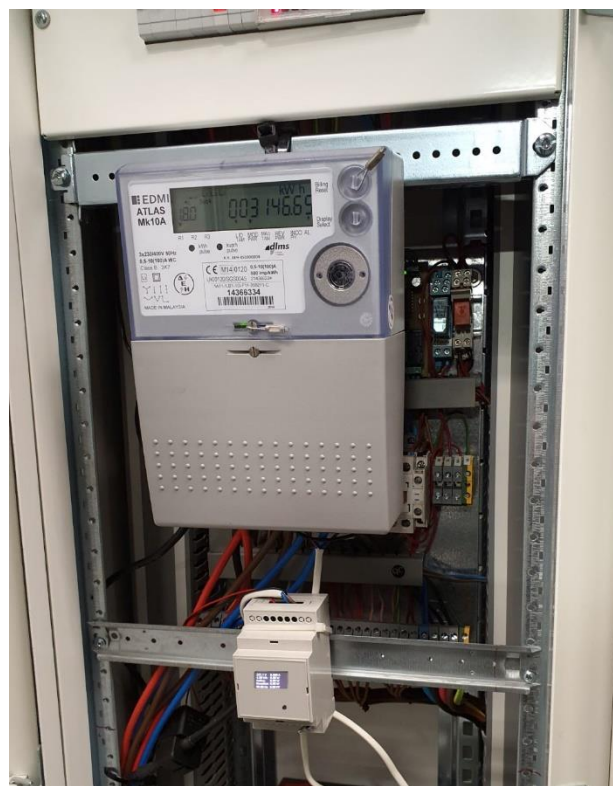


## ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

“Μελέτη και κατασκευή έξυπνης και οικονομικής μετρητικής διάταξης ηλεκτρικών φορτίων και σύγκριση με συμβατικό μετρητή και άλλα smart meter.”



Φοιτητής: Υφαντίδης Κωνσταντίνος, Α.Μ. IES-0041

Επιβλέπων: Βόκας Γεώργιος, καθηγητής

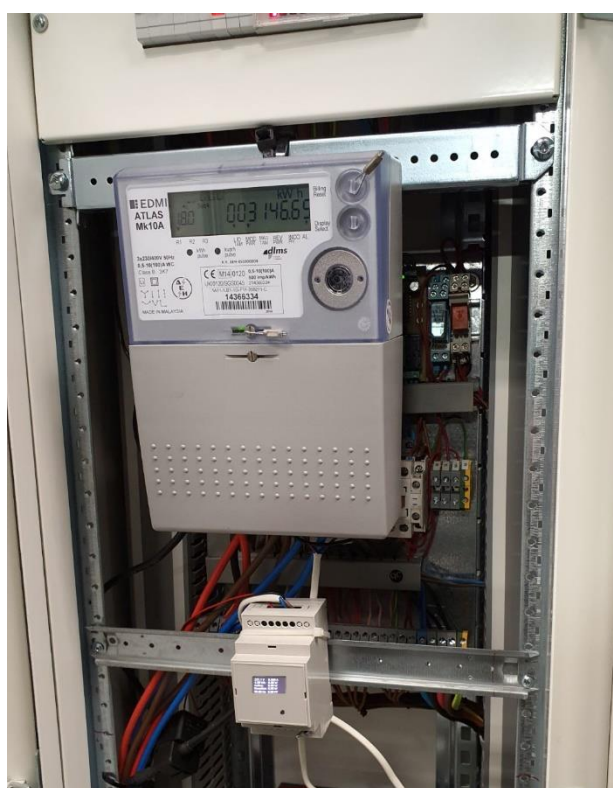
ΑΙΓΑΛΕΩ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2022

---



## MSc Thesis

“Design and implementation of a low-cost smart power meter and comparison with standard and other smart power meters.”



Student: Ifantidis Konstantinos, Reg. Nr. IES-0041

MSc Thesis Supervisor: Prof. George Vokas

ATHENS-EGALEO, JULY 2022

---

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο συνδυασμός ηλεκτρονικών βαθμίδων μέτρησης ηλεκτρικών φορτίων με τα διαδικτυωμένα ηλεκτρονικά συστήματα προσφέρουν δυνατότητες απομακρυσμένης επιτήρησης και ελέγχου σε πολλά συστήματα που βρίσκονται γύρω μας.

Σε αυτή την πτυχιακή θα δούμε μερικούς από τους έξυπνους μετρητές που χρησιμοποιούνται στο εμπόριο καθώς και τις δυνατότητες τους. Θα παρουσιαστούν τοπολογίες και τεχνικές μέτρησης ηλεκτρικών φορτίων καθώς και μερικά ολοκληρωμένα κυκλώματα τα οποία έχουν αντικαταστήσει παλαιότερα ογκώδη και υψηλού κόστους κυκλώματα μέτρησης.

Θα γίνει σχεδιασμός, μελέτη και κατασκευή έξυπνου μετρητή χαμηλού κόστους ηλεκτρικών φορτίων ο οποίος θα δίνει στον χρήστη την δυνατότητα να επιτηρεί και να ελέγχει ηλεκτρικά φορτία με την χρήση smartphone.

Τέλος με το πέρας της κατασκευής του μετρητή θα πραγματοποιηθούν μετρήσεις ηλεκτρικών φορτίων χρησιμοποιώντας τον δικό μας μετρητή αλλά και αυτών του εμπορίου ώστε να μπορέσουμε να τους συγκρίνουμε ως προς τα εξής χαρακτηριστικά:

1. Ακρίβεια μέτρησης των ηλεκτρικών στοιχείων.
2. Δυνατότητες-Λειτουργίες μετρητών
3. Κόστος
4. Μέγεθος
5. Ευκολία εγκατάστασης

Στο τέλος της εργασίας θα σημειωθούν οι παρατηρήσεις δυσκολιών κατά την διεξαγωγή της διπλωματικής εργασίας αλλά και προτάσεις βελτίωσης της.

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Ευχαριστώ τον εισηγητή και επιβλέποντα της Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας Καθηγητή κ. Γεώργιο Βόκα για την καθοδήγηση και στήριξή του κατά την εκπόνησή της.

Ευχαριστώ τον κ. Κωνσταντίνο Κουκουβίνο που μου επέτρεψε να χρησιμοποιήσω τις εγκαταστάσεις της εταιρείας του “H.E.C.” για να πραγματοποιήσω τις συγκριτικές μετρήσεις με τον μετρητή ATLAS MK10A που χρειάστηκαν στην Διπλωματική Εργασία μου.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον κ. Κωνσταντίνο Χατζηϊωάννου από την Α.Δ.Μ.Η.Ε. για την προσφορά του εξοπλισμού της τηλεμετρικής και την άδεια πρόσβασης στην πλατφόρμα της Α.Δ.Μ.Η.Ε., για την εξαγωγή των δεδομένων από τις μετρήσεις του έξυπνου μετρητή της πειραματικής διάταξης.

