



ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

«Εξυπνη διαχείριση
κατανάλωσης ισχύος οικιακού ρεύματος»



Πτυχιακή εργασία των φοιτητών
Μπασδέκη Νεκτάριου - 598801
Υφαντίδη Ιωάννη - 517144

Επιβλέπων:
Σαπουνίδης Θεοδόσιος
Επίκουρος Καθηγητής Τμήματος
Μηχανικών Πληροφορικής και
Ηλεκτρονικών Συστημάτων του
Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος

Θεσσαλονίκη
Ιανουάριος 2022

Τίτλος Π.Ε.: Έξυπνη διαχείριση κατανάλωσης ισχύος οικιακού ρεύματος

Κωδικός Π.Ε.: 21246

Όνοματεπώνυμο φοιτητών: Μπασδέκης Νεκτάριος, Υφαντίδης Ιωάννης

Όνοματεπώνυμο εισηγητή: Σαπουνίδης Θεοδόσιος

Ημερομηνία ανάληψης Π.Ε.: 02-04-2021

Ημερομηνία περάτωσης Π.Ε.: 20-01-22

Βεβαιώνουμε ότι είμαστε οι συγγραφείς αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχαμε για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχουμε καταγράψει τις όποιες πηγές από τις οποίες κάναμε χρήση δεδομένων, ιδεών, εικόνων και κειμένου, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επιπλέον, βεβαιώνουμε ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμάς προσωπικά, ειδικά ως πτυχιακή εργασία, στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του ΔΙ.ΠΑ.Ε.

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία των φοιτητών Μπασδέκη Νεκταρίου και Υφαντίδη Ιωάννη που την εκπόνησαν. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης, οι συγγραφείς/δημιουργοί εκχωρούν στο Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσης της εργασίας διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο της εργασίας, δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας των συγγραφέων/δημιουργών, ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, πώληση, εμπορική χρήση, διανομή, έκδοση, μεταφόρτωση (downloading), ανάρτηση (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιοδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση των συγγραφέων/δημιουργών.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, δεν υποδηλώνει απαραίτητα και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα, εκ μέρους του Τμήματος.

Πρόλογος

Η παρούσα πτυχιακή με τίτλο “Έξυπνη διαχείριση κατανάλωσης ισχύος οικιακού ρεύματος” εκπονήθηκε στο πλαίσιο της ολοκλήρωσης των προϋποθέσεων, για την λήψη του πτυχίου Ηλεκτρονικού Μηχανικού Α.Τ.Ε.Ι.Θ.. Παρουσιάζει ένα σύστημα παρακολούθησης της ηλεκτρικής ενέργειας μέσω μικροελεγκτή, προβολή στοιχείων αυτής σε πραγματικό χρόνο, αποθήκευση των δεδομένων σε Database και παρακολούθηση-ανάλυσή τους σε κινητό τηλέφωνο. Είναι μία εφαρμογή του Διαδικτύου των Πραγμάτων και στηρίζεται στη ιδέα των έξυπνων τεχνολογιών των έξυπνων κατοικιών, που μπορούν να παρακολουθούνται ή να ελέγχονται από τον χρήστη μέσω κινητού.

Με την επιλογή του συγκεκριμένου θέματος είχαμε την ευκαιρία να συνδυάσουμε διάφορους τομείς της ηλεκτρονικής και της πληροφορικής όπως οι μικροελεγκτές, τα ενσωματωμένα συστήματα, τα αναλογικά ηλεκτρονικά κυκλώματα, τις ασύρματες επικοινωνίες, τις βάσεις δεδομένων και την ανάπτυξη λογισμικού για κινητές συσκευές. Ο κάθε ένας από τους παραπάνω τομείς χρησιμοποιεί τις δικές του τεχνολογίες και τη δική του γλώσσα ενώ όλοι μαζί συνδυάστηκαν για το επιθυμητό αποτέλεσμα. Η εξερεύνησή τους μας έδωσε την ευκαιρία να εμπλακούμε με γλώσσες προγραμματισμού όπως οι C++, php, SQL, json formats, C# αλλά και διαφορετικά περιβάλλοντα λογισμικού όπως τα Matlab, NI LabVIEW, Adobe Photoshop, Nextion Editor, Blender, Cura, Unity 3D, phpMyAdmin κλπ.

Περίληψη

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία υλοποιείται ένα ολοκληρωμένο σύστημα αποθήκευσης και παρακολούθησης μιας οικιακής κατανάλωσης ρεύματος. Αρχικά παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο των έξυπνων τεχνολογιών από το οποίο προήλθε το συγκεκριμένο σύστημα. Αναφέρονται ορισμένα στοιχεία των έξυπνων δικτύων και γίνεται μία σύντομη παρουσίαση του Διαδικτύου των Πραγμάτων καθώς και κάποιες βασικές έννοιες για τη μέτρηση της ισχύος. Δίνονται τα γενικά χαρακτηριστικά του συστήματός μας και στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικότερα:

- Η συσκευή που περιέχει μικροελεγκτή (ESP32) και οθόνη και χρησιμοποιεί έναν αισθητήρα για να παρακολουθήσει την κατανάλωση ρεύματος σε έναν οικιακό πίνακα.
- Η επεξεργασία και το φιλτράρισμα των δεδομένων στη συσκευή και η προβολή τους σε πραγματικό χρόνο.
- Η ταυτόχρονη αποστολή των δεδομένων μέσω Wi-Fi σε Database, για αποθήκευση.
- Η υλοποίηση εφαρμογής για κινητά και τάμπλετ, όπου ο τελικός χρήστης έχει τη δυνατότητα εκτός από την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο της κατανάλωσης, να δει και τις καταναλώσεις ανά ημέρα, εβδομάδα μήνα και χρόνο ώστε με εύκολο τρόπο να μπορεί να κάνει συγκρίσεις αλλά και να βγάλει χρήσιμα συμπεράσματα.

Επίσης εκτελούνται δοκιμές λειτουργίας ώστε να εξακριβωθεί η ακρίβειά του συστήματος σε οικιακά φορτία (ωμικά και επαγωγικά).

Smart monitoring and control of domestic energy consumption

Basdekis Nektarios

Yfantidis Ioannis

Abstract

The purpose of the present thesis is to study and create a “system” that stores and monitors the domestic energy consumption.

Theoretical background of smart technologies, of Internet of Things and some preliminary information about the power measuring will be presented.

The general structure of our system is:

- A microcontroller unit (EPS32) together with a sensor, that measure the mains current.
- After processing and filtering the data, this is presented on a screen
- Simultaneously, for the purpose of further analysis, the microcontroller sends the data over Wi-Fi to a Database.
- Finally, a mobile application is created, where the user has the opportunity to follow the consumption per day, week, month, and year, so he can make comparisons and extract useful conclusions.

Some tests were also made to verify the accuracy of the system in domestic loads (ohmic and inductive).

Ευχαριστίες

Ευχαριστούμε τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Σαουνίδη Θεοδόσιο για την έμπνευση, για τη βοήθεια που μας προσέφερε και για την εμπιστοσύνη που μας έδειξε. Επίσης οφείλουμε να ευχαριστήσουμε τους καθηγητές του τμήματος κ. Γιακουμή Άγγελο και Κιοσκερίδη Ιορδάνη, για τις γνώσεις και τα εφόδια που μας πρόσφεραν.

Πίνακας περιεχομένων

Πρόλογος.....	3
Περίληψη.....	4
Abstract	5
Ευχαριστίες.....	6
Πίνακας περιεχομένων	7
Κατάλογος σχημάτων και εικόνων.....	9
Κατάλογος πινάκων.....	11
Συνομογραφίες.....	12
Κεφάλαιο 1. Πράσινες πόλεις	14
Κεφάλαιο 2. Έξυπνα δίκτυα (smart grids)	16
Κεφάλαιο 3. Ισχύς.....	18
3.1 Φαινόμενα – πραγματική - άεργος	18
3.2 Ισχύς στις οικιακές συσκευές	18
Κεφάλαιο 4. Ίντερνετ των Πραγμάτων (IOT).....	20
4.1 Τι είναι	20
4.2 Προέλευση.....	20
4.3 Εξέλιξη	21
4.4 Εφαρμογές	21
4.5 Μοντέλα επικοινωνίας.....	22
4.6 Συνδεσιμότητα και πρωτόκολλο IPv6	22
Κεφάλαιο 5. Επισκόπηση συστήματος μέτρησης ισχύος και ενέργειας	23
Κεφάλαιο 6. Περιγραφή κατασκευής.....	24
6.1 Υλικά - κόστος.....	24
6.2 CT sensor clamp	24
6.3 Μικροελεγκτής	26
6.4 Analog to Digital Converter του ESP32.....	28
6.5 ADC calibration	28
6.6 Θόρυβος στον ADC.....	29
6.7 Γραμμικοποίηση της συνάρτησης τάσης εισόδου – ADC reading	30
6.8 Οθόνη	31
6.9 Case - 3d printer	32
Κεφάλαιο 7. Μικροελεγκτής - πρόγραμμα	34
7.1 Ανάγνωση δεδομένων	34

7.2 Επαλήθευση αποτελεσμάτων – evaluation.....	37
7.3 Αποστολή στη βάση δεδομένων	38
7.4 Λήψη από τη βάση δεδομένων	39
7.5 Απεικόνιση δεδομένων	40
Κεφάλαιο 8. Βάση δεδομένων	42
8.1 Δημιουργία SQL βάσης δεδομένων.....	42
8.2 Php για αποστολή στην Βάση δεδομένων	43
8.3 Trigger στη βάση δεδομένων.....	43
8.4 Php για λήψη δεδομένων από την βάση δεδομένων	44
Κεφάλαιο 9. Εφαρμογή για κινητό τηλέφωνο - android application.....	46
9.1 Χρήση κινητών τηλεφώνων και εφαρμογών σήμερα.....	46
9.2 Επιλογή προγράμματος σχεδιασμού εφαρμογής - UNITY 3D	46
9.3 Δομή εφαρμογής.....	46
9.4 Ανάλυση ενοτήτων.....	47
9.5 Διάβασμα από php	49
Κεφάλαιο 10. Αποτίμηση εργασίας.....	51
Κεφάλαιο 11. Προτάσεις βελτίωσης ή αναβάθμισης.....	52
11.1 Triggers για υψηλή κατανάλωση	52
11.2 Ρελέ για ενεργοποίηση – απενεργοποίηση ηλεκτρικών γραμμών.....	52
11.3 IOS export.....	52
11.4 Tablet export - ιστοσελίδα	52
11.5 Λειτουργία WPS	52
11.6 Ταυτόχρονη μέτρηση και της τάσης	52
11.7 Μέτρηση σε τριφασική παροχή	53
11.8 Υλοποίηση για Firebase.....	53
Βιβλιογραφία.....	54

Κατάλογος σχημάτων και εικόνων

Εικόνα 1: Πράσινες πόλεις.....	14
Εικόνα 2: Πρόβλεψη παγκόσμιου αριθμού έξυπνων σπιτιών έως το 2025	15
Εικόνα 3: Χαρακτηριστικά “παραδοσιακού” δικτύου vs έξυπνου δικτύου.....	16
Εικόνα 4: Φαινόμενη, πραγματική και άεργη ισχύς.....	18
Εικόνα 5: Διαδίκτυο των πραγμάτων	20
Εικόνα 6: Διάγραμμα ροής της υλοποίησης του μετρητή ισχύος-ενέργειας.....	23
Εικόνα 7: Ο μικροελεγκτής και το πίσω μέρος της οθόνης	24
Εικόνα 8: CT sensor	25
Εικόνα 9: Βασικό κύκλωμα και συνδεσμολογία CT sensor.....	25
Εικόνα 10: Ηλεκτρολογικός πίνακας – τοποθέτηση CT sensor.....	26
Εικόνα 11: Esp32 DevKit v1	27
Εικόνα 12: pinout διάγραμμα του Esp32 DevKit v1.....	27
Εικόνα 13: Σύγκριση διαφορετικών ADC readings της ίδιας συνάρτησης τάσης για διαφορετικά Vref δύο ίδιων ESP32 chip.....	29
Εικόνα 14: Σύγκριση των μετρούμενων τιμών του ADC χωρίς πυκνωτή, με πυκνωτή και με πυκνωτή και multisampling σε σχέση με τον αριθμό δειγμάτων σε περιβάλλον έντονου θορύβου.....	30
Εικόνα 15: Α.Με μπλε οι μετρούμενες τιμές, με κόκκινο η ιδανική ευθεία Β. Το λάθος σε mV σε σχέση με την λαμβανόμενη τιμή analog input	31
Εικόνα 16: Nextion display NX4024K032_11.....	31
Εικόνα 17: Λογισμικό Adobe Photoshop, σχεδιασμός βασικής οθόνης και οθόνης πληροφοριών.....	32
Εικόνα 18: Λογισμικό Blender, σχεδιασμός κυτίου επιτοίχιας κατασκευής.....	32
Εικόνα 19: 3D εκτύπωση κυτίου επιτοίχιας κατασκευής	33
Εικόνα 20: δειγματοληψία analog input με 1480 samples/s	35
Εικόνα 21: Μετρούμενη I_{rms} και φιλτραρισμένη I_{rms}	37
Εικόνα 22: Λογισμικό Nextion Editor, σχεδιασμός της λήψης δεδομένων από τον μικροελεγκτή.....	41
Εικόνα 23: Βάση δεδομένων: πίνακας real time μετρήσεων ισχύος.....	42
Εικόνα 24: Βάση δεδομένων: πίνακας με τις ημερήσιες καταναλώσεις ενέργειας	42
Εικόνα 25: Σχεδίαση στο περιβάλλον Unity 3d.....	46
Εικόνα 26: Δομή της εφαρμογής για smartphone	47

Πράσινες πόλεις

Εικόνα 27: Οθόνη 1: βασικές πληροφορίες	48
Εικόνα 28: Οθόνη 2: ωριαίες τιμές της χθεσινής ημέρας (μαύρο), ωριαίες τιμές της σημερινής ημέρας μέχρι και την προηγούμενη ώρα (μπλε) και επιλεγμένη η 14.00 της προηγούμενης μέρας	48
Εικόνα 29: Οθόνη 4: ημερήσιες τιμές του προηγούμενου μήνα (μαύρο), ημερήσιες τιμές του τρέχοντα μήνα μέχρι και την χθεσινή (μπλε) και επιλεγμένη η 21η του προηγούμενου μήνα	49

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1: ADC Attenuation	28
Πίνακας 2: Συγκρίσεις μετρήσεων σε συσκευές με διαφορετικό συντελεστή ισχύος	38

Συνομογραφίες

Α.Τ.Ε.Ι.Θ. Αλεξάνδρειο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Θεσσαλονίκης

Δ.Ε. Διπλωματική Εργασία

ΔΙ.ΠΑ.Ε Διεθνές Πανεπιστήμιο Ελλάδος

Π.Ε. Πτυχιακή Εργασία

2D 2 Dimensions

3D 3 Dimensions

AC Alternating Current

ADC Analog to Digital Converter

BLE ή Bluetooth LE Bluetooth Low Energy

CT Current Transformer

DAC Digital to Analog Converter

DB Database

DC Direct Current

DR Demand Response

DSM Demand Side Management

EMA Exponential Moving Average

IC Integrated Circuit

IAB Internet Architecture Board

IoT Internet of Things

IIR Infinite Impulse Response

ISR Interrupt Service Routine

IP Internet Protocol address

I²C Inter-Integrated Circuit

IDE Integrated Development Environment

MCU Microcontroller Unit

RAM Random Access Memory

RFID Radio Frequency Identification

ROM Reading Only Memory

SAR ADC Successive-approximation Analog to Digital Converter

SPI Serial Peripheral Interface
SSID Service Set Identifier
UART Universal Asynchronous Receiver Transmitter
USB Universal Serial Bus
Wi-Fi Wireless Fidelity
WPS Wi-Fi Protected Setup

Κεφάλαιο 1. Πράσινες πόλεις

Οι “Πράσινες Πόλεις” βασίζονται στην φιλοσοφία της “πράσινης ανάπτυξης”, προσδοκώντας με «πράσινες» παρεμβάσεις, να προσφέρουν λύσεις στους ανθρώπους που ζουν σε μεγάλες αστικές πόλεις [1]. Λύσεις που αφορούν από τη μείωση του καθημερινού άγχους, τη μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης και τη μείωση του χρόνου από το σπίτι προς την εργασία μέχρι την αναβάθμιση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα και την παροχή περισσότερων πράσινων χώρων.



Εικόνα 1: Πράσινες πόλεις. Πηγή εικόνας: <http://www.freepik.com>

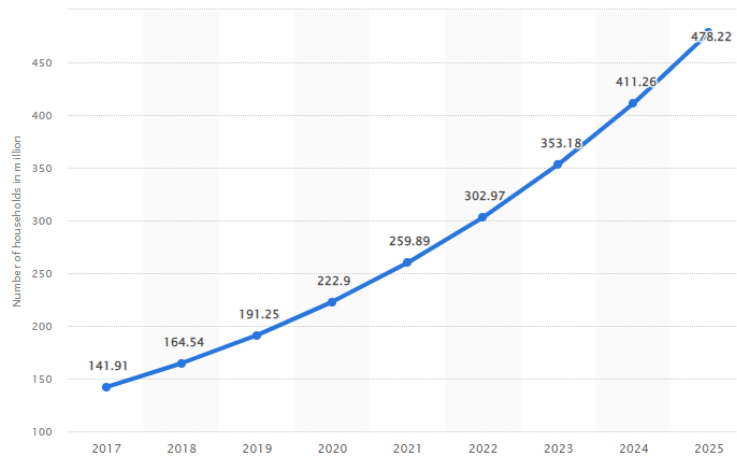
Χαρακτηριστικό της προσπάθειας που γίνεται προς μία “πράσινη μεταρρύθμιση” είναι και η θεσμοθέτηση από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή ενός νέου ετήσιου Βραβείου Πράσινης Πρωτεύουσας της Ευρώπης. Το βραβείο αυτό απονέμεται σε πόλη που πρωτοστατεί στη φιλοπεριβαλλοντική διαβίωση στα αστικά κέντρα [2] ενώ στα κύρια κριτήρια αξιολόγησης για την απονομή του βραβείου είναι η μείωση κατανάλωση ενέργειας. Συγκεκριμένα για το 2021 ως Ευρωπαϊκή Πράσινη πρωτεύουσα αναδείχθηκε το Φινλανδικό Λάχι με μία πληθώρα οικολογικών κινήσεων, μεταξύ των οποίων και η χρήση του Διαδικτύου των Πραγμάτων, με τη δημιουργία προσωπικών μετρητών του ενεργειακού αποτυπώματος του κάθε κατοίκου μέσω του κινητού του τηλεφώνου [3].

