



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ & ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

Πολυχωρική Διάταξη Μέτρησης και Αποθήκευσης Δεδομένων Αντίστασης

Σκανδάλης Κωνσταντίνος
ΑΜ: 50106595

Επιβλέπων Καθηγητής
Τσακιρίδης Οδυσσέας

ΑΘΗΝΑ 2023



UNIVERSITY OF WEST ATTICA
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL & ELECTRONICS ENGINEERING

Diploma Thesis

Multispatial Resistivity Data Measurement and Storage System

Skandalis Konstantinos
AM: 50106595

Supervisor
Tsakiridis Odysseas

Athens 2023

Η Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή επιτροπή:

Οδυσσέας Τσακίριδης	Παναγιώτης Φωτόπουλος	Σωτηρία Γαλατά
(Υπογραφή)	(Υπογραφή)	(Υπογραφή)

Copyright © Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Σκανδάλης Κωνσταντίνος, Ιούλιος 2023

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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον/την συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

ΔΗΛΩΣΗ ΠΕΡΙ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΛΟΓΟΚΛΟΠΗΣ

Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ενυπόγραφα ότι η παρούσα εργασία προετοιμάστηκε και ολοκληρώθηκε από εμένα αποκλειστικά και ότι είμαι ο αποκλειστικός συγγραφέας του κειμένου της.

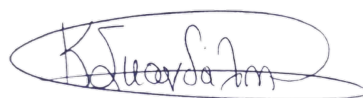
Η εργασία μου δεν προσβάλλει οποιαδήποτε μορφής δικαιώματα πνευματικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας ή προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής ή λογοκλοπής.

Κάθε βοήθεια που έλαβα για την ολοκλήρωση της εργασίας είναι αναγνωρισμένη και αναφέρεται λεπτομερώς στο κείμενό της. Ειδικότερα, έχω αναφέρει ευδιάκριτα μέσα στο κείμενο και με την κατάλληλη παραπομπή όλες τις πηγές δεδομένων, κώδικα προγραμματισμού Η/Υ, απόψεων, θέσεων και προτάσεων, ιδεών και λεκτικών αναφορών που χρησιμοποιήθηκαν, είτε κατά κυριολεξία είτε βάσει επιστημονικής παράφρασης, και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. Επιπλέον, όλες οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης κατά τα διεθνή πρότυπα.

Τέλος δηλώνω ενυπόγραφα ότι αναλαμβάνω πλήρως, ατομικά και προσωπικά, όλες τις νομικές και διοικητικές συνέπειες στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της είναι προϊόν λογοκλοπής.

Ημερομηνία 17.07.2023

Σκανδάλης Κωνσταντίνος



Στους γονείς για την μέγιστη προσπάθεια που έχουν καταβάλει και στην κοπέλα μου για την υπομονή της.

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία σηματοδοτεί και την ολοκλήρωση των σπουδών μου στο τμήμα Ηλεκτρολόγων και ηλεκτρονικών μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής. Οι γνώσεις που απέκτησα θα αποτελέσουν το εφαλτήριο της επαγγελματικής μου σταδιοδρομίας ως μηχανικού σε έναν κλάδο που θέλω να συνεχίσω να μαθαίνω και να προσφέρω. Για την επίτευξη του παραπάνω μακροχρόνιου στόχου θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την συνεχή και αδιάληπτη στήριξή τους όπως και την κοπέλα μου που ήταν δίπλα μου σε κάθε βήμα.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω στους καθηγητές μου και μέντορες μου στην παρούσα διπλωματική εργασία, Παναγιώτη Φωτόπουλο και Οδυσσέα Τσακιρίδη που ήταν δίπλα μου σε κάθε βήμα για την ολοκλήρωση της. Η λεπτομερή τους ενασχόληση, η άμεση διαθεσιμότητά τους σε κάθε μου πρόβλημα με βοήθησαν για να μπορέσω να ολοκληρώσω τις σπουδές μου στο Τμήμα.

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία σκοπός της είναι η σχεδίαση και κατασκευή πολυχρωρικού συστήματος μέτρησης αντίστασης. Αφορά την ολοκληρωμένη σχεδίαση όλων των απαιτούμενων υποσυστημάτων για τη μέτρηση πολλαπλών αντιστάσεων από ένα πλέγμα υλικών, καθώς και καταγραφή των δεδομένων σε υπολογιστικό σύστημα. Για την υλοποίηση του συγκεκριμένου συστήματος έγινε σχεδίαση και συνεργασία ενός κυκλώματος ελέγχου με τη βοήθεια ενός μικροελεγκτή αλλά και άλλων ψηφιακών - αναλογικών κυκλωμάτων. Η ανίχνευση των μεταβολών αντίστασης γίνεται διαδοχικά στους αισθητήρες και εξάγονται διαγράμματα όπου φαίνεται η μεταβολή της αντίστασης ανά κάθε μέτρηση που πραγματοποιείται. Για να επιτευχθεί η σωστή λειτουργία πρέπει να έχουμε όσο το δυνατόν μικρότερο χρόνο ανάγνωσης δηλαδή ο χρόνος από τον οποίο θα επιλέξει το μετρητικό σύστημα από ποιόν αισθητήρα θα λάβει μια μέτρηση. Ακόμη πρέπει να έχουμε μεγάλη ακρίβεια στην κάθε μέτρηση που πραγματοποιείται.

Λέξεις – κλειδιά

Arduino, Μετρητικό σύστημα, Αισθητήρες , Resistance change

Abstract

In this thesis, the aim of this thesis is to design and construct a multi-space resistance measurement system. It involves the integrated design of all required subsystems for measuring multiple resistances from a grid of materials, as well as data coding in a computer system. For the realization of this system a control circuit was designed and cooperated with the help of a microcontroller and other digital-analog circuits.

The detection of resistance changes is done successively on the sensors and diagrams are output showing the change in resistance for each measurement made. In order to achieve correct operation we must have as short a read-out time as possible, i.e. the time from which the measuring system will choose from which sensor to take a measurement. We must also have a high degree of accuracy in each measurement that is taken.

Keywords

Arduino, Measurement system , Sensors ,

Περιεχόμενα

1	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή	13
	Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας	13
1.1	Σκοπός και στόχοι	13
1.2	Μεθοδολογία	14
2	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Σύγχρονα μετρητικά συστήματα	15
2.1	Δομή συστήματος μέτρησης	15
2.2	Θόρυβος ηλεκτρονικών κυκλωμάτων	17
2.3	Ανάλυση σφαλμάτων	18
2.4	Μέτρηση αντίστασης	21
2.4.1	Χαρακτηριστικά αντίστασης	21
2.4.2	Βασική θεωρία της αντίστασης.....	21
2.4.3	Δίκτυα μέτρησης αντίστασης.....	23
2.5	Χαρακτηριστικά αισθητήρων	24
2.5.1	Ακρίβεια.....	24
2.5.2	Είσοδος και έξοδος πλήρους κλίμακας	25
2.5.3	Συνάρτηση μεταφοράς ή χαρακτηριστική καμπύλη	25
2.5.4	Ευαισθησία	26
2.5.5	Κέρδος.....	26
2.5.6	Βαθμονόμηση	27
2.5.7	Σφάλμα βαθμονόμησης.....	27
2.5.8	Υστέρηση.....	28
2.5.9	Μη γραμμικότητα.....	28
2.5.10	Διακριτική ικανότητα.....	28
2.5.11	Επαναληψιμότητα.....	29
2.5.12	Συντελεστής κορεσμού	29
2.5.13	Νεκρή ζώνη	29
2.5.14	Σύνθετη αντίσταση εξόδου	29
2.5.15	Διέγερση	30
2.5.16	Αξιοπιστία	30
2.5.17	Ελάχιστο σήμα κατωφλίου	30
2.5.18	Χρόνος απόκρισης	30
2.5.19	Ολίσθηση	30
2.5.20	Χρόνος προθέρμανσης	30
2.6	Είδη αισθητήρων	30
3	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : Σχεδιασμός μετρητικού συστήματος	32
3.1	Βασική δομή συστήματος	32
3.2	Arduino uno	36
3.3	Πηγή ρεύματος LM334	39
3.4	Πολυπλέκτης CD4051	42
3.5	Προσομοίωση στο λογισμικό Proteus	44
3.6	Μικροελεγκτής ATmega328	47
3.7	Πρωτόκολλο UART	49
3.8	Ροή σήματος – Ανάλυση λειτουργίας συστήματος	49
3.9	Προγραμματισμός Arduino	50
3.10	Υλοποίηση κυκλώματος σε breadboard	54
3.11	Διάταξη μετρήσεων	55
3.12	Λογισμικό καταγραφής δεδομένων στο Matlab	57
3.13	Λογισμικό στο Arduino	61
4	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : Πειραματικά αποτελέσματα	65
4.1	Αποτελέσματα από προσομοίωση Proteus	65

4.2	Αποτελέσματα από πειραματικό κύκλωμα	67
4.3	Σύγκριση πραγματικής - πειραματικής τιμής αντίστασης	70
5	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Συμπεράσματα.....	71
	Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές.....	72
	Παράρτημα Α : Κώδικας Arduino.....	73

Πίνακας εικόνων

Εικόνα 2.1-1 : Δομή συστήματος μέτρησης.....	15
Εικόνα 2.1-2 : Σχηματική διάταξη αισθητήρα.....	16
Εικόνα 2.1-3 : Βασικά στοιχεία DSP	17
Εικόνα 2.5-1 : Εύρος πλήρους κλίμακας σε καμπύλη συνάρτηση μεταφορά αισθητήρα	25
Εικόνα 2.5-2 : Γραφική παράσταση συνάρτησης μεταφοράς του αισθητήρα θερμικής ακτινοβολίας ...	26
Εικόνα 2.5-3 : Ιδανική και πραγματική συνάρτηση μεταφοράς.....	27
Εικόνα 2.5-4 : Διάγραμμα σφάλματος βαθμονόμησης.....	28
Εικόνα 2.5-5 : Μέθοδοι γραμμικοποίησης	28
Εικόνα 2.5-6 : Σημείο εμφάνισης κορεσμού.....	29
Εικόνα 2.5-7 : Καμπύλη με εμφάνιση νεκρής ζώνης.....	29
Εικόνα 2.5-8 : Καμπύλη χρόνου απόκρισης αισθητήρα.....	30
Εικόνα 3.1-1 : Κύκλωμα Πολυχωρικής Διάταξης Μέτρησης και Αποθήκευσης Δεδομένων	34
Εικόνα 3.1-2 : Block διάγραμμα Πολυχωρικής Διάταξης Μέτρησης και Αποθήκευσης Δεδομένων	35
Εικόνα 3.2-1 : Διάταξη ακροδεκτών Arduino.....	36
Εικόνα 3.2-2 : Αντιστοίχιση διάταξης ακροδεκτών μικροελεγκτή ATmega328 με τη διάταξη ακροδεκτών του Arduino.....	38
Εικόνα 3.2-3 : Arduino IDE (Integrated Development Environment).....	39
Εικόνα 3.2-4 : Αναλυτική διάταξη ακροδεκτών Arduino.....	39
Εικόνα 3.3-1 : Βασικό κύκλωμα πηγής ρεύματος	40
Εικόνα 3.3-2 : Λόγος Iset - Ibias.....	40
Εικόνα 3.3-3 : Χαρακτηριστικές ρεύματος Iset αρχικής και επιθυμητής εξόδου	41
Εικόνα 3.3-4 : Διάταξη ακροδεκτών LM334	42
Εικόνα 3.4-1 : Διάγραμμα διάταξης ακροδεκτών CD4051	43
Εικόνα 3.5-1 : Περιβάλλον εργασίας Proteus.....	45
Εικόνα 3.5-2 : Παραμετροποίηση Arduino στο Proteus.....	45
Εικόνα 3.5-3 : Εικονικό τερματικό για την εμφάνιση σειριακών δεδομένων στο Proteus	46
Εικόνα 3.5-4 : Περιβάλλον εικονικού τερματικού	46
Εικόνα 3.5-5 : Περιβάλλον σφαλμάτων προσομοίωσης στο Proteus.....	47

Εικόνα 3.6-1 : Block διάγραμμα μικροελεγκτή ATmega328.....	47
Εικόνα 3.6-2 : Συσκευασία ATmega328	48
Εικόνα 3.9-1 : Breadboard	51
Εικόνα 3.9-2 : Περιβάλλον IDE Arduino γραφής κώδικα.....	52
Εικόνα 3.9-3 : Δήλωση έκδοσης Arduino.....	52
Εικόνα 3.9-4 : Ρύθμιση θύρας COM που έχει συνδεθεί το Arduino	53
Εικόνα 3.10-1 : Υλοποίηση κυκλώματος σε breadboard.....	54
Εικόνα 3.11-1 : Διάταξη μετρήσεων.....	55
Εικόνα 3.11-2 : Μήνυμα όταν δεν έχει εγκατασταθεί κάρτα	56
Εικόνα 3.11-3 : Λειτουργία συστήματος μέτρησης.....	56

1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή

Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας

Η μέτρηση και η αποθήκευση των μεταβολών της αντίστασης με την πάροδο του χρόνου παίζει καθοριστικό ρόλο σε διάφορες επιστημονικές και μηχανολογικές εφαρμογές. Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στην ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου συστήματος που διευκολύνει την ακριβή και αξιόπιστη παρακολούθηση των μεταβολών της αντίστασης και την επακόλουθη αποθήκευση των δεδομένων που αποκτήθηκαν. Στόχος της διατριβής είναι ο σχεδιασμός, η υλοποίηση και η αξιολόγηση της απόδοσης του συστήματος, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως η ακρίβεια μέτρησης, η μεθοδολογία απόκτησης δεδομένων, η χωρητικότητα αποθήκευσης και οι δυνατότητες παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο. Η εργασία που διεξάγεται στην παρούσα διπλωματική εργασία συμβάλλει στην εξέλιξη των συστημάτων μέτρησης και παρέχει πολύτιμες γνώσεις για εφαρμογές που απαιτούν την ανάλυση των μεταβολών της αντίστασης για μεγάλα χρονικά διαστήματα.

1.1 Σκοπός και στόχοι

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου συστήματος για τη μέτρηση και την αποθήκευση των μεταβολών της αντίστασης με την πάροδο του χρόνου. Πρωταρχικός στόχος είναι ο σχεδιασμός, η υλοποίηση και η αξιολόγηση ενός συστήματος που εξασφαλίζει την ακριβή και αξιόπιστη παρακολούθηση των μεταβολών της αντίστασης και διευκολύνει την αποτελεσματική αποθήκευση και ανάκτηση των δεδομένων που αποκτήθηκαν.

Στόχοι :

1. Διεξαγωγή ενδελεχούς ανασκόπησης των υφιστάμενων τεχνικών, συστημάτων και μεθόδων μέτρησης αντίστασης και αποθήκευσης, ώστε να δημιουργηθεί μια στέρεη βάση για την ανάπτυξη του συστήματος.
2. Καθορισμός των απαιτήσεων και των προδιαγραφών του συστήματος μέτρησης και αποθήκευσης αντίστασης, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως η ακρίβεια μέτρησης, η μεθοδολογία απόκτησης δεδομένων, η χωρητικότητα αποθήκευσης και οι δυνατότητες παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο.
3. Να επιλέξετε τους κατάλληλους αισθητήρες και να σχεδιάσετε ένα αξιόπιστο κύκλωμα μέτρησης ικανό να καταγράφει με ακρίβεια τις μεταβολές της αντίστασης με την πάροδο του χρόνου.
4. Ανάπτυξη ενός συστήματος απόκτησης δεδομένων που εξασφαλίζει αναλογική-ψηφιακή μετατροπή υψηλής ταχύτητας και υψηλής ανάλυσης, επιτρέποντας την ακριβή απόκτηση δεδομένων αντίστασης σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα.
5. Σχεδιασμός ενός στοιχείου αποθήκευσης που καταγράφει και αποθηκεύει αποτελεσματικά τα δεδομένα αντίστασης, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως η χωρητικότητα, η αποτελεσματικότητα της ανάκτησης δεδομένων και η μακροπρόθεσμη ακεραιότητα των δεδομένων.
6. Εφαρμογή τεχνικών βαθμονόμησης για τη βελτίωση της ακρίβειας και της αξιοπιστίας των μετρήσεων αντίστασης εντός του συστήματος.
7. Επινόηση στρατηγικών καταγραφής και διαχείρισης δεδομένων που επιτρέπουν την απρόσκοπτη αποθήκευση και ανάκτηση δεδομένων αντίστασης, συμπεριλαμβανομένων δυνατοτήτων παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο για άμεση ανάλυση.
8. Αξιολόγηση της απόδοσης του συστήματος που αναπτύχθηκε μέσω πειραματικών δοκιμών, αναλύοντας παράγοντες όπως η ακρίβεια των μετρήσεων, η αποτελεσματικότητα της βαθμονόμησης,

- η αποτελεσματικότητα της απόκτησης δεδομένων, η χωρητικότητα αποθήκευσης και οι δυνατότητες παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο.
9. Σύγκριση του συστήματος που αναπτύχθηκε με τα υπάρχοντα συστήματα παρακολούθησης της αντίστασης, προσδιορίζοντας τα πλεονεκτήματα, τους περιορισμούς και τους πιθανούς τομείς βελτίωσης.
 10. Να συζητηθούν οι πρακτικές εφαρμογές και οι πιθανές περιπτώσεις χρήσης του συστήματος που αναπτύχθηκε, διερευνώντας τη σημασία του σε διάφορους επιστημονικούς, μηχανολογικούς και βιομηχανικούς τομείς.
 11. Παροχή συστάσεων για μελλοντικές βελτιώσεις και ερευνητικές κατευθύνσεις, προσδιορίζοντας τομείς για περαιτέρω ανάπτυξη και βελτίωση του συστήματος.

1.2 Μεθοδολογία

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε παρουσιάζεται παρακάτω :

1. Καθορίστηκαν οι ειδικές απαιτήσεις του συστήματος μέτρησης και αποθήκευσης αντίστασης με βάση τους προσδιορισμένους στόχους. Επιλέχθηκαν τα εξαρτήματα, οι αισθητήρες, τα κυκλώματα μέτρησης, η μονάδα απόκτησης δεδομένων, οι συσκευές αποθήκευσης και οι διεπαφές επικοινωνίας. Πραγματοποιήθηκε λεπτομερής σχεδιασμός του συστήματος, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως η ακρίβεια, η ανάλυση, ο ρυθμός δειγματοληψίας, η χωρητικότητα αποθήκευσης και η συνδεσιμότητα.
2. Υλοποιήθηκε το σχεδιασμένο κύκλωμα μέτρησης και της μονάδας συλλογής δεδομένων. Τοποθετήθηκαν τα απαραίτητα εξαρτήματα, και έγινε επαλήθευση της απόδοσης τους, εξασφαλίζοντας ότι πληρούν τις καθορισμένες προδιαγραφές.
3. Αναπτύχθηκε λογισμικό για τον έλεγχο της μονάδας συλλογής δεδομένων, την επεξεργασία των δεδομένων αντίστασης που αποκτήθηκαν και τη διασύνδεση με τις συσκευές αποθήκευσης. Δημιουργήθηκε εφαρμογή καταγραφής δεδομένων και διεπαφών παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο. Επίσης διασφαλίστηκε ότι το λογισμικό είναι φιλικό προς τον χρήστη, αξιόπιστο και ικανό να διαχειρίζεται δεδομένα.
4. Έγινε σχεδιασμός και διεξαγωγή πειραματικών δοκιμών για την αξιολόγηση της απόδοσης του συστήματος που αναπτύχθηκε. Μετρήθηκαν οι μεταβολές της αντίστασης με την πάροδο του χρόνου χρησιμοποιώντας βαθμονομημένους αισθητήρες και συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα που προκύπτουν με τις μετρήσεις αναφοράς. Αξιολογήθηκε η ακρίβεια και η σταθερότητα του συστήματος. Συλλέχθηκαν δεδομένα σχετικά με παράγοντες όπως τα σφάλματα μέτρησης, η ταχύτητα απόκτησης δεδομένων, η αποδοτικότητα αποθήκευσης και οι δυνατότητες παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο.
5. Αναλύθηκαν τα αποκτηθέντα δεδομένα αντίστασης. Αξιολογήθηκε η ικανότητα του συστήματος να καταγράφει και να αποθηκεύει με ακρίβεια τις μεταβολές της αντίστασης με την πάροδο του χρόνου. Επίσης αξιολογήθηκε η απόδοση του συστήματος σε σενάρια παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο και εντοπίστηκαν τυχόν περιορισμοί ή περιοχές προς βελτίωση.
6. Έγινε σύγκριση στο σύστημα που αναπτύχθηκε με τα υπάρχοντα συστήματα παρακολούθησης της αντίστασης, επισημαίνοντας τα πλεονεκτήματα, τους περιορισμούς και τα νέα χαρακτηριστικά του.
7. Καταγραφή των αποτελεσμάτων από την πειραματική αξιολόγηση και την ανάλυση των δεδομένων. Έγινε ανάλυση των αποτελεσμάτων, εξετάζοντας τον τρόπο με τον οποίο το σύστημα που αναπτύχθηκε ανταποκρίνεται στους καθορισμένους στόχους. Επίσης καταγράφησαν περιορισμοί που προέκυψαν κατά τη διαδικασία ανάπτυξης. Και τέλος έγιναν επισημάνσεις για μελλοντικές βελτιώσεις και ερευνητικές κατευθύνσεις.

2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Σύγχρονα μετρητικά συστήματα

Ο άνθρωπος από τα πολύ παλιά χρόνια χρησιμοποιούσε την έννοια της μέτρησης για να μπορέσει να εκφράσει ποσότητες που αφορούσαν την καθημερινότητα. Για να γίνει μία μέτρηση γινόταν μηχανικά χειροκίνητα σε αντίθεση με τη σημερινή εποχή όπου γίνονται με τη μετατροπή ενός φυσικού μεγέθους σε ηλεκτρικό σήμα. Τη μετατροπή αυτή την αναλαμβάνει μια μονάδα που λέγεται

αισθητήρας.

Μέτρηση είναι ο προσδιορισμός ενός μεγέθους με βάση ένα μέγεθος αναφοράς του ίδιου τύπου που χρησιμοποιείται ως μονάδα μέτρησης. Τα μέσα που χρησιμοποιούνται για να γίνει μια μέτρηση ονομάζονται μετρητικά συστήματα. [1]

Στην παρούσα διπλωματική εργασία σχεδιάστηκε ένα μετρητικό σύστημα που μετράει τη μεταβολή της αντίστασης ανά το χρόνο.

2.1 Δομή συστήματος μέτρησης

Κατα τον σχεδιασμό ενός συστήματος λαμβάνεται υπόψιν κάποια σημαντικά χαρακτηριστικά. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι η μεγάλη ευαισθησία, η μικρή κατανάλωση ισχύος, η μεγάλη ταχύτητα απόκρισης, η εύκολη μετάδοση του σήματος εξόδου σε απόσταση και η υψηλή αξιοπιστία. Ένα τυπικό μετρητικό σύστημα αποτελείται από τέσσερα στοιχεία. Τα στοιχεία αυτά είναι οι αισθητήρες, το στοιχείο ρύθμισης σήματος, η ψηφιακή επεξεργασία του σήματος και η μονάδα απεικόνισης ή και καταγραφής του. Ένα τυπικό σύστημα παρουσιάζεται στο σχήμα 1.1.



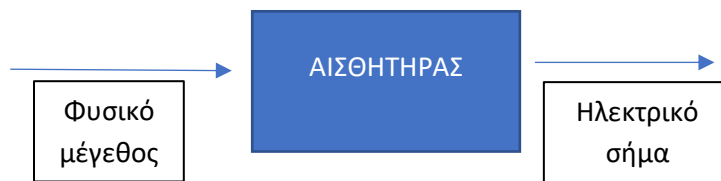
Εικόνα 2.1-1 : Δομή συστήματος μέτρησης

- Αισθητήρας

Αισθητήρες συναντάμε καθημερινά στη ζωή μας όπως στα φώτα, το κινητό, τον υπολογιστή, στο αυτοκίνητο και σε πολλές άλλες εφαρμογές. Υπάρχουν πολλά είδη αισθητήρων ανάλογα με την εφαρμογή που πρέπει να χρησιμοποιηθεί και σκοπός είναι να μας κάνουν τη ζωή μας πιο εύκολη. [2]

Αισθητήρας είναι μία διάταξη που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση ενός φυσικού μεγέθους. Η λειτουργία του εστιάζεται στο να ανιχνεύει διάφορα φυσικά μεγέθη και να δίνει μία έξοδο που αντιστοιχεί στο μετρούμενο μέγεθος συνήθως ένα ηλεκτρικό σήμα. Έχει πολλές ιδιότητες εισόδου και πολλές ιδιότητες εξόδου. Έτσι αν υπάρξει έστω και μία μικρή μεταβολή στην είσοδο θα υπάρξει και η αντίστοιχη μεταβολή στην έξοδο. Όλοι οι αισθητήρες κατηγοριοποιούνται βάση της χρήσης, της εφαρμογής τους και των υλικών που έχουν κατασκευαστεί. Υπάρχουν δύο κύριοι τύποι αισθητήρων οι ενεργητικοί και οι παθητικοί. Οι παθητικοί αισθητήρες δεν χρειάζονται επιπλέον ηλεκτρική ενέργεια και το ηλεκτρικό σήμα

παράγεται απευθείας ως αποτέλεσμα των εξωτερικών ερεθισμάτων που δέχεται. Αυτό σημαίνει ότι μετατρέπει την ενέργεια που δέχεται στην είσοδο σε σήμα στην έξοδο. Κάποια παραδείγματα παθητικών αισθητήρων είναι οι χημικοί αισθητήρες, οι θερμικοί, οι σεισμικοί και οι υπέρυθροι. Οι ενεργοί αισθητήρες χρειάζονται εξωτερικές πηγές ενέργειας για να αποκριθούν το λεγόμενο σήμα διέγερσης. Για να παραχθούν τα σήματα εξόδου των ενεργών αισθητήρων οι αισθητήρες υιοθετούν τις απαραίτητες αλλαγές σε αυτά τα σήματα εισόδου. Παραδείγματα εφαρμογών σχετίζονται με τη μετεωρολογία και την παρατήρηση της επιφάνειας και της ατμόσφαιρας της Γης. [3]



Εικόνα 2.1-2 : Σχηματική διάταξη αισθητήρα

Σχήμα 2.2 : Σχηματική διάταξη αισθητήρα

- Ρυθμιστής σήματος

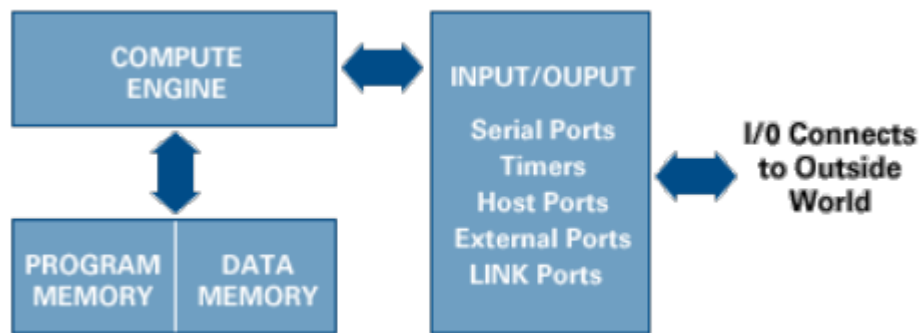
Ο ρυθμιστής σήματος παίρνει την έξοδο από τον αισθητήρα και τη μετατρέπει σε κατάλληλη μορφή για περαιτέρω επεξεργασία. Συνήθως τη μετατρέπει σε τάση, ρεύμα ή συχνότητα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ένας ενισχυτής ο οποίος μετατρέπει τα millivolt σε volt.

Οι ρυθμιστές σήματος των αισθητήρων είναι ηλεκτρονικές διατάξεις που χρησιμοποιούνται για την πραγματοποίηση μιας ή περισσότερων λειτουργιών όπως είναι η εφαρμογή ηλεκτρικής διέγερσης στον αισθητήρα με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικού σήματος. Το ηλεκτρικό σήμα μεταβάλλεται ανάλογα με τη μεταβολή του ηλεκτρικού χαρακτηριστικού του αισθητήρα με το μετρούμενο μέγεθος, η διόρθωση της μη γραμμικότητας του αισθητήρα, η αντιστάθμιση της επίδρασης ανεπιθύμητων διαταραχών στη λειτουργία του αισθητήρα, η γαλβανική απομόνωση του αισθητήρα για προστασία, η ενίσχυση και το φιλτράρισμα του σήματος που παράγεται όπως η απόρριψη του θορύβου.

- Ψηφιακή επεξεργασία σήματος (DSP)

Οι ψηφιακοί επεξεργαστές σήματος, για συντομία θα αναφέρεται ως DSP, παίρνουν σήματα από τον πραγματικό κόσμο όπως φωνή, ήχο, βίντεο, θερμοκρασία, πίεση ή θέση και τα ψηφιοποιούν για να μπορέσουν έπειτα με μαθηματικό τρόπο να τα χειριστούν. Ένας DSP έχει σχεδιαστεί για να εκτελεί μαθηματικές πράξεις όπως πρόσθεση, αφαίρεση, πολλαπλασιασμό και διαίρεση πάρα πολύ γρήγορα. Για να γίνουν τα σήματα από τον εξωτερικό κόσμο ψηφιακά και να μετατραπούν σε μία ψηφιακή μορφή 0 και 1 χρησιμοποιούνται οι μετατροπείς analog to digital converters (ADC). Ο DSP αναλαμβάνει να συλλέξει και να επεξεργαστεί τις ψηφιοποιημένες πληροφορίες και στη συνέχεια τις τροφοδοτεί για χρήση στον πραγματικό κόσμο. Αυτό το κάνει με δύο τρόπους είτε ψηφιακά είτε με αναλογικό τρόπο περνώντας από έναν μετατροπέα ψηφιακού σε αναλογικό σήμα.