Copyright © Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής και Υφαντίδης Κωνσταντίνος, Ιούλιος 2022

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας διπλωματικής εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται στην παρούσα διπλωματική εργασία εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ-ΑΚΡΩΝΥΜΙΩΝ- ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

SM	: Smart Meter
IoT	: Internet of Things
IC	: Integrated Circuit
MCU	: MicroController Unit
ADC	: Analog-Digital Converter

## Περιεχόμενα

Περιεχόμενα.....	14
Εικόνες.....	16
Πίνακες.....	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή.....	1
1.1 Εισαγωγικό κείμενο.....	1
1.2 Κενό στην γνώση - κίνητρα της έρευνας.....	2
1.3 Τι σκοπεύουμε να κάνουμε στην εργασία – Αιτιολόγηση έρευνας.....	4
1.4 Περιγραφή της πορείας της εργασίας (συνοπτικά).....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Μεθοδολογία της έρευνας.....	7
2.1 Τα βήματα που σκοπεύω να κάνω.....	7
2.2 Τα ερευνητικά ερωτήματα που θα προσπαθήσω να απαντήσω στην διπλωματική μου εργασία.....	7
2.3 Για να γίνουν αυτά θα πρέπει να.....	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Θεμελίωση, Σχεδίαση και Ανάπτυξη.....	10
3.1 Διαφορές μικρής-μεγάλης γραμμής παραγωγής προϊόντων.....	10
3.2 Κουτί – Περίβλημα – Προδιαγραφές – Περιβάλλον εγκατάστασης.....	13
3.3 Επιλογή και αιτιολόγηση κουτιού.....	19
3.4 Μπλοκ διάγραμμα του έξυπνου μετρητή προς κατασκευή.....	21
3.5 Επιλογή ηλεκτρονικών υλικών και module που επιλέξαμε.....	26
3.6 Ηλεκτρονικό σχηματικό διάγραμμα του έξυπνου μετρητή.....	36
3.7 Κόστος υλικών – Επιλογή οικονομικότερης λύσης - Bill of Materials.....	49
3.8 Σχεδιασμός ηλεκτρονικής πλακέτας (PCB) της MCU.....	51
3.9 Μοντάρισμα των ηλεκτρονικών στο κουτί του έξυπνου μετρητή.....	56
3.10 Μπλοκ διάγραμμα Firmware έξυπνου μετρητή και ανάλυση FreeRTOS kernel.....	66
3.11 Επεξήγηση Firmware του έξυπνου μετρητή.....	69
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Εφαρμογή και αποτελέσματα.....	73
4.1 Τοποθέτηση των μετρητών SM21 και Altas Mk10A.....	73

4.2 Σύγκριση τεχνικών χαρακτηριστικών του έξυπνου μετρητή μας με άλλους μετρητές	75
4.3 Αποτελέσματα συγκριτικών μετρήσεων	77
4.4 Γραφήματα αποτελεσμάτων συγκριτικών μετρήσεων	80
4.5 Γραφήματα διαφοράς των συγκριτικών μετρήσεων σε ποσοστό	86
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Συμπεράσματα – Προβληματισμοί	92
5.1 Συμπεράσματα	92
5.2 Προβληματισμοί	94
Αναφορές – Βιβλιογραφία – Σύνδεσμοι	96
6.1 Βιβλία	96
6.2 Αρθρογραφία	96
6.3 Ιστοσελίδες	96



## Εικόνες

ΕΙΚΟΝΑ 1 ΈΞΥΠΝΟΣ ΜΕΤΡΗΤΗΣ - NET-METERING.....	1
ΕΙΚΟΝΑ 2 ΚΛΑΣΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ.....	10
ΕΙΚΟΝΑ 3 - ΜΕΤΑΛΛΙΚΟ ΘΩΡΑΚΙΣΜΕΝΟ ΠΕΡΙΒΛΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ.....	13
ΕΙΚΟΝΑ 4 ΟΠΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΚΟΝΗΣ ΑΝΑΜΕΣΑ ΣΕ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΑ ΧΑΛΚΟΥ. ....	14
ΕΙΚΟΝΑ 5 ΕΞΙΣΩΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΕΝΩΣΗΣ ( $T_1$ ) ΗΜΙΑΓΩΓΩΝ.....	15
ΕΙΚΟΝΑ 6 ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΠΙΤΙΟΥ.....	16
ΕΙΚΟΝΑ 7 ΟΙΚΙΑΚΟΣ ΦΟΥΡΝΟΣ ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΩΝ.....	16
ΕΙΚΟΝΑ 8 ΚΟΥΤΙ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ .....	19
ΕΙΚΟΝΑ 9 ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΟΥΤΙΟΥ .....	19
ΕΙΚΟΝΑ 10 ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΟΥΤΙΟΥ ΚΑΙ ΠΑΡΕΛΚΟΜΕΝΩΝ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ. ....	20
ΕΙΚΟΝΑ 11 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΞΥΠΝΟΥ ΜΕΤΡΗΤΗ .....	21
ΕΙΚΟΝΑ 12 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΡΗΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ.....	21
ΕΙΚΟΝΑ 13 - ΚΥΚΛΩΜΑ ΜΕΤΡΗΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ.....	22
ΕΙΚΟΝΑ 14 - ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΗ ΚΑΙ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΑ .....	23
ΕΙΚΟΝΑ 15 ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟ 230VAC – 5VDC .....	24
ΕΙΚΟΝΑ 16 - ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ΕΞΥΠΝΟΥ ΜΕΤΡΗΤΗ – ΔΙΑΚΟΜΙΣΤΗ – ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ – SMARTPHONE.....	25
ΕΙΚΟΝΑ 17 - ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ SMARTPHONE .....	26
ΕΙΚΟΝΑ 18 [A2] ΜΠΛΟΚ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΡΗΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ .....	27
ΕΙΚΟΝΑ 19 [A1] ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ.....	28
ΕΙΚΟΝΑ 20 [Γ19] ΤΥΠΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ - CS5463 .....	29
ΕΙΚΟΝΑ 21 [Γ20] ΤΥΠΙΚΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΜΕΤΡΗΤΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ - ADE9153N.....	29
ΕΙΚΟΝΑ 22 [Γ21] ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ - STPM01 .....	30
ΕΙΚΟΝΑ 23 [Γ9] ΜΠΛΟΚ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ IC V9881D .....	31
ΕΙΚΟΝΑ 24 V9881D MODULE PCB.....	32
ΕΙΚΟΝΑ 25 V9881D MODULE PCB TOP VIEW.....	32
ΕΙΚΟΝΑ 26 ΕΠΙΡΡΟΗ ΧΡΟΝΟΥ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΠΥΚΝΩΤΩΝ. ....	33
ΕΙΚΟΝΑ 27 RF ΑΝΑΜΕΤΑΔΟΤΗΣ - ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΗΣ ESP32-D0WDQ6.....	34
ΕΙΚΟΝΑ 28 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΩΝ ΤΟΥ ESP32-D0WDQ6.....	34
ΕΙΚΟΝΑ 29 ESP-WROOM-32 MODULE .....	35
ΕΙΚΟΝΑ 30 ΑΡΙΣΤΕΡΑ: ΕΙΣΟΔΟΙ ΣΥΣΚΕΥΗΣ – ΚΛΕΜΕΣ. ΔΕΞΙΑ: ΜΤΣΧ. ΕΝΤΑΣΕΩΣ ΔΙΑΧΩΡΙΖΟΜΕΝΟΥ ΠΥΡΗΝΑ.....	36
ΕΙΚΟΝΑ 31 ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟ ΤΟΥ MODULE ΜΕΤΡΗΤΗ .....	37
ΕΙΚΟΝΑ 32 IC ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟΥ .....	38
ΕΙΚΟΝΑ 33 ΚΥΚΛΩΜΑ ΑΝΟΡΘΩΣΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΕΞΟΔΩΝ .....	39
ΕΙΚΟΝΑ 34 ΜΕΤΡΗΤΙΚΗ ΒΑΘΜΙΔΑ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ.....	40
ΕΙΚΟΝΑ 35 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ MODE1 .....	41
ΕΙΚΟΝΑ 36 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ RESET.....	42
ΕΙΚΟΝΑ 37 ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ ΚΑΙ ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΑ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΑ ΤΟΥ V9881D.....	42
ΕΙΚΟΝΑ 38 ΕΙΣΟΔΟΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ V9881D.....	43

