



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

Έξυπνα Δίκτυα μέτρησης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας

**1) Κατασκευή προχωρημένου συστήματος καταγραφής
κατανάλωσης**

2) Κατασκευή δικτύου κατανάλωσης εσωτερικού χώρου

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Γεώργιος Χ. Ρούτης

Επιβλέπων : Παναγιώτης Π. Κωττής

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, 2017



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

Έξυπνα Δίκτυα μέτρησης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας

1) Κατασκευή προχωρημένου συστήματος καταγραφής
κατανάλωσης

2) Κατασκευή δικτύου κατανάλωσης εσωτερικού χώρου

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Γεώργιος Χ. Ρούτης

Επιβλέπων : Παναγιώτης Π. Κωττής

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 21^η Ιουλίου 2017.

.....

Παναγιώτης Κωττής

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Χρήστος Καψάλης

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Γεώργιος Φικιώρης

Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, 2017

.....
Γεώργιος Χ. Ρούτης

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

Copyright © Γεώργιος Ρούτης, 2017

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής αποτελεί ο σχεδιασμός και η υλοποίηση ενός προηγμένου συστήματος Ευφυούς Μετρητή (Smart Meter) κατανάλωσης ενέργειας εξωτερικού χώρου, καθώς και η σχεδίαση και κατασκευή ενός δικτύου μέτρησης για οικιακό χώρο. Αναλύονται όλες οι βαθμίδες από τις οποίες αποτελείται τόσο ο μετρητής εξωτερικού χώρου όσο και το σύστημα οικιακού δικτύου. Για την κατασκευή των μετρητών χρησιμοποιήθηκαν συστήματα Arduino (MEGA 2560, DUE και UNO) καθώς και ο μετρητής Ηλεκτρικής Ενέργειας Elster A100C.

Η δομή της διπλωματικής αυτής έχει ως εξής: Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στους παραδοσιακούς μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας, κυρίως στον τρόπο λειτουργίας τους, στους έξυπνους μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας, τα συστήματα επικοινωνίας M2M καθώς και της σχετικά νέας τεχνολογίας Internet of Things. Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στο παραδοσιακό δίκτυο Ηλεκτρικής Ενέργειας καθώς και στα προβλήματα που αυτό αντιμετωπίζει. Στη συνέχεια του κεφαλαίου παρουσιάζεται το Ευφύες Δίκτυο Ηλεκτρικής Ενέργειας καθώς και η αρχιτεκτονική του. Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα πιο διαδομένα πρωτόκολλα μεταφοράς δεδομένων, δηλαδή DSL, κυψελωτά δίκτυα, PLC, UWB, υπέρυθρη μετάδοση, Bluetooth, 6LoWPAN, WiFi, Zigbee, Ethernet. Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στις προδιαγραφές που θέτει ο Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε. για το δίκτυο Ευφυούς Μέτρησης, περιπτώσεις εφαρμογής καθώς και τηλεπικοινωνιακές λύσεις ανά μονάδα δόμησης. Το πέμπτο κεφάλαιο αναφέρεται στις αρχιτεκτονικές λύσεις οικιακού δικτύου M2M, τις τοπολογίες που υπάρχουν, τις υπηρεσίες που μπορούν να παρέχουν καθώς τις πιο γνωστές εμπορικές λύσεις που διατίθενται. Στο έκτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά, πλέον, στο κατασκευαστικό σκέλος, όπου περιγράφονται αναλυτικά οι μονάδες που χρησιμοποιούνται στη κατασκευή τόσο του εξωτερικού μετρητή όσο και του οικιακού δικτύου. Στο έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζεται η τελική κατασκευή για τον εξωτερικό μετρητή καθώς και οι εντολές λειτουργίας του. Στο όγδοο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση της τελικής κατασκευής του οικιακού δικτύου.

Λέξεις Κλειδιά

Ευφυής Μετρητής, Οικιακό δίκτυο μέτρησης, Κατανάλωση ενέργειας, σύστημα Arduino, Arduino UNO R3, Arduino MEGA 2560, Arduino DUE, Δίκτυο Μεταφοράς, Δίκτυο Κορμού, WAN, NAN, HAN, GPRS/3G, PLC, xDSL, Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε., M2M, LTE, Elster A100C, IoT

Abstract

The purpose of this thesis is the design and the implementation of an advanced Smart Metering system of a small house and also the design and the implementation of a home network smart metering system. All the stages are analysed, on which the advanced Smart Meter and the home network system are based. For the implementation, Arduino units are used and more specific Arduino MEGA 2560, DUE and UNO. There is also use of the Smart Meter Elster A100C.

The format of this thesis is described below. The first chapter describes the traditional electricity metering system and how they work, the smart meters, the machine-to-machine (M2M) systems and also the Internet Of Things technology. The second chapter is about the traditional network of electricity and the problems that this has. Next on this chapter, the Smart Electricity Network is mentioned, as far as the architecture is concerned. On the third chapter there is description about the most popular protocols about data communication, meaning DSL, cellular networks, PLC, UWB, IR transmission, Bluetooth, 6LoWPAN, WiFi, Zigbee, Ethernet. The fourth chapter refers to the standards that HEDNO S.A. (Hellenic Electricity Distribution Network Operator S.A.) sets as far as the Smart Meters' Network is concerned, and some telecommunication solutions about different kinds of buildings. The fifth chapter refers to the solutions on the architecture of the home network of M2M, the topologies that exist, the services that could offer and the most popular commercial solutions that exist nowadays. On the sixth chapter, there is analysis about the units that the smart meter and the home network construction use. The seventh chapter refers to the final construction of the external smart meter and the commands used to interact with the machine. The eighth chapter describes the final construction of the home network.

KeyWords

Smart Meter, Smart Meter home network, Energy consumption, Arduino system, Arduino UNO R3, Arduino MEGA 2560, Arduino DUE, Backhaul Network, Backbone Network, NAN, WAN, PLC, GPRS/3G, M2M, xDSL, HEDNO, M2M, LTE, Elster A100C, IoT

Ευχαριστίες

Για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήθελα αρχικά να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ.Παναγιώτη Κωττή για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο προσωπό μου τόσο για την ανάθεση της διπλωματικής αλλά και όλο αυτό το χρονικό διάστημα της κατασκευής καθώς και για την καθοδήγηση και τις συμβουλές του σχετικά με αυτό. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογενειά μου που όλο αυτό το χρονικό διάστημα τόσο της κατασκευής της διπλωματικής εργασίας όσο και της φοιτησής μου, στάθηκαν δίπλα μου.

Περιεχόμενα

Ευρετήριο σχημάτων	12
Ευρετήριο πινάκων	16
Κεφάλαιο 1 : Έξυπνοι μετρητές και συστήματα επικοινωνίας M2M	17
1.1 Παραδοσιακός μετρητής ηλεκτρικής ενέργειας.....	17
1.2 Έξυπνος μετρητής ηλεκτρικής ενέργειας.....	18
1.3 Συστήματα M2M.....	19
1.4 Internet of Things.....	21
Κεφάλαιο 2 : Το Ευφυές Δίκτυο Μέτρησης.....	26
2.1 Το σημερινό δίκτυο Ηλεκτρικής Ενέργειας	26
2.2 Τα προβλήματα του σημερινού δικτύου Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	27
2.3 Το Ευφυές Δίκτυο Ηλεκτρικής Ενέργειας	28
2.4 Η αρχιτεκτονική ενός Ευφυούς Δικτύου Μέτρησης.....	29
Κεφάλαιο 3 : Πρωτόκολλα μεταφοράς δεδομένων	36
3.1 Ψηφιακή συνδρομητική γραμμή (DSL – Digital Subscriber Line)	36
3.2 Κυψελωτά δίκτυα επικοινωνιών	37
3.3 Επικοινωνία με χρήση των αγωγών ηλεκτρικού ρεύματος- Power Line Communications (PLC)	39
3.4 Ultra Wide Band (UWB)	41
3.5 Υπέρυθρη μετάδοση δεδομένων (IrDA)	41
3.6 Bluetooth	43
3.7 6LoWPAN	44
3.8 WiFi	45
3.9 ZigBee.....	46
3.10 Ethernet	48
Κεφάλαιο 4 : Προδιαγραφές του Δικτύου Ευφυούς Μέτρησης από το Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε.	51
4.1 Περιπτώσεις εφαρμογής του συστήματος Ευφυούς Μέτρησης.....	51
4.2 Προδιαγραφές σύμφωνα με το Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε.	53
4.3 Τηλεπικοινωνιακές λύσεις ανά πυκνότητας δόμησης	58
Κεφάλαιο 5 : Home network	64
5.1 Αρχιτεκτονική ενός οικιακού M2M δικτύου.....	64

5.2 Τοπολογίες δικτύων Smart Home	66
5.3 Υπηρεσίες Smart Home	69
5.4 Εμπορικές λύσεις	72
Κεφάλαιο 6 : Ο εξωτερικός μετρητής της οικίας	78
6.1 Εισαγωγή.....	78
6.2 Κύρια Μονάδα Ελέγχου εξωτερικού μετρητή	78
6.3 Μονάδα μέτρησης κατανάλωσης ενέργειας (Elster A100C)	87
6.4 Δέκτης Δορυφορικού Εντοπισμού (GPS)	89
6.5 Μονάδα Ασύρματης Μετάδοσης Δεδομένων (Xbee Zigbee).....	92
6.6 Αισθητήρας Τάσης (Voltage Sensor).....	96
6.7 Αισθητήρας Ρεύματος (Current Sensor)	98
6.8 Οθόνη Χαρακτήρων	100
6.9 Θύρα πληκτρολογίου (PS/2)	101
6.10 Πομποδέκτης GSM/GPRS.....	102
6.11 Πληκτρολόγιο 4x4 (Keypad Matrix 4x4)	106
6.12 Μαγνητικές επαφές	108
6.13 Μονάδα αποσύνδεσης/επανασύνδεσης καταναλωτή	109
6.14 Αισθητήρας υγρασίας.....	110
6.15 Αισθητήρας θερμοκρασίας.....	111
6.16 Εξωτερικό ρολόι.....	112
6.17 Πρωτεύουσα βοηθητική μονάδα επεξεργασίας δεδομένων.....	114
6.18 Μονάδα απόθηκευσης δεδομένων (SD Card).....	118
6.19 Δευτερεύουσα βοηθητική μονάδα επεξεργασίας δεδομένων	119
Κεφάλαιο 7 : Η τελική κατασκευή του εξωτερικού μετρητή κατανάλωσης ρεύματος.....	125
Κεφάλαιο 8 : Η τελική κατασκευή συστήματος εσωτερικών μετρητών οικίας	160
Βιβλιογραφία	168

Ευρετήριο σχημάτων

Σχήμα 1.1 Μετρητής ρεύματος 3φασικός (τύπου ΔΕΗ) [20].....	17
Σχήμα 1.2 Βασικές συνδεσμολογίες επαγωγικών μετρητών ηλεκτρικής ενέργειας [21].	18
Σχήμα 1.3 Έξυπνος μετρητής, μονοφασικός, της εταιρείας Elster [22].....	18
Σχήμα 1.4 Σχηματική αναπαράσταση του μοντέλου IoT της Intel [27].....	24
Σχήμα 2.1 Ένα AMI δίκτυο κορμού [71].	31
Σχήμα 2.2 Τοπολογίες: (α) δένδρου, (β) κατανεμημένη, (γ) αστέρα, (δ) διαύλου, (ε) βρόχου [10].....	34
Σχήμα 3.1 Τα κανάλια από τα οποία αποτελείται το ADSL [1].....	37
Σχήμα 3.2 Σχηματική αναπαράσταση των τεχνικών FDMA,TDMA,CDMA [2].....	38
Σχήμα 3.3 Τα πρωτόκολλα των κυψελωτών δικτύων [1].	39
Σχήμα 3.4 Δείγμα Power Line modem [5].	40
Σχήμα 3.5 Σύγκριση UWB με άλλα πρωτόκολλα όσον αφορά την κατανάλωση ισχύος [19].....	41
Σχήμα 3.6 Συσκευή υπέρυθρης επικοινωνίας που συνδέται σε υπολογιστή μέσω θύρας USB [7].	42
Σχήμα 3.7 Συσκευή Bluetooth για σύνδεση με ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσω θύρας USB [8].....	43
Σχήμα 3.8 Σχηματική αναπαράσταση λειτουργίας του 6LoWPAN σε συνδυασμό με άλλες τεχνολογίες [10].....	45
Σχήμα 3.9 Οι 3 κύριες τοπολογίες του πρωτοκόλλου Zigbee [16].	47
Σχήμα 3.10 Μία συνολική απεικόνιση των ασύρματων πρωτοκόλλων που παρουσιάστηκαν προηγουμένως συναρτήσει του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων και της μέγιστης απόστασης μεταφοράς δεδομένων.....	48
Σχήμα 3.11 Τυπικό καλώδιο σύνδεσης Ethernet [17].	48
Σχήμα 4.1 Οι κατηγορίες του δικτύου πρόσβασης, της εταιρείας IBERDROLA [10].....	52
Σχήμα 4.2 Τοπολογία ΧΤ σε ημιαστικές περιοχές [10].	61
Σχήμα 5.1 Σχηματική απεικόνιση της λειτουργίας ενός HAN/GW [15].	65
Σχήμα 5.2 Εφαρμογές του Smart Home[28].....	72
Σχήμα 5.3 Το Apple Homekit [15].....	73
Σχήμα 5.4 Αριστερά κάτω διακρίνεται το Samsung Hub [29].	74
Σχήμα 6.1 Η μονάδα Arduino MEGA 2560 στην οποία βασίζεται το κυριότερο μέρος του μετρητή [30].	78
Σχήμα 6.2 Χαρακτηριστικά του Arduino MEGA 2560 [30].	79
Σχήμα 6.3 Παράδειγμα συνδεσμολογίας SPI [32].	82
Σχήμα 6.4 Λειτουργία ενός Α/Ψ μετατροπέα. (α) το αναλογικό σήμα, (β) δειγματοληψία, (γ) κβαντοποίηση [67].....	83
Σχήμα 6.5 Ο έξυπνος μετρητής Elster A100C [34].....	87
Σχήμα 6.6 Ο οπτικός αισθητήρας TL261R [6].	88
Σχήμα 6.7 Τα χαρακτηριστικά του μετρητή Elster A100C [35].....	88
Σχήμα 6.8 Η συνδεσμολογία των ακροδεκτών του Elster A100C [37].	89
Σχήμα 6.9 Η μονάδα GPS [38].....	89
Σχήμα 6.10 Τα χαρακτηριστικά του δέκτη GPS [41].	91
Σχήμα 6.11 Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του δέκτη GPS [42].....	92

Σχήμα 6.12 Η μονάδα Xbee Zigbee της Digi [43].	92
Σχήμα 6.13 Το Xbee explorer [44].	94
Σχήμα 6.14 Το περιβάλλον της πλατφόρμας X-CTU.	95
Σχήμα 6.15 Το Xbee adapter [45].	95
Σχήμα 6.16 Ο αισθητήρας τάσης [46].	97
Σχήμα 6.17 Τα χαρακτηριστικά του αισθητήρα τάσης [46].	98
Σχήμα 6.18 Το κύκλωμα προσαρμογής του αισθητήρα ρεύματος στο σύστημα Arduino [78].	99
Σχήμα 6.19 Ο αισθητήρας ρεύματος [47].	99
Σχήμα 6.20 Χαρακτηριστικά του αισθητήρα ρεύματος [47].	100
Σχήμα 6.21 Η οθόνη υγρών κρυστάλλων [49].	100
Σχήμα 6.22 Ο ρόλος των ακροδεκτών της οθόνης υγρών κρυστάλλων [48].	101
Σχήμα 6.23 Ο ρόλος των ακροδεκτών της υποδοχής του πληκτρολογίου [51].	102
Σχήμα 6.24 Ο πομποδέκτης FONA [50].	103
Σχήμα 6.25 Τα χαρακτηριστικά της μονάδας SIM800L (1) [52].	104
Σχήμα 6.26 Τα χαρακτηριστικά της μονάδας SIM800L (2) [53].	105
Σχήμα 6.27 Η μορφή του πληκτρολογίου 4x4 [54].	106
Σχήμα 6.28 Εσωτερική δομή του πληκτρολογίου 4x4 [54].	107
Σχήμα 6.29 Παράδειγμα συνδεσμολογίας του πληκτρολογίου 4x4 σε μικροελεγκτή [55].	108
Σχήμα 6.30 Μαγνητικές επαφές [68].	108
Σχήμα 6.31 Η μονάδα αποσύνδεσης/επανασύνδεσης του καταναλωτή [57].	110
Σχήμα 6.32 Ο αισθητήρας υγρασίας DHT11 [60].	110
Σχήμα 6.33 Ο αισθητήρας θερμοκρασίας DS18B20 [63].	112
Σχήμα 6.34 Το εξωτερικό ρολόι DS3231 [65].	113
Σχήμα 6.35 Το σύστημα Arduino DUE [58].	114
Σχήμα 6.36 Ο λογικός μετατροπέας τάσης [59].	115
Σχήμα 6.37 Τα χαρακτηριστικά του Arduino DUE [58].	116
Σχήμα 6.38 Οι θύρες για το προγραμματισμό του Arduino DUE [58].	118
Σχήμα 6.39 Η μονάδα αποθήκευσης δεδομένων [64].	119
Σχήμα 6.40 Το σύστημα Arduino UNO R3 [70].	120
Σχήμα 6.41 Τα χαρακτηριστικά του Arduino UNO R3 [70].	122
Σχήμα 7.1 Η τελική εικόνα του εξωτερικού μετρητή.	125
Σχήμα 7.2 Τα ενδεικτικά LED για χρήση με το πληκτρολόγιο 4x4.	126
Σχήμα 7.3 Τα φισ του εξωτερικού μετρητή.	126
Σχήμα 7.4 Πλάγια όψη του εξωτερικού μετρητή.	127
Σχήμα 7.5 Το αριστερό κουτί του εξωτερικού μετρητή.	128
Σχήμα 7.6 Το μεσαίο κουτί του εξωτερικού μετρητή.	130
Σχήμα 7.7 Η διάτρητη πλακέτα κάτω από το Arduino DUE.	131
Σχήμα 7.8 Η πίσω όψη της διάτρητης πλακέτας, κάτω από το Arduino DUE.	132
Σχήμα 7.9 Τα molex τροφοδοσίας του FONA και του Arduino DUE.	133
Σχήμα 7.10 Η διάτρητη πλακέτα επέκτασης των ακροδεκτών των 3.3 Volt.	133
Σχήμα 7.11 Ο ηλεκτροσυσσωρευτής του πομποδέκτη FONA.	134
Σχήμα 7.12 Η μονάδα αποθήκευσης δεδομένων SD card (για μελλοντική χρήση)	135

Σχήμα 7.13 Το δεξί κουτί του εξωτερικού μετρητή.....	136
Σχήμα 7.14 Η διάτρητη πλακέτα κάτω από το Arduino MEGA 2560.	137
Σχήμα 7.15 Η πίσω όψη της διάτρητης πλακέτας, κάτω από το Arduino MEGA.....	138
Σχήμα 7.16 Η οθόνη LCD εμφανίζει συνεχώς τη τρέχουσα τιμή της RMS τάσης στην πάνω γραμμή και την τρέχουσα τιμή του RMS ρεύματος στην κάτω γραμμή.....	139
Σχήμα 7.17 Σύνδεση του πληκτρολογίου μέσω PS/2 στον εξωτερικό μετρητή.....	140
Σχήμα 7.18 Αποστολή εντολής και λήψη της τιμής ρεύματος μέσω Zigbee.....	143
Σχήμα 7.19 Αποστολή εντολής και λήψη της τιμής φαινόμενης ισχύος μέσω Zigbee.	143
Σχήμα 7.20 Αποστολή εντολής και λήψη της τιμής τάσης μέσω Zigbee.....	144
Σχήμα 7.21 Αποστολή εντολής και λήψη της τιμής της συνολικής καταναλωθείσας ενέργειας μέσω Zigbee.....	145
Σχήμα 7.22 Αποστολή εντολής και λήψη του στίγματος GPS μέσω Zigbee.....	145
Σχήμα 7.23 Αποστολή εντολής σύνδεσης του φορτίου και λήψη της επιβεβαίωσης μέσω Zigbee.....	146
Σχήμα 7.24 Αποστολή εντολής αποσύνδεσης του φορτίου και λήψη της επιβεβαίωσης μέσω Zigbee.	146
Σχήμα 7.25 Αποστολή εντολής υγρασίας και λήψη της απάντησης μέσω Zigbee.	147
Σχήμα 7.26 Αποστολή εντολής θερμοκρασίας και λήψη της απάντησης μέσω Zigbee.	147
Σχήμα 7.27 Μήνυμα ενημέρωσης μη εξουσιοδοτημένης πρόσβασης στον εξωτερικό μετρητή.	148
Σχήμα 7.28 Ένδειξη του κοκκινού LED, που σημαίνει πως δεν έχει δοθεί ο κωδικός ξεκλειδώματος στο πληκτρολόγιο 4x4.	148
Σχήμα 7.29 Ένδειξη του πράσινου LED, που σημαίνει πως έχει δοθεί ο κωδικός ξεκλειδώματος στο πληκτρολόγιο 4x4.	149
Σχήμα 7.30 Το πορτοκαλί LED ενεργοποιείται κατά την είσοδο κωδικού από το πληκτρολόγιο 4x4.....	150
Σχήμα 7.31 Αποστολή νέου κωδικού μέσω Zigbee από τον H/Y.	151
Σχήμα 7.32 Επιτυχημένη αποστολή εντολής μέσω Zigbee/GSM για την τιμή της τάσης.....	152
Σχήμα 7.33 Η απάντηση για την τάση μέσω GSM.....	152
Σχήμα 7.34 Επιτυχημένη αποστολή εντολής μέσω Zigbee/GSM για την τιμή ρεύματος.....	153
Σχήμα 7.35 Η απάντηση για το ρεύμα μέσω GSM.	153
Σχήμα 7.36 Επιτυχημένη αποστολή εντολής μέσω Zigbee/GSM για τη Φαινόμενη Ισχύ.	154
Σχήμα 7.37 Η απάντηση για τη φαινόμενη ισχύ μέσω GSM.....	154
Σχήμα 7.38 Επιτυχημένη αποστολή εντολής μέσω Zigbee/GSM για την αθροιστική καταναλωθείσα ενέργεια.	155
Σχήμα 7.39 Η απάντηση για την καταναλωθείσα ενέργεια μέσω GSM.....	155
Σχήμα 7.40 Εντολή μέσω Zigbee για την ανάγνωση της κατάστασης του ηλεκτροσυσσωρευτή του FONA.	156
Σχήμα 7.41 Εντολή μέσω Zigbee για την ανάγνωση της κατάστασης του status του FONA.	156
Σχήμα 7.42 Εντολή μέσω Zigbee για την ανάγνωση της ημερομηνίας και ώρας του FONA.	157
Σχήμα 7.43 Εντολή μέσω Zigbee για την ανάγνωση του αριθμού των μηνυμάτων του FONA.	157
Σχήμα 7.44 Εντολή μέσω Zigbee για την ανάγνωση της τρέχουσας ημερομηνίας και ώρας του RTC DS3231.	158
Σχήμα 8.1 Το Arduino shield για την προσθήκη Xbee συστημάτων [66].	160
Σχήμα 8.2 Η τελική μορφή ενός εκ των εσωτερικών μετρητών οικίας.....	161

Σχήμα 8.3 Η μορφή της παλμοσειράς που λαμβάνει ο οπτικός αισθητήρας από την υπέρυθρη θύρα του Elster A100C [69].....	162
Σχήμα 8.4 Αρχική εικόνα της εφαρμογής X-CTU.	163
Σχήμα 8.5 Ρύθμιση παραμέτρων για την αναζήτηση του Xbee Zigbee.	163
Σχήμα 8.6 Επιτυχής εύρεση του Xbee Zigbee (Coordinator).....	164
Σχήμα 8.7 Μία από τις δοκιμαστικές λειτουργίες του οικιακού δικτύου μετρητών.	165
Σχήμα 8.8 Αποτύπωση δεδομένων του οικιακού δικτύου στην εφαρμογή του Η/Υ.....	166

Ευρετήριο πινάκων

Πίνακας 1.1 Παραδείγματα εφαρμογής M2M επικοινωνιών [15].....	21
Πίνακας 3.1 Ισχύς, μέγιστη απόσταση μετάδοσης δεδομένων και μέγιστη θεωρητική ρυθμοδότηση ανά έκδοση Bluetooth [8].....	44
Πίνακας 3.2 Οι εκδόσεις του πρωτοκόλλου 802.11 [12].....	46
Πίνακας 6.1 Η συνδεσμολογία του Xbee με το Arduino MEGA 2560.	96
Πίνακας 6.2 Η συνδεσμολογία της οθόνης LCD με το Arduino MEGA 2560.	101
Πίνακας 6.3 Η συνδεσμολογία του υποδοχέα PS/2 με το Arduino MEGA 2560.....	102
Πίνακας 6.4 Η συνδεσμολογία του πομποδέκτη FONA με το Arduino MEGA 2560.	104
Πίνακας 6.5 Η συνδεσμολογία του αισθητήρα υγρασίας DHT11 με το Arduino MEGA 2560.....	111
Πίνακας 6.6 Η συνδεσμολογία του αισθητήρα θερμοκρασίας DS18B20 με το Arduino MEGA 2560.	112
Πίνακας 6.7 Η συνδεσμολογία του RTC DS3231 με το Arduino DUE.	113
Πίνακας 7.1 Η συνδεσμολογία του Arduino UNO με το Arduino DUE.	128

Κεφάλαιο 1 : Έξυπνοι μετρητές και συστήματα επικοινωνίας M2M

1.1 Παραδοσιακός μετρητής ηλεκτρικής ενέργειας

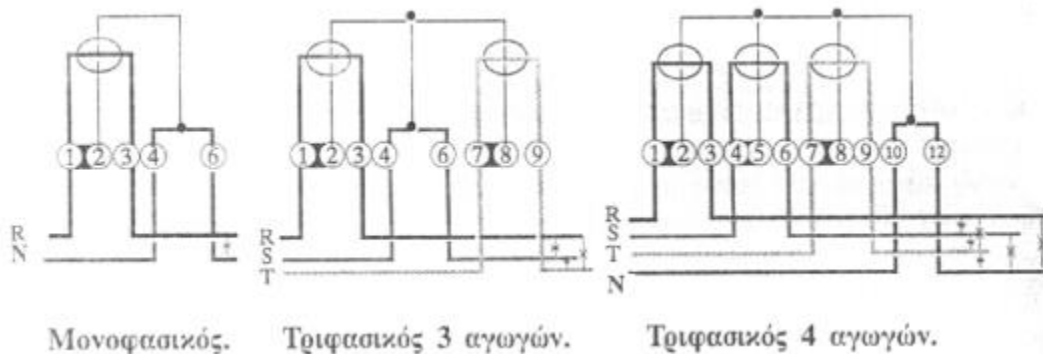


Σχήμα 1.1 Μετρητής ρεύματος 3φασικός (τύπου ΔΕΗ) [20].

Οι παραδοσιακοί μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιούνται σήμερα από τη ΔΕΗ βασίζονται στο επαγωγικό φαινόμενο. Συγκεκριμένα αποτελούνται από δύο σταθερούς ηλεκτρομαγνήτες, τον αμπερομετρικό και το βολτομετρικό. Οι δύο αυτοί μαγνήτες επενεργούν σε ένα δίσκο από αλουμίνιο. Ο βολτομετρικός ηλεκτρομαγνήτης δημιουργεί μία ροή Φ_u ανάλογη της τάσης που εφαρμόζεται στον καταναλωτή, ενώ ο αμπερομετρικός δημιουργεί μία ροή Φ_i ανάλογη προς την ένταση του ρεύματος που απορροφά ο καταναλωτής. Εκ κατασκευής οι δύο αυτές μαγνητικές ροές Φ_u και Φ_i βρίσκονται σε φασική απόκλιση μεταξύ τους δημιουργώντας συνιστάμενο στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο. Κατ' αυτό τον τρόπο, αναπτύσσονται δινορεύματα στο δίσκο πάνω στα οποία επιδρούν δυνάμεις Laplace, με αποτέλεσμα να έχουμε περιστροφή του δίσκου.

Για να αποφεύγεται μία μικρή ροπή στρέψης που αναπτύσσεται όταν δεν υπάρχει κατανάλωση, τοποθετείται ένας μικρός μόνιμος μαγνήτης στο όργανο και ένα μικρό σιδερένιο κομμάτι στον άξονα. Στους τριφασικούς μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας, γίνεται χρήση τριών αμπερομετρικών και τριών βολτομετρικών ηλεκτρομαγνητών κατάλληλα συνδεδεμένους.

Όσον αφορά την τιμολόγηση, υπάρχει η δυνατότητα δύο τιμολογίων (ημερήσιο και νυκτερινό) και η αλλαγή αυτή γίνεται με εντολή που στέλνει η ΔΕΗ, κάνοντας χρήση συστήματος ακουστικής συχνότητας, σε έναν ηλεκτρονόμο, όταν δεν υπάρχει αιχμή φορτίου στο δίκτυο [21].



Σχήμα 1.2 Βασικές συνδεσμολογίες επαγωγικών μετρητών ηλεκτρικής ενέργειας [21].

1.2 Έξυπνος μετρητής ηλεκτρικής ενέργειας



Σχήμα 1.3 Έξυπνος μετρητής, μονοφασικός, της εταιρείας Elster [22].

Ο έξυπνος μετρητής (SM – Smart Meter) είναι μία ηλεκτρονική συσκευή που καταγράφει την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας μιας οικίας, ενός επαγγελματικού χώρου ή μιας κατασκευής (π.χ. φωτοβολταϊκό πάρκου) με τρόπο περιοδικό, βάσει προδιαγραφών κάθε 15

λεπτά, και αποστέλλει τις πληροφορίες σε μία κεντρική βάση δεδομένων (συγκεντρωτή ή βάση επεξεργασίας) [3]. Εκτός από την ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να καταγράψει και άλλα μεγέθη, όπως ρεύμα, τάση, άεργο ισχύ, και φορά ενέργειας. Οι έξυπνοι μετρητές προσφέρουν αμφίδρομη επικοινωνία, λειτουργία που δεν διατίθεται από τους παραδοσιακούς μετρητές [3]. Βασικά χαρακτηριστικά ενός έξυπνου μετρητή είναι:

1. Ύπαρξη δυνατότητας αναβάθμισης του firmware από απόσταση.
2. Η μέτρηση των δεδομένων δεν απαιτεί ανθρώπινη παρουσία στο χώρο του καταναλωτή. Αντίθετα, τα δεδομένα αποστέλλονται στο σταθμό βάσης (συγκεντρωτή ή Σύστημα Διαχείρισης Δεδομένων) μέσω τηλεμετρίας.
3. Η διακοπή και η επανασύνδεση του καταναλωτή γίνεται από απόσταση.
4. Επόπτευση σε πραγματικό χρόνο προβλημάτων (πχ. Χρονικά διαστήματα με μειωμένη τάση).
5. Επέκταση μετρήσεων στο δίκτυο ύδρευσης, φυσικού αερίου ή και συστημάτων ασφαλείας/επιτήρησης χώρου.

1.3 Συστήματα M2M

Ως machine-to-machine (M2M) εννοούνται οι επικοινωνίες που βασίζονται στη συνδεσιμότητα και επικοινωνία μεταξύ μηχανών/συσκευών χωρίς να απαιτείται ανθρώπινη παρέμβαση. Πρόκειται, συνήθως, για μεγάλο αριθμό συσκευών οι οποίες, είτε ενσύρματα είτε ασύρματα, ανταλλάσσουν πληροφορίες μεταξύ τους και εκτελούν εντολές [15]. Η M2M τεχνολογία ξεκίνησε στα μέσα του 1980 με τα συστήματα SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition). Τα τελευταία χρόνια, έχει αυξηθεί το ενδιαφέρον της βιομηχανίας και της ερευνητικής κοινότητας για τις M2M επικοινωνίες κυρίως για τους εξής λόγους: Η εμφάνιση των ασύρματων τηλεπικοινωνιών, όπως GSM/GPRS, WiMAX και WCDMA στο Ίντερνετ αποτελεί βασική προϋπόθεση για τη χρήση M2M επικοινωνιών. Το λογισμικό που χρησιμοποιείται επιτρέπει στις συσκευές να λειτουργούν έξυπνα και αυτόνομα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι συσκευές να μπορούν να επικοινωνούν και να διεκπεραιώνουν πολλές λειτουργίες ώστε να επιτευχθεί ο εκάστοτε στόχος του συστήματος. Παράδειγμα αποτελεί το

Software Defined Radio (SDR), το οποίο μπορεί να βελτιώσει την ευελιξία των ασύρματων δικτύων. Τέλος, οι αισθητήρες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη συλλογή δεδομένων για M2M συστήματα χρησιμοποιούνται ευρέως σήμερα, λόγω του μειωμένου κόστους σε συνδυασμό με τις αυξημένες δυνατότητες τους [23].

Ουσιαστικό ρόλο για τη διεύρυνση του M2M αναμένεται να έχουν οι τεχνολογίες 3G και 4G – LTE Advanced περισσότερο δε, σε περιοχές όπου το 2G βρίσκεται στη φάση της αντικατάστασης του. Σε αντίθεση με τις επικοινωνίες Human to Human (H2H), οι υπηρεσίες M2M εντάσσονται σε ένα σύστημα επικοινωνίας όπου οι απαιτήσεις είναι διαφορετικές αφού αναφέρονται σε επικοινωνία συσκευής με συσκευή, εξαιτίας των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών τους που έγγειται στους περιορισμούς που υπάρχουν. Με βάση τον αυξανόμενο αριθμό των συσκευών που έχουν τη δυνατότητα επικοινωνίας και πρόσβασης στο Διαδίκτυο, προκύπτει η ανάγκη βελτίωσης της επίδοσης των κυψελωτών δικτύων LTE-Advanced ως προς τη αξιοποίηση του φάσματος. Επιπλέον, τώρα υπάρχει η ανάγκη για διαφορετικά επίπεδα ποιότητας υπηρεσίας (QoS), καθώς κάθε εφαρμογή αναμένεται να έχει διαφορετικές απαιτήσεις, διαφορετικά επίπεδα κινητικότητας, ασφάλεια δεδομένων, μειωμένη ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων, χαμηλή κατανάλωση ισχύος κτλ [15].

Τέλος, όσον αφορά την αρχιτεκτονική ενός τυπικού M2M δικτύου αυτή αποτελείται από τα ακόλουθα στοιχεία [23]:

- Το M2M στοιχείο (M2M component), το οποίο όντας ενσωματωμένο σε κάποια ηλεκτρονική συσκευή, ανταποκρίνεται σε αιτήματα ή εντολές που του διαβιβάζονται ή μεταδίδει δεδομένα.
- Την M2M πύλη (M2M gateway), που επιτρέπει τη συνδεσιμότητα ανάμεσα στα στοιχεία M2M και το δίκτυο επικοινωνιών.
- Το M2M εξυπηρετητή (M2M Server) , που λειτουργεί ως ενδιάμεσο επίπεδο που μεταφέρει δεδομένα μεταξύ διάφορων εφαρμογών.
- Το M2M δίκτυο (M2M area network), το οποίο παρέχει τη συνδεσιμότητα μεταξύ της M2M πύλης και των M2M στοιχείων.

- Το M2M δίκτυο επικοινωνιών (M2M communication network), το οποίο παρέχει τη συνδεσιμότητα μεταξύ των M2M πυλών και των M2M εξυπηρετητών.

Στον πίνακα 1.1 φαίνονται οι τομείς και οι εφαρμογές μίας M2M υπηρεσίας.

Τομέας	Εφαρμογή
Δημόσια ασφάλεια και προστασία	Συστήματα επιτήρησης, ελέγχου φυσικής πρόσβασης (π.χ. κτίρια), παρακολούθηση περιβάλλοντος (π.χ. για φυσικές καταστροφές)
Ευφυές Ηλεκτρικό Δίκτυο (Smart Grid)	Παρακολούθηση και έλεγχος: (i) του ηλεκτρικού δικτύου, (ii) του δικτύου φυσικού αερίου, (iii) του δικτύου ύδρευσης
Παρακολούθηση και εντοπισμός	Διαχείριση παραγγελιών επιχειρήσεων, έλεγχος εγκαταστάσεων
Τηλεματική οχημάτων	Διαχείριση στόλων οχημάτων, ασφάλεια οδηγών - αυτοκινήτων, βελτιωμένη πλοήγηση, πληροφορίες κυκλοφορίας, διόδια, απομακρυσμένη διάγνωση οχήματος
Πληρωμές	Σημεία πώλησης, ATM, μηχανήματα αυτόματης πώλησης, μηχανήματα τυχερών παιχνιδιών
Υγεία	Παρακολούθηση ζωτικών οργάνων και λειτουργιών του ανθρώπινου σώματος, υποστήριξη ηλικιωμένων και ατόμων με ειδικές ανάγκες, τηλεϊατρική, απομακρυσμένη διάγνωση
Απομακρυσμένος έλεγχος και συντήρηση	Βιομηχανικοί αυτοματισμοί, βιομηχανικές μετρήσεις, αισθητήρες, φωτισμός, αντλίες, απομακρυσμένος έλεγχος μηχανών
Συσκευές καταναλωτών	Ψηφιακή κορνίζα, ψηφιακή φωτογραφική μηχανή, e-books, σημεία διαχείρισης και ελέγχου σπιτιού

Πίνακας 1.1 Παραδείγματα εφαρμογής M2M επικοινωνιών [15].

1.4 Internet of Things

Το Internet of Things αποτελεί επέκταση του Internet. Πρόκειται για ένα δίκτυο από συσκευές, οχήματα, κτίρια και άλλα αντικείμενα ενσωματωμένα με ηλεκτρονικά συστήματα, λογισμικό, αισθητήρες, ενεργοποιητές (υδραυλικοί μηχανισμοί, πνευματικοί μηχανισμοί, ηλεκτρικοί μηχανισμοί, θερμικοί μηχανισμοί, μαγνητικοί μηχανισμοί [25]) και σύνδεση σε κάποιο δίκτυο, που επιτρέπει σε αυτά τα αντικείμενα να συλλέγουν και να ανταλλάσσουν μεταξύ τους δεδομένα [24].

Το IoT βρίσκει εφαρμογή στα ακόλουθα πεδία:

- Επόπτευση του περιβάλλοντος
- Διαχείριση υποδομών
- Βιομηχανία
- Διαχείριση ενέργειας
- Συστήματα Υγείας
- Έξυπνα σπίτια
- Μεταφορές
- Εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας
- Καταναλωτικές εφαρμογές

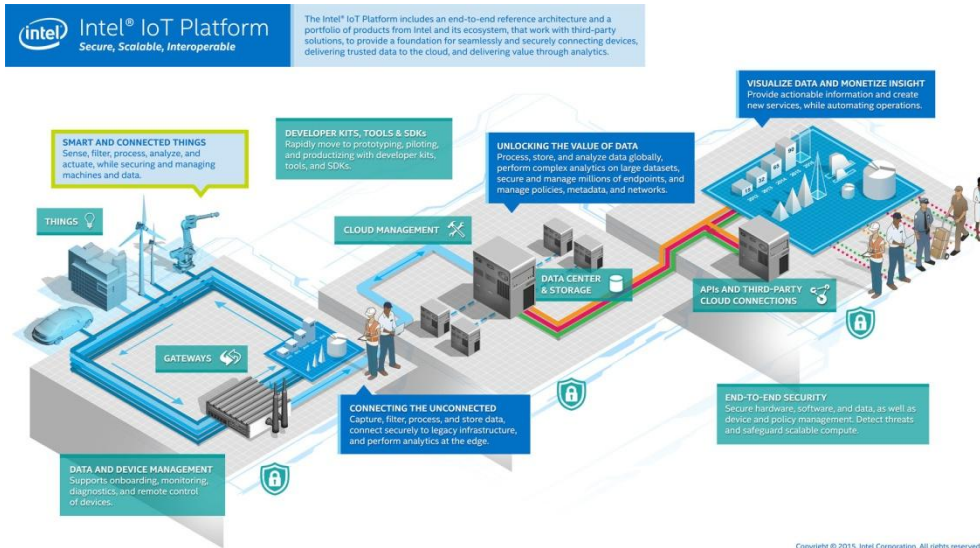
Σύμφωνα με εκτιμήσεις, αυτή τη στιγμή περίπου 1.5 δισεκατομμύρια υπολογιστές και περισσότερα από 1 δισεκατομμύριο κυψελωτά τηλέφωνα σε παγκόσμια κλίμακα έχουν τη δυνατότητα πρόσβασης στο Ίντερνετ. Αν προστεθεί και ο πολύ μεγάλος αριθμός ευφυών συσκευών, υπολογίζεται ότι το 2020 θα υπάρχουν 50 έως 100 δισεκατομμύρια συσκευές συνδεδεμένες στο Διαδίκτυο σε παγκόσμιο επίπεδο. Σύμφωνα με εκτιμήσεις της εταιρείας CISCO, το 2020 σε κάθε άνθρωπο θα αντιστοιχούν 6 συσκευές συνδεδεμένες στο Διαδίκτυο [15].

Η χρήση του internet σε συσκευές προϋποθέτει ότι αυτές θα έχουν τη δυνατότητα μοναδικής διεύθυνσης IP. Όμως, είναι γνωστό ότι το μοντέλο IPv4 δεν αρκεί καθώς επιτρέπει το πολύ 4.3 δισεκατομμύρια μοναδικές διευθύνσεις, επομένως απαιτείται η χρήση νέου προτύπου με

μεγαλύτερη διευθυνσιοδοτική δυνατότητα. Λύση στο πρόβλημα θα δώσει το IPv6, το οποίο χρησιμοποιεί 128-bit διευθύνσεις, οπότε μπορεί να υποστηρίξει $3,4 \cdot 10^{38}$ διευθύνσεις [26]. Έτσι γίνεται αντιληπτό ότι η επιτυχία του IoT βασίζεται κατά κύριο λόγο, στην αποδοχή που θα έχει τα προσεχή χρόνια το πρωτόκολλο IPv6.

Πέρα από το IPv6 το IoT βασίζεται στα εξής [15]:

- Στο τεράστιο αριθμό συσκευών, που περιλαμβάνει συσκευές υψηλών δυνατοτήτων όπως τα ευφυή συστήματα όρασης, εξαρτήματα ελέγχου μηχανών, πύλες μετάδοσης δεδομένων σε έξυπνα σπίτια, καταναλωτικά ηλεκτρονικά προϊόντα, όσο και συσκευές χαμηλού κόστους και χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας.
- Στη δυνατότητα επεκτασιμότητας. Αυτό είναι το πιο σημαντικό κομμάτι του IoT, αφού στην ουσία η διασύνδεση των διαφόρων συσκευών μεταξύ τους, είναι αυτό που πραγματοποιεί το IoT δίκτυο. Οι κατασκευαστές πρέπει να σχεδιάσουν και να υλοποιήσουν συσκευές χαμηλού κόστους συνδεσιμότητας με τις όποιες ιδιαιτερότητες και τις κατασκευαστικές απαιτήσεις τους.
- Χρήση iCloud για την διαχείριση, έλεγχο και πρόσβαση στις συσκευές και τις υπηρεσίες. Το IoT δεν μένει μόνο στην αυτόνομη λειτουργία κάθε συσκευής αλλά επεκτείνεται και στη συνεργασία πολλών συσκευών μεταξύ τους. Αυτό καθιστά απαραίτητη την ύπαρξη κεντρικών μονάδων διαχείρισης και λήψης αποφάσεων σε μεγάλα πλήθη διατάξεων ή κόμβων M2M.



Σχήμα 1.4 Σχηματική αναπαράσταση του μοντέλου IoT της Intel [27].

Κεφάλαιο 2 : Το Ευφυές Δίκτυο Μέτρησης

2.1 Το σημερινό δίκτυο Ηλεκτρικής Ενέργειας

Το Δίκτυο Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΗΕ) όπως είναι δομημένο σήμερα, ακολουθεί ιεραρχική δομή [10]. Αποτελείται από τα εξής συστήματα

- 1) Το σύστημα παραγωγής, το οποίο περιλαμβάνει τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και μετασχηματιστές που ανυψώνουν την τάση ώστε να μεταφερθεί από την ΥΤ (υψηλή τάση) και την ΥΥΤ (υπερ-υψηλή τάση). Το σύστημα παραγωγής βασίζεται κυρίως σε θερμική ενέργεια (φυσικό αέριο, πετρελαιοειδή, ορυκτά) καθώς και σε μηχανική ενέργεια (υδροηλεκτρικοί σταθμοί).
- 2) Το σύστημα μεταφοράς, ο ρόλος του οποίου είναι η διασύνδεση όλων των μεγάλων σταθμών παραγωγής. Το σύστημα αυτό μεταφέρει μεγάλα μεγέθη ισχύος προς τα κέντρα κατανάλωσης, σε μεγάλες, συνήθως, αποστάσεις. Όπως γίνεται αντιληπτό, πρόκειται για τον «κορμό» του δικτύου Ηλεκτρικής Ενέργειας, λειτουργεί στην ΥΤ και περιλαμβάνει τα δίκτυα των γραμμών ΥΥΤ και ΥΤ, τους διάφορους υποσταθμούς σύνδεσης των δικτύων αυτών καθώς και τους υποσταθμούς που μετασχηματίζουν τα διάφορα επίπεδα τάσης που χρειάζονται.
- 3) Το σύστημα υπομεταφοράς, το οποίο λειτουργεί υπό χαμηλότερη τάση και μεταφέρει ισχύ σε μικρότερα μεγέθη και σε μικρότερες αποστάσεις. Όσο επεκτείνεται το σύστημα ΗΕ, δημιουργείται η ανάγκη για μεταφορά υψηλότερης τάσης και έτσι οι πιο παλιές γραμμές μεταφοράς χρησιμοποιούνται πλέον για χαμηλότερα επίπεδα τάσης, κάνοντας δυσκολότερο το διαχωρισμό μεταξύ δικτύου υπομεταφοράς και μεταφοράς. Δηλαδή, δεν είναι πλέον ευδιάκριτο αν το σύστημα αποτελεί τμήμα υπομεταφοράς ή τμήμα μεταφοράς.
- 4) Το σύστημα διανομής, το οποίο περιλαμβάνει τα δίκτυα μέσης τάσης (ΜΤ) και χαμηλής τάσης (ΧΤ). Στα δίκτυα ΧΤ εντάσσονται και οι υποσταθμοί (Υ/Σ) διανομής, με τη

βοήθεια των οποίων υποβιβάζεται η ΜΤ σε ΧΤ. Στη συνέχεια, με χρήση των δικτύων διανομής διανέμεται η ΗΕ στους καταναλωτές ΜΤ και ΧΤ.

2.2 Τα προβλήματα του σημερινού δικτύου Ηλεκτρικής Ενέργειας

Μέχρι τώρα, το απαρχαιωμένο πλέον Ηλεκτρικό Δίκτυο (ΗΔ) έχει υποστεί ελάχιστες βελτιώσεις με συνέπεια να εμφανίζει πολλές αδυναμίες. Επομένως έχει ανάγκη βελτιώσεων ώστε να συμβαδίσει με τις νεότερες τεχνολογικές εξελίξεις αλλά και τις εξελίξεις των παρόχων που ασχολούνται με την διαχείριση ενέργειας. Στη συνέχεια, αναφέρονται τα σημαντικότερα μειονεκτήματα του ΗΔ όπως είναι σήμερα [10].

Το ότι στο ΗΔ εμφανίζονται συχνά διακοπές ρεύματος σε διάφορες περιοχές για χρονικό διάστημα μικρό ή μεγάλο, έχει ως αποτέλεσμα να χάνεται πολύτιμος χρόνος για την αποκατάσταση των βλαβών και να αυξάνονται οι ζημιές για επιχειρήσεις, καταναλωτές και τις εταιρείες ηλεκτρισμού. Αυτό συμβαίνει καθώς το δίκτυο δεν διαθέτει τους μηχανισμούς εκείνους που θα αποκαταστήσουν άμεσα τις ξαφνικές διακοπές ρεύματος. Επιπλέον, δεν υπάρχουν μηχανισμοί για άμεσο εντοπισμό βλαβών.

Οι ανάγκες των καταναλωτών, δεν είναι σταθερές και μεταβάλλονται κατά δυναμικό τρόπο τόσο σε ημερήσια όσο και σε ετήσια βάση. Πρέπει, επομένως, να υπάρχει η δυνατότητα να ρυθμίζεται δυναμικά η παραγόμενη Ηλεκτρικής Ενέργειας ώστε να προσαρμόζεται στις μεταβολές. Η ποσότητα της παραγόμενης ενέργειας από τις εταιρείες ηλεκτρισμού διαμορφώνεται έτσι ώστε να υπάρχει κάλυψη της μέγιστης ζήτησης και επιπλέον να υπάρχει πλεόνασμα ασφαλείας. Επειδή, όμως, η μέγιστη ζήτηση δεν διαρκεί για μεγάλο χρονικό διάστημα, σπαταλώνται με αυτόν τον τρόπο πόροι και επενδύσεις.

Το ΗΔ με την σημερινή μορφή του δε διαθέτει τρόπους ελέγχου της παράνομης κατανάλωσης ισχύος, κλοπής εξοπλισμού (καλωδίων κυρίως) και αντιμετώπισης προβλημάτων δυσλειτουργίας σε μετρητές κατανάλωσης Ηλεκτρικής Ισχύος. Για τους λόγους αυτούς πρέπει

να υπάρχουν κατάλληλοι μηχανισμοί ελέγχου (π.χ κατάλληλοι αισθητήρες) που θα εποπτεύονται από τους διαχειριστές του ΗΔ.

Η τιμολογήση ανά kWh δεν είναι σταθερή. Αντιθέτως, μεταβάλλεται ανάλογα την προσφορά και τη ζήτηση που υπάρχει. Με τη σημερινή μορφή που έχει το ΗΔ, δεν είναι δυνατό να είναι γνωστή σε πραγματικό χρόνο η συνολική ζήτηση ΗΕ.

Το ΗΔ από την αρχή της κατασκευής του έχει ως στόχο τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας από τους σταθμούς παραγωγής προς τους καταναλωτές. Όμως, τα τελευταία χρόνια με την εξέλιξη της τεχνολογίας αυτό έχει αλλάξει. Καταναλωτές μπορούν να έχουν επενδύσει στη χρήση ενέργειας που παράγεται από την ηλιακή ενέργεια (φωτοβολταϊκά πάρκα) ή σε ενέργεια που παράγεται από τον άνεμο με χρήση ανεμογεννητριών (αιολικά πάρκα). Έτσι οι επενδυτές αυτοί έχουν πλέον τη δυνατότητα να προσφέρουν, έναντι αντιτίμου, ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο. Πρέπει να υπάρχει, επομένως, μηχανισμός που να εντοπίζει πότε υπάρχει μεταφορά ενέργειας από τον καταναλωτή προς το δίκτυο ΗΕ και πότε υπάρχει μεταφορά ενέργειας από το δίκτυο ΗΕ προς τον καταναλωτή. Αυτός ο μηχανισμός σήμερα δεν υπάρχει. Με το ευφυές δίκτυο όμως, μπορούν να ενσωματωθούν αυτοί οι μικροί και μεσαίοι παραγωγοί στο υπόλοιπο δίκτυο.

2.3 Το Ευφυές Δίκτυο Ηλεκτρικής Ενέργειας

Το Ευφυές Δίκτυο Ηλεκτρικής Ενέργειας είναι ένα νέο πρότυπο για την λειτουργία του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Έχει δοθεί βάση στην βελτίωση της αποδοτικότητας, στο να βελτιωθεί η ποιότητα υπηρεσίας, και να μειωθούν τα κόστη παραγωγής, διανομής και κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιείται η τεχνολογία που βασίζεται η πληροφορική και οι τηλεπικοινωνίες [3].

Αν και η αρχιτεκτονική του Smart Grid (SG) δεν έχει ακόμη οριστικοποιηθεί, θεωρείται ότι πρέπει να υπάρχει διαλειτουργικότητα, κλιμακωσιμότητα, ασφάλεια των δεδομένων και αυτοοργάνωση στο M2M αυτό σύστημα. Ως Smart Grid εννοείται η εξέλιξη του ΗΔ, κατά την

οποία οντότητες και υλικός εξοπλισμός που είναι μέρος του Δικτύου Ηλεκτρικής Ενέργειας, αποκτούν την δυνατότητα να επικοινωνούν αμφίδρομα, έχοντας ως στόχο την βελτίωση της αποδοτικότητας, της ασφάλειας, της επεκτασιμότητας και της αξιοπιστίας του Ηλεκτρικού Δικτύου.