Ένας DSP αποτελείται από τα παρακάτω βασικά στοιχεία:



Εικόνα 2.1-3 : Βασικά στοιχεία DSP

- Μνήμη προγράμματος : Αποθηκεύει τα προγράμματα που χρησιμοποιεί ο DSP για την επεξεργασία δεδομένων
- Μνήμη δεδομένων : Αποθηκεύει τις επεξεργασμένες πληροφορίες.
- Υπολογιστική μηχανή : Εκτελεί τη μαθηματική διεργασία, αποκτώντας πρόσβαση στο πρόγραμμα από τη μνήμη προγράμματος και στα δεδομένα από τη μνήμη δεδομένων.
- Είσοδος/Εξοδος: Εξυπηρετεί μια σειρά λειτουργιών για σύνδεση με τον έξω κόσμο. [4]
- Απεικόνιση και καταγραφή επεξεργασμένου σήματος

Η μονάδα απεικόνισης και καταγραφής μπορεί να είναι αναλογική. Η εκμετάλλευση της ψηφιακής τεχνολογίας όμως δίνει ασύγκριτα αποτελέσματα σε σχέση με την αναλογική καταγραφή και απεικόνιση. Η ψηφιακή απεικόνιση της μέτρησης απαλλάσσει τη μέτρηση από την ανάγκη του χειριστή αλλά ταυτόχρονα δίνει μια ένδειξη με μεγαλύτερη ακρίβεια από την αναλογική. Η ψηφιακή καταγραφή των μετρήσεων δίνει την δυνατότητα της εκ των υστέρων ανάλυσης και επεξεργασίας των μετρήσεων όπως και της αξιόπιστης μεταφοράς τους σε μεγάλες αποστάσεις. Το σύστημα ελέγχεται από ένα μικροεπεξεργαστή (μΕ) ο οποίος με κατάλληλο λογισμικό και σε συνδιασμό με συσκευές εξόδου μπορεί να απεικονίζει τις μετρήσεις στην οθόνη, να τις επεξεργάζεται με χρήση προγράμματος και να τις αποθηκεύει είτε σε μνήμες (RAM,EEPROM,Flash,eMMC) είτε σε άλλα μέσα όπως σκληρούς δίσκους αλλά και να τις μεταδίδει σε μεγάλες αποστάσεις μέσω κατάλληλου δικτύου και υλικολογισμικού. [1]

2.2 Θόρυβος ηλεκτρονικών κυκλωμάτων

Ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα ή σύστημα έχει πολλές πηγές θορύβου όπως ο ενδογενής και ο εξωγενής. Ο ενδογενής θόρυβος αναφέρεται σε στοιχεία του κυκλώματος ή συστήματος που αποτελούν μέρος του. Ο εξωγενής θόρυβος αναφέρεται σε εξωτερικά στοιχεία που εισάγονται στο κύκλωμα με άλλο μέσο όπως από την λήψη του σήματος σε μια από τις πολλές κεραίες που μπορεί να έχει το ηλεκτρονικό σύστημά. Οποιαδήποτε τάση ή ρεύμα δεν σχετίζεται με το σύστημα μπορεί να θεωρηθεί σαν θόρυβος.[5] Ο θόρυβος επικαλύπτει το σήμα και τείνει να το αλλάξει κάνοντας το να πρέπει να έχει μεγαλύτερο επίπεδο ισχύος από τον θόρυβο για να μπορέσει να φτάσει το μήνυμα από το στόχο στον δέκτη. Έτσι εκτός από τον ενδογενή και τον εξωγενή θόρυβο που μπορούν να μειωθούν κατά τη σχεδίαση υπάρχει και ο θερμικός θόρυβος ή θόρυβος Johnson που παράγεται από τυχαίες διακυμάνσεις λόγω της θερμικής διέγερσης των ηλεκτρονίων. Ο θόρυβος αυτός είναι

λευκός αφού η κατανομή του δίνει τον ίδιο θόρυβο ανα μονάδα εύρους ζώνης σε όλο το φάσμα. Ο θερμικός θόρυβος υπάρχει σε όλα τα ηλεκτρονικά κυκλώματα, τα καλώδια και γενικά σε όλα τα ηλεκτρονικά συστήματα. Ο θερμικός θόρυβος προέρχεται από την τυχαία κίνηση των ελεύθερων ηλεκτρονίων στους αγωγούς. Στην παρούσα διπλωματική εργασία έχουν χρησιμοποιηθεί στο κύκλωμα τρανζίστορ. Οι πηγές θορύβου στα τρανζίστορ είναι ο θερμικός θόρυβος του αγωγού, ο θόρυβος βολής που προκαλείται από το ρεύμα διαρροής της πύλης και ο θόρυβος μεταβολής κατά $1/f$ που προκαλείται από τα επιφανειακά κύματα. Τέλος ακόμη και σε έναν ενισχυτή χωρίς σήμα στην είσοδο μπορεί να μετρηθεί ένα μικρό σήμα στην έξοδο. Αυτή η μικρή ισχύς εξόδου αναφέρεται ως ισχύς θορύβου του ενισχυτή. [6]

2.3 Ανάλυση σφαλμάτων

Ανάλυση σφαλμάτων

Κατά τη μέτρηση φυσικών μεγεθών προκύπτει μια αριθμητική τιμή η οποία δεν είναι απόλυτα ίση με την πραγματική τιμή του μετρούμενου μεγέθους. Το σφάλμα που προκύπτει μπορεί να οφείλεται σε διάφορες αιτίες. Επειδή η πραγματική τιμή του μετρούμενου μεγέθους δεν είναι γνωστή πρέπει να είναι γνωστή του σφάλματος. Τα σφάλματα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες :

- Συστηματικά σφάλματα (systemic errors)
- Τυχαία σφάλματα (random errors)

Συστηματικά σφάλματα

Τα συστηματικά σφάλματα παραμένουν σταθερά κατά τη διάρκεια των μετρήσεων και μπορεί να οφείλονται σε ανθρώπινα σφάλματα, σε ατέλειες οργάνων μέτρησης όπως και στην επίδραση του περιβάλλοντος. Παραδείγματα ανθρώπινων σφαλμάτων είναι για παράδειγμα η ανάγνωση της θέσης της βελόνας του οργάνου από ορισμένη γωνία, η λανθασμένη μέθοδος για την πραγματοποίηση της μέτρησης, οι λανθασμένες τιμές σταθερών σε εξισώσεις του πειράματος. Ατέλειες των οργάνων μέτρησης μπορεί να αναφερθεί ενδεικτικά αν ένα αναλογικό ωμόμετρο έχει στραβωμένη βελόνα και στην επίδραση του περιβάλλοντος η πολύ υψηλή θερμοκρασία στο χώρο. Τα συστηματικά σφάλματα διορθώνονται εύκολα μετά την ανίχνευσή τους.

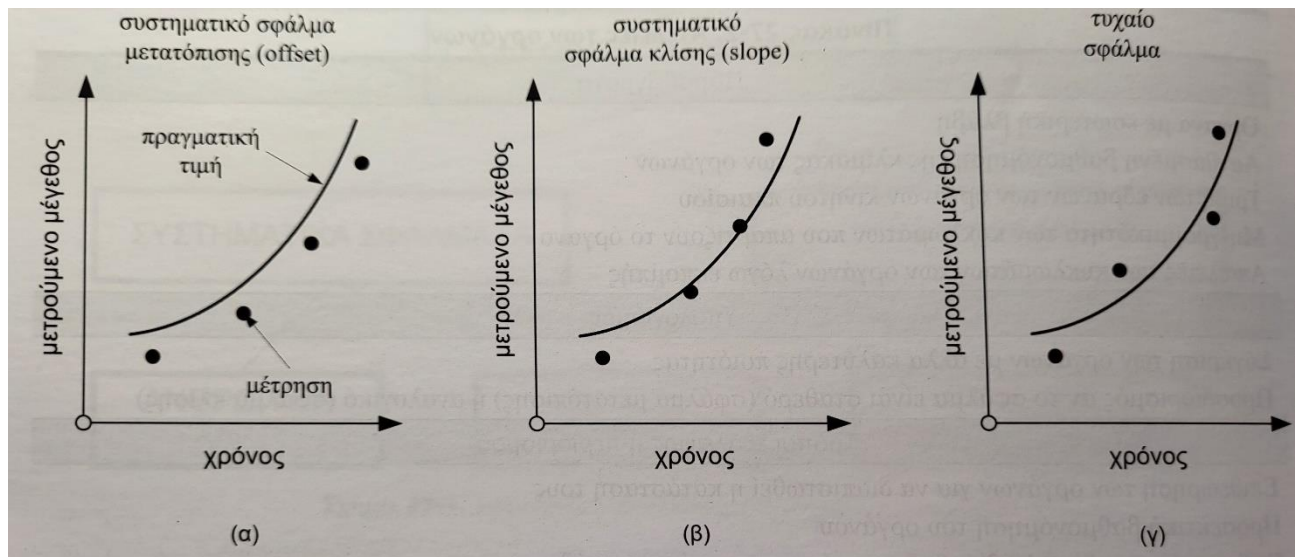
Τυχαία σφάλματα

Τα τυχαία σφάλματα μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια των μετρήσεων και μπορεί να είναι είτε θετικά είτε αρνητικά. Οφείλονται σε άγνωστες μεταβολές κατά τη διάρκεια των μετρήσεων όπως :

- το περιβάλλον (π.χ. ηλεκτρικός θόρυβος εξαρτημάτων, ακανόνιστη μεταβολή της θερμοκρασίας, ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις)
- σε περιορισμένη διακριτικότητα των οργάνων μέτρησης
- σε περιορισμένη ευαισθησία του παρατηρητή ο οποίος είναι αδύνατο να διαβάσει λανθασμένα μια ένδειξη.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ότι η συνεχής γραμμή είναι η πραγματική τιμή ενός μεγέθους ανά το χρόνο. Παρουσιάζονται όλες οι μετρήσεις χαμηλότερες από την πραγματική τιμή κατά ένα ποσό αυτό που ονομάζεται συστηματικό σφάλμα μετατόπισης (offset). (α). Επίσης παρουσιάζονται οι μετρήσεις που ακολουθούν καμπύλη παρόμοια με της πραγματικής αλλά με διαφορετική κλίση. (slope) (β). Μία ακόμη περίπτωση είναι οι μετρήσεις να μην παρουσιάζουν κμία απόκλιση από

τις πραγματικές τιμές. Τέλος αν οι μετρήσεις επαναληφθούν προκύπτουν νέες τιμές μετρήσεων κάθε φορά με αυτό να ονομάζεται τυχαίο σφάλμα. Τα τυχαία σφάλματα δεν διορθώνονται με επέμβαση στα όργανα, στη μέθοδο μέτρησης ή τον παρατηρητή. Για να περιοριστεί η επιδρασή τους εφαρμόζεται η αύξηση της αξιοπιστίας των μετρήσεων με επαναληπτικές μετρήσεις του ίδιου μεγέθους και η χρήση της θεωρίας σφαλμάτων με την εκτίμηση της οποίας μπορεί να γίνει εκτίμηση της πιθανότερης πραγματικής τιμής αλλά και της αναμενόμενης απόκλισης της μέτρησης σε σχέση με την πραγματική τιμή.



Εικόνα 2.3-1 : Παραδείγματα συστηματικών και τυχαίων σφαλμάτων

Βασικές έννοιες θεωρίας σφαλμάτων

Παρακάτω θα αναλυθούν βασικές έννοιες θεωρίας σφαλμάτων.

i. Ακρίβεια οργάνου

Η ακρίβεια σχετίζεται με το μέγιστο σφάλμα που μπορεί να εμφανίσει το όργανο μέτρησης κατά τη μέτρηση. Συνήθως εκφράζεται ως ποσοστιαίο(%) σφάλμα στη μετρούμενη τιμή. Επίσης μπορεί να οριστεί ως η ποιοτική αξιολόγηση της απαλλαγής από σφάλμα. Στις εργαστηριακές μελέτες αναφέρεται η έννοια της συμβατικής πραγματικής τιμής (conventional true value) ενός μεγέθους. Τέτοια τιμή θεωρείται η τιμή μεγέθους που μετράται με ένα όργανο πολύ μεγάλης ακρίβειας. Αυτά τα όργανα ονομάζονται εργαστηριακά πρότυπα(standards) και χρησιμοποιούνται για τη βαθμονόμηση άλλων οργάνων.

Η ακρίβεια μπορεί να εκφραστεί με τρεις τρόπους :

α. Ποσοστιαία(%) στη μετρούμενη τιμή.

β. Απόλυτα πάνω στη μετρούμενη τιμή

γ. Μικτά στην περίπτωση ψηφιακών οργάνων

ii. Σφάλμα μέτρησης

Σε κάθε μέτρηση πάντα εισέρχεται ένα σφάλμα (error) . Είναι σημαντικό να γίνει εκτίμηση του σφάλματος και να βρεθούν τα αίτια που το προκαλούν.

Το ποσοστιαίο σφάλμα μιας μέτρησης εκφράζεται από τη σχέση :

$$\text{Σφάλμα} = \frac{\text{πραγματική τιμή} - \text{μετρούμενη τιμή}}{\text{πραγματική τιμή}} \times 100\%$$

iii. Ακρίβεια προσέγγισης (precision)

Αναφέρεται στο πλήθος των σημαντικών ψηφίων με τα οποία γράφεται η τιμή μιας μέτρησης. Δίνεται η δυνατότητα διάκρισης μεταξύ ίσων τιμών και καθορίζει το πόσο κοντά μπορεί να είναι μεταξύ τους οι διαδοχικές μετρήσεις. Η ακρίβεια οργάνου είναι περισσότερο ποιοτική έννοια ενώ η ακρίβεια προσέγγισης είναι περισσότερο ποσοτική έννοια. Παρακάτω παρουσιάζεται μια μορφή διάκρισης μεταξύ ακρίβειας προσέγγισης (precision) και ακρίβειας οργάνου (accuracy) :

α. Καλή ακρίβεια προσέγγισης (precision)

Καλή ακρίβεια οργάνου (accuracy)

Οι βολές είναι κοντά μεταξύ τους και πάνω στο στόχο.

β. Καλή ακρίβεια προσέγγισης (precision)

Κακή ακρίβεια οργάνου (accuracy)

Οι βολές είναι κοντά μεταξύ τους αλλά μακριά από το στόχο.

γ. Κακή ακρίβεια προσέγγισης (precision)

Καλή ακρίβεια οργάνου (accuracy)

Οι βολές είναι μακριά μεταξύ τους αλλά κοντά στο στόχο.

δ. Κακή ακρίβεια προσέγγισης (precision)

Κακή ακρίβεια οργάνου (accuracy)

Οι βολές είναι μακριά μεταξύ τους και μακριά από το στόχο.

iv. Διακριτικότητα (resolution) οργάνου

Μικρότερη δυνατή διαφορά στη μέτρηση του μεγέθους που μπορεί να ανιχνευθεί από το όργανο. Παράδειγμα αν ένα ψηφιακό όργανο έχει διακριτική ικανότητα 0.1 V μπορεί να απεικονίσει μία τιμή ίση με 12.5 V ή 12.6 V αλλά δεν μπορεί να μετρήσει τις ενδιάμεσες τιμές.

v. Επαναληπτικότητα οργάνου (repeatability)

Η παραπάνω έννοια μετρά το κατά πόσο συμπίπτουν οι ενδείξεις του οργάνου κατά τη μέτρηση ακριβώς του ίδιου μεγέθους κατά τις διαχρονικές μετρήσεις.

vi. Άμεση μέτρηση

Άμεση είναι η μέτρηση που προκύπτει απευθείας με την ανάγνωση του οργάνου μέτρησης.

vii. Έμμεση μέτρηση

Έμμεση είναι η μέτρηση που προκύπτει με υπολογισμό από άλλες μετρήσεις. [1]

2.4 Μέτρηση αντίστασης

2.4.1 Χαρακτηριστικά αντίστασης

Η αντίσταση μπορεί να οριστεί ως το στοιχείο σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα που περιορίζει τη ροή του ρεύματος στο κύκλωμα αυτό. Αντίσταση ενός υλικού μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα με τη διατομή του υλικού και ευθέως ανάλογη με την το μήκος και την ειδική αντίσταση. Η ηλεκτρική ενέργεια που ρέει σε ένα κύκλωμα που περιέχει αντίσταση μετατρέπεται σε θερμότητα ως το τετράγωνο του ρεύματος που διαρρέει την αντίσταση. Τα υλικά που έχουν χαμηλή αντίσταση είναι γνωστά ως αγωγοί και εκείνα που έχουν πολύ υψηλή αντίσταση είναι γνωστά ως μονωτές. Σε πολύ χαμηλές και συγκεκριμένες θερμοκρασίες, ορισμένα υλικά παρουσιάζουν μηδενική αντίσταση, ένα φαινόμενο που ονομάζεται υπεραγωγιμότητα.

Η αντίσταση είναι μία από τις βασικές ιδιότητες του ηλεκτρικού κυκλωμάτων και των κατασκευασμένων εξαρτημάτων που ονομάζονται αντιστάσεις. Αν και η πρωταρχική λειτουργία των αντιστάσεων είναι να περιορίζουν ρεύματος, βρίσκουν επίσης πολλές άλλες χρήσεις, όπως για παράδειγμα ως pull-up, pull-down, προσαρμογή σύνθετης αντίστασης, διαίρεση τάσης, έλεγχος κέρδους, ρύθμιση πόλωσης και ούτω καθεξής.

2.4.2 Βασική θεωρία της αντίστασης

Η αντίσταση σχετίζεται με το ρεύμα, την τάση και τις φυσικές ιδιότητες των υλικών. Το ρεύμα μπορεί να ρέει σε οποιοδήποτε μέσο σε στο οποίο υπάρχουν ελεύθερα φορτία αγωγιμότητας. Το φορτία αγωγιμότητας μπορεί να είναι ηλεκτρόνια, θετικά φορτισμένα "οπές", ή θετικά ή αρνητικά ιόντα, ανάλογα με το υλικό. Κατά τη διάρκεια της ροής του ρεύματος, τα φορτία παρουσιάζουν συνεχή τυχαία κίνηση, συγκρουόμενα μεταξύ τους καθώς και με την ατομική δομή του υλικού.

Όταν ένα αγώγιμο υλικό τοποθετείται σε ηλεκτρικό πεδίο, τα αγώγιμα φορτία επιταχύνονται προς την κατεύθυνση του του πεδίου. Το πεδίο προσθέτει μια μικρή μέση ταχύτητα ολίσθησης στο στην τυχαία ταχύτητα. Το μέγεθος της ταχύτητας ολίσθησης, u_d , σχετίζεται με την ένταση του πεδίου E ως εξής :

$$u_d = \mu E \quad (1)$$

όπου μ είναι γνωστή ως η κινητικότητα των φορέων φορτίου.

Ο ρυθμός ροής ηλεκτρικού φορτίου σε μια μονάδα επιφάνειας του ενός επιπέδου κάθετου στη διεύθυνση nd είναι η πυκνότητα ρεύματος, J , δίνεται από τη σχέση :

$$J = nqu_d \quad (2)$$

όπου n είναι η πυκνότητα των φορέων φορτίου και q είναι η φορτίο κάθε σωματιδίου. Για τους ηλεκτρονικούς αγωγούς, το ηλεκτρόνιο φορτίο, $e = q = 1,6 \times 10^{-19}$ C. Συνδυάζοντας τις εξισώσεις (1) και (2) δίνει την παρακάτω :

$$J = nq\mu E = \sigma E \quad (3)$$

όπου σ είναι η αγωγιμότητα του υλικού, σε Siemens ανά μέτρο και J είναι η πυκνότητα ρεύματος σε coulombs ανά τετραγωνικό μέτρο ανά δευτερόλεπτο. Το αντίστροφο της αγωγιμότητας ονομάζεται ειδική αντίσταση (ρ), η οποία μετράται σε Ωm . Ενώ το εύρος της αγωγιμότητας είναι κάπως αυθαίρετη, είναι πολύ χαμηλή στους μονωτές, $\sigma < 10^{-15}$ S cm^{-1} , ενδιάμεση στους ημιαγωγούς, $\sigma = 10^{-5} - 10^3$ S cm^{-1} , πολύ υψηλή στους αγωγούς, $\sigma = 10^4$ έως 10^6 S cm^{-1} , και άπειρη στους υπεραγωγούς.

Η κινητικότητα, μ , συνήθως μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας λόγω των συγκρούσεων μεταξύ των κινούμενων ηλεκτρονίων, δηλαδή των δονήσεων του πλέγματος. Ο αριθμός των φορέων φορτίου n , παραμένει σταθερή για τους μεταλλικούς αγωγούς με την αύξηση του θερμοκρασία, αλλά αυξάνεται εκθετικά για τους ημιαγωγούς και τους μονωτές. Έτσι, σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες ορισμένοι μονωτές γίνονται ημιαγωγά, ενώ σε χαμηλές θερμοκρασίες ορισμένοι ημιαγωγοί γίνονται μονωτές. Οι εξισώσεις (1), (2) και (3) μπορούν να συνδεθούν με τη βασική θεωρία των ηλεκτρικών κυκλωμάτων θεωρώντας τη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος σε ένα τμήμα ενός καλωδίου με εμβαδόν διατομής A και μήκος l . Υποθέτοντας ότι ένα ρεύμα I κατανέμεται ομοιόμορφα στη διατομή, η πυκνότητα ρεύματος μπορεί να εκφραστεί ως :

$$J = \frac{I}{A} \quad (4)$$

Εκφράζοντας τη σχέση μεταξύ του ηλεκτρικού πεδίου και της διαφοράς δυναμικού μεταξύ των άκρων του δίνει :

$$E = \frac{V}{l} \quad (5)$$

Έτσι, από τις εξισώσεις (3), (4) και (5), η σχέση μεταξύ της τάσης και του ρεύματος γίνεται

$$V = \left(\frac{\rho l}{A} \right) I = R I$$

Η αντίσταση R ενός υλικού μπορεί να εκφραστεί ως :

$$R = \frac{\rho l}{A}$$

Το R είναι μια ποσότητα που αντιπροσωπεύει την ηλεκτρική συμπεριφορά του στοιχείου του κυκλώματος σε συνθήκες συνεχούς ρεύματος.

2.4.3 Δίκτυα μέτρησης αντίστασης

Η σύνθετη αντίσταση στα κυκλώματα εναλλασσόμενου ρεύματος και η αντίσταση στα κυκλώματα συνεχούς ρεύματος είναι σημαντικές παράμετροι που χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά του κυκλώματος, τα εξαρτήματα και τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή αυτών των εξαρτημάτων. Για τη μέτρηση της σύνθετης αντίστασης, είναι απαραίτητη η μέτρηση τουλάχιστον δύο τιμές, δεδομένου ότι πρόκειται για ένα σύνθετο μέγεθος, όπως εκφράζεται από το 8. Υπάρχουν πολλά σύγχρονα συστήματα μέτρησης της εμπέδησης που προσδιορίζουν τη συνολική σύνθετη αντίσταση και στη συνέχεια προσδιορίζουν το πραγματικό και το φανταστικό μέρος για την αντίσταση και αντιδραστικές συνιστώσες. Υπάρχουν πολλά όργανα μέτρησης αντίστασης και σύνθετης αντίστασης μεθόδους, καθεμία από τις οποίες έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Ορισμένες από αυτές τις μεθόδους είναι

- μέθοδος γέφυρας
- μέθοδος I-V
- μέθοδος πηγής σταθερού ρεύματος
- μέθοδος ανάλυσης δικτύου
- μέθοδος συντονισμού

2.4.3.1 Μέθοδος της γέφυρας

Όταν κανένα ρεύμα δεν διαρρέει τον ανιχνευτή, η τιμή της άγνωστης συνιστώσας μπορεί να εκφραστεί από τη σχέση με τα άλλα στοιχεία της γέφυρας. Η μέθοδος της ηλεκτρικής γέφυρας χρησιμοποιείται ευρέως στις μετρήσεις αντίστασης. Η μέθοδος αυτή δίνει τυπικές ακρίβειες 0,1% και είναι εφαρμόσιμη για μια συχνότητα εύρος συχνοτήτων από DC έως 300 MHz.

2.4.3.2 Μέθοδος I – V

Η άγνωστη σύνθετη αντίσταση ή αντίσταση υπολογίζεται από τη σχέση τις μετρούμενες τιμές τάσης και ρεύματος. Το ρεύμα υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τη μέτρηση της τάσης σε μία γνωστή αντίσταση. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι μετασχηματιστές χαμηλών απωλειών χρησιμοποιούνται για να αποφευχθούν τα αποτελέσματα που προκαλούνται από τη χρήση χαμηλής αξίας αντιστάτη στο κύκλωμα. Αυτό είναι το καταλληλότερο για τον τύπο δοκιμασίας και το εύρος συχνοτήτων είναι συνήθως από 10 KHz έως 100 MHz.

2.4.3.3 Μέθοδος πηγής σταθερού ρεύματος

Αυτή είναι η μέθοδος που χρησιμοποιείται στα περισσότερα πολύμετρα για τη μέτρηση αντιστάσεων. Οι μετρήσεις αντίστασης γίνονται χρησιμοποιώντας μια πηγή ρεύματος και μια κανονική είσοδο τάσης. Το ρεύμα ρέει μέσω της άγνωστης αντίστασης και η τάση μετράται η πτώση τάσης στην αντίσταση. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται στο εργαστηριακό περιβάλλον για ένα ευρύ φάσμα αντιστάσεων.

2.4.3.4

Μέθοδος ανάλυσης δικτύου

Σε εφαρμογές εναλλασσόμενου ρεύματος, ο συντελεστής ανάκλασης από την άγνωστη σύνθετη αντίσταση λαμβάνεται με τη μέτρηση του λόγου του προσπίπτοντος σήματος και του ανακλώμενου σήματος. Χρησιμοποιείται κατευθυντικός ζεύκτης ή γέφυρα για την ανίχνευση του ανακλώμενου

σήματος και ένας αναλυτής δικτύου χρησιμοποιείται για την παροχή και τη μέτρηση των σημάτων. Αυτό χρησιμοποιείται κυρίως σε υψηλές συχνότητες εφαρμογές από 300 kHz και άνω. Δίνει καλά αποτελέσματα όταν η άγνωστη σύνθετη αντίσταση είναι κοντά στη χαρακτηριστική σύνθετη αντίσταση.

2.4.3.5

Μέθοδος συντονισμού

Όταν ένα κύκλωμα ρυθμίζεται σε συντονισμό με πυκνωτές συντονισμού, η άγνωστη σύνθετη αντίσταση μπορεί να προσδιοριστεί από το συχνότητα, την τιμή της χωρητικότητας και τον συντελεστή Q. Ο συντελεστής Q μπορεί να μετρηθεί άμεσα με τη χρήση βολτομέτρου στον πυκνωτή συντονισμού. Είναι ακριβής σε μετρήσεις χαμηλής εμπέδησης στην περιοχή από 10 KHz έως 70MHz. [17]

2.5

Χαρακτηριστικά αισθητήρων

Οι αισθητήρες είναι απαραίτητα στοιχεία στον τεχνολογικά προηγμένο κόσμο μας. Λειτουργούν ως πύλες, επιτρέποντάς μας να αντιλαμβανόμαστε και να κατανοούμε τις φυσικές και περιβαλλοντικές αλλαγές που μας περιβάλλουν. Αυτές οι αξιοσημείωτες συσκευές διαθέτουν ένα ευρύ φάσμα χαρακτηριστικών που καθορίζουν την αποτελεσματικότητα και την αξιοπιστία τους. Σε αυτό το δοκίμιο, θα εμβαθύνουμε στα βασικά χαρακτηριστικά των αισθητήρων, ρίχνοντας φως στην ευαισθησία, το εύρος, την ανάλυση, την ακρίβεια, τον χρόνο απόκρισης, τη γραμμικότητα, την υστέρηση, τη σταθερότητα και τις περιβαλλοντικές εκτιμήσεις τους.

Η χρήση των συστημάτων μέτρησης χρησιμοποιείται για την μέτρηση μεταβολής μεγεθών σε αισθητήρες. Σε έναν ιδανικό αισθητήρα το σήμα εξόδου είναι γραμμικά ανάλογο με την τιμή του μετρούμενου μεγέθους. Το κέρδος (gain) του αισθητήρα είναι ο λόγος του σήματος εξόδου προς την τιμή του μετρούμενου μεγέθους. Παρακάτω θα αναλυθούν τα χαρακτηριστικά των αισθητήρων τα οποία βοηθούν στην αξιολόγηση της ποιότητας του αισθητήρα και τη σωστή επιλογή αυτού για την κατάλληλη εφαρμογή του.

2.5.1 **Ακρίβεια**

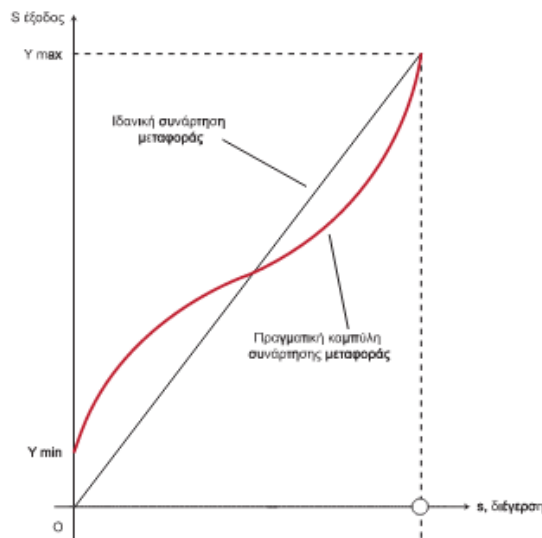
Η ακρίβεια σχετίζεται με το μέγιστο σφάλμα που μπορεί να εμφανίσει ο αισθητήρας κατά την μέτρηση. Η ακρίβεια είναι η ποιοτική αξιολόγηση της απαλλαγής από σφάλμα. Υψηλή ακρίβεια αντιστοιχεί σε μικρό σφάλμα και αντίστροφα.

Η ακρίβεια εκφράζεται:

1. ως προς τις μονάδες της μετρούμενης ποσότητας (για παράδειγμα ακρίβεια σε ένα θερμόμετρο $\pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$ σημαίνει ότι αν η μέτρηση είναι $20 \text{ }^\circ\text{C}$ τότε η πραγματική τιμή της θερμοκρασίας θα είναι μεταξύ $19.5 \text{ }^\circ\text{C}$ και $20.5 \text{ }^\circ\text{C}$),
2. ως εκατοστιαίο (%) σφάλμα ως προς την τιμή της μέτρησης (για παράδειγμα ακρίβεια σε ένα θερμόμετρο $\pm 5 \%$ σημαίνει ότι αν η μέτρηση είναι $20 \text{ }^\circ\text{C}$ τότε η πραγματική τιμή της θερμοκρασίας θα είναι μεταξύ $19 \text{ }^\circ\text{C}$ και $21 \text{ }^\circ\text{C}$), και
3. ως εκατοστιαίο (%) σφάλμα ως προς το εύρος της πλήρους κλίμακας. (για παράδειγμα ακρίβεια $\pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$ σε ένα θερμόμετρο με εύρος πλήρους κλίμακας $0-50 \text{ }^\circ\text{C}$ σημαίνει ότι αν η μέτρηση είναι $20 \text{ }^\circ\text{C}$ τότε η πραγματική τιμή της θερμοκρασίας θα είναι μεταξύ $17.5 \text{ }^\circ\text{C}$ και $22.5 \text{ }^\circ\text{C}$).

2.5.2 Είσοδος και έξοδος πλήρους κλίμακας

Είσοδος πλήρους κλίμακας ενός αισθητήρα είναι η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή του σήματος εισόδου (μετρούμενο μέγεθος). Έξοδος πλήρους κλίμακας $V_{0,FS}$ ενός αισθητήρα είναι η τιμή της τάσης εξόδου του αισθητήρα όταν η είσοδος έχει τη μέγιστη τιμή της $X_{0,FS}$ αν ο αισθητήρας μετατρέπει το φυσικό σήμα εισόδου σε τάση ενώ αν το μετατρέπει σε ρεύμα είναι $I_{0,FS}$.