ΕΙΚΟΝΑ 39 ΡΙΝ 13 DVCC ΚΑΙ ΡΙΝ 14 LDO33 .....	43
ΕΙΚΟΝΑ 40 ΜΕΤΡΗΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΤΑΣΗΣ, ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΣΕΙΡΙΑΚΗΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ .....	44
ΕΙΚΟΝΑ 41 ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΑΝΑΛΟΓΙΚΗΣ ΕΙΣΟΔΩΝ ΡΕΥΜΑΤΟΣ .....	44
ΕΙΚΟΝΑ 42 ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΑΝΑΛΟΓΙΚΗΣ ΕΙΣΟΔΟΥ ΤΑΣΗΣ .....	45
ΕΙΚΟΝΑ 43 ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ .....	45
ΕΙΚΟΝΑ 44 ΚΥΚΛΩΜΑ ΑΝΑΛΟΓΙΚΗΣ ΕΙΣΟΔΟΥ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ .....	46
ΕΙΚΟΝΑ 45 ΚΥΚΛΩΜΑ ΑΝΑΛΟΓΙΚΗΣ ΕΙΣΟΔΟΥ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΑΣΗΣ .....	46
ΕΙΚΟΝΑ 46 ΣΕΙΡΙΑΚΗ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ RS232 .....	47
ΕΙΚΟΝΑ 47 ΟΠΤΙΚΗ ΑΠΟΜΩΝΩΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ .....	47
ΕΙΚΟΝΑ 48 ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ MCU - ESP-WROOM-32 .....	48
ΕΙΚΟΝΑ 49 ΣΧΕΔΙΑΣΗ PCB - ΠΕΡΙΜΕΤΡΟΣ ΗΛ.ΠΛΑΚΕΤΑΣ .....	51
ΕΙΚΟΝΑ 50 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΕΤΑ ΑΠΟ ΤΟ ΗΛ.ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ .....	52
ΕΙΚΟΝΑ 51 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΗ .....	52
ΕΙΚΟΝΑ 52 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ LED ΚΑΙ BUTTON ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΕΤΑ .....	53
ΕΙΚΟΝΑ 53 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΥΠΟΛΟΙΠΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ .....	53
ΕΙΚΟΝΑ 54 ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ Η ΠΛΑΚΕΤΑ ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΗ .....	54
ΕΙΚΟΝΑ 55 3D ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΛΑΚΕΤΑΣ ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΗ .....	54
ΕΙΚΟΝΑ 56 3D ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΛΑΚΕΤΑΣ ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΗ .....	55
ΕΙΚΟΝΑ 57 Η ΠΛΑΚΕΤΑ ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΗ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΚΟΛΛΗΣΗ ΤΩΝ ΗΛ.ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ .....	55
ΕΙΚΟΝΑ 58 ΟΘΟΝΗ OLED .....	56
ΕΙΚΟΝΑ 59 ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ ΕΝΑΛΛΑΓΗΣ ΜΕΝΟΥ ΤΟΥ ΕΞΥΠΝΟΥ ΜΕΤΡΗΤΗ .....	56
ΕΙΚΟΝΑ 60 ΟΘΟΝΗ OLED ΚΑΙ ΤΕΤΡΑΓΩΝΗ ΣΧΙΣΜΗ ΠΡΟΣΟΨΗΣ ΚΟΥΤΙΟΥ .....	57
ΕΙΚΟΝΑ 61 ΟΘΟΝΗ OLED, ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ ΚΑΙ ΚΟΜΜΕΝΗ ΠΡΟΣΟΨΗ ΚΟΥΤΙΟΥ .....	57
ΕΙΚΟΝΑ 62 ΝΤΡΙΜΕΛ .....	58
ΕΙΚΟΝΑ 63 ΠΡΟΧΕΙΡΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΟΘΟΝΗΣ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΑΠΟΦΑΣΗ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ ΤΡΥΠΙΑΣ ΤΟΥ ΚΟΥΜΠΙΟΥ .....	58
ΕΙΚΟΝΑ 64 ΠΡΟΧΕΙΡΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΟΘΟΝΗΣ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΑΠΟΦΑΣΗ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ ΤΡΥΠΙΑΣ ΤΟΥ ΚΟΥΜΠΙΟΥ .....	59
ΕΙΚΟΝΑ 65 ΆΝΟΙΓΜΑ ΤΡΥΠΙΑΣ ΔΙΑΚΟΠΤΗ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΜΕ ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΧΕΙΡΟΣ .....	59
ΕΙΚΟΝΑ 66 ΠΡΟΧΕΙΡΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΟΘΟΝΗΣ OLED ΚΑΙ ΔΙΑΚΟΠΤΗ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΚΟΛΛΗΣΗ ΤΟΥΣ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΟΨΗ... ..	60
ΕΙΚΟΝΑ 67 ΠΙΣΤΟΛΙ ΘΕΡΜΟΣΙΛΙΚΟΝΗΣ .....	60
ΕΙΚΟΝΑ 68 ΚΟΛΛΗΣΗ ΔΙΑΚΟΠΤΗ .....	61
ΕΙΚΟΝΑ 69 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΚΟΛΛΗΣΗΣ ΔΙΑΚΟΠΤΗ .....	61
ΕΙΚΟΝΑ 70 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΚΟΛΛΗΣΗΣ ΟΘΟΝΗΣ OLED .....	62
ΕΙΚΟΝΑ 71 ΤΕΛΙΚΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΨΗΣ .....	62
ΕΙΚΟΝΑ 72 ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΚΑΛΩΔΙΟΣΗ ΠΡΙΝ ΤΟ ΚΛΕΙΣΙΜΟ ΤΟΥ ΚΟΥΤΙΟΥ .....	63
ΕΙΚΟΝΑ 73 ΈΞΥΠΝΟΣ ΜΕΤΡΗΤΗΣ ΜΕΤΑ ΤΟ ΜΟΝΤΑΡΙΣΜΑ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ .....	63
ΕΙΚΟΝΑ 74 ΈΞΥΠΝΟΣ ΜΕΤΡΗΤΗΣ SM21 - ΠΡΟΣΟΨΗ .....	64
ΕΙΚΟΝΑ 75 ΈΞΥΠΝΟΣ ΜΕΤΡΗΤΗΣ SM21 - ΠΛΑΪΝΗ ΟΨΗ .....	65
ΕΙΚΟΝΑ 76 ΜΠΛΟΚ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ .....	66
ΕΙΚΟΝΑ 77 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΥ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΧΡΟΝΟΥ .....	67
ΕΙΚΟΝΑ 78 ΓΡΑΨΙΜΟ ΚΑΙ ΑΝΑΓΝΩΣΗ ΟΥΡΑΣ .....	69

