

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ: ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ

Διπλωματική Εργασία

του φοιτητή του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και
Τεχνολογίας Υπολογιστών της Πολυτεχνικής Σχολής του
Πανεπιστημίου Πατρών

Διαμαντόπουλος Φώτιος του Διονυσίου

Αριθμός Μητρώου: 228044

Θέμα

**«Αναβάθμιση παλαιών οικιακών μετρητών ΔΕΗ σε
έξυπνους μετρητές με δυνατότητα επιλογής επιπέδου
τιμολόγησης»**

Επιβλέπων

Παναγής Βοβός
Επ. Καθηγητής

Αριθμός Διπλωματικής Εργασίας: 1004181

- Το σύνολο της εργασίας αποτελεί πρότυπο έργο, παραχθέν από τον Διαμαντόπουλο Φώτιο και δεν παραβιάζει δικαιώματα τρίτων καθ' οιονδήποτε τρόπο.
- Υλικό που περιέχεται στην εργασία, το οποίο δεν έχει παραχθεί από τον ίδιο, είναι ευδιάκριτο και αναφέρεται ρητώς εντός του κειμένου της εργασίας ως προϊόν εργασίας τρίτου, σημειώνοντας με παρομοίως σαφή τρόπο τα στοιχεία ταυτοποίησής του, ενώ παράλληλα βεβαιώνεται πως στην περίπτωση χρήσης αυτούσιων γραφικών αναπαραστάσεων, εικόνων, γραφημάτων κλπ., ο συγγραφέας έχει λάβει τη χωρίς περιορισμούς άδεια του κατόχου των πνευματικών δικαιωμάτων για τη συμπερίληψη και επακόλουθη δημοσίευση του υλικού αυτού.

Πάτρα, 06/10/20

ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ

Πιστοποιείται ότι η Διπλωματική Εργασία με θέμα

«Αναβάθμιση παλαιών οικιακών μετρητών ΔΕΗ με δυνατότητες επιλογής διαφόρων επιπέδων τιμολόγησης»

Του φοιτητή του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας
Υπολογιστών

Διαμαντόπουλος Φώτιος του Διονυσίου

Αριθμός Μητρώου:228044

Παρουσιάστηκε δημόσια και εξετάστηκε στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων
Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών στις
06/10/2020

Ο Επιβλέπων

Παναγής Βοβός
Επίκουρος Καθηγητής

Ο Διευθυντής του Τομέα

Εμμανουήλ Τατάκης
Καθηγητής

Αριθμός Διπλωματικής Εργασίας:1004181

Θέμα: «Αναβάθμιση παλαιών οικιακών μετρητών ΔΕΗ με δυνατότητες επιλογής διαφόρων επιπέδων τιμολόγησης»

Φοιτητής:
Διαμαντόπουλος Φώτιος

Επιβλέπων:
Παναγής Βοβός

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία έχει ως σκοπό την αναβάθμιση των παλαιών μετρητών ηλεκτρικής ενέργειας προσθέτοντάς τους νέες λειτουργίες. Τον τελευταίο καιρό με την εξέλιξη της τεχνολογίας έχει κάνει την εμφάνισή του ένα νέο είδος μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας ο λεγόμενος έξυπνος μετρητής. Αυτός ο νέος μετρητής έχει νέα χαρακτηριστικά με κυριότερα την ικανότητα του να συνδέεται στο διαδίκτυο και με την δυνατότητα μέτρησης της ενέργειας σε πραγματικό χρόνο. Με την ανάπτυξη του έξυπνου μετρητή οι εταιρείες ηλεκτρικής ενέργειας έχουν ξεκινήσει σχέδια για την αντικατάσταση των παλαιών μετρητών με έξυπνους. Έτσι λοιπόν σκοπός αυτής της αναβάθμισης των συμβατικών μετρητών είναι να τους δώσουμε χαρακτηριστικά ενός έξυπνου και να προτείνουμε με αυτόν τον τρόπο μία εναλλακτική της αντικατάστασης των μετρητών.

Αυτή η αναβάθμιση θα επιτευχθεί με την υλοποίηση ενός συστήματος αναβάθμισης το οποίο θα εγκατασταθεί στον συμβατικό μετρητή. Το σύστημα θα αποτελείται από έναν αισθητήρα και έναν μικροεπεξεργαστή, το οποίο με κατάλληλο σχεδιασμό και προγραμματισμό ο συμβατικός μετρητής θα επιτελεί λειτουργίες έξυπνου.

Χαρακτηριστικό αυτής της αναβάθμισης είναι το χαμηλό κόστος του συστήματος αναβάθμισης και η εγκατάστασή του σε ήδη υπάρχοντες συμβατικούς μετρητές ενέργειας, γεγονός το οποίο ωφελεί τις εταιρείες ηλεκτρικής ενέργειας τόσο οικονομικά όσο και περιβαλλοντικά σε σχέση με την ολική αντικατάσταση των συμβατικών μετρητών με έξυπνους μετρητές.

Επιπλέον, η αποστολή δεδομένων στο διαδίκτυο σε πραγματικό χρόνο μπορεί να οδηγήσει στην εξέλιξη έξυπνων προγραμμάτων τα οποία θα ρυθμίζουν την κατανάλωση αυτόματα ανάλογα με τις απαιτήσεις και τις ανάγκες του καταναλωτή.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μία εισαγωγή στον τρόπο λειτουργίας των δύο μετρητών και επισημαίνονται ποία είναι τα πλεονεκτήματα του έξυπνου μετρητή και ποια είναι αυτά που μπορούν να εισαχθούν σε έναν αναβαθμισμένο συμβατικό.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μία ανάλυση του συστήματος το οποίο θα εισάγουμε σε έναν συμβατικό μετρητή ώστε να αναβαθμίσουμε τις λειτουργίες του. Αυτό το σύστημα θα αποτελείται από έναν οπτικό αισθητήρα που θα ελέγχει τη κίνηση του μετρητή και έναν μικροεπεξεργαστή που θα κάνει τις απαραίτητες πράξεις και θα αποστέλλει τα δεδομένα που υπολογίζει στο διαδίκτυο.

Στο τρίτο κεφάλαιο επεξηγείται η ανάπτυξη του κώδικα που θα προγραμματίσουμε τον μικροεπεξεργαστή ώστε να μπορεί να κάνει τις λειτουργίες τις οποίες θέλουμε και η λειτουργία του μετρητή να πλησιάζει περισσότερο στην λειτουργία ενός έξυπνου.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναγράφεται η διαδικασία του πειράματος που έγινε. Κατά αυτήν την διαδικασία ελέγχθηκαν σε πραγματικές συνθήκες η λειτουργία του αισθητήρα η σύνδεση με το διαδίκτυο και η εμφάνιση των σωστών αποτελεσμάτων σε αυτό.

Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται μία τελική σύγκριση ανάμεσα στον έξυπνο μετρητή και τον αναβαθμισμένο συμβατικό μετρητή της εργασίας τόσο από πλευράς λειτουργίας όσο και από οικονομική άποψη και καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι αξίζει να εφαρμοστεί η αναβάθμιση των συμβατικών μετρητών που ήδη υπάρχουν.

ABSTRACT

This present dissertation aims to the upgrade of the old meters of electrical energy by adding to them new functions. Recently, with the technological progress of this era a new type of energy meter has developed. His name is smart meter and it has new function like the real time energy measurement and the ability to connect to the internet. With the development of this new type of energy meter, electrical energy companies consider to replace the old type meters with smart ones. So the purpose of the old meter upgrade is to give it functions and abilities of smart meter and to suggest an alternative of total replacement of old meters with smart meters.

This upgrade will be achieved by constructing an upgrade system which will be installed on old meters. The system will consist of a sensor and a microprocessor, which with the proper planning and programming will give the old meter the ability to commit function of a smart meter.

This upgrade has the feature that the upgrade system has low cost and it can be installed in already existing old meters. This feature benefits the electrical energy companies both financially and environmentally compared to the total replacement of the meters.

Also, the real time sending of data to the internet will lead to the development of programs that will regulate automatically the consumption of energy according to the needs of the consumer.

The first chapter of the dissertation is an introduction to the operation of both types of energy meters. The advantages of the smart meter are noted and then we conclude on which of these advantages can be included to the old meter.

In the second chapter the upgrade system that is installed in the meter is analyzed. This upgrade system consists of an optical sensor which watches the movement of the meter and a microprocessor which calculates the results and sends the data it calculated to the internet.

In the third chapter the code for the programming of the microprocessor is developed. This code is explained throughout the chapter and its purpose is to give the old meter functions that are very close to the functions that a smart meter has.

In the fourth chapter we have the process of the experiment. During that process we set the old meter with the upgrade system on operation in real conditions. Aim of that experiment is to check the operation of the sensor, the connection to the internet and the right display of the measurements.

Finally, in the fifth chapter we compare the upgraded old meter with the smart meter. This comparison is about their functions and their financial aspect. After this comparison we come to a conclusion that this upgrade is worth and we should upgrade the already existing old meters.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη	8
Abstract	9
1. Εισαγωγή	17
1.1 Η μέτρηση της ηλεκτρικής ενέργειας	17
1.2 Συμβατικοί μετρητές ενέργειας	18
1.3 Έξυπνοι μετρητές ενέργειας	21
1.4 Σύγκριση των δύο ειδών μετρητών	25
1.5 Στόχος της εργασίας	26
2. Αναβάθμιση συμβατικού μετρητή	27
2.1. Εισαγωγή	27
2.2. Στόχοι της αναβάθμισης	27
2.3. Ανάγκη χρήσης αισθητήρα	28
2.4. Ο αισθητήρας	29
2.5. Ο μικροεπεξεργαστής	33
2.6. Σύνδεση των επιμέρους διατάξεων του συστήματος	34
2.7. Συμπεράσματα	36
3. Προγραμματισμός του μικροεπεξεργαστή	39
3.1. Εισαγωγή	39
3.2. Στόχοι του προγράμματος	39
3.3. Εγκατάσταση ESP8266	40
3.4. Σύνδεση με το διαδίκτυο	42
3.5. Αναγνώριση παλμού	43
3.6. Υπολογισμός ισχύος και ενέργειας	45
3.7. Υπολογισμός κόστους	49
3.8. Δημιουργία ιστοσελίδας	50
3.9. Συμπεράσματα	52
4. Το Πείραμα	55
4.1. Εισαγωγή	55
4.2. Στόχοι	55
4.3. Διαδικασία του πειράματος	56
4.4. Εμφάνιση και έλεγχος αποτελεσμάτων	58
4.5. Συμπεράσματα	60
5. Σύγκριση αναβαθμισμένου με τον έξυπνο μετρητή	61
5.1. Εισαγωγή	61
5.2. Σύγκριση της λειτουργίας	61
5.3. Οικονομική σύγκριση	62

5.4. Περιβαλλοντική άποψη	64
5.5. Συμπεράσματα	64
6. Γενικά συμπεράσματα	65
6.1. Εισαγωγή	65
6.2. Πλεονεκτήματα	66
6.3. Μελλοντική επέκταση	67
6.4. Προσωπικά συμπεράσματα	67
Παράρτημα	69
Βιβλιογραφία	75

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνες

Εικόνα 1. Συμβατικοί μετρητές ενέργειας	18
Εικόνα 2. Τρόπος λειτουργίας συμβατικού μετρητή	19
Εικόνα 3. Έξυπνοι μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας	21
Εικόνα 4. Εσωτερικό έξυπνου μετρητή όπου φαίνονται τα κύρια μέρη του και οι λειτουργίες τους	23
Εικόνα 5. Τοποθέτηση του συστήματος αναβάθμισης στον μετρητή	32
Εικόνα 6. Ο μικροεπεξεργαστής ESP8266	33
Εικόνα 7. Το σύστημα εγκατεστημένο στον μετρητή	35
Εικόνα 8. Ρύθμιση παραμέτρων	41
Εικόνα 9. Εγκατάσταση βιβλιοθήκης για ESP8266 στο arduinoide	41
Εικόνα 10. Προσθήκη βιβλιοθηκών στο πρόγραμμα	42
Εικόνα 11. Σύνδεση στο διαδίκτυο	42
Εικόνα 12. Ενεργοποίηση της θύρας d8	43
Εικόνα 13. Ορισμός θύρας d8 ως θύρα εισόδου	43
Εικόνα 14. Αναγνώριση παλμού	44
Εικόνα 15. Τεχνικά χαρακτηριστικά του μετρητή που χρησιμοποιήθηκε στην εργασία	44
Εικόνα 16. Προσθήκη βιβλιοθήκης	45
Εικόνα 17. Ρύθμιση παραμέτρων	45
Εικόνα 18. Εκκίνηση	45
Εικόνα 19. Ενημέρωση της ώρας	46
Εικόνα 20. Υπολογισμός κύκλων και χρόνου περιστροφής	46
Εικόνα 21. Υπολογισμός ισχύος	47
Εικόνα 22. Υπολογισμός ενέργειας	48
Εικόνα 23. Υπολογισμός κόστους ενέργειας	49
Εικόνα 24. Αποστολή ιστοσελίδας	51
Εικόνα 25. Το θερμαντικό σώμα που χρησιμοποιήθηκε για το πείραμα	56
Εικόνα 26. Σύνδεση του σώματος με τον μετρητή	57
Εικόνα 27. Εμφάνιση αποτελεσμάτων	58
Εικόνα 28. Εμφάνιση αποτελεσμάτων	59

Σχήματα

Σχήμα 1. Συνδεσμολογία μονοφασικού μετρητή ενέργειας με κατευθείαν σύνδεση του πηνίου ρεύματος	19
Σχήμα 2. Συνδεσμολογία μετρητή διπλού τιμολογίου α) Με χρονοδιακόπτη β) Με χρήση ΤΑΣ	20
Σχήμα 3. Κύκλωμα της κύριας κατασκευής έξυπνου μετρητή	22
Σχήμα 4. Κύκλωμα τερματικού οθόνης	23
Σχήμα 5. Κυκλωματική διάταξη αισθητήρα	31
Σχήμα 6. Κυκλωματική σύνδεση του συστήματος αναβάθμισης	35

Πίνακες

Πίνακας 1. Σύγκριση συμβατικού και έξυπνου μετρητή	25
---	----

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Η Μέτρηση της ηλεκτρικής ενέργειας

Ένας σημαντικός κλάδος της ηλεκτρικής ενέργειας στον οποίο οι εταιρείες δίνουν μεγάλη σημασία είναι η μέτρησή της. Ο ανεξάρτητος ΑΔΜΗΕ Α.Ε. αναφέρει χαρακτηριστικά στο εγχειρίδιο μετρήσεων του σχετικά με την ακριβή και αξιόπιστη μέτρηση της ηλεκτρικής ενέργειας τα παρακάτω.

"Η Μέτρηση κατέχει κεντρικό ρόλο στην αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας. Η συλλογή και η διαχείριση των Μετρήσεων είναι οι βασικοί παράγοντες για την πρόβλεψη, τον προγραμματισμό και τη λειτουργία της απελευθερωμένης αγοράς. Με την απελευθέρωση των αγορών ενέργειας και με την ανάγκη να ενθαρρυνθεί η ενεργειακή αποδοτικότητα και η ασφάλεια προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας, η σημασία της μέτρησης έχει αυξηθεί. Η ακρίβεια και η αξιοπιστία των Μετρήσεων, η ασφαλής και έγκαιρη μεταφορά τους καθώς και η διάθεση των Δεδομένων Μετρήσεων είναι η βασικότερη προϋπόθεση για την εύρυθμη λειτουργία του Συστήματος Συναλλαγών Ηλεκτρικής Ενέργειας στα πλαίσια της απελευθερωμένης αγοράς." [1]

Βασική μονάδα μέτρησης της ηλεκτρικής ενέργειας είναι η κιλοβατώρα (kWh) και όλοι οι πάροχοι ηλεκτρικής ενέργειας τιμολογούν την ενέργεια με βάση αυτή. Ωστόσο, ο λογαριασμός της ηλεκτρικής ενέργειας δεν εξαρτάται αποκλειστικά από το πόσες kWh κατανάλωσε ένας καταναλωτής. Έτσι, το κόστος της 1 κιλοβατώρας μπορεί να αλλάζει ανάλογα με τον καταναλωτή (οικιακός, βιομηχανικός, αγροτικός, δημοτικός φωτισμός κλπ) και ανάλογα με το αν έχει μονοφασική ή τριφασική σύνδεση. Επιπλέον, ανάλογα με την κατανάλωση που θα κάνει σε μία χρονική περίοδο, για παράδειγμα ένα τετράμηνο για την ΔΕΗ, ο καταναλωτής πρέπει να πληρώσει και μία πάγια πληρωμή στον πάροχο ενέργειας. Τέλος, υπάρχουν και διάφορα κοινωνικά κριτήρια όπως οι πολύτεκνοι οι οποίοι έχουν διαφορετική τιμολόγηση τόσο στο πάγιο που θα πληρώσουν όσο και στο κόστος της κιλοβατώρας.

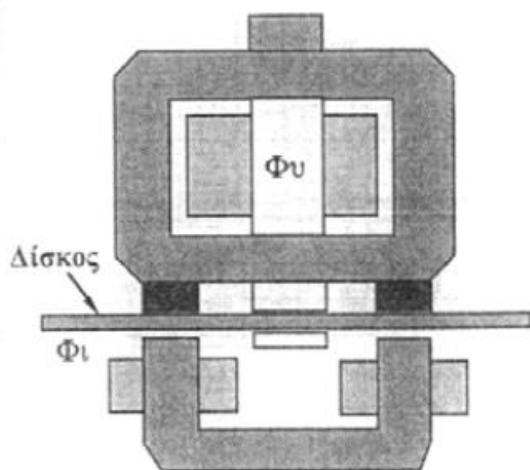
Η μέτρηση γίνεται με την χρήση ειδικών μετρητών. Αυτή την στιγμή υπάρχουν 2 είδη μετρητών: 1) Οι παλιοί συμβατικοί μετρητές και 2) Οι νέοι έξυπνοι μετρητές. Στην συνέχεια θα γίνει μία παρουσίαση του κάθε είδους και μία σύγκρισή τους.