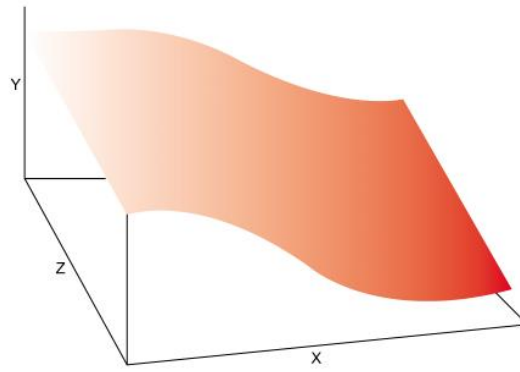
Εικόνα 2.5-1 : Εύρος πλήρους κλίμακας σε καμπύλη συνάρτηση μεταφοράς αισθητήρα

2.5.3 Συνάρτηση μεταφοράς ή χαρακτηριστική καμπύλη

Η συνάρτηση μεταφοράς ή χαρακτηριστική καμπύλη ενός αισθητήρα είναι η σχέση ή όπως αλλιώς ορίζεται η συνάρτηση του ηλεκτρικού σήματος στην έξοδο του αισθητήρα με την τιμή του φυσικού μεγέθους που μετριέται :

$$\text{ηλεκτρικό σήμα εξόδου} = f(\text{φυσικό σήμα εισόδου})$$

όπου $f(.)$ είναι η συνάρτηση μεταφοράς ή χαρακτηριστική καμπύλη αισθητήρα.



Εικόνα 2.5-2 : Γραφική παράσταση συνάρτησης μεταφοράς του αισθητήρα θερμικής ακτινοβολίας

Η συνάρτηση αυτή μπορεί να είναι γραμμική , λογαριθμική, εκθετική ή πολυωνυμική.

Γραμμική συνάρτηση μεταφοράς : $S = a + bs$

Λογαριθμική συνάρτηση μεταφοράς : $S = a + b \ln s$

Εκθετική συνάρτηση μεταφοράς : $S = ae^{ks}$

Πολυωνυμική συνάρτηση μεταφοράς: $S = a_0 + a_1 s^k$

2.5.4 Ευαισθησία

Η ευαισθησία στο μετρούμενο μέγεθος X_i ενός αισθητήρα με συνάρτηση μεταφοράς $V_0(X_i)$ δίνεται από τη σχέση :

$$S = \frac{dV_0}{dX_i}$$

dX_i είναι η μεταβολή στην τιμή του μετρούμενου μεγέθους

dV_0 είναι η αντίστοιχη μεταβολή στο ηλεκτρικό σήμα εξόδου του αισθητήρα.

Κέρδος

Για έναν αισθητήρα που έχει συνάρτηση μεταφοράς είναι της μορφής $V_0 = a * X_i$, όπου V_0 είναι το ηλεκτρικό σήμα εξόδου του αισθητήρα, X_i είναι τιμή του μετρούμενου μεγέθους και a είναι η κλίση της χαρακτηριστικής, τότε το κέρδος (gain) του αισθητήρα στο μετρούμενο μέγεθος ορίζεται ως εξής :

$$G \triangleq \frac{V_0}{X_i} = a = S$$

Για να γίνει πιο κατανοητό θα δοθεί το εξής παράδειγμα :
Αν ένας αισθητήρας δύναμης έχει κέρδος $0,1 \text{ V} / \text{N}$, τότε για μεταβολή της δύναμης στην είσοδο κατά 1N το σήμα εξόδου μεταβάλλεται κατά $0,1 \text{ V}$.

2.5.5 Κέρδος

Για έναν αισθητήρα που έχει συνάρτηση μεταφοράς είναι της μορφής $V_0 = a * X_i$, όπου V_0 είναι το ηλεκτρικό σήμα εξόδου του αισθητήρα, X_i είναι τιμή του μετρούμενου μεγέθους και a είναι η κλίση της χαρακτηριστικής, τότε το κέρδος (gain) του αισθητήρα στο μετρούμενο μέγεθος ορίζεται ως εξής :

$$G \triangleq \frac{V_0}{X_i} = a = S$$

Για να γίνει πιο κατανοητό θα δοθεί το εξής παράδειγμα : Αν ένας αισθητήρας δύναμης έχει κέρδος $0,1 \text{ V} / \text{N}$, τότε για μεταβολή της δύναμης στην είσοδο κατά 1N το σήμα εξόδου μεταβάλλεται κατά $0,1 \text{ V}$.

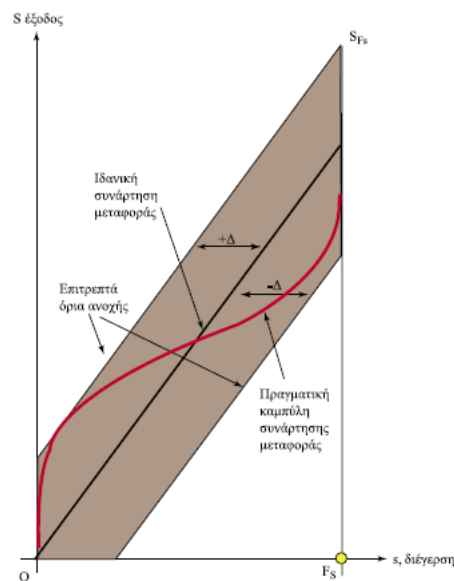
2.5.6 Βαθμονόμηση

Βαθμονόμηση (calibration) είναι η διαδικασία καθορισμού της συνάρτησης μεταφοράς ενός αισθητήρα ή γενικότερα ενός συστήματος μέτρησης. Οι διαδικασίες της βαθμονόμησης μπορούν να ελέγξουν την κατάσταση ενός αισθητήρα ώστε να εξασφαλίσουν τη σωστή λειτουργία του και την αξιοπιστία των μετρήσεων. Η ανωτέρω διαδικασία απαιτεί τον ακριβή έλεγχο των παραμέτρων για τον προς πιστοποίηση αισθητήρα και το πιστοποιητικό βαθμονόμησης που τον συνοδεύει πιστοποιεί ότι λειτουργεί και μετρά σωστά. Η βαθμονόμηση χωρίζεται στην στατική και την δυναμική. Κατά τη στατική βαθμονόμηση οι τιμές εισόδου δεν μεταβάλλονται με τον χρόνο ενώ αντίθετα στη δυναμική βαθμονόμηση οι τιμές εισόδου μεταβάλλονται στο χρόνο.

Στο σχήμα 1.5 παρουσιάζεται μια τυπική καμπύλη ενός αισθητήρα. Η κλίση της καμπύλης προσδιορίζει τη στατική ευαισθησία ή το κέρδος του αισθητήρα απέναντι στο ερέθισμα. Η κλίση της καμπύλης δίνεται από την παρακάτω σχέση :

$$K = \frac{dy}{dx}$$

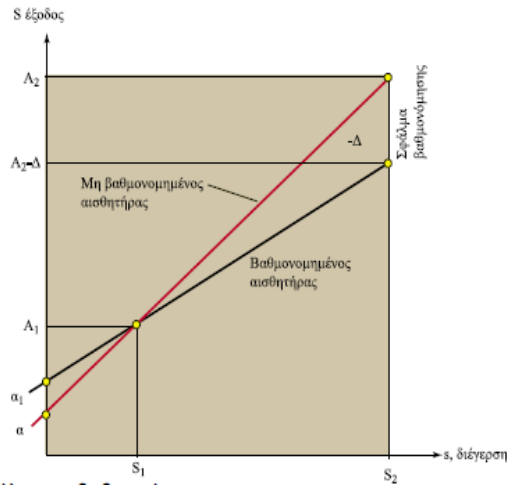
Η διαδικασία βελτίωσης της ακρίβειας ενός οργάνου με ένα πρότυπο όργανο γνωστής ακρίβειας ονομάζεται διακρίβωση.



Εικόνα 2.5-3 : Ιδανική και πραγματική συνάρτηση μεταφοράς

2.5.7 Σφάλμα βαθμονόμησης

Ένας βαθμονομημένος αισθητήρας παρουσιάζει απόκλιση από έναν μη βαθμονομημένο αισθητήρα όταν οι δύο αυτοί δεχτούν τις ίδιες τιμές εισόδου (ερεθίσματα). Η διαφορά μεταξύ των μετρήσεων των δύο αισθητήρων αποτελεί την τιμή σφάλματος Δ . Η κλίση της καμπύλης μεταξύ των ερεθισμάτων προσδιορίζει το σφάλμα της βαθμονόμησης.



Εικόνα 2.5-4 : Διάγραμμα σφάλματος βαθμονόμησης

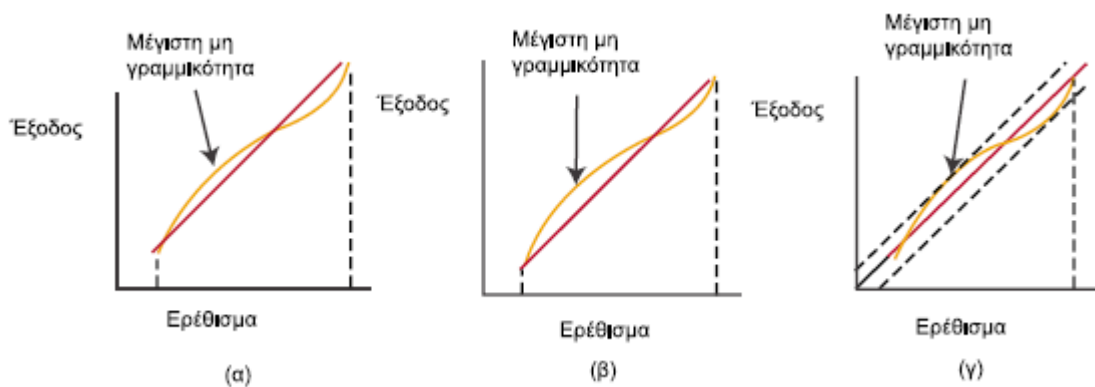
2.5.8 Υστέρηση

Το φαινόμενο της υστέρησης αναφέρεται στην ιδιότητα μερικών αισθητήρων να μην επιστρέφουν την ίδια τιμή του σήματος εξόδου όταν το ερέθισμα εισόδου βρίσκεται κάτω από συνθήκες παλινδρόμησης μεταξύ δύο σημείων του μεγέθους. Παρατηρείται έτσι οι διαφορετικές τιμές πλάτους εξόδου που παρουσιάζει ο αισθητήρας σε επαναλαμβανόμενα ίδια ερεθίσματα. Το φαινόμενο της υστέρησης ενός αισθητήρα δεν είναι σταθερό και με την πάροδο του χρόνου και τη συχνή χρήση του αισθητήρα το υλικό μπορεί να αλλοιωθεί και να παρουσιάζει μεγαλύτερο βαθμό υστέρησης.

2.5.9 Μη γραμμικότητα

Όταν οι τιμές εξόδου ενός αισθητήρα παρουσιάζουν απόκλιση από τη γραμμικότητά του τότε προκύπτει σφάλμα μη γραμμικότητας. Για τη γραμμικοποίηση της εξόδου εφαρμόζονται μαθηματικές διορθώσεις με εφαρμογή μέσω λογισμικού και είναι οι εξής :

1. χάραξη ευθείας μέσω της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων (Σχήμα 2.5.9-1α)
2. χάραξη ευθείας σύνδεσης των άκρων της μη γραμμικής μεταβλητής (Σχήμα 2.5.9-1β)
3. χάραξη ευθείας μεταξύ των μεγίστων της μη γραμμικής καμπύλης (Σχήμα 2.5.9-1γ) όπως απεικονίζονται στο σχήμα 2.5.9-1 .



Εικόνα 2.5-5 : Μέθοδοι γραμμικοποίησης

2.5.10 Διακριτική ικανότητα

Η μικρότερη ανιχνεύσιμη μεταβολή του μετρήσιμου μεγέθους ονομάζεται διακριτική ικανότητα .

2.5.11 Επαναληψιμότητα

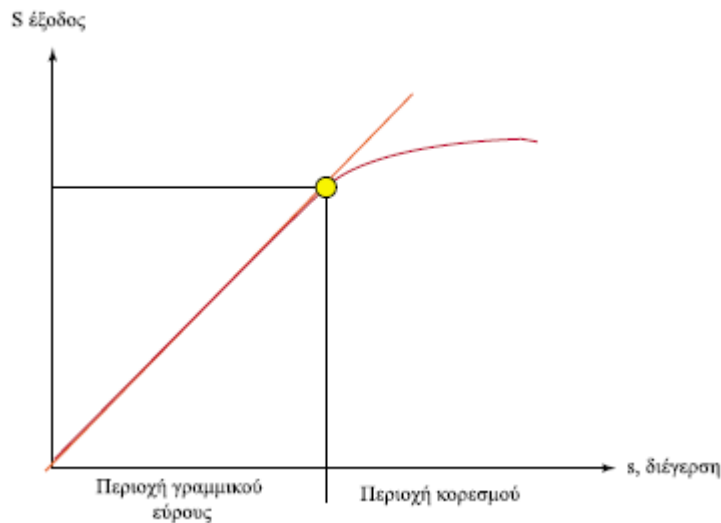
Επαναληψιμότητα

Σφάλμα επαναληψιμότητας ονομάζεται το σφάλμα που παρουσιάζει ένας αισθητήρας όταν για ίδιο ερέθισμα δεν παράγει ίδιο σήμα εξόδου. Το σφάλμα επαναληψιμότητας δίνεται από την παρακάτω σχέση :

$$\delta_{\tau} = \frac{\Delta}{FS} \times 100 \%$$

2.5.12 Συντελεστής κορεσμού

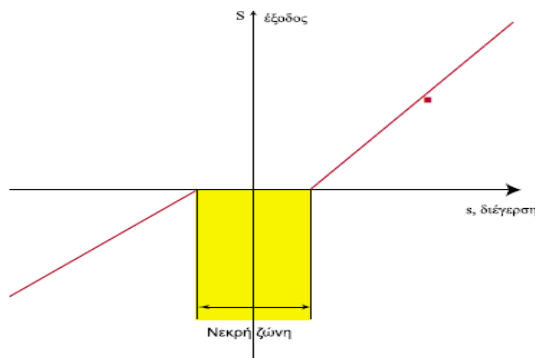
Ένας αισθητήρας μετά από μία τιμή του ερεθίσματος παρουσιάζει στην έξοδό του κατάσταση κορεσμού όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.8 .



Εικόνα 2.5-6 : Σημείο εμφάνισης κορεσμού

2.5.13 Νεκρή ζώνη

Η μη δυνατότητα ανίχνευσης του ερεθίσματος ενός αισθητήρα για το οποίο δεν παρουσιάζει καμία μεταβολή στην έξοδό του ονομάζεται νεκρή ζώνη.



Εικόνα 2.5-7 : Καμπύλη με εμφάνιση νεκρής ζώνης

2.5.14 Σύνθετη αντίσταση εξόδου

Η σύνθετη αντίσταση εξόδου πρέπει να είναι προσαρμοσμένη στην αντίσταση εισόδου του μετρητικού συστήματος προκειμένου να γίνει δυνατή η μέγιστη μεταφορά ισχύος του σήματος στο ηλεκτρονικό κύκλωμα μέτρησης.

2.5.15 Διέγερση

Το δυναμικό τάσης ή η σταθερή ένταση ρεύματος που απαιτείται για τη λειτουργία ενός ενεργού αισθητήρα ονομάζεται διέγερση. Τυπικές τιμές τάσης πόλωσης ή διέγερσης είναι 3,3 , 5 , 10 , 12 Volt και τυπικές τιμές ρεύματος διέγερσης είναι 50 μA , 100 μA , 200 μA και 1 mA .

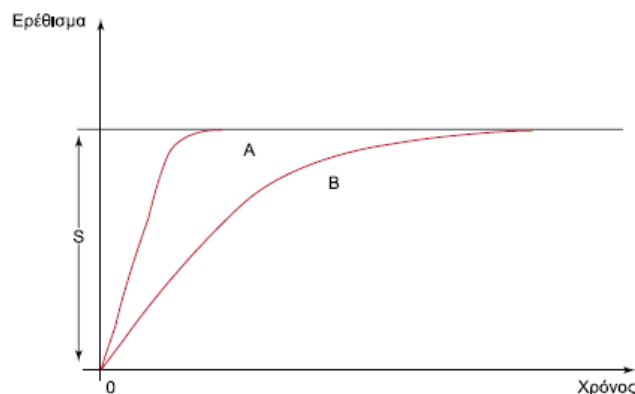
2.5.16 Αξιοπιστία

Αξιοπιστία (Reliability) καλείται η ικανότητα που έχει ένας αισθητήρας να λειτουργεί χωρίς σφάλματα για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα .

2.5.17 Ελάχιστο σήμα κατωφλίου

Η τιμή του ερεθίσματος εισόδου που απαιτείται από τον αισθητήρα ώστε να ανιχνεύσει το ερέθισμα και να ανταποκριθεί σε αυτό ονομάζεται ελάχιστο σήμα κατωφλίου (threshold) .

2.5.18 Χρόνος απόκρισης



Εικόνα 2.5-8 : Καμπύλη χρόνου απόκρισης αισθητήρα.

Στην εικόνα 2.5.18-1 παρατηρείται ότι ο αισθητήρας Α αντιδρά πιο γρήγορα από τον αισθητήρα Β έχει δηλαδή μικρότερο χρόνο απόκρισης.

2.5.19 Ολίσθηση

Η ολίσθηση είναι ένα σύνθετο φαινόμενο το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα την αλλαγή της τιμής της ευαισθησίας του αισθητήρα. Σε ολίσθηση οδηγούν οι μεταβολές των περιβαλλοντικών παραμέτρων όπως είναι η θερμοκρασία , η πίεση , η υγρασία που επιδρούν στα επιμέρους τμήματα του αισθητήρα.

2.5.20 Χρόνος προθέρμανσης

Ο χρόνος προθέρμανσης (warm up time) είναι ο χρόνος που απαιτείται ώστε ο αισθητήρας να λειτουργεί κανονικά και να αποκριθεί στο ερέθισμα. [7]

2.6 Είδη αισθητήρων

Οι αισθητήρες είναι συσκευές που ανιχνεύουν και ανταποκρίνονται σε φυσικές, χημικές ή περιβαλλοντικές αλλαγές και τις μετατρέπουν σε μετρήσιμα σήματα. Υπάρχουν πολυάριθμοι τύποι αισθητήρων για διάφορες εφαρμογές. Ακολουθούν ορισμένοι συνήθεις τύποι αισθητήρων:

- Αισθητήρας θερμοκρασίας :

Μετρά τις μεταβολές της θερμοκρασίας. Παραδείγματα περιλαμβάνουν θερμοστοιχεία, ανιχνευτές θερμοκρασίας αντίστασης (RTD) και θερμίστορ.

- **Αισθητήρας πίεσης :**
Μετρά τις μεταβολές της πίεσης. Παραδείγματα περιλαμβάνουν πιεζοαντιστατικούς αισθητήρες, χωρητικούς αισθητήρες και πιεζοηλεκτρικούς αισθητήρες.
- **Αισθητήρας προσέγγισης :**
Ανιχνεύει την παρουσία ή την απουσία ενός αντικειμένου σε κοντινή απόσταση χωρίς φυσική επαφή. Παραδείγματα περιλαμβάνουν επαγωγικούς αισθητήρες, χωρητικούς αισθητήρες και αισθητήρες υπερήχων.
- **Επιταχυνσιόμετρο :**
Μετρά την επιτάχυνση ή τη δόνηση. Χρησιμοποιείται σε διάφορες εφαρμογές, όπως ανίχνευση κίνησης, αδρανειακά συστήματα πλοήγησης και συστήματα ελέγχου σταθερότητας οχημάτων.
- **Γυροσκόπιο :**
Μετρά τη γωνιακή ταχύτητα ή την περιστροφική κίνηση. Χρησιμοποιείται συχνά σε συστήματα πλοήγησης, ρομποτική και τεχνολογίες σταθεροποίησης εικόνας.
- **Αισθητήρας φωτός :**
Ανιχνεύει τα επίπεδα φωτός ή τις συνθήκες φωτισμού περιβάλλοντος. Παραδείγματα περιλαμβάνουν φωτοδιόδους, φωτοτρανζίστορ και αισθητήρες φωτός περιβάλλοντος.
- **Αισθητήρας υγρασίας :**
Μετράει την υγρασία ή τα επίπεδα υγρασίας στον αέρα. Οι συνήθεις τύποι περιλαμβάνουν χωρητικούς αισθητήρες υγρασίας και αισθητήρες υγρασίας αντίστασης.
- **Αισθητήρας αερίου :**
Ανιχνεύει την παρουσία και τη συγκέντρωση συγκεκριμένων αερίων στο περιβάλλον. Παραδείγματα περιλαμβάνουν αισθητήρες μονοξειδίου του άνθρακα (CO), αισθητήρες οξυγόνου (O₂) και αισθητήρες πτητικών οργανικών ενώσεων (VOC).
- **Μαγνητικός αισθητήρας :**
Ανιχνεύει την παρουσία ή τις αλλαγές σε μαγνητικά πεδία. Παραδείγματα περιλαμβάνουν αισθητήρες φαινομένου Hall, μαγνητοαντιστατικούς αισθητήρες και μαγνητόμετρα fluxgate.
- **Αισθητήρας pH :**
Μετρά την οξύτητα ή την αλκαλικότητα ενός υγρού ή διαλύματος. Χρησιμοποιείται σε διάφορες βιομηχανίες, όπως η επεξεργασία νερού, η γεωργία και η επεξεργασία τροφίμων.
- **Αισθητήρας δύναμης :**
Μετρά τη δύναμη ή το φορτίο που εφαρμόζεται σε αυτόν. Χρησιμοποιείται σε βιομηχανικές εφαρμογές, ρομποτική και ιατρικές συσκευές.
- **Αισθητήρας κίνησης :**

Ανιχνεύει κίνηση ή κίνηση στο περιβάλλον του. Οι συνήθεις τύποι περιλαμβάνουν αισθητήρες παθητικής υπέρυθρης ακτινοβολίας (PIR) και αισθητήρες μικροκυμάτων.

- Αισθητήρας υπέρυθρων :

Ανιχνεύει υπέρυθρη ακτινοβολία, που χρησιμοποιείται συχνά για ανίχνευση κίνησης, μέτρηση θερμοκρασίας και ανίχνευση απόστασης.

- Οπτικός αισθητήρας :

Χρησιμοποιεί φως για την ανίχνευση, όπως οι οπτικοί κωδικοποιητές για την ανίχνευση θέσης ή οι οπτικοί αισθητήρες ροής για την παρακολούθηση κίνησης.

- Αισθητήρας προσέγγισης :

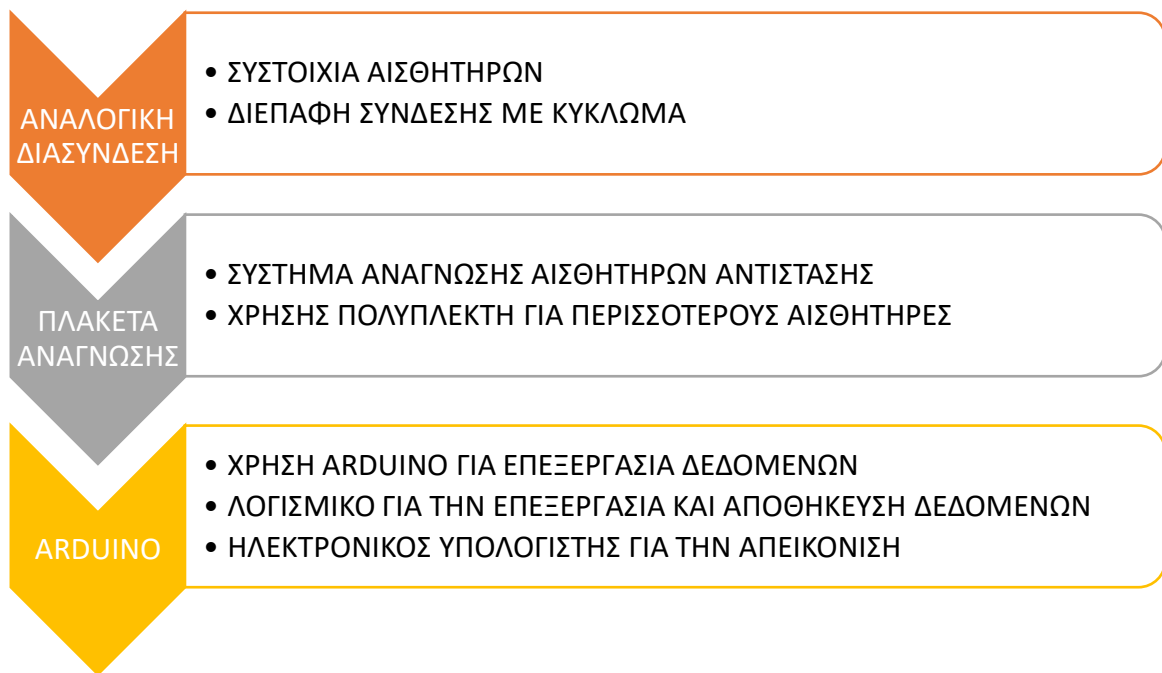
Ανιχνεύει την παρουσία ή την εγγύτητα αντικειμένων χωρίς φυσική επαφή. Παραδείγματα περιλαμβάνουν χωρητικούς, επαγωγικούς και υπερηχητικούς αισθητήρες εγγύτητας. [7]

3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : Σχεδιασμός μετρητικού συστήματος

3.1 Βασική δομή συστήματος

Στο κεφάλαιο αυτό έχει καταγραφεί ολόκληρη η διαδικασία σχεδιασμού ενός ολοκληρωμένου μετρητικού συστήματος, του οποίου η κύρια λειτουργία του είναι η μέτρηση της αντίστασης. Το σύστημα δημιουργήθηκε για τη μέτρηση αισθητήρων με αντίσταση ως μέγεθος εξόδου. Στη συνέχεια μελετήθηκε η επέκταση του συστήματος για την ανάγνωση πολλαπλών αισθητήρων, σε μορφή συστοιχίας, όπου χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της πολύπλεξης. Τέλος αναπτύχθηκε ένα υποσύστημα επικοινωνίας με ηλεκτρονικό υπολογιστή με τη βοήθεια της αναπτυξιακής

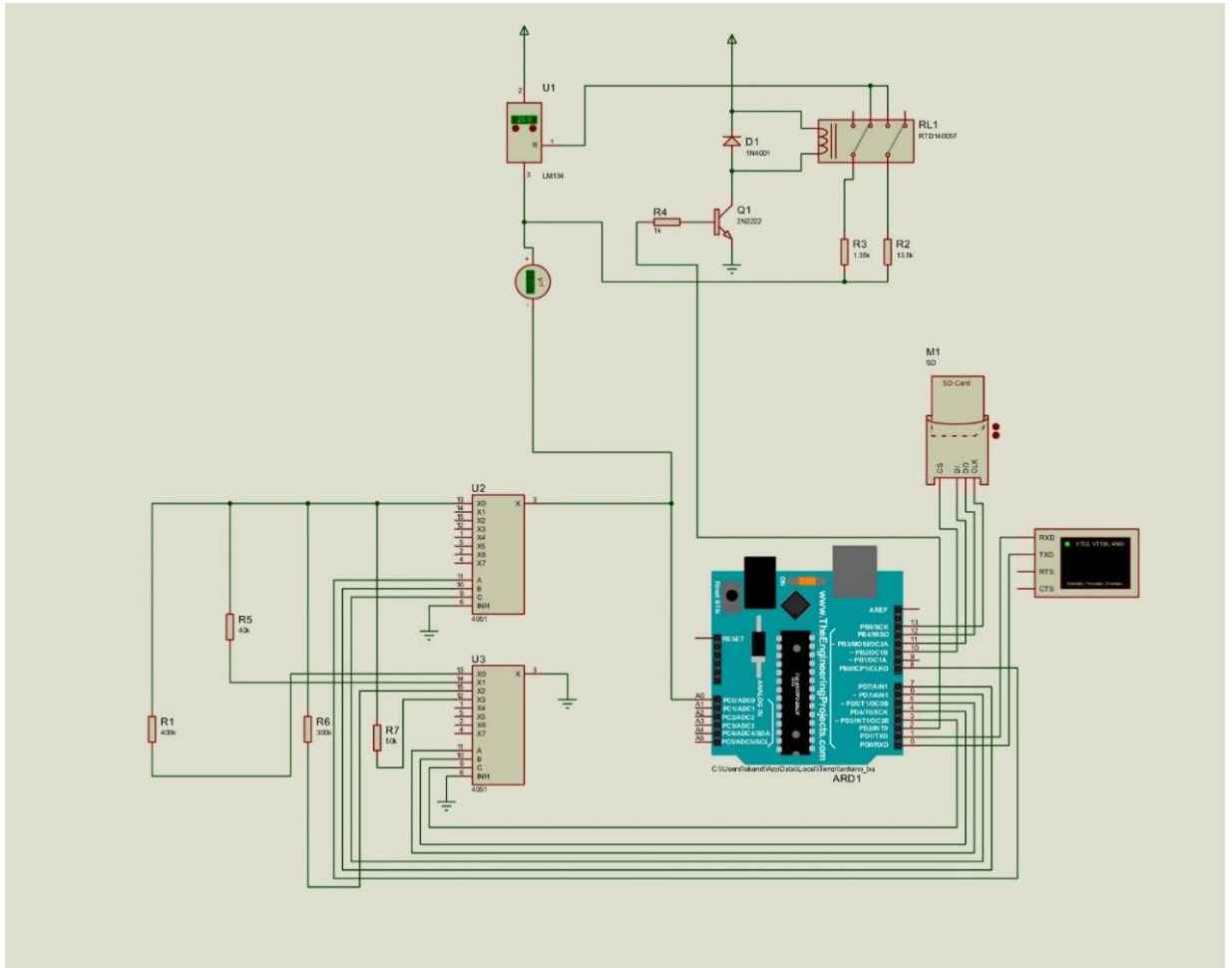
πλατφόρμας Arduino όπου θα καταλήγουν οι μετρήσεις για την επεξεργασία, απεικόνιση και αποθήκευσή τους. Η βασική δομή περιγράφεται συνοπτικά από το παρακάτω διάγραμμα.



Σχήμα 1.1 Διάγραμμα βασικής δομής μετρητικού συστήματος

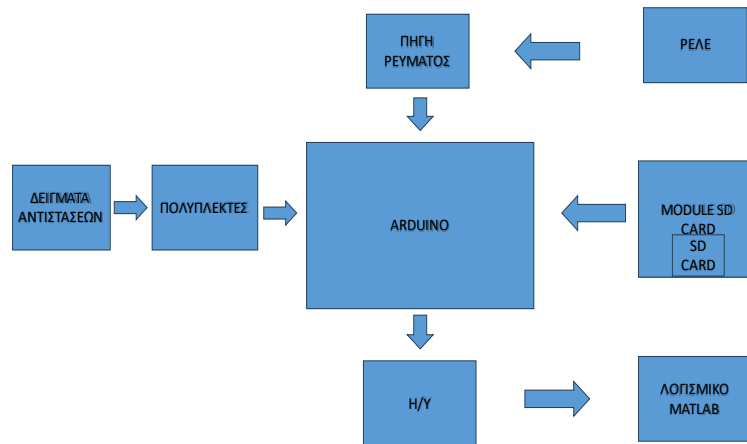
Η διασύνδεση της πλακέτας των αισθητήρων με την πλακέτα ανάγνωσης (readout board) είναι αναλογική και υλοποιήθηκε με τη μέθοδο της πολύπλεξης. Η πλακέτα ανάγνωσης (readout board) περιλαμβάνει μία πηγή ρεύματος σταθερής τιμής για δύο περιπτώσεις μετρήσεων. Αν η προς μέτρηση αντίσταση των αισθητήρων είναι από 0-100 KΩ χρησιμοποιείται πηγή ρεύματος 50 μ A ενώ αν η προς μέτρηση αντίσταση είναι 101 KΩ – 1 MΩ χρησιμοποιείται πηγή ρεύματος 5 μ A. Το ρεύμα αυτό εφαρμόζεται στην αναλογική είσοδο A0 του Arduino και με δεδομένη την τάση υπολογίζεται η προς μέτρηση αντίσταση. Το κεντρικό της τμήμα αποτελεί ένας μικροελεγκτής που βρίσκεται στην αναπτυξιακή πλακέτα Arduino και έχει καταχωρημένες συγκεκριμένες εντολές από τον χρήστη και εποπτεύει τις λειτουργίες όλων των κυκλωμάτων. Ο μικροελεγκτής ελέγχει ποιος αισθητήρας θα μετρηθεί, τη χρονική διάρκεια μιας μέτρησης, την καταγραφή της και την αποστολή της ως πακέτο ψηφιακών δεδομένων στον προσωπικό υπολογιστή μέσω κατάλληλης διεπαφής.