Μερικά από τα χαρακτηριστικά μιας έξυπνης πόλης είναι τα εξής:

- Έξυπνα κτίρια με έλεγχο λειτουργιών τους όπως της θέρμανσης, του εξαερισμού και της ασφάλειας, με αύξηση της ενεργειακής τους απόδοσης, μείωση της χρήσης ενέργειάς τους και ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών τους επιπτώσεων.
- Διαχείριση αποβλήτων με μέτρηση των επιπέδων των αποβλήτων στους κάδους και χρήση των δεδομένων από τα απορριμματοφόρα, ώστε να έχουμε μείωση του λειτουργικού κόστους.
- Έλεγχος της ροής, πίεσης και διανομής του νερού με σκοπό τη βελτίωση της σχέσης διανομής – κόστους, τον έλεγχο της διανομής και την εξισορρόπηση προσφοράς και ζήτησης σε περιβάλλοντα με αυξανόμενο πληθυσμό.
- Έξυπνοι δρόμοι όσον αφορά τον φωτισμό, τα φανάρια, με σταθμούς επαναφόρτισης ηλεκτρικών αυτοκινήτων, συλλογή δεδομένων κίνησης και στάθμευσης.

Ζούμε σε μία εποχή που καθημερινά γινόμαστε μάρτυρες ταχείας προόδου και εξελίξεων στον τομέα της τεχνολογίας. Από τη δημιουργία του Ίντερνετ διαπιστώσαμε τη δύναμη που προσφέρει η συνδεσιμότητα. Επόμενη ήταν λοιπόν η δημιουργία έξυπνων σπιτιών και κατ’ επέκταση έξυπνων πόλεων.

Στο διάγραμμα της Εικόνας 2 φαίνεται η αναμενόμενη άνοδος του αριθμού των έξυπνων σπιτιών που από 141 εκατομμύρια που υπολογίζονται το 2017, φτάνοντας στο 2025 αναμένεται να είναι περίπου 478 εκατομμύρια.



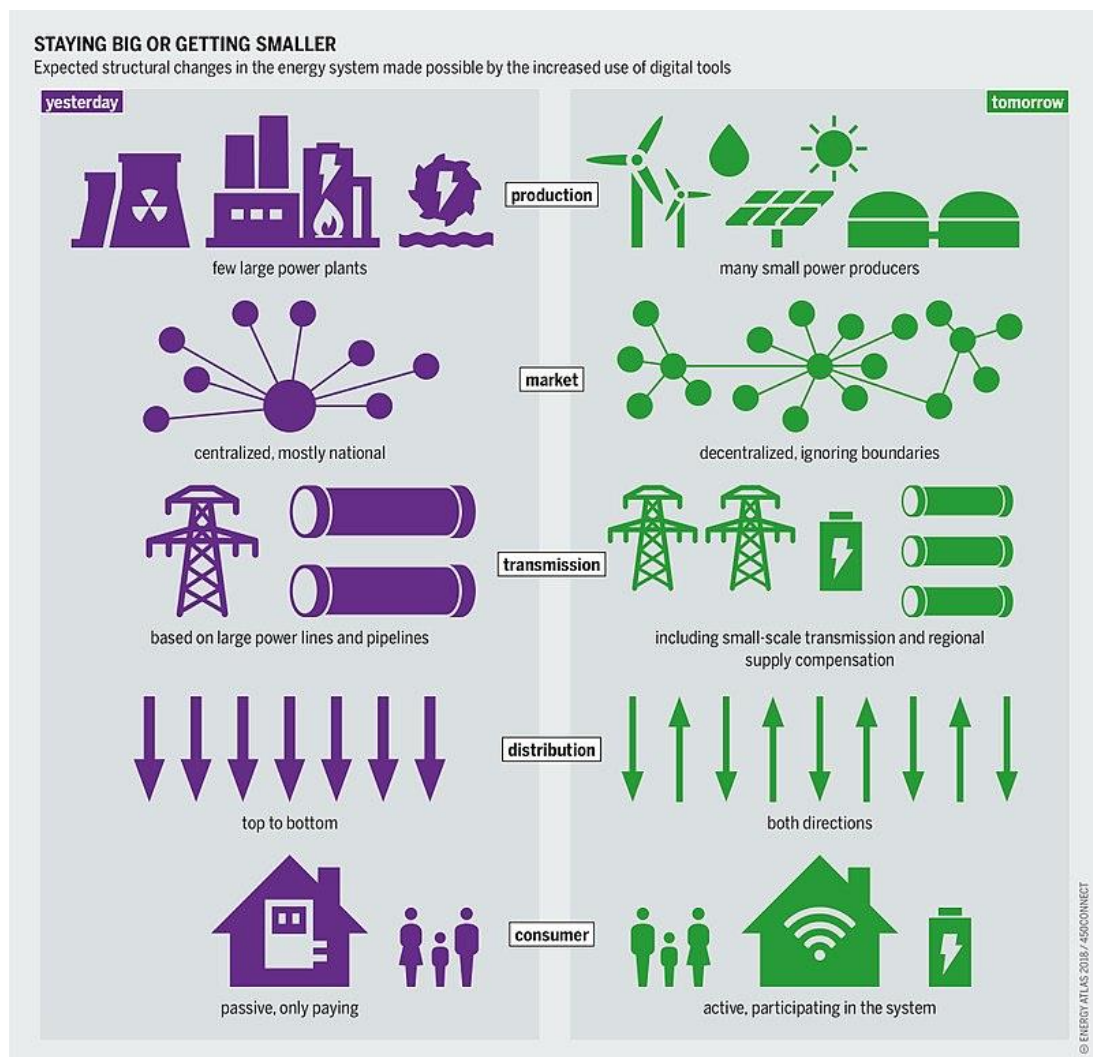
Εικόνα 2: Πρόβλεψη παγκόσμιου αριθμού έξυπνων σπιτιών έως το 2025. Πηγή: www.statista.com

Κεφάλαιο 2. Έξυπνα δίκτυα (smart grids)

Μιλώντας για “δίκτυο” αναφερόμαστε στο ηλεκτρικό δίκτυο που αποτελείται από την παραγωγή μέχρι τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας στον καταναλωτή: μονάδες παραγωγής, γραμμές μεταφοράς, υποσταθμοί, μετασχηματιστές και η τελική κατανάλωση σε σπίτια, στο εμπόριο και τη βιομηχανία. Στην εποχή μας, το ηλεκτρικό δίκτυο έχει να αντιμετωπίσει διάφορες προκλήσεις που προκύπτουν από το περιβάλλον, την αγορά, τους καταναλωτές αλλά και την υπάρχουσα υποδομή του.

Όλες οι παραπάνω προκλήσεις είναι σημαντικές και οδηγούν σιγά σιγά το ηλεκτρικό δίκτυο στη μετατροπή του σε ένα δίκτυο “νέας γενιάς” ένα δίκτυο που θα χρησιμοποιεί περισσότερες λειτουργίες με “έξυπνα” χαρακτηριστικά. Η μετατροπή προς αυτή την κατεύθυνση ορίζεται συνοπτικά με τον όρο “έξυπνο δίκτυο” και έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- διασύνδεση μεταξύ καταναλωτών και παρόχων ηλεκτρικής ενέργειας για την αμφίδρομη μετάδοση πληροφοριών.
- μετατροπή συστημάτων μεταφοράς της ενέργειας σε αποδοτικότερα συστήματα
- ενθάρρυνση χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
- παροχή στους καταναλωτές καλύτερου ελέγχου της χρήσης αλλά και το κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας



Εικόνα 3: Χαρακτηριστικά “παραδοσιακού” δικτύου vs έξυπνου δικτύου

Το έξυπνο δίκτυο είναι ένα σύγχρονο ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό σύστημα: χρησιμοποιεί αισθητήρες, παρακολουθεί και συλλέγει αναλογική και ψηφιακή πληροφορία, χρησιμοποιεί τις σύγχρονες τεχνολογίες επικοινωνιών, αυτοματισμούς και υπολογιστικά συστήματα για την βελτίωση της αποδοτικότητάς του, της ασφάλειας και της αξιοπιστίας του αλλά και την βιωσιμότητα της παραγωγής και της διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας.

Ένα από τα στοιχεία των έξυπνων δικτύων είναι και η παρακολούθηση της ροής ενέργειας σε διάφορα επίπεδα σε πραγματικό ή μη χρόνο: από τις γραμμές μεταφοράς, τους υποσταθμούς μέχρι και τον τελικό καταναλωτή. Η παρακολούθηση της ροής της ενέργειας είναι το βασικό εργαλείο για τη διαχείριση της ζήτησης (demand side management - DSM). Η απότομη αύξηση της ζήτησης ενέργειας σε συνδυασμό με τη μείωση της διαθεσιμότητας των συμβατικών καυσίμων, την αβεβαιότητα των τιμών των εισαγόμενων καυσίμων αλλά και τα αρνητικά αποτελέσματα των συμβατικών μονάδων στο περιβάλλον, φέρνουν στην επικαιρότητα την έννοια της Διαχείρισης της Ζήτησης.

Η διαχείριση της ζήτησης στοχεύει στην αλλαγή προτύπων στην κατανάλωση ενέργειας, βελτιώνοντας την κατανομή της ισχύος και την ενεργειακή αποδοτικότητα. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί και με τη συμμετοχή των καταναλωτών στη διαχείριση του φορτίου (προγράμματα απόκρισης ζήτησης -Demand Response – DR-) με περικοπές δραστηριοτήτων ή μετακίνηση του φορτίου από περιόδους αιχμής προς περιόδους χαμηλής ζήτησης (νυχτερινό ρεύμα) με τα αντίστοιχα οικονομικά κίνητρα. Επίσης με προγράμματα διατήρησης ενέργειας τα οποία παροτρύνουν τον καταναλωτή να περιορίσει την ενέργεια που καταναλώνει, με κίνητρο και πάλι την εξοικονόμηση χρημάτων. Τα παραπάνω προγράμματα ενεργειακής απόδοσης έχουν σαν στόχο εκτός από τη μειωμένη κατανάλωση ενέργειας την προώθηση και χρήση αντίστοιχου εξοπλισμού (συνήθως πιο καινούργιου ή ενεργειακά αποδοτικότερου) και τη σχεδίαση ή την τροποποίηση κτιρίων σε κτίρια υψηλότερης ενεργειακής απόδοσης.

Με τη χρήση έξυπνων μετρητών ο καταναλωτής μπορεί να έχει άμεση εικόνα στην κατανάλωσή του, αλλά και αμφίδρομη επικοινωνία με τον πάροχο της ηλεκτρικής ενέργειας.

Κεφάλαιο 3. Ισχύς

3.1 Φαινόμενη – πραγματική - άεργος

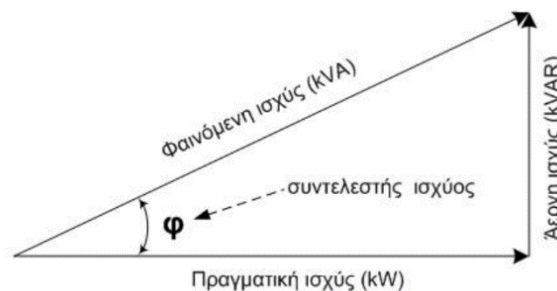
Η ισχύς που καταναλώνει μία συσκευή ανά μονάδα χρόνου ονομάζεται φαινόμενη ισχύς (S) και την μετράμε σε VA. Η φαινόμενη ισχύς αποτελείται από δύο συνιστώσες:

- την πραγματική (ενεργό) ισχύ P που την μετράμε σε W
- την άεργο ισχύ Q που την μετράμε σε Var

Η πραγματική ισχύς (P) μας δείχνει την ωφέλιμη ισχύ που καταναλώνεται στη συσκευή και παράγει ωφέλιμο έργο, ενώ η άεργος ισχύς (Q) δεν παράγει έργο αλλά “αντανακλάται” από τη συσκευή και επιστρέφει στο ηλεκτρικό δίκτυο. Η άεργος ισχύς είναι ανεπιθύμητη γιατί επιβαρύνει τα δίκτυα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας με μία επιπλέον ποσότητα ρεύματος που τελικά αντιστοιχεί σε θερμικές απώλειες, ενώ επίσης αλλοιώνει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της ενέργειας.

Στην Εικόνα 4 φαίνεται η σχέση που συνδέει της παραπάνω 3 μορφές ισχύος. Το συνημίτονο της γωνίας φ ονομάζεται συντελεστής ισχύος και δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$pf = \frac{P}{S} \quad (3.1)$$



Εικόνα 4: Φαινόμενη, πραγματική και άεργη ισχύς

Αν είχαμε καθαρά αυτεπαγωγικά κυκλώματα η καθυστέρηση της τάσης σε σχέση με το ρεύμα θα έφτανε τις 90 μοίρες. Στην πράξη όμως δεν υπάρχουν τέτοια κυκλώματα αφού ακόμα και οι ίδιοι αγωγοί των κυκλωμάτων έχουν ωμική αντίσταση. Έτσι η γωνία φ βρίσκεται ανάμεσα στις 0 και στις 90 μοίρες οπότε και ο συντελεστής ισχύος κυμαίνεται μεταξύ 0 και 1.

3.2 Ισχύς στις οικιακές συσκευές

Συσκευές που απορροφούν μόνο πραγματική ισχύ είναι συσκευές που περιέχουν κυρίως αντιστάσεις όπως οι ηλεκτρικές εστίες και ο ηλεκτρικός φούρνος, οι λαμπτήρες πυράκτωσης, οι θερμοαντλητές νερού (ηλεκτρικοί θερμοσίφωνες ή ηλεκτρικοί βραστήρες κουζίνας) κλπ.

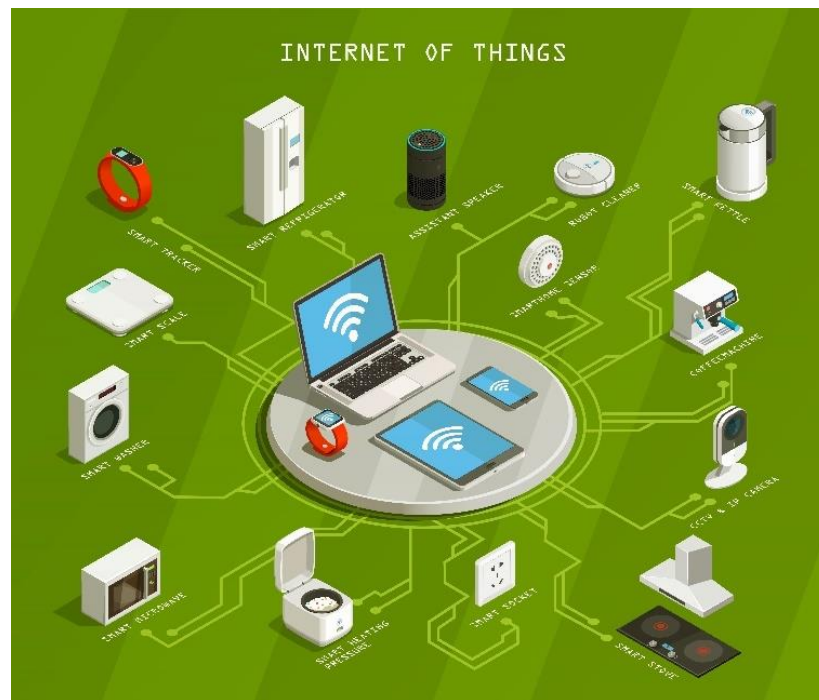
Συσκευές που απορροφούν πραγματική ισχύ και “δημιουργούν” ταυτόχρονα άεργο ισχύ είναι αυτές με επαγωγική συμπεριφορά, δηλαδή όσες περιέχουν πηνία όπως συσκευές με κινητήρες, κλιματιστικά, συσκευές με μετασχηματιστές, λάμπες φθορισμού, μίξερ κλπ.

Στον οικιακό τομέα η άεργος ισχύς είναι σχετικά μικρή, γι' αυτό και η ΔΕΗ δεν την τιμολογεί. Οι οικιακοί μετρητές μετρούν μόνο την πραγματική ισχύ. Στη συγκεκριμένη εργασία -όπως και στους περισσότερους οικιακούς energy meters- για απλοποίηση της κατασκευής αλλά και για δυνατότητα plug and play δεν μετράμε την τάση του δικτύου και χρησιμοποιούμε ως V_{rms} την τιμή που μας δίνει η ΔΕΗ, δηλαδή 230V. Έτσι, δεν έχουμε την δυνατότητα να μετρήσουμε την άεργο ισχύ ή τον συντελεστή ισχύος. Παρόλα αυτά για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκαν φορτία και ωμικά αλλά και με επαγωγική συμπεριφορά, για να εξασφαλιστεί η ακρίβεια των μετρήσεων του συστήματός μας.

Κεφάλαιο 4. Ίντερνετ των Πραγμάτων (IOT)

4.1 Τι είναι

Το Διαδίκτυο των πραγμάτων ή Ίντερνετ των πραγμάτων (Internet of Things) αποτελεί το δίκτυο επικοινωνίας πληθώρας συσκευών, οικιακών συσκευών, αυτοκινήτων καθώς και κάθε αντικείμενου που ενσωματώνει ηλεκτρονικά μέσα, λογισμικό, αισθητήρες και συνδεσιμότητα σε δίκτυο ώστε να επιτρέπεται η σύνδεση και η ανταλλαγή δεδομένων. Απλούστερα, η φιλοσοφία του IoT είναι η σύνδεση όλων των ηλεκτρονικών συσκευών μεταξύ τους (τοπικό δίκτυο) ή με δυνατότητα σύνδεσης στο διαδίκτυο (παγκόσμιο ιστό).



