακόμη και πάνω από  $180^\circ$ , ενώ με μικρές τροποποιήσεις μπορεί να μετρήσει γωνίες έως και  $360^\circ$ .

Στο φαινόμενο της επαγωγής βασίζεται και μια κατηγορία αισθητηρίων προσέγγισης, που ονομάζονται eddy current sensors. Οι αισθητήρες αυτοί αποτελούνται από δύο πηνία, ένα αναφοράς και ένα μέτρησης. Το πρώτο δημιουργεί ένα RF πεδίο (περίπου 100KHz - 1MHz). Καθώς ένα μεταλλικό αντικείμενο εισέρχεται στο πεδίο αυτό, δημιουργούνται επαγωγικά ρεύματα στην επιφάνειά του. Τα ρεύματα αυτά δημιουργούν ένα δευτερεύον πεδίο που αλληλεπιδρά με το πρώτο. Το τελικό αποτέλεσμα είναι η δημιουργία ηλεκτρικού σήματος στο δεύτερο πηνίο του αισθητηρίου, ανάλογο με την απόσταση του αντικειμένου. Γενικά η σχέση μεταξύ της απόστασης του αγωγίμου αντικειμένου και της εξόδου που αισθητηρίου είναι μη γραμμική, ενώ το αισθητήριο επηρεάζεται αρκετά από την θερμοκρασία. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιείται κυρίως για την ανίχνευση μεταλλικών αντικειμένων (on/off λειτουργία), έλεγχο πάχους αντικειμένων, κ.λ.π.

Ένα άλλο αισθητήριο προσέγγισης είναι το *αισθητήριο προσέγγισης εγκάρσιας επαγωγής (transverse inductive proximity sensor)* που στηρίζεται στο φαινόμενο της αυτεπαγωγής. Το αισθητήριο αυτό μετρά (μέσω κατάλληλου κυκλώματος) την απόσταση ενός αντικειμένου, που μεταβάλλει το μαγνητικό πεδίο του. Ένα πηνίο με σπλισμό, δημιουργεί ένα μαγνητικό πεδίο που αλλάζει καθώς πλησιάζει ένα μεταλλικό αντικείμενο. Η σχέση μεταξύ της εξόδου και της απόστασης είναι μη γραμμική, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.3.4, για τον λόγο αυτό χρησιμοποιείται για μικρές αποστάσεις.



Σχήμα 5.3.4 Χαρακτηριστική αισθητήρα προσέγγισης εγκάρσιας επαγωγής

Όπως φαίνεται στο σχήμα υπάρχει γραμμικότητα για αποστάσεις έως περίπου 3cm. Επειδή οι αποστάσεις είναι μικρές η επιφάνεια του αντικειμένου πρέπει να είναι επίπεδη, ώστε να τέμνει κάθετα το πεδίο (δηλαδή η επιφάνεια να σχηματίζει γωνία  $90^\circ$  με την διεύθυνση της επαγωγής B). Τα αισθητήρια αυτά είναι γνωστά και απλά σαν επαγωγικά αισθητήρια και έχουν μεγάλη εφαρμογή, κυρίως σαν ανιχνευτές μεταλλικών επιφανειών.

## 5.4 ΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ

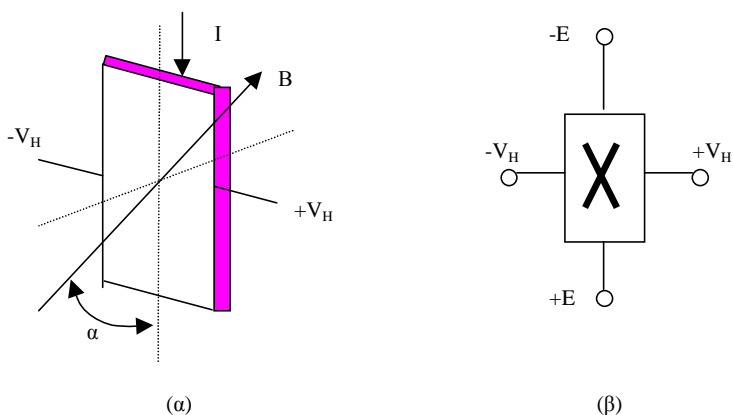
Η λειτουργία των αισθητήριών αυτών βασίζεται στην αλλαγή ενός μαγνητικού πεδίου που δημιουργεί ένας μαγνήτης, προσαρμοσμένος στο κινούμενο αντικείμενο. Η μεταβολή αυτή καταγράφεται από το αισθητήριο και μετατρέπεται σε τάση. Το απλούστερο μαγνητικό αισθητήριο είναι ένας μαγνητικός διακόπτης. Αποτελείται από ένα ζευγάρι κλειστών επαφών, που αλλάζουν κατάσταση όταν το αισθητήριο αλληλεπιδράσει με ένα μαγνητικό πεδίο. Κυριότερη εφαρμογή τους είναι στα συστήματα ασφαλείας (πόρτες). Ένας τέτοιος διακόπτης ενεργοποιείται όταν ένας μαγνήτης τον πλησιάσει περίπου στα 5mm και απενεργοποιείται όταν ο μαγνήτης απομακρυνθεί στα 10-15mm. Αλλα μαγνητικά αισθητήρια είναι τα αισθητήρια Hall, τα αισθητήρια μαγνητοαντίστασης, κ.ά. Στην συνέχεια θα εξετάσουμε τα αισθητήρια Hall που είναι και τα κυριότερα της κατηγορίας αυτής.

### 5.4.1 Αισθητήριο φαινομένου Hall (Hall effect sensor)

Σύμφωνα με το φαινόμενο Hall αν ένας αγωγός διαρρέεται από ρεύμα  $I$  και τοποθετηθεί εντός μαγνητικού πεδίου επαγωγής  $B$ , τότε δημιουργείται ένα ηλεκτρικό πεδίο, κάθετο στο επίπεδο των  $I$ ,  $B$ , και εμφανίζεται μια διαφορά δυναμικού. Η τάση αυτή ονομάζεται *εγκάρσια διαφορά δυναμικού Hall* (*transverse Hall potential difference  $V_H$* ) και ισούται με

$$V_H = h \cdot I \cdot B \cdot \eta \mu \alpha \quad 5.4.1$$

Όπου  $\alpha$  η γωνία μεταξύ του διανύσματος της επαγωγής  $B$  και του επιπέδου του κρυστάλλου (σχήμα 5.4.1) και  $h$  ένας συντελεστής που εξαρτάται από την επιφάνεια του μετάλλου, το υλικό του και την γεωμετρία του.



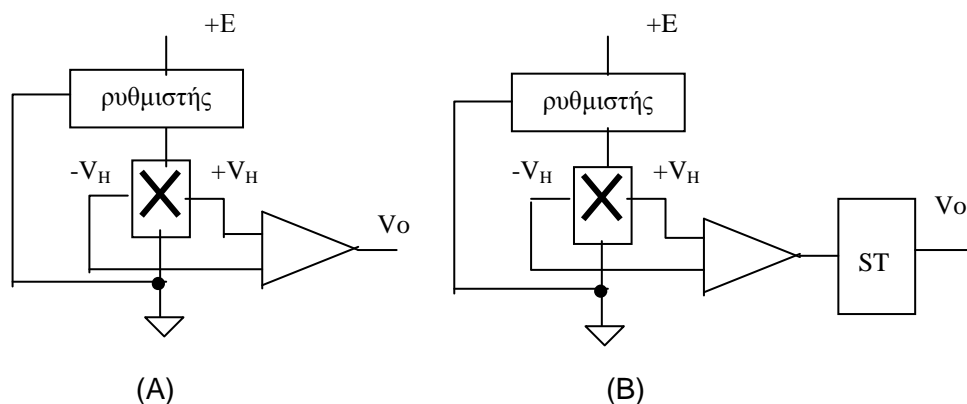
Σχήμα 5.4.1 Αισθητήριο Hall.

Στο σχήμα 5.4.1(β) φαίνεται ο συμβολισμός ενός αισθητηρίου Hall. Οι ακροδέκτες +E και -E είναι οι ακροδέκτες ελέγχου του αισθητηρίου, ενώ οι  $V_H$  είναι οι ακροδέκτες εξόδου του. Με το σύμβολο X δεικνύεται η φορά του μαγνητικού πεδίου.

Υπάρχουν δύο τύποι Hall αισθητηρίων : τα γραμμικά (*linear*) και τα κατωφλίου (*threshold*).

Τα γραμμικά αισθητήρια δίνουν μια dc έξοδο και είναι κατάλληλα για μέτρηση. Όπως φαίνεται στην σχέση 5.4.1, η τάση που αναπτύσσεται σε ένα αισθητήριο Hall είναι ανάλογη της γωνίας  $\alpha$  (σχήμα 5.4.1 (α)). Είναι επομένως κατάλληλα για την μέτρηση της γωνίας στροφής ενός αντικειμένου (αφού παρουσιάζουν γραμμικότητα σε σχέση με την γωνία).

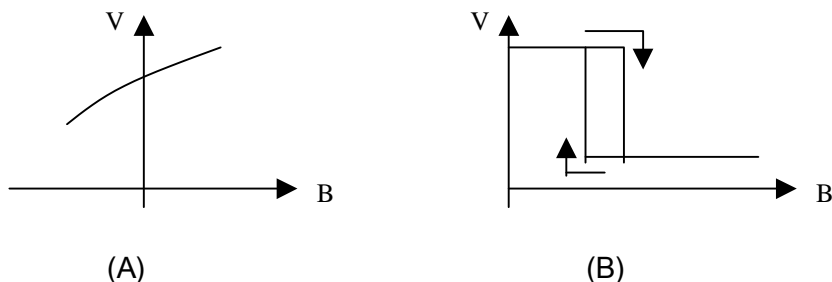
Τα αισθητήρια αυτά λειτουργούν σε μια ευρεία περιοχή τάσεων και είναι σταθεροί σε θόρυβο. Εχουν όμως το μειονέκτημα ότι δεν είναι απόλυτα γραμμικά σε σχέση με το μαγνητικό πεδίο (σχήμα 5.4.3 (A)) και επομένως για ακριβείς μετρήσεις χρειάζονται ρύθμιση (*calibration*). Επίσης συνήθως απαιτούν έναν ενισχυτή σαν βαθμίδα προσαρμογής τους στο υπόλοιπο ηλεκτρονικό κύκλωμα (σχήμα 5.4.2 A).



Σχήμα 5.4.2 Διάγραμμα αισθητηρίου κατωφλίου

Τα αισθητήρια κατωφλίου εκτός από τον ενισχυτή που συνήθως χρειάζονται για την προσαρμογή τους, περιλαμβάνουν και έναν Schmitt trigger (ST) με υστέρηση (σχήμα 5.4.2B).

Η έξοδος του είναι συνάρτηση του μαγνητικού πεδίου  $B$ , όπως φαίνεται στο σχήμα 5.4.3B. Βλέπουμε επομένως ότι τα αισθητήρια κατωφλίου παρουσιάζουν μια on/off λειτουργία, επομένως δεν είναι κατάλληλοι για μέτρηση, αλλά μόνο για ανίχνευση.



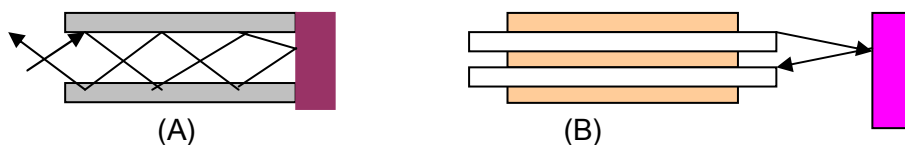
Σχήμα 5.4.3 Έξοδος γραμμικού (A) και αισθητηρίου κατωφλιού (B)

Τα αισθητήρια Hall χρησιμοποιούνται για να μετρήσουμε ή να ελέγξουμε μικρές μετακινήσεις ή περιστροφές. Συνήθως στο κινούμενο αντικείμενο είναι προσαρμοσμένος μικρός μαγνήτης, οπότε κατά την κίνηση του αντικειμένου το μαγνητικό πεδίο που δρα στο αισθητήριο μεταβάλλεται. Έτσι (όπως φαίνεται και στην σχέση 5.4.1) η τάση  $V_H$  αλλάζει, παρακολουθώντας την μεταβολή του πεδίου, άρα και την κίνηση του αντικειμένου.

## 5.5 ΟΠΤΙΚΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ

Μετά τα αισθητήρια επαφής (τερματικούς διακόπτες) και τους ποτενσιομετρικούς, τα οπτικά είναι τα πιο δημοφιλή αισθητήρια για μέτρηση θέσης και μετακίνησης. Πλεονεκτήματά τους είναι η απλότητα στην λειτουργία τους και η μεγάλη διάρκεια ζωής τους. Δεν επηρεάζονται από μαγνητικά ή ηλεκτρικά πεδία, οπότε είναι κατάλληλα για ένα μεγάλο αριθμό εφαρμογών.

Ένα οπτικό αισθητήριο συνήθως αποτελείται από τρία εξαρτήματα : μια φωτεινή πηγή, έναν φωτοανιχνευτή και ένα κύκλωμα οδήγησης του φωτός (π.χ. φακός). Η ακτινοβολία που εκπέμπεται από την πηγή ανακλάται από την επιφάνεια που εξετάζουμε. Η ένταση της ακτινοβολίας που τελικά φτάνει στον ανιχνευτή, εξαρτάται από την απόσταση της επιφάνειας. Στο σχήμα 5.5.1 βλέπουμε δύο διαφορετικούς τρόπους οδήγησης της ακτινοβολίας.



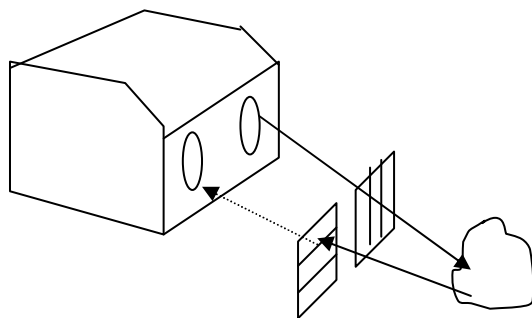
Σχήμα 5.5.1 Οπτικοί αισθητήρες

Στην πρώτη περίπτωση η ίδια οπτική ίνα (fiber) χρησιμοποιείται σαν αγωγός και για την προσπίπτουσα και για την ανακλώμενη ακτινοβολία, ενώ στην δεύτερη χρησιμοποιούνται ανεξάρτητες ίνες. Συνήθως στους αισθητήρες η ένταση της ακτινοβολίας διαμορφώνεται από μια εξωτερική διέγερση. Εκτός από τους βασικούς αυτούς τύπους έχουν σχεδιαστεί και άλλοι αισθητήρες με καλλίτερη επιλεκτικότητα και αξιοπιστία και μεγαλύτερη ανοσία στον θόρυβο .

### 5.5.1 Ανιχνευτές προσέγγισης με πολωμένο φως

Ένας τύπος οπτικοηλεκτρικού αισθητηρίου χρησιμοποιεί πηγή πολωμένου φωτός. *Πόλωση (polarization)* του φωτός ονομάζουμε την ιδιότητα των φωτονίων να ταλαντώνονται σε συγκεκριμένη κατεύθυνση. Η διεύθυνση του ηλεκτρικού πεδίου που δημιουργείται κατά τον τρόπο αυτό, ονομάζεται διεύθυνση πόλωσης. Οι περισσότερες πηγές παράγουν φως με τυχαία διεύθυνση πόλωσης. Με κατάλληλα φίλτρα όμως μπορούμε να πολώσουμε την ακτινοβολία στην διεύθυνση που επιθυμούμε. Ένα φίλτρο πόλωσης επιτρέπει την διέλευση του φωτός χωρίς απόσβεση κατά μια μόνο διεύθυνση πόλωσης. Έτσι αν η αρχική διεύθυνση πόλωσης του φωτός είναι κάθετη σε αυτή, τότε η ακτινοβολία δεν περνά από το φίλτρο.

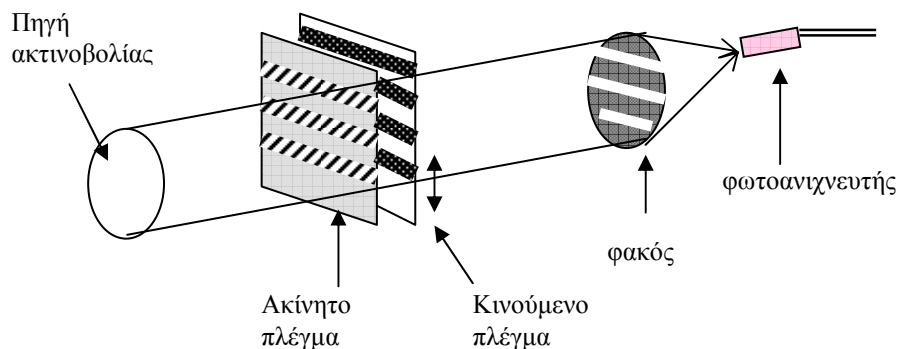
Στο σχήμα 5.5.2 βλέπουμε σχηματικά έναν ανιχνευτή προσέγγισης με δύο φίλτρα πόλωσης, τοποθετημένα σε γωνία πόλωσης  $90^{\circ}$  μεταξύ τους



Σχήμα 5.5.2 Ανιχνευτής προσέγγισης

Το πολωμένο φως όταν ανακλάται σε ένα αντικείμενο συνήθως αλλάζει την διεύθυνση πόλωσής του, ιδίως όταν πρόκειται για μη μεταλλικό αντικείμενο. Στο αισθητήριο του σχήματος 5.5.2 υπάρχει μια πηγή πολωμένου φωτός και δέκτης (ανιχνευτής). Η ακτινοβολία πολώνεται από το ένα φίλτρο. Αν στην εμβέλειά της συναντήσει αντικείμενο μη μεταλλικό, τότε ανακλάται και αλλάζει διεύθυνση πόλωσης. Η ανακλώμενη ακτινοβολία περνά από το δεύτερο φίλτρο και φτάνει στον ανιχνευτή του αισθητηρίου. Με την μέθοδο αυτή μπορούν να ανιχνευτούν μη μεταλλικά αντικείμενα.

### 5.5.2 Αισθητήριο πλέγματος (grating sensor)



Σχήμα 5.5.3 Λειτουργία αισθητηρίου πλέγματος

Ενας οπτικός μετατροπέας μετακίνησης μπορεί να κατασκευαστεί με δύο πλέγματα (διαφράγματα), ένα σταθερό και ένα κινητό μαζί με την προς μέτρηση επιφάνεια. Τα πλέγματα αυτά λειτουργούν σαν ένας ρυθμιστής της έντασης της ακτινοβολίας. Στο σχήμα 5.5.3 φαίνεται σχηματικά η λειτουργία του.

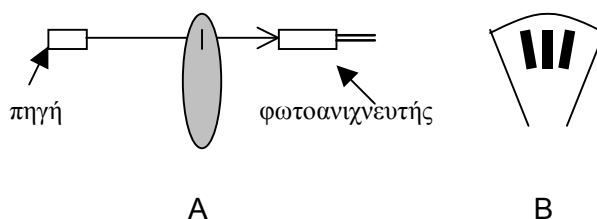
Μετά την πηγή η ακτινοβολία πέφτει σε ένα ακίνητο πλέγμα, το οποίο έχει διαφανείς και αδιαφανείς λωρίδες και που επιτρέπει περίπου το 50% να περάσει, προς το δεύτερο, κινούμενο πλέγμα. Όταν το αδιαφανές τμήμα του πλέγματος αυτού ευθυγραμμίζεται πλήρως με τα διαφανή τμήματα του ακίνητου πλέγματος, τότε η ακτινοβολία αποκόπτεται εντελώς. Έτσι η ένταση του φωτός μπορεί να διαμορφώνεται από την κίνηση του δεύτερου πλέγματος μεταξύ 0 και 50%. Η ακτινοβολία που τελικά περνά εστιάζεται πάνω σε έναν φωτοανιχνευτή όπου σε αναλογικό ηλεκτρικό ρεύμα.

Το αισθητήριο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μέτρηση μετατόπισης ή περιστροφής. Στην δεύτερη περίπτωση τα πλέγματα-διαφράγματα έχουν την μορφή κυκλικών δίσκων.

Η αρχή της διαμόρφωσης του φωτός που εφαρμόστηκε στο αισθητήριο που περιγράφηκε προηγουμένως εφαρμόζεται στην κατασκευή περιστροφικών ή γραμμικών κωδικοποιητών (encoder) που αποτελούν μια φτηνή και πολύ συνηθισμένη λύση για μέτρηση μετακίνησης ή περιστροφής.

Κατασκευαστικά αποτελείται από ένα δίσκο με διαφανή και αδιαφανή ακτινωτά τμήματα (στο σχήμα 5.5.4 Β φαίνεται μια λεπτομέρεια του δίσκου με τα τμήματα αυτά), μια πηγή ακτινοβολίας και έναν φωτοανιχνευτή όπως φαίνεται στο σχήμα 5.5.4Α.



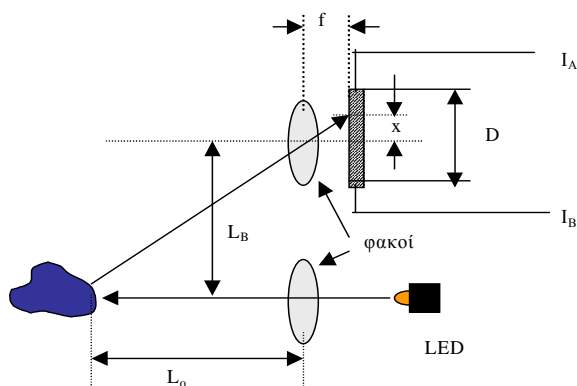


Σχήμα 5.5.4 Διάταξη περιστροφικού και γραμμικού κωδικοποιητή

Καθώς το αντικείμενο μετακινείται ή περιστρέφεται ο δίσκος περιστρέφεται και αποκόπτει ή επιτρέπει την διέλευση της ακτινοβολίας προς τον φωτοανιχνευτή (ανάλογα αν η ακτινοβολία συναντά διαφανή ή αδιαφανή ακτίνα). Με τον τρόπο αυτό στην έξοδο του αισθητηρίου δημιουργείται μια παλμοσειρά όπου ο κάθε παλμός αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη στοιχειώδη μετατόπιση ή περιστροφή του αντικειμένου. Με ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα γίνεται καταμέτρηση των παλμών, οπότε οδηγούμαστε στην μέτρηση της μετακίνησης ή της περιστροφής. Αν χρησιμοποιήσουμε δύο φωτοανιχνευτές σε διαδοχικά διαφανή τμήματα, και συγκρίνουμε τις παλμοσειρές που προκύπτουν, η μεταξύ τους διαφορά φάσης δίνει την κατεύθυνση της κίνησης. Η ακρίβεια του αισθητηρίου εξαρτάται από τον αριθμό των ακτινωτών τμημάτων που έχει ο δίσκος.

### 5.5.3 Γραμμικά οπτικά αισθητήρια (linear optical sensors)

Για μετρήσεις με ακρίβεια σε μεγάλες ή μικρές μετατοπίσεις χρησιμοποιούνται αισθητήρια με υπέρυθρη ακτινοβολία. Ένα παράδειγμα τέτοιου αισθητηρίου είναι ο ανιχνευτής θέσης (position sensitive detector - PSD).



Σχήμα 5.5.5 Διάταξη γραμμικού οπτικού αισθητήρα

Μια μετρητική διάταξη αποτελείται από δύο τμήματα : μια δίοδο φωτεινής εκπομπής - LED και το αισθητήριο PSD.

Η θέση ενός αντικείμενου μετράται εφαρμόζοντας την αρχή της γωνιακής μέτρησης. Στο σχήμα 5.5.5 βλέπουμε μια τέτοια διάταξη μέτρησης.

Το LED εκπέμπει μια ακτινοβολία σχεδόν υπέρυθη (αποτελείται από παλμούς εύρους 0.7msec). Ένας φακός δημιουργεί μια δέσμη μικρής γωνίας απόκλισης (το άνοιγμα της δέσμης είναι  $<2^{\circ}$ ). Η ακτινοβολία αυτή ανακλάται από ένα αντικείμενο και ένας δεύτερος φακός την εστιάζει πάνω στην ευαίσθητη επιφάνεια του αισθητηρίου. Το χαρακτηριστικό της επιφάνειας αυτής είναι ότι δημιουργεί δύο ρεύματα ( $I_A$  και  $I_B$ ) που εξαρτώνται από την απόσταση  $x$ .

Τελικά αποδεικνύεται ότι

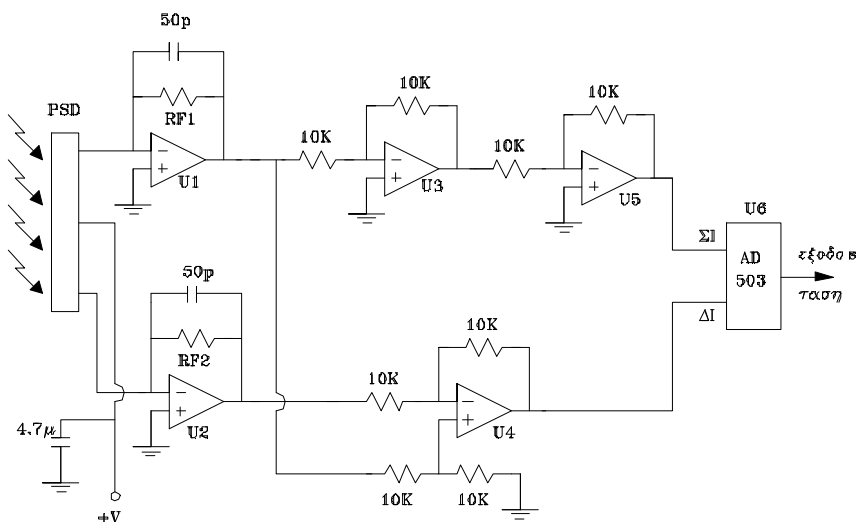
$$L_o = k \left( \frac{I_A}{I_B} + 1 \right)$$

όπου το  $k$  εξαρτάται από την κατασκευή.

Δηλαδή η απόσταση αισθητηρίου-αντικείμενου είναι γραμμική συνάρτηση του λόγου των ρευμάτων εξόδου του αισθητηρίου.

Τα PSD αισθητήρια είναι δύο τύπων : μιας και δύο διευθύνσεων. Με το πρώτο μπορούν να μετρηθούν μετακινήσεις σε ευθεία γραμμή, ενώ με το δεύτερο μετακινήσεις σε ένα επίπεδο.

Στο σχήμα 5.5.6 φαίνεται ένα κύκλωμα μέτρησης της μετατόπισης



Σχήμα 5.5.6 Ολοκληρωμένο κύκλωμα μέτρησης μετατόπισης

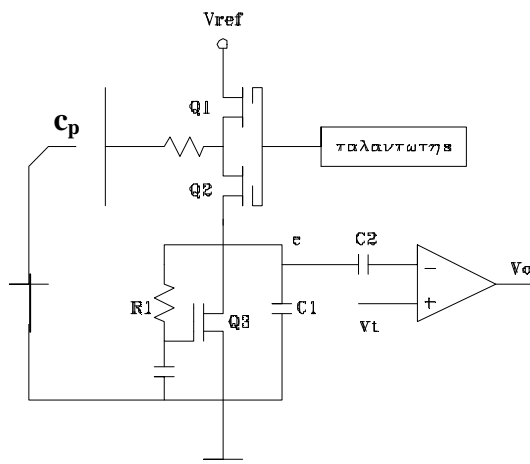
τα RF1 και RF2 είναι ποτενσιόμετρα 1-100KΩ, που χρησιμοποιούνται για την ρύθμιση του οργάνου. Τα ολοκληρωμένα U1 έως U5 είναι τελεστικοί

ενισχυτές TL082 της Texas Instruments, ενώ το ολοκληρωμένο U6 είναι ο αναλογικός διαιρέτης AD533 της Analog Devices. Η έξοδος του κυκλώματος αυτού είναι μια αναλογική τάση  $\pm 10V$  και μπορεί να οδηγηθεί σε μία βαθμίδα απεικόνισης της μέτρησης, ή μέσω μιας κάρτας A/D σε Η/Υ.

## 5.6 ΧΩΡΗΤΙΚΟΙ ΑΝΙΧΝΕΥΤΕΣ ΚΙΝΗΣΗΣ (CAPACITIVE DETECTORS)

Οι ανιχνευτές κίνησης είναι μια κατηγορία των αισθητηρίων θέσης ή κίνησης, αφού ενεργοποιούνται όταν ένα αντικείμενο κινείται. Έχουν μεγάλη εφαρμογή κυρίως στα συστήματα ασφαλείας.

Οι χωρητικοί ανιχνευτές είναι μια κατηγορία των αισθητηρίων αυτών. Η λειτουργία τους βασίζεται στην μεταβολή που υφίσταται μια χωρητικότητα όταν μεταβάλλεται το διηλεκτρικό της. Κατασκευαστικά δημιουργείται ένας πυκνωτής μεταξύ μιας αγωγίμης πλάκας και της γης. Όταν ένα αντικείμενο κινηθεί κοντά στην πλάκα, τότε το διηλεκτρικό του πυκνωτή αυτού αλλάζει, άρα αλλάζει και η χωρητικότητά του. Με το κύκλωμα του σχήματος 5.6.1 ανάλογα με την μεταβολή της χωρητικότητας μπορούμε να ενεργοποιήσουμε μια συσκευή (π.χ. σειρήνα) ή όχι



Σχήμα 5.6.1 Κύκλωμα χωρητικού ανιχνευτή

Η επίπεδη επιφάνεια δημιουργεί με την γη τον στοιχειώδη πυκνωτή  $C_p$ . Ο πυκνωτής αυτός φορτίζεται με την τάση  $V_{ref}$  μέσω των τρανζίστορς Q1 και Q2 και εκφορτίζεται μέσω του Q3. Η τάση  $e$  παρακολουθεί της μεταβολές της χωρητικότητας  $C_p$ . Όταν ένα αντικείμενο πλησιάσει την πλάκα, τότε η τάση αυτή αυξάνει και μέσω του πυκνωτή  $C_2$  εφαρμόζεται σε έναν συγκριτή. Στην άλλη είσοδο του συγκριτή εφαρμόζεται μια τάση κατωφλίου. Όταν η τάση  $e$  ξεπεράσει την τάση κατωφλίου η έξοδος του συγκριτή αλλάζει, ενεργοποιώντας έτσι μια συσκευή.

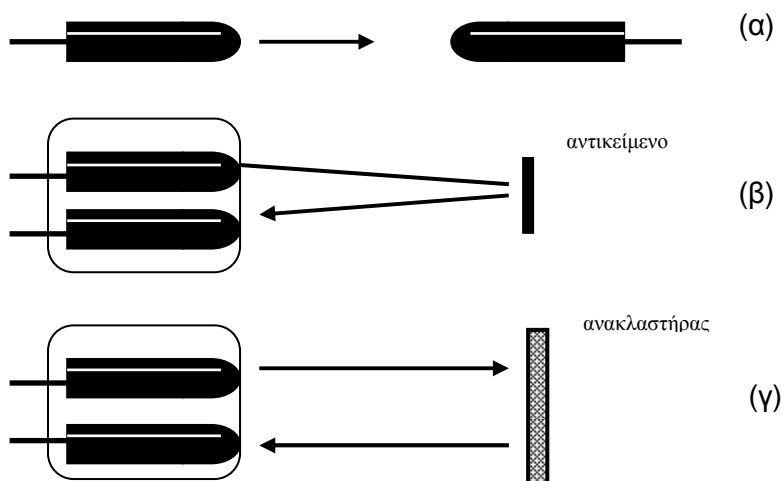
Μια συνηθισμένη εφαρμογή της διάταξης αυτής είναι στους συναγερμούς αυτοκινήτων. Εκεί ο στοιχειώδης πυκνωτής σχηματίζεται μεταξύ ενός ακροδέκτη (probe) και του αμαξώματος. Η υπόλοιπη διαδικασία είναι όπως αυτή που περιγράφηκε.

### 5.7 ΑΝΙΧΝΕΥΤΕΣ ΘΕΣΗΣ

Ο απλούστερος τρόπος να ελεγχθεί αν ένα κινούμενο αντικείμενο έφτασε σε μια συγκεκριμένη θέση, είναι με έναν τερματικό διακόπτη που τοποθετείται στην θέση αυτή. Όταν το αντικείμενο κτυπήσει τον διακόπτη, αυτός αλλάζει κατάσταση στις επαφές του. Η μέθοδος αυτή έχει το σοβαρό μειονέκτημα της μηχανικής καταπόνησης των διακοπών που οδηγεί στην καταστροφή του. Έτσι επιδιώκεται η ανίχνευση να γίνεται, χωρίς να υπάρχει μηχανική επαφή. Το πρόβλημα αυτό λύνουν τα φωτοκύτταρα.

Ένα φωτοκύτταρο αποτελείται από ένα πομπό (*transmitter*) και έναν δέκτη (*receiver*). Ο πρώτος εκπέμπει μια φωτεινή ακτινοβολία που συλλέγεται από τον δεύτερο. Όταν στην πορεία της ακτινοβολίας παρεμβληθεί ένα αντικείμενο, η δέσμη αποκόπτεται και το αισθητήριο αλλάζει την κατάσταση εξόδου του. Υπάρχουν τρεις τύποι φωτοκυττάρων

- ✓ Με ανεξάρτητο πομπό και δέκτη (σχήμα 5.7.1 α) (μεγάλης εμβέλειας).
- ✓ Με ένα πομποδέκτη (σχήμα 5.7.1 β) όπου η φωτεινή δέσμη ανακλάται από το αντικείμενο (μικρής εμβέλειας).
- ✓ Με ένα πομποδέκτη και ανακλαστήρα (σχήμα 5.7.1 γ) όπου η δέσμη ανακλάται από μια κατάλληλη επιφάνεια που λέγεται ανακλαστήρας (μέσης εμβέλειας).



σχήμα 5.7.1 Τύποι φωτοκυττάρων

Ένα φωτοκύτταρο μπορεί να έχει έξοδο ρελέ, τρανζίστορ ή θυρίστορ. Έτσι όταν η δέσμη αποκόπτεται στην πρώτη περίπτωση μια επαφή αλλάζει κατάσταση, ενώ στις άλλες αλλάζει η τάση εξόδου (από 0V γίνεται 3V ή αντίστροφα).

### **ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ**

Κυριώτεροι τύποι αισθητηρίων για μέτρηση μετατόπισης και περιστροφής είναι τα αισθητήρια ποτενσιομέτρου, τα επαγωγικά, τα μαγνητικά και τα οπτικά αισθητήρια. Στην κατηγορία των επαγωγικών αισθητηρίων ανήκουν τα LVTD (και RVTD για την περιστροφή), τα αισθητήρια με αυτομετασχηματιστή, τα αισθητήρια προσέγγισης εγκάρσιας επαγωγής και τα αισθητήρια eddy current ενώ στην κατηγορία των μαγνητικών ανήκουν τα αισθητήρια Hall. Στην κατηγορία των οπτικών αισθητηρίων ανήκουν οι ανιχνευτές προσέγγισης με πολωμένο φως, τα αισθητήρια πλέγματος και τα αισθητήρια PSD.

Τέλος για να ανιχνεύσουμε αν ένα αντικείμενο φτάνει σε μια συγκεκριμένη θέση, χρησιμοποιούμε φωτοκύτταρα.

## **5.8 ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ**

### **A. Να απαντήσετε συνοπτικά στις ερωτήσεις**

1. Σχεδιάστε ένα κύκλωμα μέτρησης μετατόπισης με χρήση ποτενσιομετρικού αισθητήρα.
2. Περιγράψτε την αρχή λειτουργίας ενός επαγωγικού αισθητηρίου.
3. Σε τι διαφέρει ένας αισθητήρας προσέγγισης από έναν αισθητήρα θέσης;
4. Ποιες κατηγορίες αισθητήρων Hall υπάρχουν και που εφαρμόζεται ο καθένας.
5. Περιγράψτε την λειτουργία ενός αισθητήρα θέσης με encoder. Από τι εξαρτάται η ακρίβειά του.
6. Σε ένα αισθητήριο PSD ποια μεγέθη πρέπει να μετρηθούν για να βρεθεί η απόσταση ενός αντικειμένου. Μπορείτε να γράψετε ένα απλό πρόγραμμα που να επεξεργάζεται τα σήματα εξόδου και να οδηγεί ένα κύκλωμα απεικόνισης;
7. Στην έξοδο των κυκλωμάτων ελέγχου συνήθως ενεργοποιείται ένα ρελέ. Ένα ρελέ όμως για να διεγερθεί χρειάζεται σημαντικό ρεύμα που πιθανόν το κύκλωμα αδυνατεί να προσφέρει. Μπορείτε να σχεδιάσετε ένα ενδιάμεσο κύκλωμα που να επιλύει το πρόβλημα αυτό;

### **B. Να συμπληρώσετε τα κενά στις προτάσεις**

1. Σε ένα ποτενσιομετρικό αισθητήριο ..... η σχέση μεταξύ της ..... και του ..... είναι ..... εφ' όσον στην έξοδο του ποτενσιομέτρου δεν είναι συνδεδεμένο .....

2. Σε ένα επαγωγικό αισθητήριο θέσης, είτε κινείται ο ..... στο εσωτερικό των ....., είτε κινείται το ένα ..... ως προς το άλλο.
3. Η λειτουργία των μαγνητικών αισθητηρίων θέσης, βασίζεται στην αλλαγή ενός ..... που δημιουργεί ένας ....., προσαρμοσμένος στο κινούμενο αντικείμενο.
4. Τα ..... αισθητήρια Hall δίνουν μια .....έξοδο και είναι κατάλληλοι για μέτρηση. Λειτουργούν σε μια ..... περιοχή και είναι αρκετά σταθεροί σε ..... Τα αισθητήρια αυτά δεν είναι απόλυτα ..... σε σχέση με το ..... και επομένως για ακριβείς μετρήσεις χρειάζονται .....
5. Η αρχή της ..... του φωτός εφαρμόζεται στην κατασκευή περιστροφικών ή γραμμικών ..... που χρησιμοποιούνται για μέτρηση μετακίνησης ή περιστροφής.
6. Σε ένα αισθητήριο PSD η ..... του αντικειμένου από το αισθητήριο είναι ..... συνάρτηση του λόγου των ..... εξόδου του αισθητηρίου.
7. Η λειτουργία των χωρητικών ανιχνευτών βασίζεται σε μια ..... που δημιουργείται μεταξύ μιας ..... και της ..... και όπου το κινούμενο αντικείμενο έχει την θέση του .....

**Γ. Να επιλέξετε την σωστή απάντηση στις ερωτήσεις**

1. Η λειτουργία του ποτενσιομετρικού αισθητήρα βασίζεται
  - i. στην μεταβολή της αντίστασης με το μήκος της
  - ii. στην μεταβολή της αντίστασης με την διατομή της
  - iii. στο φαινόμενο αυτοθέρμανσης
2. Σε ένα επαγωγικό αισθητήριο θέσης, καθώς ένα αντικείμενο μετακινείται
  - i. μετακινείται ο σπλισμών των πηνίων
  - ii. αλλάζει το ρεύμα που διαρρέει το δευτερεύον
  - iii. αλλάζει η αντίσταση στο πρωτεύον
3. Στους μαγνητικούς διακόπτες μια επαφή αλλάζει κατάσταση όταν
  - i. διαρρέεται από ρεύμα
  - ii. πλησιάζει μαγνήτης
  - iii. υπερθερμανθεί
4. Τα αισθητήρια θέσης Hall βασίζονται
  - i. στην μεταβολή της έντασης του ρεύματος
  - ii. στην μεταβολή της αντίστασης του αισθητήρα
  - iii. Στην μεταβολή της έντασης του μαγν. πεδίου
5. Η λειτουργία των οπτικών αισθητηρίων βασίζεται στην ανίχνευση φωτεινής ακτινοβολίας η οποία
  - i. παράγεται από το αντικείμενο
  - ii. παράγεται από το αισθητήριο και ανακλάται στο αντικείμενο

Κεφάλαιο 5° : ΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΘΕΣΗΣ ΚΑΙ ΓΩΝΙΑΣ

- iii. προέρχεται από τον ήλιο και ανακλάται στο αντικείμενο
- 6. Η παλμοσειρά που δίνει ο φωτοανιχνευτής ενός encoder δίνει πληροφορίες σχετικά με
  - i. την θέση ενός αντικειμένου
  - ii. την μετακίνηση ενός αντικειμένου
  - iii. την διεύθυνση κίνησης ενός αντικειμένου
- 7. Στους χωρητικούς ανιχνευτές κίνησης, καθώς το αντικείμενο κινείται η χωρητικότητα του αισθητηρίου αλλάζει λόγω μεταβολής
  - i. της απόστασης των οπλισμών του
  - ii. του διηλεκτρικού του
  - iii. της επιφάνειας των οπλισμών του

## 6. ΑΡΧΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

### ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ ΚΑΙ ΜΑΘΗΣΙΑΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν απλοποιημένα τα βασικά σημεία της θεωρίας των Συστημάτων Αυτομάτου Ελέγχου. Θα παρουσιαστεί η ανάλυση και η σύνθεση συστημάτων στο πεδίο του χρόνου και το πεδίο συχνοτήτων, θα οριστεί το πρόβλημα της ευστάθειας και θα εξεταστεί πως αντιμετωπίζεται. Επίσης θα παρουσιαστούν σύγχρονες μορφές αυτομάτου ελέγχου, όπως ο άριστος έλεγχος, ο προσαρμοστικός έλεγχος, ο ασαφής έλεγχος, κ.α.