Παρακάτω παρουσιάζεται το κύκλωμα χωρίς τη συστοιχία των αισθητήρων. Για λόγους προσομοίωσης, με το πρόγραμμα σχεδίασης και προσομοίωσης Proteus version 8.1, στη θέση τους χρησιμοποιήθηκαν αντιστάσεις.



Εικόνα 3.1-1 : Κύκλωμα Πολυχωρικής Διάταξης Μέτρησης και Αποθήκευσης Δεδομένων

Στη συνέχεια παρουσιάζεται το block διάγραμμα του κυκλώματος που έχει σχεδιαστεί με όλα τα επιμέρους συστήματα. Το Arduino είναι αυτό που έχει τον κύριο έλεγχο όλης της διάταξης. Τα δείγματα των αντιστάσεων τοποθετούνται στις εισόδους των πολυπλεκτών και επιλέγεται η αντίστοιχη είσοδος που θα διαβαστεί βάσει του πίνακα καταστάσεων μέσω του Arduino. Η έξοδος του πολυπλέκτη καταλήγει στην αναλογική είσοδο του Arduino A0 μαζί με την έξοδο της πηγής ρεύματος που παροχετεύει ένα σταθερό ρεύμα. Γίνονται οι κατάλληλοι υπολογισμοί μέσω του λογισμικού που έχει γραφεί στο Arduino ώστε στην έξοδό στο υπολογιστικό σύστημα να εμφανίζεται η τιμή της αντίστασης. Ταυτόχρονα αποθηκεύεται η τιμή της αντίστασης σε μια εξωτερική μνήμη καρτα micro sd με τη βοήθεια ενός αναγνώστη. Οι τιμές που αποθηκεύονται στη συνέχεια επεξεργάζονται από το Matlab για την εξαγωγή διαγραμμάτων που φαίνεται η μεταβολή μιας συγκεκριμένης τιμής αντίστασης με την πάροδο του χρόνου.



Εικόνα 3.1-2 : Block διάγραμμα Πολυχωρικής Διάταξης Μέτρησης και Αποθήκευσης Δεδομένων

Το θεωρητικό μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της αντίστασης είναι η μέθοδος πηγής σταθερού ρεύματος.

Για την υλοποίηση του μετρητικού συστήματος χρησιμοποιήθηκε υλισμικό και λογισμικό.

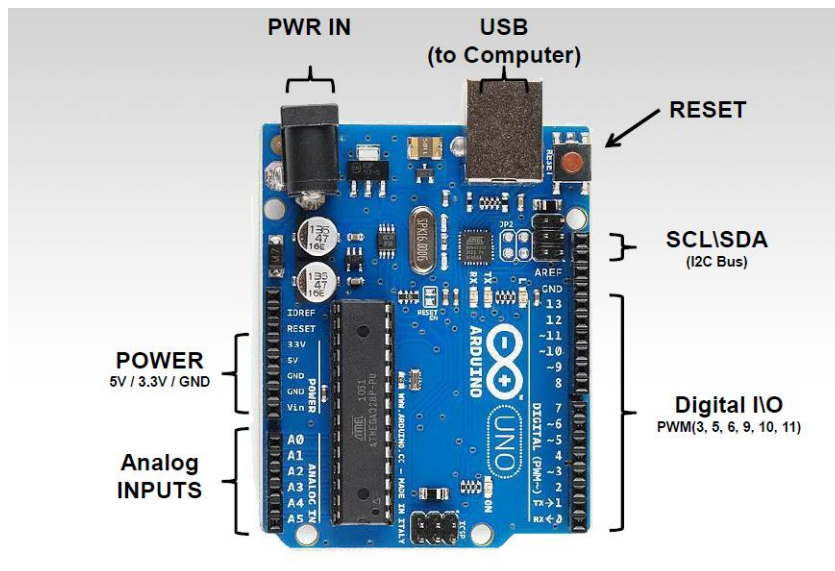
Το υλισμικό που χρησιμοποιήθηκε είναι :

- Arduino Uno v.3
- Πηγή ρεύματος LM334
- Ρελέ διπλό 5V
- Δίοδος 1N4001
- Τρανζίστορ 2N2222
- Αντιστάσεις
- Πολυπλέκτες CD4051
- Αντάπτορας κάρτας μνήμης
- Κάρτα μνήμης 2GB

Παρακάτω θα αναλυθούν διεξοδικά τα ανωτέρω εξαρτήματα για τη λειτουργία και τη χρήση τους.

3.2 Arduino uno

Το Arduino κατασκευάστηκε το 2005 στην Ιταλία από τον Massimo Banzi και τον David Cuartielles. Χρησιμοποιεί ανοιχτό λογισμικό προς χρήση από όλους. Το Arduino Uno είναι μία αναπτυξιακή πλακέτα που βασίζεται στον ATmega328 μικροελεγκτή της Atmel. Έχει 14 ψηφιακές εισόδους/εξόδους (από τις οποίες οι έξι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν έξοδοι παλμοκωδικής διαμόρφωσης. Επίσης έχει 6 αναλογικές εισόδους, έναν κεραμικό κρύσταλλο 16 MHz, μία θύρα σύνδεσης USB, ένα βύσμα εξωτερικής τροφοδοσίας, ένα ICSP και ένα κουμπί reset.



Εικόνα 3.2-1 : Διάταξη ακροδεκτών Arduino

- Τεχνικά χαρακτηριστικά Arduino Uno rev.3

Μικροελεγκτής : ATmega328

Τάση λειτουργίας : 5V

Τάση εισόδου (προτεινόμενη) : 7-12 V

Τάση εισόδου (όρια) : 6-20 V

Ψηφιακές I/O : 14

Αναλογικές εισοδοί : 6

Ρεύμα DC για κάθε I/O : 40 mA

Ρεύμα DC για 3.3 V : 50 mA

Μνήμη flash : 32 KB (ATmega328) από τα οποία 0.5 KB που χρησιμοποιούνται από τον boot-loader

SRAM: 2 KB (ATmega328)

EEPROM: 1 KB (ATmega328)

Ταχύτητα ρολογιού : 16 MHz

- Τροφοδοσία

Η τροφοδοσία γίνεται μέσω της θύρας USB ή μέσω εξωτερικής τροφοδοσίας. Η πηγή τροφοδοσίας επιλέγεται αυτόματα. Η εξωτερική τροφοδοσία μπορεί να προέλθει είτε από ένα τροφοδοτικό ή από μία μπαταρία. Ο αντάπτορας μπορεί να συνδεθεί μέσω ενός 2.1 mm βύσματος τροφοδοσίας. Οι ακροδέκτες της μπαταρία μπορούν να συνδεθούν στο pin Vin και στο pin Gnd. Η πλακέτα μπορεί να λειτουργήσει με τάση μεταξύ 6 έως 20 Volt. Αν εφαρμοστεί τάση χαμηλότερη από 7V τότε υπάρχει περίπτωση το 5V pin να τροφοδοτεί με λιγότερο από 5V και η πλακέτα να είναι ασταθής. Αν εφαρμοστεί τάση μεγαλύτερη από 12V ο σταθεροποιητής τάσης μπορεί να υπερθερμανθεί και να καταστρέψει την πλακέτα. Έτσι η το προτεινόμενο εύρος τάσης είναι 7-12 Volts. Τα pin τροφοδοσίας είναι τα παρακάτω :

- ✓ Vin : Η τάση εισόδου του Arduino όταν χρησιμοποιείται εξωτερική τροφοδοσία. Μπορεί να εφαρμοστεί τάση τροφοδοσίας από αυτό το pin μόνο αν χρησιμοποιείται εξωτερική τροφοδοσία μέσω του βύσματος.
- ✓ 5V : Η έξοδος αυτού του pin είναι 5V από τον σταθεροποιητή της πλακέτας. Μπορεί να εφαρμοστεί τάση τροφοδοσίας είτε από το DC βύσμα τροφοδοσίας (7-12 V) είτε από τη θύρα USB ή από το Vin pin της πλακέτας. Εφαρμόζοντας μία τάση 5V ή 3.3 V παρακάμπτοντας τον σταθεροποιητή μπορεί να καταστρέψει την πλακέτα.
- ✓ 3V3 : Μία 3.3 V τάση τροφοδοσίας που παράγεται από τον σταθεροποιητή που υπάρχει στην πλακέτα.
- ✓ GND : Pins γείωσης.

- Μνήμη

Ο ATmega328 έχει μία 32 KB μνήμη από την οποία τα 0.5 KB χρησιμοποιούνται από τον boot-loader. Επίσης έχει μία 2 KB μνήμη SRAM και μία 1 KB EEPROM.

- Είσοδοι και έξοδοι

Κάθε ένα από τα 14 ψηφιακά pins μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε ως είσοδοι είτε ως έξοδοι χρησιμοποιώντας τις συναρτήσεις pinMode() , digitalWrite() , digitalRead() . Λειτουργούν στα 5 V. Κάθε pin μπορεί να παρέχει ή να λάβει ένα μέγιστο ρεύμα 40 mA και έχει και μία εσωτερική αντίσταση pull-up, η οποία είναι αποσυνδεδεμένη από προεπιλογή, 20-50 KΩ .

Επίσης κάποια pin έχουν κάποιες ειδικές λειτουργίες :

Serial 0 (RX) και 1 (TX) : Χρησιμοποιείται για να λαμβάνει και να μεταδίδει σειριακά δεδομένα.

Εξωτερικές διακοπές 2 και 3 : Αυτά τα pin μπορούν να ρυθμιστούν για να ενεργοποιήσουν μια διακοπή σε μία χαμηλή τιμή ή σε μία αλλαγή τιμής.

PWM pins 3,5,6,9,11 : Αυτά τα pin παρέχουν μία 8-bit έξοδο παλμοκωδικής διαμόρφωσης PWM χρησιμοποιώντας την συνάρτηση analogWrite() .

SPI Pins 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO) and 13 (SCK): Αυτά τα pin χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία μέσω SPI .

Ενσωματωμένο LED pin 13: Αυτό το pin είναι συνδεδεμένο με ένα ενσωματωμένο LED όπου όταν το pin 13 είναι σε κατάσταση HIGH το LED είναι ενεργοποιημένο ενώ όταν είναι σε κατάσταση LOW είναι απενεργοποιημένο.

Το Arduino παρέχει 6 αναλογικές εισόδους που παρέχουν 10 bits ανάλυση δηλαδή 1024 διαφορετικές τιμές. Μετράνε από 0 έως 5 V αλλά αυτό το όριο μπορεί να αυξηθεί χρησιμοποιώντας το AREF pin με την συνάρτηση analogReference().

Το αναλογικό pin 4 (SDA) και το pin 5 (SCA) μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για επικοινωνία TWI χρησιμοποιώντας τη βιβλιοθήκη Wire.

AREF: Χρησιμοποιείται για να παρέχει τάση αναφοράς για αναλογικές εισόδους με τη συνάρτηση analogReference().

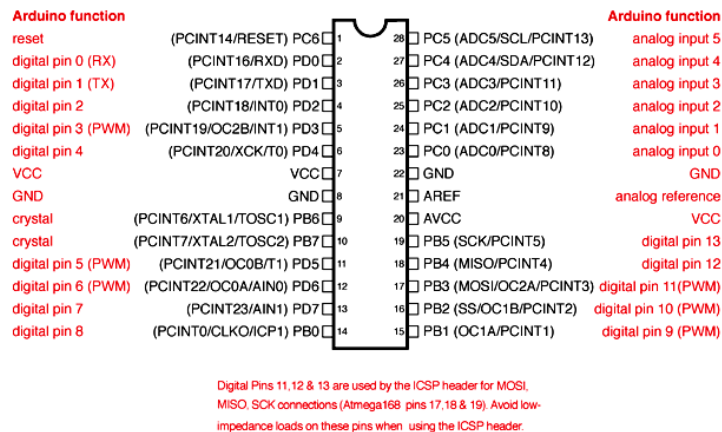
Reset pin : Βάζοντας αυτό το pin σε κατάσταση LOW γίνεται επαναφορά (reset) στον μικροελεγκτή.

- Επικοινωνία

Το Arduino μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επικοινωνήσει με έναν υπολογιστή, με ένα άλλο Arduino ή και με άλλους μικροελεγκτές. Ο μικροελεγκτής ATmega328P παρέχει για σειριακή επικοινωνία την UART TTL (5V) που μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας το ψηφιακό pin 0 (Rx: δέκτης) και το ψηφιακό pin 1 (Tx : πομπός).

Ένας μικροελεγκτής ATmega16U2 στην πλακέτα η επικοινωνία στα κανάλια γίνεται με σειριακή επικοινωνία μέσω USB και εμφανίζει μία εικονική com port στο λογισμικό του υπολογιστή. Το υλικολογισμικό του ATmega16U2 χρησιμοποιεί τους drivers των standard com ports και δεν χρειάζεται κανένα έξτρα πρόγραμμα οδήγησης. Πάραυτα στο περιβάλλον των Windows είναι απαραίτητο ένα αρχείο .inf. Το λογισμικό του Arduino περιλαμβάνει μια σειριακή οθόνη που επιτρέπει την αποστολή απλών δεδομένων κειμένου προς και από το Arduino. Υπάρχουν επίσης δύο RX και TX LED στην πλακέτα arduino που αναβοσβήνουν όταν μεταδίδονται δεδομένα μέσω του USB-to-serial τσιπ και της σύνδεσης USB στον υπολογιστή (όχι για σειριακή επικοινωνία στα pin 0 και 1). Η χρήση της βιβλιοθήκης SoftwareSerial επιτρέπει τη σειριακή επικοινωνία σε οποιαδήποτε από τα ψηφιακά pin του Uno. Το ATmega328P υποστηρίζει επίσης επικοινωνία I2C (TWI) και SPI. Το λογισμικό Arduino περιλαμβάνει μια βιβλιοθήκη Wire για την απλοποίηση της χρήσης του διαύλου I2C.

Παρακάτω παρουσιάζεται η αντιστοίχιση του μικροελεγκτή ATmega328P με τα pin του Arduino.



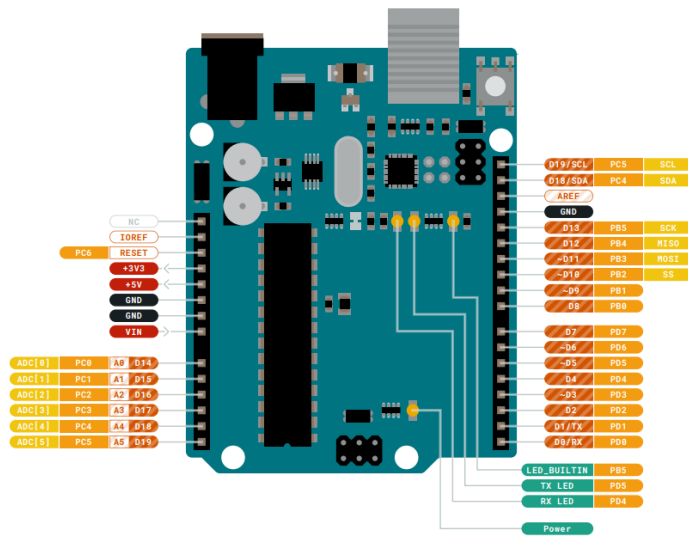
Εικόνα 3.2-2 : Αντιστοίχιση διάταξης ακροδεκτών μικροελεγκτή ATmega328 με τη διάταξη ακροδεκτών του Arduino

Για τον προγραμματισμό του Arduino απαιτείται το Arduino IDE (Integrated Development Environment) . [8]



Εικόνα 3.2-3 : Arduino IDE (Integrated Development Environment)

Παρακάτω παρουσιάζεται το διάγραμμα συνδέσεων στο Arduino:



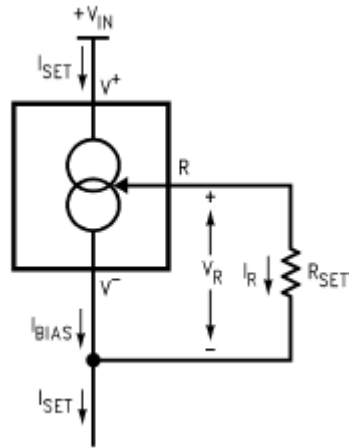
Εικόνα 3.2-4 : Αναλυτική διάταξη ακροδεκτών Arduino

3.3 Πηγή ρεύματος LM334

Το LM334 είναι μία ρυθμιζόμενη πηγή ρεύματος με άριστη ρύθμιση ρεύματος και ένα δυναμικό εύρος τάσης από 1V μέχρι 40V . Το ρεύμα κλειδώνει σε μία τιμή με τη βοήθεια μιας εξωτερικής αντίστασης και χωρίς να είναι απαραίτητο κάποιο άλλο εξαρτημα. Η ακρίβεια του ρεύματος είναι $\pm 3\%$. Το OK είναι μία πραγματική μεταβαλλόμενη πηγή ρεύματος χωρίς την ανάγκη για χρήση ξεχωριστής τάσης τροφοδοσίας. Επίσης όταν εφαρμόζεται ανάστροφη τάση πάνω από 20V σχεδιάζονται μόνο λίγα μA ρεύματος, επιτρέποντας να δρουν σαν ανορθωτές και σαν πηγές ρεύματος σε AC εφαρμογές. Η τάση λειτουργίας είναι 64 mV στους 25 °C. Η απλούστατη σύνδεση μιας επιπλέον αντίστασης γεννούν ένα ρεύμα με εξάρτηση θερμοκρασίας $+0.33\%/^{\circ}\text{C}$.

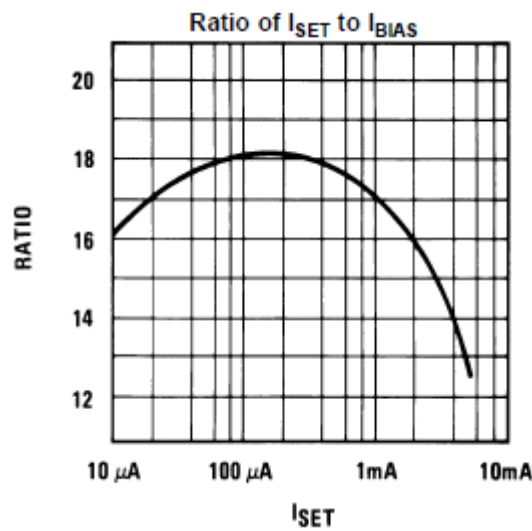
Η λειτουργία μηδενικής ολίσθησης μπορεί να επιτευχθεί με αισθητήρα προσθέτοντας μία επιπλέον αντίσταση και μία δίοδο. Το LM334 λειτουργεί σε εύρος θερμοκρασιών από 0 °C μέχρι 70 °C . Υπολογισμός R_{set} :

Το συνολικό ρεύμα μέσω του LM334 (I_{SET}) είναι το άθροισμα του ρευματος που διέρχεται από την αντίσταση SET (I_R) και του LM334 (I_{BIAS}).



Εικόνα 3.3-1 : Βασικό κύκλωμα πηγής ρεύματος

Μια γραφική παράσταση που δείχνει τον λόγο αυτών των δύο ρευμάτων παρατίθεται παρακάτω :



Εικόνα 3.3-2 : Λόγος I_{set} - I_{bias}

Το ρεύμα που διαρρέει το R_{SET} καθορίζεται από το V_R, το οποίο είναι περίπου 214μV/°K (64mV/298°K ~ 214μV/°K).

$$I_{SET} = I_R + I_{BIAS} = \frac{V_R}{R_{SET}} + I_{BIAS}$$

Για ένα δεδομένο ρεύμα ρύθμισης το I_{BIAS} είναι απλώς ένα ποσοστό του I_{SET}, η εξίσωση μπορεί να ξαναγραφεί ως εξής :

$$I_{SET} = \left(\frac{V_R}{R_{SET}} \right) \left(\frac{n}{n-1} \right)$$

Το n είναι ο λόγος I_{SET} προς I_{BIAS}.

Για ρεύμα μεταξύ 2μΑ ≤ I_{SET} ≤ 1mA ο λόγος n είναι 18 η εξίσωση γράφεται :

$$I_{SET} = \left(\frac{V_R}{R_{SET}} \right) (1.059) = \frac{227 \mu V / \sigma_K}{R_{SET}}$$

- **Θερμικές επιδράσεις :**

Η εσωτερική θέρμανση μπορεί να έχει σημαντική επίδραση στη ρύθμιση του ρεύματος για ISET μεγαλύτερο από 100μΑ. Κάθε αύξηση 1V το $I_{SET} = 1 \text{ mA}$ θα αυξήσει τη θερμοκρασία σύνδεσης κατά $\approx 0,4^\circ\text{C}$ σε ακίνητο αέρα. Η έξοδος ρεύματος (I_{SET}) έχει συντελεστή θερμοκρασίας $\approx 0,33\%/^\circ\text{C}$, οπότε η μεταβολή του ρεύματος λόγω αύξησης της θερμοκρασίας θα είναι $(0.4) (0.33) = 0.132\%$. Αυτό είναι μια υποβάθμιση της ρύθμισης τάξης 10:1 σε σύγκριση με τις πραγματικές ηλεκτρικές επιδράσεις. Η θερμική επίδραση πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όταν η ρύθμιση DC είναι κρίσιμη και το I_{SET} υπερβαίνει τα 100μΑ. Η θερμότητα της συσκευασίας TO ή των καλωδίων TO-92 μπορεί να μειώσει αυτή την επίδραση περισσότερο από 3:1.

- **Θόρυβος :**

Ο θόρυβος που παράγεται από τον LM334 είναι περίπου 4 φορές μεγαλύτερος από τον θόρυβο ενός τρανζίστορ. Εάν το LM334 χρησιμοποιηθεί ως ενεργό φορτίο για έναν ενισχυτή τρανζίστορ, ο αναφερόμενος θόρυβος εισόδου θα αυξηθεί κατά περίπου 12dB. Σε πολλές περιπτώσεις, αυτό είναι αποδεκτό και μπορεί να κατασκευαστεί ενισχυτής ενός σταδίου με κέρδος τάσης που υπερβαίνει το 2000.

Αντίσταση μολύβδου :

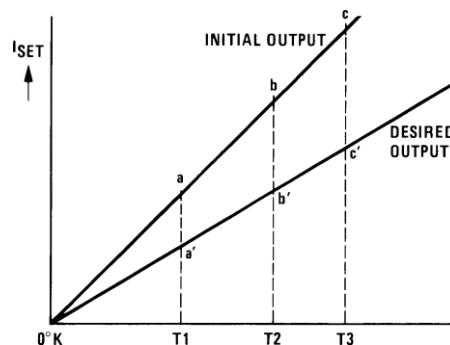
Η τάση ανίχνευσης που καθορίζει το ρεύμα λειτουργίας του LM334 είναι μικρότερη από 100mV. Σε αυτό το επίπεδο, θα πρέπει να ελαχιστοποιούνται οι επιδράσεις του θερμοζεύγους ή της αντίστασης μολύβδου, τοποθετώντας την αντίσταση ρύθμισης ρεύματος φυσικά κοντά στη συσκευή. Οι υποδοχές θα πρέπει να αποφεύγονται αν είναι δυνατόν. Χρειάζονται μόνο 0,7Ω αντίστασης επαφής για να μειωθεί η έξοδος κατά 1% στο επίπεδο 1 mA.

Θερμοκρασία ανίχνευσης :

Το LM334 αποτελεί ιδανικό αισθητήρα θερμοκρασίας επειδή η λειτουργία του σε κατάσταση ρεύματος δεν χάνει ακρίβεια σε μεγάλες διαδρομές καλωδίων. Το ρεύμα εξόδου είναι ευθέως ανάλογο της απόλυτης θερμοκρασίας σε βαθμούς Kelvin, σύμφωνα με τον ακόλουθο τύπο:

$$I_{SET} = \frac{227 \mu\text{V} / \text{o}_K}{R_{SET}}$$

Η βαθμονόμηση του LM134 απλοποιείται σημαντικά λόγω του γεγονότος ότι το μεγαλύτερο μέρος της αρχικής ανακρίβειας οφείλεται σε ένα σφάλμα κλίσης. Αυτό σημαίνει ότι μια βαθμονόμηση που αποτελείται μόνο από μια ρύθμιση κέρδους θα διορθώσει ταυτόχρονα τόσο την κλίση όσο και το μηδέν. Επιπλέον, η προσαρμογή κέρδους είναι μια προσαρμογή ενός σημείου επειδή η έξοδος του LM134 προεκτείνεται στο μηδέν στους 0°K , ανεξάρτητα από το R_{SET} ή οποιαδήποτε αρχική ανακρίβεια.

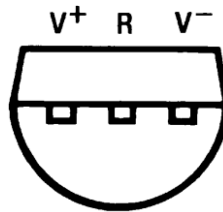


Εικόνα 3.3-3 : Χαρακτηριστικές ρεύματος Iset αρχικής και επιθυμητής εξόδου

Η γραμμή abc είναι το ρεύμα του αισθητήρα πριν από τη ρύθμιση. Η γραμμή a'b'c' είναι η επιθυμητή έξοδος. Μια ρύθμιση ενίσχυσης που γίνεται στο T2 θα μετακινήσει την έξοδο από το b στο

β' και θα ταυτόχρονα θα διορθώσει την κλίση, ώστε η έξοδος στο T1 και στο T3 να είναι σωστή. Η εν λόγω διαμόρφωση κέρδους μπορεί να γίνει στο R_{SET} ή στην αντίσταση φορτίου που χρησιμοποιείται στον τερματισμό του LM334. Το σφάλμα κλίσης μετά την προσαρμογή θα είναι κανονικά μικρότερο από $\pm 1\%$. Για να διατηρηθεί αυτή η ακρίβεια, ωστόσο, πρέπει να χρησιμοποιηθεί μια αντίσταση με χαμηλό συντελεστή θερμοκρασίας για το R_{SET} .

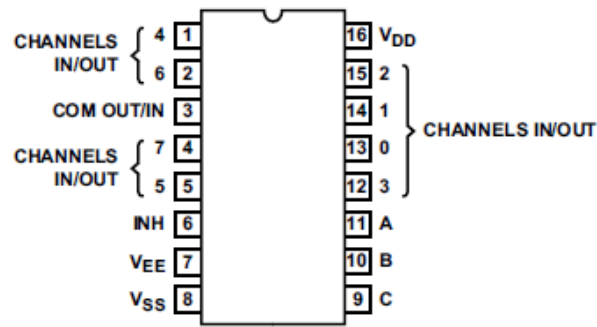
Μια μετατόπιση της R_{SET} κατά 33 ppm/ $^{\circ}C$ θα δώσει σφάλμα κλίσης 1%, επειδή η αντίσταση θα δει κανονικά περίπου ίδιες θερμοκρασιακές μεταβολές. Η διασύνδεση της R_{SET} με το LM334 απαιτεί 3 καλώδια και έχει προβλήματα με τη χρήση αντίστασης μολύβδου, οπότε δεν συνιστάται κανονικά. Οι αντιστάσεις μεταλλικού φιλμ με ολίσθηση μικρότερη από 20 ppm/ $^{\circ}C$ είναι αυτές που προτείνονται. [9]



Εικόνα 3.3-4 : Διάταξη ακροδεκτών LM334

3.4 Πολυπλέκτης CD4051

Οι αναλογικοί πολυπλέκτες και αποπολυπλέκτες CD405xB είναι ψηφιακά ελεγχόμενοι αναλογικοί διακόπτες με χαμηλή ON σύνθετη αντίσταση και πολύ χαμηλό ρεύμα διαρροής OFF. Αυτοί οι πολυπλέκτες αποβάλλουν εξαιρετικά χαμηλό ρεύμα ηρεμίας ισχύος σε όλο το εύρος των τάσεων τροφοδοσίας VDD - VSS και VDD - VEE, ανεξάρτητα από τη λογική κατάσταση των σημάτων ελέγχου. Παρακάτω παρουσιάζεται το διάγραμμα με τις λειτουργίες :



Εικόνα 3.4-1 : Διάγραμμα διάταξης ακροδεκτών CD4051

Οι αναλογικοί πολυπλέκτες CD4051B, CD4052B και CD4053B είναι ψηφιακά ελεγχόμενοι αναλογικοί διακόπτες με χαμηλή σύνθετη αντίσταση ON και πολύ χαμηλό ρεύμα διαρροής OFF. Ο έλεγχος αναλογικών σημάτων έως και 20 V P-P μπορεί να επιτευχθεί με ψηφιακά σήματα από 4,5 V έως 20 V (εάν $V_{DD} - V_{SS} = 3\text{ V}$, μπορεί να ελεγχθεί ένα $V_{DD} - V_{EE}$ έως 13 V- για διαφορές επιπέδων $V_{DD} - V_{EE}$ πάνω από 13 V, απαιτείται $V_{DD} - V_{SS}$ τουλάχιστον 4,5 V). Για παράδειγμα, εάν $V_{DD} = +4,5\text{ V}$, $V_{SS} = 0\text{ V}$ και $V_{EE} = -13,5\text{ V}$, αναλογικά σήματα από -13,5 V έως +4,5 V μπορούν να ελεγχθούν από ψηφιακές εισόδους 0V έως 5 V. Αυτά τα κυκλώματα πολυπλέκτη καταναλώνουν εξαιρετικά χαμηλή ισχύ ηρεμίας σε όλη την πλήρη περιοχή $V_{DD} - V_{SS}$ και $V_{DD} - V_{EE}$, ανεξάρτητα από τη λογική κατάσταση των σημάτων ελέγχου. Όταν υπάρχει λογικό 1 στην είσοδο αναστολής, όλα τα κανάλια είναι απενεργοποιημένα.

Η διάταξη CD4051B είναι ένας μοναδικός πολυπλέκτης 8 καναλιών με τρεις δυαδικές εισόδους ελέγχου, A, B και C, και ένα είσοδο αναστολής. Τα τρία δυαδικά σήματα επιλέγουν 1 από τα 8 κανάλια που θα ενεργοποιηθούν και συνδέουν μία από τις 8 εισόδους στην έξοδο.

