



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΠΟΜΑΚΡΥΣΜΕΝΗΣ
ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ**

Διπλωματική Εργασία

Παλαιολόγος Μάριος

Χατζηκεχαγιάς Στυλιανός

Επιβλέπων Καθηγητής:

Μπαργιώτας Δημήτριος

Βόλος 2019



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΠΟΜΑΚΡΥΣΜΕΝΗΣ
ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ**

Διπλωματική Εργασία

Παλαιολόγος Μάριος

Χατζηκεχαγιάς Στυλιανός

Επιβλέπων Καθηγητής:

Μπαργιώτας Δημήτριος

Βόλος 2019



**UNIVERSITY OF THESSALY
SCHOOL OF ENGINEERING**

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING

**DEVELOPMENT OF A REMOTE MONITORING SYSTEM
FOR ELECTRIC ENERGY CONSUMPTION OF A SINGLE-
PHASE LOAD**

Diploma Thesis

Palaiologos Marios

Chatzikechagias Stylianos

Supervisor:

Bargiotas Dimitrios

Volos 2019

Ευχαριστίες

Θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ευχαριστίες μας στον Αναπληρωτή Καθηγητή Δημήτριο Μπαργιώτα για την δυνατότητα που μας έδωσε να πραγματοποιήσουμε τη Διπλωματική μας εργασία και για την καθοδήγηση του όλων αυτό τον καιρό. Θα θέλαμε ακόμα να ευχαριστήσουμε όλους τους καθηγητές του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας για τις πολύτιμες γνώσεις που μας προσέφεραν όλα αυτά τα χρόνια. Τέλος, θα θέλαμε να εκφράσουμε ένα τεράστιο ευχαριστώ στις οικογένειες μας, για την στήριξη και την εμπιστοσύνη που μας έδειξαν όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών μας.

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η ανάπτυξη ενός συστήματος απομακρυσμένης παρακολούθησης της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας μονοφασικού φορτίου. Το σύστημα αυτό ονομάστηκε ARMS, το οποίο αποτελεί ακρωνύμιο των αγγλικών λέξεων Arduino Remote Monitoring System. Ο στόχος του συστήματος που αναπτύχθηκε είναι η απομακρυσμένη παρακολούθηση της κατανάλωσης μιας μονοφασικής παροχής, η οποία μπορεί να είναι από ένα γραφείο ή ένα σπίτι μέχρι ακόμα και μία μεμονωμένη ηλεκτρική συσκευή. Η κατασκευή του μετρητή του ARMS αποτελείται από τρία βασικά τμήματα, την πλακέτα Arduino Uno Rev 3 η οποία εκτελεί χρέη κεντρικής πλακέτας, έναν αισθητήρα SCT-013 για την καταμέτρηση δεδομένων της κατανάλωσης ρεύματος καθώς και μια επέκταση Ethernet Shield W5100, η οποία συμβάλλει στην αποστολή των δεδομένων που προκύπτουν από τις μετρήσεις στην βάση δεδομένων.

Εκτός του μετρητή, ο οποίος αποτελεί ουσιαστικά την φυσική υπόσταση του συστήματος, υπάρχει και η ιστοσελίδα η οποία είναι το μέσο προβολής όλων των δεδομένων που συλλέγονται και επεξεργάζονται. Η διεπαφή χρήστη και συστήματος γίνεται μέσω της φιλικά προς τον χρήστη σχεδιασμένης ιστοσελίδας, όπου με την χρήση ποικίλων γραφημάτων, διαφόρων πληροφοριών και ενός απλού μενού γίνεται εύκολη η κατανόηση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων και του ενεργειακού αποτυπώματος κάθε χρήστη. Η κατασκευή της ιστοσελίδας βασίστηκε στο XAMPP, ένα πακέτο προγραμμάτων ελεύθερου λογισμικού ανοικτού κώδικα το οποίο προσφέρει όλα τα απαραίτητα στοιχεία για την ανάπτυξη και φιλοξενία ενός ιστοτόπου. Επίσης, για τη δημιουργία και διαχείριση της ιστοσελίδας χρησιμοποιήθηκε και το σύστημα διαχείρισης περιεχομένου WordPress.

Όσον αφορά το κομμάτι του προγραμματισμού για το Arduino χρησιμοποιήθηκε το ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης IDE που προσφέρεται από την ίδια την εταιρεία ανάπτυξης του Arduino, με τα προγράμματα του να είναι γραμμένα σε C++. Εκτός του κώδικα του Arduino, χρειάστηκε προγραμματισμός για την δημιουργία της βάσης δεδομένων, την διαχείριση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων, την μορφοποίηση της ιστοσελίδας αλλά και την διασύνδεση όλων των επιμέρους τμημάτων του ARMS, κάτι που επιτεύχθηκε με τη χρήση έγινε χρήση των γλωσσών SQL, PHP, JavaScript, HTML και CSS.

Λέξεις κλειδιά: ARMS, Arduino Uno, Ethernet Shield, Arduino IDE, SCT-013, XAMPP, WordPress, Σύστημα Μέτρησης, Απομακρυσμένη Παρακολούθηση, Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας, Internet of Things, Big Data, Internet of Energy, PHP, Βάση Δεδομένων.

Abstract

The subject of this Diploma Thesis is the development of a remote monitoring system for electric energy consumption of a single phase load. This system is called ARMS which is an abbreviation of the full term Arduino Remote Monitoring System. Its target is to monitor remotely the electricity consumption of a single phase electricity supply, which can vary from an entire house or an office to just a single household appliance. The meter of the ARMS system has three basic components, the Arduino Uno Rev3 board which is the main board of the meter, the SCT-013 sensor which helps retrieve the data and the Ethernet Shield W5100, which is required to send the collected data to the database.

Apart from the meter that is actually the hardware of the system, there is also a website which displays the collected data. The user of the ARMS comes in contact with the system through the website's user-friendly interface, that is comprised of a simple menu and various charts in order to make the electricity monitoring simple and yet precise. Apart from simply observing their data, the users can also use them get a better understanding of their environmental footprint. The development of the website was based on a free and open-source software stack package called XAMPP, which includes all the necessary tools for the development and the hosting of a website. In addition, during the development of the website another free and open source software called WordPress was used since it is essential for the website's content management as well.

The program required for the Arduino Uno, and subsequently for the meter, was developed using the C++ programming language in the Arduino IDE software which is distributed freely from the Arduino platform. Furthermore, additional programming was required for the database development, the management of the monitoring data, the configurations in the website and the successful connection of all the different parts that comprise the ARMS. The aforementioned programming was done with the use of the SQL, PHP, JavaScript, HTML and CSS programming languages.

Keywords: ARMS, Arduino Uno, Ethernet Shield, Arduino IDE, SCT-013, XAMPP, WordPress, Monitoring System, Remote Monitoring, Electric Energy Consumption, Internet of Things, Big Data, Internet of Energy, PHP, DataBase.

Συντομεύσεις Ορολογίας

A	(Ampere)
AC	(Alternating current)
ARMS	(Arduino Remote Monitoring System)
ARP	(Address Resolution Protocol)
BD	(Big Data)
CEN	(Comité Européen de Normalisation)
CENELEC	(Comité Européen de Normalisation Électrotechnique)
CMOS	(Complementary metal–oxide–semiconductor)
CMS	(Content management system)
CSS	(Cascading Style Sheets)
EEPROM	(Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory)
ETSI	(European Telecommunications Standards Institute)
HTML	(Hyper Text Markup Language)
Hz	(Hertz)
ICMP	(Internet Control Message Protocol)
IDC	(International Data Corporation)
IDE	(Integrated Development Environment)
IEA	(International Energy Agency)
IGMP	(Internet Group Management Protocol)
IoE	(Internet of Energy)
IoT	(Internet of Things)
IPv4	(Internet Protocol version 4)
KB	(Kilobyte)
LED	(Light Emitting Diode)
Mbps	(Megabit per second)
PDM	(Pulse-density modulation)
PPPoE	(Point-to-Point Protocol over Ethernet)
RISC	(Reduced instruction set computer)
RMS	(Root Mean Square)
SG	(Smart Grid)
SPI	(Serial Peripheral Interface)

SRAM	(Static random-access memory)
STEAM	(Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics)
STEM	(Science, Technology, Engineering and Mathematics)
TCP	(Transmission Control Protocol)
TRRS	(Tip, Ring, Ring, Sleeve)
TTL	(Transistor–transistor logic)
UDP	(User Datagram Protocol)
USB	(Universal Serial Bus)
USD	(United States dollar)
V	(Volt)
W	(Watt)
Wh	(Watt-hour)
HEΔ	(Ηλεκτρεγερτική δύναμη)
ΗΜΠ	(Ηλεκτρομαγνητικό Πεδίο)
ΟΟΣΑ	(Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης)
ΣΗΕ	(Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας)

Πίνακας Περιεχομένων

Ευχαριστίες	iv
Περίληψη	v
Abstract	vi
Συνομεύσεις Ορολογίας	vii
Πίνακας Περιεχομένων	ix
Πίνακας Σχημάτων	xi
1. Εισαγωγή	1
1.1 Εισαγωγή σχετικά με ARMS	1
1.2 Κίνητρο Διεξαγωγής Εργασίας	2
1.3 Σκοπός και Στόχοι Εργασίας	2
1.4 Δομή Εργασίας	3
2. Τεχνολογίες ΙοΕ και Σημασία Μετρητικών Συστημάτων	4
2.1 Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας	4
2.2 Ηλεκτρικές Μετρήσεις	8
2.3 Έξυπνα Δίκτυα και Βελτιστοποίηση Κατανάλωσης	10
2.3.1 Internet of Things και Big Data	11
2.3.2 Έξυπνα Δίκτυα και Internet of Energy	12
2.3.3 Βελτιστοποίηση Κατανάλωσης	15
2.4 Σημασία Ανάπτυξης Συστημάτων Μέτρησης και Παρακολούθησης Κατανάλωσης Ηλεκτρικής Ενέργειας	17
3. Υλικό (Hardware) για το ARMS	18
3.1 Arduino Uno REV3	20
3.2 Ethernet Shield W5100	25
3.3 Αισθητήρας Ρεύματος SCT-013 100A	27
3.4 Επιπρόσθετα Μέρη του Κυκλώματος	31
4. Λογισμικό (Software) για το ARMS	38

4.1 Arduino Software IDE	39
4.2 WordPress	44
4.3 XAMPP	50
4.4 Επιπρόσθετο λογισμικό για τον ιστότοπο	54
5. Υλοποίηση Συστήματος ARMS	57
5.1 Κύκλωμα ARMS	57
5.2 Προγραμματισμός Arduino	66
5.3 Δημιουργία Ιστοσελίδας	73
5.4 Συλλογή και Επεξεργασία Δεδομένων	79
6. Σύστημα ARMS σε Λειτουργία	85
6.1 Εγκατάσταση του Συστήματος	85
6.2 Περιβάλλον Χρήστη και Παρακολούθηση Μετρήσεων	88
7. Προοπτικές Ανάπτυξης και Συμπεράσματα	92
7.1 Προοπτικές Ανάπτυξης	92
7.2 Συμπεράσματα	94
Βιβλιογραφία	97

Πίνακας Σχημάτων

Σχήμα 1: Παγκόσμια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας	5
Σχήμα 2: Κατανομή κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας ανά τομέα	6
Σχήμα 3: Μέτρηση έντασης ρεύματος με χρήση αμπεροσιμπίδας	10
Σχήμα 4: Καμπύλη ζήτησης - φορτίου	16
Σχήμα 5: Καμπύλη ζήτησης - φορτίου με έξυπνη διαχείριση	16
Σχήμα 6: Ορισμένα από τα πιο διαδομένα μοντέλα Arduino	19
Σχήμα 7: Ορισμένα από τα πιο διαδομένα μοντέλα Arduino Shields	20
Σχήμα 8: Περιγραφή τεχνικών χαρακτηριστικών του Arduino Uno REV3	21
Σχήμα 9: Μέρη πλακέτας του Arduino UNO Rev3	23
Σχήμα 10: Χαρτογράφηση ακροδεκτών μικροελεγκτή ATmega328P	24
Σχήμα 11: Επέκταση Ethernet Shield W5100	26
Σχήμα 12: Σχηματικό SCT-013 100A και πίνακας χαρακτηριστικών	28
Σχήμα 13: Υποδειγματικός μετασχηματιστής υποβιβασμού τάσης	29
Σχήμα 14: Μετρητής ρεύματος SCT-013 100A	30
Σχήμα 15: Τυπική πλακέτα διασύνδεσης - breadboard	32
Σχήμα 16: Καλώδια τύπου jump wires	34
Σχήμα 17: Τυπικός ηλεκτρολυτικός πυκνωτής	34
Σχήμα 18: Χρωματικός κατάλογος υπολογισμού αντιστατών και αντιστάτες	35
Σχήμα 19: Βύσμα υποδοχής τύπου TRRS jack διαμέτρου 3.5mm	36
Σχήμα 20: Λογότυπα Arduino, XAMPP και WordPress	38
Σχήμα 21: Οθόνη Arduino IDE	40
Σχήμα 22: Οθόνη χρήστη WordPress	46
Σχήμα 23: Πίνακας ελέγχου XAMPP	52
Σχήμα 24: Διασύνδεση Arduino Uno Rev3 με το Ethernet Shield W5100	59
Σχήμα 25: Κλείσιμο του δευτερεύοντος κυκλώματος με αντίσταση φορτίου	60
Σχήμα 26: Σχηματικό βοηθητικού κυκλώματος για την προσθήκη του SCT-013	61
Σχήμα 27: Μορφή σήματος τάσης πριν και μετά την προσθήκη διαιρέτη τάσης	62
Σχήμα 28: Σύνδεση του SCT-013 με τη χρήση βύσματος Jack 3.5mm	63
Σχήμα 29: Σύνδεση κυκλώματος αισθητήρα με το Arduino Uno Rev3	64

Σχήμα 30: Ολοκληρωμένη εικόνα του κυκλώματος του μετρητή του συστήματος	65
Σχήμα 31: Σχηματικό του μετρητή του συστήματος ARMS	66
Σχήμα 32: Το πρώτο μέρος του προγράμματος “ARMSsendtoDataBase”	67
Σχήμα 33: Τοποθεσία του προγράμματος εύρεσης διεύθυνσης IP του μετρητή	69
Σχήμα 34: Εύρεση διεύθυνσης IP του Server μέσω Γραμμής εντολών	70
Σχήμα 35: Το δεύτερο μέρος του προγράμματος “ARMSsendtoDataBase”	72
Σχήμα 36: Στιγμιότυπο από την εγκατάσταση του XAMPP	74
Σχήμα 37: Στιγμιότυπο από την εγκατάσταση του WordPress	75
Σχήμα 38: Πίνακες της βάσης δεδομένων “request”	76
Σχήμα 39: Στήλες των πινάκων της βάσης δεδομένων “request”	76
Σχήμα 40: Δομή του μενού της Ιστοσελίδας του ARMS	77
Σχήμα 41: Τα αρχεία Snippet για την ενσωμάτωση κώδικα	78
Σχήμα 42: Τρόπος κλήσης αρχείου Snippet σε σελίδα	78
Σχήμα 43: Κώδικας υλοποίησης επιλογής ημερομηνίας σε μορφή κουμπιού	79
Σχήμα 44: Κώδικας του προγράμματος “datadaily.php”	81
Σχήμα 45: Κώδικας του προγράμματος “datahourly.php”	82
Σχήμα 46: Κώδικας του προγράμματος “datalive.php”	83
Σχήμα 47: Πίνακας “hourly” της βάσης δεδομένων “request”	84
Σχήμα 48: Σχηματικό ροής πληροφορίας στο σύστημα ARMS	85
Σχήμα 49: Τρόπος τοποθέτησης του αισθητήρα SCT-013 στο φορτίο	86
Σχήμα 50: Τελική μορφή εγκατάστασης του μετρητή του συστήματος ARMS	87
Σχήμα 51: Στιγμιότυπο της αρχικής σελίδας του συστήματος ARMS	88
Σχήμα 52: Στιγμιότυπο της σελίδας “Συνολική Κατανάλωση” του ARMS	89
Σχήμα 53: Στιγμιότυπο για την επιλογή ημερομηνίας	90
Σχήμα 54: Στιγμιότυπο της σελίδας “Ημερήσια Κατανάλωση” του ARMS	91
Σχήμα 55: Στιγμιότυπο της σελίδας “Online Monitor” του ARMS	91

1. Εισαγωγή

Το παρόν κείμενο συντάχθηκε στα πλαίσια της υλοποίησης διπλωματικής εργασίας στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Η συγγραφή του πραγματοποιήθηκε παράλληλα με την ανάπτυξη του συστήματος απομακρυσμένης παρακολούθησης της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας ARMS και πέραν του θεωρητικού υπόβαθρου που παρουσιάζει, αποτελεί και επεξηγητικό κείμενο για τον τρόπο υλοποίησης και λειτουργίας του συστήματος.

1.1 Εισαγωγή σχετικά με ARMS

Το όνομα του συστήματος προέρχεται από το ακρωνύμιο Arduino Remote Monitoring System που εκφράζει συνοπτικά τα βασικά χαρακτηριστικά του. Όπως προϋποθέτει η ονομασία του συστήματος ARMS, η δημιουργία του βασίστηκε στη πλατφόρμα του Arduino και αποτελεί ένα σύστημα απομακρυσμένης παρακολούθησης. Η βασική λειτουργία του είναι να μετράει τη κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας ενός μονοφασικού φορτίου και μέσω επεξεργασίας των δεδομένων μέτρησης να παρέχει πληροφόρηση για το ποσό ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνει το συγκεκριμένο φορτίο. Μπορεί να παρουσιάσει στην ιστοσελίδα του στοιχεία τόσο για προηγούμενες μετρήσεις μέσω γραφημάτων αλλά και τη στιγμιαία ισχύ του φορτίου το οποίο παρακολουθεί ανά πάσα στιγμή. Η δημιουργία ενός τέτοιου πρότζεκτ απαιτεί ενδελεχή έρευνα και σχεδιασμό, αλλά και την επένδυση χρόνου και χρημάτων.

Το κόστος κατασκευής του πρότυπου μετρητή του συστήματος ανήλθε στα 50€, με το Arduino Uno Rev3 να κοστίζει 22€, την επέκταση Ethernet 14€, το Breadboard μαζί με τα απαραίτητα καλώδια και τα μικροηλεκτρονικά στοιχεία 5€, τον αισθητήρα SCT-013 8€ και τον αντάπτορα για βύσμα τύπου Jack 1€. Έγινε προσπάθεια το κόστος να κρατηθεί σε σχετικά χαμηλά επίπεδα προκειμένου να υπάρχουν προοπτικές περαιτέρω ανάπτυξης του με ένα κόστος που θα κυμαίνεται σε λογικά επίπεδα. Η αναφορά του κόστους γίνεται για την περίπτωση που κάποιος αναγνώστης επιθυμεί να ασχοληθεί με πρότζεκτ Arduino στον τομέα της ενέργειας

και του Internet of Things (IoT) και θα ήθελε να έχει επίγνωση για το κόστος που ενδέχεται να έχει ένα σχετικό πρότζεκτ.

1.2 Κίνητρο Διεξαγωγής Εργασίας

Ο κλάδος της ηλεκτρικής ενέργειας είναι πολύ μεγάλος και εκτείνεται σε διάφορους τομείς, παρουσιάζοντας μια σειρά ενδιαφερόντων θεμάτων και τεχνολογιών, παρουσιάζοντας παράλληλα προοπτικές ανάπτυξης εκμεταλλευόμενος τεχνολογίες όπως το Smart Grid και Internet of Things. Η ενασχόληση συνεπώς με τον κλάδο επιτρέπει την επαφή με την ευρεία αυτή γκάμα τεχνολογιών που συνεχώς αναπτύσσονται και παρέχουν πρόσφορο έδαφος για έρευνα και ανάπτυξη καινοτόμων εφαρμογών. Καθώς το ARMS είναι μια τέτοια εφαρμογή, αποτελεί ιδανικό θέμα για μια διπλωματική εργασία μηχανικών οι οποίοι ενδιαφέρονται να ασχοληθούν με τον κλάδο. Ακόμα ένα πρότζεκτ που αναπτύσσεται υπό την αιγίδα ενός πανεπιστημιακού ιδρύματος, όπως το Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, λαμβάνει επίσημο χαρακτήρα, αλλά καθώς αναπτύσσεται στα πλαίσια μιας διπλωματικής εργασίας, ωφελείται της εμπειρίας και καθοδήγησης του διδακτικού ακαδημαϊκού προσωπικού και παρουσιάζει ευνοϊκότερες προοπτικές ανάπτυξης.

1.3 Σκοπός και Στόχοι Εργασίας

Ο σκοπός αυτής της εργασίας είναι μέσω της έρευνας και της ανάλυσης της υφιστάμενης αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας και των τεχνολογιών Internet of Energy (IoE), που πλέον προσφέρουν την δυνατότητα ζεύξης του Δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας με το Διαδίκτυο, να γίνει ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου συστήματος απομακρυσμένης παρακολούθησης της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας το οποίο θα συλλέγει, θα αποθηκεύει, θα επεξεργάζεται αλλά και θα παρουσιάζει τα δεδομένα των μετρήσεων της εγκατάστασης στην οποία έχει τοποθετηθεί, δίνοντας την δυνατότητα στον κάθε

χρήστη να μπορεί να παρακολουθεί το ενεργειακό του αποτύπωμα ανά πάσα στιγμή.

Στόχος αυτή της εργασίας είναι το μετρικό αυτό σύστημα να κατασκευαστεί με το μικρότερο δυνατό κόστος, χωρίς ωστόσο να υπολείπεται ακρίβειας μετρήσεων και αξιοπιστίας, ούτως ώστε να είναι δυνατή η περαιτέρω ανάπτυξη του στο μέλλον, δημιουργώντας ένα σύστημα το οποίο εκτός των δυνατοτήτων παρακολούθησης που προσφέρει να μπορεί να αναλάβει δυναμικό ρόλο στην διαχείριση της κατανάλωσης και καλύτερη αξιοποίηση της ηλεκτρικής ενέργειας.

1.4 Δομή Εργασίας

Η εργασία αποτελείται από επτά κεφάλαια, όπου το κάθε ένα είναι ξεχωριστό και αυτοτελές ώστε να μπορεί να γίνει κατανοητό χωρίς να απαιτείται είναι ανάγνωση ολόκληρης της εργασίας, ωστόσο όλα μαζί αποτελούν μια οντότητα και περιγράφουν στο σύνολο του το σύστημα απομακρυσμένης παρακολούθησης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας ARMS που αναπτύχθηκε κατά την διάρκεια της διπλωματικής εργασίας.

Στο πρώτο Κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή σχετικά με το τι είναι το ARMS, τα κίνητρα διεξαγωγής, τον σκοπό, τον στόχο και την δομή της εργασίας. Κατά την διάρκεια του δεύτερου κεφαλαίου αναλύονται οι τεχνολογίες που αποτελούν το IoE καθώς και οι σημερινές συνθήκες στην αγορά της ηλεκτρικής ενέργειας. Εν συνεχεία στο τρίτο και τέταρτο κεφάλαιο γίνεται ανάλυση του υλικού (hardware) και λογισμικού (software) που χρησιμοποιήθηκε κατά την ανάπτυξη του μετρητικού συστήματος. Στο πέμπτο κεφάλαιο βρίσκεται περιγραφή της υλοποίησης του ARMS, όπου γίνεται ανάλυση του κυκλώματος και του τρόπου σύνδεσης όλων των υλικών μερών τόσο μεταξύ τους όσο και με το δίκτυο, η αναλυτική επεξήγηση του προγραμματισμού του arduino, η δημιουργία της ιστοσελίδας αλλά και ο τρόπος συλλογής και επεξεργασίας των δεδομένων που προκύπτουν από τις μετρήσεις. Στο έκτο κεφάλαιο περιγράφεται ο τρόπος εγκατάστασης του συστήματος και η διεπαφή του χρήστη με την ιστοσελίδα ώστε να μπορεί παρακολουθεί την κατανάλωση του ανά πάσα στιγμή αλλά και το ιστορικό των μετρήσεων. Τέλος, στο έβδομο κεφάλαιο ακολουθούν οι προοπτικές ανάπτυξης και τα συμπεράσματα της εργασίας.

2. Τεχνολογίες ΙοΕ και Σημασία Μετρητικών Συστημάτων

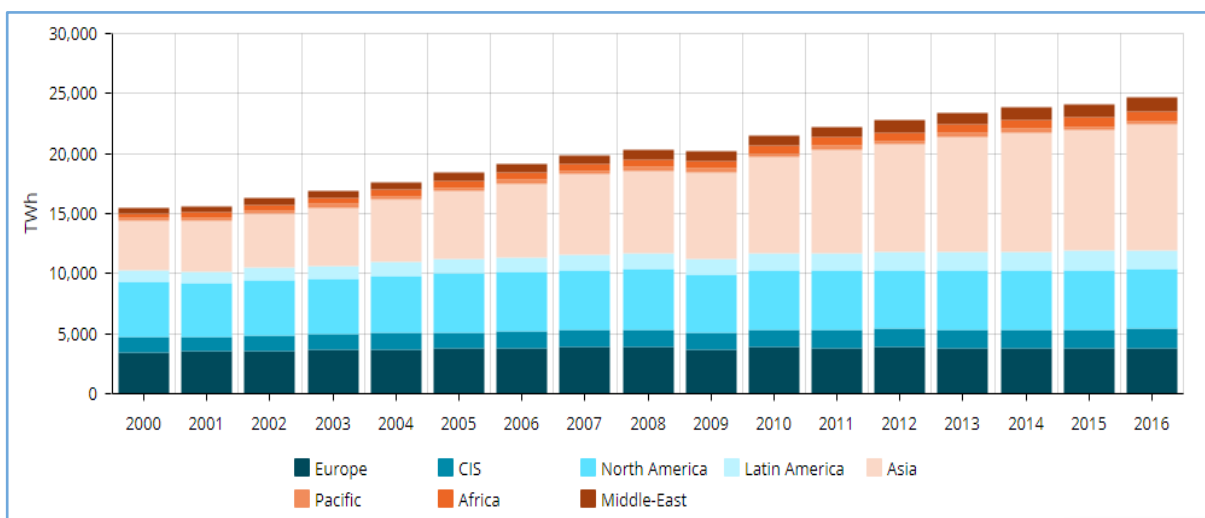
Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει μια εισαγωγή στην έννοια του ΙοΕ, μιας σειράς τεχνολογιών που βρίσκονται στο κλάδο της ηλεκτρικής ενέργειας και εκφράζουν ένα σύνολο καινοτόμων ιδεών που θα βοηθήσουν στον εκσυγχρονισμό του τομέα και την ζεύξη της ηλεκτρικής ενέργειας με το διαδίκτυο, προσφέροντας μια σειρά πλεονεκτημάτων με κυριότερα την αύξηση ελέγχου της ροής της ενέργειας αλλά και την εξοικονόμηση πόρων. Το σύστημα ARMS αξιοποιεί αυτές τις τεχνολογίες και προσπαθεί μέσω της παρακολούθησης της κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας να οδηγηθεί προς την κατεύθυνση των πλεονεκτημάτων που μπορεί προσφέρει ένα σύγχρονο ΣΗΕ. Επίσης θα γίνει ανάλυση του μεγέθους της αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας, ώστε να γίνουν αντιληπτές οι προοπτικές ανάπτυξης του κλάδου.

2.1 Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας

Είναι γεγονός πως η ηλεκτρική ενέργεια είναι ένα αγαθό απαραίτητο για την εξέλιξη της ανθρωπότητας και άρρηκτα συνδεδεμένο με την καθημερινότητα του σύγχρονου ανθρώπου. Οι παράγοντες αυτοί έχουν δημιουργήσει γύρω από τον ηλεκτρισμό μια τεράστια αγορά και οικονομία, συνεχώς αναπτυσσόμενη ποιοτικά και ποσοτικά. Για να αναλογιστεί και να συνειδητοποιήσει κάποιος το μέγεθος αυτής της αγοράς μπορεί απλά να ρίξει μια ματιά γύρω του και να δει πως όλοι οι τομείς της καθημερινότητάς του βασίζονται σε αυτό το αγαθό, από τα πιο απλά πράγματα, όπως για παράδειγμα μια λάμπα, μέχρι τα πιο κρίσιμα όπως ιατρικός και βιομηχανικός εξοπλισμός. Το μέγεθος βέβαια της αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και η συνεχής ανάπτυξή της μπορεί να γίνει εύκολα αντιληπτή και από τα νούμερα που την αντικατοπτρίζουν. Χαρακτηριστικό είναι το Σχήμα 1 όπου απεικονίζεται η παγκόσμια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από το 2000 μέχρι το 2016 [1].

Χαρακτηριστικό του μεγέθους της αγοράς είναι η παγκόσμια κατανάλωση για το 2015 η οποία σύμφωνα με την μελέτη του IEA [2] έφτασε τις 20200 TWh σημειώνοντας αύξηση 1.6% έναντι του 2014 και επαληθεύοντας την αυξητική τάση της παγκόσμιας κατανάλωσης που παρουσιάζει μέσο ρυθμό ανάπτυξης 3.4% ανά

έτος από το 1974 και έπειτα. Η μελέτη του ΙΕΑ κατανέμει τις χώρες σε δύο κατηγορίες, όπου για το 2015 η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ήταν ισομοιρασμένη, σε αυτές που εντάσσονται στον Οργανισμό Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης με τριάντα πέντε κράτη-μέλη όπου ανάμεσά τους είναι η Ελλάδα, οι ΗΠΑ, η Γαλλία και το Ηνωμένο Βασίλειο, αλλά και στα κράτη που δεν ανήκουν στον Οργανισμό, με σημαντικότερες την Κίνα, την Ινδία, την Ρωσία και την Βραζιλία, με τις τέσσερις αυτές χώρες να κατέχουν το 66,3% της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας εκτός ΟΟΣΑ.

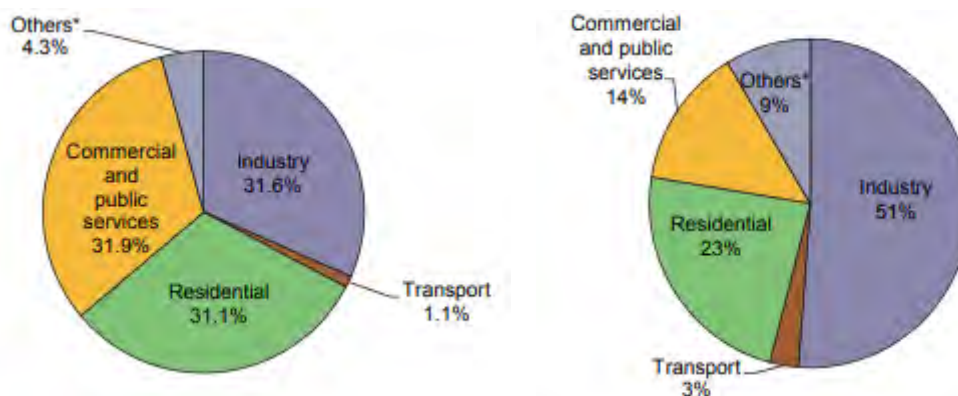


Σχήμα 1: Παγκόσμια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. [1]

Για το 2015 η κατανάλωση των μελών του ΟΟΣΑ ανήλθε στις 9397 TWh με αύξηση 0.5% από το προηγούμενο έτος, εκ των οποίων ο οικιακός τομέας συντέλεσε στο 31.1% αυτής, ο βιομηχανικός τομέας στο 31.6% και ο εμπορικός με τον δημόσιο τομέα στο 31.9%, ενώ το υπολειπόμενο 5.4% καταναλώθηκε στις μεταφορές και άλλους μικρότερους τομείς όπως διακρίνεται στο Σχήμα 2. Το μερίδιο της αγοράς του κάθε τομέα αλλάζει με την πάροδο των χρόνων, με τον οικιακό, εμπορικό και δημόσιο τομέα να κερδίζουν έδαφος και τον βιομηχανικό να υποχωρεί, χωρίς αυτό να σημαίνει μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς υπήρξε αύξηση από τις 1874 TWh το 1974, στις 2970 TWh το 2015 στην βιομηχανία αλλά το μερίδιο στην αγορά μειώθηκε σημαντικά από το 48.7% στο 31.6% αντίστοιχα. Η βιομηχανία υπήρξε διαχρονικά ο σημαντικότερος τομέας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας ωστόσο έχει μια μακροχρόνια πτωτική τάση στο μερίδιο της αγοράς με αποτέλεσμα σήμερα να είναι στα ίδια επίπεδα με τον οικιακό,

τον δημόσιο και εμπορικό τομέα. Αυτό οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην αναδιάρθρωση των οικονομιών των μελών του ΟΟΣΑ αλλά και τη βελτίωση της αποδοτικότητας των μονάδων παραγωγής και επεξεργασίας με αποτέλεσμα να χρειάζεται λιγότερη ηλεκτρική ενέργεια για το ίδιο αποτέλεσμα.

Για τις χώρες εκτός του ΟΟΣΑ η κατανάλωση το 2015 ανήλθε στις 10803 TWh με αύξηση 2.7% από το προηγούμενο έτος, εκ των οποίων ο οικιακός τομέας συντέλεσε στο 23% αυτής, ο βιομηχανικός τομέας στο 51% και ο εμπορικός με τον δημόσιο τομέα στο 14%, ενώ το υπολειπόμενο 12% καταναλώθηκε στις μεταφορές και άλλους μικρότερους τομείς όπως διακρίνεται στο Σχήμα 2. Άξια αναφοράς είναι η αύξηση του μεριδίου των χωρών αυτών στον παγκόσμιο χάρτη κατανάλωσης όπου από το 27.1% που κατείχαν το 1973 έφτασε στο 53.5% το 2015, προσπερνώντας τα κράτη-μέλη του ΟΟΣΑ. Στις χώρες εκτός του ΟΟΣΑ παρατηρείται μια άνιση κατανομή της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας ανάμεσα στους διάφορους τομείς με τη βιομηχανία να κατέχει τη πλειοψηφία της αγοράς. Αυτή η άνιση κατανομή ενδέχεται να οφείλεται σε διάφορους παράγοντες, όπως το γεγονός πως ορισμένες από αυτές τις χώρες είναι ακόμα αναπτυσσόμενες, άλλες δεν επενδύουν και δεν αναπτύσσουν το ίδιο όλους τους τομείς αλλά και το βιοτικό επίπεδο τους υπολείπεται αυτού των μελών του ΟΟΣΑ.



Σχήμα 2: Κατανομή κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας ανά τομέα. [2]
(Αριστερά οι χώρες του ΟΟΣΑ / Δεξιά οι χώρες εκτός ΟΟΣΑ)

Η παγκόσμια αγορά της ηλεκτρικής ενέργειας είναι ένας “ζωντανός” οργανισμός που συνεχώς ανθίζει δημιουργώντας συνθήκες και ευκαιρίες εμπορίου ενέργειας. Με την πάροδο των χρόνων οι οικονομίες των χωρών έρχονται πιο κοντά και στον τομέα της ενέργειας και γίνονται αγοραπωλησίες βάση της παραγωγής και

τις ανάγκες κατανάλωσης γειτονικών κρατών. Τα οφέλη αυτής της διαδικασίας είναι μια πιο αποδοτική οικονομία ενέργειας, η εξισορρόπηση των φορτίων ανάλογα των συνθηκών, καθώς οι διάφορες χώρες έχουν διαφορετικές ενεργειακές ανάγκες και δυνατότητα παραγωγής για διαφορετικές χρονικές περιόδους, αλλά και καλύτερη διαχείριση της πλεονασματικής παραγωγής.

Το εμπόριο ηλεκτρικής ενέργειας είναι ένα σημαντικό κομμάτι της αγοράς για τα κράτη-μέλη του ΟΟΣΑ με κομβικότερο ρόλο στις επιμέρους οικονομίες της Ευρώπης και της Αμερικής. Σύμφωνα και πάλι με την μελέτη του IEA [2] για τις χώρες του ΟΟΣΑ από το 1974 μέχρι το 2016 παρατηρείται ένας μέσος ετήσιος ρυθμός αύξησης των εισαγωγών της τάξης του 4.3%, φτάνοντας τις 488 TWh από τις 88 TWh. Παρόμοιος ρυθμός ανόδου παρατηρείται και στις εξαγωγές όπου από τις 81 TWh το 1974 άγγιξαν τις 479 TWh το 2016. Ένα παράδειγμα του δείχνει την σημασία του ευρύτερου Δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας μέσω των διασυνδέσεων με γειτονικές χώρες και του εμπορίου ενέργειας είναι αυτό της Πορτογαλίας, όπου το 2015 γνώρισε πρωτοφανή περίοδο ξηρασίας η οποία είχε μεγάλο αντίκτυπο στην παραγωγή των υδροηλεκτρικών εργοστασίων της με συνέπεια την πτώση της παραγωγής. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίστηκε με την αύξηση των καθαρών εισαγωγών της σε ηλεκτρική ενέργεια κατά 1.4 TWh σε σχέση με το προηγούμενο έτος.

Όσο αναφορά τι χώρες εκτός του ΟΟΣΑ, αν θεωρηθούν ως μία οντότητα, είναι καθαροί εξαγωγείς ηλεκτρικής ενέργειας με το ισοζύγιο εισαγωγών - εξαγωγών για το 2015 να είναι περίπου 21 TWh, με τις εισαγωγές να ανέρχονται στις 238 TWh και τις εξαγωγές στις 217 TWh. Μεγάλη κίνηση στην αγορά της ενέργειας παρατηρείται μεταξύ χωρών την πρώην Σοβιετικής Ένωσης και της ευρύτερης περιοχής. Στη “γειτονιά” την Νότιας Αμερικής, μεγάλος εξαγωγέας στην Αργεντινή και τη Βραζιλία είναι η Παραγουάη (41 TWh καθαρών εξαγωγών το 2015). Στην Αφρική, σημαντικό είναι το εμπόριο ενέργειας στο νότιο κομμάτι της ηπείρου, με την Νότια Αφρική να παίζει πρωταγωνιστικό ρόλο στις εξαγωγές. Στην Ασία, η Ινδία αποτελεί ένα μεγάλο εισαγωγέα ηλεκτρικής ενέργειας αγοράζοντας 5.2 TWh το 2015. Μεγάλη εμπορική κίνηση εμφανίζεται στην ευρύτερη περιοχή της Κίνας και των γειτόνων χωρών της. Η Κίνα μέσω μεγάλων επενδύσεων στις υποδομές ενέργειας της τα τελευταία χρόνια και εκμεταλλευόμενη τη γεωπολιτική της θέση κατάφερε να μετεξελιχθεί από εισαγωγέα ηλεκτρικής ενέργειας σε καθαρό εισαγωγέα, καταγράφοντας το 2015 θετικό ισοζύγιο της τάξης των 12.4 TWh.

Η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας έχει διακυμάνσεις από χώρα σε χώρα και είναι δύσκολο να προκαθοριστεί καθώς εξαρτάται από ποικίλους παράγοντες και ειδικές συνθήκες που ίσως προκύψουν. Επίσης η χαώδης διακύμανση της τιμής από χώρα σε χώρα καθιστά την εύρεση μιας μέσης τιμής ως ένα νούμερο μη ρεαλιστικό που δεν αντικατοπτρίζει την πραγματικότητα στην πλειονότητα του κόσμου. Κοιτώντας ένα μικρότερο συνασπισμό χωρών, αυτών του ΟΟΣΑ παρατηρείται πως και πάλι το εύρος διακύμανσης των τιμών είναι και πάλι μεγάλη. Για παράδειγμα, βάση στοιχείων του 2016 [2], τη χαμηλότερη τιμή στον βιομηχανικό τομέα είχε η Νορβηγία (42.41 USD/MWh), ενώ την υψηλότερη η Ιταλία (185.26 USD/MWh). Στον οικιακό τομέα τη χαμηλότερη τιμή είχε το Μεξικό (63.74 USD/MWh), ενώ την υψηλότερη η Γερμανία (329.71 USD/MWh).

Παρατηρώντας την αγορά της ηλεκτρικής ενέργειας σήμερα και τις τάσεις της παγκόσμιας οικονομίας γενικότερα, φυσικό επακόλουθο είναι η μετατροπή σε μια πιο ανοιχτή, ελεύθερη από εξωτερικούς παράγοντες και ευέλικτη αγορά. Σε αυτό θα συμβάλει η είσοδος, στην “κλειστή” στις περισσότερες χώρες αγορά, διαφόρων φορέων παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας ούτως ώστε να υπάρχει υγιής ανταγωνισμός και μέσω αυτού βελτίωση των παρεχόμενων υπηρεσιών με σημαντικό αντίκτυπο στην μείωση της τιμής και αύξηση της ποιότητας της προσφερόμενης ενέργειας. Στη βελτίωση της ποιότητας μπορεί να συμβάλει η εισαγωγή νέων τεχνολογιών στο Δίκτυο και ο εκσυγχρονισμός του, μεταβαίνοντας σταδιακά στην εποχή των Έξυπνων Δικτύων (Smart Grid).

2.2 Ηλεκτρικές Μετρήσεις

Υπάρχουν συστήματα μετρήσεων σε όλους τους τομείς της καθημερινότητας, εμφανίζοντας μεγάλη γκάμα εφαρμογών, όπως για παράδειγμα την μέτρηση κλίμακας σεισμών, επιπέδων ραδιενέργειας, θερμοκρασίας αλλά και την καταγραφή ηλεκτρικών μεγεθών. Αξιοποιούνται για την μέτρηση, την συλλογή, την αποθήκευση και την επεξεργασία διαφόρων τύπων δεδομένων που προέρχονται από διαφορετικούς τομείς. Ο κάθε τομέας έχει τα δικά του εξειδικευμένα συστήματα μέτρησης για την κάλυψη των αναγκών που προκύπτουν από τις εκάστοτε συνθήκες. Στον κλάδο της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται χρήση των συστημάτων

ηλεκτρικών μετρήσεων για τον προσδιορισμό των ηλεκτρικών μεγεθών που απαιτούνται για την μελέτη και κατανόηση ενός μικρού κυκλώματος ή και μιας μεγαλύτερης εγκατάστασης.

Σε κάθε σύστημα μετρήσεις παρουσιάζονται σφάλματα και αποκλίσεις στα αποτελέσματα κατά την λειτουργίας τους. Τα σφάλματα αποτελούν την ποσοστιαία απόκλιση που μπορεί να έχει μία μέτρηση από την πραγματική τιμή και κάθε σύστημα οφείλει να κάνει γνωστό στον χρήστη το μέγιστο ποσοστό της απόκλισης που ενδέχεται να υπάρξει, προκειμένου να γίνεται η κατάλληλη επιλογή του εξοπλισμού που καλύπτει τις εκάστοτε ανάγκες. Το κάθε σύστημα οφείλει ακόμα να είναι αξιόπιστο έχοντας ακρίβεια και επαναληψιμότητα στις μετρήσεις του, τα οποία επιτυγχάνονται μέσω σωστής βαθμονόμησης (calibration) ως προς κάποιο πρότυπο το οποίο έχει προκύψει μέσω της συστηματικής παρακολούθησης της λειτουργίας του συστήματος [3].

Τα κύρια μεγέθη που καλούνται να μετρήσουν τα συστήματα μέτρησης ηλεκτρικής ενέργειας είναι η ηλεκτρική τάση, το ηλεκτρικό ρεύμα, η χωρητικότητα ενός πυκνωτή, η αντίσταση και η αυτεπαγωγή ενός πηνίου. Για την μέτρηση των μεγεθών αυτών χρησιμοποιούνται διάφορα εξειδικευμένα όργανα όπως το βολτόμετρο για τον υπολογισμό της τάσης, το αμπερόμετρο για τον υπολογισμό της έντασης του ρεύματος και το ωμόμετρο για τον υπολογισμό της αντίστασης ενός αντιστάτη. Εκτός των εξατομικευμένων οργάνων, υπάρχουν και σύνθετα όργανα - συστήματα που έχουν την δυνατότητα μέτρησης μιας σειράς ηλεκτρικών μεγεθών. Ανάλογα με την μέτρηση που πραγματοποιείται αλλάζει και ο τρόπος διασύνδεσης του μετρητικού συστήματος πάνω στο κύκλωμα. Το αμπερόμετρο πρέπει να ενσωματώνεται σε σειρά με το σημείο του κυκλώματος όπου επιθυμείτε η μέτρηση της έντασης του ρεύματος ενώ το βολτόμετρο απλά συνδέεται παράλληλα στο επιθυμητό σημείο μέτρησης της τάσης χωρίς να χρειάζεται κάποια τροποποίηση στο κύκλωμα [4]. Η διαφορά στον τρόπο συνδεσμολογίας τους προκύπτει από τις δομικές διαφορές του κυκλώματος τους, όπου στο αμπερόμετρο υπάρχει ένας αντιστάτης με θεωρητικά μηδενική αντίσταση προκειμένου να μην επηρεάζει το ρεύμα κατά τη διέλευσή του, ενώ στο βολτόμετρο παρουσιάζεται φαινομενικά άπειρη εσωτερική αντίσταση ούτως ώστε να μην γίνεται διέλευση ρεύματος από αυτό και να μην επηρεάζει το υπό μέτρηση ηλεκτρικό κύκλωμα.



Σχήμα 3: Μέτρηση έντασης ρεύματος με χρήση αμπεροτσιμπίδας.

