



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ**

**Διάταξη Μέτρησης Τάσης και Ρεύματος ελεγχόμενη
από εφαρμογή για Android συσκευές**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

ΠΕΤΡΟΥ ΚΟΛΟΒΟΥ

Επιβλέπων: Παναγιώτης Τσαραμπάρης
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Νοέμβριος 2019



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Διάταξη Μέτρησης Τάσης και Ρεύματος ελεγχόμενη από εφαρμογή για Android συσκευές

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

ΠΕΤΡΟΥ ΚΟΛΟΒΟΥ

Επιβλέπων: Παναγιώτης Τσαραμπάρης
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 7^η Νοεμβρίου 2019.

.....
Παναγιώτης Τσαραμπάρης
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

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

.....
Νικόλαος Θεοδώρου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Νοέμβριος 2019

.....
ΚΟΛΟΒΟΣ ΠΕΤΡΟΣ

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

Copyright © Κολοβός Πέτρος, 2019
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία υλοποιήθηκε μία διάταξη μέτρησης Τάσης και Ρεύματος, αφενός με την δυνατότητα χειρισμού της διάταξης μετρήσεων με την χρήση εφαρμογής για Android συσκευές μέσω Bluetooth και αφετέρου με την δυνατότητα καταχώρησης των τιμών της σε κάρτα μνήμης micro SD.

Στο 1^ο Κεφάλαιο παρατίθενται εισαγωγικά στοιχεία που αφορούν το σύνολο των θεμάτων που σχετίζονται με το θεωρητικό υπόβαθρο της διπλωματικής εργασίας, όπως ο τομέας των Μετρήσεων και της Μετρολογίας, οι Ηλεκτρικές μετρήσεις, η τεχνολογία των Μικροεπεξεργαστών και των Μικροελεγκτών, το μικροϋπολογιστικό σύστημα Arduino, τα τεχνικά χαρακτηριστικά των συσκευών που αποτελούν την διάταξη μετρήσεων, και τέλος η online πλατφόρμα ανάπτυξης εφαρμογών MIT App Inventor.

Στο 2^ο Κεφάλαιο γίνεται εκτενής περιγραφή της διάταξης μέτρησης που κατασκευάστηκε και της διαδικασίας που ακολουθήθηκε. Αρχικά, γίνεται αναφορά στον σχεδιασμό και την κατασκευή του Υλικού (Hardware) της διάταξης. Στην συνέχεια εξετάζονται ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη του Λογισμικού (Software) της διάταξης. Στο τελευταίο μέρος παρουσιάζεται η εφαρμογή που αναπτύχθηκε, τόσο όσον αφορά τον σχεδιασμό της διεπαφής (interface), όσο και στον προγραμματισμό της εφαρμογής.

Στο 3^ο Κεφάλαιο παρουσιάζεται η διαδικασία του ελέγχου σωστής λειτουργίας του συστήματος και τα διάφορα αποτελέσματα που προέκυψαν. Στην συνέχεια παρατίθενται διάφορα συμπεράσματα για τη χρήση της διάταξης καθώς και οι διάφορες βελτιώσεις αυτής.

Η ιδέα για την υλοποίηση της συγκεκριμένης διάταξης βασίστηκε και αξιοποίησε όλες τις δυνατότητες που προσφέρει η συσκευή και η πλατφόρμα του Arduino. Ο στόχος ήταν η κατασκευή μίας «έξυπνης» διάταξης που να δίνει στον χρήστη την δυνατότητα του απομακρυσμένου ελέγχου και της λήψης των πληροφοριών των μετρήσεων που η διάταξη λαμβάνει, μέσω της εφαρμογής που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της εργασίας.

Λέξεις κλειδιά

Διάταξη Μετρήσεων, καταγραφικό, Τάση, Ρεύμα, «έξυπνη» συσκευή, Arduino, Ηλεκτρικές Μετρήσεις, εφαρμογή για Android, απομακρυσμένος έλεγχος, Bluetooth, micro SD card.

Abstract

In the present thesis a Voltage and Current device was implemented, with the capability of registering its values in a micro SD memory card as well as operating the measuring device with the use of an application for Android devices, via Bluetooth.

Chapter 1 gives introductory details on all the topics related to the theoretical background of the thesis, such as Measurement and Metrology, Electrical Measurements, Microprocessor and Microcontroller technology, Arduino microcomputers, technical features of the devices constituting the metering device, and finally the online application development platform MIT App Inventor.

Chapter 2 gives a detailed description of the measuring device manufactured and the procedure followed. Initially reference is made to the design and manufacture of the Hardware of the device. Next the design and the development of the Software of the layout are examined. Finally, the last section presents the application developed, both in terms of interface design and application programming.

Chapter 3 describes the procedure for checking the correct operation of the system and its various results. Following they are presented various conclusions on the use of the device as well as its improvements.

+

The idea of implementing this layout was based on and took full advantage of the capabilities of the Arduino device and platform. The goal was to create a "smart" device that would allow the user to remotely control and retrieve the metering information that the device receives, through the application developed in the context of the work.

Key Words

Measuring Device, recorder, Voltage, Current, "smart" device, Arduino, Electrical Measurements, Android application, remoted control, Bluetooth, micro SD card.

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Π. Τσαραμπάρη, για την ανάθεση της διπλωματικής, την βοήθεια και την συνεχή υποστήριξη του καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησης της, και για τις νέες γνώσεις και δεξιότητες που μου προσέφερε στο πλαίσιο της εργασίας.

Ευχαριστώ τους γονείς, τα αδέρφια μου και όλη την οικογένεια μου για την στήριξη και την αγάπη τους όλα αυτά τα χρόνια. Ευχαριστώ τους φίλους μου για τις ωραίες στιγμές που μοιραστήκαμε και συνεχίζουμε να μοιραζόμαστε, που δίνουν χρώμα στην καθημερινότητα και μας βοηθούν να συνεχίζουμε. Ευχαριστώ την Αγγελική για την αμέριστη υποστήριξη της, την αγάπη της και την φροντίδα της.

Τέλος, ευχαριστώ τους φίλους και τους συντρόφους μου από την σχολή που μαζί μοιραστήκαμε τα φοιτητικά μας χρόνια και δώσαμε την μάχη της γενιάς μας για μια καλύτερη ζωή.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1. Μετρήσεις	13
1.1.1. Εισαγωγή	13
1.1.2. Ορισμός	13
1.1.3. Μετρολογία	14
1.1.4. Συστήματα Μονάδων και Μονάδες Μέτρησης	14
1.1.5. Συστήματα Μετρήσεων	16
1.1.6. Ηλεκτρικές Μετρήσεις	18
1.1.6.1. Γενικές Πληροφορίες	18
1.1.6.2. Βολτόμετρο	19
1.1.6.3. Αμπερόμετρο	20
1.1.6.4. Παλμογράφος	22
1.1.6.5. Πολύμετρο	26
1.1.6.6. Ηλεκτρικές Μετρήσεις Εναλλασσόμενου Ρεύματος	27
1.2. Μικροεπεξεργαστές και Μικροελεγκτές	28
1.2.1. Μικροεπεξεργαστές	28
1.2.2. Μικροελεγκτές	30
1.2.2.1. Δομή και διαφορές με Μικροεπεξεργαστές	30
1.2.2.2. Γλώσσες Προγραμματισμού Μικροελεγκτών	32
1.2.2.3. Τύποι Μικροελεγκτών, Κατασκευαστές και πεδία εφαρμογής	34
1.3. Ο Μικροελεγκτής Arduino	37
1.3.1. Γενικές Πληροφορίες	37
1.3.2. Περιβάλλον Ανάπτυξης- Software (IDE) Arduino	39
1.3.3. Το μοντέλο Arduino Uno	42
1.3.3.1. Γενικά Χαρακτηριστικά	42
1.3.3.2. Οι Ακροδέκτες του μοντέλου Arduino Uno	44
1.3.4. Arduino SPI	46
1.4. Τεχνικά χαρακτηριστικά χρήσιμων συσκευών που συνδέονται στο Arduino	47
1.4.1. Arduino microSD card module	47
1.4.2. DS 3231 Real Time Clock (RTC)	48
1.4.3. HC-05 Bluetooth module	49
1.4.4. ACS 712 Current module	50
1.4.5. ZMPT 101B Voltage Transformer	51
1.5. Η Πλατφόρμα MIT App Inventor	52

Κεφάλαιο 2: Η Διάταξη Μετρήσεων Τάσης και Ρεύματος

2.1. Ο σχεδιασμός της διάταξης και οι δυνατότητες που προσφέρει	53
2.2. Κατασκευή Μετρητή (Hardware)	54
2.2.1. Τα Μέρη που αποτελούν την διάταξη	54
2.2.1.1. Arduino microSD card module	54
2.2.1.2. DS 3231 Real Time Clock (RTC)	55
2.2.1.3. HC-05 Bluetooth module	55
2.2.1.4. ACS 712 Current module	56
2.2.1.5. ZMPT 101B Voltage Transformer	57
2.2.2. Συνδεσμολογία Διάταξης Μετρήσεων	58
2.3. Προγραμματισμός Συστήματος (Software)	63
2.4. Εφαρμογή Ελέγχου της Διάταξης για Android (App)	69
2.4.1. Σχεδιασμός του Android Application	69
2.4.2. Προγραμματισμός του Android Application	72

Κεφάλαιο 3: Αποτελέσματα - Συμπεράσματα - Βελτιώσεις

3.1. Έλεγχος Λειτουργίας του Συστήματος και Αποτελέσματα	76
3.2. Συμπεράσματα	81
3.3. Βελτιώσεις	81
Βιβλιογραφία	82

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1. Μετρήσεις

1.1.1. Εισαγωγή

Ο κλάδος των μετρήσεων αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο της επιστήμης και της τεχνολογίας, των εμπορικών δραστηριοτήτων και της ποσοτικής έρευνας σε πολλούς τομείς διαχρονικά. Κατά την διάρκεια της ιστορίας πολλά συστήματα μέτρησης χρησιμοποιήθηκαν στα διάφορα πεδία της ανθρώπινης δραστηριότητας είτε αυτά αφορούσαν εμπορικές συναλλαγές, είτε πτυχές της καθημερινότητας των ανθρώπων. Μεταξύ των πιο γνωστών συστημάτων μέτρησης που ανέπτυξαν αρχαίοι πολιτισμοί υπήρξαν το ελληνικό, το αιγυπτιακό, το βαβυλωνιακό και το κινέζικο. Από τον 18^ο αιώνα, ξεκινούν προσπάθειες στην κατεύθυνση ενοποίησης των προτύπων μέτρησης σε ένα ευρέως αποδεκτό σύστημα, που οδήγησε στην σύγχρονη εποχή στην δημιουργία του Διεθνούς Συστήματος Μονάδων (SI). Η υιοθέτηση του ονόματος αυτού λαμβάνει χώρα στην 11^η Γενική Διάσκεψη Μέτρων και Σταθμών το 1960. Η χρήση του συγκεκριμένου συστήματος απλοποιεί τις φυσικές μετρήσεις σε ένα συνδυασμό επτά μονάδων βάσης. Τον επιστημονικό κλάδο της επιστήμης της μέτρησης αποτελεί η Μετρολογία η οποία αναλύεται εκτενώς παρακάτω.

1.1.2. Ορισμός

Με τον όρο μέτρηση ορίζεται είτε η απαρίθμηση με χρήση φυσικών αριθμών, είτε η σύγκριση της ποσότητας κάποιου φυσικού μεγέθους με ένα πρότυπο, δηλαδή με κάποια σταθερή ποσότητα του ίδιου φυσικού μεγέθους που κατά σύμβαση έχει συμφωνηθεί να χρησιμοποιείται ως μονάδα μέτρησης. Η καθιέρωση τεχνικών για την ακριβή και λεπτομερή μέτρηση μεγεθών όπως η μάζα, ο χρόνος και η απόσταση αποτέλεσε την βασική προϋπόθεση για την συγκρότηση και την ανάπτυξη της επιστήμης της Φυσικής, μέσω της ενδελεχούς και ακριβούς παρατήρησης της φύσης και των φυσικών φαινομένων. Για αυτό τον λόγο είναι εξαιρετικά σημαντικές στην ανάπτυξη της επιστήμης, στην τεχνολογική πρόοδο, στην βιομηχανία και ευρύτερα στην βελτίωση της παραγωγικής διαδικασίας.

Ο Κλασικός ορισμός της Μέτρησης:

Ως μέτρηση ορίζεται η εκτίμηση του λόγου των ποσοτήτων. Ποσότητα και μέτρηση ορίζονται αμοιβαία ως: εκείνες οι ποσοτικές ιδιότητες που μπορούν να μετρηθούν, τουλάχιστον κατ' αρχήν. Η κλασική έννοια της ποσότητας ανάγεται στο έργο των John Wallis και Isaac Newton, ενώ οι ιστορικές της ρίζες βρίσκονται στο έργο "Στοιχεία" του Ευκλείδη.

Τα είδη των μετρήσεων διακρίνονται σε:

1. Μετρήσεις Φυσικών μεγεθών
2. Μετρήσεις Στατιστικών δεδομένων
3. Προσδιορισμός σταθερών

1.1.3. Μετρολογία

Ως μετρολογία ορίζεται η επιστήμη της μέτρησης, με σκοπό την καθιέρωση της κοινής κατανόησης των μονάδων που είναι σημαντικές για την ανθρώπινη δραστηριότητα.

Η μετρολογία ορίζεται από το Διεθνές Γραφείο Μέτρων και Σταθμών (BIPM) ως «η επιστήμη της μέτρησης, αγκαλιάζοντας τόσο πειραματικούς όσο και θεωρητικούς προσδιορισμούς σε οποιοδήποτε επίπεδο αβεβαιότητας σε οποιοδήποτε πεδίο της επιστήμης και της τεχνολογίας». Περιλαμβάνει τεχνικές και μεθόδους μετρήσεων, τις μονάδες μέτρησης και την οργανολογία, δηλαδή την τεχνολογία των οργάνων μέτρησης. Η σύγχρονη αποστολή της παρόλα αυτά μπορεί να συνοψιστεί εκτός των άλλων σε δύο βασικές δραστηριότητες:

1. Την διασφάλιση ποιότητας
2. Την Προτυποποίηση

Η μετρολογία όντας ένας τομέας με ευρεία εμβέλεια, προφανές κοινωνικό αντίκτυπο και εμφανείς επιπτώσεις στην οικονομία, το εμπόριο, την βιομηχανία και την ενέργεια, μπορεί να χωριστεί σε τρεις βασικές και αλληλεπικαλυπτόμενες δραστηριότητες:

1. Τον ορισμό διεθνών μονάδων μέτρησης.
2. Την υλοποίηση των συγκεκριμένων μονάδων μέτρησης στην πράξη
3. Την σύνδεση των μετρήσεων με τα αντίστοιχα πρότυπα αναφοράς (εφαρμογή αλυσίδων ανιχνευσιμότητας).

Οι παραπάνω δραστηριότητες έχουν ισχύ και χρησιμοποιούνται στους τρεις βασικούς τομείς της μετρολογίας:

1. Την επιστημονική ή θεμελιώδη μετρολογία, της οποίας αντικείμενο είναι η δημιουργία μονάδων μέτρησης.
2. Την εφαρμοσμένη, τεχνική ή βιομηχανική μετρολογία, της οποίας αντικείμενο είναι η εφαρμογή της μέτρησης στις παραγωγικές και στις ευρύτερες κοινωνικές διαδικασίες
3. Την νομική μετρολογία, της οποίας αντικείμενο αποτελεί η κάλυψη των ρυθμίσεων και των νομικών απαιτήσεων για τα όργανα και τις μεθόδους μέτρησης.

1.1.4. Συστήματα μονάδων και μονάδες μέτρησης

Συστήματα Μονάδων

Ανά τα χρόνια έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορα συστήματα μέτρησης. Από τους αρχαίους πολιτισμούς και τα συστήματα μέτρησης που χρησιμοποιούσαν, μέχρι την σύγχρονη ιστορία και την υιοθέτηση του Διεθνούς Συστήματος Μονάδων (SI- Systeme Internationale d' Unites), θα παρατεθούν πληροφορίες για τα συστήματα που χρησιμοποιήθηκαν στην σύγχρονη ιστορία πριν το σύστημα SI, καθώς και για το ίδιο και τις μονάδες μέτρησης που το αποτελούν.

Αυτοκρατορικά και Αμερικανικά συνηθισμένα συστήματα

Τα Βρετανικά συστήματα αγγλικών μονάδων και μεταγενέστερα αυτοκρατορικών μονάδων χρησιμοποιήθηκαν στην Βρετανία, στις Ηνωμένες Πολιτείες και στην Κοινοπολιτεία, πριν οι μονάδες του SI υιοθετηθούν σε όλο τον κόσμο. Το σύστημα παραμένει ενεργό ακόμα και σήμερα στις ΗΠΑ και σε ορισμένες χώρες της Καραϊβικής και είναι γνωστό ως συνήθεις μονάδες των ΗΠΑ. Τα παραπάνω συστήματα μονάδων αποκαλούνται συχνά ως “foot-pound-second”

σύμφωνα με τα ονόματα των αυτοκρατορικών μονάδων για το μήκος, το βάρος και τον χρόνο. Οι αυτοκρατορικές μονάδες παραμένουν σε ισχύ στην Βρετανία παρόλο που η χώρα έχει προσχωρήσει στο SI. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν οι ενδείξεις απόστασης στα σήματα οδικής κυκλοφορίας που είναι σε μίλια, η μπύρα που πωλείται σύμφωνα με την αυτοκρατορική πίντα (pint), η μέτρηση του ύψους που γίνεται σε πόδια (foot) και ίντσες και η μέτρηση του βάρους σε λίβρες (pounds). Η Βρετανία δεν είναι η μόνη που συνεχίζει να χρησιμοποιεί μεγέθη του αυτοκρατορικού συστήματος. Σε χώρες της Κοινοπολιτείας ακόμα και σήμερα η έκταση της γης μετριέται σε στρέμματα, η επιφάνεια σε square feet (τετραγωνικά πόδια) και η βενζίνη σε γαλόνια στις εμπορικές συναλλαγές.

Το Μετρικό Σύστημα

Το Μετρικό σύστημα αποτελεί ένα δεκαδικό σύστημα μονάδων που βασίζεται στο μέτρο (meter) ως μονάδα μέτρησης του μήκους και στο κιλό (kilogram) ως μονάδα μέτρησης της μάζας. Από την δεκαετία του '60 το διεθνώς αναγνωρισμένο μετρικό σύστημα αποτελεί το Διεθνές Σύστημα Μονάδων (SI). Τα πολλαπλάσια και τα υποπολλαπλάσια των ποσοτήτων εκφράζονται ως δυνάμεις του 10, έτσι ώστε οι μετατροπές μονάδων να είναι πάντα απλές. Για παράδειγμα η δύναμη 10^{-3} του μέτρου αποτελεί την μονάδα του χιλιοστού, ενώ η δύναμη του 10^3 του μέτρου αποτελεί την μονάδα του χιλιομέτρου.

Το Διεθνές Σύστημα Μονάδων (SI)

Το Διεθνές Σύστημα Μονάδων (από την συντομογραφία του γαλλικού Systeme International d' Unites) αποτελεί την σύγχρονη διεθνή μορφή του μετρικού συστήματος. Αποτελεί το πιο διαδεδομένο σύστημα μέτρησης παγκοσμίως στους τομείς του εμπορίου, της επιστήμης αλλά και της καθημερινής ζωής. Αποτελεί την μετεξέλιξη του συστήματος "metre- kilogram-second" (MKS). Κατά την ανάπτυξη του εισήχθησαν και ορισμένες νέες μονάδες μέτρησης που δεν αποτελούσαν κομμάτια του μετρητικού συστήματος. Οι βασικές επτά μονάδες μέτρησης του SI θα παρατεθούν στην συνέχεια, αφού πρώτα ειπωθούν λίγα λόγια για τις μονάδες μέτρησης γενικά.

Μονάδες Μέτρησης

Η έκφραση της τιμής ενός μεγέθους γίνεται από έναν αριθμό ο οποίος συνοδεύεται από μια μονάδα. Η μονάδα μέτρησης αποτελεί μια προκαθορισμένη ποσότητα του μεγέθους και χρησιμοποιείται ως τιμή αναφοράς για την μέτρηση, η οποία καταμετρά από πόσες ποσότητες της μονάδας αποτελείται το μέγεθος της μέτρησης. Στην 11^η Διάσκεψη Μέτρων και Σταθμών του 1960 θεσπίστηκαν οι κανόνες για τις βασικές και τις παραγόμενες μονάδες του SI.

Οι **βασικές μονάδες** αποτελούνται από επτά καθορισμένες μονάδες που θεωρούνται διαστασιακά ανεξάρτητες (κατά συνθήκη). Αυτές είναι το: μέτρο, το χιλιόγραμμα, το δευτερόλεπτο, το αμπέρ, το kelvin, το μολ, και η καντέλα. Παρακάτω παρατίθενται στον Πίνακα 1 τα μεγέθη με διάφορες πληροφορίες.

Παραγόμενες μονάδες αποτελούν εκείνες που σχηματίζονται από συνδυασμό των βασικών μονάδων, σύμφωνα με τις αλγεβρικές σχέσεις που συνδέουν τις αντίστοιχες ποσότητες. Τα ονόματα και τα σύμβολα από τις μονάδες που έχουν σχηματιστεί συχνά αντικαθίστανται από ειδικά ονόματα και σύμβολα τα οποία μπορούν με τη σειρά τους να χρησιμοποιηθούν για να σχηματίσουν εκφράσεις και σύμβολα άλλων παραγόμενων μονάδων.

Πίνακας 1: Βασικές μονάδες του SI

Θεμελιώδες μέγεθος		Θεμελιώδης μονάδα		Χρονιά Υιοθέτησης
Όνομα	Σύμβολο	Όνομα	Σύμβολο	
Μήκος	<i>l, x, r, s κλπ.</i>	Μέτρο metre	m	1983 17 ^η Σύνοδος
Μάζα	<i>m</i>	Χιλιόγραμμα Kilogram	kg	1889 και 1901 1 ^η και 3 ^η Σύνοδος
Χρόνος	<i>t</i>	Δευτερόλεπτο second	s	1967 13 ^η Σύνοδος
Ηλεκτρικό ρεύμα	<i>I, i</i>	Αμπέρ ampere	A	1948 9 ^η Σύνοδος
Θερμοδυναμική Θερμοκρασία	<i>T</i>	Κέλβιν kelvin	K	1967 13 ^η Σύνοδος
Ποσότητα Ύλης	<i>n</i>	Γραμμομόριο mole	mol	1971 14 ^η Σύνοδος
Φωτεινή Ένταση	<i>I_v</i>	Καντήλα candela	cd	1979 16 ^η Σύνοδος

1.1.5. Συστήματα Μετρήσεων

Τα συστήματα μέτρησης λαμβάνουν μία ποσότητα ως είσοδο την οποία μετρούν και παραθέτουν την ποσότητα που δίνεται ως έξοδο του συστήματος.

Οποιοδήποτε σύστημα μέτρησης, μπορεί να χωριστεί στα παρακάτω τρία μέρη:

1. Στοιχείο ανίχνευσης (Sensing element): το οποίο έχει ένα φυσικό χαρακτηριστικό που ανταποκρίνεται στην αλλαγή του υπό μέτρηση μεγέθους.
2. Υποσύστημα τροποποίησης σήματος (Signal modification subsystem): το οποίο θα τροποποιήσει (χωρίς να επιφέρει αλλαγή) την έξοδο- σήμα του στοιχείου ανίχνευσης ώστε να το καταστήσει καταλληλότερο για καταχώρηση ή ανάγνωση.
3. Δείκτης ή καταγραφέας (Indicator or recorder): θα εμφανίσει την έξοδο του υπό μέτρηση μεγέθους, στις κατάλληλες μονάδες, ή θα την καταγράψει, ή θα πραγματοποιήσει και τα δύο.

Κάποιες από τις βασικές παραμέτρους ενός συστήματος μέτρησης, που λαμβάνονται υπόψιν είναι οι παρακάτω:

- **Εύρος (Range):** Το συγκεκριμένο εύρος τιμών μέσα στο οποίο όλα τα συστήματα μέτρησης είναι σχεδιασμένα να λειτουργούν. Η απόκριση του συστήματος μέτρησης μέσα στα όρια της συγκεκριμένης περιοχής είναι η βέλτιστη. Η τιμή του εύρους ενός συστήματος μέτρησης, ισούται με το συνολικό μήκος του εύρους τιμών. Δηλαδή σε ένα αμπερόμετρο με περιοχή μέτρησης από -5 A έως 5 A το εύρος του είναι 10 A.
- **Ακρίβεια (Accuracy):** Αποτελεί την πιο σημαντική παράμετρο ενός συστήματος μέτρησης. Με τον όρο αυτό ορίζεται η διαφορά ανάμεσα στην μετρούμενη τιμή και την πραγματική τιμή του μεγέθους. Κατά μία έννοια ο ορισμός της ακρίβειας “πλησιάζει” τον ορισμό της αβεβαιότητας (uncertainty) που θα αναλυθεί παρακάτω. Οι κατασκευαστές καταγράφουν

την ακρίβεια των συστημάτων μέτρησης (ή πολύ συχνά την μη ακρίβεια), δίνοντας με αυτό τον τρόπο το υπολειπόμενο σφάλμα που θα υπάρχει ανεξαρτήτως αν θα βαθμονομηθεί σωστά το σύστημα ή αν θα λειτουργήσει σε βέλτιστες συνθήκες. Η ακρίβεια συνήθως αναγράφεται ως ποσοστό της εξόδου πλήρους κλίμακας, καθώς ο κατασκευαστής δεν μπορεί να εγγυηθεί το ίδιο σφάλμα μέτρησης σε περίπτωση που το σύστημα χρησιμοποιηθεί εκτός της εμβέλειας του. Στις μετρήσεις που εκτελούνται είναι σημαντικό να επιλέγεται κατάλληλο σύστημα μέτρησης που να έχει την μέγιστη δυνατή ακρίβεια εντός του εύρους των αναμενόμενων τιμών του μετρούμενου μεγέθους.

- **Ακρίβεια διασποράς- Επαναληπτικότητα (Precision- Repeatability):** Με τον όρο ορίζεται ο βαθμός στον οποίο ένα σύστημα δίνει την ίδια τιμή εξόδου όταν σε διαφορετικές στιγμές τροφοδοτείται με την ίδια είσοδο. Η διαφορά του όρου από την Ακρίβεια (Accuracy) έγκειται στο γεγονός ότι η ληφθείσα τιμή δεν είναι απαραίτητα κοντά στην πραγματική τιμή του μετρούμενου μεγέθους.
- **Ανάλυση- Διακριτική ικανότητα (Resolution):** Ο όρος αναφέρεται στην μικρότερη αλλαγή εισόδου η οποία μπορεί να γίνει αντιληπτή και να καταγραφεί από το σύστημα μέτρησης. Όσο μεγαλύτερη η διακριτική ικανότητα ενός συστήματος τόσο μικρότερη η τιμή της μεταβολής η οποία μπορεί να ανιχνευθεί.
- **Ολίσθηση και Θερμική σταθερότητα (Drift and Thermal stability):** Ως ολίσθηση (Drift) ορίζεται η τάση ενός συστήματος να μεταβάλλει, με την πάροδο του χρόνου, την τιμή της εξόδου που δίνει ενώ η τιμή της εισόδου παραμένει αμετάβλητη. Κύριοι παράγοντες αποτελούν η γήρανση των υλικών και η μεταβολή των περιβαλλοντικών συνθηκών με ιδιαίτερα σημαντική την μεταβολή στην θερμοκρασία, λόγω της ευαισθησίας που έχουν τα συστήματα μέτρησης. Επομένως είναι σημαντικό να ελέγχεται η θερμική σταθερότητα (Thermal stability) ενός συστήματος ώστε να αποφεύγεται η ολίσθηση.
- **Χρόνος Λειτουργίας (Operating life):** Ορίζεται το χρονικό διάστημα κατά το οποίο το σύστημα λειτουργεί στα πλαίσια των προδιαγραφών του.
- **Αξιοπιστία (Reliability):** Αποτελεί παραπλήσιο χαρακτηριστικό με τον χρόνο λειτουργίας, με το οποίο ορίζεται η ικανότητα του συστήματος να λειτουργεί εντός του πλαισίου των προδιαγραφών του κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, για μια ορισμένη περίοδο ή για έναν ορισμένο αριθμό κύκλων λειτουργίας του.
- **Ευαισθησία (Sensitivity):** Ορίζεται ως ο λόγος ανάμεσα στην μεταβολή της εξόδου, προς την μεταβολή της εισόδου ενός συστήματος. Όταν η συνάρτηση ανάμεσα στην έξοδο και στην μετρούμενη ποσότητα είναι γραμμική, τότε η ευαισθησία παραμένει σταθερή σε όλο το εύρος λειτουργίας. Στην αντίθετη περίπτωση η ευαισθησία μεταβάλλεται ανά περιοχή μέτρησης.
- **Ευστάθεια (Stability):** Εκφράζει το μέτρο μεταβολής της εξόδου ενός συστήματος για μεγάλη χρονική διάρκεια, όταν οι συνθήκες μέτρησης και η είσοδος παραμένουν σταθερές.
- **Βαθμονόμηση (Calibration):** Ορίζεται ως η διαδικασία κατά την οποία συγκρίνεται η έξοδος του συστήματος μέτρησης με ένα ανεξάρτητο σύστημα αναφοράς το οποίο της ορίζει την “πραγματική” τιμή, και μέσω αυτής της διαδικασίας προσδιορίζεται το μέγεθος του σφάλματος.
- **Σφάλμα (Error):** Είναι η παράμετρος που δείχνει την διαφορά ανάμεσα στην έξοδο του συστήματος και την πραγματική τιμή της εισόδου. Τα σφάλματα διακρίνονται στα απόλυτα σφάλματα και στα σχετικά σφάλματα. Το απόλυτο σφάλμα ισούται με την απόλυτη τιμή της διαφοράς, της πραγματικής τιμής, μείον την τιμή εξόδου (αποτέλεσμα μέτρησης). Το σχετικό σφάλμα ισούται με τον λόγο του σφάλματος, προς την τιμή, και μπορεί να αποδοθεί είτε ως καθαρός αριθμός είτε ως εκατοστιαίο ποσοστό.
- **Χρόνος Απόκριση (Response):** Ορίζεται ως ο χρόνος ο οποίος απαιτείται για να λάβει η έξοδος του συστήματος την τελική τιμή της για ορισμένη τιμή της εισόδου, και μετριέται

σε μονάδες χρόνου. Ορισμένες φορές δίνεται και ως ποσοστό της τελικής τιμής, π.χ. απόκριση 90% σε 5 sec, δηλαδή σε 5 sec η έξοδος φτάνει στο 90% της τελικής της τιμής.

- **Ονομαστική τιμή (Rating):** Αποτελεί το σύνολο των βέλτιστων συνθηκών που ορίζει ο κατασκευαστής ενός συστήματος (ηλεκτρικών, μηχανικών κλπ.) στο πλαίσιο των οποίων το σύστημα λειτουργεί ασφαλώς και με επιτυχία.
- **Αβεβαιότητα (Uncertainty):** Εκφράζει το μέτρο της αμφιβολίας για το κατά πόσο η έξοδος του συστήματος είναι σωστή.

1.1.6. Ηλεκτρικές Μετρήσεις

1.1.6.1 Γενικές Πληροφορίες

Οι Ηλεκτρικές Μετρήσεις είναι οι μετρήσεις ηλεκτρικών μεγεθών ή σημάτων με την χρήση οργάνων που αφορούν τα πλαίσια και το επιστημονικό πεδίο του Ηλεκτρολόγου Μηχανικού, και που μετατρέπουν φυσικά μεγέθη σε ηλεκτρικό σήμα στην έξοδο.

Τα όργανα τα οποία συνήθως χρησιμοποιούνται κατηγοριοποιούνται σε:

- Κλασσικά όργανα
- Ηλεκτρονικά όργανα
- Ψηφιακά όργανα
- Συστήματα μετρήσεων

Συνήθη μεγέθη τα οποία απασχολούν τις ηλεκτρικές μετρήσεις είναι η μέτρηση:

- Ρεύματος (συνεχούς και εναλλασσόμενου, AC/DC)
- Τάσης
- Ισχύος και Ενέργειας
- Αντιστάσεων
- Χωρητικότητας και Επαγωγής
- Ημιαγωγών
- Φορτίων κ.α.

Τέλος, επιπλέον πεδία με τα οποία ασχολείται ο τομέας των Ηλεκτρικών Μετρήσεων αποτελούν:

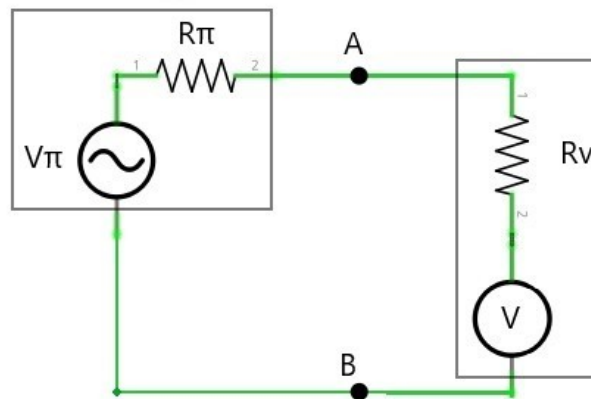
- Ο υπολογισμός των Σφαλμάτων
- Η χρήση και η ανάπτυξη των Αισθητήρων
- Η επεξεργασία δεδομένων κλπ.

