



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: «ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΣΤΗΝ ΕΚΤΡΟΦΗ ΤΩΝ
ΑΓΡΟΤΙΚΩΝ ΖΩΩΝ»

Γεώργιος Π. Μπακάλης - Νικολόπουλος

Επιβλέποντες:

Μαρία- Παρασκευή Ιωαννίδου, Καθηγήτρια Ε. Μ. Πολυτεχνείου, Ηλεκτρολόγος

Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών, Ερευνητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Αύγουστος 2018



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: «ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΣΤΗΝ ΕΚΤΡΟΦΗ ΤΩΝ ΑΓΡΟΤΙΚΩΝ ΖΩΩΝ»

Γεώργιος Π. Μπακάλης - Νικολόπουλος

Επιβλέποντες:

Μαρία- Παρασκευή Ιωαννίδου, Καθηγήτρια Ε. Μ. Πολυτεχνείου, Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και
Μηχανικός Υπολογιστών, Ερευνητής Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 27^η Αυγούστου 2018.

Μαρία- Παρασκευή Γ. Ιωαννίδου	Νικόλαος Ι. Θεοδώρου	Παναγιώτης Θ. Τσαραμπάρης
Καθηγήτρια	Καθηγητής	Λέκτορας

Αθήνα, Αύγουστος 2018

Γεώργιος Π. Μπακάλης-Νικολόπουλος, Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός
Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Γεώργιος Π. Μπακάλης-Νικολόπουλος 2018.

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

ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΣΤΗΝ ΕΚΤΡΟΦΗ ΤΩΝ ΑΓΡΟΤΙΚΩΝ ΖΩΩΝ

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 ένα ποιμνιοστάσιο καθώς και η μελέτη σχετικά με όλους τους επιστημονικούς και τεχνολογικούς τομείς που είναι απαραίτητοι, προκειμένου ο μη εξειδικευμένος αναγνώστης να έχει τη δυνατότητα να αντιληφθεί, να παρακολουθήσει και να αξιολογήσει όλο το περιεχόμενο του μοντέλου προσομοίωσης, να κατανοήσει τις προοπτικές καθώς και τα πεδία εφαρμογής του.

Ένας μικροελεγκτής λαμβάνει τις μετρήσεις των μεγεθών από αισθητήρες θερμοκρασίας και βάρους με τους οποίους έχουμε επανδρώσει τη διάταξή μας. 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.

Στην πρώτη ενότητα γίνεται μία εισαγωγή στην εκτροφή των αιγοπροβάτων και πιο συγκεκριμένα στην κτηνοτροφία στην χώρα μας, στην χρήση της τεχνολογίας στη σύγχρονη κτηνοτροφία και στα προβλήματα που αντιμετωπίζει ο κτηνοτρόφος. Αναφέρουμε τις δυνατότητες που μας δίνει η διάταξη που κατασκευάσαμε.

Στη δεύτερη ενότητα αναπτύσσεται το θεωρητικό υπόβαθρο όλων των δομικών παραμέτρων του μοντέλου. Ειδικότερα, αναλύονται οι αυτοματισμοί, οι αισθητήρες, οι έννοιες των μικροελεγκτών - συγκεκριμένα της πλακέτας Arduino ως μέσου ελέγχου - και άλλα ηλεκτρονικά μέσα που είναι απαραίτητα για τη λειτουργία του. Επιπλέον γίνεται η γενική περιγραφή καθώς οι αρχές λειτουργίας των συνιστωσών του μηχανολογικού εξοπλισμού που χρησιμοποιείται σε παρόμοιες εφαρμογές. Οι έννοιες, οι ορολογίες και οι αρχές λειτουργίας της κατασκευής που θα ακολουθήσει, γίνονται κατανοητές από τον αναγνώστη. Αναφορά γίνεται και στους βηματικούς κινητήρες.

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

Στην τέταρτη ενότητα παρατίθενται προτάσεις για βελτιώσεις και καλύτερες προοπτικές λειτουργίας, ως βάση για περαιτέρω έρευνα και ανάπτυξη.

Λέξεις κλειδιά

Μικροελεγκτής, κτηνοτροφία, αυτόματο σύστημα, σύστημα ελέγχου, Arduino, ταινιόδρομος, σλό, κινητήρας, μετάδοση κίνησης, αισθητήρες, γραφικό περιβάλλον Arduino, αισθητήρες, απόσταση, έλεγχος, τροφοδότηση, GSM.

ABSTRACT

AUTOMATION IN AGRICULTURAL ANIMAL BREEDING

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 sheep dwelling 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 sheep dwelling and more specifically to the sheep dwelling in our country, to the problems that the shepherd deals with and to the use of technology at the modern sheep dwelling. 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 research.

Key Words

Microcontroller, Sensors, Arduino, 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 με την οποία αντιμετωπίζει τους φοιτητές όλα αυτά τα χρόνια, κάτι που σπανίζει στις μέρες μας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή.....	10
1.1. Σκοπός της Διπλωματικής	10
1.2. Αυτοματοποίηση στη Κτηνοτροφία	10
1.3. Συστήματα Ελέγχου Ηλεκτρικών Μηχανών	11
1.4 Έλεγχος Ποιμνιοστασίου.....	13
1.4.1 Αισθητήρας Θερμοκρασίας Εξωτερικά	14
1.4.2 Αισθητήρας Θερμοκρασίας Μέσα στο Ποιμνιοστάσιο	15
1.4.3 Αισθητήρας Βάρους (Πίεσης).....	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Θεωρητικό μέρος.....	18
2.1 Συστήματα Μέτρησης.....	18
2.1.1 Η δομή ενός συστήματος μέτρησης.....	19
2.2 Αισθητήρες	21
2.2.1 Στατικά χαρακτηριστικά των αισθητήρων	22
2.2.3 Είδη αισθητήρων	27
2.2.4 Είδη μονάδων εξόδου.....	27
2.2.5 Δυναμικά χαρακτηριστικά αισθητήρων	28
2.2.6 Οι κατηγορίες των Αισθητήρων.....	28
2.3 Ηλεκτρικοί κινητήρες	37
2.3.1 Αρχή λειτουργίας	38
2.3.2 Κατηγορίες ηλεκτρικών κινητήρων	39
2.3.3 Ειδικό Ηλεκτρικοί Κινητήρες	40
2.3.4 Βηματικοί κινητήρες.....	42
2.4 Μικροεπεξεργαστές- Μικροελεγκτές	50
2.4.1 Ιστορία των Μικροεπεξεργαστών	50
2.4.2 Η εξέλιξη των μικροεπεξεργαστών.....	50
2.4.3 Διαφορές μεταξύ μικροελεγκτή και μικροεπεξεργαστή	53
2.4.4 Εφαρμογές μικροελεγκτών.....	56
2.4.5 Κατασκευαστές μικροελεγκτών	57
2.4.6 Δομή μικροελεγκτή	57
2.4.7 Διαδεδομένες κατηγορίες μικροελεγκτών.....	61
2.4.8 Γλώσσα προγραμματισμού μικροελεγκτών	62
2.4.9 Αρχιτεκτονική Μικροελεγκτών.....	63
2.4.10 Είδη Μνήμης	64
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Κατασκευή και Λειτουργία Πειραματικής Διάταξης.....	66
3.1 Παρουσίαση των Επιμέρους Τμημάτων	66

3.1.1 Arduino UNO	66
3.1.2 Arduino Motor ShieldR3.....	76
3.1.3 Βηματικός Κινητήρας - Stepper motor SM-42BYG011-25	77
3.1.4 GSM Shield for Arduino UNO/MEGA/Leonardo	78
3.1.5 Αισθητήρας θερμοκρασίας LM35.....	79
3.1.6 Αισθητήρας Βάρους - Flexiforce Pressure Sensor - 100lbs.....	81
3.2 Κόστος Υλοποίησης Κατασκευής	82
3.3 Συνδεσμολογία.....	82
3.4 Λειτουργία Διάταξης	86
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Συμπεράσματα - Μελλοντικές Βελτιώσεις	87
4.1 Συμπεράσματα	87
4.2 Μελλοντικές Βελτιώσεις.....	88
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	90
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ARDUINO UNO.....	92

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή

1.1. Σκοπός της Διπλωματικής

Η παρούσα διπλωματική έχει σαν αντικείμενο την ανάπτυξη ενός μοντέλου προσομοίωσης μίας μονάδας εκτροφής γαλακτοπαραγωγών ζώων με αυτόματη ταινία τάϊσματος, με βάση τις θερμοκρασιακές συνθήκες του περιβάλλοντος. Μέσα από αυτή τη διαδικασία δίνεται η ευκαιρία να εντρυφήσει κανείς στη σύγχρονη τεχνολογία των αυτοματισμών.

Ειδικότερα η προσομοίωση αφορά στη διαδικασία της αυτόματης εκτροφής αιγοπροβάτων. Στο πλαίσιο αυτού του εγχειρήματος:

- Μελετάμε αισθητήρες, ως προς τις θεωρητικές αρχές λειτουργίας τους και στη συνέχεια πραγματοποιούμε υλοποίηση της χρήσης τους.
- Αξιοποιούμε τις δυνατότητες των αισθητήρων για συλλογή πληροφοριών και κατάλληλη επεξεργασία αυτών.
- Αναπτύσσουμε υποσύστημα ελέγχου μηχανών συνεχούς ρεύματος, μέσω Πληροφοριακού Συστήματος, και πιο συγκεκριμένα κάνουμε χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή καθώς και μικροελεγκτή με αντίστοιχα λογισμικά.

Απόσταγμα αυτής της προσπάθειας είναι η μελέτη μιας πρότυπης μικρογραφίας παραγωγικής διαδικασίας με πραγματικές απαιτήσεις. Η συγκεκριμένη απόπειρα, μπορεί να αποτελέσει βάση, είτε για περαιτέρω βελτιστοποιήσεις, είτε για περαιτέρω διερεύνηση τεχνολογικής ανάπτυξης σε επιστημονικό ή παραγωγικό επίπεδο.

1.2. Αυτοματοποίηση στη Κτηνοτροφία

Η παραγωγή κτηνοτροφικών προϊόντων που είναι πολύτιμα τρόφιμα για τον άνθρωπο, επιτυγχάνεται με τον ορθό συνδυασμό ενός αριθμού παραγόντων που επηρεάζονται από τον γονότυπο, την υγεία των ζώων, τη διατροφή και τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Η διατήρηση των υψηλών αποδόσεων των ζώων επί μακρό χρονικό διάστημα επιτυγχάνεται μόνο όταν εξασφαλίζονται άριστες περιβαλλοντικές συνθήκες, μέσα σε κατάλληλες σταβλικές εγκαταστάσεις και με ενδεδειγμένη διαχείριση των ζώων. Είναι, όμως καθολικά αποδεκτό ότι η διατροφή είναι ο πιο καθοριστικός παράγοντας στη ζωική παραγωγή, καθώς επηρεάζει το κόστος παραγωγής των κτηνοτροφικών προϊόντων. Η αυτοματοποίηση μιας κτηνοτροφικής παραγωγικής διαδικασίας αποτελεί σήμερα ένα πολύ ελκυστικό αντικείμενο ηλεκτρολογικού ενδιαφέροντος, επειδή συνδυάζει όλες τις

αρχές και μεθόδους της τεχνολογίας μικροϋπολογιστών με τον κλασικό Αυτόματο Έλεγχο με ιδανικό τρόπο. Η εισαγωγή της τεχνολογίας μικροϋπολογιστών στη αγροτική παραγωγή σε συνδυασμό με την ανάπτυξη της Ρομποτικής είχε σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός ιδιαίτερου επιστημονικού πεδίου.

Στο πλαίσιο της προσπάθειας για βελτίωση της ανταγωνιστικότητας, η κτηνοτροφία ενσωματώνει νέες μεθόδους και τεχνολογίες που συμβάλλουν

(α) στη μείωση του κόστους παραγωγής και (β) στη βελτίωση της ασφάλειας και ποιότητας των προϊόντων. Η υιοθέτηση ρομποτικών συστημάτων γίνεται κυρίως στο πλαίσιο της αυτοματοποίησης των διαδικασιών.

1.3. Συστήματα Ελέγχου Ηλεκτρικών Μηχανών

Η χρήση των ηλεκτρικών μηχανών παρέχει μια πιο άνετη δυνατότητα κίνησης. Την περίοδο μέχρι το 1950, οι τεχνολογικοί περιορισμοί των συστημάτων ελέγχου των ηλεκτρικών μηχανών, εμπόδισαν την εφαρμογή τους σε ευρεία κλίμακα. Αποτέλεσμα όλων αυτών ήταν τα συστήματα ηλεκτρικής κινήσεως να έχουν εφαρμογή σε λίγες μόνο περιοχές της τεχνολογίας και κυρίως τις εργαλειομηχανές και τη μεταλλουργία.

Ωστόσο, η ραγδαία εξέλιξη των ηλεκτρονικών ισχύος τις τελευταίες δεκαετίες, καθώς και των ψηφιακών συστημάτων και των μικροεπεξεργαστών, επέτρεψαν την ανάπτυξη μοντέρνων τεχνικών ελέγχου, με αποτέλεσμα την ταχύτατη εξέλιξη της περιοχής των ελεγχόμενων ηλεκτρικών συστημάτων κινήσεως.

Όταν έχουμε συχνές μεταβολές των μεγεθών της ροπής και της ισχύος του φορτίου, είναι απαραίτητος ο έλεγχος ενός συστήματος κίνησης, για να αποφεύγεται

η αστάθεια του συστήματος, η υπερφόρτωση του κινητήρα, η υπερβολική κατανάλωση ενέργειας και η υπερθέρμανση. Εξάλλου, για οικονομία στην κατανάλωση ενέργειας και για αύξηση του βαθμού αποδόσεως, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε κινητήρες χαμηλότερης ονομαστικής ισχύος.