Όπως είναι γνωστό, υπάρχουν περιορισμοί στο ραδιοφάσμα των ασύρματων επικοινωνιών. Είναι εφικτή όμως η διεύρυνση της χρήσης των κενών φασματικών διαστημάτων (τα λεγόμενα white spaces) για χρήση των πρωτοκόλλων IEEE 802.11 af και IEEE 802.22 [79], στο Ευφυές Δίκτυο. Μπορεί έτσι να χρησιμοποιηθεί τεχνολογία Cognitive Radio για τις M2M επικοινωνίες του ΕΔ. Με αυτό το τρόπο χρησιμοποιείται αποδοτικά το φάσμα.

Για την υλοποίηση του Ευφυούς Δικτύου μπορεί να χρησιμοποιηθούν και τα κυψελωτά δίκτυα, ώστε να μπορούν οι καταναλωτές να βλέπουν σε πραγματικό χρόνο την ενέργεια που καταναλώνουν οι διάφορες ηλεκτρικές συσκευές. Αυτό μπορεί να γίνει με συμπληρωματικό τρόπο προς τους έξυπνους μετρητές. Επιπλέον μέσω των κυψελωτών δικτύων είναι η εφικτή η παρακολούθηση της κατανάλωσης φορτίου από το MDMS ως εναλλακτική δίοδος.

Το υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μετάδοση δεδομένων, καθώς δεν έχει σχεδιασθεί με αυτό το επιθυμητό χαρακτηριστικό. Είναι απαρχαιωμένο και η οποιαδήποτε ανακατασκευή του είναι ασύμφορη.

2.4 Η αρχιτεκτονική ενός Ευφυούς Δικτύου Μέτρησης

Πριν περιγραφεί η επιθυμητή αρχιτεκτονική ενός Ευφυούς Δικτύου μέτρησης, πρέπει να γίνει αναφορά στα στοιχεία από τα οποία αυτό αποτελείται. Μια εξελιγμένη μετρητική δικτυακή υποδομή (Advanced Metering Infrastructure – AMI) αποτελείται από [10]:

1. Τους ευφυείς μετρητές (EM), ο ρόλος των οποίων είναι (i) να καταμετρούν τόσο την ενέργεια που καταναλώνει ένας οικιακός ή επαγγελματικός καταναλωτής όσο και άλλα δεδομένα και (ii) να απαντούν σε εντολές που τους αποστέλλονται (π.χ. απομακρυσμένη αίτηση για διακοπή παροχής).

-
2. Τους συγκεντρωτές ή συλλέκτες, οι οποίοι αποτελούν τον ενδιάμεσο κρίκο μεταξύ των ευφυών μετρητών και του MDMS.
 3. Το κεντρικό σύστημα διαχείρισης μετρητικών δεδομένων (Meter Data Management System), που λαμβάνει δεδομένα από ευφυείς μετρητές και αλληλεπιδρά με αυτούς αποστέλλοντας εντολές και δεδομένα προς αυτούς. Αφού ληφθούν και επεξεργαστούν τα δεδομένα, γίνεται προώθησή τους σε άλλες δομές όπως η αγορά, ο διαχειριστής του ΗΔ.
 4. Το δίκτυο επικοινωνιών που συνδέει συγκεντρωτές και MDMS και αποτελεί το δίκτυο μεταφοράς και δίκτυο κορμού.
 5. Το δίκτυο επικοινωνιών που συνδέει μετρητές και συγκεντρωτές και αποτελεί το δίκτυο πρόσβασης.
 6. Τις έξυπνες οικιακές συσκευές, οι οποίες λειτουργούν για την καταγραφή διάφορων αισθητήρων ή λειτουργούν ως συσκευές απεικόνισης προς ενημέρωση των καταναλωτών
 7. Το δίκτυο επικοινωνιών που συνδέει ευφυείς μετρητές και ευφυείς συσκευές.

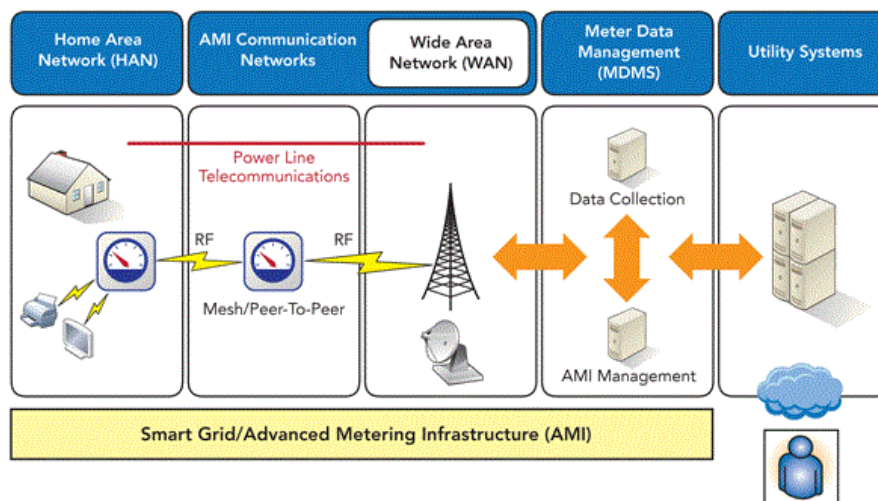
Τα δύο τελευταία στοιχεία, δηλαδή τα 6 και 7, δεν αποτελούν κύρια μέρη της αρχιτεκτονικής του ευφυούς δικτύου αλλά επέκταση αυτού.

Η τηλεπικοινωνιακή αρχιτεκτονική του Ευφυούς Δικτύου δεν έχει αποφασιστεί. Εντούτοις, έχει επικρατήσει η άποψη για ιεραρχική δομή του δικτύου AMI. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα στρώματα αυτού του δικτύου [10]:

1. Το HAN (Home Area Network), το οποίο συνδέει ευφυείς μετρητές, αισθητήρες, έξυπνες συσκευές, συσκευές κατανάλωσης ενέργειας καθώς και συστήματα παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας. Ως πύλη του HAN θεωρείται ο έξυπνος μετρητής.
2. Το LAN/IAN/BAN (Local/Industrial/Block Area Network) το οποίο αφορά ευρύτερη περιοχή, όπως π.χ. μια πολυκατοικία, και διασυνδέει ομάδες έξυπνων μετρητών, οι

οποίοι αποτελούν πύλες σε δίκτυα HAN. Ως πύλη ενός BAN θεωρείται ο τοπικός συγκεντρωτής (local gateway).

3. Το NAN (Neighborhood Area Network), εξυπηρετεί την διασύνδεση μιας ομάδας έξυπνων μετρητών και local gateways σε χώρο έκτασης εκατοντάδων μέτρων. Πύλη του NAN θεωρείται ένας συγκεντρωτής, ο οποίος επικοινωνεί με έξυπνους μετρητές και τοπικούς συγκεντρωτές.
4. Το WAN (Wide Area Network), το οποίο διασυνδέει έκταση με μεγιστη διάσταση μερικών χιλιομέτρων, όπως για παράδειγμα για κάλυψη μιας πόλης και περιλαμβάνει διαφόρων τύπων συγκεντρωτές. Τα τοπικά κέντρα ελέγχου θεωρούνται πύλες ενός WAN, και επικοινωνούν με ομάδες συγκεντρωτών. Τα τοπικά κέντρα ελέγχου συνδέονται με το MDMS και σχηματίζουν έτσι το AMI δίκτυο κορμού.



Σχήμα 2.1 Ένα AMI δίκτυο κορμού [71].

Τέλος, όσον αφορά τις δικτυακές τοπολογίες ενός Συστήματος Ευφυούς Μέτρησης, αυτές εξαρτώνται από την κατανομή των κόμβων του, δηλαδή του έξυπνους μετρητές ή τους συγκεντρωτές, και από τον τρόπο με τον οποίο οι κόμβοι αυτοί επικοινωνούν μεταξύ τους καθώς, επίσης, και με την επεξεργαστική ισχύ που αυτοί διαθέτουν. Οι κόμβοι αυτοί παρουσιάζονται ακολούθως.

Αρχικά αναφέρονται οι κόμβοι πλήρους λειτουργίας (*Full Function Device – FFD*), οι οποίοι μπορούν να λειτουργήσουν είτε ως συντονιστές του δικτύου είτε ως ενδιάμεσοι κόμβοι. Έχουν τη δυνατότητα καταγραφής δεδομένων από το εξωτερικό περιβάλλον καθώς επίσης και επικοινωνίας με άλλους κόμβους, μεταφέροντας έτσι μηνύματα διαχείρισης και ελέγχου. Επίσης, υπάρχουν οι κόμβοι περιορισμένης λειτουργίας (*Reduced Function Device - RFD*), που πραγματοποιούν καταγραφή και επικοινωνία με κόμβους FFD, χωρίς να μπορούν να λειτουργήσουν ως συντονιστές του δικτύου.

Τέλος, αναφέρονται οι δικτυακές τοπολογίες σε ένα ασύρματο Σύστημα Ευφυούς Μετρησης, στο οποίο κατά πάσα πιθανότητα θα στηρίζεται σε μεγάλο βαθμό ένα μελλοντικό ολοκληρωμένο σύστημα. Έτσι, λοιπόν, τα τοπικά HAN/BAN/NAN/WAN σχηματίζουν [10]:

1. *Τοπολογία αστέρα (star topology)*, η οποία περιλαμβάνει ένα FFD κόμβο και πολλούς απλούς κόμβους καταγραφής RFD. Είναι γνωστοί και με την ονομασία τοπολογία σημείου προς σημείο, (*point-to-point topology*). Οι κόμβοι καταγραφής επικοινωνούν απευθείας με τον κόμβο πλήρους λειτουργίας που λειτουργεί ως συγκεντρωτής και είναι υπεύθυνος για την προώθηση των δεδομένων σε άλλες οντότητες. Μειονέκτημα της τοπολογίας αυτής είναι ότι για να είναι εφικτή η επικοινωνία και η μεταφορά δεδομένων οι ακραίοι κόμβοι πρέπει να έχουν εγκατασταθεί εντός της εμβέλειας του FFD. Πλεονέκτημα της τοπολογίας αυτής είναι ότι υπάρχει απευθείας δρομολόγηση.
2. *Τοπολογία δένδρου (tree topology)*, που προκύπτει με την ομαδοποίηση τελικών κόμβων που βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση από το συγκεντρωτή και είναι εφικτή η ανταλλαγή δεδομένων μαζί του. Από τις ομάδες των τελικών κόμβων, κάθεμιά επικοινωνεί με έναν επαναλήπτη, που είναι στην ουσία κόμβος FFD, ο οποίος πρέπει να διαθέτει λειτουργία καταγραφής, λήψης και προώθησης πακέτων. Ο ρόλος του επαναλήπτη είναι να συγκεντρώνει δεδομένα από τους κόμβους κατωτέρου επιπέδου και να τα προωθεί προς τον κόμβο συγκεντρωτή. Όπως γίνεται αντιληπτό, με αυτή τη διαδικασία πραγματοποιούνται πολλαπλά βήματα μέχρι να φθάσει ένα πακέτο

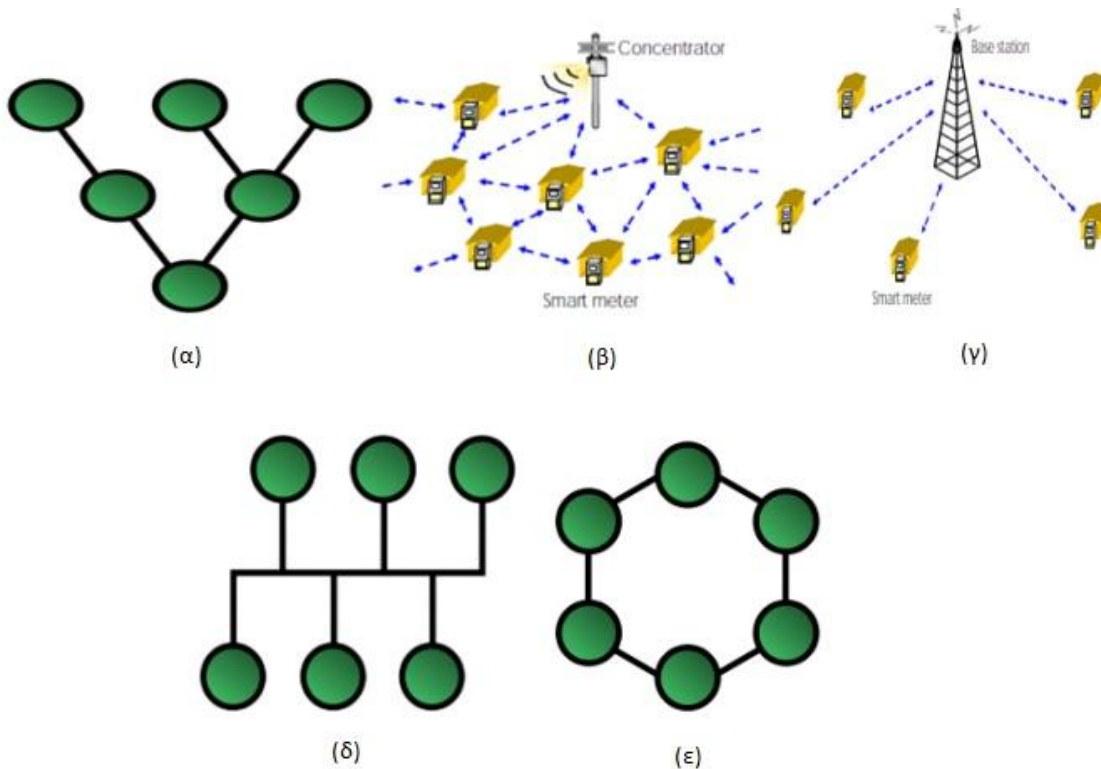
δεδομένων στον τελικό προορισμό του, κάνοντας χρήση multi-hop δρομολόγησης. Πλεονέκτημα αυτής της τοπολογίας είναι η κλιμακωσιμότητα, αφού κάθε νέος κόμβος μπορεί να ενταχθεί σε κάποια ομάδα που ήδη υπάρχει, ώστε να γίνει άμεσα λειτουργικός. Μειονέκτημα αυτής της τοπολογίας αποτελεί το ότι χρησιμοποιεί πρωτόκολλα δρομολόγησης που πρέπει να λάβουν υπόψη ότι συνήθως χρησιμοποιούνται ηλεκτροσυσσωρευτές, δηλαδή απαιτείται όσο το δυνατόν λιγότερη χρήση του επεξεργαστή, της μνήμης και των υπόλοιπων περιφερειακών με σκοπό τη λιγότερη κατανάλωση ενέργειας.

3. *Κατανεμημένη Τοπολογία (mesh topology)*, η οποία μοιάζει με την τοπολογία δένδρου, έχοντας όμως μικρότερη ομοιομορφία στη χωρική κατανομή των κόμβων. Η δρομολόγηση πακέτων γίνεται με αλγορίθμους που χρησιμοποιούνται στη τοπολογία δένδρου και αποτελεί και αυτή πολυβηματική-multi hop. Σημαντικό πλεονέκτημα αυτής της τοπολογίας είναι ότι προσφέρει εναλλακτικές διαδρομές. Αυτό γίνεται χρησιμοποιώντας εναλλακτική πολυβηματική δρομολόγηση ώστε να φθάσει η πληροφορία στον RFD κόμβο. Οι κόμβοι, δηλαδή, βασίζονται σε γειτονικούς για να μεταδώσουν τα δεδομένα τους, και αυτό είναι σημαντικό στη περίπτωση: που κάποιος κόμβος τεθεί εκτός λειτουργίας. Μειονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι δεν μπορεί να υπάρξει εναλλακτική δρομολόγηση στη περίπτωση όπου τεθεί εκτός λειτουργίας ο κόμβος-πατέρας κάποιας διακλάδωσης.

4. *Τοπολογία Διαύλου (bus topology)*, στην οποία όλοι οι κόμβοι βρίσκονται συνδεδεμένοι στον ίδιο φυσικό δίαυλο. Όταν κάποιος κόμβος θέλει να στείλει δεδομένα σε άλλο κόμβο, αυτά φθάνουν και στους υπόλοιπους κόμβους, έκαστος των οποίων ελέγχει αν είναι ο παραλήπτης. Η υλοποίηση αυτή έχει μικρό κόστος αφού χρησιμοποιείται ένας δίαυλος. Αντίθετα, χαρακτηρίζεται από δυσκολότερη διαχείριση. Αν διακοπεί η σύνδεση, διακόπτεται και η λειτουργία του δικτύου, αφού δεν υπάρχει εναλλακτική διαδρομή.

5. Τοπολογία Βρόχου (*ring topology*), στην οποία οι κόμβοι συνδέονται σε διάταξη κλειστού βρόχου. Κάθε κόμβος είναι συνδεδεμένος με άλλους δύο κόμβους. Τα δεδομένα μεταδίδονται κατά τρόπο ημιαμφίδρομο και διέρχονται από όλους τους κόμβους του δικτύου, οι οποίοι λειτουργούν και ως επαναλήπτες διατηρώντας με αυτόν τον τρόπο την ισχύ του σήματος υψηλή. Πλεονέκτημα αποτελεί το ότι η τοπολογία αυτή προσφέρει εναλλακτική δρομολόγηση όταν μια ζεύξη πάψει να λειτουργεί, με την ενεργοποίηση της αντίστροφης διαδρομής.

Ακολουθως, στο σχήμα 2.2, παρουσιάζονται και οι πέντε μαζί αυτές τοπολογίες.



Σχήμα 2.2 Τοπολογίες: (α) δένδρου, (β) κατακεμημένη, (γ) αστέρα, (δ) διαύλου, (ε) βρόχου [10]

Κεφάλαιο 3 : Πρωτόκολλα μεταφοράς δεδομένων

3.1 Ψηφιακή συνδρομητική γραμμή (DSL – Digital Subscriber Line)

Είναι τεχνολογία που έχει σχεδιασθεί για μεταφορά δεδομένων μέσω των τηλεφωνικών γραμμών [77]. Επειδή υπάρχουν πολλές εκδόσεις της DSL τεχνολογίας, χρησιμοποιείται ο όρος xDSL. Οι τύποι DSL είναι οι ακόλουθοι:

ADSL (asymmetric digital subscriber line)

HDSL (high bit rate digital subscriber line)

SDSL (symmetric digital subscriber line)

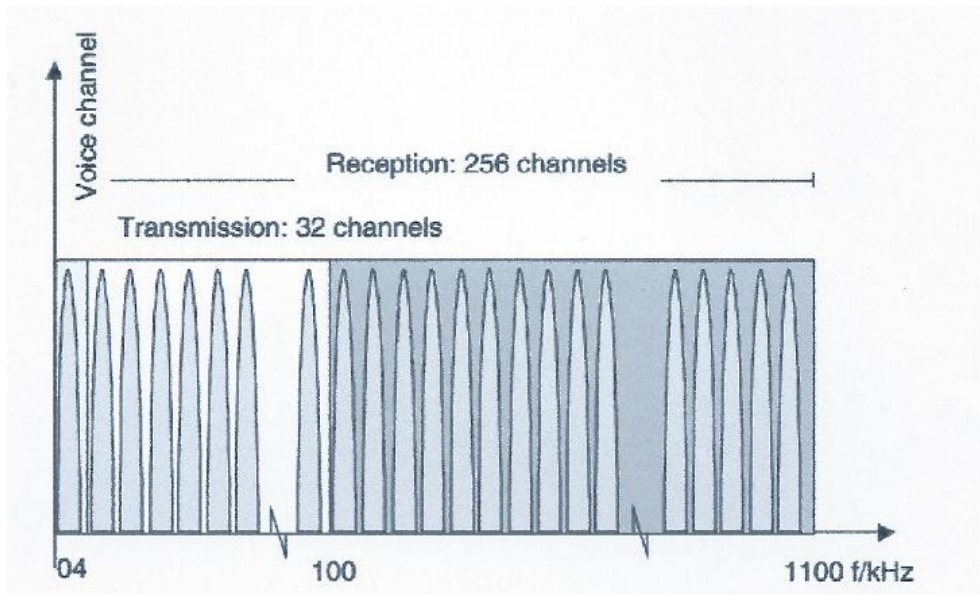
VDSL (very high speed digital subscriber line)

IDSL (ISDN digital subscriber line)

Το ADSL, όπως και το όνομα υποδεικνύει, είναι η τεχνολογία που προσφέρει διαφορετικά bit rates που εξαρτώνται από την κατεύθυνση μετάδοσης της σύνδεσης. Όσον αφορά ένα ADSL modem, αυτό πρέπει να υπάρχει και στα δύο άκρα της σύνδεσης. Η πρώτη ζώνη καναλιών της ADSL σύνδεσης χρησιμοποιείται για φωνή (0-4kHz). Μία δεύτερη ζώνη καναλιών χρησιμοποιείται για αμφίπλευρη μεταφορά δεδομένων (4-100kHz). Τέλος υπάρχει άλλη μία ζώνη καναλιών για πιο γρήγορη μεταφορά δεδομένων (100kHz – 1.1MHz). Παρακάτω φαίνεται και σε σχήμα η αποτύπωση των καναλιών του ADSL.

Για να υπάρχει ταυτόχρονη χρήση μεταφοράς δεδομένων και φωνής, χρησιμοποιείται ένα φίλτρο για την φωνή το οποίο ουσιαστικά συνδέεται στο τηλέφωνο.

Δύο είναι οι πιο γνωστές εκδοχές ADSL το DMT (discrete multi tone line coding) και το CAP (carrierless amplitude and phase modulation). Στο DMT όλα τα κανάλια είναι τυποποιημένα στα 4kHz το καθένα. Πιο συγκεκριμένα στη μεσαία ζώνη υπάρχουν 32 κανάλια, ενώ στην υψηλή ζώνη 256 κανάλια. Κάθε κανάλι μπορεί να παρέχει 15 bits/σύμβολο. Το CAP είναι μια απλοποιημένη προσέγγιση του QAM.



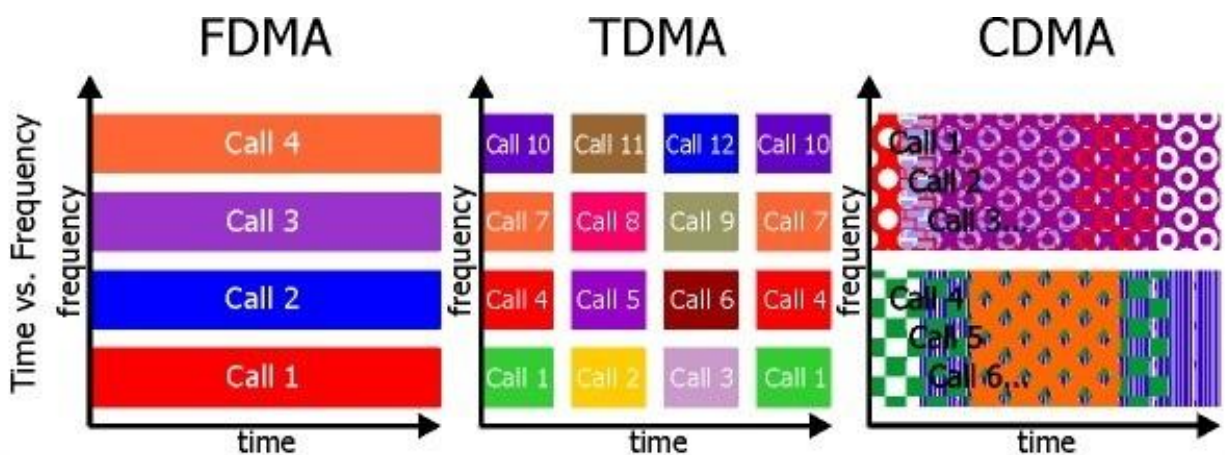
Σχήμα 3.1 Τα κανάλια από τα οποία αποτελείται το ADSL [1].

Το HDSL με μέγιστη χρησιμοποίηση του εύρους ζώνης του χαλκού μπορεί να πετύχει ταχύτητες 1-2Mbit/s σε αποστάσεις 3-5km. Στο SDSL υπάρχει ίδια ταχύτητα και στο downstream και στο upstream. Οι ταχύτητες φτάνουν τα 3Mbit/s. Το VDSL μπορεί να προσφέρει ταχύτητες έως 55 Mbit/s σε τυπικό περιβάλλον χρησιμοποιώντας απλή σύνδεση. Σε δίκτυα μικρά σε μέγεθος (πχ. σε κτίριο) μπορεί να φτάσει ταχύτητες έως 155-622Mbit/s. Τέλος το ISDL αποτελεί συνδυασμό του ISDN και DSL [1].

3.2 Κυψελωτά δίκτυα επικοινωνιών

Η κινητή τηλεφωνία βασίζεται στα κυψελωτά δίκτυα με κύριο χαρακτηριστικό την αναχρησιμοποίηση συχνότητας. Στα κυψελωτά δίκτυα, η κάλυψη χωρίζεται στις λεγόμενες

κυψέλες, έκαστη των οποίων έχει ένα σταθμό βάσης (BS - Base station) και συγκεκριμένα κανάλια λειτουργίας. Οι γνωστότερες τεχνικές που χρησιμοποιούνται είναι η FDMA (Frequency Division Multiple Access) όπου οι χρήστες διαχωρίζονται στο πεδίο της συχνότητας καθώς μεταδίδουν σε διαφορετικές φέρουσες συχνότητες μέσω καναλιών σταθερού εύρους ζώνης. Η διαδικασία εκχώρησης καναλιών προς τους χρήστες μπορεί να γίνει κατά δύο τρόπους. Ο ένας είναι στατικός μέσω ενός σχεδίου εκχώρησης συχνοτήτων. Ο δεύτερος τρόπος είναι δυναμικός λαμβάνοντας υπόψη τη μεταβολή του πλήθους των υπό εξυπηρέτηση τερματικών και τα αιτήματα εξυπηρέτησής τους.

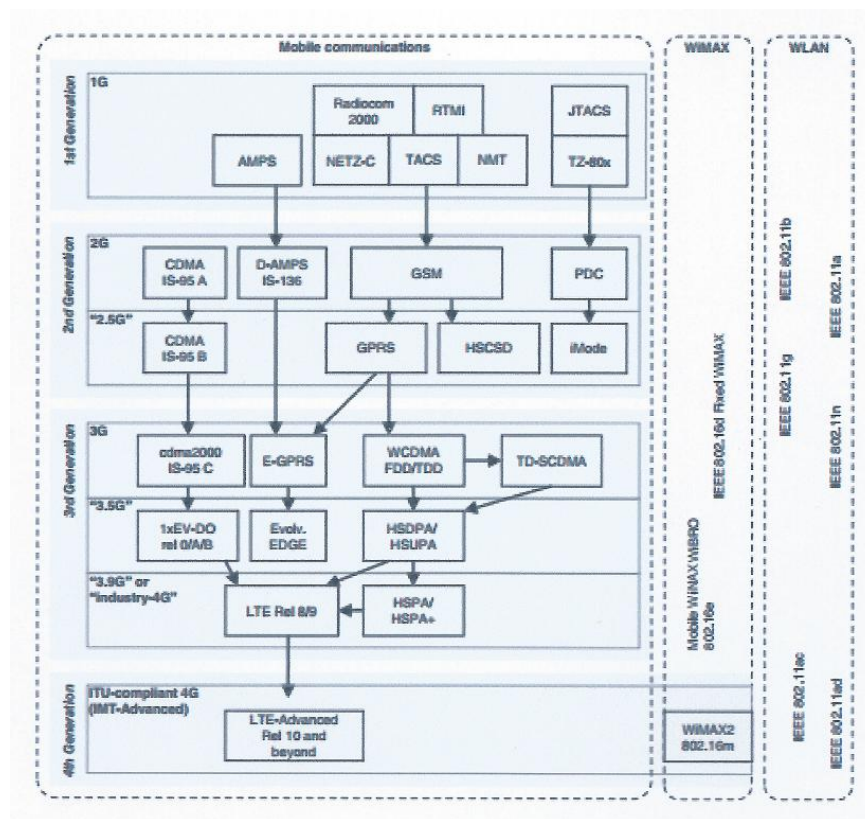


Σχήμα 3.2 Σχηματική αναπαράσταση των τεχνικών FDMA,TDMA,CDMA [2].

Άλλη τεχνική είναι η TDMA (Time Division Multiple Access), όπου οι χρήστες διαχωρίζονται στο πεδίο του χρόνου καθώς σε έκαστο εξ αυτών εκχωρούνται κατά επαναλαμβανόμενο τρόπο σε χρονοσχισμές. Τέλος, μια άλλη τεχνική είναι το CDMA (Code Division Multiple Access), η οποία βασίζεται στη κατηγορία σχημάτων απλωμένου φάσματος (spread spectrum). Για τη μετάδοση αυτών των σχημάτων, το σήμα πληροφορίας κάθε χρήστη πολλαπλασιάζεται με μοναδική ακολουθία ψηφίων, με αποτέλεσμα το συνολικό εύρος ζώνης που καταλαμβάνει το τελικό σήμα καθίσταται πολλαπλάσιο αυτού που απαιτείται. Μπορεί αυτό να μην φαίνεται αποδοτικό όμως έτσι υπάρχει επαναχρησιμοποίηση συχνότητας, επομένως με τη χρήση της ίδιας συχνότητας εξυπηρετούνται περισσότεροι του ενός χρήστες [2].

Όσον αφορά τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται σήμερα στα κυψελωτά δίκτυα κινητής τηλεφωνίας αυτά είναι τα GPRS (General Packet Radio Service), 3G (UMTS – Universal Mobile Telecommunication System), 3.5G (HSPA – High Speed Packet Access) και 4G (LTE – Long Term Evolution). Οι συχνότητες λειτουργίας είναι κυρίως 900MHz, 1800MHz και 2100MHz [3].

Η χρήση της τεχνολογίας των κυψελωτών δικτύων επειδή δεν απαιτεί καλώδια θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε αγροτικές περιοχές όπου δεν υπάρχει καλωδίωση και η χρήση κάποιας άλλης ασύρματης τεχνολογίας (π.χ. Zigbee, WiFi) δεν μπορεί να λειτουργήσει σε πολύ μεγάλες αποστάσεις.



Σχήμα 3.3 Τα πρωτόκολλα των κυψελωτών δικτύων [1].

3.3 Επικοινωνία με χρήση των αγωγών ηλεκτρικού ρεύματος- Power Line Communications (PLC)

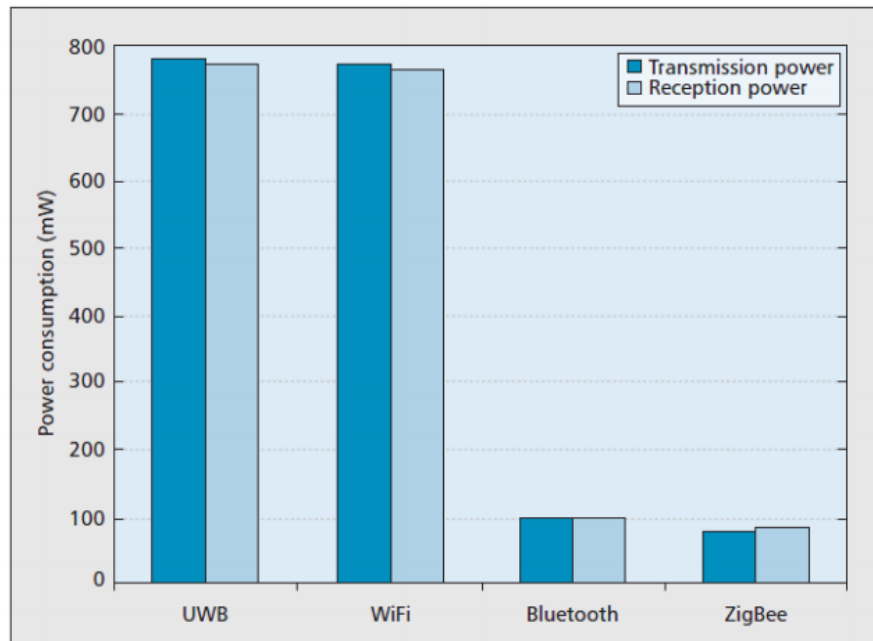
Η τεχνολογία αυτή βασίζεται στο ήδη υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Οι επικοινωνίες PLC χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία αφορά χαμηλές ταχύτητες επικοινωνίας όπου ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων είναι λίγα kbps στη ζώνη συχνοτήτων 3kHz – 148.5kHz, είναι όμως επαρκές για επικοινωνία του smart meter με τον PLC συγκεντρωτή. Η δεύτερη κατηγορία αφορά υψηλής ταχύτητας επικοινωνίες (BB-PLC), όπου οι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων ξεκινούν από το 1Mbit/s με ζώνη λειτουργίας 2MHz – 80MHz. Πλεονέκτημα αυτού του τύπου επικοινωνίας (PLC) είναι το ότι υπάρχει ήδη η υποδομή λειτουργίας, δηλαδή το δίκτυο των αγωγών διανομής ενέργειας, άρα χαμηλό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας. Επιπλέον, προσφέρεται πολύ μεγάλη πληθυσμιακή κάλυψη καθώς το ηλεκτρικό δίκτυο καλύπτει το 100% σχεδόν του πληθυσμού. Μειονέκτημα αυτού του είδους της επικοινωνίας είναι η ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα αφού οι γραμμές μεταφοράς δεν έχουν κατάλληλη θωράκιση, οπότε δέχονται ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές από γειτονικές γραμμές μεταφοράς, αφού ως γνωστόν από την Ηλεκτρομαγνητική Θεωρία, κάθε αγωγός που διαρρέεται από ρεύμα δημιουργείται γύρω του Μαγνητικό Πεδίο, έτσι οι αγωγοί συμπεριφέρονται σαν κεραίες [3].



Σχήμα 3.4 Δείγμα Power Line modem [5].

3.4 Ultra Wide Band (UWB)

Η τεχνολογία αυτή βασίζεται στο πρότυπο IEEE 802.15.3a και χρησιμοποιείται τόσο όταν απαιτούνται ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων υψηλότεροι του 1Mbit/s όσο και όταν απαιτούνται χαμηλότεροι ρυθμοί όπως τα δίκτυα ασύρματων αισθητήρων WSN (Wireless Sensor Networks). Λόγω της μικρής εμβέλειας αυτής της τεχνολογίας, χρησιμοποιείται κυρίως για επικοινωνίες σε εσωτερικούς χώρους, δηλαδή μικρά κτίρια, διαμερίσματα. Το πλεονέκτημα της τεχνολογίας UWB είναι ότι υποστηρίζει ρυθμούς μετάδοσης κατάλληλους για χρήση σε Home Area Networks. Οι κόμβοι UWB εκπέμπουν με τέτοιο τρόπο σε συχνότητες κάτω των 10.6GHz (και 3.4GHz-4.8GHz) [72]. Έχουν εμβέλεια 20m ή 50m [3]. Μειονέκτημα αποτελεί η υψηλή κατανάλωση ενέργειας των κόμβων που αποτελούν το δίκτυο. Επιπλέον, η ομάδα που σχεδίασε το συγκεκριμένο πρωτόκολλο έχει διαλυθεί από το 2006, οπότε δεν υπάρχει ανάπτυξη ούτε υποστήριξη [6].



Σχήμα 3.5 Σύγκριση UWB με άλλα πρωτόκολλα όσον αφορά την κατανάλωση ισχύος [19].

3.5 Υπέρυθρη μετάδοση δεδομένων (IrDA)

Το IrDA είναι μία ομάδα που ιδρύθηκε το 1993 από 50 περίπου εταιρείες για να παράσχει τις προδιαγραφές για ένα νέο σετ πρωτοκόλλων πάνω στις ασύρματες υπέρυθρες επικοινωνίες. Η υπέρυθρη επικοινωνία βασίζεται στη λογική των μικρών αποστάσεων (“last one meter”) χρησιμοποιώντας τεχνικές σημείου-προς-σημείο. Χρησιμοποιείται σε φορητές συσκευές όπως κινητά τηλέφωνα, laptops, κάμερες, εκτυπωτές και ιατρικές συσκευές. Το κύριο χαρακτηριστικό αυτού του είδους επικοινωνίας είναι η ασφάλεια των δεδομένων, η ανάγκη οπτικής επαφής, και το χαμηλό ποσοστό σφαλμάτων.



Σχήμα 3.6 Συσκευή υπέρυθρης επικοινωνίας που συνδέεται σε υπολογιστή μέσω θύρας USB [7].

Ακολούθως, παρουσιάζονται οι εκδοχές υπέρυθρων επικοινωνιών όπου υπάρχουν διαφορετικοί ρυθμοί δεδομένων και διαμόρφωση/κωδικοποίηση.

SIR: 9.6–115.2kbit/s

MIR: 0.576–1.152Mbit/s

FIR: 4Mbit/s

VFIR: 16Mbit/s

UFIR: 96Mbit/s

GigaIR: 512Mbit/s – 1Gbit/s

Άλλα χαρακτηριστικά των υπέρυθρων επικοινωνιών είναι η απόσταση που χρησιμοποιείται να κυμαίνεται από 0.2m έως 1m. Το 10GigaIR βέβαια, υποστηρίζει πολύ υψηλές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων σε αρκετά μέτρα απόσταση. Η γωνία εστίασης μεταξύ πομπού-δέκτη πρέπει να είναι +/- 15°, ενώ το μήκος κύματος που χρησιμοποιείται είναι 850-900nm. Αν και

οι υπέρυθρες επικοινωνίες έχουν χαμηλό κόστος και δεν αντιμετωπίζουν προβλήματα ασφαλείας όπως άλλα πρωτόκολλα επικοινωνίας, εμφανίζουν το μειονέκτημα ότι πρέπει να υπάρχει οπτική επαφή [7].

Όπως θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο, στον Smart Meter που κατασκευάστηκε στο πλαίσιο της διπλωματικής, τόσο για τον εξωτερικό χώρο όσο και για Smart Meters του Οικιακού Δικτύου, η επικοινωνία μεταξύ της συσκευής μέτρησης της ισχύος (Elster A100C) και της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας (Arduino Mega 2560/ Arduino Uno R3) πραγματοποιείται μέσω υπέρυθρων.

3.6 Bluetooth



Σχήμα 3.7 Συσκευή Bluetooth για σύνδεση με ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσω θύρας USB [8].

Το πρωτόκολλο αυτό δημιουργήθηκε για ασύρματες επικοινωνίες σε σχετικά μικρές αποστάσεις για σταθερές και κινητές συσκευές καθώς και για χρήση σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Βασίζεται στο πρωτόκολλο IEEE 802.15.1 και λειτουργεί στην ελεύθερη προς το κοινό ζώνη συχνοτήτων ISM (Industrial Scientific Medical), συγκεκριμένα στη ζώνη περί τα 2.4GHz. Η ζώνη αυτή διαιρείται σε 79 κανάλια, καθένα από τα οποία έχει εύρος 1MHz. Για αυτή τη κατανομή των καναλιών χρησιμοποιείται διεύρυνση φάσματος με προσαρμοστική

αναπήδηση συχνότητας (800 αλλαγές/δευτερόλεπτο). Η διαμόρφωση που αρχικά χρησιμοποιήθηκε ήταν η GFSK (Gaussian frequency-shift keying).

Class	Max. permitted power		Typ. range ^[3] (m)
	(mW)	(dBm)	
1	100	20	~100
2	2.5	4	~10
3	1	0	~1
4	0.5	-3	~0.5

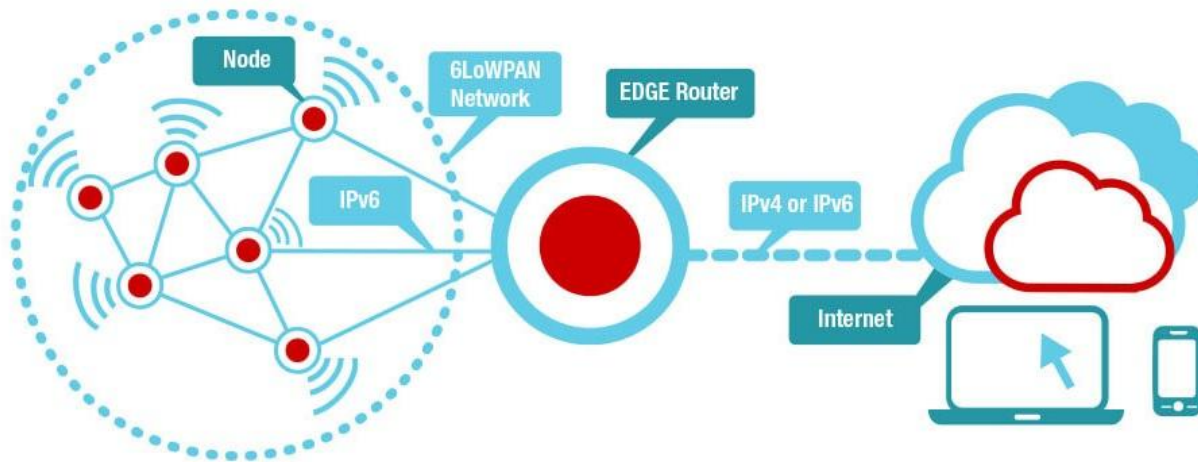
Version	Data rate	Max. application throughput
1.2	1 Mbit/s	>80 kbit/s
2.0 + EDR	3 Mbit/s	>80 kbit/s
3.0 + HS	24 Mbit/s	See Version 3.0 + HS
4.0	24 Mbit/s	See Version 4.0 LE

Πίνακας 3.1 Ισχύς, μέγιστη απόσταση μετάδοσης δεδομένων και μέγιστη θεωρητική ρυθμοδότηση ανά έκδοση Bluetooth [8].

3.7 6LoWPAN

Το πρωτόκολλο IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks βασίζεται στο IEEE 802.15.4 και χρησιμοποιείται σε δίκτυα πλέγματος (mesh networks) για την επικοινωνία έξυπνων συσκευών και γενικότερα στο IoT (Internet of Things). Χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο IPv6 (48 bits διεύθυνση). Έως το 2020 περίπου 50 δισεκατομύρια συσκευές υπολογίζεται ότι θα είναι συνδεδεμένες στο διαδίκτυο με βάση αυτό το πρωτόκολλο. Το 6LoWPAN είναι ιδανικό για αυτοματισμούς οικίας (home automation), αισθητήρες, επίβλεψη φωτεινής σηματοδότησης στους δρόμους, smart metering υπό προϋποθέσεις και πολλά ακόμη [9]. Η ακτίνα κάλυψης του 6LoWPAN φθάνει τα 10m – 20m και λειτουργεί στη ζώνη των 2.4GHz. Ανήκει στις τεχνολογίες που καταναλώνουν χαμηλή ισχύ και μπορεί να υποστηρίξει μεγάλο αριθμό συσκευών. Επιπλέον το 6LoWPAN χρησιμοποιεί μεγαλύτερα πακέτα πληροφορίας σε σχέση με το IEEE 802.15.4 κάτι το οποίο είναι μειονέκτημα καθώς αυξάνεται η καθυστέρηση

διάδοσης. Δηλαδή, επειδή βασίζεται στο IPv6, όπου το μέγιστο μήκος πακέτου είναι 1280 Bytes, πρέπει να γίνει συμπίεση της επικεφαλίδας και κατακερματισμός αφού το MTU του IEEE 802.15.4 είναι μόλις 127 Bytes. Πλεονέκτημα του 6LoWPAN είναι το ότι μπορεί να προσφέρει σημαντικό επίπεδο ασφαλείας [10].



Σχήμα 3.8 Σχηματική αναπαράσταση λειτουργίας του 6LoWPAN σε συνδυασμό με άλλες τεχνολογίες [10].

3.8 WiFi

Η αύξηση των υπολογιστών για οικιακή χρήση δημιούργησε την ανάγκη για διασύνδεση πολλών συσκευών, ενδεικτικά για δικτυακούς μεταγωγείς, φορητούς υπολογιστές, εκτυπωτές, ασύρματα modems και άλλα. Το ασύρματο LAN (Wireless Local Area Network) ήταν μία λύση καθώς δεν απαιτεί για την λειτουργία του τη χρήση καλωδίων, αλλά χρησιμοποιεί μέρος του ραδιοφάσματος [12]. Το WiFi είναι ένα πρωτόκολλο κατάλληλο για χρήση σε Smart Metering. Οι συχνότητες λειτουργίας είναι τα 2.4GHz στη ζώνη ISM και τα 5GHz στη ζώνη U-NII (Unlicensed National Information Infrastructure) προσφέροντας ρυθμούς μετάδοσης 11Mbps (802.11b), 20Mbps (802.11g) ή 100Mbps (802.11n) με εμβέλεια που φθάνει τα 45m σε εσωτερικούς χώρους και περίπου τα 100m σε εξωτερικούς χώρους. Πάντως μπορεί να επιτευχθεί μεγαλύτερη απόσταση μετάδοσης δεδομένων αν γίνει χρήση κατευθυντικών κεραιών ή και υψηλότερης ισχύος. Στο πρωτόκολλο WiFi δεν παρατηρούνται καθυστερήσεις πακέτων. Υποστηρίζει μεγάλη ακτίνα κάλυψης για χρήση σε εσωτερικούς χώρους. Το

πρωτόκολλο Wi-Fi εμφανίζει επίσης το μειονέκτημα ότι καταναλώνει αρκετή ενέργεια, παράλληλα στη ζώνη ISM ενδέχεται να αλληλεπιδράσει με άλλες συσκευές, επειδή λειτουργεί στη ζώνη ISM όπου λειτουργούν και άλλα πρότυπα, κάτι το οποίο δεν είναι επιθυμητό [3]. Στον πίνακα 3.2 φαίνονται οι διάφορες εκδόσεις του πρωτοκόλλου, οι ζώνες λειτουργίας, το είδος της διαμόρφωσης, το εύρος ζώνης και ο τρόπος πρόσβασης [13].

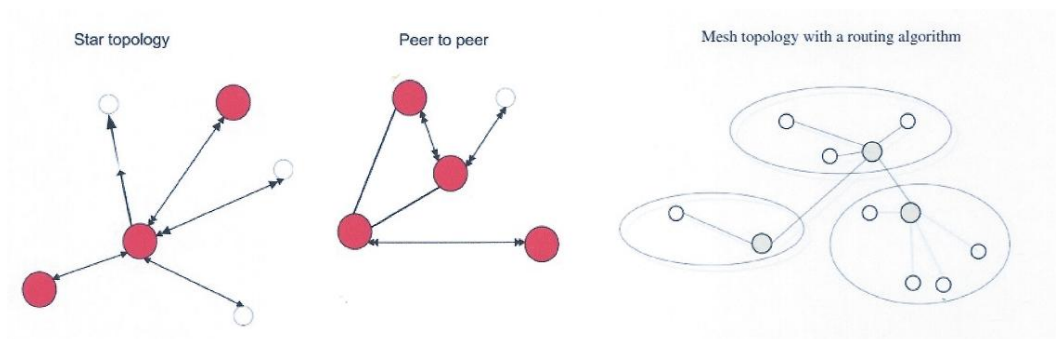
Έκδοση	Πρωτόκολλο	Ζώνη συχνότητων	Διαμόρφωση	Εύρος συχνότητων	πρωτόκολλο MAC
Jun 97	legacy	2.4	DSSS	20	CSMA/CA
Sep 99	b	2.4	DSSS	20	CSMA/CA
Sep 99	a	5	OFDM	20	CSMA/CA
Jun 03	g	5	OFDM	20	CSMA/CA
Mar 07	a,b,d,e,g,h,i,j	2.4/4	DSSS/OFDM	5,10,20	CSMA/CA
Oct 09	n	2.4/5	OFDM	40,20,10,5	CSMA/CA

Πίνακας 3.2 Οι εκδόσεις του πρωτοκόλλου 802.11 [12].

3.9 ZigBee

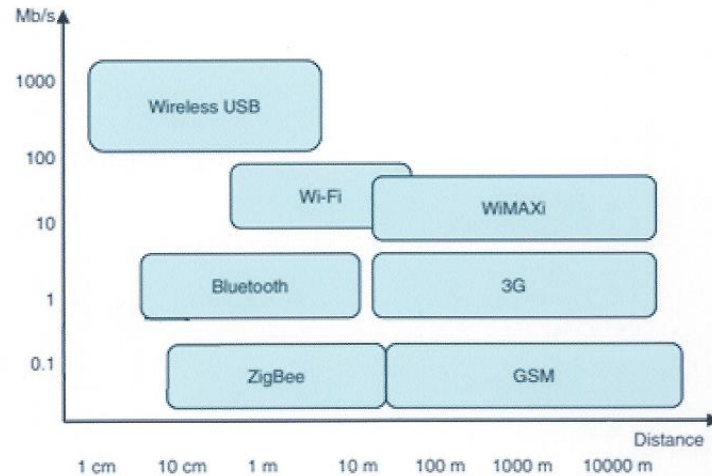
Το πρωτόκολλο Zigbee βασίζεται στο IEEE 802.15.4 και στοχεύει περισσότερο σε δίκτυα που δεν απαιτούν υψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων προσφέροντας λύσεις χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας καθώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για ενσωματωμένα συστήματα που χρησιμοποιούν ηλεκτροσυσσωρευτές όπου απαιτείται οικονομία σε ενέργεια. Για παράδειγμα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε LPAN (Low rate Personal Area Networks). Λειτουργεί στη ζώνη συχνότητων των 2.4GHz σε όλες τις χώρες ενώ χρησιμοποιεί και άλλες ζώνες λειτουργίας όπως αυτή των 915MHz στην Αμερική και αυτή των 868MHz στην Ευρώπη. Όσον αφορά το μέγιστο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, αυτός ανέρχεται στα 250kbps (2.4GHz), ενώ στα 915MHz και στα 868MHz επιτυγχάνονται ρυθμοί 40kbit/s και 100kbit/s αντίστοιχα [15]. Χρησιμοποιεί 16 προκαθορισμένα κανάλια στην ISM ζώνη, 10 κανάλια στη ζώνη των 915MHz και 1 κανάλι στη ζώνη των 868MHz, η χρήση των οποίων καθορίζεται από τους κανονισμούς κάθε χώρας. Στο πρωτοκολλο Zigbee χρησιμοποιείται η τεχνική master-slave. Όσον αφορά την εμβέλεια, αυτή ανέρχεται στα 90m σε κλειστούς χώρους και

πυκνοκατοικημένες περιοχές, ενώ όταν υπάρχει οπτική επαφή μεταξύ πομπού και δέκτη μπορεί να επιτευχθεί εμβέλεια έως τα 1200m σε λύσεις που αφορούν την απλή έκδοση Digi Xbee S2C Zigbee ή και 3200m σε λύσεις που αφορούν την Digi Xbee- PRO S2C Zigbee έκδοση [14]. Η διαμόρφωση που χρησιμοποιείται για το πρωτόκολλο αυτό είναι η BPSK (Binary Phase Shift Keying) και O-QPSK (Offset Quadrature Phase Shift Keying) όσον αφορά τη ζώνη των 868MHz. Η διευθυνσιοδότηση έχει μέγεθος 16 bits ή MAC address των 64bits. Επιπλέον, είναι εφικτή η χρήση κρυπτογράφησης. Υπάρχουν τρεις βασικές τοπολογίες διασύνδεσης των κομβων Zigbee, δηλαδή τοπολογία πλέγματος (mesh network), τοπολογία αστέρα (star network) και τοπολογία σημείου-προς-σημείο (point to point) όπως φαίνεται στο σχήμα 3.9 [16].



Σχήμα 3.9 Οι 3 κύριες τοπολογίες του πρωτοκόλλου Zigbee [16].

Ένα πολύ σημαντικό πλεονέκτημα της λύσης Zigbee είναι η δυνατότητα του Master κόμβου να συνδεθεί με 65000 περίπου κόμβους slave, κάνοντας το ιδανικό για Smart Metering.



Σχήμα 3.10 Μία συνολική απεικόνιση των ασύρματων πρωτοκόλλων που παρουσιάστηκαν προηγουμένως συναρτήσει του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων και της μέγιστης απόστασης μεταφοράς δεδομένων

3.10 Ethernet



Σχήμα 3.11 Τυπικό καλώδιο σύνδεσης Ethernet [17].