Οι Ηλεκτρικές Μετρήσεις αποτελούν μεγάλο κομμάτι της δραστηριότητας του κλάδου τόσο όσον αφορά το επιστημονικό πεδίο, όσο και ως προς την οικονομική απασχόληση του κλάδου των Ηλεκτρολόγων Μηχανικών. Ο οικονομικός τζίρος που σχετίζεται με τον τομέα των Ηλεκτρικών Μετρήσεων αφορά την αγοραπωλησία οργάνων και προϊόντων που χρησιμοποιούνται για αυτό τον σκοπό, την παροχή σχετικών υπηρεσιών, την χρηματοδότηση της έρευνας και της ανάπτυξης του πεδίου κλπ. Έχοντας υπόψιν το οικονομικό εύρος των παραπάνω δραστηριοτήτων, καθώς και το οικονομικό μέγεθος των κατασκευαστών των οργάνων που χρησιμοποιούνται στις ηλεκτρικές μετρήσεις και των εταιρειών που δραστηριοποιούνται στον τομέα, γίνεται αντιληπτό ότι τα οικονομικά μεγέθη τα οποία συνδέονται με τις Ηλεκτρικές Μετρήσεις είναι τεράστια. Λαμβάνοντας υπόψιν τα παραπάνω καθώς και το εύρος των εφαρμογών που έχουν οι Ηλεκτρικές Μετρήσεις και στο επιστημονικό πεδίο, και στην παραγωγική διαδικασία, γίνεται εμφανής η ανάπτυξη και η εξέλιξη που γνωρίζει το πεδίο. Σε αυτό το πλαίσιο εντάσσεται και η προσπάθεια για την δημιουργία “έξυπνων” μεθόδων και

συσκευών μέτρησης που θα εκτελούν συνδυασμό εργασιών και θα μπορούν να ελέγχονται ή και να προγραμματίζονται με άμεσο και απλό τρόπο από τον χειριστή τους ακόμα και από απόσταση.

1.1.6.2. Βολτόμετρο

Η αναπαράσταση ενός πραγματικού Βολτόμετρου συνδεδεμένου σε μία πραγματική πηγή, αντιστοιχεί στην αναπαράσταση του οργάνου και της πηγής συνδεδεμένου καθενός με μία αντίσταση που αντιπροσωπεύει την εσωτερική αντίσταση του κάθε μέρους. Η παραπάνω περιγραφή αντιστοιχεί στην εικόνα 1 που ακολουθεί.

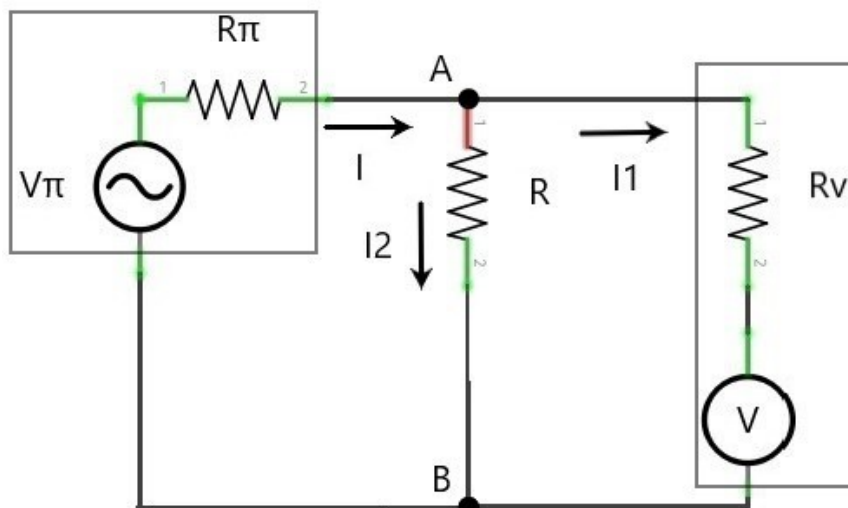


Εικόνα 1: Σχηματική απεικόνιση σύνδεσης του Βολτόμετρου στο προς μέτρηση κύκλωμα.

Η ένδειξη της τάσης που θα δείξει το όργανο μας δίνεται από την σχέση:

$$V = V_{\pi} - I(R_{\pi} + R_v) \quad (1.1 - 1)$$

Για την μέτρηση της τάσης μιας αντίστασης R συνδέεται παράλληλα ένα Βολτόμετρο όπως φαίνεται και στην εικόνα 2 που ακολουθεί. Η ένδειξη του Βολτομέτρου θα είναι η τιμή της τάσης V_{AB} .



Εικόνα 2: Σχηματική απεικόνιση σύνδεσης του Βολτόμετρου για την μέτρηση αντίστασης R .

Η ένδειξη της Τάσης που θα δείξει το όργανο θα ισούται με το αποτέλεσμα της εξίσωσης:

$$V_{AB} = I_2 R \quad (1.1 - 2)$$

Για το ρεύμα I_2 ισχύει:

$$V_{AB} = I_2 R = I_1 R_V \rightarrow I_1 = \frac{R}{R_V} I_2 \quad (1.1 - 3)$$

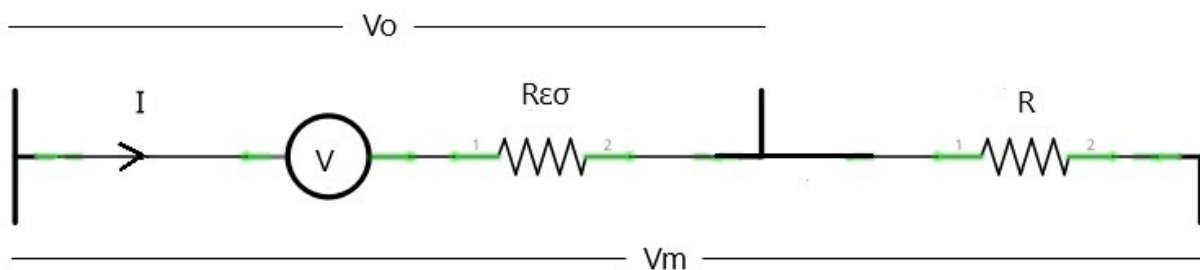
Και με την χρήση της σχέσης (1.1 - 3):

$$I = I_1 + I_2 = I_2 \left(1 + \frac{R}{R_V} \right) \rightarrow I_2 = I \frac{R_V}{R_V + R} \quad (1.1 - 4)$$

Άρα η σχέση (1.1 - 2) ισούται:

$$V_{AB} = I \frac{R R_V}{R + R_V} \quad (1.1 - 5)$$

Για την αύξηση της περιοχής μέτρησης του Βολτόμετρου συνδέεται σε σειρά μία αντίσταση R , όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.



Εικόνα 3: Μεθοδολογία αύξησης της περιοχής μέτρησης ενός Βολτόμετρου.

Οι σχέσεις που περιγράφουν το παραπάνω σχεδιάγραμμα δίνονται παρακάτω:

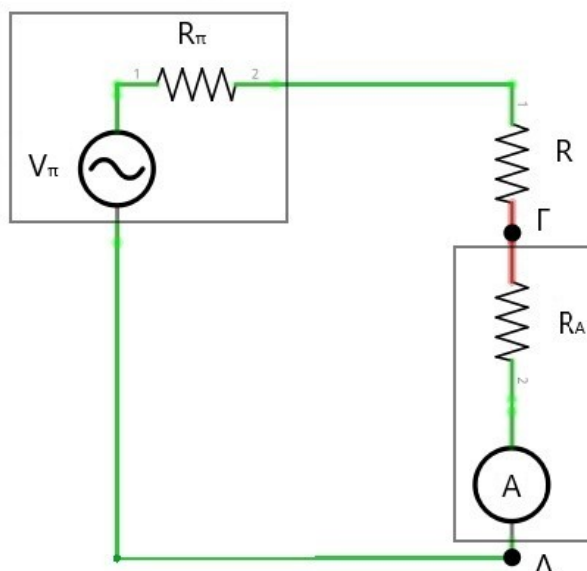
$$V_0 = R_{\epsilon\sigma} I \quad (1.1 - 6)$$

$$V_m = I (R_{\epsilon\sigma} + R) \quad (1.1 - 7)$$

$$V_m = V_0 \left(1 + \frac{R}{R_{\epsilon\sigma}} \right) \quad (1.1 - 8)$$

1.1.6.3. Αμπερόμετρο

Όταν πρέπει να μετρηθεί η τιμή του Ρεύματος το οποίο διαρρέει ένα κύκλωμα, τοποθετείται ένα Αμπερόμετρο σε σειρά και η ένδειξη του οργάνου αφορά την τιμή του Ρεύματος που περνά από τα σημεία Γ και Δ, όπως φαίνεται και στην εικόνα.



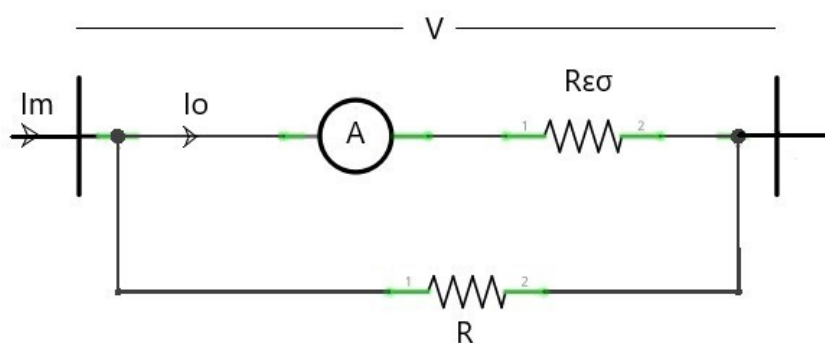
Εικόνα 4: Σχηματική απεικόνιση σύνδεσης του Αμπερομέτρου στο προς μέτρηση κύκλωμα.

Η συγκεκριμένη κυκλωματική διάταξη αντιστοιχεί σε πραγματικά όργανα (και όχι ιδανικά) και για αυτό τον λόγο το πραγματικό Αμπερόμετρο απεικονίζεται ως η εσωτερική αντίσταση του οργάνου R_A , συνδεδεμένη σε σειρά με το Αμπερόμετρο, όπως φαίνεται και στην παραπάνω εικόνα.

Η ένδειξη του Ρεύματος που θα δείξει το όργανο θα ισούται με το αποτέλεσμα της εξίσωσης:

$$I = \frac{V_{\pi}}{R_{\pi} + R + R_A} \quad (1.1 - 9)$$

Για την αύξηση της περιοχής μέτρησης ενός Αμπερομέτρου συνδέεται παράλληλα μία αντίσταση όπως φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί:



Εικόνα 5: Αύξηση της περιοχής μέτρησης ενός Αμπερομέτρου.

Οι σχέσεις που ισχύουν στο παραπάνω σχήμα είναι οι ακόλουθες:

$$V = R_{\epsilon\sigma} I_0 \quad (1.1 - 10)$$

$$V = \frac{R R_{\epsilon\sigma}}{R + R_{\epsilon\sigma}} I_m \quad (1.1 - 11)$$

$$I_m = I_0 \left(1 + \frac{R_{\epsilon\sigma}}{R} \right) \quad (1.1 - 12)$$

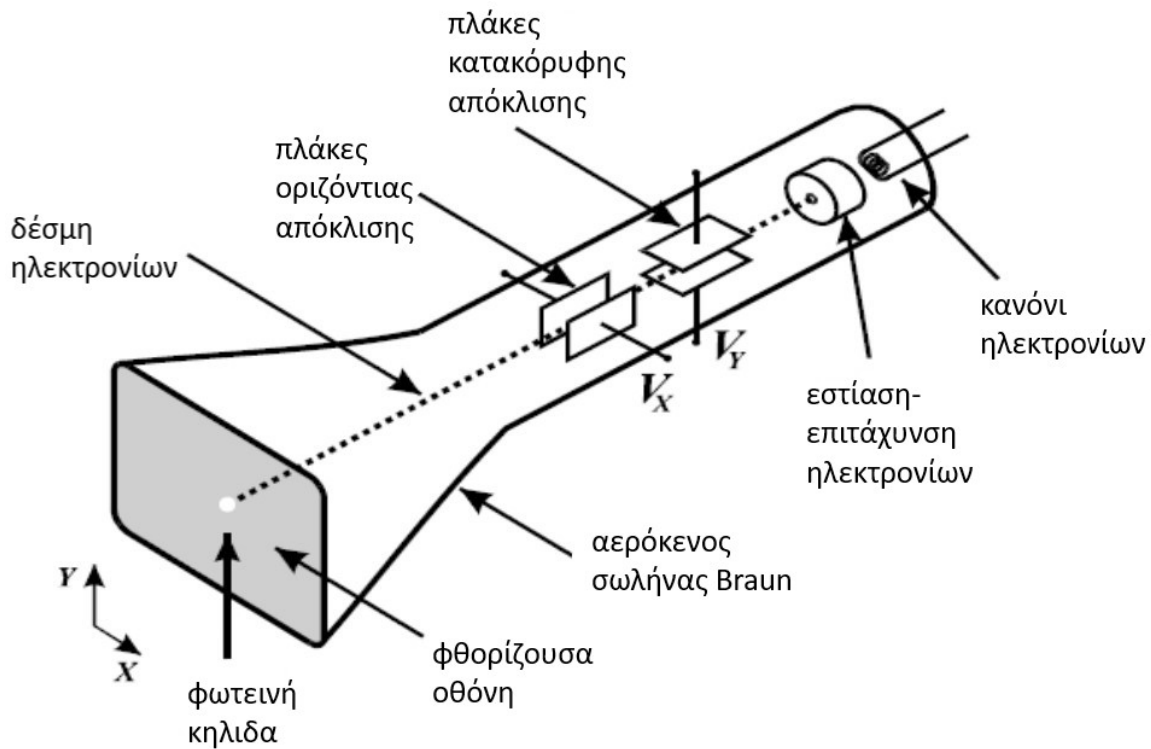
1.1.6.4. Παλμογράφος

Ο παλμογράφος (oscilloscope) αποτελεί ένα από τα πιο σύγχρονα και χρήσιμα όργανα που χρησιμοποιούνται στις ηλεκτρικές μετρήσεις σήμερα. Η σημαντικότερη δυνατότητα που προσφέρει είναι η οπτική απεικόνιση του υπό μελέτη σήματος. Τα σήματα αυτά μπορούν να είναι ηλεκτρικές Τάσεις διαφόρων μορφών που αποτυπώνονται σε γραφική παράσταση συναρτήσεως του χρόνου. Με βάση αυτή την δυνατότητα ο παλμογράφος συμβάλει, μεταξύ άλλων, στην παρατήρηση και μέτρηση της συχνότητας μιας κυματομορφής, του πλάτους μιας κυματομορφής, της διαφοράς φάσης μεταξύ δύο κυματομορφών καθώς επίσης και την ίδια την σχηματική απεικόνιση της κυματομορφής. Το βασικό πλεονέκτημα που προσφέρει ο παλμογράφος έναντι άλλων οργάνων, είναι η δυνατότητα του να αποτυπώνει γρήγορες μεταβολές που άλλα όργανα δεν μπορούν να παρακολουθήσουν. Αυτή η δυνατότητα καθίσταται δυνατή λόγω της απουσίας μηχανικών κινούμενων μερών που να είναι απαραίτητα για την λειτουργία του. Η λειτουργία του παλμογράφου βασίζεται στην δέσμη ηλεκτρονίων, που έχει αμελητέα αδράνεια και για αυτό τον λόγο μπορεί να απεικονίζει γρήγορες μεταβολές της Τάσης.

Η Αρχή λειτουργίας του Παλμογράφου

Το βασικό εξάρτημα που καθιστά την λειτουργία του παλμογράφου δυνατή είναι ο καθοδικός σωλήνας (CRT- Cathode Ray Tube) ή σωλήνας «Braun» (από το όνομα του εφευρέτη του Karl Ferdinand Braun). Αποτελείται από έναν γυάλινο σωλήνα, κενού αέρα που στο πίσω μέρος του βρίσκεται το «κανόνι ηλεκτρονίων», το οποίο παράγει δέσμες ηλεκτρονίων ενώ στο μπροστινό μέρος του βρίσκεται μια φθορίζουσα επιφάνεια που αποτελεί την οθόνη του παλμογράφου.

Το «κανόνι ηλεκτρονίων» παράγει μια δέσμη ηλεκτρονίων η οποία εστιάζεται και επιταχύνεται, οδηγείται στις πλάκες κατακόρυφης και οριζόντιας απόκλισης V_y και V_x και τέλος καταλήγει στην φθορίζουσα επιφάνεια αφήνοντας ένα φθορίζον αποτύπωμα στην οθόνη. Οι εφαρμοζόμενες τάσεις στις πλάκες δημιουργούν ηλεκτρικά πεδία που μετατοπίζουν την Τάση οριζόντια ή κατακόρυφα και η μετατόπιση αυτή είναι ανάλογη της Τάσης που εφαρμόζεται. Για αυτό τον λόγο στις πλάκες οριζόντιας απόκλισης εφαρμόζεται Τάση V_x ανάλογη του χρόνου, ενώ στις πλάκες κατακόρυφης απόκλισης θα εφαρμοστεί το υπό μέτρηση σήμα, αποτυπώνοντας με αυτό τον τρόπο στην οθόνη την γραφική παράσταση της συνάρτησης $V_y = V(t)$, με οριζόντιο άξονα τον χρόνο και κατακόρυφο άξονα την τάση. Ο παλμογράφος σε κάθε χρονική στιγμή παράγει μία δέσμη ηλεκτρονίων που αφήνει ένα φωτεινό αποτύπωμα στην οθόνη. Με την χρήση της κατάλληλης εφαρμοζόμενης Τάσης V_x η κηλίδα κινείται από την μία άκρη της οθόνης στην άλλη με μεγάλη συχνότητα και χάρη στο φαινόμενο του μετεϊκίσματος (ετυμολογικά: εικόνα που παραμένει μετά το ερέθισμα) το ανθρώπινο μάτι αντιλαμβάνεται την συνεχή κίνηση της κηλίδας ως συνεχόμενη γραμμή. Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνονται τα βασικά μέρη του καθοδικού σωλήνα ενός παλμογράφου.

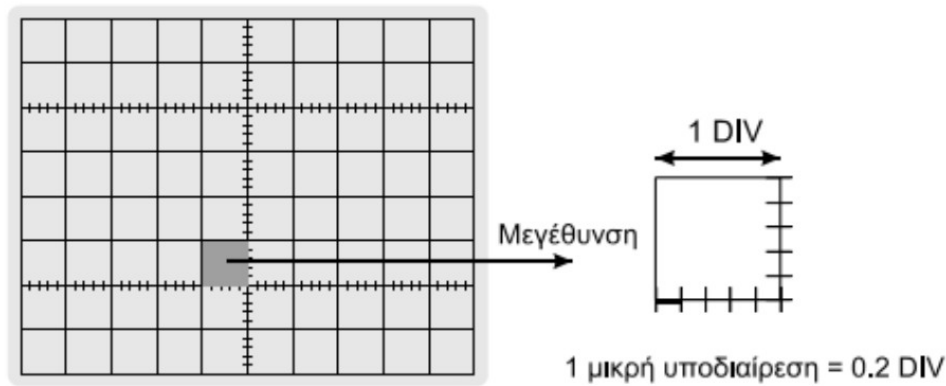


Εικόνα 6: Η διάταξη του καθοδικού σωλήνα ενός παλμογράφου.

Οι παλμογράφοι μπορούν να χωριστούν σε παλμογράφους μονής δέσμης και παλμογράφους διπλής δέσμης. Ο συγκεκριμένος χωρισμός γίνεται βάσει του πόσες δέσμες ηλεκτρονίων παράγονται στον καθοδικό σωλήνα. Ένας παλμογράφος διπλής δέσμης μπορεί να απεικονίζει ταυτόχρονα δύο σήματα, αυτό γίνεται δυνατό με την ύπαρξη δύο ξεχωριστών κανονιών ηλεκτρονίων, δύο ξεχωριστών πλακών κάθετης απόκλισης για το κάθε σήμα, αλλά κοινές πλάκες οριζόντιας απόκλισης, ώστε να μπορούν να συγχρονίζονται τα δύο σήματα στην οθόνη. Επίσης υπάρχουν και οι παλμογράφοι διπλού ίχνους όπου απεικονίζονται δύο κυματομορφές, με την χρήση ενός ηλεκτρικού διακόπτη που αλλάζει κανάλι στη θέση alternate για κυματομορφές υψηλής συχνότητας και στη θέση chop για κυματομορφές χαμηλής συχνότητας.

Η οθόνη του παλμογράφου και οι μετρήσεις Τάσης, περιόδου και διαφοράς φάσης

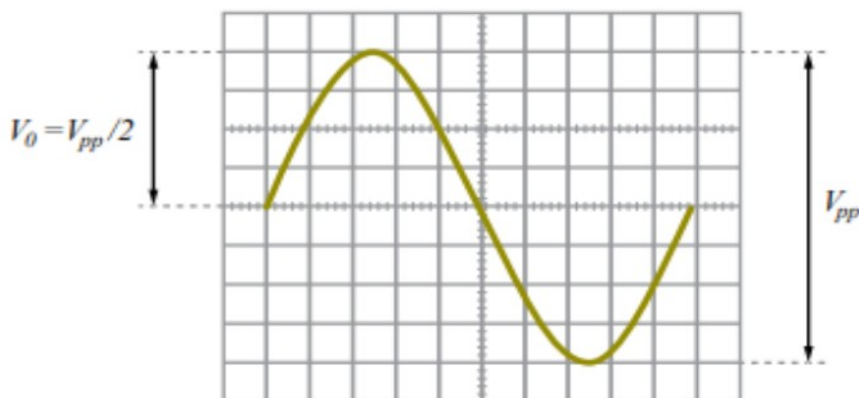
Η οθόνη του παλμογράφου αποτελείται από ένα πλέγμα τετράγωνων τα οποία αποκαλούνται υποδιαίρεσεις ή DIV (Division- Υποδιαίρεση) και τα οποία χρησιμοποιούνται ως μονάδα μέτρησης των σημάτων που μετράει ο παλμογράφος. Η κάθε πλευρά του τετράγωνου χωρίζεται σε 5 μικρότερες υποδιαίρεσεις έτσι ώστε να διευκολύνεται η όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια της μέτρησης, όπως φαίνεται και στην εικόνα 7 που ακολουθεί. Έτσι η μέτρηση της Τάσης για κάθε μετρούμενο σήμα γίνεται, με την κατακόρυφη μέτρηση των DIV από τα οποία αποτελείται το σήμα, πολλαπλασιάζοντας τα με την ένδειξη του συντελεστή Τάσης VOLTS/ DIV που έχουμε ορίσει. Και η μέτρηση του χρόνου και της περιόδου αντίστοιχα, με την οριζόντια μέτρηση των DIV του σήματος, πολλαπλασιάζοντας τα αντίστοιχα με την ένδειξη του συντελεστή χρόνου TIME/ DIV που έχουμε ορίσει στο όργανο. Επίσης πριν την εισαγωγή σήματος προς μέτρηση στην οθόνη του παλμογράφου εμφανίζεται μία φωσφορίζουσα οριζόντια γραμμή αναφοράς, που ορίζει την μηδενική τάση και μπορεί να μετακινηθεί κατακόρυφα στην οθόνη. Η συνηθέστερη επιλογή είναι να τοποθετείται στην μέση της οθόνης διευκολύνοντας τις μετρήσεις.



Εικόνα 7 Οι υποδιαίρεσεις- DIV της οθόνης του παλμογράφου.

Η μέτρηση του πλάτους της Τάσης στον παλμογράφο, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, αφορά είτε στην μέτρηση του από κορυφή σε κορυφή V_{pp} (peak to peak) το οποίο αντιστοιχεί στην διαφορά δυναμικού μεταξύ του ανώτερου θετικού και του κατώτερου αρνητικού σημείου της κυματομορφής είτε το V_0 το οποίο ισούται με $V_{pp}/2$, όπως φαίνεται και στην εικόνα 8. Βέβαια στον τομέα των ηλεκτρονικών μετρήσεων συνήθως χρειάζεται η τιμή της ενεργού τιμής της Τάσης, η V_{rms} (roots mean square- ρίζα της μέσης τιμής), η οποία μας δίνεται από την σχέση:

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V_p^2 \sin(\omega t) dt} = \frac{V_{pp}}{2\sqrt{2}} = 0,707 V_{pp} \quad (1.1 - 13)$$

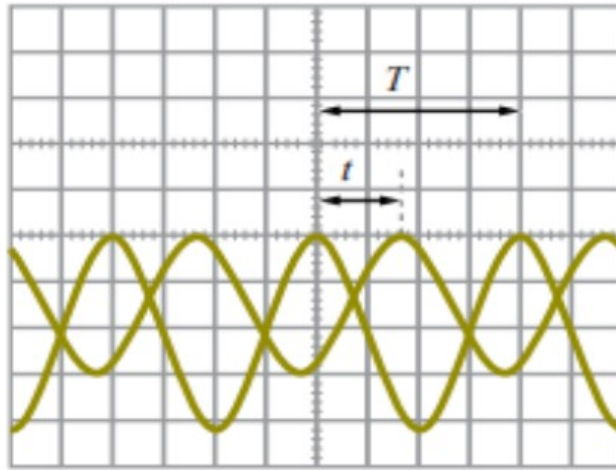


Εικόνα 8: Σχηματική απεικόνιση των Τάσεων V_{pp} και V_0 .

Χρησιμοποιώντας την μεθοδολογία μέτρησης του χρόνου t και της περιόδου T που αναφέρθηκε παραπάνω μπορούμε να υπολογίσουμε την διαφορά φάσης δύο σημάτων με ίδια περίοδο T για χρόνο t , χρησιμοποιώντας τον τύπο:

$$\Phi = 2\pi \frac{t}{T} \text{ rad} \quad \text{ή} \quad \Phi = 360^\circ \frac{t}{T} \quad (1.1 - 14)$$

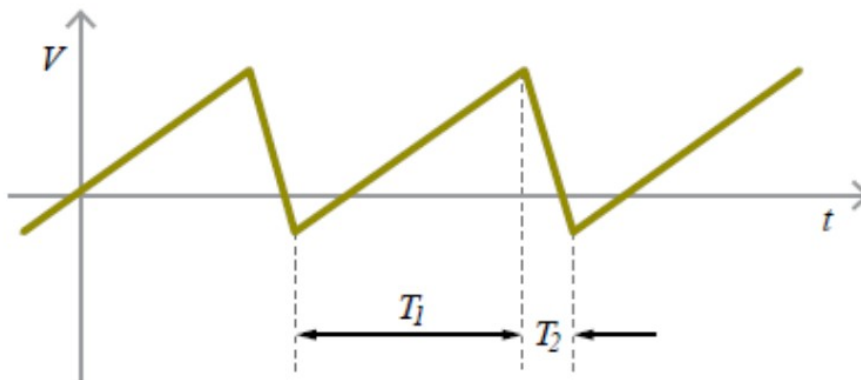
Ο χρόνος t αντιστοιχεί στην οριζόντια απόσταση μεταξύ δύο κορυφών (ή μέγιστων ή ελάχιστων) των δύο σημάτων, ενώ ο χρόνος T στην περίοδο των δύο σημάτων. Τα μεγέθη t και T αποτυπώνονται σχηματικά στην ακόλουθη εικόνα



Εικόνα 9: Σχηματική απεικόνιση των μεγεθών t και T .

Οριζόντια και κατακόρυφη απόκλιση της φωτεινής κηλίδας

Όπως έχει ήδη αναφερθεί παραπάνω η κίνηση της κηλίδας στην οθόνη του παλμογράφου που μας δίνει την κυματομορφή του σήματος υλοποιείται χάρις στις Τάσεις V_x και V_y . Η οριζόντια κίνηση του φωτεινού αποτυπώματος γίνεται δυνατή με την παραγωγή μίας πριονωτής Τάσης, μορφής ίδιας με αυτή στην εικόνα 10, η οποία εφαρμόζεται στους πυκνωτές οριζόντιας απόκλισης του καθοδικού σωλήνα. Συνέπεια αυτού είναι η μεταβολή του ηλεκτρικού πεδίου στον χώρο γραμμικά με τον χρόνο, οδηγώντας σε μετακίνηση της κηλίδας οριζόντια προς τα δεξιά ανάλογη με την Τάση. Παράλληλα η μεταβολή της Τάσης είναι ανάλογη με τον χρόνο, συνεπώς και η μετακίνηση του φωτεινού αποτυπώματος είναι ανάλογη με τον χρόνο.



Εικόνα 10: Σχηματική απεικόνιση της πριονωτής Τάσης V_x .

Από τα παραπάνω γίνεται εμφανές ότι η μετακίνηση του φωτεινού αποτυπώματος επάνω στην οθόνη γίνεται με σταθερή ταχύτητα καθόλη την διάρκεια της περιόδου T_1 , η οποία αφορά στην φάση αύξησης της πριονωτής Τάσης. Στο πέρας της χρονικής περιόδου T_1 η κηλίδα επιστρέφει στην αρχική της θέση στο αριστερό άκρο της οθόνης σε χρονική περίοδο T_2 , η οποία είναι κατά πολύ μικρότερη της T_1 όπως φαίνεται και στην παραπάνω εικόνα, για να επαναλάβει εκ νέου την οριζόντια μετακίνηση της προς τα δεξιά.

Η κατακόρυφη Τάση V_y που προκαλεί την κατακόρυφη μετακίνηση της κηλίδας, παράγεται από κάποια εξωτερική πηγή που αποτελεί το σήμα εισόδου του παλμογράφου στις εισόδους INPUT CH 1 ή INPUT CH 2 (ή και στις δύο όταν πρόκειται για παλμογράφο διπλής δέσμης).

1.1.6.5 Πολύμετρο

Το πολύμετρο είναι ένα από τα πιο βασικά και συχνά χρησιμοποιούμενα όργανα που χρησιμοποιείται στις ηλεκτρικές μετρήσεις και γενικά στην επιστήμη του Ηλεκτρολόγου Μηχανικού. Τα πολύμετρα μπορούν να είναι είτε αναλογικά είτε ψηφιακά και συνήθως μετρούν την Τάση (AC και DC), την Ένταση (AC και DC), την Ωμική Αντίσταση, την Χωρητικότητα και να ελέγχουν την βραχυκύκλωση κυκλωμάτων ή συνδέσεων.

Ένα συνηθισμένο πολύμετρο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για:

Μέτρηση Τάσης

Χρησιμοποιείται για να μετράει Τάση σε Volt, είτε εναλλασσόμενη είτε συνεχή, θέτοντας τον περιστρεφόμενο διακόπτη κατάλληλα. Για την μέτρηση επιλέγεται η κατάλληλη τάξη μεγέθους σύμφωνα με το υπό μέτρηση μέγεθος, και για την μέτρηση AC επιλέγεται το τμήμα του οργάνου με την ένδειξη $\sim V$, ενώ για DC επιλέγεται η ενότητα με την ένδειξη $-V$. Η τοποθέτηση των ακροδεκτών γίνεται σε παράλληλη σύνδεση με το υπό μέτρηση κύκλωμα, όπως έχει εξηγηθεί εκτενώς προηγουμένως στην ενότητα για το βολτόμετρο.

Μέτρηση Έντασης

Χρησιμοποιείται για να μετράει την ένταση του ηλεκτρικού Ρεύματος σε Ampere, θέτοντας τον περιστρεφόμενο διακόπτη στην κατάλληλη θέση και διαλέγοντας την κατάλληλη τάξη μεγέθους τιμής. Για την μέτρηση AC επιλέγεται η ενότητα με την ένδειξη $\sim A$, ενώ για DC επιλέγεται η ενότητα με την ένδειξη $-A$ αντίστοιχα. Για την συγκεκριμένη μέτρηση το πολύμετρο λειτουργεί ως Αμπερόμετρο, άρα το συνδέεται σε σειρά με το υπό μέτρηση κύκλωμα.

Μέτρηση Ωμικής Αντίστασης

Χρησιμοποιείται ως ωμόμετρο για την μέτρηση Ωμικών Αντιστάσεων σε Ωμ (Ω). Οι μετρούμενες αντιστάσεις δεν θα πρέπει να είναι συνδεδεμένες με άλλα εξαρτήματα ή να βρίσκονται υπό Τάση. Για την μέτρηση Αντίστασης, τοποθετείται ο περιστρεφόμενος διακόπτης στην ενότητα του πολυμέτρου με την ένδειξη Ω .

Έλεγχος Αγωγιμότητας (Buzzer)

Χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της αγωγιμότητας ενός αγωγού, μιας ηλεκτρικής κόλλησης, μίας σύνδεσης κλπ. Τοποθετείται ο περιστρεφόμενος διακόπτης στην θέση με το σήμα της διόδου και συνδέονται οι δύο ακροδέκτες του πολυμέτρου στο εξεταζόμενο αντικείμενο. Σε περίπτωση που το αντικείμενο είναι αγώγιμο θα ηχήσει ο ήχος του πολυμέτρου.

Υπάρχουν πολλά μοντέλα πολυμέτρων που προσφέρουν περισσότερες δυνατότητες από τις τυπικές όπως:

- Την δυνατότητα χρήσης ως συχνόμετρο για την μέτρηση Hz.
- Την δυνατότητα ελέγχου της πολικότητας των Τρανζίστορ και το αν είναι ή όχι βραχυκυκλωμένα.
- Την δυνατότητα χρήσης ως καπασιόμετρο για την μέτρηση της χωρητικότητας πυκνωτών σε Φαράντ (F).

- Την δυνατότητα μέτρησης θερμοκρασίας με την χρήση κατάλληλου αισθητήρα.

Σύνδεση του Πολυμέτρου

Το πολύμετρο συνοδεύεται από δύο ακροδέκτες (probes), συνήθως ένα κόκκινο και ένα μαύρο για την σύνδεση στο σημείο μέτρησης και την γείωση αντίστοιχα. Ένα σύνηθες πολύμετρο διαθέτει τρεις υποδοχές. Μία με την ένδειξη COM (common) που εκεί τοποθετείται ο ακροδέκτης που συνδέεται στην γείωση. Μία με την ένδειξη (συνήθως) V που εκεί συνδέεται ο ακροδέκτης ο οποίος συνδέεται στο υπό μέτρηση σημείο του κυκλώματος. Η συγκεκριμένη υποδοχή αποτελεί την πιο συχνά χρησιμοποιούμενη, καθώς καλύπτει μέτρηση Τάσης έως 500 – 600 Volts αλλά έχει περιορισμό στην ένταση του Ρεύματος το οποίο μπορεί να περάσει, της τάξεως των 300 mA. Και τέλος η τρίτη υποδοχή με την ένδειξη 10A (συνηθέστερα) αφορά την μέτρηση κυκλωμάτων που διαρρέονται από μεγάλα Ρεύματα που μπορούν στην μέγιστη τιμή τους να φτάνουν συνήθως τα 10 Ampere.