ΕΙΚΟΝΑ 79 ΚΩΔΙΚΑΣ ΚΥΡΙΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΕΞΥΠΙΝΟΥ ΜΕΤΡΗΤΗ .....	70
ΕΙΚΟΝΑ 80 ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ .....	70
ΕΙΚΟΝΑ 81 ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ BUTTON, DISPLAY CONTROLLER ΚΑΙ POWER METER MASTER.....	71
ΕΙΚΟΝΑ 82 ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ POWER METER MASTER, TCP/IP SOCKET COM HANDLER ΚΑΙ WIFI HANDLER.....	72
ΕΙΚΟΝΑ 83 ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ Η.Ε.С. SYSTEMS - ΈΞΥΠΙΝΟΙ ΜΕΤΡΗΤΕΣ ATLAS Μκ10Α ΚΑΙ SM21 ....	73
ΕΙΚΟΝΑ 84 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΑΣΗΣ .....	80
ΕΙΚΟΝΑ 85 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ .....	81
ΕΙΚΟΝΑ 86 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ.....	82
ΕΙΚΟΝΑ 87 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΙΣΧΥΟΣ .....	83
ΕΙΚΟΝΑ 88 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΕΝΕΡΓΗΣ ΙΣΧΥΟΣ .....	84
ΕΙΚΟΝΑ 89 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΑΕΡΓΗΣ ΙΣΧΥΟΣ.....	85
ΕΙΚΟΝΑ 90 ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΣΕ ΠΟΣΟΣΤΟ ΤΗΣ ΤΑΣΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΔΥΟ ΕΞΥΠΙΝΩΝ ΜΕΤΡΗΤΩΝ Μκ10Α – SM21 .....	86
ΕΙΚΟΝΑ 91 ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΣΕ ΠΟΣΟΣΤΟ ΤΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΔΥΟ ΕΞΥΠΙΝΩΝ ΜΕΤΡΗΤΩΝ Μκ10Α – SM21 .....	87
ΕΙΚΟΝΑ 92 ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΣΕ ΠΟΣΟΣΤΟ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΙΣΧΥΟΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΔΥΟ ΕΞΥΠΙΝΩΝ ΜΕΤΡΗΤΩΝ Μκ10Α – SM21 .....	88
ΕΙΚΟΝΑ 93 ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΣΕ ΠΟΣΟΣΤΟ ΤΗΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΔΥΟ ΕΞΥΠΙΝΩΝ ΜΕΤΡΗΤΩΝ Μκ10Α – SM21 .....	89
ΕΙΚΟΝΑ 94 ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΣΕ ΠΟΣΟΣΤΟ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΟΥΣ ΙΣΧΥΟΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΔΥΟ ΕΞΥΠΙΝΩΝ ΜΕΤΡΗΤΩΝ Μκ10Α – SM21 .....	90
ΕΙΚΟΝΑ 95 ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΣΕ ΠΟΣΟΣΤΟ ΤΗΣ ΑΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΔΥΟ ΕΞΥΠΙΝΩΝ ΜΕΤΡΗΤΩΝ Μκ10Α – SM21 .....	91

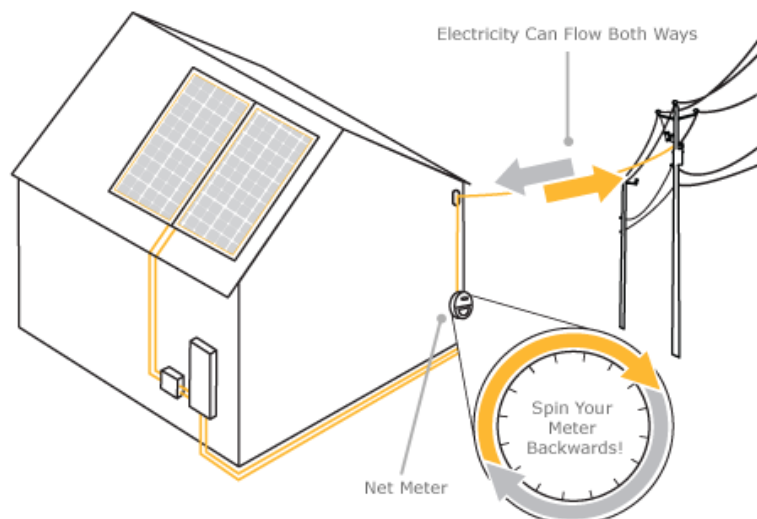
## Πίνακες

ΠΙΝΑΚΑΣ 1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΙΑ ΜΙΚΡΗΣ ΚΑΙ ΜΕΓΑΛΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ[18].....	12
ΠΙΝΑΚΑΣ 2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ .....	33
ΠΙΝΑΚΑΣ 3 ΚΑΤΩΦΛΙ (THRESHOLD) ΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΕΙΣΟΔΩΝ .....	42
ΠΙΝΑΚΑΣ 4 ΛΙΣΤΑ ΥΛΙΚΩΝ (BOM).....	49
ΠΙΝΑΚΑΣ 5 ΠΕΡΙΒΑΝΤΟΛΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΧΩΡΟΥ ΜΕΤΡΗΣΗΣ .....	74
ΠΙΝΑΚΑΣ 6 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΞΥΠΝΩΝ ΜΕΤΡΗΤΩΝ Α [10] .....	75
ΠΙΝΑΚΑΣ 7 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΞΥΠΝΩΝ ΜΕΤΡΗΤΩΝ Β [10] .....	76
ΠΙΝΑΚΑΣ 8 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΕΞΥΠΝΩΝ ΜΕΤΡΗΤΩΝ Μκ10Α – SM21 (1-50).....	77
ΠΙΝΑΚΑΣ 9 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΕΞΥΠΝΩΝ ΜΕΤΡΗΤΩΝ Μκ10Α – SM21 (51-100).....	78
ΠΙΝΑΚΑΣ 10 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΕΞΥΠΝΩΝ ΜΕΤΡΗΤΩΝ Μκ10Α – SM21 (101-150).....	79

#### 1.1 Εισαγωγικό κείμενο

Η παρουσία ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα σπίτι θεωρείται απαραίτητο αγαθό στις σύγχρονες κοινωνίες. Το μοντέλο παραγωγής, διανομής και κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας έχει ήδη αλλάξει σε αρκετές χώρες, με τις αλλαγές αυτές να έχουν αρχίσει να συμβαίνουν και στην δική μας χώρα. Με την μείωση του κόστους αγοράς και εγκατάστασης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι εφικτό ακόμη και για τους καταναλωτές να αγοράσουν μια ανεμογεννήτρια κάθετου τύπου, να την τοποθετήσουν στο μπαλκόνι ή στην ταράτσα του σπιτιού τους και να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια.

Πλέον οι καταναλωτές γίνονται εν δυνάμει παραγωγοί ηλεκτρικής ενέργειας. Η παραγόμενη αυτή ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα, να “αποθηκευτεί” στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας ή ακόμη και να την πουληθεί σε κάποιον άλλο καταναλωτή ή εταιρεία.



Εικόνα 1 Έξυπνος μετρητής - net-metering

Για να μπορούν όμως να είναι εφικτές όλες αυτές οι νέες υπηρεσίες είναι απαραίτητη η ύπαρξη μετρητών ηλεκτρικής ενέργειας οι οποίοι θα έχουν δυνατότητες διασύνδεσης με το διαδίκτυο.

Τέτοιοι είναι οι “έξυπνοι μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας” ή αλλιώς smart electrical power meters. Πιο συγκεκριμένα κάθε καταναλωτής-παραγωγός θα πρέπει να έχει εγκατεστημένο έναν έξυπνο μετρητή ενέργειας ο οποίος θα μετράει την παραγόμενη και την καταναλωθείσα ισχύς και θα ενημερώνει τον πάροχο ηλεκτρικής ενέργειας για τις παραπάνω μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο μέσω του διαδικτύου.

