



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

**Παρακολούθηση Κατανάλωσης Ενέργειας
IoT: Έξυπνο Σπίτι**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Δημήτριος Ν. Λεοντάρας

Επιβλέπων: Ευστάθιος Συκάς, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2017



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Παρακολούθηση Κατανάλωσης Ενέργειας

IoT: Έξυπνο Σπίτι

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Δημήτριος Ν. Λεοντάρας

Επιβλέπων: Ευστάθιος Συκάς, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή:

.....
Ευστάθιος Συκάς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Γεώργιος Στασινόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Ιωάννα Ρουσσάκη
Επίκουρη Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2017

.....
Δημήτριος Ν. Λεοντάρας

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

Copyright © Δημήτριος Ν. Λεοντάρας, 2017

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξολοκλήρου 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

Τα τελευταία χρόνια εφαρμογές Internet of Things (IoT) χρησιμοποιούνται σε όλο και μεγαλύτερο βαθμό διευκολύνοντας σημαντικά την καθημερινότητα των ανθρώπων. Ένας από τους τομείς στους οποίους εισέρχονται ολοένα και περισσότερο αυτές οι εφαρμογές είναι ο τομέας της παρακολούθησης κατανάλωσης ενέργειας σε οικιακό χώρο. Με την παρούσα εργασία επιχειρείται η δημιουργία και κατασκευή ενός τέτοιου συστήματος παρακολούθησης και ελέγχου με τη χρήση ενσωματωμένων συστημάτων, αισθητήρων, ανάπτυξης ιστοσελίδας και εφαρμογών Android.

Αρχικά, παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο το οποίο αξιοποιείται στην υλοποίηση του εν λόγω συστήματος. Ξεκινώντας, εξηγούνται τα γενικά χαρακτηριστικά τα οποία διαθέτει ένα τέτοιο σύστημα καθώς και τα στοιχεία αρχιτεκτονικής του. Ακολουθώντας, αναφέρονται ορισμένα βασικά στοιχεία θεωρίας αναφορικά με το IoT, πρωτόκολλα επικοινωνίας, ενσωματωμένα συστήματα και μικροελεγκτές, τα οποία αξιοποιούνται στο προς υλοποίηση σύστημα παρακολούθησης και ελέγχου.

Στη συνέχεια, γίνεται η σχεδίαση και η παρουσίαση της λειτουργίας του συστήματος, το οποίο αποτελείται από τρία ξεχωριστά τμήματα: το σύστημα καταγραφής και αποθήκευσης των μετρήσεων που λειτουργεί ταυτόχρονα και ως εξυπηρετητής (server), την ιστοσελίδα η οποία δίνει στον πελάτη (client) τη δυνατότητα επικοινωνίας με τον εξυπηρετητή και την εφαρμογή Android που συνδέει το σύστημα στο WiFi. Η επιλογή και η κατασκευή του υλικού (hardware) του συστήματος έγινε λαμβάνοντας υπόψη την απλότητα και την εξοικονόμηση κόστους που χρειάζεται ένα τέτοιο σύστημα και την ανεξαρτησία που είναι και ο στόχος της συγκεκριμένης εργασίας. Για τη λειτουργία των τριών τμημάτων του συστήματος αναπτύχθηκαν τρία ξεχωριστά λογισμικά που ρυθμίζουν τη λειτουργικότητα και την επικοινωνία του συστήματος. Εν γένει, η επικοινωνία βασίζεται στην ανταλλαγή συμβολοσειρών μεταξύ εξυπηρετητή και πελάτη. Συγκεκριμένα, ο μικροελεγκτής-εξυπηρετητής αποστέλλει μετρήσεις και παρέχει τη δυνατότητα ελέγχου των ψηφιακών του εξόδων κατόπιν αντίστοιχου αιτήματος από τον πελάτη. Ο πελάτης με τη σειρά του μέσω της ιστοσελίδας, την οποία παρέχει ο εξυπηρετητής, έχει πρόσβαση σε αυτές τις μετρήσεις και μπορεί να διαχειρίζεται τα αρχεία καταγραφών.

Τέλος, μέσω της Android εφαρμογής ο πελάτης δύναται να επιλέγει το δίκτυο στο οποίο θα συνδέεται ο εξυπηρετητής.

Τέλος, εκτελούνται δύο δοκιμές λειτουργίας του συστήματος καταγράφοντας μετρήσεις για δύο μικρά οικιακά φορτία, ένα ωμικό και ένα επαγωγικό φορτίο. Στις δοκιμές αυτές διαπιστώνονται η ακρίβεια του συγκεκριμένου συστήματος αλλά και τα μειονεκτήματά του. Η απλότητα του συστήματος και οι περιορισμοί που περιέχει καθιστούν απαραίτητη την περαιτέρω μελέτη και ανάπτυξή του. Συμπερασματικά, κρίνεται πως το υλοποιούμενο σύστημα αποτελεί μια αξιόπιστη βάση ανάπτυξης πολυπλοκότερων συστημάτων παρακολούθησης κατανάλωσης ενέργειας.

Λέξεις κλειδιά: Internet of Things, συστήματα παρακολούθησης, ενσωματωμένα συστήματα, SPI, I2C, ESP8266, Android, web developing, μικροελεγκτής

Abstract

In recent years, Internet of Things (IoT) applications have been increasingly used to make people's daily lives a lot more convenient. One of the areas in which these applications, more often, are being introduced is the field of household energy consumption monitoring. This paper attempts to create and build such a monitoring and control system using embedded systems, sensors, web development and Android applications.

Initially, the theoretical background, which is exploited in the implementation of this system, is presented. In the beginning, the general features of such a system as well as its architecture are explained. Subsequently, there are mentioned some basic elements of the theory of IoT, communication protocols, embedded systems and microcontrollers, which are used in the monitoring and control system to be implemented.

The system is then designed and presented, which consists of three distinct parts: the measurement and recording system that works simultaneously and as a server, the web page which gives the client the ability to communicate with the server and the Android application that connects the system to WiFi. The hardware selection and construction of the system was made taking into account the simplicity and cost savings that such an application needs and the independence that is the goal of this particular paper. For the operation of the three application segments, three separate softwares have been developed that regulate the functionality and communication of the system. In general, communication is based on the exchange of strings between a server and a client. In particular, the microcontroller-server sends measurements and provides the ability to control its digital outputs at the request of the client. The client in turn through the web page provided by the server has access to these metrics and can manage the logs. Finally, through the Android application, the client can select the network to which the server will connect.

Finally, two system operation tests are carried out by recording measurements for two small household loads, one ohmic and one inductive load. These tests reveal the accuracy of this system and its drawbacks. The simplicity of the system and the constraints it contains make it necessary to further study and develop it. In conclusion,

it is believed that the implemented system is a reliable basis for developing more complex energy consumption monitoring systems.

Keywords: Internet of things, monitoring systems, embedded systems, SPI, I2C, ESP8266, Android, web development, microcontroller

Ευχαριστίες

Στο πλαίσιο της διπλωματικής μου εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλους, όσοι με οποιονδήποτε τρόπο βοήθησαν στην περάτωσή της. Αρχικά, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα καθηγητή κ. Ευστάθιο Συκά για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου με την ανάθεση της εν λόγω εργασίας. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα Απόστολο Κοτοπούλη, ο οποίος ήταν πάντα πρόθυμος να με βοηθήσει στην εκπόνηση της διπλωματικής μου. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον φίλο και συνάδελφο Αριστείδη Οικονόμου για την πολύτιμη βοήθεια του σε τεχνικά ζητήματα της διπλωματικής. Τέλος, μεγάλη ευγνωμοσύνη οφείλω στους γονείς μου Νικόλαο και Μαρία, οι οποίοι αποτέλεσαν στήριγμα κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	3
Abstract	5
Ευχαριστίες.....	7
1 ^ο Κεφάλαιο: Εισαγωγή	13
1.1 Πρόλογος	13
1.2 Σκοπός	13
1.3 Δομή διπλωματικής εργασίας.....	13
2 ^ο Κεφάλαιο: Τεχνολογίες IoT (Internet of Things)	15
2.1 Εισαγωγή.....	15
2.2.1 Εισαγωγή.....	15
2.2.2 IoT - Βασικά χαρακτηριστικά	16
2.2.3 Πλεονεκτήματα.....	17
2.2.4 Μειονεκτήματα	17
2.3 Αρχιτεκτονική συστήματος IoT	18
2.3.1 Επίπεδο ανίχνευσης	20
2.3.2 Επίπεδο δικτύου	22
2.3.3 Επίπεδο υπηρεσιών.....	23
2.3.4 Επίπεδο διεπαφής.....	24
2.4 Τεχνολογίες ενεργοποίησης.....	24
2.4.1 Τεχνολογίες αναγνώρισης και παρακολούθησης	24
2.4.2 Ενσωμάτωση WSN και RFID	25
2.4.3 Επικοινωνίες	26
2.4.4 Δίκτυα.....	28
2.4.5 Διαχείριση υπηρεσιών	28
2.4.6 Ασφάλεια και ιδιωτικότητα.....	31
2.5 Internet Protocol.....	32
2.5.1 Εισαγωγή.....	32
2.5.2 Link layer	33
2.5.3 Internet layer	34
2.5.4 Transport layer	34
2.5.5 Application layer	35
2.6 Εφαρμογές IoT.....	36
2.6.1 Εφαρμογές στα Μέσα ενημέρωσης, Marketing και Διαφήμιση.....	36
2.6.2 Περιβαλλοντικές Εφαρμογές	37

2.6.3	Ενεργειακές Εφαρμογές	38
2.6.4	Εφαρμογές στην Υγεία	39
3°	Κεφάλαιο: Θεωρητικό και Τεχνολογικό Υπόβαθρο Εργασίας	41
3.1	Εισαγωγή.....	41
3.2	Ενσωματωμένα συστήματα	41
3.3	Μονάδα επεξεργασίας	42
3.3.1	Εισαγωγή.....	42
3.3.2	Μικροελεγκτές SoC.....	42
3.3.3	SoC με ενσωματωμένη δυνατότητα ασύρματης επικοινωνίας.....	44
3.3.4	Υπολογιστές μονής πλακέτας	46
3.4	Αναλογικοί και ψηφιακοί αισθητήρες.....	50
3.5	Serial Peripheral Interface Bus (SPI).....	51
3.6	Inter-Integrated Circuit (I2C).....	55
3.7	Μετρούμενες παράμετροι και αισθητήρες	63
3.7.1	Υπολογισμός και μέτρηση μεγεθών	63
3.7.2	Μετασχηματιστές ρεύματος	65
4°	Κεφάλαιο: Σχεδίαση συστήματος παρακολούθησης κατανάλωσης ενέργειας.....	69
4.1	Εισαγωγή.....	69
4.2	Δομή του συστήματος.....	69
4.3	Παρουσίαση λειτουργίας του συστήματος	71
5°	Κεφάλαιο: Δομή του υλικού του συστήματος παρακολούθησης κατανάλωσης	
	ενέργειας.....	73
5.1	Εισαγωγή.....	73
5.2	Επιλογή επεξεργαστικής μονάδας.....	73
5.3	Επιλογή αισθητήρα	74
5.3.1	Χαρακτηριστικά Αισθητήρα	74
5.3.2	Προσάρτηση αισθητήρα	77
5.3.3	Βαθμονόμηση αισθητήρα.....	79
5.3.4	Σφάλματα μέτρησης.....	80
5.4	Επιλογή περιφερειακών συσκευών	82
5.5	Ολοκληρωμένο κύκλωμα συστήματος	85
5.6	Κατασκευή συστήματος.....	88
6°	Κεφάλαιο: Υλοποίηση προγραμματιστικού κομματιού του συστήματος	93
6.1	Εισαγωγή.....	93
6.2	Διαδικασία προγραμματισμού του μικροελεγκτή.....	93
6.2.1	Περιβάλλον ανάπτυξης Arduino IDE	93

6.2.2 Ρύθμιση για προγραμματισμό της πλακέτας.....	94
6.2.3 Προγραμματισμός μικροελεγκτή και server	96
6.3 Κώδικας ιστοσελίδας του συστήματος.....	103
6.4 Ανάπτυξη Android εφαρμογής.....	113
7^ο Κεφάλαιο: Δοκιμές, βελτιώσεις και συμπεράσματα	117
7.1 Εισαγωγή.....	117
7.2 Δοκιμή του συστήματος.....	117
7.2.1 Το σχέδιο των δοκιμών	117
7.2.2 Δοκιμή συστήματος για ωμικό φορτίο	118
7.2.3 Δοκιμή συστήματος για επαγωγικό φορτίο.....	121
7.2.4 Ερμηνεία αποτελεσμάτων.....	123
7.3 Βελτιώσεις.....	124
7.4 Συμπεράσματα μελέτης.....	127
Βιβλιογραφία.....	129

1^ο Κεφάλαιο: Εισαγωγή

1.1 Πρόλογος

Το Internet of Things αποτελεί αυτή τη στιγμή το επόμενο μεγάλο βήμα στο χώρο της τεχνολογίας και στο μέλλον θα φέρει μεγάλες αλλαγές στην καθημερινή ζωή. Κάθε είδους ηλεκτρονική συσκευή, που θα έχει τη δυνατότητα, στο μέλλον θα μπορεί να ελέγχεται και να στέλνει πληροφορίες μέσω του Διαδικτύου. Αυτό το γεγονός αναμένεται να απλοποιήσει τη ζωή των ανθρώπων αφού μέσω του κινητού τους τηλεφώνου θα μπορούν με τη χρήση δικτύου αισθητήρων να ελέγχουν την κατανάλωση του ηλεκτρικού τους ρεύματος, να ρυθμίζουν απομακρυσμένα το θερμοστάτη και ακόμα και να μπορούν να βελτιώσουν την παρακολούθηση της υγείας τους με την χρήση IoT εφαρμογών στον τομέα της υγείας.

1.2 Σκοπός

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει σκοπό την κατασκευή ενός αυτοτελούς IoT συστήματος με στόχο την παρακολούθηση κατανάλωσης ισχύος μιας οικείας καθώς και τον απομακρυσμένο έλεγχο ηλεκτρικών συσκευών.

Με τη χρήση ενός μικροελεγκτή, μιας ιστοσελίδας και μιας Android εφαρμογής, το σύστημα το οποίο κατασκευάστηκε δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να παρακολουθεί την καθημερινή κατανάλωση του ρεύματος και της ισχύος στο σπίτι του συνδέοντας έναν αισθητήρα ρεύματος στον πίνακα της Δ.Ε.Η.. Επίσης, ο χρήστης μπορεί να παρέμβει ανοίγοντας ή κλείνοντας διακόπτες με τη χρήση των ψηφιακών εξόδων του μικροελεγκτή αν το κρίνει αναγκαίο για την μείωση της κατανάλωσης ρεύματος.

1.3 Δομή διπλωματικής εργασίας

Η εργασία αποτελείται από επτά κεφάλαια τα οποία παρουσιάζονται ακολούθως:

1^ο Κεφάλαιο: Εισαγωγή

Στο πρώτο, παρόν κεφάλαιο, γίνεται μία εισαγωγή στο θέμα και το στόχο της εργασίας με μια περιγραφή του περιεχομένου κάθε κεφαλαίου.

2^ο Κεφάλαιο: Τεχνολογίες IoT (Internet of Things)

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται στοιχεία θεωρίας που αφορούν τις τεχνολογίες IoT.

3^ο Κεφάλαιο: Θεωρητικό υπόβαθρο συστήματος

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι θεωρητικές έννοιες των στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση του συστήματος.

4^ο Κεφάλαιο: Σχεδίαση συστήματος παρακολούθησης κατανάλωσης ενέργειας

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται η σχεδίαση και η σύντομη παρουσίαση της λειτουργίας του συστήματος.

5^ο Κεφάλαιο: Δομή υλικού του συστήματος παρακολούθησης κατανάλωσης ενέργειας

Στο πέμπτο κεφάλαιο περιγράφεται το υλικό (hardware) μέρος του υλοποιούμενου συστήματος.

6^ο Κεφάλαιο: Δομή λογισμικού του συστήματος παρακολούθησης κατανάλωσης ενέργειας

Στο έκτο κεφάλαιο περιγράφεται η λειτουργία του λογισμικού (software) του συστήματος.

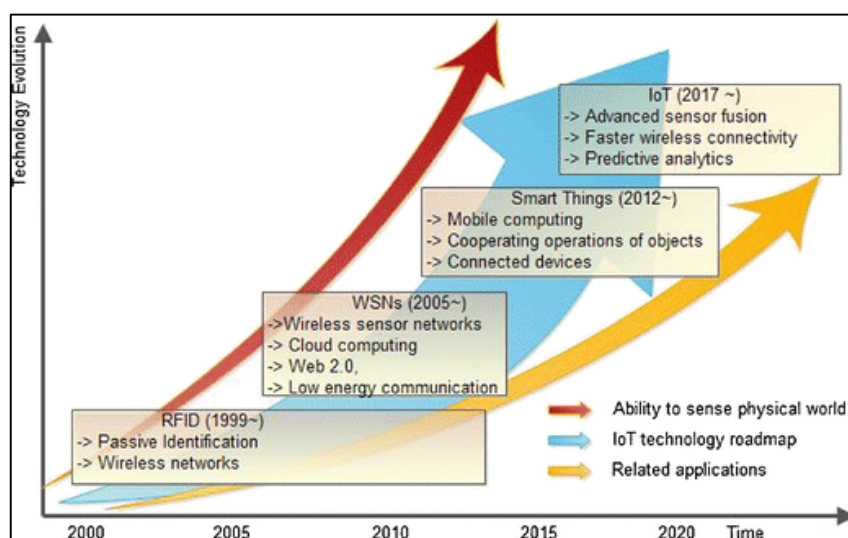
7^ο Κεφάλαιο: Δοκιμές, βελτιώσεις και συμπεράσματα

Τέλος, στο έβδομο κεφάλαιο εκτελούνται δοκιμές λειτουργίας του συστήματος και διατυπώνονται πιθανές μετατροπές, σφάλματα, μελλοντικές βελτιώσεις και συμπεράσματα.

2^ο Κεφάλαιο: Τεχνολογίες IoT (Internet of Things)

2.1 Εισαγωγή

Το IoT (Internet of Things) είναι ένα προηγμένο σύστημα αυτοματοποίησης και ανάλυσης που εκμεταλλεύεται τη δικτύωση, την ανίχνευση, τα μεγάλα δεδομένα και την τεχνολογία τεχνητής νοημοσύνης για την παροχή ολοκληρωμένων συστημάτων για ένα προϊόν ή μια υπηρεσία. Αυτά τα συστήματα επιτρέπουν μεγαλύτερη διαφάνεια, έλεγχο και απόδοση όταν εφαρμόζονται σε οποιοδήποτε κλάδο ή σύστημα. Τα συστήματα IoT έχουν εφαρμογές σε διάφορες βιομηχανίες χάρη στη μοναδική τους ευελιξία και ικανότητα να είναι κατάλληλες σε οποιοδήποτε περιβάλλον. Αυξάνουν τη συλλογή δεδομένων, τον αυτοματισμό, τις λειτουργίες και πολλά άλλα μέσω έξυπνων συσκευών και ισχυρής τεχνολογίας ενεργοποίησης. [1]



Εικόνα 2.1 Εξέλιξη του IoT [2]

2.2 Γενικά χαρακτηριστικά

2.2.1 Εισαγωγή

Τα συστήματα IoT επιτρέπουν στους χρήστες να επιτύχουν βαθύτερη αυτοματοποίηση, ανάλυση και ολοκλήρωση σε ένα σύστημα. Αυξάνουν την εμβέλεια αυτών των περιοχών και την ακρίβειά τους. Το IoT χρησιμοποιεί την υπάρχουσα και

ανερχόμενη τεχνολογία για την ανίχνευση, τη δικτύωση και τη ρομποτική. Το IoT εκμεταλλεύεται τις πρόσφατες εξελίξεις στο λογισμικό, την πτώση των τιμών υλικού και τις σύγχρονες στάσεις απέναντι στην τεχνολογία. Τα νέα και εξελιγμένα στοιχεία του φέρνουν μεγάλες αλλαγές στην παράδοση προϊόντων, αγαθών και υπηρεσιών και τις κοινωνικές, οικονομικές και πολιτικές επιπτώσεις αυτών των αλλαγών. [3]

2.2.2 IoT - Βασικά χαρακτηριστικά

Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά του IoT είναι η τεχνητή νοημοσύνη, η συνδεσιμότητα, οι αισθητήρες, η ενεργός συμμετοχή και η χρήση μικρών συσκευών. Μια σύντομη ανασκόπηση αυτών των χαρακτηριστικών δίνεται παρακάτω:

- **AI** - Το IoT ουσιαστικά κάνει σχεδόν οτιδήποτε "έξυπνο", που σημαίνει ότι ενισχύει κάθε πτυχή της ζωής με τη δύναμη της συλλογής δεδομένων, των αλγορίθμων τεχνητής νοημοσύνης και των δικτύων.
- **Συνδεσιμότητα** - Νέες τεχνολογίες που επιτρέπουν τη δικτύωση, και συγκεκριμένα τη δικτύωση στο Διαδίκτυο, σημαίνει ότι τα δίκτυα δεν συνδέονται πλέον αποκλειστικά με μεγάλους παρόχους. Τα δίκτυα μπορούν να υπάρχουν σε πολύ μικρότερη και φθηνότερη κλίμακα, ενώ εξακολουθούν να είναι πρακτικά. Το IoT δημιουργεί αυτά τα μικρά δίκτυα μεταξύ των συσκευών του συστήματος.
- **Αισθητήρες** - Το IoT χάνει την ιδιαιτερότητα του χωρίς αισθητήρες. Οι αισθητήρες δρουν ως καθοριστικά μέσα τα οποία μετασχηματίζουν το IoT από ένα τυπικό παθητικό δίκτυο συσκευών σε ένα ενεργό σύστημα ικανό για πραγματική ολοκλήρωση.
- **Ενεργός εμπλοκή** - Μεγάλο μέρος της σημερινής αλληλεπίδρασης με τη συνδεδεμένη τεχνολογία συμβαίνει μέσω παθητικής σύνδεσης. Το IoT εισάγει ένα νέο υπόδειγμα για ενεργό περιεχόμενο, προϊόν ή υπηρεσία.
- **Οι μικρές συσκευές** - Οι συσκευές, όπως προβλεπόταν, έχουν γίνει μικρότερες, φθηνότερες και ισχυρότερες με την πάροδο του χρόνου. Το IoT εκμεταλλεύεται τις ειδικά κατασκευασμένες μικρές συσκευές και προσφέρει ακρίβεια, επεκτασιμότητα και ευελιξία. [3]

2.2.3 Πλεονεκτήματα

Τα πλεονεκτήματα του IoT εκτείνονται σε όλους τους τομείς, τόσο στον καθημερινό τρόπο ζωής όσο και στις επιχειρήσεις. Ακολουθεί μια λίστα με μερικά από τα πλεονεκτήματα που έχει να προσφέρει το IoT:

- **Βελτιωμένη επικοινωνία με τον πελάτη** - Οι τρέχουσες αναλύσεις υποφέρουν από τυφλά σημεία και σημαντικές αδυναμίες στην ακρίβεια. Και όπως σημειώνεται, η επικοινωνία παραμένει παθητική. Το IoT το τροποποιεί εντελώς αυτό για να επιτύχει μια πιο πλούσια και αποτελεσματικότερη επικοινωνία με το κοινό.
- **Τεχνολογική Βελτιστοποίηση** - Οι ίδιες τεχνολογίες και δεδομένα που βελτιώνουν την εμπειρία των πελατών βελτιώνουν επίσης τη χρήση της συσκευής και βοηθούν σε πιο δυναμικές βελτιώσεις στην τεχνολογία. Το IoT ξεκλειδώνει έναν κόσμο κρίσιμων λειτουργιών και πεδίων δεδομένων.
- **Μείωση σπατάλης** - Το IoT κάνει σαφείς τους τομείς βελτίωσης. Οι τρέχουσες αναλύσεις μας δίνουν επιφανειακή εικόνα, αλλά το IoT παρέχει πληροφορίες πραγματικού κόσμου που οδηγούν σε αποτελεσματικότερη διαχείριση των πόρων.
- **Βελτιωμένη συλλογή δεδομένων** - Η σύγχρονη συλλογή δεδομένων υποφέρει από τους περιορισμούς και το σχεδιασμό της για παθητική χρήση. Το IoT τη βοηθάει να ξεφύγει από αυτά τα προβλήματα και τη θέτει ακριβώς εκεί όπου οι άνθρωποι πραγματικά θέλουν, για να αναλύσουν τον κόσμο. Επιτρέπει μια ακριβή εικόνα όλων. [3]

2.2.4 Μειονεκτήματα

Αν και το IoT προσφέρει ένα εντυπωσιακό σύνολο πλεονεκτημάτων, παρουσιάζει επίσης ένα σημαντικό σύνολο δυσκολιών. Ακολουθεί μια λίστα με μερικά από τα σημαντικότερα ζητήματα:

- **Ασφάλεια** - Το IoT δημιουργεί ένα οικοσύστημα συνεχώς συνδεδεμένων συσκευών που επικοινωνούν μέσω δικτύων. Το σύστημα προσφέρει μικρό έλεγχο παρά τα μέτρα ασφαλείας. Αυτό αφήνει τους χρήστες να εκτίθενται σε διάφορα είδη επιτιθέμενων.

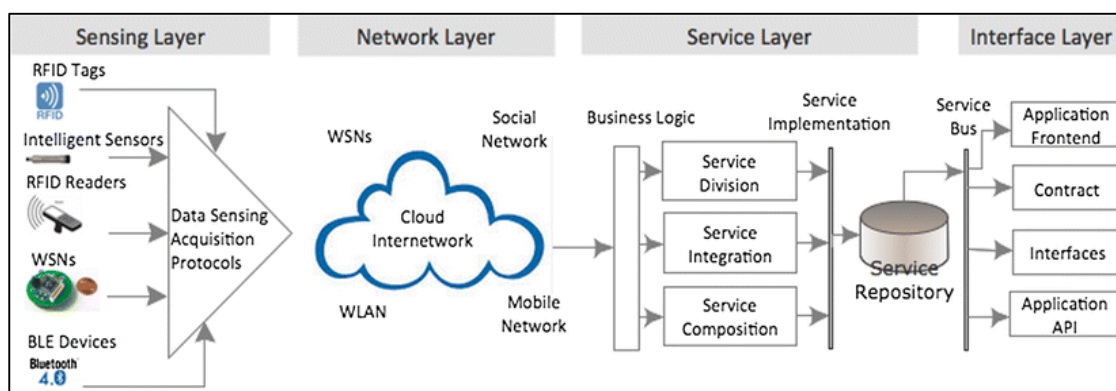
- **Προστασία προσωπικών δεδομένων** - Η πολυπλοκότητα του IoT παρέχει σημαντικά δεδομένα προσωπικού χαρακτήρα με σημαντικές λεπτομέρειες χωρίς την ενεργό συμμετοχή του χρήστη.
- **Πολυπλοκότητα** - Μερικοί βρίσκουν πολύπλοκα τα συστήματα IoT όσον αφορά το σχεδιασμό, την εγκατάσταση και τη συντήρησή τους, δεδομένης της χρήσης πολλαπλών τεχνολογιών και ενός μεγάλου συνόλου νέων τεχνολογιών.
- **Ευελιξία** - Πολλοί ανησυχούν για την ευελιξία ενός συστήματος IoT, όσον αφορά την ενσωμάτωση του σε άλλο σύστημα λόγω του κινδύνου να βρεθούν με πολλά συγκρουόμενα ή κλειδωμένα συστήματα.
- **Συμμόρφωση** - Το IoT, όπως και κάθε άλλη τεχνολογία στον τομέα των επιχειρήσεων, πρέπει να συμμορφώνεται με τους κανονισμούς. Η πολυπλοκότητα του κάνει το ζήτημα της συμμόρφωσης να φαίνεται απίστευτα δύσκολο όταν πολλοί θεωρούν τη συμμόρφωση συνηθισμένου λογισμικού απαιτητική. [3]

2.3 Αρχιτεκτονική συστήματος IoT

Μια κρίσιμη απαίτηση μίας εφαρμογής IoT είναι ότι τα στοιχεία του δικτύου πρέπει να αλληλοσυνδέονται. Η αρχιτεκτονική του συστήματος IoT πρέπει να εγγυάται τις λειτουργίες του IoT που γεφυρώνουν το χάσμα μεταξύ του φυσικού και του εικονικού κόσμου. Ο σχεδιασμός της αρχιτεκτονικής μιας IoT εφαρμογής περιλαμβάνει πολλούς παράγοντες όπως τη δικτύωση, την επικοινωνία, τα επιχειρηματικά μοντέλα και διαδικασίες και την ασφάλεια. Κατά το σχεδιασμό της αρχιτεκτονικής των IoT εφαρμογών πρέπει να ληφθούν υπόψη η δυνατότητα επεκτασιμότητας και διαλειτουργικότητας μεταξύ των ετερογενών συσκευών και τα επιχειρηματικά τους μοντέλα. Λόγω του γεγονότος ότι τα αντικείμενα μπορούν να κινούνται γεωγραφικά και πρέπει να αλληλεπιδρούν με τα άλλα σε πραγματικό χρόνο, η αρχιτεκτονική IoT θα πρέπει να είναι προσαρμοστική ώστε οι συσκευές να αλληλεπιδρούν δυναμικά με άλλα πράγματα και να υποστηρίζουν την ξεκάθαρη επικοινωνία. Επιπλέον, το IoT πρέπει να διαθέτει αποκεντρωμένο και ετερογενή χαρακτήρα. [2]

Σε IoT εφαρμογές, η αρχιτεκτονική προσανατολισμένη στις υπηρεσίες (service-oriented architecture ή σύντομα SoA) μπορεί να είναι επιτακτική για τους παρόχους υπηρεσιών και τους χρήστες. Η SoA εξασφαλίζει τη διαλειτουργικότητα μεταξύ των

ετερογενών συσκευών με πολλούς τρόπους. Το παρακάτω σχήμα παρέχει μία γενική SoA, που αποτελείται από τέσσερα επίπεδα με διακριτές λειτουργίες όπως παρακάτω:



Εικόνα 2.2 Αρχιτεκτονική IoT προσαρμοσμένη στις υπηρεσίες [2]

- Το επίπεδο ανίχνευσης είναι ενσωματωμένο με τα διαθέσιμα αντικείμενα υλικού για να αντιλαμβάνεται τις καταστάσεις των αντικειμένων.
- Το επίπεδο δικτύου είναι η υποδομή που υποστηρίζει ασύρματες ή ενσύρματες συνδέσεις μεταξύ των πραγμάτων.
- Το επίπεδο υπηρεσιών είναι η δημιουργία και διαχείριση υπηρεσιών που απαιτούνται από χρήστες ή εφαρμογές.
- Το επίπεδο των διεπαφών αποτελείται από τις μεθόδους αλληλεπίδρασης με χρήστες ή εφαρμογές.

Η SoA αντιμετωπίζει ένα πολύπλοκο σύστημα ως σύνολο σαφώς καθορισμένων απλών αντικειμένων ή υποσυστημάτων. Αυτά τα αντικείμενα ή υποσυστήματα θα μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν και να συντηρηθούν μεμονωμένα. Ως εκ τούτου, τα στοιχεία λογισμικού και υλικού σε ένα IoT μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν και να αναβαθμιστούν αποτελεσματικά. Λόγω αυτών των πλεονεκτημάτων, η SoA έχει εφαρμοστεί ευρέως ως βασική αρχιτεκτονική για δίκτυα ασύρματων αισθητήρων. Όταν η SoA εφαρμόζεται σε IoT εφαρμογές, έχει σχεδιαστεί με στόχο να παρέχει την επεκτασιμότητα, τη διαρθρωσιμότητα και τη διαλειτουργικότητα μεταξύ ετερογενών αντικειμένων. Το παραπάνω σχήμα παρέχει ένα παράδειγμα SoA που προτείνεται για το IoT και οι λεπτομέρειες των στοιχείων του αναλύονται παρακάτω. [2]

2.3.1 Επίπεδο ανίχνευσης

Το IoT αναμένεται να γίνει ένα παγκόσμιο φυσικό εσωτερικό δίκτυο, στο οποίο τα αντικείμενα συνδέονται άψογα και μπορούν να ελεγχθούν εξ αποστάσεως. Στο επίπεδο ανίχνευσης, τα έξυπνα συστήματα ετικετών ή αισθητήρων μπορούν να ανιχνεύσουν αυτόματα τις συνθήκες περιβάλλοντος και να ανταλλάξουν δεδομένα μεταξύ των συσκευών. [2]

Τα προηγούμενα χρόνια, οι προηγμένες τεχνολογίες ανίχνευσης και επικοινωνίας έκαναν τα αντικείμενα με ταυτοποίηση μέσω ραδιοσυχνοτήτων (radiofrequency identification ή RFID) ή με αισθητήρες πιο ευέλικτα και προσβάσιμα, πράγμα που επεκτείνει τις δυνατότητες του IoT με την έννοια ότι τα αντικείμενα μπορούν να αναγνωριστούν με μοναδικό τρόπο και το τριγύρω περιβάλλον μπορεί να παρακολουθείται για διάφορους σκοπούς και εφαρμογές. Κάθε αντικείμενο του IoT διαθέτει ψηφιακή ταυτότητα και μπορεί εύκολα να εντοπιστεί στον ψηφιακό χώρο. Η τεχνική της εκχωρημένης μοναδικής ταυτότητας σε ένα αντικείμενο ονομάζεται καθολικό μοναδικό αναγνωριστικό (universal unique identifier ή UUID). Συγκεκριμένα, το UUID είναι κρίσιμο για την επιτυχή ανάπτυξη υπηρεσιών σε ένα τεράστιο δίκτυο όπως το IoT. Τα αναγνωριστικά μπορούν να αναφέρονται σε ονόματα και διευθύνσεις. [2]

Κατά τον προσδιορισμό του επιπέδου ανίχνευσης μιας IoT εφαρμογής, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι ακόλουθες πτυχές:

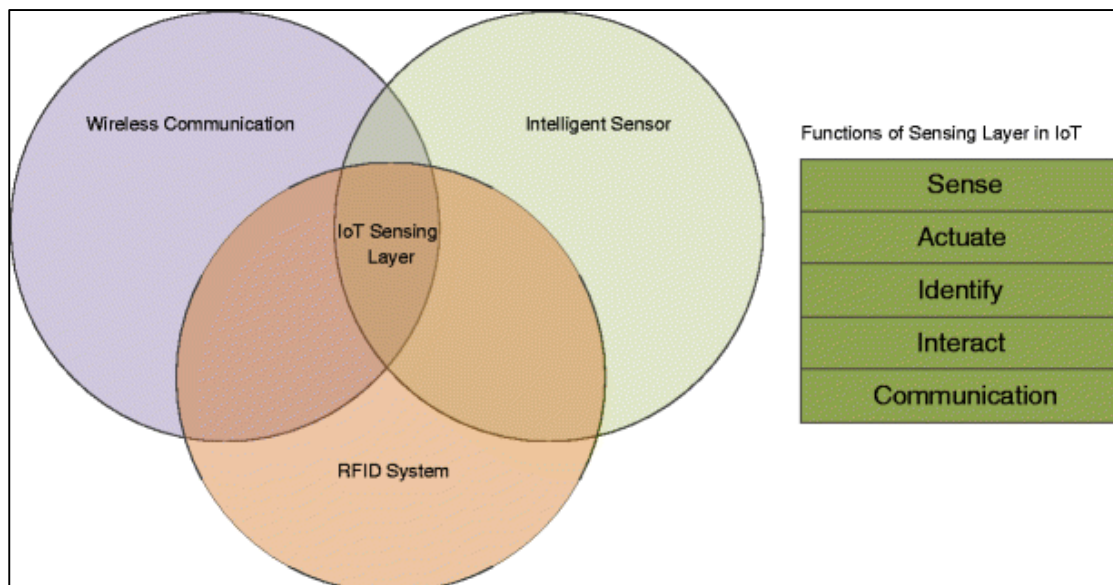
- **Κόστος, μέγεθος, πόροι και κατανάλωση ενέργειας:** Τα αντικείμενα μπορεί να είναι εξοπλισμένα με συσκευές ανίχνευσης όπως ετικέτες RFID ή κόμβο αισθητήρων. Λόγω του μεγάλου αριθμού αισθητήρων σε εφαρμογές σύνθετων συστημάτων, οι έξυπνες συσκευές θα πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε να ελαχιστοποιούν τους απαιτούμενους πόρους καθώς και το κόστος.
- **Ανάπτυξη:** Τα αισθητήρια αντικείμενα (ετικέτες RFID, αισθητήρες κ.λπ.) μπορούν να αναπτυχθούν μόνο μία φορά ή σταδιακά ή τυχαία ανάλογα με τις απαιτήσεις των εφαρμογών.
- **Ανομοιογένεια:** Μία ποικιλία από αντικείμενα με διαφορετικές ιδιότητες μπορεί να κάνει το IoT πολύ ετερογενές.
- **Επικοινωνία:** Οι αισθητήρες πρέπει να είναι μεταδοτικοί για να κάνουν τα αντικείμενα προσβάσιμα και ανακτήσιμα.

- **Δίκτυο:** Τα αντικείμενα οργανώνονται ως δίκτυα πολλαπλών αναπηδήσεων, πλέγματος ή ad hoc. [2]

Καθώς αυξάνεται η κλίμακα του IoT, μπορεί να εμπλακεί ένας μεγάλος αριθμός εξαρτημάτων υλικού και λογισμικού. Ως εκ τούτου, το IoT πρέπει να διαθέτει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- **Ενεργειακή αποδοτικότητα:** Οι αισθητήρες πρέπει να είναι ενεργοί όλη την ώρα για να αποκτήσουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο. Αυτό οδηγεί στην πρόκληση της παροχής ισχύος στους αισθητήρες. Η υψηλή ενεργειακή αποδοτικότητα επιτρέπει στους αισθητήρες να λειτουργούν για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα χωρίς τη διακοπόμενη λειτουργία.
- **Πρωτόκολλα:** Τα διαφορετικά αντικείμενα που υπάρχουν στο IoT παρέχουν πολλαπλές λειτουργίες των συστημάτων. Το IoT πρέπει να υποστηρίζει τη συνύπαρξη διαφορετικών επικοινωνιών, όπως WLAN, ZigBee και Bluetooth.

Από τη σκοπιά του σχεδιασμού υλικού, τα βασικά ζητήματα του σχεδιασμού υλικού είναι ασύρματα αναγνωρίσιμα συστήματα, ετικέτες εξαιρετικά χαμηλού κόστους και αισθητήρες έξυπνων κινητών. [2]



Εικόνα 2.3 Λειτουργίες επιπέδου αντίληψης IoT [2]

2.3.2 Επίπεδο δικτύου

Το επίπεδο δικτύου στο IoT, συνδέει όλα τα αντικείμενα και τους επιτρέπει να αντιλαμβάνονται το περιβάλλον τους. Μέσω του επιπέδου δικτύου, τα αντικείμενα μπορούν να μοιράζονται δεδομένα με τα συνδεδεμένα αντικείμενα, κάτι που είναι ζωτικής σημασίας για τη διαχείριση και επεξεργασία ευφών συμβάντων στο IoT. Επιπλέον, το επίπεδο δικτύου είναι ικανό να συγκεντρώνει δεδομένα από υπάρχουσες υποδομές πληροφορικής. Τα δεδομένα μπορούν στη συνέχεια να διαβιβάζονται στις μονάδες λήψης αποφάσεων για τις πολύπλοκες υπηρεσίες υψηλού επιπέδου. Σε μία SoA, οι υπηρεσίες εκτελούνται πάντα από τα αντικείμενα, τα οποία αναπτύσσονται σε ένα ετερογενές δίκτυο. Σχετικά αντικείμενα μπορούν επίσης να ενσωματωθούν μέσω του Internet. Η επικοινωνία στο δίκτυο μπορεί να περιλαμβάνει την ποιότητα της υπηρεσίας (Quality of Service ή QoS) για την εξασφάλιση αξιόπιστων υπηρεσιών για διαφορετικούς χρήστες ή εφαρμογές. [2]

Από την άλλη πλευρά, είναι σημαντικό για ένα δίκτυο να εντοπίσει και να χαρτογραφήσει αυτόματα τα αντικείμενα στο δίκτυο. Στα αντικείμενα πρέπει να ανατίθενται αυτόματα ρόλοι για την ανάπτυξη, τη διαχείριση και τον προγραμματισμό των συμπεριφορών τους και να παρέχεται δυνατότητα αλλαγής ρόλων ανά πάσα στιγμή. Αυτό επιτρέπει στις συσκευές να εκτελούν εργασίες σε συνεργασία. Στο επίπεδο δικτύου θα πρέπει να αντιμετωπιστούν τα ακόλουθα ζητήματα:

- Τεχνολογίες διαχείρισης δικτύων, συμπεριλαμβανομένης της διαχείρισης σταθερών, ασύρματων, κινητών δικτύων
- Ενεργειακή απόδοση δικτύου
- Απαιτήσεις του QoS
- Τεχνολογίες εξόρυξης και αναζήτησης
- Επεξεργασία δεδομένων και σήματος
- Ασφάλεια και προστασία της ιδιωτικότητας

Μεταξύ αυτών των ζητημάτων, η εμπιστευτικότητα των πληροφοριών και η ασφάλεια της ιδιωτικής ζωής είναι ζωτικής σημασίας λόγω της ανάπτυξης, της κινητικότητας και της πολυπλοκότητάς τους. Για την εμπιστευτικότητα των πληροφοριών, η υπάρχουσα τεχνολογία κρυπτογράφησης που χρησιμοποιείται στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων μπορεί να επεκταθεί και να αναπτυχθεί σε IoT.

Εντούτοις, μπορεί να αυξήσει την πολυπλοκότητα του IoT. Οι υπάρχουσες τεχνολογίες ασφάλειας δικτύων μπορούν να αποτελέσουν τη βάση για την προστασία της ιδιωτικής ζωής και την ασφάλεια στο IoT, αλλά χρειάζεται αρκετή δουλειά. Για παράδειγμα, από τη στιγμή που μια IoT εφαρμογή συνδέει πολλά ιδιωτικά αντικείμενα, δημιουργείται κίνδυνος όσον αφορά την προστασία της ιδιωτικής ζωής. [2]

2.3.3 Επίπεδο υπηρεσιών

Το επίπεδο υπηρεσιών βασίζεται στην τεχνολογία middleware, η οποία αποτελεί βασικό παράγοντα παροχής υπηρεσιών και εφαρμογών στο IoT. Η τεχνολογία middleware παρέχει μια οικονομικά αποδοτική πλατφόρμα, όπου μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν οι πλατφόρμες υλικού και λογισμικού.

Το επίπεδο υπηρεσιών περιλαμβάνει δραστηριότητες που απαιτούνται από τις προδιαγραφές των μεσαίων υπηρεσιών. Οι υπηρεσίες στο επίπεδο υπηρεσιών εκτελούνται απευθείας στο δίκτυο για να εντοπίζουν αποτελεσματικά νέες υπηρεσίες για μια εφαρμογή και να ανακτούν δυναμικά τα μεταδεδομένα σχετικά με τις υπηρεσίες. Οι περισσότερες προδιαγραφές ορίζονται από διάφορα πρότυπα που έχουν αναπτυχθεί από διαφορετικούς οργανισμούς. Ωστόσο, ένα παγκοσμίως αποδεκτό επίπεδο υπηρεσιών είναι σημαντικό για το IoT. Ένα πρακτικό επίπεδο υπηρεσιών αποτελείται από ένα ελάχιστο σύνολο κοινών απαιτήσεων εφαρμογών, διεπαφών προγραμματισμού εφαρμογών (API) και πρωτοκόλλων που υποστηρίζουν τις απαιτούμενες εφαρμογές και υπηρεσίες. [2]

Όλες οι δραστηριότητες που προσανατολίζονται στις υπηρεσίες, όπως η ανταλλαγή και αποθήκευση πληροφοριών, η διαχείριση δεδομένων, η βάση δεδομένων οντολογιών, οι μηχανές αναζήτησης και η επικοινωνία, εκτελούνται στο επίπεδο υπηρεσιών. Οι δραστηριότητες διεξάγονται από τα ακόλουθα στοιχεία:

- Η ανακάλυψη υπηρεσιών εντοπίζει αντικείμενα που μπορούν να παρέχουν τις απαιτούμενες υπηρεσίες και πληροφορίες με αποτελεσματικό τρόπο.
- Η σύνθεση των υπηρεσιών επιτρέπει την αλληλεπίδραση μεταξύ των συνδεδεμένων αντικειμένων. Η ανακάλυψη εκμεταλλεύεται τις σχέσεις των αντικειμένων για να βρει την επιθυμητή υπηρεσία και η σύνθεση της υπηρεσίας προγραμματίζει ή επαναδημιουργεί πιο κατάλληλη υπηρεσία για να αποκτήσει τις πιο αξιόπιστες υπηρεσίες.

- Η διαχείριση της αξιοπιστίας στοχεύει στην κατανόηση του τρόπου επεξεργασίας των πληροφοριών που παρέχονται από άλλες υπηρεσίες.
- Τα API υπηρεσίας παρέχουν τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των υπηρεσιών που απαιτούνται από τους χρήστες. [2]

2.3.4 Επίπεδο διεπαφής

Στο IoT, εμπλέκεται ένας μεγάλος αριθμός συσκευών. Αυτές οι συσκευές μπορούν να παρέχονται από διαφορετικούς πωλητές και συνεπώς δεν συμμορφώνονται πάντοτε με τα ίδια πρότυπα. Το ζήτημα της συμβατότητας μεταξύ των ετερογενών αντικειμένων πρέπει να αντιμετωπιστεί για τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των αντικειμένων. Η συμβατότητα αφορά την ανταλλαγή πληροφοριών, την επικοινωνία και την επεξεργασία συμβάντων. Υπάρχει έντονη ανάγκη για έναν αποτελεσματικό μηχανισμό διασύνδεσης για την απλούστευση της διαχείρισης και της διασύνδεσης των αντικειμένων.