1.1.6.6. Ηλεκτρικές Μετρήσεις Εναλλασσόμενου Ρεύματος

Η συνηθέστερη μορφή του εναλλασσόμενου Ρεύματος είναι η ημιτονοειδής και χαρακτηρίζεται κατά κύριο λόγο από την συχνότητά του. Η κατηγοριοποίηση των περιοχών συχνοτήτων, για μετρήσεις σημάτων εναλλασσόμενου Ρεύματος είναι η ακόλουθη:

- **Χαμηλές συχνότητες:** Από 10 Hz έως 300 kHz.
- **Μεσαίες συχνότητες:** Από 300 kHz έως 3 GHz.
- **Υψηλές συχνότητες:** Από 3 GHz έως 30 GHz.
- **Πολύ υψηλές συχνότητες:** > 30 GHz.

Το εύρος του πλάτους για την Τάση μπορεί να είναι από την τάξη μεγέθους των nV και να φτάνει τα εκατοντάδες kV. Το ίδιο ισχύει και για το Ρεύμα, το οποίο μπορεί να είναι από nA έως και εκατοντάδες kA.

Κατά την διεξαγωγή ηλεκτρικών μετρήσεων σε εναλλασσόμενο Ρεύμα τρεις τιμές, που σχετίζονται με το ημιτονοειδές σήμα, κεντρίζουν το ενδιαφέρον:

- Η **τιμή κορυφής** (peak): είναι το πλάτος του ημιτονοειδούς σήματος.
- Η **μέση τετραγωνική τιμή** (RMS) που μπορεί να οριστεί για οποιαδήποτε συνάρτηση και μας δίνεται από τον τύπο:

$$f_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T_2 - T_1} \int_{T_1}^{T_2} f^2(t) dt} \quad (1.1 - 15)$$

- Η **μέση τιμή** (average) η οποία μπορεί να οριστεί για οποιαδήποτε συνάρτηση και μας δίνεται από τον τύπο:

$$f_{AVG} = \frac{1}{T_2 - T_1} \int_{T_1}^{T_2} f(t) dt \quad (1.1 - 16)$$

Η τιμή που ενδιαφέρει πιο άμεσα είναι η τιμή RMS, καθώς αποτελεί το ισοδύναμο του εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές.

1.2. Μικροεπεξεργαστές και Μικροελεγκτές

1.2.1. Μικροεπεξεργαστής

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων (IC- Integrated Circuit) οδήγησε στην εμφάνιση της τεχνολογίας των μικροεπεξεργαστών (microprocessors) στις αρχές της δεκαετίας του '70. Οι μικροεπεξεργαστές αποτελούν ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα (IC) που περιλαμβάνει όλες τις λειτουργίες και τις δυνατότητες μίας Κεντρικής Μονάδας Επεξεργασίας (CPU- Central Processing Unit) και το οποίο μπορεί να προγραμματίζεται έτσι ώστε να περιέχει όλες τις λειτουργίες ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή. Η μνήμη του μικροεπεξεργαστή βρίσκεται σε αρκετά ολοκληρωμένα κυκλώματα που τον πλαισιώνουν. Επίσης υποστηρίζεται και από αρκετά άλλα ολοκληρωμένα κυκλώματα που:

- Τον συνδέουν με τον εξωτερικό κόσμο.
- Επιτελούν τις διαδικασίες χρονισμού και προώθησης δεδομένων.

Ο πρώτος μικροεπεξεργαστής εμφανίζεται σχεδόν τρεις δεκαετίες μετά από την εμφάνιση των πρώτων ηλεκτρονικών υπολογιστών, στις αρχές του 1972. Η πρώτη εφαρμογή μικροεπεξεργαστή έγινε σε ηλεκτρονικές αριθμομηχανές, ενώ δεν άργησε η εφαρμογή του και σε άλλες συσκευές όπως οι εκτυπωτές ή τα τερματικά. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας των μικροεπεξεργαστών οδηγεί στην κατασκευή του πρώτου μικροϋπολογιστή στα μέσα της δεκαετίας του 1970, που γίνεται με την χρήση ενός μικροεπεξεργαστή 8-bit. Η εξέλιξη των μικροεπεξεργαστών διαχρονικά παρουσιάζει ομοιότητες με την αντίστοιχη εξέλιξη των υπολογιστών μεσαίου μεγέθους. Η βασική ομοιότητα έγκειται στο γεγονός ότι, όπως οι σχεδιαστές των μεσαίων υπολογιστών υιοθέτησαν σε αυτούς ιδέες και στοιχεία από την σχεδίαση των μεγάλων συστημάτων, έτσι και οι σχεδιαστές των μικροεπεξεργαστών εφάρμοσαν πολλά στοιχεία και χαρακτηριστικά των μεγάλων και μεσαίων συστημάτων σε αυτούς.

Η κατασκευή των πρώτων επεξεργαστών με τη χρήση ενός ολοκληρωμένου κυκλώματος μεγάλης ολοκλήρωσης την δεκαετία του 1970 αλλάζει τον τρόπο κατασκευής και ανάπτυξης των CPU. Η εφαρμογή προηγμένων στοιχείων αρχιτεκτονικής στους μικροεπεξεργαστές τελευταίας γενιάς έχει οδηγήσει σήμερα ο όρος CPU να αναφέρεται σχεδόν αποκλειστικά στους μικροεπεξεργαστές. Η δραστική μείωση του μεγέθους, οδηγεί στην υιοθέτηση της ονομασίας “μικροεπεξεργαστής”, ενώ ταυτόχρονα μειώνεται δραστικά ο χρόνος μεταγωγής λόγω φυσικών παραγόντων. Αποτέλεσμα αυτού αποτελεί η ανάπτυξη σύγχρονων μικροεπεξεργαστών με συχνότητα λειτουργίας (operating frequency) που κυμαίνεται στην τάξη μεγέθους των εκατοντάδων MHz (megahertz) έως και τα αρκετά GHz (gigahertz). Ταυτόχρονα έχει αυξηθεί και ο αριθμός και η πολυπλοκότητα των τρανζίστορ που αποτελούν ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα. Η παραπάνω αύξηση υπακούει στον “Νόμο του Μουρ”, δηλαδή στην παρατήρηση ότι ο αριθμός των τρανζίστορ ενός πυκνού ολοκληρωμένου κυκλώματος διπλασιάζεται κάθε 18 ή 24 μήνες. Παρόλη την τεχνολογική ανάπτυξη και την εξέλιξη των μικροεπεξεργαστών, είναι αξιοσημείωτο ότι παραμένει παρόμοια η λειτουργία τους και ο σχεδιασμός τους, ακολουθώντας μια απλοποιημένη μορφή της αρχιτεκτονικής φον Νόιμαν (Von Neumann). Οι μεγάλες σμικρύνσεις των ηλεκτρονικών πυλών που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των μικροεπεξεργαστών έχει γίνει εφικτό να ξεπεράσουν τα προβλήματα που δημιουργούνταν εξαιτίας των υλικών κατασκευής. Παρόλα αυτά οι ερευνητές συνεχίζουν να εξελίσσουν μεθόδους που επεκτείνουν τις δυνατότητες της αρχιτεκτονικής φον Νόιμαν καθώς και την τεχνική του παράλληλου προγραμματισμού, όπως επίσης να αναζητούν καινούργιες μεθόδους υλοποίησης υπολογισμών όπως ο κβαντικός υπολογιστής.

Οι κύριες μονάδες που αποτελούν έναν σύγχρονο μικροεπεξεργαστή είναι:

- **Μονάδα αποκωδικοποίησης (Decoding Unit):** αποτελεί το κομμάτι της λογικής που αναπαρίσταται με μια ακολουθία δυαδικών ψηφίων που έχει ληφθεί από την μνήμη και προετοιμάζει την εκτέλεση εντολών σύμφωνα με την αρχιτεκτονική εντολών που ακολουθεί ο μικροεπεξεργαστής.
- **Αριθμητική και Λογική Μονάδα (ALU- Arithmetic and Logical Unit):** αποτελεί την μονάδα του μικροεπεξεργαστή στην οποία λαμβάνει χώρα η εκτέλεση των αριθμητικών και των λογικών πράξεων σύμφωνα με τις εντολές που δίνονται στον υπολογιστή.
- **Καταχωρητές (Registers):** αποτελεί τύπο μικρής αλλά πολύ γρήγορης μνήμης η οποία βρίσκεται μέσα στο chip του επεξεργαστή, και χρησιμοποιούνται για την προσωρινή αποθήκευση δεδομένων τα οποία υφίστανται επεξεργασία ή για δεδομένα που χρησιμοποιούνται συνέχεια από τα προγράμματα, λόγω της γρήγορης πρόσβασης που παρέχουν.
- **Μονάδα ελέγχου (Control Unit):** αποτελεί την μονάδα η οποία ελέγχει την ροή δεδομένων από και προς τους καταχωρητές, τη μνήμη, την ALU και τις μονάδες εισόδου και εξόδου.
- **Μονάδα Προσκόμισης (Fetch Unit):** Αποτελεί τον δίαυλο που μεταφέρει τις εντολές από την μνήμη στον επεξεργαστή.
- **Μονάδα Προστασίας (Protection Unit):** Εξασφαλίζει ότι κάθε διεργασία που εκτελεί ο επεξεργαστής είναι αποδεκτή, ώστε να μην μεταβάλλονται δεδομένα τα οποία δεν θα έπρεπε ή να μην εκτελούνται εντολές μη αποδεκτού περιεχομένου.

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά των μικροεπεξεργαστών είναι:

- **Αριθμός Πυρήνων (Cores Number):** Ένας σύγχρονος μικροεπεξεργαστής αποτελείται από δύο ή περισσότερους επεξεργαστές (πυρήνες) οι οποίοι είναι ενσωματωμένοι σε ένα chip. Στα σύγχρονα λειτουργικά συστήματα που υποστηρίζονται πολυπύρηντοι επεξεργαστές και παράλληλη επεξεργασία, ανατίθεται ταυτόχρονα μία διεργασία προς εκτέλεση στον κάθε πυρήνα του μικροεπεξεργαστή, και έτσι είναι δυνατή η ταυτόχρονη και γρήγορη εκτέλεση εργασιών. Η αύξηση του αριθμού των πυρήνων, αυξάνει και την συνολική απόδοση ενός συστήματος.
- **Συχνότητα Λειτουργίας (Operating frequency):** Είναι το πλήθος των κύκλων ρολογιού στην διάρκεια ενός δευτερολέπτου και μετριέται σε Hertz (Hz). Η συχνότητα δείχνει το πλήθος των κύκλων μηχανής που εκτελούνται σε ένα δευτερόλεπτο.
- **Εύρος Καταχωρητών (Word length):** Ορίζει τον μέγιστο αριθμό bit που μπορεί να διαχειριστεί ο επεξεργαστής σε μία μόνο εντολή. Όσο αυξάνεται το εύρος των καταχωρητών ενός επεξεργαστή τόσο αυξάνεται και η ταχύτητα με την οποία επεξεργάζεται δεδομένα. Το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό διαχωρίζει τους επεξεργαστές, σε επεξεργαστές των 8 bit (δυαδικά ψηφία), 16 bit και 32 bit.
- **Χωρητικότητα Κρυφής Μνήμης (Cache Memory):** Η “κρυφή” ή “λανθάνουσα” μνήμη είναι η μνήμη που βρίσκεται στο εσωτερικό του chip του επεξεργαστή. Αποτελεί γρήγορη μνήμη προσωρινής αποθήκευσης δεδομένων, η οποία αποθηκεύει είτε πρόσφατα χρησιμοποιημένα δεδομένα είτε δεδομένα τα οποία χρησιμοποιεί συχνά ο επεξεργαστής. Ο επεξεργαστής όταν χρειάζεται κάποιο δεδομένο, πρώτα εκτελεί προσπέλαση της μνήμης cache και σε περίπτωση που δεν εντοπίσει εκεί το δεδομένο ανατρέχει στην μνήμη RAM. Η αύξηση της μνήμης cache ενός επεξεργαστή αυξάνει και την συνολική του απόδοση.
- **Ταχύτητα ή Συχνότητα Λειτουργίας Διιάυλου Συστήματος (Front Side Bus- FSB):** Ο Δίαυλος Συστήματος FSB συνδέει τον επεξεργαστή με την μνήμη RAM (κύρια μνήμη) και τις άλλες μονάδες της μητρικής πλακέτας και αποτελεί τον δίαυλο επικοινωνίας ανάμεσα στον επεξεργαστή και τα υπόλοιπα εξαρτήματα της μητρικής πλακέτας. Ο Δίαυλος συστήματος αποτελείται από ένα σύνολο ξεχωριστών διαύλων οι οποίοι διαχωρίζονται

σύμφωνα με την λειτουργία που επιτελούν. Οι συγκεκριμένοι δίαυλοι είναι: ο δίαυλος δεδομένων (data buss), ο δίαυλος διευθύνσεων (address buss) και ο δίαυλος ελέγχου (control buss).

- **Τάση Λειτουργίας:** Ο επεξεργαστής, ως ηλεκτρονικό ψηφιακό κύκλωμα, χρειάζεται να εφαρμοστεί σε αυτό μια τάση ώστε να μπορέσει να λειτουργήσει. Η τάση λειτουργίας ενός επεξεργαστή σχετίζεται με την ισχύ που καταναλώνει. Όσο μεγαλύτερη είναι η ισχύς που καταναλώνει ένας επεξεργαστής, τόσο μεγαλύτερη είναι η τάση λειτουργίας και κατά συνέπεια τόσο μεγαλύτερη και η παραγόμενη θερμότητα από τον επεξεργαστή. Οι σύγχρονοι επεξεργαστές λειτουργούν με τάση 0.8 V- 1.375 V.
- **Ρεπερτόριο εντολών (Instruction Set):** Το ρεπερτόριο εντολών διαχωρίζει τους μικροεπεξεργαστές σε δύο κατηγορίες:
 1. Τους μικροεπεξεργαστές διευρυμένου ρεπερτορίου εντολών (CISC- Complex Instruction Set Computer) που περιλαμβάνουν πιο πολύπλοκες εντολές και μπορούν να εκτελέσουν πολύπλοκες διαδικασίες με λιγότερες εντολές.
 2. Τους μικροεπεξεργαστές μειωμένου ρεπερτορίου εντολών (RISC- Reduced Instruction Set Computer) οι οποίοι περιλαμβάνουν μικρότερο σύνολο εντολών με συνέπεια να εκτελούνται πιο γρήγορα.

Κάποιοι από τους βασικούς παράγοντες που θα πρέπει να λαμβάνουμε υπόψιν στην επιλογή του κατάλληλου μικροεπεξεργαστή αποτελούν:

- Η απόδοση του
- Το λογισμικό που μπορεί να υποστηρίξει
- Η αξιοπιστία του
- Η κατανάλωση ενέργειας και η απαιτούμενη ψύξη
- Η κατάλληλη μητρική πλακέτα για το σύστημα

1.2.2. Μικροελεγκτής

1.2.2.1. Δομή και διαφορές με Μικροεπεξεργαστές

Ο μικροελεγκτής (microcontroller) αποτελεί ένα είδος μικροεπεξεργαστή. Ουσιαστικά είναι μια μετεξέλιξη των μικροεπεξεργαστών ο οποίος λόγω των πολλών ενσωματωμένων υποσυστημάτων που διαθέτει μπορεί να λειτουργήσει με ελάχιστα εξωτερικά εξαρτήματα. Λόγω της παραπάνω ιδιότητας αποτελεί κομμάτι όλων των ενσωματωμένων συστημάτων ελέγχου (embedded systems) χαμηλού και μεσαίου κόστους, και αυτό χάρης στο μειωμένο μέγεθος και κόστος που επιτυγχάνεται συγκριτικά με ένα σύστημα με ξεχωριστό μικροεπεξεργαστή, μνήμη και περιφερειακά συσκευών εισόδου-εξόδου. Ένας μικροελεγκτής περιέχει έναν ή και περισσότερους πυρήνες επεξεργαστών, μαζί με μνήμη και προγραμματιζόμενα περιφερειακά εισόδου-εξόδου. Οι μικροελεγκτές χρησιμοποιούνται σε ευρεία κλίμακα σε πολλά αυτόματα ελεγχόμενα προϊόντα και συσκευές, από συστήματα ελέγχου του κινητήρα και άλλων λειτουργιών του αυτοκινήτου και εμφυτεύσιμα ιατρικά βοηθήματα, μέχρι τηλεχειριστήρια, ηλεκτρικά εργαλεία και παιχνίδια. Η ευρεία χρήση τους στον τομέα του απομακρυσμένου ελέγχου και ανταλλαγής δεδομένων μέσω της σύνδεσης σε δίκτυο επικοινωνίας πληθώρας συσκευών, αισθητήρων, οικιακών συσκευών κλπ. έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη του τομέα του

Ίντερνετ των πραγμάτων (Internet of things) που αποτελεί έναν από τους πιο ραγδαία αναπτυσσόμενους τεχνολογικούς τομείς των ημερών.

Η βασική τους διαφορά με τους μικροεπεξεργαστές, βρίσκεται στο γεγονός ότι στους μικροεπεξεργαστές που δεν χρησιμοποιούνται σε ενσωματωμένα συστήματα αλλά πχ στους προσωπικούς υπολογιστές, το βάρος πέφτει στην υπολογιστική ισχύ. Ο χαμηλός βαθμός εξειδίκευσης καθώς και το γεγονός ότι η λειτουργικότητα του τελικού συστήματος καθορίζεται από τα εξωτερικά περιφερειακά που συνδέονται με τον μικροεπεξεργαστή, εξασφαλίζει μεγάλο εύρος και ευελιξία ανάπτυξης διαφορετικών εφαρμογών. Αντίθετα στους μικροελεγκτές, που ουσιαστικά είναι μικροεπεξεργαστές ενσωματωμένων συστημάτων, η υπολογιστική ισχύς είναι αισθητά μειωμένη, οι δυνατότητες διασύνδεσης με εξωτερικά περιφερειακά είναι πολύ χαμηλές και τέλος η ευελιξία για την ανάπτυξη διαφορετικών εφαρμογών είναι περιορισμένη. Η έμφαση στην κατασκευή και την ανάπτυξη των μικροελεγκτών δίνεται στον μικρό αριθμό ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, στην εξειδίκευση και στο χαμηλό κόστος.

Τα βασικά πλεονεκτήματα ενός μικροελεγκτή είναι:

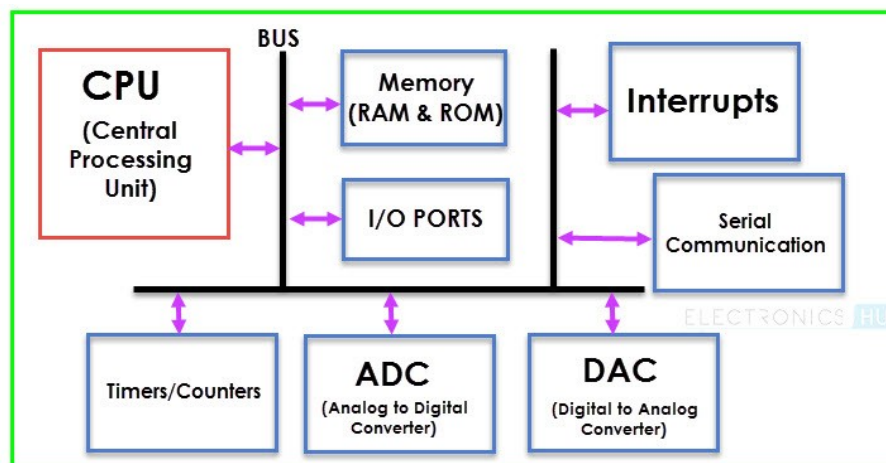
- Η *Αυτονομία* η οποία επιτυγχάνεται με την ενσωμάτωση στο σύστημα μνημών, θυρών επικοινωνίας και άλλων σύνθετων περιφερειακών υποσυστημάτων. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα οι μικροελεγκτές συνήθως να μην χρειάζονται κάποιο άλλο ολοκληρωμένο κύκλωμα για την λειτουργία τους.
- Η *Ευκολότερη Υλοποίηση Εφαρμογών* χάρης στην απλούστερη διασύνδεση που επιτυγχάνεται με την ενσωμάτωση περιφερειακών υποσυστημάτων.
- Η *Χαμηλότερη Κατανάλωση* και η *μεγαλύτερη Φορητότητα* που και αυτές οφείλονται στην ενσωμάτωση περιφερειακών.
- Το *Χαμηλό Κόστος*
- Η *Μεγαλύτερη Αξιοπιστία*, χάρης στις λιγότερες διασυνδέσεις.
- Το *Μικρό Μέγεθος* του συνολικού συστήματος.
- Οι περισσότεροι *Διαθέσιμοι Ακροδέκτες*, λόγω απουσίας δέσμευσης τους για την σύνδεση εξωτερικών περιφερειακών
- Οι *Μειωμένες εκπομπές ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών* και η *Μειωμένη Ευαισθησία σε παρεμβολές* άλλων ηλεκτρονικών ή ηλεκτρικών συσκευών.

Συνήθως οι μικροελεγκτές τοποθετούνται σε ένα ενιαίο τυπωμένο κύκλωμα (single printed circuit board), αποτελώντας ένα αυτοδύναμο κύκλωμα το οποίο διαθέτει μικροεπεξεργαστή, μνήμη RAM, κυκλώματα εισόδου- εξόδου, χρονιστή – ρολόι κλπ.

Πιο αναλυτικά τα μέρη που αποτελούν ένα μικροελεγκτή- ενιαίο ολοκληρωμένο κύκλωμα είναι:

- Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας (CPU), που μπορεί να αποτελείται από απλούς επεξεργαστές των 4-bit, έως σύνθετους επεξεργαστές των 32-bit ή των 64-bit.
- Μνήμη RAM για αποθήκευση δεδομένων.
- Μνήμη προγράμματος τύπου ROM, EPROM, EEPROM ή μνήμη Flash στην οποία αποθηκεύεται το λογισμικό του συστήματος και παράμετροι λειτουργίας.
- Διακριτά bits εισόδου και εξόδου, που επιτρέπουν τον έλεγχο της λογικής κατάστασης ενός ακροδέκτη.
- Μία ή περισσότερες ασύγχρονες συριακές θύρες επικοινωνίας (Universal Asynchronous Receiver Transmitter, UART).
- Σύγχρονες σειριακές θύρες επικοινωνίας πχ SPI, Ethernet, I²C.
- Θύρες για την μετατροπή του αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (Analog to Digital Converter, ADC)
- Μετατροπέα ψηφιακού σε αναλογικό σήμα (Digital to Analog Converter, DAC).
- Κύκλωμα αρχικοποίησης (reset).
- Τοπικό ταλαντωτή για την παραγωγή παλμών χρονισμού.
- Ρολόι πραγματικού χρόνου (Real Time Clock, RTC) το οποίο τροφοδοτείται από ανεξάρτητη πηγή.

- Κύκλωμα επιτήρησης τροφοδοσίας (brown out detection) που παρακολουθεί την τροφοδοσία και προλαμβάνει την αλλοίωση δεδομένων όταν αυτή πέσει κάτω από τα επιτρεπτά όρια.
- Κύκλωμα επιτήρησης λειτουργίας (watchdog timer) το οποίο αρχικοποιεί το σύστημα όταν αυτό εμφανίσει σημάδια δυσλειτουργίας λόγω κολλήματος.
- Έναν ή περισσότερους χρονοστές- απαριθμητές υψηλής ταχύτητας (hardware timer-counter) για τη δημιουργία καθυστερήσεων, μέτρηση διάρκειας γεγονότων, απαρίθμηση γεγονότων και άλλων λειτουργιών ακριβούς χρονισμού.
- Σειρά ανεξάρτητων θυρών εισόδου και εξόδου (Parallel Input- Output, PIO).
- Γεννήτρια PWM (Pulse Width Modulation- Ρυθμιστής Πλάτους Παλμού).
- Μονάδα άμεσης εκτέλεσης πράξεων κινητής υποδιαστολής (Floating Point Processing Unit, FPU) η οποία έχει μεγαλύτερη ταχύτητα από την ALU ενός επεξεργαστή. Τέτοιες μονάδες είναι βασικό στοιχείο των μικροελεγκτών που χρησιμοποιούνται για την ψηφιακή επεξεργασία σήματος (Digital Signal Processing, DSP).
- Κύκλωμα συνδετικής λογικής (glue logic) για την σύνδεση των εξωτερικών μνημών και άλλων περιφερειακών παράλληλης σύνδεσης στην αρτηρία δεδομένων (bus) του επεξεργαστή.



Εικόνα 11: Σχηματική παρουσίαση της δομής ενός μικροελεγκτή.

1.2.2.2 Γλώσσες Προγραμματισμού Μικροελεγκτών

Οι γλώσσες προγραμματισμού και γενικότερα τα εργαλεία ανάπτυξης των μικροελεγκτών συνδέονται με την ίδια την εξέλιξη τους μέσα στα χρόνια. Ξεκινώντας από τους πρώτους μικροελεγκτές που προγραμματιζόνταν σε γλώσσα μηχανής και αργότερα σε γλώσσες χαμηλού επιπέδου (π.χ. Assembly), φτάνουμε στο σήμερα όπου πληθώρα μικροελεγκτών μπορούν να προγραμματίζονται σε γλώσσες υψηλού επιπέδου όπως η C, η JavaScript και η Python. Πιο αναλυτικά.

- **Γλώσσα Μηχανής (Machine Language):** Αποτελεί μια γλώσσα προγραμματισμού που περιλαμβάνει εντολές στο δυαδικό σύστημα δηλαδή σε ακολουθίες bit (0 ή 1) που είναι άμεσα εκτελέσιμες από την Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας (CPU). Για αυτό τον λόγο αποκαλείται γλώσσα μηχανής καθώς δεν παρεμβάλλεται κάποια διαδικασία που να μεταφράζει τις εντολές σε μορφή κατανοητή από την μηχανή. Η γλώσσα μηχανής

αποτελείται από συμβολοσειρές από 0 και 1 που αντιπροσωπεύουν την ύπαρξη ρεύματος σε ένα κύκλωμα (1) ή όχι (0).

- **Assembly Language** (Συμβολική Γλώσσα): Αποτελεί μια γλώσσα προγραμματισμού χαμηλού επιπέδου, δηλαδή μια γλώσσα που η δομή της βρίσκεται κοντά στο υλικό του υπολογιστή και στην γλώσσα μηχανής. Κάθε κατηγορία επεξεργαστών έχει την δική της συμβολική γλώσσα που μας δίνεται από τον κατασκευαστή. Η μετατροπή ενός προγράμματος από συμβολική γλώσσα σε γλώσσα μηχανής γίνεται με την χρήση ενός συμβολομεταφραστή (assembler), ο οποίος μετατρέπει τα μνημονικά σύμβολα που χρησιμοποιεί η assembly σε ακολουθίες bits (0 και 1) που είναι κατανοητά από τον υπολογιστή.
- **C**: Η C αποτελεί μια συμβολική γλώσσα υψηλού επιπέδου η οποία στηρίζεται στις αρχές του δομημένου προγραμματισμού (ή διαδικαστικού προγραμματισμού). Η σχεδίαση της έχει επιτρέψει την αποδοτική μετάφραση των δομών της σε γλώσσα μηχανής και για τον λόγο αυτό χρησιμοποιείται σε εφαρμογές που συνήθως γράφονταν σε assembly. Ένας από τους σχεδιαστικούς στόχους που κατέστησε δυνατή την παραπάνω ιδιότητα ήταν η χρήση του μεταγλωττιστή ενός περάσματος (single pass compiler), δηλαδή ουσιαστικά την απαίτηση για έναν μικρό αριθμό εντολών σε γλώσσα μηχανής για κάθε στοιχείο της. Το παραπάνω χαρακτηριστικό της, της επιτρέπει να αποτελεί μια γλώσσα προγραμματισμού υψηλού επιπέδου που όμως μπορεί να “προγραμματίσει” με ακρίβεια στο χαμηλό επίπεδο, συνδυάζοντας τα πλεονεκτήματα των δύο αυτών πεδίων. Αυτός είναι και ο βασικός λόγος για τον οποίο αποτελεί γλώσσα κατάλληλη για χρήση στους μικροελεγκτές, στα ενσωματωμένα και στα λειτουργικά συστήματα.
- **C++ και Embedded C++ (EC++)**: Η C++ αποτελεί μια γλώσσα προγραμματισμού γενικού σκοπού και υποστηρίζει δομημένο (όπως και η C), αντικειμενοστραφή και γενικό προγραμματισμό. Όπως και η C, έτσι και η C++ μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για ενσωματωμένα συστήματα, παρόλα αυτά οι ελλείψεις οι οποίες εμφάνιζε στις ενσωματωμένες εφαρμογές οδήγησαν στην ανάπτυξη της γλώσσας Embedded C++ (EC++). Η EC++ είναι μια διάλεκτος-παραλλαγή της C++ για ενσωματωμένα συστήματα (embedded systems), που αναπτύχθηκε από μια ομάδα που απάρτιζαν οι μεγαλύτεροι κατασκευαστές ιαπωνικών Κεντρικών Μονάδων Επεξεργασίας (CPU) μεταξύ των οποίων η NEC, η Hitachi, η Fujitsu και η Toshiba. Ο στόχος της προσπάθειας ήταν να αντιμετωπίσει τις ελλείψεις της C++ στις ενσωματωμένες εφαρμογές και ταυτόχρονα να διατηρήσει τα χρήσιμα αντικειμενοστραφή στοιχεία της C++ και να μειώσει το μέγεθος του κώδικα έτσι ώστε να επιτευχθεί μεγαλύτερη απόδοση και απλούστερη κατασκευή του μεταγλωττιστή. Όπως χαρακτηριστικά δηλώνεται από τους ίδιους τους κατασκευαστές, στόχος είναι η δημιουργία ενός υποσυνόλου C++, που να είναι εύκολο για τους προγραμματιστές ενσωματωμένων συστημάτων, να κατανοήσουν και να χρησιμοποιήσουν.

Προφανώς υπάρχουν και πλήθος άλλων γλωσσών προγραμματισμού που χρησιμοποιούνται στους μικροελεγκτές αλλά παραπάνω παρουσιάστηκαν οι πιο ενδεικτικές.

Η χρήση γλωσσών χαμηλού ή υψηλού επιπέδου προσφέρει διαφορετικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα στον χρήστη και η επιλογή έγκειται σε μεγάλο βαθμό στο ίδιο το αντικείμενο της δουλειάς που θέλει να επιτελέσει. Ενδεικτικά:

Πλεονεκτήματα γλωσσών χαμηλού επιπέδου:

- Ο προγραμματιστής έχει τον απόλυτο έλεγχο της συμπεριφοράς του μικροελεγκτή.
- Μπορεί να επιτύχει με απόλυτη ακρίβεια διάφορους χρονισμούς και εξιδεικευμένες λειτουργίες του μικροελεγκτή.

- Δεν απαιτείται η δαπάνη για την αγορά assembler καθώς συνήθως διατίθεται δωρεάν από την κατασκευάστρια εταιρεία.

Μειονεκτήματα γλωσσών χαμηλού επιπέδου:

- Απαιτείται μεγαλύτερος κόπος για την εκμάθηση της συμβολικής γλώσσας του εκάστοτε μικροελεγκτή.
- Τα προγράμματα που δημιουργούνται σε συμβολική γλώσσα δεν είναι ευανάγνωστα και ο προγραμματιστής δυσκολεύεται να θυμηθεί τη λογική που έχει εφαρμόσει όταν χρειάζεται να κάνει τροποποιήσεις εκ των υστέρων.
- Είναι δυσκολότερο να δουλέψουν πολλοί προγραμματιστές στο ίδιο πρόγραμμα.

Πλεονεκτήματα γλωσσών υψηλού επιπέδου:

- Είναι ευκολότερη η ανάπτυξη μεγάλων και σύνθετων προγραμμάτων.
- Μπορούν να δουλέψουν πιο εύκολα πολλοί προγραμματιστές στο ίδιο πρόγραμμα.
- Είναι πολύ ευκολότερη η εκμάθηση της από μη ειδικευμένο κοινό.

Μειονεκτήματα γλωσσών υψηλού επιπέδου:

- Σε εφαρμογές με κρίσιμους χρονισμούς είναι δυσκολότερη η συγγραφή κώδικα που ανταποκρίνεται στους χρονισμούς αυτούς.
- Μερικές φορές η δαπάνη για την αγορά compiler δεν αποτελεί αμελητέο μέγεθος.
- Σε παλιότερους compilers ο κώδικας μηχανής που παραγόταν δεν ήταν βελτιστοποιημένος με αποτέλεσμα να απαιτείται μικροελεγκτής με πολύ περισσότερη μνήμη. Οι compilers που κυκλοφορούν σήμερα διαθέτουν εξελιγμένα εργαλεία για βελτιστοποίηση (optimization) του κώδικα και έχουν κερδίσει την εμπιστοσύνη ακόμα και των πιο δύσπιστων προγραμματιστών.

1.2.2.3. Τύποι Μικροελεγκτών, Κατασκευαστές και πεδία εφαρμογής

Η ευρεία χρήση των μικροελεγκτών σε πληθώρα συσκευών και ο ταχέως αναπτυσσόμενος κλάδος του Internet of things έχει ωθήσει στην ανάπτυξη της παραγωγής ευρείας γκάμας μοντέλων μικροελεγκτών τόσο για μαζική χρήση, όσο και για πιο εξειδικευμένες εφαρμογές. Η βασική κατηγοριοποίηση των μικροελεγκτών γίνεται με κριτήριο το κόστος τους αλλά και την υπολογιστική ισχύ τους.

