ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ»

Μεταπτυχιακή Εργασία

ΔΙΑΤΑΞΗ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

Ευθύμιος Καραλής

Επιβλέπων Καθηγητής: Νικ.Ι Θεοδώρου, Καθηγητής ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ 2014

Περίληψη

Σκοπός της εργασίας είναι η μελέτη και η κατασκευή διάταξης καταγραφής δεδομένων από αισθητήρες με στόχο τη βαθμονόμηση τους με χρήση μικροελεγκτή ελεγχόμενη από υπολογιστή. Η διάταξη περιλαμβάνει Πλατφόρμα μικροελεγκτή για λήψη και αποστολή των μετρήσεων καθώς και έλεγχο του περιβάλλοντος των αισθητήρων, ένα λογισμικό εφαρμογής στον ΗΥ το οποίο ελέγχει την Πλατφόρμα μικροελεγκτή, έναν αισθητήρα αναφοράς ο οποίος θεωρείται πρότυπος για τη μετρητική διάταξη, αισθητήρες θερμοκρασίας προς βαθμονόμηση και το φορτίο το οποίο μεταβάλει την θερμοκρασία περιβάλλοντος στο οποίο βρίσκονται οι αισθητήρες.

Στο κεφάλαιο 1 γίνεται μια εισαγωγή στα μετρητικά συστήματα, στα συστήματα συλλογής δεδομένων βασισμένα σε ΗΥ και στη γενική περιγραφή της λειτουργίας και των υποσυστημάτων που δομούν ένα τέτοιο σύστημα. Επίσης αναλύονται τα επιμέρους συστήματα ενός συστήματος συλλογής δεδομένων. Συγκεκριμένα, αναφέρονται οι αισθητήρες, οι μικροελεγκτές και οι μετατροπείς του αναλογικού σε ψηφιακού σήματος. Αναλύονται οι βασικές τους ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά που λαμβάνονται υπόψιν για τη λειτουργία τους ως μετρητικό σύστημα.

Στο κεφάλαιο 2 περιγράφεται η μετρητική διάταξη, ο τρόπος λειτουργίας της, τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν και στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων.

Τέλος, αναφέρονται τα συμπεράσματα της εργασίας και προτάσεις για μελλοντική μελέτη.

Abstract

The purpose of the thesis, is the design and construction of a calibration device for temperature sensors using micro controller pc based. The device includes a microcontroller platform for sending and receiving measurement and control of temperature sensors, a software application in the PC that controls the microcontroller platform, a reference sensor which is considered the standard for measuring device, temperature sensors for calibration and load which alter the temperature at where sensors are located.

Chapter 1 gives an introduction to measurement systems, data acquisition systems based on PC and outline the operation and the subsystems of these systems.

Chapter 2 describes the whole measuring system, the method of its operation, the materials we used and chapter 3 presents the results of measurements.

Finally, conclusions of the work and recommendations for future study are referred.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της εργασίας καθηγητή Ε.Μ.Π. κ. Νικόλαο Θεοδώρου για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε κατά την ανάθεσή της διπλωματικής εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Λέκτορα Ε.Μ.Π. κ. Παναγιώτη Τσαραμπάρη για την βοήθεια που μου προσέφερε για την πραγματοποίηση αυτής της εργασίας.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου για την στήριξη που μου έχει δώσει και συνεχίζει να μου δίνει στους δύσκολους αυτούς καιρούς, καθώς και ένα μεγάλο ευχαριστώ στο Μητσάκι μου, καθώς είναι η σύντροφος μου που μου έμαθε την αισιοδοξία και την υπομονή στις δύσκολες στιγμές και χωρίς εκείνη δεν θα βρισκόμουν εδώ…

Η διπλωματική αυτή εργασία, αφιερώνεται σε όλους εκείνους που μας δίδαξαν πως *στη ζωή τίποτα δεν χαρίζεται, όλα κερδίζονται όταν τα διεκδικούμε…*

Περιεχόμενα

Περίληψη ..... - 3 -
Abstract ..... - 4 -
Κεφάλαιο 1 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ ..... - 11 -
1.1 Μετρολογία – Συστήματα Μετρήσεων ..... - 11 -
1.1.1 Εισαγωγή ..... - 11 -
1.1.2 Μετρολογία και Οργανολογία (Measurements and Instrumentation) ..... - 13 -
1.1.3 Μετρήσεις ..... - 13 -
1.1.3.1 Συστήματα Μετρήσεων ..... - 15 -
1.1.3.2 Τύποι Συστημάτων Μετρήσεων ..... - 16 -
1.1.3.3 Βασικά Χαρακτηριστικά Μετρητικών Συστημάτων ..... - 16 -
1.1.3.4 Βαθμονόμηση ..... - 19 -
1.1.4 Συστήματα Συλλογής Δεδομένων με χρήση Μικροελεγκτή ..... - 20 -
1.1.4.1 Σύστημα Συλλογής Δεδομένων βασιζόμενο σε Η/Υ (PC based DAQ) ..... - 20 -
1.1.4.2 Στοιχεία DAQ με Η/Υ ..... - 21 -
1.1.4.3 Οδήγηση σήματος ..... - 23 -
1.2 Αισθητήρες – Μικροελεγκτές – ADC ..... - 26 -
1.2.1 Σήμα ..... - 26 -
1.2.2 Αισθητήρια ..... - 29 -
1.2.2.1 Χρήση Αισθητήρων ..... - 29 -
1.2.2.2 Ταξινόμηση Αισθητηρίων ..... - 30 -
1.2.2.3 Χαρακτηριστικά Αισθητηρίων ..... - 33 -
1.2.3 Ψηφιακά Συστήματα ..... - 40 -
1.2.4 Μικροελεγκτές ..... - 41 -
1.2.5 Arduino ..... - 47 -
1.2.5.1 Δομή Arduino Uno ..... - 47 -
1.2.5.2 Τροφοδοσία ..... - 48 -
1.2.5.3 Μικροελεγκτής ..... - 48 -
1.2.5.4 Είσοδοι – Έξοδοι / Ακροδέκτες (pin) Arduino ..... - 49 -
1.2.5.5 Περιβάλλον Ανάπτυξης (IDE) Arduino ..... - 53 -
1.2.5.6 Γλώσσα προγραμματισμού ..... - 53 -
1.2.5.7 Ολοκληρωμένες πλακέτες, Shield ..... - 54 -
1.2.5.8 Επικοινωνία με Υλικό (Hardware) – Λογισμικό (Software) ..... - 54 -
1.2.6 Ψηφιοποίηση συνεχών σημάτων ..... - 56 -

1.2.6.1 Χαρακτηριστικά Arduino ως Σύστημα Συλλογής Δεδομένων ..... - 59 -
Κεφάλαιο 2 : ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ..... - 65 -
2.1 Λειτουργία Διάταξης ..... - 66 -
2.2 Αισθητήρες ..... - 68 -
2.2.1 Αισθητήρας θερμοκρασίας (πρότυπος): DS18S20 ..... - 68 -
2.2.2 Αισθητήρας θερμοκρασίας προς βαθμονόμηση: LM35 ..... - 69 -
2.3 Arduino ..... - 70 -
2.4 Φορτίο ..... - 70 -
2.5 Λογισμικό εφαρμογής ..... - 71 -
Κεφάλαιο 3 : ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ..... - 79 -
3.1 Διαδικασία Μετρήσεων ..... - 79 -
3.2 Αποτελέσματα Μετρήσεων ..... - 81 -
3.2.1 Αποτελέσματα Μέτρησης Διαδικασίας Α-1-Χ ..... - 81 -
3.2.2 Αποτελέσματα Μέτρησης Διαδικασίας Α-2-Χ ..... - 85 -
3.2.3 Αποτελέσματα Μέτρησης Διαδικασίας Α-3-Χ ..... - 89 -
3.2.4 Αποτελέσματα Μέτρησης Διαδικασίας Β-1-Χ ..... - 91 -
3.2.5 Αποτελέσματα Μέτρησης Διαδικασίας Β-2-Χ ..... - 93 -
3.2.6 Βαθμονόμηση ..... - 95 -
Κεφάλαιο 4 : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ..... - 105 -
4.1 Συμπεράσματα ..... - 105 -
4.2 Μελλοντική Εργασία ..... - 106 -
Βιβλιογραφία ..... - 107 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α – ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ARDUINO UNO ..... - 109 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β – ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΒΑΣΙΚΩΝ ΕΝΤΟΛΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ..... - 114 -

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ - ΠΙΝΑΚΩΝ

Σχήματα

Σχήμα 1-1: Σχηματική Αναπαράσταση DAQ ..... - 23 -
Σχήμα 1-2: Σχηματική Αναπαράσταση DAQ με signal conditioning ..... - 24 -
Σχήμα 1-3: Γραφήματα Σημάτων ..... - 27 -
Σχήμα 1-4: Ακρίβεια και Επαναληψιμότητα Αισθητήρων ..... - 34 -
Σχήμα 1-5: Γραμμικότητα Αισθητήρων ..... - 36 -
Σχήμα 1-6: Ευαισθησία Αισθητήρων στη Μέτρηση ..... - 36 -
Σχήμα 1-7: Γραφική παράσταση φαινομένου υστέρησης ..... - 38 -
Σχήμα 1-8: Νεκρή Ζώνη αισθητήρων ..... - 38 -
Σχήμα 1-9: Εσωτερική Δομή Μικροελεγκτή ..... - 43 -
Σχήμα 1-10: Ταξινόμηση Μικροελεγκτών με βάση τα χαρακτηριστικά τους ..... - 46 -
Σχήμα 1-11: Δομή πλακέτας Arduino ..... - 48 -
Σχήμα 1-12: Ψηφιακοί είσοδοι/ έξοδοι Arduino ..... - 49 -
Σχήμα 1-13: Αναλογική είσοδος Arduino ..... - 50 -
Σχήμα 1-14: Ειδική Λειτουργία pin Arduino Uno ..... - 51 -
Σχήμα 1-15: Αναπαράσταση Σημάτων - Μετατροπέων ..... - 57 -
Σχήμα 1-16: Στάδια Μετατροπής ενός αναλογικού σήματος σε ψηφιακό ..... - 57 -
Σχήμα 2-1: Διάγραμμα Μετρητικής Διάταξης ..... - 67 -
Σχήμα 2-2: Σύνδεση του DS18B20 με το Arduino ..... - 68 -
Σχήμα 2-3: Σύνδεση του LM35 με το Arduino ..... - 69 -
Σχήμα 2-4: Διάγραμμα ακρίβειας LM35 ..... - 69 -
Σχήμα 2-5: Σύνδεση φορτίου θέρμανσης με Arduino μέσω SSR ..... - 71 -
Σχήμα 2-6: Γραφικό περιβάλλον χρήστη λογισμικού εφαρμογής ..... - 71 -
Σχήμα 2-7: Γραφικό περιβάλλον χρήστη σε σύνδεση ..... - 73 -
Σχήμα 2-8: Χειροκίνητη επιλογή μέτρησης ..... - 74 -
Σχήμα 2-9: Αυτόματη επιλογή μέτρησης ανά διάστημα χρόνου (procedure A) ..... - 76 -
Σχήμα 2-10: Αυτόματη επιλογή μέτρησης ανά διάστημα θερμοκρασίας (procedure B)... - 77 -
Σχήμα 3-1: Διαδικασίες Μετρήσεων ..... - 80 -
Σχήμα 3-2: Διάγραμμα Επιθυμητής Θερμοκρασίας, επιλογή Διαδικασία A-1 ..... - 82 -
Σχήμα 3-3: Διάγραμμα μέτρησης Διαδικασία A-1-1 ..... - 82 -
Σχήμα 3-4: Διάγραμμα μέτρησης Διαδικασία A-1-3 ..... - 83 -
Σχήμα 3-5: Διάγραμμα μέτρησης Διαδικασία A-1-5 ..... - 83 -
Σχήμα 3-6: Διάγραμμα μέτρησης Διαδικασία A-1-9 ..... - 84 -
Σχήμα 3-7: Διάγραμμα Επιθυμητής Θερμοκρασίας, επιλογή Διαδικασία A-2 ..... - 85 -
Σχήμα 3-8: Διάγραμμα μέτρησης Διαδικασία A-2-1 ..... - 86 -
Σχήμα 3-9: Διάγραμμα μέτρησης Διαδικασίας A-2-3 ..... - 86 -
Σχήμα 3-10: Διάγραμμα μέτρησης Διαδικασία A-2-5 ..... - 87 -
Σχήμα 3-11: Διάγραμμα μέτρησης Διαδικασία A-2-9 ..... - 87 -
Σχήμα 3-12: Διάγραμμα Επιθυμητής Θερμοκρασίας, επιλογή Διαδικασία A-3 ..... - 89 -
Σχήμα 3-13: Διάγραμμα μέτρησης Διαδικασία A-3-1 ..... - 90 -
Σχήμα 3-14: Διάγραμμα μέτρησης Διαδικασία A-3-3 ..... - 90 -
Σχήμα 3-15: Διάγραμμα μέτρησης Διαδικασία B-1-1 ..... - 91 -
Σχήμα 3-16: Διάγραμμα μέτρησης Διαδικασία B-1-2 ..... - 92 -
Σχήμα 3-17: Διάγραμμα μέτρησης Διαδικασία B-1-5 ..... - 92 -
Σχήμα 3-18: Διάγραμμα μέτρησης Διαδικασία B-2-1 ..... - 93 -

Σχήμα 3-19: Διάγραμμα μέτρησης Διαδικασία Β-2-2 ..... - 94 -
Σχήμα 3-20: Διάγραμμα μέτρησης Διαδικασία Β-2-5 ..... - 94 -
Σχήμα 3-21: Διαγραμματική απεικόνιση ΜΟ σφάλματος αισθητήρων -Διαδικασία Α ..... - 96 -
Σχήμα 3-22: Διαγραμματική απεικόνιση ΜΟ σφάλματος αισθητήρων -Διαδικασία Β..... - 96 -
Σχήμα 3-23: Διαγραμματική απεικόνιση Γενικού ΜΟ σφάλματος αισθητήρων..... - 97 -
Σχήμα 3-24: Βαθμονομημένος αισθητήρας 4 για Διαδικασία Α-1-3 με ΓΜΟ ..... - 99 -
Σχήμα 3-25: Βαθμονομημένος αισθητήρας 4 για Διαδικασία Α-2-3 με ΓΜΟ ..... - 100 -
Σχήμα 3-26: Βαθμονομημένος αισθητήρας 4 για Διαδικασία Α-3-1 με ΓΜΟ ..... - 100 -
Σχήμα 3-27: Βαθμονομημένος αισθητήρας 4 για Διαδικασία Β-1-1 με ΓΜΟ..... - 101 -
Σχήμα 3-28: Βαθμονομημένος αισθητήρας 4 για Διαδικασία Β-2-1 με ΓΜΟ..... - 101 -
Σχήμα 3-29: Γραφική Παράσταση Βαθμονόμησης για Διαδικασία Α-1-1 με ΜΟ-ΑΤΘ ... - 102 -
Σχήμα 3-30: Γραφική Παράσταση Βαθμονόμησης για Διαδικασία Α-1-1 με ΜΟ-ΑΔΘ ... - 103 -
Σχήμα Α-1: Επικοινωνία Η/Υ με Arduino…….- 109 -

Πίνακες

Πίνακας 1:1 Θεμελιώδεις Μονάδες..... - 14 -
Πίνακας 1:2 Κατασκευαστές μικροελεγκτών..... - 45 -
Πίνακας 1:3: Ρυθμός Δειγματοληψίας Arduino θεωρητικά ..... - 63 -
Πίνακας 3:1 Μέσοι όροι σφαλμάτων αισθητήρων ανά διαδικασία μέτρησης..... - 95 -
Πίνακας 3:2 Γενικοί Μέσοι όροι σφαλμάτων αισθητήρων ..... - 95 -

Κεφάλαιο 1 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Μετρολογία – Συστήματα Μετρήσεων

1.1.1 Εισαγωγή

Σύμφωνα με το Ελληνικό Ινστιτούτο Μετρολογίας, έχει υπολογιστεί, ότι στις οικονομικές, τεχνικές και εμπορικές δραστηριότητες μιας ανεπτυγμένης χώρας, ένα ποσοστό έως 6-7% του Ακαθάριστου Εθνικού Προϊόντος της (ΑΕΠ), δαπανάται σε διάφορες μετρήσεις. Οι μετρήσεις αφορούν τους ελέγχους στις ποσότητες των συναλλαγών, την ποιότητα των προϊόντων, τις διεργασίες παραγωγής, καθώς και σε μετρήσεις που πραγματοποιούνται για την ασφάλεια της υγείας, της εργασίας και του περιβάλλοντος. Για την πραγματοποίηση των μετρήσεων χρησιμοποιούνται τα κατάλληλα συστήματα μέτρησης (measurement systems). Οι μετρήσεις των φυσικών και των χημικών φαινόμενων αποτελούν αναπόσπαστο τμήμα πολλών ανθρώπινων δραστηριοτήτων.

Ιστορικά ο άνθρωπος χρησιμοποίησε τη μέτρηση για να μπορέσει να εκφράσει διάφορες ποσότητες (πχ. του λαδιού, της απόστασης), ώστε να μπορέσει να επικοινωνήσει με άλλους ανθρώπους και να διεξάγει πλήθος δραστηριοτήτων (πχ εμπόριο προϊόντων). Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας και της βιομηχανίας, οι μετρήσεις εκτός από την έκφραση του μεγέθους μιας ποσότητας άρχισαν να χρησιμοποιούνται ευρέως στα λεγόμενα συστήματα αυτόματου ελέγχου (automatic control systems). Στα συστήματα αυτά μετράται ένα μέγεθος, η μέτρηση συγκρίνεται με μια επιθυμητή τιμή και στη συνέχεια η διαφορά τους χρησιμοποιείται για να ελέγξει μια διαδικασία, έτσι ώστε το μετρούμενο μέγεθος να έχει την ίδια τιμή τελικά με την επιθυμητή τιμή. Στο παρελθόν, πολλά συστήματα μέτρησης βασιζόταν σε χειροκίνητες, μηχανικές ή άλλες διαδικασίες για την πραγματοποίηση της μέτρησης. Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας των ηλεκτρονικών, η πλειοψηφία των μετρήσεων βασίζεται πλέον στην μετατροπή ενός φυσικού μεγέθους (πχ. θερμοκρασία, πίεση, κλπ.) στο αντίστοιχο ηλεκτρικό σήμα (συνήθως τάση). Ο λόγος είναι ότι το ηλεκτρικό σήμα είναι εύκολο να ενισχυθεί (στην περίπτωση μέτρησης μικρών μεγεθών), να φιλτραριστεί (στην περίπτωση που επιδρούν διαταραχές στη μέτρηση του μεγέθους), να μεταφερθεί σε μεγάλες αποστάσεις (στην περίπτωση που η λήψη της μέτρησης πρέπει να γίνει σε απομακρυσμένο σημείο), να απεικονιστεί

εύκολα και ευανάγνωστα, καθώς και να αποθηκευτεί σε κατάλληλα μέσα για μελλοντική επεξεργασία και χρήση.

Τη μετατροπή του φυσικού μεγέθους στο αντίστοιχο ηλεκτρικό σήμα αναλαμβάνει συνήθως μια μονάδα που ονομάζεται αισθητήρας (sensor). Σήμερα, έχουν αναπτυχθεί αισθητήρες για πολύ μεγάλο αριθμό φυσικών μεγεθών. 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).

1.1.2 Μετρολογία και Οργανολογία (Measurements and Instrumentation)

Μετρολογία είναι η επιστήμη της μέτρησης.

Η μετρολογία περιλαμβάνει τεχνικές και μεθόδους μετρήσεων, την τεχνολογία των οργάνων μέτρησης (οργανολογία) και τις μονάδες μέτρησης. Γενικά, καθορίζει τον ακριβή και αποδεκτό προσδιορισμό των τιμών των μεγεθών που προσδιορίζουν τις ιδιότητες των σωμάτων ή των συστημάτων.

Παραπέμπει πλέον σε δυο βασικές δραστηριότητες:

1. Διασφάλιση ποιότητας (υποστήριξη)
2. Προτυποποίηση

Η μετρολογία μπορεί να έχει υπόσταση:

1. Επιστημονική, π.χ. ορισμός πρότυπων μονάδων
2. Εφαρμοσμένη, π.χ. διακρίβωση και ποιότητα μετρήσεων
3. Νομική, π.χ. στη σύνταξη κανονισμών και δημιουργία και έλεγχο προτύπων

1.1.3 Μετρήσεις

Η μελέτη των φυσικών φαινομένων γίνεται με βάση πληροφορίες οι οποίες αναφέρονται σε διάφορα αντικείμενα ή γεγονότα που συμβαίνουν κατά την εξέλιξη των φαινομένων. Πληροφορίες που αναφέρονται σε γεγονότα και σχετίζονται κυρίως με μεταβολές φυσικών μεγεθών, τις ονομάζουμε σήματα.

Η σύγκριση ενός φυσικού μεγέθους με άλλο ομοειδές, το οποίο αυθαίρετα ή με συμφωνία (πρότυπο, standard) λαμβάνεται ως μονάδα, ονομάζεται μέτρηση (measurement).

Μέτρηση είναι δηλαδή ο προσδιορισμός ενός μεγέθους ή ποσού με βάση ένα μέγεθος αναφοράς του ίδιου τύπου, που χρησιμοποιείται ως μονάδα μέτρησης (measurement unit) πχ. μέτρο, κιλό.

Αποτέλεσμα της μέτρησης είναι ο λόγος (αριθμός) του μετρούμενου μεγέθους προς αυτόν του προτύπου.

Κάθε μέτρηση πραγματοποιείται με τη χρήση ενός μετρητικού οργάνου, μετρητικής διάταξης ή συσκευής προκειμένου να μετρηθούν ένα ή περισσότερα χαρακτηριστικά ή ιδιότητες. Σε κάθε περίπτωση ωστόσο είναι γεγονός ότι το αποτέλεσμα μιας μέτρησης μπορεί να παρουσιάζει μικρές ή μεγάλες αποκλίσεις από την πραγματική τιμή της ιδιότητας ή του μεγέθους που μετράται.

Κάθε μέτρηση ενός φυσικού μεγέθους χαρακτηρίζεται από κάποιο **σφάλμα ,** το οποίο αναγράφεται με τη μορφή Τιμή ± Σφάλμα

Κατά την εκτέλεση σειράς μετρήσεων ενός φυσικού μεγέθους οι ευρισκόμενες τιμές διαφέρουν μεταξύ τους. Οι διαφορές των τιμών αυτών από μια ορισμένη τιμή καλούνται σφάλματα.

Συστήματα Μονάδων

Ιστορικά οι άνθρωποι δημιούργησαν και χρησιμοποίησαν πολλά διαφορετικά συστήματα μονάδων μέτρησης. Από το 1960 έχει καθιερωθεί και ισχύει παγκοσμίως το σύστημα SI (System International). Με το Διεθνές Σύστημα (S. I) ορίζονται ορισμένα φυσικά μεγέθη ως θεμελιώδη. Τα υπόλοιπα φυσικά μεγέθη θεωρούνται παράγωγα και κάθε μονάδα μέτρησης τέτοιου μεγέθους μπορεί να εκφραστεί ως συνάρτηση των θεμελιωδών μονάδων. Στον πίνακα 1.1 παρατίθενται οι θεμελιώδεις μονάδες του SI.

Πίνακας 1:1 Θεμελιώδεις Μονάδες

Οι θεμελιώδεις μονάδες του SI			
Μέγεθος	***Σύμβολο***	***Μονάδα***	***Ονομασία***
Χρόνος	t	s	Δευτερόλεπτο (Second)
Μήκος	L	m	Μέτρο (Meter)
Μάζα	m	kg	Χιλιόγραμμο (Kilogram)
Ένταση Ηλεκτρικού Ρεύματος	I	A	Αμπέρ (Ampere)
Θερμοκρασία	T	K	Κέλβιν (Βαθμός)
Ένταση Φωτός	I_L	cd	Κανδέλα (Candela)

Είδη μετρήσεων:

Υπάρχουν πολλά είδη και όργανα μετρήσεων. Παρακάτω παρουσιάζονται κάποια παραδείγματα μετρήσεων.

- Ηλεκτρικές Μετρήσεις (Τάσης, Ρεύματος, Ισχύος)
- Μετρήσεις Διαστάσεως (μήκους)
- Μηχανικές Μετρήσεις (Πίεσης, Δύναμης, Ροπής, Μάζας, Όγκου, Πυκνότητας, Ροής)
- Μετρήσεις Συνθηκών Περιβάλλοντος (Θερμοκρασίας, Υγρασίας)

Η Λειτουργία της Μέτρησης

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η έννοια της μέτρησης είναι πολύ σημαντική. Συνήθως, ο σκοπός για τον οποίο χρησιμοποιούνται τα διάφορα μετρητικά συστήματα είναι για:

- Απόκτηση των Πληροφοριών (Data Acquisition)
  - Γίνεται με τη χρήση του συστήματος μετρήσεων και καταγραφή (χειρωνακτικά ή ηλεκτρονικά) των λαμβανόμενων μετρήσεων
- Ανάλυση των Πληροφοριών (Data Analysis)
  - Για να προκύψουν οργανωμένες πληροφορίες ή σημαντικά στοιχεία για το μετρούμενο σήμα
- Παρουσίαση των Αποτελεσμάτων (Data Presentation)
  - Χαρτί, οθόνη ή άλλο μέσο με μορφή αλφαριθμητική, διαγραμματική, γραφηματική ή οποιαδήποτε άλλη επιθυμητή
- Σύστημα Ελέγχου (Control System)
  - Για την ανατροφοδότηση σημάτων και πληροφοριών ενός συστήματος, με στόχο τον έλεγχο και την προσαρμογή του σε επιθυμητές εισόδους αναφοράς

1.1.3.1 Συστήματα Μετρήσεων

Με τον όρο Σύστημα Μέτρησης εννοεί κανείς την συσκευή ή διαδικασία μέσω της οποίας εμφανίζεται ή καταγράφεται μια ποσοτική έξοδος που αντιστοιχεί στη μεταβλητή που μετρά, αλλά δεν ελέγχει την τιμή της ποσότητας εισόδου.

Σε ένα σήμα μπορεί κανείς να επενεργήσει είτε με μια διάταξη (υλικό) είτε με μια ακολουθία μαθηματικών πράξεων που συνθέτουν έναν αλγόριθμο (λογισμικό). Κάθε λειτουργία που εφαρμόζεται σε ένα σήμα για την απόκτηση κάποιας πληροφορίας καλείται επεξεργασία σήματος.

1.1.3.2 Τύποι Συστημάτων Μετρήσεων

Υπάρχουν διάφοροι τύποι συστημάτων μέτρησης. Η διάκριση τους μπορεί να γίνει:

ως προς τη Δομή Λειτουργίας

- Ενεργό: ένα όργανο του οποίου η ενέργεια του σήματος εξόδου παρέχεται αποκλειστικά ή σχεδόν αποκλειστικά από το σήμα εισόδου
- Παθητικό: ένα όργανο με εφεδρική παροχή ισχύος, η οποία συμβάλει το μεγαλύτερο μέρος ισχύος του σήματος εξόδου, ενώ το σήμα εισόδου συμβάλει μόνο ένα ασήμαντο μέρος του σήματος εξόδου

ως προς τα Σήματα

- Συστήματα μετρήσεων σημάτων με μοναδικό χαρακτήρα
- Συστήματα μετρήσεων περιοδικών και μη σημάτων
- Συστήματα μετρήσεων αναλογικών-διακριτών σημάτων
- Συστήματα μετρήσεων στοχαστικών σημάτων

ως προς τη Διάταξη

- Συγκεντρωτικό
- Αποκεντρωμένο
- Τηλεμετρικά συστήματα

1.1.3.3 Βασικά Χαρακτηριστικά Μετρητικών Συστημάτων

Τα διάφορα στοιχεία του συστήματος καθορίζουν τη δυνατότητα μέτρησης διαφόρων σημάτων. Τα χαρακτηριστικά ενός συστήματος μέτρησης είναι απαραίτητα για την αξιολόγηση της απόδοσης, της αξιοπιστίας και γενικότερα της καταλληλότητας του ως προς τη λειτουργία την οποία εκτελεί.

Τα βασικά χαρακτηριστικά τα οποία πρέπει να ληφθούν υπόψιν είναι:

Ευαισθησία: Ο λόγος αλλαγής του σήματος εξόδου (y) προς την αντίστοιχη αλλαγή του σήματος εισόδου (x).

Εύρος (span) εισόδου, εύρος λειτουργίας, εύρος πλήρους κλίμακας: Η μέγιστη μεταβολή της μεταβλητής εισόδου (xmax – xmin). ri = (xmax– xmin)

Εύρος Εξόδου, Πλήρης κλίμακα εξόδου: Η μέγιστη μεταβολή της μεταβλητής εξόδου ro= (ymax– ymin)

Μηδενική Μετατόπιση (Zero Offset): Η έξοδος ενός μετατροπέα, για μηδενική τιμή εισόδου του μετρούμενου μεγέθους, σε τυπικές συνθήκες περιβάλλοντος εάν αυτό δεν καθορίζεται

Ακρίβεια (accuracy) είναι η απόκλιση της ένδειξης του οργάνου από την πραγματική (αληθινή) τιμή του μετρούμενου μεγέθους.

Η ακρίβεια του οργάνου δεν είναι εν γένει σταθερή σ' όλη την περιοχή λειτουργίας του οργάνου. Εκφράζεται ως ποσοστό της ένδειξης του οργάνου ή ως ποσοστό του εύρους τιμών του.

ε = μετρούμενη τιμή –πραγματική τιμή

Αβεβαιότητα (uncertainty): Η αληθινή (πραγματική) τιμή κατά τη διαδικασία των μετρήσεων δεν είναι σχεδόν ποτέ γνωστή. Το μόνο που είναι εφικτό είναι η εκτίμηση της αναμενόμενης, για αυτό το λόγο συνήθως μιλάμε για εκτίμηση του σφάλματος που ονομάζεται αβεβαιότητα (uncertainty).

Το ολοκληρωμένο αποτέλεσμα μιας μέτρησης αποτελείται από:

Την μετρούμενη τιμή και την αβεβαιότητα της μέτρησης (Τιμή ± αβεβαιότητα)

Την αβεβαιότητα την ονομάζουμε σφάλμα και μπορεί να είναι:

Τυχαίο σφάλμα: πρόκειται για σφάλματα που σχετίζονται με την ακρίβεια μιας μέτρησης και δείχνουν τις διακυμάνσεις που έχουν οι μετρήσεις ενός επαναλαμβανόμενου πειράματος που γίνεται κάτω από τις ίδιες φαινομενικά συνθήκες και τα οποία οδηγούν στην κατανομή των αποτελεσμάτων γύρω από μία μέση τιμή. Μπορεί να οφείλονται στην έλλειψη ευαίσθητης απόκρισης του οργάνου ή στον παρατηρητή (σφάλματα ανάγνωσης), στον εξωτερικό «θόρυβο», ή σε

στατιστικές διαδικασίες (όπως είναι η ρίψη ενός ζαριού). Τα τυχαία σφάλματα είναι αναπόφευκτα και περιγράφονται με τη στατιστική θεωρία.

Συστηματικό σφάλμα (Systematic or bias error): Είναι το μέρος εκείνο του σφάλματος που παραμένει σταθερό σε επαναλαμβανόμενες μετρήσεις μιας συγκεκριμένης τιμής της μεταβλητής εισόδου. Πρόκειται για σφάλματα που σχετίζονται με την αξιοπιστία μιας μέτρησης και μπορεί να οφείλονται στην κακή βαθμονόμηση των οργάνων, στη λανθασμένη χρήση των οργάνων ή στην παράβλεψη ορισμένων φαινομένων ή σε εξωτερικά αίτια που μπορεί να αλλάξουν τα αποτελέσματα του πειράματος (υγρασία, πίεση, θερμοκρασία κ.λ.π). Είναι η απόκλιση της μετρούμενης μέσης τιμής από την μετρούμενη πραγματική τιμή ή αναμενόμενη τιμή. Τα μεγάλα συστηματικά σφάλματα περιορίζονται με σύγκριση των τιμών με διαφορετικές μεθόδους

Άρα συνολικά ο σωστός τρόπος αναγραφής της μετρούμενης τιμής είναι:

Τιμή ± σφάλμα ± συστηματικό σφάλμα

Δυναμική Περιοχή: Ο λόγος της μέγιστης προς την ελάχιστη τιμή του σήματος εισόδου, που μπορεί να διεγείρει το σύστημα και να υποστεί επεξεργασία με την καθορισμένη ακρίβεια.

Διακριτική Ικανότητα (resolution): ορίζεται ως το ελάχιστο ποσό μεταβολής του μετρούμενου μεγέθους του οργάνου που οδηγεί σε ευδιάκριτη αλλαγή της εξόδου. Αντιστοιχεί δηλαδή στην μικρότερη μεταβολή της εισόδου που μπορεί να γίνει αντιληπτή από το σύστημα. Εκφράζεται ως ποσοστό του εύρους του μετρούμενου μεγέθους

Υστέριση (Hysteresis): ορίζεται ως η διαφορά της εξόδου των αισθητήρων για δεδομένη τιμή εισόδου x, όταν το x αυξάνεται και μειώνεται ή αντίστροφα. (εκφράζεται σε % του εύρους εξόδου)(ενδεικτικό μέγεθος της αναπαραγωγής της μέτρησης).

Γραμμικότητα: Μέτρηση της απόκλισης της καμπύλης βαθμονόμησης από την ευθεία γραμμή.

Συνθήκες λειτουργίας: Οι περιβαλλοντικές συνθήκες μπορεί να έχουν σημαντικές επιδράσεις στη λειτουργία του αισθητήρα. Αυτές περιλαμβάνουν τη θερμοκρασία,

την ταλάντωση, την επιτάχυνση, τον κραδασμό, την πίεση, την υγρασία, τα διαβρωτικά υλικά και το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο.

Μηδενική Απόκλιση Θερμοκρασίας: η αλλαγή του επιπέδου της εξόδου ενός μετατροπέα συναρτήσει της μεταβολής της θερμοκρασίας για μηδενική είσοδο.

Απόκλιση ευαισθησίας λόγω Θερμοκρασίας: η αλλαγή της ευαισθησίας της εξόδου ενός μετατροπέα συναρτήσει της θερμοκρασίας για είσοδο σε δεδομένη περιοχή τιμών.

1.1.3.4 Βαθμονόμηση

Ένα άλλο χαρακτηριστικό των μετρητικών συστημάτων είναι η βαθμονόμηση.

Βαθμονόμηση (calibration) είναι η διαδικασία κατά την οποία γνωστές τιμές (συνήθως πρότυπες) εισόδου εφαρμόζονται σ' ένα μετρητικό σύστημα (ή αισθητήρα) με σκοπό την παρατήρηση της εξόδου του συστήματος (ή αισθητήρα).

Υπάρχει η Στατική και η Δυναμική βαθμονόμηση:

- **Στατική βαθμονόμηση** είναι η διαδικασία βαθμονόμησης στην οποία οι τιμές της μετρούμενης μεταβλητής παραμένουν σταθερές (δεν μεταβάλλονται στο χρόνο).
- **Δυναμική βαθμονόμηση** είναι η διαδικασία βαθμονόμησης όπου οι μεταβλητές που μας ενδιαφέρουν είναι συναρτήσεις του χρόνου και αυτή η χρονική συμπεριφορά είναι το ζητούμενο. Η δυναμική βαθμονόμηση καθορίζει τη σχέση μεταξύ μιας εισόδου με γνωστή δυναμική συμπεριφορά και της αντίστοιχης εξόδου του μετρητικού συστήματος.

1.1.4 Συστήματα Συλλογής Δεδομένων με χρήση Μικροελεγκτή

Ένα σύστημα συλλογής δεδομένων (ΣΣΔ) / Data Acquisition System (DAQ), έχει ως στόχο την απόκτηση και συλλογή δεδομένων. Τα δεδομένα συνήθως είναι μεταβολές φυσικών φαινομένων, όπως τάση, ρεύμα, θερμοκρασία, πίεση, ήχος κτλ. Η διαδικασία της λήψης και καταγραφής των μετρήσεων αυτών με την κλασική μέθοδο, είναι μια χρονοβόρα και επίπονη διαδικασία. Η ανάπτυξη της ψηφιακής τεχνολογίας, επιτρέπει την αυτόματη λήψη και αποθήκευση των μετρήσεων πιο γρήγορα και αξιόπιστα. Η χρήση Η/Υ, μικροελεγκτών, ψηφιακών αποθηκευτικών μέσων και διάφορων τρόπων επικοινωνίας όλων των παραπάνω, έχει βοηθήσει στην εξέλιξη της λήψης, καταγραφής και επεξεργασίας των δεδομένων.

1.1.4.1 Σύστημα Συλλογής Δεδομένων βασιζόμενο σε Η/Υ (PC based DAQ)

Ένα **DAQ βασιζόμενο σε Ηλεκτρονικό Υπολογιστή** (PC based) αποτελείται από έναν συνδυασμό:

- υλικού (hardware)
- λογισμικού

Ενώ κάθε σύστημα συλλογής δεδομένων ορίζεται από τις απαιτήσεις της εκάστοτε εφαρμογής, όλα τα συστήματα αυτά έχουν έναν κοινό στόχο:

i) την απόκτηση
ii) την ανάλυση
iii) την παρουσίαση πληροφοριών

Τα συστήματα συλλογής δεδομένων, ενσωματώνουν εκτός των άλλων, σήματα, αισθητήρες, ενεργοποιητές, συσκευές καταγραφής δεδομένων και το αντίστοιχο λογισμικό.

Συνοψίζοντας, κατά την διαδικασία συλλογής δεδομένων έχουμε:

- Λήψη (acquisition) σημάτων από το φυσικό περιβάλλον
- Ψηφιοποίηση (digitalized) των σημάτων
- Ανάλυση (analysis), παρουσίαση (presentation), παρακολούθηση (monitoring) και αποθήκευση (logging) των δεδομένων (data)

Το σύστημα συλλογής δεδομένων εκτελεί όλες τις παραπάνω λειτουργίες ή μέρος αυτών.

1.1.4.2 Στοιχεία DAQ με Η/Υ

Τα στοιχεία που συνήθως αποτελούν ένα DAQ με Η/Υ είναι:

- DAQ υλικό/συσκευή (hardware)
- Λογισμικό Σύστηματος Οδήγησης (driver software) για σύνδεση με Η/Υ
- Λογισμικό εφαρμογής (application software)

DAQ υλικό/συσκευή (hardware)

Η συσκευή DAQ αποτελεί τη γέφυρα μεταξύ του Η/Υ και του πραγματικού κόσμου. Η κύρια λειτουργία του είναι να ψηφιοποιεί τα αναλογικά σήματα εισόδου έτσι ώστε ο Η/Υ να μπορέσει να τα επεξεργαστεί.

Μια συσκευή DAQ παρέχει συνήθως τα ακόλουθα στοιχεία:

- Αναλογικές εισόδους/εξόδους (analog I/O)
- Ψηφιακές εισόδους/εξόδους (digital I/O)
- Μετρητές (counters) /Χρονιστές (timers)

Στην παρούσα εργασία ως σύστημα συλλογής δεδομένων χρησιμοποιείται η πλατφόρμα Arduino. Με τη συγκεκριμένη πλατφόρμα δύναται η αμφίδρομη επικοινωνία του μικροελεγκτή με τον υπολογιστή έτσι ώστε εκτός από τις μετρήσεις ο χρήστης να μπορεί να αλληλοεπιδρά και με κάποια ηλεκτρικά φορτία που υπάρχουν στην μετρητική διάταξη.

Λογισμικό Σύστηματος Οδήγησης (driver software)

Λογισμικό Συστήματος Οδήγησης είναι το κομμάτι λογισμικού για την επικοινωνία του DAQ με τον Η/Υ. Βρίσκεται ανάμεσα στην συσκευή και το λογισμικό εφαρμογής. Με τον driver ο προγραμματιστής έχει πρόσβαση στις λειτουργίες του υλικού αποφεύγοντας να προγραμματίζει σε επίπεδο καταχωρητών (register) ή με περίπλοκες εντολές. Ανάλογα τη γλώσσα προγραμματισμού και τον τρόπο επικοινωνίας υπάρχουν έτοιμες βιβλιοθήκες που επιτρέπουν την ανταλλαγή δεδομένων.