1.2. Συμβατικοί μετρητές ενέργειας

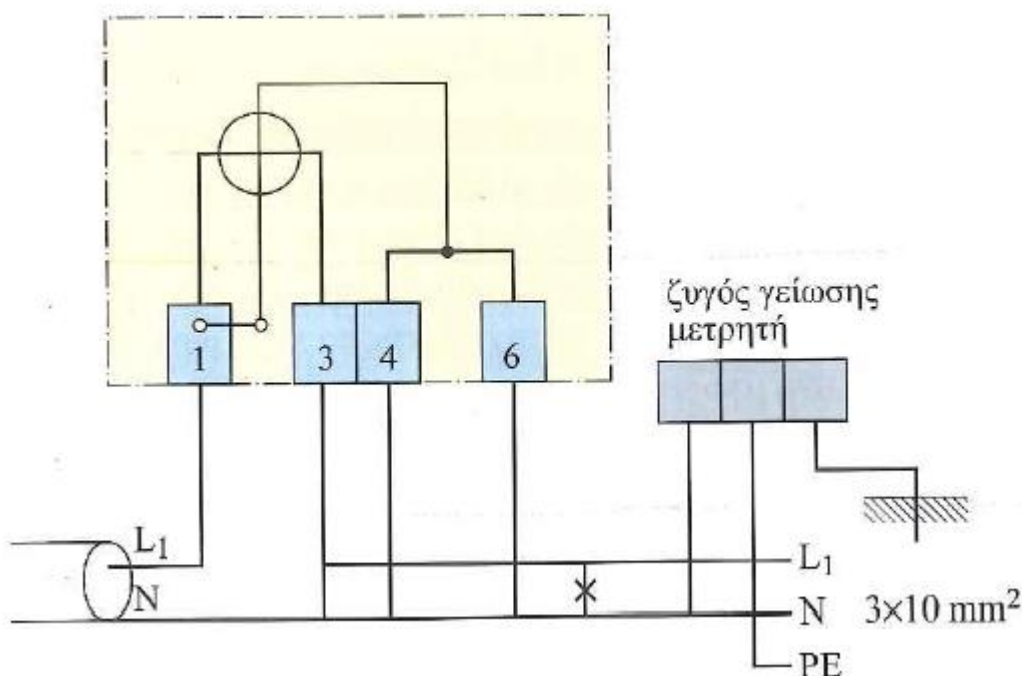


Εικόνα 1. Συμβατικοί μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας

Οι συμβατικοί μετρητές χρησιμοποιούνται σχεδόν σε όλες τις εγκαταστάσεις καταναλωτών ηλεκτρικής ενέργειας και είναι τύπου επαγωγικού δίσκου. Εξωτερικά είναι όπως στην εικόνα 1 ενώ το εσωτερικό του και ο τρόπος λειτουργίας του φαίνονται στην εικόνα 2. Ο μετρητής αποτελείται από ένα πηνίο ρεύματος, ένα πηνίο τάσης και έναν δίσκο από αλουμίνιο. Το πηνίο ρεύματος δημιουργεί μία μαγνητική ροή Φ_i ανάλογη της έντασης του ρεύματος και το πηνίο τάσης δημιουργεί μία μαγνητική ροή Φ_v ανάλογη της τάσης. Οι δύο αυτές ροές βρίσκονται σε φασική απόκλιση με αποτέλεσμα την δημιουργία στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου την δημιουργία δινορευμάτων στον δίσκο με αποτέλεσμα να ασκούνται δυνάμεις Laplace στον δίσκο και τελικά να περιστρέφεται. Με κατάλληλο μηχανισμό οι στροφές αθροίζονται και καταγράφονται σε έναν καταχωρητή. Στην εικόνα 3 φαίνεται ένας τρόπος συνδεσμολογίας ενός μονοφασικού συμβατικού μετρητή. Ο μετρητής καταγράφει μόνο την ενεργό ισχύ επομένως αν συνδέσουμε κατανάλωση άεργου ισχύος ο δίσκος δεν θα κινηθεί. Επιπλέον δεν μπορεί να μετρήσει αρνητική ροή ενέργειας, έτσι σε περίπτωση που καταναλωτής είναι και αυτοπαραγωγός, δηλαδή έχει την δυνατότητα να πουλάει ρεύμα στην ΔΕΗ τότε χρησιμοποιούνται 2 μετρητές ένας για κάθε κατεύθυνση.



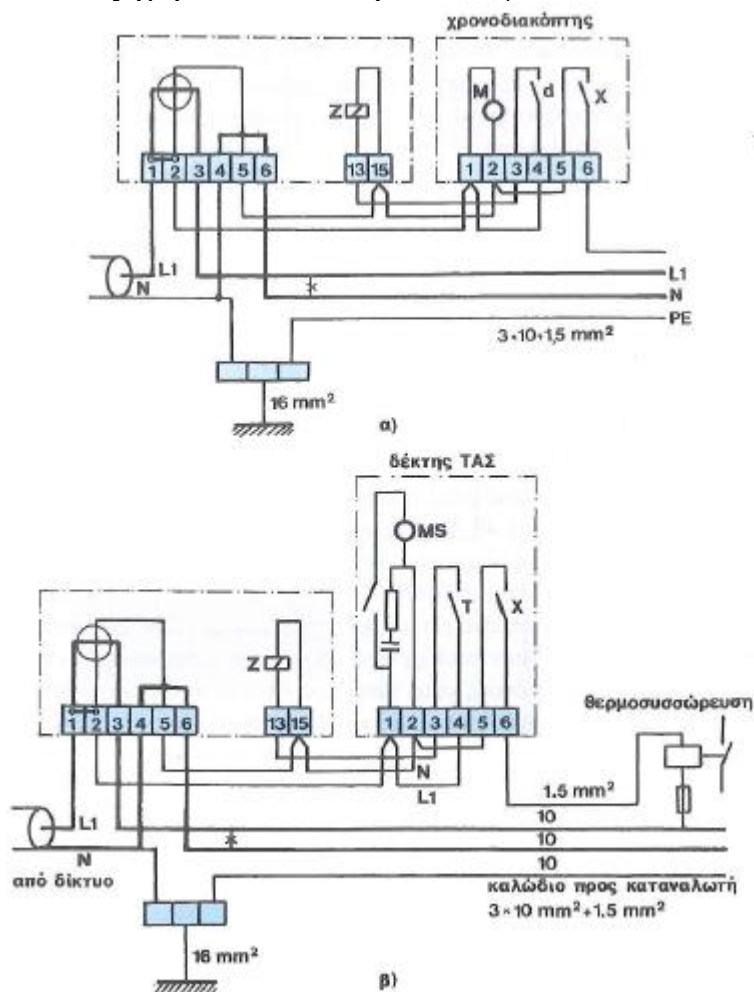
Εικόνα 2. Τρόπος λειτουργίας συμβατικού μετρητή [2]



Σχήμα 1. Συνδεσμολογία μονοφασικού μετρητή ενέργειας με κατευθείαν σύνδεση του πηνίου ρεύματος [3]

Υπάρχουν τέτοιου είδους μετρητές με δυνατότητα απλής, διπλής ή και πολλαπλής εγγραφής. Οι μετρητές με διπλή και πολλαπλή εγγραφή χρησιμοποιούν έναν επαγωγικό δίσκο αλλά δύο ή περισσότερους καταχωρητές. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το ημερήσιο τιμολόγιο όπου ο καταχωρητής του έχει το διακριτικό K και το νυχτερινό τιμολόγιο όπου ο καταχωρητής του έχει το διακριτικό M. Αυτή η αλλαγή ανάμεσα στις 2 τιμολογήσεις μπορεί να γίνει με την χρήση χρονοδιακόπτη που θα ενεργοποιεί ένα ρελαί μεταξύ των καταχωρητών. Αλλά ο πιο συνηθισμένος τρόπος αλλαγής γίνεται μέσω του τηλεχειρισμού ακουστικής συχνότητας (ΤΑΣ). Αποτελείται από πομπούς ισχύος 20-60kW, 1000V και ακουστικής συχνότητας 175Hz που βρίσκονται

στους υποσταθμούς υψηλής τάσης/μέσης τάσης. Επιπλέον αποτελείται και από δέκτες, οι οποίοι βρίσκονται στον κάθε καταναλωτή, και περιέχουν έναν αποκωδικοποιητή και ένα ρελαί. Ο αποκωδικοποιητής αναγνωρίζει την ακολουθία που θα λάβει ο δέκτης ενώ το ρελαί αλλάζει την κατάσταση των επαφών ανάλογα με το πρόγραμμα που έλαβε ο δέκτης [4]. Ο ΤΑΣ συνδέεται στους ζυγούς της μέσης τάσης και οι καταναλωτές που κάνουν χρήση του έχουν ρυθμισμένους δέκτες σε ένα ή περισσότερα προγράμματα που διαθέτει ο ΤΑΣ. Ένα εξ αυτών είναι και η αλλαγή από ημερήσιο σε νυχτερινό τιμολόγιο και αντίστροφα. Στις 23:00 ώρα όταν και αλλάζει το τιμολόγιο από ημερήσιο σε νυχτερινό ο ΤΑΣ εκπέμπει για 102,25 δευτερόλεπτα μία παλμοσειρά. Στον πρώτο παλμό πλάτους 1 δευτερολέπτου διεγείρονται σε κατάσταση ετοιμότητας όλοι οι δέκτες. Στην συνέχεια ακολουθεί ένας δεύτερος παλμός ενός δευτερολέπτου, του οποίου η χρονική απόσταση από τον πρώτο είναι κωδικοποιημένη έτσι ώστε να κλείνουν οι κατάλληλες επαφές για την αλλαγή του καταχωρητή από ημερήσια σε νυχτερινή χρέωση. Ο τρόπος συνδεσμολογίας ενός συμβατικού μετρητή με διπλό τιμολόγιο με χρονοδιακόπτη ή με ΤΑΣ βρίσκεται στην εικόνα 4. Ο ΤΑΣ και η λειτουργία του θα εξηγηθούν σε επόμενο κεφάλαιο αναλυτικότερα.



Σχήμα 2. Συνδεσμολογία μετρητή διπλού τιμολογίου
α) Με χρονοδιακόπτη β) με δείκτη ΤΑΣ [5]

1.3. Έξυπνοι μετρητές ενέργειας



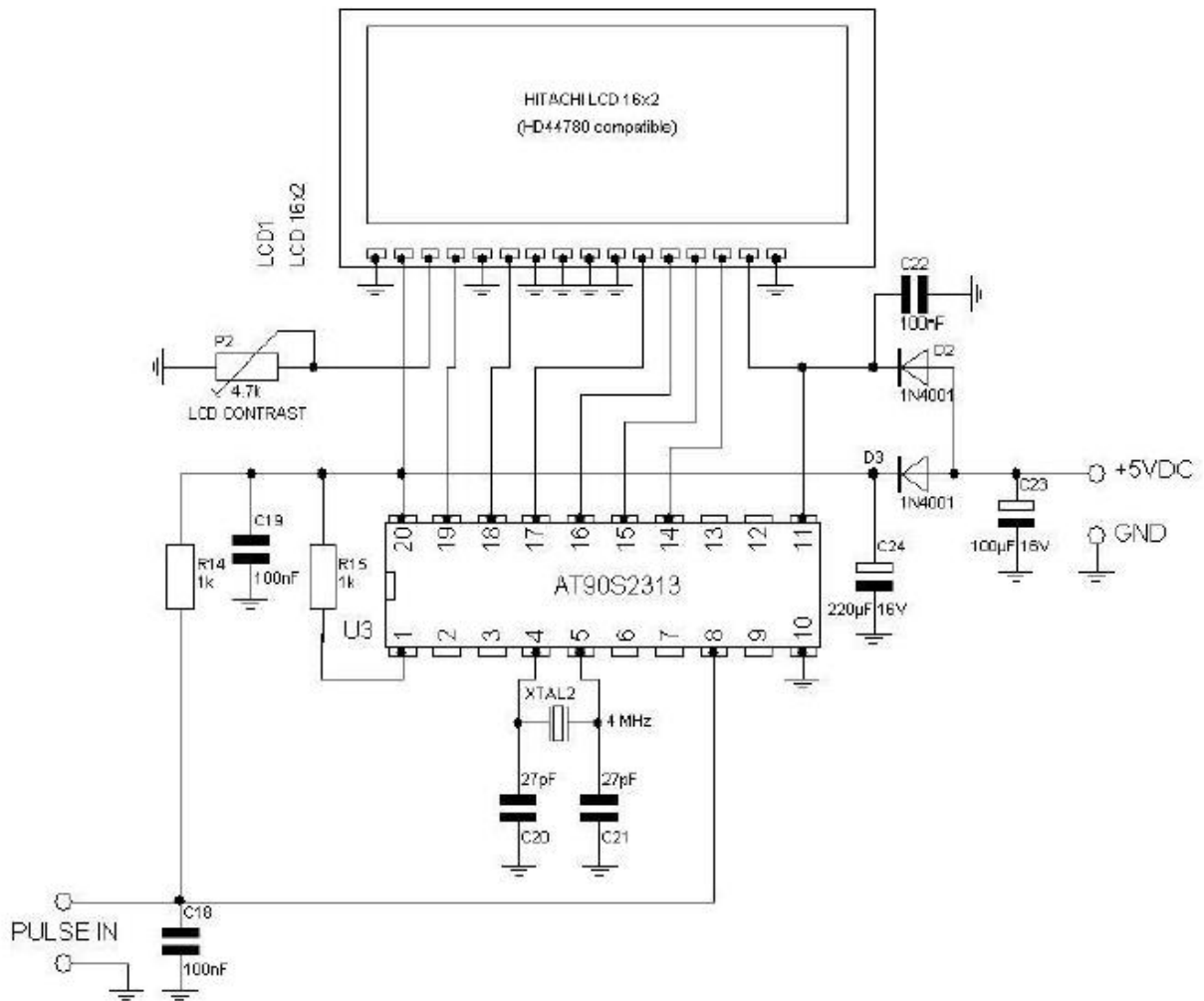
Εικόνα 3. Έξυπνοι μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας

Με την μεγάλη ανάπτυξη των ηλεκτρονικών στοιχείων και εφαρμογών στις ημέρες μας έχει κάνει την εμφάνισή του ένα νέο είδος μετρητών ηλεκτρικής ενέργειας ο λεγόμενος έξυπνος μετρητής. Στην εικόνα 5 φαίνεται μία συστοιχία από έξυπνους μετρητές. Μάλιστα η ΔΕΔΗΕ έχει ξεκινήσει ένα πιλοτικό έργο αντικατάστασης των παλιών συμβατικών με έξυπνους μετρητές σε καταναλωτές στους νομούς Ξάνθης, Λέσβου, Λευκάδας, Αττικής και Θεσσαλονίκης.

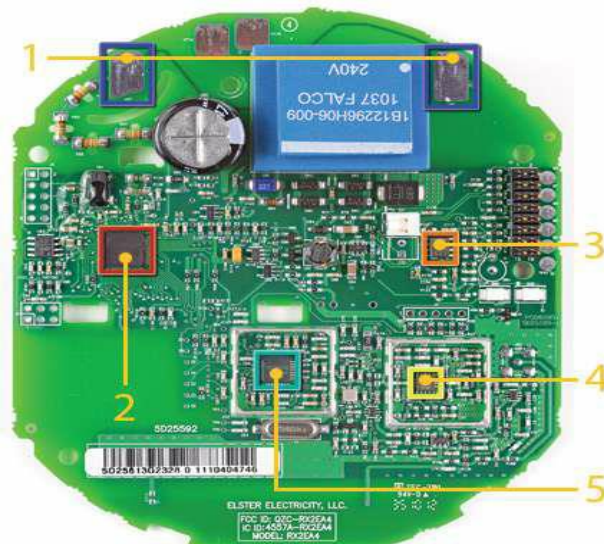
Ο έξυπνος μετρητής είναι μία ασύρματη φορητή συσκευή η οποία ελέγχει την ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνει ένας καταναλωτής και υπολογίζει το κόστος της κατανάλωσης σε πραγματικό χρόνο. Με αυτό τον τρόπο ο καταναλωτής έχει άμεση εικόνα για το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας που δαπανά. Έτσι, θα γνωρίζει την κατανάλωσή του σε διάφορα σημεία της ημέρας είτε της εβδομάδας είτε του μήνα, θα βλέπει σε πραγματικό χρόνο την αλλαγή του κόστους της ενέργειας σε περίπτωση που θέσει σε λειτουργία ή κλείσει μία ηλεκτρική συσκευή με αποτέλεσμα την καλύτερη και με λιγότερη δαπάνη χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας κάνοντας έτσι οικονομία στον λογαριασμό της ηλεκτρικής ενέργειας και εποφελώντας το περιβάλλον. Επίσης, μπορεί να ανακαλύψει τυχόν απώλειες ηλεκτρικής ενέργειας τις οποίες δεν θα μπορούσε να εντοπίσει με άλλον τρόπο. Ο έξυπνος μετρητής αποτελείται από έναν αισθητήρα ο οποίος τοποθετείται στα καλώδια τροφοδοσίας ρεύματος του ηλεκτρολογικού πίνακα και μεταδίδει ασύρματα σε έναν πομπό, ο οποίος μπορεί να βρίσκεται εκτός ηλεκτρολογικού πίνακα, πληροφορίες σχετικά με

Ο έξυπνος μετρητής καταφέρνει να κάνει όλες αυτές τις μετρήσεις με την χρήση ειδικών ηλεκτρονικών ολοκληρωμένων κυκλωμάτων που έχουν την δυνατότητα να μετρούν την κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας και μικροελεγκτών. Έτσι με την κατάλληλη σύνδεσή του με άλλα ηλεκτρονικά στοιχεία να επιτελεί την λειτουργία του έξυπνου μετρητή ενέργειας. Παρακάτω στην εικόνα 6 παρουσιάζεται το σχέδιο της κύριας κατασκευής και στην εικόνα 7 το σχέδιο του τερματικού της οθόνης ενός έξυπνου μετρητή με την χρήση του ολοκληρωμένου κυκλώματος ADE 7755 και του μικροελεγκτή AT90S2313.





Σχήμα 4. Κόκλωμα τερματικού οθόνης [6]



Εικόνα 4. Εσωτερικό έξυπνου μετρητή όπου φαίνονται τα κύρια μέρη του και οι λειτουργίες τους [7]

Ένας άλλος έξυπνος μετρητής φαίνεται στην εικόνα 8 με αριθμούς και βέλη τα διάφορα μέρη ενός έξυπνου μετρητή. Αναλυτικά τα μέρη και οι λειτουργίες τους περιγράφονται περαιτέρω με την αρίθμηση τους πάνω στην εικόνα:

- 1) Υποδοχείς τάσης 240V ac που την οδηγούν στον μπλε μετασχηματιστή ο οποίος βγάζει 10V ac. Η συσκευή διορθώνει μετατρέπει και ρυθμίζει την ισχύ ώστε να προσαρμοστεί στον μικροελεγκτή και στα στοιχεία επικοινωνίας του έξυπνου μετρητή.
- 2) Teridian71M6531F SOC με μικροεπεξεργαστή, ρολόι πραγματικού χρόνου, flash memory και LCD driver.
- 3) Διπλός τελεστικός ενισχυτής χαμηλής ισχύος LM2904 της TexasInstruments.
- 4) IC ενισχυτής μέσης ισχύος RFMD RF2172.
- 5) Μικροεπεξεργαστής με λιγότερο από 1GHz CC1110F32 SOC της TexasInstruments με μικροελεγκτή και flash memory 32 kbytes. [7]

1.4. Σύγκριση των δύο ειδών μετρητών

Παρακάτω παρουσιάζεται ένας πίνακας με διάφορες λειτουργίες που μπορεί να κάνει ένας συμβατικός και ένας έξυπνος μετρητής. Κάτω από την στήλη του κάθε μετρητή θα χρησιμοποιείται ✓ όταν μπορεί να κάνει αυτή την λειτουργία και ✕ όταν δεν μπορεί να κάνει αυτή την λειτουργία .