Ένα προφίλ διεπαφής (IFP) μπορεί να θεωρηθεί ως ένα υποσύνολο προτύπων υπηρεσιών που επιτρέπει μια ελάχιστη αλληλεπίδραση με τις εφαρμογές που εκτελούνται στο επίπεδο εφαρμογών. Τα προφίλ των διεπαφών χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν τις προδιαγραφές μεταξύ εφαρμογών και υπηρεσιών. Μια απεικόνιση του επιπέδου διεπαφής είναι η εφαρμογή του Universal Plug and Play (UPnP), το οποίο καθορίζει ένα πρωτόκολλο για τις απρόσκοπτες αλληλεπιδράσεις ανάμεσα σε ετερογενή αντικείμενα. [2]

2.4 Τεχνολογίες ενεργοποίησης

2.4.1 Τεχνολογίες αναγνώρισης και παρακολούθησης

Η έννοια του IoT σχεδιάστηκε με βάση τις τεχνολογίες αναγνώρισης και εντοπισμού που ενεργοποιούνται από το RFID. Ένα βασικό σύστημα RFID αποτελείται από έναν αναγνώστη RFID και μια ετικέτα RFID. Λόγω της ικανότητάς του να εντοπίζει, να ανιχνεύει και να παρακολουθεί, το σύστημα RFID εφαρμόστηκε ευρέως στην εφοδιαστική, όπως η παρακολούθηση των συσκευασιών, η διαχείριση της αλυσίδας εφοδιασμού, οι εφαρμογές υγειονομικής περίθαλψης κλπ. Ένα σύστημα RFID θα μπορούσε να παρέχει επαρκείς πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο σχετικά με τα αντικείμενα στο IoT, οι οποίες είναι πολύ χρήσιμες για τους κατασκευαστές,

τους διανομείς και τους εμπόρους λιανικής πώλησης. Για παράδειγμα, η εφαρμογή RFID στη διαχείριση της αλυσίδας εφοδιασμού μπορεί να βελτιώσει τη διαχείριση αποθεμάτων. Ορισμένα γνωστά πλεονεκτήματα περιλαμβάνουν μειωμένο κόστος εργασίας, απλοποιημένες επιχειρηματικές διαδικασίες και βελτιωμένη αποτελεσματικότητα. [2]

Η επόμενη γενιά της τεχνολογίας RFID θα επικεντρωθεί στη χρήση στοιχείων RFID σε επίπεδο αντικειμένων και σε θέματα διαχείρισης με γνώμονα την RFID. Παρόλο που η τεχνολογία RFID χρησιμοποιείται με επιτυχία σε πολλούς τομείς, εξακολουθεί να εξελίσσεται στην ανάπτυξη ενεργών συστημάτων και τεχνολογιών διαχείρισης. Άλλα αναγνωρισμένα προβλήματα που πρέπει να επιλυθούν για τη χρήση του RFID σε IoT εφαρμογές είναι:

- **Σύγκρουση αναγνώσεων RFID:** Καλύπτει τις συγκρούσεις μεταξύ συσκευών ανάγνωσης RFID ή ετικετών RFID και πολλαπλών αναγνώσεων της ίδιας ετικέτας RFID.
- **Παρεμβολές σήματος:** Οι παρεμβολές συμβαίνουν σε ένα σύστημα RFID ή σε άλλες συσκευές που βασίζονται σε ραδιοσυχνότητες.
- **Προστασία προσωπικών δεδομένων:** Καλύπτει την ιδιωτικότητα των πελατών και την εμπιστευτικότητα των ετικετών RFID που μπορούν να σαρωθούν από εξουσιοδοτημένους σαρωτές RFID.
- **Πρότυπα:** Δεν υπάρχουν ακόμη καθολικά ισχύοντα πρότυπα για τα RFID.
- **Ενσωμάτωση:** Η ενσωμάτωση RFID και έξυπνων αισθητήρων. [2]

2.4.2 Ενσωμάτωση WSN και RFID

Πολλοί τύποι έξυπνων αισθητήρων έχουν αναπτυχθεί με βάση τις φυσικές αρχές των υπερύθρων ακτινών, ακτινών γ, πίεσης, κραδασμών, ηλεκτρομαγνητισμού, βιοαισθητήρων και ακτινών X. Τα δεδομένα από αυτούς τους αισθητήρες στο IoT μπορούν να αποκτηθούν και να ενσωματωθούν για ανάλυση, λήψη αποφάσεων και αποθήκευση. Παραδείγματα αισθητήρων με ενσωματωμένο RFID είναι αισθητήρες εντοπισμού On / Off board, ετικέτες αισθητήρων, ανεξάρτητες συσκευές ετικετών και αισθητήρων και συστήματα ανάγνωσης RFID. [2]

Η ενσωμάτωση των αισθητήρων και το RFID ενδυναμώνουν το IoT στην υλοποίηση των βιομηχανικών υπηρεσιών και στην περαιτέρω ανάπτυξη υπηρεσιών σε εκτεταμένες εφαρμογές. Η ενσωμάτωση του IoT με τα RFID και τα WSN καθιστά

δυνατή την ανάπτυξη εφαρμογών IoT στην υγειονομική περίθαλψη, στη λήψη αποφάσεων σύνθετων συστημάτων και έξυπνων συστημάτων όπως η έξυπνη μεταφορά, η έξυπνη πόλη ή τα έξυπνα συστήματα αποκατάστασης. [2]

2.4.3 Επικοινωνίες

Οι συσκευές υλικού περιλαμβάνουν πολύ διαφοροποιημένες προδιαγραφές όσον αφορά την επικοινωνία, υπολογιστικές διαδικασίες, τη μνήμη και την ικανότητα αποθήκευσης δεδομένων ή τις δυνατότητες μετάδοσης. Μια εφαρμογή IoT αποτελείται από πολλούς τύπους συσκευών. Όλοι οι τύποι συσκευών υλικού πρέπει να είναι καλά οργανωμένοι μέσω του δικτύου και να είναι προσβάσιμοι μέσω της διαθέσιμης επικοινωνίας. Συνήθως, οι συσκευές μπορούν να οργανωθούν από πύλες για σκοπούς επικοινωνίας μέσω του Διαδικτύου. [2]

Το IoT μπορεί να είναι μια συνάθροιση ετερογενών δικτύων, όπως WSN, ασύρματα δίκτυα mesh, κινητά δίκτυα και WLAN. Αυτά τα δίκτυα βοηθούν τα αντικείμενα στην εκπλήρωση πολύπλοκων δραστηριοτήτων όπως η λήψη αποφάσεων, υπολογιστικές διαδικασίες και η ανταλλαγή δεδομένων. Επιπλέον, η αξιόπιστη επικοινωνία μεταξύ της πύλης και των αντικειμένων είναι απαραίτητη για να ληφθεί μια κεντρική απόφαση σε σχέση με το IoT. Η πύλη είναι ικανή να εκτελεί τοπικά τον περίπλοκο αλγόριθμο βελτιστοποίησης τοπικά εκμεταλλευόμενη τις γνώσεις του δικτύου που έχει. Η υπολογιστική πολυπλοκότητα μετατοπίζεται από τα αντικείμενα στην πύλη. Η συνολική βέλτιστη διαδρομή και οι τιμές παραμέτρων για την πύλη μπορούν να ληφθούν. Αυτό είναι εφικτό, αφού η περιοχή της πύλης έχει μεγαλύτερο μέγεθος της τάξεως μερικών δεκάδων σε σύγκριση με τα μεγέθη των αντικειμένων.

Οι δυνατότητες υλικού και οι απαιτήσεις επικοινωνίας διαφέρουν από έναν τύπο συσκευής σε έναν άλλο. Τα αντικείμενα στο IoT μπορούν να έχουν πολύ διαφορετικές δυνατότητες για τις υπολογιστικές διαδικασίες, τη μνήμη, την ισχύ ή την επικοινωνία. Για παράδειγμα, ένα κινητό τηλέφωνο ή tablet έχει πολύ καλύτερες δυνατότητες επικοινωνίας και υπολογισμών από ένα ηλεκτρονικό προϊόν ενιαίου προορισμού, όπως ρολόι παρακολούθησης καρδιακού ρυθμού. Ομοίως, τα αντικείμενα μπορούν να έχουν πολύ διαφορετικές απαιτήσεις της ποιότητας της υπηρεσίας (QoS), ιδίως όσον αφορά τις καθυστερήσεις, την κατανάλωση ενέργειας και την αξιοπιστία. Για παράδειγμα, η ελαχιστοποίηση της χρήσης ενέργειας για λόγους επικοινωνίας / υπολογισμού είναι ένας σημαντικός περιορισμός για τις

συσκευές που τροφοδοτούνται με μπαταρία χωρίς αποτελεσματικές τεχνικές συγκομιδής ενέργειας. Αυτός ο περιορισμός ενέργειας δεν είναι κρίσιμος για τις συσκευές με σύνδεση παροχής ρεύματος. [2]

Το IoT θα επωφεληθεί επίσης πολύ από τα υπάρχοντα πρωτόκολλα στο Διαδίκτυο, όπως το IPv6. Τα κοινώς χρησιμοποιούμενα πρωτόκολλα και πρότυπα επικοινωνίας περιλαμβάνουν:

- RFID (π.χ., ISO 18000 6c EPC κατηγορίας 1 Gen2),
- NFC, IEEE 802.11 (WLAN), IEEE 802.15.4 (ZigBee), IEEE 802.15.1 (Bluetooth)
- Πολλαπλά ασύρματα δίκτυα αισθητήρων / ματιών
- IETF ασύρματα δίκτυα προσωπικών χώρων χαμηλής κατανάλωσης (6LoWPAN)
- Μηχανή σε μηχανή (M2M)
- Παραδοσιακές τεχνολογίες IP, όπως IP, IPv6, κλπ. [2]

Οι λεπτομέρειες των τεχνολογιών επικοινωνίας βρίσκονται στον Πίνακα 2.1.

Communication Protocols	Transmission rate	Spectrum	Transmission range
RFID	424 kbps	135 Khz	>50 cm
		13.56 MHz,	>50 cm
		866–960 MHz	>3 m
		2.4 Ghz	>1.5 m
NFC	100 kbps–10 Mbps	2.45 GHz	
ZigBee	256 kbps/20 kbps	2.4 GHz/900 MHz	10 m
Bluetooth	1 Mbps	2.4 GHz	10 m
BLE	10 kbps	2.4 GHz	10 m
UWB	50 Mbps	Wide range	30 m
WiFi	50–320 Mbps	2.4/5.8 GHz	100 m
Wi-Max	70 Mbps	2–11 GHz	50 km
UMTS/CDMA/EDGE/MBWA	2 Mbps	896 MHz	~

Πίνακας 2.1 Τεχνολογίες επικοινωνιών για IoT [2]

2.4.4 Δίκτυα

Υπάρχουν πολλά πρωτόκολλα διασταυρούμενων επιπέδων για τα ασύρματα δίκτυα, τα ασύρματα πεπλεγμένα δίκτυα (WMN) ή τα δίκτυα ad hoc (AHN). Ωστόσο, δεν μπορούν να εφαρμοστούν στο IoT λόγω πολλών λόγων. Πρώτον, η ετερογένεια του IoT οφείλεται στο γεγονός ότι τα αντικείμενα έχουν διαφοροποιήσει σε μεγάλο βαθμό τις διαμορφώσεις υλικού, τις απαιτήσεις QoS, τις λειτουργίες και τους στόχους. Από την άλλη πλευρά, οι κόμβοι σε ένα WSN συνήθως έχουν παρόμοιες προδιαγραφές υλικού, παρόμοιες απαιτήσεις επικοινωνίας και κοινό στόχο. Δεύτερον, το Διαδίκτυο ασχολείται με το IoT, από το οποίο κληρονομεί μια κεντρική και ιεραρχική αρχιτεκτονική. Συγκριτικά, τα WSN, WMN και AHN έχουν σχετικά επίπεδες αρχιτεκτονικές δικτύων όπου οι κόμβοι σε αυτά τα δίκτυα επικοινωνούν με τρόπο πολλαπλών αναπηδήσεων και το Internet δεν εμπλέκεται.

2.4.5 Διαχείριση υπηρεσιών

Η διαχείριση υπηρεσιών αναφέρεται στην υλοποίηση και τη διαχείριση των υπηρεσιών που ανταποκρίνονται στις ανάγκες των χρηστών ή των εφαρμογών. Η SoA μπορεί να προωθήσει στην ενθουσία των υπηρεσιών. Η ενθουσία επιτρέπει να κρυφτούν οι λεπτομέρειες των υπηρεσιών, όπως η εφαρμογή και τα πρωτόκολλα, πίσω από τις περιπτώσεις υπηρεσιών. Η SoA επιτρέπει στις εφαρμογές να χρησιμοποιούν ετερογενή αντικείμενα ως συμβατές υπηρεσίες. Από την άλλη πλευρά, η δυναμική φύση των εφαρμογών IoT απαιτεί το IoT να μπορεί να παρέχει αξιόπιστες και συνεπείς υπηρεσίες. Το IoT μπορεί να επωφεληθεί από μια αποτελεσματική αρχιτεκτονική προσανατολισμένη προς τις υπηρεσίες, για να αποφευχθούν αποτυχίες από διαταραχές της συσκευής ή εξάντληση της μπαταρίας. [2]

2.4.5.1 Δυναμική σύνθεση υπηρεσιών

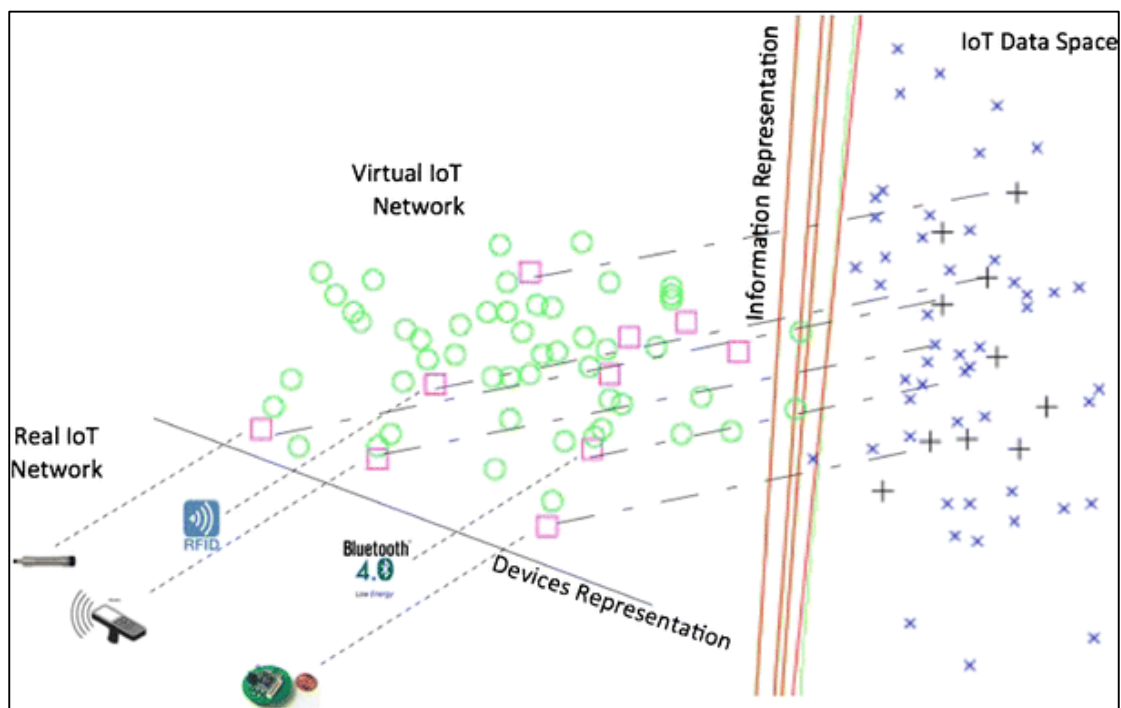
Η πλατφόρμα Open Services Gateway initiative (OSGi) παρέχει μια δυναμική αρχιτεκτονική SoA, ικανή να υποστηρίξει έξυπνες υπηρεσίες. Οι επιτυχημένες εφαρμογές στον κλάδο του λογισμικού έχουν δείξει την αποτελεσματικότητα και τη διάρθρωση του OSGi σε διαφοροποιημένους τομείς όπως οι κινητές εφαρμογές, plugins και διακομιστές εφαρμογών. Για το IoT, η σύνθεση υπηρεσιών που βασίζεται στην πλατφόρμα OSGi μπορεί να υλοποιηθεί από το Apache Felix iPoJo. [2]

2.4.5.2 Αρχιτεκτονική διαχείρισης υπηρεσιών

Υπάρχει μια ποικιλία αρχιτεκτονικών διαχείρισης υπηρεσιών που συμβάλλει στο IoT, όπως η αρχιτεκτονική της IBM με έναν ελεγκτή ακρών RFID. Επίσης, έχει προταθεί η αρχιτεκτονική των υπηρεσιών βασισμένη σε αναγνώστες RFID και αισθητήρες. [2]

2.4.5.3 Αναγνώριση και εκτέλεση υπηρεσιών

Το IoT είναι προσανατολισμένο στην υπηρεσία και το υποχρεωτικό υποσύνολο του μελλοντικού Διαδικτύου - κάθε εικονικό και φυσικό αντικείμενο μπορεί να επικοινωνεί με άλλα αντικείμενα που παρέχουν απρόσκοπτη εξυπηρέτηση σε άλλα αντικείμενα. Εκατομμύρια συσκευές στο IoT πρέπει να είναι αμοιβαία διαλειτουργικές. Η SoA καθιστά δυνατό για κάθε αντικείμενο να προσφέρει τις λειτουργίες του ως βασικές υπηρεσίες. Για να οργανωθούν οι υπηρεσίες που παρέχουν τα πραγματικά αντικείμενα, κάθε υπηρεσία μπορεί να αναγνωριστεί με μοναδικό τρόπο από ένα εικονικό στοιχείο στο διαδίκτυο. Το παρακάτω σχήμα δείχνει ένα πραγματικό αντικείμενο και την εικονική αναπαράστασή του στο IoT.



Εικόνα 2.4 Χαρτογράφηση αντικειμένων στο IoT [2]

Στο IoT, οι υπηρεσίες μπορούν να δημιουργηθούν και να αναπτυχθούν μέσω των ακόλουθων βημάτων:

1. ανάπτυξη των πλατφορμών σύνθεσης υπηρεσιών,
2. απόσπαση των λειτουργιών και των δυνατοτήτων επικοινωνίας της συσκευής,
3. παροχή ενός κοινού συνόλου υπηρεσιών. Οι υπηρεσίες προσδιορίζουν τη διαχείριση, η οποία περιλαμβάνει τη διαχείριση του πλαισίου και την ταξινόμηση αντικειμένων.

Το IoT δημιουργεί μια κατοπτρική εικόνα για κάθε πραγματικό αντικείμενο με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι διαθέσιμη η εκ νέου δημιουργία του συγχρονισμού. [2]

Μια υπηρεσία στο IoT μπορεί να θεωρηθεί ως συλλογή δεδομένων και σχετικών συμπεριφορών για την πραγματοποίηση μιας συγκεκριμένης λειτουργίας ή ενός χαρακτηριστικού μιας συσκευής ή τμημάτων μιας συσκευής. Σε γενικές γραμμές, οι υπηρεσίες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο τύπους: κύριες και δευτερεύουσες υπηρεσίες. Ο πρώτος χαρακτηρίζει τις υπηρεσίες που εκθέτουν τις πρωταρχικές λειτουργίες σε έναν κόμβο, ο οποίος μπορεί να θεωρηθεί ως το βασικό στοιχείο των υπηρεσιών και μπορεί να συμπεριληφθεί από μια άλλη υπηρεσία. Μια δευτερεύουσα υπηρεσία μπορεί να παρέχει βοηθητικές λειτουργίες σε κύρια υπηρεσία ή σε άλλες δευτερεύουσες υπηρεσίες. Μία υπηρεσία μπορεί να χρησιμοποιεί άλλες κύριες ή δευτερεύουσες υπηρεσίες ή / και ένα σύνολο χαρακτηριστικών που συνθέτουν την υπηρεσία. Στο IoT, κάθε υπηρεσία μπορεί να αποτελείται από ένα ή περισσότερα χαρακτηριστικά, τα οποία καθορίζουν χαρακτηριστικά υπηρεσίας, όπως δομή δεδομένων, δικαιώματα, περιγραφείς κλπ. [2]

Τα χαρακτηριστικά μιας υπηρεσίας περιλαμβάνουν τρία συστατικά:

- Η δήλωση περιγράφει τις ιδιότητες της χαρακτηριστικής τιμής όπως η ανάγνωση, η εγγραφή, ο δείκτης, καθώς και οι τύποι τιμών.
- Εκτιμώμενες τιμές για ιδιότητες.
- Ο περιγραφέας παρέχει πληροφορίες σχετικά με τα χαρακτηριστικά. [2]

2.4.5.4 Ενσωμάτωση των τεχνολογιών των υπηρεσιών

Το προσανατολισμένο στις υπηρεσίες IoT επεκτείνει την υπάρχουσα αρχιτεκτονική του IoT με μοναδικά χαρακτηριστικά προσανατολισμένα στις υπηρεσίες. Οι γνώσεις σχετικά με τις υπηρεσίες σε μια τέτοια αρχιτεκτονική πρέπει να αντιπροσωπεύονται

κατάλληλα ώστε να υποστηρίξουν την ανακάλυψη, την ανίχνευση, την ταξινόμηση, τη σύνθεση και τις δοκιμές.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η αρχιτεκτονική του IoT περιλαμβάνει τέσσερα επίπεδα: επίπεδο διεπαφής, επίπεδο υπηρεσιών, επίπεδο δικτύου και επίπεδο ανίχνευσης. Το επίπεδο διεπαφής παρέχει διεπαφή σε εξωτερικές εφαρμογές, υπηρεσίες κλπ. Το επίπεδο υπηρεσιών παρέχει τις λειτουργίες που είναι ενσωματωμένες στην εφαρμογή του IoT. Το επίπεδο υπηρεσιών συνδέεται με τα εξαρτήματα μοντελοποίησης για τις επιχειρηματικές διαδικασίες που λαμβάνουν υπόψιν το IoT. Οι διαδικασίες μπορούν να εκτελεστούν στα εξαρτήματα εκτέλεσης διαδικασίας. Το επίπεδο δικτύου περιέχει τρία βασικά στοιχεία: ρυθμίσεις οντότητας υπηρεσίας, εικονική οντότητα και πληροφορίες και πόρους. Η ρύθμιση και η πρόσβαση των υπηρεσιών σε εξωτερικές οντότητες και υπηρεσίες οργανώνεται από το αντίστοιχο εξάρτημα. Το στοιχείο της εικονικής οντότητας (VE) λειτουργεί για να συσχετίσει τις VE με τις σχετικές υπηρεσίες. Είναι επίσης ένα μέσο αναζήτησης τέτοιων υπηρεσιών. Η ενότητα πόρων παρέχει τις λειτουργίες που απαιτούνται από τις υπηρεσίες για την επεξεργασία πληροφοριών και την ειδοποίηση του λογισμικού εφαρμογών και υπηρεσιών σχετικά με γεγονότα που αφορούν τους πόρους και τις εικονικές οντότητες. Τέλος, το επίπεδο ανίχνευσης περιλαμβάνει συσκευές ανίχνευσης, όπως ετικέτες RFID, κόμβους αισθητήρων κλπ, που μπορούν να καταγράψουν, συλλέξουν και επεξεργαστούν παρατηρήσεις και μετρήσεις. Το επίπεδο του δικτύου είναι σε θέση να έχει πρόσβαση στο επίπεδο ανίχνευσης με επιπέδου συσκευής API, το οποίο παρέχει ανταλλαγές δεδομένων μεταξύ των εφαρμογών στον πραγματικό κόσμο. [2]

2.4.6 Ασφάλεια και ιδιωτικότητα

Για το IoT, η ασφάλεια και η ιδιωτικότητα αποτελούν δύο σημαντικές προκλήσεις. Για την ενσωμάτωση των συσκευών του επιπέδου ανίχνευσης ως εγγενών τμημάτων του IoT, η αποτελεσματική τεχνολογία ασφάλειας είναι απαραίτητο να εξασφαλίζει την ασφάλεια και της προστασία της ιδιωτικής ζωής σε διάφορες δραστηριότητες όπως οι προσωπικές δραστηριότητες, οι επιχειρηματικές διαδικασίες, οι μεταφορές και η προστασία των πληροφοριών. Οι IoT εφαρμογές ενδέχεται να επηρεαστούν από εκτεταμένες απειλές, όπως επιθέσεις ετικετών RFID και διαρροή δεδομένων. Στα συστήματα RFID, έχουν προταθεί διάφορα συστήματα ασφάλειας και πρωτόκολλα

ελέγχου ταυτότητας για την αντιμετώπιση απειλών κατά της ασφάλειας. Για παράδειγμα, έχει προταθεί η μέθοδος της "ετικέτας μπλοκ" για την αποτροπή της μη εξουσιοδοτημένης ανίχνευσης. Από την άλλη πλευρά, έχουν προταθεί χαμηλού κόστους αλγόριθμοι κρυπτογράφησης συμμετρικού κλειδιού, όπως ο μικροσκοπικός αλγόριθμος κρυπτογράφησης (TEA) και το πρότυπο κρυπτογράφησης Advance Encryption Standard (AES), για την προστασία της ανταλλαγής δεδομένων. Εκτός αυτού, η χαμηλού κόστους ετικέτα RFID έχει εφαρμόσει κάποιον αλγόριθμο ασύμμετρης κρυπτογραφίας κλειδιού όπως η κρυπτογράφηση ελλειπτικής καμπύλης (ECC) στην ασφάλεια. Από την άλλη πλευρά, τα πρωτόκολλα ασφαλείας που αναπτύχθηκαν για το WSN μπορούν να ενσωματωθούν ως εγγενές τμήμα του IoT. Οι ακόλουθες δύο πτυχές απαιτούν περαιτέρω μελέτη: η προσαρμογή των υπαρχόντων προτύπων Διαδικτύου για διαλειτουργικά πρωτόκολλα και η διασφάλιση της ασφάλειας για συμπαγείς υπηρεσίες. Οι προκλήσεις όσον αφορά την ασφάλεια και την προστασία της ιδιωτικής ζωής συνοψίζονται στα εξής: αντοχή στις επιθέσεις, εξακρίβωση στοιχείων, έλεγχος πρόσβασης και προστασία της ιδιωτικής ζωής των πελατών. [2]

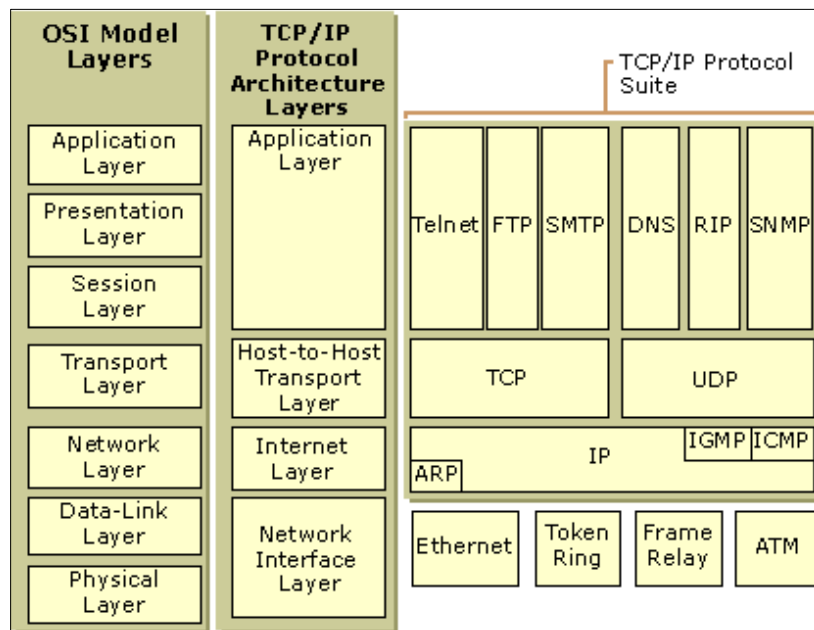
2.5 Internet Protocol

2.5.1 Εισαγωγή

Στο Κεφάλαιο 2.4.4 αναφέρθηκαν ορισμένα πρωτόκολλα και πρότυπα επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται σε Internet of Things εφαρμογές. Ειδική μνεία θα γίνει στο Internet Protocol αφού είναι και αυτό που χρησιμοποιείται για την επικοινωνία του συστήματος της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας. Η σουίτα πρωτοκόλλου Internet είναι το εννοιολογικό πρότυπο και σύνολο πρωτοκόλλων επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται στο Διαδίκτυο και σε παρόμοια δίκτυα υπολογιστών. Είναι κοινώς γνωστό ως TCP / IP, επειδή τα αρχικά πρωτόκολλα στη σουίτα είναι το πρωτόκολλο ελέγχου μετάδοσης (TCP) και το πρωτόκολλο Internet (IP). [4]

Η σουίτα πρωτοκόλλου Internet παρέχει επικοινωνία δεδομένων από άκρο σε άκρο, καθορίζοντας τον τρόπο με τον οποίο πρέπει να πακετοποιηθούν, να αντιμετωπιστούν, να μεταδοθούν, να δρομολογηθούν και να ληφθούν τα δεδομένα. Αυτή η λειτουργικότητα είναι οργανωμένη σε τέσσερα επίπεδα που χρησιμοποιούνται για την ταξινόμηση όλων των σχετικών πρωτοκόλλων ανάλογα με

το πεδίο εφαρμογής της δικτύωσης. Από το χαμηλότερο στο υψηλότερο, τα επίπεδα είναι το επίπεδο συνδέσμου (link layer), που περιέχει μεθόδους επικοινωνίας για δεδομένα που παραμένουν σε ένα μόνο τμήμα δικτύου (link). Το επίπεδο Διαδικτύου (Internet layer), που συνδέει ανεξάρτητα δίκτυα, παρέχοντας έτσι τη διαδικτυακή δικτύωση. Το επίπεδο μεταφοράς (transport layer) που χειρίζεται την επικοινωνία μεταξύ κεντρικού υπολογιστή και κεντρικού υπολογιστή. Και το επίπεδο εφαρμογής (application layer), το οποίο παρέχει ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ επεξεργασίας για εφαρμογές. [4]



Εικόνα 2.5 Αρχιτεκτονική TCP/IP πρωτοκόλλου [5]

2.5.2 Link layer

Το link layer (που ονομάζεται επίσης και Network interface layer) είναι υπεύθυνο για τοποθέτηση πακέτων TCP / IP στο μέσο δικτύου και λήψης πακέτων TCP / IP από το μέσο δικτύου. Το TCP / IP σχεδιάστηκε για να είναι ανεξάρτητο από τη μέθοδο πρόσβασης στο δίκτυο, τη μορφή πλαισίου και το μέσο. Με τον τρόπο αυτό, το TCP / IP μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σύνδεση διαφορετικών τύπων δικτύου. Αυτές περιλαμβάνουν τεχνολογίες LAN, όπως τεχνολογίες Ethernet και Token Ring και τεχνολογίες WAN, όπως το X.25 και το Frame Relay. Η ανεξαρτησία από οποιαδήποτε συγκεκριμένη τεχνολογία δικτύου δίνει την δυνατότητα προσαρμογής του TCP / IP σε νέες τεχνολογίες όπως η λειτουργία ασύγχρονης μεταφοράς (ATM). [5]

2.5.3 Internet layer

Το Internet layer είναι υπεύθυνο για τις λειτουργίες διευθυνσιοδότησης, συσκευασίας και δρομολόγησης. Τα βασικά πρωτόκολλα του Internet layer είναι IP, ARP, ICMP και IGMP.

- Το πρωτόκολλο Internet (IP) είναι ένα δρομολογητέο πρωτόκολλο υπεύθυνο για την διεύθυνση IP, τη δρομολόγηση και τον κατακερματισμό και την ανασυγκρότηση των πακέτων.
- Το πρωτόκολλο ανάλυσης διεθύνσεων (ARP) είναι υπεύθυνο για την ανάλυση της διεύθυνσης επιπέδου Internet σε διεύθυνση επιπέδου σύνδεσης, όπως μια διεύθυνση υλικού.
- Το πρωτόκολλο μηνυμάτων ελέγχου Internet (ICMP) είναι υπεύθυνο για την παροχή λειτουργιών διάγνωσης και την αναφορά σφαλμάτων λόγω της ανεπιτυχούς παράδοσης πακέτων IP.
- Το Πρωτόκολλο Διαχείρισης Ομάδας Διαδικτύου (IGMP) είναι υπεύθυνο για τη διαχείριση ομάδων IP multicast.

Το Internet layer είναι ανάλογο με το Network layer του μοντέλου OSI. [5]

2.5.4 Transport layer

Το transport layer (γνωστό και ως Host-to-Host transport layer) είναι υπεύθυνο για την παροχή του application layer με υπηρεσίες επικοινωνίας, συνεδρίας και πακέτων. Τα βασικά πρωτόκολλα του transport layer είναι το πρωτόκολλο ελέγχου μετάδοσης (TCP) και το πρωτόκολλο User Datagram Protocol (UDP).

- Το TCP παρέχει μια αξιόπιστη one-to-one, με σύνδεση, υπηρεσία επικοινωνίας. Το TCP είναι υπεύθυνο για τη δημιουργία μιας σύνδεσης TCP, την αλληλουχία και την αναγνώριση των πακέτων που αποστέλλονται και την ανάκτηση των πακέτων που χάνονται κατά τη διάρκεια της μετάδοσης.
- Το UDP παρέχει μια αναξιόπιστη υπηρεσία επικοινωνίας one-to-one ή one-to-many, χωρίς σύνδεση. Το UDP χρησιμοποιείται όταν η ποσότητα των δεδομένων που μεταφέρονται είναι μικρή (όπως τα δεδομένα που θα χωρέσουν σε ένα μόνο πακέτο), όταν δεν είναι επιθυμητό το γενικό κόστος εγκατάστασης μιας σύνδεσης TCP ή όταν οι εφαρμογές ή τα πρωτόκολλα του ανώτερου επιπέδου παρέχουν αξιόπιστη παράδοση.

Το transport layer περιλαμβάνει ευθύνες του OSI Transport layer και ορισμένες από τις ευθύνες του OSI Session layer. [5]

2.5.5 Application layer

Το application layer παρέχει στις εφαρμογές τη δυνατότητα πρόσβασης στις υπηρεσίες των άλλων επιπέδων και ορίζει τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούν οι εφαρμογές για την ανταλλαγή δεδομένων. Υπάρχουν πολλά application layer πρωτόκολλα και νέα πρωτόκολλα βρίσκονται σε εξέλιξη.

Τα πιο γνωστά application layer πρωτόκολλα είναι αυτά που χρησιμοποιούνται για την ανταλλαγή πληροφοριών χρηστών:

- Το πρωτόκολλο μεταφοράς υπερκειμένου (HTTP) χρησιμοποιείται για τη μεταφορά αρχείων που αποτελούν τις ιστοσελίδες του World Wide Web. [5]
- Το πρωτόκολλο μεταφοράς αρχείων (FTP) χρησιμοποιείται για τη διαλογική μεταφορά αρχείων. [5]
- Το Secure Shell (SSH) είναι ένα κρυπτογραφικό πρωτόκολλο δικτύου για την ασφαλή λειτουργία των υπηρεσιών δικτύου μέσω ενός μη ασφαλούς δικτύου. Το SSH παρέχει ένα ασφαλές κανάλι μέσω ενός μη ασφαλούς δικτύου σε μια αρχιτεκτονική πελάτη-διακομιστή, συνδέοντας μια εφαρμογή πελάτη SSH με ένα διακομιστή SSH. [6]
- Το HTTPS (αποκαλούμενο επίσης HTTP over Transport Layer Security (TLS), HTTP over SSL και HTTP Secure) είναι επίσης ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας για ασφαλή επικοινωνία μέσω ενός δικτύου υπολογιστών, το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως για τη σύνδεση στο Διαδίκτυο. Το HTTPS αποτελείται από επικοινωνία μέσω του πρωτοκόλλου HTTP (Hypertext Transfer Protocol) σε μια σύνδεση κρυπτογραφημένη από την υπηρεσία Transport Layer Security ή από τον προκάτοχό της Secure Sockets Layer. Το κύριο κίνητρο για το HTTPS είναι ο έλεγχος ταυτότητας του ιστοτόπου που επισκέπτεται ο χρήστης και η προστασία της ιδιωτικής ζωής και της ακεραιότητας των ανταλλασσόμενων δεδομένων. [7]
- Το πρωτόκολλο μεταφοράς απλής αλληλογραφίας (SMTP) χρησιμοποιείται για τη μεταφορά μηνυμάτων ηλεκτρονικού ταχυδρομείου και συνημμένων. [5]

Επιπλέον, τα παρακάτω application layer πρωτόκολλα βοηθούν στη διευκόλυνση της χρήσης και διαχείρισης δικτύων TCP / IP:

- Το σύστημα ονομάτων τομέα (DNS) χρησιμοποιείται για την ανάλυση ενός ονόματος κεντρικού υπολογιστή σε μια διεύθυνση IP.

- Το πρωτόκολλο πληροφοριών δρομολόγησης (RIP) είναι ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης που χρησιμοποιούν οι δρομολογητές για την ανταλλαγή πληροφοριών δρομολόγησης σε ένα εσωτερικό δίκτυο IP.
- Το πρωτόκολλο απλής διαχείρισης δικτύου (SNMP) χρησιμοποιείται μεταξύ μιας κονσόλας διαχείρισης δικτύου και συσκευών δικτύου για τη συλλογή και την ανταλλαγή πληροφοριών διαχείρισης δικτύου. [5]

2.6 Εφαρμογές IoT

Το IoT έχει εφαρμογές σε όλους τους κλάδους και τις αγορές. Εκτείνεται από ομάδες χρηστών που θέλουν να μειώσουν τη χρήση ενέργειας στο σπίτι τους σε μεγάλους οργανισμούς που θέλουν να εξορθολογήσουν τις δραστηριότητές τους. Αποδεικνύεται όχι μόνο χρήσιμο, αλλά σχεδόν κρίσιμο σε πολλές βιομηχανίες καθώς η τεχνολογία προχωράει και κινούμαστε προς την προηγμένη αυτοματοποίηση όπως είναι οραματισμένη στο μακρινό μέλλον. Ενδεικτικά παρουσιάζονται ορισμένοι τομείς στους οποίους το IoT μπορεί να δώσει σημαντικές λύσεις.

2.6.1 Εφαρμογές στα Μέσα ενημέρωσης, Marketing και Διαφήμιση

Οι εφαρμογές του IoT στα μέσα ενημέρωσης και στη διαφήμιση περιλαμβάνουν το σύστημα που αναλύει και ανταποκρίνεται στις ανάγκες και τα συμφέροντα κάθε πελάτη. Σ' αυτό περιλαμβάνονται τα γενικά πρότυπα συμπεριφοράς, οι αγοραστικές συνήθειες, οι προτιμήσεις, η κουλτούρα και άλλα χαρακτηριστικά.

Το IoT λειτουργεί με παρόμοιο και βαθύτερο τρόπο με την τρέχουσα τεχνολογία, τα αναλυτικά στοιχεία και τα μεγάλα δεδομένα. Οι υπάρχουσες τεχνολογίες συλλέγουν συγκεκριμένα δεδομένα για την παραγωγή σχετικών μετρήσεων και σχεδίων με την πάροδο του χρόνου, ωστόσο, τα δεδομένα συχνά στερούνται βάθους και ακρίβειας. Το IoT βελτιώνει αυτό το στοιχείο με την παρατήρηση περισσότερων συμπεριφορών και την ανάλυση τους με διαφορετικό τρόπο.

- Αυτό οδηγεί σε περισσότερες πληροφορίες και λεπτομέρειες, οι οποίες παρέχουν πιο αξιόπιστες μετρήσεις και μοτίβα.
- Επιτρέπει στους οργανισμούς να αναλύουν καλύτερα και να ανταποκρίνονται στις ανάγκες ή τις προτιμήσεις των πελατών.

- Βελτιώνει την παραγωγικότητα και τη στρατηγική της επιχείρησης και βελτιώνει την εμπειρία των καταναλωτών παρέχοντας μόνο σχετικό περιεχόμενο και λύσεις.

Η τρέχουσα διαφήμιση πάσχει από υπερβολική και κακή στόχευση. Ακόμη και με τα σημερινά αναλυτικά στοιχεία, η σύγχρονη διαφήμιση αποτυγχάνει. Το IoT υπόσχεται διαφορετική και εξατομικευμένη διαφήμιση αντί γενικών στρατηγικών. Μεταμορφώνει τη διαφήμιση από θόρυβο σε ένα πρακτικό μέρος της ζωής, διότι οι καταναλωτές αλληλεπιδρούν με τη διαφήμιση μέσω του IoT αντί απλά να την λαμβάνουν. Αυτό κάνει τη διαφήμιση πιο λειτουργική και χρήσιμη για τους ανθρώπους που ψάχνουν στην αγορά για λύσεις ή αναρωτιούνται εάν υπάρχουν αυτές οι λύσεις. [8]

2.6.2 Περιβαλλοντικές Εφαρμογές

Οι εφαρμογές του IoT στην περιβαλλοντική παρακολούθηση έχουν μεγάλο εύρος: προστασία του περιβάλλοντος, παρακολούθηση ακραίων καιρικών φαινομένων, ασφάλεια των υδάτων, προστασία των ειδών που απειλούνται με εξαφάνιση, εμπορική γεωργία και πολλά άλλα. Σε αυτές τις εφαρμογές, οι αισθητήρες ανιχνεύουν και μετρούν κάθε τύπο περιβαλλοντικής αλλαγής.

Η τρέχουσα τεχνολογία παρακολούθησης για την ασφάλεια του αέρα και των υδάτων χρησιμοποιεί κυρίως χειρωνακτική εργασία μαζί με προηγμένα εργαλεία και εργαστηριακή επεξεργασία. Το IoT βελτιώνει την τεχνολογία αυτή μειώνοντας την ανάγκη για ανθρώπινη εργασία, επιτρέποντας τη συχνή δειγματοληψία, αυξάνοντας το εύρος δειγματοληψίας και παρακολούθησης, επιτρέποντας εξελιγμένες επιτόπιες δοκιμές και δεσμεύοντας τις προσπάθειες απόκρισης με τα συστήματα ανίχνευσης. Αυτό μας επιτρέπει να αποτρέψουμε σε σημαντικό βαθμό την περιβαλλοντική μόλυνση και τις σχετικές με αυτή καταστροφές.

Αν και τα ισχυρά, προηγμένα συστήματα που χρησιμοποιούνται σήμερα επιτρέπουν τη παρακολούθηση σε βάθος, υποφέρουν από τη χρήση ευρέων οργάνων, όπως τα ραντάρ και οι δορυφόροι. Τα μέσα τους για πιο λεπτομερείς διαδικασίες στερούνται την ίδια ακριβή στοχοθέτηση της ισχυρότερης τεχνολογίας.

Οι νέες πρόοδοι του IoT υπόσχονται πιο λεπτομερή δεδομένα, μεγαλύτερη ακρίβεια και ευελιξία. Η αποτελεσματική πρόβλεψη απαιτεί μεγάλη λεπτομέρεια και ευελιξία

στην εμβέλεια, τον τύπο οργάνου και την χρησιμοποίησή του. Αυτό επιτρέπει την έγκαιρη ανίχνευση και έγκαιρες απαντήσεις για την πρόληψη της απώλειας της ζωής και της ιδιοκτησίας. [9]

2.6.3 Ενεργειακές Εφαρμογές

Το IoT επιτρέπει μια ευρεία ποικιλία λειτουργιών ελέγχου και παρακολούθησης ενέργειας, με εφαρμογές σε συσκευές, εμπορική και οικιακή χρήση ενέργειας. Η βελτιστοποίηση προκύπτει από τη λεπτομερή ανάλυση που προηγουμένως δεν ήταν διαθέσιμη στους περισσότερους οργανισμούς και άτομα.

Η άνοδος της τεχνολογίας οδήγησε σε αύξηση του ενεργειακού κόστους. Οι καταναλωτές αναζητούν τρόπους μείωσης ή ελέγχου της κατανάλωσης. Το IoT προσφέρει έναν εξελιγμένο τρόπο ανάλυσης και βελτιστοποίησης της χρήσης όχι μόνο σε επίπεδο συσκευής αλλά σε όλο το σύστημα του σπιτιού. Αυτό μπορεί να σημαίνει απλή απενεργοποίηση ή μείωση του φωτισμού ή αλλαγή των ρυθμίσεων συσκευής και τροποποίηση πολλών ρυθμίσεων του σπιτιού για τη βελτιστοποίηση της χρήσης ενέργειας.

Το IoT μπορεί επίσης να ανακαλύψει προβληματική κατανάλωση λόγω προβλημάτων όπως παλαιότερες συσκευές, κατεστραμμένες συσκευές ή ελαττωματικά στοιχεία του συστήματος. Παραδοσιακά, η εύρεση τέτοιων προβλημάτων απαιτούσε συχνά τη χρήση πολλαπλών επαγγελματιών.

Τα ενεργειακά απόβλητα μπορούν να επηρεάσουν εύκολα και αθόρυβα τις επιχειρήσεις σε σημαντικό βαθμό, δεδομένων των τεράστιων ενεργειακών αναγκών ακόμη και μικρών οργανισμών. Οι μικρότεροι οργανισμοί παλεύουν να εξισορροπήσουν το κόστος των επιχειρήσεων, ενώ παράγουν ένα προϊόν σε μικρή κλίμακα, ενώ εργάζονται με περιορισμένη χρηματοδότηση και τεχνολογία. Οι μεγαλύτεροι οργανισμοί πρέπει να παρακολουθούν ένα τεράστιο, πολύπλοκο οικοσύστημα ενεργειακής χρήσης που προσφέρει λίγες, απλές και αποτελεσματικές λύσεις για τη διαχείριση της χρήσης ενέργειας.

Το IoT απλοποιεί τη διαδικασία παρακολούθησης και διαχείρισης της ενέργειας, διατηρώντας παράλληλα χαμηλό κόστος και υψηλό επίπεδο ακρίβειας. Απευθύνεται σε όλα τα σημεία της κατανάλωσης ενός οργανισμού για όλες τις συσκευές. Το βάθος της ανάλυσης και του ελέγχου παρέχει στους οργανισμούς ένα ισχυρό μέσο διαχείρισης της κατανάλωσής τους για το «κούρεμα» του κόστους και τη

βελτιστοποίηση της παραγωγής. Τα συστήματα IoT ανακαλύπτουν τα ενεργειακά ζητήματα με τον ίδιο τρόπο όπως τα λειτουργικά προβλήματα σε ένα πολύπλοκο επιχειρηματικό δίκτυο και παρέχουν λύσεις.