Λογισμικό εφαρμογής (application software)

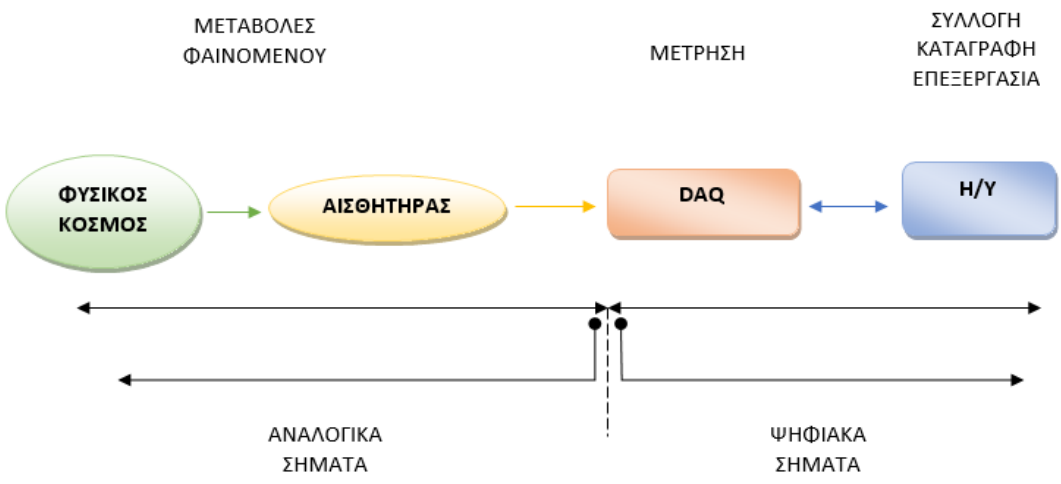
Το λογισμικό εφαρμογής προσθέτει δυνατότητες ανάλυσης, παρουσίασης και ελέγχου του λογισμικού προγράμματος οδήγησης του μικροελεγκτή.

Οι συνηθισμένες εργασίες είναι:

- παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο (real-time monitoring)
- ανάλυση των δεδομένων (data analysis)
- καταγραφή δεδομένων (data logging)
- αλγόριθμοι ελέγχου (control algorithms)
- διεπαφή ανθρώπου-μηχανής (Human machine interface, HMI)

Οι κατασκευαστές συσκευών DAQ προσφέρουν και το αντίστοιχο λογισμικό με τα αντίστοιχα drivers για τις συσκευές. Υπάρχουν και προγραμματιστικά περιβάλλοντα με τα οποία ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει το δικό του DAQ Software. Το Matlab, και το Labview, κυρίως το δεύτερο, είναι παραδείγματα εμπορικών λογισμικών που μπορούν να αξιοποιηθούν και ως προγράμματα συλλογής δεδομένων αφήνοντας τον χρήστη να δημιουργήσει το δικό του γραφικό περιβάλλον για τη επεξεργασία δεδομένων. Αξίζει να αναφέρουμε ότι δωρεάν και ανοικτού κώδικα λογισμικό για τέτοιες εφαρμογές είναι το Octave καθώς και η γλώσσα προγραμματισμού Python με τις κατάλληλες βιβλιοθήκες. Στην εργασία, το λογισμικό εφαρμογής δημιουργήθηκε με τη χρήση της γλώσσας Free Pascal στην πλατφόρμα Lazarus.

Στο Σχήμα 1-1 φαίνεται μια τυπική συνολική διαδικασία ενός μετρητικού συστήματος.



Σχήμα 1-1: Σχηματική Αναπαράσταση DAQ

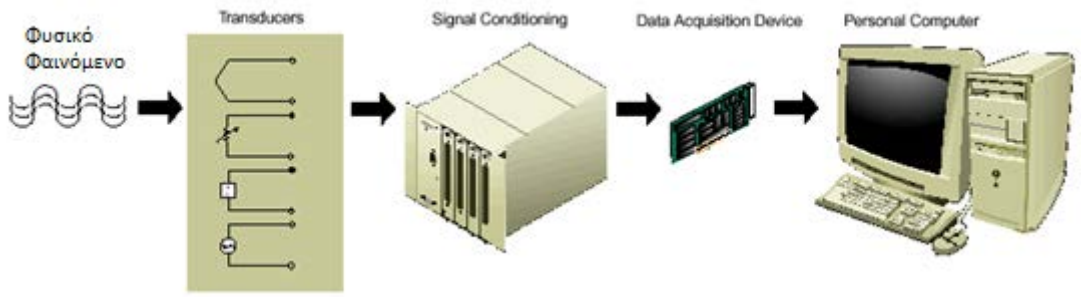
1.1.4.3 Οδήγηση σήματος

Τα Συστήματα μέτρησης που βασίζονται σε ψηφιακά κυκλώματα και υπολογιστή, χρησιμοποιούνται σε μια ευρεία ποικιλία εφαρμογών. Όμως, ένα τέτοιο σύστημα μέτρησης για να μπορέσει αποτελεσματικά και με ακρίβεια να μετρήσει το σωστό σήμα που προκύπτει από τους αισθητήρες και τους διάφορους μετατροπείς, απαιτείται πολλές φορές η ειδική επεξεργασία του σήματος αυτού πριν την εισαγωγή του στη διάταξη μέτρησης. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται signal conditioning.

Με τον όρο αυτό, περιλαμβάνονται λειτουργίες όπως ενίσχυση, εξασθένιση, φιλτράρισμα, ηλεκτρική απομόνωση, ταυτόχρονη δειγματοληψία και πολυπλεξία του σήματος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, το σωστό σήμα να οδηγηθεί για ψηφιοποίηση και περαιτέρω επεξεργασία. Για να επιτευχθεί αυτό, χρησιμοποιούνται ειδικά κυκλώματα πχ ενισχυτές, φίλτρα κα

Επιπλέον, πολλοί μετατροπείς απαιτούν για τη σωστή και ακριβή λειτουργία τους, διέγερση ρεύματος ή τάσης, γέφυρα, γραμμικοποίηση ή υψηλή ενίσχυση.

Στο Σχήμα 1-2 παρουσιάζεται ένα συνολικό σύστημα συλλογής δεδομένων με χρήση ΗΥ :



Σχήμα 1-2: Σχηματική Αναπαράσταση DAQ με signal conditioning

Πολλές φορές, το κατάλληλο κύκλωμα οδήγησης σήματος μπορεί να βελτιώσει την ποιότητα και την απόδοση του συστήματός, ανεξάρτητα από το είδος των αισθητήρων ή μετατροπέων που χρησιμοποιούνται. Στόχος είναι να μην χαθεί η πληροφορία και η μέτρηση να είναι με ακρίβεια.

Ενίσχυση

Επειδή τα σήματα που εξέρχονται από τους αισθητήρες είναι συχνά πολύ μικρά σε μέγεθος (πλάτος), ένα κύκλωμα οδήγησης μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την ακρίβεια των δεδομένων. Οι ενισχυτές έχουν ως στόχο να ενισχύσουν το επίπεδο του σήματος εισόδου για να ταιριάζει καλύτερα με το εύρος των μετατροπέων από αναλογικό σε ψηφιακό (ADC), αυξάνοντας έτσι την ανάλυση και ευαισθησία της μέτρησης. Επιπλέον, με τη χρήση εξωτερικών ενισχυτών σήματος να βρίσκονται πλησιέστερα προς την πηγή του σήματος, βελτιώνεται ο λόγος σήματος προς θόρυβο της μέτρησης από την ενίσχυση του επιπέδου σήματος πριν αυτό να επηρεαστεί από τον πιθανό θόρυβο.

Εξασθένηση - απόσβεση

Η Εξασθένηση είναι το αντίθετο της ενισχύσεως. Είναι απαραίτητο, όταν οι τάσεις που θα ψηφιοποιηθούν είναι συνήθως μεγαλύτερες από την περιοχή τιμών του σήματος εισόδου του ADC. Με αυτόν τον τρόπο, μειώνεται το πλάτος του σήματος εισόδου, έτσι ώστε το διαμορφωμένο σήμα να είναι εντός του εύρους του ADC.

Φιλτράρισμα

Επιπλέον, ένα κύκλωμα οδήγησης σήματος μπορεί να περιλαμβάνει φίλτρα για να απορρίψει τον ανεπιθύμητο θόρυβο (γραμμές μεταφοράς ενέργειας, μηχανημάτων, περιβάλλον) μέσα σε ένα συγκεκριμένο εύρος συχνοτήτων. Μια άλλη κοινή χρήση

των φίλτρων αυτών είναι να αποφευχθεί το φαινόμενο της αναδίπλωσης (aliasing) του σήματος (φαινόμενο που προκύπτει όταν η δειγματοληψία είναι σχετικά αργή).

Απομόνωση

Η ακατάλληλη απομόνωση ενός συστήματος είναι μία από τις πιο κοινές αιτίες σε προβλήματα μέτρησης, συμπεριλαμβανομένου του θορύβου και των βλαβών των συστημάτων μέτρησης. Διαμορφωτές σήματος σε συνδυασμό με απομόνωση μπορούν να αποτρέψουν τα περισσότερα από αυτά τα προβλήματα. Τέτοιες συσκευές οδηγούν το σήμα από την πηγή έως τη συσκευή μέτρησης χωρίς φυσική σύνδεση με τη χρήση μετασχηματιστή, οπτικής ή χωρητικής σύζευξη. Επίσης, προστατεύεται με αυτόν τον τρόπο ο εξοπλισμός από τάσεις με υψηλής τιμής.

Multiplexing (πολυπλεξία)

Ο πολυπλέκτης προσθέτει σε ένα ενιαίο ψηφιοποιητή (digitizer) τη συνεχόμενη διέλευση ενός αριθμού σημάτων επιτυγχάνοντας έτσι έναν οικονομικά αποδοτικό τρόπο για την επέκταση του αριθμού των μετρούμενων σημάτων του συστήματός.

Ταυτόχρονη δειγματοληψία

Όταν είναι κρίσιμη η μέτρηση δύο ή περισσότερων σημάτων την ίδια χρονική στιγμή, απαιτείται ταυτόχρονη δειγματοληψία. Ένα κύκλωμα το οποίο θα προσφέρει κάτι τέτοιο, είναι ακολούθως η πιο αποδοτική λύση για δειγματοληψία από την αγορά ενός digitizer για κάθε κανάλι. Τυπικές εφαρμογές που ενδέχεται να απαιτούν ταυτόχρονη δειγματοληψία είναι μετρήσεις δονήσεων και η διαφορά φάσης.

1.2 Αισθητήρες – Μικροελεγκτές – ADC

1.2.1 Σήμα

Οι πληροφορίες που γίνονται αντιληπτές μέσω των αισθήσεων μας μπορούν να περιγραφούν ως μια ή περισσότερες φυσικές μεταβλητές η τιμή των οποίων είναι μια συνάρτηση του χρόνου (ή / και του χώρου). Στο σύνολο τους είναι δυνατό να περιγράφουν ένα μεγάλο φάσμα φυσικών φαινομένων. Τα σήματα εμφανίζονται μέσα από φυσικές διεργασίες (π.χ. σήμα ομιλίας, σεισμικά σήματα, βιολογικά σήματα) ή είναι τεχνητά ως αποτέλεσμα των τεχνολογικών επιτευγμάτων (π.χ. ραδιοφωνικά, οικονομετρικά, δορυφορικά σήματα). Τα σήματα μπορεί να περιέχουν πληροφορία σχετικά με τη συμπεριφορά ή τη φύση ενός φαινομένου. Τα σήματα μπορεί να είναι ηλεκτρικά, οπτικά, ακουστικά, μαγνητικά, σεισμικά κτλ

Τα σήματα περιγράφονται από συναρτήσεις.

Από μαθηματική άποψη, ένα σήμα μπορεί να εκφραστεί ως συνάρτηση ή ακολουθία μιας η περισσοτέρων ανεξαρτήτων μεταβλητών.

$t \rightarrow x(t)$

Η ανεξάρτητη μεταβλητή t είναι συνήθως ο χρόνος, ή οποία μπορεί να έχει και άλλη φυσική σημασία. Με x(t) συμβολίζεται η τιμή του σήματος τη χρονική στιγμή t.

Τύποι Σημάτων - Ταξινόμηση Σημάτων

Τα σήματα μπορούν να ταξινομηθούν με διαφορετικούς τρόπους σε διαφορετικές κατηγορίες. Αναλόγως με το σκοπό χρήσης τους επιλέγουμε και την κατάλληλη ταξινόμηση.

Με βάση το είδος των μεταβλητών τους τα σήματα χωρίζονται σε:

- ***σήματα συνεχούς χρόνου (continuous time):***
  Ένα σήμα για το οποίο για κάθε τιμή της ανεξάρτητης μεταβλητής (χρόνος) μπορεί να υπολογιστεί μια τιμή του σήματος ονομάζεται συνεχές σήμα. Ένα σήμα συνεχούς χρόνου συμβολίζεται συνήθως ως x(t), όπου t πραγματικός.
- ***σήματα διακριτού χρόνου (discrete time):***
  Ένα σήμα για το οποίο η ανεξάρτητη μεταβλητή (χρόνος) δεν μπορεί να πάρει οποιαδήποτε τιμή αλλά συγκεκριμένες και διακριτές τιμές στον άξονα ονομάζεται σήμα διακριτού χρόνου. Ένα σήμα διακριτού χρόνου

συμβολίζεται συνήθως ως x(n), όπου n ακέραιος. Πρόκειται για μία ακολουθία (sequence) αριθμών, γι' αυτό συχνά αναφερόμαστε στο σήμα αυτό και ως ακολουθία.

Η εξαρτημένη μεταβλητή, δηλαδή το πλάτος (amplitude) του σήματος μπορεί και αυτή να είναι είτε συνεχής (παίρνει οποιαδήποτε τιμή) είτε διακριτή (παίρνει συγκεκριμένες-διακριτές τιμές).

Επομένως έχουμε:

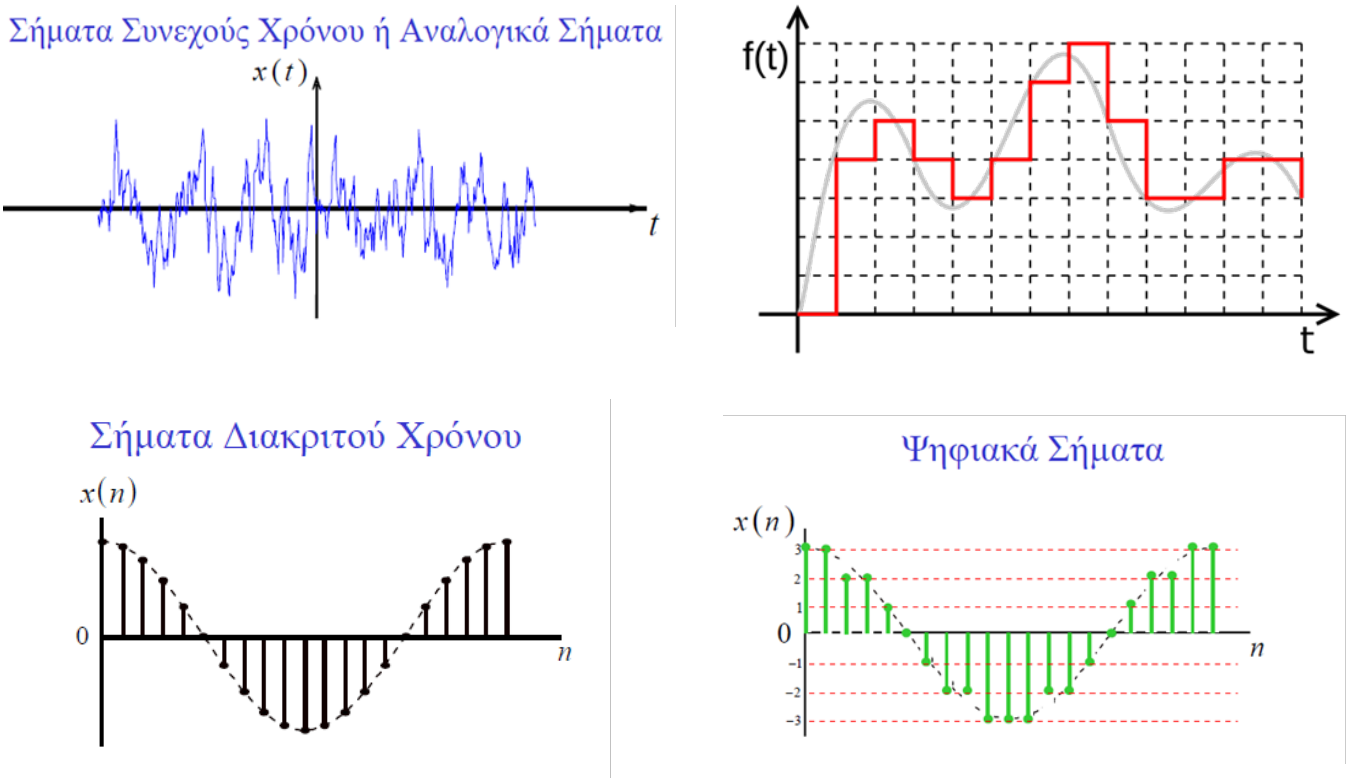
Σήματα συνεχούς χρόνου (Coninuous Time signals), x(t), t: συνεχής μεταβλητή

- *Συνεχούς πλάτους (Αναλογικά)*
- *Διακριτού πλάτους*

Σήματα διακριτού χρόνου (Discrete Time signals), x[n] ή x[nT], n: ακέραιος αριθμός

- *Συνεχούς πλάτους*
- *Διακριτού πλάτους (Ψηφιακά)*

Στο Σχήμα 1-3 παρουσιάζονται τα γραφήματα των διαφόρων σημάτων:



Σχήμα 1-3: Γραφήματα Σημάτων

Τα περισσότερα φυσικά σήματα είναι αναλογικά. Η πληροφορία που προέρχεται από τα αισθητήρια όργανα είναι συνεχής και συνεπώς το σήμα που περιγράφει το φυσικό μέγεθος μεταβάλλεται ανάλογα με τον τρόπο που μεταβάλλεται και το φυσικό μέγεθος, δηλαδή αναλογικά. Παραδείγματα τέτοιων σημάτων είναι η ομιλία ως συνάρτηση του χρόνου, η ατμοσφαιρική πίεση ως συνάρτηση του ύψους, ο ηλεκτρισμός. Παραδείγματα σημάτων διακριτού χρόνου συνεχούς πλάτους είναι ο δείκτης του χρηματιστήριου ως συνάρτηση του χρόνου (πχ ανά ημέρα) ή το κατά κεφαλήν εισόδημα ως συνάρτηση του τόπου διαμονής. Δημιουργούνται συνήθως από τη δειγματοληψία αναλογικών σημάτων. Ψηφιακά σήματα χρησιμοποιούν οι υπολογιστές, οι μικροεπεξεργαστές κτλ. και δημιουργούνται συνήθως από τη δειγματοληψία και την κβαντοποίηση αναλογικών σημάτων.

1.2.2 Αισθητήρια

Μορφομετατροπείς (transducer) είναι διατάξεις οι οποίες μετατρέπουν ένα σήμα από μια μορφή ενέργειας σε κάποια άλλη. Η μορφή ενέργειας μπορεί να είναι ηλεκτρική, μηχανική, χημική κτλ.

Ορισμός **Αισθητήρα (sensor):**

Αισθητήρας είναι μία διάταξη που χρησιμοποιείται για την μέτρηση ενός φυσικού μεγέθους. Η βασική λειτουργία του είναι η ανίχνευση ενός σήματος ή μιας διέγερσης και η παραγωγή μιας μετρήσιμης εξόδου. Διαθέτουν κάποια κατάλληλη ιδιότητα, η οποία μεταβάλλεται ως συνάρτηση του μετρούμενου φυσικού μεγέθους. Επιτρέπει να αντιληφθεί κανείς και να ποσοτικοποιήσει διάφορα φυσικά μεγέθη και τις μεταβολές αυτών. Συνήθως μετατρέπει το μετρούμενο φυσικό μέγεθος σε ηλεκτρικό σήμα (τάση, ένταση, συχνότητα).

Μερικά παραδείγματα φυσικών μεγεθών που μετρούν οι αισθητήρες είναι η θερμοκρασία, η θέση και η μετατόπιση ενός αντικειμένου, η στάθμη υγρών, η ταχύτητα και η επιτάχυνση ενός κινούμενου αντικειμένου, η δύναμη, η ροή ρευστού, η τάση, το ρεύμα, η υγρασία, η ακτινοβολία κα.

Η επιλογή του αισθητήρα γίνεται με βάση τη μορφή της απαιτούμενης πληροφορίας που είναι επιθυμητό να μετρηθεί, τα χαρακτηριστικά, το κόστος, την καταλληλόλητα της μορφής του αισθητήρα κ.α.

Συνήθως, ενδιαφέρουν παρουσιάζουν οι αισθητήρες που μπορούν να συνεργαστούν με κάποιο ηλεκτρονικό σύστημα μέτρησης και κατ' επέκταση να συνδεθούν με μικροεπεξεργαστές.

1.2.2.1 Χρήση Αισθητήρων

Υπάρχουν δύο πεδία στα οποία χρησιμοποιούνται κυρίως οι αισθητήρες:

- η συλλογή πληροφορίας (μέτρηση)
- ο έλεγχος συστημάτων.

Η χρήση της τεχνολογίας αισθητήρων στα πεδία αυτά διαφέρει ως προς τον τρόπο αξιοποίησης της πληροφορίας που λαμβάνεται από τους αισθητήρες.

Οι αισθητήρες ως ανιχνευτές συλλογής πληροφορίας παρέχουν πληροφορία με στόχο να είναι διαρκώς γνωστή η τρέχουσα κατάσταση των παραμέτρων ενός συστήματος και να παρέχουν μία εικόνα της εξέλιξης των παραμέτρων του.

Οι αισθητήρες συστημάτων ελέγχου είναι της ίδιας μορφής, αλλά συνήθως τροφοδοτούν ελεγκτή ο οποίος παράγει μία νέα έξοδο που ρυθμίζει την τιμή της μετρούμενης παραμέτρου.

Σήμερα, χρησιμοποιούνται ως ελεγκτές, σύγχρονοι επεξεργαστές με χαμηλό κόστος, των οποίων η αξιοποίηση θα ήταν πολύ δύσκολη εάν δεν τροφοδοτούνταν από τις κατάλληλες πληροφορίες που συλλέγονται από αποδοτικούς και αξιόπιστους αισθητήρες.

1.2.2.2 Ταξινόμηση Αισθητηρίων

Ανάλογα με το ***σύστημα τροφοδοσίας*** ο αισθητήρας μπορεί να είναι: παθητικός ή ενεργητικός.

- ***Παθητικός αισθητήρας***: δεν χρειάζεται καμία πρόσθετη πηγή ενέργειας και ανταποκρίνεται με το να παράγει άμεσα ένα ηλεκτρικό σήμα. Δηλαδή, η ενέργεια ερεθίσματος στην είσοδο μετατρέπεται από τον αισθητήρα σε σήμα εξόδου.
- ***Ενεργητικός αισθητήρας***: απαιτεί εξωτερική τροφοδοσία ρεύματος για τη λειτουργία του, η οποία ονομάζεται σήμα διέγερσης. Αυτό το σήμα τροποποιείται από τον αισθητήρα ώστε να παράγει το σήμα εξόδου. Οι ενεργοί αισθητήρες ονομάζονται μερικές φορές και παραμετρικοί, επειδή οι ιδιότητες τους αλλάζουν, λόγο των μεταβολών στην τιμή του ρεύματος τροφοδοσίας.

Σημείωση: Δεν παράγουν όλοι οι αισθητήρες κάποιο σήμα. Κάποιοι μπορεί να μεταβάλλουν κάποιο χαρακτηριστικό πχ αντίσταση, το οποίο όμως είναι εύκολα μετρήσιμο με την κατάλληλη διάταξη.

Ανάλογα με το ***σύστημα αναφοράς,*** ο αισθητήρας μπορεί να ταξινομηθεί σε: απόλυτος ή σχετικός.

- ***Απόλυτος αισθητήρας***: ανιχνεύει ένα ερέθισμα σε σχέση με την απόλυτη φυσική κλίμακα, που είναι ανεξάρτητη από τις συνθήκες μέτρησης.

- ***Σχετικός αισθητήρας***: παράγει ένα σήμα που σχετίζεται με κάποια ειδική περίπτωση που σε κάθε περίπτωση δεν ανταποκρίνεται στην απόλυτη φυσική κλίμακα.

Ανάλογα με τη ***μορφή του σήματος εξόδου*** (μετρούμενο αποτέλεσμα) του ο αισθητήρας μπορεί να ταξινομηθεί σε:

- Διακόπτης (ON-OFF) με έξοδο τύπου "τρανζίστορ".
- αναλογικό σήμα, τάση ή και ρεύμα, όπου οι στάθμες αναπαριστούν τις τιμές.
- ως συχνότητα του σήματος εξόδου
- ψηφιακό (προηγείται μετατροπή από αναλογικό σε ψηφιακό).

Συνοπτική παρουσίαση διαθέσιμων αισθητήρων:

Ακουστικός:

  - Πλάτος κύματος, Φάση, πόλωση
  - Φάσμα, μέτρο ταχύτητας
  - Άλλο

- Βιολογικός:
  - Βιομάζα (τύπος, συγκέντρωση, κατάσταση)
  - Άλλο
- Ηλεκτρικός:
  - Φορτίο, ρεύμα
  - Τάση, διαφορά δυναμικού
  - Ηλεκτρικό πεδίο (πλάτος, φάση, πόλωση)
  - Φάσμα
  - Αγωγιμότητα
  - Διαπερατότητα
  - Άλλο
- Μαγνητικός:
  - Μαγνητικό Πεδίο (πλάτος, φάση, πόλωση, φάσμα)
  - Μαγνητική διακύμανση
  - Διαπερατότητα
  - Άλλο
- Ακτινοβολίας:

- Τύπου
- Ενέργεια
- Ένταση
- Άλλο

➢ Θερμικός:

- θερμοκρασία
- Μεταβολές
- Ειδική θερμότητα
- θερμική αγωγιμότητα
- Άλλο

➢ Οπτικός

- Πλάτος κύματος
- Φάση, πόλωση,,
- Δείκτης διάθλασης
- Δείκτης εκπομπής, αντανακλαστικότητα, απορρόφηση
- Άλλο

➢ Μηχανικός:

- θέση (γραμμική, γωνιακή)
- Επιτάχυνση
- Δύναμη
- Πίεση καταβολής
- Καταπόνηση
- Μάζα, πυκνότητα
- Αδράνεια, ροπή
- Ταχύτητα ροής, ρυθμός μάζας, μεταφορά
- Σχήμα, αντοχή, προσανατολισμός
- Σκληρότητα, συμμόρφωση
- Ιξώδες
- κρυσταλλικότητα, δομική ακεραιότητα
- Άλλο

➢ Χημικός:

- Στοιχεία (τύπος, συγκέντρωση, κατάσταση)

1.2.2.3 Χαρακτηριστικά Αισθητηρίων

Στατικά: Τα στατικά χαρακτηριστικά αναφέρονται στην περίπτωση όπου έχει επέλθει ισορροπία μεταξύ σήματος εισόδου (μετρούμενου μεγέθους) και αισθητήρα. Δηλαδή όταν τα σήματα εισόδου και εξόδου δεν μεταβάλλονται με το χρόνο. Για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο πρέπει το μετρούμενο ερέθισμα είτε να είναι σταθερό, είτε να μεταβάλλεται πολύ αργά σε σχέση με τη δυνατότητα του αισθητήρα να αντιληφθεί τη μεταβολή αυτή

Δυναμικά: Τα δυναμικά χαρακτηριστικά περιγράφουν τη συμπεριφορά του αισθητήρα μεταξύ της στιγμής κατά την οποία το σήμα εισόδου μεταβάλλεται έως τη στιγμή κατά την οποία το σήμα εξόδου θα σταθεροποιηθεί εκ νέου. Τα δυναμικά χαρακτηριστικά ισχύουν, όπως και τα στατικά, εντός συγκεκριμένου εύρους συνθηκών λειτουργίας του αισθητήρα. Αν ο αισθητήρας βρεθεί να λειτουργεί εκτός αυτού του εύρους, τότε τα δυναμικά χαρακτηριστικά αναμένεται να μεταβληθούν.

Στατικά χαρακτηριστικά των αισθητήρων

Πιστότητα (accuracy)

Με τον όρο πιστότητα αποδίδεται ο αγγλικός όρος accuracy. Η πιστότητα δε σχετίζεται με τον αριθμό των δεκαδικών ψηφίων με τον οποίο μπορεί να γίνει η μέτρηση, αλλά με το κατά πόσο το αποτέλεσμα που δίνει ο αισθητήρας πλησιάζει την φυσική πραγματικότητα, μέσα σε ένα λογικό εύρος τιμών. Η πιστότητα δίνεται συνήθως ως ποσοστό επί του εύρους λειτουργίας του αισθητήρα. Αν, για παράδειγμα, ένας αισθητήρας πίεσης, περιοχής λειτουργίας 0 — 10 bar έχει πιστότητα ±1.0% της πλήρους κλίμακας, τότε το μέγιστο σφάλμα του αισθητήρα θα είναι ίση με 0,1 bar. Για τον λόγο αυτό Θα πρέπει το εύρος λειτουργίας των αισθητήρων να είναι όσο το δυνατόν εγγύτερα στο εύρος των μετρούμενων τιμών, ώστε να εξασφαλίζεται η μέγιστη δυνατή πιστότητα των μετρήσεων. Αν δηλαδή έχουμε μία εφαρμογή στην οποία οι πιέσεις μεταβάλλονται στο διάστημα 0 — 1 bar είναι λάθος να επιλέξουμε αισθητήρα περιοχής λειτουργίας 0 - 10 bar.

Ακρίβεια, Επαναληψιμότητα

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

Οι όροι επαναληψιμότητα και αναπαραγωγιμότητα είναι ταυτόσημοι, χρησιμοποιούνται όμως ο καθένας σε διαφορετικές περιπτώσεις. Και οι δύο αναφέρονται στο πόσο κοντά είναι τα αποτελέσματα ενός αισθητήρα που μετρά το ίδιο σταθερό μέγεθος, η μέν επαναληψιμότητα όταν οι συνθήκες μέτρησης είναι σταθερές, η δε αναπαραγωγιμότητα, όταν οι συνθήκες μέτρησης μεταβάλλονται.

Στο Σχήμα 1-4 διακρίνονται σχηματικά οι διαφορετικές έννοιες της Ακρίβειας, της Επαναληψιμότητας.

Σχήμα 1-4: Ακρίβεια και Επαναληψιμότητα Αισθητήρων

<u>Ανοχή</u>

Η ανοχή συνδέεται στενά με την πιστότητα και ορίζει το μέγιστο αναμενόμενο σφάλμα μιας τιμής. Δεν πρόκειται για στατικό χαρακτηριστικό ενός αισθητήρα, αλλά γίνεται αναφορά στο σημείο αυτό, γιατί πολλές φορές η πιστότητα δίνεται ως ανοχή.

Εύρος ή Περιοχή Μέτρησης (range)

Με τον όρο εύρος γίνεται αναφορά στην ελάχιστη και την μέγιστη τιμή του φυσικού μεγέθους που μπορεί να μετρήσει ένας αισθητήρας.

Εύρος τιμών εισόδου (full-scale input): ορίζει σε ποια πλαίσια του μετρούμενου φυσικού μεγέθους μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο αισθητήρας.

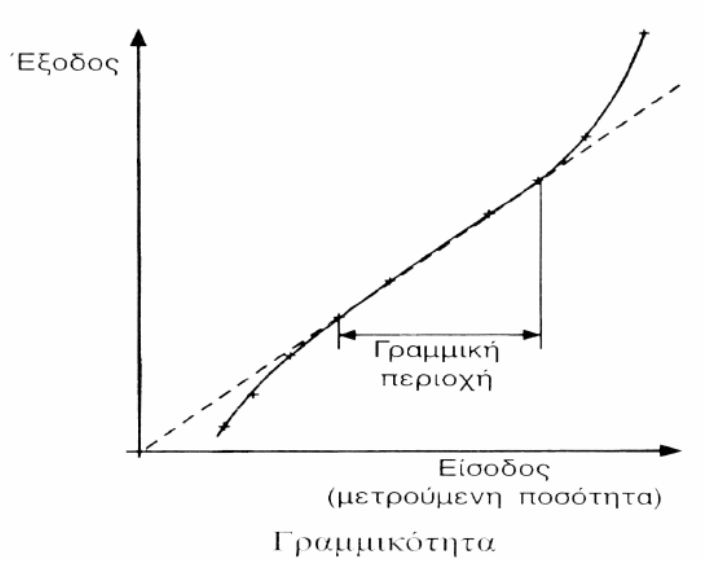
Εύρος τιμών της εξόδου: δίνει τα όρια της τάσης ή του ρεύματος εξόδου του αισθητήρα.

Συστηματικό σφάλμα

Ως συστηματικό σφάλμα (bias) είναι ένα σταθερό σφάλμα, το ίδιο για όλο το εύρος του αισθητήρα, το οποίο συνήθως μπορεί να μηδενιστεί μέσω βαθμονόμησης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα συστηματικού σφάλματος εμφανίζεται στις οικιακές ζυγαριές, οι οποίες μπορεί να δείχνουν μή μηδενική ένδειξη, ακόμη και χωρίς φορτίο. Αυτή η μη μηδενική ένδειξη αποτελεί το συστηματικό σφάλμα το οποίο πρέπει να αφαιρέσουμε από την ένδειξη που παίρνουμε κατά τη μέτρηση ώστε να προκύψει η πραγματική τιμή.

Γραμμική απόκριση (linearity)

Είναι γενικά επιθυμητό η απόκριση ενός αισθητήρα να μεταβάλλεται γραμμικά με το μετρούμενο μέγεθος. Τα σημεία του σχήματος 1-5 απεικονίζουν ενδεικτικά την σχέση μεταξύ σήματος εισόδου (οριζόντιος άξονας) και εξόδου (κατακόρυφος άξονας) ενός αισθητήρα. Η γραμμή μεταξύ των σημείων χαράσσεται εφαρμόζοντας την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Η μή-γραμμικότητα εκφράζεται ως η μέγιστη απόκλιση μεταξύ των σημείων και της γραμμής. Η μή-γραμμικότητα εκφράζεται συνήθως ως η απόκλιση του εύρους του αισθητήρα.

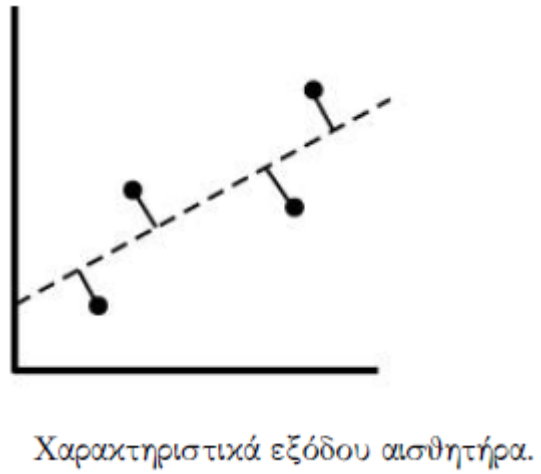


Σχήμα 1-5: Γραμμικότητα Αισθητήρων

Ευαισθησία (sensitivity)

Ευαισθησία στη μέτρηση

Πρόκειται για το λόγο της μεταβολής στην ένδειξη του αισθητήρα, προς τη μεταβολή του φυσικού μεγέθους που την προκάλεσε. Από τον ορισμό αυτό προκύπτει ότι η ευαισθησία ισούται με την εφαπτομένη της γραφικής παράστασης του Σχήματος 1-6.



Σχήμα 1-6: Ευαισθησία Αισθητήρων στη Μέτρηση

Ευαισθησία στη διαταραχή

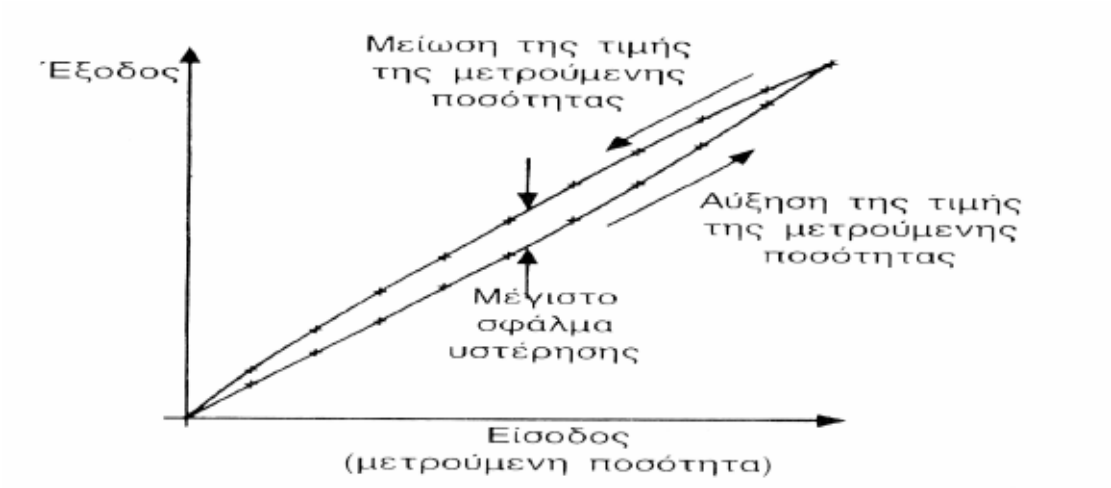
Η βαθμονόμηση και τα χαρακτηριστικά ενός αισθητήρα ισχύουν όταν αυτό λειτουργεί εντός συγκεκριμένου εύρους περιβαλλοντικών συνθηκών παραμέτρων όπως η θερμοκρασία, η πίεση, η σχετική υγρασία κ.λ.π. Το εύρος καθορίζεται από τον κατασκευαστή του αισθητήρα. Μεταβολή κάποιας από τις παραμέτρους αυτές ενδέχεται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

Η ολίσθηση του μηδενός είναι το μη μηδενικό σήμα εξόδου του αισθητήρα όταν το σήμα εισόδου είναι μηδέν, λόγω μεταβολής των περιβαλλοντικών συνθηκών. Αν ένας αισθητήρας επηρεάζεται από περισσότερες της μιας περιβαλλοντικές παραμέτρους, τότε αυτός χαρακτηρίζεται από αντίστοιχες σε αριθμό ολισθήσεις του μηδενός, μία για κάθε επηρεάζουσα τον αισθητήρα παράμετρο.

Η ολίσθηση ευαισθησίας ορίζεται ως το ποσό μεταβολής της ευαισθησίας ενός αισθητήρα λόγω μεταβολής των περιβαλλοντικών συνθηκών. Εκφράζεται μέσω συντελεστών ολίσθησης ευαισθησίας, οι οποίοι εκφράζουν το μέγεθος της ολίσθησης ανά μονάδα μεταβολής της περιβαλλοντικής παραμέτρου που την προκάλεσε.