Τα ηλεκτρικά συστήματα κίνησης προτιμώνται λόγω των πλεονεκτημάτων τους, σχετικά με άλλα συστήματα κινήσεως (μηχανικά, υδραυλικά, κτλ.). Η επιλογή αυτή εξηγείται από τα εξής πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν τα συστήματα αυτά:

- 1) Συστήματα κινήσεως υπάρχουν για ευρεία περιοχή ισχύος: από ισχύ μικρότερη του 1W (ηλεκτρονικά ρολόγια) μέχρι ισχύ μεγαλύτερη των 100MW (αντλίες σε υδροηλεκτρικούς σταθμούς).

- 2) Τα συστήματα αυτά παρέχουν ευρεία περιοχή ταχυτήτων: από 0 μέχρι 100.000 ΣΑΛ (φυγόκεντρες) και ευρεία περιοχή ροπών από 0 μέχρι 1.000.000 Nm (για μύλους τσιμέντου).
- 3) Προσαρμόζονται σε διάφορες λειτουργικές καταστάσεις όπως: σε κλειστά, σε υγρά, σε ραδιενεργά περιβάλλοντα. Επίσης δεν χρειάζονται καύσιμα, δεν εκπέμπουν καυσαέρια και έχουν χαμηλότερο θόρυβο από άλλα συστήματα.
- 4) Μπορούν να φορτιστούν αμέσως, δεν χρειάζονται προθέρμανση, έχουν υψηλή απόδοση, χαμηλές απώλειες και παρουσιάζουν την ικανότητα προσωρινής υπερφόρτισης χωρίς αρνητικές συνέπειες.
- 5) Είναι ελεγχόμενα. Δηλαδή οι χαρακτηριστικές μόνιμης κατάστασης μπορούν να αλλάξουν εάν χρειάζεται. Με ηλεκτρονικό έλεγχο επιτυγχάνεται καλή δυναμική επίδοση. Επίσης, μπορούν να λειτουργήσουν στα τέσσερα τεταρτημόρια του επιπέδου ροπής-ταχύτητας. Όταν βρίσκονται στο δεύτερο ή στο τέταρτο τεταρτημόριο (φρενάρισμα) τροφοδοτούν με ηλεκτρική ισχύ το δίκτυο.
- 6) Κατασκευάζονται σε μεγάλη ποικιλία σχεδίων κατά εφαρμογή όπως βηματικοί κινητήρες, γραμμικοί κινητήρες για οχήματα, σερβοκινητήρες, κ.α.

Βέβαια, τα ηλεκτρικά συστήματα κινήσεως παρουσιάζουν και μειονεκτήματα, μερικά από τα οποία παραθέτουμε στη συνέχεια:

- 1) Κυρίως στα ηλεκτρικά οχήματα παρατηρείται εξάρτηση από την ηλεκτρική πηγή τροφοδότησης με αποτέλεσμα να δημιουργεί δυσκολίες. Έτσι, μία πηγή ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να βρίσκεται πάντα μέσα στο όχημα.
- 2) Φαινόμενα άμεσα συναρτώμενα με τη λειτουργία τους όπως ο μαγνητικός κορεσμός καθώς και η ανάγκη ψύξης, αποτελούν την κύρια αιτία χαμηλότερου λόγου ισχύος προς βάρος μηχανής σε σχέση με τα αντίστοιχα υδραυλικά συστήματα κινήσεως.

Οι ηλεκτρικές μονάδες από τις οποίες αποτελείται ένα ελεγχόμενο ηλεκτρικό σύστημα κινήσεως είναι:

- μία μονάδα ελέγχου
- ένας ηλεκτρικός κινητήρας
- ένας μετατροπέας ισχύος και
- ένα μηχανικό φορτίο

I. Η μονάδα ελέγχου ρυθμίζει όλο το σύστημα. Συνδέεται με ειδικά στοιχεία μετρήσεων φυσικών μεγεθών, εισάγει τα δεδομένα από τις μετρήσεις αυτές στην κεντρική μονάδα επεξεργασίας, υλοποιεί διάφορες τεχνικές ελέγχου χρησιμοποιώντας ρυθμιστές και τέλος κατευθύνει το μετατροπέα ισχύος ώστε να

παράγει στην έξοδο την επιθυμητή κυματομορφή τάσης ελέγχοντας με τον τρόπο αυτό το σύστημα κινήσεως.

- II. Ο ηλεκτρικός κινητήρας είναι η συσκευή η οποία επιτελεί την ηλεκτρομηχανική μετατροπή της ενέργειας. Οι μεταβλητές εισόδου των μοντέλων των κινητήρων που θα χρησιμοποιηθούν είναι ηλεκτρικές τάσεις και ρεύματα και οι μεταβλητές εξόδου είναι η μηχανική γωνιακή ταχύτητα, η μηχανική ροπή και η μηχανική ισχύς.
- III. Ο μετατροπέας ισχύος τροφοδοτεί τον κινητήρα. Ο ρόλος του είναι να μετατρέπει την τάση και την συχνότητα του δικτύου σε τάση και συχνότητα, κατάλληλες για τον κινητήρα και για τη μέθοδο ρυθμίσεως. Εφαρμογές μετατροπέων ισχύος αποτελούν ο ανορθωτής, ο μετατροπέας συχνότητας, ο ρυθμιστής τάσεως κ.α.
- IV. Υπάρχουν πολλά είδη μηχανικών φορτίων τα οποία προσδιορίζονται κάθε φορά από την αντίστοιχη εφαρμογή.

Η περιοχή των ελεγχόμενων συστημάτων κινήσεως περιλαμβάνει μαθηματικά μοντέλα, τεχνικές ρυθμίσεως και σχεδίαση ρυθμιστών για συστήματα κινήσεως τόσο συνεχούς όσο και εναλλασσόμενου ρεύματος. Έτσι συγκεντρώνει γνώσεις από διάφορους επιστημονικούς τομείς όπως: μηχανική, ηλεκτρικές μηχανές, συστήματα αυτόματου ελέγχου, ψηφιακά συστήματα και υπολογιστές.

1.4 Έλεγχος Ποιμνιοστασίου

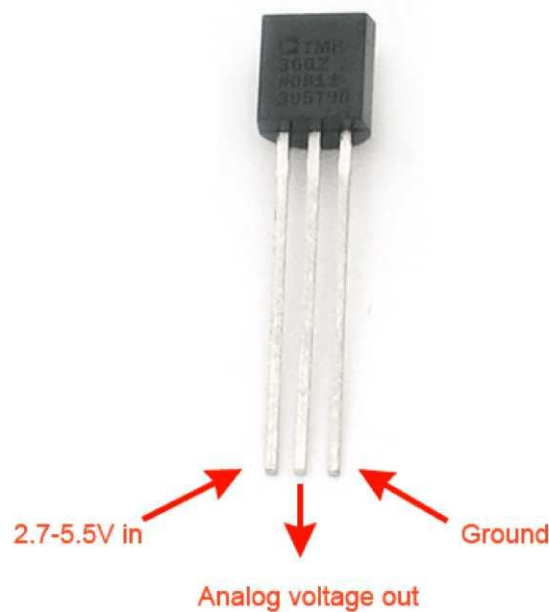
Η τεχνολογία δίνει τη δυνατότητα στον κτηνοτρόφο να ελέγχει πως επηρεάζεται το ποιμνιοστάσιο από διάφορους παράγοντες, όπως την θερμοκρασία και την υγρασία. Αξιολογούμε τις συνθήκες μέσα και έξω από το ποιμνιοστάσιο με την χρήση συστημάτων μέτρησης (αισθητήρες).

Τοποθετήθηκαν:

1. αισθητήρας θερμοκρασίας εξωτερικά
2. αισθητήρας θερμοκρασίας μέσα στο ποιμνιοστάσιο
3. αισθητήρας βάρους
4. ένας μηχανισμός αυτόματου τροφοδότη τροφής

1.4.1 Αισθητήρας Θερμοκρασίας Εξωτερικά

Τοποθετούμε εκτός ποιμνιοστασίου έναν αισθητήρα θερμοκρασίας για να μπορούμε να έχουμε μια εικόνα για τις εξωτερικές συνθήκες του περιβάλλοντος. Έτσι μπορούμε βγάλουμε συμπεράσματα συνεργατικά με τους αισθητήρες που βρίσκονται στο εσωτερικό του χώρου. Καταγράφουμε τις μετρήσεις του συγκεκριμένου αισθητήρα για μεγάλο χρονικό διάστημα και παρατηρούμε πώς επηρεάζεται ο πληθυσμός των ζώων από το μικροκλίμα της περιοχής που βρίσκεται το ποιμνιοστάσιο.



Εικόνα 1.9 Αισθητήρας Θερμοκρασίας - LM35 Temperature Sensor

Πιο συγκεκριμένα:

- Τον χειμώνα ελέγχουμε τις ακραία χαμηλές θερμοκρασίες
- Τις εποχές που παρατηρούμε ότι τα κτηνοτροφικά ζώα έχουν την δυνατότητα να βγουν για αναζήτηση τροφής και τότε έχουμε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες.

Συμπεράσματα συνεργατικά με τα άλλα μέρη της κατασκευής:

- Έχουμε εφαρμόσει αυτόματο τάισμα, για να γίνεται αύξηση της ποσότητας της τροφής σε ακραία χαμηλές θερμοκρασίες τον χειμώνα, γιατί τα ζώα δεν μπορούν να έχουν πρόσβαση στο περιβάλλον καθώς οι καιρικές συνθήκες δεν το επιτρέπουν.
- Στην αρχή της γαλακτικής περιόδου (Σεπτεμβρίου - Οκτωβρίου 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 ζώο διατηρεί το βάρος του, αν δηλαδή κλείνεται λόγω άσχημων καιρικών συνθηκών για παρατεταμένο διάστημα μέσα στο ποιμνιοστάσιο, κάτι που μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια βάρους και μείωση της γαλακτικής του ικανότητας.

1.4.2 Αισθητήρας Θερμοκρασίας Μέσα στο Ποιμνιοστάσιο

Θα αναλύσουμε τα συμπεράσματα που μπορούμε να διεξάγουμε από τις μετρήσεις ξεκινώντας από τον αισθητήρα θερμοκρασίας μέσα στο ποιμνιοστάσιο.

Ομοιόσταση

Όταν 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, ονομάζουμε γενικότερα το βιολογικό αυτό φαινόμενο ως ομοιόσταση. Η συγκέντρωση της γλυκόζης στο αίμα ή η θερμοκρασία του σώματος είναι ένα από τα πιο κοινά παραδείγματα ομοιόστασης στον οργανισμό του ανθρώπου και των ομοιόθερμων ζώων. Η ιδιότητα της ομοιόστασης στα κτηνοτροφικά ζώα εκδηλώνεται πολύ και ειδικότερα στην περίπτωση της ρύθμισης της θερμοκρασίας τους. Η θερμική ομοιόσταση του κάθε ζώου ως υπεροργανισμού βοηθάει στην ομαλή διαχείριση των αποθεμάτων του σε θρεπτικά στοιχεία, ώστε να έχει μεγαλύτερη γαλακτική παραγωγή για οποιαδήποτε θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

Τοποθετώντας μέσα στο ποιμνιοστάσιο έναν αισθητήρα θερμοκρασίας μπορούμε να έχουμε τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Τον χειμώνα, που τα ζώα δυσκολεύεται σε σχέση με πιθανές ακραίες συνθήκες περιβάλλοντος παρατηρούμε τις θερμοκρασίες (με έναν ή περισσότερους αισθητήρες) που διατηρεί το ποιμνιοστάσιο.
- Στην αρχή της άνοιξης ή νωρίς το φθινόπωρο, που η θερμοκρασία έχει πιο υψηλές τιμές παρατηρούμε ότι τα ζώα έχουν μικρότερες ανάγκες για τροφές με υψηλά ποσοστά ενέργειας. Πράγμα που δείχνει ότι ξεκινάει η περίοδος γαλακτοπαραγωγής με μείωση του κόστους παραγωγής. Παρακολουθώντας τη θερμοκρασία στο ποιμνιοστάσιο έχουμε ένα ακόμη όφελος. Με τον αισθητήρα θερμοκρασίας, μπορούμε να παρατηρήσουμε και κάποια άλλα πράγματα πιο συγκεκριμένα για το ποιμνιοστάσιο. Τα οποία, παρόλα αυτά με ένα λίγο ευρύτερο δίκτυο καταγραφής και τους κατάλληλους χειρισμούς από τον κτηνοτρόφο μπορεί να φανούν αρκετά χρήσιμα.

- Τοποθετώντας περισσότερους από έναν αισθητήρα θερμοκρασίας, μπορούμε να παρατηρήσουμε την αναγκαιότητα εξαερισμού για να διατηρήσουμε πιο σταθερές θερμοκρασίες .
- Κατά τους χειμερινούς μήνες, παρομοίως αισθητήρες θερμοκρασίας, επιτρέπουν στον κτηνοτρόφο να παρακολουθεί τη θερμοκρασιακή αλλαγή, ώστε να είναι σε θέση να τροποποιεί την ποσότητα των ζωοτροφών ανά μονάδα ζώου.

1.4.3 Αισθητήρας Βάρους (Πίεσης)

Για να έχουμε ένα υγιές ζώο το πιο σημαντικό είναι να έχει επάρκεια τροφής σε όλα τα στάδια της εκτροφής του. Ακόμη και μικρό διάστημα να μείνει χωρίς τροφή γίνεται ευάλωτο σε ασθένειες με άμεσες αλλά και μακροπρόθεσμες συνέπειες. Επίσης, διάφορα νοσήματα μπορεί να είναι αίτια του υποσιτισμού. Από την άλλη πλευρά, η χορήγηση τροφής είναι ένα από τα βασικά έξοδα του κτηνοτρόφου, για αυτό δεν πρέπει να γίνονται υπερβολές και άσκοπα ταΐσματα. Με τον αισθητήρα βάρους παρατηρούμε τις αυξομειώσεις του βάρους ενός ζώου σε όλη την διάρκεια του χρόνου αποκομίζοντας σημαντικά συμπεράσματα.