Οι αναλύσεις και η δράση που παρέχεται από το IoT συμβάλλουν επίσης στη διασφάλιση της αξιοπιστίας του συστήματος. Πέρα από την κατανάλωση, το IoT εμποδίζει την υπερφόρτωση ή τον περιορισμό του συστήματος. Ανιχνεύει επίσης απειλές για την απόδοση και τη σταθερότητα του συστήματος, το οποίο προστατεύει από απώλειες όπως η διακοπή λειτουργίας, ο κατεστραμμένος εξοπλισμός και οι τραυματισμοί. [10]

2.6.4 Εφαρμογές στην Υγεία

Τα συστήματα IoT που εφαρμόζονται στην υγειονομική περίθαλψη ενισχύουν την υπάρχουσα τεχνολογία και τη γενική πρακτική της ιατρικής. Αυξάνουν την ακρίβεια και το μέγεθος των ιατρικών δεδομένων μέσω της συλλογής δεδομένων από μεγάλο αριθμό πραγματικών περιπτώσεων. Επίσης, βελτιώνουν την ακρίβεια της παροχής ιατρικής περίθαλψης μέσω της πιο εξελιγμένης ενσωμάτωσης του συστήματος υγειονομικής περίθαλψης.

Οι τρέχουσες συσκευές βελτιώνονται γρήγορα στην ακρίβεια, την ισχύ και τη διαθεσιμότητα. Ωστόσο, εξακολουθούν να προσφέρουν λιγότερες από αυτές τις ιδιότητες σε σχέση με ένα σύστημα IoT που ενσωματώνει αποτελεσματικά το σωστό σύστημα. Το IoT ξεκλειδώνει τις δυνατότητες της υπάρχουσας τεχνολογίας και μας οδηγεί σε νέες και καλύτερες λύσεις ιατρικών συσκευών.

Το IoT κλείνει τα κενά μεταξύ του εξοπλισμού και του τρόπου παροχής της υγειονομικής περίθαλψης δημιουργώντας ένα λογικό σύστημα και όχι μια συλλογή εργαλείων. Στη συνέχεια αποκαλύπτει μοτίβα και στοιχεία που λείπουν από την υγειονομική περίθαλψη, όπως προφανείς βελτιώσεις ή τεράστιες ατέλειες.

Ίσως η μεγαλύτερη βελτίωση που φέρνει το IoT στην υγειονομική περίθαλψη είναι στην πραγματική ιατρική πρακτική, επειδή δίνει τη δυνατότητα στους επαγγελματίες του τομέα της υγείας να χρησιμοποιούν καλύτερα την κατάρτιση και τις γνώσεις τους για την επίλυση προβλημάτων. Χρησιμοποιούν πολύ καλύτερα δεδομένα και εξοπλισμό, γεγονός που τους δίνει μία οπτική σε τυφλά σημεία και υποστηρίζονται πιο γρήγορες και ακριβείς ενέργειες. Η λήψη αποφάσεων δεν περιορίζεται πλέον από τις αποσυνδέσεις των σημερινών συστημάτων και τα κακά δεδομένα.

Το IoT βελτιώνει επίσης την επαγγελματική τους εξέλιξη επειδή ασκούν πραγματικά το ταλέντο τους και δεν ξοδεύουν πολύ χρόνο για διοικητικά ή χειροκίνητα καθήκοντα. Οι οργανωτικές αποφάσεις τους βελτιώνονται επίσης επειδή η τεχνολογία παρέχει ένα καλύτερο πλεονέκτημα.

Η προηγμένη αυτοματοποίηση και αναλύσεις του IoT επιτρέπουν πιο ισχυρές υπηρεσίες υποστήριξης έκτακτης ανάγκης, οι οποίες συνήθως υποφέρουν από τους περιορισμένους πόρους τους και αποσυνδέονται από τη βάση. Παρέχει έναν τρόπο να αναλύσει μια κατάσταση έκτακτης ανάγκης με πληρέστερο τρόπο από μακρινή απόσταση. Παρέχει επίσης στους παρόχους βοήθειας πρόσβαση στον ασθενή πριν από την άφιξή του. Το IoT παρέχει στους παρόχους κρίσιμες πληροφορίες για την παροχή βασικής φροντίδας κατά την άφιξη. Αυξάνει επίσης το επίπεδο φροντίδας που παρέχεται σε έναν ασθενή που λαμβάνουν οι επαγγελματίες έκτακτης ανάγκης. Αυτό μειώνει τις σχετικές απώλειες και βελτιώνει την επείγουσα υγειονομική περίθαλψη.

[11]

3^ο Κεφάλαιο: Θεωρητικό και Τεχνολογικό Υπόβαθρο Εργασίας

3.1 Εισαγωγή

Στο τρίτο κεφάλαιο θα αναλυθούν θεωρητικά στοιχεία, σημαντικά για την κατασκευή του υλικού (hardware) και του λογισμικού (software) του συστήματος, καθώς και θα παρουσιαστούν πιθανές επιλογές υλικού (hardware) για την υλοποίηση του συστήματος.

3.2 Ενσωματωμένα συστήματα

Ένα ενσωματωμένο σύστημα είναι ένα ειδικό σύστημα υπολογιστή σχεδιασμένο για μία ή δύο συγκεκριμένες λειτουργίες. Αυτό το σύστημα είναι ενσωματωμένο ως μέρος ενός ολοκληρωμένου συστήματος συσκευών που περιλαμβάνει υλικό, όπως ηλεκτρικά και μηχανικά εξαρτήματα. Το ενσωματωμένο σύστημα διαφέρει από τον υπολογιστή γενικής χρήσης, ο οποίος είναι σχεδιασμένος για να διαχειρίζεται ένα ευρύ φάσμα εργασιών επεξεργασίας. [12]

Επειδή ένα ενσωματωμένο σύστημα έχει σχεδιαστεί για να εκτελεί μόνο ορισμένες εργασίες, οι μηχανικοί σχεδιασμού μπορούν να βελτιστοποιήσουν το μέγεθος, το κόστος, την κατανάλωση ενέργειας, την αξιοπιστία και την απόδοση. Τα ενσωματωμένα συστήματα τυπικά παράγονται σε ευρείες κλίμακες και μοιράζονται λειτουργίες σε διάφορα περιβάλλοντα και εφαρμογές. [12]

Τα ενσωματωμένα συστήματα διαχειρίζονται μεμονωμένους ή πολλαπλούς πυρήνες επεξεργασίας με τη μορφή μικροελεγκτών ή επεξεργαστών ψηφιακών σημάτων (DSP), συστοιχίας επιτόπια προγραμματιζόμενων πυλών (FPGA), ολοκληρωμένων κυκλωμάτων ειδικών εφαρμογών (ASIC) και συστοιχιών πύλης. Αυτά τα στοιχεία επεξεργασίας είναι ενσωματωμένα με εξαρτήματα που προορίζονται για χειρισμό ηλεκτρικής και μηχανικής διεπαφής. [12]

Το βασικό χαρακτηριστικό ενός ενσωματωμένου συστήματος είναι η αφοσίωση σε συγκεκριμένες λειτουργίες που συνήθως απαιτούν ισχυρούς επεξεργαστές γενικού σκοπού. Για παράδειγμα, τα συστήματα δρομολογητών και διακοπών είναι ενσωματωμένα συστήματα ενώ ένας υπολογιστής γενικής χρήσης χρησιμοποιεί ένα κανονικό λειτουργικό σύστημα για τη

δρομολόγηση λειτουργιών. Ωστόσο, οι ενσωματωμένοι δρομολογητές λειτουργούν αποτελεσματικότερα από τους υπολογιστές με λειτουργικό σύστημα για λειτουργίες δρομολόγησης. [12]

Τα εμπορικά ενσωματωμένα συστήματα κυμαίνονται από ψηφιακά ρολόγια και συσκευές αναπαραγωγής MP3 έως γιγαντιαίους δρομολογητές και διακόπτες. Οι πολυπλοκότητες ποικίλλουν από τσιπ ενός επεξεργαστή έως προηγμένες μονάδες με πολλαπλά τσιπ επεξεργασίας. [12]

3.3 Μονάδα επεξεργασίας

3.3.1 Εισαγωγή

Στην κατασκευή του συγκεκριμένου IoT συστήματος σημαντικότατο ρόλο παίζει η επιλογή της μονάδας επεξεργασίας αφού αυτή θα είναι υπεύθυνη για την συλλογή και αποθήκευση των μετρήσεων αλλά θα επιτελεί και το ρόλο του εξυπηρετητή του συστήματος. Σε εφαρμογές IoT οι προγραμματιστές θα πρέπει να επιλέξουν ανάμεσα σε πλακέτες βασισμένες σε μικροελεγκτές με System on Chip (SoC), υπολογιστές μονής πλακέτας (SBC) και πλακέτες με ενσωματωμένη χρήση Smart Bluetooth και WiFi. [13] Στη συνέχεια θα αναλυθούν οι τεχνολογίες των παραπάνω μονάδων επεξεργασίας και θα παρουσιαστούν ορισμένα από τα προϊόντα που υπάρχουν στο εμπόριο και χρησιμοποιούνται συνήθως.

3.3.2 Μικροελεγκτές SoC

Ένας μικροελεγκτής (ή MCU για μονάδα μικροελεγκτή) είναι ένας μικρός υπολογιστής σε ένα ενιαίο ολοκληρωμένο κύκλωμα. Στη σύγχρονη ορολογία, είναι ένα σύστημα σε chip ή SoC. Ένας μικροελεγκτής περιέχει έναν ή περισσότερους επεξεργαστές (πυρήνες επεξεργαστών) μαζί με μνήμη και προγραμματιζόμενα περιφερειακά εισόδου / εξόδου. Η μνήμη προγράμματος με τη μορφή Ferroelectric RAM, NOR flash ή OTP ROM συχνά περιλαμβάνεται στο chip, καθώς και μια μικρή ποσότητα μνήμης RAM. Οι μικροελεγκτές είναι σχεδιασμένοι για ενσωματωμένες εφαρμογές που υπάρχει σχέση εισόδου και εξόδου, όπου έπειτα από επεξεργασία της κατάστασης της εισόδου παράγεται η ανάλογη έξοδος, σε αντίθεση με τους μικροεπεξεργαστές που χρησιμοποιούνται σε προσωπικούς υπολογιστές ή άλλες εφαρμογές γενικού σκοπού. [14] Τα οφέλη αυτής της single chip λύσης είναι ότι

μειώνει αισθητά το μέγεθος και το κόστος της υλοποίησης των εφαρμογών που την αξιοποιούν. Στις μέρες μας, υπάρχουν πολλοί κατασκευαστές οι οποίοι παράγουν μικροελεγκτές με ένα ευρύ φάσμα δυνατοτήτων και είναι διαθέσιμοι σε διαφορετικές εκδόσεις. Ορισμένοι από τους πιο γνωστούς κατασκευαστές μικροελεγκτών είναι οι ATMEL, Microchip, TI, Freescale, Philips και Motorola. Ο πιο διαδεδομένος μικροελεγκτής που χρησιμοποιείται στις συγκεκριμένες εφαρμογές είναι το Arduino Uno. Θεωρείται μία από τις πρώτες πλακέτες ανάπτυξης που βασίζονται σε μικροελεγκτές. Βασίζεται στον ATmega328P που διαθέτει 14 ψηφιακές εισόδους / εξόδους και έξι αναλογικές εισόδους. Αν και διαθέτει μόνο 32 KB μνήμης Flash, μπορεί να φιλοξενήσει κώδικα που ασχολείται με πολύπλοκες λογικές και λειτουργίες.

Για να πραγματοποιηθεί μία IoT εφαρμογή με ένα τέτοιο board απαιτείται η σύνδεση με επιπλέον chip τα οποία θα του δίνουν τη δυνατότητα ασύρματης επικοινωνίας. Το ESP8266 αποτελεί μία από τις λύσεις για την σύνδεση του Arduino Uno σε WiFi δίκτυο. Η ηλεκτρονική μονάδα ESP8266 είναι ένα αυτόνομο SoC με ενσωματωμένη στοίβα πρωτοκόλλων TCP / IP που μπορεί να δώσει σε κάθε μικροελεγκτή πρόσβαση σε WiFi δίκτυο. Κάθε ESP8266 έρχεται προ-προγραμματισμένο με ένα firmware με σεντ εντολών AT, που σημαίνει ότι μπορεί απλά να συνδεθεί στη συσκευή του Arduino. [15].

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του ESP8266 ESP-01, του πιο φθηνού τέτοιου module που βρίσκεται στο εμπόριο, φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί. Άλλα chips που εκτελούν τον ίδιο σκοπό είναι το ESP8266 ESP-12 και το ESP-32 που αποτελεί το διάδοχο του ESP8266. Όλα είναι συμβατά με το Arduino IDE κάτι που προσφέρει ευκολία στη χρήση τους, αφού η προγραμματιστική κοινότητα του Arduino αποτελεί μία από τις πιο ευρείες με συνέπεια την ύπαρξη πολλών βιβλιοθηκών που διευκολύνουν τον προγραμματισμό του συστήματος.


ESP8266 MODULE ESP-01

ESP8266 FEATURES:

- 32 BIT CPU @ 80MHZ
- 64 KB COMMAND RAM
- 96 KB DATA RAM
- EXTERNAL QPI FLASH USUALLY 512KB UP TO 4MBIT
- IEEE 802.11 B/G/N WIFI 2.4GHZ, WEP/WPA/WPA2
- UP TO 16 GPIO PINS
- SPI, I²C, I²S, UART
- 10-BIT ADC

ESP01 FEATURES:

- 2X4 DIL HEADER
- INTEGRATED ANTENNA
- INTEGRATED LED (V_{CC}, TXD)
- USUALLY 512KB OR 1MB FLASH



PINOUT

OPERATING
V_{CC}: 3.3V (UP TO 200MA)
IO AND UART ARE NOT 5V TOLERANT
CH_PD (AKA ENABLE) MUST BE PULLED HIGH TO OPERATE

MODULE VARIANTS
ESP01V1:
ONLY V_{CC}, GND, RXD AND TXD CONNECTED
CAN NOT BE FLASHED WITHOUT MODIFICATION
ESP01V2:
CONNECTIONS AS SHOWN HERE

BOOT MODES
PINS MUST BE PULLED TO THE APPROPRIATE LEVEL DURING POWERUP

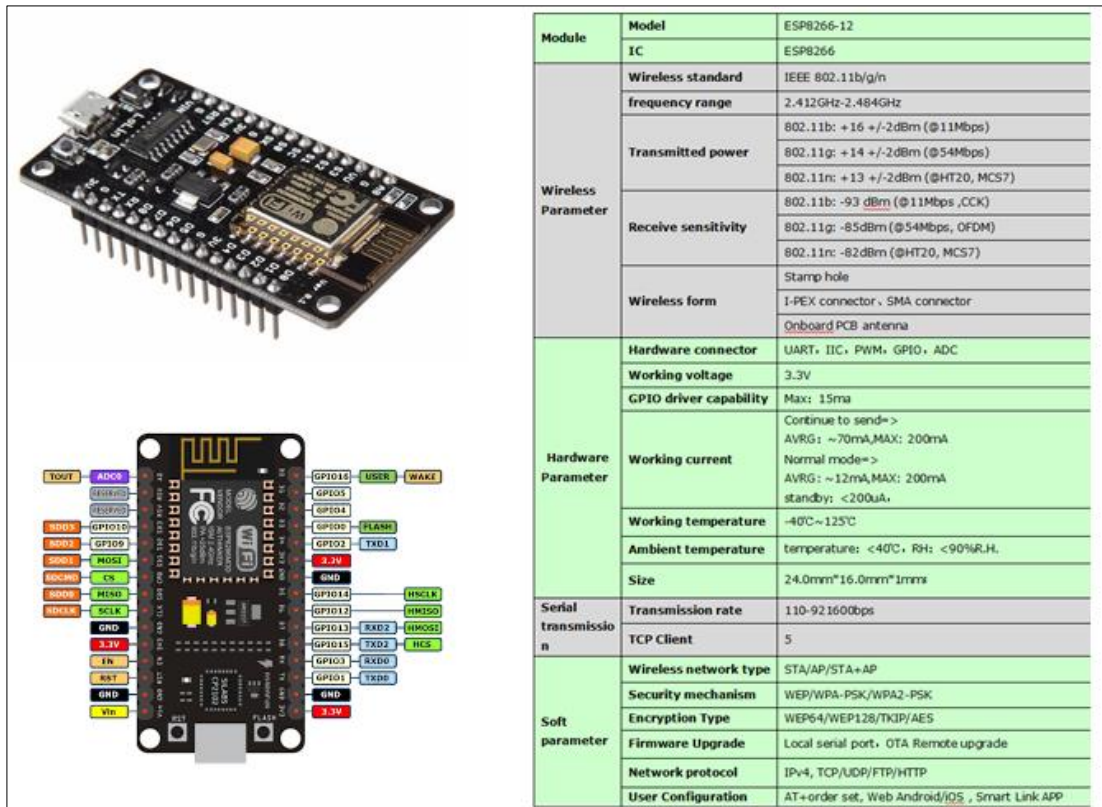
GPIO15	GPIO0	GPIO2	Mode
LOW	LOW	HIGH	Serial Programming
LOW	HIGH	HIGH	Boot from Flash
HIGH	ANY	ANY	Boot from SD-Card

GPIO15 is connected to GND on ESP-01

Εικόνα 3.1 ESP8266 ESP-01 και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του [Πηγή: <https://goo.gl/oRsVBe>]

3.3.3 SoC με ενσωματωμένη δυνατότητα ασύρματης επικοινωνίας

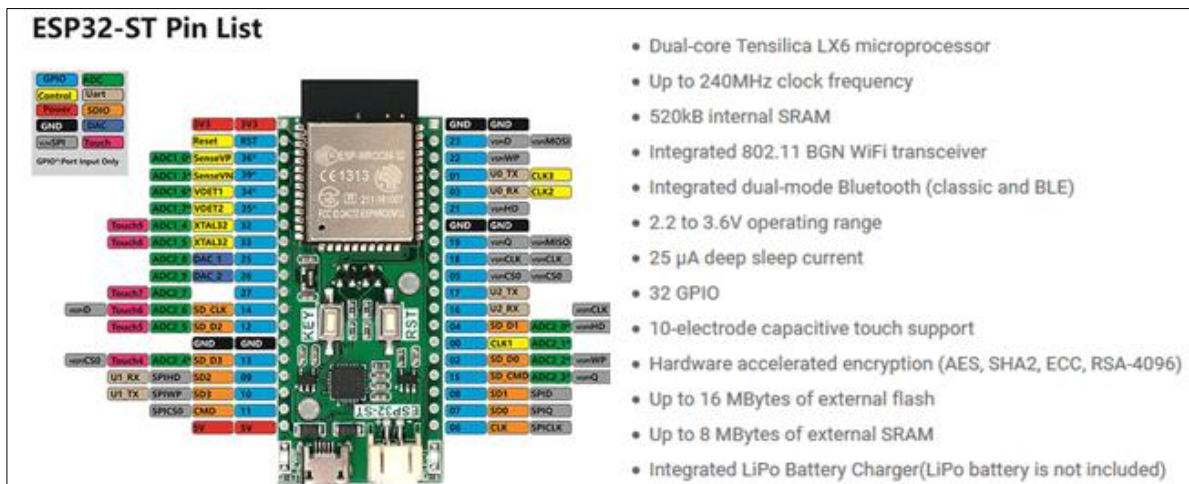
Στην κατηγορία αυτή ανήκουν SoC τα οποία διαθέτουν τη δυνατότητα ασύρματης επικοινωνίας με τη χρήση ενσωματωμένων modules όπως WiFi ή Bluetooth. Στις περισσότερες των περιπτώσεων αυτές οι πλακέτες διαθέτουν τις δυνατότητες των συστημάτων που περιγράφηκαν στην προηγούμενη υποενότητα με το πλεονέκτημα ότι δεν χρειάζεται η επέκταση του συστήματος με chip που δόθηκαν παραπάνω, αφού αυτά βρίσκονται ήδη ενσωματωμένα στο SoC. Με αυτό τον τρόπο ο χρήστης κερδίζει σε απλότητα του κυκλώματος και εξοικονόμηση χώρου στην κατασκευή. Υπάρχει πληθώρα επιλογών στην αγορά για SoC με ενσωματωμένα WiFi modules και μικροελεγκτές. Ενδεικτικά, ορισμένες από αυτές είναι οι πλακέτες ESP32 ESP-32S Development Board, ESP8266 NodeMcu with CH340G και Teensy, όλες πλακέτες με ευρεία χρήση στην κατασκευή εφαρμογών IoT.



The image shows the ESP8266 E-12 Nodemcu Development Board, a small PCB with a microcontroller, various components, and a pin header. Below the board is a detailed pin list with color-coded labels for each pin's function.

Module	Model	ESP8266-12
IC	ESP8266	
Wireless Parameter	Wireless standard	IEEE 802.11b/g/n
	frequency range	2.412GHz-2.484GHz
	Transmitted power	802.11b: +16 +/-2dBm (@11Mbps)
		802.11g: +14 +/-2dBm (@54Mbps)
		802.11n: +13 +/-2dBm (@HT20, MCS7)
Receive sensitivity	802.11b: -93 dBm (@11Mbps ,CCK)	
	802.11n: -82dBm (@HT20, MCS7)	
Wireless form	Stamp hole	
	I-PEX connector , SMA connector	
	Onboard PCB antenna	
Hardware Parameter	Hardware connector	UART, IIC, PWM, GPIO, ADC
	Working voltage	3.3V
	GPIO driver capability	Max: 15ma
	Working current	Continue to send=> AVRG: ~70mA,MAX: 200mA
		Normal mode=> AVRG: ~12mA,MAX: 200mA standby: <200uA
	Working temperature	-40°C~125°C
	Ambient temperature	temperature: <40°C, RH: <90%RH
Size	24.0mm*16.0mm*1mm	
Serial transmission	Transmission rate	110-921600bps
	TCP Client	5
Soft parameter	Wireless network type	STA/AP/STA+AP
	Security mechanism	WEP/WPA-PSK/WPA2-PSK
	Encryption Type	WEP64/WEP128/TKIP/AES
	Firmware Upgrade	Local serial port, OTA Remote upgrade
	Network protocol	IPv4, TCP/UDP/FTP/HTTP
User Configuration	AT+order set, Web Android/iOS , Smart Link APP	

Εικόνα 3.2 ESP8266 E-12 Nodemcu Development Board και τεχνικά χαρακτηριστικά της πλακέτας και του ESP-12 [Πηγές: <https://goo.gl/8IbLDF>, <https://goo.gl/6N7S9E>, <https://goo.gl/0QMAv9>]



The image shows the ESP32 Development Board, a green PCB with a microcontroller, various components, and a pin header. To the left is a detailed pin list with color-coded labels for each pin's function. To the right is a list of technical specifications.

ESP32-ST Pin List	
GPIO	ADC
Control	UART
Power	SDIO
GND	ENC
Touch	Touch
GPIO*Port Input Only	

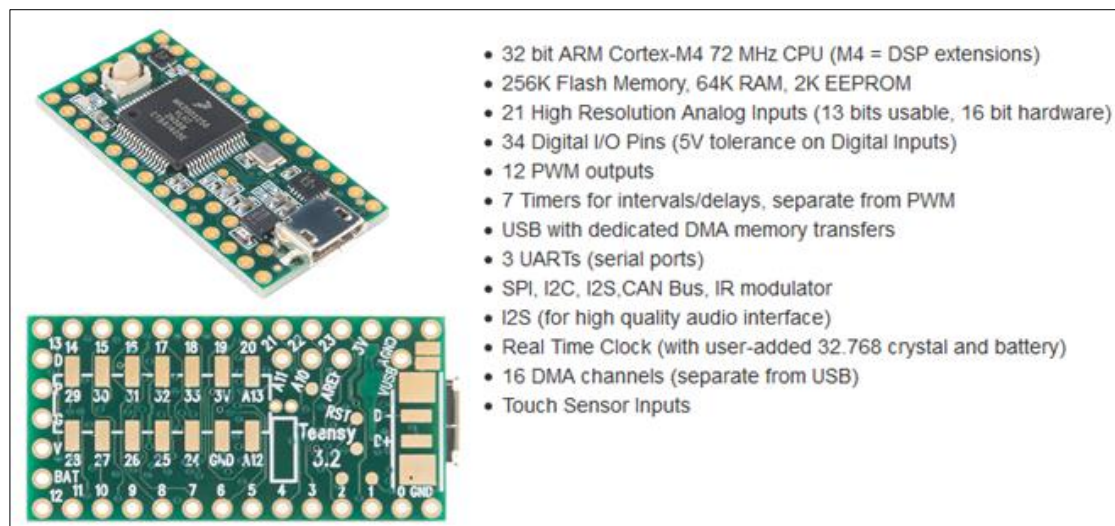
- Dual-core Tensilica LX6 microprocessor
- Up to 240MHz clock frequency
- 520kB internal SRAM
- Integrated 802.11 BGN WiFi transceiver
- Integrated dual-mode Bluetooth (classic and BLE)
- 2.2 to 3.6V operating range
- 25 μ A deep sleep current
- 32 GPIO
- 10-electrode capacitive touch support
- Hardware accelerated encryption (AES, SHA2, ECC, RSA-4096)
- Up to 16 MBytes of external flash
- Up to 8 MBytes of external SRAM
- Integrated LiPo Battery Charger (LiPo battery is not included)

Εικόνα 3.3 ESP32 Development Board και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του ESP32

[Πηγή: <https://goo.gl/Z2WA7J>]

Specifications	ESP8266	ESP32
MCU	Xtensa® Single-Core 32-bit L106	Xtensa® Dual-Core 32-bit LX6 600 DMIPS
802.11 b/g/n Wi-Fi	Yes, HT20	Yes, HT40
Bluetooth	None	Bluetooth 4.2 and below
Typical Frequency	80 MHz	160 MHz
SRAM	160 kBytes	512 kBytes
Flash	SPI Flash , up to 16 MBytes	SPI Flash , up to 16 MBytes
GPIO	17	36
Hardware / Software PWM	None / 8 Channels	1 / 16 Channels
SPI / I2C / I2S / UART	2/1/2/2	4/2/2/2
ADC	10-bit	12-bit
CAN	None	1
Ethernet MAC Interface	None	1
Touch Sensor	None	Yes
Temperature Sensor	None	Yes
Working Temperature	- 40°C – 125°C	- 40°C – 125°C

Πίνακας 3.1 Κυριότερες διαφορές μεταξύ ESP8266 και ESP32 [Πηγή: <https://goo.gl/yJTBRb>]



Εικόνα 3.4 Teensy 3.2 και ορισμένα από τα τεχνικά χαρακτηριστικά του

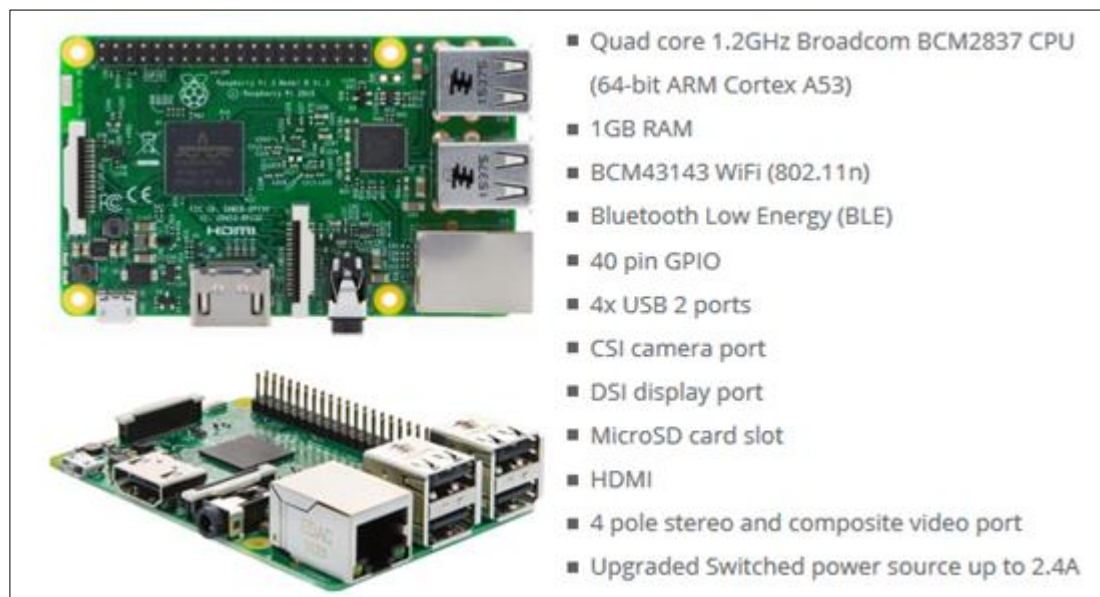
[Πηγή: <https://www.sparkfun.com/products/13736>]

3.3.4 Υπολογιστές μονής πλακέτας

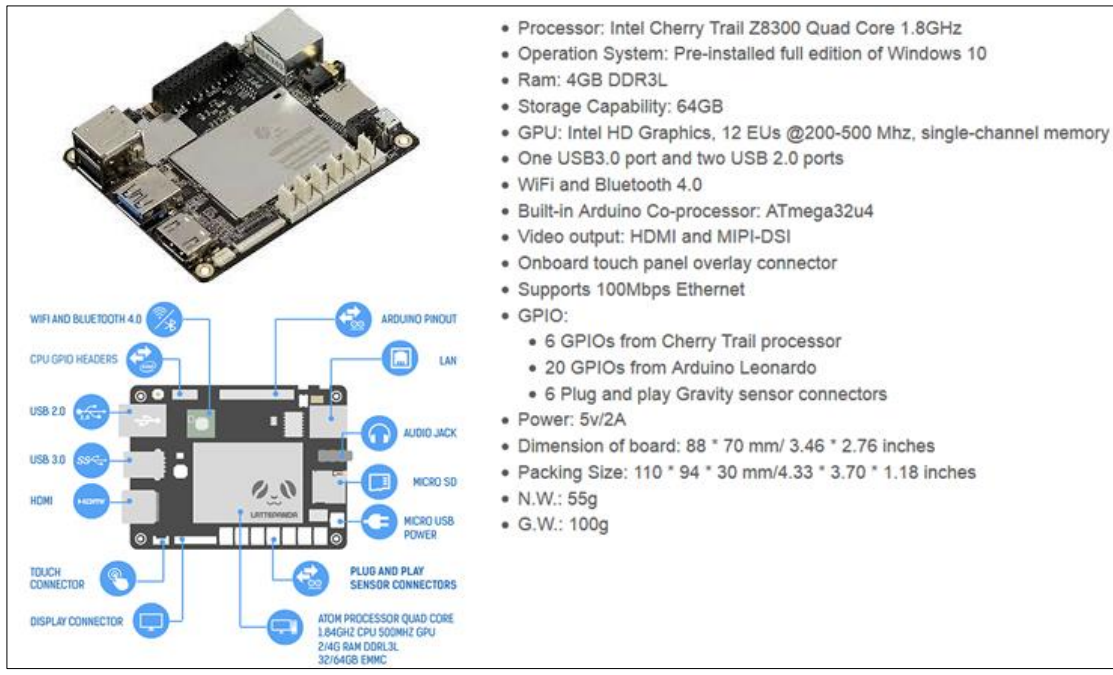
Μία ακόμα επιλογή για χρήση σε εφαρμογές IoT είναι οι υπολογιστές μονής πλακέτας (Single-board Computers ή SBC όπως θα αποκαλούνται για συντομία). Ο υπολογιστής σε μία πλακέτα ή SBC είναι ένας τύπος υπολογιστή όπου όλα τα εξαρτήματα του υπολογιστή είναι ενσωματωμένα σε μια ενιαία πλακέτα κυκλώματος. Οι επιτραπέζιοι υπολογιστές και οι φορητοί υπολογιστές έχουν συνήθως ξεχωριστά εξαρτήματα που συνδέονται με καλώδια σε μία κεντρική ηλεκτρονική πλακέτα. Ένας υπολογιστής μίας πλακέτας περιλαμβάνει τον μικροεπεξεργαστή, τον αποθηκευτικό

χώρο και τη μνήμη, καθώς και άλλα απαραίτητα εξαρτήματα, σε μια ενιαία πλακέτα κυκλώματος. [16]

Οι υπολογιστές μονής πλακέτας διαθέτουν την απαιτούμενη χωρητικότητα για την εκτέλεση των περισσότερων εργασιών αυτοματισμού. Αυτοί οι υπολογιστές έχουν κάποια σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τη χρήση ενός τυπικού επιτραπέζιου υπολογιστή για τις εφαρμογές στις οποίες χρησιμοποιούνται συνήθως. Οι υπολογιστές μίας πλακέτας είναι πολύ μικροί. Αυτό τους επιτρέπει να ενσωματωθούν σε συσκευές όπου ο χώρος είναι πολύ περιορισμένος. Οι υπολογιστές αυτοί είναι επίσης πολύ αποδοτικοί δίνοντάς τους σημαντικό πλεονέκτημα όσον αφορά την εξοικονόμηση ενέργειας. Εκτός από αυτά τα πλεονεκτήματα, οι υπολογιστές μίας πλακέτας είναι αυτοτελείς καθιστώντας τους πολύ αξιόπιστους υπό δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες. [17] Ενδεικτικά παρουσιάζονται τα Raspberry Pi, LattePanda, C.H.I.P, Tinker Board και Beagleboard που είναι από τα πιο διαδεδομένα.



Εικόνα 3.5 Raspberry Pi 3 Model B και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του [Πηγή: <https://goo.gl/pEKaRy>]



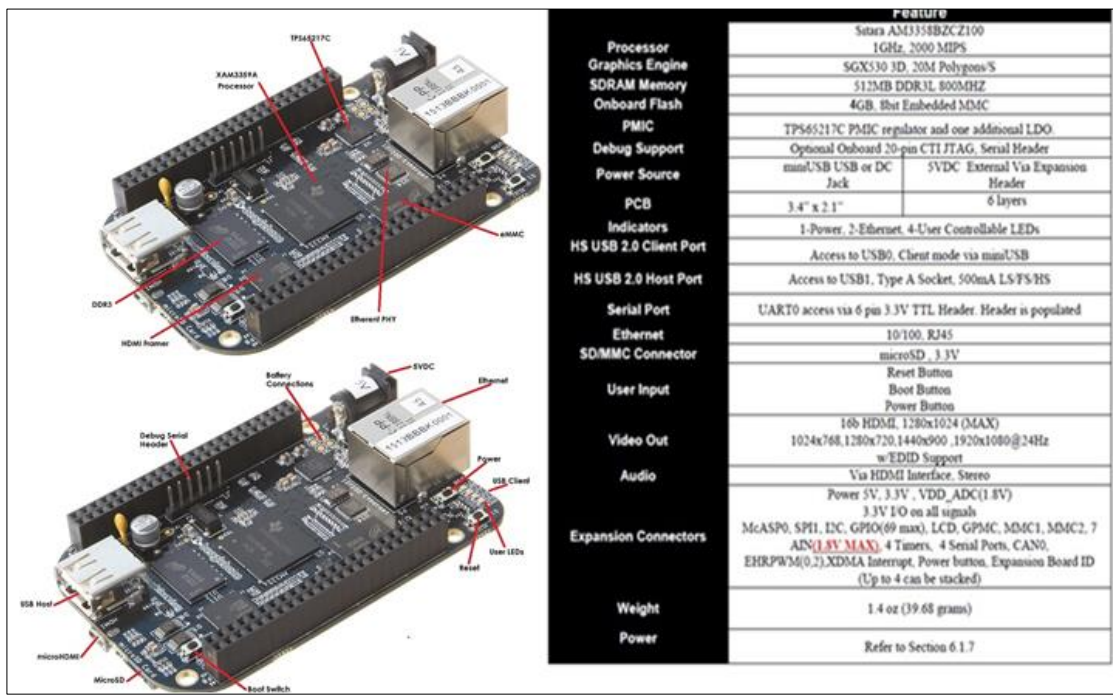
Processor: Intel Cherry Trail Z8300 Quad Core 1.8GHz
 Operation System: Pre-installed full edition of Windows 10
 Ram: 4GB DDR3L
 Storage Capability: 64GB
 GPU: Intel HD Graphics, 12 EUs @200-500 Mhz, single-channel memory
 One USB3.0 port and two USB 2.0 ports
 WiFi and Bluetooth 4.0
 Built-in Arduino Co-processor: ATmega32u4
 Video output: HDMI and MIPI-DSI
 Onboard touch panel overlay connector
 Supports 100Mbps Ethernet
 GPIO:

- 6 GPIOs from Cherry Trail processor
- 20 GPIOs from Arduino Leonardo
- 6 Plug and play Gravity sensor connectors

Power: 5v/2A
 Dimension of board: 88 * 70 mm/ 3.46 * 2.76 inches
 Packing Size: 110 * 94 * 30 mm/4.33 * 3.70 * 1.18 inches
 N.W.: 55g
 G.W.: 100g

Εικόνα 3.6 Latterpanda 4G/64GB και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του

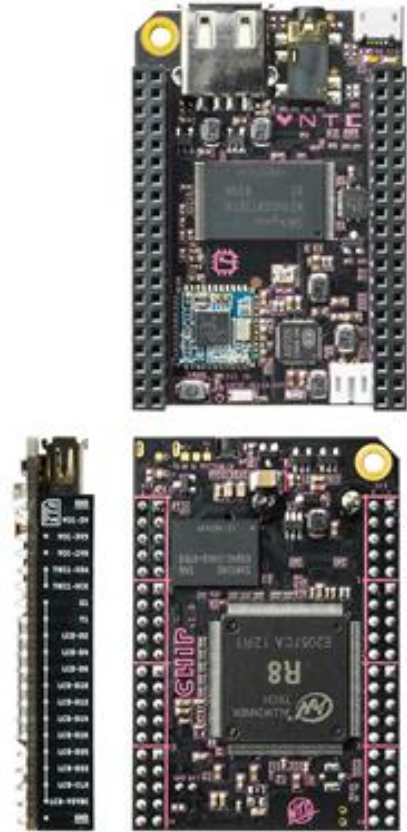
[Πηγή: <http://www.latterpanda.com/product-details/?pid=3>]



	FEATURE
Processor	Setra AM3358BZCZ100
Graphics Engine	1GHz, 2000 MIPS
SDRAM Memory	512MB DDR3L 800MHZ
Onboard Flash	4GB 1bit Embedded MMC
PMIC	TP565217C PMIC regulator and our additional LDO.
Debug Support	Optional Onboard 20-pin CTI/JTAG, Serial Header
Power Source	miniUSB USB or DC 5VDC External Via Expansion Jack
PCB	3.4" x 2.1" 6 layers
Indicators	1-Power, 2-Ethernet, 4-User Controllable LEDs
HS USB 2.0 Client Port	Access to USB0, Client mode via miniUSB
HS USB 2.0 Host Port	Access to USB1, Type A Socket, 500mA LS-FS/HS
Serial Port	UART0 access via 6 pin 3.3V TTL Header. Header is populated
Ethernet	10/100, RJ45
SD/MMC Connector	microSD, 3.3V
User Input	Reset Button Boot Button Power Button
Video Out	10b HDMI, 1280x1024 (MAX) 1024x768, 1280x720, 1440x900, 1920x1080@24Hz w/EDID Support
Audio	Via HDMI interface, Stereo Power 5V, 3.3V, VDD_ADC(1.8V) 3.3V I/O on all signals
Expansion Connectors	McASP0, SPI1, I2C, GPIO(69 max), LCD, GPMC, MMC1, SDMC2, 7 AIN(1.8V MAX), 4 Timers, 4 Serial Ports, CAN0, EHRPWM(0,2), XDMA Interrupt, Power button, Expansion Board ID (Up to 4 can be stacked)
Weight	1.4 oz (39.68 grams)
Power	Refer to Section 6.1.7

Εικόνα 3.7 BeagleBone Black και τα κύρια χαρακτηριστικά του

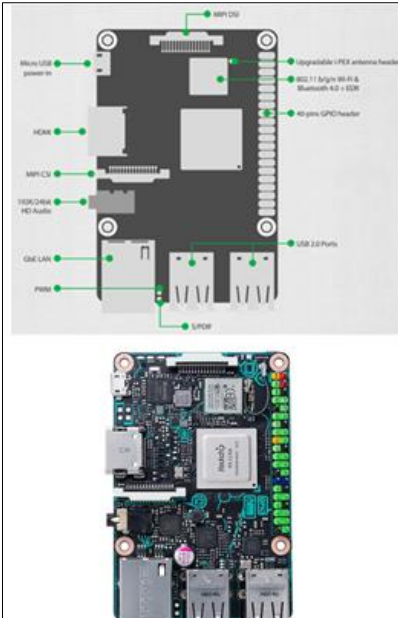
[Πηγή: <http://elinux.org/Beagleboard:BeagleBoneBlack>]



Specs:	
GPIO	80
CPU	1GHz Allwinner R8
RAM	512MB
Storage	4GB
Wall Power	USB 5V @ 300mA (peak)
Battery Power	Single cell 3.7V LiPo battery w/ 2-pin JST-PH 2.0mm
WiFi	802.11b/g/n
BLE	Yes
USB	1 standard & 1 micro with OTG
HDMI	No (addon \$13 HDMI accessory board is available, cheaper if bought with C.H.I.P.)
Composite	Yes via 1/8" mini TRRS to RCA composite video output cable
License	Open Hardware
OS	Custom Linux, soon to be mainline Linux
IO Header type	Female headers
Dimensions	40mm×60mm

Εικόνα 3.8 Πλακέτα C.H.I.P. και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του

[Πηγές: <https://getchip.com/pages/chip>, <http://makezine.com/2015/11/28/chip-vs-pi-zero/>]



CPU	Rockchip Quad-Core RK3288 processor
Memory	2GB Dual Channel DDR3
Graphic	Integrated Graphics Processor
	ARM® Mali™-T764 GPU ¹
Storage	Micro SD(TF) card slot
LAN	RTL8153 LAN
Wireless Data Network	802.11 b/g/n, Bluetooth V4.0 + EDR
Audio	RTL ALC4040 CODEC
USB Ports	4 x USB 2.0
Internal I/O Ports	1 x 40-pin header : - up to 28 x GPIO pins - up to 2 x SPI bus - up to 2 x I2C bus - up to 4 x UART - up to 2 x PWM - up to 1 x PCM/I2S - 2 x 5V power pins - 2 x 3.3V power pins - 8 x ground pins 1 x 2-pin contact pin : - 1 x PWM - 1 x S/PDIF 1 x 15-pin MIPI DSI 1 x 15-pin MIPI CSI Passive heatsink ¹ User manual 55g
Accessories	
Weight	

Εικόνα 3.9 Πλακέτα TinkerBoard και τα τεχνικά χαρακτηριστικά της

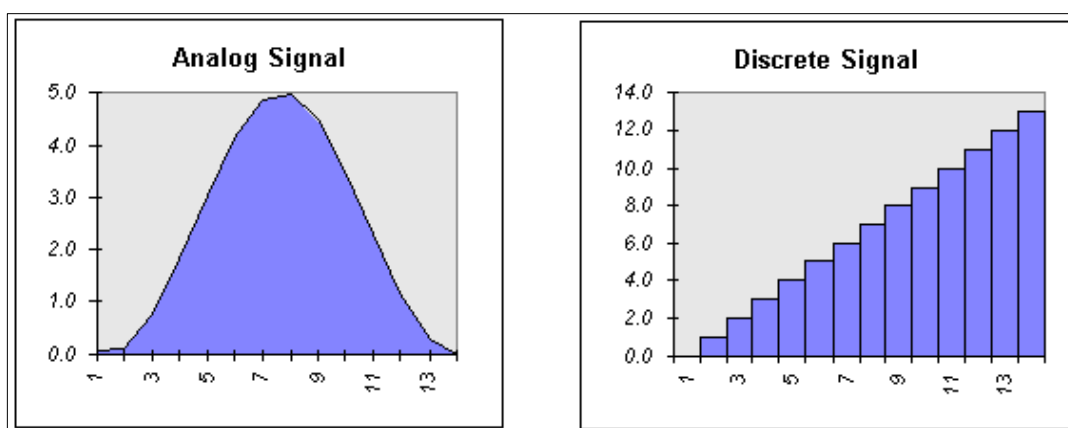
[Πηγή: <https://www.asus.com/us/Single-Board-Computer/Tinker-Board/>]

3.4 Αναλογικοί και ψηφιακοί αισθητήρες

Οι αισθητήρες είναι συσκευές που μετατρέπουν οποιοδήποτε είδος φυσικών χαρακτηριστικών (θερμοκρασία, φωτεινότητα, δύναμη, επιτάχυνση κλπ.) σε κατανοητή μορφή για ανθρώπους ή μηχανές. Με τη βοήθεια αισθητήρων ο μικροελεγκτής λαμβάνει πληροφορίες από το περιβάλλον και λαμβάνει αποφάσεις βάσει αυτού. [18] Μόνο αισθητήρες με ηλεκτρικό σήμα εξόδου μπορούν να συνδεθούν με μικροελεγκτές. Με βάση το σήμα ηλεκτρικής εξόδου τους, οι αισθητήρες είναι δυνατόν να χωριστούν σε ψηφιακούς και αναλογικούς.

Ένας αναλογικός αισθητήρας μπορεί να συνδεθεί σε ένα κύκλωμα με τέτοιο τρόπο ώστε να έχει έξοδο που κυμαίνεται από 0 έως 5 Volt και μπορεί να λάβει οποιαδήποτε πιθανή τιμή μεταξύ τους. Στην Εικόνα 3.11 φαίνεται ένα σήμα εξόδου που χαρακτηρίζεται ως αναλογικό σήμα. [19]

Οι ψηφιακοί αισθητήρες αντίθετα, παράγουν αυτό που ονομάζεται διακριτό σήμα. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει μια σειρά τιμών που ο αισθητήρας μπορεί να δώσει ως έξοδο αλλά η τιμή αυξάνεται βηματικά. Δηλαδή υπάρχει γνωστή σχέση μεταξύ οποιασδήποτε τιμής και των τιμών που προηγούνται και ακολουθούν. Τα διακριτά σήματα, όταν παρίστανται σε γράφημα, έχουν συνήθως μορφή σκαλοπατιού όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.11. Οι πιο συνηθισμένοι ψηφιακοί αισθητήρες που χρησιμοποιούνται παρέχουν μια δυαδική έξοδο που έχει δύο διακριτές καταστάσεις. [19]

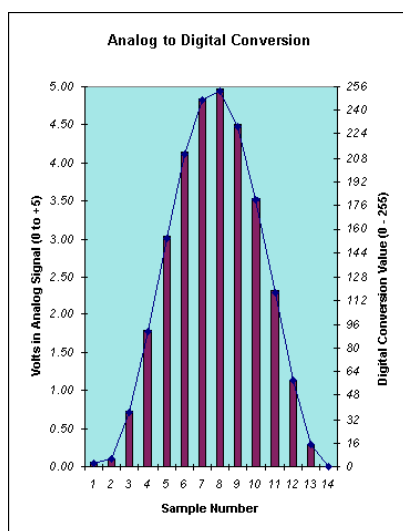


Εικόνα 3.10 Γραφική παράσταση αριστερά αναλογικού σήματος και δεξιά διακριτού [19]

Η διάκριση μεταξύ αναλογικού και ψηφιακού είναι σημαντική όταν αποφασίζουμε ποιον τύπο αισθητήρα θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε. Μέρος αυτής της απόφασης εξαρτάται από τον τύπο των διαθέσιμων πόρων στον μικροελεγκτή.