Στόχος του κεφαλαίου είναι να μπορεί ο μαθητής να σχεδιάζει το δομικό διάγραμμα ενός Συστήματος Αυτομάτου Ελέγχου. Επίσης να περιγράψει ένα σύστημα ελέγχου ανοικτού ή κλειστού βρόχου και να αναφέρει τις βασικές μεθόδους ανάλυσης συστημάτων αυτομάτου ελέγχου. Τέλος να ενημερωθεί πάνω σε σύγχρονες μορφές ελέγχου, όπως είναι ο ασαφής έλεγχος και τα νευρωνικά δίκτυα.

### 6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η κατανόηση των κυκλωμάτων αυτοματισμού βασίζεται στην θεωρία των Συστημάτων Αυτομάτου Ελέγχου (ΣΑΕ). Σκοπός της είναι να σχεδιαστεί ένας ελεγκτής ο οποίος όταν δράσει πάνω σε ένα σύστημα που θέλουμε να ελέγξουμε την λειτουργία του, να το οδηγήσει σε επιθυμητή συμπεριφορά.

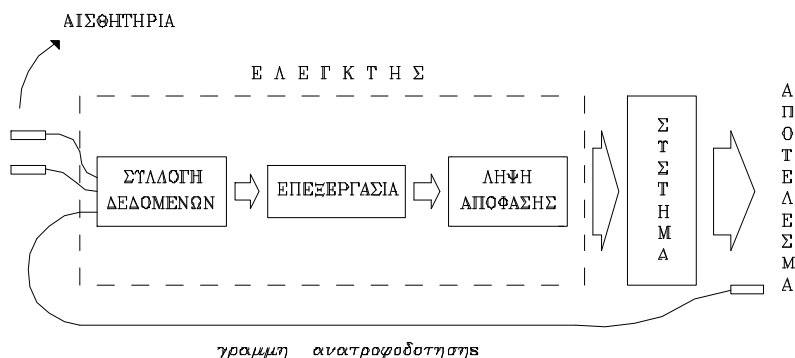
Εχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι σχεδίασης ενός ελεγκτή. Στην κλασική θεωρία η σχεδίαση γίνεται κυρίως στο πεδίο των συχνοτήτων (με μεταβλητή που εξαρτάται από την συχνότητα), ενώ στην σύγχρονη στο πεδίο του χρόνου (με μεταβλητή τον χρόνο).

Στο κεφάλαιο αυτό θα δοθεί συνοπτικά και απλοποιημένα η βασική θεωρία των Συστημάτων Αυτομάτου Ελέγχου. Θα εξηγηθεί η λειτουργία των ανοικτών και κλειστών συστημάτων και θα εξεταστεί η ευστάθειά τους. Θα παρουσιαστούν οι κυριότεροι απλοί ελεγκτές αλλά και οι ελεγκτές που βασίζονται στις πιο σύγχρονες θεωρίες των ΣΑΕ.

### 6.2 ΠΛΗΡΕΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΝΟΣ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

Όπως ήδη αναφέραμε στο πρώτο κεφάλαιο ένα σύστημα αυτοματισμού αποτελείται από τα κυκλώματα μέτρησης, συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων και ελέγχου. Στο σχήμα 6.2.1 βλέπουμε το διάγραμμα ενός συστήματος αυτοματισμού με τις επιμέρους βαθμίδες του ελεγκτή.





σχήμα 6.2.1

Ας δούμε πιο αναλυτικά τις βαθμίδες αυτές

### 6.2.1 Κύκλωμα μέτρησης

Η έξοδος του αισθητηρίου είναι ένα ηλεκτρικό σήμα. Τα περισσότερα αισθητήρια δίνουν έξοδο 0-20mA, 4-20mA, 0-10V, -10 έως +10V. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιείται κάποιος μετατροπέας (transducer), που να δίνει ηλεκτρικό σήμα με την βοήθεια πρόσθετου ηλεκτρονικού κυκλώματος. Τα αισθητήρια και οι μετατροπείς συνδέονται στο κύκλωμα στην βαθμίδα συλλογής δεδομένων.

Στο σημείο αυτό προκύπτουν δύο προβλήματα. Η στάθμη του σήματος πιθανόν να είναι χαμηλή. Ετσι π.χ. στην ρύθμιση της θερμοκρασίας ενός χώρου το σήμα που έρχεται από το αισθητήριο είναι της τάξης των mVolts. Όμως κατά την μετάδοση ενός σήματος, αυτό υφίσταται απώλειες κυρίως λόγω πτώσης τάσης που εμφανίζεται στους αγωγούς (νόμος  $\Omega$ ). Ετσι αν το σήμα είναι μικρής τάσης (όπως αυτό που προαναφέραμε), οι απώλειες αυτές είναι σημαντικές (σε σχέση με το μέγεθος του σήματος), οπότε το σφάλμα μεγαλώνει. Θα πρέπει επομένως το σήμα αυτό να ενισχυθεί, ώστε το σφάλμα που εισάγουν οι αγωγοί να είναι μικρό. Επίσης τα αισθητήρια σπάνια έχουν γραμμική συμπεριφορά. Αρα πιθανόν (ιδιαίτερα στις περιπτώσεις όπου έχουμε οπτική απεικόνιση της μέτρησης) θα πρέπει εκτός από ενίσχυση να γίνεται και γραμμικοποίηση του σήματος του αισθητηρίου (όταν λέμε γραμμικοποίηση εννοούμε για διπλασιασμό της τιμής του μεγέθους, να διπλασιάζεται η τιμή του ηλεκτρικού σήματος του αισθητηρίου, για τριπλασιασμό της τιμής του μετρούμενου μεγέθους να τριπλασιάζεται η τιμή του ηλεκτρικού σήματος, κ.ο.κ. για όλη την περιοχή λειτουργίας του).

Το ηλεκτρικό σήμα που φθάνει στο κύκλωμα μέτρησης από το αισθητήριο, εκτός από την πληροφορία πιθανόν να μεταφέρει και θόρυβο. Σαν *θόρυβο* χαρακτηρίζουμε πρόσθετα ηλεκτρικά σήματα που προέρχονται από τυχαίες καταστάσεις ή γεγονότα (π.χ. ηλεκτρομαγνητικά πεδία) και

παραμορφώνουν το σήμα. Τα σήματα αυτά συνήθως έχουν υψηλή συχνότητα (ενώ η πληροφορία περιέχεται σε σήματα συνεχής ή χαμηλής συχνότητας). Για να αφαιρέσουμε τον θόρυβο χρησιμοποιούμε ηλεκτρονικά φίλτρα. Τα κυκλώματα αυτά καλό είναι να τοποθετηθούν στην είσοδο του κυκλώματος μέτρησης, πριν τον ενισχυτή, γιατί διαφορετικά θα ενισχυθεί και ο θόρυβος.

### **6.2.2 Κύκλωμα συλλογής δεδομένων**

Η επόμενη βαθμίδα θα είναι ένα κύκλωμα συλλογής δεδομένων. Το κύκλωμα αυτό ελέγχει την σωστή ροή της πληροφορίας προς την βαθμίδα επεξεργασίας. Στα απλά κυκλώματα η βαθμίδα αυτή είναι περιττή. Στους σύνθετους όμως αυτοματισμούς, όταν υπάρχουν πολλά αισθητήρια, εάν κάποιο από τα μετρούμενα μεγέθη μεταβάλλεται σε μια μεγάλη περιοχή, είναι πιθανόν να έχουμε υψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων. Αν το κύκλωμα επεξεργασίας είναι ένα ψηφιακό κύκλωμα ή ένας επεξεργαστής μικρών δυνατοτήτων, τότε υπάρχει αδυναμία στην επεξεργασία όλων των πληροφοριών που φτάνουν, αφού η ταχύτητα επεξεργασίας είναι μικρή. Για τον λόγο αυτό και για να μην χαθούν δεδομένα, οπότε πιθανόν το κύκλωμα να οδηγηθεί σε λάθος αποφάσεις, το κύκλωμα συλλογής δεδομένων αποκόπτει το κύκλωμα επεξεργασίας και αποθηκεύει προσωρινά τα δεδομένα, ώστε να τα επεξεργαστεί αργότερα, μόλις ελαττωθεί ο όγκος της πληροφορίας. Τα κυκλώματα τα οποία μεσολαβούν μεταξύ των αισθητηρίων και της μονάδας επεξεργασίας και ρυθμίζουν την ροή των δεδομένων προς αυτήν (και από αυτήν) ονομάζονται μονάδες προσαρμογής (interfaces).

### **6.2.3 Κύκλωμα επεξεργασίας**

Το επόμενο βήμα είναι η επεξεργασία των πληροφοριών που φθάνουν στο κύκλωμα αυτοματισμού. Οι πληροφορίες αυτές περιγράφουν την κατάσταση στην οποία βρίσκετε το υπό έλεγχο σύστημα. Σκοπός της επεξεργασίας είναι να συγκρίνει την κατάσταση αυτή του συστήματος με μια επιθυμητή κατάσταση, να παίρνει τις κατάλληλες αποφάσεις, και να δίνει τις αντίστοιχες εντολές. Στους απλούς αυτοματισμούς η βαθμίδα αυτή μπορεί να είναι ένας απλός συγκριτής (π.χ. σε ένα κύκλωμα κλιματισμού αν η θερμοκρασία ανέβει πάνω από κάποια προκαθορισμένη τιμή, να ξεκινήσει το κύκλωμα ψύξης). Στους σύνθετους όμως αυτοματισμούς το στάδιο αυτό είναι αρκετά πολύπλοκο. Στους αυτοματισμούς *ευρείας κλίμακας* (*large scale*) που εφαρμόζονται κυρίως στην βιομηχανία, η βαθμίδα αυτή είναι ένας Ηλεκτρονικός Υπολογιστής (ή ένα δίκτυο υπολογιστών). Στον υπολογιστή αυτό τα σήματα των αισθητηρίων φθάνουν μέσα από μια μονάδα προσαρμογής. Η επεξεργασία τους γίνεται με βάση κατάλληλο λογισμικό (software) που βρίσκεται αποθηκευμένο στην μνήμη

του υπολογιστή και όπου περιγράφεται η επιθυμητή κατάσταση ή λειτουργία του συστήματος, καθώς και η διαδικασία λήψης απόφασης και εξαγωγής εντολών. Η ευρεία χρήση των Η/Υ τα τελευταία χρόνια έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη αρκετών μεθόδων (στρατηγικών) λήψης αποφάσεων. Η σημασία των μεθόδων είναι μεγάλη, ιδίως στις περιπτώσεις όπου ο αυτοματισμός με βάση τα δεδομένα έχει να επιλέξει από ένα σύνολο δυνατών αποφάσεων. Οι θεωρίες των έμπειρων συστημάτων, της τεχνητής νοημοσύνης, των νευρωνικών δικτύων, της ασαφούς λογικής, κ.α., έδωσαν σημαντική ώθηση στον τομέα αυτό.

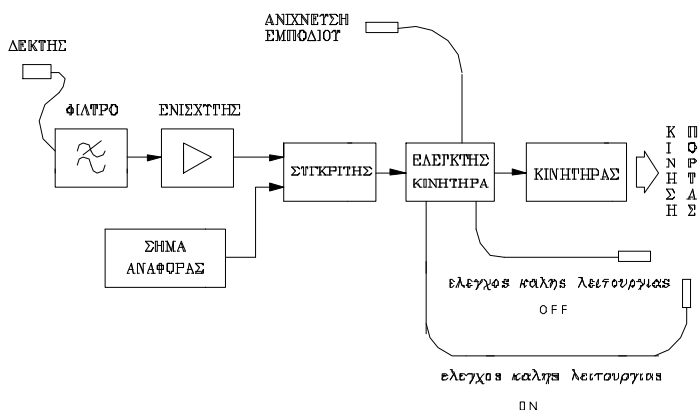
#### **6.2.4 Εφαρμογή**

Ας δούμε τώρα αναλυτικά και σύμφωνα με τα προηγούμενα από ποιες βαθμίδες αποτελείται το κύκλωμα αυτοματισμού αυτόματης κίνησης της πόρτας ενός γκαράζ. Ο αυτοματισμός αυτός είναι ένας απλός αυτοματισμός, οπότε οι βαθμίδες του είναι αρκετά απλές. Στο αυτοκίνητο έχουμε τοποθετήσει μια συσκευή που εκπέμπει ένα ηλεκτρομαγνητικό σήμα. Το σήμα αυτό ανιχνεύεται από έναν δέκτη που βρίσκεται στο κύκλωμα του αυτοματισμού. Το ηλεκτρικό σήμα που δημιουργείται στον δέκτη αποτελεί είσοδο του κυκλώματος του αυτοματισμού. Το σήμα αυτό θα περάσει από ένα ηλεκτρονικό φίλτρο που αποκόπτει τον θόρυβο, που οφείλεται στα ρεύματα που δημιουργούνται στον δέκτη από άλλα σήματα. Στην συνέχεια θα ενισχυθεί και θα οδηγηθεί στο κύκλωμα επεξεργασίας. Η είσοδος είναι απλή, οπότε δεν χρειάζεται και μονάδα συλλογής δεδομένων.

Ετσι το σήμα οδηγείται στην μονάδα επεξεργασίας και λήψης απόφασης. Στην περίπτωση μας η μονάδα αυτή είναι ένας απλός αναλογικός συγκριτής όπου το σήμα εισόδου συγκρίνεται με ένα άλλο που βρίσκεται εκεί αποθηκευμένο. Αν το σήμα εισόδου γίνει μεγαλύτερο από την στάθμη του αποθηκευμένου σήματος (που σημαίνει ότι το αυτοκίνητο βρίσκεται σε κοντινή απόσταση), τότε η μονάδα αυτή ενεργοποιεί έναν κινητήρα, που αποτελεί το υπό έλεγχο σύστημα (plant) του αυτοματισμού που κινεί την πόρτα.

Ο έλεγχος της σωστής λειτουργίας του αυτοματισμού μπορεί να γίνει με ένα διακόπτη που είναι τοποθετημένος στο τέλος της επιθυμητής διαδρομής της πόρτας (και που αποτελεί μια δεύτερη είσοδο του ελεγκτή).

Όταν η πόρτα ακουμπήσει στο διακόπτη αυτό ο κινητήρας σταματά, και το κύκλωμα ελέγχου παίρνει σήμα ότι το σύστημα λειτούργησε κανονικά. Αρα μπορεί να συνεχίσει την λειτουργία του, που είναι το κλείσιμο της πόρτας.



Σχήμα 6.2.2 Διάγραμμα βαθμίδων αυτόματης πόρτας γκαράζ

Για το κλείσιμο της πόρτας απαιτούνται δύο νέα αισθητήρια. Το ένα θα καθορίσει ότι το αυτοκίνητο απομακρύνθηκε αρκετά από την πόρτα και δεν υπάρχει εμπόδιο στην κίνησή της, άρα αυτή θα μπορεί να κλείσει και το δεύτερο θα ενεργοποιηθεί όταν η πόρτα κλείσει, ώστε να δοθεί η εντολή να σταματήσει ο κινητήρας. Στο σχήμα 6.2.2 βλέπουμε τις μονάδες που αποτελούν τον αυτοματισμό.

Συγκρίνετε τα σχήματα 1.4.1 και 6.2.2 και αντιστοιχείστε τις βαθμίδες τους.

### 6.3 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΑΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΒΑΘΜΙΔΩΝ

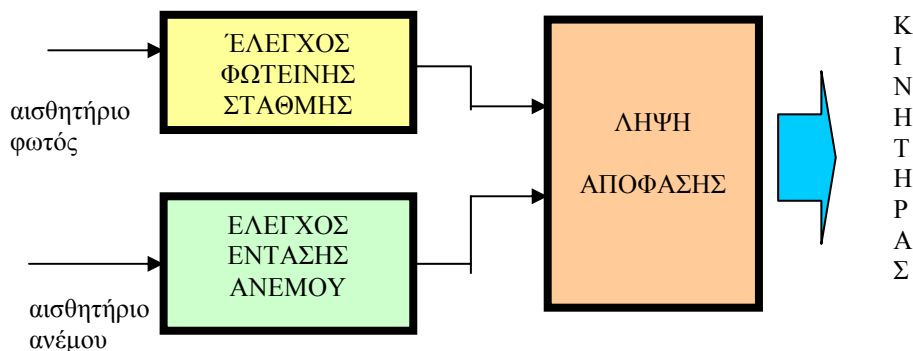
Κατά την σχεδίαση ενός κυκλώματος αυτοματισμού, το πρώτο στάδιο είναι η σχηματοποίηση των διαφόρων λειτουργιών που πρόκειται να πραγματοποιηθούν. Αυτό οδηγεί στην σχεδίαση ενός διαγράμματος που ονομάζεται λειτουργικό διάγραμμα όπου παρατίθενται οι βασικές μονάδες αλλά και οι λειτουργίες της κάθε μονάδες του αυτοματισμού. Πρόκειται για μια πρώτη προσέγγιση του κυκλώματος του αυτοματισμού που θέλουμε να δημιουργήσουμε

Στην συνέχεια σχεδιάζουμε ένα πιο αναλυτικό διάγραμμα, όπου φαίνονται οι βαθμίδες που υλοποιούν την κάθε λειτουργία. Το διάγραμμα αυτό ονομάζεται διάγραμμα βαθμίδων.

Ας εξετάσουμε ένα παράδειγμα. Εστω ότι θέλουμε να σχεδιάσουμε έναν αυτοματισμό που κινεί τις τέντες μιας οικίας, το λειτουργικό διάγραμμα είναι αυτό του σχήματος 6.3.1.

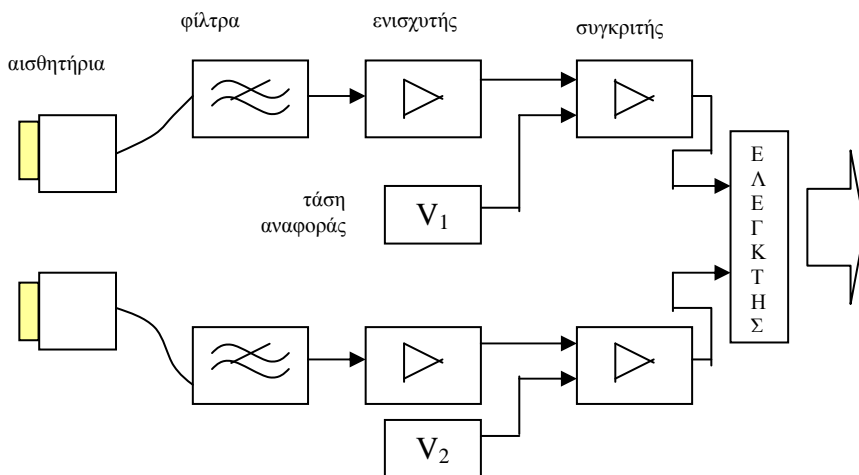
Στο σχήμα 6.3.2. φαίνεται το διάγραμμα βαθμίδων του κυκλώματος. Τα μεγέθη που εξετάζονται είναι η ένταση του φωτός και του αέρα. Τα

αισθητήρια είναι τύπου μεταβλητής αντίσταση και χρειάζονται ηλεκτρονικό κύκλωμα για να την μετατρέψουν σε τάση. Οι τάσεις  $V_1$  και  $V_2$  είναι τάσεις αναφοράς και αντιστοιχούν στην ένταση του φωτός και του ανέμου, για τις οποίες πρέπει να κατέβει η τέντα. Τα σήματα από τα αισθητήρια και οι τάσεις αναφοράς οδηγούνται στους αντίστοιχους συγκριτές. Ο ελεγκτής τελικά επιδρά στον κινητήρα που κινεί τις τέντες.



Σχήμα 6.3.1 Λειτουργικό διάγραμμα

Ο κινητήρας σταματά μετά από κάποιο καθορισμένο χρονικό διάστημα.



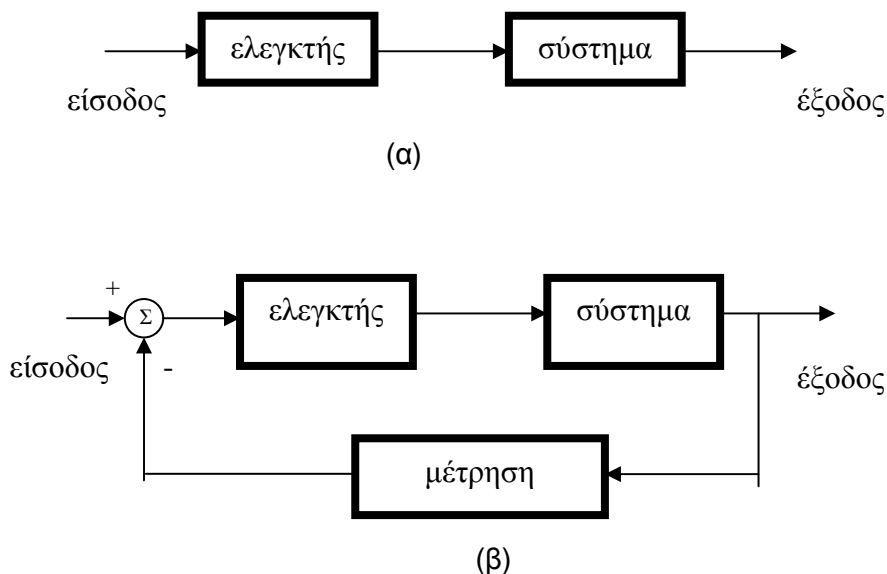
Σχήμα 6.3.2 Διάγραμμα βαθμίδων

**6.3.1 Συστήματα ελέγχου ανοικτού και κλειστού βρόχου**

Τα συστήματα αυτομάτου ελέγχου μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες: στα συστήματα α ν ο ι κ τ ο ύ και κ λ ε ι σ τ ο ύ βρόχου. Στην δεύτερη περίπτωση το σήμα στην είσοδο του ελεγκτή εξαρτάται και από την έξοδο του συστήματος. Η λειτουργία αυτή ονομάζεται ανατροφοδότηση (feedback), για συντομία Α/Τ.

Γενικά ανατροφοδότηση ονομάζουμε την λειτουργία κατά την οποία το αποτέλεσμα (έξοδος) επηρεάζει τον τρόπο με τον οποίο η αιτία παράγει το αποτέλεσμα. Στα συστήματα αυτοματισμού η ΑΤ γίνεται μέσω του κυκλώματος μέτρησης.

Στο σχήμα 6.3.5 βλέπουμε το διάγραμμα βαθμίδων των δύο αυτών συστημάτων



Σχήμα 6.3.5 Διαγράμματα βαθμίδων α) χωρίς Α/Τ β) με Α/Τ

Σαν παράδειγμα ανοικτού συστήματος ας θεωρήσουμε το κύκλωμα φωτισμού μιας εγκατάστασης που δουλεύει με χρονοδιακόπτη. Τα φώτα θα ανάβουν σύμφωνα με το "πρόγραμμα" που έχουμε προκαθορίσει στο διακόπτη. Κατά την διάρκεια της λειτουργίας αυτής, η έξοδος του συστήματος (αν δηλαδή ο φωτισμός είναι επαρκής ή ελλιπής) δεν λαμβάνεται υπόψη.

Αν αντίθετα η λειτουργία των φώτων ελέγχεται από ένα κύκλωμα που τα ανάβει όταν ο φωτισμός του χώρου είναι ανεπαρκής (όπως αυτά που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 3), τότε το σύστημα αυτό είναι ένα κλειστό σύστημα.

Από τα προηγούμενα παραδείγματα είναι φανερό ότι υπάρχουν ουσιαστικές διαφορές στην λειτουργία ενός ανοικτού και ενός κλειστού συστήματος αυτοματισμού. Η διαφορά έγκειται κυρίως στην Α/Τ της πληροφορίας που συμβαίνει στα κλειστά συστήματα και που καθιστά το συνολικό σύστημα πιο αναισθητο σε μεταβολές του προς έλεγχο συστήματος. Έτσι αν το σύστημα που πρόκειται να ελέγξουμε είναι σταθερό, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ένα ανοικτό σύστημα ελέγχου. Αν αντίθετα παρουσιάζει διαταραχές, προτιμούμε το κλειστό σύστημα.

## 6.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΣΥΝΘΕΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Όπως αναφέραμε και στο πρώτο κεφάλαιο, ένας αυτοματισμός αποτελείται από την είσοδο, το προς έλεγχο σύστημα και την έξοδο. Κατά την μελέτη των συστημάτων συνήθως γνωρίζουμε τους δύο και ζητείται ο τρίτος παράγοντας. Έτσι προκύπτουν τρία βασικά προβλήματα

*Πρόβλημα ανάλυσης.* Όπου δίνεται η είσοδος και το προς έλεγχο σύστημα και ζητείται να υπολογιστεί η έξοδος. Π.χ. υπολογισμός της εξόδου σε ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα ενισχυτή

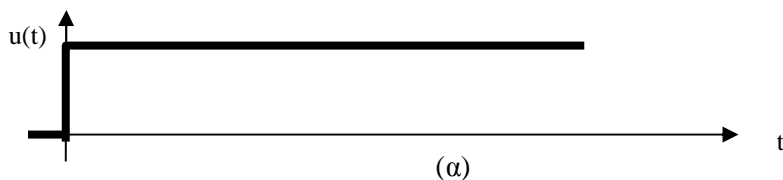
*Πρόβλημα σύνθεσης.* Όπου δίνεται η είσοδος και η έξοδος και ζητείται να υπολογιστεί το προς έλεγχο σύστημα. Π.χ. η σχεδίαση ενός ενισχυτή

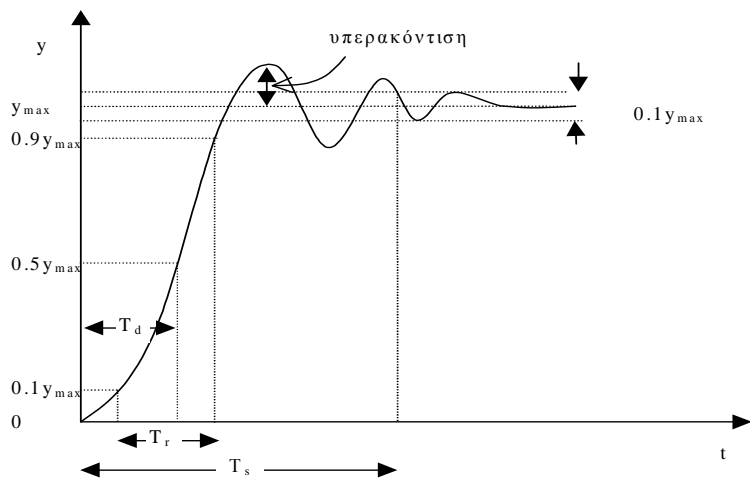
*Πρόβλημα μέτρησης.* Όπου δίνεται το προς έλεγχο σύστημα και η έξοδος και ζητείται να βρεθεί η είσοδος.

Κατά την ανάλυση ενός συστήματος είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε την συνάρτηση που περιγράφει την συμπεριφορά του. Η συνάρτηση αυτή μπορεί να έχει για μεταβλητή είτε τον χρόνο  $t$  είτε την συχνότητα  $s$ . Στην πρώτη περίπτωση λέμε ότι η ανάλυση γίνεται στο πεδίο του χρόνου, ενώ στην δεύτερη στο πεδίο των συχνοτήτων.

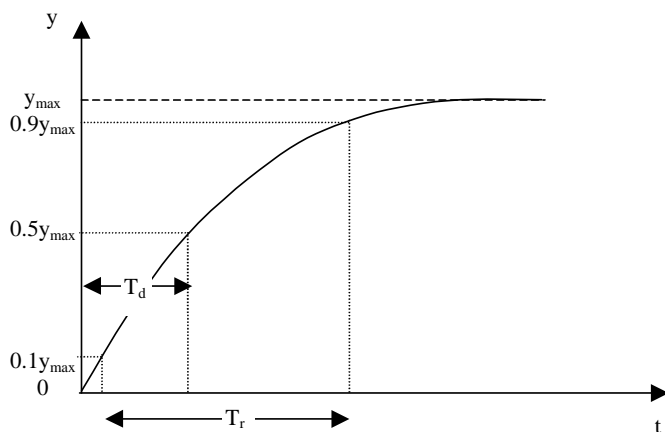
### 6.4.1 Πεδίο χρόνου

Στην περίπτωση αυτή παρακολουθούμε την μεταβολή της εξόδου του συστήματος συναρτήσει του χρόνου. Παρακολουθούμε δηλαδή την έξοδο του συστήματος από την χρονική στιγμή που εμφανίστηκε σήμα στην είσοδό του και μετά. Αν το σήμα εισόδου έχει την μορφή του σχήματος 6.4.1 (α), τότε η έξοδος του συστήματος είναι είτε όπως αυτή του σχήματος 6.4.1 (β), είτε όπως αυτή του σχήματος 6.4.1 (γ)





(β)



(γ)

Σχήμα 6.4.1 Χρονική απόκριση συστήματος. Στο (α) φαίνεται η είσοδος που εφαρμόζεται και στα (β) και (γ) η έξοδος

Στο σχήμα αυτό βλέπουμε την μέγιστη υπερύψωση, τον χρόνο υστέρησης  $T_d$ , τον χρόνο ανύψωσης  $T_r$  και τον χρόνο αποκατάστασης  $T_s$ . Ας δούμε τι είναι ο κάθε ένας από τους παράγοντες αυτούς.

*Υπερακόντιση ή μέγιστη υπερύψωση (overshoot)* είναι η διαφορά της μέγιστης από την τελική τιμή της εξόδου. Συνήθως ενδιαφερόμαστε για την επί τοις εκατό υπερύψωση

$$\% = (y_{\max} - y_{\text{τελ}}) / y_{\text{τελ}}$$



Χρόνος υστέρησης (delay time)  $T_d$  είναι ο χρόνος που απαιτείται για να φτάσει η έξοδος στο μισό της τελικής τιμής της.

Χρόνος ανύψωσης (rise time)  $T_r$  είναι ο χρόνος που απαιτείται για να φτάσει η έξοδος από το 10% στο 90% της τελικής τιμής της.

Χρόνος αποκατάστασης (settling time)  $T_s$  είναι ο χρόνος που απαιτείται, ώστε η έξοδος να φτάσει και να παραμείνει σε μια δεδομένη περιοχή της τελικής τιμής. Η περιοχή αυτή συνήθως λαμβάνεται ώστε να εξασφαλίζει έξοδο με  $\pm 5\%$  απόκλιση από την τελική τιμή

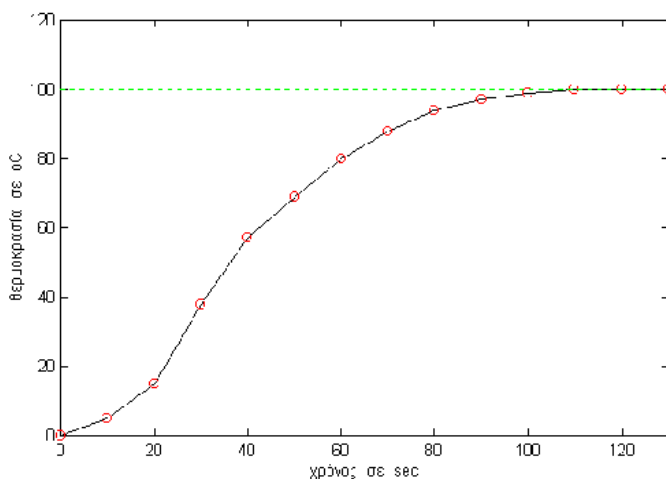
Οι παράγοντες αυτοί δεν είναι ανεξάρτητοι μεταξύ τους. Ετσι μπορούμε να μειώσουμε τον χρόνο υστέρησης, αλλά τότε θα αυξηθεί η υπερακόντιση. Αν πάλι θέλουμε να εξαλείψουμε την υπερακόντιση, τότε θα πρέπει να αυξηθεί ο χρόνος αποκατάστασης.

Ας περιγράψουμε τα προηγούμενα με ένα παράδειγμα. Φέρνουμε ένα θερμόμετρο που δείχνει  $0^{\circ}\text{C}$  σε ένα χώρο θερμοκρασίας  $100^{\circ}\text{C}$  και σημειώνουμε ανά 10 δευτερόλεπτα την θερμοκρασία που δείχνει. Ετσι δημιουργείται ο πίνακας 1.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 1**

Χρόνος (sec)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Θερμοκρασία ( $^{\circ}\text{C}$ )	3	7	13	26	44	63	76	88	97	99	100

Η γραφική παράσταση του πίνακα αυτού εικονίζεται στο σχήμα 6.4.2. (με κύκλους σημειώνονται τα σημεία του πίνακα).



**Σχήμα 6.4.2**

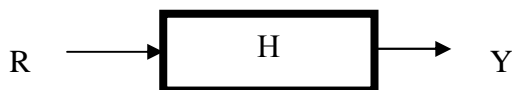
Από την παράσταση αυτή συμπεραίνουμε ότι το σύστημα δεν παρουσιάζει υπερακόντιση, έχει χρόνο καθυστέρησης 36 sec, χρόνο ανύψωσης 58,5 sec και χρόνο αποκατάστασης 82,5 sec (οι χρόνοι είναι προσεγγιστικοί).

### 6.4.2 Πεδίο συχνότητων

Ενώ η ανάλυση και η σύνθεση συστημάτων στο πεδίο του χρόνου γίνεται με αλγεβρικές μεθόδους, στο πεδίο των συχνότητων γίνονται γραφικά. Εδώ η μεταβλητή δεν είναι ο χρόνος  $t$  αλλά το  $s$ , που εξαρτάται από την συχνότητα  $\omega$ . Με μαθηματικές πράξεις μπορούμε να μετατρέψουμε οποιαδήποτε συνάρτηση από το πεδίο του χρόνου στο πεδίο των συχνότητων και αντίστροφα. Η παράσταση ενός συστήματος στο πεδίο των συχνότητων, ενώ είναι δυσκολότερα κατανοητή (σε σχέση με το πεδίο του χρόνου), παρουσιάζει λιγότερες δυσκολίες τόσο στον καθορισμό των προδιαγραφών της επιθυμητής συμπεριφοράς, όσο και στην σχεδίαση του ελεγκτή.

Στο πεδίο συχνότητων ορίζεται και η συνάρτηση μεταφοράς μιας βαθμίδας ή ενός συστήματος, σαν ο λόγος του σήματος εξόδου προς το σήμα εισόδου.

Στο σχήμα 6.4.3 βλέπουμε την μορφή μιας βαθμίδας, όπου  $H$  είναι η συνάρτηση μεταφοράς της,  $R$  η είσοδος και  $Y$  η έξοδος.



Σχήμα 6.4.3 Μορφή βαθμίδας

Όπου  $Y(s) = H(s) * R(s)$

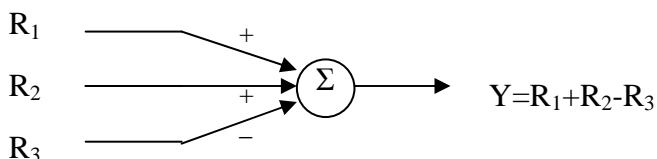
Ο παράγοντας  $s$  εξαρτάται από την συχνότητα  $\omega$ . Η συνάρτηση μεταφοράς γράφεται συνήθως υπό μορφή

$$H(s) = \frac{s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_0}{s^m + b_1 s^{m-1} + \dots + b_0} \quad \text{όπου } n < m$$

οι τιμές που μηδενίζουν τον αριθμητή ονομάζονται μηδενικά της συνάρτησης μεταφοράς ενώ οι τιμές που μηδενίζουν τον παρονομαστή λέγονται πόλοι.

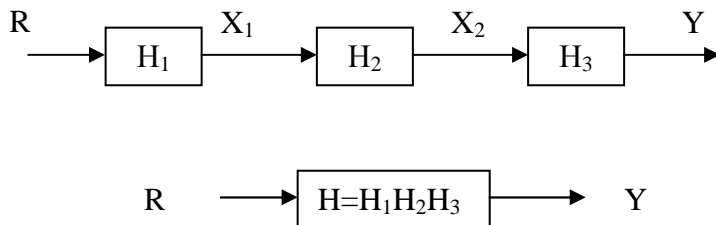
Σε ένα σύστημα έχουμε συνήθως παράθεση πολλών βαθμίδων για τον σχηματισμό του διαγράμματος. Στην περίπτωση αυτή ισχύουν μια σειρά από κανόνες για την απλοποίηση του διαγράμματος και τον υπολογισμό της συνάρτησης μεταφοράς ολόκληρου του συστήματος. Οι απλούστεροι κανόνες είναι

1. Σημείο άθροισης. Είναι ένα σημείο όπου αθροίζονται σήματα. Στο σχήμα 6.4.4 βλέπουμε την παράστασή του



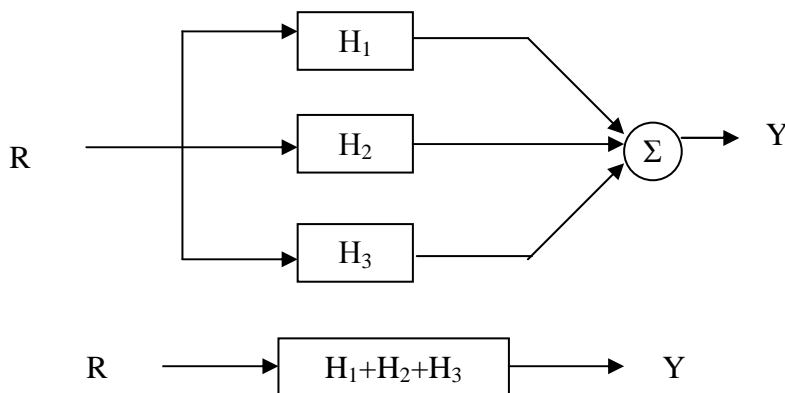
Σχήμα 6.4.4 Γραφική απεικόνιση σημείου άθροισης

2. *Βαθμίδες σε σειρά*. Δύο ή περισσότερες βαθμίδες που είναι συνδεδεμένες σε σειρά μπορούν να αντικατασταθούν από μία όπως φαίνεται στο σχήμα 6.4.5.



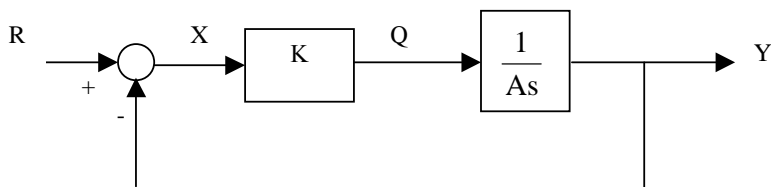
Σχήμα 6.4.5 Επιμέρους και ισοδύναμο διάγραμμα βαθμίδων

3. *Βαθμίδες παράλληλα*. Οι συναρτήσεις μεταφοράς προστίθενται (όπως γίνεται με τα σχήματα στα σημεία άθροισης) όπως φαίνεται στο σχήμα 6.4.6



Σχήμα 6.4.6 Επιμέρους και ισοδύναμο διάγραμμα βαθμίδων

Για παράδειγμα στο σχήμα 6.4.7 βλέπουμε το διάγραμμα βαθμίδων ενός υδραυλικού σερβό. Μας δίνεται η συνάρτηση μεταφοράς της κάθε βαθμίδας και ζητείται η συνάρτηση μεταφοράς του συστήματος.



Σχήμα 6.4.7 Διάγραμμα βαθμίδων υδραυλικού σερβό

Κ είναι ο συντελεστής ενίσχυσης της βαλβίδας και Α η ενεργός περιοχή του πιστονιού του σερβό.

Για να υπολογίσουμε την έξοδο του συστήματος έχουμε

$$Y = \frac{1}{As} Q = \frac{1}{As} KX \quad 6.2.1$$

Αλλά

$$X = R - Y \quad 6.2.2$$

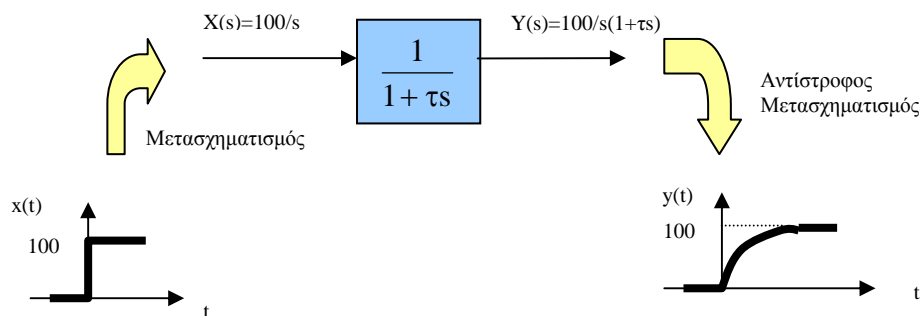
Οπότε

$$\begin{aligned} Y &= \frac{1}{As} K (R - Y) \Rightarrow \\ \Rightarrow AsY &= KR - KY \Rightarrow \\ \Rightarrow Y (1 + As) &= KR \Rightarrow \\ Y &= \frac{K}{1 + As} R \quad 6.2.3 \end{aligned}$$

Αρα η συνάρτηση μεταφοράς του υδραυλικού σερβό είναι  $K/(1+As)$ .

Όπως ήδη αναφέραμε μπορούμε με μαθηματικές πράξεις (μετασχηματισμό) να μεταφέρουμε μια συνάρτηση από το πεδίο του χρόνου στο πεδίο των συχνοτήτων και αντίστροφα.