Εικόνα 1.10 Αισθητήρας Βάρους - Flexiforce Pressure Sensor - 100 lbs

- Ζυγίζουμε το κάθε ζώο στην αρχή της περιόδου κήσης με μια ζυγαριά και καταγράφοντας τα αποτελέσματα μπορούμε να παρατηρήσουμε πόσο μειώνονται τα αποθέματα λίπους στο σώμα τους και πόσο αυτό επηρεάζεται από τις εξωτερικές καιρικές συνθήκες. Έτσι γνωρίζουμε με ακρίβεια τα αποθέματα λίπους που έχουμε με την βοήθεια του αισθητήρα και μπορούμε να αυξήσουμε την τροφοδοσία αυτόματα όταν υπάρχει λόγος.
- Σε ποιμνιοστάσια που έχουμε τοποθετήσει τους αισθητήρες έχουμε πλήρη έλεγχο των διατροφικών αναγκών των ζώων όλο το χρόνο με πολύ λιγότερες επιθεωρήσεις στο χώρο. Επίσης καταλαβαίνουμε, συνεργατικά με τον εξωτερικό αισθητήρα θερμοκρασίας, πότε τα ζώα κλείνονται για μεγάλο χρονικό διάστημα λόγω κακών

καιρικών συνθηκών ή πότε υπάρχει έλλειψη τροφής στη φύση. Αυτό είναι πολύ σημαντικό γιατί όταν τα ζώα έχουν νεογνά καταναλώνουν μεγαλύτερη ποσότητα τροφής για να διατηρήσουν την κατάλληλη θερμοκρασία και την αναγκαία ποσότητα γάλακτος που χρειάζονται για την επιβίωση των μικρών τους.

- Επιπλέον μπορούμε να εντοπίσουμε και να καταγράψουμε τις αυξήσεις των βοσκόντων αποθεμάτων στην περιοχή που βρισκόμαστε κάτι που είναι πολύ σημαντικό για τον κτηνοτρόφο μακροπρόθεσμα.

Τέλος ο αισθητήρας βάρους μπορεί να εντοπίσει πότε η γαλακτοπαραγωγή φτάνει στο τέλος της, για να ξεκινήσει τις διαδικασίες σύζευξης εγκαίρως. Με αυτό τον τρόπο δεν έχει απώλειες χρόνου που αυτό μεταφράζεται σε μείωση οικονομικού κόστους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Θεωρητικό μέρος

2.1 Συστήματα Μέτρησης

Τον προσδιορισμό ενός ποσού ή ενός μεγέθους με βάση ένα μέγεθος αναφοράς του ίδιου τύπου, που χρησιμοποιείται ως μονάδα μέτρησης (measurement unit, π.χ. το μέτρο, το κιλό κλπ.), αποκαλούμε *μέτρηση* (measurement). Για την πραγματοποίηση των μετρήσεων χρησιμοποιούνται τα κατάλληλα συστήματα μέτρησης (measurement systems). Αναπόσπαστο τμήμα πολλών ανθρώπινων δραστηριοτήτων αποτελούν οι μετρήσεις των φυσικών και των χημικών φαινομένων. Για να μπορέσει να επικοινωνήσει με άλλους ανθρώπους και να διεξάγει πλήθος δραστηριοτήτων (π.χ. πωλήσεις και αγορές προϊόντων κτλ.), ο άνθρωπος από πολύ παλιά χρησιμοποίησε τη μέτρηση. Με την βιομηχανική και τεχνολογική ανάπτυξη, οι μετρήσεις εκτός από την έκφραση του μεγέθους μιας ποσότητας άρχισαν να χρησιμοποιούνται ευρέως στα λεγόμενα συστήματα αυτόματου ελέγχου (automatic control systems).

Παλιότερα, τα περισσότερα συστήματα μέτρησης βασίζονταν σε χειροκίνητες, μηχανικές ή άλλες διαδικασίες για την υλοποίηση μετρήσεων όπως η μέτρηση των διαστάσεων με χάρακα, η μέτρηση της θερμοκρασίας με θερμόμετρο υδραργύρου, η μέτρηση του βάρους με ζυγό ισορροπίας και χρήση πρότυπων βαρών, κτλ. Με την τεχνολογική ανάπτυξη των ηλεκτρονικών, η συντριπτική πλειοψηφία των μετρήσεων βασίζεται πλέον στην μετατροπή ενός φυσικού μεγέθους (πχ. θερμοκρασία, πίεση, κλπ.) στο αντίστοιχο ηλεκτρικό σήμα (συνήθως τάση). Οι *αισθητήρες (sensor)* είναι η μονάδα που αναλαμβάνει την μετατροπή του φυσικού μεγέθους στο αντίστοιχο ηλεκτρικό σήμα. Στις μέρες μας έχουν αναπτυχθεί αισθητήρες για αρκετά μεγάλο αριθμό φυσικών μεγεθών και με ερευνητικές προσπάθειες προκύπτουν διαρκώς νέοι αισθητήρες για μεγέθη τα οποία δεν υπήρχαν. Επίσης βελτιώνονται συνεχώς οι υπάρχοντες αισθητήρες και οι αντίστοιχες ηλεκτρονικές διατάξεις που συνιστούν τα συστήματα 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.).

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

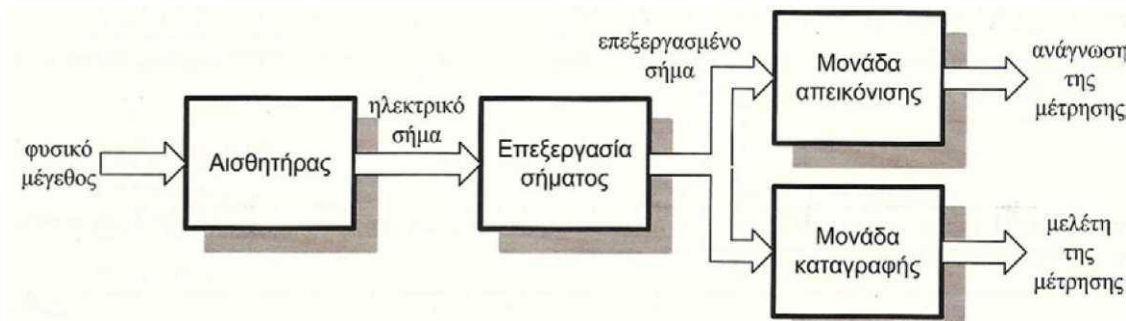
2.1.1 Η δομή ενός συστήματος μέτρησης

Η δομή γενικά ενός συστήματος μέτρησης απεικονίζεται στο σχήμα 2.1.1. Το αισθητήριο (sensor) ή μετατροπέα φυσικών μεγεθών (transducer) παρέχει το ηλεκτρικό σήμα που αντιστοιχεί στη μετρούμενη φυσική ποσότητα. Στη βιβλιογραφία οι δύο όροι χρησιμοποιούνται ελεύθερα για να περιγράψουν τη διάταξη μετατροπής του φυσικού μεγέθους. Εντούτοις, ένας πιο 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.

Το σύστημα προσαρμογής (conditioner), ενσωματωμένο ή ανεξάρτητο με το αισθητήριο, συνδέεται από την πλευρά της εισόδου με το αισθητήριο και παρέχει στο σύστημα επεξεργασίας ένα ηλεκτρικό σήμα κατάλληλο για τη μετάδοση του στην πλευρά της εξόδου. Κυκλώματα ενίσχυσης, φιλτραρίσματος, μείωσης του θορύβου, γραμμικοποίησης, ακόμη και διατάξεις μετατροπής της τάσης σε ρεύμα, σε συχνότητα ή σε ψηφιακή μορφή περιλαμβάνονται σε ένα σύστημα προσαρμογής. Ο σταθμός επεξεργασίας μεταδίδει το ηλεκτρικό σήμα σε αναλογική ή ψηφιακή μορφή από το σύστημα προσαρμογής. 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:

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

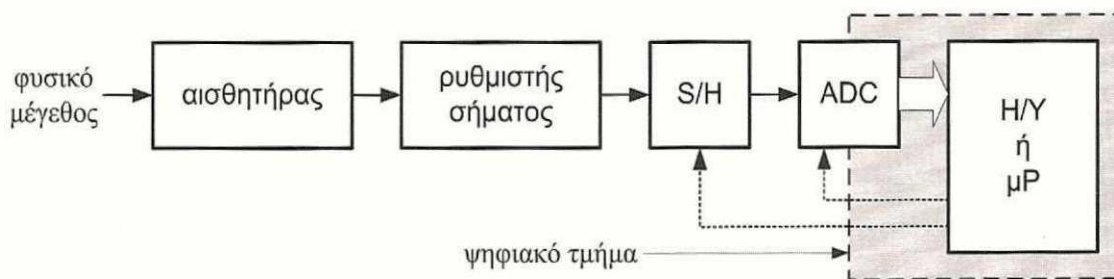


Εικόνα 2.1 Η δομή ενός συστήματος μέτρησης

Η μονάδα απεικόνισης μπορεί να είναι αναλογική. Παρόλο που σε μερικές περιπτώσεις 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.

Η τυπική δομή ενός ψηφιακού συστήματος μέτρησης δίνεται στο Σχήμα 2.1.2.

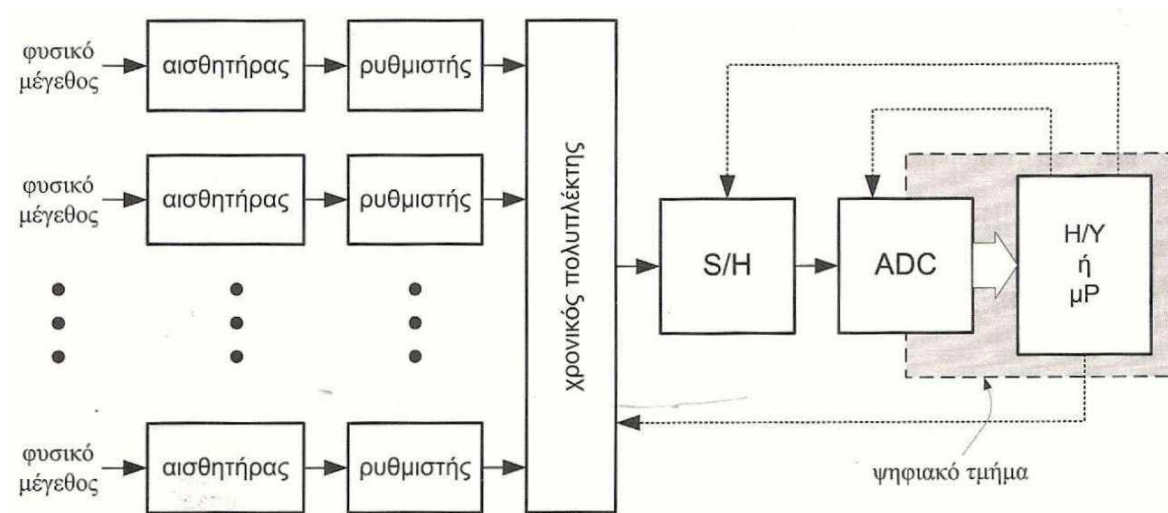
Η μονάδα δειγματοληψίας και συγκράτησης (sample and hold, S/H) και ο μετατροπέας του αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (A/D converter, ADC) εξασφαλίζουν την μετατροπή του σήματος σε ψηφιακή μορφή με το επιθυμητό μήκος ψηφιακής λέξης (8 bit, 10 bit, 12 bit κλπ.). Το σύστημα ελέγχεται από έναν Η/Υ ή ένα μικροεπεξεργαστή (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.).



Εικόνα 2.2 Η δομή ενός ψηφιακού συστήματος μέτρησης

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

Ο Η/Υ ελέγχει έναν χρονικό πολυπλέκτη και επιλέγει ποιο από τα φυσικά μεγέθη που παρακολουθεί το σύστημα θα μετρηθεί σε κάθε χρονική στιγμή. Έτσι, μπορούμε να μετρήσουμε ταυτόχρονα πολλά μεγέθη, να τα επεξεργαζόμαστε, να τα αποθηκεύουμε στον ίδιο Η/Υ ή και να τα μεταδώσουμε σε μεγάλες αποστάσεις. Η ταυτόχρονη μέτρηση των μεγεθών δίνει επίσης τη δυνατότητα: (α) να συσχετίσουμε διαφορετικά φυσικά μεγέθη και τα αντίστοιχα φαινόμενα που μετρώνται και (β) να λαμβάνουμε έμμεση μέτρηση μεγεθών τα οποία δεν μπορούν να μετρηθούν άμεσα. *Μετρητές* (meters) αποκαλούμε 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.



Εικόνα 2.3 Η δομή ενός ψηφιακού συστήματος μέτρησης πολλών μεγεθών ταυτόχρονα

2.2 Αισθητήρες

Η διάταξη που χρησιμοποιούμε για να μετρήσουμε ένα φυσικό μέγεθος ονομάζεται αισθητήρας (sensor). Μετατρέπει σε ηλεκτρικό σήμα, το φυσικό μέγεθος που μετράμε (μετρούμενο μέγεθος).

Αισθητήρες χρησιμοποιούμε για να συλλέξουμε πληροφορίες (δεδομένα) από ένα σύστημα, καθώς και για τον έλεγχο των συστημάτων. Φυσικά μεγέθη που συνήθως μετρώνται με αισθητήρες είναι η θέση και η μετατόπιση ενός αντικειμένου, η ταχύτητα και η επιτάχυνση ενός κινούμενου αντικειμένου, η στάθμη των υγρών, η ροή του ρευστού, η θερμοκρασία, η δύναμη, η τάση, το ρεύμα, η υγρασία, η ακτινοβολία και άλλα. [16]

Τους αισθητήρες τους επιλέγουμε με βάση τη μορφή της απαιτούμενης πληροφορίας που βρίσκεται προς μέτρηση, το κόστος, την καταλληλότητα της μορφής του αισθητήρα, τα

χαρακτηριστικά κ.α. Αισθητήρες που μπορούν να συνεργαστούν με ένα ηλεκτρονικό σύστημα μέτρησης και να συνδεθούν με μικροεπεξεργαστές είναι αυτοί που παρουσιάζουν ανάλογο ενδιαφέρον.