Οι μικροελεγκτές σχεδόν πάντοτε ασχολούνται με διακριτές τιμές. Για να χρησιμοποιηθεί ένα αναλογικό σήμα είναι σημαντικό να υπάρχει η δυνατότητα αυτό να μετατραπεί σε διακριτό. Αυτό επιτρέπει στον μικροελεγκτή να κάνει πράγματα όπως να υπολογίζει τις τιμές και να κάνει συγκρίσεις. Οι περισσότεροι σύγχρονοι ελεγκτές διαθέτουν ένα μέσο που ονομάζεται μετατροπέας αναλογικού σε ψηφιακό (μετατροπέας A/D).

Η λειτουργία του μετατροπέα A/D είναι να μετατρέψει ένα αναλογικό σήμα σε ψηφιακή τιμή. Αυτό γίνεται με μια λειτουργία χαρτογράφησης που εκχωρεί διακεκριμένες τιμές σε ολόκληρο το εύρος τάσεων. Χαρακτηριστικό εύρος τάσης ενός μετατροπέα A/D είναι 0 έως +5 Volt. Ο μετατροπέας A/D θα διαιρέσει το εύρος των τιμών με τον αριθμό διακριτών συνδυασμών. Για παράδειγμα ένας μετατροπέας A/D 8 bit, θα έχει $2^8 = 256$ διακριτές τιμές. Ως εκ τούτου, ο μετατροπέας A/D διαιρεί τα 5 Volt σε 256 τιμές και αναθέτει 0.0195 Volt σε κάθε βήμα. Η Εικόνα 3.12 δείχνει τα αποτελέσματα μετατροπής από A/D 14 δειγμάτων.



Εικόνα 3.11 Διάγραμμα μετατροπής 14 δειγμάτων από A/D μετατροπέα [7]

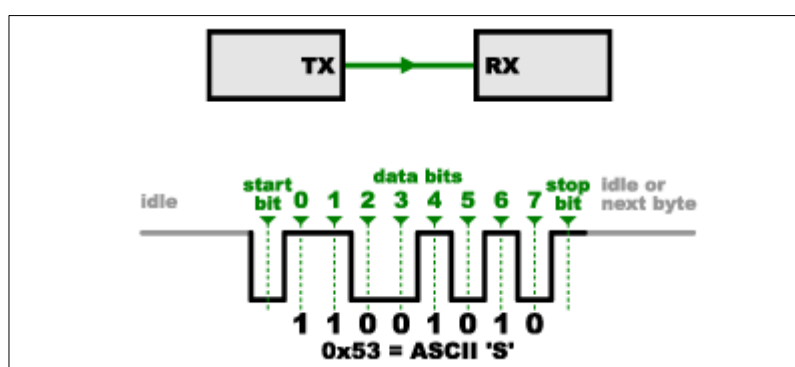
3.5 Serial Peripheral Interface Bus (SPI)

Η σειριακή περιφερειακή διεπαφή (Serial Peripheral Interface ή SPI) είναι ένας διάλογος διασύνδεσης που χρησιμοποιείται συνήθως για την αποστολή δεδομένων μεταξύ των μικροελεγκτών και των μικρών περιφερειακών συσκευών όπως οι

καταχωρητές μετατόπισης, οι αισθητήρες και οι κάρτες SD. Χρησιμοποιεί ξεχωριστές γραμμές ρολογιών και δεδομένων μαζί με μια συγκεκριμένη γραμμή που επιλέγει τη συσκευή με την οποία θέλουμε να επικοινωνήσουμε. [20]

Μια κοινή σειριακή θύρα με γραμμές TX (transmitter) και RX (receiver), ονομάζεται "ασύγχρονη" επειδή δεν υπάρχει έλεγχος κατά την αποστολή των δεδομένων ή οποιαδήποτε εγγύηση ότι και οι δύο πλευρές τρέχουν με ακριβώς τον ίδιο ρυθμό. Δεδομένου ότι οι υπολογιστές συνήθως βασίζονται στο ότι όλα είναι συγχρονισμένα με ένα μόνο ρολόι (τον κύριο κρύσταλλο που είναι συνδεδεμένος με έναν υπολογιστή που οδηγεί τα πάντα), αυτό μπορεί να είναι ένα πρόβλημα όταν δύο συστήματα με ελαφρώς διαφορετικά ρολόγια προσπαθούν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους. [20]

Για να επιλύσουν αυτό το πρόβλημα, οι ασύγχρονες σειριακές συνδέσεις προσθέτουν επιπλέον bits εκκίνησης και τερματισμού σε κάθε byte βοηθώντας τον συγχρονισμό του δέκτη με τα δεδομένα κατά την άφιξή τους. Και οι δύο πλευρές πρέπει να συμφωνήσουν εκ των προτέρων σχετικά με την ταχύτητα μετάδοσης (π.χ. 9600 bits ανά δευτερόλεπτο). Μικρές διαφορές στην ταχύτητα μετάδοσης δεν αποτελούν πρόβλημα επειδή ο δέκτης ξανασυγχρονίζεται στην αρχή κάθε byte. [20]

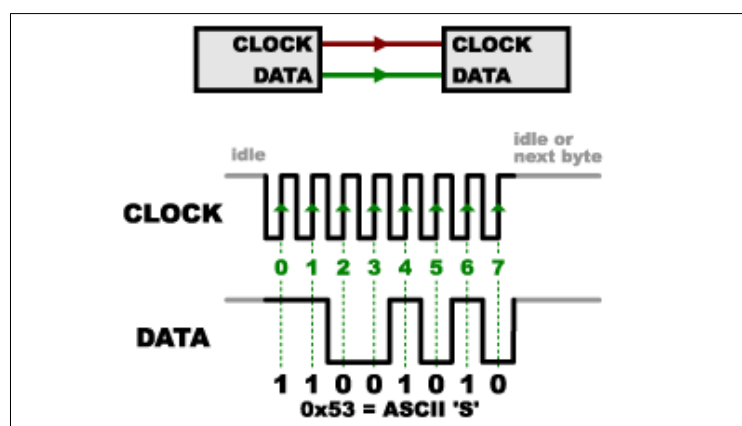


Εικόνα 3.12 Παράδειγμα ασύγχρονη σειριακής επικοινωνίας (UART) [20]

Η ασύγχρονη σειριακή επικοινωνία (UART) λειτουργεί πολύ καλά αλλά έχει πολλές επιβαρύνσεις τόσο λόγω των επιπλέον bits στην εκκίνηση και τον τερματισμό που στέλνονται με κάθε byte όσο και του πολύπλοκου υλικού που απαιτείται για την αποστολή και λήψη δεδομένων. Επίσης, αν και οι δύο πλευρές που επικοινωνούν δεν έχουν ρυθμιστεί να έχουν την ίδια ταχύτητα, τα δεδομένα που θα ληφθούν δεν θα είναι σωστά. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο δέκτης δειγματίζει τα δυαδικά ψηφία

σε πολύ συγκεκριμένες χρονικές στιγμές (τα βέλη στο παραπάνω διάγραμμα). Εάν ο δέκτης κοιτάει λάθος στιγμή θα δει τα λάθος ψηφία. [20]

Το SPI λειτουργεί με ελαφρώς διαφορετικό τρόπο. Είναι ένας "σύγχρονος" διάυλος δεδομένων, που σημαίνει ότι χρησιμοποιεί ξεχωριστές γραμμές για δεδομένα και ένα "ρολόι" που διατηρεί και τις δύο πλευρές σε τέλειο συγχρονισμό. Το ρολόι είναι ένα ταλαντευόμενο σήμα που λέει στον δέκτη ακριβώς πότε πρέπει να κάνει δειγματοληψία των bits στη γραμμή δεδομένων. Αυτό θα μπορούσε να είναι η ανοδική (χαμηλή προς υψηλή) ή πτωτική (υψηλή προς χαμηλή) ακμή του σήματος του ρολογιού. Όταν ο δέκτης εντοπίσει αυτή την ακμή, θα εξετάσει αμέσως τη γραμμή δεδομένων για να διαβάσει το επόμενο κομμάτι (δείτε τα βέλη στο παρακάτω διάγραμμα). Επειδή το ρολόι αποστέλλεται μαζί με τα δεδομένα, ο καθορισμός της ταχύτητας δεν είναι σημαντικός, αν και οι συσκευές θα έχουν τη μέγιστη ταχύτητα με την οποία θα μπορούν να λειτουργήσουν. Ένας λόγος που το SPI είναι τόσο δημοφιλές είναι ότι το υλικό λήψης μπορεί να είναι ένας απλός καταχωρητής μετατόπισης. Αυτό είναι ένα πολύ απλούστερο (και φθηνότερο) κομμάτι υλικού από το πλήρες UART (Universal Asynchronous Receiver / Transmitter) που απαιτεί η ασύγχρονη σειριακή. [20]



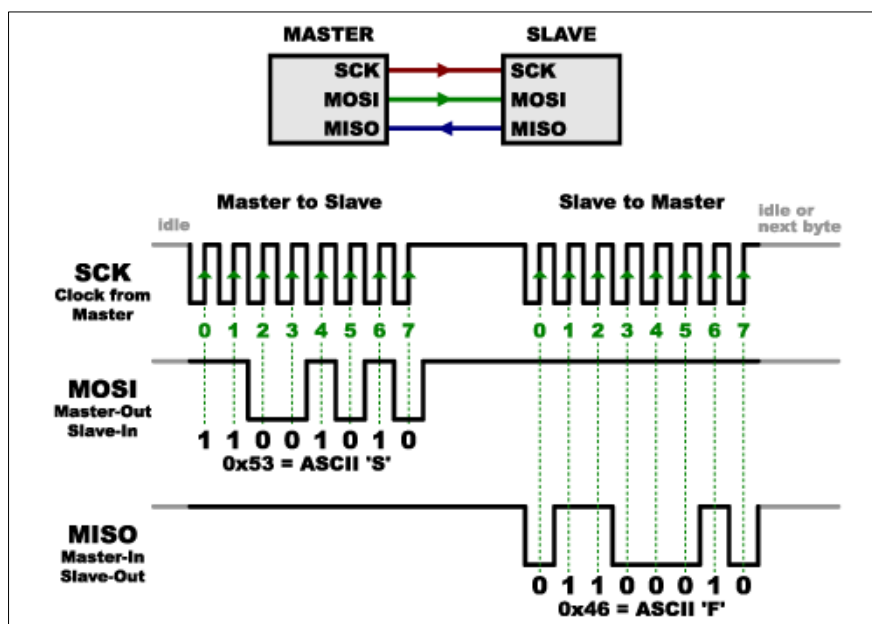
Εικόνα 3.13 Παράδειγμα SPI [20]

Στη μονόπλευρη επικοινωνία αυτή η λύση ακούγεται εξαιρετική. Όμως στην αμφίδρομη επικοινωνία τα πράγματα γίνονται πιο πολύπλοκα. Στο SPI, μόνο μία πλευρά παράγει το σήμα ρολογιού (συνήθως ονομάζεται CLK ή SCK για Serial Clock). Η πλευρά που παράγει το σήμα του ρολογιού ονομάζεται master και η άλλη πλευρά ονομάζεται slave. Υπάρχει πάντα μόνο ένας master (ο οποίος είναι σχεδόν πάντα ο μικροελεγκτής), αλλά μπορεί να υπάρχουν πολλαπλοί slaves. [20]

Όταν αποστέλλονται δεδομένα από τον master στον slave, αποστέλλονται σε μια γραμμή δεδομένων που ονομάζεται MOSI, για το "Master Out / Slave In". Εάν ο slave χρειάζεται να στείλει μια απάντηση πίσω στον master, ο master θα συνεχίσει να παράγει έναν προκαθορισμένο αριθμό κύκλων ρολογιού και ο slave θα βάζει τα δεδομένα σε μια τρίτη γραμμή δεδομένων που ονομάζεται MISO για το "Master In / Slave Out". [20]

Στην παραπάνω περιγραφή χρησιμοποιείται η λέξη "προκαθορισμένο". Επειδή ο master παράγει πάντοτε το σήμα ρολογιού, πρέπει να γνωρίζει εκ των προτέρων πότε ένας slave χρειάζεται να επιστρέψει δεδομένα και πόσα δεδομένα θα επιστραφούν. Αυτό είναι πολύ διαφορετικό από την ασύγχρονη σειριακή επικοινωνία, όπου τυχαία ποσά δεδομένων μπορούν να σταλούν προς οποιαδήποτε κατεύθυνση ανά πάσα στιγμή. Στην πράξη αυτό δεν είναι πρόβλημα, καθώς το SPI χρησιμοποιείται γενικά για να μιλήσει σε αισθητήρες που έχουν πολύ συγκεκριμένη δομή διοίκησης. Για παράδειγμα, αν σταλεί η εντολή για "ανάγνωση δεδομένων" σε μια συσκευή, αναμένεται ότι η συσκευή θα στείλει πάντοτε για παράδειγμα δύο byte πίσω. (Σε περιπτώσεις όπου ίσως να επιστρέφεται ένας μεταβλητός όγκος δεδομένων, μπορούν να επιστραφούν ένα ή δύο bytes που να καθορίζουν το μέγεθος των δεδομένων και στη συνέχεια ο master να ανακτήσει τον πλήρη όγκο των δεδομένων.) [20]

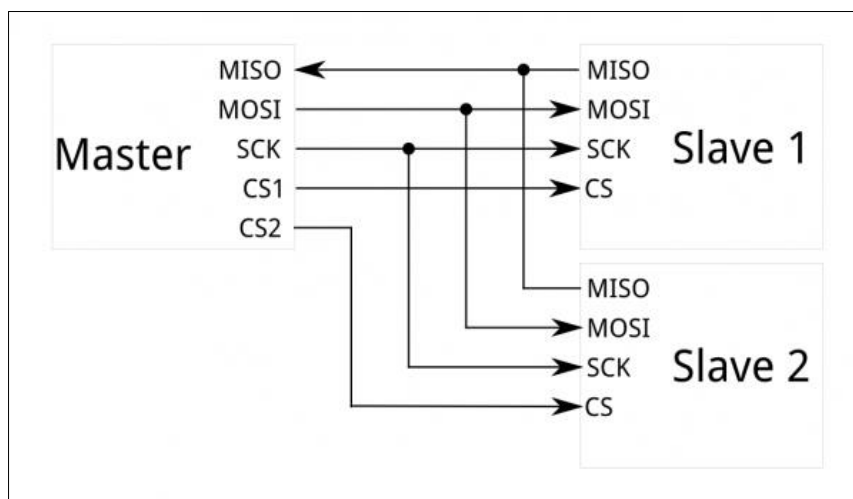
Να σημειωθεί ότι το SPI είναι "full duplex" (έχει ξεχωριστές γραμμές αποστολής και λήψης) και έτσι σε ορισμένες περιπτώσεις είναι εφικτή ταυτόχρονα η διαβίβαση και λήψη των δεδομένων. Αυτό θα εξαρτηθεί από τις δυνατότητες της συσκευής. [20]



Εικόνα 3.14 SPI με master-slave επικοινωνία [20]

Το SPI όμως έχει και ένα προφανές μειονέκτημα, τον αριθμό των ακίδων που απαιτούνται για σύνδεση. Η σύνδεση ενός μόνο κεντρικού υπολογιστή σε μια μόνο μονάδα τύπου slave με δίαυλο SPI απαιτεί τέσσερις γραμμές. Κάθε πρόσθετη μονάδα slave απαιτεί μία επιπλέον ακίδα επιλογής τσιπ (CS) στην κύρια μονάδα. Η μεγάλη αύξηση του αριθμού των συνδεδεμένων ακίδων είναι ανεπιθύμητη σε καταστάσεις όπου πολλές συσκευές πρέπει να συνδεθούν σε ένα master. Επίσης, ο μεγάλος αριθμός συνδέσεων για κάθε συσκευή μπορεί να κάνει τη δρομολόγηση σημάτων πιο δύσκολη σε καταστάσεις στενής PCB διάταξης. Το SPI επιτρέπει μόνο ένα master στο δίαυλο, αλλά υποστηρίζει έναν αυθαίρετο αριθμό slaves (εξαρτώμενος μόνο από ικανότητα οδήγησης των συσκευών που είναι συνδεδεμένες στο δίαυλο και στον αριθμό των ακίδων επιλογής τσιπ). [21]

Το SPI είναι καλό για συνδέσεις υψηλής ταχύτητας μεταφοράς δεδομένων full-duplex (ταυτόχρονη αποστολή και λήψη δεδομένων), υποστηρίζοντας ρυθμούς ρολογιού έως και 10MHz (και κατά συνέπεια 10 εκατομμύρια bits ανά δευτερόλεπτο) για ορισμένες συσκευές. Το υλικό σε κάθε άκρο είναι συνήθως ένα πολύ απλό μητρώο μετατόπισης, επιτρέποντας την εύκολη εφαρμογή στο λογισμικό.



Εικόνα 3.15 Δομικό διάγραμμα SPI επικοινωνίας [21]

3.6 Inter-Integrated Circuit (I2C)

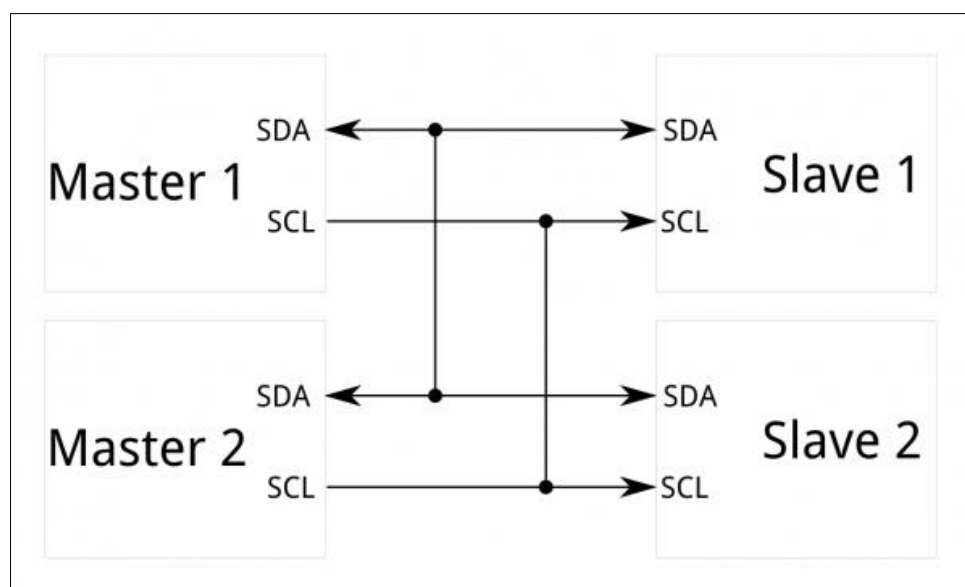
Το Πρωτόκολλο Διασυνδεδεμένου Κυκλώματος (I2C) είναι ένα πρωτόκολλο που επιτρέπει πολλαπλά ψηφιακά ολοκληρωμένα κυκλώματα που λειτουργούν ως slaves να επικοινωνούν με μία ή περισσότερες πλακέτες τύπου master. Όπως και η σειριακή περιφερειακή διασύνδεση (SPI) προορίζεται μόνο για επικοινωνίες μικρών

αποστάσεων εντός μίας μόνο συσκευής. Όπως οι ασύγχρονες σειριακές διεπαφές (όπως RS-232 ή UARTs), απαιτούνται μόνο δύο καλώδια σήματος για την ανταλλαγή πληροφοριών. [21]

Για να καταλάβει κάποιος γιατί μπορεί να θέλει να επικοινωνήσει μέσω του I2C, πρέπει πρώτα να το συγκρίνει με τις άλλες διαθέσιμες επιλογές και να δει τις διαφορές.

Ένα βασικό ελάττωμα στις ασύγχρονες σειριακές θύρες εκτός από αυτά που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα, είναι ότι είναι εγγενώς κατάλληλες για επικοινωνίες μεταξύ δύο και μόνο δύο συσκευών. Παρόλο που είναι δυνατή η σύνδεση πολλών συσκευών σε μία μόνο σειριακή θύρα, η διαμάχη για το δίαυλο (δύο συσκευές προσπαθούν να οδηγήσουν την ίδια γραμμή ταυτόχρονα) είναι πάντα ένα ζήτημα και πρέπει να αντιμετωπιστεί προσεκτικά για να αποφευχθούν φθορές στις εν λόγω συσκευές, κάτι που επιτυγχάνεται συνήθως μέσω εξωτερικού υλικού. [21]

Τέλος, ο ρυθμός δεδομένων είναι ένα ζήτημα. Ενώ δεν υπάρχει θεωρητικό όριο για ασύγχρονες σειριακές επικοινωνίες, οι περισσότερες συσκευές UART υποστηρίζουν μόνο ένα συγκεκριμένο σύνολο σταθερού baud rate, με το υψηλότερο να είναι συνήθως περίπου 230400 bits ανά δευτερόλεπτο.



Εικόνα 3.16 Δομικό διάγραμμα ενός συστήματος I2C [21]

Το I2C, σε αντίθεση με το SPI όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 3.5, απαιτεί απλά δύο καλώδια, όπως η ασύγχρονη σειριακή σύνδεση, αλλά αυτά τα δύο καλώδια μπορούν να υποστηρίξουν μέχρι και 1008 συσκευές slave λειτουργίας. Επίσης, σε

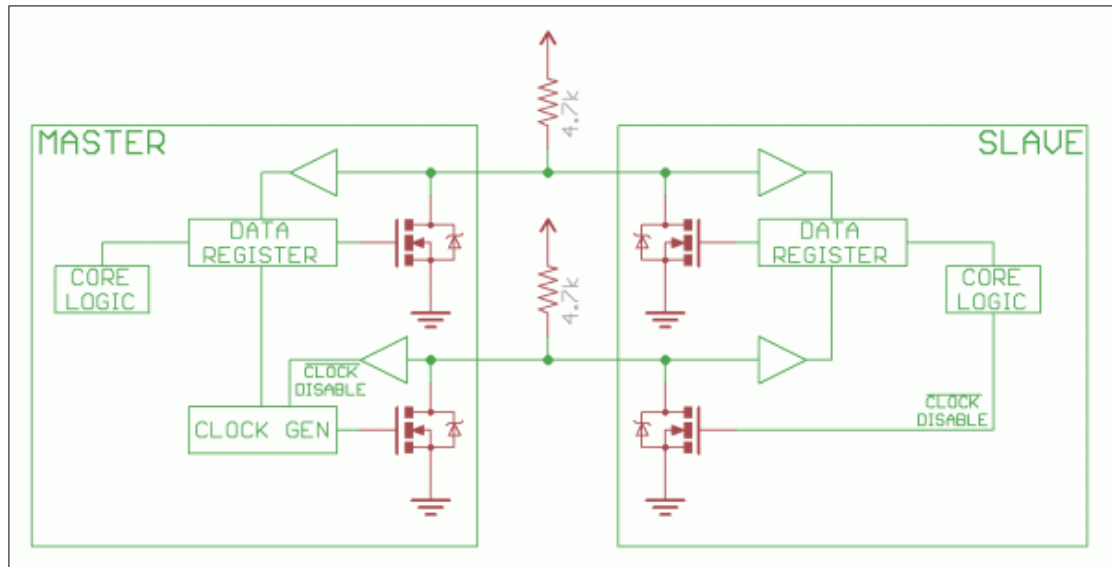
αντίθεση με το SPI, το I2C μπορεί να υποστηρίξει ένα σύστημα πολλαπλών masters, επιτρέποντας σε περισσότερους από έναν να επικοινωνούν με όλες τις συσκευές στο δίαυλο (παρόλο που οι κύριες συσκευές δεν μπορούν να μιλούν ο ένας στον άλλο μέσω του δίαυλου, και πρέπει να εναλλάσσονται στη χρήση των γραμμών του διαύλου).

Ο ρυθμός μεταφοράς δεδομένων είναι μειωμένος στην ασύγχρονη σειριακή επικοινωνία και στο SPI. Οι περισσότερες συσκευές I2C μπορούν να επικοινωνούν στα 100kHz ή 400kHz. Υπάρχει κάποια επιβάρυνση με το I2C. Για κάθε 8 bits δεδομένων που πρέπει να σταλούν, πρέπει να μεταδοθεί ένα επιπλέον bit μεταδεδομένων (το bit "ACK / NACK", το οποίο θα συζητηθεί αργότερα).

Το υλικό που απαιτείται για την υλοποίηση του I2C είναι πιο πολύπλοκο από το SPI, αλλά λιγότερο από την ασύγχρονη σειριακή και μπορεί να εφαρμοστεί αρκετά απλά στο λογισμικό.

Κάθε δίαυλος I2C αποτελείται από δύο σήματα: SCL και SDA. Το SCL είναι το σήμα ρολογιού και το SDA είναι το σήμα δεδομένων. Το σήμα ρολογιού παράγεται πάντα από την τρέχουσα κύρια μονάδα διαύλου. Ορισμένες slave συσκευές ενδέχεται να ωθήσουν το ρολόι σε χαμηλούς ρυθμούς κατά περιόδους, για να καθυστερήσουν τον κύριο αποστολέα να στείλει περισσότερα δεδομένα (ή να απαιτήσει περισσότερο χρόνο για να προετοιμάσει τα δεδομένα προτού ο master προσπαθήσει να το προγραμματίσει). Αυτό ονομάζεται "τέντωμα ρολογιού" και περιγράφεται στη συνέχεια του κεφαλαίου.

Σε αντίθεση με τις συνδέσεις UART ή SPI, οι οδηγοί διαύλου I2C είναι "open drain", που σημαίνει ότι μπορούν να τραβήξουν την αντίστοιχη γραμμή σήματος χαμηλά, αλλά δεν μπορούν να την οδηγήσουν ψηλά. Έτσι, δεν υπάρχει καμία διαμάχη για τον δίαυλο όπου μια συσκευή προσπαθεί να οδηγήσει τη γραμμή ψηλά ενώ μια άλλη προσπαθεί να την τραβήξει χαμηλά, εξαλείφοντας το ενδεχόμενο βλάβης στους οδηγούς ή υπερβολικής κατανάλωσης ενέργειας στο σύστημα. Κάθε γραμμή σήματος έχει μια αντίσταση pull-up, για να αποκαταστήσει το σήμα σε υψηλά επίπεδα όταν καμία συσκευή δεν το χρειάζεται σε χαμηλά.

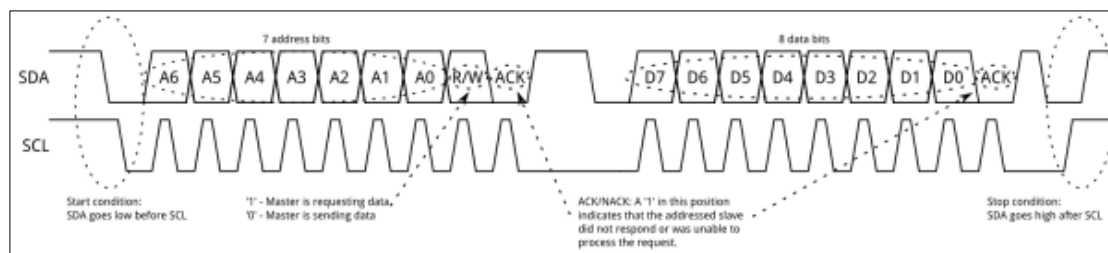


Εικόνα 3.17 Ισοδύναμο εσωτερικό διάγραμμα κυκλώματος ενός συστήματος I2C. [21]

Η επιλογή αντιστάσεων ποικίλλει ανάλογα με τις συσκευές στο δίαυλο, αλλά ένας καλός κανόνας είναι να ξεκινάς με $4.7k\Omega$ και να προσαρμόζεται η αντίσταση προς τα κάτω εάν είναι απαραίτητο. Το I2C είναι ένα αρκετά ισχυρό πρωτόκολλο και μπορεί να χρησιμοποιηθεί με μικρού μήκους καλώδια (2-3m). Για μεγάλες διαδρομές ή συστήματα με πολλές συσκευές, οι μικρότερες αντιστάσεις είναι καλύτερες. [21]

Δεδομένου ότι οι συσκευές στο δίαυλο δεν οδηγούν πραγματικά τα σήματα ψηλά, το I2C επιτρέπει κάποια ευελιξία στη σύνδεση συσκευών με διαφορετικές τάσεις εισόδου / εξόδου. Γενικά, σε ένα σύστημα όπου μια συσκευή είναι σε υψηλότερη τάση από την άλλη, μπορεί να είναι δυνατή η σύνδεση των δύο συσκευών μέσω I2C χωρίς οποιαδήποτε κυκλώματα μετατόπισης επιπέδων μεταξύ τους. Το τέχνασμα είναι να συνδεθούν οι αντιστάσεις pull-up στην χαμηλότερη από τις δύο τάσεις. Αυτό λειτουργεί σε περιπτώσεις όπου, η χαμηλότερη από τις δύο τάσεις του συστήματος υπερβαίνει το υψηλό σημείο της τάσης εισόδου του συστήματος υψηλότερης τάσης.

Η επικοινωνία μέσω του I2C είναι πιο πολύπλοκη από ότι με UART ή SPI. Η σηματοδότηση πρέπει να τηρεί ένα συγκεκριμένο πρωτόκολλο για τις συσκευές του δίαυλου ώστε να την αναγνωρίσει ως έγκυρη επικοινωνία I2C. Τα βασικά αναλύονται στη συνέχεια. [21]



Εικόνα 3.18 Τυπικό μήνυμα μετάδοσης διευθύνσεων 7-bit [21]

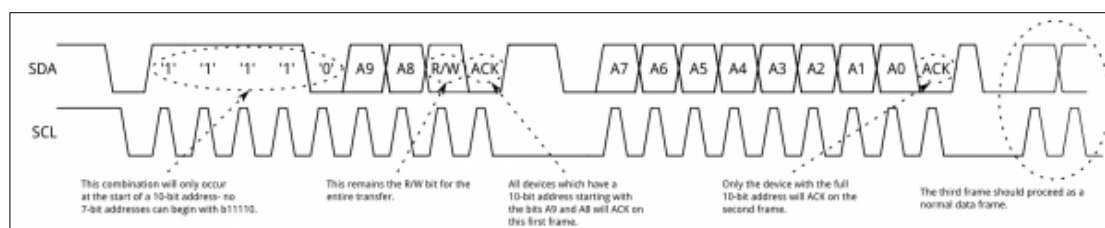
Τα μηνύματα χωρίζονται σε δύο τύπους πλαισίων: ένα πλαίσιο διευθύνσεων, όπου ο master υποδεικνύει τον slave στον οποίο αποστέλλεται το μήνυμα και ένα ή περισσότερα πλαίσια δεδομένων, τα οποία είναι μηνύματα δεδομένων 8-bit που διαβιβάζονται από τον master στον slave ή αντιστρόφως. Τα δεδομένα τοποθετούνται στη γραμμή SDA όταν το SCL πάρει την χαμηλή τιμή και γίνεται η δειγματοληψία τους όταν η τιμή του SCL γίνει ξανά υψηλή. Ο χρόνος μεταξύ της ακμής ρολογιού και ανάγνωσης / εγγραφής δεδομένων καθορίζεται από τις συσκευές στο δίαυλο και θα διαφέρει από τσιπ σε τσιπ. [21]

Για να ξεκινήσει το πλαίσιο διευθύνσεων, η κύρια συσκευή αφήνει το SCL στην υψηλή τάση και τραβά το SDA στη χαμηλή. Αυτό θέτει όλες τις slave συσκευές σε εγρήγορση ότι μια μετάδοση είναι έτοιμη να ξεκινήσει. Εάν δύο κύριες συσκευές επιθυμούν να πάρουν την κυριότητα του διαύλου ταυτόχρονα, όποια συσκευή τραβήξει πρώτα το SDA στην χαμηλή τάση, αποκτά τον έλεγχο του διαύλου. Είναι δυνατόν να γίνει επανειλημμένη εκπομπή εκκινήσεων, ξεκινώντας μια νέα ακολουθία επικοινωνίας χωρίς να παραχωρηθεί ο έλεγχος του διαύλου σε άλλους masters. [21]

Το πλαίσιο διευθύνσεων είναι πάντα πρώτο σε οποιαδήποτε νέα ακολουθία επικοινωνίας. Για μια διεύθυνση 7-bit, η διεύθυνση εκπέμπει πρώτα το πιο σημαντικό δυαδικό ψηφίο (MSB), ακολουθούμενο από ένα bit R / W που δείχνει αν πρόκειται για λειτουργία ανάγνωσης (1) ή εγγραφής (0). Το 9ο bit του πλαισίου είναι το bit NACK / ACK. Αυτό ισχύει για όλα τα πλαίσια (δεδομένα ή διεύθυνση). Μόλις αποσταλούν τα πρώτα 8 bits του πλαισίου, η συσκευή λήψης λαμβάνει τον έλεγχο του SDA. Εάν η συσκευή λήψης δεν ρίξει χαμηλά τη γραμμή SDA πριν από τον 9ο παλμό του ρολογιού, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι η συσκευή λήψης είτε δεν έλαβε τα δεδομένα είτε δεν ήξερε πώς να αναλύσει το μήνυμα. Στην περίπτωση αυτή, η ανταλλαγή σταματά, και εναπόκειται στον master του συστήματος να αποφασίσει πώς να προχωρήσει. [21]

Μόλις αποσταλεί η διεύθυνση, τα δεδομένα μπορούν να ξεκινήσουν. Ο master απλά θα συνεχίσει να παράγει παλμούς ρολογιού σε τακτά χρονικά διαστήματα και τα δεδομένα θα τοποθετηθούν στο SDA είτε από master είτε από slave, ανάλογα με το αν το bit R / W υποδεικνύει λειτουργία ανάγνωσης ή εγγραφής. Ο αριθμός των πλαισίων δεδομένων είναι αυθαίρετος και οι περισσότερες slave συσκευές θα αυξήσουν αυτόματα το εσωτερικό μητρώο, πράγμα που σημαίνει ότι οι επόμενες αναγνώσεις ή εγγραφές θα προέρχονται από το επόμενο μητρώο. [21]

Μόλις έχουν αποσταλεί όλα τα πλαίσια δεδομένων, ο master θα δημιουργήσει μια κατάσταση διακοπής. Οι συνθήκες τερματισμού καθορίζονται από μια μετάβαση από 0 σε 1 (χαμηλή σε υψηλή) στο SDA μετά από μια μετάβαση από 0 σε 1 σε SCL, με το SCL να παραμένει σε υψηλή τάση. Κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας εγγραφής δεδομένων, η τιμή στο SDA δεν πρέπει να αλλάζει όταν η τιμή SCL είναι υψηλή, για να αποφευχθούν οι ψευδείς συνθήκες διακοπών. [21]

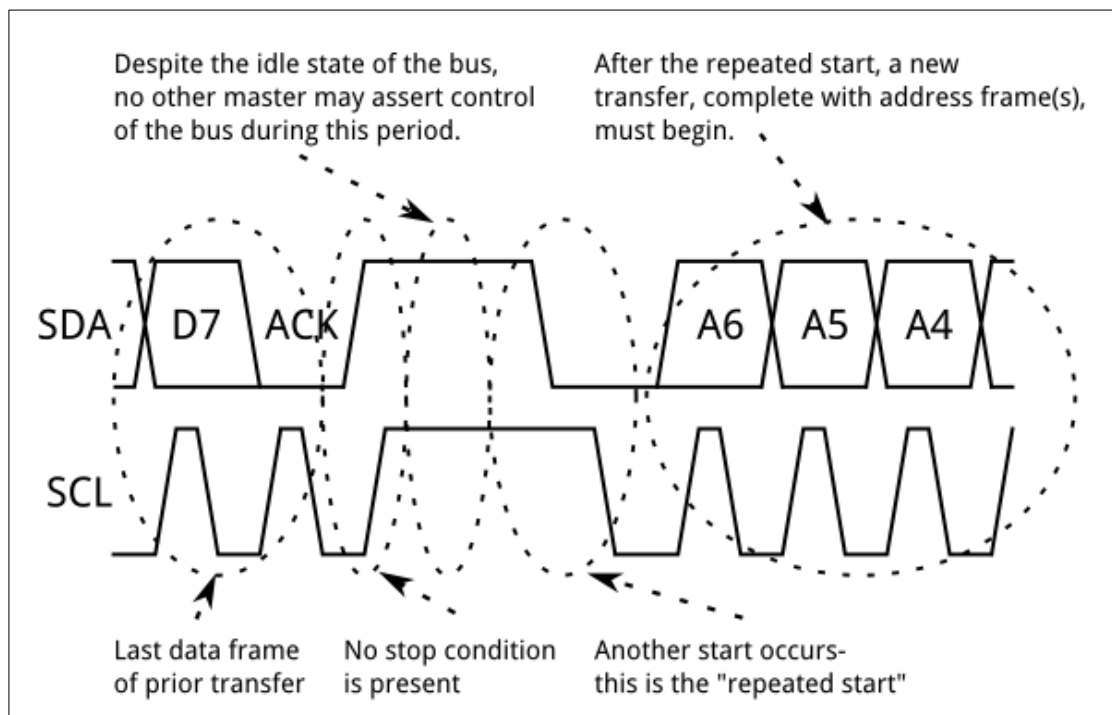


Εικόνα 3.19 Παραδείγματα πλαισίων διευθύνσεων 10-bit. [21]

Σε ένα σύστημα διευθύνσεων 10-bit, απαιτούνται δύο πλαίσια για τη μετάδοση της διεύθυνσης του slave. Το πρώτο πλαίσιο θα αποτελείται από τον κώδικα b11110xyz όπου το «x» είναι το MSB της διεύθυνσης του slave, το y είναι το bit 8 της διεύθυνσης του slave και το z είναι το bit ανάγνωσης / εγγραφής όπως περιγράφηκε παραπάνω. Το bit ACK του πρώτου πλαισίου θα επιβεβαιωθεί από όλους τους slaves που ταιριάζουν με τα δύο πρώτα δυαδικά ψηφία της διεύθυνσης. Όπως συμβαίνει με μια κανονική μεταφορά 7-bit, μια άλλη μεταφορά αρχίζει αμέσως και αυτή η μεταφορά περιέχει 7 bits, κανένα από τα οποία δεν είναι της διεύθυνσης. Σε αυτό το σημείο, ο απευθυνόμενος slave θα πρέπει να ανταποκριθεί με ένα bit ACK. Εάν δεν συμβεί αυτό, η λειτουργία αποτυχίας είναι ίδια με εκείνη ενός συστήματος 7-bit. Να σημειωθεί ότι οι συσκευές διεύθυνσης 10 bit μπορούν να συνυπάρχουν με συσκευές διευθύνσεων 7-bit, καθώς το αρχικό μέρος '11110' της διεύθυνσης δεν αποτελεί μέρος έγκυρων διευθύνσεων 7-bit. [21]

Μερικές φορές είναι σημαντικό να επιτρέπεται σε μια κύρια συσκευή να ανταλλάσσει πολλά μηνύματα με μία κίνηση, χωρίς να επιτρέπει σε άλλες κύριες συσκευές στο δίαυλο να παρεμβαίνουν. Για το λόγο αυτό, έχει οριστεί η επαναλαμβανόμενη κατάσταση έναρξης. Για να εκτελεστεί μια επαναλαμβανόμενη εκκίνηση, το SDA επιτρέπεται να φτάσει ψηλά ενώ το SCL είναι χαμηλά, το SCL επιτρέπεται να φτάσει σε υψηλά επίπεδα και στη συνέχεια το SDA επανέρχεται πάλι χαμηλά ενώ το SCL είναι υψηλά. Επειδή δεν υπήρχε καμία συνθήκη διακοπής στο δίαυλο, η προηγούμενη επικοινωνία δεν ολοκληρώθηκε πραγματικά και ο τρέχων master διατηρεί τον έλεγχο του διαύλου. [21]

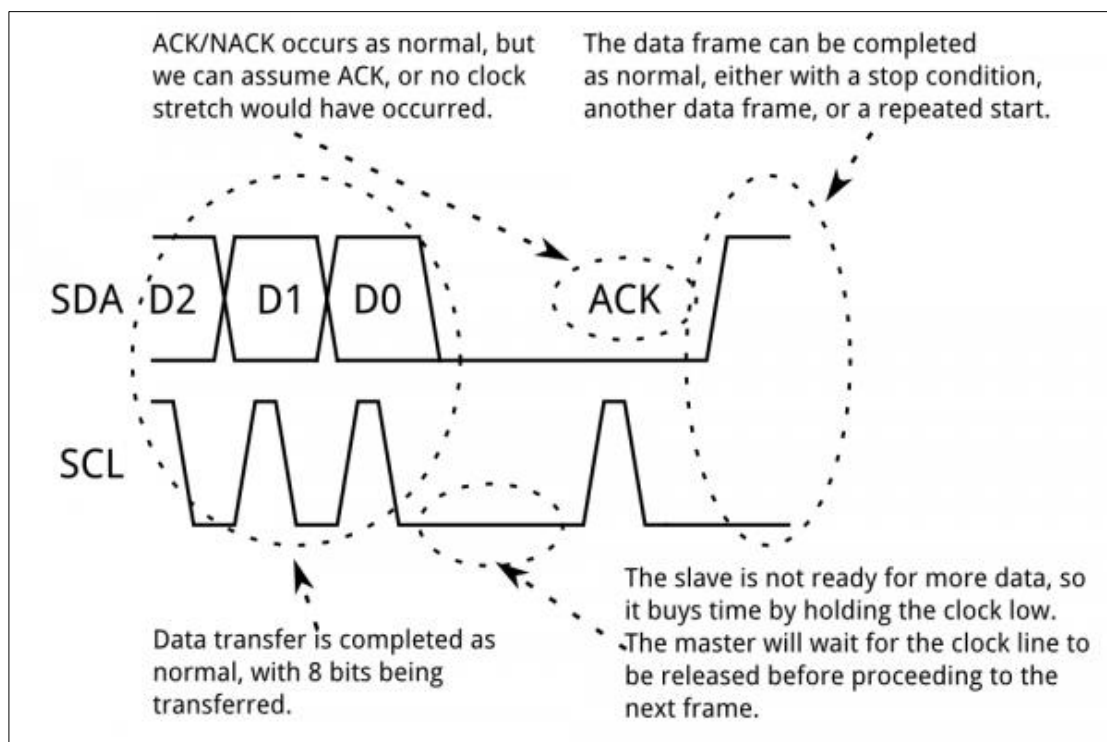
Σε αυτό το σημείο, το επόμενο μήνυμα μπορεί να ξεκινήσει να μεταδίδεται. Η σύνταξη αυτού του νέου μηνύματος είναι ίδια με κάθε άλλο μήνυμα - ένα πλαίσιο διευθύνσεων που ακολουθείται από πλαίσια δεδομένων. Οποιοσδήποτε αριθμός επαναλαμβανόμενων εκκινήσεων επιτρέπεται και ο master διατηρεί τον έλεγχο του διαύλου μέχρι να εκπέμψει μια συνθήκη διακοπής.



Εικόνα 3.20 Μια επαναλαμβανόμενη συνθήκη εκκίνησης. [21]

Κατά καιρούς, ο ρυθμός μεταφοράς δεδομένων του master θα υπερβεί την ικανότητα του slave να παρέχει αυτά τα δεδομένα. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι τα δεδομένα δεν είναι ακόμα έτοιμα (για παράδειγμα, ο slave δεν έχει ολοκληρώσει ακόμα μια μετατροπή αναλογικού προς ψηφιακό) ή επειδή μια

προηγούμενη λειτουργία δεν έχει ακόμη ολοκληρωθεί (π.χ. μια EEPROM που δεν έχει ολοκληρώσει το γράψιμο ακόμη σε μη πτητική μνήμη και πρέπει να το ολοκληρώσει πριν μπορέσει να εξυπηρετήσει άλλα αιτήματα). Σε αυτήν την περίπτωση, ορισμένες συσκευές slave θα εκτελέσουν αυτό που αποκαλείται "stretching clock". Κανονικά, όλα τα ρολόγια οδηγούνται από την κύρια συσκευή - οι slaves απλά βάζουν δεδομένα στο δίαυλο ή παίρνουν δεδομένα από το δίαυλο ανταποκρινόμενοι στους παλμούς του ρολογιού του master. Σε οποιοδήποτε σημείο της διαδικασίας μεταφοράς δεδομένων, ένας απευθυνόμενος slave μπορεί να συγκρατήσει τη γραμμή SCL σε χαμηλό επίπεδο αφού την απελευθερώσει ο master. Ο master είναι υποχρεωμένος να απέχει από την αποστολή πρόσθετων παλμών ρολογιού ή τη μεταφορά δεδομένων μέχρις ότου ο slave απελευθερώσει τη γραμμή SCL. [21]



Εικόνα 3.21 Ένας slave που χρησιμοποιεί ρολόι που εκτείνεται για να καθυστερήσει το επόμενο πλαίσιο δεδομένων [21]

3.7 Μετρούμενες παράμετροι και αισθητήρες

3.7.1 Υπολογισμός και μέτρηση μεγεθών

Η παροχή εναλλασσόμενου ρεύματος δημιουργεί ένα σήμα ημιτονοειδούς μορφής με συχνότητα 50Hz. Η τιμή rms (root mean square) ενός ημιτονοειδούς σήματος τάσης υπολογίζεται από τον τύπο: $V_{rms} = \sqrt{\left(\frac{1}{T} * \int_0^T [V_{pk} * \sin(\omega t + \varphi)]^2 * dt\right)} = V_{pk}/\sqrt{2}$. Αντίστοιχα υπολογίζεται και η rms τιμή του ρεύματος. Η φαινόμενη ισχύς S υπολογίζεται ως: $S = V_{rms} * I_{rms}$. Η φαινόμενη ισχύς αποτελείται από δύο συνιστώσες, την ενεργό και την άεργο ισχύ όπου η ενεργός ισχύς P υπολογίζεται ως: $P = S * \cos\theta$ και η άεργος ισχύς Q ως: $Q = S * \sin\theta$. Η γωνία θ είναι η διαφορά φάσης μεταξύ των κυματομορφών της τάσης και του ρεύματος.