	Συμβατικός Μετρητής	Έξυπνος Μετρητής
Διπλό Τιμολόγιο (ημερήσιο-νυχτερινό)	✓	✓
Τιμολόγιο ανά ώρα	✕	✓
Ασύρματος επικοινωνία	✕	✓
Υπολογισμός κόστους σε πραγματικό χρόνο	✕	✓
Χρήση του ΤΑΣ	✓	✕
Σύνδεση με το διαδίκτυο	✕	✓

Πίνακας 1. Σύγκριση συμβατικού και έξυπνου μετρητή

1.5. Στόχος της εργασίας

Όπως προαναφέραμε η ΔΕΔΗΕ έχει σκοπό να αντικαταστήσει τους παλαιούς συμβατικούς μετρητές με νέους έξυπνους μετρητές. Αρχικά πιλοτικά σε συγκεκριμένους καταναλωτές και στην συνέχεια να επεκτείνει το εγχείρημά της και σε όλους τους υπόλοιπους. Όλη αυτή η διαδικασία μπορεί να είναι χρονοβόρα και δαπανηρή για τον διαχειριστή του συστήματος.

Σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι ο έλεγχος για το ποιές από της λειτουργίες του έξυπνου μετρητή μπορούν με κατάλληλη τροποποίηση να μπουν στον συμβατικό μετρητή. Επιπλέον θα διερευνηθεί το κόστος, η πολυπλοκότητα, η ευκολία στην μετατροπή και ο χρόνος που απαιτείται για να γίνουν αυτές οι τροποποιήσεις. Στόχος της είναι να καταλήξει τελικά στο συμπέρασμα αν συμφέρει τον διαχειριστή του συστήματος να τις κάνει αντί της τοποθέτηση των έξυπνων μετρητών.

2. Αναβάθμιση συμβατικού μετρητή

2.1. Εισαγωγή

Από το προηγούμενο εισαγωγικό κεφάλαιο καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι μπορούμε με την προσθήκη κατάλληλων αισθητήρων και μικροεπεξεργαστών να αναβαθμίσουμε τον ήδη υπάρχον συμβατικό μετρητή ενέργειας ώστε να κάνει και αυτός τις λειτουργίες ενός έξυπνου μετρητή. Αυτή η αναβάθμιση θα γίνει με την προσθήκη ενός συστήματος μέσα στο κουτί που περιέχει την διάταξη του μετρητή. Το σύστημα θα αποτελείται από έναν αισθητήρα και έναν μικροεπεξεργαστή. Ο αισθητήρας θα ελέγχει την κίνηση του επαγωγικού δίσκου και θα παράγει έναν παλμό όταν θα γίνεται μία πλήρης περιστροφή του. Ο μικροεπεξεργαστής ο οποίος θα είναι ένα μοντέλο ESP8266 με την δυνατότητα σύνδεσης με το διαδίκτυο μέσω WiFi. Πρόκειται για έναν μικροεπεξεργαστή ο οποίος μπορεί να προγραμματιστεί μέσω arduino και ο οποίος έχει πολύ μικρό κόστος. Θα λαμβάνει τον παραγόμενο παλμό θα κάνει κάποιες απαραίτητες πράξεις και θα επικοινωνεί μέσω WiFi με το διαδίκτυο αποστέλλοντας και λαμβάνοντας δεδομένα σχετικά με την κατανάλωση και το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας. Συνεπώς, σε αυτό το κεφάλαιο θέλουμε να πετύχουμε την δημιουργία ενός συστήματος που θα τοποθετηθεί σε έναν συμβατικό μετρητή και θα του δίνει την δυνατότητα να κάνει λειτουργίες οι οποίες είναι χαρακτηριστικές ενός έξυπνου μετρητή και έτσι να πετύχουμε την αναβάθμισή του.

2.2. Στόχοι της αναβάθμισης

Οι στόχοι οι οποίοι πρέπει να επιτευχθούν από αυτή την αναβάθμιση είναι πολύ σημαντικοί και θα αναφερθούν παρακάτω. Θα πρέπει το συνολικό σύστημα το οποίο θα προστεθεί στον συμβατικό μετρητή να μην καταλαμβάνει πολύ χώρο ώστε να μπορεί να χωρέσει στο κουτί του μετρητή. Αυτό θα έχει σαν συνέπεια ο εκάστοτε πάροχος ηλεκτρικής ενέργειας να μπορεί να κλειδώνει το κουτί του μετρητή μαζί με το σύστημα της αναβάθμισης και να μπορεί να το ανοίγει μόνο αυτός σε περίπτωση που θέλει να κάνει κάποιες αλλαγές στον μετρητή. Επιπλέον, θα πρέπει η συνολική αναβάθμιση να έχει χαμηλό κόστος ώστε να συμφέρει σε σχέση με την εγκατάσταση ενός έξυπνου μετρητή. Άλλο ένα

χαρακτηριστικό θα πρέπει να είναι η δυνατότητα σύνδεσης με το διαδίκτυο. Όπως αναφέραμε θα μπορέσει να δώσει την δυνατότητα τόσο στον πάροχο ενέργειας όσο και στον καταναλωτή να έχουν μία άμεση εικόνα για την κατανάλωση της ενέργειας και το κόστος της. Η σύνδεση στο διαδίκτυο και η παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο της κατανάλωσης είναι ένα χαρακτηριστικό του έξυπνου μετρητή και με την χρησιμοποίηση του μικροεπεξεργαστή στο σύστημα αναβάθμισης μπορούμε να πετύχουμε αυτό το χαρακτηριστικό και στους συμβατικούς μετρητές.

2.3. Ανάγκη χρήσης αισθητήρα

Για να μπορέσουμε να έχουμε τις λειτουργίες του έξυπνου μετρητή σε έναν συμβατικό είναι ανάγκη η κατασκευή και η εγκατάσταση ενός αισθητήρα στο σύστημα αναβάθμισης. Αυτός ο αισθητήρας θα παρακολουθεί την κίνηση του δίσκου του μετρητή και θα στέλνει σε πραγματικό χρόνο ένα παλμόστον μικροεπεξεργαστή. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται ο υπολογισμός του κόστους, της ενέργειας και της ισχύος του καταναλωτή σε πραγματικό χρόνο το οποίο είναι ένα χαρακτηριστικό γνώρισμα του έξυπνου μετρητή. Ο αισθητήρας θα αποτελείται από μία διάταξη η οποία θα αναλυθεί παρακάτω και η οποία θα παράγει ένα παλμό όταν θα έχει γίνει μία πλήρης περιστροφή του δίσκου του μετρητή. Ο παλμός ο οποίος θα έχει παραχθεί από την διάταξη θα αντιστοιχεί σε ένα ποσό ενέργειας που θα έχει καταναλωθεί και θα είναι ίσο με την ενέργεια που χρειάζεται για να κάνει μία περιστροφή ο δίσκος. Έπειτα αυτός ο παλμός θα πηγαίνει στον μικροεπεξεργαστή. Ο μικροεπεξεργαστής στην συνέχεια θα υπολογίζει τις τιμές του κόστους, της ενέργειας και της ισχύος και θα στέλνει αυτά τα δεδομένα μέσω WiFi στο internet. Έτσι καταφέρνουμε να έχουμε και ασύρματη επικοινωνία το οποίο είναι άλλο ένα πλεονέκτημα των έξυπνων μετρητών σε σύγκριση με τους συμβατικούς μετρητές. Στην επόμενη παράγραφοθα αναλυθεί η δομή και ο τρόπος λειτουργίας της διάταξης του αισθητήρα.

2.4. Ο Αισθητήρας

Σε αυτή την παράγραφο θα βρίσκονται δύο εικόνες οι οποίες θα δείχνουν την δομή , το κύκλωμα και το πως έχει τοποθετηθεί ο αισθητήρας στον μετρητή.

Για την λειτουργία της συνολικής διάταξης του αισθητήρα κατασκευάστηκε ένας IR sensor του οποίου το κύκλωμα υπάρχει στην εικόνα 9. Έτσι ο αισθητήρας παρακολουθεί την κίνηση του επαγωγικού δίσκου του μετρητή στον οποίο έχει τοποθετηθεί ένα μαύρο σημάδι επάνω του. Όταν ο αισθητήρας δει αυτό το μαύρο σημάδι σημαίνει ότι έχει γίνει μία πλήρης περιστροφή του δίσκου, θα παράγει και θα στέλνει ένα παλμό στον μικροεπεξεργαστή. Παρακάτω θα αναλυθεί η επιμέρους λειτουργία των διαφόρων μερών του αισθητήρα.

Αρχικά, το κομμάτι που είναι ξεχωριστό από το υπόλοιπο κύκλωμα είναι το τροφοδοτικό SMPS1 το οποίο δέχεται 230V AC στην είσοδό του από την παροχή του μετρητή και βγάζει στην έξοδο 5V DC που θα τροφοδοτήσουν τον αισθητήρα. Όπως έχουμε προαναφέρει ένα χαρακτηριστικό αυτού του τροφοδοτικού είναι το μικρό μέγεθος ώστε όλη η διάταξη να χωράει μέσα στο κουτί του μετρητή.

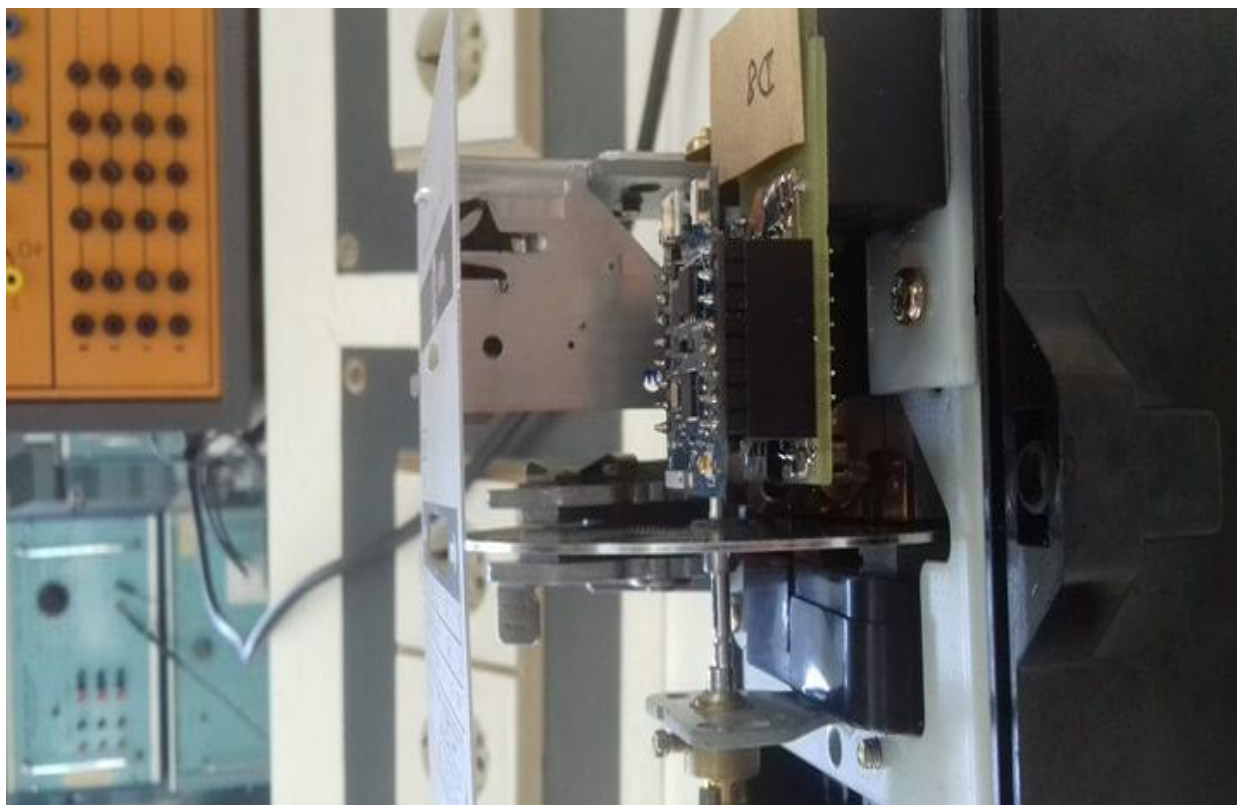
Τώρα στο κύριο κύκλωμα του αισθητήρα θα ξεκινήσουμε από το κομμάτι U2 OPTOISO το οποίο είναι ένας οπτικός απομονωτής (optical isolator). Ο απομονωτής εκπέμπει συνεχώς δέσμες φωτός προς τον δίσκο από το αριστερό του μέρος όπως φαίνεται στο σχήμα. Όταν δεν έχουμε το μαύρο σημάδι του δίσκου οι δέσμες ανακλώνται και δεν γίνεται τίποτα στο κύκλωμα. Όταν όμως περάσει το μαύρο σημάδι του δίσκου τότε δεν έχουμε ανάκλαση της δέσμης και συνεπώς θα κλείσει το κύκλωμα στο δεξιά μέρος για να ξεκινήσει η διαδικασία παραγωγής παλμού από το υπόλοιπο κύκλωμα. Αυτό το μέρος του αισθητήρα θα πρέπει να βρίσκεται στο πιο χαμηλό σημείο της διάταξης όπως φαίνεται στην εικόνα 10 έτσι ώστε να μπορεί να παρακολουθεί την κίνηση του δίσκου.

Στην συνέχεια θα ασχοληθούμε με το κύκλωμα που βρίσκεται αριστερά του απομονωτή. Σε αυτό το μέρος παράγονται παλμοί οι οποίοι θα σταλθούν στον οπτικό απομονωτή για την εκπομπή δεσμών φωτός. Οι πυκνωτές και οι πύλες χρησιμοποιούνται ώστε ο παλμός να μην είναι

συνεχόμενος αλλά διακεκομμένος. Αυτό μας βοηθάει στην καλύτερη αναγνώριση του μαύρου σημείου του δίσκου χωρίς παρεμβολές από τον εξωτερικό κόσμο όπως κάποιοι φωτισμοί ή λάμπες οι οποίες θα μπέρδευαν τον απομονωτή.

Έπειτα θα μελετήσουμε το κύκλωμα δεξιά του απομονωτή. Αυτό το κύκλωμα θα λειτουργεί μόνο όταν ο απομονωτής θα βλέπει το μαύρο σημάδι του δίσκου όταν δηλαδή θα κλείνει το κύκλωμα στο δεξί μέρος του. Αυτό το μέρος μετατρέπει ξανά τον παλμό σε συνεχόμενο και στην συνέχεια τον ενισχύει έτσι ώστε να είναι έτοιμος να οδηγηθεί στον μικροεπεξεργαστή. Επιπλέον, υπάρχει και μία λυχνία η οποία ανάβει όταν έχουμε παλμό έτσι ώστε να βλέπουμε και εμείς πότε γίνεται η εκπομπή του.

Τέλος, στην έξοδο της διάταξης φεύγει ο παλμός και οδηγείται στον μικροεπεξεργαστή.



Εικόνα 5. Τοποθέτηση του συστήματος αναβάθμισης στον μετρητή

Στην παραπάνω φωτογραφία φαίνεται ο τρόπος που είναι τοποθετημένος ο αισθητήρας μέσα στον κλασικό μετρητή. Στην εικόνα μπορούμε να δούμε ότι ο αισθητήρας κοιτάει προς τον επαγωγικό δίσκο του μετρητή ώστε να δώσει παλμό σε περίπτωση που έχουμε μία πλήρη περιστροφή του. Επιπλέον, από την εικόνα φαίνονται και άλλα σημαντικά χαρακτηριστικά της συνολικής διάταξης. Πρώτον, παρατηρούμε ότι η συνολική διάταξη του αισθητήρα μαζί με τον μικροεπεξεργαστή καταλαμβάνει πολύ μικρό χώρο έτσι ώστε να μπορεί να κλείνει το κάλυμμα του μετρητή. Συνεπώς, ο μετρητής δεν θα είναι ακάλυπτος ενώ ο πάροχος ενέργειας θα έχει την δυνατότητα να ανοίγει τον μετρητή σε περίπτωση που θέλει να αλλάξει κάποια παράμετρο στην λειτουργία του μικροεπεξεργαστή και στην συνέχεια να τον κλείνει ξανά. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται ένας από τους βασικούς στόχους τους οποίους είχαμε θέσει από την αρχή του κεφαλαίου. Άλλο ένα θετικό χαρακτηριστικό της συγκεκριμένης διάταξης είναι ότι για να λειτουργήσει τροφοδοτείται με ρεύμα μέσω ενός τροφοδοτικού το οποίο είναι συνδεδεμένο απευθείας με την παροχή του μετρητή. Με αυτόν τον τρόπο για την λειτουργία της διάταξης δεν χρειάζεται κάποια επιπλέον εξωτερική τροφοδοσία παρά μόνο η παροχή του μετρητή.

2.5. Ο Μικροεπεξεργαστής



Εικόνα 6. Ο μικροεπεξεργαστής ESP 8266

Στην σύστημα αναβάθμισης θα χρησιμοποιήσουμε έναν ESP8266nodemcu 0.9. Πρόκειται για έναν μικροεπεξεργαστή του οποίου το κόστος και οι λειτουργίες του μας διευκολύνουν στην αναβάθμιση του συμβατικού μετρητή. Ο ESP8266 που χρησιμοποιήθηκε φαίνεται στην παραπάνω εικόνα και είναι το μοντέλο wemos d1. Ο συγκεκριμένος μικροεπεξεργαστής έχει την δυνατότητα να προγραμματιστεί μέσω arduino και μπορεί να συνδεθεί στο διαδίκτυο μέσω wifi. Αυτές οι δυνατότητες σε συνδυασμό με το χαμηλό κόστος του που ανέρχεται περίπου στα 2 με 3 ευρώ καταστούν τον ESP8266 κατάλληλο για την αναβάθμιση που θέλουμε να κάνουμε. Έτσι, επιτυγχάνει τους στόχους που θέσαμε στην αρχή του κεφαλαίου τόσο με το χαμηλό του κόστος για φθηνή αναβάθμιση του μετρητή όσο και με την σύνδεση με το διαδίκτυο ώστε να έχουμε ασύρματη επικοινωνία μεταξύ του μετρητή, της εταιρείας ηλεκτρικής ενέργειας και του καταναλωτή.

Όσον αφορά την σύνδεση του αισθητήρα με τον ESP8266. Ο παλμός που θα βγει από την διάταξη του αισθητήρα οδηγείται στην ψηφιακή είσοδο D8 του μικροεπεξεργαστή. Ο ESP 8266 προγραμματίζεται με arduino ώστε να δέχεται τους παλμούς και να τους επεξεργάζεται για να υπολογίσει την ενέργεια, την ισχύ και το κόστος της κατανάλωσης. Στο τέλος ο μικροεπεξεργαστής θα στέλνει τα δεδομένα αυτά μέσω wifi σε μία ιστοσελίδα. Επιπλέον, ο μικροεπεξεργαστής θα μπορεί να δέχεται νέα δεδομένα από τον πάροχο σχετικά με την τιμολόγηση της ενέργειας και να υπολογίζει το νέο κόστος της ενέργειας μετά την αλλαγή. Συνεπώς, δίνεται η δυνατότητα στην εταιρεία να έχει πολλαπλά τιμολόγια και να αλλάζει την τιμολόγηση ανά διάφορα χρονικά διαστήματα και όχι όπως μέχρι τώρα με τους παλιούς μετρητές μπορούσε να αλλάξει μόνο από ημερήσιο τιμολόγιο σε νυχτερινό και το αντίστροφο. Ο προγραμματισμός του μικροεπεξεργαστή με κώδικα arduino θα αναλυθεί εκτενώς σε επόμενο κεφάλαιο.

