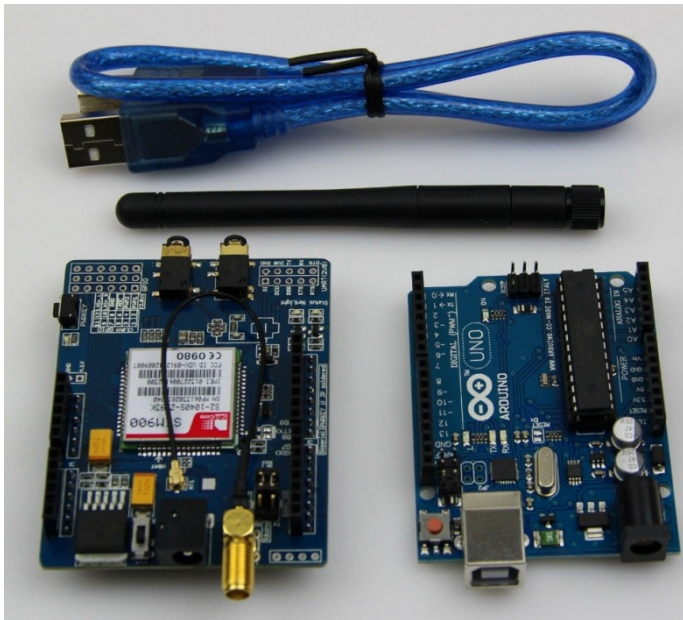




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ  
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

## ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗ ΜΕΛΙΣΣΟΚΟΜΕΙΟΥ ΑΠΟ ΑΠΟΣΤΑΣΗ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
Κόκκορης Αποστόλης

Επιβλέποντες:

Μαρία-Παρασκευή Ιωαννίδου, Καθηγήτρια Ε. Μ. Πολυτεχνείου

Ευθύμιος Καραλής, Ηλεκτρολόγος Μηχανικός κ' Μηχανικός Υπολογιστών, Ερευνητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Ιούλιος 2015





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ  
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

## ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗ ΜΕΛΙΣΣΟΚΟΜΕΙΟΥ ΑΠΟ ΑΠΟΣΤΑΣΗ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
Αποστόλης Θ. Κόκκορης

Επιβλέποντες:

Μαρία-Παρασκευή Ιωαννίδου, Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Ευθύμιος Καραλής, Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών, Ερευνητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 22<sup>η</sup> Ιουλίου 2015.

Μαρία Ιωαννίδου,  
Καθηγήτρια

Νικόλαος Θεοδώρου,  
Καθηγητής

Παναγιώτης  
Τσαραμπάρης, Λέκτορας

Αθήνα, Ιούλιος 2015

.....  
Αποστόλης Θ. Κόκκορης

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Αποστόλης Κόκκορης, 2015.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

### ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗ ΜΕΛΙΣΣΟΚΟΜΕΙΟΥ ΑΠΟ ΑΠΟΣΤΑΣΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη και η κατασκευή μιας διάταξης καταγραφής δεδομένων αποτελούμενης από αισθητήρες, με την οποία θα μπορούμε να ελέγχουμε τις συνθήκες μέσα και έξω από μια μελισσοκομική κυψέλη από απόσταση.

Η διάταξή μας αποτελείται από αισθητήρες θερμοκρασίας και βάρους οι οποίοι στέλνουν τις μετρήσεις των μεγεθών σε έναν μικροελεγκτή. Χρησιμοποιήσαμε την ευρέως διαδεδομένη και οικονομική υπολογιστική πλατφόρμα μικροελεγκτή Arduino UNO για την λήψη και την αποστολή των μετρήσεων και ένα λογισμικό εφαρμογής στον Η/Υ το οποίο ελέγχει την πλατφόρμα μας.

Στο Κεφάλαιο 1 γίνεται μία εισαγωγή στην μελισσοκομία και πιο συγκεκριμένα στην μελισσοκομία στην χώρα μας, στα προβλήματα που αντιμετωπίζει ο μελισσοκόμος και στην χρήση της τεχνολογίας στη σύγχρονη μελισσοκομία. Αναφέρουμε τις δυνατότητες που μας δίνει η διάταξη που κατασκευάσαμε.

Στο Κεφάλαιο 2 αναλύονται τα επιμέρους τμήματα ενός συστήματος συλλογής δεδομένων. Συγκεκριμένα περιγράφουμε τις ιδιότητες, τη δομή καθώς και τις εφαρμογές των αισθητήρων και των μικροελεγκτών. Αναφορά γίνεται και στους βηματικούς κινητήρες.

Στο Κεφάλαιο 3 περιγράφεται ο σκοπός της εργασίας μας και η πειραματική μας διάταξη. Αναλύουμε τα υλικά που χρησιμοποιήσαμε, το κόστος υλοποίησης της μονάδας, τα μέρη που την απαρτίζουν και τον τρόπο λειτουργίας της. Επιπλέον, εστιάζουμε στην πλατφόρμα Arduino UNO περιγράφοντας διεξοδικά την μνήμη της, τον μικροελεγκτή ATmega328 και τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά της. Παρουσιάζεται η συνδεσμολογία των επιμέρους τμημάτων και η λειτουργία της διάταξης.

Στο Κεφάλαιο 4 γράφουμε τα συμπεράσματά μας και ορισμένες προτάσεις για μελλοντική μελέτη.

### *Λέξεις κλειδιά*

Μικροελεγκτής, αισθητήρες, Arduino, μελισσοκομείο, απόσταση, έλεγχος, τροφοδότηση, GSM

## **ABSTRACT**

### **CONTROL AND POWER SUPPLY OF APIARY FROM DISTANCE**

The purpose of the present paper, is the design and construction of a calibration device consisting of sensors, with which we can control the conditions in and out of a hive beekeeping from distance.

Our device is consisted of temperature sensors and pressure sensors which send the measurements to a microcontroller. We used the widespread and economic computational platform of microcontroller Arduino UNO for sending and receiving measurement and a software application in the PC that controls the microcontroller platform.

Chapter 1 gives an introduction to the beekeeping and more specifically to the beekeeping in our country, to the problems that the beekeeper deals with and to the use of technology at the modern beekeeping. We name the opportunities the device we have built can give us.

Chapter 2 develops the individual sections of a data acquisition system. Specifically, we present the properties, the structure and the applications of sensors and microcontrollers. Reference is made also to the stepper motors.

Chapter 3 describes the purpose of this thesis and the experimental system. We refers to the materials we used, the implementation cost of the construction and the parts that compose it. In addition, we focus on the platform Arduino UNO describing thoroughly its memory, the microcontroller ATmega328 and the rest of its characteristics. It is shown the wiring and the method of its operation.

Chapter 4 contains the conclusions and proposals for further reseach.

### ***Key Words***

Microcontroller, Sensors, Arduino, Apiary, Distance, Control, Power Supply, GSM

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Από το Εργαστήριο θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτρια της διπλωματικής αυτής εργασίας, Κα. Μαρία-Παρασκευή Ιωαννίδου, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή της και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε όλο αυτό το διάστημα. Με αυτήν την εργασία μου έδωσε την ευκαιρία τελειώνοντας την σχολή να κάνω κάτι που πραγματικά με ενδιέφερε. Τέλος ένα μεγάλο ευχαριστώ για την κατανόηση και την ευγένεια που αντιμετωπίζει τους φοιτητές όλα αυτά τα χρόνια κάτι που σπανίζει στις μέρες μας.

Ένα ευχαριστώ στον Λέκτορα Ε.Μ.Π. κ. Παναγιώτη Τσαραμπάρη για τις συμβουλές που μου προσέφερε για την πραγματοποίηση αυτής της εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα διδακτορικό και φίλο Καραλή Ευθύμιο για την άριστη συνεργασία μας. Οι γνώσεις που με βοήθησε να αποκτήσω πάνω στον προγραμματισμό και όχι μόνο, κατέστησαν δυνατή τη διεκπαιρέωση αυτής της εργασίας.

Τέλος ένα μεγάλο ευχαριστώ στην Δήμητρα που είναι δίπλα μου και με στηρίζει με όλους τους δυνατούς τρόπους εδώ και πολλά χρόνια. Στον Ντιέγκο και την Αθηνά για την αγάπη τους. Και στις μέλισσες που αντιπροσωπεύουν την κοινωνία της αρμονίας, της τάξης και της λιτότητας των ανθρώπων και των γλυκών αποτελεσμάτων του μόχθου τους, της ενότητας και της ευφυούς συνεργασίας.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη .....	3
Λέξεις κλειδιά .....	3
Abstract .....	4
Keywords .....	4
Ευχαριστίες .....	5
Περιεχόμενα .....	6
Κατάλογος Εικόνων – Πινάκων .....	9
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	
1.1 Ιστορική Αναφορά .....	13
1.2 Μέλισσες και Περιβάλλον .....	14
1.3 Η Μελισσοκομία στην Χώρα μας και στην Ευρώπη .....	15
1.4 Η Τέχνη της Μελισσοκομίας .....	17
1.4.1. Κλιματολογικές συνθήκες, προσαρμογή και ανάπτυξη του μελισσιού .....	17
1.4.2 Αφεσμός – Σμηνουργία .....	18
1.4.3 Επίδραση Μελισσοκομικών Φυτών – Μελιπτωμάτων στο Μελίσσι .....	20
1.4.4 Παραγωγή Βασιλισσών – Βελτίωση Μελισσών .....	20
1.4.5 Τρόποι Πολλαπλασιασμού Μελισσοσμηνών .....	21
1.4.6 Συνθήκες – Πρακτικές Παραγωγής Μελισσοκομικών Προϊόντων .....	21
1.4.7 Εχθροί, Ασθένειες, Δηλητηριάσεις του Μελισσιού .....	22
1.5 Έλεγχος Μελισσοκομείου από Απόσταση .....	23
1.5.1 Αισθητήρας Θερμοκρασίας στο Εσωτερικό της Κυψέλης .....	23
1.5.2 Αισθητήρας Θερμοκρασίας στο Εξωτερικό της Κυψέλης .....	26
1.5.3 Αισθητήρας Βάρους (Πίεσης) .....	27
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ</b>	
2.1 Συστήματα Μέτρησης .....	30



2.1.1 Η δομή ενός συστήματος μέτρησης .....	31
2.2 Αισθητήρες .....	33
2.2.1 Στατικά χαρακτηριστικά των αισθητήρων .....	34
2.2.2 Δυναμικά χαρακτηριστικά αισθητήρων .....	40
2.2.3 Οι κατηγορίες των Αισθητήρων .....	41
2.3 Ηλεκτρικοί κινητήρες .....	51
2.3.1 Αρχή λειτουργίας .....	53
2.3.2 Κατηγορίες ηλεκτρικών κινητήρων .....	54
2.3.3 Ειδικοί Ηλεκτρικοί Κινητήρες .....	55
2.3.4 Βηματικοί κινητήρες .....	56
2.3.4.1 Τοπολογίες οδήγησης βηματικού κινητήρα .....	61
2.3.4.2 Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα Βηματικών Κινητήρων .....	64
2.4 Μικροεπεξεργαστές- Μικροελεγκτές .....	65
2.4.1 Ιστορία των Μικροεπεξεργαστών .....	65
2.4.2 Η εξέλιξη των μικροεπεξεργαστών .....	66
2.4.3 Διαφορές μεταξύ μικροελεγκτή και μικροεπεξεργαστή .....	69
2.4.4 Εφαρμογές μικροελεγκτών .....	72
2.4.5 Κατασκευαστές μικροελεγκτών .....	73
2.4.6 Δομή μικροελεγκτή .....	74
2.4.7 Διαδεδομένες κατηγορίες μικροελεγκτών .....	79
2.4.8 Γλώσσα προγραμματισμού μικροελεγκτών .....	80
2.4.9 Αρχιτεκτονική Μικροελεγκτών .....	81
2.4.10 Είδη Μνήμης .....	84
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ</b>	
3.1 Παρουσίαση των Επιμέρους Τμημάτων .....	85
3.1.1 Arduino UNO .....	85
3.1.2 Arduino Motor ShieldR3 .....	98

3.1.3 Βηματικός Κινητήρας - Stepper motor SM-42BYG011-25 .....	99
3.1.4 GSM Shield for Arduino UNO/MEGA/ Leonardo .....	100
3.1.5 Αισθητήρας θερμοκρασίας LM35 .....	102
3.1.6 Αισθητήρας Βάρους – Flexiforce Pressure Sensor - 100lbs .....	104
3.1.7 Κυψέλη .....	104
3.1.8 Ταϊστρα .....	105
3.2 Κόστος Υλοποίησης Κατασκευής .....	107
3.3 Συνδεσμολογία .....	107
3.4 Λειτουργία Διάταξης .....	112
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ</b>	
4.1 Συμπεράσματα .....	114
4.2 Μελλοντικές Βελτιώσεις .....	115
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....	117
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ARDUINO UNO</b> .....	120

# ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ – ΠΙΝΑΚΩΝ

## ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 1.1: Μελισσοκόμοι στην αρχαία Ελλάδα .....	13
Εικόνα 1.2: Νομαδική μελισσοκομία .....	14
Εικόνα 1.3: Επικοινωνία .....	15
Εικόνα 1.4: Η μελισσόσφαιρα (στο σκίτσο φαίνεται με κόκκινο χρώμα) σχηματίζεται μεταξύ των πλαισίων στην περιοχή του γόνου για να τον κρατά ζεστό .....	17
Εικόνα 1.5: Αφεσμός .....	19
Εικόνα 1.6: Βασίλισσα μέλισσα .....	21
Εικόνα 1.7: Ακάριο βαρρός .....	22
Εικόνα 1.8: Μορφή της μελισσόσφαιρας σε διάφορες θερμοκρασίες .....	24
Εικόνα 1.9: Αισθητήρας Θερμοκρασίας - LM35 Temperature Sensor .....	26
Εικόνα 1.10: Αισθητήρας Βάρους - Flexiforce Pressure Sensor - 100lbs .....	27
Εικόνα 2.1: Η δομή ενός συστήματος μέτρησης .....	31
Εικόνα 2.2: Η δομή ενός ψηφιακού συστήματος μέτρησης .....	32
Εικόνα 2.3: Η δομή ενός ψηφιακού συστήματος μέτρησης πολλών μεγεθών ταυτόχρονα .....	33
Εικόνα 2.4: Νεκρή ζώνη .....	35
Εικόνα 2.5: Γραφική παράσταση του φαινομένου της υστέρησης .....	36
Εικόνα 2.6: Γραμμικότητα .....	37
Εικόνα 2.7: α) Ολίσθηση μηδενός, β) Ολίσθηση ευαισθησίας και γ) Συνδυασμένη επίδραση των δύο ολισθήσεων .....	40
Εικόνα 2.8: Κυματομορφές ώθησης, βήματος, γραμμικές, ημιτονοειδείς ή θορύβου .....	41
Εικόνα 2.9: Χωρητικός αισθητήρας απόλυτης πίεσης : (α) Η κατασκευή και (β) Η γέφυρα Μέτρησης .....	45
Εικόνα 2.10: Πιεζοηλεκτρικός αισθητήρας απόλυτης πίεσης με τον αντίστοιχο ενισχυτή φορτίου .....	46
Εικόνα 2.11: Σχηματικό διάγραμμα λειτουργίας ενός ηλεκτρικού κινητήρα .....	52

Εικόνα 2.12: Εσωτερικό ασύγχρονου κινητήρα στην οποία διακρίνονται όλα τα δομικά του στοιχεία .....	53
Εικόνα 2.13: Λεπτομέρεια κατασκευής .....	57
Εικόνα 2.14: Το ισοδύναμο κύκλωμα μίας φάσης του βηματικού κινητήρα .....	57
Εικόνα 2.15: Παράδειγμα βηματικού κινητήρα .....	58
Εικόνα 2.16: Έλεγχος κλειστού βρόγχου .....	59
Εικόνα 2.17: Διαφορετικές συνδεσμολογίες των τυλιγμάτων του στάτη .....	61
Εικόνα 2.18: Αρχή λειτουργίας οδήγησης R – L .....	62
Εικόνα 2.19: Μονοπολική οδήγηση βηματικού κινητήρα .....	63
Εικόνα 2.20: Διπολική οδήγηση βηματικού κινητήρα .....	63
Εικόνα 2.21: Οδήγηση καταμητού βηματικού κινητήρα (chopper drive) .....	64
Εικόνα 2.22: Εσωτερική δομή ενός μικροεπεξεργαστή .....	66
Εικόνα 2.23: Ο Intel 8008 .....	67
Εικόνα 2.24: Ο TMS 9900 .....	67
Εικόνα 2.25: Διαφορές μεταξύ μικροελεγκτή-μικροεπεξεργαστή .....	70
Εικόνα 2.26: Εσωτερική δομή μικροελεγκτή .....	75
Εικόνα 2.27: Τυπικό Διάγραμμα ενός Μικροελεγκτή .....	79
Εικόνα 2.28: Διάγραμμα αρχιτεκτονικής Harvard .....	82
Εικόνα 2.29: Διάγραμμα αρχιτεκτονικής Von-Neuman .....	83
Εικόνα 3.1: Arduino UNO .....	86
Εικόνα 3.2: Μικροελεγκτής ATmega 328P .....	87
Εικόνα 3.3: Οι ακροδέκτες του ATmega328P .....	88
Εικόνα 3.4: Αρχιτεκτονική του ATmega328P .....	90
Εικόνα 3.5: Ψηφιακοί ακροδέκτες .....	91
Εικόνα 3.6: Αναλογικοί ακροδέκτες .....	92
Εικόνα 3.7: α) ArduinoMotorShieldR3 – μπροστινή όψη β) ArduinoMotorShieldR3 – οπίσθια όψη .....	98
Εικόνα 3.8: Βηματικός Κινητήρας SM-42BYG011-25 .....	99

Εικόνα 3.9: Datasheet του κινητήρα SM-42BYG011-25 .....	100
Εικόνα 3.10: α) Arduino GSM Shield Μπροστινή όψη β) Arduino GSM Shield Οπίσθια όψη .....	101
Εικόνα 3.11: Κάρτα SIM .....	101
Εικόνα 3.12: Αισθητήρας Θερμοκρασίας LM35 .....	102
Εικόνα 3.13: Συνδεσμολογία LM35 ώστε να μετρά θερμοκρασίες από 0 έως 150 °C .	102
Εικόνα 3.14: Συνδεσμολογία του LM35 ώστε να μετρά και αρνητικές θερμοκρασίες ...	103
Εικόνα 3.15: Διάγραμμα ακριβείας αισθητήρα LM35 .....	103
Εικόνα 3.16: Αισθητήρας Πίεσης FlexiForce-100lbs .....	104
Εικόνα 3.17: α) Κυψέλη β) Διαστάσεις κυψέλης .....	104
Εικόνα 3.18: Πρόπολη ως μέσο στεγανωποίησης .....	105
Εικόνα 3.19: Κατασκευή ταϊστρας .....	106
Εικόνα 3.20: Κατασκευή ταϊστρας .....	106
Εικόνα 3.21: Αισθητήρας Θερμοκρασίας LM35 .....	107
Εικόνα 3.22: Συνδεσμολογία αισθητήρα LM35 με Arduino .....	108
Εικόνα 3.23: Συνδεσμολογία Αισθητήρα Flexiforce .....	109
Εικόνα 3.24: Πλατφόρμα Arduino – GSM - Arduino Motor ShieldR3 .....	110
Εικόνα 3.25: Σύνδεση και Τροφοδοσία Κινητήρα με Arduino Motor ShieldR3 .....	111
Εικόνα 3.26: Συνδεσμολογία Βηματικού Κινητήρα SM-42BYG011-25 .....	111
Εικόνα 3.27: Τροφοδοσία Arduino και Σύνδεση με Υπολογιστή .....	112

## ΠΙΝΑΚΕΣ

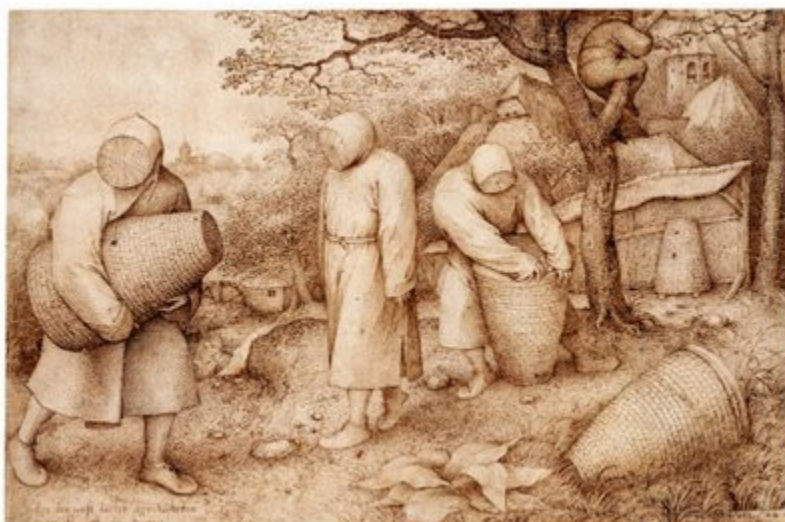
Πίνακας 1.1	Μελισσοκομικό κεφάλαιο σε χώρες της Ευρώπης .....	16
Πίνακας 2.1	Επιθυμητά χαρακτηριστικά αισθητήρα .....	41
Πίνακας 2.2	Αναφορά θερμοκρασιών και αντίστοιχων τιμών αντιστάσεων RTD .....	48
Πίνακας 3.1	Χαρακτηριστικά Arduino UNO .....	86
Πίνακας 3.2	Λειτουργίες του IDE .....	95
Πίνακας 3.3	Λειτουργία Arduino Motor ShieldR3 .....	99
Πίνακας 3.4	Κόστος Υλοποίησης Μονάδας .....	107

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## Εισαγωγή

### 1.1 Ιστορική Αναφορά

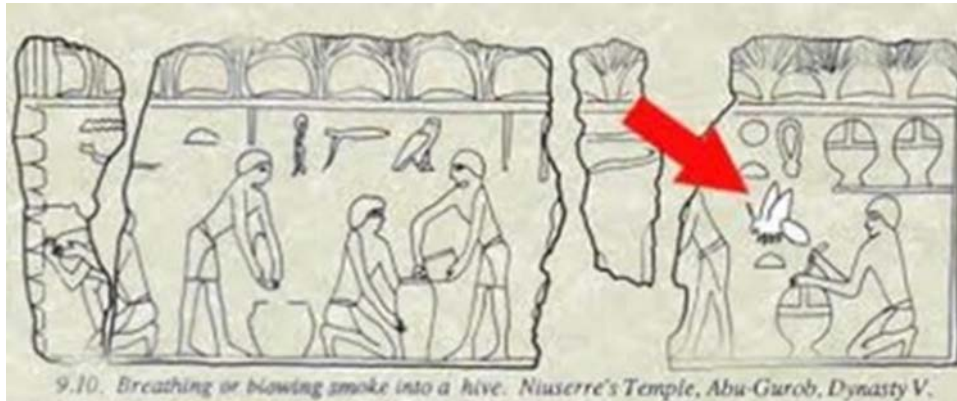
Η μέλισσα είναι ένα από τα λίγα έντομα που ο άνθρωπος εκμεταλλεύεται σήμερα, είτε άμεσα για τα προϊόντα της, όπως μέλι, γύρη κ.λ.π., είτε έμμεσα για την προσφορά της στην γεωργία, κυρίως με την επικονίαση των φυτών. Από στοιχεία που υπάρχουν έχει διαπιστωθεί ότι η προσφορά, σε αξία, της μέλισσας στην αύξηση των γεωργικών προϊόντων με την επικονίαση των φυτών ανέρχεται περίπου στο 25πλάσιο της αξίας των προϊόντων της.



**Εικόνα 1.1** Μελισσοκόμοι στην αρχαία Ελλάδα

Η εκμετάλλευση της μέλισσας από τον άνθρωπο ή καλύτερα η συνεργασία μαζί της έχει ξεκινήσει πριν από χιλιετηρίδες. Πολλές τέτοιες μαρτυρίες μπορεί κανείς να αντλήσει από στοιχεία που έχουν έρθει στο φως από διάφορα αρχαιολογικά ευρήματα, αλλά και από την μελέτη αρχαίων κειμένων. Πλούσια σε κείμενα σχετικά με την μέλισσα είναι και η ελληνική μυθολογία. Σύμφωνα με κάποιο μύθο, ο Δίας ανατράφηκε με μέλι και γάλα από δύο κρητικές νύμφες, την Αμάλθεια και την Μέλισσα, στις οποίες είχε ανατεθεί η ανατροφή του από την μητέρα του. Στα βιβλία του Αριστοτέλη (384 - 322 π. Χ.) «*Των Περί Τα Ζώα Ιστοριών*», γίνεται αναφορά για την δεξιότητα των αρχαίων Ελλήνων στη μελισσοκομία, για τη ζωή των μελισσών, αλλά και για κάποια προβλήματα (ασθένειες) που αυτές αντιμετώπιζαν καθώς και συμβουλές για τη θεραπεία τους. Ο Αριστοτέλης δικαίως θεωρείται ο πρώτος που ασχολήθηκε και έγραψε για την συμπεριφορά και τη ζωή της μέλισσας. Νεότεροι, Λατίνοι κυρίως συγγραφείς, κυριότεροι των οποίων ήταν ο Βιργίλιος (70 - 12 π. Χ.) στα «*Γεωργικά*» του και ο Καλουμέλλας (1 - 68 μ. Χ.), ο οποίος ήταν Γεωπόνος και έβγαλε και ειδικό βιβλίο για την μελισσοκομία, πραγματεύονται αρκετά για την μέλισσα και τα προβλήματα της. [1]

Από τα λίγα, ενδεικτικά μόνο, που αναφέρθηκαν γίνεται φανερό ότι ο άνθρωπος ενδιαφέρθηκε από πολύ νωρίς για την μέλισσα, τα προϊόντα της και τα προβλήματά της. Πολλές δε από τις ασθένειες που προσβάλλουν σήμερα τη μέλισσα, φαίνεται ότι είναι ίδιες με εκείνες που αναφέρονται στα αρχαία κείμενα (δυσεντερία, σηψιγονία, παράλυση).



**Εικόνα 1.2** Νομαδική μελισσοκομία

## 1.2 Μέλισσες και Περιβάλλον

Η συμβολή των μελισσών στο περιβάλλον και στον άνθρωπο, δεν περιορίζεται μόνο στα πολύ ωφέλιμα προϊόντα που παράγουν, αλλά και στην αναπαραγωγική διαδικασία των φυτών (επικονίαση) όπως προαναφέραμε. Οι μέλισσες έχουν ενεργό ρόλο στην γονιμοποίηση των φυτών, καθώς δρουν ως μηχανικοί μεταφορείς της γύρης. Την σημαντική λοιπόν εποχή της ανθοφορίας, οι μέλισσες προκειμένου να τραφούν, πλάθουν την γύρη και την μεταφέρουν με τα πίσω πόδια τους στην κυψέλη. Πετώντας από άνθος σε άνθος, βοηθούν στην επικονίαση των φυτών, μεταφέροντας ασυναίσθητα την γύρη από τους ανθήρες στο στίγμα του άνθους. Χαρακτηριστικό είναι ότι βοηθούν στην επικονίαση του 60 με 70 % των φυτικών ειδών. Η χρησιμότητα των μελισσών στην επικονίαση είναι μάλιστα και πολύ μεγαλύτερη από την παραγωγή μελιού, αφού μια μέτρια αποικία μελισσών υπολογίζεται ότι έχει 20 με 40 φορές μεγαλύτερη αξία για την επικονίαση που επιτελούν τα μελισσοσμήνη, παρά για την παραγωγή του μελιού. Μελέτη που διεξήχθη από δύο ιδρύματα της Γαλλίας και της Γερμανίας, αναφέρει ότι η επικονίαση που συντελείται από τα έντομα, αντιστοιχεί στο 9,5 % της παγκόσμιας γεωργικής παραγωγής. Αν αναλογιστεί κανείς ότι οι μέλισσες αποτελούν το 80% περίπου των επικονιαστικών εντόμων, τότε εύκολα καταλαβαίνουμε την σημαντική προσφορά τους στο φυτικό και ζωικό περιβάλλον καθώς και τα φυτά που αναπτύσσονται κατ' επέκταση, αποτελούν τροφή για τα ζώα και τον άνθρωπο, παράγουν οξυγόνο, εμποδίζουν την διάβρωση του εδάφους κτλ.





**Εικόνα 1.3** Επικονίαση

Την σημερινή εποχή που παρατηρείται μείωση του πληθυσμού των φυτών παγκοσμίως λόγω πυρκαγιών, δόμησης και άλλων αρνητικών συνεπειών της ανθρώπινης δραστηριότητας, ο επικονιαστικός ρόλος της μέλισσας είναι πλέον ζωτικής σημασίας. Χαρακτηριστικό είναι το ότι ο Αλβέρτος Αϊνστάιν είχε πει ότι "αν κάποτε οι μέλισσες εκλείψουν, το ανθρώπινο είδος δεν θα αργήσει να τις ακολουθήσει". Με την μείωση πάλι των μελισσοσμηνών παγκοσμίως (πυρκαγιές, φυτοφάρμακα) και ιδιαίτερα στις Η.Π.Α, η αύξηση των τιμών των προϊόντων κυψέλης αλλά και των γεωργικών που θα έρθει ως φυσικό επακόλουθο, θα ωχριά απέναντι στο πρόβλημα της μειωμένης επικονιαστικής δραστηριότητας. Κάτι που πρέπει να κάνει τους αρμόδιους φορείς παγκοσμίως να σκύψουν με υπευθυνότητα πάνω από το πρόβλημα. Ήδη σε πολλές χώρες οι καλλιεργητές καταφεύγουν στην ενοικίαση μελισσιών, προκειμένου να πετύχουν ικανοποιητική επικονίαση και να αυξήσουν την παραγωγή τους, αφού α) οι μέλισσες επισκέπτονται πάνω από 300 είδη καλλιεργούμενων φυτών, β) αναπτύσσονται σε μεγάλους πληθυσμούς, δραστήριους σε όλη σχεδόν την διάρκεια του έτους, γ) έχουν ανθική σταθερότητα, επικονιάζουν δηλαδή ένα είδος φυτού σε κάθε ταξίδι τους. Μια πιο προσεγμένη χρησιμοποίηση των μελισσών για επικονιαστικό σκοπό στο περιβάλλον γενικότερα και όχι μόνο στις καλλιέργειες, θα είχε σημαντικά οφέλη στην φύση και στον άνθρωπο. Είναι ένα έντομο που ήδη το έχουμε μελετήσει και το χρησιμοποιούμε, μπορούμε να το μεταφέρουμε σε μεγάλους αριθμούς και να επωφεληθούμε και από την επικονιαστική του δραστηριότητα και από τα πολύ ωφέλιμα προϊόντα που αυτό παράγει. [2]

### **1.3 Η Μελισσοκομία στην Χώρα μας και στην Ευρώπη**

Η μελισσοκομία αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους κλάδους της πρωτογενούς παραγωγής για τη Χώρα μας. Σύμφωνα με στοιχεία του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, στον κλάδο της μελισσοκομίας απασχολούνται περί τους 23.000 μελισσοκόμοι, οι οποίοι κατέχουν περί τις 1.380.000 κυψέλες (σύμφωνα με τα στοιχεία της FAOSTAT για το 2010). Αυτό μεταφράζεται σε περίπου δεκαπέντε χιλιάδες τόνους μελιού ετησίως, που προορίζονται για εξαγωγή αλλά και για κάλυψη της εγχώριας αγοράς σε ποσοστό που αγγίζει το ενενήντα τοις εκατό. Δεν είναι τυχαίο ότι οι έλληνες επαγγελματίες παραγωγοί αποτελούν σχεδόν το σαράντα τοις εκατό των παραγωγών στην Ε.Ε., τη στιγμή που στην Ευρώπη παράγεται το δεκατρία τοις εκατό

της παγκόσμιας παραγωγής μελιού. Η Ελλάδα διεκδικεί μια από τις πρώτες θέσεις στο διεθνή χώρο σε μελίσσια και σε παραγωγή μελιού, αναλογικά με τον πληθυσμό και την έκταση της. Ενώ σε όλες τις ευρωπαϊκές χώρες ο αριθμός των μελισσιών μειώθηκε ή παρέμεινε στάσιμος τα τελευταία είκοσι χρόνια, στην Ελλάδα αυξήθηκε περίπου κατά 2,2 μελίσσια/Km. Σήμερα η Ελλάδα έχει τη μεγαλύτερη πυκνότητα μελισσιών από όλες τις Ευρωπαϊκές χώρες, έχει τριπλάσιο αριθμό μελισσιών σε κάθε τετραγωνικό χιλιόμετρο από το μέσο όρο μελισσιών της Ευρώπης και έρχεται έκτη στην κατανάλωση μελιού στην Ε.Ε., ενώ κάθε Έλληνας καταναλώνει πάνω από ενάμισι κιλό μέλι τον χρόνο. Η Χώρα μας είναι δεύτερη στην Ευρωπαϊκή Ένωση, μετά την Ισπανία, από απόψεως κατοχής μελισσοσμηνών και παράγει κατά μέσο όρο 14.000τον. μέλι ετησίως. Από πλευράς γεωγραφικής κατανομής, η μελισσοκομία είναι διαδεδομένη σε όλη τη Χώρα. Υπάρχουν όμως περιοχές που έχουν αυξημένο μελισσοκομικό ενδιαφέρον, όπως εκείνες των Νομών Χαλκιδικής, Καβάλας, Φθιώτιδας, Ευβοίας, Αττικής, Αρκαδίας, Ηρακλείου, Χανίων και άλλες. [3] Στον Πίνακα 1.1 παρουσιάζεται το μελισσοκομικό κεφάλαιο σε ορισμένες χώρες της Ευρώπης.

**Πίνακας 1.1** Μελισσοκομικό κεφάλαιο σε χώρες της Ευρώπης

	Κράτος – Μέλος	Μελισσοκομικό Κεφάλαιο (αριθμός κυψελών)
1.	Βέλγιο	100.000
2.	Δανία	155.000
3.	Γερμανία	893.000
4.	Ελλάδα	1.380.000
5.	Ισπανία	2.397.840
6.	Γαλλία	1.150.000
7.	Ιρλανδία	20.000
8.	Ιταλία	1.100.000
9.	Λουξεμβούργο	10.213
10.	Κάτω Χώρες	80.000
11.	Αυστρία	336.139
12.	Πορτογαλία	590.000
13.	Φινλανδία	47.000
14.	Σουηδία	145.000
15.	Ηνωμένο Βασίλειο	274.000
	<b>Σύνολο:</b>	<b>8.678.192</b>

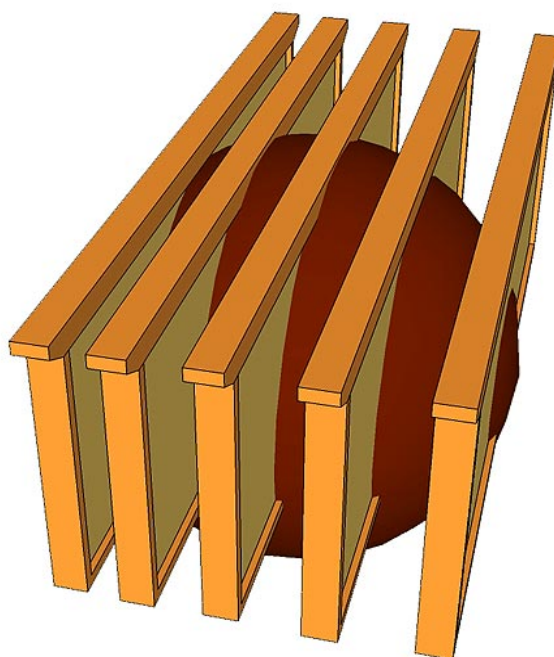
Όσον αφορά την προοπτική εξαγωγών, η Γερμανία είναι η μεγαλύτερη αγορά για το μέλι στην Ε.Ε., καθώς οι γερμανοί καταναλώνουν σχεδόν εκατό χιλιάδες τόνους ετησίως (περίπου το τριάντα τοις εκατό στην Ε.Ε.). Ακολουθούν οι Βρετανοί, οι Γάλλοι και οι Ισπανοί. Παρ' όλα αυτά η Ελλάδα δεν είναι καλά οργανωμένη όσον αφορά τις εξαγωγές. Το κόστος του ελληνικού μελιού είναι υψηλό, αλλά η τιμή του δεν καθορίζεται αποκλειστικά από το κόστος, καθορίζεται και από την ποιότητα, που σύμφωνα με χημικές αναλύσεις το μέλι που παράγει η Ελλάδα είναι από τα πιο εκλεκτά στον κόσμο. Επίσης μεγάλο πρόβλημα που έχουμε σε όλες τις χώρες της Ευρώπης είναι ότι μπαίνει μέλι από τρίτες χώρες, από Κίνα, Αργεντινή, Μεξικό, Τουρκία και άλλες. Το μέλι αυτό, αν και είναι πάρα πολύ φθηνό, κινείται με την τιμή του εγχώριου. Εδώ υπάρχει η παραπλάνηση του καταναλωτή, γιατί δεν τρώει αυτό που πληρώνει, αυτό που γράφει η ετικέτα αλλά κάτι κατώτερο. Υπάρχει αυτός ο αθέμιτος ανταγωνισμός. Επίσης οι μελισσοκόμοι αποθαρρύνονται, γιατί δεν μπορούν να πουλήσουν το μέλι τους και δημιουργούνται μεγάλα προβλήματα στην αγορά.

## 1.4 Η Τέχνη της Μελισσοκομίας

**Μελισσοκομία** ονομάζεται η τέχνη της εκτροφής των μελισσών. Οι μέλισσες έχουν την τάση να δημιουργούν φωλιές και να παραμένουν μέσα σε τρύπες, σε κουφάλες δέντρων κλπ. Αυτό οδήγησε τον άνθρωπο στη σκέψη ότι είναι δυνατό να τις συλλάβει και να τις βάλει να ζήσουν μέσα σε κάποιο κουτί, που να μοιάζει με κουφάλα δέντρου ή με τρύπα σε βράχο, προκειμένου να παράγουν μέλι γι' αυτόν. Έτσι άρχισε σιγά - σιγά ο άνθρωπος να ασχολείται με τη μελισσοκομία [4].

### 1.4.1. Κλιματολογικές συνθήκες, προσαρμογή και ανάπτυξη του μελισσιού

Τα έντομα στα οποία υπάγεται και η μέλισσα σε αντίθεση με τα εκτρεφόμενα θηλαστικά είναι ετερόθερμα ζώα, επηρεάζονται δηλαδή άμεσα από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Σε θερμοκρασίες κατώτερες των 12 °C οι συλλέκτριες κατά κανόνα δεν πετούν ακόμη και εάν η ανθοφορία είναι πλουσιότατη. Το χειμώνα η βασίλισσα παύει να γεννάει αυγά διότι για την επώασή τους αλλά και για την ανάπτυξη των προνυμφών και των νυμφών (δηλ. του γόνου) απαιτείται θερμοκρασία στο γόνο  $35 \pm 1$  °C. Τούτο είναι αδύνατο να συμβεί το χειμώνα αν και άλλες εποχές (π.χ. αρχές άνοιξης ή τέλη φθινοπώρου) οι μέλισσες μπορούν σε ένα βαθμό, παράγοντας ζωική θερμότητα και καλύπτοντας με τα σώματά τους το γόνο, να το επιτύχουν. Οι μέλισσες επίσης μπορούν στην περίπτωση πολύ υψηλών θερμοκρασιών να μειώνουν, με αερισμό (κινώντας τα φτερά τους) και με μεταφορά νερού, τη θερμοκρασία στην περιοχή του γόνου.



melissognosi.blogspot.gr

**Εικόνα 1.4** Η μελισσόσφαιρα (στο σκίτσο φαίνεται με κόκκινο χρώμα) σχηματίζεται μεταξύ των πλαισίων στην περιοχή του γόνου για να τον κρατά ζεστό. [6]

Τον χειμώνα, περίοδο διαχείμασης του μελισσιού, οι μέλισσες προκειμένου να διατηρήσουν την θερμοκρασία του σώματός τους στα απαραίτητα για την επιβίωσή τους επίπεδα, μαζεύονται όλες μαζί και σχηματίζουν σφαίρα (μελισσόσφαιρα). Αυτή μπορεί να είναι περισσότερο ή λιγότερο χαλαρή ανάλογα με το πόσο χαμηλή είναι η θερμοκρασία. Με την επάνοδο ευνοϊκών θερμοκρασιών η συγκέντρωση αυτή των μελισσών παύει να υπάρχει. [5]

Στο τέλος του χειμώνα ή στις αρχές της άνοιξης η έναρξη ωοτοκίας της βασίλισσας εξαρτάται κυρίως από την θερμοκρασία και την υπάρχουσα ανθοφορία. Αισθητή αύξηση της ωοτοκίας στις περισσότερες περιοχές της ηπειρωτικής Ελλάδας συμβαίνει πάντως στις αρχές της άνοιξης και φτάνει στο μεγαλύτερο σημείο στις αρχές του καλοκαιριού.

Ο ρυθμός ωοτοκίας της βασίλισσας αρχίζει να πέφτει λόγω των υψηλών θερμοκρασιών αλλά και της έλλειψης πλούσιων ανθοφοριών από τα μέσα Ιουλίου. Με την προϋπόθεση της ύπαρξης κατάλληλων ανθοφοριών από τα μέσα Σεπτεμβρίου ο ρυθμός ωοτοκίας, άρα και ο πληθυσμός, αρχίζει πάλι να αυξάνει έως το τέλος Οκτωβρίου – αρχές Νοεμβρίου. Στα τέλη Νοεμβρίου, κατά κανόνα, η ωοτοκία διακόπτεται εντελώς οπότε στο μελίσσι υπάρχουν μόνο οι ενήλικες μέλισσες και οι προμήθειες.

Οι χρονικές περίοδοι που αναφέρθηκαν προηγουμένως διαφέρουν λιγότερο ή περισσότερο ανάλογα με τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν. Σε νότια νησιά της χώρας μας και σε πεδινές περιοχές της Κρήτης για παράδειγμα, η βασίλισσα μπορεί να ωοτοκεί σχεδόν σε όλη τη διάρκεια του χειμώνα και η ανθοφορία να είναι τόσο πρῶιμη ώστε ο πληθυσμός να φτάνει στο μέγιστο ήδη από τα μέσα Απριλίου ή αρχές Μαΐου. Στις περιοχές αυτές υπάρχει τότε στην ανθοφορία το καλούμενο «κενό του Μαΐου» όπου άνθη δεν υπάρχουν και χρειάζεται πολλές φορές τροφοδοσία των μελισσιών από τους μελισσοκόμους για να διατηρηθεί το μελίσσι μέχρι την κύρια ανθοφορία που είναι το θυμάρι.

Στη σύγχρονη μελισσοκομία με την (τεχνητή) τροφοδοσία, με τις αρδευόμενες καλλιέργειες σε μεγάλες εκτάσεις (βαμβάκι, ηλιάνθος), με τη δυνατότητα γρήγορων μετακινήσεων μελισσιών σε άλλες περιοχές, με την εισαγωγή άλλων φυλών και με τις ποικίλες τεχνικές (π.χ. συνενώσεις ή χωρισμοί μελισσιών) ο μελισσοκόμος επηρεάζει δραστικά την ανάπτυξη του μελισσιού. Όμως προσπαθεί πάντα να συμπίπτει χρονικά η έναρξη της κύριας ανθοφορίας (που θα διαρκέσει για ικανό χρονικό διάστημα π.χ. 20 ημέρες) με τη μεγαλύτερη ανάπτυξη του πληθυσμού. Καλό είναι ο μελισσοκόμος να παρατηρεί και να καταγράφει σε κάθε περιοχή που έχει τα μελίσσια του την εξέλιξη του γόνου και του πληθυσμού τους ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες και την ανθοφορία πάντα σε συνδυασμό με τις αποδόσεις σε μελισσοκομικά προϊόντα.

#### **1.4.2 Αφεςμός - Σμηνοουργία**

Η άνοιξη με τις κατάλληλες κλιματολογικές συνθήκες και την πλούσια ανθοφορία είναι η περίοδος όπου το μελίσσι αναπτύσσεται με πολύ γρήγορους ρυθμούς και οι μέλισσες αρχίζουν να συνωστίζονται στην κυψέλη. Η έλλειψη αυτή χώρου έχει ως αποτέλεσμα η βασίλισσα να μη βρίσκει αρκετά χώρο για να γεννήσει. Αυτό, αλλά και άλλα αίτια, συντελούν στην αποχώρηση ενός μέρους του πληθυσμού από την κυψέλη και στην

εγκατάστασή του σε άλλη κατάλληλη φωλιά (σχισμές βράχων, σπηλιές, κουφάλες δένδρων). Η αποχώρηση αυτή, με όποιες διεργασίες προηγούνται αλλά και ακολουθούν και που σκοπό έχουν τελικά το μελίσσι να πολλαπλασιασθεί, λέγεται «σημνουργία». Το σμήνος που φεύγει από την κυψέλη λέγεται αφεσμός. Πετάει σαν νέφος με κυκλικές κινήσεις και χαρακτηριστικό βόμβο και περι-έχει τη βασίλισσα, εργάτριες και κηφήνες όλων των ηλικιών.

Το μελίσσι από το οποίο έφυγε ο αφεσμός παραμένει χωρίς βασίλισσα (ορφανό) αλλά μόνο προσωρινά γιατί στο μεταξύ οι εργάτριες έχουν φροντίσει για την αντικατάσταση της βασίλισσας που έφυγε. Μπορεί επίσης να έχουμε δεύτερο ή και τρίτο αφεσμό.

Η νέα βασίλισσα θα πετάξει σε λίγες ημέρες για να γονιμοποιηθεί από τους κηφήνες εκτός της κυψέλης και, αφού επιστρέψει, θα αρχίσει να γεννάει.

Η άνοιξη (Απρίλιος – Μάιος σε χαμηλότερες και νοτιότερες και ο Ιούνιος σε υψηλότερες και βορειότερες περιοχές) είναι περίοδος που συμβαίνει κατά κανόνα η σημνουργία.

Αρκετό καιρό πριν την αναχώρηση του σμήνους, οι εργάτριες αναγκάζουν τη βασίλισσα να τρέφεται με πολύ βασιλικό πολτό για να γεννάει έτσι πάρα πολλά αυγά ακόμη και σε βασιλικά κελιά που άλλες μέλισσες έχουν κτίσει στις άκρες των κηρήθρων. Μερικές ημέρες όμως πριν την σημνουργία η συμπεριφορά των εργατριών αλλάζει. Τώρα πλέον δεν την τρέφουν όπως πριν, την ταλαιπωρούν ή και την κυνηγούν με αποτέλεσμα αυτή να χάσει βάρος. Μια γενικότερη αποδιοργάνωση στην εργασία και τη συμπεριφορά συμβαίνει επίσης στο μελίσσι. Ορισμένες συλλέκτριες γίνονται ανιχνεύτριες, ψάχνουν να βρουν κατάλληλη νέα φωλιά για το σμήνος που θα φύγει και ειδοποιούν τις υπόλοιπες μέλισσες με κατάλληλους χορούς για την απόσταση και κατεύθυνση της θέσης αυτής. Οι μέλισσες γεμίζουν τον πρόλοβο με μέλι και λίγο πριν ξεκινήσει ο αφεσμός υπάρχει σχετική απραξία στο μελίσσι. [7]



**Εικόνα 1.5** Αφεσμός [5]



Η σμηνουργία είναι για το μελίσι ένα απολύτως φυσιολογικό φαινόμενο απαραίτητο για τον πολλαπλασιασμό του. Οι επιπτώσεις που δημιουργεί στο μελισσοκόμο είναι πολύ αρνητικές γιατί ο αφεσμός αποτελεί το 50 - 90% του αρχικού πληθυσμού, παίρνοντας και πολύ μεγάλη ποσότητα μελιού.

Για να αποφύγει ο μελισσοκόμος τις αρνητικές επιπτώσεις της σμηνουργίας πρέπει κατά προτεραιότητα να προλάβει την εκδήλωσή της. Στην περίπτωση που έχει ξεκινήσει η διαδικασία σμηνουργίας μέσα στο μελίσι φροντίζει να την καταστείλει. Τέλος, αν το σμήνος έχει φύγει, πρέπει να το συλλάβει. Στην περίπτωση που έχει γίνει σμηνουργία, η σύλληψη του αφεσμού μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους αρκεί ο μελισσοκόμος να προλάβει να επέμβει την πρώτη μέρα που αφεσμός θα βρίσκεται σε κάποιο κλαδί σε απόσταση μέχρι 10 μέτρα από το μελισσοκομίο. Επίσης πρέπει να γίνουν άμεσα και οι απαραίτητοι χειρισμοί στο μελίσι που μένει για να αποφύγουμε πιθανό δεύτερο αφεσμό που θα αποδυναμώσει εντέλως το αρχικό μας μελίσι.