Στην κατανάλωση μίας οικίας, ο μετρητής της Δ.Ε.Η. μετρά την ενεργό ισχύ και αυτή θα μας απασχολήσει στη συνέχεια. Ο παραπάνω υπολογισμός της ενεργού ισχύος ισχύει σε περίπτωση γραμμικού φορτίου. Το οικιακό φορτίο όμως δεν είναι γραμμικό, κάτι που δημιουργεί παραμόρφωση στην ημιτονοειδή κυματομορφή της τάσης και του ρεύματος. Η μη ημιτονοειδής μορφή του σήματος με τη χρήση του μετασχηματισμού Fourier μπορεί να αναλυθεί σε αρμονικές συνιστώσες, δηλαδή απλές ημιτονοειδείς κυματομορφές που ξεκινούν με τη βασική συχνότητα του δικτύου και συνεχίζουν με συχνότητες ακέραια πολλαπλάσιες της βασικής συχνότητας. Η συνολική αρμονική παραμόρφωση ή η THD είναι μια κοινή μέτρηση του επιπέδου της αρμονικής παραμόρφωσης που υπάρχει στα συστήματα ισχύος. Η THD μπορεί να σχετίζεται είτε με αρμονικές ρεύματος είτε με αρμονικές τάσης και ορίζεται ως ο λόγος των συνολικών αρμονικών προς την τιμή της θεμελιώδους συχνότητας επί 100%.

$$\begin{aligned} THD_V &= \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots + V_n^2}}{V_1} * 100\% = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^n V_k^2}}{V_1} * 100\% \\ THD_I &= \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots + I_n^2}}{I_1} * 100\% = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^n I_k^2}}{I_1} * 100\% \end{aligned}$$

Εικόνα 3.22 Υπολογισμός THD τάσης και ρεύματος

Όπου V_n είναι η τάση rms της νιοστής αρμονικής, I_n είναι το ρεύμα rms της νιοστής αρμονικής και $n = 1$ είναι η θεμελιώδης συχνότητα.

Στον υπολογισμό της πραγματικής ισχύος συνήθως αγνοούνται οι αρμονικές συνιστώσες. Ωστόσο, αν δεν τις παραμελήσουμε, η πραγματική ισχύς που μεταφέρεται στο φορτίο επηρεάζεται από τις αρμονικές. Η μέση πραγματική ισχύς μπορεί να βρεθεί προσθέτοντας το γινόμενο της τάσης και του ρεύματος (και του συντελεστή ισχύος, που δηλώνεται από το pf εδώ) σε κάθε αρμονική συχνότητα στο γινόμενο τάσης και ρεύματος στη θεμελιώδη συχνότητα:

$$P_{avg} = \sum_{k=1}^{\infty} V_k * I_k * pf = P_{avg,1} + P_{avg,2} + \dots$$

Εικόνα 3.23 Υπολογισμός μέσης ισχύος

όπου V_k και I_k είναι οι rms τιμές τάσης και ρεύματος σε αρμονική k ($k = 1$ δηλώνει τη θεμελιώδη συχνότητα), και $P_{avg,1}$ είναι ο συμβατικός ορισμός της ισχύος χωρίς να ληφθούν υπόψιν οι αρμονικές συνιστώσες.

Πρέπει να σημειωθεί ότι ο συντελεστής ισχύος που αναφέρθηκε παραπάνω είναι ο συντελεστής ισχύος μετατόπισης όμως υπάρχει και ένας άλλος συντελεστής ισχύος που εξαρτάται από την THD. Ο πραγματικός συντελεστής ισχύος μπορεί να θεωρηθεί ότι σημαίνει τον λόγο μεταξύ της μέσης πραγματικής ισχύος και του γινομένου της τάσης και του ρεύματος rms.

$$pf_{true} = \frac{P_{avg}}{V_{rms} I_{rms}}$$

Εικόνα 3.24 Πραγματικός συντελεστής ισχύος

$$V_{rms} = V_{1,rms} \sqrt{1 + \left(\frac{THD_V}{100}\right)^2}$$

Εικόνα 3.25 Υπολογισμός V_{rms}

$$I_{rms} = I_{1,rms} \sqrt{1 + \left(\frac{THD_I}{100}\right)^2}$$

Εικόνα 3.26 Υπολογισμός Irms

Αντικαθιστώντας αυτές τις τιμές στη συνάρτηση για τον αληθινό συντελεστή ισχύος, γίνεται σαφές ότι το μέγεθος μπορεί να θεωρηθεί ότι έχει δύο συνιστώσες, εκ των οποίων η μία είναι ο παραδοσιακός συντελεστής ισχύος (παραβλέποντας την επίδραση των αρμονικών) και η άλλη είναι η συμβολή των αρμονικών στο συντελεστή ισχύος:

$$pf_{true} = \frac{P_{avg}}{V_{1,rms} I_{1,rms}} * \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{THD_V}{100}\right)^2} \sqrt{1 + \left(\frac{THD_I}{100}\right)^2}}$$

Εικόνα 3.27 Υπολογισμός pftrue

Τα ονόματα αντιστοιχούν στους δύο διαφορετικούς συντελεστές ως εξής:

$$pf_{true} = pf_{disp} * pf_{dist}$$

Εικόνα 3.28 Συνιστώσες pftrue

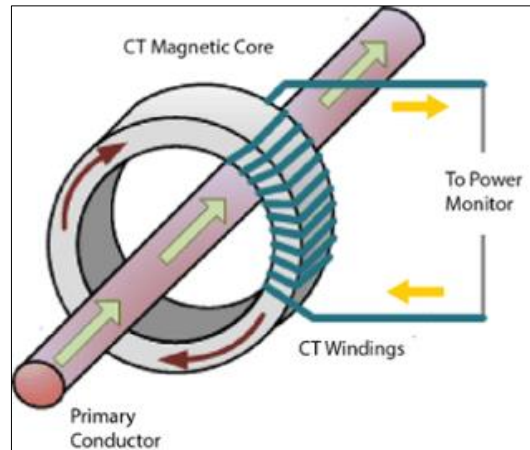
Όπου pf_{disp} είναι ο συντελεστής ισχύος μετατόπισης και pf_{dist} είναι ο συντελεστής ισχύος παραμόρφωσης (δηλ. η συνεισφορά των αρμονικών στο συνολικό συντελεστή ισχύος). [22]

Σε ένα σύστημα όπως αυτό, όπου οι μετρήσεις είναι διακριτές η συνολική καταναλισκόμενη ενέργεια υπολογίζεται με τον τύπο: $E = \Delta t * \sum_{n=1}^N P_n$ όπου P_n είναι η τιμή της ισχύος της νιοστής μέτρησης και Δt το διάστημα μεταξύ κάθε μέτρησης.

3.7.2 Μετασηματιστές ρεύματος

Για λόγους απλότητας και ασφάλειας σε τέτοιου είδους εφαρμογές προτιμώνται μετασηματιστές ρεύματος (Current Transformers ή για συντομία CT). Οι μετασηματιστές ρεύματος χρησιμοποιούνται για να μετρήσουν το ρεύμα στα κυκλώματα εναλλασσόμενου ρεύματος. Λειτουργούν με μαγνητική επαγωγή ρεύματος από τον αγωγό που τοποθετούνται σε ένα αναλογικό ηλεκτρικό ρεύμα που

ρέει μέσω των αγωγών τους. Επιτρέπουν στους μετρητές ισχύος να μετρήσουν το ρεύμα σε κυκλώματα τα οποία, αν μετρούσαν το ρεύμα απευθείας, θα υπερφόρτωναν τους μετρητές. [23]



Εικόνα 3.29 Λειτουργία μετασχηματιστή ρεύματος [23]



Υπάρχουν δύο κύριοι τύποι CT:

- Οι CT συμπαγούς πυρήνα σχηματίζουν έναν μόνιμα κλειστό πυρήνα. Η τοποθέτηση ενός CT συμπαγούς πυρήνα απαιτεί την αποσύνδεση του αγωγού για να περαστεί μέσα στον CT. Τα πλεονεκτήματα των CT συμπαγούς πυρήνα είναι ότι είναι γενικά λιγότερο δαπανηρά και μπορούν να είναι ακριβέστερα.
- Οι CT διαχωρισμένου πυρήνα έχουν μία «σχισμή» που επιτρέπει στους CT να τοποθετηθούν γύρω από τον αγωγό χωρίς να χρειάζεται να αποσυνδεθεί ο αγωγός ή να διακοπεί η καλωδίωση. Οι CT με διαχωρισμό πυρήνα μπορεί να είναι ακριβότεροι, αλλά η ευκολία τους υπερβαίνει κατά κανόνα το κόστος τους όταν ασχολείται με τις εγκαταστάσεις εκσυγχρονισμού. [23]



Εικόνα 3.30 Αριστερά μετασχηματιστής συμπαγούς πυρήνα και δεξιά διαχωρισμένου πυρήνα [23]

Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι είναι καλύτερο για ένα τέτοιο σύστημα να επιλεγθούν μετασχηματιστές διαχωρισμένου πυρήνα. Ενδεικτικά στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται δύο τέτοιοι μετασχηματιστές.

Product Name	Icon	Input Current	Dielectric Strength	Linearity accuracy	Opening Size	Working Temperature	Turn Ratio
YHDC Current Transformer SCT-013-000		0-100A	1000V AC/1min 5mA	±3%	13x13mm	-25°C~70°C	100A: 0.05A
ECS1030-L72		0-30A	2500V AC/1min 1mA	±0.5%	>10x10mm	-40°C~65°C	30A: 0.015A

Πίνακας 3.2 Επιλογές μετασχηματιστών ρεύματος

4^ο Κεφάλαιο: Σχεδίαση συστήματος παρακολούθησης κατανάλωσης ενέργειας

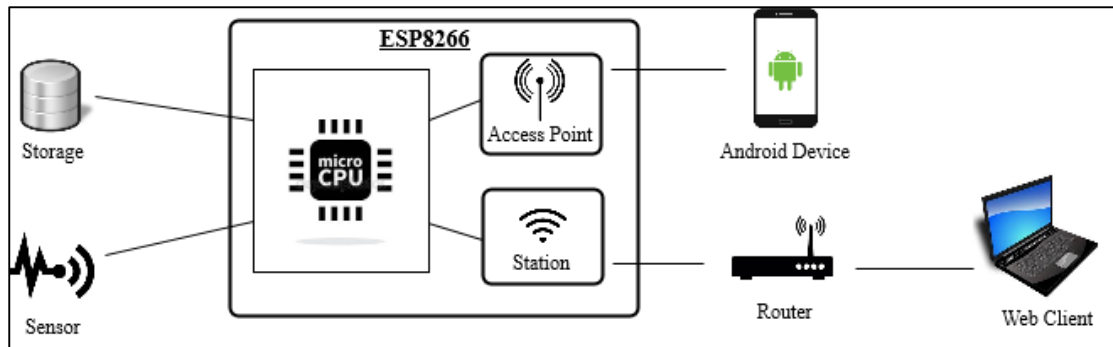
4.1 Εισαγωγή

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η σχεδίαση και υλοποίηση ενός αυτοτελούς συστήματος παρακολούθησης κατανάλωσης ενέργειας ενός σπιτιού και ταυτόχρονα απομακρυσμένου ελέγχου των ηλεκτρικών συσκευών. Το σύστημα σχεδιάστηκε με τέτοιο τρόπο ώστε η χρησιμοποίησή του στο σπίτι να είναι απλή και παράλληλα όσο το δυνατόν ανεξάρτητη όσον αφορά τη λειτουργία του. Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα παρουσιαστεί η εμφάνιση, δομή και λειτουργία του υλοποιημένου συστήματος.

Το σύστημα αποτελείται από έναν αισθητήρα ρεύματος ο οποίος λαμβάνει μετρήσεις από τον κεντρικό αγωγό ρεύματος του πίνακα της Δ.Ε.Η.. Ο client έχει τη δυνατότητα μέσω διαδικτυακής σελίδας να έχει πρόσβαση στις μετρήσεις αυτές και να ελέγχει τους διακόπτες των συσκευών που είναι συνδεδεμένες στο μικροελεγκτή. Σε αυτό το σημείο να τονιστεί ότι λόγω του γεγονότος ότι δεν μετριέται η τάση, οι τιμές ενέργειας και ισχύος που αναγράφονται στις μετρήσεις δεν ανταποκρίνονται στις πραγματικές τιμές. Η μέτρηση του ρεύματος όμως μπορεί να δώσει, στο επίπεδο της οικιακής παροχής, μια προσεγγιστική εικόνα σχετικά με την κατανάλωση.

4.2 Δομή του συστήματος

Βασικός άξονας της διπλωματικής υπήρξε η όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ανεξαρτησία του συστήματος από υπολογιστή και σε αυτή την κατεύθυνση κινήθηκε η κατασκευή του συνολικού συστήματος. Το σύστημα χωρίζεται σε τρία στάδια.



Εικόνα 4.1 Γενική μορφή της δομής του συστήματος

Το πρώτο στάδιο περιλαμβάνει τη συλλογή και αποθήκευση των μετρήσεων του συστήματος. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.1, ο αισθητήρας που είναι συνδεδεμένος στο μικροελεγκτή λαμβάνει τις μετρήσεις από τον κεντρικό αγωγό του πίνακα. Στη συνέχεια, οι μετρήσεις που λαμβάνονται από τον αισθητήρα καταχωρούνται σε ένα τοπικό αποθηκευτικό μέσο.

Το δεύτερο στάδιο στηρίζεται στη λειτουργία του μικροελεγκτή ως Access Point. Η Android συσκευή συνδέεται στο τοπικό δίκτυο που δημιουργεί ο μικροελεγκτής ως Access Point. Μέσω της Android εφαρμογής που δημιουργήθηκε, η Android συσκευή μπορεί να επικοινωνεί με το μικροελεγκτή μέσω του Access Point δικτύου, ζητώντας του τα διαθέσιμα προς σύνδεση δίκτυα WiFi ώστε ο χρήστης να μπορεί να επιλέξει σε ποιο δίκτυο θα συνδεθεί ο μικροελεγκτής.

Το τρίτο στάδιο αποτελεί ο εκάστοτε υπολογιστής ή κινητή συσκευή που χρησιμοποιεί ο πελάτης. Στο στάδιο αυτό ο πελάτης συνδέεται στον εξυπηρετητή μέσω της λειτουργίας Station του μικροελεγκτή με τη χρήση ιστοσελίδας που δημιουργήθηκε με λογισμικό που θα περιγραφεί στη συνέχεια. Με τη σύνδεση του μικροελεγκτή σε ένα δίκτυο της επιλογής του πελάτη παρέχεται η δυνατότητα πρόσβασης στην ιστοσελίδα του συστήματος. Ο πελάτης έχει τη δυνατότητα να στέλνει αιτήματα είτε με ενεργητικό ή με παθητικό χαρακτήρα, όπου ενεργητικό χαρακτήρα έχουν τα αιτήματα που μπορούν να αλλάξουν την κατάσταση των ψηφιακών εξόδων του μικροελεγκτή καθώς και τα αιτήματα για την αλλαγή της λειτουργικότητας του μικροελεγκτή. Αντίθετα, παθητικό χαρακτήρα έχουν τα αιτήματα για την αποστολή δεδομένων μετρήσεων με σκοπό την παρακολούθηση της ημερήσιας κατανάλωσης.

Η επικοινωνία των εμπλεκόμενων συσκευών στο 2^ο και 3^ο στάδιο γίνεται με τη χρήση του πρωτοκόλλου εφαρμογών HTTP (Hypertext Transfer Protocol) που αποτελεί την βάση για τη μεταφορά δεδομένων στον παγκόσμιο ιστό.

4.3 Παρουσίαση λειτουργίας του συστήματος

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω το κύριο στοιχείο του συστήματος είναι η χρήση του μικροελεγκτή ως εξυπηρετητής για την αποφυγή χρήσης υπολογιστή που θα εκτελούσε τη συγκεκριμένη λειτουργία. Ο μικροελεγκτής αποτελεί λοιπόν στοιχείο κομβικής σημασίας στο σύστημα.

Από τη στιγμή που θα φορτωθεί στο μικροελεγκτή το λογισμικό για τη λειτουργία του το μόνο που απομένει για την έναρξη λήψης μετρήσεων είναι η σύνδεση του συστήματος στην τροφοδοσία. Με την εκκίνηση του συστήματος ο αισθητήρας λαμβάνει τις μετρήσεις του ρεύματος με συχνότητα δειγματοληψίας αυτή που ορίζεται στο λογισμικό του μικροελεγκτή. Κάθε μέτρηση αποθηκεύεται σε αρχεία κειμένου στο αποθηκευτικό μέσο ανάλογα με την ημερομηνία λήψης της μέτρησης.

Παράλληλα, κατά την εκκίνηση λειτουργίας του, ο μικροελεγκτής βρίσκεται σε λειτουργία Access Point και Station. Εφόσον βρίσκεται σε λειτουργία Access Point, εκπέμπει ένα δίκτυο στο οποίο μπορεί να συνδεθεί μια Android συσκευή. Ο πελάτης συνδέει την Android συσκευή του στο δίκτυο του Access Point και με τη χρήση υλοποιηθής εφαρμογής, ζητάει από το μικροελεγκτή τα διαθέσιμα προς σύνδεση WiFi δίκτυα. Όταν ο πελάτης επιλέξει το δίκτυο που επιθυμεί να συνδέσει το μικροελεγκτή, τότε, αρχικά, ο μικροελεγκτής αποσυνδέεται από το δίκτυο WiFi στο οποίο ήταν συνδεδεμένος κατά την εκκίνηση λειτουργίας του. Στη συνέχεια, αποθηκεύονται τα SSID και password του καινούριου δικτύου για τη σύνδεση του μικροελεγκτή κατά την επόμενη εκκίνηση του και τέλος ο ίδιος συνδέεται με το δρομολογητή (router) του δικτύου του σπιτιού του οποίου πραγματοποιούμε τον έλεγχο κατανάλωσης ρεύματος. Στο firmware του μικροελεγκτή ορίζεται μία θύρα (port) επικοινωνίας στην οποία θα ακούει ο εξυπηρετητής της Station λειτουργίας του μικροελεγκτή για εισερχόμενα αιτήματα από τους πελάτες. Απ' την άλλη μεριά, ο πελάτης πληκτρολογώντας την IP του εξυπηρετητή της Station λειτουργίας που του έχει ανατεθεί από το δρομολογητή του δικτύου και το παραπάνω port, στον περιηγητή του, στέλνει αίτημα σύνδεσης στον εξυπηρετητή ο οποίος με τη σειρά του επιστρέφει την ιστοσελίδα του συστήματος. Μετά τη φόρτωση της σελίδας,

εκτελούνται αιτήματα αποστολής κατάστασης των ψηφιακών εξόδων του μικροελεγκτή ώστε να ενημερώνεται ο πελάτης για την τρέχουσα κατάστασή τους. Επίσης, στέλνεται αίτημα αποστολής των μετρήσεων της τελευταίας ημέρας οι οποίες αποστέλλονται και απεικονίζονται σε γραφική παράσταση και πίνακα δεδομένων. Η ιστοσελίδα απεικονίζει σε γραφική παράσταση το ρεύμα και την ισχύ στη διάρκεια ενός 24ώρου. Επίσης, στον πίνακα δεδομένων απεικονίζονται οι τιμές ρεύματος, ισχύος, η χρονική στιγμή της τελευταίας μέτρησης, καθώς και η ενέργεια που έχει καταναλωθεί μέχρι εκείνη τη στιγμή σε βατώρες (Wh). Ο πελάτης ακόμα, μπορεί να στέλνει αίτημα αποστολής μετρήσεων συγκεκριμένης ημερομηνίας με την προϋπόθεση το συγκεκριμένο αρχείο να υπάρχει στο αποθηκευτικό μέσο. Επιπρόσθετα, έχει τη δυνατότητα να ανανεώνει την τελευταία μέτρηση στέλνοντας όποτε το επιθυμεί αίτημα ανανέωσης καθώς και να διαγράφει όποια αρχεία μετρήσεων επιθυμεί. Δίνεται επίσης η δυνατότητα για αποστολή αιτήματος αλλαγής κατάστασης της ψηφιακής εξόδου που επιλέγει και κατά συνέπεια της συσκευής που είναι συνδεδεμένη σε αυτή. Τέλος, μπορεί με την δυνατότητα για Over the Air Programming του μικροελεγκτή, να ενημερώνει το firmware του μικροελεγκτή.

5^ο Κεφάλαιο: Δομή του υλικού του συστήματος παρακολούθησης κατανάλωσης ενέργειας

5.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο θα αναλυθεί η τεχνική δομή του συστήματος από την οποία αποτελούνται τα προαναφερθέντα στάδια. Βασικό ρόλο στην επιλογή των στοιχείων έπαιξε η απλότητα, η λειτουργικότητα και η ασφάλεια στην εκτέλεση του συστήματος.

5.2 Επιλογή επεξεργαστικής μονάδας

Η επεξεργαστική μονάδα αποτελεί την καρδιά ενός συστήματος όπως αυτό που κατασκευάστηκε στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας. Η σωστή επιλογή της αποτελεί σημαντικό παράγοντα για τη σωστή κατασκευή του συστήματος. Τα κριτήρια με τα οποία έγινε αυτή η επιλογή παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Στην Ενότητα 3.2 έγινε μια παρουσίαση των επιλογών που υπήρχαν και στην ουσία χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: μικροελεγκτές και μικροϋπολογιστές. Στο συγκεκριμένο σύστημα δεν απαιτούνται σύνθετες υπολογιστικές διαδικασίες, αλλά μόνο συλλογή και αποθήκευση των μετρήσεων. Άρα, επιλογές όπως οι υπολογιστές μονής πλακέτας που παρουσιάστηκαν, θα ήταν υπερβολικές. Επίσης λόγω του ότι θέλουμε ένα αυτοτελές σύστημα ήταν αναγκαία η επιλογή μιας πλακέτας που θα έδινε τη δυνατότητα σύνδεσης στο WiFi και ταυτόχρονα λειτουργίας τόσο ως server αλλά και Access Point. Ακόμα, επειδή το σύστημα προορίζεται για οικιακή χρήση και απευθύνεται στον καθένα, η εξοικονόμηση χώρου και κυρίως κόστους αποτελούν βασικές προτεραιότητες στην επιλογή της επεξεργαστικής μονάδας. Επιπλέον, η υποστήριξη πρωτοκόλλων επικοινωνίας όπως αυτά που αναφέρθηκαν στην Ενότητα 3.8 είναι ακόμα ένα σημαντικό στοιχείο, καθώς επιτρέπεται η προσάρτηση περιφερειακών συσκευών που αποτελούν βασικά κομμάτια στην σωστή λειτουργία του συστήματος. Τέλος, η χρήση γλώσσας υψηλού επιπέδου είναι σημαντική, αφού

απλουστεύει σε μεγάλο βαθμό τη διαδικασία προγραμματισμού των λειτουργιών του συστήματος.

Από τις επιλογές που παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 3.2 αυτή που πληροί τις παραπάνω προδιαγραφές σε αρκετά μεγάλο βαθμό είναι το ESP8266 NodeMcu with CH340G - WIFI Internet Development Board. Η συγκεκριμένη πλακέτα έχει ενσωματωμένο το ESP8266 module. Έχει ενσωματωμένο έναν Tensilica L106 32-bit μικροεπεξεργαστή που έχει χαμηλή κατανάλωση ισχύος και 16-bit RSIC. Λειτουργεί σε συχνότητα 80Mhz και μπορεί να φτάσει σε μέγιστη τιμή των 160Mhz. Μπορεί να διαθέσει έως 36KB για προγραμματισμό και εξωτερική Flash μνήμη που μπορεί θεωρητικά να φτάσει έως και 16MB. Διαθέτει επίσης 10 GPIO εκ των οποίων το ένα είναι αναλογική είσοδος και τα υπόλοιπα μπορούν να λειτουργήσουν ως PWM, SPI, IIC ή 1-wire και να παράγουν έξοδο 3.3V. [24] Η πλακέτα έχει συνολικά 30 ακροδέκτες, τάση λειτουργίας 3-3.6V και ρεύμα περίπου 80mA σε θερμοκρασίες -40°C~125°C. Μπορεί να τροφοδοτηθεί με 5V από καλώδιο USB στο κατάλληλο port που διαθέτει. Σημαντικό πλεονέκτημα της πλακέτας είναι ότι διαθέτει εξελιγμένο API για το υλικό των IO και έχει τη δυνατότητα να προγραμματιστεί στο Arduino IDE. Η πλακέτα που επιλέχθηκε καλύπτει, τέλος, την ανάγκη εξοικονόμησης χώρου αφού έχει διαστάσεις 49x24.5x13mm και είναι χαμηλού κόστους με τιμή περίπου 8€.

5.3 Επιλογή αισθητήρα

5.3.1 Χαρακτηριστικά Αισθητήρα

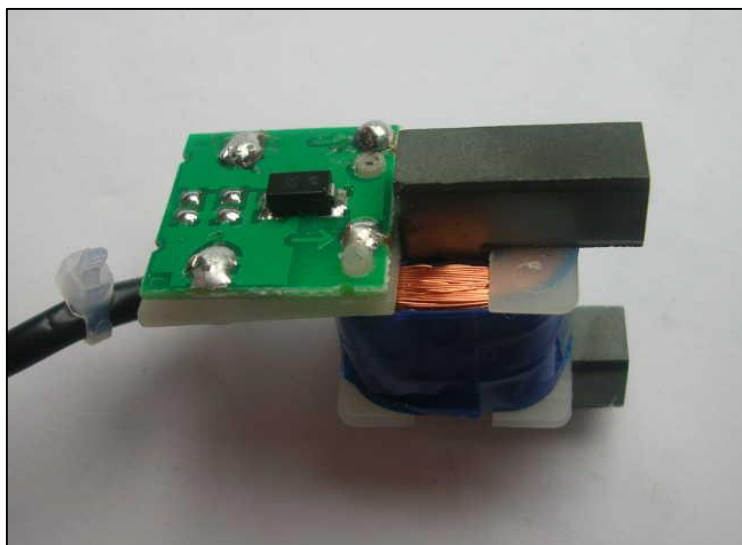
Μετά την επιλογή της επεξεργαστικής μονάδας, το επόμενο κομμάτι της κατασκευής είναι η επιλογή του αισθητήρα που θα λαμβάνει τις μετρήσεις και θα συνδέεται στον επεξεργαστή.

Στο Κεφάλαιο 3.6 εξηγείται η λειτουργία του μετασχηματιστή ρεύματος ο οποίος χρησιμοποιήθηκε ως αισθητήρας στο συγκεκριμένο σύστημα. Ο μετασχηματιστής ρεύματος που επιλέχθηκε είναι ο YHDC SCT-013-000.



Εικόνα 5.1 Αισθητήρας YHDC SCT-013-000 [25]

Ο μετασχηματιστής ρεύματος YHDC κατασκευάζεται από την Beijing YaoHuadechang Electronic Co., Ltd και είναι ευρέως διαθέσιμος από πολλούς εμπόρους ως μη επεμβατικός αισθητήρας ρεύματος AC (100A max), Model SCT-013-000 με λόγο ρεύματος πρωτεύοντος-δευτερεύοντος 100A:50mA. Δεν έχει εσωτερική αντίσταση φορτίου, αλλά ένας παροδικός καταστολέας τάσης περιορίζει την τάση εξόδου σε περίπτωση τυχαίας αποσύνδεσης από το φορτίο. Είναι σε θέση να αναπτύξει επαρκή τάση για να οδηγήσει πλήρως μια είσοδο 5V. Παρακάτω παρουσιάζονται αποτελέσματα που προέκυψαν από δοκιμές που έγιναν για να προσδιοριστούν χαρακτηριστικά του αισθητήρα. [25]



Εικόνα 5.2 Εσωτερικό του αισθητήρα [25]

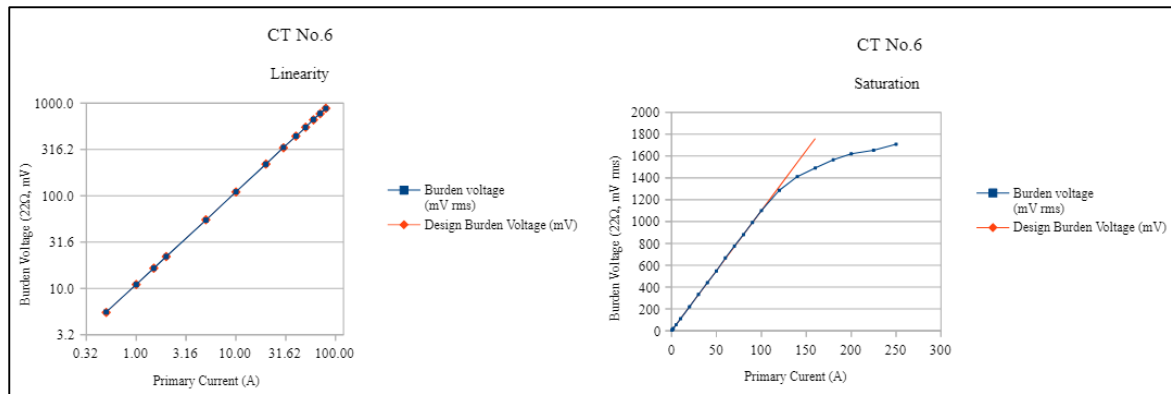
Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από μετρήσεις που έγιναν σχετικά με την αναλογία ρεύματος μεταξύ πρωτεύοντος και δευτερεύοντος του μετασχηματιστή για τιμές από 0.5-250A.

Ο μετρούμενος λόγος είναι άνετα εντός της προδιαγραφής ($\pm 3\%$ στην περιοχή 10A έως 120A). Το σφάλμα είναι αμελητέο πάνω από περίπου 140A καθώς ξεκινάει ο κορεσμός. Σε αυτή την περιοχή, η κυματομορφή γίνεται όλο και περισσότερο παραμορφωμένη και μη χρησιμοποιήσιμη για σκοπούς μέτρησης.

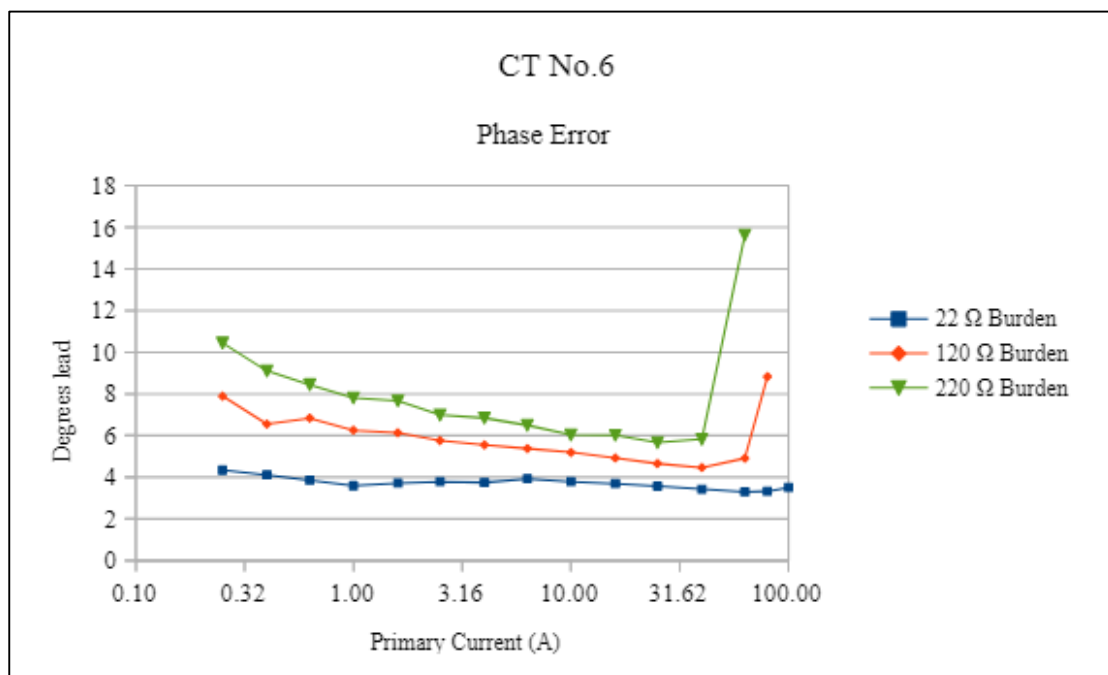
Primary Current	Secondary Current	Design Secondary Current	error
0.5	0.2534	0.25	1.36%
1	0.504	0.5	0.80%
1.5	0.75	0.75	0.00%
2	1.012	1	1.20%
5	2.45	2.5	-2.00%
10	5	5	0.00%
20	10.07	10	0.70%
30	15.25	15	1.67%
40	20.31	20	1.55%
50	25.35	25	1.40%
60	30.6	30	2.00%
70	35.56	35	1.60%
80	40.63	40	1.58%
90	45.69	45	1.53%
100	50.72	50	1.44%
120	60.2	60	0.33%
140	68.7	70	-1.86%
160	74.5	80	
180	78.7	90	
200	81.9	100	
225	84.5	112.5	
250	87.4	125	

Πίνακας 5.1 Πραγματικός και ιδανικός λόγος ρευμάτων πρωτεύοντος-δευτερεύοντος [25]

Η καμπύλη κορεσμού (που δείχνει το ρεύμα ή την τάση rms) δεν αποκαλύπτει την πραγματική κατάσταση, διότι σε κάθε περίπτωση η τάση φορτίου peak-to-peak, η οποία στον κορεσμό δεν συνδέεται πλέον άμεσα με την τάση rms, υπερβαίνει την μέγιστη τάση εισόδου πάνω από 100A και ρεύματα πάνω από αυτή τη μέγιστη τιμή μπορούν να βλάψουν την είσοδο ADC. [25]



Εικόνα 5.3 Γραφική παράσταση γραμμικότητας και κορεσμού του μετασχηματιστή [25]



Εικόνα 5.4 Γραφική παράσταση σφάλματος φάσης [25]

Από τις μετρήσεις βγαίνει το συμπέρασμα ότι ο μετασχηματιστής ρεύματος YHDC είναι κατάλληλος για χρήση με το ESP8266. Μπορεί να αναπτύξει επαρκή τάση για να αξιοποιήσει πλήρως την ανάλυση της αναλογικής εισόδου του και η παραμόρφωση της κυματομορφής λόγω κορεσμού σε αυτή τη δευτερεύουσα τάση είναι αμελητέα για φυσιολογικές μετρήσεις. [25]

5.3.2 Προσάρτηση αισθητήρα

Για να συνδεθεί ένας μετασχηματιστής ρεύματος με ένα μικροελεγκτή πρέπει το σήμα εξόδου του να είναι σε κατάσταση που να πληροί τις προϋποθέσεις της αναλογικής εισόδου του μικροελεγκτή, δηλαδή να είναι θετικό από 0V έως την τάση του ADC reference. Στη συγκεκριμένη περίπτωση ο μικροελεγκτής έχει τάση ADC

reference 3.3V. [26]

Επειδή ο αισθητήρας YHDC SCT-013-000 έχει σήμα εξόδου σε μορφή ρεύματος πρέπει αυτό το σήμα να μετατραπεί σε μορφή τάσης και γι' αυτό χρησιμοποιείται μια αντίσταση φορτίου. Ο αισθητήρας YHDC SCT-013-000 που χρησιμοποιείται έχει εύρος ρεύματος 0-100A άρα η μέγιστη τιμή ρεύματος που μπορεί να μετρηθεί είναι 100A. Για να βρεθεί η μέγιστη τιμή ρεύματος του πρωτεύοντος του αισθητήρα υπολογίζω:

$$\text{Primary peak – current} = \text{RMS current} * \sqrt{2} = 100A * 1.414 = 141.4A$$

Στη συνέχεια διαιρώ την τιμή αυτή με τον αριθμό των περιελίξεων στον μετασχηματιστή ρεύματος για να βρω τη μέγιστη τιμή ρεύματος στο δευτερεύον. Στη συγκεκριμένη περίπτωση ο μετασχηματιστής έχει 2000 ελάσματα:

$$\begin{aligned} \text{Secondary peak – current} &= \text{Primary peak – current} / \text{no. of turns} \\ &= 141.4 A / 2000 = 0.0707A \end{aligned}$$

Για τη μεγιστοποίηση της ανάλυσης των μετρήσεων η τάση στα άκρα της αντίστασης φορτίου στη μέγιστη τιμή του ρεύματος θα πρέπει να ισούται με το μισό της τιμής της μέγιστης τιμής τάσης που δέχεται η αναλογική είσοδος, στη συγκεκριμένη περίπτωση $3.3V/2 = 1.65V$, άρα η ιδανική αντίσταση φορτίου είναι:

$$\begin{aligned} \text{Ideal burden resistance} &= (AREF/2) / \text{Secondary peak – current} \\ &= 1.65V / 0.0707A = 23.3\Omega \end{aligned}$$

Η αντίσταση των 23Ω δεν είναι κοινή αντίσταση εμπορίου. Οι πιο κοντινές τιμές σε αυτή είναι 22Ω και 27Ω . Πάντα επιλέγεται η χαμηλότερη αντίσταση, αλλιώς το μέγιστο ρεύμα φορτίου θα προκαλούσε μεγαλύτερη τάση από την AREF. [26]

Αν το ένα άκρο του μετασχηματιστή συνδεόταν στη γείωση και μετρίοταν η τάση από το άλλο άκρο σχετικά με αυτή, η τάση θα έπαιρνε τόσο αρνητικές όσο και θετικές τιμές. Η αναλογική είσοδος όμως, δέχεται μόνο θετικές τιμές. Συνδέοντας το άκρο που συνδέεται στη γείωση σε πηγή τάσης ίση με το μισό της τάσης τροφοδοσίας, εδώ $1.65V$, η τιμή της τάσης εισόδου θα κυμαίνεται γύρω από τα $1.65V$, παραμένοντας πάντα θετική. Έτσι λοιπόν, οι αντιστάσεις R1, R2 δημιουργούν ένα διαιρέτη τάσης που παρέχει $1.65V$. Ο πυκνωτής C1 πρέπει να έχει υψηλή αγωγιμότητα για να δημιουργεί ένα μονοπάτι για τα εναλλασσόμενα ρεύματα ώστε να παρακάμπτουν τις αντιστάσεις. $10\mu F$ είναι μία καλή τιμή χωρητικότητας του πυκνωτή. Για τις αντιστάσεις, ένα ζεύγος με τιμή $10K\Omega$ - $470K\Omega$ είναι λειτουργικό.

Εδώ, επιλέχθηκε ένα ζεύγος αντιστάσεων 10KΩ, αφού η τροφοδότηση γίνεται από πρίζα. [26] Το συνολικό κύκλωμα φαίνεται στην Εικόνα 5.9.

5.3.3 Βαθμονόμηση αισθητήρα

Το ρεύμα που παρέχεται από τον αγωγό, μετρείται από τον μετασχηματιστή ρεύματος. Το μικρό ρεύμα που προκύπτει στο δευτερεύον του μετασχηματιστή μετατρέπεται σε τάση στην αντίσταση φορτίου, η οποία στη συνέχεια καταγράφεται από την αναλογική είσοδο του μικροελεγκτή. Η τάση μετρείται σε σχέση με την τάση αναφοράς του μικροελεγκτή (στη συγκεκριμένη περίπτωση 3.3V), η οποία κλιμακώνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να χωρίζεται σε 2^{10} (=1024) κομμάτια. Όπως αναφέρθηκε και στην Ενότητα 5.5 η τάση εισόδου έχει μία DC bias προστιθέμενη (εδώ 1.65V), η οποία όμως αφαιρείται μέσω φίλτρου του software και αγνοείται στον υπολογισμό της σταθεράς βαθμονόμησης και το ίδιο συμβαίνει και με τις rms τιμές ρεύματος, τάσης και των κομματιών (counts). [27]

Ο αριθμός λοιπόν που βλέπει ο μικροελεγκτής είναι:

$$\mathbf{counts = (input\ pin\ voltage / 3.3) * 1024}$$

όπου:

$$\mathbf{input\ pin\ voltage = secondary\ current * burden\ resistance}$$

και:

$$\mathbf{secondary\ current = primary\ current / transformer\ ratio}$$

Η αντίσταση φορτίου στο μετασχηματιστή ρεύματος στο συγκεκριμένο σύστημα είναι 22Ω και ο λόγος μετασχηματισμού, δηλαδή ο λόγος μέγιστου ρεύματος πρωτεύοντος προς μέγιστο ρεύμα δευτερεύοντος δίνεται από τον κατασκευαστή ως $100A \div 0.050A$.

Στο λογισμικό της βιβλιοθήκης που χρησιμοποιήθηκε για τον αισθητήρα το ρεύμα υπολογίζεται όπως παρακάτω:

$$\mathbf{I_{supply} = count * a\ constant}$$

όπου:

$$\mathbf{a\ constant = current\ constant * (3.3 / 1024)}$$

και στη συγκεκριμένη περίπτωση:

$$\mathbf{current\ constant = (100 / 0.050) / 22 = 90.9}$$

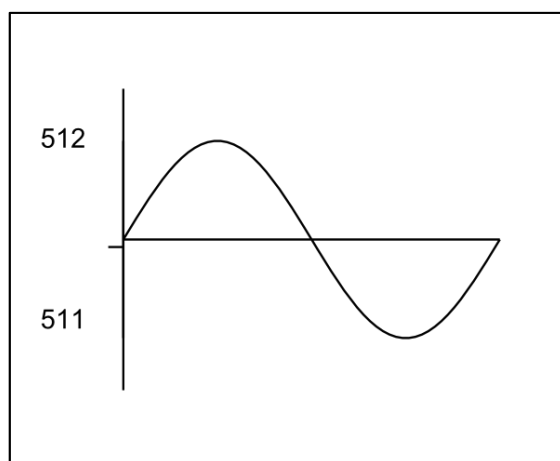
Το "100" είναι το ρεύμα πρωτεύοντος του μετασχηματιστή και το "0.050 * 22" είναι στην πραγματικότητα η τάση σε όλη την αντίσταση φορτίου για τον τυπικό

μετασχηματιστή ρεύματος. [27] Ύστερα από μετρήσεις όμως που έγιναν φάνηκε ότι αυτή η ρύθμιση δεν ήταν απόλυτα ακριβής.

Η βαθμονόμηση του αισθητήρα, υπό ιδανικές συνθήκες, απαιτεί τη χρήση ειδικών οργάνων μεγάλης ακρίβειας, αμπερομέτρου και βολτόμετρου, καθώς και ένα φορτίο που τραβάει ρεύμα σχεδόν όσο το μέγιστο που μπορεί να μετρήσει ο αισθητήρας. Επειδή όμως δεν ήταν διαθέσιμα τα παραπάνω όργανα και προτιμήθηκε για λόγους ασφαλείας να μη γίνει παρέμβαση για τη μέτρηση της τάσης σε οικιακό δίκτυο, χρησιμοποιήθηκε ένα energy meter και ως φορτίο για τη σύγκριση χρησιμοποιήθηκε μια λάμπα. Έτσι, μετρώντας με το energy meter και τον αισθητήρα το ρεύμα στο ίδιο κύκλωμα διαπιστώθηκε ότι η σταθερά ρεύματος που χρησιμοποιείται για τη βαθμονόμηση είναι 100.