Το πρωτόκολλο αυτό δημιουργήθηκε το 1973-1974 από την Xerox PARC και τυποποιήθηκε το 1985 από την IEEE. Χρησιμοποιεί την τεχνολογία Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) [17][18]. Το πρωτόκολλο CSMA/CD χρησιμοποιείται ως το κύριο πρωτόκολλο διασύνδεσης υπολογιστών και έξυπνων συσκευών. Η μετάδοση δεδομένων γίνεται έως τα 10Mbit/s [73] σε αποστάσεις που κυμαίνονται από τα 100m, με χρήση χάλκινου καλωδίου και μπορεί να φθάσει τα 100Gbit/s, έως τα 80km, με χρήση οπτικών ινών. Έως το

2018 η ταχύτητες θα φτάσουν τα 400 Gbit/s. Είναι κατεξοχήν πρωτόκολλο μεταφοράς πακέτου ή πλαισίου (packet or frame) [17]. Υπάρχει ωριμότητα στις διάφορες εκδόσεις του IEEE 802.3 αφού χρησιμοποιούνται σήμερα τόσο σε ασύρματα δίκτυα WLAN, όσο και WAN (Wide Area Networks). Το κόστος εγκατάστασης δεν είναι υψηλό και η εγκατάσταση του εξοπλισμού είναι απλή. Όσον αφορά, όμως, τη χρήση του Ethernet σε ένα δίκτυο ευφυούς μέτρησης από κάθε κόμβο, συγκεντρωτή και κέντρο επεξεργασίας αυτό θα ήταν αρκετά κοστοβόρο καθώς πρέπει να συνδέσει πολλές χιλιάδες οικιακούς/βιομηχανικούς χρήστες. Αν όμως γίνει σύνδεση μεταξύ συγκεντρωτή ανα περιοχή με το κέντρο επεξεργασίας τότε οι συνδέσεις είναι πολύ λιγότερες.

Κεφάλαιο 4 : Προδιαγραφές του Δικτύου Ευφυούς Μέτρησης από το Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε.

4.1 Περιπτώσεις εφαρμογής του συστήματος Ευφυούς Μέτρησης

Τα τελευταία χρόνια στην Ευρώπη, υπάρχουν χώρες που πιλοτικά έχουν εγκαταστήσει δίκτυα Ευφυούς Μέτρησης. Στη συνέχεια παρουσιάζονται περιγραφικά οι χώρες και η τεχνολογία Ευφυούς Μέτρησης που χρησιμοποιούν [10].

Το χρονικό διάστημα 2000 – 2005 στην *Ιταλία*, η εταιρεία ENEL ανέπτυξε περισσότερους από 36 εκατομμύρια έξυπνους μετρητές στο σύνολο των καταναλωτών. Ένας τέτοιος μετρητής έχει τη δυνατότητα να συλλέγει δεδομένα κατανάλωσης του πελάτη με χαμηλή συχνότητα και να υποστηρίζει απομακρυσμένο έλεγχο των μετρητών. Μειονέκτημα αποτελεί το ότι ο πελάτης δεν μπορεί να ενημερωθεί για την τρέχουσα τιμή της kWh και της τρέχουσας κατανάλωσής του. Επιπλέον δεν υπάρχει δυνατότητα απομακρυσμένου ελέγχου της συσκευής καταγραφής. Η ιταλική εταιρεία αναπροσαρμόζει το δίκτυο ώστε ο έξυπνος μετρητής να επικοινωνεί με έξυπνες οικιακές συσκευές. Έτσι, ο καταναλωτής θα μπορεί να ενημερώνεται από το οικιακό τερματικό που υπάρχει μέσα στην οικία του για τα δεδομένα κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας. Το δίκτυο ευφυούς μέτρησης θα στηρίζεται στη τεχνολογία PLC, το οποίο βασίζεται στο πρωτόκολλο Meters and More και θα χρησιμοποιεί ρυθμό μετάδοσης 9.6 kbps. Ενώ για την επικοινωνία μεταξύ συγκεντρωτών με το MDMS θα χρησιμοποιείται τεχνολογία κυψελωτής τηλεφωνίας και συγκεκριμένα 3G ή LTE(4G). Το σύστημα θα μπορεί να καταγράφει σε μηνιαία βάση την κατανάλωση ενέργειας, ενώ θα υποστηρίζει και απομακρυσμένο έλεγχο καθώς και ρύθμιση της μέγιστης κατανάλωσης ενέργειας. Μέσω του μετρητή του, ο πελάτης θα μπορεί να εισέρχεται σε μια βάση δεδομένων και να ενημερώνεται για την κατανάλωση ενέργειας μέχρι την τελευταία μέτρηση καθώς και για το ιστορικό μετρήσεων.

Στη Γαλλία , η εταιρεία ERDF θα αναπτύξει έως το 2018 35 εκατομμύρια μετρητές. Κατά την περίοδο 2007-2011 αναπτύχθηκαν πιλοτικά 300.000 έξυπνοι μετρητές και 5.000 συγκεντρωτές μέσω του προγράμματος linky. Η τεχνολογία που χρησιμοποιήθηκε είναι η τεχνολογία PLC με βάση το πρωτόκολλο G3, ενώ στο δίκτυο μεταφοράς γίνεται χρήση της τεχνολογίας GPRS. Χαρακτηριστικό του γαλλικού προγράμματος είναι ότι οι ευφυείς μετρητές διαθέτουν δυνατότητα επικοινωνίας μεταξύ τους, ανεξάρτητα από ποιον κατασκευαστή προέρχονται, ποια τεχνολογία ή ποιο μέσο μετάδοσης χρησιμοποιούν.

Στην Ισπανία, και συγκεκριμένα στην περιοχή Castellon, η ιδιωτική εταιρεία IBERDROLA έχει εγκαταστήσει πιλοτικά περισσότερους από 100.000 έξυπνους μετρητές, οι οποίοι χρησιμοποιούν τεχνολογία PLC, συγκεκριμένα το πρωτόκολλο PRIME. Το πρωτόκολλο αυτό έχει μέγιστο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων τα 128kbps. Η IBERDROLA έχει χωρίσει το δίκτυο πρόσβασης σε έξι κατηγορίες, ανάλογα το πλήθος των έξυπνων μετρητών που αντιστοιχούν σε ένα NAN καθώς και την πυκνότητα των μετρητών. Οι κατηγορίες αυτές φαίνονται στο ακόλουθο σχήμα.

		Density of Points of Supply (DPoS)		
		$0 < DPoS \leq 6$	$6 < DPoS \leq 12$	$12 < DPoS$
Points of Supply (PoS)	$0 < PoS \leq 100$	Category G 151 SS's 5,380 PoS's	Category A 26 SS's 1,562 PoS's	Category B 21 SS's 1,247 PoS's
	$100 < PoS \leq 300$	Category H 76 SS's 13,752 PoS's	Category C 61 SS's 11,596 PoS's	Category D 74 SS's 13,990 PoS's
	$300 < PoS$	Category I 51 SS's 22,615 PoS's	Category E 36 SS's 15,441 PoS's	Category F 35 SS's 15,096 PoS's

Σχήμα 4.1 Οι κατηγορίες του δικτύου πρόσβασης, της εταιρείας IBERDROLA [10].

Με κριτήριο το πλήθος των ευφυών μετρητών με τους οποίους είναι συνδεδεμένος ένας συγκεντρωτής και το είδος της επικοινωνίας που είναι διαθέσιμη χρησιμοποιούνται λύσεις

όπως PLC, κυψελωτά δίκτυα 3G ή 4G, γραμμές xDSL, ραδιοζεύξη σημείου προς πολλά σημεία, οπτικές ίνες και Ethernet.

Στην *Ολλανδία*, η εταιρεία Enexis έχει ξεκινήσει την εγκατάσταση ευφυών μετρητών, με στόχο τον αριθμό των 2.7 εκατομμυρίων μετρητών, χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο G3, το οποίο βασίζεται στη τεχνολογία PLC, παρέχοντας μέγιστο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων τα 33.400bps. Επιπλέον, το στρώμα ζεύξης ανταποκρίνεται στα πρότυπα IETF 6LoWPAN και IEEE 802.15.4. Να διευκρινιστεί πως η IETF (*Internet Engineering Task Force*, Τακτική Δύναμη Μηχανικών Internet) ασχολείται με την ανάπτυξη και την προώθηση προτύπων του Internet, συνεργαζόμενη για τον σκοπό αυτό με τους οργανισμούς W3C και ISO/IEC. Ουσιαστικά είναι ένας οργανισμός με ανοικτά πρότυπα δίχως τυπικά μέλη ή τυπικές απαιτήσεις από τα μέλη του [74]. Στο δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ισχύος θα χρησιμοποιηθεί τεχνολογία Ethernet, καθώς και τεχνολογία κυψελωτών επικοινωνιών (3G, LTE). Ο συνδυασμός των πρωτοκόλλων G3 και 3G/LTE θα μπορέσει να επιτύχει τη διασύνδεση με πρωτόκολλα IPv6 και UDP. Τέλος, κάθε συγκεντρωτής θα συνδέεται με έως 80 έξυπνους μετρητές.

Στην *Γερμανία*, η εταιρεία RWE έχει εγκαταστήσει 100.000 ευφυείς μετρητές. Στη *Σουηδία*, η εταιρεία Vatenfall έχει αναπτύξει 600.000 μετρητές. Στην *Αυστρία*, έχουν εγκατασταθεί 465.000 ευφυείς μετρητές. Στη *Μεγάλη Βρετανία*, έχει ήδη ξεκινήσει από το 2015, με χρονικό ορίζοντα το 2020, η αντικατάσταση των παραδοσιακών μετρητών με ευφυείς (περίπου 53 εκατομμύρια μετρητές). *Ολλανδική* και *Νορβηγική* εταιρεία έχουν προτείνει το σύστημα ευφυούς μέτρησης κατανάλωσης ενέργειας να επεκταθεί και για την καταμέτρηση φυσικού αερίου και ύδατος, όπου τα δεδομένα των μετρήσεων θα αποστέλλονται στις αντίστοιχες εταιρείες.

4.2 Προδιαγραφές σύμφωνα με το Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε.

Αρχικά θα αναφερθούν τα στοιχεία από τα οποία θα αποτελείται το Σύστημα Ευφυούς Μέτρησης (ΣΕΜ). Αυτά είναι ο Ευφυής Μετρητής (Smart Meter – SM) , το σύστημα διαχείρισης

των δεδομένων (MDMS – Metering Data Management System), ο συγκεντρωτής (concentrator ή gateway) και τέλος ο τοπικός υπολογιστής (τοπικό MDMS). Οι παραδοσιακοί μετρητές Ηλεκτρικής Ενέργειας θα αντικατασταθούν με Ευφυείς Μετρητές, ενώ σε κάθε Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ θα εγκατασταθεί ένας συγκεντρωτής. Ο βασικός ρόλος ενός ΣΕΜ είναι η καταμέτρηση κατανάλωσης τους ηλεκτρικού ρεύματος των πελατών (οικιακοί ή επαγγελματικοί χρήστες), η αποθήκευση των δεδομένων και η επεξεργασία τους για τη μηνιαία τιμολόγηση των πελατών. Αυτό γίνεται ως εξής: οι Ευφυείς Μετρητές καταγράφουν τις μετρήσεις τις οποίες στη συνέχεια αποστέλλουν είτε απευθείας στο MDMS είτε μέσω των συγκεντρωτών.

Τεχνολογίες πρόσβασης

Ο Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε. απαιτεί να γίνει χρήση δικτύων κινητής τηλεφωνίας (GPRS, UMTS, HSPA) ή χρήση τεχνολογίας PLC και οι τεχνολογίες αυτές πρέπει να χρησιμοποιηθούν σε ποσοστό τουλάχιστον 20% στους Ευφυείς Μετρητές ανά γεωγραφική περιοχή, ενώ στο υπόλοιπο 80% των έξυπνων μετρητών μπορεί να χρησιμοποιηθεί η καταλληλότερη από τις δύο τεχνολογίες.

Κατανομή των Ευφυών Μετρητών

Το δίκτυο μετρητών, οι οποίοι θα εγκατασταθούν πιλοτικά, αφορά την εγκατάσταση, δοκιμή και λειτουργία 170.000 Ευφυών Μετρητών (140.000 μονοφασικοί και 30.000 τριφασικοί). Η εγκατάσταση θα γίνει σε συγκεκριμένες περιοχές της Ελλάδας, με κριτήρια τον πληθυσμό και την πολεοδομική κατάσταση κάθε περιοχής. Πιλοτικά, λοιπόν, θα εγκατασταθούν Ευφυείς Μετρητές στους νομούς Ξάνθης, Λέσβου, Λήμνου και Λευκάδας και στο νησί Άγιος Ευστράτιος ενώ στους νομούς Αθηνών και Θεσσαλονίκης θα αντικατασταθούν επιλεκτικά οι παραδοσιακοί μετρητές με Ευφυείς Μετρητές. Τέλος στις νήσους Θήρα, Κύθνο, Μήλο υπάρχει ενδεχόμενο να αντικατασταθούν όλοι οι μετρητές.

Το δίκτυο μεταφοράς του ΣΕΜ

Για το δίκτυο μεταφοράς του ΣΕΜ, δηλαδή την σύνδεση συγκεντρωτών με το MDMS μπορεί να γίνει χρήση PSTN ή DSL, κυψελωτών δικτύων (3G, LTE, LTE advanced), χρήση Ημιδημόσιου/Ιδιωτικού δικτύου με χρήση τεχνολογίας IEEE 802.11(WLAN) και IEEE 802.16.

Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί μισθωμένο δίκτυο οπτικών ινών ή Ethernet, δορυφορικών επικοινωνιών και ασύρματων ζεύξεων.

Βασικές λειτουργίες του ΣΕΜ

Με στόχο να λειτουργήσει ορθά το Σύστημα Ευφυούς Μέτρησης ο Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε. απαιτεί την υλοποίηση μιας σειράς λειτουργιών, ώστε να λειτουργεί ορθά το Σύστημα Ευφυούς Μέτρησης, οι σημαντικότερες από τις οποίες παρουσιάζονται ακολούθως:

1. Απομακρυσμένη αποσύνδεση και επανασύνδεση της παροχής ηλεκτρικού ρεύματος.
2. Ειδικές τηλεμετρήσεις.
3. Τηλεμέτρηση και αποστολή των δεδομένων. Το MDMS δέχεται τα δεδομένα με 2 τρόπους, είτε συνολικά τις μετρήσεις κάθε ημέρας (που γίνονται κάθε 15 λεπτά κατά την διάρκεια της ημέρας) μεταξύ 00:01 και 08:00 (όπου δεν υπάρχει κίνηση στο δίκτυο), είτε άμεσα κάθε 15 λεπτά, μετά την καταμέτρηση (real time).
4. Την ένταξη τιμολογίων χρονοχρέωσης ή κρίσιμων αιχμών στη τιμολογιακή πολιτική του παρόχου.
5. Ρύθμιση ισχύος παραγωγής.
6. Τρόπος ενημέρωσης για τυχόν παραβιάσεις του Ευφυούς Μετρητή
7. Ειδοποίηση για βλάβη του μετρητή.
8. Ειδοποίηση για απώλεια παροχής του καταναλωτή.
9. Διαχείριση των μετρητικών δεδομένων του καταναλωτή.
10. Να γίνονται γνωστά τα δεδομένα της κατανάλωσης για κάποιον ή και όλους τους πελάτες.
11. Απομακρυσμένη ρύθμιση των μετρητών.
12. Απομακρυσμένη ενημέρωση της περιόδου χρέωσης της kWh.
13. Απομακρυσμένη αναβάθμιση του λογισμικού του μετρητή.
14. Δραστηριότητες αναφορών, λειτουργίας και επικοινωνίας από συγκεκριμένες ομάδες μετρητών.

Πρωτόκολλα Επικοινωνίας

Όσον αφορά τη χρήση πρωτοκόλλων επικοινωνιών, ο Ευφυής Μετρητής πρέπει να κάνει χρήση της τεχνολογίας με τον υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων που είναι διαθέσιμος. Ο μετρητής πρέπει να υποστηρίζει και την τεχνολογία PLC, ώστε να μπορεί να επιλέγει, ώστε σε περίπτωση βλάβης να υπάρχει εναλλακτική δρομολόγηση των δεδομένων μεταξύ PLC και του δικτύου κυψελωτών επικοινωνιών. Επιπλέον, το ΣΕΜ πρέπει να υποστηρίζει τα πρότυπα CELENEC/TC13, ενώ σε επίπεδο μεταφοράς μετρητικών δεδομένων είναι αποδεκτά τα πρωτόκολλα TCP-UDP/IP [10]. Επιπλέον σε επίπεδο εφαρμογής, συνόδου και παρουσίασης πρέπει να υποστηρίζει το πρότυπο DLMS/COSEM-OBIS .

Αρχιτεκτονική του ΣΕΜ

Για την αρχιτεκτονική του ΣΕΜ, πρέπει να ληφθούν υπόψη οι σύγχρονες τεχνολογίες επικοινωνιών καθώς και η διαθεσιμότητά τους ανά περιοχή. Αυτό εξαρτάται από τα πληθυσμιακά χαρακτηριστικά κάθε περιοχής, τα πολεοδομικά χαρακτηριστικά καθώς και τα τοπικά χαρακτηριστικά του ηλεκτρικού δικτύου και την υπάρχουσα τηλεπικοινωνιακή υποδομή.

Συμφωνίες Επιπέδου Υπηρεσιών

Οι απαιτήσεις που έχει θέσει ο Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε. για την αποδεκτή λειτουργία του ΣΕΜ είναι οι εξής:

1. Ελάχιστος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων στα 4.8kbrps.
2. Δυνατότητα αποσύνδεσης/επανασύνδεσης του μετρητή εντός 3 λεπτών από την εκτέλεση της εντολής.
3. Η μέγιστη καθυστέρηση από την στιγμή που εκκινεί η αποστολή των δεδομένων μέχρι την ολοκλήρωσή της να ανέρχεται στο 1 λεπτό.
4. Διατηρήσιμος ρυθμός ανάγνωσης (με επιτυχία) καταχωρητών σε επίπεδο συστήματος άνω του 99.0% [75].
5. Διατηρήσιμος ρυθμός ανάγνωσης (με επιτυχία) διαστημάτων (περιόδων ολοκλήρωσης) σε επίπεδο συστήματος άνω του 98.6% [75].

Επέκταση του ΣΕΜ για υποστήριξη άλλων συστημάτων

Εκτός από τη μέτρηση της κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας, το Σύστημα Ευφυούς Μέτρησης μπορεί να επεκταθεί και σε άλλες λειτουργίες. Αυτές οι λειτουργίες ενδέχεται να έχουν διαφορετικές απαιτήσεις σε τηλεπικοινωνιακούς πόρους. Στη συνέχεια παρουσιάζονται κάποιες από αυτές τις λειτουργίες.

1. *Διαχείριση της Ζήτησης – Demand Response*: Θα έχει τη δυνατότητα πρόσβασης στη βάση δεδομένων του MDMS, από όπου θα αποστέλλει μηνύματα και θα ειδοποιεί τους συγκεντρωτές και τους Ευφυείς Μετρητές για πιθανή αλλαγή στη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε ορισμένους καταναλωτές.
2. *Διαχείριση Ροής Εργασίας – Work Flow Management*: το σύστημα αυτό θα έχει τη δυνατότητα πρόσβασης στα δεδομένα του MDMS από όπου θα δέχεται αιτήματα μία φορά την ημέρα, τουλάχιστον.
3. *Σύστημα Τιμολόγησης*: Το MDMS παρέχει πληροφορίες για την κατανάλωση των χρηστών ή άλλων συστημάτων τιμολόγησης στις υπεύθυνες εταιρείες με τελικό στόχο να ενημερωθούν οι καταναλωτές. Η μεγαλύτερη επιτρεπτή συχνότητα κατά την οποία θα συλλέγονται τα δεδομένα θα είναι μία φορά ανά 24 ώρες.
4. *Πληροφοριακό Σύστημα Πελατών – Customer Information System*: Το σύστημα αυτό θα επικοινωνεί με τον MDMS και με τα συστήματα τιμολόγησης και θα ενημερώνει τους καταναλωτές σχετικά με την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και θα παρέχει πληροφορίες για το λογαριασμό τους. Η λήψη των στοιχείων θα γίνεται όποτε υπάρχει απαίτηση.
5. *Διαχείριση Διακοπών*: Πρέπει να υπάρχει υποστήριξη από το MDMS σε ερωτήσεις πραγματικού χρόνου των Ευφυών Μετρητών που θα χρησιμοποιούνται για να

γνωστοποιείται η τοποθεσία όπου υπάρχει κάποια δυσλειτουργία. Στη περίπτωση αυτή, απαιτείται η ελάχιστη δυνατή καθυστέρηση μετάδοσης.

6. *Γεωγραφικό Πληροφοριακό Σύστημα – Geographical Information System*: Το MDMS θα αλληλεπιδρά με το GIS για την παροχή πληροφοριών διαχείρισης στοιχείων, όπως επίσης και για τις πληροφορίες σχετικά με τις σχέσεις των διαφόρων συστημάτων, με συχνότητα ανά 24 ώρες.
7. *Συστήματα Επίβλεψης Ελέγχου και Ανάκτησης Δεδομένων/Διαχείριση Διανομής – Supervisory Control and Data Acquisition/Distribution Management System*: Το σύστημα SCADA/DMS θα λειτουργεί σε πραγματικό χρόνο και θα επικοινωνεί κατά διαστήματα με συγκεκριμένους Ευφυείς Μετρητές ή συγκεντρωτές που θα βρίσκονται εγκατεστημένοι σε υποσταθμούς του ηλεκτρικού δικτύου, με την ελάχιστη δυνατή καθυστέρηση μετάδοσης.

Επεκτασιμότητα

Κατά το σχεδιασμό του ΣΕΜ πρέπει να ληφθεί υπόψη και η εισαγωγή νέων στοιχείων όπως Ευφύων Μετρητών και συγκεντρωτών, καθώς και η εισαγωγή νέων υπηρεσιών. Το ΣΕΜ πρέπει να έχει την δυνατότητα να αλληλεπιδρά με νέα συστήματα για την εξυπηρέτηση νέων υπηρεσιών. Αυτό συνεπάγεται πρόσθετο όγκο δεδομένων και πιθανώς νέων απαιτήσεων σε QoS. Ο Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε. στοχεύει στην εγκατάσταση ΣΕΜ που θα περιλαμβάνει 7.000.000 Ευφυείς Μετρητές, από το οποίο θα παρέχεται το σύνολο των υπηρεσιών του Συστήματος Ευφυούς Μέτρησης.

4.3 Τηλεπικοινωνιακές λύσεις ανά πυκνότητας δόμησης

Αστικές Περιοχές:

Οι αστικές περιοχές χαρακτηρίζονται από υψηλή πληθυσμιακή πυκνότητα, άρα και μεγάλη πυκνότητα Ευφύων Μετρητών (EM), άνω των 2.500 EM ανα τετραγωνικό χιλιόμετρο λόγω της

ύπαρξης μεγάλου αριθμού πολυκατοικιών. Επιπλέον, υπάρχουν αρκετοί επικοινωνιακοί πόροι για μετάδοση δεδομένων λόγω της διαθεσιμότητας όλων των τεχνολογιών επικοινωνιών. Κατ' αυτό το τρόπο μπορεί να υπάρχει ποιότητα υπηρεσίας (QoS), κάθε υπηρεσίας που εξυπηρετείται μέσω του Συστήματος Ευφυούς Μέτρησης (ΣΕΜ), αφού δεν θα υπάρχει περιορισμός σε τηλεπικοινωνιακές λύσεις που έχουν χαμηλό QoS. Ακολούθως παρουσιάζονται κάποιες προτάσεις [10] για την διαμόρφωση του δικτύου πρόσβασης του ΣΕΜ:

- Θα μπορούσε να γίνει χρήση της τεχνολογίας WLAN (802.11) και Low Rate-WPAN (802.15.4). Ο συγκεντρωτής επικοινωνεί με μετρητές που βρίσκονται σε ένα υψηλό κτίριο ή μία μικρή ομάδα μονοκατοικιών ή και αποκλειστικά ένα καταναλωτή. Σε αυτή τη περίπτωση η τοπολογία του δικτύου είναι πολυβηματική ή ακτινωτή.
- Άλλη πρόταση είναι η χρήση της τεχνολογίας NB-PLC στο δίκτυο ΧΤ, με τους συγκεντρωτές να είναι τοποθετημένοι στους Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ. Κάθε ευφυής μετρητής λειτουργεί ως RFD κόμβος και επικοινωνεί ανεξάρτητα με το συγκεντρωτή. Κάθε Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ μπορεί να εξυπηρετεί 150-350 Ευφυείς Μετρητές, ενώ η τοπολογία που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι αυτή του ανοικτού βρόχου. Με τον όρο ανοικτό βρόχο εννοείται πως κάθε γραμμή ΧΤ εκκινεί από ένα κύριο Μ/Σ τερματίζει σε ένα γειτονικό Μ/Σ μέσω ενός διακόπτη. Ο διακόπτης αυτός είναι ανοικτός υπό κανονικές συνθήκες και κλείνει όταν υπάρχει κάποια βλάβη. Δηλαδή όταν υπάρχει βλάβη ή συντήρηση, ένας συγκεντρωτής ίσως χρειαστεί να εξυπηρετήσει και γειτονικούς ΕΜ και κατ' αυτόν τον τρόπο μπορεί μέχρι και να διπλασιαστεί ο αριθμός των ΕΜ που εξυπηρετεί ο συγκεντρωτής. Κάθε Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ υποστηρίζει 7 γραμμές ΧΤ, μήκους μέχρι 500m έκαστη. Σε αυτή τη περίπτωση υπάρχει τοπολογία αστέρα ενώ οι ΕΜ συνδέονται σε κάθε γραμμή ΧΤ και έτσι σχηματίζεται ένα υποδίκτυο τοπολογίας διαύλου. Ως τοπολογία αστέρα εννοείται η επικοινωνία κατά την οποία όλοι οι κόμβοι καταγραφής επικοινωνούν απευθείας με τον κόμβο πλήρους λειτουργίας, ο οποίος έχει και το ρόλο συγκεντρωτή όντας υπεύθυνος για την περαιτέρω προώθηση των δεδομένων.

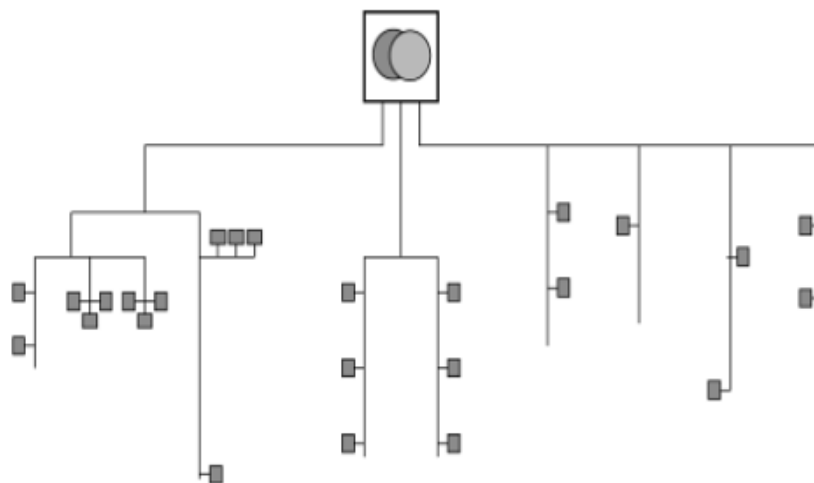
-
- Επίσης μπορεί να γίνει χρήση κυψελωτών δικτύων επικοινωνιών, μέσω των οποίων κάθε ΕΜ μπορεί να αποστέλλει δεδομένα απευθείας στο MDMS με χρήση αποκλειστικά του δικτύου πρόσβασης (τοπολογίας αστέρα) και κορμού του κυψελωτού δικτύου επικοινωνιών. Στη τελευταία περίπτωση, δεν απαιτείται η χρήση συγκεντρωτών.
 - Τέλος, θα μπορούσε να γίνει χρήση της τεχνολογίας NB-PLC στο δίκτυο ΧΤ. Οι συγκεντρωτές βρίσκονται εγκατεστημένοι σε μεγάλα κτίρια, όπως πολυκατοικίες ή συγκροτήματα γραφείων και εξυπηρετούν τους οικείους ΕΜ, οι οποίοι ή είναι ανεξάρτητοι κόμβοι RFD ή υπάρχει ομαδοποίηση, οπότε ένας κόμβος ανά ομάδα είναι FFD. Η τοπολογία του δικτύου πρόσβασης είναι είτε δένδρου είτε αστέρα.

Ημιαστικές Περιοχές:

Η περίπτωση αυτή αναφέρεται σε περιοχές στα περίχωρα αστικών κέντρων που χαρακτηρίζονται από μέτρια πληθυσμιακή πυκνότητα, δηλαδή μικρότερη των 2.500 κατοίκων ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο. Υπάρχουν κατοικίες με χαμηλό ύψος και μικρός αριθμός πολυκατοικιών. Καθώς παρατηρείται ανέγερση νέων κτιρίων, αναμένεται πληθυσμιακή αύξηση. Σε αυτές τις περιοχές είναι διαθέσιμος αρκετός αριθμός τεχνολογιών επικοινωνιών, υστερούν όμως σε σχέση με τις αστικές περιοχές όπου υπάρχει η επιλογή για περισσότερες. Μπορεί να δημιουργηθεί με αυτό το τρόπο πρόβλημα στη ποιότητα υπηρεσιών του Ευφυούς Δικτύου. Δηλαδή, ενώ στις αστικές περιοχές υπάρχει η δυνατότητα χρήσης τεχνολογίας Zigbee και WiFi, στις ημιαστικές αυτό μπορεί να μην συμβαίνει, και να χρησιμοποιείται αποκλειστικά τεχνολογία κυψελωτών δικτύων με ότι μειονεκτήματα αυτό συνεπάγεται. Ακολούθως, παρατίθενται προτάσεις για τις περιοχές αυτού του είδους:

- Εγκατάσταση σε συγκεκριμένα σημεία μιας περιοχής σταθμών βάσης/συγκεντρωτών που με χρήση της τεχνολογίας WiFi (IEEE 802.11) εξυπηρετούν Ευφυείς Μετρητές που είναι εγκατεστημένοι εντός της εμβέλειάς τους.

-
- Αποκλειστική χρήση κυψελωτών δικτύων επικοινωνιών, όπου κάθε μετρητής αποστέλλει δεδομένα απευθείας στον MDMS, με χρήση αποκλειστικά των δικτύων πρόσβασης, τοπολογίας αστέρα και κορμού των κυψελωτών δικτύων επικοινωνιών. Σε αυτή τη περίπτωση, δεν απαιτείται χρήση συγκεντρωτών.
 - Μπορεί να γίνει χρήση PLC τεχνολογίας στο δίκτυο διανομής ΧΤ Ηλεκτρικής Ενέργειας. Κάθε Ευφυής Μετρητής μπορεί και επικοινωνεί ανεξάρτητα με τον οικείο συγκεντρωτή, λειτουργώντας με αυτόν τον τρόπο σαν RFD κόμβος. Οι συγκεντρωτές βρίσκονται εγκατεστημένοι σε Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ και έχουν τη δυνατότητα εξυπηρέτησης 80-150 Ευφύων Μετρητών. Η τοπολογία του δικτύου ΧΤ είναι αστέρα ή ανοικτού βρόχου σε περιοχές χαρακτηριζόμενες ως μεσαίας πυκνότητας. Στον Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ είναι συνδεδεμένες 1 έως 12 γραμμές ΧΤ. Γενικά, η τοπολογία είναι αστέρα, όμως οι Ευφυείς Μετρητές έχουν κοινή πρόσβαση σε κάθε γραμμή ΧΤ, έτσι σχηματίζεται υποδίκτυο τοπολογίας διαύλου. Ακολούθως φαίνεται ενδεικτικό σχέδιο.



Σχήμα 4.2 Τοπολογία ΧΤ σε ημιαστικές περιοχές [10].

Αγροτικές – αραιοκατοικημένες περιοχές:

Στις περιοχές αυτές, η πυκνότητα πληθυσμού βρίσκεται στα επίπεδα των δεκάδων κατοίκων ανα τετραγωνικό χιλιόμετρο. Υπάρχουν πεδιάδες και ορεινές περιοχές, ενώ οι κατοικίες και οι αγροτικές-γεωργικές εγκαταστάσεις είναι διασπαρμένες. Δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν αρκετές από τις τηλεπικοινωνιακές λύσεις που υπάρχουν, και υπάρχει περιορισμός στα δίκτυα κινητής επικοινωνίας (3G/GPRS/EDGE), ενώ η δυνατότητα πρόσβασης στο διαδίκτυο μέσω τεχνολογίας xDSL είναι περιορισμένη. Για τις περιοχές αυτές, υπάρχουν οι ακόλουθες προτάσεις:

- Θα μπορούσε να γίνει χρήση της τεχνολογίας PLC, κάνοντας χρήση του δικτύου διανομής ΧΤ. Σε κάθε συγκεντρωτή, θα αντιστοιχούν κατά μέσο όρο 80 Ευφυείς Μετρητές.
- Χρήση κυψελωτών δικτύων επικοινωνιών ώστε να γίνεται απευθείας αποστολή των δεδομένων από τον Ευφυή Μετρητή στο MDMS.

Κεφάλαιο 5 : Home network

5.1 Αρχιτεκτονική ενός οικιακού M2M δικτύου

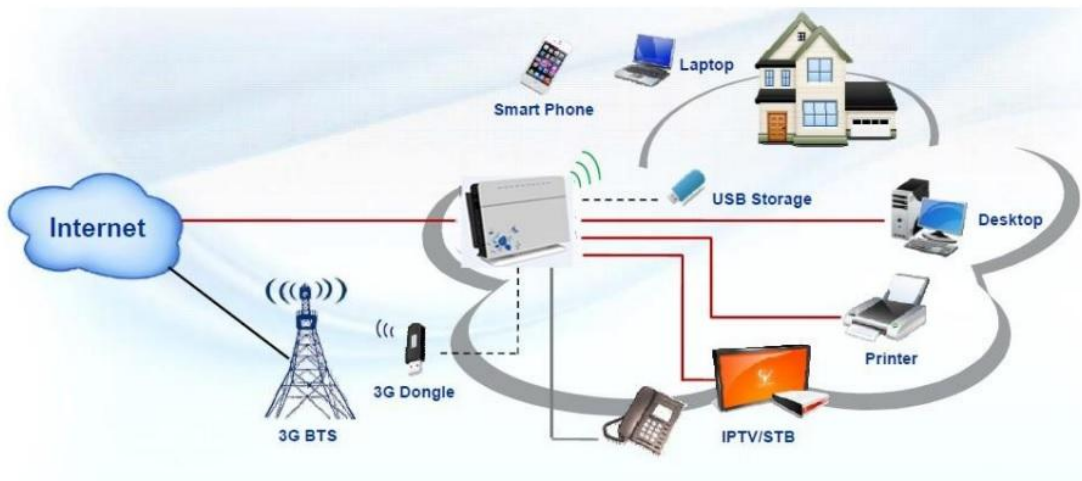
Ένα οικιακό M2M δίκτυο κορμού, είναι ένα ετερογενές δίκτυο, το οποίο αποτελείται από ένα δίκτυο κορμού, το λεγόμενο και ως backbone network και από πολλαπλά υποδίκτυα, τα λεγόμενα multiple subnetworks. Στο δίκτυο κορμού υπάρχει ένας κεντρικός κόμβος, γνωστός και ως Home Gateway (HAN/GW), ο οποίος είναι υπεύθυνος για την συλλογή των δεδομένων από τις συσκευές και την διασύνδεση του οικιακού δικτύου με άλλα δίκτυα, και κυριότερα το Διαδίκτυο. Τα υποδίκτυα λειτουργούν αυτόνομα και συνδεδεμένα με τον HAN/GW, συνδέονται με τα υπόλοιπα υποδίκτυα. Οι κόμβοι δέχονται και αποστέλλουν και εντολές από τον HAN/GW.

Ο Home Gateway πρέπει να μπορεί να προσαρμόζεται σε μεταβλητές παραμέτρους και συνθήκες και να είναι σε θέση να αλληλεπιδρά με εσωτερικές συσκευές, δίκτυα και με εξωτερικά δίκτυα-κυρίως το Διαδίκτυο. Ένας συνηθισμένος Home Gateway εκτελεί κάποιες βασικές λειτουργίες.

Με την χρήση της IP τεχνολογίας ο Home Gateway συνδέει ετερογενή δίκτυα μεταξύ τους. Άλλη λειτουργία είναι η διαχείριση συσκευών και πόρων μέσω των (διεθνών) προτύπων UPnP (Universal Plug-and-Play (UPnP) και Digital Living Network Alliance (DLNA). Βασική προϋπόθεση για την λειτουργία αυτή είναι η εξασφάλιση του QoS και η προστασία των δεδομένων από κυβερνοεπιθέσεις. Τέλος, μια ακόμη λειτουργία είναι η κατανομή κάθε εργασίας σε μικρότερες εντολές και διαδικασίες, και πιο συγκεκριμένα πριν από κάθε M2M επικοινωνία, το περιεχόμενο της κάθε εντολής που εκχωρείται από τον χρήστη προς το οικιακό δίκτυο να αναλύεται και να επεξεργάζεται με σκοπό να γίνει σαφές σε ποιο κόμβο πρέπει να προωθηθεί και ποια εργασία θα πρέπει αυτός να εκτελέσει.

Ο HAN/GW έχει ως στόχο την διαχείριση της κίνησης από τον σταθμό βάσης του 3G/4G δικτύου προς το εσωτερικό δίκτυο (downlink) και της κίνησης από το εσωτερικό οικιακό δίκτυο προς τον σταθμό βάσης του 3G/4G δικτύου (uplink) σε μια κατοικία. Συνήθως οι έξυπνες συσκευές μιας οικίας συνδέονται στον HAN/GW, ο οποίος στη συνέχεια προωθεί τα δεδομένα προς τον σταθμό βάσης. Για να εξοικονομηθούν τηλεπικοινωνιακοί πόροι και να μην υπερφορτωθεί το δίκτυο θα μπορούσαν να ταξινομηθούν τα δεδομένα και να αποστέλλονται σε ώρες που δεν υπάρχει μεγάλη τηλεπικοινωνιακή κίνηση. Βέβαια σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης (πυρκαγιά, εισβολή διαρρηκτών, επικίνδυνα αέρια κ.τ.λ.) θα υπάρχει προτεραιότητα.

Τέλος ο HAN/GW θα πρέπει να μπορεί να ταξινομεί τα δεδομένα που του αποστέλλει ο χρήστης μέσω του δικτύου ώστε να καταναίμει ορθά τις εντολές στις έξυπνες συσκευές για την αποτελεσματική ολοκλήρωσή τους.



Σχήμα 5.1 Σχηματική απεικόνιση της λειτουργίας ενός HAN/GW [15].

Οι κυριότερες κατηγορίες δικτύων σε ένα Smart Home είναι το *Body Area Network* (bAN- Δίκτυο Περιοχής Σώματος) που αναφέρεται σε M2M επικοινωνίες σε αποστάσεις μικρότερες των 2 μέτρων και εφαρμόζονται πάνω στο ανθρώπινο σώμα, το *Personal Area Network* (PAN- Δίκτυο Προσωπικής Περιοχής), που αναφέρεται σε επικοινωνίες που λαμβάνουν χώρα εντός οικίας σε αποστάσεις έως 10 μέτρα. Άλλο ένα είναι το *Local Area Network* (LAN-Δίκτυο Τοπικής

Περιοχής), το οποίο αφορά επικοινωνίες μεταξύ των εσωτερικών δικτύων με το εξωτερικό ή M2M συσκευών στο εσωτερικό δίκτυο, με χρήση υψηλής ταχύτητας.

5.2 Τοπολογίες δικτύων Smart Home

Παρακάτω παρουσιάζονται οι διάφορες τοπολογίες των δικτύων που μπορεί να συναντήσει κάποιος σε ένα Smart Home.

Η πιο γνωστή τοπολογία είναι το *Wireless Sensor Networks (WSN)*, όπου πρόκειται για ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων, το οποίο αποτελούν αυτόνομοι αισθητήρες κατανεμημένοι ώστε να παρακολουθούν φυσικά φαινόμενα. Μετρούν συνήθως θερμοκρασία, ατμοσφαιρική πίεση, ένταση ήχου κτλ.

Ένα WSN αποτελείται από εκατοντάδες ή και χιλιάδες κόμβους έκαστος των οποίων συνδέεται σε έναν ή περισσότερους αισθητήρες. Χαρακτηριστικά ενός WSN κόμβου είναι ένας πομποδέκτης με εσωτερική/εξωτερική κεραία, ένας μικροελεγκτής, το κύκλωμα διασύνδεσης με τους αισθητήρες και η πηγή ηλεκτρικής ενέργειας – που συνήθως πρόκειται για ηλεκτροσυσσωρευτή. Όσον αφορά το κόστος τους, κυμαίνεται από μερικά ευρώ έως εκατοντάδες ευρώ αναλόγως του πόσο πολύπλοκη κατασκευή εμπεριέχει, ενώ το μέγεθός τους είναι μικρό. Αναλόγως του πόσο μικρός είναι ένας κόμβος, έχει σαν αποτέλεσμα περιορισμό σε πόρους όπως υπολογιστική ισχύς, εύρος ζώνης, κατανάλωση ενέργειας και μέγεθος μνήμης.

Χαρακτηριστικά γνωρίσματα του WSN αποτελούν ο περιορισμός κατανάλωσης ενέργειας, η ετερογένεια που υπάρχει στους κόμβους καθώς επίσης και η κινητικότητα, όπως και η ικανότητα κλιμάκωσης του δικτύου. Επιπλέον πρέπει να ανταπεξέρχεται σε δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες, αλλά και σε δίκτυο εντός κάποιας οικίας. Οι σταθμοί βάσης έχουν αρκετή υπολογιστική ισχύ, πόρους και ενέργεια για επικοινωνία. Ενεργούν ως το ενδιάμεσο των κόμβων αισθητήρων και του τελικού χρήστη, προωθώντας δεδομένα από το WSN σε

κάποιον διακομιστή. Ενώ οι κόμβοι των αισθητήρων τις περισσότερες φορές έχουν περιορισμένη μνήμη και περιορισμένη υπολογιστική ισχύ. Δεν είναι σπάνιο φαινόμενο ένας κόμβος να τεθεί εκτός λειτουργίας, και αν αυτός είναι ο κεντρικός, υπάρχει προνόηση ώστε να παρέχονται εναλλακτικοί κόμβοι για την μετάδοση των δεδομένων.

Ο σημαντικότερος πόρος σε ένα δίκτυο WSN είναι η ενέργεια, αφού αυτή καθορίζει την διάρκεια λειτουργίας του. Επιπλέον η ad-hoc λειτουργία αποτελεί αναγκαία προϋπόθεση, αφού τα WSN εγκαθίστανται σε μεγάλο αριθμό σε διαφορετικά περιβάλλοντα και σπάνια σε απομακρυσμένα ή και εχθρικά, έτσι πρέπει να έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής, αντοχή στις συνθήκες του περιβάλλοντος, ανοχή σε τυχόν σφάλματα και να έχουν αυτορρύθμιση. Δεν είναι σπάνιο το φαινόμενο οι κόμβοι να διακόπτουν κατά διαστήματα την εκπομπή και την λήψη δεδομένων, όταν δε χρησιμοποιούνται, για την εξοικονόμηση ενέργειας. Οι κυριότερες εφαρμογές των WSN είναι:

1. Παρακολούθηση Smart Home
2. Εφαρμογές στην γεωργία
3. Βιομηχανική καταγραφή και παρακολούθηση δεδομένων
4. Ανίχνευση κατολισθήσεων
5. Παρακολούθηση δασών για ανίχνευση πυρκαγιών
6. Παρακολούθηση ατμοσφαιρικής ρύπανσης
7. Γεωσκόπηση
8. Παρακολούθηση περιοχών

Μια άλλη τοπολογία είναι το *Wireless Mesh Networks (WMN)*, όπου αποτελείται από κόμβους οι οποίοι είναι οργανωμένοι σε τοπολογία πλέγματος. Περιλαμβάνει gateways, δρομολογητές και τερματικούς κόμβους. Οι κόμβοι αυτοί μπορεί να είναι φορητοί υπολογιστές, κυψελωτά τηλέφωνα ή φορητές συσκευές. Ο ρόλος των δρομολογητών είναι να προωθούν τα δεδομένα από και προς τους gateways, οι οποίοι τις περισσότερες φορές είναι συνδεδεμένοι στο Διαδίκτυο. Όταν ένας κόμβος παύει να λειτουργεί, οι υπόλοιποι κόμβοι συνεχίζουν να

ανταλλάσσουν δεδομένα είτε μέσω ενδιάμεσων κόμβων είτε απευθείας. Επιπλέον τα WMN έχουν την δυνατότητα να αυτοοργανώνονται και να αυτοδιορθώνονται σε περίπτωση βλάβης.

Ένα WMN δίκτυο μπορεί να λειτουργεί αποκεντρωμένα, χωρίς δηλαδή να ελέγχεται από κάποιον κεντρικό κόμβο, είτε και να ελέγχεται από κάποιον κεντρικό κόμβο. Η κατασκευή και των 2 αυτών περιπτώσεων είναι χαμηλού κόστους και επειδή κάθε κόμβος μεταδίδει μόνο στους γειτονικούς του, είναι ανθεκτική και με αξιοπιστία. Με εφαρμογή δυναμικών αλγορίθμων δρομολόγησης που εξασφαλίζουν τη πιο σύντομη διαδρομή των δεδομένων προς τον τελικό αποδέκτη, είναι εφικτό κάθε κόμβος να λειτουργεί ως ενδιάμεσος δρομολογητής για την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ 2 κόμβων που έχουν μεγάλη απόσταση μεταξύ τους.

Όπως είναι διαρρυθμισμένα τα WMN, επιτρέπουν σχηματισμό δυναμικών δικτύων χαμηλού κόστους με μεγάλο εύρος ζώνης, έτσι λοιπόν υπάρχουν σταθερές τοπολογίες εκτός των περιπτώσεων απρόσμενης αστοχίας ή της προσθήκης ενός νέου κόμβου.

Τα WMN χρησιμοποιούνται σε δυσμενείς περιβάλλοντα, όπως για παράδειγμα σε εξέδρες άντλησης πετρελαίου, καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, σήραγγες, σε στρατιωτικό περιβάλλον, για εφαρμογές υψηλής ταχύτητας βίντεο, σε τηλεμετρία αγωνιστικών αυτοκινήτων και εφαρμογές VoIP. Τέλος, μερικά γνωστά πρωτόκολλα είναι τα ZRP, TORA, OSFP, OLSR, DSR, DSDV, AODV.

Τέλος, υπάρχει η τοπολογία *Mobile Ad-Hoc Network (MANET)*. Είναι ένα κυψελωτό δίκτυο επικοινωνιών συσκευών που έχουν την ικανότητα να συνδέονται μεταξύ τους ασυρματα. Επιπλέον μπορεί να αυτορυθμίζεται. Κάθε συσκευή του δικτύου μπορεί να μετακινείται προς κάθε κατεύθυνση ελεύθερα, έτσι γίνεται αντιληπτό πως μεταβάλλονται οι συνδέσεις της συσκευής με τις υπόλοιπες. Κάθε κόμβος λειτουργεί και ως δρομολογητής, αφού προωθεί τα δεδομένα που δε σχετίζονται με αυτόν. Σημαντικό χαρακτηριστικό αυτής της τοπολογίας είναι πως πρέπει να ενημερώνεται ο πίνακας δρομολόγησης κάθε συσκευής, έτσι ώστε να διατηρούνται, συνεχώς, οι πληροφορίες που θα καθορίζουν την δρομολόγηση της πληροφορίας. Οι πιο γνωστοί τύποι MANETs είναι οι ακόλουθοι:

-
1. *Internet-based Mobile Ad-Hoc Networks (iMANETs)*: Πρόκειται για Ad-Hoc δίκτυα τα οποία συνδέουν κινητούς κόμβους με σταθερούς Internet-gateway κόμβους.
 2. *Vehicular Ad-Hoc Networks (VANETs)*: Αφορούν επικοινωνία μεταξύ οχημάτων αλλά και ανάμεσα σε οχήματα που κινούνται.
 3. *Intelligent Vehicular Ad-Hoc Networks (InvANETs)*: Προσφέρουν κάτι παρεμφερές με τεχνητή νοημοσύνη και βοηθά τα οχήματα να συμπεριφέρονται με ευφυή τρόπο για αποφυγή συγκρούσεων μεταξύ οχημάτων, αλλά και κατά την διάρκεια τους.

Τα πιο γνωστά πρωτόκολλα δρομολόγησης των MANETs είναι τα εξής:

1. Τα *προληπτικά*, τα οποία λειτουργούν με περιοδική διατήρηση της δρομολόγησης (FSR, DSDV, OLSR, Babel, DREAM).
2. Τα *αντιδραστικά*, τα οποία λειτουργούν με διαμόρφωση της δρομολόγησης ύστερα από απαίτηση (RDMAR, AAODV, DSR).
3. Τα *υβριδικά*, τα οποία λειτουργούν με συνδυασμό των δύο προηγούμενων ανάλογα την περίπτωση (ToRA, ZRP).
4. Τα *γεωγραφικά*, τα οποία χρησιμοποιούν πληροφορίες σχετικά με την θέση των κινητών κόμβων (ZHLS, LAR, GRID, Greedy, FACE).
5. Τα *ιεραρχικά*, τα οποία είναι βασισμένα σε συγκεκριμένη δομή σχετικά με συγκεκριμένους κόμβους, οι οποίοι έχουν καθορισμένους ρόλους (DRBD, HSR, VSR).

5.3 Υπηρεσίες Smart Home

Το Smart Home (Έξυπνο Σπίτι) βασίζεται στον Οικιακό Αυτοματισμό (Home Automation), και αναφέρεται στην εισαγωγή αυτοματισμού στην κατοικία με σκοπό την βελτίωση της ποιότητας ζωής των κατοίκων που απορρέει από την παροχή νέων υπηρεσιών. Αν και το Έξυπνο Σπίτι βασίζεται σε υπηρεσίες που υλοποιούνται μέσω ενσύρματης υποδομής, η ασύρματη σύνδεση κερδίζει συνεχώς έδαφος, αφού είναι πιο εύκολη στην εγκατάσταση. Έτσι ένα Έξυπνο Σπίτι που χρησιμοποιεί ασύρματη δικτύωση, χρησιμοποιεί πλήθος έξυπνων συσκευών και αισθητήρων. Παρακάτω γίνεται αναφορά στις κυριότερες υπηρεσίες του Smart Home:

1. *Έξυπνη καταγραφή μετρήσεων:* Όπου ο ένοικος μπορεί να έχει γνώση της κατανάλωσης ενέργειας στην κατοικία του, με λεπτομερή στοιχεία και γραφήματα όσον αφορά τις ώρες λειτουργίας και την χρήση των έξυπνων συσκευών αλλά και του υπόλοιπου εξοπλισμού.
2. *Έξυπνη ρύθμιση κατανάλωσης ενέργειας:* Σε αυτή την περίπτωση, ο ένοικος θα είναι σε θέση να ρυθμίζει την λειτουργία των έξυπνων συσκευών που θα έχει ως στόχο την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας επιλέγοντας ποιες συσκευές θα λειτουργούν, σε ποιες ώρες της ημέρας, και για πόσο χρονικό διάστημα, καθώς επίσης και για το αν χρειάζονται αντικατάσταση.
3. *Έξυπνο κλείδωμα και σύστημα αυτόματης ασφάλειας:* Σε περίπτωση που ανιχνευθεί παραβίαση ή επίθεση εναντίον μιας κατοικίας, το σύστημα ειδοποιεί τον χρήστη με την αποστολή e-mail ή SMS. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα αυτόματης ασφάλισης της κατοικίας όποτε ο χρήστης εξέρχεται από αυτήν και η αυτόματη απενεργοποίηση όταν αυτός επιστρέφει.
4. *Έλεγχος έξυπνων συσκευών:* Όπως γίνεται αντιληπτό από τις προηγούμενες αναφορές, στο εσωτερικό μιας έξυπνης κατοικίας θα υπάρχει πλήθος έξυπνων συσκευών, όπου οι κάτοικοι θα έχουν τη δυνατότητα να τις διαχειρίζονται μέσω smartphone, tablet ή laptop, ακόμα και σε περιπτώσεις που απουσιάζουν. Έτσι θα είναι δυνατό να

απενεργοποιούνται οι έξυπνες συσκευές (φούρνοι, τηλεοράσεις, συστήματα ψύξης και θέρμανσης, συστήματα φωτισμού), για να εξοικονομείται ενέργεια.