Ας δούμε ξανά το παράδειγμα με το θερμόμετρο που αναφέραμε προηγουμένως. Η συνάρτηση μεταφοράς του θερμομέτρου είναι  $1/(1+\tau s)$ , όπου το  $\tau$  εξαρτάται από την κατασκευή του θερμομέτρου (υλικό σωλήνα, υλικό υγρού, διαστάσεις σωλήνα). Αν στο πεδίο του χρόνου συμβολίσουμε με  $x$  την είσοδο του συστήματος (θερμοκρασία του χώρου) και με  $y$  την έξοδο (ένδειξη του θερμομέτρου) ενώ αντίστοιχα στο πεδίο των συχνοτήτων με  $X$  και  $Y$ , τότε θα έχουμε



Σχήμα 6.4.8

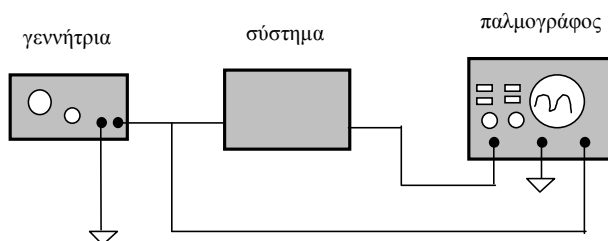
Βλέπουμε δηλαδή ότι η έξοδος του συστήματος έχει την ίδια μορφή με αυτή που βρήκαμε εργαζόμενοι στο πεδίο του χρόνου (σχήμα 6.4.2)

Κάθε συνάρτηση στο πεδίο των συχνοτήτων χαρακτηρίζεται από το πλάτος της  $M$  (μέγιστη τιμή) και την φάση της (γωνία μετατόπισης)  $\varphi$ . Και τα δύο είναι συναρτήσεις του  $\omega$ .

Ετσι η συνάρτηση  $1/(1+ts)$  έχει πλάτος  $M = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega t)^2}}$  και

φάση  $\varphi = -\text{τοξ εφ}(\omega t)$ .

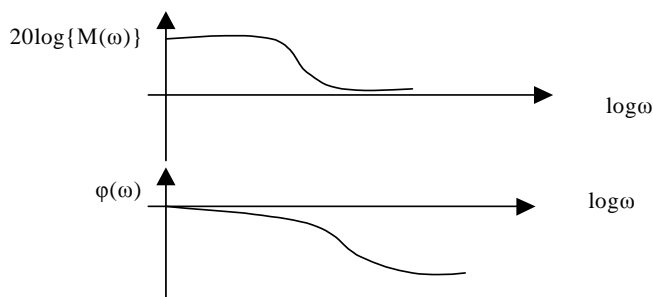
Ενας τρόπος μελέτης στο πεδίο των συχνοτήτων είναι από τις γραφικές παραστάσεις των δύο αυτών μεγεθών συναρτήσει του  $\log \omega$ . Οι παραστάσεις αυτές μπορούν να γίνουν με την βοήθεια της πειραματικής διάταξης που εικονίζεται στο σχήμα 6.4.9.



σχήμα 6.4.9 Πειραματική διάταξη μέτρησης των  $M(\omega)$  και  $\varphi(\omega)$

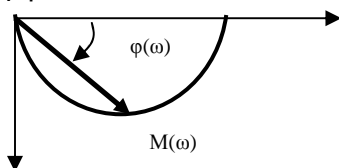
Η γεννήτρια δημιουργεί ημιτονικό σήμα μοναδιαίου πλάτους, η συχνότητα του οποίου μπορεί να αλλάζει. Μεταβάλλοντας την συχνότητα του σήματος της γεννήτριας σημειώνουμε στον παλμογράφο τις τιμές του πλάτους και της φάσης του σήματος εξόδου του συστήματος για κάθε τιμή του  $\omega$ . Από τον πίνακα μετρήσεων μπορούμε να προχωρήσουμε στην σχεδίαση των παραστάσεων του πλάτους και της φάσης, συναρτήσει της κυκλικής συχνότητας  $\omega$  (διαγράμματα αρμονικής απόκρισης).

Μια τροποποίηση των διαγραμμάτων αυτών είναι τα διαγράμματα Bode, όπου στο διάγραμμα του πλάτους έχουμε στον κατακόρυφο άξονα το  $20\log\{M(\omega)\}$  και στον οριζόντιο άξονα και των δύο διαγραμμάτων έχουμε τον  $\log \omega$ . Στο σχήμα 6.4.10 βλέπουμε την μορφή τους.



Σχήμα 6.4.10 Διαγράμματα αρμονικής απόκρισης (Bode) μέτρου και φάσης

Αντί για λογαριθμικά διαγράμματα μπορούμε να δημιουργήσουμε ένα πολικό διάγραμμα, που ονομάζεται διάγραμμα Niquist. Στο σχήμα 6.4.11 βλέπουμε την μορφή του.



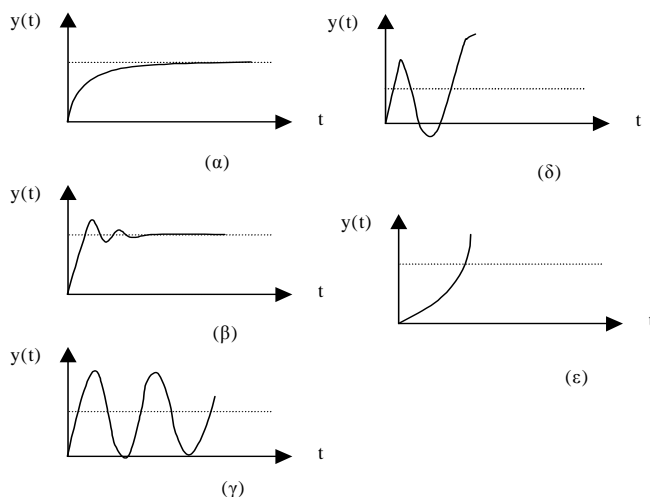
Σχήμα 6.4.11 Διάγραμμα Nyquist

Τα διαγράμματα αυτά δίνουν πληροφορίες για την ευστάθεια του συστήματος και βοηθούν στην σχεδίαση του ελεγκτή.

## 6.5 ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ. ΑΠΛΟΙ ΕΛΕΓΚΤΕΣ

### 6.5.1 Ευστάθεια

Ενα σύστημα λέγεται ευσταθές αν για οποιαδήποτε φραγμένη είσοδο, η έξοδος του είναι επίσης φραγμένη\*. Αποδεικνύεται ότι τα ασταθή συστήματα παρουσιάζουν ανεξέλεγκτη έξοδο και γι αυτό είναι άχρηστα. Η ευστάθεια ενός συστήματος είναι μια έννοια που είναι ανεξάρτητη από την είσοδο και την έξοδο του συστήματος και εξαρτάται αποκλειστικά από το ίδιο το σύστημα.



Σχήμα 6.5.1 Απόκριση συστημάτων

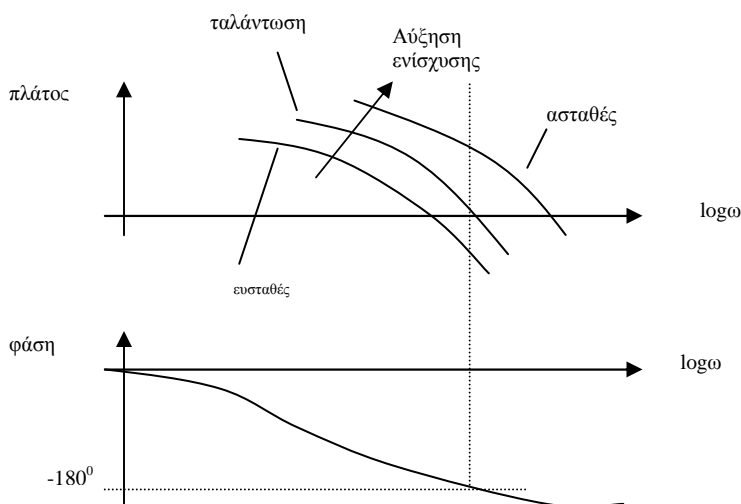
\* Ένα μέγεθος λέγεται φραγμένο, αν οι τιμές του βρίσκονται μέσα σε κάποια περιοχή (π.χ. η θερμοκρασία ενός δωματίου μεταβάλλεται μεταξύ 10<sup>0</sup>C και 30<sup>0</sup>C)

Στο σχήμα 6.5.1 βλέπουμε την απόκριση ενός ευσταθούς συστήματος (α), ενός ευσταθούς συστήματος με αποσβεννημένη ταλάντωση (β), ενός ταλαντούμενου συστήματος (γ) και δύο ασταθών συστημάτων (δ και ε).

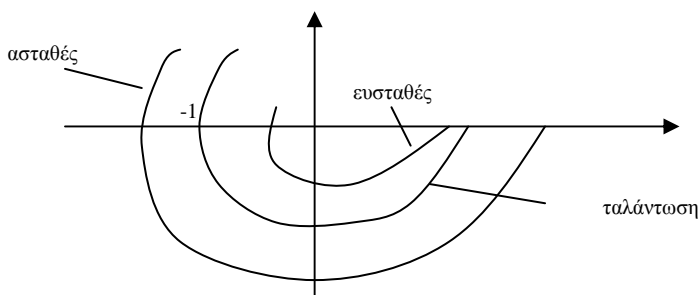
Υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι με τις οποίες μπορούμε να ελέγξουμε την ευστάθεια ενός συστήματος. Οι μέθοδοι αυτοί ονομάζονται κριτήρια ευστάθειας.

Αν χρησιμοποιήσουμε τα διαγράμματα Bode, για να είναι το σύστημα ευσταθές θα πρέπει το σημείο που η καμπύλη του πλάτους να τέμνει τον οριζόντιο άξονα αριστερά από το σημείο στο οποίο η φάση είναι  $-180^\circ$ . Στο σχήμα 6.5.2 παρουσιάζεται το κριτήριο αυτό.

Αν χρησιμοποιήσουμε το διάγραμμα Nyquist, θα πρέπει η καμπύλη να είναι δεξιά του σημείου  $(-1,0)$ , όπως φαίνεται στο σχήμα 6.5.3



Σχήμα 6.5.2. Ευστάθεια κατά Bode



## Σχήμα 6.5.3 Ευστάθεια κατά Nyquist

Επίσης ένα σύστημα είναι ασταθές αν η συνάρτησή του έχει θετικές ρίζες. Αν έχει ρίζα μηδενική, τότε το σύστημα ταλαντώνεται.

Αν θέλουμε να οδηγήσουμε ένα ασταθές σύστημα σε ευστάθεια, αρκεί να εφαρμόσουμε έναν ελεγκτή ο οποίος να ελαττώνει τη φάση του συστήματος, ώστε να ικανοποιείται το κριτήριο Bode. Αν χρησιμοποιήσουμε το διάγραμμα Nyquist, θα πρέπει η καμπύλη να μετατοπιστεί δεξιά του σημείου  $(-1,0)$ .

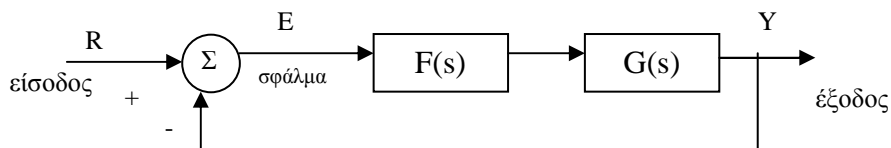
**6.5.2 Απλοί ελεγκτές**

Με την βοήθεια των διαγραμμάτων Bode ή Nyquist μπορεί να σχεδιαστεί ένας ελεγκτής προκειμένου το σύστημα να έχει μια επιθυμητή συμπεριφορά. Η μελέτη όμως αυτή ξεφεύγει από τα πλαίσια ανάπτυξης του βιβλίου αυτού. Θα εξετάσουμε όμως την περίπτωση εφαρμογής ορισμένων απλών ελεγκτών και τις βελτιώσεις που επιφέρουν στο προς έλεγχο σύστημα.

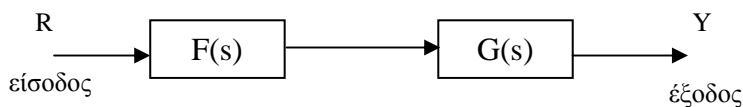
Όπως έχουμε ήδη αναφέρει σκοπός του ελεγκτή είναι να οδηγήσει το προς έλεγχο σύστημα σε μια επιθυμητή συμπεριφορά. Ο ελεγκτής μπορεί να είναι είτε ένας άνθρωπος, οπότε έχουμε *χειροκίνητο σύστημα ελέγχου (manual control system)*, είτε ένα κύκλωμα, Η/Υ, πνευματική διάταξη, κ.λ.π., οπότε έχουμε ένα *αυτόματο σύστημα ελέγχου (automatic control system)*.

Θυμίζουμε ότι ένα απλοποιημένο αυτόματο σύστημα ελέγχου έχει την μορφή του σχήματος 6.5.4. Στο α) φαίνεται ένα σύστημα *κλειστού βρόχου* και στο β) ένα σύστημα *ανοικτού βρόχου*.

Όπου  $G(s)$  είναι η συνάρτηση μεταφοράς του συστήματος που πρόκειται να ελεγχθεί και  $F(s)$  η συνάρτηση μεταφοράς του ελεγκτή.



(a)



(b)

Σχήμα 6.5.4 Διαγράμματα βαθμίδων συστημάτων κλειστού (α) και



## ανοικτού βρόχου (β)

Αν  $H(s)$  η συνάρτηση μεταφοράς του συστήματος που προκύπτει, τότε για το σύστημα ανοικτού βρόχου (σχήμα 6.5.4 β), έχουμε

$$H(s) = G(s) * F(s)$$

Ενώ για το σύστημα κλειστού βρόχου (σχήμα 6.5.4 α) αν  $R$  η είσοδος και  $Y$  η έξοδος, θα έχουμε

$$\begin{aligned} Y(s) &= G(s)F(s)E(s) \Rightarrow \\ \Rightarrow Y(s) &= G(s)F(s)\{R(s)-Y(s)\} \Rightarrow \\ \Rightarrow Y(s) + Y(s)G(s)F(s) &= G(s)F(s)R(s) \Rightarrow \\ \Rightarrow Y(s)\{1 + G(s)F(s)\} &= G(s)F(s)R(s) \Rightarrow \\ \Rightarrow Y(s) &= \frac{G(s)F(s)}{1 + G(s)F(s)} R(s) \Rightarrow \\ \Rightarrow H(s) &= \frac{G(s)F(s)}{1 + G(s)F(s)} \end{aligned}$$

βλέπουμε δηλαδή ότι ο ελεγκτής τροποποιεί την συνάρτηση μεταφοράς του συστήματος.

Αποδεικνύεται ότι τυχόν μεταβολή των παραμέτρων του συστήματος που πρόκειται να ελεγχθεί γίνεται λιγότερο αισθητή στην έξοδο ενός κλειστού συστήματος παρά στην έξοδο ενός ανοικτού. Επίσης αλλαγή των παραμέτρων των συσκευών στον κλάδο ανατροφοδότησης επηρεάζει σημαντικά την έξοδο του συστήματος και για τον λόγο αυτό ο κλάδος αυτός είναι όσο το δυνατόν απλούστερος. Τέλος η συμπεριφορά του κλειστού συστήματος είναι λιγότερο ευαίσθητη στους θορύβους από το αντίστοιχο ανοικτό σύστημα.

Στην πράξη συνήθως χρησιμοποιούνται οι ελεγκτές που έχουν αναλογική δράση, αυτοί που έχουν αναλογική και ολοκληρωτική δράση, αυτοί που έχουν αναλογική και διαφορική δράση και τέλος αυτοί που έχουν αναλογική και ολοκληρωτική και διαφορική δράση.

Ο ελεγκτής με αναλογική δράση (P ελεγκτής) στην πραγματικότητα είναι ένας ενισχυτής. Στην περίπτωση αυτή η συνάρτηση μεταφοράς  $F(s)$  είναι απλά μια σταθερά και ο ελεγκτής έχει περιορισμένες δυνατότητες για την βελτίωση του συστήματος. Καθώς αυξάνεται ο βαθμός της ενίσχυσης το σφάλμα στην μόνιμη κατάσταση θα μικραίνει, αλλά ταυτόχρονα το σύστημα τείνει να γίνει ασταθές

Ο ελεγκτής με αναλογική και ολοκληρωτική δράση (PI ελεγκτής) έχει σκοπό να βελτιώσει την υπερακόντιση και την σχετική ευστάθεια. Η ολοκληρωτική δράση του ελεγκτή συνεχίζεται έως ότου το σφάλμα που εισάγει η αναλογική δράση γίνει μηδέν. Η συνάρτηση μεταφοράς του επηρεάζει την συνάρτηση μεταφοράς βρόχου κυρίως στις χαμηλές συχνότητες.

Ο ελεγκτής με αναλογική και διαφορική δράση (PD ελεγκτής) στόχο έχει να μειώσει τον χρόνο ανύψωσης και την υπερακόντιση (στο πεδίο του χρόνου). Η διαφορική δράση του ελεγκτή αυξάνει την ταχύτητα του συστήματος. Πάντως σε περιπτώσεις όπου υπάρχει θόρυβος, η διαφορική δράση καλό είναι να αποφεύγεται. Η συνάρτηση μεταφοράς του ελεγκτή αυτού επηρεάζει την συνάρτηση μεταφοράς βρόχου κυρίως στις υψηλές συχνότητες.

Τέλος ο ελεγκτής με αναλογική, ολοκληρωτική και διαφορική δράση (PID ελεγκτής) βελτιώνει τον χρόνο ανόδου και την υπερακόντιση, χωρίς να οδηγήσει το σύστημα σε αστάθεια, δρά δε σε όλο το εύρος των συχνοτήτων. Η καλή λειτουργία του ελεγκτή αυτού (όπως και κάθε ελεγκτή) βασίζεται στην σωστή ρύθμισή του. Όταν αναφερόμαστε σε ρύθμιση του PID ελεγκτή, εννοούμε τον καθορισμό των συντελεστών της κάθε δράσης. Έτσι π.χ. σε περίπτωση όπου στο σύστημα υπάρχει θόρυβος, ο παράγων D πρέπει να είναι εξασθενημένος, ενώ αν υπάρχει μεγάλη χρονική καθυστέρηση (μεγάλος χρόνος ανόδου), ο παράγοντας αυτός θα πρέπει να είναι ενισχυμένος.

## 6.6 ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

Είδαμε στα προηγούμενα τις βασικές έννοιες της κλασικής ανάλυσης και σχεδίασης των Συστημάτων Αυτομάτου Ελέγχου. Οι μέθοδοι αυτοί (Bode, Nyquist) δίνουν σύντομες και πρακτικές λύσεις, παρουσιάζουν όμως το μειονέκτημα, ότι είναι γραφικές μέθοδοι, άρα η επιτυχία τους εξαρτάται κατά πολύ από την ικανότητα του σχεδιαστή. Επίσης δεν μπορούν να εφαρμοστούν εύκολα σε χρονικά μεταβαλλόμενα συστήματα ή σε συστήματα πολλών εισόδων – πολλών εξόδων.

Για τους λόγους αυτούς έχουν αναπτυχθεί νέες μέθοδοι σχεδίασης που βασίζονται σε σύνθετες μαθηματικές αναλύσεις που με την γενικευμένη χρήση των Ηλεκτρονικών Υπολογιστών υλοποιούνται αρκετά εύκολα.

### 6.6.1 Άριστος έλεγχος (optimal control)

Πρόκειται για μια αναλυτική μέθοδο επίλυσης προβλημάτων ελέγχου, που βασίζεται στον προσδιορισμό ενός νόμου ελέγχου που ελαχιστοποιεί κάποιον δείκτη κόστους ή δείκτη απόδοσης και έτσι η λειτουργία του συστήματος γίνεται άριστη (για ορισμένα σήματα).

Η θεωρία του άριστου ελέγχου βασίζεται στον προσδιορισμό ενός μαθηματικού κριτηρίου, που θα περιέχει τα φυσικά μεγέθη του ελεγκτή που παίζουν τον σπουδαιότερο ρόλο και που θα αποτελεί τον *δείκτη απόδοσης του συστήματος*. Απαραίτητη προϋπόθεση για να είναι το σύστημα άριστο, θα πρέπει η συνάρτηση αυτή να συγκλίνει και για κάποιες τιμές των παραμέτρων του συστήματος να ελαχιστοποιείται. Με βάση τις συνθήκες αυτές προσδιορίζουμε τις παραμέτρους του ελεγκτή, που καθιστά την

λειτουργία του κλειστού συστήματος άριστη (δηλαδή ελαχιστοποιούν τον σχετικό δείκτη) για ορισμένα σήματα εισόδου.

Σαν δείκτης απόδοσης μπορούν να ληφθούν

- Η χρονική διάρκεια που απαιτείται για να πετύχει η έξοδος μια δεδομένη τιμή
- Η ελαχιστοποίηση του εμβαδού μεταξύ του άξονα των χρόνων και της καμπύλης μιας συνάρτησης του σφάλματος

Να τονίσουμε ότι ο βέλτιστος έλεγχος δεν εξασφαλίζει πάντα την ευστάθεια του συστήματος κλειστού βρόχου.

### **6.6.2 Προσαρμοστικός έλεγχος (adaptive control)**

Υπάρχουν συστήματα που για ίδιες διεγέρσεις δίνουν διαφορετικές αποκρίσεις, που εξαρτώνται από τον χρόνο ή το περιβάλλον στο οποίο λειτουργούν (π.χ. αεροπλάνο που πετά σε διαφορετικά ύψη). Στις περιπτώσεις αυτές ένας κλασικός ελεγκτής αδυνατεί να εξασφαλίσει ικανοποιητική συμπεριφορά για ολόκληρο το εύρος των μεταβολών. Ο ελεγκτής πρέπει να αναγνωρίζει το σύστημα και να ρυθμίζει τις παραμέτρους του ώστε να εξασφαλίζει βέλτιστη συμπεριφορά ως προς κάποιο κριτήριο.

Δύο είναι οι κυριότερες τεχνικές προσαρμοστικού ελέγχου που έχουν προταθεί

- Προσαρμοστικός έλεγχος αναφοράς σε πρότυπο
- Αυτορυθμιζόμενος προσαρμοστικός έλεγχος

Σύμφωνα με τον προσαρμοστικό έλεγχο αναφοράς καθορίζεται το πρότυπο αναφοράς σαν εκείνο το σύστημα, που έχει την επιθυμητή συμπεριφορά και διεγείρεται με το ίδιο σήμα εισόδου με το κλειστό σύστημα. Ο στόχος του προσαρμοστικού ελέγχου είναι η ρύθμιση των παραμέτρων του ελεγκτή ώστε η τελική έξοδος του συστήματος να ακολουθεί την έξοδο του προτύπου όσο γίνεται πιο πιστά (να ελαχιστοποιείται η απόκλιση των τιμών των δύο εξόδων).

Σύμφωνα με τον αυτορυθμιζόμενο προσαρμοστικό έλεγχο, ο ελεγκτής προσδιορίζεται με βάση τις εκτιμώμενες τιμές των παραμέτρων του συστήματος που πρόκειται να ελεγχθεί, μέσα από μια διαδικασία αναγνώρισης. Ετσι έχουμε δύο στάδια : το στάδιο αναγνώρισης και το στάδιο σχεδίασης του ελεγκτή. Τελικά οι παράμετροι του ελεγκτή μεταβάλλονται από σήματα οδήγησης του μηχανισμού του ελεγκτή. Ο μηχανισμός αυτός παίρνει σαν δεδομένα τις εκτιμώμενες τιμές των παραμέτρων του συστήματος που θα ελεγχθεί.

### **6.6.3 Λογικός έλεγχος (on - off control)**

Σε έναν αυτοματισμό τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα αισθητήρια είναι οι διακόπτες. Τα "αισθητήρια" αυτά όπως και οι κάθε είδους ανιχνευτές

(detectors), δίνουν στην έξοδό τους (με κατάλληλη συνδεσμολογία) μόνο δύο καταστάσεις π.χ. 1 και 0. Όπου το 1 αντιστοιχεί ότι το αισθητήριο διεγείρεται ενώ το 0 ότι παραμένει αδρανές.

Στην περίπτωση αυτή η διαδικασία ελέγχου βασίζεται στην οικοδόμηση μιας σειράς λογικών καταστάσεων. Π.χ. "αν συμβαίνει το γεγονός *A* και το γεγονός *B*, τότε έχουμε *Γ*". Τέτοιοι ελέγχοι αρχικά υλοποιούνταν από τους κλασικούς αυτοματισμούς (αυτοματισμοί με ρελέ) και στην συνέχεια με ψηφιακά κυκλώματα (πύλες, flip-flops) ή με προγραμματιζόμενους αυτοματισμούς. Οι Προγραμματιζόμενοι Λογικοί Ελεγκτές (PLC) που θα δούμε σε επόμενο κεφάλαιο, ανήκει στην τελευταία κατηγορία.

#### **6.6.4 Εύρωστος έλεγχος (Robust control)**

Ένα φυσικό σύστημα για να μελετηθεί αναπαρίσταται από ένα μαθηματικό μοντέλο. Το μοντέλο αυτό όμως απέχει του πραγματικού. Όταν λοιπόν σχεδιάζουμε έναν ελεγκτή με βάση το μαθηματικό μοντέλο και τον εφαρμόζουμε στο φυσικό σύστημα, βλέπουμε ότι η έξοδος δεν είναι η αναμενόμενη. Δημιουργείται επομένως μια αβεβαιότητα (uncertainty) στο σύστημα που δεν μπορεί να περιγραφεί με μια συνάρτηση και που είναι δυνατόν (παρά την παρουσία του ελεγκτή) να το οδηγήσει σε αστάθεια.

Το πρόβλημα στον εύρωστο έλεγχο είναι να σχεδιάσουμε έναν ελεγκτή που να εξασφαλίζει ευστάθεια στο σύστημα ακόμη και σε μη ιδανικές συνθήκες.

Στόχος μας όταν σχεδιάζουμε ένα ελεγκτή είναι να μας δίνει το ζητούμενο αποτέλεσμα (έξοδο), όταν εφαρμόζεται σε ένα πραγματικό σύστημα. Για να επιτευχθεί όμως αυτό θα πρέπει ο ελεγκτής να εγγυάται την ευστάθεια κλειστού βρόχου, όχι μόνο στην περίπτωση ιδανικού συστήματος, αλλά σε μια οικογένεια συστημάτων, που περιλαμβάνει το πραγματικό σύστημα.

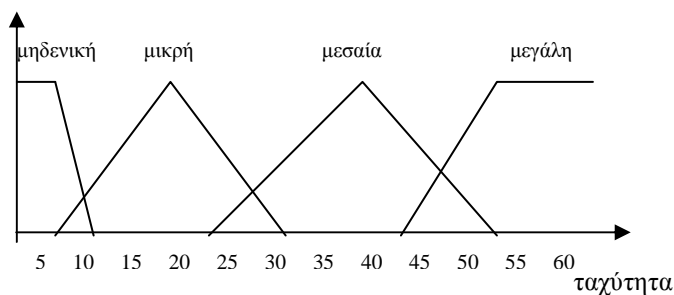
Μας ενδιαφέρει λοιπόν να σχεδιάσουμε έναν ελεγκτή που να εξασφαλίζει ευστάθεια για όλη την οικογένεια των συστημάτων που είναι δυνατόν να αντιστοιχούν στο πραγματικό σύστημα, καθώς οι παράμετροί του αλλάζουν μέσα σε μια περιοχή.

#### **6.6.5 Ασαφής έλεγχος (Fuzzy control)**

Ο ασαφής έλεγχος ξεκίνησε από την ανάγκη δημιουργίας μιας στρατηγικής ελέγχου που να μην βασίζεται σε ένα μαθηματικό μοντέλο του συστήματος, που συνήθως αποκλίνει από το πραγματικό. Επίσης παρατηρήθηκε ότι για τον έλεγχο ενός συστήματος μόνο σε εξαιρετικά σπάνιες περιπτώσεις απαιτείται μια ακριβής μέτρηση για να μας οδηγήσει στον σωστό έλεγχο. Στις περισσότερες περιπτώσεις αρκεί μια εκτίμηση μόνο του μεγέθους.

Ετσι για τον σχεδιασμό ενός ασαφούς ελεγκτή ξεκινάμε να ορίσουμε τις περιοχές κάθε φυσικού μεγέθους που αποτελούν τις εισόδους και τις εξόδους του. Π.χ. αν η ταχύτητα κίνησης ενός αντικειμένου αποτελεί είσοδο του ελεγκτή, μπορούμε να χωρίσουμε την περιοχή τιμών σε επιμέρους περιοχές, που λέγονται συναρτήσεις μελών (membership functions) όπως στο σχήμα 6.4.1. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται ασαφοποίηση (fuzzification)

Παρατηρείστε ότι κάποιες τιμές (π.χ.50) ανήκουν σε περισσότερες από μια περιοχές.



Σχήμα 6.6.1 Συναρτήσεις μελών

Στην συνέχεια γράφεται ένα σύνολο από κανόνες (rules) που αντιστοιχούν τις περιοχές τιμών των εισόδων στις περιοχές τιμών των εξόδων, υλοποιώντας έτσι τον αυτοματισμό (π.χ. "αν η ταχύτητα είναι μεγάλη και η επιτάχυνση μικρή, τότε η ασκούμενη δύναμη να είναι μικρή").

Τέλος με μια διαδικασία που ονομάζεται αποασαφοποίηση (defuzzification) εκτιμάται η τιμή της εξόδου, σύμφωνα με τις συναρτήσεις μελών και τους κανόνες.

Οι ελεγκτές αυτοί υλοποιούνται είτε σε Η/Υ είτε σε μικροϋπολογιστές. Τα τελευταία χρόνια έχουν δημιουργηθεί κελύφη προγραμματισμού (δηλαδή κάποιο είδος γλώσσας προγραμματισμού) με τα οποία διευκολύνεται κατά πολύ η διαδικασία προγραμματισμού. Ετσι οι ελεγκτές αυτοί τελευταία γνωρίζουν όλο και πιο πλατειά εφαρμογή.

## 6.7 ΨΗΦΙΑΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ - ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ

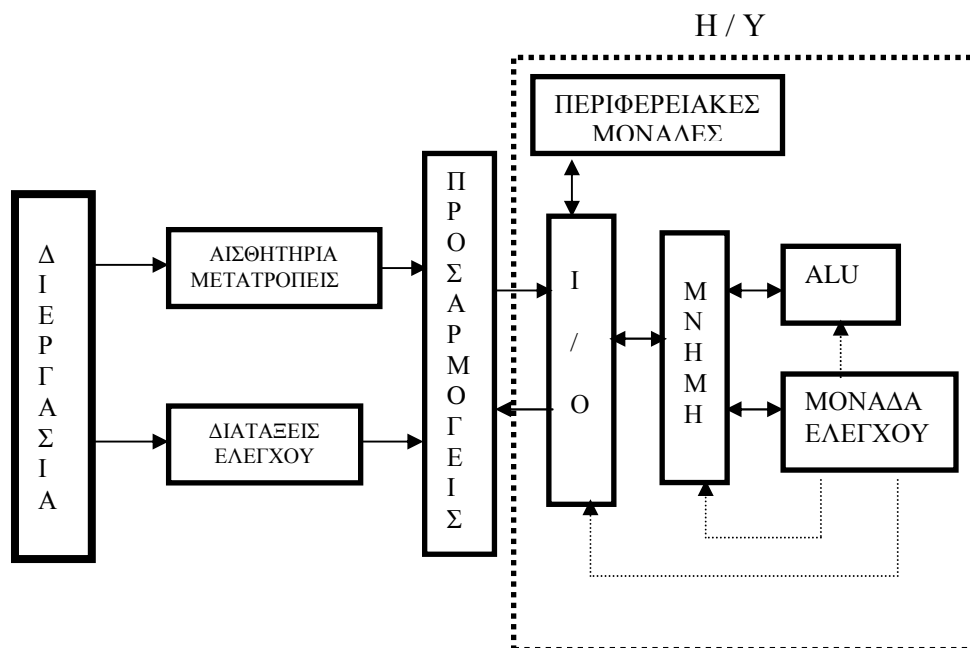
Όπως έχουμε ήδη αναφέρει στους μεγάλους αυτοματισμούς το κύκλωμα ελέγχου υλοποιείται με την βοήθεια ενός Η/Υ. Η μέθοδος αυτή έχει πλεονεκτήματα ευελιξίας, συλλογής και αποθήκευσης δεδομένων, κ.α.

Για να ελεγχθεί ψηφιακά ένα σύστημα πρέπει να διατυπωθεί με ακρίβεια η σειρά από τις λειτουργίες που πρέπει να εκτελεστούν, ώστε να έχουμε τα επιθυμητά αποτελέσματα. Η περιγραφή αυτή των λειτουργιών

γίνεται σε ένα λογισμικό (software) που βρίσκεται αποθηκευμένο στην μνήμη του υπολογιστή.

Η μέθοδος αυτή υλοποίησης αυτοματισμών χρησιμοποιείται συνήθως για τον έλεγχο διαδικασιών (process control). Στο σχήμα 6.7.1 βλέπουμε την σχηματική παράσταση μιας ελεγχόμενης διεργασίας.

Τα αισθητήρια συλλέγουν από την ελεγχόμενη διεργασία μια σειρά από πληροφορίες (π.χ. θερμοκρασία, πίεση, συγκεντρώσεις στοιχείων, κ.λ.π.) που αποδίδονται στο κύκλωμα ελέγχου υπό μορφή ηλεκτρικού σήματος, συνήθως αναλογικού. Οι πληροφορίες εισέρχονται στην μονάδα προσαρμογής (interface), που ρυθμίζει την μετάδοση των δεδομένων, ενώ συγχρόνως μετατρέπει τα σήματα σε ψηφιακά. Στην μονάδα αυτή φτάνουν επίσης τα σήματα-αποφάσεις από τον Η/Υ. Αφού τα μετατρέψει σε αναλογική μορφή τροφοδοτεί τις διατάξεις ελέγχου (π.χ. κινητήρες) που θα οδηγήσουν το σύστημα στην επιθυμητή κατάσταση.



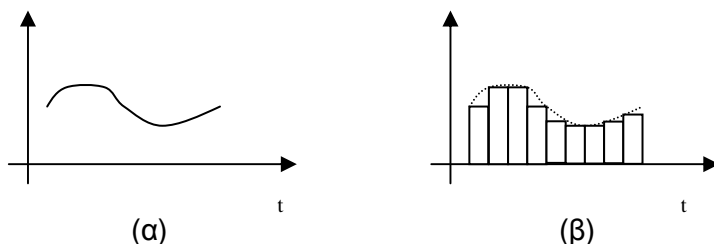
Σχήμα 6.7.1 Σχηματική παράσταση ελεγχόμενης διαδικασίας

\* Ένας Η/Υ είναι ένα σύστημα διακριτού χρόνου, δηλαδή επεξεργάζεται τα σήματα που φθάνουν σε αυτόν ανά κάποιο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (και όχι συνεχώς). Επομένως πριν από τον μετατροπέα Α/Δ απαιτείται μία μονάδα δειγματοληψίας. Αντίστοιχα στην έξοδο του Η/Υ για την μετατροπή του σήματος από διακριτού σε συνεχούς χρόνου απαιτείται μια μονάδα συγκράτησης. Ανάπτυξη των μονάδων αυτών ξεφεύγει από τα πλαίσια του βιβλίου αυτού.

Όταν οι πληροφορίες μετατραπούν σε ψηφιακές, οδηγούνται στην μονάδα εισόδου / εξόδου του Η/Υ. Η μονάδα αυτή επιλέγει τις θέσεις μνήμης στις οποίες θα καταγραφούν οι εισερχόμενες πληροφορίες. Επιλέγει επίσης την περιφερειακή μονάδα στην οποία είναι γραμμένο το πρόγραμμα, που ο υπολογιστής πρόκειται να εκτελέσει.

Οι πληροφορίες όπως ήδη αναφέραμε τοποθετούνται στην μνήμη του Η/Υ. Στην αριθμητική και λογική μονάδα (ALU) εκτελούνται όλες οι πράξεις που καθορίζει το πρόγραμμα. Τέλος η μονάδα ελέγχου διευθύνει την εκτέλεση του προγράμματος. Στο σχήμα 6.5.1 με διακεκομμένες γραμμές εικονίζεται η πορεία των σημάτων ελέγχου.

Να σημειώσουμε εδώ ότι στο πεδίο του χρόνου τα σήματα εισόδου και εξόδου δεν είναι συνεχή, αλλά διακριτά, δηλαδή η τιμή τους υπολογίζεται κατά τις χρονικές στιγμές κΤ όπου κ ακέραιος. Στο σχήμα 6.5.2 εικονίζεται ένα συνεχές σήμα (α) και το αντίστοιχο διακριτό (β).



σχήμα 6.7.2

Με τον τρόπο αυτό μειώνεται κατά πολύ ο όγκος της προς επεξεργασία πληροφορίας (αφού ένα συνεχές σήμα αποτελείται από άπειρες καταστάσεις), χωρίς πρακτικά να αλλοιωθεί η μορφή των σημάτων.

## 6.8 ΕΥΦΥΗΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

Ο συμβατικός έλεγχος που εφαρμόστηκε στις βιομηχανικές διεργασίες κυρίως μετά τον 2<sup>ο</sup> παγκόσμιο πόλεμο, έλυσε αρκετά προβλήματα, δεν ξέφυγαν όμως από την ανάγκη εποπτείας της διεργασίας από τον άνθρωπο-χειριστή.

Οι σύγχρονες όμως ανάγκες παραγωγικότητας και αξιοπιστίας δεν μπορούν να ικανοποιηθούν από τον συμβατικό έλεγχο και επιβάλουν την εφαρμογή πιο αποτελεσματικών μεθόδων ελέγχου.

Έτσι από την δεκαετία του '60 αρχίζει να εφαρμόζεται η σύγχρονη θεωρία ελέγχου για την εξυπηρέτηση κυρίως των διαστημικών προγραμμάτων.

Από τα μέσα της δεκαετίας του '70 αρχίζει μια προσπάθεια ενσωμάτωσης της ανθρώπινης ευφυΐας σε πολύπλοκα συστήματα ελέγχου.

Φτάσαμε λοιπόν στον ονομαζόμενο *εύκαμπτο έλεγχο (soft control)*, που στηρίχθηκε στην εφαρμογή της *τεχνητής νοημοσύνης (artificial intelligence)*. Η απλοποίηση στην κατασκευή των Ηλεκτρονικών Υπολογιστών με την εφαρμογή της τεχνολογίας των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων και η κάθετη πτώση του κόστους τους, βοήθησε στην ανάπτυξη των συστημάτων αυτών, αφού η ύπαρξη ηλεκτρονικών υπολογιστών στην μονάδα ελέγχου είναι απαραίτητη.

Τα ευφυή συστήματα βασίζονται στην εκτίμηση της σχέσης μεταξύ των εισόδων και των εξόδων του συστήματος, χωρίς να χρειάζεται να καταφύγουμε σε σύνθετα μαθηματικά πρότυπα, όπως στην κλασική θεώρηση. Εξ άλλου οι σύγχρονες βιομηχανικές διεργασίες δεν μπορούν να περιγραφούν από μαθηματικά πρότυπα, τόσο γιατί είναι αρκετά πολύπλοκες, όσο και γιατί υπόκεινται σε απρόβλεπτες διαταραχές.

### **6.8.1 Τεχνικές ευφυούς ελέγχου**

Η βασική επιδίωξη κατά τον σχεδιασμό ενός ευφυούς ελεγκτή είναι να ενσωματώσει τις γνώσεις και τις ενέργειες του ανθρώπου-χειριστή. Η ενσωμάτωση αυτή γίνεται με μορφή λογισμικού (προγράμματος). Έτσι δημιουργείται μια "βάση γνώσης" που αποτελείται από ένα σύνολο κανόνων και στην οποία θα ανατρέχει κάθε φορά ο ελεγκτής. Οι πληροφορίες από τα κάθε είδους αισθητήρια και μορφοτροπίες, σχηματίζουν την "βάση δεδομένων" ενώ ένας "μηχανισμός συμπερασμάτων" παίρνει τις κατάλληλες αποφάσεις.

Έτσι η λειτουργία των ευφύων ελεγκτών βασίζεται στην δημιουργία ενός συνόλου από κανόνες, που είναι όμοιοι με τους συλλογισμούς ενός ανθρώπου-χειριστή. Οι κανόνες αυτοί είναι της μορφής

*Εάν (...) και εάν (...) και εάν (...)..., τότε(...) και (...)...*

Τελικά αναπτύχθηκαν τρεις βασικές τεχνικές

- Τα Εμπειρα συστήματα (Expert systems)
- Η ασαφής λογική (fuzzy logic)
- Τα Νευρωνικά δίκτυα (neural network)

### **6.8.2 Εμπειρα συστήματα**

Η δομή ενός έμπειρου συστήματος φαίνεται στο σχήμα 6.8.1. Αποτελείται δηλαδή από τις μονάδες :

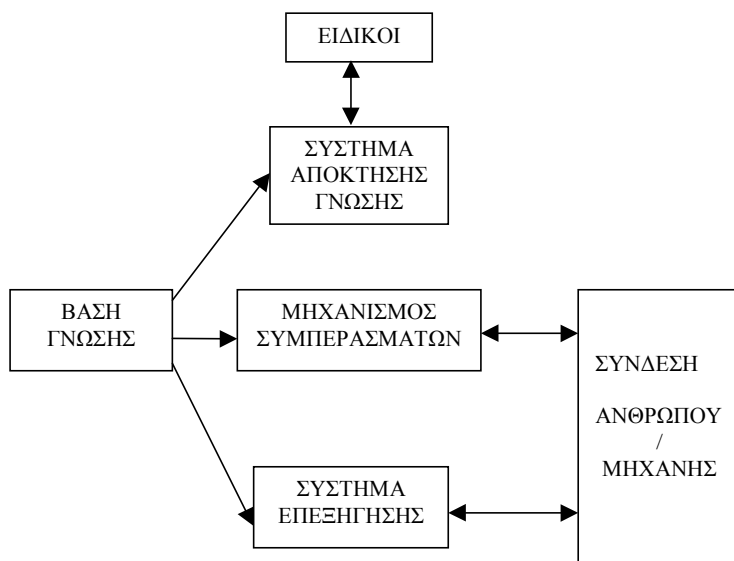
- *Βάση Γνώσης*. Αποτελείται από τα δυνατά γεγονότα και τους κανόνες που αναφέραμε προηγουμένως
- *Μηχανισμός εξαγωγής συμπεράσματος*. Επεξεργάζεται τις πληροφορίες από την βάση γνώσης, για την εξαγωγή κάποιου συμπεράσματος.