Εικόνα 5: Διαδίκτυο των πραγμάτων.
Πηγή εικόνας: <http://www.freepik.com>

Η έννοια "Things" (πράγματα) δεν είναι αυστηρά συνδεδεμένη με ορισμένα προϊόντα. Αναφέρεται σε μία ευρεία ποικιλία συσκευών εντελώς διαφορετικών μεταξύ τους, όπως για παράδειγμα αυτοκινήτων με ενσωματωμένους αισθητήρες, καμερών, κλιματιστικών, φώτων, συστημάτων ασφαλείας, smart watches ακόμα και αυτοκινήτων των οποίων οι περίλοκοι αισθητήρες εντοπίζουν αντικείμενα στην πορεία τους.

4.2 Προέλευση

Ο όρος "Διαδίκτυο των πραγμάτων" (IoT) χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το 1999 από τον Kevin Ashton για να περιγράψει ένα σύστημα στο οποίο τα αντικείμενα στο φυσικό κόσμο θα μπορούσαν να συνδεθούν με το διαδίκτυο μέσω αισθητήρων.

Ο Ashton χρησιμοποίησε τον όρο για να απεικονίσει τη δύναμη της ταυτοποίησης με τη χρήση ραδιοσυχνότητας (RFID) που χρησιμοποιούνταν σε εταιρικές αλυσίδες εφοδιασμού στο διαδίκτυο για την καταμέτρηση και παρακολούθηση αγαθών χωρίς την ανάγκη ανθρώπινης παρουσίας.

4.3 Εξέλιξη

Το ΙοΤ αναπτύσσεται από την εξέλιξη της τεχνολογίας και τις τάσεις της αγοράς. Μερικά από τα νέα τεχνολογικά δεδομένα που το καθοδηγούν είναι:

- η χαμηλού κόστους και ψηλής ταχύτητας συνδεσιμότητα που υπάρχει πλέον παντού
- η ευρεία χρήση της τεχνολογίας IP στα δίκτυα
- οι αυξημένες δυνατότητες των υπολογιστών, σε χαμηλότερες τιμές και με χαμηλότερες καταναλώσεις ενέργειας
- η αυξημένη εργονομία, τα μικρότερα μεγέθη των συσκευών και οι φθηνότερες συσκευές-αισθητήρες
- οι μεγαλύτερες βάσεις δεδομένων, με νέους γρηγορότερους τρόπους ανάλυσής τους και οι μεγαλύτερες δυνατότητες αποθήκευσης σε τοπικό επίπεδο και σε επίπεδο cloud
- η ανάπτυξη του cloud computing που δίνει τη δυνατότητα σε μικρότερες συσκευές-τερματικά να αλληλοεπιδρούν με ισχυρούς back end υπολογιστές – servers.

4.4 Εφαρμογές

Το διαδίκτυο των πραγμάτων έχει πάρα πολλές εφαρμογές στην οικονομία και στην παραγωγική διαδικασία. Ενδεικτικά μπορούν να αναφερθούν τα εξής:

- Ατομική υγεία, άθληση, αποδοτικότητα κ.λπ.
- Ιατρική – υπηρεσίες υγείας
- Εκπαίδευση (σχολεία, πανεπιστήμια, ερευνητικά κέντρα)
- Περιβάλλον - γεωργία
- Σπίτι (έλεγχος συσκευών εξ αποστάσεως, ασφάλεια κλπ.)
- Εμπορικοί χώροι (χώροι όπου υπάρχουν καταναλωτές)
- Γραφεία (χώροι εργασίας)
- Βιομηχανία (τυποποιημένα περιβάλλοντα παραγωγής)
- Εργοτάξια
- Συγκοινωνίες – μεταφορές
- Αυτοκίνηση
- Διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας
- Διακυβέρνηση (υπηρεσίες)

Οι συγκεκριμένοι τομείς, όπως είναι γνωστό, δεν είναι νέα πεδία εφαρμογών. Απλώς σήμερα υφίσταται αλλαγές ο παραδοσιακός τρόπος προσέγγισης διεργασιών που χρησιμοποιούσαν οι τομείς αυτοί.

4.5 Μοντέλα επικοινωνίας

Από λειτουργικής άποψης, οι συσκευές IoT συνδέονται και επικοινωνούν χρησιμοποιώντας προδιαγραφές που βασίζονται σε συγκεκριμένα τεχνικά μοντέλα. Τον Μάρτιο του 2015 το Συμβούλιο Αρχιτεκτονικής Διαδικτύου (IAB – Internet Architecture Board) κυκλοφόρησε έναν οδηγό σχετικά με τη δικτύωση έξυπνων αντικειμένων (RFC 7452), ο οποίος περιγράφει ένα πλαίσιο τεσσάρων κοινών μοντέλων επικοινωνίας που χρησιμοποιούν οι συσκευές IoT [4].

Τα μοντέλα αυτά είναι:

a. Device to device:

Το μοντέλο επικοινωνίας συσκευής με συσκευή χρησιμοποιεί δύο ή περισσότερες συσκευές συνδεδεμένες μεταξύ τους χωρίς την ύπαρξη ενδιάμεσου server.

b. Device to cloud:

Στο μοντέλο επικοινωνίας συσκευής με cloud, η συσκευή συνδέεται απευθείας σε μια υπηρεσία cloud.

c. Device to gateway

Στο μοντέλο επικοινωνίας συσκευής με gateway η συσκευή gateway λειτουργεί ως ενδιάμεση συσκευή η οποία μετατρέπει και δίνει πληροφορίες μεταξύ των δικτύων που χρησιμοποιούν διαφορετικά πρωτόκολλα επικοινωνίας.

d. Back-end data-sharing

Στο μοντέλο επικοινωνίας back-end data sharing ο χρήστης εξάγει και αναλύει τα δεδομένα από μία υπηρεσία cloud σε συνδυασμό με δεδομένα από άλλες πηγές.

4.6 Συνδεσιμότητα και πρωτόκολλο IPv6

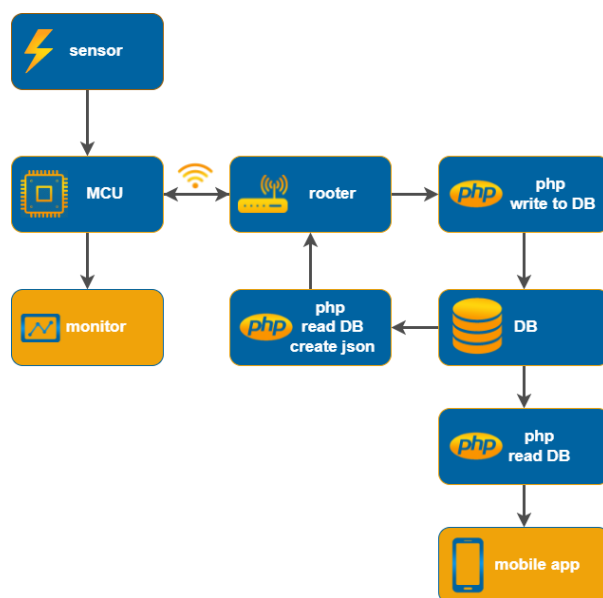
Για την υλοποίηση των εφαρμογών του Διαδικτύου των Πραγμάτων που αναφέρθηκαν, απαιτείται η ύπαρξη διαθέσιμης σταθερής ευρυζωνικής τεχνολογικής υποδομής που θα επιτρέπει στα αντικείμενα να αλληλοεπιδρούν ασύρματα και ενσύρματα μεταξύ τους, παρέχοντας έτσι στους χρήστες την υποδομή που υποστηρίζει ένα σύνολο υπηρεσιών.

Οι υπηρεσίες που προσφέρονται πρέπει να δίνουν κάποια επίπεδα δικτύωσης στα αντικείμενα, ώστε να καταστεί δυνατή η επικοινωνία τους με το περιβάλλον. Σε κάθε συσκευή στο διαδίκτυο, όπως ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής, ένα κινητό τηλέφωνο ή τάμπλετ, πρέπει να αποδοθεί μία διεύθυνση IP, δηλαδή ένας αριθμός αποτελούμενος από συγκεκριμένο αριθμό bits, ο οποίος και αποτελεί την ταυτότητα της συσκευής, ώστε να είναι δυνατή η επικοινωνία της στο Internet. Με τον ολοένα αυξανόμενο αριθμό συσκευών που συνδέονται στο διαδίκτυο, παρουσιάστηκε η ανάγκη περισσότερων διευθύνσεων από όσες μπορεί να παράσχει το IPv4. Το IPv4 χρησιμοποιεί διευθύνσεις 32 bit και δίνει 2^{32} δηλαδή περίπου 4,3 δισεκατομμύρια διαφορετικές διευθύνσεις. Το IPv6 χρησιμοποιεί διευθύνσεις 128 bit και έτσι έχουμε στη διάθεσή μας 2^{128} διευθύνσεις (δηλ. $3,4 \times 10^{38}$).

Κεφάλαιο 5. Επισκόπηση συστήματος μέτρησης ισχύος και ενέργειας

Η όλη λειτουργία του συστήματος περιγράφεται με το διάγραμμα ροής της Εικόνας 6 και επιγραμματικά είναι η εξής:

- ο αισθητήρας παίρνει μετρήσεις από τον ηλεκτρολογικό πίνακα (1480 μετρήσεις το δευτερόλεπτο)
- ο μικροελεγκτής επεξεργάζεται τα δεδομένα
- ο μικροελεγκτής συνδέεται ασύρματα με το οικιακό δίκτυο Wi-Fi και στέλνει τα δεδομένα σε php αρχείο (ανά 5 δευτερόλεπτα)
- το php αρχείο τα αποθηκεύει στη Database (ανά 5 δευτερόλεπτα)
- η Database επεξεργάζεται τα δεδομένα (1 φορά την ημέρα)
- ένα php διαβάζει από τη Database δεδομένα για ημέρα, εβδομάδα, μήνα, χρόνο και τα μετατρέπει σε json (ανά 30 λεπτά)
- ο μικροελεγκτής μέσω του Wi-Fi διαβάζει το json του php αρχείου (ανά 30 λεπτά)
- ο μικροελεγκτής στέλνει δεδομένα στιγμιαία (ανά 5 δευτερόλεπτα), ημερήσια και εβδομαδιαία (ανά 30 λεπτά) στην οθόνη
- ένα php διαβάζει από τη Database δεδομένα στιγμιαία, για ημέρα, για εβδομάδα, για μήνα, για χρόνο (κάθε φορά που του το ζητάει η εφαρμογή)
- η εφαρμογή ζητάει από το προηγούμενο php δεδομένα στιγμιαία, για ημέρα, για εβδομάδα, για μήνα, για χρόνο (κάθε φορά που του το ζητάει ο χρήστης)



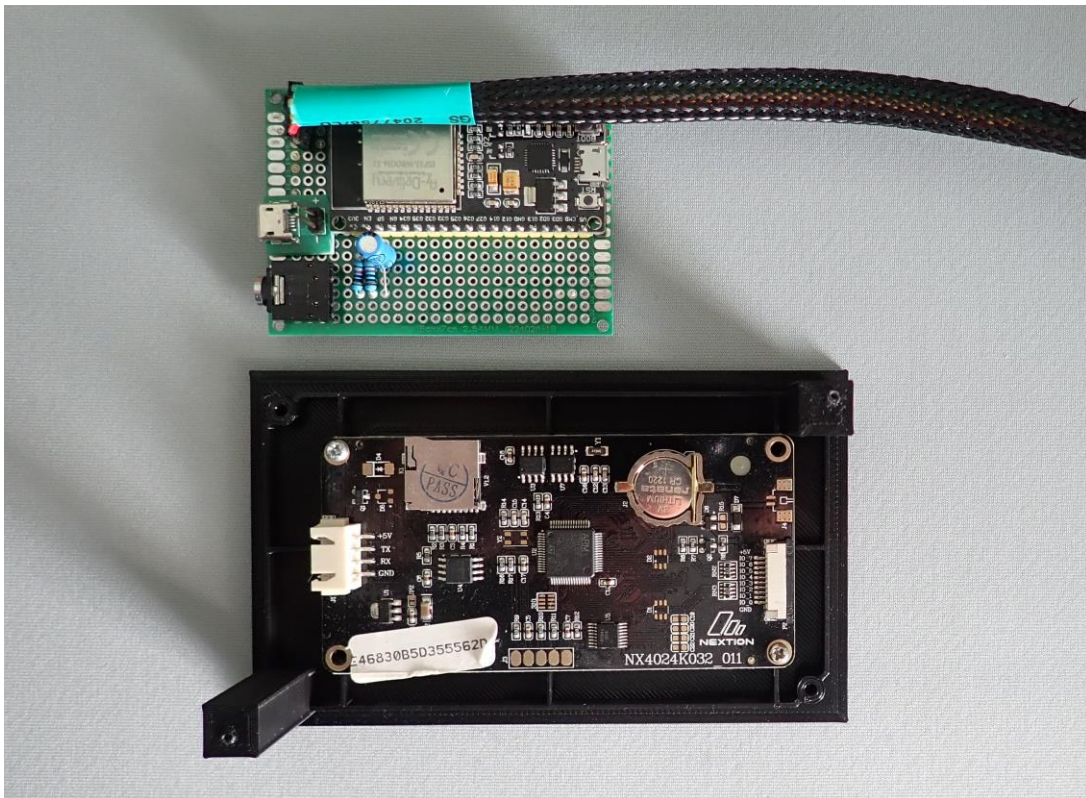
Εικόνα 6: Διάγραμμα ροής της υλοποίησης του μετρητή ισχύος-ενέργειας

Κεφάλαιο 6. Περιγραφή κατασκευής

6.1 Υλικά - κόστος

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή ήταν:

- CT sensor clamp
- μικροελεγκτής με Wi-Fi
- οθόνη
- 3d printed θήκη
- διάφορα “αναλώσιμα” όπως αντιστάσεις, πυκνωτές, διάτρητη πλακέτα, καλώδια



Εικόνα 7: Ο μικροελεγκτής και το πίσω μέρος της οθόνης

6.2 CT sensor clamp

Ο αισθητήρας που χρησιμοποιήθηκε είναι ένας διαχωρισμένου πυρήνα (split-core) CT sensor.



Εικόνα 8: CT sensor

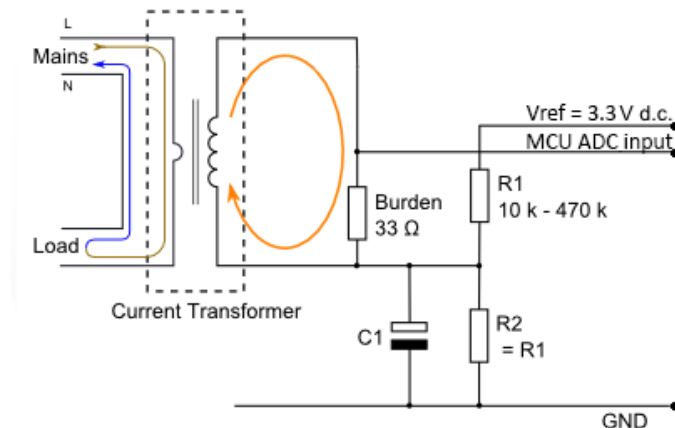
Οι μετασχηματιστές ρεύματος (CT – Current Transformers, Εικόνα 8) είναι αισθητήρες που μετρούν AC ρεύμα. Όπως όλοι οι μετασχηματιστές έχουν ένα πρωτεύον και ένα δευτερεύον τύλιγμα και έναν μαγνητικό πυρήνα. Το εναλλασσόμενο ρεύμα στο πρωτεύον πηνίο προκαλεί μαγνητικό πεδίο στον πυρήνα, το οποίο μαγνητικό πεδίο προκαλεί ρεύμα στο δευτερεύον πηνίο. Το ρεύμα στο δευτερεύον πηνίο είναι ανάλογο με το ρεύμα που ρέει στο πρωτεύον πηνίο.

$$I_{secondary} = CT_{TurnsRatio} * I_{primary}$$

(6.1)

Μία αντίσταση (φορτίο) συνδέεται στην έξοδο του δηλαδή στις άκρες του δευτερεύοντος, ενώ παράλληλα με αυτήν υπάρχουν δύο δίοδοι Zener για προστασία σε περίπτωση καταστροφής της αντίστασης. Το δευτερεύον πηνίο είναι γαλβανικά απομονωμένο από το πρωτεύον κύκλωμα.