5. *Έλεγχος κλιματισμού:* Ο χρήστης μέσω κατάλληλων εφαρμογών σε smartphone, tablet θα μπορεί να ελέγχει το σύστημα θέρμανσης και ψύξης της κατοικίας του, ακόμα και από απόσταση. Θα υπάρχει η δυνατότητα να ρυθμίζονται αυτόματα τα συστήματα αυτά με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας, ανάλογα με το επίπεδο θερμοκρασίας και υγρασίας που επικρατεί εντός της οικίας. Επιπλέον θα είναι δυνατή η ανίχνευση τυχόν επιβλαβών αερίων εντός της κατοικίας.
6. *Έλεγχος φωτισμού:* Ο χρήστης θα έχει τη δυνατότητα να ελέγχει τον φωτισμό της κατοικίας είτε βρίσκεται εντός αυτής είτε από απόσταση, με χρήση εφαρμογών σε tablet ή smartphone και χρήση κατάλληλου εξοπλισμού. Θα μπορεί να ενεργοποιεί και να απενεργοποιεί τον φωτισμό και να καθορίζει την έντασή τους. Επιπλέον ο φωτισμός θα μπορεί να ρυθμίζεται από πριν και να προσαρμόζεται με αυτό το τρόπο σε συγκεκριμένες καταστάσεις της ημέρας ή ανάλογα τη διάθεση των ενοίκων. Τέλος, ο φωτισμός θα μπορεί να απενεργοποιείται όταν οι ένοικοι λείπουν από το σπίτι και να ενεργοποιείται όταν βρίσκονται εντός αυτού.
7. *Έξυπνη παρακολούθηση:* Εδώ δίνεται η δυνατότητα παρακολούθησης μέσω καμερών, που βρίσκονται συνδεδεμένες στο διαδίκτυο, της κατάστασης στην οποία βρίσκεται η κατοικία, κυρίως κατά την απουσία των ενοίκων. Επιπλέον μπορεί να γίνεται επιτήρηση ατόμων με ειδικές ανάγκες, ηλικιωμένων και να επεμβαίνει ιατρικό προσωπικό όποτε αυτό κρίνεται απαραίτητο.



Σχήμα 5.2 Εφαρμογές του Smart Home[28].

5.4 Εμπορικές λύσεις

Μεγάλες εταιρείες του χώρου των τηλεπικοινωνιών έχουν αναπτύξει και προτείνουν λύσεις Smart Home. Παρακάτω παρουσιάζονται τα πιο γνωστά από αυτά.

Η *Apple* έχει αναπτύξει το *HomeKit*, το οποίο αποτελεί μια πλατφόρμα με την οποία υπάρχει κοινή γλώσσα επικοινωνίας για έξυπνες συσκευές έτσι ώστε αυτές να έχουν την δυνατότητα να συνεργάζονται και να επικοινωνούν μεταξύ τους. Επιπλέον, το *HomeKit* υποστηρίζει την λειτουργία *Siri* (ψηφιακή βοηθός των συσκευών *Apple*) ώστε να μπορεί ο χρήστης να ελέγχει με φωνητικές εντολές μέσω του *tablet* ή του κινητού του τις έξυπνες συσκευές της οικίας του. Με το *HomeKit* δεν απαιτείται η χρήση διαφορετικής εφαρμογής για κάθε συσκευή ενώ μπορεί να γίνει ομαδοποίηση των συσκευών σε ολοκλήρη την κατοικία ή σε επιμέρους χώρους και να ελέγχονται με μία εντολή *Siri*. Τέλος, το *HomeKit*, έχει την δυνατότητα να συνεργάζεται και με συσκευές που δε το υποστηρίζουν, με χρήση άλλων πρωτοκόλλων

(ZigBee, Bluetooth) εκτός του WiFi. Με αυτό το τρόπο η Apple, θα επιτρέψει να συνδέονται έως 100 συσκευές ώστε να γίνεται εφικτή η επικοινωνία μεταξύ πολλών έξυπνων συσκευών.



Σχήμα 5.3 Το Apple Homekit [15].

Η *Samsung* έχει κυκλοφορήσει το *SmartThings*, στο οποίο ο χρήστης εγκαθιστά την αντίστοιχη εφαρμογή στο smartphone του και αποκτά έτσι τον έλεγχο των έξυπνων συσκευών της οικίας του. Ο χρήστης μπορεί να δίνει εντολές για συγκεκριμένες λειτουργίες, ενώ ενημερώνεται για την κατάσταση του σπιτιού του καθώς και έξυπνων συσκευών. Παρέχεται η δυνατότητα απομακρυσμένου ελέγχου του σπιτιού του και ενημέρωση του τι συμβαίνει στο εσωτερικό του. Απαραίτητο εξάρτημα του συγκεκριμένου προτύπου αποτελεί ένας gateway με την ονομασία *Hub*, ο οποίος συνδέεται μέσω καλωδίου με το router του σπιτιού και επικοινωνεί στην συνέχεια με τις έξυπνες συσκευές της οικίας, κατά προτίμηση μέσω ZigBee ακόμη και αν αυτές δεν έχουν κατασκευαστεί από τη *Samsung*. Έτσι με την εγκατάσταση του *Hub* και της αντίστοιχης εφαρμογής σε μια κατοικία και την σύνδεση με τις έξυπνες συσκευές, έχουμε ένα *Smart Home*.



Σχήμα 5.4 Αριστερά κάτω διακρίνεται το Samsung Hub [29].

Η πρόταση της *Google* είναι το *Google Brillo*. Είναι ένα λειτουργικό σύστημα για χρήση από έξυπνες συσκευές, που προέρχεται από το *Android* και έχει να κάνει με επικοινωνία έξυπνων συσκευών μέσω *WiFi* και *BLE* μεταξύ τους καθώς και με *smartphones*, *tablets*, *Διαδίκτυο*. Η *Google* υποστηρίζει πως το *IoT* πρέπει να στηρίζεται περισσότερο σε εφαρμογές κυψελωτών τηλεφώνων παρά στο *Διαδίκτυο*. Έτσι ανέπτυξε ένα ενιαίο λειτουργικό σύστημα, με σκοπό οι έξυπνες συσκευές να μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους, ακόμη και αν έχουν κάποια ετερογένεια. Η *Google* πέρα από το *Brillo*, παρουσίασε και το *Weave*, το οποίο θα καθιστά εφικτή την επικοινωνία των *IoT* συσκευών μεταξύ τους, μια ενιαία πλατφόρμα που θα έχει την δυνατότητα να υποστηρίζει σύνδεση και επικοινωνία των συσκευών στο *Smart Home* και γενικότερα στον χώρο του *IoT*.

Στην συνέχεια αναφέρονται επιγραμματικά κάποια εμπορικά προϊόντα που κυκλοφορούν στην αγορά ή βρίσκονται στο τελικό στάδιο πριν την κυκλοφορία τους, και έχουν σαν στόχο τη βελτίωση της ζωής του ανθρώπου.

- *Philips Hue*: είναι ένα σύστημα φωτισμού της κατοικίας, όπου ο χρήστης μπορεί ανα πάσα στιγμή να μεταβάλλει από το smartphone του την ένταση καθώς και τα χρώματα του φωτισμού και προσφέρεται η δυνατότητα ρύθμισης του φωτισμού από πριν.
- *Nest Thermostat*: είναι ένας αυτορυθμιζόμενος θερμοστάτης, ο οποίος παρέχει αυτόματο και ακριβή έλεγχο θερμοκρασίας της κατοικίας, ενώ μπορεί και συνδέεται μέσω WiFi με τον κεντρικό σύστημα θέρμανσης.
- *Goji*: πρόκειται για ένα σύστημα ασφαλείας το οποίο τοποθετείται σε πόρτες και παράθυρα και υπάρχει η δυνατότητα άμεσης ενημέρωσης του χρήστη με παροχή φωτογραφιών των ατόμων που επιχειρούν να εισέλθουν. Κάνει χρήση των πρωτοκόλλων WiFi και Bluetooth.
- *Chamberlain MYQ Garage*: δίνει την δυνατότητα στον ένοικο να χειρίζεται τη πόρτα του γκαράζ του από το smartphone του, επιπλέον το σύστημα μπορεί από μόνο του να αντιλαμβάνεται αν ο χρήστης πλησιάζει ή απομακρύνεται και να ανοίγει ή κλείνει τη πόρτα από μόνο του.
- *Honeywell Lyric Thermostat*: πρόκειται για θερμοστάτη παρόμοιο με τον Nest Thermostat, με τη διαφορά ότι έχει τη δυνατότητα να προσαρμόζει τα επίπεδα θερμοκρασίας ανάλογα με την παρουσία ή απουσία των ενοίκων, τον καιρό και τα επίπεδα υγρασίας.

-
- *Sleep Number C2 Bed*: είναι κρεβάτι που καταγράφει τον ύπνο του χρήστη, τη διάρκεια του, τις κινήσεις του, καθώς και τους παλμούς της καρδιάς του και μπορεί έτσι να παρέχει συμβουλές για την βελτίωση του ύπνου.
 - *Canary*: πρόκειται για ένα σύστημα ασφαλείας το οποίο παρέχει προστασία από εισβολές και διαθέτει κάμερα, αισθητήρες υγρασίας και αέρα.
 - *Nest Smoke + CO Alarm*: έχει τη δυνατότητα να ανιχνεύει την ύπαρξη επιβλαβών αερίων και καπνού στο οικιακό περιβάλλον και ειδοποιεί άμεσα το χρήστη για τον ενδεχόμενο κίνδυνο.
 - *Sentri*: είναι σύστημα θέρμανσης και παρακολούθησης τη κατοικίας με κάμερα. Έχει την δυνατότητα βίντεο-κλήσης μέσω ειδικής εφαρμογής για smartphones.

Κεφάλαιο 6 : Ο εξωτερικός μετρητής της οικίας

6.1 Εισαγωγή

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά όλα τα στοιχεία από τα οποία αποτελείται ο εξωτερικός μετρητής, καθώς και η αιτιολόγηση της επιλογής τους.

6.2 Κύρια Μονάδα Ελέγχου εξωτερικού μετρητή

Για την κατασκευή του τελικού μετρητή που καταμετρά την κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος γίνεται χρήση του συστήματος Arduino. Συγκεκριμένα χρησιμοποιείται το σύστημα Arduino MEGA 2560, το οποίο διαθέτει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:



Σχήμα 6.1 Η μονάδα Arduino MEGA 2560 στην οποία βασίζεται το κυριότερο μέρος του μετρητή [30].

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 15 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Length	101.52 mm
Width	53.3 mm
Weight	37 g

Σχήμα 6.2 Χαρακτηριστικά του Arduino MEGA 2560 [30].

Ο προγραμματισμός του συστήματος Arduino MEGA 2560 γίνεται μέσω του περιβάλλοντος Arduino Software (IDE). Ο μικροελεγκτής ATmega2560, στο Arduino Mega 2560, είναι προγραμματισμένος από πριν με bootloader που επιτρέπει να φορτωθεί νέος κώδικας στο σύστημα, χωρίς την χρήση εξωτερικού hardware προγραμματιστή. Επικοινωνεί χρησιμοποιώντας το STK500 πρωτόκολλο.

Ένας άλλος τρόπος προγραμματισμού του μικροελεγκτή είναι μέσω του λεγόμενου ICSP (In-Circuit Serial Programming) μέσω του Arduino ISP (in-system programmer) ή κάποιου παρόμοιου προγραμματιστή.

Ο μικροελεγκτής ATmega16U2/8U2 έχει φορτωμένο το λεγόμενο DFU bootloader, το οποίο μπορεί να ενεργοποιηθεί στα μεν Rev1 συστήματα, ενώνοντας το jumper στο πίσω μέρος της πλακέτας και επανεκκινώντας το 8U2. Ενώ στα Rev2 συστήματα υπάρχει ένας αντιστάτης που

γειώνει το 8U2/16U2 hardware κάνοντας πιο εύκολη την διαδικασία τοποθέτησης του σε DFU κατάσταση. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί το λογισμικό FLIP της Atmel και να φορτωθεί στην συσκευή το νέο firmware. Εναλλακτικά μπορεί να συνδεθεί η ISP κεφαλή με έναν εξωτερικό προγραμματιστή (κάνοντας ένα overwriting στον bootloader).

Το Arduino MEGA 2560 έχει σύστημα (polyfuse) που προστατεύει την θύρα USB του υπολογιστή από βραχυκυκλώματα και υπερτάσεις. Παρόλο που οι σύγχρονοι ηλεκτρονικοί υπολογιστές έχουν δικά τους συστήματα προστασίας, η ασφάλεια (fuse) παρέχει ένα επιπλέον επίπεδο προστασίας. Αν παραπάνω από 500mA διαρεύσουν σε μία USB θύρα, η ασφάλεια θα σταματήσει αυτόματα τη σύνδεση μέχρι το βραχυκύκλωμα ή η υπέρταση να σταματήσουν.

Το Arduino MEGA 2560 μπορεί να τροφοδοτηθεί μέσω θύρας USB ή με τροφοδοτικό. Η πηγή τροφοδοσίας επιλέγεται αυτόματα.

Η εξωτερική τροφοδοσία (χωρίς USB) μπορεί να προέρθει είτε από τροφοδοτικό (πρίζα τοίχου), είτε από ηλεκτροσυσσωρευτή. Ο υποδοχέας μπορεί να συνδεθεί μέσω χρήσης ενός υποδοχέα 2.1mm στην πλακέτα.

Η πλακέτα μπορεί να λειτουργήσει με εξωτερική πηγή τροφοδοσίας με τιμές 7 έως 12Volts. Αν όμως τροφοδοτηθεί με τάση μικρότερη των 7Volt, ο ακροδέκτης των 5Volt, θα τροφοδοτήσει την πλακέτα με λιγότερα από 5Volt τάση και το σύστημα θα γίνει ασταθές. Αν χρησιμοποιηθούν πάνω από 12Volt, ο σταθεροποιητής τάσης (voltage regulator) μπορεί να υπερθερμανθεί και να καταστραφεί η πλακέτα. Η συνιστώμενη τάση τροφοδοσίας είναι 7 με 12Volts

Οι ακροδέκτες ρεύματος (power pins) είναι οι εξής:

Vin: Η τάση εισόδου στην πλακέτα, όταν χρησιμοποιεί εξωτερική πηγή (σε αντιδιαστολή με τα 5Volt από την σύνδεση USB ή άλλη σταθεροποιημένη πηγή). Η πλακέτα μπορεί να τροφοδοτηθεί μέσω αυτού του ακροδέκτη. Αντίθετα αν τροφοδοτηθεί η πλακέτα μέσω της υποδοχής ρεύματος (power jack), μπορεί να υπάρχει πρόσβαση στην τάση μέσω αυτού του ακροδέκτη (*Vin*).

5V: Αυτός ο ακροδέκτης δίνει σαν έξοδο (output) τα 5Volt από τον σταθεροποιητή τάσης που βρίσκεται στην πλακέτα.

3V3: Είναι ο ακροδέκτης από όπου μπορεί να τροφοδοτηθεί ένα σύστημα με τάση 3.3Volt που παράγεται από τον σταθεροποιητή τάσης που είναι ενσωματωμένος στην πλακέτα. Το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να υποστηρίξει αυτός ο ακροδέκτης είναι 50mA.

GND: Είναι οι ακροδέκτες γείωσης.

IREF: Ο ακροδέκτης αυτός παρέχει την τάση αναφοράς, στην οποία ο μικροελεγκτής λειτουργεί. Είναι χρήσιμος στις περιπτώσεις που χρησιμοποιείται κάποιο περιφερειακό (shield), το οποίο «διαβάζοντας» την τάση του ακροδέκτη προσαρμόζει και αυτό την τάση του, είτε στα 5Volt είτε στα 3.3Volt ώστε να μπορέσει να επικοινωνήσει με τον μικροελεγκτή όταν απαιτείται.

Μνήμη:

Ο μικροελεγκτής ATmega2560 διαθέτει 256Kbyte μνήμη flash για αποθήκευση του κώδικα (εκ των οποίων 8Kbyte χρησιμοποιούνται από τον bootloader), 8Kbyte SRAM και 4 Kbyte EEPROM.

Ακροδέκτες εισόδου/εξόδου:

Κάθε ένας από τους 54 ψηφιακούς ακροδέκτες του Arduino MEGA, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν είσοδο ή έξοδο χρησιμοποιώντας τις συναρτήσεις `pinMode()`, `digitalWrite()`, `digitalRead()`. Λειτουργούν στην τάση των 5Volt, ενώ κάθε ακροδέκτης μπορεί να χρησιμοποιήσει μέγιστο ρεύμα της τάξης των 20mA και έχει συνδεδεμένη μία pull-up αντιστάση (η οποία αρχικά είναι αποσυνδεδεμένη) με τιμή μεταξύ 20kOhm – 50kOhm. Το μέγιστο ρεύμα που δεν πρέπει να ξεπεράσει κάθε ακροδέκτης, για να μην καταστραφεί ο μικροελεγκτής, είναι τα 40mA.

Ορισμένοι ακροδέκτες διαθέτουν συγκεκριμένη λειτουργία. Για την *Σειριακή Επικοινωνία*, χρησιμοποιούνται οι ακόλουθοι ακροδέκτες με την λειτουργία τους σε παρένθεση:

Σειριακή Επικοινωνία 0 (serial 0): ακροδέκτης 0 (Λήψη), ακροδέκτης 1 (Αποστολή)

Σειριακή Επικοινωνία 1 (serial 1): ακροδέκτης 19 (Λήψη), ακροδέκτης 18 (Αποστολή)

Σειριακή Επικοινωνία 2 (serial 2): ακροδέκτης 17 (Λήψη), ακροδέκτης 16 (Αποστολή)

Σειριακή Επικοινωνία 3 (serial 3): ακροδέκτης 15 (Λήψη), ακροδέκτης 14 (Αποστολή)

Όσον αφορά τις *εξωτερικές διακοπές* (external interrupts), αυτές ικανοποιούνται από τους παρακάτω ακροδέκτες:

Ακροδέκτης 2 (interrupt 0)

Ακροδέκτης 3 (interrupt 1)

Ακροδέκτης 18 (interrupt 5)

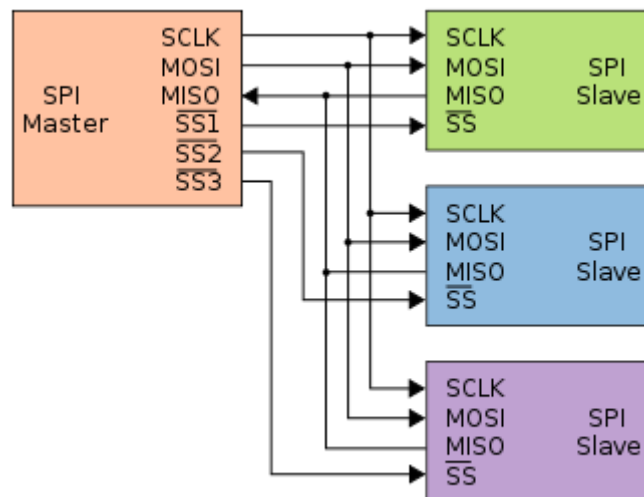
Ακροδέκτης 19 (interrupt 4)

Ακροδέκτης 20 (interrupt 3)

Ακροδέκτης 21 (interrupt 2)

Το Arduino MEGA υποστηρίζει 8-bit Pulse Width Modulation (PWM) στους ακροδέκτες 2 έως 13 και 44 έως 26 με χρήση της συνάρτησης `analogWrite()`.

Υπάρχει υποστήριξη του προτύπου SPI (Serial Peripheral Interface) μέσω των ακροδεκτών 50 (Master Input, Slave Output - MISO), 51 (Master Output, Slave Input - MOSI), 52 (Serial Clock - SCK), 53 (Slave Select - SS) και συναρτήσεων της βιβλιοθήκης SPI library.

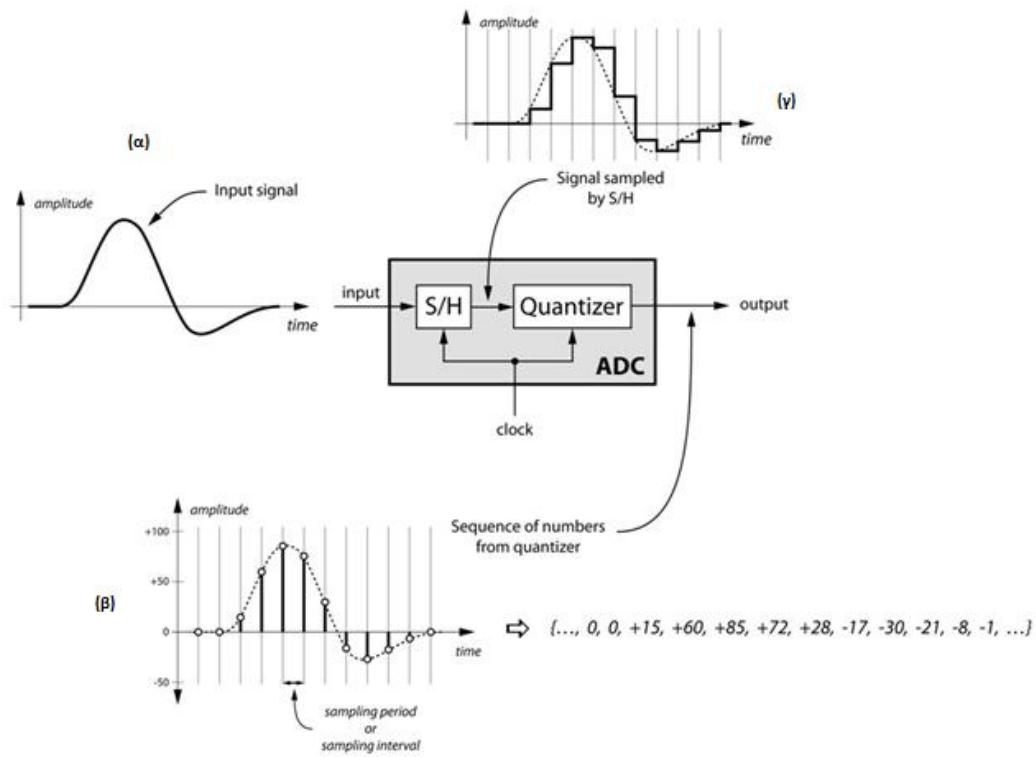


Σχήμα 6.3 Παράδειγμα συνδεσμολογίας SPI [32].

Ένα ακόμη πρωτόκολλο που διαθέτει το συγκεκριμένο σύστημα είναι το TWI (Two Wire Interface) μέσω των ακροδεκτών 20 (SDA) και 21 (SCL)

Το Arduino MEGA 2560 διαθέτει 16 ADC (analog-to-digital converters) 10-bit ανάλυσης, δηλαδή $2^{10} = 1024$ στάθμες. Από την φύση τους οι αναλογικές αυτές εισοδοι μπορούν να μετράνε από 0Volt έως 5Volt, ενώ υπάρχει η δυνατότητα να υποστηρίξει διαφορετικό άνω όριο χρησιμοποιώντας την τάση του ακροδέκτη AREF και με χρήση της συνάρτησης analogReference().

Ο ADC μετατροπέας λειτουργεί ως εξής: δειγματοληπτεί το αναλογικό σήμα κατά τον χρόνο (x άξονας). Στην συνέχεια κβαντοποιεί το σήμα κατά τον γ άξονα. Κβαντοποίηση είναι η δημιουργία διακριτών στάθμων, επομένως το σήμα κατά τον γ άξονα δεν λαμβάνει οποιαδήποτε τιμή αλλά συγκεκριμένες. Ο αριθμός των στάθμων έχει να κάνει με την ανάλυση που διαθέτει ο Α/Ψ μετατροπέας. Στην συγκεκριμένη περίπτωση διαθέτει 10 bits, άρα $2^{10} = 1024$ στάθμες.



Σχήμα 6.4 Λειτουργία ενός Α/Ψ μετατροπέα. (α) το αναλογικό σήμα, (β) δειγματοληψία, (γ) κβαντοποίηση [67].

Άλλος ένας σημαντικός ακροδέκτης είναι αυτός της επανεκκίνησης (reset), ο οποίος όταν τεθεί σε χαμηλή τάση, δηλαδή 0Volt (για θετική λογική), προκαλεί επανεκκίνηση στον μικροελεγκτή.

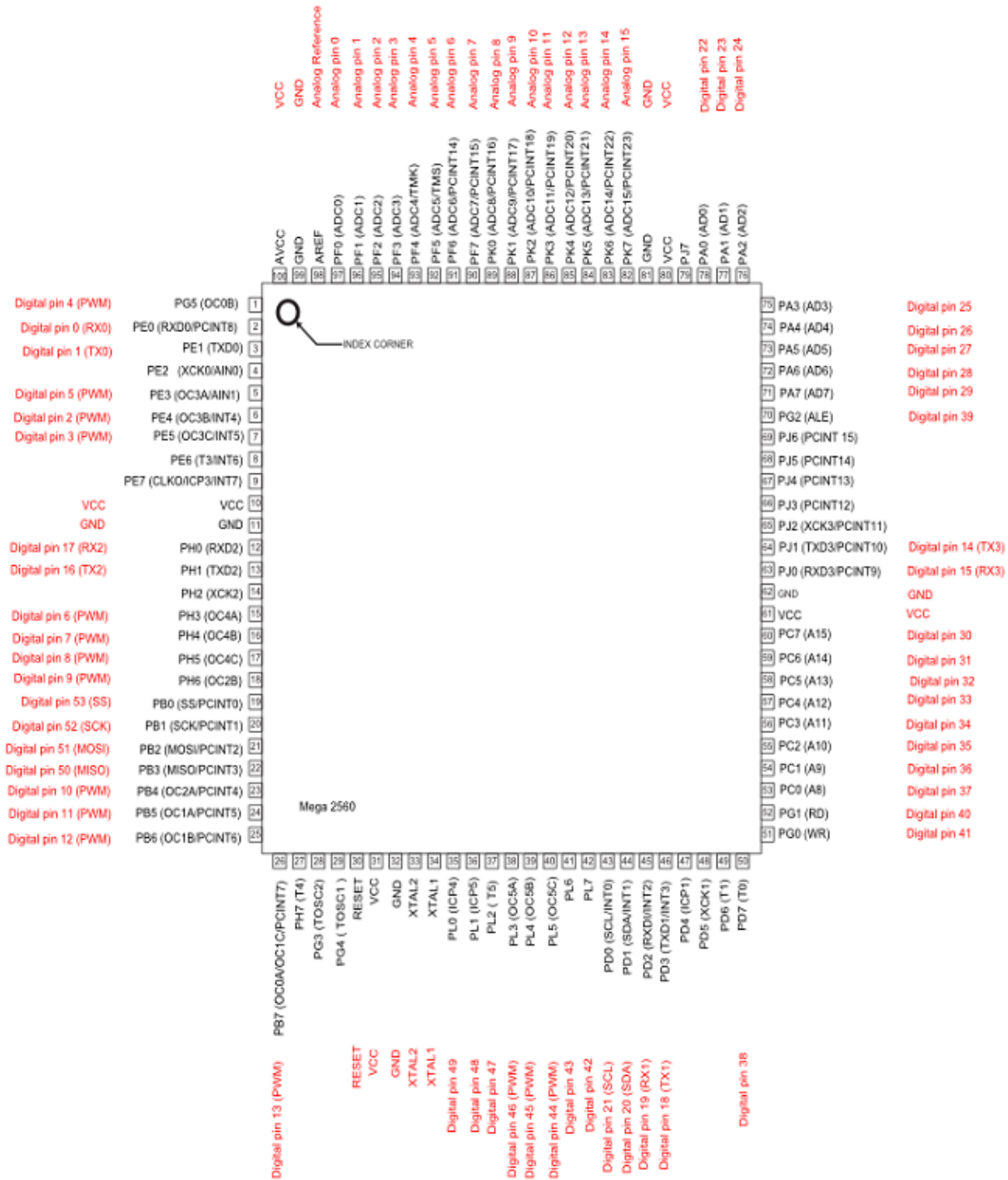
Όσον αφορά την επικοινωνία του Arduino με τον Η/Υ, αυτή επιτυγχάνεται μέσω της Σειριακής Θύρας του Arduino την οποία ο Η/Υ «βλέπει» μέσω της θύρας USB. Το περιβάλλον Arduino IDE περιέχει και serial monitor για αποστολή δεδομένων από τον Η/Υ προς το Arduino και από το Arduino προς τον Η/Υ. Το LED αποστολής (LED RX) και το LED λήψης (LED TX) ενεργοποιούνται κατά την διαδικασία αυτής της επικοινωνίας, δηλαδή μεταξύ Η/Υ και Arduino. Εκτός από τα 4 hardware serials (ή UART – Universal Asynchronous Receiver/Transmitter όπως αλλιώς λέγονται) που διαθέτει το Arduino MEGA, μπορεί να γίνει χρήση Software Serial μέσω της βιβλιοθήκης SoftwareSerial και 2 ψηφιακών ακροδεκτών. Τονίζεται σε αυτό το σημείο πως έπειτα από αρκετά πειράματα που διεξήχθησαν κατά την διάρκεια της κατασκευής αυτής, η χρήση Software Serial στους μικροελεγκτές PIC18F452 έχει αρκετά προβλήματα καθώς υπάρχει αδυναμία συγχρονισμού με αποτέλεσμα να αποστέλλει ή να «διαβάζει» λάθος τα δεδομένα. Επί πλέον στα συστήματα Arduino δεν υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα πάνω από μία Software serial. Αυτός ήταν και ένας λόγος που επιλέχτηκε η λύση του Arduino MEGA 2560, ενώ αρχικά τα πειράματα έγιναν σε Arduino UNO R3 και PIC18F452 (της εταιρείας MICROCHIP).

Παρόλο που στο Arduino υπάρχει button για επανεκκίνηση αυτή γίνεται και αυτόματα πριν το upload του κώδικα από το λογισμικό ανάπτυξης του Arduino. Συγκεκριμένα υπάρχει σύνδεση του ATmega8U2 που υπάρχει στην πλακέτα με τον μικροελεγκτή ATmega2560 μέσω ενός πυκνωτή 100 nF, και όταν το σήμα γίνει 0Volt (δηλαδή χαμηλό για θετική λογική), τότε γίνεται η επανεκκίνηση.

Το Arduino MEGA 2560 δεν χρησιμοποιεί πλέον τον μετατροπέα USB-σε-Σειριακή θύρα της εταιρείας FTDI που χρησιμοποιούσε στο παρελθόν. Χρησιμοποιεί, αντί αυτού, τον μικροελεγκτή ATmega16U2 (ATmega8U2 για την έκδοση 1 και την έκδοση 2 του συστήματος Arduino MEGA 2560). Τονίζεται πως ο μικροελεγκτής ATmega16U2 της μονάδας Arduino MEGA

2560, λειτουργεί σαν ενδιάμεσο μεταξύ της θύρας USB του Η/Υ και του κυρίως επεξεργαστή ATmega2560. Εκτελεί κώδικα που ονομάζεται firmware (ο οποίος δε μπορεί να τροποποιηθεί εφόσον προγραμματιστεί για πρώτη φορά) και ο οποίος μπορεί να αναβαθμιστεί δια μέσου ενός ειδικού USB πρωτοκόλλου, που ονομάζεται DFU (Device Firmware Update). Η έκδοση Arduino MEGA 2560 που χρησιμοποιείται στην παρούσα κατασκευή διαθέτει τα ακόλουθα επιπλέον χαρακτηριστικά:

- τους ακροδέκτες SDA και SCL, που βρίσκονται κοντά στον ακροδέκτη AREF, και ακόμη νέους ακροδέκτες δίπλα στον ακροδέκτη RESET, τον IOREF που δίνει την δυνατότητα στα περιφερειακά (shields) να προσαρμόσουν την τάση λειτουργίας τους σε αυτήν της κυρίως μονάδας (Arduino MEGA 2560) και ο δεύτερος ακροδέκτης που κρατείται για μελλοντική χρήση.
- Πιο αξιόπιστο κύκλωμα επανεκκίνησης (reset)
- Τον μικροελεγκτή Atmega 16U2 αντί του Atmega 8U2.



Εικόνα 6.1 Ο ρόλος των ακροδεκτών του Mega 2560 [31].

6.3 Μονάδα μέτρησης κατανάλωσης ενέργειας (Elster A100C)



Σχήμα 6.5 Ο έξυπνος μετρητής Elster A100C [34].

Είναι ο μετρητής ενέργειας της οικίας, της εταιρείας Elster, μοντέλο A100C, μονοφασικός, με χαρακτηριστικά μέτρησης μέγιστου ρεύματος: 100A rms, και μέγιστης τάσης 230V rms, συχνότητας 50Hz. Καταμετρά αθροιστικά την κατανάλωση σε kWh και την αποτυπώνει στην οθόνη υγρών κρυστάλλων (LCD) που διαθέτει. Επίσης, διαθέτει ακόμη 2 θύρες αλληλεπίδρασης και επικοινωνίας με το περιβάλλον, μία υπέρυθρη (IrDA) μόνο για αποστολή δεδομένων από τον μετρητή προς κάποια άλλη συσκευή π.χ. Η/Υ, μικροελεγκτή, και μία οπτική θύρα IEC 62056 -21 (πρώην IEC 1107) για αποστολή δεδομένων, όπως η υπέρυθρη, αλλά και για λήψη δεδομένων από κάποια εξωτερική συσκευή με σκοπό τον προγραμματισμό του μετρητή [76]. Ο μετρητής διαθέτει επίσης δυνατότητα μέτρησης ενέργειας τόσο από τον πάροχο προς τον καταναλωτή όσο και από τον καταναλωτή προς τον πάροχο με ειδική σήμανση στην οθόνη LCD. Από τα παραπάνω που παρουσιάστηκαν, χρησιμοποιείται η υπέρυθρη θύρα για ανάγνωση της κατανάλωσης ισχύος. Αυτό κατέσται δυνατό με χρήση του οπτικού αισθητήρα TL261R, ο οποίος παρέχει ενίσχυση σήματος και φιλτράρισμα του ορατού φωτός, καθώς λειτουργεί στο υπέρυθρο φάσμα. Διαθέτει 3 ακροδέκτες, έναν που συνδέεται στα 0Volt, έναν που συνδέεται στα 5Volt και έναν που συνδέεται στο Arduino.



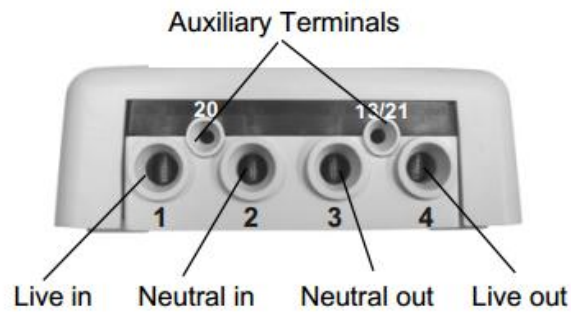
Σχήμα 6.6 Ο οπτικός αισθητήρας TL261R [6].

Ακολούθως παρουσιάζονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά του μετρητή Elster A100C.

Rated Maximum Current (I_{max})	100A
Basic Current (I_b)	5A, 10A, 20A
Frequency	50 Hz or 60 Hz
Voltage Operating Range (230V meter)	220 - 250V
Voltage Operating Range (120V meter)	110 - 127V
System Connection	1 phase 2 wire
Starting Current	0.004 I_b (Class 1), 0.005 I_b (Class 2)
Accuracy Range	$I_b/20$ to I_{max}
Short Circuit Current	3000A (duration single half cycle)
Burden of Voltage Circuits 230V	0.66W, 8.5 VA (capacitive burden)
120V	0.66W, 5.0 VA (capacitive burden)
Burden of Current Circuits	4.0 VA at 100A
Dielectric Strength	4 kV RMS
Impulse Withstand	12kV, 1.2/50 μ s, 40 ohm source
Display	LCD (9.8 x 3.5) mm characters, high contrast, wide viewing angle)
Meter Constant (pulsing LED output)	1000 p/kWh
Pulse Output Specification	IEC 62053-31 (Transistor Output)
Max Rating	27V d.c. 27 mA
Pulse Width/value (variable)	Default / 100 ms pulse, 200p/kWh (=5Wh/pulse)
Product Life - Certified	20 years
Temperature	Operational range -20° C to +55° C Storage Range -25° C to +65° C Limit Range -25° C to +85° C
Humidity	Annual Mean 75% (95% for 30 days spread over one year)
Dimensions	130mm (wide) x 97mm (high) x 47mm (deep)
Weight	345 grams
Accuracy Class kWh	Class 1 or Class 2 - EN 62053-21:2003
Terminals Main	8.2mm bores, M6 terminal screws – Max torque 2.8 N m
Auxiliary	3.2mm bores, M3 terminal screws – Max torque 0.45 N m
Case	BS7859:1996 IP53 to IEC 60529:1989

Σχήμα 6.7 Τα χαρακτηριστικά του μετρητή Elster A100C [35].

Η συνδεσμολογία που ακολουθείται στην κατασκευή είναι αυτή που φαίνεται ακολούθως.



Σχήμα 6.8 Η συνδεσμολογία των ακροδεκτών του Elster A100C [37].

6.4 Δέκτης Δορυφορικού Εντοπισμού (GPS)



Σχήμα 6.9 Η μονάδα GPS [38].

Στον εξωτερικό μετρητή χρησιμοποιείται μονάδα εντοπισμού GPS (Global Positioning System), και συγκεκριμένα ο τύπος GY-NEO6MV2. Για την σύνδεση της μονάδας GPS με τη μονάδα Arduino MEGA 2560 χρησιμοποιείται μία εκ των τεσσάρων UART (Σειριακή θύρα) που διαθέτει, και πιο συγκεκριμένα η Serial 3. Η μονάδα NEO-6 ανήκει σε μία οικογένεια δεκτών GPS υψηλής απόδοσης. Αυτού του είδους οι ευέλικτοι και μειωμένου κόστους δέκτες προσφέρουν ποικίλους τρόπους συνδεσιμότητας σε πολύ μικρές διαστάσεις (40 x 40 x 9 mm). Διαθέτει 50 κανάλια, και χρησιμοποιεί την τεχνική TTFF (Time-To-First-Fix) σε χρόνο μικρότερο του 1 sec. Η τεχνική TTFF έχει να κάνει με τον χρόνο και την διαδικασία που χρησιμοποιεί μία

συσκευή GPS για να αποκτήσει αρκετά δορυφορικά σήματα και δεδομένα ώστε να μπορέσει να προσδιορίσει ακριβή πλοήγηση. Συγκεκριμένα πρέπει να διαθέτει 3 σετ από δεδομένα προτού προσδιορίσει το ακριβές στίγμα. Τα δορυφορικά σήματα του GPS, τα δεδομένα ημερολογίου (almanac data) και δεδομένα ephemeris. Έτσι, για παράδειγμα, αν ένας δέκτης GPS έχει μείνει απενεργοποιημένος για μεγάλο χρονικό διάστημα ή αν έχει μεταφερθεί σε μεγάλη απόσταση όντας απενεργοποιημένος, θα χρειαστεί περισσότερο χρόνο για να αποκτήσει τα 3 αυτα περιγραφέντα δεδομένα προτού βρεθεί σε κατάσταση TTFF. Ο δέκτης αυτός επίσης χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο NMEA (National Marine Electronics Association), που στην ουσία αποτελεί ένα format μηνυμάτων για επικοινωνία με συσκευές έξω από το GPS. Κάτι ανάλογο με το format ASCII που χρησιμοποιείται από τους Η/Υ. Χρησιμοποιεί 32k EEPROM συνδεδεμένη μεσω I2C για να αποθηκεύει ρυθμίσεις. Άλλο ένα σημαντικό στοιχείο της μονάδας αυτής είναι η χρήση low-dropout (LDO) σταθεροποιητή που σταθεροποιεί τη τάση λειτουργίας, ακόμη και αν η τάση τροφοδοσίας είναι κοντά στην τάση εξόδου, επιπλέον δεν υπάρχει θόρυβος λόγω διακοπτόμενων φαινομένων (switching noise), ενώ δεν απαιτείται χρήση πηνίου ή μετασχηματιστή που καταναλώνει χώρο. Η μονάδα GPS όπως φαίνεται και στην εικόνα έχει 4 ακροδέκτες, ο ένας συνδέεται στα 5Volt, ο άλλος στα 0Volt, ενώ οι άλλοι 2 στη UART του Arduino MEGA. Ακολούθως, παρατίθενται πίνακες με τα χαρακτηριστικά του δέκτη. Αν και το u-blox λειτουργεί στα 3.6Volt, όπως φαίνεται παρακάτω, το PCB πάνω στο οποίο βρίσκεται τοποθετημένο, χρησιμοποιεί τον λεγόμενο μετατροπέα τάσης (ή μεταφραστή τάσης – level shifter), ο οποίος μετατρέπει τα 3.6Volt σε 5Volt, και τα 5Volt σε 3.6Volt όποτε απαιτείται.

Parameter	Specification			
Receiver type	50 Channels GPS L1 frequency, C/A Code SBAS: WAAS, EGNOS, MSAS			
Time-To-First-Fix ¹		NEO-6G/Q/T	NEO-6M/V	NEO-6P
	Cold Start ²	26 s	27 s	32 s
	Warm Start ²	26 s	27 s	32 s
	Hot Start ²	1 s	1 s	1 s
	Aided Starts ³	1 s	<3 s	<3 s
Sensitivity ⁴		NEO-6G/Q/T	NEO-6M/V	NEO-6P
	Tracking & Navigation	-162 dBm	-161 dBm	-160 dBm
	Reacquisition ⁵	-160 dBm	-160 dBm	-160 dBm
	Cold Start (without aiding)	-148 dBm	-147 dBm	-146 dBm
	Hot Start	-157 dBm	-156 dBm	-155 dBm
Maximum Navigation update rate		NEO-6G/Q/M/T	NEO-6P/V	
		5Hz	1 Hz	
Horizontal position accuracy ⁶	GPS	2.5 m		
	SBAS	2.0 m		
	SBAS + PPP ⁷	< 1 m (2D, R50) ⁸		
	SBAS + PPP ⁷	< 2 m (3D, R50) ⁸		
Configurable Timepulse frequency range		NEO-6G/Q/M/P/V	NEO-6T	
		0.25 Hz to 1 kHz	0.25 Hz to 10 MHz	
Accuracy for Timepulse signal	RMS	30 ns		
	99%	<60 ns		
	Granularity	21 ns		
	Compensated ⁹	15 ns		
Velocity accuracy ⁴		0.1 m/s		
Heading accuracy ⁴		0.5 degrees		
Operational Limits	Dynamics	≤ 4 g		
	Altitude ¹⁰	50,000 m		
	Velocity ¹⁰	500 m/s		

Σχήμα 6.10 Τα χαρακτηριστικά του δέκτη GPS [41].

Parameter	Symbol	Module	Min	Max	Units	Condition
Power supply voltage	VCC	NEO-6G	-0.5	2.0	V	
		NEO-6Q, 6M, 6P, 6V, 6T	-0.5	3.6	V	
Backup battery voltage	V_BCKP	All	-0.5	3.6	V	
USB supply voltage	VDDUSB	All	-0.5	3.6	V	
Input pin voltage	Vin	All	-0.5	3.6	V	
	Vin_usb	All	-0.5	VDDU SB	V	
DC current trough any digital I/O pin (except supplies)	Ipin			10	mA	
VCC_RF output current	ICC_RF	All		100	mA	
Input power at RF_IN	Prfin	NEO-6Q, 6M, 6G, 6V, 6T		15	dBm	source impedance = 50 Ω , continuous wave
		NEO-6P		-5	dBm	
Storage temperature	Tstg	All	-40	85	°C	

Σχήμα 6.11 Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του δέκτη GPS [42].

Ο λόγος που χρησιμοποιείται GPS στον εξωτερικό μετρητή είναι για να εμφανίζεται σε πραγματικό χρόνο στο κέντρο ελέγχου η θέση της οικίας, μίας ή περισσοτέρων, που παρουσιάζουν βλάβη οποιασδήποτε μορφής όπως ενδεχόμενη διακοπή ρεύματος (black out) ή μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση στον μετρητή.

6.5 Μονάδα Ασύρματης Μετάδοσης Δεδομένων (Xbee Zigbee)



Σχήμα 6.12 Η μονάδα Xbee Zigbee της Digi [43].

Οι μονάδες Xbee αποτελούν προϊόντα της εταιρείας Digi και αναφέρονται σε μονάδες για ασύρματη ζεύξη με σκοπό τη μετάδοση δεδομένων. Χρησιμοποιούν πολλά πρωτόκολλα όπως WiFi, Zigbee, RF, bluetooth κτλ. Χαρακτηρίζονται από πολύ μικρές διαστάσεις (24,38 x 32,94 mm), σχετικά μικρές δυνατότητες μικροελεγκτή, δυνατότητα κρυπτογράφησης και ανάλογα το πρωτόκολλο που χρησιμοποιεί την ενέργεια που καταναλώνει, διαφορετικά επίπεδα εμβέλειας για κάθε εξάρτημα. Στην κατασκευή χρησιμοποιείται ο τύπος Xbee 2mW RPSMA - Series 2 (ZigBee Mesh) με κωδική ονομασία XB24-Z7SIT-004 που λειτουργεί στην ελεύθερη ζώνη συχνοτήτων των 2.4GHz και διαθέτει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Τάση λειτουργίας: 3.3V στα 40mA
- Μέγιστη ρυθμοδότηση: 250kbps
- Ισχύς μικροκυματικού σήματος: 2mW (+3dBm)
- Εμβέλεια: 400ft (120m)
- Τύπος υποδοχέα κεραίας: RPSMA
- Πιστοποιημένο κατά τα πρότυπα FCC
- 6 ακροδέκτες 10-bit Α/Ψ μετατροπής
- 8 ψηφιακοί ακροδέκτες εισόδου/εξόδου
- Δυνατότητα 128-bit κρυπτογράφησης
- Δυνατότητα ρυθμίσεων από απόσταση
- Δυνατότητα χρήσης εντολών AT ή API
- Απαιτείται χρήση εξωτερικής κεραίας

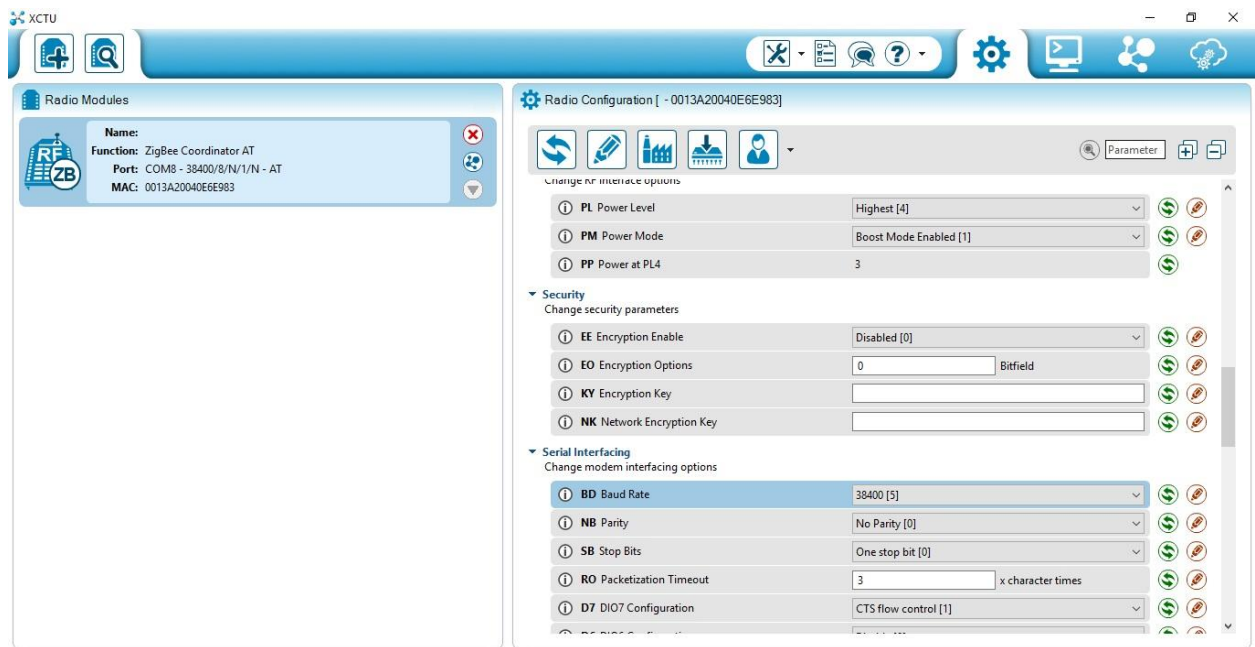
Όπως φαίνεται και παραπάνω, η μονάδα Xbee, διαθέτει και λειτουργίες μικροελεγκτή, όμως στην κατασκευή δεν γίνεται χρήση αυτών των χαρακτηριστικών. Η μονάδα χρησιμοποιείται σαν ενδιάμεσο «διαφανές» μέσο για την μετάδοση δεδομένων. «Διαφανές» (transparent) σημαίνει πως το Xbee συνδέεται σε μια από τις UART του Arduino MEGA 2560 και αποστέλλονται δεδομένα. Δεν γίνονται ρυθμίσεις ή αποστολή σε συγκεκριμένο format των δεδομένων που αποστέλλονται και φυσικά η μονάδα Arduino δεν αντιλαμβάνεται την παρουσία του Xbee. Προφανώς για να λειτουργήσει σωστά το Xbee έχουν γίνει οι απαραίτητες ρυθμίσεις με προμήθεια και χρήση ειδικού εξοπλισμού καθώς και την χρήση κατάλληλου

λογισμικού που παρέχει δωρεάν στην ιστοσελίδα της η εταιρεία. Για να προγραμματιστεί το Xbee χρησιμοποιείται το εξάρτημα SparkFun Xbee Explorer USB, πάνω στο οποίο εφαρμόζεται η μονάδα Xbee και μέσω της σύνδεσης της θύρας USB με τον Η/Υ, μπορεί να προγραμματιστεί μέσω του λογισμικού X-CTU της εταιρείας Digi.



Σχήμα 6.13 Το Xbee explorer [44].

Το περιβάλλον επιλογής ρυθμίσεων στο X-CTU φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα, όπου αριστερά φαίνονται οι συνδεδεμένες συσκευές με τον Η/Υ και κατ'επέκταση με το X-CTU και με επιλεγμένη μία από τις συσκευές, εμφανίζονται στο δεξιό τμήμα του παραθύρου όλες οι επιλογές που υπάρχει η δυνατότητα να τροποποιηθούν. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, έχει επιλεγεί ποια μονάδα θα είναι το Router και ποια μονάδα θα είναι ο Coordinator, καθώς επίσης και η κρυπτογράφηση (εν λειτουργία ή εκτός λειτουργίας).



Σχήμα 6.14 Το περιβάλλον της πλατφόρμας X-CTU.

Επειδή το Xbee, λειτουργεί στα 3.3Volt, απαιτείται ένα κύκλωμα level shifter, το *Xbee Adapter*,



Σχήμα 6.15 Το Xbee adapter [45].

το οποίο μετατρέπει τα 3.3Volt στα 5Volt και αντίστροφα. Άλλος ένας λόγος που χρησιμοποιείται αυτό το κύκλωμα πάνω στο οποίο θα εφαρμόσει το Xbee είναι ότι επειδή η

απόσταση των ακροδεκτών του είναι μόλις 1mm δεν μπορεί να εφαρμόσει στην διάτρητη πλακέτα που χρησιμοποιείται διότι οι οπές εκεί έχουν απόσταση 1.27mm. Το Xbee Adapter διαθέτει επίσης σταθεροποιητή τάσης στα 3.3Volt με μέγιστο ρεύμα που μπορεί να υποστηρίξει τα 250mA, δύο ενδείκτες LED, ένα LED κόκκινου χρώματος για την ισχύ του μικροκυματικού σήματος (RSSI - Received Signal Strength Indicator) και ένα LED πράσινου χρώματος για την τροφοδοσία. Τέλος μπορεί με κατάλληλο καλώδιο να συνδεθεί σε θύρα USB και να συνδεθεί σε Η/Υ λειτουργώντας όπως το *SparkFun Xbee Explorer USB*. Ακολουθως παρουσιάζεται η συνδεσμολογία του Xbee υποδοχέα με την μονάδα Arduino MEGA 2560.