2.6. Σύνδεση των επιμέρους διατάξεων του συστήματος

Οι διατάξεις που αναφέραμε στις παραπάνω παραγράφους θα πρέπει να συνδεθούν με τέτοιο τρόπο μεταξύ τους ώστε να μπορούν να συνεργάζονται και να εκτελούν την λειτουργία που θέλουμε. Άλλο ένα ζήτημα που πρέπει να λύσουμε είναι η τροφοδοσία με ρεύμα αυτών των διατάξεων για να μπορούν να λειτουργήσουν. Παρακάτω θα αναλυθεί η σύνδεση των μερών ενώ θα υπάρχουν και δύο εικόνες. Η μία θα δείχνει την κυκλωματική σύνδεση των διατάξεων μεταξύ τους και την τροφοδοσία τους και η άλλη θα είναι μία φωτογραφία που θα δείχνει πως είναι το συνολικό σύστημα πάνω στον μετρητή.

2.7. Συμπεράσματα

Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφηκε η δομή και ο τρόπος λειτουργίας του συστήματος αναβάθμισης του μετρητή. Το σύστημα αποτελείται από έναν αισθητήρα και ένα μικροεπεξεργαστή τα οποία συνδέονται μεταξύ τους. Για αισθητήρας κατασκευάστηκε ένας IRsensor που παρακολουθεί την κίνηση του επαγωγικού δίσκου του μετρητή και παράγει παλμούς όταν έχουμε πλήρη περιστροφή. Για μικροεπεξεργαστή χρησιμοποιήθηκε ένας ESP 8266 ο οποίος έχει δυνατότητα σύνδεσης στο διαδίκτυο μέσω WiFi και ο οποίος μπορεί να προγραμματιστεί μέσω arduino. Επεξεργάζεται τους παλμούς που λαμβάνει από τον αισθητήρα και στέλνει δεδομένα σχετικά με την κατανάλωση όπως ισχύς, ενέργεια και κόστος στο διαδίκτυο. Επιπλέον, έχει την δυνατότητα να δέχεται και εντολές μέσω διαδικτύου για να αλλάζει την τιμολόγηση της ενέργειας.

Με αυτά τα μέρη που χρησιμοποιήσαμε καταφέραμε να κατασκευάσουμε ένα σύστημα αναβάθμισης με τα χαρακτηριστικά που θέλαμε από την αρχή. Ο αισθητήρας μαζί με το τροφοδοτικό του καταλαμβάνουν μικρό χώρο με συνέπεια το σύστημα να μπορεί να χωράει στο κουτί του μετρητή. Ο συγκεκριμένος μικροεπεξεργαστής είναι πολύ φθηνός κάνοντας το συνολικό σύστημα αναβάθμισης φθινό και επομένως την εγκατάστασή του μία φθηνή και συμφέρουσα διαδικασία. Τέλος, ο μικροεπεξεργαστής έχει την δυνατότητα ασύρματης σύνδεσης και επικοινωνίας με το διαδίκτυο. Έτσι οι στόχοι που τέθηκαν στην αρχή του κεφαλαίου εκπληρώθηκαν.

Μετά την εγκατάσταση του συστήματος θα πρέπει να γίνει ο προγραμματισμός του μικροεπεξεργαστή. Αυτός θα γίνει με την χρήση γλώσσας arduino. Θα πρέπει να γίνει ένα πρόγραμμα το οποίο θα φορτωθεί στον μικροεπεξεργαστή και το οποίο θα δέχεται τους παλμούς του αισθητήρα και θα κάνει τις ανάλογες πράξεις για να υπολογίσει την τιμή της ισχύος, της ενέργειας και το κόστος της για το χρονικό διάστημα που θέλουμε. Στην συνέχεια θα στέλνει τα δεδομένα αυτά σε μία ιστοσελίδα στο διαδίκτυο. Από αυτήν την ιστοσελίδα θα έχουμε την δυνατότητα να αλλάξουμε την τιμολόγηση της ενέργειας και αυτήν την

αλλαγή θα την λαμβάνει υπόψη του ο μικροεπεξεργαστής και θα υπολογίζει νέο κόστος στην ενέργεια που καταναλώνεται.

Το πρόγραμμα και αναλυτικά η λειτουργία του θα μελετηθούν στο επόμενο κεφάλαιο.

3. Προγραμματισμός του μικροεπεξεργαστή

3.1. Εισαγωγή

Ύστερα από την εγκατάσταση της διάταξης για την αναβάθμιση του μετρητή είναι αναγκαίο ο μικροεπεξεργαστής να προγραμματιστεί κατάλληλα έτσι ώστε να έχουμε τα αποτελέσματα που θέλουμε από την αναβάθμιση και ο μετρητής να επιτελεί της λειτουργίες ενός έξυπνου μετρητή. Ο προγραμματισμός του μικροεπεξεργαστή θα γίνει με την γλώσσα προγραμματισμού arduinoide η οποία είναι μία γλώσσα την οποία μπορεί να υποστηρίξει ο ESP8266 ο οποίος είναι ο μικροεπεξεργαστής που χρησιμοποιούμε στην διάταξή μας. Επιπλέον, η συγκεκριμένη γλώσσα μπορεί να δεχθεί και κομμάτια κώδικα γραμμένα σε html η οποία είναι μία βασική γλώσσα για την δημιουργία ιστοσελίδων κάτι το οποίο θα μας χρειαστεί για την καλύτερη απεικόνιση των δεδομένων στο διαδίκτυο. Στο κεφάλαιο αυτό θα ασχοληθούμε με την ανάπτυξη του κώδικα του προγράμματος και πως καταφέρνουμε να πετύχουμε τις λειτουργίες που θέλουμε. Στο τέλος της εργασίας θα βρίσκεται σε παράρτημα και ολόκληρος ο κώδικας του προγράμματος.

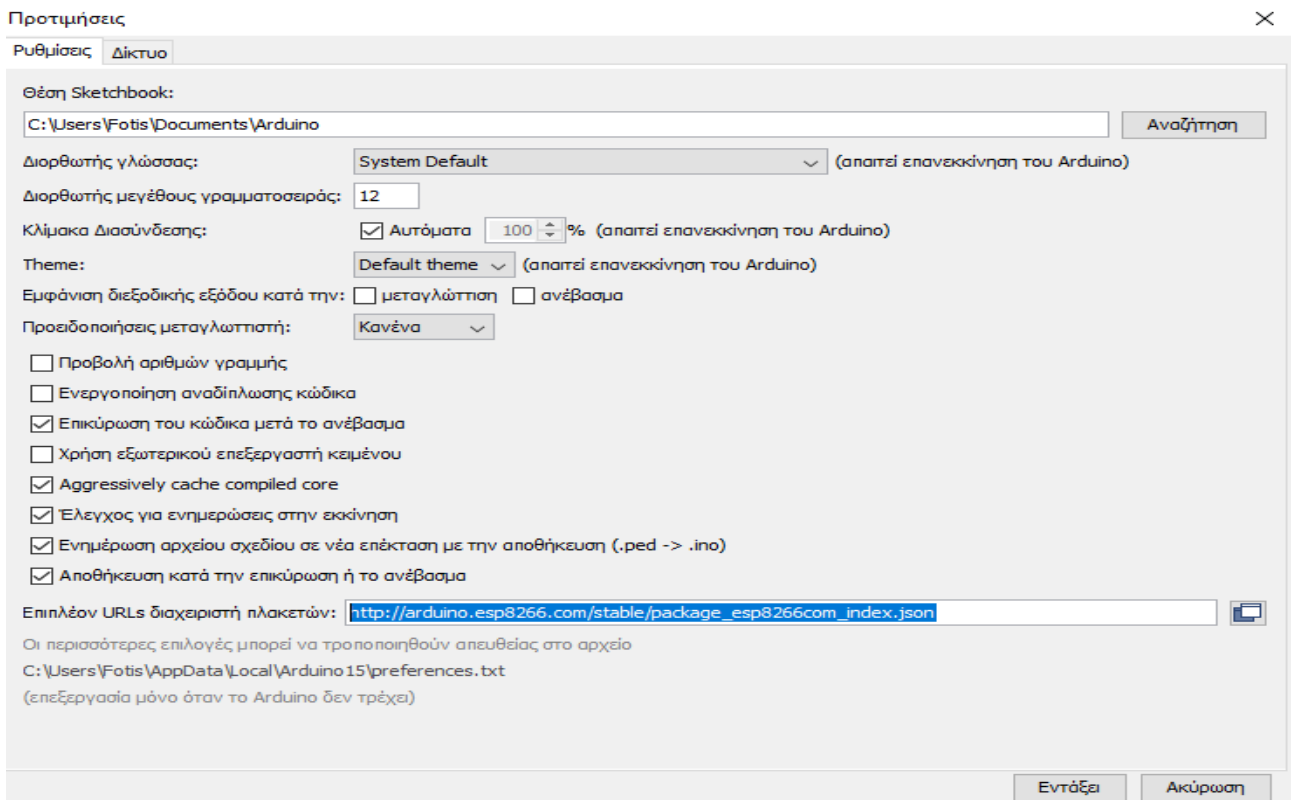
3.2. Στόχοι του προγράμματος

Το πρόγραμμα το οποίο θα αναπτυχθεί θα πρέπει να καλύπτει κάποιους βασικούς στόχους ώστε ο μικροεπεξεργαστής να προσδίδει τις «έξυπνες» λειτουργίες που στερείται ο συμβατικός μετρητής. Αρχικά, θα πρέπει ο μικροεπεξεργαστής να συνδεθεί στο διαδίκτυο μέσω wifi ώστε να μπορεί να στέλνει και να δέχεται δεδομένα από απόσταση όπως κάνει και ένας έξυπνος μετρητής. Στην συνέχεια, είναι αναγκαίο να αναγνωρίζει τον παλμό τον οποίο δέχεται από την διάταξη του αισθητήρα που παρακολουθεί τον στρεφόμενο δίσκο του μετρητή. Ο παλμός αυτός όπως αναφέραμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο θα παράγεται από τον αισθητήρα όταν ο επαγωγικός δίσκος του μετρητή κάνει μία πλήρη περιστροφή και θα αποστέλλεται στην ψηφιακή θύρα D8 του μικροεπεξεργαστή ESP8266. Ύστερα από την αναγνώριση του παλμού θα πρέπει να γίνει ο υπολογισμός της ισχύος και της ενέργειας. Ο παλμός αντιστοιχεί σε μία πλήρη περιστροφή του δίσκου και αυτή αντίστοιχα σε ένα ποσό ενέργειας που έχει καταμετρηθεί. Το πρόγραμμα θα μετράει

τόσο την ποσότητα ενέργειας που καταναλώνεται σε βάθος χρόνου, αλλά και πόση ώρα χρειάστηκε για μια πλήρη περιστροφή ώστε στη συνέχεια να υπολογίζει με πόση μέση ισχύ γίνεται αυτή η κατανάλωση την συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Όσον αφορά την ενέργεια το πρόγραμμα θα αθροίζει τους κύκλους άρα και την ποσότητα ενέργειας που αυτοί αντιστοιχούν σε ένα ορισμένο χρονικό διάστημα (αρχή λειτουργίας οργάνου, έτος, μήνας, ημέρα, ώρα κλπ). Επίσης, εάν η προμηθεύτρια εταιρεία ενέργειας γνωστοποιεί στον μετρητή μέσω διαδικτύου το κόστος ανά μονάδα ενέργειας σε κάθε χρονική περίοδο (εάν αυτό δεν είναι σταθερό) ο μετρητής θα μπορεί να υπολογίζει και το συνολικό κόστος της κατανάλωσης. Όλα αυτά τα δεδομένα θα αποστέλλονται σε μία ιστοσελίδα μαζί με την ακριβή ώρα που μετρήθηκαν ώστε ο καταναλωτής να έχει μία πλήρη εικόνα σχετικά με την κατανάλωση που κάνει. Συνεπώς, το λογισμικό του επεξεργαστή πρέπει να εκπληρώνει όλους τους παραπάνω στόχους.

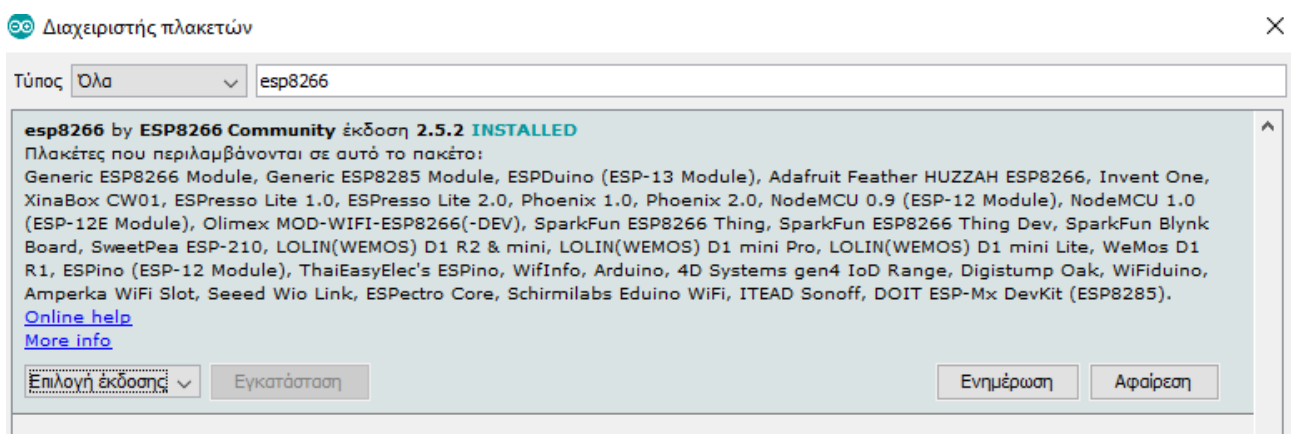
3.3. Εγκατάσταση ESP8266

Πριν ξεκινήσουμε την ανάπτυξη του κώδικα θα πρέπει να λάβουμε υπόψη μας ότι η γλώσσα arduino δεν έχει εγκατεστημένη από μόνο της την βιβλιοθήκη για τον ESP8266 και συνεπώς ο συγκεκριμένος μικροεπεξεργαστής δεν μπορεί να προγραμματιστεί απευθείας. Η διαδικασία για την εγκατάσταση της βιβλιοθήκης θα εξηγηθεί σε αυτήν την παράγραφο. Αρχικά, στην επιφάνεια του arduino ανοίγουμε την μπάρα «Αρχείο» και στην συνέχεια πηγαίνουμε στις «Προτιμήσεις» και στο πεδίο «Επιπλέον URLs διαχειριστή πλακετών» αντιγράφουμε το εξής «http://arduino.esp8266.com/stable/package_esp8266com_index.json» και στο τέλος πατάμε «Εντάξει». Η διαδικασία αυτή φαίνεται στην Εικόνα 8



Εικόνα 8. Ρύθμιση προτιμήσεων

Στην συνέχεια, ανοίγουμε την μπάρα «Εργαλεία» και πατάμε τον «Διαχειριστή πλακετών», αναζητούμε το esp8266 και το παράθυρο που θα ανοίξει θα μας οδηγήσει στην εγκατάσταση του esp8266 όπως φαίνεται στην εικόνα 9.



Εικόνα 9. Εγκατάσταση βιβλιοθήκης για esp8266 στο arduinoide

Τέλος, επιστρέφουμε στην μπάρα «Εργαλεία» και επιλέγουμε την πλακέτα nodemcu0.9, που είναι η πλακέτα πάνω στην οποία είναι τοποθετημένος ο ESP8266. Πλέον είμαστε έτοιμοι για να προγραμματίσουμε τον μικροεπεξεργαστή.

3.4. Σύνδεση στο διαδίκτυο

Όπως έχουμε αναφέρει σε προηγούμενο κεφάλαιο ένα χαρακτηριστικό το οποίο έχει ένας έξυπνος μετρητής και θέλουμε να το δώσουμε στον συμβατικό μετρητή μέσα από την συγκεκριμένη αναβάθμιση είναι η σύνδεση στο διαδίκτυο και η ασύρματη επικοινωνία του. Ο μικροεπεξεργαστής που έχουμε στην διάταξη αναβάθμισης μπορεί να συνδεθεί μέσω wifi με το διαδίκτυο και είναι ένας από τους βασικούς λόγους που επιλέχθηκε για την αναβάθμιση. Άρα το πρώτο βήμα που πρέπει να κάνουμε στον προγραμματισμό του μικροεπεξεργαστή είναι η σύνδεση με το διαδίκτυο. Παρακάτω θα υπάρχουν εικόνες με το μέρος του κώδικα που είναι υπεύθυνο για αυτήν την λειτουργία.

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <WiFiClient.h>
#include <ESP8266WebServer.h>
```

Εικόνα 10. Προσθήκη βιβλιοθηκών στο πρόγραμμα

```
void setup()
{
    Serial.begin(9600);

    pinMode(SendKey, INPUT_PULLUP); //Btn to send data
    Serial.println();

    WiFi.mode(WIFI_STA);
    WiFi.begin(ssid, password); //Connect to wifi

    // Wait for connection
    Serial.println("Connecting to Wifi");
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
        delay(500);
        Serial.print(".");
        delay(500);
    }

    Serial.println("");
    Serial.print("Connected to ");
    Serial.println(ssid);

    Serial.print("IP address: ");
    Serial.println(WiFi.localIP());
    server.begin();
    Serial.print("Connect to IP:");
    Serial.print(WiFi.localIP());
    Serial.print(" on port ");
    Serial.println(port);
}
```

A)

B)

Εικόνα 11.A) Σύνδεση με το διαδίκτυο πρώτο μέρος

Εικόνα 11.B) Σύνδεση με το διαδίκτυο δεύτερο μέρος

Στην αρχή του προγράμματος πρέπει να συμπεριλάβουμε τις απαραίτητες βιβλιοθήκες ώστε να μπορέσει ο μικροεπεξεργαστής να συνδεθεί με το διαδίκτυο όπως φαίνεται στην εικόνα 16. Στην συνέχεια θα πάμε στην συνάρτηση void setup() η οποία είναι μία βασική συνάρτηση του arduino και η οποία τρέχει μία μόνο φορά μετά την εκκίνηση του επεξεργαστή και θα γράψουμε τον κώδικα για την σύνδεση του wifi. Στην εικόνα 11α) ανοίγουμε την σειριακή θύρα του arduino έπειτα ξεκινάμε την

διαδικασία σύνδεσης με την χρήση του ονόματος και του κωδικού στο δίκτυο που θέλουμε να συνδεθούμε και τέλος ελέγχουμε αν έγινε αυτή η σύνδεση. Στην εικόνα 11 β) εφόσον έχει γίνει η σύνδεση στο δίκτυο που θέλουμε εμφανίζουμε στην σειριακή θύρα την διεύθυνση ίρπου έγινε η σύνδεση. Μέτα από αυτήν την διαδικασία μέσω της συγκεκριμένης διεύθυνσης ο μικροεπεξεργαστής μπορεί να συνδεθεί με το διαδίκτυο και να δέχεται και στέλνει δεδομένα σε μία ιστοσελίδα. Επομένως, με αυτό το μέρος του κώδικα καταφέραμε να έχουμε την σύνδεση του αναβαθμισμένου μετρητή με το διαδίκτυο. Το επόμενο βήμα στην ανάπτυξη του κώδικα θα είναι η αναγνώριση του παλμού που έχει παραχθεί από τον αισθητήρα από τον μικροεπεξεργαστή.

3.5. Αναγνώριση παλμού

Ύστερα από την σύνδεση στο διαδίκτυο το επόμενο βήμα στην ανάπτυξη του κώδικα είναι η αναγνώριση του παλμού περιστροφής του δίσκου του μετρητή. Αρχικά πρέπει να ενεργοποιήσουμε την θύρα του μικροεπεξεργαστή με την οποία θα εργαστούμε. Ο παλμός θα καταφθάνει από τον αισθητήρα στην ψηφιακή είσοδο D8 του ESP8266 επομένως πρέπει να θέσουμε την θύρα d8 με τον (αριθμό 15) ώστε αυτή να είναι ενεργή.