- *Σύστημα απόκτησης γνώσης.* Χρησιμοποιείται για την δημιουργία και την συνεχή ανανέωση της βάσης γνώσης.
- *Σύστημα επεξήγησης.* Πραγματοποιεί την διασύνδεση του χρήστη με το σύστημα

Η ομάδα εργασίας της Βρετανικής Εταιρείας Υπολογιστών έδωσε τον εξής ορισμό για τα έμπειρα συστήματα

*Ένα έμπειρο σύστημα ορίζεται σαν η ενσωμάτωση σε ένα υπολογιστικό σύστημα ενός στοιχείου γνώσης που δημιουργήθηκε από κάποιον ειδικό, με μια κατάλληλη μορφή, έτσι ώστε το σύστημα να μπορεί να προσφέρει ευφυείς συμβουλές και να λάβει μια ευφυή απόφαση για την λειτουργία μιας διαδικασίας.*



Σχήμα 6.8.1 Δομή έμπειρου συστήματος

Από τον ορισμό αυτό φαίνεται η σημασία των υπολογιστικών μονάδων στην ανάπτυξη έμπειρων συστημάτων.

Οι λειτουργίες και οι σκοποί που καλούνται να υλοποιήσουν τα βιομηχανικά έμπειρα συστήματα είναι

- Σχεδιασμός προϊόντος
- Προγραμματισμός παραγωγής
- Διαχείριση πρώτων υλών
- Εποπτεία παραγωγικής διαδικασίας
- Έλεγχος παραγωγικής διαδικασίας
- Διαχείριση της ενέργειας της διαδικασίας

- Πρόγνωση και διάγνωση βλαβών και δυσλειτουργιών
- Διανομή τελικού προϊόντος

Βλέπουμε δηλαδή ότι ξεφεύγει από τα στενά όρια της αυτοματοποίησης της παραγωγής και καλύπτει ένα ευρύτερο φάσμα

### **6.8.3 Ασαφής λογική**

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει η μοντελοποίηση των συστημάτων στην οποία βασίστηκε η κλασική θεωρία ελέγχου, δεν ευσταθεί γενικά, γιατί ούτε η μαθηματική περιγραφή του συστήματος είναι ακριβής στην πράξη, αλλά ούτε οι μετρήσεις και ο έλεγχος. Επίσης διαταραχές που συμβαίνουν κατά την διάρκεια της διαδικασίας, εισάγουν μια αβεβαιότητα στα δεδομένα που φτάνουν στον ελεγκτή.

Παρατηρούμε επίσης ότι πολλές βιομηχανικές διαδικασίες ελέγχονται από τον άνθρωπο-χειριστή, χωρίς να καταφεύγουμε σε σύνθετες μαθηματικές περιγραφές.

Επίσης στις περισσότερες διαδικασίες δεν είναι απαραίτητη μεγάλη ακρίβεια για τον αποτελεσματικό τους έλεγχο. Έτσι ο Zadeh εισήγαγε την θεωρία της Ασαφούς Λογικής (το πρώτο άρθρο γράφηκε το 1965, αλλά μόλις την δεκαετία του '90 η θεωρία βρήκε εφαρμογή).

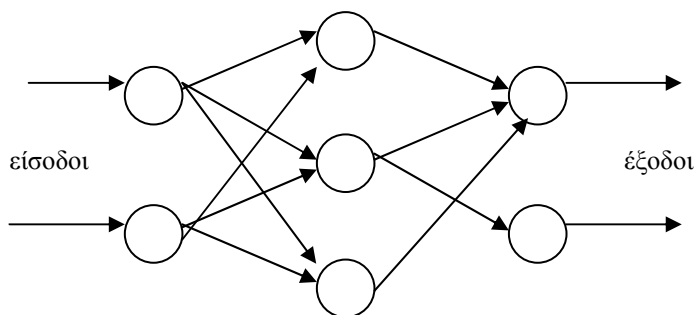
Σύμφωνα με την θεωρία της ασαφούς λογικής ο περιβάλλον χώρος αποτελείται από στοιχεία που ανήκουν σε διάφορα σύνολα, με διάφορους βαθμούς συμμετοχής. Π.χ. η ταχύτητα 50Km/h μπορεί να θεωρηθεί μικρή ή μεγάλη, ανάλογα με την εφαρμογή. Επίσης για την ίδια εφαρμογή, άλλοι άνθρωποι μπορούν να την χαρακτηρίσουν μεγάλη και άλλοι όχι. Έτσι οι τιμές μιας ασαφούς μεταβλητής μπορούν να χωριστούν σε διάφορα αλληλοεπικαλυπτόμενα σύνολα. Με μια σειρά από λογικούς κανόνες συνδέονται τα σύνολα των εισόδων με τα αντίστοιχα των εξόδων.

Με βάση τα στοιχεία της ασαφούς λογικής δημιουργήθηκαν οι ασαφείς ελεγκτές, όπως περιγράφηκε σε προηγούμενη παράγραφο. Τα τελευταία χρόνια οι ασαφείς ελεγκτές γνωρίζουν όλο και πιο μεγάλη εφαρμογή κυρίως λόγω της απλότητας του σχεδιασμού τους και του εύρους των εφαρμογών που μπορούν να καλύψουν.

### **6.8.4 Νευρωνικά δίκτυα**

Με τις προηγούμενες μεθόδους σχεδιάστηκαν ελεγκτές που λειτουργούσαν με βάση την ανθρώπινη συμπεριφορά. Ποια είναι όμως η διαδικασία που οδηγεί στην συμπεριφορά αυτή; Ποια είναι δηλαδή η διαδικασία μάθησης; Ιατρικές μελέτες έχουν δείξει ότι ο ανθρώπινος εγκέφαλος αποτελείται από έναν μεγάλο αριθμό νευρώνων (περίπου ένα τρισεκατομμύριο), κάθε ένας από τους οποίους επικοινωνεί με χιλιάδες άλλους. Η μάθηση έχει την πηγή της ακριβώς σε αυτή την διασύνδεση.

Σε επέκταση της λειτουργίας του εγκεφάλου επιδιώχθηκε η δημιουργία ενός συστήματος μάθησης για τους ελεγκτές των προηγούμενων συστημάτων. Το σύστημα αυτό αποτελείται από ένα σύνολο από νευρώνες που βρίσκονται σε διαφορετικά επίπεδα και επικοινωνούν μεταξύ τους. Οι γραμμές αυτές επικοινωνίας λέγονται συνάψεις και έχουν διαφορετική βαρύτητα η κάθε μία. Η ρύθμιση των συντελεστών αυτών ονομάζεται μάθηση του δικτύου και γίνεται με ένα σύνολο από λογικούς κανόνες. Στο σχήμα 6.8.2 βλέπουμε ένα απλό νευρωνικό δίκτυο.



Σχήμα 6.8.2 Διάγραμμα νευρωνικού δικτύου

Με κύκλους παριστώνται οι νευρώνες και με βέλη οι συνάψεις.

Ένα δίκτυο σωστά "εκπαιδευμένο", μπορεί να πάρει τις σωστές αποφάσεις με βάσει τα δεδομένα που έχει ανεξάρτητα από διαταραχές ή πολυπλοκότητα του συστήματος.

Έτσι οι νευρωνικοί ελεγκτές διεργασιών βασίζονται σε ένα σύνολο γλωσσικών κανόνων, που δημιουργούνται με την βοήθεια ειδικών προγραμμάτων και οδηγούν τον ελεγκτή στην λήψη της σωστής απόφασης μετά από μια πολλαπλά επαναληπτική διαδικασία. Η επαναληψιμότητα αυτή σκοπό έχει τον προσδιορισμό των ακριβών τιμών των συντελεστών των συνάψεων, που παίζουν καθοριστικό ρόλο στην λήψη της απόφασης.

### ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Ένα Σύστημα Αυτομάτου Ελέγχου μπορεί να αναπαρασταθεί είτε με ένα λειτουργικό διάγραμμα, είτε με ένα διάγραμμα βαθμίδων. Ένα σύστημα μπορεί να είναι κλειστό ή ανοικτό, ανάλογα αν υπάρχει ή όχι ανατροφοδότηση.

Η ανάλυση ενός συστήματος και η σύνθεση ενός ελεγκτή μπορεί να γίνει είτε στο πεδίο του χρόνου, είτε στο πεδίο των συχνοτήτων. Κυριότεροι μέθοδοι μελέτης στο πεδίο των συχνοτήτων είναι τα διαγράμματα Bode και Nyquist.

Σύγχρονες μορφές αυτομάτου ελέγχου είναι ο άριστος έλεγχος, ο προσαρμοστικός, ο λογικός και ο εύρωστος έλεγχος.

Τέλος υπάρχουν τρία συστήματα ευφυών ελέγχων : τα έμπειρα συστήματα, οι ασαφείς ελεγκτές και τα νευρωνικά δίκτυα.

**6.9 ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ-ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ****A. Να απαντήσετε συνοπτικά στις ερωτήσεις**

1. Από ποιες μονάδες αποτελείται ένας αυτοματισμός;
2. Να σχεδιαστεί το λειτουργικό διάγραμμα και το διάγραμμα βαθμίδων μιας διάταξης που ανάβει κάποια φώτα μιας οικίας αν μειωθεί ο εξωτερικός φωτισμός ή πλησιάσει κάποιος άνθρωπος στην πόρτα.
3. Να σχεδιαστεί τα λειτουργικό διάγραμμα και το διάγραμμα βαθμίδων ενός κλιματιστικού ψύξης / θέρμανσης. Η επιλογή της λειτουργίας γίνεται με εξωτερικό διακόπτη.
4. Τι ονομάζουμε υπερακόντιση και με ποιο μέγεθος συνδέεται. Σε ποια συστήματα εμφανίζεται και τι προβλήματα μπορεί να δημιουργήσει; Πως μπορούμε να την μειώσουμε;
5. Ποια συστήματα ονομάζονται ανοικτού βρόχου και ποια κλειστού βρόχου;
6. Από ποιους όρους αποτελείται η έξοδος του συστήματος στο πεδίο του χρόνου και ποια η σημασία του κάθε όρου;
7. Σε ένα σύστημα πρώτης τάξης, πως επηρεάζουν η ενίσχυση και η σταθερά χρόνου την έξοδό του;
8. Τι ονομάζουμε ευστάθεια; Ποια είναι η συνθήκη ευστάθειας σε ένα σύστημα κλειστού βρόχου;
9. Αναφέρατε τις πλέον σύγχρονες μεθόδους που εφαρμόζονται στα συστήματα αυτομάτου ελέγχου.
10. Σε κάποια διαφήμιση πλυντηρίων ρούχων αναφέρεται ότι δουλεύουν με ασαφή λογική (fuzzy logic). Μπορείτε να σκεφτείτε σε ποια σημεία εντοπίζεται η ασάφεια και τι πλεονεκτήματα δίνει στην λειτουργία των συσκευών;
11. Τι είναι ο έλεγχος διεργασιών (process control). Ποιός είναι ο ρόλος της μονάδας προσαρμογής (interface);
12. Ποια είναι η επιδίωξη του ευφυούς ελέγχου;
13. Να εξετάσετε ως προς την ευστάθεια τα συστήματα

$$G(s) = \frac{3}{s^2 - 4s + 1}, \quad G(s) = \frac{s^2}{s^2 + 3s + 2}, \quad G(s) = \frac{s + 1}{2s^3 + 3s^2 + s}$$

14. Ένα σύστημα περιγράφεται με την συνάρτηση μεταφοράς  $G(s) = \frac{2s}{s^2 - 1}$

α) Να σχεδιάσετε ένα ελεγκτή που να οδηγεί το σύστημα σε ευστάθεια αν δράσει σε ανοικτό βρόχο. β) Να βρείτε την συνάρτηση μεταφοράς του αρχικού συστήματος σε κλειστό βρόχο με μοναδιαία Α/Τ. Είναι το σύστημα που προκύπτει ευσταθές; γ) Το σύστημα που προκύπτει μετά την εφαρμογή του ελεγκτή που σχεδιάσατε στο α) ερώτημα, είναι ευσταθές σε κλειστό βρόχο με μοναδιαία Α/Τ;

**B. Να συμπληρώσετε τα κενά στις προτάσεις**

1. Τα κυκλώματα τα οποία μεσολαβούν μεταξύ των ..... και της μονάδας ..... και ρυθμίζουν την μεταφορά των ..... προς αυτήν (και από αυτήν) ονομάζονται μετατροπείς .
2. Λειτουργικό διάγραμμα είναι μια σχηματική παράσταση όπου παρατίθενται οι ..... αλλά και οι ..... της κάθε ..... του αυτοματισμού.
3. Ανατροφοδότηση ονομάζουμε την λειτουργία κατά την οποία η ..... επηρεάζει τον τρόπο με τον οποίο η ..... παράγει το .....
4. Σε ένα σύστημα πρώτης τάξης για να μικρύνουμε τον χρόνο ανύψωσης ..... την σταθερά χρόνου και ..... την ενίσχυση
5. Ο PID ελεγκτής βελτιώνει τον ..... και την ....., χωρίς να οδηγήσει το σύστημα σε .....
6. Στον προσαρμοστικό έλεγχο συγκρίνουμε τους δείκτες ..... και ..... του συστήματος. Αν υπάρχει ..... μεγαλύτερη από κάποιο ..... , τότε τίθεται σε λειτουργία ο μηχανισμός ..... που μεταβάλλει τις ..... του ελεγκτή, ώστε το ..... να περιορίζεται σε ανεκτά επίπεδα
7. Αβεβαιότητα σε ένα σύστημα ονομάζουμε την .....της συμπεριφοράς του συστήματος από συμπεριφορά του ..... του .....καθώς και την διαταραχή του λόγω πρόσκαιρων .....
8. Τα ευφυή συστήματα βασίζονται στην ..... της σχέσης μεταξύ των ..... και των ..... του συστήματος, χωρίς να χρειάζεται να καταφύγουμε σε σύνθετα ..... πρότυπα.
9. Ένα έμπειρο σύστημα ορίζεται σαν η ενσωμάτωση σε ένα ..... κάποιας ..... που προέρχεται από τον ....., έτσι ώστε το σύστημα να μπορεί να λάβει μια ..... για την λειτουργία μιας διαδικασίας
10. Με ένα ..... δίκτυο επιδιώχθηκε η δημιουργία ενός ..... για τους ελεγκτές των προηγούμενων συστημάτων.

**Γ. Να επιλέξετε την σωστή απάντηση στις ερωτήσεις**

1. Οι μετατροπείς (interfaces) ρυθμίζουν την μεταφορά δεδομένων
  - i. από το αισθητήριο προς την μονάδα επεξεργασίας
  - ii. από την μονάδα επεξεργασίας προς το αισθητήριο
  - iii. από την μονάδα επεξεργασίας προς το αισθητήριο και αντίστροφα
  
2. Σε ένα λειτουργικό διάγραμμα περιγράφονται
  - i. η λειτουργία του κάθε κυκλώματος αναλυτικά
  - ii. οι βασικές λειτουργίες των μονάδων
  - iii. οι διαδοχικές μετατροπές των σημάτων

3. Στο πρόβλημα της ανάλυσης ενός Συστήματος Αυτομάτου Ελέγχου
- i. δίνεται η είσοδος και το σύστημα και ζητείται η έξοδος
  - ii. δίνεται η είσοδος και η έξοδος και ζητείται το σύστημα
  - iii. δίνεται το σύστημα και η έξοδος και ζητείται η είσοδος
4. Ο χρόνος ανύψωσης είναι ο χρόνος που απαιτείται ώστε η έξοδος να φτάσει
- i. στο μισό της τελικής της τιμής
  - ii. στο 90% της τελικής της τιμής
  - iii. σε ελάχιστη απόσταση από την τελική τιμή
5. Ένα σύστημα είναι ευσταθές αν έχει έναν ή περισσότερους πόλους
- i. αρνητικούς
  - ii. θετικών
  - iii. μηδέν
6. Σε ένα έμπειρο σύστημα η βάση γνώσης είναι μια βάση γεγονότων και κανόνων
- i. που δημιουργείται άπαξ κατά την κατασκευή του συστήματος
  - ii. που είναι προαιρετική για την λειτουργία του συστήματος
  - iii. που συνεχώς ανανεώνεται
7. Σε ένα νευρωνικό δίκτυο η γνώση περιέχεται
- i. στους νευρώνες
  - ii. στις συνάψεις
  - iii. στην βαρύτητα των συνάψεων

## 7. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

### **ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ ΚΑΙ ΜΑΘΗΣΙΑΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ**

Σκοπός του κεφαλαίου είναι να παρουσιάσει μερικές απλές οικιακές εφαρμογές αυτοματισμών αλλά και ορισμένες πιο σύνθετες βιομηχανικές εφαρμογές.

Στόχος του κεφαλαίου είναι να μπορεί ο μαθητής να σχεδιάζει απλές εφαρμογές οικιακών αυτοματισμών και να μπορεί να αναφέρεται και να περιγράφει βιομηχανικές εφαρμογές συστημάτων αυτομάτου ελέγχου.

### 7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι εφαρμογές των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου στην καθημερινή ζωή είναι ποικίλες. Οι εφευρέσεις των αρχαίων λαών και ιδιαίτερα των αρχαίων Ελλήνων έδωσαν πολλές απλές λύσεις σε καθημερινά προβλήματα. Σταθμός στην ανάπτυξη των συστημάτων αυτόματου ελέγχου υπήρξε ο ρυθμιστής του Watt, ο οποίος σηματοδοτεί την είσοδο στη βιομηχανική εποχή. Στα νεώτερα χρόνια η χρησιμοποίηση ηλεκτρομηχανικών και ηλεκτρονικών διατάξεων έδωσε τη δυνατότητα επίλυσης ουσιαστικών προβλημάτων, όπως ο έλεγχος θέρμανσης- ψύξης συγκεκριμένου χώρου( ψυγείο, οικία, κτίριο, κλίβανος κ. α. ), ο έλεγχος της κυκλοφορίας οχημάτων σε αστικά κυρίως κέντρα, ο έλεγχος των τηλεπικοινωνιακών διατάξεων (τηλεφωνία, τηλεγραφία κ. α.), ο έλεγχος της εναέριας κυκλοφορίας, ο έλεγχος των συστημάτων παροχής ενέργειας, των συστημάτων ύδρευσης και των συστημάτων παροχής φυσικού αερίου, ο έλεγχος των μηχανών και της βιομηχανικής παραγωγής κ. α. Μεγάλη ανάπτυξη αποκτούν σε εφαρμογές αυτομάτου ελέγχου με την εμφάνιση των μικροεπεξεργαστών, οι οποίοι αναδείχθηκαν σε πολύτιμα εργαλεία ανάπτυξης εφαρμογών. Από τους παραγόμενους μικροεπεξεργαστές μόνο ποσοστό 10% περίπου χρησιμοποιείται στην κατασκευή ηλεκτρονικών υπολογιστών. Το μεγαλύτερο ποσοστό χρησιμοποιείται για τον έλεγχο καταναλωτικών προϊόντων και συσκευών. Η χρήση υπολογιστικών συστημάτων για τη σχεδίαση και τον έλεγχο συστημάτων έχει αλλάξει ριζικά το πεδίο των εφαρμογών αυτομάτου ελέγχου, εφοδιάζοντας τους επιστήμονες με πανίσχυρα εργαλεία μελέτης και ανάπτυξης των συστημάτων.

Οι περισσότερες εφαρμογές απαιτούν από το σύστημα ελέγχου άμεση απόκριση σε συνθήκες πραγματικού χρόνου. Για τη λειτουργία τέτοιων πρακτικών συστημάτων απαιτούνται λειτουργικά συστήματα πραγματικού χρόνου (Real- Time Operating Systems- RTOS) , τα οποία παρέχουν αποτελέσματα της επεξεργασίας στον ίδιο πάντα προκαθορισμένο χρόνο, ανεξάρτητα από τις επικρατούσες συνθήκες

περιβάλλοντος, παρέχουν τη δυνατότητα ελέγχου της λειτουργίας τους από το χρήστη του συστήματος, διαθέτουν αυξημένη αξιοπιστία και δυνατότητα αντιμετώπισης εξαιρετικών καταστάσεων, μη οδηγώντας το σύστημα ελέγχου σε διακοπή της λειτουργίας, αλλά συνεχίζοντας τη λειτουργία (πιθανόν με λιγότερες δυνατότητες) και ειδοποιώντας τον χρήστη για τις απαραίτητες ενέργειες που πρέπει να αναληφθούν.

Από τις άπειρες εφαρμογές των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου θα παραθέσουμε στη συνέχεια μερικές ενδεικτικές της δυνατότητας του χώρου.

## 7.2 ΟΙΚΙΑΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Ο έλεγχος του οικιακού περιβάλλοντος αναφέρεται στον έλεγχο των διαφόρων παραμέτρων, συσκευών και συστημάτων, με τα οποία ο ένοικος αλληλεπιδρά. Για τη διευκόλυνση της συλλογιστικής θα μπορούσαμε να θεωρήσουμε το άνθρωπο ως ένα σύστημα αυτομάτου ελέγχου, το οποίο δέχεται σήματα από το περιβάλλον μέσω των αισθητηρίων του, τα επεξεργάζεται με τη βοήθεια του κεντρικού νευρικού συστήματος και αντιδρά προς αυτά. Οι αντιδράσεις υλοποιούνται κατά κανόνα με κινήσεις ανθρωπίνων μελών και με την ομιλία. Μέσω των αντιδράσεων αυτών μπορεί ο άνθρωπος να ενεργοποιήσει διάφορα συστήματα προς επιτέλεση διάφορων λειτουργιών. Τέτοια συστήματα είναι τα συστήματα κλιματισμού, ασφάλειας κ.α. Ιδιαίτερη σημασία αποκτούν οι διαδικασίες σε περιπτώσεις ανθρώπων με προβλήματα, όπως είναι τα άτομα με κινητικά προβλήματα (παραπληγικά). Η τεχνολογία σήμερα προσφέρει τη δυνατότητα πλήρους αυτοματοποίησης των οικιακών λειτουργιών, καθόσον οι περισσότερες συσκευές ήδη ελέγχονται από εξελεγμένους επεξεργαστές συμβατικής λογικής και τεχνητής νοημοσύνης (ψυγεία, πλυντήρια, κουζίνες, κλιματιστικά κ.λπ.). Η διασύνδεση των ελεγκτών αυτών σε ένα σύστημα κατανομημένου ελέγχου, όπου ως κεντρικός υπολογιστής μπορεί να λειτουργήσει ένας προσωπικός υπολογιστής ή ένας προγραμματιζόμενος ελεγκτής είναι λύση, η οποία είχε προταθεί και παλαιότερα, είναι δε πιο ενδιαφέρουσα στα πλαίσια της λειτουργίας του διαδικτύου. Ο προγραμματισμός των συστημάτων αυτών είναι εύκολος ακόμα και από μη ειδικούς χρήστες, καθόσον έχουν αναπτυχθεί συστήματα γραφικού προγραμματισμού, τα οποία εξασφαλίζουν ένα συμπαγές, εύχρηστο και φιλικό περιβάλλον προγραμματισμού και λειτουργίας.

Στην περίπτωση ενός ανθρώπου με κινησιακά προβλήματα η αλληλεπίδραση με το περιβάλλον έχει ένα λιγότερο αμφίδρομο χαρακτήρα, γιατί οι κινησιακές δυσκολίες δυσχεραίνουν ή και αποκλείουν την επίδραση του στο περιβάλλον. Η επίλυση του προβλήματος έγκειται στην υποκατάσταση της λειτουργίας των παράλυτων μελών από ένα σύστημα ηλεκτρονικού υπολογιστή σε συνδυασμό με κατάλληλες ηλεκτρομηχανικές διατάξεις. Ένα τέτοιο σύστημα έχει σχεδιασθεί στο ΕΜΠ και αποτελείται



από τρία τμήματα. Το πρώτο τμήμα είναι το τμήμα επίδρασης στο περιβάλλον, το οποίο υλοποιείται με ένα δίκτυο τηλεχειριζόμενων διακοπών. Κάθε διακόπτης ελέγχει ένα μέρος του περιβάλλοντος (π.χ. μια συσκευή) και έχει ένα μοναδικό κωδικό αριθμό, μέσω του οποίου ελέγχεται από το κεντρικό σύστημα ελέγχου. Το πλήθος των διακοπών κυμαίνεται από μερικές εκατοντάδες έως αρκετές χιλιάδες. Το δεύτερο τμήμα είναι ο κεντρικός υπολογιστής, στον οποίο είναι εγκατεστημένη ειδική εφαρμογή, η οποία εμφανίζει στην οθόνη πίνακα εικονιδίων τα οποία ενεργοποιούνται διαδοχικά και αντιστοιχούν στις διάφορες διεργασίες. Για την επιλογή ενός εικονιδίου απαιτείται η λήψη σήματος (αντίστοιχο με το πάτημα ενός πλήκτρου) τη στιγμή που το εικονίδιο είναι ενεργοποιημένο. Στο προτεινόμενο σύστημα το σήμα αυτό παράγεται με φύσημα σε ειδικά σχεδιασμένο αισθητήριο, όπου με τη μετακίνηση ενός εμβόλου δημιουργείται παλμός, ο οποίος αποστέλλεται στον υπολογιστή.

Ο έλεγχος βιοκλιματικών συνθηκών σε μεγάλα κτίρια είναι επίσης μια εφαρμογή των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου, η οποία αποκτά διαρκώς και μεγαλύτερη σημασία. Στο ΕΜΠ και στα πλαίσια του προγράμματος THERMIE εγκαταστάθηκε στο κτίριο που στεγάζει το τμήμα Χημικών Μηχανικών σύστημα μετρήσεων και ελέγχου (Supervisor Control and Data Acquisition – SCADA) των βιοκλιματικών συνθηκών και ενεργειακής κατανάλωσης. Για τη μείωση των αναγκών σε καλωδιώσεις χρησιμοεύει το εγκατεστημένο δίκτυο TCP/IP και ασύρματες ζεύξεις μικρής ισχύος. Ο έλεγχος των βιοκλιματικών συνθηκών γίνεται άλλοτε τοπικά (π.χ. φωτισμός σε διαδρόμους) και άλλοτε με εντολή της κεντρικής μονάδας ελέγχου, όπως στην περίπτωση επιλογής κατεύθυνσης ροής θερμού αέρα.

Στην παράγραφο αυτή θα αναφερθούμε σε μια σειρά από αυτοματισμούς που μπορούν να εφαρμοστούν στο περιβάλλον μιας κατοικίας.

### **7.2.1 Έλεγχος φωτισμού**

Στο θέμα αυτό έχουμε ήδη αναφερθεί στο κεφάλαιο 4. Να θυμίσουμε ότι ο έλεγχος του φωτισμού μπορεί να γίνει είτε με ένα ανοικτό σύστημα ελέγχου, είτε με ένα κλειστό σύστημα ελέγχου.

Στην πρώτη περίπτωση χρησιμοποιούμε έναν απλό χρονοδιακόπτη. Ο διακόπτης αυτός διαθέτει ένα ζευγάρι επαφών, που αλλάζουν κατάσταση, σύμφωνα με το “πρόγραμμα” που του δίνουμε, ενεργοποιώντας έτσι μέσω ενός ρελέ (ενεργοποιητής) ένα κύκλωμα λαμπτήρων.

Στην δεύτερη περίπτωση το κύκλωμα λαμπτήρων ενεργοποιείται ανάλογα με την ένταση του φωτός στο περιβάλλον. Εδώ σαν ενεργοποιητής χρησιμοποιείται συνήθως θυρίστρο.

### **7.2.2 Αυτόματο πότισμα**

Και εδώ μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε είτε ανοικτό είτε κλειστό σύστημα ελέγχου.

Στην πρώτη περίπτωση χρησιμοποιούμε ένα χρονοδιακόπτη, που ανοίγει μια ηλεκτροβάνα (ενεργοποιητής) που βρίσκεται συνδεδεμένη σε μια βρύση. Υπάρχουν και απλούστερες κατασκευές, όπου ο χρονοδιακόπτης κινεί ένα διάφραγμα, που επιτρέπει το νερό να περάσει.

Στην δεύτερη περίπτωση, η έναρξη αλλά και ο χρόνος ποτίσματος εξαρτώνται από την υγρασία του εδάφους, την θερμοκρασία και την υγρασία της ατμόσφαιρας. Τα τρία αυτά μεγέθη αποτελούν τις εισόδους του ελεγκτή. Η μέτρηση της υγρασίας του εδάφους αποτελεί την γραμμή ανατροφοδότησης του συστήματος. Ο τρόπος αυτός ελέγχου είναι αρκετά ακριβός και αυτό δεν χρησιμοποιείται σε οικιακές εφαρμογές. Χρησιμοποιείται όμως για πότισμα σε θερμοκήπια, αγρούς, κ.λ.π.

### **7.2.3 Συστήματα συναγερμού**

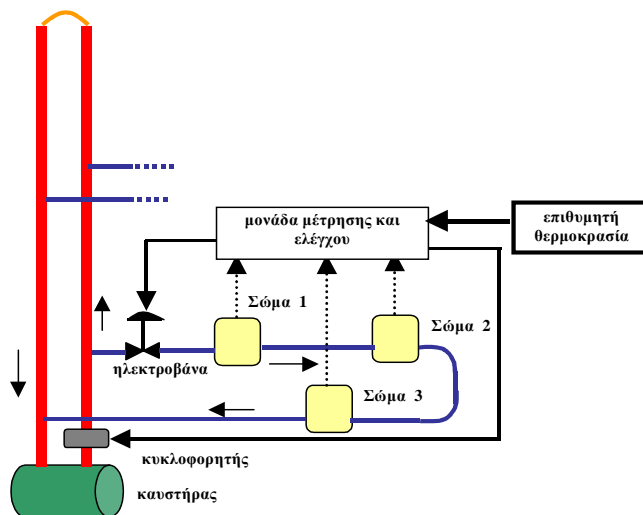
Ένα απλό σύστημα συναγερμού είναι ένας απλός on/off έλεγχος. Τα αισθητήρια είναι απλοί επαφικοί ή επαγωγικοί διακόπτες, συνδεδεμένοι σε σειρά. Όταν ένας διακόπτης ανοίξει (οπότε έχει συμβεί παραβίαση) το κύκλωμα διακόπτεται, οπότε ενεργοποιείται μια σειρήνα μέσω ενός ρελέ (ενεργοποιητής).

Ενας συναγερμός αποτελείται συνήθως από τρεις βρόχους προστασίας. Ο πρώτος ασφαρίζει περιμετρικά τον χώρο (πόρτες, παράθυρα), ο δεύτερος ασφαρίζει το εσωτερικό (κίνηση ατόμου) και ο τρίτος ασφαρίζει συγκεκριμένα αντικείμενα.

Οι πιο σύγχρονοι συναγερμοί λειτουργούν με την βοήθεια μικροελεγκτή και διαθέτουν πληκτρολόγιο για επιλογή των επιθυμητών λειτουργιών. Επίσης διαθέτουν μονάδα ενεργοποίησης τηλεφωνικής γραμμής και αποστολή τηλεφωνικού μηνύματος.

### **7.2.4 Αυτόνομη θέρμανση**

Στα σύγχρονα κτίρια η εγκατάσταση των σωμάτων του καλοριφέρ γίνεται με τέτοιο τρόπο, ώστε αυτά να επικοινωνούν σε οριζόντια γραμμή, σε αντίθεση με τις παλαιότερες εγκαταστάσεις, όπου τα σώματα επικοινωνούσαν κατακόρυφα. Αυτό δίνει την δυνατότητα σε μια ομάδα σωμάτων καλοριφέρ (όπως τα σώματα ενός διαμερίσματος) να λειτουργούν ανεξάρτητα από τα υπόλοιπα. Στο σχήμα 7.2.1 παρουσιάζεται σχηματικά μια τέτοια εγκατάσταση.



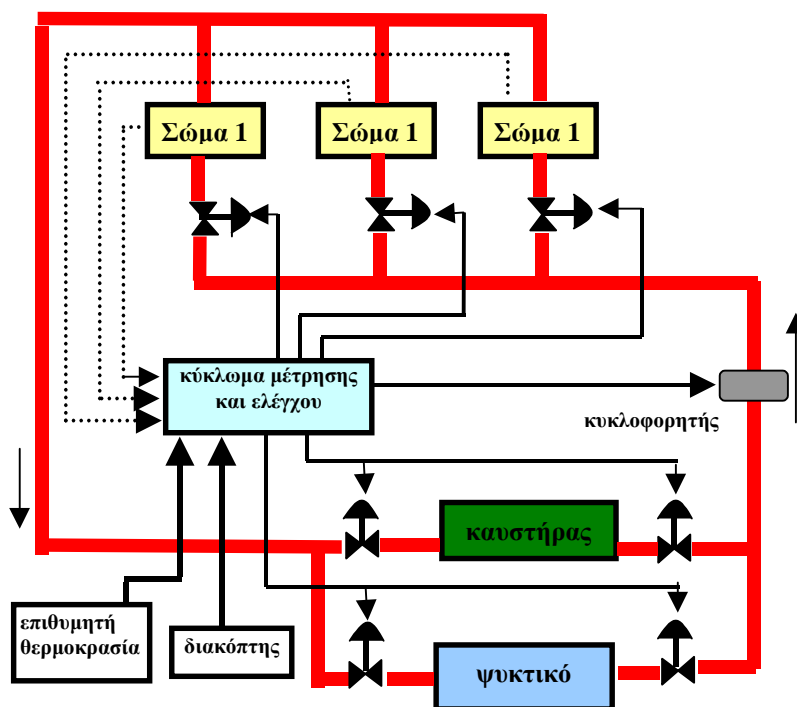
σχήμα 7.2.1 Εγκατάσταση αυτόνομης θέρμανσης

Μία ηλεκτροβάννα (ενεργοποιητής) ρυθμίζει την κίνηση του ζεστού νερού προς το κύκλωμα αυτό, ανάλογα με την εντολή μιας μονάδας ελέγχου που βρίσκεται στο εσωτερικό του διαμερίσματος. Η μονάδα αυτή είναι ταυτόχρονα και μονάδα μέτρησης της θερμοκρασίας του χώρου. Τέτοιες μονάδες έχουμε παρουσιάσει στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο. Ο καυστήρας λειτουργεί συνεχώς με ανεξάρτητο κύκλωμα, διατηρώντας το νερό σε υψηλή θερμοκρασία, ενώ ο ελεγκτής, εκτός από την ηλεκτροβάννα, ενεργοποιεί και τον κυκλοφορητή, που βοηθά το ζεστό νερό να ανέβει στους κεντρικούς σωλήνες. Στο σχήμα 7.2.1 οι διακεκομμένες γραμμές είναι οι γραμμές μέτρησης. Το σύστημα είναι κλειστού βρόχου.

### 7.2.5 Κλιματισμός

Στον κλιματισμό υπάρχουν δύο κυκλώματα : κύκλωμα θέρμανσης και κύκλωμα ψύξης. Η επιλογή της λειτουργίας γίνεται χειροκίνητα με διακόπτη. Στο σχήμα 7.2.2 βλέπουμε απλοποιημένη την μορφή μιας εγκατάστασης κλιματισμού με τρία σώματα.

Ο ελεγκτής ενεργοποιεί τις ηλεκτροβάνες αποκοπής του καυστήρα ή του ψυκτικού, ανάλογα με την λειτουργία του συστήματος. Επίσης ενεργοποιεί τον κυκλοφορητή. Τέλος ελέγχει την λειτουργία των ηλεκτροβανών των σωμάτων, ώστε να επιτυγχάνεται η επιθυμητή θερμοκρασία. Οι διακεκομμένες γραμμές του σχήματος 7.2.2 είναι οι γραμμές μέτρησης, που αποτελούν και την ανατροφοδότηση του συστήματος.



σχήμα 7.2.2 Εγκατάσταση κλιματισμού

Η μονάδα του ελεγκτή θα είναι όμοια με αυτές που έχουν παρουσιαστεί στο κεφάλαιο 4. Χρειάζεται όμως προσοχή σε ένα σημείο. Κατά την λειτουργία θέρμανσης, έχουμε ενεργοποίηση του κυκλώματος θέρμανσης όταν η θερμοκρασία πέσει κάτω από την επιθυμητή τιμή. Αντίθετα στην λειτουργία ψύξης το αντίστοιχο κύκλωμα ενεργοποιείται όταν η θερμοκρασία υπερβεί την επιθυμητή.

### 7.3 ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΟΗΣ

Ο έλεγχος διεργασιών συνεχούς ροής (διυλιστήρια, χημικές, βιομηχανικές κ.τ.λ.) βασίζεται στην ανάπτυξη ενός καταμεμημένου συστήματος συλλογής δεδομένων και ελέγχου. Ένα τέτοιο σύστημα έχει εγκατασταθεί στα Ελληνικά Διυλιστήρια Ασπροπύργου (ΕΛΔΑ) με στόχο να εξασφαλίσει συνθήκες ασφαλούς λειτουργίας και προστασία του περιβάλλοντος. Το σύστημα αυτό παρέχει ένα εύχρηστο και φιλικό περιβάλλον λειτουργίας προς τους χρήστες του συστήματος, το οποίο μεριμνά για ταχεία διάγνωση λειτουργικών προβλημάτων, μειωμένη πιθανότητα ανθρώπινων λαθών, ευκολία στην αλλαγή λειτουργικών συνθηκών και εξασφαλίζει καλύτερες συνθήκες εργασίας για το

προσωπικό. Τα πλέον κρίσιμα χαρακτηριστικά του συστήματος είναι η πρόβλεψη και αποφυγή αστοχιών και η μεγάλη διαθεσιμότητα.

Παλαιότερα για τη ρύθμιση των λειτουργιών παρόμοιων συστημάτων χρησιμοποιούνταν αναλογικοί ελεγκτές τριών όρων (PID), όπου ο κάθε βρόχος ελέγχου λειτουργούσε ξεχωριστά και ανεξάρτητα από όλους τους άλλους. Η μέθοδος αυτή δημιουργούσε δυσκολίες στη λήψη πληροφοριών από το κεντρικό σύστημα ελέγχου για την ανάπτυξη μιας συνολικής εικόνας για τη λειτουργία του συστήματος. Η εισαγωγή της ψηφιακής τεχνολογίας έδωσε τη δυνατότητα ανάπτυξης πολύπλοκων καταναμημένων συστημάτων ελέγχου ( ώστε η ύπαρξη σφάλματος σε ένα βρόχο ελέγχου να μην επηρεάζει τους άλλους βρόχους ελέγχου) και αυξημένη διαθεσιμότητα του συστήματος με πλεονασμό ( εφεδρικά συστήματα σε αναμονή) , ώστε να ελαχιστοποιούνται οι πιθανότητες απωλειών κατά τις εργασίες συντήρησης, επέκτασης του συστήματος κ. α. Για να κατανοήσουμε το μέγεθος των συστημάτων αυτών μπορούμε να καταγράψουμε με αδρές γραμμές το σύστημα SCADA των ΕΛΔΑ. Αυτό περιλαμβάνει περίπου σαράντα κέντρα ελέγχου, τα οποία δέχονται 255 σήματα το καθένα. Τα ενεργά σήματα που παρακολουθεί το σύστημα είναι της τάξης των 9.000, εκ των οποίων 1.500 είναι βρόχοι ελέγχου. Για αυξημένη διαθεσιμότητα υπάρχουν δύο πιστά αντίγραφα καρτών ρύθμισης και ελέγχου για κάθε οκτώ βρόχους. Η μια κάρτα εκτελεί λειτουργίες ελέγχου, ενώ η άλλη ενημερώνεται διαρκώς και αναλαμβάνει τον έλεγχο αυτόματα μόλις η πρώτη υποστεί βλάβη. Κάθε κέντρο ελέγχου διαθέτει ελεύθερη δυναμικότητα της τάξης του 10% για μελλοντικές επεκτάσεις.