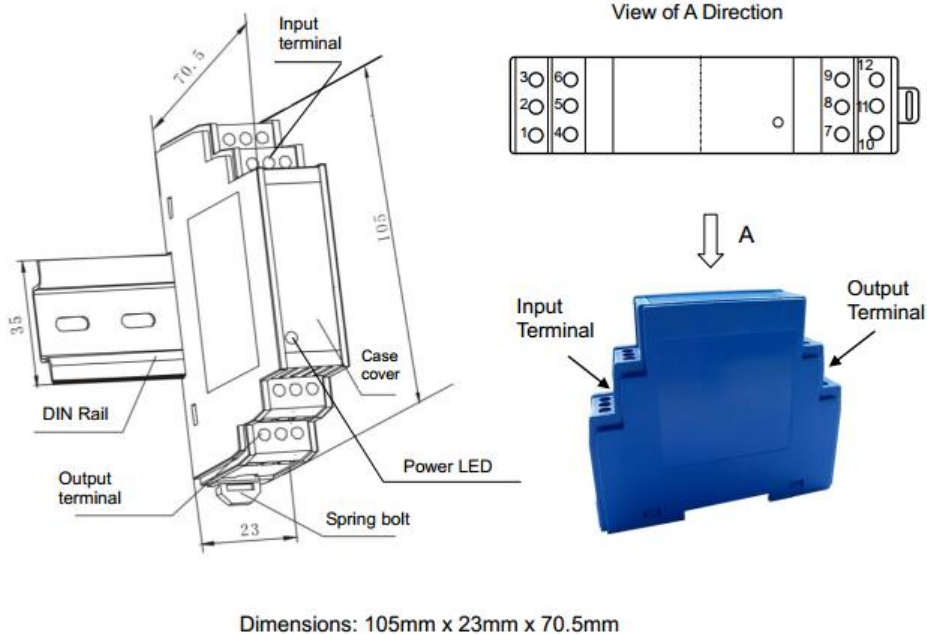
<u>ακροδέκτης Xbee</u>	<u>που συνδέεται</u>
5 Volt	5 Volt
GND	0 Volt
RX	ακροδέκτης "16" του Arduino
TX	ακροδέκτης "17" του Arduino

Πίνακας 6.1 Η συνδεσμολογία του Xbee με το Arduino MEGA 2560.

6.6 Αισθητήρας Τάσης (Voltage Sensor)

Στον εξωτερικό μετρητή εκτός από κατανάλωση ισχύος, καταμετράται και η τιμή της τάσης σε Volt RMS, με συγκεκριμένο αισθητήρα τάσης. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιείται ο τύπος *CYVS11-32U0-0.2-250V* της εταιρείας *ChenYang Technologies GmbH & Co. KG* με τα κάτωθι χαρακτηριστικά:

- Τάση Εισόδου: 0~250V AC
- Τάση Εξόδου: 0~5V DC
- Τάση Τροφοδοσίας: +12V DC
- Ακρίβεια: ±0.2%



Σχήμα 6.16 Ο αισθητήρας τάσης [46].

Όπως γίνεται αντιληπτό από την περιγραφή ο αισθητήρας αυτός δέχεται στην είσοδο την εναλλασόμενη τάση και στην έξοδο αποδίδει συνεχή τάση έως 5Volt. Υπάρχει δηλαδή μια αναλογία: τα 0Volt της AC τάσης αντιστοιχούν στα 0Volt της DC και τα 250Volt της AC τάσης στα 5Volt της DC. Οποιαδήποτε ενδιάμεση τιμή μεταξύ 0 και 250Volt AC μπορεί να περιγραφεί με την ανάλογη τιμή μεταξύ 0 έως 5Volt DC. Η σύνδεση έχει ως εξής

Ακροδέκτης 10: Τροφοδοσία +12VDC
 Ακροδέκτης 11: Γείωση (0 Volt)
 Ακροδέκτης 12: Τάση Εξόδου

Ο ακροδέκτης 12 του αισθητήρα συνδέεται σε μία από τις αναλογικές εισόδους της μονάδας Arduino MEGA 2560. Παρακάτω παρατίθενται όλα τα χαρακτηριστικά του αισθητήρα. Είναι σημαντικό να καταγράφεται η τάση σε κάθε καταναλωτή και να τηρείται ιστορικό, καθώς τυχόντα συμβάντα απο πλευράς του δικτύου θα μπορούν να διορθώνονται και ίσως να καταβάλλονται χρηματικές αποζημιώσεις στους καταναλωτές όταν έχουν προκληθεί ζημιές από υπερτάσεις για παράδειγμα.

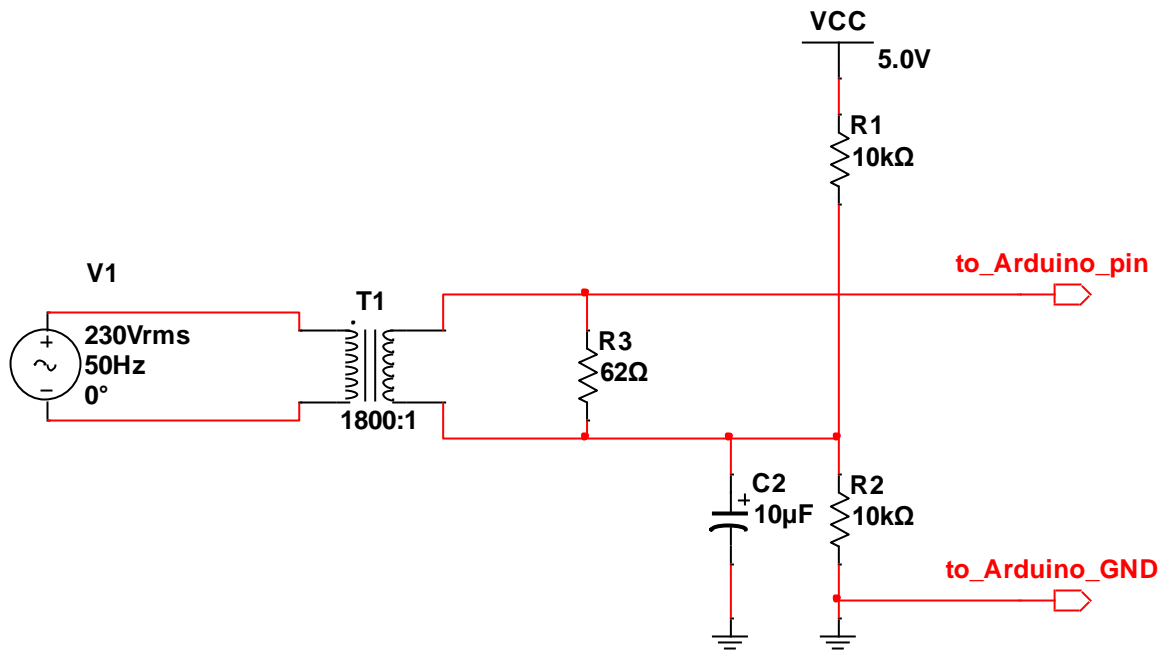
Rated input voltage (U_x)	10V-1000V AC
Linear measuring range	0 - 1.2 times of rated input voltage
Overload capacity	2 times of rated input voltage
Frequency of input voltage	Typ. 50Hz, 60Hz, max. 5kHz
Input resistance	$R_i = U_x \times 1k\Omega / V$, U_x : input voltage
Output signals DC	Tracing voltage 5VAC, 0-5VDC, 0-10VDC, 0-20mADC, 4-20mA DC
Measuring accuracy	0.1% for tracing voltage output; 0.2% for voltage output; 0.5% for current output
Load capacity	voltage output: 5mA; current output: 6V
Response time	15 μ s for tracing voltage output ; 300ms for DC output
Thermal drift	voltage output : 50-80ppm/ $^{\circ}$ C; current output: 300ppm/ $^{\circ}$ C
Power supply	\pm 12VDC, \pm 15VDC, +12VDC, +24VDC
Static current	Voltage output: 10mA; Current output: 13-17mA
Isolation	Isolation between input and output, power supply at the output
Isolation withstanding voltage	2.5 kV DC, 1min
Operating temperature	-10 $^{\circ}$ C ~ +60 $^{\circ}$ C
Storage temperature	-25 $^{\circ}$ C ~ + 70 $^{\circ}$ C
Relative humidity	10% ~ 90%
Protection of Case	IP20
Material of Case	ABS (According to UL94V-0)
Mounting	DIN Rail
Case Style	U0 without aperture
MTBF	50000h
Unit weight	90g

Σχήμα 6.17 Τα χαρακτηριστικά του αισθητήρα τάσης [46].

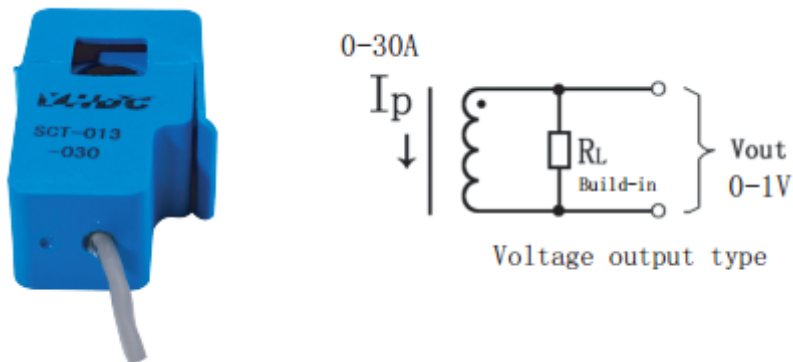
6.7 Αισθητήρας Ρεύματος (Current Sensor)

Στον εξωτερικό μετρητή χρησιμοποιείται αισθητήρας ρεύματος και συγκεκριμένα ο τύπος SCT-013-030 (της εταιρείας Beijing YaoHuadechang Electronic Co.,Ltd), ο οποίος μπορεί να μετρήσει ρεύμα έως 30A. Βέβαια ο εξωτερικός μετρητής είναι διαστασιολογημένος για 10A, επομένως ο συγκεκριμένος αισθητήρας καλύπτει τις ανάγκες του. Τονίζεται σε αυτό το σημείο πως ο αισθητήρας μετρά το ρεύμα επαγωγικά, δεν απαιτείται δηλαδή να συνδεθεί στο κύκλωμα αγώγιμα. Το κύκλωμα λειτουργίας του αισθητήρα είναι εξαιρετικά απλό όπως φαίνεται και παρακάτω. Αποτελείται από έναν αντιστάτη 62 Ohm, παράλληλα στην έξοδο, για αυτό και η έξοδος του αισθητήρα είναι τάση (0-1Volt) και όχι ρεύμα. Το μειονέκτημα είναι πως απαιτείται κύκλωμα υποστήριξης, καθώς η τάση που λαμβάνεται από τον αισθητήρα είναι

εναλλασσόμενη, το οποίο είναι απαγορευτικό για σύνδεση στη μονάδα Arduino MEGA, αφού δέχεται μόνο συνεχή τάση έως 5Volt στις εισόδους του.



Σχήμα 6.18 Το κύκλωμα προσαρμογής του αισθητήρα ρεύματος στο σύστημα Arduino [78].



Σχήμα 6.19 Ο αισθητήρας ρεύματος [47].

input current	output voltage	non-linearity	build-in sampling resistance (R _L)
0-30A	0-1V	±1%	62 Ω
turn ratio	resistance grade	work temperature	dielectric strength(between shell and output)
1800:1	Grade B	-25°C~+70°C	1500V AC/1min 5mA

Σχήμα 6.20 Χαρακτηριστικά του αισθητήρα ρεύματος [47].

6.8 Οθόνη Χαρακτήρων

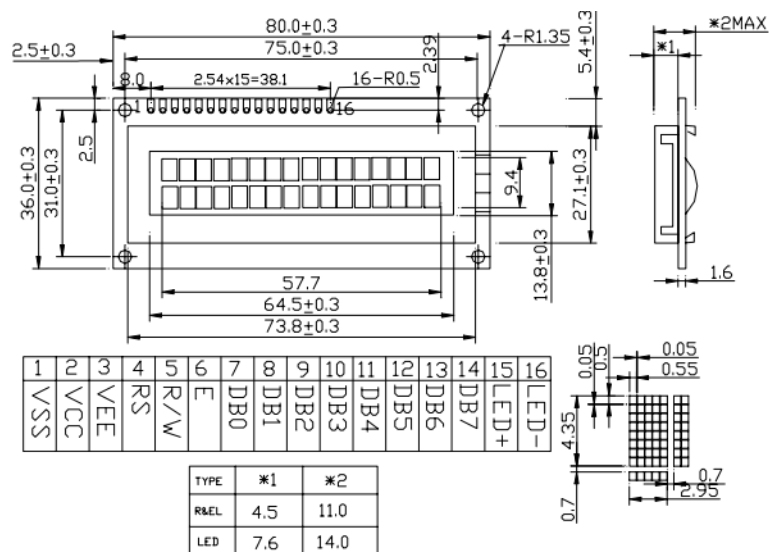


Σχήμα 6.21 Η οθόνη υγρών κρυστάλλων [49].

Στον εξωτερικό μετρητή χρησιμοποιείται οθόνη υγρών κρυστάλλων (LCD – Liquid Crystal Display) 16 στηλών x 2 γραμμών για να είναι εφικτή η καταχώρηση δεδομένων που αφορούν τα στοιχεία του καταναλωτή κατά την τοποθέτηση του μετρητή. Χρησιμοποιείται ο τύπος οθόνης JHD162A, ο οποίος χρησιμοποιεί τον διαδεδομένο οδηγό (driver) HD44780U της εταιρείας Hitachi. Ο ρόλος κάθε ακροδέκτη καθώς και οι διαστάσεις της οθόνης φαίνονται στα ακόλουθα σχήματα.

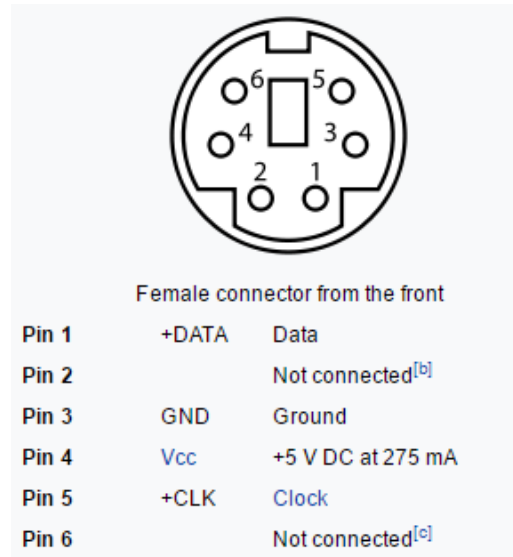
ακροδέκτης LCD	που συνδέεται
1	0 Volt
2	5 Volt
3	ποτενσιόμετρο
4	ακροδέκτης "12" arduino
5	0 Volt
6	ακροδέκτης "11" arduino
7	NULL
8	NULL
9	NULL
10	NULL
11	ακροδέκτης "5" arduino
12	ακροδέκτης "4" arduino
13	ακροδέκτης "9" arduino
14	ακροδέκτης "8" arduino
15	ρυθμιστική αντίσταση -> 5 Volt
16	0 Volt

Πίνακας 6.2 Η συνδεσμολογία της οθόνης LCD με το Arduino MEGA 2560.



Σχήμα 6.22 Ο ρόλος των ακροδεκτών της οθόνης υγρών κρυστάλλων [48].

6.9 Θύρα πληκτρολογίου (PS/2)



Σχήμα 6.23 Ο ρόλος των ακροδεκτών της υποδοχής του πληκτρολογίου [51].

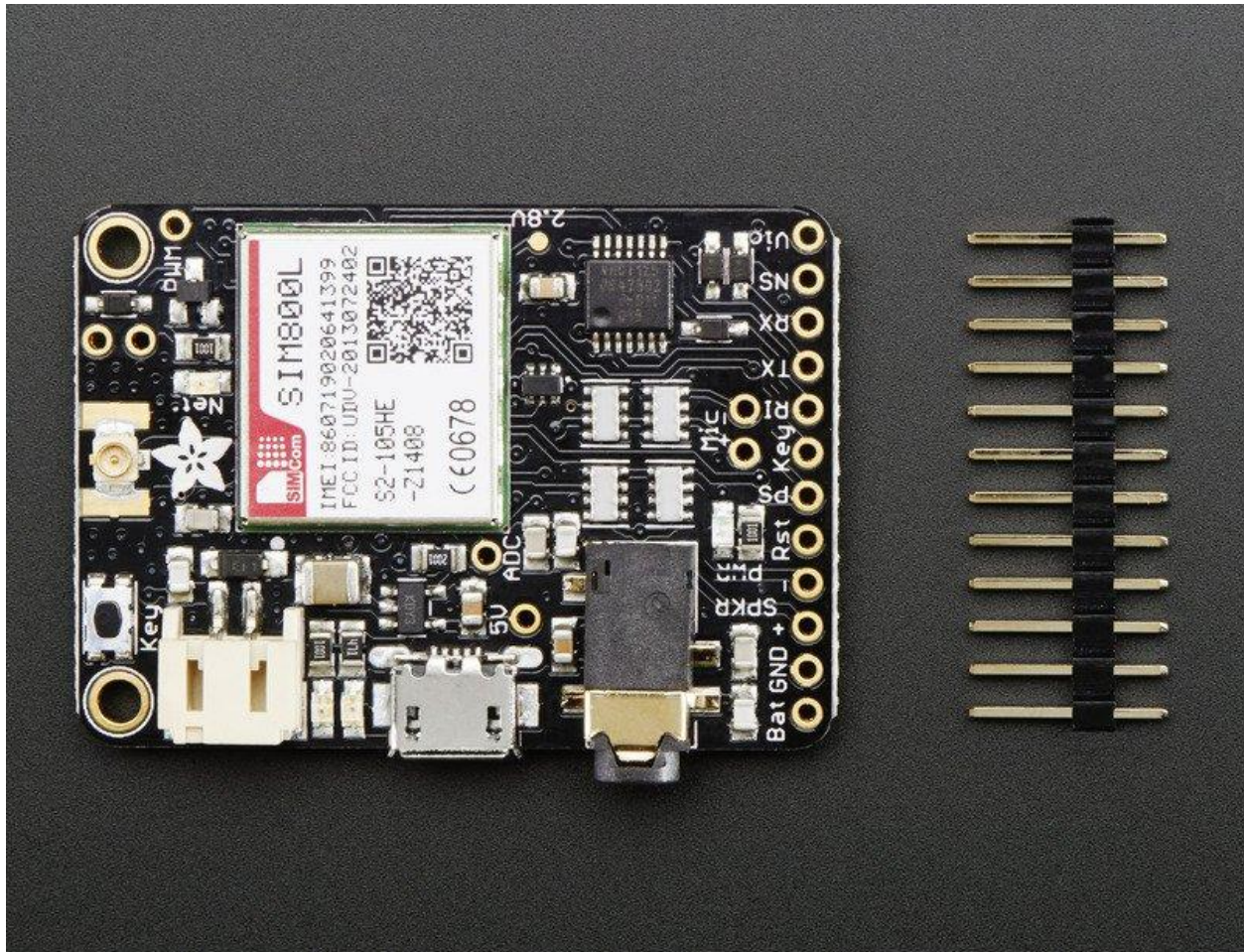
Στο πλαϊνό δεξί τμήμα του περιβλήματος του μετρητή έχει τοποθετηθεί υποδοχή PS/2 για σύνδεση πληκτρολογίου, με σκοπό την είσοδο των δεδομένων του πελάτη-καταναλωτή κατά την εγκατάσταση του μετρητή. Τα δεδομένα που ζητούνται από την οδόνη LCD, που περιγράφηκε προηγουμένως, είναι: όνομα, επώνυμο, κωδικός πελάτη (customer ID), διεύθυνση και πόλη.

<u>ακροδέκτης PS/2</u>	<u>που συνδέεται</u>
1	ακροδέκτης "3" του Arduino
2	NULL
3	0 Volt
4	5 Volt
5	ακροδέκτης "20" του Arduino
6	NULL

Πίνακας 6.3 Η συνδεσμολογία του υποδοχέα PS/2 με το Arduino MEGA 2560.

6.10 Πομποδέκτης GSM/GPRS

Στον εξωτερικό μετρητή χρησιμοποιείται πομποδέκτης GSM/GPRS (Global System for Mobile communications/General Packet Radio Service). Ο λόγος που χρησιμοποιείται αυτή η μονάδα είναι για να υπάρχει εναλλακτική οδός μεταφοράς δεδομένων σε περίπτωση που το Zigbee παρουσιάσει πρόβλημα ή τεθεί εκτός λειτουργίας και επιπλέον για να μπορεί ο εξωτερικός μετρητής να λειτουργεί και σε περιβάλλοντα όπου το Zigbee δεν μπορεί να λειτουργήσει όταν δεν υπάρχει η κατάλληλη υποδομή, δηλαδή κάποιος συγκεντρωτής σε απόσταση ικανή για ασύρματη ζεύξη. Έτσι ο εξωτερικός μετρητής αποστέλλει τα δεδομένα απευθείας στο κέντρο ελέγχου (MDMS). Χρησιμοποιείται η μονάδα *Fona* της εταιρείας Adafruit. Η μονάδα αυτή χρησιμοποιεί το chip *SIM800L* της εταιρείας SIMCom.



Σχήμα 6.24 Ο πομποδέκτης FONA [50].

Αν και η τάση λειτουργίας του chip είναι 3.7 – 4.2Volt και δεν μπορεί να συνδεθεί στο Arduino, το οποίο έχει τάση λειτουργίας 5Volt, η μονάδα FONA διαθέτει κατάλληλο κύκλωμα με σταθεροποιητή τάσης το οποίο επιτρέπει την επικοινωνία με το Arduino MEGA 2560. Η μονάδα διαθέτει επίσης υποδοχή για κάρτα SIM ώστε να είναι εφικτή η χρήση του κυψελωτού δικτύου τηλεπικοινωνιών για μεταφορά δεδομένων. Το chip που φέρει πάνω της η μονάδα, λειτουργεί στις συχνότητες GSM 850MHz, EGSM 900MHz, DCS 1800MHz και PCS 1900MHz. Χρησιμοποιεί επίσης το GPRS multi-slot class 12/class 10 (προαιρετικά) και υποστηρίζει τις εξής κωδικοποιήσεις για GPRS: CS-1, CS-2, CS-3 και CS-4. Η ισχύς του πομποδέκτη μπορεί να έχει μέγιστη ισχύ 2 Watt, όταν λειτουργεί στις συχνότητες 850 MHz (GSM850), και 900 MHz (EGSM900) και μέγιστη ισχύ 1 Watt, όταν λειτουργεί στις συχνότητες 1800 MHz (DCS1800) και 1900 MHz (PCS1900). Το FONA διαθέτει κατάλληλο κύκλωμα με πυκνωτές για να μην επηρεάζεται από τα στιγμιαία αυτά υψηλά ρεύματα (spikes) που μπορεί να φθάσουν στιγμιαία ως τα 2A. Η συνδεσμολογία που χρησιμοποιείται παρουσιάζεται ακολούθως.

<u>ακροδέκτης FONA</u>	<u>που συνδέεται</u>
RX	ακροδέκτης "63" του Arduino
TX	ακροδέκτης "10" του Arduino
Vio	5 Volt
GND	0 Volt
Key	0 Volt
RST	ακροδέκτης "7" του Arduino

Πίνακας 6.4 Η συνδεσμολογία του πομποδέκτη FONA με το Arduino MEGA 2560.

Feature	Implementation
Power supply	3.4V ~4.4V
Power saving	Typical power consumption in sleep mode is 1.2mA (BS-PA-MFRMS=9)
Frequency bands	<ul style="list-style-type: none"> ● SIM800 Quad-band: GSM 850, EGSM 900, DCS 1800, PCS 1900. SIM800 can search the 4 frequency bands automatically. The frequency bands also can be set by AT command "AT+CBAND". For details, please refer to <i>document [1]</i>. ● Compliant to GSM Phase 2/2+
Transmitting power	<ul style="list-style-type: none"> ● Class 4 (2W):GSM850,EGSM900 ● Class 1 (1W):DCS1800,PCS1900
GPRS connectivity	<ul style="list-style-type: none"> ● GPRS multi-slot class 12 (default)

Σχήμα 6.25 Τα χαρακτηριστικά της μονάδας SIM800L (1) [52].

	<ul style="list-style-type: none"> ● GPRS multi-slot class 1~12 (option)
Temperature range	<ul style="list-style-type: none"> ● Normal operation:-40°C ~ +85°C ● Storage temperature -45°C ~ +90°C
GPRS	<ul style="list-style-type: none"> ● GPRS data downlink transfer: max. 85.6 kbps ● GPRS data uplink transfer: max. 85.6 kbps ● Coding scheme: CS-1, CS-2, CS-3 and CS-4 ● PAP protocol for PPP connect ● Integrate the TCP/IP protocol. ● Support Packet Broadcast Control Channel (PBCCH)
CSD	<ul style="list-style-type: none"> ● Support CSD transmission ● CSD transmission rates:2.4,4.8,9.6,14.4 kbps
USSD	<ul style="list-style-type: none"> ● Unstructured Supplementary Services Data (USSD) support
SMS	<ul style="list-style-type: none"> ● MT, MO, CB, Text and PDU mode ● SMS storage: SIM card
SIM interface	Support SIM card: 1.8V, 3V
Antenna Interface	Antenna pad
Audio features	Speech codec modes: <ul style="list-style-type: none"> ● Half Rate (ETS 06.20) ● Full Rate (ETS 06.10) ● Enhanced Full Rate (ETS 06.50 / 06.60 / 06.80) ● Adaptive multi rate (AMR) ● Echo Cancellation ● Noise Suppression
Serial port and USB interface	Serial port: <ul style="list-style-type: none"> ● Full modem interface with status and control lines, unbalanced, asynchronous. ● 1200bps to 460800bps ● Can be used for AT commands for data stream ● Support RTS/CTS hardware handshake and software ON/OFF flow control ● Multiplex ability according to GSM 07.10 Multiplexer Protocol ● Autobauding supports baud rate from 1200 bps to 115200bps USB interface: <ul style="list-style-type: none"> ● Can be used as debugging and firmware upgrading
Phonebook management	Support phonebook types: SM, FD, LD, RC, ON, MC
SIM application toolkit	GSM 11.14 Release 99
Real time clock	Support RTC
Alarm function	Can be set by AT command
Physical characteristics	Size:24*24*3mm Weight:3.2g
Firmware upgrade	Firmware upgrading by serial port or USB interface(recommend to use USB port)

Σχήμα 6.26 Τα χαρακτηριστικά της μονάδας SIM800L (2) [53].

6.11 Πληκτρολόγιο 4x4 (Keypad Matrix 4x4)

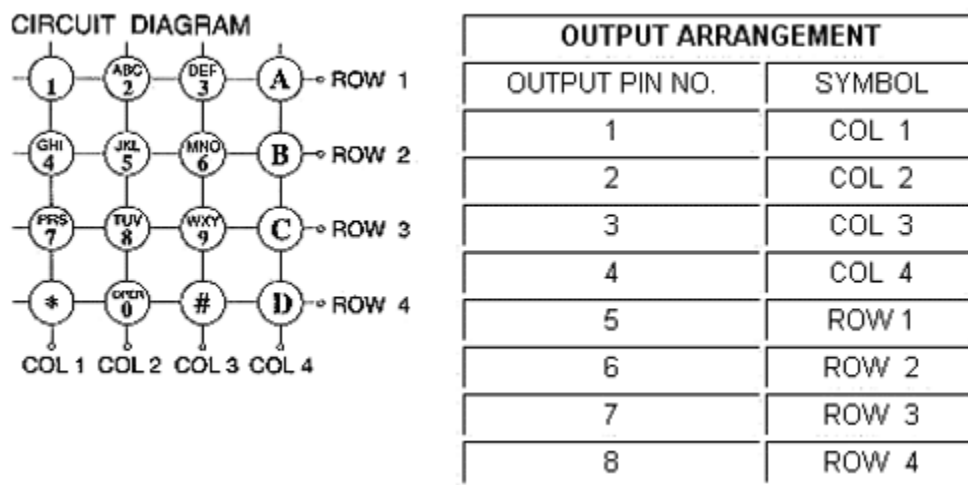


Σχήμα 6.27 Η μορφή του πληκτρολογίου 4x4 [54].

Στον εξωτερικό μετρητή έχει τοποθετηθεί ένα πληκτρολόγιο 16 πλήκτρων, που σκοπεύει στο εξής: να επιτρέπεται η πρόσβαση στο εσωτερικό του μετρητή για τυχόν αναβάθμιση, επιδιόρθωση, συντήρηση κτλ. με χρήση κωδικού. Για να αποτραπεί το άνοιγμα της συσκευής χωρίς εξουσιοδότηση, χρησιμοποιούνται μαγνητικές επαφές (3 ζευγάρια) οι οποίες συνδέονται στους ακροδέκτες 42, 44, 46, 48, 33, 35. Έτσι, αν προσπαθήσει κάποιος να παραβιάσει τον μετρητή, οι μαγνητικές επαφές ενεργοποιούνται και αποστέλλεται σήμα στο κέντρο ελέγχου. Τα χαρακτηριστικά του πληκτρολογίου είναι τα εξής:

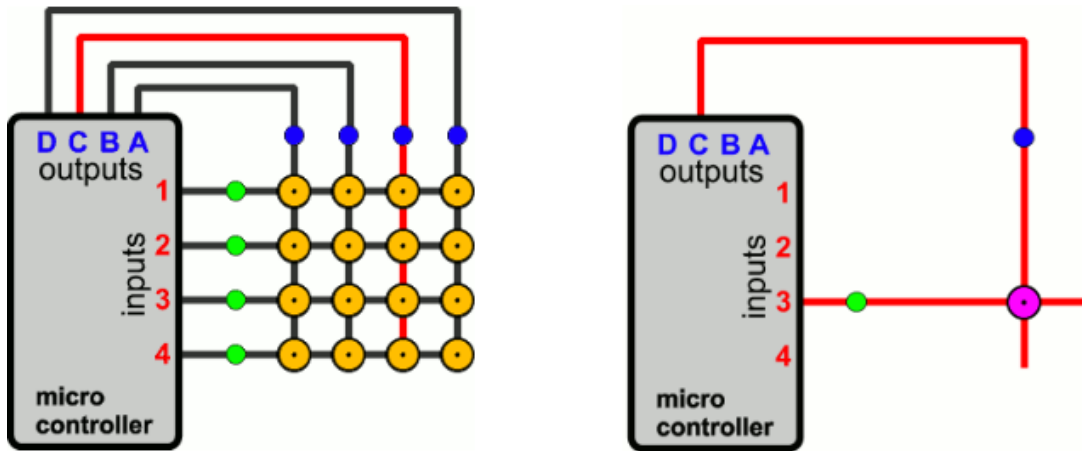
- Αριθμός μπουτόν: 16
- Πλαστικό υλικό κατασκευής
- Μέγιστος αριθμός χρήσης: 1000000 φορές
- Μέγιστη αντίσταση: 200mΩ
- Δύναμη πίεσης: 1N
- Μέγιστη τάση λειτουργίας: 24V DC
- Μέγιστο ρεύμα λειτουργίας: 20mA
- Διαστάσεις: 65mm x 65mm
- Θερμοκρασία λειτουργίας: -20 έως 60°C

Η λειτουργία του keypad έχει ως εξής: Το keypad έχει 8 ακροδέκτες. Οι 4 ακροδέκτες που αντιστοιχούν στις γραμμές (5, 6, 7, 8) συνδέονται σε 4 ψηφιακές εισόδους του Arduino MEGA 2560 (30, 32, 34, 36), ενώ οι 4 ακροδέκτες που αντιστοιχούν στις στήλες (1, 2, 3, 4) συνδέονται σε 4 ψηφιακές εξόδους του Arduino MEGA 2560 (22, 24, 26, 28).



Σχήμα 6.28 Εσωτερική δομή του πληκτρολογίου 4x4 [54].

Οι έξοδοι του μικροελεγκτή δεν έχουν τάση ταυτόχρονα, δηλαδή σε κάθε κύκλο μηχανής μόνο μία έξοδος του Arduino MEGA (άρα και στήλη του keypad) έχει τάση 5Volt, ενώ οι υπόλοιπες έξοδοι έχουν 0Volt. Παράλληλα, ο μικροελεγκτής «διαβάζει» τις εισόδους (άρα και γραμμές) για να εντοπίσει κάποιο σήμα. Όσο όλες οι εισοδοί έχουν 0Volt (για θετική λογική, και με pull-down αντιστάσεις), ο μικροελεγκτής δεν κάνει κάποια ενέργεια. Όταν όμως πατηθεί ένα πλήκτρο, εδώ στο παράδειγμα το C3, τότε έχουμε σύνδεση της στήλης C και της γραμμής 3. Όταν η έξοδος C του μικροελεγκτή γίνει HIGH (5Volt, για θετική λογική), η τάση αυτή εμφανίζεται και στην είσοδο 3 του μικροελεγκτή, διαμέσου του πατημένου πλήκτρου. Δηλαδή ο μικροελεγκτής επιτηρεί τις 4 εισόδους και όταν ανιχνεύσει τη συγκεκριμένη έξοδο (C) σε κατάσταση HIGH, τα 5Volt εμφανίζονται στην είσοδο 3, και με αυτόν τον τρόπο ο μικροελεγκτής του Arduino MEGA 2560 αντιλαμβάνεται ότι πατήθηκε το πλήκτρο C3.



Σχήμα 6.29 Παράδειγμα συνδεσμολογίας του πληκτρολογίου 4x4 σε μικροελεγκτή [55].

6.12 Μαγνητικές επαφές

Στα καλύμματα των κουτιών του εξωτερικού μετρητή χρησιμοποιούνται μαγνητικές επαφές, όπως αναφέρθηκε και πριν, για την αποτροπή πρόσβασης στο εσωτερικό του μετρητή χωρίς εξουσιοδότηση. Χωρίς δηλαδή την πληκτρολόγηση του σωστού κωδικού στο keypad.



Σχήμα 6.30 Μαγνητικές επαφές [68].

Η μαγνητική επαφή αποτελείται από 2 μέρη, το σταθερό μέρος που διαθέτει 2 καλώδια, και το κινητό μέρος, που δεν διαθέτει καλώδια. Αν συνδεθεί τάση 5Volt στο ένα από τα 2 καλώδια του σταθερού μέρους και το άλλο συνδεθεί σε σειρά με μία αντίσταση, ένα LED και στα 0Volt, όταν οι επαφές εφαρμόσουν μεταξύ τους διαρρέει ρεύμα το κύκλωμα και φωτοβολεί το LED, ενώ όταν απομακρυνθούν διακόπτεται το κύκλωμα και το LED σταματάει να φωτοβολεί.

Δηλαδή, όταν οι επαφές εφάπτονται λειτουργούν αντίστοιχα με το ON ενός διακόπτη, ενώ όταν δεν εφάπτονται, λειτουργούν σαν το OFF ενός διακόπτη. Στην συνδεσμολογία της κατασκευής δεν χρησιμοποιούνται αντιστάτες, αλλά οι PULL UP αντιστάσεις του Arduino MEGA. Για τον λόγο αυτό δεν χρησιμοποιείται εξωτερική τροφοδοσία για τις μαγνητικές επαφές. Η συνδεσμολογία είναι η εξής: ψηφιακή είσοδος του Arduino σε ένα από τα δύο καλώδια της μαγνητικής επαφής και το άλλο καλώδιο της μαγνητικής επαφής στα 0Volt. Έτσι όταν αφαιρεθεί το προστατευτικό κάλυμμα από τον εξωτερικό μετρητή και απομακρυνθούν οι μαγνητικές επαφές μεταξύ τους, στην είσοδο του Arduino MEGA θα ανιχνεύσει τάση 0Volt, ενώ όσο εφάπτονται οι μαγνητικές επαφές το Arduino MEGA θα ανιχνεύσει τάση 5Volt.

6.13 Μονάδα αποσύνδεσης/επανασύνδεσης καταναλωτή

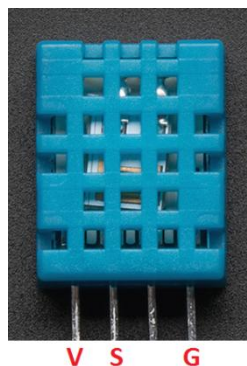
Ο εξωτερικός μετρητής διαθέτει κύκλωμα αποσύνδεσης/επανασύνδεσης του καταναλωτή. Δηλαδή σε περιπτώσεις που απαιτείται ο οικιακός καταναλωτής να αποσυνδεθεί από το δίκτυο, με εντολή που αποστέλλεται από το κέντρο ελέγχου, αποστέλλονται δύο σημάτα (ένα σήμα για την φάση και ένα σήμα για τον ουδέτερο - επειδή ο μετρητής είναι μονοφασικός) τάσεως 5Volt στους ακροδέκτες IN1, IN2. Έτσι ρεύμα ρέει στα πηνία που υπάρχουν στην μονάδα και «ανοίγει» το κύκλωμα. Αντίστροφα όταν απαιτηθεί επανασύνδεση του οικιακού καταναλωτή, αποστέλλεται σήμα 0Volt στους ακροδέκτες IN1, IN2 και τα πηνία «κλείνουν» το κύκλωμα και έτσι υπάρχει επανασύνδεση του καταναλωτή στο δίκτυο παροχής ηλεκτρισμού. Η μονάδα αποσύνδεσης είναι διαστασιολογημένη για 250Volt RMS, 10A RMS.



Σχήμα 6.31 Η μονάδα αποσύνδεσης/επανασύνδεσης του καταναλωτή [57].

6.14 Αισθητήρας υγρασίας

Στον εξωτερικό μετρητή χρησιμοποιείται ο αισθητήρας υγρασίας *DHT11*. Ο αισθητήρας αυτός είναι χαμηλού κόστους αισθητήρας υγρασίας και θερμοκρασίας ταυτόχρονα. Βέβαια στην κατασκευή χρησιμοποιείται ως αισθητήρας υγρασίας ενώ ως αισθητήρας θερμοκρασίας χρησιμοποιείται άλλος αισθητήρας που διαθέτει μεγαλύτερη ακρίβεια. Ο *DHT11* χρησιμοποιεί χωρητικό αισθητήρα θερμοκρασίας και ένα θερμίστορ για να μετρήσει τον περιβάλλοντα αέρα, και αποστέλλει ένα ψηφιακό σήμα στο ακροδέκτη δεδομένων "S", δεν απαιτούνται αναλογικοί ακροδέκτες εισόδου. Είναι πολύ απλό στην χρήση και μπορεί να αποστέλλει νέα δεδομένα το λιγότερο ανά 2 δευτερόλεπτα, το οποίο είναι κατάλληλο για τον εξωτερικό μετρητή που καταγράφει δεδομένα ανά 15 λεπτά. Διαθέτει 4 ακροδέκτες, αλλά στην κατασκευή χρησιμοποιούνται οι 3 από αυτούς: Vdd, Signal, GND.



Σχήμα 6.32 Ο αισθητήρας υγρασίας DHT11 [60].

Τα χαρακτηριστικά του αισθητήρα είναι τα εξής:

- Τάσης λειτουργίας: 3-5Volt
- Μέγιστο ρεύμα λειτουργίας: 2.5mA
- Μέτρηση υγρασίας: 20-80% με 5% ακρίβεια
- Μέτρηση θερμοκρασίας: 0-50°C με $\pm 2^\circ\text{C}$ ακρίβεια
- Μέγιστη συχνότητα δειγματοληψίας: 1Hz
- Διαστάσεις: 15.5mm x 12mm x 5.5mm
- Αριθμός ακροδεκτών: 4 με απόσταση 0.1"

Ακολούθως φαίνεται η συνδεσμολογία του αισθητήρα με το σύστημα Arduino.

<u>ακροδέκτης DHT11</u>	<u>που συνδέεται</u>
ακροδέκτης "1"	5 Volt
ακροδέκτης "2"	ακροδέκτης "31" του Arduino
ακροδέκτης "2"	5 Volt μέσω αντίστασης 4,7kΩ
ακροδέκτης "3"	N/C
ακροδέκτης "4"	0 Volt

Πίνακας 6.5 Η συνδεσμολογία του αισθητήρα υγρασίας DHT11 με το Arduino MEGA 2560.

6.15 Αισθητήρας θερμοκρασίας

Στον εξωτερικό μετρητή χρησιμοποιείται ο αισθητήρας θερμοκρασίας *DS18B20*, ο οποίος διαθέτει μεγαλύτερη ακρίβεια μέτρησης από το DHT11. Διαθέτει 3 ακροδέκτες, τον GND, Vdd και Data. Ο συγκεκριμένος αισθητήρας παρέχει ρυθμιζόμενη τιμή 9-bit έως 12-bit ανάλυσης.



Σχήμα 6.33 Ο αισθητήρας θερμοκρασίας DS18B20 [63].

Τα χαρακτηριστικά του εμφανίζονται ακολούθως:

- Τάση λειτουργίας: 3.0-5.5Volt
- Αδιάβροχο
- Εύρος μέτρησης: -55°C έως 125°C
- Ακρίβεια: $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ για θερμοκρασίες από -10°C έως $+85^{\circ}\text{C}$

Ακολούθως παρουσιάζεται και η συνδεσμολογία.

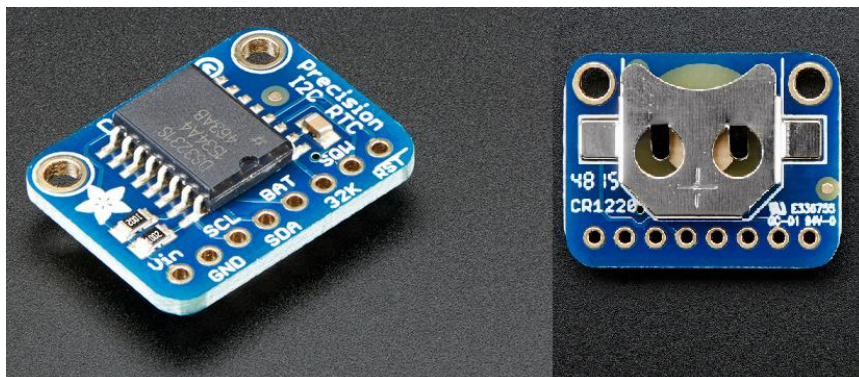
<u>ακροδέκτης DS18B20</u>	<u>που συνδέεται</u>
Vdd	5 Volt
Vdd	ακροδέκτη "47" του Arduino μέσω αντιστάτη 4,7kΩ
GND	0 Volt
Data	ακροδέκτη "47" του Arduino

Πίνακας 6.6 Η συνδεσμολογία του αισθητήρα θερμοκρασίας DS18B20 με το Arduino MEGA 2560.

6.16 Εξωτερικό ρολόι

Για να υπάρχει ακρίβεια στον χρόνο που πραγματοποιούνται οι μετρήσεις των αισθητήρων, χρησιμοποιείται εξωτερική μονάδα ρολογιού η οποία συνδέεται στο Arduino DUE, μέσω της θύρας SPI. Το ρολόι αυτό είναι πολύ πιο αξιόπιστο από την χρήση του εσωτερικού ρολογιού

του Arduino. Χρησιμοποιείται ο τύπος DS3231 της εταιρείας AdaFruit. Ανήκει στην κατηγορία των λεγόμενων RTC (Real-Time-Clock).



Σχήμα 6.34 Το εξωτερικό ρολόι DS3231 [65].

Τα περισσότερα ρολόγια πραγματικού χρόνου, χρησιμοποιούν έναν εξωτερικό κρύσταλλο χρονισμού 32kHz που χρησιμοποιείται για να διατηρεί τον χρόνο χρησιμοποιώντας χαμηλή τιμή ρεύματος. Οι κρύσταλλοι όμως κατά μεγάλα διαστήματα χάνουν χρόνο (slight shift) ειδικά όταν αλλάζει η θερμοκρασία. Ο χρόνος αυτός που χάνουν είναι πολύ μικρός βέβαια, αλλά όλα αυτά τα χρονικά διαστήματα αθροιστικά μπορεί να έχουν αισθητή απώλεια στην καταγραφή του πραγματικού χρόνου. Στη μονάδα DS3231, ο κρύσταλλος είναι τοποθετημένος μέσα στο ολοκληρωμένο κύκλωμα. Ενώ δίπλα στον κρύσταλλο είναι τοποθετημένος ένας αισθητήρας θερμοκρασίας, ο οποίος αντιλαμβάνεται τις μικρές απώλειες χρονισμού και ανάλογα προσθέτει ή αφαιρεί χρονικά διαστήματα, ώστε το ρολόι να αποδίδει την πραγματική ώρα. Ακολούθως παρουσιάζεται η συνδεσμολογία του DS3231 με την μονάδα του Arduino DUE, διαμέσου του level shifter.

<u>ακροδέκτης DS3231</u>	<u>που συνδέεται</u>
Vin	5 Volt
GND	0 Volt
SCL	ακροδέκτης "21" του arduino
SDA	ακροδέκτης "20" του arduino

Πίνακας 6.7 Η συνδεσμολογία του RTC DS3231 με το Arduino DUE.

6.17 Πρωτεύουσα βοηθητική μονάδα επεξεργασίας δεδομένων

Παρακάτω παρουσιάζεται η μία από τις δύο βοηθητικές μονάδες Arduino και η οποία έχει σαν ρόλο την παροχή δεδομένων από το RTC DS3231 με την οποία έχει συνδεσμοποιηθεί, καθώς και στο Arduino MEGA 2560 ο ένας από τους 2 ακροδέκτες της θύρας SPI χρησιμοποιείται ήδη, επομένως δεν ήταν εφικτή η σύνδεση του ρολογιού σε αυτό.

Arduino DUE

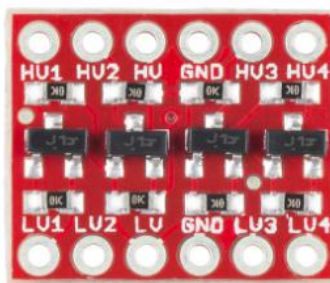


Σχήμα 6.35 Το σύστημα Arduino DUE [58].

Η μονάδα Arduino DUE, βασίζεται στο μικροελεγκτή Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3 CPU. Αποτελεί τη πρώτη μονάδα Arduino βασισμένη σε 32-bit ARM επεξεργαστή. Διαθέτει 54 ακροδέκτες, ψηφιακές εισόδους/εξόδους (εκ των οποίων 12 μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως έξοδοι PWM), 12 αναλογικές εισόδους, 4 UARTs (hardware Σειριακές Θύρες), χρονισμό ρολογιού στα 84 MHz, μία USB OTG θύρα, 2 ψηφιακούς-σε-αναλογικούς μετατροπείς (DAC – Digital to Analog), 2 θύρες TWI (Two Wire Interface), 1 υποδοχή τροφοδοσίας, SPI θύρα, JTAG θύρα, μπουτόν επανεκκίνησης, μπουτόν διαγραφής.

Αν και τα πιο πολλά Arduino έχουν τάση λειτουργίας τα 5Volt, το Arduino DUE λειτουργεί στα 3.3Volt. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται λογικός μετατροπέα τάσης (Logic Level Converter Bi-

Directional ή level shifter) ο οποίος μετατρέπει το σήμα τάσης 5Volt σε 3.3Volt και το σήμα τάσης 3.3Volt σε 5Volt. Ο λογικός μετατροπέας συνδέεται σε συσκευές που επικοινωνεί το Arduino DUE, καθώς επίσης με το Arduino MEGA 2560 και με το Arduino UNO R3. Κάθε λογικός μετατροπέας μπορεί να υποστηρίξει έως 4 αμφίδρομες συνδέσεις. Ο λογικός μετατροπέας βασίζεται στο ολοκληρωμένο *BSS138* (N-Channel Logic Level Enhancement Mode Field Effect Transistor). Το κύκλωμα τροφοδοτείται από δύο τάσεις (υψηλή τάση και χαμηλή τάση). Η υψηλή τάση (5Volt) εφαρμόζεται στον ακροδέκτη HV και η χαμηλή τάση (3.3Volt) εφαρμόζεται στον ακροδέκτη LV. Τέλος ο ακροδέκτης GND συνδέεται στη γείωση.



Σχήμα 6.36 Ο λογικός μετατροπέας τάσης [59].

Το Arduino DUE περιλαμβάνει ότι απαιτείται για την λειτουργία του μικροελεγκτή. Διαθέτει θύρα micro-USB για τον προγραμματισμό και τη τροφοδοσία. Μπορεί επίσης να τροφοδοτηθεί μέσω αντίστοιχης υποδοχής (power jack), ή μέσω ηλεκτροσυσσωρευτή, όπως και το Arduino MEGA 2560. Είναι επίσης συμβατό με περιφερειακά (“Arduino shields”) που λειτουργούν με τάση 3.3Volt και είναι συμβατά με ακροδέκτες έκδοσης 1.0.

Κάποιες επιπλέον πληροφορίες για τα τεχνικά χαρακτηριστικά παρουσιάζονται και στον ακόλουθο πίνακα.

Κύρια πλεονεκτήματα χρήσης του συγκεκριμένου επεξεργαστή της ARM, είναι πως επειδή είναι 32-bit αρχιτεκτονικής, μπορεί να μεταφέρει 4 byte ανά κύκλο ρολογιού. Επιπλέον χρησιμοποιεί DMA ελεγκτή και έτσι αφήνεται όλο το φορτίο μεταφοράς δεδομένων από την μνήμη στον ελεγκτή, χωρίς να δαπανώνται κύκλοι ρολογιού του επεξεργαστή.

Microcontroller	AT91SAM3X8E
Operating Voltage	3.3V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-16V
Digital I/O Pins	54 (of which 12 provide PWM output)
Analog Input Pins	12
Analog Output Pins	2 (DAC)
Total DC Output Current on all I/O lines	130 mA
DC Current for 3.3V Pin	800 mA
DC Current for 5V Pin	800 mA
Flash Memory	512 KB all available for the user applications
SRAM	96 KB (two banks: 64KB and 32KB)
Clock Speed	84 MHz
Length	101.52 mm
Width	53.3 mm
Weight	36 g

Σχήμα 6.37 Τα χαρακτηριστικά του Arduino DUE [58].

Οι ακροδέκτες τροφοδοσίας είναι οι ίδιοι με αυτούς του Arduino MEGA 2560, δηλαδή Vin, 5V, 3V3, GND και IOREF, με τον ακροδέκτη 3V3 να παρέχει μέγιστο ρεύμα της τάξης των 800mA.

Μνήμη:

Όσον αφορά τη μνήμη ο μικροελεγκτής AT91SAM3X8E διαθέτει 512KB (2 τομείς των 256 KB) μνήμης flash για την αποθήκευση κώδικα. Ο bootloader έχει αποθηκευτεί από την Atmel στη μνήμη ROM. Η διαθέσιμη SRAM έχει μέγεθος 96KB μοιρασμένη σε 2 τομείς, ένα τομέα 64KB και ένα τομέα 32KB.

Είναι εφικτή η διαγραφή της μνήμης flash του μικροελεγκτή μέσω της χρήσης του μπουτόν διαγραφής που φέρει η πλακέτα.

Ακροδέκτες εισόδου/εξόδου:

Κάθε ένας από τους 54 ψηφιακούς ακροδέκτες του Arduino MEGA, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν είσοδος ή έξοδος χρησιμοποιώντας τις συναρτήσεις `pinMode()`, `digitalWrite()`, `digitalRead()`. Λειτουργούν στην τάση των 3.3Volt. Ενώ κάθε ακροδέκτης μπορεί να παράσχει ρεύμα 3mA έως 15mA, ανάλογα τον ακροδέκτη ή να απορροφήσει ρεύμα 6mA έως 15mA, ανάλογα τον ακροδέκτη και έχει συνδεδεμένη μία pull-up αντιστάση (η οποία αρχικά είναι αποσυνδεδεμένη) με τιμή 100kOhm.

Από τους υπόλοιπους ακροδέκτες χρησιμοποιείται η θύρα SPI για μελλοντική αποθήκευση και ανάκτηση δεδομένων από την μονάδα αποθήκευσης δεδομένων (SD Card).

Προγραμματισμός του μικροελεγκτή:

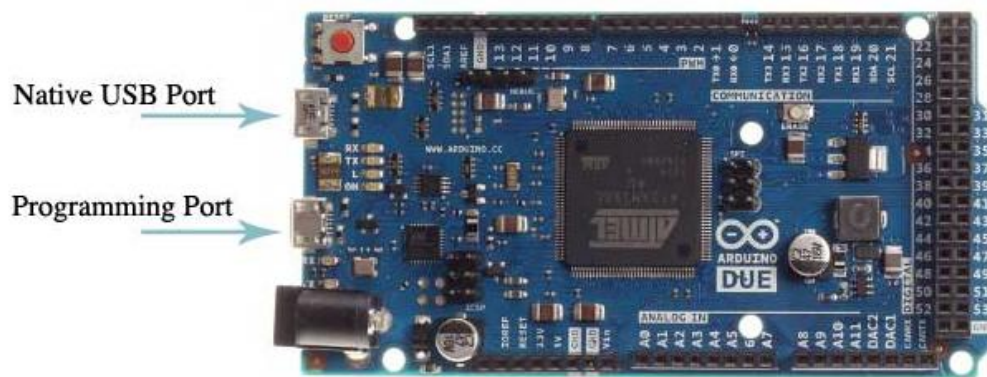
Το Arduino DUE μπορεί να προγραμματιστεί μέσω της πλατφόρμας Arduino IDE. Ο μικροελεγκτής SAM3X διαφέρει από τους υπόλοιπους μικροελεγκτές της AVR διότι η μνήμη flash πρέπει να διαγραφεί προτού επαναπρογραμματιστεί. Το upload στο chip καθορίζεται από την ROM που ανήκει στον SAM3X, το οποίο εκτελείται μόνο όταν η flash μνήμη του chip είναι κενή.