Η σειρά πολυπλεκτών και αποπολυπλεκτών CD405xB μπορεί να δεχτεί ένα ευρύ φάσμα ψηφιακών και αναλογικών επιπέδων σήματος.

Τα ψηφιακά σήματα κυμαίνονται από 3 V έως 20 V, ενώ τα αναλογικά σήματα γίνονται δεκτά σε επίπεδα $\leq 20\text{ V}$. Οι συσκευές έχουν χαμηλή αντίσταση ON, τυπικά 125 Ω σε εύρος εισόδου σήματος 15 VP-P για $V_{DD} - V_{EE} = 18\text{ V}$. Αυτό το χαρακτηριστικό επιτρέπει πολύ μικρή απώλεια σήματος μέσω του διακόπτη. Τα χαρακτηριστικά του προσαρμοσμένου διακόπτη είναι τυπικά $r_{ON} = 5\ \Omega$ για $V_{DD} - V_{EE} = 15\text{ V}$.

Ο πολυπλέκτης CD4051 έχει επίσης υψηλή αντίσταση OFF, η οποία εμποδίζει τη σπατάλη ισχύος όταν ο διακόπτης είναι στη θέση OFF, με τυπική διαρροή καναλιού $\pm 100\text{ pA}$ σε $V_{DD} - V_{EE} = 18\text{ V}$. Όλες οι συσκευές έχουν δοκιμαστεί κατά 100% για το ρεύμα ηρεμίας στα 20 V με μέγιστο ρεύμα εισόδου 1 μA στα 18 V σε όλο το εύρος θερμοκρασιών της συσκευασίας και μόνο 100 nA στα 18 V και 25°C.

Μετατροπή σε λογικό επίπεδο για ψηφιακά σήματα διευθυνσιοδότησης 3 V έως 20 V ($V_{DD} - V_{SS} = 3\text{ V}$ έως 20 V) σε αναλογικό διακόπτη σήματα σε 20 VP-P ($V_{DD} - V_{EE} = 20\text{ V}$). Η δυαδική αποκωδικοποίηση διεύθυνσης στο τσιπ καθιστά εύκολη την επιλογή καναλιού. Όταν τα κανάλια αλλάζουν, ένα σύστημα break-before-make εξαλείφει την επικάλυψη καναλιών. Παρακάτω παρουσιάζεται ο πίνακας αληθείας για την επιλογή των εισόδων :

INPUT STATES				ON CHANNEL(S)
INHIBIT	C	B	A	
CD4051B				
0	0	0	0	0
0	0	0	1	1
0	0	1	0	2
0	0	1	1	3
0	1	0	0	4
0	1	0	1	5
0	1	1	0	6
0	1	1	1	7
1	X	X	X	None

Πίνακας 3.4-1 : Πίνακας καταστάσεων καναλιών CD4051.

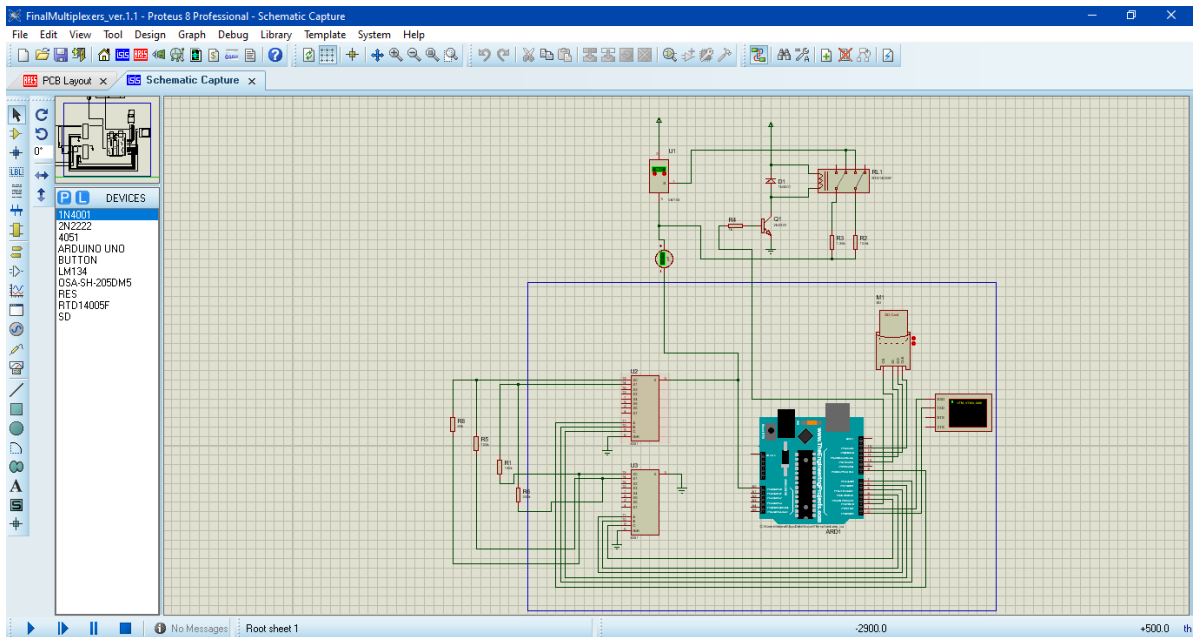
[10]

3.5 Προσομοίωση στο λογισμικό Proteus

Το Proteus είναι λογισμικό για την αυτοματοποίηση του ηλεκτρονικού σχεδιασμού (EDA). Χρησιμοποιείται κυρίως για το σχεδιασμό και την προσομοίωση ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, συμπεριλαμβανομένων τόσο αναλογικών όσο και ψηφιακών στοιχείων. Το Proteus παρέχει ένα ολοκληρωμένο σύνολο εργαλείων και χαρακτηριστικών που επιτρέπουν στους μηχανικούς και τους σχεδιαστές να δημιουργούν, να δοκιμάζουν και να αποσφαλματώνουν κυκλώματα πριν αυτά υλοποιηθούν φυσικά.

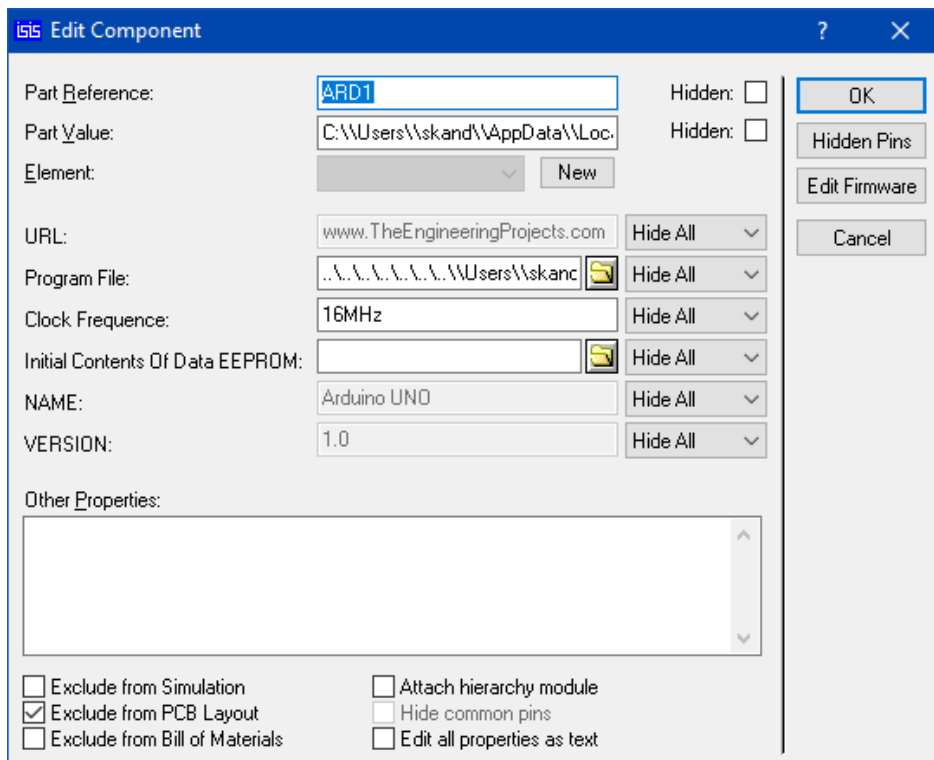
Προσφέρει μια φιλική προς το χρήστη διεπαφή για το σχεδιασμό ηλεκτρονικών κυκλωμάτων χρησιμοποιώντας ένα ευρύ φάσμα εξαρτημάτων, όπως αντιστάσεις, πυκνωτές, τρανζίστορ, ολοκληρωμένα κυκλώματα και πολλά άλλα. Υποστηρίζει τόσο τη σύλληψη σχημάτων όσο και τη σχεδίαση PCB (Printed Circuit Board). Επίσης ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του Proteus είναι οι δυνατότητες προσομοίωσης. Επιτρέπει στους χρήστες να προσομοιώνουν και να αναλύουν τη συμπεριφορά των κυκλωμάτων τους πριν από την κατασκευή τους. Το Proteus υποστηρίζει διάφορους τύπους προσομοιώσεων, όπως αναλογικές, ψηφιακές, μικτού τρόπου λειτουργίας και προσομοιώσεις που βασίζονται σε μικροελεγκτές. Το Proteus παρέχει μια σειρά από εικονικά όργανα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μέτρηση και την οπτικοποίηση παραμέτρων του κυκλώματος κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Τα όργανα αυτά περιλαμβάνουν παλμογράφους, βολτόμετρα, αμπερόμετρα, γεννήτριες συναρτήσεων και πολλά άλλα. Το Proteus επιτρέπει στους χρήστες να σχεδιάζουν διατάξεις PCB για τα κυκλώματά τους. Προσφέρει χαρακτηριστικά όπως αυτόματη δρομολόγηση, έλεγχο κανόνων σχεδιασμού και τρισδιάστατη απεικόνιση για να βοηθήσει στον εξορθολογισμό της διαδικασίας σχεδιασμού PCB. Τέλος υποστηρίζει την ανάπτυξη ενσωματωμένων συστημάτων παρέχοντας ένα ενσωματωμένο IDE (Integrated Development Environment) για τη συγγραφή και την αποσφαλμάτωση κώδικα υλικολογισμικού για μικροελεγκτές. Υποστηρίζει δημοφιλείς οικογένειες μικροελεγκτών, όπως Arduino, PIC, AVR, ARM και άλλες.

Κατά τη διάρκεια υλοποίησης της διπλωματικής το παραπάνω λογισμικό είχε το σημαντικότερο ρόλο για την υλοποίηση και την προσομοίωση του κυκλώματος. Αρχικά σχεδιάστηκε το κύκλωμα στο περιβάλλον χρησιμοποιώντας τις απαραίτητες βιβλιοθήκες.



Εικόνα 3.5-1 : Περιβάλλον εργασίας Proteus

Έγιναν οι απαραίτητες συνδεσμολογίες μεταξύ των εξαρτημάτων και η παραμετροποίηση που χρειαζόταν. Ιδιαίτερη έμφαση θα δοθεί στην παραμετροποίηση του Arduino στην προσομοίωση.

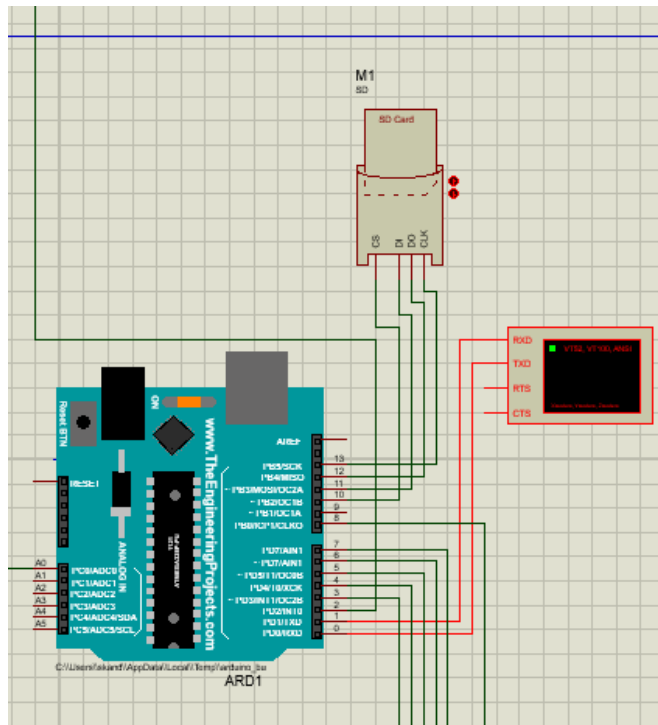


Εικόνα 3.5-2 : Παραμετροποίηση Arduino στο Proteus

Στο σημείο του Program file φορτώνεται το hex αρχείο που εξάγεται από το Arduino IDE “C:\\Users\\skand\\AppData\\Local\\Temp\\arduino_build_438310\\FinalMUX.ino.hex”.

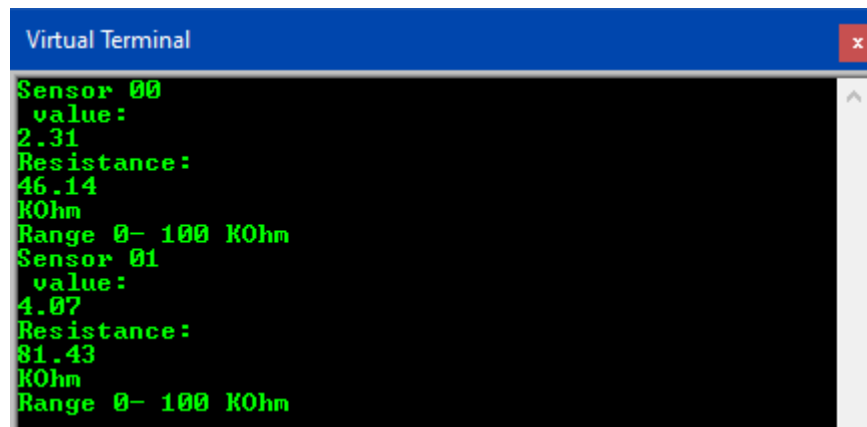
Είναι η σημαντικότερη παράμετρος για να μπορέσει να προσομοιωθεί το Arduino και να εκτελεστεί το αρχείο με όλες τις λειτουργίες που έχουν γραφεί στο πρόγραμμα.

Επίσης έχει συνδεθεί ένα εικονικό τερματικό για την εμφάνιση των σειριακών δεδομένων.



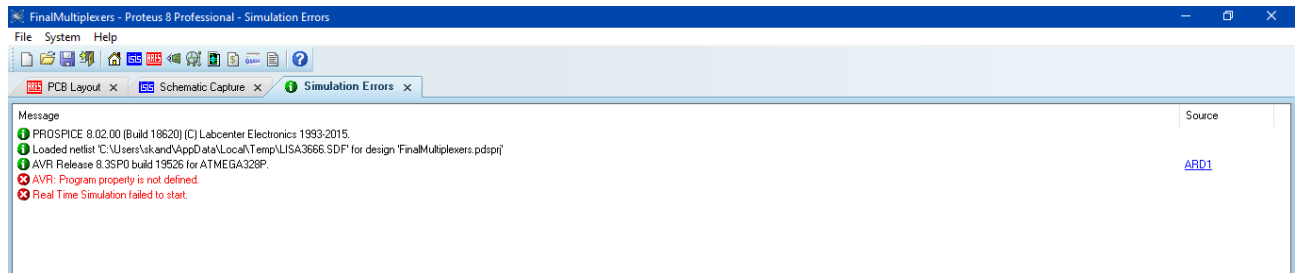
Εικόνα 3.5-3 : Εικονικό τερματικό για την εμφάνιση σειριακών δεδομένων στο Proteus

Μόλις εκκινήσει η προσομοίωση αυτό κάνει αποστολή και λήψη δεδομένων εκτελώντας τη λειτουργία της σειριακής εισόδου COMx όπου x ο αριθμός της σειριακής εισόδου. Τα σειριακά δεδομένα εμφανίζονται στην παρακάτω οθόνη.



Εικόνα 3.5-4 : Περιβάλλον εικονικού τερματικού

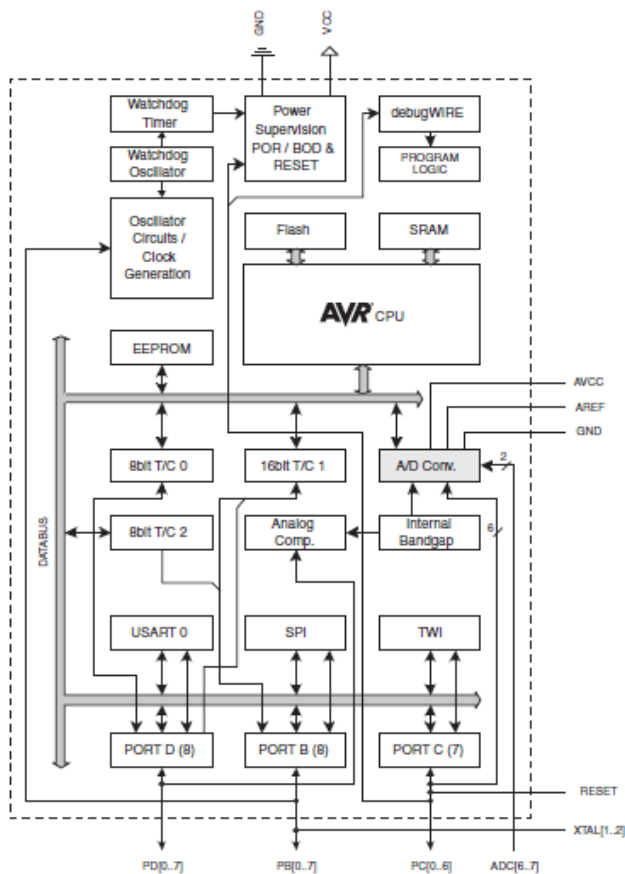
Σε περίπτωση που προκύψει κάποιο σφάλμα η προσομοίωση σταματάει και εμφανίζει το σφάλμα με πλήρη ακρίβεια στην καρτέλα simulation errors.



Εικόνα 3.5-5 : Περιβάλλον σφαλμάτων προσομοίωσης στο Proteus

3.6 Μικροελεγκτής ATmega328

Το Arduino Uno βασίζεται στον μικροελεγκτή που περιέχει. Ο ATmega328 είναι ένας 8-bit μικροελεγκτής CMOS χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας βασισμένος στην αρχιτεκτονική RISC του AVR. Με την εκτέλεση ισχυρών εντολών σε έναν μόνο κύκλο ρολογιού, ο ATmega328 επιτυγχάνει απόδοση που προσεγγίζει το 1 MIPS ανά MHz, επιτρέποντας στον σχεδιαστή του συστήματος να βελτιστοποιήσει την κατανάλωση ενέργειας σε σχέση με την ταχύτητα επεξεργασίας. Ακολουθεί το block διάγραμμα του ATmega328.



Εικόνα 3.6-1 : Block διάγραμμα μικροελεγκτή ATmega328

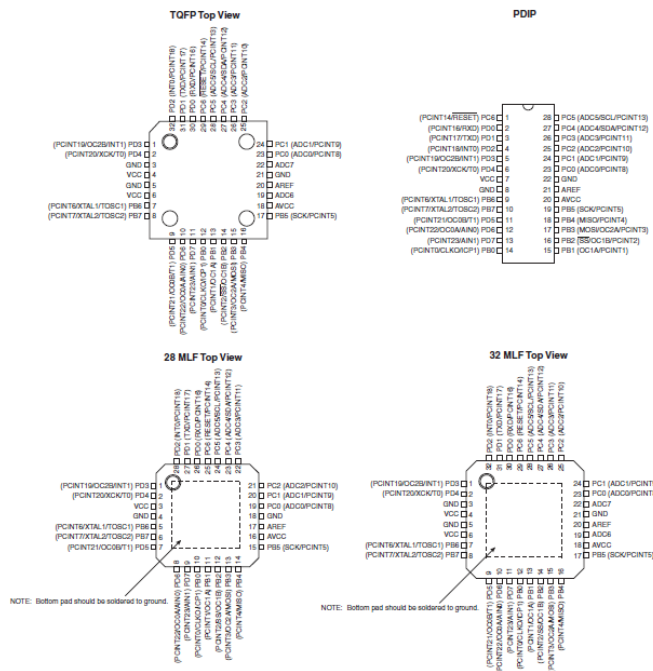
Ο ATmega328 παρέχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- 4K/8K bytes προγραμματιζόμενου Flash εντός του συστήματος με δυνατότητες Read-While-Write,

- 256/512/512/1K bytes EEPROM
- 512/1K/1K/2K bytes SRAM
- 23 γραμμές εισόδου/εξόδου γενικού σκοπού
- 32 καταχωρητές εργασίας γενικού σκοπού
- τρεις ευέλικτοι χρονομετρητές/μετρητές με λειτουργίες σύγκρισης
- εσωτερική και εξωτερικές διακοπές
- ένα σειριακό προγραμματιζόμενο USART
- μια σειριακή διεπαφή 2 συρμάτων με προσανατολισμό byte
- μια σειριακή θύρα SPI
- έναν ADC 10-bit 6 καναλιών (8 κανάλια σε συσκευασίες TQFP και QFN/MLF),
- έναν προγραμματιζόμενο Watchdog Timer με εσωτερικό ταλαντωτή

Η κατάσταση αδράνειας σταματά τη CPU, ενώ επιτρέπει τη λειτουργία SRAM, χρονοιστών/μετρητών, USART, 2-wire σειριακή διεπαφή, θύρα SPI και το σύστημα διακοπών να συνεχίσουν να λειτουργούν. Η λειτουργία απενεργοποίησης αποθηκεύει τα περιεχόμενα των καταχωρητών, αλλά παγώνει τον ταλαντωτή, απενεργοποιώντας όλες τις άλλες λειτουργίες του τσιπ έως ότου η επόμενη διακοπή ή επαναφορά υλικού.

Στη λειτουργία Power-save, ο ασύγχρονος χρονοδιακόπτης συνεχίζει να λειτουργεί, επιτρέποντας στο χρήστη να διατηρεί μια βάση χρονοδιακόπτη ενώ η υπόλοιπη συσκευή είναι σε sleep mode. Η λειτουργία μείωσης θορύβου του ADC σταματά τη CPU και όλες τις μονάδες I/O εκτός από τον ασύγχρονο χρονοδιακόπτη και τον ADC, για την ελαχιστοποίηση του θορύβου μεταγωγής κατά τη διάρκεια των μετατροπών ADC. Στη λειτουργία αναμονής, ο κρύσταλλος του ταλαντωτή λειτουργεί, ενώ η υπόλοιπη συσκευή βρίσκεται σε κατάσταση ύπνου. Αυτό επιτρέπει την πολύ γρήγορη εκκίνηση σε συνδυασμό με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Παρακάτω παρουσιάζεται το διάγραμμα του μικροελεγκτή στις διάφορες συσκευασίες που βγαίνει :



Εικόνα 3.6-2 : Συσκευασία ATmega328

[11]

3.7 Πρωτόκολλο UART

Ένας καθολικός ασύγχρονος δέκτης και πομπός (UART) είναι ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα το οποίο είναι προγραμματισμένο να ελέγχει τη διασύνδεση ενός υπολογιστή με τις συνδεδεμένες σειριακές συσκευές του. Παρέχει στο σύστημα τα δεδομένα μέσω του RS-232C τερματικού εξοπλισμού (DTE), επιτρέποντάς του να συνομιλεί και να ανταλλάσσει δεδομένα σειριακές συσκευές. Οι βασικές λειτουργίες του UART είναι :

- Μετατρέπει τα bytes που λαμβάνει από τον υπολογιστή κατά μήκος παράλληλων κυκλωμάτων σε μια ενιαία σειριακή ροή bit για εξερχόμενη μετάδοση.
- Για εισερχόμενη μετάδοση, μετατρέπει τα σειριακά bit σε bytes που χειρίζεται το σύστημα.
- Χειρίζεται τις διακοπές από το πληκτρολόγιο και το ποντίκι

Για τη μετάδοση δεδομένων, η μονάδα UART στέλνει κάθε bit διαδοχικά, ξεκινώντας με το bit έναρξης (πάντα ένα χαμηλό επίπεδο), ακολουθούμενο από τα bit δεδομένων, την ισοτιμία (εάν χρησιμοποιείται) και τα bit διακοπής (συνήθως ένα ή δύο bit υψηλού επιπέδου). Στο άκρο λήψης, η μονάδα UART ανιχνεύει το bit εκκίνησης, δειγματοληπτεί τα bit δεδομένων στα κατάλληλα διαστήματα, ελέγχει την ισοτιμία (εάν είναι ενεργοποιημένη) και λαμβάνει τα δεδομένα αναλόγως.

Όταν χρησιμοποιείται με έναν μικροελεγκτή, όπως ο ATmega328, ρυθμίζεται η μονάδα UART για να ενεργοποιηθεί η σειριακή επικοινωνία. Το ATmega328 διαθέτει ειδικές ακίδες, που συνήθως επισημαίνονται ως TX (μετάδοση) και RX (λήψη), οι οποίες συνδέονται με τις εξωτερικές συσκευές για τη μετάδοση και τη λήψη δεδομένων.

Για τη διαμόρφωση της μονάδας UART, ρυθμίζεται το ρυθμό baud και επιλέγεται ο αριθμός των bit δεδομένων. Αυτές οι ρυθμίσεις διασφαλίζουν ότι τόσο η συσκευή εκπομπής όσο και η συσκευή λήψης είναι συγχρονισμένες για την επιτυχή επικοινωνία. Οι περισσότερες πλατφόρμες ανάπτυξης μικροελεγκτών, συμπεριλαμβανομένου του Arduino, παρέχουν βιβλιοθήκες και λειτουργίες για την απλοποίηση του προγραμματισμού UART.

Χρησιμοποιώντας βιβλιοθήκες UART, λαμβάνονται και αποστέλλονται δεδομένα, διαμορφώνεται το ρυθμό baud, γίνεται διαχείριση των διακοπών και υλοποιούνται προηγμένες λειτουργίες όπως buffering, έλεγχος ροής και ο χειρισμός σφαλμάτων. [12]

3.8 Ροή σήματος – Ανάλυση λειτουργίας συστήματος

Στο σημείο αυτό θα αναλυθεί το σύστημα της παρούσας διπλωματικής ως προς την λειτουργία του.

Οι πολυπλέκτες διαβάζουν στις εισόδους τις τιμές των αντιστάσεων ανάλογα με το ποια είσοδος του πολυπλέκτη έχει επιλεγεί βάσει του Arduino. Τον έλεγχο των εισόδων των πολυπλεκτών τον έχει το Arduino. Αυτό συμβαίνει διότι οι επιλογείς των πολυπλεκτών A,B,C είναι συνδεδεμένοι με τις ψηφιακές εξόδους του Arduino και έχουν οριστεί για το σκοπό αυτό. Η έξοδος του ενός πολυπλέκτη είναι συνδεδεμένη με την αναλογική είσοδο A0 του Arduino και η έξοδος του άλλου πολυπλέκτη είναι συνδεδεμένη στη γείωση. Αυτό γίνεται ώστε να μπορούν οι πολυπλέκτες να διαβάσουν μέχρι και 64 εισόδους (αισθητήρες). Με τη συνδεσμολογία αυτή επιτυγχάνουμε 64 εισόδους ανάγνωσης.

Η αναλογική είσοδος A0 διαβάζει μία τάση που εξάγεται από τους πολυπλέκτες και από το κύκλωμα επιλογής της σωστής κλίμακας. Αυτό γίνεται βάσει του υπολογισμού της αντίστασης, μέχρι πόσο μπορεί η κάθε κλίμακα να μετρήσει. Κυρίαρχο ρόλο παίζει η παρουσία και λειτουργία μιας σταθερής πηγής ρεύματος το LM334. Η πηγή παροχετεύει ένα ρεύμα 50 μA και ένα ρεύμα 5 μA . Η επιλογή γίνεται μέσω του ρελέ που κλειδώνει στη σωστή αντίσταση παίρνοντας εντολή από το πρόγραμμα.

Τη διασύνδεση μεταξύ όλων των επιμέρους κυκλωμάτων την κάνει η αναπτυξιακή πλακέτα Arduino. Η σύνδεση της γίνεται μέσω της θύρας USB χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο UART για τη μετάδοση των δεδομένων στον υπολογιστή.

Η αποθήκευση των δεδομένων γίνεται σε μία micro sd κάρτα μέσω ενός micro sd module. Τα δεδομένα αυτά αποθηκεύονται σε ένα αρχείο txt το οποίο με τη σειρά του μεταφορτώνεται στο λογισμικό Matlab για την ανάλυσή του.

3.9 Προγραμματισμός Arduino

Στο παρόν κεφάλαιο θα αναλυθεί ο προγραμματισμός της αναπτυξιακής πλακέτας Arduino.

Στον τομέα των ηλεκτρονικών και του προγραμματισμού, το Arduino IDE (Integrated Development Environment) αποτελεί την πύλη για ατελείωτες δυνατότητες.

Το Arduino IDE είναι μια εφαρμογή λογισμικού που χρησιμεύει ως περιβάλλον ανάπτυξης για τον προγραμματισμό πλακετών Arduino. Το Arduino, μια ηλεκτρονική πλατφόρμα ανοικτού κώδικα, αποτελείται από πλακέτες υλικού με μικροελεγκτές και ένα υποστηρικτικό οικοσύστημα βιβλιοθηκών λογισμικού, εργαλείων και πόρων. Το Arduino IDE λειτουργεί ως γέφυρα μεταξύ του υλικού και του κώδικα, παρέχοντας μια διαισθητική πλατφόρμα για τη συγγραφή, τη μεταγλώττιση και τη μεταφόρτωση κώδικα σε πλακέτες Arduino.

Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα του Arduino IDE έγκειται στο φιλικό προς το χρήστη περιβάλλον εργασίας του. Ακόμα και για αρχάριους με ελάχιστη έως καθόλου εμπειρία στον προγραμματισμό, το IDE προσφέρει ένα απλό και προσιτό περιβάλλον για να ξεκινήσουν το ταξίδι τους. Με τη διαισθητική του διάταξη και τα απλά μενού, οι χρήστες μπορούν γρήγορα να κατανοήσουν τα βασικά στοιχεία του προγραμματισμού και να αρχίσουν να δημιουργούν τα έργα τους. Το IDE υποστηρίζει μια απλοποιημένη έκδοση της γλώσσας C/C++, καθιστώντας το προσιτό σε ένα ευρύ φάσμα ατόμων.

Οι προχωρημένοι χρήστες μπορούν να αξιοποιήσουν τη διεπαφή γραμμής εντολών του IDE, να ενσωματώσουν εξωτερικές βιβλιοθήκες και ακόμη και να επεκτείνουν τις δυνατότητες των πλακετών Arduino με έξτρα πλακέτες και πρόσθετα. Επιπλέον, το IDE ενσωματώνεται με άλλα εργαλεία ανάπτυξης και πλατφόρμες, επιτρέποντας την απρόσκοπτη επέκταση και ενσωμάτωση σε μεγαλύτερα έργα. [13]

Ο κώδικας που αναπτύσσεται για το Arduino βασίζεται στη γλώσσα προγραμματισμού Wiring C η οποία βασίζεται στον δομημένο προγραμματισμό. Κάθε πρόγραμμα αποτελείται από τουλάχιστον δύο συναρτήσεις.