Υπάρχουν περιπτώσεις, κυρίως μεγάλων εγκαταστάσεων, όπου η παρέμβαση στο κύκλωμα για την μέτρηση της έντασης του ρεύματος δεν είναι εφικτή ή μπορεί να οδηγήσει σε δυσλειτουργία ολόκληρης της εγκατάστασης για ορισμένο χρονικό διάστημα. Για την επίλυση τέτοιων προβλημάτων και την πραγματοποίηση των επιθυμητών μετρήσεων, αξιοποιείται ένα άλλο όργανο μέτρησης της έντασης του ρεύματος, το οποίο αξιοποιεί τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία που δημιουργούνται κατά τη ροή του ρεύματος μέσα από έναν αγωγό. Το όργανο αυτό ονομάζεται αμπεροτσιμπίδα και μετρά την ένταση του ρεύματος χωρίς άμεση παρέμβαση στο κύκλωμα. Ο τρόπος χρήσης της απεικονίζεται στο Σχήμα 3. Στην φιλοσοφία της άμεσης τοποθέτησης χωρίς ανάγκη παρέμβασης στο κύκλωμα στην οποία βασίζεται η λειτουργία της αμπεροτσιμπίδας, βασίστηκε και το σύστημα μέτρησης που αναπτύσσεται στην παρούσα διπλωματική εργασία.

2.3 Έξυπνα Δίκτυα και Βελτιστοποίηση Κατανάλωσης

Σύμφωνα με το βασικό σενάριο του IEA η παγκόσμια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας αναμένεται να αυξηθεί κατά δύο τρίτα την περίοδο 2011-2035 [5]. Μια

τέτοια αύξηση στην ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας θα προσθέσει ένα μεγάλο βάρος στο υπάρχων παρωχημένο και υπερφορτωμένο ΣΗΕ το οποίο πάσχει λόγω της μη αποτελεσματικής παρακολούθησης, της έλλειψης διάγνωσης σφαλμάτων και μεθόδων αυτοματοποίησης. Επιπλέον το σημερινό Δίκτυο είναι ανελαστικό στην ενσωμάτωση νέων πηγών ενέργειας (π.χ. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας). Όλα αυτά σε συνδυασμό με την αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας θα οδηγήσουν αναμφίβολα σε υπερφόρτωση του δικτύου, μείωση της ποιότητας της παρεχόμενης ενέργειας καθώς και σε αδυναμία εύρεσης άμεσων λύσεων σε πιθανά προβλήματα που θα προκύπτουν στο Δίκτυο. Παρουσιάζεται συνεπώς η ανάγκη ύπαρξης ενός βελτιωμένου, ευέλικτου και σύγχρονου Δικτύου. Την λύση στο πρόβλημα αυτό έρχεται να καλύψει το Έξυπνο Δίκτυο (Smart Grid) το οποίο όπως μας προϋποθέτει και το όνομα του είναι μια έξυπνη υποδομή Ηλεκτρικής Ενέργειας βασισμένη στις τεχνολογίες του Internet of Things και Big Data.

2.3.1 Internet of Things και Big Data

Το IoT είναι ένα διασυνδεδεμένο δίκτυο διαφόρων συσκευών που χρησιμοποιούνται στην καθημερινότητα μας, έχουν ενσωματωμένο κατάλληλο software και hardware για την συλλογή δεδομένων, την μεταξύ τους διασύνδεση και αλληλεπίδραση (για παράδειγμα έξυπνα συστήματα κλιματισμού, έξυπνα συστήματα άρδευσης). Μέσω του IoT δίνετε η δυνατότητα στις συσκευές να ανιχνεύονται και να ελέγχονται μέσα στο υπάρχων δίκτυο, ψηφιοποιώντας έτσι την καθημερινότητα και οδηγώντας σε βελτιωμένη αποτελεσματικότητα, ακρίβεια καθώς και οικονομικό όφελος. Κύριος στόχος του είναι η αυτοματοποίηση διαφόρων τομέων όπως η ηλεκτρική ενέργεια, οι μεταφορές, η ιατρική και πολλών άλλων. Για να επιτευχθεί μια πλήρης αυτοματοποίηση των διαδικασιών οι διάφορες συσκευές που χρησιμοποιούνται θα πρέπει να είναι εξοπλισμένες με μικροαισθητήρες, μικροελεγκτές, επεξεργαστές καθώς και τα απαραίτητα πρωτόκολλα διασύνδεσης και επικοινωνίας.

Ο αριθμός των συσκευών που αποτελούν μέρος του IoT είναι πραγματικά εντυπωσιακός και αναμένεται να αυξηθεί ακόμα περισσότερο. Η εκτίμηση της IHS Markit για τον αριθμό των συσκευών που αποτελούσαν το IoT (συμπεριλαμβανόμενων των ηλεκτρονικών υπολογιστών, smartphones και tablets)

για το 2016 ήταν 17.6 δισεκατομμύρια συσκευές. Για το 2020 έχει προβλέψει αύξηση της τάξης του 42.6% με τις συσκευές να ανέρχονται στα 30.7 δισεκατομμύρια [6]. Για την ίδια χρονιά (2020) η εκτίμηση του IDC είναι πως η παγκόσμια αγορά του IoT θα φτάσει τα 7.1 τρισεκατομμύρια δολάρια [7]. Τα στοιχεία αυτά δείχνουν τη συμβολή του IoT στην πρόοδο της ανθρωπότητας και τη σημασία του στον οικονομικό χάρτη, αναλογιζόμενοι πως το παγκόσμιο Εθνικό Ακαθάριστο Προϊόν σύμφωνα με το Διεθνές Νομισματικό Ταμείο είναι 91 τρισεκατομμύρια δολάρια και αυτό της Ελλάδας 333 δισεκατομμύρια δολάρια [8].

Μέσω του IoT δημιουργείται τεράστιος όγκος δεδομένων ο οποίος αν αξιοποιηθεί μπορεί να προσφέρει πολύ χρήσιμες πληροφορίες για την οικονομία, την κοινωνία, την επιστήμη και πολλούς άλλους τομείς, με κατάλληλη φυσικά συλλογή και επεξεργασία όλος αυτός ο μεγάλος όγκος δεδομένων και πληροφοριών που μπορούμε να αντλήσουμε, αποτελούν στην ουσία την επιστήμη του Big Data. Για την εξόρυξη, συλλογή, αποθήκευση και επεξεργασία όλων αυτών των δεδομένων ο εκάστοτε φορέας που θέλει να τα αξιοποιήσει και να τα εκμεταλλευτεί πρέπει να έχει το κατάλληλο λογισμικό και εξοπλισμό (Βάσεις Δεδομένων, Cloud, επεξεργαστική ισχύς).

Για να αντιληφθούμε το μεγάλο όγκο δεδομένων τον οποίο καλείται να διαχειριστεί η επιστήμη του BD και τη ραγδαία αύξηση του μπορούμε να δούμε την πρόβλεψη της IDC βάση της οποίας αναμένεται ο όγκος δεδομένων από τα 4.4 zettabytes (4.4×10^{21} bytes) το 2013 να ανέλθει στα 44 zettabytes (44×10^{21} bytes) το 2020 [9], πράγμα που σημαίνει αύξηση της τάξης του 1000%. Τα τεχνολογικά άλματα στις μεθόδους ψηφιακής αποθήκευσης έχουν συντελέσει στον διπλασιασμό της αν κεφαλήν αποθηκευτικής ικανότητας κάθε περίπου 40 μήνες από το 1980 και έπειτα [10]. Η υπάρχουσα τεχνολογία και υποδομές αποθήκευσης και επεξεργασίας αυτή τη στιγμή επαρκούν για την κάλυψη των απαιτήσεων του BD. Ωστόσο στο μέλλον η συνεχής αύξηση του όγκου δεδομένων ενδέχεται να δημιουργήσει προβλήματα επάρκειας χώρου αν η τεχνολογία δεν αφουγκραστεί τους ρυθμούς ανάπτυξης του όγκου δεδομένων που παράγονται.

2.3.2 Έξυπνα Δίκτυα και Internet of Energy

Έξυπνο Δίκτυο είναι ένα ευέλικτο ηλεκτρικό δίκτυο που περιλαμβάνει μια

πληθώρα λειτουργιών, μετρήσεων, έξυπνων συσκευών καθώς και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας [11]. Θα επιτρέψει την αποδοτικότερη αξιοποίηση της τρέχουσας εγκατεστημένης ισχύος, των υποδομών μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, επίσης θα συμβάλει στην ομαλότερη ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών στην αγορά της ηλεκτρικής ενέργειας. Βάση της διατύπωσης του όρου, του περιεχομένου και των χαρακτηριστικών που δόθηκε από το Energy Independence and Security Act of 2007 των ΗΠΑ [12] ένα SG οφείλει να είναι μία αξιόπιστη και ασφαλής υποδομή ηλεκτρικής ενέργειας που δύναται να καλύψει την αναμενόμενη μελλοντική ανάπτυξη της ζήτησης. Για να χαρακτηριστεί ένα δίκτυο ως "ευφυές" θα πρέπει να πληροί κάποιες προϋποθέσεις όπως η αυξημένη χρήση της ψηφιακής πληροφορίας και των τεχνολογιών ελέγχου, μετρήσεων και επικοινωνίας, η δυναμική βελτιστοποίηση του δικτύου αλλά και η έγκαιρη παροχή πληροφόρησης και ελέγχου στους καταναλωτές. Μπορεί να γίνει κατανοητό ότι το SG ουσιαστικά είναι η εξέλιξη ο εκσυγχρονισμός του υπάρχοντος δικτύου με την εφαρμογή τεχνολογιών που διευκολύνουν τον έλεγχο και την καλύτερη διαχείριση των διαδικασιών παραγωγής, μεταφοράς και κατανάλωσης μέσω άμεσης και αμφίδρομης επικοινωνίας.

Συγκρίνοντας το υφιστάμενο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας με το SG καθώς λαμβάνοντας υπόψιν και την αναφορά της κοινοπραξίας των Ευρωπαϊκών Οργανισμών Ηλεκτροτεχνικών και Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων CEN, CENELEC και ETSI [13] προκύπτει ότι το SG παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα. Το SG προσφέρει καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών και αξιοπιστία μέσω του ευέλικτου σχεδιασμού και του αυτοματοποιημένου συστήματος διόρθωσης σφαλμάτων και βλαβών. Επιπρόσθετα επιτυγχάνεται η καλύτερη εκμετάλλευση των εγκατεστημένων υποδομών και των ανανεώσιμων πηγών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με αποτέλεσμα την μείωση των απωλειών ενέργειας και ένα καλύτερο περιβαλλοντολογικό αποτύπωμα. Τέλος παρέχεται η δυνατότητα δυναμικής διαχείρισης της παραγωγής ανάλογα με την ζήτηση, σε συνδυασμό με την ενεργό συμμετοχή του καταναλωτή στην εξομάλυνση της παραγωγής και την εξοικονόμηση ενέργειας με οφέλη για τον ίδιο, τις εταιρίες παραγωγής και παροχής, αλλά πρωτίστως για το περιβάλλον. Δεδομένων λοιπόν όλων αυτών το πλεονεκτημάτων και των συνεχώς αυξανόμενων απαιτήσεων ηλεκτρικής ενέργειας ο συνδυασμός του SG και συστημάτων μέτρησης και παρακολούθησης κατανάλωσης ηλεκτρικής

ενέργειας μέσω του διαδικτύου μάλλον αποτελεί μονόδρομο για να καταστεί βιώσιμο το μέλλον της αγοράς ενέργειας.

Οι ιδέες των Smart Grid και Internet of Things έχουν συντελέσει στην δημιουργία ενός νέου όρου, του Internet of Energy [14]. Ουσιαστικά το IoE αποτελεί ένα εξειδικευμένο κλάδο και μία φυσική συνέχεια του IoT στον τομέα της ενέργειας και αναφέρεται στον εκσυγχρονισμό και την αυτοματοποίηση των υποδομών παραγωγής, μεταφοράς, διανομής και κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Όπως είναι προφανές το IoE συνδυάζει χαρακτηριστικά και πλεονεκτήματα των SG και IoT οδηγώντας στην βέλτιστη αξιοποίηση της ηλεκτρικής ενέργειας και μειώνοντας στο μικρότερο δυνατό ποσοστό τις απώλειες.

Για την εφαρμογή το IoE απαιτείται η δημιουργία ενός δικτύου από αισθητήρες ποικίλων εφαρμογών και χρήσεων όπως η παρακολούθηση παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας καθώς και η διαχείριση της ζήτησης της. Αξιοποιώντας τις IoT συσκευές των καταναλωτών και του δικτύου δίνεται η δυνατότητα για τη βέλτιστη διαχείριση της ηλεκτρικής ενέργειας. Ένα παράδειγμα εφαρμογής του IoE είναι μια οποιαδήποτε οικιακή συσκευή (θερμοσυσσωρευτής, πλυντήριο, στεγνωτήριο κλπ) συνδεδεμένη στο Διαδίκτυο η οποία θα τίθεται σε λειτουργία όταν υπάρχει διαθέσιμη ηλιακή ή αιολική ενέργεια στο Δίκτυο. Οι καταναλωτές θα μπορούν να εκμεταλλευτούν το IoE και να επιλέγουν να λειτουργούν τις συσκευές τους σε ώρες που προσφέρεται πιο οικονομική ηλεκτρική ενέργεια, αποφεύγοντας τις ώρες αιχμής, κάνοντας έτσι εξοικονόμηση χρημάτων αλλά και συμβάλλοντας στην αποσυμφόρηση του Δικτύου.

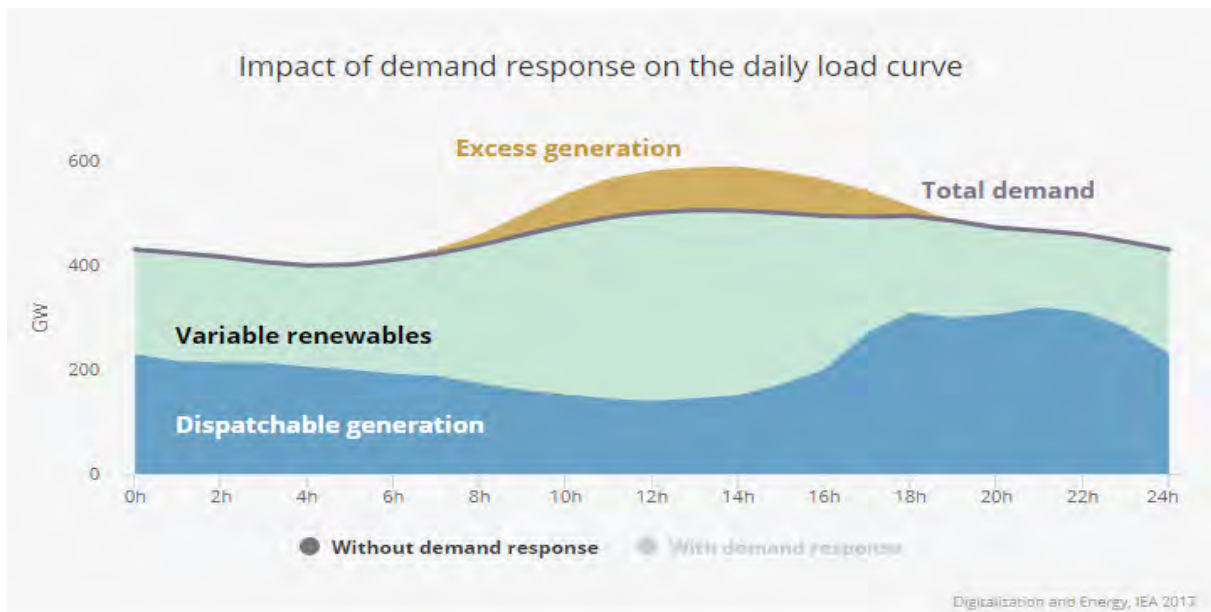
Πολλά σημερινά ΣΗΕ μαστίζονται από μεγάλες ενεργειακές απώλειες κατά τη μεταφορά και διανομή της ενέργειας, χρίζοντας εκσυγχρονισμού και ψηφιοποίησης. Επιπλέον παρατηρείται και σπατάλη ενέργειας τόσο από τις εταιρείες Ηλεκτρικής Ενέργειας όσο και από τους καταναλωτές. Ένα μεγάλο ποσοστό αυτής της πολύτιμης ενέργειας προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές, καθώς οι χώρες επενδύουν σε αυτές και παραβλέπουν την βελτίωση των δικτύων τους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η περίπτωση της Κίνας, η οποία το 2016 σύμφωνα με την Greenpeace σπατάλησε άσκοπα ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές ικανή να τροφοδοτήσει το Πεκίνο για έναν ολόκληρο χρόνο [15]. Επιπρόσθετα το IoE μπορεί εκτός από τη διαχείριση της παραγωγής και ζήτησης να συνδράμει στην εξάλειψη των blackouts. Σύμφωνα με την εκτελεστικό διευθυντή (Executive Director) του National Grid UK, Nicola Shaw το 30 με 50% των διακυμάνσεων του ηλεκτρικού

Δικτύου θα μπορούσαν να αποσοβήσουν από τους καταναλωτές προσαρμόζοντας τη ζήτηση τους σε ώρες αιχμής [16].

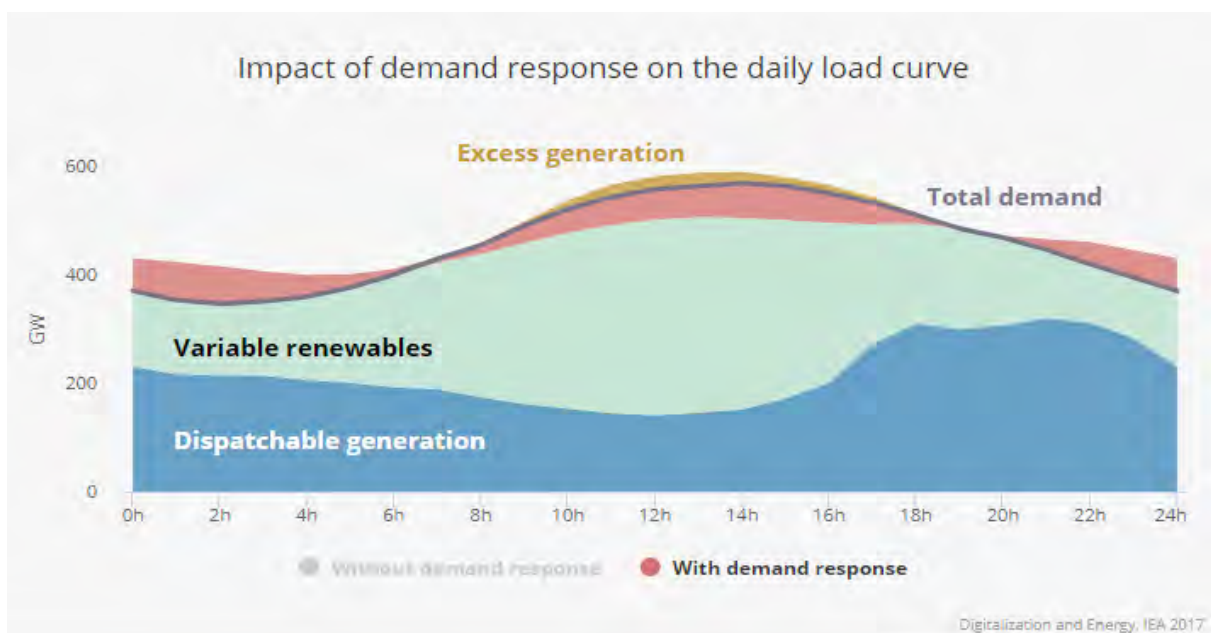
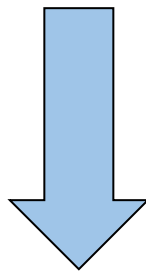
2.3.3 Βελτιστοποίηση Κατανάλωσης

Η δημιουργία έξυπνων δικτύων και χρήση έξυπνων συσκευών στο κλάδο της ενέργειας έχουν ως απώτερο σκοπό την βελτιστοποίηση της κατανάλωσης της, με στόχο την εξοικονόμηση κεφαλαίων και ενέργειας, καθώς και προστασία του περιβάλλοντος. Σύμφωνα με το IEA [17] η βελτιστοποίηση της διαχείρισης της ζήτησης θα μπορούσε να προσφέρει στο Δίκτυο ευελιξία της τάξης των 185 GW, ενέργεια τάξης μεγέθους της εγκατεστημένης δυνατότητας παραγωγής της Αυστραλίας και της Ιταλίας μαζί. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση έξυπνων συσκευών και αισθητήρων που διαθέτουν το κατάλληλο λογισμικό για την παρακολούθηση της κατανάλωσης και της βελτιστοποίησης της. Σε διαφορετική περίπτωση για την κάλυψη αυτών των 185 GW θα έπρεπε να δαπανηθούν περίπου 270 δισεκατομμύρια USD κάτι που φαντάζει άκρως αντίθετο με την βελτίωση της κατανάλωσης ενέργειας καθώς και υπερβολικά δαπανηρό. Η βελτιστοποίηση της κατανάλωσης συνδέεται άρρηκτα και με το ποιόν της ενέργειας που καταναλώνεται. Η ψηφιοποίηση μπορεί να συμβάλει στην αύξηση του ποσοστού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές δίνοντας τη δυνατότητα στα Δίκτυα να ενσωματώσουν και να διαχειριστούν καλύτερα την ζήτηση ενέργειας σε περιόδους με ευνοϊκές συνθήκες (ηλιοφάνεια, άνεμος κλπ).

Στα Σχήματα 4 και 5 που ακολουθούν, παρατηρείται ο αντίκτυπος διαχείρισης της ζήτησης στην καθημερινή καμπύλη φορτίου του Δικτύου. Στο Σχήμα 4 όπου δεν υπάρχει διαχείριση της ζήτησης (demand response) χαρακτηριστική είναι η παραγωγή πλεονάζουσας ενέργειας η οποία δεν αξιοποιείται και αποτελεί απώλεια ενέργειας του δικτύου (excess generation). Η θετική επίδραση της διαχείρισης της ζήτησης (demand response) απεικονίζεται στο Σχήμα 5 όπου σε αυτό το σενάριο ελαχιστοποιούνται οι απώλειες ενέργειας και γίνεται μια εξισορρόπηση της ζήτησης και της παραγωγής του δικτύου όπως φαίνεται στην καινούρια γραμμή της συνολικής ζήτησης (total demand) η οποία μετατοπίζεται κατάλληλα για την μείωση του πλεονάσματος παραγωγής ενέργειας.



Σχήμα 4: Καμπύλη ζήτησης – φορτίου. [17]



Σχήμα 5: Καμπύλη ζήτησης - φορτίου με έξυπνη διαχείριση. [17]

2.4 Σημασία Ανάπτυξης Συστημάτων Μέτρησης και Παρακολούθησης Κατανάλωσης Ηλεκτρικής Ενέργειας

Συνδεδειγμένος κρίκος των Έξυπνων Δικτύων με την βέλτιστη αξιοποίηση και εξοικονόμηση της ηλεκτρικής ενέργειας, από την πλευρά του καταναλωτή, μπορεί να αποτελέσει η δημιουργία ενός συστήματος μέτρησης και παρακολούθησης της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Μέσω ενός τέτοιου συστήματος ο καταναλωτής θα έχει τον πλήρη έλεγχο της ενέργειας που χρησιμοποιεί συνολικά κάθε δεδομένη στιγμή αλλά και των επιμέρους συσκευών που την καταναλώνουν. Θα μπορεί να βρίσκει την ενέργεια που καταναλώνει καθώς και μέσω της παρακολούθησης των στοιχείων του να εκμεταλλεύεται προς όφελος του τις περιόδους όπου η ηλεκτρική ενέργεια είναι πιο οικονομική, εξοικονομώντας έτσι χρήματα αλλά και συμβάλλοντας πιθανότατα στην αποσυμφόρηση και σταθεροποίηση του Δικτύου σε ώρες αιχμής (Demand Response). Επίσης ένα τέτοιο σύστημα έχει τη δυνατότητα να μετράει τα βασικά ηλεκτρικά μεγέθη με ακρίβεια και να αξιοποιεί αυτές τις μετρήσεις για τον υπολογισμό διαφόρων άλλων ηλεκτρικών μεγεθών της εγκατάστασης στην οποία βρίσκεται και παρακολουθεί. Το σύστημα επιπλέον θα μετατρέπει τις μετρήσεις που θα πραγματοποιεί σε ψηφιακά δεδομένα, πλήρως διαχειρίσιμα και έτοιμα για αξιοποίηση. Για να καθιστούν όλα αυτά δυνατά, το σύστημα θα πρέπει να διαθέτει τόσο το απαραίτητο υλικό μέρος όσο και το απαραίτητο λογισμικό αλλά και να βασίζεται στην τεχνολογία του IoT για να καταστεί ένα σύστημα που αξιοποιεί πλήρως τη δυνατότητα ζεύξης ηλεκτρικής ενέργειας και διαδικτύου αλλά και την επιστήμη των BD καθώς συλλέγει, αποθηκεύει και διαχειρίζεται μεγάλο όγκο δεδομένων.

3. Υλικό (Hardware) για το ARMS

Το Arduino είναι η πιο διαδεδομένη πλατφόρμα ανοιχτού κώδικα που χρησιμοποιείται ως επί το πλείστον σε ηλεκτρονικά πρότζεκτ, συνδυάζοντας hardware και software. Έχει μια ευρεία γκάμα καινοτόμων εφαρμογών από τον κλάδο του IoT ως και εργαλεία εκπαίδευσης τύπου STEM/STEAM [18]. Το υλικό του Arduino αποτελείται από ένα μικροελεγκτή Atmel AVR τοποθετημένο σε μια μητρική πλακέτα η οποία είναι εξοπλισμένη κατάλληλα για τις ανάγκες του συστήματος και τη διασύνδεσή του με άλλα κυκλώματα. Ο κύριος λόγος της επιτυχίας του Arduino είναι ο εύκολος τρόπος προγραμματισμού του, που γίνεται μέσω του προγράμματος Arduino IDE και τη χρήση ενός καλωδίου USB για την μεταφορά του κώδικα από τον υπολογιστή απευθείας στη πλακέτα, σε αντίθεση με άλλες πλατφόρμες που απαιτούν την χρήση επιπλέον εξοπλισμού.

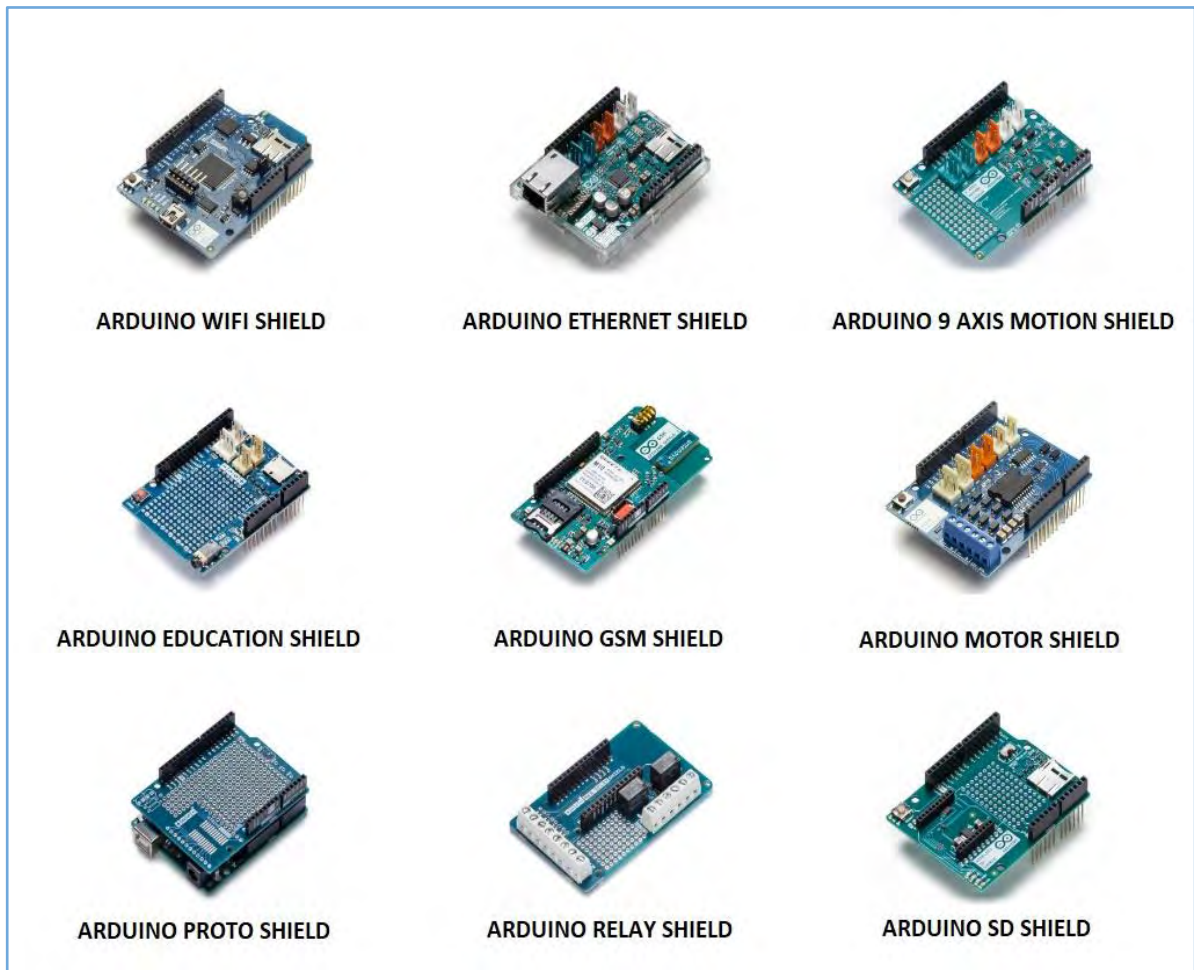
Στις αρχές του 2000 ένα ερευνητικό έργο στο Ινστιτούτο Σχεδίασης και Αλληλεπίδρασης στην Ιβρέα της Ιταλίας με πρωτεργάτες τους Massimo Banzi, David Cuartielles, Tom Igoe, Gianluca Martino και David Mellis αποτέλεσε την αφετηρία της δημιουργίας του Arduino. Το 2005, η πρώτη πλακέτα Arduino έκανε την εμφάνιση της με σκοπό να βοηθήσει άτομα με μηδενική εμπειρία στους τομείς της ηλεκτρονικής και του προγραμματισμού μικροελεγκτών στα πρώτα τους βήματα [18]. Έκτοτε μέσω της συνεχούς ανάπτυξης της πλατφόρμας και την εισαγωγή νέων δυνατοτήτων, εφαρμογές του Arduino συνεχίζουν να καινοτομούν και να το καθιστούν πρωταγωνιστή στη κοινότητα της ηλεκτρονικής,

Η πλατφόρμα του Arduino προσφέρει μια πληθώρα πλακετών, όπου κάθε μία έχει τα δικά της χαρακτηριστικά και δυνατότητες, δίνοντας σε κάποιον τη ευελιξία να επιλέξει την βέλτιστη για την ανάπτυξη του πρότζεκτ του. Στον παρόν πρότζεκτ ARMS επιλέχθηκε το μοντέλο Arduino Uno REV3 και οι λόγοι επιλογής και τα χαρακτηριστικά του θα αναλυθούν στην συνέχεια της εργασίας. Κάθε πλακέτα είναι πλήρως λειτουργική και εξοπλισμένη με το κατάλληλο υλικό στο οποίο όμως παρουσιάζονται διαφορές ανάλογα με το μοντέλο. Πέραν του μεγέθους της κάθε πλακέτας, συναντώνται διαφορές στον μικροελεγκτή και τη συχνότητά του, στις τάσεις λειτουργίας και εισόδου, στην μνήμη και στον αριθμό συνδέσμων εισόδου/εξόδου. Στο Σχήμα 6 απεικονίζονται τα πιο διαδεδομένα μοντέλα Arduino.



Σχήμα 6: Ορισμένα από τα πιο διαδεδομένα μοντέλα Arduino.

Επιπλέον δυνατότητες στη πλατφόρμα του Arduino προσφέρονται μέσω ειδικών επεκτάσεων, γνωστά και ως Arduino Shields, τα οποία προσδίδουν χαρακτηριστικά όπως η σύνδεση στο διαδίκτυο, ασύρματη επικοινωνία, αποθηκευτικό χώρο, ενδείξεις μέσω οθόνης και πολλά άλλα, ανάλογα με τις απαιτήσεις του κάθε πρότζεκτ. Στο παρόν πρότζεκτ ARMS επιλέχθηκε Ethernet επέκταση για τη σύνδεση και αποστολή δεδομένων στο διαδίκτυο και οι λόγοι επιλογής και τα χαρακτηριστικά της θα αναλυθούν στην συνέχεια της εργασίας. Οι επεκτάσεις αυτές είναι πλακέτες σχεδιασμένες με τα πρότυπα του Arduino και εφαρμόζουν πάνω στο εκάστοτε μοντέλο, χρησιμοποιώντας τις απαραίτητες συνδέσεις για την λειτουργία τους. Στο Σχήμα 7 απεικονίζονται το πιο διαδεδομένα Arduino Shields.



Σχήμα 7: Ορισμένα από τα πιο διαδεδομένα μοντέλα Arduino Shields.

3.1 Arduino Uno REV3

Το Arduino Uno REV3 αποτελεί τη βασική πλακέτα ανάπτυξης του ARMS και επιλέχθηκε χάρη στις δυνατότητες που προσφέρει για το ξεκίνημα ενός πρότζεκτ. Συγκεκριμένα διαθέτει τον μικροελεγκτή ATmega328P με ρολόι χρονισμένο στα 16 MHz, 14 ψηφιακούς ακροδέκτες εισόδου-εξόδου, 6 αναλογικές εισόδους, σύνδεση USB για μεταφορά δεδομένων και τροφοδοσία, ανεξάρτητο βύσμα τροφοδοσίας και άλλα. Με λίγα λόγια, περιέχει όλα τα απαραίτητα στοιχεία για την υποστήριξη, τον προγραμματισμό και τη λειτουργία του μικροελεγκτή μέσω μιας απλής σύνδεσης USB με έναν υπολογιστή [19]. Αναλυτική περιγραφή των τεχνικών χαρακτηριστικών του παρουσιάζεται στο παρακάτω Σχήμα 8.

Microcontroller	ATmega328P
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
PWM Digital I/O Pins	6
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328P) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Clock Speed	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Length	68.6 mm
Width	53.4 mm
Weight	25 g

Σχήμα 8: Περιγραφή τεχνικών χαρακτηριστικών του Arduino Uno REV3. [19]

Για την κατανόηση των λειτουργιών του Arduino Uno REV3 χρήσιμη είναι η επεξήγηση των επιμέρους δομικών στοιχείων που εμφανίζονται στην πλακέτα, τα οποία απεικονίζονται στο Σχήμα 9. Η τροφοδοσία του γίνεται με τρεις τρόπους. Είτε μέσω της θύρας USB (1), είτε από το βύσμα τροφοδοσίας (2) αλλά και από τις υποδοχές Vin και GND με πηγή για παράδειγμα μια μπαταρία. Οι υποδοχές του Uno REV3 χωρίζονται, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 9 που παρουσιάζεται η πλακέτα του, σε επιμέρους κατηγορίες (POWER, DIGITAL, PWM, ANALOG IN, AREF, RESET) ανάλογα με τις λειτουργίες τους. Υπάρχει και το κουμπί reset (3) της πλακέτας το οποίο όταν πατηθεί επανεκκινεί το Arduino, τρέχοντας στη συνέχεια

τον κώδικα από την αρχή. Επιπλέον υπάρχουν δίοδοι LED που υποδεικνύουν διαφορές λειτουργίες της πλακέτας, όπως για παράδειγμα το ON LED για την υπόδειξη τροφοδοσίας της πλακέτας.

Οι υποδοχές POWER είναι:

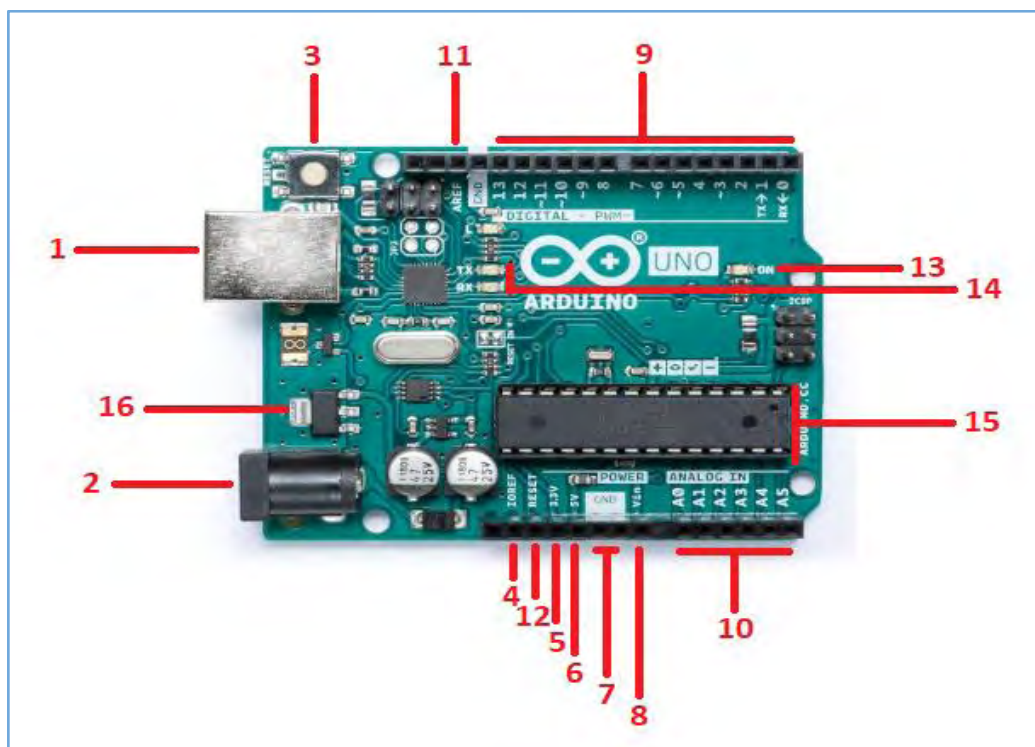
- ❖ IOREF (4): Ακροδέκτης παροχής της τάσης αναφοράς λειτουργίας του μικροελεγκτή.
- ❖ 3.3V (5): Ακροδέκτης παροχής τάσης εξόδου στα 3.3 Volts.
- ❖ 5V (6): Ακροδέκτης παροχής τάσης εξόδου στα 5 Volts.
- ❖ GND (7): Ακροδέκτες γείωσης.
- ❖ Vin (8): Υποδοχή τάσης εισόδου για εξωτερική πηγή τροφοδοσίας.

Οι ψηφιακοί ακροδέκτες του Arduino, με την επιγραφή DIGITAL (9), χρησιμοποιούνται τόσο ως είσοδοι όσο και ως έξοδοι με ονομαστικές τιμές τάσης και εξόδου τα 5 Volts και 20 - 40 mA αντίστοιχα για την προστασία και ομαλή λειτουργία του μικροελεγκτή. Ορισμένοι από αυτούς τους ακροδέκτες έχουν εξειδικευμένες λειτουργίες. Αναλυτικά:

- ❖ PWM: Οι ακροδέκτες 3, 5, 6, 9, 10, 11 με την (~) χρησιμοποιούνται ως κανονικοί ψηφιακοί ακροδέκτες, αλλά και για PWM. Ουσιαστικά προσομοιάζουν αναλογικές εξόδους του Arduino.
- ❖ Serial: Οι σειριακοί ακροδέκτες 0 (RX - Receive) και 1 (TX - Transmit) χρησιμοποιούνται για λήψη και αποστολή σειριακών δεδομένων TTL αντίστοιχα.
- ❖ External Interrupts: Οι ακροδέκτες 2 και 3 μπορούν να ρυθμιστούν ώστε να είναι αποκλειστικά είσοδοι οι οποίες διακόπτουν την ροή του προγράμματος και καλούν κάποια προκαθορισμένη συνάρτηση μετά από κάποιο συγκεκριμένο ερέθισμα.
- ❖ SPI: 10, 11, 12 και 13 υποστηρίζουν SPI επικοινωνία μέσω της βιβλιοθήκης SPI.

Οι αναλογικοί ακροδέκτες του Arduino βρίσκονται στη πλακέτα απέναντι από τους ψηφιακούς και έχουν την ένδειξη από A0 έως A5 στην περιοχή ANALOG IN (10). Δέχονται εισόδους σε ένα εύρος τιμών 0 με 5 Volts, διαβάζουν το σήμα και το μετατρέπουν σε ψηφιακό αριθμό των 10 bits, ο οποίος μπορεί να παραστήσει $2^{10} =$

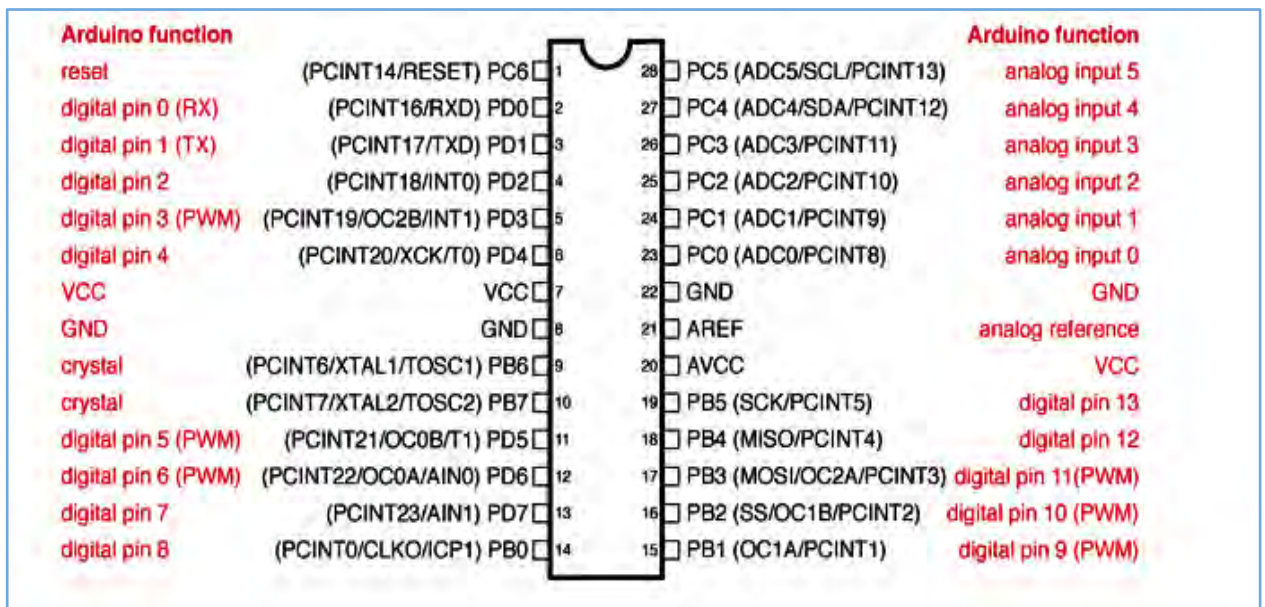
1024 διαφορετικές τιμές, δηλαδή από 0 έως και 1023. Με τους αναλογικούς ακροδέκτες σχετίζεται και ο ακροδέκτης AREF (11) δηλαδή Analog Reference μέσω του οποίου μπορεί να καθοριστεί από το χρήστη ένα άνω όριο τάσης με τιμή από 0 έως 5 Volts για τις αναλογικές εισόδους. Τέλος ο ακροδέκτης RESET (12) με τη σύνδεσή του στη γείωση χρησιμεύει για την επανεκκίνηση του μικροελεγκτή αλλά μπορούμε να τον χρησιμοποιήσουμε και για την επανεκκίνηση κάποιας επέκτασης (Shield).



Σχήμα 9: Μέρη πλακέτας του Arduino UNO Rev3.

Πάνω στην πλακέτα του Arduino βρίσκονται και φωτεινές ενδείξεις LED που υποδεικνύουν πληροφορίες για την λειτουργία της ανάλογα με τον αν είναι ανοιχτά ή όχι. Το LED με την επιγραφή ON (13) είναι η λυχνία ένδειξης τροφοδοσίας ρεύματος, η οποία πρέπει να ανάβει κάθε φορά που το Arduino συνδέεται σε μια πηγή ρεύματος. Σε περίπτωση που ενώ υπάρχει τροφοδοσία και δεν είναι φωτεινή η ένδειξη ON τότε υπάρχει κάποιο πρόβλημα και θα πρέπει να γίνει έλεγχος της συσκευής και του κυκλώματος. Δύο ακόμα LEDs που βρίσκονται στο Arduino είναι τα TX και RX (14), τα οποία υποδηλώνουν πότε μεταδίδονται (Transmit) και πότε λαμβάνονται (Receive) δεδομένα με σειριακή επικοινωνία.