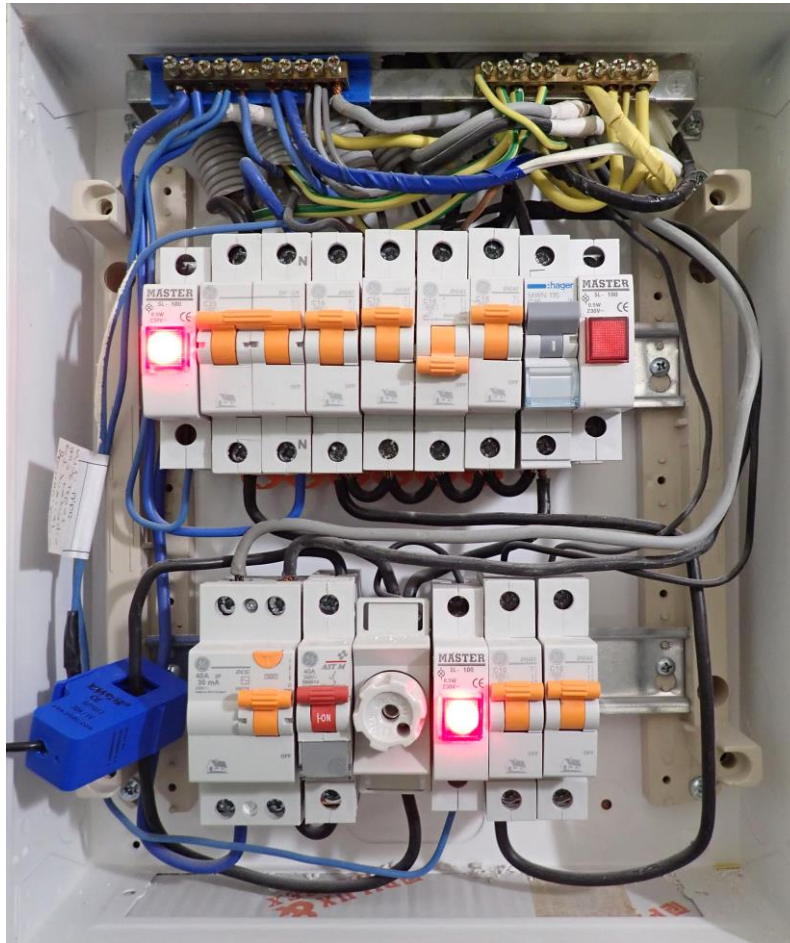
Όπως φαίνεται στην Εικόνα 9, για να παρακολουθήσουμε τις αλλαγές στο ρεύμα μετράμε την τάση στα άκρα του φορτίου. Ως τάση αναφοράς θεωρούμε το ένα άκρο του φορτίου στο οποίο δίνουμε μία offset τάση μέσω ενός διαιρέτη τάσης. Η επιλογή των αντιστάσεων γίνεται ώστε η τάση να κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 1,15 – 2,15V ώστε να αποφύγουμε τις μη γραμμικές περιοχές μέτρησης του ADC του μικροελεγκτή -όπως περιγράφεται σε επόμενο κεφάλαιο- αλλά και γιατί η τάση εισόδου έχει και αρνητική πολικότητα ενώ ο ADC του μικροελεγκτή μας υποστηρίζει μετρήσεις μόνο θετικών τάσεων.



Εικόνα 9: Βασικό κύκλωμα και συνδεσμολογία CT sensor

Κεφάλαιο 6

Οι CT sensors διαχωρισμένου πυρήνα προσφέρονται για μη επεμβατικές (non invasive) εφαρμογές σε αντίθεση με τους solid core και ring core οι οποίοι απαιτούν διακοπή και αποσύνδεση ενός αγωγού για να περαστούν. Οι διαχωρισμένου πυρήνα λειτουργούν σαν απλό μανταλάκι και έτσι είναι εύκολο να χρησιμοποιηθούν (Εικόνα 10).



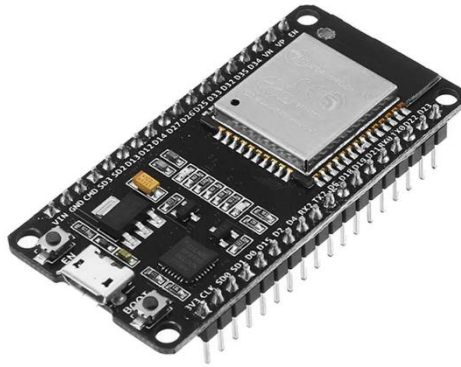
Εικόνα 10: Ηλεκτρολογικός πίνακας – τοποθέτηση CT sensor

Ο CT Που χρησιμοποιήθηκε στο σύστημά μας είναι ο SCT-013-030 της εταιρίας XiDi Technology και έχει βασικά χαρακτηριστικά [5]:

- input current 0-30A
- output voltage 0-1V
- non-linearity $\pm 1\%$
- build-in sampling resistance 62 Ω
- turn ratio 1800:1

6.3 Μικροελεγκτής

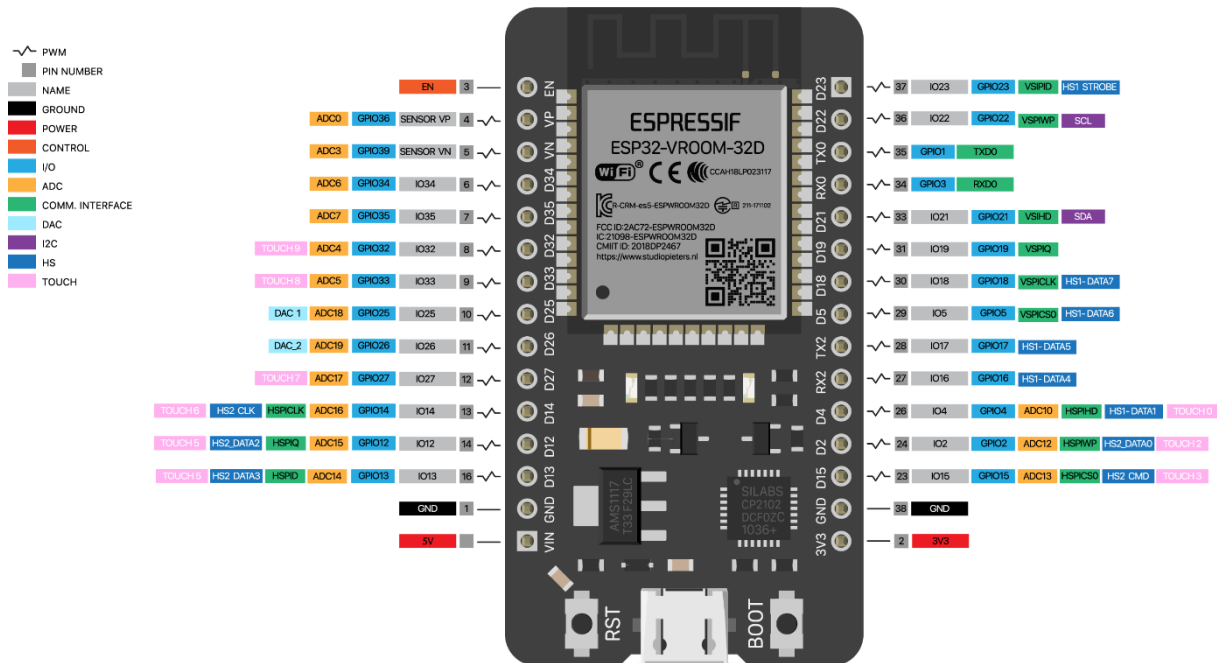
Στην υλοποίηση του μετρητή χρησιμοποιήθηκε ο μικροελεγκτής ESP32-WROOM-32 της εταιρίας Espressif Systems στην υλοποίηση Esp32 DevKit v1.



Εικόνα 11: Esp32 DevKit v1

Ο εν λόγω μικροελεγκτής ανήκει στην κατηγορία low power (μπορεί να μπει σε sleep και deepSleep modes για μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας ή να λειτουργήσει με μπαταρία), διαθέτει επεξεργαστή Xtensa dual-core 32-bit LX6 που λειτουργεί στα 240MHz και μνήμη 520Kb RAM. Διαθέτει 34 προγραμματιζόμενες εισόδους/εξόδους (programmable GPIOs), 2 12-bit SAR ADCs 18 καναλιών, 2 8-bit DACs, 4 SPI interfaces, 2 I²S interfaces, 2 I²C interfaces και 3 UART, ενώ διαθέτει πληθώρα άλλων δυνατοτήτων. Επιπλέον έχει ενσωματωμένο dual-mode Bluetooth, v4.2 BR/EDR and BLE αλλά και Wi-Fi, 802.11 b/g/n οπότε μπορεί να συνδεθεί απευθείας στο ίντερνετ χωρίς την ανάγκη χρήσης hubs [6].

Στην Εικόνα 12 φαίνεται το pinout διάγραμμα του Esp32 DevKit v1.



Εικόνα 12: pinout διάγραμμα του Esp32 DevKit v1

6.4 Analog to Digital Converter του ESP32.

Ο μικροελεγκτής ESP32 έχει ενσωματωμένους 2 SAR (Successive Approximation Register) ADCs οι οποίοι υποστηρίζουν συνολικά 18 κανάλια μετρήσεων (18 analog enabled pins). Χρησιμοποιεί μία τάση αναφοράς (analog reference voltage) για να μετρήσει την τάση εισόδου. Το εύρος του σήματος εισόδου κυμαίνεται μεταξύ 0V και V_{ref} . Η V_{ref} στα περισσότερα ESP32 modules είναι μία σταθεροποιημένη τάση 1.1V. Για να μετρηθούν μεγαλύτερες τάσεις χρησιμοποιούνται εξασθενητές όπως φαίνεται στον πίνακα 1.

Πίνακας 1: ADC Attenuation

Attenuation	Measurable input voltage range
ADC_ATTEN_DB_0	100 mV ~ 950 mV
ADC_ATTEN_DB_2_5	100 mV ~ 1250 mV
ADC_ATTEN_DB_6	150 mV ~ 1750 mV
ADC_ATTEN_DB_11	150 mV ~ 2450 mV

Η μετατροπή της αναλογικής εισόδου σε ψηφιακές τιμές γίνεται δίνεται από τα APIs του ADC σαν raw data με τις εντολές `adc1_get_raw()` και `adc2_get_raw()` ενώ η ανάλυση της κάθε τιμής είναι 12bit.

Για να υπολογιστεί η τάση με βάση τα ADC raw results χρησιμοποιείται ο τύπος:

$$V_{out} = D_{out} * \frac{V_{max}}{D_{max}} \quad (6.2)$$

όπου V_{out} το αποτέλεσμα που αναφέρεται στην μετρούμενη τάση στα αντίστοιχα pins,

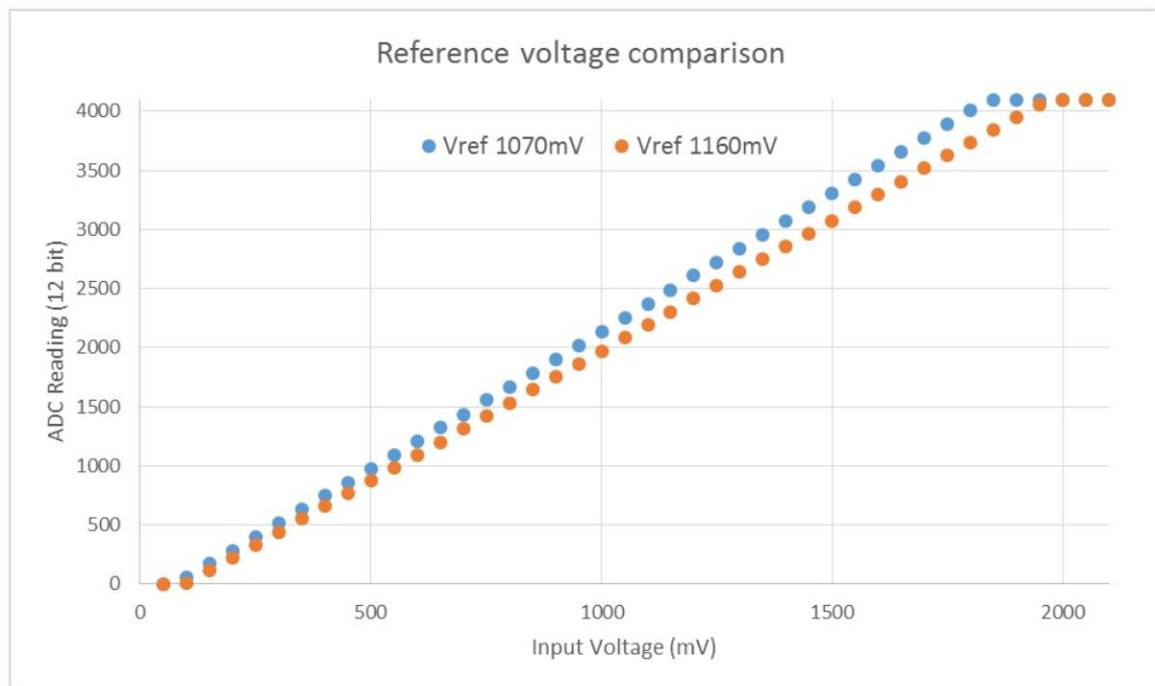
D_{out} το αποτέλεσμα του ADC raw digital reading,

V_{max} η μέγιστη μετρούμενη τάση όπως αναφέρεται στον Πίνακα 1: ADC Attenuation και

D_{max} η μέγιστη έξοδος του ADC raw digital reading (4095 στα περισσότερα modes)

6.5 ADC calibration

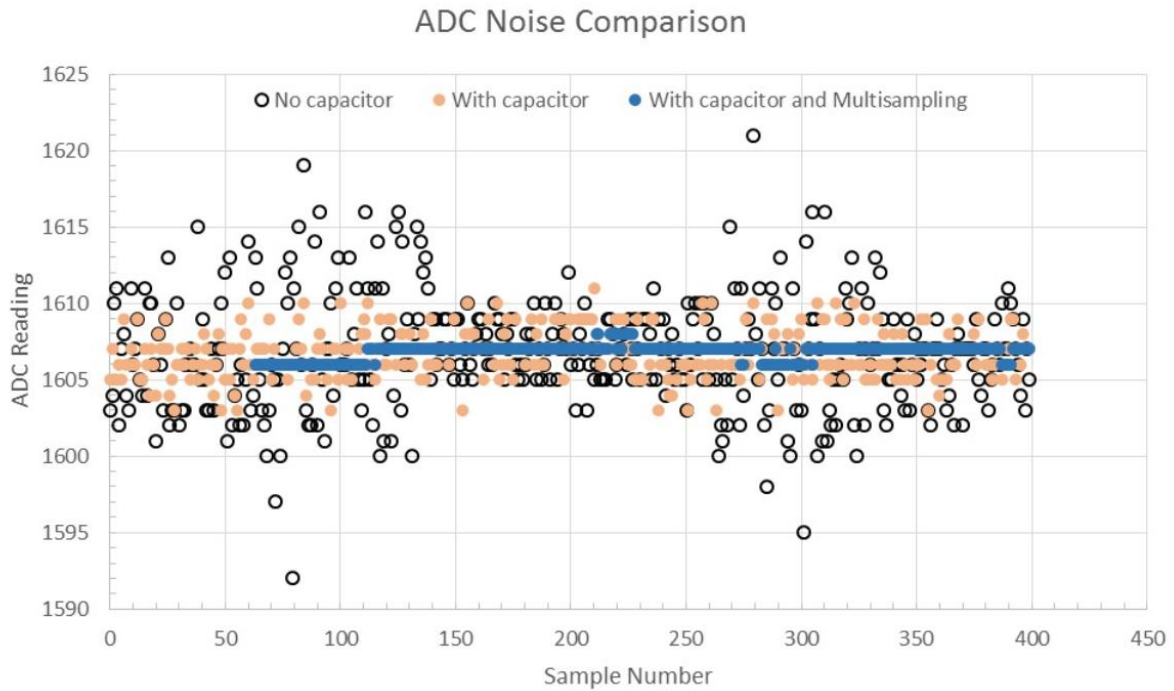
Χρησιμοποιώντας την βιβλιοθήκη `esp_adc_cal/include/esp_adc_cal.h` το ADC ρυθμίστηκε για τη διόρθωση των αποκλίσεων της μετρούμενης τάσης που προέρχονται λόγω της V_{ref} . Η V_{ref} όπως αναφέρθηκε και παραπάνω κυμαίνεται από 1000mV μέχρι και 1100mV και είναι διαφορετική από ολοκληρωμένο σε ολοκληρωμένο. Στην Εικόνα 13 φαίνεται μία σύγκριση διαφορετικών ADC readings της ίδιας συνάρτησης τάσης για διαφορετικά V_{ref} δύο ίδιων ESP32 chip.



*Εικόνα 13: Σύγκριση διαφορετικών ADC readings της ίδιας συνάρτησης τάσης για διαφορετικά Vref δύο ίδιων ESP32 chip
Πηγή εικόνας: espressif.com*

6.6 Θόρυβος στον ADC

Ο Analog to Digital Converter του ESP32 είναι ευαίσθητος στον θόρυβο και αυτό μπορεί να προκαλέσει αποκλίσεις στις μετρούμενες τιμές. Για το λόγο αυτό τοποθετήθηκε ένας bypass πυκνωτής 100nF. Επίσης η εταιρία κατασκευής του ESP32 συνιστά σε περιβάλλοντα μεγάλου θορύβου να γίνεται multisampling στα κανάλια για καλύτερα αποτελέσματα. Στην Εικόνα 14 φαίνεται μία σύγκριση των μετρούμενων τιμών του ADC χωρίς πυκνωτή, με πυκνωτή και με πυκνωτή και multisampling σε σχέση με τον αριθμό δειγμάτων σε περιβάλλον έντονου θορύβου.