1. **Μικροελεγκτές πολύ χαμηλού κόστους** (4-bit και συνήθως 8-bit): Αποτελούν μικροελεγκτές γενικής χρήσης, με μικρό αριθμό ακροδεκτών. Ο σχεδιασμός τους στοχεύει κυρίως στην αυτάρκεια και στην χαμηλή κατανάλωση ισχύος για την λειτουργία τους, ώστε να μην είναι απαραίτητη η χρήση εξωτερικών εξαρτημάτων, ενώ δεν έχουν την δυνατότητα επέκτασης της μνήμης τους.
2. **Μικροελεγκτές χαμηλού κόστους** (8-bit, 16-bit, ή ακόμα και 32-bit): Αποτελούν μικροελεγκτές γενικής χρήσης, με μέτριο έως σχετικά μεγάλο αριθμό ακροδεκτών. Αποτελούνται από μεγάλο αριθμό περιφερειακών θυρών, όπως UART, I2C, SPI ή CAN,

αλλά και από μετατροπείς αναλογικού σε ψηφιακό (ADC) και ψηφιακού σε αναλογικό (DAC). Συνηθίζεται σε πολλούς κατασκευαστές, κυρίως της Ιαπωνίας και της Κορέας, η ενσωμάτωση οθόνης υγρών κρυστάλλων και ηλεκτρολογίου. Επίσης σε ορισμένα μοντέλα παρέχεται η δυνατότητα εξωτερικής επέκτασης της μνήμης τους.

3. **Μικροελεγκτές μέσου κόστους (32-bit):** Αποτελούν μικροελεγκτές γενικής χρήσης που έχουν μεγάλο αριθμό ακροδεκτών. Στην συγκεκριμένη κατηγορία δίνεται έμφαση στην ταχύτητα εκτέλεσης εντολών, στην υψηλή αυτόνομη λειτουργία των περιφερειακών και στις μεγάλες δυνατότητες εσωτερικής και εξωτερικής μνήμης προγράμματος (FLASH) και RAM. Βασικό στοιχείο αυτής της κατηγορίας είναι η δυνατότητα μεταφοράς λογισμικού από τον ένα κατασκευαστή στον άλλο (portability) και για αυτό το λόγο επιλέγονται κατάλληλες αρχιτεκτονικές. Για παράδειγμα για τους μικροελεγκτές τύπου ARM ή MIPS, οι βασικές εντολές που αναγνωρίζει η ALU είναι ίδιες καθιστώντας δυνατή την μείωση μεγάλων αλλαγών στο λογισμικό σε μελλοντική αντικατάσταση από μικροελεγκτή άλλου κατασκευαστή που να υποστηρίζει το ίδιο σύνολο εντολών.
4. **Μικροελεγκτές εξειδικευμένων εφαρμογών:** Αφορούν μικροελεγκτές που συνοδεύονται από εξειδικευμένο πρωτόκολλο επικοινωνίας το οποίο υλοποιείται στο hardware. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αυτής της κατηγορίας είναι οι μικροελεγκτές που χρησιμοποιούνται σε συσκευές τηλεπικοινωνίας όπως το μόντεμ.

Η μεγάλη ανάπτυξη της παραγωγής των μικροελεγκτών αποτυπώνεται και στο πλήθος των κατασκευαστών που δραστηριοποιούνται στον τομέα αυτό. Κάποιοι από τους μεγαλύτερους και πιο αναπτυγμένους κατασκευαστές μικροελεγκτών είναι οι:

- ARM
- Atmel Corporation
- Texas Instruments
- Microchip
- Silicon
- Renesas Technology Corp
- Intel Corporation
- Analog Devices
- Dallas Semiconductor
- Fujitsu Semiconductor
- National Semiconductor
- STMicroelectronics
- Zilog
- Freescale Semiconductor (παλιά Motorola)
- Infineon Technologies

- NetSilicon
- Western Digital Center
- MicroController Pros Corporation
- Epson
- Hitachi
- Maxim
- NEC
- Toshiba

Η εφαρμογή των μικροελεγκτών αφορά κυρίως στα παρακάτω πεδία:

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

Γενικότερα η χρήση των μικροελεγκτών αφορά τα συστήματα στα οποία απαιτείται έλεγχος για την λειτουργία τους, είτε αυτό αφορά απλές συσκευές της καθημερινότητας, είτε εξειδικευμένες συσκευές που χρησιμοποιούνται στην βιομηχανική και τεχνολογική παραγωγή. Επίσης όπως έχει αναφερθεί αρκετές φορές και σε προηγούμενα σημεία η χρήση των μικροελεγκτών είναι συνυφασμένη με τα ενσωματωμένα συστήματα (embedded systems).

1.3. Ο Μικροελεγκτής Arduino

1.3.1. Γενικές Πληροφορίες

Η Arduino είναι μια εταιρεία λογισμικού ανοικτού κώδικα (open source) hardware και software που έχει, στην πραγματικότητα, συγκροτήσει γύρω της μια ολόκληρη κοινότητα χρηστών που αναπτύσσουν εφαρμογές και προγράμματα με την χρήση των προϊόντων της. Κατασκευάζει μικροελεγκτές μονής πλακέτας (single-board microcontrollers) με ενσωματωμένη μια μεγάλη ποικιλία μικροεπεξεργαστών και μικροελεγκτών, ανάλογα με το μοντέλο. Οι πλακέτες του Arduino αποτελούνται από αναλογικούς και ψηφιακούς ακροδέκτες εισόδου/εξόδου (Input/Output- I/O) που μπορούν να συνδεθούν με διάφορους αισθητήρες (πχ κίνησης, θερμοκρασίας, υγρασίας κλπ.) καθώς και με τις διάφορες πλακέτες επέκτασης (Shields) για διάφορες χρήσεις (πχ WIFI). Η γλώσσα προγραμματισμού του Arduino είναι η Wiring, η οποία ουσιαστικά αποτελεί “διάλεκτο” της γλώσσας προγραμματισμού C++ και αποτελείται από ένα σύνολο βιβλιοθηκών που είναι επίσης γραμμένες σε C++. Οι πλακέτες Arduino περιλαμβάνουν σειριακές διεπαφές επικοινωνίας (serial communications interfaces), συμπεριλαμβανομένης και της ύπαρξης σύνδεσης μέσω USB, που επιτρέπει την εύκολη και άμεση σύνδεση με τον υπολογιστή. Για την ανάπτυξη των εφαρμογών σε Arduino η εταιρία έχει αναπτύξει και παρέχει δωρεάν on-line το δικό της ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης Arduino- IDE το οποίο θα αναλυθεί εκτενώς παρακάτω. Η δυνατότητα σύνδεσης της πλακέτας με τον υπολογιστή μέσω προγραμμάτων όπως Processing, Pure Data, SuperCollider ή Max/MSP έχει καταστήσει το Arduino ένα από τα πιο διαδεδομένα μέσα για την ανάπτυξη διαδραστικών αντικειμένων και ψηφιακών συσκευών που μπορούν να ανιχνεύσουν μεταβολές και να ελέγχουν άλλα αντικείμενα τόσο στο φυσικό περιβάλλον όσο και στον ψηφιακό κόσμο. Οι δυνατότητες απομακρυσμένου ελέγχου, ανάπτυξης διαδραστικών αντικειμένων και εφαρμογών με την χρήση των προϊόντων Arduino έχουν καταστεί προσβάσιμες στο ευρύ κοινκάθως ενδείκνυται τόσο για αρχάριους όσο και για εξοικειωμένους χρήστες ή επαγγελματίες. Στην παραπάνω κατεύθυνση λειτουργεί πολύ προωθητικά και η ίδια η φύση του open source λογισμικού, όσο και η ανάπτυξη μιας, θα μπορούσε να πει κανείς, Arduino Κοινότητας της οποίας τα μέλη δημοσιεύουν, με πλήρη περιγραφή κώδικα και μεθοδολογίας, τα διάφορα project τα οποία αναπτύσσουν βοηθώντας στην περαιτέρω βελτίωση και την ανταλλαγή γνώσεων, δεξιοτήτων και ιδεών.

Το Arduino ξεκινάει την πορεία του το 2003 στο Ινστιτούτο Σχεδίασης Αλληλεπίδρασης Ivrea (Interaction Design Institute Ivrea- IDII) στην πόλη Ivrea της Ιταλίας. Την εποχή εκείνη, χρησιμοποιούταν από του φοιτητές ο μικροελεγκτής Basic Stamp του οποίου το κόστος ήταν σημαντικό. Έτσι το 2003 δημιουργείται από τον Hernando Barragan η πλατφόρμα ανάπτυξης Wiring, ως διπλωματική εργασία στο IDII, με επιβλέποντες τους Massimo Banzi και Casey Reas, γνωστοί κι οι δύο από την δουλειά τους στην γλώσσα Processing. Στόχευση του συγκεκριμένου project ήταν να δημιουργηθούν απλά εργαλεία για την δημιουργία ψηφιακών εφαρμογών, με

προσιτή τιμή για το ευρύ κοινό τα οποία να μπορούν να χρησιμοποιηθούν και από μη μηχανικούς. Το 2003, ο Massimo Banzi, με τον David Mellis, έναν άλλο φοιτητή IDII και τον David Cuartielles, πρόσθεσε την υποστήριξη του φτηνότερου μικροελεγκτή ATmega8 στην πλακέτα Wiring. Η εξέλιξη της πλατφόρμας Wiring σταματά και μετεξελισσονται στο έργο Arduino, του οποίου ο αρχικός πυρήνας αποτελείται από τους Massimo Banzi, David Cuartielles, Tom Igoe, Gianluca Martino, και David Mellis. Η ανάπτυξη που ακολουθεί είναι ραγδαία. Το 2011, η Adafruit Industry η οποία αποτελεί προμηθευτή των πλακετών Arduino στην Νέα Υόρκη, υπολογίζει ότι πάνω από 300.000 Arduino έχουν παραχθεί, ενώ το 2013 εκτιμά ότι 700.000 αυθεντικές εκδόσεις του Arduino έχουν αγοραστεί από χρήστες. Η αυξανόμενη ζήτηση, τόσο σε εμπορικό επίπεδο, όσο και στο πεδίο της τεχνολογικής ανάπτυξης, έχει οδηγήσει την εταιρία να δημιουργήσει μια σειρά από διαφορετικά μοντέλα Arduino που αγκαλιάζουν μια ευρεία γκάμα δυνατοτήτων και πεδίων. Όπως τα κατηγοριοποιεί και η ίδια η εταιρία στο site της, υπάρχουν μοντέλα εισαγωγικού επιπέδου (Entry Level), μοντέλα ενισχυμένων δυνατοτήτων (Enhanced Features), μοντέλα για χρήση IoT (Internet of Things) καθώς και εργαλειοθήκες Arduino για εκπαίδευση ή για μηχανικούς.

Πέρα από την μεγάλη γκάμα μοντέλων και τις διαφορετικές δυνατότητες που αυτά παρέχουν, τα πλεονεκτήματα του Arduino που αφορούν το σύνολο της ανάπτυξης και παραγωγής των μοντέλων του, είναι αυτά που το έχουν καταστήσει έναν από τους πιο ευρέα διαδεδομένους και χρησιμοποιούμενους μικροελεγκτές σήμερα. Μερικά από τα πιο κομβικά πλεονεκτήματα της πλατφόρμας είναι:

- **Open source Λογισμικό:** Το λογισμικό του Arduino διανέμεται δωρεάν και έχει την μορφή κώδικα ανοιχτού λογισμικού που δίνει την δυνατότητα επέκτασης και ανάπτυξης. Χρησιμοποιεί την C++ και ως γλώσσα προγραμματισμού και στις βιβλιοθήκες του.
- **Απλό προγραμματιστικό περιβάλλον:** Το προγραμματιστικό περιβάλλον του Arduino είναι κατάλληλα σχεδιασμένο ώστε να μπορεί να είναι εύχρηστο και κατανοητό από αρχάριους χρήστες, χωρίς αυτό όμως να συνεπάγεται εκπτώσεις στις δυνατότητες και τις απαιτήσεις των υψηλού επιπέδου προγραμματιστών.
- **Χαμηλό Κόστος:** Το χαμηλό κόστος που χρειάζεται για την αγορά μιας πλακέτας Arduino την καθιστά πολύ ανταγωνιστική σε σχέση με άλλες πλακέτες και εταιρίες μικροελεγκτών.
- **Δυνατότητα Cross- Platform:** Το λογισμικό του Arduino είναι διαθέσιμο για τα λειτουργικά συστήματα των Windows, των MacOS, των Linux δίνοντας του διευρυμένες δυνατότητες.

1.3.2. Περιβάλλον Ανάπτυξης- Software (IDE) Arduino

Το περιβάλλον ανάπτυξης της πλατφόρμας Arduino αποτελεί έναν από τους παράγοντες που καθιστούν τον προγραμματισμό και την χρήση της πλακέτας δυνατή ακόμα και από μη εξοικειωμένους χρήστες. Το ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης (Integrated Development Environment- IDE) του Arduino αποτελεί μια εφαρμογή που έχει αναπτυχθεί σε Java και έχει την ιδιότητα του cross-platform καθώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορα λειτουργικά συστήματα (Windows, macOS, Linux). Βασίζεται στα IDE της γλώσσας Processing καθώς και σε μεγάλο βαθμό και στο project Wiring. Ο σχεδιασμός του είναι τέτοιος ώστε να μπορεί να είναι εύχρηστο από μη ειδικευμένους χρήστες, λειτουργώντας ως μια εισαγωγή στον προγραμματισμό και κάνοντας δυνατή την ευρεία χρήση του. Για αυτό τον σκοπό το Arduino IDE περιλαμβάνει χαρακτηριστικά όπως η επισήμανση σύνταξης (Syntax highlighting) και ο συνδυασμός αγκυλών (Brace matching), όπως επίσης την δυνατότητα διόρθωσης και φόρτωσης του προγράμματος στην πλακέτα με ένα μόνο κλικ. Η επισήμανση σύνταξης είναι μια δυνατότητα επεξεργασίας κειμένου όπου το κείμενο του πηγαίου κώδικα εμφανίζεται σε διάφορα χρώματα ανάλογα με την κατηγορία των όρων που γράφονται, διευκολύνοντας και οπτικά τον προγραμματισμό και την σωστή χρήση της γλώσσας. Ο συνδυασμός αγκυλών, γνωστός και ως αντιστοίχιση πλαισίου (bracket matching) ή αντιστοίχιση παρενθέσεων (parentheses matching), είναι μια λειτουργία επισήμανσης που υπογραμμίζει τις αντίστοιχες ομάδες αγκυλών ή παρενθέσεων, βοηθώντας στην ευκολότερη πλοήγηση στον κώδικα και στον εντοπισμό τυχόν ακατάλληλης αντιστοίχισης. Ταυτόχρονα περιλαμβάνει μια οθόνη μηνυμάτων, μια κονσόλα κειμένου, μια γραμμή εργαλείων με τις πιο συνηθισμένες λειτουργίες του IDE και μια γραμμή με μενού λειτουργιών.

Τα προγράμματα ανάπτυξης του Arduino είναι γραμμένα σε γλώσσα C ή C++ και το IDE περιλαμβάνει μια βιβλιοθήκη λογισμικού από το πρωτότυπο σχέδιο Wiring, γεγονός που διευκολύνει πολλές κοινές λειτουργίες εισόδου/ εξόδου.

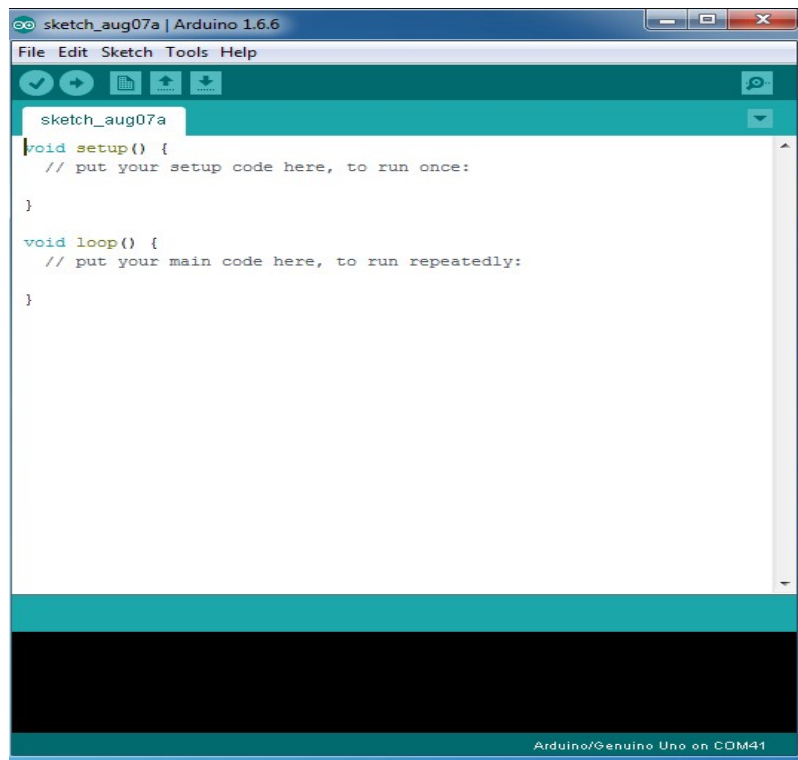
Ο κώδικας ο οποίος γράφεται στο Arduino ονομάζεται sketch και είναι ένα πρόγραμμα κυκλικής εκτέλεσης. Αποτελείται από τις δύο κύριες συναρτήσεις `setup()` και `loop()`.

- Η **setup()** είναι μια συνάρτηση που τρέχει μία φορά στην αρχή της εκτέλεσης του προγράμματος και στην οποία αρχικοποιούνται οι ρυθμίσεις ή γράφονται τα κομμάτια του προγράμματος που θα εκτελεστούν μόνο μία φορά.
- Η **loop()** είναι μία συνάρτηση που καλείται συνέχεια, κυκλικά μέχρι την απενεργοποίηση της πλακέτας.

Το IDE του Arduino χρησιμοποιεί το πρόγραμμα avrdude για να μετατρέψει τον εκτελέσιμο κώδικα σε αρχείο κειμένου με δεκαεξαδική κωδικοποίηση που φορτώνεται στο Arduino, ενώ για την μεταγλώττιση των προγραμμάτων χρησιμοποιείται το GNU toolchain και το AVR Libc. Με δεδομένο ότι η πλατφόρμα Arduino χρησιμοποιεί Atmel μικροελεγκτές, το περιβάλλον ανάπτυξης της Atmel, το AVR Studio ή η νεότερη έκδοση του Atmel Studio, μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη λογισμικού για το Arduino.

Τέλος θα πρέπει να προστεθεί η δυνατότητα, μέσω του προγράμματος Arduino IDE, της αναζήτησης στο διαδίκτυο και εγκατάστασης πλήθος βιβλιοθηκών που συνδέονται με μια σειρά λειτουργιών και προγραμμάτων που μπορεί το Arduino να υλοποιήσει, διευρύνοντας έτσι τις δυνατότητες των χρηστών.

Η αρχική οθόνη του Arduino IDE δίνεται στην παρακάτω εικόνα όπου φαίνονται όλα τα τμήματα που την αποτελούν και έχουν αναφερθεί παραπάνω. Αποτελείται από τα ακόλουθα μέρη:



Εικόνα 12: Αρχική οθόνη Arduino IDE

Η γραμμή εργαλείων με τις πιο συνηθισμένες λειτουργίες του Arduino IDE δίνεται στην Εικόνα 13 και αποτελείται από τις πιο κομβικές και συχνά χρησιμοποιούμενες λειτουργίες.



Εικόνα 13: Η γραμμή εργαλείων του Arduino IDE

- A) **Verify:** Χρησιμοποιείται για να εξακριβωθεί αν υπάρχουν σφάλματα στον κώδικα
- B) **Upload:** Χρησιμοποιείται για να φορτωθεί το πρόγραμμα στην πλακέτα του Arduino. Πριν να φορτωθεί το πρόγραμμα γίνεται αυτόματα έλεγχος σφαλμάτων στον κώδικα και αν εντοπιστούν υποδεικνύονται αυτόματα.
- C) **New:** Χρησιμοποιείται για την δημιουργία ενός καινούργιου sketch

D) **Open:** Χρησιμοποιείται για το άνοιγμα ενός sketch είτε από τα παραδείγματα ή τις βιβλιοθήκες, είτε από τα sketch τα οποία έχουν ήδη δημιουργηθεί και αποθηκευτεί.

E) **Save:** Χρησιμοποιείται για την αποθήκευση του προγράμματος (sketch).

F) **Serial monitor:** Χρησιμοποιείται για το άνοιγμα της σειριακής οθόνης όπου εμφανίζονται τα δεδομένα που στέλνει το Arduino ή τα δεδομένα που στέλνονται προς την πλακέτα.

Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται η κονσόλα για το γράψιμο του προγράμματος



```
sketch_aug07a
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
}
```

Εικόνα 14: Κονσόλα κειμένου

Παρακάτω ακολουθεί η εικόνα της οθόνης μηνυμάτων, όπου εμφανίζονται τα στοιχεία του προγράμματος που γίνονται upload και τα συντακτικά ή λογικά λάθη που περιέχει το πρόγραμμα και πρέπει να διορθωθούν.



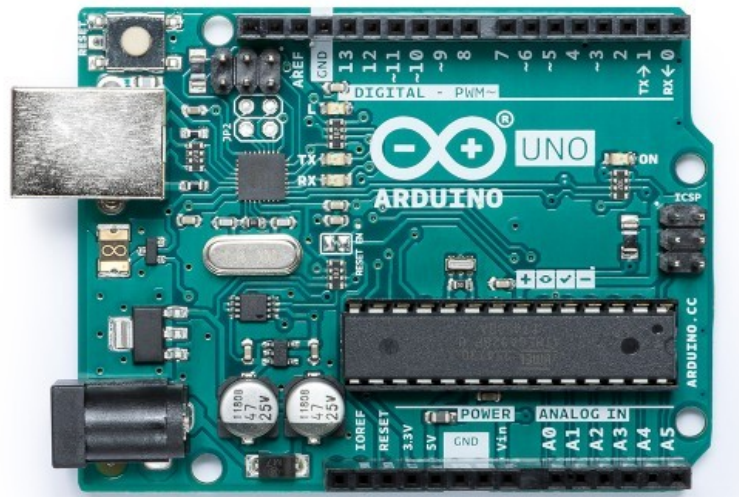
Εικόνα 15: Οθόνη μηνυμάτων

1.3.3. Το μοντέλο Arduino Uno

1.3.3.1. Γενικά Χαρακτηριστικά

Το Arduino Uno αποτελεί ένα από τα μοντέλα μικροελεγκτών που έχει εκδώσει η εταιρεία, και μάλιστα ίσως ένα από τα πιο εμβληματικά. Το “Uno” στα ιταλικά σημαίνει “Ένα” και επιλέχτηκε από την εταιρεία ως η ονομασία καθώς σηματοδότησε την κυκλοφορία του Arduino Software (IDE) 1.0. Η πλακέτα Uno και η έκδοση 1.0 του Arduino IDE αποτέλεσαν σημείο αναφοράς για την εταιρεία και την βάση πάνω στην οποία αναπτύχθηκαν και εξελίχθηκαν νεότερες εκδόσεις.

Αποτελεί έναν μικροελεγκτή ανοιχτού κώδικα ο οποίος βασίζεται στο microchip AT mega328P της Atmel. Αποτελείται από ένα σετ 14 ψηφιακών ακίδων (pins) εισόδου/ εξόδου (I/O), από τις οποίες οι 6 μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως έξοδοι PWM (Pulse Width Modulation-Ρυθμιστής Πλάτους Παλμού), 6 αναλογικές εισόδους, έναν 16 MHz κρύσταλλο (quartz crystal), σύνδεση USB για τροφοδοσία και επικοινωνία με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή, υποδοχή τροφοδοσίας, κεφαλή ICSP (In- Circuit Serial Programming) δηλαδή την δυνατότητα να μπορεί να προγραμματιστεί ενώ είναι εγκατεστημένο σε ένα σύστημα, και τέλος ένα κουμπί reset. Στην πλακέτα εμπεριέχονται όλα τα εξαρτήματα (πυκνωτές, δίοδοι κλπ.) που χρειάζονται για την υποστήριξη του μικροελεγκτή και υπάρχει η δυνατότητα τροφοδότησης του μέσω του υπολογιστή με την χρήση ενός καλωδίου USB ή μέσω ενός μετατροπέα AC-to-DC ή μιας μπαταρίας. Ο “πειραματισμός” με την πλακέτα περιέχει ελάχιστους κινδύνους σοβαρής καταστροφής που στην χειρότερη περίπτωση αφορά την αντικατάσταση του chip κάτι το οποίο δεν κοστίζει πολύ. Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται η πλακέτα Arduino Uno που χρησιμοποιήθηκε.



Εικόνα 16: Πλακέτα Arduino Uno

Τροφοδοσία Ενέργειας

Η τροφοδοσία του Arduino Uno μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο τρόπους. Είτε με την σύνδεση του μέσω θύρας USB στον υπολογιστή, είτε με εξωτερική παροχή ρεύματος στην υποδοχή τροφοδοσίας της πλακέτας. Η πηγή ενέργειας επιλέγεται αυτόματα. Η εξωτερική

παροχή ρεύματος μπορεί να παρέχεται από μετατροπέα Εναλλασσόμενου σε Συνεχές (AC to DC adapter- wall wart) συνδέοντας το βύσμα των 2,1 mm στην υποδοχή τροφοδοσίας. Επίσης μπορούμε να έχουμε παροχή ενέργειας από μπαταρία, συνδέοντας τους πόλους της με τις ακίδες GND και Vin της υποδοχής POWER. Η πλακέτα μπορεί να λειτουργεί σε ακραίες τιμές από 6V έως 20V. Στην περίπτωση που η παροχή είναι λιγότερη των 7V τότε ενδέχεται να υπάρξει αστάθεια, διακυμάνσεις ή και πτώση τάσης στο επίπεδο λειτουργίας των 5 V, καθιστώντας χαμηλότερη την ακρίβεια της ανάγνωσης των αναλογικών εισόδων της πλακέτας λόγω της γενικότερης ασταθούς λειτουργίας της. Στην περίπτωση που η παροχή ενέργειας ξεπερνά τα 12 V τότε αυξάνεται σημαντικά η θερμοκρασία στον γραμμικό ρυθμιστή τάσης κάτι που μπορεί να οδηγήσει μετά από κάποια χρονική διάρκεια σε υπερθέρμανση. Στην περίπτωση δε που η τάση ξεπερνά τα 20 V υπάρχει η περίπτωση ο ρυθμιστής Τάσης να υπερθερμανθεί άμεσα προκαλώντας βλάβη στην πλακέτα. Για αυτούς τους λόγους η συνιστώμενη τάση εξωτερικής τροφοδοσίας της πλακέτας είναι από 7- 12 Volts. Οι ακροδέκτες I/O της πλακέτας είναι δυνατόν να διαρρέονται από Συνεχές Ρεύμα (DC) 20 mA με μέγιστη τιμή τα 40 mA. Το συνολικό άθροισμα των ρευμάτων που μπορούν να διαρρέουν ταυτόχρονα (είτε ως είσοδο είτε ως έξοδο) τους ακροδέκτες I/O (και τους Αναλογικούς και τους Ψηφιακούς) του μικροελεγκτή Atmega328 δεν μπορεί να υπερβαίνει τα 200 mA.

Ο Μικροελεγκτής AT Mega328P

Ο AT Mega328P της Atmel είναι ένας μικροελεγκτής 8-bit, CMOS (Complementary Metal-Oxide Semiconductor) δηλαδή μικροελεγκτής συμπληρωματικών ημιαγωγών από οξείδια μετάλλων, βασισμένος στην AVR ενισχυμένη αρχιτεκτονική RISC (Reduced Instruction Set Computer- Μειωμένου Συνόλου Εντολών Υπολογιστής). Με την εκτέλεση ισχυρών εντολών σε ένα κύκλο ρολογιού, η συσκευή επιτυγχάνει ταχύτητες που προσεγγίζουν το 1 MIPS ανά MHz (Million Instructions Per Second- Χίλιες Οδηγίες Ανά Δευτερόλεπτο), δίνοντας την δυνατότητα στους σχεδιαστές συστημάτων να βελτιστοποιήσουν την κατανάλωση ενέργειας της συσκευής σε σχέση με την ταχύτητα επεξεργασίας.

Ο μικροελεγκτής έχει τις ακόλουθες δυνατότητες: 32 KB μνήμη προγράμματος τύπου Flash Memory με δυνατότητα διαβάσματος ενώ γράφει (Read-While-Write), 1 KB EEPROM, 2 KB SRAM, 23 γραμμές γενικής χρήσης εισόδου εξόδου (I/O), 32 καταχωρητές (registers) γενικού σκοπού, μετρητή πραγματικού χρόνου 16 MHz (Real Time Counter- RTC), 3 ευέλικτους χρονοδιακόπτες/ μετρητές (2 των 8-bit και 1 των 16-bit) με λειτουργία σύγκρισης και PWM, 1 σειριακά προγραμματιζόμενη πύλη USART (Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter- Γενικός Σύγχρονος/ Ασύγχρονος Δέκτης/ Πομπός), 1 δίαυλο I2C δύο καλωδίων (SCL- γραμμή ρολογιού, SDA- γραμμή δεδομένων), προγραμματιζόμενο χρονόμετρο Watchdog με εσωτερικό ταλαντωτή, 1 σειριακή θύρα SPI (Serial Peripheral Interface- Σειριακή Περιφερειακή Διεπαφή). Τέλος η Τάση λειτουργίας του είναι από τα 1,8V έως τα 5,5V, ενώ οι θερμοκρασίες στις οποίες μπορεί να λειτουργήσει είναι από τους -40°C έως τους +105°C.

1.3.3.2. Οι Ακροδέκτες του μοντέλου Arduino Uno

Οι ακροδέκτες του μοντέλου Arduino Uno (όπως επιγραμματικά έχουν αναφερθεί παραπάνω), μπορούν να χωριστούν κυρίως σε 3 κατηγορίες: τους ακροδέκτες ενέργειας, τους ψηφιακούς ακροδέκτες και τους αναλογικούς ακροδέκτες.

Ακροδέκτες Ενέργειας

Η αναλυτική περιγραφή των μεθόδων τροφοδοσίας με ενέργεια της πλακέτας Arduino Uno έχει γίνει παραπάνω. Οι ακροδέκτες που αφορούν την τροφοδοσία ενέργειας από ή προς την πλακέτα είναι οι εξής:

- **Ακροδέκτης Vin:** Ο Ακροδέκτης στον οποίο παρέχεται η Τάση εισόδου της πλακέτας όταν συνδέεται εξωτερική πηγή Τάσης (εκτός της τροφοδοσίας μέσω USB ή της σύνδεσης στην κεντρική υποδοχή τροφοδοσίας της πλακέτας). Στην περίπτωση που παρέχεται Τάση στην πλακέτα μέσω της υποδοχής τροφοδοσίας, μπορεί να υπάρχει πρόσβαση στην Τάση αυτή μέσω του ακροδέκτη Vin.
- **Ακροδέκτης 5V:** Ο συγκεκριμένος ακροδέκτης παρέχει ως έξοδο Τάση 5V μέσω του ρυθμιστή της πλακέτας. Οι οδηγίες της εταιρίας δεν συνιστούν την τροφοδοσία Τάσης μέσω των ακροδεκτών 5V ή 3,3V καθώς παρακάμπτεται τον ρυθμιστή και υπάρχει κίνδυνος να προκληθεί βλάβη.
- **Ακροδέκτης 3V3:** Ο ακροδέκτης αυτός παρέχει τάση 3,3V που καθορίζεται από τον ενσωματωμένο ρυθμιστή της πλακέτας. Η μέγιστη τιμή ρεύματος είναι 50 mA.
- **Ακροδέκτης GND:** Αποτελεί την γείωση του συστήματος, όπου συνδέονται οι γειώσεις των διάφορων συνδεσμολογιών της πλακέτας.
- **Ακροδέκτης IOREF:** Αυτός ο ακροδέκτης παρέχει την αναφορά Τάσης με την οποία λειτουργεί ο μικροελεγκτής. Μια κατάλληλη επέκταση (shield) διαβάζει την Τάση από τον IOREF ακροδέκτη και μπορεί να επιλέξει την κατάλληλη πηγή ισχύος ή να ενεργοποιήσει τους ανιχνευτές Τάσης στις εξόδους ώστε να λειτουργήσει με την Τάση των 5V ή των 3,3V.

Ψηφιακοί Ακροδέκτες

Το μοντέλο Arduino Uno διαθέτει 14 ψηφιακούς ακροδέκτες οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε ως ακροδέκτες εισόδου, είτε ως ακροδέκτες εξόδου. Ο προγραμματισμός και η χρήση των ψηφιακών ακίδων γίνεται με τις συναρτήσεις `pinMode()`, `digitalWrite()` και `digitalRead()`. Η Τάση λειτουργίας είναι 5V και κάθε ακροδέκτης μπορεί να παρέχει ή να λαμβάνει Ρεύμα 20 mA, με μέγιστη τιμή ρεύματος να αποτελούν τα 40 mA τα οποία αν ξεπεραστούν μπορούν να προκαλέσουν μόνιμη βλάβη του μικροελεγκτή. Το μέγιστο άθροισμα ρευμάτων που μπορεί να διαρρέει τους ακροδέκτες είναι τα 200 mA, όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω.