Δύο σημαντικά κομμάτια στο παζλ της πλακέτας του Arduino είναι ο μικροελεγκτής του (15) και ο Ρυθμιστής Τάσης (16). Ο μικροελεγκτής ATmega328P αποτελεί τον εγκέφαλο του συστήματος. Είναι ένας μικροελεγκτής CMOS των 8-bits που συνδυάζει υψηλές επιδόσεις και μικρή κατανάλωση, ανήκει στην οικογένεια AVR της ATMEL και σχεδιάστηκε με μια βελτιωμένη έκδοση της αρχιτεκτονικής RISC. Διαθέτει τρία είδη μνήμης, την Flash Memory, την SRAM και την EEPROM. Η μνήμη Flash είναι 32KB από αυτά τα 2KB είναι για το firmware του Arduino και τα υπόλοιπα 30KB για αποθήκευση προγραμμάτων. Η μνήμη SRAM είναι 2KB και η EEPROM 1KB. Το δεύτερο ζωτικής σημασίας στοιχείο για το ασφάλεια και σωστή λειτουργία του Arduino είναι ο ρυθμιστής τάσης, ο οποίος διασφαλίζει ότι δε θα περάσει στη πλακέτα τάση ικανή για να τη βλάψει. Ωστόσο χρήζει προσοχής από τη πλευρά του χρήστη του συστήματος να μην παρέμβει στον ρυθμιστή τάσης αλλά και να μην ξεπεράσει το όριο των 20 Volts στην είσοδο του Arduino.



Σχήμα 10: Χαρτογράφηση ακροδεκτών μικροελεγκτή ATmega328P. [19]

Παρατηρώντας το Σχήμα 10, όπου παρουσιάζεται η χαρτογράφηση των ακροδεκτών του μικροελεγκτή ATmega328P, γίνεται κατανοητό πως η υπόλοιπη πλακέτα του Arduino UNO Rev3 έχει υποστηρικτικό ρόλο και είναι άρτια σχεδιασμένη για την πλήρη και βέλτιστη αξιοποίηση των δυνατοτήτων του μικροελεγκτή, καθώς κάθε ακροδέκτης του ATmega328P αντιστοιχεί σε έναν ακροδέκτη της πλακέτας. Συνεπώς η πλακέτα παρέχει τις κατάλληλες συνδέσεις

ανάμεσα στον μικροελεγκτή και τους ακροδέκτες καθώς και τις απαραίτητες ενδείξεις και θύρες, προκειμένου ο χρήστης να έχει μια εύκολη διεπαφή με το κύκλωμα.

3.2 Ethernet Shield W5100

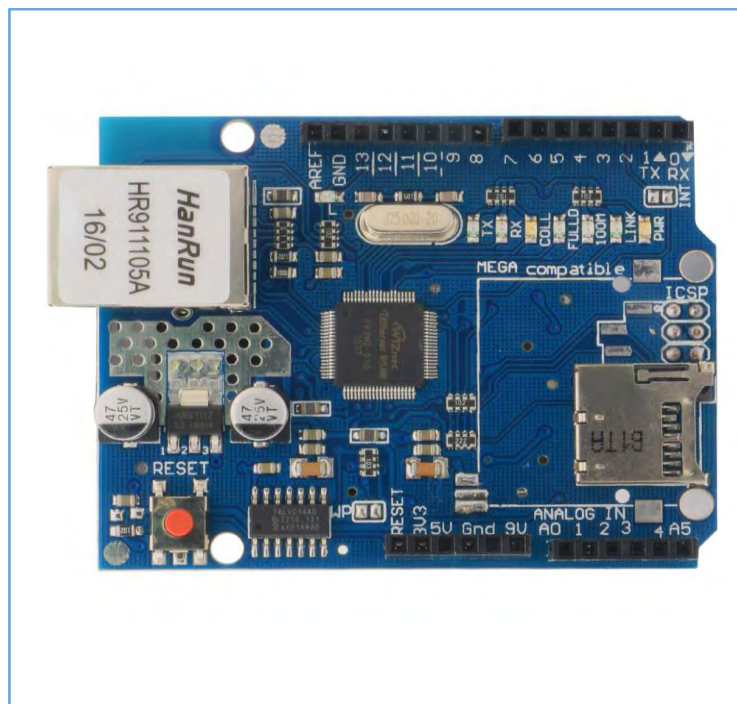
Για την λειτουργία του συστήματος και την διαχείριση των δεδομένων που προκύπτουν από τις μετρήσεις, απαιτείται η σύνδεση του Arduino και του μετρητή με το διαδίκτυο προκειμένου να καταστεί δυνατή η μεταφορά των δεδομένων και η απομακρυσμένη παρακολούθηση των στοιχείων αυτών από το χρήστη. Για την επίτευξη αυτών των στόχων χρησιμοποιείται η επέκταση Ethernet Shield W5100, η οποία η είναι κατασκευασμένη ώστε να ταιριάζει ακριβώς με την πλακέτα Arduino UNO και η σύνδεση των δύο γίνεται με τοποθέτηση της επέκτασης πάνω στην κεντρική πλακέτα. Η εύκολη και γρήγορη σύνδεση του με το Arduino, αλλά και η πληθώρα δυνατοτήτων και εφαρμογών του παρέχει οδηγό στην επιλογή του για την κάλυψη των αναγκών του ARMS.

Το Ethernet Shield W5100, καθώς αποτελεί μια επέκταση του Arduino, για να λειτουργεί πρέπει να βρίσκεται πάντα συνδεδεμένο σε αυτό, διότι τόσο η τροφοδοσία του όσο και η μεταφορά δεδομένων πραγματοποιείται μέσω της σύνδεσής τους. Οι ακροδέκτες τους ταυτίζονται και όταν το Shield τοποθετηθεί πάνω στην κύρια πλακέτα ορισμένοι από τους ακροδέκτες του χρησιμοποιούνται για την διασύνδεση τους και οι υπόλοιποι αποτελούν επέκταση των ακροδεκτών του Arduino, προκειμένου να παραμείνουν πλήρως προσβάσιμες και αξιοποιήσιμες όλες οι υποδοχές του. Η καρδιά του Shield είναι το ολοκληρωμένο κύκλωμα Wiznet W5100, το οποίο αποτελεί έναν Ethernet μικροελεγκτή συμβατό με τα TCP/IP πρωτόκολλα: TCP, UDP, ICMP, IPv4 ARP, IGMP, PPPoE, Ethernet. Είναι βασισμένο στη αρχιτεκτονική CMOS μεγέθους 0.18μm και προσφέρει ταχύτητες σύνδεσης 10/100 Mbps [20]. Η υπόλοιπη πλακέτα της επέκτασης και τα μέρη της έχουν χτιστεί γύρω από τον μικροελεγκτή αυτό, εξυπηρετώντας τις ανάγκες λειτουργίας του και την άρτια διασύνδεσή του με το Arduino.

Στο Σχήμα 11 απεικονίζεται η επέκταση Ethernet Shield W5100 και κοιτώντας το σχεδιασμό της, γίνονται αντιληπτές οι ομοιότητες στη δομή της με αυτή

του Arduino UNO, καθώς επίσης διακρίνονται τα επιμέρους δομικά στοιχεία και οι υποδοχές της. Αναλυτικά:

- ❖ Wiznet W5100 (1): Ο μικροελεγκτής της επέκτασης Ethernet.
- ❖ Υποδοχή RJ45 (2): Υποδοχή καλωδίου με ακροδέκτη τύπου RJ45, μέσω της οποίας γίνεται η φυσική διασύνδεση με το δίκτυο.
- ❖ Υποδοχή SD-CARD (3): Υποδοχή κάρτας μνήμη τύπου SD για αποθήκευση δεδομένων.
- ❖ Κουμπί RESET (4): Κουμπί για την επανεκκίνηση του Shield.
- ❖ DIGITAL Pins (5): Οι ψηφιακοί ακροδέκτες της επέκτασης Ethernet οι οποίοι ταυτίζονται και έχουν ίδιες ιδιότητες με αυτούς του Arduino. Η επέκταση επικοινωνεί μέσω SPI με το Arduino αξιοποιώντας τους ακροδέκτες 10 έως 13 για από τον σκοπό. Μέσω του ακροδέκτη 10 γίνεται η ενεργοποίηση του W5100 και μέσω του 4 η ενεργοποίηση της SD-CARD. Οι υπόλοιποι ψηφιακοί ακροδέκτες αποτελούν επέκταση των ακροδεκτών του Arduino.



Σχήμα 11: Επέκταση Ethernet Shield W5100.

Οι υπόλοιποι ακροδέκτες αποτελούν επέκταση των αντίστοιχων ακροδεκτών του Arduino και τα στοιχεία που συνδέονται σε αυτούς δεν επηρεάζουν τη λειτουργία

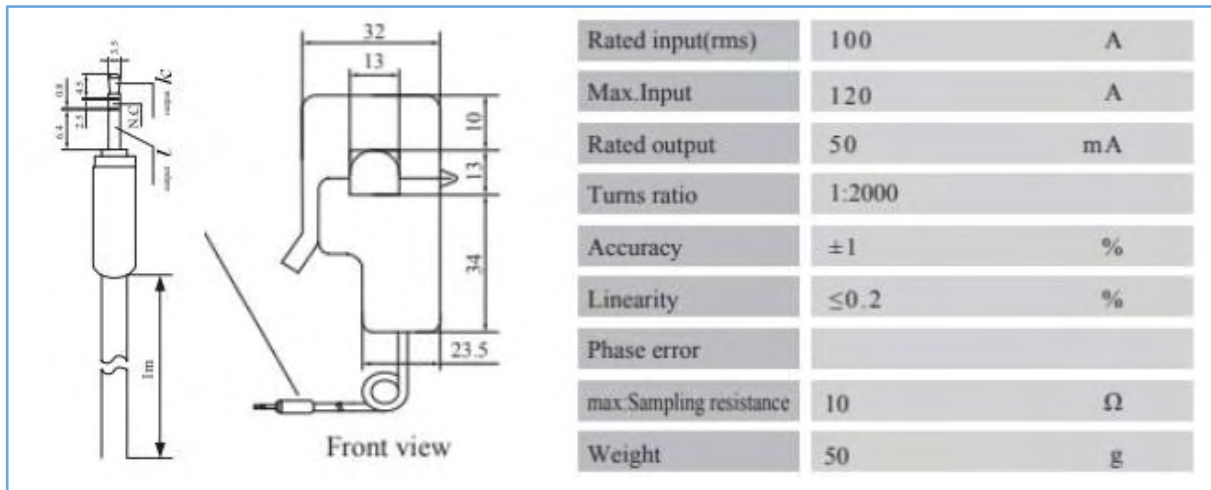
του Shield. Επιπλέον, πάνω στην Ethernet επέκταση βρίσκονται και φωτεινές ενδείξεις LED που υποδεικνύουν πληροφορίες για την λειτουργία της ανάλογα με τον αν είναι ανοιχτά ή όχι. Το LED με την ένδειξη TX αναβοσβήνει όταν το Shield αποστέλλει δεδομένα, ενώ αυτό με την ένδειξη RX όταν λαμβάνει δεδομένα. Το LED COLL ανάβει όταν το δίκτυο είναι απασχολημένο και υπάρχει σύγκρουση (COLLISION) δεδομένων σε αυτό, η ένδειξη FULLD υποδεικνύει την αμφίδρομη μεταφορά δεδομένων ανάμεσα στο Shield και το δίκτυο και το LED 100M μαρτυρά την ύπαρξη διασύνδεσης ταχύτητας 100Mbps. Τέλος, υπάρχουν ακόμα δύο λυχνίες, η LINK η οποία δείχνει την ύπαρξη σύνδεσης και αναβοσβήνει όταν υπάρχει ροή δεδομένων και η PWR που φωτίζει όσο υπάρχει τροφοδοσία στο Shield.

3.3 Αισθητήρας Ρεύματος SCT-013 100A

Ο αισθητήρας SCT-013 100A αποτελεί το εργαλείο των μετρήσεων του συστήματος ARMS και επιλέχθηκε διότι δεν απαιτείται παρέμβαση στο κύκλωμα της εγκατάστασης που θα γίνεται η μέτρηση καθώς απλά “αγκαλιάζει” το καλώδιο της παροχής ή επιστροφής του ρεύματος. Μετράει εναλλασσόμενο (AC) ρεύμα και λειτουργεί ως μετασχηματιστής, διαθέτοντας πρωτεύων, δευτερεύων τύλιγμα και έναν σιδηρομαγνητικό πυρήνα. Το καλώδιο μήκους 1 μέτρου το οποίο υπάρχει στον μετρητή αποτελεί τη συνέχεια του δευτερεύοντος τυλίγματος και καταλήγει σε ένα βύσμα τύπου audio jack διαμέτρου 3,5mm όπως διακρίνεται και στο Σχήμα 12. Ο αισθητήρας έχει την δυνατότητα να μέτρησης μέχρι 100A εναλλασσόμενου ρεύματος το οποίο εξάγεται στο βύσμα jack υποβαθμισμένο κατά 2000 φορές, για παράδειγμα μια μέτρηση 100A θα μετατραπεί σε ρεύμα 0,05A. Ο αισθητήρας SCT-013 100A [21] διαθέτει πυρήνα από φερρίτη, έχει συχνότητα λειτουργίας που κυμαίνεται από 50Hz ως 1KHz, με θερμοκρασία καλής λειτουργίας είχε ένα εύρος από -25°C μέχρι +70°C. Η λειτουργία του βασίζεται στις έννοιες του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, της επαγωγής και των μετασχηματιστών.

Ως ηλεκτρομαγνητικό πεδίο ορίζεται [22] ο συνδυασμός ενός ηλεκτρικού και ενός μαγνητικού πεδίου και παράγεται από ηλεκτρικά φορτισμένα σωματίδια. Επεκτείνεται σε όλο τον χώρο και επηρεάζει τη συμπεριφορά των φορτισμένων σωματιδίων που βρίσκονται εντός της εμβέλειάς του. Στην ουσία έχει δύο πηγές που

το δημιουργούν, όπου η μια είναι τα στάσιμα ηλεκτρικά φορτία που παράγουν το ηλεκτρικό πεδίο και η δεύτερη είναι η μετακίνηση των φορτίων αυτών που παράγει το μαγνητικό πεδίο. Με απλά λόγια το ΗΜΠ παράγεται από την κίνηση ηλεκτρικών φορτίων στο χώρο.



Σχήμα 12: Σχηματικό SCT-013 100A και πίνακας χαρακτηριστικών. [21]

Το σύνολο της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας είναι βασισμένο στις τέσσερις εξισώσεις του Maxwell, στην εξίσωση της αρχής διατήρησης του φορτίου και στην εξίσωση του Lorentz. Αναλυτικά οι εξισώσεις αυτές είναι [23]:

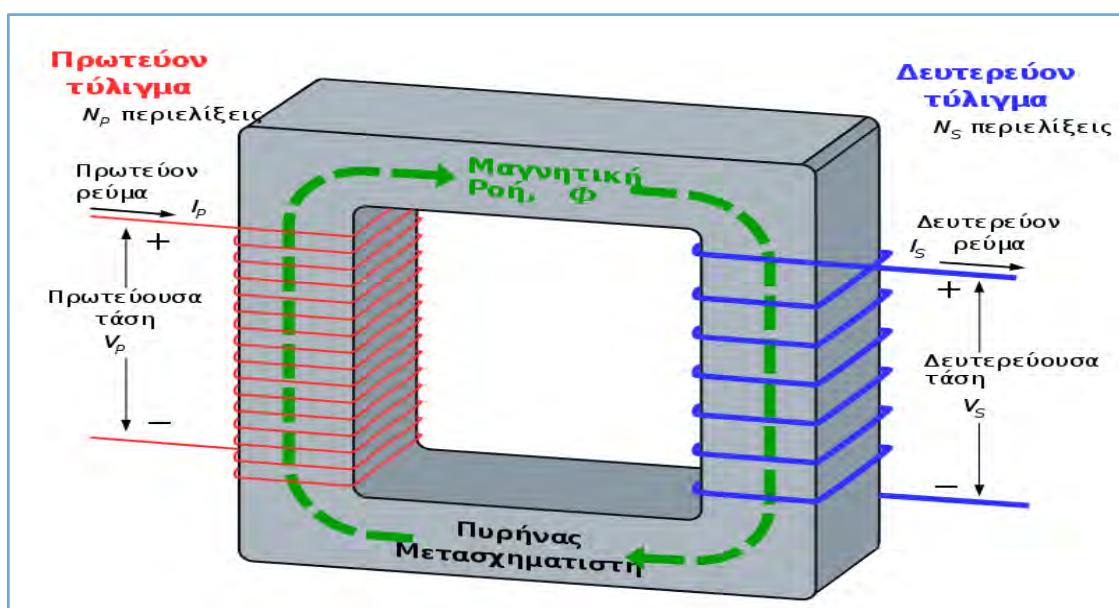
- ❖ Νόμος Gauss για την ηλεκτρική ροή: $\oint_S D \cdot ds = \int_V \rho \cdot dV$
- ❖ Νόμος Gauss για τη μαγνητική ροή: $\oint_S B \cdot ds = 0$
- ❖ Νόμος Faraday: $\oint_C E \cdot dl = -\frac{d}{dt} \int_S B \cdot ds$
- ❖ Νόμος Ampere: $\oint_C H \cdot dl = \int_S J \cdot ds + \frac{d}{dt} \int_S D \cdot ds$
- ❖ Εξίσωση διατήρησης του Ηλεκτρικού Φορτίου: $\oint_S J \cdot ds = -\frac{d}{dt} \int_V \rho \cdot dV$
- ❖ Εξίσωση Lorentz: $F = q \cdot (E + v \times B)$

Για την καλύτερη παρατήρηση των εξισώσεων έχουμε αναφορικά: “ ρ ” είναι η χωρική πυκνότητα του ηλεκτρικού φορτίου (σε μονάδες C), “ J ” είναι η επιφανειακή πυκνότητα ρεύματος (A/m^2), “ E ” είναι η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου (V/m), “ D ” είναι η πυκνότητα ηλεκτρικής ροής (C/m^2), “ H ” είναι η ένταση του μαγνητικού πεδίου

(H/m), “ B ” είναι η πυκνότητα μαγνητικής ροής ή η μαγνητική επαγωγή (Wb/m^2) και “ v ” είναι η ταχύτητα των φορτίων (m/sec). Προτού αναλυθεί η λειτουργία των μετασχηματιστών, προέχει η αναφορά στον Νόμο Επαγωγής του Faraday [24] οποίος ορίζει πως η επαγόμενη σε ένα κύκλωμα ΗΕΔ ισούται με το αρνητικό του ρυθμού μεταβολής της μαγνητικής ροής που διαπερνά το κύκλωμα. Ο ορισμός αυτός εκφράζεται και από τον τύπο:

$$\varepsilon = - \frac{d\Phi B}{dt}$$

Ο κάθε μετασχηματιστής, όπως και ο SCT-013 100A που χρησιμοποιείται στο σύστημα ARMS, αποτελείται από δύο τυλίγματα ηλεκτρικά απομονωμένα μεταξύ τους. Λόγο της μαγνητικής σύζευξης μεταξύ των τυλιγμάτων, η μεταβολή της μαγνητικής ροής του ενός, δηλαδή στο πρωτεύον επάγει ΗΕΔ στο άλλο τύλιγμα, το οποίο είναι το δευτερεύον, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 13. Για καλύτερη απόδοση του μετασχηματιστή, απαιτείται η μαγνητική ροή του πρωτεύοντος να καλύπτει το σύνολο του τυλιγματος του δευτερεύοντος. Ο πυρήνας του κατασκευάζεται από σιδηρομαγνητικά υλικά υψηλής διαπερατότητας και δεν αποτελεί για συμπαγή οντότητα, αλλά αποτελείται από πολλά ελάσματα κατάλληλου πάχους, προκειμένου να έχει μεγάλη μαγνητική σύζευξη και μικρές απώλειες [25]. Υπάρχουν δύο βασικά είδη μετασχηματιστών, οι μετασχηματιστές ανύψωσης όπου η επαγόμενη τάση του δευτερεύοντος είναι μεγαλύτερη από αυτή του πρωτεύοντος και οι μετασχηματιστές υποβιβασμού όπου συμβαίνει το αντίθετο.



Σχήμα 13: Υποδειγματικός μετασχηματιστής υποβιβασμού τάσης.

Οι μετασχηματιστές ανήκουν στην οικογένεια των ηλεκτρικών μηχανών και είναι από τις πιο αποδοτικές μηχανές, με τα μεγέθη τους και τις εφαρμογές τους να ποικίλουν. Κοιτώντας το Σχήμα 13 διακρίνονται τα διάφορα μέρη και χαρακτηριστικά ενός μετασχηματιστή. Με βάση το νόμος επαγωγής του Faraday προκύπτει ότι η τάση από επαγωγή στα άκρα του πρωτεύοντος τυλίγματος είναι $V_p = N_p \cdot \frac{d\Phi}{dt}$ και η τάση στο δευτερεύον τυλίγμα είναι $V_s = N_s \cdot \frac{d\Phi}{dt}$, Μέσω αυτό τον δύο εξισώσεων και της εξίσωσης ισχύος $P = I \cdot V$ προκύπτει πως η σχέση του λόγου των περιελίξεων των δύο τυλιγμάτων ισούται με τον λόγο των αντίστοιχων τάσεων και τον αντίστροφο λόγο των ρευμάτων τους. Δηλαδή: $\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p}$

Ο SCT-013 100A Σχήμα 14 λειτουργεί ως μετασχηματιστής υποβιβασμού ρεύματος, βασίζεται στις κύριες έννοιες των μετασχηματιστών και της επαγωγής αλλά και όπως ο κάθε μετασχηματιστής ρεύματος, απαιτεί την ύπαρξη μια αντίστασης φορτίου προκειμένου να κλείσει το δευτερεύον κύκλωμα του. Στο δευτερεύον τυλίγμα επάγεται ρεύμα λόγω του μαγνητικού πεδίου του πυρήνα του δημιουργείται από την ύπαρξη εναλλασσόμενου ρεύματος στο πρωτεύον τυλίγμα. Έχει λόγο μετασχηματισμού $\frac{I_s}{I_p}$, όπου μέγιστο I_s είναι 0,05A και μέγιστο I_p είναι 100A. Συνεπώς ο λόγος των τυλιγμάτων είναι $\frac{0.05}{100} = \frac{1}{2000}$, άρα για κάθε μία περιέλιξη στο πρωτεύον τυλίγμα υπάρχουν δύο χιλιάδες περιελίξεις στο δευτερεύον τυλίγμα, $N_s = 2000 \cdot N_p$.



Σχήμα 14: Μετρητής ρεύματος SCT-013 100A.

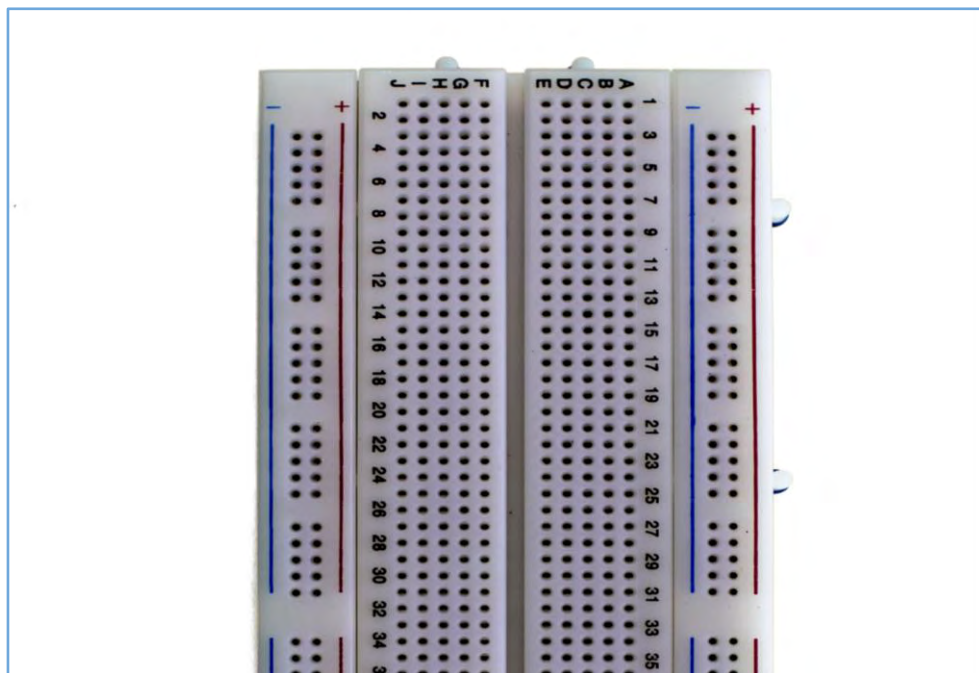
3.4 Επιπρόσθετα Μέρη του Κυκλώματος

Για την δημιουργία του συστήματος ARMS εκτός των βασικών του στοιχείων που είναι το Arduino Uno Rev3, το shield και ο αισθητήρας ρεύματος SCT-013 100A, απαιτούνται και ορισμένα επιπλέον υλικά που είναι αναγκαία για την διασύνδεση και συνύπαρξη όλων των επιμέρους στοιχείων του κυκλώματος. Αναφορικά για το χτίσιμο του συστήματος απαιτούνται μια πλακέτα διασύνδεσης χωρίς κολλήσεις - breadboard, ένα βύσμα τύπου jack διαμέτρου 3,5mm, διάφορες αντιστάσεις και πυκνωτές καθώς φυσικά και καλώδια τα οποία αποτελούν τις “αρτηρίες” του συστήματος και συντελούν στη μεταφορά της πληροφορίας και του ρεύματος σε όλο το μήκος του. Όλα αυτά μαζί συντελούν στην ύπαρξη του συστήματος ARMS, από την σκοπιά φυσικά του υλικού του μέρους. Στη συνέχεια του κεφαλαίου θα αναλυθούν όλα αυτά τα επιμέρους στοιχεία και τα χαρακτηριστικά τους.

Μια πλακέτα διασύνδεσης αποτελεί τη βάση για την άμεση και εύκολη δημιουργία ενός ηλεκτρονικού κυκλώματος, καθώς δεν απαιτείται επιπρόσθετος εξοπλισμός για κολλήσεις, δίνοντας επιπλέον και τη δυνατότητα για δοκιμές, πειραματισμούς και επαναχρησιμοποίηση της πλακέτας. Η χρήση της είναι πολύ απλή και εύχρηστη καθώς χρειάζεται απλά η τοποθέτηση των διαφόρων εξαρτημάτων του κυκλώματος στις οπές που βρίσκονται στην πλακέτα. Απαιτείται φυσικά η απαραίτητη μελέτη και σωστή σχεδίαση του κυκλώματος προτού γίνει η οποιαδήποτε απόπειρα λειτουργίας του, για την αποφυγή τυχόν βλαβών στα επιμέρους στοιχεία που το αποτελούν. Το εύρος των πρότζεκτ που μπορούν να κατασκευαστούν με βάση τις πλακέτες διασύνδεσης είναι πολύ μεγάλο και οι εφαρμογές ποικίλουν ανάλογα το μέγεθος, από πολύ μικρά όπως ένα κύκλωμα με μια λυχνία μέχρι και μεγάλα πρότζεκτ όπως για παράδειγμα ο συνδυασμός πολλών μικροελεγκτών και αισθητήρων για τη δημιουργία ενός έξυπνου σπιτιού, αλλά και στο είδος του κυκλώματος που μπορεί να είναι αναλογικό ή ψηφιακό.

Η πλακέτα διασυνδέσεων στη μορφή που είναι διαδεδομένη σήμερα και χρησιμοποιείται στο παρόν πρότζεκτ ARMS σχεδιάστηκε από τον Ronald J. Portugal το 1971 [26]. Στη μορφή αυτή, έχει ορθογώνιο σχήμα και όπως φαίνεται και στο Σχήμα 15 διαθέτει ισαπέχουσες οπές που δημιουργούν στην ουσία έναν δισδιάστατο πίνακα όπου η μία πλευρά του, η οριζόντια στο σχήμα, είναι αριθμημένη με λατινικούς χαρακτήρες (a, b, c και λοιπά) και η άλλη, η κάθετη στο

σχήμα, με αριθμούς (1, 2, 3 και λοιπά). Συνεπώς η κάθε οπή έχει μια και μοναδική θέση στον πίνακα αυτό (για παράδειγμα η οπή b6 συναντάται στη τομή των γραμμών b και 6). Επιπλέον παρατηρείται η ύπαρξη στηλών με τις ενδείξεις “ + ” και “ - ” που αποτελούν τους αγωγούς τροφοδοσίας της πλακέτας με τον. Όσον αφορά τη διασύνδεση των οπών, ομαδοποιούνται οριζόντια και διαχωρίζονται από την κάθετη εσοχή στη μέση της πλακέτας σε πεντάδες ανά γραμμή (a έως e και f έως j) και είναι ηλεκτρικά συνδεδεμένες με έναν μεταλλικό αγωγό ο οποίος συνδέει τους ακροδέκτες που βρίσκονται στην πεντάδα αυτή και αντικαθιστά τις κολλήσεις, με το χαρακτηριστικό αυτό να αποτελεί την αρχή λειτουργίας του breadboard και το βασικότερο πλεονέκτημα του. Στο κομμάτι της τροφοδοσίας της πλακέτας, υπάρχουν αγωγοί τροφοδοσίας και από τις δύο πλευρές της πλακέτας οι οποίοι είναι ανεξάρτητοι μεταξύ τους και προσφέρουν την δυνατότητα ύπαρξης διαφορετικών πηγών ανάλογα με τις ανάγκες του κυκλώματος. Οι οπές της κάθε στήλης τροφοδοσίας είναι ηλεκτρικά συνδεδεμένες κάθετα για μια απόσταση που καθορίζεται από τον εκάστοτε κατασκευαστή και το μέγεθος της. Συνεπώς το breadboard παρέχει όλα τα απαραίτητα στοιχεία και συνδέσεις για τη δημιουργία ενός κυκλώματος με εύκολο τρόπο, ελάχιστο κόστος και σε μειωμένο χρόνο, αποτελώντας την βέλτιστη επιλογή για την κατασκευή ενός μικροηλεκτρονικού πρότζεκτ όπως το ARMS.

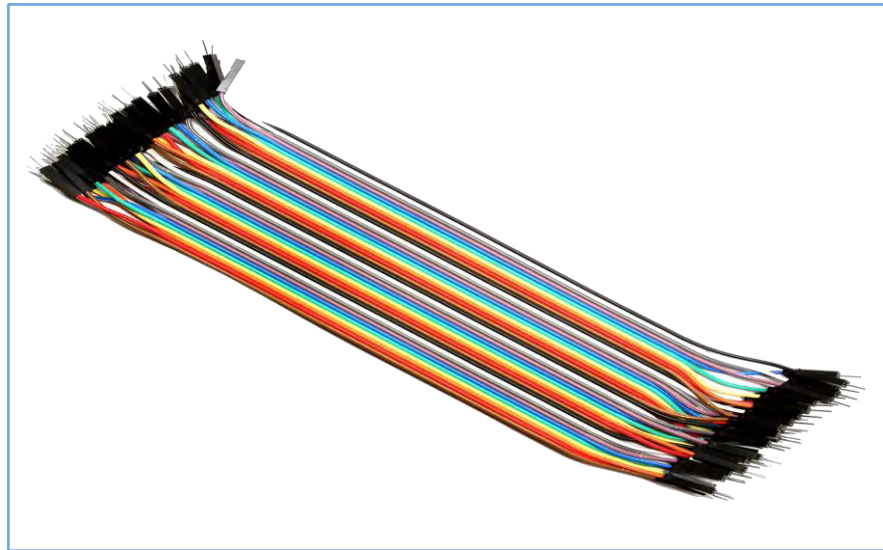


Σχήμα 15: Τυπική πλακέτα διασύνδεσης - breadboard.

Για την διασύνδεση των επιμέρους εξαρτημάτων του κυκλώματος, πέραν των διασυνδέσεων που προσφέρει το breadboard, απαιτείται και η χρήση καλωδίων (jump wires) τα οποία με τον σωστό σχεδιασμό του κυκλώματος εκμεταλλεύονται πλήρως τις δυνατότητες της πλακέτας διασύνδεσης. Τα jump wires είναι ηλεκτρικά καλώδια τα οποία, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 16, έχουν ενσωματωμένους ακροδέκτες για την ευκολία και άμεση σύνδεση με ένα breadboard αλλά και με τους ακροδέκτες ενός άλλου εξαρτήματος. Τα jump wires αποτελούν μια μεγάλη οικογένεια καλωδίων και εμφανίζονται σε διάφορες μορφές, καλύπτοντας μια μεγάλη ποικιλία συνδέσεων και αναγκών. Για το πρότζεκτ ARMS χρησιμοποιούνται τα καλώδια με “αρσενικούς” ή “θηλυκούς” στερεού τύπου ακροδέκτες, καθώς είναι τα κατάλληλα και πιο εύχρηστα για τις διασυνδέσεις που απαιτούνται.

Για ομαλή λειτουργία του κυκλώματος και την επιτυχή διασύνδεση του Arduino με τον αισθητήρα ρεύματος απαιτείται η χρήση ενός πυκνωτή. Ο πυκνωτής είναι ένα ηλεκτρονικό στοιχείο που αποθηκεύει ηλεκτρική ενέργεια σε μορφή ηλεκτρικών φορτίων. Η φυσική του υπόσταση αποτελείται από δύο “οπλισμούς”, αποτελούμενους από αγώγιμο υλικό, που διαχωρίζονται από ένα διηλεκτρικό υλικό. Όταν οι δύο οπλισμοί έχουν διαφορά δυναμικού αναπτύσσεται ηλεκτρικό πεδίο ανάμεσά τους και φορτίζονται με αντίθετα φορτία. Το στοιχείο που χαρακτηρίζει έναν πυκνωτή είναι η χωρητικότητά του η οποία εξαρτάται από το διηλεκτρικό υλικό και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του πυκνωτή και ορίζεται ως ο σταθερός λόγος του φορτίου προς την τάση μεταξύ των οπλισμών του. Συμβολίζεται με το γράμμα “C” που προκύπτει από την αγγλική ορολογία Capacity και έχει ως μονάδα μέτρησης το Farad (F) και στα μικροηλεκτρονικά κυκλώματα συναντιούνται οι υποδιαιρέσεις του, για παράδειγμα μF . Οι εφαρμογές των πυκνωτών ποικίλουν και εμφανίζονται σε μεγάλες εγκαταστάσεις με σκοπό για παράδειγμα την ρύθμιση του συντελεστή ισχύος, μέχρι και σε μικρά ηλεκτρονικά κυκλώματα για λειτουργίες όπως το φιλτράρισμα ηλεκτρικών σημάτων, όπως συμβαίνει και στο πρότζεκτ ARMS. Οι πυκνωτές χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με το αν παρουσιάζουν πολικότητα η όχι. Οι πυκνωτές με πολικότητα διαθέτουν ένα θετικό και έναν αρνητικό ακροδέκτη κάτι που καθιστά απαραίτητη την σωστή τοποθέτησή τους στο κύκλωμα με βάση τη πτώση τάσης στο κύκλωμα. Δύο από τους πιο διαδεδομένους τύπους πυκνωτών με πολικότητα είναι οι ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές και οι πυκνωτές ταλαντίου. Όσον αφορά την δεύτερη μεγάλη οικογένεια πυκνωτών, αυτούς χωρίς πολικότητα, δεν απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή κατά την σύνδεσή τους στο κύκλωμα

καθώς δεν υπάρχει κάποια διαφορά στους δύο ακροδέκτες και δύο τυπικά δείγματα αυτής της κατηγορίας είναι οι κεραμικοί και πολυεστέρα πυκνωτές,



Σχήμα 16: Καλώδια τύπου jump wires.

Στο πρότζεκτ ARMS χρησιμοποιούμε έναν ηλεκτρολυτικό πυκνωτή 10 μ F με πολικότητα, μέγιστη τάση λειτουργίας τα 16 Volts και μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας 105°C, ο οποίος λειτουργεί σαν ένα φίλτρο θορύβου και αποτελεί ένα μονοπάτι για να περάσει το ρεύμα παρακάμπτοντας την αντίσταση. Η μορφή ενός τέτοιου πυκνωτή απεικονίζεται στο Σχήμα 17 και παρατηρείται πως πάνω στο κέλυφος του εμφανίζονται διάφορες ενδείξεις οι οποίες είναι η χωρητικότητα και η τάση λειτουργίας του. Επίσης πάνω στο πυκνωτή υπάρχουν επισημάνσεις για την πολικότητα του, η οποία μπορεί να γίνει αντιληπτή και από το μήκος των δύο ακροδεκτών του. Ο ακροδέκτης με το μεγαλύτερο μήκος είναι ο θετικός και ο άλλος είναι ο αρνητικός.




Σχήμα 17: Τυπικός ηλεκτρολυτικός πυκνωτής.

Για την διασύνδεση του αισθητήρα ρεύματος με το Arduino, εκτός του πυκνωτή απαιτούνται και κάποιες αντιστάσεις. Οι αντιστάσεις είναι ηλεκτρονικά στοιχεία με μια συγκεκριμένη και αναλλοίωτη τιμή ηλεκτρικής αντίστασης την οποία εφαρμόζουν σαν στοιχείο σε ένα κύκλωμα και κύριο χαρακτηριστικό τους είναι ο περιορισμός της ροής ηλεκτρονίων. Αποτελούν παθητικά στοιχεία, πράγμα που σημαίνει πως μόνο καταναλώνουν ισχύ και συνήθως εμφανίζονται σε κυκλώματα με ενεργά στοιχεία, όπως για παράδειγμα ένας μικροελεγκτής. Στα κυκλώματα συναντώνται συνήθως σε δύο συνδεσμολογίες όπου η κάθε μια προσφέρει κάτι διαφορετικό στις ανάγκες του κυκλώματος. Η πρώτη συνδεσμολογία είναι οι αντιστάσεις σε σειρά, κάτι που συντελεί στην δημιουργία διαιρέτη τάσης και η δεύτερη είναι η παράλληλη σύνδεση των αντιστάσεων που δημιουργεί στην ουσία ένα διαιρέτη ρεύματος. Χαρακτηριστικό μέγεθος των αντιστάσεων είναι η ηλεκτρική αντίσταση που συμβολίζεται με το αγγλικό γράμμα “R” και μετριέται σε Ohms (συμβολισμός με το ελληνικό γράμμα “Ω”). Ένα απλό παράδειγμα για την ερμηνεία της ηλεκτρικής αντίστασης είναι πως αν υπάρχει αντίσταση 1Ω ανάμεσα σε δύο ακροδέκτες που παρουσιάζουν διαφορά δυναμικού 1V τότε την διαρρέει ρεύμα μεγέθους 1A. Για το πρότζεκτ ARMS ο ενδεικτικός τύπος αντιστάσεων είναι οι Through-hole αντιστάσεις οι οποίες είναι κατάλληλες για μικροηλεκτρονικά κυκλώματα “χτισμένα” σε breadboard. Μια τέτοια αντίσταση έχει δύο ακροδέκτες για άμεση σύνδεση σε breadboard, δεν έχει πολικότητα, σε αντίθεση με τον ηλεκτρολυτικό πυκνωτή, και στο κέλυφος του συναντώνται διάφορες χρωματισμένες λωρίδες οι οποίες μαρτυρούν το μέγεθος της ηλεκτρικής αντίστασης του και την απόκλιση που έχει η πραγματική τιμή από την εικονιζόμενη.


Color	Value	Multiplier	Tolerance
Black	0	$\times 10^0$	$\pm 20\%$
Brown	1	$\times 10^1$	$\pm 1\%$
Red	2	$\times 10^2$	$\pm 2\%$
Orange	3	$\times 10^3$	$\pm 3\%$
Yellow	4	$\times 10^4$	- 0, + 100%
Green	5	$\times 10^5$	$\pm 0.5\%$
Blue	6	$\times 10^6$	$\pm 0.25\%$
Violet	7	$\times 10^7$	$\pm 0.10\%$
Gray	8	$\times 10^8$	$\pm 0.05\%$
White	9	$\times 10^9$	$\pm 10\%$
Gold	–	$\times 10^{-1}$	$\pm 5\%$
Silver	–	$\times 10^{-2}$	$\pm 10\%$

4-band resistor



270 ohms $\pm 5\%$

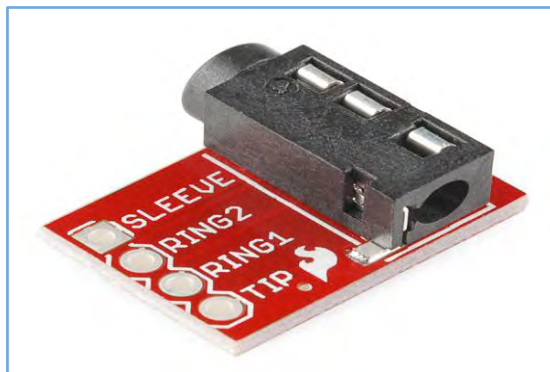
5-band resistor



100k ohms $\pm 1\%$

Σχήμα 18: Χρωματικός κατάλογος υπολογισμού αντιστατών και αντιστάτες.

Στο Σχήμα 18 εμφανίζονται στα αριστερά ο πίνακας υπολογισμού της ονομαστικής ηλεκτρικής αντίστασης και της απόκλισης ενός αντιστάτη, ενώ δεξιά βλέπουμε δύο παραδείγματα αντιστάσεων με διαφορετικό χρωματικό κώδικα. Στις αντιστάσεις με το χρωματικό κώδικα των 4 γραμμών (4-band resistors) οι γραμμές “διαβάζονται” από αριστερά προς τα δεξιά, με τις δύο πρώτες να παίρνουν τιμές από την στήλη Value δημιουργώντας έναν διψήφιο αριθμό, η τρίτη αποτελεί τη δύναμη του 10 με την οποία πολλαπλασιάζεται ο αριθμός αυτός και η τέταρτη γραμμή μαρτυρά την απόκλιση την τιμής της αντίστασης. Για παράδειγμα, για την αντίσταση πάνω και δεξιά στο Σχήμα 18 από τις δύο πρώτες γραμμές (όπου Red = 2 και Violet = 7) βγαίνει ο αριθμός 27, ο οποίος στη συνέχεια πολλαπλασιάζεται με τη δύναμη της τρίτης γραμμής (Brown = 10^1) και προκύπτει πως η συγκεκριμένη αντίσταση είναι 270Ω με απόκλιση ίση με 5% καθώς η τέταρτη γραμμή είναι Gold. Στην κατηγορία των αντιστάσεων με κώδικα 5 γραμμών (5-band resistors) η τιμή της αντίστασης προκύπτει με παρόμοιο τρόπο, με τη διαφορά να είναι πως ο αριθμός που βγαίνει από τη στήλη Value εξάγεται από τις τρεις πρώτες γραμμές, η τέταρτη είναι ο πολλαπλασιαστής και η πέμπτη η ανοχή.



Σχήμα 19: Βύσμα υποδοχής τύπου TRRS jack διαμέτρου 3.5mm.

Για την εύκολη διασύνδεση του μετρητή SCT-013 100A με το υπόλοιπο κύκλωμα, επιλέχθηκε η χρήση ενός βύσματος TRRS jack διαμέτρου 3.5mm που απεικονίζεται στο Σχήμα 19 για την αξιοποίηση της κατάληξης τύπου jack του καλωδίου του μετρητή, αποφεύγοντας την όποια παρέμβαση στο καλώδιο αλλά και δίνοντας την δυνατότητα εύκολης αντικατάστασης του μετρητή, χωρίς να απαιτείται χρονοβόρα διαδικασία επέμβαση στο κύκλωμα. Το TRRS jack είναι μια μορφή διασύνδεσης με τρεις αγωγούς και μια γείωση. Σε ορισμένες συσκευές η γείωση αξιοποιείται για άλλες λειτουργίες όπως για παράδειγμα μικρόφωνο σε ακουστικά.

Οι περιοχές στις οποίες χωρίζεται ένα τέτοιο βύσμα είναι, κοιτώντας από την μύτη του βύσματος προς τη βάση του, οι Tip, Ring1, Ring2 και Sleeve. Στην περίπτωση της διασύνδεσης του μετρητή αρκούν οι δύο ακριανές περιοχές (Tip και Sleeve) για να είναι πλήρως λειτουργικό το σύστημα.

Συνοψίζοντας όλα αυτά τα επιπρόσθετα μέρη του κυκλώματος, μπορεί μεμονωμένα να φαντάζουν αμελητέα και χωρίς κάποια ιδιαίτερη σημασία, κοιτώντας όμως την ευρύτερη εικόνα, είναι εμφανές πως η ύπαρξη όλων αυτών των στοιχείων καθιστά δυνατή τη διασύνδεση των βασικών μερών του συστήματος και όλα πλέον μαζί συντελούν στην δημιουργία, την ορθή και ασφαλή λειτουργία του πρότζεκτ ARMS. Αυτό θα γίνει καλύτερα κατανοητό στο Κεφάλαιο 5 όπου αναλύεται η υλοποίηση του υλικού μέρους του συστήματος.