Υστέρηση

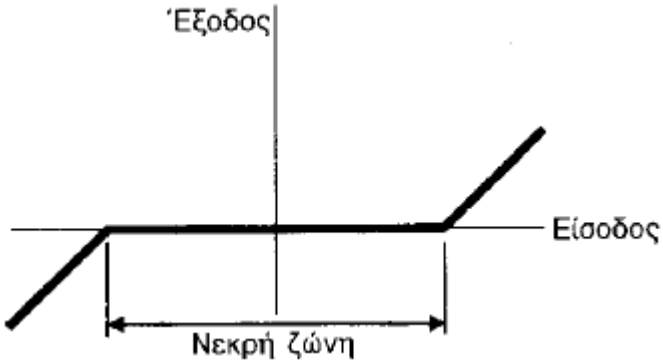
Στο σχήμα 1-7 που ακολουθεί παρουσιάζεται ενδεικτικά το σήμα εξόδου ενός αισθητήρα ο οποίος παρουσιάζει υστέρηση. Αν η τιμή του σήματος εισόδου μεταβάλλεται σταθερά, ξεκινώντας από αρνητικές τιμές, το σήμα εξόδου περιγράφεται από την καμπύλη Α. Αν κατόπιν το σήμα εξόδου μειώνεται σταδιακά, τότε το σήμα εξόδου περιγράφεται από την καμπύλη Β. Η μη ταύτιση των δύο καμπυλών «φορτίσεως - εκφορτίσεως» είναι γνωστή ως υστέρηση. Η υστέρηση εκφράζεται μέσω της μέγιστης υστέρησης εισόδου και της μέγιστης υστέρησης εξόδου.



Σχήμα 1-7: Γραφική παράσταση φαινομένου υστέρησης

Νεκρή Ζώνη (dead space)

Ως νεκρή ζώνη (dead space) ορίζεται το εύρος του σήματος εισόδου, για το οποίο το σήμα εξόδου είναι μηδενικό, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1-8. Γενικά ισχύει ότι κάθε αισθητήρας ο οποίος εμφανίζει υστέρηση θα έχει και νεκρή ζώνη. Παρόλα αυτά ακόμη και αισθητήρες οι οποίοι δεν εμφανίζουν σημαντική υστέρηση, μπορεί να εμφανίζουν νεκρή ζώνη.



Σχήμα 1-8: Νεκρή Ζώνη αισθητήρων

Κατώφλι

Αν το σήμα εισόδου ενός αισθητήρα αυξάνεται σταδιακά ξεκινώντας από μηδενική τιμή, αυτό θα πρέπει να λάβει μία ορισμένη - μη μηδενική- τιμή πριν ο αισθητήρας δώσει κάποιο μη μηδενικό σήμα εξόδου. Αυτή η ελάχιστη τιμή του σήματος εισόδου,

ονομάζεται κατώφλι του αισθητήρα. Το κατώφλι άλλοτε δίνεται ως απόλυτη τιμή και άλλοτε ως ποσοστό του εύρους εξόδου του αισθητήρα.

Ανάλυση ή Διακριτική ικανότητα (resolution)

Ως διακριτική ικανότητα ενός αισθητήρα ορίζεται η απαιτούμενη ελάχιστη μεταβολή του σήματος εισόδου, ώστε να προκληθεί μεταβολή στο σήμα εξόδου του αισθητήρα.

Δυναμικά χαρακτηριστικά

Ταχύτητα απόκρισης (Speed of Response)

Είναι η ταχύτητα με την οποία ο αισθητήρας ανταποκρίνεται στις μεταβολές του μετρούμενου μεγέθους. Η ταχύτητα απόκρισης μπορεί να εκτιμηθεί μετρώντας το χρόνο απόκρισης, δηλαδή το χρόνο που χρειάζεται η έξοδος του αισθητήρα για να φθάσει στο 90% της τελικής τιμής της, όταν στην είσοδο του αισθητήρα εφαρμόζεται βηματικό σήμα.

Καθυστέρηση (Lag)

Η καθυστέρηση ενός αισθητήρα είναι η διαφορά μεταξύ της χρονικής τιμής στην οποία συμβαίνει μια μεταβολή της εισόδου του αισθητήρα και της χρονικής στιγμής στην οποία η μεταβολή αυτή γίνεται αντιληπτή στην έξοδο του αισθητήρα.

Δυναμικό σφάλμα (Dynamic Error)

Είναι η διαφορά μεταξύ της πραγματικής τιμής ενός μετρούμενου μεγέθους που μεταβάλλεται με το χρόνο και της αντίστοιχης μέτρησης του αισθητήρα, όταν θεωρείται ότι δεν υπάρχει καθόλου στατικό σφάλμα.

Με βάση τα παραπάνω δυναμικά χαρακτηριστικά υπάρχουν αισθητήρες μηδενικής, πρώτης και δεύτερης τάξεως.

1.2.3 Ψηφιακά Συστήματα

Τα ψηφιακά ηλεκτρονικά κυκλώματα είναι ηλεκτρονικά συστήματα που επεξεργάζονται ψηφιακά σήματα, δηλαδή σήματα με διακριτές τιμές. Τα ψηφιακά κυκλώματα διαχειρίζονται την πληροφορία ως μία σειρά από διακριτά "ψηφία" σε αντίθεση με τα αναλογικά κυκλώματα, τα οποία επεξεργάζονται μεγέθη από ένα συνεχές πεδίο τιμών. Τα δύο επίπεδα τάσης αντιστοιχίζονται με τα δυαδικά ψηφία "1" (για το επίπεδο high) και "0" (για το επίπεδο low) κάτι που επιτρέπει την μελέτη του ψηφιακού σήματος με την χρήση του δυαδικού αριθμητικού συστήματος.

Κύρια δομικά στοιχεία των ψηφιακών ηλεκτρονικών είναι ηλεκτρονικά κυκλώματα που αποκαλούνται λογικές πύλες ή ηλεκτρονικές πύλες. Αυτές πραγματοποιούν τις πράξεις της άλγεβρας λογικής ή Άλγεβρας Boole από το όνομα του δημιουργού της. Η επεξεργασία του ψηφιακού σήματος γίνεται με συνδυασμένα τέτοια κυκλώματα που αποκαλούνται ψηφιακά κυκλώματα ή λογικά κυκλώματα.

Μικροεπεξεργαστής

Ο μικροεπεξεργαστής είναι μια σπουδαία εφαρμογή ολοκληρωμένων κυκλωμάτων. Ένας μικροεπεξεργαστής («μικρο-» λόγο της απόστασης των τρανζίστορ εντός του IC) περιλαμβάνει τις περισσότερες ή όλες τις λειτουργίες μιας κεντρικής μονάδας επεξεργασίας (CPU) σε ένα ενιαίο ολοκληρωμένο κύκλωμα.

Ένας σύγχρονος μικροεπεξεργαστής αποτελείται από τις ακόλουθες μονάδες.

- *Μονάδα αποκωδικοποίησης εντολών (Instruction Decoding Unit):*
  Μονάδα που μετατρέπει τα προγράμματα σε εντολές Assembly.
- *Αριθμητική και Λογική Μονάδα (Arithmetic and Logical Unit, ALU):*
  Η μονάδα στην οποία εκτελούνται μία προς μία οι αριθμητικές ή λογικές πράξεις, όπως υπαγορεύονται από τις εντολές που έχουν δοθεί στον Η/Υ.
- *Καταχωρητές (Registers):*
  Μικρά κελιά μνήμης στο εσωτερικό του επεξεργαστή, που χρησιμοποιούνται για την προσωρινή αποθήκευση των δεδομένων, καθώς αυτά υφίστανται επεξεργασία. Οι καταχωρητές διαφέρουν ανάλογα με τον τύπο του επεξεργαστή και τον κατασκευαστή, τόσο ως προς την οργάνωση όσο και ως προς τη χωρητικότητά τους.

- *Μονάδα ελέγχου (Control Unit):*
  Ελέγχει τη ροή δεδομένων από και προς την ALU, τους καταχωρητές, τη μνήμη και τις περιφερειακές μονάδες εισόδου/εξόδου.
- *Μονάδα προσκόμισης (Fetch Unit):*
  Μεταφέρει τις εντολές από τη μνήμη στον επεξεργαστή.
- *Μονάδα προστασίας (Protection Unit):*
  Εξασφαλίζει το αποδεκτό της κάθε διεργασίας που εκτελεί ο επεξεργαστής, ώστε να μη τροποποιούνται δεδομένα που δεν πρέπει ή να μην εκτελούνται μη αποδεκτές εντολές, όπως π.χ. διαίρεση αριθμού με το μηδέν.

1.2.4 Μικροελεγκτές

Έναν ορισμό που θα μπορούσε να δώσει κανείς για τους μικροελεγκτές είναι ο εξής:

Μικροελεγκτής είναι ένα προγραμματιζόμενο ολοκληρωμένο κύκλωμα το οποίο διαθέτει επεξεργαστή, μνήμη, διάφορα περιφερειακά κυκλώματα καθώς επίσης και θύρες εισόδου/εξόδου για επικοινωνία με εξωτερικές συσκευές.

Θα μπορούσε να παρομοιαστεί με έναν μικροϋπολογιστή. Όπως ακριβώς ένας μικροϋπολογιστής έχει επεξεργαστή, μνήμη, περιφερειακές συσκευές και εκτελεί προγράμματα έτσι κι ένας μικροελεγκτής διαθέτει τα παραπάνω χαρακτηριστικά ολοκληρωμένα σε ένα μόνο chip. Το πρόγραμμα που εκτελεί ο μικροελεγκτής αποθηκεύεται μόνιμα στη μνήμη προγράμματος.

Διαφορά Μικροελεγκτή με μικροεπεξεργαστή

Δεν θα πρέπει να γίνεται σύγχυση των μικροελεγκτών με τους μικροεπεξεργαστές. Ο μικροεπεξεργαστής είναι το στοιχείο εκείνο όπου ασχολείται κυρίως με την επεξεργασία δεδομένων, πράξεων κτλ αλλά δεν διαθέτει περιφερειακά για την σύνδεση του. Αντιθέτως ο μικροελεγκτής είναι ένα έτοιμο υπολογιστικό σύστημα το οποίο ενσωματώνει μικροεπεξεργαστή, μνήμη και άλλα περιφερειακά για την επικοινωνία με τον εξωτερικό κόσμο, σε ένα ολοκληρωμένο. Λειτουργεί αυτόνομα και εκτελεί το πρόγραμμα που βρίσκεται στη μνήμη του μόλις τροφοδοτηθεί με την κατάλληλη τάση.

Δομή μικροελεγκτή

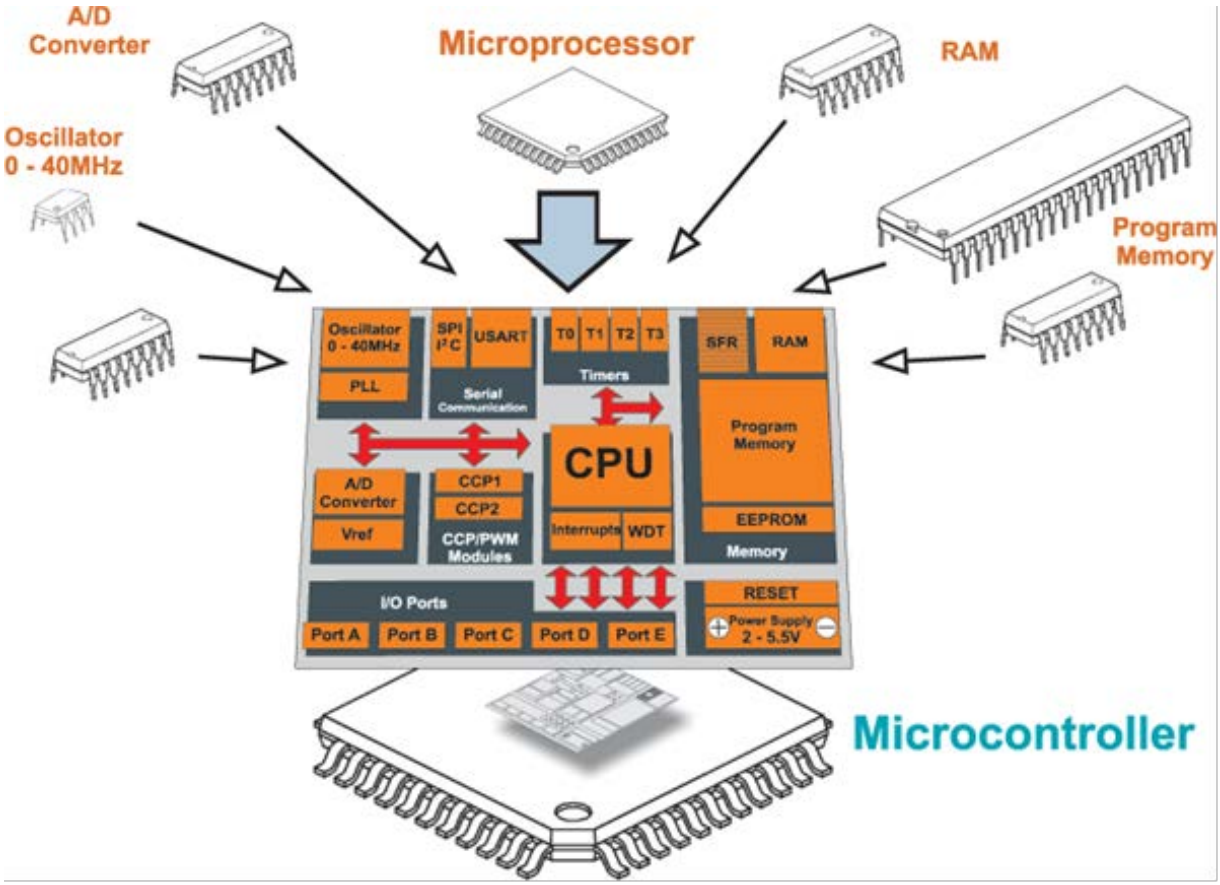
Ο μικροελεγκτής είναι ένα πλήρες υπολογιστικό σύστημα βελτιστοποιημένο για τον έλεγχο υλικού (hardware) και ενσωματώνει μικροεπεξεργαστή, μνήμη και περιφερειακές μονάδες εισόδου/εξόδου (I/O ports) σε μια μονό ψηφίδα πυριτίου. Η ύπαρξη των παραπάνω σε μια και μόνο ψηφίδα πυριτίου σημαίνει ότι η ταχύτητα ενισχύεται, διότι οι περιφερειακές μονάδες εισόδου/εξόδου απαιτούν λιγότερο χρόνο να διαβάσουν ή να γράψουν από τις εξωτερικές συσκευές. Επίσης ο επεξεργαστής και η μνήμη ανταλλάσσουν δεδομένα γρηγορότερα. Επιπλέον, ένας μικροελεγκτής είναι βελτιστοποιημένος για να συντονίζει την ροή των δεδομένων μεταξύ των μονάδων μνήμης και των περιφερικών συσκευών εκτός του περιβάλλοντος του. Οι συνδέσεις ενός μικροεπεξεργαστή περιλαμβάνουν τη διευθυνσιοδότηση και τους διαύλους δεδομένων, που του επιτρέπουν να επιλέξει ένα από τα περιφερειακά του και να στείλει ή να ανακτήσετε δεδομένα από αυτά. Επειδή ο επεξεργαστής του μικροελεγκτή και τα περιφερειακά του είναι ενσωματωμένα στην ίδια ψηφίδα πυριτίου, οι μονάδες που περιέχει είναι αυτόνομες και σπάνια έχουν δομές διαύλων που εκτείνονται έξω από αυτούς.

Ένας μικροελεγκτής, αποτελείται κυρίως από:

- τη μονάδα επεξεργασίας (CPU) ή μικροεπεξεργαστή
- τη μνήμη
- τις θύρες εισόδου/εξόδου (I/O ports)

Πλέον, οι μικροελεγκτές διαθέτουν ενσωματωμένα και αρκετά περιφερειακά που τους δίνουν αυξημένες δυνατότητες. Για παράδειγμα, ο μετατροπέας από αναλογικό σε ψηφιακό (ADC), η δυνατότητα διαμόρφωσης διάρκειας εύρους παλμών (Pulse Width Modulation, PWM) εξόδου αλλά και οι τρόποι επικοινωνίας με διάφορα ηλεκτρονικά συστήματα καθορίζουν την τελική εκλογή του μικροελεγκτή. Τέλος, η γλώσσα προγραμματισμού και τα εργαλεία ανάπτυξης γίνονται πλέον και με γλώσσες υψηλού επιπέδου προσφέροντας αυξημένες δυνατότητες.

Στο Σχήμα 1-9 διακρίνονται τα στοιχεία που αποτελούν έναν συνηθισμένο μικροελεγκτή.



Σχήμα 1-9: Εσωτερική Δομή Μικροελεγκτή

Εφαρμογές μικροελεγκτών

Οι μικροελεγκτές βρίσκουν κυρίως εφαρμογή στα παρακάτω πεδία:

- συστήματα αυτοματισμών
- κυκλώματα τηλεπικοινωνιών
- ηλεκτρονικές συσκευές
- ηλεκτρικές συσκευές
- συστήματα τηλεματικής
- συστήματα συλλογής δεδομένων (Data Acquisition)
- εφαρμογές ηλεκτρονικών ισχύος
- συστήματα διασύνδεσης

- εφαρμογές δικτύων

Ρόλος Μικροελεγκτή

Ανάλογα με το πεδίο εφαρμογής και τη λειτουργία τους χρησιμοποιούνται και οι αντίστοιχοι μικροελεγκτές. Οι δυνατότητες των μικροελεγκτών ποικίλουν και η επιλογή και διαστασιολόγηση των στοιχείων τους είναι συναρτήσει της λειτουργίας που πρέπει να εκτελέσουν.

Η γενική φιλοσοφία του τρόπου λειτουργίας είναι :

- Ο μικροελεγκτής δέχεται στην είσοδο του αναλογικά σήματα από i) αισθητήρες ii) κάποια πηγή σήματος
- Τα ψηφιοποιεί και τα επεξεργάζεται ανάλογα με το ποια συγκεκριμένη λειτουργία έχει ως στόχο και το πώς αυτός είναι προγραμματισμένος να δρα
- Συλλέγει δεδομένα και στην έξοδο του ελέγχει άλλες συσκευές

Εντολές – Πρόγραμμα

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ο μικροελεγκτής είναι προγραμματιζόμενο (ακολουθιακό λογικό) σύστημα με δυνατότητα εκτέλεσης προγραμμάτων και συνεργάζεται με περιφερειακές συσκευές τις οποίες συγχρονίζει.

- *Εντολές*

  Προκαθορισμένες ενέργειες με μεταβλητά δεδομένα (αριθμητικές, λογικές, διακίνησης δεδομένων, ελέγχου ή απόφασης, διακλάδωσης). Κάθε μικροελεγκτής έχει τις δικές του εντολές.
- *Πρόγραμμα*

  Ακολουθία εντολών που αποσκοπούν στην υλοποίηση ενός αλγορίθμου για την επίλυση ενός προβλήματος.

Κατασκευαστές Μικροελεγκτών

Στον Πίνακα 1-2 αναφέρονται μερικοί από τους γνωστότερους κατασκευαστές μικροελεγκτών.

Πίνακας 1:2 Κατασκευαστές μικροελεγκτών

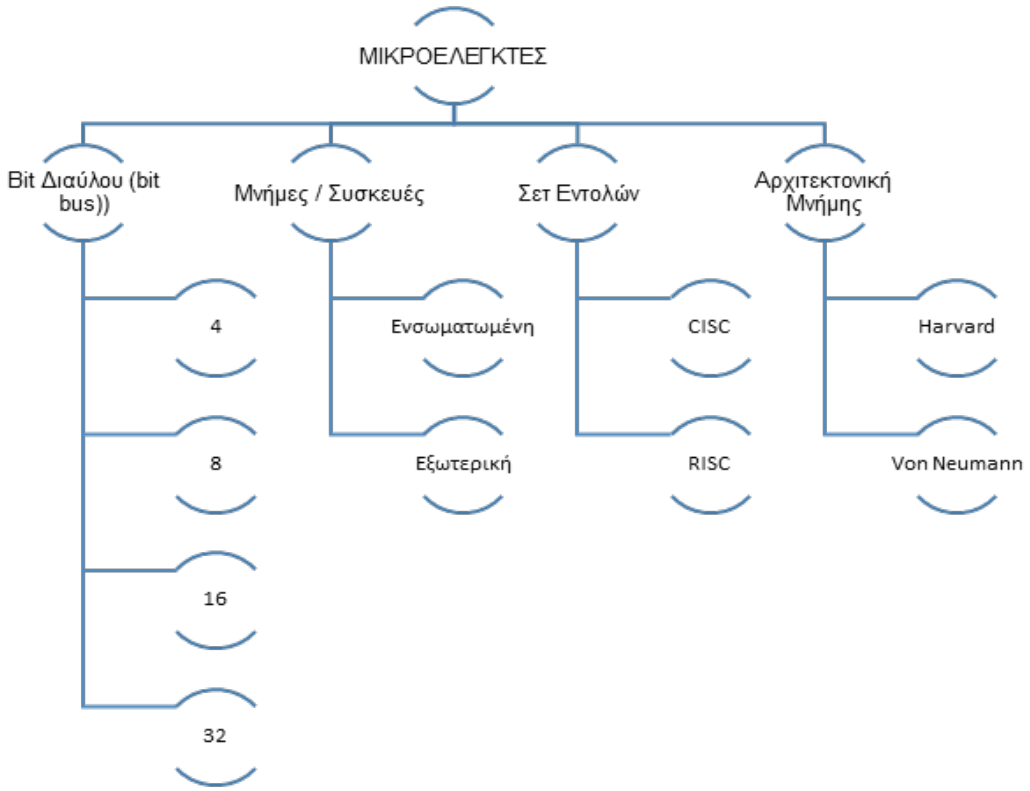
ARM	Renesas Technology Corp	National Semiconductor	NetSilicon
Atmel Corporation	Intel Corporation	STMicroelectronics	Rabbit Semiconductor
Texas Instruments	Analog Devices	ZiLog	Stock Point Electronics.
Microchip	Dallas Semiconductor	Freescale Semiconductor	Western Design Center
Silicon	Fujitsu Semiconductor	Infineon Technologies	MicroController Pros Corporation

Διαδεδομένες κατηγορίες μικροελεγκτών

Οι μικροελεγκτές μπορούν να ταξινομηθούν με βάση:

- το εύρος των διαύλων επικοινωνίας (4, 8, 16, 32 bit)
- τη μνήμη (Ενσωματωμένη, Εξωτερική Μνήμη)
- την αρχιτεκτονική (Von-Neuman, Harvard)
- το σετ εντολών (RISC, CISC)

Στο Σχήμα 1-10 φαίνεται η ταξινόμηση των μικροελεγκτών διαγραμματικά.



Σχήμα 1-10: Ταξινόμηση Μικροελεγκτών με βάση τα χαρακτηριστικά τους

1.2.5 Arduino

Όπως το περιγράφει ο δημιουργός του, το Arduino είναι μια «ανοικτού κώδικα» πλατφόρμα «πρωτοτυποποίησης» ηλεκτρονικών βασισμένη σε ευέλικτο και εύκολο στη χρήση hardware και software. Πρόκειται για ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα του οποίου όλα τα σχέδια, καθώς και το software που χρειάζεται για την λειτουργία του, διανέμονται ελεύθερα και δωρεάν ώστε να μπορεί να κατασκευαστεί από τον καθένα.

Το Arduino είναι ένας μικροελεγκτής (chip ATmega της οικογένειας Atmel) που διαθέτει εισόδους που αλληλοεπιδρά με το περιβάλλον, εξόδους που αντιδρούν με βάση τον προγραμματισμού του χρήστη καθώς επίσης και διάφορες δυνατότητες επικοινωνίας με συσκευές και λογισμικά.

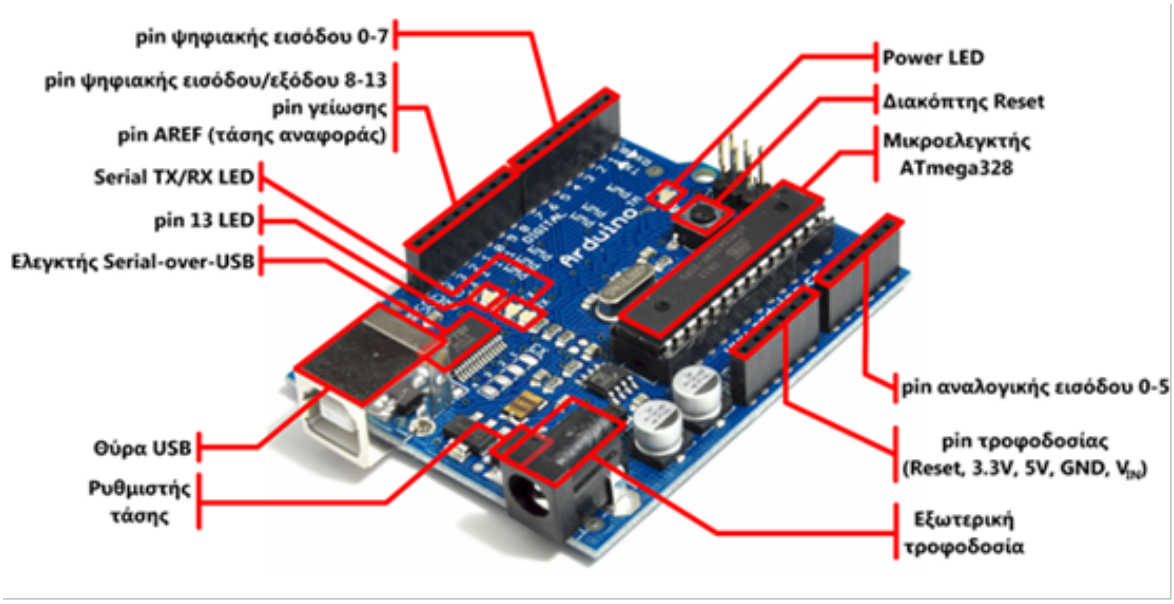
Ο χρήστης:

1. συνδέει στον μικροελεγκτή πολλαπλές μονάδες εισόδου/εξόδου (αισθητήρες, λυχνίες ένδειξης, κυκλώματα οδήγησης κινητήρων, ηχεία κα)
2. προγραμματίζει τον μικροελεγκτή να
    i. δέχεται δεδομένα από τις μονάδες εισόδου
    ii. να τα επεξεργάζεται
    iii. να στέλνει κατάλληλες εντολές στις μονάδες εξόδου

Το Arduino βρίσκει εφαρμογή στους αυτοματισμούς, στην εκπαίδευση, στη λήψη πληροφοριών/δεδομένων από διάφορους αισθητήρες (θερμοκρασίας, υγρασίας, υπερύθρων κ.α), στη ρομποτική, αναπαραγωγή ήχων κ.α.

1.2.5.1 Δομή Arduino Uno

Υπάρχουν διάφοροι τύποι Arduino ο καθένας με διαφορετικές δυνατότητες. Η πιο απλή πλακέτα Arduino είναι το Arduino UNO. Στο Σχήμα 1-11 φαίνεται η δομή της πλακέτας του Arduino UNO.



Σχήμα 1-11: Δομή πλακέτας Arduino

1.2.5.2 Τροφοδοσία

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

1.2.5.3 Μικροελεγκτής

Το Arduino UNO βασίζεται στον μικροελεγκτή ATmega328 της εταιρείας Atmel. Ο ATmega328 είναι ένας υψηλής απόδοσης, χαμηλής κατανάλωσης ισχύος 8-bit μικροελεγκτής, αρχιτεκτονικής Harvard, τύπου RISC (131 εντολές), τον οποίο χρονίζει στα 16MHz ένας ταλαντωτής.

Ο ATmega328 διαθέτει ενσωματωμένη μνήμη τριών τύπων:

- SRAM μνήμη 2Kb, που είναι η ωφέλιμη μνήμη που μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα προγράμματά για να αποθηκεύουν μεταβλητές, πίνακες κ.λπ. κατά το χρόνο εκτέλεσης (runtime). Όπως και στον υπολογιστή, η μνήμη χάνει τα δεδομένα της όταν η παροχή ρεύματος διακοπεί (volatile) ή γίνει επανεκκίνηση (reset)

- EEPROM μνήμη 1Kb, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εγγραφή/ανάγνωση δεδομένων (χωρίς τύπο δεδομένων, datatype) ανά byte από τα προγράμματά κατά το runtime. Σε αντίθεση με την SRAM, η EEPROM δεν χάνει τα περιεχόμενά της με απώλεια τροφοδοσίας (non volatile) ή reset
- Flash μνήμη 32Kb, από τα οποία τα 2Kb χρησιμοποιούνται από το υλικολογισμικό (firmware) του Arduino που έχει εγκαταστήσει ήδη ο κατασκευαστής του. Το firmware (στην ορολογία του Arduino ονομάζεται bootloader) είναι αναγκαίο για την εγκατάσταση των προγραμμάτων του χρήστη στον μικροελεγκτή μέσω της θύρας USB, χωρίς να χρειάζεται εξωτερικός προγραμματιστής υλικού (hardware programmer). Τα υπόλοιπα 30Kb της μνήμης Flash χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση των προγραμμάτων, αφού πρώτα μεταγλωττιστούν στον υπολογιστή. Η μνήμη Flash, όπως και η EEPROM δεν χάνει τα περιεχόμενά της με απώλεια τροφοδοσίας (non volatile) ή reset

1.2.5.4 Είσοδοι – Έξοδοι / Ακροδέκτες (pin) Arduino

Ο Arduino έχει 14 γενικού σκοπού ψηφιακούς ακροδέκτες (pin) Εισόδου/Εξόδου, όπως διακρίνονται στο Σχήμα 1-12. Αυτοί μπορούν να τεθούν είτε ως είσοδοι είτε ως έξοδοι (ανάλογα με τις παραμέτρους της συναρτήσεις pinMode). Περισσότερες λεπτομέρειες για τη συνάρτηση pinMode δίνονται στο παράρτημα Β.

Σχήμα 1-12: Ψηφιακοί είσοδοι/ έξοδοι Arduino

Στην κάτω πλευρά του Arduino, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1-13, 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. Η τάση αναφοράς είναι προρυθμισμένη στα 5V και η μέγιστη τιμή του σήματος εισόδου δεν πρέπει να ξεπερνά την τάση αυτή. Η τάση αναφοράς επιπλέον μπορεί να ρυθμιστεί με

την σήμανση AREF (Reference voltage for the analog inputs) χρησιμοποιώντας παράλληλα την συνάρτηση analogReference έτσι ώστε να υπάρχει μεγαλύτερη ανάλυση στο ADC. 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 τα οποία αναφέραμε ακριβώς πριν. Σε αυτή την περίπτωση τα pin μετονομάζονται από 0~5 σε 14~19 αντίστοιχα.

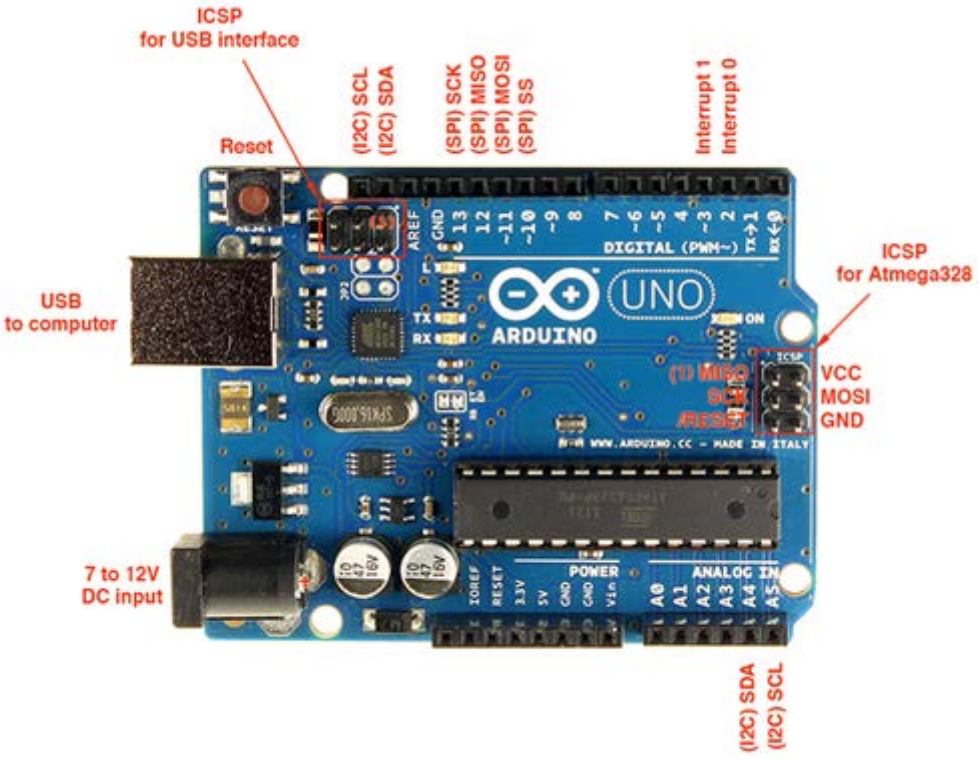
Σχήμα 1-13: Αναλογική είσοδος Arduino

Δίπλα από τα pin αναλογικής εισόδου, υπάρχει μια ακόμα συστοιχία από 6 pin με την σήμανση POWER. Η λειτουργία των ακροδεκτών τροφοδοσίας έχει ως εξής:

- **RESET:** όταν γειωθεί (σε οποιοδήποτε από τα 3 pin με την ένδειξη GND που υπάρχουν στο Arduino) έχει ως αποτέλεσμα την επανεκκίνηση του Arduino.
- **3.3V**: μπορεί να τροφοδοτήσει τ διάφορα εξαρτήματά με τάση 3.3V. Η τάση αυτή δεν προέρχεται από την εξωτερική τροφοδοσία αλλά παράγεται από τον ελεγκτή Serial-over-USB και έτσι η μέγιστη ένταση που μπορεί να παρέχει είναι μόλις 50mA.
- **5V**: μπορεί να τροφοδοτήσει τα εξαρτήματά με τάση 5V. Ανάλογα με τον τρόπο τροφοδοσίας του ίδιου του Arduino, η τάση αυτή προέρχεται είτε άμεσα από την θύρα USB (που ούτως ή άλλως λειτουργεί στα 5V), είτε από την εξωτερική τροφοδοσία αφού αυτή σταθεροποιηθεί στα 5V από ένα ρυθμιστή τάσης.
- **GND**: Ακροδέκτες Γείωσης
- **Vin** έχει διπλό ρόλο. Σε συνδυασμό με το pin γείωσης δίπλα του, μπορεί να λειτουργήσει ως μέθοδος εξωτερικής τροφοδοσίας του Arduino, στην περίπτωση που δεν μπορεί ο χρήστης να χρησιμοποιήσει την υποδοχή του φις των 2.1mm. Αν όμως είναι ήδη συνδεδεμένη εξωτερική τροφοδοσία μέσω του φις, δίνεται η δυνατότητα μέσω αυτού του pin να τροφοδοτούνται

εξαρτήματα με την πλήρη τάση της εξωτερικής τροφοδοσίας (7~12V), πριν αυτή περάσει από τον ρυθμιστή τάσης των 5V.

Μερικά από τα pin, εκτός από είσοδοι/έξοδοι έχουν και δεύτερη λειτουργία όπως φαίνεται στο Σχήμα 1-14.



Σχήμα 1-14: Ειδική Λειτουργία pin Arduino Uno

Συγκεκριμένα:

- Σειριακή Λειτουργία: 0 (RX) and 1 (TX). Τα pin 0 και 1 λειτουργούν ως RX (receive, λήψη) και TX (transmit, πομπός) της σειριακής όταν το πρόγραμμά ενεργοποιεί την σειριακή θύρα. Έτσι, όταν το πρόγραμμά στέλνει δεδομένα στην σειριακή, αυτά προωθούνται και στην θύρα USB μέσω του ελεγκτή Serial-Over-USB αλλά και στο pin 0 για να τα διαβάσει ενδεχομένως μια άλλη συσκευή (π.χ. ένα δεύτερο Arduino στο δικό του pin 1). Αν στο πρόγραμμά ενεργοποιηθεί το σειριακό interface, χάνονται 2 ψηφιακές είσοδοι/έξοδοι

- Είσοδοι ως Εξωτερικές Διακοπές (interrupt): Τα pin 2 και 3 λειτουργούν ως είσοδοι για εξωτερικά interrupts (interrupt 0 και 1 αντίστοιχα). Μέσα από το

πρόγραμμά (με την συνάρτηση attachInterrupt) ο χρήστης μπορεί να τα ρυθμίσει ώστε να λειτουργούν αποκλειστικά ως ψηφιακές είσοδοι στις οποίες όταν συμβαίνουν συγκεκριμένες αλλαγές, η κανονική ροή του προγράμματος να σταματάει «άμεσα» και να εκτελείται μια συγκεκριμένη συνάρτηση. Τα εξωτερικά interrupt είναι ιδιαίτερα χρήσιμα σε εφαρμογές που απαιτούν συγχρονισμό μεγάλης ακρίβειας

- PWM. Τα pin 3, 5, 6, 9, 10 και 11 μπορούν να λειτουργήσουν και ως ψευδοαναλογικές έξοδοι με το σύστημα PWM (Pulse Width Modulation).Το PWM δεν είναι πραγματικά αναλογικό σήμα αλλά δίνει ένα παλμό που θα εναλλάσσεται με μεγάλη συχνότητα και για ίσους χρόνους μεταξύ των τιμών 0 και 5V. Παρέχουν Έξοδο 8-bit PWM με την συνάρτηση analogWrite (βλ. Παράρτημα Β)
- Επικοινωνία SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Αυτοί οι ακροδέκτες επιτρέπουν επικοινωνία SPI χρησιμοποιώντας αντίστοιχες βιβλιοθήκες

  Το Πρωτόκολλο **SPI** ή **Serial Peripheral Interface Bus** επιτρέπει την σειριακή σύγχρονη επικοινωνία μεταξύ ολοκληρωμένων σε πλήρης αμφίδρομη επικοινωνία. Οι συσκευές επικοινωνούν μεταξύ τους σε mode Master/Slave. Αυτοί οι ακροδέκτες επιτρέπουν επικοινωνία SPI χρησιμοποιώντας αντίστοιχες βιβλιοθήκες.
- Επικοινωνία I2C: 4 (SDA) and 5 (SCL). Αυτοί οι ακροδέκτες επιτρέπουν επικοινωνία I2C (ή TWI) χρησιμοποιώντας αντίστοιχες βιβλιοθήκες

  Ο δίαυλος I2C υποστηρίζει σειριακή επικοινωνία μεταξύ ολοκληρωμένων κυκλωμάτων κάθε τεχνολογίας. Στηρίζεται στην αρχιτεκτονική των δύο συρμάτων, με τη βοήθεια των οποίων τα επιμέρους ολοκληρωμένα κυκλώματα μιας συσκευής ανταλλάσσουν σειριακά δεδομένα και σήματα συγχρονισμού μεταξύ τους.

Ανάλογα με το μοντέλο του Arduino υπάρχουν διάφορες τροποποιήσεις στην χρήση ορισμένων pin. Κυρίως έχει σχέση με τα pin που χρησιμοποιούνται για ειδικούς σκοπούς πχ SPI ή I2C σύνδεση.

1.2.5.5 Περιβάλλον Ανάπτυξης (IDE) Arduino

Η διαχείριση του Arduino (φόρτωση προγραμμάτων στον μικροελεγκτή, αμφίδρομη επικοινωνία, έλεγχος κτλ) από τον υπολογιστή γίνεται με το ολοκληρωμένο περιβάλλον Arduino IDE.

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

- ένα πρακτικό περιβάλλον για την συγγραφή των προγραμμάτων (τα οποία ονομάζονται sketch στην ορολογία του Arduino)
- αρκετά έτοιμα παραδείγματα
- μερικές έτοιμες βιβλιοθήκες (library) για προέκταση και εμπλουτισμό της γλώσσας προγραμματισμού
- τον compiler για την μεταγλώττιση των sketch
- ένα serial monitor που παρακολουθεί τις επικοινωνίες της σειριακής (USB)
- φόρτωση sketch στο Arduino

Το Arduino συνδέεται σε μια από τις θύρες USB του υπολογιστή. Για την σύνδεση χρειάζεται ένα καλώδιο USB (ο τύπος του καλωδίου καθορίζεται από το μοντέλο του Arduino).

1.2.5.6 Γλώσσα προγραμματισμού

Η γλώσσα του Arduino βασίζεται στη γλώσσα Wiring, μια παραλλαγή C/C++ για μικροελεγκτές αρχιτεκτονικής AVR όπως ο ATmega, και υποστηρίζει όλες τις βασικές δομές της C καθώς και μερικά χαρακτηριστικά της C++. Για compiler χρησιμοποιείται ο AVR gcc και ως βασική βιβλιοθήκη C χρησιμοποιείται η AVR libc.