```
int digD8 = 15;
```

Εικόνα 12. Ενεργοποίηση θύρας d8

Μετά στην συνάρτηση voidsetup() θα θέσουμε την θύρα d8 ως θύρα εισόδου, δηλαδή θα δέχεται σήματα.

```
pinMode(digD8, INPUT);
```

Εικόνα 13. Ορισμός θύρας d8 ως θύρα εισόδου

Τέλος, στην συνάρτηση voidloop(), που είναι η βασική συνάρτηση βρόχου του επεξεργαστή (καλείται ξανά μόλις ολοκληρωθεί η εκτέλεση της) θα ελέγχουμε διαρκώς την θύρα d8 και σε περίπτωση που αναγνωριστεί παλμός θα καταχωρείται στην μεταβλητή pulse.

```
pulse = digitalRead(digD8);
```

Εικόνα 14. Αναγνώριση παλμού

Με αυτόν τον τρόπο ο μικροεπεξεργαστής είναι σε θέση να γνωρίζει κάθε πότε έρχεται ένας παλμός και κατ επέκταση κάθε πότε γίνεται μία πλήρης περιστροφή του δίσκου του μετρητή. Αυτή η πλήρης περιστροφή αντιστοιχεί σε ένα ποσό ενέργειας. Στην περίπτωση αυτής της εργασίας, ο μετρητής αναγράφει στα τεχνικά του χαρακτηριστικά ότι 1 κιλοβατώρα αντιστοιχεί σε 375 στροφές του δίσκου. Επομένως 1 στροφή του δίσκου αντιστοιχεί σε 2,67 βατώρες, όπως φαίνεται στην εικόνα 15. Βέβαια, η αναβάθμιση μπορεί να γίνει σε οποιονδήποτε μετρητή που δουλεύει με την ίδια αρχή λειτουργίας (επαγωγικός δίσκος), απλά αλλάζοντας τις αντίστοιχες παραμέτρους στο λογισμικό.



Εικόνα 15. Τεχνικά χαρακτηριστικά του μετρητή που χρησιμοποιήθηκε στην εργασία

Μετά από την διαδικασία αναγνώρισης του παλμού από τον μικροεπεξεργαστή χρειάζεται να γίνει ο υπολογισμός της ισχύος και της ενέργειας που καταναλώνεται και η αποστολή των αποτελεσμάτων στο διαδίκτυο.

3.6. Υπολογισμός ισχύος και ενέργειας

Έπειτα από την αναγνώριση του παλμού σειρά έχει για την ανάπτυξη του προγράμματος ο υπολογισμός της ισχύος και της ενέργειας που καταναλώνεται. Όμως πριν ξεκινήσουμε τους υπολογισμούς για να μπορούμε να προσεγγίσουμε ακόμα περισσότερο την λειτουργία του έξυπνου μετρητή θα πρέπει να έχουμε και μια εικόνα για το ποία χρονική στιγμή γίνονται αυτές οι μετρήσεις. Το θέμα αυτό θα το λύσει ο μικροεπεξεργαστής ο οποίος μαζί με τα δεδομένα που στέλνει στο διαδίκτυο θα στέλνει και την χρονική στιγμή που αποστέλλονται αυτά τα δεδομένα. Για να γίνει αυτή η διαδικασία θα πρέπει ο μικροεπεξεργαστής να συνδεθεί μέσω ενός NTP(NetworkTimeProtocol) server να πάρει την ακριβή ώρα που έγινε η μέτρηση και να την στείλει μαζί με την μέτρηση αυτή στο διαδίκτυο. Το NTP πρόκειται για ένα πρωτόκολλο το οποίο συγχρονίζει τα ρολόγια στους υπολογιστές μεταξύ τους. Για την σύνδεση με το NTP αρχικά συμπεριλαμβάνουμε την αντίστοιχη βιβλιοθήκη στο πρόγραμμα.

```
#include <NTPClient.h>
```

Εικόνα 16. Προσθήκη βιβλιοθήκης

Έπειτα ορίζουμε κάποιες παραμέτρους όπως την ώρα Ελλάδος και τις ημέρες της εβδομάδας.

```
const long utcOffsetInSeconds = 3600; // ώρα Ελλάδος

char daysOfTheWeek[7][12] = {"Sunday", "Monday", "Tuesday", "Wednesday", "Thursday", "Friday", "Saturday"};

WiFiUDP ntpUDP;
NTPClient timeClient(ntpUDP, "pool.ntp.org", utcOffsetInSeconds);
```

Εικόνα 17. Ρύθμιση παραμέτρων

Μετά πάμε στην συνάρτηση void setup για να εκκινήσουμε την λειτουργία του NTP.

```
timeClient.begin();
```

Εικόνα 18. Εκκίνηση

Τέλος στην συνάρτηση void loop θα κρατάμε τον συγκεκριμένο μετρητή ενημερωμένο.

```
timeClient.update();
```

Εικόνα 19. Ενημέρωση της ώρας

Πλέον, μπορούμε να έχουμε ανά πάσα στιγμή την ακριβή ώρα που γίνεται μία μέτρηση και να την αποστέλλουμε μαζί με αυτή στο διαδίκτυο.

Στην συνέχεια θα ασχοληθούμε με τον υπολογισμό της ισχύος και της ενέργειας. Για να μπορέσουμε να υπολογίσουμε την ενέργεια θα πρέπει να γνωρίζουμε τον αριθμό των παλμών, δηλαδή των στροφών που έχουν γίνει στον δίσκο του μετρητή. Επομένως, εισάγουμε την μεταβλητή (cycles) η οποία αυξάνεται κατά ένα σε περίπτωση που έχουμε παλμό. Για τον υπολογισμό της ισχύος θα πρέπει να γνωρίζουμε τον χρόνο που πέρασε ανάμεσα σε δύο παλμούς δηλαδή πόσο χρόνο χρειάστηκε να κάνει μία περιστροφή ο δίσκος. Έτσι εισάγουμε τις μεταβλητές Time1, Time2 και cycle και σε αυτές θα αποθηκεύονται ο χρόνος του προηγούμενου παλμού, ο χρόνος του επόμενου παλμού και η διαφορά τους αντίστοιχα.

```
if(pulse == 1){ // υπολογισμός ισχύος  
    cycles = cycles+1;  
    Time2 = millis();  
    cycle = Time2 - Time1;  
    delay(1000);  
    Time1 = Time2;
```

Εικόνα 20. Υπολογισμός κύκλων και χρόνου περιστροφής

Όπως φαίνεται από την παραπάνω εικόνα για τον υπολογισμό των χρόνων γίνεται χρήση της συνάρτησης millis() η οποία είναι μία ειδική συνάρτηση του arduinoide και υπολογίζει τον χρόνο από την εκκίνηση του προγράμματος σε millisecond.

Συνεχίζουμε με την διαδικασία του υπολογισμού της ισχύος. Ακολουθεί η εικόνα 21 που έχει τον κώδικα για τον υπολογισμό της.

```

if(cycles == 1){
    Serial.println("pulse 1"); // πρώτος παλμός
}
if(cycles > 1){ // αφαιρώ την πρώτη στροφή

    Serial.print("cycle:");
    Serial.println(cycle);
    w = 9612000/cycle; // 2.67*3600ws/cycle/1000s
    client.print(daysOfTheWeek[timeClient.getDay()]);
    client.print(", ");
    client.print(timeClient.getHours());
    client.print(":");
    client.print(timeClient.getMinutes());
    client.print(":");
    client.print(timeClient.getSeconds());
    client.print(" the power in w is:");
    client.println(w);
    client.println("<br>");
    delay(1000);
}

```

Εικόνα 21. Υπολογισμός ισχύος

Όταν ξεκινήσει η διαδικασία της μέτρησης, το σημάδι του επαγωγικού δίσκου που αναγνωρίζει ο αισθητήρας δεν θα είναι στην θέση που ελέγχει ο αισθητήρας. Συνεπώς, όταν έρθει ο πρώτος παλμός αυτό δεν θα σημαίνει ότι θα έχει γίνει μία πλήρης περιστροφή του δίσκου. Για αυτόν τον λόγο αφαιρούμε τον πρώτο κύκλο από την διαδικασία υπολογισμού της ισχύος, όταν τίθεται σε λειτουργία για πρώτη φορά η συσκευή μας. Αυτό βέβαια είναι προς όφελος του καταναλωτή, αλλά εύκολα μπορεί να αλλαχθεί ώστε π.χ. να μετρά έναν πλήρη κύκλο ή μισό κλπ. Έτσι, όταν έρθει ο πρώτος παλμός θα τυπωθεί στην σειριακή θύρα το μήνυμα «pulse 1» για να γνωρίζουμε αν αναγνωρίστηκε ο παλμός από τον επεξεργαστή και να έχουμε την δυνατότητα να κάνουμε κάτι με αυτόν σε κάποια μελλοντική επέκταση του λογισμικού.

Στην συνέχεια η ισχύς που καταναλώνεται θα βρεθεί από την διαίρεση της ενέργειας που αντιστοιχεί σε μία πλήρη περιστροφή του δίσκου με τον χρόνο που χρειάστηκε για να γίνει αυτή η περιστροφή. Επομένως, για τον υπολογισμό της μεταβλητής w , που αποθηκεύει την τιμή της ισχύος, διαιρούμε τον αριθμό 9612000 με την μεταβλητή $cycle$. Αυτός ο αριθμός προκύπτει από την πράξη $2.67 \cdot 3600 \cdot 1000$, όπου τα 2.67 αντιστοιχούν στις wh που είναι η ενέργεια που αντιστοιχεί σε μία πλήρη περιστροφή, τα 3600 είναι τα δευτερόλεπτα που έχει μία ώρα ώστε να έχουμε τις ίδιες μονάδες μέτρησης, και το 1000 είναι για την μετατροπή των ms σε δευτερόλεπτα.

η συνάρτηση `millis()` μετράει σε `millisecond`. Ύστερα από αυτήν την πράξη γνωρίζουμε την ισχύ που καταναλώνεται και μαζί με την χρονική στιγμή την οποία γνωρίζουμε από το NTPστέλνονται στο διαδίκτυο μέσω της σύνδεσης `wifi` που έχει γίνει και τυπώνονται σε μία ιστοσελίδα.

Μετά υπολογίζουμε την ενέργεια που καταναλώνεται. Αυτός ο υπολογισμός θα είναι πιο εύκολος σε σχέση με την ισχύ γιατί το μόνο που θα πρέπει να μετράμε τώρα είναι ο αριθμός των παλμών δηλαδή των περιστροφών. Ο κώδικας του υπολογισμού της ενέργειας που εξηγήθηκε παραπάνω παρουσιάζεται στην Εικόνα 22.

```
if(pulse == 1){ // υπολογισμός ενέργειας
  if(cycles > 1){ // αφαιρώ την πρώτη στροφή
    wh = 2.67*(cycles-1); // επί 2.67 wh ο κύκλος
    client.print(daysOfTheWeek[timeClient.getDay()]);
    client.print(", ");
    client.print(timeClient.getHours());
    client.print(":");
    client.print(timeClient.getMinutes());
    client.print(":");
    client.print(timeClient.getSeconds());
    client.print(" the consumption in wh is:");
    client.println(wh);
    client.println("<br>");
    delay(1000); // καθυστερώ για 1 sec
  }
}
```

Εικόνα 22. Υπολογισμός ενέργειας

Παρατηρούμε ότι όπως και για την ισχύ έτσι και για την ενέργεια αφαιρούμε την πρώτη στροφή γιατί στην αρχή της μέτρησης ο πρώτος παλμός δεν θα συνεπάγεται ότι θα έχουμε μία πλήρη περιστροφή. Μετά πολλαπλασιάζουμε τον αριθμό των περιστροφών με το 2,67 το οποίο είναι η ενέργεια που αντιστοιχεί σε μια περιστροφή σε `wh` και βρίσκουμε την συνολική ενέργεια που έχει καταναλωθεί. Μετά αποστέλλουμε τα δεδομένα μαζί με την χρονική στιγμή που έγινε η μέτρηση όπως κάναμε και στην περίπτωση της ισχύος.

Αφού υπολογίσαμε την ισχύ και την ενέργεια της κατανάλωσης, το επόμενο βήμα είναι ο υπολογισμός του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο για να γίνει πλήρης χρήση των δυνατοτήτων του αναβαθμισμένου μετρητή ως έξυπνου μετρητή θα πρέπει να δώσουμε την δυνατότητα στον πάροχο ηλεκτρικής ενέργειας να διαφοροποιεί το τιμολόγιο για την

ενέργεια ανάλογα με την χρονική στιγμή. Αυτά τα θέματα θα αναλυθούν στην επόμενη παράγραφο.

3.7. Υπολογισμός κόστους

Στην συνέχεια του προγράμματος υπολογίζεται το κόστος της ενέργειας που καταναλώνεται. Αυτό θα γίνει με έναν πολλαπλασιασμό της ενέργειας που καταναλώνεται με την τιμή που κοστίζει η ενέργεια ανά μονάδα ενέργειας δηλαδή στην περίπτωση μας ανά wh. Ωστόσο, αυτή η τιμή θα πρέπει να καθορίζεται από τον πάροχο και να μπορεί να αλλάζει ανά πάσα στιγμή. Με αυτόν τον τρόπο δίνουμε στον μετρητή και ένα άλλο χαρακτηριστικό το οποίο έχει ο έξυπνος και αυτό είναι η δυναμική τιμολόγηση της ενέργειας. Παρακάτω ακολουθεί ο κώδικας για τον υπολογισμό του κόστους της ενέργειας και η ανάλυσή του.

```
if(pulse == 1){ //υπολογισμός κόστους
    if(cycles > 1){
        cyclecost = price * 2.67;
        cost += cyclecost;
        client.print(daysOfTheWeek[timeClient.getDay()]);
        client.print(", ");
        client.print(timeClient.getHours());
        client.print(":");
        client.print(timeClient.getMinutes());
        client.print(":");
        client.print(timeClient.getSeconds());
        client.print(" The cost of energy is: ");
        client.print(cost);
        client.print(" with price: ");
        client.print(price);
        client.println(" per wh.");
        client.println("<br>");
    }
}
```

Εικόνα 23. Υπολογισμός κόστους ενέργειας

Όπως στις περιπτώσεις του υπολογισμού της ισχύος και της ενέργειας, έτσι και εδώ το συγκεκριμένο κομμάτι κώδικα θα τρέξει μόνο αν έχουμε παλμό από τον αισθητήρα του δίσκου αλλά μετά τον πρώτο παλμό. Οι λόγοι που γίνεται αυτό είναι για να γίνουν οι υπολογισμοί σχετικά με το κόστος μόνο μετά την πλήρη περιστροφή του επαγωγικού δίσκου, όπως έγινε και στις υπόλοιπες μετρήσεις. Στην συνέχεια του κώδικα μετράμε το κόστος της ενέργειας που αντιστοιχεί στην κάθε περιστροφή. Αυτό το

κόστος αποθηκεύεται στην μεταβλητή `cyclecost` και υπολογίζεται από το γινόμενο της τιμής ανά βατώρα που έχουμε αυτή την στιγμή με το 2.67 το οποίο είναι η ενέργεια σε βατώρες που έχει καταναλωθεί για να γίνει μία πλήρης περιστροφή του επαγωγικού δίσκου. Στην συνέχεια αθροίζουμε το κάθε κόστος για μία περιστροφή (`cyclecost`) στο συνολικό κόστος της ενέργειας που έχει καταναλωθεί και το οποίο το αποθηκεύουμε στην μεταβλητή `cost`. Τέλος τυπώνουμε το συνολικό κόστος στην ιστοσελίδα μαζί με την χρονική στιγμή που έγινε αυτή η μέτρηση και μαζί με το κόστος ανά μονάδα ενέργειας που έχουμε αυτήν την στιγμή.

Τελευταίο κομμάτι στην ανάπτυξη του κώδικα για τον προγραμματισμό του μικροεπεξεργαστή θα είναι η δημιουργία μίας ιστοσελίδας μέσω της οποίας θα φαίνονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων και θα εισάγεται η τιμή ανά μονάδα ενέργειας που θα καταναλώνεται.

3.8. Δημιουργία ιστοσελίδας

Τελευταία λειτουργία του κώδικα θα πρέπει να είναι η δημιουργία μιας ιστοσελίδας για την εμφάνιση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων που έγιναν. Επιπλέον αυτή η ιστοσελίδα θα πρέπει να έχει και ένα πεδίο από το οποίο θα συμπληρώνεται, υποτίθεται από τον πάροχο ηλεκτρικής ενέργειας η τιμή κόστους της ενέργειας ανά μονάδα ενέργειας. Από εκεί θα εισάγεται στο πρόγραμμα ώστε αυτό να υπολογίζει το κόστος της ενέργειας που έχει καταναλωθεί. Με αυτόν τον τρόπο θα έχουμε την δυνατότητα να υλοποιήσουμε πολιτικές δυναμικής τιμολόγησης της ενέργειας, το οποίο είναι ένα χαρακτηριστικό των έξυπνων μετρητών.

Η δημιουργία της ιστοσελίδας έγινε με την χρήση της γλώσσας προγραμματισμού HTML η οποία είναι μία γλώσσα ειδική για την δημιουργία ιστοσελίδων. Ένα ακόμη θετικό το οποίο έχει το `arduino` είναι ότι μπορεί να υποστηρίξει την γλώσσα HTML και ο μικροεπεξεργαστής μας να λειτουργήσει σαν ένας στοιχειώδης εξυπηρετητής διαδικτύου (`webserver`). Έτσι, όταν γίνει η σύνδεση του μικροεπεξεργαστή με το διαδίκτυο μέσω `wifi` θα σταλεί με την εντολή «`client.print`» ο κώδικας σε HTML και θα δημιουργηθεί η σελίδα όπου θα εμφανίζονται τα δεδομένα των μετρήσεων αλλά και θα εισάγεται η τιμή του κόστους της ενέργειας. Η εικόνα παρακάτω δείχνει τον κώδικα για την δημιουργία της ιστοσελίδας.