4. Λογισμικό (Software) για το ARMS

Για το σύστημα ARMS πέραν του hardware, που αποτελεί την φυσική υπόσταση του πρότζεκτ, απαιτείται και η ύπαρξη του κατάλληλου λογισμικού και σωστού προγραμματισμού προκειμένου όλα τα φυσικά τμήματα του να λειτουργήσουν σαν ένα και να αποδώσουν τα επιθυμητά αποτελέσματα, πιο συγκεκριμένα τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Για την σωστή διαχείριση και την προβολή αυτών των αποτελεσμάτων, χρειάζεται η επεξεργασία των δεδομένων και η δημιουργία μιας ιστοσελίδας που θα αποτελεί μια πλατφόρμα διεπαφής του χρήστη με τα δεδομένα του συστήματος ARMS. Για την δημιουργία του λογισμικού μέρους του συστήματος και την επίτευξη των παραπάνω επιλέχθηκαν λογισμικά προγράμματα ελεύθερα και προσβάσιμα σε όλους.



Σχήμα 20: Λογότυπα Arduino, XAMPP και WordPress.

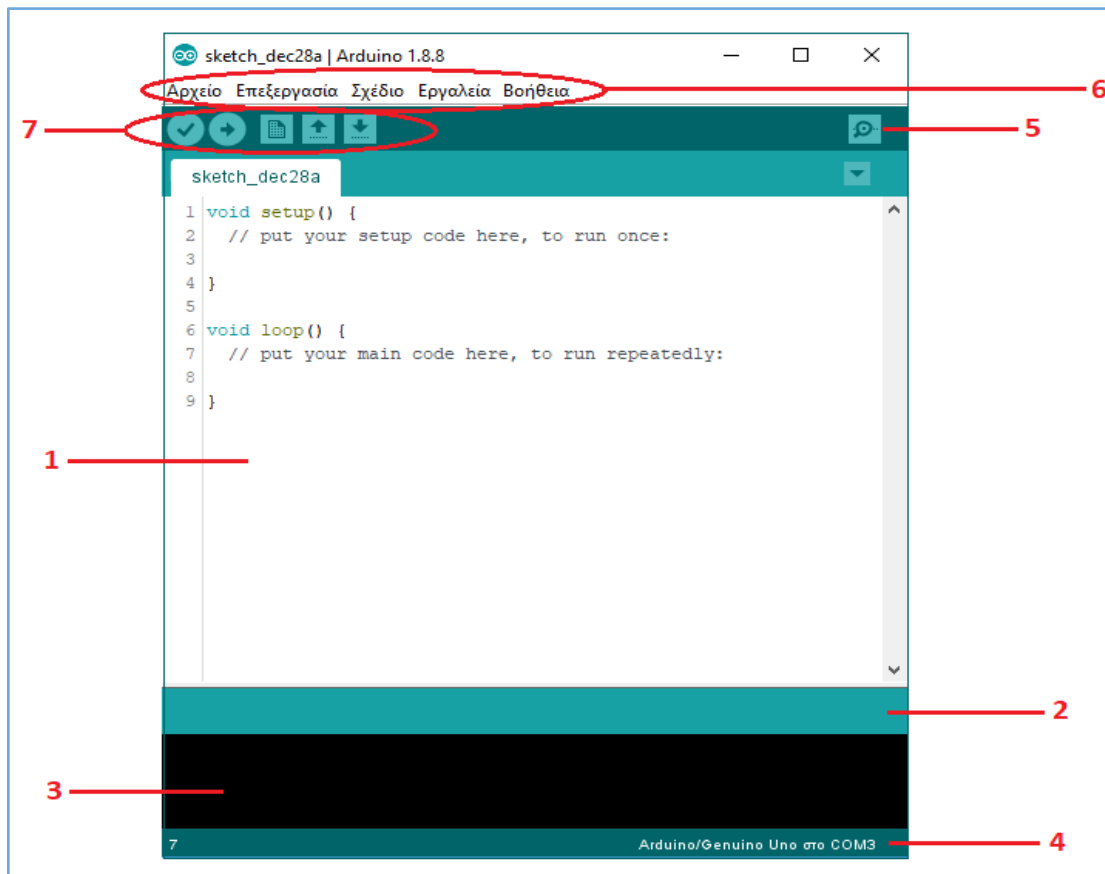
Για τον προγραμματισμό του Arduino UNO Rev3 και την επιτυχή διασύνδεση του με τα υπόλοιπα υλικά τμήματα, δηλαδή το Shield και τον μετρητή SCT-013 100A, η πλατφόρμα του Arduino παρέχει το περιβάλλον προγραμματισμού Arduino IDE που αποτελεί την καταλληλότερη επιλογή για την δημιουργία πρότζεκτ που περιλαμβάνουν μία πλακέτα Arduino. Για την δημιουργία της ιστοσελίδας που θα εξυπηρετεί τις ανάγκες του ARMS θα αξιοποιηθούν το λογισμικό ιστολογίου WordPress και το πακέτο προγραμμάτων ελεύθερου λογισμικού XAMPP, τα οποία καλύπτουν πλήρως τις απαιτήσεις του συστήματος και προσφέρουν όλο το απαραίτητο υλικό για την διασύνδεση της ιστοσελίδας με το υλικό κομμάτι του ARMS, αλλά δίνουν και την δυνατότητα των επιθυμητών παραμετροποιήσεων και μορφοποίησης καθώς είναι πλατφόρμες ανοιχτού κώδικα, τα λογότυπα τους απεικονίζονται στο Σχήμα 20.

4.1 Arduino Software IDE

Το Arduino IDE είναι ένα λογισμικό ανοιχτού κώδικα που προσφέρεται ελεύθερα από την πλατφόρμα του Arduino, είναι διαθέσιμο για τα λειτουργικά συστήματα Windows, Linux, Mac OS, καλύπτοντας τη συντριπτική πλειοψηφία των συσκευών και είναι χτισμένο στη γλώσσα προγραμματισμού Java. Αποτελεί ένα διαδραστικό περιβάλλον προγραμματισμού που διευκολύνει την σύνταξη κώδικα και την μεταφόρτωση του σε μια πλακέτα Arduino, βοηθώντας και χρήστες με μικρή εμπειρία στον κλάδο του προγραμματισμού. Καλύπτει όλες τις πλακέτες και για την δημιουργία και το “ανέβασμα” του επιθυμητού κάθε φορά κώδικα αρκεί απλά ένας υπολογιστής με εγκατεστημένο το περιβάλλον Arduino IDE και μια απλή σύνδεση του υπολογιστή και της πλακέτας με ένα καλώδιο USB. Φυσικά η πλατφόρμα δίνει και τη δυνατότητα αμφίδρομης επικοινωνίας μεταξύ της πλακέτας και του υπολογιστή - χρήστη καθώς μέσω αυτής ο χρήστης προγραμματίζει και το Arduino του “απαντά” με την αποστολή διαφόρων στοιχείων στον υπολογιστή.

Με τη πρώτη ματιά, διακρίνονται στο Arduino IDE στο Σχήμα 21 περιοχές με συγκεκριμένες λειτουργίες. Η πλατφόρμα περιλαμβάνει έναν κειμενογράφο, στον οποίο ο χρήστης μπορεί να συντάξει το πρόγραμμα που επιθυμεί στις γλώσσες προγραμματισμού C ή C++, μια περιοχή μηνυμάτων από το λογισμικό προς το χρήστη, μια κονσόλα, ένα μενού καθώς και μια γραμμή εργαλείων με ποικίλες επιλογές που εξυπηρετούν στην διαδραστικότητα του περιβάλλοντος χρήστη [27]. Τα προγράμματα που δημιουργούνται στον κειμενογράφο (1) ονομάζονται sketches και είναι ειδικά αρχεία για την πλατφόρμα του Arduino με κατάληξη .ino. Παρέχει στον χρήστη πολλές δυνατότητες και εργαλεία όπως για παράδειγμα η αναζήτηση και η αντικατάσταση ενός τμήματος κώδικα στο πρόγραμμά του. Στην περιοχή μηνυμάτων (2) παρέχετε μια σύντομη ανατροφοδότηση κατά τις διαδικασίες αποθήκευσης, μεταγλώττισης και εξαγωγής του προγράμματος, καθώς επίσης εμφανίζει και τυχόν σφάλματα αν κάτι δεν πάει καλά. Στην κονσόλα (3) εμφανίζονται λεπτομερώς τα διάφορα μηνύματα του IDE προς τον χρήστη όπως η επιτυχής / μη επιτυχής μεταφόρτωση ενός προγράμματος και αναλυτική αναφορά των σφαλμάτων. Στο κάτω μέρος του παραθύρου διακρίνετε μια μπάρα (4) όπου αριστερά εμφανίζεται ο αριθμός της γραμμής του κώδικα στην οποία βρίσκεται ο κέρσορας και δεξιά το μοντέλο του Arduino και η σειριακή θύρα στην οποία είναι

συνδεδεμένο. Πάνω δεξιά υπάρχει το κουμπί της σειριακής οθόνης (5) το οποίο όταν πατηθεί αναδύεται ένα καινούργιο παράθυρο στο οποίο προβάλλονται τα στοιχεία που έχει επιλέξει ο χρήστης να του επιστρέφει η πλακέτα του Arduino. Η σειριακή οθόνη αποτελεί ένα βασικό κομμάτι της πλατφόρμας, καθώς είναι ένας άμεσος και εύκολος τρόπος για να παρατηρήσει ο χρήστης την λειτουργία του Arduino και τον βοηθάει ακόμα στα αρχικά στάδια του προγραμματισμού, την αποσφαλμάτωση και τη βελτιστοποίηση του κώδικα. Από το περιβάλλον του Arduino IDE δεν θα μπορούσε να λείπει ένα μενού επιλογών και βοηθημάτων (6) για την υποστήριξη των επιθυμιών του χρήστη αλλά και μια γραμμή εργαλείων (7) για την διευκόλυνση και άμεση εκτέλεση βασικών λειτουργιών.



Σχήμα 21: Οθόνη Arduino IDE.

Το μενού που προσφέρεται από το IDE περιλαμβάνει συνοπτικά τις κατηγορίες Αρχείο, Επεξεργασία, Σχέδιο, Εργαλεία, Βοήθεια. Κάθε μία από τις κατηγορίες προσφέρει μια πληθώρα επιλογών. Αναλυτικά:

❖ Αρχείο: Προσφέρει τις δυνατότητες δημιουργίας καινούργιου αρχείου, ανοίγματος αρχείου από τον υπολογιστή, επιλογής κάποιου πρόσφατου ή τρέχοντος προγράμματος, εμφάνισης λίστας έτοιμων παραδειγμάτων του IDE και βιβλιοθηκών του, αποθήκευσης και εκτύπωσης, κλεισίματος μεμονωμένης καρτέλας ή του IDE και διάφορες παραμετροποιήσεις για την μορφή προγράμματος ανάλογα με τις προτιμήσεις του χρήστη.

❖ Επεξεργασία: Προσφέρει τις δυνατότητες αναίρεσης και επαναφοράς για να είναι εύκολο στον χρήστη να γυρνάει ένα βήμα πίσω ή ένα βήμα μπροστά τις τροποποιήσεις του στον κώδικα, διάφορες μορφές αντιγραφής μέρους του κώδικά, αποκοπής και επικόλλησης για ταχύτερη κειμενογράφηση, επιλογής ολόκληρου του προγράμματος, εισαγωγής και αφαίρεσης σχολίων, αναζήτησης και διαφόρων μορφοποιήσεων του κώδικα.

❖ Σχέδιο: Προσφέρει τις δυνατότητες μεταγλώττισης ελέγχοντας για τυχόν σφάλματα και αναφέροντας την χρήση μνήμης από το πρόγραμμα και τις μεταβλητές στην κονσόλα, άμεσου ανεβάσματος sketch ή ανεβάσματος μέσω εξωτερικού προγραμματιστή, εξαγωγής ενός μεταγλωττισμένου προγράμματος σαν αρχείο σε δυαδικό σύστημα, εμφάνισης του φακέλου του sketch και προσθήκης βιβλιοθήκης ή αρχείου.

❖ Εργαλεία: Προσφέρει τις δυνατότητες αυτόματης μορφοποίησης του κώδικα για λόγους καλαισθησίας και εύκολης αναγνωσιμότητας, αρχειοθέτησης του κώδικα σε ένα συμπιεσμένο αρχείο, διόρθωσης της κωδικοποίησης και επαναφόρτωσης, διαχείρισης των εγκατεστημένων βιβλιοθηκών, ανοίγματος της σειριακής οθόνης με τις δυνατότητες που αναφέρθηκαν προηγουμένως, επιλογής της μοντέλου Arduino που χρησιμοποιείται και της σειριακής θύρας στην οποία ο χρήστης επιθυμεί να το συνδέσει, επιλογής ενός εξωτερικού προγραμματιστή εφόσον δεν υπάρχει ενσωματωμένη στον μικροελεγκτή η δυνατότητα σειριακής σύνδεσης και εγγραφής του bootloader στην πλακέτα.

❖ Βοήθεια: Προσφέρει τις απαραίτητες πληροφορίες και βοήθειες προς το χρήστη προκειμένου να εξοικειωθεί με το περιβάλλον του IDE. Τον προσανατολίζει προς

την σωστή κατεύθυνση, ειδικά κατά τα πρώτα βήματα του στην χρήση της πλατφόρμας, παρέχοντας κατάλληλους συνδέσμους προς την κεντρική ιστοσελίδα του Arduino όπως γενικές πληροφορίες περί της πλατφόρμας, συχνές ερωτήσεις με τις απαντήσεις τους από το τμήμα υποστήριξης της ιστοσελίδας, αλλά και οδηγό για επίλυση προβλημάτων.

Το τελευταίο αλλά εξίσου σημαντικό δομικό στοιχείο που εμφανίζεται στο περιβάλλον Arduino IDE είναι η γραμμή εργαλείων η οποία βρίσκεται ανάμεσα στον κειμενογράφο και το μενού. Προσφέρει διάφορες επιλογές με την μορφή διαδραστικών κουμπιών για άμεση και εύκολη χρήση των βασικών λειτουργιών του IDE. Αναλυτικά τα κουμπιά αυτά είναι:

- ❖ **Επικύρωση:** Ελέγχει τον κώδικα του χρήστη για συντακτικά σφάλματα και τον μεταγλωττίζει.

- ❖ **Ανέβασμα:** Προσφέρει τις δυνατότητες του κουμπιού της Επικύρωσης, κάνοντας μεταγλώττιση τον κώδικα αλλά και ανεβάζοντας εν συνεχεία το πρόγραμμα στη προεπιλεγμένη πλακέτα Arduino. Είναι ανεξάρτητο και μπορεί συνεπώς να χρησιμοποιηθεί χωρίς να απαιτείται η χρήση του κουμπιού της Επικύρωσης.

- ❖ **Δημιουργία:** Δημιουργεί ένα νέο sketch για να σχεδιάσει ο χρήστης από την αρχή ένα πρόγραμμα.

- ❖ **Ανοιγμα:** Δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να ανοίξει ένα πρόγραμμα από την λίστα των παραδειγμάτων του IDE ή αναζητώντας το στα αρχεία του υπολογιστή του.

- ❖ **Αποθήκευση:** Δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να αποθηκεύσει το τρέχον sketch του με όνομα και στην θέση του υπολογιστή που επιθυμεί.

Στο περιβάλλον του Arduino IDE ο χρήστης δημιουργεί τα προγράμματα του, τα οποία είτε είναι απλά είτε πιο σύνθετα έχουν μια συγκεκριμένη δομή και βασικά μέρη που πρέπει να υπάρχουν προκειμένου να είναι λειτουργικά. Τα μέρη αυτά

όπως φαίνεται και στο Σχήμα 21 είναι οι συναρτήσεις “setup” και “loop”. Στην πρώτη, γράφεται ο κώδικας αρχικοποίησης των διαφόρων μερών και ακροδεκτών του Arduino που θα χρησιμοποιήσει το πρόγραμμα σε όλη τη διάρκειά του. Για παράδειγμα, η χρήση ενός ακροδέκτη σαν έξοδο ή είσοδο της πλακέτας πρέπει να δηλωθεί από το χρήστη στο σημείο αυτό του προγράμματος προκειμένου να είναι σε θέση να αναγνωρίσει στη συνέχεια τη λειτουργία του κάθε ακροδέκτη όταν αυτός συναντηθεί σε επόμενο σημείο του κώδικα και να δράσει κατάλληλα. Αυτή η συνάρτηση “setup” τρέχει μόνο μια φορά όταν έχει φορτωθεί το πρόγραμμα στο Arduino και τροφοδοτείται με ρεύμα. Στη συνέχεια όλες οι εντολές για τις λειτουργίες που θα κάνει η πλακέτα βρίσκονται στην συνάρτηση “loop” η οποία περιλαμβάνει τον βασικό κορμό του κώδικα του Arduino και τρέχει κατ’ επανάληψη για την διάρκεια που το Arduino τροφοδοτείται με ρεύμα. Στο σύνολο του ο κώδικας παραμένει αποθηκευμένος στο Arduino έως ότου αντικατασταθεί με ένα νέο πρόγραμμα και αρχίζει να τρέχει από την αρχή κάθε φορά που η πλακέτα έχει ρεύμα.

Τα προγράμματα του Arduino έχουν μια μεγάλη ποικιλία εντολών και έτοιμων βιβλιοθηκών για την κάλυψη των προγραμματιστικών αναγκών του χρήστη, για την διευκόλυνση λειτουργιών που διαφορετικά θα ήταν περίπλοκες και θα απαιτούσαν σύνθετο κώδικα. Ορισμένες από τις λειτουργίες που μπορεί να προσφέρει ένα Arduino ίσως να ήταν αδύνατο να επιτευχθούν από την πλειοψηφία των χρηστών χωρίς τις εξειδικευμένες βιβλιοθήκες που τις καλύπτουν. Οι βιβλιοθήκες παρέχουν μέσω ειδικών έτοιμων εντολών δυνατότητες όπως ο άμεσος χειρισμός μικρών κινητήρων, η σύνδεση του Arduino με διάφορους αισθητήρες και επεκτάσεις (shields) και πολλά άλλα ανάλογα με τις προσδοκίες του εκάστοτε προγραμματιστή. Επίσης βοηθούν την εξοικείωση του χρήστη και την ευκολότερη εισαγωγή του σε καινούργιες για αυτόν εντολές και λειτουργίες μέσω μιας λίστας έτοιμων τμημάτων κώδικα που προσφέρουν. Οι βιβλιοθήκες δηλώνονται με την μορφή “#include όνομα_βιβλιοθήκης” στην αρχή του κάθε προγράμματος και πάνω από τις συναρτήσεις του. Με την εγκατάστασή του, το IDE έρχεται μαζί με ένα πακέτο φορτωμένων βιβλιοθηκών έτοιμων για κατάλληλη αξιοποίηση, ωστόσο δίνεται και στο χρήστη η δυνατότητα να εγκαταστήσει επιπρόσθετες βιβλιοθήκες που κρίνει απαραίτητες.

4.2 WordPress

Για την δημιουργία του ιστότοπου του πρότζεκτ ARMS επιλέχθηκε σαν βάση του ένα Σύστημα Διαχείρισης Περιεχομένου (CMS). Τα CMS είναι διαδικτυακές εφαρμογές οι οποίες δίνουν την δυνατότητα διαχείρισης και τροποποίησης ψηφιακού περιεχομένου. Εμφανίζουν μια μεγάλη γκάμα δυνατοτήτων και χαρακτηριστικών όπως δημοσίευση και διαχείριση περιεχομένου στο διαδίκτυο, μορφοποίηση ενός ιστότοπου, αναζήτηση και ανάκτηση δεδομένων. Κάθε CMS οφείλει να παρέχει δύο βασικά δομικά στοιχεία, μια εφαρμογή που αποτελεί το περιβάλλον χρήστη και κάνει εύκολη την επεξεργασία μιας ιστοσελίδας χωρίς να προϋποθέτει χρήστες με μεγάλη εμπειρία, αλλά και μια εφαρμογή που στη συνέχεια ενημερώνει κατάλληλα την ιστοσελίδα θέτοντας σε εφαρμογή τις εκάστοτε τροποποιήσεις. Οι πιο διαδεδομένες CMS πλατφόρμες σήμερα είναι το WordPress, το Joomla και το Drupal όπου η κάθε μια με το δικό της τρόπο προσφέρει τη δυνατότητα δημιουργίας μιας ιστοσελίδας.

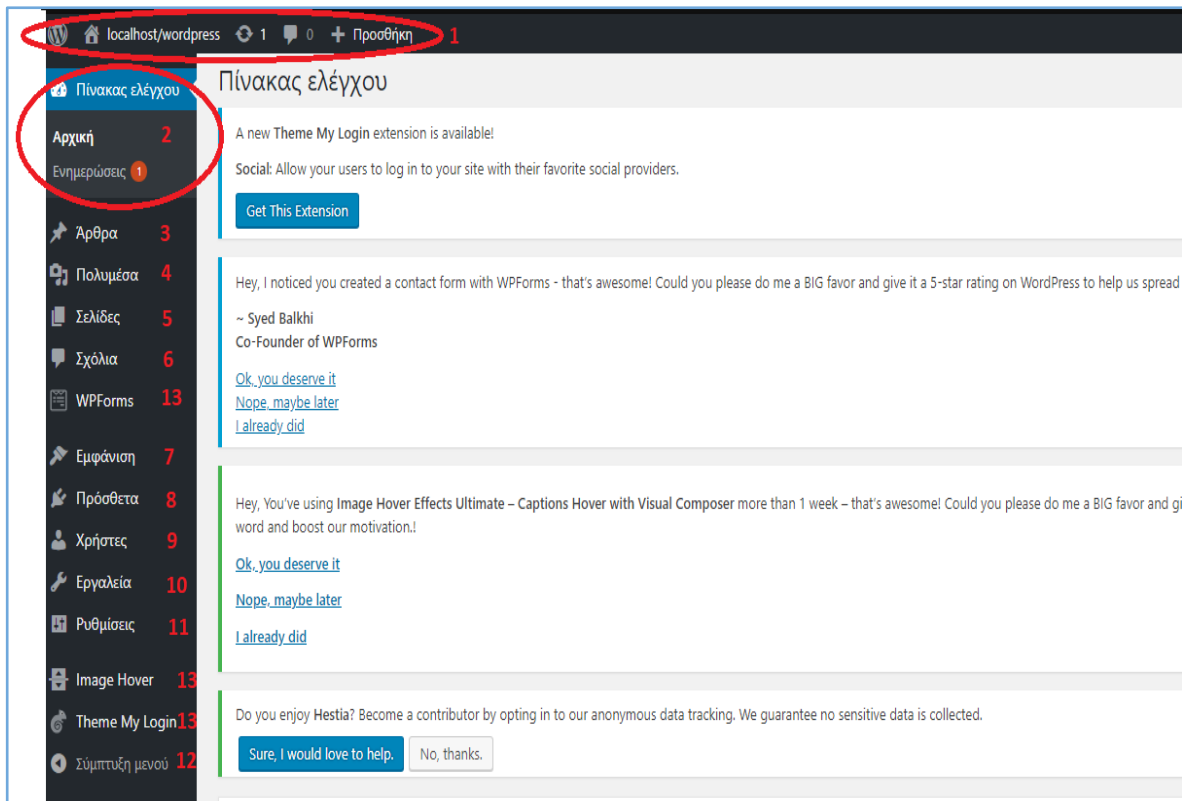
Για τις απαιτήσεις του συστήματος ARMS κρίθηκε κατάλληλη η χρήση του WordPress το οποίο είναι ένα ελεύθερο και ανοικτού κώδικα λογισμικό CMS βασισμένο στις γλώσσες προγραμματισμού PHP και MySQL. Δημιουργήθηκε το 2003 από τους Mike Little και Matt Mullenweg οι οποίοι εμπνεύστηκαν από την ανάγκη ύπαρξης ενός κομψού, όμορφου και καλοσχεδιασμένου ιστολογίου. Έτσι το WordPress αποτέλεσε μια πλατφόρμα προσβάσιμη και φιλική σε όλους, προσφέροντας παράλληλα υψηλή απόδοση και ασφάλεια. Για τους λόγους αυτούς αποτελεί πλέον την δημοφιλέστερη επιλογή εργαλείου CMS και συγκεντρώνει το μεγαλύτερο μερίδιο των ιστοτόπων στο διαδίκτυο κατέχοντας ποσοστό της τάξης του 32% [28]. Το WordPress απευθύνεται προς όλους τους χρήστες που επιθυμούν να δημιουργήσουν μια ιστοσελίδα καλύπτοντας τις απαιτήσεις από ένα απλό προσωπικό ιστολόγιο μέχρι μια σελίδα μεγάλης εταιρίας και ένα ηλεκτρονικό κατάστημα. Αυτό σε μεγάλο βαθμό επιτυγχάνεται από τα χαρακτηριστικά που προσφέρει, όπως μια μεγάλη γκάμα θεμάτων και πρόσθετων εργαλείων, απλότητα και περιεκτικότητα εντολών στο περιβάλλον χρήστη, δυνατότητα σχεδιασμού χωρίς την απαραίτητη προϋπόθεση γραφής κώδικα αλλά και εύκολης τροποποίησης των διαφόρων στοιχείων αν επιθυμείτε από τον χρήστη.

Η πλατφόρμα του WordPress παρέχει δύο επιλογές στους χρήστες που επιθυμούν την χρησιμοποιήσουν σαν εργαλείο κατασκευής ιστολογίου, τις WordPress.com και WordPress.org. Η πρώτη είναι μία απλουστευμένη έκδοση για αυτόματη κατασκευή ιστοσελίδας. Το χτίσιμο της σελίδας γίνεται online σε έναν με την φιλοξενία και το domain να παρέχονται από την εταιρία. Προτείνεται για ιστολόγια που δεν έχουν μεγάλες σχεδιαστικές απαιτήσεις καθώς παρέχει περιορισμένο αριθμό θεμάτων και επιπρόσθετων εργαλείων δωρεάν και οποιεσδήποτε σύνθετες επιλογές και μορφοποιήσεις ενδέχεται να είναι αδύνατες ή να απαιτείται πληρωμή. Για τις ανάγκες του πρότζεκτ ARMS επιλέχθηκε η χρήση της δεύτερης έκδοσης, του WordPress.org, η οποία προσφέρει πολύ μεγαλύτερη ελευθερία κινήσεων και αφθονία θεμάτων και εργαλείων με μια απλή εγκατάσταση. Η εγκατάσταση του λογισμικού γίνεται τοπικά σε έναν υπολογιστή για το στάδιο της ανάπτυξης της ιστοσελίδας και εν συνεχεία για τις ανάγκες δημοσίευσης της στο διαδίκτυο απαιτείται η δέσμευση ενός domain από τον χρήστη και η φιλοξενία της σελίδας σε έναν server.

Το WordPress προσφέρει ένα πολύ εύχρηστο περιβάλλον χρήστη μέσα από ένα διαδραστικό μενού πολλών επιλογών και χαρακτηριστικών. Συγκεντρωτικά, παρέχει απλότητα, ευελιξία κινήσεων, διαχείριση του περιεχομένου και δημοσίευση του με κατάλληλες παραμέτρους όπως η επιλογή του κοινού που θα έχει πρόσβαση σε αυτό, κατηγοριοποίηση και διαχείριση χρηστών, εύκολη διαχείριση πολυμέσων, πληθώρα θεμάτων και επεκτάσεων. Επίσης, η εγκατάσταση του είναι απλή ακολουθώντας τα βήματα που παρέχονται από την κεντρική ιστοσελίδα της πλατφόρμας και μένει πάντα σύγχρονο ασφαλές μέσω συχνών ενημερώσεων τόσο της κεντρικής πλατφόρμας όσο και των επιπρόσθετων εργαλείων που προσφέρει. Προσφέρεται σε πολλές γλώσσες και συνεχώς βελτιώνεται και συμβαδίζει με τις επιθυμίες των χρηστών με τη προσθήκη νέων περιεχομένων και εργαλείων.

Ανοίγοντας την εφαρμογή του WordPress ο χρήστης έρχεται με την αρχική οθόνη των μενού και των επιλογών που προσφέρει η πλατφόρμα για αξιοποίηση. Μια τυπική απεικόνιση της οθόνης αυτής παρουσιάζεται στο Σχήμα 22 και με την πρώτη ματιά διακρίνονται τρία βασικά μέρη που απαρτίζουν το περιβάλλον χρήστη. Στα αριστερά συναντάται το βασικό μενού επιλογών με πληθώρα επιλογών που βρίσκονται συγκεντρωμένα σε μια κάθετη λίστα, πάνω υπάρχει σε μια οριζόντια μπάρα το δευτερεύον μενού με συγκεκριμένες επιλογές και στο υπόλοιπο τμήμα της οθόνης βρίσκεται το πλαίσιο προβολής των επιλογών που προσφέρει το κάθε

υπομενού, με το οποίο αλληλεπιδρά ο χρήστης κατά τη δημιουργία και επεξεργασία της ιστοσελίδας του και των δεδομένων της. Στην συνέχεια θα αναφερθούν οι επιλογές που προφέρουν τα δυο μενού και θα αναλυθούν οι δυνατότητές τους.



Σχήμα 22: Οθόνη χρήστη WordPress.

Με αφετηρία το πάνω μέρος της οθόνης στο Σχήμα 22 οι επιλογές είναι:

❖ Μπάρα Δευτερεύοντος Μενού (1): Στην περιοχή αυτή εμφανίζονται πέντε εικονίδια άμεσης πρόσβασης σε βασικές λειτουργίες. Από αριστερά προς τα δεξιά συναντώνται το εικονίδιο του WordPress το οποίο παράλληλα είναι κουμπί πρόσβασης προς τις πληροφορίες της εγκατεστημένης WordPress έκδοσης και υπερσύνδεσμος προς διάφορες ενότητες της κεντρικής ιστοσελίδας του λογισμικού. Επόμενη είναι η επιλογή επίσκεψης της αρχικής σελίδας του ιστοτόπου που διαχειρίζεται ο χρήστης μέσω της πλατφόρμας. Τρίτο στη σειρά εμφανίζεται το εικονίδιο των ενημερώσεων στο οποίο ο χρήστης παρακολουθεί και επιλέγει τις διαθέσιμες ενημερώσεις που προσφέρονται για όλες τις λειτουργίες του WordPress. Στη συνέχεια υπάρχει η κατηγορία των σχολίων που γίνονται στην ιστοσελίδα, όπου προσφέρονται όλες οι απαραίτητες πληροφορίες όπως το περιεχόμενό τους, οι

συντάκτες τους και δίνεται η δυνατότητα διαχείρισης τους. Τέλος, βρίσκεται το εικονίδιο “Προσθήκη” το οποίο προσφέρει τη δυνατότητα για γρήγορη δημιουργία βασικών δομικών στοιχείων της ιστοσελίδας, όπως νέα άρθρα, πολυμέσα, ολόκληρες νέες σελίδες και χρήστες.

❖ Πίνακας Ελέγχου (2): Στον Πίνακα Ελέγχου υπάρχει η ενότητα της αρχικής σελίδας του, όπου βρίσκονται σημαντικές πληροφορίες και πρόσφατη δραστηριότητα τόσο για την πλατφόρμα όσο και για την δημοσιευμένη ιστοσελίδα. Επιπλέον συναντάται πάλι ένας σύνδεσμος για τις ενημερώσεις του συστήματος.

❖ Άρθρα (3): Πατώντας στο κουμπί “Άρθρα” εμφανίζεται υπομενού με διάφορες επιλογές μέσω των οποίων ο χρήστης μπορεί να δει και αλληλεπιδράσει με το σύνολο των άρθρων της ιστοσελίδας, τροποποιώντας τα και επιλέγοντας ποια θα είναι δημοσιευμένα, μπορεί να δημιουργήσει καινούργια άρθρα στη μορφή και με το περιεχόμενο που επιθυμεί, καθώς και να τα κατηγοριοποιήσει ανάλογα με το περιεχόμενό τους και να προσθέσει ετικέτες, κάνοντας έτσι ευκολότερη την αναζήτηση τους και διευκολύνοντας την πλοήγηση στην ιστοσελίδα τόσο για τον ίδιο όσο και για τους επισκέπτες.

❖ Πολυμέσα (4): Στην καρτέλα των πολυμέσων, ο χρήστης μπορεί να διαχειριστεί τα αρχεία πολυμέσων όπως βίντεο και εικόνες που φιλοξενούνται στη σελίδα, αλλά και να προσθέσει νέα εμπλουτίζοντας έτσι το περιεχόμενο της.

❖ Σελίδες (5): Σε αυτή την ενότητα, ο διαχειριστής μπορεί να αλληλεπιδράσει τις σελίδες που υπάρχουν στην ιστοσελίδα του, να προβεί σε οποιεσδήποτε τροποποιήσεις και μορφοποιήσεις κρίνει απαραίτητες, να επιλέξει ποιες σελίδες θα είναι δημοσιευμένες αλλά και να αφαιρέσει ή να προσθέσει σελίδες.

❖ Σχόλια (6): Έχει ίδιο περιεχόμενο και επιλογές με την ενότητα των σχολίων στη Μπάρα Δευτερεύοντος Μενού.

❖ Εμφάνιση (7): Στην καρτέλα της “Εμφάνισης” βρίσκονται όλες οι επιλογές παραμετροποίησης της ιστοσελίδας μέσω ενός διαδραστικού υπομενού. Ο χρήστης

μπορεί να αναζητήσει και να επιλέξει μέσα από μια μεγάλη βάση θεμάτων εκείνο που τον καλύπτει και να βασίσει την δομή της ιστοσελίδας του πάνω στα χαρακτηριστικά που αυτό προσφέρει. Επίσης δίνεται η δυνατότητα εικονικής τροποποίησης της ιστοσελίδας σε πραγματικό χρόνο μέσω της επιλογής “Προσαρμογή”. Στις “Μικροεφαρμογές” εμφανίζονται όλες οι εφαρμογές που είναι διαθέσιμες προς χρήση και υπάρχει η επιλογή προσθαφαίρεσης τους στις διάφορες περιοχές της ιστοσελίδας. Επιπλέον υπάρχει η κατηγορία “Μενού” όπου γίνεται η επεξεργασία των μενού της ιστοσελίδας και του τρόπου εμφάνισής τους. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει ποιες σελίδες, μικροεφαρμογές και λοιπά θα αποτελούν ένα μενού και να το δημοσιεύσει. Η επιλογή “Κεφαλίδα”, όπως μαρτυρά και ο τίτλος της, αναφέρεται στην κεντρική κεφαλίδα της ιστοσελίδας και προσφέρει διάφορες παραμετροποιήσεις που μπορούν να γίνουν σε αυτή. Επιπρόσθετα, ο χρήστης μπορεί να μορφοποιήσει το φόντο της ιστοσελίδας αλλάζοντας τα χρώματά του είτε βάζοντας κάποια εξωτερική εικόνα. Τέλος, μέσω της ενότητας “Διορθωτής” προσφέρεται ο κώδικας του εκάστοτε επιλεγμένου θέματος και εφόσον ο χρήστης έχει τις απαραίτητες γνώσεις προγραμματισμού μπορεί να κάνει τις επιθυμητές αλλαγές και τροποποιήσεις στο θέμα χωρίς περιορισμούς.

❖ Πρόσθετα (8): Η πλατφόρμα WordPress προσφέρει πρόσθετες επιλογές (plug-ins) οι οποίες καλύπτουν πλήρως τις ανάγκες που μπορεί να προκύψουν κατά την δημιουργία αλλά και την λειτουργία ενός ιστότοπου, κάνοντας εφικτές λειτουργίες από την δημιουργία μιας φόρμας επικοινωνίας και την προσθήκη συνδέσμων κοινωνικής δικτύωσης μέχρι και πιο απαιτητικές λειτουργίες όπως η εμφάνιση των αναλυτικών στατιστικών στοιχείων της ιστοσελίδας. Στην ενότητα των πρόσθετων ο χρήστης μπορεί να διαχειριστεί τα ήδη εγκατεστημένα πρόσθετα μέσω των επιλογών της ενεργοποίησης, της απενεργοποίησης και της αφαίρεσης. Μπορεί ακόμα να αναζητήσει και να προσθέσει νέα πρόσθετα από μια τεράστια γκάμα επιλογών ανάλογα με τις ανάγκες του. Στα εγκατεστημένα plug-ins παρέχεται στο χρήστη η επιλογή τροποποίησης του κώδικά τους, χαρακτηριστικό ίδιο με αυτό της κατηγορίας των θεμάτων. Αρωγός σε αυτό είναι η ανοικτού κώδικα φύση του WordPress και των επιπρόσθετων στοιχείων του.

❖ Χρήστες (9): Η πλατφόρμα προσφέρει πέντε κατηγορίες χρηστών όπου η κάθε

μία έχει διαφορετικά δικαιώματα, πρόσβαση και ρόλο. Οι κατηγορίες αυτές είναι ο διαχειριστής, ο αρχισυντάκτης, ο συντάκτης, ο συνεργάτης και ο συνδρομητής. Η λίστα των χρηστών είναι διαθέσιμη στην καρτέλα “Όλα τα μέλη” και προσφέρονται διάφορα στοιχεία για αυτούς, όπως η κατηγορία στην οποία ανήκουν και η συμμετοχή τους στην ιστοσελίδα. Επιπλέον δίνεται η δυνατότητα σε ένα χρήστη με ρόλο διαχειριστή να προσθέσει ένα νέο μέλος καθορίζοντας τα στοιχεία και το ρόλο του, αλλά και να τροποποιήσει το προφίλ ενός υπάρχοντος χρήστη. Τέλος, δυνατότητα διαχείρισης προφίλ δίνεται σε κάθε χρήστη μεμονωμένα για το δικό του προφίλ.

❖ Εργαλεία (10): Στην περιοχή αυτή εμφανίζεται μια λίστα διαφόρων διαθέσιμων εργαλείων αλλά και η επιλογή προσθήκης κάποιου νέου μέσω της καρτέλας των πρόσθετων. Επίσης ο χρήστης μπορεί να “εξάγει” σε αρχείο XML είτε την ιστοσελίδα στο σύνολο της είτε μεμονωμένα μέρη της. Επιπλέον ο χρήστης μπορεί μέσω αιτήματος να εξάγει ή να διαγράψει τα προσωπικά δεδομένα του.

❖ Ρυθμίσεις (11): Με την επιλογή “Ρυθμίσεις” εμφανίζεται στον χρήστη ένα συγκεντρωτικό μενού ρυθμίσεων για όλες τις λειτουργίες της ιστοσελίδας του μέσω των οποίων μπορεί να κάνει αλλαγές και τροποποιήσεις που κρίνει απαραίτητες και καλύπτουν όλες τις πτυχές τις ιστοσελίδες. Αναφορικά το μενού αυτό περιλαμβάνει γενικές ρυθμίσεις, ρυθμίσεις σύνταξης, ανάγνωσης, συζήτησης, πολυμέσων, μονίμων συνδέσμων και ιδιωτικότητας.

❖ Σύμπτυξη Μενού (12): Είναι μια απλή επιλογή όπου ο χρήστης μπορεί να ελαχιστοποιήσει ή να μεγιστοποιήσει το βασικό μενού επιλογών.

❖ Επιπρόσθετα Εργαλεία (13): Κατά την εγκατάσταση νέων εργαλείων από το χρήστη ενδέχεται να εμφανιστούν στο βασικό μενού επιλογών επιπρόσθετα εικονίδια που αντιστοιχούν σε αυτά και το κάθε ένα, επιλέγοντάς το, προσφέρει ορισμένες λειτουργίες που βοηθούν στην πλήρη και εύκολη αξιοποίηση του εκάστοτε εργαλείου.

Από όλα τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά και λειτουργίες που προσφέρει

με άμεσο και διαδραστικό τρόπο η πλατφόρμα του WordPress, είναι προφανές πως η δημιουργία της ιστοσελίδας του ARMS μέσω αυτής φαντάζει ως η ιδανική και βέλτιστη επιλογή. Ωστόσο, για γίνει αυτό εφικτό και να λειτουργήσει σωστά το WordPress απαιτείται και η παράλληλη χρήση ενός πακέτου λογισμικών που προσφέρει εξυπηρετητή ιστοσελίδων, βάση δεδομένων και μεταγλωττιστή κώδικα σε διάφορες γλώσσες προγραμματισμού.

4.3 XAMPP

Για την δημιουργία της ιστοσελίδας του πρότζεκτ ARMS αξιοποιήθηκε η χρήση ενός σύνθετου πακέτου λογισμικών ανοιχτού κώδικα για καλυφθούν οι ανάγκες ύπαρξης μιας βάσης δεδομένων, ενός εξυπηρετητή ιστοσελίδων και ενός μεταγλωττιστή που χρειάζεται κάθε ιστότοπος. Για την κάλυψη αυτών των απαιτήσεων χρησιμοποιήθηκε το πακέτο XAMPP το οποίο είναι το πιο δημοφιλές και πλήρες στην κατηγορία λογισμικών όπου ανήκει, διαθέτοντας εξυπηρετητή ιστοσελίδων HTTP Apache, βάση δεδομένων MariaDB που αποτελεί τροποποιημένη έκδοση της MySQL και αξιοποιώντας τις γλώσσες PHP και Perl. Το όνομά του προκύπτει από τα αρχικά γράμματα των λογισμικών που το αποτελούν και από το γράμμα X που εκφράζει την ιδιότητά του να είναι λογισμικό ανεξάρτητο πλατφόρμας (**X** Apache **M**ariaDB **P**HP **P**erl).

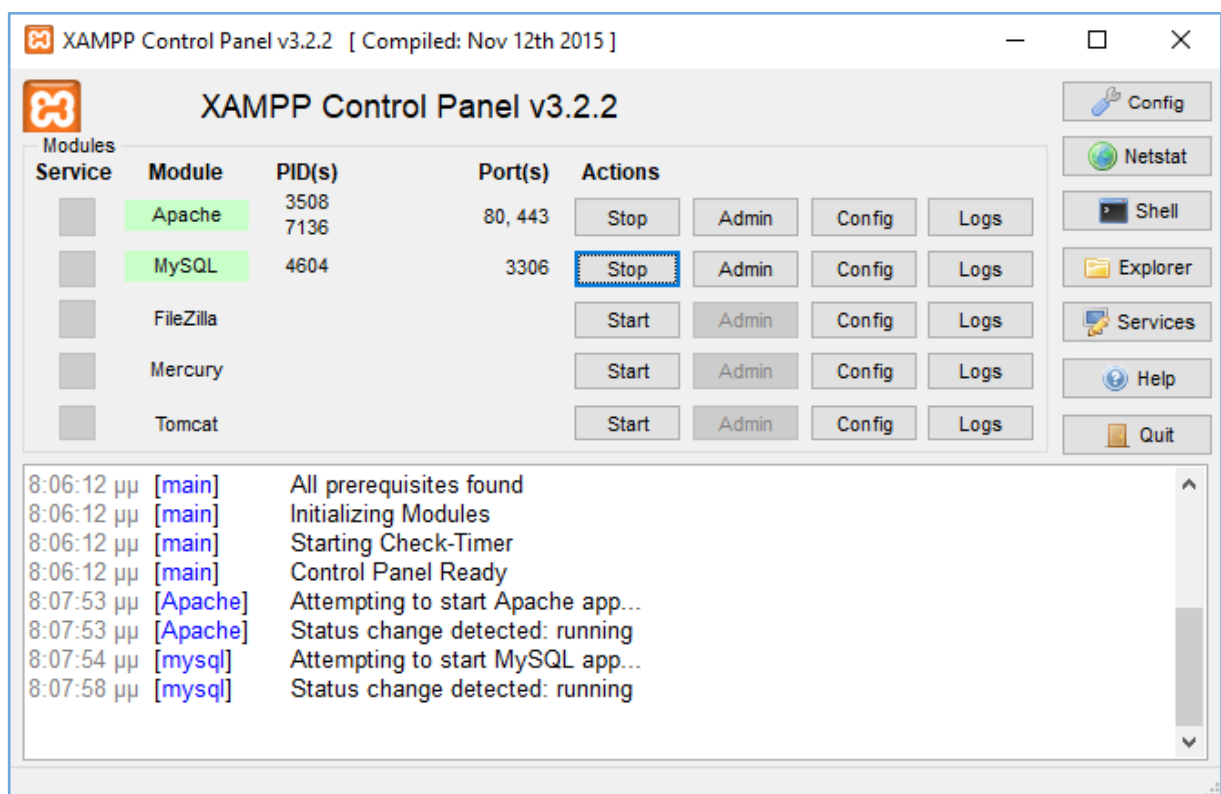
Το XAMPP αποτελεί μέρος του πρότζεκτ Apache Friends και δημιουργήθηκε το 2002 με πρωτεργάτες τους Kai Seidler και Kay Vogelgesang έχοντας κύριο σκοπό τη δημιουργία ενός πακέτου λογισμικών το οποίο μέσω απλής εγκατάστασης και λειτουργίας θα εισάγει τους προγραμματιστές ιστού στον κόσμο του Apache [29]. Αρχική σκέψη και επιθυμία των δημιουργών του, ήταν η ύπαρξη μιας πλατφόρμας στην οποία οι χρήστες θα μπορούσαν τοπικά σε έναν υπολογιστή να αναπτύξουν το λογισμικό τους με ελευθερία κινήσεων, δυνατότητα πειραματισμών και χωρίς περιοριστικές δικλίδες ασφαλείας. Με το πέρασμα του χρόνου συνέχισε να αναπτύσσεται και εξελίχθηκε στο πλήρες πακέτο λογισμικών που είναι διαθέσιμο σήμερα, με την διανομή του να είναι ελεύθερη στα τρία δημοφιλέστερα λειτουργικά συστήματα υπολογιστών, τα Windows, Linux και Mac OS, γεγονός που το καθιστά προσβάσιμο στη συντριπτική πλειοψηφία των υποψήφιων χρηστών. Μέσω της πολύ μεγάλης κοινότητας που διαθέτει και των συνεχών ενημερώσεων του, το

XAMPP βελτιώνεται συνεχώς, καλύπτει κενά που προκύπτουν και γίνεται ακόμα πιο εύχρηστο και φιλικό προς τους προγραμματιστές ιστού.