Η πρώτη συνάρτηση ονομάζεται setup και ο κώδικας που περιλαμβάνει εκτελείται μόνο μία φορά κατά την εφαρμογή της τροφοδοσίας στο Arduino. Η συχνότερη χρήση της είναι για αρχικοποίηση.

Η δεύτερη συνάρτηση ονομάζεται loop και εκτελείται συνέχεια όσο υπάρχει τροφοδοσία στο Arduino.

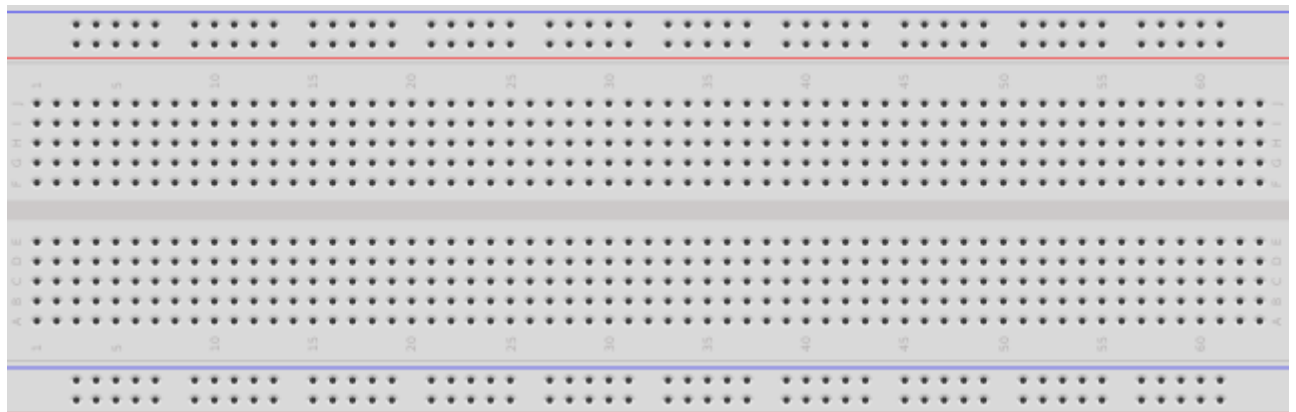
Τα ελάχιστα στοιχεία που μπορεί να έχει ένα πρόγραμμα είναι :

```
void setup() {  
    // εντολές που εκτελούνται μία φορά  
}  
  
void loop() {  
    // εντολές που εκτελούνται συνέχεια  
} [14]
```

Τα βήματα υλοποίησης για μία εφαρμογή είναι τα παρακάτω :

Βήμα 1^ο : Υλοποίηση κυκλώματος χωρίς εξωτερική τροφοδοσία και ή σύνδεση USB

Για τη σύνδεση αρχικά χρησιμοποιείται το breadboard που διαθέτει στο εσωτερικό του έτοιμες συνδέσεις και στην επιφάνειά του έχει υποδοχές για καλώδια και εξαρτήματα (οπές).

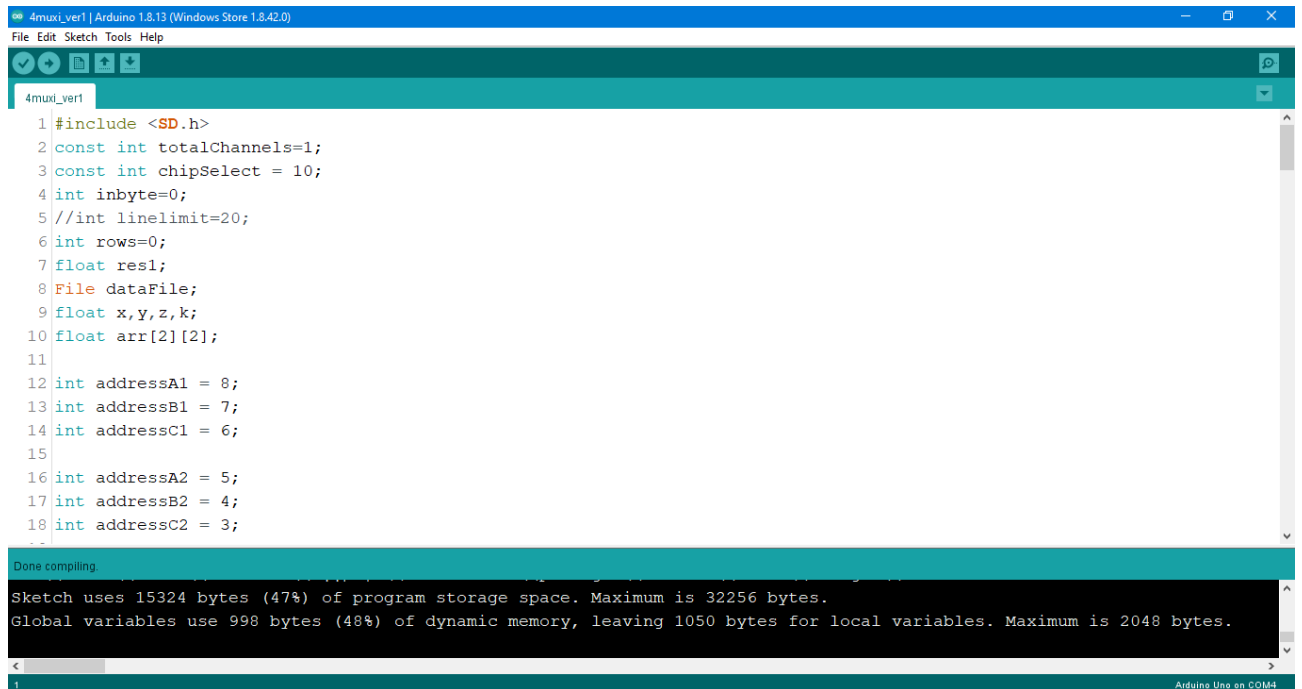


Εικόνα 3.9-1 : Breadboard

Στο breadboard υπάρχουν δύο είδη συνδέσεων. Οι οπές στις κεντρικές λωρίδες είναι συνδεδεμένες κατακόρυφα ενώ στις άκρες οριζόντια. Οι υποδοχές στα άκρα χρησιμοποιούνται για την τροφοδοσία(+/-) ώστε να υπάρχει παντού σε όλη την επιφάνεια του breadboard.

Βήμα 2 : Εισαγωγή κώδικα στο περιβάλλον Arduino IDE

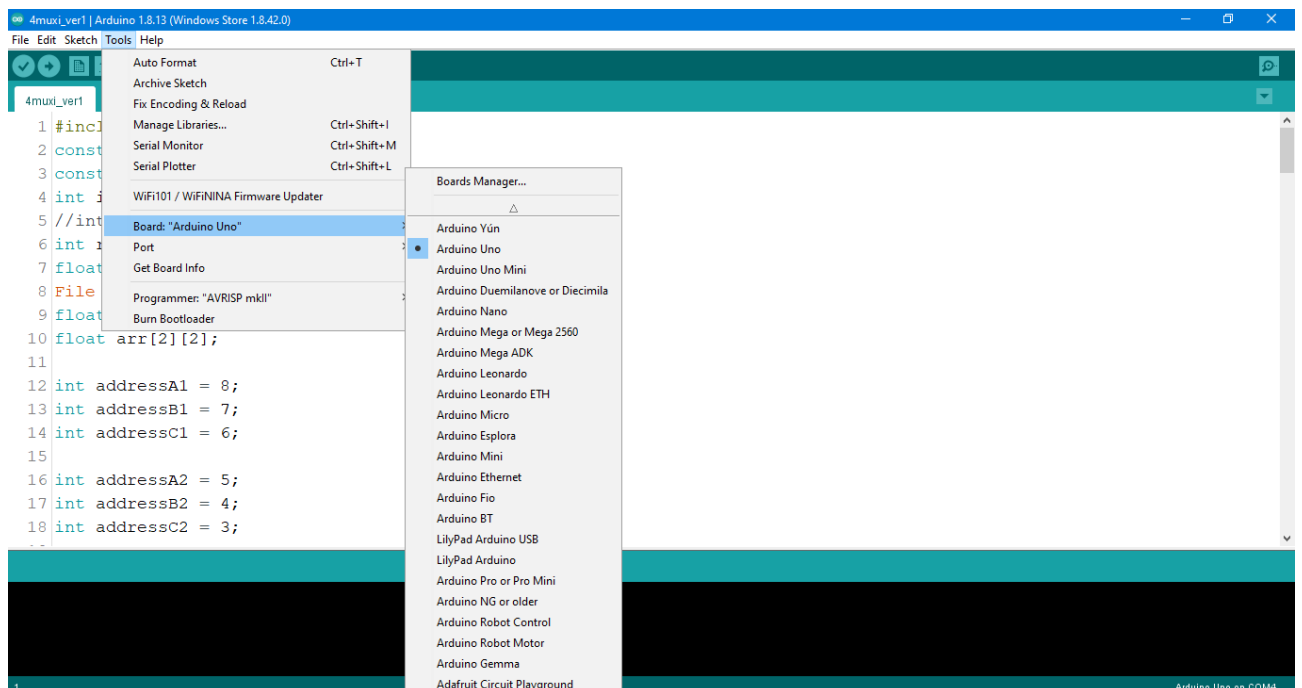
Πληκτρολογούμε τον κώδικα στο περιβάλλον IDE.



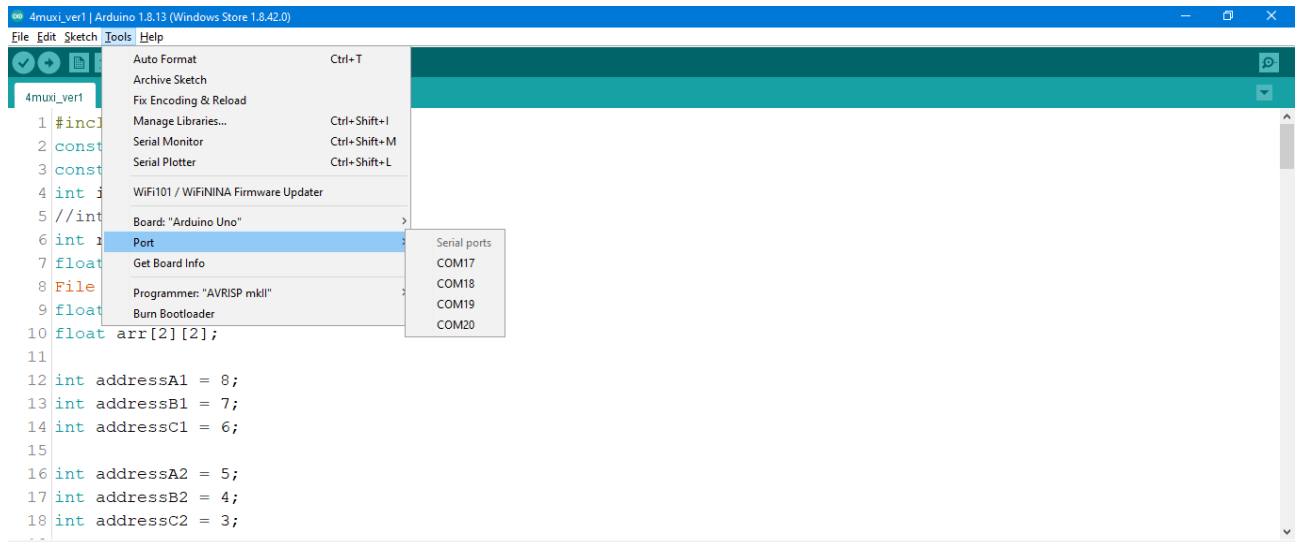
Εικόνα 3.9-2 : Περιβάλλον IDE Arduino γραφής κώδικα

Βήμα 3 : Μεταφόρτωση κώδικα

Η μεταφόρτωση του κώδικα στο μικροελεγκτή του Arduino γίνεται αυτόματα όπως και η μεταγλώττισή του. Πριν τη μεταφόρτωση συνδέεται σε μία θύρα USB και ρυθμίζεται η ίδια θύρα στο περιβάλλον IDE. Ακόμη δηλώνεται και η έκδοση του Arduino που χρησιμοποιείται.



Εικόνα 3.9-3 : Δήλωση έκδοσης Arduino



Εικόνα 3.9-4 : Ρύθμιση θύρας COM που έχει συνδεθεί το Arduino

Έπειτα μεταφορτώνεται το πρόγραμμα στον μικροελεγκτή επιλέγοντας File → Upload. [14]

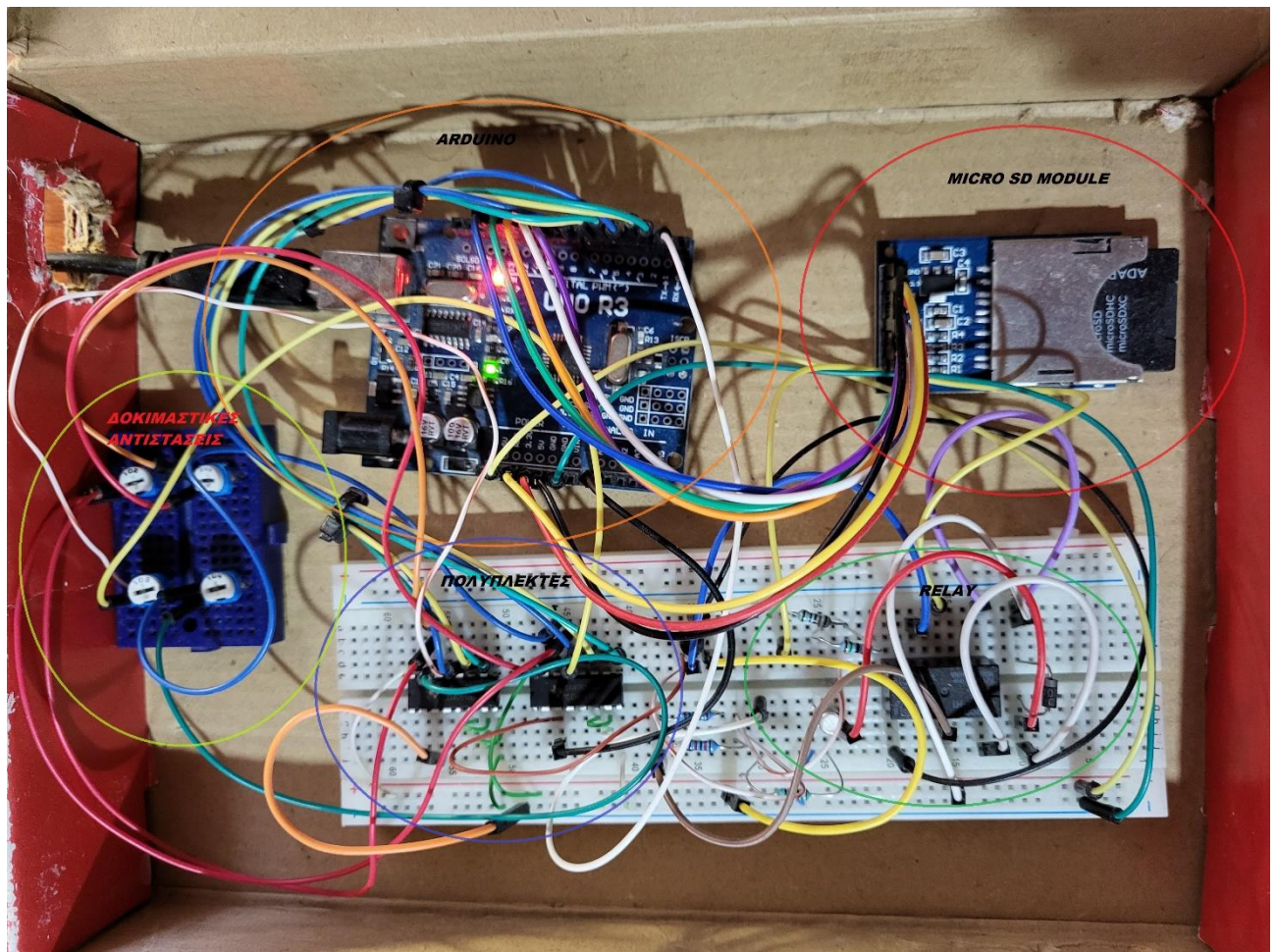
Στην συνάρτηση void setup οι εντολές εκτελούνται για μία φορά. Για να ξεκινήσουν οι μετρήσεις πρέπει να πατηθεί το πλήκτρο «0». Ελέγχεται η κάρτα μνήμης αν είναι εγκατεστημένη για την αποθήκευση των δεδομένων. Ορίζονται οι ψηφιακές έξοδοι και οι αναλογικές εισόδους.

Στη συνάρτηση void loop εκτελούνται οι εντολές συνέχεια. Ξεκινάει η ανάγνωση των εισόδων των πολυπλεκτών μέσω επιλογής της αντίστοιχης βάσει του πίνακα αληθείας. Η έξοδος του πολυπλέκτη σε συνδεσμολογία με την πηγή ρεύματος δίνουν μία τάση που πάει στην αναλογική είσοδο A0. Η τάση αυτή για να είναι μεταξύ 0-5 V πρέπει να πολλαπλασιαστεί με το (5/1023). Αν η τάση αυτή είναι μικρότερη από 4.36 V επαναλαμβάνεται η μέτρηση εκ νέου και βάση της τιμής επιλέγεται η συνθήκη που περιέχει το ρεύμα 5 mA. Αυτό επιλέγεται μέσω της ενεργοποίησης του ρελέ (NO επαφή) και επιλογή της αντίστοιχης αντίστασης κλίμακας. Έτσι επιλέγεται η δεύτερη κλίμακα, γίνονται οι κατάλληλοι υπολογισμοί και εξάγεται το αποτέλεσμα με την τιμή της αντίστασης. Έπειτα αποθηκεύονται οι τιμές που προκύπτουν σε έναν πίνακα και σε ένα αρχείο txt που βρίσκεται στην κάρτα μνήμης.

Μία ακόμη συνάρτηση δημιουργήθηκε σε αυτό το πρόγραμμα η wait4key. Η συνάρτηση αυτή έχει κυρίαρχο ρόλο στην έναρξη των μετρήσεων. Για να ξεκινήσουν οι μετρήσεις πρέπει να πατηθεί το «0» που στους ASCII χαρακτήρες αντιστοιχεί στο 48. Για όσο η σειριακή είσοδος δέχεται χαρακτήρες που είναι διαφορετικοί από το «0» τότε συνεχίζει να δέχεται. Όταν πληκτρολογηθεί το «0» τότε ξεκινούν οι μετρήσεις

3.10 Υλοποίηση κυκλώματος σε breadboard

Η υλοποίηση του κυκλώματος έγινε σε breadboard.



Εικόνα 3.10-1 : Υλοποίηση κυκλώματος σε breadboard

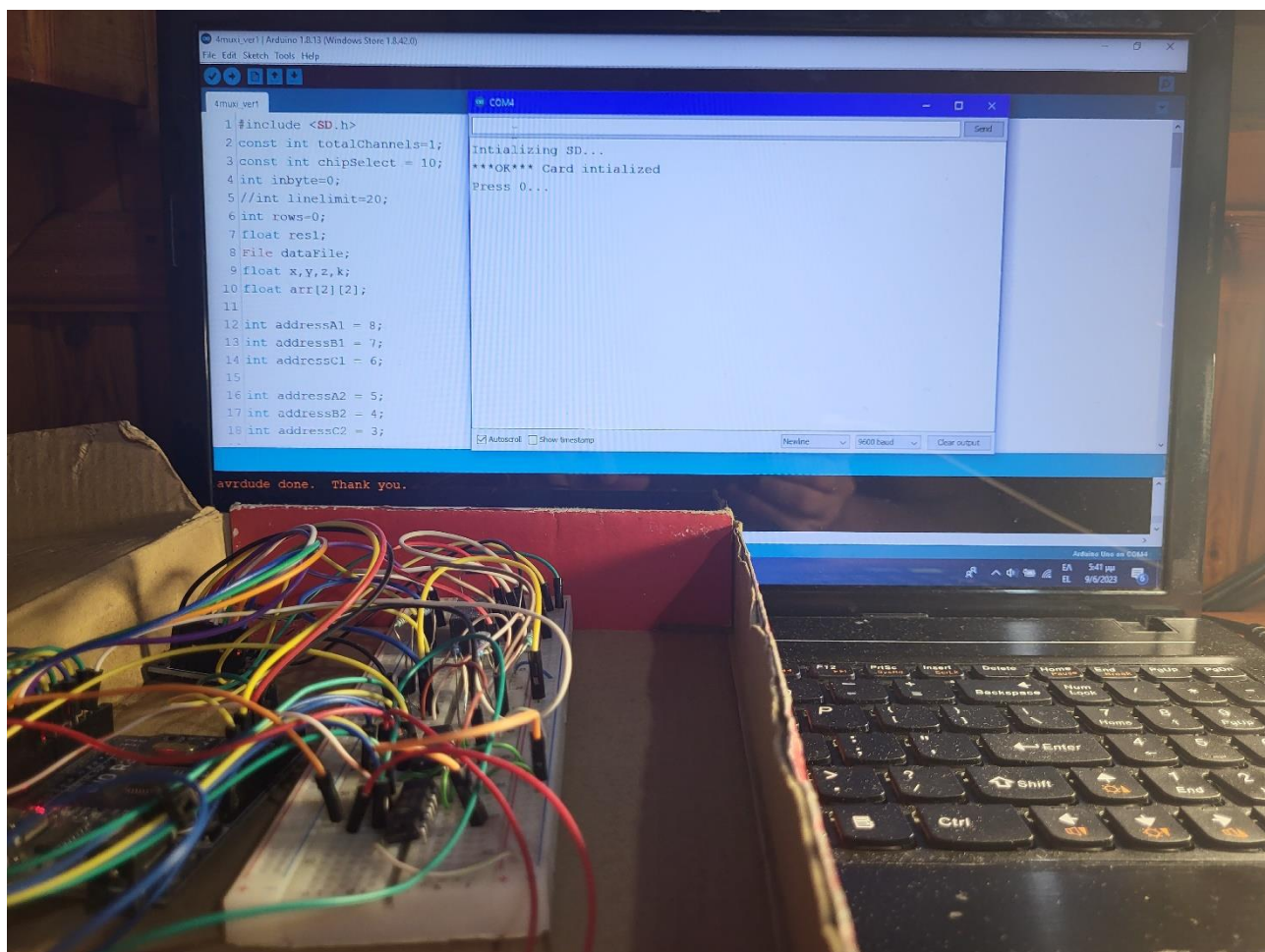
Στην εικόνα 3.10-1 στο αριστερό μέρος διακρίνεται ένα μικρό breadboard με τις δοκιμαστικές αντιστάσεις. Στο ακριβώς επάνω μέρος είναι η πλακέτα Arduino όπου πάνω σε αυτή συνδέονται όλα τα κυκλώματα. Στο κάτω μέρος υπάρχει το breadboard όπου πάνω σε αυτό στο αριστερό κομμάτι του είναι οι δύο πολυπλέκτες και στο δεξί κομμάτι του είναι το επιμέρους κύκλωμα του ρελέ για την επιλογή της αντίστοιχης αντίστασης R_{SET} για την πηγή ρεύματος. Στο μέσο του breadboard υπάρχει η πηγή ρεύματος που παροχετεύει σταθερό ρεύμα στην αναλογική είσοδο A0 του Arduino. Επίσης στο δεξί μέρος της εικόνας διακρίνεται η πλακέτα ανάγνωσης της κάρτας μνήμης με ενσωματωμένη πάνω της την κάρτα μνήμης. Όλες οι συνδέσεις έχουν γίνει με καλώδια κατάλληλα για τις υποδοχές του breadboard και του Arduino. Τέλος στο αριστερό μέρος της εικόνας φαίνεται ένα μαύρο καλώδιο που συνδέεται στον υπολογιστή.

3.11 Διάταξη μετρήσεων

Παρακάτω παρουσιάζεται η διάταξη που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις.

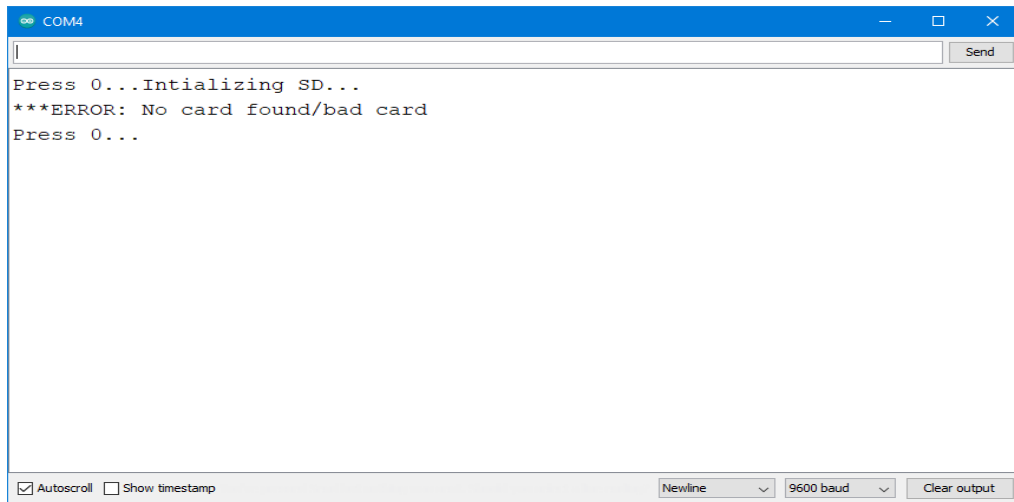
Για την περίπτωση ευκολίας και πιο γρήγορων αποτελεσμάτων έχει ρυθμιστεί το πρόγραμμα να διαβάσει μέχρι 4 αντιστάσεις.

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ο έλεγχος αν έχει εγκατασταθεί η κάρτα. Ο έλεγχος περνάει κανονικά και το πρόγραμμα περιμένει το χρήστη να πατήσει το πλήκτρο 0 για να ξεκινήσει η διαδικασία των μετρήσεων.



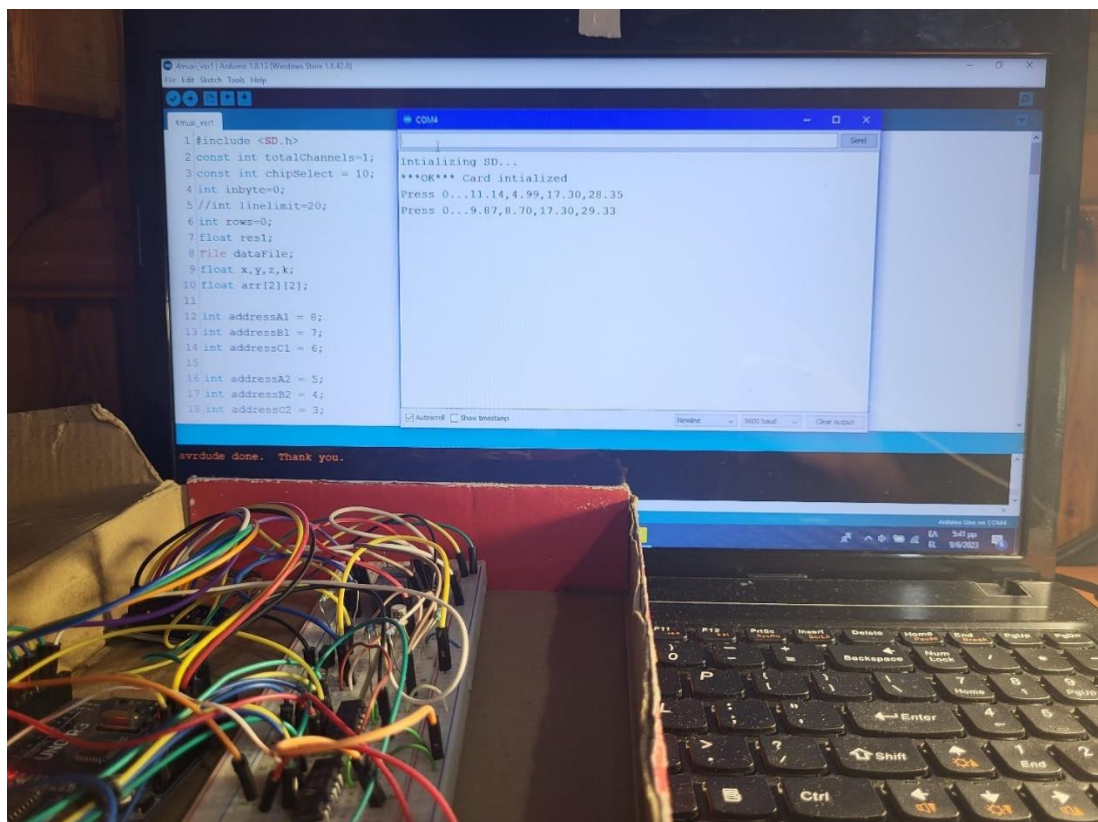
Εικόνα 3.11-1 : Διάταξη μετρήσεων

Στην περίπτωση που δεν έχει εγκατασταθεί η κάρτα ή υπάρχει κάποιο πρόβλημα εμφανίζει αντίστοιχο μήνυμα όπως παρακάτω.



Εικόνα 3.11-2 : Μήνυμα όταν δεν έχει εγκατασταθεί κάρτα

Όταν ξεκινούν οι μετρήσεις αρχίζουν να καταγράφονται όπως παρακάτω :



Εικόνα 3.11-3 : Λειτουργία συστήματος μέτρησης

Στην εικόνα 3.11-3 διακρίνεται στον υπολογιστή ότι πατώντας το πλήκτρο 0 ξεκινούν οι μετρήσεις και λαμβάνονται ανά τέσσερις, όσες είναι δηλαδή και οι αντιστάσεις δοκιμής που έχουν τοποθετηθεί. Η πρώτη μέτρηση αντιστοιχεί στην αντίσταση R1 , η δεύτερη μέτρηση στην

αντίσταση R2 , η τρίτη μέτρηση στην αντίσταση R3 και η τέταρτη μέτρηση στην αντίσταση R4. Αφού ολοκληρωθούν οι μετρήσεις το σύστημα περιμένει ξανά ο χρήστης να πατήσει το πλήκτρο 0 για να ξεκινήσουν οι επόμενες τέσσερις μετρήσεις.

3.12 Λογισμικό καταγραφής δεδομένων στο Matlab

Το Matlab (MATrix LABoratory) είναι μια γλώσσα προγραμματισμού υψηλού επιπέδου και ένα περιβάλλον που χρησιμοποιείται κυρίως για αριθμητικούς υπολογισμούς, ανάλυση δεδομένων και οπτικοποίηση. Παρέχει ένα ευρύ φάσμα ενσωματωμένων συναρτήσεων και εργαλείοι για διάφορες επιστημονικές και μηχανολογικές εφαρμογές.