5.3.4 Σφάλματα μέτρησης

Ο αισθητήρας σε χαμηλές τιμές ρεύματος ενδέχεται να παρουσιάσει σφάλματα τα οποία οφείλονται στον μετατροπέα αναλογικού σε ψηφιακό σήμα. Έστω ένα πολύ μικρό ρεύμα που ρέει στον αισθητήρα, και οι αντιστάσεις διαιρέσεως τάσης πόλωσης στο τρέχον κύκλωμα της βαθμίδας εισόδου, καθιστούν τη μέση τάση να κάθεται ακριβώς στη μέση της περιοχής εισόδου ADC του μικροελεγκτή. Σε αυτό το σημείο, πρέπει να αναφερθεί ότι κάθε αριθμός από τον αναλογικό σε ψηφιακό μετατροπέα δεν αντιπροσωπεύει τάση αλλά ζώνη τάσεων. [28]



Εικόνα 5.5 Κυματομορφή σε ψηφιακό σήμα [28]

Ο μετατροπέας αναλογικού σήματος σε ψηφιακό θα μετρήσει την κυματομορφή σε πολλά σημεία - περίπου 50 στην πράξη - και εάν το εύρος του κύματος είναι αρκετά

μικρό, κάθε δείγμα του κύματος (Εικόνα 7.6) θα έχει την τιμή 511. Το υπερπαρατό φίλτρο στο λογισμικό θα μετατοπίσει το κύμα έτσι ώστε η μέση τιμή να είναι μηδέν. Αυτό ισοδυναμεί με την αφαίρεση της μέσης τιμής από κάθε δείγμα. Ο μέσος όρος είναι 511, επομένως κάθε φιλτραρισμένο δείγμα θα είναι τώρα 0. [28]

Ας δούμε τι συμβαίνει αν η τάση bias παρασύρεται λίγο. Τώρα, η μέση τιμή είναι ακριβώς πάνω από την αλλαγή από 511 σε 512. Αυτή τη φορά, όταν ο μετατροπέας αναλογικού σε ψηφιακό μετρά το κύμα, τα δείγματα στον πρώτο μισό κύκλο (και ίσως ένα ή δύο ακόμη) θα πάρουν την τιμή 512 ενώ το υπόλοιπο θα έχει την τιμή 511. Η διαδικασία δειγματοληψίας έχει μετατρέψει το ημιτονοειδές μας σήμα σε τετραγωνικό. Το υπερπαρατό φίλτρο στο λογισμικό θα αλλάξει πάλι το σήμα, έτσι η μέση τιμή είναι μηδέν, όπου πάλι αυτό ισοδυναμεί με την αφαίρεση της μέσης τιμής από κάθε δείγμα. Αλλά αυτή τη φορά, ο μέσος όρος είναι 511.6 (τώρα χρησιμοποιούνται δεκαδικές τιμές με κινητό σημείο στο λογισμικό), έτσι κάθε δείγμα στο πρώτο μισό θα είναι $512 - 511.6 = 0.4$ και κάθε δείγμα στο δεύτερο μισό θα είναι $511 - 511.6 = -0.6$. [28]

Τώρα το σημαντικό μέρος έρχεται όταν το λογισμικό υπολογίζει την ισχύ και την τιμή rms του κύματος. Για τον υπολογισμό του ρεύματος rms, κάθε τρέχον δείγμα ρεύματος πολλαπλασιάζεται με τον εαυτό του, υπολογίζεται ο μέσος όρος και το ρεύμα rms είναι η τετραγωνική ρίζα αυτού του αριθμού. Σαφώς στην πρώτη περίπτωση, επειδή κάθε δείγμα ρεύματος είναι μηδέν και το ρεύμα rms είναι μηδέν. Στη δεύτερη περίπτωση και θεωρώντας ότι ο συντελεστής φορτίου είναι μονάδα, η μέση ισχύς θα είναι ο μέσος όρος *κάθε θετικού δείγματος τάσης μισού κύκλου* * 0.4 και *κάθε αρνητικού δείγματος τάσης μισού κύκλου* * (-0.6) ή περίπου 0.45 μονάδες. Το ρεύμα rms θα είναι η τετραγωνική ρίζα του μέσου όρου των $0.4^2 + (-0.6)^2$ ή περίπου 0.72 μονάδων. [28]

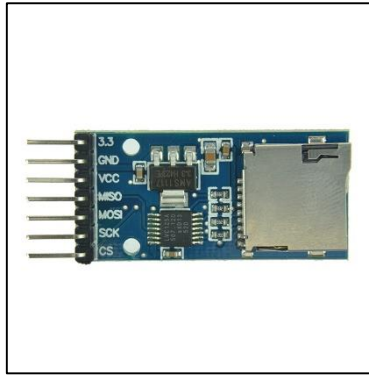
Για να διαπιστωθεί τι αριθμούς μπορεί να περιμένει κανείς στην πράξη, έστω ότι η τάση είναι 240V και ο τρέχων αισθητήρας είναι ο τυπικός CT 100A με την τυπική αντίσταση φορτίου 18Ω. Το 100A RMS αντιπροσωπεύει μια μέτρηση από κορυφή σε κορυφή περίπου 800, έτσι ώστε το σήμα με πλάτος κορυφής προς κορυφή 1 μονάδας έχει τιμή rms περίπου 0.125A. Αυτό αντιπροσωπεύει πραγματική ισχύ 30W. Συνεπώς, στη δεύτερη περίπτωση θα μπορούσε να διαβαστεί 13.5W και 0.09A, και παρόλο που έχουμε συντελεστή ισχύος μονάδας, διαβάζεται μια φαινόμενη ισχύς 21.6VA και συντελεστής ισχύος 0.625. Αλλά θα υπάρχει ακριβώς το ίδιο αποτέλεσμα, αν το ρεύμα είναι το μικρότερο που μπορεί να υπάρξει, ενώ εξακολουθεί

να είναι αρκετό ώστε ο ADC να κυμαίνεται μεταξύ δύο γειτονικών τιμών. Επομένως, στην πράξη, μπορεί να διαβαστεί οτιδήποτε από μηδενική ισχύ και ρεύμα, σε ισχύ 13.5W και ρεύμα 0.09A. Από την άλλη πλευρά, μπορεί να διαβαστεί μηδενική ισχύς και μηδενικό ρεύμα για οποιοδήποτε φορτίο μέχρι 30W. [28]

Το γεγονός ότι αυτός ο μετασχηματιστής είναι αρκετά απλός στη χρήση του σε συνδυασμό με την ύπαρξη βιβλιοθηκών στο Arduino IDE για την σωστή προσάρτησή του στον μικροελεγκτή και την προσβασιμότητα του στην ελληνική αγορά (αξία 8€) τον κάνουν μια καλή επιλογή για το σύστημα που κατασκευάστηκε.

5.4 Επιλογή περιφερειακών συσκευών

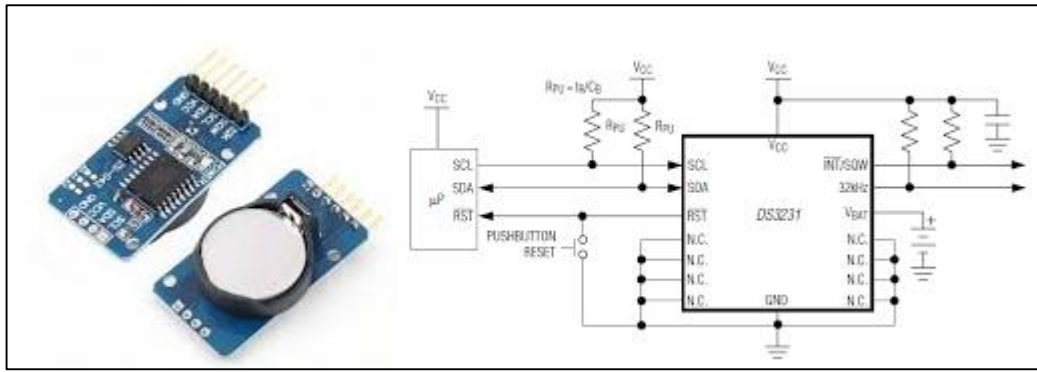
Το σύστημα πρέπει να διαθέτει έναν αποθηκευτικό χώρο από τον οποίο θα αντλεί ο server τις μετρήσεις και θα τις στέλνει στον client, όποτε αυτός τις ζητήσει. Στις περισσότερες των περιπτώσεων χρησιμοποιείται για το σκοπό αυτό το MySQL, ένα σύστημα διαχείρισης δεδομένων. Επειδή όμως η ουσία αυτού του συστήματος είναι η ικανότητα αυτόνομης λειτουργίας, δεν χρησιμοποιήθηκε η συγκεκριμένη επιλογή, αφού θα απαιτούνταν η χρήση server για τη βάση δεδομένων. Αντίθετα, αυτό που χρησιμοποιήθηκε είναι μια microSD κάρτα, όπου η επικοινωνία της με τον μικροελεγκτή έγινε με τη χρήση ενός microSD board module. Η επικοινωνία με τον μικροελεγκτή γίνεται με τη χρήση του SPI πρωτοκόλλου επικοινωνίας που περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 3.4. Το module αυτό λειτουργεί στα 3.3V, πράγμα που σημαίνει ότι δεν αντέχει το λογικό επίπεδο των 5V που παράγονται από τον μικροελεγκτή. Διαθέτει όμως ένα κύκλωμα που αποτελείται από ένα ρυθμιστή τάσης και ενός λογικού μετατροπέα του επιπέδου τάσης που επιτρέπει την τροφοδότηση με 5V. Το module διαθέτει 7 pins (3.3, GND, VCC, MISO, MOSI, SCK, CS) από τα οποία θα χρησιμοποιηθούν τα 6. Το pin 3.3 δεν χρησιμοποιείται, τα GND και VCC είναι για την τροφοδοσία και τα υπόλοιπα συνδέονται με τα αντίστοιχα pins του μικροελεγκτή για την πραγματοποίηση της SPI επικοινωνίας. Είναι ένα υλικό με πολύ χαμηλή τιμή (2€) και η δυνατότητα ενσωμάτωσής του με τη χρήση του Arduino IDE το οποίο χρησιμοποιείται και για τον προγραμματισμό της επεξεργαστικής μονάδας το μετατρέπει στον αποθηκευτικό χώρο που θα χρησιμοποιηθεί για το σύστημα της διπλωματικής. Η SD στο συγκεκριμένο σύστημα είχε μέγεθος 8GB και τιμή 10€.



Εικόνα 5.6 Micro SD Storage Board Module

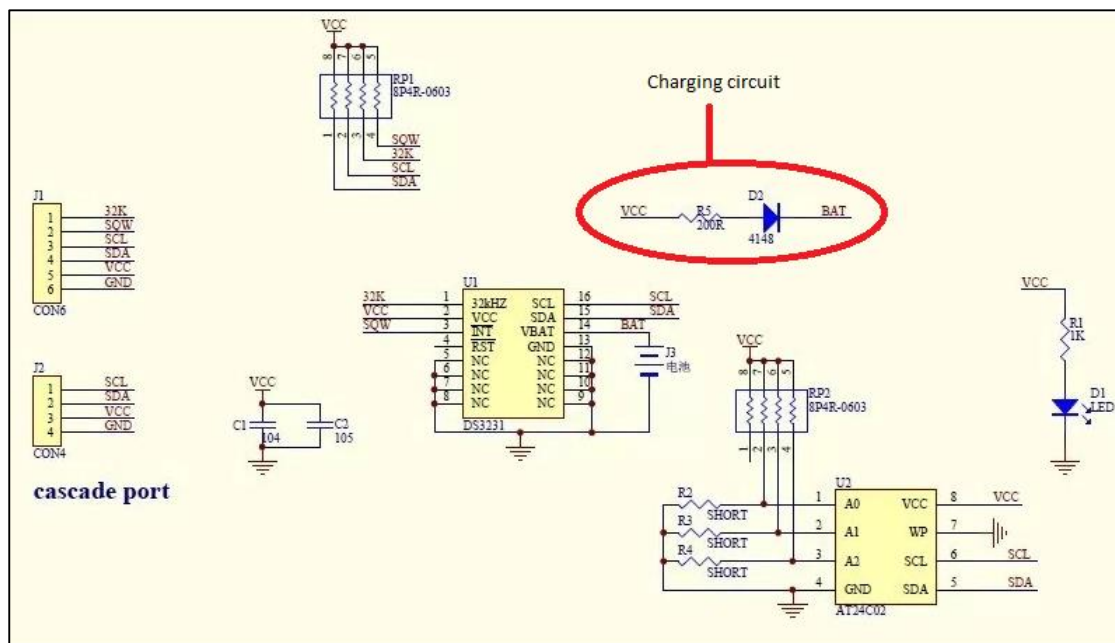
Το σύστημα έχει σκοπό την παρακολούθηση της κατανάλωσης ρεύματος και ισχύος μίας οικίας και για την επίτευξη της μεγαλύτερης δυνατής ακρίβειας απαιτείται η σωστή καταγραφή του χρόνου των μετρήσεων. Με στόχο λοιπόν την ακρίβεια των μετρήσεων που γίνονται σε πραγματικό χρόνο χρειάζεται ένα ρολόι που θα συνδέεται με τον μικροελεγκτή και θα κρατάει τον χρόνο ανεξάρτητα με το αν η συσκευή είναι συνδεδεμένη στο διαδίκτυο.

Έτσι, επιλέχθηκε το DS3231 AT24C32 IIC RTC module, ένα χαμηλού κόστους, εξαιρετικής ακρίβειας real-time ρολόι το οποίο για επιπλέον χρήση διαθέτει και αισθητήρα θερμοκρασίας. Μετράει από χρόνια έως και δευτερόλεπτα υπολογίζοντας και τα δισεκτα χρόνια έως το 2100. Τροφοδοτείται με 3.3 ή 5V και συνδέεται με τον μικροελεγκτή με τη χρήση του I2C πρωτοκόλλου επικοινωνίας. Το μόνο που απαιτείται είναι ο προγραμματισμός του μία μόνο φορά, καθώς μέχρι και την αφαίρεση της μπαταρίας το ρολόι μετράει κανονικά το χρόνο. Στο συγκεκριμένο σύστημα δεν κρίθηκε αναγκαία η χρήση του συγκεκριμένου module για τη μέτρηση της θερμοκρασίας, αφού στην κατασκευή η θερμότητα που θα παράγεται από το ESP board και το γεγονός ότι το σύστημα θα βρίσκεται μέσα σε κουτί δεν θα προσφέρει αξιόπιστες μετρήσεις θερμοκρασίας. Δέχεται μπαταρία τύπου LIR2032 ή CR2032 3.3V ώστε να κρατάει τον χρόνο ακόμα κι αν το module είναι εκτός λειτουργίας.



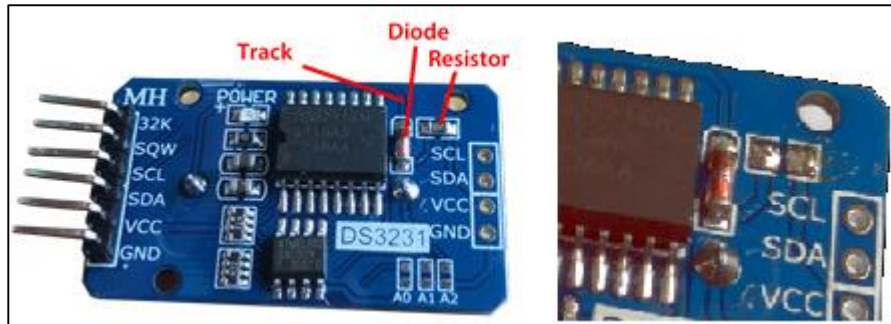
Εικόνα 5.7 DS3231 και το κυκλωματικό του διάγραμμα [Πηγή: <https://goo.gl/14RWLM>]

Στην Εικόνα 5.7 φαίνεται ότι η μπαταρία συνδέεται απευθείας στο RTC του module το οποίο διαθέτει ένα κύκλωμα επαναφόρτισης της μπαταρίας.



Εικόνα 5.8 Κύκλωμα επαναφόρτισης της μπαταρίας [Πηγή: <https://goo.gl/14RWLM>]

Από τις διαθέσιμες μπαταρίες, μόνο η LIR2032 είναι επαναφορτιζόμενη σε αντίθεση με την CR2032. Επειδή όμως υπάρχει σημαντική διαφορά στην τιμή αλλά και στην ευκολία εύρεσης των δύο μπαταριών, με την CR2032 να είναι αρκετά πιο φθηνή και μπορεί να αγοραστεί από περισσότερα καταστήματα, πρέπει να αφαιρεθεί είτε η αντίσταση ή η δίοδος που φαίνονται στις Εικόνες 5.7 και 5.8. Στη συγκεκριμένη περίπτωση αφαιρέθηκε η αντίσταση και έτσι μπορεί να χρησιμοποιηθεί η CR2032 χωρίς πρόβλημα.



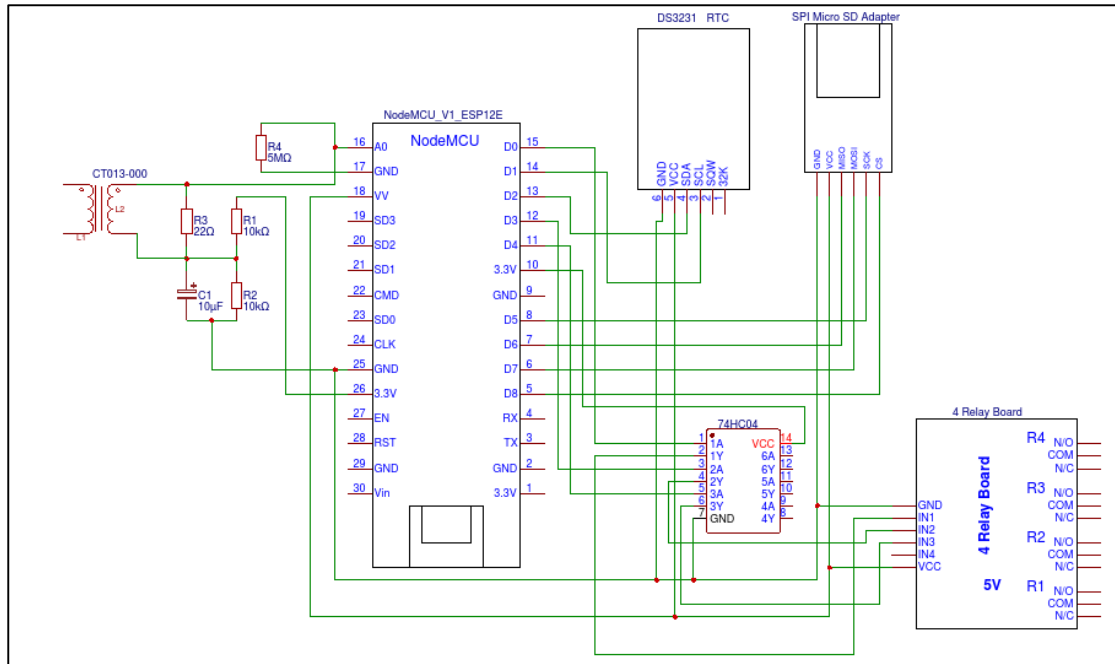
Εικόνα 5.9 Αριστερά Η αντίσταση και η διόδος που μπορούν να αφαιρεθούν Δεξιά Το module μετά την αφαίρεση της αντίστασης

Το module αυτό μπορεί να συνδεθεί με τον μικροελεγκτή που χρησιμοποιείται στο σύστημα και να προγραμματιστεί με τη χρήση του ίδιου περιβάλλοντος όπως τα προηγούμενα στοιχεία. Η τιμή του module είναι 2€ και σε συνδυασμό με τη μεγάλη διάρκεια ζωής της μπαταρίας και με το μικρό μέγεθός του το κάνει μια πρακτική λύση για το συγκεκριμένο σύστημα.

5.5 Ολοκληρωμένο κύκλωμα συστήματος

Αφού επιλέχθηκαν τα μέρη από τα οποία αποτελείται το σύστημα, το μόνο που απομένει είναι η σχεδίαση και υλοποίηση του κυκλώματος που θα συνδέει μεταξύ τους τα μέρη αυτά. Στην ακόλουθη εικόνα παρουσιάζεται το σχηματικό διάγραμμα του κυκλώματος το οποίο προέκυψε συνδυάζοντας τα επιλεγμένα στοιχεία καθώς και τη λογική με την οποία αξιοποιούνται πάνω στο κύκλωμα με βάση το πρόγραμμα του μικροελεγκτή το οποίο παρουσιάζεται στο ακόλουθο κεφάλαιο.

Επειδή το σύστημα έχει σχεδιαστεί για οικιακή χρήση, δεν χρειάζεται κάποιο σύστημα τροφοδότησης του. Αρκεί η χρήση ενός καλωδίου USB που συνδέεται στην κατάλληλη θύρα του ESP board και τροφοδότηση τάσης 5V, ενώ η μέγιστη κατανάλωση ρεύματος στην πλήρη κατάσταση λειτουργίας του συστήματος είναι 0.29A. Άρα μπορεί το σύστημα να λειτουργήσει είτε συνδεδεμένο σε μία USB θύρα υπολογιστή ή με ένα τυπικό φορτιστή κινητού τηλεφώνου 1A.

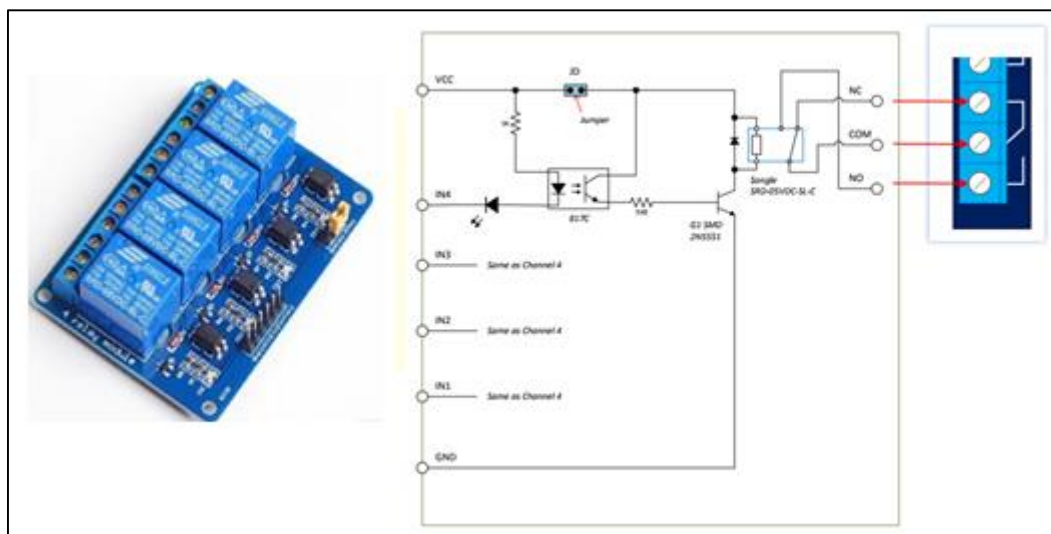


Εικόνα 5.10 Σχηματικό διάγραμμα κυκλώματος

Στο παραπάνω σχήμα περιλαμβάνονται και κάποια στοιχεία ακόμα που θα εξηγηθούν παρακάτω.

Το κύκλωμα που φαίνεται να παρεμβάλλεται μεταξύ αισθητήρα και μικροελεγκτή είναι το κύκλωμα εισόδου που υπολογίστηκε στην Ενότητα 5.3.2. Τέλος, λόγω θορύβου που παρατηρήθηκε στις μετρήσεις, από την κοντινή θέση στην πλακέτα της αναλογικής εισόδου με τη γείωση, τοποθετείται μία αντίσταση 5MΩ μεταξύ των δύο pins A0 και GND.

Στην ακόλουθη εικόνα φαίνεται ακόμα το στοιχείο 4 Relay Board. Το στοιχείο αυτό είναι ένα module με 4 κανάλια και 4 relays και optocouplers.



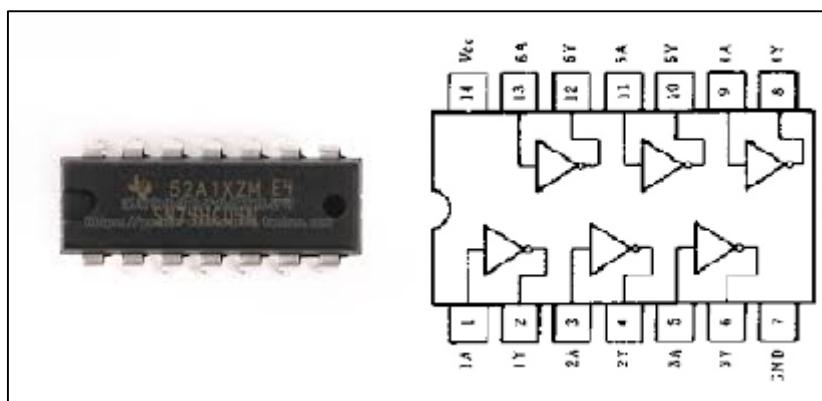
Εικόνα 5.11 5V 4-channel Relay with optocoupler και το κυκλωματικό διάγραμμα ενός καναλιού

[Πηγές: <https://goo.gl/eFb4vQ>, <https://goo.gl/hxotzF>]

Αυτό το board μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο συσκευών σύμφωνα με την κατάσταση των ψηφιακών εξόδων του μικροελεγκτή. Χρησιμοποιεί οπτικούς απομονωτές, δηλαδή στοιχεία που μεταφέρουν ηλεκτρικά σήματα μεταξύ απομονωμένων κυκλωμάτων με τη χρήση φωτός. Στόχος τους είναι η προστασία του συστήματος που λαμβάνει το σήμα από υψηλές τάσεις. Οι επαφές του αποτελούνται από μία Normally Open (NO) επαφή, μια Normally Closed (NC) και μια COM. Όταν το πηνίο δεν είναι οπλισμένο οι επαφές NC και COM είναι βραχυκυκλωμένες, ενώ όταν είναι οπλισμένο βραχυκυκλώνεται η NO επαφή με την COM.

Το board τροφοδοτείται με 5V. Στο συγκεκριμένο σύστημα υπάρχουν στο μικροελεγκτή 3 διαθέσιμες ψηφιακές εξοδοί, άρα χρειάζονται μόνο 3 από τα 4 κανάλια. Τα relays που χρησιμοποιούνται εδώ είναι τύπου SRD-05VDC-SL-C, των οποίων τα πηνία χρειάζονται 72mA το καθένα για να λειτουργήσουν. Σε αυτό το ρεύμα προστίθεται και το ρεύμα που χρειάζονται τα INs για να πυροδοτήσουν τα πηνία, που στην περίπτωση που τα relays είναι οπτικά απομονωμένα, όπως εδώ, είναι περίπου 4mA. Από αυτά τα στοιχεία εξάγεται το συμπέρασμα ότι το board μπορεί να τροφοδοτηθεί από τα 5V του USB που τροφοδοτεί και τον μικροελεγκτή και για αυτό το λόγο το JVdc είναι βραχυκυκλωμένο. Η σύνδεση μεταξύ των ψηφιακών εξόδων και των εισόδων του board μπορεί να γίνει απευθείας αφού το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να δώσει ένα GPIO του συγκεκριμένου μικροελεγκτή είναι 12mA. Το κόστος του ανέρχεται στα 5.5€ και το βρίσκει κανείς εύκολα στην αγορά.

Τέλος, στο κύκλωμα φαίνεται συνδεδεμένη και μια πύλη NOT, η 74HC04. Για τροφοδοσία χρησιμοποιεί τάση 3.3V αφού και η τάση των ψηφιακών εξόδων του μικροελεγκτή είναι 3.3V.



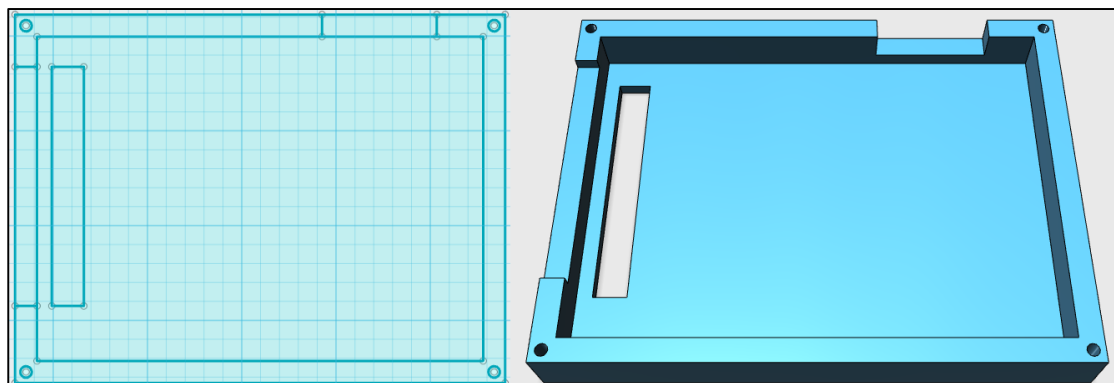
Εικόνα 5.12 74HC04 και κυκλωματικό ισοδύναμο [Πηγές: <https://goo.gl/Jbd2No>, <https://goo.gl/NJYwE9>]

Ο λόγος που χρησιμοποιείται η λογική πύλη NOT είναι ότι τα pins του relay board είναι Active LOW, δηλαδή το LED φωτίζει όταν στην είσοδο έχει λογικό LOW και σβήνει όταν έχει λογικό HIGH. Για λόγους επίδειξης, θέλουμε όταν η ψηφιακή έξοδος είναι 0 να είναι σβηστό το LED και το αντίθετο, κάτι που επιτυγχάνεται με τη χρήση της πύλης NOT. Η τιμή της πύλης αυτής είναι 0.4€

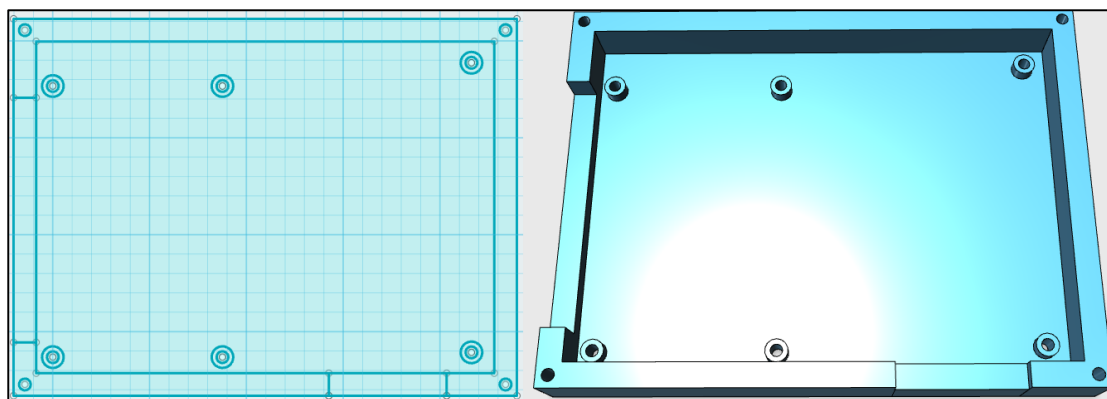
5.6 Κατασκευή συστήματος

Μετά την επιλογή των υλικών και τη σχεδίαση του κυκλώματος το μόνο που μένει είναι η κατασκευή του. Με βάση τις διαστάσεις και τον τρόπο σύνδεσης των υλικών επιλέχθηκε μία διάτρητη πλακέτα διπλής όψευς μεγέθους 80x120mm. Η πλακέτα αυτή που κόστισε 3€, κόπηκε στη μέση για να χωρέσει στο κουτί που κατασκευάστηκε μαζί με το relay board. Για τη σύνδεση της πλακέτας με το στοιχείο relay χρησιμοποιήθηκαν jumper wires.

Για τη δημιουργία του κουτιού χρησιμοποιήθηκε η τεχνολογία της 3D εκτύπωσης. Αρχικά, έγινε η σχεδίαση του κουτιού με τη χρήση του προγράμματος Autodesk 123D Design το οποίο είναι διαθέσιμο ελεύθερα στο διαδίκτυο. Σχεδιάστηκαν η βάση και το καπάκι που δημιουργούν ένα κουτί διαστάσεων 130x98x30mm. Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται τα δυσδιάστατα και τρισδιάστατα σχέδια κουτιού.



Εικόνα 5.13 Κάτοψη και τρισδιάστατο σχέδιο του πάνω μέρους του κουτιού



Εικόνα 5.14 Κάτοψη και τρισδιάστατο σχέδιο κάτω μέρους του κουτιού

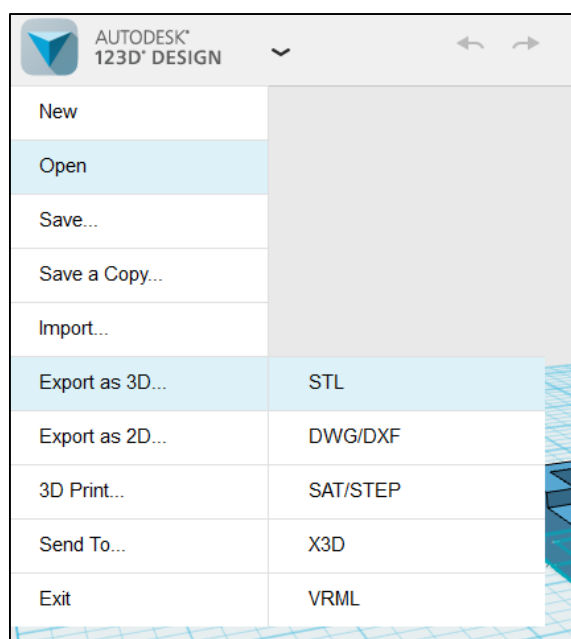
Στις 4 γωνίες του σχεδίου υπάρχουν τρύπες διαμέτρου 3mm οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν για την ένωση του πάνω με το κάτω μέρος του κουτιού με βίδες M3 μήκους 35mm. Παρατηρείται ότι στο εσωτερικό του σχεδίου του πάνω μέρους, υπάρχει ένα κενό διαστάσεων 63.1x8.5mm το οποίο δίνει πρόσβαση στις κλέμες πλακέτας του relay board, ώστε να συνδέονται και αποσυνδέονται στις επαφές των relays συσκευές ανάλογα με την επιθυμία του χρήστη. Για τον ίδιο σκοπό κατά πλάτος του κουτιού το τοίχωμα δεν έχει το ίδιο ύψος όπως φαίνεται στο σχέδιο. Ενώνοντας τα δύο κομμάτια σχηματίζεται ένα ορθογώνιο διαστάσεων 63.1x5.8x10.4mm. Στο κάτω μέρος υπάρχουν 6 τρύπες, όπου οι δύο είναι για τη σταθεροποίηση της πλακέτας και οι υπόλοιπες 4 για τη σταθεροποίηση του relay board. Οι τρύπες έχουν διάμετρο 3mm και χρησιμοποιούνται βίδες M3 μήκους 12mm. Υπάρχει, επίσης, ένα ορθογώνιο άνοιγμα συνολικών διαστάσεων 30.5x5.8x11.2mm για την είσοδο της SD κάρτας και του καλωδίου τροφοδοσίας της πλακέτας του μικροελεγκτή.

Αφού σχεδιάστηκε στο πρόγραμμα που αναφέρθηκε το κουτί στη συνέχεια εκτυπώθηκε με τη χρήση του Anet A8 Desktop 3D Printer Prusa i3.



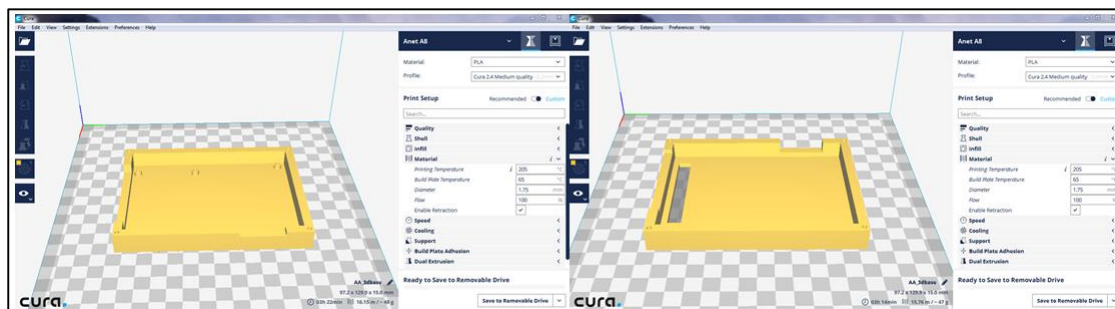
Εικόνα 5.15 Anet A8 Desktop 3D Printer Prusa i3 [Πηγή: <https://goo.gl/9kYxkL>]

Για να γίνει αυτό, αρχικά το σχέδιο από το 123D Design εξάγεται ως .stl αρχείο.



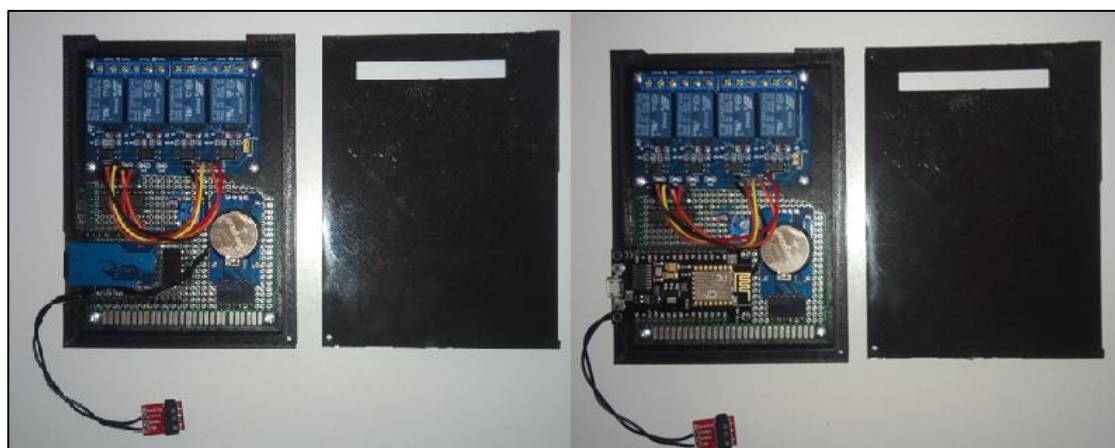
Εικόνα 5.16 Πρόγραμμα 123D Design και εξαγωγή του σχεδίου σε .stl

Στη συνέχεια αυτό το αρχείο εισάγεται στο πρόγραμμα Cura. Εκεί, το πρόγραμμα κάνει slicing το αρχείο, δηλαδή δημιουργεί ένα αρχείο τύπου .gcode το οποίο καταλαβαίνει ο εκτυπωτής και μπορεί να το εκτυπώσει. Το αρχείο που δημιουργείται μεταφέρεται στον εκτυπωτή μέσω μιας SD κάρτας.



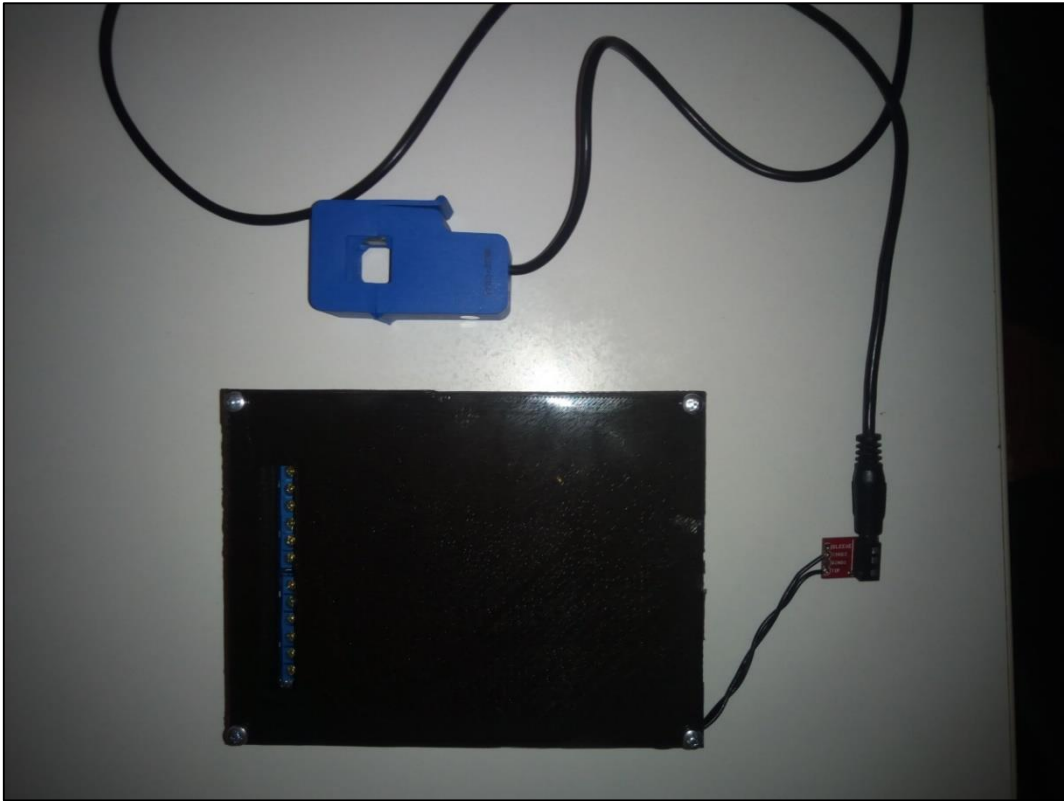
Εικόνα 5.17 Πρόγραμμα Cura για την εκτύπωση βάσης κορυφής του κουτιού

Χρησιμοποιώντας τον εκτυπωτή που αναφέρθηκε παραπάνω και ως υλικό PLA (polylactic acid), χρώματος μαύρου και διαμέτρου 1.75mm, τυπώθηκαν τα δύο κομμάτια και στη συνέχεια η πλακέτα κόπηκε στη μέση για να χωρέσει μαζί με το relay board στο κουτί.



Εικόνα 5.18 Πλακέτα συστήματος με και χωρίς το ESP8266 board

Στη φωτογραφία, φαίνεται ότι το ESP board τοποθετείται πάνω από το SD adapter για να εξοικονομηθεί χώρος. Επίσης, η σύνδεση με το relay board γίνεται με τη χρήση jumper wires. Τέλος, φαίνεται ότι χρησιμοποιείται ένα audio breakout module με jack 3.5mm για να συνδεθεί ο αισθητήρας το οποίο κόστισε 1€. Στην τελευταία φωτογραφία φαίνεται το πλήρες σύστημα με τον αισθητήρα. Το συνολικό κόστος της κατασκευής εξαιρουμένου του κουτιού ανέρχεται κοντά στα 40€ και φαίνεται αρκετά προσιτό οικονομικά για τις λειτουργίες που προσφέρει.



Εικόνα 5.19 Πλήρες σύστημα

6^ο Κεφάλαιο: Υλοποίηση προγραμματιστικού κομματιού του συστήματος

6.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο θα αναλυθεί αρχικά, η διαδικασία προγραμματισμού του μικροελεγκτή και οι ενέργειες που έγιναν για να είναι συμβατός ο κώδικας της πλατφόρμας Arduino IDE που χρησιμοποιήθηκε. Στη συνέχεια θα γίνει περιγραφή της ιστοσελίδας και τέλος της ανάπτυξης της Android εφαρμογής που δημιουργήθηκε.

6.2 Διαδικασία προγραμματισμού του μικροελεγκτή

6.2.1 Περιβάλλον ανάπτυξης Arduino IDE

Το ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης (IDE) του Arduino είναι μία εφαρμογή γραμμένη σε Java, που λειτουργεί σε πολλές πλατφόρμες και προέρχεται από το IDE για τη γλώσσα προγραμματισμού Processing και το σχέδιο Wiring. Έχει σχεδιαστεί για να εισαγάγει τον προγραμματισμό στους καλλιτέχνες και τους νέους που δεν είναι εξοικειωμένοι με την ανάπτυξη λογισμικού. Περιλαμβάνει ένα πρόγραμμα επεξεργασίας κώδικα με χαρακτηριστικά όπως είναι η επισήμανση σύνταξης και ο συνδυασμός αγκύλων και είναι επίσης σε θέση να μεταγλωττίζει και να φορτώνει προγράμματα στην πλακέτα με ένα μόνο κλικ. Δεν υπάρχει συνήθως καμία ανάγκη να επεξεργαστούν αρχεία ή να τρέξουν προγράμματα σε ένα περιβάλλον γραμμής εντολών. Ένα πρόγραμμα ή κώδικας που γράφτηκε για Arduino ονομάζεται σκίτσο (sketch). [29]

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

- **setup():** μία συνάρτηση που τρέχει μία φορά στην αρχή του προγράμματος η οποία αρχικοποιεί τις ρυθμίσεις
- **loop():** μία συνάρτηση που καλείται συνέχεια μέχρι η πλακέτα να απενεργοποιηθεί

Ο κώδικας δεν θα αναγνωριστεί από ένα κανονικό μεταγλωττιστή C++ ως έγκυρο πρόγραμμα, έτσι ώστε όταν ο χρήστης κάνει κλικ στο κουμπί "Upload to I / O board" στο IDE, ένα αντίγραφο του κώδικα θα γραφτεί σε ένα προσωρινό αρχείο με ένα παραπάνω include στην κορυφή και μία πολύ απλή συνάρτηση main() στο τέλος, για να φτιάξει ένα έγκυρο C++ πρόγραμμα. [29]

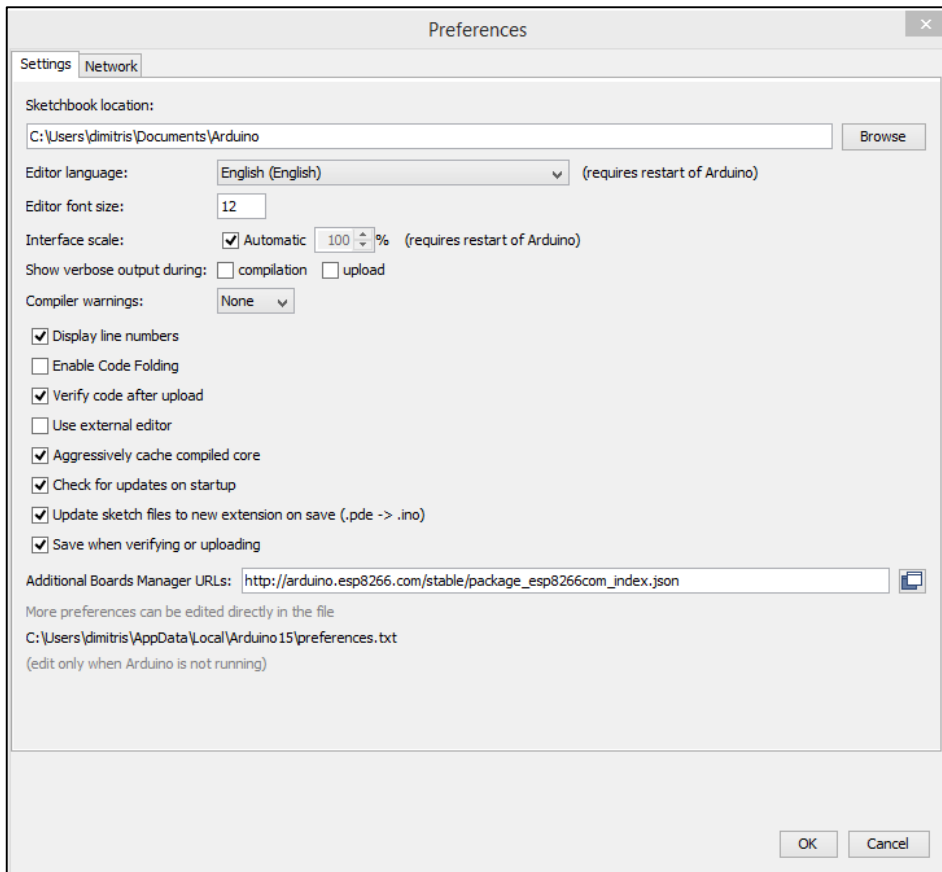
Το IDE του Arduino χρησιμοποιεί το GNU toolchain και το AVR Libc για να μεταγλωττίζει προγράμματα και το avrdude για να φορτώνει προγράμματα στην πλακέτα. Δεδομένου ότι η πλατφόρμα Arduino χρησιμοποιεί Atmel μικροελεγκτές, το περιβάλλον ανάπτυξης της Atmel, το AVR Studio ή η νεότερη έκδοση του Atmel Studio, μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη λογισμικού για το Arduino. [29]

6.2.2 Ρύθμιση για προγραμματισμό της πλακέτας

Για όσους θέλουν να χρησιμοποιήσουν το ESP8266 ως κανονικό μικροελεγκτή όπως το ATmega328 στο Arduino UNO, τότε είναι δυνατό να γραφεί προσαρμοσμένο firmware και να το φορτωθεί στο τσιπ. Όπως συμβαίνει στον προγραμματισμό μικροελεγκτών, το προσαρμοσμένο firmware θα αντικαταστήσει οτιδήποτε αποθηκεύτηκε προηγουμένως στη μνήμη flash του τσιπ. [30]

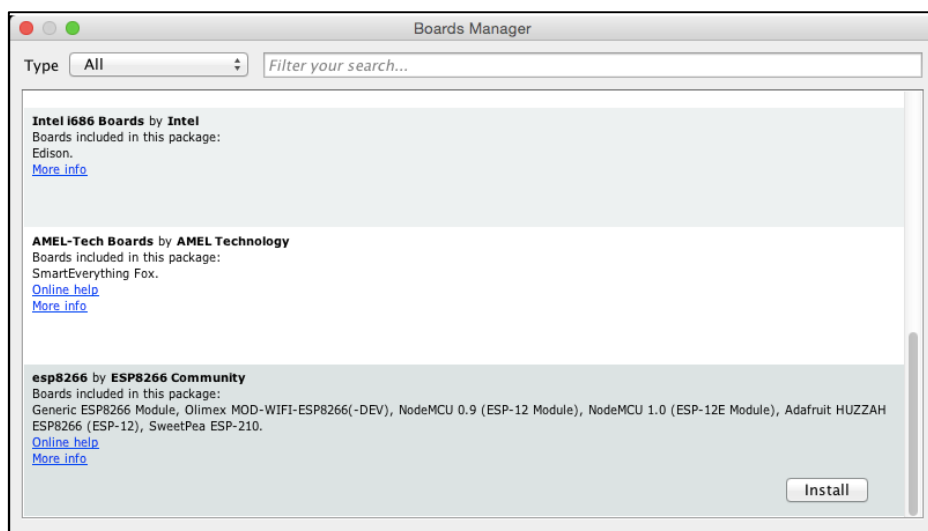
Παρόλο που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το SDK του κατασκευαστή για να αναπτύξουμε το προσαρμοσμένο firmware σε γλώσσα Lua, είναι πολύ πιο εύκολο να χρησιμοποιηθεί το Arduino IDE.