Το XAMPP προσφέρει έναν περιεκτικό και διαδραστικό πίνακα ελέγχου όπου ο χρήστης μπορεί να χειριστεί τις λειτουργίες που προσφέρει το πακέτο. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 23 οι διάφορες υπηρεσίες που παρέχει η πλατφόρμα και για την κάθε μια δίνονται διάφορες επιλογές σε μορφή κουμπιών. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει ποιες θα ενεργοποιήσει ανάλογα με την διεργασία που χρειάζεται την εκάστοτε στιγμή, ποιες θα απενεργοποιήσει, σε ποιες θα αποκτήσει δικαιώματα διαχειριστή, ποιες θέλει να τροποποιήσει την κάθε μια ανάλογα με της ανάγκες τους αλλά και να έχει πρόσβαση στα αρχεία που αποθηκεύει η πλατφόρμα για τις δραστηριότητες του σε αυτή. Οι υπηρεσίες που υπάρχουν στον πίνακα ελέγχου φαίνονται στη στήλη “Module” και κάθε μια έχει το δικό της ρόλο στη πλατφόρμα. Ξεκινώντας από πάνω, συναντάται πρώτα το Apache το οποίο όπως έχει προαναφερθεί είναι ένας εξυπηρετητής ιστολογίου, μετά είναι το MySQL που αποτελεί τη βάση του MariaDB και είναι η βάση δεδομένων της πλατφόρμας, έπειτα βρίσκεται το FileZilla μέσω του οποίου δίνεται πρόσβαση στα αρχεία της ιστοσελίδας και χρειάζεται κυρίως για την τροποποίηση του κώδικα και την τελική μετάβασή της ιστοσελίδας στο διαδίκτυο. Υπάρχουν άλλες δύο υπηρεσίες, το Mercury που αποτελεί έναν τοπικό εξυπηρετητή ηλεκτρονικού ταχυδρομείου και το Tomcat το οποίο στην ουσία αποτελεί έναν διαδικτυακό εξυπηρετητή που απευθύνεται σε πρότζεκτ και εφαρμογές σχετικά με τη Java. Στο δεξί μέρος του πίνακα βρίσκεται μια στήλη διαφόρων επιλογών που περιλαμβάνει τις επιλογές “Config” για την τροποποίηση διαφόρων επιλογών και παραμέτρων αρχικοποίησης του πίνακα ελέγχου, “Netstat” για την εμφάνιση όλων των παραμέτρων συνδεσιμότητας του δικτύου, “Shell” για την εμφάνιση μιας κονσόλας εντολών, “Explorer” για το άνοιγμα των αρχείων του υπολογιστή με αρχική θέση τον φάκελο του XAMPP, “Services” για την εμφάνιση των τοπικών υπηρεσιών του υπολογιστή, “Help” για την εμφάνιση συνδέσμων βοήθειας από το επίσημο φόρουμ του Apache Friends και “Quit” για το κλείσιμο της καρτέλας του πίνακα ελέγχου.

Από τα τέσσερα λογισμικά που αποτελούν το πακέτο του XAMPP, το κάθε ένα έχει την δική του ιδιαίτερη σημασία, συνεισφορά και θέση στην πλατφόρμα. Αρχικά, το Apache είναι ένα ελεύθερο και ανοικτού κώδικα λογισμικό διακομιστή, αποτελεί πρότζεκτ Apache Software Foundation και αναπτύσσεται συνεχώς από μια ανοιχτή κοινότητα εθελοντών προγραμματιστών, οι οποίοι έχουν αναλάβει και

την συντήρησή του. Η πρώτη του δημοσίευση έγινε το 1995 και πρωτεργάτης της ιδέας ήταν ο Robert McCool ο οποίος σε συνεργασία με μια έμπειρη ομάδα προγραμματιστών υλοποίησε την ιδέα του Apache HTTP Server. Είναι διαθέσιμο σε όλα τα δημοφιλή λειτουργικά συστήματα υπολογιστών και είναι ο πιο διαδεδομένος HTTP εξυπηρετητής στο διαδίκτυο από τον Απρίλιο του 1996 [30]. Ο Apache προσφέρει μια πληθώρα δυνατοτήτων και επιλογών σαν διακομιστής τόσο σε ένα τοπικό δίκτυο μέσω συνεργασίας με κάποια βάση δεδομένων όσο και στο σύνολο του διαδικτύου. Ορισμένα από τα χαρακτηριστικά του είναι η υποστήριξη γλωσσών προγραμματισμού διαδικτύου όπως οι Python, PHP, Perl, διάφορα πρωτόκολλα ασφαλείας και μεταφοράς, η δυνατότητα συμπίεσης για “ελάφρυνση” των ιστοσελίδων και την εξοικονόμηση πόρων, αλλά και υποστηρίζει γραφικά περιβάλλοντα χρήστη.



Σχήμα 23: Πίνακας ελέγχου XAMPP.

Το επόμενο βασικό μέρος του XAMPP είναι το Σύστημα Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων MariaDB. Αποτελεί φυσική συνέχεια του λογισμικού MySQL καθώς δημιουργήθηκε από τον πυρήνα των προγραμματιστών της MySQL το 2009 με σκοπό την διατήρηση της ιδιότητας του ως λογισμικό ανοιχτού κώδικα. Εν συνεχεία,

το 2012 δημιουργήθηκε το ίδρυμα MariaDB για την επίβλεψη, την ανάπτυξη και συντήρηση του λογισμικού από τους Michael Widenius, David Axmark και Allan Larsson. Το MariaDB αποτελεί ουσιαστικά μια βελτιωμένη έκδοση της MySQL, μετατρέπει τα διάσπαρτα δεδομένα σε δομημένες πληροφορίες σε μία μεγάλη ποικιλία εφαρμογών, είναι γρήγορος επεκτάσιμο και πολύ ισχυρά δομημένο με ένα πλούσιο οικοσύστημα μηχανών αναζήτησης, πρόσθετων εργαλείων που το καθιστούν ευέλικτο και ικανό να ανταπεξέλθει στις απαιτήσεις του εκάστοτε χρήστη [31].

Ένας ακόμα βασικός λίθος της πλατφόρμας είναι η γλώσσα προγραμματισμού PHP η οποία είναι μια δημοφιλής, ανοικτού κώδικα και γενικού σκοπού γλώσσα που χρησιμοποιείται κυρίως για τον σχεδιασμό ιστοσελίδων με δυναμικό περιεχόμενο και έχει τη δυνατότητα ενσωμάτωσης σε HTML. Το 1994 ο Rasmus Lerdorf σχεδίασε την αρχική μορφή της PHP για προσωπικούς λόγους στην γλώσσα προγραμματισμού C. Με το πέρασμα του χρόνου απαιτήθηκαν περισσότερες λειτουργίες και αυτό οδήγησε στην δημιουργία μιας πιο μεγάλης και πλούσιας μορφής της PHP. Το 1995 ο Rasmus δημοσίευσε τον πηγαίο κώδικά της γλώσσας κάτι που επέτρεψε στους προγραμματιστές να την χρησιμοποιήσουν όπως αυτοί επιθυμούσαν, αλλά και οδήγησε στην διόρθωση λαθών κώδικα και την βελτίωση της λειτουργικότητας της μέσω της διεύρυνσης της κοινότητας PHP. Σήμερα προσφέρει μια μεγάλη γκάμα δυνατοτήτων και είναι παράλληλα αρκετά απλή και προσβάσιμη για άτομα χωρίς ιδιαίτερη εμπειρία στον προγραμματισμό αλλά και παρουσιάζει μια ποικιλία εξειδικευμένων χαρακτηριστικών για έμπειρους προγραμματιστές. Είναι διαθέσιμη στα κύρια λειτουργικά συστήματα και μπορεί να αξιοποιηθεί για τυπικές διεργασίες όπως η συλλογή δεδομένων, η δημιουργία δυναμικού περιεχομένου και η διαχείριση cookies αλλά και για πιο προηγμένες λειτουργίες με χαρακτηριστικά παραδείγματα την δημιουργία εφαρμογών και τον προγραμματισμό μέσω γραμμής εντολών χωρίς να απαιτείται η ύπαρξη κάποιου διακομιστή ή προγράμματος περιήγησης [32].

Το τελευταίο δομικό μέρος του XAMPP είναι η γλώσσα προγραμματισμού Perl. Πρόκειται για μία υψηλού επιπέδου, δυναμική, αντικειμενοστραφής γλώσσα προγραμματισμού που αναπτύχθηκε αρχικά από τον Larry Wall το 1987 και έκτοτε έχει υποστεί πολλές αλλαγές και αναβαθμίσεις. Όπως και τα υπόλοιπα λογισμικά του πακέτου XAMPP, είναι διαθέσιμη σε όλα δημοφιλή λειτουργικά συστήματα και έχει μια πολύ μεγάλη γκάμα εφαρμογών και χρήσεων, καλύπτοντας τομείς από την

βιοπληροφορική έως και την διαχείριση ιστοτόπων. Η Perl είναι μια γλώσσα προγραμματισμού με πλούσια χαρακτηριστικά, περιλαμβάνει ισχυρά εργαλεία για την επεξεργασία κειμένου κάτι που την καθιστά ιδανική για χρήση με γλώσσες όπως η HTML και XML και την ανάπτυξη ιστολογίων. Τέλος, το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό της είναι η δυνατότητα να διαχειρίζεται κρυπτογραφημένα διαδικτυακά δεδομένα, όπως αυτά που προκύπτουν κατά τις συναλλαγές ηλεκτρονικού εμπορίου [33].

4.4 Επιπρόσθετο λογισμικό για τον ιστότοπο

Για την δημιουργία του ιστότοπου του πρότζεκτ ARMS εκτός των πολύ σημαντικών εργαλείων CMS που αξιοποιήθηκαν για χτίσιμο του βασικού κορμού του, απαιτήθηκαν και ορισμένα άλλα λογισμικά για την πραγματοποιηθούν εξειδικευμένες τροποποιήσεις προκειμένου το αποτέλεσμα να είναι πλήρως λειτουργικό και ιδιαίτερα φιλικό προς χρήστη. Για την ύπαρξη ενός τέτοιου περιβάλλοντος στην ιστοσελίδα όπου θα υπάρχουν προσαρμοσμένες και ευανάγνωστες γραφικές παραστάσεις, αλλά και για την διασύνδεση του φυσικού μέρους του συστήματος με τον ιστότοπο και την βάση δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν τα λογισμικά ιστότοπου HTML, CSS, JavaScript και JQuery, για τα οποία φαντάζει χρήσιμο να δοθούν μερικές βασικές πληροφορίες και χαρακτηριστικά.

Ξεκινώντας, το βασικό δομικό στοιχείο μιας ιστοσελίδας είναι η γλώσσα σήμανσης υπερκειμένου HTML. Πρωτοεμφανίστηκε το 1991 μέσω μιας δημοσίευσης του Tim Berners-Lee η οποία περιείχε τα τότε βασικά στοιχεία της γλώσσας, ενώ η επίσημη έκδοσή της πραγματοποιήθηκε τον Ιούνιο του 1993 από τους Berners-Lee και Daniel Connolly [34]. Έκτοτε, αναπτύσσεται και βελτιώνεται συνεχώς, με τη σημερινή του έκδοση να είναι η έκτη διαδοχική με την ονομασία HTML5 έτος δημοσίευσης το 2014. Η HTML χρησιμοποιείται από τα προγράμματα περιήγησης για την ερμηνεία και τη σύνθεση κειμένου, εικόνων και άλλων δεδομένων σε ιστοσελίδες με οπτικοακουστικό υλικό. Το κύριο συστατικών των σελίδων HTML είναι τα στοιχεία HTML τα οποία αποτελούνται από τρία μέρη, το ζεύγος ετικετών εκκίνησης και τερματισμού, ορισμένες ιδιότητες μέσα στην ετικέτα εκκίνησης και το περιεχόμενο μεταξύ των ετικετών. Τα χαρακτηριστικά κάθε

στοιχείου σήμανσης HTML είναι προκαθορισμένα στα προγράμματα περιήγηση και μπορούν μετέπειτα να τροποποιηθούν και να βελτιστοποιηθούν από προγραμματιστές ιστότοπου με την χρήση μιας άλλης γλώσσας προγραμματισμού.

Την ανάγκη βελτιστοποίησης της μορφής των ιστότοπων καλύπτει η γλώσσα προγραμματισμού CSS, η οποία είναι μια γλώσσα που ανήκει στην κατηγορία των γλωσσών φύλλων ύφους (Cascading Style Sheets). Η CSS αποτελεί ακρογωνιαίο λίθο των τεχνολογιών παγκόσμιου ιστού, ταυτόχρονα με τις HTML και JavaScript, με κύρια χρήση τον έλεγχο της εμφάνισης ενός ιστότοπου βασισμένου σε HTML. Η πρώτη εμφάνιση της έγινε το 1994 από τον Hakon Wium Lie την περίοδο που συνεργαζόταν στο CERN με τον Tim Berners-Lee, τον δημιουργό της HTML. Η επίσημη έκδοση της έγινε το 1996 από τον Wium Lie και τον Bert Bos, οποίος επηρέασε σε μεγάλο βαθμό μέσω μιας πρότασης του την CSS και για αυτό θεωρείται από πολλούς συνδημιουργός της γλώσσας [35]. Ο σχεδιασμός της CSS επιτρέπει τον διαχωρισμό της εμφάνισης και του περιεχομένου κάτι που μπορεί να βελτιώσει την πρόσβαση στο περιεχόμενο, να παρέχει περισσότερη ευελιξία και έλεγχο στον καθορισμό των χαρακτηριστικών της εμφάνισης και να μειώσει την πολυπλοκότητα και την επανάληψη του δομικού περιεχομένου. Στα θετικά χαρακτηριστικά της συμπεριλαμβάνεται και η απλή σύνταξη της που χρησιμοποιεί πολλές αγγλικές λέξεις-κλειδιά για να προσδιορίσει τα ονόματα πολλών ιδιοτήτων εμφάνισης.

Μια ακόμα πολύ σημαντική τεχνολογία του παγκόσμιου ιστού είναι η γλώσσα προγραμματισμού JavaScript. Πρόκειται για μια υψηλού επιπέδου γλώσσα προγραμματισμού που καθιστά δυνατές τις διαδραστικές ιστοσελίδες και αποτελεί βασικό κομμάτι των εφαρμογών του διαδικτύου. Αξιοποιείται από την συντριπτική πλειοψηφία των ιστότοπων και όλες δημοφιλείς μηχανές περιήγησης έχουν ενσωματωμένη μηχανή JavaScript για εκτελέσουν τις λειτουργίες της. Έχει δεχτεί επιρροές από διάφορες γλώσσες προγραμματισμού, με την σύνταξη της να είναι επηρεασμένη από την C, πολλά ονόματα μεταβλητών τα απορρόφησε από την Java, ενώ ο σχεδιασμός της βασίστηκε στις Self και Scheme. Πρωτεργάτης στον σχεδιασμό και την ανάπτυξη της JavaScript ήταν ο Brendan Eich ο οποίος εργαζόταν για την εταιρία Netscape Communications που δημοσίευσε το λογισμικό το 1995 σε συνεργασία με την Sun Microsystems [36]. Προσφέρει ένα περιβάλλον προγραμματισμού για εργασίες με κείμενο, συμβολοσειρές, ημερομηνίες και βασικό χειρισμό εγγράφων, ωστόσο για λειτουργίες εισόδου και εξόδου, όπως η

αποθήκευση, βασίζεται στο περιβάλλον όπου είναι ενσωματωμένη. Οι μηχανές JavaScript είναι ενσωματωμένες σε πολλούς τύπους λογισμικού που περιλαμβάνουν από διακομιστές δικτύου και βάσεις δεδομένων μέχρι προγράμματα εκτός διαδικτύου όπως επεξεργαστές κειμένου, αλλά και περιβάλλοντα που χρησιμοποιούν την JavaScript για την δημιουργία εφαρμογών.

Συνοψίζοντας τα τρία αυτά επιπρόσθετα λογισμικά που αναφέρθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν για το πρότζεκτ ARMS, μπορεί η επιρροή τους και η σημασία τους να μην είναι τόσο εμφανής καθώς βρίσκονται στο υπόβαθρο της ιστοσελίδας και ένας απλός χρήστης δεν πρόκειται ποτέ να έρθει σε επαφή με τον κώδικα τους. Ωστόσο οτιδήποτε χρησιμοποιεί και με το οποίο αλληλεπιδρά είναι χτισμένο πάνω σε αυτές τις γλώσσες, δίνοντας την δυνατότητα στον χρήστη να απολαύσει τις υπηρεσίες που προσφέρουν ακόμα και χωρίς να το αντιλαμβάνεται.

5. Υλοποίηση Συστήματος ARMS

Η υλοποίηση του συστήματος ARMS είχε πολλά στάδια για την δημιουργία τόσο του υλικού όσο και του λογισμικού του μέρους. Δημιουργήθηκε αρχικά το σύστημα του μετρητή με κύρια στοιχεία τη πλακέτα Arduino Uno Rev3, την επέκταση για τη διασύνδεση στο δίκτυο και τον μετρητή SCT-013. Όλα αυτά έπρεπε να συνδεθούν κατάλληλα και μέσω προγραμματισμού να δουλέψουν αρμονικά μεταξύ τους προκειμένου να είναι σε θέση να πραγματοποιήσουν τις μετρήσεις και να αποστείλουν τα δεδομένα αυτά. Στη συνέχεια δημιουργήθηκε η ιστοσελίδα του πρότζεκτ μαζί με μια βάση δεδομένων για να είναι δυνατή η συλλογή, η επεξεργασία και η προβολή των δεδομένων που προκύπτουν κατά τη λειτουργία του συστήματος παρακολούθησης. Τέλος, πραγματοποιήθηκε η διασύνδεση των επιμέρους αυτών τμημάτων ώστε να το σύστημα να έχει μια ολοκληρωμένη και άρτια λειτουργία.

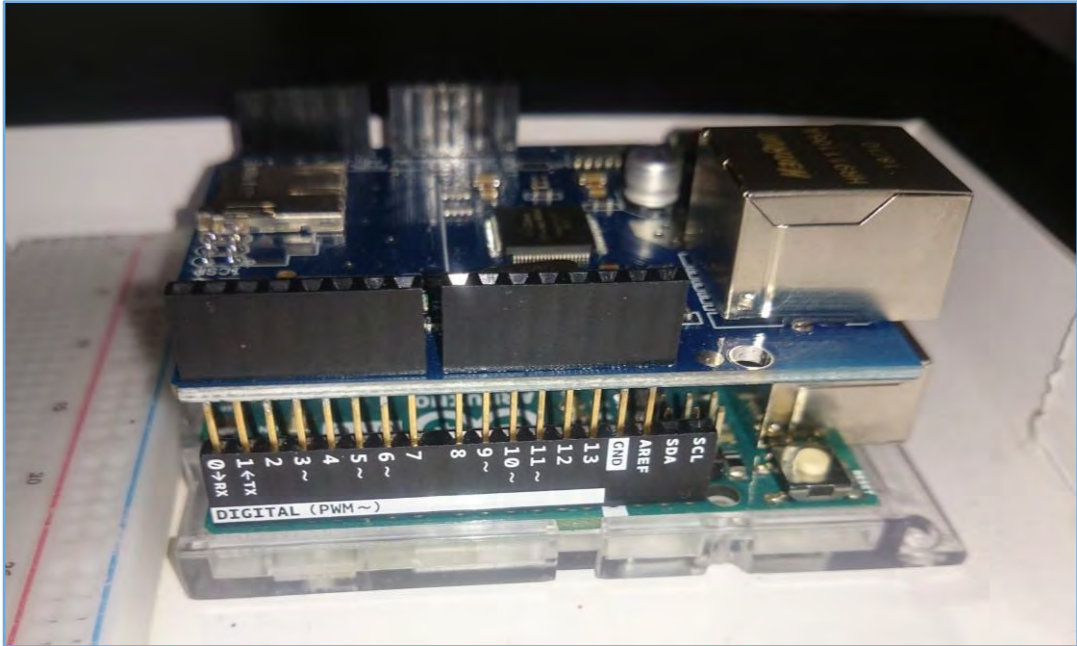
5.1 Κύκλωμα ARMS

Το υλικό κομμάτι του συστήματος ARMS, το οποίο συντελεί τον φυσικό μετρητή που συνδεόμενος πάνω σε ένα μονοφασικό φορτίο πραγματοποιεί μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο αποτελείται από μια σειρά επιμέρους δομικών στοιχείων. Συνοπτικά αυτά είναι:

- ❖ Η πλακέτα Arduino Uno Rev3, που είναι ο εγκέφαλος του μετρητή καθώς χάριν στο ολοκληρωμένο κύκλωμα που διαθέτει, προσδίδει την απαραίτητη υπολογιστική ισχύ και έχει τη δυνατότητα μέσω προγραμματισμού να ελέγχει και να συγχρονίζει όλα τα υπόλοιπα μέρη του κυκλώματος, συντελώντας στην άρτια και επιθυμητή λειτουργία του συστήματος.
- ❖ Η επέκταση δικτύου Ethernet Shield W5100, που κάνει δυνατή την αποστολή των δεδομένων των μετρήσεων που διαχειρίζεται ο μετρητής.
- ❖ Ο αισθητήρας ρεύματος SCT-013, ο οποίος αποτελεί το μέσο λήψης των μετρήσεων από μια μονοφασική παροχή.

- ❖ Δύο αντιστάτες με αντίσταση της τάξης των 10KΩ, που χρησιμοποιούνται για την δημιουργία ενός διαιρέτη τάσης.
- ❖ Ένας αντιστάτης, που έχει το ρόλο αντίστασης φορτίου και είναι 33Ω.
- ❖ Ένας πυκνωτής των 10μF, ο οποίος απορροφά το εναλλασσόμενο ρεύμα του μετρητή SCT-013 του συστήματος.
- ❖ Μια υποδοχή Jack 3.5mm, όπου συνδέεται το βύσμα του αισθητήρα SCT-013.
- ❖ Εννέα καλώδια Jumper για την διασύνδεση των στοιχείων του κυκλώματος.
- ❖ Μια πλακέτα διασύνδεσης Breadboard πάνω στην οποία δημιουργήθηκε το μικροηλεκτρονικό κύκλωμα του μετρητή και αποτελεί τη βάση της διασύνδεσης των δομικών στοιχείων του συστήματος.

Ως βασική πλακέτα του μετρητή επιλέχθηκε το Arduino Uno Rev3 καθώς προσφέρει μια μεγάλη γκάμα εργαλείων, επεκτάσεων, δυνατοτήτων και αποτελεί μια πλατφόρμα ανοικτού κώδικα. Στην πλακέτα αυτή προσαρμόζεται με άμεσο και γρήγορο τρόπο, χωρίς της απαίτηση ειδικού εξωτερικού εξοπλισμού, η επέκταση διασύνδεσης με το δίκτυο Ethernet Shield W5100. Η διασύνδεση των δύο αυτών στοιχείων πραγματοποιείται τοποθετώντας την επέκταση πάνω στο Arduino, κουμπώνοντας ουσιαστικά τους ακροδέκτες που βρίσκονται στο κάτω μέρος της επέκτασης στις υποδοχές που βρίσκονται στο πάνω μέρος του Arduino, όπως διακρίνεται και στο Σχήμα 24. Αυτό γίνεται δυνατό διότι το Ethernet Shield είναι σχεδιασμένο με βάση τις προδιαγραφές του Arduino Uno και τα pins που διαθέτουν ταυτίζονται. Μέσω αυτών επιτυγχάνεται τόσο η τροφοδοσία της επέκτασης από το Arduino, όσο και η αμφίδρομη αποστολή δεδομένων μεταξύ τους. Οι ακροδέκτες του Ethernet Shield αποτελούν επέκταση των ακροδεκτών του Arduino, προκειμένου να παραμείνουν πλήρως προσβάσιμες και αξιοποιήσιμες όλες οι υποδοχές του. Συνεπώς η προσθήκη του Shield όχι μόνο δεν περιορίζει τις δυνατότητες του Arduino, αλλά διευρύνει τις ικανότητες και εφαρμογές του.



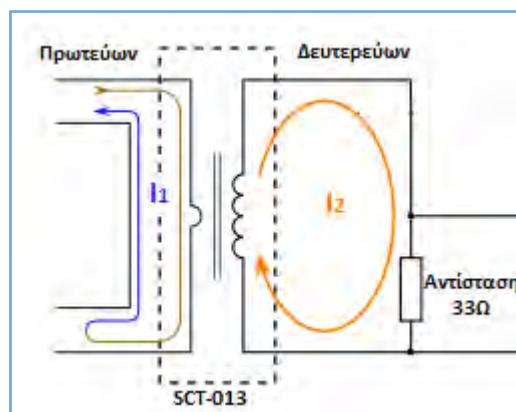
Σχήμα 24: Διασύνδεση Arduino Uno Rev3 με το Ethernet Shield W5100.

Ο αισθητήρας SCT-013 ουσιαστικά λειτουργεί σαν μετασχηματιστής ρεύματος, απαιτεί την ύπαρξη μια αντίστασης φορτίου προκειμένου να κλείσει το δευτερεύον κύκλωμα του και έχει συμπεριφορά υποβαθμιστή ρεύματος με λόγο μετασχηματισμού $\frac{1}{2000}$. Καθώς το πρωτεύον τύλιγμα του συνδέεται σε μονοφασικό φορτίο μιας εγκατάστασης εναλλασσόμενου ρεύματος, προκύπτει πως και ο ίδιος κατά τη λειτουργία του πραγματεύεται με εναλλασσόμενο ρεύμα. Για τον υπολογισμό της αντίστασης φορτίου λήφθηκαν υπόψιν τα τεχνικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα και τη μέγιστη τάση εισόδου που δέχεται το Arduino. Σαν μέγιστο ρεύμα καταμέτρησης θεωρήθηκαν τα 100A τα οποία είναι το μέγιστο όριο λειτουργίας του αισθητήρα, που πρόκειται για μια RMS τιμή έντασης ρεύματος και ισούται με μέγιστη τιμή ρεύματος peak-to-peak 100A επί $\sqrt{2}$, δηλαδή 141.4A. Το ρεύμα αυτό αφορά το πρωτεύον τύλιγμα του αισθητήρα, το οποίο εξαιτίας του λόγου μετασχηματισμού υποβιβάζεται στο δευτερεύον τύλιγμα κατά 2000 φορές και ισούται με μέγιστη ρεύματος peak-to-peak σε αυτό τα 0.0707A. Η τελική τιμή της αντίστασης φορτίου προκύπτει διαιρώντας τη τάση των 2.5V, που προέρχεται από τον διαιρέτη τάσης του κυκλώματος και οποίος θα αναλυθεί παρακάτω, με το ρεύμα των 0.0707A στο δευτερεύον τύλιγμα και ισούται με 35.4Ω. Μια τέτοια αντίσταση δεν είναι διαθέσιμη στην αγορά επομένως κρίθηκε σαν καταλληλότερη εναλλακτική

η επιλογή μιας αντίστασης 33Ω. Παρακάτω εμφανίζεται σε συνεκτική μορφή μια συνάρτηση υπολογισμού του μεγέθους της βέλτιστης αντίστασης φορτίου:

$$R_{\text{φορτίου}} = (V_{\text{δαιρέτη_τάσης}} * 2000) / (\sqrt{2} * I_{\text{RMS_πρωτεύοντος}})$$

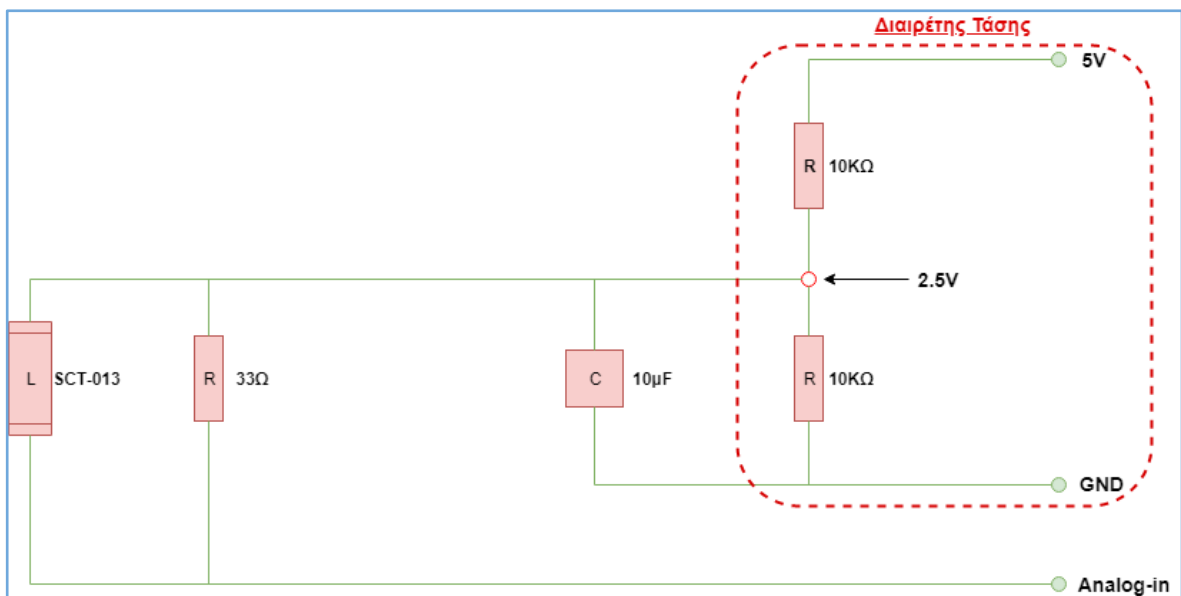
Από τον τύπο αυτό προκύπτει πως η τιμή της αντίστασης φορτίου εξαρτάται από το ρεύμα που θα θεωρηθεί ως άνω όριο στο φορτίο των μετρήσεων. Τα 33Ω είναι η τιμή αντίστασης που μπορεί να τοποθετηθεί στο σύστημα ARMS για τη παρακολούθηση του μέγιστου δυνατού ρεύματος και συνεπώς φορτίου που επιτρέπει ο αισθητήρας SCT-013. Όπως διακρίνεται από τον παραπάνω τύπο, μειώνοντας τη τιμή της μέγιστης τιμής ρεύματος που μπορεί να μετρήσει το σύστημα, αυξάνεται η τιμή της αντίστασης φορτίου.



Σχήμα 25: Κλείσιμο του δευτερεύοντος κυκλώματος με αντίσταση φορτίου.

Με την προσθήκη της αντίστασης φορτίου στο δευτερεύον τύλιγμα του αισθητήρα, κλείνει το κύκλωμα του και υπάρχει ροή εναλλασσόμενου ρεύματος στην αντίσταση, η οποία με τη σειρά της δημιουργεί διαφορά τάσης στα άκρα της αντίστασης και λόγω της εναλλασσόμενης λειτουργίας της αποκτά θετικές και αρνητικές τιμές. Στο Σχήμα 25 απεικονίζεται η ροή ρεύματος στο δευτερεύον τύλιγμα όταν προστίθεται σε αυτό η αντίσταση φορτίου. Η πλακέτα όμως του Arduino προϋποθέτει την ύπαρξη θετικών τάσεων στις εισόδους του προκειμένου να λειτουργεί σωστά και να μην υπάρχει κίνδυνος βλάβης των στοιχείων του κυκλώματός του. Συνεπώς πρέπει να αποφευχθεί η απευθείας σύνδεση της αντίστασης φορτίου και του μετρητή με τις εισόδους του Arduino. Επειδή όμως η αρχή της λειτουργίας του μετρητή βρίσκεται στην συνεργασία του SCT-013

αισθητήρα με το Arduino, χρειάστηκε να ξεπεραστεί αυτό το εμπόδιο και για αυτό το λόγο δημιουργήθηκε ένα κύκλωμα που επέτρεψε την ομαλή διασύνδεση τους με τη τάση να κυμαίνεται σε επιτρεπτά όρια για το Arduino. Το κύκλωμα αυτό απεικονίζεται στο Σχήμα 26 και όπως διακρίνεται έχει δύο βασικά στοιχεία, έναν διαιρέτη τάσης και έναν πυκνωτή, με τα οποία συνδέεται ο αισθητήρας.

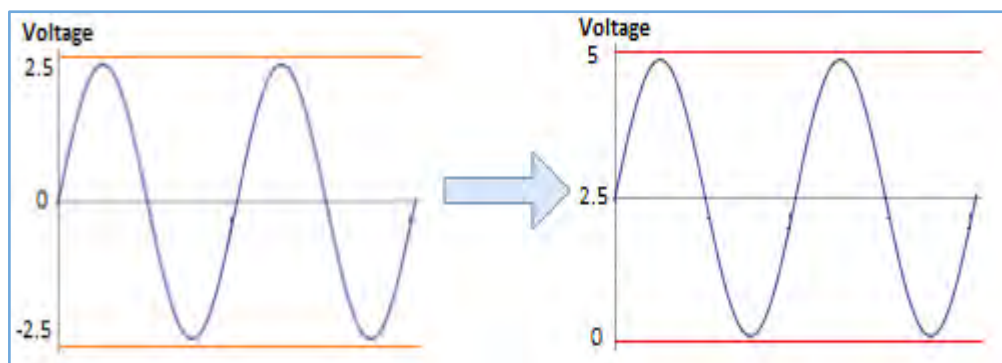


Σχήμα 26: Σχηματικό βοηθητικού κυκλώματος για την προσθήκη του SCT-013.

Το κύκλωμα του διαιρέτη τάσης που φαίνεται στο Σχήμα 26 αποτελείται από δύο αντιστάσεις των 10KΩ. Η επιλογή του μεγέθους των δύο αυτών αντιστάσεων εξαρτάται από τις ανάγκες τροφοδοσίας του Arduino και μοναδική προϋπόθεση για τη σωστή λειτουργία του διαιρέτη είναι η ύπαρξη δύο ίσων αντιστάσεων. Σε ενδεχόμενο που το σύστημα θα βασιζόταν στην τροφοδοσία από μπαταρίες, η επιλογή μεγαλύτερου μεγέθους αντιστάσεων θα έδιναν μεγάλη αυτονομία στη λειτουργία του συστήματος. Με τη χρήση του διαιρέτη τάσης, θέτουμε την τάση αναφοράς της εισόδου στο Arduino στα 2.5V. Χωρίς αυτό η τάση αναφοράς θα δινόταν απευθείας από τις εξόδους τροφοδοσίας του Arduino και θα παρουσιαζόταν σίγουρα παραβίαση των ορίων λειτουργίας του, καθώς με αναφορά την γείωση η τάση θα έπεφτε κάτω από τα 0V και με αναφορά τα 5V θα τα ξεπερνούσε. Τα 2.5V κρίθηκαν ως η βέλτιστη επιλογή τάσης αναφοράς, διότι η μέγιστη εναλλασσόμενη τάση που δημιουργείται από το κύκλωμα του αισθητήρα με την αντίσταση φορτίου του προκύπτει από το μέγιστο ρεύμα του δευτερεύοντος επί την αντίσταση φορτίου, δηλαδή 0.0707A επί 33Ω, και ισούται με 2.33V, κάτι που σημαίνει ότι τα όρια στα

οποία κυμαίνεται η τάση που εισέρχεται στο Arduino είναι $2.5V + 2.33V$ και $2.5V - 2.33V$. Συνεπώς η μέγιστη τάση που μπορεί να εμφανιστεί στην είσοδο είναι $4.83V$ και η ελάχιστη $0.17V$, τα οποία συμμορφώνονται με την λειτουργία του μετρητή στα επιτρεπτά όρια.

Για την δημιουργία της τάσης αναφοράς των $2.5V$ αξιοποιήθηκε η κεντρική πλακέτα και πιο συγκεκριμένα η τάση των $5V$ και η γείωση που παρέχει. Με την χρήση μόνο δύο ίσων αντιστάσεων και τη σύνδεσή τους σε σειρά συντελείται ένα μικρό κύκλωμα που οι δύο αντιστάσεις αυτές βρίσκονται μέσα σε μια διαφορά τάσης $5V$ που προκύπτει από τις υποδοχές τροφοδοσίας της πλακέτας και συνεπώς λόγω του ίδιου μεγέθους τους, εμφανίζεται στο σημείο σύνδεσής τους τάση $2.5V$. Στο Σχήμα 27 απεικονίζεται η σημασία του διαιρέτη τάσης και ο τρόπος με τον οποίο συμβάλλει στη ομαλή λειτουργία του κυκλώματος του μετρητή, όπου στα αριστερά φαίνεται η διακύμανση της τάσης με αναφορά τα $0V$ ενώ δεξιά παρουσιάζεται η τάση μετά την ενσωμάτωση του διαιρέτη τάσης στο κύκλωμα.

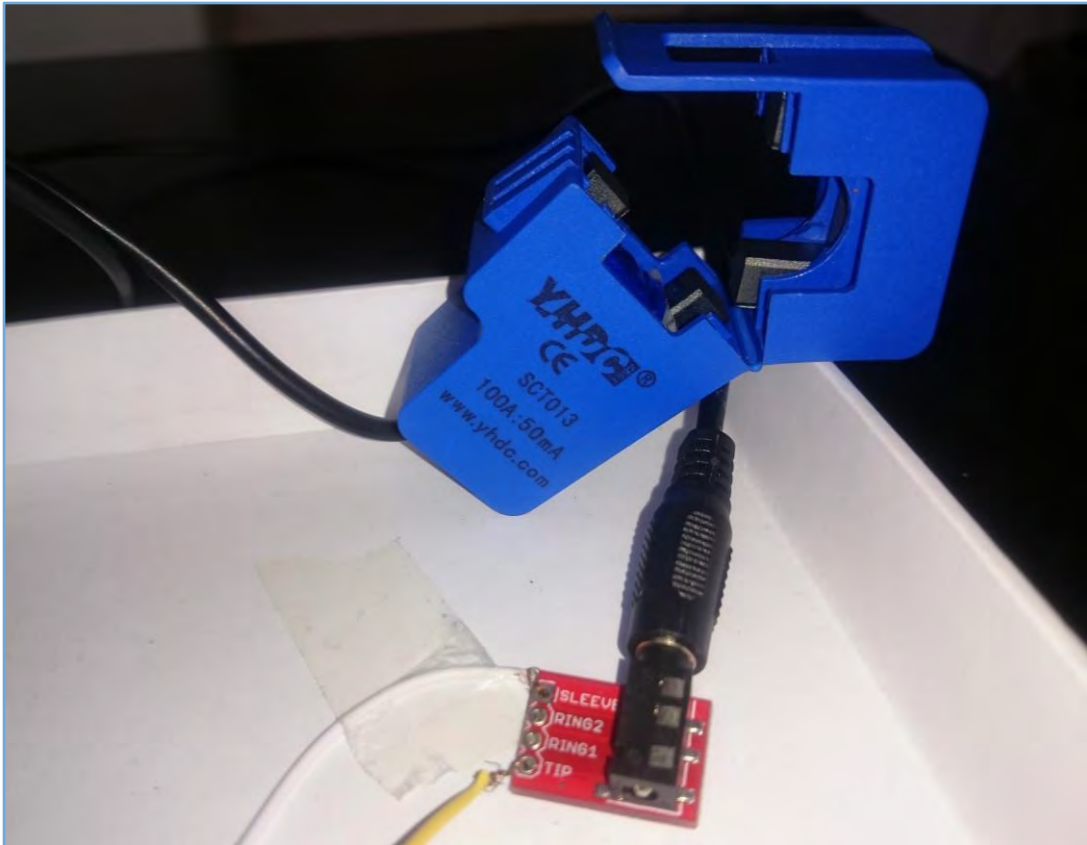


Σχήμα 27: Μορφή σήματος τάσης πριν και μετά την προσθήκη διαιρέτη τάσης.

Ο πυκνωτής του κυκλώματος τοποθετήθηκε με τον τρόπο που απεικονίζεται στο Σχήμα 26 και κρίθηκε απαραίτητος εξαιτίας των εναλλασσόμενων χαρακτηριστικών που προσδίδει στο κύκλωμα του μετρητή ο αισθητήρας. Λειτουργεί ως φίλτρο και έχει σαν σκοπό την απορρόφηση του εναλλασσόμενου ρεύματος που εμφανίζεται κατά τη διάρκεια των μετρήσεων από την λειτουργία του SCT-013, όταν αυτός είναι συνδεδεμένος σε κάποιο φορτίο.

Εφόσον κατασκευάστηκε το κύκλωμα που απαιτείται για την ομαλή λειτουργία του μετρητή, ακολούθησε η σύνδεση του αισθητήρα SCT-013 με αυτό. Αυτό έγινε μέσω ενός βύσματος τύπου Jack 3.5mm προκειμένου να προστεθεί μια ευελιξία στη σύνδεση του αισθητήρα και να είναι απλή και εύκολη η σύνδεσή του

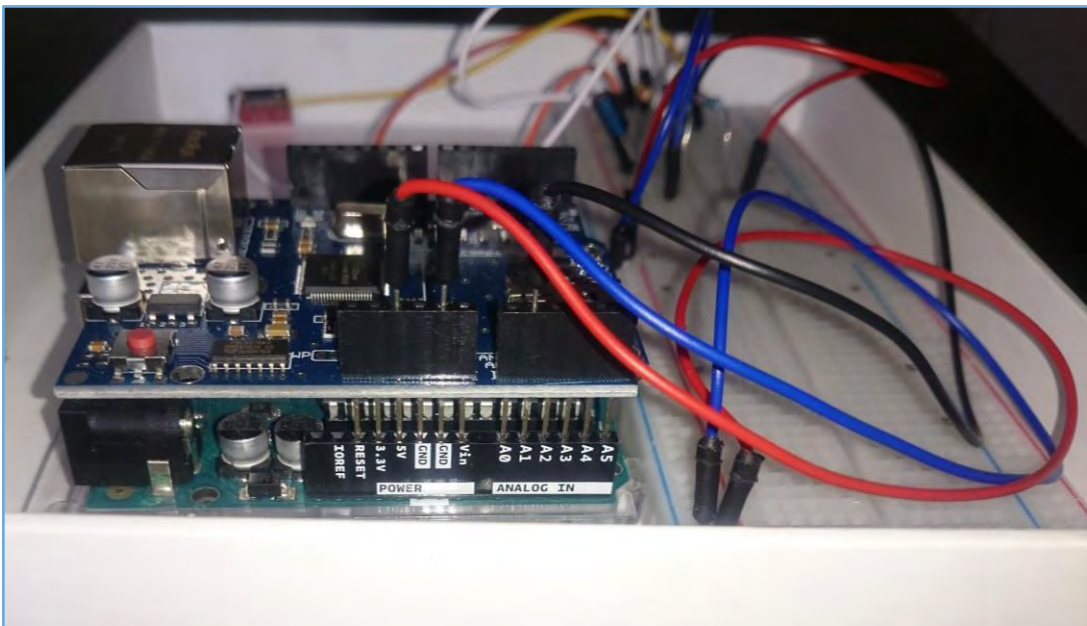
αλλά και μια πιθανή αντικατάσταση του σε περίπτωση βλάβης. Σε αντίθετη περίπτωση θα χρειαζόταν να γίνει παρέμβαση στη κατάληξη του καλωδίου του, αφαιρώντας τον ακροδέκτη του και συνδέοντας με πρόχειρο τρόπο τα εσωτερικά καλώδια του απευθείας στην αντίσταση φορτίου και το κύκλωμα. Στο Σχήμα 28 φαίνεται η σύνδεση του SCT-013 με τη χρήση βύσματος Jack 3.5mm και το πόσο απλή είναι.



Σχήμα 28: Σύνδεση του SCT-013 με τη χρήση βύσματος Jack 3.5mm.

Έπειτα έπρεπε να γίνει η σύνδεση του αισθητήρα με το κύκλωμα του διαιρέτη τάσης και του πυκνωτή. Για αυτό χρησιμοποιήθηκαν οι καταλήξεις SLEEVE και TIP του βύσματος Jack που φαίνονται στο παραπάνω Σχήμα 28. Η κατάληξη SLEEVE είναι αυτή που συνδέεται στη συνέχεια με την είσοδο Analog-in του Arduino, ενώ η κατάληξη TIP συνδέεται στο μέσο του διαιρέτη τάσης, που εμφανίζεται η τάση των 2.5V που απαιτείται. Στο Σχήμα 26 φαίνεται η τελική μορφή του κυκλώματος του αισθητήρα. Αυτό που απομένει τώρα είναι η διασύνδεση των δύο τμημάτων του μετρητή, του κυκλώματος που κατασκευάστηκε και του Arduino.

Η διασύνδεση του Arduino με το κύκλωμα γίνεται μέσω της επέκτασής του και χρειάζονται τρεις υποδοχές, οι οποίες απεικονίζονται στο Σχήμα 29. Οι δύο είναι οι υποδοχές τροφοδοσίας που χρησιμοποιούνται για τον διαιρέτη τάσης και για τη δημιουργία της τάσης αναφοράς του μετρητή. Αυτές είναι οι υποδοχές των 5V και της γείωσης GND. Η τρίτη έπρεπε να είναι μια αναλογική είσοδος του Arduino καθώς γίνεται καταμέτρηση τάσεων που το σύστημα τις διαχειρίζεται σαν αναλογικό σήμα. Επιλέχθηκε η υποδοχή A1, ωστόσο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί οποιαδήποτε από τις αναλογικές εισόδους.