Το Arduino DUE διαθέτει 2 θύρες mini-USB και οποιαδήποτε από αυτές μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προγραμματισμό της συσκευής (αν και συνίσταται να χρησιμοποιείται η θύρα προγραμματισμού εξαιτίας του τρόπου διαχείρισης της διαγραφής από το chip). Πιο συγκεκριμένα διαθέτει:

- *Θύρα προγραμματισμού (programming port):* Η θύρα αυτή χρησιμοποιεί τον ATmega16U2 για την μετατροπή USB-σε-σειριακή, η οποία είναι συνδεδεμένη στην πρώτη UART του SAM3X (RX0 και TX0). Ο Atmega16U2 διαθέτει 2 ακροδέκτες συνδεδεμένους στους ακροδέκτες επανεκκίνησης (reset) και διαγραφής (erase) του SAM3X. Το άνοιγμα και το κλείσιμο της θύρας προγραμματισμού, σε σύνδεση 1200bps,

προκαλεί διαγραφή μέσω του υλικού (“hard erase”) του chip SAM3X, ενεργοποιώντας τους ακροδέκτες διαγραφής και επανεκκίνησης του SAM3X προτού γίνει επικοινωνία μέσω της UART. Αυτή είναι η ενδεδειγμένη θύρα για τον προγραμματισμό του Arduino DUE. Είναι πιο αξιόπιστη από την διαγραφή μέσω λογισμικού (“soft erase”) που λαμβάνει χώρα στην μητρική θύρα (“Native Port”) και πρέπει να λειτουργεί ακόμη και στη περίπτωση που ο μικροελεγκτής (MCU) έχει τεθεί εκτός λειτουργίας.

- *Μητρική θύρα (native port):* Αυτή η θύρα είναι απευθείας συνδεδεμένη στον SAM3X. Το άνοιγμα και το κλείσιμο της μητρικής θύρας στα 1200bps προκαλεί διαγραφή μέσω λογισμικού (“soft erase”). Η μνήμη flash διαγράφεται και η μονάδα επανεκκινείται μέσω του bootloader. Αν το MCU τεθεί εκτός λειτουργίας για κάποιο λόγο, είναι πιθανό η διαγραφή μέσω λογισμικού να μη λειτουργήσει, καθώς αυτή η διαδικασία συμβαίνει εντελώς στο λογισμικό του SAM3X. Το άνοιγμα και το κλείσιμο της μητρικής θύρας σε διαφορετικό baud rate δεν θα επανεκκινήσει τον SAM3X.



Σχήμα 6.38 Οι θύρες για το προγραμματισμό του Arduino DUE [58].

6.18 Μονάδα απόθηκευσης δεδομένων (SD Card)

Τα δεδομένα που παράγονται από τις μετρήσεις των αισθητήρων που είναι συνδεδεμένοι στο Arduino MEGA 2560, πρέπει κάπου να αποθηκεύονται. Αυτό γίνεται για να αποστέλλονται οι μετρήσεις στο τέλος της ημέρας στον MDMS για περαιτέρω χρήση και τιμολόγηση. Για το λόγο

αυτό στο Arduino DUE σύνδεση με μονάδα SD Card. Η μονάδα SD Card συνδέεται στο Arduino DUE, μέσω της SPI θύρας. Η μονάδα αποθήκευσης λειτουργεί τόσο με τάση 5Volt όσο και με 3.3Volt και χρησιμοποιεί 8 διπλούς ακροδέκτες.



Σχήμα 6.39 Η μονάδα αποθήκευσης δεδομένων [64].

Η μονάδα αυτή είναι για μελλοντική χρήση. Δεν έχει αναπτυχθεί, δηλαδή, κώδικας στην παρούσα διπλωματική για την αποθήκευση δεδομένων στην SD Card.

6.19 Δευτερεύουσα βοηθητική μονάδα επεξεργασίας δεδομένων

Σαν δευτερεύουσα βοηθητική μονάδα χρησιμοποιείται το σύστημα Arduino UNO R3, το οποίο έχει σκοπό την επεξεργασία δεδομένων που λαμβάνει ο οπτικός αισθητήρας από την υπέρυθρη θύρα του μετρητή Elster A100C και τα οποία μετατρέπει σε δεδομένα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Τα δεδομένα αυτά αποστέλλονται στο Arduino DUE μέσω της σειριακής επικοινωνίας όταν αυτά ζητηθούν.



Σχήμα 6.40 Το σύστημα Arduino UNO R3 [70].

Το σύστημα Arduino UNO βασίζεται στον μικροελεγκτή Atmega328P. Διαθέτει 14 ψηφιακές εισόδους/εξόδους (από τις οποίες 6 μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως έξοδοι PWM (Pulse Width Modulation)), 6 αναλογικές εισόδους, ένα κρύσταλλο 16MHz, USB σύνδεση, υποδοχή εξωτερικής τροφοδοσίας, υποδοχέα ICSP και μπουτόν επανεκκίνησης.

Όσον αφορά το προγραμματισμό, αυτός μπορεί να γίνει μέσω του Arduino IDE.

Το σύστημα αυτό, διαθέτει επίσης επανεκκινήσιμη ασφάλεια (polyfuse) που προστατεύει την θύρα USB του Η/Υ από βραχυκυκλώματα και υπερτάσεις της συσκευής. Παρόλο που οι περισσότεροι Η/Υ διαθέτουν διατάξεις προστασίας, η επανεκκινήσιμη ασφάλεια του Arduino UNO παρέχει ένα επιπλέον επίπεδο ασφάλειας. Αν περισσότερα από 500mA ρεύματος απαιτηθούν από μία USB θύρα, η ασφάλεια αυτόματα διακόπτει την σύνδεση μέχρι το βραχυκύκλωμα ή η υπέρταση να απομακρυνθεί.

Το σύστημα Arduino UNO διαθέτει τον μικροελεγκτή Atmega16U2 στον οποίο έχει ανατεθεί η μετατροπή της σειριακής επικοινωνίας σε USB.

Η τροφοδοσία του συστήματος μπορεί να γίνει είτε μέσω της USB, είτε μέσω εξωτερικής τροφοδοσίας. Η εξωτερική τροφοδοσία μπορεί να είναι είτε τροφοδοτικό AC-σε-DC, είτε ηλεκτροσυσσωρευτής και πρέπει να παρέχει τάση μεταξύ 7 έως 12Volts. Αν τροφοδοτηθεί με τάση μικρότερη των 7Volt ο ακροδέκτης των 5Volt θα παρέχει τάση μικρότερη των 5Volts και το σύστημα θα τεθεί σε αστάθεια. Αντίθετα, αν η πλακέτα τροφοδοτηθεί με τάση άνω των 12 Volt, ο σταθεροποιητής τάσης μπορεί να υπερθερμανθεί και να καταστραφεί.

Οι ακροδέκτες τροφοδοσίας είναι οι εξής:

Vin: Μέσω αυτού του ακροδέκτη μπορεί να τροφοδοτηθεί το σύστημα Arduino ή στη περίπτωση που τροφοδοτηθεί το Arduino μέσω τροφοδοτικού να υπάρχει πρόβαση στην τάση από τον ακροδέκτη αυτό.

5V: Αυτός ο ακροδέκτης λειτουργεί σαν έξοδος για σταθεροποιημένη τάση 5Volt.

3V3: Ακροδέκτης εξόδου τάσης 3.3Volt με μέγιστο ρεύμα 50mA.

GND: πρόκειται για τους ακροδέκτες γείωσης.

I/OREF: Αυτός ο ακροδέκτης παρέχει το σημείο αναφοράς της τάσης με την οποία λειτουργεί ο μικροελεγκτής. Στην περίπτωση χρήσης shield, αυτό μπορεί να ενημερωθεί, μέσω του I/OREF, με την τάση λειτουργίας και να επιλέξει την κατάλληλη πηγή τροφοδοσίας ή να ενεργοποιήσει λογικούς μετατροπείς στις εξόδους ώστε να λειτουργήσει είτε στα 5Volt είτε στα 3.3Volt.

Μνήμη:

Ο μικροελεγκτής Atmega328 διαθέτει 32KB μνήμη από τα οποία 0.5KB καταλαμβάνονται από τον bootloader. Διαθέτει επίσης 2KB SRAM και 1KB EEPROM

Ακροδέκτες:

Σειριακή: Ο ακροδέκτης 0 χρησιμοποιείται για την λήψη δεδομένων, ενώ ο ακροδέκτης 1 για την αποστολή δεδομένων μέσω του προτύπου TTL. Οι συγκεκριμένοι ακροδέκτες είναι συνδεδεμένοι στον Atmega8U2 που χρησιμοποιείται στην μετατροπή των δεδομένων από την USB σε TTL επικοινωνία.

Εξωτερικές διακοπές (external interrupts): Οι ακροδέκτες 2 και 3. Αυτοί οι ακροδέκτες ρυθμίζονται ώστε να αντιλαμβάνονται τις διακοπές σε χαμηλή τιμή (low), σε αύξουσα τιμή (rising), φθίνουσα (falling), ή αλλαγή (change) της τιμής. Χρησιμοποιείται η εντολή `attachInterrupt()` για αυτούς τους ακροδέκτες.

LED: ακροδέκτης 13. Το LED αυτό είναι τοποθετημένο στη πλακέτα του Arduino και όταν βρίσκεται στην τιμή HIGH, ενεργοποιείται, ενώ στην τιμή LOW απενεργοποιείται. Ο συγκεκριμένος ακροδέκτης χρησιμοποιείται τόσο στον εξωτερικό μετρητή όσο και στο οικιακό δίκτυο μετρητών και έτσι φαίνεται ότι ο αισθητήρας στην υπέρυθρη θύρα του Elster A100C λειτουργεί ορθά.

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 6.41 Τα χαρακτηριστικά του Arduino UNO R3 [70].

Το Arduino UNO έχει σχεδιαστεί με τρόπο που επιτρέπει την επανεκκίνηση με χρήση λογισμικού που έχει εγκατασταθεί στο συνδεδεμένο Η/Υ. Ένας από τους αγωγούς του Atmega16U2 που έχει σαν ρόλο να αποστέλλεται το σήμα DTR (Data Terminal Ready) είναι συνδεδεμένος στον μικροελεγκτή Atmega328 μέσω 100nF πυκνωτή. Όταν αυτή η γραμμή τεθεί σε τάση χαμηλή, LOW, έχουμε την επανεκκίνηση του μικροελεγκτή. Το λογισμικό Arduino IDE χρησιμοποιεί αυτή την δυνατότητα για την διενέργεια του προγραμματισμού του συστήματος Arduino UNO πατώντας απλά την επιλογή upload.

Τέλος η έκδοση R3 του συστήματος Arduino, που χρησιμοποιείται στους μετρητές, έχει τα επιπλέον χαρακτηριστικά:

- Την προσθήκη των ακροδεκτών SDA, SCL, δύο ακόμη ακροδέκτες δίπλα στον ακροδέκτη επανεκκίνησης (RESET), την προσθήκη του IOREF, καθώς και έναν ακροδέκτη για μελλοντική χρήση.
- Βελτιωμένο κύκλωμα επανεκκίνησης
- Τον μικροελεγκτή Atmega 16U2 αντί του 8U2.

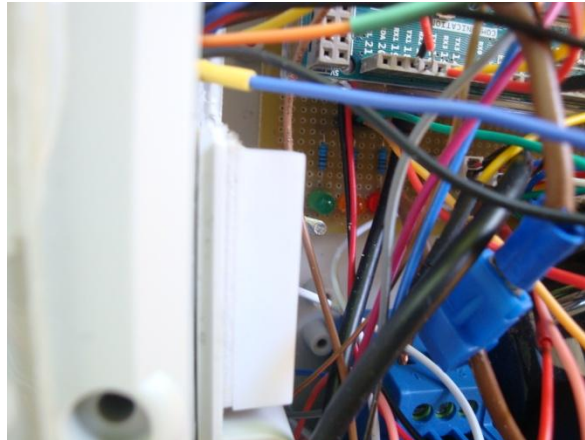
Κεφάλαιο 7 : Η τελική κατασκευή του εξωτερικού μετρητή κατανάλωσης ρεύματος

Έπειτα από την ανάλυση που έγινε στο κεφάλαιο 6, παρουσιάζεται ακολούθως η τελική κατασκευή του εξωτερικού μετρητή, ο τρόπος λειτουργίας του, καθώς και οι εντολές που αποστέλλονται από τον Η/Υ μέσω ασύρματης ζεύξης και οι απαντήσεις που λαμβάνονται. Εκ πρώτης όψης διακρίνονται 3 μέρη, καθένα από τα οποία είναι προγραμματισμένο για συγκεκριμένη εργασία, οι οποίες αναπτύσσονται στη συνέχεια. Επίσης διακρίνεται στο κεντρικό κουτί το πληκτρολόγιο 4x4, το οποίο χρησιμοποιείται για την εισαγωγή κωδικού πριν το άνοιγμα ενός ή περισσότερων καλυμμάτων. Διαφορετικά, όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, αποστέλλεται μήνυμα παραβίασης στο κέντρο συλλογής (MDMS).



Σχήμα 7.1 Η τελική εικόνα του εξωτερικού μετρητή.

Επίσης ενεργοποιείται και το κόκκινο LED παραβίασης, το οποίο βρίσκεται το κεντρικό κουτί κάτω από το Arduino DUE.



Σχήμα 7.2 Τα ενδεικτικά LED για χρήση με το πληκτρολόγιο 4x4.

Στο σχήμα 7.1 διακρίνονται επίσης 3 κεραίες. Ξεκινώντας από τα αριστερά βρίσκεται η κεραία του πομποδέκτη GSM/GPRS. Δεξιά της είναι η κεραία του Zigbee. Δεξιά της οποίας, τέλος, βρίσκεται η κεραία του GPS. Στο δεξί κουτί φαίνονται 2 καλώδια. Το αριστερό καλώδιο καταλήγει σε αρσενικό φισ σούκο ενώ το δεξί καλώδιο καταλήγει σε θηλυκό φισ σούκο.



Σχήμα 7.3 Τα φισ του εξωτερικού μετρητή.

Στο δεξί πλαϊνό μέρος του δεξιού κουτιού του μετρητή, όπως φαίνεται και στην ακόλουθη εικόνα, διακρίνονται τα εξής: αρχίζοντας από τα δεξιά, βρίσκεται το ενδεικτικό πράσινο LED το οποίο αναβοσβήνει 3 φορές κατά την εκκίνηση του μετρητή. Αριστερά του βρίσκεται η υποδοχή PS/2 για την σύνδεση πληκτρολογίου, που χρησιμεύει στην είσοδο των στοιχείων του οικιακού καταναλωτή. Αριστερά της υποδοχής PS/2 βρίσκεται η υποδοχή ασφάλειας της συσκευής. Αμέσως αριστερά διακρίνεται ο διακόπτης ON/OFF που λειτουργεί με τη χρήση κλειδιού. Και τέλος διακρίνεται ο αισθητήρας θερμοκρασίας.

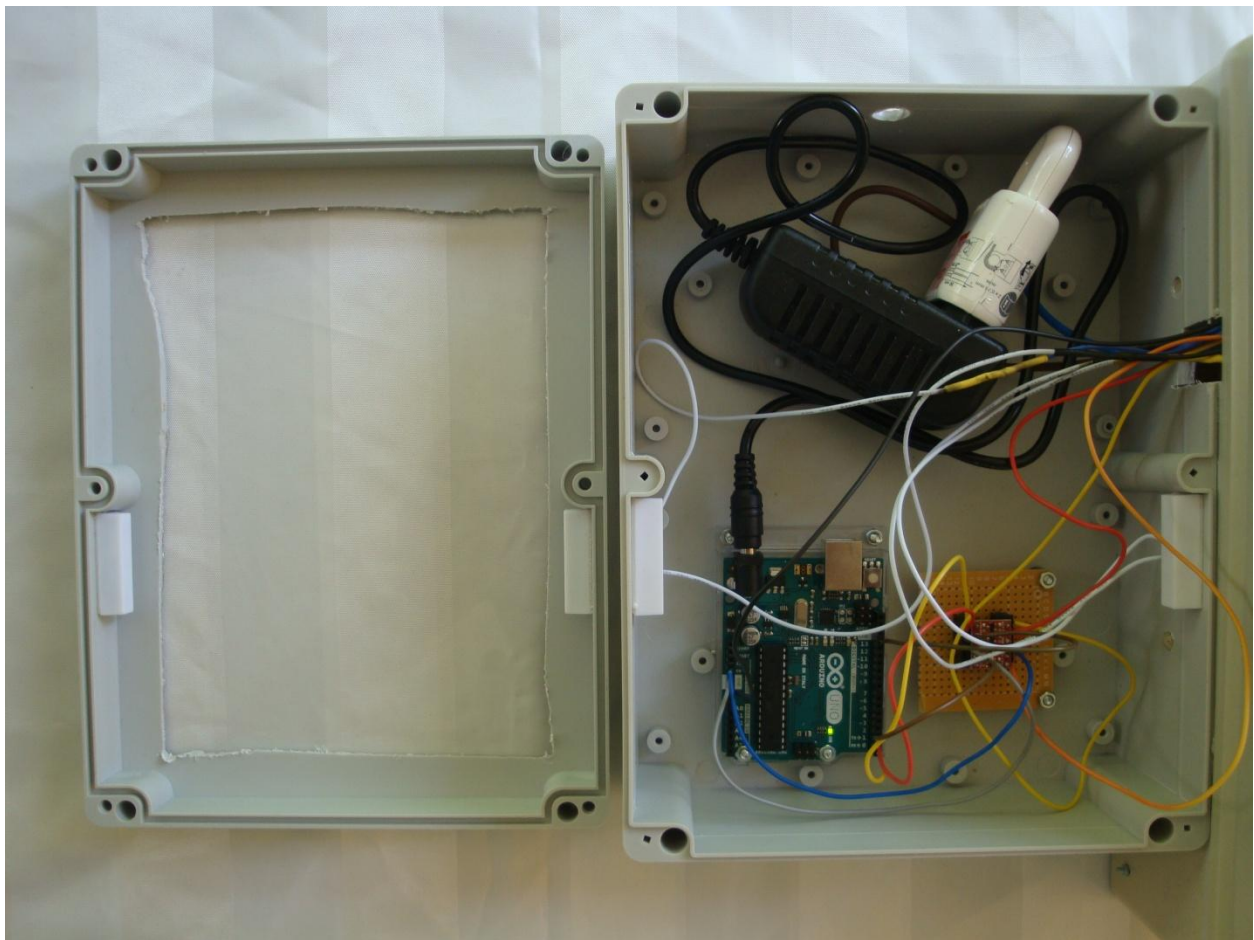


Σχήμα 7.4 Πλάγια όψη του εξωτερικού μετρητή.

Θα αναλυθεί στην συνέχεια κάθε μέρος του μετρητή αρχίζοντας με το αριστερό κουτί, το οποίο φαίνεται σε ακόλουθο σχήμα 7.5. Διακρίνονται οι ενεργητικές μαγνητικές επαφές που έχουν τοποθετηθεί στο κουτί, καθώς και οι παθητικές που έχουν τοποθετηθεί στο κάλυμμα του κουτιού. Εντός του κουτιού, στο κάτω μέρος φαίνεται το Arduino UNO R3, στο οποίο εκτελείται συνεχώς ο κώδικας για την μετατροπή του ηλεκτρικού σήματος του οπτικού αισθητήρα, που βρίσκεται στο Elster A100C, σε δεδομένα. Τα δεδομένα λαμβάνονται από την σειριακή θύρα 2 του Arduino DUE, μέσω της σειριακής θύρας 0 του Arduino UNO. Δεξιά του Arduino, φαίνεται μια διάτρητη πλακέτα, πάνω στην οποία έχει τοποθετηθεί ο λογικός μετατροπέας ή level shifter, διότι οι έξοδοι/είσοδοι του Arduino UNO λειτουργούν στα 5Volt, ενώ οι έξοδοι/είσοδοι του Arduino DUE λειτουργούν στα 3.3Volt. Έτσι λοιπόν η σειριακή θύρα 0 συνδέεται μέσω της σειριακής θύρας 2 μέσω του λογικού μετατροπέα ως εξής:

Arduino UNO	BSS138		Arduino DUE
TX0	HV3	LV3	RX2
RX0	HV4	LV4	TX2

Πίνακας 7.1 Η συνδεσμολογία του Arduino UNO με το Arduino DUE.

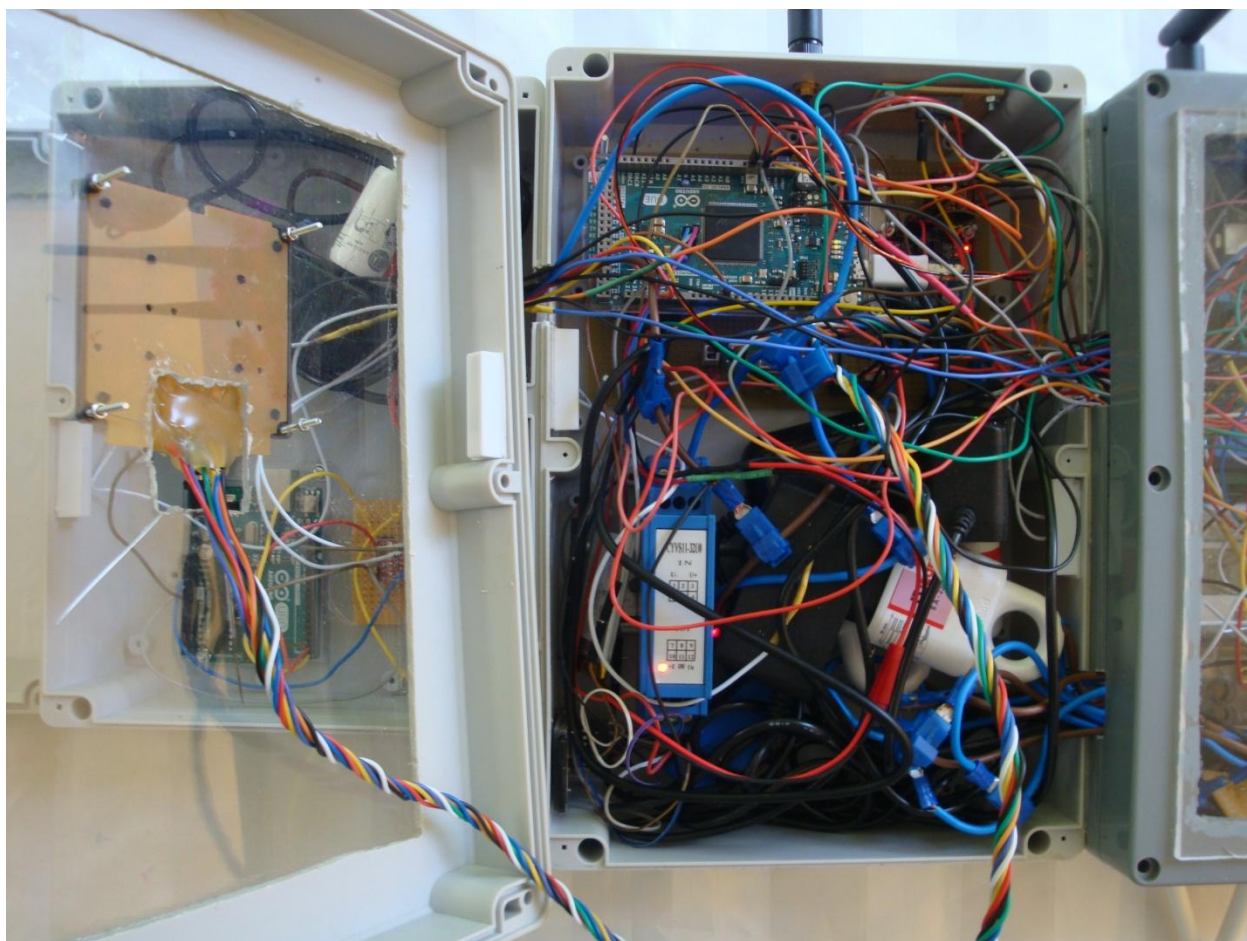


Σχήμα 7.5 Το αριστερό κουτί του εξωτερικού μετρητή.

Στον λογικό μετατροπέα έχουν συνδεθεί επίσης οι ακροδέκτες 5Volt, 3.3Volt καθώς και η γείωση. Τέλος στο επάνω μέρος διακρίνεται και το τροφοδοτικό του Arduino UNO, το οποίο έχει χαρακτηριστικά 12Volt, 2A. Το Arduino UNO δεν τροφοδοτείται μέσω USB καθώς έτσι δεν θα λειτουργούσε η σειριακή θύρα 0. Τέλος διακρίνεται η έξοδος του οπτικού αισθητήρα που βρίσκεται συνδεδεμένος στον μετρητή Elster A100C. Επειδή είναι μεγάλη η απόσταση του

αγωγού και υπάρχει σημαντική απώλεια στην διαφορά δυναμικού η έξοδος συνδέεται στον ακροδέκτη LV1 του λογικού μετατροπέα και ο ακροδέκτης HV1 συνδέεται στον ακροδέκτη 2 του Arduino UNO R3 όπου γίνεται το DSP. Με την χρήση του λογικού μετατροπέα γίνεται δηλαδή ενίσχυση του σήματος.

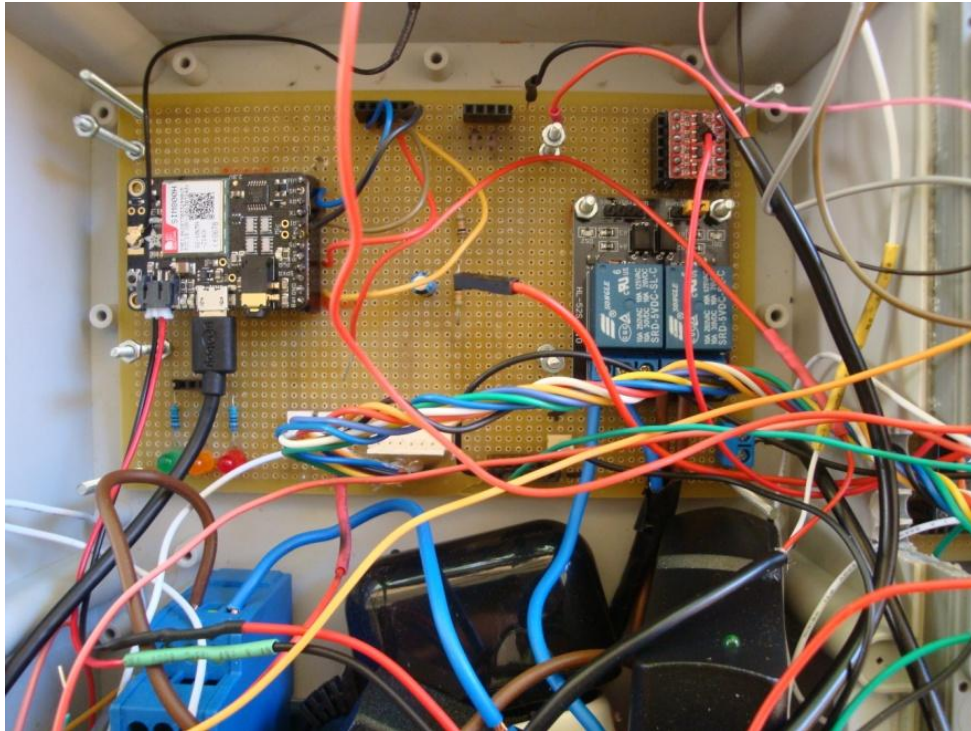
Συνέχεια έχει η περιγραφή του κεντρικού κουτιού. Διακρίνονται οι μαγνητικές επαφές τόσο στο κάλυμμα όσο και στο κουτί. Επίσης φαίνονται τα 8 καλώδια σύνδεσης του ηλεκτρολογίου 4x4 με την διάτρητη πλακέτα. Στο πάνω μέρος βρίσκεται το Arduino DUE, το οποίο χρησιμεύει για την αποστολή της ημερομηνίας και ώρας στο Arduino MEGA 2560, όταν αυτό ζητηθεί, την ανάγνωση της τιμής των kWh από το Arduino UNO καθώς και την αποστολή της στο Arduino MEGA 2560, όταν αυτό ζητηθεί.



Σχήμα 7.6 Το μεσαίο κουτί του εξωτερικού μετρητή.

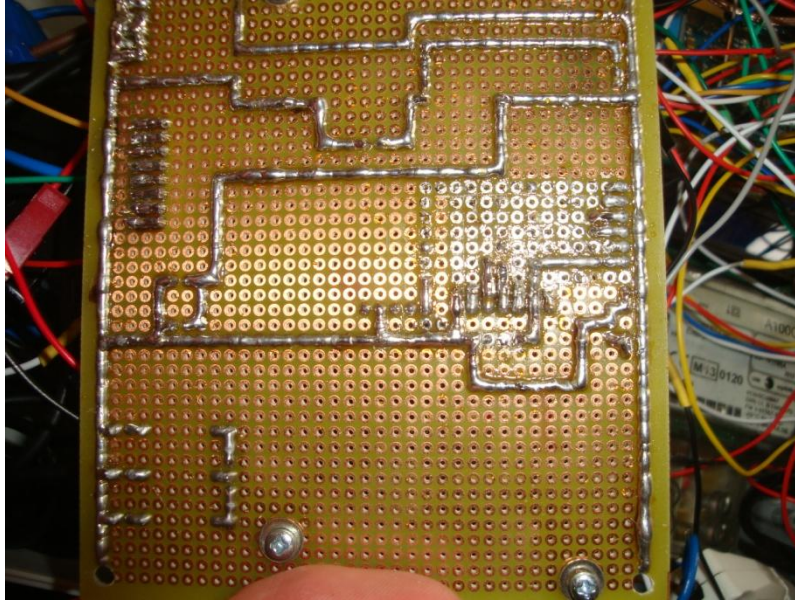
Κάτω από το Arduino DUE βρίσκεται ο πομποδέκτης GSM/GPRS FONA, ο οποίος είναι τοποθετημένος σε κατάλληλους θηλυκούς ακροδέκτες τοποθετημένους στην διάτρητη πλακέτα. Στην διάτρητη πλακέτα διακρίνονται στο πάνω μέρος ακροδέκτες οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την τροφοδοσία του FONA καθώς και την συνδεσή του με το Arduino MEGA 2560. Στο κέντρο, στο πάνω μέρος της πλακέτας διακρίνονται 4 ακροδέκτες. Είναι συνδεδεμένοι σε ζευγάρια, 2 αριστερά και 2 δεξιά. Εκεί συνδέονται τα 2 καλώδια του αισθητήρα ρεύματος, ένα καλώδιο σε κάθε ζεύγος ακροδεκτών. Οι 2 αντιστάσεις των 10 k Ω , μαζί με τον ηλεκτρολυτικό πυκνωτή των 10 μ F αποτελούν μέρος του κυκλώματος υποστήριξης του αισθητήρα ρεύματος, το οποίο έχει παρουσιαστεί στο προηγούμενο κεφάλαιο. Στην αριστερή κάτω γωνία φαίνονται 3 ενδεικτικά LED μαζί με τις 3 αντιστάσεις των 560 Ω +/- 1%

που χρησιμεύουν στη σήμανση για το σωστό άνοιγμα των καλυμμάτων με την χρήση κωδικού που περιγράφεται παρακάτω. Συνδέονται στους ακροδέκτες 50 (για το LED πράσινου χρώματος), 53 (για το LED κόκκινου χρώματος), 51 (για το LED πορτοκαλί χρώματος) του Arduino MEGA 2560. Στο κέντρο κάτω φαίνεται η σειρά των 8 ακροδεκτών (molex) που συνδέεται το πληκτρολόγιο 4x4. Δεξιά δίπλα στο molex έχει τοποθετηθεί μια σειρά ακροδεκτών συνδεδεμένων στην γείωση, καθώς απαιτούνται αρκετές θέσεις. Έπειτα από την λήψη αυτής της φωτογραφίας τοποθετήθηκε άλλη μία σειρά ακροδεκτών συνδεδεμένων στην γείωση δίπλα από τη σειρά ακροδεκτών που φαίνεται στην εικόνα. Τονίζεται σε αυτό το σημείο πως όσες βαθμίδες έχουν τοποθετηθεί στο μετρητή, μαζί με τα Arduino και τα τροφοδοτικά έχουν όλα κοινή γείωση (0Volt).



Σχήμα 7.7 Η διάτρητη πλακέτα κάτω από το Arduino DUE.

Στο σχήμα 7.7 διακρίνεται στην δεξιά πάνω γωνία ο λογικός μετατροπέας μέσω του οποίου επικοινωνεί το Arduino DUE, που λειτουργεί στα 3.3Volt με το Arduino MEGA 2560, που λειτουργεί στα 5Volt. Η γείωση δεν φαίνεται καθώς έχει κολληθεί κάτω από την πλακέτα, όπως φαίνεται και στο ακόλουθο σχήμα.

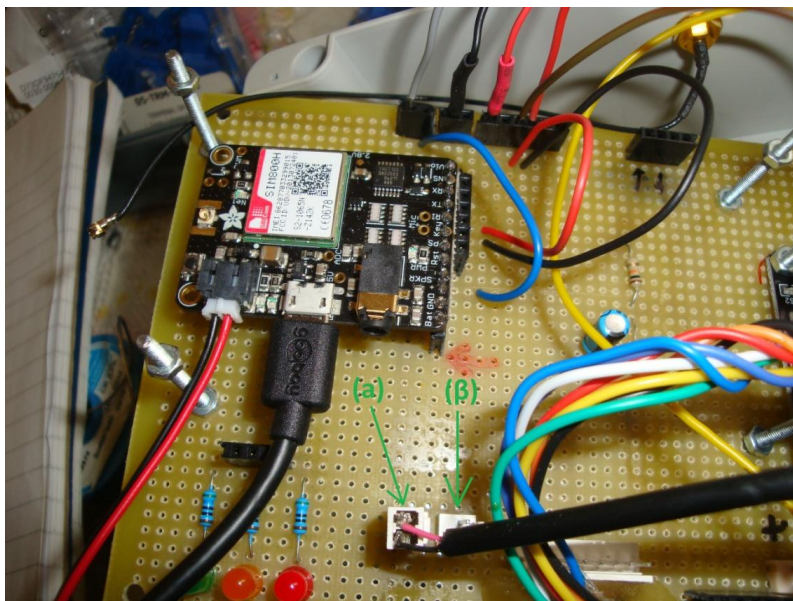


Σχήμα 7.8 Η πίσω όψη της διάτρητης πλακέτας, κάτω από το Arduino DUE.

Στο σχήμα 7.7 διακρίνεται, επίσης, στην δεξιά πάνω γωνία κάτω από τον λογικό μετατροπέα, η μονάδα αποσύνδεσης/σύνδεσης φορτίου. Είναι βιδωμένη πάνω στην διάτρητη πλακέτα και μπορεί να ελέγξει έως φορτία με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

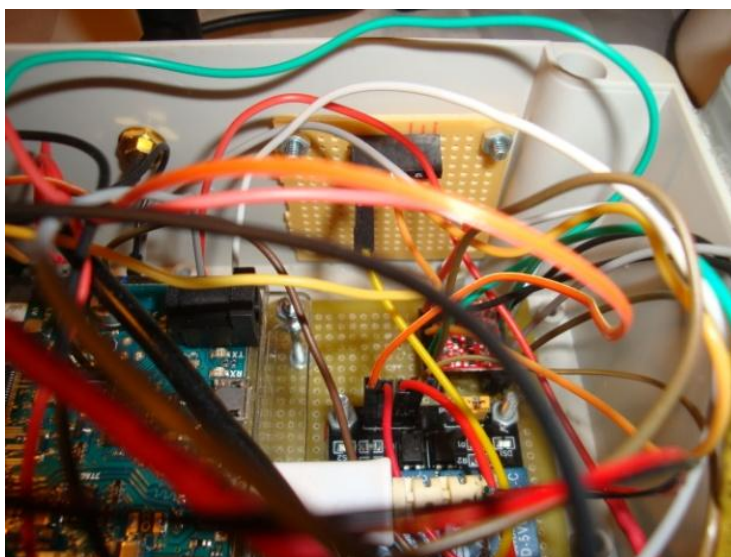
- 10A 250VAC
- 10A 30VDC

Κάτω από την μονάδα αποσύνδεσης/επανασύνδεσης βρίσκεται με μπλε χρώμα η τροφοδοσία της διάτρητης πλακέτας μέσω διπλού ακροδέκτη με βίδες. Η πάνω οπή είναι για τα 5Volt και η κάτω οπή είναι για τα 0Volt.



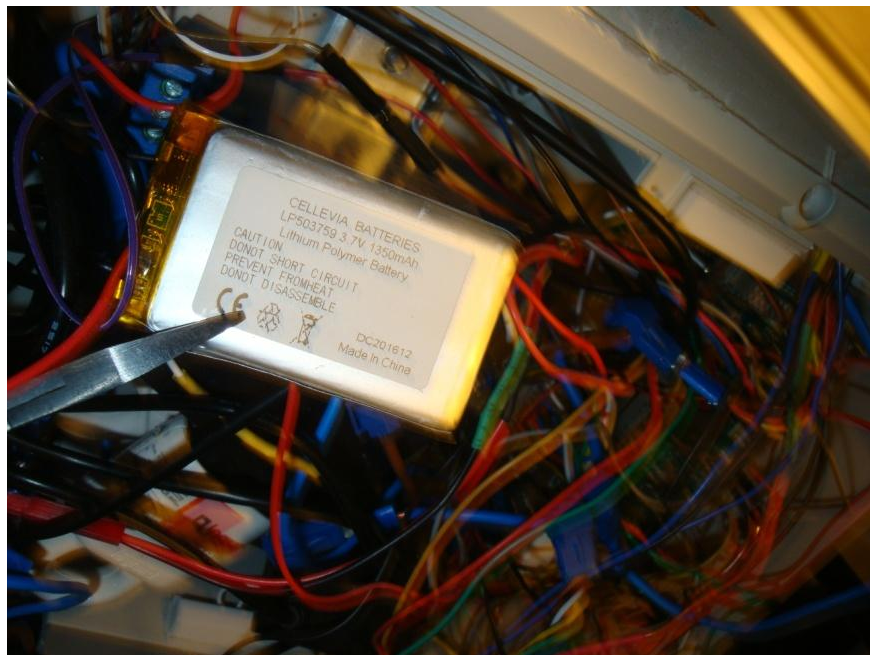
Σχήμα 7.9 Τα molex τροφοδοσίας του FONA και του Arduino DUE.

Στην διάτρητη πλακέτα έχουν τοποθετηθεί 2 molex ακροδέκτες των 2 ακροδεκτών ο καθένας. Ο ακροδέκτης (α) τροφοδοτεί με 5Volt τον πομποδέκτη FONA, ενώ ο ακροδέκτης (β) τροφοδοτεί το Arduino DUE με 5Volt μέσω της native θύρας. Τέλος έχει τοποθετηθεί μια μικρή διάτρητη πλακέτα στην πάνω δεξιά πλευρά του κουτιού, κάθετα. Ο σκοπός είναι να αυξηθεί ο αριθμός των ακροδεκτών για την τάση των 3.3Volt που χρησιμοποιείται στη μονάδα αποθήκευσης SD, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί μελλοντικά.



Σχήμα 7.10 Η διάτρητη πλακέτα επέκτασης των ακροδεκτών των 3.3 Volt.

Στο κάτω μέρος του κουτιού, αν και δεν είναι πολύ εμφανές, βρίσκονται 3 τροφοδοτικά. Το ένα τροφοδοτικό συνδέεται με τη διάτρητη πλακέτα και έχει χαρακτηριστικά 5V, 1A. Επιλέχθηκε τροφοδοτικό με αυτά τα χαρακτηριστικά για να τροφοδοτηθεί ταυτόχρονα η διάτρητη πλακέτα με τις βαθμίδες που φέρει, καθώς και το Arduino DUE. Το Arduino DUE μέσω της USB μπορεί να χρησιμοποιήσει έως 500mA. Βέβαια το Arduino DUE δε φτάνει στα όρια του, αφού χρησιμοποιεί μόνο 2 σειριακές θύρες και την SPI σύνδεση για την SD μονάδα αποθήκευσης. Μέσω του Arduino DUE, επίσης, τροφοδοτείται η μονάδα αποσύνδεσης/επανασύνδεσης φορτίου. Επομένως το 1A είναι ικανοποιητικό. Το δεύτερο τροφοδοτικό συνδέεται στον αισθητήρα τάσης που φαίνεται κάτω αριστερά με το μπλε χρώμα τοποθετημένο πάνω σε ράγα. Το τροφοδοτικό αυτό έχει χαρακτηριστικά 12Volt, 1A. Το τρίτο τροφοδοτικό συνδέεται στον πομποδέκτη FONA, με χαρακτηριστικά 2A, 5V. Τα 2A είναι υπεραρκετά καθώς ο πομποδέκτης μπορεί να χρειαστεί μέγιστο ρεύμα 500mA. Αριστερά του αισθητήρα ρεύματος βρίσκεται ο ηλεκτροσυσσωρευτής με χαρακτηριστικά 1350mAh, 3.7Volt, τύπου LiPo (Lithium Polymer), που απαιτείται για την ορθή λειτουργία του πομποδέκτη GSM/GPRS.



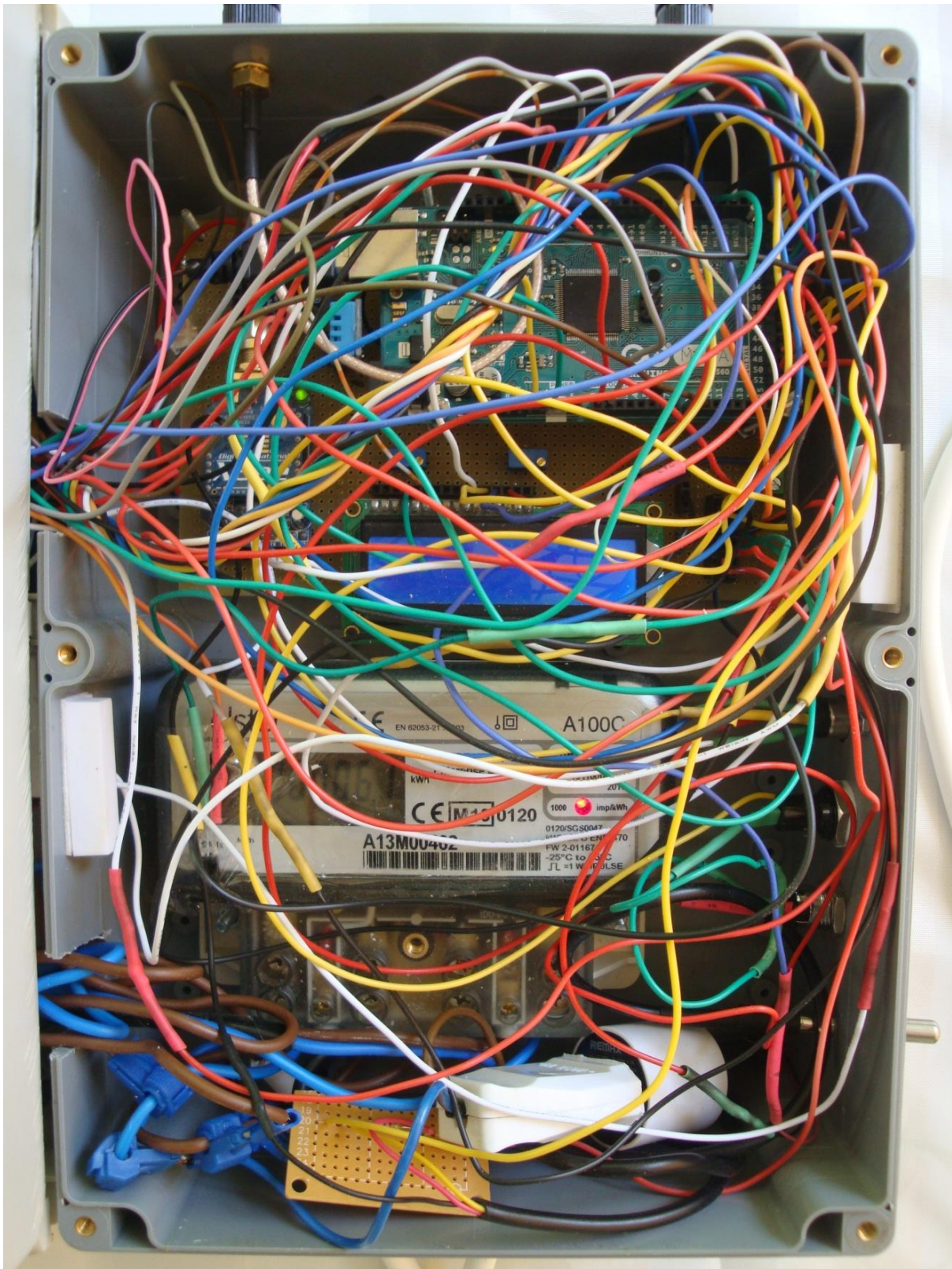
Σχήμα 7.11 Ο ηλεκτροσυσσωρευτής του πομποδέκτη FONA.

Στην κάτω αριστερή γωνία του κουτιού βρίσκεται τοποθετημένη η μονάδα αποθήκευσης δεδομένων SD, η οποία συνδέεται με το Arduino DUE, και τροφοδοτείται από αυτόν με 3.3 Volt.



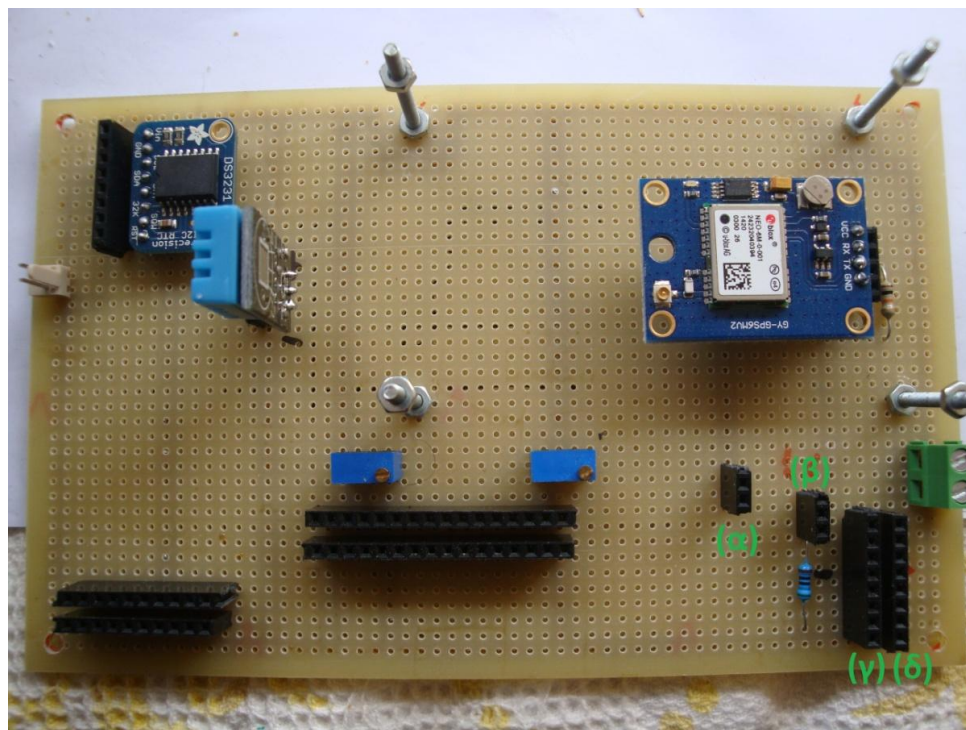
Σχήμα 7.12 Η μονάδα αποθήκευσης δεδομένων SD card (για μελλοντική χρήση) .

Τέλος διακρίνονται κάποια μπλε εξαρτήματα με τα οποία κάθετα από κάθε αγωγό, εφαρμόζονται άλλοι αγωγοί με τους οποίους συνδέονται τα τροφοδοτικά.



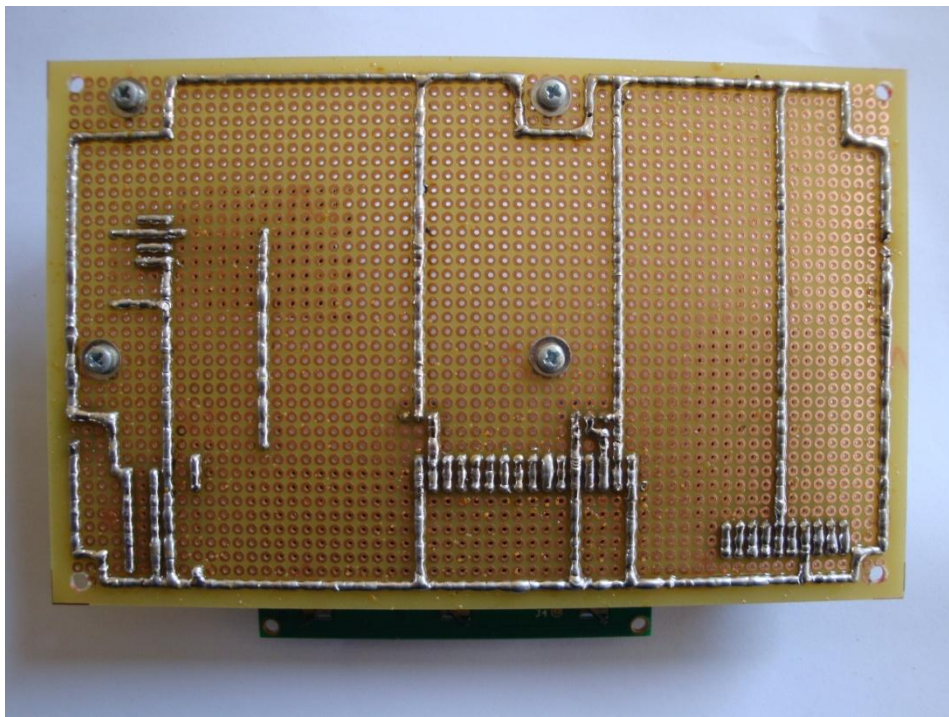
Σχήμα 7.13 Το δεξί κουτί του εξωτερικού μετρητή.

Στο δεξί κουτί (σχήμα 7.13), στο επάνω μέρος υπάρχει το Arduino MEGA 2560, που είναι και η κύρια μονάδα επεξεργασίας. Σε αυτό συνδέονται οι πιο πολλές βαθμίδες που έχουν περιγραφεί αναλυτικά σε προηγούμενο κεφάλαιο. Αρχικά συνδέεται το ενδεικτικό LED πράσινου χρώματος που βρίσκεται τοποθετημένο στο δεξί πάνω πλάγιο μέρος του κουτιού. Συνδέεται, επίσης, το Xbee Zigbee S2 μέσω του Xbee adapter με χρήση της σειριακής θύρας 2, και η μονάδα GPS μέσω της σειριακής θύρας 3. Επιπλέον συνδέεται το Arduino MEGA 2560 με το Arduino DUE μέσω της σειριακής θύρας 1 (για το Arduino MEGA 2560) με την σειριακή θύρα 1 (για το Arduino DUE). Η σειριακή θύρα 0 αφήνεται ελεύθερη καθώς δεν θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πραγματικό χρόνο αφού όταν συνδέεται ο Η/Υ μέσω της USB, η σειριακή θύρα 0 παύει να λειτουργεί, επιπλέον, επειδή η θύρα USB χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία του Arduino MEGA δεν θα είναι δυνατό να χρησιμοποιείται η σειριακή θύρα 0. Στο Arduino επίσης συνδέεται ο αισθητήρας θερμοκρασίας, ο αισθητήρας υγρασίας, οι 6 μαγνητικές επαφές και η οθόνη LCD. Η υποδοχή PS/2 του πληκτρολογίου συνδέεται επίσης στο Arduino, καθώς επίσης και ο πομποδέκτης GSM/GPRS μέσω software σειριακής επικοινωνίας.