2.2.1 Στατικά χαρακτηριστικά των αισθητήρων

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 είναι συχνά απαραίτητο καθώς οι αισθητήρες δεν δίδουν πάντα στην έξοδό τους κατάλληλο ηλεκτρικό σήμα. Το κύκλωμα αυτό ονομάζεται εξωτερική μονάδα (outer ή external module), ή *κύκλωμα ρύθμισης σήματος* (signal conditioning circuit), ή *κύκλωμα ελέγχου* (control circuit).

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

Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που εμφανίζει αυτός απέναντι στις υπόλοιπες αισθητήριες διατάξεις καθορίζονται από το φαινόμενο στο οποίο βασίζεται η λειτουργία κάθε αισθητήρα. Για την επιλογή του κατάλληλου οργάνου για μια εφαρμογή, σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η γνώση των χαρακτηριστικών του εκάστοτε αισθητήρα τα οποία αποτυπώνουν την απόδοση και τη συμπεριφορά του κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Στη συνέχεια περιγράφονται τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά για τα γεωτεχνικά όργανα.

- **ΑΚΡΙΒΕΙΑ**

Το μέγιστο σφάλμα που μπορεί να περιέχεται στην ένδειξή του αισθητήρα καθορίζει την ακρίβεια του. Όλες οι συσκευές παράγουν στην πράξη σφάλματα στις μετρήσεις τους. Το ζητούμενο είναι αυτό το σφάλμα να είναι το μικρότερο δυνατό. Το ποσοστό του εύρους λειτουργίας του αισθητήρα δίνεται συνήθως ως η ακρίβειά του

- **ΕΠΑΝΑΛΗΨΙΜΟΤΗΤΑ**

Το γεγονός μια συσκευή να παρέχει τα ίδια αποτελέσματα τροφοδοτούμενη με την ίδια είσοδο σε διαφορετικές χρονικές στιγμές ονομάζεται επαναληψιμότητα.

- **ΔΙΑΚΡΙΤΟΤΗΤΑ**

Το μικρότερο διάστημα που μπορεί να μετρηθεί από έναν αισθητήρα ονομάζεται διακριτότητα ή διακριτική ικανότητα. Όσο μεγαλύτερη διακριτότητα διαθέτει μία αισθητήρια διάταξη, τόσο μικρότερο βήμα μετράει.

- **ΣΥΜΒΑΤΟΤΗΤΑ**

Η τιμή της παραμέτρου που πρόκειται να μετρηθεί περιγράφεται από το κατά πόσον η εγκατάσταση του οργάνου επηρεάζει το μέγεθος που ονομάζεται συμβατότητα. Ένα όργανο που δεν επηρεάζει καθόλου αυτή την τιμή θεωρείται ιδανικό από άποψη συμβατότητας.

- **ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ**

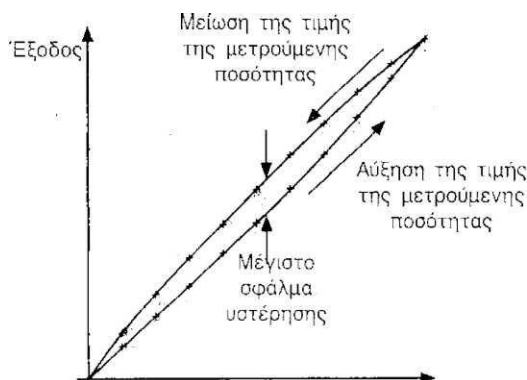
Οι διαστάσεις ενός αισθητήρα αναφέρονται στο μέγεθός του.

- **ΕΥΡΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ**

Τα όρια, εντός των οποίων μπορεί να λειτουργεί αξιόπιστα ένας αισθητήρας ορίζει το εύρος λειτουργίας του. Συνήθως, οι τιμές που μπορεί να μετρήσει εκφράζονται από την ελάχιστη και τη μέγιστη. Επιπλέον, ως εύρος λειτουργίας αναφέρεται η περιοχή τιμών στην οποία είναι δυνατή η χρήση του αισθητήρα.

- **ΥΣΤΕΡΗΣΗ**

Οι διαφορές στην έξοδο ενός αισθητήρα όταν η κατεύθυνση μεταβολής της εισόδου αντιστραφεί ονομάζεται υστέρηση. Έτσι, προκύπτει σφάλμα και επηρεάζεται η ακρίβεια της συσκευής. Το σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζει την επίδραση της υστέρησης με την βοήθεια μιας γραφικής παράστασης.



Εικόνα 2.5 Γραφική παράσταση του φαινομένου της υστέρησης.

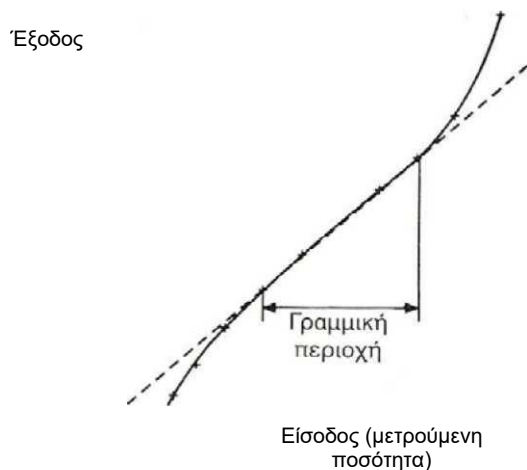
Η είσοδος του αισθητήρα, δηλαδή η μετρούμενη ποσότητα αυξάνεται με σταθερό βήμα. Όταν φτάσει τη μέγιστη δυνατή τιμή μειώνεται με το ίδιο σταθερό βήμα έως ότου λάβει ξανά την τιμή μηδέν. Η γραφική παράσταση δείχνει τη διαφορά που υπάρχει στην έξοδο του αισθητήρα, όταν η μετρούμενη ποσότητα αυξάνεται ή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

Δεν εμφανίζουν υστέρηση όλοι οι αισθητήρες και τα συστήματα μέτρησης. Η υστέρηση προκαλείται από διάφορους παράγοντες, ειδικότερα τη μηχανική τάση και την τριβή.

- **ΓΡΑΜΜΙΚΟΤΗΤΑ**

Ο βαθμός στον οποίο η γραφική παράσταση της εξόδου ως προς την είσοδο του αισθητήρα προσεγγίζει μια ευθεία γραμμή ονομάζεται γραμμικότητα. Η γραμμικότητα ενός

αισθητήρα μπορεί να ορίζεται μόνο για μια περιοχή τιμών. Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται δεν μπορούν συνήθως να συνδυάσουν όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά σε ικανοποιητικά επίπεδα για το χρήστη. Για παράδειγμα, ένας αισθητήρας μπορεί να διαθέτει υψηλό κόστος, αλλά να έχει μεγάλη ακρίβεια και ευαισθησία.



Εικόνα 2.6 Γραμμικότητα

- **ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ**

Ο καθορισμός της συνάρτησης μεταφοράς ενός αισθητήρα ή γενικότερα ενός συστήματος μέτρησης ονομάζεται βαθμονόμηση. Κατά τη διαδικασία των μετρήσεων είναι απαραίτητη η γνώση της συνάρτησης μεταφοράς του αισθητήρα, 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.

- **ΘΟΡΥΒΟΣ**

Εξωτερικοί παράγοντες, όπως γεινίαση με πηγές τάσης υψηλής συχνότητας, πηγές εκπομπής ήχου κ.α. δημιουργούν θόρυβο κατά τη διάρκεια μιας μέτρησης. Κατά πόσον επηρεάζεται η ακρίβειά και η διακριτότητα του εν λόγω θορύβου καθορίζει τη βάση λειτουργίας κάθε αισθητήρα.

- **ΣΦΑΛΜΑ**

Η διαφορά μεταξύ της μετρούμενης τιμής και της πραγματικής τιμής μιας ποσότητας ισούται με το σφάλμα. Για να αντιπροσωπευθεί η ακρίβεια του συστήματος θα πρέπει τα σφάλματα να εκφράζονται επί τοις εκατό (%)

- **ΝΕΚΡΗ ΖΩΝΗ**

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

Το σχήμα 1.3.1 δείχνει τα χαρακτηριστικά μιας νεκρής ζώνης. Συχνά οι υπολογίσιμες νεκρές ζώνες εμφανίζονται κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες που σημαίνει ότι δεν είναι απαραίτητο να υπάρχει νεκρή ζώνη καθ' όλο το εύρος ενός οργάνου.



Εικόνα 2.4 Νεκρή ζώνη

- **ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗ**

Η καθυστέρηση της αλλαγής της τιμής εξόδου ενός αισθητήρα ως προς την αλλαγή της εισόδου του ονομάζεται καθυστέρηση. Μετριέται σε δευτερόλεπτα ή συνηθέστερα σε κλάσματα του δευτερολέπτου. Σε αρκετές εφαρμογές, όπως είναι ο έλεγχος η απόδοση μπορεί να επηρεαστεί αποφασιστικά την καθυστέρηση.

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]

- **ΑΠΟΚΡΙΣΗ**

Ο χρόνος που απαιτείται από μια συσκευή για να λάβει την τελική τιμή εξόδου της για μια δεδομένη είσοδο ονομάζεται απόκριση (response) της συσκευής. Μπορεί να εκφραστεί σε δευτερόλεπτα ή κλάσματα του δευτερολέπτου, ή κάποιες φορές ως ποσοστό επί της τελικής τιμής εξόδου.

- **ΑΝΟΧΗ**

Το μέγιστο ποσό σφάλματος που μπορεί να υπάρξει κατά τη διάρκεια λειτουργίας μιας συσκευής ονομάζεται ανοχή (tolerance). Μπορεί συχνά να αναφέρεται η ανοχή αντί της ακρίβειας στις προδιαγραφές, ανάλογα με τη φύση της συσκευής.

- **ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ**

Το μέτρο της μεταβολής της εξόδου μιας συσκευής, όταν η είσοδος και οι συνθήκες παραμένουν σταθερά, κατά τη διάρκεια μιας μεγάλης χρονικής περιόδου ονομάζεται ευστάθεια (stability).

- **ΧΡΟΝΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ**

Η ένδειξη του χρόνου όπου αναμένεται να λειτουργεί ένας αισθητήρας στα πλαίσια των προδιαγραφών του, αποτελεί τον χρόνο λειτουργίας (operating life) του. Εκφράζεται με τον αριθμό των λειτουργιών σε μονάδες χρόνου ή των κύκλων λειτουργίας που μπορεί να διεκπεραιώσει με επιτυχία.

- **ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑ**

Όταν κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες έχουμε μια αλλαγή στην έξοδο από μια αντίστοιχη αλλαγή στην είσοδο, τότε αυτή η σχέση εκφράζει την ευαισθησία (sensitivity). Η ευαισθησία ενός αισθητήρα είναι ίση με τη διαφορά των τιμών εξόδου προς τη διαφορά των αντίστοιχων τιμών της εισόδου, δηλαδή της μετρούμενης ποσότητας.

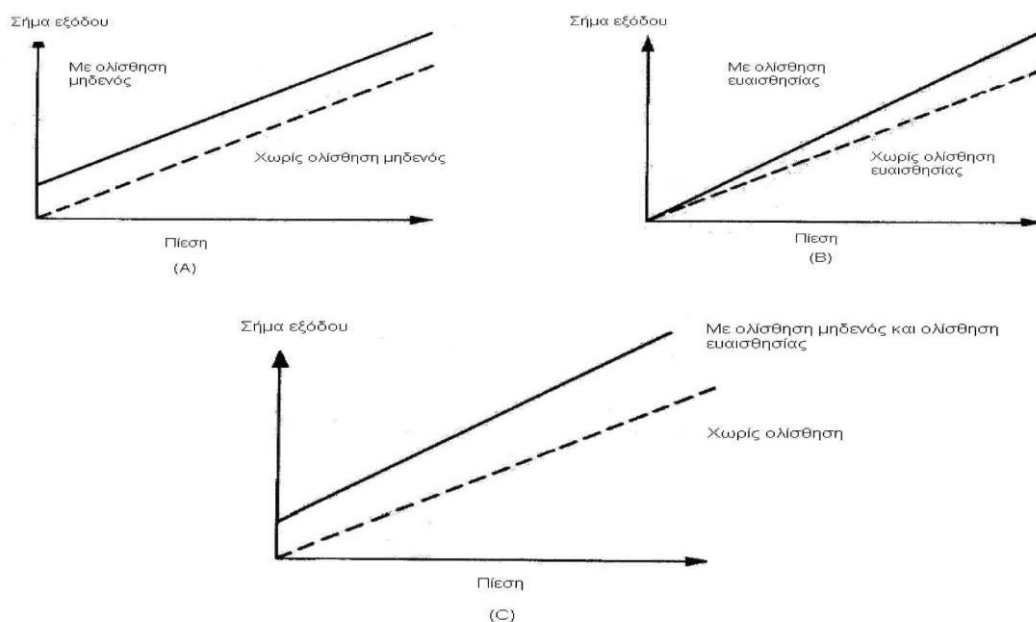
μέγιστη τιμή εξόδου - ελάχιστη τιμή εξόδου

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. 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.