Λόγω της καταγωγής της από την C, στην γλώσσα του Arduino χρησιμοποιούνται ουσιαστικά οι ίδιες βασικές εντολές και συναρτήσεις, με την ίδια σύνταξη, οι ίδιοι τύποι δεδομένων και οι ίδιοι τελεστές όπως και στην C. Πέρα από αυτές όμως, υπάρχουν κάποιες ειδικές εντολές, συναρτήσεις και σταθερές που βοηθούν για την διαχείριση του ειδικού hardware του Arduino.

1.2.5.7 Ολοκληρωμένες πλακέτες, Shield

Τα shield είναι ολοκληρωμένες πλακέτες που είναι σχεδιασμένες ώστε να εφαρμόζουν πάνω στο Arduino προεκτείνοντας την λειτουργικότητά του. Ουσιαστικά έχουν για το υλικό την αντίστοιχη έννοια των plugin, addon και extension που υπάρχουν για το λογισμικό.

1.2.5.8 Επικοινωνία με Υλικό (Hardware) – Λογισμικό (Software)

Το Arduino έχει την δυνατότητα να επικοινωνεί με τον Ηλεκτρονικό Υπολογιστή, με ένα άλλο Arduino ή με άλλους μικροελεγκτές και ολοκληρωμένα. Η σύνδεση μπορεί να είναι ενσύρματη ή ασύρματη. Κάθε φορά και ανάλογα το σκοπό της εργασίας εκλέγεται το κατάλληλο υλικό και τα κατάλληλα πρωτόκολλα επικοινωνίας. Για παράδειγμα με το Arduino μπορεί κάποιος να συνδέσει ένα Xbee module για την κατασκευή ενός ασύρματου δίκτυο αισθητήρων στηριζόμενοι το πρωτόκολλο ZigBee. Επίσης, είναι δυνατό να γίνει επέκταση των δυνατότητων ενός Arduino. Για παράδειγμα μπορεί να συνδεθεί μια εξωτερική κάρτα πχ SD card, για αποθήκευση δεδομένων, να επεκταθεί εξωτερικά η μνήμη του Arduino (EEPROM,SRAM), να προστεθεί ένα καλύτερο ADC ή ένα DAC, να αυξηθούν οι είσοδοι/έξοδοι με ένα Shift Register. Τα shield επιπλέον, δίνουν τη δυνατότητα στο Arduino να ελέγξει κινητήρες (Motor Shield, Servo Shield), να συνδεθεί στο Internet (Ethernet ή Wi-Fi Shield), να δεχθεί και να στείλει sms (GSM Modem Shield) κτλ. Για πολλά από τα παραπάνω, χρειάζονται φυσικά και οι αντίστοιχες βιβλιοθήκες για τον προγραμματισμό του Arduino.

Επιπλέον από τη στιγμή που το Arduino συνδέεται στον υπολογιστή σειριακά, μπορεί να «συνεργαστεί» με οποιοδήποτε άλλο λογισμικό ή γλώσσα προγραμματισμού έχει αυτήν την δυνατότητα πχ Visual Studio, Matlab, Labview, Python, Processing κτλ

Περιορισμοί Arduino

Επειδή η πλατφόρμα είναι υλικό με πολλά ηλεκτρονικά εξαρτήματα, έχει κάποιους περιορισμούς για τη σωστή και ασφαλή λειτουργία της.

Είσοδοι

- Τα σήματα εισόδου δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερα από 5V.
- Η προτεινόμενη τάση τροφοδοσίας να είναι 7~12V/ ~1A

Έξοδοι

- Μέγιστη τάση εξόδου: **5V**
- Απόλυτο Μέγιστο ρεύμα κάθε pin: **40 mA**
- Συνολικό Μέγιστο ρεύμα όλων των pin: **200mA** (εκτός pin 5V)
- Έξοδος pin 5V:
    - Όταν η τάση τροφοδοσίας είναι από USB: **~400 mA**
    - Όταν η τάση τροφοδοσίας είναι εξωτερική: **~900 mA**

Ο σχεδιαστής θα πρέπει να λάβει σοβαρά υπόψιν τις παραπάνω παραμέτρους για να μην καταστρέψει το σύστημα.

Το Arduino στην έξοδο του, από ότι φαίνεται δεν μπορεί να κινήσει κάποιο μεγάλο ηλεκτρικό φορτίο. Για αυτόν τον λόγο, χρησιμοποιούνται διάφορα ηλεκτρονικά ισχύος πχ transistor, mosfet, relay σε περίπτωση όπου απαιτείται έλεγχος φορτίων με μεγαλύτερη ισχύ.

1.2.6 Ψηφιοποίηση συνεχών σημάτων

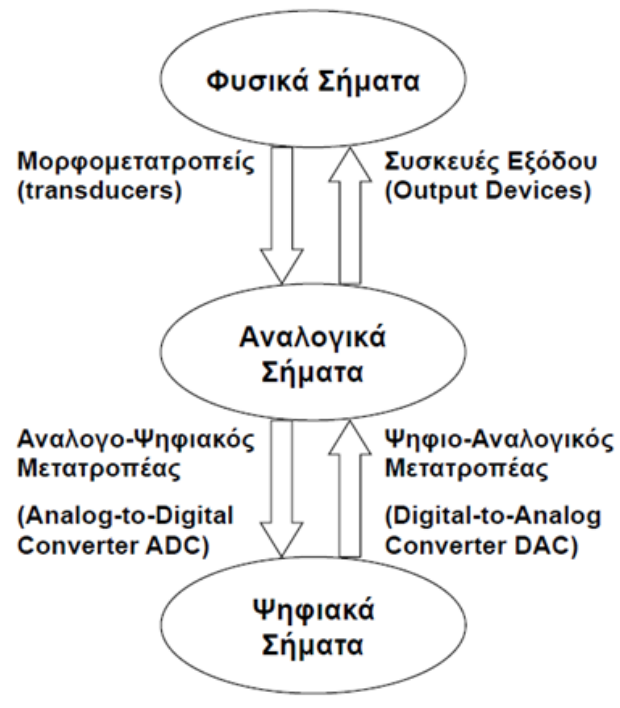
Στους μικροελεγκτές, όπως και στους Η/Υ, η αναπαράσταση της κάθε πληροφορίας γίνεται σε δυαδική μορφή. Η δυαδική κωδικοποίηση χρησιμοποιεί δύο τιμές, 1 και 0, οι οποίες αντιστοιχούν στις καταστάσεις θετικό και μη θετικό ή HIGH και LOW. Έτσι κάθε πληροφορία αποθηκεύεται σαν μια ακολουθία από 0 και 1.

Τα διάφορα μεγέθη των φυσικών διεργασιών, μετρούνται συνήθως με αισθητήρες οι οποίοι παρέχουν στην είσοδο των μικροελεγκτών ηλεκτρικά συνήθως σήματα που αντιστοιχούν σε αυτά τα μεγέθη. Αυτά τα σήματα είναι αναλογικά (συναρτήσεις συνεχούς χρόνου και συνεχών τιμών). Οι μικροελεγκτές, όπως και οι υπολογιστές, χειρίζονται δεδομένα που βρίσκονται σε ψηφιακή μορφή (δυαδική). Γι' αυτό υπάρχει η ανάγκη μετατροπής των δεδομένων στην είσοδο τους από αναλογικά σε ψηφιακά για να γίνει η μεταφορά, συλλογή ή η επεξεργασία τους. Η μετατροπή από τον αναλογικό στο ψηφιακό είναι η διαδικασία της ψηφιοποίησης (digitization) ή A/D Conversion.

Κατά την ψηφιοποίηση ένα σήμα αναλογικής μορφής μετατρέπεται σε ψηφιακό (συνήθως δυαδικό), δηλαδή από συνεχή συνάρτηση του χρόνου μετατρέπεται σε μια σειρά διακριτών αριθμητικών τιμών.

Για να μπορέσουμε να αποθηκεύσουμε και να επεξεργαστούμε τα συνεχή σήματα στον μικροελεγκτή πρέπει πρώτα να τα μετατρέψουμε σε ακολουθίες αριθμών μέσω της ψηφιοποίησης. Τη μετατροπή αυτή την κάνει ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα που ονομάζεται Μετατροπέας από Αναλογικό σε Ψηφιακό (ADC, Analog to Digital Converter). Η αντίστροφη διαδικασία της μετατροπής ενός ψηφιακού σε αναλογικό ονομάζεται μετατροπή ψηφιακού σε αναλογικό και γίνεται με τη βοήθεια των μετατροπέων ψηφιακού σε αναλογικό (Digital to Analog Converter, DAC).

Στο Σχήμα 1-15, φαίνεται ένα διάγραμμα των σημάτων και των αντίστοιχων μετατροπών τους ανάλογα με το σύστημα που χρησιμοποιείται κάθε φορά.

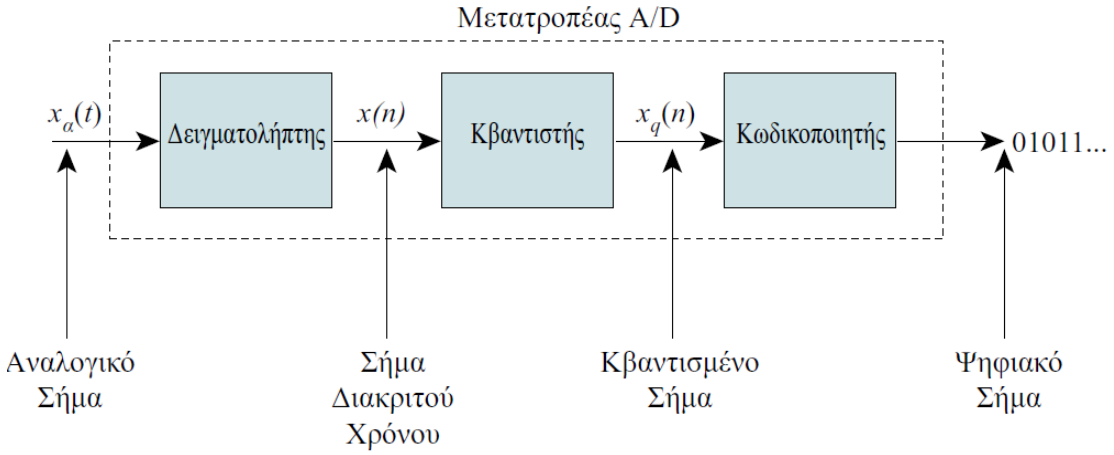


Σχήμα 1-15: Αναπαράσταση Σημάτων - Μετατροπέων

Η διαδικασία της μετατροπής ενός αναλογικού σήματος σε ψηφιακό γίνεται σε τρία στάδια:

- Δειγματοληψία (sampling)
- Κβαντισμός (quantization)
- Κωδικοποίηση (coding)

Τα στάδια μετατροπής αναλογικού σε ψηφιακό διακρίνονται στο Σχήμα 1-16.



Σχήμα 1-16: Στάδια Μετατροπής ενός αναλογικού σήματος σε ψηφιακό

Η δειγματοληψία έχει σχέση με το πόσο συχνά λαμβανονται τα δείγματα, ενώ η κβάντιση έχει σχέση με την ακρίβεια αναπαράστασης του πλάτους κάθε δείγματος. Σε κάθε είδος ADC πρέπει να εξασφαλίζεται ότι κατά τη σύγκριση το σήμα εισόδου δεν αλλάζει τιμή. Αυτό επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ενός κυκλώματος δειγματοληψίας και κράτησης (sample-and-hold), το οποίο απομονώνει και αποθηκεύει την τιμή εισόδου κατά τη στιγμή της σύγκρισης. Η ψηφιακή έξοδος ενός ADC μεταφέρεται σειριακά ή παράλληλα στον μικροεπεξεργαστή-ελεγκτή. Η ταχύτητα μεταφοράς των δεδομένων πρέπει να συνυπολογίζεται στην απόδοση του ADC. Πολλοί μικροελεγκτές διαθέτουν ενσωματωμένα κυκλώματα μετατροπής A/D και επιτρέπουν τη απευθείας σύνδεση αναλογικής εισόδου σε κάποιον ακροδέκτη του μC.

Τα κύρια χαρακτηριστικά ενός ADC είναι:

- Η **ταχύτητα μετατροπής** της αναλογικής ποσότητας, η οποία εξαρτάται από τον τρόπο λειτουργίας του ADC
- Η **ταχύτητα επικοινωνίας** με το υπολογιστικό σύστημα για τη μετάδοση του ψηφιοποιημένου μεγέθους
- Η **ανάλυση** του ADC, σε πόσα bits δηλαδή γίνεται η ψηφιοποίηση

Είδη ADC

Υπάρχουν διάφορα είδη ADC, ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας τους. Τρία βασικά είδη ADC είναι τα ακόλουθα:

- Flash.

  Μία σειρά εσωτερικών αντιστάσεων παράγει όλες τις πιθανές τάσεις πολλαπλάσια του ελάχιστου βήματος. Οι τάσεις αυτές συγκρίνονται ταυτόχρονα με την τάση εισόδου και επιλέγεται η πλησιέστερη. Οι Flash ADC ολοκληρώνουν τη μετατροπή γρηγορότερα από κάθε άλλο είδος ADC, αλλά λόγω της πολυπλοκότητας του κυκλώματος διατίθενται σε μικρές αναλύσεις.

- Διαδοχικής προσέγγισης (successive approximation).

  Η αναλογική είσοδος συγκρίνεται σε διαδοχικά βήματα δυαδικής εύρεσης (binary search) με το πάνω ή κάτω μισό ενός πεδίου τιμών, μέχρι την τελική

προσέγγιση. Οι μετατροπείς αυτού του τύπου είναι λίγο αργότεροι από τους Flash, αλλά διατίθενται σε μεγαλύτερες αναλύσεις.

- Sigma-Delta (ΣΔ).

  Σε γενικές γραμμές το κύκλωμα του μετατροπέα αυτού δειγματοληπτεί το σήμα εισόδου και παράγει ένα περιοδικό σήμα με σχέση χρόνου υψηλής προς χαμηλή κατάσταση (duty cycle) ανάλογη της τάσης εισόδου. Στη συνέχεια το σήμα αυτό μετατρέπεται σε δυαδικό αριθμό. Οι μετατροπείς sigma-delta είναι αργότεροι από τα προηγούμενα είδη, διότι απαιτείται πολλαπλάσια συχνότητα δειγματοληψίας από τη συχνότητα του σήματος εισόδου. Από την άλλη πλευρά, οι μετατροπείς sigma-delta διαθέτουν τη μέγιστη ανάλυση.

1.2.6.1 Χαρακτηριστικά Arduino ως Σύστημα Συλλογής Δεδομένων

Στο σημείο αυτό εξετάζονται κάποια από τα χαρακτηριστικά του Arduino με στόχο τη διερεύνηση της δυνατότητας χρήσης του για την κατασκευή συστήματος συλλογής δεδομένων.

Σύστημα λήψης και απεικόνισης φυσικών μεγεθών

Σε γενικές γραμμές ένα σύστημα λήψης και απεικόνισης δεδομένων αποτελείται από:

- αισθητήρες με τα κατάλληλα κυκλώματα προσαρμογής
- σύστημα συλλογής δεδομένων (Arduino στην παρούσα εργασία μας)
- σύστημα απεικόνισής τους (υπολογιστής και κατάλληλο λογισμικό)

Τα χαρακτηριστικά του Arduino UNO που εξετάζεται είναι:

- Μικροελεγκτής: ATMEGA328 (8 bit)
- Τάση λειτουργίας: 5V
- ADC: 6 ακροδέκτες / 10 bit
- PWM: 6 ακροδέκτες / 8 bit
- Μνήμη flash: 32 KB
- Μνήμη SRAM: 2 KB
- Μνήμη EEPROM: 1 KB
- Ταχύτητα ρολογιού: 16 MHz

Στο Arduino, ο μικροελεγκτής Atmega328 έχει ενσωματωμένο εσωτερικά (built in) ADC που είναι έτοιμο για χρήση και δεν χρειάζεται επιπλέον εξωτερικό υλικό. Αν οι απαιτήσεις για δειγματοληψία είναι αρκετά μεγάλες τότε ένας εξωτερικός ADC μπορεί να προστεθεί στο σύστημα.

Οι Αναλογικοί Ακροδέκτες εισόδου (Analog In pins) έχουν την δυνατότητα ADC όπου συνδέονται οι αισθητήρες ή άλλο σήμα εισόδου με αποτέλεσμα η αναλογική είσοδος να μετατραπεί σε ψηφιακή για να μπορέσει να την διαχειριστεί ο μικροεπεξεργαστής.

Η μέγιστη τάση εσόδου που μπορεί να δεχτεί το Arduino μέσω των ακροδεκτών είναι 5V. Παραπάνω τάση δημιουργεί προβλήματα και καταστροφή του υλικού. Αν η τάση εξόδου του αισθητήρα είναι μεγαλύτερη από 5V, τότε η χρήση ενός διαιρέτης τάσης για παράδειγμα δίνει τη δυνατότητα υποβιβασμού της τάσης του αισθητήρα σε επίπεδο έως 5V έτσι ώστε να οδηγηθεί στην είσοδο του Arduino. Η προσαρμογή της αντίστασης εξόδου του αισθητήρα πρέπει να είναι σε τιμή μικρότερη των 10 ΚΩ. Αυτό συμβαίνει επειδή πρέπει να είναι πολύ μικρός ο χρόνος φόρτισης του πυκνωτή Sample/Hold που υπάρχει στην είσοδο του ADC. Μεγαλύτερες αντιστάσεις δημιουργούν προβλήματα στην ακρίβεια της AD μετατροπής σύμφωνα με τα στοιχεία του εγχειρίδιου του μικροελεγκτή.

Ο μικροελεγκτής Atmega328p έχει 6 pin που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αναλογικοί είσοδοι και έναν ADC. Μεταξύ του ADC και των pin υπάρχει ένας αναλογικός πολυπλέκτης που επιτρέπει την επιλογή του pin το οποίο είναι συνδεδεμένο στο ADC. Συνεπώς, υπάρχει περιορισμός ο οποίος είναι ότι η λήψη μέτρησης γίνεται από ένα pin κάθε χρονική στιγμή.

Πριν τη συλλογή δεδομένων, τα χαρακτηριστικά που πρέπει να γνωρίζει κανείς όσον αφορά τη A-D μετατροπή είναι:

- την ανάλυση (resolution)
- το ρυθμό δείγματος ή συχνότητα δειγματοληψίας (sample rate)

Ανάλυση (resolution)

Ο αισθητήρας συνδέεται σε μια από τις αναλογικές εισόδους του Arduino και μετατρέπει το προς μέτρηση φυσικό μεγέθους σε αναλογική τάση V_{in}. Ιδανικά η τάση αυτή πρέπει να μεταβάλλεται γραμμικά με την τιμή του μετρούμενου μεγέθους.

Κάθε ADC χρησιμοποιεί μία τάση αναφοράς V_{ref} (εξωτερικά ή εσωτερικά παραγόμενη) για τη σύγκριση της αναλογικής εισόδου. Η τάση V_{ref} ισούται με τη μέγιστη τιμή τάσης εισόδου που μπορεί να μετρηθεί. Η τάση αναφοράς στον Arduino έχει προρυθμιστεί (default) στην τιμή 5V (η τάση αναφοράς είναι ως προς τη γείωση 0V).

Προφανώς πρέπει να ισχύει ότι $0 \le V_{in} \le V_{ref}$ και επιπλέον ότι η μέγιστη τιμή της τάσης αναφοράς V_{ref} θα ισούται με 5V.

Ο αναλογικός σε ψηφιακός μετατροπέας (ADC) στο Arduino έχει ανάλυση 10 bit .

Τα 10 bits ανάλυσης έχουν ως αποτέλεσμα $2^{10} = 1024$ (0-1023) διακριτά τμήματα/στάθμες της τάσης αναφοράς (κβαντοποίηση).

Αυτό σημαίνει ότι η αναλογική τάση εισόδου (από αισθητήρα ή εξωτερική πηγή) θα μετατραπεί σε μια αριθμητική τιμή (digitalized) μεταξύ 0-1023. Η ψηφιακή αυτή τιμή δηλαδή αναπαριστά την αναλογική τιμή εισόδου.

Συνεπώς, η μικρότερη διακύμανση της τάσης που μπορεί να είναι ανιχνεύσιμη θα είναι ίση με:

$$\frac{V_{ref}}{2^n} = \frac{5}{2^{10}} \simeq 0.0049\ \text{V} \simeq 4.9\text{mV}\ \text{ανά μονάδα}$$

.

Δηλαδή, για κάθε μεταβολή τάσης κατά 4.9mV θα υπάρχει μεταβολή ενός bit στην ψηφιακή έξοδο.

Στην περίπτωση που είναι επιθυμητή μεγαλύτερη ανάλυση, υπάρχουν διάφοροι τρόποι για τη ρύθμιση του ADC.

Οι θύρες ADC Arduino είναι συνδεμένες με μια τάση αναφοράς 5V (default), αλλά αυτό είναι ρυθμιζόμενο και μπορεί να αλλάξει με δυο τρόπους.

i) Με χρήση προγραμματισμού

Η εντολή analogReference() της γλώσσας προγραμματισμού του Arduino, ρυθμίζει την τάση αναφοράς εσωτερικά στα 1.1 V.

Αυτό συνεπάγεται ανάλυση $\frac{1.1}{2^{10}} \simeq 0.001V \simeq 1\text{mV}$ ανά μονάδα

ii) Με χρήση του pin AREF

Με τη χρήση ενός διαιρέτη τάσης που θα συνδεθεί στην ακίδα AREF είναι δυνατό να οριστεί μια μη τυπική τάση (διαφορετική των 5, 3.3 ή 1.1 V) που θα έχει οποιαδήποτε άλλη τιμή μεταξύ 0-5V. (χρειάζεται μια αντίσταση 5KΩ για την τάση στο pin AREF).

Για παράδειγμα, ένας αισθητήρας έχει *τάση εξόδου 2V* και ευαισθησία *0,003V*.

Αν η τάση αναφοράς του Arduino UNO είναι 5V και συνεπως 4,9 mV ανά μονάδα, τότε πιθανόν να χάνονται κάποιες πληροφορίες και η μέτρηση να μην είναι ακριβείας.

Αν χρησιμοποιηθούν όμως ως τάση αναφοράς τα 2.2V ,πχ με διαιρέτη τάσης, τότε προκύπτει ελάχιστη ανιχνεύσιμη διακύμανση $\frac{2.2}{2^{10}} \simeq 0.002V \simeq 2mV$ ανά μονάδα

η οποία θα δώσει σαφώς καλύτερες μετρήσεις.

Για όλα τα παραπάνω μπορεί να πει κανείς ότι ισχύει:

$$\frac{\text{Resolution ADC}}{\text{Reference Voltage}} = \frac{\text{ADC Reading}}{\text{Analog Voltage Measured}} \Leftrightarrow$$

$$\frac{2^n}{V_{ref}} = \frac{\text{ADC Reading}}{V_{in}}$$

Συνεπώς, η διακριτική ικανότητα του συστήματος αυξάνεται μειώνοντας το εύρος της μετρούμενης τάσης (0 έως V_{ref}).

Συχνότητα δειγματοληψίας

Η συλλογή των δεδομένων γίνεται με δειγματοληψία στις αναλογικές εισόδους του Arduino. Με την εντολή analogRead() μπορούμε να «διαβάσουμε» το αποτέλεσμα μιας A/D μετατροπής από μια συγκεκριμένη αναλογική είσοδο.

Λέγοντας ότι ένας μετατροπέας αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (DAC) συλλέγει 500 δείγματα θερμοκρασίας το δευτερόλεπτο, αυτό σημαίνει ότι καταγράφονται 500 τιμές τάσης κάθε δευτερόλεπτο και κάθε δείγμα λαμβάνεται με ακρίβεια κάθε 1/500=0,002 sec=2 ms. Συνεπώς, δεν υπάρχει ανάγκη να είναι γνωστή η ακριβής ώρα συλλογής κάθε δείγματος η χρονική απόσταση μεταξύ των δειγμάτων είναι γνωστή.

Το ερώτημα όμως είναι πόσο μικρά μπορεί να είναι αυτά τα χρονικά διαστήματα ή αλλιώς ποιος μπορεί να είναι ο μέγιστος ρυθμός δειγματοληψίας.

Η συχνότητα χρονισμού του Arduino είναι 16MHz. Ένας κατάλληλος διαιρέτης (prescaler) ρυθμίζει την συχνότητα χρονισμού του ADC στον Arduino σε τιμή υποπολλαπλάσια της συχνότητας χρονισμού του Arduino. Ο διαιρέτης αυτός έχει εξ' ορισμού τιμή 128 που σημαίνει ότι χρονίζει το ADC στα (16/128) MHz ή 125 kHz. Σύμφωνα με τον κατασκευαστή (Atmel) κάθε μετατροπή διαρκεί 13 κύκλους, δηλ. 13/125=104μs, που σημαίνει ένα μέγιστο ρυθμό δειγματοληψίας 1/104=9,6kHz. Προφανώς, μειώνοντας την τιμή του διαιρέτη του ADC είναι δυνατό να αυξηθεί ο ρυθμός δειγματοληψίας, όπως φαίνεται στον πίνακα 1-3 που ακολουθεί.

Πίνακας 1:3: Ρυθμός Δειγματοληψίας Arduino θεωρητικά

Prescaler	Συχνότητα ADC (kHz)	Διάρκεια Μετατροπής μs (13 κύκλους)	Ρυθμός δειγματοληψίας (kHz)
128	125	0,104	9,6
64	250	0,052	19,2
32	500	0,026	38,5
16	1000	0,013	76,9
8	2000	0,0065	153,8
4	4000	0,00325	307,7

Για το μέγιστο ρυθμό δειγματοληψίας πρέπει κανείς εκτός των άλλων να λαμβάνει υπόψιν και τα ακόλουθα:

- Η ποιότητα της A/D μετατροπής εξαρτάται από τη συχνότητα χρονισμού του ADC. Σύμφωνα με τον κατασκευαστή για καλύτερα αποτελέσματα η συχνότητα χρονισμού του ADC δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 200 kHz, αν και για συχνότητες μέχρι και 1 MHz η ανάλυση δε μειώνεται σημαντικά. Η συχνότητα χρονισμού του ADC δεν πρέπει να ταυτίζεται με τη συχνότητα δειγματοληψίας.
- Δεν έχει συνυπολογιστεί ο χρόνος που απαιτείται για την αποθήκευση των μετρήσεων, καθώς η ταχύτατη αλλά περιορισμένου μεγέθους RAM του Arduino (2 kb) δεν επιτρέπει τη χρήση του για συνεχή δειγματοληψία.

Κεφάλαιο 2 : ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ

Σκοπός της εργασίας είναι η μελέτη και η κατασκευή διάταξης βαθμονόμησης αισθητήρων θερμοκρασίας με χρήση μικροελεγκτή ελεγχόμενη από υπολογιστή. Η διάταξη θα καταγράφει τις θερμοκρασίες και υπολογίζει το απόλυτο και σχετικό σφάλμα, θεωρώντας ως πραγματική τιμή τη θερμοκρασία του αισθητήρα αναφοράς. Τα στοιχεία αυτά αποθηκεύονται στον Η/Υ σε αρχείο της μορφής .txt. Η διάταξη θα περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

- Πλατφόρμα μικροελεγκτή για λήψη και αποστολή των μετρήσεων καθώς και έλεγχο του περιβάλλοντος των αισθητήρων
- Λογισμικό εφαρμογής στον ΗΥ το οποίο ελέγχει την Πλατφόρμα μικροελεγκτή
- έναν αισθητήρα αναφοράς ο οποίος θεωρείται πρότυπος για τη μετρητική διάταξη
- αισθητήρες θερμοκρασίας προς βαθμονόμηση
- φορτίο το οποίο μεταβάλει την θερμοκρασία περιβάλλοντος στο οποίο βρίσκονται οι αισθητήρες

Τα υλικά τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή και στον έλεγχο της λειτουργίας είναι:

- Πλατφόρμα μικροελεγκτή : Arduino UNO R3
- Αισθητήρας θερμοκρασίας (πρότυπος): DS18S20
- Αισθητήρας θερμοκρασίας προς βαθμονόμηση: LM35
- Φορτίο μεταβολής θερμοκρασίας : αερόθερμο
- Λογισμικό εφαρμογής (πρόγραμμα στον Η/Υ, Lazarus)

2.1 Λειτουργία Διάταξης

Η διάταξη λειτουργεί ως εξής:

Στον Η/Υ υπάρχει το Λογισμικό εφαρμογής το οποίο επικοινωνεί με το μικροελεγκτή μέσω της σειριακής θύρας. Από το πρόγραμμα ο χρήστης μπορεί να ελέγχει τη διάταξη. Συγκεκριμένα, μπορεί να καθορίζει το χρόνο λήψης και καταγραφής των μετρήσεων από το Arduino στον ΗΥ καθώς και τη μεταβολή της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος όπου βρίσκονται οι αισθητήρες. Περισσότερες λεπτομέρειες για τον τρόπο λειτουργίας δίνονται στη συνέχεια.

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.

Οι αισθητήρες είχαν τοποθετηθεί από την μια πλευρά ενός κλειστού κουτιού ενώ από την άλλη το φορτίο που θα το ζεσταίνει. Ο προσανατολισμός του φορτίου ήταν τέτοιος ώστε να ο ζεστός αέρας να μην είναι στην ίδια ευθεία με τους αισθητήρες.

Μεταφορά Δεδομένων

Το Arduino έχει ως εισόδους τους αναλογικούς αισθητήρες LM35 οι οποίοι πρόκειται να βαθμονομηθούν και τον ψηφιακό αισθητήρα DS18B2 και ως έξοδο το φορτίο που θα μεταβάλλει την θερμοκρασία στη διάταξη. Το Arduino επικοινωνεί επίσης με τον υπολογιστή (Λογισμικό εφαρμογής) μέσω της σειριακής θύρας.

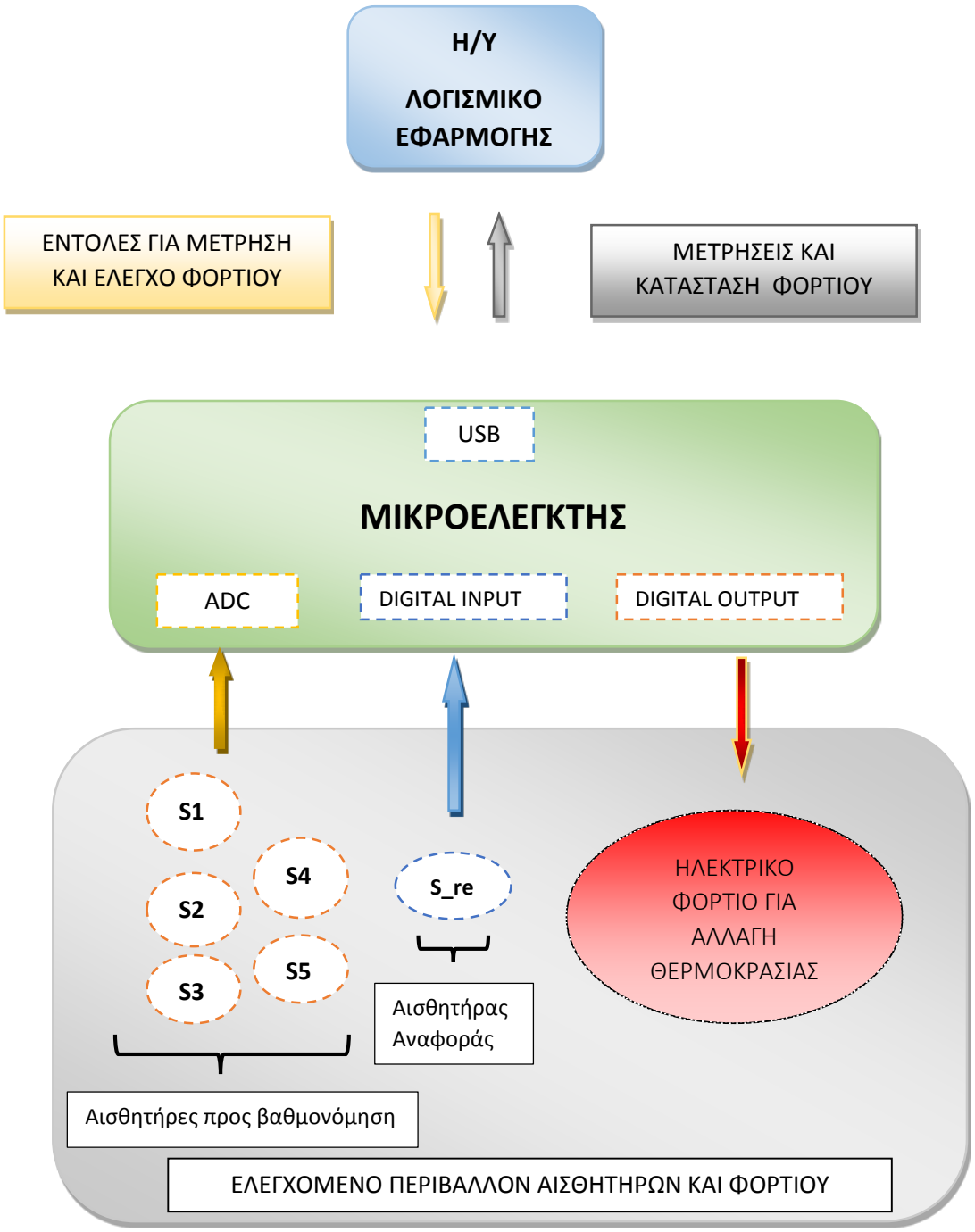
Το Arduino είναι με τέτοιο τρόπο προγραμματισμένο ώστε να περιμένει σήμα από το λογισμικό εφαρμογής στον Η/Υ για να εκτελέσει εντολές. Οι εντολές περιλαμβάνουν τη μέτρηση των τιμών όλων των αισθητήρων, την κατάσταση της εξόδου του (ON ή OFF) για τον έλεγχο του φορτίου και τη μεταφορά όλων των παραπάνω τιμών στον Η/Υ.

Οι τιμές από τους αισθητήρες LM35 οι οποίες θα στέλνονται από το Arduino στον ΗΥ θα έχουν τη διακριτή τιμή από 0-1023. Η επεξεργασία τους και η αντιστοίχιση τους σε θερμοκρασία θα γίνεται στο λογισμικό εφαρμογής. Ο αισθητήρας DS18B2 έχει τιμή της θερμοκρασίας απευθείας σε oC

Η μεταφορά των δεδομένων, όπως και η επικοινωνία προγράμματος Arduino, γίνεται μέσω της σειριακής θύρας USB. Κάθε φορά που γίνεται κάποια μεταφορά

δεδομένων, γίνεται καθαρισμός του buffer του Arduino όσο και λογισμικού εφαρμογής για να υπάρχει συγχρονισμός στην ανταλλαγή δεδομένων.

Το δομικό διάγραμμα της διάταξης φαίνεται Σχήμα 2-1:



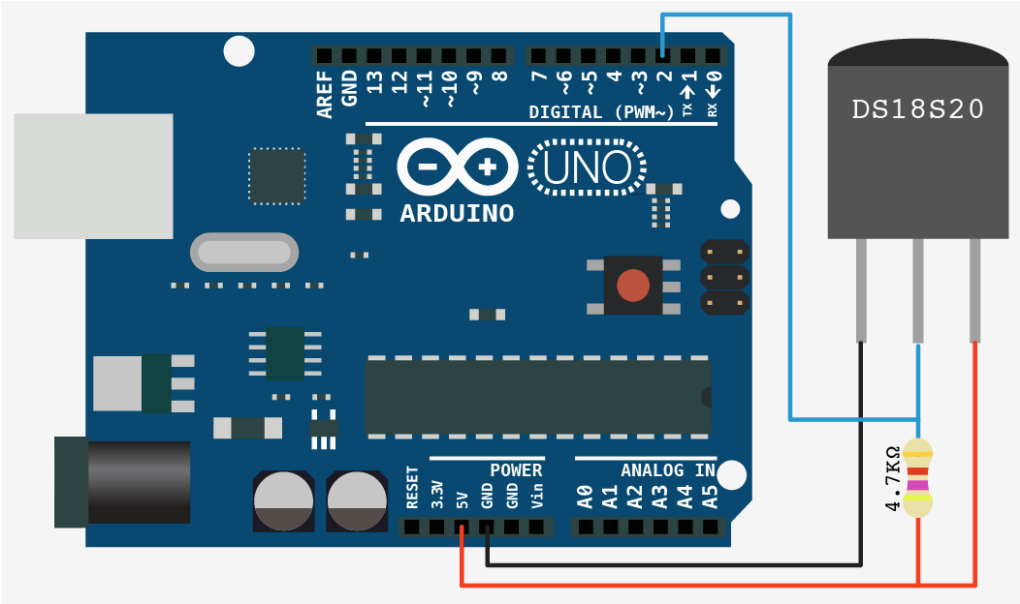
Σχήμα 2-1: Διάγραμμα Μετρητικής Διάταξης

2.2 Αισθητήρες

2.2.1 Αισθητήρας θερμοκρασίας (πρότυπος): DS18S20

Ο DS18B20 είναι ψηφιακός αισθητήρας και επικοινωνεί μέσω δίαυλου ενός καλωδίου (1-Wire bus) με τον μικροελεγκτή. Απαιτεί μόνο γραμμή δεδομένων και μία γείωση. Μπορεί να λειτουργήσει σε θερμοκρασίες από -55°C έως +125°C και παρέχει ακρίβεια ± 0,5°C στο εύρος -10°C έως +85°C. Επιπλέον μπορεί να τροφοδοτηθεί από τη γραμμή τροφοδοσίας 3.0V έως 5.5V. Η βασική λειτουργία του αισθητήρα DS18B20 είναι η άμεση μετατροπή της θερμοκρασίας σε ψηφιακή τιμή. Η έξοδος των δεδομένων θερμοκρασίας είναι βαθμονομημένη σε βαθμούς Κελσίου.

Η σύνδεση του DS18B20 με το Arduino φαίνεται στο Σχήμα 2-2 :



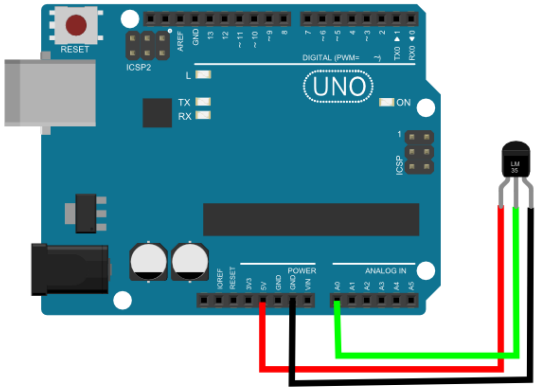
Σχήμα 2-2: Σύνδεση του DS18B20 με το Arduino

Η έξοδος του DS18B20 συνδέεται με τα ψηφιακά pin εισόδου/εξόδου του Arduino, όπως και στην διάταξη, συνδέεται στον digital pin2. Η αντίσταση χρειάζεται με βάση το φύλλο προδιαγραφών (datasheet) ως αντίσταση πρόσδεσης (pull-up). Από τα τρία άκρα του αισθητήρα το ένα είναι η τροφοδοσία 5V από το Arduino, το άλλο η γείωση και το μεσαίο η ψηφιακή έξοδος του αισθητήρα.

2.2.2 Αισθητήρας θερμοκρασίας προς βαθμονόμηση: LM35

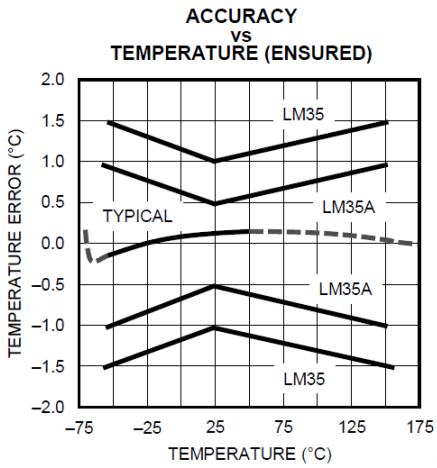
Όπως και στον προηγούμενο αισθητήρα, από τα τρία άκρα του αισθητήρα το ένα είναι η τροφοδοσία 5V από το Arduino, το άλλο η γείωση και το μεσαίο η αναλογική έξοδος του αισθητήρα η οποία συνδέεται με την αναλογική είσοδο του Arduino.