```

if (client) {
  if(client.connected())
  {
    Serial.println("Client Connected");

    client.println("<!DOCTYPE html><html>");
    client.println("<body><h1>Energy measurments</h1>");
    client.print("<label> Price per wh:</label>");
    client.println("<form action=/get target=hidden-form>");
    client.println("<input type=number id=price name=price>");
    client.println("<input type=submit value=Submit>");
    client.println("</form>");
    client.println("<br>");
    client.println("<hr>");

    client.println("</body>");
    client.println("</html>");
    client.stop();
    Serial.println("Client disconnected");
  }
}

```

Εικόνα 24α. Αποστολή ιστοσελίδας (μέρος 1)

Εικόνα 24β. Αποστολή ιστοσελίδας (μέρος 2)

Στο πρώτο μέρος του κώδικα(εικόνα 24α) έχουμε την αποστολή της ιστοσελίδας στο διαδίκτυο που γίνεται όταν ο υπολογιστής πελάτης(webclientπ.χ. ένας πλοηγός από H/Y) συνδεθεί μέσω του διαδικτύου με τον εξυπηρετητή μικροεπεξεργαστή. Μαζί με την αποστολή της σελίδας τυπώνουμε και ένα μήνυμα στην σειριακή θύρα του arduinoότι έγινε η σύνδεση για να μπορεί να γίνει ο έλεγχος της σύνδεσης και από εκεί μέσω της σειριακής ενός PC. Όσον αφορά την σελίδα αυτή, θα έχει επικεφαλίδα και ένα πεδίο το οποίο θα δέχεται μόνο αριθμούς και το οποίο θα είναι για να θέσουμε τιμή ανά μονάδα ενέργειας. Δίπλα από το πεδίο προς συμπλήρωση θα υπάρχει και ένα κουμπί υποβολής για την τελική επικύρωση της τιμής. Η τιμή αυτή θα αποθηκεύεται στην μεταβλητή price, την οποία έχουμε αναφέρει στην παραπάνω παράγραφο ως τιμολόγηση της ενέργειας και θα γίνεται ο υπολογισμός του κόστους της ενέργειας. Στην συνέχεια τα δεδομένα που υπολογίστηκαν στον μικροεπεξεργαστή θα εμφανίζονται στην σελίδα κάτω από το πεδίο υποβολής, όπως έχουμε αναφέρει στις παραπάνω παραγράφους.

Το δεύτερο μέρος του κώδικα (εικόνα 24β) αφορά την περίπτωση που αποσυνδεθεί ο «πελάτης» από τον εξυπηρετητή, κατά την οποία κλείνει η ιστοσελίδα, σταματάει η λειτουργία του «πελάτη»και τυπώνεται ένα μήνυμα στην σειριακή θύρα ότι έγινε αποσύνδεση. Ωστόσο αξίζει να τονιστεί ότι παρόλο που έγινε αποσύνδεση από το διαδίκτυο και από την στιγμή που το πρόγραμμα έχει φορτωθεί στον μικροεπεξεργαστή αυτός συνεχίζει να λειτουργεί με τα δεδομένα που του είχαν δοθεί έως εκείνη την στιγμή(π.χ. τιμολόγηση/price). Έτσι, παρόλο που δεν έχουμε σύνδεση

με το διαδίκτυο ο μικροεπεξεργαστής συνεχίζει να υπολογίζει δεδομένα για την ισχύ, την ενέργεια και το κόστος της κατανάλωσης όπου για το κόστος κατανάλωσης έχει για τιμή ανά μονάδα ενέργειας την τελευταία τιμή που δώσαμε εμείς από το διαδίκτυο. Συνεπώς, όταν γίνει επανασύνδεση με το διαδίκτυο ο μικροεπεξεργαστής θα στείλει τα συνολικά δεδομένα για τις μετρήσεις και δεν θα αρχίσει να υπολογίζει τα δεδομένα από την αρχή.

3.9. Συμπεράσματα

Με τον κώδικα που αναλύσαμε πιο πάνω δώσαμε την δυνατότητα στον μικροεπεξεργαστή μας να αναγνωρίζει τους παλμούς που δέχεται από τον οπτικό αισθητήρα του συστήματος αναβάθμισης. Από την στιγμή που κάθε παλμός είναι και μία πλήρης περιστροφή του επαγωγικού δίσκου του μετρητή, τότε σε κάθε παλμό έχει καταναλωθεί και ένα συγκεκριμένο ποσό ενέργειας. Έτσι, ο μικροεπεξεργαστής αθροίζοντας τους παλμούς υπολογίζει την συνολική ενέργεια που έχει καταναλωθεί. Επιπλέον, μετρώντας την ώρα που χρειάζεται για μία πλήρη περιστροφή ο μικροεπεξεργαστής με μία διαίρεση της ενέργειας μίας περιστροφής με τον χρόνο που χρειάστηκε αυτή υπολογίζει την μέση ισχύ της κατανάλωσης στην αντίστοιχη χρονική περίοδο. Τα δεδομένα αυτά τα αποστέλλει σε μια ιστοσελίδα που δημιουργεί και από αυτήν μπορεί να παίρνει την τιμή τιμολόγησης της ενέργειας ανά μονάδα ενέργειας (π.χ. από τον πάροχο ηλεκτρικής ενέργειας). Πολλαπλασιάζοντας την τιμή αυτή με την ενέργεια που καταναλώνεται μπορεί να υπολογίζει και το κόστος της κατανάλωσης το οποίο το στέλνει στην ίδια ιστοσελίδα. Όλα τα παραπάνω δεδομένα αποστέλλονται στην σελίδα την στιγμή που υπολογίζονται και μαζί με την μέτρηση αναγράφεται και η χρονική στιγμή που έγινε αυτή η μέτρηση. Με όλες αυτές τις λειτουργίες που δώσαμε στον μικροεπεξεργαστή το συνολικό σύστημα αναβάθμισης με την εγκατάστασή του δίνει σε έναν συμβατικό μετρητή στοιχεία τα οποία είναι χαρακτηριστικά ενός έξυπνου μετρητή.

Πλέον, έχοντας εγκαταστήσει την διάταξη για την αναβάθμιση του συμβατικού μετρητή και έχοντας προγραμματίσει κατάλληλα τον μικροεπεξεργαστή της διάταξης είμαστε έτοιμοι για την παρουσίαση της διαδικασίας του πειράματος. Αυτό θα γίνει με την σύνδεση ενός πραγματικού φορτίου στον μετρητή και με την μελέτη της λειτουργίας του

μετρητή σε κανονικές συνθήκες. Κατά την διαδικασία του πειράματος πρέπει να δούμε στην πράξη τα βασικά στοιχεία ενός έξυπνου μετρητή όπως η μέτρηση δεδομένων σχετικά με την κατανάλωση σε πραγματικό χρόνο και η σύνδεση με το διαδίκτυο, να γίνονται από τον αναβαθμισμένο συμβατικό μετρητή. Επίσης από αυτήν την διαδικασία πρέπει να ελέγξουμε την λειτουργία του αισθητήρα και την εγκυρότητα των μετρήσεων που αποστέλλονται.

4. Το Πείραμα

4.1. Εισαγωγή

Στο προηγούμενο κεφάλαιο παρουσιάστηκε ο κώδικας του προγράμματος του μικροεπεξεργαστή που επιτελεί τις «έξυπνες» λειτουργίες του αναβαθμισμένου συμβατικού μετρητή. Ο μετρητής με εγκατεστημένο το σύστημα αναβάθμισης είναι επομένως ικανός για μετρήσεις. Αυτές οι μετρήσεις θα συγκεντρωθούν και θα μελετηθούν στην πράξη μέσω ενός πειράματος. Το πείραμα έγινε στο Εργαστήριο Συστημάτων Ισχύος, Ανανεώσιμης και Κατανεμημένης Παραγωγής του Πανεπιστημίου Πατρών. Κατά την διαδικασία του πειράματος ελέγχθηκε σε πραγματικές συνθήκες ο αναβαθμισμένος μετρητής, μέσω του οποίου παρέχεται ηλεκτρική ενέργεια σε ένα φορτίο που βρίσκεται σε λειτουργία.

4.2. Στόχοι

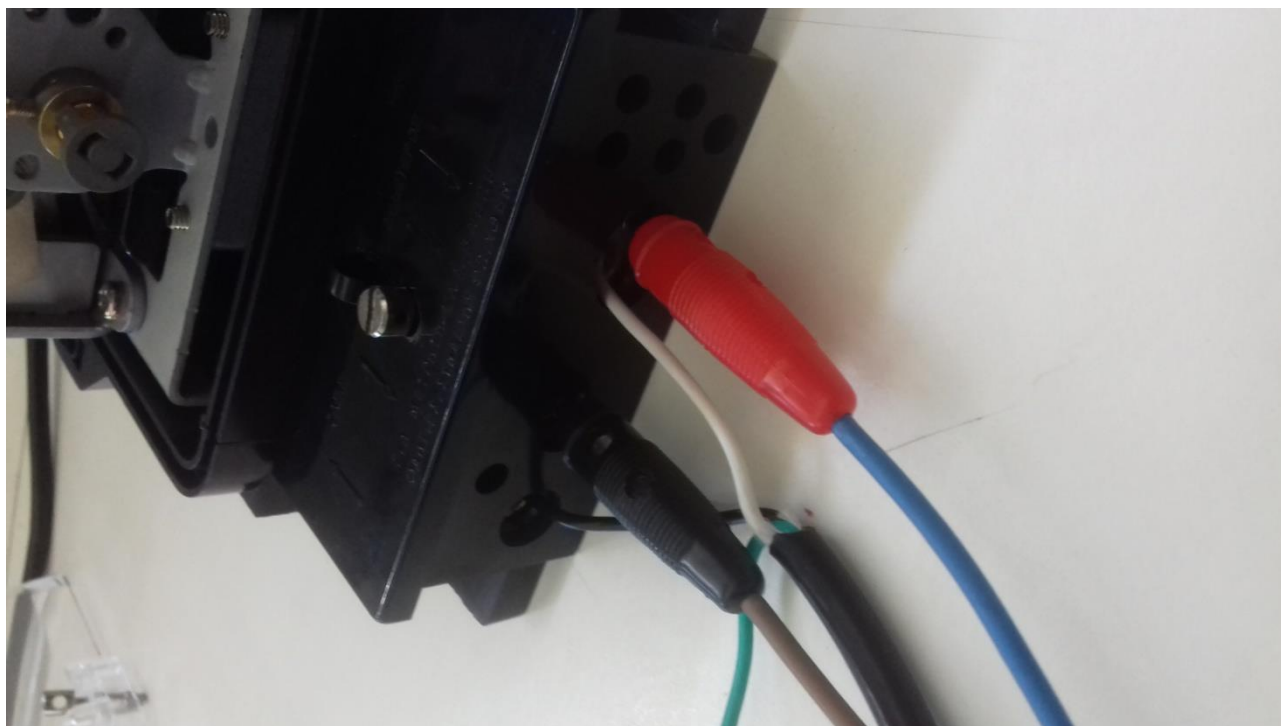
Βασικός στόχος αυτού του πειράματος είναι να δείξει ότι ο αναβαθμισμένος μετρητής σε συνθήκες πραγματικής λειτουργίας, επιτελεί τις λειτουργίες ενός έξυπνου μετρητή. Ο έλεγχος των λειτουργιών θα γίνει σταδιακά. Πρώτα, θα γίνει έλεγχος εάν ανάβει η πράσινη λυχνία του αισθητήρα, που σηματοδοτεί την ορθή λειτουργία του, όταν το μαύρο σημάδι από τον δίσκο περάσει κάτω από αυτόν. Αυτό είναι ένα δείγμα ότι ο αισθητήρας λειτουργεί σωστά και στέλνει παλμούς στον μικροεπεξεργαστή την σωστή στιγμή. Στην συνέχεια, αφού ανεβάσουμε το πρόγραμμα στον arduinoESP8266, θα πρέπει να γίνεται επιτυχώς η σύνδεση με το διαδίκτυο και να μπορούμε να μεταβούμε στην ιστοσελίδα με τα δεδομένα των μετρήσεων. Τέλος, πρέπει να παρατηρήσουμε τα δεδομένα που αποστέλλονται στην ιστοσελίδα και να ελέγξουμε εάν αυτά τα δεδομένα είναι ορθά βάσει θεωρητικών υπολογισμών για την κατανάλωση του φορτίου. Εφόσον όλοι οι παραπάνω στόχοι επιτευχθούν τότε αυτό σημαίνει ότι ο αναβαθμισμένος μετρητής προσεγγίζει κατά πολύ την λειτουργία του έξυπνου μετρητή και η όλη διαδικασία της αναβάθμισης θεωρείται επιτυχημένη.

4.3. Διαδικασία του πειράματος

Όπως αναφέραμε και στην εισαγωγή το πείραμα έγινε στο Εργαστήριο Συστημάτων Ισχύος, Ανανεώσιμης και Κατανεμημένης Παραγωγής του Πανεπιστημίου Πατρών. Για τη χρήση του φορτίου χρησιμοποιήσαμε ένα φορτίο μεγάλης ισχύος έτσι ώστε ο επαγωγικός δίσκος του μετρητή να κινείται γρήγορα και να μπορούν να παρατηρηθούν πιο γρήγορα και πιο εύκολα τα αποτελέσματα. Για αυτόν τον λόγο χρησιμοποιήθηκε ένα θερμαντικό σώμα μεγάλης ισχύος το οποίο συνδέθηκε με τον μετρητή. Το σώμα είναι ισχύος 1kw και για την τροφοδοσία του ήταν συνδεδεμένο με το δίκτυο χαμηλής τάσης των 230V. Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι κατά την διάρκεια των μετρήσεων ο μετρητής βρισκόταν πάντα σε κάθετη θέση. Αυτό έπρεπε να γίνει γιατί τα μετρητικά όργανα του μετρητή, όπως ο επαγωγικός δίσκος και ο καταχωρητής, έχουν σχεδιαστεί για να λειτουργούν σε κάθετη θέση και οποιαδήποτε άλλη θέση θα έχει απόκλιση στο αποτέλεσμα της μέτρησης. Παρακάτω ακολουθούν φωτογραφίες από το θερμαντικό σώμα και την σύνδεσή του με τον μετρητή.



Εικόνα 25. Το θερμαντικό σώμα που χρησιμοποιήθηκε για το πείραμα



Εικόνα 26. Σύνδεση του σώματος με τον μετρητή

Το θερμαντικό σώμα συνδέθηκε μέσω του μετρητή στο δίκτυο. Στη συνέχεια χρειάζεται να μεταφορτωθεί το πρόγραμμα που έχουμε αναπτύξει με το arduino στον μικροεπεξεργαστή μέσω της ειδικής θύρας USB που έχει. Στη συνέχεια αποσυνδέουμε το καλώδιο USB από τον μικροεπεξεργαστή, αφού αυτός έχει πλέον φορτωμένο το πρόγραμμα που έχουμε αναπτύξει. Όπως έχουμε αναφέρει και σε προηγούμενο κεφάλαιο, ο μικροεπεξεργαστής τροφοδοτείται από το τροφοδοτικό του συστήματος αναβάθμισης το οποίο είναι συνδεδεμένο με την παροχή του μετρητή απευθείας και δεν χρειάζεται κάποια εξωτερική τροφοδοσία. Στη συνέχεια και αφού έχει φορτωθεί το πρόγραμμα στον μικροεπεξεργαστή ανοίγουμε την σειριακή θύρα του arduino, όπου θα σταλεί από τον επεξεργαστή σε μήνυμα η διεύθυνση ip του μικροεπεξεργαστή, στην οποία πρέπει να συνδεθούμε για να δούμε τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Τώρα είμαστε έτοιμοι να θέσουμε σε λειτουργία το σώμα να παρατηρήσουμε την λειτουργία του αναβαθμισμένου μετρητή και να ελέγξουμε τα αποτελέσματα που εμφανίζονται στην ιστοσελίδα.

4.4. Εμφάνιση και έλεγχος αποτελεσμάτων

Από την στιγμή πλέον που έχουμε φορτώσει το πρόγραμμα στο σύστημα αναβάθμισης του μετρητή θέτουμε σε λειτουργία το θερμαντικό σώμα. Όπως είναι λογικό ο επαγωγικός δίσκος του μετρητή αρχίζει να κινείται. Όταν περάσει το μαύρο σημάδι του δίσκου από τον αισθητήρα βλέπουμε την λυχνία του να ανάβει. Αυτό σημαίνει ότι ο αισθητήρας λειτουργεί σωστά και παράγει παλμούς κάθε φορά που «βλέπει» το μαύρο σημάδι του επαγωγικού δίσκου. Ωστόσο όταν έρθει ο πρώτος παλμός του αισθητήρα δεν θα παρατηρήσουμε κάποιο αποτέλεσμα στην ιστοσελίδα, διότι όπως έχουμε αναφέρει σε κεφάλαιο παραπάνω ο πρώτος παλμός δεν σημαίνει ότι έχει γίνει μία πλήρης περιστροφή του δίσκου και για αυτό έχει εξαιρεθεί από τον υπολογισμό της ενέργειας, της ισχύος και του κόστους. Ωστόσο, τυπώνεται στην σειριακή θύρα το μήνυμα «pulse 1», το οποίο σημαίνει ότι ο πρώτος παλμός από τον αισθητήρα έχει ανιχνευθεί από τον επεξεργαστή. Όταν έρθει ο δεύτερος παλμός τότε στην ιστοσελίδα που έχουμε συνδεθεί θα εμφανιστούν τα πρώτα αποτελέσματα που θα καταγράφουν την ενέργεια, την ισχύ και το κόστος της κατανάλωσης και την χρονική στιγμή που έγιναν αυτές οι μετρήσεις. Αντίστοιχα αυτό θα γίνεται και για τους επόμενους παλμούς. Επιπλέον, υπάρχει και το πεδίο από το οποίο μπορούμε να εισάγουμε τιμή του κόστους ανά μονάδα ενέργειας και έτσι να αλλάζουμε και την τιμολόγηση της ενέργειας όπως γίνεται με τους έξυπνους μετρητές. Εικόνες από τις συγκεκριμένες μετρήσεις ακολουθούν παρακάτω.

Cost of energy per Wh:

Tuesday, 11:29:16 the current cost of energy is 2 per Wh

Tuesday, 11:29:54 the power in w is:1050.26

Tuesday, 11:29:55 the consumption in wh is:2.67

Tuesday, 11:29:56 The cost of energy is: 5.34

Cost of energy per Wh:

Tuesday, 11:30:4 the power in w is:1042.40

Tuesday, 11:30:5 the consumption in wh is:5.34

Tuesday, 11:30:6 The cost of energy is: 10.68

Cost of energy per Wh:

Tuesday, 11:30:13 the power in w is:1040.60