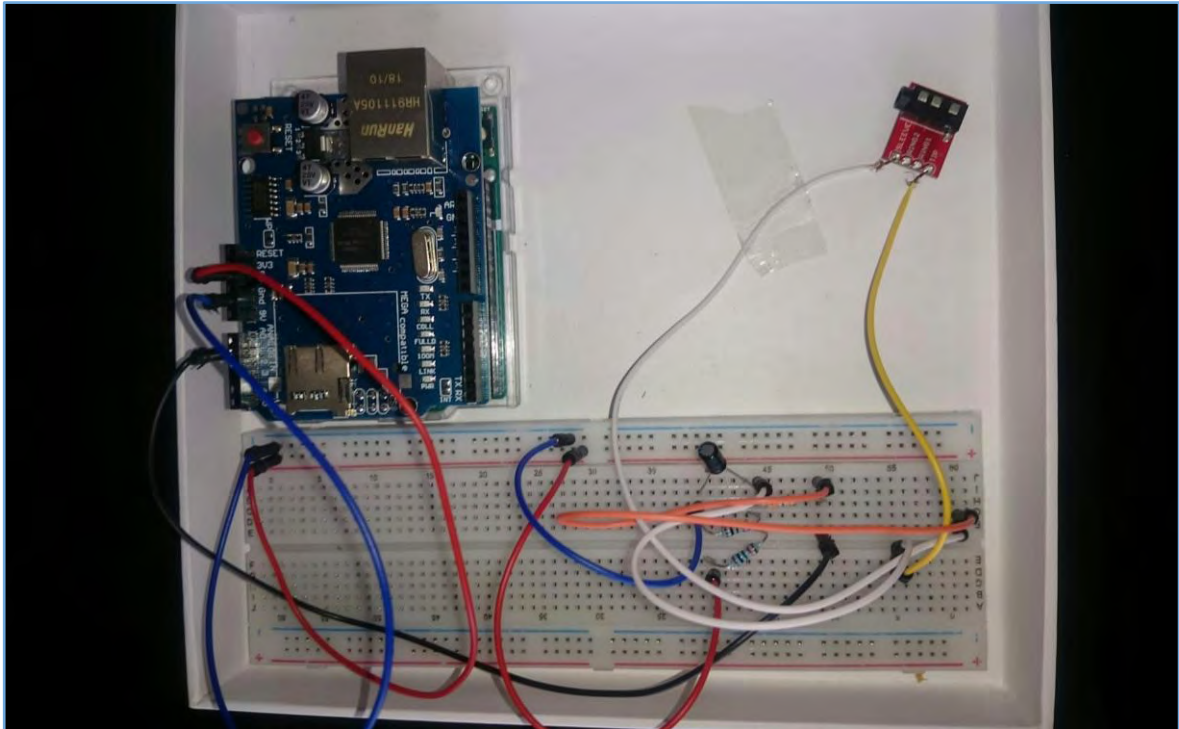


Σχήμα 29: Σύνδεση κυκλώματος αισθητήρα με το Arduino Uno Rev3.

Στο Σχήμα 30 απεικονίζεται το τελικό αποτέλεσμα της υλοποίησης του κυκλώματος του μετρητή του συστήματος ARMS και διακρίνονται όλα τα επιμέρους στοιχεία που τον συντελούν. Πάνω αριστερά βρίσκεται το Arduino Uno Rev3 με τοποθετημένη την επέκταση Ethernet Shield W5100 πάνω σε αυτό, στα δεξιά τους βρίσκεται η υποδοχή βύσματος τύπου Jack 3.5mm, όπου γίνεται η σύνδεση του αισθητήρα SCT-013, ενώ στο κάτω μέρος βρίσκεται η πλακέτα διασύνδεσης Breadboard πάνω στην οποία έχει δημιουργηθεί το κατάλληλο κύκλωμα που αναλύθηκε παραπάνω. Διακρίνονται επιπλέον όλες οι διασυνδέσεις που απαιτούνται στο σύστημα.

Για την καλύτερη μελέτη και κατανόηση του κυκλώματος του μετρητή βοηθάει το Σχήμα 26 στο οποίο φαίνεται περιεκτικά και επεξηγηματικά η διασύνδεση όλων

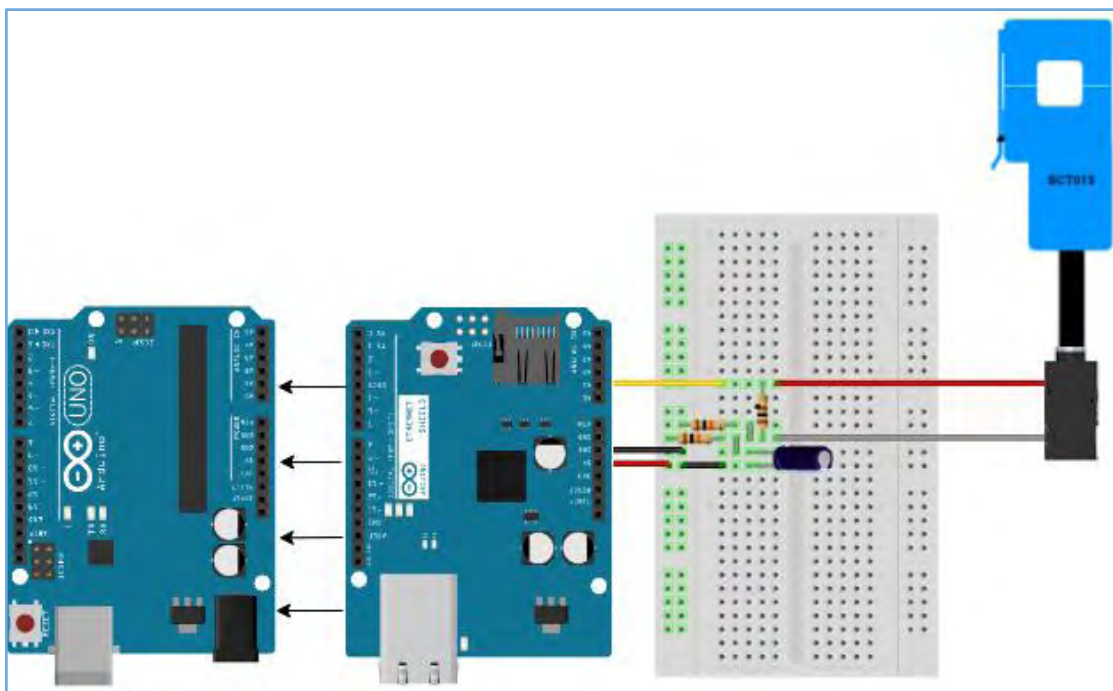
των μερών του κυκλώματος και οι καταλήξεις των ακροδεκτών του Arduino. Επιπρόσθετα, παρατίθεται και το πλήρες σχηματικό μετρητή του συστήματος ARMS στο Σχήμα 31 όπου απεικονίζονται ευκρινέστερα όλες οι συνδέσεις και τα στοιχεία του μετρητή.



Σχήμα 30: Ολοκληρωμένη εικόνα του κυκλώματος του μετρητή του συστήματος.

Η υλοποίηση του μετρητή έγινε στα πλαίσια της ανάπτυξης του συστήματος απομακρυσμένης παρακολούθησης ARMS και αποτελεί ένα κομβικό κομμάτι του, καθώς μέσω αυτού πραγματοποιούνται οι μετρήσεις του συστήματος. Χρειάστηκε προσεκτική μελέτη και ανάπτυξη του συστήματος για να φτάσει στην τελική του μορφή και να καλύπτει τις ανάγκες λειτουργίας του ARMS αλλά και να κινείται σε επιτρεπτά όρια λειτουργίας όλων των επιμέρους στοιχείων που το αποτελούν. Το τελικό αποτέλεσμα αποτελεί ένα κύκλωμα που μετράει την ένταση του ρεύματος μιας μονοφασικής παροχής με τη χρήση ενός αισθητήρα με συμπεριφορά μετασχηματιστή, την υποβιβάζει και μέσω της ροής ρεύματος από την αντίσταση φορτίου αναπτύσσεται μια τάση που χρησιμοποιείται για τις μετρήσεις. Με βάση τα επιτρεπτά όρια λειτουργίας του Arduino δημιουργήθηκε μια λύση για την μέτρηση της τάσης όπου το ρεύμα του φορτίου που παρακολουθείται υπολογίζεται με βάση την απόκλιση της τάσης που εισέρχεται στην αναλογική είσοδο σε σχέση με την

τάση αναφοράς των 2.5V. Για παράδειγμα, τάση 2.5V στην είσοδο σημαίνει μηδενικό ρεύμα στην αντίσταση φορτίου και συνεπώς μηδενικό φορτίο μέτρησης. Ενώ, αν η τάση εισόδου είναι 4.83V ή 0.17V, δηλαδή εμφανίζεται η μεγαλύτερη δυνατή θετική ή αρνητική τάση στην αντίσταση στην αντίσταση φορτίου (+ ή - 2.33V) τότε προκύπτει και το μέγιστο δυνατό ρεύμα 50mA για την αντίσταση φορτίου και συνεπώς 100A στο φορτίο μέτρησης. Γενικά, με βάση την τάση εισόδου του Arduino και την απόκλιση της από την τάση αναφοράς, γίνεται ο υπολογισμός, μέσω διεργασιών του λογισμικού, της έντασης ρεύματος του φορτίου που παρακολουθείται.



Σχήμα 31: Σχηματικό του μετρητή του συστήματος ARMS.

5.2 Προγραμματισμός Arduino

Για την διαδικασία της παρακολούθησης ενός φορτίου από τον μετρητή του συστήματος ARMS, πέραν της υλοποίησης του κυκλώματος και των διασυνδέσεων των επιμέρους στοιχείων που αποτελούν τον μετρητή, απαιτήθηκε και ο κατάλληλος προγραμματισμός της κεντρικής πλακέτας Arduino Uno Rev3, χάριν στον οποίο έγινε δυνατή η διασύνδεση του Arduino με τον αισθητήρα, την επέκταση Ethernet Shield W5100 και κατά συνέπεια και με το δίκτυο. Ο προγραμματισμός του Arduino

είναι απαραίτητος καθώς η φυσική απλά διασύνδεση των στοιχείων δεν μπορεί από μόνη της να αποτελέσει ένα μετρητικό σύστημα και χρειάζεται και λογισμικό μέρος που αποτελεί το μυαλό του μετρητή και το καθιστά ικανό να συλλέγει τα δεδομένα, να τα ερμηνεύει και στη συνέχεια να τα αποστέλλει μέσω του δικτύου στο επόμενο στάδιο του συστήματος μέτρησης και παρακολούθησης ARMS.

Ο προγραμματισμός του Arduino έγινε στο περιβάλλον Arduino IDE το οποίο είναι ειδικά σχεδιασμένο για της ανάγκες πλακετών όπως το UNO Rev3 και παρέχει μια σειρά εργαλείων και δυνατοτήτων που το καθιστούν σαν τη βέλτιστη επιλογή περιβάλλοντος προγραμματισμού για τον μετρητή του ARMS. Δημιουργήθηκε ένα αρχείο με όνομα "ARMSsendtoDataBase" το οποίο είναι τύπου ".ino", αποτελεί το κεντρικό πρόγραμμα του μετρητή και εφόσον μεταφορτωθεί στο Arduino, τίθεται σε λειτουργία κάθε φορά που το σύστημα βρίσκεται σε τροφοδοσία. Όπως κάθε πρόγραμμα του περιβάλλοντος Arduino IDE είναι βασισμένο στη γλώσσα προγραμματισμού C++ και αποτελείται από δύο κύριες συναρτήσεις, οι οποίες θα αναλυθούν διεξοδικά στη συνέχεια. Εν συντομία, κύριες λειτουργίες του είναι η συλλογή της μέτρησης, η ερμηνεία της, η επεξεργασία της και εν τέλη η αποστολή της στη βάση δεδομένων. Για την καλύτερη προβολή και πιο κατανοητή επεξήγηση του κώδικα του προγράμματος, η απεικόνισή του χωρίστηκε σε δύο μέρη τα οποία παρουσιάζονται στα Σχήματα 32 και 35 και αναλύονται ξεχωριστά.

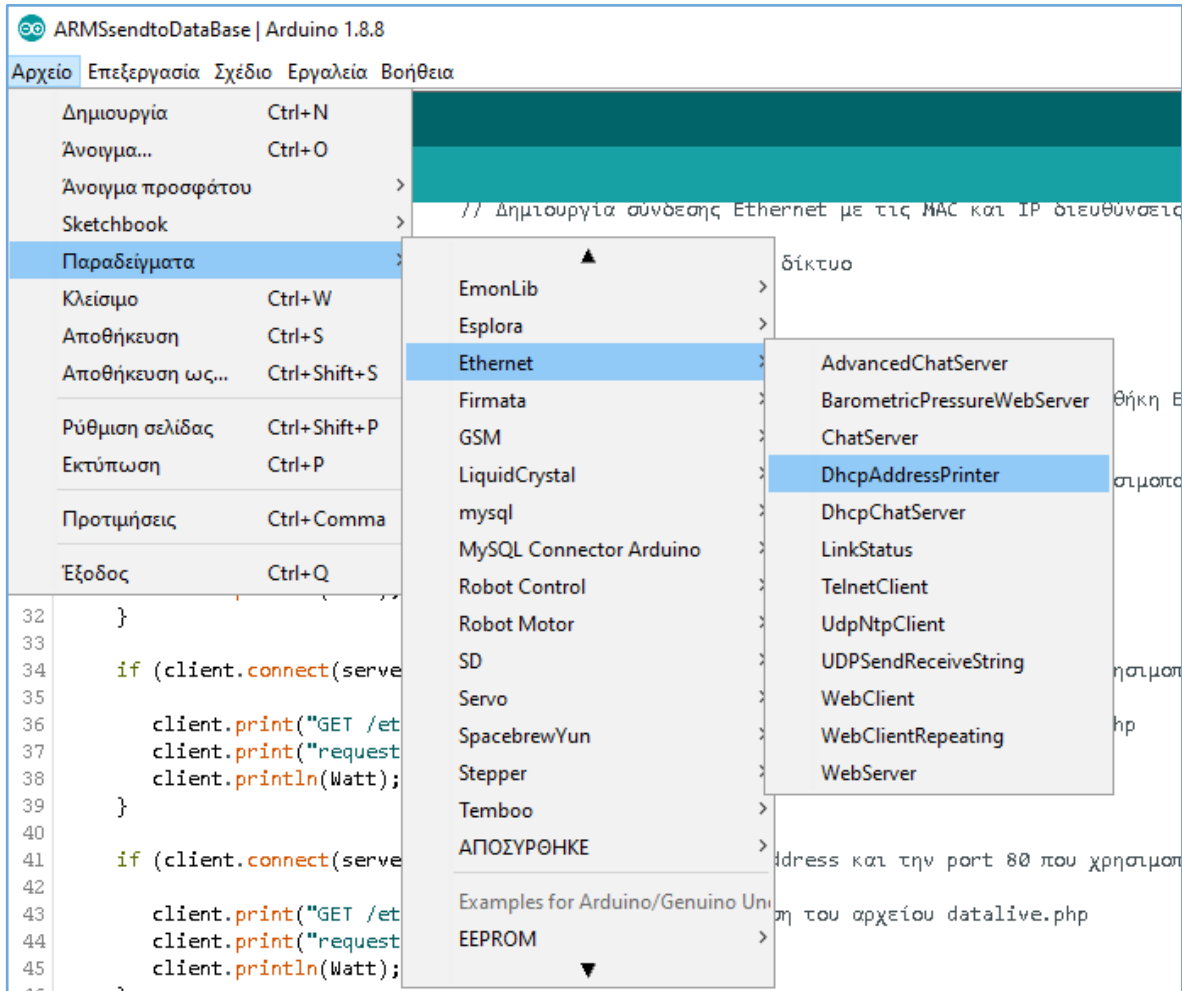
```
ARMSsendtoDataBase
1 #include <SPI.h>           // Βιβλιοθήκη για διασύνδεση SPI
2 #include <Ethernet.h>     // Βιβλιοθήκη για εντολές του Ethernet Shield
3 #include "EmonLib.h"      // Εναρμότωση της EmonLibrary βιβλιοθήκης για την ερμηνεία των μετρήσεων του STC-013
4
5 EnergyMonitor emon1;     // Δημιουργία οντότητας για τον μετρητή
6
7 byte mac[] = { 0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFE, 0xED }; //MAC address του Ethernet Shield
8 byte ip[] = {192 , 168, 1, 18}; // IP address του Ethernet Shield
9 byte server[] = {192 , 168, 1, 17}; // IP address του Server-Υπολογιστή
10
11 EthernetClient client;   // Δημιουργία οντότητας client για το Ethernet
12
13 void setup()
14 {
15   Serial.begin(9600);     // baud rate
16   emon1.current(1, 53.1); // Συνάρτηση current της EmonLib για αρχικοποίηση pin εισόδου και calibration
17   Ethernet.begin(mac, ip); // Δημιουργία σύνδεσης Ethernet με τις MAC και IP διευθύνσεις του Ethernet Shield
18
19   delay(5000);           // Αναμονή για σύνδεση στο δίκτυο
20 }
21
```

Σχήμα 32: Το πρώτο μέρος του προγράμματος "ARMSsendtoDataBase".

Στο Σχήμα 32 βρίσκεται το πρώτο τμήμα του προγράμματος που περιλαμβάνει όλες τις απαραίτητες βιβλιοθήκες, αρχικοποιήσεις τιμών και συναρτήσεων. Στις τρεις πρώτες γραμμές γίνεται η δήλωση και ενσωμάτωση των απαραίτητων βιβλιοθηκών για τη λειτουργία του μετρητή. Η βιβλιοθήκη “SPI.h” είναι από τις βασικότερες της πλατφόρμας Arduino και επιτρέπει τη διασύνδεση του Arduino με συσκευές-επεκτάσεις μέσω SPI και τον έλεγχο αυτών από την κεντρική πλακέτα. Η “Ethernet.h” βιβλιοθήκη αποτελεί μια βιβλιοθήκη που καλύπτει τις ανάγκες του Ethernet Shield W5100 και κάνει εύκολη την χρήση του. Η “EmonLib.h” αποτελεί μια βιβλιοθήκη που εξυπηρετεί τη λειτουργία και την αξιοποίηση των δεδομένων που προέρχονται από τον αισθητήρα SCT-013. Στην πέμπτη γραμμή γίνεται με τη χρήση της “EmonLib.h” η δημιουργία της οντότητας “emon1” η οποία στη συνέχεια θα αποτελεί ένα αντικείμενο που εκφράζει τον μετρητή. Στις γραμμές επτά με εννέα δηλώνονται οι κατάλληλες μεταβλητές που εκφράζουν το δίκτυο στο οποίο θα λειτουργήσει το σύστημα ARMS. Οι τιμές αυτές είναι δυναμικές και κάθε φορά που το σύστημα ενεργοποιείται σε ένα δίκτυο πρέπει να επαναπροσδιορίζονται. Ο τρόπος με τον οποίο καθορίζονται οι τρεις αυτές τιμές θα αναλυθεί παρακάτω. Στην γραμμή έντεκα γίνεται με τη χρήση της “Ethernet.h” η δημιουργία της οντότητας “client” η οποία θα αποτελεί ένα αντικείμενο που απαιτείται για τη σύνδεση στο δίκτυο και τη σύνδεση στον Server.

Στην συνέχεια του κώδικα υπάρχει η συνάρτηση “setup” η οποία είναι τύπου void και αρχικοποιεί διάφορα στοιχεία του συστήματος. Ξεκινά με τον καθορισμό του baud rate του προγράμματος στα 9600 τα αποτελούν τη συχνότητα σειριακής μετάδοσης του συστήματος. Το μέγεθος αυτό εκφράζει τον αριθμό των bits τα οποία μπορούν να αποσταλούν σε ένα κανάλι και για παράδειγμα το baud rate 9600 εκφράζεται ως μεταφορά 9600 bits ανά δευτερόλεπτο. Εν συνέχεια, υπάρχει η εντολή “emon1.current(1, 53.1)” η οποία με τη χρήση της “EmonLib.h” ορίζει πως στο analog pin 1 είναι ο ακροδέκτης εισόδου και δίνει τη δυνατότητα βαθμοποίησης των δεδομένων μέτρησης που εμφανίζονται στο pin 1. Το 1 στον ορισμό της εισόδου σχετίζεται με την επιλογή του ακροδέκτη αναλογικής εισόδου A1 του Arduino που επιλέχθηκε στο στάδιο της υλοποίησης του κυκλώματος του μετρητή. Η εντολή “Ethernet.begin(mac, ip)” συνδέει μέσω Ethernet τον Server με τον μετρητή, ο οποίος αποκτά τις αντίστοιχες διευθύνσεις mac και ip. Στο πρώτο κομμάτι του κώδικα, υπάρχει και μια εντολή που προσδίδει μια καθυστέρηση στο πέντε δευτερολέπτων

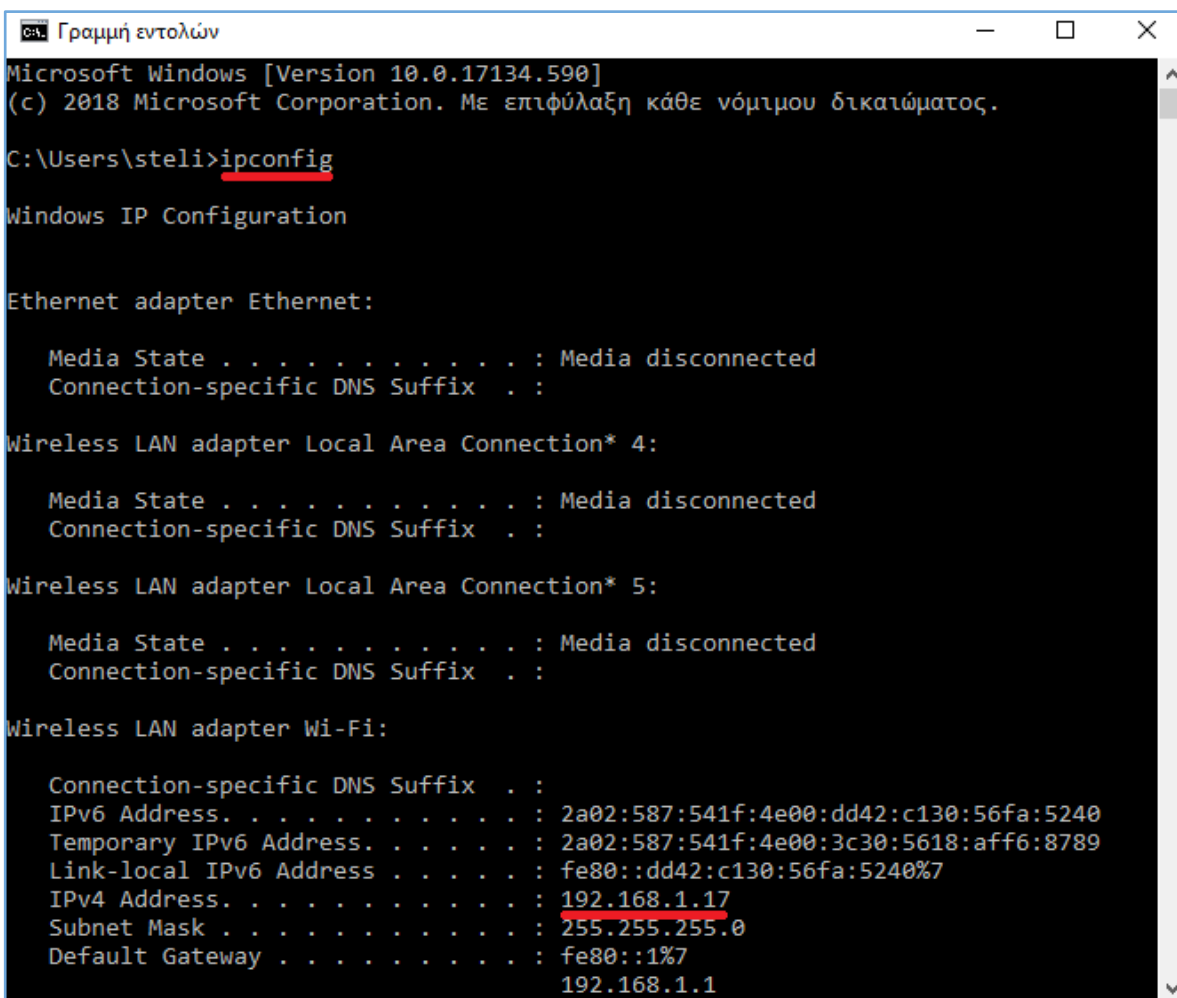
στην διαδικασία αρχικοποίησης του συστήματος προκειμένου να υπάρξει ο κατάλληλος χρόνος για τις διεργασίες που απαιτούνται για μια ομαλή έναρξη λειτουργίας του συστήματος.



Σχήμα 33: Τοποθεσία του προγράμματος εύρεσης διεύθυνσης IP του μετρητή.

Για την επιτυχή σύνδεση του μετρητή στο δίκτυο και την διασύνδεσή του με τη βάση δεδομένων, χρειάζεται αρχικά η εύρεση των διευθύνσεων IP του μετρητή και του Server μέσα στο δίκτυο. Ο μετρητής χρειάζεται και μια MAC διεύθυνση, η οποία απαιτείται για τη σύνδεση και στο σύστημα ARMS της προσδίδεται η τιμή που φαίνεται στη γραμμή επτά στο Σχήμα 32. Για την εύρεση της διεύθυνσης IP του μετρητή γίνεται χρήση του προγράμματος "DhcpAddressPrinter", το οποίο είναι παράδειγμα κώδικα της βιβλιοθήκης "Ethernet.h" και μπορεί να εκτυπώνει τη IP ενός Ethernet Shield όταν αυτό λειτουργεί σε συνδυασμό με μια κεντρική πλακέτα Arduino. Το μονοπάτι για την τοποθεσία του προγράμματος αυτού στο περιβάλλον

Arduino IDE είναι “Αρχείο→Παραδείγματα→Ethernet→DhcpAddressPrinter” και απεικονίζεται στο Σχήμα 33. Χρειάζεται και η εύρεση της IP διεύθυνσης του Server προκειμένου να μπορεί να γίνει η αποστολή των δεδομένων από τις μετρήσεις σε αυτόν. Αυτό γίνεται μέσω της πληκτρολόγησης της εντολής “ipconfig” στην γραμμή εντολών με την οποία εμφανίζεται η διεύθυνση του Server στο δίκτυο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 34. Οι διευθύνσεις IP του μετρητή και του Server βρίσκονται στις γραμμές οκτώ και εννέα αντίστοιχα και θα αναφερθεί άλλη μια φορά πως πρόκειται για δυναμικές τιμές και με κάθε ενεργοποίηση του συστήματος χρειάζεται επανέλεγχος τους.



```
Microsoft Windows [Version 10.0.17134.590]
(c) 2018 Microsoft Corporation. Με επιφύλαξη κάθε νόμιμου δικαιώματος.

C:\Users\steli>ipconfig

Windows IP Configuration

Ethernet adapter Ethernet:

    Media State . . . . . : Media disconnected
    Connection-specific DNS Suffix . :

Wireless LAN adapter Local Area Connection* 4:

    Media State . . . . . : Media disconnected
    Connection-specific DNS Suffix . :

Wireless LAN adapter Local Area Connection* 5:

    Media State . . . . . : Media disconnected
    Connection-specific DNS Suffix . :

Wireless LAN adapter Wi-Fi:

    Connection-specific DNS Suffix . :
    IPv6 Address. . . . . : 2a02:587:541f:4e00:dd42:c130:56fa:5240
    Temporary IPv6 Address. . . . . : 2a02:587:541f:4e00:3c30:5618:aff6:8789
    Link-local IPv6 Address . . . . . : fe80::dd42:c130:56fa:5240%7
    IPv4 Address. . . . . : 192.168.1.17
    Subnet Mask . . . . . : 255.255.255.0
    Default Gateway . . . . . : fe80::1%7
                                192.168.1.1
```

Σχήμα 34: Εύρεση διεύθυνσης IP του Server μέσω Γραμμής εντολών.

Στο Σχήμα 35 παρουσιάζεται το δεύτερο τμήμα του κώδικα το οποίο τρέχει κατ’ επανάληψη, μετά το στάδιο της αρχικοποίησης, όσο ο μετρητής βρίσκεται σε πηγή τροφοδοσίας. Αυτό φαίνεται και από το όνομα της συνάρτησης “loop” μέσα

στην οποία βρίσκονται και όλες οι εντολές του τμήματος αυτού. Η συνάρτηση είναι τύπου void και περιλαμβάνει όλες τις απαραίτητες εντολές για τον υπολογισμό της ισχύος του φορτίου που παρακολουθείται από το σύστημα ARMS και την αποστολή των δεδομένων στο Server. Στην γραμμή είκοσι τέσσερα βρίσκεται η εντολή “double Irms = emon1.calcIrms(1480)-0.10” η οποία ορίζει τη μεταβλητή Irms τύπου double και με τη χρήση της βιβλιοθήκης “EmonLib.h” αλλά και με σωστή βαθμοποίηση υπολογίζει την ένταση του ρεύματος που αντιστοιχεί στο φορτίο που παρακολουθείται. Στη συνέχεια, στην γραμμή είκοσι πέντε με τη χρήση του τύπου $P = V * I * \cos\phi$ και θεωρώντας την τάση του δικτύου σταθερή και ίση με 230V και το συντελεστή ισχύος ίσο με την μονάδα ($\cos\phi = 1$), υπολογίζεται η ηλεκτρική ισχύς του φορτίου. Ακολουθώντας τρεις πανομοιότυπες συνθήκες με τις οποίες γίνεται η αποστολή της υπολογισμένης ισχύος στην βάση δεδομένων μέσω της κλήσης κατάλληλων αρχείων που διαχειρίζονται την εγγραφή των μετρήσεων στο κατάλληλο σημείο της βάσης. Με την εντολή “client.connect(server, 80)” που βρίσκεται στη δήλωση της συνθήκης “if” γίνεται η σύνδεση του μετρητή με την διεύθυνση IP του Server και την κατάλληλη port μέσω της οποίας αποκτά πρόσβαση στη βάση δεδομένων.

Αφού έχει δημιουργηθεί το κανάλι για την αποστολή δεδομένων από το μετρητή στη βάση, ακολουθούν οι απαραίτητες εντολές για την εγγραφή των στοιχείων στην βάση. Κάθε φορά, με την κλήση του κατάλληλου αρχείου γίνεται και η αποθήκευση της τιμής στον αντίστοιχο πίνακα της βάσης. Για παράδειγμα, για την εγγραφή δεδομένων στον πίνακα της ημερήσιας κατανάλωσης με την εντολή “client.print (“GET /ethernet/datadaily.php?”)” και την εκμετάλλευση των ιδιοτήτων της βιβλιοθήκης “Ethernet.h” γίνεται η κλήση του αρχείου datadaily.php για την διαχείριση των δεδομένων. Στην εντολή αυτή γίνεται χρήση και της γλώσσας PHP και αξιοποιείται η εντολή GET αυτής με την οποία γίνεται η κλήση αρχείων. Πρέπει ακόμα να καθοριστεί επακριβώς η θέση στην οποία βρίσκεται το αρχείο .php μέσω περιγραφής του μονοπατιού του, κάτι που σε αυτή την περίπτωση δηλώνεται με το “/ethernet/datadaily.php”. Έπειτα στις γραμμές τριάντα και τριάντα ένα ορίζεται η μεταβλητή εισόδου request του αρχείου και προσδίδεται σε αυτή η τιμή της ισχύος που έχει υπολογιστεί παραπάνω. Στις επόμενες γραμμές, τριάντα τέσσερα με σαράντα έξι, υπάρχουν άλλες δύο συνθήκες που εκτελούν την παρόμοια διεργασία, με την μοναδική διαφορά να κείτεται στην κλήση άλλων αρχείων, για την εγγραφή στον πίνακα των ωριαίων καταναλώσεων με το αρχείο “datahourly.php” και στον

πίνακα της στιγμιαίας ισχύος με το “datalive.php”. Και τα τρία αρχεία καλούνται με τον ίδιο τρόπο και βρίσκονται στο ίδιο σημείο μέσα στον Server για την διευκόλυνση της σύνταξης του προγράμματος. Στις επόμενες γραμμές, υπάρχουν ορισμένες εντολές, συμβουλευτικού κυρίως χαρακτήρα, για την εκτύπωση του αποτελέσματος της μέτρησης στη Σειριακή Οθόνη του περιβάλλοντος του Arduino και έχουν ως σκοπό την παρακολούθηση της λειτουργίας του προγράμματος. Στο τέλος του δεύτερου τμήματος του κώδικα βρίσκεται η εντολή “delay(1450)” η οποία είναι αυτή που συγχρονίζει τη λειτουργία του προγράμματος και πιο συγκεκριμένα επιτρέπει στη συνάρτηση loop να εκτελεί ένα πλήρες κύκλο ανά δύο δευτερόλεπτα. Ο προκαθορισμένος χρόνος εκτέλεσης των εντολών είναι απαραίτητος για την σωστή διαχείριση των δεδομένων που προκύπτουν από την παρακολούθηση ενός φορτίου, καθώς χωρίς καθορισμένη συχνότητα πραγματοποίησης των μετρήσεων, δεν ήταν δυνατός ο αξιόπιστος υπολογισμός της ημερήσιας και ωριαίας κατανάλωσης.

```
21
22 void loop()
23 {
24     double Irms = emon1.calcIrms(1480)-0.10; // Υπολογισμός Irms με συνάρτηση της βιβλιοθήκη EmonLib
25     double Watt = Irms*230.0; // Υπολογισμός Ισχύς με τάση τα 230V
26
27     if (client.connect(server, 80)) { // Σύνδεση στην IP address και την port 80 που χρησιμοποιείται για local host
28
29         client.print("GET /ethernet/datadaily.php?"); // Κλήση του αρχείου datadaily.php
30         client.print("request=");
31         client.println(Watt);
32     }
33
34     if (client.connect(server, 80)) { // Σύνδεση στην IP address και την port 80 που χρησιμοποιείται για local host
35
36         client.print("GET /ethernet/datahourly.php?"); // Κλήση του αρχείου datahourly.php
37         client.print("request=");
38         client.println(Watt);
39     }
40
41     if (client.connect(server, 80)) { // Σύνδεση στην IP address και την port 80 που χρησιμοποιείται για local host
42
43         client.print("GET /ethernet/datalive.php?"); // Κλήση του αρχείου datalive.php
44         client.print("request=");
45         client.println(Watt);
46     }
47
48     Serial.print("Irms = ");
49     Serial.print(Irms);
50     Serial.print(",");
51     Serial.print(" Watt = ");
52     Serial.println(Watt);
53
54     delay(1450); // Χρόνος καθυστέρησης για συγχρονισμό του συστήματος
55 }
```

Σχήμα 35: Το δεύτερο μέρος του προγράμματος “ARMSsendtoDataBase”.

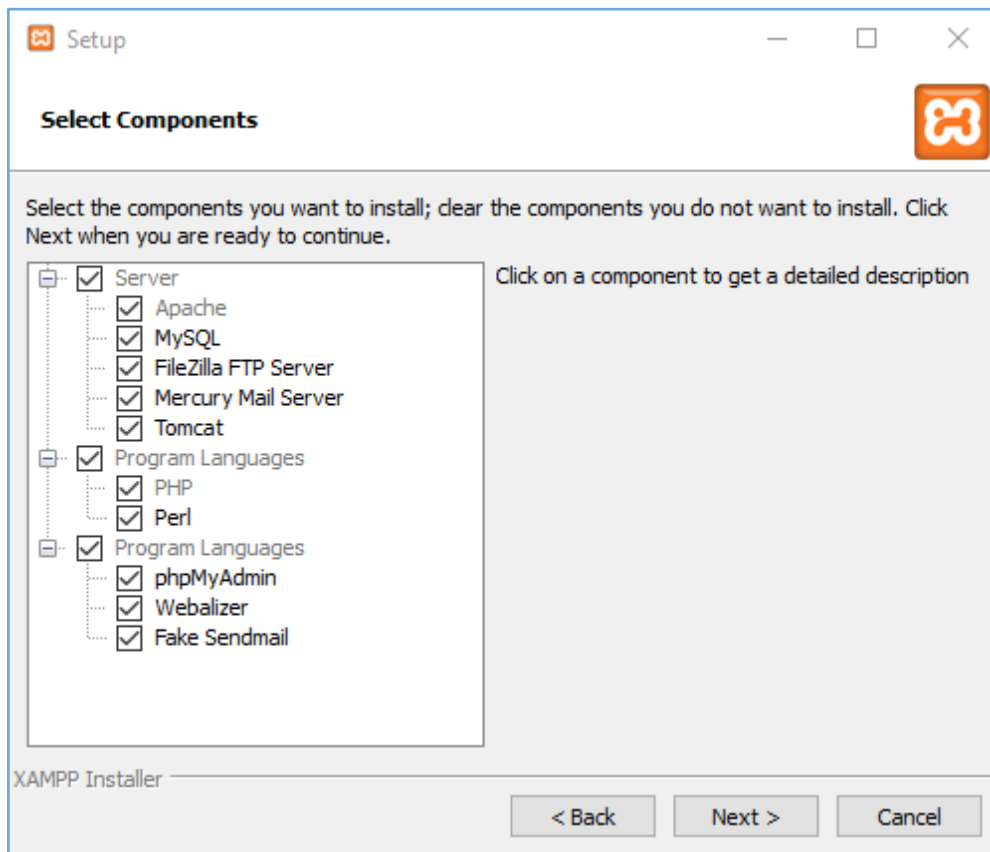
Συνοψίζοντας, ο κώδικας των Σχημάτων 32 και 35 αποτελεί το πρόγραμμα που καθιστά δυνατή την λήψη δεδομένων, την επεξεργασία τους και την αποστολή τους στο δίκτυο από τον μετρητή του συστήματος ARMS. Έγινε η προσπάθεια να επεξηγηθεί αναλυτικά και να παρουσιαστεί όλη η απαραίτητη πληροφορία που χρειάζεται για την σωστή κατανόηση του τρόπου λειτουργίας του και των αρχών πάνω στις οποίες βασίζεται. Η ροή του κώδικα αντικατοπτρίζει και την ροή της πληροφορίας στον μετρητή του συστήματος ARMS. Ξεκινάει από την συλλογή κάποιων δεδομένων στην είσοδό του, τα ερμηνεύει κατάλληλα, μέσω επεξεργασίας δημιουργεί το τελικό προϊόν της μέτρησης και στο τέλος το αποστέλλει στον Server.

5.3 Δημιουργία Ιστοσελίδας

Για την ολοκληρωμένη λειτουργία του συστήματος ARMS, χρειάζεται η διαχείριση και η προβολή των δεδομένων των μετρήσεων που συλλέγει ο μετρητής. Χωρίς να είναι διαθέσιμα κάπου τα στοιχεία που μετρώνται δεν έχει λόγο ύπαρξης το μετρητικό κομμάτι ενός συστήματος καθώς ο απώτερος σκοπός της παρακολούθησης της κατανάλωσης είναι η μελέτη των στοιχείων που προκύπτουν κατά τη λειτουργία του συστήματος. Ένας μετρητής από μόνος του δεν προσφέρει τίποτα περισσότερο από την κάλυψη χώρου σε μια εγκατάσταση. Η προβολή των δεδομένων θα μπορούσε να υλοποιηθεί μέσω μιας μεγάλης ποικιλίας επιλογών, όπως η άμεση προβολή σε μια ενσωματωμένη στο μετρητή οθόνη, ωστόσο για τις ανάγκες του συστήματος ARMS και την προσθήκη δυνατοτήτων αποθήκευσης δεδομένων και απομακρυσμένης παρακολούθησης αυτών, κρίθηκε σαν βέλτιστη λύση η δημιουργία μιας ιστοσελίδας μέσω της οποίας παρουσιάζονται όλα τα δεδομένα με τη χρήση γραφημάτων που προσφέρονται σε ένα διαδραστικό και φιλικό περιβάλλον.

Η ανάπτυξη της ιστοσελίδας και όλων των στοιχείου που χρειάστηκαν για την υλοποίησή της, όπως η βάση δεδομένων που αποθηκεύονται οι καταγραφές της κατανάλωσης, έγιναν σε τοπικό επίπεδο με τη δημιουργία ενός local host σε προσωπικό υπολογιστή, ο οποίος τελεί χρέη Server. Για να καταστεί δυνατή η χρήση του υπολογιστή ως τον Εξυπηρετητή του συστήματος ARMS χρησιμοποιήθηκε το πακέτο προγραμμάτων ελεύθερου λογισμικού XAMPP. Μέσω

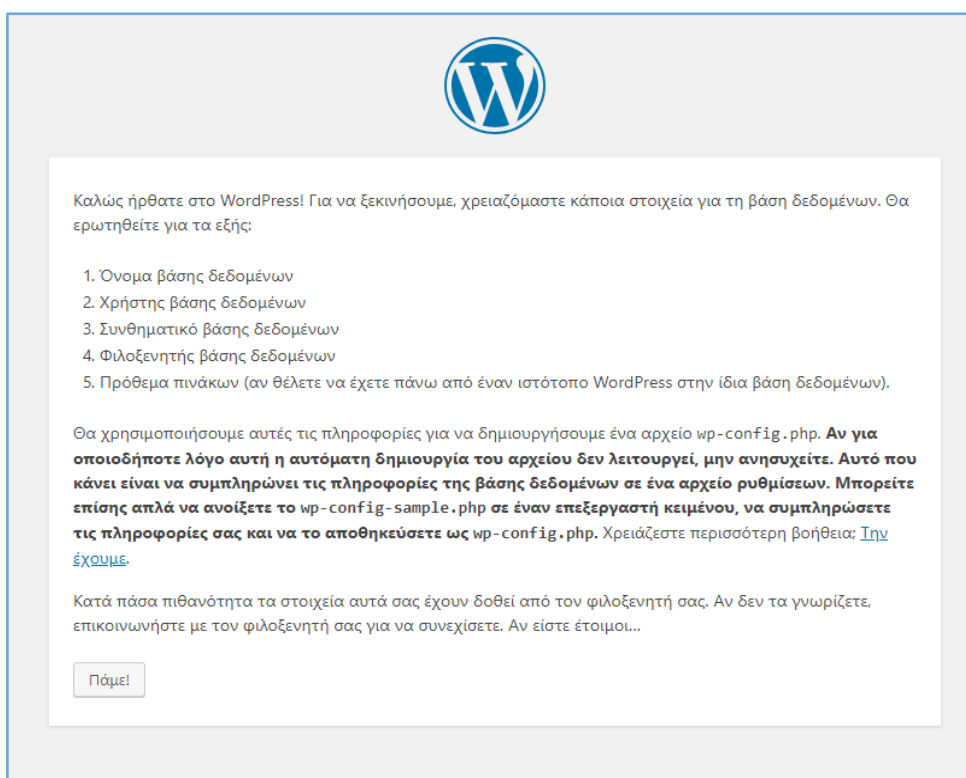
αυτού δημιουργείται ο εξυπηρετητής της ιστοσελίδας και η βάση δεδομένων του συστήματος. Αρχικά έγινε λήψη του πακέτου XAMPP από το της επίσημη ιστοσελίδα της πλατφόρμας και ακολούθησε η εγκατάσταση του. Κατά τη διαδικασία αυτή δίνεται μια πληθώρα επιλογών, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 36, και για την κάλυψη όσο το δυνατόν περισσότερα δυνατοτήτων επιλέχθηκαν όλα τα λογισμικά που προσφέρονται από το XAMPP. Αυτό έγινε κυρίως γιατί το ARMS αποτελεί ένα δυναμικό πρότζεκτ με μεγάλες προοπτικές ανάπτυξης όπου ανά πάσα στιγμή ενδέχεται να προκύψουν καινούριες απαιτήσεις. Μετά την επιλογή των λογισμικών, ολοκληρώνεται αυτόματα η διαδικασία της εγκατάστασης στην επιθυμητή τοποθεσία του υπολογιστή.



Σχήμα 36: Στιγμιότυπο από την εγκατάσταση του XAMPP.