Τα συστήματα ελέγχου αυτού του μεγέθους και κατανομής τους στον χώρο, παρουσιάζουν ιεραρχία ως προς τις δράσεις ελέγχου. Οι αποκεντρωμένοι ελεγκτές έχουν τη μορφή προγραμματιζόμενου ελεγκτή και επιτελούν τις βασικές δράσεις ελέγχου, ενεργοποιώντας κατά κανόνα προγράμματα ελέγχου PID. Οι ελεγκτές αυτοί ομαδοποιούνται και κάθε ομάδα ελέγχεται από ένα ανώτερο ιεραρχικά ελεγκτή, ο οποίος έχει τη μορφή ηλεκτρονικού υπολογιστή ειδικού σκοπού και δρα ως ελεγκτής περιοχής. Οι δυνατότητες του ελεγκτή αυτού είναι αυξημένες και πέρα από την επιτήρηση των κατώτερων ιεραρχικά ελεγκτών εφαρμόζει προηγμένες τεχνικές ελέγχου, όπως είναι ο άριστος έλεγχος (optimal control), ο προσαρμοστικός έλεγχος ( adaptive control), ο έλεγχος με πρόδραση (feedforward control), ο έλεγχος πολλαπλών μεταβλητών (multivariable control) και ο ευφυής έλεγχος (intelligent control). Οι ελεγκτές περιοχής αναφέρονται στο κεντρικό σύστημα ελέγχου, το οποίο είναι ιεραρχικά ανώτερο και ρυθμίζει τη λειτουργία όλων των υποσυστημάτων, ώστε να επιτυγχάνονται οι απαιτήσεις που έχουν τεθεί ως προς τη λειτουργία του παραγωγικού συστήματος, ενώ παράλληλα έχει την ευθύνη της παροχής πληροφοριών για τις συνθήκες λειτουργίας του συστήματος με τη βοήθεια κατάλληλου πληροφοριακού συστήματος (Management Information System – MIS). Με τις σύγχρονες συνθήκες το κόστος ανάπτυξης του πρώτου

επιπέδου είναι της τάξεως του 80% του συνολικού κόστους του πλήρους ιεραρχικού ελέγχου. Η λειτουργία ενός τέτοιου συστήματος μπορεί να εξασφαλίσει τη λειτουργία της εγκατάστασης στο βέλτιστο σημείο απόδοσης, γεγονός κρίσιμο στις σύγχρονες συνθήκες ανταγωνισμού.

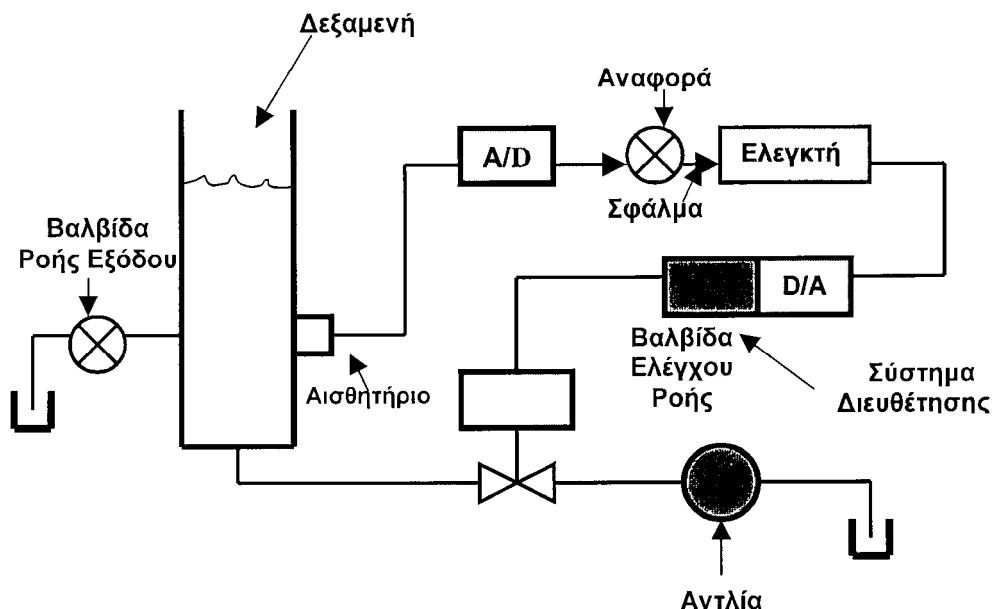
Ένα δεύτερο παράδειγμα εφαρμογών ελέγχου διαδικασιών συνεχούς ροής είναι ο έλεγχος των διυλιστηρίων ποσίμου ύδατος, όπως το διυλιστήριο της ΕΥΔΑΠ στη Μάνδρα Αττικής. Στο διυλιστήριο αυτό έχει εγκατασταθεί ένα ιεραρχικό σύστημα μετρήσεων και ελέγχου για την πλήρη αυτοματοποίηση της λειτουργίας, τον τηλεχειρισμό και τηλέλεγχο της όλης εγκατάστασης. Το διυλιστήριο επιτελεί τη διαδικασία επεξεργασίας νερού και τη διαδικασία επεξεργασίας της λάσπης. Η διαδικασία επεξεργασίας νερού αναφέρεται στον έλεγχο εισόδου νερού και τη διανομή του στις διάφορες υδαταποθήκες (ROFLOC), όπου αναμειγνύεται με θειϊκό αργίλιο και ισχυρό ηλεκτρολύτη, ώστε να επιτυγχάνεται μια πρώτη καθίζηση των σωματιδίων που περιέχονται στο νερό. Στο σημείο αυτό ελέγχεται το pH και η θολότητα του νερού. Μετά το νερό εισέρχεται σε ειδικά φίλτρα με άμμο, για καθαρισμό από στερεά σώματα που περιέχει. Στο σημείο αυτό ο έλεγχος αφορά τη στάθμη και την κατάσταση των φίλτρων. Το καθαρό νερό οδηγείται σε δεξαμενές αποθήκευσης. Παράλληλα ελέγχονται συνεχώς η ποσότητα χλωρίου, η οποία διαλύεται στο νερό σε διάφορες φάσεις της επεξεργασίας, του θειϊκού αργιλίου και του πολυηλεκτρολύτη. Η διαδικασία επεξεργασίας της λάσπης αναφέρεται στο διαχωρισμό της και την απομάκρυνσή της. Η όλη διεργασία του ελέγχου απεικονίζεται σε μιμικό διάγραμμα στο κεντρικό σύστημα ελέγχου, από το οποίο μπορεί να γίνει έλεγχος του καταναμημένου συστήματος.

## 7.4 ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΥΓΡΟΥ

Το πρόβλημα του ελέγχου στάθμης υγρού είναι σημαντικό και συχνό στην πράξη, ιδιαίτερα στη χημική βιομηχανία, όπου τα αντιδρώντα υγρά αποθηκεύονται συχνά σε ενδιάμεσες δεξαμενές και από εκεί διοχετεύονται με ελεγχόμενο τρόπο στο κύριο δοχείο της διεργασίας. Κάτι ανάλογο παρατηρείται στους σταθμούς παραγωγής ενέργειας, όπου η στάθμη του ψυκτικού υγρού πρέπει να διοχετεύεται από ενδιάμεσες επιπρόσθετες δεξαμενές.

Στο Σχ.7.4.1 εικονίζεται ένα τυπικό σύστημα ελέγχου στάθμης υγρού σε δεξαμενή. Το σύστημα ελέγχου περιλαμβάνει αισθητήριο στάθμης, μετατροπείς από αναλογικό σε ψηφιακό σήμα και το αντίστροφο, ψηφιακό ελεγκτή, κύκλωμα διευθέτησης της εξόδου και βαλβίδα ελέγχου ροής. Ο ελεγκτής φροντίζει να ελέγχει τη ροή εισόδου του συστήματος, ώστε η στάθμη του υγρού στη δεξαμενή να παραμένει σταθερή. Το αισθητήριο της στάθμης μπορεί να είναι αισθητήριο με ηλεκτρική χωρητικότητα, αισθητήριο υπερήχων (SONAR) πλωτήρας ή οπτική διάταξη. Στην πρώτη περίπτωση η μεταβολή της χωρητικότητας

αντιστοιχεί στο ύψος της στάθμης του υγρού. Το αισθητήριο υπερήχων εκπέμπει παλμούς προς την επιφάνεια του υγρού και δέχεται του υπερήχους από ανάκλαση, γεγονός το οποίο μεταφράζεται σε απόσταση.



**Σχ. 7.4.1. Τυπικό Σύστημα Ελέγχου Στάθμης**

Ο πλωτήρας συνδέεται προς ποτενσιομετρική διάταξη και με την επίπλευση του παρέχει τις μεταβολές της στάθμης στην διάταξη, όπου οι μεταβολές ύψους μεταφράζονται σε ηλεκτρικά σήματα. Η οπτική διάταξη (camera) δέχεται την εικόνα της δεξαμενής, την ψηφιοποιεί και την παραδίδει σε ηλεκτρονικό υπολογιστή για επεξεργασία. Η στρατηγική ελέγχου που εφαρμόζεται συχνά είναι αυτή του ελεγκτή δυο ή τριών όρων (PI / PID) και ο ψηφιακός ελεγκτής μπορεί να είναι σύστημα μικροελεγκτή, προγραμματιζόμενος ελεγκτής ή ηλεκτρονικός υπολογιστής κατάλληλα διαμορφωμένος.

## 7.5 ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Ο έλεγχος περιβάλλοντος αναφέρεται κυρίως στον έλεγχο της ποιότητας νερού και αέρα και στον έλεγχο των αποβλήτων. Για τον έλεγχο νερού και αέρα έχει αναπτυχθεί από το ΤΕΙ Θεσσαλονίκης το σύστημα «Ανδρομέδα», το οποίο έχει εγκατασταθεί στο Θερμαϊκό κόλπο. Οι σταθμοί μετρήσεων του συστήματος περιλαμβάνουν τον πλωτήρα, το βάθρο, τα αισθητήρια και

τον ιστό με την κεραία. Πάνω στον πλωτήρα είναι τοποθετημένες οι ηλιακές κυψέλες, οι οποίες παρέχουν την απαραίτητη ενέργεια στο σύστημα, ώστε να λειτουργεί αυτόνομα. Στο εσωτερικό του πλωτήρα είναι τοποθετημένες μπαταρίες, διάφορες ηλεκτρονικές διατάξεις και το radiomodem. Το radiomodem χρησιμεύει στην επικοινωνία του σταθμού με τον σταθμό ελέγχου του συστήματος. Το βάθρο χρησιμεύει για την ευστάθεια του πλωτήρα και τη διευκόλυνση της συντήρησης του σταθμού μετρήσεων. Η συγκράτηση του βάρου στη θάλασσα γίνεται με τη βοήθεια έρματος. Σε μια άκρη του βάρου αναρτώνται τα αισθητήρια, με τη βοήθεια των οποίων γίνονται μετρήσεις αγωγιμότητας, θερμοκρασίας, διαλυμένου οξυγόνου, pH, θολότητας. Ο ιστός είναι τοποθετημένος επάνω στο βάθρο και στην κορυφή του έχει αναρτηθεί κεραία. Ο κεντρικός σταθμός ελέγχου είναι εγκατεστημένος σε κτίριο του ΟΑΘ στην παραλία της Θεσσαλονίκης και αποτελείται από το υπολογιστικό σύστημα και το σύστημα επικοινωνιών με radiomodem. Τα στοιχεία από τους σταθμούς αποθηκεύονται στο σύστημα και χαρτογραφείται ο κόλπος ανάλογα με τα ρεύματα κατά εποχές, ώστε να διευκολυνθεί η σχεδίαση παρεμβάσεων (αποχετευτικοί αγωγοί κ.λ.π.).

Για τον έλεγχο και την επεξεργασία των αποβλήτων έχει μελετηθεί και σχεδιαστεί από το ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ σε συνεργασία με το Πανεπιστήμιο Πειραιά ένα σύστημα SCADA , το οποίο ελέγχει παράλληλες δεξαμενές αερόβιας επεξεργασίας αποβλήτων με ενεργό ιλύ και φύκη. Η αερόβια επεξεργασία υγρών αποβλήτων γίνεται σε δυο υποσυστήματα δεξαμενών τα οποία λειτουργούν παράλληλα .Στο πρώτο γίνεται επεξεργασία με τη μέθοδο της ενεργού ιλύος ( χρήση δευτεροβάθμιου παχυντή στη σειρά και ανακύκλωση ) και στο δεύτερο ( δεξαμενές τύπου HRAP ) αναπτύσσονται φύκη , τα οποία καταναλώνουν CO<sub>2</sub> ( προϊόν πλήρους αποδόμησης των οργανικών αποβλήτων από τους μικροοργανισμούς ) και παράγουν οξυγόνο , το οποίο καταναλώνουν με τη σειρά τους οι μικροοργανισμοί , οι οποίοι αναπτύσσονται πάνω στο θρεπτικό υπόστρωμα των οργανικών αποβλήτων ( συμβιωτική σχέση ).Το σύστημα αυτό της επεξεργασίας αποβλήτων είναι ιδιαίτερα ευέλικτο και προσαρμόζεται εύκολα κατά την διάρκεια του έτους ,όπως συμβαίνει συχνά με τα νησιά και τα τουριστικά θέρετρα . Κατά την πρωτοβάθμια επεξεργασία των αποβλήτων γίνεται διαχωρισμός των συμπαρασυρόμενων στερεών με σχάρες, απολίπανση , καθίζηση με κροκίδωση και στεθεροποίηση . Η απομακρυνόμενη μάζα ως πρωτοβάθμια ιλύς εκτιμάται σε 2% της παροχής εισροής . Η δευτεροβάθμια επεξεργασία συνιστάται σε σύστημα ενεργού ιλύος ( βιοαντιδραστήρας τύπου CFSTR και δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης ) που λειτουργεί παράλληλα με υποσύστημα τεσσάρων αβαθών ανοικτών δεξαμενών τύπου HRAP . Οι δεξαμενές αυτές επεξεργάζονται απόβλητα μόνο κατά τη θερινή – τουριστική περίοδο , ενώ κατά τον υπόλοιπο χρόνο χρησιμοποιούνται ως ιχθυοκαλλιεργητικές δεξαμενές . Η τριτοβάθμια επεξεργασία περιλαμβάνει δεξαμενές ωρίμανσης , χλωρίωσης – αποστείρωσης και τελικής διαύγασης . Τέλος , η επεξεργασία της ιλύος ,



που προέρχεται από την πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια καθίζηση , γίνεται σε ένα υποσύστημα διδύμων αναεροβίων χωνευτών , οπότε παράγεται βιοαέριο , το οποίο χρησιμοποιείται για την ενίσχυση του ενεργειακού ισοζυγίου της εγκατάστασης . Η λειτουργία της εγκατάστασης παρακολουθείται και ελέγχεται με την εφαρμογή συστήματος SCADA , το οποίο ρυθμίζει τις τιμές των διαφόρων μεταβλητών και παραμέτρων του συστήματος . Η στρατηγική ελέγχου αποβλέπει σε λειτουργία της εγκατάστασης σε συνθήκες πλησίον της σταθεροποιημένης κατάστασης (near - steady - state conditions) και τη διατήρηση των τιμών των παραμέτρων των επεξεργασμένων αποβλήτων σε περιοχές που προκαθορίζονται σύμφωνα με τα περιβαλλοντικά πρότυπα . Ο έλεγχος της ευαισθησίας του συστήματος έδειξε ότι το σύστημα αποφεύγει τις ανεξέλεγκτες μονότονες αποκλίσεις προς περιοχές εκτός ελέγχου , όσο και τις αποκλίνουσες ταλαντώσεις , που συμβαίνουν όταν επιχειρούνται μη συντονισμένες διορθωτικές κινήσεις , αυξάνοντας την αξιοπιστία του συστήματος χωρίς να χρειάζεται εξειδικευμένο τεχνικό προσωπικό , το οποίο δεν είναι διαθέσιμο κατά κανόνα στα νησιά και στα θέρετρα της πατρίδας μας .

## 7.6 ΈΛΕΓΧΟΣ ΑΤΜΟΛΕΒΗΤΩΝ

Στις χημικές βιομηχανίες, βιομηχανίες τροφίμων , στην παραγωγή χάρτου και σε άλλες παρεμφερείς εγκαταστάσεις ο ατμός χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο ως μέσο μεταφοράς θερμότητας από ένα κεντρικό λέβητα προς επιμέρους διεργασίες μέσα από δίκτυο μονωμένων σωληνώσεων.

Για την μέτρηση της θερμοκρασίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν θερμοστάτες ( ένδειξη ON-OFF ) , θερμομέτρα αντιστάσεως λευκοχρύσου, θερμοζεύγη ή θερμίστορες. Η μέτρηση της πίεσης μπορεί να γίνει με πιεζοστάτη ( ένδειξη ON-OFF ) ή ηλεκτρονικά μανόμετρα. Η μέτρηση στάθμης γίνεται με ποτενσιομετρικές διατάξεις και οι μετρήσεις συστάσεως καυσαερίων με ηλεκτρονικά αισθητήρια. Η επιτήρηση της φλόγας γίνεται με αισθητήρια ακτινοβολίας ( υπερύθρου για υγρά καύσιμα , υπεριώδους για αέρια που δεν έχουν φωτεινή φλόγα) ή έμμεσα με την μέτρηση της θερμοκρασίας.

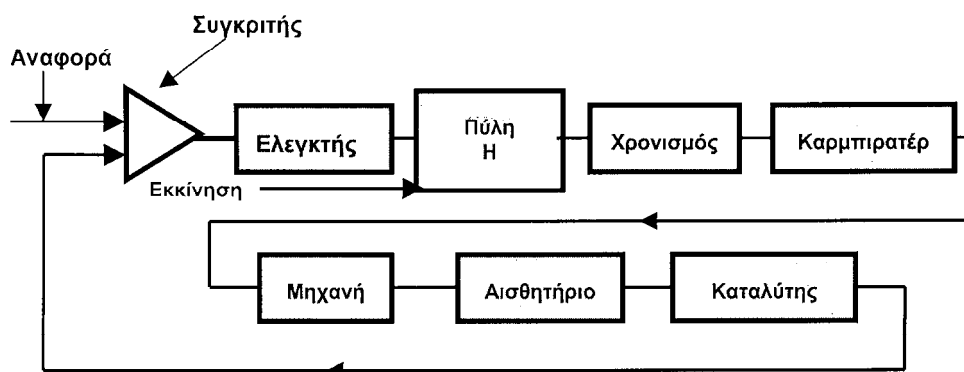
Για την ορθή λειτουργία των λεβήτων υπάρχουν αυτοματισμοί ασφαλείας, συνεργασίας με καταναλωτές και δίκτυα, εξοικονόμηση ενέργειας και εκκίνησης καυστήρα. Οι αυτοματισμοί ασφαλείας στοχεύουν στην ασφαλή λειτουργία του λέβητα και αποφυγή εκρήξεως . Η λειτουργία τους βασίζεται στη διακοπή της παροχής καυσίμου, όταν η πίεση του ατμού υπερβεί κάποιο όριο, όταν η στάθμη του νερού κατέλθει ώστε να κινδυνεύουν να αποκαλυφθούν οι αυλοί και ο φλογοθάλαμος, καθώς και όταν διαπιστωθεί σβήσιμο της φλόγας. Στους λέβητες στερεών καυσίμων με εσχάρα η διακοπή τροφοδοσίας καυσίμου δεν είναι αρκετή. Για το λόγο αυτό κλείνονται ταυτόχρονα και δίκτυα, συγκαταλέγεται ο έλεγχος παροχής

καυσίμου και ο έλεγχος της στάθμης στο λέβητα, ώστε όταν υπάρχει αυξημένη ζήτηση να ρυθμίζεται και η παροχή νερού προς τον λέβητα.

Οι αυτοματισμοί εξοικονόμησης ενέργειας αναφέρονται στη ρύθμιση της περίσσειας αέρα για οικονομική λειτουργία του ατμολέβητα, με μέτρηση του διοξειδίου του άνθρακα ή του οξυγόνου στα καυσαέρια. Οι αυτοματισμοί εκκίνησης καυστήρα εξασφαλίζουν την ορθή ακολουθία ενεργειών για την αυτόματη ανάφλεξη του καυστήρα. Σε μικρούς καυστήρες με ενσωματωμένο ανεμιστήρα ( όπως και στους οικιακούς λέβητες ζεστού νερού ) οι διατάξεις αυτές είναι ενσωματωμένες στον καυστήρα. Στους μεγάλους λέβητες με καύσιμο αέριο ή πετρέλαιο diesel οι αυτοματισμοί καύσεως εξασφαλίζουν ότι πρώτα θα ενεργοποιηθεί ο ανεμιστήρας και θα καθαρίσει τον λέβητα από τα υπολείμματα καυσίμου , κατόπιν θα αρχίσει η τροφοδοσία υγρού ή αερίου καυσίμου με ταυτόχρονη λειτουργία του ηλεκτρικού συστήματος σπινθήρα εκκίνησης. Σε περίπτωση αποτυχίας εκκίνησης η διαδικασία επαναλαμβάνεται αυτόματα , αφού σταματήσει η ροή καυσίμου και αφεθεί σε λειτουργία ο ανεμιστήρας για κάποιο χρόνο. Οι λέβητες με καύσιμο μαζούτ έχουν αρκετές δυσκολίες στην εκκίνηση τους και συχνά υπάρχουν διατάξεις προθέρμανσης με πετρέλαιο diesel καθώς και φλόγες πιλότοι. Η υλοποίηση των αυτοματισμών αυτών μπορεί να γίνει με προγραμματιζόμενους ελεγκτές ή άλλα υπολογιστικά συστήματα εφοδιασμένα με κατάλληλα στοιχεία υλικού λογισμικού.

## 7.7 ΈΛΕΓΧΟΣ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ

Ο έλεγχος των αυτοκινήτων αναφέρεται σε διάφορα συστήματα του αυτοκινήτου, όπως η μηχανή, το σύστημα πέδησης, το σύστημα πλοήγησης, το σύστημα κλιματισμού κ.α.



**Σχήμα 7.7.1 Σύστημα Ελέγχου Χρονισμού Μηχανής**

Ο έλεγχος της μηχανής σχετίζεται με την αριστοποίηση της καύσης και τη μείωση των εκπομπών ρύπων . Ο έλεγχος αυτός είναι υποχρεωτικός σήμερα και υλοποιείται με εξελιγμένα ηλεκτρονικά συστήματα. Οι βλαβερές ουσίες στα καυσαέρια των αυτοκινήτων είναι κυρίως οι υδρογονάνθρακες ( HC), το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και τα οξειδία του αζώτου (NO<sub>x</sub>). Τα δύο πρώτα οφείλονται στην ατελή καύση της βενζίνης και το τρίτο είναι φυσικό παραπροϊόν της καύσης.

Τα συστήματα ελέγχου υλοποιούν διάφορες τεχνικές για τη ρύθμιση του καυσίμου μίγματος , του χρόνου που παράγεται ο σπινθήρας, του ποσοστού επανακυκλοφορούντος καυσαερίου της λειτουργίας του καταλύτη κ.α. Στο Σχ. 7.6.1 εικονίζεται το σχηματικό διάγραμμα καταλύτη του συστήματος ελέγχου της μηχανής . Διακρίνουμε ένα ανοικτό βρόχο για την διαδικασίας της εκκίνησης και ένα κλειστό βρόχο για την κανονική λειτουργία της μηχανής ( σε θερμοκρασία λειτουργίας ).

Τα συστήματα που ελέγχουν σήμερα τη συμπεριφορά του αυτοκινήτου γίνονται όλο και πιο πολύπλοκα. Τα συστήματα αυτά συμπληρώνονται από τα συστήματα ελέγχου κυκλοφορίας (έλεγχος σηματοδοτών, έλεγχος ταχύτητας, έλεγχος ροής κ.α.). Για την υλοποίηση τέτοιου είδους συστημάτων απαιτείται η ανάπτυξη μεγάλων καταναμημένων συστημάτων συλλογής δεδομένων και ελέγχου με δυνατότητες εφαρμογής διαφόρων τρόπων και στρατηγικών ελέγχου με δυνατότητες εφαρμογής διαφόρων τρόπων και στρατηγικών ελέγχου. Τα πλέον σύγχρονα συστήματα προσανατολίζονται προς ολικό έλεγχο της κίνησης , ιδιαίτερα σε αρτηρίες με πολύ πυκνή κίνηση , όπου το σύστημα ελέγχου θα διασφαλίζει την ομαλή και ασφαλή κυκλοφορία των αυτοκινήτων. Ιδέες για την ανάπτυξη τέτοιων συστημάτων έχουν προκύψει από την ανάπτυξη παρόμοιων συστημάτων για τον έλεγχο των σιδηροδρομικών μεταφορών και τον έλεγχο της εναέριας κυκλοφορίας, όπου ο βαθμός αυτοματοποίησης είναι πάρα πολύ υψηλός.

### **ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ**

Σε πολλούς οικιακούς αυτοματισμούς χρησιμοποιείται on/off έλεγχος. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι διακόπτες (χρονικοί, επαφικοί, επαγωγικοί). Σε άλλους όμως έχουμε συστήματα ελέγχου κλειστού βρόχου με αναλογικά αισθητήρια μέτρησης (έλεγχος θέρμανσης, κλιματισμού, φωτισμού).

Κατά την διαχείριση υγρής πρώτης ύλης, συνήθως μας απασχολούν προβλήματα ελέγχου στάθμης σε μια ή περισσότερες δεξαμενές.

Για τον έλεγχο των καυσαερίων ενός αυτοκινήτου ελέγχονται αρκετοί παράμετροι, όπως το μίγμα του καυσίμου, ο χρόνος που παράγεται ο σπινθήρας , το ποσοστό του καυσαερίου που επανακυκλοφορεί, κ.ά.

## 7.8 ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

### A. Να απαντήσετε συνοπτικά στις ερωτήσεις

1. Αναφέρετε οικιακούς αυτοματισμούς που υλοποιούνται με απλό on/off έλεγχο.
2. Να γίνουν τα διαγράμματα ροής στις εφαρμογές που παρουσιάζονται στην παράγραφο 7.2
3. Αναφέρετε ποιοι παράγοντες ελέγχονται και με ποιο τρόπο σε ένα διυλιστήριο πόσιμου ύδατος.
4. Αναφέρετε τρόπους ελέγχου της στάθμης ενός υγρού που βρίσκεται σε μια δεξαμενή.
5. Ποιοι παράγοντες ελέγχονται για να εξασφαλιστεί η χαμηλή εκπομπή ρύπων ενός αυτοκινήτου;

### B. Να συμπληρώσετε τα κενά στις προτάσεις

1. Σε ένα κύκλωμα ελέγχου φωτισμού με χρήση ..... σαν ενεργοποιητής χρησιμοποιείται ....., ενώ σε ένα σύστημα αυτομάτου ποτίσματος χρησιμοποιείται .....
2. Οι αυτοματισμοί εξοικονόμησης ενέργειας αναφέρονται στη ρύθμιση της .... για οικονομική λειτουργία του ατμολέβητα, με μέτρηση του .... ή του ..... στα καυσάερια.
3. Ο έλεγχος περιβάλλοντος αναφέρεται κυρίως στον έλεγχο της .... του ..... και στον έλεγχο των .....

### Γ. Να επιλέξετε την σωστή απάντηση στις ερωτήσεις

1. Μια ηλεκτροβάννα σε ένα σύστημα αυτομάτου ελέγχου λειτουργεί σαν
  - i. αισθητήριο
  - ii. ενεργοποιητής
  - iii. μονάδα τοποθέτησης επιθυμητής τιμής
2. Οι θερμοστάτες χρησιμοποιούνται
  - i. για on/off έλεγχο θερμοκρασίας
  - ii. για μέτρηση θερμοκρασίας
  - iii. για μετατροπή αναλογικού σήματος σε ψηφιακό
3. Η λειτουργία ενός συστήματος αυτόνομης θέρμανσης είναι
  - i. κλειστού βρόχου
  - ii. ανοικτού βρόχου
  - iii. άλλοτε κλειστού και άλλοτε ανοικτού βρόχου
4. Ποια από τις παρακάτω βαθμίδες δεν υπάρχει στο σύστημα ελέγχου των καυσαερίων ενός αυτοκινήτου
  - i. πύλη OR
  - ii. πύλη AND
  - iii. πύλη NOT

## 8. ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

### ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ ΚΑΙ ΜΑΘΗΣΙΑΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ

Σκοπός του κεφαλαίου είναι να παρουσιαστούν ορισμένα εξελιγμένα συστήματα αυτοματισμού που εφαρμόζονται ευρέως στην παραγωγή. Τέτοια συστήματα είναι τα συστήματα συναρμολόγησης, τα αριθμητικά συστήματα ελέγχου, τα ρομποτικά συστήματα, συστήματα χειρισμού και αποθήκευσης, ευέλικτα συστήματα παραγωγής, συστήματα ποιοτικού ελέγχου, συστήματα αναγνώρισης υπογραφών και μορφών, καθώς και συστήματα σχεδίασης και με χρήση Ηλεκτρονικών Υπολογιστών.

Στόχος του κεφαλαίου είναι να γνωρίσει ο μαθητής εφαρμογές των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου στην βιομηχανία και την παραγωγή.

### 8.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο **Βιομηχανικός Έλεγχος** απασκοπεί στην αξιοποίηση μηχανικών, ηλεκτρικών, ηλεκτρονικών και υπολογιστικών συστημάτων στη βιομηχανική παραγωγή. Η σχετική τεχνολογία αναφέρεται σε μηχανές επεξεργασίας και συναρμολόγησης, ρομποτικά συστήματα, συστήματα χειρισμού και αποθήκευσης, συστήματα ελέγχου ποιότητας, συστήματα συλλογής δεδομένων και ελέγχου της παραγωγικής διαδικασίας.

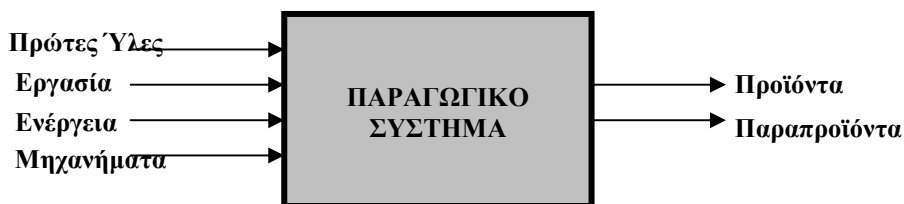
Ο τύπος του αυτοματισμού που εφαρμόζεται σε κάθε παραγωγική εγκατάσταση εξαρτάται από την τεχνολογία που χρησιμοποιείται και τον τρόπο που σχεδιάζεται η παραγωγή. Όταν η ακολουθία των επεξεργασιών είναι προκαθορισμένη και δεν προβλέπεται οποιαδήποτε μεταβολή της κατά την παραγωγική διαδικασία αναφερόμαστε σε **προκαθορισμένο αυτοματισμό**. Αυτό σημαίνει ότι η γραμμή παραγωγής έχει σχεδιασθεί για το συγκεκριμένο σκοπό και τα μηχανήματα έχουν συναρμολογηθεί με σταθερό τρόπο, ώστε να επιτυγχάνονται μεγάλοι ρυθμοί παραγωγής. Στην περίπτωση αυτή το παραγωγικό σύστημα δεν προσφέρει ευελιξία, ακόμη και σε αλλαγές του τύπου του παραγόμενου προϊόντος. Ο τύπος αυτός του αυτοματισμού είναι κατάλληλος για προϊόντα με μεγάλη και σταθερή ζήτηση.

Στον **προγραμματιζόμενο αυτοματισμό** το παραγωγικό σύστημα σχεδιάζεται με δυνατότητα ν' αλλάξει η ακολουθία των διαδικασιών, ώστε να μπορεί να γίνει παραγωγή περισσότερων του ενός προϊόντων από το ίδιο παραγωγικό σύστημα. Η ακολουθία των διαδικασιών ελέγχεται από ένα πρόγραμμα παραγωγής και υλοποιείται από ένα σύστημα με μηχανήματα γενικού σκοπού, τα οποία συναρμολογούνται κατάλληλα, ώστε να επιτευχθεί η παραγωγή του εκάστοτε επιθυμητού προϊόντος. Ο τύπος αυτός είναι κατάλληλος για την παραγωγή προϊόντων με μεσαία και χαμηλή ζήτηση, οπότε γίνεται παραγωγή μιας ποικιλίας προϊόντων κατά παρτίδες. Η χρήση νέας τεχνολογίας στον τύπο αυτό του αυτοματισμού προσφέρει μεγάλη

ευελιξία στο παραγωγικό σύστημα και δίνει τη δυνατότητα να παρασκευάζονται προϊόντα με ενδιάμεσους ρυθμούς παραγωγής και οικονομικούς όρους που πλησιάζουν προς τους όρους του προκαθορισμένου αυτοματισμού, ενώ παράλληλα υπάρχει η δυνατότητα μεγάλης διαφοροποίησης των παραγόμενων προϊόντων.

## 8.2 ΚΛΑΣΣΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

Σ' ένα παραγωγικό σύστημα προσφέρονται στην είσοδο του πρώτες ύλες, εργασία, ενέργεια, μηχανήματα και εγκαταστάσεις και αναμένουμε απ' αυτό προϊόντα. Κατά κανόνα στην έξοδο του συστήματος εμφανίζονται παραπροϊόντα (σχήμα 8.2.1). Παραδοσιακά στόχος του αυτοματισμού ήταν η καλύτερη αξιοποίηση των εισόδων του συστήματος με την έννοια της αύξησης της απόδοσης του συστήματος. Αυτό σημαίνει περισσότερα προϊόντα ανά μονάδα εισόδου και με σύγχρονη μείωση του απαιτούμενου χρόνου. Παράλληλα επιδιώκεται ο περιορισμός των παραπροϊόντων, τα οποία επιβαρύνουν το περιβάλλον και των οποίων η διαχείριση, στις περισσότερες περιπτώσεις, συνεπάγεται πρόσθετο κόστος.

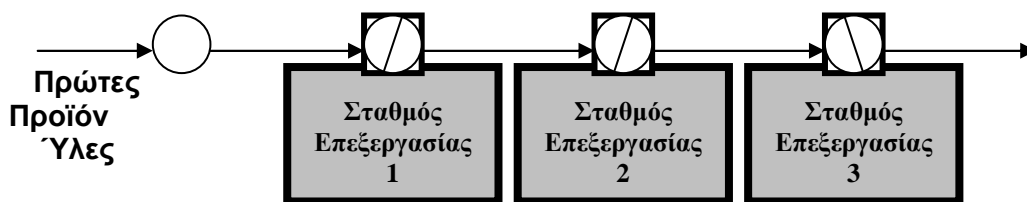


Σχ.8.2.1. Μοντέλο παραγωγικού συστήματος

Σ' ότι αφορά τον όγκο παραγωγής διακρίνουμε τα συστήματα από τον ρυθμό και το είδος της παραγωγής σε διάφορες κατηγορίες. Η παραγωγή των περισσότερων καταναλωτικών προϊόντων γίνεται με τη **διαδικασία παραγωγής κατά παρτίδες** (batch production). Όταν το μέγεθος της παρτίδας αυξάνει μεταβαίνουμε στην **μαζική παραγωγή των αγαθών** (mass production). Όταν αυτή αναφέρεται σε παραγωγή διακριτών προϊόντων αναφέρεται σαν **επαναληπτική παραγωγή** (repetitive), ενώ αν αναφέρεται σε συνεχή επεξεργασία ρευστών κυρίως πρώτων υλών ονομάζεται **παραγωγή συνεχούς ροής** (continuous flow). Ο αυτοματισμός που εφαρμόζεται στις διάφορες περιπτώσεις διαφοροποιείται ανάλογα με τις ανάγκες. Αναφερόμενοι στην παραγωγή διακριτών προϊόντων θα διακρίναμε τις λειτουργίες της επεξεργασίας, συναρμολόγησης, χειρισμού και αποθήκευσης, επιθεώρησης και ελέγχου. Ο αυτοματισμός έρχεται να υπηρετήσει όλες τις επιμέρους λειτουργίες και να τις εναρμονίσει, ώστε να προκύψει το βέλτιστο δυνατό αποτέλεσμα. Για τη μαζική παραγωγή των αγαθών επιλέγεται συνήθως ο **προκαθορισμένος αυτοματισμός**, ενώ για

την παραγωγή κατά παρτίδες επιλέγεται σήμερα ο **ευέλικτος αυτοματισμός**, ώστε να είναι δυνατή η παραγωγή αγαθών σύμφωνα με τις διαφοροποιούμενες ανάγκες της αγοράς.

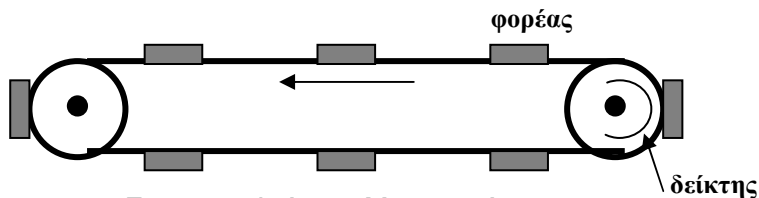
Η παραδοσιακή έννοια του αυτοματισμού είναι συνδεδεμένη με την αυτοματοποιημένη γραμμή παραγωγής (σχήμα 8.2.2), όπου οι διαδικασίες ελέγχονταν με τη βοήθεια ηλεκτρομηχανικών συστημάτων. Σε κάθε γραμμή, όπου μεταφέρονται αντικείμενα προς επεξεργασία, διακρίνουμε διάφορους σταθμούς επεξεργασίας, οι οποίοι δραστηριοποιούνται διαδοχικά στο ίδιο αντικείμενο, καθώς αυτό διέρχεται απ’



Σχ. 8.2.2. Αυτοματοποιημένη Γραμμή Παραγωγής

αυτούς, ώστε να προκύψει το τελικό προϊόν. Οι γραμμές παραγωγής μπορούν να έχουν διάφορα σχήματα (ευθύγραμμες, κυκλικές, κ.λ.π.), ώστε να εξυπηρετήσουν τις αναγκαίες επεξεργασίες μειώνοντας το εργατικό κόστος, αυξάνοντας το ρυθμό παραγωγής, ελαχιστοποιώντας τους χρόνους μεταξύ διαδοχικών επεξεργασιών και προσαρμοζόμενες προς τις φυσικές διαστάσεις της εγκατάστασης. Η μεταφορά των αντικειμένων μπορεί να είναι συνεχής, σύγχρονη ή ασύγχρονη. Στη **συνεχή μεταφορά** τα αντικείμενα έχουν σταθερή ταχύτητα, στη σύγχρονη μεταφορά τα αντικείμενα μεταφέρονται με διακριτά βήματα, στα διαλείμματα των οποίων υφίστανται επεξεργασία, ενώ στην **ασυνεχή μεταφορά** η κίνηση του κάθε αντικειμένου είναι ανεξάρτητη από την κίνηση των άλλων, με την έννοια ότι το αντικείμενο μεταφέρεται εφόσον έχει τελειώσει η επεξεργασία του στον τρέχοντα σταθμό επεξεργασίας.

Οι γραμμές μεταφοράς των αντικειμένων μπορεί να είναι γραμμικές (ράβδοι, ιμάντες κ.λπ.) ή μηχανισμοί με περιστροφή και μπορεί να διακόπτονται από συστήματα προσωρινής αποθήκευσης (buffers), ώστε να εξομαλύνεται η ροή των



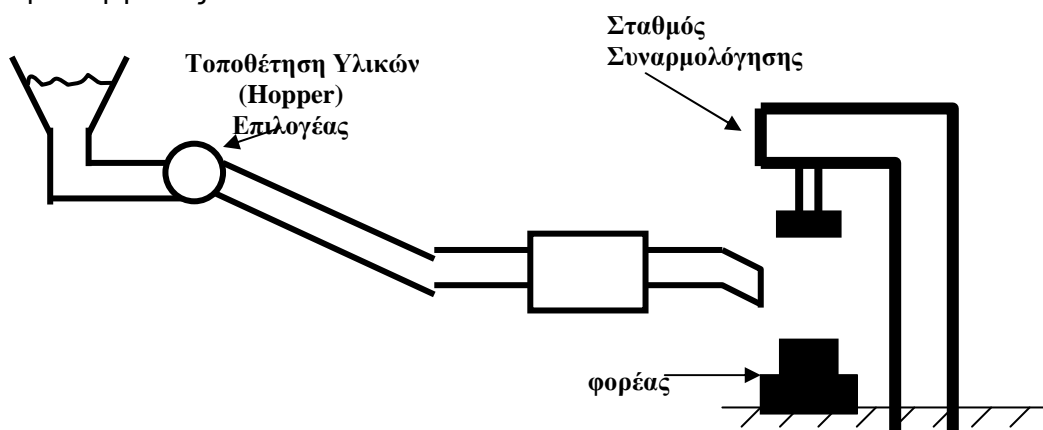
Σχ. 8.2.3. Ιμάντας Μεταφοράς

αντικειμένων μεταξύ των διαφόρων σταθμών επεξεργασίας. Στο σχήμα 8.2.3 φαίνεται σχηματικά ένας ιμάντας μεταφοράς. Ο έλεγχος της ακολουθίας των διαφόρων γεγονότων (sequence control) κατά τη λειτουργία της γραμμής γίνεται με συστήματα τα οποία εξασφαλίζουν τον κατάλληλο χρονισμό και την απαραίτητη ακρίβεια των λειτουργιών, ενώ επιτρέπουν το έλεγχο ασφάλειας και ποιότητας της παραγωγής.

### 8.3 ΑΥΤΟΜΑΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗΣ

Οι μέθοδοι συναρμολόγησης μπορούν να διακριθούν σε μεθόδους **μηχανικής πρόσδεσης**, σε μεθόδους **συγκόλλησης** και σε μεθόδους με **πρόσθετα προϊόντα**. Οι μέθοδοι μηχανικής πρόσδεσης αφορούν μηχανικές μεθόδους, όπως συναρμολόγηση με τη χρήση βιδών κ.λπ., συναρμολόγηση με πρεσσάρισμα κ.α. Οι μέθοδοι συγκόλλησης (τόξου, ακτίνας laser, ακτίνας ηλεκτρονίων κ.λπ.) αποσκοπούν στη σταθερή συνένωση μεταλλικών, κυρίως, μερών με τη σταθερή ένωση τους σε υγρή φάση, είτε απ' ευθείας, είτε χρησιμοποιώντας ενδιάμεσο μεταλλικό φύλλο. Οι μέθοδοι συναρμολόγησης με πρόσθετα αφορούν μεθόδους στις οποίες χρησιμοποιούνται θερμοπλαστικά ή εποχικά υλικά σε υψηλές θερμοκρασίες για τη συνένωση των μερών.