Πιο αναλυτικά οι ιδιότητες ορισμένων ακροδεκτών που εκτελούν πιο εξειδικευμένες λειτουργίες:

- **Ακροδέκτες Σειριακής επικοινωνίας (RX και TX):** Οι ακροδέκτες 0 (RX) και 1 (TX) χρησιμοποιούνται στην σειριακή επικοινωνία της πλακέτας για την λήψη (RX) και την μετάδοση (TX) TTL (Transistor to Transistor Logic) σειριακών δεδομένων.
- **Ακροδέκτες Εξωτερικής Διακοπής 2 και 3:** Αυτοί οι ακροδέκτες μπορούν να ρυθμιστούν ώστε να προκαλέσουν διακοπή της ροής σε κάποια χαμηλή τιμή, σε άνοδο ή σε πτώση, ή σε αλλαγή τιμής. Η εντολή που συνδέεται με την συγκεκριμένη λειτουργία είναι η `attachInterrupt()`.
- **Ακροδέκτες PWM 3, 5, 6, 9, 10, 11:** Οι ακροδέκτες αυτοί παρέχουν έξοδο 8-bit PWM (Pulse Width Modulation- Ρυθμιστής Πλάτους Παλμού) με την χρήση της εντολής `analogWrite()`.
- **Ακροδέκτες SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK):** Οι ακροδέκτες αυτοί υλοποιούν την SPI επικοινωνία της πλακέτας με την χρήση της βιβλιοθήκης SPI που διατίθεται από την εταιρία. Τα παραπάνω αρκτικόλεξα θα αναλυθούν εκτενώς σε επόμενη ενότητα που θα αφορά την επικοινωνία SPI.
- **LED ακροδέκτης 13:** Στο μοντέλο Arduino Uno υπάρχει ενσωματωμένος λαμπτήρας LED ο οποίος ελέγχεται μέσω του ακροδέκτη 13. Όταν η τιμή του ακροδέκτη είναι HIGH (υψηλή-1) τότε ο λαμπτήρας είναι αναμμένος, ενώ όταν η τιμή του ακροδέκτη είναι LOW (χαμηλή-0) τότε ο λαμπτήρας είναι σβησμένος.
- **Ακροδέκτες TWI:** Οι ακροδέκτες A4 ή DA (Serial Data- Σειριακά Δεδομένα) και A5 ή SCL (Serial Clock- Σειριακό Ρολόι) είναι εκείνοι οι οποίοι υποστηρίζουν την επικοινωνία TWI (Two Wire Interface- Διεπαφή Δύο Καλωδίων) μαζί με την βιβλιοθήκη Wire (καλωδίων). Στην διάταξη που κατασκευάστηκε χρησιμοποιούμε στον κώδικα την βιβλιοθήκη του DS 3231 RTC module, το οποίο συνδέεται και επικοινωνεί με το Arduino μέσω των ακροδεκτών A4 και A5.

Αναλογικοί Ακροδέκτες

Το μοντέλο Arduino Uno διαθέτει 6 αναλογικούς ακροδέκτες με ονομασία από το A0 έως το A5. Καθένας από τους ακροδέκτες αυτούς παρέχει 10 bits ανάλυσης, το οποίο σημαίνει 1024 διαφορετικές τιμές από το 0 έως το 1023. Από την αρχική του ρύθμιση μετρά τιμές Τάσης από το 0V έως τα 5V κάτι το οποίο όμως μπορεί να τροποποιηθεί με την χρήση του ακροδέκτη AREF και της εντολής `analogReference()`.

Τέλος υπάρχουν επιπλέον 2 ακροδέκτες στην πλακέτα που εκτελούν συγκεκριμένες ενέργειες:

- **Ακροδέκτης AREF:** Ο ακροδέκτης που χρησιμοποιείται για τον ορισμό Τάσης αναφοράς στις αναλογικές εισόδους. Η χρήση του ακροδέκτη AREF γίνεται μέσω της εντολής `analogReference()`.
- **Ακροδέκτης RESET:** Χρησιμοποιείται για την επαναφορά της πλακέτας, θέτοντας την τιμή του ακροδέκτη στην τιμή LOW.

1.3.4. Arduino SPI

Η βιβλιοθήκη SPI επιτρέπει την επικοινωνία με συσκευές που χρησιμοποιούν το μοντέλο επικοινωνίας SPI με το Arduino το οποίο είναι η κυρίαρχη (Master) συσκευή.

Η Σειριακή Περιφερειακή Διεπαφή (Serial Peripheral Interface- SPI) είναι ένα σύγχρονο πρωτόκολλο σειριακών δεδομένων για μικροελεγκτές που επιτρέπει την γρήγορη επικοινωνία με μία ή και περισσότερες συσκευές σε μικρές αποστάσεις. Επίσης η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείται για την σύνδεση και επικοινωνία δύο μικροελεγκτών. Στην σύνδεση SPI υπάρχει πάντα μια κύρια συσκευή (Master device) που ελέγχει τις υπόλοιπες συσκευές (Slave). Εδώ θα πρέπει να αναφερθεί ότι το μοντέλο master/ slave είναι ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας στο οποίο μία συσκευή ή διαδικασία, αποκαλούμενη Master, ελέγχει μία ή περισσότερες άλλες συσκευές ή διαδικασίες, αποκαλούμενες Slave.

Οι γραμμές της συνδεσμολογίας που αφορούν το πρωτόκολλο επικοινωνίας SPI και έχουν αναφερθεί και σε προηγούμενες ενότητες είναι:

- **MISO (Master In Slave Out):** Η γραμμή Slave για την αποστολή δεδομένων στο Master.
- **MOSI (Master Out Slave In):** Η γραμμή Master για την αποστολή δεδομένων στις περιφερειακές συσκευές (Slave).
- **SCK (Serial Clock- Σειριακό Ρολόι):** Οι παλμοί ρολογιού που συγχρονίζουν την μετάδοση δεδομένων που παράγεται από την συσκευή Master.

Τέλος υπάρχει και μία ξεχωριστή γραμμή, συγκεκριμένη για κάθε συσκευή:

- **SS (Slave Select):** Ο ακροδέκτης κάθε συσκευής που μπορεί να χρησιμοποιήσει η συσκευή Master ούτως ώστε να ενεργοποιήσει ή να απενεργοποιήσει τις συσκευές.

Όταν η τιμή Slave Select μιας συσκευής είναι LOW (χαμηλή), τότε η συσκευή επικοινωνεί με την συσκευή Master. Αντίθετα όταν η τιμή της είναι HIGH (υψηλή) τότε αγνοεί την συσκευή Master. Το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό επιτρέπει την σύνδεση πολλών συσκευών SPI που θα χρησιμοποιούν τις ίδιες γραμμές MISO, MOSI και SCK.

Για το μοντέλο Arduino Uno η συνδεσμολογία συσκευών με χρήση της επικοινωνίας SPI γίνεται ως εξής:

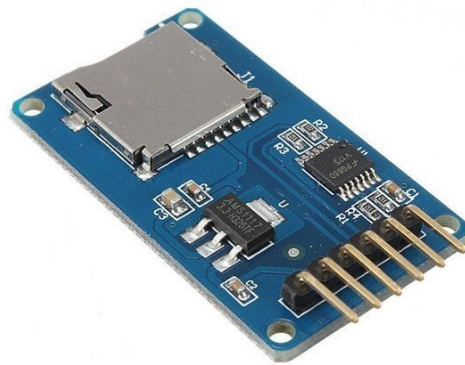
- MOSI στον ακροδέκτη 11.
- MISO στον ακροδέκτη 12.
- SCK στον ακροδέκτη 13.
- SS στον ακροδέκτη 10.

1.4. Τεχνικά χαρακτηριστικά χρήσιμων συσκευών που συνδέονται στο Arduino

Στην ενότητα που ακολουθεί θα παρουσιαστούν τα τεχνικά χαρακτηριστικά των μερών (modules) που αποτελούν την διάταξη και αφορούν στις λειτουργίες που αυτή επιτελεί.

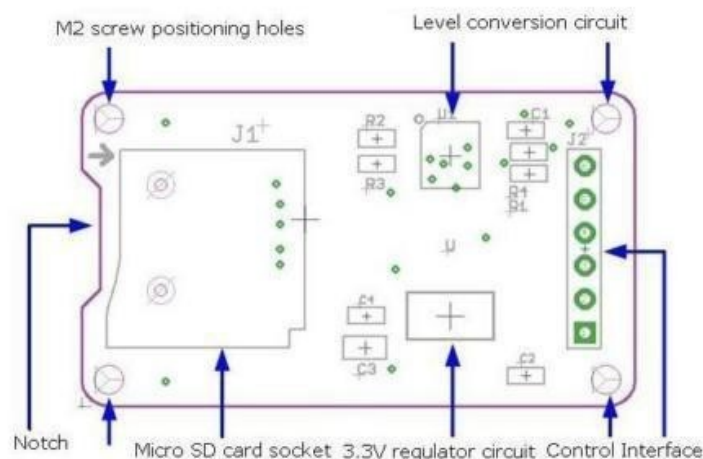
1.4.1. Arduino microSD card module

Η μονάδα του προσαρμογέα κάρτας μνήμης MicroSD (Micro SD card Adapter) είναι μία συσκευή ανάγνωσης και εγγραφής δεδομένων σε κάρτα μνήμης MicroSD, τα οποία πραγματοποιούνται διά μέσου της διασύνδεσης SPI (Serial Peripheral Interface που έχει αναλυθεί στην προηγούμενη ενότητα) που υποστηρίζει η πλακέτα Arduino Uno. Το περιβάλλον ανάπτυξης Arduino IDE περιέχει βιβλιοθήκες που αφορούν την αρχικοποίηση και την ανάγνωση και εγγραφή της κάρτας μνήμης.



Εικόνα 17: Φωτογραφία του MicroSD card Module που χρησιμοποιήθηκε

Στα τεχνικά χαρακτηριστικά της συσκευής περιλαμβάνονται η υποστήριξη κάρτας μνήμης Micro SD χωρητικότητας μέχρι 2 GB, και κάρτας Micro SDHC (κάρτα υψηλής ταχύτητας) με χωρητικότητα μέχρι 32 GB. Επίσης η τροφοδοσία της πλακέτας είναι 4.5V- 5.5V με τυπική τιμή 5V, και διαθέτει ρυθμιστή τάσης του κυκλώματος στα 3.3V, οπότε το επίπεδο μετατροπής στο οποίο μπορεί να λειτουργήσει η πλακέτα είναι ή τα 5V ή τα 3,3V. Το ρεύμα λειτουργίας της είναι 0.2 – 200 mA, με τυπική τιμή τα 80 mA.



Εικόνα 18: Σχεδιάγραμμα απεικόνισης του Micro SD card Module και βασικά τεχνικά στοιχεία

Η διασύνδεση ελέγχου (Control Interface) αποτελείται από ένα σύνολο 6 ακίδων (GND, VCC, MISO, MOSI, SCK, CS) εκ των οποίων:

- GND αποτελεί την γείωση προς το έδαφος
- VCC αποτελεί την παροχή ρεύματος της συσκευής.
- MISO, MOSI, SCK και CS αποτελούν τον δίαυλο επικοινωνίας SPI όπως έχει αναλυθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο της εισαγωγής.

1.4.2. DS 3231 Real Time Clock (RTC)

Η συσκευή DS 3231 αποτελεί ένα εξαιρετικά ακριβές ρολόι πραγματικού χρόνου (RTC – Real Time Clock) το οποίο διαθέτει ενσωματωμένο Ταλαντωτή Κρυστάλλων με αντιστάθμιση θερμοκρασίας (Temperature Compensated Crystal Oscillator- TXCO) και κρύσταλλο. Επίσης διαθέτει σύνδεση με επαναφορτιζόμενη μπαταρία LIR2032 έτσι ώστε σε περίπτωση αποσύνδεσης από την κύρια παροχή, η συσκευή να διατηρεί ακριβή χρονομέτρηση. Το Chip μνήμης που χρησιμοποιείται στην συσκευή είναι το AT24C32 με χωρητικότητα αποθήκευσης 32Kbyte. Η μακροπρόθεσμη ακρίβεια της συσκευής και ο μειωμένος αριθμός εξαρτημάτων της γραμμής παραγωγής επιτυγχάνεται με την χρήση του ενσωματωμένου ταλαντωτή. Το μοντέλο DS 3231 μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε θερμοκρασίες είτε εμπορικής είτε βιομηχανικής χρήσης.



Εικόνα 19: Φωτογραφία του DS 3231 RTC module που χρησιμοποιήθηκε

Το DS 3231 RTC έχει την δυνατότητα να διατηρεί πληροφορίες έτους, μήνα, ημερομηνίας, ημέρας, ώρας, λεπτών και δευτερολέπτων. Οι περιπτώσεις των μηνών που διαθέτουν λιγότερες από 31 ημέρες ρυθμίζονται αυτόματα καθώς επίσης και οι περιπτώσεις των δίσεκτων ετών. Το ρολόι μπορεί να λειτουργεί είτε στην μορφή της 24ωρης ένδειξης, είτε στην μορφή των 12 ωρών με ένδειξη ζώνης AM / PM. Η διεύθυνση και τα δεδομένα μεταφέρονται σειριακά μέσω ενός αμφίδρομου διαδρόμου I2C με σύνδεση δύο καλωδίων, SDA (Serial Data) για την αποστολή και παραλαβή δεδομένων και SCL (Serial Clock) για την μεταφορά του σήματος του ρολογιού. Η μέγιστη ταχύτητα απόδοσης του I2C διαύλου επικοινωνίας είναι τα 400 KHz υπό τάση 5V.

Ένα ακριβές κύκλωμα αντιστάθμισης θερμοκρασίας, αναφοράς τάσης και συγκριτικού ελέγχου παρακολουθεί την κατάσταση του VCC της συσκευής για τον εντοπισμό διακοπής τροφοδοσίας και αν είναι απαραίτητο μεταβαίνει αυτόματα στην εφεδρική παροχή από την μπαταρία. Με αυτό τον τρόπο ακόμα και όταν έχουμε διακοπή από την κύρια τροφοδοσία, η

συσκευή συνεχίζει να παρέχει ακριβή χρονισμό και η απόδοση δεν επηρεάζεται. Η Τάση λειτουργίας της συσκευής κυμαίνεται από τα 3.3 V έως τα 5.5 V. Διαθέτει επίσης έναν πολύ ακριβή ψηφιακό αισθητήρα θερμοκρασίας, ακρίβειας $\pm 3^\circ \text{C}$, μέσω της διασύνδεσης I2C για ταυτόχρονη πρόσβαση σε αυτόν. Τέλος σε εύρος θερμοκρασίας 0-40 °C, με ακρίβεια 2 ppm (parts per million- μέρη ανά χιλιάδα), το σφάλμα ήταν περίπου 1 λεπτό.

1.4.3. HC-05 Bluetooth module

Το HC-05 Bluetooth module είναι μια εύχρηστη μονάδα SPP Bluetooth (Serial Port Protocol- Πρωτόκολλο Σειριακής Επικοινωνίας) σχεδιασμένη να εγκαθιστά μια απομακρυσμένη, καθαρή σειριακή σύνδεση. Η σειριακή επικοινωνία καθιστά εύκολη την αλληλεπίδραση του με τον υπολογιστή, τους μικροελεγκτές, τα smart phones και όποια άλλη συσκευή υποστηρίζει την επικοινωνία μέσω Bluetooth. Η σειριακή θύρα Bluetooth της μονάδας, είναι τεχνολογίας Bluetooth V2.0+EDR (Enhanced Data Rate- Ενισχυμένη Ταχύτητα Δεδομένων) 3 Mbps. Χρησιμοποιεί διαμόρφωση με πλήρως ασύρματο πομποδέκτη 2.4 GHz και base band (ζώνη βάσης).



Εικόνα 20: Φωτογραφία του HC- 05 Bluetooth module που χρησιμοποιήθηκε

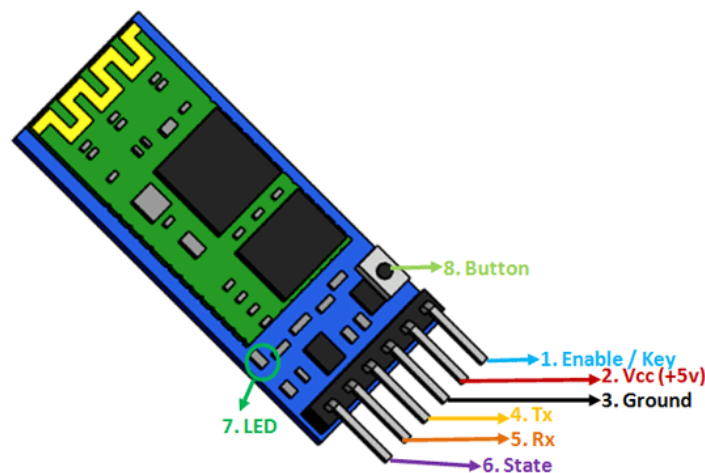
Η Τάση Λειτουργίας της συσκευής κυμαίνεται από 3,6V έως 5,5V, ενώ η τυπική Τάση λειτουργίας είναι τα 5V. Το Ρεύμα που διαπερνά την συσκευή είναι 30mA. Η εμβέλεια λειτουργίας της συσκευής είναι μικρότερη των 100m.

Η συσκευή χρησιμοποιεί σειριακή επικοινωνία USART (Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter- Γενικός Σύγχρονος/ Ασύγχρονος Δέκτης/ Πομπός) και ακολουθεί το IEEE 802.15.1 τυποποιημένο πρωτόκολλο. Χρησιμοποιεί Αναπήδηση Συχνότητας Ευρέως Φάσματος (Frequency Hopping Spread spectrum- FHSS). Επίσης μπορεί να λειτουργεί σε Master mode (Λειτουργία Κυρίαρχου), Slave mode (Λειτουργία Δούλου) και ταυτόχρονη λειτουργία Master και Slave mode. Τέλος οι υποστηριζόμενοι ρυθμοί μετάδοσης (Baud Rate) είναι 9600, 19200, 38400, 57600, 115200, 230400 και 460800.

Η συσκευή HC- 05 μπορεί να λειτουργεί σε δύο διαφορετικές καταστάσεις, η πρώτη είναι η λειτουργία δεδομένων (Data Mode) στην οποία η συσκευή μπορεί να δέχεται ή να εκπέμπει δεδομένα από και προς άλλες συσκευές. Η δεύτερη είναι η λειτουργία AT (Attention) Command, δηλαδή λειτουργία εντολών κατά την οποία μπορούν να αλλάξουν οι προεπιλεγμένες ρυθμίσεις της συσκευής.

Περιγραφή των ακίδων του HC-05

- **Pin Key:** Η συγκεκριμένη ακίδα χρησιμοποιείται για την εναλλαγή της λειτουργίας από την λειτουργία δεδομένων (Data Mode) στην λειτουργία εντολών AT Command. Η προκαθορισμένη ρύθμιση είναι στην λειτουργία δεδομένων.
- **Pin Vcc:** Ο συγκεκριμένος ακροδέκτης τροφοδοτεί την συσκευή. Συνδέεται σε πηγή Τάσης 5 V.
- **Pin Ground:** Ο ακροδέκτης αυτός συνδέεται στην γείωση του συστήματος.
- **Pin TX- Transmitter:** Ο ακροδέκτης αυτός εκπέμπει τα σειριακά δεδομένα. Όλος ο όγκος δεδομένων που λαμβάνεται μέσω Bluetooth μεταδίδεται από την συσκευή μέσω αυτού του ακροδέκτη.
- **Pin RX- Receiver:** Η συγκεκριμένη ακίδα λαμβάνει τα σειριακά δεδομένα. Το σύνολο του όγκου δεδομένων που μεταδίδεται λαμβάνεται από το συγκεκριμένο ακροδέκτη μέσω Bluetooth.
- **Pin State:** Η ακίδα αυτή συνδέεται στον λαμπτήρα LED το οποίο βρίσκεται πάνω στην πλακέτα. Χρησιμοποιείται ούτως ώστε να δίνονται ενδείξεις για την σωστή λειτουργία του Bluetooth.
- **LED:** Ο λαμπτήρας LED υποδεικνύει την κατάσταση λειτουργίας της συσκευής. Όταν αναβοσβήνει ανά 2 δευτερόλεπτα, η συσκευή έχει μπει στην λειτουργία εντολών (Command Mode). Όταν το LED αναβοσβήνει συνεχόμενα, τότε η συσκευή περιμένει την σύνδεση σε λειτουργία δεδομένων (Data Mode). Και τέλος όταν η συσκευή αναβοσβήνει δύο φορές ανά 1 δευτερόλεπτο σημαίνει ότι η συσκευή έχει επιτυχώς συνδεθεί ενώ βρίσκεται σε λειτουργία δεδομένων (Data Mode).

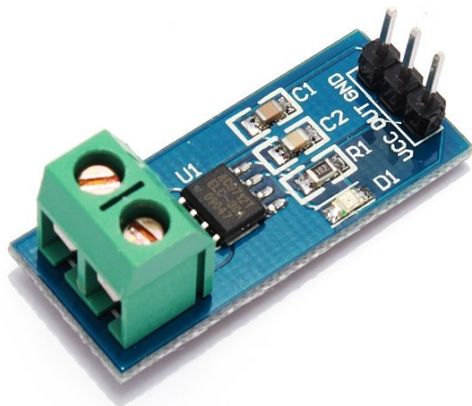


Εικόνα 21: Οι ακίδες του μοντέλου HC-05 Bluetooth Module

1.4.4. ACS 712 Current module

Το συγκεκριμένο μοντέλο βασίζεται στο chip Allegro ACS712 το οποίο αποτελεί μια οικονομική λύση, υψηλής ακρίβειας για αισθητήρες ρεύματος DC (Σταθερής Τάσης) ή AC (Εναλλασσόμενης Τάσης) που μπορούν να έχουν εφαρμογές στο εμπόριο, την βιομηχανία και σε επικοινωνιακά συστήματα. Μερικές από τις εφαρμογές που μπορεί να χρησιμοποιηθεί το συγκεκριμένο chip είναι στον έλεγχο μιας μηχανής, στην ανίχνευση και διαχείριση φορτίων, στην

τροφοδοσία ενέργειας και στον έλεγχο και στην προστασία από λάθη διέλευσης υπερβολικών τιμών ρεύματος.

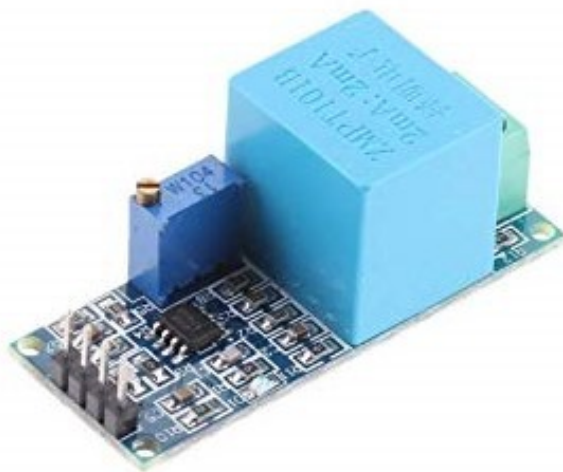


Εικόνα 22: Η φωτογραφία του μοντέλου ACS 712 Current Module που χρησιμοποιήθηκε

Ένα από τα πλεονεκτήματα του συγκεκριμένου μοντέλου αποτελεί η εύκολη σύνδεση και αλληλεπίδρασή του με μικροελεγκτές όπως το Arduino. Η συσκευή αυτή είναι διαθέσιμη σε εκδόσεις των 5 A, των 20 A και των 30 A, η οποία χρησιμοποιήθηκε στην διάταξη.

1.4.5. ZMPT 101B Voltage Transformer

Η συσκευή αποτελεί έναν μετρητή υψηλής ακρίβειας που ενδείκνυται για την μέτρηση Τάσης και Ισχύος. Διαθέτει ποτενοσιόμετρο πολλών στροφών για την ρύθμιση της εξόδου ADC (Analog to Digital Converter- Αναλογικός σε Ψηφιακό Μετατροπέας) του μοντέλου.



Εικόνα 23: Το μοντέλο ZMPT 101B Voltage Transformer που χρησιμοποιήθηκε

Το εύρος της μέτρησης Τάσης αυτής της συσκευής φτάνει έως 250 Volt AC, ενώ το ονομαστικό Ρεύμα εισόδου είναι 2 mA. Διαθέτει ενσωματωμένο μετασχηματιστή Τάσης και

ενσωματωμένο τελεστικό ενισχυτή υψηλής ακρίβειας, που συμβάλει στην ακριβή δειγματοληψία και στην κατάλληλη αντιστάθμιση του σήματος. Η συσκευή δίνει την δυνατότητα ρύθμισης της αναλογικής εξόδου, ενώ το σήμα εξόδου είναι η αναλογική Τάση από 0 V έως 5 V. Οι θερμοκρασίες λειτουργίας της συσκευής είναι από τους -40°C έως τους 70°C. Το σύνολο των τεχνικών χαρακτηριστικών της συσκευής, της προσδίδουν μεγάλη αποτελεσματικότητα και ακρίβεια.

1.5. Η Πλατφόρμα MIT App Inventor

Το MIT App Inventor είναι ένα οπτικό περιβάλλον ανάπτυξης εφαρμογών που επιτρέπει σε όλους τους χρήστες, να αναπτύξουν ολοκληρωμένες και λειτουργικές εφαρμογές για smartphones και tablets. Ένας καινούργιος χρήστης του περιβάλλοντος MIT App Inventor μπορεί να αναπτύξει μία απλή εφαρμογή, η οποία να είναι έτοιμη και να μπορεί να «τρέξει» σε λιγότερο από 30 λεπτά. Η παραπάνω δυνατότητα βασίζεται στην ανάπτυξη εφαρμογών από την πλατφόρμα με την τεχνική του block-based προγραμματισμού. Ως block-based προγραμματισμό ορίζουμε την προγραμματιστική τεχνική όπου, σε αντίθεση με τον παραδοσιακό προγραμματισμό συγγραφής κειμένου, ο προγραμματισμός περιλαμβάνει την χρήση «blocks» («τούβλων») προγραμματιστικών εντολών τα οποία χρησιμοποιούνται για τον προγραμματισμό. Με την χρήση block-based εργαλείων ανάπτυξης η πλατφόρμα MIT App Inventor επιτυγχάνει την ανάπτυξη περίπλοκων και υψηλής απόδοσης εφαρμογών σε σημαντικά λιγότερο χρόνο σε σχέση με τα παραδοσιακά προγραμματιστικά περιβάλλοντα.

Μια ομάδα φοιτητών και προσωπικού του CSAIL (Computer Science & Artificial Intelligence Lab) του πανεπιστημίου MIT με επικεφαλής τον καθηγητή Hal Abelson, αποτελεί τον πυρήνα ο οποίος διατηρεί στο διαδίκτυο το δωρεάν περιβάλλον ανάπτυξης εφαρμογών, το οποίο εξυπηρετεί περισσότερους από 6 εκατομμύρια εγγεγραμμένους χρήστες. Παράλληλα αποτελούν και τον πυρήνα μιας διεθνούς κίνησης εφευρετών που στοχεύουν στην διεξαγωγή έρευνας και την διεθνή εκπαιδευτική προβολή της πλατφόρμας MIT App Inventor. Όπως αναφέρεται χαρακτηριστικά και στην ιστοσελίδα του προγράμματος «Το πρόγραμμα MIT App Inventor στοχεύει στον εκδημοκρατισμό της ανάπτυξης λογισμικού, δίνοντας την δυνατότητα σε όλους τους ανθρώπους, ιδίως τους νέους, να μεταβούν από την κατανάλωση τεχνολογίας στην δημιουργία τεχνολογίας.».

Με περισσότερους από 400.000 μοναδικούς χρήστες οι οποίοι κατάγονται από 195 διαφορετικές χώρες και έχουν δημιουργήσει κοντά στις 22 εκατομμύρια εφαρμογές, η πλατφόρμα MIT App Inventor αλλάζει τον τρόπο με τον οποίο ο κόσμος αναπτύσσει εφαρμογές καθώς και τον τρόπο με τον οποίο τα παιδιά και οι νέες γενιές μαθαίνουν να προγραμματίζουν.

Κεφάλαιο 2: Η Διάταξη Μετρήσεων Τάσης και Ρεύματος

2.1. Ο σχεδιασμός της διάταξης και οι δυνατότητες που προσφέρει

Ο στόχος της συγκεκριμένης εργασίας είναι να κατασκευαστεί ένα “έξυπνο” καταγραφικό Τάσης – Ρεύματος που να παρέχει πολλές δυνατότητες. Ο σχεδιασμός έγινε με στόχο να μπορεί η διάταξη να επιτελεί δύο κύριες λειτουργίες.

Από την μία η πρώτη βασική λειτουργία είναι αυτή της καταγραφής και αποθήκευσης των μετρήσεων Τάσης και Ρεύματος που λαμβάνονται, σε μία κάρτα μνήμης (micro SD card) με αναγραφή της ημέρας, της ημερομηνίας και της ώρας λήψης. Το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό δίνει την δυνατότητα στην διάταξη να μπορεί να συνδέεται και να παίρνει μετρήσεις σύμφωνα με τον χρόνο δειγματοληψίας που θα επιλέγεται και αυτές να τις καταχωρεί (με μέρα, ημερομηνία και ώρα) στην κάρτα μνήμης SD. Η δυνατότητα αυτή είναι πολύ σημαντική διότι εξετάζοντας τις αποθηκευμένες μετρήσεις μπορεί να γίνει εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά το εύρος τιμών, τις διακυμάνσεις της τάσης, την περιοδικότητα ενός φαινομένου σε ένα χρονικό διάστημα κλπ. καθώς επίσης και περαιτέρω επεξεργασία των μετρήσεων με διάφορες τεχνικές.

Με στόχο την υλοποίηση της συγκεκριμένης λειτουργίας, επιλέχθηκαν 3 από τα μέρη της διάταξης.

1. Ο μετασχηματιστής Τάσης (250 V) έτσι ώστε η διάταξη να μπορεί να μετρά ένα σημαντικό εύρος τάσης.
2. Η κάρτα μνήμης micro SD όπου αποθηκεύονται οι μετρήσεις που λαμβάνονται.
3. Το ρολόι RTC (Real Time Clock) έτσι ώστε να γίνεται καταγραφή της ημέρας, της ημερομηνίας και της ώρας που λαμβάνεται η κάθε μέτρηση.

Εκτενής περιγραφή των χαρακτηριστικών αυτών αλλά και όλων των μερών της διάταξης θα υπάρξει σε επόμενο κεφάλαιο.

Η δεύτερη δυνατότητα που πρέπει να προσφέρει η διάταξη που κατασκευάστηκε είναι η λειτουργία της ως ένα Αμπερόμετρο ή ένα Βολτόμετρο που ανά πάσα στιγμή μπορεί να δίνει την μέτρηση της Τάσης και του Ρεύματος του στοιχείου που έχει συνδεθεί. Η συγκεκριμένη λειτουργία είναι δυνατή μέσω του Android Application που αναπτύχθηκε. Και μάλιστα με την αποθήκευση των στοιχείων στην κάρτα SD δίνεται η δυνατότητα μελέτης της συμπεριφοράς, εξαγωγής συμπερασμάτων κλπ. με το πέρας των μετρήσεων.

Τέλος ο χαρακτηρισμός “έξυπνος” έγκειται, πέραν της διττής λειτουργίας της διάταξης και των πολλών δυνατοτήτων που αυτή προσφέρει, στον απομακρυσμένο έλεγχο με το Android Application που αναπτύχθηκε μέσω Bluetooth.

Στην πρώτη περίπτωση χρήσης πρέπει να δίνεται η δυνατότητα να αλλάζουν εύκολα οι χρόνοι δειγματοληψίας που λαμβάνονται οι μετρήσεις, μέσω της χρήσης της εφαρμογής, χωρίς να χρειάζεται να επαναπρογραμματίζεται κάθε φορά η διάταξη. Επίσης θα δίνεται η δυνατότητα να προβάλλεται όταν είναι επιθυμητό σε πραγματικό χρόνο στην οθόνη της εφαρμογής η τιμή της Τάσης και του Ρεύματος.

Στην δεύτερη περίπτωση χρήσης πρέπει να προστίθεται η δυνατότητα της απομακρυσμένης λειτουργίας και ελέγχου όταν χρησιμοποιείται ως καταγραφικό, είτε ως Βολτόμετρο είτε ως Αμπερόμετρο. Η συγκεκριμένη δυνατότητα θα καθίσταται ιδιαίτερα χρήσιμη πχ σε ένα εργαστήριο, δίνοντας την δυνατότητα να επιτελούνται πολλές και διαφορετικές

εργασίες την ίδια στιγμή, έχοντας ταυτόχρονα την δυνατότητα του ελέγχου και της λήψης των μετρήσεων από οποιοδήποτε σημείο του χώρου εκτελείται η όποια άλλη εργασία.

Τέλος θα πρέπει να σημειωθεί ότι όλες οι παραπάνω δυνατότητες που θα παρέχονται από την διάταξη τόσο από άποψη Υλικού, όσο και από άποψη Λογισμικού, μπορούν να υλοποιηθούν με πολύ χαμηλό κόστος κατασκευής. Το οποίο θα μπορεί να είναι κατά πολύ χαμηλότερο από το κόστος αγοράς ενός συμβατικού καταγραφικού, παρέχοντας την ίδια στιγμή πολύ περισσότερες δυνατότητες και λειτουργίες από ότι ένα κοινό καταγραφικό του εμπορίου.

2.2. Κατασκευή Μετρητή (Hardware)

2.2.1. Τα Μέρη που αποτελούν την διάταξη

Στην ενότητα που ακολουθεί θα αναλυθεί διεξοδικά ο ρόλος των επιμέρους συσκευών (modules) που χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή της διάταξης μετρήσεων, καθώς επίσης και οι λόγοι για τους οποίους επιλέχθηκαν.

2.2.1.1. Arduino microSD card module

Η συσκευή microSD card module, τα τεχνικά χαρακτηριστικά της οποίας αναλύθηκαν στο κεφάλαιο 1, χρησιμοποιήθηκε στην διάταξη για την αποθήκευση των μετρήσεων σε κάρτα μνήμης έτσι ώστε να είναι δυνατή η ανάλυση και μελέτη τους συγκεντρωτικά από τον χρήστη. Υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί υποδοχέας που να συνδέεται στο Arduino Uno είτε για μνήμη SD card είτε για microSD card. Στην διάταξη επιλέχθηκε το micro SD card module με κυρίαρχο κριτήριο την δυνατότητα τοποθέτησης της μνήμης micro SD στην συσκευή του κινητού, που παρέχει στον χρήστη πρόσβαση στο σύνολο των δεδομένων που καταχωρεί η διάταξη, από το κινητό του τηλέφωνο. Η συγκεκριμένη δυνατότητα μαζί με τις δυνατότητες που παρέχει η εφαρμογή που αναπτύχθηκε, συγκεντρώνει στο κινητό τηλέφωνο του χρήστη το σύνολο των ενεργειών πρόσβασης στα δεδομένα και ελέγχου της διάταξης.