Η παραπάνω διαδικασία μέτρησης και χρέωσης της ηλεκτρικής ενέργειας ονομάζεται net metering. Όπως αναφέραμε παραπάνω με το net-metering οι καταναλωτές μπορούν να “αποθηκεύσουν” στο ηλεκτρικό δίκτυο την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια και να πάρουν πίστωση την οποία μπορούν να την χρησιμοποιήσουν αργότερα για να μειώσουν τα έξοδα του ηλεκτρικού ρεύματος. Για παράδειγμα η ηλεκτρική ενέργεια από την ηλιακή ενέργεια που παράγεται μέσα στις ζεστές ημέρες του καλοκαιριού ή την αιολική ενέργεια από μια θυελλώδη καταιγίδα του Μαρτίου μπορούν πιστωθούν και να “χρησιμοποιηθούν” τους μήνες τους οποίους δεν θα έχει ηλιοφάνεια ή αέρα.

Οι πολιτικές και οι νομοθεσίες σχετικά με το net-metering διαφέρουν σημαντικά από χώρα σε χώρα ακόμη και από πολιτεία σε πολιτεία. Διαφοροποιήσεις παρατηρούμε συνήθως στον χρόνο διατήρησης των πιστωτικών μονάδων και την αξία αυτών των μονάδων (retail/wholesale). Οι περισσότεροι νόμοι σχετικά με το net-metering περιλαμβάνουν μηνιαίες αλλαγές των πιστωτικών μονάδων κιλοβατώρας (kWh), ένα μικρό συνδρομητικό κόστος, απαιτείται μηνιαία πληρωμή των λογαριασμών ηλεκτρικής ενέργειας ανά έτος εκκαθαριστικός να γίνεται διακανονισμός των πιστωτικών μονάδων. Το net-metering είναι μια τακτική που έχει σχεδιαστεί για την ενίσχυση των ιδιωτικών επενδύσεων σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

## **1.2 Κενό στην γνώση - κίνητρα της έρευνας**

Μετά από έρευνα στην αγορά είδαμε ότι υπάρχουν πάρα πολλοί μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας συμβατικοί και μη συμβατικοί. Οι περισσότεροι όμως μετρητές ενέργειας στην αγορά δεν παρέχουν διασύνδεση με το διαδίκτυο, δεν έχουν καλή ακρίβεια μετρήσεων, δεν παρέχουν ασφάλεια στην μεταφορά δεδομένων, δεν έχουν απομακρυσμένη επιτήρηση σε πραγματικό χρόνο και όσοι έχουν τα παραπάνω χαρακτηριστικά δεν είναι σίγουρα οικονομικοί.

Με βάση τα παραπάνω καταλήξαμε πως υπάρχει η ανάγκη για έναν έξυπνο μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας ο οποίος να:

- είναι οικονομικός
- παρέχει αξιόπιστες μετρήσεις
- έχει δυνατότητα ασφαλούς διασύνδεσης με τον server - βάση δεδομένων.
- είναι ελέγξιμος απομακρυσμένα (διακοπή παροχής ενέργειας σε περίπτωση ρευματοκλοπής)
- έχει δυνατότητες επεκτασιμότητας και ευελιξίας
- δυνατότητα απομακρυσμένης αναβάθμισης λογισμικού

Το κόστος μιας συσκευής παίζει σημαντικό ρόλο στην πορεία της ζωής της και ιδιαίτερα στο ξεκίνημα των πωλήσεων της στην αγορά. Το κόστος μιας συσκευής επηρεάζεται από πάρα πολλούς παράγοντες όπως το κόστος των υλικών που χρειάζονται για να κατασκευαστεί, τα στάδια επεξεργασίας που χρειάζεται ώστε να δημιουργηθεί το τελικό προϊόν (κόλληση υλικών, μοντάρισμα σε κουτί ή περίβλημα, τοποθέτηση ταμπελών πληροφόρησης/ασφάλειας, συσκευασία προϊόντος, μεταφορικά έξοδα, έξοδα αποθήκευσης κλπ..

Για να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας έξυπνος μετρητής σε μια εγκατάσταση πρέπει να είναι σε θέση να μετρήσει αξιόπιστα τα μεγέθη της τάσης, ρεύματος, ισχύος, ενεργού ισχύος ώστε ένας καταναλωτής να μην χρεώνεται παραπάνω από την ηλ.ενέργεια που καταναλώνει καθώς και ένας παραγωγός να μην πληρώνεται λιγότερα, αντίστοιχα, για την ηλ.ενέργεια που παράγει.

Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας είναι η δυνατότητα ασφαλούς επικοινωνίας με τον εκάστοτε διακομιστή (server). Ένας έξυπνος μετρητής θα πρέπει να επικοινωνεί με ασφάλεια με τον server γιατί:

- Τα δεδομένα του κάθε καταναλωτή/παραγωγού είναι προσωπικά δεδομένα και υπάρχει στην Ευρώπη ειδική νομοθεσία(GPDR)[11][12] για τέτοιου είδους θέματα.
- Πρέπει να διασφαλιστεί η ακεραιότητα των δεδομένων που στέλνει η συσκευή σε σχέση με αυτά που λαμβάνει ο server ώστε να μην υπάρξουν λάθος χρεώσεις (αξιοπιστία μεταφοράς δεδομένων).
- Πρέπει να αποτραπεί η υποκλοπή δεδομένων και η κακόβουλη παρέμβαση στον έξυπνο μετρητή από τρίτους.

Ο απομακρυσμένος έλεγχος του μετρητή, η δυνατότητα δηλαδή ενεργοποίησης/ απενεργοποίησης ηλεκτρικών φορτίων είναι χρήσιμο εργαλείο για τις εταιρείες παροχής ηλ.ενέργειας. Εάν ένας πελάτης είναι κακοπληρωτής και καθυστερεί την πληρωμή του λογαριασμού τότε αντί να στείλουν κάποιον τεχνικό να διακόψει την παροχή ρεύματος μπορούν κόψουν την παροχή ρεύματος μέσω του έξυπνου μετρητή. Πέραν όμως από την παραπάνω εφαρμογή, η διακοπή της παροχής ρεύματος θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως μέτρο ασφάλειας σε περίπτωση που υπάρξει κάποιο βραχυκύκλωμα το οποίο θα μπορούσε να προκαλέσει ανάφλεξη στα καλώδια και έπειτα πιθανόν σε πυρκαγιά σε ένα σπίτι.

Όταν ένας έξυπνος μετρητής έχει δυνατότητες επεκτασιμότητας αυτόματα γίνεται ευέλικτος σε σχέση με τις απαιτήσεις της κάθε εγκατάστασης. Η δυνατότητα να μπορείς να προσθέσεις επεκτάσεις οι οποίες θα προσθέτουν δυνατότητες αυτόματα προσθέτει και την ιδιότητα της αναβάθμισης σε ένα σύστημα. Η ιδιότητα του να αναβαθμίσει κάποιος μια συσκευή έχει μεγάλη σημασία για τους εξής λόγους:

- Μείωση των σκουπιδιών – E-wastes τα οποία ειδικά τα τελευταία χρόνια είναι πολύ μεγάλο και παγκόσμιο πρόβλημα [13] [15].
- Εξοικονόμηση χρημάτων. Όταν μια συσκευή μπορεί να αναβαθμιστεί είτε μέσω του λογισμικού (FirmWare) είτε μέσω του υλισμικού (HardWare) τότε δεν χρειάζεται να αντικατασταθεί από μια άλλη συσκευή η οποία πιθανώς να κοστίζει παραπάνω χρήματα.