- **ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑ ΣΤΗ ΔΙΑΤΑΡΑΧΗ**

Όταν ένας αισθητήρας λειτουργεί εντός συγκεκριμένου εύρους περιβαλλοντικών παραμέτρων, όπως η θερμοκρασία, η πίεση, η σχετική υγρασία κ.λπ. τότε ισχύουν και η βαθμονόμηση και τα χαρακτηριστικά του. Ο κατασκευαστής καθορίζει το εύρος του αισθητήρα. Όταν μεταβάλλουμε κάποια από τις παραμέτρους αυτές ενδέχεται να μεταβληθεί κάποιο από τα στατικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα. Η μεταβολή αυτή ορίζεται ως η ευαισθησία στη διαταραχή. Δύο χαρακτηριστικά γνωστά ως ολίσθηση του μηδενός (zero drift) και ολίσθηση ευαισθησίας (sensitivity drift), είναι αυτά που μεταβάλλονται συνήθως. Η ολίσθηση του μηδενός είναι το μη μηδενικό σήμα εξόδου του αισθητήρα, όταν το σήμα εισόδου είναι μηδέν, λόγω μεταβολής των περιβαλλοντικών συνθηκών. Αν περισσότερες από μία περιβαλλοντικές παραμέτρους επηρεάζουν τον αισθητήρα τότε αυτός χαρακτηρίζεται από αντίστοιχες σε αριθμό ολισθήσεις του μηδενός. Χαρακτηριστική ολίσθηση μηδενός αισθητήρα πίεσης, φαίνεται στο Σχήμα 2.2.4.



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

2.2.3 Είδη αισθητήρων

Ορισμένα από τα είδη αισθητήρων που χρησιμοποιούνται ευρέως παρατίθενται παρακάτω

- Θερμοκρασίας
- Επαφής
- Υπερήχων
- Υπερύθρων
- Ήχου
- Φωτός - Χρωμάτων
- Άλλοι αισθητήρες: πίεσης, επιταχυνσιόμετρα, γυροσκόπια, πυξίδες κτλ.

2.2.4 Είδη μονάδων εξόδου

Ένα σύνολο πληροφοριών παρέχεται από τη χρήση αισθητήρων, οι οποίες παριστάνονται ανάλογα με την εκάστοτε εφαρμογή σε ειδικές μονάδες εξόδου, με μερικά παραδείγματα να είναι τα εξής:

- Βομβητές
- Μεγάφωνα
- Φωτεινές λυχνίες - οθόνες

2.2.5 Δυναμικά χαρακτηριστικά αισθητήρων

Τα ιδανικά χαρακτηριστικά που πρέπει να έχει ένας αισθητήρας αναγράφονται εν συντομία στον πίνακα 2.2.1. Όσον αφορά όμως έναν πραγματικό αισθητήρα, η συμπεριφορά και τα χαρακτηριστικά του διαφέρουν αρκετά.

Η απόκριση χαρακτηρίζεται από μια δυναμική συμπεριφορά που δε μπορεί να περιγραφεί πλήρως από τα στατικά χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν παραπάνω και είναι διαφορετική από την απόκριση σε ένα σταθερό ή αργά μεταβαλλόμενο σήμα εισόδου. Οι λόγοι που οδηγούν σ'αυτή τη διαφοροποίηση είναι ότι οι αισθητήρες περιλαμβάνουν στοιχεία που συσσωρεύουν ενέργεια όπως μάζες, επαγωγικά ή θερμικά στοιχεία, πυκνωτές, κ.α. Τα δυναμικά χαρακτηριστικά ενός αισθητήρα προσδιορίζονται εάν εξετάσουμε την απόκριση του σε διάφορες κυματομορφές του σήματος εισόδου (ώθησης, ημιτονοειδείς, βήματος, γραμμικές και θορύβου).

Στον πραγματικό κόσμο όμως, τα χαρακτηριστικά των αισθητήρων διαφέρουν από τα ιδανικά. Παρακάτω παρατίθενται τα ιδανικά χαρακτηριστικά (πίνακας 2.2.1). Λαμβάνοντας όμως υπόψη παράγοντες όπως οι περιβαλλοντικοί, κατασκευαστικές δυσλειτουργίες και ιδιαιτερότητες αλλά και περιορισμούς που προκύπτουν από το ηλεκτρονικό κύκλωμα το οποίο συνοδεύει τον αισθητήρα, οι τιμές αυτές αλλάζουν, όπως και η γενικότερη συμπεριφορά του αισθητήρα.

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

Πίνακας 2.2.1 Επιθυμητές τιμές χαρακτηριστικών αισθητήρα

2.2.6 Οι κατηγορίες των Αισθητήρων

Πλέον, οι αισθητήρες διαφόρων τύπων, χρησιμοποιούνται σε μεγάλο εύρος διαδικασιών, οι οποίες καθορίζουν το σύγχρονο τρόπο λειτουργίας όλων των επιχειρηματικών κλάδων. Η ποικιλία των ειδών των αισθητήρων αλλά και οι πολλαπλές τους εφαρμογές, έχει δημιουργήσει την ανάγκη στους επαγγελματίες να γνωρίζουν έστω και πρακτικά τα διάφορα χαρακτηριστικά τους, ώστε να μπορούν να επιλέξουν την κατάλληλη συσκευή

από ένα κατάλογο με αναλυτικές προδιαγραφές ή για την επισκευή και τη βαθμονόμηση των αισθητήρων που υπάρχουν σε οποιοδήποτε λειτουργικό τμήμα εξοπλισμού.

Για την καλή λειτουργία του συστήματος, είναι σημαντική η επιλογή των κατάλληλων αισθητήρων που θα χρησιμοποιηθούν σε ένα σύστημα αυτόματου ελέγχου. Η ταξινόμηση των αισθητήρων γίνεται, είτε σύμφωνα με τη λειτουργία τους (όπως π.χ. τη μέτρηση της θερμοκρασίας), είτε με βάση τη φυσική αρχή στην οποία στηρίζεται η λειτουργία τους. Μόλις καθοριστεί το μέγεθος το οποίο θέλουμε να μετρήσουμε, στη συνέχεια καθορίζονται τα εξής χαρακτηριστικά του αισθητήρα:

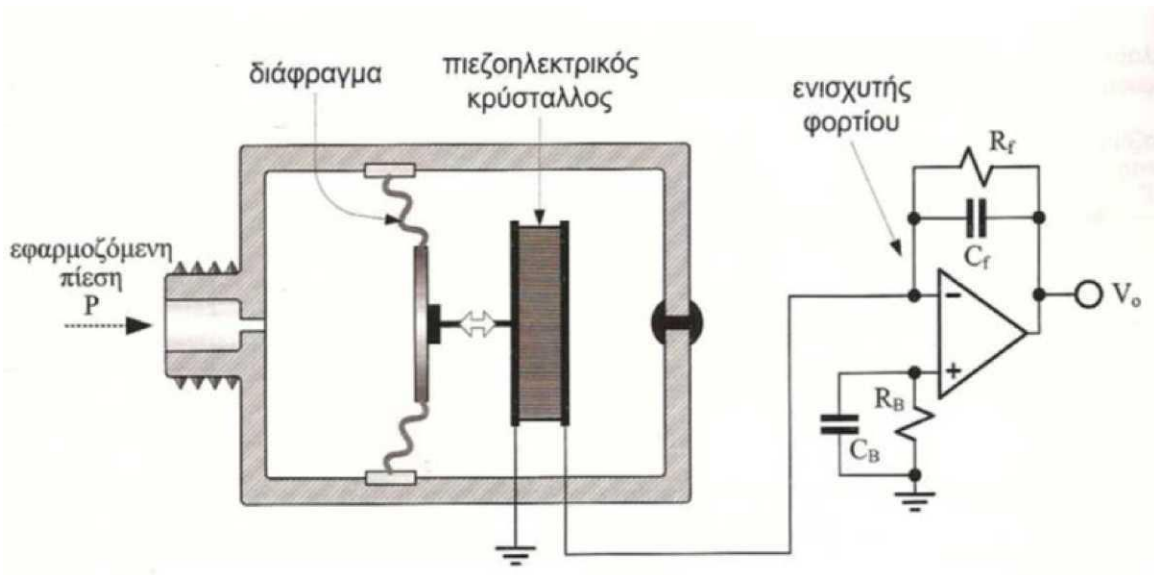
Η επιθυμητή διακριτική ικανότητα του οργάνου, το εύρος της μέτρησης καθώς και η χρονική απόκριση. Μόλις επιλεγθεί ο τύπος του αισθητήρα, στη συνέχεια πρέπει να καθοριστεί το σημείο τοποθέτησής του στο σύστημα, ώστε να πετύχουμε τη μεγαλύτερη δυνατή αξιοπιστία μετρήσεων. Το γεγονός ότι μπορούμε να μετρήσουμε την τιμή μιας μεταβλητής σε διάφορα σημεία του συστήματος, καθιστά απαραίτητη την ανάγκη για καθορισμό του σημείου το οποίο παράγει τα περισσότερα αξιόπιστα αποτελέσματα στις τιμές των μετρήσεων.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, μπορούμε να κατηγοριοποιήσουμε τους αισθητήρες στις εξής κατηγορίες:

- **Οι μαγνητικοί αισθητήρες** ανιχνεύουν χωρίς επαφή μαγνητικά αντικείμενα και βοήθησαν στο να αναλυθούν και να ελεγχθούν εκατοντάδες παράγοντες για αρκετές δεκαετίες. Η αρχή λειτουργίας τους επιτρέπει την ανίχνευση σε μεγάλες αποστάσεις ακόμα και από μικρούς διακόπτες.. Οι βιομηχανίες έχουν υψηλή παραγωγικότητα εξαιτίας της υψηλής σταθερότητας και του χαμηλού κόστους των μαγνητικών αισθητήρων και οι υπολογιστές έχουν απεριόριστη μνήμη χάρη στη χρήση μαγνητικών αισθητήρων στους μαγνητικούς σκληρούς δίσκους και στις δισκέτες εγγραφής. Οι περισσότεροι τρόποι ανίχνευσης του μαγνητικού πεδίου βασίζονται στην στενή σχέση μεταξύ των μαγνητικών και ηλεκτρικών φαινομένων. Οι μαγνητικοί αισθητήρες εξασφαλίζουν μία πιο αξιόπιστη τεχνολογία εάν τους συγκρίνουμε με άλλες τεχνολογίες αισθητήρων.
- **Οι χωρητικοί Αισθητήρες** υπολογίζουν την μεταβολή της χωρητικότητας, η οποία οφείλεται στην εισαγωγή ενός αντικειμένου, σε ρόλο διηλεκτρικό, στο ηλεκτρικό πεδίο ενός πυκνωτή. Οι χωρητικοί αισθητήρες προσέγγισης δεν ανιχνεύουν μόνο αγωγικά υλικά, όπως π.χ. τα μέταλλα, αλλά και μη αγωγικά υλικά, όπως π.χ. κεραμικά, ξύλο, πλαστικό, γυαλί, υγρά, κτλ.
- **Οι επαγωγικοί αισθητήρες** εκμεταλλεύονται το φυσικό φαινόμενο της μεταβολής του συντελεστή ποιότητας σε ένα κύκλωμα συντονισμού, η οποία οφείλεται σε απώλειες

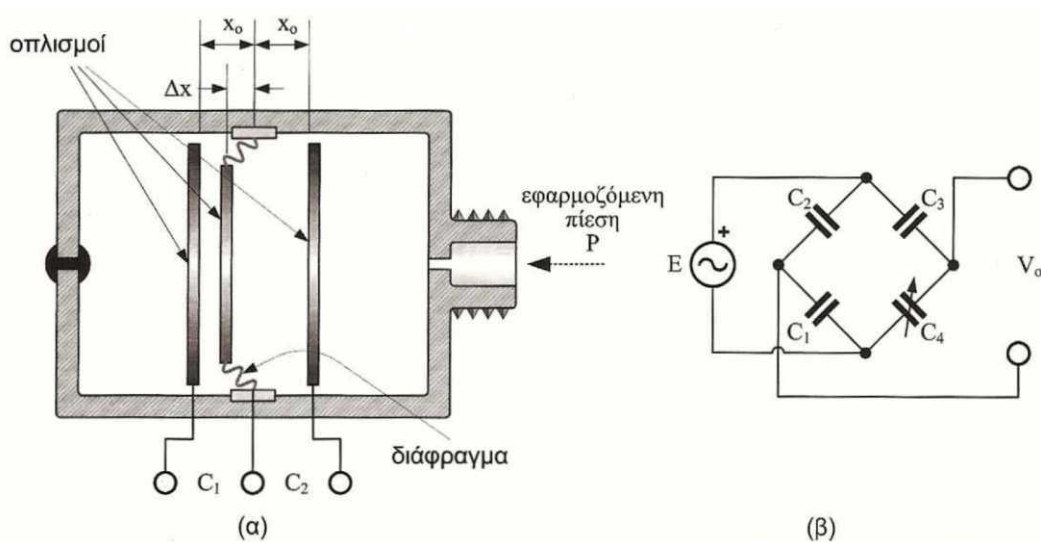
δινορευμάτων σε αγώγιμα υλικά. Αυτό επιτρέπει την ανέπαφη ανίχνευση όλων των αγώγιμων υλικών, αντίθετα με τους χωρητικούς αισθητήρες.

- **Οι ελαστικοί αισθητήρες πίεσης** (elastic pressure sensors) οφείλουν την ονομασία τους στο γεγονός ότι κάποιο τμήμα τους μπορεί να καμφθεί, να τεντωθεί και παροδικά να παραμορφωθεί, εάν εφαρμοστεί σε αυτό μία πίεση. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ο μετρητής πίεσης με σωλήνα Bourdon. Οι συγκεκριμένοι σωλήνες κατασκευάζονται, στην απλούστερη περίπτωση, από μεταλλικά κράματα, όπως είναι ο ανοξείδωτος χάλυβας και ο ορείχαλκος και αποτελούνται από ένα σωλήνα με ελλειπτική ή οβάλ διατομή, ο οποίος είναι σφραγισμένος στο ένα άκρο. Ο σωλήνας αυτός συνδέεται με μία ενδεικτική βελόνα η οποία μετακινείται επάνω σε μια βαθμονομημένη κλίμακα και όταν εφαρμόζεται οποιαδήποτε πίεση, η κίνηση του σωλήνα είναι σχετικά μικρή, συνεπώς 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. Οι σωλήνες Bourdon συνήθως είναι σχετικά φθηνοί, επειδή παράγονται μαζικά, συνεπώς έχουν και μειωμένο κόστος παραγωγής. Είναι κατάλληλοι για χρήση σε υγρά και αέρια και χρησιμοποιούνται σε ευρύ πεδίο βιομηχανικών και οικιακών εφαρμογών. Κάποιοι αισθητήρες πίεσης ονομάζονται με βάση τη μέθοδο που χρησιμοποιούν για να μετρούν αυτήν την μετατόπιση, όπως οι πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες πίεσης που αναφέρονται παρακάτω.
- **Οι Πιεζοηλεκτρικοί Αισθητήρες Πίεσης** χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση δυναμικών φαινομένων πίεσης εξαιτίας των δυναμικών χαρακτηριστικών λειτουργίας τους. Στο σχήμα 2.2.7 παρουσιάζεται η κατασκευή ενός πιεζοηλεκτρικού αισθητήρα απόλυτης πίεσης, όπου και βλέπουμε ότι όταν εφαρμόζεται η μετρούμενη πίεση προκαλείται μετατόπιση του διαφράγματος, για την μέτρηση της οποίας χρησιμοποιείται ένας πιεζοηλεκτρικός κρύσταλλος. Κατά τη χρήση ηλεκτρονικών αισθητήρων μετατόπισης, η μέθοδος ανίχνευσης της αλλαγής πίεσης χρησιμοποιεί ένα διάφραγμα.