Τα συστήματα συναρμολόγησης μπορεί να υφίστανται χειρισμό από υπεύθυνο εργαζόμενο (manual assembly lines) ή να είναι πλήρως αυτοματοποιημένα. Στην περίπτωση αυτή η όλη εργασία διευκολύνεται τυποποιώντας τη σχεδίαση και την όλη εργασία της συναρμολόγησης σύμφωνα με πρότυπα που έχουν προκύψει από τη μελέτη των προβλημάτων, ώστε να είναι δυνατή και αποδοτική η χρήση της νέας τεχνολογίας, όπως η χρήση ρομποτικών συστημάτων και των σύγχρονων σταθμών εργασίας.



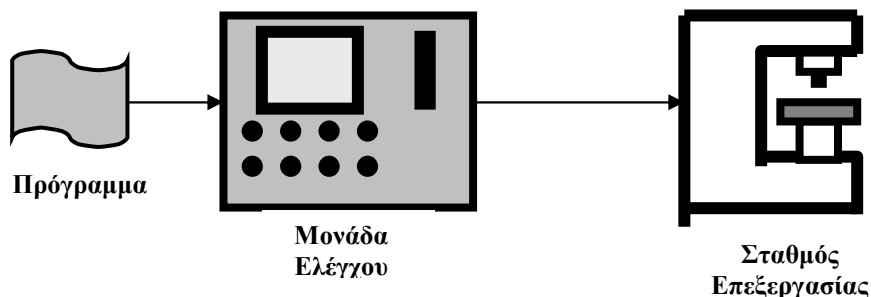
Σχ. 8.3.1. Τυπική Μορφή Σταθμού Συναρμολόγησης



Για την τροφοδοσία του σταθμού εργασίας με τα διάφορα εξαρτήματα χρησιμοποιούνται διάφορα συστήματα. Ένα τυπικό σύστημα που χρησιμοποιεί τη βαρύτητα εικονίζεται στην Εικ. 8.3.1. Ο επιλογέας επιτρέπει μόνο στα εξαρτήματα με τον ορθό προσανατολισμό να προωθηθούν προς τον σταθμό συναρμολόγησης, ενώ ο τροφοδότης των υλικών τροφοδοτείται περιοδικά με τα διάφορα εξαρτήματα. Ασφαλώς για κάθε σταθμό συναρμολόγησης μπορεί να έχουμε περισσότερους από ένα τροφοδότες, ενώ οι διάφοροι σταθμοί μπορούν να απαρτίζουν γραμμή συναρμολόγησης με συνεχή, σύγχρονη ή ασύγχρονη μεταφορά των αντικειμένων.

#### 8.4 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ

Ο **Αριθμητικός Έλεγχος** (Numerical Control – NC) είναι μια μορφή προγραμματιζόμενου αυτοματισμού, όπου η επεξεργασία ελέγχεται με τη βοήθεια αριθμών, γραμμάτων και άλλων συμβόλων. Οι αριθμοί, τα γράμματα και τα σύμβολα κωδικοποιούνται κατάλληλα, ώστε να προκύψει ένα πρόγραμμα, το οποίο περιλαμβάνει εντολές που αναφέρονται σε μια επεξεργασία.

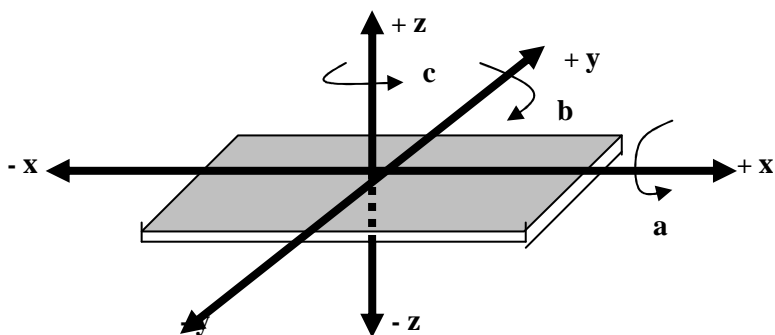


Σχ. 8.4.1. Βασικά Μέρη Συστήματος Αριθμητικού Ελέγχου

Για κάθε επεξεργασία συντίθεται το κατάλληλο πρόγραμμα και με την εναλλαγή των προγραμμάτων ο ίδιος σταθμός επεξεργασίας μπορεί να επιτελέσει διάφορες λειτουργίες. Η μονάδα ελέγχου του αριθμητικού συστήματος χρησιμεύει για τη μετατροπή των εντολών του προγράμματος σε μηχανική δράση εκ μέρους του σταθμού επεξεργασίας. Στο σχήμα 8.4.1 εικονίζονται τα βασικά μέρη από τα οποία αποτελείται ένα σύστημα αριθμητικού ελέγχου.

Σ' ένα δράπανο ελεγχόμενο αριθμητικά ο άξονας ευρίσκεται σε σταθερή οριζόντια θέση και η τράπεζα εργασίας μετακινείται οριζόντια σε σχέση με τον άξονα. Για διευκόλυνση του προγραμματισμού θεωρούμε ότι το προς επεξεργασία αντικείμενο (και η τράπεζα εργασίας πάνω στην οποία θεωρείται το αντικείμενο) είναι σταθερό και ότι το εργαλείο, το οποίο

κάνει την επεξεργασία, μετακινείται. Έτσι το σύστημα συντεταγμένων θεωρείται προσδεδμεμένο στην τράπεζα εργασίας (Βλ. Εικ. 8.4.2.).



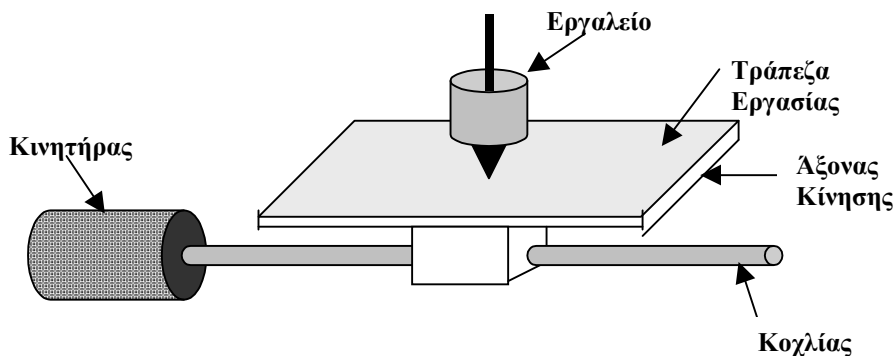
Σχ. 8.4.2. Σύστημα Συντεταγμένων για Σύστημα Αριθμητικού Ελέγχου

Οι τρεις άξονες περιστροφής  $a$ ,  $b$ ,  $c$  χρησιμεύουν για τον ορισμό των γωνιών περιστροφής σύμφωνα με τον κανόνα του δεξιού χεριού, όπου ο αντίχειρας θεωρείται ότι δείχνει προς τη θετική κατεύθυνση σε κάθε άξονα. Σε σταθμούς με τόρνο δύο μόνο άξονες φθάνουν για την περιγραφή της διαδικασίας (το προς κατεργασία αντικείμενο στερεώνεται με τον άξονα συμμετρίας του στην διεύθυνση  $X$  που είναι και η διεύθυνση κίνησης για το κοπτικό εργαλείο ενώ  $Z$  είναι η διεύθυνση για το βάθος κοπής).

Το σύστημα συντεταγμένων χρησιμεύει για την αναφορά της θέσης του εργαλείου σε σχέση με το αντικείμενο της επεξεργασίας. Ανάλογα με τον τύπο του συστήματος αριθμητικού ελέγχου, ο προγραμματιστής έχει διάφορες δυνατότητες καθορισμού της θέσης. Μια δυνατότητα σχετίζεται με τη σταθεροποίηση της αρχής του συστήματος αναφοράς (fixed zero) στην κάτω αριστερή γωνία της τράπεζας εργασίας (σχήμα 8.4.3). Στις πιο σύγχρονες μηχανές χρησιμοποιείται σύστημα κινητής αρχής (floating zero), το οποίο επιτρέπει στον προγραμματιστή να θεωρήσει ως αρχή του συστήματος συντεταγμένων οποιοδήποτε σημείο επιθυμεί π.χ. το κέντρο συμμετρίας του αντικειμένου.

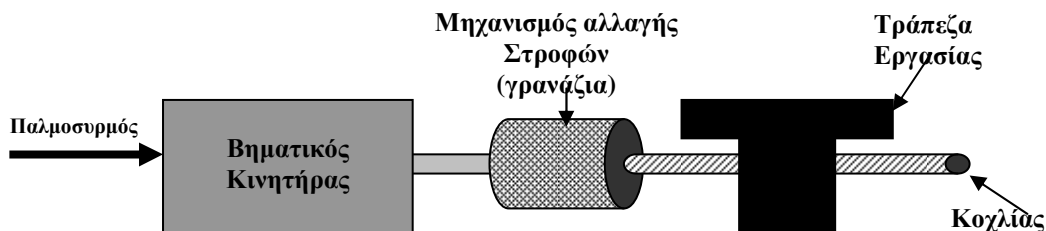
Το εργαλείο μπορεί να μετακινείται από **σημείο σε σημείο** (point – to – point), να κινείται ευθύγραμμα και παράλληλα προς έναν άξονα με ελεγχόμενη ταχύτητα ή να κινείται σε μια τροχιά (συνδυασμός και των δύο προηγούμενων κινήσεων), γεγονός που παρέχει μεγάλη ευελιξία κατά την επεξεργασία.

Η κίνηση σε κάθε άξονα γίνεται με τη βοήθεια ενός ηλεκτρικού (dc ή βηματικού) κινητήρα ή υδροπνευματικού συστήματος.



Σχ. 8.4.3. Διάταξη εργαλείου-τράπεζας και καθορισμός άξονα κίνησης

Στην περίπτωση των κινητήρων, η περιστροφή του άξονα συμπαρασύρει σε περιστροφή ένα κοχλία, ο οποίος προκαλεί την μετακίνηση μιας τράπεζας εργασίας κατά μήκος του. Ο έλεγχος της θέσης της τράπεζας εργασίας γίνεται με τη βοήθεια ενός ανοικτού ή κλειστού συστήματος αυτόματου ελέγχου.



Σχ. 8.4.4. Ανοικτό Σύστημα Ελέγχου Αριθμητικού Συστήματος

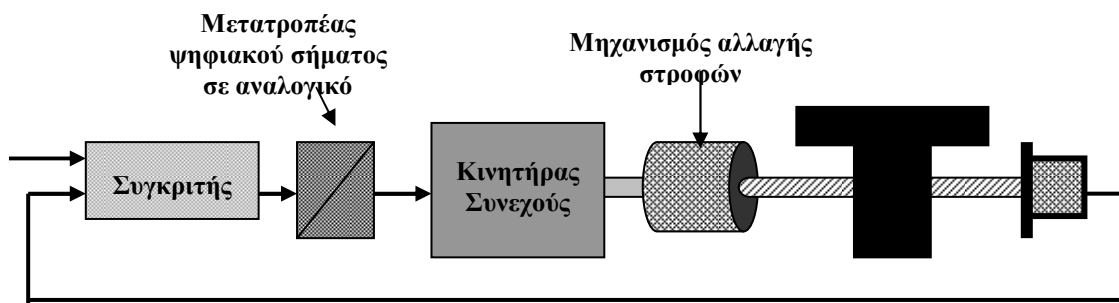
Στο ανοικτό σύστημα (σχήμα 8.4.4) δεν υπάρχει ανατροφοδότηση και χρησιμοποιούνται συνήθως βηματικοί κινητήρες, οι οποίοι τροφοδοτούνται από παλμούς, καθένας των οποίων έχει σαν αποτέλεσμα την περιστροφή του άξονα του κινητήρα κατά ορισμένη γωνία. Για παράδειγμα, αν σε ένα σύστημα δεν υπάρχει μηχανισμός αλλαγής στροφών και με την εφαρμογή 200 παλμών η τράπεζα εργασίας προχωρήσει κατά 3.0 mm, το ελάχιστο βήμα δηλαδή, η απόσταση που διανύει η τράπεζα με την εφαρμογή ενός παλμού προκύπτει ότι είναι:

$$3.0\text{mm} / 200 = 0.015\text{mm}$$

Σ' ένα κλειστό σύστημα ελέγχου θέσης της τράπεζας του αριθμητικού συστήματος (σχήμα 8.4.5) προκύπτει ανατροφοδότηση από την μέτρηση της πραγματικής θέσης της τράπεζας με τη βοήθεια κατάλληλου

αισθητηρίου. Το σήμα της ανατροφοδότησης συγκρίνεται με την αναφορά (είσοδο) του συστήματος, η διαφορά μετατρέπεται σε αναλογικό σήμα από μετατροπέα ψηφιακού σήματος σε αναλογικό, το οποίο τροφοδοτεί τον κινητήρα συνεχούς. Η περιστροφή του κινητήρα συμπαρασύρει σε περιστροφή τον κοχλία, ο οποίος μετακινεί την τράπεζα εργασίας.

Για τον προγραμματισμό των εργασιών του αριθμητικού συστήματος καθορίζεται η γεωμετρία του αντικειμένου, προσδιορίζεται η τροχιά του εργαλείου και τα δεδομένα παρέχονται στον υπολογιστή.



Σχ. 8.4.5. Κλειστό Σύστημα Ελέγχου Αριθμητικού Συστήματος

Αυτός κάνει τους αριθμητικούς υπολογισμούς και παράγει το πρόγραμμα, την εκτέλεση του οποίου αναλαμβάνει η μονάδα ελέγχου του συστήματος. Ο προγραμματισμός γίνεται σε ειδικές γλώσσες προγραμματισμού, η πλέον δημοφιλής των οποίων είναι η APT (Automatically Programmed Tools), σε διάφορες παραλλαγές (ADAPT, EXAPT, κλπ.), ενώ έχουν αναπτυχθεί πάνω από εκατό διαφορετικές γλώσσες. Στις γλώσσες αυτές συναντάμε εντολές γεωμετρίας, εντολές κίνησης, εντολές που αναφέρονται στο συγκεκριμένο εργαλείο και στον ελεγκτή του συστήματος, καθώς και βοηθητικές εντολές. Η διαδικασία απλοποιείται σε ολοκληρωμένα συστήματα μελέτης, σχεδίασης και ελέγχου με τη χρήση υπολογιστή (CAD/CAM), όπου προσφέρεται ένα ολοκληρωμένο γραφικό περιβάλλον για την ανάπτυξη των εφαρμογών, ενώ παρέχεται μεγάλη ευκολία για τον προγραμματισμό των εφαρμογών σε φιλικό περιβάλλον με συνθήκες αλληλεπίδρασης.

Η χρήση της τεχνολογίας των υπολογιστών έδωσε διάφορες δυνατότητες στην ανάπτυξη συστημάτων αριθμητικού ελέγχου. Ο έλεγχος διαφόρων αριθμητικών συστημάτων από ένα κοινό υπολογιστή, γεγονός που χαρακτηρίζει την εποχή που ακόμα ήταν δυσπρόσιτη η υπολογιστική ισχύς (1960), φέρεται με την ονομασία απ' ευθείας αριθμητικός έλεγχος (Direct Numerical Control – DNC). Από τη δεκαετία του 1970 η υπολογιστική ισχύς εμφανίζεται αρκετά προσιτή και τα νεώτερα συστήματα έχουν το καθένα ως απαραίτητο μέρος του και ένα υπολογιστή ειδικού σκοπού. Η τεχνολογία αυτή εκφράζεται με τον όρο αριθμητικός έλεγχος με

υπολογιστές (Computer Numerical Control – CNC) και παρέχει μεγάλη ευελιξία στην ανάπτυξη των εφαρμογών σε ολοκληρωμένα περιβάλλοντα ανάπτυξης. Επιπλέον διευκολύνει την επικοινωνία των διαφόρων μηχανών, μέσω της ανάπτυξης τοπικού βιομηχανικού δικτύου επικοινωνιών, κάνοντας δυνατή την ολοκληρωμένη αυτοματοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας.

Ο συνδυασμός της τεχνολογίας των υπολογιστικών συστημάτων και του αριθμητικού ελέγχου προσφέρει μεγάλες δυνατότητες αύξησης της παραγωγικότητας των εγκαταστάσεων. Πράγματι η νέα αυτή τεχνολογία μειώνει δραστικά το χρόνο προετοιμασίας των μηχανών και αυξάνει αντίστοιχα τον παραγωγικό τους χρόνο. Επίσης κάνει δυνατή την εφαρμογή των κανόνων του προσαρμοστικού ελέγχου (Adaptive Numerical Control – ANC) κατά τη διάρκεια της λειτουργίας των συστημάτων, μειώνοντας δραστικότητα την πιθανότητα λαθών και αστοχιών και αυξάνοντας παραπέρα την παραγωγικότητα των συστημάτων. Η προσαρμογή των συστημάτων προς τις εκάστοτε συνθήκες αυξάνει επίσης το χρόνο ζωής των εργαλείων, διευκολύνει τον προγραμματισμό των συστημάτων και μειώνει το φόρτο του χειριστή, μεταφέροντας μεγαλύτερο μέρος της λειτουργίας του ελέγχου στον ελεγκτή του συστήματος. Ο συνδυασμός αυτοματοποιημένων γραμμών μεταφοράς των αντικειμένων από σταθμό σε σταθμό επεξεργασίας και η πλήρης αυτοματοποίηση των σταθμών είναι δύο συνιστώσες προς την ανάπτυξη ευέλικτων συστημάτων βιομηχανικής παραγωγής (Flexible Manufacturing Systems –FMS) και την ολοκληρωμένη αυτοματοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας με τη χρήση υπολογιστών (Computer Integrated Manufacturing – CIM).

## 8.5 ΡΟΜΠΟΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Σύμφωνα με τους κατασκευαστές ρομπότ (Robotics Industries Association – RIA) ένα βιομηχανικό ρομπότ είναι μια επαναπρογραμματιζόμενη πολυλειτουργική μηχανή, η οποία σχεδιάστηκε για να κινεί αντικείμενα, εργαλεία ή ειδικές συσκευές για την εκτέλεση διάφορων εργασιών. Είναι, δηλαδή, το ρομπότ μια προγραμματιζόμενη μηχανή γενικού σκοπού, η οποία παρουσιάζει ανθρωπομορφικά χαρακτηριστικά. Στα ρομπότ που βρίσκονται σε χρήση, το πιο ανθρωπομορφικό χαρακτηριστικό είναι ο βραχίονας τους. Ο βραχίονας κινείται προς επιτέλεση διάφορων εργασιών σύμφωνα με το πρόγραμμα, το οποίο εκτελείται στον ελεγκτή του συστήματος και τα διάφορα ερεθίσματα που δέχεται από τα αισθητήρια που διαθέτει.

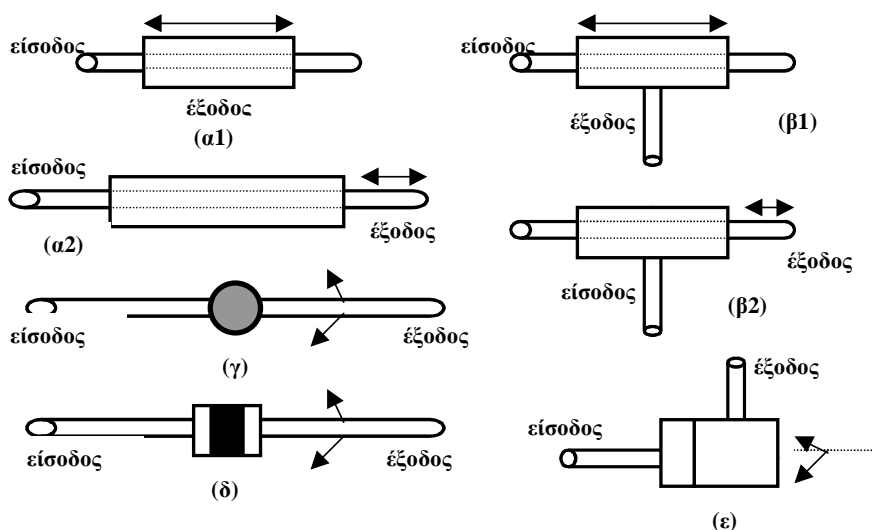
Ο βραχίονας διαιρείται σε τμήματα (links), τα οποία αρθρώνονται μεταξύ τους, ώστε να δίνεται ευχέρεια σχετικής κίνησης του ενός τμήματος προς το άλλο. Κάθε άρθρωση παρέχει, κατά κανόνα, ένα βαθμό ελευθερίας κίνησης. Σε κάθε άρθρωση διακρίνουμε το τμήμα εισόδου και το τμήμα

εξόδου. Οι αρθρώσεις επιτρέπουν γραμμική ή περιστροφική κίνηση και τις κατατάσσουμε ως εξής:

1. **Γραμμική Άρθρωση** : επιτρέπει ευθύγραμμη κίνηση ολίσθησης του τμήματος εξόδου σε σχέση με το τμήμα εισόδου, ενώ οι άξονες των δύο τμημάτων μένουν παράλληλοι (άρθρωση τύπου L – Linear).
2. **Ορθογωνική Άρθρωση** : επιτρέπει ευθύγραμμη κίνηση ολίσθησης του τμήματος εξόδου σε σχέση με το τμήμα εισόδου, ενώ οι άξονες των δύο τμημάτων μένουν κάθετοι μεταξύ τους (άρθρωση τύπου O – Orthogonal).
3. **Περιστροφική άρθρωση τύπου R (Rotational)** : επιτρέπει την περιστροφή του ενός τμήματος σε σχέση με το άλλο περί άξονα κάθετο και στα δύο τμήματα.
4. **Περιστροφική άρθρωση τύπου T (Twisting)** : επιτρέπει την περιστροφή ενός τμήματος σε σχέση με το άλλο περί άξονα παράλληλο με τους άξονες και των δύο τμημάτων.
5. **Περιστροφική άρθρωση τύπου V (Revolving)** : επιτρέπει την περιστροφή του ενός τμήματος περί τον άξονα του άλλου τμήματος, ενώ οι δύο άξονες είναι κάθετοι.

Στο σχήμα 8.5.1 παρουσιάζονται σχηματικά οι αρθρώσεις αυτές.

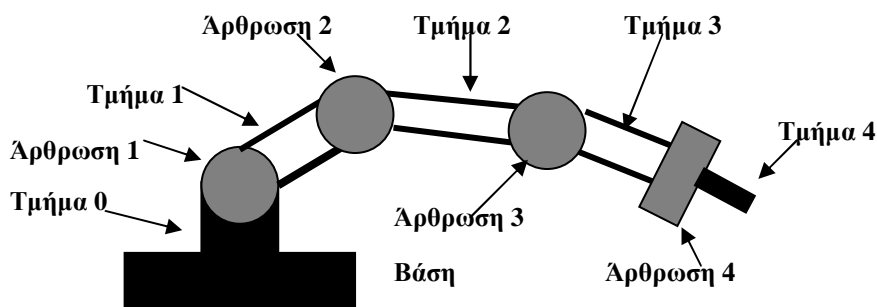
Κάθε ρομπότ στηρίζεται σε μια βάση, η οποία κατονομάζεται ως τμήμα  $\emptyset$ . Το επόμενο τμήμα που αρθρώνεται προς τη βάση με την άρθρωση 1 κατονομάζεται ως τμήμα 1. Με τον τρόπο αυτό τη μεγαλύτερη αρίθμηση έχει το τμήμα που φέρει το εργαλείο (σχήμα 8.5.2).



Σχ. 8.5.1. Άρθρωση Τύπου 1 (α1, α2), Τύπου 0 (β1,β2), Τύπου R (γ), Τύπου T (δ) και τύπου V (ε)

Σε κάθε ρομπότ μπορούμε να διακρίνουμε δύο τομείς. Στον πρώτο τομέα διακρίνουμε μια συνδεσμολογία παρόμοια με την κατ' ώμο άρθρωση στο ανθρώπινο σώμα, η οποία συνήθως παρέχει 3 βαθμούς ελευθερίας κινήσεων. Ο δεύτερος τομέας προσομοιάζει προς τον ανθρώπινο καρπό και παρέχει 2 ή 3 βαθμούς ελευθερίας κινήσεων. Ο πρώτος τομέας έχει, κατά κανόνα, την ευθύνη να φέρει το αντικείμενο ή εργαλείο που φέρει ο βραχίονας στη σωστή θέση στο χώρο και ο δεύτερος τομέας έχει ως κύρια ευθύνη τον ορθό προσανατολισμό του αντικειμένου.

Για να μπορεί να επιτευχθεί αυτό, πρέπει ο πρώτος τομέας να μπορεί να παρέχει κίνηση και προς τους τρεις άξονες (x, y, z) και ο δεύτερος τομέας να παρέχει δυνατότητες περιστροφής ανάλογες με του καρπού, ώστε να προσανατολίσει ορθά το αντικείμενο.



Σχ. 8.5.2. Διάγραμμα για την επίδειξη της δομής ενός ρομπότ

Υπάρχουν 125 (=5x5x5) διαφορετικές δυνατότητες σχεδιασμού του πρώτου τομέα, ανάλογα με τους τύπους των αρθρώσεων που θα συνδυάσουμε, ώστε να έχει ο πρώτος τομέας 3 βαθμούς ελευθερίας κινήσεων. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί κανείς να συναντήσει μεγάλη ποικιλία στη σχεδίαση των βραχιόνων. Τα περισσότερα ρομπότ που κατασκευάζονται για βιομηχανική χρήση ανήκουν σε μία από τις πέντε συνδεσμολογίες που θ' αναφερθούν αμέσως. Στην πολική συνδεσμολογία έχουμε αρθρώσεις L-T-R. Στην κυλινδρική συνδεσμολογία έχουμε διάφορες δυνατότητες, μεταξύ των οποίων περιλαμβάνονται οι συνηθέστερες T-L-O και L-V-L. Στην καρτεσιανή συνδεσμολογία έχουμε αρθρώσεις L-O-O ή O-L-O. Στην ανθρωπομορφική συνδεσμολογία (κατ' ώμο και κατ' αγκώνα διάρθρωση) έχουμε διάφορες δυνατότητες, μεταξύ των οποίων η T-R-R και η V-V-R. Μια παραλλαγή της ανθρωπομορφικής συνδεσμολογίας (jointed-arm) είναι η συνδεσμολογία SCARA, όπου το τμήμα που αντιστοιχεί στο βραχιόνιο οστό είναι κατακόρυφο. Μια από τις δυνατότητες στη συνδεσμολογία SCARA είναι η V-R-O. Τυπικά η συνδεσμολογία SCARA δεν διαθέτει δεύτερο τομέα και γι' αυτό όταν χρειάζεται προσανατολισμός του αντικειμένου παρέχεται δυνατότητα μιας ακόμη περιστροφής με τη διαδοχή V-R-O-T.

Όγκος εργασίας ενός ρομπότ είναι ο χώρος μέσα στον οποίο μπορεί ο βραχίονας να δράσει, δηλαδή να τοποθετήσει αντικείμενα ή το εργαλείο που φέρει να κάνει εργασία. Ο όγκος εργασίας καθορίζεται από το είδος και το μέγεθος των τμημάτων και το είδος και τον αριθμό των αρθρώσεων. Κάθε συνδεσμολογία τείνει προς ένα ορισμένο τύπο όγκου εργασίας. Ο όγκος εργασίας μιας πολικής συνδεσμολογίας τείνει να γίνει τμήμα σφαίρας, της κυλινδρικής συνδεσμολογίας τείνει προς τμήμα κυλίνδρου και της καρτεσιανής τμήμα παραλληλεπιπέδου.

Στο άκρο εργασίας (τελικό άκρο) ο βραχίονας φέρει κάποιο εργαλείο για συναρμολόγηση, θέρμανση, συγκόλληση, κοπή κ.λπ. ή κάποια αρπάγη (μηχανική ή άλλης μορφής), μαγνητικές ή άλλες συσκευές για την επιτέλεση διαφόρων λειτουργιών. Η τεχνολογία σήμερα οδηγεί σε συστήματα που μπορούν να μοιάζουν με ανθρώπινο χέρι, να έχουν αίσθηση (πίεσης κ.λπ.) και να παρέχουν τυποποιημένες δυνατότητες για χειρισμό αντικειμένων. Παράλληλα αναπτύσσεται ραγδαία ο τομέας των αισθητηρίων, δίνοντας τη δυνατότητα σύνθεσης πιο ανθρωπομορφικών συστημάτων.

Ο προγραμματισμός των ρομπότ αναφέρεται στις κινήσεις που πρέπει να κάνουν τα διάφορα τμήματα του βραχίονα και τις δράσεις των τελικών άκρων, ανάλογα με τα εργαλεία στα οποία απολήγει ο βραχίονας. Ένας πρώτος τρόπος, για ρομπότ με περιορισμένες δυνατότητες, είναι ο προγραμματισμός με άμεση εμπλοκή του χειριστή και διαμόρφωση του τρόπου εργασίας με επέμβαση στα συστατικά το συστήματος (διακόπτες κ.λπ.). Ωστόσο σήμερα κάθε βραχίονας καθοδηγείται άμεσα από ηλεκτρονικό υπολογιστή και ο προγραμματισμός του ρομπότ αναφέρεται στη σύνταξη προγράμματος του υπολογιστή, το οποίο θα εκτελεσθεί κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του συστήματος. Αυτό μπορεί να γίνει με διδασκαλία, δηλαδή πρότυπη καθοδήγηση του συστήματος στις διάφορες φάσεις της εργασίας και αποτύπωση της λειτουργίας του ρομπότ (on-line) ή όταν το ρομπότ είναι εκτός λειτουργίας (off-line). Τα προγράμματα αυτά συντάσσονται συνήθως σε ειδικές γλώσσες, οι οποίες έχουν αναπτυχθεί από διάφορες εταιρείες ή εργαστήρια και οι οποίες συνήθως παρέχουν ένα περιβάλλον εξομοίωσης των λειτουργιών του βραχίονα, ώστε να απλοποιείται η διαδικασία του προγραμματισμού.

Οι εφαρμογές των ρομπότ περιλαμβάνουν συνήθως εργασίες σε περιβάλλον ακατάλληλο για ανθρώπους, επαναληπτικές εργασίες με καθορισμένο τρόπο που δεν απαιτούν ιδιαίτερη ευφυΐα κ.α. Οι εφαρμογές αυτές μπορούν να διακριθούν σε εφαρμογές χειρισμών (material handling), επεξεργασίας (processing), συναρμολόγησης (assembly) και επιθεώρησης (inspection). Οι εφαρμογές χειρισμών διακρίνονται σε μεταφορά αντικειμένων και σε υποβοήθηση άλλων μηχανών, όπως για παράδειγμα στο αρμάτωμα και ξεαρμάτωμα τους (loading – unloading). Στις εφαρμογές επεξεργασίας μπορούμε ν' αναφέρουμε τη συγκόλληση (welding), τη βαφή (painting) και την κοπή (cutting, drilling, grinding). Οι εφαρμογές των ρομπότ συνεχώς



πολλαπλασιάζονται και τείνουν να αντικαταστήσουν τα ανθρώπινα χέρια ακόμη και σε εργασίες που κατά παράδοση θεωρούμε ότι είναι αποκλειστικά ανθρώπινη αποστολή, όπως είναι οι εγχειρήσεις ή άλλες λεπτές ιατρικές επεμβάσεις. Ο προγραμματισμός των ρομπότ ενισχύεται από τις δυνατότητες που προσφέρει ο τομέας της τεχνητής νοημοσύνης, έτσι ώστε τα ρομπότ να μπορούν να δέχονται ερεθίσματα, να τ' αναλύουν, να τα επεξεργάζονται, ν' αποφασίζουν και να δρουν, εμφανίζοντας μεγάλο βαθμό αυτονομίας. Αυτό σημαίνει ότι δημιουργούνται οι συνθήκες σύνθεσης πιο ανθρωπομορφικών ρομπότ με θαυμαστές ικανότητες.

## **8.6 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΧΕΙΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ**

Ο χειρισμός και η αποθήκευση των αντικειμένων είναι ένα σπουδαίο μέρος της παραγωγικής διαδικασίας, καθόσον συμβάλλει στη διαμόρφωση του κόστους των προϊόντων σε πολύ μεγάλο βαθμό, ο οποίος σε αρκετές περιπτώσεις υπερβαίνει και το 50%. Ο χειρισμός των αντικειμένων γίνεται με συστήματα μεταφοράς (μεταφορικές ταινίες και οχήματα), με μηχανές, συσκευές και συστήματα επεξεργασίας, όπως αυτά στη συναρμολόγηση των προϊόντων, με παλέτες και ρομπότ. Στόχος των συστημάτων χειρισμού είναι η μεταφορά των διαφόρων αντικειμένων από ένα σημείο σε άλλο, με τρόπο ασφαλή, αποδοτικό, ακριβή και έγκαιρο. Η ποικιλία των συστημάτων χειρισμού είναι μεγάλη και εξαρτάται από τις συγκεκριμένες ανάγκες σε κάθε παραγωγή. Ένα από τα πιο εξελιγμένα συστήματα είναι το αυτοκαθοδηγούμενο όχημα (Automated Guided Vehicle – AGV), το οποίο εμφανίζεται σε διάφορες μορφές.

Ο σχεδιασμός ενός συστήματος χειρισμού βασίζεται σε στοιχεία, τα οποία προκύπτουν από την ανάλυση της παραγωγικής διαδικασίας. Μεταξύ των στοιχείων αυτών περιλαμβάνονται οι θέσεις φόρτωσης των υλικών, οι θέσεις εκφόρτωσης, οι δυνατές διαδρομές, οι αποστάσεις, η ροή των υλικών, οι χρόνοι επεξεργασίας κάθε υλικού σε κάθε σταθμό, η φύση του παραγωγικού συστήματος και η τοπογραφική κατανομή των συστημάτων. Σε κάθε περίπτωση επιδιώκεται η τυποποίηση των φορέων στο μέγιστο μέγεθος, ακολουθείται η ελάχιστη δυνατή διαδρομή, η οποία επιδιώκεται να είναι ευθεία (κατά το δυνατόν), ελαχιστοποιείται ο χρόνος που απαιτείται για τη φορτοεκφόρτωση των υλικών, αξιοποιείται το σύστημα μεταφοράς και στην οπισθοπορεία του (παραγωγικός χρόνος και το πήγαινε και το έλα), μηχανοποιείται και αυτοματοποιείται πλήρως το σύστημα, αναπτύσσεται παράλληλα σύστημα πληροφόρησης για την ομαλή λειτουργία του συστήματος χειρισμού (συστήματα συλλογής και απεικόνισης δεδομένων) και επιδιώκεται η ολοκλήρωση του συστήματος στα πλαίσια του παραγωγικού συστήματος, με βάση τις αρχές της ολοκληρωμένης αυτοματοποίησης της βιομηχανικής παραγωγής. Ο έλεγχος του συστήματος χειρισμού γίνεται κατά κανόνα με τη χρήση υπολογιστή και μπορεί να ανατίθεται εξ' ολοκλήρου σε ένα κεντρικό

υπολογιστή ή να υπάρχουν κατανεμημένες μονάδες, οι οποίες συνεργάζονται στα πλαίσια ενός τοπικού δικτύου ηλεκτρονικών υπολογιστών.

Η αποθήκευση των προϊόντων και των υλικών γίνεται με διάφορες μεθόδους, οι οποίες σχετίζονται με τη φύση, το είδος, τον τύπο και τα ειδικά χαρακτηριστικά κάθε προϊόντος ή υλικού. Το σύστημα αποθήκευσης σχεδιάζεται με βάση ορισμένα κριτήρια, τα οποία αναφέρονται στη χωρητικότητα, την απόδοση, τη χρηστικότητα και την αξιοπιστία του συστήματος αποθήκευσης. Η τάση σήμερα είναι προς αυτοματοποίηση όλων των λειτουργιών της αποθήκευσης με τη σχεδίαση και ανάπτυξη κατάλληλων αποθηκευτικών μονάδων και διατάξεων, οι οποίες διευκολύνουν την επιλογή συγκεκριμένων αντικειμένων από ένα συγκεκριμένο αποθηκευτικό χώρο, για τη συμπλήρωση συγκεκριμένης παραγγελίας. Τυπικοί εκπρόσωποι σύγχρονων συστημάτων αποθήκευσης είναι τα συστήματα Carousel και τα αυτόματα αποθηκευτικά συστήματα AS/RS (Automated Storage / Retrieval System).

## **8.7 ΕΥΕΛΙΚΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

Τα περισσότερα καταναλωτικά προϊόντα παράγονται με διαδικασίες παραγωγής κατά παρτίδες. Η διευθέτηση των μηχανών από παρτίδα σε παρτίδα (set-up) δαπανά παραγωγικό χρόνο, ο οποίος είναι αρκετά μεγάλο ποσοστό του χρόνου ζωής των μηχανών και των εγκαταστάσεων. Ένα μεγάλο βήμα αύξησης της παραγωγικότητας των εγκαταστάσεων είναι η ελαχιστοποίηση του χρόνου μετάβασης από την παραγωγή μιας παρτίδας στην παραγωγή μιας άλλης. Μια από τις απαντήσεις στο πρόβλημα αυτό είναι η μελέτη, σχεδίαση και ανάπτυξη ευέλικτων συστημάτων βιομηχανικής παραγωγής. Στη βάση αυτής της αντίληψης βρίσκεται η τεχνολογία των ομάδων (Group Technology – GT), στόχος της οποίας είναι η ομαδοποίηση των υλικών και των προϊόντων με βάση κάποια χαρακτηριστικά. Τα χαρακτηριστικά αυτά προκύπτουν από οπτική επιθεώρηση (visual inspection), από κατηγοριοποίηση και κωδικοποίηση των δεδομένων της σχεδίασης και της παραγωγής και από την ανάλυση της παραγωγικής ροής (Production Flow Analysis – PFA). Έχουν καταβληθεί προσπάθειες για την ανάπτυξη ενός κοινά αποδεκτού συστήματος κατηγοριοποίησης και κωδικοποίησης, αλλά υπάρχουν ακόμα δυσκολίες για την αποδοχή ενός τέτοιου παγκόσμιου συστήματος. Τα διάφορα συστήματα που χρησιμοποιούνται βασίζονται στις σχεδιαστικές ή παραγωγικές ιδιομορφίες που παρουσιάζονται και έχουν μορφή ιεραρχική ή τύπου αλυσίδας. Στην ιεραρχική κωδικοποίηση η σημασία κάθε συμβόλου είναι προκαθορισμένη και δεν εξαρτάται από τα προηγούμενα σύμβολα. Η τεχνολογία των ομάδων συμβάλλει στην αύξηση της παραγωγικότητας κατά τη σχεδίαση των προϊόντων, κατά τη διευθέτηση των μηχανών, κατά το χειρισμό και την αποθήκευση υλικών και προϊόντων, κατά τον προγραμματισμό της

παραγωγικής δραστηριότητας. Επιπλέον απλοποιεί το πρόβλημα της παρακολούθησης της βιομηχανικής παραγωγής.

Ένα ευέλικτο σύστημα βιομηχανικής παραγωγής περιλαμβάνει μια ομάδα σταθμών εργασίας (CNC), οι οποίοι διασυνδέονται με ένα αυτόματο σύστημα χειρισμού και αποθήκευσης υλικών και προϊόντων και ελέγχονται από ένα ολοκληρωμένο σύστημα υπολογιστών, οι οποίοι συναρτίζουν ένα τοπικό βιομηχανικό δίκτυο. Τα ευέλικτα συστήματα διατάσσονται σε ευθεία γραμμή, σε κύκλο, σε μορφή κλίμακας, σε ανοικτό πεδίο και σε κυψέλες με κέντρο ένα ρομποτικό σύστημα. Ο προγραμματισμός της εργασίας περιλαμβάνει προσδιορισμό του όγκου παραγωγής, τις αποκλίσεις μεταξύ των προϊόντων, τα φυσικά χαρακτηριστικά των υλικών, τις προδιαγραφές του συστήματος και τις ανάγκες. Η χρήση της τεχνολογίας αυτής έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του παραγωγικού χρόνου των μηχανών, ταχύτερη εκτέλεση των παραγγελιών, μεγαλύτερη ευελιξία στον προγραμματισμό της παραγωγής και μεγαλύτερη παραγωγικότητα.

## 8.8 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΟΙΟΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

Κατά τη σχεδίαση των προϊόντων υπολογίζονται κάποια χαρακτηριστικά, τα οποία πρέπει να πληρούν τα παραγόμενα προϊόντα και είναι γνωστά με τον όρο προδιαγραφές. Η συμφωνία με τις προδιαγραφές είναι μέτρο της ποιότητας των προϊόντων. Το κόστος της ποιότητας διακρίνεται σε κόστος συμμόρφωσης και σε κόστος μη συμμόρφωσης. Το κόστος συμμόρφωσης αναφέρεται σε όλες τις ενέργειες που πρέπει να αναληφθούν προκειμένου να μην υπάρχουν αποκλίσεις από τις προδιαγραφές και αστοχία κατά την παραγωγή των προϊόντων. Το κόστος μη συμμόρφωσης αναφέρεται στο κόστος των ελαττωματικών προϊόντων και στον αντίκτυπο που προκύπτει από τη διάθεση τέτοιων προϊόντων στον καταναλωτή.