#### **1.4.3. Επίδραση Μελισσοκομικών Φυτών – Μελιτωμάτων στο Μελίσι**

Όλες οι δραστηριότητες ενός μελισσιού είναι άρρηκτα συνδεδεμένες με την ύπαρξη των μελισσοκομικών φυτών, τόσο εκείνων που δίνουν νέκταρ ή μελίτωμα (νεκταροφόρα ή μελιτοφόρα) όσο και εκείνων που δίνουν γύρη (γυρεοφόρα).

Η έλλειψη νέκταρος ή μελιτώματος από μια περιοχή για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα μπορεί να αντικατασταθεί με τροφοδοσία των μελισσιών με υδατάνθρακες. Η έλλειψη όμως της γύρης δεν είναι δυνατόν να αναπληρωθεί πλήρως. Η έλλειψή της ακόμη και για μικρό χρονικό διάστημα προκαλεί τον περιορισμό της ωοτοκίας (γέννας) της βασίλισσας. Εάν όμως αυτή παρουσιάζεται για μεγάλο χρονικό διάστημα, προκαλεί όχι μόνο το σταμάτημα της γέννας της βασίλισσας αλλά και μεγάλη κόπωση των εργατριών με μείωση της διάρκειας ζωής τους.

#### **1.4.4 Παραγωγή Βασιλισσών – Βελτίωση Μελισσών**

Η βασίλισσα αποτελεί το κέντρο γύρω από το οποίο εξελίσσεται όλη η ζωή του μελισσιού. Είναι η μητέρα όλων των ατόμων του σμήνους. Μεταβιβάζει στα θηλυκά άτομα που γεννάει τους χαρακτήρες που αυτή κατέχει στο γενετικό της υλικό, μαζί με τους χαρακτήρες του σπέρματος των κηφήνων με τους οποίους έχει συζευχθεί. Αντίθετα το γενετικό υλικό των κηφήνων προέρχεται μόνο από τη βασίλισσα. Επίσης η βασίλισσα, με την παραγωγή φερομονών από το σώμα της, εξασφαλίζει τη συνοχή και καλή λειτουργία του σμήνους. Σε γενικές γραμμές μπορεί να παρομοιασθεί με τον «εγκέφαλο» του μελισσιού. [7]

Η βασίλισσα, όπως κάθε ζωντανός οργανισμός, γερνάει με την πάροδο του χρόνου. Έτσι, ναι μεν μπορεί να ζήσει μέχρι 5 χρόνια, αλλά όλες οι λειτουργίες της, μετά κυρίως το 2ο χρόνο ζωής της, αρχίζουν να μειώνονται με τις αντίστοιχες αρνητικές επιπτώσεις στην ανάπτυξη και απόδοση του μελισσιού. Στην περίπτωση αυτή πρέπει να αντικατασταθεί με μια νέα.



**Εικόνα 1.6** Βασίλισσα μέλισσα

Κάθε μελισσοκόμος, προκειμένου να έχει το καλύτερο αποτέλεσμα από την μελισσοκομική του εκμετάλλευση, πρέπει κάθε δυο χρόνια το πολύ να ανανεώνει τις βασίλισσες των μελισσιών του. Είναι λοιπόν ανάγκη να γνωρίζει ο μελισσοκόμος πώς να παράγει ο ίδιος βασίλισσες, να κάνει δηλαδή βασιλοτροφία.

#### **1.4.5 Τρόποι Πολλαπλασιασμού Μελισσοσμηγών**

Πολύ συχνά ο μελισσοκόμος χρειάζεται να αντικαταστήσει ή και να αυξήσει τον αριθμό των μελισσιών του. Μελίσσια μπορεί να καταστραφούν από φυσικά αίτια (φωτιές, πλημμύρες), βιολογικά αίτια (ασθένειες) ή από κακούς χειρισμούς του ίδιου του μελισσοκόμου (π.χ. ακατάλληλη προετοιμασία για ξεχειμώνασμα) κ.ά. Τα μελίσσια αυτά πρέπει να αντικατασταθούν. Η ανάπτυξη μιας μελισσοκομικής μονάδας προϋποθέτει επίσης να γνωρίζει ο μελισσοκόμος πώς να πολλαπλασιάζει τα μελίσσια του και να μην καταφεύγει στην εύκολη αλλά δαπανηρή και με κινδύνους λύση της αγοράς νέων μελισσιών. Υπάρχουν μονάδες που εξειδικεύονται στην παραγωγή μελισσιών προς πώληση, οπότε εκεί ο πολλαπλασιασμός των μελισσιών αποτελεί την κύρια δραστηριότητα του μελισσοκόμου.

Υπάρχουν πολλοί τρόποι που μπορεί ο μελισσοκόμος να πολλαπλασιάσει τα μελίσσια του. Ποιος θα χρησιμοποιηθεί κάθε φορά εξαρτάται εκτός των άλλων και από την εμπειρία του μελισσοκόμου και τα διαθέσιμα μέσα. [8]

#### **1.4.6 Συνθήκες - Πρακτικές Παραγωγής Μελισσοκομικών Προϊόντων**

Απαραίτητες συνθήκες για την παραγωγή των μελισσοκομικών προϊόντων, είναι η ύπαρξη κατάλληλης μελισσοκομικής χλωρίδας σε μια περιοχή και η παρουσία, καλά

ανεπτυγμένων μελισσιών τα οποία θα συλλέξουν τη μεγαλύτερη δυνατή ποσότητα νέκταρος, γύρης ή μελιτώματος.

Μια εργάτρια μέλισσα γίνεται συλλέκτρια 42 περίπου ημέρες μετά τη γέννηση του αυγού από το οποίο έχει προέλθει. Ένα μελίσσι την περίοδο της ανθοφορίας, κατά την οποία ο μελισσοκόμος θέλει να πάρει παραγωγή, πρέπει να έχει το μεγαλύτερο δυνατό αριθμό συλλεκτριών μελισσών. Έτσι όσο περισσότερο ζήσει η συλλέκτρια μέλισσα αυτή την περίοδο τόσο η παραγωγή θα είναι μεγαλύτερη. Αυτό επιτυγχάνεται με το να αρχίσει ο μελισσοκόμος να εντατικοποιεί στο έπακρο την ανάπτυξη του μελισσιού, με την όσο το δυνατόν μεγαλύτερη γέννα της βασίλισσας, 45 τουλάχιστον ημέρες πριν την έναρξη της συγκεκριμένης ανθοφορίας. Νέα βασίλισσα, επαρκής πληθυσμός, άφθονες τροφές, επάρκεια χώρου και εξασφάλιση της υγείας του μελισσιού είναι οι βασικές προϋποθέσεις που πρέπει να πληρούνται για την επίτευξη του σκοπού αυτού.

Στην περίπτωση που την περίοδο της κύριας ανθοφορίας τα μελίσσια είναι αδύνατα (έχουν μικρό αριθμό συλλεκτριών μελισσών), δεν θα μπορέσουν να συλλέξουν και να αποθεματοποιήσουν αρκετές τροφές (μέλι-γύρη) και ενδείκνυται η συνένωσή τους ανά δύο.

Για την παραγωγή γύρης οι απαραίτητες συνθήκες είναι η ύπαρξη μεγάλης ανθοφορίας γυρεοφόρων φυτών και η παρουσία μετρίως δυνατών μελισσιών με όσο δυνατόν μεγαλύτερο αριθμό νέων συλλεκτριών μελισσών.

Τον βασιλικό πολτό τον παράγουν σε μεγάλη ποσότητα οι νεαρές εργάτριες μέλισσες. Έτσι, προκειμένου ο μελισσοκόμος να μπορέσει να παραγάγει αρκετή ποσότητα βασιλικού πολτού, πρέπει το μελίσσι να έχει μεγάλο αριθμό νεαρών μελισσών αλλά και μεγάλο αριθμό συλλεκτριών. Οι τελευταίες θα μεταφέρουν μεγάλες ποσότητες γύρης, απαραίτητης για την παραγωγή του βασιλικού πολτού. Η ύπαρξη έντονης ανθοφορίας γυρεοφόρων φυτών είναι βασική προϋπόθεση την περίοδο παραγωγής του βασιλικού πολτού.

#### ***1.4.7 Εχθροί, Ασθένειες, Δηλητηριάσεις του Μελισσιού***



**Εικόνα 1.7** Ακάραιο βαρρόας



Όπως κάθε ζωικός οργανισμός έτσι και η μέλισσα αντιμετωπίζει αρκετά προβλήματα υγείας που μπορεί να προκαλέσουν ακόμη και τον θάνατό της. Η απώλεια βέβαια μερικών εργατριών ή κηφήνων δεν έχει την ίδια σημασία με το θάνατο έστω και ενός εκτρεφόμενου θηλαστικού ζώου. Σε κάθε περίπτωση όμως ο μελισσοκόμος πρέπει να συνειδητοποιεί την σημασία που έχουν για το μέλισσι οι παθολογικές (μη φυσιολογικές) καταστάσεις που παρατηρεί τόσο στα ακμαία άτομα όσο και στον γόνο των μελισσών. Πρέπει λοιπόν να γνωρίζει ποιοι παθογόνοι μικροοργανισμοί (ιοί, βακτήρια, μύκητες) προκαλούν τις ασθένειες και ποια παράσιτα (πρωτόζωα, ακάρεα έντομα) και άλλα ζώα (αρπακτικά πτηνά, θηλαστικά κ.ο.κ.) είναι οι εχθροί και προσβάλλουν τα μέλισσια. [9]

### 1.5 Έλεγχος Μελισσοκομείου από Απόσταση

Με την χρήση της τεχνολογίας δίνεται η δυνατότητα στον μελισσοκόμο να ελέγξει, ακόμα και από απόσταση, πως επηρεάζεται το μέλισσι από διάφορους παράγοντες, όπως την θερμοκρασία και την υγρασία. Έγινε προσπάθεια με την χρήση συστημάτων μέτρησης (αισθητήρες) να αξιολογήσουμε τις συνθήκες μέσα και έξω από την κυψέλη.

Τοποθετήθηκαν:

1. αισθητήρας θερμοκρασίας μέσα στην κυψέλη
2. αισθητήρας θερμοκρασίας εξωτερικά
3. αισθητήρας βάρους κάτω από την κυψέλη
4. ένας μηχανισμός αυτόματου τροφοδότη τροφής

#### 1.5.1 Αισθητήρας Θερμοκρασίας στο Εσωτερικό της Κυψέλης

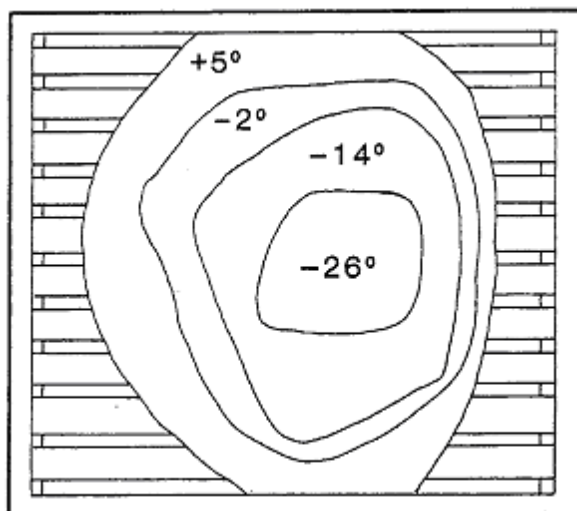
Ξεκινώντας από τον αισθητήρα θερμοκρασίας μέσα στην κυψέλη θα αναλύσουμε τα συμπεράσματα που μπορούμε να διεξάγουμε από τις μετρήσεις.

#### **Ομοιόσταση**

Ως ομοιόσταση ονομάζουμε γενικότερα το βιολογικό φαινόμενο κατά το οποίο ένας οργανισμός, ακόμη και ένα ολόκληρο οικοσύστημα έχει τη ικανότητα να διατηρεί μέσα σε ορισμένα όρια κάποιες φυσιολογικές του παραμέτρους παρά τις όποιες μεταβολές στο περιβάλλον. Πολύ κοινά παραδείγματα ομοιόστασης στον οργανισμό του ανθρώπου και των ομοιόθερμων ζώων είναι η συγκέντρωση της γλυκόζης στο αίμα ή η θερμοκρασία του σώματος. Η ιδιότητα της ομοιόστασης στο μέλισσι εκδηλώνεται πολύ ανάγλυφα, ειδικότερα στην περίπτωση της ρύθμισης της θερμοκρασίας του.

Γενικά, με τον όρο ομοιόσταση περιγράφεται η ικανότητα του μελισσιού να διατηρεί τη θερμοκρασία και τις άλλες περιβαλλοντικές παραμέτρους εντός της φωλιάς σχετικά σταθερές, ανεξάρτητα από τις εξωτερικές συνθήκες του περιβάλλοντος. Οι μέλισσες γενικά είναι δραστήριες σε θερμοκρασίες μεταξύ 10 και 38 °C, όμως για την εκτροφή του γόνου, η άριστη θερμοκρασία είναι αυτή των 35 °C μέσα στην κυψέλη. Όταν η θερμοκρασία είναι χαμηλότερη, οι παραμάνες μέλισσες καλύπτουν με το σώμα τους το γόνο για να αυξήσουν τη θερμοκρασία του, ενώ σε υψηλότερη θερμοκρασία δροσίζουν την κυψέλη συλλέγοντας νερό και αεριζοντάς τη με τα φτερά τους. Όταν η εξωτερική

θερμοκρασία πέσει κάτω από τους 14 °C, οι μέλισσες σχηματίζουν τη λεγόμενη μελισσόσφαιρα για να εξοικονομήσουν ενέργεια αφού μειώνουν την επιφάνεια από την οποία αυτή χάνεται. Οι μέλισσες στο εσωτερικό και εξωτερικό μέρος της μελισσόσφαιρας εναλλάσσονται μεταξύ τους. Όταν δεν υπάρχει γόνος, η θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 13 °C και 20 °C, ενώ αν υπάρχει γόνος, αυτός βρίσκεται στο κέντρο της μελισσόσφαιρας, με τη θερμοκρασία εκεί πάντα στους 35 °C. [10]



**Εικόνα 1.8** Μορφή της μελισσόσφαιρας σε διάφορες θερμοκρασίες [11]

Από τις διάφορες μελέτες για το θέμα της θερμορρύθμισης του μελισσιού προκύπτει τελικά ότι το μελίσι ως υπεροργανισμός κατορθώνει να παρουσιάζει τη μικρότερη θερμική αγωγιμότητα και να δαπανά αντίστοιχα τη μικρότερη ανά μονάδα βιομάζας ποσότητα θερμότητας, για να ξεχειμωνιάσει στα εύκρατα κλίματα σε σύγκριση με όλα τα θηλαστικά, τα πτηνά αλλά και τα ερπετά. Αυτή η ιδιαιτερότητα του μελισσιού οφείλεται στη συνδυασμένη δράση των ιδιομορφιών των κηρηθρών (σύσταση, δομή και τρόπος ανάρτησής τους) από τη μία, και από την άλλη στις ιδιομορφίες της ίδιας της μελισσόσφαιρας (σύσταση και λειτουργία).

Συμπερασματικά, η θερμική ομοιόσταση του μελισσιού ως υπεροργανισμού στηρίζεται σε τελική ανάλυση στην εγωιστική συμπεριφορά της κάθε μέλισσας να προσπαθεί να αποτρέψει το θάνατο της από τις μη φυσιολογικές για την ίδια θερμοκρασίας, του περιβάλλοντος.

Τοποθετώντας λοιπόν έναν αισθητήρα θερμοκρασίας στη φωλιά του γόνου μπορούμε να έχουμε τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Τον χειμώνα, που δεν έχουμε γόνο, παρατηρούμε την θερμοκρασία (με έναν ή περισσότερους αισθητήρες) που διατηρεί το μελίσι και πόσο μπορεί να δυσκολεύεται σε σχέση με πιθανές ακραίες συνθήκες περιβάλλοντος.
- Όταν, στην αρχή της άνοιξης ή και νωρίτερα, δούμε την θερμοκρασία να ανεβαίνει ξαφνικά στους 35 βαθμούς σημαίνει ότι το μελίσι άρχισε να έχει γόνο. Πράγμα που

δείχνει ότι ξεκινάει η περίοδος ανάπτυξης του μελισσιού και η κατανάλωση τροφής μεγαλώνει πολύ.

Οπότε ο μελισσοκόμος, μόλις ο καιρός το επιτρέψει, πρέπει να ελέγξει τα αποθέματα τροφής σε όλα τα μελίσσια, γιατί αυτή η περίοδος είναι η πιο επικίνδυνη για να καταρρεύσει ένα μελίσσι από έλλειψη τροφής. Γιατί η κατανάλωση τροφής είναι μεγαλύτερη από την ποσότητα που μπορεί να συλλέξει και τα αποθέματα τροφής του χειμώνα μπορεί να έχουν τελειώσει. [12]

Έτσι επιτυγχάνεται να έχουν τα μελίσσια τροφή για να ξεκινήσουν άμεσα την ανάπτυξη τους και χωρίς κίνδυνο λιμοκτονίας. Χωρίς περιττούς ελέγχους αυτήν την περίοδο, κάτι που στρεσάρει πολύ τα μελίσσια, και πλήρως συγχρονισμένα με την στιγμή που το μελίσσι από μόνο του αρχίζει να αναπτύσσεται. Ούτε νωρίτερα εκβιάζοντας το μελίσσι με κίνδυνο να μην μπορέσει να στηρίξει τον γόνο λόγω κρύου, ούτε αργότερα καθυστερώντας την ανάπτυξη του λόγω έλλειψης τροφής ή κινδυνεύοντας να λιμοκτονήσει.

Η παρακολούθηση της θερμοκρασίας στην περιοχή του γόνου έχει ένα ακόμη όφελος.

- Οι μέλισσες κάνουν ένα <ζέσταμα> όταν πρόκειται να βγουν από το μελίσσι, το οποίο φαίνεται και στα στοιχεία του αισθητήρα.

Οι μέλισσες εκτελούν καθημερινά ζεστάματα, πριν βγουν μαζικά να βοσκήσουν. Έτσι λοιπόν αν αυξήσουμε τον αριθμό των μετρήσεων τις πρωινές ώρες μπορούμε να παρατηρήσουμε πότε οι μέλισσες βγαίνουν μαζικά σε αναζήτηση τροφής σε σχέση φυσικά με τις καιρικές συνθήκες και να καταγράψουμε χρήσιμα συμπεράσματα για την περιοχή που βρισκόμαστε.

Τα τρία συμπεράσματα που έχουμε αναφέρει πιο πάνω είναι πολύ σημαντικά γιατί είναι ενδεικτικά για όλες τις κυψέλες. Έτσι λοιπόν καταγράφοντας τις μετρήσεις σε ένα ή δυο επιλεγμένα μελίσσια έχουμε μια πολύ ακριβής εικόνα της κατάστασης σε όλο το μελισσοκομείο.

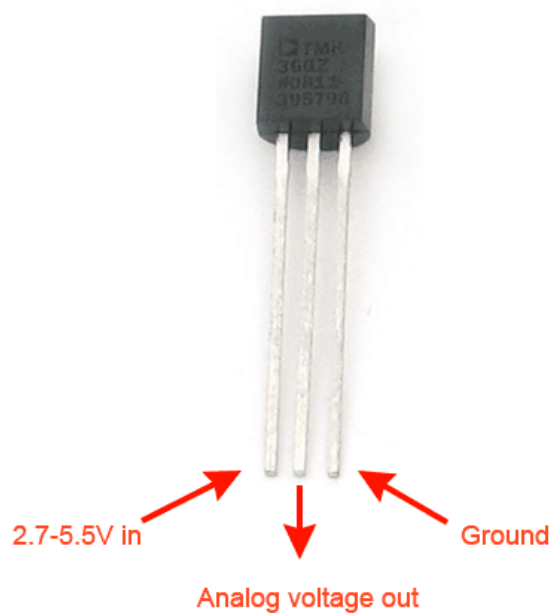
Επί προσθέτως με τον αισθητήρα θερμοκρασίας, μπορούμε να παρατηρήσουμε και κάποια άλλα πράγματα πιο συγκεκριμένα για την κυψέλη που μετράμε. Τα οποία, παρόλα αυτά με ένα λίγο μεγαλύτερο δίκτυο καταγραφής επιλεγμένων πάντα κυψελών και τους κατάλληλους χειρισμούς από τον μελισσοκόμο μπορεί να φάνουν πολύ χρήσιμα.

- Με την τοποθέτηση περισσότερων από ένα αισθητήρα θερμοκρασίας (1 ανά πλαίσιο) στη φωλιά του γόνου, μπορούμε να υπολογίσουμε τον όγκο του, αφού στην περιοχή του γόνου το μελίσσι διατηρεί σταθερή θερμοκρασία 35 βαθμούς.
- Παρομοίως αισθητήρες θερμοκρασίας κατά τους χειμερινούς μήνες, επιτρέπουν στο μελισσοκόμο να παρακολουθεί το μέγεθος και τις κινήσεις της χειμερινής μελισσόσφαιρας στη διάρκεια του χειμώνα, καθώς μετακινείται από τα χαμηλότερα σημεία των πλαισίων στα υψηλότερα. Σε συνδιασμό με τα κατάγεγραμμένα αποθέματα μελιού στα πλαίσια στην αρχή του χειμώνα η παρακολούθηση θα μπορούσε να δείξει πότε θα τελειώνει το αποθηκευμένο μέλι.

- Σε περίπτωση που χρησιμοποιούμε κηρήθρες κηφήνων για να προσελκύσουμε ακάρεα βαρρόας (η κύρια ασθένεια των μελισσιών), αισθητήρες ενσωματωμένοι στην κηρήθρα κηφήνων θα μπορούσαν να δείξουν πότε γέννησαν τα αυγά, δίνοντας τη δυνατότητα να υπολογίσουμε πότε ο γόνος κηφήνων θα σφραγιστεί, ώστε να είναι έτοιμος για την <συγκομιδή> της βαρρόας.
- Τέλος αν κάποιο μελίσι δεν μπορεί να διατηρήσει σταθερή θερμοκρασία 35oC στο γόνο σημαίνει ότι χρειάζεται άμεσα βοήθεια.

### 1.5.2 Αισθητήρας Θερμοκρασίας στο Εξωτερικό της Κυψέλης

Με τον αισθητήρα θερμοκρασίας που τοποθετούμε εκτός κυψέλης μπορούμε να έχουμε μια εικόνα για τις εξωτερικές συνθήκες στο μελισσοκομείο και να βγάλουμε συμπεράσματα συνεργατικά με τους αισθητήρες που βρίσκονται στο εσωτερικό της κυψέλης. Καταγράφοντας τις μετρήσεις του συγκεκριμένου αισθητήρα για μεγάλο χρονικό διάστημα, παρατηρούμε πώς επηρεάζεται το μελίσι από το μικροκλίμα στην περιοχή που είμαστε, το οποίο θα φανεί πολύτιμο για τον μελισσοκόμο μακροπρόθεσμα.



**Εικόνα 1.9** Αισθητήρας Θερμοκρασίας - LM35 Temperature Sensor

Πιο συγκεκριμένα:

- Τον χειμώνα ελέγχουμε τις ακραία χαμηλές θερμοκρασίες
- Τις υπόλοιπες εποχές βλέπουμε πότε οι μέλισσες έχουν την δυνατότητα να βγουν για αναζήτηση τροφής και πότε έχουμε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες.

Συμπεράσματα συνεργατικά με τα άλλα μέρη της κατασκευής:

- Το αυτόματο τάισμα που έχουμε εφαρμόσει, να μην γίνεται σε ακραία χαμηλές θερμοκρασίες τον χειμώνα, γιατί οι μέλισσες δεν μπορούν να έχουν πρόσβαση στην τροφή καθώς είναι μαζεμένες σε μια σφαίρα (μελισσόσφαιρα) για να ζεσταθούν. Τις άλλες εποχές όμως προτιμάμε να έχουμε χαμηλή εξωτερική θερμοκρασία κατά το τάισμα, ώστε οι μέλισσες να βρίσκονται μέσα στην κυψέλη και να μην έχουμε και κίνδυνο λεηλασίας από άλλα μελίσσια.
- Στην αρχή της ανάπτυξης του μελισσιού (Φεβρουάριο-Μάρτιο ανάλογα με την περιοχή) που είναι η πιο κρίσιμη στιγμή, έχουμε πολύ καλή εικόνα της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος.
- Μπορούμε να παρατηρούμε, συνεργατικά με τον αισθητήρα βάρους, όλο τον καιρό που το μελίσσι διατηρεί γόνο, αν κλείνεται για παρατεταμένο διάστημα μέσα στην κυψέλη λόγω κακών καιρικών συνθηκών, κάτι που μπορεί να οδηγήσει σε έλλειψη τροφής.
- Επίσης μαζί με τον έλεγχο του βάρους, γνωρίζουμε τις συνθήκες που επικρατούν όταν υπάρχει μια μεγάλη μελιτοέκκριση, το διάστημα δηλαδή που ο μελισσοκόμος περιμένει να μαζέψουν τα μελίσσια μια σημαντική ποσότητα μελιού.

### 1.5.3 Αισθητήρας Βάρους (Πίεσης)

Το πιο σημαντικό για να έχουμε ένα υγιές μελίσσι είναι να έχει επάρκεια τροφής ανά πάσα στιγμή. Ακόμη και ένα πολύ μικρό διάστημα να μείνει χωρίς τροφή γίνεται ευάλωτο σε ασθένειες με άμεσες αλλά και μακροπρόθεσμες συνέπειες. Οι μέλισσες είναι γενικά πιο βραχύβιες όταν μεγαλώνουν σε μελίσσια που πάσχουν από υποσιτισμό. Επίσης, διάφορα νοσήματα μπορεί να είναι αίτια του υποσιτισμού. Από την άλλη πλευρά, η χορήγηση τροφής είναι ένα από τα βασικά έξοδα του μελισσοκόμου, για αυτό δεν πρέπει να γίνονται υπερβολές και άσκοπα ταΐσματα. Με τον αισθητήρα βάρους παρατηρούμε τις αυξομειώσεις του βάρους μιας κυψέλης σε όλη την διάρκεια του χρόνου αποκομίζοντας σημαντικά συμπεράσματα. [13]



**Εικόνα 1.10** Αισθητήρας Βάρους - Flexiforce Pressure Sensor - 100lbs

- Ζυγίζοντας τα μελίσσια στην αρχή της χειμερινής περιόδου με μια ζυγαριά χειρός και καταγράφοντας τον πληθυσμό τους μπορούμε να παρατηρήσουμε πόσο μειώνονται τα αποθέματα τροφής και πόσο αυτό επηρεάζεται από τις εξωτερικές συνθήκες. Έτσι γνωρίζουμε με ακρίβεια τα αποθέματα του μελισσιού που έχουμε τον αισθητήρα και μπορούμε να τροφοδοτήσουμε αυτόματα όταν υπάρχει λόγος. Επίσης λαμβάνοντας υπόψιν ότι όσο πιο λίγο πληθυσμό έχει ένα μελίσσι τόσο περισσότερη τροφή καταναλώνει αναλογικά και ότι υπάρχουν αποκλίσεις από μελίσσι σε μελίσσι, μπορούμε να έχουμε μια εικόνα για τα αποθέματα τροφής κάθε κυψέλης.
- Προφανώς στο μελίσσι που έχουμε τους αισθητήρες έχουμε πλήρη έλεγχο των αποθεμάτων τροφής, όλο το χρόνο, με πολύ λιγότερες επιθεωρήσεις στην κυψέλη. Επίσης καταλαβαίνουμε, συνεργατικά με τον εξωτερικό αισθητήρα θερμοκρασίας, πότε τα μελίσσια κλείνονται για μεγάλο χρονικό διάστημα λόγω κακών καιρικών συνθηκών ή πότε υπάρχει έλλειψη τροφής στη φύση. Αυτό είναι πολύ σημαντικό γιατί όταν το μελίσσι έχει γόνο καταναλώνει μεγάλη ποσότητα τροφής για να διατηρήσει την κατάλληλη θερμοκρασία στους 35oC και π.χ. μια βδομάδα χωρίς να συλλέξει τροφή μπορεί να κάνει το μελίσσι να καταρρεύσει.
- Επιπλέον μπορούμε να εντοπίσουμε και να καταγράψουμε τις μελιτοεκρίσεις στην περιοχή που βρισκόμαστε κάτι που είναι πολύ σημαντικό για τον μελισσοκόμο μακροπρόθεσμα.
- Τέλος, ο αισθητήρας βάρους γίνεται ένα ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο για τον μελισσοκόμο κατά την διάρκεια κάποιας μεγάλης μελιποέκκρισης. Όπως έχουμε αναφέρει και πιο πάνω, μέλι από ένα μελίσσι παίρνουμε μόνο σε κάποιες συγκεκριμένες μεγάλες ανθοφορίες για αυτό καλό είναι να αναλύσουμε λίγο παραπάνω την χρησιμότητα του αισθητήρα βάρους σε αυτήν την περίοδο.

Η περίοδος αυτή για τον μελισσοκόμο ξεκινάει νωρίτερα από την έναρξη της ανθοφορίας. Ο μελισσοκόμος έχοντας διαλέξει τον πιθανό χώρο που θα μεταφέρει τα μελίσσια για να εκμεταλλευτεί την ανθοφορία, θα μεταφέρει πρώτα ένα μελίσσι <μάρτυρα> εφοδιασμένο με αισθητήρα βάρους και θερμοκρασίας. Έτσι λοιπόν όταν το βάρος του μελισσιού αρχίσει να αυξάνεται μέρα με τη μέρα θα σημαίνει ότι άρχισε η ανθοφορία. Τότε πρέπει να παρακολουθήσει για τρεις με πέντε μέρες την ζυγαριά για να δει πως εξελίσσεται η ανθοφορία ενώ παράλληλα με τον αισθητήρα θερμοκρασίας να ελέγχει τον καιρό.

Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να έχει μια εικόνα για τις συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή ενώ μπορεί να βρίσκεται κάπου μακριά, και να αποφασίσει αν θα μεταφέρει όλα του τα μελίσσια σε αυτήν την περιοχή. Για να καταλάβουμε πόσο χρήσιμο είναι να γνωρίζει από πριν ο μελισσοκόμος τις συνθήκες που επικρατούν πριν κάνει την μεταφορά αξίζει να αναφέρουμε τα εξής. Για να μεταφέρει κάποιος π.χ. 150 παραγωγικά μελίσσια χρειάζεται να χρησιμοποιήσει φορτηγό αλλά και εργάτες καθώς το βάρος είναι πάρα πολύ μεγάλο και η μεταφορά (φόρτωμα ξεφόρτωμα) γίνεται μέσα σε ένα βράδυ. Αυτό μεταφράζεται σε ένα σημαντικό κόστος.

Επίσης οι βασικές ανθοφορίες είναι σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα. Για παράδειγμα το έλατο, στην Ελλάδα δίνει μέλι από τέλος Μαΐου (ανάλογα με την χρονιά) και κρατάει ένα μήνα, όμως αν αρχίσουν βροχές (κάτι που είναι πολύ πιθανό αυτήν την

περίοδο) μπορεί ακόμα και να το ξεπλύνει τελείως από μέλι. Άρα καταλαβαίνουμε ότι όλα τα μέρη με έλατο δεν δίνουν την ίδια ποσότητα μελιού. Οπότε αν το μέρος που έχουν μεταφερθεί τα μελίσσια δεν αποδίδει καλά, ο μελισσοκόμος πρέπει να πάρει ένα ακόμη μεγαλύτερο ρίσκο να ξανακάνει μεταφορά για να πάει σε άλλο μέρος που δείχνει να αποδίδει την συγκεκριμένη χρονιά ( π.χ. να τα πάρει από το Μαίναλο να τα πάει στον Ταϊγετο) μήπως προλάβει την μελιτοέκκριση στην μέση. Οι συχνές μεταφορές φυσικά επιβαρύνουν και στρεσάρουν τα μελίσσια και επίσης μεγαλώνουν το κόστος, τον κόπο και αλλά και το άγχος του μελισσοκόμου. Απ την άλλη πλευρά όμως το να μείνουν παραγωγικά μελίσσια σε ένα μέρος χωρίς τροφή μπορεί να έχει καταστρεπτικές συνέπειες, οπότε αναγκαστικά χρειάζεται να ταΐστουν με μεγάλη ποσότητα τροφής, μέχρι οι συνθήκες να επιτρέψουν ξανά στα μελίσσια να μαζέψουν μέλι.

Από όλα αυτά συμπεραίνουμε ότι η επιλογή του μέρους, που θα μεταφερθούν τα μελίσσια για να συλλέξουν μια ικανοποιητική ποσότητα μελιού, είναι πρωταρχικής σημασίας για τον μελισσοκόμο και απαιτεί βαθιά γνώση των μελισσοκομικών περιοχών. Έτσι λοιπόν αν εγκαταστήσει εγκαίρως σε δυο τρία μέρη, που πιστεύει ότι είναι κατάλληλα, μελίσσια <μάρτυρες> έχει ένα εργαλείο που θα του χρησιμεύσει να πάρει μια ορθή επιλογή. Επίσης μακροπρόθεσμα θα τον βοηθήσει να γνωρίσει περιοχές μελισσοκομικού ενδιαφέροντος.

Τέλος με τον αισθητήρα βάρους μπορεί να εντοπίσει πότε η ανθοφορία φτάνει στο τέλος της και να αποσίρει τα μελίσσια εγκαίρως πριν αρχίσουν οι λεηλασίες ανάμεσα σε μελίσσια από γύρω μελισσοκομία που βρίσκονται μαζεμένα στην περιοχή την συγκεκριμένη περίοδο. Επίσης πιθανόν ο μελισσοκόμος να προλάβει να μεταφέρει τα μελίσσια σε μια άλλη περιοχή που γνωρίζει ότι δίνει μέλι, έχοντας εγκαταστήσει και εκεί ένα μελίσσι <μάρτυρα>.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### Θεωρητικό μέρος

#### 2.1 Συστήματα Μέτρησης

*Μέτρηση* (measurement) είναι ο προσδιορισμός ενός μεγέθους ή ποσού με βάση ένα μέγεθος αναφοράς του ίδιου τύπου, που χρησιμοποιείται ως μονάδα μέτρησης (measurement unit, πχ. το μέτρο, το κιλό κλπ.). Για την πραγματοποίηση των μετρήσεων χρησιμοποιούνται τα κατάλληλα συστήματα μέτρησης (measurement systems). Οι μετρήσεις των φυσικών και των χημικών φαινομένων αποτελούν αναπόσπαστο τμήμα πολλών ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Ο άνθρωπος από πολύ παλιά χρησιμοποίησε τη μέτρηση για να μπορέσει να εκφράσει ποσότητες (πχ. του λαδιού, της απόστασης κλπ.), ώστε να μπορέσει να επικοινωνήσει με τους άλλους ανθρώπους και να διεξάγει πλήθος δραστηριοτήτων (πχ. Πωλήσεις και αγορές προϊόντων κλπ). Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας και της βιομηχανίας, οι μετρήσεις εκτός από την έκφραση του μεγέθους μιας ποσότητας άρχισαν να χρησιμοποιούνται ευρέως στα λεγόμενα συστήματα αυτόματου ελέγχου (automatic control systems). Στα συστήματα αυτά μετράται ένα μέγεθος, η μέτρηση συγκρίνεται με μια επιθυμητή τιμή και στη συνέχεια η διαφορά τους χρησιμοποιείται για να ελέγξει μια διαδικασία, έτσι ώστε το μετρούμενο μέγεθος να συμπίπτει τελικά με την επιθυμητή τιμή.

Παλιότερα, πολλά συστήματα μέτρησης βασιζόταν σε χειροκίνητες, μηχανικές ή άλλες διαδικασίες για την πραγματοποίηση της μέτρησης (πχ. η μέτρηση των διαστάσεων ενός αντικειμένου με χάρακα, η μέτρηση του βάρους ενός αντικειμένου με ζυγό ισορροπίας και χρήση πρότυπων βαρών, η μέτρηση της θερμοκρασίας με θερμόμετρο υδραργύρου, κλπ.). Με την έκρηξη όμως της τεχνολογίας των ηλεκτρονικών, η συντριπτική πλειοψηφία των μετρήσεων βασίζεται πλέον στην μετατροπή ενός φυσικού μεγέθους (πχ. θερμοκρασία, πίεση, κλπ.) στο αντίστοιχο ηλεκτρικό σήμα (συνήθως τάση). Την μετατροπή του φυσικού μεγέθους στο αντίστοιχο ηλεκτρικό σήμα αναλαμβάνει μια μονάδα που ονομάζεται *αισθητήρας* (*sensor*). Σήμερα έχουν αναπτυχθεί αισθητήρες για πολύ μεγάλο αριθμό φυσικών μεγεθών και με διαρκείς ερευνητικές προσπάθειες προκύπτουν νέοι αισθητήρες για μεγέθη για τα οποία δεν υπήρχαν τέτοιοι, όπως επίσης βελτιώνονται διαρκώς οι υπάρχοντες αισθητήρες και οι αντίστοιχες ηλεκτρονικές διατάξεις που συνιστούν το σύστημα μέτρησης. Επακόλουθο της ραγδαίας ανάπτυξης της τεχνολογίας των αναλογικών ηλεκτρονικών κυκλωμάτων ήταν η ραγδαία ανάπτυξη των ψηφιακών ηλεκτρονικών κυκλωμάτων (hardware) και του αντίστοιχου λογισμικού (software). Εξαιτίας των σημαντικών πλεονεκτημάτων που παρέχουν τα ψηφιακά ηλεκτρονικά συστήματα, το μεγαλύτερο μέρος των συστημάτων μέτρησης σήμερα βασίζεται σε ψηφιακά ηλεκτρονικά (CPUs, μικροεπεξεργαστές, μικροελεγκτές, PCs, κλπ). [14]

Τα συστήματα μέτρησης αποτελούνται από αναλογικά ή /και ψηφιακά ηλεκτρονικά στοιχεία. Βασικά δομικά στοιχεία όλων των ηλεκτρονικών συστημάτων μέτρησης είναι οι αισθητήρες, οι οποίοι αποτελούν το συνδεδετικό κρίκο μεταξύ του μετρούμενου φαινομένου και του συστήματος μέτρησης.



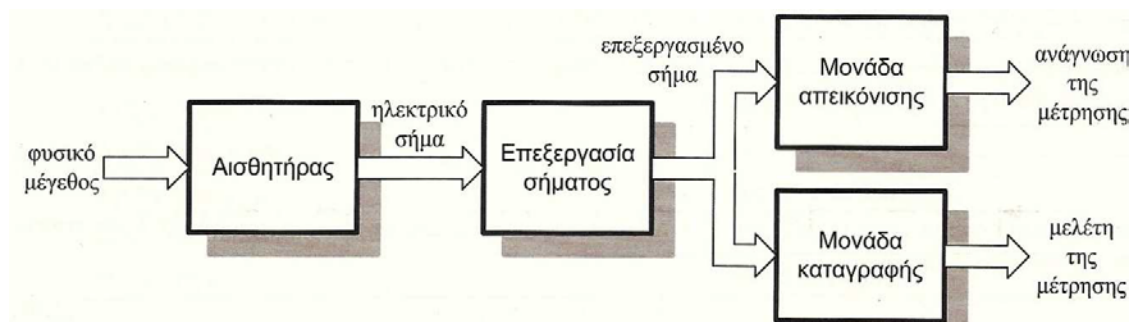
### 2.1.1 Η δομή ενός συστήματος μέτρησης

Η γενική δομή ενός συστήματος μέτρησης εικονίζεται στο σχήμα 2.1.1. Το ηλεκτρικό σήμα που αντιστοιχεί στη μετρούμενη φυσική ποσότητα παρέχεται από το αισθητήριο (sensor) ή μετατροπέα φυσικών μεγεθών (transducer). Στη βιβλιογραφία οι δύο όροι χρησιμοποιούνται ελεύθερα για να περιγράψουν τη διάταξη μετατροπής του φυσικού μεγέθους. Εντούτοις, ένας ποιο αυστηρός ορισμός θεωρεί, ως αισθητήριο αποκλειστικά τη διάταξη ανίχνευσης του φυσικού μεγέθους και μετατροπέα ένα πλήρες σύστημα που περιλαμβάνει εκτός από τη συσκευή ανίχνευσης πρόσθετα ηλεκτρονικά κυκλώματα προσαρμογής και μορφοποίησης του σήματος από το αισθητήριο. Η τάση των κατασκευαστών σήμερα είναι να παρέχουν ολοκληρωμένα μετρητικά στοιχεία, τα οποία περιλαμβάνουν τη διάταξη ανίχνευσης του φυσικού μεγέθους μαζί με ηλεκτρονικά κυκλώματα μορφοποίησης του ηλεκτρικού σήματος. Έτσι, τα δύο πρώτα μέρη στο γενικό σύστημα μέτρησης τείνουν να ενοποιηθούν.

Το σύστημα προσαρμογής (conditioner), είτε είναι ενσωματωμένο με το αισθητήριο ή ανεξάρτητο συνδέεται από την πλευρά της εισόδου με το αισθητήριο και παρέχει στην πλευρά της εξόδου ένα ηλεκτρικό σήμα κατάλληλο για τη μετάδοση στο σύστημα επεξεργασίας. Ένα σύστημα προσαρμογής περιλαμβάνει κυκλώματα ενίσχυσης, φιλτραρίσματος, μείωσης του θορύβου, γραμμικοποίησης και ακόμη διατάξεις μετατροπής της τάσης σε ρεύμα, σε συχνότητα ή σε ψηφιακή μορφή. Το ηλεκτρικό σήμα σε αναλογική ή ψηφιακή μορφή από το σύστημα προσαρμογής μεταδίδεται στο σταθμό επεξεργασίας. Η μετάδοση γίνεται είτε ενσύρματα, με διάφορα είδη αγωγών ανάλογα με τη μορφή του σήματος, είτε ασύρματα.

Χαρακτηριστικά που λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό ενός συστήματος μέτρησης είναι:

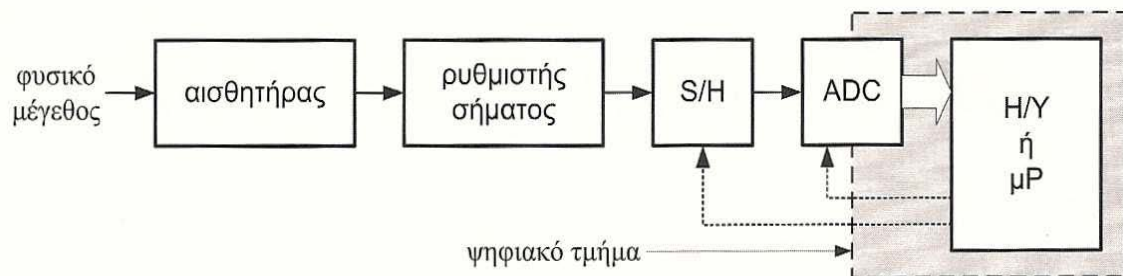
- Μεγάλη ευαισθησία
- Μικρή κατανάλωση ισχύος
- Μεγάλη ταχύτητα απόκρισης
- Εύκολη μετάδοση του σήματος εξόδου σε απόσταση
- Υψηλή αξιοπιστία



Εικόνα 2.1 Η δομή ενός συστήματος μέτρησης

Η μονάδα απεικόνισης μπορεί να είναι αναλογική, όπως (πχ. ένα αναλογικό βολτόμετρο με βελόνα ένδειξης). Επίσης η μονάδα καταγραφής μπορεί να είναι αναλογική, όπως (πχ. ένα καταγραφικό με ακίδα μελάνης σε τύμπανο χαρτιού, όπως αυτό των σειсмоγράφων). Παρόλο που σε μερικές περιπτώσεις αυτού του είδους η απεικόνιση και η καταγραφή επαρκούν για τις ανάγκες της συγκεκριμένης εφαρμογής, σε πολλές άλλες περιπτώσεις η εκμετάλλευση της ψηφιακής τεχνολογίας που είναι διαθέσιμη σήμερα δίνει ασύγκριτα περισσότερα πλεονεκτήματα.

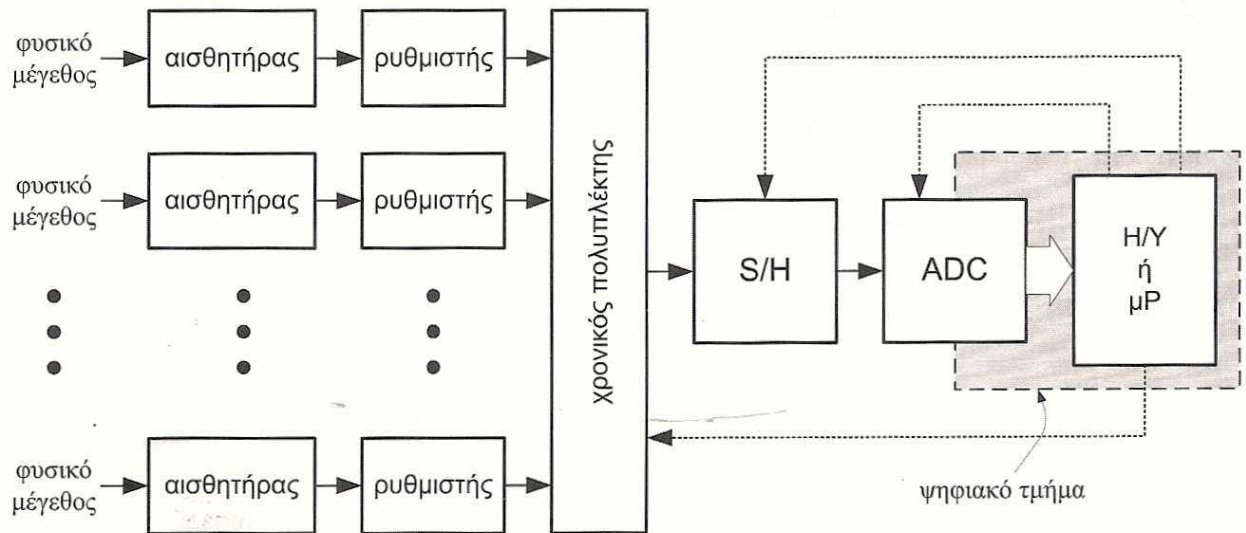
Για παράδειγμα, η ψηφιακή απεικόνιση της μέτρησης παρέχεται με αντικειμενικότητα στο χειριστή, δίνοντας μια ένδειξη με πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια από την αναλογική. Επίσης, η ψηφιακή καταγραφή των μετρήσεων δίνει τη δυνατότητα στον χειριστή να αναλύσει καλύτερα και να επεξεργαστεί τις μετρήσεις. Η τυπική δομή ενός ψηφιακού συστήματος μέτρησης δίνεται στο Σχήμα 2.1.2.



**Εικόνα 2.2** Η δομή ενός ψηφιακού συστήματος μέτρησης

Η μονάδα δειγματοληψίας και συγκράτησης (sample and hold, S/H) και ο μετατροπέας του αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (A/D converter, ADC) εξασφαλίζουν την μετατροπή του σήματος σε ψηφιακή μορφή με το επιθυμητό μήκος ψηφιακής λέξης (8 bit, 10 bit, 12 bit κλπ.). Το σύστημα ελέγχεται από έναν H/Y ή ένα μικροεπεξεργαστή (μP), ο οποίος μπορεί να απεικονίζει τις μετρήσεις στην οθόνη, να τις επεξεργάζεται με κάποιον αλγόριθμο και να τις αποθηκεύει, είτε σε μνήμες (RAM, EEPROM, Flash κλπ.), είτε σε άλλα μέσα (σκληρό δίσκο, δισκέτες, CD-ROM, DVD κλπ.), αλλά και να τις μεταδίδει σε μεγάλες αποστάσεις μέσω του κατάλληλου δικτύου (LAN, Internet, κλπ.). [15]

Ένα άλλο μεγάλο πλεονέκτημα των ψηφιακών συστημάτων μέτρησης είναι και η δυνατότητα ταυτόχρονης μέτρησης πολλών μεγεθών, αξιοποιώντας το ίδιο ψηφιακό τμήμα του συστήματος. Ένα τέτοιο σύστημα παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.1.3.