Εικόνα 2.10 Πιεζοηλεκτρικός αισθητήρας απόλυτης πίεσης με τον αντίστοιχο ενισχυτή

- **Οι Χωρητικοί Αισθητήρες Πίεσης**, των οποίων η κατασκευή απεικονίζεται στο σχήμα 2.2.6., όπου φαίνεται ότι το διάφραγμα βρίσκεται ανάμεσα σε δύο οπλισμούς, οπότε το διάφραγμα και κάθε οπλισμός σχηματίζουν έναν πυκνωτή. Οι δύο πυκνωτές συνδέονται σε γέφυρα, η οποία ισορροπεί όταν η εφαρμοζόμενη πίεση είναι μηδέν. Η κίνηση του διαφράγματος εξαιτίας της εφαρμοζόμενης πίεσης μεταβάλλεται τη χωρητικότητα των πυκνωτών, η ισορροπία της γέφυρας διαταράσσεται και κατ' επέκταση αναπτύσσεται τάση ανάλογη της πίεσης. [19]. Οι χωρητικοί αισθητήρες πίεσης έχουν καλή ακρίβεια, αλλά παρουσιάζουν ευαισθησία στις ταλαντώσεις και τη θερμοκρασία.



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

Στη γενικότερη κατηγορία αυτή των αισθητήρων πίεσεως, αξίζει να αναφερθεί ότι 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(Nηη- 2)».

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]

- **Τα Φωτοκύτταρα** έχουν έναν πολύ σημαντικό ρόλο σε εφαρμογές αυτοματισμού, επειδή επιτρέπουν την ανίχνευση αντικειμένων με ακρίβεια σε μεγάλες αποστάσεις. 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. Σε περιπτώσεις 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 φωτοκυτταρων είναι η εξής: ένας δέκτης λαμβάνει το εκπεμπόμενο φως (ορατό ή μη ορατό, υπέρυθρο) και το μετατρέπει σε ηλεκτρικό σήμα.
- **Οι Θερμιδομετρικοί αισθητήρες Laser**, οι οποίοι έρχονται να καλύψουν ανάγκες που αφορούν κυρίως τομείς της βιομηχανικής παραγωγής, όπου 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]
- **Οι Αισθητήρες Laser Υπερήχων doppler**, οι οποίοι μετρούν τη ροή εξωτερικά

ενός 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. Η τεχνική doppler εφαρμόζεται μόνο σε υγρά που περιέχουν σωματίδια ή φυσαλίδες που αντανακλούν το σήμα. [16] . 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.

Υπάρχουν ορισμένα «δύσκολα» υγρά που μπορεί να προκαλέσουν ζημιά στους κανονικούς μετρητές ροής: παχύρρευστα, κατακάθια, λήμματα, στιλβωτικά, 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, αλλά και μακριά από εξαρτήματα επιτάχυνσης της ροής, όπως π.χ. βαλβίδες ελέγχου και αντλίες. Η τυπική ακρίβεια είναι $\pm 2\%$ της πλήρους κλίμακας.

- **Οι Αισθητήρες Θερμοκρασίας χωρίς επαφή** (Υπερύθρων) οι οποίοι χρησιμοποιούνται συχνά σε πολλές βιομηχανίες όπου οι διεργασίες λαμβάνουν χώρα κάτω από πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Το πλεονέκτημα της έλλειψης μηχανικής επαφής μεταξύ του αισθητήρα και του αντικειμένου καθιστά τους υπέρυθρους αισθητήρες ιδανικούς για εφαρμογές επιτήρησης θερμοκρασίας, όπως π.χ. κινούμενα αντικείμενα σε χώρους με δύσκολη πρόσβαση, αγωγή ή κολλώδη υλικά σε διαβρωτικά μέσα, όπου αφενός απαιτούνται μικροί χρόνοι απόκρισης και αφετέρου είναι επικίνδυνη η απευθείας επαφή. [20]. 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.
- **Οι 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. Το καλύτερο υλικό

είναι η πλατίνα, η οποία χρησιμοποιείται για μετρήσεις σε θερμοκρασίες από (-270 °C) μέχρι (+660 °C). Στα πλεονεκτήματά του 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). Ο πίνακας που ακολουθεί αναφέρεται στις θερμοκρασίες και στις αντίστοιχες τιμές της αντίστασης του 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

Πίνακας 2.2 Αναφορά θερμοκρασιών και αντίστοιχων τιμών αντιστάσεων RTD

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.

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 ασάλι με τέτοιο τρόπο, ώστε να παρέχει καλή μεταφορά θερμοκρασίας και προστασία από την υγρασία.

Στην κατηγορία των αισθητήρων θερμοκρασίας, αξίζει να αναφερθεί ότι 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 θερμοκρασία είναι ένα από τα συνηθέστερα μετρούμενα φυσικά μεγέθη. Για το λόγο αυτό ο αριθμός των αισθητήρων και των τρόπων μέτρησης είναι ένας μακρύς δρόμος. Η μέτρηση της θερμοκρασίας μπορεί να γίνει με αισθητήρες επαφής και υπερύθρων. [20]

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).

- **Οι Αισθητήρες ταχύτητας** οι οποίοι χρησιμοποιούνται όταν είναι σημαντική η διατήρηση της ροής του αέρα σε επιθυμητό επίπεδο 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 (m³/h). [18]
- **Οι 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. 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 (*Breckenbridge & Husson*).
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.
- **Οι Αισθητήρες Συνεχής Στάθμης,** οι οποίοι χωρίζονται σε χωρητικότητας, υπερήχων και 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.
Ο αισθητήρας πρέπει να τοποθετείται έτσι ώστε να «βλέπει» απευθείας 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. 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.

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. 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) Υπάρχουν διάφοροι τύποι από απλούς μεταδότες στάθμης 4-20mA μέχρι έξυπνα συστήματα επιτήρησης, ελέγχου και καταγραφής. [20]

- **Οι αισθητήρες Στάθμης Σημείων**, οι οποίοι χρησιμοποιούνται όταν θέλουμε να ελέγξουμε σημεία χωρίς κινούμενα μέρη, σε πλήθος εφαρμογών. Μερικά παραδείγματα περιλαμβάνουν τους αισθητήρες λέιζερ, υπερήχων, υπέρυθρων, χωρητικότητας, προσέγγισης χωρητικών και φωτοκυττάρων.

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 συνεχών μετρήσεων. 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]

- **Οι αισθητήρες Υγρασίας**. Η υγρασία είναι μια από τις πιο σημαντικές παραμέτρους, που μετρώνται μαζί με την θερμοκρασία. Η υγρασία είναι επί της ουσίας μόρια νερού στον αέρα και επηρεάζει πολλές χημικές αντιδράσεις, όπως διαδικασίες ξήρανσης, μετεωρολογικές παραμέτρους ακόμα και τις συνθήκες εργασίας μέσα στα γραφεία. Πρέπει να διακρίνουμε την απόλυτη από την σχετική υγρασία του αέρα, ως εξής. Η απόλυτη υγρασία είναι το βάρος του περιεχομένου του νερού στον αέρα, δηλαδή η πυκνότητα του νερού και η μονάδα μέτρησης της 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 (%) και υπάρχουν διάφοροι τρόποι για τη διεκπεραίωση της. [18]

Η καθημερινή χρήση του αερίου (φυσικού ή υγραερίου) για μαγείρεμα, θέρμανση, ζεστό νερό, αλλά και διαφόρων παραγώγων του 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. Για την

αντιμετώπιση του, υπάρχουν πολλοί τύποι ανιχνευτών, οι διαφορές των οποίων ανήκουν κυρίως στη μέθοδο ανίχνευσης και στην κατηγορία περιβάλλοντος στην οποία λειτουργούν.

- **Οι τύποι αισθητήρα (GAS SENSOR)**, με συνηθέστερους τους καταλυτικούς με πυρακτωμένο στοιχείο (Hot-wire catalytic type), οι οποίοι χρησιμοποιούνται κυρίως για ανίχνευση εκρηκτικών αερίων. οι υπέρυθροι χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση τοξικών αερίων σε χαμηλή συγκέντρωση, ενώ οι ηλεκτροχημικοί χρησιμεύουν για την ίδια εργασία, όταν όμως πρόκειται για ανίχνευση τοξικών αερίων σε πολύ χαμηλή συγκέντρωση.

2.3 Ηλεκτρικοί κινητήρες

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. Με τον τρόπο αυτό, μετατρέπεται η ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική.

Σ' έναν απλό ηλεκτροκινητήρα, το ηλεκτρικό ρεύμα διαρρέει μια συρμάτινη περιέλιξη, η οποία βρίσκεται ανάμεσα στους πόλους ενός ηλεκτρομαγνήτη. 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]

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.

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.



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 $T_{\text{πεδ}}$ πάνω στο περιστρεφόμενο μέλος της μηχανής που λέγεται δρομέας (ρότορας). Αν ο δρομέας στρέφεται με γωνιακή ταχύτητα ω τότε η στιγμιαία ισχύς εξόδου που αποδίδεται στην άτρακτο θα είναι $T_{\text{πεδ}} \times \omega$. Η εξωτερικά εφαρμοζόμενη ροπή φορτίου $T_{\text{εξ}}$ δρα με φορά

αντίστροφη από εκείνη της περιστροφής και καθιστά το φορτίο ικανό ν' απορροφά μηχανική ενέργεια. Ισχύει προφανώς ότι:

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

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

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

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.

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]

Στους σύγχρονους κινητήρες, έχουμε 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 κινητήρες συνεχούς ρεύματος διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες σε αυτήν όπου το μαγνητικό πεδίο παράγεται από ένα μόνιμο μαγνήτη και αυτού 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:

- πιεζοηλεκτρικοί κινητήρες

- γενικοί κινητήρες
- κινητήρες πλαστικοποιημένου μαγνήτη
- βηματικοί κινητήρες
- σερβοκινητήρες
- κινητήρες υπερηχητικού κύματος

Με την εξέλιξη των ηλεκτρονικών, των ψηφιακών συστημάτων και των μικροεπεξεργαστών, επέτράπη η ανάπτυξη μοντέρνων τεχνικών ελέγχου, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη των ελεγχόμενων συστημάτων ειδικών ηλεκτρικών κινητήρων.

Η οικονομία στην κατανάλωση ενέργειας και η αύξηση του βαθμού απόδοσης με τον έλεγχο, επιτρέπουν τη χρήση κινητήρων χαμηλότερης ονομαστικής ισχύος. 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.

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:

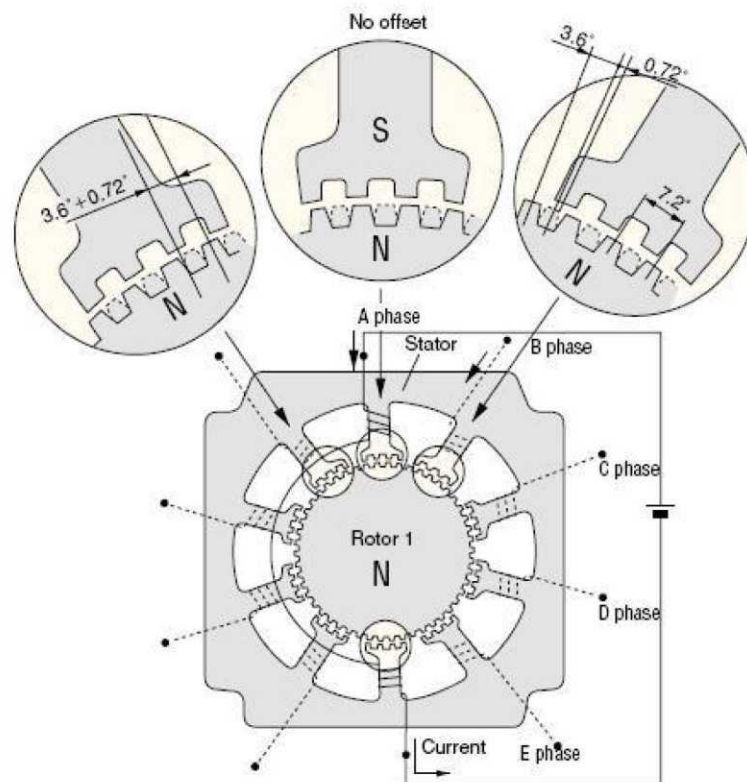
1. Κατασκευάζονται σε μεγάλη ποικιλία σχεδίων κατά εφαρμογή.
2. Τα συστήματα αυτά προσφέρουν ευρεία περιοχή ταχυτήτων: από μηδέν μέχρι 100.000 ΣΑΛ.
3. Προσαρμόζονται σε διάφορες λειτουργικές καταστάσεις όπως: σε κλειστά, χωρίς αερισμό, σε υγρά, σε εκρηκτικά, σε ραδιενεργά περιβάλλοντα. Επίσης δε χρειάζονται καύσιμα, δεν εκπέμπουν καυσαέρια και ο θόρυβος που δημιουργούν είναι χαμηλότερος από άλλα συστήματα.
4. Τα συστήματα κίνησης μπορούν να φορτιστούν αμέσως, δε χρειάζονται προθέρμανση, έχουν χαμηλές απώλειες, υψηλή απόδοση και έχουν τη δυνατότητα προσωρινής υπερφόρτισης.
5. 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.
6. Συστήματα ειδικών ηλεκτρικών κινητήρων υπάρχουν για ευρεία περιοχή ισχύος: από ισχύ μικρότερη του 1W (ηλεκτρονικά ρολόγια) μέχρι ισχύ μερικών ίππων.