```

Tuesday, 11:30:4 the power in w is:1042.40
Tuesday, 11:30:5 the consumption in wh is:5.34
Tuesday, 11:30:6 The cost of energy is: 10.68
Cost of energy per Wh:
Tuesday, 11:30:13 the power in w is:1040.60
Tuesday, 11:30:14 the consumption in wh is:8.01
Tuesday, 11:30:15 The cost of energy is: 16.02
Cost of energy per Wh:
Tuesday, 11:30:22 the power in w is:1038.01
Tuesday, 11:30:23 the consumption in wh is:10.68
Tuesday, 11:30:24 The cost of energy is: 21.36
Cost of energy per Wh:
Tuesday, 11:30:30 the current cost of energy is 4 per Wh
Tuesday, 11:30:31 the power in w is:1038.80
Tuesday, 11:30:32 the consumption in wh is:13.35
Tuesday, 11:30:33 The cost of energy is: 32.04
Cost of energy per Wh:

```

Εικόνες 27. 28. Εμφάνιση αποτελεσμάτων

Όπως βλέπουμε από τις εικόνες των αποτελεσμάτων κάθε φορά που έχουμε πλήρη περιστροφή του δίσκου, δηλαδή όταν έχουμε την παραγωγή παλμού από τον αισθητήρα, η ιστοσελίδα ενημερώνεται με τα νέα δεδομένα της κατανάλωσης και την χρονική στιγμή που μετρήθηκαν αυτά τα δεδομένα. Επιπλέον, μπορούμε ανά πάσα στιγμή να εισάγουμε από την ιστοσελίδα την τιμή της ενέργειας ανά μονάδα ενέργειας και η σελίδα μας επιστρέφει το συνολικό κόστος της κατανάλωσης.

Βεβαίως, χρειάζεται να γίνει επαλήθευση στα αποτελέσματα που συλλέξαμε, όσον αφορά την ισχύ και την ενέργεια. Από την στιγμή που γνωρίζουμε την ισχύ του θερμαντικού σώματος με το οποίο κάνουμε το πείραμα και το σώμα αυτό είναι το μόνο φορτίο το οποίο μετράει ο μετρητής θα πρέπει η τιμή που υπολογίζουμε για την ισχύ να προσεγγίζει σε έναν πολύ καλό βαθμό την ισχύ του σώματος. Αυτός ο έλεγχος έγινε, και όπως φαίνεται από τις εικόνες των αποτελεσμάτων είναι πολύ κοντά στο 1kwπου είναι η ισχύς του θερμαντικού σώματος που χρησιμοποιήσαμε. Σχετικά με την κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας ο έλεγχος που πρέπει να γίνει είναι ότι κάθε μέτρηση ενέργειας θα πρέπει να είναι πολλαπλάσιο του 2.67 που είναι η ενέργεια για μία πλήρη περιστροφή του δίσκου και με βάση αυτήν κάνουμε τις μετρήσεις. Όπως φαίνεται από τα παραπάνω σχήματα οι μετρήσεις της ενέργειας είναι σωστές αφού με την συμπλήρωση κάθε περιστροφής του δίσκου έχουμε νέα μέτρηση για την ενέργεια η οποία είναι πολλαπλάσιο του 2.67. Συνεπώς οι έλεγχοι για τις μετρήσεις και τους υπολογισμούς τόσο της ισχύος όσο και της ενέργειας ήταν ορθοί.

4.5. Συμπεράσματα

Από την διαδικασία του πειράματος μπορέσαμε να δείξουμε στην πράξη πόσο αποτελεσματική ήταν αυτή η αναβάθμιση του μετρητή. Συγκεκριμένα, εγκαταστήσαμε ένα σύστημα αναβάθμισης στον μετρητή το οποίο έχει την δυνατότητα να συνδέεται στο διαδίκτυο μέσω wifi. Μέσω αυτής της σύνδεσης μπορεί να επικοινωνήσει ασύρματα με το διαδίκτυο να στείλει και να δεχτεί δεδομένα. Τέλος, μπορεί να κάνει μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο για την ενέργεια, την ισχύ, και το κόστος για έναν καταναλωτή και συνεπώς ο καταναλωτής να έχει μία πλήρη εικόνα σε πραγματικό χρόνο σχετικά με την κατανάλωσή του. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να κάνει καλύτερη διαχείριση στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και να επωφεληθεί οικονομικά ενώ μπορεί επίσης να παρατηρήσει κάποια δυσλειτουργία στην εγκατάστασή του όπως μία διαρροή ρεύματος και να την διορθώσει έγκαιρα. Όλα τα παραπάνω είναι χαρακτηριστικά τα οποία έχει ένας έξυπνος μετρητής και εμείς με την συγκεκριμένη αναβάθμιση καταφέραμε να τα προσδώσουμε σε έναν συμβατικό παλαιού τύπου μετρητή.

Στην συνέχεια θα πρέπει να γίνει μία σύγκριση ανάμεσα στον έξυπνο μετρητή και τον αναβαθμισμένο συμβατικό μετρητή της εργασίας μας. Αυτή η σύγκριση θα γίνει σε επίπεδο λειτουργίας, αλλά και σε οικονομικό επίπεδο, ώστε να μπορέσουμε να καταλήξουμε στο συμπέρασμα αν αξίζει να αναβαθμίσουμε τους ήδη υπάρχοντες μετρητές από το να τους αντικαταστήσουμε με έξυπνους.

5. Σύγκριση αναβαθμισμένου με τον έξυπνο μετρητή

5.1. Εισαγωγή

Ύστερα από την εγκατάσταση του συστήματος αναβάθμισης, τον προγραμματισμό του μικροεπεξεργαστή και το πείραμα για τον έλεγχο της λειτουργίας του συστήματος, σε αυτό το κεφάλαιο θα κάνουμε μία σύγκριση ανάμεσα στον έξυπνο μετρητή και στον αναβαθμισμένο μετρητή αυτής της εργασίας. Θα τους συγκρίνουμε τόσο από οικονομική και περιβαλλοντική άποψη όσο και σχετικά με τον τρόπο λειτουργίας τους. Στόχος είναι να καταλήξουμε στο συμπέρασμα εάν μας συμφέρει να αναβαθμίσουμε τους ήδη υπάρχοντες μετρητές ή να εγκαταστήσουμε νέους έξυπνους μετρητές στη θέση τους.

5.2. Σύγκριση της λειτουργίας

Όπως αναφέραμε και στην εισαγωγή ο έξυπνος μετρητής είναι μια διάταξη μέτρησης της ηλεκτρικής ενέργειας η οποία έχει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τον παλιό συμβατικό μετρητή. Πρώτο πλεονέκτημα είναι ότι μπορεί να δείχνει σε πραγματικό χρόνο την κατανάλωση της ενέργειας και κατά επέκταση το κόστος αυτής της ενέργειας. Αυτό δίνει την δυνατότητα στον καταναλωτή να ελέγχει ανά πάσα στιγμή το ποσό κοστίζει η ενέργεια που δαπανά και να προσαρμόσει τις συνήθειές του ώστε να εξοικονομήσει σημαντικά χρηματικά ποσά και να προσφέρει εμμέσως σημαντικές περιβαλλοντολογικές υπηρεσίες. Ένα άλλο πλεονέκτημα του έξυπνου μετρητή είναι η ασύρματη σύνδεση του με το διαδίκτυο και η αποστολή των δεδομένων σχετικά με την ισχύ και την ενέργεια τόσο στον καταναλωτή όσο και στον πάροχο ενέργειας. Με βάση αυτά τα δεδομένα η εταιρεία παροχής ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να εφαρμόσει διαφορετική τιμολόγηση στην κατανάλωση της ενέργειας ανάλογα με την ώρα, την εποχή ή ακόμα και το είδος της κατανάλωσης. Επομένως, άλλο ένα πλεονέκτημα του έξυπνου μετρητή είναι ότι δίνει την δυνατότητα στον πάροχονα εφαρμόσει πολλαπλή τιμολόγηση στους καταναλωτές ανάλογα με την ώρα, τον τύπο και είδος της κατανάλωσης.

Με την προσθήκη του συστήματος αναβάθμισης που αναφέρθηκε στο δεύτερο κεφάλαιο και τον προγραμματισμό του μικροεπεξεργαστή που αναλύθηκε στο τρίτο κεφάλαιο, ένας συμβατικός μετρητής μπορεί να αναβαθμιστεί και να εκτελέσει λειτουργίες τις οποίες κάνει ένας έξυπνος μετρητής. Με αυτόν τον τρόπο ο αναβαθμισμένος μετρητής μπορεί να στέλνει ασύρματα μέσω WiFi δεδομένα σχετικά με την ισχύ και την ενέργεια του καταναλωτή σε πραγματικό χρόνο. Επιπλέον, ο μικροεπεξεργαστής που είναι στην διάταξη έχει προγραμματιστεί έτσι ώστε ο πάροχος να μπορεί να αλλάζει την χρέωση στην ενέργεια οποία στιγμήτο επιθυμεί. Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε με έναν συμβατικό μετρητή να προσεγγίσουμε τις επιπλέον λειτουργίες που έχει ένας έξυπνος, σε πολύ ικανοποιητικό βαθμό. Όλες αυτές οι λειτουργίες ελέγχθηκαν μέσω ενός πειράματος και τα αποτελέσματα ήταν ικανοποιητικά (βλ. προηγούμενο κεφάλαιο).

Τέλος, πρέπει να τονιστεί ότι η διάταξη που προσθέσαμε στον μετρητή καταλαμβάνει πολύ λίγο χώρο και τοποθετείται εντός του συμβατικού μετρητή σε λίγα μόνο λεπτά. Συνεπώς, ο πάροχος μπορεί να προσθέσει την συγκεκριμένη διάταξη σε έναν συμβατικό μετρητή χωρίς να επηρεαστεί σημαντικά η λειτουργία της εγκατάστασης. Ίσως μάλιστα να επηρεαστεί η λειτουργία της εγκατάστασης λιγότερο ακόμα και από την εναλλακτική λύση της πλήρους απεγκατάστασης του συμβατικού και την τοποθέτηση ενός έξυπνου μετρητή στην θέση του. Ο νέος αναβαθμισμένος μετρητής μπορεί να κλειδώνεται από τον πάροχο με την χρήση των υπάρχοντων θέσεων για μολυβοσφραγίδες (σημειώνεται ότι η αναβάθμιση γίνεται εντός του αντίστοιχου κουτιού του μετρητή) και μόνο αυτός να μπορεί να τον ανοίξει ώστε να προγραμματίσει τον μικροεπεξεργαστή σε περίπτωση που θέλει να αλλάξει κάτι στην λειτουργία του μετρητή (π.χ. αναβάθμιση λογισμικού). Επίσης, το τροφοδοτικό της διάταξης παίρνει απευθείας ρεύμα από την παροχή του μετρητή και έτσι δεν χρειάζεται επιπλέον εξωτερική τροφοδοσία ώστε να λειτουργήσει η διάταξη.

5.3. Οικονομική σύγκριση

Απαραίτητο για την σύγκριση μεταξύ έξυπνου και αναβαθμισμένου μετρητή ενέργειας είναι και το οικονομικό κριτήριο. Δηλαδή πρέπει να συγκρίνουμε το κόστος που χρειάζεται η αντικατάσταση ενός συμβατικού

μετρητή από έναν έξυπνο με το κόστος της εγκατάστασης του συστήματος αναβάθμισης σε έναν συμβατικό μετρητή που υπάρχει ήδη.

Σχετικά με την αντικατάσταση ενός συμβατικού μετρητή με έναν έξυπνο, σύμφωνα με ένα άρθρο του Μαΐου του 2019[8] ο ΔΕΔΔΗΕ έχει ξεκινήσει διαδικασία αναζήτησης εξειδικευμένης εταιρείας για την αντικατάσταση 7.5 εκατομμυρίων συμβατικών μετρητών με έξυπνους. Ο συνολικός προϋπολογισμός αυτού του εγχειρήματος ανέρχεται στο 1 δισεκατομμύριο ευρώ. Άρα το κόστος για την αντικατάσταση ενός μετρητή είναι περίπου 133 ευρώ. Όσον αφορά το κόστος της αναβάθμισης του συμβατικού μετρητή θα χρειαστεί να γίνει μία πιο εμπεριστατωμένη ανάλυση. Η συνολική διάταξη αποτελείται από: α) τον μικροεπεξεργαστή ESP 8266, το κόστος του οποίου είναι περίπου 2,5 ευρώ, β) το τροφοδοτικό το οποίο μπορεί να βρεθεί στην αγορά με κόστος 5 ευρώ και γ) από την υπόλοιπη διάταξη του αισθητήρα και επεξεργαστή σε κοινή πλακέτα που κοστίζει γύρω στα 5 ευρώ. Άρα το συνολικό κόστος της διάταξης είναι περίπου στα 12,5 συν το κόστος για την εγκατάσταση της διάταξης στον μετρητή. Το κόστος εγκατάστασης του συστήματος αναβάθμισης υπολογίζεται βάσει του χρόνου που απαιτείται για αυτό και λοιπά μικρότερα έξοδα (π.χ. κόστος μετάβασης κλπ) που είναι πολύ δύσκολο να υπολογιστούν με ακρίβεια. Ένα λογικό κόστος εγκατάστασης ορίστηκε το ποσό των 20 ευρώ, κυρίως βάσει του χρόνου των 20' που απαιτείται από έναν εγκαταστάτη για την αναβάθμιση. Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί ότι το σύστημα αναβάθμισης δημιουργήθηκε σε εργαστηριακό περιβάλλον και με εργαστηριακούς πόρους επομένως αν γίνει μαζική παραγωγή αυτού του συστήματος το κόστος του μπορεί να γίνει ακόμη πιο χαμηλό. Προφανώς, το κόστος των επιμέρους κομματιών του συστήματος θα μειωθεί αν αγορασθούν σε μεγάλες ποσότητες. Εάν γίνει μαζική αναβάθμιση των υπαρχόντων συμβατικών μετρητών, τότε αναμένεται να μειωθεί ανάλογα και το κόστος εγκατάστασης των συστημάτων αναβάθμισης στους συμβατικούς μετρητές.

Συνεπώς, είναι ξεκάθαρο ότι ο πάροχος ηλεκτρικής ενέργειας θα εξοικονομήσει σημαντικά ποσά με την αναβάθμιση των ήδη εγκατεστημένων συμβατικών μετρητών στο δίκτυο, από τον αρχικό προϋπολογισμό της αντικατάστασης των παλιών μετρητών από έξυπνους.

5.4. Περιβαλλοντική άποψη

Ένα ακόμη θέμα που θα προκύψει από την αντικατάσταση των παλιών μετρητών ενέργειας από έξυπνους θα είναι η περιβαλλοντική επιβάρυνση ενός τέτοιου εγχειρήματος. Μετά την αντικατάσταση, οι παλαιοί συμβατικοί μετρητές θα πρέπει να αποσυρθούν δημιουργώντας με αυτόν τον τρόπο έναν μεγάλο όγκο απορριμμάτων. Από αυτόν τον μεγάλο όγκο απορριμμάτων μόνο ένα μέρος τους μπορεί να ανακυκλωθεί ενώ τα υπόλοιπα θα επιβαρύνουν το περιβάλλον. Όμως με την αναβάθμιση των παλαιών συμβατικών μετρητών δεν θα χρειάζεται να αποσυρθούν οι παλαιοί μετρητές και συνεπώς δεν θα δημιουργηθεί αυτός ο μεγάλος όγκος απορριμμάτων. Επομένως, η αναβάθμιση των συμβατικών μετρητών συμφέρει και από περιβαλλοντικής άποψης.

5.5. Συμπεράσματα

Από τις παραπάνω παραγράφους μπορούμε να καταλήξουμε εύκολα στο συμπέρασμα ότι αξίζει να γίνει αναβάθμιση στους ήδη υπάρχοντες παλιούς μετρητές από το να γίνει ολική αντικατάσταση τους από έξυπνους. Ο αναβαθμισμένος μετρητής με την προσθήκη της ειδικής διάταξης προσεγγίζει σε έναν πολύ ικανοποιητικό βαθμό την λειτουργία ενός έξυπνου μετρητή. Αυτό, σε συνδυασμό με το χαμηλό κόστος αναβάθμισης και την χαμηλότερη επιβάρυνση του περιβάλλοντος σε σχέση με την ολική αντικατάσταση κάνει αυτήν την αναβάθμιση αξία προσοχής από τους διαχειριστές των δικτύων.

6. Γενικά συμπεράσματα

6.1. Εισαγωγή

Στόχος της παρούσας εργασίας ήταν η αναβάθμιση ενός συμβατικού μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας ώστε να επιτελεί τις λειτουργίες ενός έξυπνου μετρητή. Για να επιτευχθεί αυτή η αναβάθμιση έπρεπε να γίνει ο σχεδιασμός, η υλοποίηση, η εγκατάσταση και ο προγραμματισμός ενός συστήματος αναβάθμισης το οποίο θα προσδώσει στον συμβατικό μετρητή λειτουργίες έξυπνου. Έτσι, με αυτήν την αναβάθμιση δεν θα είναι αναγκαία η αντικατάσταση όλων των συμβατικών μετρητών με έξυπνους και θα δίνεται μία εναλλακτική λύση για τις εταιρείες ηλεκτρικής ενέργειας.

Αρχικά, μελετήθηκαν και τα δύο είδη μετρητή ενέργειας, συμβατικός και έξυπνος, ώστε να καταγραφούν ποιες είναι οι επιπλέον λειτουργίες που επιτελεί ένας έξυπνος μετρητής σε σχέση με έναν συμβατικό. Στην συνέχεια, αναλύθηκε πως μπορούμε να εισάγουμε αυτές τις λειτουργίες στον συμβατικό μετρητή.

Επόμενο στάδιο στην εργασία ήταν η υλοποίηση του συστήματος αναβάθμισης που εγκαταστήσαμε στον συμβατικό μετρητή. Τα κύρια μέρη αυτού του συστήματος αναβάθμισης ήταν ένας οπτικός αισθητήρας και ένας μικροεπεξεργαστής ESP8266, ο οποίος έχει την δυνατότητα σύνδεσης στο διαδίκτυο μέσω wifi. Η λειτουργία του οπτικού αισθητήρα ήταν η παρακολούθηση της κίνησης του επαγωγικού δίσκου του συμβατικού μετρητή. Όταν γινόταν μία πλήρης περιστροφή του δίσκου ο αισθητήρας εξέπεμπε έναν παλμό, ο οποίος στην συνέχεια οδηγούταν στον μικροεπεξεργαστή.

Επόμενο βήμα της εργασίας ήταν ο προγραμματισμός του επεξεργαστή, ο οποίος έγινε με την γλώσσα arduino. Κάθε παλμός που παραγόταν από τον αισθητήρα αντιστοιχούσε σε μία πλήρη περιστροφή του δίσκου του μετρητή και επομένως σε ένα συγκεκριμένο ποσό ενέργειας που είχε καταναλωθεί. Το πρόγραμμα που αναπτύχθηκε ανίχνευε τον κάθε παλμό, έκανε τις απαραίτητες πράξεις για να υπολογίσει την ισχύ, την ενέργεια και το κόστος της κατανάλωσης και αυτά τα δεδομένα τα έστελνε σε μία ιστοσελίδα μαζί με την χρονική στιγμή που έγινε αυτός ο υπολογισμός.

Επιπλέον, το πρόγραμμα έδινε την δυνατότητα μέσα από μία ιστοσελίδα να αλλάζει η τιμολόγηση της ενέργειας ανά πάσα στιγμή.

Τελικό στάδιο της εργασίας ήταν ο έλεγχος της λειτουργίας του συνολικού συστήματος αναβάθμισης μέσω ενός πειράματος. Κατά την διαδικασία του πειράματος διαπιστώθηκε ότι ο συμβατικός μετρητής με εγκατεστημένο το σύστημα αναβάθμισης πλέον επιτελούσε λειτουργίες και έξυπνου μετρητή όπως η μέτρηση ισχύος, ενέργειας και κόστους σε πραγματικό χρόνο αλλά και η πολλαπλή τιμολόγηση με την εναλλαγή του τιμολογίου.

6.2. Πλεονεκτήματα

Μέσα από την εκπόνηση της εργασίας καταφέραμε να αναβαθμίσουμε έναν συμβατικό μετρητή και να του προσδώσουμε λειτουργίες έξυπνου μετρητή. Έτσι, ο μετρητής κάνει μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο, συνδέεται με το διαδίκτυο όπου στέλνει τις μετρήσεις του και δέχεται από το διαδίκτυο πληροφορίες (ως παράδειγμα δοκιμάστηκε η πολλαπλή τιμολόγηση του παρόχου).

Βασικό πλεονέκτημα του αναβαθμισμένου μετρητή σε σχέση με τον έξυπνο, όπως αναλύθηκε και στο αντίστοιχο κεφάλαιο της διπλωματικής, είναι το οικονομικό κόστος. Το συνολικό σύστημα αναβάθμισης είναι πολύ φθινό, και αυτό μαζί με την εύκολη εγκατάστασή του σε έναν συμβατικό μετρητή κάνει το συνολικό κόστος αναβάθμισης πολύ μικρότερο σε σχέση με την αντικατάσταση του συμβατικού μετρητή με έξυπνο μετρητή. Άλλο ένα πλεονέκτημα που αναλύθηκε στο ίδιο κεφάλαιο είναι η περιβαλλοντική επιβάρυνση που θα αποφευχθεί αν αναβαθμίσουμε τους ήδη υπάρχοντες συμβατικούς μετρητές. Διαφορετικά σε περίπτωση που γίνει αντικατάσταση των μετρητών, όλοι οι παλιοί συμβατικοί μετρητές θα αποσυρθούν δημιουργώντας μεγάλο όγκο απορριμμάτων.

Συνεπώς, το συμπέρασμα που προκύπτει από την συγκεκριμένη εργασία είναι ότι οι εταιρείες ηλεκτρικής ενέργειας αξίζει να ασχοληθούν με την αναβάθμιση των ήδη υπάρχοντων συμβατικών μετρητών ενέργειας. Διότι προσφέρει τα ίδια αποτελέσματα σε σχέση με την ολική αντικατάσταση

των μετρητών και επιπλέον θα υπάρχει και οικονομικό και περιβαλλοντικό όφελος.

6.3. Μελλοντική επέκταση

Η συγκεκριμένη εργασία μπορεί να δεχθεί αρκετές βελτιώσεις και επεκτάσεις, ώστε να έχουμε μία πιο ολοκληρωμένη εικόνα σχετικά με την κατανάλωση της ενέργειας.

Μία πρώτη βελτίωση θα μπορούσε να είναι η διαχείριση του πρώτου παλμού του αισθητήρα που καταφθάνει στον μικροεπεξεργαστή. Όπως αναφέραμε στο αντίστοιχο κεφάλαιο ο πρώτος παλμός καταγράφεται αλλά δεν λαμβάνεται υπόψη για τους υπολογισμούς γιατί δεν συνεπάγεται ότι έχουμε μία πλήρη περιστροφή του επαγωγικού δίσκου του συμβατικού μετρητή. Ωστόσο, με αυτόν τον τρόπο θα υπάρχει μία απόκλιση στις μετρήσεις που θα γίνουν. Έτσι, μία πρόταση θα ήταν η εκτίμηση ότι πρώτος παλμός αντιστοιχεί, κατά μέσο όρο, σε μίση περιστροφή ή ένα άλλο ποσό ενέργειας και να λαμβάνεται υπόψη για τους υπολογισμούς της ισχύος, της ενέργειας και του κόστους.

Άλλη μία επέκταση θα μπορούσε να είναι η ανάπτυξη ενός «έξυπνου» λογισμικού το οποίο θα λαμβάνει όλα τα δεδομένα που μετρούνται από τον αναβαθμισμένο μετρητή και να παρέχει συμβουλές στον εκάστοτε καταναλωτή σχετικά με την κατανάλωσή του αν αυτή είναι υπερβολική για μεγάλο χρονικό διάστημα. Ακόμη, αν η κατανάλωση ενέργειας περάσει ένα όριο, θα μπορούσε να δίνει εντολή σε έναν κεντρικό οικιακό ελεγκτή που θα θέτει εκτός λειτουργίας κάποιες συσκευές ώστε να μειωθεί η κατανάλωση και συνεπώς το κόστος της.

6.4. Προσωπικά συμπεράσματα

Μέσα από την συνολική διαδικασία εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας εκτός από τα τεχνικά συμπεράσματα προέκυψαν και προσωπικά συμπεράσματα.

Αρχικά, διαπίστωσα ότι για την επίτευξη της λύσης σε ένα πρόβλημα απαιτείται η μεθοδική προσέγγιση και συστηματική ενασχόληση με αυτό. Σε αυτό σημαντικό ρόλο έπαιξε η ανάλυση του συνολικού προβλήματος

σε επιμέρους μικρότερα προβλήματα και η λύση σε πρώτο βαθμό των επιμέρους αυτών προβλημάτων. Όλες αυτές οι επιμέρους λύσεις συνδυάστηκαν με σκοπό την επίτευξη μίας συνολικής λύσης για το πρόβλημα.

Άλλη μία εμπειρία που αποκόμισα από την εκπόνηση της εργασίας είναι ότι για την επίτευξη του στόχου μας χρειάζεται επιμονή και λογική σκέψη. Κατά την διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας υπήρξαν πολλές περιπτώσεις στις οποίες η εύρεση της λύσης ήταν δύσκολη ωστόσο με επιμονή και μεθοδικότητα κατάφερα να πετύχω το αποτέλεσμα που επιθυμούσα.

Τέλος, ένα ακόμη θετικό στοιχείο που αποκόμισα από όλη αυτή τη διαδικασία ήταν η συνεργασία με έμπειρους μηχανικούς τόσο σε θεωρητικό όσο και σε πρακτικό επίπεδο. Η συνεργασία μαζί τους με βοήθησε σε πολύ μεγάλο βαθμό κατά την διάρκεια της υλοποίησης του συστήματος με θεωρητικές συμβουλές για καλύτερη προσέγγιση του προβλήματος. Ενώ, κατά την διαδικασία του πειράματος με την παροχή εργαστηριακού υλικού και τεχνογνωσίας έγινε εφικτή η σωστή εκτέλεση του πειράματος.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Κώδικας Μικροεπεξεργαστή