**Εικόνα 2.3** Η δομή ενός ψηφιακού συστήματος μέτρησης πολλών μεγεθών ταυτόχρονα

Ο χρονικός πολυπλέκτης, ο οποίος ελέγχεται από H/Y, επιλέγει ποιο από τα φυσικά μεγέθη που παρακολουθεί το σύστημα θα μετρηθεί σε κάθε χρονική στιγμή. Έτσι, μπορούν να μετρώνται ταυτόχρονα πολλά μεγέθη, να υφίστανται επεξεργασία και να αποθηκεύονται στον ίδιο H/Y ή και να μεταδίδονται σε μεγάλες αποστάσεις. Η ταυτόχρονη μέτρηση των μεγεθών δίνει επίσης τη δυνατότητα: (α) για συσχέτισμό διαφορετικών φυσικών μεγεθών και των αντίστοιχων φαινομένων που μετρώνται και (β) για την έμμεση μέτρηση μεγεθών τα οποία δεν μπορούν να μετρηθούν άμεσα. [15]

Τα ολοκληρωμένα συστήματα μέτρησης φυσικών μεγεθών τα οποία εμπεριέχουν τον αισθητήρα (ή τους αισθητήρες), όσο και τις ηλεκτρονικές και μηχανικές διατάξεις που απαιτούνται για τη λειτουργία του συστήματος μέτρησης αναφέρονται και ως *μετρητές* (meters).

## 2.2 Αισθητήρες

Αισθητήρας (sensor) είναι μία διάταξη που χρησιμοποιείται για την μέτρηση ενός φυσικού μεγέθους. Μετατρέπει το φυσικό μέγεθος που μετρείται (μετρούμενο μέγεθος) σε ηλεκτρικό σήμα.

Μερικά παραδείγματα φυσικών μεγεθών που συνήθως μετρώνται με αισθητήρες είναι η θερμοκρασία, η θέση και η μετατόπιση ενός αντικειμένου, η στάθμη υγρών, η ταχύτητα και η επιτάχυνση ενός κινούμενου αντικειμένου, η δύναμη, η ροή ρευστού, η τάση, το ρεύμα, η υγρασία, η ακτινοβολία και άλλα. Οι αισθητήρες χρησιμοποιούνται για τη συλλογή πληροφοριών (δεδομένων) από ένα σύστημα, καθώς και για τον έλεγχο των συστημάτων. [16]

Η επιλογή του αισθητήρα γίνεται με βάση τη μορφή της απαιτούμενης πληροφορίας που είναι επιθυμητό να μετρηθεί, τα χαρακτηριστικά, το κόστος, την καταλληλότητα της μορφής του αισθητήρα κ.α. Συνήθως, ενδιαφέρουν παρουσιάζουν οι αισθητήρες που μπορούν να συνεργαστούν με κάποιο ηλεκτρονικό σύστημα μέτρησης και κατ' επέκταση να συνδεθούν με μικροεπεξεργαστές.

### 2.2.1 Στατικά χαρακτηριστικά των αισθητήρων

Συχνά οι αισθητήρες δεν δίδουν στην έξοδό τους κατάλληλο ηλεκτρικό σήμα. Τότε απαιτείται η χρήση ενός επιπρόσθετου ηλεκτρονικού κυκλώματος, το οποίο να λαμβάνει την έξοδο του αισθητήρα και να τη μετατρέπει σε κατάλληλο ηλεκτρικό σήμα, σύμφωνα με τις απαιτήσεις των επόμενων βαθμίδων. Το κύκλωμα αυτό ονομάζεται *κύκλωμα ρύθμισης σήματος* (signal conditioning circuit), *κύκλωμα ελέγχου* (control circuit) ή *εξωτερική μονάδα* (outer ή external module). Για παράδειγμα, υπάρχουν αισθητήρες στάθμης που μετρούν το χρόνο που απαιτείται για να ανακλαστεί ένα υπερηχητικό κύμα από τη μετρούμενη επιφάνεια και να επιστρέψει στο σημείο από όπου εκπέμφθηκε. Σε αυτούς πρέπει να υπάρχει κατάλληλο κύκλωμα για τη μετατροπή των τιμών χρόνου σε ανάλογες τιμές τάσης.

Οι αισθητήρες που απαιτούν εξωτερική τροφοδοσία για να λειτουργήσουν ονομάζονται *ενεργοί*. Για παράδειγμα, ένας αισθητήρας γραμμικής μετατόπισης LVDT πρέπει να τροφοδοτείται από κατάλληλη εναλλασσόμενη τάση. Οι αισθητήρες που δημιουργούν μόνοι τους μία τάση και δε χρειάζονται εξωτερική τροφοδοσία ονομάζονται *παθητικοί*. Τέτοιοι είναι για παράδειγμα οι πιεζοηλεκτρικοί κρύσταλλοι, που όταν πιεστούν αναπτύσσουν στα άκρα τους ηλεκτρική τάση.

Τα χαρακτηριστικά των αισθητήρων συγκροτούν τις προδιαγραφές τους (specifications) και είναι πολλά. Παρότι οι ποικίλοι αισθητήρες που υπάρχουν σήμερα στηρίζονται σε διαφορετικές αρχές λειτουργίας, έχουν κοινά τα βασικά τους χαρακτηριστικά. Τα χαρακτηριστικά αυτά επιτρέπουν, την αξιολόγηση της ποιότητας του αισθητήρα και επιτρέπουν την επιλογή του κατάλληλου αισθητήρα για τη συγκεκριμένη εφαρμογή μέτρησης. Τα χαρακτηριστικά αυτά μπορούν να επεκταθούν και στα ηλεκτρονικά κυκλώματα που συνδέονται στην έξοδο του αισθητήρα για να επεξεργαστούν το σήμα του αισθητήρα (πχ. ενίσχυση, φιλτράρισμα, περιορισμός θορύβου, κλπ.). Σε αυτήν την περίπτωση το σήμα εισόδου είναι το σήμα εξόδου του αισθητήρα. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι τα ακόλουθα:

#### ➤ *Ακρίβεια*

Ο όρος ακρίβεια (accuracy) εκφράζει τον βαθμό ελευθερίας του αισθητήρα από τυχαία σφάλματα. Αν πάρουμε μεγάλο αριθμό μετρήσεων από έναν ακριβή αισθητήρα, τότε η μεταξύ τους διασπορά θα είναι μικρή. Η ακρίβεια συγχέεται συχνά με την πιστότητα. Η μεγάλη ακρίβεια δεν σημαίνει κατ' ανάγκην και μεγάλη πιστότητα. Ένας ακριβής αισθητήρας μπορεί να έχει κακή πιστότητα. Κακής πιστότητας μετρήσεις από έναν ακριβή αισθητήρα, σημαίνει ότι η μετρήσεις έχουν συστηματικό σφάλμα, γεγονός το οποίο μπορεί να διορθωθεί με βαθμονόμηση (διακρίβωση) του αισθητήρα. [17]

#### ➤ *Πιστότητα*

Η πιστότητα δε σχετίζεται με τον αριθμό των δεκαδικών ψηφίων με τον οποίο μπορεί να γίνει η μέτρηση, αλλά με το κατά πόσο το αποτέλεσμα που δίνει ο αισθητήρας πλησιάζει την φυσική πραγματικότητα, μέσα σε ένα λογικό εύρος τιμών. Η πιστότητα δίνεται συνήθως «ως ποσοστό επί του εύρους λειτουργίας του αισθητήρα».[10] Για παράδειγμα εάν ένας αισθητήρας πίεσης, περιοχής λειτουργίας 0-10 bar έχει πιστότητα  $\pm 1.0\%$  της

πλήρους κλίμακας τότε η μέγιστη αβεβαιότητα του αισθητήρα θα είναι ίση με 0,1 bar. Αυτό σημαίνει ότι όταν ο αισθητήρας δίνει ως αποτέλεσμα 1 bar τότε η μέγιστη αναμενόμενη αβεβαιότητα θα είναι ίση με 17 το 10% της τιμής αυτής. Για τον λόγο αυτό θα πρέπει το εύρος λειτουργίας των αισθητήρων να είναι όσο το δυνατόν εγγύτερα στο εύρος των μετρούμενων τιμών, ώστε να εξασφαλίζεται η μέγιστη δυνατή πιστότητα των μετρήσεων. Αν δηλαδή έχουμε μία εφαρμογή στην οποία οι πιέσεις μεταβάλλονται στο διάστημα 0-1 bar είναι λάθος να επιλέξουμε αισθητήρα περιοχής λειτουργίας 0- 10 bar. [16]

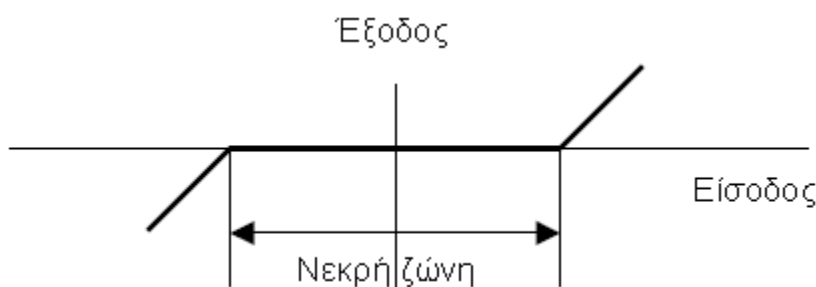
#### ➤ Βαθμονόμηση

Η βαθμονόμηση (calibration) είναι η διαδικασία καθορισμού της συνάρτησης μεταφοράς ενός αισθητήρα ή γενικότερα ενός συστήματος μέτρησης. Η γνώση της συνάρτησης μεταφοράς του αισθητήρα είναι απαραίτητη κατά τη διαδικασία των μετρήσεων, έτσι ώστε μετρώντας την τιμή του ηλεκτρικού σήματος εξόδου που παράγει ο αισθητήρας να υπολογίζεται μέσω της συνάρτησης μεταφοράς και η αντίστοιχη τιμή του μετρούμενου μεγέθους. Κατά τη διαδικασία της βαθμονόμησης εφαρμόζονται γνωστές τιμές του μετρούμενου φυσικού μεγέθους στον αισθητήρα και μετρώνται οι αντίστοιχες τιμές του ηλεκτρικού σήματος εξόδου του. Η ακρίβεια με την οποία έχει καθοριστεί η συνάρτηση μεταφοράς του αισθητήρα επηρεάζει σημαντικά την ακρίβεια των μετρήσεων, που λαμβάνονται κατά τη χρήση του αισθητήρα σε ένα σύστημα μέτρησης. [17]

#### ➤ Νεκρή ζώνη

Νεκρή ζώνη (dead-zone, dead-band), αποκαλείται η περιοχή μετρήσεων (συνήθως γύρω από το μηδέν) για την οποία ο αισθητήρας δεν αποκρίνεται στις μεταβολές της μετρούμενης ποσότητας.

Το σχήμα 1.3.1 δείχνει τα χαρακτηριστικά μίας νεκρής ζώνης. Δεν είναι απαραίτητο να υπάρχει νεκρή ζώνη καθ' όλο το εύρος ενός οργάνου και συχνά οι υπολογίσιμες νεκρές ζώνες εμφανίζονται κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες. [18]



**Εικόνα 2.4** Νεκρή ζώνη

#### ➤ Διαστάσεις

Οι διαστάσεις ενός αισθητήρα ή συστήματος μέτρησης είναι το μέτρο του φυσικού του μεγέθους και αναγράφονται σχεδόν πάντοτε στις προδιαγραφές του. [18]

➤ *Ολίσθηση*

Ολίσθηση (drift) είναι η αργή μεταβολή του σήματος εξόδου του αισθητήρα, ενώ το μετρούμενο φυσικό μέγεθος παραμένει σταθερό. Μπορεί να οφείλεται σε παράγοντες, όπως η θερμοκρασία λειτουργίας, υγρασία κλπ. Η μακροχρόνια ολίσθηση (long term drift) είναι η μεταβολή των χαρακτηριστικών του αισθητήρα με την πάροδο μεγάλου χρονικού διαστήματος και μπορεί να οφείλεται σε παράγοντες, όπως η διάβρωση τμημάτων του αισθητήρα, η ρύπανση του αισθητήρα, η γήρανση των υλικών κατασκευής κλπ. [19]

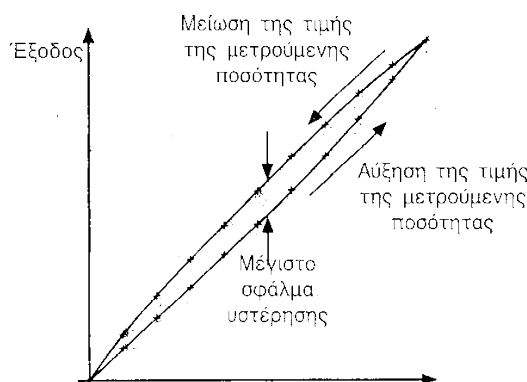
➤ *Σφάλμα*

Το σφάλμα ισούται με τη διαφορά ανάμεσα στη μετρούμενη τιμή και την πραγματική τιμή μίας ποσότητας. Τα σφάλματα μπορούν συχνά να εκφράζονται επί τοις εκατό (%), οπότε τότε αντιπροσωπεύουν την ακρίβεια του συστήματος. [18]

➤ *Υστέρηση*

Η υστέρηση προκαλεί διαφορές στην έξοδο που δίνει ένας αισθητήρας, όταν η κατεύθυνση μεταβολής της εισόδου αντιστραφεί. Με τον τρόπο αυτό παράγεται σφάλμα και επηρεάζεται η ακρίβεια της συσκευής. Το σχήμα 2.2.2 που ακολουθεί παρουσιάζει την επίδραση της υστέρησης με την βοήθεια μίας γραφικής παράστασης.

Η είσοδος του αισθητήρα, δηλαδή η μετρούμενη ποσότητα αυξάνεται με σταθερό βήμα. Όταν φτάσει τη μέγιστη δυνατή τιμή μειώνεται με το ίδιο σταθερό βήμα έως ότου λάβει ξανά την τιμή μηδέν. Η γραφική παράσταση δείχνει τη διαφορά που υπάρχει στην έξοδο του αισθητήρα, όταν η μετρούμενη ποσότητα αυξάνεται ή μειώνεται. Αυτό το γεγονός ονομάζεται υστέρηση του συστήματος.



**Εικόνα 2.5** Γραφική παράσταση του φαινομένου της υστέρησης.

Δεν εμφανίζουν υστέρηση όλοι οι αισθητήρες και τα συστήματα μέτρησης. Η υστέρηση προκαλείται από διάφορους παράγοντες, ειδικότερα τη μηχανική τάση και την τριβή. Η χαλάρωση των συστημάτων γραναζιών και ο «τζόγος» σε συστήματα κοχλιών αποτελούν επίσης σημαντικά αίτια. Τα συστήματα μέτρησης που είναι πιθανό να εμφανίσουν υστέρηση πρέπει να περιέχουν μηχανικά γρανάζια, ρουλεμάν κα άλλα

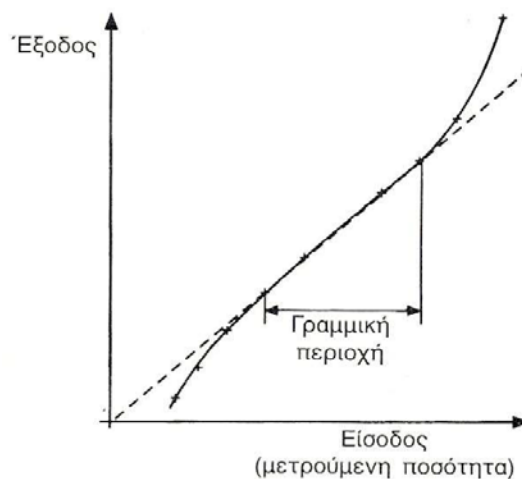
κινητά μέρη, τα οποία να τείνουν να είναι ελαστικά, όπως είναι το λάστιχο, τα πλαστικά και κάποια μέταλλα. [18]

➤ *Καθυστέρηση*

Καθυστέρηση (lag) ονομάζεται η καθυστέρηση της αλλαγής της τιμής εξόδου ενός αισθητήρα ως προς την αλλαγή της εισόδου του. Μετριέται σε δευτερόλεπτα ή συνηθέστερα σε κλάσματα του δευτερολέπτου. Σε μερικές εφαρμογές, όπως είναι ο έλεγχος η καθυστέρηση μπορεί να επηρεάζει αποφασιστικά την απόδοση. [16]

➤ *Γραμμικότητα*

Η γραμμικότητα (linearity) ενός αισθητήρα αποτελεί το βαθμό στον οποίο η γραφική παράσταση της εξόδου ως προς την είσοδο του αισθητήρα προσεγγίζει μία ευθεία γραμμή. Ένας αισθητήρας μπορεί να είναι γραμμικός σε μία περιοχή τιμών εισόδου όπως απεικονίζεται στο σχήμα 1.3.3. Επίσης, η γραμμικότητα μπορεί να εκφράζεται ως προς το μέγιστο βαθμό απόκλισης από την ευθεία γραμμή σε όλο το εύρος τιμών εισόδου και τότε αναφέρεται ως ποσοστό επί του εύρους λειτουργίας. [17]



**Εικόνα 2.6** Γραμμικότητα

➤ *Χρόνος λειτουργίας*

Ο χρόνος λειτουργίας (operating life) ενός αισθητήρα αποτελεί ένδειξη του χρόνου κατά τον οποίο αυτός αναμένεται να λειτουργεί στα πλαίσια των προδιαγραφών του. Εκφράζεται σε μονάδες χρόνου ή με τον αριθμό των λειτουργιών ή των κύκλων λειτουργίας που μπορεί να διεκπεραιώσει με επιτυχία. [18]

➤ *Επαναληψιμότητα*

Η επαναληψιμότητα μίας συσκευής είναι ο βαθμός στον οποίο αυτή παράγει το ίδιο αποτέλεσμα, όταν σε διαφορετικές χρονικές στιγμές τροφοδοτείται με ακριβώς την ίδια είσοδο. Στα αγγλικά αποδίδεται με τη λέξη «precision», η οποία συχνά συγχέεται με την καθημερινή έννοια της ακρίβειας (accuracy). Εντούτοις, στην ορολογία των συστημάτων

μέτρησης ένας αισθητήρας μπορεί να έχει υψηλή επαναληψιμότητα και να δίνει παρόμοια έξοδο όταν μετρά πολλές φορές μία συγκεκριμένη είσοδο, αλλά, εάν υπάρχει σημαντικό σφάλμα στην έξοδο τότε η έξοδος δεν είναι ακριβής. [16]

➤ *Εύρος*

Το εύρος λειτουργίας (operating range) μίας συσκευής ισούται με τα όρια, στα οποία μπορεί η συσκευή να λειτουργεί αξιόπιστα. Το εύρος λειτουργίας ενός αισθητήρα εκφράζεται συνήθως με την ελάχιστη και μέγιστη τιμή που είναι ικανός να μετρά. Άλλες έννοιες του εύρους που αναγράφονται συχνά στις προδιαγραφές είναι το «θερμοκρασιακό εύρος», δηλαδή η περιοχή θερμοκρασιών στην οποία μπορεί να λειτουργεί ο αισθητήρας. Συχνά αναφέρονται επίσης το εύρος τιμών πίεσης και το εύρος τιμών υγρασίας.

➤ *Απόκριση*

Η απόκριση (response) μίας συσκευής ισούται με το χρόνο που απαιτεί η συσκευή για να λάβει την τελική τιμή εξόδου της για μια δεδομένη είσοδο. Μπορεί να εκφραστεί σε δευτερόλεπτα ή κλάσματα του δευτερολέπτου, ή κάποιες φορές ως ποσοστό επί της τελικής τιμής εξόδου. Για παράδειγμα, εάν οι προδιαγραφές ορίζουν ότι ο χρόνος απόκρισης 95% είναι 3 sec αυτό σημαίνει, ότι η συσκευή χρειάζεται 3 sec για να λάβει η έξοδος της το 95% της τελικής τιμής.

➤ *Διακριτική ικανότητα*

Η διακριτική ικανότητα (resolution) με την οποία μία συσκευή ή ένας αισθητήρας ανιχνεύει ή εμφανίζει μία τιμή αναφέρεται στην μικρότερη είσοδο ή αλλαγή εισόδου που μπορεί αυτός να ανιχνεύσει. Εκφράζεται συνήθως ως προς το μικρότερο διάστημα που μπορεί να ανιχνευθεί ή να μετρηθεί. Όσο μεγαλύτερη είναι η διακριτική ικανότητα ενός ενδείκτη, τόσο μικρότερο είναι το βήμα που μπορεί ο αισθητήρας να μετρήσει. [18]

➤ *Ευστάθεια*

Η ευστάθεια (stability) αποτελεί το μέτρο της μεταβολής της εξόδου μίας συσκευής, όταν η είσοδος και οι συνθήκες παραμένουν σταθερά, κατά τη διάρκεια μίας μεγάλης χρονικής περιόδου. [19]

➤ *Στατικό σφάλμα*

Το στατικό σφάλμα (static error) είναι ένα σταθερό σφάλμα που υπεισέρχεται καθ' όλο το εύρος τιμών εισόδου μίας συσκευής. Εάν αυτό το σφάλμα είναι γνωστό, τότε μπορεί να αντισταθμιστεί χωρίς να υπάρξει υποβάθμιση της ακρίβειας του συστήματος. [17]

➤ *Ανοχή*

Η ανοχή (tolerance) μίας συσκευής είναι το μέγιστο ποσό σφάλματος που μπορεί να υπάρξει κατά τη διάρκεια λειτουργίας της. Ανάλογα με τη φύση της συσκευής μπορεί συχνά να αναφέρεται η ανοχή αντί της ακρίβειας στις προδιαγραφές. [17]



### ➤ Ευαισθησία

Η ευαισθησία (sensitivity) εκφράζει τη σχέση ανάμεσα στην αλλαγή της εξόδου και την αντίστοιχη αλλαγή της εισόδου, κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες. Η ευαισθησία ενός αισθητήρα είναι ίση με τη διαφορά των τιμών εξόδου προς τη διαφορά των αντίστοιχων τιμών της εισόδου, δηλαδή της μετρούμενης ποσότητας. [16]

$$\text{Άρα είναι : Ευαισθησία} = \frac{\text{μέγιστη τιμή εξόδου} - \text{ελάχιστη τιμή εξόδου}}{\text{μέγιστη τιμή εισόδου} - \text{ελάχιστη τιμή εισόδου}}$$

Οι μονάδες στις οποίες μετριέται η ευαισθησία ορίζονται από την παραπάνω εξίσωση και επομένως διαφέρουν ανάλογα με τη φύση του αισθητήρα και τη μετρούμενη ποσότητα. Για παράδειγμα, υπάρχουν αισθητήρες που μετρούν μικρές αποστάσεις όπου κινείται κάποιο αντικείμενο και παρέχουν τάση. Στην περίπτωση αυτή η ευαισθησία θα εκφράζεται σε volt ανά mm.

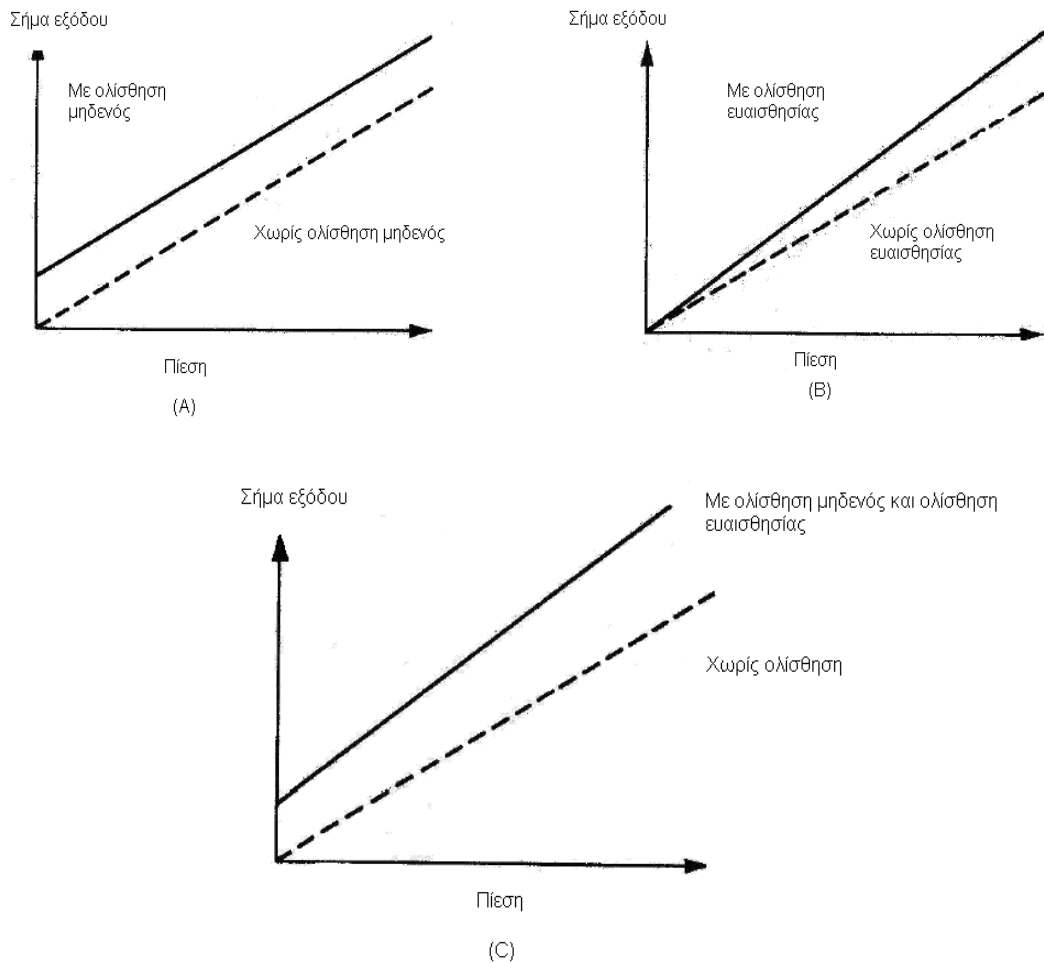
Εάν η σχέση ανάμεσα στη μετρούμενη ποσότητα και την έξοδο είναι γραμμική, η ευαισθησία μπορεί να εκφράζεται ως προς το όλο εύρος. Εάν δεν είναι γραμμική, τότε η ευαισθησία της συσκευής θα διαφέρει από περιοχή και θα αναφέρεται ως προς συγκεκριμένες περιοχές τιμών εισόδου.

### ➤ Ευαισθησία στη διαταραχή

Η βαθμονόμηση και τα χαρακτηριστικά ενός αισθητήρα ισχύουν, όταν αυτό λειτουργεί εντός συγκεκριμένου εύρους περιβαλλοντικών παραμέτρων, όπως η θερμοκρασία, η πίεση, η σχετική υγρασία κ.λ.π. Το εύρος καθορίζεται από τον κατασκευαστή του αισθητήρα. Μεταβολή κάποιας από τις παραμέτρους αυτές ενδέχεται να μεταβάλλει κάποιο από τα στατικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα. Η μεταβολή αυτή ορίζεται ως η ευαισθησία στη διαταραχή. Τα χαρακτηριστικά του αισθητήρα που μεταβάλλονται είναι κυρίως δύο και είναι γνωστά ως ολίσθηση του μηδενός

(zero drift) και ολίσθηση ευαισθησίας (sensitivity drift). Η ολίσθηση του μηδενός είναι το μη μηδενικό σήμα εξόδου του αισθητήρα, όταν το σήμα εισόδου είναι μηδέν, λόγω μεταβολής των περιβαλλοντικών συνθηκών. Μετριέται συνήθως σε °C-1 στην περίπτωση (π.χ. βολτόμετρου το οποίο έχει επηρεαστεί από τη μεταβολή της θερμοκρασίας).

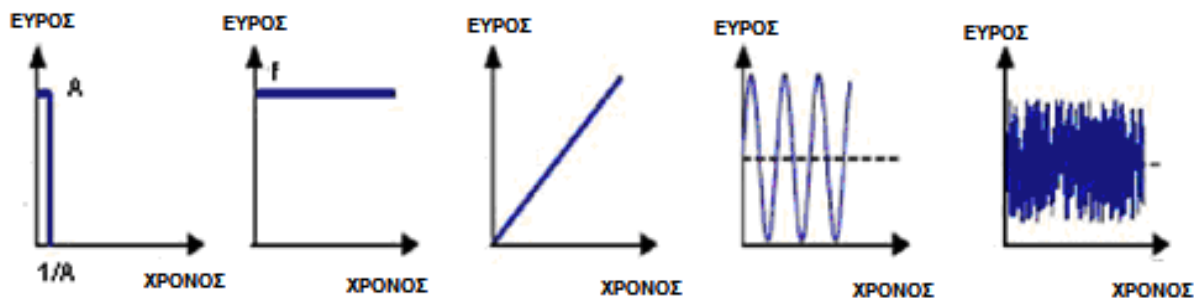
Αν ένας αισθητήρας επηρεάζεται από περισσότερες από μία περιβαλλοντικές παραμέτρους, τότε αυτός χαρακτηρίζεται από αντίστοιχες σε αριθμό ολισθήσεις του μηδενός. Χαρακτηριστική ολίσθηση μηδενός αισθητήρα πίεσης, φαίνεται στο Σχήμα 2.2.4. [16]



**Εικόνα 2.7** α) Ολίσθηση μηδενός, β) Ολίσθηση ευαισθησίας και γ) Συνδυασμένη επίδραση των δύο ολισθήσεων

### 2.2.2 Δυναμικά χαρακτηριστικά αισθητήρων

Η απόκριση ενός αισθητήρα σε ένα μεταβαλλόμενο σήμα εισόδου είναι διαφορετική από την απόκριση του σε ένα σταθερό ή αργά μεταβαλλόμενο σήμα εισόδου. Η απόκριση χαρακτηρίζεται από μια δυναμική συμπεριφορά που δε μπορεί να περιγράψει ικανοποιητικά από τα στατικά χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν παραπάνω. Οι λόγοι αυτής της διαφοροποίησης είναι ότι οι αισθητήρες περιλαμβάνουν στοιχεία που συσσωρεύουν ενέργεια όπως μάζες, πυκνωτές, επαγωγικά ή θερμικά στοιχεία κ. α. Τα δυναμικά χαρακτηριστικά ενός αισθητήρα προσδιορίζονται εξετάζοντας την απόκριση του σε διάφορες κυματομορφές του σήματος εισόδου. Αυτές μπορεί να είναι κυματομορφές ώθησης, βήματος, γραμμικές, ημιτονοειδείς ή θορύβου.



Εικόνα 2.8 Κυματομορφές ώθησης, βήματος, γραμμικές, ημιτονοειδείς ή θορύβου

Πίνακας 2.1 Επιθυμητά χαρακτηριστικά αισθητήρα

Χαρακτηριστικά	Ιδανική τιμή
Απόκριση	Γραμμική
Αρχική τιμή εξόδου	Μηδέν
Χρόνος απόκρισης	Μηδέν
Εύρος συχνοτήτων	Άπειρο
Χρόνος ως το 90 %	Μηδέν
Ένδειξη πλήρους κλίμακας	Βαθμονομημένη μέγιστη έξοδος
Περιοχή λειτουργίας	Άπειρη
Ευαισθησία	Υψηλή και σταθερή
Διακριτική ικανότητα	Άπειρη

Τα ιδανικά χαρακτηριστικά που πρέπει να έχει ένας αισθητήρας αναγράφονται συνοπτικά στον πίνακα 2.2.1, σ' ένα όμως πραγματικό αισθητήρα η συμπεριφορά και τα χαρακτηριστικά του διαφέρουν αρκετά. Οι αιτίες είναι τόσο τα κατασκευαστικά προβλήματα που προκύπτουν όσο και οι περιβαλλοντικοί παράγοντες, που επηρεάζουν τη λειτουργία του, επιπλέον αν ο αισθητήρας συνοδεύεται από κάποιο ηλεκτρονικό κύκλωμα, τότε αυτό το κύκλωμα μπορεί επίσης να επιβάλλει περιορισμούς στην λειτουργία του. [18]

### 2.2.3 Οι κατηγορίες των Αισθητήρων

Οι αισθητήρες καλύπτουν ένα τεράστιο φάσμα εφαρμογών και έχουν καταστεί τόσο συνηθισμένοι στη σύγχρονη κοινωνία, που συχνά θεωρούμε την ύπαρξή τους ως δεδομένη.

Αυτό δημιουργεί φυσικά την απαίτηση οι τεχνικοί και οι μηχανικοί να έχουν μία πρακτική γνώση για αυτούς, ώστε να μπορούν να επιλέξουν την κατάλληλη συσκευή από ένα κατάλογο με αναλυτικές προδιαγραφές ή να επισκευάζουν, να επιλέγουν και να βαθμονομούν τους αισθητήρες που υπάρχουν σε κάποιο τμήμα εξοπλισμού που λειτουργεί.

Η ταξινόμηση των αισθητήρων γίνεται, είτε σύμφωνα με τη λειτουργία που επιτελούν (όπως π.χ. τη μέτρηση της θερμοκρασίας), είτε με βάση τη φυσική αρχή στην οποία στηρίζεται η λειτουργία τους. Η επιλογή των κατάλληλων αισθητήρων που θα χρησιμοποιηθούν σε ένα σύστημα αυτόματου ελέγχου είναι σημαντική για την καλή λειτουργία του συστήματος. Από την στιγμή που έχει ξεκαθαριστεί η μεταβλητή, η οποία θα μετρηθεί πρέπει να καθοριστούν τα χαρακτηριστικά του αισθητήρα :

- Ποιο είναι το εύρος της μέτρησης, ποια είναι η επιθυμητή διακριτική ικανότητα του οργάνου, ποια είναι η απόκριση χρόνου του αισθητήρα, δηλαδή το πόσο γρήγορα εκτελεί την μέτρηση.

- Μετά την εκλογή του κατάλληλου αισθητήρα πρέπει να ακολουθήσει η εκλογή της τοποθέτησης του στο όλο σύστημα. Πολλές φορές έχουμε την δυνατότητα να μετρήσουμε την ίδια μεταβλητή σε πολλά σημεία του συστήματος. Σε μία τέτοια περίπτωση πρέπει να διαλέξουμε την πιο κατάλληλη θέση, εκεί δηλαδή που η μέτρηση θα γίνει και θα είναι πιο αξιόπιστη. [18]

Στηριζόμενοι λοιπόν στις παραμέτρους, οι αισθητήρες κατηγοριοποιούνται ως εξής :

- *Επαγωγικοί, Χωρητικοί και Μαγνητικοί Αισθητήρες*

Οι **επαγωγικοί Αισθητήρες** εκμεταλλεύονται το φυσικό φαινόμενο της μεταβολής του συντελεστή ποιότητας σε ένα κύκλωμα συντονισμού, η οποία οφείλεται σε απώλειες δινορευμάτων σε αγώγιμα υλικά. Αυτή η αρχή επιτρέπει την χωρίς επαφή ανίχνευση όλων των αγώγιμων υλικών (μεταλλικά αντικείμενα, γραφίτης κλπ).

Οι **χωρητικοί Αισθητήρες** υπολογίζουν την μεταβολή της χωρητικότητας, που οφείλεται στην εισαγωγή ενός αντικειμένου σε ρόλο διηλεκτρικό στο ηλεκτρικό πεδίο ενός πυκνωτή. Οι χωρητικοί αισθητήρες προσέγγισης, αντίθετα με τους επαγωγικούς, δεν ανιχνεύουν μόνο αγώγιμα υλικά, όπως πχ τα μέταλλα, αλλά λόγω της αρχής λειτουργίας τους ανιχνεύουν επίσης και μη αγώγιμα υλικά, όπως κεραμικά, ξύλο, πλαστικό, γυαλί, υγρά κτλ.

Οι **μαγνητικοί Αισθητήρες** ανιχνεύουν χωρίς επαφή μαγνητικά αντικείμενα. Παρόλο που χρησιμοποιούνται με τον ίδιο τρόπο όπως και οι επαγωγικοί, η αρχή λειτουργίας τους επιτρέπει την ανίχνευση σε μεγάλες αποστάσεις ακόμα και από μικρούς διακόπτες. Οι μαγνητικοί αισθητήρες βοήθησαν στο να αναλυθούν και να ελεγχθούν εκατοντάδες παράγοντες για αρκετές δεκαετίες. Οι υπολογιστές έχουν απεριόριστη μνήμη χάρη στη χρήση μαγνητικών αισθητήρων στους μαγνητικούς σκληρούς δίσκους και στις δισκέτες εγγραφής. Τα αεροπλάνα πετούν με υψηλότερα στάνταρ ασφάλειας εξαιτίας της υψηλής σταθερότητας των διακοπών χωρίς επαφή οι οποίοι έχουν μαγνητικούς αισθητήρες. Οι

βιομηχανίες έχουν υψηλή παραγωγικότητα εξαιτίας της υψηλής σταθερότητας και του χαμηλού κόστους των μαγνητικών αισθητήρων. [16]

Υπάρχουν πολλοί τρόποι να ανιχνεύσεις το μαγνητικό πεδίο, οι περισσότεροι από αυτούς βασίζονται στην στενή σχέση μεταξύ των μαγνητικών και ηλεκτρικών φαινομένων. Ένα κοινό στοιχείο όλων των εφαρμογών είναι ότι οι μαγνητικοί αισθητήρες εξασφαλίζουν μία αξιόπιστη τεχνολογία συγκρινόμενοι με άλλες τεχνολογίες αισθητήρων.

- *Αισθητήρες Laser*

### **Αισθητήρες Φωτοκύτταρα**

Τα Φωτοκύτταρα έχουν έναν πολύ σημαντικό ρόλο σε εφαρμογές αυτοματισμού, επειδή επιτρέπουν την ανίχνευση αντικειμένων με ακρίβεια σε μεγάλες αποστάσεις. Όπου υπάρχει περιορισμός χώρου ή και υψηλές θερμοκρασίες, η χρήση των οπτικών ινών επιτρέπει την υλοποίηση ιδιαίτερα αποτελεσματικών συστημάτων ανίχνευσης. Η βασική αρχή πάνω στην οποία στηρίζεται η λειτουργία των φωτοκύτταρων είναι η εξής: ένας δέκτης λαμβάνει το εκπεμπόμενο φως (ορατό ή μη ορατό, υπέρυθρο) και το μετατρέπει σε ηλεκτρικό

σήμα. Οι αισθητήρες laser αποτελούν τη λύση σε αμέτρητες βιομηχανικές εφαρμογές ειδικά, όταν το μέγεθος του προς ανίχνευση αντικειμένου είναι πολύ μικρό ή όταν αυτό βρίσκεται σε πολύ μεγάλη απόσταση. Η μέτρηση ροής υγρών είναι απαραίτητη σε πολλές βιομηχανίες. Η ροή διακρίνεται σε ροή ανοιχτού καναλιού και σε ροή κλειστού αγωγού. Τα περισσότερα όργανα μετράνε την ροή έμμεσα και διαχωρίζονται σε αυτά που μετράνε ταχύτητα και σε αυτά που μετράνε πίεση ή στάθμη.

### **Αισθητήρες Laser Υπερήχων**

Οι αισθητήρες ροής υπερήχων doppler (φαινόμενο Doppler) μετρούν τη ροή εξωτερικά του αγωγού μέσω δετού αισθητήρα. Εκπέμπουν συνεχώς υπέρηχους στα 640 kHz που διασχίζουν τα τοιχώματα του σωλήνα και το τρεχούμενο υγρό. Ο ήχος ανακλάται πίσω στον αισθητήρα από σωματίδια ή φυσαλίδες που υπάρχουν στο υγρό. Για παράδειγμα, αν το υγρό ρέει, η ηχώ επιστρέφει σε διαφορετική συχνότητα ανάλογη της ταχύτητας ροής. Οι μετρητές ροής doppler μετρούν διαρκώς αυτές τις μεταβολές συχνότητας για να υπολογίσουν τη ροή. Το «φαινόμενο doppler» παρατηρήθηκε για πρώτη φορά το 1842 από έναν Αυστριακό φυσικό, τον Christian Doppler. Η τεχνική doppler εφαρμόζεται μόνο σε υγρά που περιέχουν σωματίδια ή φυσαλίδες που αντανακλούν το σήμα. [16]

Υπάρχουν ορισμένα «δύσκολα» υγρά που μπορεί να προκαλέσουν ζημιά στους κανονικούς μετρητές ροής: παχύρρευστα, κατακάθια, λήμματα, σπιλβωτικά, διαβρωτικά χημικά κλπ. Επιπλέον, λόγω της εξωτερικής εγκατάστασης του αισθητήρα δεν προκαλείται πτώση της πίεσης ή παρεμπόδιση του υγρού. Για καλύτερα αποτελέσματα οι αισθητήρες doppler πρέπει να τοποθετούνται μακριά από αναταράξεις και διαταραχές της ροής, όπως γωνίες σωληνώσεων και μακριά από εξαρτήματα επιτάχυνσης της ροής, όπως πχ βαλβίδες ελέγχου και αντλίες. Η τυπική ακρίβεια είναι  $\pm 2\%$  της πλήρους κλίμακας. Το σύστημα περιλαμβάνει ένα δετό αισθητήρα, καλώδιο σύνδεσης και μονάδα

ελέγχου, που μπορεί να τοποθετηθεί σε μια βολική θέση (εντός 150 m). Οι αισθητήρες αυτού του είδους θεωρούνται εξαιρετικά ασφαλείς για εφαρμογές σε επικίνδυνες περιοχές.

### **Αισθητήρες Laser Θερμιδομετρικοί**

Σε πολλούς τομείς της βιομηχανικής παραγωγής τα υγρά και τα αέρια παίζουν ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στον ποιοτικό έλεγχο και στην ασφάλεια λειτουργίας. Οι ηλεκτρονικοί επιτηρητές ροής που βασίζονται στη θερμιδομετρική αρχή είναι οι πλέον κατάλληλοι για την ορθή επιτήρηση ροής. Οι ηλεκτρονικοί επιτηρητές ροής βασίζονται στην αρχή της θερμικής αγωγιμότητας. Ο επιτηρητής ροής αποτελείται από έναν αισθητήρα, ο οποίος μετατρέπει το φυσικό μέγεθος σε ένα ηλεκτρικό σήμα και ένα ελεγκτή που μετατρέπει τα σήματα του αισθητήρα σε δυαδικό σήμα εξόδου. Ο αισθητήρας τοποθετείται εντός του μέσου σε επαφή με αυτό. [18]

- *Αισθητήρες Πίεσεως*

Η πίεση και η μηχανική τάση έχουν τον ίδιο βασικό ορισμό, καθώς αποτελούν μέτρα της δύναμης που ασκείται πάνω σε μία επιφάνεια. Επομένως μετρούνται και τα δύο με τις ίδιες μονάδες, που είναι «νιούτον ανά τετραγωνικό μέτρο(Nm<sup>-2</sup>)». Η λέξη πίεση αποτελεί ένα γενικό όρο και γενικά είναι μία μορφή μηχανικής τάσης. Όταν αναλύουμε τη δύναμη που παράγεται από ένα ρευστό, για παράδειγμα τον αέρα ή κάποιο υγρό, χρησιμοποιούμε συνήθως τη λέξη «πίεση».

Η δύναμη που προκαλείται από ένα στερεό αντικείμενο ή ασκείται σε ένα στερεό αντικείμενο, αναφέρεται ως μηχανική τάση. Οι αισθητήρες που μετρούν την πίεση, η οποία ασκείται σε υγρά ή αέρια, ονομάζονται αισθητήρες πίεσεως. Ένας μετατροπέας πίεσεως ανιχνεύει ενέργεια με την μορφή πίεσης και τη μετατρέπει σε ηλεκτρικό σήμα (ρεύμα ή τάση). Η σχέση ανάμεσα στην πραγματική ηλεκτρική έξοδο και στην θεωρητική κλίμακα της πίεσης του οργάνου ορίζεται ως η ακρίβεια του μετατροπέα ή μεταδότη. Η πίεση είναι μια σημαντική παράμετρος στις βιομηχανικές εφαρμογές, στην διαχείριση συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και κλιματισμού, όπως επίσης και σε μετεωρολογικούς σταθμούς. [18]

### **Ελαστικοί αισθητήρες πίεσης**

Οι ελαστικοί αισθητήρες πίεσης (elastic pressure sensors) ονομάζονται έτσι, επειδή κάποιο τμήμα τους μπορεί να καμφθεί, να τεντωθεί ή παροδικά να παραμορφωθεί, όταν εφαρμόζεται σε αυτό μία πίεση.

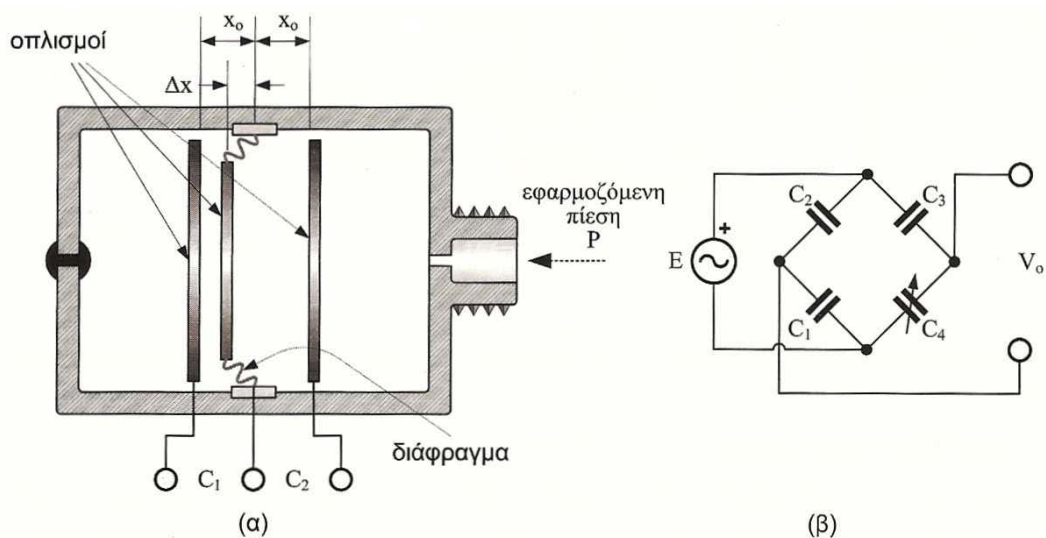
Ένας μετρητής πίεσης με σωλήνα Bourdon μπορεί να χρησιμοποιηθεί γι' αυτή τη μέτρηση. Έχει ονομαστεί από τον Eugene Bourdon και είναι ο πιο δημοφιλής μετρητής πίεσης. Οι σωλήνες Bourdon κατασκευάζονται στην απλούστερη περίπτωση από μεταλλικά κράματα, όπως είναι ο ανοξείδωτος χάλυβας και ο ορείχαλκος. Αποτελούνται από ένα σωλήνα με ελλειπτική ή οβάλ διατομή, ο οποίος είναι σφραγισμένος στο ένα άκρο. Ο σωλήνας συνδέεται με μία ενδεικτική βελόνα. Η βελόνα μετακινείται επάνω σε μια βαθμονομημένη κλίμακα. Όταν εφαρμόζεται κάποια πίεση, η κίνηση του σωλήνα

είναι σχετικά μικρή και έτσι για να αυξηθεί η απόκλιση της βελόνας πραγματοποιείται μηχανική ενίσχυση. Στην περίπτωση μετρήσεων από απόσταση, η μετατόπιση που υφίσταται ο σωλήνας Bourdon λόγω αλλαγών πίεσης μπορεί να ανιχνευθεί από κάποιον κατάλληλο αισθητήρα μετατόπισης.

Υπάρχουν διάφορες μορφές σωλήνων Bourdon, όπως είναι ο σπειροειδής, ο ελικοειδής και ο συνεστραμμένος. Οι σωλήνες Bourdon τείνουν να είναι σχετικά φθηνοί, επειδή παράγονται μαζικά και έχουν μειωμένο κόστος παραγωγής. Είναι κατάλληλοι για χρήση σε υγρά και αέρια και χρησιμοποιούνται σε ευρύ πεδίο εφαρμογών, βιομηχανικών και οικιακών. Μερικοί αισθητήρες πίεσης ονομάζονται με βάση, τη μέθοδο που χρησιμοποιούν για να μετρούν αυτήν την μετατόπιση, όπως οι πιεζοηλεκτρικοί και οι χωρητικοί αισθητήρες πίεσης.