Τα ηλεκτρικά συστήματα κίνησης παρουσιάζουν και μειονεκτήματα, τα οποία είναι φρόνιμο να αναφερθούν:

1. Η ύπαρξη του φαινομένου του μαγνητικού κορεσμού και η ανάγκη ψύξης. Αυτές είναι οι αιτίες για τις οποίες έχουν χαμηλότερο λόγο ισχύος προς βάρος μηχανής από τα υδραυλικά συστήματα κίνησης. Αυτό είναι σημαντικό στα συστήματα ελέγχου θέσης στα αεροπλάνα.
2. 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.

2.3.4 Βηματικοί κινητήρες

Βηματικοί ονομάζονται οι κινητήρες, οι οποίοι χρησιμοποιούνται όταν χρειάζεται ακρίβεια στο καθορισμό της θέσης μίας μετακίνησης. . 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. . 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. Όταν ένας τελικός αριθμός παλμών έχει παραχθεί, ο άξονας θα περιστραφεί προς μια γνωστή γωνία.



Εικόνα 2.13 Λεπτομέρεια κατασκευής

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 2.13.

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. 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]

Αντιθέτως, για τις υψηλές επιταχύνσεις και ιδιαίτερα εάν περιλαμβάνουν φορτία μεταβλητής ροπής αναγκαστικά χρησιμοποιούμε συστήματα ελέγχου κλειστού βρόχου (close loop) .

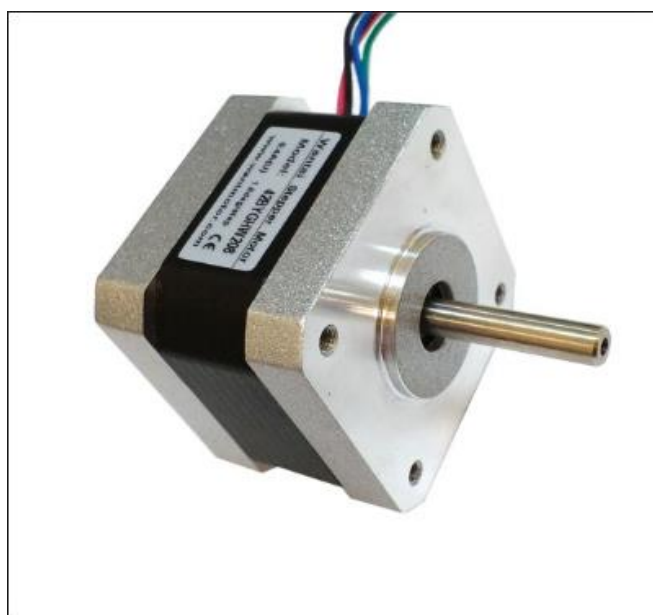
Τα δύο είδη βηματικών κινητήρων είναι τα εξής:

- Κινητήρες με μόνιμο μαγνήτη (permanent magnet motors)
- Κινητήρες με μεταβλητή μαγνητική αντίδραση (variable reluctance motors).
- Κινητήρες υβριδικοί (hybrid stepping motors)

Ακόμα και να λείπει η ετικέτα από έναν κινητήρα, μπορούμε γενικά να τους ξεχωρίσουμε με τη βοήθεια της αίσθησης της αφής όταν δε συνδέονται με καμία πηγή τροφοδοσίας. Οι μεταβλητής μαγνητικής αντίδρασης περιστρέφονται σχεδόν ελεύθερα ενώ οι κινητήρες μόνιμου μαγνήτη τείνουν «να βαρύνουν» καθώς περιστρέφουμε το στροφέα.

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]

Οι μεταβλητής μαγνητικής αντίδρασης κινητήρες 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

Το βασικό κύκλωμα ενός βηματικού κινητήρα φαίνεται στο σχήμα 2.3.6. Στο μονογραμμικό αυτό διάγραμμα, ο ρυθμιστής περιλαμβάνει τα ηλεκτρονικά κυκλώματα τα οποία παρέχουν ρεύμα στο κινητήρα. Η έξοδος είναι επί της ουσίας η γωνιακή θέση του άξονα του κινητήρα, ενώ η είσοδος συνιστάται σε δύο ψηφιακά σήματα χαμηλής ισχύος. 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 να παραχθεί.

Η κατάσταση της εισόδου κατεύθυνσης καθορίζει την βημάτιση του κινητήρα, δεξιόστροφα ή αριστερόστροφα. Τα σήματα εισόδου του σε ένα βηματικό drive είναι το σήμα διεύθυνσης και οι βηματικοί παλμοί. Το βηματικό drive μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια στον κινητήρα σε απόκριση των σημάτων ελέγχου που δέχεται απο 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

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

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

Οι κινητήρες αυτοί, περιστρέφονται με διακριτά βήματα και το κάθε βήμα προκύπτει όταν ένας παλμός τροφοδοτείται στο τύλιγμα του 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]

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.

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.

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.

Στις διαστημικές εφαρμογές οι βηματικοί κινητήρες χρησιμοποιούνται κυρίως ως ενεργοποιητές των μηχανισμών θέσης για τις κεραίες, 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.

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]

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.

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:

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

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 οδηγίες αυτές παράγουν μεγαλύτερη ροπή, ιδίως στις χαμηλές ταχύτητες, αλλά ηλεκτρονικά είναι πλέον πολύπλοκες.

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

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. Η τάση στα τυλίγματα εφαρμόζεται μεταξύ της μεσαίας λήψης και ενός από τους ελεύθερους ακροδέκτες του τυλίγματος. 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. Σε αυτή την απλή μορφή drive το ρεύμα καθορίζεται από την αντίσταση των τυλιγμάτων και από την τάση τροφοδοσίας.

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]

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. Έτσι 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 από 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

2.3.4.2 Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα Βηματικών

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.

Τα πλεονεκτήματα του βηματικών κινητήρων είναι τα παρακάτω:

- Είναι εύκολη η διασύνδεση και ο έλεγχός τους από μικροεπεξεργαστή, σε αντίθεση με τους κινητήρες DC

- 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.
- 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.

2.4 Μικροεπεξεργαστές- Μικροελεγκτές

2.4.1 Ιστορία των Μικροεπεξεργαστών

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. 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. 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]

Υπάρχουν εξαρτήματα που εκτελούν συγκεκριμένες εργασίες και τα σημαντικότερα των οποίων είναι:

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

2.4.2 Η εξέλιξη των μικροεπεξεργαστών

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. 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 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.

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.

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]

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.

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 εξέλιξης 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.
- 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
- Αυξήθηκε το πλήθος των θέσεων μνήμης που μπορεί να προσπελάσει ο μικροεπεξεργαστής. Έτσι σήμερα, κυκλοφορούν μικροεπεξεργαστές με διάυλο διευθύνσεων μεγέθους 64 δυαδικών και δυνατότητα διευθυνσιοδότησης πολλών GB θέσεων μνήμης.
- Οι ταχύτητες χρονισμού των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων μεγάλωσαν, με αποτέλεσμα την αύξηση της ταχύτητας της εκτέλεσης των προγραμμάτων του μικροεπεξεργαστή
- 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. Έτσι στα επόμενα χρόνια περιμένουμε να δούμε νέες τεχνολογικές ανακαλύψεις να ενσωματώνονται σε αυτούς και να αποκτούν ακόμα μεγαλύτερες δυνατότητες επεξεργασίας. [29]

2.4.3 Διαφορές μεταξύ μικροελεγκτή και μικροεπεξεργαστή

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 είναι ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα (IC) που έχει μόνο τη CPU στο εσωτερικό τους δηλαδή μόνο τις εξουσίες επεξεργασίας, όπως το Pentium I,II,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.

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.

Εφαρμογές του μικροεπεξεργαστή περιλαμβάνουν τα επιτραπέζια PC, οι φορητοί υπολογιστές, τα σημειωματάρια κλπ. 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.

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
- 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.

- Μικρότερο μέγεθος . Η ολοκλήρωση των βασικών στοιχείων από τα οποία απαρτίζεται μείωσε τις διαστάσεις σε σχέση με τη χρήση των επιμέρους στοιχείων ως σύνολο.
- 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.
- 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
- Περισσότεροι διαθέσιμοι ακροδέκτες για ψηφιακές εισόδους-εξόδους (για δεδομένο μέγεθος ολοκληρωμένου κυκλώματος) λόγω της μη δέσμευσής τους για τη σύνδεση εξωτερικών περιφερειακών.
- 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.
- 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]

Παρόλο αυτά κάποια από τα μειονεκτήματα του μικροελεγκτή είναι:

- Η δυσκολία του προγραμματισμού του

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

2.4.4 Εφαρμογές μικροελεγκτών

Λόγω του χαμηλού κόστους και της ευελιξίας που παρέχουν, οι μικροελεγκτές χρησιμοποιούνται σε αναρίθμητους κλάδους:

- **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]

- **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.

- **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,
- Atmel,
- Hitachi
- Toshiba
- NEC
- Epson
- Texas Instruments,
- Freescale (πρώην Motorola),
- Intel,
- Analog Devices, 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.
- παράλληλες θύρες εισόδου - εξόδου
- κυκλώματα χρονισμού και ελέγχου
- μνήμη προγράμματος ROM ή EPROM
- μονάδα αποκωδικοποιήσεις εντολών.

- μνήμη καταχωρητών - μεταβλητών RAM
- αριθμητική και λογική μονάδα εντολών.
- εσωτερικούς χρονιστές - απαριθμητές
- άλλα περιφερειακά κυκλώματα όπως: UART, A/D

Παρακάτω παρατίθενται τα συστατικά μέρη ενός μικροελεγκτή.

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 αν 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).

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.

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.

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 δεδομένα 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.

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.

Χρονιστής. Ένας Χρονιστής (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 χρονιστής χρησιμοποιείται από τον μικροελεγκτή για να παράγει αυτόν τον ζητούμενο ρυθμό. Ένας χρονιστής μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης και για την

καταμέτρηση γεγονότων, τα οποία μπορούν να είναι είτε εσωτερικά είτε εξωτερικά. Σε μια τέτοια περίπτωση, ο χρονιστής καλείται και απλά, Μετρητής (Counter).

Αναλογική θύρα εισόδου-εξόδου. Γενικά, μπορούμε να έχουμε αναλογικές εισόδους χρ\αποποιώντας Μετατροπείς Αναλογικού 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 Χρονιστής επιτήρησης. Ένας χρονιστής ειδικού σκοπού, τον οποίον συναντάμε συχνά στους σύγχρονους μικροελεγκτές, είναι και ο Χρονιστής Επιτήρησης (WatchDog Timer ή WDT). Ο χρονιστής αυτός χρησιμοποιείται συνήθως για την αποφυγή της πιθανής κατάρρευσης του συστήματος (crash). Η λειτουργία του χρονιστή 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 υπερχειλίση (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.

Ρολοί πραγματικού χρόνου. Ένας ακόμη ειδικού σκοπού χρονιστής είναι και το λεγόμενο Ρολοί 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.

2.4.7 Διαδεδομένες κατηγορίες μικροελεγκτών

Οι επικρατέστερες κατηγορίες των μικροελεγκτών είναι οι ακόλουθες:

- 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 αυτάρκεια περιφερειακών και μεγάλες δυνατότητες εσωτερικής ή εξωτερικής μνήμης προγράμματος (FLASH) και RAM. Στο χώρο αυτό έχουν ισχυρή παρουσία οι αρχιτεκτονικές με υψηλή μεταφερσιμότητα 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 υποστηρίξει 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.

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.

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 pro-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.

Η τάση της βιομηχανίας για το σχεδιασμό μικροεπεξεργαστών ή RISC (RISC Reduced Instruction Set Computers - Υπολογιστές Απλούστερου Σετ 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.

Σχεδόν το σύνολο των μικροελεγκτών σήμερα βασίζονται στην τεχνολογία CISC (Complex Instruction Set Computer - Υπολογιστής Σύνθετου Σετ 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.

2.4.10 Είδη Μνήμης

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.

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.

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.

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 Στοιβά (ή Stack). Η στοιβά 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}.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Κατασκευή και Λειτουργία Πειραματικής Διάταξης

3.1 Παρουσίαση των Επιμέρους Τμημάτων

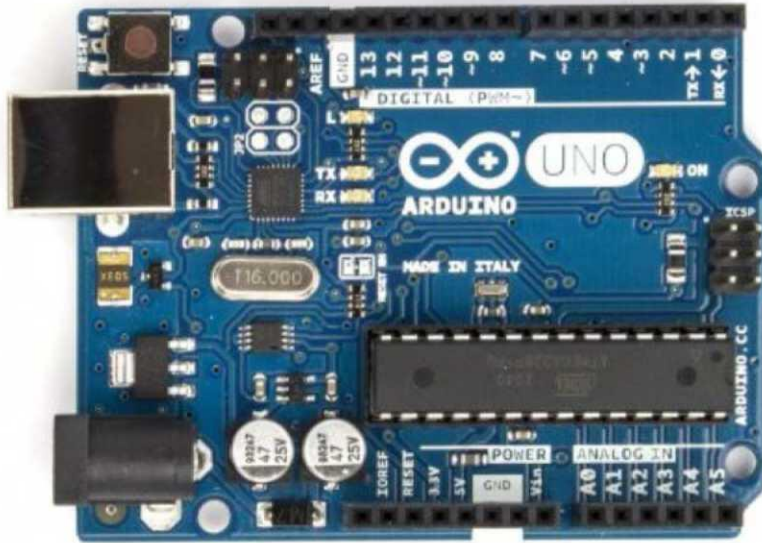
Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η κατασκευή ενός μοντέλου ελέγχου ενός συστήματος ποιμνιοστασίου με χρήση μικροελεγκτή. Η διάταξη θα καταγράφει τις θερμοκρασίες μέσα και έξω από το ποιμνιοστάσιο καθώς και το βάρος της. Επιπλέον, θα μας ειδοποιεί για τις τιμές που προκύπτουν με SMS και θα έχει 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 ταΐστρα

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.