### **1.3 Τι σκοπεύουμε να κάνουμε στην εργασία – Αιτιολόγηση έρευνας**

Στην παρούσα εργασία σκοπεύουμε να δείξουμε τις δυνατότητες των έξυπνων μετρητών στο εμπόριο, καθώς και τις τοπολογίες κ' τεχνικές δυνατότητες των τρόπων μέτρησης των ηλεκτρικών φορτίων.

Θα δοκιμάσουμε να αποδείξουμε ότι είναι δυνατόν, στα πλαίσια της έρευνας μας, να κατασκευάσουμε έναν οικονομικό, με αξιοπιστία στις μετρήσεις και στην επικοινωνία έξυπνο μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας.

Για να αποδείξουμε το εγχείρημα μας, μετά την κατασκευή του έξυπνου μετρητή θα πραγματοποιήσουμε συγκριτικές μετρήσεις με έναν πιστοποιημένο έξυπνο μετρητή της



αγοράς πάνω στο ίδιο φορτίο και θα παραθέσουμε το κόστος του ενός και του άλλου μετρητή (Bill Of Materials).

#### 1.4 Περιγραφή της πορείας της εργασίας (συνοπτικά)



Η πορεία που θα ακολουθήσουμε στην παρούσα εργασία είναι να αντιπαραθέσουμε τους έξυπνους μετρητές της αγοράς και να ορίσουμε εκείνα τα ελάχιστα χαρακτηριστικά που χρειάζεται ένας έξυπνος μετρητής ηλεκτρικής ενέργειας. Θα χρειαστεί να αναπτύξουμε κάποια πιο γενικά θέματα όπως:

1. το αντίκτυπο που μπορεί να έχει το μέγεθος της γραμμής παραγωγής στο κόστος και την ποιότητα του έξυπνου μετρητή
2. τις επιδράσεις που έχει το περιβάλλον εγκατάστασης σε μια ηλεκτρονική συσκευή και τον ρόλο του κουτιού ή του περιβλήματος της.

Θα τμηματοποιήσουμε και θα εξηγήσουμε τα επιμέρους μέρη του συστήματος τηλεμετρίας του οποίου μέρος είναι και ο έξυπνος μετρητής. Στην συνέχεια θα τμηματοποιήσουμε τα επιμέρους μέρη ενός έξυπνου μετρητή και θα εξηγήσουμε τον ρόλο τους σε αυτόν.

Στα πλαίσια της έρευνας θα σχεδιάσουμε, θα κατασκευάσουμε και θα προγραμματίσουμε έναν έξυπνο μετρητή. Θα τοποθετήσουμε τον έξυπνο μετρητή μας δίπλα σε έναν έξυπνο μετρητή της αγοράς και θα μετρήσουμε το ίδιο φορτίο για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα ώστε να συγκρίνουμε την ακρίβεια των δύο έξυπνων μετρητών κάτω από τις ίδιες συνθήκες. Τέλος θα δημιουργήσουμε και θα παραθέσουμε την λίστα με το κόστος των υλικών που

χρησιμοποιήθηκαν (Bill Of Materials) ώστε να γίνει η οικονομική εκτίμηση του έξυπνου μετρητή μας.

### **2.1 Τα βήματα που σκοπεύω να κάνω**

- Θα εξηγήσουμε πως επηρεάζεται το κόστος και η ποιότητα ενός προϊόντος από το μέγεθος της γραμμής παραγωγής (μικρή-μεγάλη γραμμή παραγωγή).
- Θα εξηγήσουμε τον ρόλο που παίζει το κουτί ή το περίβλημα σε μια ηλεκτρονική συσκευή.
- Θα παρουσιάσουμε και θα αναλύσουμε τα προβλήματα που υπάρχουν και πως αυτά λύνονται με την χρήση κουτιού/περιβλήματος
- Θα επιλέξουμε το κατάλληλο κουτί για την κατασκευή του έξυπνου μετρητή.
- Θα παρουσιάσουμε τμηματικά τα μέρη που απαρτίζουν έναν έξυπνο μετρητή με την χρήση μπλοκ διαγράμματος.
- Θα επιλέξουμε όλα τα υλικά και τα εξαρτήματα που θα χρειαστούμε για την κατασκευή.
- Θα σχεδιάσουμε το ηλεκτρονικό σχηματικό του έξυπνου μετρητή.
- Θα σχεδιάσουμε τις απαραίτητες ηλεκτρονικές πλακέτες (PCB) του μετρητή με βάση το ηλεκτρονικό σχηματικό κύκλωμα.
- Θα μοντάρουμε όλα τα μέρη του έξυπνου μετρητή μέσα στο κουτί που επιλέξαμε.
- Θα παρουσιάσουμε τμηματικά τα μέρη που απαρτίζουν το πρόγραμμα (FirmWare) του έξυπνου μετρητή με την χρήση μπλοκ διαγράμματος.
- Θα εξηγήσουμε την λειτουργία και τον προγραμματισμό του έξυπνου μετρητή.
- Θα διεξάγουμε συγκριτικές μετρήσεις με έναν έξυπνο μετρητή της Ελληνικής αγοράς.
- Θα παρουσιάσουμε τα αποτελέσματα των συγκριτικών μετρήσεων.

### **2.2 Τα ερευνητικά ερωτήματα που θα προσπαθήσω να απαντήσω στην διπλωματική μου εργασία.**

- Ποιες είναι οι προδιαγραφές ενός απλού έξυπνου μετρητή;

- Ποια είναι τα σχέδια μετρητικών μονάδων για έναν έξυπνο μετρητή και ποιο ηλεκτρονικό κύκλωμα θα επιλέξουμε;
- Πως θα μπορούσαμε να φτιάξουμε έναν οικονομικό έξυπνο μετρητή;
- Πως μπορεί να μειωθεί το κόστος των υλικών και ο χρόνος κατασκευής;
- Πως επηρεάζει το μέγεθος της γραμμής παραγωγής στο τελικό κόστος και στην ποιότητα κατασκευής;
- Πως μπορούμε να εντάξουμε τον έξυπνο μετρητή με τους υπόλοιπους μετρητές;
- Ποια είναι η ακρίβεια που μπορούμε να πετύχουμε στις μετρήσεις μας;
- Τι απόκλιση έχουν οι μετρήσεις του δικού μας έξυπνου μετρητή σε σχέση με έναν έξυπνο μετρητή που χρησιμοποιείται σήμερα σε μια εγκατάσταση;
- Υπάρχει η δυνατότητα επεκτασιμότητας και αναβάθμισης του έξυπνου μετρητή μας;

### 2.3 Για να γίνουν αυτά θα πρέπει να....

- Να αποφασίσουμε ποια θέλουμε να είναι τα χαρακτηριστικά του έξυπνου μετρητή μας.
- Να αναζητήσουμε τις ιστοσελίδες των κατασκευαστών ηλεκτρονικών υλικών για τα υλικά που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε.
- Να μελετήσουμε την σχετική βιβλιογραφία για δούμε με ποιους τρόπους μπορούμε να μετρήσουμε την εναλλασσόμενη τάση και ρεύμα.
- Θα μελετήσουμε τους τρόπους επικοινωνίας και τηλεμετρίας που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε.
- Να σχεδιάσουμε το ηλεκτρονικό κύκλωμα σε ηλεκτρονικό σχηματικό.
- Να κατασκευάσουμε το ηλεκτρονικό κύκλωμα σε πλακέτα ή breadboard ώστε να ελέγξουμε την λειτουργικότητα του κυκλώματος μας.
- Θα πρέπει να προγραμματίσουμε κάποιον επεξεργαστή ο οποίος θα είναι υπεύθυνος για το κομμάτι των μετρήσεων, της επικοινωνίας με τον server αλλά και για όλα τα περιφερειακά του έξυπνου μετρητή (οθόνη απεικόνισης, κουμπιά μετακίνησης στο μενού κτλ.)
- Θα πρέπει να δημιουργήσουμε έναν server ο οποίος να διακινεί τα δεδομένα και τις εντολές μας από και προς τον έξυπνο μετρητή μας, την βάση δεδομένων και το κινητό του χρήστη της συσκευής.