*Εικόνα 14: Σύγκριση των μετρούμενων τιμών του ADC χωρίς πυκνωτή, με πυκνωτή και multisampling σε σχέση με τον αριθμό δειγμάτων σε περιβάλλον έντονου θορύβου
Πηγή: espressif.com*

6.7 Γραμμικοποίηση της συνάρτησης τάσης εισόδου – ADC reading

Για να σχεδιαστεί η χαρακτηριστική της συνάρτησης τάσης εισόδου – analog input reading πάρθηκαν οι παρακάτω μετρήσεις σε ζεύγη analog input για την αντίστοιχη V_{in} :

V_{input} (mV) =

[0,25,50,75,98,131,171,179,201,248,290,357,407,454,503,551,609,648,700,754,807,846,899,954,1006,1062,1099,1151,1196,1248,1320,1351,1401,1444,1495,1551,1607,1660,1701,1753,1814,1852,1904,1951,2018,2048,2092,2147,2189,2262,2305,2362,2396,2467,2506,2582,2602,2644,2704,2747,2816,2858,2899,2958,3005,3060,3103,3144,3200,3250,3300];

AnalogInput (0-4095) =

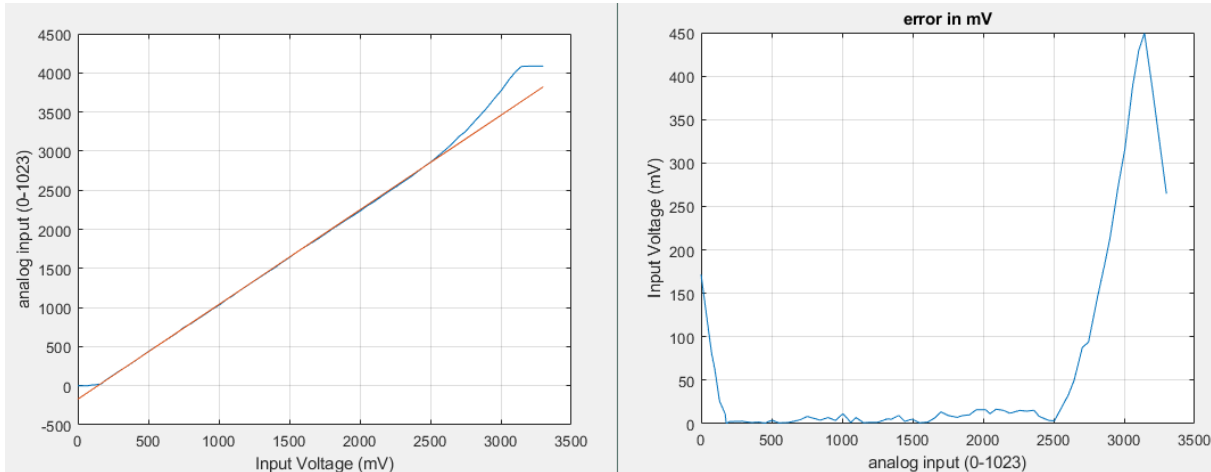
[0,0,0,0,9,13,24,45,74,131,182,259,319,377,441,496,564,610,671,749,799,848,909,979,1034,1112,1151,1220,1274,1337,1420,1458,1514,1573,1632,1706,1771,1830,1873,1940,2016,2060,2122,2173,2254,2295,2343,2411,2465,2550,2603,2671,2719,2817,2864,2979,3009,3077,3188,3246,3385,3467,3549,3681,3780,3919,4012,4082,4086,4086,4086];

Για τη μέτρηση των τιμών του analog read χρησιμοποιήθηκε στον ESP32 το παρακάτω φίλτρο exponential moving average (EMA) 1ου βαθμού:

```
float a = 0.05;
x = analogRead(33);
y = (a * x) + ((1 - a) * y);
```

Η σχέση μεταξύ τάσης εισόδου – analog input reading περιγράφεται καλύτερα με μία συνάρτηση του τύπου $g(x) = a * x + b$. Προσεγγίζοντας την παραπάνω συνάρτηση μέσω του λογισμικού Matlab (διαγράμματα Εικόνας 15) καταλήγουμε στη σχέση

$$AnalogInput = 1.21 * (V - 146) + 5 \quad (6.3)$$

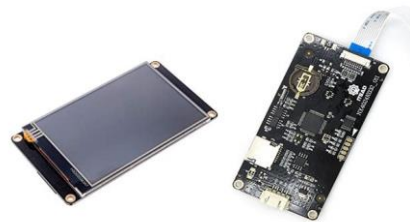


Εικόνα 15: Α. Με μπλε οι μετρούμενες τιμές, με κόκκινο η ιδανική ευθεία
 Β. Το error σε mV σε σχέση με την λαμβανόμενη τιμή analog input

Παρατηρούμε ότι το error εμφανίζεται στα άκρα του ADC ενώ στην κεντρική περιοχή δηλαδή για εισόδους 150mV μέχρι 2.500mV αυτός είναι γραμμικός. Για το λόγο έχουμε σχεδιάσει το κύκλωμά μας όπως αναφέρθηκε και παραπάνω ώστε το σήμα που διαβάζουμε να είναι $1,65V \pm 500mV$ δηλαδή 1,15V – 2,15V οπότε να αποφύγουμε τις μη γραμμικές περιοχές του ADC.

6.8 Οθόνη

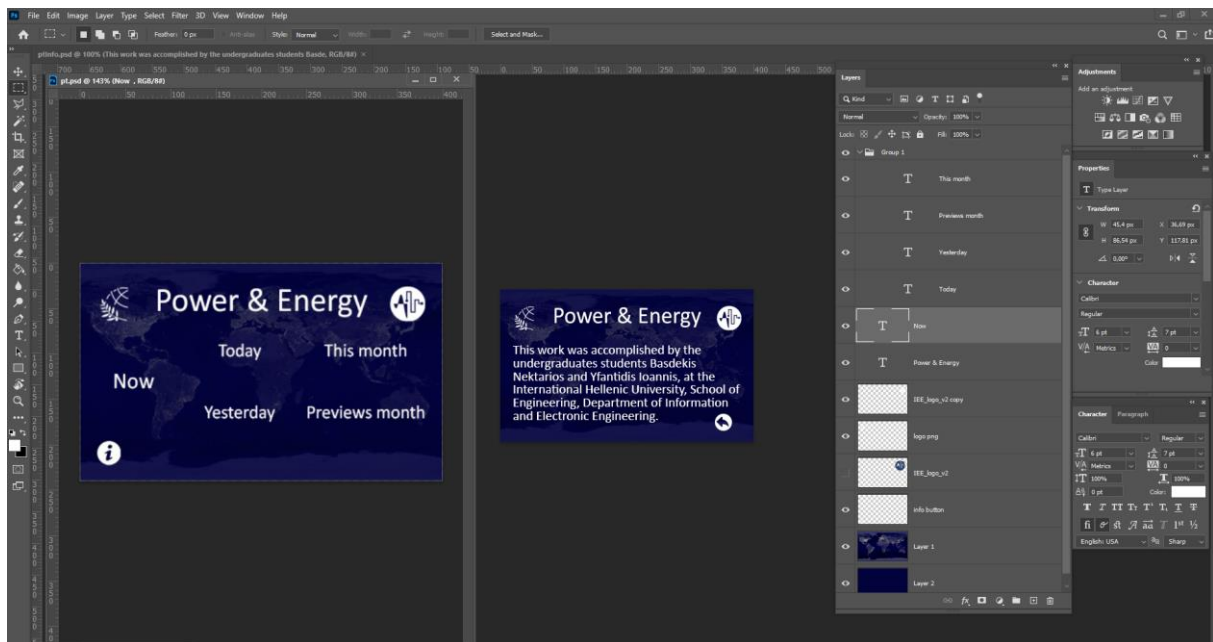
Στην επιτοίχια κατασκευή που πραγματοποιεί τις μετρήσεις και στέλνει τιμές στην βάση δεδομένων, εκτός από τον μικροελεγκτή τοποθετήθηκε και οθόνη LCD για την απεικόνιση των βασικών τιμών “με μία ματιά” κάτω από τον ηλεκτρολογικό πίνακα. Η οθόνη που τοποθετήθηκε είναι η NX4024K032_11 της εταιρίας NEXTION (Εικόνα 16). Η συγκεκριμένη οθόνη χρησιμοποιείται ευρέως σε εφαρμογές IOT. Διαθέτει ανάλυση 400×240 pixels, 64K χρώματα ανάλυσης 16 bit 565, 5R-6G-5B, ενσωματωμένο real time clock (RTC), ένα πολύ γρήγορο MCU clock, FLASH memory 16Mb για fonts και εικόνες, RAM 3,6Mb, λειτουργία touch και τάση λειτουργίας 5V οπότε είναι συμβατή με τις κλασικές τροφοδοσίες USB [7].



Εικόνα 16: Nextion display NX4024K032_11

Κεφάλαιο 6

Το γραφικό περιβάλλον της οθόνης σχεδιάστηκε στον λογισμικό Adobe Photoshop όπως φαίνεται στην Εικόνα 17.

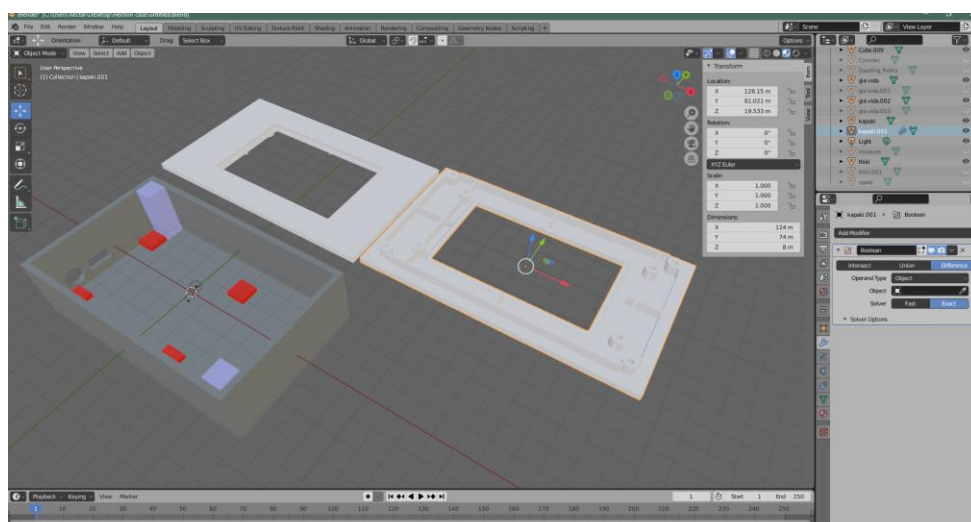


Εικόνα 17: Λογισμικό Adobe Photoshop, σχεδιασμός βασικής οθόνης και οθόνης πληροφοριών

Στην οθόνη επιλέχθηκαν να απεικονίζονται λιγότερα στοιχεία δεδομένα από ότι στην εφαρμογή, επειδή η κατασκευή της είναι επιτοίχια.

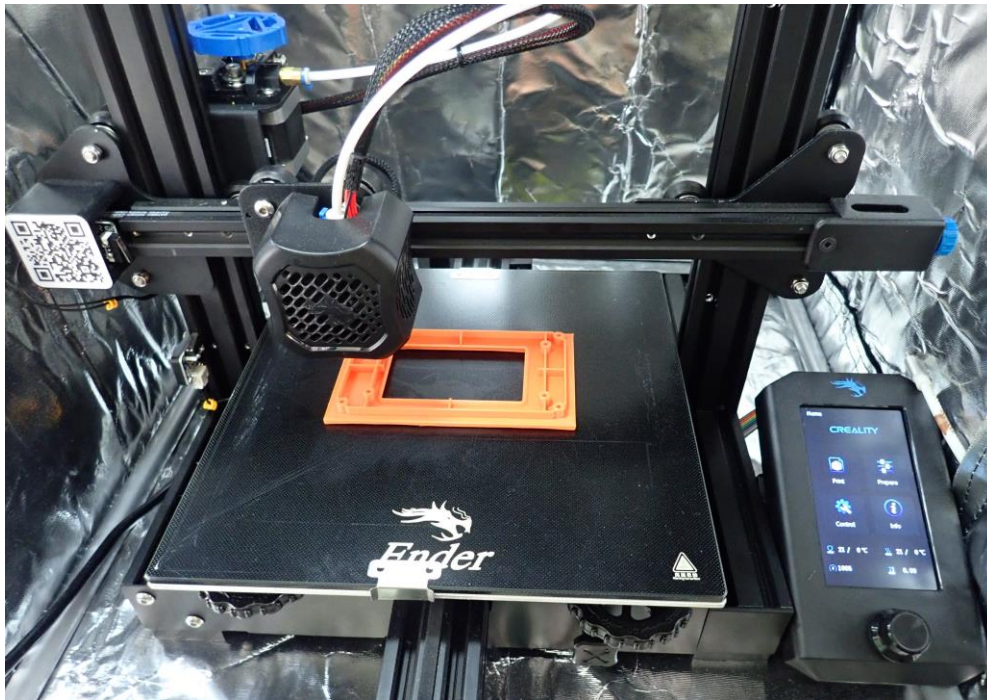
6.9 Case - 3d printer

Η επιτοίχια κατασκευή μέτρησης, απεικόνισης βασικών μετρήσεων και αποστολής δεδομένων στη Database, η οποία περιέχει τον μικροελεγκτή, την οθόνη και το βασικό κύκλωμα προσαρμογής του αισθητήρα, τοποθετήθηκε σε πλαστικό κούτι που σχεδιάστηκε ειδικά για το μέγεθός της. Στην κατασκευή σχεδιάστηκαν δύο οπές για τις εισόδους του αισθητήρα και του καλωδίου USB που



Εικόνα 18: Λογισμικό Blender, σχεδιασμός κούτιου επιτοίχιας κατασκευής

χρησιμοποιείται για φόρτιση ή για firmware updates. Ο σχεδιασμός έγινε με το software Blender (Εικόνα 18) ενώ το τελικό σχέδιο εκτυπώθηκε σε 3D printer (Εικόνα 19).



Εικόνα 19: 3D εκτύπωση κτιίου επιτοίχιας κατασκευής

Κεφάλαιο 7. Μικροελεγκτής - πρόγραμμα

7.1 Ανάγνωση δεδομένων

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο στις προδιαγραφές του μικροελεγκτή, ο ESP32 διαθέτει τους ADC1 και ADC2. Οι ADC1 και ADC2 έχουν μέγιστη ταχύτητα δειγματοληψίας 2Msps (DIG SAR Mode) και 200Ksps (RTC SAR Mode), δηλαδή μπορούν να πάρουν δείγματα περίπου ανά 500ns ή 5μs αντίστοιχα [6].

Στην εφαρμογή μας χρησιμοποιήθηκε ο ADC1 γιατί όταν το ESP32 χρησιμοποιεί σύνδεση Wi-Fi (WiFi.begin(...)) δεσμεύει τα pins του ADC2 [6]. Η συχνότητα δειγματοληψίας που επιλέξαμε είναι 1.48KHz. Για να τεθεί η δειγματοληψία στη συγκεκριμένη συχνότητα χρησιμοποιήθηκαν timer interrupts. Ο ESP32 διαθέτει 2 timer groups με 64bits counters και 16bit prescalers (μπορούν να διαιρέσουν τη μέγιστη ταχύτητα των 80MHz από το 2 μέχρι το 65536).

Μέγιστη ταχύτητα increment speed είναι η συχνότητα λειτουργίας του μικροελεγκτή δηλαδή 80MHz. Αυτό σημαίνει ότι κάθε tick του ρολογιού του είναι 1/80.000.000 seconds. Για να μετρήσω για παράδειγμα από το 0 μέχρι το 10.000 χρειάζονται $10.000 * 80.000.000 = 125\mu s$. Χρησιμοποιώντας τον τύπο:

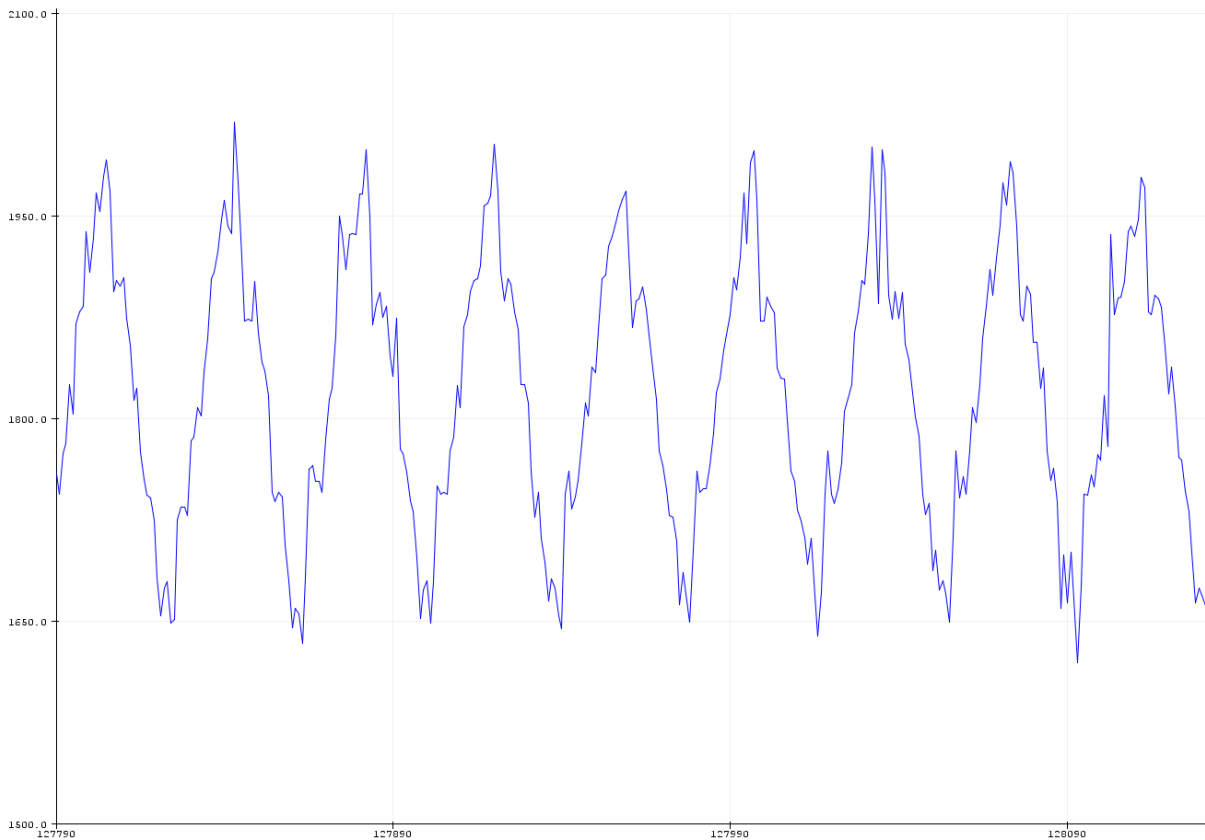
$$interrupt\ frequency\ (Hz) = \frac{ESP32\ clock\ speed\ (Hz)}{prescaler * (compare\ match\ register + 1)} \quad (7.1)$$

Γνωρίζοντας τη συχνότητα διακοπών και επιλέγοντας τιμή prescaler 128 βρίσκω την τιμή του compare match register 421.