Για τον έλεγχο της ποιότητας έχουν αναπτυχθεί προληπτικά συστήματα, τα οποία στοχεύουν στη βελτίωση του παραγωγικού συστήματος, ώστε να αποφεύγονται τα σφάλματα κατά την παραγωγή των προϊόντων. Τέτοια συστήματα υιοθετούνται σήμερα από διάφορους οργανισμούς και προβλέπουν διαδικασίες συνεχούς βελτίωσης της ποιότητας (Crosby, Juran, κ.α.) με στόχο την ολική ποιότητα (Total Quality Management – TQM). Μια βασική παράμετρος των σύγχρονων συστημάτων ποιότητας είναι η επιθεώρηση (Inspection) και ο τεχνικός έλεγχος (Testing) των διαφόρων υλικών και προϊόντων. Για την επιθεώρηση και τον έλεγχο υλικών και προϊόντων απαιτείται η ανάπτυξη συστημάτων συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων, με τη χρήση κατάλληλων αισθητήριων, για τη μέτρηση των διαφόρων χαρακτηριστικών. Ο βαθμός τελειότητας των σύγχρονων συστημάτων συλλογής δεδομένων δίνει τη δυνατότητα υλοποίησης παραγωγικών μονάδων με ολικό ποιοτικό έλεγχο. Τα αισθητήρια που χρησιμοποιούνται διακρίνονται σε αυτά που

λειτουργούν με επαφές (contact) και σε αυτά που δεν απαιτούν επαφές (μαγνητικά, οπτικά, θερμικά κ.α. αισθητήρια).

Τα πλέον προηγμένα συστήματα επιθεώρησης βασίζονται σε οπτικά συστήματα, τα οποία ψηφιοποιούν την εικόνα, την επεξεργάζονται και την αναλύουν / ερμηνεύουν, ώστε να προκύψουν τα ενδιαφέροντα στοιχεία (γεωμετρία, χρώμα, σύνθεση προϊόντων κ.α.).

## 8.9 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΥΠΟΓΡΑΦΩΝ

Τα συστήματα αναγνώρισης υπογραφών στοχεύουν να εξάγουν πληροφορία από ένα σήμα το οποίο προσλαμβάνεται με τη βοήθεια κάποιου αισθητηρίου. Ότι αφορά στην αναγνώριση αλφαριθμητικών χαρακτήρων εφαρμόζονται ειδικοί αλγόριθμοι αναγνώρισης, οι οποίοι συνδυάζουν την προσλαμβανόμενη παράσταση με κάποιο είδος χαρακτήρα (font), απ' αυτούς που είναι αποθηκευμένοι στο σύστημα. Επειδή ο προσανατολισμός, το μέγεθος και η θέση των χαρακτήρων δεν είναι σταθερά, πρέπει το σύστημα να μπορεί να μετασχηματίσει την παράσταση κατά θέση (μεταφορά - translation), μέγεθος (μεγέθυνση – scaling) και γωνία (περιστροφή – rotation). Κατά κανόνα απομονώνονται τα διάφορα τμήματα και επιχειρείται ταυτοποίηση κάθε τμήματος της παράστασης.

Ο όρος αναγνώριση υπογραφής, ωστόσο, χρησιμοποιείται ευρύτερα για την ταυτοποίηση φυσικών χαρακτηριστικών, τα οποία προκύπτουν από εικόνες (ορατό ή αόρατο φάσμα) ή άλλες διεργασίες. Η ανίχνευση ρωγμών, οπών ή άλλων ανωμαλιών στη συνέχεια ενός υλικού ανήκει στην κατηγορία αυτή και μπορεί να προκύψει με μαγνητική ή πυρηνική ακτινοβολία ή ακτίνες Χ. Άλλα επιμέρους χαρακτηριστικά μπορούν να ανιχνευθούν ή προσδιορισθούν με άλλες διαγνωστικές, μη καταστρεπτικές μεθόδους.

Μια τεχνολογία που εφαρμόζεται αρκετά στη βιομηχανία στηρίζεται στην ανάλυση των ηχητικών σημάτων από κινούμενα μέρη των μηχανών. Τα ηχητικά σήματα συλλέγονται με ακουστικά και οδηγούνται σε ειδικά όργανα ή σε σύστημα υπολογιστή. Η ανάλυση των σημάτων αποσκοπεί στον προσδιορισμό της έντασης κάθε συνιστώσας του ηχητικού σήματος και την απεικόνιση (και επεξεργασία) του προκύπτοντος φάσματος. Όταν τα υλικά των μηχανών είναι καινούργια και η μηχανή καλά συντηρημένη η εικόνα του φάσματος δίνει, κατά κανόνα, χαρακτηριστικές συχνότητες με μεγάλη ένταση. Καθώς τα υλικά φθείρονται παρουσιάζονται και άλλοι ήχοι, οι οποίοι συντελούν στην αύξηση του θορύβου. Στο σχήμα 8.9.1 εικονίζονται τα σήματα που προέρχονται από ένα καινούργιο και από ένα φθαρμένο υλικό. Η παραμόρφωση του αρχικού σήματος και η στάθμη του θορύβου καθοδηγούν τους έμπειρους τεχνικούς στον προγραμματισμό της προληπτικής συντήρησης των μηχανημάτων.



Σχ. 8.9.1 Φάσμα Ηχητικού Σήματος

## 8.10 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ

Παραδοσιακά η σχεδίαση των βιομηχανικών προϊόντων είναι μια διαδικασία ξεχωριστή από τη βιομηχανική παραγωγή, η οποία μπορεί να γίνεται από ξεχωριστούς σχεδιαστές που παραδίδουν τα αποτελέσματα της εργασίας τους στους παραγωγούς. Η διαδικασία της σχεδίασης εκκινεί από την αναγνώριση της ανάγκης για ένα νέο προϊόν το οποίο θα καλύψει μια ανάγκη ή θα καλύψει καλύτερα μια ανάγκη, η οποία ήδη καλύπτεται από άλλα προϊόντα. Μελετώνται οι παράμετροι του προβλήματος της σχεδίασης και με βάση τα δεδομένα της μελέτης συντίθεται το σχέδιο του νέου προϊόντος. Το αποτέλεσμα της σχεδίασης αναλύεται διεξοδικά και αριστοποιείται. Αφού αξιολογηθεί από του υπεύθυνους παρουσιάζεται και παραδίδεται για την παραγωγή.

Για να παραχθεί το προϊόν απαιτείται ένα στάδιο προετοιμασίας, το οποίο αναφέρεται ως προγραμματισμός της παραγωγής. Αυτός αναφέρεται σε χρονικό προγραμματισμό της παραγωγής, προϋπολογισμό κόστους, προγραμματισμό προμηθειών υλικών και μηχανημάτων, προσδιορισμό των διεργασιών και προγραμματισμό τους, προετοιμασία του παραγωγικού περιβάλλοντος, προσδιορισμό των πιθανών αποκλίσεων, προγραμματισμό των μηχανών και προετοιμασία του συστήματος ελέγχου της διεργασίας και της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων, προγραμματισμό της αποθήκευσης, προώθησης και διανομής των προϊόντων και προγραμματισμό των επενδύσεων. Με το τέλος της προετοιμασίας γίνεται η εκκίνηση του συστήματος και ρυθμίζεται η λειτουργία του, ώστε να καλύπτει τις προδιαγραφές που έχουν τεθεί.

Η χρήση των ηλεκτρονικών υπολογιστών σ' όλη αυτή τη διαδικασία έχει επιφέρει δραστικές αλλαγές σ' όλα σχεδόν τα στάδια της διαδικασίας. Ο ηλεκτρονικός υπολογιστής με το κατάλληλο λογισμικό και περιφερειακά αναδεικνύεται σε ένα πολυδύναμο εργαλείο, προσφέροντας στο σχεδιαστή-

μελετητή πολύ μεγάλες δυνατότητες ως προς την ταχύτητα, ακρίβεια, ποιότητα και τεκμηρίωση της σχεδίασης. Με την ανάπτυξη τοπικού δικτύου είναι δυνατή η συνεργασία πολλών επιστημόνων, οι οποίοι εργάζονται ταυτόχρονα στο ίδιο αντικείμενο, ενώ η συνεργασία αυτή μπορεί με τη χρήση ευρύτερων δικτύων, όπως το διαδίκτυο, να έχει παγκόσμιο χαρακτήρα. Η σπουδαιότητα που έχει αποκτήσει η νέα τεχνολογία της μελέτης και σχεδίασης με τη χρήση υπολογιστή οδήγησε στην καθιέρωση δύο νέων τεχνολογικών πεδίων με τίτλο Computer-Aided Engineering (CAE) και Computer-Aided Design (CAD). Τ' αποτελέσματα της μελέτης και σχεδίασης τροφοδοτούν τη βάση του συστήματος ελέγχου της παραγωγικής διαδικασίας με όλα τα απαραίτητα δεδομένα για την ολοκλήρωση της παραγωγικής διαδικασίας.

Η χρήση του υπολογιστή στην παραγωγική διαδικασία (Computer-Aided Manufacturing – CAM) μπορεί να περιορίζεται σε υποβοήθηση (λειτουργία off-line) της παραγωγικής διαδικασίας, όταν το παραγωγικό σύστημα είναι συμβατικό. Στα σύγχρονα συστήματα η εμπλοκή των υπολογιστών είναι άμεση, καθόσον κάποιος μορφής υπολογιστές έχουν τον άμεσο έλεγχο των μηχανών. Οι υπολογιστές αυτοί, κατά κανόνα, διασυνδέονται με την έννοια τοπικού δικτύου μεταξύ τους και προς άλλους, ανώτερους στην ιεραρχία, υπολογιστές, οι οποίοι έχουν το χαρακτήρα ελεγκτή περιοχής ή ελεγκτή όλου του παραγωγικού συστήματος. Διαμορφώνεται έτσι μια ιεραρχία υπολογιστών με κατανομή ευθύνης κατά υπολογιστικό σύστημα και μεγάλες δυνατότητες αναπλήρωσης. Το σύστημα μπορεί να συμπληρωθεί με την ανάπτυξη του συστήματος συλλογής και επεξεργασίας, το οποίο παρέχει στο σύστημα ελέγχου την απαραίτητη ανατροφοδότηση για την ευσταθή λειτουργία του. Η ανάπτυξη σύγχρονων στρατηγικών ελέγχου και η χρήση των ευκολιών που παρέχει ο τομέας της τεχνητής νοημοσύνης δίνει τη δυνατότητα δημιουργίας ενός αυτόματου παραγωγικού συστήματος με μεγάλο βαθμό αυτονομίας. Η ολοκλήρωση των διαδικασιών του συστήματος κάνει δυνατή την ολοκληρωμένη αυτοματοποίηση της βιομηχανικής παραγωγής με τη χρήση υπολογιστή (Computer-Integrated Manufacturing –CIM). Η ανάπτυξη των επικοινωνιών των υπολογιστών προσφέρει τη δυνατότητα ο πραγματικός χειριστής του παραγωγικού συστήματος να απέχει γεωγραφικά από το χώρο της παραγωγής. Με τον τρόπο αυτό οργανώνονται παραγωγικοί χώροι σε περιοχές που μπορούν να εγκατασταθούν, ενώ ο έλεγχος της λειτουργίας τους γίνεται από απόσταση. Στο χώρο της παραγωγής μπορεί να παραμένει ελάχιστο αναγκαίο προσωπικό για την επίβλεψη του συστήματος και την εκπλήρωση όλων των βοηθητικών λειτουργιών. Το γεγονός αυτό διαφοροποιεί σημαντικά τον τρόπο παραγωγής, καθόσον μειώνεται δραστηκότητα ο αριθμός των ανειδίκευτων κυρίως, βιομηχανικών εργατών, το πλήθος των οποίων χαρακτήριζε παλαιότερα τη μεγάλη βιομηχανία. Παράλληλα κάνει δυνατή την απομάκρυνση των χώρων παραγωγής από τα μεγάλα αστικά κέντρα και συντείνει στη μείωση της

επιβάρυνσης του περιβάλλοντος των μεγάλων πόλεων. Η επιτυγχανόμενη μείωση του κόστους ανά μονάδα παραγόμενου προϊόντος προσφέρει στους παραγωγούς μεγάλο ανταγωνιστικό πλεονέκτημα, ώστε η τάση εκσυγχρονισμού του τρόπου παραγωγής και των εγκαταστάσεων να ανάγεται σε όρο επιβίωσης των παραγωγικών εγκαταστάσεων.

### 8.11 ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΜΟΡΦΩΝ

Η αναγνώριση μορφών από τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές αναφέρεται στην αναγνώριση φωνής (voice recognition), αναγνώριση αποτυπωμάτων (fingerprint identification), αναγνώριση προσώπου (face identification), αναγνώριση γραφής (hand-writing identification), αναγνώριση χαρακτήρων (Optical Character Recognition – OCR), αναγνώριση βιολογικών στοιχείων (biological slide analysis), αναγνώριση στοιχειωδών σωματιδίων (high energy physics analysis), ανάλυση μετεωρολογικών δεδομένων (meteorological data analysis), ανάλυση δορυφορικών δεδομένων (surveillance satellite data reduction), μηχανική όραση (robot vision) κ.α.

Τα συστήματα αναγνώρισης μορφής, ανεξάρτητα από το πεδίο εφαρμογής, έχουν κατά κανόνα ομοιόμορφη δομή. Το στοιχείο εισόδου είναι ένα αισθητήριο (input transducer), το οποίο μετατρέπει το φυσικό σήμα που δέχεται (ήχος, φως, κ.λπ.) σε ηλεκτρικό σήμα. Το σήμα αυτό υφίσταται επεξεργασία από έναν προ-επεξεργαστή (preprocessor), κύριο καθήκον του οποίου είναι η διευθέτηση (conditioning) του σήματος εισόδου. Η διευθέτηση περιλαμβάνει λειτουργίες, όπως η ενίσχυση του σήματος, το φιλτράρισμα, η συχνοτική ανάλυση και η μετατροπή από αναλογικό σήμα σε ψηφιακό. Στο ψηφιακό σήμα δρα μονάδα απομόνωσης χαρακτηριστικών (feature extractor), η οποία συνδυάζει χαρακτηριστικά και ελέγχει την τμηματική σύμπτωση διαφόρων μορφών. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας υφίσταται επεξεργασία από ειδικό αλγόριθμο, ο οποίος ονομάζεται επιλογέας απόκρισης (response selector) και ελέγχει με ποια από τις αποθηκευμένες μορφές ταιριάζει καλύτερα η μορφή εισόδου. Μεταξύ των τεχνικών που εφαρμόζονται στη διαδικασία αυτή είναι οι τεχνικές αναζήτησης (search), ταξινόμησης (sort) και ανάλυσης ελαχίστων τετραγώνων (least-squares analysis). Το αποτέλεσμα της επεξεργασίας διοχετεύεται στην έξοδο του συστήματος. Αυτή μπορεί να είναι γεννήτρια φωνής (voice generator), τερματικό γραφικών ή τερματικό video, ανάλογα με την εφαρμογή.

Ειδικά η αναγνώριση φωνής μπορεί να διακριθεί σε τρία επίπεδα κατανόησης. Το πρώτο επίπεδο αναφέρεται στην αναγνώριση διακριτών λέξεων, το δεύτερο σε αναγνώριση συνεχούς ομιλίας σε περιορισμένο πεδίο και το τρίτο σε συνεχή και γενική κατανόηση της ομιλίας. Κάθε ομιλία αναλύεται σε βασικά στοιχεία τα οποία ονομάζονται φωνήματα (phonemes). Στην κατανόηση των διαφόρων προτάσεων σημαντικό ρόλο παίζουν οι μεταβολές της διακύμανσης της έντασης, του ρυθμού και του

τονισμού. Τα συστήματα αναγνώρισης φωνής διαθέτουν μικρόφωνο, η έξοδος του οποίου δειγματοληπτείται και παράγεται το φάσμα συχνοτήτων της φωνής, το οποίο υφίσταται επεξεργασία για την ταυτοποίηση λέξεων.

## 8.12 ΤΕΧΝΗΤΗ ΟΡΑΣΗ

Ο ανθρώπινος οφθαλμός περιέχει εκατό περίπου εκατομμύρια αισθητήρια, τα οποία περιέχουν ισόποσα ραβδία και επτά περίπου εκατομμύρια κωνία. Τα ραβδία και τα κωνία είναι οι βασικοί μορφοτροπείς για την ανθρώπινη όραση. Με τη δομή αυτή ο οφθαλμός μπορεί να ξεχωρίσει αντικείμενα με απόσταση μεταξύ τους 0.1mm στα 25cm, έχει μεγάλη ικανότητα αυτόματης εστίασης (προσαρμογή) και μεγάλη χρωματική ευαισθησία, όντας ικανός να ξεχωρίσει μία από 150 αποχρώσεις, μπορεί να ανταποκριθεί σε εντάσεις φωτισμού σε μια δυναμική περιοχή, όπου το πάνω άκρο σε σχέση με το κάτω έχουν λόγο 109, έχοντας την ικανότητα να διαχωρίσει φωτισμούς με διαφορά της τάξης 2% σε μεγάλο εύρος της δυναμικής περιοχής και αποστέλλει τα οπτικά ερεθίσματα στον εγκέφαλο, ο οποίος περιλαμβάνει ένα δυναμικό επεξεργαστή με πάνω από δέκα δισεκατομμύρια νευρώνες, οι οποίοι χαρακτηρίζονται από υψηλού βαθμού παράλληλη επεξεργασία.

Η όραση των μηχανών απέχει πολύ από την ανθρώπινη, αν και υπάρχουν όργανα, τα οποία μπορούν να εξασφαλίσουν κάποια επιμέρους χαρακτηριστικά. Οι στόχοι των μηχανικών συστημάτων όρασης ξεκινούν από την επεξεργασία εικόνας (image processing), φθάνουν στην ταξινόμηση μορφών (pattern classification) και στοχεύουν στην ανάλυση σκηνών (scene analysis). Ένα τυπικό σύστημα περιλαμβάνει πηγή φωτός (η οποία μπορεί να είναι και κάποια φυσική πηγή φωτός) απλή ή ελεγχόμενη (laser, κ.α.), η οποία φωτίζει τα αντικείμενα που εμφανίζονται σε υπόβαθρο, η φύση του οποίου έχει μεγάλη σημασία. Το δεύτερο στοιχείο του συστήματος είναι η σκηνή, η οποία στη γενική περίπτωση περιλαμβάνει αντικείμενα τριών διαστάσεων. Το τρίτο στοιχείο είναι η συσκευή λήψης εικόνων, η οποία μπορεί να είναι ένας απλός επεξεργαστής μετατροπής φωτογραφικών εικόνων σε ψηφιακό σήμα. Στα σύγχρονα συστήματα απαντώνται συνηθέστερα μηχανές λήψης (camera) vidicon ή CCD, οι οποίες αποτελούν έξοχα αισθητήρια. Οι εικόνες που προκύπτουν από τις συσκευές λήψης αναπαρίστανται στον υπολογιστή του συστήματος με ένα bit-mapped array, στο οποίο κάθε bit αντιστοιχεί σε ένα στοιχείο εικόνας (pixel). Η ερμηνεία της εικόνας γίνεται από το σύστημα μηχανικής όρασης, το οποίο διαχωρίζει ιδιότητες, μορφές, αντικείμενα, κ.α. Αυτά αναγνωρίζονται από το σύστημα ανάλυσης της εικόνας, το οποίο μπορεί να απαρτίζεται από σειριακά αλγοριθμικά προγράμματα για την ερμηνεία των pixels ή υλικό (hardware) ειδικού σκοπού με παράλληλη αρχιτεκτονική για τη σύγκριση της νέας με τις προηγούμενες εικόνες. Στην έξοδο του συστήματος προκύπτουν συμβολικές περιγραφές των σκηνών,



οι οποίες αντιστοιχούν στην αντίληψη του υπολογιστή για το εξεταζόμενο αντικείμενο.

Το πεδίο της τεχνητής όρασης είναι πεδίο αιχμής για την έρευνα σήμερα, για τούτο οι εξελίξεις στον τομέα είναι συνεχείς και ενδιαφέρουσες.

### **ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ**

Ο βιομηχανικός έλεγχος αποσκοπεί στην αξιοποίηση μηχανικών, ηλεκτρικών, ηλεκτρονικών και υπολογιστικών συστημάτων στη βιομηχανική παραγωγή. Με τον τρόπο αυτό ο αυτοματισμός εισέρχεται σε διαδικασίες συναρμολόγησης, στα αριθμητικά συστήματα ελέγχου (τα οποία χρησιμοποιούνται για την λειτουργία αυτοματοποιημένων εργαλειομηχανών), στα ρομποτικά συστήματα, στα συστήματα χειρισμού και αποθήκευσης, στα συστήματα CAD/CAM/CAE (όπου η χρήση των ηλεκτρονικών υπολογιστών εισέρχεται στην διαδικασία σχεδίασης αλλά και παραγωγής).

Επίσης κατά τον βιομηχανικό έλεγχο σημαντικό ρόλο παίζουν τα συστήματα ποιοτικού ελέγχου (που στοχεύουν στην εξάλειψη των σφαλμάτων κατά την παραγωγή των προϊόντων), καθώς και τα συστήματα υπογραφών (με τα οποία μπορούμε να βρούμε ατέλειες σε προϊόντα, λόγω φθοράς, ή κακής κατασκευής).

## **8.13 ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ**

### **A. Να απαντήσετε συνοπτικά στις ερωτήσεις**

1. Αναφέρατε ποιες είναι οι είσοδοι και ποιες οι έξοδοι ενός παραγωγικού συστήματος.
2. Ποιες διεργασίες μπορούν να αυτοματοποιηθούν σε ένα σύστημα συναρμολόγησης;
3. Περιγράψτε από ποιες μονάδες αποτελείται και πως λειτουργεί ένα Ανοικτό Σύστημα Ελέγχου Αριθμητικού Συστήματος.
4. Ποια είδη ρομποτικών αρθρώσεων γνωρίζετε;
5. Ποιες νομίζετε ότι μπορεί να είναι οι εφαρμογές ενός Αυτοκαθοδηγούμενου Οχήματος;
6. Πώς μπορούμε να διαπιστώσουμε την ύπαρξη ρωγμών σε ένα συμπαγές αντικείμενο;
7. Ποια είναι η χρήση των συστημάτων CAD/CAM/CAE ;
8. Μπορείτε να αναφέρετε προβλήματα που μπορούν να αντιμετωπιστούν με χρήση τεχνητής όρασης;

### **B. Να συμπληρώσετε τα κενά στις προτάσεις**

1. Στόχος του αυτοματισμού ήταν η καλύτερη αξιοποίηση των ..... του συστήματος με σκοπό την ..... της απόδοσης του συστήματος. Αυτό σημαίνει ..... ανά ..... με σύγχρονη ..... του απαιτούμενου χρόνου.

2. Οι μέθοδοι συναρμολόγησης μπορούν να διακριθούν σε μεθόδους .....  
....., σε μεθόδους ..... και σε μεθόδους με ..... .....
3. Στο άκρο ..... ένας ρομποτικός ..... φέρει κάποιο ..... ή κάποια .....
4. Μια βασική παράμετρος των σύγχρονων συστημάτων ποιότητας είναι η  
..... και ο .... .. των διαφόρων υλικών και .....

**Γ. Να επιλέξετε την σωστή απάντηση στις ερωτήσεις**

1. Όγκος εργασίας ενός ρομπότ ονομάζεται
  - i. ο χώρος μέσα στον οποίο δρα το ρομπότ
  - ii. ο όγκος από τα μηχανικά του μέρη
  - iii. ο όγκος του χώρου όπου βρίσκεται
2. Ένα σύστημα CIM χρησιμοποιείται
  - i. μόνο για την σχεδίαση προϊόντων
  - ii. μόνο για οδήγηση μηχανών
  - iii. για ολοκληρωμένη αυτοματοποίηση της παραγωγής
3. Ο χειρισμός και η αποθήκευση των προϊόντων
  - i. συμβάλουν σημαντικά στην διαμόρφωση του κόστους
  - ii. συμβάλουν ελάχιστα στην διαμόρφωση του κόστους
  - iii. δεν συμβάλουν στην διαμόρφωση του κόστους
4. Σε ένα Κλειστό Σύστημα Ελέγχου Αριθμητικού Συστήματος, η ανατροφοδότηση προέρχεται από την μέτρηση
  - i. του αριθμού στροφών του κινητήρα
  - ii. του μεγέθους της τράπεζας εργασίας
  - iii. την θέσης της τράπεζας εργασίας
5. Παράμετροι των σύγχρονων συστημάτων ποιότητας είναι
  - i. η ανάλυση της δομής του προϊόντος
  - ii. ο έλεγχος των μηχανών παραγωγής
  - iii. η επιθεώρηση και ο τεχνικός έλεγχος

## 9. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟΙ ΛΟΓΙΚΟΙ ΕΛΕΓΚΤΕΣ - PLC

### ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ ΚΑΙ ΜΑΘΗΣΙΑΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ

Σκοπός του κεφαλαίου αυτού είναι να παρουσιάσει την δομή και τις βασικές λειτουργίες των Προγραμματιζόμενων Λογικών Ελεγκτών (PLC). Θα παρουσιαστεί η αρχιτεκτονική των ελεγκτών αυτών καθώς και οι βασικές εντολές του προγραμματισμού του. Θα παρουσιαστούν επίσης τα προγράμματα Εποπτικού Ελέγχου και Συλλογής Δεδομένων (SCADA).

Μέσα από το κεφάλαιο αυτό ο μαθητής θα γνωρίσει σύγχρονες μορφές ελεγκτών. Θα πρέπει να μπορεί να περιγράφει την δομή ενός PLC και να εξηγήει την λειτουργία του. Θα πρέπει να μπορεί να αναφέρει εφαρμογές ενός PLC και να "διαβάζει" προγράμματα λειτουργίας PLC. Επίσης να μπορεί να επιλέγει το πλέον κατάλληλο PLC και να δημιουργεί δικά του απλά προγράμματα (για απλές εφαρμογές).

### 9.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η τεχνική του λογικού ελέγχου βασιζόταν μέχρι πρόσφατα κυρίως στα συστήματα ενσύρματης λογικής. Η λειτουργία δηλαδή του αυτοματισμού γινόταν με την συρμάτωση ανάμεσα στα διάφορα στοιχεία (π.χ. επαφές, ρελέ, χρονικά, πύλες κ.λ.π.). Επομένως για να κατασκευαστεί ένας πίνακας αυτοματισμού έπρεπε να έχει ολοκληρωθεί η μελέτη. Επιπλέον κάθε τροποποίηση στην συνέχεια συνεπάγεται αλλαγή στην συρμάτωση (δηλ. τροποποίηση του πίνακα), με αποτέλεσμα να δημιουργούνται πολλά προβλήματα, όπως αν φθάνουν ή όχι οι επαφές, αν υπάρχει χώρος για προσθήκη νέου υλικού κ.λ.π.

Για να ξεπεράσουμε όλα αυτά τα προβλήματα, που να σημειώσουμε ότι εντεινόταν συνεχώς αφού οι απαιτούμενοι αυτοματισμοί ήταν όλο και πιά σύνθετοι, προχωρήσαμε σε αυτοματισμούς με εντελώς διαφορετική λογική. Περνώντας πρώτα από αυτοματισμούς με ηλεκτρονικά κυκλώματα με χρήση τρανζίστορς, διόδων, πυλών, κ.λ.π (που έλυσαν βέβαια κάποια προβλήματα), και με δεδομένη την συνεχώς αυξανόμενη χρήση των Η/Υ (άρα και την ελάττωση του κόστους τους που αρχικά ήταν εξαιρετικά υψηλό), φθάσαμε στους αυτοματισμούς με βάση την προγραμματιζόμενη λογική.

Οι αυτοματισμοί αυτοί υλοποιούνταν με την χρήση κυρίως μικροεπεξεργαστή, μνημών ROM - RAM και I/O CHIPS. Το κύριο πρόβλημα που δημιουργήθηκε ήταν ότι τόσο η κατασκευή του κυκλώματος, όσο και ο προγραμματισμός του μικροεπεξεργαστή απαιτεί πολύ υψηλή τεχνογνωσία.

Επιπλέον οι κάρτες των μικροεπεξεργαστών παρουσιάζουν προβλήματα όταν δουλεύουν σε περιβάλλον με μεγάλο βιομηχανικό θόρυβο, υγρασία, κ.λ.π.

Η λύση τελικά που γεφύρωσε το χάσμα ανάμεσα στα δύο συστήματα υλοποίησης αυτοματισμών ήταν ο προγραμματιζόμενος λογικός ελεγκτής - PLC. Πρόκειται για μια συσκευή, που δέχεται εισόδους και οδηγεί εξόδους με βάση ένα πρόγραμμα που γράφεται σε μια ιδιαίτερα απλή γλώσσα και αποθηκεύεται στην συσκευή.

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης αυτού του τύπου αυτοματισμού είναι συνοπτικά τα εξής

- ✓ Στο στάδιο της μελέτης δεν υπάρχει το πρόβλημα για το αν φθάνουν οι επαφές των ρελέ, των χρονικών ή των εξωτερικών τερματικών.
- ✓ Η λειτουργία του αυτοματισμού μπορεί να αλλάξει πολύ εύκολα σε οποιοδήποτε στάδιο (μελέτη, κατασκευή, λειτουργία).
- ✓ Ο εντοπισμός των βλαβών διευκολύνεται, γιατί για κάθε έξοδο υπάρχει το αντίστοιχο ενδεικτικό LED (όχι σε όλες τις εταιρείες). Επίσης η ροή του αυτοματισμού μπορεί εύκολα να παρακολουθηθεί, με την βοήθεια μιας συσκευής προγραμματισμού.
- ✓ Ο αυτοματισμός ολοκληρώνεται συντομότερα, γιατί η μελέτη (προγραμματισμός) μπορεί να γίνει παράλληλα με την τοποθέτηση και συρμάτωση του PLC.
- ✓ Δεν υπάρχει το πρόβλημα των "μη ενημερωμένων" σχεδίων του πίνακα αυτοματισμού μετά από λίγο καιρό. Το PLC έχει πάντα αποθηκευμένο το τελευταίο πρόγραμμα, που μπορεί να διαβαστεί με μια συσκευή προγραμματισμού ή να τυπωθεί σε χαρτί.
- ✓ Υπάρχει σημαντική οικονομία στον χώρο, την συντήρηση και την κατανάλωση ενέργειας. Η οικονομία στο ανά επαφή κόστος δεν είναι ιδιαίτερα χαμηλή, όμως πιστεύεται ότι σε λίγα χρόνια θα βελτιωθεί.
- ✓ Η τοποθέτηση μπορεί να γίνει χωρίς κίνδυνο και μέσα σε πεδία ισχύος.
- ✓ Ένα PLC μπορεί να συνδεθεί με περιφερειακές μονάδες για έλεγχο-επιτήρηση της εγκατάστασης (οθόνη, εκτυπωτής, πληκτρολόγιο, modem), καταργώντας τον κλασικό πίνακα χειρισμών. Μπορεί επίσης να συνδεθεί με Η/Υ για ανταλλαγή στοιχείων, στατιστικές αναλύσεις, κ.λ.π.
- ✓ Η γλώσσα προγραμματισμού είναι προσαρμοσμένη στον βιομηχανικό αυτοματισμό και επομένως είναι προσιτή στο προσωπικό που μέχρι σήμερα συντηρούσε τους κλασικούς πίνακες.
- ✓ Υπάρχει δυνατότητα αντιγραφής. Όταν ο ίδιος αυτοματισμός χρησιμοποιείται σε πολλές μηχανές, "κατασκευάζεται" (δηλ. γράφεται το αντίστοιχο πρόγραμμα) μόνο μία φορά και κατόπιν μπορεί να αντιγραφεί όσες φορές θέλουμε με μία μόνο εντολή (copy).

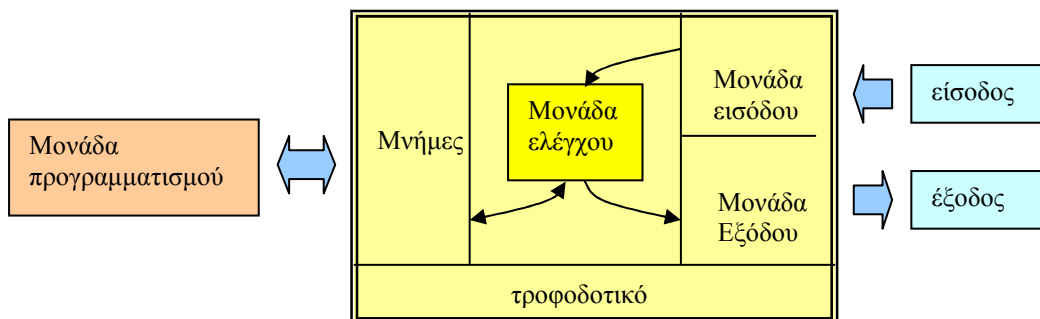
## 9.2 ΔΟΜΗ ΤΟΥ PLC

Ας εξετάσουμε τώρα τις μονάδες από τις οποίες αποτελείται ένα PLC.

Ένα PLC είναι ένας μικροϋπολογιστής ειδικού τύπου. Επομένως το Hardware του θα μοιάζει με το αντίστοιχο των Η/Υ. Μπορούμε να πούμε ότι ένα PLC αποτελείται από

- Μονάδα εισόδων-εξόδων (I/O μονάδα).
- Κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU).
- Μνήμες (RAM-ROM-EEPROM-EEPROM).
- Τροφοδοτικό.
- Πλαίσια τοποθέτησης-επέκτασης.
- Διάφορες άλλες βοηθητικές μονάδες.
- Θύρα επικοινωνίας.

Στο σχήμα 9.2.1 εικονίζεται η δομή ενός προγραμματιζόμενου ελεγκτή



Σχήμα 9.2.1 Δομή προγραμματιζόμενου λογικού ελεγκτή

Ας δούμε αναλυτικά τις μονάδες από τις οποίες αποτελείται ένα PLC.

α-1) Μονάδα εισόδων. Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι τέτοιων μονάδων.

**Ψηφιακές**, (ON-OFF), στις οποίες η είσοδος μπορεί να έχει δύο μόνο τιμές τάσης (υψηλή, έστω X - χαμηλή, σχεδόν 0). Ένα PLC αντιλαμβάνεται ότι ένα μπουτόν START πατήθηκε, όταν στην αντίστοιχη θέση εισόδου, εμφανίζεται η τάση X. Η τάση αυτή μπορεί να δημιουργείται είτε από το τροφοδοτικό του PLC, είτε από δικό μας εξωτερικό τροφοδοτικό. Η τιμή της στα περισσότερα PLC είναι 24 VDC.

**Αναλογικές**, στις οποίες το σήμα εισόδου μπορεί να είναι ένα αναλογικό σήμα. Συνήθως τα σήματα αυτά είναι έχουν τάση 0...10V ή -10V...10V, ή ένταση ρεύματος 0...20mA ή 4...20mA. Στην αναλογική μονάδα εισόδων συνδεσμοποιούνται όλα τα αναλογικά σήματα που προέρχονται από αισθητήρια (sensors) (π.χ. θερμοστοιχεία που ελέγχουν συνεχώς την θερμοκρασία ενός κλιβάνου, υπερηχητικό σταθμόμετρο που ελέγχει το ύψος

της στάθμης μιας δεξαμενής, δυναμοκυψέλη που μετρά βάρος μιας πλατφόρμας).

Μια μονάδα εισόδου μπορεί να περιλαμβάνει 4, 8, 16 ή 32 ψηφιακές εισόδους, ανάλογα με τον τύπο του PLC, ο οποίος μπορεί να περιλαμβάνει πολλές τέτοιες μονάδες. Ο μέγιστος αριθμός των αναλογικών εισόδων που μπορεί να διαθέτει ο ελεγκτής δίνεται από τον κατασκευαστή και διαφέρει από εταιρεία σε εταιρεία, αλλά ακόμη και σε μοντέλα της ίδιας εταιρείας.

α-2) Μονάδα εξόδων. Και οι μονάδες εξόδου διακρίνονται σε ψηφιακές και αναλογικές. Τυπικές τιμές τάσης εξόδου ψηφιακών εξόδων είναι 24 VDC, 115 VAC, 220 VAC. Τα τυποποιημένα ηλεκτρικά σήματα που παίρνουμε από μία μονάδα αναλογικών εξόδων έχουν συνήθως τάση -10 V...+10V, 0...10V ή ένταση ρεύματος 0...20 mA, 4...20mA. Μια μονάδα ψηφιακών εξόδων περιλαμβάνει 4, 8, 16, ή 32 εξόδους.

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

β) Κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU). Στην μονάδα αυτή γίνεται η επεξεργασία του προγράμματος και η εκτέλεση των εντολών με βάση τις καταστάσεις των σημάτων εισόδου-εξόδου. Ανάλογα με τα σήματα που δέχεται από το περιβάλλον και τα δεδομένα που παίρνει από την μνήμη, παράγει διάφορα σήματα εξόδου.

Μία CPU αποτελείται από

- Αριθμητική λογική μονάδα (ALU). Εκτελεί όλες τις αριθμητικές, αλλά και τις λογικές (AND, OR, NOT) πράξεις.

- Καταχωρητές (Registers). Χρησιμοποιούνται για να αποθηκεύουν τα δεδομένα που οδηγούνται από την ALU για να χρησιμοποιηθούν αργότερα. Εκτός από τα δεδομένα στους καταχωρητές αποθηκεύονται και οι κώδικες των εντολών που θα δράσουν πάνω στα δεδομένα.

- Αποκωδικοποιητή εντολών ελέγχου. Εναρργοποιεί τα σήματα ελέγχου (control signals) που χρησιμοποιούνται για να έχει η CPU άμεση επαφή με το περιβάλλον. Έτσι αναγνωρίζονται από τις εξωτερικές μονάδες οι προθέσεις της CPU. Αν π.χ. θέλει να γράψει στην μνήμη ή να διαβάσει, αν έγινε επιτυχημένη ανταλλαγή δεδομένων ή αν για κάποιο λόγο θέλει να σταματήσει η διαδικασία που εκτελείται με σήμα προς την CPU.

- Ακροδέκτες τροφοδοσίας και ρολόι. Συνήθως η τροφοδοσία στους επεξεργαστές του εμπορίου είναι +5 V, -5 V και GND, αλλά μπορεί να υπάρχουν και άλλες. Όταν ο επεξεργαστής έχει ενσωματωμένο ρολόι, τότε χρειάζεται ένας ακροδέκτης συγχρονισμού με τις άλλες μονάδες (SYNC). Αν δεν υπάρχει ενσωματωμένο ρολόι, τότε χρειάζονται ακροδέκτες σύνδεσης με αυτό.

- Αρτηρίες δεδομένων και διευθύνσεων (Data και Address bus). Όταν η CPU θέλει να διαβάσει δεδομένα από την μηχανή, τότε πρέπει μετά τα σήματα ελέγχου να στείλει μια διεύθυνση (address) στην μνήμη. Αυτή η διεύθυνση θα σταλεί μέσω του address bus. Η μνήμη, αφού αναγνωρίσει την διεύθυνση, θα στείλει τα δεδομένα (data) που χρειάζεται η CPU μέσω του data bus. Στους συνηθισμένους επεξεργαστές των 8 bits έχουμε address bus των 16 bits και data bus των 8 bits. Ο αριθμός των bits που χρησιμοποιούν τα δύο buses αυξάνει στους πύο σύγχρονους επεξεργαστές των 16 ή των 32 bits. Να σημειώσουμε εδώ ότι επειδή τα δύο buses δεν χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα, πολυπλέκονται ώστε να μειωθεί ο αριθμός των αγωγών.

γ) Μνήμες. Διακρίνουμε τις εξής

- Μνήμη προγράμματος (τύπου RAM). Εδώ αποθηκεύεται το πρόγραμμα που αναπτύσσουμε. Το ότι είναι μια μνήμη RAM, επιτρέπει γρήγορες αλλαγές στο πρόγραμμα. Συνδέεται με μπαταρία (διάρκειας περίπου 1 χρόνο), ώστε να διατηρεί το περιεχόμενό της ακόμη και όταν το PLC αποσυνδεθεί από την τροφοδοσία.

- Μνήμη συστήματος (συνήθως τύπου ROM ή PROM). Είναι η μνήμη στην οποία βρίσκεται αποθηκευμένο (από τον κατασκευαστή) το λογισμικό ανάπτυξης (κέλυφος) του PLC.

- Μνήμη δεδομένων (τύπου RAM). Στην μνήμη αυτή μεταφέρονται τα σήματα εισόδου και γίνονται οι λειτουργίες που καθορίζει το πρόγραμμα.

- Προαιρετική μνήμη EPROM (ή στα τελευταία μοντέλα φλάς EEPROM). Σε αυτή μπορεί να αποθηκευτεί το πρόγραμμα αφού πάρει την τελική του μορφή απελευθερώνοντας έτσι την μνήμη RAM.

δ) Τροφοδοτικό. Δημιουργεί τις απαραίτητες τάσεις για την λειτουργία των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων του PLC, καθώς επίσης και για να διατηρήσει το περιεχόμενο της μνήμης RAM.

ε) Πλαίσια τοποθέτησης-επέκτασης. Τα PLC χωρίζονται σε δύο κατηγορίες (ανεξάρτητα εταιρειών). Τα compact και τα modular.