Η σύνδεση του LM35 με το Arduino φαίνεται στο Σχήμα 2-3 :



Σχήμα 2-3: Σύνδεση του LM35 με το Arduino

Οι αισθητήρες LM35 είναι αναλογικοί αισθητήρες και η τάση εξόδου τους μεταβάλλεται αναλογικά και γραμμικά με τη θερμοκρασία 10mV/ºC. Το εύρος μέτρησης είναι με βάση το φύλλο προδιαγραφών (datasheet) από -55°C έως +155°C. Από το παρακάτω διάγραμμα, Σχήμα 2-4, φαίνεται ότι η ακρίβεια είναι χαμηλότερη σε σχέση με τον DS18B20 και μεταβάλλεται σε θερμοκρασίες πάνω από 25°C. Για αυτόν το λόγο θεωρούμε σαν αισθητήρα αναφοράς τον DS18B20. Οι αποκλίσεις αναμένεται ότι δεν θα είναι πολύ μεγάλες καθώς στο εύρος θερμοκρασίας που θα γίνουν οι μετρήσεις οι αισθητήρες εμφανίζουν μικρή διαφορά.



Σχήμα 2-4: Διάγραμμα ακρίβειας LM35

2.3 Arduino

Όπως έχει ήδη αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, το Arduino διαθέτει αναλογικές εισόδους και ψηφιακές εισόδους / εξόδους.

Αισθητήρες - ADC

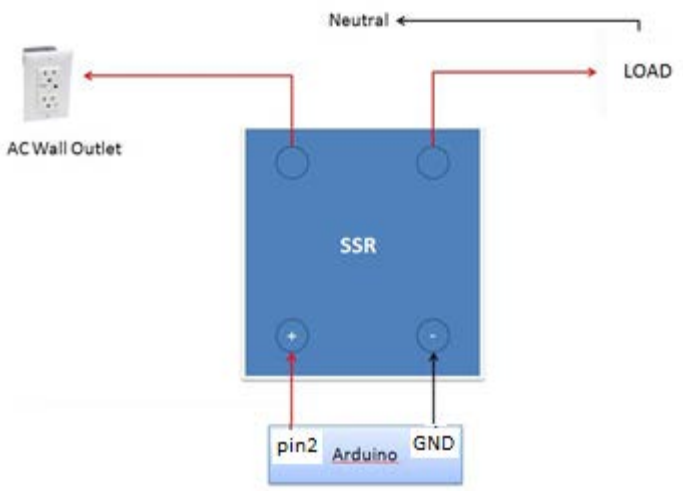
Στις αναλογικές εισόδους A0, A1, A2, A3, A4 συνδέονται οι αισθητήρες LM35. Από το datasheet των συγκεκριμένων αισθητήρων γνωρίζουμε ότι η θεωρητική μεταβολή της θερμοκρασίας είναι 10mV/ºC. Καθώς το Arduino έχει ADC ανάλυση 10 bit, για τάση αναφοράς τα 5V η ελάχιστη ανιχνεύσιμη διακύμανση τάσης θα είναι περίπου ίση με 5mV. Συνεπως, το Arduino έχει τη δυνατότητα να αναγνωρίζει τη μεταβολή της τάσης από τους αισθητήρες.

Ο αισθητήρας DS18B20 καθώς είναι ψηφιακός θα συνδεθεί στα ψηφιακά pin του Arduino. Συγκεκριμένα, ο αισθητήρας ο ίδιος εκτελεί τη μετατροπή και στέλνει τα ψηφιακά δεδομένα στη μνήμη του Arduino.

2.4 Φορτίο

Για να είναι δυνατή η μεταβολή της θερμοκρασίας στη διάταξη, χρειάζεται ένα ηλεκτρικό φορτίο θέρμανσης. Το φορτίο που ζεσταίνει το περιβάλλον όπου βρίσκονται οι αισθητήρες, είναι μια ηλεκτρική αντίσταση αέρα με ανεμιστήρα. Έχει δυο χειροκίνητες επιλογές παροχής ζεστού αέρα : μια με χαμηλή (slow) ταχύτητα αέρα και μια υψηλότερη (fast).

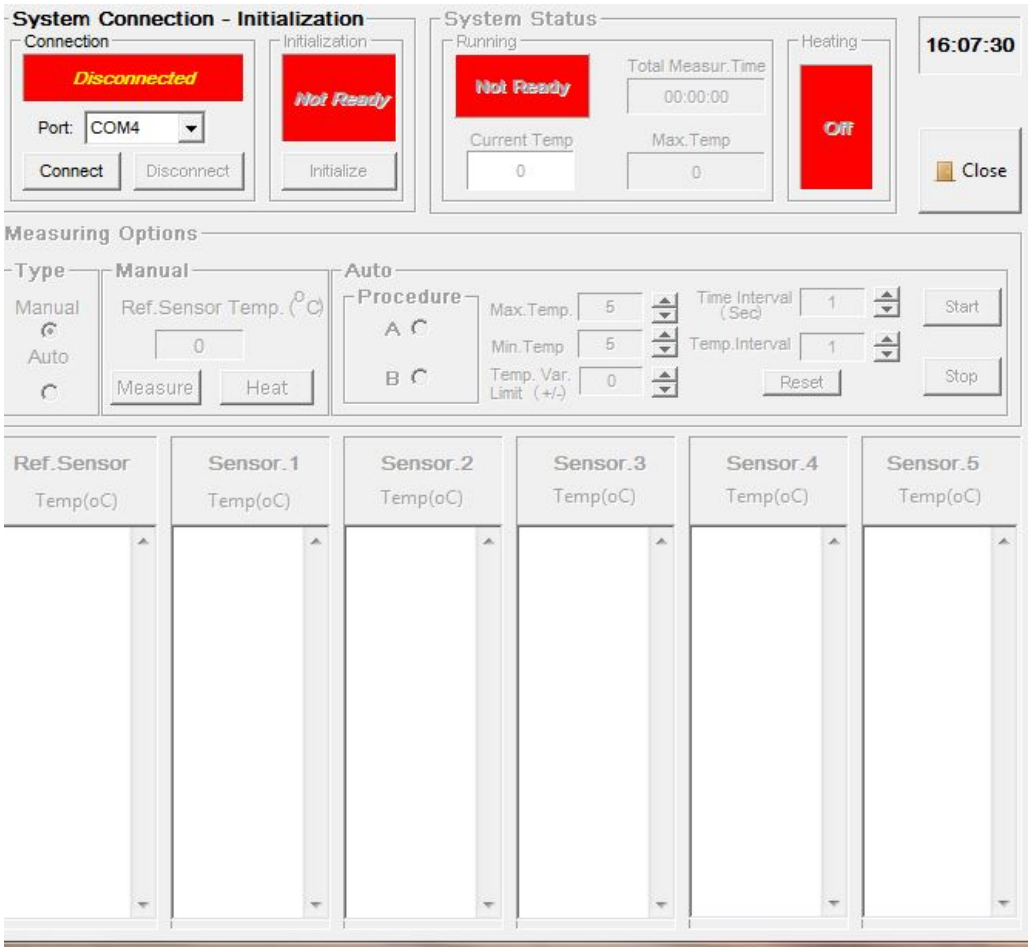
Το Arduino δεν μπορεί από μόνο του να τροφοδοτήσει μεγάλο φορτίο. Οι ηλεκτρικές έξοδοι είναι: Τάση: έως 5V και ρεύμα: 15mA. Για το λόγο αυτό, έχει συνδεθεί στην ψηφιακή έξοδο του Arduino ένα ρελέ στερεάς κατάστασης (Solid State Relay, SSR). Στο ψηφιακό pin 2 εξόδου, συνδέεται το ηλεκτρικό φορτίο μέσω του SSR, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2-5. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατό να ελέγχεται λειτουργία του φορτίου.



Σχήμα 2-5: Σύνδεση φορτίου θέρμανσης με Arduino μέσω SSR

2.5 Λογισμικό εφαρμογής

Στο Σχήμα 2-6 όπου ακολουθεί, φαίνεται το γραφικό περιβάλλον χρήστη (Graphical user interface, GUI) του προγράμματος χειρισμού της διάταξης.



Σχήμα 2-6: Γραφικό περιβάλλον χρήστη λογισμικού εφαρμογής

Στη συνέχεια, περιγράφονται οι βασικές λειτουργείες του προγράμματος και ο τρόπος διεπαφής με το χρήστη. Το πρόγραμμα δημιουργήθηκε στην πλατφόρμα Lazarus.

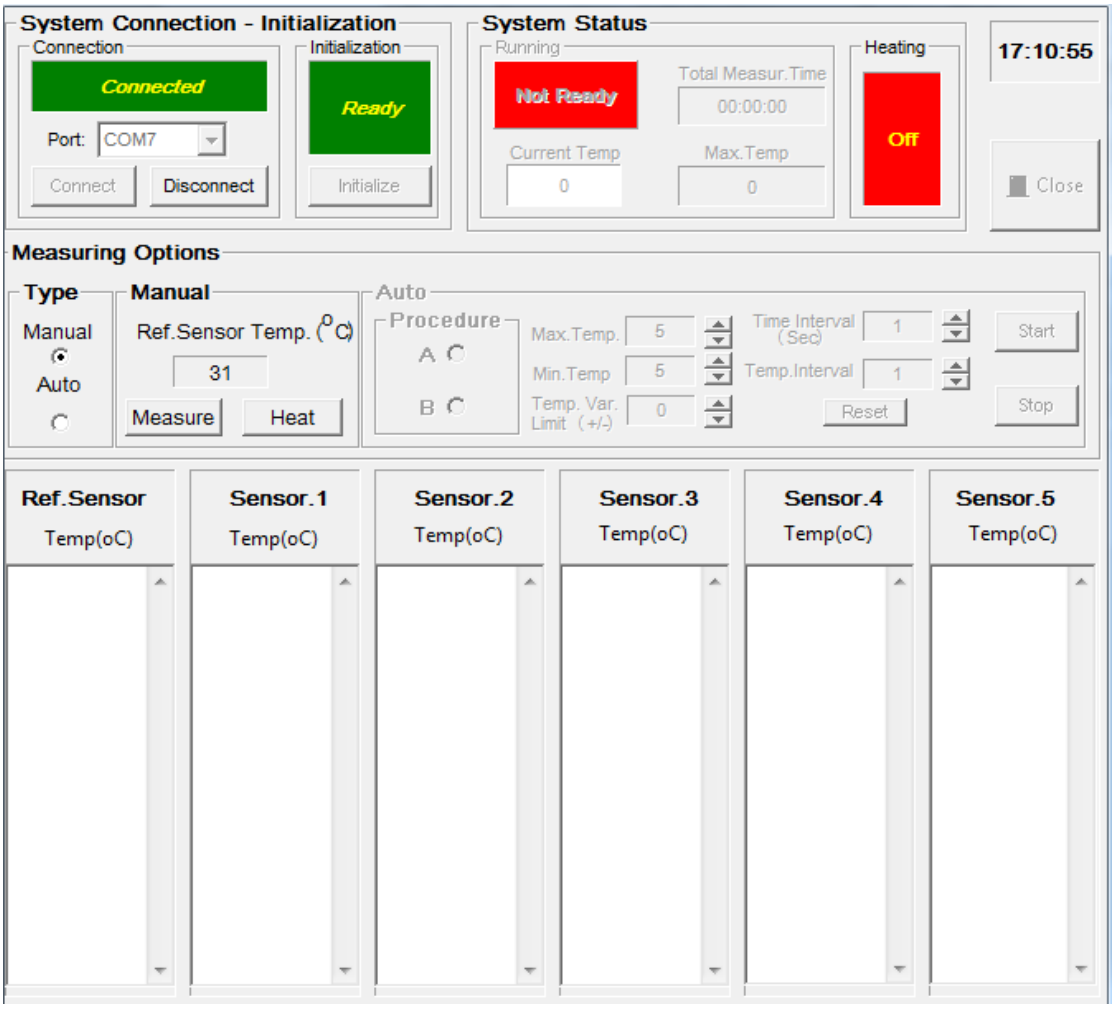
Αρχικά, στο πρόγραμμα εμφανίζεται η ώρα πάνω δεξιά η οποία είναι συγχρονισμένη με το ρολόι του ΗΥ. Το κουπί Close κλείνει το πρόγραμμα. Επίσης, το πρόγραμμα είναι σε εκτελέσιμη μορφή (.exe), δεν χρειάζεται εγκατάσταση και μπορεί να τρέξει σε οποιοδήποτε λειτουργικό MS Windows.

System Connection – Initialization

Στην επιλογή Connection (σύνδεση) γίνεται η σύνδεση του συστήματος με το Arduino μέσω των θυρών COM. Η σύνδεση του Arduino στον ΗΥ γίνεται μέσω μιας σειριακής θύρας. Στην επιλογή των θυρών, ο χρήστης πρέπει να επιλέξει τη σωστή θύρα. Όταν πατηθεί το πλήκτρο connect τότε εμφανίζεται η ένδειξη connected (πράσινο) και το πλήκτρο Disconnect γίνεται ενεργό, πλήκτρο connect ανενεργό και το πλήκτρο close του προγράμματος ανενεργό. Επίσης ενεργοποιείται το πλήκτρο Initialize. Το πλήκτρο close παραμένει απενεργοποιημένο για όλο το χρονικό διάστημα που το λογισμικό είναι σε επικοινωνία με το Arduino UNO. Για την ενεργοποίηση του πλήκτρου close, απαιτείται να έχει γίνει πρώτα αποσύνδεση του λογισμικού από το Arduino, να έχει πατηθεί δηλαδή το πλήκτρο disconnect. Αυτό γίνεται αφενός για την αποφυγή σφαλμάτων επικοινωνίας των δυο μερών και αφετέρου για την απενεργοποίηση όλων των λειτουργιών του Arduino πριν την έξοδο από το λογισμικό.

Η διαδικασία αρχικοποίησης (Initialization), η οποία έπεται της διαδικασίας σύνδεσης, γίνεται έτσι ώστε να γίνει ένας αρχικός συγχρονισμός με το Arduino. Ο χρήστης πατώντας το κουμπί αυτό πετυχαίνει την αρχικοποίηση του συστήματος έτσι ώστε να υπάρχει ο σωστός και πλήρης έλεγχος του. Όταν επιτευχθεί η αρχικοποίηση, τότε η ένδειξη Ready πρασινίζει και ενεργοποιούνται οι δυνατότητες της μετρητικής διάταξης, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2-7.

Στην περίπτωση που σε κάποιο από τα βήματα αυτά γίνει κάποιο σφάλμα, οι δυνατότητες της διάταξης δεν ενεργοποιούνται.



Σχήμα 2-7: Γραφικό περιβάλλον χρήστη σε σύνδεση

Επιλογές Μέτρησης (measuring options)

Αφού επιτευχθεί η σύνδεση και η αρχικοποίηση του συστήματος, υπάρχουν οι εξής επιλογές μέτρησης:

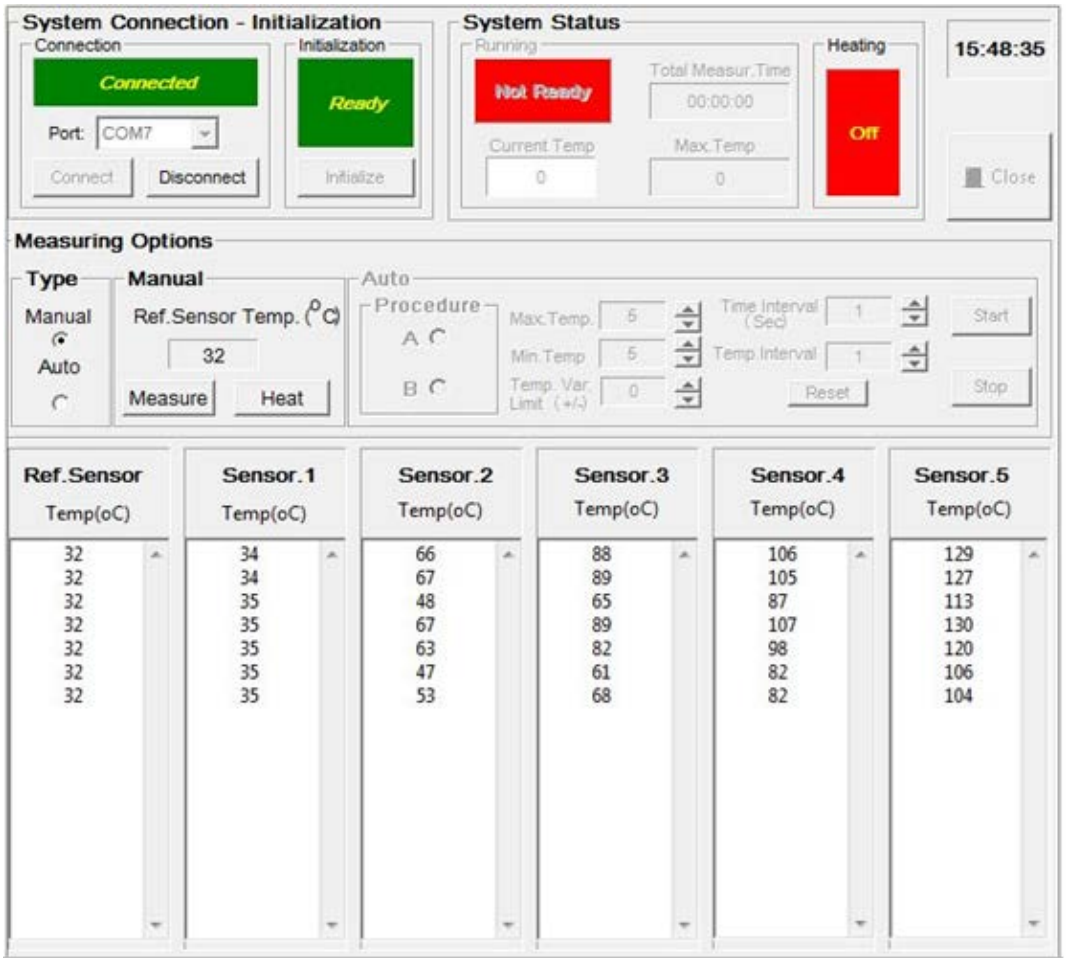
- Χειροκίνητη λειτουργία (manual)
- Αυτόματη λειτουργία (auto)
    - Ανά συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (procedure A)
    - Ανά συγκεκριμένο διάστημα θερμοκρασίας (procedure B)

Χειροκίνητη επιλογή μέτρησης

Όταν ο χρήστης επιλέξει αυτόν τον τύπο μέτρησης, τότε η περιοχή manual είναι ενεργή ενώ η auto ανενεργή. Με αυτήν την επιλογή, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να λαμβάνει τις μετρήσεις όποτε εκείνος θελήσει πατώντας το κουπί Measure. Επιπλέον, μπορεί να θέτει σε λειτουργία το φορτίο θέρμανσης πατώντας το κουμπί Heat. Όταν το φορτίο λειτουργεί, η ένδειξη Heating είναι πράσινη (ON) ενώ όταν δεν είναι σε λειτουργία είναι κόκκινη (OFF). Επίσης, εμφανίζεται η ένδειξη θερμοκρασίας του αισθητήρα αναφοράς, η οποία ανανεώνεται κάθε 1 sec.

Οι μετρήσεις εμφανίζονται στις κάτω στήλες. Πρώτα εμφανίζεται ο αισθητήρας αναφοράς και στη συνέχεια οι υπόλοιποι αισθητήρες.

Στο Σχήμα 2-8 που ακολουθεί, φαίνεται το περιβάλλον χρήστη όταν έχει επιλεγεί η χειροκίνητη επιλογή μέτρησης και έχει συνδεθεί στο Arduino ο αισθητήρας αναφοράς και ένας αισθητήρα LM35. Στη στήλη Sensor 1 εμφανίζονται οι μετρήσεις από τον αισθητήρα ενώ οι υπόλοιπες στήλες Sensor εμφανίζουν τυχαίους αριθμούς.



Σχήμα 2-8: Χειροκίνητη επιλογή μέτρησης

Αυτόματη επιλογή μέτρησης

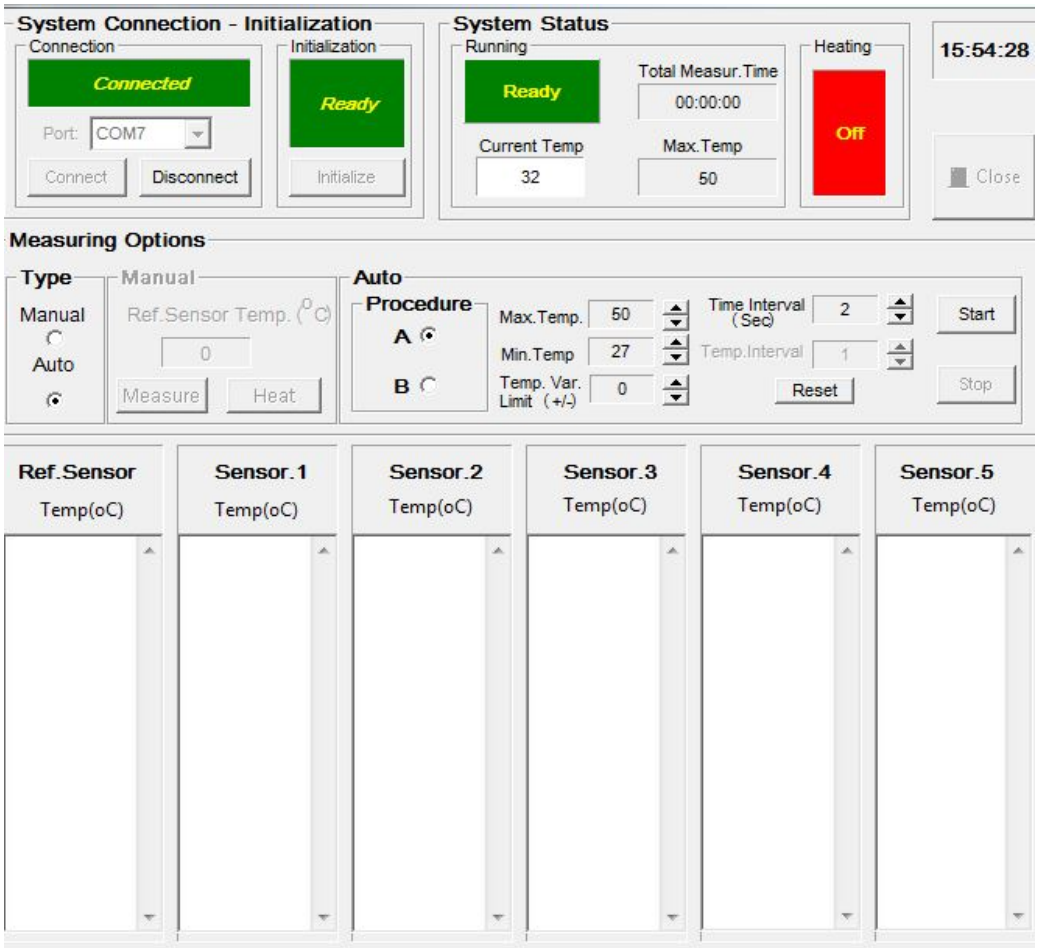
Ο αυτόματος τρόπος μετρήσεων περιλαμβάνει δυο διαδικασίες.

Στην **διαδικασία Α (procedure A)** ο χρήστης καθορίζει:

- Τη μέγιστη θερμοκρασία (max temp)
- Την ελάχιστη θερμοκρασία (min temp)
- Το χρονικό διάστημα όπου θα λαμβάνονται οι μετρήσεις (time interval)
- Τη θερμοκρασιακό όριο (temperature variation limit) μεταβολής των τιμών (max temp, min temp)

Στο Σχήμα 2-9 φαίνεται το γραφικό περιβάλλον με την αυτόματη επιλογή μέτρησης.

Πατώντας το πλήκτρο Start, το λογισμικό ελέγχει τη θερμοκρασία του αισθητήρα αναφοράς. Εάν αυτή είναι μικρότερη από τη μέγιστη τιμή (max temp) μείον το όριο μεταβολής (temp var limit), τότε δίνει εντολή στο Arduino να ενεργοποιήσει το φορτίο και να θερμάνει το περιβάλλον όπου βρίσκονται οι αισθητήρες, έως ότου η θερμοκρασία γίνει **max temp ± temp var limit**, με βάση τον αισθητήρα αναφοράς. Στη συνέχεια, το φορτίο σταματάει να λειτουργεί. Η επιλογή time interval καθορίζει κάθε πότε το Arduino θα λαμβάνει μετρήσεις από όλους τους αισθητήρες και θα τους στέλνει στον ΗΥ. Οι μετρήσεις σταματούν όταν ο αισθητήρας αναφοράς πάρει την τιμή **min temp ± temp var limit**. Σε αυτήν την διαδικασία δηλαδή, θερμαίνεται το σύστημα μέχρι κάποια θερμοκρασία και γίνονται μετρήσεις σε καθορισμένο χρονικό διάστημα μέχρι η θερμοκρασία να πέσει σε κάποια επιθυμητή τιμή.



Σχήμα 2-9: Αυτόματη επιλογή μέτρησης ανά διάστημα χρόνου (procedure A)

Στην **διαδικασία B (procedure B)** ο χρήστης καθορίζει:

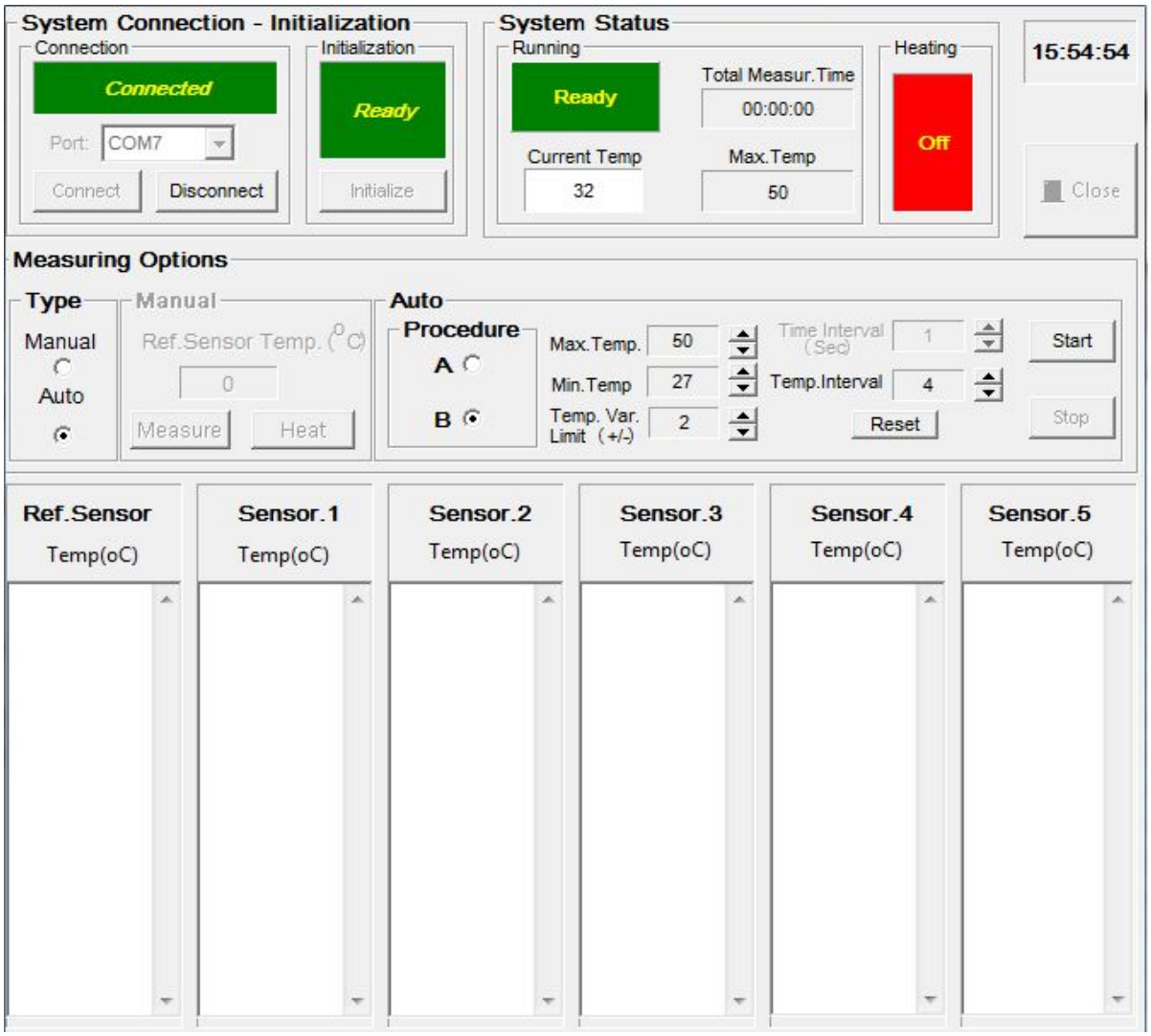
- Τη μέγιστη θερμοκρασία (max temp)
- Την ελάχιστη θερμοκρασία (min temp)
- Το θερμοκρασιακό διάστημα όπου θα λαμβάνονται οι μετρήσεις (temp interval)
- Τη θερμοκρασιακό σφάλμα (temperature variation limit)

Με αυτήν την διαδικασία, το σύστημα, όπως προηγουμένως, θερμαίνεται μέχρι να φτάσει την **max temp ± temp var limit**. Μετρήσεις γίνονται και στέλνονται στον ΗΥ κάθε φορά που ο αισθητήρας αναφοράς πάρει τιμή θερμοκρασίας { (max temp) - temp interval }

Για παράδειγμα, αν επιλεγεί max temp=50, min temp=30, temp interval=5 και temperature variation limit=0, αυτό σημαίνει ότι θα γίνουν μετρήσεις για τιμές θερμοκρασίας περίπου 50, 45, 40, 35, 30 ^{o}C.

Οι μετρήσεις σταματούν όταν ο αισθητήρας αναφοράς πάρει την τιμή **min temp ± temp var limit**. Η επιλογή temp interval καθορίζει κάθε πότε το Arduino θα πάρει μετρήσεις. Σε αυτήν την διαδικασία δηλαδή, γίνονται μετρήσεις ανά καθορισμένο θερμοκρασιακό διάστημα μέχρι η θερμοκρασία να φτάσει σε κάποια επιθυμητή τιμή.

Το γραφικό περιβάλλον για την αυτόματη επιλογή μέτρησης της διαδικασίας B φαίνεται στο Σχήμα 2-10.



Σχήμα 2-10: Αυτόματη επιλογή μέτρησης ανά διάστημα θερμοκρασίας (procedure B)

Κεφάλαιο 3 : ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

3.1 Διαδικασία Μετρήσεων

Καθώς το λογισμικό παρέχει δυνατότητες χειροκίνητης και αυτόματης λειτουργίας καθώς και την επιλογή διαφόρων παραμέτρων, η διαδικασία πραγματοποίησης μιας σειράς μετρήσεων που θα επιλέξει κανείς είναι δυνατό να διαφέρει.

Για τη διερεύνηση της σωστής λειτουργίας του συστήματος καθώς και για τη βαθμονόμηση των 5 αισθητηρίων θερμοκρασίας κρίνεται σκόπιμο να γίνουν μετρήσεις τόσο με την χειροκίνητη όσο και με την αυτόματη λειτουργία.

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας για την πραγματοποίηση των μετρήσεων, ακολουθούνται οι παρακάτω διαδικασίες:

Διαδικασία Α-1-Χ:

- Χρησιμοποιείται η αυτόματη διαδικασία μέτρησης procedure A από το πρόγραμμα
- Το κουτί θερμαίνεται με την χαμηλή παροχή ζεστού αέρα (1)
- Οι μετρήσεις γίνονται κάθε Χ δευτερόλεπτα

Διαδικασία Α-2-Χ:

- Χρησιμοποιείται η αυτόματη διαδικασία μέτρησης procedure A από το πρόγραμμα
- Το κουτί θερμαίνεται με την υψηλή παροχή ζεστού αέρα (2)
- Οι μετρήσεις γίνονται κάθε Χ δευτερόλεπτα

Διαδικασία Α-3-Χ:

- Το κουτί θερμαίνεται χειροκίνητα με άνοιγμα (ON) και κλείσιμο (OFF) του φορτίου θέρμανσης έτσι ώστε η μετάβαση στην επιθυμητή θερμοκρασία να γίνει με καθυστέρηση και πιο ομαλά (3)
- Στη συνέχεια χρησιμοποιείται η αυτόματη διαδικασία μέτρησης procedure A από το πρόγραμμα
- Οι μετρήσεις γίνονται κάθε Χ δευτερόλεπτα

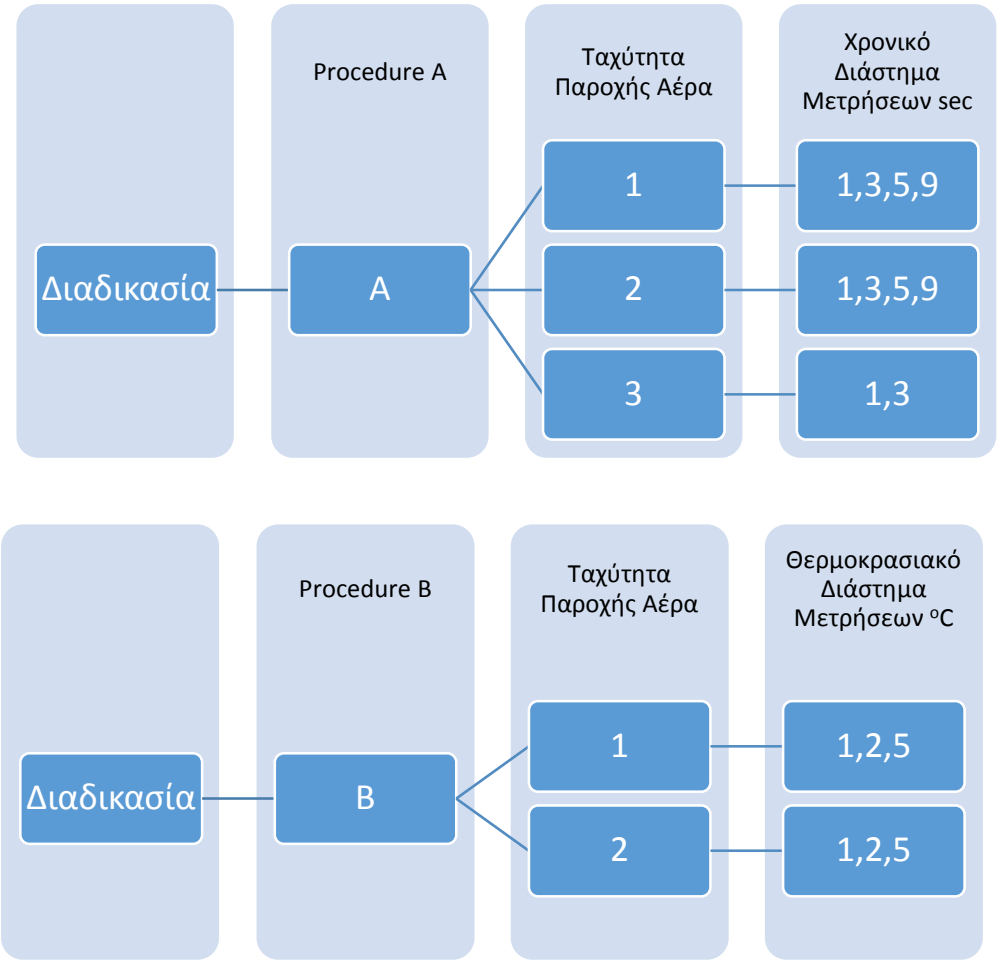
Διαδικασία Β-1-Χ:

- Χρησιμοποιείται η αυτόματη διαδικασία μέτρησης procedure B από το πρόγραμμα
- Το κουτί θερμαίνεται με την χαμηλή παροχή ζεστού αέρα (1)
- Οι μετρήσεις γίνονται κάθε Χ βαθμούς Κελσίου

Διαδικασία Β-2-Χ:

- Χρησιμοποιείται η αυτόματη διαδικασία μέτρησης procedure B από το πρόγραμμα
- Το κουτί θερμαίνεται με την υψηλή παροχή ζεστού αέρα (2)
- Οι μετρήσεις γίνονται κάθε Χ βαθμούς Κελσίου

Στο σχήμα 3-1 παρουσιάζονται συνοπτικά οι διαδικασίες μέτρησης που θα γίνουν.



Σχήμα 3-1: Διαδικασίες Μετρήσεων

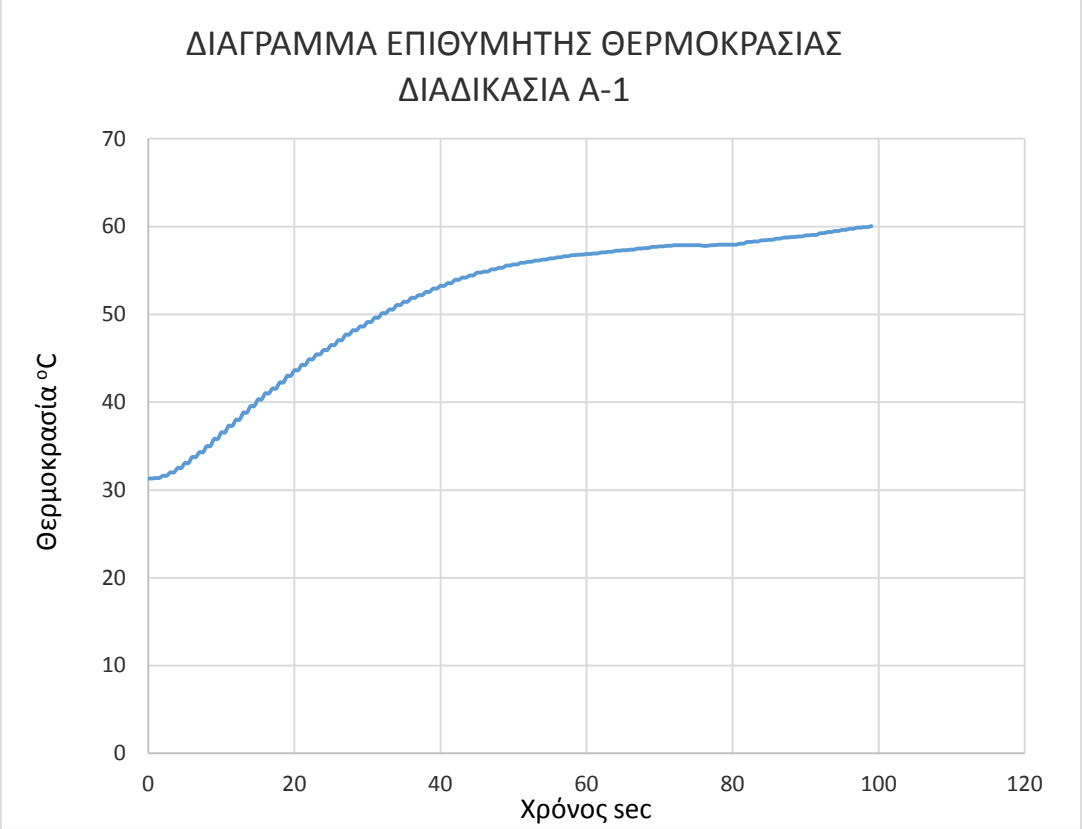
3.2 Αποτελέσματα Μετρήσεων

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι διαδικασίες που θα ακολουθηθούν και τα διαγράμματα από τις μετρήσεις που έγιναν.