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

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]

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-ψηφιακό 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 16ΜΗζ

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 προσπελάσσεται, 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]

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 προγράμματά, 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 μεταγλωττισμένη 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 πρόγραμμά, 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 εισοδοι/έξοδοι έχουν και δεύτερη λειτουργία. [37] Συγκεκριμένα:

- 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 εισοδοί 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 εξοδοί με το σύστημα PWM (Pulse Width Modulation), το ίδιο σύστημα που διαθέτουν οι μητρικές των υπολογιστών για να ελέγχουν τις ταχύτητες των ανεμιστήρων.

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 Vref 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
```

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.

❖ 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: μεγάλου μεγέθους ακραίοι, παίρνουν τιμές από -2,147,483,648 μέχρι 2,147,483,647

float: πραγματικοί αριθμοί, παίρνουν τιμές από 3.4×10^{-38} μέχρι 3.4×10^{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 δήλωση 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.

Χαρακτηριστικά του Arduino Motor Shield:

Τάση Λειτουργίας Ελεγκτής κινητήρα Μέγιστη Ένταση Ρεύματος Ανιχνευτής Ρεύματος
5V - 12V

L298P, Οδηγεί 2 DC κινητήρες ή 1 βηματικό κινητήρα 2A ανά κανάλι ή 4A μέγιστο (με εξωτερικό τροφοδοτικό)

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 Direction PWM Brake

Current Sensing pins per Ch. A D12 D3 D9

A0

pins per Ch. B D13 D11

D8 A1

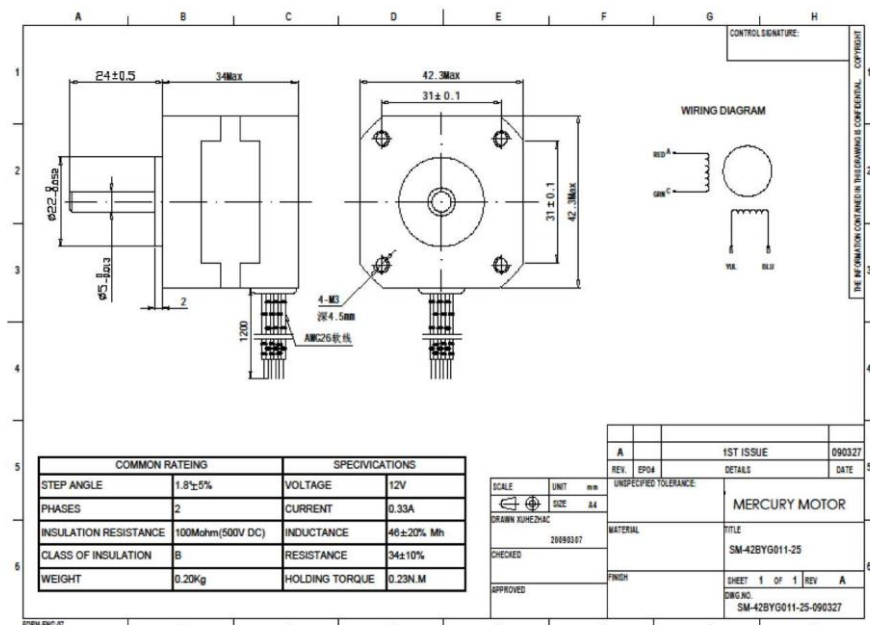
3.1.3 Βηματικός Κινητήρας - Stepper motor SM-42BYG011-25

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

- 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]



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.

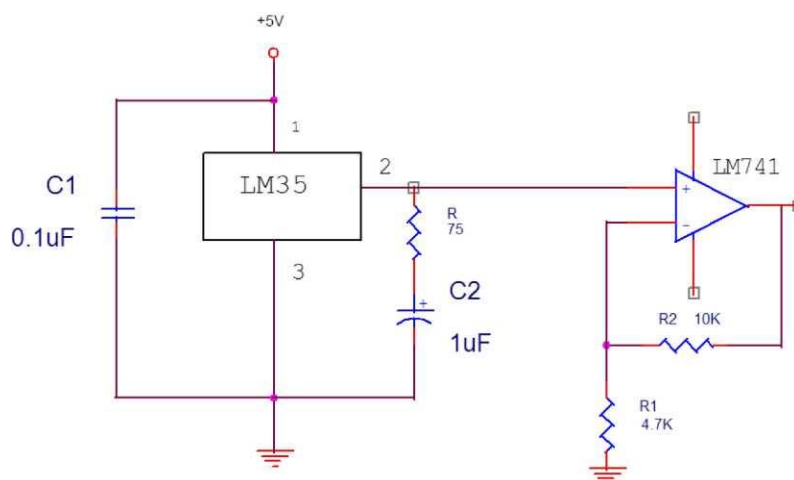


Εικόνα 3.10 α) Arduino GSM Shield Μπροστινή όψη

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]

αντίσταση εξόδου (0.1Ω για ρεύμα εξόδου 1 ΓΠΑ) και μπορεί να συνδεθεί εύκολα με κυκλώματα διασύνδεσης ή ελέγχου. [44]



3.13 Συνδεσμολογία LM35 ώστε να μετρά θερμοκρασίες από 0 έως 150 °C.

3.2 Κόστος Υλοποίησης Κατασκευής

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

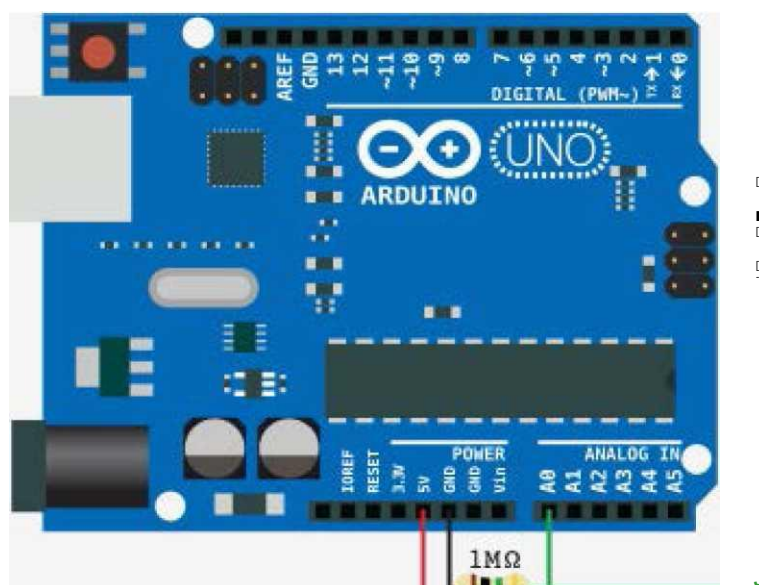
ΥΛΙΚΟ	ΚΟΣΤΟΣ
Arduino UNO	19 €
ArduinoMotorShieldR3	19 €
GSM	
Πλατφόρμα Ξύλινη	3 €
Stepper Motor - SM-42BYG011-25	17,10 €
Flexiforce Pressure Sensor - 100lbs	24,40 €
Lm35 Sensor Temperature	3,20 €
Breadboard Δοκιμών	5,10 €
Μετασηματιστής	3 €
Καλώδια - Αντιστάσεις	0,50 €
Σύνολο	

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 ισχυρος, τον βηματικό κινητήρα, την πλακέτα Arduino UNO, ένα breadboard και τα καλώδια που τα συνδέουν μεταξύ τους. Από τα τρία άκρα του αισθητήρα το ένα είναι η



Εικόνα 3.21 Αισθητήρας Θερμοκρασίας LM35



Εικόνα 3.23 Συνδεσμολογία Αισθητήρα Flexiforce.

S GSM

Η πλακέτα του GSM ενσωματώθηκε πάνω από την αρχική πλακέτα του Arduino. Η συνδεσμολογία είναι αρκετά απλή. *S 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 74HOT595N. Ο καταχωρητής αυτός δέχεται εντολές από τον μικροελεγκτή και επικοινωνεί με τα κυκλώματα οδήγησης ώστε να ελέγχει την κατεύθυνση περιστροφής του κινητήρα.

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

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

3.4 Λειτουργία Διάταξης

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.

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 ποιμνιοστασίου 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, 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 ελεγκτή του ποιμνιοστασίου. 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 το ποιμνιοστάσιο 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 εξωτερικής θερμοκρασίας παρατηρούμε μέσω SMS πόσες ώρες την μέρα ο καιρός είναι κατάλληλος για να βγουν τα ζώα να συλλέξουν τροφή. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό καθώς είναι ο μόνος τρόπος ο ελεγκτής να γνωρίζει από απόσταση σε καθημερινή βάση τον καιρό στο ποιμνιοστάσιο του και να μην βασίζεται μόνο στις προβλέψεις της μετεωρολογικής υπηρεσίας.
- Τέλος προσομοιώσαμε μια κατάσταση που το ποιμνιοστάσιο 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 τάισμα

Πάντοτε επιδεχόμενο προσθήκης και βελτιώσεων, 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 ποιμνιοστασίου αλλά και των πολλών εξωτερικών παραγόντων που το επηρεάζουν. Η έρευνα που έχει γίνει μέχρι τώρα 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 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 ποιμνιοστασίου. 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 ποιμνιοστάσιο.

2. Να φροντίσουμε για την ασφάλεια του ποιμνιοστασίου 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 ποιμνιοστάσιο μετακινηθεί από την θέση του.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Γ. Ζέρβας- Π. Καλαϊσάκη- Κ. Φεγγερού «Διατροφή αγροτικών Ζώων»
- [2] <https://el.wikipedia.org/wiki/Κτηνοτροφία>
- [3] Νικ. Ι. Θεοδώρου, «Ηλεκτρικές Μετρήσεις, Τεύχος Ι & ΙΙ», Συμμετρία, Αθήνα, 2004
- [4] Doebelin E.O. Measurement Systems Application and Design. McGraw-Hill International Editions, New York, 1990.
- [5] Αθανάσιος Α. Αργυρίου, «Αισθητήρες Ημιαγωγών, Αισθητήρες θερμικοί, μηχανικοί, μαγνητικοί, αισθητήρες ακτινοβολίας και χημικοί αισθητήρες», Πάτρα, Οκτώβριος 2004.
- [6] J. Webster, «Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook» CRC Press, 1999
- [7] Elgar, P. 2000 Αισθητήρες Μέτρησης και Ελέγχου. Θεσσαλονίκη : Εκδόσεις Τζιόλα
- [8] Καλαϊτζάκης, Κ και Κουτρούλης, Ε 2010 Ηλεκτρικές Μετρήσεις και Αισθητήρες. Αθήνα. Εκδόσεις : Κλειδάριθμος ΕΠΕ
- [9] Αισθητήρες, μικροελεγκτές και συστήματα συλλογής δεδομένων. Αργυρίου, Αθανάσιος Α. N.p. Oct. 2004. Web. 14 Oct. 2014.
- [10] National Instruments. Strain gauge measurements - A tutorial, Application Note 078. www.ni.com. 1998.
- [11] http://users.sch.gr/imarinakis/electric_engines.htm
- [12] ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΥ Α. ΓΡΗΓΟΡΟΠΟΥΛΟΥ, 2013. Γραμμικός βηματικός κινητήρας με σερβοελεγκτή
- [13] Ηλεκτρικές Μηχανές, Ed. Marinakis, n.d. Web. 12 Oct. 2014. http://users.sch.gr/imarinakis/electrics_machines.htm
- [14] Μαρία Γ. Ιωαννίδου, 'Συστήματα Ελέγχου Ηλεκτρικών Μηχανών', ΕΜΠ, Αθήνα 2003 [26] <http://www.doc.ic.ac.uk/~ih/doc/stepper/>
- [15] Introduction to Microprocessors and Microcontrollers, John CrispElsevier, 2004
- [16] <http://cgi.di.uoa.gr/~std04013/>
- [17] <http://www.mikroe.com/chapters/view/1/>
- [18] <http://cgi.di.uoa.gr/~std06100/Welcome.html>
- [19] Γεώργιος Αλεξίου, «Μικροεπεξεργαστές», Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα 2001
- [20] « Η Διδασκαλία εκπαιδευτικής ρομποτικής με τη χρήση μικροελεγκτών (π.χ. ARDUINO, PIC Βασιλική Παυλή
- [21] Μικροπολογιστές-Μικροελεγκτές, Αρχιτεκτονική-Προγραμματισμός-Εφαρμογές, Πογαρίδης Δημήτρης, Εκδόσεις ΙΩΝ 2002

- [22] Arduino Official Site, <http://www.arduino.cc/>
- [23] ATmega328, Datasheet: www.atmel.com/Images/doc8161.pdf
- [24] ATmega328P Textbook, ATMEL
- [25] <http://www.akouseto.gr/eisagogi-sto-arduino>
- [26] <http://www.grobot.gr/index.php/2008-04-19-13-16-38/197-arduino-30432> [39]
- Evans, B., Arduino Programming Notebook, 2007.
- [27] <http://code.google.com/p/gsm-shield-arduino/>
- [28] <https://www.sparkfun.com/products/9238>
- [29] <https://www.sparkfun.com/datasheets/Robotics/SM-42BYG011-25.pdf>
- [30] <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoGSMShield>
- [31] <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf> [45]

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_o  
ut); sendSMS(textForSMS);  
  delay(30000);  
  
}
```

```
}
```