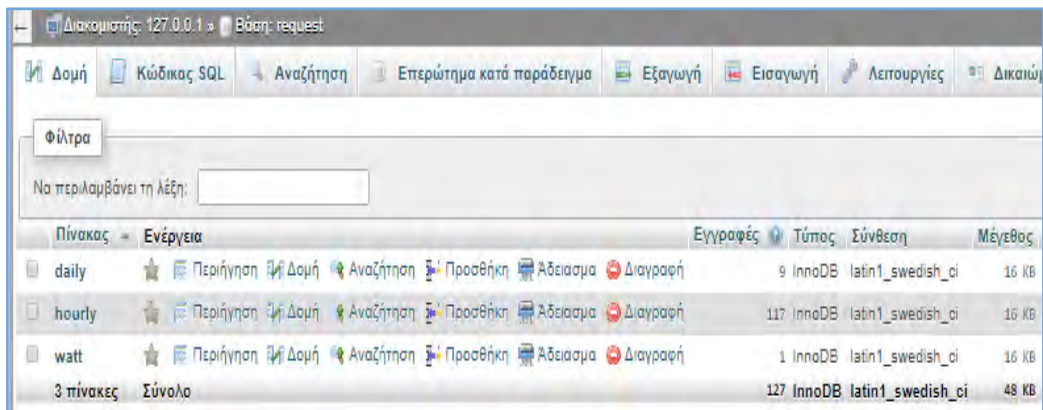
Εφόσον έχει γίνει η εγκατάσταση του XAMPP, ο υπολογιστής μετατρέπεται σε Server και πληροί όλες τις απαραίτητες προϋποθέσεις για τη φιλοξενία μιας ιστοσελίδας. Για την ανάπτυξη της ιστοσελίδας αυτής, που αποτελεί και το μέσο επικοινωνίας του χρήστη του συστήματος με το μετρητή και τα δεδομένα του, αξιοποιήθηκε το λογισμικό WordPress. Το WordPress είναι μια δωρεάν πλατφόρμα

για την ανάπτυξη ιστοσελίδων που παρέχει όλα τα απαραίτητα εργαλεία για την ανάπτυξη ενός όμορφου και εύχρηστου περιβάλλοντος χρήστη. Τα πλεονεκτήματα του και οι λόγοι επιλογής του αναλύονται στο υποκεφάλαιο 4.2 της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Η λήψη του λογισμικού έγινε από την επίσημη σελίδα της πλατφόρμας και μέσω απλών βημάτων πραγματοποιείται η εγκατάστασή του. Κατά την εγκατάσταση του WordPress απαιτείται και η δημιουργία μιας βάσης δεδομένων την οποία στη συνέχεια θα διαχειρίζεται η ιστοσελίδα, όπως απεικονίζεται και στο Σχήμα 37.



Σχήμα 37: Στιγμιότυπο από την εγκατάσταση του WordPress.

Για τις ανάγκες του συστήματος ARMS δημιουργήθηκε μια βάση δεδομένων με την ονομασία “request” η οποία περιλαμβάνει τρεις πίνακες, τους “daily”, “hourly” και “watt”, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 38. Στον κάθε πίνακα υπάρχουν συγκεκριμένες στήλες στις οποίες αποθηκεύονται τα απαραίτητα δεδομένα για την λειτουργία του συστήματος. Τα δεδομένα αυτά αποστέλλονται στη βάση από τον μετρητή και είναι διαθέσιμα για την επιθυμητή διαχείριση από το χρήστη του συστήματος. Οι διεργασίες αυτές, δηλαδή της συλλογής και της διαχείρισης των δεδομένων θα αναλυθούν στο επόμενο κεφάλαιο.



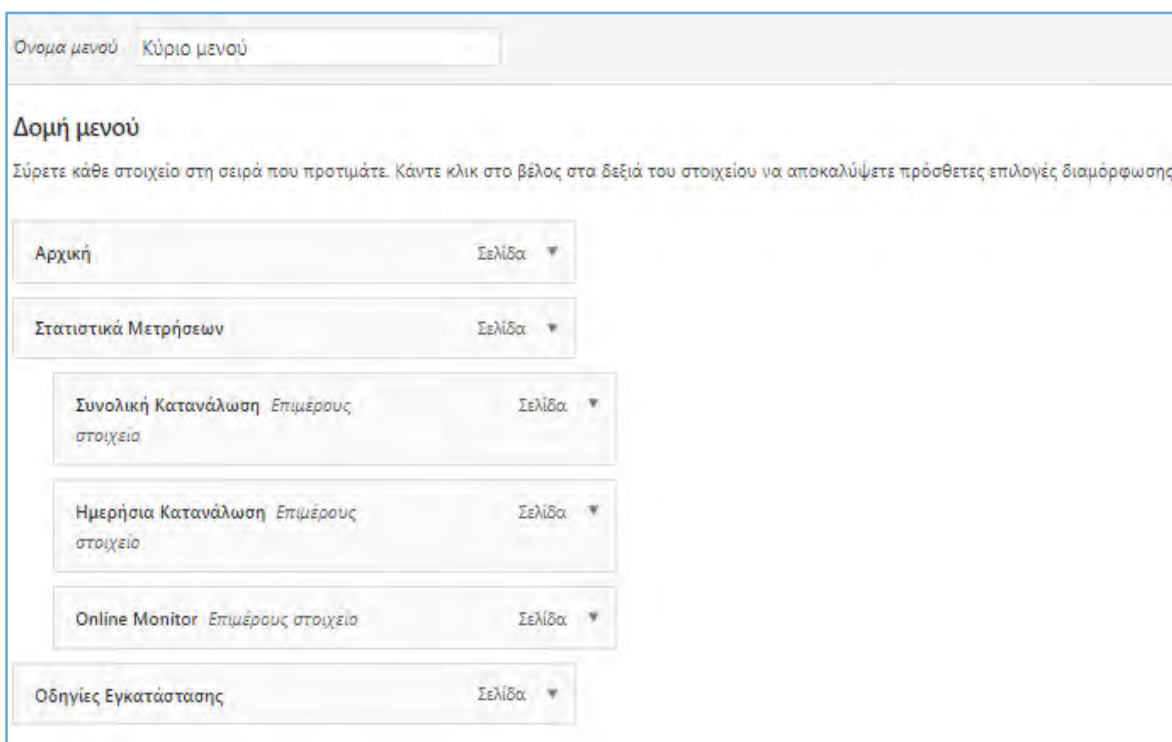
Σχήμα 38: Πίνακες της βάσης δεδομένων “request”.

Οι πίνακες σχεδιάστηκαν με γνώμονα την ευκολία της διαχείρισης των δεδομένων και ο κάθε ένας περιέχει τις κατάλληλες στήλες για την αποθήκευση των στοιχείων που αφορούν τις μετρήσεις. Στο Σχήμα 39 φαίνεται η δομή και των τριών πινάκων με τα στοιχεία που τους εκφράζουν. Ο πίνακας “daily” που συλλέγει τα δεδομένα της κατανάλωσης ανά ημέρα, περιέχει δύο στήλες, την “date” όπου αποθηκεύεται η ημερομηνία της μέτρησης και την “dailysum” στην οποία αθροίζεται το σύνολο της κατανάλωσης για κάθε ημερομηνία ξεχωριστά. Ο πίνακας “hourly” δημιουργήθηκε με τέτοιο τρόπο ώστε για κάθε ημερομηνία (στήλη “date”) να αποθηκεύει την ωριαία κατανάλωση (στήλη “hourlysum”) ορίζοντας την αφετηρία και το πέρας κάθε ώρας ξεχωριστά (στήλες “hour” και “endtime” αντίστοιχα). Στο τρίτο και τελευταίο πίνακα “watt” που κατασκευάστηκε, καταγράφεται η τελευταία χρονικά μέτρηση που πραγματοποιήθηκε, με την στήλη “watt” να κρατάει την στιγμιαία ισχύ και την “time” την στιγμή της μέτρησης. Κατά την δημιουργία των στηλών των πινάκων χρήζει προσοχής ο τύπος που θα ανατεθεί σε κάθε μια στήλη/μεταβλητή της βάσης καθώς θα πρέπει να είναι ανάλογος του δεδομένου που θα αποθηκεύεται εκεί.

<u>daily</u>			<u>hourly</u>			<u>watt</u>		
#	Όνομα	Τύπος	#	Όνομα	Τύπος	#	Όνομα	Τύπος
1	date	date	1	date	date	1	watt	float
2	dailysum	float	2	hour	varchar(20)	2	time	datetime
			3	endtime	varchar(20)			
			4	hourlysum	float			

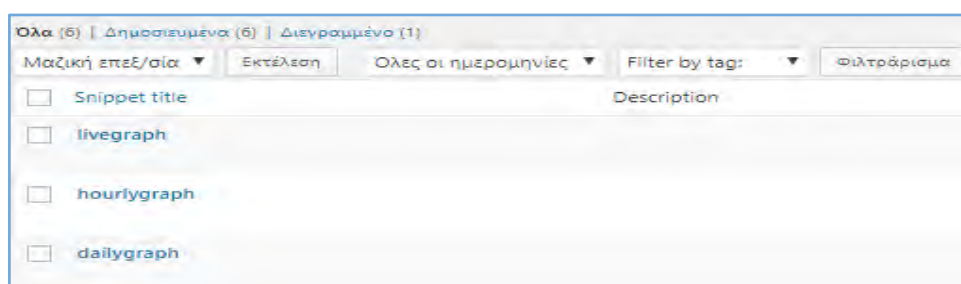
Σχήμα 39: Στήλες των πινάκων της βάσης δεδομένων “request”.

Εφόσον πραγματοποιήθηκαν όλες οι απαραίτητες διεργασίες και τέθηκαν οι βάσεις για την ύπαρξη μιας πλατφόρμας ανάπτυξης της ιστοσελίδας και την αποθήκευση των δεδομένων, άρχισε να χτίζεται η τελική μορφή του ιστοτόπου. Με τη χρήση των δυνατοτήτων του WordPress και των πρόσθετων εργαλείων που προσφέρει, κατασκευάστηκε η ραχοκοκαλιά της ιστοσελίδας. Η δομή του κύριου μενού της ιστοσελίδας που δημιουργήθηκε φαίνεται στο Σχήμα 40 και περιλαμβάνει την “Αρχική” σελίδα, που αποτελεί τη βιτρίνα του συστήματος ARMS και την πρώτη επαφή του χρήστη με αυτό, τα “Στατιστικά Μετρήσεων” του ARMS, αλλά και τις “Οδηγίες Εγκατάστασης” του συστήματος. Στα “Στατιστικά Μετρήσεων” υπάρχει ένα αναδυόμενο μενού που δίνει δυνατότητα στο χρήστη να επιλέξει την προβολή των πληροφοριών που επιθυμεί. Υπάρχει μια σελίδα για την προβολή της “Συνολικής Κατανάλωσης” όπου παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα στοιχεία των μετρήσεων για όλες τις μέρες τις οποίες το σύστημα βρισκόταν σε λειτουργία. Επίσης, στη σελίδα “Ημερήσια Κατανάλωση” δίνεται στο χρήστη η επιλογή να επιλέξει μια συγκεκριμένη ημερομηνία για την οποία επιθυμεί να ενημερωθεί για την κατανάλωσή του και στη συνέχεια του προβάλλεται η ωριαία κατανάλωση εκείνης της ημέρας. Τέλος υπάρχει και η επιλογή “Online Monitor” που δίνει τη δυνατότητα προβολής της τελευταίας μέτρησης του συστήματος.



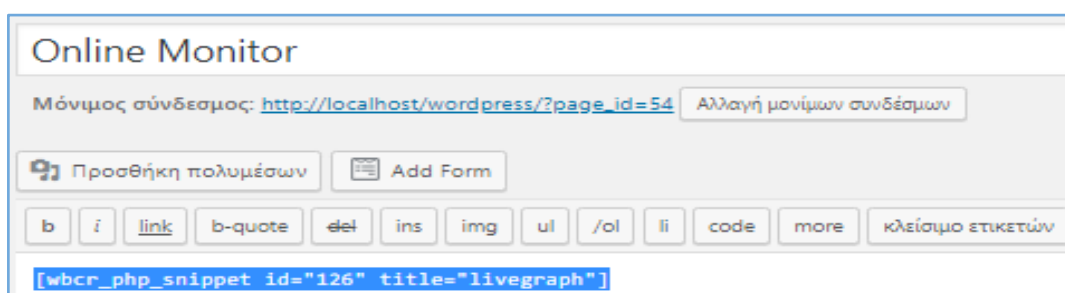
Σχήμα 40: Δομή του μενού της Ιστοσελίδας του ARMS.

Μετά την δημιουργία του μενού της ιστοσελίδας ακολούθησαν οι κατάλληλες τροποποιήσεις και η δημιουργία κώδικα που ήταν κρίσιμα για την λειτουργικότητα του ιστοτόπου. Στο Σχήμα 41 φαίνονται τρία αρχεία που είναι προγραμματισμένα σε γλώσσα PHP και έγιναν αυτόνομα κομμάτια κώδικα με τη χρήση του πρόσθετου Woody Snippet, το οποίο επιτρέπει την μετέπειτα ενσωμάτωση προγραμμάτων, που κατασκευάστηκαν στο περιβάλλον του, στο εσωτερικό της ιστοσελίδας. Τα τρία προγράμματα αυτά χρειάστηκαν στην κατασκευή της ιστοσελίδας καθώς πραγματοποιούν την προβολή των δεδομένων στο χρήστη μέσω γραφημάτων στη ιστοσελίδα.



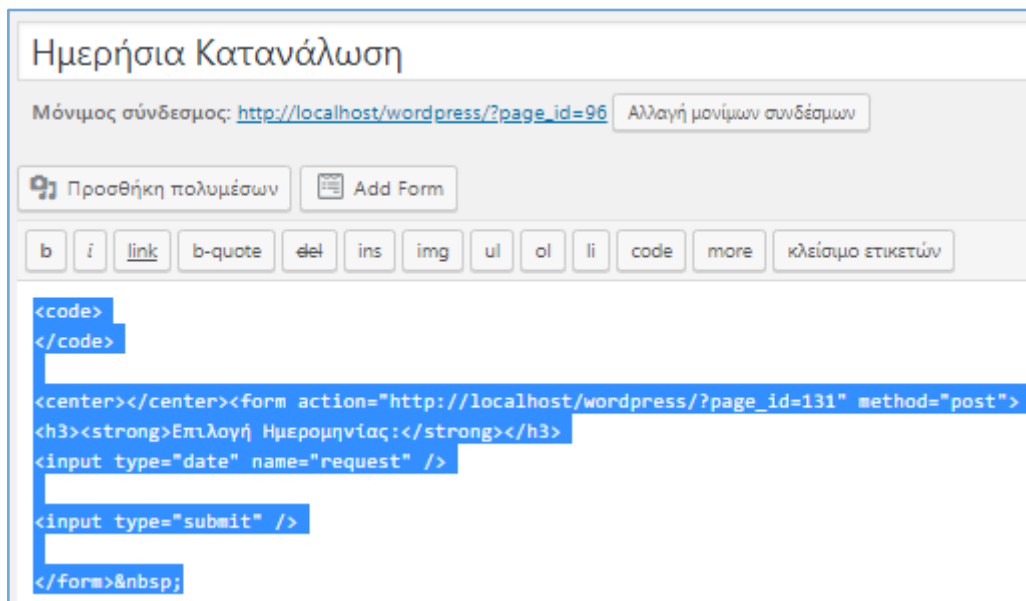
Σχήμα 41: Τα αρχεία Snippet για την ενσωμάτωση κώδικα.

Η ενσωμάτωση των κομματιών κώδικα που δημιουργήθηκαν μέσω του Woody Snippet έγινε στις σελίδες όπου γίνεται η προβολή των γραφημάτων της κατανάλωσης. Καθώς υπάρχουν τρεις τρόποι προβολής στοιχείων στην ιστοσελίδα, δημιουργήθηκαν και τρία κομμάτια κώδικα όπου το καθένα στη συνέχεια έπρεπε να ενσωματωθεί και στην αντίστοιχη σελίδα. Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται αυτό είναι αρκετά απλός και στο Σχήμα 42 απεικονίζεται το χαρακτηριστικό παράδειγμα εισαγωγής του Snippet “livegraph” στη σελίδα “Online Monitor”. Απαιτείται η χρήση μιας εντολής με το κατάλληλο όνομα και το id του κώδικα Snippet και η ενσωμάτωσή της στο σώμα της σελίδας.



Σχήμα 42: Τρόπος κλήσης αρχείου Snippet σε σελίδα.

Μια ακόμα σημαντική λειτουργία της ιστοσελίδας είναι η δυνατότητα επιλογής από τον χρήστη μιας συγκεκριμένης ημερομηνίας για την οποία επιθυμεί να δει στοιχεία της κατανάλωσής του ανά ώρα. Αυτό επιτεύχθηκε με την ενσωμάτωση του κώδικα που παρουσιάζεται στο Σχήμα 43, ο οποίος λαμβάνει από το χρήστη την επιθυμητή ημερομηνία και στη συνέχεια προβάλλει τα στοιχεία που υπάρχουν αποθηκευμένα για αυτή.



```
<code>
</code>
<center></center><form action="http://localhost/wordpress/?page_id=131" method="post">
<h3><strong>Επιλογή Ημερομηνίας:</strong></h3>
<input type="date" name="request" />
<input type="submit" />
</form>&nbsp;  
```

Σχήμα 43: Κώδικας υλοποίησης επιλογής ημερομηνίας σε μορφή κουμπιού.

Με την δημιουργία του Server, της βάσης δεδομένων και της ιστοσελίδας, υλοποιήθηκε και ένα ακόμα σημαντικό δομικό μέρος του συστήματος μέτρησης και παρακολούθησης ARMS. Καθώς επίσης έχει αναλυθεί και το μετρητικό κομμάτι του συστήματος στα υποκεφάλαια 5.1 και 5.2, αυτό που απομένει είναι η ανάλυση του τρόπου συλλογής και επεξεργασίας των δεδομένων, ο οποίος θα αναλυθεί στο υπόλοιπο του κεφαλαίου και θα ολοκληρώσει την ανάλυση της υλοποίησης του συστήματος ARMS.

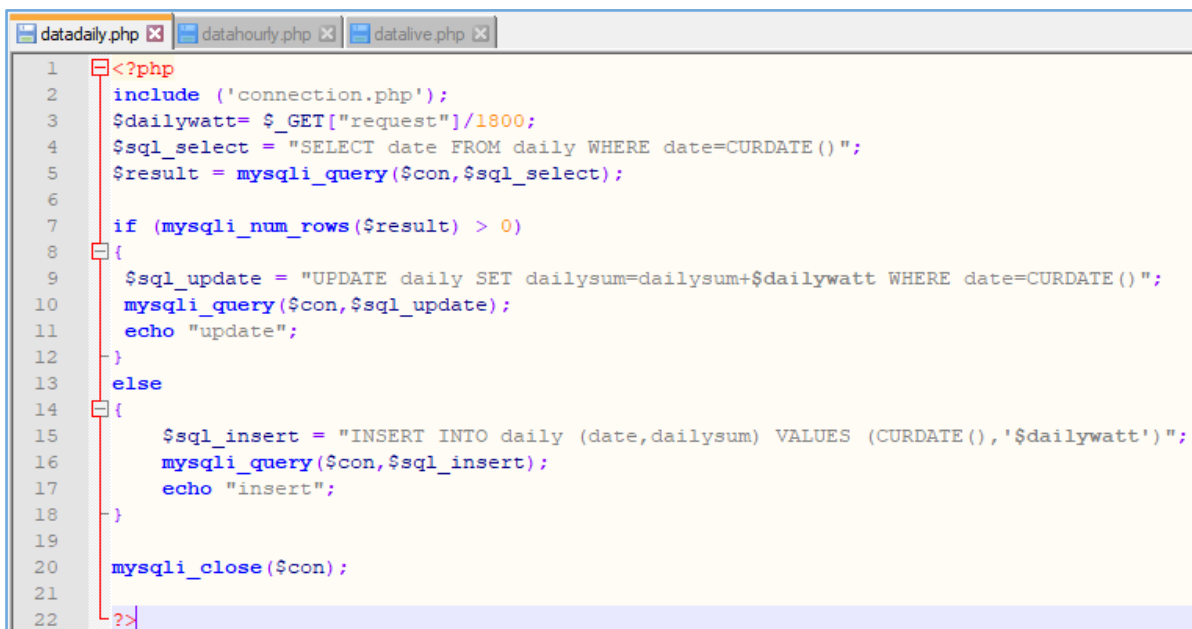
5.4 Συλλογή και Επεξεργασία Δεδομένων

Ο μετρητής του ARMS αφού έχει πραγματοποιήσει μια μέτρηση της ισχύος για το φορτίο που παρακολουθεί, στη συνέχεια καλεί τρία αρχεία τύπου .php για να

αποστέλλει τα στοιχεία στη βάση. Η διαδικασία αυτή έχει αναλυθεί διεξοδικά στο υποκεφάλαιο 5.2 και αφορά την χρήση των αρχείων “datadaily.php”, “datahourly.php” και “datalive.php” τα οποία μετά την κλήση τους από τον μετρητή επεξεργάζονται τα δεδομένα που έχουν λάβει για είσοδο και τα αποθηκεύουν στο σωστό σημείο της βάσης δεδομένων του συστήματος. Τα τρία αυτά αρχεία είναι γραμμένα στη γλώσσα προγραμματισμού PHP και αξιοποιούν τις συναρτήσεις τύπου SQL, που παρέχονται από αυτή καθώς συναρτήσεις τέτοιου τύπου καθιστούν δυνατή την διαχείριση μιας βάσης δεδομένων. Χρειάζεται ακόμα ένα αρχείο με τη βοήθεια του οποίου γίνεται η σύνδεση στη βάση και η πρόσβαση στα στοιχεία της. Το αρχείο αυτό ονομάζεται, λόγω της λειτουργίας του, “connection.php” και καλείται εμφωλευμένα από τα υπόλοιπα αρχεία κάθε φορά που απαιτείται πρόσβαση στη βάση δεδομένων του συστήματος. Στη συνέχεια θα αναλυθούν τα τρία προγράμματα που καλούνται από τον μετρητή για την επεξεργασία και τη συλλογή των δεδομένων. Όλα τα αρχεία που αναφέρθηκαν πρέπει να βρίσκονται στον ίδιο φάκελο και η τοποθεσία τους πρέπει να είναι στο μονοπάτι με το οποίο τα καλεί το πρόγραμμα του Arduino.

Το πρώτο αρχείο που θα αναλυθεί είναι αυτό που διαχειρίζεται τα δεδομένα που αφορούν τη συνολική κατανάλωση κάθε ημέρας. Ο κώδικας του φαίνεται στο Σχήμα 44 και επικοινωνεί με τον πίνακα “daily” της βάσης. Αρχικά, με την εντολή “include ('connection.php’)” γίνεται η κλήση του αρχείου “connection.php” το οποίο παρέχει πρόσβαση στη βάση. Στη γραμμή τρία με τη χρήση της εντολής GET, που ταυτίζεται με εκείνη του κώδικα του μετρητή, το αρχείο δέχεται σαν είσοδο την μεταβλητή “request” Η οποία μέσω του Arduino έχει λάβει την τιμή της ισχύος που προέκυψε από μια μέτρηση. Η τιμή αυτή πρέπει να μετατραπεί σε ενέργεια καθώς απαιτείται μέτρηση κατανάλωσης από το σύστημα ARMS. Αυτό επιτυγχάνεται με τον πολλαπλασιασμό την στιγμιαίας ισχύς με ένα συγκεκριμένο χρόνο ο οποίος καθορίζεται από την συχνότητα λήψης δεδομένων από τον μετρητή. Ο χρόνος που μεσολαβεί ανάμεσα σε δύο μετρήσεις είναι δύο δευτερόλεπτα, διάστημα που ισούται με χρόνο 1/1800 της ώρας, άρα η αντιστοίχιση κάθε μέτρησης ισχύος σε μια μέτρηση ενέργειας είναι ισχύς επί τον χρόνο κατανάλωσης, δηλαδή τα watt που μετρήθηκαν επί το 1/1800. Η κατανάλωση που υπολογίζεται για κάθε διάστημα δύο δευτερολέπτων αποθηκεύεται στην μεταβλητή “\$dailywatt”. Στην συνέχεια ακολουθούν οι εντολές που ανάλογα με το περιεχόμενο του πίνακα θα προσθέσουν τα δεδομένα της μέτρησης στο κατάλληλη θέση. Στον πίνακα “daily” γίνεται η

συνολική αποθήκευση της κατανάλωσης για κάθε μέρα και αξιοποιούνται για αυτό δύο στήλες, μία που συγκεντρώνει αθροιστικά την κατανάλωση και μια που αφορά την ημερομηνία στην οποία αντιστοιχεί το κάθε άθροισμα μετρήσεων. Για αυτό το λόγο πραγματοποιείται έλεγχος για την ύπαρξη προηγούμενης καταχώρησης για την ημέρα παρούσα ημέρα. Σε περίπτωση ύπαρξης δεδομένων για την ημέρα γίνεται ενημέρωση της συνολικής κατανάλωσης όπως φαίνεται και στις γραμμές εννέα και δέκα. Διαφορετικά δημιουργείται νέα καταχώρηση στον πίνακα για την ημέρα της μέτρησης. Οι εντολές για αυτό βρίσκονται στις γραμμές δεκαπέντε και δεκαέξι. Στο τέλος του αυτού αρχείου αλλά και των υπόλοιπων πραγματοποιείται διακοπή της σύνδεσης με τη βάση δεδομένων καθώς πραγματοποιήθηκαν οι απαραίτητες ενέργειες για την συλλογή και επεξεργασία των μετρήσεων.

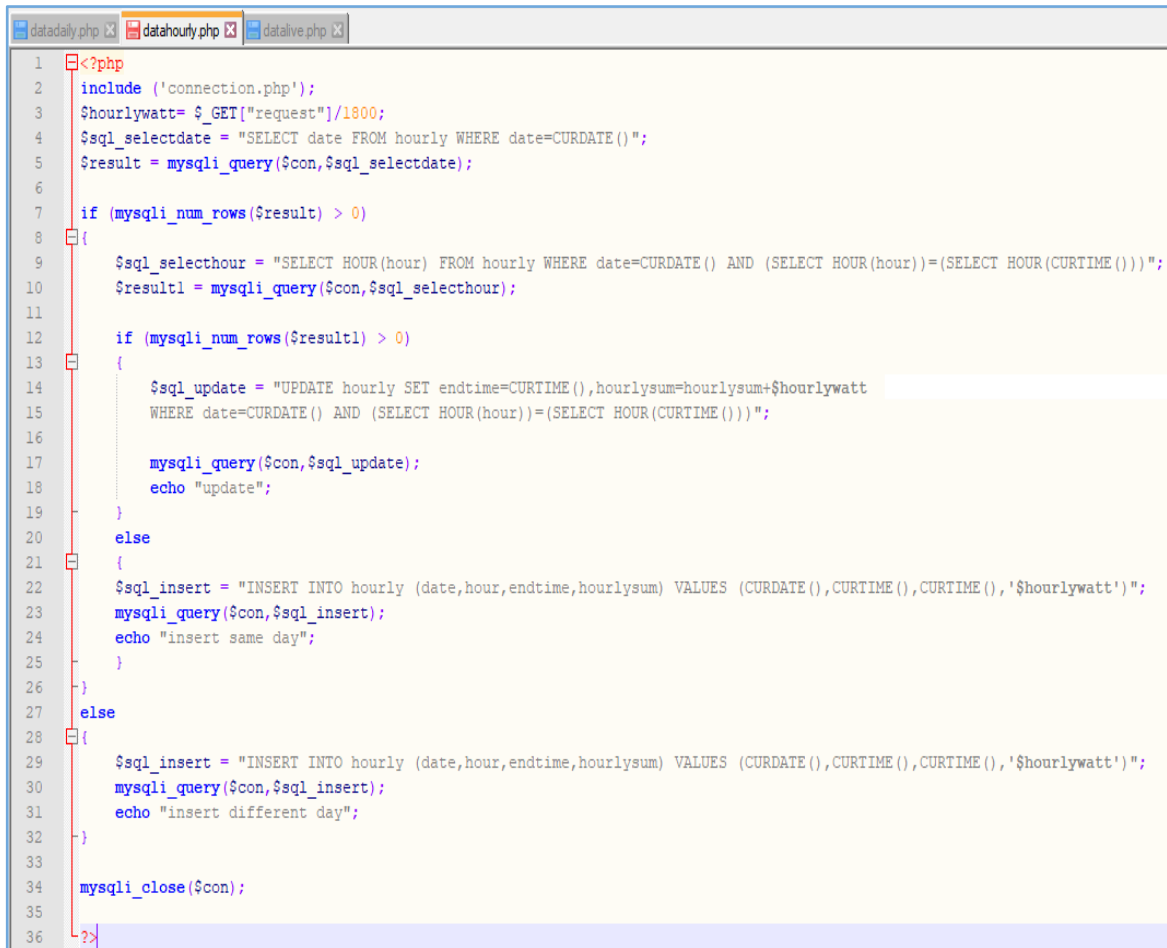


```
1 <?php
2 include ('connection.php');
3 $dailywatt= $_GET["request"]/1800;
4 $sql_select = "SELECT date FROM daily WHERE date=CURDATE()";
5 $result = mysqli_query($con,$sql_select);
6
7 if (mysqli_num_rows($result) > 0)
8 {
9     $sql_update = "UPDATE daily SET dailysum=dailysum+$dailywatt WHERE date=CURDATE()";
10    mysqli_query($con,$sql_update);
11    echo "update";
12 }
13 else
14 {
15     $sql_insert = "INSERT INTO daily (date,dailysum) VALUES (CURDATE(),'$dailywatt')";
16    mysqli_query($con,$sql_insert);
17    echo "insert";
18 }
19
20 mysqli_close($con);
21
22 ?>
```

Σχήμα 44: Κώδικας του προγράμματος “datadaily.php”.

Στο Σχήμα 45 παρατίθεται ο κώδικας του αρχείου “datahourly.php” ο οποίος διαχειρίζεται τα δεδομένα των μετρήσεων κάθε ημέρας ανά ώρα. Ο τρόπος ανάπτυξης και λειτουργίας του βασίζεται στην ίδια λογική με το αρχείο “datadaily.php”. Γίνεται σύνδεση στη βάση δεδομένων και στην τιμή “\$hourlywatt” καταχωρείται η τιμή της κατανάλωσης ενός φορτίου για δύο δευτερόλεπτα. Έπειτα γίνεται έλεγχος για προηγούμενες καταχωρήσεις στην ίδια μέρα αλλά και ώρα με αυτήν που γίνεται η μέτρηση. Σε περίπτωση που υπάρχει καταχώρηση στη συγκεκριμένη μέρα και ώρα, αυξάνεται απλά το σύνολο της κατανάλωσης κατά

“\$hourlywatt”. Διαφορετικά γίνεται καταχώρηση στην ίδια μέρα αλλά σε διαφορετική ώρα ή σε διαφορετική μέρα, ανάλογα με τα περιεχόμενα του πίνακα “hourly”. Για την πραγματοποίηση των ελέγχων και την ευκολία της διαχείρισης των δεδομένων προτιμήθηκε η ύπαρξη τεσσάρων στηλών στο συγκεκριμένο πίνακα.



```
1 <?php
2 include ('connection.php');
3 $hourlywatt= $_GET["request"]/1800;
4 $sql_selectdate = "SELECT date FROM hourly WHERE date=CURDATE()";
5 $result = mysqli_query($con,$sql_selectdate);
6
7 if (mysqli_num_rows($result) > 0)
8 {
9     $sql_selecthour = "SELECT HOUR(hour) FROM hourly WHERE date=CURDATE() AND (SELECT HOUR(hour))=(SELECT HOUR(CURTIME()))";
10    $result1 = mysqli_query($con,$sql_selecthour);
11
12    if (mysqli_num_rows($result1) > 0)
13    {
14        $sql_update = "UPDATE hourly SET endtime=CURTIME(),hourlysum=hourlysum+$hourlywatt
15        WHERE date=CURDATE() AND (SELECT HOUR(hour))=(SELECT HOUR(CURTIME()))";
16
17        mysqli_query($con,$sql_update);
18        echo "update";
19    }
20    else
21    {
22        $sql_insert = "INSERT INTO hourly (date,hour,endtime,hourlysum) VALUES (CURDATE(),CURTIME(),CURTIME(),'$hourlywatt')";
23        mysqli_query($con,$sql_insert);
24        echo "insert same day";
25    }
26 }
27 else
28 {
29     $sql_insert = "INSERT INTO hourly (date,hour,endtime,hourlysum) VALUES (CURDATE(),CURTIME(),CURTIME(),'$hourlywatt')";
30     mysqli_query($con,$sql_insert);
31     echo "insert different day";
32 }
33
34 mysqli_close($con);
35
36 ?>
```

Σχήμα 45: Κώδικας του προγράμματος “datahourly.php”.

Ο κώδικας για την διαχείριση των δεδομένων του πίνακα “watt” που συλλέγει τα δεδομένα της τελευταίας μέτρησης του συστήματος με σκοπό την προβολή στο χρήστη της στιγμιαίας ισχύς του φορτίου που παρακολουθείται, εμφανίζεται στο Σχήμα 46. Μετά την σύνδεση στη βάση γίνεται η καταχώρηση της τιμής της στιγμιαίας ισχύος που προέρχεται από τον μετρητή στην μεταβλητή “\$livewatt”. Σε αντίθεση με τα άλλα δύο προγράμματα, εδώ γίνεται διαχείρισης και αποθήκευσης ισχύος και όχι ενέργειας. Για το λόγο αυτό δεν απαιτείται πολλαπλασιασμός της ισχύος με κάποιο χρόνο. Στην γραμμή τέσσερα γίνεται ένας έλεγχος για το μέγεθος της ισχύος που καταμετρήθηκε. Εάν είναι μικρότερη της τάξης των 15W δεν

ενημερώνεται η τιμή του πίνακα καθώς από το κύκλωμα του μετρητή υπάρχει ενδεχόμενο εμφάνισης θορύβου της τάξης των 1W με 14W. Για το λόγο αυτό θεωρείται πως το σύστημα δεν είναι συνδεδεμένο σε κάποιο ενεργό φορτίο.

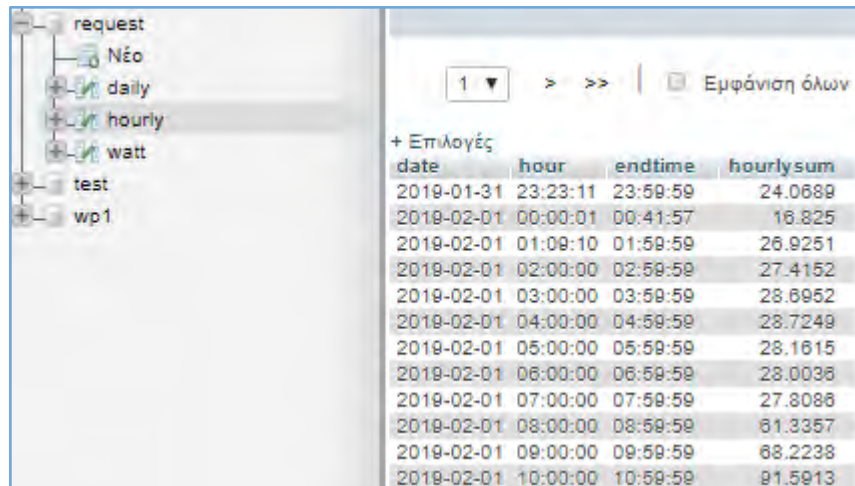


```
1 <?php
2 include ('connection.php');
3 $livewatt = $_GET["request"];
4 if ($livewatt < 15) { $livewatt = 0; echo "noise"; echo "<br>"; }
5
6 $sql_select = "SELECT watt FROM watt";
7 $result = mysqli_query($con,$sql_select);
8
9 if (mysqli_num_rows($result) > 0)
10 {
11     $sql_update = "UPDATE watt SET watt=$livewatt,time=CURRENT_TIMESTAMP() WHERE(1)";
12     mysqli_query($con,$sql_update);
13     echo "update";
14 }
15 else
16 {
17     $sql_insert = "INSERT INTO watt (watt,time) VALUES ('$livewatt',CURRENT_TIMESTAMP())";
18     mysqli_query($con,$sql_insert);
19     echo "insert";
20 }
21
22 mysqli_close($con);
23
24 ?>
```

Σχήμα 46: Κώδικας του προγράμματος “datalive.php”.

Με τη λειτουργία του μετρητή του συστήματος ARMS και την αξιοποίηση των αρχείων php που αναλύθηκαν παραπάνω, πραγματοποιείται η συλλογή των δεδομένων παρακολούθησης στην βάση δεδομένων. Τα αρχεία διαχειρίζονται και επεξεργάζονται κατάλληλα την “πρώτη ύλη” των μετρήσεων που παραλαμβάνουν από τον μετρητή και δημιουργούν μια οργανωμένη μορφή αποθηκευμένων δεδομένων τα οποία είναι εύκολο στη συνέχεια να προβληθούν στο χρήστη. Η σωστή οργάνωση των δεδομένων βοηθάει και στη καλύτερη κατανόησή τους και διευκολύνει την αξιοποίησή τους σε επόμενο χρόνο. Στο Σχήμα 47 απεικονίζεται η μορφή με την οποία αποθηκεύονται τα στοιχεία, που προκύπτουν από την επεξεργασία των μετρήσεων, στον πίνακα “hourly”. Πρόκειται για ένα παράδειγμα, και αφορά ένα φορτίο που παρακολουθούσε το σύστημα κατά μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Οι άλλοι δύο πίνακες έχουν δομή που βασίζεται στην ίδια λογική. Στο παράδειγμα αυτό φαίνεται ο διαχωρισμός που πραγματοποιείται κατά τη συλλογή των δεδομένων και οι τέσσερις στήλες που τα φιλοξενούν. Στη πρώτη στήλη αποθηκεύεται η ημερομηνία της μέτρησης, οι δύο επόμενες απεικονίζουν το

διάστημα για κάθε ώρα της συγκεκριμένης ημέρας που πραγματοποιήθηκε η μέτρηση, ενώ στη τελευταία η κατανάλωση ενέργειας σε Wh μέσα σε αυτό το διάστημα.



The screenshot shows a database management tool interface. On the left, a tree view shows a database named 'request' with several tables: 'Néo', 'daily', 'hourly', 'watt', 'test', and 'wp1'. The 'hourly' table is selected. On the right, a table view displays the data for the 'hourly' table. The table has four columns: 'date', 'hour', 'endtime', and 'hourlysum'. The data shows hourly energy consumption for the period from 2019-01-31 to 2019-02-01.

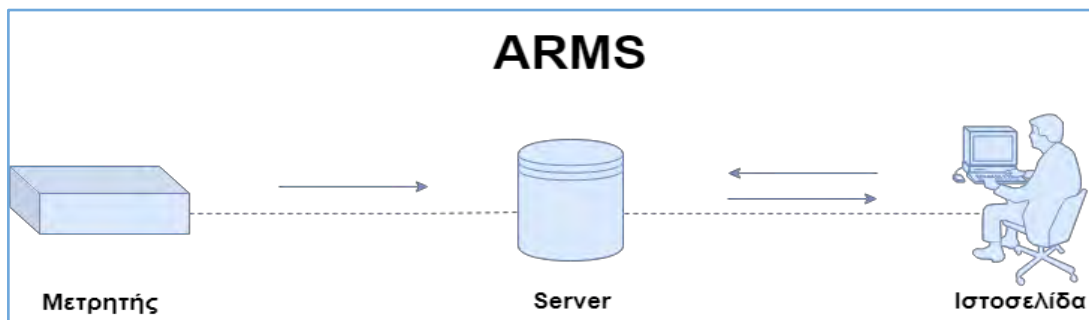
date	hour	endtime	hourlysum
2019-01-31	23:23:11	23:59:59	24.0689
2019-02-01	00:00:01	00:41:57	16.825
2019-02-01	01:09:10	01:59:59	26.9251
2019-02-01	02:00:00	02:59:59	27.4152
2019-02-01	03:00:00	03:59:59	28.8952
2019-02-01	04:00:00	04:59:59	28.7249
2019-02-01	05:00:00	05:59:59	28.1615
2019-02-01	06:00:00	06:59:59	28.0036
2019-02-01	07:00:00	07:59:59	27.8086
2019-02-01	08:00:00	08:59:59	61.3357
2019-02-01	09:00:00	09:59:59	68.2238
2019-02-01	10:00:00	10:59:59	91.5913

Σχήμα 47: Πίνακας “hourly” της βάσης δεδομένων “request”.

Αφού έχει γίνει η κατάλληλη συλλογή, επεξεργασία και αποθήκευση των δεδομένων απομένει η προβολή τους στην ιστοσελίδα. Αυτό το στάδιο της λειτουργίας του ARMS πραγματοποιείται με τα προγράμματα της επέκτασης Woody Snippet τα οποία δημιουργούν στο περιβάλλον χρήστη της ιστοσελίδας μια σειρά από ευανάγνωστα και φιλικά προς το χρήστη διαγράμματα που παρουσιάζουν με απλό τρόπο τα δεδομένα που επιθυμεί να παρακολουθήσει ο χρήστης για την κατανάλωση του. Τα διαγράμματα αυτά γίνονται πραγματικότητα με την χρήση των γλωσσών προγραμματισμού HTML και JavaScript για τη δημιουργία του γραφικού περιβάλλοντος και της PHP για την ενσωμάτωση των δεδομένων στο περιβάλλον αυτό. Η απεικόνιση των γραφημάτων και ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η αξιοποίησή τους θα αναλυθούν στο κεφάλαιο 6.

6. Σύστημα ARMS σε Λειτουργία

Με την διαδικασία που αναλύεται στο κεφάλαιο 5 έχει ολοκληρωθεί η υλοποίηση του συστήματος απομακρυσμένης παρακολούθησης της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας ARMS. Αποτελεί ένα ολοκληρωμένο μετρητικό σύστημα το οποίο χρειάζεται τώρα απλά να εγκατασταθεί στο σημείο που επιθυμητό να παρακολουθείται η κατανάλωση ενός φορτίου. Η διαδικασία της εγκατάστασής του είναι γρήγορη και υφίσταται απλά η προσοχή του χρήστη σε ορισμένα σημεία. Μετά την τοποθέτηση του, το σύστημα τίθεται σε λειτουργία και είναι ικανό μέσα από ένα εύχρηστο περιβάλλον χρήστη να προβάλει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες που απαιτούνται για παρακολούθηση ενός φορτίου. Στο Σχήμα 48 φαίνεται η ροή της πληροφορίας κατά τη λειτουργία του συστήματος ARMS.



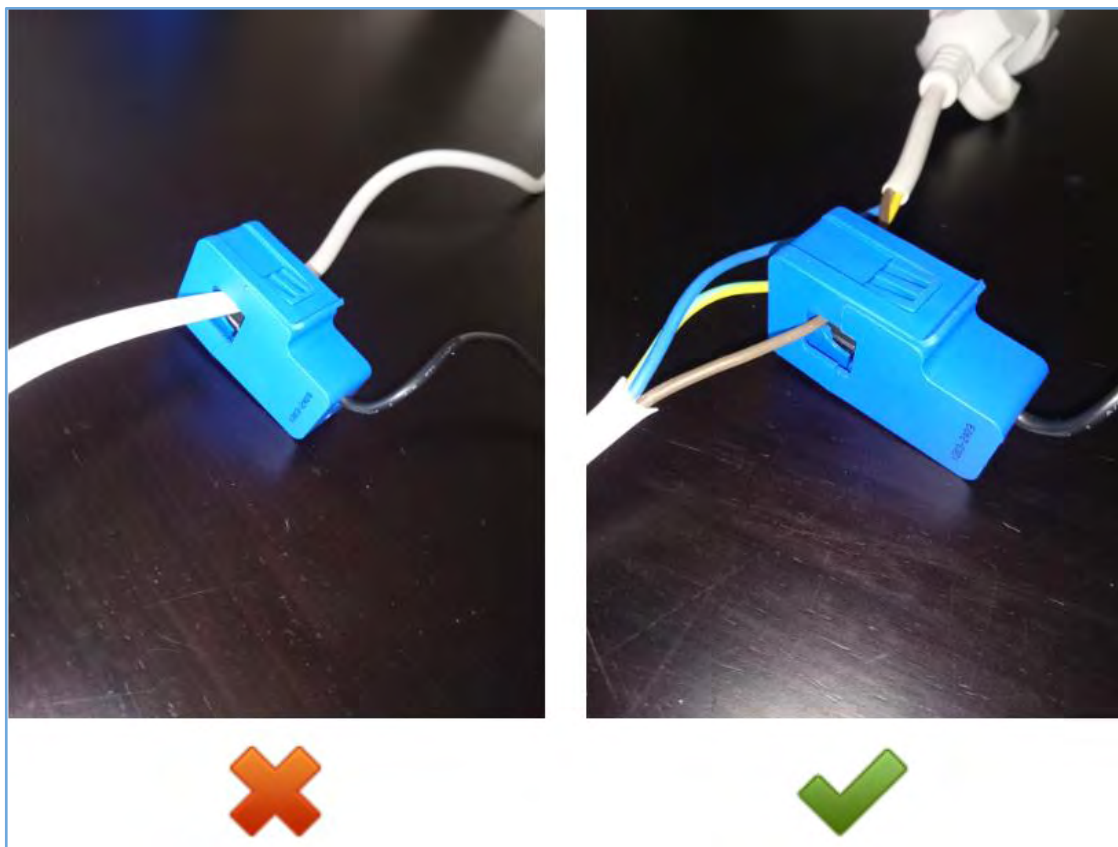
Σχήμα 48: Σχηματικό ροής πληροφορίας στο σύστημα ARMS.

Ο μετρητής του συστήματος πραγματοποιεί τη λήψη και την αρχική επεξεργασία των μετρήσεων και εν συνεχεία αποστέλλει τα δεδομένα με τη χρήση κατάλληλων αρχείων στη βάση δεδομένων, στην οποία συλλέγονται οι μετρήσεις και τα και τα λοιπά στοιχεία που συνδέονται με αυτές. Έπειτα τα δεδομένα αυτά είναι διαθέσιμα στο χρήστη και μπορεί να έρθει σε επαφή μαζί τους μέσω της ιστοσελίδας του συστήματος.