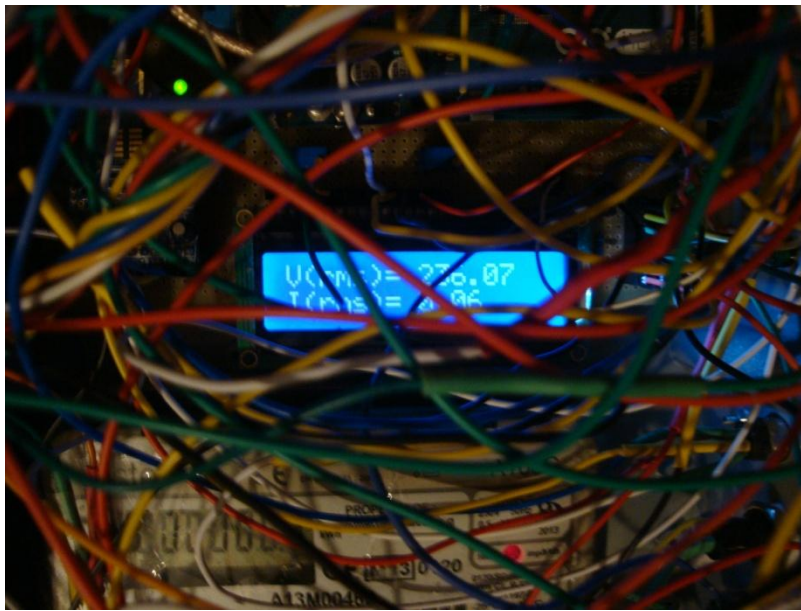
Σχήμα 7.14 Η διάτρητη πλακέτα κάτω από το Arduino MEGA 2560.

Κάτω από το Arduino MEGA 2560 υπάρχει η διάτρητη πλακέτα που φαίνεται στο σχήμα 7.14. Στην αριστερή πάνω γωνία διακρίνεται το RTC DS3231, το real-time ρολόι δηλαδή, το οποίο συνδέεται με το Arduino DUE μέσω του λογικού μετατροπέα που βρίσκεται τοποθετημένος στην διάτρητη πλακέτα του μεσαίου κουτιού. Διαγώνια δεξιά κάτω από το ρολόι βρίσκεται ο αισθητήρας υγρασίας DHT11. Στην αριστερή κάτω γωνία βρίσκονται οι ακροδέκτες τοποθέτησης του Xbee adapter καθώς και θέσεις για τους αγωγούς σύνδεσης με το Arduino. Δεξιά του, στο κέντρο, βρίσκονται οι ακροδέκτες για τη τοποθέτηση της LCD, των αγωγών σύνδεσης με το Arduino, ενώ από πάνω ακριβώς διακρίνονται τα 2 ποτενσιόμετρα που ρυθμίζουν την φωτεινότητα και την αντίθεση της οθόνης LCD. Δεξιά υπάρχουν κάποιοι ακόμα ακροδέκτες, ο (α) συνδέεται με το GPS, ο (β) είναι για την σύνδεση του ενδεικτικού LED, η σειρά ακροδεκτών (γ) είναι επέκταση της γείωσης, ενώ η σειρά ακροδεκτών (δ) είναι επέκταση των 5Volt. Δεξιά βρίσκεται ένα πράσινο εξάρτημα με το οποίο τροφοδοτείται η πλακέτα με 5Volt. Η πάνω υποδοχή είναι για τα 5Volt και η κάτω υποδοχή για τα 0Volt. Τέλος φαίνεται η βάση στήριξης του Arduino MEGA. Ενώ στο πίσω μέρος έχουν γίνει οι απαιτούμενες κολλήσεις για την σωστή λειτουργία του συστήματος.



Σχήμα 7.15 Η πίσω όψη της διάτρητης πλακέτας, κάτω από το Arduino MEGA.

Στο σχήμα 7.13 διακρίνονται, επίσης, οι συνδέσεις με τις κεραίες στο πάνω μέρος του κουτιού. Στο μέσο αριστερά φαίνεται το Xbee Zigbee, το οποίο διαθέτει δύο ενδεικτικά LED, ένα κόκκινου χρώματος, που λειτουργεί κατά την αποστολή ή λήψη δεδομένων και ένα LED πράσινου χρώματος, που λειτουργεί όταν υπάρχει τροφοδοσία στο Xbee. Εμφανής είναι στο κέντρο και η LCD οθόνη 16x2 χαρακτήρων με μπλε φωτισμό, που χρησιμοποιείται αρχικά για την είσοδο στοιχείων του καταναλωτή και έπειτα δείχνει συνεχώς την τιμή της τάσης και του ρεύματος φορτίου.



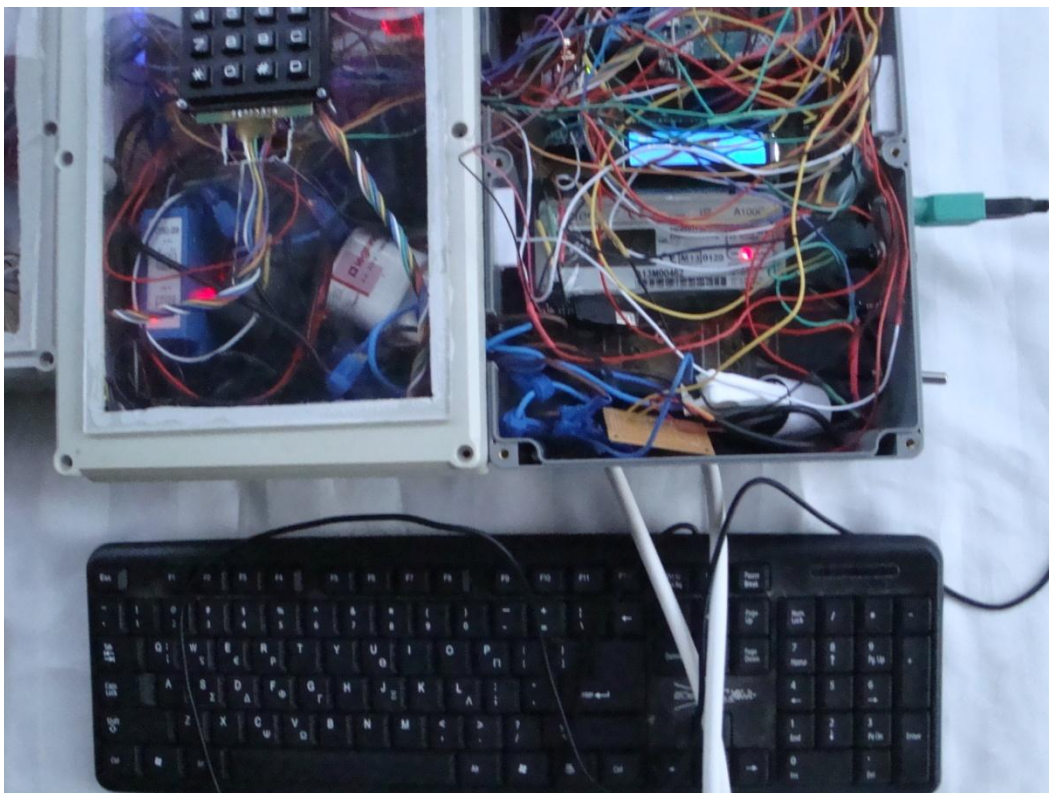
Σχήμα 7.16 Η οθόνη LCD εμφανίζει συνεχώς τη τρέχουσα τιμή της RMS τάσης στην πάνω γραμμή και την τρέχουσα τιμή του RMS ρεύματος στην κάτω γραμμή.

Στο κάτω μισό του κουτιού φαίνεται ο μετρητής Elster A100C ο οποίος καταμετρά τη συνολική δαπανηθείσα ενέργεια σε kWh, ο οποίος μέσω της υπέρυθρης θύρας στέλνει τα δεδομένα στο Arduino UNO που βρίσκεται στο αριστερό κουτί. Επίσης φαίνεται το μικρό τροφοδοτικό με χαρακτηριστικά 5Volt, 1A, με το οποίο τροφοδοτείται το Arduino MEGA καθώς και η διάτρητη πλακέτα και τα στοιχεία που είναι τοποθετημένα επάνω της. Αριστερά και δεξιά στα τοιχώματα του κουτιού υπάρχουν οι μαγνητικές επαφές ενώ στο κάτω μέρος στο κέντρο υπάρχει μια μικρή διάτρητη πλακέτα που φέρει την αντίσταση που χρησιμοποιείται για την

λειτουργία του αισθητήρα θερμοκρασίας. Και σε αυτό το κουτί, όπως και στο κεντρικό κουτί υπάρχουν τα μπλε εξαρτήματα με τα οποία κάθετα από κάθε αγωγό, εφαρμόζονται άλλοι αγωγοί με τους οποίους συνδέονται τα τροφοδοτικά.

Κατά την εκκίνηση του μετρητή αναβοσβήνει 3 φορές το πράσινο ενδεικτικό LED που βρίσκεται στο πλάι της κατασκευής. Την πρώτη φορά λειτουργίας ζητείται η καταχώρηση δεδομένων σχετικά με τον οικιακό καταναλωτή. Ακολούθως παρουσιάζονται ενδεικτικές εικόνες.

Προφανώς απαιτείται η σύνδεση πληκτρολογίου μέσω της θύρας PS/2.



Σχήμα 7.17 Σύνδεση του πληκτρολογίου μέσω PS/2 στον εξωτερικό μετρητή.

Τα στοιχεία που ζητούνται είναι:

Όνομα



Επώνυμο



Αριθμός Συνδρομητή



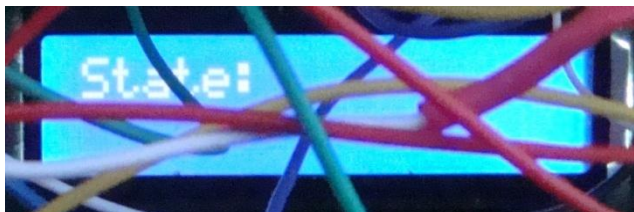
Διεύθυνση κατοικίας



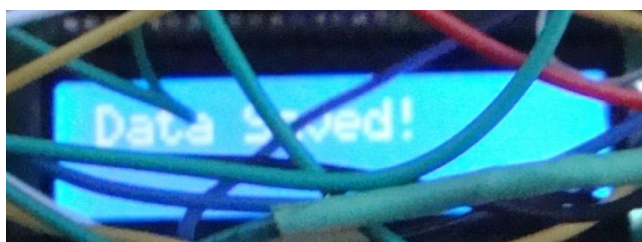
Αριθμός Διεύθυνσης



Περιοχή



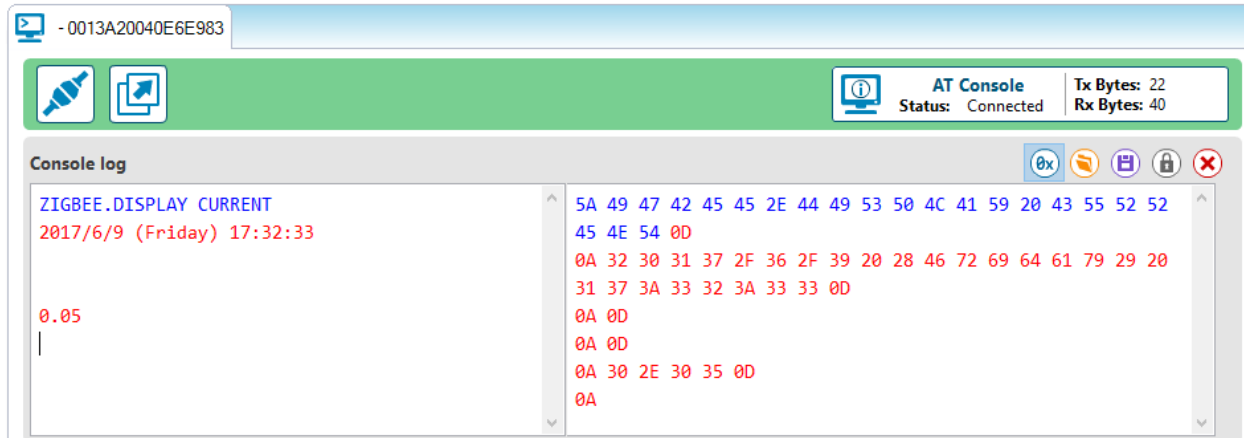
Ενώ στο τέλος υπάρχει η ένδειξη επιτυχημένης αποθήκευσης των δεδομένων.



Παρακάτω παρουσιάζονται οι εντολές που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο του εξωτερικού μετρητή και τα αποτελέσματα που λαμβάνονται. Οι εντολές που αποστέλλονται από τον Η/Υ μέσω του zigbee module που είναι συνδεδεμένο μέσω USB, εμφανίζονται με μπλε χρώμα. Ενώ οι απαντήσεις που λαμβάνονται από τον μετρητή εμφανίζονται με κόκκινο χρώμα.

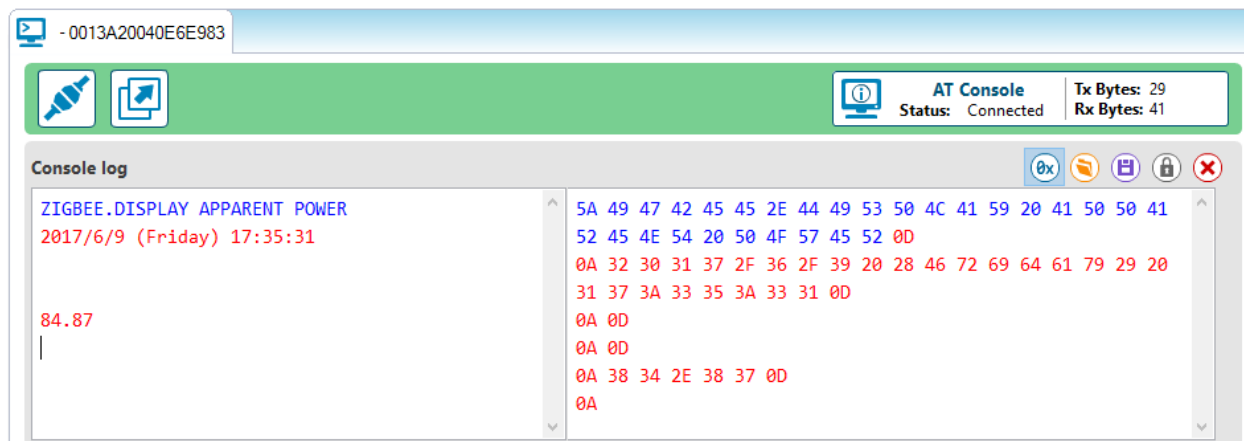
Αρχικά αποστέλλεται η εντολή για την μέτρηση της τιμής του ρεύματος. Η εντολή αυτή είναι η *ZIGBEE.DISPLAY CURRENT*. Ο μετρητής αφού λαβει την εντολή αυτή, επικοινωνεί με το Arduino DUE μέσω της Serial1 9600bps (για το Arduino MEGA) και Serial 1 9600bps (για το Arduino DUE). Το Arduino DUE που είναι συνδεδεμένο με το RTC ρολόι μέσω των SDA και SCL, ενημερώνεται για τη τρέχουσα ημερομηνία και ώρα και την επιστρέφει στο Arduino MEGA 2560. Το Arduino MEGA 2560 με την σειρά του αποστέλλει την ημερομηνία και την ώρα

διαμέσου του Xbee Zigbee S2 στα 38400bps και στη συνέχεια αποστέλλει και την τιμή του RMS ρεύματος σε Ampere που έχει «διαβάσει» από την αναλογική είσοδο A1.



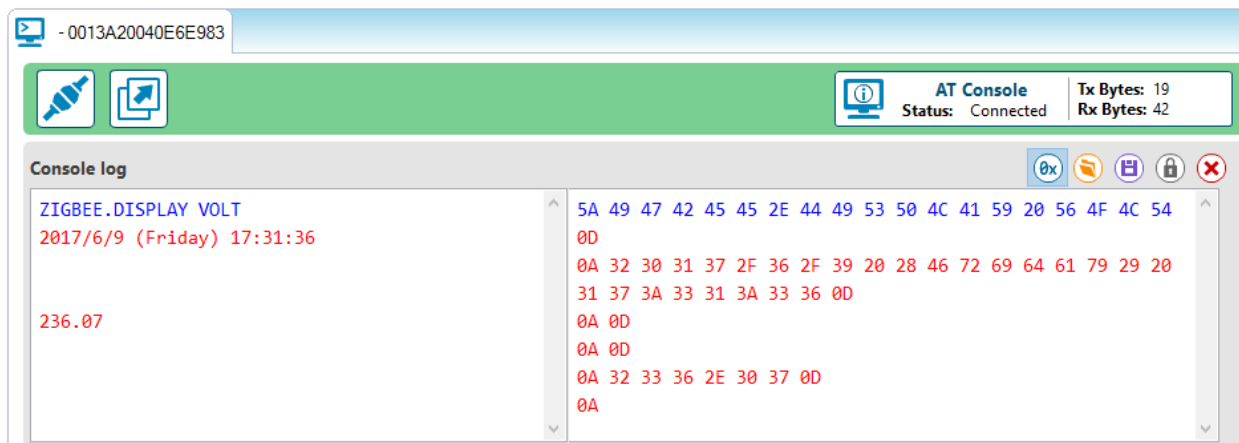
Σχήμα 7.18 Αποστολή εντολής και λήψη της τιμής ρεύματος μέσω Zigbee.

Επόμενη εντολή που αποστέλλεται στο μετρητή είναι η `ZIGBEE.DISPLAY APPARENT POWER` και ο μετρητής επιστρέφει στην οθόνη την ημερομηνία και ώρα καθώς και την τρέχουσα τιμή της Φαινόμενης Ισχύος S σε VA.



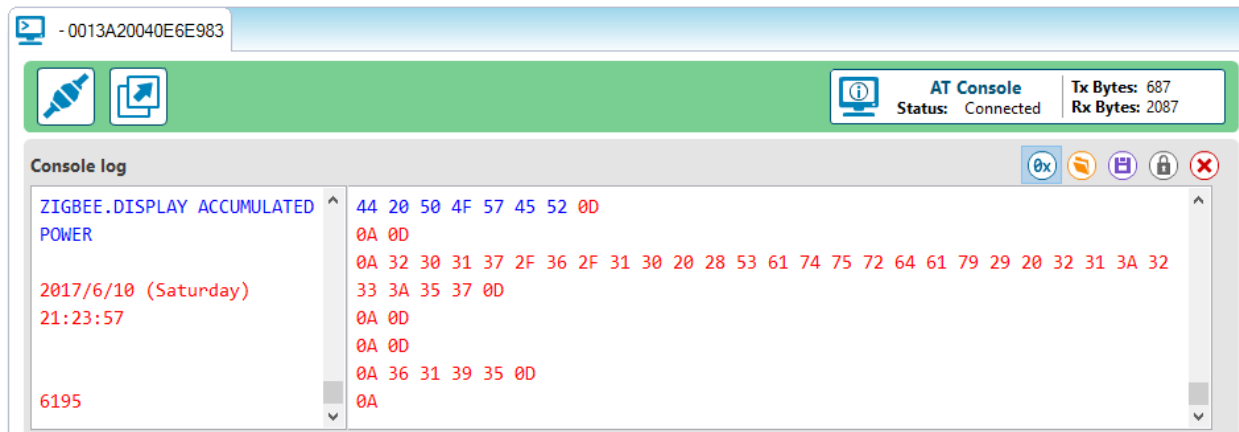
Σχήμα 7.19 Αποστολή εντολής και λήψη της τιμής φαινόμενης ισχύος μέσω Zigbee.

Στην συνέχεια αποστέλλεται η εντολή `ZIGBEE.DISPLAY VOLT`, όπου ο μετρητής επιστρέφει τρέχουσα ημερομηνία και ώρα καθώς και την τιμή της RMS τάσης σε Volt που έχει «διαβάσει» από την αναλογική είσοδο A0.



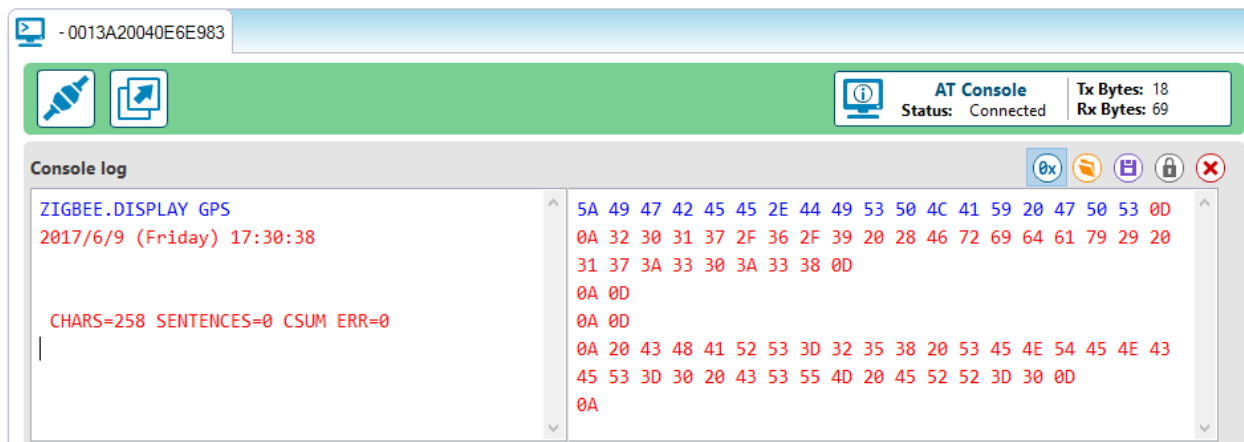
Σχήμα 7.20 Αποστολή εντολής και λήψη της τιμής τάσης μέσω Zigbee.

Με την εντολή `ZIGBEE.DISPLAY ACCUMULATED POWER`, λαμβάνεται ως απάντηση η συνολική καταναλωθείσα ενέργεια ως εκείνη την χρονική στιγμή σε kWh. Αυτό γίνεται ως εξής: το Arduino UNO καταμετρά συνεχώς (με περίοδο 1 sec) την τιμή που παρέχει ο ευφυής μετρητής Elster A100C μέσω της υπέρυθρης θύρας και αποστέλλει τα δεδομένα στον ακροδέκτη 2. Στην συνέχεια μέσω σειριακής θύρας (Serial 0 για το Arduino UNO, Serial 2 για το Arduino DUE) μεταδίδεται η μέτρηση στο Arduino DUE. Έπειτα μέσω της σειριακής επικοινωνίας 1 (για το Arduino DUE) και της σειριακής επικοινωνίας 1 (για το Arduino MEGA), λαμβάνει τα δεδομένα το Arduino MEGA από το Arduino DUE και τα προωθεί στη σειριακή θύρα 2, όπου είναι συνδεδεμένο το Xbee Zigbee S2. Τα δεδομένα τελικά λαμβάνονται ασύρματα από τον Η/Υ μέσω του Zigbee που είναι συνδεδεμένο στην θύρα USB.



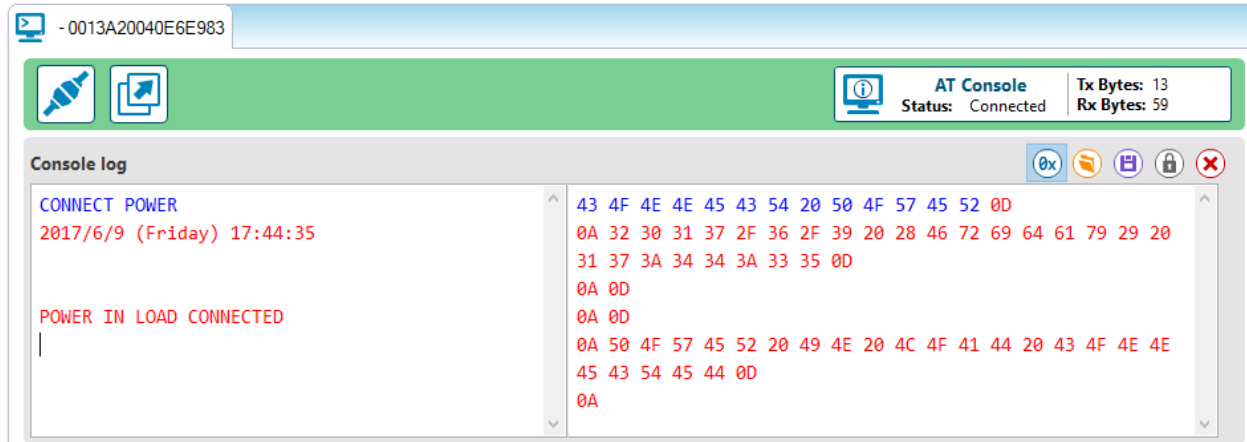
Σχήμα 7.21 Αποστολή εντολής και λήψη της τιμής της συνολικής καταναλωθείσας ενέργειας μέσω Zigbee.

Στην συνέχεια αποστέλλεται η εντολή *ZIGBEE.DISPLAY GPS*. Ο μετρητής επιστρέφει ημερομηνία, ώρα και το στίγμα της συσκευής, δηλαδή γεωγραφικό μήκος, γεωγραφικό πλάτος, όταν υπάρχει δορυφορικό σήμα. Διαφορετικά τον αριθμό των δεδομένων που έχει λάβει ως την ανεύρεση σήματος κατά την εκκίνηση λειτουργίας, όταν δεν έχει εντοπίσει δορυφορικό σήμα.



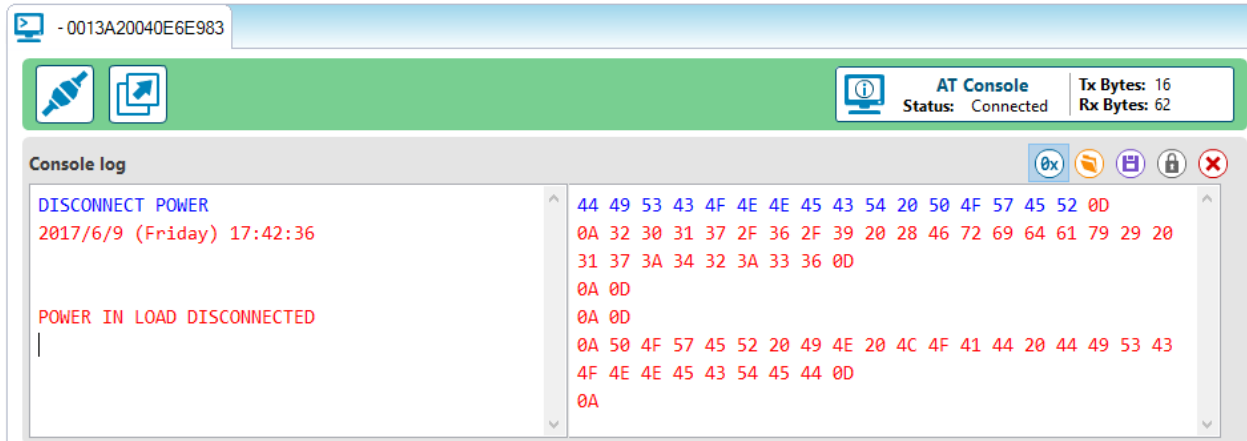
Σχήμα 7.22 Αποστολή εντολής και λήψη του στίγματος GPS μέσω Zigbee.

Στη συνέχεια αποστέλλεται η εντολή *CONNECT POWER*, με την οποία ο μετρητής συνδέει το φορτίο (οικιακό καταναλωτή) μέσω της αντίστοιχης μονάδας των ρελέ. Ο μετρητής επιστρέφει ημερομηνία και ώρα, καθώς και την επιβεβαίωση ότι η εντολή εκτελέστηκε με επιτυχία.



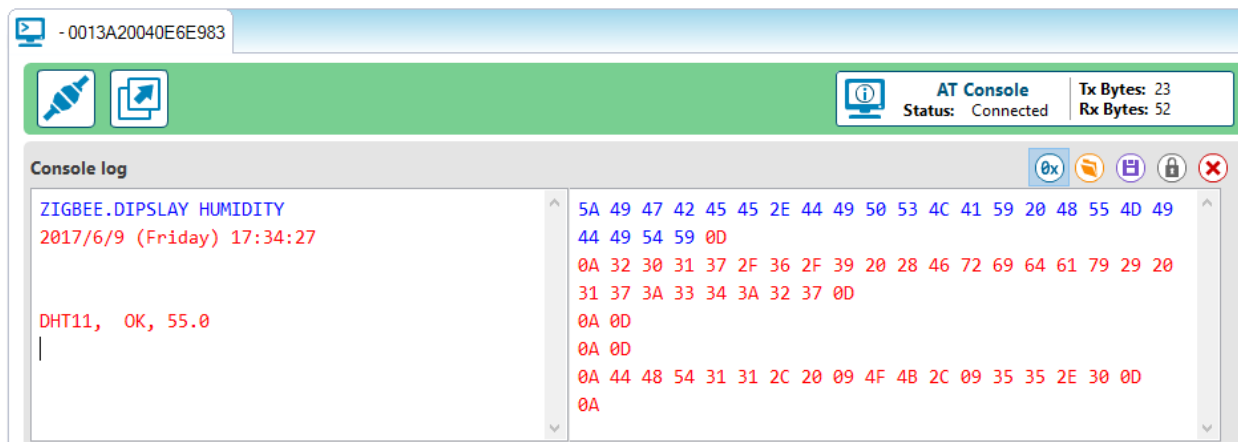
Σχήμα 7.23 Αποστολή εντολής σύνδεσης του φορτίου και λήψη της επιβεβαίωσης μέσω Zigbee.

Με την επόμενη εντολή, δηλαδή την *DISCONNECT POWER*, ο μετρητής κάνει την αντίστροφη εργασία με πριν. Δηλαδή αποσυνδέει τον οικιακό καταναλωτή μέσω χρήσης της μονάδας των ρελέ. Και σε αυτήν την περίπτωση επιστρέφει ημερομηνία και ώρα καθώς και επιβεβαίωση εκτέλεσης της εντολής.



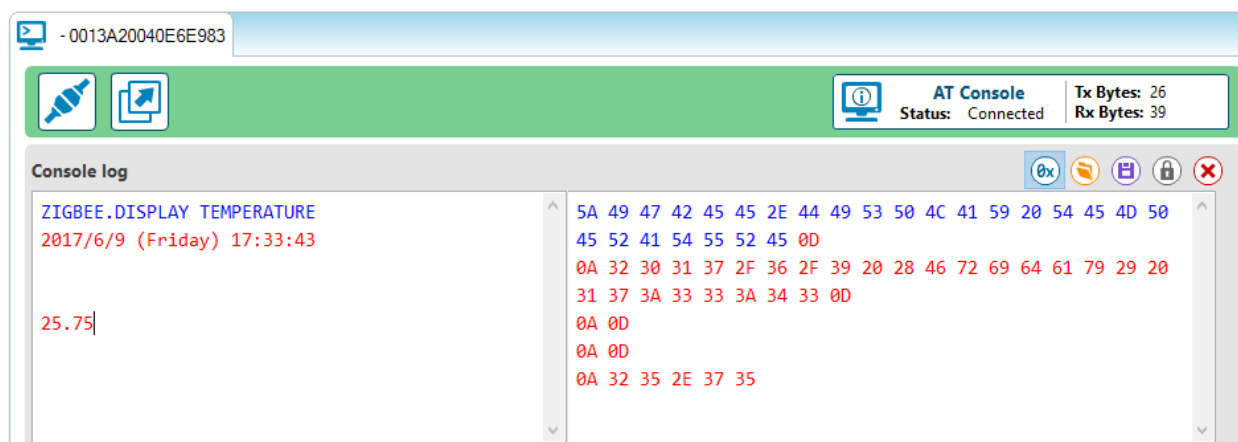
Σχήμα 7.24 Αποστολή εντολής αποσύνδεσης του φορτίου και λήψη της επιβεβαίωσης μέσω Zigbee.

Ακολουθεί η εντολή *ZIGBEE.DISPLAY HUMIDITY*, με χρήση της οποίας ο μετρητής επιστρέφει ημερομηνία ώρα, κατάσταση του αισθητήρα και το ποσοστό της υγρασίας στο περιβάλλον.



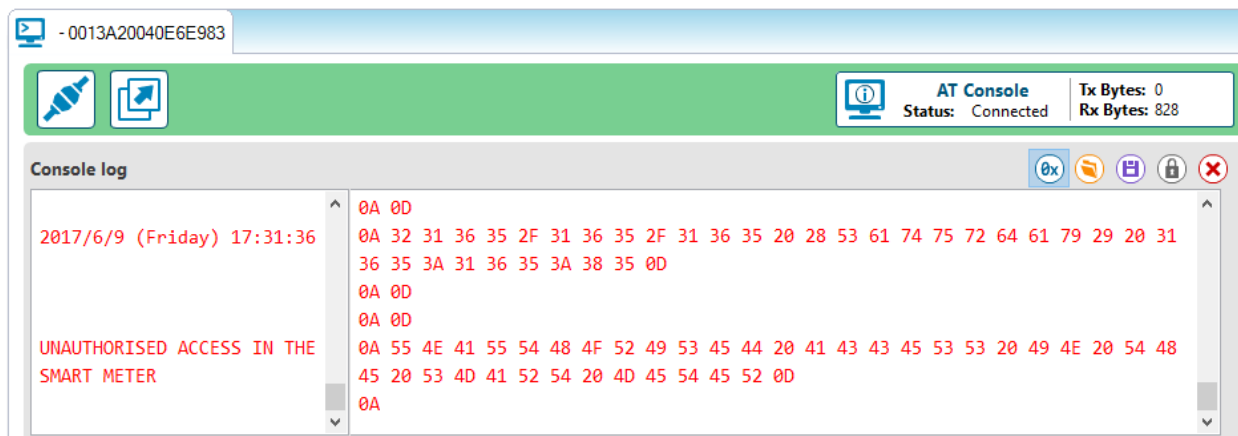
Σχήμα 7.25 Αποστολή εντολής υγρασίας και λήψη της απάντησης μέσω Zigbee.

Με την εντολή `ZIGBEE.DISPLAY TEMPERATURE`, ο μετρητής επιστρέφει ημερομηνία, ώρα και την θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου.



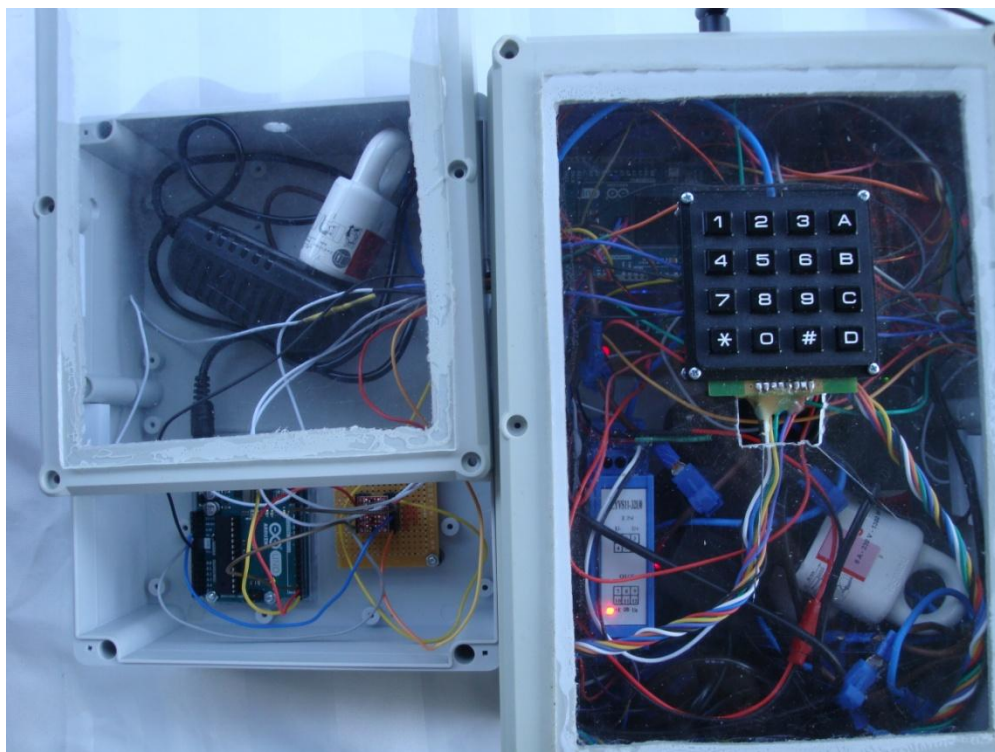
Σχήμα 7.26 Αποστολή εντολής θερμοκρασίας και λήψη της απάντησης μέσω Zigbee.

Όταν ανοιχτεί κάποιο από τα καλύμματα των κουτιών χωρίς προηγουμένως να έχει εισαχθεί ο σωστός κωδικός, τότε αποστέλλεται μήνυμα στο κεντρικό κόμβο (MDMS) ότι υπάρχει παραβίαση του μετρητή.



Σχήμα 7.27 Μήνυμα ενημέρωσης μη εξουσιοδοτημένης πρόσβασης στον εξωτερικό μετρητή.

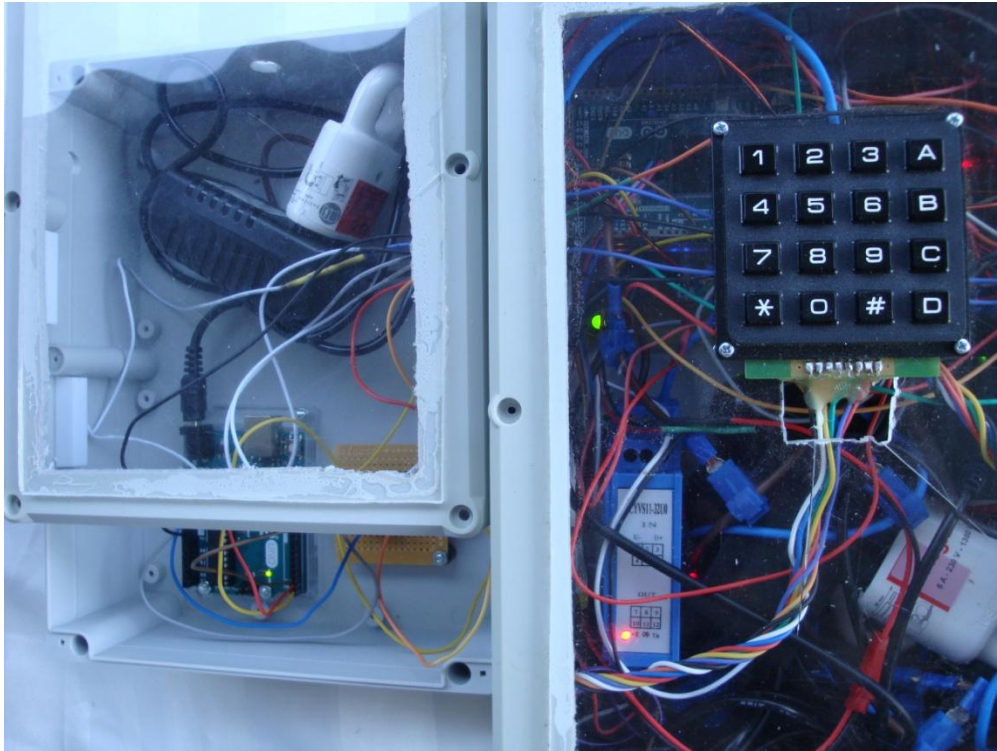
Αναφέρεται στο σημείο αυτό πως λειτουργεί η διαδικασία εισόδου του 4-ψήφιου κωδικού για το άνοιγμα των καλυμμάτων του μετρητή. Όπως φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα το ενδεικτικό LED κόκκινου χρώματος, βρίσκεται εν λειτουργία όταν δεν έχει δοθεί ο κωδικός ασφαλείας.



Σχήμα 7.28 Ένδειξη του κοκκινου LED, που σημαίνει πως δεν έχει δοθεί ο κωδικός ξεκλειδώματος στο πληκτρολόγιο 4x4.

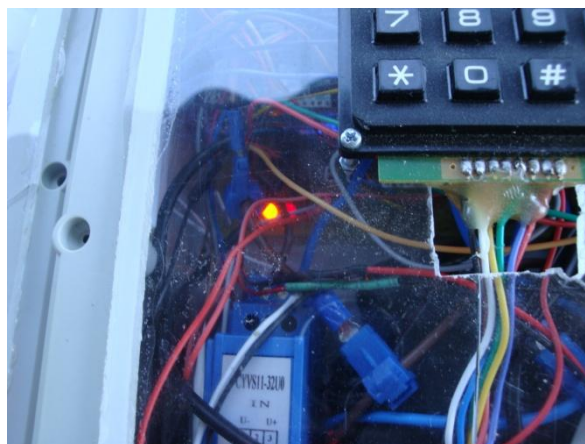
Όταν ανοιχτεί κάποιο από τα τρία καλύματα, τότε αποστέλλεται το μήνυμα παραβίασης.

Διαφορετικά, αν δοθεί ο κωδικός, απενεργοποιείται το LED κόκκινου χρώματος και ενεργοποιείται το LED πράσινου χρώματος, όπως φαίνεται στο σχήμα 7.29. Τότε ο τεχνικός μπορεί να έχει πρόσβαση στον μετρητή χωρίς να αποστέλλεται κάποιο μήνυμα παραβίασης.



Σχήμα 7.29 Ένδειξη του πράσινου LED, που σημαίνει πως έχει δοθεί ο κωδικός ξεκλειδώματος στο πληκτρολόγιο 4x4.

Το πληκτρολόγιο 4x4 έχει 3 λειτουργίες. Η πρώτη είναι η καταχώρηση του σωστού κωδικού. Αυτό γίνεται ως εξής: πιέζοντας το μπουτόν 'B' ενεργοποιείται το πορτοκαλί LED. Υπάρχει η δυνατότητα μέχρι 3 φορές να δοθεί ο σωστός 4-ψήφιος κωδικός. Σε περίπτωση αποτυχημένης εισόδου απενεργοποιείται το LED για 500ms, μέχρι την επόμενη δυνατότητα, ενώ σε επιτυχημένη αναβοσβήνει 3 φορές και μετά απενεργοποιείται, ένδειξη ότι εισήχθει ο σωστός κωδικός.

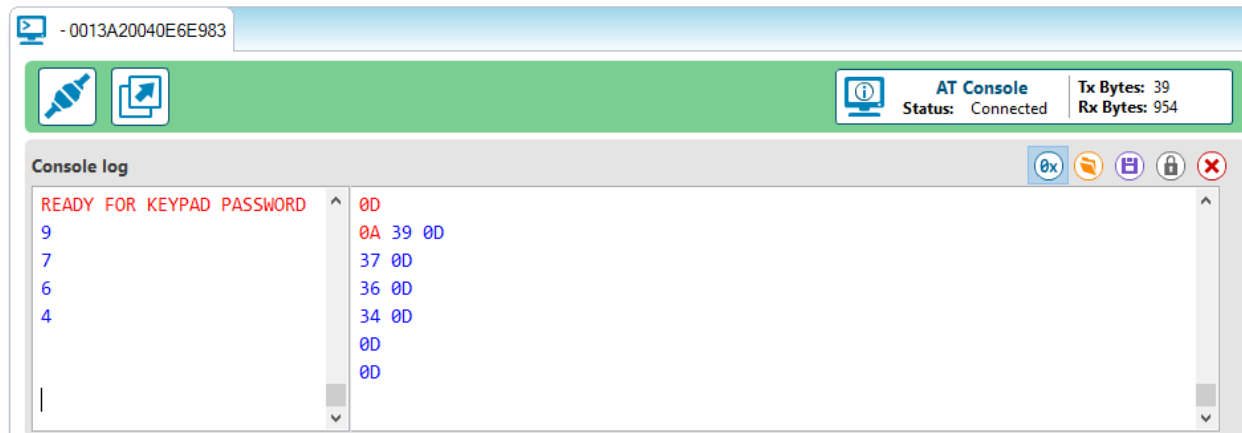


Σχήμα 7.30 Το πορτοκαλί LED ενεργοποιείται κατά την είσοδο κωδικού από το πληκτρολόγιο 4x4.

Η άλλη λειτουργία του πληκτρολογίου 4x4 είναι η δυνατότητα αλλαγής κωδικού. Ο τεχνικός έχει και πάλι την δυνατότητα μέχρι 3 φορές να πληκτρολογήσει το σωστό κωδικό, πατώντας αρχικά το μπουτόν 'Α'. Αφού πληκτρολογηθεί ο σωστός κωδικός, μετά μπορεί να πληκτρολογηθεί ο νέος, ο οποίος από εκείνη την χρονική στιγμή και μετά θα είναι ο νέος κωδικός εν ισχύ.

Η τρίτη λειτουργία του πληκτρολογίου είναι αυτή του κλειδώματος. Και πιο συγκεκριμένα αφού ανοιχτεί ο μετρητής και γίνουν οι απαραίτητες εργασίες συντήρησης, αναβάθμισης κ.τ.λ., απαιτείται το «κλείδωμα» του με το πάτημα του μπουτόν 'C' και στη συνέχεια πληκτρολόγηση του σωστού κωδικού. Ο τεχνικός έχει την δυνατότητα να επιχειρήσει να εισάγει τον σωστό κωδικό 3 φορές.

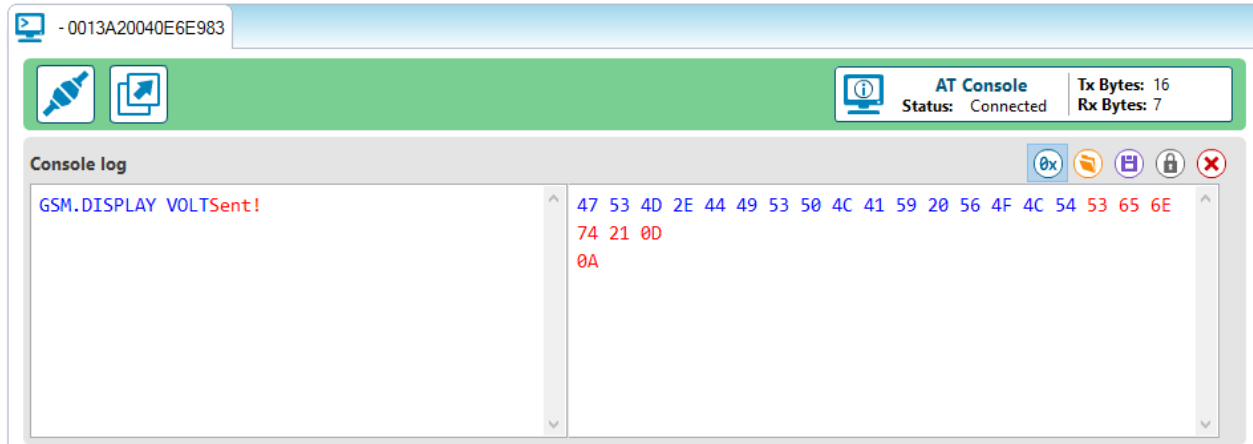
Και στις 3 προηγούμενες λειτουργίες του πληκτρολογίου 4x4, σε περίπτωση αποτυχίας και στις 3 εισαγωγές, απενεργοποιείται το πορτοκαλί LED και «κλειδώνεται» ο μετρητής και πρέπει να γίνει ενεργοποίηση από το κέντρο (MDMS) όπως φαίνεται και στο σχήμα 7.31.



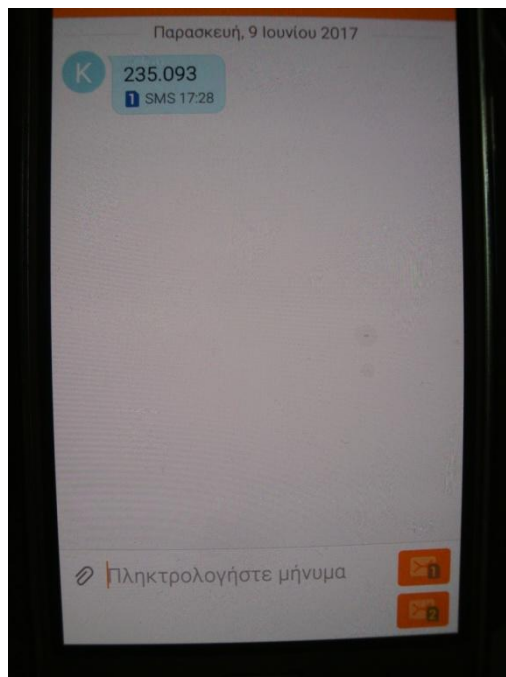
Σχήμα 7.31 Αποστολή νέου κωδικού μέσω Zigbee από τον Η/Υ.

Ακολουθούν εντολές σχετικά με τη χρήση του πομποδέκτη GSM/GPRS. Δηλαδή αποστέλλονται οι εντολές μέσω Zigbee και λαμβάνονται οι απαντήσεις σε τηλέφωνο κυψελωτών επικοινωνιών. Στη θέση του κυψελωτού τηλεφώνου θα μπορούσε να βρίσκεται ένας άλλος πομποδέκτης GSM/GPRS συνδεδεμένος στο MDMS.

Αρχικά αποστέλλεται η εντολή *GSM.DISPLAY VOLT*. Το Arduino MEGA λαμβάνει την εντολή μέσω του Zigbee, καταμετρά την RMS τάση μέσω του αισθητήρα τάσης και επικοινωνεί μέσω Software Serial με τον πομποδέκτη GSM/GPRS FONIA, ο οποίος στη συνέχεια αποστέλλει την RMS τάση. Όταν υπάρχει επιτυχής αποστολή SMS από τον μετρητή, λαμβάνεται μέσω Zigbee η ένδειξη «Sent!», διαφορετικά την ένδειξη «Failed!». Πιθανές αιτίες για αυτό είναι η έλλειψη GSM σήματος ή η έλλειψη πιστωτικών μονάδων στην κάρτα SIM. Όπως φαίνεται και στις φωτογραφίες ακολούθως.

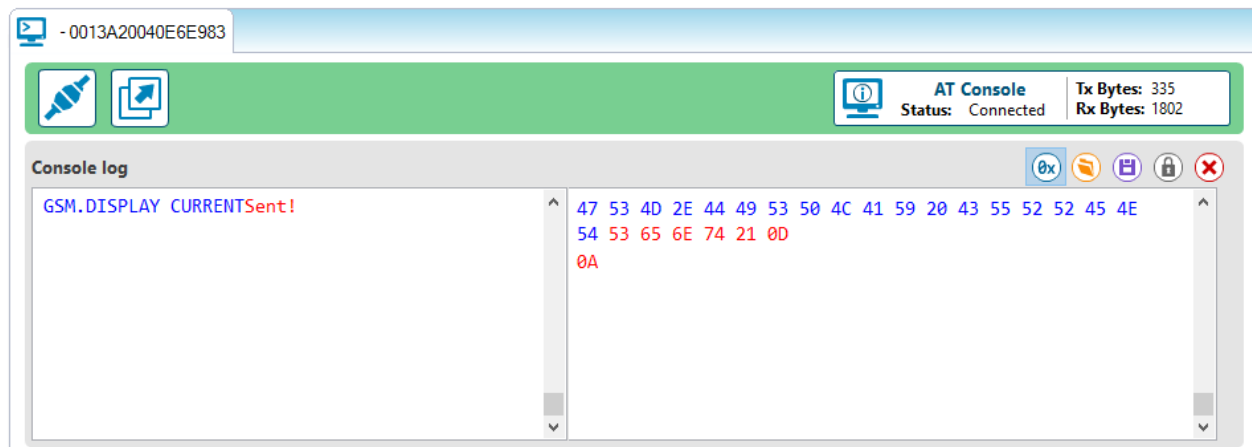


Σχήμα 7.32 Επιτυχημένη αποστολή εντολής μέσω Zigbee/GSM για την τιμή της τάσης.

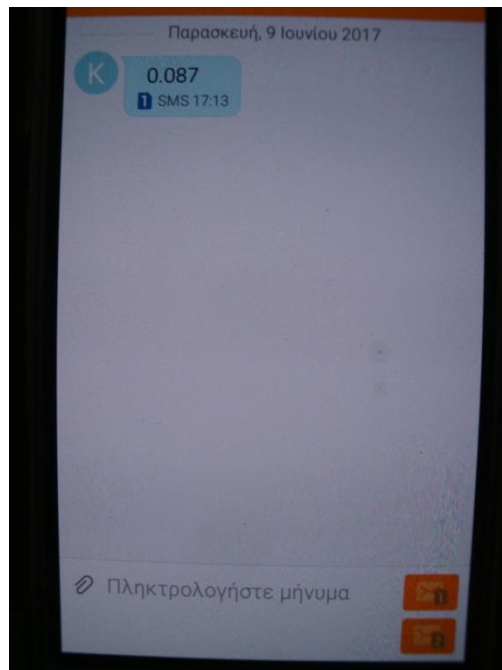


Σχήμα 7.33 Η απάντηση για την τάση μέσω GSM.