### Χωρητικοί Αισθητήρες Πίεσης

Η κατασκευή ενός χωρητικού αισθητήρα απόλυτης πίεσης απεικονίζεται στο σχήμα 2.2.6. Το διάφραγμα βρίσκεται ανάμεσα σε δύο σπλισμούς, οπότε το διάφραγμα και κάθε σπλισμός σχηματίζουν έναν πυκνωτή. Οι δύο πυκνωτές συνδέονται σε γέφυρα, όπως φαίνεται στο σχήμα, η οποία ισορροπεί όταν η εφαρμοζόμενη πίεση είναι μηδέν. Η κίνηση του διαφράγματος εξαιτίας της εφαρμοζόμενης πίεσης μεταβάλλει τη χωρητικότητα των πυκνωτών, ισορροπία της γέφυρας διαταράσσεται και συνακόλουθα αναπτύσσεται τάση ανάλογη της πίεσης. [19]



**Εικόνα 2.9** Χωρητικός αισθητήρας απόλυτης πίεσης : (α) Η κατασκευή και (β) Η γέφυρα Μέτρησης

Οι τιμές των χωρητικών  $C_1$  και  $C_2$  σε σχέση με τη θέση του διαφράγματος δίνονται από τις σχέσεις:

$$C_1 = \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{A}{x_0 - \Delta x}, C_2 = \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{A}{x_0 + \Delta x} \quad (2.1)$$



όπου η  $\epsilon_r$  είναι η σχετική διηλεκτρική σταθερά του υλικού ανάμεσα στους οπλισμούς και  $\epsilon_0$  είναι η διηλεκτρική σταθερά του κενού με τιμή:  $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ [Cb}^2 \text{ J}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{]}$

Το  $A$  είναι η ενεργός επιφάνεια των οπλισμών,  $x_0$  η απόσταση του κάθε οπλισμού από το μεσαίο οπλισμό στη θέση ισορροπίας και  $x$  η μετατόπιση του μεσαίου οπλισμού (διάφραγμα) μετά την εφαρμογή της πίεσης.

Από τις παραπάνω σχέσεις προκύπτει:

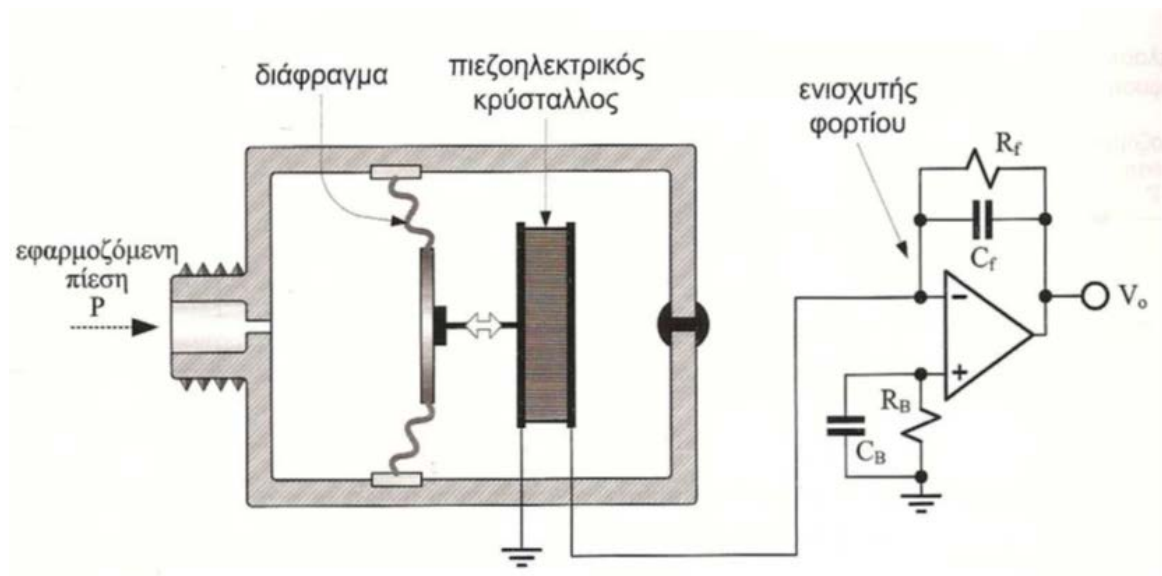
$$\frac{\Delta x}{x_0} = \frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2} \quad (2.2)$$

Εναλλακτικά, αντί για συνδεσμολογία γέφυρας, η μεταβλητή χωρητικότητα χρησιμοποιείται, ώστε να προκαλεί μεταβολή της συχνότητας ενός ταλαντωτή, οπότε η συχνότητα του ταλαντωτή είναι ανάλογη της εφαρμοζόμενης πίεσης. Οι χωρητικοί αισθητήρες πίεσης έχουν καλή ακρίβεια, αλλά παρουσιάζουν ευαισθησία στις ταλαντώσεις και τη θερμοκρασία.

### Πιεζοηλεκτρικοί Αισθητήρες Πίεσης

Λόγω των δυναμικών χαρακτηριστικών λειτουργίας των πιεζοηλεκτρικών υλικών, οι πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες πίεσης χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση δυναμικών φαινομένων πίεσης (πχ. λόγω εκρήξεων, δονήσεων σε κινητήρες κλπ.). Η κατασκευή ενός πιεζοηλεκτρικού αισθητήρα απόλυτης πίεσης παρουσιάζεται στο σχήμα 2.2.7.

Όταν εφαρμόζεται η μετρούμενη πίεση προκαλείται μετατόπιση του διαφράγματος. Για τη μέτρηση αυτής της μετατόπισης χρησιμοποιείται ένας πιεζοηλεκτρικός κρύσταλλος.



**Εικόνα 2.10** Πιεζοηλεκτρικός αισθητήρας απόλυτης πίεσης με τον αντίστοιχο ενισχυτή φορτίου

Όταν χρησιμοποιούνται ηλεκτρονικοί αισθητήρες μετατόπισης, η μέθοδος ανίχνευσης της αλλαγής πίεσης χρησιμοποιεί ένα διάφραγμα. Ολοκληρώνοντας οι ελαστικοί αισθητήρες πίεσης μετρούν την πίεση διαφορετικά. [21]

- *Αισθητήρες Θερμοκρασίας*

Θερμοκρασία ονομάζεται ο βαθμός κατά τον οποίο ένα σώμα, ουσία ή μέσο είναι θερμό σε σύγκριση με κάποιο άλλο. Όταν μετράμε τη θερμοκρασία συγκρίνουμε το βαθμό θερμότητας με κάποιο άλλο συγκεκριμένο σημείο αναφοράς χρησιμοποιώντας κάποιες θερμοκρασιακές κλίμακες. Η θερμοδυναμική κλίμακα Κέλβιν χρησιμοποιεί το απόλυτο μηδέν ως σημείο αναφοράς. Η κλίμακα Κελσίου χρησιμοποιεί ως πρώτο σημείο αναφοράς το σημείο πήξης του νερού (0 °C) και ως δεύτερο σημείο αναφοράς το σημείο βρασμού του νερού (100 °C). Η θερμοκρασία είναι ένα από τα συνηθέστερα μετρούμενα φυσικά μεγέθη. Για το λόγο αυτό ο αριθμός των αισθητήριων και των τρόπων μέτρησης είναι ένας μακρύς δρόμος. Η μέτρηση της θερμοκρασίας μπορεί να γίνει με αισθητήρες επαφής και υπερύθρων. [20]

### **Αισθητήρες Θερμοκρασίας με επαφή**

Σε εφαρμογές μέτρησης θερμοκρασίας συναντάμε συνήθως θερμοζεύγη επαφής και θερμοαντιστάσεις (RTD). Στα RTD η αγωγιμότητα αυξάνεται όσο αυξάνεται και η θερμοκρασία. Ο θετικός αυτός συντελεστής ονομάζεται «Άλφα» και εξαρτάται από το υλικό που είναι κατασκευασμένο το RTD. Για παράδειγμα, ο χαλκός έχει συντελεστή 0,0038, η πλατίνα 0,0039, το βολφράμιο 0,0045 και το νικέλιο 0,0067. Στα πλεονεκτήματα συγκαταλέγονται η αποδοτικότητα και η γραμμικότητά του και γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιείται περισσότερο από κάθε άλλο αισθητήρα. Το εύρος λειτουργίας του κυμαίνεται στις θερμοκρασίες από (-400 °C) μέχρι (+1700 °C). Το καλύτερο υλικό είναι η πλατίνα, η οποία χρησιμοποιείται για μετρήσεις σε θερμοκρασίες από (-270 °C) μέχρι (+660 °C). Ο πίνακας που ακολουθεί αναφέρεται στις θερμοκρασίες και στις αντίστοιχες τιμές της αντίστασης του RTD.

Η καρδιά ενός τυπικού RTD είναι ένα αισθητήριο στοιχείο κατασκευασμένο από μία συρμάτινη πλατίνα περιτριγυρισμένη από ένα κεραμικό πηνίο. Το στοιχείο αυτό προσεχτικά τοποθετημένο και ακινητοποιημένο ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος καταστροφής και καταπόνησης. Επίσης η βάση του είναι από ανοξείδωτο ατσάλι με τέτοιο τρόπο, ώστε να παρέχει καλή μεταφορά θερμοκρασίας και προστασία από την υγρασία.

Εξαιτίας της μεγάλης ηλεκτρικής εξόδου, το RTD παρέχει ακρίβεια στην είσοδο σε καταγραφικά, ελεγκτές, σαρωτές και υπολογιστές. Ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα του είναι το μέγεθός του, αφού δεν ξεπερνάει το μέγεθος της μύτης ενός μολυβιού.

**Πίνακας 2.2** Αναφορά θερμοκρασιών και αντίστοιχων τιμών αντιστάσεων RTD

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (F)	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ (Ω)
0	93,01
32	100
100	114,68
200	135,97
300	156,90
400	177,47
500	197,70
600	217,56
700	237,06
800	256,21
900	274,99

### **Αισθητήρες Θερμοκρασίας χωρίς επαφή (Υπερύθρων)**

Σε πολλές βιομηχανίες, οι διεργασίες λαμβάνουν χώρα κάτω από πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Ο σωστός αυτοματισμός και ο ποιοτικός έλεγχος απαιτεί ασφαλή ανίχνευση και επιτήρηση των θερμοκρασιών από απόσταση. Οι υπέρυθροι αισθητήρες θερμότητας απορροφούν τη θερμική ακτινοβολία και τη μετατρέπουν σε ηλεκτρικό σήμα. Το πλεονέκτημα της έλλειψης μηχανικής επαφής μεταξύ του αισθητήρα και του αντικείμενου καθιστά τους υπέρυθρους αισθητήρες ιδανικούς για εφαρμογές επιτήρησης θερμοκρασίας, όπως πχ. κινούμενα αντικείμενα σε χώρους με δύσκολη πρόσβαση, αγωγιμα ή κολλώδη υλικά σε διαβρωτικά μέσα, όπου αφενός απαιτούνται μικροί χρόνοι απόκρισης και αφετέρου είναι επικίνδυνη η απ' ευθείας επαφή. [20]

- **Αισθητήρες Στάθμης**

Η μέτρηση στάθμης αποτελεί ένα σημαντικό μέρος των διαδικασιών ελέγχου και χρησιμοποιείται σε πολλές βιομηχανίες. Τέτοιες βιομηχανίες παρέχουν αισθητήρες για μέτρηση στάθμης σημείου/σημείων και συνεχούς μετρήσεως. Οι αισθητήρες στάθμης σημείου/σημείων χρησιμοποιούνται γενικά για έλεγχο υψηλής/χαμηλής στάθμης, ελάχιστου και μέγιστου ύψους στάθμης ή για ενεργοποίηση συναγερμού. Οι αισθητήρες

στάθμης συνεχούς μέτρησης χρησιμοποιούνται για μέτρηση της στάθμης εντός ορισμένων ορίων και εξασφαλίζουν συνεχή επιτήρηση στάθμης. [20]

### **Αισθητήρες Στάθμης Σημείων**

Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούμε για έλεγχο σημείων είναι χωρίς κινούμενα μέρη και δίνουν λύσεις σε πολλές εφαρμογές.

Παραδείγματα αισθητήρων Στάθμης Σημείων είναι :

- Προσέγγισης χωρητικοί
- Χωρητικότητας
- Φωτοκύτταρων
- Υπερήχων
- Λείζερ
- Υπερύθρων

### **Αισθητήρες Συνεχής Στάθμης**

Παραδείγματα αισθητήρων Συνεχής Στάθμης είναι:

- Χωρητικότητας
- Υπερήχων
- Πίεσης

Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούμε για συνεχή μέτρηση στάθμης είναι χωρίς κινούμενα μέρη και δίνουν μια αναλογική έξοδο που αντιστοιχεί με το περιεχόμενο της δεξαμενής. Οι αισθητήρες υπερήχων τοποθετούνται στην κορυφή της δεξαμενής ή σε κάποια θέση πάνω από το υπό μέτρηση υλικό. Ο αισθητήρας μεταδίδει συνεχώς ηχητικούς παλμούς υψηλής συχνότητας (τυπικά 42 kHz), οι οποίοι ανακλώνται στην επιφάνεια του υλικού και κατόπιν επιστρέφουν στον αισθητήρα. Τα ηλεκτρονικά κυκλώματα του οργάνου μετράνε τον χρόνο που μεσολαβεί από την εκπομπή μέχρι τη λήψη του ηχητικού σήματος. Με αναφορά την ταχύτητα του ήχου στον αέρα, η ακριβής απόσταση της επιφάνειας του υγρού από τον αισθητήρα μπορεί να μετρηθεί με μεγάλη ακρίβεια ( $\pm 0.25\%$  της μέγιστης κλίμακας).

Καθώς η ταχύτητα του ήχου επηρεάζεται από την θερμοκρασία του αέρα, οι αισθητήρες στάθμης υπερήχων διαθέτουν έναν ενσωματωμένο αισθητήρα θερμοκρασίας. Επίσης γίνεται αυτόματη αντιστάθμιση των μετρήσεων στάθμης/απόστασης σε όλη την κλίμακα θερμοκρασίας του αισθητήρα.

Ο αισθητήρας πρέπει να τοποθετείται έτσι ώστε να «βλέπει» απ' ευθείας στην επιφάνεια του υλικού και μακριά από σκάλες, σωλήνες και άλλα εμπόδια. Συνιστάται μια απόσταση 30 cm από το πλευρικό τοίχωμα για κάθε 3 m βάθους. Η ανεπιθύμητη ηχώ από αναδευτήρες (που κινούνται κάτω από τον αισθητήρα) από αναταραχές και κύματα φιλτράρονται και αγνοούνται από το όργανο. Υπάρχουν διάφοροι τύποι από απλούς μεταδότες στάθμης 4-20mA μέχρι έξυπνα συστήματα επιτήρησης, ελέγχου και καταγραφής. [20]

- *Αισθητήρες Υγρασίας*

Η υγρασία είναι μια από τις πιο σημαντικές παραμέτρους, που μετρούνται μαζί με την θερμοκρασία. Η υγρασία είναι στην πράξη μόρια νερού στον αέρα και πολλές χημικές αντιδράσεις, διαδικασίες ξήρανσης, μετεωρολογικές παράμετροι ακόμα και οι συνθήκες εργασίας μέσα στα γραφεία επηρεάζονται από αυτήν. Πρέπει να διακρίνουμε την απόλυτη από την σχετική υγρασία του αέρα.

Η απόλυτη υγρασία είναι το βάρος του περιεχομένου του νερού στον αέρα, δηλαδή η πυκνότητα του νερού. Η μονάδα μέτρησης είναι  $gr/m^3$ . Η σχετική υγρασία δείχνει το ποσοστό της μέγιστης δυνατής ποσότητας υδρατμού στον αέρα με αναφορά την θερμοκρασία τη στιγμή της μέτρησης. Η μέτρηση γίνεται επί τοις εκατό (%). Υπάρχουν διάφοροι τρόποι μέτρησης της σχετικής υγρασίας. [18]

- *Αισθητήρες ταχύτητας*

Η διατήρηση της ροής του αέρα σε επιθυμητό επίπεδο είναι κρίσιμη σε ορισμένες εφαρμογές, ειδικά σε συστήματα κλιματισμού, θέρμανσης και εξαερισμού. Η ταχύτητα αέρα (διανυόμενη απόσταση ανά μονάδα χρόνου) εκφράζεται συνήθως σε πόδια ανά λεπτό ή σε μέτρα ανά δευτερόλεπτο ( $m/sec$ ). Ο όγκος του αέρα μπορεί να προσδιοριστεί πολλαπλασιάζοντας την ταχύτητα του αέρα με την επιφάνεια της εγκάρσιας τομής ενός αγωγού. Συνήθως μετριέται σε κυβικά πόδια ανά λεπτό ( $cfm/s$ ) ή κυβικά μέτρα ανά ώρα ( $m^3/h$ ). [18]

- *Αισθητήρες Ανίχνευσης Αερίων*

Η καθημερινή χρήση του αερίου (φυσικού ή υγραερίου) για μαγείρεμα, θέρμανση, ζεστό νερό, αλλά και η χρήση διαφόρων αερίων και των παραγώγων τους στη βιομηχανία δημιουργεί την ανάγκη ανίχνευσης των πιθανών διαρροών, που μπορεί να προκληθούν, είτε από το σύστημα διανομής, είτε ακόμη και από τις ίδιες τις συσκευές αερίου.

➤ *Τύποι Ανιχνευτών*

Υπάρχουν πολλοί τύποι ανιχνευτών. Οι διαφορές συνίστανται συνήθως στην μέθοδο ανίχνευσης, που έχει σχέση με τον τύπο του αισθητήρα (*gas sensor*) και στην κατηγορία του περιβάλλοντος, όπου λειτουργούν (π.χ. αντιαεκρηκτικού τύπου).

➤ *Τύποι Αισθητήρα (GAS SENSOR)*

Οι πιο συνηθισμένοι τύποι αισθητήρα είναι:

α. Καταλυτικοί με πυρακτωμένο στοιχείο (*Hot-wire catalytic type*). Χρησιμοποιούνται πολύ συχνά, κυρίως για ανίχνευση εκρηκτικών αερίων.

β. Ηλεκτροχημικοί (*Electrochemical type*). Χρησιμοποιούνται πιο σπάνια και κυρίως για ανίχνευση τοξικών αερίων σε πολύ χαμηλή συγκέντρωση.

γ. Υπέρυθροι (*IR*). Χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση τοξικών αερίων σε χαμηλή συγκέντρωση.

- *Έξυπνοι Αισθητήρες*

Ο «έξυπνος αισθητήρας (smart sensor) είναι μια διάταξη η οποία περιέχει τουλάχιστον ένα αισθητήριο στοιχείο και ένα κύκλωμα επεξεργασίας σήματος. Ο όρος έξυπνος (smart) διατηρείται για να δηλώσει την επιμέρους ή την ολοκληρωτική ενσωμάτωση της κύριας μονάδας επεξεργασίας, η οποία προσθέτει ευφυΐα.

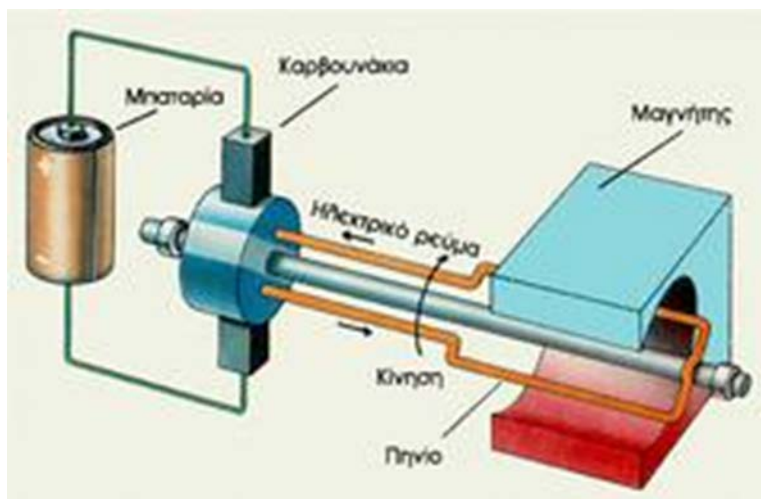
Από την άλλη, ο ορισμός που προτάθηκε από τους **Breckenbridge και Husson** λαμβάνει κατά κάποιον τρόπο υπόψη την δουλειά, που έχει γίνει στην τεχνητή νοημοσύνη και έχει ως εξής : «Ο έξυπνος αισθητήρας από μόνος του έχει μία λειτουργία επεξεργασίας δεδομένων, όπως και μία λειτουργία αυτόματης βαθμονόμησης ή αυτόματης αντιστάθμισης, κατά την οποία ο αισθητήρας ανιχνεύει και εξαλείφει τις μη κανονικές ή τις ακραίες τιμές.

Ενσωματώνει έναν αλγόριθμο, ο οποίος είναι δυνατό να τροποποιηθεί και να έχει ένα συγκεκριμένο βαθμό λειτουργιών μνήμης». Οι μέθοδοι σχεδιασμού διατάξεων αισθητήρων έχουν εξελιχθεί χρονικά σε διάφορα στάδια. Οι αισθητήρες «1ης γενιάς» συνδέονται με στοιχειώδη (ή καθόλου) ηλεκτρονικά κυκλώματα ενίσχυσης και επεξεργασίας του σήματος τους, ενώ οι αισθητήρες «2ης γενιάς» αποτελούν τμήμα αναλογικών ηλεκτρονικών κυκλωμάτων στα οποία η ρύθμιση και η επεξεργασία του σήματος του αισθητήρα γίνεται μακριά από τον αισθητήρα.

### 2.3 Ηλεκτρικοί κινητήρες

Είναι ηλεκτρικές μηχανές οι οποίες μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική. Η λειτουργία των κινητήρων βασίζεται στο φαινόμενο κατά το οποίο εάν ένας ρευματοφόρος αγωγός βρεθεί μέσα σε μαγνητικό πεδίο τότε εμφανίζεται δύναμη που ασκείται επάνω στον αγωγό.

Σ' έναν απλό ηλεκτροκινητήρα, το ηλεκτρικό ρεύμα διαρρέει μια συρμάτινη περιέλιξη (θηλειά), η οποία βρίσκεται ανάμεσα στους πόλους ενός ηλεκτρομαγνήτη. Όμως, κάθε ρευματοφόρος αγωγός, που βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο, δέχεται κάποια δύναμη. Στην περίπτωση αυτή οι δυνάμεις που ασκούνται στην περιέλιξη, σπρώχνουν τη μια πλευρά της προς τα πάνω και την άλλη προς τα κάτω, με αποτέλεσμα αυτή να περιστρέφεται. Γι' αυτό και το σύρμα λέγεται "ρότορας", ενώ ο ηλεκτρομαγνήτης "στάτορας". Αυτός αντιστρέφει τη φορά του ρεύματος δύο φορές σε κάθε περιστροφή, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται σταθερή φορά περιστροφής του ρότορα. [22]



**Εικόνα 2.11.** Σχηματικό διάγραμμα λειτουργίας ενός ηλεκτρικού κινητήρα.

Οι ηλεκτρικοί κινητήρες αποτελούν μια κατηγορία στρεφόμενων ηλεκτρικών μηχανών. Το βασικό στοιχείο μιας στρεφόμενης ηλεκτρικής μηχανής είναι η μετατροπή ενέργειας από ηλεκτρική σε μηχανική μορφή και αντίστροφα. Υπάρχουν τρεις τρόποι λειτουργίας των ηλεκτρικών μηχανών. Η λειτουργία τους σαν κινητήρες, σαν γεννήτριες και σαν πέδες.

Στην ηλεκτροτεχνία οι κινητήρες και οι γεννήτριες ρεύματος είναι μηχανήματα αντίστοιχης δομής και αντίστροφης λειτουργίας. Σε μια γεννήτρια συνεχούς ρεύματος η μηχανική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική και αυτό εκφράζεται με την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, ενώ στους κινητήρες το ηλεκτρικό ρεύμα μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια.

Η λειτουργία τόσο των ηλεκτρικών γεννητριών όσο και των ηλεκτρικών κινητήρων στηρίζεται στη ηλεκτρομαγνητική επαγωγή. Με βάση λοιπόν το φαινόμενο της επαγωγής όταν ένας αγωγός (δηλαδή ένα αγώγιμο ηλεκτρικά υλικό) κινείται μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο τότε μέσα στον αγωγό αναπτύσσεται ηλεκτρεγερτική δύναμη από επαγωγή δηλαδή ηλεκτρικό δυναμικό το οποίο είναι και το αίτιο εμφάνισης ηλεκτρικού ρεύματος στον αγωγό. Στους κινητήρες αντίστοιχα αξιοποιείται ένα άλλο φαινόμενο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής. [22]

Όταν ένας αγωγός που διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα βρεθεί μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο τότε στον αγωγό αυτό ασκείται από το μαγνητικό πεδίο μια δύναμη που τείνει να τον κινήσει. Η δύναμη αυτή είναι ανάλογη με την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος, την ένταση του μαγνητικού πεδίου, αλλά και το μήκος του αγωγού. Σημειώνεται πως η φορά της ασκούμενης στον αγωγό δύναμης αντιστρέφεται είτε αν αλλάξει η φορά του ρεύματος, είτε αν αντιστραφεί η πολικότητα του μαγνητικού πεδίου.





**Εικόνα 2.12.** Εσωτερικό ασύγχρονου κινητήρα στην οποία διακρίνονται όλα τα δομικά του στοιχεία.

### 2.3.1 Αρχή λειτουργίας

Κατά τη λειτουργία μιας ηλεκτρικής μηχανής σαν κινητήρα παρέχεται ηλεκτρική ενέργεια στο κύριο τύλιγμα της μηχανής, που λέγεται τύλιγμα τυμπάνου και αποδίδεται μηχανική ενέργεια εξόδου πάνω σε μια περιστρεφόμενη άτρακτο. Μια εξωτερικά επιβαλλόμενη ηλεκτρική τάση  $v$  οδηγεί ένα ρεύμα  $i$  μέσα στο τύλιγμα τυμπάνου ενάντια σε μια εσωτερικά επαγόμενη αντιηλεκτρεγερτική δύναμη  $e$ . Το τύλιγμα τυμπάνου γίνεται έτσι ικανό να απορροφά ηλεκτρική ενέργεια με ρυθμό  $e \times i$ . Το πεδίο ζεύξεως ασκεί μια στιγμιαία ηλεκτρομαγνητική ροπή  $T_{πεδ}$  πάνω στο περιστρεφόμενο μέλος της μηχανής που λέγεται δρομέας (ρότορας). Αν ο δρομέας στρέφεται με γωνιακή ταχύτητα  $\omega$  τότε η στιγμιαία ισχύς εξόδου που αποδίδεται στην άτρακτο θα είναι  $T_{πεδ} \times \omega$ . Η εξωτερικά εφαρμοζόμενη ροπή φορτίου  $T_{εξ}$  δρα με φορά αντίστροφη από εκείνη της περιστροφής και καθιστά το φορτίο ικανό ν' απορροφά μηχανική ενέργεια. Ισχύει προφανώς ότι:

$$T_{πεδ} - T_{εξ} = J \times d\omega/dt$$

Όπου  $J$  είναι η ροπή αδρανείας του δρομέα και του μηχανικού του φορτίου ( η κίνηση του οποίου είναι ο τελικός σκοπός της ύπαρξης του κινητήρα ).

Όταν  $T_{πεδ} = T_{εξ}$  τότε  $d\omega/dt = 0$  και η μηχανή περιστρέφεται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα. Στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας έχουμε ότι:

$$(\omega \times T_{πεδ}) \text{ μέση τιμή} = (e \times i) \text{ μέση τιμή}$$

Δεδομένου ότι στο τύλιγμα τυμπάνου αναπτύσσεται μια ΗΕΔ (ηλεκτρεγερτική δύναμη), χρειαζόμαστε ένα μαγνητικό πεδίο διεγέρσεως που συνηθέστατα (εκτός από την περίπτωση μόνιμου μαγνήτη στις μικρές μηχανές), στην πράξη παρέχεται από τυλίγματα διεγέρσεως ή τυλίγματα πεδίου. [22]

Στη μόνιμη λειτουργία των συνήθων μηχανών της πράξης, οι οποίες έχουν χωριστά τροφοδοτούμενο τύλιγμα διέγερσης, η μέση τιμή της ισχύος που τροφοδοτεί το τύλιγμα αυτό δαπανάται υπό μορφή θερμότητας. Κατά τη λειτουργία μιας ηλεκτρικής μηχανής ως γεννήτριας, παρέχεται ηλεκτρική ενέργεια στην άτρακτο της ηλεκτρικής μηχανής από μια πρωτεύουσα κινητήρια μηχανή (prime mover) και η ηλεκτρική ενέργεια εξόδου είναι διαθέσιμη στους ακροδέκτες του τυλίγματος τυμπάνου. Η πρωτεύουσα κινητήρια μηχανή μπορεί να είναι για παράδειγμα, είτε ένας ατμοστρόβιλος σ' ένα θερμικό σταθμό παραγωγής, είτε ένας υδροστρόβιλος σε έναν υδροηλεκτρικό σταθμό παραγωγής, είτε μια εμβολοφόρα μηχανή εσωτερικής καύσεως σ' ένα απομονωμένο ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος.

Τέλος κατά τη λειτουργία μιας ηλεκτρικής μηχανής ως πέδης, η μηχανή τροφοδοτείται και με μηχανική και με ηλεκτρική ενέργεια. Η ολική ενέργεια εισόδου χάνεται μέσα στη μηχανή με μορφή απωλειών και έτσι η μηχανή λειτουργεί ως πέδη και φρενάρι.

### **2.3.2 Κατηγορίες ηλεκτρικών κινητήρων**

Οι ηλεκτροκινητήρες διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες στους *κινητήρες συνεχούς ρεύματος* και στους *κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος*, οι οποίοι καλύπτουν και την πλειοψηφία των εφαρμογών. Οι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος με τη σειρά τους διακρίνονται σε *μονοφασικούς* και *πολυφασικούς*. Τόσο οι μονοφασικοί όσο και οι πολυφασικοί κινητήρες διακρίνονται σε *σύγχρονους κινητήρες* και σε *κινητήρες επαγωγής ή ασύγχρονους*.

Ένας σύγχρονος κινητήρας αποτελείται από μια σειρά τριών τυλιγμάτων στο στάτορα με ένα απλό στρεφόμενο μέρος. Καθώς το ρεύμα που περνάει από το πηνίο μεταβάλλεται ο κινητήρας εργάζεται ομαλά μόνο στη συχνότητα του ημιτονοειδούς ρεύματος επιτυγχάνοντας μια λειτουργία με σταθερή ταχύτητα από μηδενικό ως πλήρες φορτίο λειτουργίας. Στους ασύγχρονους κινητήρες το ηλεκτρικό ρεύμα χρησιμεύει κυρίως για να επάγει την περιστροφή των τυλιγμάτων παρά για να περιστρέφει ευθέως τον άξονα.

Οι πολυφασικοί κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος είναι κατά βάση μηχανές σταθερής ταχύτητας, αλλά διαφοροποιούνται ως προς κάποια σχεδιαστικά στοιχεία τους με συνέπεια να διαμορφώνονται τέσσερις βασικές υποκατηγορίες των κινητήρων εναλλασσόμενου ρεύματος. Στον πιο συνήθη τύπο (DESIGN A,B) έχουμε κανονικές τιμές ροπής και ρεύματος εκκίνησης και χαμηλή ολίσθηση. Στον δεύτερο τύπο (DESIGN C) έχουμε υψηλή ροπή εκκίνησης με κανονική ένταση ρεύματος εκκίνησης και χαμηλή ολίσθηση. Στον τρίτο τύπο (DESIGN D) έχουμε επίσης υψηλή ροπή εκκίνησης αλλά χαμηλό ρεύμα εκκίνησης, ενώ η ολίσθηση είναι υψηλή. Στον τέταρτο τύπο (DESIGN F) έχουμε χαμηλή ροπή και ρεύμα εκκίνησης αλλά και χαμηλή ολίσθηση. [23]

Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες σε αυτήν όπου το μαγνητικό πεδίο παράγεται από ένα μόνιμο μαγνήτη και αυτούς όπου το πεδίο παράγεται από ένα τύλιγμα διεγέρσεως. Στους κινητήρες της πρώτης κατηγορίας η μαγνητική ροή παραμένει σταθερή σε όλες τις ταχύτητες του κινητήρα και οι χαρακτηριστικές καμπύλες ταχύτητας - ροπής και έντασης ρεύματος - ροπής είναι γραμμικές. Η δεύτερη κατηγορία χωρίζεται σε τρεις υποκατηγορίες. Στους κινητήρες

παράλληλης διέγερσης, στους κινητήρες διέγερσης εν σειρά και στους κινητήρες σύνθετης διέγερσης.

Στους κινητήρες παράλληλης διέγερσης το τύλιγμα διέγερσης συνδέεται παράλληλα με το τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου. Στους κινητήρες διέγερσης εν σειρά το τύλιγμα διέγερσης συνδέεται εν σειρά με το τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου. Στους κινητήρες σύνθετης διέγερσης κάθε κύριος μαγνητικός πόλος έχει δύο τυλίγματα το παράλληλο τύλιγμα και το τύλιγμα εν σειρά.

### 2.3.3 Ειδικοί Ηλεκτρικοί Κινητήρες

Οι ειδικοί ηλεκτρικοί κινητήρες είναι κινητήρες ακριβείας οι οποίοι τροφοδοτούνται από ηλεκτρονικό κύκλωμα. Οι πιο γνωστοί είναι οι βηματικοί κινητήρες για εφαρμογές ελέγχου θέσης και οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος χωρίς ψήκτρες για εφαρμογές ελέγχου της ταχύτητας. [24]

Στην κατηγορία των ειδικών κινητήρων κατατάσσονται οι κινητήρες χαμηλής ισχύος για εφαρμογές γενικής χρήσης και για εφαρμογές υψηλής ακρίβειας όπως:

- γενικοί κινητήρες (universal)
- βηματικοί κινητήρες
- σερβοκινητήρες
- πιεζοηλεκτρικοί κινητήρες
- κινητήρες υπερηχητικού κύματος
- κινητήρες πλαστικοποιημένου μαγνήτη, κ.α.

Στη διεθνή βιβλιογραφία αναφέρονται ως small electric motors ή special electric motors.

Η εξέλιξη των ηλεκτρονικών, των ψηφιακών συστημάτων και των μικροεπεξεργαστών, επέτρεψε την ανάπτυξη μοντέρνων τεχνικών ελέγχου, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη της περιοχής των ελεγχόμενων συστημάτων ειδικών ηλεκτρικών κινητήρων.

Γενικά, ο έλεγχος ενός συστήματος ηλεκτρικής κίνησης είναι απαραίτητος όταν υπάρχουν συχνές μεταβολές των μεγεθών της ροπής, της ταχύτητας και της ισχύος του φορτίου ώστε να αποφεύγεται η υπερφόρτιση του κινητήρα, η αστάθεια του συστήματος, η υπερθέρμανση και η υπερβολική κατανάλωση ενέργειας. Εξάλλου, η οικονομία στην κατανάλωση ενέργειας και η αύξηση του βαθμού απόδοσης με τον έλεγχο, επιτρέπουν τη χρήση κινητήρων χαμηλότερης ονομαστικής ισχύος. Η προτίμηση των συστημάτων ειδικών ηλεκτρικών κινητήρων οφείλεται στα πλεονεκτήματά τους, σε σχέση με άλλα συστήματα κίνησης όπως τα μηχανικά ή τα υδραυλικά. Η επιλογή αυτή εξηγείται από τα εξής πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν τα συστήματα αυτά:

- Συστήματα ειδικών ηλεκτρικών κινητήρων υπάρχουν για ευρεία περιοχή ισχύος: από ισχύ μικρότερη του 1W (ηλεκτρονικά ρολόγια) μέχρι ισχύ μερικών ίππων.
- Τα συστήματα αυτά προσφέρουν ευρεία περιοχή ταχυτήτων: από μηδέν μέχρι 100.000 ΣΑΛ.
- Προσαρμόζονται σε διάφορες λειτουργικές καταστάσεις όπως: σε κλειστά, χωρίς αερισμό, σε υγρά, σε εκρηκτικά, σε ραδιενεργά περιβάλλοντα. Επίσης δε χρειάζονται

καύσιμα, δεν εκπέμπουν καυσαέρια και ο θόρυβος που δημιουργούν είναι χαμηλότερος από άλλα συστήματα.

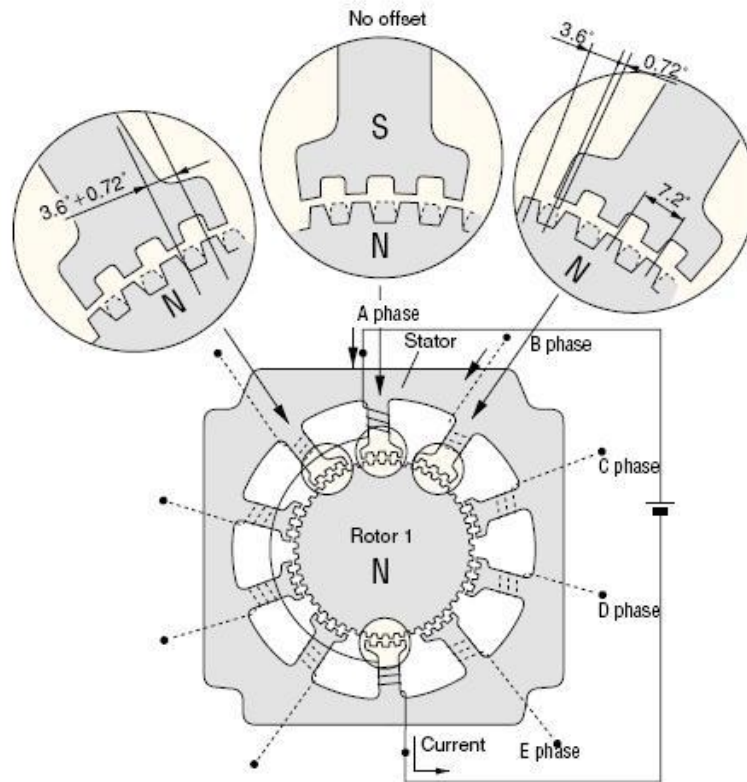
- Τα συστήματα κίνησης μπορούν να φορτιστούν αμέσως, δε χρειάζονται προθέρμανση, έχουν χαμηλές απώλειες, υψηλή απόδοση και έχουν τη δυνατότητα προσωρινής υπερφόρτισης.
- Τα συστήματα κίνησης είναι ελεγχόμενα, οι χαρακτηριστικές μόνιμης κατάστασης μπορούν να αλλάζουν εάν χρειάζεται και έχουν καλή δυναμική επίδοση η οποία επιτυγχάνεται με ηλεκτρονικό έλεγχο.
- Κατασκευάζονται σε μεγάλη ποικιλία σχεδίων κατά εφαρμογή.

Βέβαια, τα ηλεκτρικά συστήματα κίνησης παρουσιάζουν και μειονεκτήματα, μερικά από τα οποία αναφέρονται στη συνέχεια:

- Η εξάρτηση από την ηλεκτρική πηγή τροφοδότησης δημιουργεί δυσκολίες προ παντός στα αυτοκίνητα. Έτσι, μία πηγή ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να βρίσκεται πάντα μέσα στο αυτοκίνητο.
- Η ύπαρξη του φαινομένου του μαγνητικού κορεσμού και η ανάγκη ψύξης είναι η αιτία για την οποία έχουν χαμηλότερο λόγο ισχύος προς βάρος μηχανής από τα υδραυλικά συστήματα κίνησης. Αυτό είναι σημαντικό στα συστήματα ελέγχου θέσης στα αεροπλάνα.

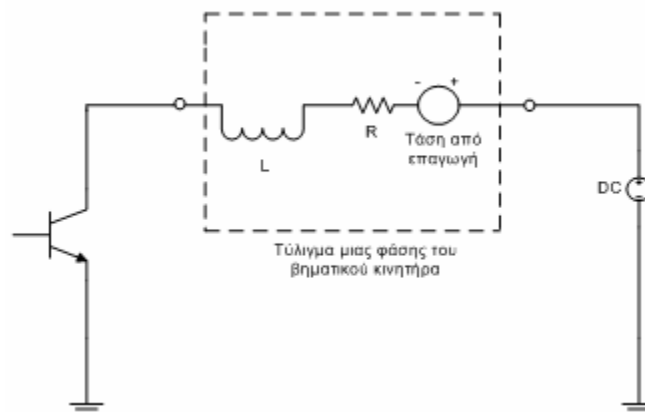
#### **2.3.4 Βηματικοί κινητήρες**

Ειδικοί κινητήρες που χρησιμοποιούνται όταν χρειάζεται ακρίβεια στο καθορισμό της θέσης μιας μετακίνησης είναι οι **βηματικοί κινητήρες**. Γενικά η κατασκευή τους είναι απλή, αφού το μόνο κινούμενο τμήμα τους είναι ο ρότορας, ο οποίος δεν έχει πηνία, ο μεταγωγέας και οι ψήκτρες. Το χαρακτηριστικό γνώρισμα τους είναι ότι ο άξονας εισόδου περιστρέφεται σε μία σειρά διακεκριμένων γωνιακών διαστημάτων ή βημάτων και ένα βήμα πραγματοποιείται κάθε φορά που μια εντολή παλμού λαμβάνεται. Όταν ένας τελικός αριθμός παλμών έχει παραχθεί ο άξονας θα περιστραφεί προς μια γνωστή γωνία. Χαρακτηριστικά, όλα τα τυλίγματα στη μηχανή είναι μέρος του στάτη και ο ρότορας είναι είτε ένας μόνιμος μαγνήτης είτε, στην περίπτωση των μηχανών μεταβλητής μαγνητικής αντίδρασης, ένας οδοντωτός κύλινδρος κάποιου μαγνητικά μαλακού υλικού όπως μπορούμε να δούμε και στο σχήμα 2.3.3.



**Εικόνα 2.13** Λεπτομέρεια κατασκευής

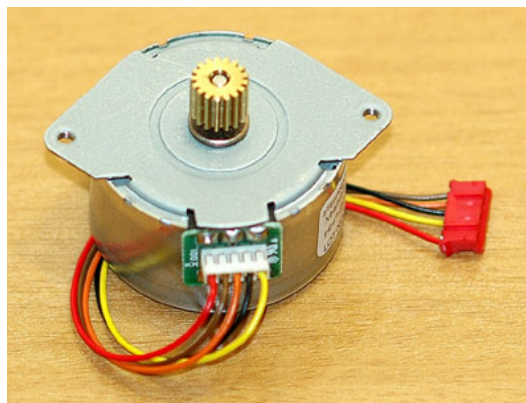
Το ισοδύναμο κύκλωμα ενός βηματικού κινητήρα φαίνεται στο σχήμα 2.3.4 και δεν είναι τίποτε άλλο εκτός από ένα πηνίο σε σειρά με μία αντίσταση. Κατά την λειτουργία του εμφανίζεται και η τάση από επαγωγή στο τύλιγμα που παράγεται λόγω της περιστροφής του δρομέα. [24]



**Εικόνα 2.14** Το ισοδύναμο κύκλωμα μιας φάσης του βηματικού κινητήρα

Οι βηματικοί κινητήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα απλά συστήματα ελέγχου ανοιχτού βρόχου (open-loop) και είναι γενικά επαρκείς για τα συστήματα που λειτουργούν σε χαμηλές επιταχύνσεις με στατικά φορτία. Αντιθέτως, για τις υψηλές επιταχύνσεις και ιδιαίτερα εάν περιλαμβάνουν φορτία μεταβλητής ροπής αναγκαστικά χρησιμοποιούμε συστήματα ελέγχου κλειστού βρόχου (close loop) . Εάν ο βηματικός κινητήρας σε ένα σύστημα ελέγχου ανοιχτού βρόχου ξεπεράσει την οριακή ροπή, ο προσδιορισμός της θέσης χάνεται και το σύστημα πρέπει να αρχικοποιηθεί εκ νέου. [23]

Υπάρχουν δύο είδη βηματικών κινητήρων, με **μόνιμο μαγνήτη** (permanent magnet motors) και με **μεταβλητή μαγνητική αντίδραση** (variable reluctance motors). Υπάρχουν επίσης και υβριδικόι κινητήρες (hybrid stepping motors), οι οποίοι είναι όμοιοι με τους κινητήρες μόνιμου μαγνήτη από την άποψη του ελεγκτή. Ακόμα και να λείπει η ετικέτα από έναν κινητήρα, μπορούμε γενικά να τους ξεχωρίσουμε με τη βοήθεια της αίσθησης της αφής όταν δεν συνδέονται με καμία πηγή τροφοδοσίας. Οι κινητήρες μόνιμου μαγνήτη τείνουν «να βαρύνουν» καθώς στρίβουμε το στροφέα με τα δάχτυλά μας, ενώ οι μεταβλητής μαγνητικής αντίδρασης περιστρέφονται σχεδόν ελεύθερα (αν και μπορούν ελαφρώς λόγω της υπόλοιπης μαγνήτισης στο στροφέα). Μπορούμε επίσης να διακρίνουμε τα δύο είδη με ένα ωμόμετρο. Οι μεταβλητής μαγνητικής αντίδρασης έχουν συνήθως τρία τυλίγματα (μερικές φορές τέσσερα), με μια κοινή επιστροφή, ενώ οι κινητήρες μόνιμου μαγνήτη έχουν συνήθως δύο ανεξάρτητα τυλίγματα.

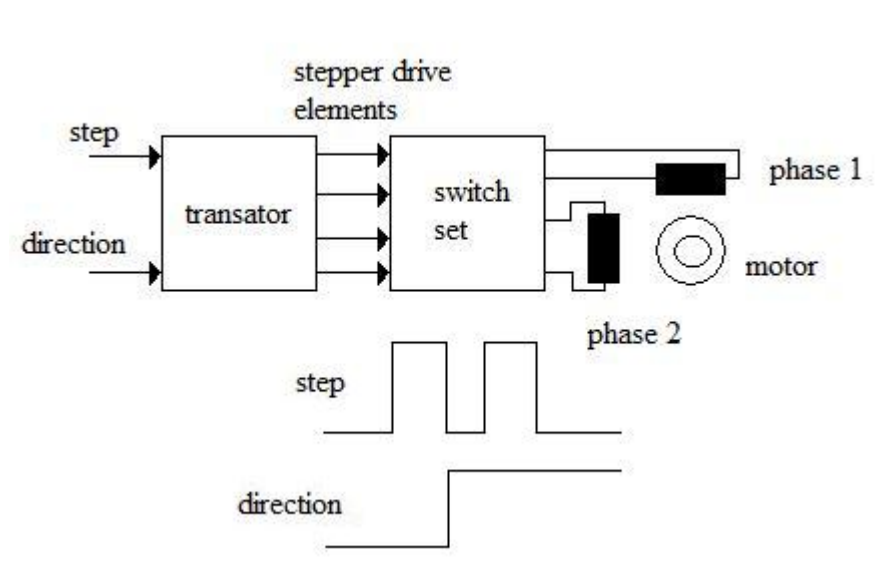


**Εικόνα 2.15** Παράδειγμα βηματικού κινητήρα

Ο βηματικός κινητήρας δεν μπορεί να λειτουργήσει χωρίς οδήγηση (drive), η οποία είναι υπεύθυνη για την ενεργοποίηση των τυλιγμάτων και συνήθως συμπεριλαμβάνει ένα μικροεπεξεργαστή. [24]



Ένα βασικό σύστημα βηματικού κινητήρα φαίνεται στο σχήμα 2.3.6 , ο ρυθμιστής περιλαμβάνει τα ηλεκτρονικά κυκλώματα τα οποία παρέχουν ρεύμα στο κινητήρα. Η έξοδος είναι γωνιακή θέση του άξονα του κινητήρα, ενώ η είσοδος συνιστάται σε δύο ψηφιακά σήματα χαμηλής ισχύος. Τα σήματα εισόδου του σε ένα βηματικό drive είναι το σήμα διεύθυνσης και οι βηματικοί παλμοί. Κάθε φορά που ένας παλμός εμφανίζεται στο βήμα της γραμμής εισόδου ο κινητήρας κάνει ένα βήμα και ο άξονας παραμένει στη νέα του θέση μέχρι ένας καινούργιος παλμός σήματος παραχθεί. Η κατάσταση της εισόδου κατεύθυνσης καθορίζει την βηματίση του κινητήρα, δεξιόστροφα ή αριστερόστροφα. Το βηματικό drive μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια στον κινητήρα σε απόκριση των σημάτων ελέγχου που δέχεται από το σύστημα ελέγχου. Ο κινητήρας είναι μια συσκευή που παράγει ροπή η οποία δημιουργείται από την αλληλεπίδραση των μαγνητικών πεδίων του στάτη και του ρότορα , και η οποία είναι ανάλογη του ρεύματος και του αριθμού των σπειρών του κάθε πόλου. Έτσι σημαντικό για την οδήγηση του κινητήρα είναι το drive να δρα ως πηγή ρεύματος , η τάση του ρεύματος είναι σημαντική μόνο για τον έλεγχο του ρεύματος.