Εκατομμύρια μηχανικοί και επιστήμονες παγκοσμίως χρησιμοποιούν το MATLAB® για να αναλύουν και να σχεδιάζουν τα συστήματα και τα προϊόντα που μεταμορφώνουν τον κόσμο μας. Η γλώσσα MATLAB που βασίζεται σε πίνακες είναι ο πιο φυσικός τρόπος έκφρασης των υπολογιστικών μαθηματικών στον κόσμο. Τα ενσωματωμένα γραφικά καθιστούν εύκολη την οπτικοποίηση και την απόκτηση γνώσεων από τα δεδομένα. Αυτά τα εργαλεία και οι δυνατότητες του MATLAB είναι όλα αυστηρά δοκιμασμένα και σχεδιασμένα να συνεργάζονται μεταξύ τους. Ο κώδικας του MATLAB μπορεί να ενσωματωθεί με άλλες γλώσσες, επιτρέποντάς να αναπτυχθούν αλγόριθμοι και εφαρμογές σε διαδικτυακά, επιχειρησιακά και παραγωγικά συστήματα. Το Simulink του MATLAB, ένα συνοδευτικό προϊόν, προσφέρει μια ισχυρή πλατφόρμα για την προσομοίωση και μοντελοποίηση δυναμικών συστημάτων. Με το γραφικό του περιβάλλον, το Simulink επιτρέπει στους χρήστες να κατασκευάζουν μοντέλα χρησιμοποιώντας διαγράμματα μπλοκ, αναπαριστώντας διάφορα στοιχεία και τις αλληλεπιδράσεις τους. Η δυνατότητα αυτή βρίσκει εφαρμογές σε διάφορους τομείς, όπως ο σχεδιασμός συστημάτων ελέγχου, η ρομποτική, τα ηλεκτρικά κυκλώματα και οι επικοινωνίες. Οι δυνατότητες προσομοίωσης του Simulink επιτρέπουν στους ερευνητές να δοκιμάζουν και να βελτιώνουν τα μοντέλα τους πριν από την εφαρμογή τους στον πραγματικό κόσμο, μειώνοντας έτσι το κόστος και ελαχιστοποιώντας τους κινδύνους. [15]

Το MATLAB® παρέχει λειτουργίες και εργαλεία για τη δημιουργία διαδραστικών διεπαφών χρήστη. Μπορείτε να προσθέσετε στοιχεία, όπως κουμπιά και ρυθμιστικά, για να επιτρέψετε την αλληλεπίδραση με τον χρήστη και να συμπεριλάβετε σε αυτές τις διεπαφές γραφικές παραστάσεις για την οπτικοποίηση και την εξερεύνηση δεδομένων.

Για να δημιουργήσετε αυτόνομες διεπαφές που εκτελούν λειτουργίες με βάση τις αλληλεπιδράσεις του χρήστη, αναπτύξτε εφαρμογές. Για να δημιουργήσετε διεπαφές που μπορούν να ενσωματωθούν σε μια ζωντανή δέσμη ενεργειών και που παράγουν κώδικα καθώς οι χρήστες εξερευνούν παραμέτρους, αναπτύξτε εργασίες Live Editor. Για περισσότερες πληροφορίες, ανατρέξτε στην ενότητα Τρόποι δημιουργίας εφαρμογών.

Για τη δημιουργία διεπαφών στο MATLAB διατίθεται ένα μεγάλο σύνολο στοιχείων UI. Μπορείτε επίσης να επεκτείνετε τη λίστα των διαθέσιμων στοιχείων με τις δικές σας εξειδικευμένες διεπαφές και απεικονίσεις δημιουργώντας προσαρμοσμένα στοιχεία διεπαφής. [16]

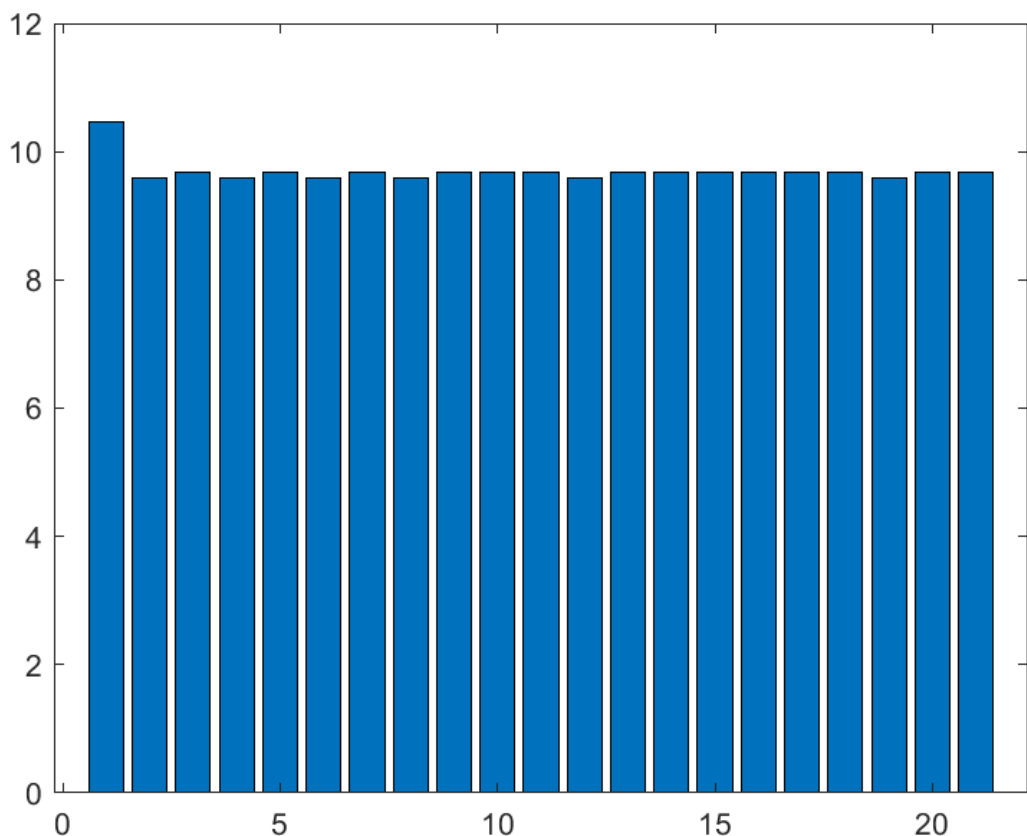
Για την επεξεργασία των αποτελεσμάτων δημιουργήθηκε ένα περιβάλλον στο Matlab με σκοπό την εξαγωγή των διαγραμμάτων που προκύπτουν από τις μετρήσεις. Ο κώδικας που χρησιμοποιήθηκε είναι ο παρακάτω :

```
clear
clc
load data1.csv;
figure
bar (datalog(:,1));
figure
bar(datalog(:,2));
figure
bar(datalog(:,3));
figure
bar(datalog(:,4));
```

Στον παραπάνω κώδικα εισάγεται το αρχείο με τις μετρήσεις και το πρόγραμμα εξάγει τα διαγράμματα με τα δεδομένα αντίστασης και της μεταβολής της τιμής της ανά κάθε μέτρηση που γίνεται.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα για κάθε αντίσταση :

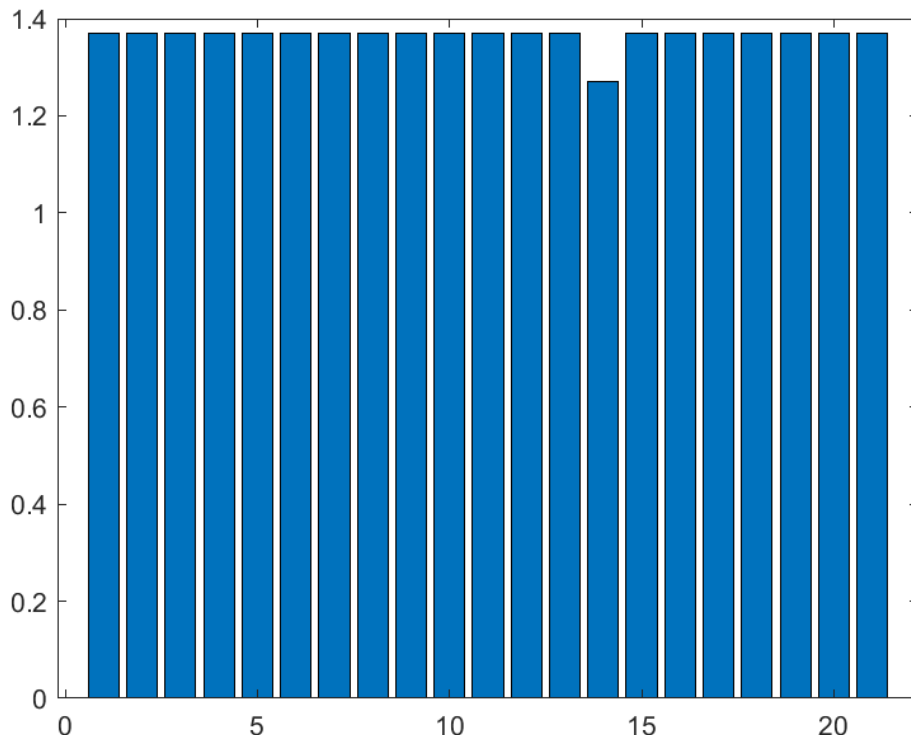
R1



Διάγραμμα 3.12-1 : Διάγραμμα αντίστασης R1 – αριθμού μετρήσεων

Στο διάγραμμα 3.12-1 παρουσιάζονται οι μετρήσεις για την αντίσταση R1 όπου στον άξονα x εμφανίζεται ο αριθμός της κάθε μέτρησης και στον y άξονα η τιμή της αντίστασης για την εκάστοτε μέτρηση.

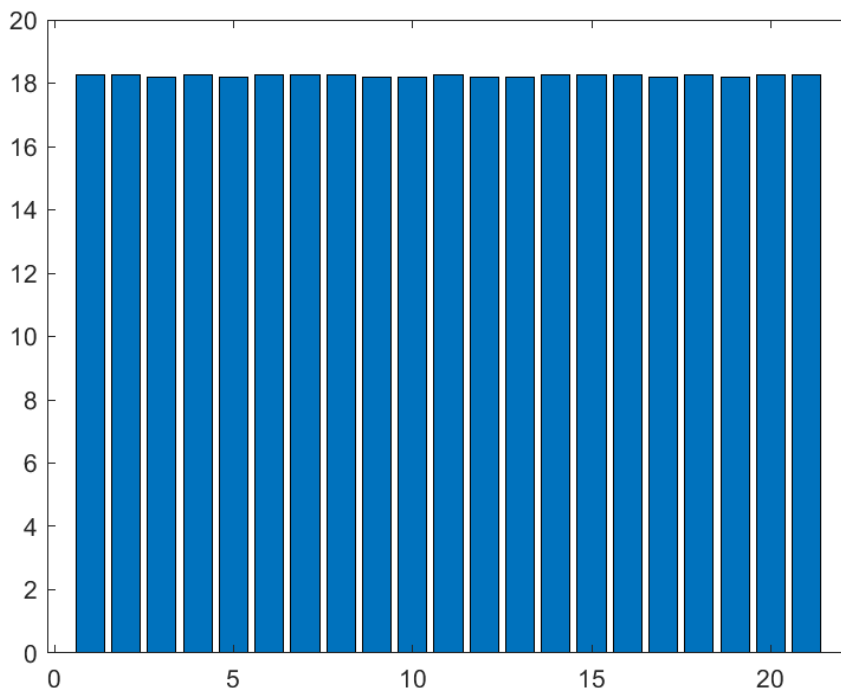
R2



Διάγραμμα 3.12-2 : Διάγραμμα αντίστασης R2 – αριθμού μετρήσεων

Στο διάγραμμα 3.12-2 παρουσιάζονται οι μετρήσεις για την αντίσταση R2 όπου στον άξονα x εμφανίζεται ο αριθμός της κάθε μέτρησης και στον y άξονα η τιμή της αντίστασης για την εκάστοτε μέτρηση.

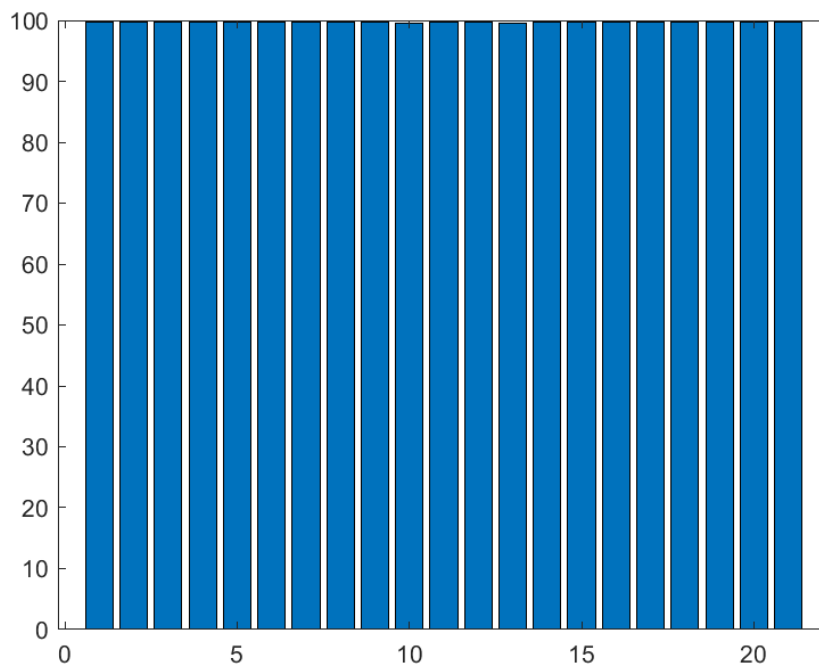
R3



Διάγραμμα 3.12-3 : Διάγραμμα αντίστασης R3 – αριθμού μετρήσεων

Στο διάγραμμα 3.12-3 παρουσιάζονται οι μετρήσεις για την αντίσταση R3 όπου στον άξονα χ εμφανίζεται ο αριθμός της κάθε μέτρησης και στον y άξονα η τιμή της αντίστασης για την εκάστοτε μέτρηση.

R4



Διάγραμμα 3.12-4 : Διάγραμμα αντίστασης R4 – αριθμού μετρήσεων

Στο διάγραμμα 3.12-4 παρουσιάζονται οι μετρήσεις για την αντίσταση R4 όπου στον άξονα χ εμφανίζεται ο αριθμός της κάθε μέτρησης και στον y άξονα η τιμή της αντίστασης για την εκάστοτε μέτρηση.

3.13 Λογισμικό στο Arduino

```
#include <SD.h>
const int totalChannels=1;
const int chipSelect = 10;
int inbyte=0;
int rows=0;
float res1;
File dataFile;
float x,y,z,k;
float arr[2][2];

int addressA1 = 8;
int addressB1 = 7;
int addressC1 = 6;

int addressA2 = 5;
int addressB2 = 4;
int addressC2 = 3;
```

Δηλώνονται οι μεταβλητές για τον έλεγχο των πολυπλεκτών μέσω του Arduino.

```
int A_1 = 0;      //Address pin A
int B_1 = 0;      //Address pin B
int C_1 = 0;      //Address pin C

int A_2 = 0;      //Address pin A
int B_2 = 0;      //Address pin B
int C_2 = 0;      //Address pin C

float voltage=0;
float voltageTest=0;
int relay=2; // analog output relay
// Τιμές ρευμάτων
float i_1=50*row(10,-6); // Μικρή κλίμακα πηγής ρεύματος
float i_2=5*row(10,-6); // Μεγάλη κλίμακα πηγής ρεύματος
float anArray[2][2];
```

Στον παραπάνω κώδικα δηλώνονται μεταβλητές και βιβλιοθήκες σημαντικές για την λειτουργία της διάταξης.

```
void setup() {
Serial.begin(9600);
wait4key();
Serial.println("Intializing SD...");
while (!SD.begin(chipSelect))
{
```

```

Serial.println("***ERROR: No card found/bad card");
wait4key();
}
Serial.println("***OK*** Card intialized");

// Prepare address pins for output
pinMode(addressA1, OUTPUT);
pinMode(addressB1, OUTPUT);
pinMode(addressC1, OUTPUT);

pinMode(addressA2, OUTPUT);
pinMode(addressB2, OUTPUT);
pinMode(addressC2, OUTPUT);

```

Ορίζονται οι μεταβλητές των διευθύνσεων ως έξοδοι στο Arduino.

```

pinMode(relay, OUTPUT);

```

Επίσης ορίζεται η μεταβλητή relay που αφορά την επιλογή του ρελέ ως έξοδος στο Arduino.

```

// Prepare address pins for output
// Prepare read pin
pinMode(A0, INPUT);

```

Ορίζεται η A0 ως είσοδος στο Arduino.

```

}

```

```

void loop() {
String dataString;
delay(1500);
wait4key();
for(int i=0; i<=totalChannels; i++){
for(int j=0; j<=totalChannels; j++){
//MUX 1 : ΓΡΑΜΜΕΣ
A_1 = bitRead(i,0); //Take first bit from binary value of i channel.
B_1 = bitRead(i,1); //Take second bit from binary value of i channel.
C_1 = bitRead(i,2); //Take third bit from value of i channel.
// MUX 2 : ΣΤΗΛΕΣ
A_2 = bitRead(j,0); //Take first bit from binary value of j channel.
B_2 = bitRead(j,1); //Take second bit from binary value of j channel.
C_2 = bitRead(j,2); //Take third bit from value of j channel.

```

Ξεκινάει η σάρωση ανάλογα με τον αριθμό που έχει δηλωθεί στο totalChannels. Στην προκειμένη περίπτωση είναι 1. Άρα θα μετρά για 00,01,10,11. Διαβάζεται έπειτα το bit από τον αντίστοιχο αριθμό σάρωσης.

```

//Write address to mux 1
  digitalWrite(addressA1, A_1);
  digitalWrite(addressB1, B_1);
  digitalWrite(addressC1, C_1);

```

Έπειτα γράφεται η διεύθυνση στον πολυπλέκτη 1.

```

//Write address to mux 2
  digitalWrite(addressA2, A_2);
  digitalWrite(addressB2, B_2);
  digitalWrite(addressC2, C_2);

```

Έπειτα γράφεται η διεύθυνση στον πολυπλέκτη 1.

```

  int sensorValue = analogRead(A0);
  float voltageTest= sensorValue * (5.0 / 1023.0);

```

Διαβάζεται η τιμή της εισόδου A0.

```

  if(voltageTest<4.36) // συμπληρωση συνθηκων
  {
    digitalWrite(relay,LOW);
    delay(700);
    int sensorValue = analogRead(A0);
    float voltage1= sensorValue * (5.0 / 1023.0);
    float res0=voltage1/i_1;
    float res1=res0*pow(10,-3);
    arr[i][j] = res1;
    delay(1500);
  }

```

Αν η τιμή που θα διαβαστεί είναι μικρότερη από 4.36 V τότε δεν ενεργοποιείται το ρελέ και για να προκύψει η τιμή της αντίστασης διαιρείται η τιμή με το το ρεύμα i_1 και έτσι προκύπτει η τιμή της αντίστασης. Έπειτα αποθηκεύεται σε έναν πίνακα.

```

  else if(voltageTest>4.36) // συμπληρωση συνθηκων
  {
    digitalWrite(relay,HIGH);
    delay(700);
    int sensorValue1 = analogRead(A0);
    float voltage2= sensorValue1 * (5.0 / 1023.0);
    //Serial.println(voltage2);
    float res2=voltage2/i_2;
    float res3=res2*pow(10,-3);
    arr[i][j] = res3;
    delay(1500);
  }
}
}

```

Αν η τιμή που θα διαβαστεί είναι μεγαλύτερη από 4.36 V τότε ενεργοποιείται το ρελέ και επιλέγεται η αντίσταση για να προκύψει το ρεύμα i_2 . Για να προκύψει η τιμή της αντίστασης επαναλαμβάνεται η μέτρηση και το αποτέλεσμα διαιρείται με το το ρεύμα i_2 και έτσι προκύπτει η τιμή της αντίστασης. Έπειτα αποθηκεύεται σε έναν πίνακα.

```
x=arr[0][0];
y=arr[0][1];
z=arr[1][0];
k=arr[1][1];
dataString=String(x)+","+String(y)+","+String(z)+","+String(k);
Serial.println(dataString);
dataFile= SD.open("datalog.txt",FILE_WRITE);
if (dataFile)
{
  dataFile.println(dataString);
  dataFile.close();
}
rows++;
}
```

Όλα αποθηκεύονται στον πίνακα και έπειτα περνούν σε ένα txt αρχείο όπου και αποθηκεύονται για περαιτέρω επεξεργασία τους.

```
void wait4key()
{
  inbyte=0;
  Serial.print("Press 0...");
  do
  {
    if (Serial.available()>0)
    {
      inbyte=Serial.read();
    }
  }
  while (inbyte != 48);
}
```

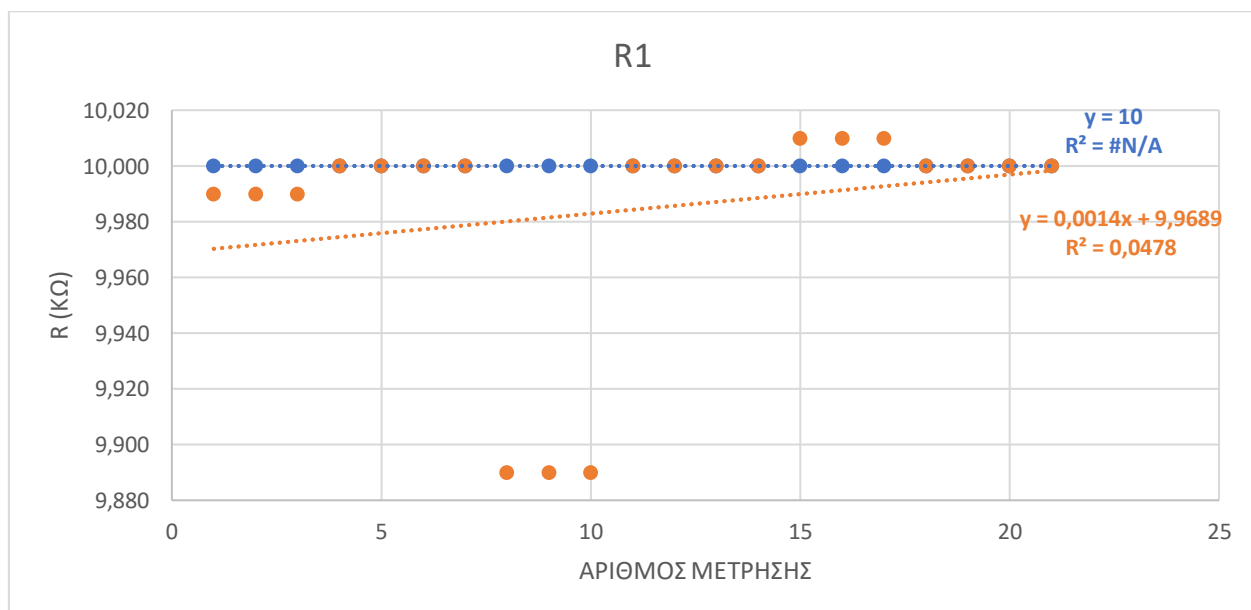
Οι μετρήσεις ξεκινούν μόνο αν πατηθεί το πλήκτρο «0» και παραπάνω είναι η συνάρτηση.

4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : Πειραματικά αποτελέσματα

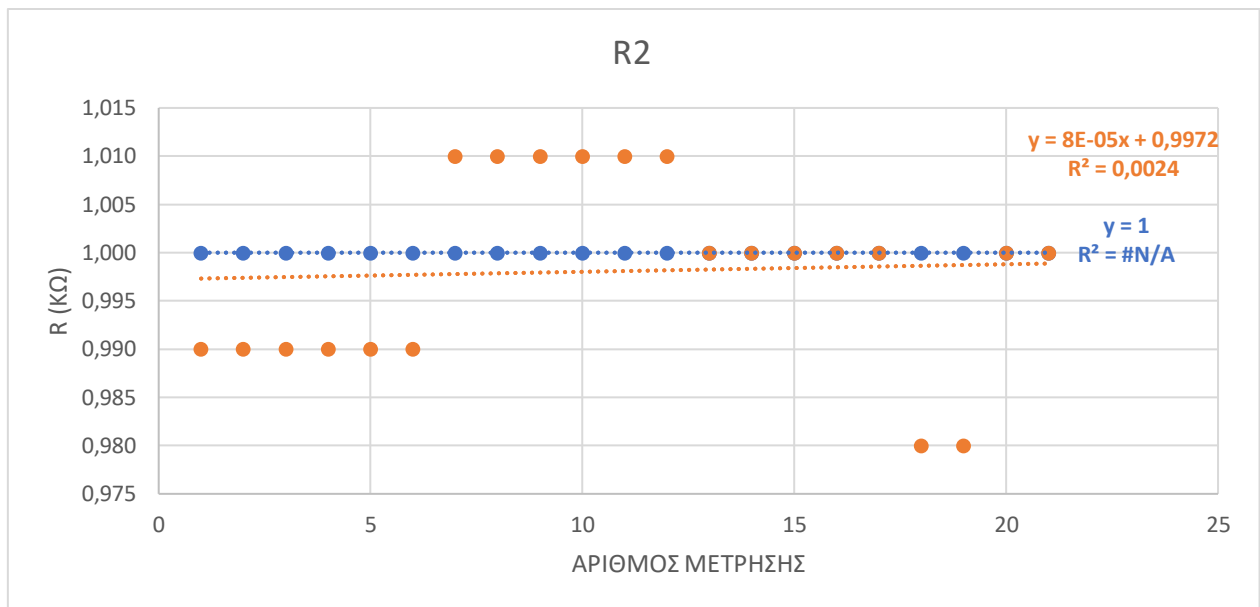
4.1 Αποτελέσματα από προσομοίωση Proteus

ΜΕ- ΤΡΗΣΗ No	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ TIMEΣΣ				ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΕΣ TIMEΣΣ			
	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4
1	10,00	1,00	20,00	100,00	9,99	0,99	19,70	99,90
2	10,00	1,00	20,00	100,00	9,99	0,99	19,70	99,90
3	10,00	1,00	20,00	100,00	9,99	0,99	19,70	99,90
4	10,00	1,00	20,00	100,00	10,00	0,99	19,70	100,00
5	10,00	1,00	20,00	100,00	10,00	0,99	19,90	100,00
6	10,00	1,00	20,00	100,00	10,00	0,99	19,90	100,00
7	10,00	1,00	20,00	100,00	10,00	1,01	19,90	100,00
8	10,00	1,00	20,00	100,00	9,89	1,01	19,90	99,89
9	10,00	1,00	20,00	100,00	9,89	1,01	20,00	99,95
10	10,00	1,00	20,00	100,00	9,89	1,01	20,00	99,60
11	10,00	1,00	20,00	100,00	10,00	1,01	20,00	99,90
12	10,00	1,00	20,00	100,00	10,00	1,01	20,00	100,03
13	10,00	1,00	20,00	100,00	10,00	1,00	19,93	99,94
14	10,00	1,00	20,00	100,00	10,00	1,00	19,93	100,00
15	10,00	1,00	20,00	100,00	10,01	1,00	20,00	100,00
16	10,00	1,00	20,00	100,00	10,01	1,00	20,00	100,00
17	10,00	1,00	20,00	100,00	10,01	1,00	20,00	100,06
18	10,00	1,00	20,00	100,00	10,00	0,98	19,90	100,00
19	10,00	1,00	20,00	100,00	10,00	0,98	19,90	100,00
20	10,00	1,00	20,00	100,00	10,00	1,00	20,00	100,01
21	10,00	1,00	20,00	100,00	10,00	1,00	20,00	100,00

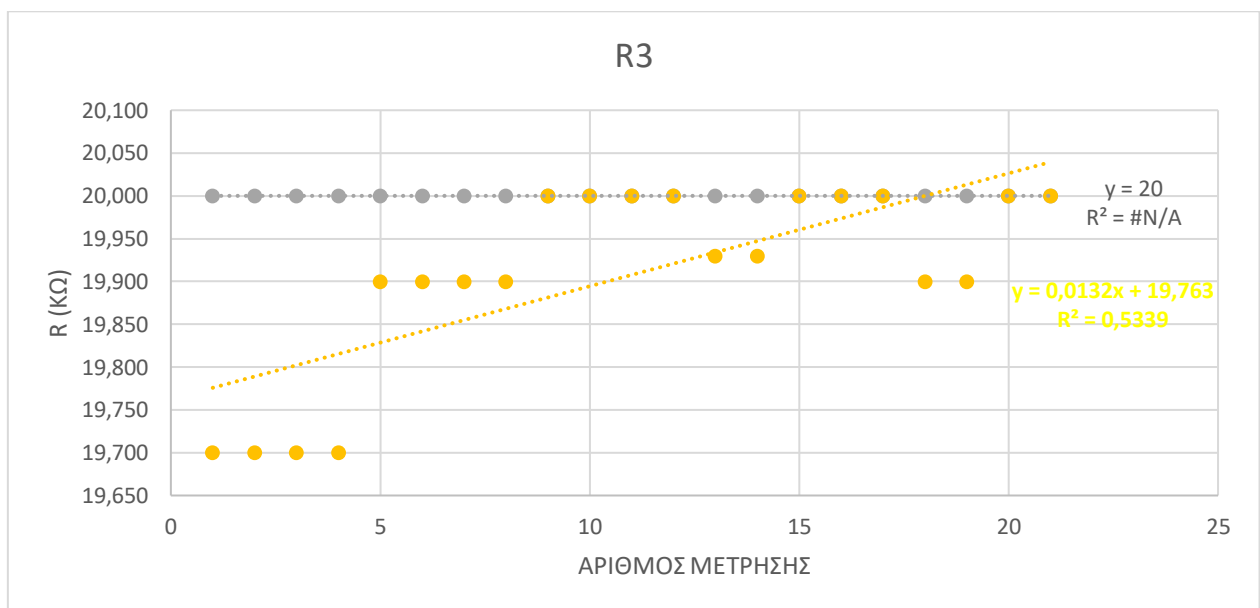
Πίνακας 4.1-1 : Αποτελέσματα προσομοίωσης Proteus



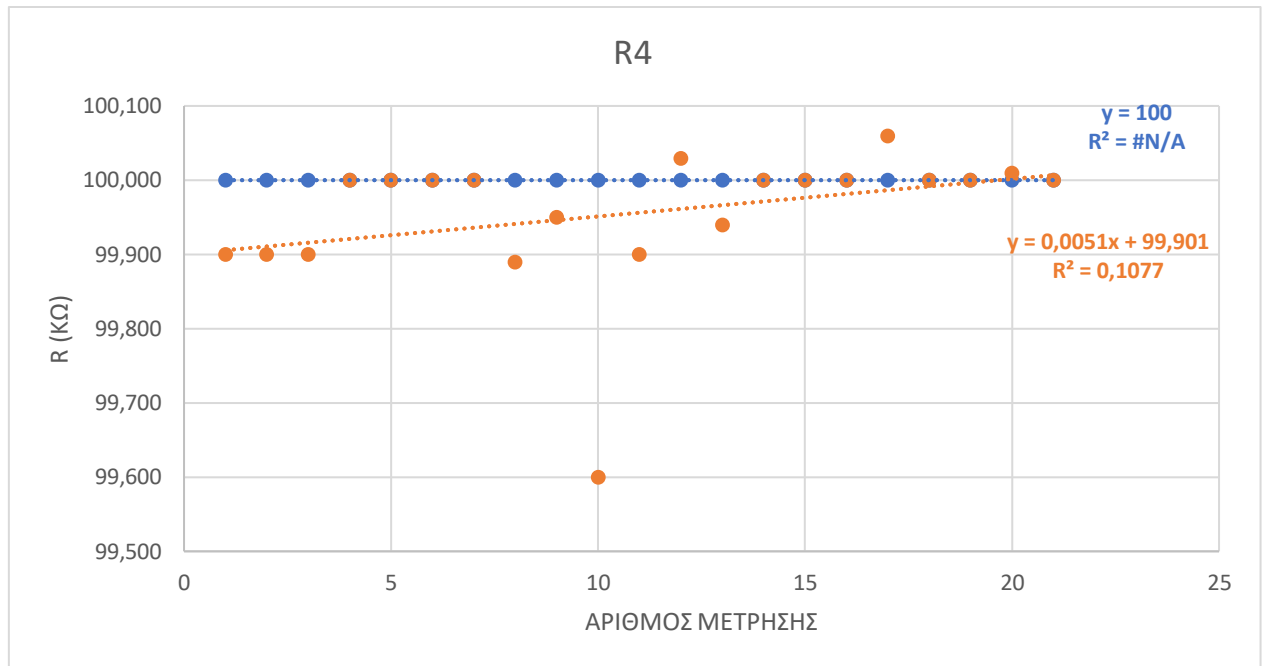
Διάγραμμα 4.1-1 : Διάγραμμα αντίστασης R1 – αριθμού μετρήσεων προσομοίωσης