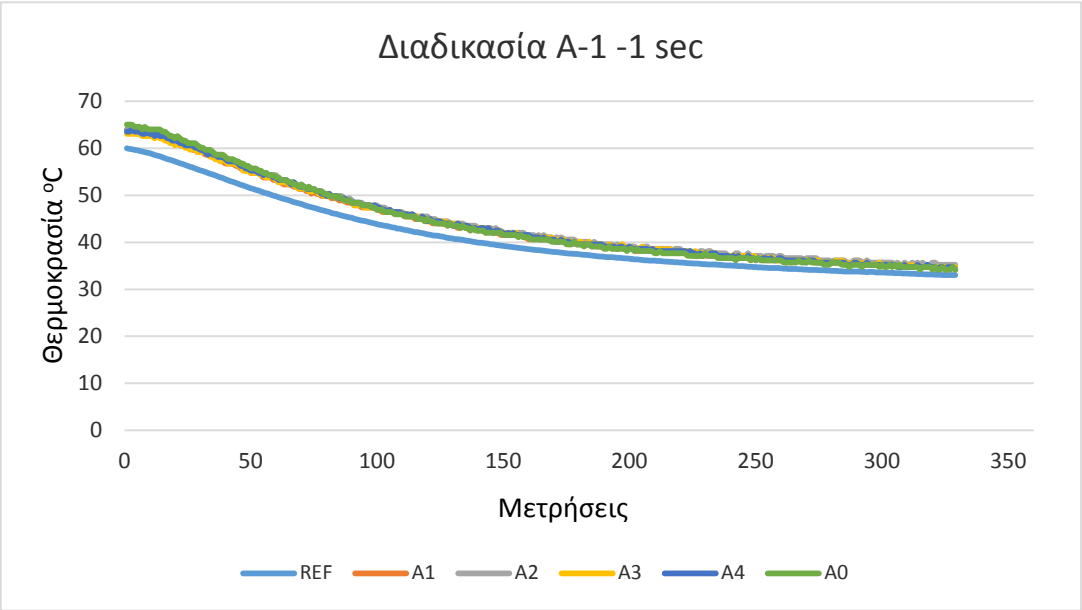
Το A1 είναι ο αισθητήρας1 (sensor1), το A2 είναι ο sensor 2, το A3 είναι ο sensor 3, το A4 είναι ο sensor 4, το A0 είναι ο sensor 5 και το Ref είναι ο αισθητήρας αναφοράς. Πριν γίνουν οι μετρήσεις με τη διάταξη, μετρήθηκε η μέγιστη θερμοκρασία που είναι δυνατό να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας το συγκεκριμένο φορτίο. Αυτή είναι για τη slow επιλογή γύρω στους 60°C ενώ λίγο παραπάνω για την fast. Για αυτό οι μετρήσεις γίνονται με max temp τους 60°C. Η θερμοκρασία περιβάλλοντος κατά την διάρκεια πραγματοποίησης των μετρήσεων ήταν περίπου 30°C. Για το λόγο αυτό επιλέγεται min temp > 30°C ώστε η διαδικασία να είναι εφικτό να ολοκληρωθεί.

3.2.1 Αποτελέσματα Μέτρησης Διαδικασίας A-1-X

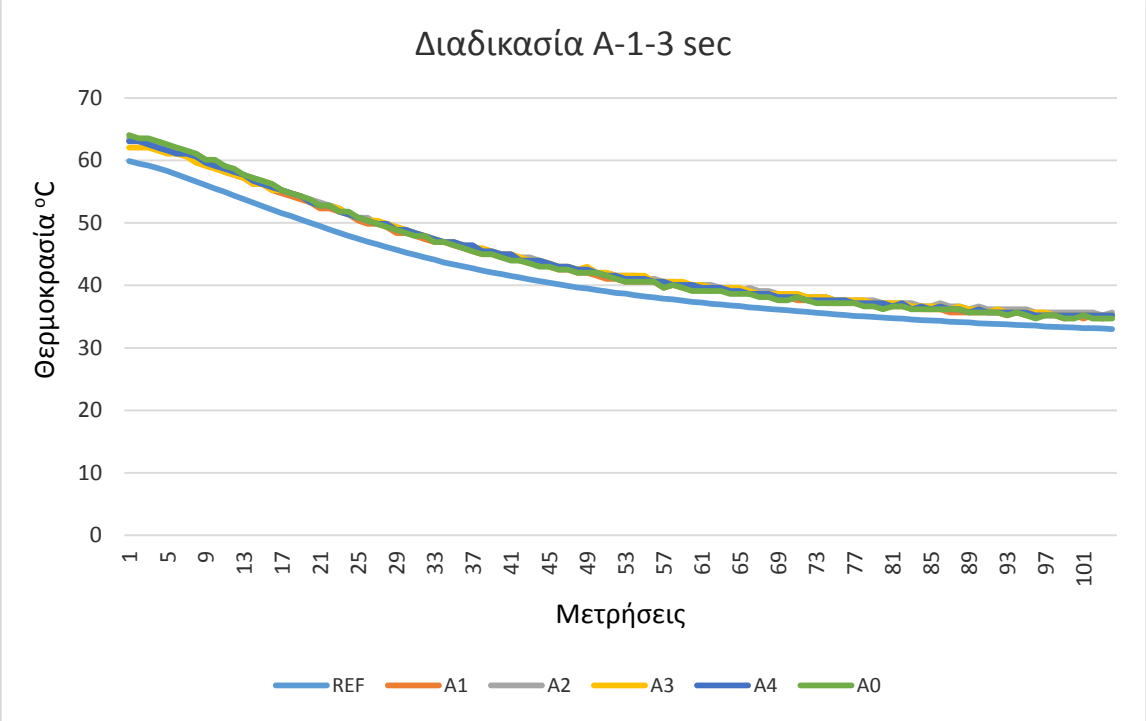
Χρησιμοποιώντας την πειραματική διάταξη που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 2 και ακολουθώντας τη Διαδικασία A-1-X όπου X (time interval) = 1sec, 3sec, 5sec και 9sec με παραμέτρους max temp = 60°C, min temp = 33°C και temp var Limit = 0°C, πραγματοποιούνται 4 διαφορετικές μετρήσεις ανάλογα το χρονικό διάστημα των μετρήσεων. Στο σχήμα 3-2 που ακολουθεί, φαίνεται το διάγραμμα της επιθυμητής θερμοκρασίας με τη Διαδικασία A-1 και στα σχήματα 3-3 έως 3-6, παρουσιάζονται τα διαγράμματα θερμοκρασίας-χρόνου των αισθητήρων για κάθε διαφορετικό χρονικό διάστημα μέτρησης σύμφωνα με τη Διαδικασία A-1.



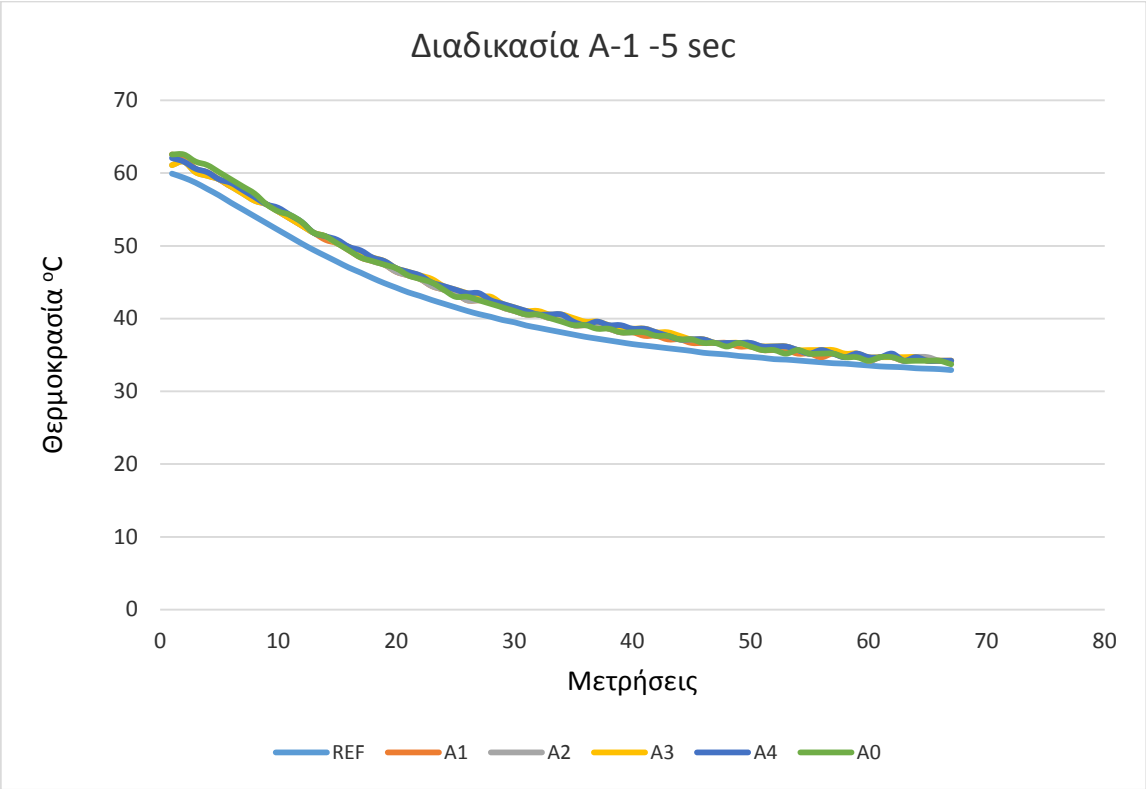
Σχήμα 3-2: Διάγραμμα Επιθυμητής Θερμοκρασίας, επιλογή Διαδικασία Α-1



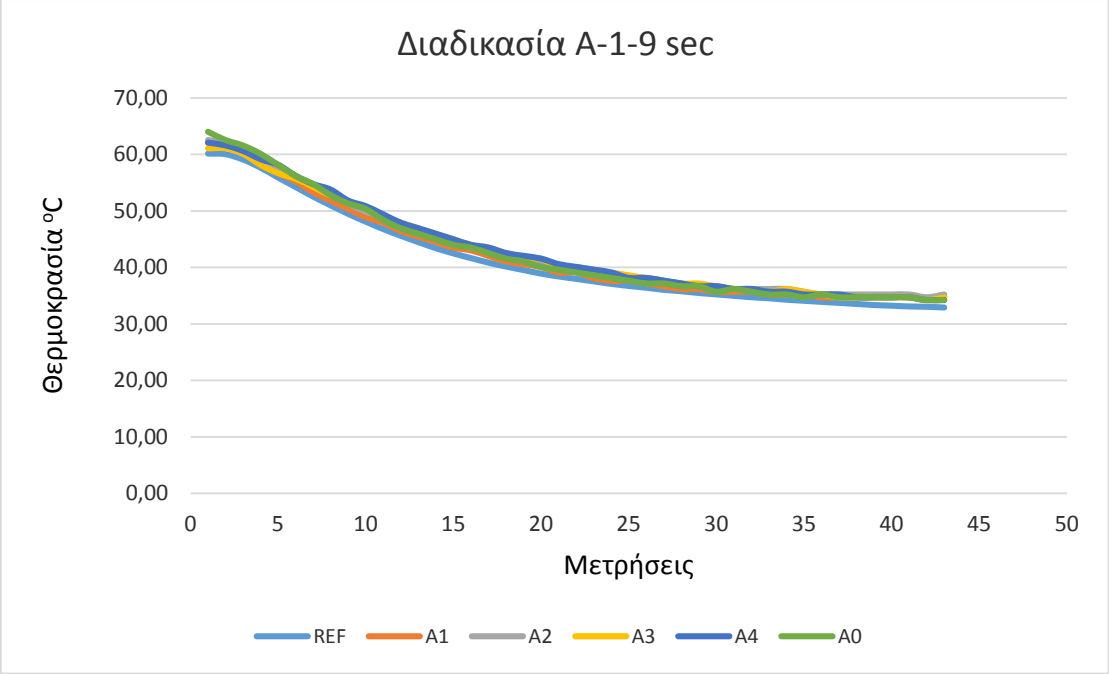
Σχήμα 3-3: Διάγραμμα μέτρησης Διαδικασία Α-1-1



Σχήμα 3-4: Διάγραμμα μέτρησης Διαδικασία A-1-3



Σχήμα 3-5: Διάγραμμα μέτρησης Διαδικασία A-1-5



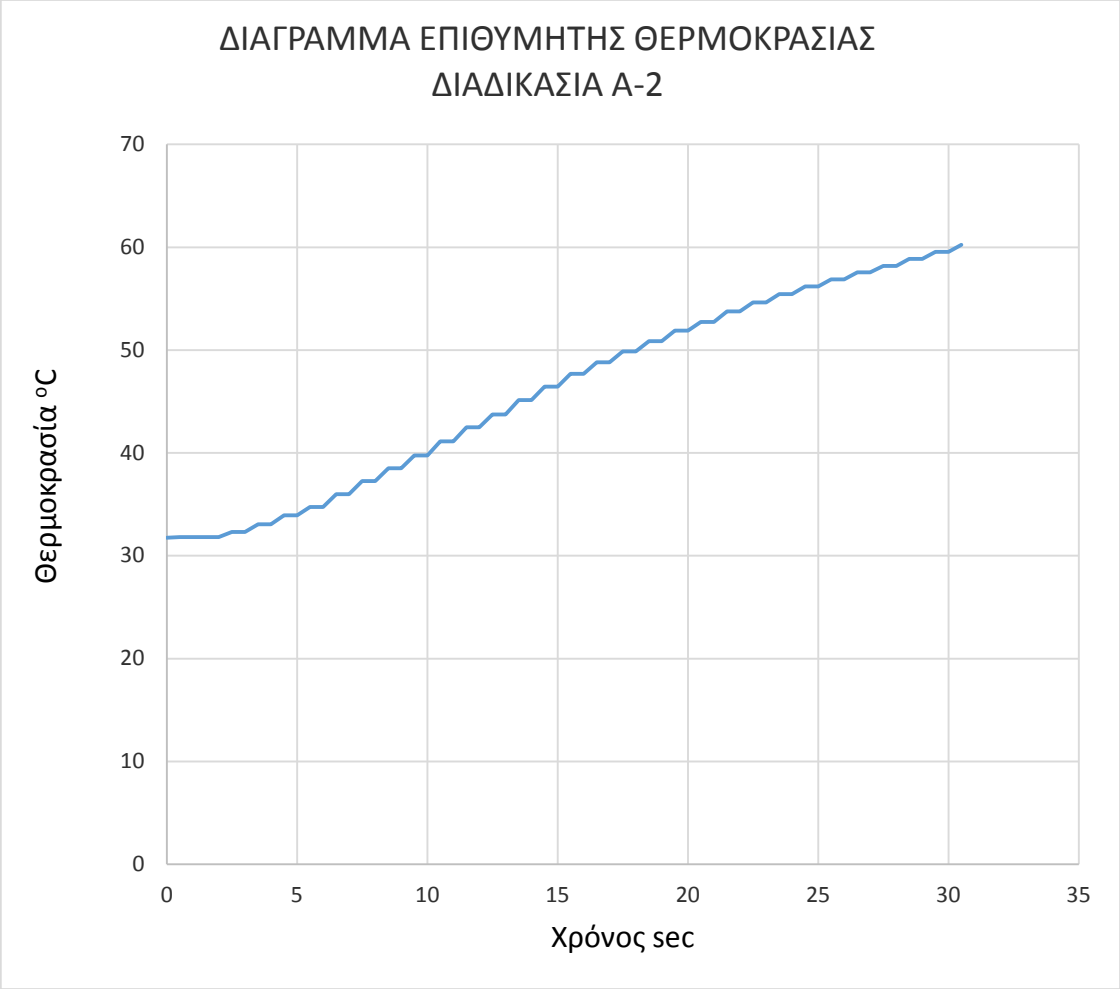
Σχήμα 3-6: Διάγραμμα μέτρησης Διαδικασία A-1-9

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα των μετρήσεων σύμφωνα με την Διαδικασία A-1, μπορεί κανείς να διακρίνει ότι:

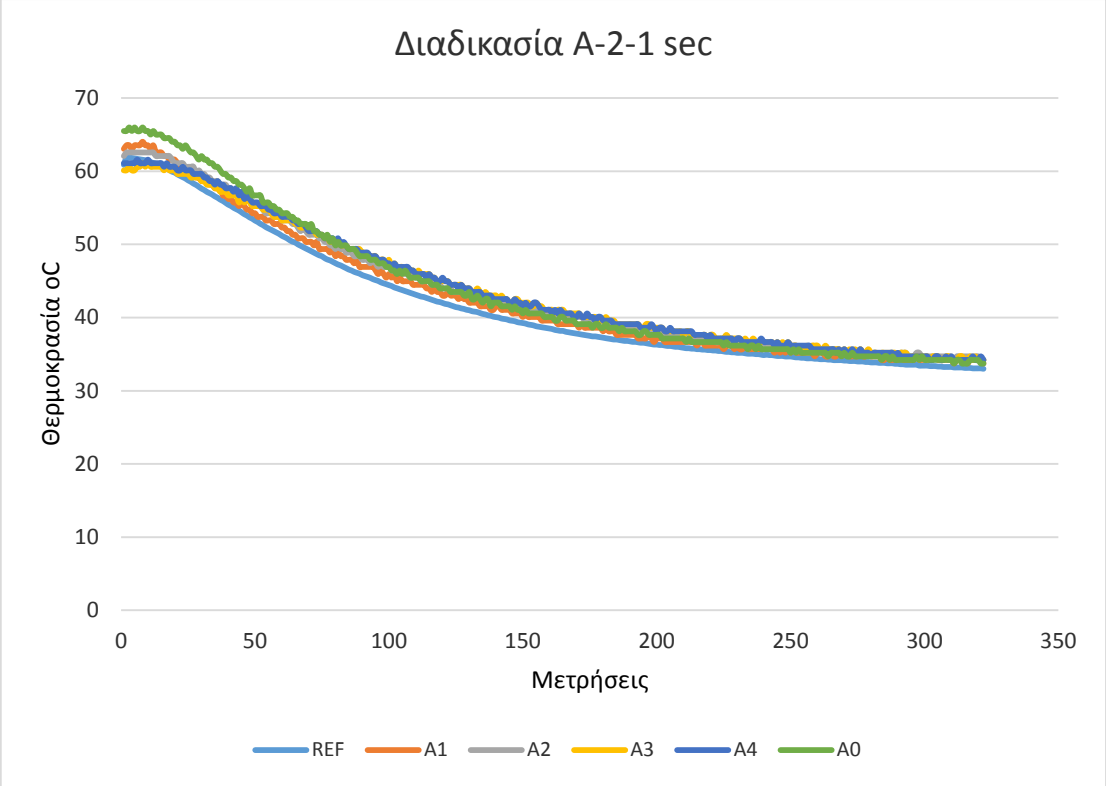
- Ο χρόνος από τη στιγμή που το φορτίο άρχισε να θερμαίνει το κουτί εωσότου το σύστημα έφτασε την max επιθυμητή θερμοκρασία είναι περίπου 100 sec (και τις 4 φορές)
- Ο χρόνος από τη στιγμή που το φορτίο σταμάτησε να θερμαίνει το κουτί όταν ο αισθητήρας έφτασε την min επιθυμητή θερμοκρασία είναι περίπου 320 sec (και τις 4 φορές)
- Όλοι οι αισθητήρες ακολουθούν την ίδια μορφή καμπύλη πτώσης της θερμοκρασίας (κανένας δεν έχει ακραίες τιμές διαφοράς)
- Ο αισθητήρας 5 (sensor 5 ή A0 pin Arduino) στις πρώτες μετρήσεις έχει το μεγαλύτερο σφάλμα ενώ στην συνέχεια ακολουθεί τους υπόλοιπους
- Το σφάλμα είναι μεγαλύτερο όταν οι μετρήσεις γίνονται γρήγορα (1sec, 3sec) και μικραίνει όταν οι μετρήσεις γίνονται πιο αργά (5sec, 9sec)
- Όταν η θερμοκρασία ξεκινάει και πέφτει από τους 60ºC, η πτώση γίνεται γρήγορα (περίπου το 1/3 του χρόνου) μέχρι τους 40ºC, και η απόκλιση της θερμοκρασίας (σε σχέση με τον αισθητήρα αναφοράς) μεγαλύτερο από ότι στη συνέχεια και μέχρι τη min θερμοκρασία

3.2.2 Αποτελέσματα Μέτρησης Διαδικασίας Α-2-Χ

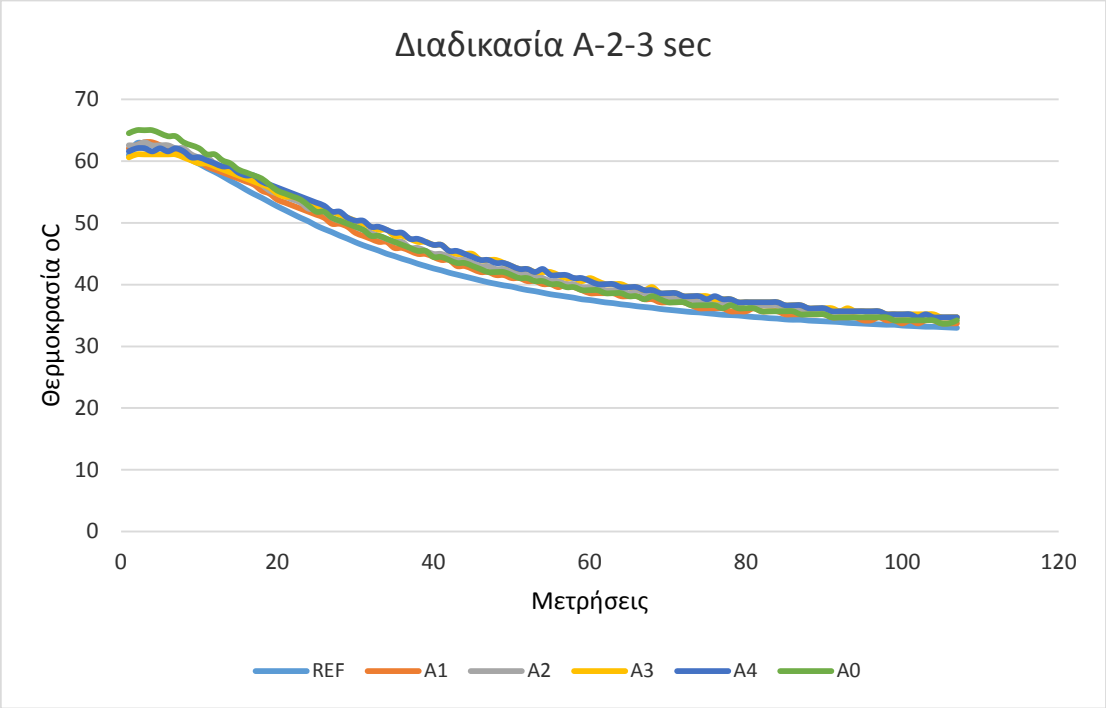
Χρησιμοποιώντας την πειραματική διάταξη που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 2 και ακολουθώντας τη Διαδικασία Α-2-Χ όπου Χ (time interval) = 1sec, 3sec, 5sec και 9sec με παραμέτρους max temp = 60ºC, min temp = 33ºC και temp var Limit = 0ºC, πραγματοποιούνται 4 διαφορετικές μετρήσεις ανάλογα το χρονικό διάστημα των μετρήσεων. Στο σχήμα 3-7 που ακολουθεί, φαίνεται το διάγραμμα της επιθυμητής θερμοκρασίας με τη Διαδικασία Α-1 και στα σχήματα 3-8 έως 3-11, παρουσιάζονται τα διαγράμματα θερμοκρασίας-χρόνου των αισθητήρων για κάθε διαφορετικό χρονικό διάστημα μέτρησης σύμφωνα με τη Διαδικασία Α-2.



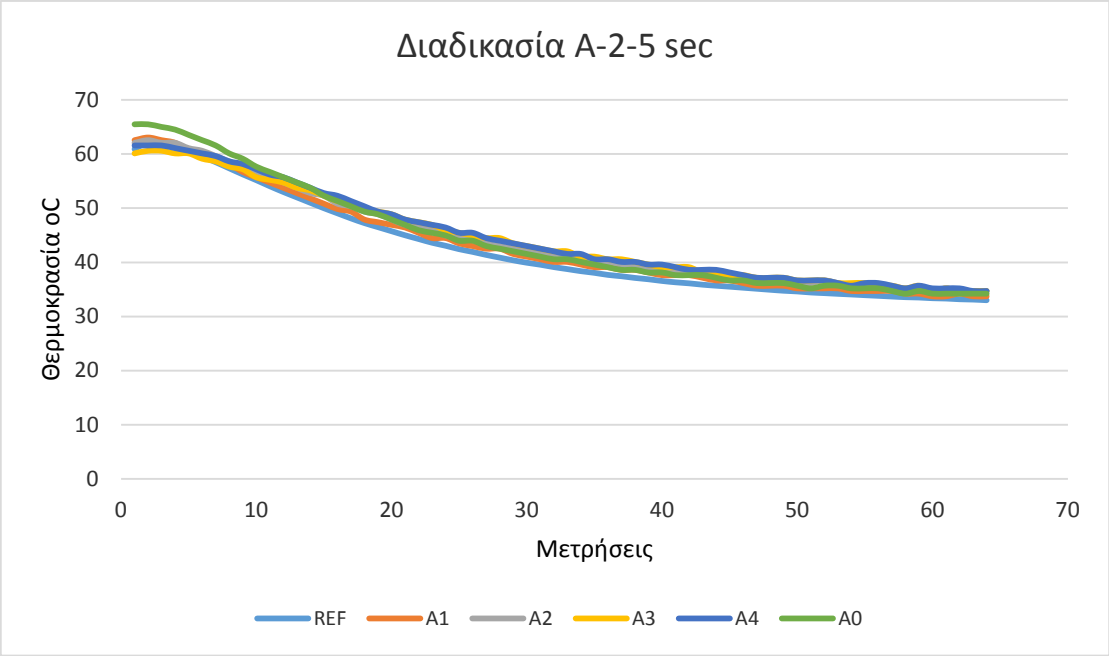
Σχήμα 3-7: Διάγραμμα Επιθυμητής Θερμοκρασίας, επιλογή Διαδικασία Α-2



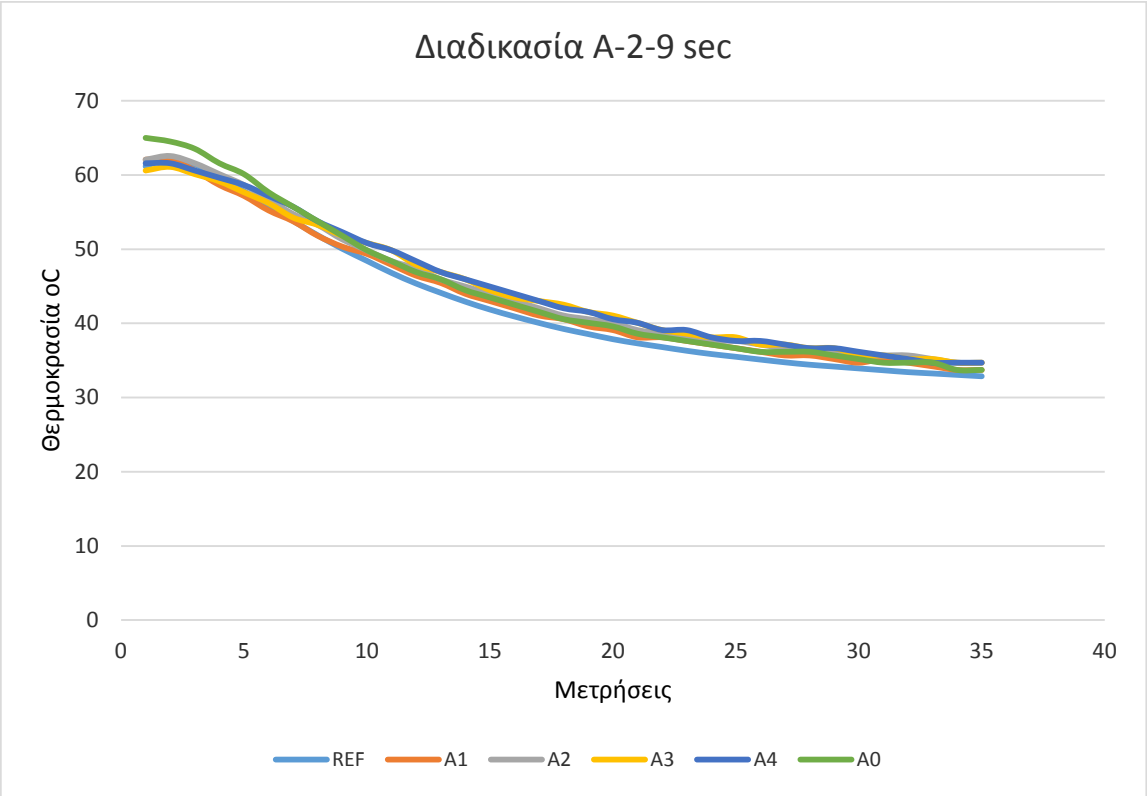
Σχήμα 3-8: Διάγραμμα μέτρησης Διαδικασία A-2-1



Σχήμα 3-9: Διάγραμμα μέτρησης Διαδικασίας A-2-3



Σχήμα 3-10: Διάγραμμα μέτρησης Διαδικασία A-2-5



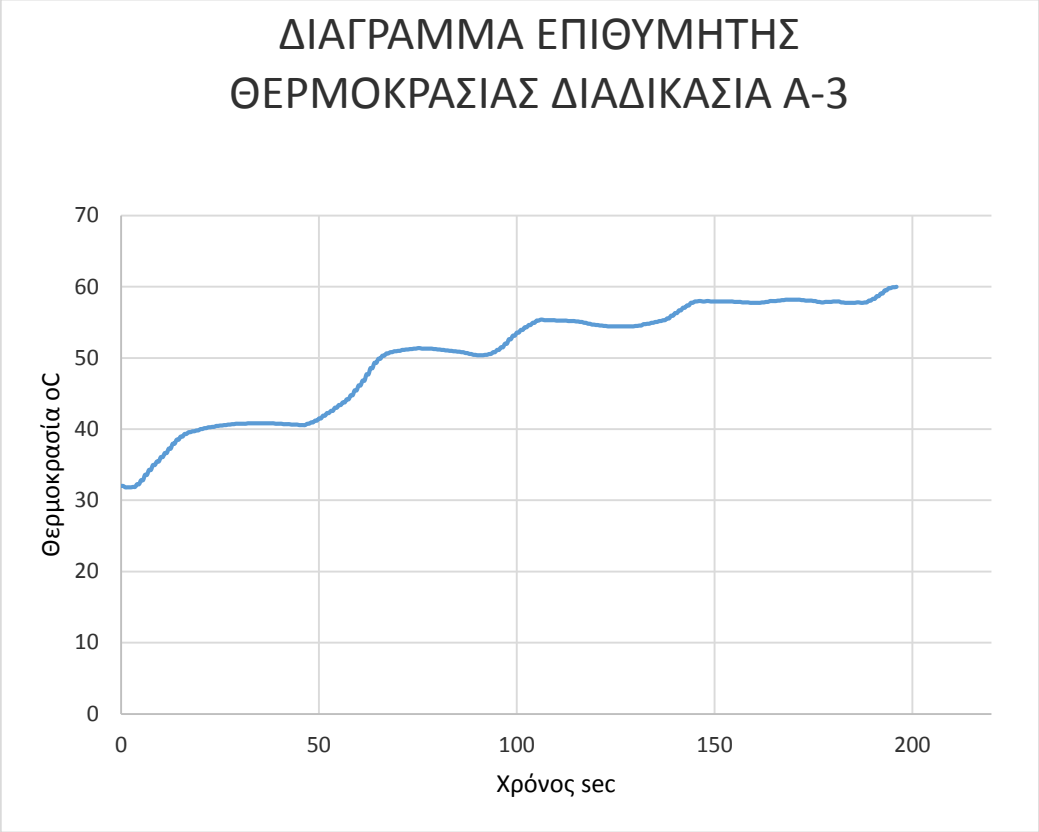
Σχήμα 3-11: Διάγραμμα μέτρησης Διαδικασία A-2-9

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα των μετρήσεων σύμφωνα με την Διαδικασία Α-2, μπορεί κανείς να διακρίνει ότι:

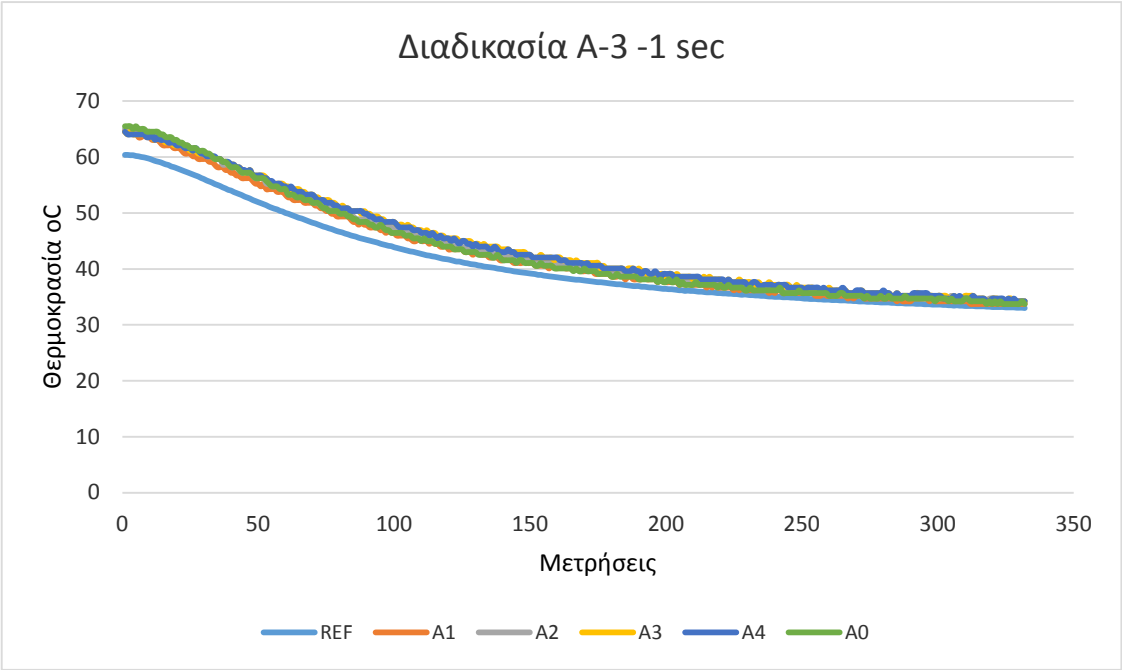
- Ο χρόνος από τη στιγμή που το φορτίο άρχισε να θερμαίνει το κουτί εωσότου το σύστημα έφτασε την max επιθυμητή θερμοκρασία είναι περίπου 30 sec (και τις 4 φορές)
- Ο χρόνος από τη στιγμή που το φορτίο σταμάτησε να θερμαίνει το κουτί όταν ο αισθητήρας έφτασε την min επιθυμητή θερμοκρασία είναι περίπου 320 sec (και τις 4 φορές)
- Όλοι οι αισθητήρες ακολουθούν την ίδια μορφή καμπύλη πτώσης της θερμοκρασίας (κανένας δεν έχει ακραίες τιμές διαφοράς)
- Ο αισθητήρας 5 (sensor 5 ή A0 pin Arduino) στις πρώτες μετρήσεις έχει το μεγαλύτερο σφάλμα ενώ στην συνέχεια ακολουθεί τους υπόλοιπους
- Το σφάλμα είναι μεγαλύτερο όταν οι μετρήσεις γίνονται γρήγορα (1sec, 3sec) και μικραίνει όταν οι μετρήσεις γίνονται πιο αργά (5sec, 9sec)
- Δεν υπάρχει τόσο εμφανές θερμοκρασιακό σφάλμα μέχρι τους 40°C σε σχέση με την Διαδικασία Α-1

3.2.3 Αποτελέσματα Μέτρησης Διαδικασίας Α-3-Χ

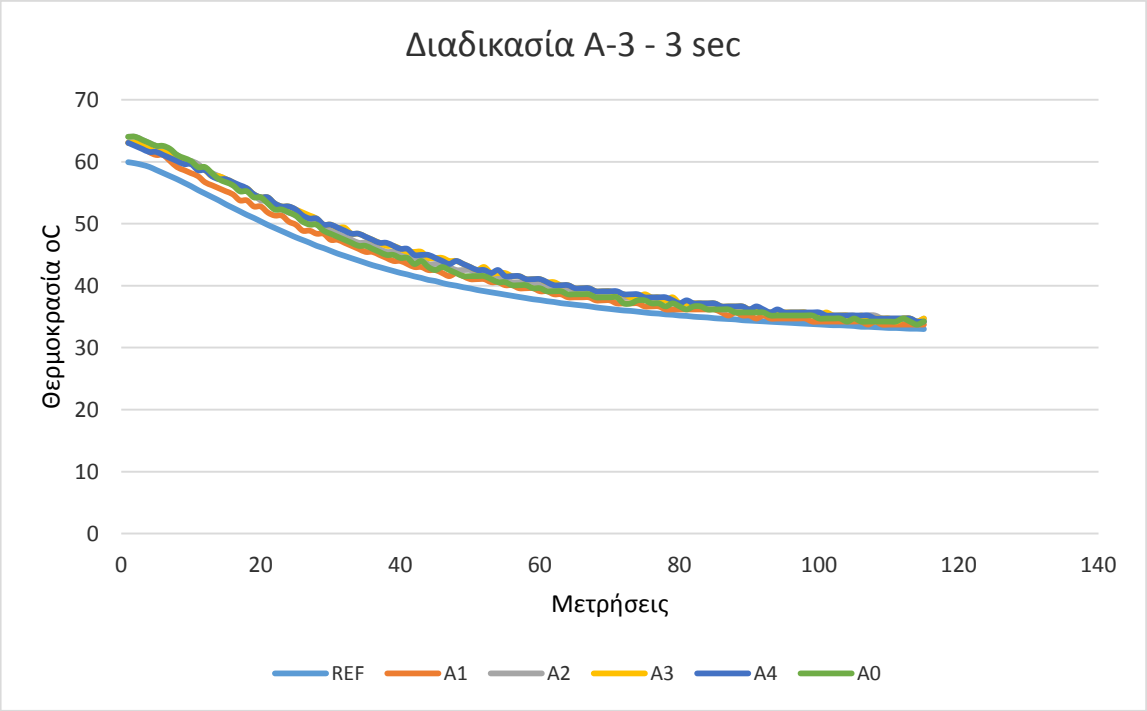
Χρησιμοποιώντας την πειραματική διάταξη που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 2 και ακολουθώντας τη Διαδικασία Α-3-Χ όπου Χ (time interval) = 1sec και 3sec και με παραμέτρους max temp = 60ºC, min temp = 33ºC και temp var Limit = 0ºC, πραγματοποιούνται 2 διαφορετικές μετρήσεις ανάλογα το χρονικό διάστημα των μετρήσεων. Στο σχήμα 3-12 που ακολουθεί, φαίνεται το διάγραμμα της επιθυμητής θερμοκρασίας με τη Διαδικασία Α-1 και στα σχήματα 3-13 έως 3-14, παρουσιάζονται τα διαγράμματα θερμοκρασίας-χρόνου των αισθητήρων για κάθε διαφορετικό χρονικό διάστημα μέτρησης σύμφωνα με τη Διαδικασία Α-3.