Εικόνα 2.16 Έλεγχος κλειστού βρόγχου

Η λειτουργία του κυκλώματος του μεταφραστή είναι να μετατρέπει τους παλμούς βηματίσσης και τον παλμό διεύθυνσης σε κυματομορφή ελέγχου για το κύκλωμα ισχύος. [23]

Το κύκλωμα του μεταφραστή είναι κοινό για τα περισσότερα βηματικά drives . Ο παράγοντας που επηρεάζει σημαντικά την απόδοση του drive είναι το κύκλωμα ισχύος. Δεδομένος αριθμός βημάτων θα προκαλέσει στον άξονα του βηματικού κινητήρα να περιστραφεί σε μια συγκεκριμένη γωνία, έτσι ώστε να έχουμε έλεγχο θέσης ανοικτού βρόγχου , αφού δεν χρειαζόμαστε ανατροφοδότηση της πληροφορίας από τον άξονα.

Οι κινητήρες αυτοί, περιστρέφονται με διακριτά βήματα και το κάθε βήμα προκύπτει όταν ένας παλμός τροφοδοτείται στο τύλιγμα του στάτη. Ο ρότορας κρατείται στην βηματική θέση αποκλειστικά από τη δράση της μαγνητικής ροής μεταξύ στάτη και ρότορα. Το γωνιακό βήμα είναι μια ιδιότητα της γεωμετρίας δοντιού και της διάταξης του των πηνίων του στάτη. Το γωνιακό βήμα δίνεται από την έκφραση.

Γωνιακό βήμα =  $(360\text{o} / \text{δόντια ρότορα}) * \text{αριθμός φάσεων στάτη}$

Παρουσιάζουν ένα ευρύ φάσμα του γωνιακού βήματος. Οι πιο μεγάλοι κινητήρες γυρίζουν χαρακτηριστικά 90 μοίρες ανά βήμα, ενώ οι κινητήρες μόνιμου μαγνήτη μεγάλου βήματος είναι συνήθως ικανοί να χειριστούν 1,8 μοίρες ή ακόμα και 0,72 μοίρες ανά βήμα. Με έναν αρμόδιο ελεγκτή, οι περισσότεροι βηματικοί κινητήρες μόνιμου μαγνήτη και υβριδικοί βηματικοί κινητήρες μπορούν να λειτουργήσουν στο μισό βήμα (half step mode), και μερικοί ελεγκτές μπορούν να χειριστούν τα μικρότερα κλασματικά βήματα (microsteps). [25]

Η ταχύτητα του βηματικού μπορεί να μεταβληθεί από πολύ αργή, δηλαδή ένα-ένα βήμα μέχρι 5000 στροφές το λεπτό. Επίσης η φορά περιστροφής τους μπορεί να γίνει ωρολογιακή ή αντί-ωρολογιακή, σύμφωνα με την ακολουθία των παλμών που τροφοδοτούνται σε τυλίγματα του στάτη.

Ο αριθμός των πόλων του στάτη δεν είναι ποτέ ίδιος με τον αριθμό πόλων του δρομέα ενός βηματικού κινητήρα. Αυτή η διαφορά στον αριθμό των πόλων προκαλεί τον βηματισμό του δρομέα.

Οι βηματικοί κινητήρες διαφέρουν από τους άλλους τύπους κινητήρων συνεχούς και εναλλασσομένου ρεύματος στο ότι τροφοδοτούνται με παλμούς και παράγουν ηλεκτρική κίνηση. Ο άξονας τους δεν έχει μια συνεχή περιστροφική κίνηση, αλλά περιστρέφεται κατά μία γωνία κάθε φορά που δέχεται ένα παλμό. Δηλαδή είναι μια ηλεκτρομαγνητική συσκευή που μετατρέπει τους ψηφιακούς παλμούς στη μηχανική θέση αξόνων. Βασικά, ο βηματικός κινητήρας είναι μια σύγχρονη μηχανή όπου το μαγνητικό πεδίο μεταστρέφεται ηλεκτρικά για να περιστραφεί το κινούμενο μέρος του στροφέα. Θεωρητικά ο βηματικός κινητήρας είναι παρόμοιος με έναν κινητήρα μόνιμου μαγνήτη συνεχούς ρεύματος. Η περιστροφή του κινητήρα όχι μόνο έχει μια άμεση σχέση με τον αριθμό παλμών εισαγωγής, αλλά η ταχύτητά της συσχετίζεται με τη συχνότητα των παλμών. Λόγω της ευκολίας χρήσης, τις απλές ανάγκες ελέγχου και τον ακριβή έλεγχο, οι βηματικοί χρησιμοποιούνται συνήθως στις εφαρμογές μέτρησης και ελέγχου. Για παράδειγμα, χρησιμοποιούνται συνήθως στους εκτυπωτές, στις κινήσεις δίσκων, στα ρομπότ και στα εργαλεία μηχανών.

Σε ένα βηματικό κινητήρα είναι δυνατός ο έλεγχος της ταχύτητας και της θέσης μετακίνησης του φορτίου. Έτσι, οι βηματικοί είναι κινητήρες υψηλής ακρίβειας παρουσιάζοντας σφάλμα γωνίας θέσης χαμηλότερο από 5% χωρίς αυτό να είναι αθροιστικό για τον αριθμό των περιστροφών. Όταν ενεργοποιείται ένας τέτοιος κινητήρας, τότε ο δρομέας στρέφεται για ένα ορισμένο αριθμό γωνιακών βημάτων, δηλαδή ο κινητήρας συμπεριφέρεται σαν ηλεκτρομαγνητικός επενεργητής, π.χ. σαν πηνίο. Η περιστροφή κατά γωνιακά βήματα πραγματοποιείται διεγείροντας το κατάλληλο τύλιγμα στο στάτη, ενώ μπορεί και να αντιστραφεί η φορά των βημάτων. Επειδή ο κινητήρας στρέφεται μόνο κατά διακριτά γωνιακά βήματα, ο δρομέας επιταχύνεται και επιβραδύνεται συνεχώς, ακόμη και όταν φαίνεται να περιστρέφεται με "σταθερή" ταχύτητα. Στην πραγματικότητα, η ταχύτητα δεν είναι σταθερή, αλλά μεταβάλλεται παλμικά. [25]



Στις διαστημικές εφαρμογές οι βηματικοί κινητήρες χρησιμοποιούνται κυρίως ως ενεργοποιητές των μηχανισμών θέσης για τις κεραιές, τους καθρέφτες, τα τηλεσκόπια ή τα πλήρη ωφέλιμα φορτία. Οι βηματικοί κινητήρες χρησιμοποιούνται συνήθως σε συνδέσεις με ταχύτητες, ως εκ τούτου υπολογίζονται ένα μοντέλο ταχύτητας, καθώς επίσης και η ηλεκτρική και η μηχανική στιβαρότητα, η τριβή και η αντίσταση. Ο κινητήρας δεν είναι αθόρυβος, αλλά παράγει θόρυβο που εξαρτάται από τον ρυθμό των παλμών που δέχεται από την οδήγηση.

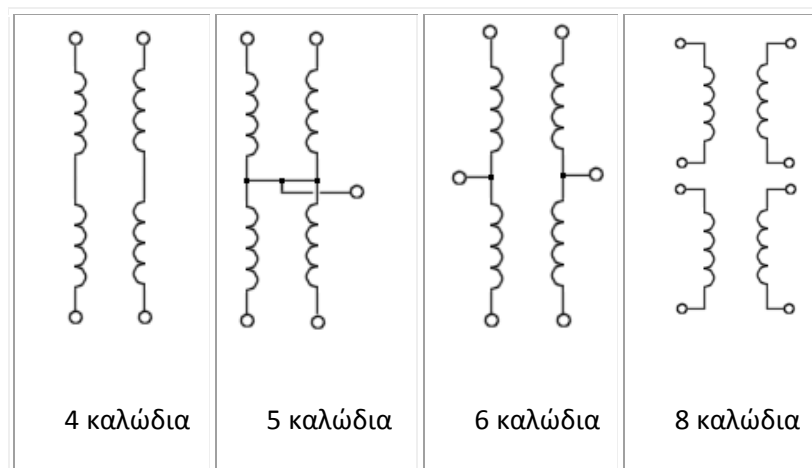
Η γενική συμπεριφορά του κινητήρα εξαρτάται απόλυτα από την οδήγηση, και επομένως το ίδιο ισχύει και για την καμπύλη ροπής-στροφών. Συχνά, η χαρακτηριστική δίνεται σαν ροπή-συχνότητα παλμών, επειδή η τελευταία είναι ανάλογη της ταχύτητας περιστροφής. Η ροπή μειώνεται με αύξηση των στροφών. Πληροφοριακά, οι βηματικοί κινητήρες είναι γνωστοί στα γερμανικά ως Schrittmotoren, στα γαλλικά ως moteurs pas a pas και στα ισπανικά ως motor paso paso.

### 2.3.4.1 Τοπολογίες οδήγησης βηματικού κινητήρα

Οι βηματικοί κινητήρες είναι απλοί, στιβαροί, αξιόπιστοι και είναι καλά κατασκευασμένοι για ανοικτούς ή κλειστούς ελεγχόμενους βρόχους συστημάτων ελέγχου. Οι τρόποι οδήγησης που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι οι εξής:

- Οδήγηση R-L ( R-L Drive)
- Μονοπολική οδήγηση ( Unipolar Drive)
- Διπολική οδήγηση ( Bipolar Drive)
- Οδήγηση κατατμητού (Chopper Drive)

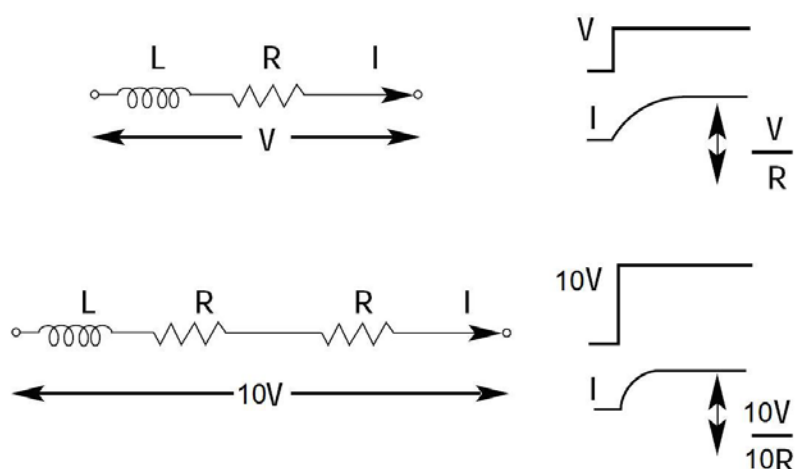
Οι διαφορετικές μέθοδοι οδήγησης έγκειται στις διαφορετικές συνδεσμολογίες των τυλιγμάτων του στάτη οι οποίες φαίνονται στο παρακάτω σχήμα:



**Εικόνα 2.17** Διαφορετικές συνδεσμολογίες των τυλιγμάτων του στάτη

- Οδήγηση R-L ( R-L Drive)

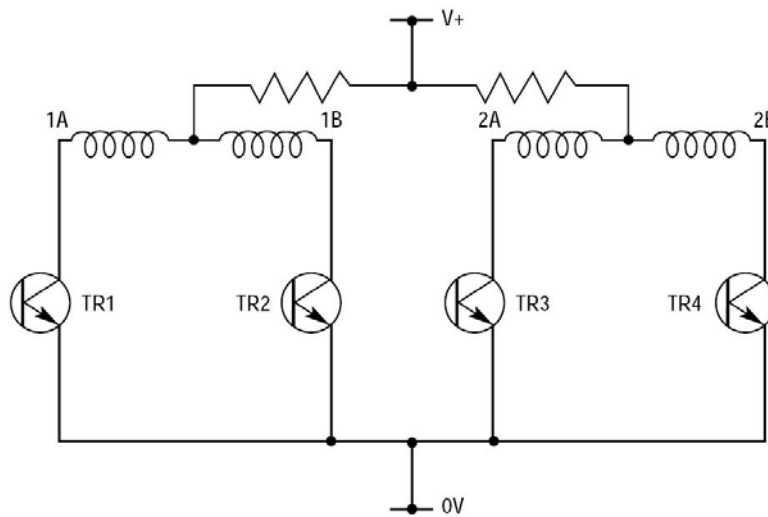
Η οδήγηση R – L, η οποία είναι η πιο απλή μορφή κυκλώματος χρησιμοποιείται αποκλειστικά για χαμηλές ισχύς. Το κύκλωμα περιλαμβάνει μία αντίσταση σε σειρά σύνδεσμένη με το κάθε τύλιγμα του στάτη. Αν χρησιμοποιήσουμε παλμό με εφαρμοσμένη τάση 10 φορές την ονομαστική τάση της μηχανής, το ρεύμα θα φθάσει το ονομαστικό στο ένα δέκατο του χρόνου. Ετσι θα πάρουμε μια χρήσιμη και σημαντική αύξηση στην ταχύτητα. Εντούτοις υπάρχει τίμημα για αυτήν την πρόσθετη απόδοση. Οι αντιστάσεις των τυλιγμάτων του στάτη παράγουν μια σημαντική ποσότητα της θερμότητας που σημαίνει αυξημένες απώλειες. Επιπλέον, η πρόσθετη ισχύς που προέρχεται απο το τροφοδοτικό συνεχούς ρεύματος απαιτεί και μεγαλύτερη ισχύ στην έξοδο του. Επομένως η οδήγηση RL χρησιμοποιείται μόνο στις χαμηλής ισχύος εφαρμογές, επιτυγχάνοντας άμεση και γρήγορη απόκριση περιστροφής του δρομέα.



**Εικόνα 2.18** Αρχή λειτουργίας οδήγησης R - L

- Μονοπολική οδήγηση (Unipolar Drive)

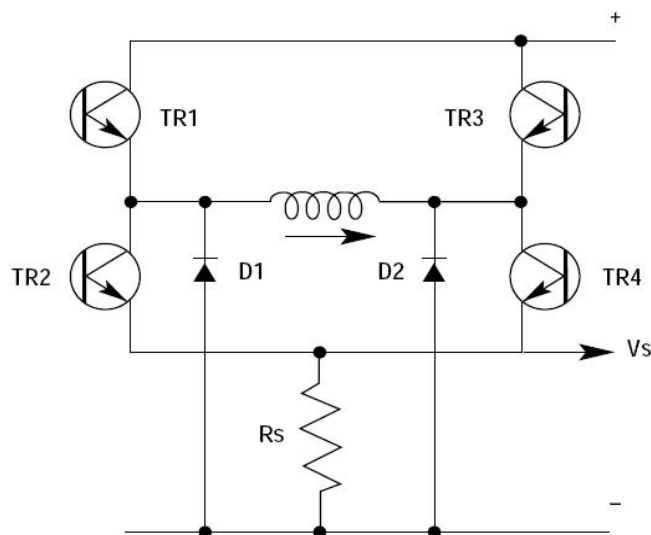
Η μονοπολική οδήγηση (unipolar drive) η οποία είναι η πιο απλή μορφή κυκλώματος ισχύος και φαίνεται στο σχήμα 2.3.9, απαιτεί κινητήρες που έχουν τύλιγμα με μεσαία λήψη. Αναφέρεται ως μονοπολική διάταξη γιατί το ρεύμα έχει μόνο μια συγκεκριμένη φορά. Για την λειτουργία αυτού του τύπου οδήγησης (drive) απαιτείται κινητήρας με διπλή σπείρα σε κάθε πόλο (bifilar) αφού η εναλλαγή στα τυλίγματα του στάτη πραγματοποιείται απο τη μεταφορά ρεύματος στο δεύτερο τύλιγμα. Σε αυτή την απλή μορφή drive το ρεύμα καθορίζεται από την αντίσταση των τυλιγμάτων και από την τάση τροφοδοσίας. Η τάση στα τυλίγματα εφαρμόζεται μεταξύ της μεσαίας λήψης και ενός από τους ελεύθερους ακροδέκτες του τυλιγματος. Η φορά περιστροφής του δρομέα εξαρτάται από το ποιος ακροδέκτης συνδέεται με την τροφοδοσία. Αυτή είναι μία απλή οδήγηση, που όμως έχει το μειονέκτημα της μη αποδοτικής χρήσης των τυλιγμάτων του κινητήρα. Ένα τέτοιο είδος κύκλωμα οδήγησης (drive) λειτουργεί καλά σε χαμηλούς βηματικούς ρυθμούς , αλλά όσο αυξάνεται η ταχύτητα η ροπή μειώνεται δραματικά.



**Εικόνα 2.19** Μονοπολική οδήγηση βηματικού κινητήρα

- *Διπολική οδήγηση (Bipolar Drive)*

Για να πετύχουμε καλύτερα αποτελέσματα χρησιμοποιείται η διπολική οδήγηση (bipolar drive) σε σχήμα γέφυρας όπως φαίνεται στο σχήμα 3.13. Στην περίπτωση αυτή τα τυλίγματα του στάτη δεν έχουν μεσαία λήψη. Για να αλλάξει η φορά περιστροφής πρέπει να αλλάξει το ρεύμα φορά και στις δύο φάσεις. Οι οδηγήσεις αυτές παράγουν μεγαλύτερη ροπή, ιδίως στις χαμηλές ταχύτητες, αλλά ηλεκτρονικά είναι πλέον πολύπλοκες.

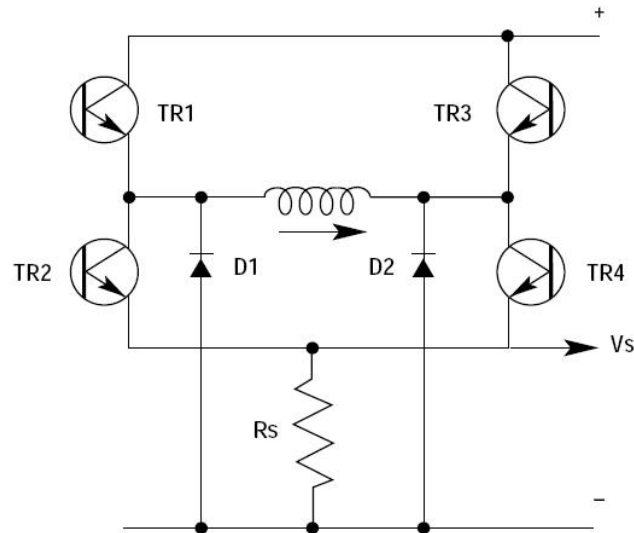


**Εικόνα 2.20** Διπολική οδήγηση βηματικού κινητήρα

- *Οδήγηση καταμητού (Chopper Drive)*

Η οδήγηση καταμητού (chopper drive), χρησιμοποιεί διαμόρφωση εύρους παλμών (Pulse Width Modulation - PWM) για να ελέγξει το μέσο ρεύμα που διαρρέει τα τυλίγματα

του στάτη. τάση εξόδου που εφαρμόζεται στο κινητήρα (ροζ χρώμα) είναι αποτέλεσμα δύο άλλων σημάτων, ενός ημιτόνου και μιας τριγωνικής τάσης. Η τάση μπορεί να ελεγχθεί από το πλήθος και το πλάτος των σημάτων εισόδου. Ωστόσο αυτή η μέθοδος παράγει ηλεκτρικό θόρυβο (αρμονικές). [26]



**Εικόνα 2.21** Οδήγηση καταμητού βηματικού κινητήρα (chopper drive)

#### 2.3.4.2 Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα Βηματικών

Τα πλεονεκτήματα του βηματικών κινητήρων είναι τα παρακάτω:

- ✓ Ο βηματικός κινητήρας όταν βρίσκεται σε κατάσταση ακινησίας ασκεί μαγνητική δύναμη στο ρότορα, που δεν του επιτρέπει να περιστραφεί ελεύθερα (εφόσον τα πηνία τροφοδοτούνται με ρεύμα). Έτσι, σε αντίθεση με τους κινητήρες συνεχούς ρεύματος, δεν χρειάζονται φρένα για να μένουν ακίνητοι.
- ✓ Οι μετακινήσεις είναι ακριβείς καθώς οι βηματικοί κινητήρες έχουν ακρίβεια 35% σε κάθε βήμα. Δηλαδή μεγάλη ακρίβεια θέσης χωρίς συσσωρευτική απόκλιση.
- ✓ Έχουν εξαιρετική απόκριση στην εκκίνηση τους. Επίσης δεν απαιτείται μηχανικό φρένο για την επιβράδυνση τους.
- ✓ Είναι πολύ αξιόπιστοι καθώς για τη λειτουργία τους δεν απαιτούνται κινούμενες ηλεκτρικές επαφές όπως στον κινητήρα συνεχούς ρεύματος. Επομένως η ζωή του κινητήρα εξαρτάται μόνο από τη ζωή του εδράνου κύλισης.
- ✓ Η απόκριση του κινητήρα σε εισερχόμενους ψηφιακούς παλμούς δίνει την δυνατότητα ελέγχου Ανοικτού Βρόχου (Open Loop operation) με μεγάλη ακρίβεια, κάνοντας τον κινητήρα ευκολότερα και φθηνότερα ελέγξιμο. Για τον έλεγχο ανοικτού

βρόχου δεν χρειάζεται να υπάρχει ανάδραση πληροφορίας στο σύστημα ελέγχου για τη θέση του συστήματος, κάτι που είναι απαραίτητο στον έλεγχο κλειστού βρόχου. Αυτό σημαίνει ότι αποφεύγονται έξοδα για ακριβούς αισθητήρες θέσης και συσκευές ανάδρασης. Η θέση του συστήματος μπορεί εύκολα να υπολογιστεί σε κάθε στιγμή αν κρατούνται ως δεδομένα οι εισερχόμενοι παλμοί στον κινητήρα. Έτσι ξεκινώντας από μία θέση μπορεί, μετρώντας τον αριθμό και τις εναλλαγές των παλμών, να υπολογιστεί η θέση του συστήματος σε κάθε χρονική στιγμή. [26]

- ✓ Ο βηματικός κινητήρας μπορεί να επιτύχει πολύ χαμηλές ταχύτητες περιστροφής
- ✓ Ο βηματικός κινητήρας μπορεί να επιτύχει μεγάλο εύρος ταχυτήτων περιστροφής.
- ✓ Στις μικρές ταχύτητες περιστροφής, αλλά και κατά την εκκίνησή του παράγει μεγάλες τιμές ροπής.
- ✓ Είναι εύκολη η διασύνδεση και ο έλεγχός τους από μικροεπεξεργαστή, σε αντίθεση με τους κινητήρες DC

Τα μειονεκτήματα των βηματικών κινητήρων είναι τα ακόλουθα:

- \* Η λειτουργία του κινητήρα μπορεί να είναι ιδιαίτερα θορυβώδης ειδικά εάν αυτός δεν ελέγχεται σωστά.
- \* Δεν είναι εύκολη η λειτουργία τους σε υψηλές ταχύτητες.
- \* Είναι σχετικά αδύναμοι για το μέγεθός τους. Η ύπαρξη του φαινομένου του μαγνητικού κορεσμού και η ανάγκη ψύξης είναι η αιτία για την οποία έχουν χαμηλό λόγο ισχύος προς βάρος μηχανής.
- \* Κατά τη μετακίνηση φορτίων μεγάλης μάζας μπορεί να μη σταματήσει ακαριαία ο κινητήρας, λόγω της αυξημένης αδράνειας.

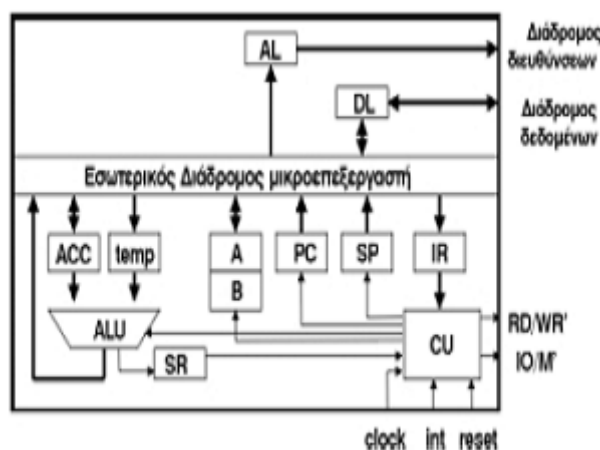
## 2.4 Μικροεπεξεργαστές- Μικροελεγκτές

### 2.4.1 Ιστορία των Μικροεπεξεργαστών

Η επιθυμία των κατασκευαστών συστημάτων να δημιουργήσουν συστήματα με περισσότερες δυνατότητες και με μικρότερο μέγεθος οδήγησε στην ανάγκη για ενσωμάτωση όλων των λειτουργιών ενός υπολογιστή σε ένα ή μερικά ολοκληρωμένα κυκλώματα. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή των κυκλωμάτων αυτών, είχε ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη του μικροεπεξεργαστή. Ο *μικροεπεξεργαστής*, είναι ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα (**IC**) γενικού σκοπού, το οποίο μπορεί να προγραμματιστεί. Η επεξεργασία των δεδομένων γίνεται με μια σειρά από εντολές. Οι εντολές που εκτελούνται από τον μικροεπεξεργαστή είναι εντολές σε γλώσσα μηχανής και είναι αποθηκευμένες στην κύρια μνήμη. Μια εντολή σε γλώσσα μηχανής είναι μια σειρά από δυαδικά ψηφία, όπου είναι κωδικοποιημένο το είδος της εντολής. Το

σύνολο αυτών των εντολών χρησιμεύει ως μία διασύνδεση ανάμεσα στο λογισμικό (software) και το υλικό (hardware), δηλαδή ανάμεσα στα προγράμματα και στους επεξεργαστές. Η λειτουργικότητα ενός μικροεπεξεργαστή εξαρτάται πλήρως από το σύνολο εντολών που είναι ικανός να εκτελέσει. Ο μικροεπεξεργαστής είναι υπεύθυνος για όλη τη λειτουργία του υπολογιστή. Αποτελείται εσωτερικά από ένα μεγάλο πλήθος **τρανζίστορ** (transistor), δηλαδή ηλεκτρονικούς διακόπτες που επιτρέπουν ή απαγορεύουν τη διέλευση ρεύματος, **καταχωρητές** (registers) και **αντιστάτες**. [27] Επίσης υπάρχουν εξαρτήματα που εκτελούν συγκεκριμένες εργασίες και τα σημαντικότερα των οποίων είναι:

- Το **εσωτερικό ρολόι**, που είναι υπεύθυνο για τον συντονισμό των υπόλοιπων εξαρτημάτων στέλλοντας περιοδικά σήματα.
- Η **αριθμητική και λογική μονάδα**, που εκτελεί τις αριθμητικές ή λογικές πράξεις.
- Η **μονάδα ελέγχου** που διευθύνει και συντονίζει την επεξεργασία.



<b>ALU:</b>	αριθμητική και λογική μονάδα (arithmetic and logic unit)
<b>CU:</b>	μονάδα ελέγχου (control unit)
<b>ACC:</b>	συσσωρευτής (accumulator)
<b>temp:</b>	προσωρινός καταχωρητής
<b>A,B:</b>	καταχωρητές γενικού σκοπού
<b>IR:</b>	καταχωρητής εντολών (instruction register)
<b>SR:</b>	καταχωρητής κατάστασης (status register)
<b>PC:</b>	μετρητής προγράμματος (program counter)
<b>SP:</b>	δείκτης στοιβάς (stack pointer)
<b>AL:</b>	απομονωτής διευθύνσεων (address latch)
<b>DL:</b>	απομονωτής δεδομένων (data latch)

Εικόνα 2.22 Εσωτερική δομή ενός μικροεπεξεργαστή. [27]

### 2.4.2 Η εξέλιξη των μικροεπεξεργαστών

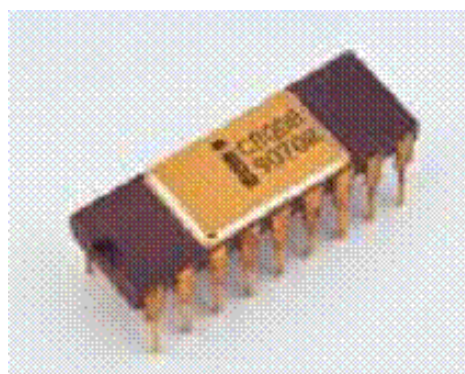
Ένας μικροεπεξεργαστής ενσωματώνει τις περισσότερες ή όλες τις λειτουργίες μιας μονάδας κεντρικής επεξεργασίας (Central Processing Unit - **CPU**) σε ένα ενιαίο ολοκληρωμένο κύκλωμα (Integrated Circuit - **IC**). Οι πρώτοι μικροεπεξεργαστές προέκυψαν στις αρχές της δεκαετίας του '70 και χρησιμοποιήθηκαν για τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές χρησιμοποιώντας τη δυαδικά κωδικοποιημένη δεκαδική (Binary Code Decimal - **BCD**) αριθμητική 4-bit λέξεων. Άλλες ενσωματωμένες χρήσεις των 4-bit και οι 8-bit μικροεπεξεργαστών, όπως τα τερματικά, οι εκτυπωτές, τα διάφορα είδη αυτοματοποίησης κ.λπ., ακολούθησαν μάλλον γρήγορα. Οι προσιτοί 8-bit μικροεπεξεργαστές με τη 16-bit διευθυνσιοδότηση οδήγησαν επίσης στους πρώτους μικροϋπολογιστές γενικού σκοπού στα μέσα της δεκαετίας του '70. [28]

Οι επεξεργαστές υπολογιστών για μια μεγάλη περίοδο κατασκευάζονταν από μικρής και μεσαίας κλίμακας **ICs** περιέχοντας από μερικά έως μερικές εκατοντάδες τρανζίστορ. Η ολοκλήρωση ολόκληρης της **CPU** επάνω σε ένα ενιαίο VLSI (Very Large Scale Integration) τσιπ επομένως μείωσε πολύ το κόστος της ικανότητας επεξεργασίας. Από τις ταπεινές αρχές τους, η συνεχής αύξηση της ικανότητας των μικροεπεξεργαστών, έχει καταστήσει άλλες μορφές υπολογιστών απολύτως ξεπερασμένες, με έναν ή περισσότερο μικροεπεξεργαστή ως στοιχείο επεξεργασίας σε όλα, από τα μικρότερα ενσωματωμένα συστήματα και τις φορητές συσκευές μέχρι τους μεγαλύτερους κεντρικούς υπολογιστές και τους υπερυπολογιστές.



**Εικόνα 2.23** Ο Intel 8008

Από την αρχή της δεκαετίας του '70, η αύξηση στην ικανότητα των μικροεπεξεργαστών ήταν γνωστή για να ακολουθεί γενικά το **νόμο του Moore**, ο οποίος προτείνει ότι η πολυπλοκότητα ενός ολοκληρωμένου κυκλώματος, όσον αφορά το ελάχιστο συστατικό κόστος, διπλασιάζεται κάθε δύο έτη. Προς το τέλος της δεκαετίας του '90, και στο υψηλής απόδοσης τμήμα μικροεπεξεργαστών, η παραγωγή θερμότητας (Thermal Design Power –TDP), λόγω των απωλειών μετατροπής, της στατικής διαρροής ρεύματος, και άλλοι παράγοντες, προέκυψαν ως κύριος αναπτυξιακός περιορισμός.



**Εικόνα 2.24** Ο TMS 9900

Τα τελευταία χρόνια οι μικροεπεξεργαστές είναι υπεύθυνοι για τη δημιουργία μερικών από τις μεγαλύτερες καινοτομίες στα συστήματα υπολογιστών. Οι καινοτομίες περιλαμβάνουν τους embedded μικροελεγκτές, τις συσκευές χειρός και τις κινητές συσκευές, τους προσωπικούς υπολογιστές, τους σύγχρονους σταθμούς εργασίας, τους υπερυπολογιστές χαμηλού κόστους, εξυπηρετητές εφαρμογών και αρχείων, web servers για το Internet και ευρείας κλίμακας δίκτυα υπολογιστών. Παρατηρούμε λοιπόν, ότι στη σχετικά σύντομη διάρκεια ζωής του, ο μικροεπεξεργαστής έχει κάνει τεράστιες προόδους και έχει περάσει από πολλά στάδια. Αρχικά, ο σχεδιασμός των μικροεπεξεργαστών είχε στόχο τη δημιουργία απλών συστημάτων αυτόματου ελέγχου και τη χρήση τους σε διάφορες συσκευές.

Στη συνέχεια, οι σχεδιαστές μικροεπεξεργαστών ασχολήθηκαν με την ανάπτυξη ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, γενικού σκοπού. Τα συγκεκριμένα κυκλώματα θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε πολλές εφαρμογές με τη βοήθεια συμπληρωματικών ολοκληρωμένων κυκλωμάτων που κατασκευάζονταν ειδικά για κάθε εφαρμογή.

Στα επόμενα χρόνια, η ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων έδωσε τη δυνατότητα ενσωμάτωσης εκατομμυρίων τρανζίστορ μέσα σε ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα. Σε συνδυασμό με τις αυξημένες απαιτήσεις των χρηστών για σύγχρονες εφαρμογές ή για δικτυακές εφαρμογές με μετάδοση εικόνας και video, οι κατασκευαστές οδηγήθηκαν στην ανάπτυξη νέων και ισχυρών μικροεπεξεργαστών. Οι νέοι αυτοί μικροεπεξεργαστές έπρεπε να είναι ακόμα πιο γρήγοροι σε ταχύτητα, να μπορούν να καλύψουν τις απαιτήσεις των σύγχρονων εφαρμογών, να έχουν μεγαλύτερες δυνατότητες επεξεργασίας και μικρότερη κατανάλωση από τους προγενέστερούς τους. [29]

Μέσα σε λίγα χρόνια, η απόδοσή των μικροεπεξεργαστών βελτιώθηκε αισθητά, αφού σύμφωνα με τον Νόμο του Μουρ κάθε 18 μήνες ο αριθμός των τρανζίστορ πάνω σε ένα chip διπλασιαζόταν. Τα στοιχεία τα οποία είναι ενδεικτικά της εξέλιξής των σύγχρονων μικροεπεξεργαστών είναι τα εξής:

- Το μήκος λέξης του μικροεπεξεργαστή μεγάλωσε από τα 16 δυαδικά ψηφία στα 32 και έπειτα στα 64 δυαδικά ψηφία, με αποτέλεσμα οι σύγχρονοι μικροεπεξεργαστές να υλοποιούν άμεσα και γρήγορα μεγάλους αριθμητικούς υπολογισμούς.
- Αυξήθηκε το πλήθος των θέσεων μνήμης που μπορεί να προσπελάσει ο μικροεπεξεργαστής. Έτσι σήμερα, κυκλοφορούν μικροεπεξεργαστές με δίαυλο διευθύνσεων μεγέθους 64 δυαδικών και δυνατότητα διευθυνσιοδότησης πολλών GB θέσεων μνήμης.
- Οι μικροεπεξεργαστές άρχισαν να υποστηρίζουν συστήματα ιεραρχίας μνήμης με κρυφές μνήμες, ενώ πολλοί από αυτούς ενσωμάτωναν κάποια από τα επίπεδα αυτά, συνήθως το πρώτο επίπεδο, στο ολοκληρωμένο κύκλωμα του μικροεπεξεργαστή.
- Οι ταχύτητες χρονισμού των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων μεγάλωσαν, με αποτέλεσμα την αύξηση της ταχύτητας της εκτέλεσης των προγραμμάτων του μικροεπεξεργαστή.



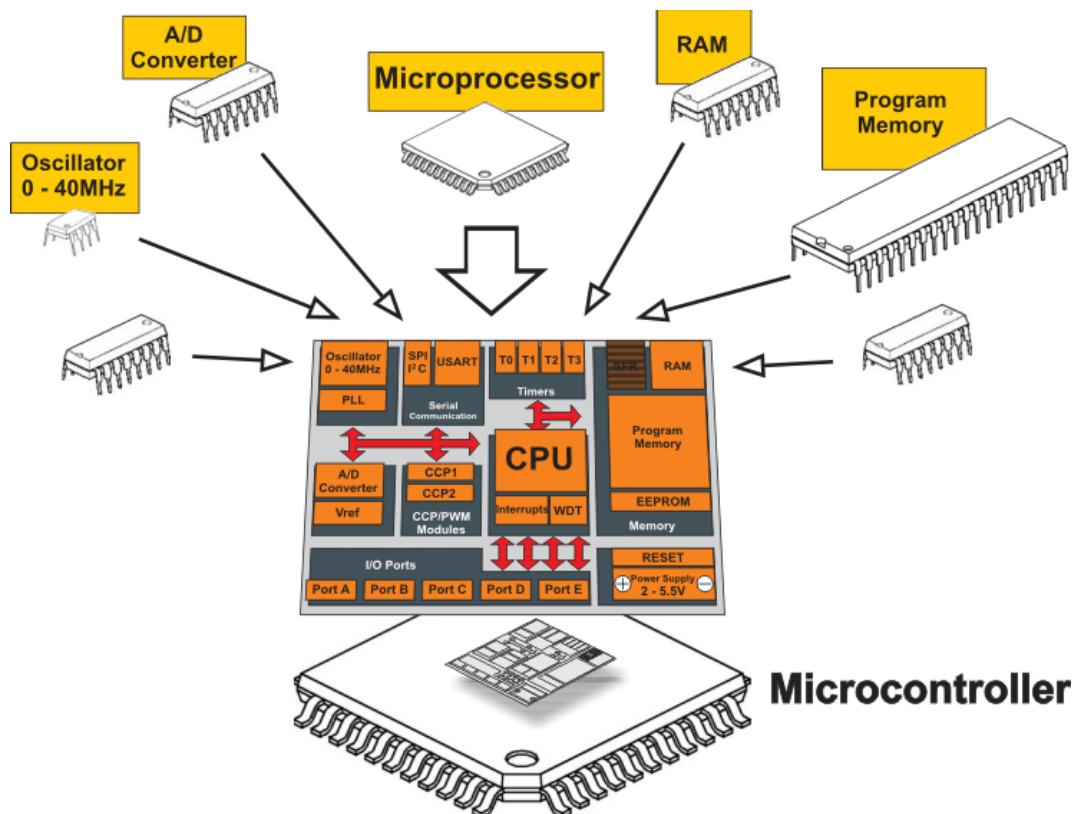
- Η αύξηση στην ταχύτητα εκτέλεσης δεν ήταν αποτέλεσμα μόνο της αύξησης της ταχύτητας χρονοισμού. Οι σύγχρονοι μικροεπεξεργαστές διαθέτουν στο εσωτερικό τους πολύπλοκα κυκλώματα που διευκολύνουν τις λειτουργίες τους, όπως μονάδες αριθμητικής κινητής υποδιαστολής (FPU) για πράξεις κινητής υποδιαστολής ή μονάδες διαχείρισης της μνήμης (MMU) για τη γρήγορη προσπέλαση σε αυτήν.
- Άλλο ένα χαρακτηριστικό των σύγχρονων μικροεπεξεργαστών είναι ότι προσπαθούν να παραλληλίσουν την εκτέλεση των εντολών των προγραμμάτων (Instruction Level Parallelism) έτσι ώστε να πετύχουν την πιο γρήγορη εκτέλεσή τους. Για το σκοπό αυτό πολλοί μικροεπεξεργαστές εφαρμόζουν διοχέτευση (pipeline) ή διαθέτουν πολλαπλούς καταχωρητές και αριθμητικές και λογικές μονάδες (multiple execution units) για να μπορούν να εκτελέσουν περισσότερες από μία εντολές ταυτόχρονα.
- Επίσης τα σύνολα εντολών και οι τρόποι διευθυνσιοδότησης έχουν υποστεί πολλές αλλαγές. Οι σύγχρονες εφαρμογές, όπως οι εφαρμογές πολυμέσων, είχαν μεγάλες απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ, καθώς ασχολούνταν ταυτόχρονα με ήχο, εικόνα και video. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα τον εμπλουτισμό των συνόλων εντολών με εντολές που να μπορούν να διαχειριστούν αποτελεσματικά τη νέα αυτή μορφή πληροφορίας.

Οι μικροεπεξεργαστές συνεχίζουν να εξελίσσονται με αμείωτους ρυθμούς, καθώς οι κατασκευαστές των μικροεπεξεργαστών εργάζονται πυρετωδώς, ώστε να κερδίσουν έδαφος έναντι του μεγάλου ανταγωνισμού που υπάρχει. Η Intel και η AMD, που έχουν κυριαρχήσει στην αγορά, συνεχώς ανακοινώνουν καινούργια προϊόντα με αποτέλεσμα να αναμένουμε την κυκλοφορία εξαπύρηνων και οχταπύρηνων επεξεργαστών. Η συνεχής βελτίωση των επιδόσεων έχει οδηγήσει στην μαζική κυκλοφορία νέων εκδόσεων μικροεπεξεργαστών.

Έτσι στα επόμενα χρόνια περιμένουμε να δούμε νέες τεχνολογικές ανακαλύψεις να ενσωματώνονται σε αυτούς και να αποκτούν ακόμα μεγαλύτερες δυνατότητες επεξεργασίας. Ταυτόχρονα η χρήση τους θα επεκτείνεται σε όλο και περισσότερες εφαρμογές, κάνοντας τη ζωή μας πιο εύκολη. [29]

#### **2.4.3 Διαφορές μεταξύ μικροελεγκτή και μικροεπεξεργαστή**

Ο μικροεπεξεργαστής είναι ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα (IC) που έχει μόνο τη CPU στο εσωτερικό τους δηλαδή μόνο τις εξουσίες επεξεργασίας, όπως το Pentium I,n,III,IV της Intel κλπ. Αυτοί οι μικροεπεξεργαστές δεν έχουν μνήμη RAM, ROM , και άλλα περιφερειακά στο τσιπ. Για να γίνει λειτουργικός ένας μικροεπεξεργαστής, ο σχεδιαστής του συστήματος πρέπει να τα προσθέσει στο εξωτερικό του.



Εικόνα 2.25 Διαφορές μεταξύ μικροελεγκτή-μικροεπεξεργαστή

Εφαρμογές του μικροεπεξεργαστή περιλαμβάνουν τα επιτραπέζια PC, οι φορητοί υπολογιστές, τα σημειωματάρια κ.λπ. Αλλά αυτό δεν ισχύει στην περίπτωση με τους μικροελεγκτές. Ο μικροελεγκτής έχει CPU, επιπροσθέτως με ένα σταθερό ποσό της μνήμης RAM, ROM και άλλα περιφερειακά, όλα ενσωματωμένα σε ένα μόνο chip . Μερικές φορές ονομάζεται ως μίνι υπολογιστής ή υπολογιστής με ένα μόνο chip. Σήμερα διαφορετικοί κατασκευαστές παράγουν μικροελεγκτές με ένα ευρύ φάσμα δυνατοτήτων που είναι διαθέσιμοι σε διαφορετικές εκδόσεις.

Οι μικροελεγκτές είναι σχεδιασμένοι για να εκτελούν συγκεκριμένες διεργασίες. Αυτό σημαίνει εφαρμογές, όπου η σχέση των εισροών και εκροών είναι καθορισμένες. Ανάλογα με την εισροή, πρέπει να γίνει η διεργασία ώστε να έχουμε εκροή. Για παράδειγμα, πληκτρολόγια, ποντίκια, πλυντήριο ρούχων, φούρνος μικροκυμάτων, αυτοκίνητα , ποδήλατα , τηλέφωνο, κινητά τηλέφωνα , ρολόγια , κλπ. Δεδομένου ότι οι εφαρμογές είναι πολύ συγκεκριμένες , χρειαζόμαστε μικρούς πόρους, όπως μνήμη RAM, ROM, θύρες I / O κλπ και ως εκ τούτου να μπορούν να ενσωματωθούν σε ένα μόνο chip . Αυτό με τη σειρά του μειώνει το μέγεθος και το κόστος. [32]

Οι μικροεπεξεργαστές βρίσκουν εφαρμογές όπου τα καθήκοντα είναι αόριστα, όπως η ανάπτυξη λογισμικού , παιχνίδια , ιστοσελίδες , επεξεργασία φωτογραφιών , δημιουργία εγγράφων κλπ. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η σχέση μεταξύ εισόδου και εξόδου δεν ορίζεται. Χρειάζονται υψηλό ποσό πόρων, όπως RAM , ROM , θύρες I / O κλπ. Η ταχύτητα ρολογιού του μικροεπεξεργαστή είναι αρκετά υψηλή σε σύγκριση με του μικροελεγκτή.

Ενώ οι μικροελεγκτές λειτουργούν από μερικά MHz έως 30 με 50 MHz, οι σημερινοί μικροεπεξεργαστές λειτουργούν πάνω από 1GHz , δεδομένου ότι εκτελούν πολύπλοκα καθήκοντα. Η σύγκριση του μικροελεγκτή και του μικροεπεξεργαστή όσον αφορά το κόστος δεν είναι δικαιολογημένη. Αναμφίβολα ένας μικροελεγκτής είναι πολύ φθηνότερος από ένα μικροεπεξεργαστή. Ωστόσο, ένας μικροελεγκτής δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη θέση ενός μικροεπεξεργαστή και αντίστοιχα η χρήση ενός μικροεπεξεργαστή δεν συνιστάται στη θέση ενός μικροελεγκτή, καθώς κάνει την εφαρμογή αρκετά δαπανηρή. [31]

Ο μικροεπεξεργαστής δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτόνομα. Χρειάζεται άλλα περιφερειακά όπως RAM, ROM , buffer, θύρες I / O κλπ και ως εκ τούτου ένα σύστημα σχεδιασμένο γύρω από έναν μικροεπεξεργαστή, είναι αρκετά δαπανηρό. Ο μικροελεγκτής είναι ένα μικρό αυτόνομο υπολογιστικό σύστημα, προγραμματισμένο να εκτελεί συγκεκριμένη ακολουθία εντολών, οι οποίες έχουν καταχωρηθεί στην προγραμματιζόμενη μνήμη του. Κάθε φορά που θα επανεκκινείται ο μικροελεγκτής θα εκτελεί την ίδια λογική. Θα ανακαλεί τα δεδομένα, θα τα επεξεργάζεται και με βάση τα αποτελέσματα της επεξεργασίας θα ελέγχει το περιβάλλον του. Πρόκειται δηλαδή για ένα σύστημα ειδικού σκοπού, αφιερωμένο στον έλεγχο και την εξυπηρέτηση ενός συγκεκριμένου αυτοματισμού. Αντίθετα, ένας μικροεπεξεργαστής μετά την εκκίνησή του δεν είναι σε θέση να εκτελέσει κάποια λογική ακολουθία από μόνος του. Αν και μπορεί να συνδεθεί με μνήμες RAM και ROM, αυτές αποτελούν ξεχωριστές μονάδες, που συνήθως δεν ολοκληρώνονται μέσα στον ίδιο τον μικροεπεξεργαστή.

Το «πακέτο» ενός μικροελεγκτή φέρει κάποια βασικά χαρακτηριστικά που τον καθιστά προτιμότερο για τη χρήση του σε εφαρμογές έναντι της χρήσης των επιμέρους στοιχείων που τον απαρτίζουν ξεχωριστά (επεξεργαστής, μνήμες, συσκευές εισόδου-εξόδου, διεπαφές). Αυτά τα χαρακτηριστικά μπορούν να συνοψισθούν σε:

- **Χαμηλό κόστος.** Είναι ένα από τα βασικότερα χαρακτηριστικά που κάποιος σχεδιαστής λαμβάνει υπόψη. Η συνεχής απελευθέρωση στην αγορά μικροελεγκτών από διάφορες εταιρίες βελτίωσαν την ποιότητα αυτών και μείωσαν τις τιμές λόγω του ανταγωνισμού.
- **Μικρότερο μέγεθος .** Η ολοκλήρωση των βασικών στοιχείων από τα οποία απαρτίζεται μείωσε τις διαστάσεις σε σχέση με τη χρήση των επιμέρους στοιχείων ως σύνολο.
- **Χαμηλή κατανάλωση ισχύος.** Το γεγονός ότι οι μικροελεγκτές λειτουργούν σε συγκριτικά χαμηλές συχνότητες που φτάνουν τα 32KHz, οδηγεί στην κατανάλωση μικρών ποσών ισχύος της τάξης των mW ακόμα και kW. Επιπλέον έχουν τη δυνατότητα να εισέρχονται σε κατάσταση αναμονής -sleep mode - καταστέλλουν προσωρινά τη λειτουργία της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας (ΚΜΕ) και των περιφερειακών , οπότε αυτό μπορεί να γίνει μειώνοντας κατά πολύ την κατανάλωση ισχύος του μικροελεγκτή. Έτσι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές με αυστηρές απαιτήσεις ως προς αυτήν την παράμετρο.