Για να χρησιμοποιηθούν global μεταβλητές που να ελέγχονται από την συνάρτηση των interrupts (ISR) αλλά να υπάρχει πρόσβαση στις μεταβλητές αυτές εκτός ISR, δηλώνονται ως volatile. Επίσης χρειαζόμαστε μία μεταβλητή του τύπου portMUX_TYPE για τον έλεγχο του συγχρονισμού μεταξύ των συναρτήσεων main loop() και ISR, για την πρόσβαση στις κοινές μεταβλητές [6]:

```
portMUX_TYPE timerMux = portMUX_INITIALIZER_UNLOCKED;
```

Με τις παραπάνω ρυθμίσεις στον κώδικα παίρνουμε την επιθυμητή δειγματοληψία όπως φαίνεται στην Εικόνα 20.



Εικόνα 20: δειγματοληψία analog input με 1480 samples/s

Για τον υπολογισμό της rms έντασης υψώνουμε στο τετράγωνο τις μετρούμενες τιμές, υπολογίζουμε τον μέσο όρο διαιρώντας με τον αριθμό δειγμάτων και τελικά υπολογίζουμε τη ρίζα του μέσου όρου των τετραγώνων:

```
sumSquaredCurrent = 0;
for (i=0; i<numberOfSamples; i++) {
// υπολογισμός instCurrent από τον ADC του μικροελεγκτή (τάση σε ρεύμα)
squaredCurrent = instCurrent ^2;
sumSquaredCurrent += squaredCurrent;
i++;
}
meanOfSquaredCurrent = sumSquaredCurrent / numberOfSamples;
rootMeanSquareCurrent = sqrt(meanOfSquaredCurrent);
```

Τέλος για να πάρουμε σταθερές μετρήσεις περνάμε τις τιμές του I_{rms} από ένα πρώτης τάξης IIR φίλτρο:

```
a = 0.2;
Irms_filtered = a * Irms + (1-a) * Irms_filtered_previews;
```

Κεφάλαιο 7

$I_{rms_filtered_previews} = I_{rms_filtered};$

Το φίλτρο ακολουθεί τη συνάρτηση

$$y(n) = a * x(n) + (1 - a) * y(n - 1) \quad (7.2)$$

με $x(n)$ το μετρούμενο I_{rms} και $y(n)$ το φιλτραρισμένο I_{rms} .

Παίρνοντας τον μετασχηματισμό z έχουμε:

$$Y(z) = (1 - a) * z^{-1} * Y(z) + a * X(z) \quad (7.3)$$

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{a}{1 - (1 - a)z^{-1}} \quad (7.4)$$

Για να βρούμε το σημείο των -3dB του φίλτρου για ω μεταξύ $[0, \pi]$ έχουμε:

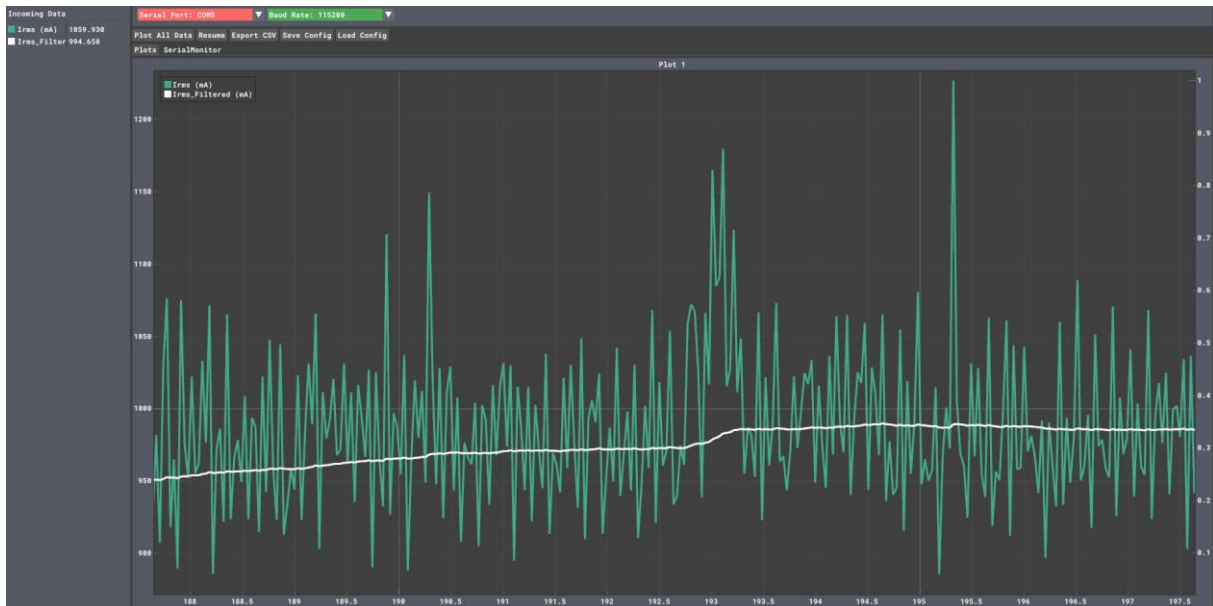
$$\begin{aligned} |H(z = e^{j\omega_{3dB}})|^2 &= \frac{1}{2} = \left| \frac{a}{1 - (1 - a)e^{-j\omega_{3dB}}} \right|^2 \\ &= \frac{a^2}{|1 - (1 - a)\cos(-\omega_{3dB}) - j(1 - a)\sin(-\omega_{3dB})|^2} \Rightarrow \end{aligned} \quad (7.5)$$

$$\omega_{3dB} = \cos^{-1} \left[1 - \frac{a^2}{2(1 - a)} \right] \Rightarrow \quad (7.7)$$

$$F_{3dB} = \frac{F_s}{2\pi} \cos^{-1} \left[1 - \frac{a^2}{2(1 - a)} \right] \quad (7.8)$$

Το οποίο για συχνότητα δειγματοληψίας (δειγμάτων I_{rms}) ίση με 1480 samples/s μας δίνει συχνότητα αποκοπής $F_c = 52.78\text{Hz}$.

Στην Εικόνα 21 βλέπουμε την μετρούμενη I_{rms} και την φιλτραρισμένη I_{rms} . Παρατηρούμε ότι με συντελεστή $a = 0.2$ υπάρχει μία μικρή καθυστέρηση του φιλτραρισμένου I_{rms} σε σχέση με το I_{rms} της εισόδου. Αυτό δεν μας απασχολεί στη πραγματικότητα γιατί ο μικροελεγκτής στέλνει τιμές στην οθόνη αλλά και στη βάση δεδομένων ανά 5 δευτερόλεπτα. Αν ενδιαφερόμασταν για τη μελέτη μεταβατικών φαινομένων ή σε περίπτωση που θα θέλαμε όσο το δυνατόν γρηγορότερη απεικόνιση θα προτιμούσαμε να μειώσουμε αυτή τη διαφορά φάσης ρυθμίζοντας τον συντελεστή a σε μεγαλύτερες τιμές στον κώδικά μας. Έτσι το φίλτρο θα είχε γρηγορότερη απόκριση αλλά ταυτόχρονα και μεγαλύτερη συχνότητα αποκοπής που ίσως δυσκόλευε την εξαγωγή συμπερασμάτων.



Εικόνα 21: Μετρούμενη I_{rms} και φιλτραρισμένη I_{rms}

Πολλαπλασιάζοντας το I_{rms} με το V_{rms} βρίσκουμε το μέτρο της φαινόμενης ισχύος $|S|$.

Όπως προαναφέρθηκε στο κεφάλαιο 3 για λόγους ευκολίας η V_{rms} δεν μετράται αλλά χρησιμοποιείται η ονομαστική τιμή της ΔΕΗ που είναι 230V. Θεωρώντας τον συντελεστή ισχύος ίσο σχεδόν με 1 η φαινόμενη ισχύς είναι ίση με την πραγματική ισχύ.

7.2 Επαλήθευση αποτελεσμάτων – evaluation

Για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε ο FLUKE 434 Power Quality and Energy Analyser της εταιρίας FLUKE, που αποτελεί μία από τις πιο αξιόπιστες και διαδεδομένες συσκευές μετρήσεων και ελέγχου, με δυνατότητα μετρήσεων όλων των βασικών παραμέτρων ποιότητας ισχύος (αρμονικές, βυθίσεις, ανυψώσεις, ανισορροπίες, ρεύμα εκκίνησης, transient errors κ.λπ.). Οι μετρήσεις πάρθηκαν σε φορτία που έχουν διαφορετικούς συντελεστές από ωμικά μέχρι και ωμικά-επαγωγικά όπως φαίνεται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2: Συγκρίσεις μετρήσεων σε συσκευές με διαφορετικό συντελεστή ισχύος

	Ονομαστική Ισχύς – max (W)	ESP32 (W)	FLUKE 434 (W)	FLUKE 434 power factor
ηλεκτρικό καλοριφέρ	1200	1153	1160	1
εστία μαγειρέματος (μάτι)	2000	1878	1900	1
βραστήρας νερού	2000-2400	2168	2180	1
ραδιόφωνο	40	19	20	0.99
λαμπτήρας led	9.7	8	10	1
λαμπτήρας φθορισμού	14	12	10	0.38
επαγγελματικός ανεμιστήρας	130	117	130	0.94
αρτοποιαστικός¹	615	264	280	0.89
αρτοποιαστικός²		581	590	1
μίξερ³	300-400	71	80	0.92
ηλεκτρική σκούπα	800	678	710	0.8
πλυντήριο ρούχων⁴	Οι κατασκευαστές δεν δίνουν ισχύ γιατί διαφέρει ανάλογα με τη λειτουργία	2139	2150	1
πλυντήριο ρούχων⁵		485	510	0.91
πλυντήριο ρούχων⁶		36	30	0.96
πλυντήριο ρούχων⁷		5	10	1

¹ ζύμωμα

² ψήσιμο

³ χωρίς φορτίο

⁴ ζέσταμα νερού 60° C

⁵ στύψιμο στις 1000 στροφές

⁶ αντλία νερού

⁷ standby

Στον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε ότι ακόμα και για συντελεστή ισχύος <1 το σύστημά μας δίνει ακριβείς μετρήσεις. Επίσης, σε μετρήσεις που έγιναν σε διάφορα μικρά φορτία (που δεν είναι δυνατόν να μετρήσει ο FLUKE 434 Power Quality and Energy Analyser) έχουμε ακρίβεια που πλησιάζει τις ονομαστικές τιμές.

7.3 Αποστολή στη βάση δεδομένων

Για την παραλαβή των δεδομένων από τον μικροελεγκτή και την εγγραφή τους στην Database δημιουργήθηκε ένα αρχείο php το οποίο τοποθετήθηκε μέσω του file manager στον φάκελο public html όπου βρίσκεται αποθηκευμένη η βάση. Η ροή των δεδομένων από το php αρχείο στη Database περιγράφεται στο κεφάλαιο 8.2.

Ο μικροελεγκτής συνδέεται στο οικιακό Wi-Fi δίκτυο χρησιμοποιώντας τα αντίστοιχα SSID και password. Η σύνδεση γίνεται χρησιμοποιώντας τις βιβλιοθήκες WiFi.h, HTTPClientESP32Ex.h,

ssl_client32.h, WiFiClientSecureESP32, HTTPClient.h. και Arduino_JSON.h. Σημειώνεται ότι κάποιες από τις παραπάνω βιβλιοθήκες χρησιμοποιούνται για την αποστολή αλλά και για τη λήψη δεδομένων που περιγράφεται παρακάτω.

Έχοντας τη μέτρηση της real time ισχύος ο μικροελεγκτής στέλνει ανά 5 δευτερόλεπτα στο php αρχείο τα δεδομένα:

```
const char* serverName_Send = "https://website.com/post-esp-data.php";
if (WiFi.status() == WL_CONNECTED){
    HTTPClient http;
    http.begin(serverName_Send);
    http.addHeader("Content-Type", "application/x-www-form-urlencoded");
    String httpRequestData = "api_key=" + apiKeyValue + "&value1=" + wattSt + "";
    int httpResponseCode = http.POST(httpRequestData);
    http.end();
}
```

Τέλος ένα api key χρησιμοποιήθηκε ως κοινό αναγνωριστικό μεταξύ του μικροελεγκτή και του αρχείου php για την επιβεβαίωση της ταυτότητας του μικροελεγκτή (το στέλνει ο μικροελεγκτής και το διαβάζει το php).

7.4 Λήψη από τη βάση δεδομένων

Ταυτόχρονα, για την απεικόνιση περισσότερων δεδομένων από την Database (δεδομένα κατανάλωσης ενέργειας, ημερήσια και μηνιαία), στην επιτοίχια συσκευή, δημιουργήθηκε ένα αρχείο php που διαβάζει από τη βάση δεδομένων -όπως περιγράφεται στο κεφάλαιο 8.4- και μετατρέπει τα δεδομένα σε json μορφή.

Ο μικροελεγκτής κάθε 10 λεπτά διαβάζει από το php αρχείο τα json δεδομένα, (4 τιμές) και τις κρατάει σε έναν πίνακα.

```
const char* serverName_Get = "https://website.com/json_file.php";
if ((millis() - lastTime) > timerDelay){
    if (WiFi.status() == WL_CONNECTED){
        sensorReadings = httpGETRequest(serverName_Get);
        JSONVar myObject = JSON.parse(sensorReadings);
        JSONVar keys = myObject.keys();
        for (int i = 0; i < keys.length(); i++) {
            JSONVar value = myObject[keys[i]];
            sensorReadingsArr[i] = value;
        }
    }
    lastTime = millis();
}

String httpGETRequest(const char* serverName_Get) {
    HTTPClient http;
    http.begin(serverName_Get);
    int httpResponseCode = http.GET();
```

Κεφάλαιο 7

```
String payload = "{}";
if (httpResponseCode > 0) {
    payload = http.getString();
}
http.end();
return payload;
}
```

Η ανάγνωση αυτή δεν αφορά τη real time μέτρηση ισχύος αφού αυτή διατίθεται από τον ίδιο τον μικροελεγκτή. Αφορά τιμές που υπολογίζονται από τη βάση δεδομένων όπως θα περιγραφεί στο επόμενο κεφάλαιο, οι οποίες τιμές δεν είναι απαραίτητο να λαμβάνονται με μεγάλη συχνότητα γιατί αφορούν αποτελέσματα μετρήσεων που αλλάζουν ανά ώρα, ανά μέρα και ανά μήνα (η λήψη τους περιγράφεται στο επόμενο κεφάλαιο).

7.5 Απεικόνιση δεδομένων

Η απεικόνιση των δεδομένων στην οθόνη της επιτοίχιας συσκευής γίνεται με τη χρήση της σειριακής θύρας του μικροελεγκτή. Συγκεκριμένα χρησιμοποιούνται τα Serial 0 (Rx) και Serial 1 (Tx) τα οποία συνδέονται αντίστοιχα Tx και Rx της οθόνης.

Στην οθόνη στέλνονται για απεικόνιση

- οι τιμές της ισχύος σε real time (ανά 5 δευτερόλεπτα)

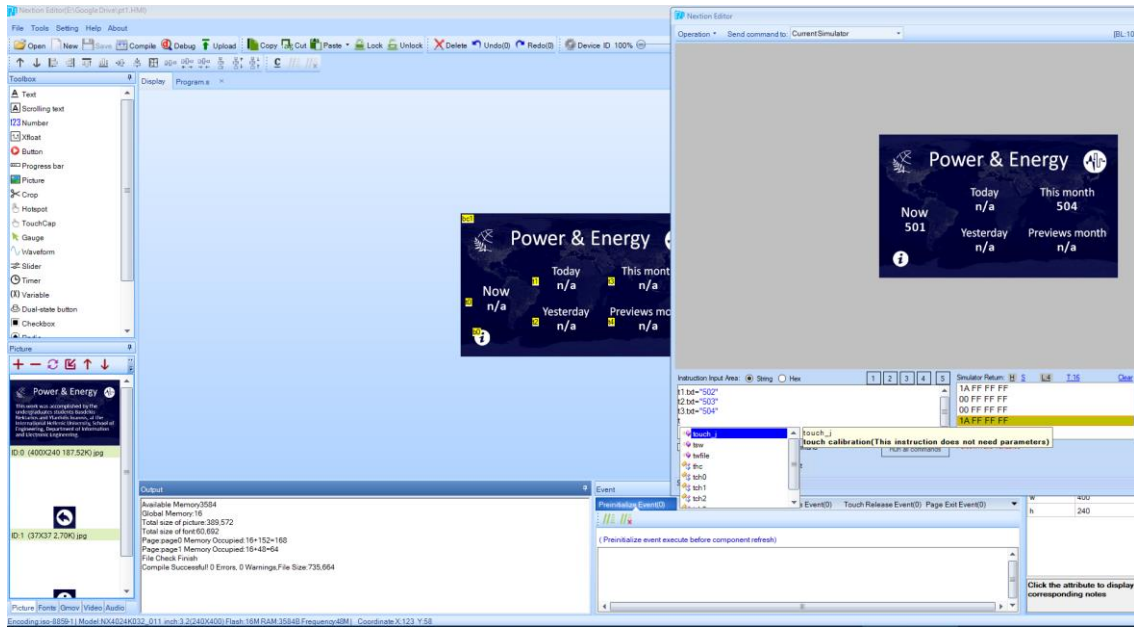
και οι τιμές που διαβάζονται από τη βάση δεδομένων για την ενέργεια που καταναλώθηκε

- σήμερα μέχρι και την προηγούμενη ώρα,
- την χθεσινή μέρα,
- αυτόν τον μήνα μέχρι και την προηγούμενη μέρα,
- τον προηγούμενο μήνα

Για την αποστολή των παραπάνω τιμών χρησιμοποιείται η εντολή Serial.print ενώ η κάθε αποστολή τερματίζεται με την αποστολή 3 bytes 0xFF 0xFF 0xFF με την εντολή Serial.write όπως φαίνεται παρακάτω:

```
Serial.print("t1.txt=");           //το αντίστοιχο πεδίο της οθόνης που θα δεχτεί την τιμή
Serial.write(0x22);
Serial.print(sensorReadingsArr[0]); //η τιμή σαν string
Serial.write(0x22);
Serial.write(0xff);
Serial.write(0xff);
Serial.write(0xff);
```

Το γραφικό κομμάτι που δημιουργήθηκε στο λογισμικό Adobe Photoshop φορτώθηκε στην οθόνη, με τη χρήση του λογισμικού Nextion Editor της εταιρίας Nextion. Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν τα πεδία που δέχονται τα εισερχόμενα δεδομένα για τις 5 τιμές δεδομένων που αναφέρθηκαν πιο πάνω. Τέλος δημιουργήθηκαν τα κουμπιά για την οθόνη πληροφοριών όπως φαίνεται στην Εικόνα 22.