Σχήμα 3-12: Διάγραμμα Επιθυμητής Θερμοκρασίας, επιλογή Διαδικασία Α-3



Σχήμα 3-13: Διάγραμμα μέτρησης Διαδικασία A-3-1

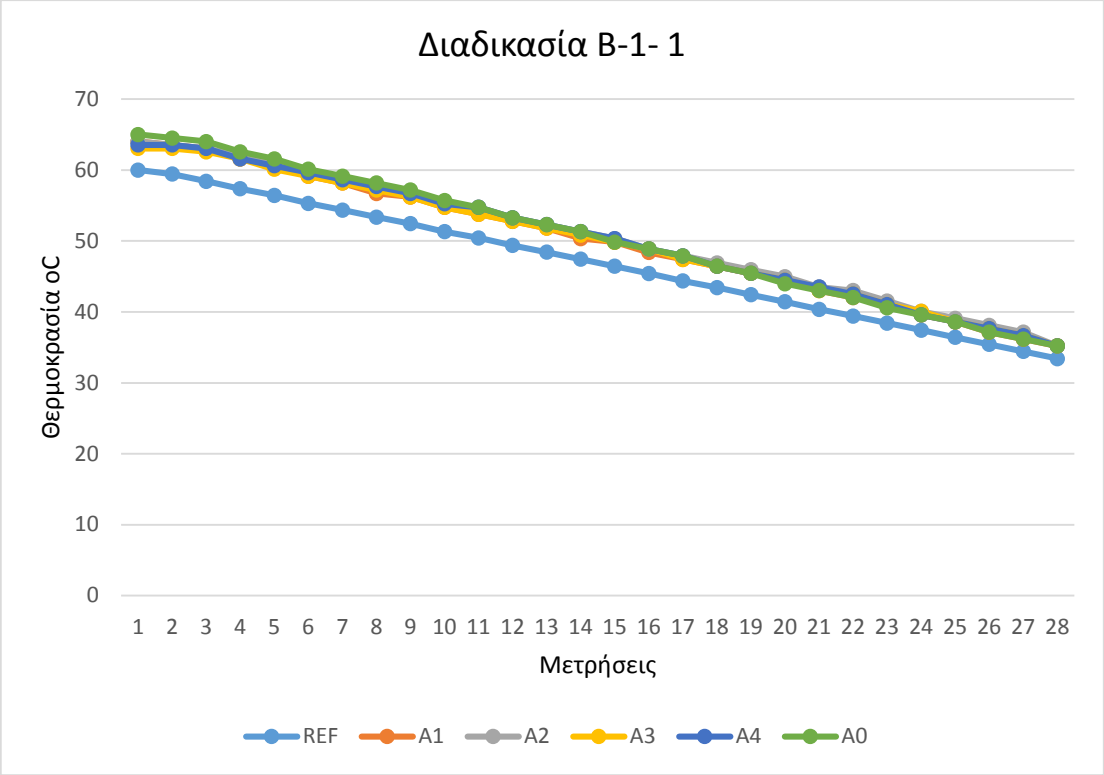


Παρατηρώντας τα αποτελέσματα των μετρήσεων σύμφωνα με την Διαδικασία A-3, μπορεί κανείς να διακρίνει ότι: οι αισθητήρες έχουν περίπου την ίδια συμπεριφορά όπως και στην Διαδικασία A-1.

Σχήμα 3-14: Διάγραμμα μέτρησης Διαδικασία A-3-3

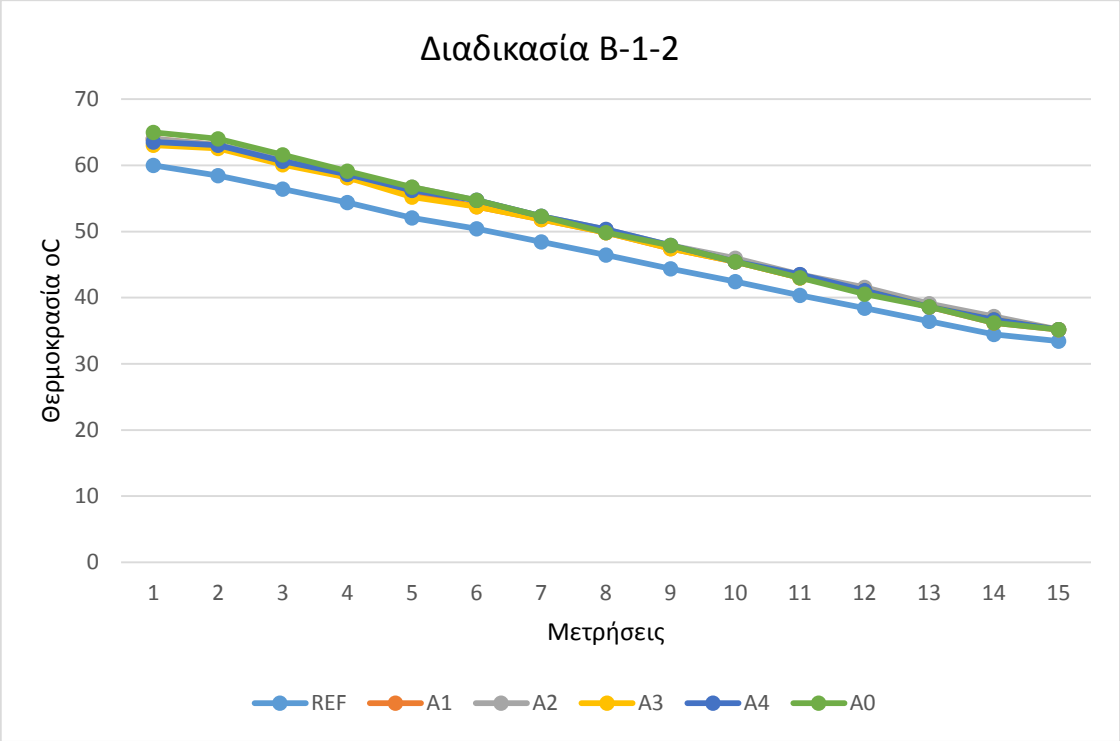
3.2.4 Αποτελέσματα Μέτρησης Διαδικασίας Β-1-Χ

Χρησιμοποιώντας την πειραματική διάταξη που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 2 και ακολουθώντας τη Διαδικασία Β-1-Χ όπου Χ (temp interval) = 1ºC ,2 ºC και 5 ºC και με παραμέτρους max temp = 60ºC, min temp = 33ºC και temp var Limit = 0ºC, πραγματοποιούνται 3 διαφορετικές μετρήσεις ανάλογα με το θερμοκρασιακό διάστημα των μετρήσεων. Στα σχήματα 3-15 έως 3-17, παρουσιάζονται τα διαγράμματα θερμοκρασίας-Αριθμού μέτρησης των αισθητήρων για κάθε διαφορετικό χρονικό διάστημα μέτρησης σύμφωνα με τη Διαδικασία Β-1.

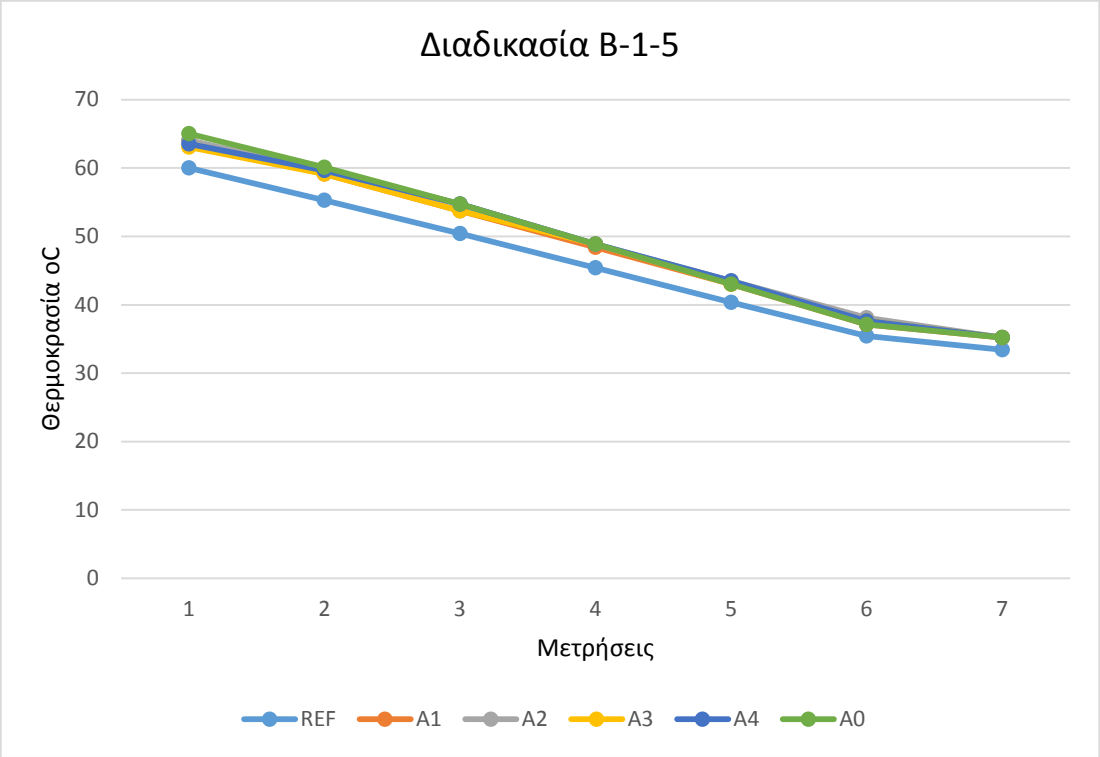


Σχήμα 3-15: Διάγραμμα μέτρησης Διαδικασία Β-1-1

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα των μετρήσεων σύμφωνα με την Διαδικασία Β-1, μπορεί κανείς να διακρίνει ότι όλοι οι αισθητήρες ακολουθούν την ίδια μορφή καμπύλη πτώσης της θερμοκρασίας και υπάρχει μια σταθερή απόκλιση από τον αισθητήρα αναφοράς για όλους τους αισθητήρες.



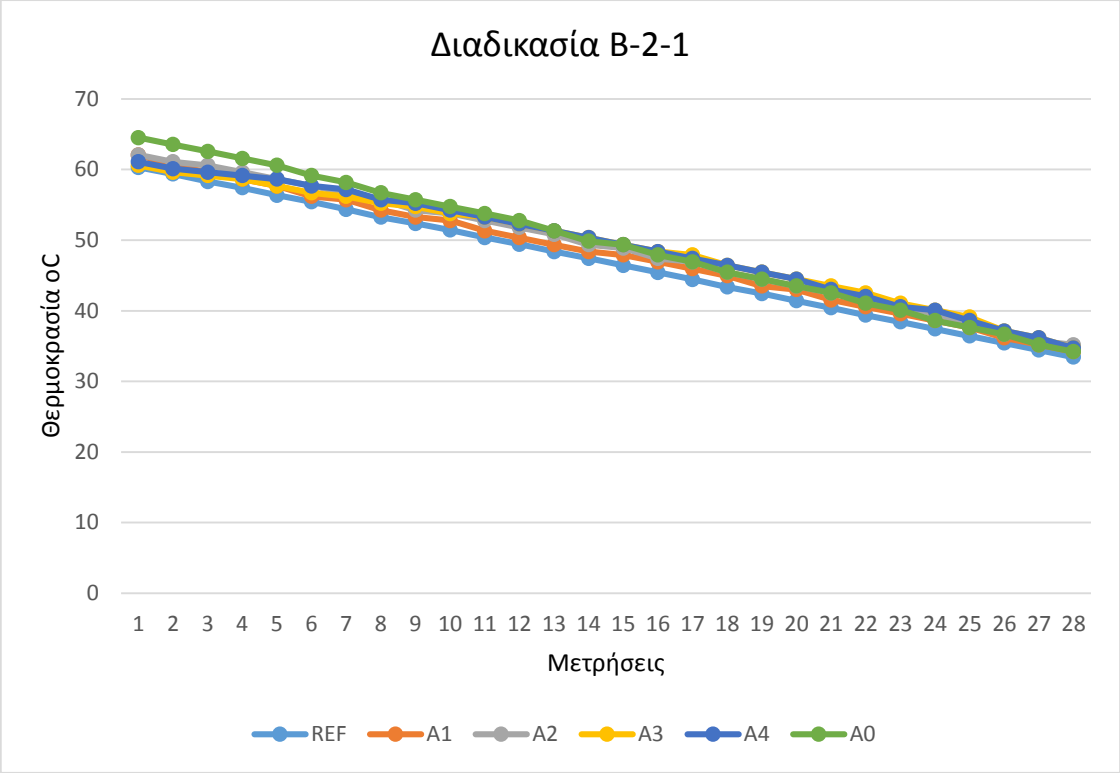
Σχήμα 3-16: Διάγραμμα μέτρησης Διαδικασία Β-1-2



Σχήμα 3-17: Διάγραμμα μέτρησης Διαδικασία Β-1-5

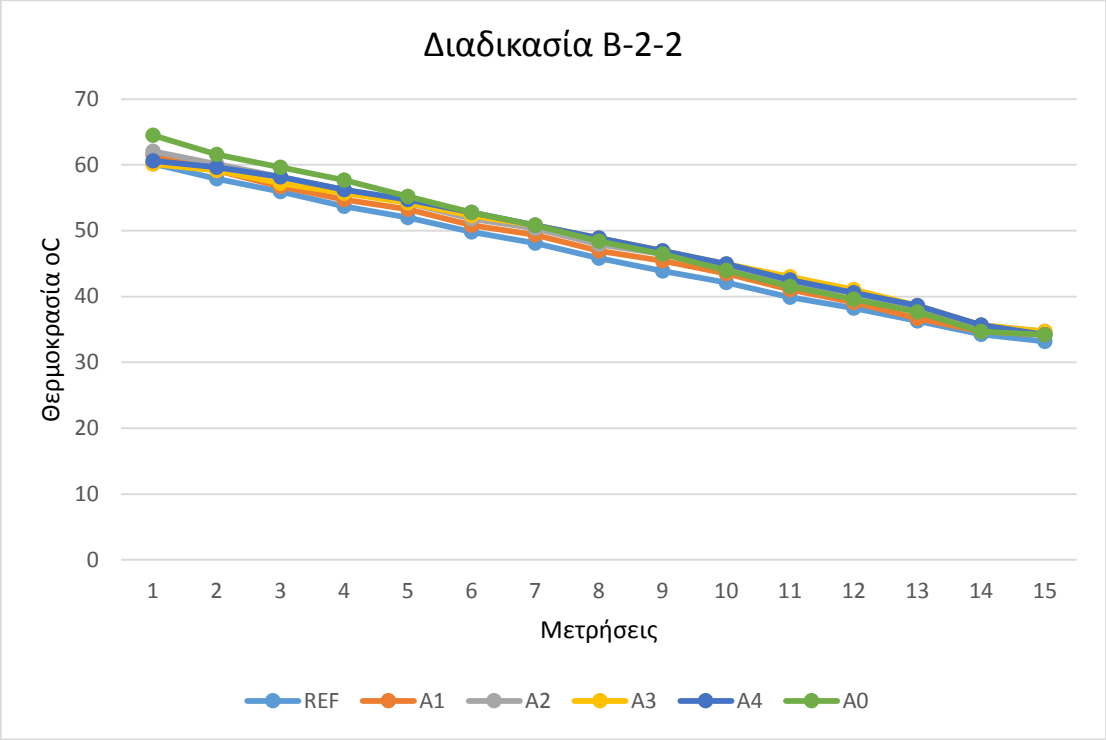
3.2.5 Αποτελέσματα Μέτρησης Διαδικασίας Β-2-Χ

Χρησιμοποιώντας την πειραματική διάταξη που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 2 και ακολουθώντας τη Διαδικασία Β-2-Χ όπου Χ (temp interval) = 1ºC ,2 ºC και 5 ºC και με παραμέτρους max temp = 60ºC, min temp = 33ºC και temp var Limit = 0ºC, πραγματοποιούνται 3 διαφορετικές μετρήσεις ανάλογα με το θερμοκρασιακό διάστημα των μετρήσεων. Στα σχήματα 3-18 έως 3-20, παρουσιάζονται τα διαγράμματα θερμοκρασίας-Αριθμού μέτρησης των αισθητήρων για κάθε διαφορετικό χρονικό διάστημα μέτρησης σύμφωνα με τη Διαδικασία Β-2.

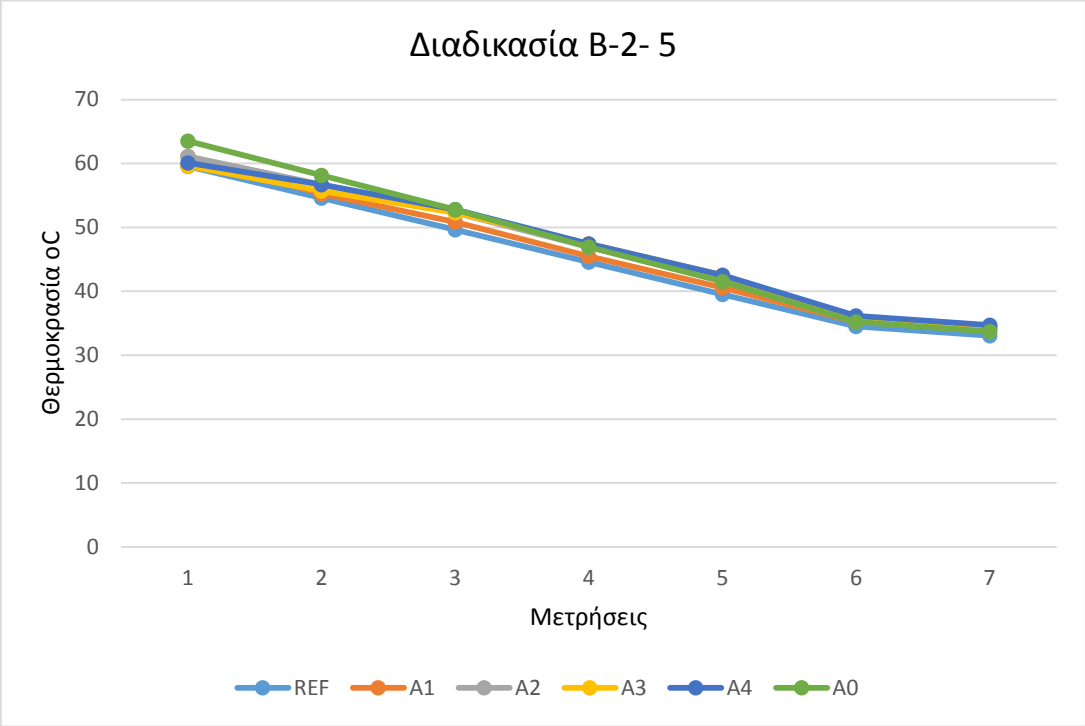


Σχήμα 3-18: Διάγραμμα μέτρησης Διαδικασία Β-2-1

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα των μετρήσεων σύμφωνα με την Διαδικασία Β-2 μπορεί κανείς να διακρίνει ότι όλοι οι αισθητήρες ακολουθούν την ίδια μορφή καμπύλη πτώσης της θερμοκρασίας και υπάρχει μια μικρότερη σταθερή απόκλιση από τον αισθητήρα αναφοράς για όλους τους αισθητήρες σε σχέση με τη διαδικασία Β-1.



Σχήμα 3-19: Διάγραμμα μέτρησης Διαδικασία Β-2-2



Σχήμα 3-20: Διάγραμμα μέτρησης Διαδικασία Β-2-5

3.2.6 Βαθμονόμηση

Από τη στιγμή που οι μετρήσεις είναι αποθηκευμένες στον ΗΥ, έπειτα από επεξεργασία οι αισθητήρες μπορούν να βαθμονομηθούν.

Για να βαθμονομηθούν οι αισθητήρες, υπολογίζεται πρώτα ο μέσος όρος των σφαλμάτων από τις μετρήσεις.

Μέσος Όρος Σφάλματος Αισθητήρων:

Στον πίνακα 3-1, δίνεται ο μέσος όρος των σφαλμάτων που προκύπτει από τις μετρήσεις για κάθε διαδικασία που ακολουθήθηκε, στον πίνακα 3-2 οι μέσοι όροι για κάθε τύπο μέτρησης.

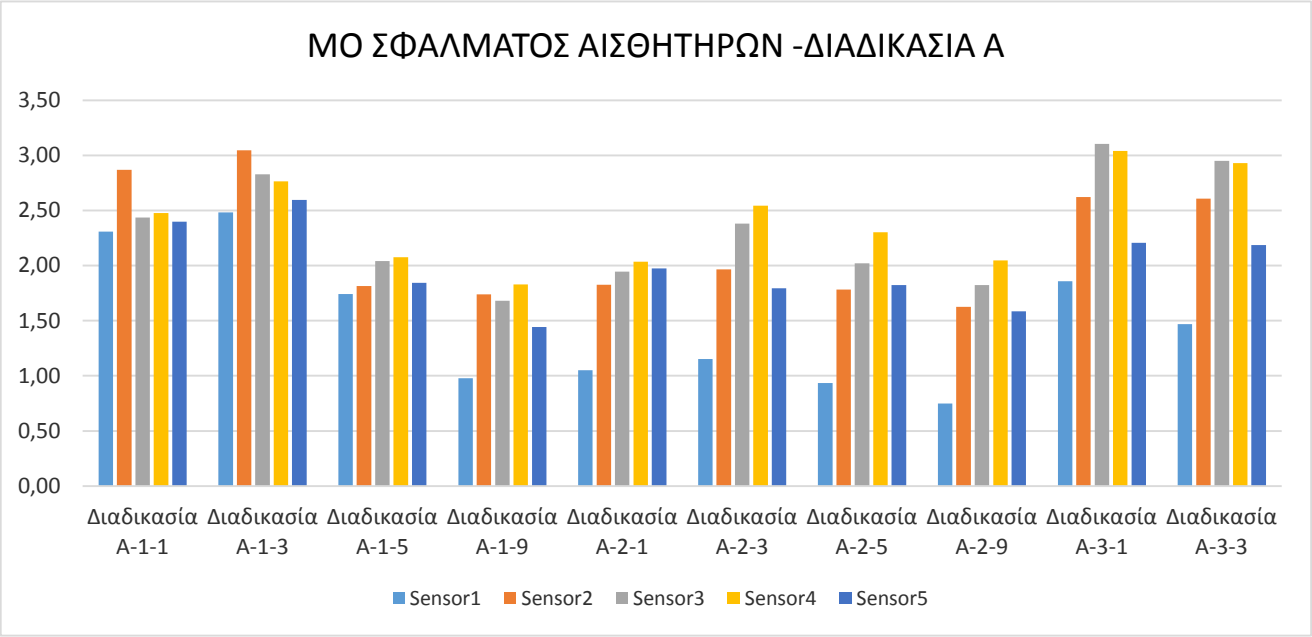
Πίνακας 3:1 Μέσοι όροι σφαλμάτων αισθητήρων ανά διαδικασία μέτρησης

	Sensor1	Sensor2	Sensor3	Sensor4	Sensor5	
Διαδικασία Α-1-1	2,31	2,87	2,44	2,48	2,40	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ Α
Διαδικασία Α-1-3	2,48	3,05	2,83	2,76	2,59	
Διαδικασία Α-1-5	1,74	1,81	2,04	2,08	1,84	
Διαδικασία Α-1-9	0,98	1,74	1,68	1,83	1,44	
Διαδικασία Α-2-1	1,05	1,83	1,94	2,04	1,97	
Διαδικασία Α-2-3	1,15	1,96	2,38	2,54	1,80	
Διαδικασία Α-2-5	0,94	1,78	2,02	2,30	1,82	
Διαδικασία Α-2-9	0,75	1,63	1,82	2,05	1,59	
Διαδικασία Α-3-1	1,86	2,62	3,10	3,04	2,21	
Διαδικασία Α-3-3	1,47	2,61	2,95	2,93	2,19	
Διαδικασία Β-1-1	2,66	3,20	2,88	2,97	2,99	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ Β
Διαδικασία Β-1-2	2,62	3,07	2,81	2,88	2,88	
Διαδικασία Β-1-5	2,41	3,04	2,55	2,76	2,76	
Διαδικασία Β-2-1	1,18	2,08	2,24	2,38	2,69	
Διαδικασία Β-2-2	1,07	2,11	2,15	2,27	2,50	
Διαδικασία Β-2-5	1,02	1,93	1,72	2,14	2,35	

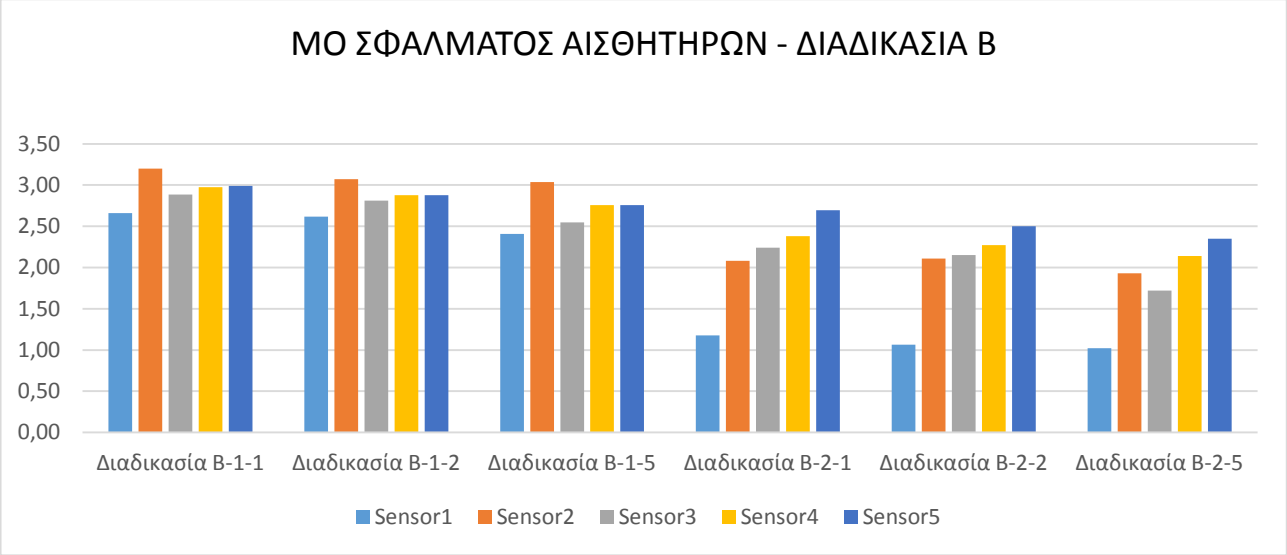
Πίνακας 3:2 Γενικοί Μέσοι όροι σφαλμάτων αισθητήρων

	Sensor1	Sensor2	Sensor3	Sensor4	Sensor5
Γενικός Μέσος Όρος	**1,60**	**2,33**	**2,35**	**2,47**	**2,25**
Διαδικασία Α-1	1,88	2,37	2,25	2,29	2,07
Διαδικασία Α-2	0,97	1,80	2,04	2,23	1,80
Διαδικασία Α-3	1,67	2,62	3,03	2,99	2,20
Διαδικασία Β-1	2,56	3,10	2,75	2,87	2,87
Διαδικασία Β-2	1,09	2,04	2,04	2,26	2,51

Στο Σχήμα 3-21 και στο Σχήμα 3-22 απεικονίζονται οι μέσοι όροι σφάλματος για κάθε αισθητήρα στην διαδικασία Α και διαδικασία Β αντίστοιχα.

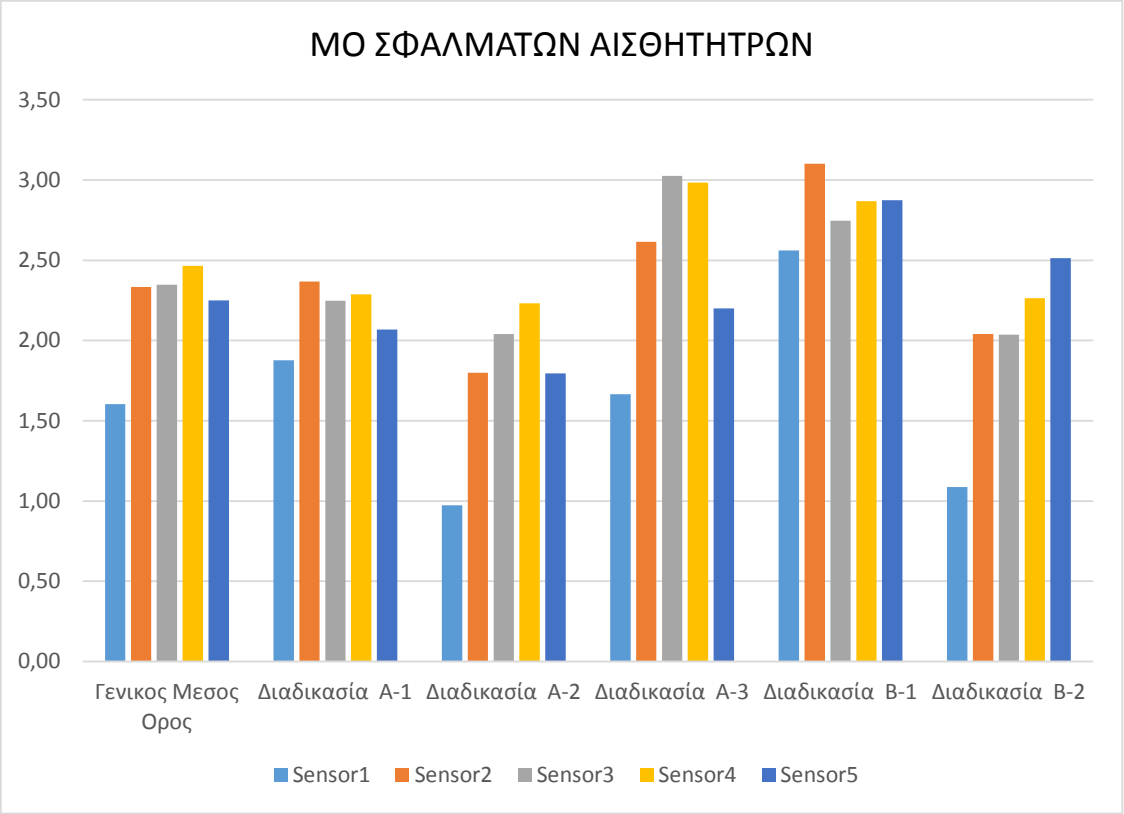


Σχήμα 3-21: Διαγραμματική απεικόνιση ΜΟ σφάλματος αισθητήρων -Διαδικασία Α



Σχήμα 3-22: Διαγραμματική απεικόνιση ΜΟ σφάλματος αισθητήρων -Διαδικασία Β

Στο Σχήμα 3-23 απεικονίζονται οι μέσοι όροι σφάλματος για κάθε αισθητήρα ανά τύπο μέτρησης.



Σχήμα 3-23: Διαγραμματική απεικόνιση Γενικού ΜΟ σφάλματος αισθητήρων

Από τα παραπάνω, προκύπτει ότι για τη Διαδικασία Α:

Όσο μεγαλύτερο είναι το χρονικό διάστημα όπου γίνονται οι μετρήσεις, τόσο το θερμοκρασιακό σφάλμα μικραίνει. Δηλαδή, όσο πιο γρήγορα γίνονται οι μετρήσεις, τόσο πιο ανακριβείς είναι. Επίσης, στις μεγαλύτερες θερμοκρασίες, από 40 έως max temp, το σφάλμα είναι μεγαλύτερο. Σε αυτό το σημείο είναι γρήγορη η μεταβολή της θερμοκρασίας. Επιπλέον, σημαντικό ρόλο φαίνεται να έχει ο τρόπος με τον οποίο θερμάνθηκε το περιβάλλον των αισθητήρων.

Ενώ, για τη Διαδικασία Β προκύπτει ότι:

Η διαφορά στο θερμοκρασιακό διάστημα μέτρησης δεν φαίνεται να επηρεάζει το μέσο όρο σφάλματος. Σε όλη τη διαδικασία Β-1 οι αισθητήρες παρουσιάζουν περίπου την ίδια συμπεριφορά. Το στοιχείο το οποίο επηρεάζει την απόδοση των αισθητήρων

είναι, όπως ήδη έχει αναφερθεί, ο τρόπος με τον οποίο θερμαίνεται το περιβάλλον των αισθητήρων. Οι διαφορές ανάμεσα στην Διαδικασία Β-1 και Β-2 είναι εμφανείς.

Ως προς την συμπεριφορά των αισθητήρων ο sensor1 ο οποίος φαίνεται ότι ακολουθεί καλύτερα τον αισθητήρα αναφοράς σε όλες τις διαδικασίες μέτρησης και έχει το μικρότερο μέσο όρο σφάλματος. Ακολουθεί ο αισθητήρας sensor5, sensor2 και sensor3 και στο τέλος ο sensor4, οι οποίοι είναι εκείνοι οι αισθητήρες που παρουσιάζουν σταθερά τις μεγαλύτερες αποκλίσεις.

Τρόποι Βαθμονόμησης

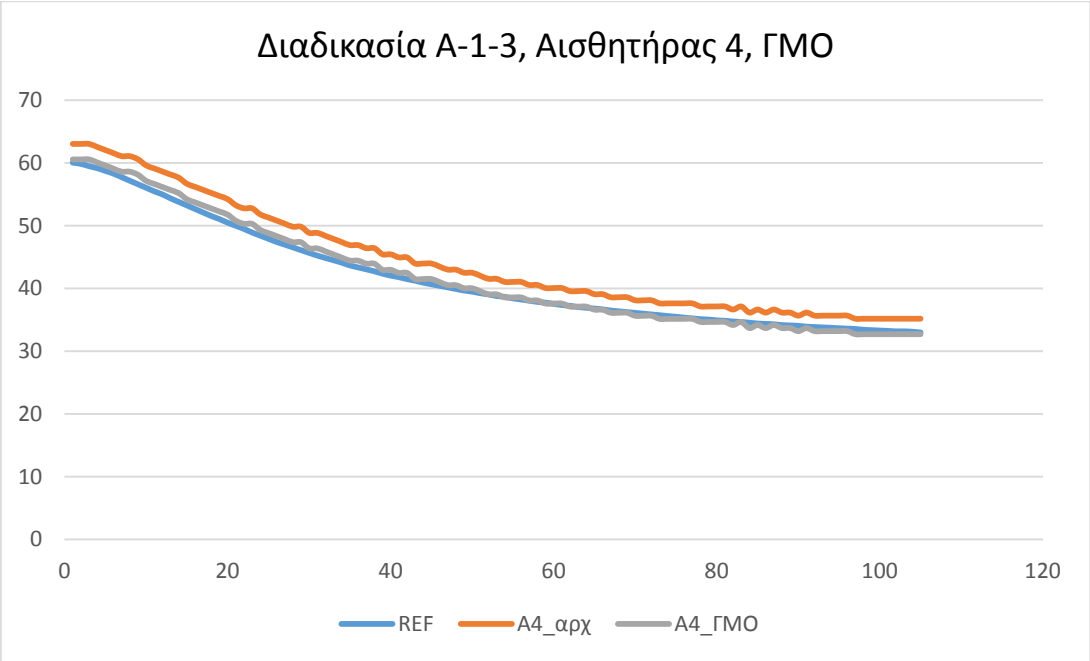
Ένας πρώτος τρόπος, *γενικός μέσος όρος σφάλματος*, **ΓΜΟ**, είναι:

για κάθε αισθητήρα, υπολογίζεται ο γενικός μέσος όρος των σφάλματων του από όλες τις μετρήσεις (απόκλιση μέτρησης από αισθητήρα αναφοράς), αφαιρείται από την μετρούμενη τιμή θερμοκρασίας για κάθε περίπτωση μέτρησης και υπολογίζεται η νέα μέτρηση.

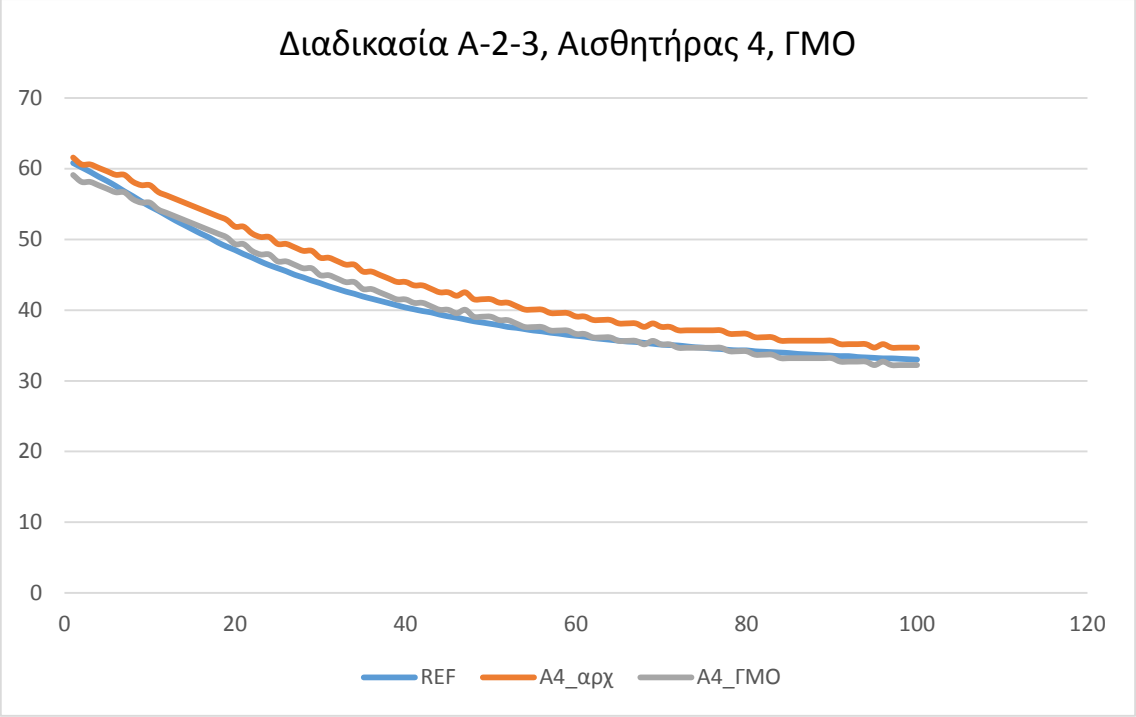
Εξετάζεται ο αισθητήρας 4 (sensor 4) σε κάθε διαδικασία όπου εμφανιζόταν ο μεγαλύτερος μέσος όρος σφάλματος του αισθητήρα. Αυτό είναι για τις Διαδικασίες Μέτρησης Α-1-3, Α-2-3, Α-3-1, Β-1-1 και Β-2-1. Εξετάζεται δηλαδή ο αισθητήρας που είχε τις μεγαλύτερες αποκλίσεις σε κάθε διαδικασία μέτρησης.

Στο Σχήμα 3-24 παρουσιάζεται ο βαθμονομημένος αισθητήρας με το γενικό μέσο όρο (Α4_ΓΜΟ), ο αισθητήρας αναφοράς (REF) και η αρχική μέτρηση του αισθητήρα 4 (Α4_αρχ) για την Διαδικασία μέτρησης Α-1-3.

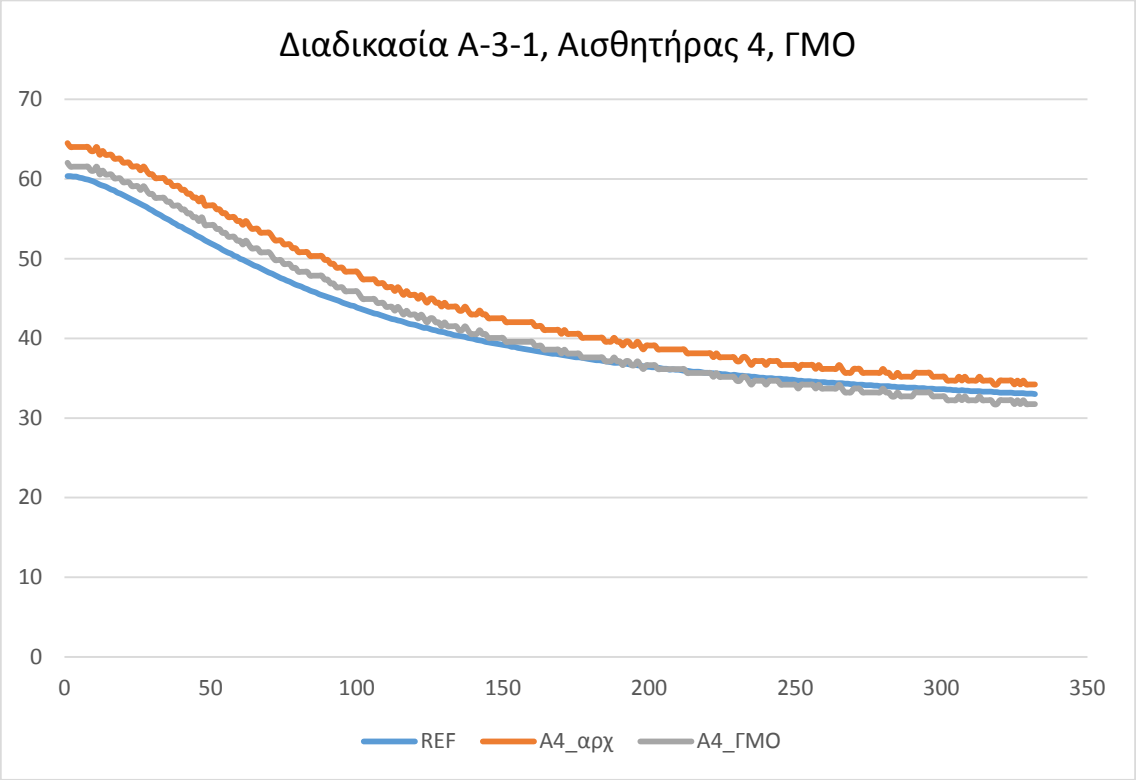
Ομοίως στα Σχήματα 3-25 έως 3-28, αλλά για διαφορετική διαδικασία μέτρησης.