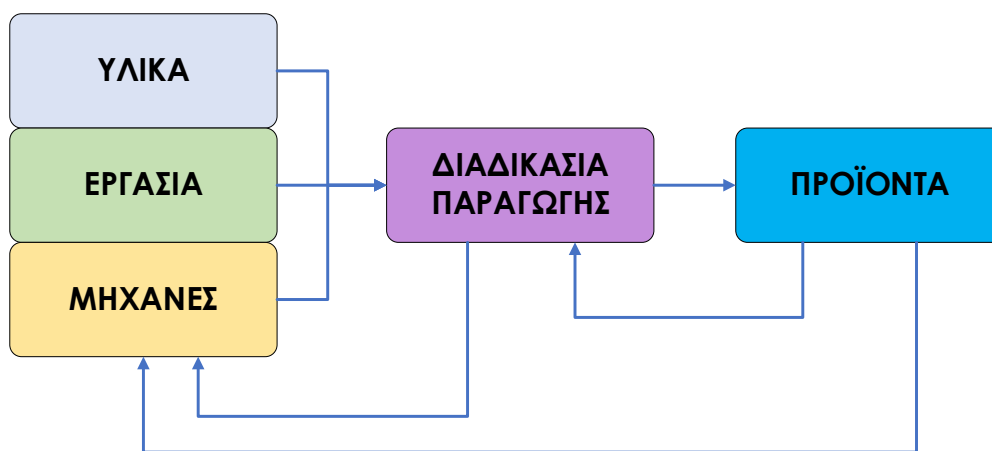
- Θα πρέπει να προγραμματίσουμε μια εφαρμογή η οποία θα αποδίδει απεικόνιση πραγματικού χρόνου των μετρήσεων και του έξυπνου μετρητή.
- Θα πρέπει να δημιουργήσουμε και μια βάση δεδομένων στην οποία θα αποθηκεύονται οι μετρήσεις του έξυπνου μετρητή.
- Αναζήτηση και αγορά τμημάτων του μετρητή σε OEM μορφή εάν υπάρχουν στην αγορά σε μεγάλες ποσότητες.
- Δημιουργία πίνακα χαρακτηριστικών του μετρητή μας και των υπόλοιπων μετρητών.
- Τέλος θα πρέπει να κάνουμε συγκριτικές μετρήσεις με κάποιον έξυπνο μετρητή που πωλείται για νέες εγκαταστάσεις παροχής ηλεκτρικού ρεύματος ώστε να δούμε αν τελικά πετύχαμε στο εγχείρημα να κατασκευάσουμε έναν οικονομικό έξυπνο μετρητή με επιτυχία.
- Θα πρέπει να βρούμε έναν εύκολο τρόπο εξαγωγής των μετρήσεων από το σύστημα μας ώστε να μπορούμε να τις επεξεργαστούμε στο μέλλον.

### 3.1 Διαφορές μικρής-μεγάλης γραμμής παραγωγής προϊόντων

Για την κατασκευή ενός προϊόντος μπορεί να χρειαστούν από ένας ως εκατοντάδες ή και καθόλου άνθρωποι. Μια γραμμή παραγωγής αποτελείται από όλα εκείνα τα στάδια και διαδικασίες με τις οποίες οι πρώτες ύλες μετατρέπονται στο τελικό προϊόν.

Μια μικρή γραμμή παραγωγής μπορεί να βρίσκεται σε ένα σπίτι ή σε ένα γκαράζ. Η διαδικασία της παραγωγής απαιτεί τον κατάλληλο χώρο, πρώτες ύλες και εργαλεία για την μεταποίηση των υλικών στην τελική μορφή τους.

Μια μεγάλη γραμμή παραγωγής όμως απαιτεί σίγουρα μεγαλύτερο χώρο εγκαταστάσεων, περισσότερα εργαλεία αλλά και αυτοματοποίηση αρκετών διαδικασιών ώστε να μειωθεί ο χρόνος και το κόστος παραγωγής του τελικού προϊόντος. Η αυτοματοποίηση διαδικασιών μεταποίησης απαιτεί την κατασκευή εξειδικευμένων και ακριβών μηχανημάτων.



Εικόνα 2 Κλασικό μοντέλο της παραγωγικής μονάδας

Η βασικοί παράγοντες καθορισμού ενός συστήματος παραγωγής είναι η φύση του προϊόντος (απαιτούμενος βαθμός διαφοροποίησης, φύση προβλεπόμενης ζήτησης), η τεχνολογία παραγωγής, το δίκτυο προμηθευτών, το εργατικό δυναμικό και τα διαθέσιμα κεφάλαια. Με βάση αυτά καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό η ευελιξία της παραγωγής, η αυτοματοποίηση αλλά και η κάθετη ολοκλήρωση της.

Ο όρος «Κλίμακα Παραγωγής» αναφέρεται στο μέγεθος μιας μονάδας παραγωγής μιας εταιρείας ή μιας επιχείρησης. Ανάλογα με το μέγεθος παραγωγής, αυτή μπορεί να διαχωριστεί σε μεγάλη ή μικρή κλίμακα.

Μια «Μεγάλη Κλίμακα Παραγωγής» αναφέρεται στην μαζική παραγωγή προϊόντων μιας μεγάλης εταιρείας και απαιτεί μεγάλες επενδύσεις σε εγκαταστάσεις και εξοπλισμό, ενώ μπορεί να υλοποιηθεί εφόσον απευθύνεται σε μια μεγάλη και ολοένα αναπτυσσόμενη αγορά. Αυτό που χαρακτηρίζει τις εταιρείες μεγάλης κλίμακας παραγωγής είναι ο εκ μηχανισμός, ο διαχωρισμός της εργασίας και της παραγωγής, καθώς και η πώληση αγαθών σε μεγάλες ποσότητες που τροφοδοτούν μεγαλύτερες αγορές. [17]

Η Βιομηχανική Επανάσταση έθεσε τα θεμέλια για τη δημιουργία του θεσμού των εργοστασίων, τα οποία χρησιμοποιούσαν κατά κύριο λόγο μηχανικό εξοπλισμό και υιοθέτησαν τον διαχωρισμό της εργασίας κάνοντας εφικτή την παραγωγή μεγάλης κλίμακας.

Η Κίνα θεωρείται σήμερα το «εργοστάσιο» του κόσμου καθώς πλέον επικεντρώνεται στην παραγωγή μεγάλης κλίμακας. Σήμερα η Κίνα είναι υπεύθυνη για το 50% της παγκόσμιας παραγωγής φωτογραφικών καμερών, για το 30% της παγκόσμιας παραγωγής κλιματιστικών, για το 25% των πλυντηρίων πιάτων και το 20% της παγκόσμιας παραγωγής ψυγείων. Είναι ο μεγαλύτερος παραγωγός παιχνιδιών, κινητών τηλεφώνων, συσκευών αναπαραγωγής DVD, φορητών υπολογιστών και έγχρωμων τηλεοράσεων.