Εικόνα 22: Λογισμικό Nextion Editor, σχεδιασμός της λήψης δεδομένων από τον μικροελεγκτή

Κεφάλαιο 8. Βάση δεδομένων

8.1 Δημιουργία SQL βάσης δεδομένων

Στη SQL Database δημιουργήθηκαν 2 πίνακες των 3 τιμών ο καθένας για να καταχωρούν την μέτρηση (ή τον υπολογισμό όπως θα περιγραφεί παρακάτω) των δεδομένων.

Ο πίνακας A κρατάει τις real time μετρήσεις ισχύος μαζί με αύξοντα αριθμό και timestamp όπως φαίνεται στην Εικόνα 23.

Showing rows 0 - 24 (1135377 total, Query took 0.1620 seconds)

```
SELECT * FROM `Data21` ORDER BY `Data21`.`reading_time` DESC
```

1 > >> | Number of rows: 25

- Options

				id	value1	reading_t
<input type="checkbox"/>	Edit	Copy	Delete	1139906	272.00	2022-01-2
<input type="checkbox"/>	Edit	Copy	Delete	1139905	290.00	2022-01-2
<input type="checkbox"/>	Edit	Copy	Delete	1139904	272.00	2022-01-2
<input type="checkbox"/>	Edit	Copy	Delete	1139903	282.00	2022-01-2
<input type="checkbox"/>	Edit	Copy	Delete	1139902	281.00	2022-01-2
<input type="checkbox"/>	Edit	Copy	Delete	1139901	277.00	2022-01-2

Εικόνα 23: Βάση δεδομένων: πίνακας real time μετρήσεων ισχύος

Ο πίνακας B κρατάει τις ημερήσιες καταναλώσεις ενέργειας ανά ώρα μαζί με αύξοντα αριθμό και timestamp όπως φαίνεται στην Εικόνα 24.

<input type="checkbox"/>	Edit	Copy	Delete	250	10234.3	2021-09-
<input type="checkbox"/>	Edit	Copy	Delete	249	6547.23	2021-09-
<input type="checkbox"/>	Edit	Copy	Delete	248	9876.34	2021-09-
<input type="checkbox"/>	Edit	Copy	Delete	247	4567.4	2021-09-
<input type="checkbox"/>	Edit	Copy	Delete	246	3300.45	2021-09-
<input type="checkbox"/>	Edit	Copy	Delete	245	7654.34	2021-09-
<input type="checkbox"/>	Edit	Copy	Delete	244	7765.84	2021-09-
<input type="checkbox"/>	Edit	Copy	Delete	243	8563.56	2021-09-
<input type="checkbox"/>	Edit	Copy	Delete	242	8954.09	2021-09-

Εικόνα 24: Βάση δεδομένων: πίνακας με τις ημερήσιες καταναλώσεις ενέργειας

8.2 Php για αποστολή στην Βάση δεδομένων

Όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 7.3, ένα αρχείο php δημιουργήθηκε για την αποστολή δεδομένων από τον μικροελεγκτή στην Database. Το αρχείο αυτό αφού επιβεβαιώσει την ταυτότητα του χρήστη (μικροελεγκτή) τρέχει τον παρακάτω κώδικα:

```
if ($_SERVER["REQUEST_METHOD"] == "POST") {
    $api_key = test_input($_POST["api_key"]);
    if($api_key == $api_key_value) {
        $value1 = test_input($_POST["value1"]);
        $conn = new mysqli($servername, $username, $password, $dbname);
        $sql = "INSERT INTO Data21 ( value1)
            VALUES ( '" . $value1 . "' )";
        $conn->close();
    }
}
```

ο οποίος καταχωρεί τις εισερχόμενες από τον μικροελεγκτή τιμές (real time τιμές ισχύος) στον πίνακα A της βάσης δεδομένων.

8.3 Trigger στη βάση δεδομένων

Στη βάση δεδομένων υλοποιείται ένας trigger ο οποίος ενεργοποιείται αμέσως μετά τις 00:00 τα μεσάνυχτα κάθε μέρα, δηλαδή αμέσως μετά την αλλαγή ημερομηνίας. Η ενεργοποίησή του γίνεται με Event – INSERT δηλαδή με την κάθε καταχώρηση τιμής στον πίνακα A. Ο trigger τσεκάρει αν έχει γίνει αλλαγή μέρας:

```
SET nowPostDay = (SELECT (dayofyear(reading_time)) FROM Data21 ORDER BY ID DESC LIMIT 1);
SET prevPostDay = (SELECT (dayofyear(reading_time)) FROM Data21 ORDER BY id DESC LIMIT 1, 1);
IF nowPostDay > prevPostDay
    THEN...
```

στη συνέχεια υπολογίζει την κατανάλωση ενέργειας ανά ώρα και την ημερήσια κατανάλωση:

```
WHILE h <= 23
    DO
        SET hourlyAVG =
            (SELECT AVG(value1)
            FROM Data21
            WHERE HOUR(reading_time) = h
            AND DATE(reading_time) = DATE(curdate() - INTERVAL 1 DAY));
        SET h = h + 1;
        Set allDay = allDay + hourlyAVG;
END WHILE;
```

και τέλος καταχωρεί την ημερήσια κατανάλωση ανά ώρα στον πίνακα B.

Όπως γνωρίζουμε για την ισχύ, 1W είναι η ηλεκτρική ισχύς όταν η προσφερόμενη ενέργεια είναι 1J σε χρόνο 1s. Από την παραπάνω σχέση για τον υπολογισμό της ενέργειας ανά ώρα, ο οποίος είναι αυτός που μας ενδιαφέρει, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τον τύπο

$$\text{Ενέργεια} = \frac{\text{Ισχύς}}{\text{χρόνος}} \quad (8.1)$$

Ο υπολογισμός της ενέργειας με βάση τις τιμές της στιγμιαίας ισχύος γίνεται με τον υπολογισμό του μέσου όρου των στιγμιαίων τιμών ισχύος που έγιναν κατά τη δειγματοληψία στον μικροελεγκτή, δηλαδή με το άθροισμά τους και με διαίρεση με τον αριθμό δειγμάτων σε μία ώρα και το αποτέλεσμα είναι σε Wh.

Τέλος ο Trigger σβήνει τις real time καταχωρήσεις που αφορούν σε τιμές 3 ημερών και πίσω (κρατάει τις σημερινές και χθεσινές):

```
DELETE FROM `Data21` WHERE reading_time < DATE_SUB(NOW() , INTERVAL 3 DAY)
```

Η χρήση του trigger είναι αναγκαστική για να μειωθεί ο όγκος δεδομένων. Χωρίς τη χρήση του θα είχαμε 518.400 τιμές ανά μήνα ή 6.220.800 τιμές ανά χρόνο (1 τιμή ανά 5 seconds = 17.280 τιμές ανά ημέρα) με αποτέλεσμα μόνο με τη χρήση php αρχείων να πρέπει να γίνονται χρονοβόρες πράξεις με την κάθε κλήση τους (των php), για παράδειγμα κάθε φορά που ο χρήστης θα έκανε scroll στην εφαρμογή! Με τη χρήση του trigger όταν για παράδειγμα ο χρήστης ζητάει τα μηνιαία δεδομένα ανά ημέρα (του τρέχοντος και του προηγούμενου μήνα) η εφαρμογή καλεί το php αρχείο που διαβάζει τον πίνακα με τις ωριαίες τιμές καταναλώσεων (24 τιμές για την κάθε ημέρα και 720 τιμές για ολόκληρο μήνα) οπότε οι πράξεις που το php αρχείο ζητάει να γίνουν από τη βάση, είναι πολύ εύκολες και γρήγορες.

Τέλος, αναφέρεται ότι οι συγκεκριμένες εργασίες θα μπορούσαν να γίνουν και με τη χρήση του php scheduler με τη χρήση των ίδιων εντολών ως ημερολογιακές επαναλαμβανόμενες εργασίες αλλά ο scheduler προσφέρεται συνήθως σε ακριβές τιμές hosting πακέτων.

8.4 Php για λήψη δεδομένων από την βάση δεδομένων

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 7.4 ο μικροελεγκτής διαβάζει ένα αρχείο php που περιέχει σε json format τιμές από τη βάση δεδομένων. Το αρχείο αυτό διαβάζει από τον πίνακα A τις real time τιμές ισχύος για την τρέχουσα και την προηγούμενη μέρα. Υπολογίζει την ενέργεια για κάθε ώρα και αθροίζει τα αποτελέσματα. Τέλος επιστρέφει τη συνολική ενέργεια της τρέχουσας ημέρας:

```
$today=0;
for ($x = 0; $x < 24; $x++) {
    $z = "0" . $x;
    $g = $z + 1;
    if ($result = $conn->query("select avg(value1) as Energy from Data21 where reading_time >
TIMESTAMP(CURRENT_DATE(),MAKETIME($z, 00, 00)) AND reading_time <
TIMESTAMP(CURRENT_DATE(),MAKETIME($g, 00, 00)) ") ) {
        while ($row = $result->fetch_assoc()) {
            $energyHour = $row["Energy"];
            $ energyHour = ($energyHour /1000);
        }
        $today=$today+$ energyHour;
    }
}
```

}

Για την προηγούμενη ημέρα αρκεί να διαβαστούν οι ωριαίες τιμές ενέργειας που έχει δημιουργήσει ο trigger μέσα στη βάση δεδομένων:

```
if ($result = $conn->query($sql_yst)) {
    while ($row = $result->fetch_assoc()) {
        $yesterday = $row["daybyday"] ;
    }
    $yesterday=$yesterday/1000;
}
```

Η ανάγνωση των ωριαίων τιμών (που έχει καταχωρήσει ο trigger) και η άθροισή τους, δίνει με παρόμοιο τρόπο τα αποτελέσματα για τον τρέχοντα και τον προηγούμενο μήνα.

Εκτός λοιπόν από τις στιγμιαίες τιμές που διαβάζονται από τον δικό τους πίνακα, όλες οι υπόλοιπες τιμές, δηλαδή οι τρέχουσας ημέρας, προηγούμενης ημέρας, τελευταίας εβδομάδας (7 ημερών), τρέχοντα μήνα, προηγούμενη μήνα, τρέχοντος έτους, προηγούμενου έτους, διαβάζονται και υπολογίζονται από τον πίνακα που καταχωρεί ο trigger. Αυτό όπως αναφέρθηκε και παραπάνω μας εξασφαλίζει γρηγορότερη επεξεργασία (μικρότερο αριθμό πράξεων).

Εκτός από το rhp που μετατρέπει σε json format τα ημερήσια, και μηνιαία δεδομένα, δημιουργήθηκαν ξεχωριστά rhp αρχεία για ημέρες, εβδομάδα, μήνα χρόνο για την ανάγνωσή δεδομένων από την εφαρμογή όπως θα περιγραφεί στο επόμενο κεφάλαιο.

Κεφάλαιο 9. Εφαρμογή για κινητό τηλέφωνο - android application

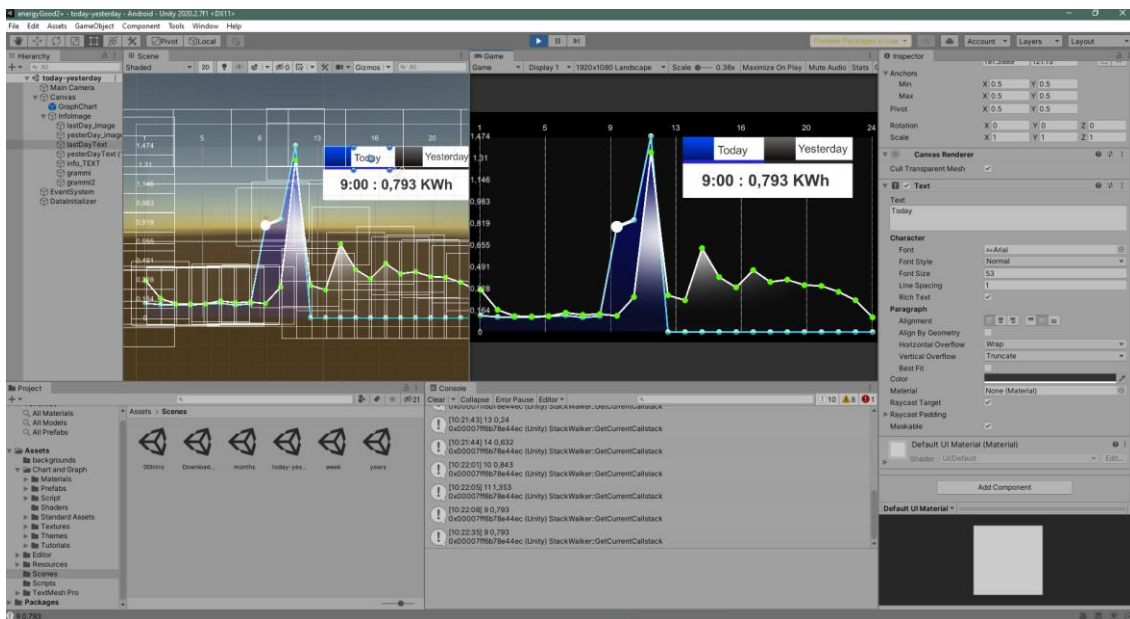
9.1 Χρήση κινητών τηλεφώνων και εφαρμογών σήμερα

Στην εποχή μας σχεδόν όλοι οι άνθρωποι κατέχουν και χρησιμοποιούν έξυπνα κινητά τηλέφωνα (smartphones). Σύμφωνα με την εταιρία Google LLC στις αρχές του 2022 υπάρχουν διαθέσιμες 3.48 εκατομμύρια εφαρμογές για κινητά με λογισμικό Android, 2.22 εκατομμύρια για κινητά με λογισμικό της Apple και 0.46 εκατομμύρια για κινητά με λογισμικό της Amazon. Είναι φανερό λοιπόν ότι οι εφαρμογές των έξυπνων κινητών τηλεφώνων είναι ένα σημαντικό εργαλείο στην καθημερινότητά μας, που προσφέρει διασκέδαση, ενημέρωση και υπηρεσίες.

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων μαζί με τις τελευταίες τεχνολογικές τάσεις στη δημιουργία mobile εφαρμογών, προσφέρει στους χρήστες ένα πιο έξυπνο και πιο απλό τρόπο να κάνουν πράγματα.

9.2 Επιλογή προγράμματος σχεδιασμού εφαρμογής - UNITY 3D

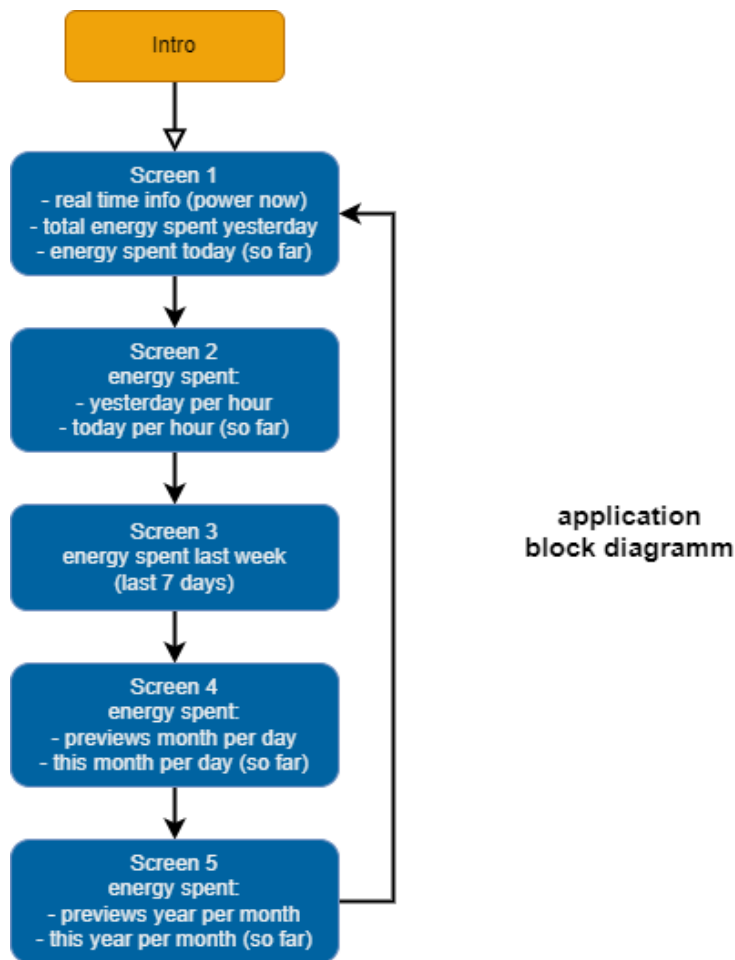
Η εφαρμογή σχεδιάστηκε με το software Unity 3D. Το Unity 3D είναι ένα cross-platform game engine που αναπτύχθηκε από την εταιρία Unity Technologies και αποτελεί μία από τις πιο διαδεδομένες πλατφόρμες σχεδιασμού παιχνιδιών και εφαρμογών. Προσφέρει ένα scripting API σε γλώσσα C# αλλά και drag and drop λειτουργίες. Για τις εφαρμογές 2D προσφέρεται η δυνατότητα εισαγωγής εικόνων ως sprites και η χρήση ενός 2D renderer ενώ υποστηρίζεται export για κινητά με λειτουργικό IOS, android, για πλατφόρμες Windows, macOS και Linux, για WebGL και για PlayStation.



Εικόνα 25: Σχεδίαση στο περιβάλλον Unity 3d

9.3 Δομή εφαρμογής

Η δομή της εφαρμογής για smartphones είναι αυτή που περιγράφεται στο διάγραμμα ροής της Εικόνας 26.