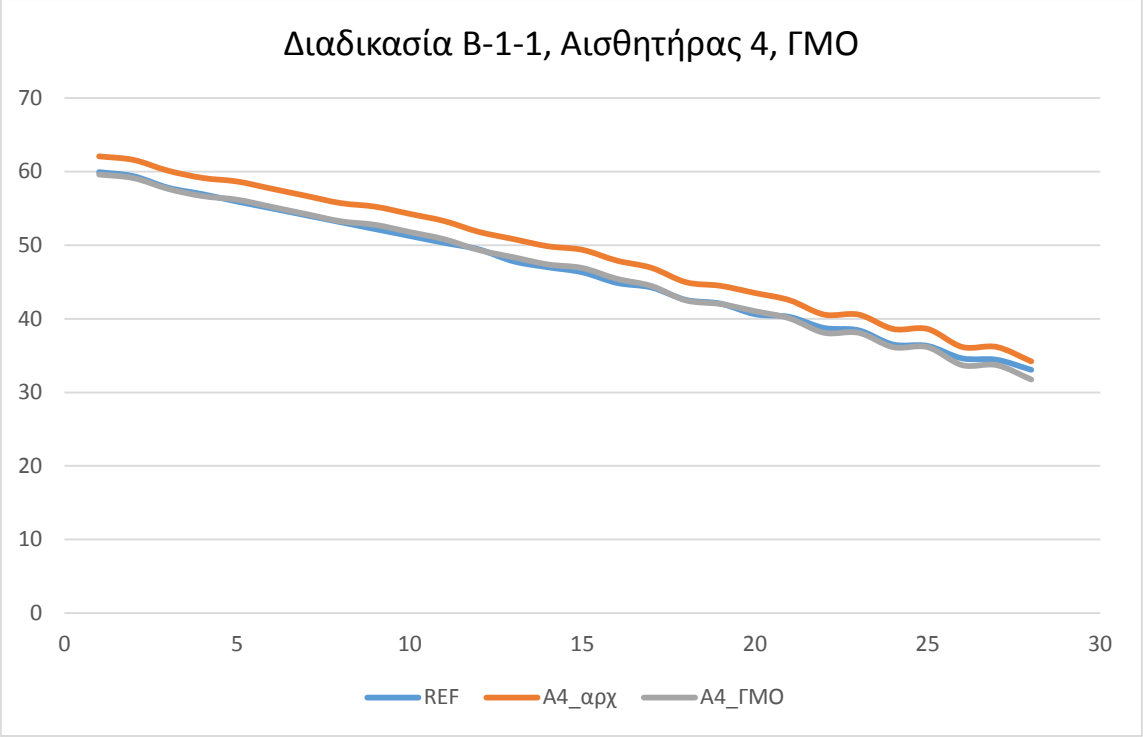
Σχήμα 3-24: Βαθμονομημένος αισθητήρας 4 για Διαδικασία Α-1-3 με ΓΜΟ



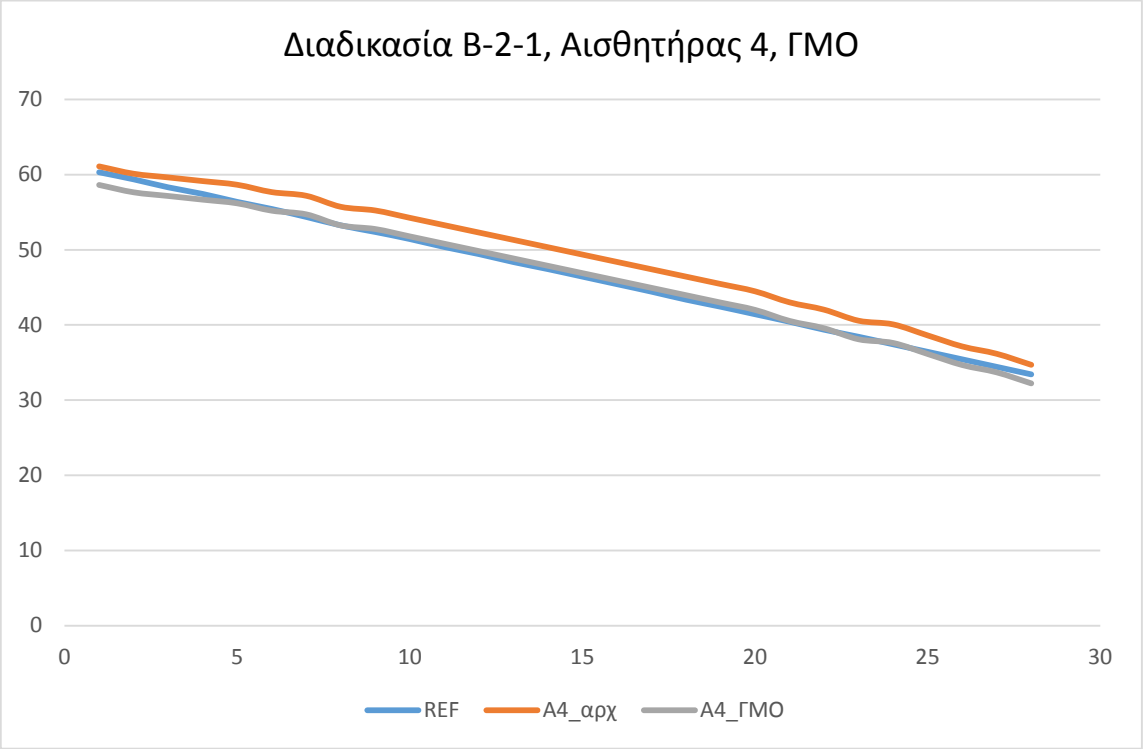
Σχήμα 3-25: Βαθμονομημένος αισθητήρας 4 για Διαδικασία Α-2-3 με ΓΜΟ



Σχήμα 3-26: Βαθμονομημένος αισθητήρας 4 για Διαδικασία Α-3-1 με ΓΜΟ



Σχήμα 3-27: Βαθμονομημένος αισθητήρας 4 για Διαδικασία Β-1-1 με ΓΜΟ



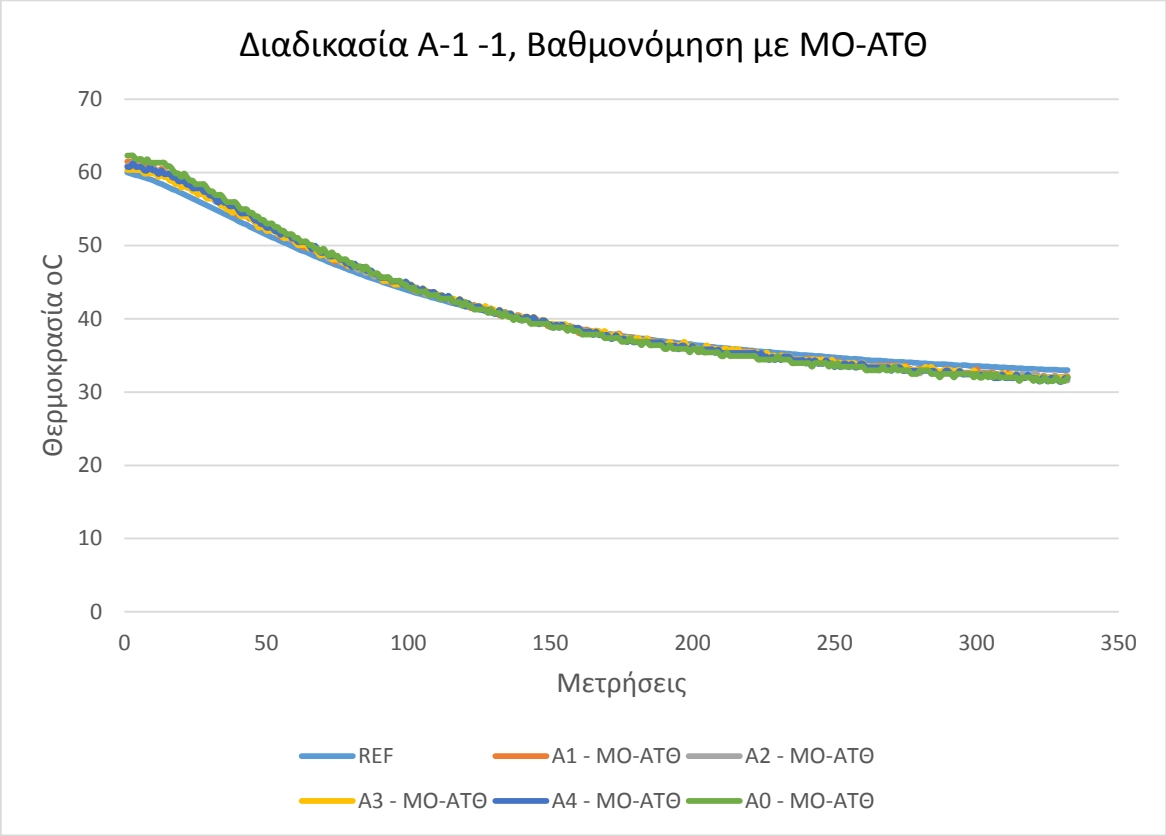
Σχήμα 3-28: Βαθμονομημένος αισθητήρας 4 για Διαδικασία Β-2-1 με ΓΜΟ

Ένας δεύτερος τρόπος, *μέσος όρος σφάλματος ανά τύπο θέρμανσης*, **ΜΟ-ΑΤΘ**, είναι:

ανά *τύπο θέρμανσης*, για παράδειγμα Διαδικασία Α-1-1, και για κάθε αισθητήρα, υπολογίζεται ο μέσος όρος του σφάλματος του αισθητήρα (απόκλιση μέτρησης από αισθητήρα αναφοράς), αφαιρείται από την μετρούμενη τιμή θερμοκρασίας και υπολογίζεται η νέα μέτρηση.

Για τη βαθμονόμηση επιλέχθηκε η Διαδικασία μέτρησης Α-1-1 sec διότι σε αυτήν την περίπτωση υπήρχε η μεγαλύτερη απόκλιση από τις αρχικές μετρήσεις.

Για παράδειγμα, για την Διαδικασία Α-1 και χρονικό διάστημα μέτρησης 1sec προκύπτει στο Σχήμα 3-29 η γραφική παράσταση των βαθμονομημένων αισθητήρων:

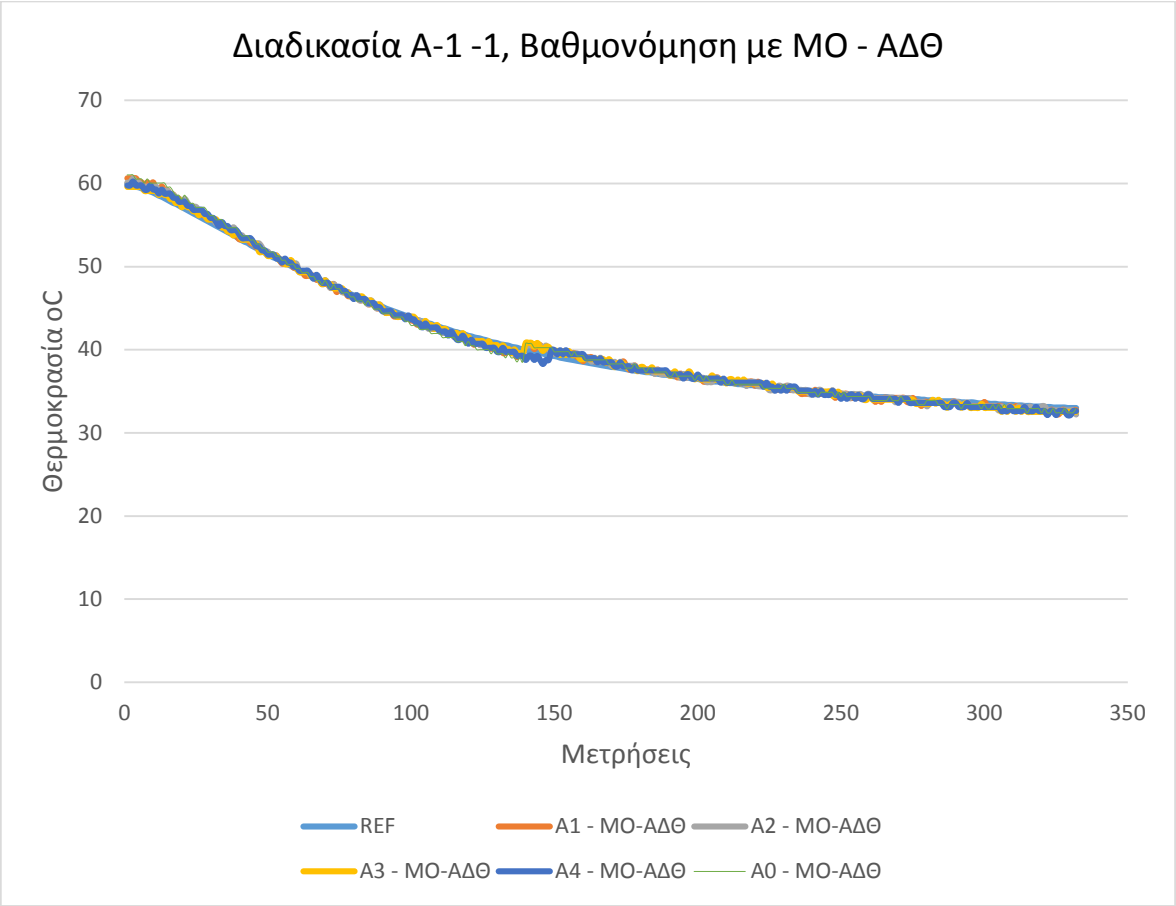


Σχήμα 3-29: Γραφική Παράσταση Βαθμονόμησης για Διαδικασία Α-1-1 με ΜΟ-ΑΤΘ

Στο Σχήμα 3-29, φαίνεται ότι το αποτέλεσμα είναι σαφώς καλύτερο από την αρχική μέτρηση.

Ένας τρίτος τρόπος (*μέσος όρος σφάλματος ανά διάστημα θέρμανσης*, **ΜΟ-ΑΔΘ**) είναι: ανά επιλογή θέρμανσης και ανά αισθητήρα, υπολογίζεται ο μέσος όρος του σφάλματος του (απόκλιση μέτρησης από αισθητήρα αναφοράς) όχι συνολικά, αλλά ανά διαστήματα θερμοκρασίας. Μελετάται η μεταβολή των σφάλματων, ομαδοποιούνται τα διαστήματα μέτρησης και υπολογίζεται ο μέσος όρος των σφαλμάτων ανά συγκεκριμένο διάστημα θέρμανσης. Στη συνέχεια, αφαιρείται από την μετρούμενη τιμή θερμοκρασίας και υπολογίζονται οι νέες μετρήσεις.

Για παράδειγμα, υπολογίζεται ο μέσος όρος για κάθε αισθητήρα από 60 ^{o}C – 40 ^{o}C και στη συνέχεια άλλος μέσος όρος για 40 ^{o}C-33 ^{o}C. Υπολογίζονται οι νέες τιμές και προκύπτει το διάγραμμα βαθμονόμησης στο Σχήμα 3-30:



Σχήμα 3-30: Γραφική Παράσταση Βαθμονόμησης για Διαδικασία Α-1-1 με ΜΟ-ΑΔΘ

Σχόλια - Παρατηρήσεις:

Παρόμοια αποτελέσματα προκύπτουν και στους υπόλοιπους αισθητήρες.

Το βαθμονομημένο σύστημα, σε όλες τις περιπτώσεις βαθμονόμησης, φαίνεται να ακολουθεί καλύτερα τον αισθητήρα αναφοράς και οι αποκλίσεις από τις τιμές να είναι αρκετά μικρές.

Ο πρώτος τρόπος στηρίζεται στην εύρεση ενός γενικού μέσου όρου σφάλματος. Ο γενικός μέσος όρος προκύπτει από τη μελέτη αρκετών και διαφορετικών τύπων μετρήσεων αφού σε κάθε διαδικασία μέτρησης υπάρχουν σχετικά μεγάλες αποκλίσεις σφάλματος για τον ίδιο αισθητήρα. Οι βαθμονομημένοι αισθητήρες τελικά δεν έχουν μεγάλες αποκλίσεις από τον αισθητήρα μέτρησης και οι μετρήσεις που προκύπτουν είναι μεγαλύτερης ακρίβειας από τις αρχικές.

Ο δεύτερος και ο τρίτος τρόπος είναι για συγκεκριμένες διαδικασίες μέτρησης. Αν είναι γνωστό το περιβάλλον και το σύστημα στο οποίο θα βρίσκονται οι αισθητήρες, τότε μια στοχευμένη βαθμονόμηση θα είχε όφελος.

Κεφάλαιο 4: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

4.1 Συμπεράσματα

Μέσα από την κατασκευή, έγινε αντιληπτή και ξεκάθαρη η ευκολία που προφέρει ο ψηφιακός κόσμος. Μέσω της διάταξη, εξοικονομείται σημαντικός χρόνος για την λήψη και καταγραφή των δεδομένων. 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. Πολλές σύνθετες και πολύπλοκες πράξεις γίνονται πλέον στον ΗΥ και όχι στο Arduino εξοικονομώντας με αυτόν τον τρόπο μνήμη και επεξεργαστική ισχύ. Ένα άλλο σημαντικό στοιχείο της διάταξης είναι η ευελιξία στον προγραμματισμό. Στην διάταξη, υπάρχουν δυο αυτόματες διαδικασίες για τη μεταβολή της θερμοκρασίας και τη μέτρηση της από τους αισθητήρες. Χωρίς αλλαγή του υλικού, μπορούν εύκολα να προστεθούν και άλλοι αλγόριθμοι προσθέτοντας επιπλέον ρουτίνες στον Λογισμικό Εφαρμογής.

Τέλος, μελετήθηκε η απόδοση των αισθητήρων σε ένα περιβάλλον. Μεγάλο ρόλο στην απόδοση των αισθητήρων φαίνεται να έχει ο τρόπος με τον οποίο θερμαίνεται το περιβάλλον μέσω του ηλεκτρικού φορτίου θέρμανσης. Η βαθμονόμηση των αισθητήρων βελτιώνει σημαντικά την απόδοση τους με αποτέλεσμα οι μετρήσεις να είναι πιο ακριβείς.

4.2 Μελλοντική Εργασία

Περαιτέρω μελέτη και εργασία σχετικά με τη διάταξη βαθμονόμησης θα μπορούσε να γίνει:

i.) Στην σχεδίαση κυκλωμάτων οδήγησης του σήματος. Οι αναλογικοί αισθητήρες ακριβείας συνήθως έχουν πολύ μικρό πλάτος εξόδου. Με κατάλληλη ενίσχυση και φιλτράρισμα, το σύστημα θα είναι ικανό να μετρήσει σωστά τέτοιους αισθητήρες και η βαθμονόμηση να είναι ακόμα καλύτερη.

ii.) Στην αύξηση των αναλογικών εισόδων. Με κατάλληλα κυκλώματα, πολυπλέκτες, εξωτερικά ADC κ.α. μπορεί να αυξηθεί ο αριθμός των αναλογικών εισόδων καθιστώντας τη διάταξη ένα αξιόπιστο πολυκαταγραφικό χαμηλού κόστους.

iii.) Στην προσθήκη κάρτας αποθήκευσης (SD CARD). Ξεπερνώντας τη δυσκολία για μεγάλο αριθμό μετρήσεων μόνο από το Arduino ή ακόμα και για γρήγορη καταγραφή δεδομένων, με την προσθήκη καρτών μνήμης δίνεται η δυνατότητα η διάταξη να γίνει φορητή και με κατάλληλο προγραμματισμό να μας παρουσιάζει άμεσα αποτελέσματα.

iv.) Στην απομακρυσμένη πρόσβαση και έλεγχο της διάταξης. Σημαντικό στοιχείο της διάταξης είναι η φυσική παρουσία του χρήστη. Η προσθήκη της δυνατότητας απομακρυσμένης πρόσβασης (πχ Internet, GSM, Xbee) και ελέγχου αυτής, θα ήταν ένα μεγάλο πλεονέκτημα.

v.) Εκτενέστερη μελέτη των χαρακτηριστικών των αισθητήρων ανάλογα με το ηλεκτρικό φορτίο θέρμανσης καθώς και μετρήσεις σε μεγαλύτερα όρια θερμοκρασίας.

Βιβλιογραφία

[1] Νικ. Ι. Θεοδώρου, «Ηλεκτρικές Μετρήσεις, Τεύχος Ι & ΙΙ», Συμμετρία, Αθήνα, 2004

[2] Ε. Χριστοφόρου, ΕΜΠ, Σημειώσεις «Αισθητήρες», Αθήνα 2011

[3] Αθαν. Α. Αργυρίου, Πανεπιστήμιο Πατρών, Σημειώσεις «Αισθητήρες Ημιαγωγών, Αισθητήρες Θερμικοί, Μηχανικοί, Μαγνητικοί, Αισθητήρες Ακτινοβολίας και Χημικοί Αισθητήρες», Πάτρα, 2004

[4] Α. Σκορδάς, ΕΑΠ, «Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνων και Σημάτων», Πάτρα, 2003

[5] J. Blum, «Exploring Arduino: Tools and Techniques for Engineering Wizardry», Wiley, 2013

[6] M. Margolis, «Arduino Cookbook, Second Edition», O'Reilly Media, 2011

[7] J. Noble, «Programming Interactivity», O'Reilly Media, 2009

[8] R. Northrop, «Introduction to Instrumentation and Measurements», CRC Press, 2005

[9] J. Webster, «Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook» CRC Press, 1999

[10] K. James, «PC Interfacing and Data Acquisition: Techniques for Measurement, Instrumentation and Control», Newnes, 1996

[11] D. Ibrahim, «Microcontroller-Based Temperature Monitoring and Control», Elsevier, 2002

[12] «High-Performance, Stand-Alone ADCs for a Variety of Embedded Systems Applications, Analog-to-Digital Converter Design Guide», www.microchip.com

[13] M. Verle, «PIC Microcontrollers - Programming in BASIC», mikroElektronika, 1st edition (2010), http://www.mikroe.com/products/view/476/pic-microcontrollers-programming-in-basic/

[14] AVR120, Characterization and Calibration of the ADC on an AVR, www.atmel.com/images/doc2559.pdf

[15] National Instruments, http://www.ni.com/

[16] Texas Instruments, http://www.ti.com/

[17] Arduino Official Site, http://www.arduino.cc/

[18] http://www.lazarus.freepascal.org/

[19] http://playground.arduino.cc/Learning/OneWire

[20] ATmega328, Datasheet: www.atmel.com/Images/doc8161.pdf

[21] LM35 Datasheet - Texas Instruments, www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf

[22] DS18S20 High-Precision 1-Wire Digital Thermometer, http://maximintegrated.com/en.html

[23] Ελληνικό Ινστιτούτο Μετρολογίας, www.eim.gr

[24] Εθνικό Σύστημα Διαπίστευσης, www.esyd.gr

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α – ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ARDUINO UNO

Στο παράρτημα αυτό παρουσιάζεται αρχικά ο τρόπος συμπεριφοράς του μικροελεγκτή Arduino UNO και εν συνέχεια παρατίθενται ο κώδικας ο οποίος υλοποιεί την ανωτέρω συμπεριφορά.

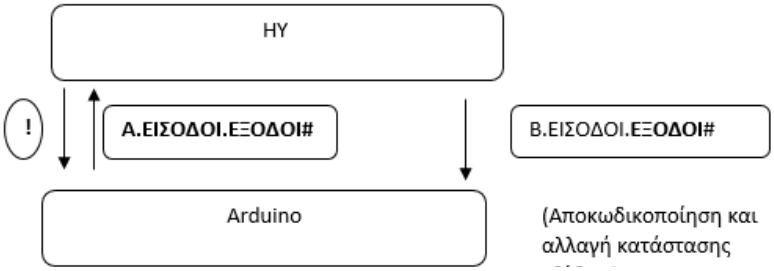
Το Arduino είναι προγραμματισμένο με τον εξής τρόπο:

Αρχικά, αξίζει να σημειωθεί ότι ο μικροελεγκτής θα ελέγχεται πλήρως από το λογισμικό. Όταν δέχεται από το λογισμικό εφαρμογής ένα συγκεκριμένο σύμβολο : **!** , τότε διαβάζει τις τιμές των αισθητήρων και την κατάσταση (ON ή OFF) του φορτίου θέρμανσης. Στη συνέχεια στέλνει μέσω της σειριακής θύρας στον ΗΥ μια σειρά χαρακτήρων (String) η οποία περιέχει όλες τις παραπάνω πληροφορίες. Το String αυτό έχει αυστηρά συγκεκριμένο μέγεθος και είναι της μορφής: **Α.ΕΙΣΟΔΟΙ.ΕΞΟΔΟΙ#.** Το σύμβολο # είναι το τερματικό σύμβολο. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται η σωστή επικοινωνία μεταξύ Λογισμικού Εφαρμογής και Arduino.

Όταν ο χρήστης θέλει να αλλάξει την κατάσταση του φορτίου, τότε το λογισμικό εφαρμογής στέλνει ένα άλλο String **Β.ΕΙΣΟΔΟΙ.ΕΞΟΔΟΙ#.** Το Arduino στη συνέχεια, αποκωδικοποιεί αυτό το String και οι τιμές που έχουν σταλεί στο πεδίο των εξόδων είναι η καινούρια κατάσταση.

Τα String που λαμβάνει (**Β.ΕΙΣΟΔΟΙ.ΕΞΟΔΟΙ#)** το Arduino από το Λογισμικό Εφαρμογής αλλά και που στέλνει (**Α.ΕΙΣΟΔΟΙ.ΕΞΟΔΟΙ#),** έχουν το ίδιο μέγεθος. Ειδικές ρουτίνες ελέγχου υπάρχουν στο Λογισμικό Εφαρμογής για να ελέγχουν τη σωστή μετάδοση πληροφοριών. Αν υπάρξουν σφάλματα, το Λογισμικό Εφαρμογής εμφανίζει αντίστοιχα μηνύματα.

Στο Σχήμα Α-1 δίδεται σχηματικά η επικοινωνία του ΗΥ με το Arduino.



Σχήμα Α-1: Επικοινωνία Η/Υ με Arduino

```
// εισαγωγή βιβλιοθήκης
#include <OneWire.h>

// στοιχεία για μέτρηση από αισθητήρα αναφοράς
int DS18S20_Pin = 4;
float temp1;
int temp;
//Temperature chip i/o
OneWire ds(DS18S20_Pin); // on digital pin 4

// δηλώσεις μεταβλητών
String an0,an1,an2,an3,an4,an5;
String out2;
String inData;
String sub_out_2;
String final;

String stringone="000";
String stringtwo="00";
String stringthree="0";

// μεταβλητές αναλογικών εισόδων
int read0,read1,read2,read3,read4,read5;

// μεταβλητή ψηφιακής  εξόδου
int state2;
int outPin2 = 2;

// συνάρτηση για αρχικοποίηση σειριακής σύνδεσης και δήλωση pin εξόδου
void setup()
{
   Serial.begin(9600);
   pinMode(outPin2, OUTPUT);
}

// κύρια συνάρτηση επανάληψης
void loop()
{

// έλεγχος ύπαρξης σειριακών δεδομένων από HY
if (Serial.available() > 0)

 {
// αποθήκευση σειριακών δεδομένων
char received = Serial.read();
inData += received;


if (received == '!')  // λήψη χαρακτηριστικού συμβόλου
{
```

```
// διάβασμα του ψηφιακού αισθητήρα αναφοράς και κατασκευή string για αποστολή
// δεδομένων

float temperature = getTemp();
temp1=temperature*100;
temp=(int) temp1;
an5=String(temp,DEC);

// διάβασμα αναλογικών εισόδων, αισθητήρων LM35

read0=analogRead(A0);
if (read0<=9){an0=String(stringone+analogRead(A0));}
else if (read0<100 && read0>9) {an0=String(stringtwo+analogRead(A0));}
else if (read0<1000 && read0>99) {an0=String(stringthree+analogRead(A0));}
else { an0=String(read0,DEC); }

read1=analogRead(A1);
if (read1<=9){an1=String(stringone+analogRead(A1));}
else if (read1<100 && read1>9) {an1=String(stringtwo+analogRead(A1));}
else if (read1<1000 && read1>99) {an1=String(stringthree+analogRead(A1));}
else { an1=String(read1,DEC); }
read2=analogRead(A2);
if (read2<=9){an2=String(stringone+analogRead(A2));}
else if (read2<100 && read2>9) {an2=String(stringtwo+analogRead(A2));}
else if (read2<1000 && read2>99) {an2=String(stringthree+analogRead(A2));}
else { an2=String(read2,DEC); }

read3=analogRead(A3);
if (read3<=9){an3=String(stringone+analogRead(A3));}
else if (read3<100 && read3>9) {an3=String(stringtwo+analogRead(A3));}
else if (read3<1000 && read3>99) {an3=String(stringthree+analogRead(A3));}
else { an3=String(read3,DEC); }

read4=analogRead(A4);
if (read4<=9){an4=String(stringone+analogRead(A4));}
else if (read4<100 && read4>9) {an4=String(stringtwo+analogRead(A4));}
else if (read4<1000 && read4>99) {an4=String(stringthree+analogRead(A4));}
else { an4=String(read4,DEC); }

// έλεγχος κατάστασης ψηφιακής εξόδου
        state2 = digitalRead(2);
        out2=String(state2,DEC);
```

```
// δημιουργία string για αποστολή δεδομένων στον HY σειριακά

final=String("A."+an5+"."+an1+"."+an2+"."+an3+"."+an4+"."+an0+"."+out2+
"."+5+"."+5+"."+5+"."+5+"."+5+"."+5+"."+555+"."+555+"."+555+"."+555+"."+555
+"#");

Serial.print(final);  // αποστολή δεδομένων στον HY σειριακά


// επειδή χρησιμοποιούνται μόνο οι αναλογικές είσοδοι και η ψηφιακή έξοδος pin2 το string
// περιλαμβάνει μόνο αυτά, τα υπόλοιπα δεν χρησιμοποιούνται από το λογισμικό στον HY
// αλλά είναι απαραίτητα για τη σωστή επικοινωνία για αυτό και είναι συμπληρωμένα με
// το 5 (τυχαίος αριθμός). Μελλοντικά μπορούν να προστεθούν και να αξιοποιηθούν  οι
// υπόλοιπες έξοδοι με την προσθήκη  του κατάλληλου κώδικα


inData = "";  //  καθαρισμός buffer
}

if (received == '#')  // τερματικό στοιχείο δεδομένων από HY
        {

            if (inData.startsWith("B.") )
             {
                sub_out_2= inData.substring(32,33);
                if  (sub_out_2 =="1") {digitalWrite(outPin2,HIGH); }
            else
                digitalWrite(outPin2,LOW); }
             }
           inData = ""; // Clear recieved buffer
        }
 }

}

// συνάρτηση για λήψη μέτρησης από τον αισθητήρα αναφοράς

float getTemp(){
//returns the temperature from one DS18S20 in DEG Celsius

byte data[12];
byte addr[8];

if ( !ds.search(addr)) {
// no more sensors on chain, reset search
ds.reset_search();
return -1000;
}
```

```
if ( OneWire::crc8( addr, 7) != addr[7]) {
Serial.println("CRC is not valid!");
return -1000;
}

if ( addr[0] != 0x10 && addr[0] != 0x28) {
Serial.print("Device is not recognized");
return -1000;
}

ds.reset();
ds.select(addr);
ds.write(0x44,1); // start conversion, with parasite power on at the end

byte present = ds.reset();
ds.select(addr);
ds.write(0xBE); // Read Scratchpad

for (int i = 0; i < 9; i++) { // we need 9 bytes
data[i] = ds.read();
}
ds.reset_search();
byte MSB = data[1];
byte LSB = data[0];

float tempRead = ((MSB << 8) | LSB); // using two's compliment
float TemperatureSum = tempRead / 16;
return TemperatureSum;
}
```

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β – ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΒΑΣΙΚΩΝ ΕΝΤΟΛΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ

Στο παράρτημα Β που ακολουθεί, περιγράφονται οι βασικές παράμετροι καθώς και οι βασικές εντολές οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για τον προγραμματισμό του μικροελεγκτή.

Όρισμα	Είδος	Τύπος	Παράμετροι	Περιγραφή
LOW	Σταθερά	int	-	Έχει την τιμή 0 και είναι αντίστοιχη του λογικού false.
HIGH	Σταθερά	int	-	Έχει την τιμή 1 και είναι αντίστοιχη του λογικού true.
INPUT	Σταθερά	int	-	Έχει την τιμή 0 και είναι αντίστοιχη του λογικού false.
OUTPUT	Σταθερά	int	-	Έχει την τιμή 1 και είναι αντίστοιχη του λογικού true.
pinMode	Εντολή	-	(*pin*, *mode*)	Καθορίζει αν το συγκεκριμένο ψηφιακό *pin* θα είναι pin εισόδου ή pin εξόδου ανάλογα με την τιμή που δίνεται στην παράμετρο *mode* (INPUT ή OUTPUT αντίστοιχα).
digitalWrite	Εντολή	-	(*pin*, *pinstatus*)	Θέτει την κατάσταση *pinstatus* (HIGH ή LOW) στο συγκεκριμένο ψηφιακό *pin*.
digitalRead	Συνάρτηση	int	(*pin*)	Επιστρέφει την κατάσταση του συγκεκριμένου ψηφιακού *pin* (0 για LOW και 1 για HIGH) εφόσον αυτό είναι pin εισόδου.
analogReference	Εντολή	-	(*type*)	Δέχεται τις τιμές DEFAULT, INTERNAL ή EXTERNAL στην παράμετρο *type* για να καθορίσει την τάση αναφοράς (V_{ref}) των αναλογικών εισόδων (5V, 1.1V ή η εξωτερική τάση με την οποία τροφοδοτείται το pin AREF αντίστοιχα)
analogRead	Συνάρτηση	int	(*pin*)	Επιστρέφει έναν ακέραιο από 0 εώς 1023, ανάλογα με την τάση που τροφοδοτείται το συγκεκριμένο *pin* αναλογικής εισόδου στην

				κλίμακα 0 ως V_{ref}.
analogWrite	Εντολή	-	(*pin*, *value*)	Θέτει το συγκεκριμένο ψηφιακό *pin* σε κατάσταση ψευδοαναλογικής εξόδου (PWM). Η παράμετρος *value* καθορίζει το πλάτος του παλμού σε σχέση με την περίοδο του παραγόμενου σήματος στην κλίμακα από 0 ως 255 (π.χ. με *value* 127, το πλάτος του παλμού είναι ίσο με μισή περίοδο).
millis	Συνάρτηση	unsigned long	()	Μετρητής που επιστρέφει το χρονικό διάστημα σε ms από την στιγμή που άρχισε η εκτέλεση του προγράμματος. Λάβετε υπόψη ότι λόγω του τύπου μεταβλητής (unsigned long δηλ. 32bit) θα γίνει overflow σε 2^32ms δηλαδή περίπου σε 50 μέρες, οπότε ο μετρητής θα ξεκινήσει πάλι από το μηδέν.
delay	Εντολή	-	(*time*)	Σταματά προσωρινά την ροή του προγράμματος για *time* ms. Η παράμετρος *time* είναι unsigned long (από 0 ως 2^32). Σημειώστε ότι παρά την προσωρινή παύση, συναρτήσεις των οποίων η εκτέλεση ενεργοποιείται από interrupt θα εκτελεστούν κανονικά κατά την διάρκεια μιας delay.
attachInterrupt	Εντολή	-	(*interrupt*, *function*, *triggermode*)	Θέτει σε λειτουργία το συγκεκριμένο *interrupt*, ώστε να ενεργοποιεί την συνάρτηση *function*, κάθε φορά που ικανοποιείται η συνθήκη που ορίζεται από την παράμετρο *triggermode*: • LOW (ενεργοποίηση όταν η κατάσταση του pin που αντιστοιχεί στο συγκεκριμένο interrupt γίνει LOW) • RISING (όταν από LOW γίνει HIGH) • FALLING (όταν από HIGH γίνει LOW) • CHANGE (όταν αλλάξει κατάσταση γενικά)
detachInterrupt	Εντολή	-	(*interrupt*)	Απενεργοποιεί το συγκεκριμένο *interrupt*.
noInterrupts	Εντολή	-	()	Σταματά προσωρινά την λειτουργία όλων

				των interrupt
interrupts	Εντολή	-	()	Επαναφέρει την λειτουργία των interrupt που διακόπηκε προσωρινά από μια εντολή noInterrupts.
Serial.begin	Μέθοδος κλάσης	-	(*datarate*)	Θέτει τον ρυθμό μεταφοράς δεδομένων του σειριακού interface (σε baud)
Serial.println	Μέθοδος κλάσης	-	(*data*)	Διοχετεύει τα δεδομένα *data* για αποστολή μέσω του σειριακού interface. Η παράμετρος *data* μπορεί να είναι είτε αριθμός είτε αλφαριθμητικό.

Δομή προγράμματος
Ένα τυπικό πρόγραμμα του Arduino έχει την εξής δομή:

// σύμβολο για σχόλια
// δηλώσεις μεταβλητών

void setup() *{*

// αρχικοποιήσεις

}

void loop() *{*

// ...

}

Γενικά, υπάρχουν δυο βασικές συναρτήσεις σε ένα τυπικό πρόγραμμα.

Η συνάρτηση setup() 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 αυτό που λέει και το όνομά της, Ο κώδικας που γράφεται μέσα στη συνάρτηση αυτή επαναλαμβάνεται συνεχώς δίνοντας την δυνατότητα στο πρόγραμμα μας να αλλάζει τιμές και το Arduino να ανταποκρίνεται ανάλογα.

Οι βασικοί τύποι δεδομένων στο Arduino είναι:

1. byte: αποθηκεύει μια αριθμητική τιμή 8-bit χωρίς δεκαδικά ψηφία, παίρνουν τιμές από 0 μέχρι 255.
2. int: ακέραιοι, παίρνουν τιμές από -32768 μέχρι 32767.
3. long: μεγάλου μεγέθους ακέραιοι, παίρνουν τιμές από -2.147.483.648 μέχρι 2.147.483.647
4. float: πραγματικοί αριθμοί, παίρνουν τιμές από $3,4x10^{-38}$ μέχρι $3,4x10^{38}$

Τελεστές σύγκρισης

Με τους τελεστές σύγκρισης ελέγχεται αν μία συγκεκριμένη συνθήκη μεταξύ μεταβλητών ή σταθερών είναι "Αληθής". Ποιο συγκεκριμένα υπάρχουν οι παρακάτω τελεστές σύγκρισης στο Arduino:

x == y	το x είναι ίσο με το y
x != y	το x είναι άνισο του ν
x < y	το x είναι μικρότερο με το ν
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 συγκρίνονται 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"