Στο IDE του Arduino ανοίγεται το παράθυρο Preferences και εισάγεται η παρακάτω διεύθυνση URL στο πεδίο Additional Boards Manager URLs και επιλέγεται το OK.



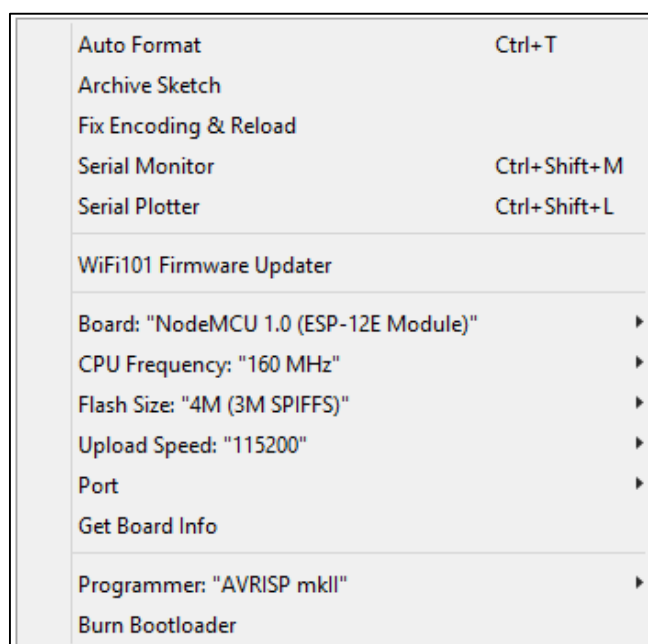
Εικόνα 6.1 Preferences του Arduino IDE

Στη συνέχεια επιλέγοντας τη διαδρομή Tools → Board → Board Manager ... μετακινείται η μπάρα προς τα κάτω για να εντοπιστεί η επιλογή esp8266 από την κοινότητα ESP8266, η οποία θα πρέπει να είναι το τελευταίο στοιχείο της λίστας και επιλέγεται το Install. [30]



Εικόνα 6.2 Διαχείριση βιβλιοθηκών

Μετά την επανεκκίνηση του Arduino IDE επιλέγεται η πλακέτα που χρησιμοποιείται Tools → Board → NodeMCU 1.0 (ESP-12E Module). Στη συνέχεια, καθορίζουμε τη σωστή συχνότητα CPU (Tools → CPU Frequency: "" → 80MHz ή 160MHz) και Ταχύτητα αποστολής (Tools → Upload Speed: "" → 115200). Η συχνότητα που επιλέχθηκε είναι 160MHz για να γίνεται γρηγορότερη επεξεργασία. Τέλος, το τελευταίο βήμα είναι η σωστή επιλογή για το Port (Tools → Port → port στο οποίο είναι συνδεδεμένο το dev board). [30]



Εικόνα 6.3 Μενού επιλογής ρυθμίσεων ανεβάσματος προγράμματος

6.2.3 Προγραμματισμός μικροελεγκτή και server

Αφού έχουν γίνει οι παραπάνω ενέργειες, στη συνέχεια πραγματοποιείται ο προγραμματισμός του μικροελεγκτή. Το πρόγραμμα που εκτελείται χωρίζεται σε δύο κατηγορίες. Στις διαδικασίες που ρυθμίζουν τη λειτουργία του server και σε αυτές που ρυθμίζουν τη λειτουργία της καταγραφής και αποθήκευσης των μετρήσεων.

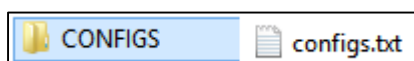
Αρχικά, με τον τρόπο που αναφέρθηκε παραπάνω, εγκαταστάθηκαν οι βιβλιοθήκες μέσω των οποίων επιτυγχάνεται η ενσωμάτωση του αισθητήρα, του RTC module και της SD κάρτας. Ο προγραμματισμός του RTC module έγινε με τη χρήση παραδείγματος της αντίστοιχης βιβλιοθήκης του και δεν χρειάζεται να ξανασυγχρονιστεί.

Στην αρχή, έξω από τις δύο κύριες συναρτήσεις που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα, αρχικοποιούνται κάποιες μεταβλητές, ανάμεσα τους και οι

στατικές IP του ESP για τη λειτουργία του ως Access Point, κάτι που θα φανεί ιδιαίτερα χρήσιμο στην επικοινωνία του με το Android που χρησιμοποιείται για τη σύνδεση του board στο WiFi.

Στη συνάρτηση setup() του προγράμματος περιλαμβάνεται το μεγαλύτερο κομμάτι του κώδικα. Στην αρχή, με τη χρήση της κατάλληλης βιβλιοθήκης ορίζεται το pin και η βαθμονόμηση του αισθητήρα σύμφωνα με το κύκλωμα.

Μετά λοιπόν την αρχικοποίηση του αισθητήρα, αρχικοποιούνται η SPI επικοινωνία μεταξύ του development board και της SD κάρτας και η σειριακή επικοινωνία. Ορίζεται η εκκίνηση της WiFi επικοινωνίας τόσο ως Access Point όσο και ως Station διαβάζοντας από αρχείο της SD τα SSID και κωδικούς των δύο αυτών modes.



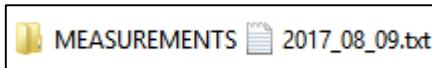
Εικόνα 6.4 Όνομα φακέλου και αρχείου του φακέλου στο οποίο περιλαμβάνονται τα στοιχεία των δικτύων

Για να γίνει σωστά το άνοιγμα και η ανάγνωση του αρχείου, ο φάκελος και το αρχείο πρέπει να έχουν το συγκεκριμένο όνομα που φαίνεται παραπάνω. Στο αρχείο τα στοιχεία πρέπει βρίσκονται στην ακόλουθη μορφή:

```
["networkName": " ", "password": " ", "ssidESP": " ", "passwordESP": " ", "webUsername": " ", "webPassword": " "]
```

Τα networkName και password είναι τα στοιχεία του δικτύου με το οποίο συνδέεται το board και τα ssidESP και passwordESP ορίζουν τα στοιχεία του δικτύου που παρέχει το board. Για τη λειτουργία του board ως Access Point έχουν οριστεί ως σταθερές οι IP του AP, του gateway και του subnet.

Στη setup() αρχικοποιείται η εκκίνηση της I2C επικοινωνίας και του RTC ρολογιού και ορίζεται η εκτέλεση της συνάρτησης καταγραφής και αποθήκευσης κάθε 60 δευτερόλεπτα. Η συνάρτηση της λήψης των μετρήσεων που εκτελείται με την παραπάνω συχνότητα αρχικά λαμβάνει 10 διαδοχικές μετρήσεις ρεύματος από τις οποίες, για την αποφυγή καταγραφής τυχαίας τιμής, επιλέγεται η διάμεσος. Στη συνέχεια λαμβάνεται ο χρόνος από το ρολόι ο οποίος είναι σε μορφή Unix Time Stamp, μετατρέπεται σε μορφή ημερομηνίας και με βάση αυτή, δημιουργείται στο φάκελο των μετρήσεων το αντίστοιχο αρχείο. Το όνομα του φακέλου έχει υποχρεωτικά την ακόλουθη μορφή.



Εικόνα 6.5 Όνομα φακέλου μετρήσεων και παράδειγμα ονόματος αρχείου

Προτιμήθηκε η μορφή `yyyy_mm_dd` για την ευκολότερη ταξινόμηση των αρχείων στο φάκελο. Κατά τη δημιουργία του αρχείου, την πρώτη φορά της εκτέλεσης της συνάρτησης για τη συγκεκριμένη ημέρα, γράφεται και η αρχική συμβολοσειρά η οποία περιέχει την ημερομηνία της καταγραφής και έχει την εξής μορφή.

```
{"Date":"dd/mm/yyyy", "Measurements":[]}
```

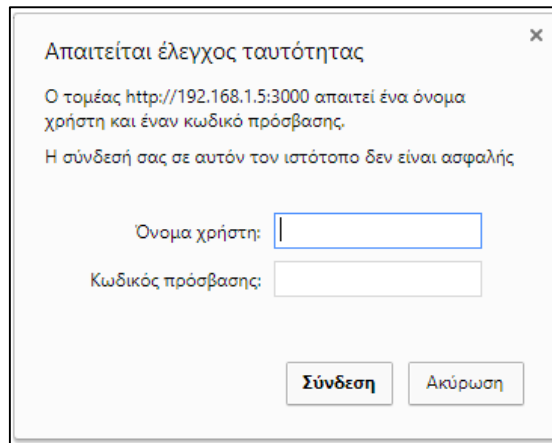
Στην επόμενη επανάληψη καταγράφεται στο αρχείο η τιμή του ρεύματος και η χρονική στιγμή σε μορφή Unix Time Stamp, κάτι το οποίο επαναλαμβάνεται όσο το board είναι σε λειτουργία. Η κάθε μέτρηση τοποθετείται με τέτοιο τρόπο ώστε το κείμενο του αρχείου να έχει την τελική μορφή που φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα.

```
{"Date":"19/06/2017", "Measurements":  
[{"Time":1497875003, "Current":0.04},  
{"Time":1497875063, "Current":0.05}]}
```

Εικόνα 6.6 Παράδειγμα κειμένου αρχείου καταγραφείς με δύο μετρήσεις

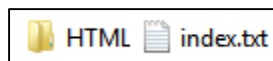
Στο σημείο αυτό να σημειωθεί ότι τα δεδομένα επιλέχθηκαν να αποθηκεύονται στην παραπάνω μορφή, δηλαδή σε μορφή JSON για ευκολότερη αποστολή και διαχείριση τους. Αν αποτύχει η δημιουργία του αρχείου, το board επανεκκινείται μέχρι να δημιουργηθεί το αρχείο.

Στη συνέχεια, ρυθμίζεται η απάντηση του server στο HTTP GET αίτημα (request) όταν πληκτρολογείται στον περιηγητή η διεύθυνση IP του server στη λειτουργία Station και η πόρτα (port) στην οποία ακούει. Αρχικά, ανοίγει το αρχείο `configs.txt` που αναφέρθηκε παραπάνω και ανακτώνται τα στοιχεία `webUsername` και `webPassword` τα οποία χρησιμοποιούνται για την ασφάλεια της ιστοσελίδας.



Εικόνα 6.7 Αίτημα καταχώρησης αναγνωριστικών στοιχείων που δίνονται από τα webUsername και webPassword

Στη συνέχεια, ανοίγεται το αρχείο της SD που έχει τον κώδικα της ιστοσελίδας. Το παρακάτω αρχείο περιέχει τον HTML κώδικα σε μορφή κειμένου το οποίο ο server ανοίγει και το αποστέλλει τμηματικά στον περιηγητή ο οποίος στη συνέχεια το ανασυνθέτει και παρουσιάζει την ιστοσελίδα. Οι παρακάτω ονομασίες φακέλου και αρχείου είναι υποχρεωτικές.



Εικόνα 6.8 Όνομα φακέλου και αρχείου που περιέχει τον κώδικα της σελίδας

Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται όταν ο πελάτης εισάγει στον περιηγητή του το URL *IP address του server Station* + “:3000” το οποίο θα αναφέρεται στη συνέχεια ως *base URL*, όπου 3000 είναι η port του router στην οποία “ακούει” ο server για HTTP requests.

Επόμενη λειτουργία που ορίζεται είναι η απάντηση του server στο HTTP GET request της Android συσκευής για αποστολή των διαθέσιμων προς σύνδεση με το board δικτύων. Το board πραγματοποιεί ανίχνευση για διαθέσιμα δίκτυα και στη συνέχεια τα αποστέλλει σε μια συμβολοσειρά κατάλληλη για τη λήψη και επεξεργασία από τη μεριά της Android συσκευής. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται όταν η Android συσκευή κάνει request στο μονοπάτι (path) *IP address του Access Point* + “/sendNetworkNames”.

Ακόμα μία λειτουργία που ρυθμίζεται είναι η απάντηση του server στο HTTP POST request της Android συσκευής για ασύρματη σύνδεση του board στο δίκτυο

που εισάγεται στην Android εφαρμογή. Αρχικά, λαμβάνεται η συμβολοσειρά που περιέχει το ssid και τον κωδικό του δικτύου και γίνεται προσπάθεια σύνδεσης στο WiFi δίκτυο. Αν η προσπάθεια είναι επιτυχής, στέλνεται στη συσκευή ένα μήνυμα επιτυχούς σύνδεσης:

```
"Connected to " + ssidWifi + "!"
```

και στη συνέχεια το κείμενο του αρχείου configs.txt που παρουσιάστηκε παραπάνω αλλάζει με την τοποθέτηση των νέων στοιχείων των networkName και password. Τα άλλα στοιχεία παραμένουν σταθερά. Αν η απόπειρα σύνδεσης στο δίκτυο είναι ανεπιτυχής αποστέλλεται μήνυμα ανεπιτυχούς προσπάθειας στη συσκευή:

```
"Failed to connect to " + ssidWifi + "!"
```

Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται όταν η Android συσκευή κάνει request στο path *IP address του Access Point* + *"/wifiConnect"*.

Οι επόμενες λειτουργίες που ρυθμίζονται είναι οι απαντήσεις του server στα αιτήματα του περιηγητή. Κατά την φόρτωση της ιστοσελίδας ο περιηγητής στέλνει ένα HTTP POST request στο server για την αποστολή της κατάστασης των ψηφιακών εξόδων εκείνη τη στιγμή. Ο server με τη σειρά του στέλνει την ακόλουθη συμβολοσειρά:

```
"{"pinStatusLb10":" + D0state + ", "pinStatusLb13":" + D3state + ",  
"pinStatusLb14":" + D4state + "}"
```

Όπου τα D0state, D3state, D4state είναι συμβολοσειρές που δηλώνουν την κατάσταση των αντιστοίχων ψηφιακών εξόδων και μπορούν να είναι είτε "Enabled" για ψηφιακή έξοδο 1 είτε "Disabled" για ψηφιακή έξοδο 0. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται όταν ο περιηγητής κάνει request στο path *base URL* + *"/requestPinsState"* του server.

Μια ακόμα λειτουργία που ρυθμίζεται, είναι ο απομακρυσμένος έλεγχος μέσω του περιηγητή των ψηφιακών εξόδων του board, μέσω HTTP POST request του περιηγητή. Στην αρχή, ο server λαμβάνει μια συμβολοσειρά, η οποία περιέχει το όνομα και το δυαδικό ψηφίο της ψηφιακής εξόδου. Αυτά τα στοιχεία αναγνωρίζονται από τον μικροελεγκτή και ενεργοποιούν ή απενεργοποιούν τα αντίστοιχα pins αλλάζοντας ταυτόχρονα και τη συμβολοσειρά που δηλώνει την κατάσταση του

συγκεκριμένου pin. Αν η αλλαγή είναι επιτυχής, ο server στέλνει μήνυμα επιτυχούς λήψης του αιτήματος:

```
data + " OK"
```

Όπου data είναι η συμβολοσειρά που αποστέλλεται από τον περιηγητή. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται όταν ο περιηγητής κάνει request στο path *base URL* + *"/togglePin"* του server.

Ο server μετά από HTTP POST request του περιηγητή στέλνει σε συμβολοσειρά το σύνολο των ημερομηνιών των μετρήσεων. Το board ανοίγει το φάκελο που περιέχει τις μετρήσεις. Στη συνέχεια, ανοίγει κάθε αρχείο μετρήσεων και γράφει στη συμβολοσειρά το κομμάτι του αρχείου που περιέχει την ημερομηνία της καταγραφής.

```
"Date": "19/06/2017"
```

Εικόνα 6.9 Συμβολοσειρά από την οποία ανακτάται η ημερομηνία

Αυτό συμβαίνει μέχρι να προσπελαστούν όλα τα αρχεία. Όταν τελειώσουν τα διαθέσιμα αρχεία, ο server στέλνει στον περιηγητή τη συμβολοσειρά με όλες τις ημερομηνίες, οι οποίες επεξεργάζονται κατάλληλα. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται όταν ο περιηγητής κάνει request στο path *base URL* + *"/requestDateHistory"* του server.

Μία ακόμα λειτουργία που ορίζεται είναι η αποστολή των δεδομένων των μετρήσεων από τον server στον περιηγητή. Από τον περιηγητή στέλνεται η συμβολοσειρά της ημερομηνίας των δεδομένων που επιθυμεί να δει ο client. Αυτή λαμβάνεται από τον server, ο οποίος με τη σειρά του ανοίγει το αντίστοιχο αρχείο στο φάκελο MEASUREMENTS που είδαμε παραπάνω. Τα στοιχεία αυτά καταγράφονται σε συμβολοσειρές οι οποίες αποστέλλονται τμηματικά στον περιηγητή. Αν το αρχείο που ζητήθηκε υπάρχει αλλά απέτυχε το άνοιγμά του, τότε ο server στέλνει το μήνυμα:

```
"{"msg": " + filename+ " failed to open!", "status": "error"}"
```

Αν το αρχείο δεν υπάρχει τότε ο server στέλνει το μήνυμα:

```
"{"msg": " + filename + " doesn't exist!", "status": "error"}"
```

Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται όταν ο περιηγητής κάνει request στο path *base URL* + *“/requestDate”* του server.

Ο περιηγητής μπορεί να στείλει αίτημα διαγραφής ενός αρχείου καταγραφής από το φάκελο MEASUREMENTS της SD μέσω HTTP POST request. Ο server λαμβάνει όπως και παραπάνω τη συμβολοσειρά με την ημερομηνία του αρχείου που επιθυμεί να διαγράψει ο χρήστης. Ο server ανοίγει το φάκελο MEASUREMENTS και διαγράφει το συγκεκριμένο αρχείο. Αν το αρχείο υπήρχε και διαγράφηκε με επιτυχία ο server στέλνει το μήνυμα:

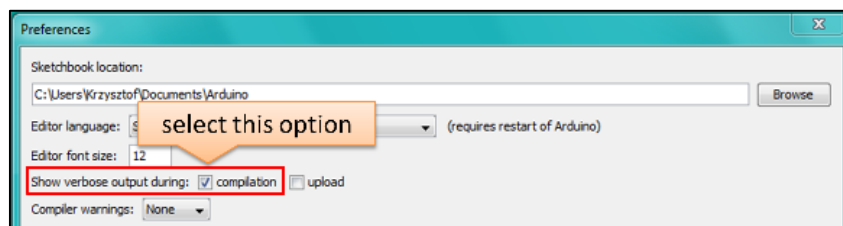
```
"{"msg":" + filename + " deleted!", "status":"success"}"
```

Στην αντίθετη περίπτωση στέλνεται το μήνυμα:

```
"{"msg":" + filename + " doesn't exist! ", "status":"error"}"
```

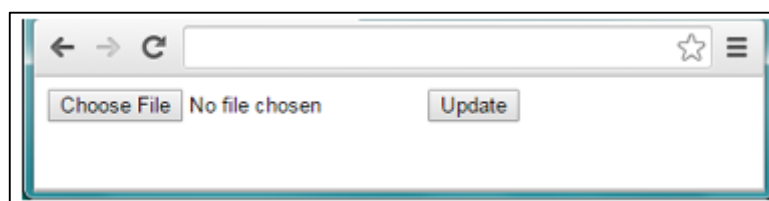
Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται όταν ο περιηγητής κάνει request στο path *base URL* + *“/deleteTxt”* του server.

Στη *setup()* προστίθεται και ακόμα ένα χαρακτηριστικό στον server το οποίο δίνει τη δυνατότητα για ενημέρωση του firmware του μικροελεγκτή Over The Air (OTA) δηλαδή η ενημέρωση χωρίς τη χρήση καλωδίου. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε εδώ είναι η ενημέρωση μέσω περιηγητή. Αρχικά, πρέπει να έχει αποεπιλεγθεί το συγκεκριμένο κουτί στα Preferences.



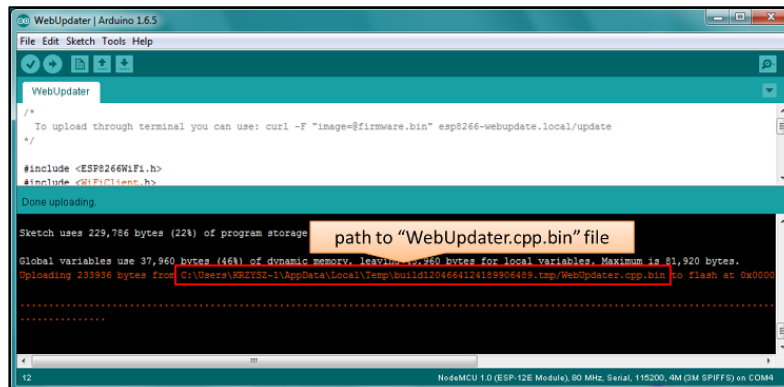
Εικόνα 6.10 Αποεπιλογή του κουτιού compilation [31]

Στη συνέχεια, μεταβαίνει ο χρήστης στη σελίδα *base URL* + *“/update”* η οποία έχει την εξής μορφή:



Εικόνα 6.11 Σελίδα για την OTA ενημέρωση [31]

Στη συνέχεια ο χρήστης επιλέγει το “Choose File” και στην τοποθεσία που βρίσκει στο σημείο που φαίνεται παρακάτω βρίσκει το αρχείο του κώδικα που μόλις έκανε compile.



Εικόνα 6.12 Μονοπάτι για την εύρεση του αρχείου προς ανέβασμα [31]

Στην παραπάνω τοποθεσία επιλέγει το αρχείο με όνομα sketchname.cpp.bin και πατάει το κουμπί “Update”. Αν όλα έγιναν σωστά θα εμφανιστεί στη σελίδα ένα OK.

Στη loop() υπάρχει μόνο μία συνάρτηση η οποία είναι απαραίτητο να υπάρχει για τη λειτουργία του web server του ESP8266, διότι παρακολουθεί την παρουσία του client, αναγνωρίζει και εξυπηρετεί τα αιτήματα του.

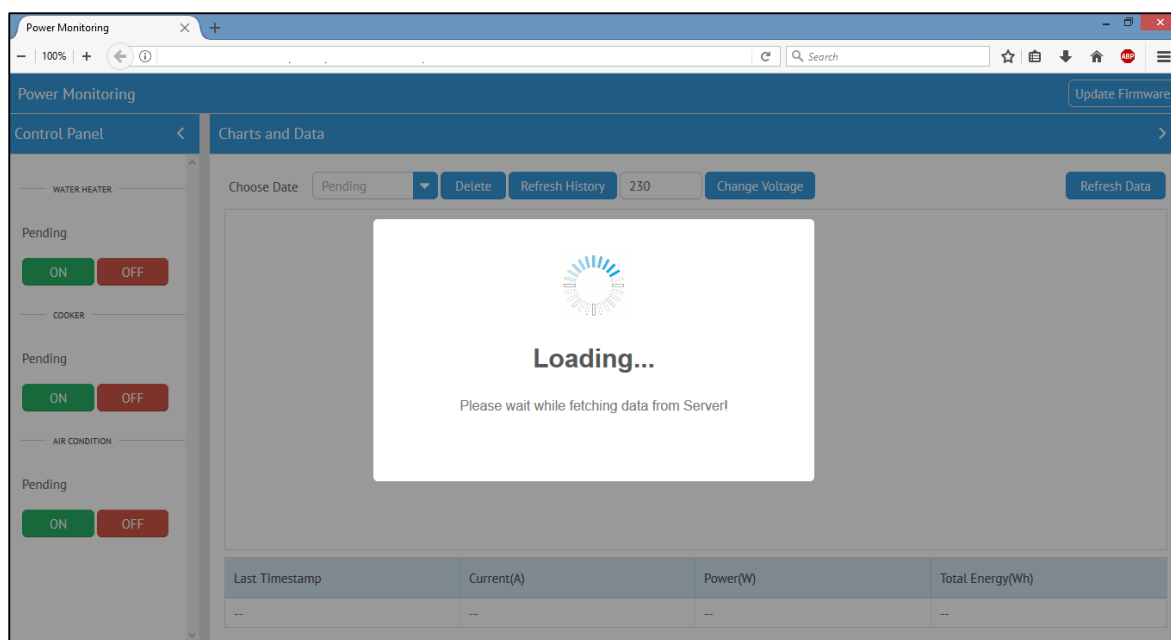
6.3 Κώδικας ιστοσελίδας του συστήματος

Στη συγκεκριμένη ενότητα θα αναλυθεί ο κώδικας της ιστοσελίδας του συστήματος, που αποτελεί τον τρόπο επικοινωνίας του client με τον server με την ανταλλαγή συμβολοσειρών μέσω HTTP requests. Η σελίδα δίνει τη δυνατότητα στον client να ζητά από τον server δεδομένα μετρήσεων για γραφική αναπαράσταση, να διαχειρίζεται τα αρχεία που είναι αποθηκευμένα στην SD κάρτα, να ελέγχει τις ψηφιακές εξόδους του board και να ενημερώνει το λογισμικό του board.

Για τη δημιουργία της ιστοσελίδας, χρησιμοποιήθηκε η γλώσσα Javascript και το προγραμματιστικό περιβάλλον Visual Studio Code, ένα περιβάλλον το οποίο μπορεί να κατεβάσει ο καθένας ελεύθερα από την αντίστοιχη σελίδα του στο Διαδίκτυο. Το user interface της σελίδας χρησιμοποίησε χαρακτηριστικά από τη βιβλιοθήκη Webix. Αυτή η βιβλιοθήκη χτίζει την ιστοσελίδα βασισμένη στο διαχωρισμό του παραθύρου σε γραμμές και στήλες. Με βάση λοιπόν το παραπάνω στοιχείο δημιουργήθηκε η

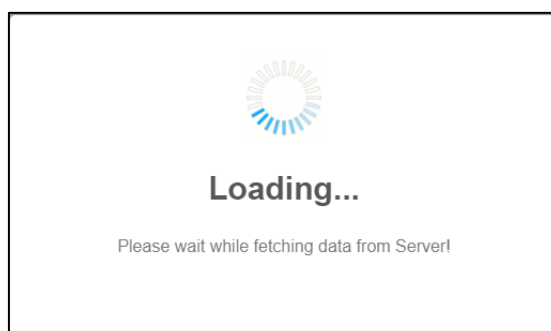
ιστοσελίδα. Αφού οριστούν στον κώδικα οι βιβλιοθήκες από τις οποίες θα χρησιμοποιηθούν οι διάφορες εικόνες και γραφικές παραστάσεις, στο script δημιουργείται μια κύρια συνάρτηση.

Όταν ο χρήστης πληκτρολογήσει στον περιηγητή του την εξωτερική IP και port του server τότε εμφανίζεται η ακόλουθη σελίδα.



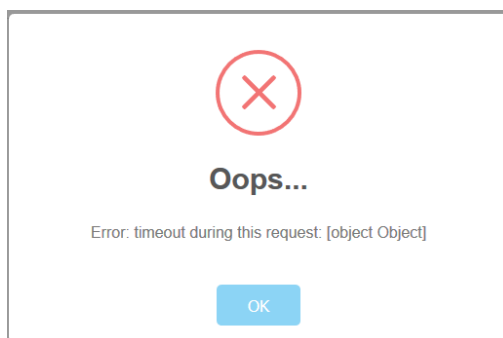
Εικόνα 6.13 Αρχική εικόνα σελίδας στην επίσκεψη του χρήστη

Κατά την εκκίνηση της σελίδας εκτελούνται από τη μεριά του client ορισμένα HTTP POST requests τα οποία αποστέλλονται στον server. Μέχρι να ληφθεί η HTTP απάντηση (response) του server εμφανίζεται το ακόλουθο μήνυμα το οποίο δημιουργείται με τη βοήθεια της βιβλιοθήκης SweetAlert.



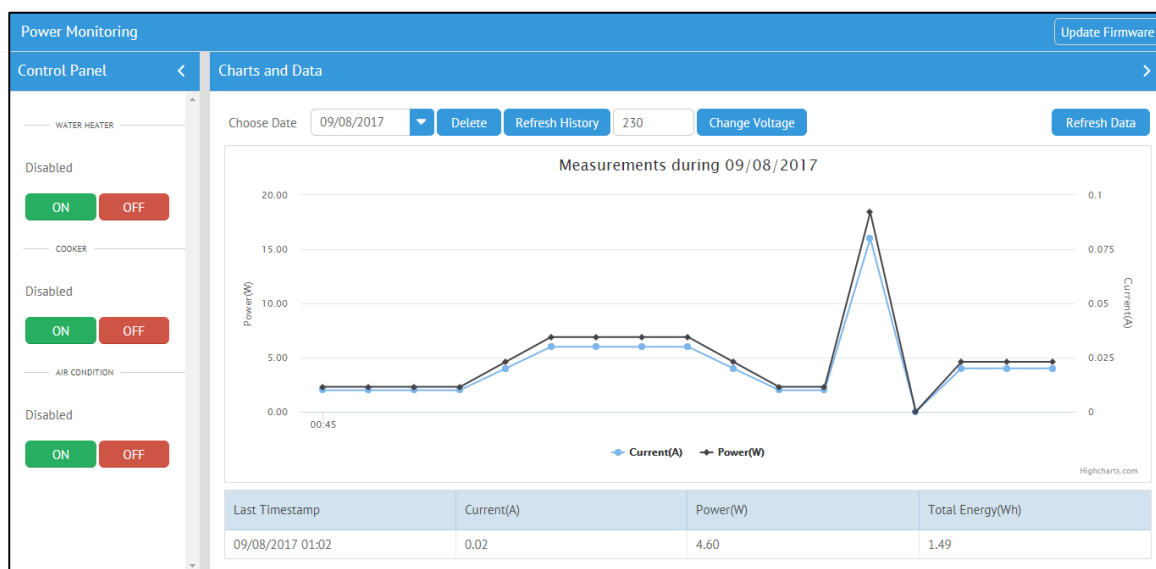
Εικόνα 6.14 Μήνυμα αναμονής κατά τη φόρτωση της ιστοσελίδας

Αν για κάποιο λόγο δε ληφθεί response τότε εμφανίζεται η ακόλουθη εικόνα:



Εικόνα 6.15 Μήνυμα αποτυχίας φόρτωσης σελίδας

Αν το response ληφθεί και αποδομηθεί με επιτυχία τότε η σελίδα αποκτά την ακόλουθη μορφή:

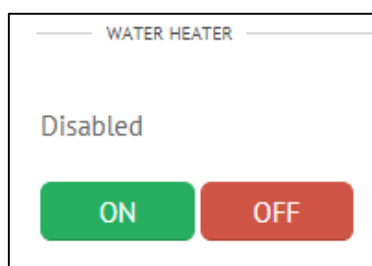


Εικόνα 6.16 Σελίδα μετά την επιτυχημένη φόρτωση της

Όπως φαίνεται στη σελίδα, υπάρχουν ορισμένα κουμπιά, πεδία κειμένου, μενού και πίνακας δεδομένων, στο καθένα από τα οποία έχει ανατεθεί μία συγκεκριμένη λειτουργία. Η σελίδα χωρίζεται σε τρία κομμάτια όπως φαίνεται. Στην πρώτη γραμμή βρίσκεται ο τίτλος της σελίδας “Power Monitoring” και το κουμπί “Update Firmware”. Στην συνέχεια το κύριο κομμάτι της σελίδας χωρίζεται στο “Control Panel” και το “Charts and Data”.

Στο “Control Panel” ανήκει ο έλεγχος των ψηφιακών εξόδων του μικροελεγκτή. Όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 6.2.3, έως 3 ψηφιακές εξοδοι μπορούν να

χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο συσκευών. Ενδεικτικά παρουσιάζεται το ζεύγος κουμπιών για μία έξοδο.



Εικόνα 6.17 Ζεύγος κουμπιών για τον έλεγχο ψηφιακής εξόδου

Το ζεύγος κουμπιών χαρακτηριστικά έχει ένα κουμπί ON και ένα OFF, τα οποία αντιστοιχούν σε 1 και 0 των ψηφιακών εξόδων. Έτσι σε κάθε κουμπί έχει ανατεθεί ένα id το οποίο ενδεικτικά για το ON κουμπί της Εικόνας 6.17 είναι D0 1. Με το πάτημα του εκάστοτε κουμπιού γίνεται HTTP POST request στο path *base URL + "/togglePin"* του server και στέλνεται στον server το id του κουμπιού. Στην Ενότητα 6.2.3 είδαμε ότι η διαδικασία που καλείται όταν ο client κάνει αίτημα στο παραπάνω path, λαμβάνει τη συμβολοσειρά του id της παραπάνω μορφής και διαπιστώνει τι αλλαγή και σε ποια έξοδο θα γίνει. Αν ο server στείλει απάντηση επιτυχούς λήψης και εκτέλεσης του αιτήματος, τότε στη σελίδα αλλάζει το status της εξόδου σε "Enabled" αν είχε πατηθεί το ON και "Disabled" αν είχε πατηθεί το OFF. Αν η απάντηση δεν έρθει μετά από ορισμένο χρονικό διάστημα τότε εμφανίζεται το μήνυμα αποτυχίας φόρτωσης που είδαμε στην Εικόνα 6.15.

Στο κομμάτι της σελίδας "Charts and Data", γίνεται η γραφική αναπαράσταση των δεδομένων που καταγράφονται από τον αισθητήρα και η διαχείριση των αρχείων μετρήσεων της SD.

Στο συγκεκριμένο τμήμα η κύρια λειτουργία είναι το αίτημα για την αποστολή των δεδομένων. Αυτό γίνεται χειροκίνητα με το πάτημα το κουμπιού "Refresh Data".



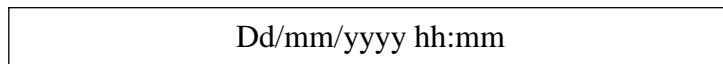
Εικόνα 6.18 Κουμπί Refresh Data

Στο menu των ημερομηνιών επιλέγεται μία ημερομηνία η οποία φαίνεται ακολούθως:



Εικόνα 6.19 Μενού επιλογής ημερομηνίας

Με το πάτημα του κουμπιού “Refresh Data”, διαβάζεται η ημερομηνία και καταγράφεται η συμβολοσειρά της όπως φαίνεται στο παραπάνω μενού και μετατρέπεται στη μορφή των ονομάτων των αρχείων της SD. Στη συνέχεια αυτή η συμβολοσειρά στέλνεται με HTTP POST request στον server στο path *base URL + /requestDate*. Αυτό καλεί από τη μεριά του server την αντίστοιχη διαδικασία που αναφέρθηκε στην Ενότητα 6.2.3, και γίνεται η αποστολή των δεδομένων στη μορφή που είδαμε στην Εικόνα 6.6. Αν η αποστολή είναι επιτυχής τότε γίνεται η επεξεργασία τους από τη σελίδα ώστε να έλθουν σε κατάλληλη μορφή για την απεικόνισή τους στη γραφική παράσταση. Ο μικροελεγκτής αποθηκεύει το χρόνο σε μορφή Unix Time Stamp, μια μορφή που δεν είναι επιθυμητή στην παρουσίαση των δεδομένων γραφικά και σε πίνακα. Για αυτό το λόγο, ο χρόνος μετατρέπεται στη συμβατική μορφή απεικόνισης, δηλαδή :



Στη συνέχεια καλείται η συνάρτηση που δημιουργεί τη γραφική παράσταση και ενημερώνει τον πίνακα δεδομένων. Στον πίνακα δεδομένων όπως φαίνεται στην Εικόνα 6.21 απεικονίζονται 4 διαφορετικά δεδομένα. Η χρονική στιγμή της τελευταίας μέτρησης, η τιμή του ρεύματος σε Ampere, η τιμή της ισχύος σε Watt εκείνης της στιγμής και η κατανάλωση ενέργεια σε βατώρες (Wh) από την αρχή λήψης μετρήσεων έως εκείνη τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Ο μικροελεγκτής καταγράφει όμως μόνο τον χρόνο και την τιμή του ρεύματος άρα απαιτείται ο υπολογισμός της ισχύος και των Wh. Για την ισχύ χρησιμοποιείται ο τύπος $P = V \cdot I$ όπου I είναι το ρεύμα και V είναι η τάση. Η τάση δίνεται από το πεδίο που φαίνεται παρακάτω και κατά την εκκίνηση της σελίδας η τιμή τοποθετείται αυτόματα στα 230V.



Εικόνα 6.20 Πεδίο καταχώρησης τάσης

Με τον υπολογισμό της ισχύος κάθε στιγμής καταγραφής χρησιμοποιώντας τον παραπάνω τύπο μπορούν να δημιουργηθούν πίνακες δεδομένων οι οποίοι θα χρησιμοποιηθούν στον υπολογισμό των βατώραν και στη δημιουργία της γραφικής παράστασης. Δημιουργούνται ένας πίνακας που περιέχει τον χρόνο σε συμβατική μορφή σε ώρες και λεπτά, ένας πίνακας που περιέχει τις τιμές του ρεύματος, ένας πίνακας που περιέχει τις τιμές της ισχύος και ένας πίνακας που περιέχει την τιμή του χρόνου σε Unix Time Stamp. Οι τιμές των δύο τελευταίων πινάκων χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των βατώραν που καταναλώνονται από στιγμή σε στιγμή. Με δεδομένο ότι οι βατώρες σε μια γραφική παράσταση της ισχύος στο χρόνο μπορούν να βρεθούν υπολογίζοντας το εμβαδό της γραφικής παράστασης, χρησιμοποιείται η σχέση:

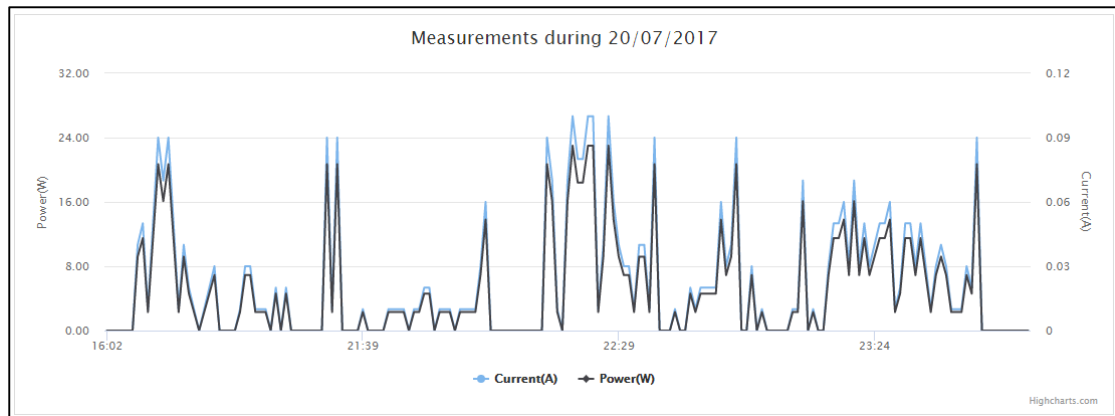
$$(P[i] + P[i + 1]) * (T[i + 1] - T[i]) / 2$$

Τα $P[i]$ και $P[i+1]$ αντιστοιχούν σε δύο διαδοχικές τιμές ισχύος του συγκεκριμένου πίνακα και τα $T[i]$ και $T[i+1]$ στις αντίστοιχες χρονικές στιγμές. Οι τιμές αυτές των βατώραν τοποθετούνται σε ένα πίνακα, το άθροισμα των στοιχείων του οποίου δίνει τη συνολική καταναλισκόμενη ενέργεια. Αφού έχουν γίνει αυτοί οι υπολογισμοί δημιουργείται ένα σύνολο δεδομένων που περιέχει την τελευταία μέτρηση ρεύματος, ισχύος, την τελευταία χρονική στιγμή μέτρησης και τον άθροισμα του πίνακα των βατώραν μέχρι εκείνη τη στιγμή. Τα δεδομένα αυτά τοποθετούνται στον πίνακα δεδομένων της ιστοσελίδας που παίρνει την παρακάτω μορφή.

Last Timestamp	Current(A)	Power(W)	Total Energy(Wh)
09/08/2017 01:02	0.02	4.60	1.49

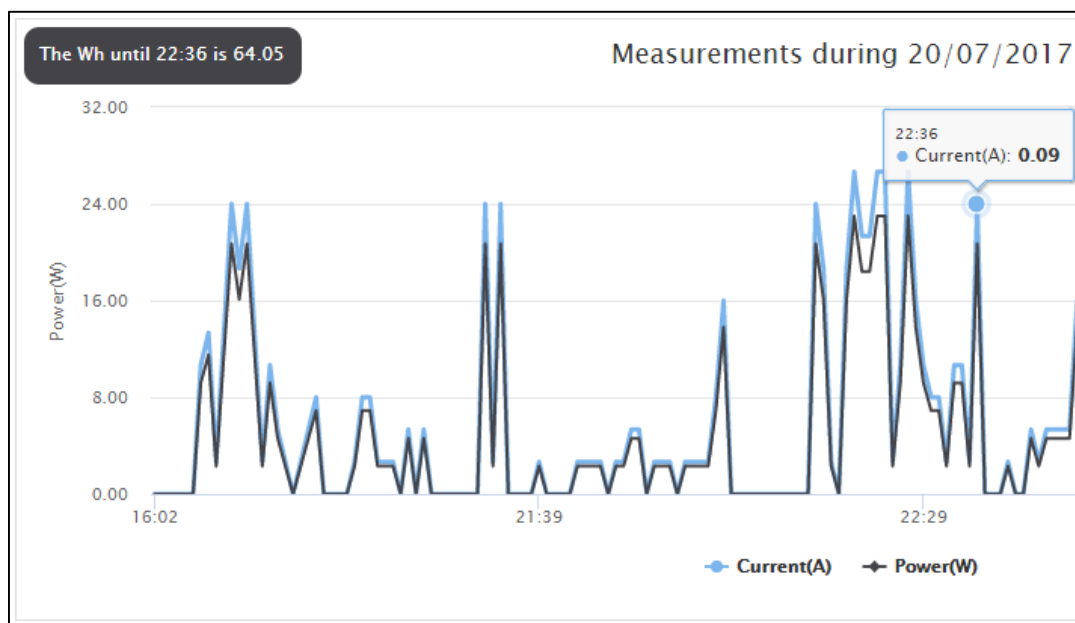
Εικόνα 6.21 Πίνακας δεδομένων

Το επόμενο βήμα είναι η δημιουργία της γραφικής παράστασης. Για τη δημιουργία της, χρησιμοποιήθηκε η βιβλιοθήκη Highcharts. Η γραφική παράσταση έχει την παρακάτω μορφή και έχει τη δυνατότητα ταυτόχρονης απεικόνισης της ισχύος και του ρεύματος στο χρόνο.



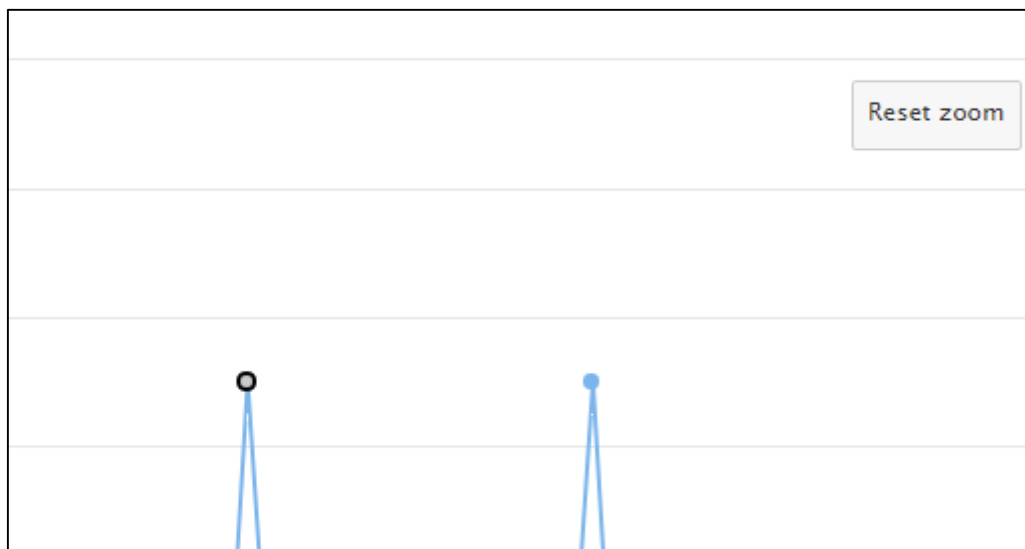
Εικόνα 6.22 Γραφική παράσταση των δεδομένων

Ως δεδομένα η γραφική παράσταση χρησιμοποιεί τους πίνακες ισχύος, ρεύματος, και συμβατικού χρόνου που δημιουργήθηκαν προηγουμένως. Ο οριζόντιος άξονας απεικονίζει το χρόνο, ο αριστερός κάθετος άξονας την ισχύ και ο δεξιός κάθετος το ρεύμα. Μετακινώντας το ποντίκι πάνω από τα σημεία της γραφικής παράστασης, δημιουργείται ένα πλαίσιο στο συγκεκριμένο σημείο που αναγράφει τις τιμές αυτού του σημείου ενώ σε άλλη θέση αναφέρεται η μέχρι εκείνη τη στιγμή καταναλισκόμενη ενέργεια.



Εικόνα 6.23 Πάνω αριστερά το μήνυμα για την καταναλισκόμενη ενέργεια και πάνω στη γραφική παράσταση μήνυμα που δείχνει τον χρόνο και την τιμή εκείνου του σημείου

Παρέχεται ακόμα η δυνατότητα επικέντρωσης και μεγέθυνσης σε συγκεκριμένο σημείο, ενώ υπάρχει κουμπί που επαναφέρει τη γραφική παράσταση στην αρχική της κατάσταση.