Η συνδεσμολογία της συσκευής που αφορά την επικοινωνία με την πλακέτα Arduino Uno ακολουθεί το πρωτόκολλο επικοινωνίας SPI. Το σύνολο της συνδεσμολογίας της συσκευής είναι το ακόλουθο:

- Ο ακροδέκτης MOSI της συσκευής συνδέεται στον ακροδέκτη 11 του Arduino Uno.
- Ο ακροδέκτης MISO της συσκευής συνδέεται στον ακροδέκτη 12 του Arduino Uno.
- Ο ακροδέκτης SCK της συσκευής συνδέεται στον ακροδέκτη 13 του Arduino Uno.
- Ο ακροδέκτης SS της συσκευής συνδέεται στον ακροδέκτη 10 του Arduino Uno.
- Ο ακροδέκτης VCC της συσκευής συνδέεται στον ακροδέκτη παροχής Τάσης 5V του Arduino Uno .
- Ο ακροδέκτης GND της συσκευής συνδέεται στον ακροδέκτη GND του Arduino Uno που αντ.

2.2.1.2. DS 3231 Real Time Clock (RTC)

Όπως αναλύθηκαν διεξοδικά τα τεχνικά χαρακτηριστικά του και στο κεφάλαιο 1, το ρολόι πραγματικού χρόνου (Real Time Clock) DS 3231 χρησιμοποιήθηκε στην διάταξη που κατασκευάστηκε, ούτως ώστε οι μετρήσεις που αποθηκεύονται στην κάρτα μνήμης Micro SD να καταχωρούνται με αναγραφή της ημέρας, της ημερομηνίας και της ώρας που λαμβάνεται η μέτρηση. Η συγκεκριμένη λειτουργία είναι απαραίτητη έτσι ώστε να μπορούν να μελετηθούν οι μετρήσεις που καταχωρούνται σε συνάρτηση με την χρονική στιγμή που λαμβάνονται, και σε περιπτώσεις πτώσης τάσης να είναι δυνατός ο χρονικός εντοπισμός τους καθώς επίσης και η μελέτη της χρονικής περιοδικότητας που αυτές μπορεί να επαναλαμβάνονται. Το μοντέλο DS 3231 επιλέχθηκε καθώς διαθέτει δική του μπαταρία λιθίου που του επιτρέπει να λειτουργεί και να κρατάει τα χρονικά στοιχεία ανεξάρτητα αν η διάταξη είναι συνδεδεμένη σε παροχή ρεύματος.

Το DS 3231 RTC έχει την δυνατότητα να διατηρεί πληροφορίες έτους, μήνα, ημερομηνίας, ημέρας, ώρας, λεπτών και δευτερολέπτων, ιδιότητες χρήσιμες για την διάταξη που κατασκευάστηκε καθώς υπάρχουν χρόνοι δειγματοληψίας που αφορούν τάξεις μεγέθους που αφορούν δευτερόλεπτα, λεπτά και ώρα

Η συνδεσμολογία της συσκευής με το Arduino Uno είναι η εξής:

- Το pin του RTC SCL, συνδέεται με το ειδικό pin του Arduino SCL.
- Το pin του RTC SDA, συνδέεται με το ειδικό pin του Arduino SDA.
- Το pin του RTC VCC, συνδέεται με το pin του Arduino που αντιστοιχεί στην παροχή τάσης 5V.
- Το pin του RTC GND, συνδέεται με το pin του Arduino GND που αντιστοιχεί στην γείωση.

2.2.1.3. HC-05 Bluetooth module

Το μοντέλο HC-05 Bluetooth module, του οποίου τα τεχνικά χαρακτηριστικά παρατίθενται στο κεφάλαιο 1, χρησιμοποιείται στην διάταξη έτσι ώστε να γίνει δυνατή η σύνδεση, η επικοινωνία και ο απομακρυσμένος έλεγχος της διάταξης μέσω Bluetooth από μια συσκευή smart phone. Το συγκεκριμένο εξάρτημα επιτρέπει, και την αποστολή και την λήψη δεδομένων από και προς την διάταξη διευκολύνοντας την επικοινωνία της με την εφαρμογή Android που αναπτύχθηκε. Η προσθήκη του επιτρέπει την αποστολή των μετρήσεων που λαμβάνει η διάταξη, στην εφαρμογή στο smart phone και την λήψη της "εντολής" για την αλλαγή του χρόνου δειγματοληψίας των μετρήσεων που λαμβάνονται.

Προεπιλεγμένες ρυθμίσεις συσκευής

- Προεπιλεγμένο όνομα Bluetooth: "HC-05"
- Προκαθορισμένος κωδικός πρόσβασης: 1234 ή 0000
- Προκαθορισμένη επικοινωνία: Slave
- Προεπιλεγμένη λειτουργία: Λειτουργία δεδομένων
- Προεπιλεγμένος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων (Data Mode Baud Rate): 9600 (8, N, 1).
- Προεπιλεγμένος ρυθμός μετάδοσης εντολών (Command Mode Baud Rate): 38400 (8, N, 1).
- Προεπιλεγμένο υλικολογισμικό: LINVOR

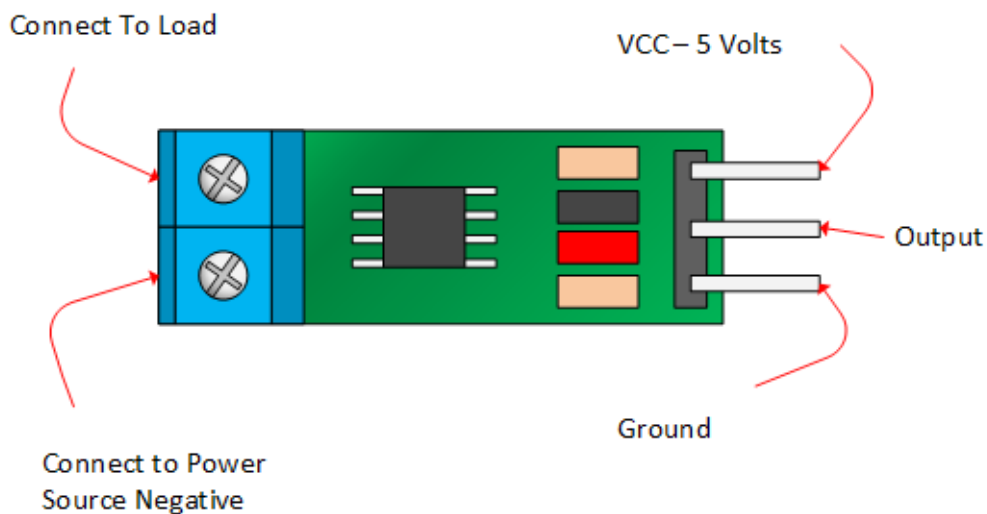
Η συνδεσμολογία της συσκευής HC-05 Bluetooth module με το Arduino Uno είναι η ακόλουθη:

- Ο ακροδέκτης VCC της συσκευής συνδέεται στον ακροδέκτη παροχής Τάσης του Arduino Uno.
- Ο ακροδέκτης GND της συσκευής συνδέεται στον ακροδέκτη γείωσης GND του Arduino Uno.
- Ο ακροδέκτης TXD της συσκευής συνδέεται στον ακροδέκτη RX του Arduino Uno.
- Ο ακροδέκτης RXD της συσκευής συνδέεται στον ακροδέκτη TX του Arduino Uno.

2.2.1.4. ACS 712 Current module

Όπως αναλύθηκε και στο κεφάλαιο 1, το μοντέλο ACS712 χρησιμοποιήθηκε στην διάταξη ως ο αισθητήρας ο οποίος θα μετράει τις τιμές του ρεύματος των διάφορων εφαρμογών που η διάταξη μας θα συνδέεται. Η χρήση του επιτρέπει στο Arduino Uno να μπορεί να μετράει τιμές ρευμάτων πολύ μεγαλύτερες από αυτές τις οποίες μπορεί να έχει ως είσοδο ο μικροελεγκτής. Με αυτό τον τρόπο αυξάνονται οι δυνατότητες της διάταξης όσον αφορά την ποσότητα και το εύρος των εφαρμογών, συσκευών και διατάξεων στις οποίες υπάρχει η δυνατότητα να συνδεθεί και να λάβει μετρήσεις. Αν ληφθεί υπ' όψη ότι το μοντέλο του ACS 712 Current module που χρησιμοποιήθηκε επιτρέπει την σύνδεση σε τιμές ρεύματος έως και 30 Ampere, γίνονται ακόμα πιο εμφανείς οι δυνατότητες που προσθέτει το συγκεκριμένο εξάρτημα στην διάταξη. Λόγω του μεγάλου εύρους τιμών και της μεγάλης τιμής του ρεύματος (30A) που μπορεί να μετρήσει η διάταξη, γίνεται αντιληπτό ότι οι δυνατότητες, το εύρος και η ποικιλία των εφαρμογών στις οποίες μπορεί να λάβει μετρήσεις είναι πολύ μεγάλη και αφορά πολλούς τομείς.

Η συνδεσμολογία της συσκευής με τον μικροελεγκτή και το φορτίο είναι πολύ απλή, όπως φαίνεται και στην εικόνα που ακολουθεί. Οι 3 ακροδέκτες της συσκευής που συνδέονται με το Arduino είναι κατά σειρά, ο πρώτος που συνδέεται με την πηγή τάσης 5 V της πλακέτας Arduino, ο δεύτερος που δίνει τις τιμές των μετρήσεων στην έξοδο της συσκευής και συνδέεται με τον ακροδέκτη A1 του Arduino, και ο τρίτος που συνδέεται με την γείωση. Όσον αφορά την σύνδεση με το φορτίο η πολικότητα της σύνδεσης είναι αυτή που απεικονίζεται στην φωτογραφία, σε περίπτωση αντίθετης σύνδεσης οι μετρήσεις στην έξοδο θα μειώνονται από την αρχικοποίηση των 2,5 V που έχουμε κάνει.



Εικόνα 24: Η συνδεσμολογία των ακροδεκτών της συσκευής ACS- 712

Για την ορθή λειτουργία του μοντέλου πρέπει να πραγματοποιηθούν οι παρακάτω αρχικοποιήσεις:

- Η Τάση αντιστάθμισης σε τιμή εισόδου 0 Ampere είναι 2,5 Volt, αυτό αφορά την αρχικοποίηση της μεταβλητής του κώδικα «int ACOffset= 2500;».
- Η αρχικοποίηση του συντελεστή κλίμακας για το μοντέλο των 30 A στην τιμή των 66 mVolt ανά Ampere, όπως φαίνεται και στον κώδικα που παρατίθεται, στην αρχικοποίηση της μεταβλητής «int ScaleFactor=66;».
- Αρχικοποιείται η μεταβλητή «float V_{rpm}=4.8828125;» που αποτελεί το αποτέλεσμα της πράξης 5000 mV/ 1024, η οποία μας δίνει το βήμα τάσης ανά μονάδα με το οποίο το Arduino αντιστοιχίζει τις τιμές της Τάσης λειτουργίας από 0 V έως 5V σε ακέραιες τιμές μεταξύ 0 και 1023.
- Τέλος ορίζεται η μεταβλητή «float directvalueA;» στην οποία καταχωρούνται οι αναλογικές τιμές τάσης από τον ακροδέκτη A1 που συνδέεται με την έξοδο της συσκευής ACS- 712.

Για να δοθεί η τελική τιμή του ρεύματος που θέλουμε να μετρήσουμε, αρχικοποιείται η μεταβλητή «float Amps;» και χρησιμοποιείται ο τύπος «Amps= ((directvalueA*V_{rpm})-ACOffset)/ScaleFactor;». Ο πολλαπλασιασμός «directvalueA*V_{rpm}» μας δίνει την τιμή της τάσης σε mVolt που διαβάζει ο ακροδέκτης A0, από αυτό τον αριθμό αφαιρείται η τάση αντιστάθμισης των 2500 mVolt (ACOffset) που έχει η συσκευή στην είσοδο των 0 Ampere. Τέλος το αποτέλεσμα των παραπάνω πράξεων διαιρείται με τον συντελεστή κλίμακας που μας δίνεται για το μοντέλο των 30 A της συσκευής ACS- 712.

2.2.1.5. ZMPT 101B Voltage Transformer

Το μοντέλο ZMPT 101B Voltage Transformer, το οποίο περιγράφεται και στο κεφάλαιο 1, χρησιμοποιήθηκε στην διάταξη έτσι ώστε να καθίσταται δυνατή η μέτρηση των τιμών της Τάσης. Αποτελεί έναν μετασχηματιστή Τάσης ιδανικό για την μέτρηση της Τάσης εναλλασσόμενου Ρεύματος. Έχει την δυνατότητα να λάβει μετρήσεις Τάσης AC έως και 250 Volt, πράγμα πολύ σημαντικό για την διάταξη που κατασκευάστηκε καθώς δίνει την δυνατότητα να συνδεθεί απευθείας στο δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτός είναι και ο βασικός λόγος που επιλέχθηκε το συγκεκριμένο μοντέλο ως μετασχηματιστής - μετρητής Τάσης της διάταξης.

Για την λήψη μετρήσεων ακρίβειας είναι απαραίτητη η κατάλληλη ρύθμιση (καλιμπράρισμα) της συσκευής όπως θα εξηγηθεί παρακάτω. Αρχικά βλέποντας το σήμα εξόδου της συσκευής στον παλμογράφο, περιστρέφουμε την βίδα του ποτενσιόμετρου έτσι ώστε το σήμα εξόδου να πλησιάζει όσο το δυνατόν περισσότερο στην μορφή ενός τέλει ημιτονικού σήματος. Στην συνέχεια πρέπει να οριστεί κατάλληλη τιμή για την μεταβλητή «VOLT_CAL». Αυτή ορίζεται πειραματικά συγκρίνοντας το αποτέλεσμα της μέτρησης που μας δίνει η συσκευή με την τιμή της μετρούμενης Τάσης που μας δίνει ένα βολτόμετρο, και μεταβάλλοντας κατάλληλα την τιμή της μεταβλητής «VOLT_CAL», ούτως ώστε να πλησιάζει όσο το δυνατόν περισσότερο την μετρούμενη Τάση. Οι ρυθμίσεις της συσκευής που ορίστηκαν στον κώδικα έγιναν ακολουθώντας την παραπάνω διαδικασία στο εργαστήριο και επιτυγχάνουν υψηλή ακρίβεια στην προσέγγιση των τιμών Τάσης προς μέτρηση.

Η συνδεσμολογία της συσκευής με την πλακέτα Arduino Uno και το φορτίο είναι πολύ απλή. Οι 3 ακροδέκτες της συσκευής που συνδέονται με το Arduino είναι κατά σειρά, ο ακροδέκτης VCC που συνδέεται με την πηγή τάσης 5 V του Arduino, ο ακροδέκτης OUT που δίνει τις τιμές των μετρήσεων στην έξοδο της συσκευής και συνδέεται με τον ακροδέκτη A0 του Arduino, και τέλος οι ακροδέκτες GND που ο ένας συνδέεται με την γείωση του Arduino Uno. Όσον αφορά την σύνδεση με την πηγή τάσης ο ακροδέκτης που βρίσκεται απέναντι από τον ακροδέκτη VCC συνδέεται στον θετικό πόλο της Τάσης, ενώ ο ακροδέκτης που βρίσκεται απέναντι από τον ακροδέκτη GND συνδέεται στον αρνητικό πόλο της Τάσης όπως φαίνεται και στην εικόνα που ακολουθεί.



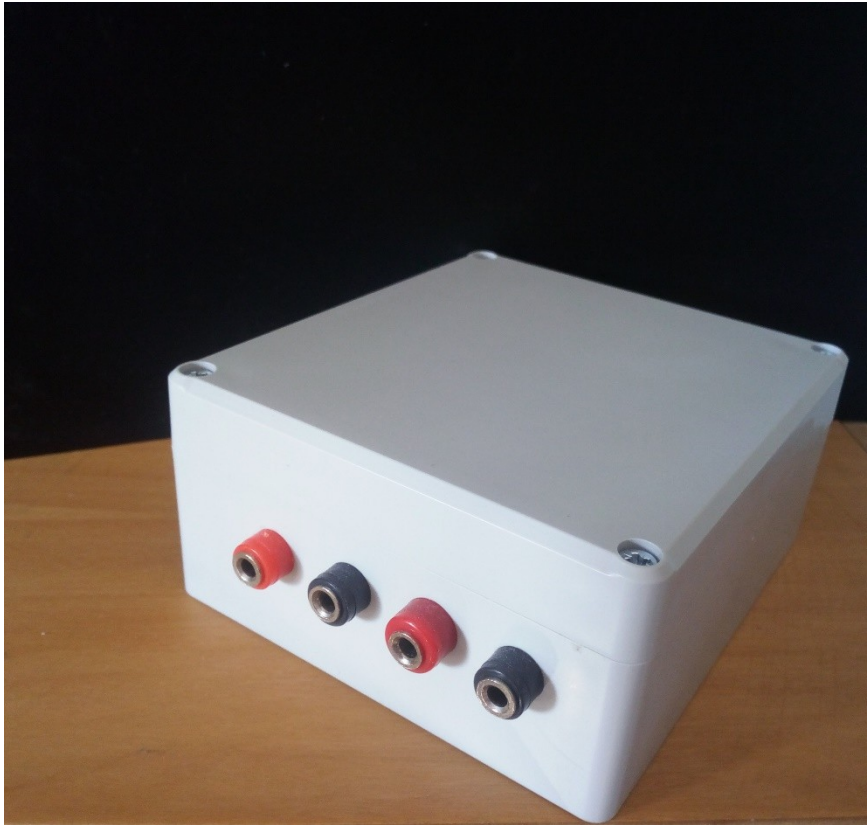
Εικόνα 25: Παρουσίαση ακροδεκτών συσκευής ZMPT 101B

2.2.2. Συνδεσμολογία Διάταξης Μετρήσεων

Στην ενότητα που ακολουθεί θα αποτυπωθεί η υλοποίηση της διάταξης μετρήσεων που κατασκευάστηκε, όσον αφορά τις συνδεσμολογίες των διάφορων εξαρτημάτων που την αποτελούν, και όσον αφορά την ίδια την υλοποίηση της σε τελική μορφή ως ολοκληρωμένη συσκευή.

Για την τελική υλοποίηση της διάταξης, πέραν των εξαρτημάτων που την αποτελούν (Arduino Uno, RTC, HC-05 κλπ.) χρειάστηκε και ένα πλαστικό κουτί όπου τοποθετήθηκε και κολλήθηκε η διάταξη. Να αναφερθεί ότι η επιλογή πλαστικού κουτιού τοποθέτησης έγινε καθώς αποτελούσε την ιδανική λύση για μια σειρά από λόγους. Αρχικά προσφέρει γείωση στην διάταξη και αποφεύγονται οι κίνδυνοι διαρροής ρεύματος, επίσης διευκολύνει την εκπομπή του σήματος της συσκευής Bluetooth και την χωρίς παρεμβολές επικοινωνία της με την συσκευή Android, και τέλος αποτελεί την ιδανικότερη επιλογή για το εύκολο τρύπημα και το άνοιγμα οπών στο εξωτερικό του κουτιού. Παρακάτω ακολουθούν φωτογραφίες της τελικής μορφής της διάταξης που κατασκευάστηκε:

Γενική άποψη της διάταξης από την πλευρά των ακροδεκτών Τάσης και Ρεύματος (εικόνα 26) και από την πλευρά των ακροδεκτών σύνδεσης του Arduino μέσω USB, υποδοχής τροφοδοσίας του Arduino και της υποδοχής εισόδου της κάρτας μνήμης microSD (εικόνα 27).

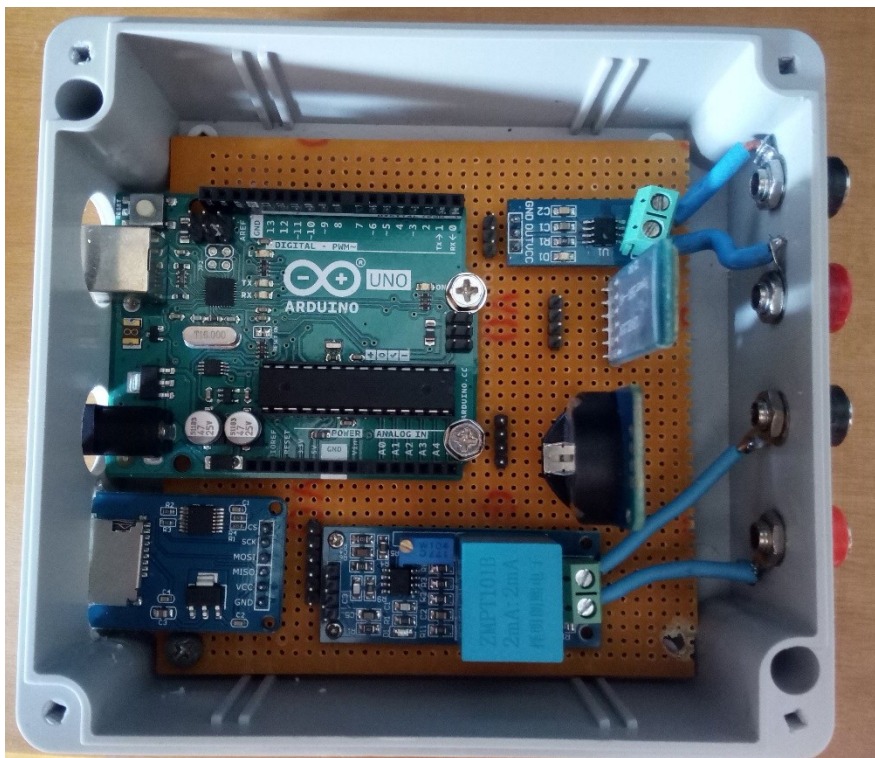


Εικόνα 26: Γενική άποψη της διάταξης και των ακροδεκτών Τάσης και Ρεύματος

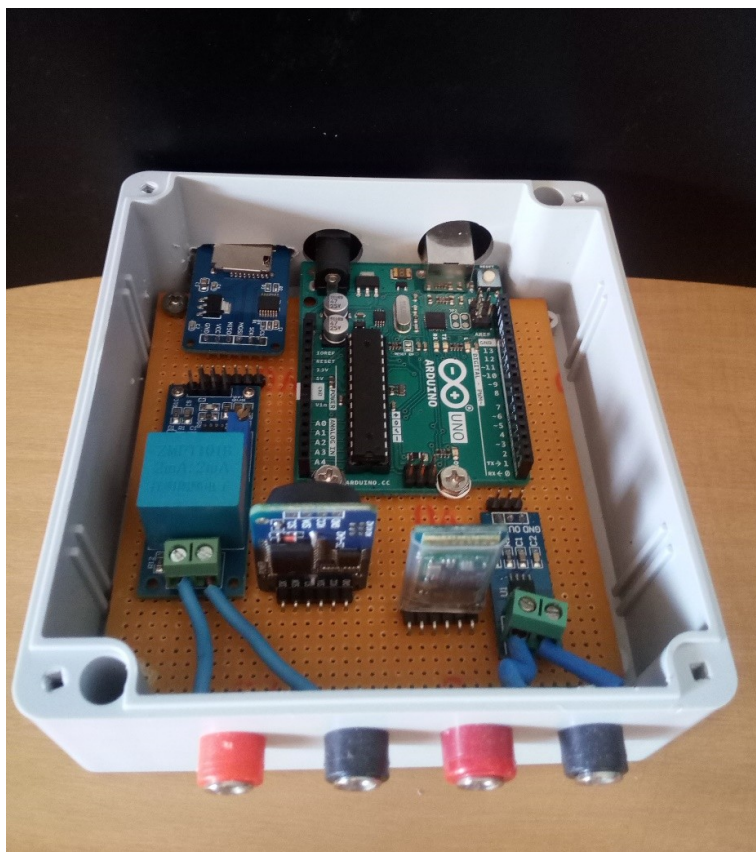


Εικόνα 27: Γενική άποψη της διάταξης και των υποδοχών USB, τροφοδοσίας και εισόδου της κάρτας microSD

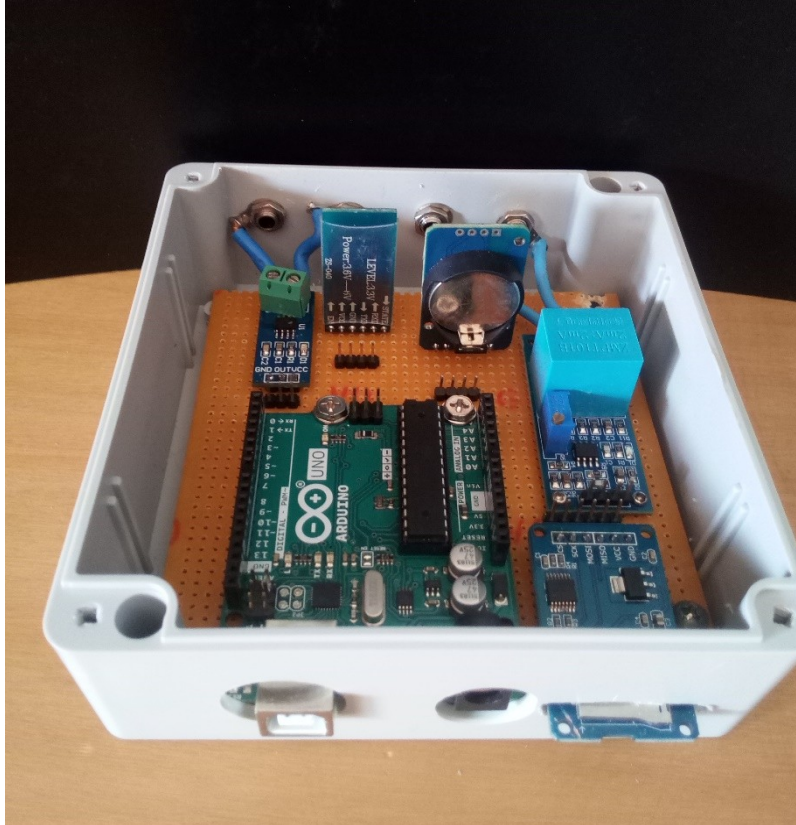
Στην συνέχεια ακολουθεί η κάτοψη της διάταξης χωρίς το καπάκι από το κουτί όπου φαίνεται πως τοποθετήθηκαν και κολλήθηκαν εντός του κουτιού όλα τα εξαρτήματα της διάταξης (εικόνα 28), καθώς και φωτογραφίες του εσωτερικού του κουτιού από διαφορετικές γωνίες (εικόνες 29 και 30, το μπροστά και το πίσω ορίζεται αυθαίρετα).



Εικόνα 28: Κάτοψη του εσωτερικού της διάταξης

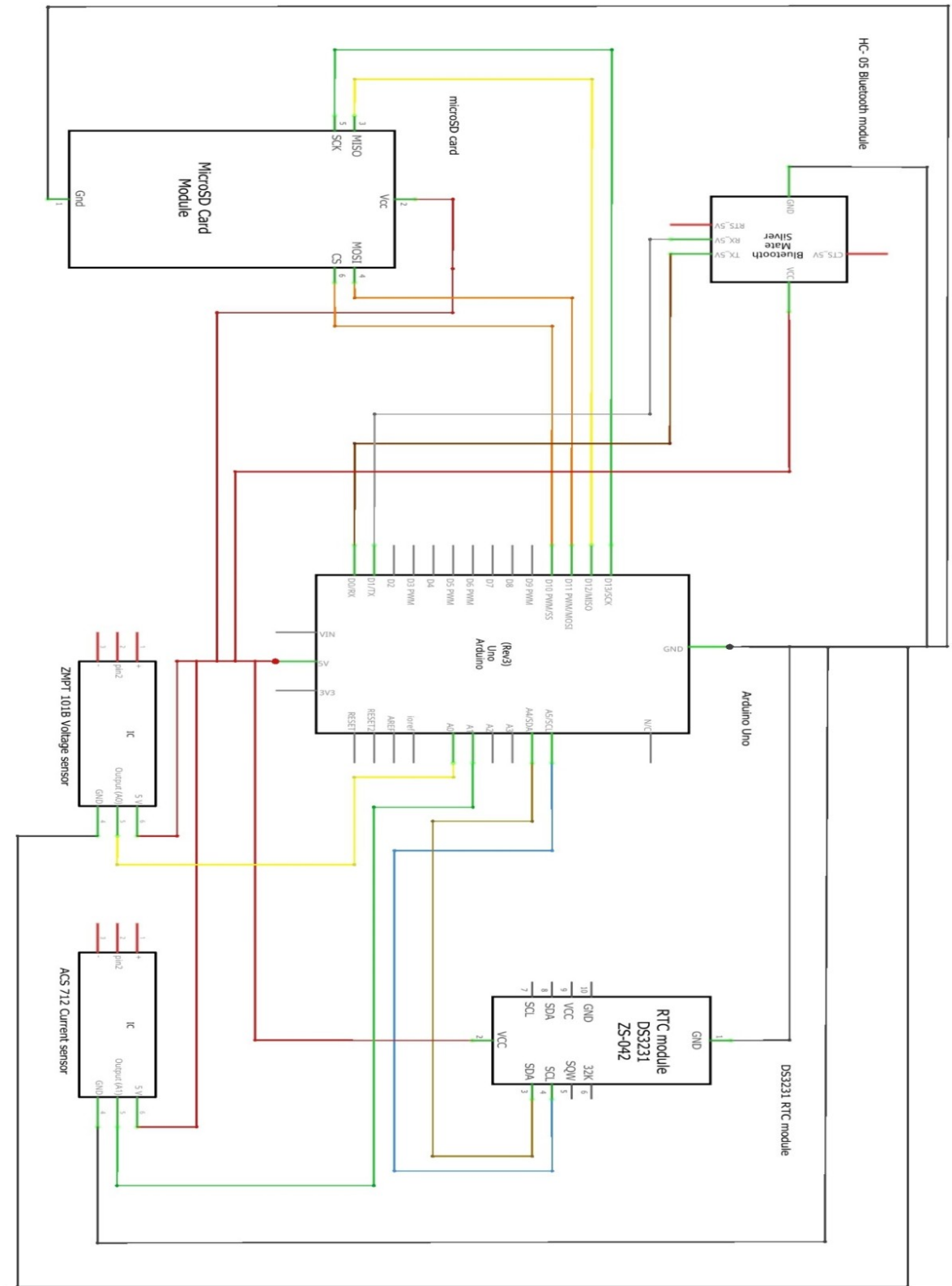


Εικόνα 29: Μπροστινή λήψη του εσωτερικού της διάταξης



Εικόνα 30: Πίσω λήψη του εσωτερικού της διάταξης

Στην συνέχεια δίδεται το σχεδιάγραμμα της συνδεσμολογίας της διάταξης όπως αυτή σχεδιάστηκε στο σχεδιαστικό εργαλείο Fritzing.



Εικόνα 31: Σχεδιάγραμμα Συνδεσμολογίας Διάταξης

2.3. Προγραμματισμός Συστήματος (Software)

Παρακάτω παρουσιάζεται ο κώδικας που αναπτύχθηκε στο Arduino IDE για τον προγραμματισμό και την λειτουργία της διάταξης, καθώς και για την σύνδεση μέσω Bluetooth με την εφαρμογή που αναπτύχθηκε για Android. Η παρουσίαση του κώδικα θα γίνει τμηματικά και θα συνοδεύονται από επεξήγηση για την λειτουργία που επιτελεί το κάθε κομμάτι του κώδικα.

Αρχικά δηλώνονται οι βιβλιοθήκες οι οποίες θα πρέπει να συμπεριληφθούν και οι οποίες χρειάζονται για την λειτουργία επιμέρους στοιχείων της διάταξης. Οι βιβλιοθήκες που συμπεριλαμβάνονται αφορούν:

- Την επικοινωνία SPI (Serial Peripheral Interface) του Arduino με το module που καταχωρεί τις μετρήσεις στην Micro SD card.
- Την βιβλιοθήκη για την δημιουργία και καταχώρηση δεδομένων στην SD/ Micro SD card.
- Την βιβλιοθήκη που αφορά την λειτουργία του ρολογιού DS3231 RTC.
- Την βιβλιοθήκη EmonLib που χρησιμεύει στην δειγματοληψία και την μέτρηση των τιμών της Τάσης.