- **Αυτονομία.** Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της ενσωμάτωσης σύνθετων περιφερειακών υποσυστημάτων όπως μνήμες και θύρες επικοινωνίας. Έτσι πολλοί μικροελεγκτές δεν χρειάζονται κανένα άλλο ολοκληρωμένο κύκλωμα για να λειτουργήσουν.
- **Επίτευξη ελέγχου ή μετρήσεων σε πραγματικό χρόνο.** Ενώ οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές πρέπει να τρέχουν λειτουργικά συστήματα πραγματικού χρόνου (όπως RT-Linux, QNX κ.ά.) για να το επιτύχουν, οι μικροελεγκτές δεν απαιτούν επιπλέον λογισμικό.
- **Μειωμένες εκπομπές ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών και μειωμένη ευαισθησία** σε αντίστοιχες παρεμβολές από άλλες ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές. Το πλεονέκτημα αυτό προκύπτει από το μικρότερο αριθμό και μήκος εξωτερικών διασυνδέσεων καθώς και των χαμηλότερων ταχυτήτων λειτουργίας.
- **Περισσότεροι διαθέσιμοι ακροδέκτες για ψηφιακές εισόδους-εξόδους** (για δεδομένο μέγεθος ολοκληρωμένου κυκλώματος) λόγω της μη δέσμευσής τους για τη σύνδεση εξωτερικών περιφερειακών.
- Η βασική αρχιτεκτονική των μικροελεγκτών δεν διαφέρει από αυτή των κοινών μικροεπεξεργαστών, αν και στους πρώτους συναντάται συχνά η αρχιτεκτονική μνήμης τύπου Harvard, η οποία χρησιμοποιεί διαφορετικές αρτηρίες σύνδεσης της μνήμης προγράμματος και της μνήμης δεδομένων (π.χ. οι σειρές από την Microchip). Στους κοινούς μικροεπεξεργαστές συνηθίζεται η ενιαία διάταξη μνήμης τύπου Von Neumann. [32]
- Η ενσωμάτωση περιφερειακών σημαίνει ευκολότερη υλοποίηση εφαρμογών λόγω των απλούστερων διασυνδέσεων. Επιπλέον έχουμε μεγαλύτερη αξιοπιστία λόγω των λιγότερων διασυνδέσεων και μικρό μέγεθος συνολικού υπολογιστικού συστήματος.

Παρόλο αυτά κάποια από τα μειονεκτήματα του μικροελεγκτή είναι:

- Η μη αλλαγή του προγράμματος για τον λόγο ότι είναι γραμμένο στην ROM
- Η δυσκολία του προγραμματισμού του
- Έχει μεγάλο χρόνο ανάπτυξης. Για να ολοκληρωθεί ένα προϊόν μπορεί να απαιτηθεί από 1 εβδομάδα μέχρι 1 χρόνο.

#### **2.4.4 Εφαρμογές μικροελεγκτών**

Οι μικροελεγκτές λόγω του χαμηλού τους κόστους και της ευελιξίας που παρέχουν βρίσκουν αναρίθμητες χρήσεις σε διάφορους κλάδους.

- *Ενσωματωμένα συστήματα*

Πρόκειται για υπολογιστικά συστήματα που κατασκευάζονται με σκοπό να επιτελέσουν μια συγκεκριμένη εργασία, είτε στα πλαίσια ενός ευρύτερου συστήματος, είτε εντελώς αυτόνομα. Σε αντίθεση με τα υπολογιστικά συστήματα γενικού σκοπού, τα οποία κατασκευάζονται ώστε να έχουν ευελιξία και να μπορούν να εξυπηρετήσουν ένα μεγάλο

φάσμα εφαρμογών, τα ενσωματωμένα συστήματα έχουν καθορισμένο έργο εξ αρχής και κατασκευάζονται ώστε να μπορέσουν να πραγματοποιήσουν το έργο αυτό με το ελάχιστο δυνατό κόστος. Ως παραδείγματα ενσωματωμένων συστημάτων μπορούμε να αναφέρουμε κάμερες, φορητές συσκευές αναπαραγωγής μουσικής, DVD players, εκτυπωτές και άλλα. Πολλές ηλεκτρικές - ηλεκτρονικές συσκευές της καθημερινότητας μπορούν να θεωρηθούν ενσωματωμένα συστήματα. Παραδείγματα είναι πλυντήρια, φούρνοι μικροκυμάτων κτλ.

- *Εφαρμογές αυτοματισμού*

Πολλές εφαρμογές κάνουν χρήση περισσότερων του ενός μικροελεγκτών συνδεδεμένων μεταξύ τους σε ένα τοπικό, μικρής κλίμακας δίκτυο με σκοπό τον καλύτερο και ακριβέστερο έλεγχο ενός συστήματος. Για παράδειγμα, διάφορα προηγμένα συστήματα ρύθμισης θερμοκρασίας κτιρίων, μπορούν να επωφεληθούν από μια τέτοια διαμόρφωση ώστε να επιτύχουν πιο ακριβή έλεγχο των συνθηκών του κτιρίου με απώτερο στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας. Ένα άλλο ενδιαφέρον πεδίο στο οποίο έχουν εξελιχτεί τα ενσωματωμένα συστήματα είναι τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, τα οποία αποτελούνται από ένα πλήθος αισθητήρων διασκορπισμένων στον χώρο με στόχο την παρακολούθηση μεγεθών όπως θερμοκρασία, πίεση, υγρασία και την αποστολή των μετρήσεων σε έναν κεντρικό σταθμό όπου θα αξιοποιηθούν κατάλληλα. [31]

- *Μηχανοκίνητες εφαρμογές*

Οι μικροελεγκτές και τα ενσωματωμένα συστήματα έχουν διεισδύσει σε τεράστιο βαθμό στην βιομηχανία μηχανοκίνητων, είτε πρόκειται για αυτοκίνητα, μοτοσυκλέτες είτε για αεροσκάφη υψηλής τεχνολογίας. Οι χρήσεις ενσωματωμένων συστημάτων σε ένα όχημα ξεκινούν από τα πιο βασικά στάδια σχετιζόμενα με την λειτουργία του ίδιου του κινητήρα και εκτείνονται στα συστήματα αυτοματισμού και ελέγχου του οχήματος και έως τα συστήματα ψυχαγωγίας των επιβατών. Τελικά σε ένα όχημα όλες οι περιφερειακές λειτουργίες ελέγχονται από ένα κεντρικό σύστημα το οποίο ελέγχει και επιβλέπει το όχημα ανά πάσα στιγμή σαν ένα σύνολο.

#### **2.4.5 Κατασκευαστές μικροελεγκτών**

Υπάρχουν δεκάδες εταιρείες παγκοσμίως που κατασκευάζουν μικροελεγκτές. Οι πιο διαδεδομένες είναι:

– Microchip, [www.microchip.com](http://www.microchip.com)

– Atmel, [www.atmel.com](http://www.atmel.com)

– Hitachi

– Toshiba

– NEC

– Epson

– Texas Instruments, [www.ti.com](http://www.ti.com)

– Freescale (πρώην Motorola), [www.freescale.com](http://www.freescale.com)

– Intel, [www.intel.com](http://www.intel.com)

– Analog Devices, [www.analog.com](http://www.analog.com)

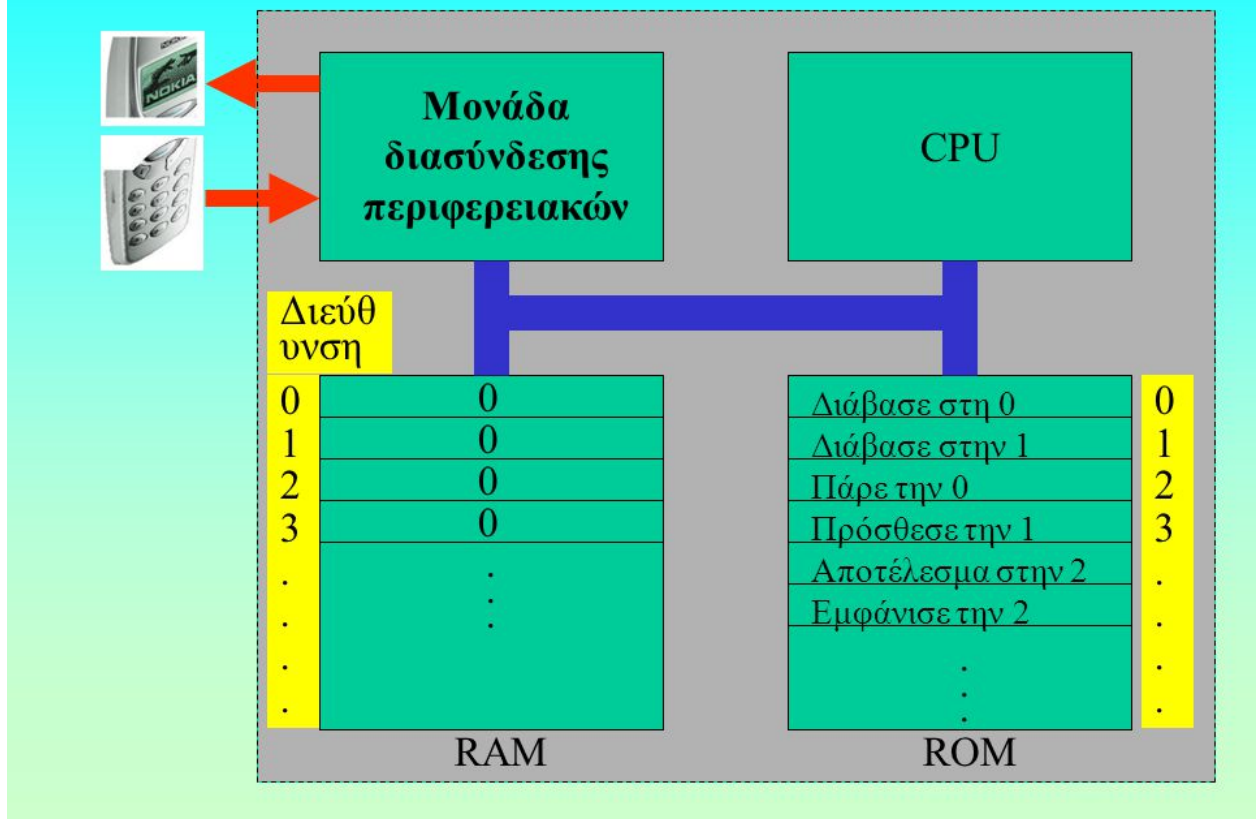
Οι περισσότερες εταιρείες παράγουν μεγάλη γκάμα μικροελεγκτών. Από πολύ μικρούς και φθηνούς για απλές εφαρμογές έως ιδιαίτερα προηγμένους για πολύ απαιτητικές εφαρμογές. [30]

#### **2.4.6 Δομή μικροελεγκτή**

Ένας μικροελεγκτής είναι ένα μικρό υπολογιστικό κύκλωμα σχεδιασμένο σε ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα υψηλής κλίμακας ολοκλήρωσης. Έχει δυνατότητα να επικοινωνεί με το εξωτερικό περιβάλλον, να στέλνει σήματα διακοπών, να εκτελεί πράξεις ανάμεσα σε μεταβλητές χρησιμοποιώντας καταχωρητές ειδικού σκοπού. Κάθε μικροελεγκτής περιέχει τα παρακάτω στοιχεία:

- Έναν αριθμό από καταχωρητές ειδικού σκοπού όπως: καταχωρητή εργασίας, συσσωρευτή, καταχωρητή κατάστασης, μετρητή προγράμματος, καταχωρητή εντολών, καταχωρητή δείκτη.
- εσωτερικούς χρονοιστές – απαριθμητές.
- αριθμητική και λογική μονάδα εντολών.
- μονάδα αποκωδικοποιήσεις εντολών.
- μνήμη προγράμματος ROM ή EPROM
- μνήμη καταχωρητών – μεταβλητών RAM
- κυκλώματα χρονισμού και ελέγχου
- παράλληλες θύρες εισόδου – εξόδου
- άλλα περιφερειακά κυκλώματα όπως: UART, A/D μετατροπείς και άλλα.

## Πώς δουλεύει ο μικροελεγκτής;



Εικόνα 2.26 Εσωτερική δομή μικροελεγκτή

### ΤΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΜΕΡΗ ΕΝΟΣ ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΗ

**Μονάδα κεντρικής επεξεργασίας.** Η μονάδα κεντρικής επεξεργασίας ή Central Processing Unit (CPU), αποτελεί την "καρδιά" ενός μικροελεγκτή. Εκτελεί ανάκληση δεδομένων (fetch) από την μνήμη προγράμματος υπό μορφή εντολών, αποκωδικοποιεί τις εντολές αυτές και στη συνέχεια τις εκτελεί. Η μονάδα CPU αποτελείται από καταχωρητές (registers), την αριθμητική λογική μονάδα (Arithmetic Logic Unit ή ALU), τον αποκωδικοποιητή εντολών (instruction decoder) και διάφορα κυκλώματα ελέγχου.

**Μνήμη προγράμματος.** Στην Μνήμη Προγράμματος αποθηκεύονται οι εντολές που σχηματίζουν τον κορμό του προγράμματος. Για την χρήση μεγαλύτερων σε μήκος προγραμμάτων, το είδος της μνήμης αυτής μπορεί να χωριστεί σε εσωτερική μνήμη προγράμματος και εξωτερική μνήμη προγράμματος, όπως συμβαίνει σε μερικούς τύπους ελεγκτών. Η μνήμη προγράμματος είναι μια μη-πτητική μνήμη (non-volatile memory) και μπορούμε να την συναντήσουμε σε διάφορους τύπους όπως αυτόν την EEPROM (Ηλεκτρικά Επαναπρογραμματιζόμενη Μνήμη Ανάγνωσης Μόνο ή Electrically Erasable Read Only Memory), την EPROM (Επαναπρογραμματιζόμενη Μνήμη Ανάγνωσης Μόνο ή Erasable Read Only Memory), την Μνήμη Ταχείας Αποθήκευσης



{Flash Memory }, την Μνήμη ROM τύπου Μάσκας {Mask ROM} και την Μνήμη Μη Αναστρέψιμου Προγραμματισμού {On-Time Programmable ή OTP}.

**Μνήμη RAM.** Η Μνήμη Τυχαίας Προσπέλασης {Random Access Memory ή RAM, αποτελεί την μνήμη δεδομένων του ελεγκτή, δηλαδή χρησιμοποιείται από τον ελεγκτή για την αποθήκευση δεδομένων. Η CPU χρησιμοποιεί την μνήμη RAM για την αποθήκευση μεταβλητών καθώς επίσης και την λεγόμενη Στοίβα (ή Stack). Η στοίβα χρησιμοποιείται από την CPU για την προσωρινή αποθήκευση των λεγόμενων διευθύνσεων επιστροφής, με σκοπό να συνεχίσει την εκτέλεση του προγράμματος που είχε διακοπεί για την εξυπηρέτηση κάποιας υπορουτίνας {Subroutine} ή κάποιας ρουτίνας διακοπής {Interrupt routine}.

**Ταλαντωτής Χρονισμού.** Ο μικροελεγκτής εκτελεί ένα πρόγραμμα όπως αυτό εμφανίζεται μέσα στην μνήμη προγράμματος, με έναν καθορισμένο ρυθμό. Ο ρυθμός αυτός καθορίζεται από την συχνότητα λειτουργίας του ταλαντωτή χρονισμού. Ο Ταλαντωτής Χρονισμού (Clock Oscillator) μπορεί να είναι ένας εσωτερικός ταλαντωτής τύπου RC, ή ένας ταλαντωτής που υλοποιείται με κάποιο εξωτερικό στοιχείο χρονισμού, όπως για παράδειγμα ένας κρύσταλλο χαλαζία (Quartz), ένα κύκλωμα συντονισμού LC ή ακόμα και ένα απλό κύκλωμα RC. Η λειτουργία του ταλαντωτή ξεκινά σχεδόν αμέσως μετά την εφαρμογή της τάσης τροφοδοσίας.

**Σύστημα επανατοποθέτησης και Κύκλωμα ανίχνευσης βυθίσεων τάσης.** Το Κύκλωμα. Επανατοποθέτησης ή μηδενισμού ή απλά Reset, που διαθέτει ένας μικροελεγκτής, εξασφαλίζει το γεγονός ότι όλες οι εσωτερικές μονάδες και τα κυκλώματα ελέγχου του μικροελεγκτή θα ξεκινήσουν να λειτουργούν κατά την εφαρμογή της τροφοδοσίας, από κάποια προκαθορισμένη αρχική κατάσταση ενώ όλοι οι καταχωρητές του συστήματος βρίσκονται σε κατάλληλες αρχικές τιμές. Από την άλλη πλευρά, το κύκλωμα ανίχνευσης βύθισης της τάσης τροφοδοσίας (brownout detector), είναι ένα επίσης εσωτερικό κύκλωμα ελέγχου το οποίο παρακολουθεί συνεχώς το επίπεδο της τάσης τροφοδοσίας και εφόσον ανιχνευτεί κάποια στιγμιαία βύθιση στην τάση αυτή, τότε αυτόματα θέτει τον μικροελεγκτή σε λειτουργία επανατοποθέτησης, έτσι ώστε να προστατευτούν τα περιεχόμενα των καταχωρητών και της μνήμης από πιθανή καταστροφή ή αλλοίωση, πράγμα που θα οδηγούσε τον μικροελεγκτή σε εσφαλμένη λειτουργία.

**Σειριακή θύρα επικοινωνίας.** Ένα από τα πλέον εύχρηστα συστατικά ενός μικροελεγκτή, αποτελεί η σειριακή θύρα επικοινωνίας. Η θύρα αυτή χρησιμοποιείται για την επικοινωνία του ελεγκτή με διάφορες εξωτερικές διατάξεις υπό την μορφή σειριακής μετάδοσης δεδομένων. Η θύρα αυτή μπορεί να λειτουργήσει σε οποιαδήποτε ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων τυχόν απαιτηθεί. Η λειτουργία της βασίζεται στο ότι λαμβάνει δεδομένα από τον μικροελεγκτή, τα οποία ολισθαίνει προς την έξοδο υπό μορφή ενός δυαδικού ψηφίου (bit) τη φορά. Εντελώς παρόμοια, λαμβάνει δεδομένα από την αντίστοιχη είσοδο της και πάλι με τη μορφή ενός bit τη φορά, σχηματίζοντας έτσι με 8 τέτοια bits, μια λέξη του 1 byte, την οποία και αντιγράφει στο εσωτερικό του ελεγκτή. Οι σειριακές θύρες απαντώνται σε δύο τύπους, την ασύγχρονη σειριακή θύρα και την σύγχρονη σειριακή θύρα. Για την λειτουργία μιας σύγχρονης σειριακής θύρας απαιτείται και η παρουσία ενός πρόσθετου σήματος συγχρονισμού (clock), αντίθετα με την



ασύγχρονη σειριακή θύρα στην οποία δεν απαιτείται η ύπαρξη ενός τέτοιου σήματος, διότι οι απαραίτητες πληροφορίες συγχρονισμού και χρονισμού γενικότερα, ενσωματώνονται στο σύνολο των δεδομένων που μεταδίδονται σειριακά με τη μορφή της διάρκειας εμφάνισης των εκάστοτε bits που αποτελούν την πληροφορία, καθώς επίσης και με τη χρήση πρόσθετων bits με τα οποία σηματοδοτείται η έναρξη και η παύση μιας συγκεκριμένης μετάδοσης..

**Ψηφιακή θύρα εισόδου-εξόδου.** Ο μικροελεγκτής χρησιμοποιεί τις ψηφιακές θύρες εισόδου-εξόδου με σκοπό την ανταλλαγή δεδομένων από και προς το εξωτερικό περιβάλλον. Σε σύγκριση με μια σειριακή θύρα, με την οποία τα δε δομένα ανταλλάσσονται υπό μορφή συρμού με εκπομπή ενός bit τη φορά, η ψηφιακή θύρα εισόδου—εξόδου ανταλλάσσει δεδομένα υπό τη μορφή ομάδων των 8 bits, ή διαφορετικά, του 1 byte.

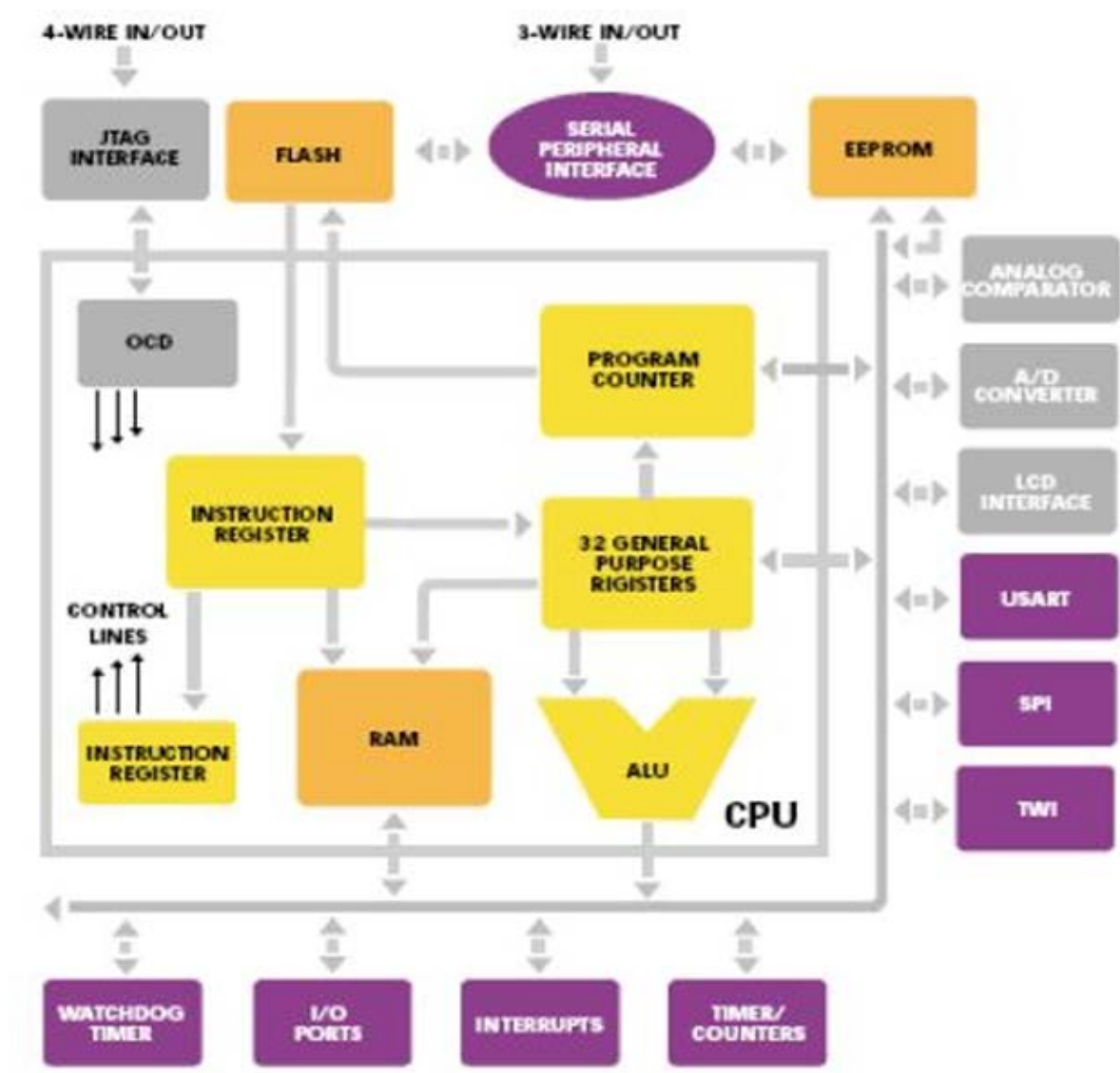
**Αναλογική θύρα εισόδου-εξόδου.** Γενικά, μπορούμε να έχουμε αναλογικές εισόδους χρταποποιώνταςΜετατροπείςΑναλογικού Σήματος σε Ψηφιακό (Analog to Digital Converter ή ADC). Ένας τυπικός μικροελεγκτής μπορεί να διαθέτει μια ενσωματωμένη μονάδα μετατροπής ADC ή ακόμα και σε μερικές περιπτώσεις, έναν απλό ενσωματωμένο αναλογικό συγκριτή, ο οποίος χρησιμοποιείται μαζί με κατάλληλο λογισμικό έτσι ώστε να μπορεί να εκτελεί μετατροπές αναλογικού σε ψηφιακό. Οι μετατροπείς αναλογικού σήματος σε ψηφιακό χρησιμοποιούνται για την ανάγνωση δεδομένων από αισθητήρες όπως για παράδειγμα, αισθητήρες πίεσης και θερμοκρασίας. Οι αισθητήρες αυτοί συνήθως παράγουν μια τάση η οποία είναι ανάλογη της μετρούμενης φυσικής παραμέτρου. Επίσης, μπορούμε να έχουμε και αναλογικές εξόδους, χρησιμοποιώντας κάποιες μονάδες οι οποίες καλούνται, Μετατροπείς Ψηφιακού Σήματος σε Αναλογικό (Digital to Analog Converter ή DAC). Ακόμη, οι περισσότεροι μικροελεγκτές είναι εφοδιασμένοι με Διαμορφωτές Εύρους Παλμών (Pulse Width Modulators ή PWM), με τη βοήθεια των οποίων μπορούμε να λάβουμε αναλογικές τάσεις μέσα από κατάλληλα φίλτρα τύπου RC. Οι μετατροπείς ψηφιακού σήματος σε αναλογικό χρησιμοποιούνται για την οδήγηση κινητήρων, ειδικών μονάδων απεικόνισης (όπως οι παλαιότερες οθόνες με μπάρα από LED, γνωστές και με την ονομασία VU-Meter), για την αναπαραγωγή σημάτων ήχου ή μουσικής γενικότερα

**Χρονοιστής.** Ένας Χρονοιστής (Timer) χρησιμοποιείται από τον μικροελεγκτή για τον χρονισμό ή και την σηματοδότηση διαφόρων γεγονότων, για παράδειγμα, είναι πιθανό να επιθυμούμε να αποστείλουμε δεδομένα σε μια εξωτερική οθόνη με έναν συγκεκριμένο ρυθμό. Ο χρονοιστής χρησιμοποιείται από τον μικροελεγκτή για να παράγει αυτόν τον ζητούμενο ρυθμό. Ένας χρονοιστής μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης και για την καταμέτρηση γεγονότων, τα οποία μπορούν να είναι είτε εσωτερικά είτε εξωτερικά. Σε μια τέτοια περίπτωση, ο χρονοιστής καλείται και απλά, Μετρητής (Counter).

**Χρονοιστής επιτήρησης.** Ένας χρονοιστής ειδικού σκοπού, τον οποίον συναντάμε συχνά στους σύγχρονους μικροελεγκτές, είναι και ο Χρονοιστής Επιτήρησης (WatchDog Timer ή WDT). Ο χρονοιστής αυτός χρησιμοποιείται συνήθως για την αποφυγή της πιθανής κατάρρευσης του συστήματος (crash). Η λειτουργία του χρονοιστή επιτήρησης έχει ως εξής. Από την στιγμή που θα ενεργοποιηθεί (ή όπως λέγεται, "θα οπλιστεί"), λειτουργεί αυξανόμενα ένας εσωτερικός μετρητής σε κάποιον συγκεκριμένο ρυθμό. Αν το

Πρόγραμμα χρήσης δεν μηδενίζει (ή επαναθέσει) τον μετρητή αυτόν, τότε κάποια στιγμή θα επέλθει η λεγόμενη υπερχείλιση (Overflow) του παραπάνω μετρητή και θα επανατοποθετηθεί ο μικροελεγκτής (λειτουργία reset). Έτσι όταν χρησιμοποιείται ο χρονιστής επιτήρησης, το πρόγραμμα χρήσης θα πρέπει να είναι εφοδιασμένο με κατάλληλες εντολές, έτσι ώστε σε τακτά χρονικά διαστήματα να μπορεί να μηδενίζει τον χρονιστή WDT, πληροφορώντας τον έτσι ότι το σύστημα εργάζεται και δεν έχει καταρρεύσει. Η λογική αυτής της τεχνικής ελέγχου στηρίζεται στην υπόθεση, ότι αν το πρόγραμμα χρήσης δεν μηδενίζει τον χρονιστή WDT, αυτό πιθανότατα σημαίνει ότι το πρόγραμμα έχει αποτύχει σε κάποια προσπάθεια του είτε εξαιτίας πιθανής κατάρρευσης, ή γενικότερα κάποιας απρόβλεπτης συμπεριφοράς, οπότε είναι προτιμότερο να εκκινήσει διαδικασία επανατοποθέτησης.

**Ρολόι πραγματικού χρόνου.** Ένας ακόμη ειδικού σκοπού χρονιστής είναι και το λεγόμενο Ρολόι Πραγματικού Χρόνου (Real Time Clock ή RTC), του οποίου σκοπός είναι η μέτρηση και η διατήρηση της τρέχουσας ώρας της ημέρας, της ημερομηνίας, κ.λ.π. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την σηματοδότηση συγκεκριμένων γεγονότων με γνώμονα την τρέχουσα ώρα.



Εικόνα 2.27 Τυπικό Διάγραμμα ενός Μικροελεγκτή

### 2.4.7 Διαδεδομένες κατηγορίες μικροελεγκτών

Λόγω της τάσης ενσωμάτωσης των μικροελεγκτών σε κάθε ηλεκτρική και ηλεκτρονική συσκευή αλλά και του ισχυρότατου ανταγωνισμού, έχουμε καταλήξει στην παραγωγή ανταγωνιστικών μοντέλων μαζικής παραγωγής καθώς και στην παραγωγή μικροελεγκτών για πιο εξειδικευμένες εφαρμογές. Έτσι διακρίνονται οι εξής κατηγορίες:

- Μικροελεγκτές (καμιά φορά 4-bit αλλά συνήθως 8-bit) πολύ χαμηλού κόστους, γενικής χρήσης, με πολύ μικρό αριθμό ακροδεκτών (ακόμη και λιγότερους από 8). Για να μη μπορεί να αντιγραφεί εύκολα το εσωτερικό λογισμικό τους σχεδιάζονται με έμφαση στη χαμηλή κατανάλωση ισχύος και την αυτάρκεια. Απουσιάζει η δυνατότητα επέκτασης της μνήμης τους. Μερικά μοντέλα είναι ευρέως γνωστά στους ερασιτέχνες ηλεκτρονικούς, όπως πχ οι περισσότεροι μικροελεγκτές των σειρών PIC (Microchip), AVR (Atmel) και 8051 (Intel, Atmel, Dallas κα).

- Μικροελεγκτές (συνήθως 8-bit αλλά και 16 ή 32-bit) χαμηλού κόστους, γενικής χρήσης, με μέτριο έως σχετικά μεγάλο αριθμό ακροδεκτών. Διαθέτουν μεγάλο αριθμό κοινών περιφερειακών, όπως θύρες UART, I2C, SPI ή CAN, μετατροπείς αναλογικού σε ψηφιακό και ψηφιακού σε αναλογικό. Στους κατασκευαστές της Άπω Ανατολής (Ιαπωνία, Κορέα), συνηθίζεται η ενσωμάτωση ελεγκτών οθόνης υγρών κρυστάλλων και πληκτρολογίου. Μερικές φορές παρέχουν δυνατότητα εξωτερικής επέκτασης της μνήμης τους.
- Μικροελεγκτές (κυρίως 32-bit) μέσου κόστους, γενικής χρήσης, με μεγάλο αριθμό ακροδεκτών. Χαρακτηρίζονται από έμφαση στην ταχύτητα εκτέλεσης εντολών, υψηλή αυτόαρκεια περιφερειακών και μεγάλες δυνατότητες εσωτερικής ή εξωτερικής μνήμης προγράμματος (FLASH) και RAM. Στο χώρο αυτό έχουν ισχυρή παρουσία οι αρχιτεκτονικές με υψηλή μεταφερισιμότητα λογισμικού (portability) από τον ένα στον άλλο κατασκευαστή. Πχ μεταξύ των μικροελεγκτών τύπου ARM ή MIPS, το σύνολο των βασικών εντολών που αναγνωρίζει η ALU είναι ακριβώς το ίδιο, μειώνοντας έτσι τις μεγάλες αλλαγές στο λογισμικό, όταν στο μέλλον ο πελάτης υιοθετήσει ένα μικροελεγκτή άλλου κατασκευαστή (αρκεί, φυσικά, να υποστηρίζει κι αυτός το σύνολο εντολών ARM ή MIPS, αντίστοιχα).
- Μικροελεγκτές εξειδικευμένων εφαρμογών, οι οποίοι ενσωματώνουν συνήθως κάποιο εξειδικευμένο πρωτόκολλο επικοινωνίας το οποίο υλοποιείται πάντοτε σε hardware. Τέτοιοι μικροελεγκτές χρησιμοποιούνται σε τηλεπικοινωνιακές συσκευές όπως τα μόντεμ. Η μεγάλη μερίδα πωλήσεων των μικροελεγκτών εξακολουθεί να αφορά αυτούς των 8-bit, καθώς είναι η κατηγορία με το χαμηλότερο κόστος και το μικρότερο μέγεθος λογισμικού για το ίδιο αποτέλεσμα, ιδίως επειδή οι σύγχρονες οικογένειες μικροελεγκτών 8-bit έχουν πολύ βελτιωμένες επιδόσεις σε σχέση με το παρελθόν. [32]

#### 2.4.8 Γλώσσα προγραμματισμού μικροελεγκτών

Οι μικροελεγκτές γενικά προγραμματίζονται σε γλώσσες χαμηλού επιπέδου. Τελευταία όλο και περισσότεροι προγραμματιστές επιλέγουν γλώσσες υψηλότερου επιπέδου. Ως γλώσσα χαμηλού επιπέδου ονομάζεται μια γλώσσα η οποία βρίσκεται πιο κοντά στο υλικό (γλώσσα μηχανής, assembly). Ως γλώσσα υψηλού επιπέδου ονομάζεται μια γλώσσα η οποία είναι αυστηρά δομημένη και υπάρχει συγκεκριμένος compiler ο οποίος μετατρέπει το πρόγραμμα σε γλώσσα μηχανής για τον συγκεκριμένο μικροελεγκτή.

*Πλεονεκτήματα* γλωσσών χαμηλού επιπέδου:

- Ο προγραμματιστής έχει τον απόλυτο έλεγχο της συμπεριφοράς του μικροελεγκτή
- Μπορεί να επιτύχει με απόλυτη ακρίβεια διάφορους χρονισμούς
- Δεν απαιτείται η δαπάνη για την αγορά assembler καθώς συνήθως διατίθεται δωρεάν από την κατασκευάστρια εταιρεία

*Μειονεκτήματα* γλωσσών χαμηλού επιπέδου:

- Απαιτείται μεγαλύτερος κόπος για την εκμάθηση της συμβολικής γλώσσας του εκάστοτε μικροελεγκτή

– Τα προγράμματα που δημιουργούνται σε συμβολική γλώσσα δεν είναι ευανάγνωστα και ο προγραμματιστής δυσκολεύεται να θυμηθεί τη λογική που έχει εφαρμόσει όταν χρειάζεται να κάνει τροποποιήσεις εκ των υστέρων

– Είναι δυσκολότερο να δουλέψουν πολλοί προγραμματιστές στο ίδιο πρόγραμμα

*Πλεονεκτήματα γλωσσών υψηλού επιπέδου:*

– Είναι ευκολότερη η ανάπτυξη μεγάλων και σύνθετων προγραμμάτων

– Μπορούν να δουλέψουν πιο εύκολα πολλοί προγραμματιστές στο ίδιο πρόγραμμα

*Μειονεκτήματα γλωσσών υψηλού επιπέδου:*

– Σε εφαρμογές με κρίσιμους χρονισμούς είναι δυσκολότερη η συγγραφή κώδικα που ανταποκρίνεται στους χρονισμούς αυτούς

– Μερικές φορές η δαπάνη για την αγορά compiler δεν αποτελεί αμελητέο μέγεθος

– Σε παλιότερους compilers ο κώδικας μηχανής που παραγόταν δεν ήταν βελτιστοποιημένος με αποτέλεσμα να απαιτείται μικροελεγκτής με πολύ περισσότερη μνήμη. Οι compilers που κυκλοφορούν σήμερα διαθέτουν εξελιγμένα εργαλεία για βελτιστοποίηση (optimization) του κώδικα και έχουν κερδίσει την εμπιστοσύνη ακόμα και των πιο δύσπιστων προγραμματιστών. [33]

#### **2.4.9 Αρχιτεκτονική Μικροελεγκτών**

Μία από τις διακρίσεις που μπορούμε να κάνουμε για την αρχιτεκτονική ενός υπολογιστικού συστήματος είναι σε Von Neumann και σε Harvard. Η διαφοροποίηση αυτών των δύο σχετίζεται με την θέση αποθήκευσης των εντολών και των δεδομένων του προγράμματος. Στην μεν Von Neumann αρχιτεκτονική, οι εντολές και τα δεδομένα βρίσκονται στο ίδιο σύστημα μνήμης, ενώ στην Harvard σε διαφορετικό. Στην Von Neumann αρχιτεκτονική κάθε διεύθυνση είναι δυνατόν να αναφέρεται είτε σε εντολή, είτε σε δεδομένο καθώς τα 2 τελευταία καταλαμβάνουν τον ίδιο χώρο διευθύνσεων, σε αντίθεση με την Harvard αρχιτεκτονική, όπου υπάρχουν δύο διαφορετικοί χώροι διευθύνσεων.

Μια άλλη σημαντική διάκριση που γίνεται στην αρχιτεκτονική ενός υπολογιστικού συστήματος σχετίζεται με το σύνολο εντολών. Υπάρχουν δύο κατηγορίες, η αρχιτεκτονική περιορισμένου συνόλου εντολών (RISC) η οποία ακολουθείται στην περίπτωση μας και η αρχιτεκτονική σύνθετου συνόλου εντολών (CISC). Η διαφορά βρίσκεται στη δυνατότητα των διαθέσιμων εντολών. Στην περίπτωση του σύνθετου συνόλου εντολών, το οποίο προηγείται χρονολογικά, υπάρχουν εντολές που πραγματοποιούν περισσότερες από μία στοιχειώδεις ενέργειες σε ένα βήμα, για παράδειγμα, φόρτωση από την μνήμη – πρόσθεση – αποθήκευση στην μνήμη.

Το μοντέλο του περιορισμένου συνόλου εντολών προτείνει την κατάργηση των σύνθετων εντολών, με στόχο απλούστερες κεντρικές μονάδες επεξεργασίας, οι οποίες όμως θα εκτελούν ταχύτερα κάθε μεμονωμένη εντολή, οδηγώντας σε μικρότερους

συνολικούς χρόνους εκτέλεσης. Επίσης η μικρότερη επιφάνεια πυριτίου που απαιτείται λόγω των απλούστερων λειτουργικών μονάδων, επιτρέπει την αύξηση των διαθέσιμων καταχωρητών, πράγμα που διευκολύνει τόσο τον προγραμματισμό σε γλώσσα assembly, όσο και την διαδικασία παραγωγής κώδικα από τους μεταφραστές.

## Harvard

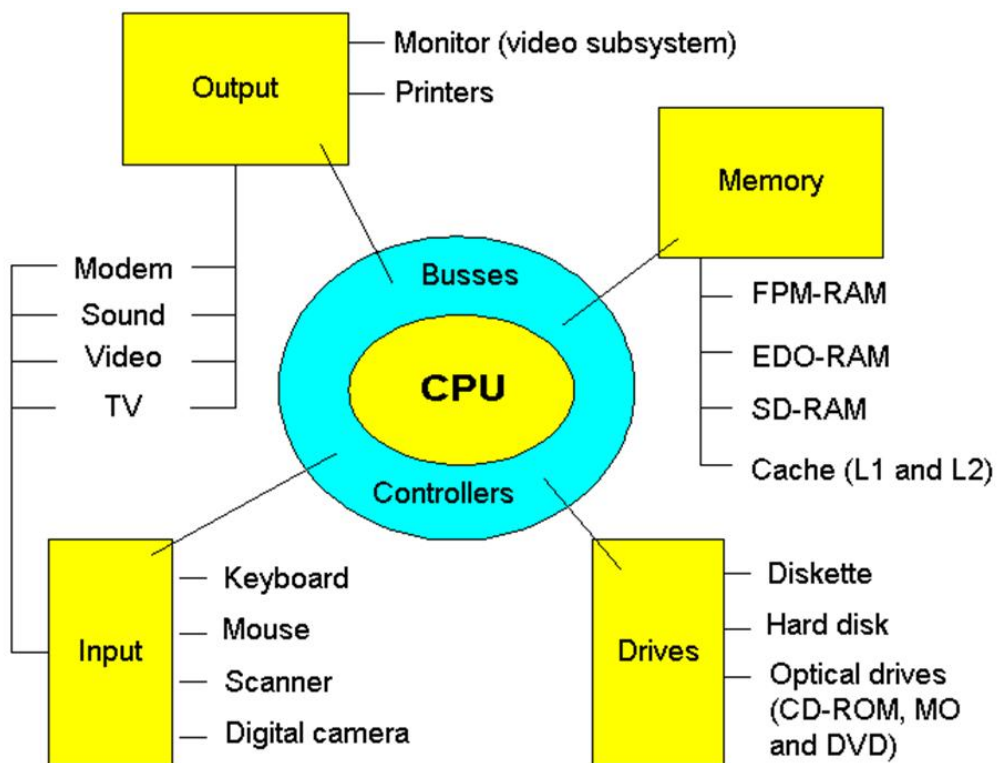
Μικροελεγκτές με βάση την αρχιτεκτονική Harvard έχουν ξεχωριστό δίαυλο δεδομένων και δίαυλο εντολών. Αυτό επιτρέπει στις εντολές να εκτελούνται παράλληλα. Καθώς μια εντολή «προ- φέρνεται» (pre-fetch), εκτελείται στον δίαυλο δεδομένων. Μόλις η τρέχουσα εντολή εκτελεστεί, η επόμενη εντολή είναι έτοιμη προς εκτέλεση. Το pre-fetch θεωρητικά επιτρέπει την ταχύτερη εκτέλεση των εντολών σε σχέση με την Von-Neuman αρχιτεκτονική αλλά σε βάρος της πολυπλοκότητας (υψηλότερη). Η αρχιτεκτονική Harvard μπορεί να εκτελεί τις εντολές σε λιγότερους κύκλους εντολών (instruction cycles) από την Von-Neuman αρχιτεκτονική.



Εικόνα 2.28 Διάγραμμα αρχιτεκτονικής Harvard

## Von-Neumann

Μικροελεγκτές με βάση την Von-Neumann αρχιτεκτονική έχουν μόνο έναν δίαυλο για «δεδομένα», που χρησιμοποιείται για να μεταφέρει και εντολές και δεδομένα. Οι εντολές του προγράμματος και τα δεδομένα είναι αποθηκευμένα σε κοινή μνήμη. Όταν ο μικροελεγκτής χρησιμοποιεί την κύρια μνήμη, πρώτα εκτελεί αυτή την εντολή, και στη συνέχεια ανακαλεί τα δεδομένα για την εκτέλεση της εντολής. Οι λειτουργίες επειδή είναι ξεχωριστές επιβραδύνουν τη λειτουργία του μικροελεγκτή.



Εικόνα 2.29 Διάγραμμα αρχιτεκτονικής Von-Neuman

## CISC

Σχεδόν το σύνολο των μικροελεγκτών σήμερα βασίζονται στην τεχνολογία CISC (Complex Instruction Set Computer - Υπολογιστής Σύνθετου Σει Εντολών). Όταν ένας μικροελεγκτής διαθέτει ένα σετ εντολών που υποστηρίζει σύνθετες λειτουργίες για την εκτέλεση αριθμητικών και λογικών εντολών, μεταφοράς δεδομένων και πρόσβασης μνήμης, τότε λέγεται ότι είναι CISC αρχιτεκτονικής. Τα πλεονεκτήματα της αρχιτεκτονικής CISC είναι ότι πολλές από τις εντολές της λειτουργούν ως μακροεντολές (macros), επιτρέποντας στον προγραμματιστή να χρησιμοποιήσει μια εντολή στη θέση πολλών απλούστερων.

## RISC

Η τάση της βιομηχανίας για το σχεδιασμό μικροεπεξεργαστών ή RISC (RISC Reduced Instruction Set Computers - Υπολογιστές Απλούστερου Σει Εντολών). Όταν ένας μικροελεγκτής έχει ένα σετ εντολών που υποστηρίζει απλούστερους τρόπους εκτέλεσης αριθμητικών και λογικών εντολών και μεταφοράς δεδομένων, τότε είναι αρχιτεκτονικής RISC.

Τα οφέλη από την απλότητα του σχεδιασμού RISC είναι μικρότερα τσιπ, αισθητή μείωση ο αριθμού pin και πολύ χαμηλή κατανάλωση ενέργειας.

## 2.4.10 Είδη Μνήμης

### MNΗΜΗ FLASH

Μη πτητική μνήμη μόνο ανάγνωσης. Περιέχει τις εντολές που θα εκτελέσει ο μικροελεγκτής καθώς και δεδομένα γνωστά κατά τον χρόνο συγγραφής του προγράμματος. Την μνήμη FLASH την προγραμματίζει ο χρήστης με κάποια από τις διαθέσιμες μεθόδους προγραμματισμού και τα περιεχόμενά της δεν προβλέπεται να τροποποιηθούν αν δεν επαναπρογραμματιστεί ο μικροελεγκτής. Σε ορισμένα μοντέλα AVR η μνήμη FLASH είναι εγγράψιμη από τον ίδιο τον μικροελεγκτή, γεγονός στο οποίο στηρίζεται η λειτουργία των bootloader. Κάτι τέτοιο ωστόσο, αν δεν γίνει με προσοχή, μπορεί να προκαλέσει καταστροφή του προγράμματος καθιστώντας τον μικροελεγκτή ανίκανο να εκκινήσει χωρίς επαναπρογραμματισμό, συνεπώς πρέπει να αποφεύγεται.

### EEPROM

Μη πτητική μνήμη ανάγνωσης/εγγραφής την οποία μπορεί να προγραμματίσει ο χρήστης με κάποιες από τις μεθόδους προγραμματισμού. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αποθήκευση σταθερών δεδομένων αν η χωρητικότητα της FLASH δεν επαρκεί, αλλά και για καταγραφή δεδομένων που γίνονται διαθέσιμα στον χρόνο εκτέλεσης. Για παράδειγμα σε μια εφαρμογή συλλογής μετρήσεων θερμοκρασίας, η EEPROM μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την καταγραφή των δεδομένων. Η SRAM δεν θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για αυτόν τον σκοπό αφού είναι πτητική μνήμη και τα περιεχόμενα της δεν είναι διαθέσιμα μετά την διακοπή της τροφοδοσίας, πράγμα που θα οδηγούσε στην απώλεια των συλλεχθέντων μετρήσεων.

### SRAM

Πτητική μνήμη ανάγνωσης/εγγραφής. Είναι η μνήμη που χρησιμοποιείται για την αποθήκευση προσωρινών δεδομένων του χρόνου εκτέλεσης. Στην μνήμη SRAM αποθηκεύονται οι μεταβλητές του προγράμματος του μικροελεγκτή.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### Κατασκευή και Λειτουργία Πειραματικής Διάταξης

#### 3.1 Παρουσίαση των Επιμέρους Τμημάτων

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η κατασκευή ενός μοντέλου ελέγχου μιας κυψέλης με χρήση μικροελεγκτή. Η διάταξη θα καταγράφει τις θερμοκρασίες μέσα και έξω από την κυψέλη καθώς και το βάρος της. Επιπλέον, θα μας ειδοποιεί για τις τιμές που προκύπτουν με SMS και θα έχει την δυνατότητα να ενεργοποιήσει έναν βηματικό κινητήρα με σκοπό να τροφοδοτήσουμε το μελίτσι όταν αυτό κρίνεται απαραίτητο. Η διάταξη αποτελείται από τα επιμέρους τμήματα:

- Μικροελεγκτή Arduino UNO
- Arduino Motor ShieldR3 για έλεγχο και τροφοδότηση του κινητήρα
- Βηματικό κινητήρα - Stepper Motor SM-42BYG011-25
- GSM shield Arduino για την αποστολή μηνυμάτων
- Έναν αισθητήρα πίεσης flexi force – 100 lbs
- Δύο αισθητήρες θερμοκρασίας LM35
- Μία κυψέλη
- Μία ταϊστρα

Παρακάτω θα αναλύσουμε το κάθε τμήμα ξεχωριστά.