Εικόνα 6.24 Επικεντρωμένη εικόνα σε συγκεκριμένο σημείο της γραφικής παράστασης

Κατά την αποστολή των δεδομένων από τον server και μέχρι την ολοκλήρωση της, το κουμπί “Refresh Button” γίνεται ανενεργό ώστε να μην μπορεί να ξαναπατηθεί μέχρι την ολοκλήρωση της αποστολής.

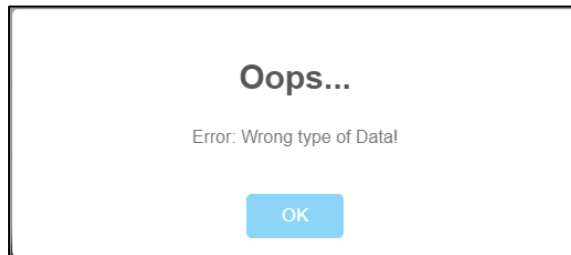
Μετά την ολοκλήρωση της λήψης των δεδομένων και τη δημιουργία της γραφικής παράστασης, εκτελείται επίσης HTTP POST request στο path *base URL + “/requestPinsState”* του server. Στην Ενότητα 6.2.3, αναφέρθηκε ότι ο server στέλνει στον client μία συμβολοσειρά που δηλώνει την κατάσταση των ψηφιακών εξόδων του μικροελεγκτή. Όταν ληφθεί, ο περιηγητής διαβάζει τις καταστάσεις και ανάλογα αλλάζει και το status τους. Αυτή η διαδικασία προστέθηκε ώστε ανά πάσα στιγμή, να αναγράφεται η σωστή κατάσταση.

Στο πεδίο καταχώρησης της τάσης ο χρήστης μπορεί να αλλάξει την τάση ανάλογα με την τιμή που θέλει να χρησιμοποιήσει στους υπολογισμούς του. Πατώντας το ακόλουθο κουμπί εκτελείται η διαδικασία που περιγράφηκε για το “Refresh Data” κουμπί παραπάνω αλλάζοντας στους υπολογισμούς της ισχύος και της ενέργειας την τιμή της τάσης η οποία διαβάζεται από το πεδίο της τάσης.



Εικόνα 6.25 Πεδίο καταχώρησης τάσης και κουμπί για την αλλαγή της στους υπολογισμούς

Δεκτή γίνεται μόνο η χρήση αριθμητικών συμβολοσειρών, αφού οποιαδήποτε άλλη δεν γίνεται αποδεκτή.



Εικόνα 6.26 Μήνυμα λάθος τύπου δεδομένων

Το κουμπί “Refresh History” υπάρχει για να ενημερώνει τη λίστα του μενού με τις ημερομηνίες χωρίς να χρειάζεται η επαναφόρτωση της σελίδας.



Εικόνα 6.27 Κουμπί για την ανανέωση ιστορικού της λίστας

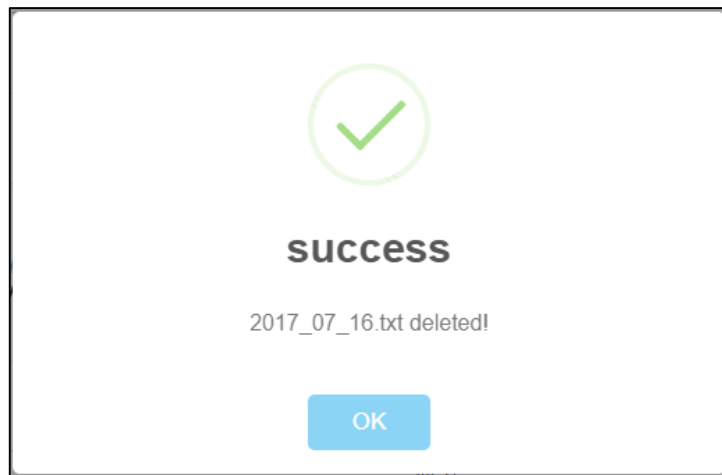
Με το πάτημα του κουμπιού πραγματοποιείται ένα HTTP POST request στο path *base URL + “/RequestDateHistory”* του server. Ο server με τη σειρά του, όπως αναφέρθηκε στην Ενότητα 6.2.3 στέλνει σε συμβολοσειρά όλες τις διαθέσιμες ημερομηνίες. Αυτές οι ημερομηνίες τοποθετούνται σε έναν πίνακα και ταξινομούνται ώστε να τοποθετηθούν στη λίστα με σειρά από τη νεότερη στην παλαιότερη. Επίσης, η πιο πρόσφατη ημερομηνία επιλέγεται αυτόματα από το μενού. Από τη στιγμή που θα πατηθεί το κουμπί μέχρι και την ολοκλήρωση της παραπάνω διαδικασίας το κουμπί απενεργοποιείται.

Το κουμπί “Delete”, όταν πατηθεί, διαγράφει το αρχείο της ημερομηνίας που είχε επιλεγεί στο μενού.



Εικόνα 6.28 Κουμπί διαγραφής αρχείων

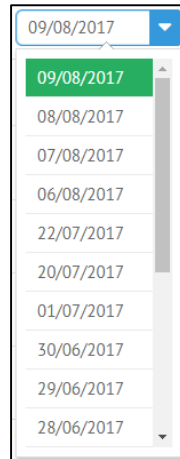
Πατώντας το κουμπί, διαβάζεται η ημερομηνία εκείνη τη στιγμή και καταγράφεται σε συμβολοσειρά. Στη συνέχεια στέλνεται ένα HTTP POST request στο *path base URL* + *"/deleteTxt"* του server. Με αυτό στέλνεται η συμβολοσειρά της ημερομηνίας η οποία παραλαμβάνεται από το server. Εκείνος στη συνέχεια, πραγματοποιεί τις ενέργειες που αναφέρθηκαν στην Ενότητα 6.2.3 και διαγράφει το αρχείο της συγκεκριμένης ημερομηνίας. Όταν πραγματοποιηθεί αυτή η ενέργεια στέλνεται απάντηση στον client, που σημαίνει την επιτυχή διαγραφή, και εμφανίζεται το μήνυμα:



Εικόνα 6.29 Μήνυμα επιτυχούς διαγραφής

Όταν διαγραφεί το αρχείο, στην κορυφή του μενού επιστρέφει η πιο πρόσφατη ημερομηνία. Από τη στιγμή που θα πατηθεί το κουμπί μέχρι και την ολοκλήρωση της παραπάνω διαδικασίας το κουμπί απενεργοποιείται.

Το dropdown μενού της σελίδας δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να επιλέξει το αρχείο από τις υπάρχουσες ημερομηνίες που επιθυμεί να δει ή να διαγράψει.



Εικόνα 6.30 Dropdown menu με ορισμένες από τις διαθέσιμες ημερομηνίες

Η επιλογή μίας ημερομηνίας από το μενού καλεί τη διαδικασία που περιγράφηκε για το κουμπί “Refresh Data”, δηλαδή δημιουργείται η γραφική παράσταση της συγκεκριμένης ημέρας και συμπληρώνεται ο πίνακας δεδομένων με τις τελευταίες μετρήσεις.

Το κουμπί “Update Firmware” υπάρχει για να εξυπηρετεί το σκοπό του Over The Air προγραμματισμού του μικροελεγκτή. Αφού πατηθεί το κουμπί ο χρήστης ακολουθεί τη διαδικασία που περιγράφηκε στην Ενότητα 6.2.3.

Κατά τη φόρτωση της σελίδας, καλούνται οι διαδικασίες που αναφέρθηκαν παραπάνω ως “RequestPinsState” και “RequestDateHistory”. Κατά συνέπεια καλείται και η διαδικασία που αναφέρθηκε στο “Request Data”, δηλαδή η αποστολή δεδομένων, δημιουργία γραφικής παράστασης και συμπλήρωση του πίνακα δεδομένων. Σε αυτό το γεγονός οφείλεται και ο χρόνος αναμονής πριν τη φόρτωση της σελίδας.

Για την επικοινωνία μεταξύ server και client όταν βρίσκονται συνδεδεμένοι σε διαφορετικά δίκτυα, πραγματοποιείται port forwarding στο router του δικτύου στο οποίο είναι συνδεδεμένος ο server.

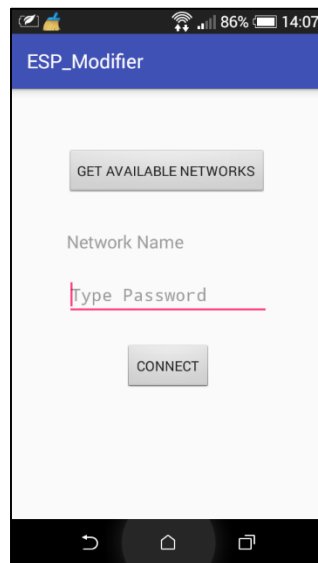
6.4 Ανάπτυξη Android εφαρμογής

Για τη σύνδεση του ESP σε ένα δίκτυο επιλέχθηκε η δημιουργία μίας Android εφαρμογής. Η δημιουργία της έγινε στη γλώσσα Java με τη χρήση του Android Studio, τόσο το γραφικό της περιβάλλον όσο και η λειτουργία της.

Η εφαρμογή αποτελείται από δύο αρχεία XML και ένα Java. Στο πρώτο αρχείο XML βρίσκεται η δομή του γραφικού περιβάλλοντος (GUI) το οποίο δημιουργήθηκε

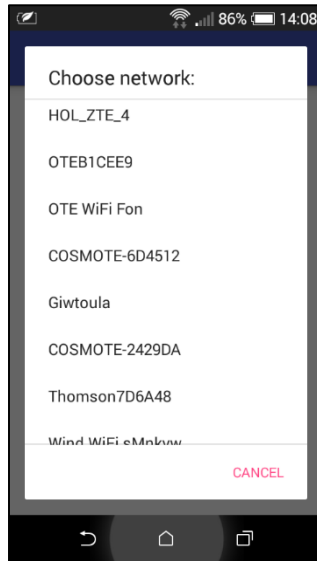
χρησιμοποιώντας στοιχεία που προσφέρονται από το Android Studio με τη μέθοδο drag and drop. Στο δεύτερο αρχείο XML με όνομα AndroidManifest.xml βρίσκονται σημαντικές πληροφορίες της εφαρμογής, όπως το όνομα και η άδεια για επικοινωνία μέσω Internet. Τέλος, στο αρχείο Java βρίσκεται η λειτουργικότητα της εφαρμογής.

Για τη λειτουργία της εφαρμογής είναι απαραίτητο, η Android συσκευή να είναι συνδεδεμένη στο δίκτυο που παρέχει το ESP στη λειτουργία του ως Access Point. Η εφαρμογή έχει την εξής μορφή:



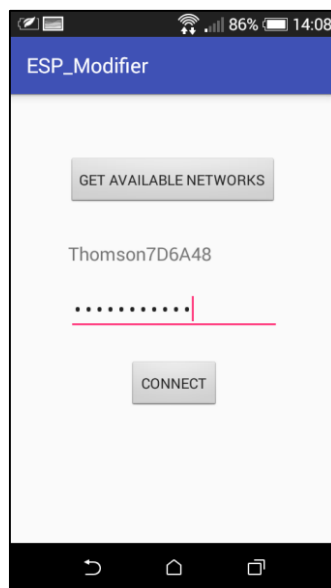
Εικόνα 6.31 GUI της εφαρμογής

Στην εφαρμογή υπάρχουν δύο κουμπιά με ονόματα “GET AVAILABLE NETWORKS” και “CONNECT”. Πατώντας το κουμπί “GET AVAILABLE NETWORKS”, στέλνεται ένα HTTP GET request στον server στο path *IP address του Access Point + “/sendNetworkNames”* όπου ως IP χρησιμοποιείται, η ορισμένη από τον κώδικα του ESP IP στη λειτουργία του ως Access Point. Όταν ληφθεί από το ESP αυτό το αίτημα καλείται η αναφερθείσα στην Ενότητα 6.2.3 διαδικασία, και στέλνεται στη συσκευή μια συμβολοσειρά που περιέχει όλα τα δίκτυα που ανιχνεύει το board. Αυτή η συμβολοσειρά επεξεργάζεται από την Android εφαρμογή και τα αποτελέσματα της τοποθετούνται σε μία λίστα ενός μενού το οποίο εμφανίζεται στην οθόνη.



Εικόνα 6.32 Λίστα με τα διαθέσιμα δίκτυα

Ο χρήστης επιλέγει το δίκτυο στο οποίο θέλει να συνδεθεί το board και στη συνέχεια πληκτρολογεί τον κωδικό του δικτύου στο αντίστοιχο πεδίο κειμένου.



Εικόνα 6.33 Συμπληρωμένα πεδία ονόματος και κωδικού δικτύου

Πατώντας το κουμπί “CONNECT” γίνεται ένα HTTP POST request στο server στο path *IP address του Access Point + “/wifiConnect”*. Το board καλεί την αντίστοιχη διαδικασία που αναφέρθηκε στην Ενότητα 6.2.3, και στέλνει το ανάλογο μήνυμα σε περίπτωση επιτυχίας ή αποτυχίας σύνδεσης στο συγκεκριμένο δίκτυο. Η εφαρμογή έχει σχεδιαστεί να λειτουργεί σε λειτουργικό σύστημα που υποστηρίζει API 19 και άνω.

7^ο Κεφάλαιο: Δοκιμές, βελτιώσεις και συμπεράσματα

7.1 Εισαγωγή

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα από δύο δοκιμές εφαρμογής του συστήματος, μία σε καθαρά ωμικό φορτίο και μία σε επαγωγικό φορτίο. Η δοκιμή θα γίνει σε δύο λάμπες αντί για πίνακα σπιτιού, όμως τα αποτελέσματά της μπορούν δώσουν απαντήσεις σχετικά με τη λειτουργικότητα και αποτελεσματικότητα του συστήματος. Επίσης, θα αναφερθούν δυνατές βελτιώσεις του συστήματος με βάση τεχνολογίες τόσο για το υλικό όσο και για το λογισμικό του συστήματος. Τέλος, από τα αποτελέσματα των δοκιμών και τις βελτιώσεις του συστήματος θα εξαχθούν συμπεράσματα για τη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία.

7.2 Δοκιμή του συστήματος

7.2.1 Το σχέδιο των δοκιμών

Στις δοκιμές αυτές θα εξεταστεί η ακρίβεια των μετρήσεων του συστήματος. Θα ελεγχθεί ο υπολογισμός της κατανάλωσης ισχύος του συστήματος συγκριτικά με τη θεωρητική κατανάλωση, όπως αυτή υπολογίζεται από τα στοιχεία του φορτίου και της τάσης, αλλά και με την πραγματική κατανάλωση που υπολογίζεται με τη χρήση ειδικού οργάνου. Επίσης, θα γίνουν δύο δοκιμές με διαφορετικού τύπου φορτία ώστε να φανεί η διαφορά μεταξύ καθαρά ωμικού φορτίου και επαγωγικού φορτίου.

7.2.2 Δοκιμή συστήματος για ωμικό φορτίο

Για τη δοκιμή του συστήματος χρησιμοποιείται το σύστημα που φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα.



Εικόνα 7.1 Δοκιμή συστήματος

Το σύστημα που περιέχεται στο μαύρο κουτί, τροφοδοτείται μέσω του φορτιστή κινητού τηλεφώνου. Οι μετρήσεις λαμβάνονται τοποθετώντας τον αισθητήρα όπως φαίνεται στην Εικόνα 7.1. Ο αισθητήρας τοποθετείται γύρω από το καλώδιο που τροφοδοτεί το φορτίο, στη συγκεκριμένη περίπτωση μία καθαρά ωμική λάμπα 60W. Όπως παρατηρείται, μόνο ένα καλώδιο βρίσκεται ανάμεσα στον αισθητήρα, καθώς ο βρόχος που σχηματίζεται από τον αισθητήρα, σύμφωνα με το νόμο του Ampere, μετράει το συνολικό ρεύμα που διαρρέει τα καλώδια που βρίσκονται μέσα σε αυτόν. Στην περίπτωση διπλού καλωδίου αυτό το άθροισμα είναι μηδέν αφού όσο ρεύμα μεταφέρεται στη λάμπα, το αντίθετο επιστρέφει πίσω. Το όργανο που παρεμβάλλεται μεταξύ της πρίζας της λάμπας και του πολύμπριζου είναι ένα energy meter που μετράει χρόνο, απόδοση, κόστος ενέργειας, ποσότητα ενέργειας, Volt και Ampere, συχνότητα ρεύματος και συντελεστή ισχύος με μεγάλη ακρίβεια ($\pm 2\%$).

Αφού ξεκίνησε η λειτουργία της λάμπας, το σύστημα κατέγραψε μετρήσεις για διάστημα 2 ωρών. Θεωρητικά, το ρεύμα που διαρρέει το ωμικό φορτίο που

καταναλώνει 60W υπό την τάση 230V που δίνει η Δ.Ε.Η. είναι $I = \frac{P}{V \cdot \cos\theta} = \frac{60W}{230V \cdot 1} = 0.26A$ και η κατανάλωση για 2 ώρες είναι $60W \cdot 2h = 120Wh$.

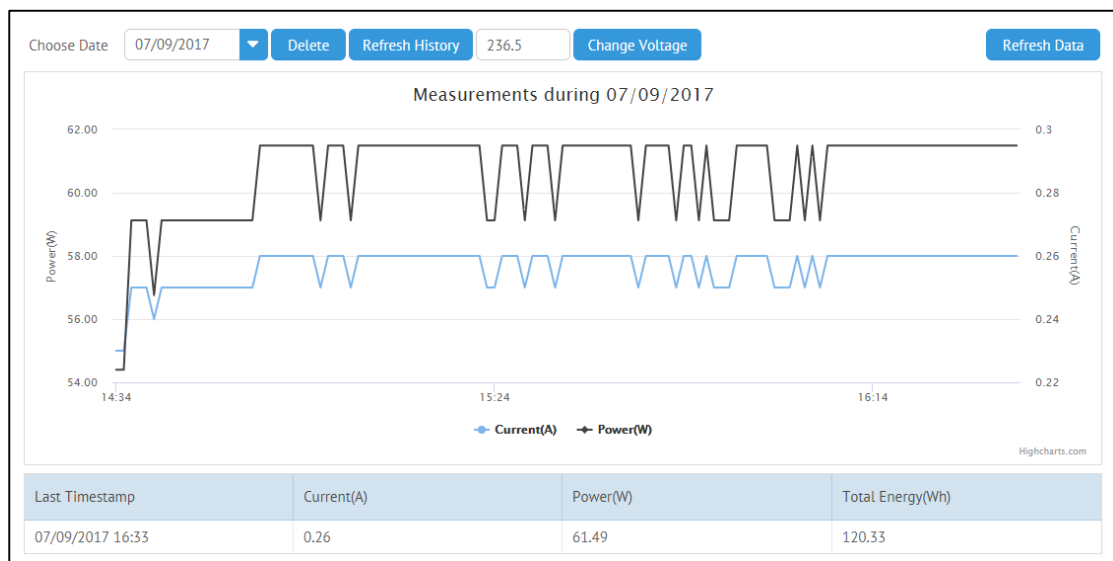
Οι μετρήσεις που καταγράφηκαν από το energy meter ήταν οι παρακάτω:



Εικόνα 7.2 Μετρήσεις energy meter με το τέλος των μετρήσεων (από αριστερά προς τα δεξιά: ρεύμα, ισχύς, κατανάλωση και τάση)

Όπως φαίνεται στην εικόνα, η κατανάλωση είναι 124Wh ή 0.124KWh. Οι τιμές τάσης, ρεύματος και ισχύος που φαίνονται στην εικόνα δεν ήταν σταθερές σε όλη τη διάρκεια αλλά είχαν μικρές διακυμάνσεις.

Τέλος, το σύστημα που κατασκευάστηκε για τη διπλωματική εργασία μέτρησε και έδωσε τα δικά του αποτελέσματα.



Εικόνα 7.3 Μέτρηση ρεύματος, ισχύος και κατανάλωσης ισχύος από το site του συστήματος

Στη γραφική παράσταση φαίνεται ότι η τιμή του ρεύματος κυμαίνεται μεταξύ 0.23A-0.26A με την πλειοψηφία των μετρήσεων να είναι στα 0.26A. Για τον υπολογισμό της ισχύος, η τάση που χρησιμοποιήθηκε ήταν η τιμή της τελευταίας ένδειξης τάσης του energy meter δηλαδή 236.5V. Με τη μέθοδο που αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 6.3 υπολογίζεται η κατανάλωση ισχύος και όπως φαίνεται στην εικόνα είναι 120.33Wh.

Οι τρεις διαφορετικές λοιπόν ενδείξεις είναι οι παρακάτω:

Τύπος μέτρησης	Τάση τροφοδοσίας (V)	Μετρούμενο Ρεύμα (A)	Ισχύς λάμπας (W)	Κατανάλωση ισχύος (Wh)
Θεωρητικός υπολογισμός	230	0.26	60	120
Μέτρηση energy meter	236~237	0.255~0.265	60.1~62.8	124
Μέτρηση συστήματος	236.5	0.23~0.26	54.40~61.49	120.33

Πίνακας 7.1 Συγκριτικές μετρήσεις τάσης, ρεύματος, ισχύος και κατανάλωσης

Αυτό που παρατηρείται, αρχικά, είναι ότι η τιμή της τάσης στη μέτρηση του energy meter δεν είναι σταθερή σε σχέση με την τιμή της τάσης που χρησιμοποιείται τόσο στη θεωρητική μέτρηση όσο και στη μέτρηση του συστήματος. Επίσης, αυτό που φαίνεται είναι ότι η πραγματική τιμή της τάσης δεν είναι αυτή που δίνει η Δ.Ε.Η. αλλά διαφέρει τόσο στις μετρήσεις του energy meter όσο και στους υπολογισμούς του συστήματος που κατασκευάστηκε. Η ισχύς της λάμπας στην πραγματικότητα διαφέρει επίσης, σε μικρό βαθμό βέβαια, σε σχέση με την ονομαστική της τιμή και κατά συνέπεια διαφέρει και το ρεύμα το οποίο είναι κυμαινόμενο όπως και η ίδια η ισχύς. Αυτά τα στοιχεία οδηγούν στη διαφορετική τιμή της κατανάλωσης ισχύος μεταξύ θεωρίας και μετρούμενης τιμής. Ο υπολογισμός των παραπάνω τιμών κατανάλωσης και ισχύος στο σύστημα, έγινε χρησιμοποιώντας μία σταθερή τιμή τάσης, κάτι που δεν ισχύει στην πραγματικότητα, ενώ το ρεύμα αν και σε γενικές γραμμές κινήθηκε στις ίδιες τιμές με το ρεύμα του energy meter, είχε λίγο μεγαλύτερες διακυμάνσεις. Εν τέλει, παρατηρείται ένα ποσοστό σφάλματος:

$$1 - \frac{120.33}{124} = 2.96\% \text{ το οποίο θεωρείται αρκετά ικανοποιητικό.}$$

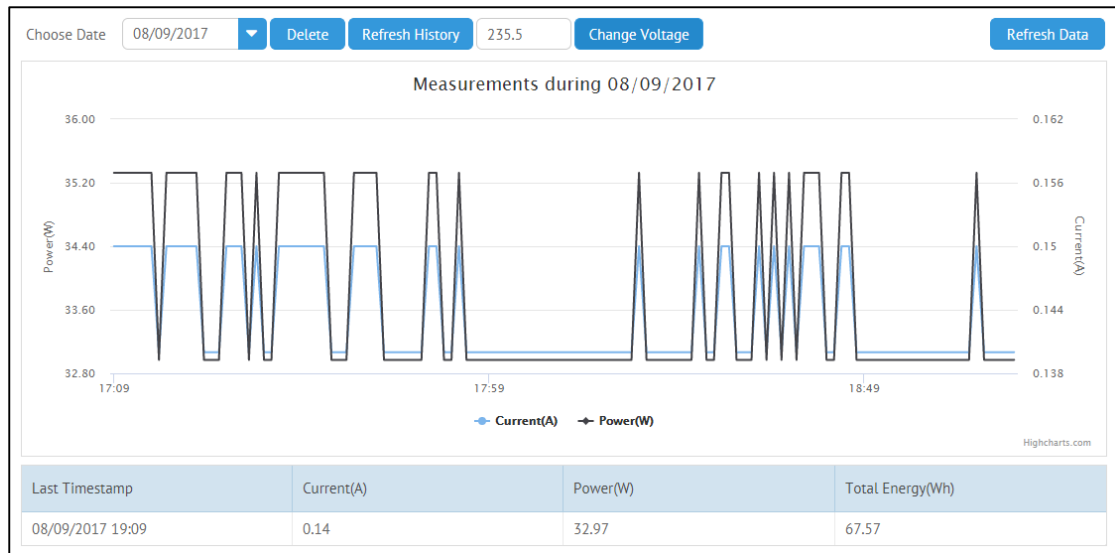
7.2.3 Δοκιμή συστήματος για επαγωγικό φορτίο

Εκτός από τη δοκιμή σε ωμικό φορτίο πραγματοποιήθηκε και δοκιμή σε επαγωγικό φορτίο με στόχο να φανεί η διαφορά που προκαλείται από το μη υπολογισμό του συντελεστή ισχύος του φορτίου. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκε μια λάμπα φθορισμού 23W με συντελεστή ισχύος 0.6. Στην ακόλουθη εικόνα φαίνονται οι μετρήσεις που καταγράφηκαν από το energy meter.



Εικόνα 7.4 Μετρήσεις energy meter με το τέλος των μετρήσεων (από αριστερά προς τα δεξιά: ρεύμα και συντελεστής ισχύος, ισχύς, κατανάλωση και τάση)

Η διάρκεια της μέτρησης ήταν 2 ώρες. Οι θεωρητικές τιμές σύμφωνα με τη Δ.Ε.Η. και τις ονομαστικές τιμές της λάμπας είναι 230V για την τάση, συντελεστής φορτίου ίσος με 0.6, ισχύς 23W και άρα σύμφωνα με τον τύπο που αναφέρθηκε στην Ενότητα 7.2.2 το ρεύμα υπολογίζεται ότι είναι **0.167A**. Τέλος, η κατανάλωση ισχύος υπολογίζεται ως **23W*2h = 46Wh**. Όπως φαίνεται στην εικόνα παραπάνω κατά το τέλος της μέτρησης το ρεύμα έχει τιμή 0.161A, ο συντελεστής φορτίου 0.59, η ισχύς της λάμπας 23.2W, η κατανάλωση ενέργειας 45Wh και η τάση 235.9V. Στο ίδιο διάστημα οι καταγραφές του συστήματος είναι αυτές που φαίνονται παρακάτω.



Εικόνα 7.5 Μέτρηση ρεύματος, ισχύος και κατανάλωσης ισχύος από το site του συστήματος

Στην εικόνα φαίνεται ότι η τιμή του ρεύματος που μετριέται από τον αισθητήρα κυμαίνεται από 0.14A-0.15A με την πλειοψηφία των μετρήσεων να είναι στα 0.14A. Ακόμα, η τάση που χρησιμοποιήθηκε στον υπολογισμό της ισχύος είναι 235.5V, ενώ ο συντελεστής ισχύος δεν προσμετρείται στον υπολογισμό τόσο της ισχύος όσο και της κατανάλωσης ενέργειας. Οι τιμές αυτές λοιπόν είναι, για την ισχύ 32.97W με 35.25W ενώ η κατανάλωση ενέργειας είναι 67.57Wh. Συγκεντρωτικά, τα αποτελέσματα των τριών διαφορετικών μεθόδων φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

Τύπος μέτρησης	Τάση τροφοδοσίας (V)	Μετρούμενο ρεύμα (A)	Ισχύς λάμπας (W)	Κατανάλωση ενέργειας (Wh)
Θεωρητικός υπολογισμός	230	0.167	23	46
Μέτρηση energy meter	235~236	0.152~0.165	21.4~23.3	45
Μέτρηση συστήματος	235.5	0.14~0.15	32.97~35.25	67.57

Πίνακας 7.2 Συγκριτικές μετρήσεις τάσης, ρεύματος, ισχύος και κατανάλωσης

Όπως και πριν διαπιστώνεται ότι η τάση τροφοδοσίας είναι υψηλότερη σε σχέση με τη θεωρητική τιμή και δεν διατηρείται σταθερή κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Επίσης, η τιμή του ρεύματος που μετριέται από τον αισθητήρα όπως και στην

προηγούμενη δοκιμή διαφέρει ελαφρά σε σχέση με τη μέτρηση του energy meter. Η μεγάλη διαφορά όμως παρατηρείται στον υπολογισμό της ισχύος και της κατανάλωσης ενέργειας. Στο σύστημα θεωρείται ότι ο συντελεστής ισχύος είναι 1, όπως θεωρείται στον συνολικό υπολογισμό ισχύος και κατανάλωσης από τη Δ.Ε.Η. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη μη ακριβή καταγραφή τιμών σε περιπτώσεις όπως η παραπάνω όπου το φορτίο δεν είναι καθαρά ωμικό. Πολλαπλασιάζοντας την κατανάλωση με το συντελεστή ισχύος προκύπτει κατανάλωση $67.57\text{Wh} \cdot 0.6 = 40.54\text{Wh}$. Υπολογίζοντας το σφάλμα όπως στην προηγούμενη ενότητα προκύπτει σφάλμα 10.1% και οφείλεται στην απόκλιση μεταξύ του μετρούμενου από τον αισθητήρα και του μετρούμενου από το energy meter ρεύματος.

7.2.4 Ερμηνεία αποτελεσμάτων

Στην προηγούμενη ενότητα παρουσιάστηκαν τα συγκριτικά αποτελέσματα των τριών μεθόδων. Ο θεωρητικός υπολογισμός βασίζεται στις ονομαστικές τιμές τόσο της τάσης όσο και της ισχύος της λάμπας. Η αποτελεσματικότητα του συστήματος δοκιμάζεται όμως συγκρίνοντας τις μετρήσεις του με τις αντίστοιχες μετρήσεις του energy meter, ενός οργάνου αξιόπιστου και με μεγάλη ακρίβεια.

Αυτό που παρατηρείται λοιπόν και στις δύο περιπτώσεις είναι ότι η τιμή του ρεύματος που μετριέται από το σύστημα είναι χαμηλότερη σε σχέση με την τιμή του energy meter. Αρχικά, αυτό μπορεί να οφείλεται στην ακρίβεια του οργάνου που χρησιμοποιήθηκε ως αισθητήρας. Ο αισθητήρας είναι ένας μετασχηματιστής ρεύματος και η θέση στην οποία τοποθετείται το καλώδιο στον κλειστό βρόχο που δημιουργείται παίζει ρόλο (έστω και μικρό) στη λήψη της μέτρησης, αφού όσο πιο κεντρικά βρίσκεται το καλώδιο στο βρόχο τόσο πιο ακριβής είναι η μέτρηση.

Η κατασκευή του κυκλώματος έγινε με την κόλληση των στοιχείων του πάνω στην πλακέτα. Οι θεωρητικές τιμές των αντιστάσεων που αποτελούν το κύκλωμα εισόδου διαφέρουν κατά ελάχιστο από τις πρακτικές τιμές, αφού οι αντιστάσεις έχουν ανοχή $\pm 1\%$ ενώ οι κολλήσεις επηρεάζουν την ακρίβεια του συστήματος, αφού από το συνολικό κύκλωμα δημιουργείται θόρυβος στην αναλογική είσοδο. Για την όσο το δυνατόν καλύτερη αποφυγή παραμόρφωσης των μετρήσεων από το θόρυβο, προστέθηκε ούτως ή άλλως και η αντίσταση απομόνωσης μεταξύ αναλογικής εισόδου και γείωσης.

Στο Κεφάλαιο 5.3.4 αναφέρεται η συμπεριφορά των μετρήσεων σε περίπτωση μέτρησης χαμηλής τιμής ρεύματος. Στις συγκεκριμένες δοκιμές τα ρεύματα που μετρήθηκαν είχαν αρκετά χαμηλές τιμές για το εύρος μέτρησης του αισθητήρα, άρα είναι πολύ πιθανό και αυτός ο λόγος να έπαιξε ρόλο στη διαμόρφωση διαφορετικού αποτελέσματος μεταξύ energy meter και αισθητήρα.

Ένα ακόμα στοιχείο σημαντικό στη διαφορά τιμής της κατανάλωσης που υπολογίζεται από το σύστημα σε σχέση με την πραγματική κατανάλωση είναι η παραδοχή ότι η τάση είναι ίδια σε όλη τη διάρκεια των μετρήσεων και ότι η κατανάλωση υπολογίζεται μαθηματικά με τον τρόπο που αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 6.3. Η τιμή της ισχύος και της ενέργειας υπολογίζεται με τον τρόπο που αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 3.7.1. Οπότε η προσεγγιστική μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε στο σύστημα για τον υπολογισμό ισχύος και κατανάλωσης σε συνδυασμό με την έλλειψη συνεχούς απεικόνισης ρεύματος και τάσης οδηγεί σε τιμή συνολικής κατανάλωσης με μεγάλο σφάλμα. Το γεγονός ότι δεν μετριέται η τάση παίζει ρόλο και στο μη υπολογισμό του συντελεστή φορτίου, ο οποίος προκύπτει από τη διαφορά φάσης μεταξύ τάσης και ρεύματος. Αυτό έχει σαν συνέπεια να παρατηρείται διαφορά στα αποτελέσματα όπως αυτά που φαίνονται στη μέτρηση του επαγωγικού φορτίου.

7.3 Βελτιώσεις

Η κατασκευή που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της διπλωματικής αυτής αποτελεί θεωρητικά την πρώτη έκδοση του συστήματος και όπως έγινε αντιληπτό και στην Ενότητα 7.2, υπάρχουν περιθώρια βελτίωσης του συστήματος τόσο στο πεδίο των μετρήσεων όσο και στο πεδίο της επικοινωνίας server και client.

Στην Ενότητα 7.2, το κύριο πρόβλημα που διαπιστώθηκε σχετικά με τις μετρήσεις είναι η μη καταγραφή της τάσης σε κανονικό χρόνο, αλλά η τοποθέτηση μιας σταθερής τιμής για τον υπολογισμό των τιμών ισχύος. Η επιλογή αυτή έγινε με στόχο την όσο το δυνατόν λιγότερη επεμβατικότητα του χρήστη σε κυκλώματα. Όμως θα μπορούσε κάποιος να χρησιμοποιήσει έναν AC-AC voltage adapter όπως αυτός που φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα.



Εικόνα 7.6 AC-AC voltage adapter [Πηγή: <https://goo.gl/nxVUzJ>]

Ο συγκεκριμένος adapter μπορεί να συνδεθεί με το μικροελεγκτή με παρόμοιο τρόπο και με την ίδια λογική όπως και ο μετασχηματιστής ρεύματος. Για το σκοπό αυτό και λόγω του ότι ένας μικροελεγκτής όπως αυτός που χρησιμοποιείται στο συγκεκριμένο σύστημα διαθέτει μόνο μια αναλογική είσοδο, χρησιμοποιείται ένας πολυπλέκτης που επιτρέπει τη χρησιμοποίηση παραπάνω αναλογικών εισόδων. Με αυτό τον τρόπο θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και παραπάνω αισθητήρες ρεύματος για μετρήσεις σε τριφασικό δίκτυο.



Εικόνα 7.7 Πολυπλέκτης SN74HC42N [Πηγή: <https://goo.gl/fSTHWA>]

Οι επιλογές αυτές όμως αυξάνουν κατά πολύ το κόστος του συστήματος αφού θα απαιτείτο, πέρα από τους επιπλέον αισθητήρες που αποτελούν και το ακριβότερο κομμάτι του συστήματος, και ένας μικροελεγκτής με μεγαλύτερη υπολογιστική ισχύ, αφού θα έπρεπε να παίρνει μετρήσεις για αρκετούς αισθητήρες, ταυτόχρονα με τη λειτουργία του ως server. Στα πλαίσια αυτά, και με τη χρήση ενός αρκετά ισχυρού μικροελεγκτή, θα μπορούσε να αυξηθεί και η δειγματοληψία. Η επιλογή

δειγματοληψίας ενός λεπτού στο συγκεκριμένο σύστημα έγινε ύστερα από δοκιμές στην απόκριση του server κατά τη διάρκεια μετρήσεων. Με έναν ισχυρότερο επεξεργαστή αυτό δεν θα αποτελούσε πρόβλημα. Στο Κεφάλαιο 3.2.3 έγινε αναφορά στο board ESP32 το οποίο αποτελεί την εξέλιξη του board που χρησιμοποιήθηκε εδώ. Στο μέλλον με τη μεγαλύτερη χρησιμοποίησή σε αντίστοιχα έργα, θα υπάρχει η υποδομή για την ενσωμάτωσή του στο συγκεκριμένο σύστημα.

Από την πλευρά της επικοινωνίας client-server θα μπορούσαν να γίνουν επίσης βελτιώσεις. Η επικοινωνία των δύο πραγματοποιείται με τη χρήση HTTP requests. Ενώ για την επικοινωνία client-server, όταν αυτοί βρίσκονται συνδεδεμένοι στο ίδιο δίκτυο, αυτό δεν αποτελεί πρόβλημα, σε διαφορετική περίπτωση υπάρχει θέμα ασφαλείας αφού τα δεδομένα που μεταφέρονται δεν είναι κρυπτογραφημένα. Αυτό το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με τη χρήση του HTTPS (HyperText Transport Protocol Secure). Με τον τρόπο αυτό διασφαλίζεται η ασφαλής και κρυπτογραφημένη ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ client και server.

Έγινε αντιληπτό ότι για την επικοινωνία client-server απαιτείται η αποστολή αιτήματος από τον ένα και η απάντηση από τον άλλο. Αυτή η διαδικασία γίνεται μόνο προς τη μία κατεύθυνση κάθε φορά, δηλαδή δεν γίνεται ταυτόχρονη μεταφορά και από τις δύο μεριές. Η χρήση του πρωτοκόλλου WebSocket προσφέρει τη δυνατότητα διπλής κατευθύνσεως επικοινωνίας. Το WebSocket είναι πρωτόκολλο επικοινωνιών υπολογιστών, παρέχοντας κανάλια επικοινωνίας πλήρους αμφίδρομης επικοινωνίας μέσω μίας σύνδεσης TCP. Το WebSocket έχει σχεδιαστεί για εφαρμογή σε προγράμματα περιήγησης και web servers, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί από οποιαδήποτε εφαρμογή client ή server. Το πρωτόκολλο WebSocket είναι ένα ανεξάρτητο πρωτόκολλο TCP. Η μόνη σχέση του με το HTTP είναι ότι η “χειραψία” του ερμηνεύεται από τους HTTP servers ως αίτημα αναβάθμισης. Το πρωτόκολλο WebSocket επιτρέπει την αλληλεπίδραση μεταξύ ενός προγράμματος περιήγησης και ενός web server με χαμηλότερα γενικά έξοδα, διευκολύνοντας τη μεταφορά δεδομένων σε πραγματικό χρόνο από και προς το server. [32]

Από κατασκευαστικής άποψης, η δημιουργία του συστήματος έγινε με την κόλληση των στοιχείων πάνω σε πλακέτα. Μια πιο καλή λύση θα ήταν η δημιουργία PCB (printed circuit board) για το κύκλωμα του συστήματος. Επειδή όμως τα μέσα για αυτή τη διαδικασία δεν είναι εύκολα προσβάσιμα δεν προτιμήθηκε αυτή η επιλογή.

Όπως γίνεται αντιληπτό, υπάρχουν αρκετά περιθώρια βελτιστοποιήσεων τα οποία όμως είτε απαιτούσαν αρκετά μεγάλο κόστος ή πολυπλοκότητα, οπότε δεν κρίθηκαν απαραίτητα για τη συγκεκριμένη διπλωματική.

7.4 Συμπεράσματα μελέτης

Από τις δοκιμές του συστήματος φαίνεται ότι η μέτρηση του ρεύματος γίνεται με αρκετά καλή ακρίβεια στα πλαίσια της δοκιμής που πραγματοποιήθηκε. Η μέτρηση ισχύος και κατανάλωσης ενέργειας δεν αποτελούν αξιόπιστες απεικονίσεις των πραγματικών τιμών. Η καταγραφή και αποθήκευση των δεδομένων πραγματοποιείται σωστά με τη χρήση της SD κάρτας και το ρολόι που χρησιμοποιείται καταγράφει με πολύ μεγάλη ακρίβεια την ώρα.

Η επικοινωνία μεταξύ server και client γίνεται σωστά με τη χρήση ενός περιηγητή ιστοσελίδων και οι μετρήσεις παρουσιάζονται με απλό και κατανοητό τρόπο. Η ιστοσελίδα που δημιουργήθηκε δίνει τη δυνατότητα για απλή, εύχρηστη και άμεση διαχείριση των αρχείων καταγραφής αλλά και τον έλεγχο των ψηφιακών εξόδων του μικροελεγκτή. Η Android εφαρμογή που δημιουργήθηκε κάνει πολύ απλή τη σύνδεση του μικροελεγκτή σε WiFi δίκτυο της επιλογής του χρήστη.

Όπως φαίνεται και παραπάνω υπάρχουν βελτιώσεις που μπορούν να πραγματοποιηθούν για την επέκταση και καλύτερη λειτουργία του συστήματος. Το παρόν όμως σύστημα αποτελεί από μόνο του μια καλή επιλογή για την παρακολούθηση της κατανάλωσης ενέργεια ενός σπιτιού αλλά και τον έλεγχο συσκευών, έχοντας ως κύριο πλεονέκτημα την απλότητα και ανεξαρτησία του.

Βιβλιογραφία

- [1] «Internet of Things (IoT) Tutorial,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.tutorialspoint.com/internet_of_things/index.htm. [Πρόσβαση 2017].
- [2] L. D. X. Z. Shancang Li, «The internet of things: a survey,» *Information Systems Frontiers*, p. 243–259, April 2015.
- [3] «Internet of Things - Overview,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.tutorialspoint.com/internet_of_things/internet_of_things_overview.htm. [Πρόσβαση 2017].
- [4] «Internet Protocol Suite,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Internet_protocol_suite. [Πρόσβαση 2017].
- [5] «TCP/IP Protocol Architecture,» Microsoft, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://technet.microsoft.com/en-us/library/cc958821.aspx>. [Πρόσβαση 2017].
- [6] «Secure Shell,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Secure_Shell. [Πρόσβαση 2017].
- [7] «HTTPS,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/HTTPS>. [Πρόσβαση 2017].
- [8] «IoT - Media, Marketing, & Advertising,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.tutorialspoint.com/internet_of_things/internet_of_things_media_marketing_and_advertising.htm. [Πρόσβαση 2017].
- [9] «IoT - Environmental Monitoring,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.tutorialspoint.com/internet_of_things/internet_of_things_environmental_monitoring.htm. [Πρόσβαση 2017].
- [10] «Internet of Things - Energy Applications,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.tutorialspoint.com/internet_of_things/internet_of_things_energy_applications.htm. [Πρόσβαση 2017].
- [11] «Internet of Things - Healthcare Applications,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.tutorialspoint.com/internet_of_things/internet_of_things_healthcare_applications.htm. [Πρόσβαση 2017].
- [12] «Embedded System,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.techopedia.com/definition/3636/embedded-system>. [Πρόσβαση 2017].
- [13] J. MSV, «10 DIY Development Boards for IoT Prototyping,» 7 May 2016. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://thenewstack.io/10-diy-development-boards-iot-prototyping>. [Πρόσβαση 2017].
- [14] «Microcontroller,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Microcontroller>. [Πρόσβαση 2017].

- [15] «WiFi Module - ESP8266,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.sparkfun.com/products/13678>. [Πρόσβαση 2017].
- [16] «What is a Single Board Computer?,» Future Electronics, [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.futureelectronics.com/en/display-solutions/single-board-computer.aspx>. [Πρόσβαση 2017].
- [17] «Single Board Computers Overview,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://uk.rs-online.com/web/generalDisplay.html?id=infozone&file=electronics/single-board-computers>. [Πρόσβαση 2017].
- [18] «Sensors,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://home.roboticlab.eu/en/examples/sensor>. [Πρόσβαση 2017].
- [19] K. Ross, «The Basics - Sensors,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.seattlerobotics.org/encoder/jul97/basics.html>. [Πρόσβαση 2017].
- [20] «Serial Peripheral Interface (SPI),» Learn Sparkfun, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/serial-peripheral-interface-spi>. [Πρόσβαση 2017].
- [21] «I2C,» Learn Sparkfun, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/i2c>. [Πρόσβαση 2017].
- [22] «Harmonics (electrical power),» [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Harmonics_\(electrical_power\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Harmonics_(electrical_power)).
- [23] A. Katz, «Split core, solid core, and why you should care,» 18 May 2016 . [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.packetpower.com/blog/split-core-solid-core-and-why-you-should-care>. [Πρόσβαση 2017].
- [24] [Ηλεκτρονικό]. Available: http://espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf. [Πρόσβαση 2017].
- [25] C. M. Robert Wall B.Sc., «YHDC SCT-013-000 Current Transformer,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://learn.openenergymonitor.org/electricity-monitoring/ct-sensors/yhdc-ct-sensor-report>. [Πρόσβαση 2017].
- [26] «CT sensors - Interfacing with an Arduino,» Open Energy Monitor, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://openenergymonitor.org/forum-archive/node/156.html>. [Πρόσβαση 2017].
- [27] «Installation and Calibration,» Open Energy Monitor, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://learn.openenergymonitor.org/electricity-monitoring/ctac/ct-and-ac-power-adaptor-installation-and-calibration-theory>. [Πρόσβαση 2017].
- [28] «Measurement Implications of ADC Resolution at Low Current Values,» Open Energy Monitor, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://learn.openenergymonitor.org/electricity-monitoring/ct-sensors/measurement-implications-of-adc-resolution-at-low-current-values>. [Πρόσβαση 2017].
- [29] «Arduino,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://el.wikipedia.org/wiki/Arduino>. [Πρόσβαση 2017].

- [30] «DevKit (ESP8266): Getting Started,» Acrobotic, [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://learn.acrobotic.com/tutorials/post/esp8266-getting-started>. [Πρόσβαση 2017].
- [31] «OTA,» [Ηλεκτρονικό]. Available: http://esp8266.github.io/Arduino/versions/2.0.0/doc/ota_updates/ota_updates.html#web-browser. [Πρόσβαση 2017].
- [32] «WebSocket,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/WebSocket>. [Πρόσβαση 2017].