6.1 Εγκατάσταση του Συστήματος

Για να τεθεί το σύστημα σε λειτουργία χρειάζεται πρώτα να γίνει τοποθέτηση στην εγκατάσταση όπου βρίσκεται το φορτίου που επιθυμεί ο χρήστης να

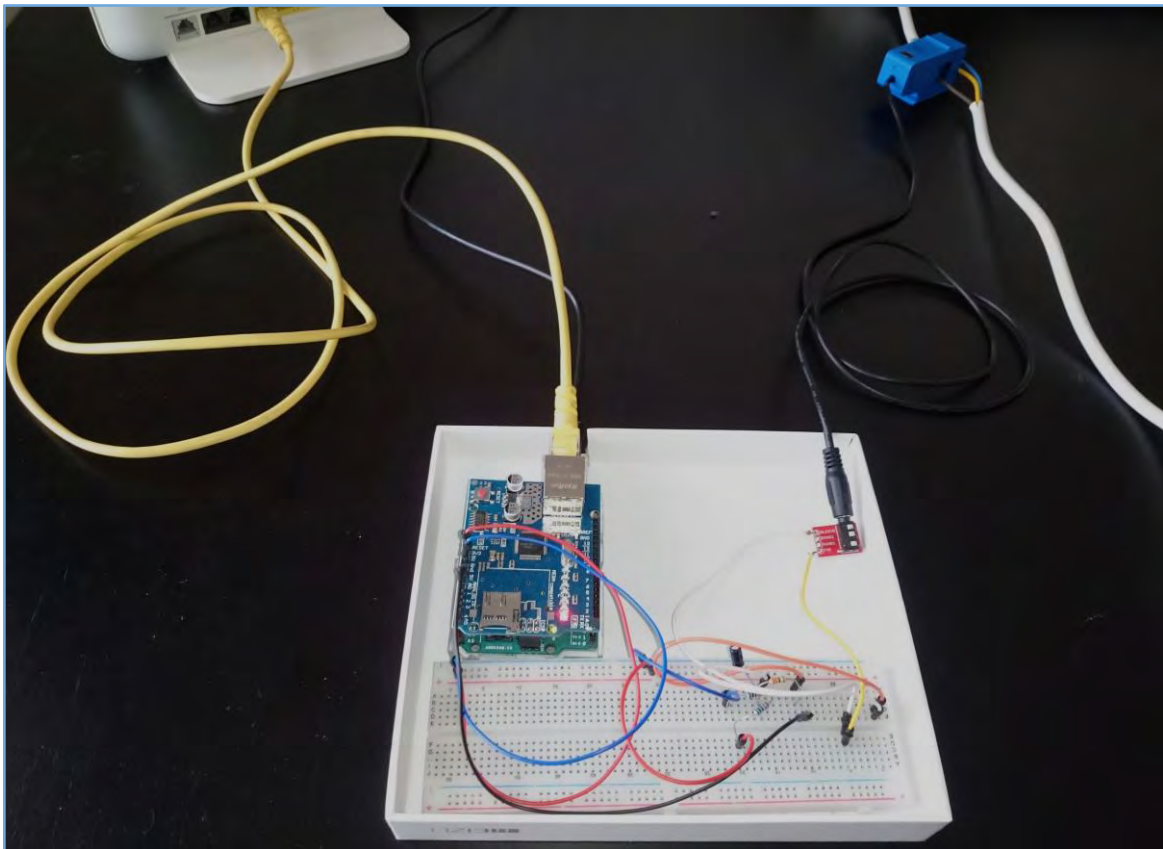
παρακολουθήσει. Για αυτό απαιτείται τόσο η σωστή τοποθέτηση του αισθητήρα SCT-013 που πραγματοποιεί την λήψη των μετρήσεων όσο και σωστή σύνδεση του συστήματος στο δίκτυο προκειμένου να είναι δυνατή η μεταφορά των δεδομένων που χρειάζεται το ARMS για να λειτουργήσει σωστά. Ο αισθητήρας SCT-013 λόγω του τρόπου λειτουργίας του πρέπει να τοποθετηθεί κατάλληλα στο φορτίο που θα γίνονται οι μετρήσεις. Στο Σχήμα 49 φαίνεται στα δεξιά ο σωστός τρόπος τοποθέτησης του SCT-013 ο οποίος απαιτεί μέσα από το αισθητήρα να διέρχεται μόνο ο αγωγός της παροχής. Στην αντίθετη περίπτωση, φαίνεται στα αριστερά, μέσα από τον αισθητήρα διέρχονται όλοι οι αγωγοί του καλωδίου και η ροή ρεύματος που αντιλαμβάνεται ο αισθητήρας είναι το άθροισμα των ρευμάτων των αγωγών παροχής και επιστροφής που, καθώς έχουν ίσο μέτρο και αντίθετη κατεύθυνση, ισούται με μηδέν.



Σχήμα 49: Τρόπος τοποθέτησης του αισθητήρα SCT-013 στο φορτίο.

Στο Σχήμα 50 απεικονίζεται η τελική μορφή εγκατάστασης του μετρητή του συστήματος. Για να οδηγηθούμε σε αυτό το στάδιο πρέπει εκτός της τοποθέτησης του αισθητήρα, να γίνει η τροφοδοσία του μετρητή και η σύνδεση του στο δίκτυο. Η

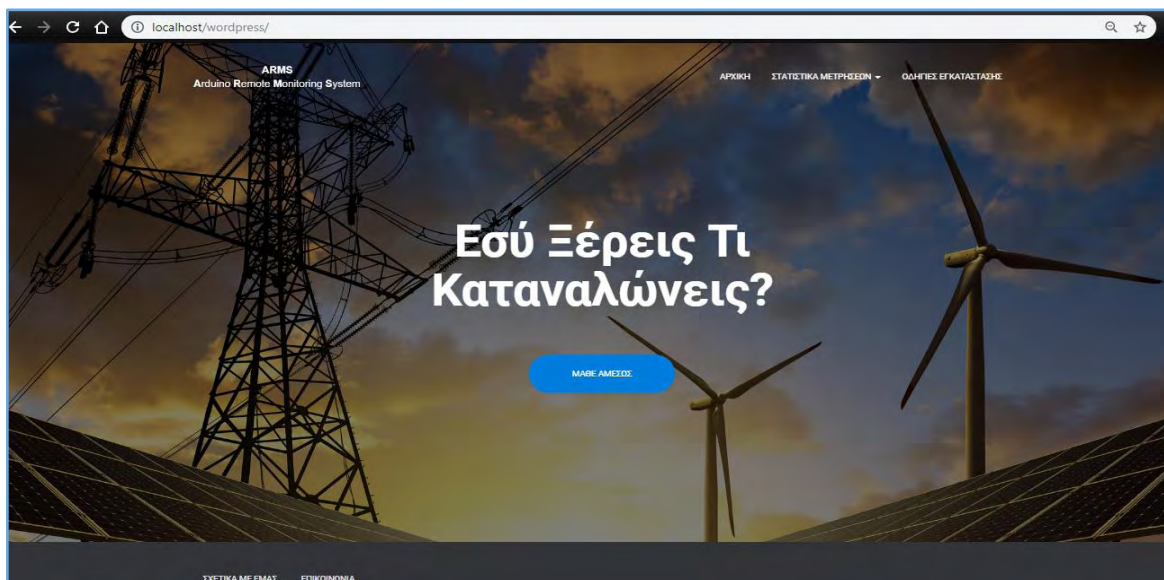
τροφοδοσία γίνεται μέσω της χρήσης της θύρας USB που βρίσκεται πάνω στο Arduino Uno Rev3 και ενός συμβατού καλωδίου. Η σύνδεση του μετρητή στο δίκτυο γίνεται μέσω Ethernet και χρειάζεται ένα καλώδιο για τη διασύνδεση της θύρας του Shield με το router του δικτύου. Εφόσον ολοκληρωθεί η εγκατάσταση του μετρητή, πρέπει να γίνει και η διασύνδεση του με τον Server του συστήματος. Για το βήμα αυτό απαιτείται να τεθεί σε λειτουργία ο Server από το Control Panel του XAMPP, διαδικασία που φαίνεται στο υποκεφάλαιο 4.3 και συνοπτικά γίνεται με την ενεργοποίηση των επιλογών “Apache” και “MySQL”. Με την ενεργοποίηση του Server και την σύνδεση του μετρητή στο δίκτυο, αυτό που υπολείπεται είναι η εύρεση των διευθύνσεων IP τους για να ολοκληρωθεί η διασύνδεση και να αρχίσει η μεταφορά των δεδομένων των μετρήσεων. Με τη χρήση του προγράμματος “DhcpAddressPrinter” και της γραμμής εντολών βρίσκονται οι διευθύνσεις IP του συστήματος όπως περιγράφεται και στο υποκεφάλαιο 5.2. Με την εύρεση των IP διευθύνσεων και την υλοποίηση όλων των βημάτων της εγκατάστασης που αναφέρθηκαν, το τελευταίο στάδιο είναι η ενσωμάτωση των IP στον κώδικα του Arduino και η μεταφόρτωση του σε αυτό.



Σχήμα 50: Τελική μορφή εγκατάστασης του μετρητή του συστήματος ARMS.

6.2 Περιβάλλον Χρήστη και Παρακολούθηση Μετρήσεων

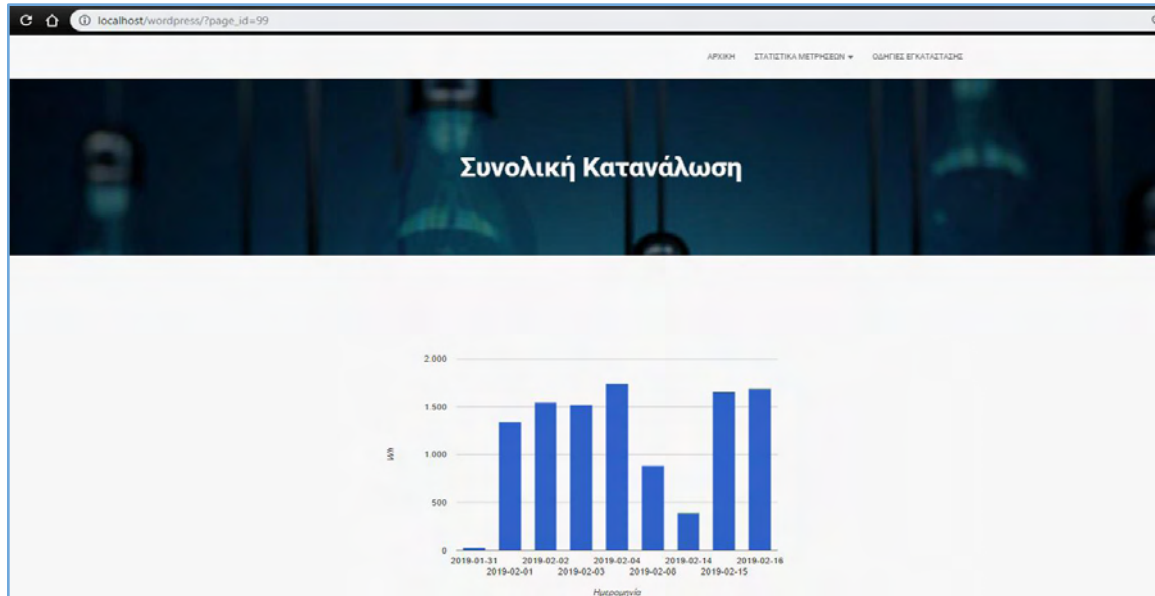
Έγινε προσπάθεια το περιβάλλον της ιστοσελίδας με το οποίο έχει επαφή ο χρήστης να είναι “ευχάριστο”, απλό αλλά και παράλληλα να του παρέχει διάφορες επιλογές για την προβολή των δεδομένων των μετρήσεων του μέσα από παραστατικά διαγράμματα που προβάλλουν με αναλυτικό τρόπο τα στοιχεία της κατανάλωσής του. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να δει τη συνολική του κατανάλωση ανά ημέρα, την κατανάλωση ανά ώρα μιας συγκεκριμένης ημέρας που επιλέγει αλλά και την στιγμιαία ισχύ του φορτίου που υπάρχει σε ζωντανό χρόνο στην εγκατάσταση. Δίνεται ακόμα και μια σύντομη περιγραφή του τρόπου εγκατάστασης του συστήματος για να γίνει διευκόλυνση του χρήστη και να μην απαιτείται κάποια έρευνα σε εξωτερικό σύνδεσμο.



Σχήμα 51: Στιγμιότυπο της αρχικής σελίδας του συστήματος ARMS.

Στο Σχήμα 51 απεικονίζεται η “Αρχική” σελίδα της ιστοσελίδας η οποία περιλαμβάνει το λογότυπο του πρότζεκτ ARMS και ένα κουμπί το οποίο προσκαλεί τον χρήστη να μάθει την ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνει με την αρωγή του συστήματος. Πατώντας στο κουμπί αυτό, ο χρήστης οδηγείται στις οδηγίες εγκατάστασης του μετρητή προκειμένου να μπορεί να ξεκινήσει η διαδικασία της παρακολούθησης της κατανάλωσής του. Επίσης στο δεξί πάνω μέρος της σελίδας εμφανίζεται και το κύριο μενού του ιστότοπου το οποίο περιλαμβάνει την “Αρχική” σελίδα, τα “Στατιστικά Μετρήσεων” και τις “Οδηγίες Εγκατάστασης”. Το βασικό

μενού εμφανίζεται σε όλες τις σελίδες του ιστοτόπου για να είναι εύκολη η μεταβίβαση ανάμεσα στις σελίδες. Τέλος, στο κάτω μέρος της σελίδας υπάρχει υπομενού με τις ενότητες “Σχετικά με εμάς” και “Επικοινωνία”.

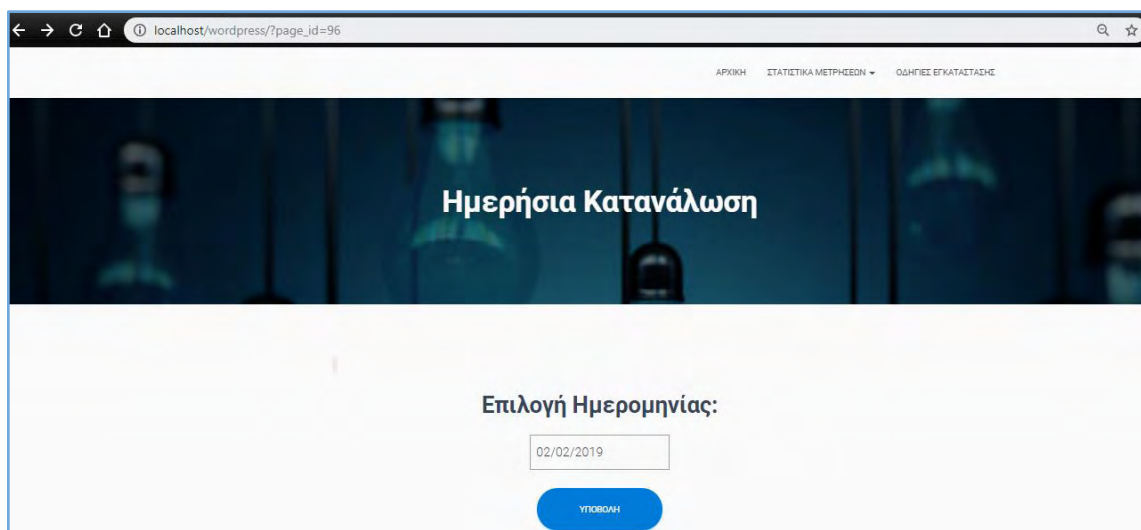


Σχήμα 52: Στιγμιότυπο της σελίδας “Συνολική Κατανάλωση” του ARMS.

Στην ενότητα “Στατιστικά Μετρήσεων” του μενού, εμφανίζονται με τη μορφή αναδυόμενων επιλογών, τρεις επιπρόσθετες σελίδες που αντιστοιχούν στους διαφορετικούς τρόπους απεικόνισης των δεδομένων που διαχειρίζεται το σύστημα ARMS. Η πρώτη απεικονίζεται στο Σχήμα 52 και αφορά την συνολική κατανάλωση του χρήστη ανά ημέρα, όπως μαρτυρά και το όνομα της σελίδας. Με την μορφή ραβδογράμματος, απεικονίζεται το σύνολο των ημερών στις οποίες το σύστημα ήταν σε λειτουργία και έκανε μετρήσεις, σε συνάρτηση με το μέγεθος της κατανάλωσης της κάθε μέρας σε Wh. Κάθε μπλε ράβδος στο διάγραμμα αντιστοιχεί στην συνολική κατανάλωση της ημέρας με την ημερομηνία που βρίσκεται στο κάτω μέρος του γραφήματος.

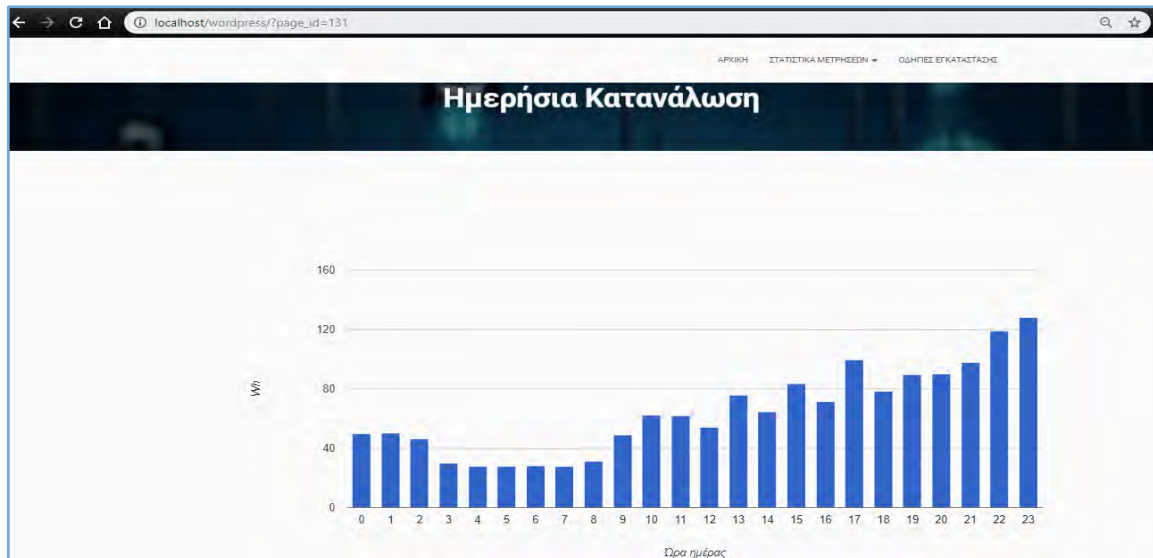
Η δεύτερη σελίδα που εμφανίζεται στο υπομενού των στατιστικών των μετρήσεων αφορά την “Ημερήσια Κατανάλωση”. Επιλέγοντας αυτή τη σελίδα, εμφανίζεται μια καρτέλα επιλογής ημερομηνίας, όπου δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα να επιλέξει μια συγκεκριμένη ημέρα για την οποία επιθυμεί τη προβολή των δεδομένων της. Στο Σχήμα 53 φαίνεται η καρτέλα αυτή και αφού ο χρήστης εισάγει την κατάλληλη ημερομηνία και πατήσει το κουμπί της υποβολής, εμφανίζεται

στη συνέχεια το γράφημα που περιλαμβάνει την ημερήσια κατανάλωση ανά ώρα για τη συγκεκριμένη ημέρα. Η μορφή του γραφήματος αυτού φαίνεται στο Σχήμα 54 και προβάλλει με τη μορφή ραβδογράμματος την ανά ώρα κατανάλωση της επιλεγμένης ημέρας. Κάθε μπλε ράβδος εκφράζει την κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας που μετρήθηκε στο διάστημα μιας ώρας. Για παράδειγμα, η ράβδος κατανάλωσης που στο γράφημα αντιστοιχεί στην “Ωρα Μέρας 0”, εκφράζει στο σύνολο της κατανάλωσης που μετρήθηκε στο διάστημα από 00:00:00 μέχρι και 00:59:59. Όλες οι μετρήσεις σε αυτό το χρονικό διάστημα αθροίζονται στην κατανάλωση της συγκεκριμένης ώρας. Αξίζει να σημειωθεί πως και στα δύο γραφήματα που έχουν αναλυθεί έως τώρα, ο χρήστης μπορεί με το πέρασμα του κέρσορα πάνω από την κάθε ράβδο να δει την ακριβή κατανάλωση στην οποία αντιστοιχεί αυτή.



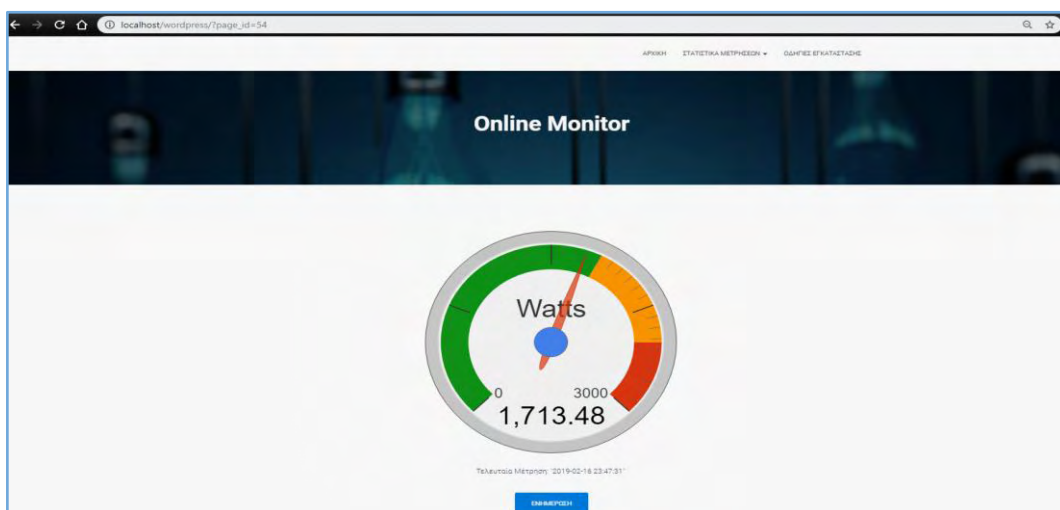
Σχήμα 53: Στιγμιότυπο για την επιλογή ημερομηνίας.

Στο Σχήμα 55 φαίνεται η τρίτη επιλογή που προσφέρουν τα στατιστικά μετρήσεων. Στη σελίδα “Online Monitor” με την μορφή ενός γραφικού μετρητή προβάλλεται στο χρήστη η στιγμιαία ισχύς της τελευταίας μέτρησης που πραγματοποίησε το σύστημα ARMS. Με την χρήση του γραφήματος αυτού, ο χρήστης μπορεί να παρακολουθεί άμεσα και με εύκολο τρόπο την ηλεκτρική ισχύ του φορτίου του ανά πάσα στιγμή. Στη σελίδα, εκτός του αριθμού των watt, υπάρχει και πληροφόρηση για την στιγμή λήψης της συγκεκριμένης μέτρησης από τον μετρητή, αλλά και η ένα κουμπί που προσφέρει τη δυνατότητα ανανέωσης της σελίδας.



Σχήμα 54: Στιγμιότυπο της σελίδας “Ημερήσια Κατανάλωση” του ARMS.

Συνοψίζοντας, η ιστοσελίδα του συστήματος μέτρησης και παρακολούθησης της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας ARMS παρέχει ένα περιεκτικό, σύγχρονο περιβάλλον χρήστη που αποσκοπεί μέσω διαδραστικών γραφημάτων να βοηθήσει στην κατανόηση του μεγέθους που ονομάζεται κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και να παρέχει συνεχή, άμεση και απομακρυσμένη δυνατότητα παρακολούθησης. Η ιστοσελίδα αποτελεί τη βιτρίνα του συστήματος καθώς είναι το τμήμα με το οποίο αλληλεπιδρά ο χρήστης. Συνεπώς οι εντυπώσεις που θα αποκομίσει ο εκάστοτε χρήστης για το σύστημα εξαρτώνται σε πάρα πολύ μεγάλο από αυτή. Για το λόγο αυτό αναπτύχθηκε με βασικούς άξονες τη λειτουργικότητα, την αποτελεσματικότητα και την ευκολία χρήσης.



Σχήμα 55: Στιγμιότυπο της σελίδας “Online Monitor” του ARMS

7. Προοπτικές Ανάπτυξης και Συμπεράσματα

Μέσω της ανάπτυξης του συστήματος απομακρυσμένης παρακολούθησης της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας ARMS και της συγγραφής του κειμένου της παρούσας διπλωματικής εργασίας προέκυψαν μια σειρά συμπερασμάτων και ένα ευρύ φάσμα προοπτικών ανάπτυξης, τα οποία αναλύονται στη συνέχεια του κεφαλαίου.

7.1 Προοπτικές Ανάπτυξης

Τα περιθώρια και οι προοπτικές περαιτέρω ανάπτυξης τους συστήματος παρακολούθησης της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας (ARMS) είναι πολλές. Μέχρι στιγμής το σύστημα δίνει την δυνατότητα μέτρησης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε φορτίο μίας φάσης καθώς διαθέτει έναν μόνο αισθητήρα ρεύματος τύπου SCT-013, ο οποίος “αγκαλιάζοντας” την φάση της παροχής μιας μονοφασικής εγκατάστασης συμβάλει στην μέτρηση της κατανάλωσης της. Είναι δυνατόν στο μέλλον με τροποποίηση του κυκλώματος, του κώδικα και την προσθήκη δύο ακόμα αισθητήρων οι οποίοι θα “αγκαλιάζουν” με την σειρά τους την δεύτερη και τρίτη φάση μιας παροχής τριών φάσεων, να μπορεί να γίνει μέτρηση κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και τριφασικού φορτίου. Ακόμα, με ορισμένες πάλι παραμετροποιήσεις του συστήματος και προσθήκη αισθητήρων, θα είναι δυνατή η παρακολούθηση της κατανάλωσης διαφόρων επιμέρους φορτίων της εγκατάστασης, όπως για παράδειγμα διαφορετικά δωμάτια ή ακόμα και συσκευές. Το σύστημα θα μπορούσε επίσης να αποκτήσει μεγαλύτερη ευελιξία στην τοποθέτηση του με την προσθήκη μιας επέκτασης WiFi και την χρήση μπαταριών σαν πηγή τροφοδοσίας, με τα οποία δεν θα απαιτούνταν καλωδιώσεις και ο μετρητής θα μπορούσε να είναι αυτόνομος και να τοποθετηθεί σε οποιοδήποτε σημείο επιθυμεί ο χρήστης. Ωστόσο μια τέτοια αλλαγή θα χρειαζόταν προσεκτικό έλεγχο στην ποιότητα του σήματος WiFi στο εκάστοτε σημείο τοποθέτησης προκειμένου να μην υπάρχουν προβλήματα συνδεσιμότητας και απώλεια δεδομένων, αλλά και συνεχή επίβλεψη του επιπέδου φόρτισης των μπαταριών

προκειμένου το σύστημα να μην βγει εκτός λειτουργίας σε τυχαίο και μη επιθυμητό χρόνο.

Μια άλλη παραμετροποίηση η οποία μπορεί να γίνει έχει να κάνει με την περαιτέρω ανάπτυξη της απομακρυσμένης παρακολούθησης, η οποία στην τωρινή υλοποίηση προσφέρεται υπό την προϋπόθεση ότι το μετρητικό κύκλωμα του ARMS βρίσκεται στο ίδιο δίκτυο με τον υπολογιστή στο οποίο είναι εγκατεστημένη η βάση δεδομένων και η ιστοσελίδα εκτελώντας ουσιαστικά χρέη εξυπηρετητή (Server). Με την μετεγκατάσταση της βάσης δεδομένων και της ιστοσελίδας σε ένα εξυπηρετητή και λίγες τροποποιήσεις στον προγραμματισμό του Arduino θα είναι δυνατό η απομακρυσμένη παρακολούθηση να γίνεται χωρίς τον περιορισμό σύνδεσης της μετρητικής συσκευής στο ίδιο δίκτυο με τον Server, αφού πλέον η αποστολή, η μεταφορά και η παραλαβή των δεδομένων θα γίνεται μέσω του Διαδικτύου. Επιπρόσθετα, ακολουθώντας την τάση που θέλει τα έξυπνα κινητά να χρησιμοποιούνται πλέον στην καθημερινότητα του ανθρώπου περισσότερο από τους προσωπικούς υπολογιστές για την κάλυψη των ψηφιακών αναγκών τους, θα ήταν χρήσιμη η δημιουργία μιας εφαρμογής για έξυπνα κινητά, μέσω της οποίας θα παρέχονται στην παλάμη του χρήστη όλες οι δυνατότητες και πληροφορίες που προσφέρει το ARMS.

Πέραν των προηγούμενων προοπτικών ανάπτυξης, οι οποίες μπορούν να υλοποιηθούν με σχετικά μικρό κόστος στο προσεχές μέλλον, υπάρχει και η προοπτική το σύστημα ARMS να αποκτήσει ενεργό ρόλο στην διαχείριση και βέλτιστη αξιοποίηση της ηλεκτρικής ενέργειας. Το ARMS εφόσον αρχίσει να αλληλεπιδρά με το Διαδίκτυο και τις καινοτόμες τεχνολογίες, θα μπορούσε να αποτελέσει κομμάτι του IoE και επέκταση του SG, παρουσιάζοντας πολύ μεγάλες προοπτικές εξέλιξης και ενσωμάτωσης ακόμα περισσότερων έξυπνων τεχνολογιών που θα οδηγήσουν σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα μετάβασης προς τις έξυπνες εγκαταστάσεις. Το ARMS θα μπορεί να παρακολουθεί, να ελέγχει και να διαχειρίζεται πλήρως όλες τις λειτουργίες μια εγκατάστασης που σχετίζονται άμεσα ή έμμεσα με την ηλεκτρική ενέργεια. Επιπλέον, μέσω της ενσωμάτωσης Τεχνητής Νοημοσύνης (Artificial Intelligence) και Μηχανικής Μάθησης (Machine Learning), θα μπορεί να μαθαίνει τις ενεργειακές συνήθειες και ανάγκες του εκάστοτε χρήστη δημιουργώντας μοτίβα και να παίρνει αποφάσεις, βασιζόμενο στα στοιχεία τα οποία λαμβάνει από τους αισθητήρες και το Διαδίκτυο σε πραγματικό χρόνο και πράττοντας κατάλληλα με γνώμονα τα αποθηκευμένα δεδομένα από προηγούμενες

χρονικές περιόδους, ούτως ώστε να υπάρχει η βέλτιστη διαχείριση της ηλεκτρικής ενέργειας. Για παράδειγμα θα μπορεί να αποφασίζει πότε είναι η κατάλληλη στιγμή για να θέσει σε λειτουργία μια συσκευή με γνώμονα το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας και τον φόρτο του Δικτύου, κάτι που θα ευνοήσει την αποδοτικότερη και οικονομικότερη λειτουργία συσκευών μεγάλων ενεργειακών απαιτήσεων.

Τέλος, μια φιλόδοξη αλλά πάρα πολύ σημαντική προοπτική ανάπτυξης του ARMS για το μέλλον, που συνδυάζεται με την έννοια της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, είναι να αποκτήσει την δυνατότητα να μπορεί να κρίνει, μέσω της ανάπτυξης της Τεχνητής Νοημοσύνης του, πότε είναι βέλτιστο και χρήσιμο να προσφέρει και το ίδιο ηλεκτρική ενέργεια στο Δίκτυο. Μια χαρακτηριστική εφαρμογή του, που συνδέει πολλές καινοτόμες τεχνολογίες μαζί είναι η εγκατάσταση έξυπνων συσκευών φόρτισης ηλεκτρικών αυτοκινήτων στο σύστημα, όπου εκτός από το να παίρνουν ενέργεια, θα μπορούν και να προσφέρουν μέρος αυτής στο Δίκτυο όταν υπάρχει μεγάλη ζήτηση, αποφέροντας έτσι οικονομικά οφέλη στον χρήστη αλλά και αποσυμφορίζοντας το Δίκτυο.

7.2 Συμπεράσματα

Με την υλοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας έγιναν αντιληπτές και κατανοητές διάφορες πτυχές της ηλεκτρικής ενέργειας και τεχνολογίες που έχουν εφαρμογή στον κλάδο της, οδηγώντας σε μια σειρά συμπερασμάτων. Το μέγεθος της αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και τα μεγάλα τεχνολογικά κενά που παρουσιάζεται σήμερα σε αυτή, σε συνδυασμό με την ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας και την εμφάνιση ιδεών όπως το IoT και το SG προσφέρουν έδαφος για την ανάπτυξη και εφαρμογή έξυπνων συστημάτων παρακολούθησης κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας προσβάσιμα στον κάθε καταναλωτή. Με την απεικόνιση στοιχείων που αφορούν την ηλεκτρική ενέργεια γίνεται πιο σφαιρική κατανόηση των ηλεκτρικών μεγεθών και μπορεί έτσι να πραγματοποιηθεί το πρώτο βήμα για εξοικονόμηση ενέργειας και πόρων, καθώς όλοι θα έχουν επίγνωση των ενεργειακών αναγκών τους. Το ARMS κινείται σε αυτή την κατεύθυνση και μέσω της απεικόνισης των μετρήσεων της κατανάλωσης σε ποικίλα και δυναμικά γραφήματα μπορεί να παρέχει σε ένα χρήστη του συστήματος όλη την απαραίτητη πληροφορία

σε ένα εύχρηστο και φιλικό περιβάλλον, δίνοντάς του παράλληλα το έναυσμα να κάνει βήματα προς ένα ενεργειακό προφίλ με μειωμένη κατανάλωση και καθαρότερο αντίκτυπο προς το περιβάλλον, που θα του προσφέρει παράλληλα και οικονομικά οφέλη.

Με την σύλληψη της ιδέας και την επιλογή της ανάπτυξης του συστήματος ARMS, η υλοποίηση του υλικού και λογισμικού μέρους του μετρητή φάνταζε σαν το πιο περίπλοκο και δύσκολο κομμάτι της εργασίας, αλλά η πραγματικότητα ήταν αρκετά διαφορετική. Στη πορεία της εργασίας εμφανίστηκαν διάφορες δυσκολίες και επιπλοκές οι οποίες δεν είχαν υπολογιστεί ή ήταν σε τμήματα που δεν είχε φανεί πως θα παρουσιάσουν κάποια δυσκολία στην υλοποίηση. Η συνδεσιμότητα της επέκτασης που επιτρέπει τη σύνδεση στο Διαδίκτυο ήταν η πρώτη δυσκολία που εμφανίστηκε, καθώς αρχικά είχε επιλεγεί μια διαφορετική επέκταση για τις ανάγκες διασύνδεσης του συστήματος, η οποία όμως μετά από χρονοβόρες προσπάθειες, πειραματισμούς και εν τέλει επικοινωνία με την εταιρεία από την οποία αποκτήθηκε, αποδείχτηκε ότι δεν ήταν ικανή να εκτελέσει το ρόλο της στο σύστημα ARMS. Στη συνέχεια αποκτήθηκε μια νέα πλακέτα επέκτασης, η οποία μπορούσε να λειτουργήσει άρτια σε συνδυασμό με το Arduino και ήταν δυνατό πλέον να συνεχιστεί η υλοποίηση του μετρητή. Συνεπώς, κατά την επιλογή hardware θα πρέπει να υπάρχει ενδεδειγμένος έλεγχος για τις δυνατότητες και τη συνδεσιμότητα των επιμέρους στοιχείων που επιλέγονται, καθώς αν ακόμα και φαινομενικά υπάρχει η εντύπωση πως τα επιμέρους στοιχεία μπορούν να συνδεθούν και επικοινωνήσουν μεταξύ τους, μπορεί μια μικρή λεπτομέρεια να μην το επιτρέπει.

Μια επόμενη και μεγαλύτερη δυσκολία παρουσιάστηκε όταν ο μετρητής ήταν έτοιμος και η ιστοσελίδα βρισκόταν σε ικανοποιητικό επίπεδο και χρειαζόταν πλέον η σύνδεση των δύο αυτών μερών και η αποστολή των δεδομένων των μετρήσεων. Το κάθε κομμάτι του συστήματος χρησιμοποιεί διαφορετικό λογισμικό και γλώσσες προγραμματισμού κάτι που καθιστά την μεταξύ τους επικοινωνία πολύπλοκη καθώς χρειάζεται συνδυασμός γλωσσών ακόμα και μέσα σε ένα συγκεκριμένο πρόγραμμα. Από αυτό προκύπτει πως σε κάθε πρότζεκτ που συνδυάζει διάφορες τεχνολογίες, εμφανίζονται πολλά επίπεδα αρχιτεκτονικής, προγραμματισμού και επικοινωνίας που με κατάλληλο τρόπο γίνεται εφικτό να συνυπάρχουν αρμονικά. Ακόμα, στο σημείο αυτό έγινε αντιληπτή η σημασία της γλώσσας προγραμματισμού PHP που επιτρέπει την ενσωμάτωση στα αρχεία της συναρτήσεων και τμημάτων άλλων γλωσσών. Είναι κομβικής σημασίας γλώσσα και αποτελεί θεμέλιο λίθο για την

αμφίδρομη ροή δεδομένων μεταξύ περιφερειακών συσκευών (για παράδειγμα το Arduino) και Βάσεων Δεδομένων, επιτρέποντας επιπλέον και τη διαχείριση δεδομένων από μια ιστοσελίδα. Σε όλες τις παραπάνω διεργασίες απαιτείται η δημιουργία ενός άρτια προγραμματισμένου πλάνο κατά την διαδικασία μεταφοράς των δεδομένων, καθώς ενδέχεται να προκύψουν προβλήματα συνδεσιμότητας, τα οποία είναι δύσκολα να εντοπιστούν και κατά συνέπεια να διορθωθούν. Κατά την προσπάθεια επιτευχθεί η διασύνδεση των επιμέρους μερών και να επιλυθούν τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν σε αυτή, έγινε αντιληπτό ότι σε αυτό το κομμάτι του πρότζεκτ βρίσκονταν τα μεγαλύτερα εμπόδια.

Ένα ακόμα συμπέρασμα ήταν η σημασία των Βάσεων Δεδομένων και το εύρος των δυνατοτήτων που προσφέρουν σε συστήματα που συλλέγουν και διαχειρίζονται δεδομένα. Χρειάζεται ακόμα να γίνεται σωστός προγραμματισμός και οργάνωση τους ούτως ώστε να είναι ευκολότερη η μελέτη και η αξιοποίηση των δεδομένων. Επίσης, η δημιουργία της ιστοσελίδας που αποτελεί τη βιτρίνα του ARMS οδήγησε στο συμπέρασμα πως το περιβάλλον με το οποίο έρχεται σε επαφή ο χρήστης και αλληλεπιδρά μαζί του είναι απλώς η “κορυφή του παγόβουνου”, με το υπόλοιπο κομμάτι της ιστοσελίδας, που βρίσκεται στο παρασκήνιο και δεν έχει πρόσβαση ένας απλός χρήστης, να είναι το μεγαλύτερο και πολυπλοκότερο μέρος αυτής. Αναφορικά, μια διεργασία που για το χρήστη φαίνεται απλή και απαιτεί από εκείνον μόνο το πάτημα ενός κουμπιού στη σελίδα για την εμφάνιση κάποιου γραφήματος, στη πραγματικότητα απαιτεί μια σειρά πολύπλοκων διεργασιών στο παρασκήνιο.

Τέλος, η υλοποίηση της διπλωματικής εργασίας και του συστήματος ARMS οδήγησε στα συμπεράσματα πως για την περάτωση ενός πρότζεκτ είναι μεγάλης σημασίας ο σωστός σχεδιασμός και η ενδεδειγμένη έρευνα, πως η έννοια της συνεργασίας είναι κομβικής σημασίας για την επίτευξη στόχων αλλά και πως με την ενασχόληση έγινε εμβάθυνση σε έννοιες, τεχνολογίες και την εφαρμογή τους στην πραγματικότητα.

Βιβλιογραφία

- [1] Enerdata's team, "Electricity domestic consumption", World Energy Statistics - Enerdata, 2016.
- [2] IEA's team, "Electricity Information 2017", International Energy Agency, 2017.
- [3] P. E. Κινγκ, "Συστήματα Μετρήσεων", vol.1, ch.2, pp.25-26, ISBN: 960-8050-57-X, 2005.
- [4] P. E. Κινγκ, "Συστήματα Μετρήσεων", vol.1, ch.3, pp.40-42, ISBN: 960-8050-57-X, 2005.
- [5] IEA's team, "How will global energy markets evolve to 2035?", International Energy Agency, France, 2013.
- [6] A. Nordrum, "Popular Internet of Things Forecast of 50 Billion Devices by 2020 Is Outdated", IEEE Network, 2016.
- [7] Chin-Lung Hsu, Judy Chuan-Chuan Lin, "An empirical examination of consumer adoption of Internet of Things services: Network externalities and concern for information privacy perspectives", Computers in Human Behavior, vol. 62, pp.516–527, Taiwan, 2016.
- [8] WEO's team, "Report for Selected Country Groups and Subjects", World Economic Outlook database, 2011.
- [9] Makrufa Sh. Hajirahimova, Aybeniz S. Aliyeva, "About Big Data Measurement Methodologies and Indicators", International Journal of Modern Education and Computer Science, vol. 9, no. 10, pp. 1-9, doi:10.5815/ijmeecs.2017.10.01, Azerbaijan, 2017.
- [10] M. Hilbert, P. López, "The World's Technological Capacity to Store, Communicate, and Compute Information", Science AAAS, doi:10.1126/science.1200970, 2011.
- [11] M. S. Saleh, A. Althaibani, Y. Esa, Y. Mhandi, A. A. Mohamed, "Impact of clustering microgrids on their stability and resilience during blackouts", International Conference on Smart Grid and Clean Energy Technologies, pp.195–200, doi:10.1109/ICSGCE.2015.7454295, Germany, 2015.
- [12] 110th Congress Public Law, "Energy Independence and Security Act of 2007", U.S. Government Gazette, Washington D.C, 2007.

- [13] CEN/CENELEC/ETSI Joint Working Group, "Standards for Smart Grids", Final report on Standards for Smart Grids, 2011.
- [14] N. Bui, A. P. Castellani, P. Casari, M. Zorzi, "The internet of energy: a web-enabled smart grid system", IEEE Network, vol. 26, no. 4, pp. 39-45, doi:10.1109/MNET.2012.6246751, Italy, 2012.
- [15] SCMP's team, "Waste in renewables worsens in 2016", South China Morning Post, China, 2017.
- [16] R. Harrabin, "Smart energy revolution could help to avoid UK blackouts", BBC official website, 2016
- [17] IEA's team, "Digitalization and Energy", International Energy Agency, 2017.
- [18] Arduino.cc official website, "About Us.", [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Main/AboutUs>
- [19] Store.arduino.cc official website, "ARDUINO UNO REV3.", [Online]. Available: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>
- [20] Wiznet.io official website, "W5100 Datasheet", [Online]. Available: https://www.wiznet.io/wp-content/uploads/wiznethome/Chip/W5100/Document/W5100_Datasheet_v1.2.7.pdf
- [21] Yhdc.com official website, "SCT013.", [Online]. Available: <http://en.yhdc.com/product/SCT013-401.html>
- [22] R. Feynman, "The Feynman Lectures on Physics", vol.2, ch.13, ISBN: 978-0-201-02115-8, 1970.
- [23] Π. Μαλατέστας, "Ηλεκτρικές Μηχανές", vol.1, ch.1, ISBN: 978-960-418-498-9 2017.
- [24] D. Y. Hugh, "Πανεπιστημιακή Φυσική" vol.2, ch.20, ISBN: 960-02-1088-8, 1995.
- [25] Π. Μαλατέστας, "Ηλεκτρικές Μηχανές", vol.1, ch.3, ISBN: 978-960-418-498-9 2017.
- [26] R. J. Portugal, "Breadboard for electronic components or the like.", United States Patent Office, North Haven, Connecticut, USA, 1971.
- [27] Arduino.cc official website, "Arduino Software (IDE).", [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Environment>
- [28] Wordpress.org official website, "Democratize Publishing.", [Online]. Available: <https://el.wordpress.org/about/>

- [29] Apachefriends.org official website, "About.", [Online]. Available: <https://www.apachefriends.org/about.html>
- [30] Apache.org official website, "How Apache Came to Be.", [Online]. Available: http://httpd.apache.org/ABOUT_APACHE.html
- [31] MariaDB.org official website, "About MariaDB.", [Online]. Available: <https://mariadb.org/about/>
- [32] PHP.net official website, "History of PHP and Related Projects.", [Online]. Available: <http://php.net/manual/en/history.php.php>
- [33] Perl.org Official website, "What is Perl? Features and History.", [Online]. Available: <https://www.perl.org/about.html>
- [34] W3.org official website, "Hypertext Markup Language (HTML).", [Online]. Available: <https://www.w3.org/MarkUp/draft-ietf-iiir-html-01.txt>
- [35] W3.org official website, "Cascading Style Sheets, level 1.", [Online]. Available: <https://www.w3.org/TR/REC-CSS1-961217>
- [36] Cnet.com official website "Netscape and Sun announce JavaScript.", <https://www.cnet.com/news/netscape-and-sun-unveil-javascript/>