```
#include<ESP8266WiFi.h>
Εισαγωγή βιβλιοθήκης για σύνδεση του ESP8266 με το διαδίκτυο μέσω wifi
#include<WiFiClient.h>
Εισαγωγή βιβλιοθήκης για χρήση πελάτη
#include<ESP8266WebServer.h>
Εισαγωγή βιβλιοθήκης για εξυπηρετητή
#include<NTPClient.h>
Εισαγωγή πελάτη για ενημέρωση ώρας
#include<WiFiUdp.h>
Εισαγωγή της βιβλιοθήκης για πρωτόκολλο UDP το οποίο χρησιμοποιεί ο NTPClient

#define SendKey 0
int digD8 = 15;
Ορισμός της θύρας d8 του μικροεπεξεργαστή ώστε να ενεργοποιηθεί
int port = 80; //Portnumber
Ορισμός της θύρας του εξυπηρετητή
WiFiServer server(port);
Ορισμός του εξυπηρετητή

//Server connect to WiFi Network
const char *ssid = ""; //Enter your wifi SSID
const char *password = ""; //Enter your wifi Password
Εισαγωγή και ορισμός των στοιχείων του δικτύου wifi που θα συνδεθούμε (συμπληρώνονται με το
όνομα του δικτύου και τον κωδικό του)

const long utcOffsetInSeconds = 7200; // ώρα Ελλάδος
Ορισμός της ώρας Ελλάδος με διαφορά σε δευτερόλεπτα από το GMT

char daysOfTheWeek[7][12] = {"Sunday", "Monday", "Tuesday", "Wednesday", "Thursday",
"Friday", "Saturday"};
Ορισμός μερών εβδομάδας

WiFiUDP ntpUDP;
NTPClient timeClient(ntpUDP, "pool.ntp.org", utcOffsetInSeconds);
Ορισμός του πελάτη χρόνου ο οποίος θα παίρνει στοιχεία για την ώρα από τον NTPClient μέσω
UDP

int count=0;
//=====
//
//          Power on setup
//=====
//
void setup()
{
```

```
Serial.begin(9600);
```

Εκκίνηση σειριακής θύρας

```
pinMode(SendKey, INPUT_PULLUP);
```

Ενεργοποίηση μικροεπεξεργαστή για να δέχεται και να στέλνει δεδομένα

```
Serial.println();
```

```
WiFi.mode(WIFI_STA);
```

```
WiFi.begin(ssid, password); //Connect to wifi
```

Εκκίνηση σύνδεσης με το wifi

```
// Waitforconnection
```

```
Serial.println("Connecting to Wifi");
```

```
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
```

```
    delay(500);
```

```
Serial.print(".");
```

```
delay(500);
```

Αναμονή για σύνδεση στο wifi κατά την οποία τυπώνονται τελείες στην σειριακή θύρα

```
}
```

```
timeClient.begin();
```

Εκκίνηση πελάτη ώρας

```
Serial.println("");
```

```
Serial.print("Connected to ");
```

```
Serial.println(ssid);
```

```
Serial.print("IP address: ");
```

```
Serial.println(WiFi.localIP());
```

```
server.begin();
```

```
Serial.print("Connect to IP:");
```

```
Serial.print(WiFi.localIP());
```

```
Serial.print(" on port ");
```

```
Serial.println(port);
```

Όταν γίνει η σύνδεση τυπώνεται στην σειριακή η διεύθυνση IP στην οποία πρέπει να συνδεθούμε

```
pinMode(digD8, INPUT);
```

Ενεργοποίηση της ψηφιακής θύρας d8 του μικροεπεξεργαστή η οποία θα είναι είσοδος για ψηφιακά σήματα

```
}
```

```
intcycles = 0;
```

Ορισμός μεταβλητής για τους κύκλους του επαγωγικού δίσκου

```
intpulse;
```

Ορισμός της μεταβλητής για τον παλμό που φτάνει στο d8

```
floatw;
```

Ορισμός της μεταβλητής της ισχύος

```
floatwh;
```

Ορισμός της μεταβλητής της ενέργειας

```
floatTime1 = 0;
```

Ορισμός της μεταβλητής για τον χρόνο εκκίνησης μίας πλήρους περιστροφής του δίσκου

```

floatTime2;
Ορισμός της μεταβλητής για τον χρόνο τερματισμού μίας πλήρους περιστροφής του δίσκου
floatcycle;
Ορισμός της μεταβλητής για τον χρόνο που χρειάστηκε για να γίνει μία πλήρης περιστροφή του
δίσκου
charrx_byte = 0;
Ορισμός του στοιχείου που θα εισάγουμε από τον πελάτη
intprice ;
Ορισμός της μεταβλητής για τιμή ανά μονάδα ενέργειας
floatcyclecost;
Ορισμός της μεταβλητής για το κόστος μίας πλήρους περιστροφής του δίσκου
floatcost;
Ορισμός της μεταβλητής για το συνολικό κόστος της ενέργειας

//=====
=
//          Loop
//=====
=

voidloop()
{ timeClient.update();
Ενημέρωση του πελάτη ώρας
WiFiClient client = server.available();
Εκκίνηση πελάτη όταν έχουμε διαθέσιμο εξυπηρετητή

if (client) {
    if(client.connected())
    {
        Serial.println("Client Connected");
        Όταν συνδεθεί ο πελάτης θα τυπωθεί στη σειριακή θύρα το μήνυμα client connected

client.println("<!DOCTYPE html><html>");
Αποστολή σελίδας σε html
        client.println("<body><h1>Energy measurments</h1>");
        Τίτλος σελίδας
        client.print("<label> Price per wh:</label>");
        client.println("<form action=/get target=hidden-form>");
        Πεδίο εισαγωγής για την τιμή ανά μονάδα ενέργειας
        client.println("<input type=number id=price name=price>");
        client.println("<input type=submit value=Submit>");
        Κουμπί υποβολής της τιμής
        client.println("</form>");
        client.println("<br>");
        client.println("<hr>");

    }

while(client.connected()){
Όσο είναι συνδεδεμένος ο πελάτης

```

```

pulse = digitalRead(digD8); // αναγνώριση παλμού
Αναγνώριση παλμού και αποθήκευσή του στην μεταβλητή pulse
if(pulse == 1){ // υπολογισμός ισχύος
Όταν έρθει παλμός
cycles = cycles+1;
Αυξάνεται η μεταβλητή cycles κατά 1
Time2 = millis();
Η μεταβλητή Time2 παίρνει την τρέχουσα τιμή του χρόνου μέσω της συνάρτησης millis()
cycle = Time2 - Time1;
Η διαφορά της προηγούμενης τιμής με την καινούργια αποθηκεύονται στην μεταβλητή cycle και
αυτός είναι ο χρόνος περιστροφής του δίσκου
delay(1000);
Time1 = Time2;
Θέτουμε την Time2 ίση με την Time1 και περιμένουμε επόμενο παλμό για να κάνουμε την ίδια
διαδικασία
if(cycles == 1){
Εάν είναι ο πρώτος παλμός (επομένως δεν έχουμε πλήρη περιστροφή του επαγωγικού δίσκου)
Serial.println("pulse 1"); // πρώτος παλμός
Τυπώνεται στην σειριακή θύρα το μήνυμα pulse 1
}
if(cycles > 1){ // αφαιρώ την πρώτη στροφή
Εάν είναι μετά τον πρώτο παλμό (επομένως έχουμε πλήρη περιστροφή του επαγωγικού δίσκου)

Serial.print("cycle:");
Serial.println(cycle);
Τυπώνεται στην σειριακή θύρα ένα μήνυμα που λέει τον χρόνο περιστροφής του δίσκου
w = 9612000/cycle; // 2.67*3600ws/cycle/1000s
Υπολογίζεται και αποθηκεύεται στην μεταβλητή w η μέση ισχύς
client.print(daysOfTheWeek[timeClient.getDay()]);
client.print(", ");
client.print(timeClient.getHours());
client.print(":");
client.print(timeClient.getMinutes());
client.print(":");
client.print(timeClient.getSeconds());
client.print(" the power in w is:");
client.println(w);
Τυπώνεται στην ιστοσελίδα η ημέρα, η ώρα, τα λεπτά και τα δευτερόλεπτα που έγινε η μέτρηση
μαζί με την αντίστοιχη μέτρηση
client.println("<br>");
delay(1000);

}
}
if(pulse == 1){ // υπολογισμός ενέργειας
if(cycles > 1){ // αφαιρώ την πρώτη στροφή

```

Ίδιοι έλεγχοι όπως και από πάνω για τον παλμό και αν αυτός είναι ο πρώτος

wh = 2.67*(cycles-1); // επί 2.67 wh ο κύκλος

Υπολογισμός της συνολικής ενέργειας και αποθήκευση στην μεταβλητή wh

client.print(daysOfTheWeek[timeClient.getDay()]);

client.print(", ");

client.print(timeClient.getHours());

client.print(":");

client.print(timeClient.getMinutes());

client.print(":");

client.print(timeClient.getSeconds());

client.print(" the consumption in wh is:");

client.println(wh);

Εμφάνιση των αποτελεσμάτων μαζί με την ακριβή ώρα στην ιστοσελίδα

client.println("
");

delay(1000); // καθυστέρωμα 1 sec

}

}

while(client.available(>0)){

rx_byte = client.read();

Ανάγνωση του πεδίου εισαγωγής

price = rx_byte.toInt();

Μετατροπή σε ακέραιο αριθμό και αποθήκευση στην μεταβλητή price

}

if(pulse == 1){ //υπολογισμός κόστους

if(cycles > 1){

Ίδιοι έλεγχοι με παραπάνω για τον παλμό και αν αυτός είναι ο πρώτος

cyclecost = price * 2.67;

Υπολογισμός του κόστους μίας πλήρους περιστροφής και αποθήκευση στην μεταβλητή cyclecost

cost += cyclecost;

Προσθήκη κάθε cyclecost η οποία υπολογίζεται στην μεταβλητή cost

client.print(daysOfTheWeek[timeClient.getDay()]);

client.print(", ");

client.print(timeClient.getHours());

client.print(":");

client.print(timeClient.getMinutes());

client.print(":");

client.print(timeClient.getSeconds());

client.print(" The cost of energy is: ");

client.print(cost);

client.print(" with price: ");

client.print(price);

client.println(" per wh.");

Εμφάνιση συνολικού κόστους κατανάλωσης μαζί με την ακριβή χρονική στιγμή που έγινε αυτός ο υπολογισμός

```
client.println("<br>");  
    }  
}  
}
```

```
    }  
    client.stop();  
    client.println("</body>");  
    client.println("</html>");  
    Serial.println("Clientdisconnected");
```

Αποσύνδεση του πελάτη με κλείσιμο της ιστοσελίδας και εμφάνιση στην σειριακή θύρα του μηνύματος clientdisconnected

```
delay(1000);  
}
```


ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]http://www.admie.gr/uploads/media/Egcheiridio_Metriseon_v6-1_draft1_3.pdf (Εγχειρίδιο Μετρητών και Μετρήσεων του ΑΔΜΗΕ Α.Ε.)
- [2]http://www.ee.teihal.gr/lessons/metrology/private/uploads/ERG_ASK11_METRHTHS.pdf
- [3]"Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Καταναλωτών" Πέτρος Ντοκόπουλος κεφάλαιο 10.4.2 "Μετρητές"
- [4]<https://ilektroaytomatismoi.blogspot.com/2017/06/tas.html>
- [5] "Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Καταναλωτών" Πέτρος Ντοκόπουλος κεφάλαιο 10.4.3 "Τηλεχειρισμός Ακουστικής Συχνότητας (ΤΑΣ), Τηλεμετρήσεις"
- [6] <http://digilib.teiemt.gr/jspui/bitstream/123456789/1503/1/012013079.pdf>
- [7]<https://www.edn.com/design/power-management/4368353/What-s-inside-a-smart-meter-iFixit-tears-it-down>
- [8]
<https://energyin.gr/2019/05/21/%CE%B4%CE%B5%CE%B4%CE%B4%CE%B7%CE%B5-%CE%AD%CF%81%CE%B5%CF%85%CE%BD%CE%B1-%CE%B1%CE%B3%CE%BF%CF%81%CE%AC%CF%82-%CE%B3%CE%B9%CE%B1-%CF%84%CE%BF%CF%85%CF%82-%CE%AD%CE%BE%CF%85%CF%80%CE%BD/>