Τα πρώτα είναι μία συμπαγής συσκευή με CPU, τροφοδοτικό και συγκεκριμένο αριθμό I/O (που ποικίλει ανάλογα με την εταιρεία). Τα δεύτερα αποτελούνται από μία βάση, στην οποία "κουμπώνουν" βαθμίδες επεξεργασίας, τροφοδοσίας, εισόδων, εξόδων. Μια μονάδα PLC μπορεί να διαθέτει περισσότερες από μια βαθμίδες εισόδου και εξόδου, ανάλογα με τον επιθυμητό αριθμό εισόδων ή εξόδων. Επομένως αν σε κάποιο αυτοματισμό, προκειμένου να τον επεκτείνουμε, χρειαστούμε κι άλλες εισόδους ή εξόδους, που δεν υπάρχουν στην αρχική κατασκευή, έχουμε την δυνατότητα να προσθέσουμε μία ή περισσότερες βαθμίδες εισόδων ή εξόδων, διατηρώντας την ίδια CPU και το ίδιο τροφοδοτικό.





### 9.3 ΤΥΠΟΙ PLC

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, δύο είναι οι τύποι των PLC : τα compact και τα modulo. Τα πρώτα είναι περιορισμένων δυνατοτήτων, συνήθως έχουν 48 το πολύ εισόδους / εξόδους (48 I/O) όλες ψηφιακές, καθώς και λίγα χρονικά και απαριθμητές. Τα παλαιότερα μοντέλα δεν ήταν επεκτάσιμα (δηλαδή δεν μπορούσαμε να αυξήσουμε τον αριθμό των εισόδων ή των εξόδων). Στα νεότερα μοντέλα όμως υπάρχει η δυνατότητα μικρής επέκτασης. Πλεονέκτημά τους το χαμηλό τους κόστος.

Τα δεύτερα παρουσιάζουν περισσότερα πλεονεκτήματα, σε αντιστάθμιση του υψηλότερου κόστους τους. Με τα modulo δημιουργούμε την κατασκευή που μας εξυπηρετεί καλύτερα και χρησιμοποιούνται συνήθως όταν έχουμε αρκετά μεγάλο αριθμό εισόδων και εξόδων. Η δημιουργία της μονάδας που μας χρειάζεται γίνεται ως εξής :

Πάνω σε μία βάση, που ονομάζεται RAK, συνδέουμε διαδοχικά τις βαθμίδες (modulo) του τροφοδοτικού, της CPU, των εισόδων και των εξόδων (κάποιες εταιρείες ενσωματώνουν στο RAK και την CPU, ενώ άλλες το τροφοδοτικό). Τα PLC αυτά έχουν το πλεονέκτημα της επέκτασης, μπορούμε δηλαδή να αυξήσουμε τις δυνατότητες της συσκευής μας, προσθέτοντας απλά βαθμίδες. Στο σχήμα 9.3.1 βλέπουμε δύο τέτοια PLC, ένα modulo (α) και ένα compact (β)

σχήμα 9.3.1. modulo (α) και compact (β) PLC

## 9.4 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ PLC

### 9.4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Όταν αναφερόμαστε σε "προγραμματισμό" μιας συσκευής, εννοούμε ένα σύνολο εντολών με τις οποίες καθορίζουμε στην συσκευή τι πρέπει να κάνει, δηλαδή ποιές εξόδους πρέπει να ενεργοποιήσει, όταν ενεργοποιηθούν οι αντίστοιχες εισοδοί.

Η κάθε εταιρεία χρησιμοποιεί τις δικές της εντολές για τον προγραμματισμό των συσκευών της. Οι εντολές αυτές βέβαια μοιάζουν μεταξύ τους ως προς την λειτουργία τους, διαφέρει όμως ο συμβολισμός τους.

Για τα PLC που κυκλοφορούν στο εμπόριο υπάρχουν τρεις τρόποι (γλώσσες) προγραμματισμού

- α) Με την μορφή διαγραμμάτων επαφών (Ladder diagram ή απλά LAD)
- β) Με την μορφή λίστας εντολών (Statement list)
- γ) Με την μορφή λογικού διαγράμματος συναρτήσεων (Control system flowchart)

Ο πρώτος τρόπος είναι ο παλαιότερος και επικρατέστερος, αφού δεν απαιτεί ιδιαίτερες γνώσεις προγραμματισμού και επιπλέον έχει το πλεονέκτημα της καλλίτερης εμποσιότητας του αυτοματισμού. Επινόηθηκε για να διευκολύνει την μετάβαση από την τεχνολογία των Η/Ν - στην οποία για πολλά χρόνια στηρίχθηκε η σχεδίαση των βιομηχανικών αυτοματισμών - στην τεχνολογία των PLC. Η βασική επιδίωξη κάθε προγράμματος στην γλώσσα LAD είναι να αναγνωρίζει τις λογικές συνθήκες των εισόδων και να προσδιορίζει τις λογικές τιμές εξόδων από λογικές σχέσεις που υπάρχουν μεταξύ των εισόδων και εξόδων του PLC. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση γραφικών συμβόλων ομοίων με αυτών που χρησιμοποιούνται για τον συμβολισμό επαφών και πηνίων Η/Ν. Μειονέκτημά του ότι απαιτεί μεγάλη οθόνη, με αποτέλεσμα όταν ο προγραμματισμός γίνεται με συσκευή χειρός (Headmaster), να είναι εξαιρετικά δυσχερές.

Ο δεύτερος τρόπος απαιτεί καλή γνώση προγραμματισμού, αφού το πρόγραμμα γράφεται σαν ένα οποιοδήποτε πρόγραμμα ενός Η/Υ (χρησιμοποιώντας τις εντολές της συσκευής βέβαια). Χρησιμοποιείται από τους πιο εξειδικευμένους προγραμματιστές και κυρίως όταν ο προγραμματισμός γίνεται με συσκευή χειρός.

Ο τρίτος τρόπος πλησιάζει περισσότερο προς την σχεδίαση ηλεκτρονικών κυκλωμάτων με πύλες. Εδώ το πρόγραμμα "χτίζεται" σαν ένα μπλόκ διάγραμμα συναρτήσεων, όπου η κάθε βαθμίδα έχει το δικό της σύμβολο. Χρησιμοποιείται από προγραμματιστές εξοικιωμένους με τα λογικά κυκλώματα.

Εδώ θα ασχοληθούμε με τον πρώτο τρόπο προγραμματισμού.


Ο προγραμματισμός ενός PLC μπορεί να γίνει είτε μέσω ενός programmer χειρός, είτε μέσω Ηλεκτρονικού Υπολογιστή (Η/Υ), με κατάλληλο


λογισμικό. Οι συσκευές χειρός είναι πιο εύχρηστες, έχουν όμως το μειονέκτημα ότι δεν δίνουν εποπτική εικόνα του προγράμματος, αφού απεικονίζουν το πολύ τρεις γραμμές εντολών. Αντίθετα οι Η/Υ δίνουν την δυνατότητα στον προγραμματιστή να παρακολουθεί καλύτερα το πρόγραμμα που αναπτύσει. Συνήθως χρησιμοποιείται Η/Υ για την αρχική δημιουργία του προγράμματος και συσκευή χειρός για τις μεταβολές στο πρόγραμμα που γίνονται στον τόπο λειτουργίας του PLC.

### 9.4.2 Βασικές εντολές της γλώσσας Ladder

Ας δούμε τα βασικά στοιχεία ενός προγράμματος σε γλώσσα LAD.

α) Κανονικά ανοικτή επαφή : NO 

β) Κανονικά κλειστή επαφή : NC 

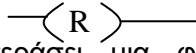
γ) Σύνδεση :  Οριζόντια. Συνδέει τα στοιχεία του προγράμματος σε σειρά.  
Κάθετη. Συνδέει τα στοιχεία του προγράμματος παρράλληλα.

Σε άλλους κατασκευαστές χρησιμοποιείται η τεχνική των κόμβων αντί για οριζόντιες και κάθετες γραμμές.

δ) Αμεση έξοδος :   
Ενεργοποιείται όταν περάσει ρεύμα.

ε) Αντίστροφη έξοδος :   
Ενεργοποιείται όταν δεν περάσει ρεύμα.

στ) Εξοδος SET :   
Είναι συνεχώς ενεργοποιημένη όταν περάσει μία φορά ρεύμα.

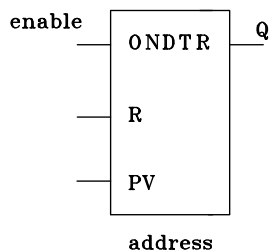
ζ) Εξοδος RESET :   
Είναι συνεχώς απενεργοποιημένη όταν περάσει μια φορά ρεύμα (απενεργοποιεί μία έξοδο που έχει ενεργοποιηθεί με SET)

#### *Συναρτήσεις Χρονικών και Μετρητών*

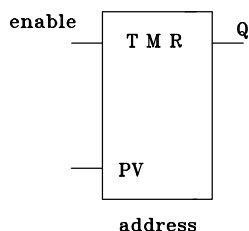
- Με τις εντολές αυτές συνδέονται τρεις όροι
- \* τρέχουσα τιμή (CV) - χρόνου ή απαρίθμησης γεγονότων
  - \* προτοποθετημένη τιμή (PV) - χρόνου ή γεγονότων
  - \* λέξη ελέγχου (CW) - μεταφέρει τις καταστάσεις εισόδου & εξόδου

και οι τρεις αποθηκεύονται σε μια θέση μνήμης  
Οι μονάδες των εντολών αυτών ενεργοποιούνται μέσω της εισόδου enable.

a) retentive on delay timer (ONDTR) - χρονικό με αναβολή

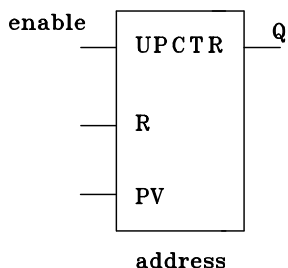


Στην θέση address γραφονται οι τρέχουσα και η προτοποθετημένη τιμή καθώς και η λέξη ελέγχου. Κάτω από την λέξη ONDTR γράφουμε την βάση χρόνου. Έτσι ο χρόνος καθυστέρησης είναι ο αριθμός αυτός επί ότι μας λείει η PV. Ο χρόνος μετράται όσο στην είσοδο enable έχουμε "1". Αν αυτή γίνει "0", τότε ο χρόνος σταματά και συνεχίζεται **(δεν αρχίζει ξανά)** όταν ξαναγίνει "1". Για να αρχίσει η μέτρηση από την αρχή χρειαζόμαστε έναν παλμό στην είσοδο Reset (R).



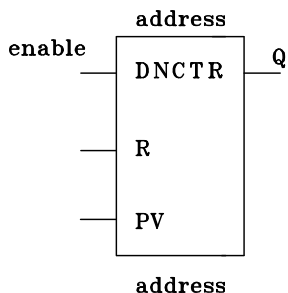
b) απλό on delay timer (TMR) - χρονικό

Η διαφορά από τον προηγούμενο είναι ότι δεν έχει είσοδο reset. Όταν η είσοδος enable έρθει σε "0" τότε ο χρόνος σταματά και αρχίζει **από την αρχή** όταν γίνει "1" (reset).



c) up counter (UPCTR) - μετρητής προς τα άνω

Στην είσοδο enable φθάνουν διαδοχικοί "1". Όταν η τρέχουσα τιμή γίνει ίση με την προτοποθετημένη, η έξοδος παίρνει την τιμή "1".



d) down counter (DNCTR) - μετρητής προς τα κάτω

Στην είσοδο enable φθάνουν διαδοχικοί "1". Η τρέχουσα τιμή ξεκινά από την προτοποθετημένη και φθίνει. Όταν γίνει μηδέν η έξοδος παίρνει την τιμή "1".

**προσοχή :** στην είσοδο PV δεν συνδέουμε ποτέ επαφή. Η είσοδος αυτή ελέγχεται είτε με σταθερά είτε με θέση μνήμης (register).

**Σημείωση** : ο τρόπος συμβολισμού αλλά και λειτουργίας των μονάδων διαφέρει μεταξύ των διαφόρων εταιρειών. Για τον λόγο αυτό όταν πρόκειται να χρησιμοποιήσετε ένα PLC συμβουλευτείτε πρώτα τον οδηγό χρήσης (user guide).

Οι εντολές που παρουσιάστηκαν είναι ένας ελάχιστος αριθμός των εντολών που διαθέτει η γλώσσα προγραμματισμού ενός PLC. Από την άλλη πλευρά οι εντολές αυτές είναι οι συχνότερα χρησιμοποιούμενες. Πάντως εκτός από αυτές υπάρχουν εντολές για μαθηματικές πράξεις, για λογικές πράξεις, για λογικές συγκρίσεις, για διαχείριση δεδομένων, κ.α.

### **9.4.3 απλές οδηγίες προγραμματισμού**

Για να υλοποιήσουμε έναν αυτοματισμό με την χρήση PLC παίρνουμε υπ' όψιν μας τις εξής παρατηρήσεις.

1. Το πρόγραμμα γράφεται σε οριζόντιες γραμμές.
2. Οι είσοδοι συμβολίζονται με I και οι έξοδοι με Q, που συνήθως ακολουθούνται από δύο ή τρεις αριθμούς (I1.1.0 ή Q3.1.1). Τόσο οι είσοδοι όσο και οι έξοδοι είναι οργανωμένοι σε ομάδες των 8 (με αριθμηση 0...7). Ετσι αν σε μια κάρτα 16 εισόδων θέλουμε να αναφερθούμε στην 5<sup>η</sup> είσοδο γράφουμε I0.4 (το 0 δηλώνει την 1<sup>η</sup> οκτάδα και το 4 την 5<sup>η</sup> είσοδο της οκτάδας), ενώ για την 12 είσοδο γράφουμε I1.3. Αν χρησιμοποιούμε modulo PLC πρέπει να δηλώσουμε και σε ποιά κάρτα εισόδων αναφερόμαστε, οπότε προστίθεται και τρίτος αριθμός. Ετσι I1.3.0 σημαίνει η 4<sup>η</sup> είσοδος της 2<sup>ης</sup> οκτάδας, της πρώτης κάρτας εισόδων. Αντίστοιχος είναι και ο συμβολισμός για τις εξόδους.
3. Το πρόγραμμα ενός PLC δεν έχει αρχή και τέλος, γιατί "τρέχει" κυκλικά. Δηλαδή όταν εκτελεστεί η τελευταία εντολή, το πρόγραμμα, αυτόματα θα επανέλθει στην πρώτη.
4. Μία έξοδος ενεργοποιείται όταν αποκαθίσταται μια γραμμή σύνδεσης με την αριστερή κατακόρυφη γραμμή (στην γραμμή να μην υπάρχει ανοικτή επαφή - διακοπή). Με άλλα λόγια ένα bit πληροφορίας που ξεκινά από την αριστερή κατακόρυφη γραμμή να φτάνει στην έξοδο αυτή.
5. Μια είσοδος που σε κλασικό σχέδιο είναι κλειστή σε ηρεμία, στο Ladder προγραμματίζεται κανονικά ανοικτή. Ο λόγος είναι ότι μία είσοδος που προγραμματίζουμε παραμένει όπως είναι όταν στην είσοδο δεν υπάρχει τάση, ενώ διεγείρεται (και αλλάζει κατάσταση) όταν στην είσοδο υπάρχει τάση. Άρα αν προγραμματιζόταν κανονικά κλειστή, τότε αφού έχει τάση, θα άλλαζε κατάσταση, άρα θα άνοιγε. Ενοείται ότι τα προηγούμενα ισχύουν **μόνο** για τις εισόδους και όχι για τις υπόλοιπες επαφές του κυκλώματος.
6. Κάθε έξοδος Q? ενεργοποιείται μία μόνο φορά. Δεν επιτρέπεται δηλαδή να υπάρχουν σε ένα πρόγραμμα περισσότερες από μία φορά έξοδοι με το ίδιο όνομα.

7. Η έξοδος Q? μπορεί να αλλάζει την κατάσταση επαφών. Επιτρέπεται δηλαδή η χρησιμοποίηση επαφών με το ίδιο όνομα με κάποια έξοδο. Προφανώς η κατάσταση της επαφής ελέγχεται από την έξοδο.
8. Σε έναν κλασικό αυτοματισμό η γραμμή ελέγχου της λειτουργίας ενός κινητήρα ξεκινά με τα στοιχεία προστασίας του (θερμικό, ασφάλεια). Στον αυτοματισμό με PLC τα στοιχεία αυτά μπορούν να θεωρηθούν είσοδοι του προγράμματος, ή να συνδεθούν στην έξοδο του PLC σε σειρά με τον κινητήρα. Προτιμότερη είναι η δεύτερη επιλογή, αφού έτσι ελαττώνονται οι χρησιμοποιούμενες είσοδοι.

Για να γραφεί ένα πρόγραμμα υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι. Κυριότερες είναι η μετατροπή ενός κλασικού αυτοματισμού, η χρήση λογικής συνάρτησης, η χρήση διαγράμματος ροής. Η χρήση των μεθόδων αυτών αφορά αρκετά σύνθετες εφαρμογές κάτι που ξεφεύγει από τα πλαίσια του βιβλίου αυτού.

Στα πλαίσια αυτού του βιβλίου η διαδικασία που θα ακολουθείται για την δημιουργία του προγράμματος σε LADDER που θα υλοποιεί έναν απλό αυτοματισμό, είναι

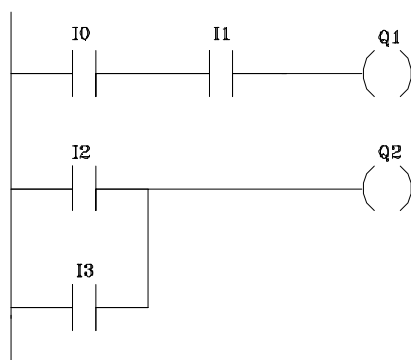
- ✓ Καταγραφή εισόδων και εξόδων
- ✓ Συμβολισμός εισόδων και εξόδων
- ✓ Ενεργοποίηση των εξόδων
- ✓ Απενεργοποίηση των εξόδων

#### **9.4.4 Απλές εφαρμογές**

1. Να σχεδιαστεί ένα πρόγραμμα που να εκτελεί την πράξη AND μεταξύ των εισόδων I0 και I1 και πράξη OR μεταξύ των εισόδων I2 και I3.

#### **Λύση**

Στο σχήμα 9.4.1 δίνεται το πρόγραμμα.



σχήμα 9.4.1

Παρατηρώντας το σχήμα βλέπουμε ότι η έξοδος Q1 ενεργοποιείται μόνο όταν κλείσουν και οι δύο εισόδους I0 και I1. Αντίθετα η Q2 ενεργοποιείται όταν κλείσει ή η είσοδος I2 ή η είσοδος I3.

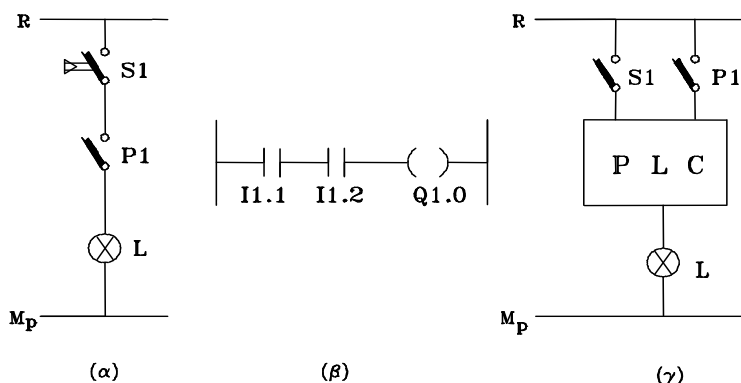
2. Θέλουμε όταν κλείσει ο χειροκίνητος διακόπτης S1 και κλείσει η επαφή P1 ενός φωτοκυττάρου, να ανάψει η λάμπα L.

### Λύση

α) Είσοδοι (2) : ο χειροκίνητος διακόπτης S1 κανονικά ανοικτός -NO- και η επαφή P1 του φωτοκυττάρου κανονικά ανοικτή -NO-. Εξοδοι (1) : Ενεργοποίηση λάμπας L.

β) Το σχέδιο κλασσικού αυτοματισμού φαίνεται στο σχήμα 9.4.2α).

γ) Καταγράφουμε τις εισόδους και τις εξόδους του αυτοματισμού : Διακόπτης S1 No I1.1 , επαφή φωτοκυττάρου P1 No I1.2, ενεργοποίηση λάμπας L Q1.0.



σχήμα 9.4.2

δ) Το σχέδιο διαγράμματος επαφών φαίνεται στο σχήμα 9.4.2 β).

ε) Η συρμάτωση του PLC φαίνεται στο σχήμα 9.4.2 γ).

Να προσεχθεί ιδιαίτερα η σύνδεση της λάμπας στην έξοδο Q1.0. Αν το ρεύμα που αποροφά η λάμπα είναι μεγαλύτερο από αυτό που μπορεί να δώσει η έξοδος του PLC, τότε απαιτείται η χρήση ενός ρελέ, το πηνίο του οποίου θα συνδεθεί με την έξοδο Q1.0

3. Μία άλλη εφαρμογή είναι στην κλασική αυτοσυγκράτηση. Θέλουμε πατώντας στιγμιαία το μπουτόν START (S2) να διεγείρεται το ρελέ R (συνέχεια). Με το πάτημα δε του μπουτόν STOP (S1) να αποδιεγείρεται.

Λύση

α) κάνουμε καταγραφή των εισόδων και των εξόδων :

Είσοδοι (2) : Μπουτόν START, μπουτόν STOP.

Εξοδος (1) : Ενεργοποίηση ρελέ R.

β) Το κλασικό σχέδιο του αυτοματισμού φαίνεται στο σχήμα 9.4.3α)

γ) Κάνουμε τον συμβολισμό εισόδων και εξόδων

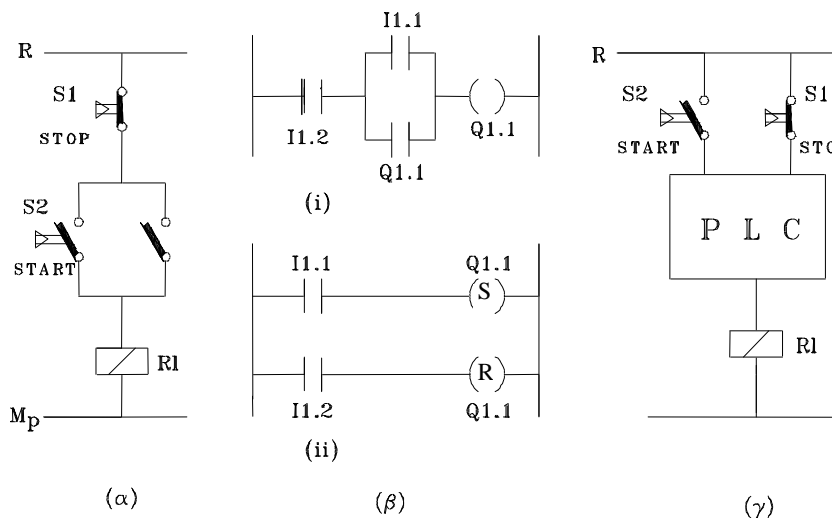
Μπουτόν START (S2) : I1.1

Μπουτόν STOP (S1) : I1.2

Ενεργοποίηση ρελέ (R) : Q1.1

δ) Στο σχήμα 9.4.3 β) φαίνονται δύο τρόποι σχεδίασης με την μορφή διαγράμματος επαφών. Στον (i) έγινε πιστή μετατροπή του κλασικού σχεδίου, ενώ στον (ii) έγινε χρήση των εντολών SET και RESET.

ε) Η συρμάτωση του PLC φαίνεται στο σχήμα 9.4.3 γ).



σχήμα 9.4.3

Η ενεργοποίηση ή όχι μιας εξόδου με τις εντολές Set και Reset είναι προτιμότερη από την χρήση άμεσης εξόδου, γιατί η απενεργοποίηση χωρίζεται από την ενεργοποίηση και επομένως μπορεί να γίνει σε οποιοδήποτε σημείο του προγράμματος. Αντίθετα στην δεύτερη περίπτωση πρέπει να προβλέψουμε στην ίδια γραμμή τις περιπτώσεις ενεργοποίησης και απενεργοποίησης.



## 9.5 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (SCADA)

Στους μεγάλους βιομηχανικούς αυτοματισμούς ένας πολύ σημαντικός παράγοντας είναι ο *εποπτικός έλεγχος*. Με τον έλεγχο αυτό είναι δυνατόν εύκολα να διαπιστώνεται σε κάθε στιγμή η κατάσταση του συστήματος και να γίνονται οι απαραίτητες ρυθμίσεις.

Η μεγάλη ανάπτυξη των Η/Υ έδωσε την δυνατότητα δημιουργίας συστημάτων κεντρικού ελέγχου (όπως έχουμε ήδη αναφέρει στο πρώτο κεφάλαιο). Δηλαδή ένα μεγάλο τμήμα ή ακόμη και ολόκληρη η διεργασία να παρακολουθείται μέσω ενός Η/Υ, με χρησιμοποίηση κατάλληλων προγραμμάτων (software). Οι πληροφορίες φτάνουν στον υπολογιστή μέσω των μονάδων προσαρμογής - interfaces, και με βάση τις οδηγίες που έχουμε δώσει, δίνονται (πάλι μέσω των interfaces) οι κατάλληλες εντολές.

### Σχήμα 9.5.1 Οθόνη συστήματος SCADA

Το σημαντικό στα συστήματα αυτά είναι ότι στην οθόνη του υπολογιστή, εμφανίζεται γραφικά η διαδικασία την οποία παρακολουθούμε. Τα προγράμματα αυτά με τα οποία συλλέγονται οι πληροφορίες από τα αισθητήρια και δίνονται οι κατάλληλες εντολές μετά από την επεξεργασία των πληροφοριών, ονομάζονται συνοπτικά SCADA. Στο σχήμα 9.5.1 βλέπουμε μια τέτοια εικόνα. Τέτοια συστήματα έχουν δημιουργήσει πολλές γνωστές εταιρείες, όπως είναι το COROS της Siemens, το InTouch της Allen-Bradley,

το Genius κ.ά. Σημαντική δυνατότητα των προγραμμάτων αυτών είναι ότι δίνουν την δυνατότητα στον χρήστη να επέμβει και να τροποποιήσει κάποια από της παραμέτρους του συστήματος, ενώ αυτό εργάζεται (real time λειτουργία).

Οι κυριώτερες δυνατότητες που δίνει ένα τέτοιο πρόγραμμα, συνοπτικά είναι

- Σχηματική αναπαράσταση (object oriented graphics)  
Δυνατότητα τοποθέτησης, περιστροφής, χρωματισμού, κλπ διαφόρων βαθμίδων, ώστε να δημιουργηθεί η μονάδα που προκειται να παρακολουθηθεί
- Λειτουργία κίνησης (animation links)  
Δυνατότητα κίνησης γραμμών ή επιφανειών για παρακολούθηση εξελικτικής διεργασίας, π.χ. για παρακολούθηση της σταθμής μιας δεξαμενής καθώς αυτή αδιάζει
- Βιβλιοθήκη μονάδων (Wizards)  
Υπαρξη έτοιμων μονάδων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο "χτήσιμο" του συστήματος, ή δυνατότητα δημιουργίας μονάδων με σχεδιαστικό πρόγραμμα (π.χ. AutoCAD).
- Βάση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο (Real-time Database)  
Δυνατότητα συνεργασίας με εξωτερική βάση δεδομένων, spreadsheets, κειμενογράφους.
- Λειτουργία σε πραγματικό χρόνο και δυνατότητα αναφοράς (Real-time and Historical Trends)  
Δυνατότητα λειτουργίας του συστήματος σε πραγματικό χρόνο (δηλαδή να παρακολουθεί την πορεία μιας μεταβολής ανώ αυτή είναι σε εξέλιξη). Δυνατότητα δημιουργίας αρχείου ή γραφήματος που να παρουσιάζει την χρονική εξέλιξη μιας μεταβολής
- Δημιουργία συστήματος συναγερμού (Alarm capabilities)  
Δυνατότητα τοποθέτησης σημείων συναγερμού που να ενεργοποιούνται σε μια λανθασμένη λειτουργία. Τα σημεία αυτά μπορούν να δίνουν οπτικό σήμα (αλλαγή χρώματος), ηχητικό σήμα, καταγραφή σε εκτυπωτή, δημιουργία αρχείου σφαλμάτων, κ.λ.π.
- Κειμενογράφος εντολών (Script editor)  
Δυνατότητα εγγραφής εντολών που να βελτιώνουν την λειτουργία του συστήματος (δημιουργία εντολών προγράμματος).
- Συναρτήσεις (Script functions)  
Το πρόγραμμα μπορεί να χειριστεί λογικές ή μαθηματικές συναρτήσεις, συναρτήσεις που δημιουργούνται σε κειμενογράφο ή περιγράφονται από τα περιεχόμενα ενός αρχείου.
- Προστασία της δημιουργίας (password protection)  
Δυνατότητα "κλειδώματος" του συστήματος που έχουμε σχεδιάσει, ώστε να μην αντιγράφεται, ούτε να μπορεί κάποιος άλλος να επιδράσει σε αυτό.

### **ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ**

Οι Προγραμματιζόμενοι Λογικοί Ελεγκτές (PLC) είναι ένα τύπος προγραμματιζόμενων ελεγκτών, που τα τελευταία χρόνια εφαρμόζονται όλο και περισσότερο στην βιομηχανία. Οι βασικές μονάδες από τις οποίες αποτελείται ένα PLC είναι η κεντρική μονάδα επεξεργασίας, μνήμες και μονάδες I/O. Η λειτουργία τους βασίζεται σε ένα σύνολο εντολών που αποθηκεύεται στην μνήμη τους. Η μονάδα συλλέγει τα σήματα εισόδου και ανάλογα με τις λειτουργίες που έχουν προγραμματιστεί, ενεργοποιεί τις αντίστοιχες εξόδους.

Με τα συστήματα συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων (SCADA) μπορεί ο χρήστης να έχει εποπτικό έλεγχο μιας διαδικασίας που είναι σε εξέλιξη και ταυτόχρονα έχει την δυνατότητα να επεμβεί σε αυτή.

## **9.6 ΑΣΚΗΣΕΙΣ**

Να γραφούν τα προγράμματα σε γλώσσα LADDER για τις εφαρμογές

1. Με το πάτημα ενός μπουτόν ενεργοποιείται μία έξοδος. Αν ενεργοποιηθεί η έξοδος αυτή, ανάβει μια πράσινη λάμπα. Αν όχι ανάβει μια κόκκινη. Η διαδικασία σταματά με ένα δεύτερο μπουτόν.
2. Θέλουμε από δύο διαδικασίες να συμβαίνει μόνο η μια. Η κάθε μια ξεκινά με ένα μπουτόν START, ενώ υπάρχει ένα μπουτόν STOP και για τις δύο. Αν είναι η μια από τις δύο ενεργοποιημένη, θέλουμε να αποκλείσουμε την περίπτωση να ενεργοποιηθεί και η άλλη, ακόμη και αν πατήσουμε το ανάλογο μπουτόν.
3. Με το πάτημα ενός μπουτόν ανάβει μια πράσινη λάμπα. Δυο λεπτά αργότερα ανάβει και μια κίτρινη. Πέντε λεπτά μετά και οι δύο λάμπες σβήνουν.
4. Με το πάτημα ενός μπουτόν ανάβει μια λάμπα για 5 sec και μετά σβήνει για 5sec. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρι να πατηθεί ένα δεύτερο μπουτόν.
5. Με το πάτημα ενός μπουτόν ανάβει μια λάμπα για 5 sec και μετά σβήνει για 5sec. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται 10 φορές .

## **9.7 ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ**

**A.** Να απαντήσετε συνοπτικά στις ερωτήσεις

1. Ποια είναι τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα ενός αυτοματισμού με PLC έναντι ενός επαφικού αυτοματισμού;
2. Από ποιες μονάδες αποτελείται ένα PLC;
3. Ποια είδη μνημών διαθέτει ένα PLC και ποια λειτουργεί εκτελεί η κάθε μια

4. Ποιοι τύποι PLC υπάρχουν;. Σε ποιες εφαρμογές εφαρμόζεται ο κάθε τύπος;
5. Ποιες γλώσσες προγραμματισμού PLC υπάρχουν;
6. Τι ονομάζεται εποπτικός έλεγχος και ποιες δυνατότητες δίνει;
7. Τι ονομάζουμε λειτουργία σε πραγματικό χρόνο;

**B. Να συμπληρώσετε τα κενά στις προτάσεις**

1. Ένα PLC είναι μια συσκευή, που δέχεται ..... και οδηγεί ..... με βάση ένα ..... που γράφεται σε μια ιδιαίτερα απλή ..... και αποθηκεύεται στην .....
2. Ένα PLC έχει δύο ειδών εισόδους : ..... και ..... Περισσότερο συχνές είναι οι ....., ενώ οι ..... έχουν το μειονέκτημα να είναι ιδιαίτερα ακριβές.
3. Τα ..... PLC δημιουργούνται με κατάλληλη σύνδεση διαφόρων .....
4. Ένα χρονικό .....ένα ηλεκτρικό ..... για όσο χρόνο το ..... το .....διαθέτει χωριστή είσοδο .....ενώ το ..... ξεκινά ξανά την χρονομέτρηση με την διακοπή της τροφοδοσίας.
5. Ένας απαριθμητής ..... την κατάσταση της εξόδου του, όταν ..... τόσοι παλμοί στην είσοδό του, όσοι .....
6. SCADA ονομάζονται συνοπτικά τα ..... με τα οποία συλλέγονται οι ..... από τα ..... και δίνονται οι κατάλληλες ..... μετά από την επεξεργασία των πληροφοριών.
7. Σημαντική δυνατότητα των SCADA είναι ότι δίνουν την δυνατότητα στον χρήστη να ..... και να ..... κάποια από τις ..... του συστήματος, ενώ αυτό .....

**Γ. Να επιλέξετε την σωστή απάντηση στις ερωτήσεις**

1. Το σημαντικότερο πρόβλημα ενός επαφικού αυτοματισμού είναι
  - i. η μειωμένη αξιοπιστία
  - ii. η δυσκολία στην συρμάτωση
  - iii. οι συχνές βλάβες
2. Το πρόγραμμα ενός PLC εκτελείται
  - i. διαρκώς κυκλικά
  - ii. μια φορά και σταματά
  - iii. κατά συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα
3. Αν έχουμε έναν αυτοματισμό με πολλές εισόδους και εξόδους, θα χρησιμοποιήσουμε
  - i. ένα modulo PLC
  - ii. ένα compact PLC
  - iii. ένα compact PLC με διαδοχικές επεκτάσεις

4. Μια βαθμίδα χρονικού
- i. καθυστερεί ένα σήμα για κάποιο χρόνο
  - ii. επιτρέπει την διέλευση του σήματος για κάποιο χρόνο
5. Με ένα σύστημα συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων - SCADA, μπορούμε να έχουμε
- i. γρήγορες αποφάσεις σχετικές με τον πραγματοποιούμενο έλεγχο
  - ii. δημιουργία έμπειρου συστήματος για την παρακολούθηση της εξέλιξης της διεργασίας
  - iii. γραφική παρακολούθηση της διεργασίας σε πραγματικό χρόνο

## 10. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Xander, Ender : Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου με ηλεκτρονικά στοιχεία
2. Ρ. Κίνγκ : Ευφυής έλεγχος
3. Π. Παρασκευόπουλος : Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου
4. Π. Παρασκευόπουλος : Έλεγχος συστημάτων με Υπολογιστές
5. Κ. Καρύμπακας, Ε. Σερβετάς : Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου
6. ΤΕΕ : Ημερίδα "Sensors 1993 - Αισθητήρες 1993"
7. Sensors A comprehensive survey
  - 7.1. vol 1 T.Grandke, W. Ko : Fundamentals and General Aspect
  - 7.2. vol 2 W.Gopel, T, Jones, M.Kleitz : Chemical and Biochemical Sensors
  - 7.3. vol 3 W.Gopel, T, Jones, M.Kleitz : Chemical and Biochemical Sensors
  - 7.4. vol 4 T. Ricolfi, J.Scholz : Thermal Semsors
  - 7.5. vol 5 R.Boll, k.Overshott : Magnetic Sensors
  - 7.6. vol 6 E.Wagner, R Dandliker, K.Spennner : Optical Sensors
8. K.Zbon : Robust and Optimal Control
9. B. Kosko : Fuzzy Thinking The new Science of Fuzzy Logic
10. J.Fraden : Handbook of Modern Sensors
11. H. Everett : Sensors for Mobile Robots
12. G.Barney : Intelligent Instrumentation
13. A. Van Putten : Electronic Measurement Systems
14. T. Petruzzellis : The alarm, sensor and security circuit cookbook
15. Burr - Brown : Applications Handbook
16. National Sem. Corp. : Linear applications
17. J.Golden, A.Verwer : Control System Design and Simulation

## 11. ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΟΡΩΝ

**Αισθητήρια** : είναι κυκλώματα που δέχονται ένα σήμα ή μια διέγερση από το περιβάλλον και απαντούν με ένα ηλεκτρικό σήμα (σελ 15).

**Αισθητήρια ενεργά** : είναι τα αισθητήρια που δεν δημιουργούν απ' ευθείας ηλεκτρικό σήμα και για να λειτουργήσουν χρειάζονται εξωτερική τροφοδοσία (σελ 16).

**Αισθητήρια παθητικά** : είναι τα αισθητήρια που δημιουργούν απ' ευθείας ένα ηλεκτρικό σήμα, αποκρινόμενα στην εξωτερική διέγερση (σελ 16).

**Ανατροφοδότηση** : ονομάζουμε την λειτουργία κατά την οποία το αποτέλεσμα (έξοδος) επηρεάζει τον τρόπο με τον οποίο η αιτία παράγει το αποτέλεσμα (σελ 97).

**Ανιχνευτές** : Είναι αισθητήρια με έξοδο μορφής διακόπτη, που αλλάζει κατάσταση, όταν αντιλαμβάνεται κάποιο συγκεκριμένο γεγονός (σελ 16).

**Ανοικτού βρόχου σύστημα** : είναι το σύστημα στο οποίο η έξοδος δεν επηρεάζει την λειτουργία του ελεγκτή (σελ 4, 97).

**Αυτοματισμού σύστημα** : Είναι διατάξεις που λειτουργούν χωρίς να χρειάζονται ανθρώπινη επιτήρηση ή παρέμβαση και δρουν κατά προκαθορισμένο τρόπο, ώστε να επιτευχθεί κάποιο επιθυμητό αποτέλεσμα με προκαθορισμένη ακρίβεια (σελ 1).

**Βρόχος γείωσης** : Ονομάζεται ένας βρόχος που δημιουργείται σε ένα κύκλωμα λόγω ύπαρξης περισσοτέρων του ενός σημείων γείωσης (σελ 51).

**Ελεγκτής** : Είναι η διάταξη η οποία, όταν επιδρά στο σύστημα που πρόκειται να ελεγχθεί, το οδηγεί σε μια προκαθορισμένη έξοδο για συγκεκριμένη (γνωστή) είσοδο (σελ 3).

**Ελέγχου κύκλωμα** : (ή βοηθητικό κύκλωμα) Είναι το τμήμα του αυτοματισμού που ελέγχει τη λειτουργία του κυκλώματος ισχύος, ώστε το σύστημα να έχει την επιθυμητή έξοδο. (σελ 9).

**Ενεργοποιητής** : Είναι τα στοιχεία εκείνα, στα οποία θα επιδράσει ο ελεγκτής και τα οποία ρυθμίζουν τις λειτουργίες του ελεγχόμενου συστήματος που εξασφαλίζουν την επιθυμητή έξοδο (σελ 4).

**Θερμικός συντελεστής** : Είναι ένας συντελεστής που εξαρτάται από τον ρυθμό μεταβολής της αντίστασης ενός υλικού με την θερμοκρασία. Αρνητικός θερμικός συντελεστής σημαίνει ότι η αντίσταση μειώνεται, ενώ θετικός ότι αυξάνει (σελ 56).

**Θόρυβος** : Είναι παρασιτικά σήματα, που εμφανίζονται τόσο σε αισθητήρια, όσο και σε κυκλώματα και παραμορφώνουν το σήμα (σελ 47).

**Θωράκιση** : Είναι μια κατάλληλη κατασκευή που προστατεύει ένα κύκλωμα από τον θόρυβο (σελ 49).

**Ισχύος κύκλωμα** : Είναι το τμήμα του αυτοματισμού που ενεργοποιεί τις μονάδες που απαιτούν υψηλά ρεύματα για τη λειτουργία τους (σελ 9).

**Κλειστού βρόχου σύστημα** : Είναι το σύστημα στο οποίο η έξοδος επηρεάζει την λειτουργία του ελεγκτή (σελ 4, 97).

**Μετατροπείς** : Είναι συσκευές που μετατρέπουν μια μορφή ενέργειας σε άλλη μορφή, όχι απαραίτητα ηλεκτρική (σελ 16).

**Μέτρηση** : Είναι η σύγκριση ενός μεγέθους  $A$ , που ονομάζεται μετρούμενο με κάποια τιμή του  $a$ , που αυθαίρετα ή κατόπιν συμφωνίας θεωρούμε σαν μονάδα (σελ 12).

**Προσαρμογής μονάδα** : Είναι η βαθμίδα που συνδέει μια υπολογιστική μονάδα με αισθητήρια και ενεργοποιητές (σελ 113).

**Συνάρτηση μεταφοράς** : Μιας βαθμίδας ή ενός συστήματος, είναι ο λόγος του σήματος εξόδου προς το σήμα εισόδου (σελ 101).

**Υπερακόντιση** : Είναι η διαφορά της μέγιστης από την τελική τιμή της εξόδου ενός συστήματος (σελ 99).

**Φίλτρο ηλεκτρονικό** : Είναι ένα κύκλωμα που επιτρέπει τα σήματα κάποιας περιοχής συχνοτήτων να περάσουν, ενώ αποκόπτει όλα τα υπόλοιπα (σελ 93).