##### 3.1.1 Arduino UNO

Για την υλοποίηση του μοντέλου επιλέχτηκε η χρήση της πλακέτας Arduino Uno, λόγω των πολλών δυνατοτήτων του και της χαμηλής τιμής του. Το Arduino Uno είναι μία πλακέτα μικροελεγκτή με βάση τον ATmega 328P. Πρόκειται για μια ηλεκτρονική πλατφόρμα ανοιχτού λογισμικού. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί από οποιονδήποτε που ενδιαφέρεται να δημιουργήσει διαδραστικές εφαρμογές. Μπορεί να δεχθεί σαν είσοδο μια ποικιλία από αναλογικά ή ψηφιακά σήματα και να ελέγχει σύμφωνα με τα σήματα αυτά κάποιες περιφερειακές συσκευές που θα είναι συνδεδεμένες σε αυτόν, όπως LEDs, διακόπτες, κινητήρες κ.τ.λ. Ο μικροελεγκτής του προγραμματίζεται χρησιμοποιώντας την γλώσσα προγραμματισμού Arduino (βλέπε παράρτημα 1).



Εικόνα 3.1 Arduino UNO

### Χαρακτηριστικά Arduino UNO

Το Arduino UNO επιλέχθηκε γιατί τα pins που διαθέτει επαρκούν για όλες τις λειτουργίες και έτσι καλύπτει όλες τις ανάγκες της εργασίας. Στον παρακάτω πίνακα 3.1 φαίνονται τα χαρακτηριστικά της πλακέτας.

Πίνακας 3.1 Χαρακτηριστικά Aduino UNO

Μικροελεγκτής	ATMEGA328
Τάση λειτουργίας	5V
Τάση εισόδου(συνίσταται)	7-12V
Όρια τάσης εισόδου	6-20V
Ψηφιακοί ακροδέκτες I/O	14 (6 εκ των οποίων PWM έξοδο)
Αναλογικοί ακροδέκτες εισόδου	6
Ισχύς συνεχόμενου ρεύματος ανά ακροδέκτη	40 mA
Ισχύς συνεχόμενου ρεύματος για ακροδέκτη τάσης 3.3 V	50 mA
Μνήμη flash	32KB (ATMEGA328)
Μνήμη SRAM	2KB (ATMEGA328)
Μνήμη EEPROM	1KB (ATMEGA328)
Ταχύτητα ρολογιού	16MHz

## Τροφοδοσία

Το Arduino Uno μπορεί να τροφοδοτηθεί με ρεύμα είτε από τον υπολογιστή μέσω της σύνδεσης USB, είτε από εξωτερική τροφοδοσία που παρέχεται μέσω μιας υποδοχής φισ των 2.1 mm (θετικός πόλος στο κέντρο) και βρίσκεται στην κάτω-αριστερή γωνία του Arduino. Για να μην υπάρχουν προβλήματα, η εξωτερική τροφοδοσία πρέπει να είναι από 7 ως 12V και μπορεί να προέρχεται από ένα κοινό μετασχηματιστή του εμπορίου, από μπαταρίες ή οποιαδήποτε άλλη πηγή DC. [34]

Οι ακροδέκτες τροφοδοσίας είναι οι ακόλουθοι:

**Vin:** Η τάση εισόδου της πλακέτας όταν χρησιμοποιεί εξωτερική πηγή ενέργειας. Η τροφοδοσία τάσης γίνεται μέσω αυτού του ακροδέκτη. Αν τροφοδοτηθεί με τάση από τον ακροδέκτη τροφοδοσίας (jack), έχει πρόσβαση σε αυτή μέσω του ακροδέκτη Vin.

**5V:** Η τάση που χρησιμοποιείται από τα διάφορα μέρη της πλακέτας και το μικροελεγκτή είναι 5V. Η τάση αυτή, την οποία δίνει αυτός ο ακροδέκτης, είναι είτε η τάση 5V που δίνει η σύνδεση με USB, είτε η ρυθμισμένη τάση που δίνεται μέσω του Vin.

**3.3V:** Η τάση αυτή παράγεται από το ολοκληρωμένο FTDI. Το όριο άντλησης ρεύματος είναι 50mA.

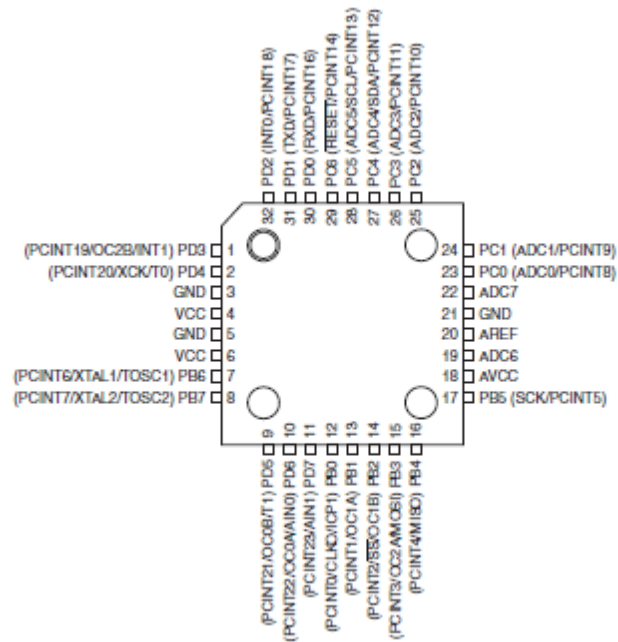
**GND:** Είσοδοι εδάφους.

## Μικροελεγκτής Atmega 328P



Εικόνα 3.2 Μικροελεγκτής Atmega 328P

Ο μικροελεγκτής ATmega328P ανήκει στην οικογένεια AVR των μικροελεγκτών της ATMEL. Οι μικροελεγκτές AVR χρησιμοποιούν τροποποιημένη Αρχιτεκτονική Harvard 8 bit RISC και αναπτύχθηκαν από την ATMEL για πρώτη φορά το 1996. Η AVR ήταν μια από τις οικογένειες μικροελεγκτών που έκαναν χρήση της on-chip μνήμης flash για την αποθήκευση του προγράμματος, σε αντίθεση με τα programmable ROM, EPROM ή EEPROM που χρησιμοποιούνται από άλλους μικροελεγκτές. [35]



**Εικόνα 3.3** Οι ακροδέκτες του ATmega328P

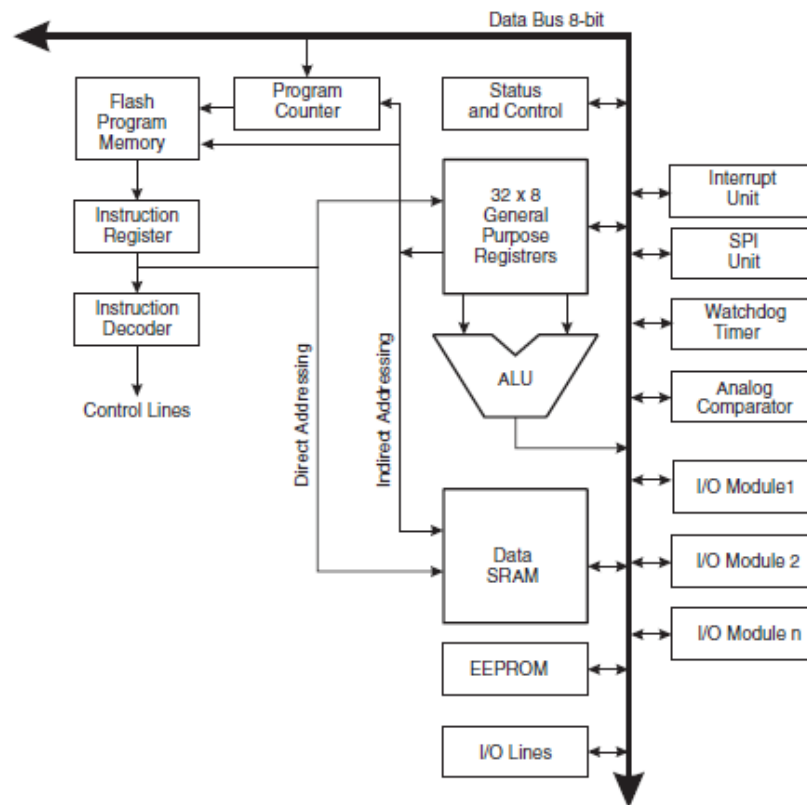
Τα βασικά χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου μικροελεγκτή είναι:

- Αναβαθμισμένη RISC αρχιτεκτονική
  - 131 πολύ ισχυρές εντολές - οι περισσότερες απαιτούν μόνο ένα κύκλο ρολογιού για την εκτέλεση τους
  - 32 καταχωρητές μεγέθους 8-bit γενικής χρήσης
  - Μέχρι 20 MIPS στα 16MHz
  - On chip πολλαπλασιαστής 2 κύκλων
- Μνήμη προγράμματος και δεδομένων
  - 32 KB Αυτοπρογραμματιζόμενη μνήμη flash
  - 1 KB EEPROM μνήμη
  - 2 KB εσωτερική SRAM
- Πλήθος περιφερειακών
  - 2 timers 8-bit με ξεχωριστά ρολόγια
  - 1 timer 16-bit με ξεχωριστό ρολόι
  - Μετρητής πραγματικού χρόνου με εξωτερικό κρύσταλλο
  - 14 γραμμές για ψηφιακή είσοδο/έξοδο (6 εκ των οποίων υποστηρίζουν PWM)

- 6 γραμμές για αναλογική είσοδο (με 10-bit αναλογο-ιμηνιακό μετατροπέα ADC)
- Master/ Slave SPI λειτουργία
- Σειριακή θύρα με δυνατότητες σύγχρονης και ασύγχρονης λειτουργίας
- Watchdog timer με ξεχωριστό κρύσταλλο
- On-chip αναλογικό συγκριτή
- Ειδικά χαρακτηριστικά
- Reset αυτόματα με την τροφοδότηση
- Εσωτερικό ρολόι
- Εσωτερικές και εξωτερικές διακοπές
- 6 sleep modes για εξοικονόμηση ενέργειας
- Ταχύτητα έως 16MHz

Η αρχιτεκτονική Harvard έχει τη μνήμη προγράμματος και τη μνήμη δεδομένων ως χωριστές μνήμες που προσεγγίζεται από χωριστούς δίαυλους (bus). Αυτό βελτιώνει το εύρος ζώνης πέρα από την παραδοσιακή αρχιτεκτονική Von Neumann στην οποία το πρόγραμμα και τα δεδομένα προσκομίζονται από την ίδια μνήμη χρησιμοποιώντας τον ίδιο δίαυλο. Για να εκτελέσει μία εντολή, μία μηχανή Von Neumann πρέπει να κάνει γενικά περισσότερες προσβάσεις στον δίαυλο για να προσκομίσει την πληροφορία. Κατόπιν, τα δεδομένα μπορεί να πρέπει να μεταφερθούν μέσω του διαύλου, να χρησιμοποιηθούν στην αριθμητική και λογική μονάδα, και ενδεχομένως να τοποθετηθούν σε νέα θέση μνήμης.

Όπως μπορεί κανείς να δει από αυτή την περιγραφή, η αρχιτεκτονική αυτή μπορεί να δημιουργήσει «κυκλοφοριακή συμφόρηση» ή ακόμη και κορεσμό. Με την αρχιτεκτονική Harvard, η πληροφορία προσκομίζεται σε έναν απλό κύκλο ρολογιού. Ενώ η μνήμη προγράμματος προσπελαύνεται, η μνήμη δεδομένων είναι σε ανεξάρτητο δίαυλο και μπορεί να διαβαστεί και να γραφτεί. Αυτοί οι χωρισμένοι δίαυλοι επιτρέπουν σε μία εντολή την εκτέλεση, ενώ η επόμενη εντολή προσκομίζεται. [35]



Εικόνα 3.4 Αρχιτεκτονική του ATmega328P

## Μνήμη

Ο μικροεπεξεργαστής ATmega328 έχει τρεις ομάδες μνήμης. Διαθέτει **Flash** memory, στην οποία αποθηκεύονται τα Arduino sketch, **SRAM** (static random access memory), στην οποία δημιουργείται το sketch και χρησιμοποιεί τις μεταβλητές όταν τρέχει, και **EEPROM**, η οποία χρησιμοποιείται από τους προγραμματιστές για την αποθήκευση μακροχρόνιων πληροφοριών. [36]

- 2KB μνήμης SRAM που είναι η ωφέλιμη μνήμη που μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα προγράμματά για να αποθηκεύουν μεταβλητές, πίνακες κ.λπ. κατά το runtime. Όπως και σε έναν υπολογιστή, αυτή η μνήμη χάνει τα δεδομένα της όταν η παροχή ρεύματος στο Arduino σταματήσει ή αν γίνει reset.

- 1KB μνήμης EEPROM η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για «ωμή» εγγραφή/ανάγνωση δεδομένων (χωρίς datatype) ανά byte από τα προγράμματα κατά το runtime. Σε αντίθεση με την SRAM, η EEPROM δε χάνει τα περιεχόμενά της με απώλεια τροφοδοσίας ή reset οπότε είναι το ανάλογο του σκληρού δίσκου.

- 32KB μνήμης Flash, από τα οποία τα 2KB χρησιμοποιούνται από το firmware του Arduino που έχει εγκαταστήσει ήδη ο κατασκευαστής του. Το firmware αυτό που στην ορολογία του Arduino ονομάζεται bootloader είναι αναγκαίο για την εγκατάσταση προγραμμάτων στο μικροελεγκτή μέσω της θύρας USB, χωρίς δηλαδή να χρειάζεται εξωτερικός hardware programmer. Τα υπόλοιπα 30KB της μνήμης Flash

χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση αυτών ακριβώς των προγραμμάτων, αφού πρώτα μεταγλωττιστούν στον υπολογιστή. Η μνήμη Flash, όπως και η EEPROM δε χάνει τα περιεχόμενά της με απώλεια τροφοδοσίας ή reset. Επίσης, ενώ η μνήμη Flash υπό κανονικές συνθήκες δεν προορίζεται για χρήση runtime μέσα από τα προγράμματα, λόγω της μικρής συνολικής μνήμης που είναι διαθέσιμη σε αυτά (2KB SRAM + 1KB EEPROM), έχει σχεδιαστεί μια βιβλιοθήκη που επιτρέπει τη χρήση όσου χώρου περισσεύει (30KB μείον το μέγεθος του προγράμματός σας σε μεταγλωτισμένη μορφή).

### Ακροδέκτες του Arduino

Το Arduino διαθέτει σειριακό interface. Ο μικροελεγκτής ATmega υποστηρίζει σειριακή επικοινωνία, την οποία το Arduino προωθεί μέσα από έναν ελεγκτή Serial-over-USB ώστε να συνδέεται με τον υπολογιστή μέσω USB. Η σύνδεση αυτή χρησιμοποιείται για τη μεταφορά των προγραμμάτων που σχεδιάζονται από τον υπολογιστή στο Arduino, αλλά και για αμφίδρομη επικοινωνία του Arduino με τον υπολογιστή μέσα από το πρόγραμμα την ώρα που εκτελείται. Επιπλέον, στην πάνω πλευρά του Arduino βρίσκονται 14 ψηφιακοί ακροδέκτες, αριθμημένα από 0 ως 13. Κάθε ένας από τους 14 ψηφιακούς ακροδέκτες στο Arduino Uno μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως είσοδος ή έξοδος.

Όλοι αυτοί οι ακροδέκτες λειτουργούν σε 5 V. Κάθε είσοδος μπορεί να παρέχει ή να λάβει ένα μέγιστο 40 mA και έχει μία εσωτερική pull-up αντίσταση των 20 - 50 kΩ. Ως ψηφιακή έξοδος, ένας από αυτούς του ακροδέκτες μπορεί να τεθεί από το πρόγραμμά σας σε κατάσταση HIGH ή LOW, οπότε το Arduino θα ξέρει αν πρέπει να διοχετεύσει ή όχι ρεύμα στο συγκεκριμένο ακροδέκτη. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να ανάβει και να σβήνει ένα LED που είναι συνδεδεμένο στο συγκεκριμένο ακροδέκτη. Αν πάλι ρυθμιστεί ένας από αυτούς του ακροδέκτες ως ψηφιακή είσοδος μέσα από το πρόγραμμα, μπορεί με την κατάλληλη εντολή να διαβάσει την κατάστασή του (HIGH ή LOW) ανάλογα με το αν η εξωτερική συσκευή που έχει συνδεθεί σε αυτόν τον ακροδέκτη διοχετεύει ή όχι ρεύμα στον ακροδέκτη. Μερικοί από αυτούς τους 14 ακροδέκτες, εκτός από ψηφιακές εισοδοί/έξοδοι έχουν και δεύτερη λειτουργία. [37] Συγκεκριμένα:



Εικόνα 3.5 Ψηφιακοί ακροδέκτες



- Οι ακροδέκτες 0 και 1 λειτουργούν ως RX και TX της σειριακής θύρας όταν το πρόγραμμά ενεργοποιεί τη σειριακή θύρα. Έτσι, όταν το πρόγραμμά στέλνει δεδομένα στη σειριακή θύρα, αυτά προωθούνται και στη θύρα USB μέσω του ελεγκτή Serial-Over-USB, αλλά και στον ακροδέκτη 0 για να τα διαβάσει ενδεχομένως μια άλλη συσκευή. Αυτό φυσικά σημαίνει ότι αν στο πρόγραμμά ενεργοποιήσει το σειριακό interface, χάνει 2 ψηφιακές εισόδους/εξόδους η πλατφόρμα.
- Οι ακροδέκτες 2 και 3 λειτουργούν και ως εξωτερικά interrupt (interrupt 0 και 1 αντίστοιχα). Ρυθμίζονται μέσα από το πρόγραμμά ώστε να λειτουργούν αποκλειστικά ως ψηφιακές εισοδοι στις οποίες όταν συμβαίνουν συγκεκριμένες αλλαγές, η κανονική ροή του προγράμματος σταματάει άμεσα και εκτελείται μια συγκεκριμένη συνάρτηση. Τα εξωτερικά interrupt είναι ιδιαίτερα χρήσιμα σε εφαρμογές που απαιτούν συγχρονισμό μεγάλης ακρίβειας.
- Οι ακροδέκτες 3, 5, 6, 9, 10 και 11 μπορούν να λειτουργήσουν και ως ψευδοαναλογικές έξοδοι με το σύστημα PWM (Pulse Width Modulation), το ίδιο σύστημα που διαθέτουν οι μητρικές των υπολογιστών για να ελέγχουν τις ταχύτητες των ανεμιστήρων.



**Εικόνα 3.6** Αναλογικοί ακροδέκτες

Στην κάτω πλευρά του Arduino, με τη σήμανση ANALOG IN, υπάρχει μια ακόμη σειρά από 6 pin, αριθμημένα από το 0 ως το 5. Το καθένα από αυτά λειτουργεί ως αναλογική είσοδος κάνοντας χρήση του ADC (Analog to Digital Converter) που είναι ενσωματωμένο στον μικροελεγκτή. Για παράδειγμα, μπορούμε να τροφοδοτήσουμε ένα από αυτά με μια τάση την οποία μπορούμε να κυμάνουμε με ένα ποτενσιόμετρο από 0V ως μια τάση αναφοράς  $V_{ref}$  η οποία, αν δεν κάνουμε κάποια αλλαγή είναι προ-ρυθμισμένη στα 5V. Τότε, μέσα από το πρόγραμμά μας μπορούμε να «διαβάσουμε» την τιμή του pin ως ένα ακέραιο αριθμό ανάλυσης 10-bit, από 0 (όταν η τάση στο pin είναι 0V) μέχρι 1023 (όταν η τάση στο pin είναι 5V). Η τάση αναφοράς μπορεί να ρυθμιστεί με μια εντολή στο 1.1V (μεταξύ 2 και 5V) τροφοδοτώντας εξωτερικά με αυτή την τάση το pin με τη σήμανση AREF που βρίσκεται στην απέναντι πλευρά της πλακέτας. Έτσι, αν τροφοδοτηθεί ο ακροδέκτης AREF με 3.3V και στη συνέχεια διαβάσει κάποιον ακροδέκτη αναλογικής εισόδου στο οποίο εφαρμόζεται τάση 1.65V, το Arduino θα επιστρέψει την τιμή 512.



Τέλος, καθένα από τα 6 αυτά pin, με κατάλληλη εντολή μέσα από το πρόγραμμα μπορεί να μετατραπεί σε ψηφιακό pin εισόδου/εξόδου όπως τα 14 που βρίσκονται στην απέναντι πλευρά και τα οποία περιγράφηκαν πριν. Σε αυτή την περίπτωση τα pin μετονομάζονται από 0~5 σε 14~19 αντίστοιχα. [37]

### Διασύνδεση

Το Arduino Uno έχει τη δυνατότητα επικοινωνίας με υπολογιστή, άλλες ίδιες πλακέτες ή άλλους μικροελεγκτές. Παρέχεται η δυνατότητα σειριακής επικοινωνίας μέσω USB θύρας και τους FTDI οδηγούς (drivers). Το λογισμικό που παρέχεται μας επιτρέπει να στέλνουμε εντολές ή δεδομένα γενικά από και προς την πλακέτα και να φορτώσουμε το πρόγραμμα στον bootloader, το οποίο θα εκτελεί αυτόματα η πλακέτα. Για τη διαχείριση του Arduino από τον υπολογιστή χρησιμοποιείται το Arduino IDE. [35] Το Arduino IDE είναι βασισμένο σε Java και συγκεκριμένα παρέχει:

- ένα πρακτικό περιβάλλον για τη συγγραφή των προγραμμάτων (τα οποία ονομάζονται sketch στην ορολογία του Arduino) με συντακτική χρωματική σήμανση, μερικές έτοιμες βιβλιοθήκες για προέκταση της,
- τον compiler για τη μεταγλώττιση των sketch,
- ένα serial monitor που παρακολουθεί τις επικοινωνίες της σειριακής (USB), αναλαμβάνει να στείλει αλφαριθμητικά στο Arduino μέσω αυτής και είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για το debugging των sketch
- και την επιλογή για ανέβασμα των μεταγλωττισμένων sketch στο Arduino.

### SOFTWARE

Το ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης (IDE) του Arduino είναι μια εφαρμογή γραμμένη σε Java, που λειτουργεί σε πολλές πλατφόρμες, και προέρχεται από το IDE για τη γλώσσα προγραμματισμού Processing και το σχέδιο Wiring. Έχει σχεδιαστεί για να εισαγάγει τον προγραμματισμό στους καλλιτέχνες και τους νέους που δεν είναι εξοικειωμένοι με την ανάπτυξη λογισμικού. Περιλαμβάνει ένα πρόγραμμα επεξεργασίας κώδικα με χαρακτηριστικά όπως είναι η επισήμανση σύνταξης, ο συνδυασμός αγκύλων και η αυτόματη εσοχή, καθώς επίσης είναι σε θέση να μεταγλωττίζει και να φορτώνει προγράμματα στην πλακέτα με ένα μόνο κλικ. Συνήθως δεν υπάρχει καμία ανάγκη να επεξεργαστούμε make files ή να τρέξουμε προγράμματα σε ένα περιβάλλον γραμμής εντολών. Με τον όρο «σκίτσο» αναφερόμαστε σε ένα πρόγραμμα ή κώδικα που γράφτηκε για Arduino.

Τα Arduino προγράμματα είναι γραμμένα σε C ή C + +. Το Arduino IDE έρχεται με μια βιβλιοθήκη λογισμικού που ονομάζεται "Wiring" από το αρχικό σχέδιο Wiring, γεγονός που καθιστά πολλές κοινές λειτουργίες εισόδου / εξόδου πολύ πιο εύκολες. [38] Οι χρήστες πρέπει μόνο να ορίσουν δύο λειτουργίες για να κάνουν ένα πρόγραμμα κυκλικής εκτέλεσης:

Ένα τυπικό πρώτο πρόγραμμα για έναν μικροελεγκτή είναι απλά όταν αναβοσβήνει ένα LED. Στο περιβάλλον Arduino, ο χρήστης μπορεί να γράψει ένα πρόγραμμα σαν αυτό:

```
#define LED_PIN 13

void setup () {
  pinMode (LED_PIN, OUTPUT); // enable pin 13 for digital output
}

void loop () {
  digitalWrite (LED_PIN, HIGH); // turn on the LED
  delay (1000); // wait one second (1000 milliseconds)








  digitalWrite (LED_PIN, LOW); // turn off the LED
  delay (1000); // wait one second
}
```

Είναι ένα χαρακτηριστικό των περισσότερων πλακετών Arduino ότι έχουν ένα LED και μια αντίσταση φορτίου που συνδέονται μεταξύ του pin 13 και του εδάφους. Ο προηγούμενος κωδικός δεν θα μπορέσει να αναγνωριστεί από έναν κανονικό μεταγλωττιστή C++ ως έγκυρο πρόγραμμα, έτσι ώστε όταν ο χρήστης κάνει κλικ στο κουμπί "Upload to I/O board" στο IDE, ένα αντίγραφο του κώδικα θα γραφτεί σε ένα προσωρινό αρχείο με ένα επιπλέον include στην κορυφή και μια πολύ απλή συνάρτηση main() στο κάτω μέρος, για να φτιάξει ένα έγκυρο C++ πρόγραμμα. Το IDE του Arduino χρησιμοποιεί το GNU toolchain και AVR libc για την μεταγλώττιση των προγραμμάτων και το avrdude για την φόρτωση προγραμμάτων στην πλακέτα. Δεδομένου ότι η πλατφόρμα Arduino χρησιμοποιεί Atmel μικροελεγκτές, το περιβάλλον ανάπτυξης της Atmel, AVR Studio ή η νεότερη έκδοση του Atmel Studio, μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη λογισμικού για το Arduino. [38]

### Το περιβάλλον ανάπτυξης

Το περιβάλλον ανάπτυξης (IDE) του Arduino είναι μία πολυπλατφορμική εφαρμογή γραμμένη σε Java και βασίζεται στο περιβάλλον της γλώσσας προγραμματισμού Processing.

Πίνακας 3.2 Λειτουργίες του IDE

	Έλεγχος του κώδικα για λάθη.
	Τερματισμός της σειριακής κονσόλας.
	Δημιουργία νέου έργου (sketch)
	Παρουσίαση μενού με όλα τα αποθηκευμένα έργα. Πατώντας σε ένα απο αυτά ανοίγει για επεξεργασία.
	Αποθήκευση του έργου.
	Μεταγλώπιση του κώδικα και ανέβασμά του στο Arduino.
	Εμφάνιση της σειριακής κονσόλας. Αποστολή και λήψη δεδομένων που στάλθηκαν μέσω της σειριακής θύρας.

❖ *Ρυθμίσεις του περιβάλλοντος ανάπτυξης*

Οι βασικές ρυθμίσεις που πρέπει να κάνουμε από την στιγμή που ενώσουμε το Arduino στο σύστημά μας είναι:

1. Από το μενού Tools -> Board επιλέγουμε την πλακέτα που έχουμε
2. Από το μενού Tools -> Serial Port επιλέγουμε την σειριακή θύρα ή τη θύρα USB που έχουμε συνδεδεμένο το Arduino.

Οι ρυθμίσεις που αφορούν το μέγεθος του κειμένου, τον φάκελο αποθήκευσης και τη χρήση εξωτερικού κειμενογράφου βρίσκονται στη καρτέλα Preferences

❖ *Δομή προγράμματος*

Η δομή ενός τυπικού προγράμματος του Arduino είναι η εξής:

```
// δηλώσεις μεταβλητών void
setup() {
// αρχικοποιήσεις
}
Void loop () {
//...
```

Υπάρχουν δυο βασικές συναρτήσεις σε ένα τυπικό πρόγραμμα.

Η συνάρτηση setup() όπου εκτελείται στην αρχή του προγράμματος και για μία μόνο φορά. Χρησιμοποιείται για τις αρχικοποιήσεις των μεταβλητών, τις δηλώσεις των pin (αν θα είναι είσοδος ή έξοδος) και τις αρχικοποιήσεις των βιβλιοθηκών.

Η συνάρτηση loop() κάνει όπου ο κώδικας που γράφεται μέσα στη συνάρτηση αυτή επαναλαμβάνεται συνεχώς δίνοντας την δυνατότητα στο πρόγραμμά μας να αλλάζει τιμές και το Arduino να ανταποκρίνεται ανάλογα. [39]

### ❖ **Μεταβλητές**

Μεταβλητή στη γλώσσα προγραμματισμού ονομάζουμε ένα γλωσσικό αντικείμενο που μπορεί να λάβει διάφορες τιμές, μία κάθε φορά. Οι τιμές μιας μεταβλητής περιορίζονται συνήθως σε ένα τύπο δεδομένων.

Οι βασικοί τύποι δεδομένων στο Arduino είναι:

**byte:** αποθηκεύει μια αριθμητική τιμή 8-bit χωρίς δεκαδικά ψηφία, παίρνουν τιμές από 0 μέχρι 255.

**int:** ακραίοι, παίρνουν τιμές από -32,768 μέχρι 32767.

**long:** μεγάλο μέγεθος ακραίοι, παίρνουν τιμές από -2,147,483,648 μέχρι 2,147,483,647

**float:** πραγματικοί αριθμοί, παίρνουν τιμές από  $3.4 \times 10^{-38}$  μέχρι  $3.4 \times 10^{38}$

Τις μεταβλητές μπορούμε να τις δηλώσουμε στην αρχή του προγράμματός μας: `int myvariable;`

Μπορούμε επίσης να δώσουμε αρχική τιμή στη μεταβλητή ταυτόχρονα με τη δήλωσή της: `int myvariable = 47;`

### ❖ **Σταθερές**

Οι σταθερές είναι αντικείμενα τα οποία παίρνουν μόνο μία τιμή, και δηλώνονται μαζί με τις μεταβλητές: `#define ledPin 13`

### ❖ **Πίνακες - Arrays**

Πίνακα ονομάζουμε τη διάταξη δεδομένων μιας ή περισσότερων διαστάσεων η οποία είναι συγκεκριμένου τύπου δεδομένων. Για παράδειγμα αν έχουμε ένα πίνακα ακραίων 5 θέσεων τον οποίο ονομάζουμε `myarray` τον δηλώνουμε όπως βλέπουμε παρακάτω: `int myarray[5];`

Για να δώσουμε τιμή στο τέταρτο στοιχείο του πίνακα `myarray` γράφουμε: `myarray[3] = 12;`

επίσης μπορούμε να γεμίσουμε τον πίνακα ταυτόχρονα με την δήλωσή του: `int myarray[] = {12, 45, 32, 61, 55};`

### ❖ **Αριθμητικοί τελεστές**

- ❖ Οι αριθμητικοί τελεστές καλύπτουν τις βασικές πράξεις: πρόσθεση, αφαίρεση, πολλαπλασιασμό, διαίρεση (+, -, \*, /). Για παράδειγμα μπορούμε να κάνουμε την πρόσθεση δύο ακέραιων και το αποτέλεσμα να εκχωρηθεί σε μία μεταβλητή:

sum = 458 + 954;

### ❖ Τελεστές σύγκρισης

Με τους τελεστές σύγκρισης μπορούμε να ελέγξουμε αν μία συγκεκριμένη συνθήκη μεταξύ μεταβλητών ή σταθερών είναι “Αληθής”. Ποιο συγκεκριμένα υπάρχουν οι παρακάτω τελεστές σύγκρισης:

$x == y$  το  $x$  είναι ίσο με το  $y$

$x != y$  το  $x$  είναι άνισο του  $y$

$x < y$  το  $x$  είναι μικρότερο με το  $y$

$x > y$  το  $x$  είναι μεγαλύτερο με το  $y$

$x <= y$  το  $x$  είναι μικρότερο ή ίσο με το  $y$

$x >= y$  το  $x$  είναι μεγαλύτερο ή ίσο με το  $y$

### ❖ Λογικοί τελεστές

Με τους λογικούς τελεστές μπορούμε να συγκρίνουμε δύο ή περισσότερες εκφράσεις, δίνοντας αποτέλεσμα “Αληθής” ή “Ψευδής”. Υπάρχουν τρεις λογικοί τελεστές:

Λογικό ΚΑΙ && - επιστρέφει “Αληθής” αν όλες οι εκφράσεις είναι “Αληθείς”

Λογικό Ή || - επιστρέφει “Αληθής” αν μία από τις εκφράσεις είναι “Αληθείς”

Λογικό ΟΧΙ ! - επιστρέφει “Αληθής” αν η έκφραση είναι “Ψευδής”

Παράδειγμα: `if(x > 0 && x < 5){`

`//κώδικας`

Στο παραπάνω κομμάτι κώδικα γίνεται έλεγχος αν το  $x$  είναι μεγαλύτερο από το 0 και μικρότερο από 5 τότε εκτελείται ο κώδικας που βρίσκεται μέσα στις αγκύλες. Με λίγα λόγια η πρόταση `if()` ελέγχει αν η συνθήκη μέσα στις παρενθέσεις είναι “Αληθής”.

Ένα άλλο παράδειγμα:

`if(!x > 0){`

`//κώδικας`

`}`

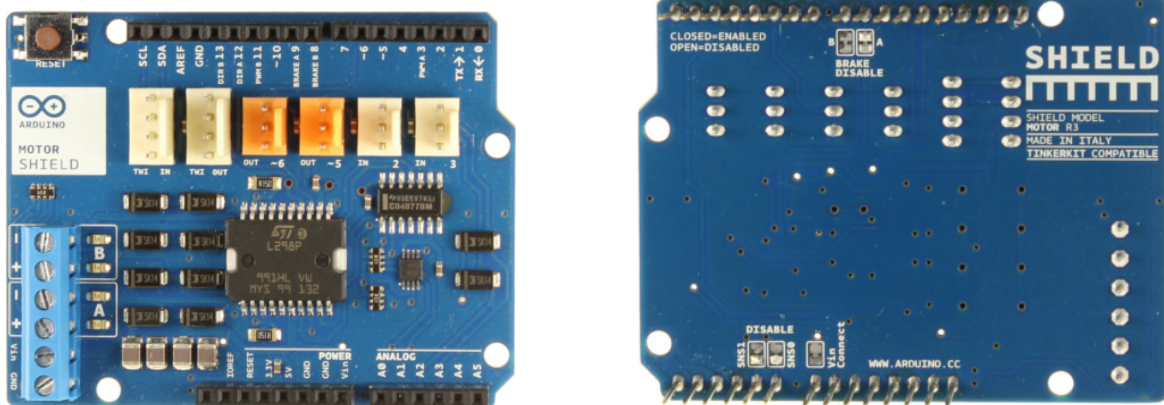
Εδώ γίνεται έλεγχος αν το  $x$  είναι μεγαλύτερο από 0, αν αυτή η συνθήκη ΔΕΝ ισχύει τότε έχουμε το αποτέλεσμα “Αληθής” και εκτελείται ο κώδικας μέσα στις αγκύλες.

## ❖ Ψηφιακή έξοδος

Το Arduino Diecimila αποτελείται από δεκατρία ψηφιακά pin, τα οποία μπορούμε να τα χρησιμοποιήσουμε το κάθε ένα ξεχωριστά, είτε για είσοδο είτε για έξοδο. Μπορούμε να τα προγραμματίσουμε να συμπεριφέρονται όπως εμείς θέλουμε, αρκεί να κάνουμε τις σωστές δηλώσεις στο κώδικα που θα φορτώσουμε στη πλακέτα. Η έξοδος του κάθε pin μπορεί να προγραμματιστεί να δίνει τιμές HIGH ή LOW. Λέγοντας HIGH ενώνουμε το δυαδικό '1' και έχουμε τάση εξόδου 5 V DC, ενώ το LOW είναι το δυαδικό '0' και έχει τάση εξόδου 0 V DC (ground). [39]

### 3.1.2 Arduino Motor ShieldR3

Το Arduino Motor Shield βασίζεται στην L298, η οποία είναι μια πλήρη γέφυρα διπλής οδήγησης σχεδιασμένη να οδηγεί επαγωγικά φορτία όπως ρελέ, πηνία, DC και βηματικούς κινητήρες. Μας επιτρέπει να οδηγούμε δύο κινητήρες συνεχούς ρεύματος με Arduino, ελέγχοντας την ταχύτητα και την κατεύθυνση του καθενός ξεχωριστά. Μπορούμε επίσης να μετρήσουμε την απορρόφηση ρεύματος του κάθε κινητήρα, μεταξύ άλλων χαρακτηριστικών γνωρισμάτων. Είναι συμβατό με TinkerKit.



Εικόνα 3.7 α) ArduinoMotorShieldR3 – μπροστινή όψη β) ArduinoMotorShieldR3 – οπίσθια όψη

Χαρακτηριστικά του Arduino Motor Shield:

Τάση Λειτουργίας	5V - 12V
Ελεγκτής κινητήρα	L298P, Οδηγεί 2 DC κινητήρες ή 1 βηματικό κινητήρα
Μέγιστη Ένταση Ρεύματος	2A ανά κανάλι ή 4A μέγιστο (με εξωτερικό τροφοδοτικό)
Ανιχνευτής Ρεύματος	1.65V/A

Έχει δύο χωριστά κανάλια, το A και B. Το καθένα χρησιμοποιεί 4 ακροδέκτες Arduino για να οδηγήσει τον κινητήρα. Στο σύνολο υπάρχουν 8 ακροδέκτες σε λειτουργία .

Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε κάθε κανάλι χωριστά για να οδηγήσουμε δύο DC κινητήρες ή έναν βηματικό κινητήρα. [40]

**Πίνακας 3.3** Λειτουργία Arduino Motor ShieldR3

Function	pins per Ch. A	pins per Ch. B
Direction	D12	D13
PWM	D3	D11
Brake	D9	D8
Current Sensing	A0	A1

### 3.1.3 Βηματικός Κινητήρας - Stepper motor SM-42BYG011-25

Ο βηματικός κινητήρας που χρησιμοποιούμε είναι ο βηματικός κινητήρας με κωδικό SM-42BYG011-25 της εταιρίας MERCURY MOTORS (βλ. Σχήμα 3.8).

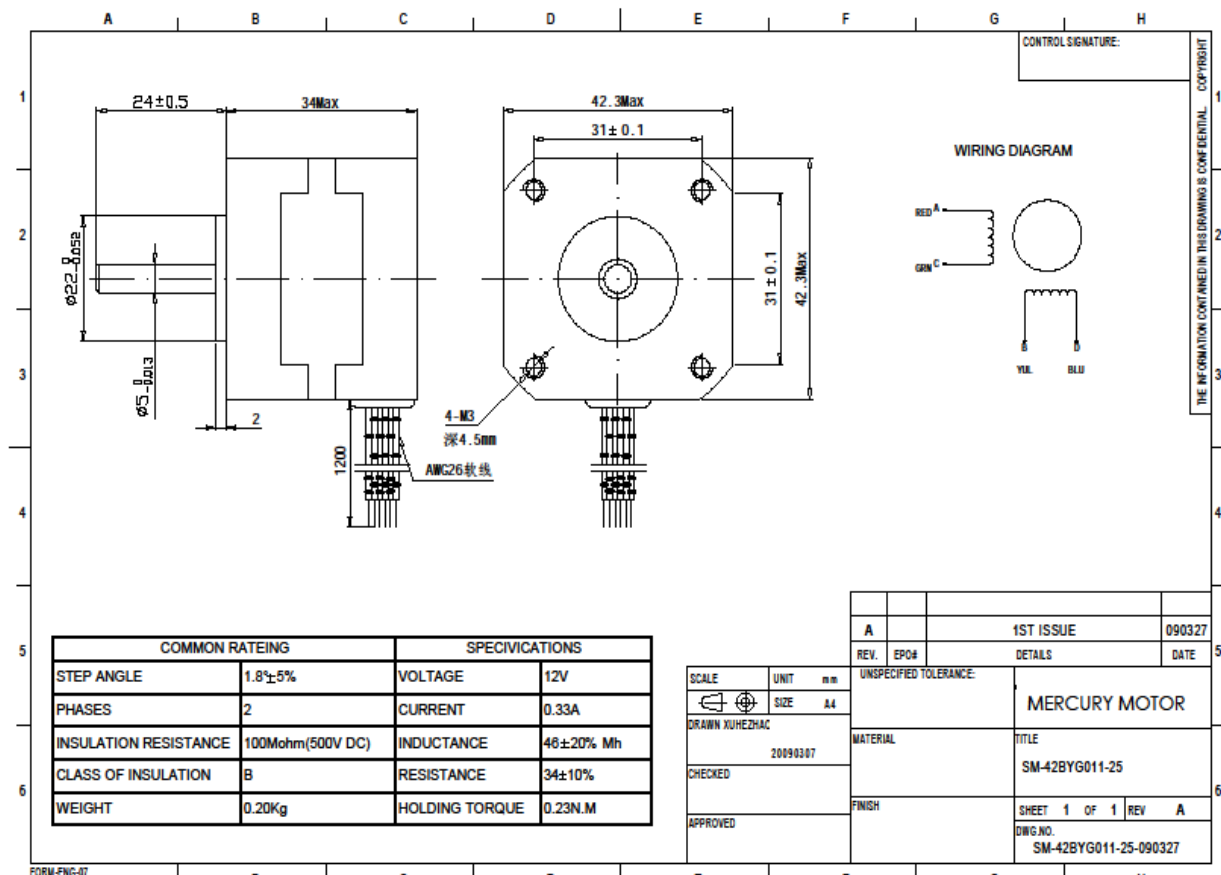


**Εικόνα 3.8** Βηματικός Κινητήρας SM-42BYG011-25

Βασικά χαρακτηριστικά:

- Υβριδικός
- Κατάλληλος για διπολική οδήγηση
- Διαθέτει δυο τυλίγματα (φάσεις) με ακροδέκτες κόκκινο – πράσινο και κίτρινο – μπλέ
- 200 βήματα ανά περιστροφή (1.8 μοίρες)
- Τάση λειτουργίας 12V
- Ονομαστικό ρεύμα 330mA
- Ροπή στρέψης 0,23 Nm
- Βάρος 200g [41]

Στο Σχήμα 3.9 απεικονίζεται το datasheet του κινητήρα.



Εικόνα 3.9 Datasheet του κινητήρα SM-42BYG011-25 [42]

### 3.1.4 GSM Shield for Arduino UNO/MEGA/Leonardo

Το Global System for Mobile communications (Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών), συντμ. GSM είναι ένα κοινό Ευρωπαϊκό ψηφιακό σύστημα κινητής τηλεφωνίας.

Το GSM είναι ένα κυψελοειδές ψηφιακό σύστημα κινητής τηλεφωνίας δεύτερης γενιάς (2G), το οποίο χρησιμοποιεί ηλεκτρομαγνητικά σήματα και την τεχνική πολλαπλής πρόσβασης με διαχωρισμό του διαθέσιμου φάσματος συχνοτήτων σε ένα αριθμό καναλιών και την διαίρεση αυτών σε χρονοθυρίδες για την μετάδοση σημάτων.





Εικόνα 3.10 α) Arduino GSM Shield Μπροσινή όψη β) Arduino GSM Shield Οπίσθια όψη

Το Arduino GSM Shield συνδέει το Arduino στο Internet χρησιμοποιώντας το ασύρματο δίκτυο GPRS . Συνδέουμε αυτό το module στην πλατφόρμα Arduino και μετά μια κάρτα SIM.

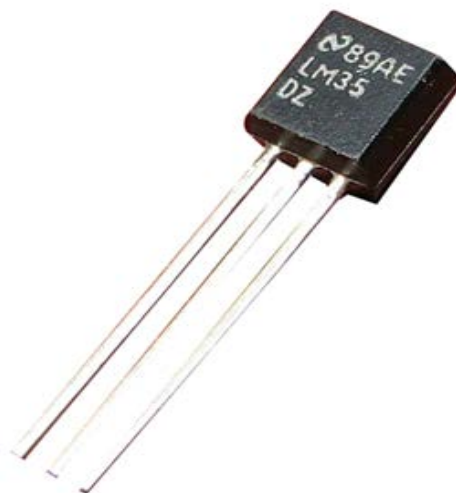
Το GSM Shield είναι βασισμένο στο module SIM900 της εταιρίας SIMCOM και είναι συμβατό με τις περισσότερες πλακέτες Arduino. Αυτό το Shield μας παρέχει την ικανότητα να επικοινωνούμε με το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας GSM. Αυτή η δυνατότητα μας επιτρέπει να επιτύχουμε συνδυασμό SMS (Short Message Service ), MMS, GPRS στέλνοντας εντολές AT. [43]



Εικόνα 3.11 Κάρτα SIM

### 3.1.5 Αισθητήρας θερμοκρασίας LM35

Οι αισθητήρες LM35 είναι αναλογικοί αισθητήρες και η τάση εξόδου τους μεταβάλλεται αναλογικά και γραμμικά με τη θερμοκρασία  $10\text{mV}/^\circ\text{C}$ . Το εύρος μέτρησης είναι με βάση το φύλλο προδιαγραφών (datasheet) από  $-55^\circ\text{C}$  έως  $+155^\circ\text{C}$ . Το ολοκληρωμένο κύκλωμα LM35 κατασκευάζεται από την εταιρεία National Semiconductor και είναι από τους πιο διαδεδομένους αισθητήρες θερμοκρασίας.

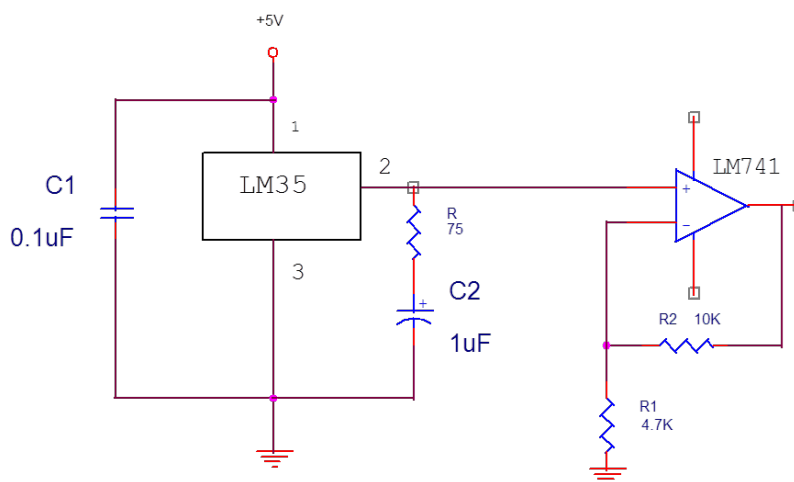


Εικόνα 3.12 Αισθητήρας Θερμοκρασίας LM35

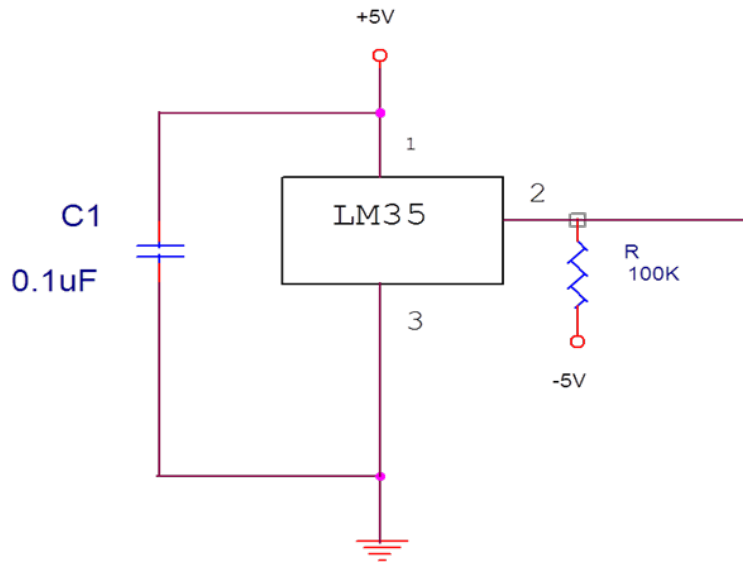
Η λειτουργία του στηρίζεται στις ιδιότητες της επαφής pn. Όπως είναι γνωστό, όταν η επαφή pn είναι πολωμένη ανάστροφα, τότε το ανάστροφο ρεύμα κόρου είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας της επαφής.

Τα ολοκληρωμένα αισθητήρια γενικά εμφανίζουν άριστη γραμμικότητα. Το LM35 μεταβάλλει την έξοδο του κατά  $10\text{mV}$  όταν η θερμοκρασία μεταβάλλεται κατά  $1^\circ\text{C}$ .