Επίσης γίνεται ο ορισμός των λειτουργιών που θα χρησιμοποιηθούν παρακάτω (για την μέτρηση τάσης και για το ρολόι DS3231) και ορίζεται το αρχείο όπου θα καταχωρούνται τα δεδομένα των μετρήσεων. Ο ορισμός της μεταβλητής VOLT_CAL με την τιμή 289 έγινε κατόπιν πειραματικών μετρήσεων κατά την ρύθμιση της σωστής λειτουργίας της συσκευής ZMPT 101B στο εργαστήριο, έτσι ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή ακρίβεια στην μέτρηση της Τάσης. Συνεπώς το πρώτο μέρος του κώδικα θα είναι ως ακολούθως:

```
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include <DS3231.h>
#include "EmonLib.h"
#define VOLT_CAL 289
```

```
EnergyMonitor emon1;
```

```
File registerFile;
DS3231 rtc(SDA, SCL);
```

Στην συνέχεια δηλώνονται και αρχικοποιούνται όλες οι μεταβλητές που χρησιμοποιούνται στο πρόγραμμα, ως εξής:

```
float Volts;// αρχικοποίηση μεταβλητής Volts
float Amps; // αρχικοποίηση μεταβλητής Amps
float directvalueA; // η τιμή του ρεύματος που διαβάζει κατευθείαν το Arduino
float Vpm=4.8828125; //ο αριθμός που αντιστοιχεί την αναλογική είσοδο σε mVolts για το ACS712
Module 5000mV/1024
int ACoffset= 2500; //η τάση της συσκευής για 0A είσοδο
int ScaleFactor=66; // σε mV ανά A για την συσκευή ACS712 30A
float directvalueV; // η μεταβλητή που καταχωρούνται τα Volts που διαβάζει κατευθείαν το Arduino
char BluetoothReceived='0'; //ο αριθμός που λαμβάνεται κάθε φορά μέσω Bluetooth
long BluetoothSamplingTime=5000; //ο χρόνος δειγματοληψίας που θα αλλάζει μέσω Bluetooth
```

Στην συνάρτηση setup που ακολουθεί τα ανωτέρω, γίνεται ο ορισμός του σειριακού ρυθμού μετάδοσης δεδομένων (baud), ορίζονται τα αναλογικά pin A0 και A1 ως ακροδέκτες εισόδου, ελέγχεται η αρχικοποίηση και η λειτουργία της κάρτας SD, και αρχικοποιούνται το ρολόι

πραγματικού χρόνου καθώς και η συνάρτηση μέτρησης της τάσης. Αντίστοιχα με πριν και την αρχικοποίηση της μεταβλητής VOLT_CAL, ο ορισμός της τρίτης μεταβλητής της συνάρτησης `emon1.voltage(A0, VOLT_CAL, 1.7)` ίσος με 1.7 που αντιστοιχεί στην μετατόπιση φάσης που χρησιμοποιείται στην συνάρτηση, έγινε κατόπιν πειραματικών δοκιμών για να μπορεί να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή ακρίβεια στην μέτρηση των τιμών της Τάσης. Η συνάρτηση `setup` θα είναι:

```
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(A0, INPUT); //τίθεται ο ακροδέκτης a0 ως ακροδέκτης εισόδου για την τάση
  pinMode (A1, INPUT); //τίθεται ο ακροδέκτης a1 ως ακροδέκτης εισόδου για το ρεύμα

  //αρχικοποίηση κάρτας SD
  if (SD.begin())
  {
    Serial.println("SD card is ready to use.");
  } else
  {
    Serial.println("SD card initialization failed");
    return;
  }
  rtc.begin(); //Αρχικοποίηση της συνάρτησης rtc
  emon1.voltage(A0, VOLT_CAL, 1.7); // Voltage: input pin, calibration, phase_shift
}
```

Στην συνάρτηση `loop` γίνεται ο προγραμματισμός της συνάρτησης μέτρησης για την Τάση, η καταχώρηση σε μεταβλητές των αναλογικών τιμών που λαμβάνουν οι ακροδέκτες A0 και A1, ο υπολογισμός των Ampere του ρεύματος και η καταχώρηση στην μεταβλητή `Amps` και τέλος η καταχώρηση στην μεταβλητή `Volts` της τιμής της Τάσης. Οι πράξεις μεταξύ των διάφορων μεταβλητών όπως και οι αρχικοποιήσεις τους που έχουν προηγηθεί, και καταχωρούνται στην μεταβλητή `Amps` αναλύονται διεξοδικά σε προηγούμενη ενότητα η οποία αφορά τα χαρακτηριστικά της συσκευής ACS 712 Current module που χρησιμοποιείται στην διάταξη. Η συνάρτηση `loop` είναι ως ακολούθως:

```
void loop() {

  emon1.calcVI(20,2000); //Υπολογισμός, Αριθμός μισών μηκών κύματος, χρονικό όριο
  directvalueV=analogRead(A0);//ανάγνωση αναλογικών τιμών volt μέσω του ακροδέκτη A0
  directvalueA=analogRead(A1);//ανάγνωση αναλογικών τιμών ρεύματος μέσω του ακροδέκτη A1
  Amps= ((directvalueA*Vrpm)-ACoffset)/ScaleFactor;
  Volts= emon1.Vrms;
```

Έπειτα δημιουργείται το txt αρχείο `datalog` όπου καταχωρούνται η ημέρα, η ημερομηνία και η ώρα για κάθε μέτρηση της Τάσης και του Ρεύματος που λαμβάνεται σύμφωνα με τον χρόνο δειγματοληψίας.

```
//άνοιγμα αρχείου.

registerFile = SD.open("datalog.txt", FILE_WRITE);
```



```
//αν το αρχείο είναι διαθέσιμο, καταχώρησε:
if (registerFile) {
    registerFile.print(rtc.getDOWStr()); //για την λήψη της ημέρας της εβδομάδας
    registerFile.print(" ");
    registerFile.print(rtc.getDateStr()); //για την λήψη της ημερομηνίας
    registerFile.print(" ");
    registerFile.print(rtc.getTimeStr()); //για την λήψη της ώρας από την συσκευή DS3231
    registerFile.print(" ");
    registerFile.print("Volts: ");
    registerFile.print(Volts);
    registerFile.print("V");
    registerFile.print(", ");
    registerFile.print("Current: ");
    registerFile.print(Amps);
    registerFile.println("A");
    registerFile.close(); //κλείσιμο του αρχείου
}

```

Στο τελευταίο μέρος της συνάρτησης loop προγραμματίζεται η επικοινωνία του καταγραφικού Τάσης και Ρεύματος, μέσω του Bluetooth, με την εφαρμογή για Android που αναπτύχθηκε.

Ξεκινώντας, ελέγχεται αν υπάρχουν δεδομένα που στέλνονται σειριακά μέσω του Bluetooth και αν υπάρχουν τα δεδομένα αυτά καταχωρούνται στην μεταβλητή BluetoothReceived.

```
if(Serial.available() > 0){ // Έλεγχος για την λήψη δεδομένων μέσω του Bluetooth
    BluetoothReceived = Serial.read(); // Ανάγνωση των δεδομένων από το Bluetooth
}

```

Στο εσωτερικό του loop (βρόγχος) που δημιουργεί η εντολή if(Serial.available() > 0){, ελέγχονται όλες οι δυνατές εντολές που μπορεί να έχουν σταλεί μέσω του App έτσι ώστε η διάταξη να εκτελέσει την αντίστοιχη ενέργεια.

Εδώ θα γίνει μια προσπάθεια να εξηγηθεί πιο εκτενώς η λογική με την οποία λειτουργεί η σειριακή επικοινωνία της εφαρμογής και της διάταξης επικοινωνώντας μέσω Bluetooth. Κάθε κουμπί της εφαρμογής όταν πατηθεί στέλνει έναν συγκεκριμένο χαρακτήρα (πχ 1,2,3, m κλπ.), όπως θα επεξηγηθεί εκτενέστερα στην παρουσίαση της εφαρμογής που αναπτύχθηκε. Το πρόγραμμα αφού πρώτα ελέγξει ότι υπάρχουν δεδομένα στην σειριακή επικοινωνία στο

εσωτερικό του βρόγχου ελέγχει όλες τις δυνατές περιπτώσεις και για την κάθε μια εκτελεί την αντίστοιχη ενέργεια. Πιο συγκεκριμένα:

Το πρόγραμμα ελέγχει τα σειριακά δεδομένα που στέλνονται από την εφαρμογή και αν αντιστοιχούν στον χαρακτήρα 'm' τότε το πρόγραμμα “τυπώνει” σειριακά, δηλαδή στέλνει μέσω Bluetooth, τις τιμές της Τάσης και του Ρεύματος που εμφανίζονται στην οθόνη της εφαρμογής. Ο κώδικας που υλοποιεί τα ανωτέρω έχει ως ακολούθως:

```
if (BluetoothReceived == 'm') {  
    Serial.print("Volts: ");  
    Serial.print(Volts);  
    Serial.print("V");  
    Serial.print(", ");  
    Serial.print("Current: ");  
    Serial.print(Amps);  
    Serial.println("mA");  
}
```

Στην συνέχεια ελέγχονται διαδοχικά τα σειριακά δεδομένα που στέλνονται μέσω της επικοινωνίας με την συσκευή Bluetooth, όσον αφορά την αλλαγή στον χρόνο δειγματοληψίας από τις δυνατές τιμές που μπορούν να επιλεγούν στην εφαρμογή. Ο κάθε χαρακτήρας που ελέγχεται αντιστοιχεί σε έναν από τους διαφορετικούς χρόνους δειγματοληψίας που υπάρχουν στην εφαρμογή.

Οι χαρακτήρες που στέλνονται από την εφαρμογή και αλλάζουν την μεταβλητή BluetoothSamplingTime και ανάλογα με την τιμή της αλλάζει το delay (η καθυστέρηση στο τέλος του προγράμματος μέχρι να ξανά ξεκινήσει η εκτέλεση του void loop) στο τέλος του επαναληπτικού βρόγχου εκτέλεσης του προγράμματος, αντιστοιχίζονται ως εξής:

- Το '1' αντιστοιχεί στην δειγματοληψία των 5 seconds που είναι και η αρχικοποίηση που κάνουμε στην μεταβλητή BluetoothSamplingTime στην αρχή του προγράμματος στην συνάρτηση void setup.
- Το '2' αντιστοιχεί στην δειγματοληψία των 10 δευτερολέπτων .
- Το '3' αντιστοιχεί στην δειγματοληψία των 30 δευτερολέπτων.
- Το '4' αντιστοιχεί στην δειγματοληψία του 1 λεπτού.
- Το '5' αντιστοιχεί στην δειγματοληψία των 3 λεπτών.
- Το '6' αντιστοιχεί στην δειγματοληψία των 5 λεπτών.
- Το '7' αντιστοιχεί στην δειγματοληψία των 10 λεπτών.
- Το '8' αντιστοιχεί στην δειγματοληψία των 30 λεπτών.

- Το '9' αντιστοιχεί στην δειγματοληψία της 1 ώρας.

Τα ανωτέρω γίνονται με τον ακόλουθο κώδικα:

```
if (BluetoothReceived == '1') {  
    BluetoothSamplingTime= 5000;  
}  
if (BluetoothReceived == '2') {  
    BluetoothSamplingTime= 10000;  
}  
if (BluetoothReceived == '3') {  
    BluetoothSamplingTime= 30000;  
}  
if (BluetoothReceived == '4') {  
    BluetoothSamplingTime= 60000;  
}  
if (BluetoothReceived == '5') {  
    BluetoothSamplingTime= 180000;  
}  
if (BluetoothReceived == '6') {  
    BluetoothSamplingTime= 300000;  
}  
if (BluetoothReceived == '7') {  
    BluetoothSamplingTime= 600000;  
}  
if (BluetoothReceived == '8') {  
    BluetoothSamplingTime= 1800000;  
}  
if (BluetoothReceived == '9') {  
    BluetoothSamplingTime= 3600000;  
}
```

Τελευταίο κομμάτι που αφορά την επικοινωνία της διάταξης μέσω Bluetooth είναι η δυνατότητα τυπώματος των στοιχείων που καταχωρούνται σύμφωνα με τον χρόνο

δειγματοληψίας που έχει οριστεί στην micro SD card. Αυτό υλοποιείται με την αποστολή του χαρακτήρα 's' από μία εφαρμογή τερματικού Bluetooth (Bluetooth terminal) που μπορεί να χρησιμοποιηθεί, στην οθόνη του οποίου τυπώνονται τα στοιχεία όπως φαίνονται στον κώδικα που ακολουθεί.

```
if (BluetoothReceived == 's') {  
    Serial.print(rtc.getDOWStr()); //for getting Day-of-Week  
    Serial.print(" ");  
    Serial.print(rtc.getDateStr()); //for getting the date  
    Serial.print(" ");  
    Serial.print(rtc.getTimeStr()); //for getting the time from the DS3231  
    Serial.print(" ");  
    Serial.print("Volts: ");  
    Serial.print(Volts);  
    Serial.print("V");  
    Serial.print(", ");  
    Serial.print("Current: ");  
    Serial.print(Amps);  
    Serial.println("mA");  
}  
}
```

Στο σημείο αυτό κλείνει ο βρόχος που δημιουργήθηκε από την εντολή `if(Serial.available() > 0){`.

Η τελευταία εντολή του προγράμματος είναι η εντολή `delay` που καθορίζει τον χρόνο καθυστέρησης μέχρι την επανάληψη εκτέλεσης της συνάρτησης `void loop` και λειτουργεί ως ο χρόνος δειγματοληψίας του συστήματος.

```
    delay (BluetoothSamplingTime);  
}
```

2.4. Εφαρμογή Ελέγχου της Διάταξης για Android (App)

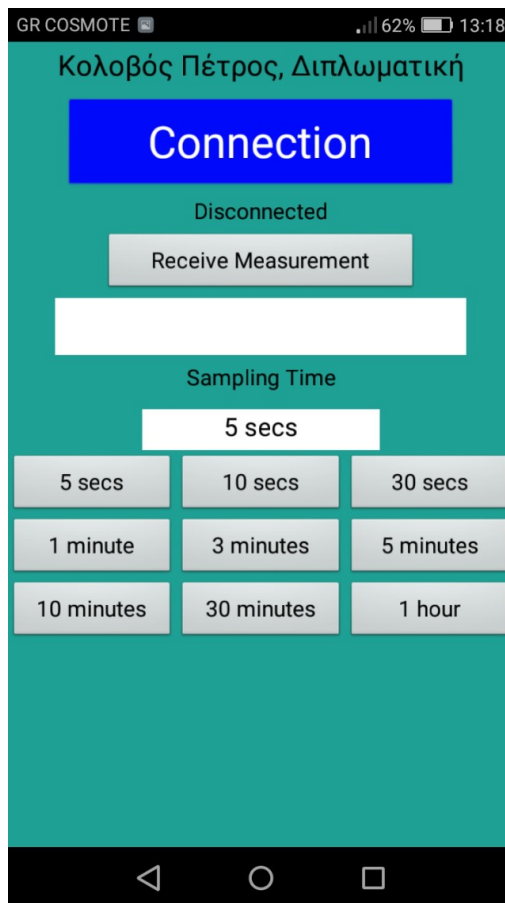
2.4.1. Σχεδιασμός του Android Application

Ο σχεδιασμό της εφαρμογής για Android που αναπτύχθηκε έγινε με γνώμονα την δημιουργία μιας διάταξης που θα έχει όλα τα χαρακτηριστικά ενός “έξυπνου” καταγραφικού. Δύο είναι οι βασικές λειτουργίες που πρέπει να μπορούν να γίνουν μέσω της εφαρμογής. Πρώτον η αποτύπωση στην οθόνη της εφαρμογής σε πραγματικό χρόνο της εκάστοτε μέτρησης Τάσης και Ρεύματος που παίρνει σε κάθε στιγμή η διάταξη. Η συγκεκριμένη λειτουργία γίνεται με το πάτημα του αντίστοιχου κουμπιού, όπως θα εξηγηθεί και στις εικόνες παρακάτω. Δεύτερον η αλλαγή του χρόνου δειγματοληψίας, ανάλογα με τις ανάγκες του χρήστη. Για την συγκεκριμένη λειτουργία της εφαρμογής επιλέχθηκαν κατάλληλες τιμές χρονικών διαστημάτων που να καλύπτουν διαφορετικές τάξεις μεγέθους χρόνου, και οι οποίες αρχίζουν από τα 5 δευτερόλεπτα και φτάνουν μέχρι και την 1 ώρα. Η συγκεκριμένη λειτουργία γίνεται κι αυτή με το πάτημα του αντίστοιχου κουμπιού (που έχει αναγραφόμενο επάνω το αντίστοιχο χρονικό διάστημα) και αλλάζει, από την επόμενη μέτρηση που θα πάρει η διάταξη, τον χρόνο δειγματοληψίας στον οποίο θα λαμβάνονται οι μετρήσεις.

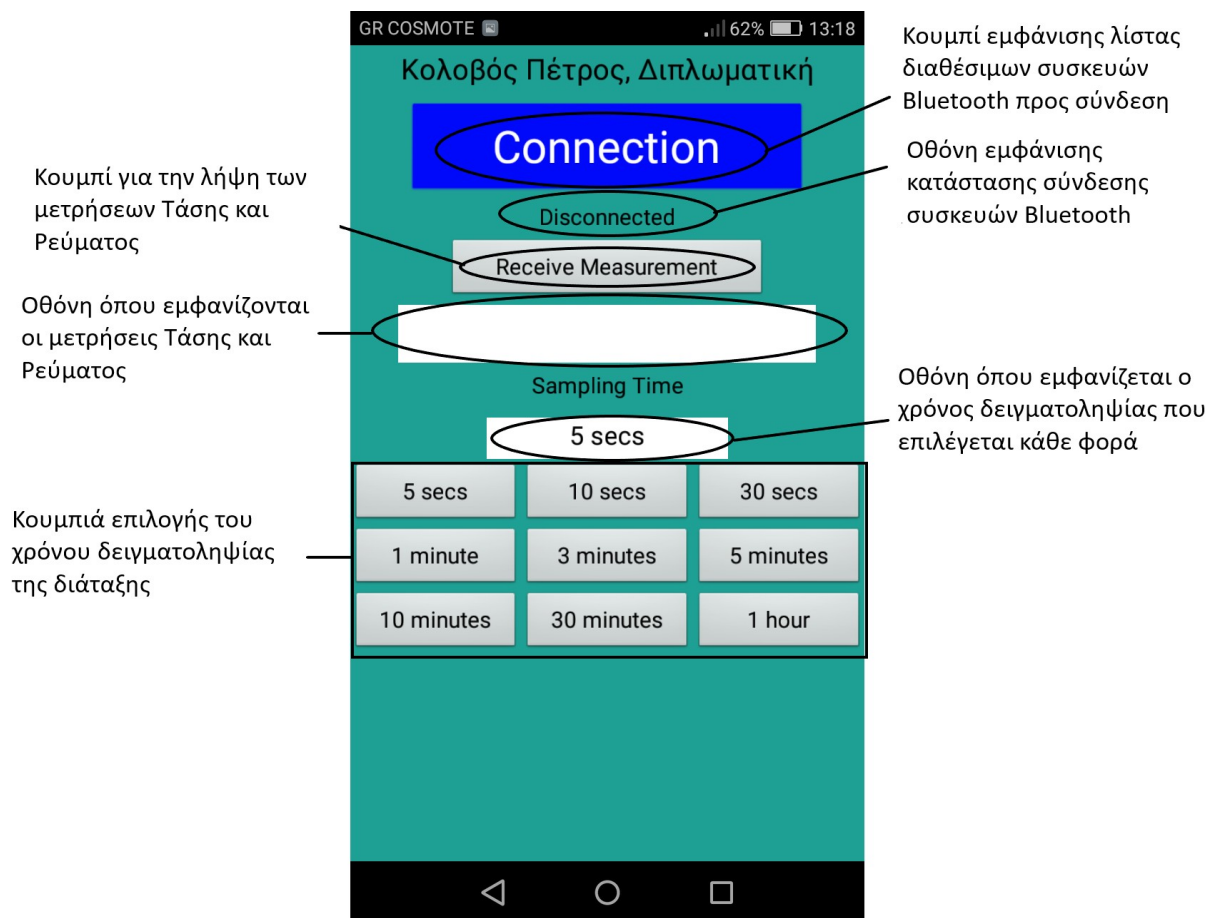
Οι παραπάνω λειτουργίες επιτρέπουν στην διάταξη από την μία να λειτουργεί ως ένα βολτόμετρο ή/και ένα Αμπερόμετρο το οποίο να μπορεί να παρέχει κάθε στιγμή την εκάστοτε μέτρηση σε πραγματικό χρόνο, και από την άλλη να επιτρέπει την ρύθμιση του χρόνου δειγματοληψίας της καταγραφής και αποθήκευσης των μετρήσεων στην κάρτα Micro SD. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται να ελέγχονται απομακρυσμένα οι διάφορες λειτουργίες της διάταξης (μέτρηση και καταγραφή) προσδίδοντας πολλαπλές λειτουργίες και δυνατότητες στο σύνολο της διάταξης (Hardware και Software).

Κατά την δημιουργία της εφαρμογής αναπτύχθηκαν δύο διαφορετικές προσεγγίσεις όσον αφορά το σχεδιαστικό κομμάτι της εμφάνισης και της γλώσσα χρήσης (Αγγλικά, Ελληνικά) χωρίς να αλλάζει τίποτα στις λειτουργίες της εφαρμογής. Στις παρακάτω εικόνες παρατίθενται οι διαφορετικές προσεγγίσεις έτσι όπως εμφανίζονται στην οθόνη του κινητού τηλεφώνου, και επεξηγούνται οι διάφορες λειτουργίες της εφαρμογής στην κάθε προσέγγιση.

Στην πρώτη σχεδιαστική προσέγγιση επιλέχθηκε μια εμφάνιση που να προσομοιάζει περισσότερο στην αισθητική και την χρηστικότητα μιας εφαρμογής για Android. Για αυτό τον λόγο επιλέχθηκε και ως γλώσσα χρήσης τα Αγγλικά. Στις παρακάτω εικόνες φαίνεται μία άποψη της εφαρμογής που αναπτύχθηκε όπως αυτή εμφανίζεται στην οθόνη της συσκευής Android (εικόνα 32), και μία απεικόνιση της εφαρμογής με επεξήγηση της κάθε λειτουργίας που επιτελεί (εικόνα 33).

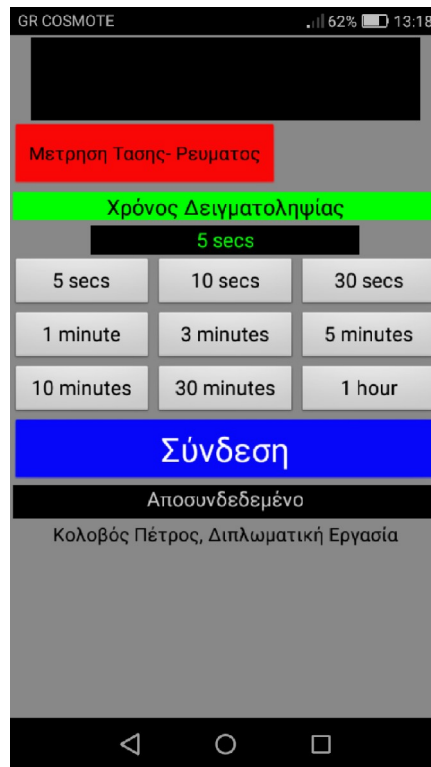


Εικόνα 32: Απεικόνιση της εφαρμογής που αναπτύχθηκε.

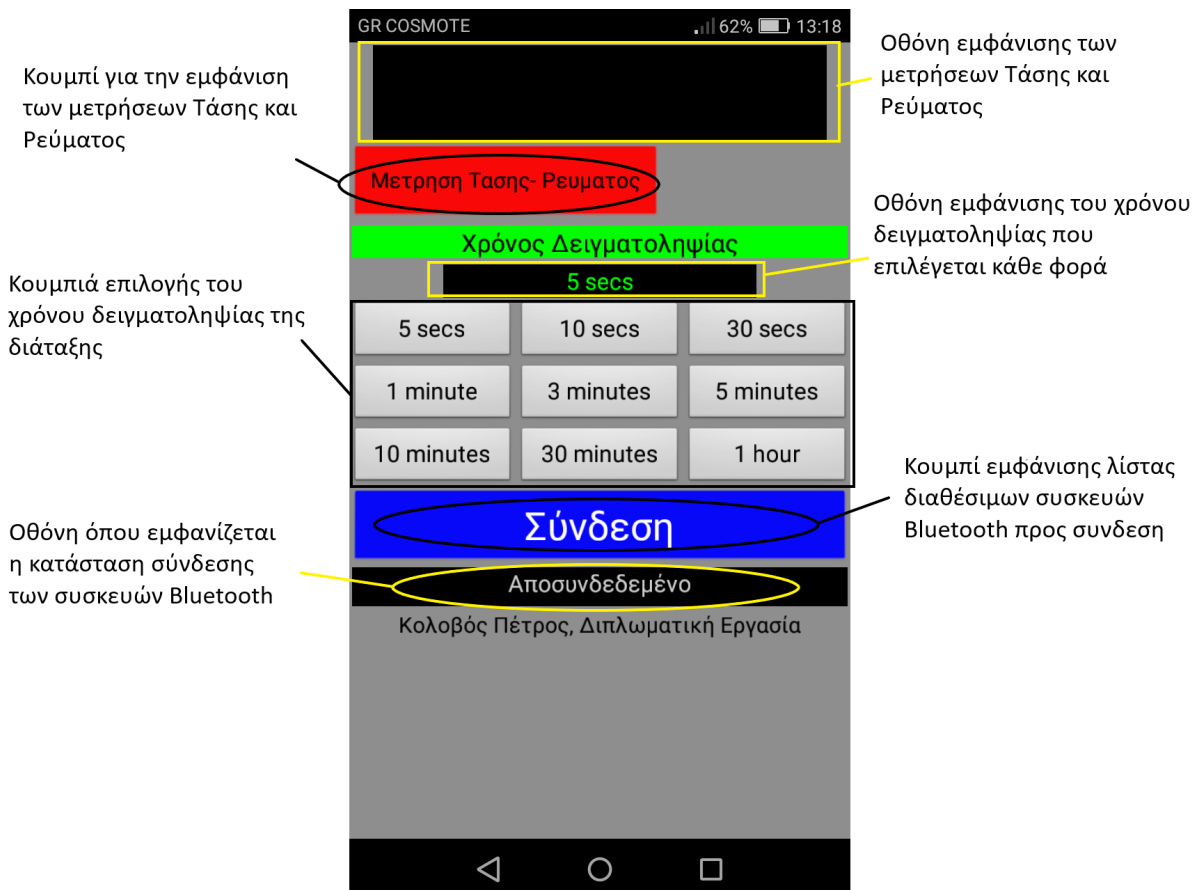


Εικόνα 33: Απεικόνιση της εφαρμογής με επεξήγηση των λειτουργιών που επιτελεί.

Στην δεύτερη σχεδιαστική προσέγγιση επιλέχθηκε μια εμφάνιση που να παραπέμπει στην εικόνα ενός Βολτόμετρου ή ενός Αμπερομέτρου. Η γλώσσα που χρησιμοποιήθηκε σε αυτή την περίπτωση είναι τα Ελληνικά. Οι λειτουργίες της εφαρμογής παραμένουν οι ίδιες. Στις φωτογραφίες που ακολουθούν εμφανίζεται μία άποψη της εφαρμογής όπως αυτή εμφανίζεται στην οθόνη της συσκευής Android (εικόνα 34), και μία απεικόνιση της εφαρμογής με επεξήγηση της κάθε λειτουργίας που επιτελεί (εικόνα 35).



Εικόνα 34: Απεικόνιση της εφαρμογής που αναπτύχθηκε



Εικόνα 35: Απεικόνιση της εφαρμογής με επεξήγηση των λειτουργιών που επιτελεί

2.4.2. Προγραμματισμός του Android Application

Για την ανάπτυξη της εφαρμογής για Android επιλέχθηκε η πλατφόρμα MIT App Inventor 2 η οποία έχει παρουσιαστεί στο 1ο Κεφάλαιο. Σε αυτή την ενότητα θα εξηγηθεί ο προγραμματισμός της εφαρμογής που αναπτύχθηκε και η οποία παρουσιάστηκε στην προηγούμενη ενότητα. Όπως έγινε και στην περίπτωση του προγράμματος του Arduino, ο κώδικας θα παρουσιαστεί σε ενότητες που θα συνοδεύονται από την επεξήγηση της λειτουργίας που επιτελούν. Με πολύ μικρές παραλλαγές ο παρακάτω κώδικας είναι κοινός για τις δύο διαφορετικές μορφές της εφαρμογής που αναπτύχθηκαν.

Αρχικά στο πρόγραμμα ορίζεται και αρχικοποιείται η global (γενική) μεταβλητή "Receive_Measurement", στην οποία θα καταχωρούνται οι μετρήσεις της Τάσης και του Ρεύματος που θα στέλνει η διάταξη στην εφαρμογή. Αυτό ορίζεται ως ακολούθως:

A screenshot of a code block in MIT App Inventor. The block is titled "initialize global" and contains the text "Receive_Measurement to" followed by a pink box containing two single quotation marks (" ").

Εικόνα 36: Κώδικας αρχικοποίησης της global μεταβλητής.

Στην συνέχεια συμπληρώνονται τα στοιχεία της λίστα επιλογής σύνδεσης (δηλαδή το κουμπί με το οποίο γίνεται η σύνδεση μέσω Bluetooth με την διάταξη) με τις διάφορες διευθύνσεις και τα ονόματα του εξυπηρέτη του Bluetooth (Bluetooth Client) που έχουν συζευχθεί με το smart phone που χρησιμοποιείται. Τα ανωτέρω γίνονται ως εξής:

A screenshot of a code block in MIT App Inventor. The block is titled "when ListPicker1 .BeforePicking" and contains a "do" block with the text "set ListPicker1 . Elements to BluetoothClient1 . AddressesAndNames".

Εικόνα 37: Κώδικας συμπλήρωσης των στοιχείων της λίστας επιλογής σύνδεσης.

Έπειτα, μετά την επιλογή σύνδεσης, η επιλογή από την λίστα που έγινε τίθεται ως διεύθυνση σύνδεσης και συμπληρώνονται τα στοιχεία της λίστα επιλογής σύνδεσης όπως πριν. Αυτό ορίζεται με τις ακόλουθες εντολές:

A screenshot of a code block in MIT App Inventor. The block is titled "when ListPicker1 .AfterPicking" and contains a "do" block. Inside the "do" block, there is an "if" block with the text "call BluetoothClient1 .Connect address ListPicker1 . Selection". Below the "if" block, there is a "then" block with the text "set ListPicker1 . Elements to BluetoothClient1 . AddressesAndNames".

Εικόνα 38: Κώδικας για τοποθέτηση ως διεύθυνσης σύνδεσης της επιλογής που έγινε.

Μετά ελέγχονται σε κάθε κύκλο του ρολογιού, που συμπεριλαμβάνεται στην εφαρμογή και έχει οριστεί στα 3 δευτερόλεπτα, οι παρακάτω περιπτώσεις. Πρώτος έλεγχος, αν ο Bluetooth Client είναι συνδεδεμένος τότε η επιγραφή που έχουμε ορίσει κάτω από το κουμπί σύνδεσης εμφανίζει το μήνυμα "Connected" (Label5) και "Συνδεδεμένο" (Label4) αντίστοιχα. Δεύτερος έλεγχος, αν ο Bluetooth Client δεν είναι συνδεδεμένος τότε η ίδια επιγραφή εμφανίζει το μήνυμα "Not Connected" και "Αποσυνδεδεμένο" αντίστοιχα. Η τελευταία περίπτωση αφορά τον έλεγχο

σε κάθε κύκλο του ρολογιού (όταν ο Bluetooth Client είναι συνδεδεμένος) αν υπάρχουν στον εξυπηρέτη Bytes διαθέσιμα προς παραλαβή από την εφαρμογή. Στην περίπτωση που η τιμή των Bytes είναι μεγαλύτερη του μηδενός τότε στην global μεταβλητή “Receive_Measurement” καταχωρείται το κείμενο το οποίο στέλνεται μέσω Bluetooth από την διάταξη, και στην οθόνη στην οποία εμφανίζονται οι τιμές της Τάσης και του Ρεύματος (Label2 και Label6 αντίστοιχα) τυπώνεται το περιεχόμενο της μεταβλητής “Receive_Measurement”. Αυτά υλοποιούνται από τον ακόλουθο κώδικα:

```

when Clock1.Timer
do
  if BluetoothClient1.IsConnected
  then
    set Label5.Text to "Connected"
  if not BluetoothClient1.IsConnected
  then
    set Label5.Text to "Disconnected"
  if BluetoothClient1.IsConnected
  then
    if
    call BluetoothClient1.BytesAvailableToReceive > 0
    then
      set global Receive_Measurement to call BluetoothClient1.ReceiveText
      numberOfBytes call BluetoothClient1.BytesAvailableToReceive
      set Label2.Text to get global Receive_Measurement
  
```

Εικόνα 39: Κώδικας διαδοχικών ελέγχων για το αν ο Bluetooth Client είναι συνδεδεμένος ή όχι, και για το αν υπάρχουν Bytes διαθέσιμα από την εφαρμογή.

Τα τελευταία δύο κομμάτια του προγράμματος που ακολουθούν αφορούν τις δύο κυρίες λειτουργίες του Android App που σχεδιάστηκε, δηλαδή το τύπωμα των τιμών Τάσης και Ρεύματος και την αλλαγή του χρόνου δειγματοληψίας. Και στις δύο αυτές περιπτώσεις ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η επικοινωνία μεταξύ εφαρμογής και του Arduino, υλοποιείται με την αποστολή του κατάλληλου χαρακτήρα (π.χ. 1,2,3, m κλπ.) με το πάτημα του αντίστοιχου κουμπιού της εφαρμογής, όπως έχει ήδη εξηγηθεί στην ενότητα όπου παρουσιάζεται ο κώδικας της διάταξης.