Με την εντολή *GSM.DISPLAY CURRENT*, ο μετρητής καταμετρά το RMS ρεύμα σε Ampere και αποστέλλει την πληροφορία στο κυψελωτό τηλέφωνο, μέσω της μονάδας FONIA. Παρακάτω παρατίθενται οι αντίστοιχες εικόνες.

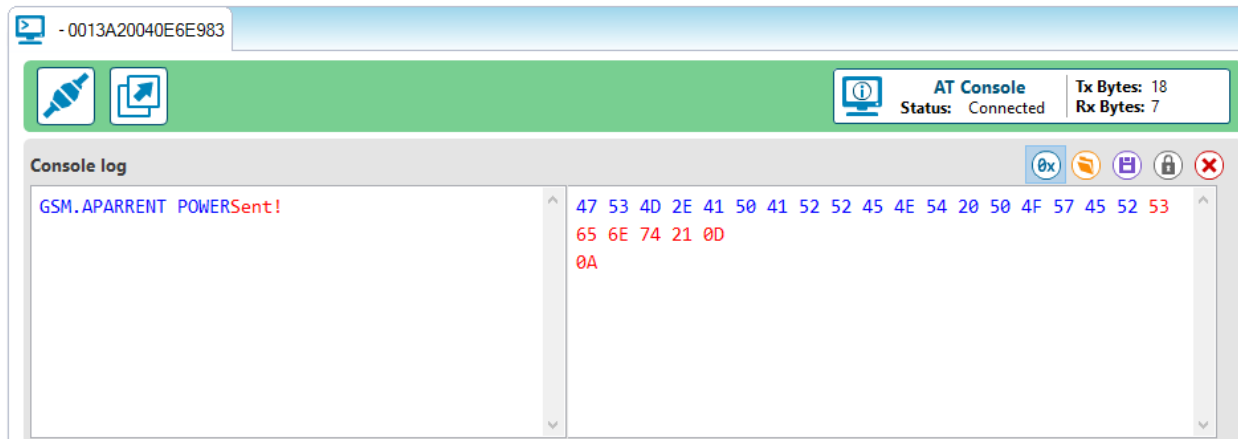


Σχήμα 7.34 Επιτυχημένη αποστολή εντολής μέσω Zigbee/GSM για την τιμή ρεύματος.

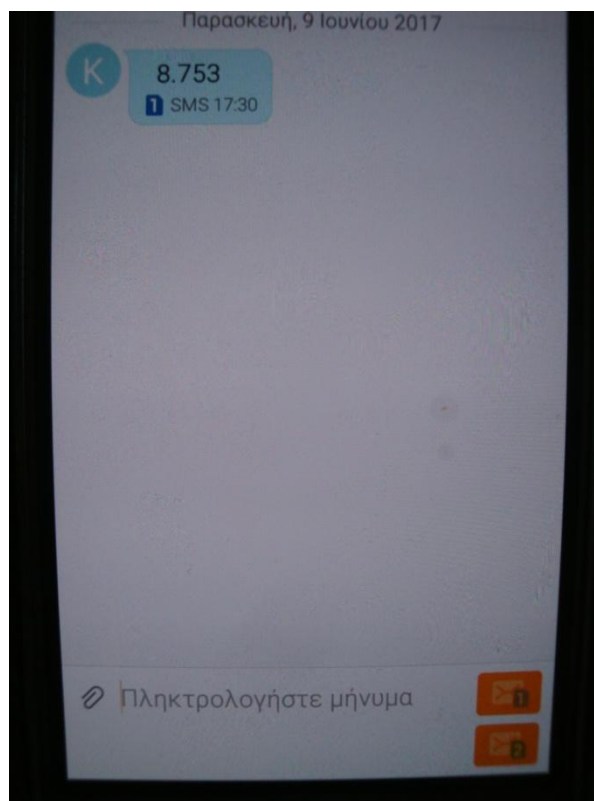


Σχήμα 7.35 Η απάντηση για το ρεύμα μέσω GSM.

Με την εντολή *GSM.APARRENT POWER*, ο μετρητής επιστρέφει ως απάντηση την Φαινόμενη Ισχύ σε VA.

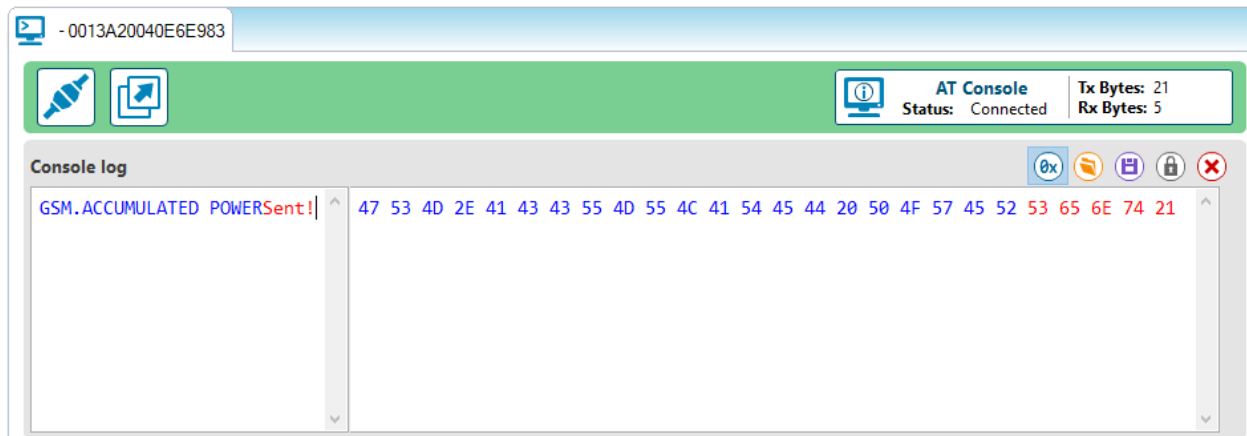


Σχήμα 7.36 Επιτυχημένη αποστολή εντολής μέσω Zigbee/GSM για τη Φαινόμενη Ισχύ.

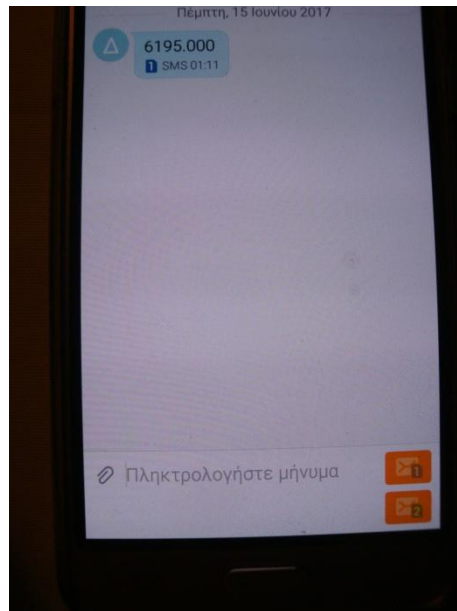


Σχήμα 7.37 Η απάντηση για τη φαινόμενη ισχύ μέσω GSM.

Με την εντολή *GSM.ACCUMULATED POWER*, ο μετρητής αποστέλλει την συνολική καταναλωθείσα ενέργεια ως εκείνη την χρονική στιγμή σε kWh.



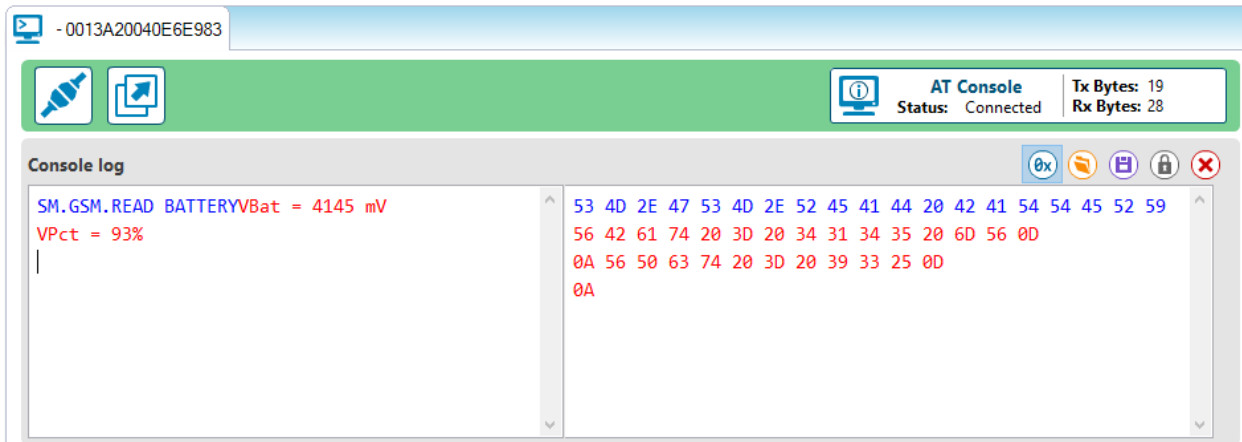
Σχήμα 7.38 Επιτυχημένη αποστολή εντολής μέσω Zigbee/GSM για την αθροιστική καταναλωθείσα ενέργεια.



Σχήμα 7.39 Η απάντηση για την καταναλωθείσα ενέργεια μέσω GSM.

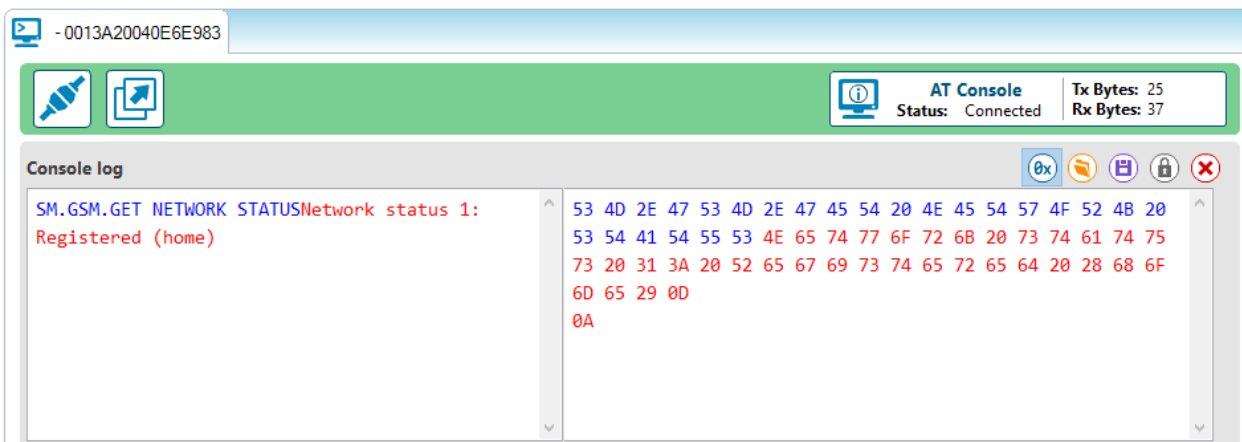
Ακολουθούν κάποιες από τις εντολές ελέγχου, σωστής λειτουργίας κυρίως, του μετρητή.

Με την εντολή *SM.GSM.READ BATTERY*, λαμβάνονται πληροφορίες σχετικά με την τάση που απομένει στη μπαταρία που χρησιμοποιεί ο GSM/GPRS πομποδέκτης FONIA, καθώς επίσης και για το ποσοστό φόρτισης της.



Σχήμα 7.40 Εντολή μέσω Zigbee για την ανάγνωση της κατάστασης του ηλεκτροσυσσωρευτή του FONA.

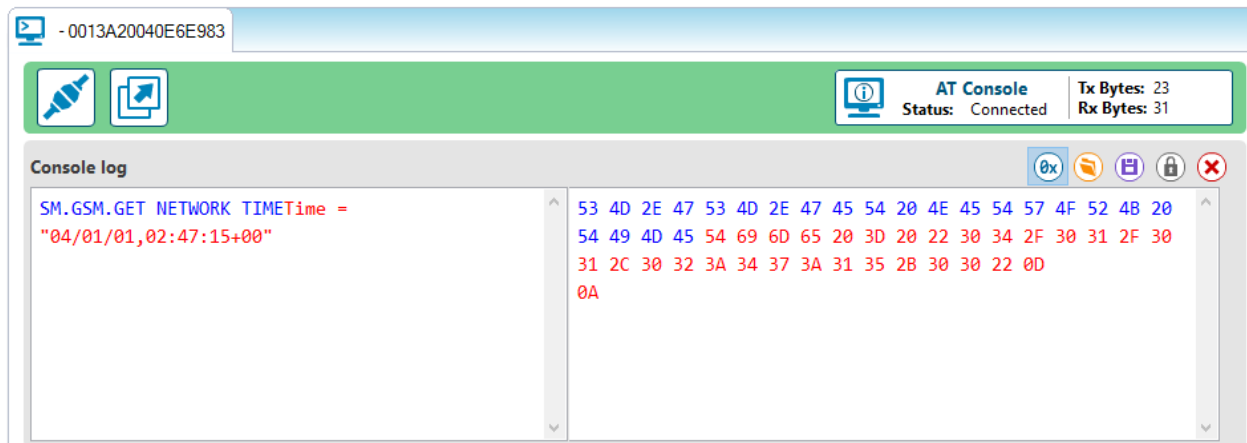
Με την εντολή *SM.GSM.GET NETWORK STATUS*, λαμβάνονται πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση του πομποδέκτη, δηλαδή αν αναζητά σταθμό βάσης του κυψελωτού δικτύου τηλεπικοινωνιών, με την ένδειξη «Network status 2: Not registered (searching)» ή αν έχει βρει σταθμό βάσης (κυψέλη) και έχει συνδεθεί «Registered» όπως παρουσιάζεται παρακάτω.



Σχήμα 7.41 Εντολή μέσω Zigbee για την ανάγνωση της κατάστασης του status του FONA.

Με την εντολή *SM.GSM.GET NETWORK TIME*, λαμβάνεται ως απάντηση η ημερομηνία και ώρα που λαμβάνεται από το FONA, όταν αυτό επικοινωνεί με τον σταθμό βάσης. Επειδή τις

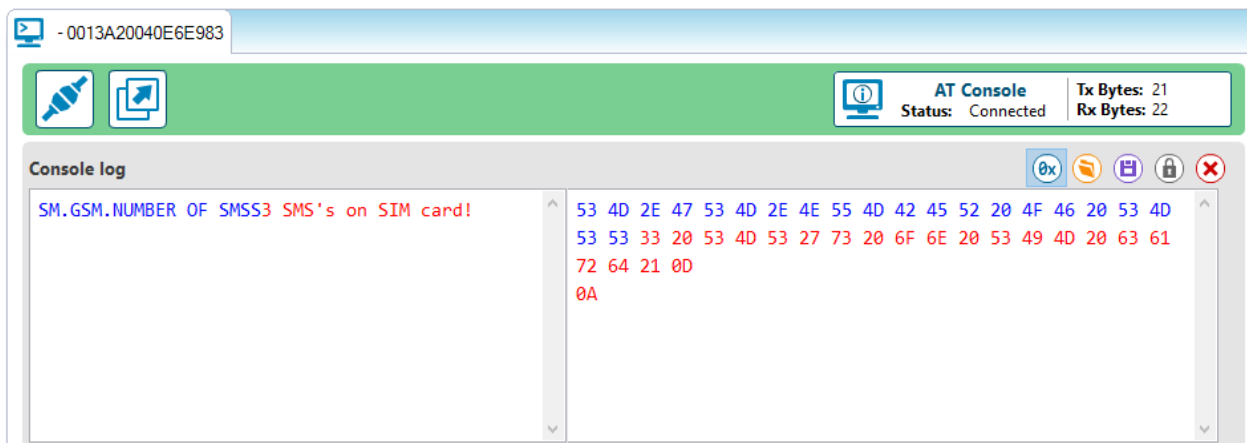
περισσότερες φορές η πληροφορία αυτή είναι λάθος, στην κατασκευή χρησιμοποιήθηκε, εν τέλει, εξωτερικό ρολόι RTC σε σύνδεση με το Arduino DUE.



```
SM.GSM.GET NETWORK TIMETime =
"04/01/01,02:47:15+00"
53 4D 2E 47 53 4D 2E 47 45 54 20 4E 45 54 57 4F 52 4B 20
54 49 4D 45 54 69 6D 65 20 3D 20 22 30 34 2F 30 31 2F 30
31 2C 30 32 3A 34 37 3A 31 35 2B 30 30 22 0D
0A
```

Σχήμα 7.42 Εντολή μέσω Zigbee για την ανάγνωση της ημερομηνίας και ώρας του FONa.

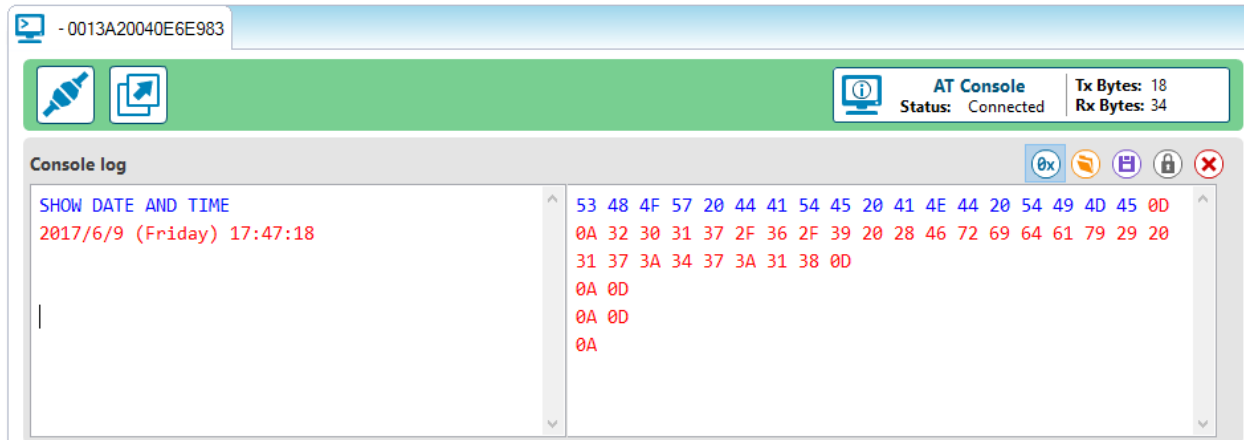
Με την εντολή *SM.GSM.NUMBER OF SMSS* λαμβάνεται ως απάντηση ο αριθμός των SMS που βρίσκονται αποθηκευμένα στην κάρτα SIM. Επιπλέον με την εντολή *SM.GSM.READ SMS#*, μπορεί να διαβαστεί κάποιο SMS, με την εντολή *SM.GSM.READ ALL SMS* μπορούν να διαβαστούν όλα τα SMS, και τέλος με την εντολή *SM.GSM.DELETE SMS#* μπορεί να γίνει διαγραφή σε ένα συγκεκριμένο SMS, ενώ τέλος με την εντολή *SM.GSM.UNLOCK SIM* ξεκλειδώνεται η SIM κάρτα δίνοντας τον κωδικό PIN.



```
SM.GSM.NUMBER OF SMSS3 SMS's on SIM card!
53 4D 2E 47 53 4D 2E 4E 55 4D 42 45 52 20 4F 46 20 53 4D
53 53 33 20 53 4D 53 27 73 20 6F 6E 20 53 49 4D 20 63 61
72 64 21 0D
0A
```

Σχήμα 7.43 Εντολή μέσω Zigbee για την ανάγνωση του αριθμού των μηνυμάτων του FONa.

Με την εντολή *SHOW DATE AND TIME* λαμβάνεται ως απάντηση η τρέχουσα ημερομηνία και ώρα.

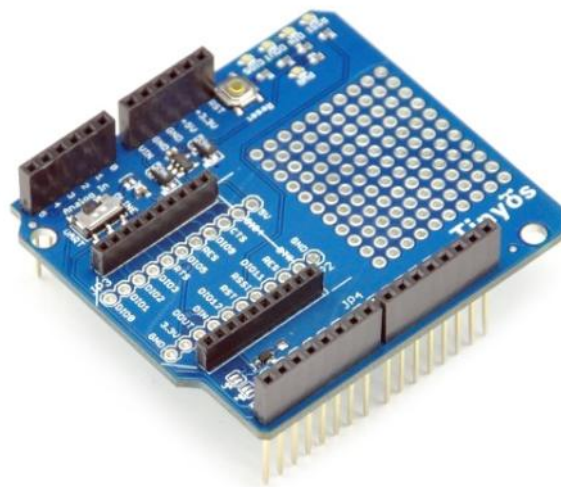


Σχήμα 7.44 Εντολή μέσω Zigbee για την ανάγνωση της τρέχουσας ημερομηνίας και ώρας του RTC DS3231.

Τέλος με την εντολή *ZIGBEE.DISPLAY CUSTOMER DATA* εμφανίζονται πληροφορίες για τον χρήστη. Είναι οι πληροφορίες που έχουν εισαχθεί από το πληκτρολόγιο κατά την εκκίνηση/εγκατάσταση ρυθμίσεων του μετρητή.

Κεφάλαιο 8 : Η τελική κατασκευή συστήματος εσωτερικών μετρητών οικίας

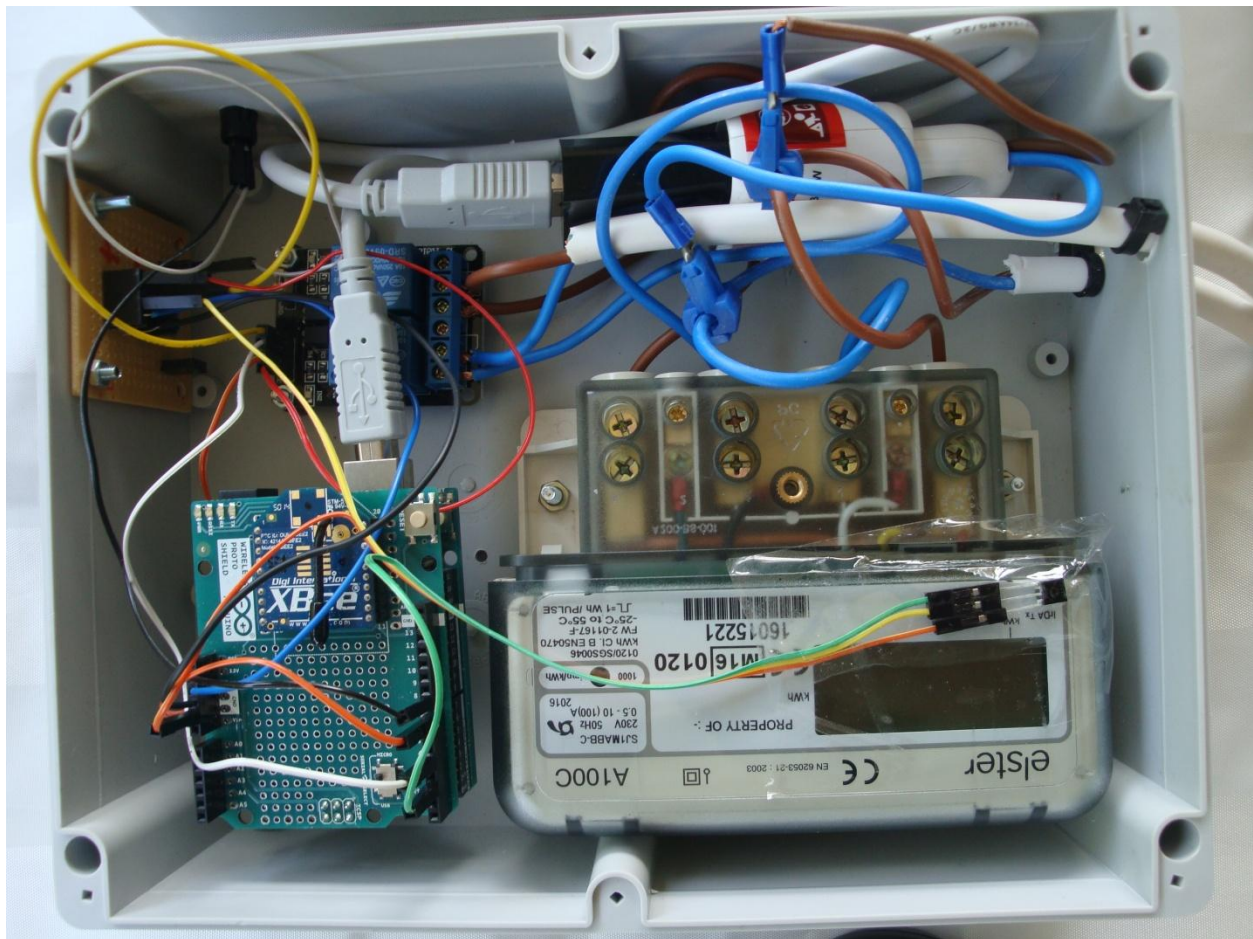
Το σύστημα μετρητών κατανάλωσης ενέργειας για το εσωτερικό της οικίας αποτελείται από 3 κόμβους-μετρητές και τον κεντρικό κόμβο (gateway). Κάθε κόμβος - μετρητής αποτελείται από έναν μετρητή κατανάλωσης ενέργειας Elster A100C, μία μονάδα Arduino UNO R3, οπτικό αισθητήρα TL261R για μεταφορά δεδομένων από τον Elster A100C προς το Arduino, σύστημα υποδοχής Xbee (shield), μία μονάδα ασύρματης μετάδοσης δεδομένων Xbee Zigbee S2 wire antenna, μονάδα αποσύνδεσης/επανασύνδεσης φορτίου (ρελέ) και ενδεικτικό LED (πράσινου χρώματος) λειτουργίας.



Σχήμα 8.1 Το Arduino shield για την προσθήκη Xbee συστημάτων [66].

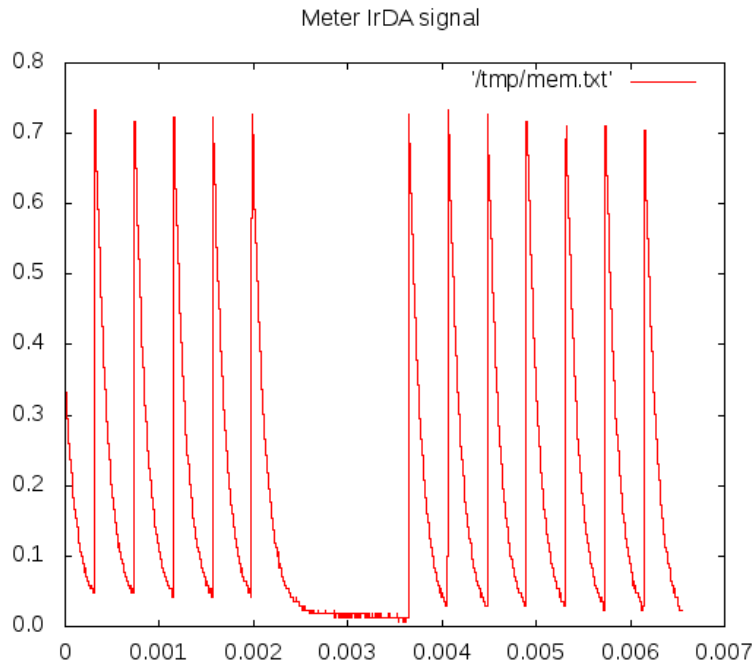
Το Xbee shield εφαρμόζει πάνω στο Arduino UNO, και πάνω στο Xbee shield εφαρμόζει το Xbee Zigbee S2. Όσον αφορά τον κεντρικό κόμβο, αυτός αποτελείται από ένα Xbee Explorer στο οποίο έχει τοποθετηθεί μία μονάδα Xbee S2 2mW RPSMA.

Το τελικό αποτέλεσμα ενός εκ των τριών κόμβων-μετρητών φαίνεται παρακάτω.



Σχήμα 8.2 Η τελική μορφή ενός εκ των εσωτερικών μετρητών οικίας.

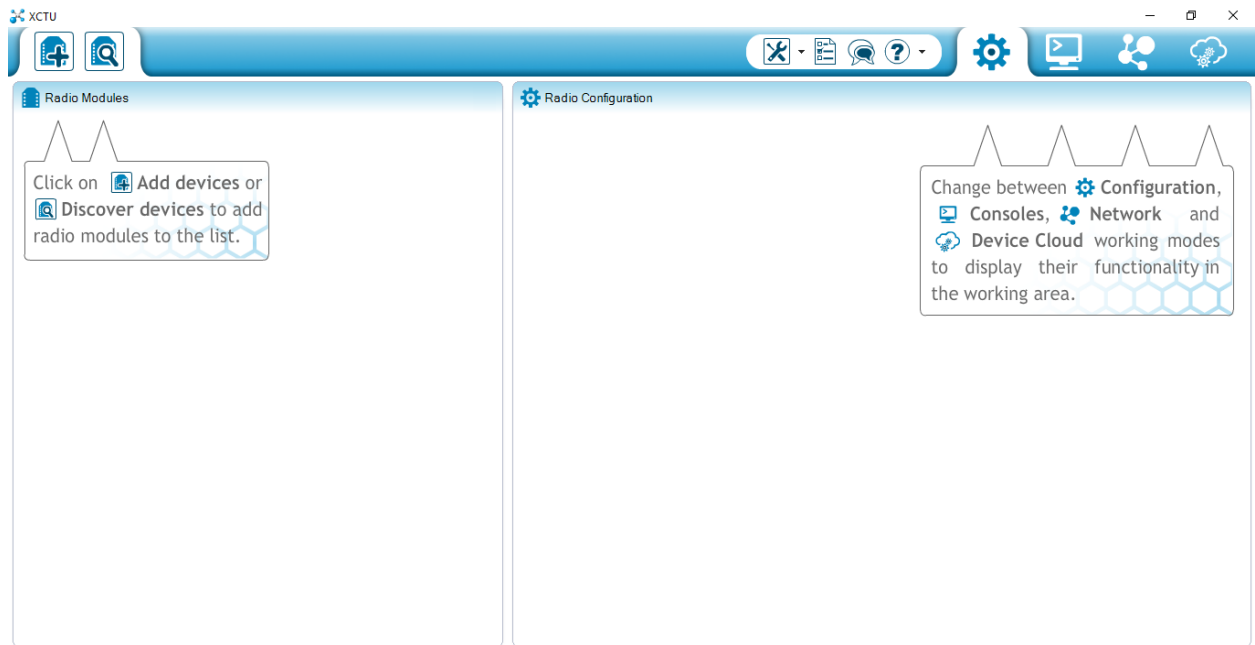
Στην αριστερή κάτω γωνία φαίνεται το Arduino UNO, πάνω στον οποίο έχει εφαρμοστεί το Xbee Shield. Πάνω στο Xbee Shield έχει τοποθετηθεί το Xbee Zigbee S2 με την wire κεραία. Δεξιά κάτω φαίνεται ο μετρητής Elster A100C, στην οπτική υπέρυθρη θύρα του οποίου έχει τοποθετηθεί ο οπτικός αισθητήρας TSL261R. Ο οπτικός αισθητήρας μετατρέπει το οπτικό σήμα σε ηλεκτρικό, στην ουσία πρόκειται για μια παλμοσειρά. Το οπτικό σήμα λαμβάνεται από το Arduino UNO. Στην συνέχεια μέσω κώδικα γραμμένου σε γλώσσα C/C++ μετατρέπεται και χρησιμοποιείται ως δεδομένο. Πρόκειται για διαδικασία DSP (Digital Signal Processing).



Σχήμα 8.3 Η μορφή της παλμοσειράς που λαμβάνει ο οπτικός αισθητήρας από την υπέρυθρη θύρα του Elster A100C [69].

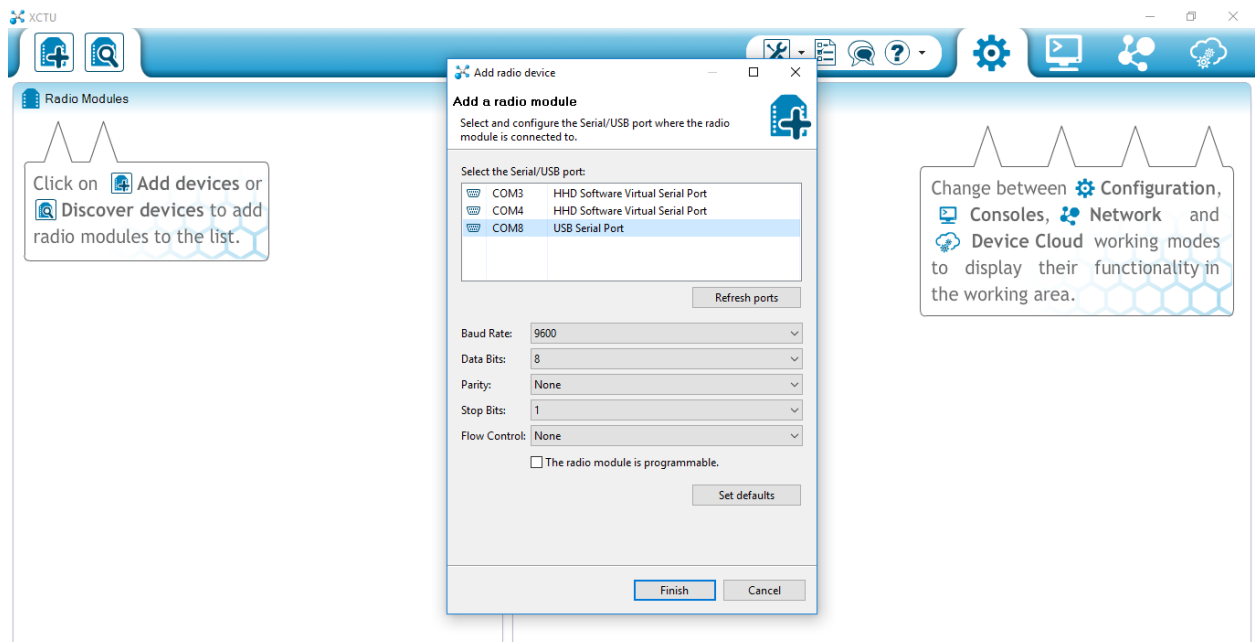
Στο σχήμα 8.2 φαίνεται επίσης η μονάδα αποσύνδεσης/επανασύνδεσης φορτίου στην πάνω αριστερή γωνία. Διακρίνεται επίσης και μια μικρή διάτρητη πλακέτα τοποθετημένη κατακόρυφα που συμβάλλει στην επέκταση σύνδεσης των ακροδεκτών 5Volt και 0Volt και τοποθέτηση 560 Ohm για το ενδεικτικό LED. Η μονάδα αποσύνδεσης/επανασύνδεσης φορτίου διαθέτει 4 ακροδέκτες. Ένας ακροδέκτης τοποθετείται στα 5Volt, ένας ακροδέκτης στα 0Volt, και οι άλλοι δύο ακροδέκτες και πιο συγκεκριμένα οι IN1 και IN2 στις ψηφιακές εξόδους-ακροδέκτες 4 και 7 του Arduino UNO. Ενώ τέλος στον ακροδεκτη-ψηφιακή έξοδο 8 έχει συνδεθεί το ενδεικτικό πράσινο LED. Στην δεξιά πάνω γωνία της εικόνας διακρίνεται το τροφοδοτικό του κόμβου το οποίο έχει χαρακτηριστικά 5Volt, 0.5Ampere, το οποίο είναι υπεραρκετό για τις ανάγκες του. Το τροφοδοτικό έχει συνδεθεί πριν το μετρητή, για να μην συμπεριλαμβάνει ο μετρητής και την κατανάλωση του κόμβου, αλλά μόνο του φορτίου.

Όσον αφορά την δοκιμή λειτουργίας, αρχικά εκκινείται το X-CTU όπως φαίνεται και παρακάτω.



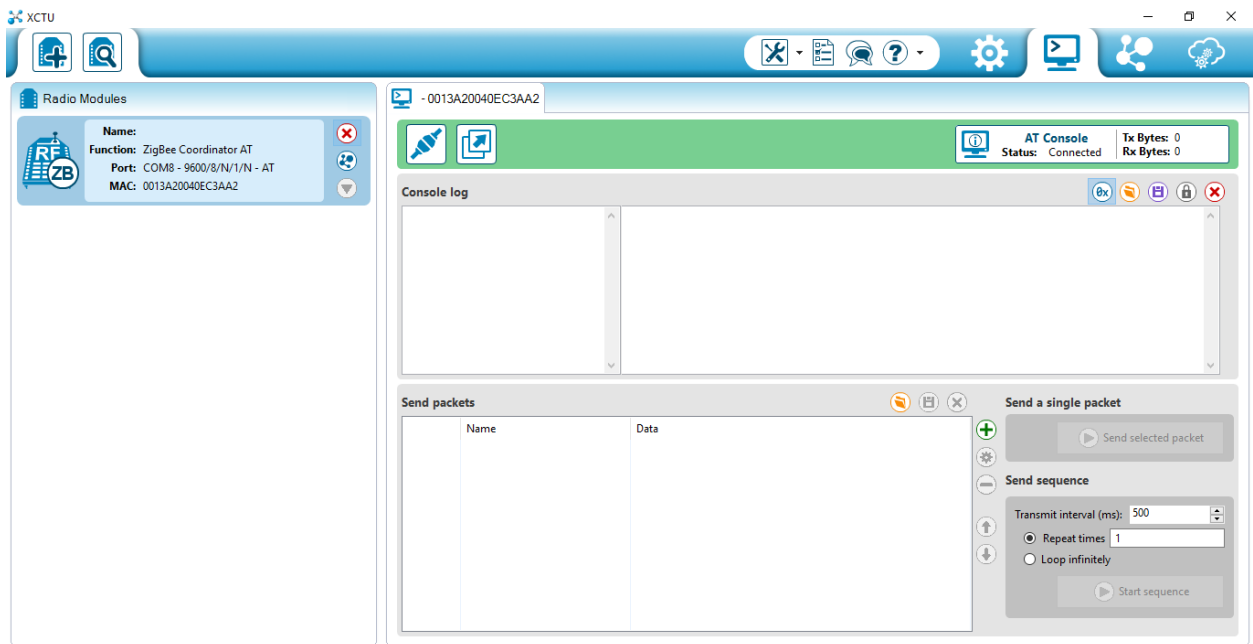
Σχήμα 8.4 Αρχική εικόνα της εφαρμογής X-CTU.

Επιλέγεται το Xbee Explorer στα 9600bps.



Σχήμα 8.5 Ρύθμιση παραμέτρων για την αναζήτηση του Xbee Zigbee.

Στη συνέχεια γίνεται αναζήτηση του Xbee. Στα αριστερά της παρακάτω εικόνας φαίνεται ο κεντρικός κόμβος που θα χρησιμοποιηθεί για τη συλλογή των μετρήσεων.



Σχήμα 8.6 Επιτυχής εύρεση του Xbee Zigbee (Coordinator).

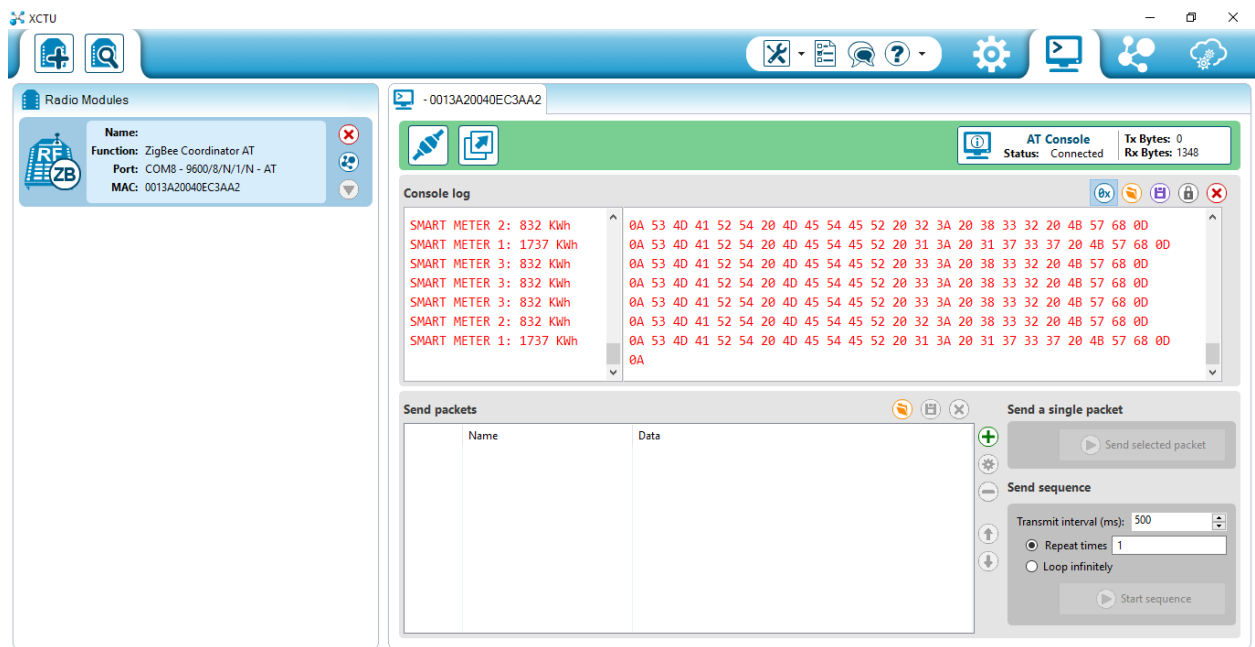
Προφανώς έχουν γίνει οι κατάλληλες ρυθμίσεις, τόσο στο Coordinator όσο και στους κόμβους για να είναι εφικτή η ανταλλαγή των δεδομένων.

Ακολούθως φαίνονται οι 3 κόμβοι εν λειτουργία καθώς και ο Coordinator συνδεδεμένος μέσω USB στον Η/Υ.



Σχήμα 8.7 Μία από τις δοκιμαστικές λειτουργίες του οικιακού δικτύου μετρητών.

Στον Η/Υ λαμβάνεται η συγκεντρωτική μέτρηση των κόμβων καθώς και το ποιος κόμβος αποστέλλει κάθε φορά.



Σχήμα 8.8 Αποτύπωση δεδομένων του οικιακού δικτύου στην εφαρμογή του Η/Υ.

Βιβλιογραφία

- [1] *The Telecommunications Handbook Engineering Guidelines for Fixed, Mobile and Satellite Systems*, Jyrki T. J. Penttinen, John Wiley & Sons, Ltd, 2015
- [2] *Ασύρματες Επικοινωνίες*, Παναγιώτης Γ. Κωττής, Παντελής-Δανιήλ Μ. Αράπογλου, εκδόσεις Τζιόλα, 2011
- [3] *Διασύνδεση έξυπνων συσκευών με το σύστημα έξυπνης μέτρησης ηλεκτρικής ενέργειας*, Διπλωματική εργασία, Χρήστος Β. Νικολογιάννης, επιβλέπων: Παναγιώτης Κωττής, Αθήνα, 2016
- [4] http://gyanpedia.in/Portals/0/Electronics/OptSub_Elect_Att_10CellularPhones.htm, 12/07/2016, 16:05
- [5] https://en.wikipedia.org/wiki/Power-line_communication, 12/07/2016, 16:23
- [6] *Δίκτυα Πρόσβασης Συστημάτων Ευφυούς Μέτρησης*, Διπλωματική εργασία, Αθανάσιος Γιαννακόπουλος, επιβλέπων: Παναγιώτης Κωττής, Αθήνα, 2014
- [7] https://en.wikipedia.org/wiki/Infrared_Data_Association, 12/07/2016, 19:30
- [8] <https://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>, 12/07/2016, 23:00
- [9] <http://www.ti.com/lit/wp/swry013/swry013.pdf>, 13/07/2016, 13:00
- [10] *Δίκτυα Μεταφοράς Συστημάτων Ευφυούς Μέτρησης*, Διπλωματική εργασία, Ανάργυρος Π. Ραφιάς, επιβλέπων: Παναγιώτης Κωττής, Αθήνα, 2014
- [11] http://www.ti.com/llds/ti/wireless_connectivity/6lowpan/overview.page, 13/07/2016, 14:31
- [12] *LTE, WIMAX, and WLAN network design, optimization, and performance analysis*, Leonhard Korowajczuk, εκδόσεις John Wiley & Sons, Ltd, 2011.
- [13] https://en.wikipedia.org/wiki/Carrier_sense_multiple_access_with_collision_avoidance, 15/07/2016, 00:51
- [14] <http://www.digi.com/products/xbee-rf-solutions/rf-modules/xbee-zigbee#specifications>, 15/07/2016, 02:04
- [15] *Αρχιτεκτονική και Λειτουργία οικιακού δικτύου Smart Home*, Διπλωματική Εργασία, Καλύβας Βασίλειος, επιβλέπων: Παναγιώτης Κωττής, Αθήνα, 2015.

-
- [16] **WI-FI , BLUETOOTH , ZIGBEE AND WIMAX**, H. Labiod,, H. Afifi, C. de Santis, εκδόσεις Springer, 2007
- [17] <https://en.wikipedia.org/wiki/Ethernet> , 15/07/2016, 17:41
- [18] **Networks and Services**, Mehmet Toy, εκδόσεις Wiley, 2012.
- [19] **Toward Intelligent Machine-to-Machine Communications in Smart Grid**, Zubair Md. Fadlullah, Mostafa M. Fouda, and Nei Kato, Tohoku Universit, Akira Takeuchi, Noboru Iwasaki, and Yousuke Nozaki, NTT Energy and Environment Systems Laboratories, IEEE Communications Magazine, April 2011
- [20] http://www.ergo-tel.gr/product_info.php?cPath=387_1866&products_id=5713 , 21/07/2016, 18:23.
- [21] http://www.ee.teihal.gr/lessons/metrology/private/uploads/ERG_ASK11_METRHTHS.pdf , 21/07/2016, 18:01
- [22] <http://www.alternenergy.co.uk/store/elster-a100-single-phase-meter.html> , 22/07/2016, 01:45
- [23] **Machine-to-Machine Communication for Home Energy Management System in Smart Grid**, Dusit Niyato, Lu Xiao, and Ping Wang, Nanyang Technological University, Singapore, IEEE Communications Magazine, April 2011
- [24] https://en.wikipedia.org/wiki/Internet_of_things , 26/07/2016, 02:11
- [25] <https://en.wikipedia.org/wiki/Actuator> , 26/07/2016, 02:16
- [26] <https://en.wikipedia.org/wiki/IPv6> , 26/07/2016, 15:41
- [27] <http://www.intel.com/content/dam/www/public/us/en/images/illustrations/iot-platform-infographic.jpg> , 26/07/2016, 16:05
- [28] http://community.plus.net/legacyfs/online/plusnet_blogs/2012/02/PlusnetHouseSmall.jpg , 19/08/2016, 17:48
- [29] <https://www.smartthings.com/products/home-monitoring-kit> , 19/08/2016, 20:26
- [30] <https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560>, 03/02/2017, 22:12
- [31] <https://www.arduino.cc/en/Hacking/PinMapping2560>, 22/02/2017, 23:44
- [32] https://en.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface_Bus, 23/02/2017, 00:07
- [33] <https://www.arduino.cc/en/Hacking/DFUProgramming8U2>, 23/02/2017, 20:59

-
- [34] <http://www.alternenergy.co.uk/store/elster-a100-single-phase-meter.html>, 24/02/2017, 00:43
- [35] <http://www.digikey.com/product-detail/en/ams/TSL261R-LF/TSL261-R-LF-ND/3095050>, 24/02/2017, 01:04
- [36] "A100C Single Phase Meter, Operating & Maintenance Instructions", M130 300 2C, 5.2007, σελ. 21
- [37] "A100C Single Phase Meter, Operating & Maintenance Instructions", M130 300 2C, 5.2007, σελ. 29
- [38] <http://www.robotistan.com/gy-neo6mv2-gps-module-for-flight-controller-systems>, 24/02/2017, 01:51
- [39] <https://www.lifewire.com/time-to-first-fix-ttff-1683313>, 24/02/2017, 22:57
- [40] <http://gpsworld.com/what-exactly-is-gps-nmea-data/>, 24/02/2017, 23:10
- [41] "NEO-6, u-blox 6 GPS Modules", Data Sheet, σελ. 6
- [42] "NEO-6, u-blox 6 GPS Modules", Data Sheet, σελ. 14
- [43] <https://www.sparkfun.com/products/retired/10416>, 25/02/2017, 14:20
- [44] <https://grobotronics.com/xbee-explorer-usb.html>, 25/02/2017, 14:49
- [45] <https://grobotronics.com/xbee-adapter-kit.html>, 25/02/2017, 20:31
- [46] www.cy-sensors.com/CYVS11-xnU0.pdf, 26/02/2017, 19:58
- [47] <http://webmeteobox.ru/docs/SCT013-030V.pdf>, 26/02/2017, 23:38
- [48] "JHD162A" Datasheet, σελ.1
- [49] <http://www.instructables.com/id/Connecting-16x2-LCD-with-Raspberry-Pi/>, 27/02/2017, 02:20
- [50] <https://learn.adafruit.com/adafruit-fona-mini-gsm-gprs-cellular-phone-module/overview>, 05/06/2017, 14:03
- [51] https://en.wikipedia.org/wiki/PS/2_port, 27/02/2017, 20:33
- [52] "SIM800_Hardware Design_V1.08, 2015-03-05", datasheet, σελ. 10
- [53] "SIM800_Hardware Design_V1.08, 2015-03-05", datasheet, σελ. 11
- [54] <https://grobotronics.com/keypad-matrix-4x4.html>, 28/02/2017, 00:43
- [55] http://pcbheaven.com/wikipages/How_Key_Matrices_Works/, 28/02/2017, 01:22
-

-
- [56] <https://stokostos.gr/mc-38-w.html>, 28/02/2017, 22:02
- [57] <https://www.pinterest.de/explore/arduino-sensoren/> , 28/02/2017, 22:15
- [58] <https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardDue>, 01/03/2017, 17:07
- [59] <https://grobotronics.com/logic-level-converter-bi-directional.html>, 01/03/2017, 19:40
- [60] <https://www.adafruit.com/product/386>, 03/03/2017, 14:53
- [61] <https://grobotronics.com/dht11.html>, 03/03/2017, 15:01
- [62] <https://grobotronics.com/temperature-sensor-waterproof-ds18b20.html>,
03/03/2017,15:21
- [63] <https://www.tweaking4all.com/hardware/arduino/arduino-ds18b20-temperature-sensor/>, 03/03/2017, 15:22
- [64] <https://grobotronics.com/breakout-board-for-sd-card.html>, 03/03/2017, 17:26
- [65] <https://www.adafruit.com/products/3013>, 03/03/2017, 18:37
- [66] http://www.tinyosshop.com/index.php?route=product/product&product_id=90,
03/03/2017, 21:48
- [67] <http://microcontrollerslab.com/analog-to-digital-adc-converter-working/> , 06/06/2017,
16:14
- [68] <https://stokostos.gr/sistimata-asfaleias/sinagermoi-ylika/magnitikes-epafes/mc-40b.html> , 07/06/2017, 00:05
- [69] <http://www.rotwang.co.uk/projects/meter.html>, 10/06/2017, 23:43
- [70] <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>, 14/06/2017, 17:12
- [71] http://www.elp.com/articles/powergrid_international/print/volume-16/issue-4/features/the-increasing-importance-of-security-for-the-smart-grid.html , 14/07/2017,
12:01
- [72] <http://www.etsi.org/technologies-clusters/technologies/radio/ultra-wide-band> ,
14/07/2017, 17:58
- [73] <https://www.lantronix.com/resources/networking-tutorials/ethernet-tutorial-networking-basics/> , 14/07/2017, 21:47
- [74] <https://el.wikipedia.org/wiki/IETF> , 14/07/2017, 23:21
-

-
- [75] Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας Α.Ε., Διακήρυξη Δημοπρασίας , Έργο: «Πιλοτικό Σύστημα Τηλεμέτρησης και Διαχείρισης της Ζήτησης Παροχών Ηλεκτρικής Ενέργειας Οικιακών και Μικρών Εμπορικών Καταναλωτών και Εφαρμογής Έξυπνων Δικτύων», Τεχνική περιγραφή του έργου
- [76] A100C BS Electronic Single Phase Meter Operating & Maintenance Instructions
- [77] https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_subscriber_line , 21:58, 18/07/2017
- [78] <https://learn.openenergymonitor.org/electricity-monitoring/ct-sensors/interface-with-arduino> , 16:32, 19/07/2017
- [79] [https://en.wikipedia.org/wiki/White_spaces_\(radio\)](https://en.wikipedia.org/wiki/White_spaces_(radio)) , 19:47, 19/07/2017
- [80] https://github.com/mikalhart/TinyGPS/blob/master/examples/simple_test/simple_test.ino , 18/04/2016, 13:48
- [81] <http://learning.grobotronics.com/2013/07/measuring-humidity-with-dht11-sensor/> , 29/12/2016, 21:22