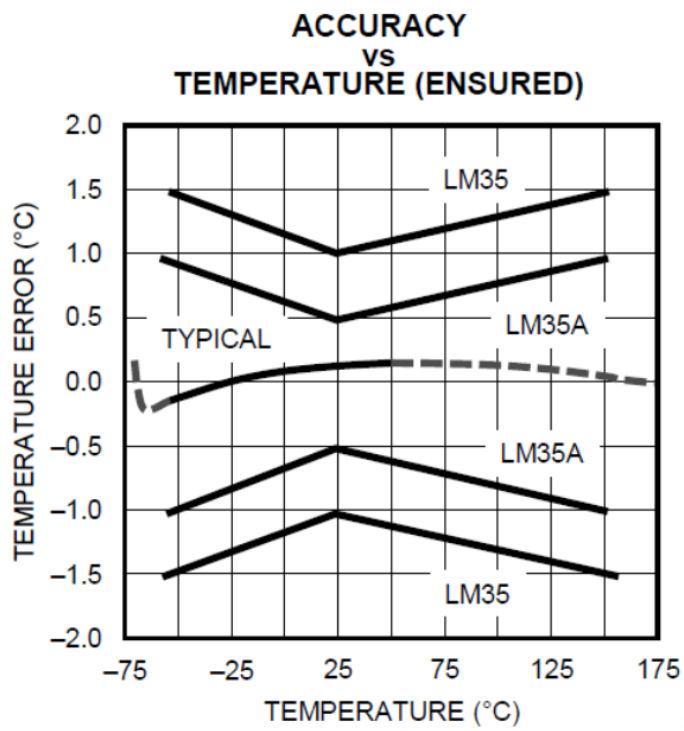
Το κύκλωμα LM35 μετρά θερμοκρασίες μεταξύ  $-55$  και  $+150^\circ\text{C}$  και αποδίδει έξοδο περίπου  $10.0\text{mV}$  ανά βαθμό Κελσίου. Το ρεύμα που το διαρρέει είναι μόλις  $60\text{mA}$  και έτσι το κύκλωμα εμφανίζει εξαιρετικά χαμηλό φαινόμενο αυτοθέρμανσης, περίπου  $0.1^\circ\text{C}$  όταν ευρίσκεται σε ακίνητο αέρα μπορεί να τροφοδοτηθεί από ευρεία περιοχή τάσεων, μεταξύ  $+4$  και  $+30\text{V}$ . Το κύκλωμα βαθμονομείται εκ κατασκευής και δεν απαιτεί επιπλέον ρυθμίσεις από το χρήστη, με αποτέλεσμα να εμφανίζει ακρίβεια  $\pm 0.25^\circ\text{C}$  σε θερμοκρασία δωματίου και  $\pm 0.75^\circ\text{C}$  στο θερμοκρασιακό εύρος  $-55$  έως  $+150^\circ\text{C}$ . Έχει χαμηλή αντίσταση εξόδου ( $0.1\Omega$  για ρεύμα εξόδου  $1\text{mA}$ ) και μπορεί να συνδεθεί εύκολα με κυκλώματα διασύνδεσης ή ελέγχου. [44]



3.13 Συνδεσμολογία LM35 ώστε να μετρά θερμοκρασίες από  $0$  έως  $150^\circ\text{C}$ .



Εικόνα 3.14 Συνδεσμολογία του LM35 ώστε να μετρά και αρνητικές θερμοκρασίες



Εικόνα 3.15 Διάγραμμα ακριβείας αισθητήρα LM35

### 3.1.6 Αισθητήρας Βάρους – Flexiforce Pressure Sensor - 100lbs

Αυτός είναι ένας piezoresistive αισθητήρας δύναμης. Όσο πιο δυνατά πιέζεται τόσο μικρότερη γίνεται η αντίσταση του αισθητήρα. Πιέζοντας ελαφρά η αντίσταση αλλάζει από άπειρο σε 300k. Ο αισθητήρας είναι λεπτός και εύκαμπτος, αλλά η αντίσταση δεν αλλάζει ενώ κάμπτεται. Η αντίσταση αλλάζει μόνο όταν εφαρμόζεται πίεση στη στρογγυλή περιοχή στο άκρο του αισθητήρα. Χρησιμοποιείται ως αισθητήρας παρουσίας, αισθητήρας βάρους, αισθητήρας πίεσης κτλ. [45]

Οι αισθητήρες αυτοί είναι:

Λεπτοί [.203 mm (0.008 in)]

Ελαστικοί

Ελαφροί

Ακριβείς

Εύκολοι στην Χρήση

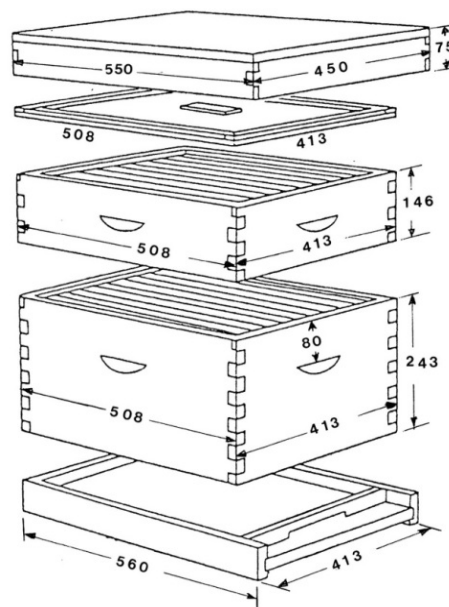
Οικονομικοί



Εικόνα 3.16 Αισθητήρας Πίεσης FlexiForce-100lbs

### 3.1.7 Κυψέλη

Χρησιμοποιήσαμε μια κανονική ξύλινη κυψέλη, η οποία αποτελείται από μια βάση, έναν τυπικό όροφο που μέσα τοποθετούνται τα πλαίσια που χτίζουν οι μέλισσες και ένα καπάκι. Οι διαστάσεις της κυψέλης είναι μήκος 56cm, πλάτος 42cm, ύψος 36cm.



Εικόνα 3.17 α) Κυψέλη β) Διαστάσεις κυψέλης

### 3.1.8 Ταΐστρα

Επιλέξαμε να φτιάξουμε ένα μοντέλο ταΐστρα κατάλληλο για αυτόματη τροφοδότηση του μελισσιού κατά τους χειμερινούς μήνες. Για να γίνει κάτι τέτοιο εφικτό έπρεπε να λάβουμε υπόψιν κάποιους σημαντικούς παράγοντες.

- Η τροφή που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε είναι στερεάς μορφής (ζαχαροζύμαρο) έτσι ώστε να έχει ελάχιστη υγρασία και να μην χαλάει αν μείνει αρκετό καιρό μέσα στην κυψέλη πριν καταναλωθεί. Αυτό σημαίνει ότι η τροφή πρέπει να είναι σε μια ταιστρα που βρίσκεται μέσα στην κυψέλη.
- Αν βάλουμε ένα ξένο σώμα μέσα στην κυψέλη είναι πολύ πιθανό οι μέλισσες να το καλύψουν εν μέρει ή ολόκληρο με πρόπολη. Η πρόπολη είναι κολλώδης ουσία, που παράγουν οι μέλισσες και χρησιμοποιείται για να στεγανοποιήσουν και να απολυμαίνουν το εσωτερικό της κυψέλης. [46] Για τον λόγο αυτό αν βάζαμε τον κινητήρα εκτεθειμένο μέσα στην κυψέλη υπήρχε κίνδυνος να τον ακινητοποιήσουν οι μέλισσες με πρόπολη. Έτσι λοιπόν η πειραματική κατασκευή της ταιστρας έπρεπε να γίνει με τέτοιο τρόπο ώστε να διαφυλάξουμε τον κινητήρα.



**Εικόνα 3.18** Πρόπολη ως μέσο στεγανοποίησης

Μια απλή αλλά πρακτική λύση ήταν να τοποθετήσουμε την τροφή μέσα σε ένα ξύλινο κουτί που η μια πλευρά του θα είναι από αλουμινοχαρτο που δεν μπορούν να το καταστρέψουν οι μέλισσες. Μέσα στο κουτί σε ένα δεύτερο θάλαμο θα είναι ο κινητήρας ο οποίος μέσω μιας κλωστής τυλιγμένης σε αυτόν θα επιτρέπει στις μέλισσες την πρόσβαση στην τροφή. Η κλωστή, η άκρη της οποίας είναι κολλημένη στο αλουμινοχαρτο, περνάει από μια οπή στον θάλαμο της τροφής. Με την έναρξη της λειτουργίας του κινητήρα, η κλωστή τραβάει και σκίζει το αλουμινοχαρτο.

Με αυτόν τον τρόπο δεν υπάρχει κίνδυνος να μπλοκαριστεί ο κινητήρας ακόμη και μετά την τροφοδοσία καθώς οι μέλισσες δεν μπορούν να περάσουν στον θάλαμο που βρίσκεται ο κινητήρας. Έτσι προστατεύεται και για μελλοντικές χρήσεις.





**Εικόνα 3.19** Κατασκευή ταΐστρας



**Εικόνα 3.20** Κατασκευή ταΐστρας

### 3.2 Κόστος Υλοποίησης Κατασκευής

Το κόστος υλοποίησης του συγκεκριμένου συστήματος είναι σχετικά χαμηλό. Παρακάτω παρουσιάζονται οι προσωρινές τιμές των υλικών:

**Πίνακας 3.4** Κόστος Υλοποίησης Μονάδας

ΥΛΙΚΟ	ΚΟΣΤΟΣ
Arduino UNO	19 €
ArduinoMotorShieldR3	19 €
GSM	
Πλατφόρμα Ξύλινη	3 €
Stepper Motor - SM-42BYG011-25	17,10 €
Flexiforce Pressure Sensor - 100lbs	24,40 €
Lm35 Sensor Temperature	3,20 €
Breadboard Δοκιμών	5,10 €
Μετασχηματιστής	3 €
Καλώδια - Αντιστάσεις	0,50 €
Σύνολο	

### 3.3 Συνδεσμολογία

Η συνδεσμολογία των αισθητήρων και των άλλων ηλεκτρονικών στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν για το κύκλωμα του συστήματος πραγματοποιήθηκε σε μία βάση breadboard. Το ολικό κύκλωμα επομένως αποτελείται από τους αισθητήρες, το gsm, το ισχυος, τον βηματικό κινητήρα, την πλακέτα Arduino UNO, ένα breadboard και τα καλώδια που τα συνδέουν μεταξύ τους.

✓ *Αισθητήρας θερμοκρασίας: LM35*

Από τα τρία άκρα του αισθητήρα το ένα είναι η τροφοδοσία 5V από το Arduino, το άλλο η γείωση και το μεσαίο η αναλογική έξοδος του αισθητήρα η οποία συνδέεται με την αναλογική είσοδο του Arduino.

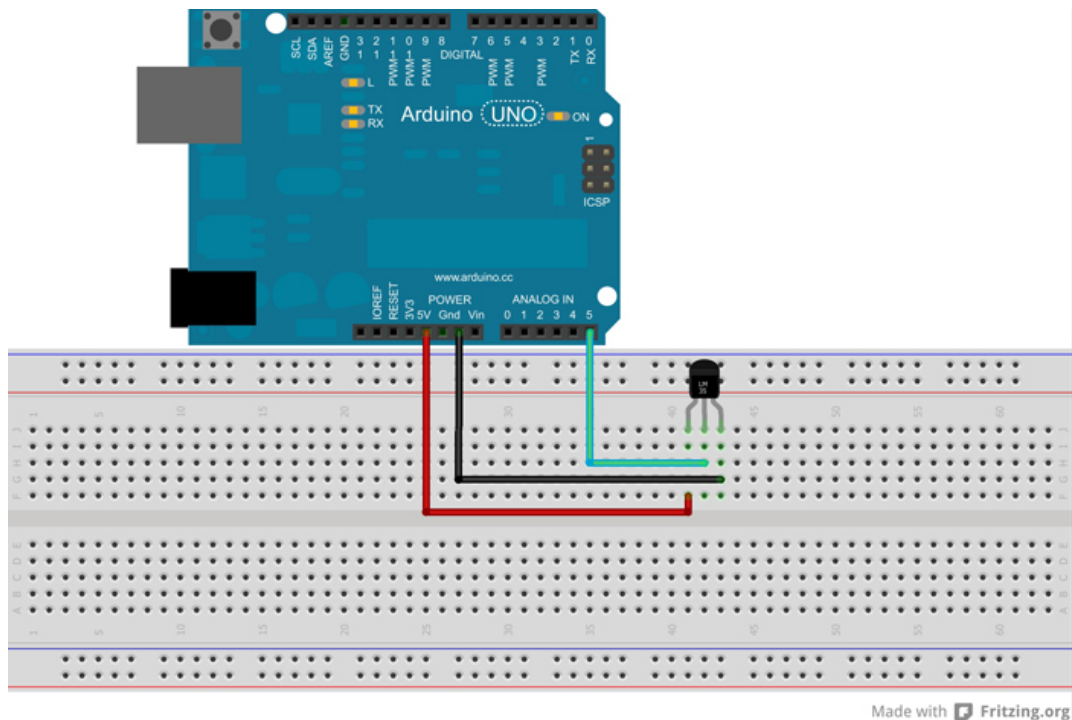


**Εικόνα 3.21** Αισθητήρας Θερμοκρασίας LM35

Αναλυτικότερα, συνδέσαμε μια γραμμή του breadboard με τα 5V του Arduino και άλλη μια στην γείωση του Arduino. Έτσι μεταφέραμε την τροφοδοσία και την γείωση του Arduino στο breadboard.

Στη συνέχεια συνδέσαμε το ένα άκρο των αισθητήρων LM35 στα 5V του breadboard το άλλο στην γείωση και το μεσαίο άκρο συνδέθηκε με την αναλογική είσοδο του Arduino. Στην θέση A2 βάλαμε τον αισθητήρα που έχουμε μέσα στην κυψέλη και στην A5 τον αισθητήρα που έχουμε έξω από την κυψέλη.

Στην Εικόνα 3.22 φαίνεται η συνδεσμολογία του αισθητήρα LM35 με το Arduino.

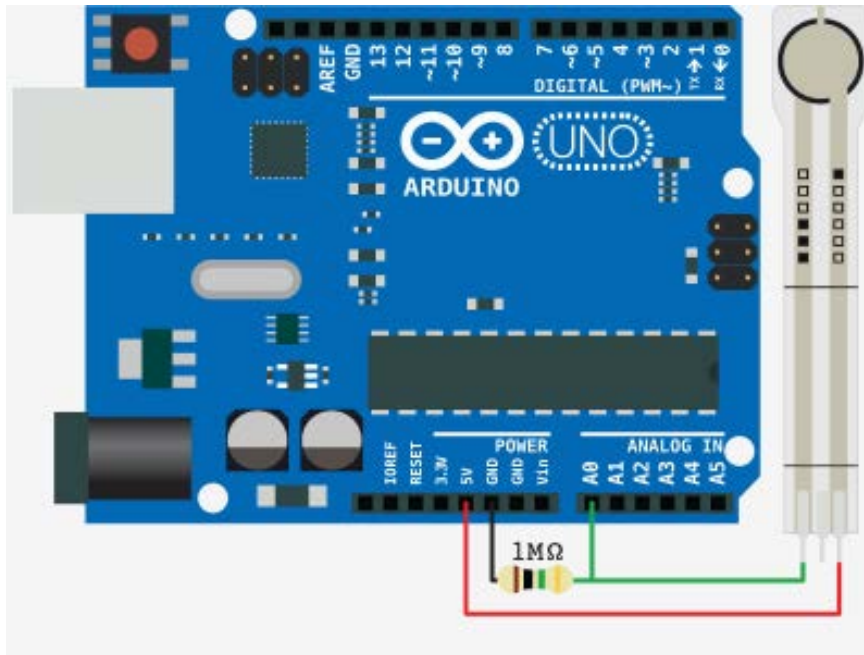


**Εικόνα 3.22** Συνδεσμολογία αισθητήρα LM35 με Arduino

✓ *Αισθητήρας πίεσης: Flexi Force Sensor - 100lbs*

Από τα δύο άκρα του αισθητήρα το ένα είναι η τροφοδοσία 5V που συνδέθηκε στα 5V του breadboard που αναφέραμε παραπάνω. Το άλλο άκρο συνδέθηκε στο breadboard σε μια από τις κάθετες γραμμές σε σχέση με την γείωση και από εκεί στην αναλογική είσοδο A3 του Arduino και παράλληλα μέσω αντίστασης 1MΩ στην γείωση του breadboard. Στην Εικόνα 3.23 απεικονίζεται η συνδεσμολογία του αισθητήρα αυτού.





**Εικόνα 3.23** Συνδεσμολογία Αισθητήρα Flexiforce

Επιπλέον τοποθετήσαμε την επιφάνεια μέτρησης ανάμεσα σε δύο ξύλινες επίπεδες επιφάνειες κάτω από την κυψέλη έτσι ώστε να κατανέμεται ομοιόμορφα το βάρος της κυψέλης πάνω στον αισθητήρα.

✓ *GSM*

Η πλακέτα του GSM ενσωματώθηκε πάνω από την αρχική πλακέτα του Arduino.

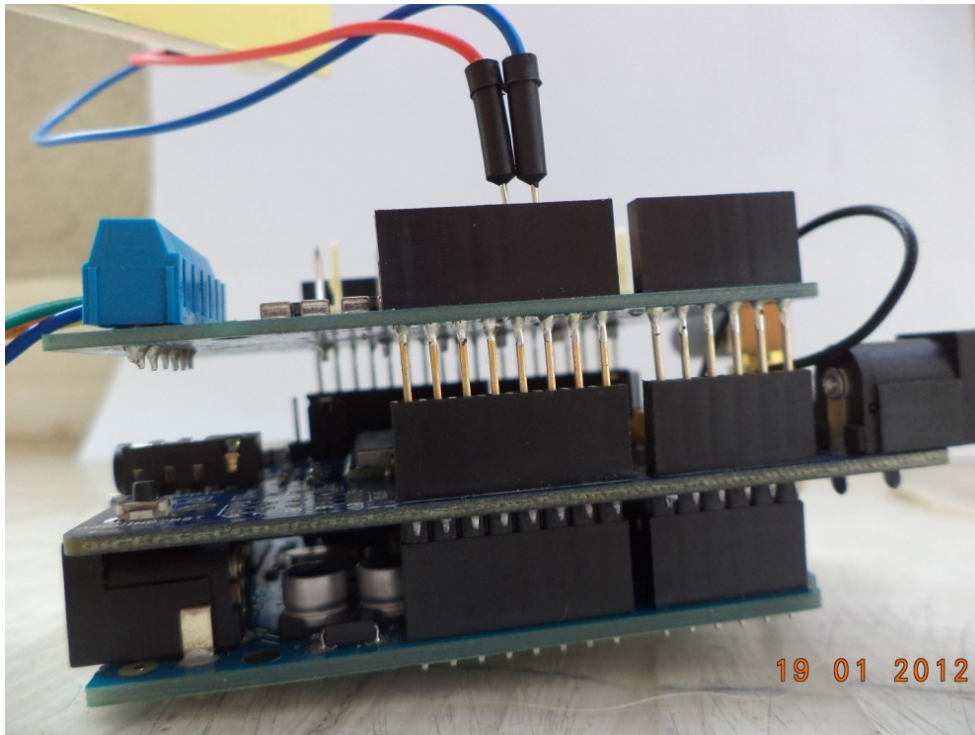
Η συνδεσμολογία είναι αρκετά απλή.

✓ *Arduino Motor ShieldR3*

Η πλακέτα του Motor shield ενσωματώνεται πάνω από την πλακέτα του gsm. Στην πλακέτα αυτή έχουμε και εξωτερική τροφοδότηση με διαφορά τάσης 9V στις εισόδους Vin και GND.

Το shield περιέχει δύο κυκλώματα οδήγησης L293D και έναν καταχωρητή σε ρόλο shift register το 74HCT595N. Ο καταχωρητής αυτός δέχεται εντολές από τον μικροελεγκτή και επικοινωνεί με τα κυκλώματα οδήγησης ώστε να ελέγχει την κατεύθυνση περιστροφής του κινητήρα.

Στην Εικόνα 3.24 παρουσιάζεται η συνδεσμολογία της πλακέτας Arduino με το GSM και το Arduino Motor ShieldR3.



**Εικόνα 3.24** Πλατφόρμα Arduino – GSM - Arduino Motor ShieldR3

✓ *Mercury Motor SM-42BYG011-25*

Το motor shield τοποθετείται πάνω από το Arduino Uno. Η φυσική σύνδεση των δυο πλακετών επιτυγχάνεται με τη συγκόλληση των ειδικών συνδετήρων (headers) ενώνοντας έτσι τις δυο πλακέτες. Υπάρχουν 36 τέτοιοι συνδετήρες.

Η ηλεκτρική – ηλεκτρονική επικοινωνία μεταξύ των δυο πλακετών επιτυγχάνεται πάλι μέσω των headers οι οποίοι τοποθετούνται πάνω στο board του Arduino Uno με τέτοιον τρόπο ώστε να “μεταφέρουν” στο motor shield τα σήματα εκείνα που παράγονται από τον μικροελεγκτή και που είναι απαραίτητα στο motor shield για την λειτουργία του κινητήρα.

Ο βηματικός κινητήρας συνδέεται στην πλακέτα του motor shield με τέσσερις ακροδέκτες στην έξοδο.

Πιο αναλυτικά τα καλώδια χρώματος : Κόκκινο στην -B

Πράσινο στην +B

Κίτρινο στην -A

Μπλε στην +A



**Εικόνα 3.25** Σύνδεση και Τροφοδοσία Κινητήρα με Arduino Motor ShieldR3



**Εικόνα 3.26** Συνδεσμολογία Βηματικού Κινητήρα SM-42BYG011-25

✓ Πλακέτα *Arduino UNO*

Η τροφοδοσία γίνεται εξωτερικά με 7,5V και με ένα δεύτερο καλώδιο που καταλήγει σε θύρα usb γίνεται η σύνδεση στον υπολογιστή.

Στην πλακέτα του Arduino όπως είπαμε ενσωματώθηκε το GSM και από πάνω το motor shield. Για να γίνει αυτό ουσιαστικά ενώσαμε τις εισόδους και τις εξόδους των πλακετών.

Έτσι λοιπόν αυτές μετατοπίστηκαν στην πάνω πλακέτα, αυτήν του motor shield, για αυτό οι συνδέσεις με τους αισθητήρες και το breadboard γίνονται σε αυτήν την πλακέτα.



**Εικόνα 3.27** Τροφοδοσία Arduino και Σύνδεση με Υπολογιστή

### 3.4 Λειτουργία Διάταξης

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενα κεφάλαια αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής είναι ο έλεγχος της θερμοκρασίας και του βάρους μιας κυψέλης με δυνατότητα τροφοδότησής της.

Στον Η/Υ υπάρχει το Λογισμικό εφαρμογής (Lazarus), το οποίο επικοινωνεί με το μικροελεγκτή μέσω της σειριακής θύρας. Από το πρόγραμμα ο χρήστης μπορεί να κάνει αλλαγές στον κώδικα της διάταξης. Συγκεκριμένα, μπορεί να καθορίζει το χρόνο λήψης και καταγραφής των μετρήσεων από το Arduino στον ΗΥ καθώς και την μεταβολή της θερμοκρασίας και του βάρους του περιβάλλοντος όπου βρίσκονται οι αισθητήρες.

Το Arduino «διαβάζει» τους αισθητήρες (μετατρέπει το αναλογικό σήμα σε ψηφιακό), εξασφαλίζει τη μεταφορά των δεδομένων στον Η/Υ, επικοινωνεί με τον Η/Υ για το πότε θα στείλει τις μετρήσεις και ελέγχει το φορτίο που μεταβάλλει τη θερμοκρασία.

Το Arduino είναι με τέτοιο τρόπο προγραμματισμένο ώστε να προσομοιώσουμε στο εργαστήριο κάποιες μετρήσεις που είναι χρήσιμες στον μελισσοκόμο.



### **ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 1**

#### **ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΤΗΣ ΚΥΨΕΛΗΣ**

Ρυθμίσαμε το Arduino να μας στέλνει μήνυμα στο κινητό, την τιμή της θερμοκρασίας που έχουμε, μόλις ο αισθητήρας θερμοκρασίας που βρίσκεται μέσα στην κυψέλη μετρήσει πάνω από 33°C. Όπως είχαμε αναφέρει στο πρώτο κεφάλαιο, με αυτήν την μέτρηση μπορούμε να καταλάβουμε πότε σε ένα μελίσσι αρχίζει η γεννά την άνοιξη.

### **ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 2**

#### **ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΣΤΟ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΤΗΣ ΚΥΨΕΛΗΣ**

Χρησιμοποιήσαμε τον αισθητήρα εξωτερικής θερμοκρασίας για να παρατηρήσουμε πότε η εξωτερική θερμοκρασία πέφτει κάτω από μια τιμή. Κάτω από 16°C οι μέλισσες δεν βγαίνουν από την κυψέλη για αναζήτηση τροφής. Έτσι γνωρίζοντας πότε έχουμε χαμηλή θερμοκρασία μπορούμε να καταγράψουμε πόσες ώρες της ημέρας μάζεψαν τροφή οι μέλισσες. Στο εργαστήριο ρυθμίσαμε το Arduino έτσι ώστε να μας στέλνει μήνυμα όταν η θερμοκρασία πέσει κάτω από 18°C για να είναι πιο εύκολο να πετύχουμε μια χαμηλή θερμοκρασία βάση της θερμοκρασίας του χώρου, χρησιμοποιώντας ένα ανεμιστηράκι.

### **ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 3**

#### **ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΒΑΡΟΥΣ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΤΗΣ ΚΥΨΕΛΗΣ**

Τοποθετήσαμε τον αισθητήρα πίεσης ανάμεσα σε δύο ξύλινες πλάκες, κάτω από την κυψέλη ώστε να κατανέμεται το συνολικό βάρος του μελισσιού πιο ομοιόμορφα. Ένας άλλος λόγος που το κάναμε αυτό είναι ότι στην φύση οι κυψέλες τοποθετούνται κατευθείαν πάνω στη γη ή σε αυτοσχέδιες βάσεις (π.χ. πάνω σε λάστιχα αυτοκινήτων), κάτι τέτοιο κάνει αδύνατη μια ακριβή μέτρηση χωρίς μια πλατφόρμα κάτω από την κυψέλη.

Τον χειμώνα φροντίζουμε το μελίσσι να έχει επάρκεια μελιού για να επιβιώσει. Επειδή όμως δεν μπορούμε να υπολογίσουμε με καλή ακρίβεια, από την αρχή του χειμώνα, πόση τροφή θα καταναλώσει, καθώς αυτό εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, με κύριο την θερμοκρασία, πρέπει να έχουμε μια εικόνα για τα αποθέματα τροφής. Αυτό το επιτυγχάνουμε με την ζυγαριά, ρυθμίζοντάς την να στέλνει μήνυμα όταν το βάρος πέσει κάτω από κάποια προεπιλεγμένη τιμή, ανάλογα με την δυναμική του μελισσιού και το αρχικό του βάρος. Με αυτόν τον τρόπο γνωρίζουμε το ακριβές απόθεμα τροφής του μελισσιού και μπορούμε να δώσουμε εντολή να το ταίσουμε αν χρειάζεται. Με αυτόν τον τρόπο δεν χρειάζεται να αφήσουμε προληπτικά πολύ μεγάλη ποσότητα μελιού μέσα στην κυψέλη και έτσι υπάρχει ένα παρά πάνω οικονομικό όφελος για τον μελισσοκόμο.

- Ρυθμίσαμε το Arduino έτσι ώστε να μας στέλνει μήνυμα πόσο ακριβώς είναι το βάρος της κυψέλης όταν αυτό μειωθεί κατά 1,5 κιλό (ένα μεγάλο μπουκάλι νερό) από ένα αρχικό βάρος που έχουμε ορίσει και αυτόματα να ενεργοποιεί τον κινητήρα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### Συμπεράσματα – Μελλοντικές Βελτιώσεις

#### 4.1 Συμπεράσματα

Η παρούσα διπλωματική εργασία είχε ως αντικείμενο την σχεδίαση, την κατασκευή και την λειτουργία ενός συστήματος ελέγχου και τροφοδοσίας μελισσοκομείου από απόσταση, βασισμένου στην αρχιτεκτονική Arduino.

Ο αρχικός στόχος που τέθηκε κατά την υλοποίηση του συστήματος επιτεύχθηκε. Υλοποιήθηκε, δηλαδή, ένα σύστημα ελέγχου και τροφοδότησης πλήρως λειτουργικό. Ο τελικός χρήστης, δηλαδή ο μελισσοκόμος έχει τη δυνατότητα να ελέγχει τις συνθήκες που επικρατούν στις κυψέλες του και να παρεμβαίνει όποτε χρειάζεται. Επίσης, μπορεί να αλλάζει τις τιμές ελέγχου στον κώδικα και να συμπεραίνει διαφορετικά πράγματα ανάλογα με τις ανάγκες της εποχής, όπως έχουμε αναφέρει και στο Κεφάλαιο 1.

Μέσω της διάταξης εξοικονομείται σημαντικός χρόνος από την πλευρά του μελισσοκόμου. Με μια πολύ απλή διάταξη βλέπουμε ότι δημιουργήσαμε ένα ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο για τον μελισσοκόμο. Την στιγμή που το μόνο διαθέσιμο στην αγορά είναι μια ζυγαριά και ένα αντικλεπτικό με GPS με πολύ μεγάλο κόστος, χωρίς να δίνουν την δυνατότητα στον χρήστη να ελέγχει τις συνθήκες μέσα και έξω από την κυψέλη και να τροποποιεί τις κρίσιμες τιμές ελέγχου ανά εποχή.

Πιο συγκεκριμένα στο πείραμα επιλέξαμε να προσομοιώσουμε τρεις καταστάσεις του μελισσιού σε διαφορετικές χρονικές περιόδους.

- Με τον αισθητήρα θερμοκρασίας που βρίσκεται μέσα στην κυψέλη εντοπίσαμε την χρονική στιγμή που το μελίσι αρχίζει και αναπτύσσεται στις αρχές της άνοιξης, στέλνοντάς μας μήνυμα. Αυτό είναι ένα πολύ κρίσιμο σημείο καθώς το μελίσι χρειάζεται άμεσα τους κατάλληλους χειρισμούς από τον μελισσοκόμο. Επίσης αυτή η μέτρηση, με την σωστή επιλογή της κυψέλης που παρακολουθούμε, είναι ενδεικτική για όλο το μελισσοκομείο.
- Με τον αισθητήρα εξωτερικής θερμοκρασίας παρατηρούμε μέσω SMS πόσες ώρες την μέρα ο καιρός είναι κατάλληλος για να βγουν οι μέλισσες να συλλέξουν τροφή. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό καθώς είναι ο μόνος τρόπος ο μελισσοκόμος να γνωρίζει από απόσταση σε καθημερινή βάση τον καιρό στο μελισσοκομείο του και να μην βασίζεται μόνο στις προβλέψεις της μετεωρολογικής υπηρεσίας. Προφανώς ο μελισσοκόμος γνωρίζει την μελισσοκομική χλωρίδα της περιοχής και την παρατηρεί στις επισκέψεις του στο μελισσοκομείο έτσι ώστε να ξέρει πότε έχουν κάποια ανθοφορία να εκμεταλλευτούν οι μέλισσες καιρού επιτρέποντος.
- Τέλος προσομοιώσαμε μια κατάσταση που το μελίσι μπορεί να βρεθεί χωρίς επάρκεια τροφής κατά την χειμερινή περίοδο με άμεσο κίνδυνο κατάρρευσης. Ρυθμίσαμε το Arduino να στέλνει μήνυμα το ακριβές βάρος όταν αυτό πέσει πιο χαμηλά από μια

συγκεκριμένη τιμή που έχουμε προεπιλέξει και αυτόματα να ενεργοποιεί τον κινητήρα για να ταιστέ το μελίσσι.

Πάντοτε επιδεχόμενο προσθήκες και βελτιώσεις, το παραπάνω σύστημα κατασκευάστηκε ως μία πρότυπη μικρογραφία μιας βιομηχανοποιημένης παραγωγικής διαδικασίας με πραγματικές απαιτήσεις, χρησιμοποιώντας κατάλληλους αισθητήρες, μηχανές συνεχούς ρεύματος και ένα ειδικά διαμορφωμένο γι' αυτές τις λειτουργίες σύστημα ελέγχου.

## 4.2 Μελλοντικές Βελτιώσεις

Η εφαρμογή που δημιουργήσαμε είναι μια πρώτη προσέγγιση σε ένα τομέα ιδιαίτερα πολύπλοκο λόγω της φύσης του μελισσιού αλλά και των πολλών εξωτερικών παραγόντων που το επηρεάζουν. Η έρευνα που έχει γίνει μέχρι τώρα στην μελισσοκομία έχει βασιστεί κυρίως σε βιοχημικές αναλύσεις και τεχνικές αύξησης της αποδοτικότητας. Έτσι λοιπόν, η τεχνολογία δεν έχει εισχωρήσει έντονα στον τομέα αυτό αφήνοντας ένα μεγάλο πεδίο για επιστημονική μελέτη αλλά και για την δημιουργία μιας ολοκληρωμένης εφαρμογής που να λειτουργεί σαν εργαλείο στον μελισσοκόμο για άμεσες αλλά και μακροπρόθεσμες παρατηρήσεις.

Οι δυνατότητες που έχουμε χρησιμοποιώντας σαν βάση την πλακέτα του Arduino και συνδέοντας αισθητήρες είναι πάρα πολλές και σίγουρα αν μπορούμε στην διαδικασία αυτή θα προκύψουν και καινούριες ιδέες βάση των αποτελεσμάτων.

Ορισμένες προσωπικές σκέψεις για μελλοντική εργασία είναι:

- ❖ Η επικοινωνία μέσω GSM που χρησιμοποιήσαμε είναι μια πρώτη προσέγγιση στην επικοινωνία της εφαρμογής. Ένα πιο ολοκληρωμένο μοντέλο που θα δώσει πολλές δυνατότητες για παρακολούθηση και καταγραφή πληροφοριών είναι να εφαρμόσουμε στο Arduino μια πλακέτα που θα το κάνει να λειτουργεί ως router και να επιτρέπει την επικοινωνία με υπολογιστή. Με αυτόν τον τρόπο τα δεδομένα αυτόματα μεταφέρονται και αποθηκεύονται στον ΗΥ σε επεξεργάσιμη μορφή. Στην συνέχεια, η επεξεργασία των δεδομένων γίνεται με τα αντίστοιχα προγράμματα απευθείας στον ΗΥ. Αποφεύγεται με άλλα λόγια η χειρωνακτική καταγραφή και η μετέπειτα εισαγωγή τους στον ΗΥ. Επίσης, αφού η αποθήκευση των μετρήσεων γίνεται στον ΗΥ (μεγάλος χώρος αποθήκευσης) και τα δεδομένα δεν μένουν στο Arduino (περιορισμένος χώρος αποθήκευσης), εύκολα και γρήγορα μπορεί να γίνει μεγάλος αριθμός μετρήσεων. Αφού επιτευχθεί το σωστό πρωτόκολλο ανταλλαγής δεδομένων ανάμεσα στο Arduino και στο Λογισμικό Εφαρμογής, ο έλεγχος της όλης διάταξης γίνεται από τον ΗΥ. Η πλατφόρμα Arduino αποτελεί ουσιαστικά την γέφυρα ανάμεσα στον φυσικό κόσμο και το ΗΥ.
- ❖ Επιπλέον μπορούμε να φτιάξουμε ένα δίκτυο από ένα και κεντρικό Arduino και κάποια περιφερειακά που συνδέονται με αυτό το οποίο και επικοινωνεί με τον υπολογιστή. Κάτι τέτοιο θα μας έδινε την δυνατότητα να ελέγχουμε περισσότερα από ένα μελίσσι και να έχουμε καλύτερη εικόνα του μελισσοκομείου.
- ❖ Το πιο βασικό είναι ότι μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μεγάλη ποικιλία αισθητήρων και να έχουμε ένα πολύ καλύτερο έλεγχο του μελισσοκομείου. Κάποιες ιδέες πολύ χρήσιμες για ένα ολοκληρωμένο μοντέλο είναι:

1. Να φτιάξουμε έναν μετεωρολογικό σταθμό που μέσω ενός περιφερειακού Arduino να συνδέεται με το κεντρικό. Σε αυτό μπορούμε να βάλουμε διάφορους αισθητήρες για να μετράμε την θερμοκρασία, την υγρασία, την βροχόπτωση, τον αέρα και την ηλιοφάνεια. Συνθήκες που επηρεάζουν άμεσα το μελίσι.
2. Να φροντίσουμε για την ασφάλεια του μελισσοκομείου όπως π.χ. από κλοπές. Είναι δυνατό να συνδεθεί στο Arduino μια κάμερα με αισθητήρα κίνησης και στα περιφερειακά Arduino που έχουμε στις κυψέλες για τις μετρήσεις να τοποθετηθεί μονάδα GPS με δυνατότητα ενεργειακής αυτονομίας και ενεργοποίησης σε περίπτωση που το μελίσι μετακινηθεί από την θέση του.
3. Μέσα στην κυψέλη είναι δυνατό με πολλούς αισθητήρες θερμοκρασίας να εντοπίσουμε την ακριβή έκταση του γόνου (34oC σταθερή θερμοκρασία) και την θέση της μελισσόσφαιρας τον χειμώνα. Επίσης μπορούμε να μετρήσουμε την υγρασία, να κάνουμε ανάλυση σημάτων που εκπέμπουν οι μέλισσες για να επικοινωνούν και να μετράμε τις μέλισσες που βγαίνουν από την κυψέλη με τη συχνότητα και πιες ώρες την μέρα.

Τέλος, θα ήθελα να επισημάνω ότι για να είναι πραγματικά χρήσιμο ένα τέτοιο εργαλείο στον μελισσοκόμο πρέπει να αντιληφθεί και ο ίδιος που το χρησιμοποιεί, την σημασία που έχουν όλες αυτές οι μετρήσεις ενδεικτικά όσο αφορά τα μελίσι που έχουμε τοποθετήσει τους αισθητήρες αλλά κυρίως να βασιστεί στο σύνολο των μετρήσεων μέσα και έξω από την κυψέλη και να βγάλει τα συμπεράσματα του. Κάτι τέτοιο είναι απολύτως απαραίτητο γιατί λόγω των πάρα πολλών παραγόντων που επηρεάζουν το μελίσι και του πολύπλοκου τρόπου που αλληλεπιδρούν δεν μπορεί να φτιαχτεί πρόγραμμα που να αναλύει τις μετρήσεις και να βγάζει από όλες μαζί κάποια συγκεκριμένα συμπεράσματα και να σου λέει τι να κάνεις,. Η φύση και η ομορφιά της μελισσοκομίας πηγάζει από την αλληλεπίδραση αυτού του πολύπλοκου εντόμου με το περιβάλλον και για αυτό ο καλός μελισσοκόμος πρέπει να είναι σε θέση να αισθάνεται, να αντιλαμβάνεται και να παρατηρεί αυτήν την αλληλεπίδραση. Σε αυτό το δύσκολο αλλά και όμορφο έργο η τεχνολογία μπορεί να προσφέρει ένα σημαντικό εργαλείο.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Αεράκη Ανδρονίκη, 2006. Βαροϊκή Ακαρίαση. Ιστορία, Βιολογικός Κύκλος και Τρόποι Αντιμετώπισης, Ηράκλειο, Οκτώβριος 2006.
- [2] <http://www.melissokomia.com/pollination/index.html>
- [3] Χατζάκης Μανώλης, 2005. Η Παραγωγή Ποιοτικών Βασιλισσών της Μέλισσας. Τρόποι και Μέθοδοι, Ηράκλειο 2005.
- [4] <https://en.wikipedia.org/wiki/Beekeeping>
- [5] <http://orinimelissa.blogspot.gr/>
- [6] <http://melissognosi.blogspot.gr/>
- [7] Χαριζάνης Πασχάλης, 1996. Η Παραγωγή Βασιλισσών, Αθήνα 1996
- [8] Γούναρη Σοφία, Συστήματα Εντακτικής Εκμετάλλευσης των Μελισσών, Ινστιτούτο Κτηνιατρικών Ερευνών Αθηνών, ΕΘΙΑΓΕ
- [9] <http://www.gaiapedia.gr/>. Εχθροί και Ασθένειες των Μελισσών
- [10] Σοφία Ξενικουδάκη, Δρ. Ελευθέριος Αλυσσανδράκης, 2009. Δραστηριότητες και Συμπεριφορά των Μελισσών, Ηράκλειο, Μάρτιος 2009.
- [11] Winston. 1987. The Biology of the Honey Bee. Harvard University Press. Cambridge, MA.
- [12] Μιχαήλ Δ.Υφαντίδης, 1983. «Μελισσοκομία» Επιστήμη και Εφαρμογή.
- [13] Ritter Wolfgang. Ασθένειες των Μελισσων
- [14] Νικ. Ι. Θεοδώρου, «Ηλεκτρικές Μετρήσεις, Τεύχος I & II», Συμμετρία, Αθήνα, 2004
- [15] Doebelin E.O. Measurement Systems Application and Design. McGraw-Hill International Editions, New York, 1990.
- [16] Αθανάσιος Α. Αργυρίου, «Αισθητήρες Ημιαγωγών, Αισθητήρες θερμικοί, μηχανικοί, μαγνητικοί, αισθητήρες ακτινοβολίας και χημικοί αισθητήρες», Πάτρα, Οκτώβριος 2004.
- [17] J. Webster, «Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook» CRC Press, 1999
- [18] Elgar, P. 2000 Αισθητήρες Μέτρησης και Ελέγχου. Θεσσαλονίκη : Εκδόσεις Τζιόλα
- [19] Καλαϊτζάκης, Κ και Κουτρούλης, Ε 2010 Ηλεκτρικές Μετρήσεις και Αισθητήρες. Αθήνα. Εκδόσεις : Κλειδάριθμος ΕΠΕ
- [20] Αισθητήρες, μικροελεγκτές και συστήματα συλλογής δεδομένων. Αργυρίου, Αθανάσιος Α. N.p. Oct. 2004. Web. 14 Oct. 2014.

- [21] National Instruments. Strain gauge measurements - A tutorial, Application Note 078. [www.ni.com](http://www.ni.com). 1998.
- [22] [http://users.sch.gr/imarinakis/electric\\_engines.htm](http://users.sch.gr/imarinakis/electric_engines.htm)
- [23] ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΥ Α. ΓΡΗΓΟΡΟΠΟΥΛΟΥ, 2013. Γραμμικός βηματικός κινητήρας με σερβοελεγκτή
- [24] Ηλεκτρικές Μηχανές, Ed. Marinakis, n.d. Web. 12 Oct. 2014. [http://users.sch.gr/imarinakis/electrics\\_machines.htm](http://users.sch.gr/imarinakis/electrics_machines.htm)
- [25] Μαρία Γ. Ιωαννίδου, 'Συστήματα Ελέγχου Ηλεκτρικών Μηχανών', ΕΜΠ, Αθήνα 2003
- [26] <http://www.doc.ic.ac.uk/~ih/doc/stepper/>
- [27] Introduction to Microprocessors and Microcontrollers, John Crisp Elsevier, 2004
- [28] <http://cgi.di.uoa.gr/~std04013/>
- [29] <http://www.mikroe.com/chapters/view/1/>
- [30] <http://cgi.di.uoa.gr/~std06100/Welcome.html>
- [31] Γεώργιος Αλεξίου, «Μικροεπεξεργαστές», Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα 2001
- [32] « Η Διδασκαλία εκπαιδευτικής ρομποτικής με τη χρήση μικροελεγκτών (π.χ. ARDUINO, PIC Βασιλική Παυλή
- [33] Μικρουπολογιστές-Μικροελεγκτές.Αρχιτεκτονική-Προγραμματισμός-Εφαρμογές, Πογαρίδης Δημήτρης, Εκδόσεις ΙΩΝ 2002
- [34] Arduino Official Site, <http://www.arduino.cc/>
- [35] ATmega328, Datasheet: [www.atmel.com/Images/doc8161.pdf](http://www.atmel.com/Images/doc8161.pdf)
- [36] ATmega328P Textbook, ATMEL
- [37] <http://www.akouseto.gr/eisagogi-sto-arduino>
- [38] <http://www.grobot.gr/index.php/2008-04-19-13-16-38/197-arduino-30432>
- [39] Evans, B., Arduino Programming Notebook, 2007.
- [40] <http://code.google.com/p/gsm-shield-arduino/>
- [41] <https://www.sparkfun.com/products/9238>
- [42] <https://www.sparkfun.com/datasheets/Robotics/SM-42BYG011-25.pdf>

[43] <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoGSMShield>

[44] <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>

[45] <https://www.sparkfun.com/products/8685>

[46] <https://el.wikipedia.org/wiki/Πρόπολη>

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

## ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ARDUINO UNO

Στο παράρτημα αυτό παρουσιάζεται αρχικά ο κώδικας ο οποίος υλοποιεί την παραπάνω εφαρμογή.

Το Arduino είναι προγραμματισμένο με τον εξής τρόπο:

```
#include <dht.h>

#include <Stepper.h>

#include <SoftwareSerial.h>

SoftwareSerial SIM900(2, 3);

//gsm

String textForSMS;

char incoming_char=0;

// dht11

dht DHT;

#define DHT11_PIN 5

//lm 35 sensor out temp

int tempout_lm35 = A5; //input lm35 analog pin A5

int readingout_lm35;

float temp_out;
```

```
//lm 35 sensor in temp
int tempin_lm35 = A2; //input lm35 analog pin A2
int readingin_lm35;
float temp_in;

// weight sensor
int weight_sensor = A3; //input analog pin A3
int reading_weight;
int weight;

//stepper motor
const int stepsPerRevolution = 200;

Stepper myStepper(stepsPerRevolution, 12,13);

const int pwmB = 11;
const int brakeA = 9;
const int brakeB = 8;
const int dirA = 12;
const int dirB = 13;

void setup() {
```

```
Serial.begin(115200);  
Serial.println("OK");  
SIM900.begin(19200);  
SIM900power(); // gsm on  
delay(10000);
```

```
pinMode(pwmB, OUTPUT);  
pinMode(brakeA, OUTPUT);  
pinMode(brakeB, OUTPUT);  
digitalWrite(pwmB, HIGH);  
digitalWrite(brakeA, LOW);  
digitalWrite(brakeB, LOW);
```

```
myStepper.setSpeed(200);
```

```
}
```

```
void SIM900power()
```

```
{
```

```
digitalWrite(7, HIGH);
```

```
delay(1000);
```

```
digitalWrite(7, LOW);
```

```
delay(7000);
```

```
}
```

```
void motorON()
{
  myStepper.step(1000);
  delay(3000);
  myStepper.step(-200);
  delay(2000);
}
```

```
void sendSMS(String message)
{
  SIM900.print("AT+CMGF=1\r");
  delay(100);
  SIM900.println("AT + CMGS = \"00306949979319\");
  format
  delay(100);
  SIM900.println(message);
  delay(100);
  SIM900.println((char)26);
  delay(100);
  SIM900.println();
  delay(10000);
  SIM900power();
}
```



```

void loop() {

  //LM35 out
  readingout_lm35 = analogRead(tempout_lm35);
  temp_out = (5.0 * readingout_lm35 * 100.0)/1023.0;
  delay(2000);

  //LM35 in
  readingin_lm35 = analogRead(tempin_lm35);
  temp_in = (5.0 * readingin_lm35 * 100.0)/1023.0;
  delay(2000);

  // DHT11
  int chk = DHT.read11(DHT11_PIN);
  float in_hum= DHT.humidity;
  float in_temp=DHT.temperature;
  delay(2000);

  // WEIGHT
  reading_weight=analogRead(weight_sensor);
  int weight=reading_weight;

  Serial.print("Weight digital: ");
  Serial.println(weight);
  Serial.print("Temp in oC: ");
  Serial.println(temp_in);
  Serial.print("Temp out oC: ");
  Serial.println(temp_out);
}

```

```
delay(2000);
```

```
if (weight<30)
```

```
{
```

```
//gsm
```

```
textForSMS = "to baros einai : ";
```

```
textForSMS.concat(weight);
```

```
sendSMS(textForSMS);
```

```
delay(30000);
```

```
motorON();
```

```
delay(30000);
```

```
}
```

```
if (temp_in>33)
```

```
{
```

```
//gsm
```

```
textForSMS = "temp inside : ";
```

```
textForSMS.concat(temp_in);
```

```
sendSMS(textForSMS);
```

```
delay(30000);
```

```
}
```

```
if (temp_out<18)
```

```
{  
  //gsm  
  textForSMS = "temp out : ";  
  textForSMS.concat(temp_out);  
  sendSMS(textForSMS);  
  delay(30000);  
}  
  
}
```