Η ενότητα του τυπώματος Τάσης και Ρεύματος έχει την εξής λειτουργία. Όταν πατιέται το κουμπί “Receive Measurement” (Button2) ή “Μέτρηση Τάσης- Ρεύματος (Button1) τότε ο Bluetooth Client στέλνει στο Arduino τον χαρακτήρα “m”. Αν ο εξυπηρέτης είναι συνδεδεμένος τότε, ελέγχεται, όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, αν η τιμή των Bytes που είναι διαθέσιμα προς παραλαβή είναι μεγαλύτερη του μηδενός και σε αυτή την περίπτωση καταχωρείται στην global μεταβλητή “Receive_Measurement” το κείμενο το οποίο στέλνεται μέσω Bluetooth από την διάταξη, και στην οθόνη στην οποία εμφανίζονται οι τιμές της Τάσης και του Ρεύματος (Label2 και Label6 αντίστοιχα) τυπώνεται το περιεχόμενο της μεταβλητής “Receive_Measurement”. Τα παραπάνω υλοποιούνται με τις παρακάτω εντολές:

```

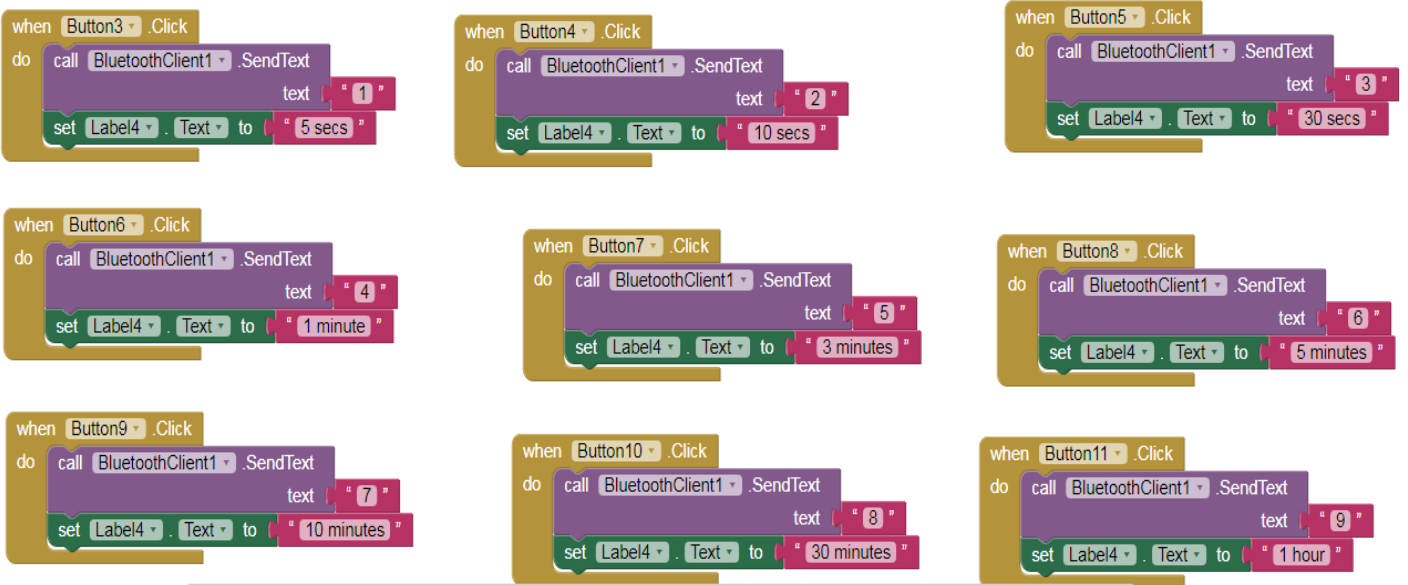
when Button2.Click
do
  call BluetoothClient1.SendText
  text "m"
  if BluetoothClient1.IsConnected
  then
    if
    call BluetoothClient1.BytesAvailableToReceive > 0
    then
      set global Receive_Measurement to call BluetoothClient1.ReceiveText
      numberOfBytes call BluetoothClient1.BytesAvailableToReceive
      set Label2.Text to get global Receive_Measurement
  
```

Εικόνα 40: Ο κώδικας του προγράμματος για το τύπωμα της Τάσης και του Ρεύματος.

Στην τελευταία ενότητα εντολών αναπτύσσεται το κομμάτι της εφαρμογής που αφορά τους διαφορετικούς χρόνους δειγματοληψίας στους οποίους είναι δυνατόν να λαμβάνονται μετρήσεις από την διάταξη. Η λογική λειτουργίας κι εδώ είναι ίδια με πριν, και αφορά την αποστολή ενός χαρακτήρα με το πάτημα του κάθε κουμπιού αντίστοιχα. Στην ενότητα όπου αναπτύσσεται ο κώδικας του Arduino γίνεται εκτενής επεξήγηση της συγκεκριμένης λειτουργίας από την πλευρά του hardware της διάταξης. Η λειτουργία της εφαρμογής για όλους τους πιθανούς χρόνους δειγματοληψίας είναι η ακόλουθη:

- Με το πάτημα του κουμπιού των “5 secs” (Button3 και Button2 αντίστοιχα) ο εξυπηρέτης του Bluetooth στέλνει τον χαρακτήρα “1” στην διάταξη και εμφανίζει στην οθόνη (Label4 και Label3 αντίστοιχα), που καταγράφεται κάθε φορά ο αντίστοιχος χρόνος δειγματοληψίας, το κείμενο “5 secs”.
- Με το πάτημα του κουμπιού των “10 secs” (Button4 και Button3 αντίστοιχα) ο εξυπηρέτης του Bluetooth στέλνει τον χαρακτήρα “2” στην διάταξη και εμφανίζει στην οθόνη (Label4 και Label3 αντίστοιχα), που καταγράφεται κάθε φορά ο αντίστοιχος χρόνος δειγματοληψίας, το κείμενο “10 secs”.
- Με το πάτημα του κουμπιού των “30 secs” (Button5 και Button4 αντίστοιχα) ο εξυπηρέτης του Bluetooth στέλνει τον χαρακτήρα “3” στην διάταξη και εμφανίζει στην οθόνη (Label4 και Label3 αντίστοιχα), που καταγράφεται κάθε φορά ο αντίστοιχος χρόνος δειγματοληψίας, το κείμενο “30 secs”.
- Με το πάτημα του κουμπιού του “1 minute” (Button6 και Button5 αντίστοιχα) ο εξυπηρέτης του Bluetooth στέλνει τον χαρακτήρα “4” στην διάταξη και εμφανίζει στην οθόνη (Label4 και Label3 αντίστοιχα), που καταγράφεται κάθε φορά ο αντίστοιχος χρόνος δειγματοληψίας, το κείμενο “1 minute”.
- Με το πάτημα του κουμπιού των “3 minutes” (Button7 και Button6 αντίστοιχα) ο εξυπηρέτης του Bluetooth στέλνει τον χαρακτήρα “5” στην διάταξη και εμφανίζει στην οθόνη (Label4 και Label3 αντίστοιχα), που καταγράφεται κάθε φορά ο αντίστοιχος χρόνος δειγματοληψίας, το κείμενο “3 minutes”.
- Με το πάτημα του κουμπιού των “5 minutes” (Button8 και Button7 αντίστοιχα) ο εξυπηρέτης του Bluetooth στέλνει τον χαρακτήρα “6” στην διάταξη και εμφανίζει στην οθόνη (Label4 και Label3 αντίστοιχα), που καταγράφεται κάθε φορά ο αντίστοιχος χρόνος δειγματοληψίας, το κείμενο “5 minutes”.
- Με το πάτημα του κουμπιού των “10 minutes” (Button9 και Button8 αντίστοιχα) ο εξυπηρέτης του Bluetooth στέλνει τον χαρακτήρα “7” στην διάταξη και εμφανίζει στην οθόνη (Label4 και Label3 αντίστοιχα), που καταγράφεται κάθε φορά ο αντίστοιχος χρόνος δειγματοληψίας, το κείμενο “10 minutes”.
- Με το πάτημα του κουμπιού των “30 minutes” (Button10 και Button9 αντίστοιχα) ο εξυπηρέτης του Bluetooth στέλνει τον χαρακτήρα “8” στην διάταξη και εμφανίζει στην οθόνη (Label4 και Label3 αντίστοιχα), που καταγράφεται κάθε φορά ο αντίστοιχος χρόνος δειγματοληψίας, το κείμενο “30 minutes”.
- Με το πάτημα του κουμπιού της “1 hour” (Button11 και Button10 αντίστοιχα) ο εξυπηρέτης του Bluetooth στέλνει τον χαρακτήρα “9” στην διάταξη και εμφανίζει στην οθόνη (Label4 και Label3 αντίστοιχα), που καταγράφεται κάθε φορά ο αντίστοιχος χρόνος δειγματοληψίας, το κείμενο “1 hour”.

Τα ανωτέρω υλοποιούνται ως εξής:



Εικόνα 41: Ο κώδικας του προγράμματος για την επιλογή του χρόνου δειγματοληψίας.

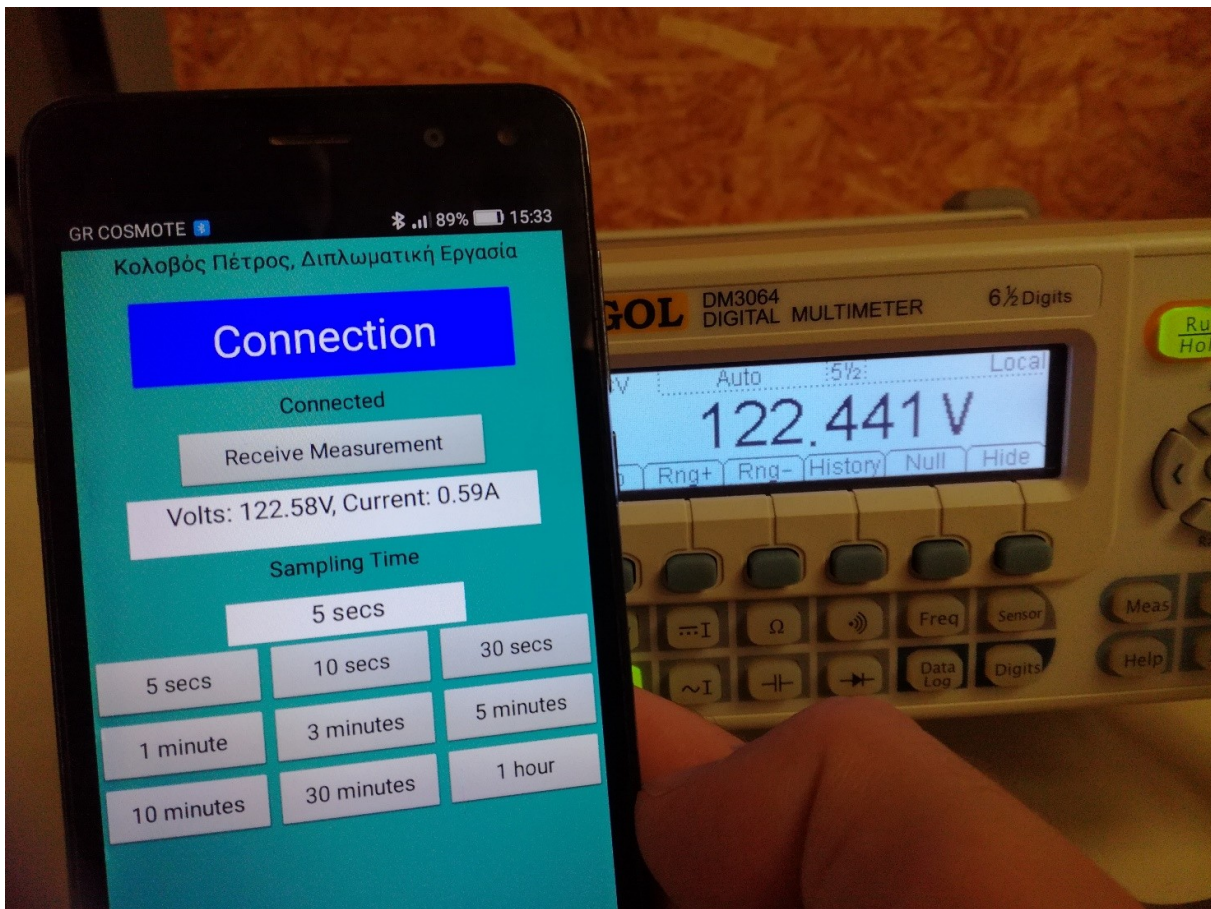
Κεφάλαιο 3: Αποτελέσματα – Συμπεράσματα – Βελτιώσεις

3.1. Έλεγχος Λειτουργίας του Συστήματος και Αποτελέσματα

Στην συγκεκριμένη ενότητα θα παρουσιαστεί εκτενώς ο έλεγχος λειτουργίας της διάταξης που διενεργήθηκε στο εργαστήριο και αφορά το σύνολο των λειτουργιών της παρούσας εργασίας. Αρχικά ελέγχθηκε η σωστή επικοινωνία μεταξύ της εφαρμογής για Android συσκευές και της διάταξης όσον αφορά το τύπωμα στην οθόνη των μετρήσεων τάσης και ρεύματος. Επίσης ελέγχθηκε η σωστή λειτουργία όσον αφορά τον χρόνο δειγματοληψίας.

Έπειτα ελέγχθηκε η ακρίβεια των μετρήσεων τάσης και ρεύματος που λαμβάνει η διάταξη. Να σημειωθεί ότι ο έλεγχος της ακρίβειας για την τάση και το ρεύμα έγινε ξεχωριστά για λόγους ευκολότερης δοκιμής μεγαλύτερου εύρους τιμών ρεύματος και τάσης. Επίσης στις παρακάτω δοκιμές χρησιμοποιήθηκαν και οι δύο διαφορετικές εμφανισιακά εφαρμογές που αναπτύχθηκαν ώστε να ελεγχθεί η σωστή λειτουργία και των δύο.

Για την μέτρηση της Τάσης χρησιμοποιήθηκε παροχή εναλλασσόμενης Τάσης (AC) 0V – 250V και ψηφιακό πολύμετρο έξι ψηφίων. Τα αποτελέσματα μέτρησης ήταν ακριβή και η απόκλιση που παρατηρήθηκε αφορούσε απόκλιση της τάξης του 1V, όπως φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί. Στις μετρήσεις που λήφθηκαν εξετάστηκε όλο το φάσμα των τιμών από τα 20 V έως και τα 250 V.



Εικόνα 42: Μέτρηση τάσης με πολύμετρο και την χρήση της διάταξης κατά την διάρκεια του ελέγχου.

Στη συνέχεια ελέγχθηκε η ακρίβεια των μετρήσεων Ρεύματος που λαμβάνει η διάταξη. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε γεννήτρια σταθερού Ρεύματος και Αμπεροτσιμπίδα. Όπως φαίνεται και στις φωτογραφίες που ακολουθούν η απόκλιση είναι της τάξης των milli Ampere, εξασφαλίζοντας έτσι την λήψη μετρήσεων Ρεύματος με ακρίβεια από την διάταξη που κατασκευάστηκε.



Εικόνα 43: Μέτρηση ρεύματος με αμπεροτσιμπίδα και την χρήση της διάταξης κατά την διάρκεια του ελέγχου.



Εικόνα 44: Μέτρηση ρεύματος με αμπεροτσιμπίδα και την χρήση της διάταξης κατά την διάρκεια του ελέγχου.

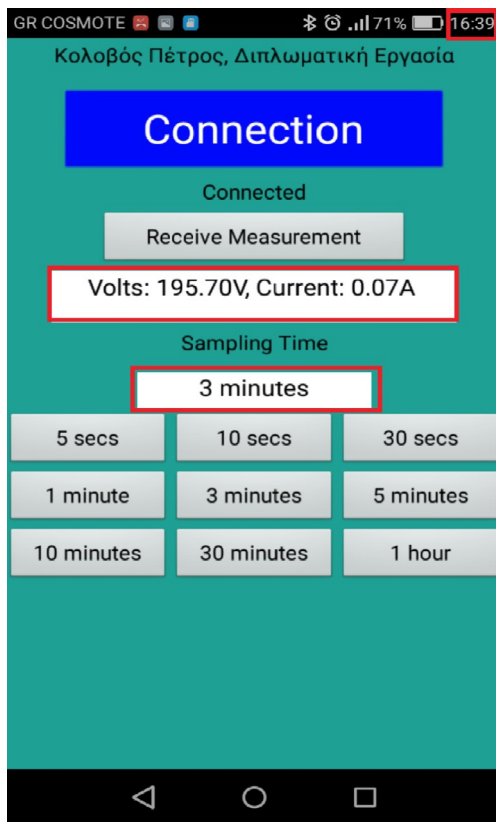
Όπως γίνεται εμφανές στις παραπάνω φωτογραφίες, η ακρίβεια της μέτρησης παραμένει σταθερή για το σύνολο των τιμών Ρεύματος που μπορούν να μετρηθούν (0V – 30V).

Τέλος ελέγχθηκε η λειτουργία καταχώρησης των μετρήσεων Τάσης και Ρεύματος στην κάρτα μνήμης micro SD, με την αναγραφή ημερομηνίας και ώρας, καθώς και η λειτουργία της αλλαγής δειγματοληψίας από την εφαρμογή για smartphone που αναπτύχθηκε. Για να ελεγχθεί η σωστή καταχώρηση των μετρήσεων στην κάρτα μνήμης micro SD έγιναν μια σειρά από μετρήσεις που αφορούσαν την μέτρηση της Τάσης σε διάφορες τιμές της (χαμηλές, μέσες και υψηλές). Ακόμα χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικοί χρόνοι δειγματοληψίας (5 sec, 10 sec, 30 sec, 1 min και 3 min) για την καταγραφή αυτών των τιμών της Τάσης. Όλα τα παραπάνω αποτυπώνονται στις εικόνες που ακολουθούν που αποτελούν στιγμιότυπα οθόνης (screenshots) από την οθόνη της εφαρμογής στο smartphone και από το αρχείο DATALOG.txt που δημιουργεί η διάταξη στην κάρτα μνήμης για την καταχώρηση των μετρήσεων. Στην εικόνα 44, από το αρχείο DATALOG.txt έχουν υπογραμμιστεί σε πλαίσιο με παραπομπή στις αντίστοιχες εικόνες από τα στιγμιότυπα της οθόνης του smartphone, οι καταχωρήσεις των μετρήσεων όπου γίνεται εμφανής η αντιστοιχία ανάμεσα στην ώρα καταχώρησης, στην τιμή της Τάσης και στον χρόνο δειγματοληψίας που αναγράφονται στην οθόνη του κινητού και στις αντίστοιχες που καταχωρούνται στην κάρτα μνήμης. Με μία προσεκτική ανάγνωση των καταχωρήσεων στην εικόνα του αρχείου txt γίνονται εμφανή όλα τα παραπάνω στοιχεία που ελέγχθηκαν (διαφορετικοί χρόνοι δειγματοληψίας, διαφορετικές τιμές Τάσης κλπ.).

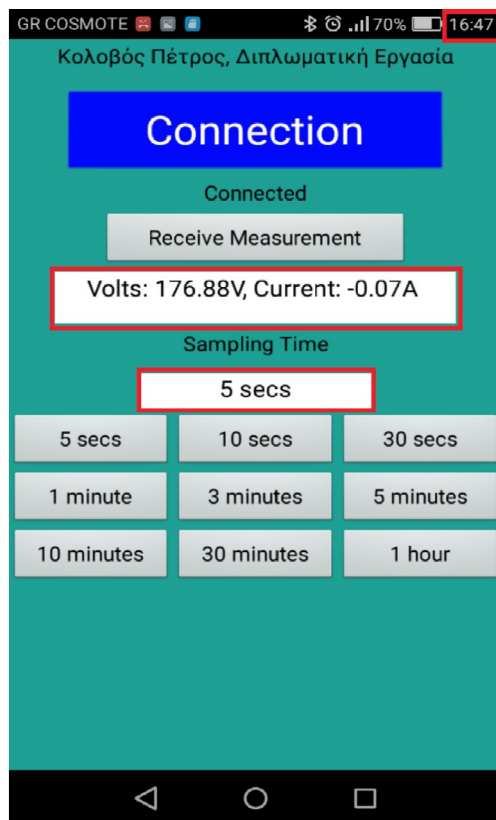
```
DATALOG - Σημειωματάριο
Αρχείο Επεξεργασία Μορφή Προβολή Βοήθεια
Friday 20.09.2019 16:29:03 Volts: 36.29V, Current: 0.00A
Friday 20.09.2019 16:29:13 Volts: 35.27V, Current: -0.07A
Friday 20.09.2019 16:29:44 Volts: 158.96V, Current: 0.00A
Friday 20.09.2019 16:30:14 Volts: 200.72V, Current: 0.00A
Friday 20.09.2019 16:30:44 Volts: 201.19V, Current: 0.07A
Friday 20.09.2019 16:31:14 Volts: 201.26V, Current: 0.00A
Friday 20.09.2019 16:32:14 Volts: 161.37V, Current: -0.07A
Friday 20.09.2019 16:33:15 Volts: 99.05V, Current: 0.00A
Friday 20.09.2019 16:36:15 Volts: 137.05V, Current: 0.07A
Friday 20.09.2019 16:39:15 Volts: 195.70V, Current: 0.07A
Friday 20.09.2019 16:42:15 Volts: 210.36V, Current: 0.00A
Friday 20.09.2019 16:45:15 Volts: 208.94V, Current: -0.07A
Friday 20.09.2019 16:45:45 Volts: 210.25V, Current: -0.07A
Friday 20.09.2019 16:46:15 Volts: 175.62V, Current: 0.00A
Friday 20.09.2019 16:46:45 Volts: 175.98V, Current: -0.07A
Friday 20.09.2019 16:46:51 Volts: 177.16V, Current: 0.00A
Friday 20.09.2019 16:46:56 Volts: 176.45V, Current: 0.00A
Friday 20.09.2019 16:47:01 Volts: 175.72V, Current: 0.00A
Friday 20.09.2019 16:47:06 Volts: 176.49V, Current: 0.07A
Friday 20.09.2019 16:47:12 Volts: 176.88V, Current: -0.07A
Friday 20.09.2019 16:47:17 Volts: 176.38V, Current: 0.00A
Friday 20.09.2019 16:47:22 Volts: 176.60V, Current: 0.07A
Friday 20.09.2019 16:47:27 Volts: 175.14V, Current: 0.00A
Friday 20.09.2019 16:47:32 Volts: 174.93V, Current: 0.07A
Friday 20.09.2019 16:47:38 Volts: 175.69V, Current: 0.00A
Friday 20.09.2019 16:47:43 Volts: 127.76V, Current: 0.07A
Friday 20.09.2019 16:47:48 Volts: 128.75V, Current: 0.00A
Friday 20.09.2019 16:47:53 Volts: 127.79V, Current: 0.07A
Friday 20.09.2019 16:47:59 Volts: 128.45V, Current: 0.00A
Friday 20.09.2019 16:48:04 Volts: 89.27V, Current: -0.07A
Friday 20.09.2019 16:48:09 Volts: 88.44V, Current: 0.00A
Friday 20.09.2019 16:48:14 Volts: 89.36V, Current: 0.00A
Friday 20.09.2019 16:48:19 Volts: 56.04V, Current: 0.00A
Friday 20.09.2019 16:48:24 Volts: 43.12V, Current: 0.00A
Friday 20.09.2019 16:48:30 Volts: 43.40V, Current: 0.07A
Friday 20.09.2019 16:48:35 Volts: 44.47V, Current: 0.07A
Friday 20.09.2019 16:48:40 Volts: 44.34V, Current: 0.07A
Friday 20.09.2019 16:48:45 Volts: 43.12V, Current: 0.00A
<
Windows (CRLF)
```

Εικόνα 45: Στιγμιότυπο οθόνης αρχείου DATALOG.txt

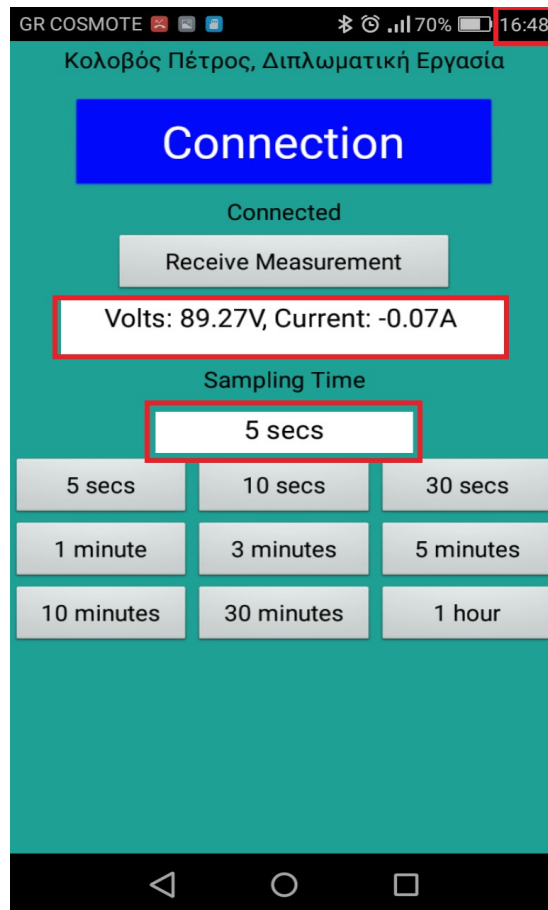
Στις επόμενες τρεις εικόνες που ακολουθούν παρατίθενται τα διαφορετικά στιγμιότυπα οθόνης της εφαρμογής τα οποία αντιστοιχούν στις επισημάνσεις του αρχείου DATALOG.txt παραπάνω, και στα οποία βρίσκονται σε πλαίσιο οι μετρούμενες τιμές της Τάσης και του Ρεύματος, η ώρα λήψης της μέτρησης που δίνεται από το ρολόι του κινητού τηλεφώνου και τέλος ο χρόνος δειγματοληψίας σύμφωνα με τον οποίο έγινε η μέτρηση.



Εικόνα 46: : Στιγμιότυπο οθόνης εφαρμογής 1



Εικόνα 47: Στιγμιότυπο οθόνης εφαρμογής 2



Εικόνα 48: Στιγμιότυπο οθόνης εφαρμογής 3

Αποτελέσματα

Η λειτουργία του συνόλου των μερών της διάταξης που τέθηκε σαν στόχος της παρούσας εργασίας, είναι επιτυχής όπως μπορεί να διαπιστώσει κανείς από το αποτέλεσμα της. Όπως γίνεται εμφανές και από τα παραπάνω, η σωστή λειτουργία αφορά όλες τις πτυχές της διάταξης που κατασκευάστηκε και πιο συγκεκριμένα:

- Τον συγχρονισμό και την επικοινωνία της διάταξης μετρήσεων με την Android συσκευή (μέσω Bluetooth) και την εφαρμογή που αναπτύχθηκε.
- Την αποστολή των δεδομένων των μετρήσεων και η προβολή τους στην οθόνη της εφαρμογής.
- Τον έλεγχο της διάταξης και την αλλαγή του χρόνου δειγματοληψίας των μετρήσεων μέσω της εφαρμογής της συσκευής Android.
- Την ακρίβεια των μετρήσεων Τάσης και Ρεύματος που λαμβάνονται.
- Την δημιουργία αρχείου κειμένου (TXT) στην κάρτα μνήμης microSD όπου καταχωρούνται ορθώς οι μετρήσεις με καταγραφή της ημέρας, της ημερομηνίας και της ώρας που λαμβάνονται.

Εν κατακλείδι όλοι οι στόχοι για την λειτουργία της διάταξης που τέθηκαν και έχουν αναπτυχθεί στα κεφάλαια όπου εξηγείται η σχεδιαστική λογική του Hardware και του Software της διάταξης έχουν επιτευχθεί.

3.2. Συμπεράσματα

Η μέτρηση και η καταγραφή Τάσης και Ρεύματος μπορεί να έχει πολλές εφαρμογές στην σύγχρονη εποχή όπως γίνεται αντιληπτό και από την τεράστια ανάπτυξη του κλάδου των ηλεκτρικών μετρήσεων. Με την εκπόνηση της συγκεκριμένης εργασίας γίνεται εφικτό ένα “έξυπνο” καταγραφικό μέτρησης Τάσης και Ρεύματος με πολλές δυνατότητες σε πολύ χαμηλό κόστος.

Η διάταξη που κατασκευάστηκε δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να την συνδέει με πηγές Τάσης και φορτία και να παίρνει μετρήσεις σχετικά μεγάλου εύρους, από 20 έως 250 Volt για την Τάση και από 0 έως 30 Ampere για το Ρεύμα.

Επίσης δίνεται η δυνατότητα αποθήκευσης των μετρήσεων που λαμβάνονται σε κάρτα μνήμης micro SD με αναγραφή κατά την καταχώρηση των μετρήσεων της ημερομηνίας, της ημέρας και της ώρας που έγινε η μέτρηση. Το παραπάνω δίνει την δυνατότητα της εκ των υστέρων μελέτης του συνόλου των μετρήσεων. Ακόμα γίνεται δυνατή η μελέτη των μετρήσεων που λαμβάνονται σε συνάρτηση με την χρονική στιγμή που λήφθηκαν και η δυνατότητα εξαγωγής συμπερασμάτων και μελέτης της συμπεριφοράς του μετρούμενου αντικειμένου με βάση τις μετρήσεις αυτές.

Επιπροσθέτως η χρήση του επικοινωνίας Bluetooth επιτρέπει στον χρήστη τον απομακρυσμένο έλεγχο και επικοινωνία με την διάταξη. Αρχικά με την χρήση της εφαρμογής ο χρήστης μπορεί να βλέπει σε πραγματικό χρόνο στην οθόνη του κινητού του τις μετρήσεις Τάσης και Ρεύματος που λαμβάνει η διάταξη. Ταυτόχρονα μπορεί μέσω της εφαρμογής, να ρυθμίζει τον χρόνο δειγματοληψίας που λαμβάνει μετρήσεις η διάταξη, σύμφωνα με το αντικείμενο και τους σκοπούς που μελετάται.

3.3. Βελτιώσεις

Οι βασικές λειτουργίες επιτελούνται σε ικανοποιητικό βαθμό από την διάταξη και για αυτό τον λόγο οι προτεινόμενες βελτιώσεις της διάταξης αφορούν δευτερεύουσες λειτουργίες της. Μερικές από αυτές παρατίθενται παρακάτω:

- Η βελτίωση της εφαρμογής για Android που αναπτύχθηκε τόσο σχεδιαστικά όσον αφορά την διεπαφή χρήσης, όσο και με την χρήση ενός πιο προηγμένου μέσου σχεδίασης και ανάπτυξης για το σύνολο της εφαρμογής.
- Η χρήση αρχείων υπολογιστικών φύλλων και γραφικού περιβάλλοντος για την επεξεργασία, ανάλυση και παραστατική παρουσίαση των δεδομένων που καταγράφει η διάταξη.
- Την αξιοποίηση διαφορετικού μέσου για τον απομακρυσμένο έλεγχο και επικοινωνία με την διάταξη πέραν του Bluetooth. Αυτή η δυνατότητα μπορεί να καταστεί δυνατή με την χρήση των διάφορων πλακετών επέκτασης που είναι διαθέσιμα για Arduino, όπως το Arduino Ethernet shield για την σύνδεση της πλακέτας Arduino με το διαδίκτυο.

Βιβλιογραφία

- 1) J. Michell, "Measurement in psychology: a critical history of a methodological concept.", Cambridge University Press, New York, 1999
- 2) Ελληνικό Ινστιτούτο Μετρολογίας:
www.eim.gr
- 3) International Bureau of Weights and Measures, "International Vocabulary of Metrology – Basic and General Concepts And Associated Terms (VIM).", 3rd Edition, 2008.
- 4) BIPM (Bureau International des Poids et Mesures), "What is Metrology? Celebration of the signing of the Metre Convention. World Metrology Day 2004", 2004.
- 5) French College of Metrology, "Metrology in Industry – The Key For Quality", 2006.
- 6) BIPM (Bureau International des Poids et Mesures), "What is Metrology"
- 7) Horst Czichos, Tetsuya Saito, Leslie E. Smith, "Springer Handbook of Metrology and Testing", Springer, 2011, 978-3-642-16640-2.
- 8) Γ. Ναβροζίδης, Δ. Κυριακίδης, Γ. Λουκάς, "Βασικές έννοιες Μετρολογίας", Ενημερωτικό φυλλάδιο EIM-02, Ελληνικό Ινστιτούτο Μετρολογίας, Θεσσαλονίκη, 2003
- 9) Ν. Κούσουλας, "Ηλεκτρικές Μετρήσεις", Εργαστήριο Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων και Συστημάτων, Πανεπιστήμιο Πατρών, 2013
<http://www.sml.ee.upatras.gr/UploadedFiles/METPHΣΕΙΣ.pdf>
- 10) Γενικό Εργαστήριο Φυσικής, Τμήμα Φυσικής Α.Π.Θ.
http://genlab.physics.auth.gr/B4_Palmografos.pdf
- 11) Γενικό Τμήμα Φυσικής, Χημείας και Τεχνολογίας Υλικών, Τ.Ε.Ι. Πειραιά
<http://ikaros.teipir.gr/phyche/Subjects/Varsamis/ergastiria/fisiki2/askisi1.pdf>
- 12) Ν. Θεοδώρου, "Ηλεκτρικές Μετρήσεις Τεύχος Ι: Κλασσικές Μετρήσεις", Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα, 2007
- 13) Ν. Θεοδώρου, "Ηλεκτρικές Μετρήσεις Τεύχος ΙΙ: Ηλεκτρονικές και Ψηφιακές", Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα, 2007
- 14) Russ Rowlett, "How Many? A dictionary of Units of Measurement", University of North Carolina, Chapel Hill.
www.unc.edu
- 15) Πλατφόρμα Τηλεκπαίδευσης του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδος
www.eclass.pat.teiwest.gr

- 16) Θ. Λίτσας, “Η Ιστορία των Μικροεπεξεργαστών”, Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών Ε.Κ.Π.Α, 2009
<http://cgi.di.uoa.gr/~std06100/Welcome.html>
- 17) Νικήτας Α. Αλεξανδρίδης, “Μικροπολογιστές”, εκδόσεις Γαρταγάνης, Αθήνα
- 18) Ken Arnold, “Embedded controller hardware design”, LLH Technology Publishing, Eagle Rock, Los Angeles, 2001.
- 19) Arduino Official site
www.arduino.cc
- 20) Microchip Official Website
www.microchip.com
- 21) Arduino Official Website – SPI Library
www.arduino.cc/en/reference/SPI
- 22) Arduino Official Website – SD Card Notes
www.arduino.cc/en/Reference/SDCardNotes
- 23) Components 101 Website.
www.components101.com
- 24) DS3231 Datasheet
- 25) www.gme.cz/data/attachments/dsh.772-148.1.pdf
- 26) www.electronicaestudio.com/docs/istd016A.pdf
- 27) ACS 712 Datasheet, Allegro microsystems
- 28) Henry’s Bench- A place for electronic hobbyist
www.henrysbench.cpnfatz.com
- 29) MIT App Inventor Official Website
www.appinventor.mit.edu
- 30) AC/DC LABS
<https://acdclabs.wordpress.com/2018/09/09/πολύμετρο-και-μετρήσεις/>