Εικόνα 26: Δομή της εφαρμογής για smartphone

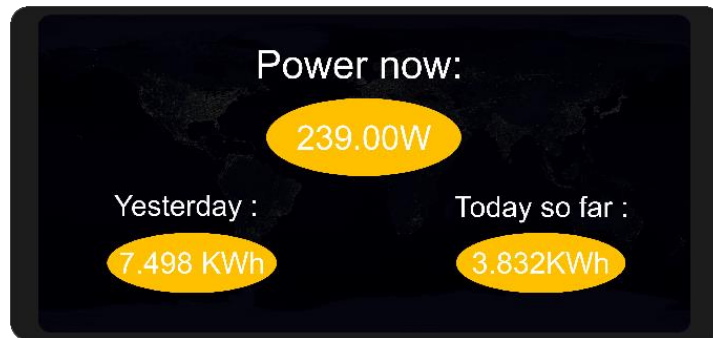
Μετά την εισαγωγική οθόνη ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να “περιηγηθεί” σε 5 ενότητες. Η ροή των εννοιών είναι κυκλική δηλαδή μετά την 5^η οθόνη ο χρήστης επανέρχεται ξανά στην 1^η.

Για την αλλαγή ενότητας επιλέχθηκε η χρήση 2 finger touch ενώ το 1 finger touch χρησιμοποιείται για την επιλογή σημείου όταν ο χρήστης ζητάει περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τιμές διαγραμμάτων.

Για τον σχεδιασμό της εφαρμογής επιλέχθηκε landscape orientation για την καλύτερη απεικόνιση των διαγραμμάτων.

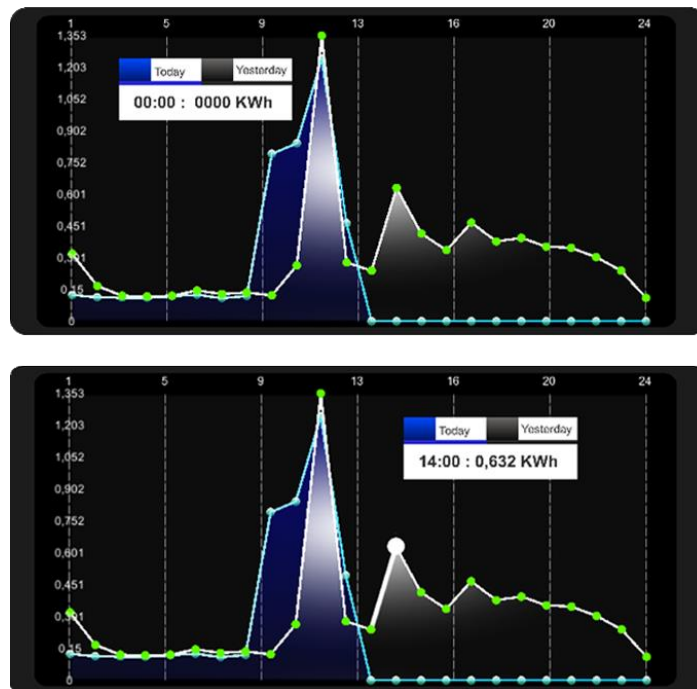
9.4 Ανάλυση εννοιών

Η 1^η οθόνη χρησιμοποιείται για πρόσβαση του χρήστη στα βασικά δεδομένα και προβάλλει την ισχύ την τρέχουσα χρονική στιγμή (real time) με ρυθμό ανανέωσης 5 δευτερόλεπτα. Κάτω από την τιμή της στιγμιαίας ισχύος εμφανίζεται η συνολική ενέργεια που καταναλώθηκε την προηγούμενη μέρα και η ενέργεια που καταναλώθηκε την τρέχουσα μέρα, μέχρι και την προηγούμενη ώρα (Εικόνα 27). Το design της εικόνας κρατήθηκε σε minimal επίπεδα ώστε να είναι εύκολα αναγνώσιμη η σημαντικότερη πληροφορία της κατανάλωσης σε πραγματικό χρόνο.



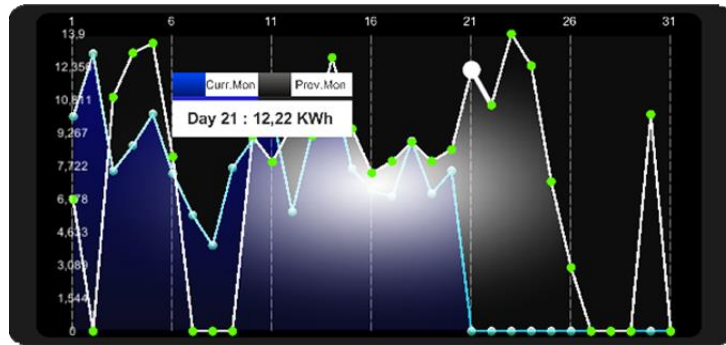
Εικόνα 27: Οθόνη 1: βασικές πληροφορίες

Στην 2^η οθόνη εμφανίζεται η κατανάλωση ενέργειας ανά ώρα της χθεσινής μέρας και η κατανάλωση ενέργειας της τρέχουσας μέρας ανά ώρα μέχρι και την προηγούμενη ώρα. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να μετακινήσει με drag and drop το υπόμνημα σε περιοχή που τον βολεύει ενώ αν επιλέξει με απλό κλικ κάποια συγκεκριμένη ώρα (σημερινή ή χθεσινή) εμφανίζεται στο υπόμνημα η ακριβής τιμή της κατανάλωσης για την ώρα αυτή (Εικόνα 28).



Εικόνα 28: Οθόνη 2:
ωριαίες τιμές της χθεσινής ημέρας (μαύρο),
ωριαίες τιμές της σημερινής ημέρας μέχρι και την προηγούμενη ώρα (μπλε)
και επιλεγμένη η 14.00 της προηγούμενης μέρας

Οι επόμενες οθόνες εμφανίζουν αντίστοιχα την κατανάλωση ενέργειας τις τελευταίες 7 ημέρες ανά ημέρα (3^η οθόνη), του προηγούμενου μήνα ανά ημέρα και του τρέχοντα μήνα ανά ημέρα μέχρι και την προηγούμενη ημέρα (4^η οθόνη), του προηγούμενου χρόνου ανά μήνα και του τρέχοντα χρόνου ανά μήνα μέχρι και τον προηγούμενο μήνα (5^η οθόνη) όπως φαίνεται στην Εικόνα 29.



*Εικόνα 29: Οθόνη 4:
ημερήσιες τιμές του προηγούμενου μήνα (μαύρο),
ημερήσιες τιμές του τρέχοντα μήνα
μέχρι και την χθεσινή (μπλε)
και επιλεγμένη η 21η του προηγούμενου μήνα*

Η λειτουργικότητα των οθονών 3, 4, 5 είναι αυτή που περιγράφηκε για την 2^η οθόνη.

9.5 Διάβασμα από php

Για τα δεδομένα της πρώτης οθόνης η εφαρμογή ζητάει πρόσβαση στο αντίστοιχο php αρχείο το οποίο επιστρέφει τα παρακάτω δεδομένα

- Power now
- Energy today
- Energy yesterday

```
IEnumerator Start() {
    StartCoroutine(Delay1());
    while (true) {
        UnityWebRequest request =
        UnityWebRequest.Get("https://webpage.com/esp/unityLive.php");
        yield return request.SendWebRequest();
        allResults = request.downloadHandler.text.Split('\t');
        PowerNow.text = allResults[0] + "W";
        energyToday.text = allResults[1] + "KWh";
        energyYest.text = allResults[2] + "KWh";
        yield return new WaitForSeconds(5f);
    }
}
```

Τα δεδομένα ανανεώνονται κάθε 5 δευτερόλεπτα.

Στην επόμενη οθόνη (οθόνη 2) πάλι με την χρήση της βιβλιοθήκης UnityEngine.Networking καλείται το αντίστοιχο php αρχείο. Τα δεδομένα καταχωρούνται ξανά σε πίνακες, ενώ ρυθμίζονται οι παράμετροι

Κεφάλαιο 9

του animation που προβάλλεται στο σχηματισμό των διαγραμμάτων. Δύο διαγράμματα εμφανίζονται στους ίδιους άξονες (τρέχουσα και προηγούμενη ημέρα) ώστε να είναι εύκολη η σύγκριση των ωριαίων τιμών.

Οι επόμενες οθόνες (3, 4, 5) ακολουθούν την ίδια δομή της οθόνης 2 για την απεικόνιση και σύγκριση τιμών τρέχοντα και προηγούμενου μήνα, τρέχοντα και προηγούμενου χρόνου. Εδώ επιπλέον γίνονται και ο έλεγχος για αριθμό ημερών του μήνα (30 ή 31) αλλά και για δίσεκτα έτη.

Τα rhp αρχεία επιλέχθηκε να είναι ξεχωριστά για την κάθε οθόνη, έτσι ώστε να μην γίνονται συνέχεια όλες οι πράξεις (ημέρα, εβδομάδα, μήνας, χρόνος) αλλά μόνο οι απαραίτητες της συγκεκριμένης οθόνης. Για παράδειγμα αν ο χρήστης ανοίξει την εφαρμογή και την ξανακλείσει ή ανοίξει την εφαρμογή και περιηγηθεί μόνο στην 1^η και στη 2^η οθόνη να καλεστούν μόνο τα rhp για ημέρα και εβδομάδα. Επίσης το rhp της 1^{ης} οθόνης καλείται ανά 5 δευτερόλεπτα επειδή έχει την realtime μέτρηση ισχύος, ενώ στις υπόλοιπες οθόνες μετά την πρώτη κλήση του αντίστοιχου rhp αρχείου δεν χρειάζεται να ξανακληθούν, αφού οι τιμές των δεδομένων τους δεν θα αλλάξουν μέχρι και τις 00:01 τα μεσάνυχτα, δηλαδή μετά την αλλαγή ημέρας.

Κεφάλαιο 10. Αποτίμηση εργασίας

Τα έξυπνα σπίτια και γενικά οι έξυπνες τεχνολογίες -που δεν είναι ακόμα διαδεδομένες σε μεγάλο βαθμό στη χώρα μας- αποτελούν μία τεχνολογική επανάσταση με όλα τα θετικά που έχουν περιγραφεί στο ξεκίνημα της παρούσας εργασίας.

Με την επιτυχή ολοκλήρωσή της έχουν επιτευχθεί οι στόχοι που είχαν τεθεί εξ αρχής: ο συνδυασμός διαφορετικών αντικειμένων και διαφορετικών τεχνολογιών για τη δημιουργία ενός συστήματος μέτρησης, το οποίο

- να είναι προσιτό στην τιμή,
- να είναι εύκολο στην εγκατάσταση,
- να μην χρειάζεται ειδικές γνώσεις για τη χρήση του και
- να είναι αξιόπιστο.

Κεφάλαιο 11. Προτάσεις βελτίωσης ή αναβάθμισης

Για την επιπλέον λειτουργικότητα αλλά και την ευχρηστία του συστήματος συλλέξαμε κάποιες από τις πιο ενδιαφέρουσες και πιο χρήσιμες προτάσεις, με την προοπτική κάποιες από αυτές να υλοποιηθούν στις επόμενες εκδόσεις του συστήματός μας ή σε firmware updates.

11.1 Triggers για υψηλή κατανάλωση

Θα μπορούσαν να οριστούν κάποια κατάφλια τα οποία αν ξεπεραστούν να υπάρχει ηχητική ειδοποίηση στην επιτοίχια κατασκευή αλλά και στην εφαρμογή του κινητού. Συγκεκριμένα στην εφαρμογή του κινητού θα μπορούσαν να υλοποιηθούν και με ειδοποιήσεις (notifications), ώστε ο χρήστης να έχει την πλήρη επίβλεψη της τρέχουσας ισχύος, αλλά και τον έλεγχο για ενεργοποιημένες μεγάλες καταναλώσεις εν αγνοία του (πχ αν απουσιάζει από το σπίτι του και δεν έχει απενεργοποιήσει το κλιματιστικό ή τον ηλεκτρικό θερμοσίφωνα). Η συγκεκριμένη λειτουργία θα μπορούσε να συνδυαστεί και με ρελέ για ενεργοποίηση – απενεργοποίηση ηλεκτρικών γραμμών όπως περιγράφεται στην επόμενη ενότητα.

11.2 Ρελέ για ενεργοποίηση – απενεργοποίηση ηλεκτρικών γραμμών

Με την προσθήκη ρελέ θα μπορούσαν να ενεργοποιούνται – απενεργοποιούνται κάποιες ηλεκτρικές γραμμές, μέσω της εφαρμογής. Αυτό θα αύξανε την λειτουργικότητα του συστήματος αλλά ταυτόχρονα θα αυξανόταν η δυσκολία εγκατάστασης, αφού από plug and play τοποθέτηση θα απαιτούνταν επέμβαση στις ηλεκτρικές καλωδιώσεις. Παρόλα αυτά θα ήταν μία χρήσιμη λειτουργία με δυνατότητα εξ' αποστάσεως άμεσου ελέγχου με σκοπό την προστασία από υπερκατανάλωση αλλά και τον έλεγχο συσκευών (πχ ενεργοποίηση ενός κλιματιστικού πριν ο χρήστης καταφτάσει στο σπίτι του).

11.3 IOS export

Σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία το 70% χρηστών smartphones χρησιμοποιεί κινητά με λειτουργικό σύστημα Android ενώ το 29,24% χρησιμοποιεί κινητά με λειτουργικό σύστημα iOS [8]. Επομένως θα ήταν χρήσιμο η εφαρμογή ελέγχου και παρακολούθησης που σχεδιάστηκε να γίνει export και για το λειτουργικό iOS της Apple.

11.4 Tablet export - ιστοσελίδα

Οι εφαρμογές στα κινητά τηλέφωνα είναι πολύ διαδεδομένες λόγω της ευχρηστίας και της αμεσότητας πρόσβασης που προσφέρουν στο χρήστη. Παρόλα αυτά για την αναλυτικότερη απεικόνιση αλλά και μελέτη των στατιστικών στοιχείων που προβάλλονται από τη βάση δεδομένων θα μπορούσε να γίνει export της εφαρμογής για tablet αλλά και σχεδιασμός ιστοσελίδας που να προβάλλει πολύ περισσότερα στοιχεία.

11.5 Λειτουργία WPS

Παρότι η επιτοίχια συσκευή που περιέχει τον μικροελεγκτή έχει έξοδο USB για φόρτιση αλλά και firmware updates, με τη λειτουργία WPS θα ήταν ευκολότερη η σύνδεση στο εκάστοτε οικιακό δίκτυο χωρίς επέμβαση στον κώδικα.

11.6 Ταυτόχρονη μέτρηση και της τάσης

Με την προσθήκη ταυτόχρονης μέτρησης και της τάσης θα μπορούσαν να υπολογίζονται η άεργος ισχύς και ο συντελεστής ισχύος. Με τις μετρήσεις αυτές -αλλά και με τις αντίστοιχες τροποποιήσεις για μέγιστο ρεύμα και μέγιστη τάση- το σύστημα θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε εγκαταστάσεις του

τριτογενούς τομέα (πχ εμπορικά-βιομηχανικά περιβάλλοντα) όπου η ΔΕΗ χρεώνει τους μειωμένους συντελεστές ισχύος και ο έλεγχος και η αύξησή τους είναι επιβεβλημένοι.

11.7 Μέτρηση σε τριφασική παροχή

Ταυτόχρονα και με τη μέτρηση της τάσης το σύστημα θα μπορούσε να υλοποιηθεί σε τριφασική παροχή ρεύματος για την παρακολούθηση όλων των προηγούμενων στοιχείων (που επιτρέπει η μέτρηση και της τάσης) σε κάθε φάση ξεχωριστά.

11.8 Υλοποίηση για Firebase

Τα τελευταία χρόνια (2014 και αργότερα) παρατηρείται η άνοδος της πλατφόρμας ανάπτυξης για βάσεις δεδομένων και εφαρμογές FireBase. Η Firebase προσφέρει πολλές νέες δυνατότητες που υλοποιούνται με απλό και εύκολο τρόπο με βάσεις Non-SQL. Μία μετάβαση της βάσης δεδομένων μας στην πλατφόρμα αυτή θα έδινε την δυνατότητα να μην είναι η απαραίτητη η παραδοσιακή βάση SQL που συνήθως πωλείται σε πακέτα hosting, αφού η εταιρία Google LLC προσφέρει δωρεάν τη βάση και τις δυνατότητές της με τη δημιουργία νέου email.

Βιβλιογραφία

Βιβλία

Neil Kolban, “Kolban’s Book on ESP32”, September 2018

Datasheets

[5] XiDi Technology, Split-core current transformer, SCT-013-030, datasheet, Aug 2011

[6] Espressif Systems, ESP32-WROOM-32, Version 2.9, datasheet, 2019

[7] Nextion, Nextion display, NX4024K032_11, datasheet, 2011

Internet Sites

[2] Ευρωπαϊκή Επιτροπή, Δελτίο Τύπου, 22 Μαΐου 2008, Περιβάλλον: η Επιτροπή θεσμοθετεί βραβείο Πράσινης Πρωτεύουσας της Ευρώπης.

https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/el/IP_08_779

[3] European Commission, 2021 EGCA,

<https://ec.europa.eu/environment/europeangreencapital/applying-for-the-award/2021-competition/>

[8] statcounter, GlobalStats

<https://gs.statcounter.com/os-market-share/mobile/worldwide>

Papers in Conference Proceedings

[1] Μηνάς Αγγελίδης και Ελένη Δρακούλη, “Εξυπνες και πράσινες πόλεις στην Ευρωπαϊκή Ένωση”, Conference: ERSA GR 17ο ΤΑΚΤΙΚΟ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ: ΕΡΕΥΝΑ, ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ, ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΤΟΠΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ, Αθήνα, Ιούνιος 2019

Publications

[4] Cindy Morgan, “RFC 7452: Architectural Considerations in Smart Object Networking”, IAB publication, 2015