Διάγραμμα 4.1-2 : Διάγραμμα αντίστασης R2 – αριθμού μετρήσεων προσομοίωσης



Διάγραμμα 4.1-3 : Διάγραμμα αντίστασης R3 – αριθμού μετρήσεων προσομοίωσης



Διάγραμμα 4.1-4 : Διάγραμμα αντίστασης R4 – αριθμού μετρήσεων προσομοίωσης

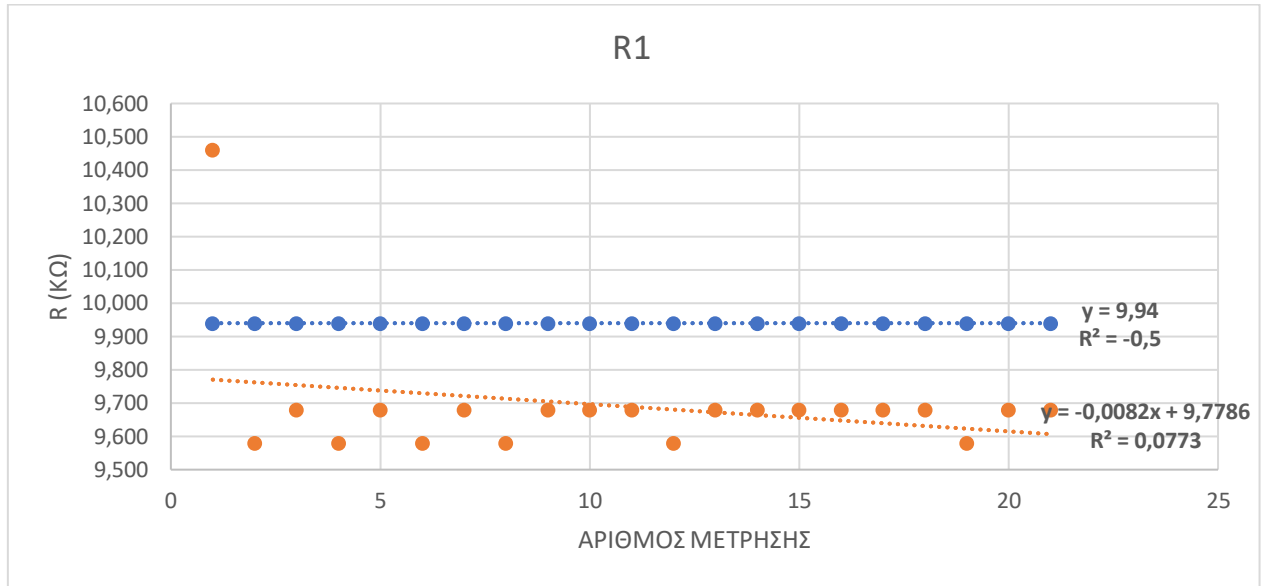
Τα παραπάνω γράφηματα μας δείχνουν τη μεταβολή της αντίστασης ανά κάθε μέτρηση. Η διορθωτική συνάρτηση που εξάγεται είναι γραμμική και είναι της μορφής $ax+b$ βάσει της γραμμικής τάσης. Αυτό σημαίνει ότι για να επιτευχθεί ακριβώς η τιμή της αντίστασης που είναι στον άξονα y των αποτελεσμάτων θα έπρεπε να υπολογιστεί και αυτός ο συντελεστής διόρθωσης της εξίσωσης. Ο συντελεστής προσδιορισμού (R^2) είναι ένας αριθμός μεταξύ 0 και 1 που μετρά πόσο καλά ένα στατιστικό μοντέλο προβλέπει ένα αποτέλεσμα.

4.2 Αποτελέσματα από πειραματικό κύκλωμα

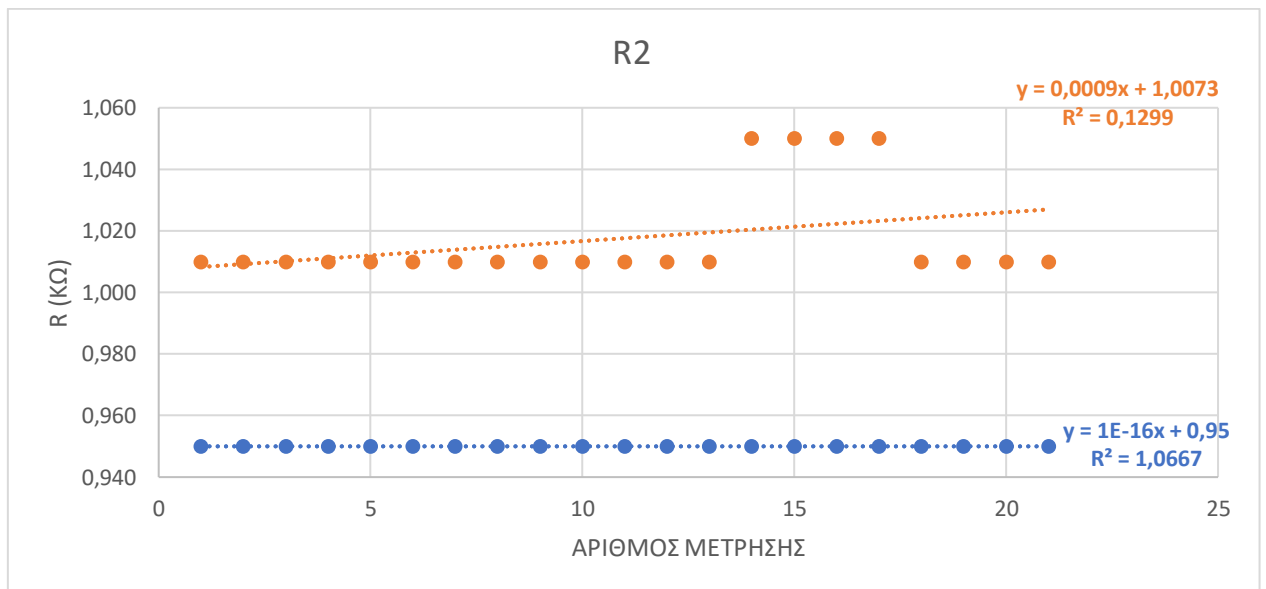
ΜΕΤΡΗΣΗ	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ				ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ			
No	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4
1	9,94	0,95	21,70	93,80	10,460	1,010	20,550	92,730
2	9,94	0,95	21,70	93,80	9,580	1,010	20,550	92,630
3	9,94	0,95	21,70	93,80	9,680	1,010	20,550	92,630
4	9,94	0,95	21,70	93,80	9,580	1,010	20,550	92,630
5	9,94	0,95	21,70	93,80	9,680	1,010	20,550	92,630
6	9,94	0,95	21,70	93,80	9,580	1,010	20,550	92,630
7	9,94	0,95	21,70	93,80	9,680	1,010	20,550	92,630
8	9,94	0,95	21,70	93,80	9,580	1,010	20,550	92,630
9	9,94	0,95	21,70	93,80	9,680	1,010	20,550	92,630
10	9,94	0,95	21,70	93,80	9,680	1,010	20,550	92,540
11	9,94	0,95	21,70	93,80	9,680	1,010	21,200	92,630
12	9,94	0,95	21,70	93,80	9,580	1,010	21,200	92,630
13	9,94	0,95	21,70	93,80	9,680	1,010	21,200	93,540
14	9,94	0,95	21,70	93,80	9,680	1,050	21,200	93,630
15	9,94	0,95	21,70	93,80	9,680	1,050	21,200	93,630
16	9,94	0,95	21,70	93,80	9,680	1,050	21,200	93,630
17	9,94	0,95	21,70	93,80	9,680	1,050	21,200	93,630

18	9,94	0,95	21,70	93,80	9,680	1,010	21,200	93,630
19	9,94	0,95	21,70	93,80	9,580	1,010	21,400	93,630
20	9,94	0,95	21,70	93,80	9,680	1,010	21,400	93,630
21	9,94	0,95	21,70	93,80	9,680	1,010	21,400	93,630

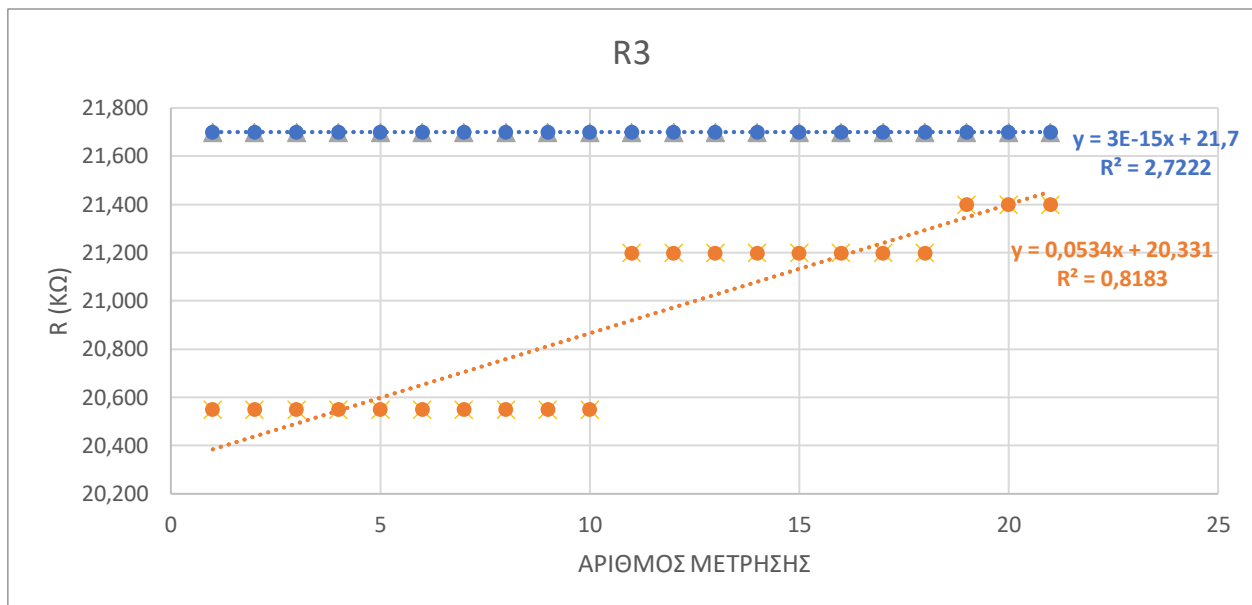
Πίνακας 4.2-1 : Πειραματικά αποτελέσματα



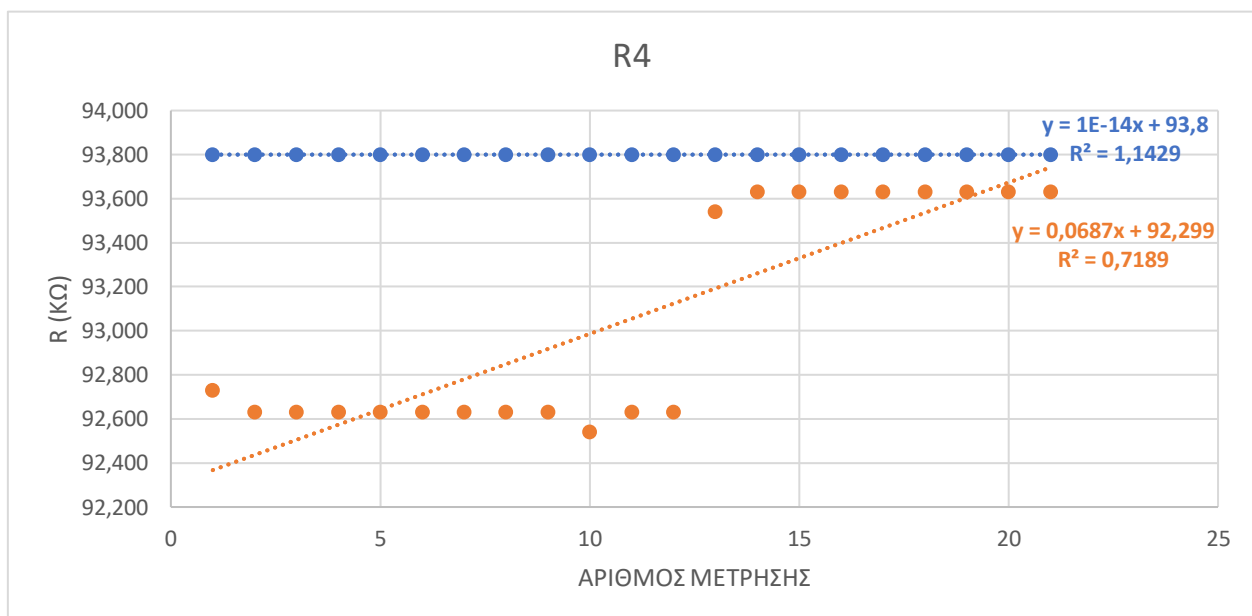
Διάγραμμα 4.2-1 : Διάγραμμα αντίστασης R1 – αριθμού μετρήσεων πειραματικού μέρους



Διάγραμμα 4.2-2 : Διάγραμμα αντίστασης R2 – αριθμού μετρήσεων πειραματικού μέρους



Διάγραμμα 4.2-3 : Διάγραμμα αντίστασης R3 – αριθμού μετρήσεων πειραματικού μέρους



Διάγραμμα 4.2-4 : Διάγραμμα αντίστασης R4 – αριθμού μετρήσεων πειραματικού μέρους

Τα παραπάνω γράφηματά μας δείχνουν τη μεταβολή της αντίστασης ανά κάθε μέτρηση. Η διορθωτική συνάρτηση που εξάγεται είναι γραμμική και είναι της μορφής $ax+b$ βάσει της γραμμικής τάσης. Αυτό σημαίνει ότι για να επιτευχθεί ακριβώς η τιμή της αντίστασης που είναι στον άξονα y των αποτελεσμάτων θα έπρεπε να υπολογιστεί και αυτός ο συντελεστής διόρθωσης της εξίσωσης. Ο συντελεστής προσδιορισμού (R^2) είναι ένας αριθμός μεταξύ 0 και 1 που μετρά πόσο καλά ένα στατιστικό μοντέλο προβλέπει ένα αποτέλεσμα.

4.3 Σύγκριση πραγματικής - πειραματικής τιμής αντίστασης

Στην περίπτωση της προσομοίωσης στο λογισμικό Proteus οι τιμές φαίνονται να ταυτίζονται και να είναι πολύ κοντά η μία στην άλλη. Παρόλα αυτά υπάρχει ένα σφάλμα που παρακάτω θα υπολογιστεί για κάθε μέτρηση. Οι ονομαστικές τιμές για τα δείγματα μετρήσεων ήταν R1= 10 ΚΩ , R2 = 1 ΚΩ , R3= 20 ΚΩ , R4 = 100 ΚΩ .

Το σφάλμα υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο :

$$\text{Σφάλμα} = \frac{\text{πραγματική τιμή} - \text{μετρούμενη τιμή}}{\text{πραγματική τιμή}} \times 100\%$$

ΜΕΤΡΗΣΗ	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ				ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ				ΣΦΑΛΜΑ			
	No	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3
1	10,000	1,000	20,000	100,000	9,990	0,990	19,700	99,900	0,001	0,010	0,015	0,001
2	10,000	1,000	20,000	100,000	9,990	0,990	19,700	99,900	0,001	0,010	0,015	0,001
3	10,000	1,000	20,000	100,000	9,990	0,990	19,700	99,900	0,001	0,010	0,015	0,001
4	10,000	1,000	20,000	100,000	10,000	0,990	19,700	100,000	0,000	0,010	0,015	0,000
5	10,000	1,000	20,000	100,000	10,000	0,990	19,900	100,000	0,000	0,010	0,005	0,000
6	10,000	1,000	20,000	100,000	10,000	0,990	19,900	100,000	0,000	0,010	0,005	0,000
7	10,000	1,000	20,000	100,000	10,000	1,010	19,900	100,000	0,000	-0,010	0,005	0,000
8	10,000	1,000	20,000	100,000	9,890	1,010	19,900	99,890	0,011	-0,010	0,005	0,001
9	10,000	1,000	20,000	100,000	9,890	1,010	20,000	99,950	0,011	-0,010	0,000	0,000
10	10,000	1,000	20,000	100,000	9,890	1,010	20,000	99,600	0,011	-0,010	0,000	0,004
11	10,000	1,000	20,000	100,000	10,000	1,010	20,000	99,900	0,000	-0,010	0,000	0,001
12	10,000	1,000	20,000	100,000	10,000	1,010	20,000	100,030	0,000	-0,010	0,000	0,000
13	10,000	1,000	20,000	100,000	10,000	1,000	19,930	99,940	0,000	0,000	0,004	0,001
14	10,000	1,000	20,000	100,000	10,000	1,000	19,930	100,000	0,000	0,000	0,004	0,000
15	10,000	1,000	20,000	100,000	10,010	1,000	20,000	100,000	-0,001	0,000	0,000	0,000
16	10,000	1,000	20,000	100,000	10,010	1,000	20,000	100,000	-0,001	0,000	0,000	0,000
17	10,000	1,000	20,000	100,000	10,010	1,000	20,000	100,060	-0,001	0,000	0,000	-0,001
18	10,000	1,000	20,000	100,000	10,000	0,980	19,900	100,000	0,000	0,020	0,005	0,000
19	10,000	1,000	20,000	100,000	10,000	0,980	19,900	100,000	0,000	0,020	0,005	0,000
20	10,000	1,000	20,000	100,000	10,000	1,000	20,000	100,010	0,000	0,000	0,000	0,000
21	10,000	1,000	20,000	100,000	10,000	1,000	20,000	100,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Πίνακας 4.3-1 : Σφάλμα μετρήσεων προσομοίωσης

Η ίδια διαδικασία ακολουθείται και για τις τιμές του πραγματικού κυκλώματος. Στο πραγματικό κύκλωμα οι μετρήσεις για τις πραγματικές τιμές έγιναν μέσω χρήσης ενός πολυμέτρου.

ΜΕΤΡΗΣΗ	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ				ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ				ΣΦΑΛΜΑ			
	No	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3
1	9,940	0,950	21,700	93,800	10,460	1,010	20,550	92,730	-5,231	-6,316	5,300	1,141
2	9,940	0,950	21,700	93,800	9,580	1,010	20,550	92,630	3,622	-6,316	5,300	1,247
3	9,940	0,950	21,700	93,800	9,680	1,010	20,550	92,630	2,616	-6,316	5,300	1,247
4	9,940	0,950	21,700	93,800	9,580	1,010	20,550	92,630	3,622	-6,316	5,300	1,247
5	9,940	0,950	21,700	93,800	9,680	1,010	20,550	92,630	2,616	-6,316	5,300	1,247
6	9,940	0,950	21,700	93,800	9,580	1,010	20,550	92,630	3,622	-6,316	5,300	1,247
7	9,940	0,950	21,700	93,800	9,680	1,010	20,550	92,630	2,616	-6,316	5,300	1,247
8	9,940	0,950	21,700	93,800	9,580	1,010	20,550	92,630	3,622	-6,316	5,300	1,247
9	9,940	0,950	21,700	93,800	9,680	1,010	20,550	92,630	2,616	-6,316	5,300	1,247
10	9,940	0,950	21,700	93,800	9,680	1,010	20,550	92,540	2,616	-6,316	5,300	1,343
11	9,940	0,950	21,700	93,800	9,680	1,010	21,200	92,630	2,616	-6,316	2,304	1,247
12	9,940	0,950	21,700	93,800	9,580	1,010	21,200	92,630	3,622	-6,316	2,304	1,247
13	9,940	0,950	21,700	93,800	9,680	1,010	21,200	93,540	2,616	-6,316	2,304	0,277
14	9,940	0,950	21,700	93,800	9,680	1,050	21,200	93,630	2,616	-10,526	2,304	0,181
15	9,940	0,950	21,700	93,800	9,680	1,050	21,200	93,630	2,616	-10,526	2,304	0,181
16	9,940	0,950	21,700	93,800	9,680	1,050	21,200	93,630	2,616	-10,526	2,304	0,181
17	9,940	0,950	21,700	93,800	9,680	1,050	21,200	93,630	2,616	-10,526	2,304	0,181
18	9,940	0,950	21,700	93,800	9,680	1,010	21,200	93,630	2,616	-6,316	2,304	0,181
19	9,940	0,950	21,700	93,800	9,580	1,010	21,400	93,630	3,622	-6,316	1,382	0,181
20	9,940	0,950	21,700	93,800	9,680	1,010	21,400	93,630	2,616	-6,316	1,382	0,181
21	9,940	0,950	21,700	93,800	9,680	1,010	21,400	93,630	2,616	-6,316	1,382	0,181

Πίνακας 4.3-2 : Σφάλμα μετρήσεων πειραματικού μέρους

5 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Συμπεράσματα

Στο παρόν κεφάλαιο θα επιχειρηθεί να γίνει μια αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, όπως αυτά προέκυψαν από την σύγκριση των πειραματικών δεδομένων με τις θεωρητικές προβλέψεις.

Οι μετρήσεις των τιμών της προσομοίωσης έχουν μικρή απόκλιση από τις πραγματικές τιμές που αυτό μας δείχνει ότι η σχεδιαστική αντίληψη είναι σωστή.

Τα πειραματικά αποτελέσματα είναι πολύ ενθαρρυντικά διότι εμφανίζεται πολύ μικρός παράγοντας σφάλματος. Αυτό οφείλεται :

1. Στη μεγάλη ακρίβεια της πηγής ρεύματος
2. Στις κατανεμημένες αντιστάσεις του κυκλώματος που είναι πολύ μικρότερες (ωμική τιμή) σε σχέση με τις μετρούμενες αντιστάσεις

Έτσι, συμπεραίνουμε ότι και στις δύο περιπτώσεις ο θεωρητικός υπολογισμός σε σύγκριση με τα πειραματικά δεδομένα είναι ικανοποιητικά στα πλαίσια των παραγόντων που έγιναν οι μετρήσεις αυτές.

Η μελλοντική μελέτη θα μπορούσε να προκύψει από τα παρακάτω :

- 1) Χρήση πηγής ρεύματος μεγαλύτερης ακρίβειας
- 2) Χρήση πολυπλεκτών με χαμηλή εσωτερική αντίσταση
- 3) Ενσωμάτωση συνάρτησης διόρθωσης σφάλματος $ax+b$ στον ψηφιακό επεξεργαστή.
- 4) Σύνδεση στο IoT για real time απεικόνιση και απομακρυσμένη διαχείριση του συστήματος.
- 5) Δυνατότητα σάρωσης των επιμέρους αντιστάσεων με μη γραμμικό τρόπο τόσο χωρικά όσο και χρονικά.

Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές

- [1] Κ. Καλαιτζάκης and Ε. Κουτρούλης, *Ηλεκτρικές Μετρήσεις και Αισθητήρες - Αρχές Λειτουργίας και Σχεδιασμός ηλεκτρονικών Συστημάτων Μέτρησης*. Εκδόσεις Κλειδάριθμος, 2010.
- [2] J. Bentley, *Principles Of Measurement Systems*. Pearson Prestice Hall, 2000.
- [3] G. R. Sinha, *Advances in Modern Sensors*. IOP Publishing, Bristol, UK, 2020.
- [4] Analog Devices, “A Beginner’s Guide to Digital Signal Processing (DSP) | Design Center | Analog Devices,” *www.analog.com*, 2019. <https://www.analog.com/en/design-center/landing-pages/001/beginners-guide-to-dsp.html>
- [5] T. Sobering, “Technote 4 Noise in Electronic Systems,” 1999.
- [6] Ε. Καραγιάννη, *ΣΝΔ Αναλογικά Κυκλώματα Τηλεπικοινωνιών*. Σχολή Ναυτικών Δοκίμων, 2014.
- [7] Κ. Καλοβρέκτης and Ν. Κατέβας, *Αισθητήρες μέτρησης και ελέγχου*. Εκδόσεις Τζιόλα, 2018.
- [8] “Arduino Uno Pin Diagram, Specifications, Pin Configuration & Programming,” *Components101.com*, 2018. <https://components101.com/microcontrollers/arduino-uno>
- [9] “LM134, LM234, LM334 LM134/LM234/LM334 3-Terminal Adjustable Current Sources ,” Texas Instruments, 2000. Available: <https://www.ti.com/lit/ds/sym-link/lm134.pdf?ts=1687014069377>
- [10] “CD405xB CMOS Single 8-Channel Analog Multiplexer or Demultiplexer With Logic-Level Conversion,” 2023. Available: <https://www.ti.com/lit/ds/sym-link/cd4051b.pdf>
- [11] “Datasheet 8-bit Microcontroller with 4/8/16/32KBytes In-System Programmable Flash ATmega48A -ATmega48PA- ATmega88A- ATmega88PA- ATmega168A- ATmega168PA -ATmega328 -ATmega328P,” *pdf1.alldatasheet.com*, 2008. <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/241077/ATMEL/ATMEGA328P.html>
- [12] U. Nanda and S. K. Pattnaik, “Universal Asynchronous Receiver and Transmitter (UART),” *IEEE Xplore*, Jan. 01, 2016. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7586376>
- [13] Arduino, “Arduino Integrated Development Environment (IDE) v1 | Arduino Documentation,” *docs.arduino.cc*, 2022. <https://docs.arduino.cc/software/ide-v1/tutorials/arduino-ide-v1-basics>
- [14] Π. Παπάζογλου and Σ.-Π. Λιώνης, *Ανάπτυξη εφαρμογών με το Arduino*. Εκδόσεις Τζιόλα, 2015.
- [15] “MATLAB Documentation,” *www.mathworks.com*, 2023. <https://www.mathworks.com/help/matlab>
- [16] “App Building - MATLAB & Simulink,” *www.mathworks.com*, 2023. <https://www.mathworks.com/help/matlab/gui-development.html>
- [17] H. Eren, “Resistance Measurement,” in *Handbook of Measuring System Design*, ARTICLE OFFPRINT, 2018.

Παράρτημα Α : Κώδικας Arduino

```
#include <SD.h>
const int totalChannels=1;
const int chipSelect = 10;
int inbyte=0;
int rows=0;
float res1;
File dataFile;
float x,y,z,k;
float arr[2][2];

int addressA1 = 8;
int addressB1 = 7;
int addressC1 = 6;

int addressA2 = 5;
int addressB2 = 4;
int addressC2 = 3;

int A_1 = 0;      //Address pin A
int B_1 = 0;      //Address pin B
int C_1 = 0;      //Address pin C

int A_2 = 0;      //Address pin A
int B_2 = 0;      //Address pin B
int C_2 = 0;      //Address pin C

float voltage=0;
float voltageTest=0;
int relay=2; // analog output relay
// Τιμές ρευμάτων
float i_1=50*pow(10,-6); // Μικρή κλίμακα πηγής ρεύματος
float i_2=5*pow(10,-6); // Μεγάλη κλίμακα πηγής ρεύματος
float anArray[2][2];

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  wait4key();
  Serial.println("Intializing SD...");
  while (!SD.begin(chipSelect))
  {
    Serial.println("***ERROR: No card found/bad card");
    wait4key();
  }
}
```

```

Serial.println("***OK*** Card intialized");

// Prepare address pins for output
pinMode(addressA1, OUTPUT);
pinMode(addressB1, OUTPUT);
pinMode(addressC1, OUTPUT);

pinMode(addressA2, OUTPUT);
pinMode(addressB2, OUTPUT);
pinMode(addressC2, OUTPUT);

pinMode(relay, OUTPUT);
// Prepare address pins for output
// Prepare read pin
pinMode(A0, INPUT);
}

void loop() {
  String dataString;
  delay(1500);
  wait4key();
  for(int i=0; i<=totalChannels; i++){
    for(int j=0; j<=totalChannels; j++){
      //MUX 1 : ΓΡΑΜΜΕΣ
      A_1 = bitRead(i,0); //Take first bit from binary value of i channel.
      B_1 = bitRead(i,1); //Take second bit from binary value of i channel.
      C_1 = bitRead(i,2); //Take third bit from value of i channel.
      // MUX 2 : ΣΤΗΛΕΣ
      A_2 = bitRead(j,0); //Take first bit from binary value of j channel.
      B_2 = bitRead(j,1); //Take second bit from binary value of j channel.
      C_2 = bitRead(j,2); //Take third bit from value of j channel.

      //Write address to mux 1
      digitalWrite(addressA1, A_1);
      digitalWrite(addressB1, B_1);
      digitalWrite(addressC1, C_1);

      //Write address to mux 2
      digitalWrite(addressA2, A_2);
      digitalWrite(addressB2, B_2);
      digitalWrite(addressC2, C_2);
      int sensorValue = analogRead(A0);

```

```

float voltageTest= sensorValue * (5.0 / 1023.0);

if(voltageTest<4.36) // συμπληρωση συνθηκων
{
digitalWrite(relay,LOW);
delay(700);
int sensorValue = analogRead(A0);
float voltage1= sensorValue * (5.0 / 1023.0);
//Serial.println(voltage1);
float res0=voltage1/i_1;
float res1=res0*pow(10,-3);
arr[i][j] = res1;
delay(1500);
}
else if(voltageTest>4.36) // συμπληρωση συνθηκων
{
digitalWrite(relay,HIGH);
delay(700);
int sensorValue1 = analogRead(A0);
float voltage2= sensorValue1 * (5.0 / 1023.0);
//Serial.println(voltage2);
float res2=voltage2/i_2;
float res3=res2*pow(10,-3);
arr[i][j] = res3;
delay(1500);
}
}
}
x=arr[0][0];
y=arr[0][1];
z=arr[1][0];
k=arr[1][1];
dataString=String(x)+","+String(y)+","+String(z)+","+String(k);
Serial.println(dataString);
dataFile= SD.open("datalog.txt",FILE_WRITE);
if (dataFile)
{
dataFile.println(dataString);
dataFile.close();
}
rows++;
}

void wait4key()

```

```
{
  inbyte=0;
  Serial.print("Press 0...");
  do
  {
    if (Serial.available()>0)
    {
      inbyte=Serial.read();
    }
  }
  while (inbyte != 48);
}
```