Κίνητρα για την παραγωγή μεγάλης κλίμακας αποτελούν οι οικονομικοί λόγοι, η μακροπρόθεσμη αύξηση των πωλήσεων, η διεύρυνση πελατολογίου, τα υψηλά κέρδη, η αύξηση της ζήτησης, ο στόχος επέκτασης στην παγκόσμια αγορά, η διεύρυνση της εταιρείας ή η επίτευξη μονοπωλίου.

Πίνακας 1 Χαρακτηριστικά μια μικρής και μεγάλης γραμμής παραγωγής[18]

<b>Μικρή γραμμή παραγωγής</b>	<b>Μεγάλη γραμμή παραγωγής</b>
Ο αριθμός εργαζομένων είναι τόσοι όσοι χρειάζονται. 5-10 έως και 300 εργαζόμενοι	Μεγάλος αριθμός εργαζομένων. Τουλάχιστον 500 εργαζόμενοι
Υποστηρίζει παραγγελίες μικρών ποσοτήτων	Απαιτούνται παραγγελίες μόνο μεγάλων ποσοτήτων
Δεν φέρει ευθύνη σε περίπτωση μεγάλων σφαλμάτων ποιότητας	Κατασκευή προϊόντων μεγάλης κλίμακας/μεγέθους
Απλοποιημένες διαδικασίες	Πολυπλοκότερες διαδικασίες
Η ποιότητα των προϊόντων δεν είναι σταθερή	Ξεκάθαροι τομείς εργασιών
Πιο ευέλικτη	Υποστήριξη οικονομικών προγραμμάτων και πληρωμής π.χ. Πίστωση χρημάτων έως 30 ημέρες
Μικρό ιστορικό ύπαρξης ως εταιρεία, περίπου 6-15 χρόνια	Εταιρείες που υπάρχουν συνήθως 20 έτη και πάνω
Υψηλή απόδοση	Μεγάλος χρόνος παράδοσης αν η ποσότητα παραγγελίας είναι μικρή
	Τυποποιημένη ροή εργασιών
	Υψηλά έξοδα λειτουργίας



### 3.2 Κουτί – Περίβλημα – Προδιαγραφές – Περιβάλλον εγκατάστασης

Υπάρχει πληθώρα τύπων κουτιών για να τοποθετήσει κάποιος τα ηλεκτρονικά ή τα μηχανολογικά μέρη μιας κατασκευής στην αγορά. Είναι φυσικό λοιπόν να υπάρχει δυσκολία στην επιλογή του σωστού κουτιού. Τα κουτιά διατίθενται σε διάφορα σχέδια και μεγέθη καθώς και άλλες προδιαγραφές οι οποίες παίζουν σημαντικό ρόλο στην ποιότητα, την διάρκεια ζωής αλλά και στο κόστος ενός προϊόντος.



Εικόνα 3 - Μεταλλικό θωρακισμένο περίβλημα ηλεκτρονικού κυκλώματος

Ένα κουτί ή ένα περίβλημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προστατέψει το περιεχόμενό του από εξωτερικούς παράγοντες όπως η υγρασία, η σκόνη, η υψηλή/χαμηλή θερμοκρασία, η έκθεση στον ήλιο κ.α. Σε πολλές περιπτώσεις όμως, το κουτί χρησιμοποιείται εναλλακτικά για να προστατέψει τον χρήστη από το περιεχόμενο του.

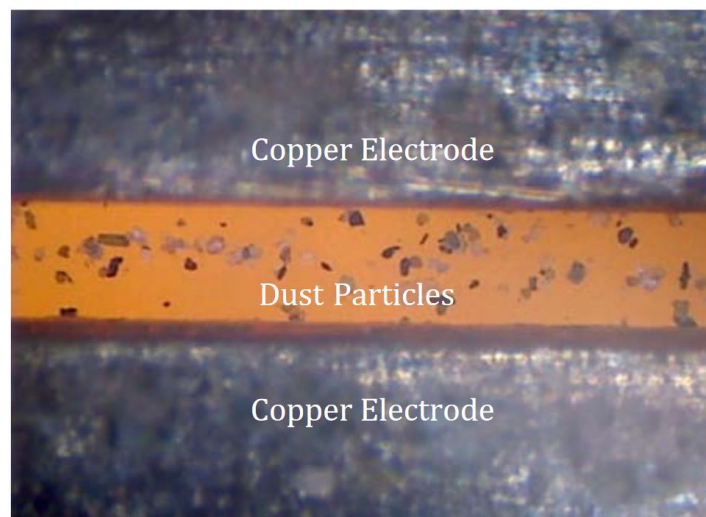
Παρακάτω αναλύουμε μερικούς από τους περιβαλλοντικούς παράγοντες που επηρεάζουν την καλή λειτουργία αλλά και την διάρκεια ζωής των ηλεκτρικών συσκευών.

Η πολύ υψηλή υγρασία σε ένα δωμάτιο, μπορεί να προκαλέσει βλάβη στα εσωτερικά εξαρτήματα των ηλεκτρονικών. Το κύριο πρόβλημα στο περιβάλλον με υψηλή υγρασία είναι η υγροποίηση της όταν ο θερμός αέρας έρχεται σε επαφή με μια δροσερή επιφάνεια. Με την

υγροποίηση της υγρασίας μπορεί να προκληθεί σκουριά και διάβρωση, κάτι που μπορεί να είναι επιβλαβές για τα ηλεκτρονικά.

Η υψηλή θερμότητα και η υψηλή υγρασία είναι δύο πράγματα που συχνά συμβαδίζουν. Ενώ οι περισσότεροι υπολογιστές και άλλα ηλεκτρονικά έχουν εσωτερικούς ανεμιστήρες για να βοηθούν στην κυκλοφορία του αέρα, δεν θα λειτουργούν σωστά εάν η θερμοκρασία του δωματίου είναι πολύ υψηλή. Η διατήρηση της θερμοκρασίας του αέρα χαμηλά δεν θα βοηθήσει μόνο τους ανεμιστήρες να κρυώσουν τα ηλεκτρονικά αποτελεσματικά αλλά θα συμβάλει επίσης στο να παραμείνει η υγρασία στον αέρα και να μην μεταφερθεί στα ηλεκτρονικά εξαρτήματα.

Η σκόνη βρίσκεται παντού στον αέρα. Θεωρείτε και αυτή πλέον ως ένας παράγοντας στην περιγραφή του περιβάλλοντος λειτουργίας των ηλεκτρονικών συσκευών πέραν από την θερμοκρασία και την υγρασία. Η επιρροή της σκόνης στην αξιοπιστία των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων ολοένα και αυξάνεται λόγω της τάσης των νέων τεχνολογιών για miniaturization, της μείωσης απόστασης μεταξύ των γραμμών χαλκού (track-to-track spacing) στις πλακέτες (PCB) καθώς και της μείωσης απόστασης μεταξύ των μεταλλικών επαφών (ηλεκτρόδια) των microchip (lead-to-lead spacing) με το πέρασμα των χρόνων.



Εικόνα 4 Οπτική απεικόνιση σωματιδίων σκόνης ανάμεσα σε ηλεκτρόδια χαλκού.

Η διαδικασία τοποθέτησης ηλεκτρονικών εξαρτημάτων (PCBA) γίνεται συνεχώς πιο ευαίσθητη στην σκόνη. Την ίδια ώρα όπου τα ηλεκτρονικά δεν τοποθετούνται μόνο σε ιδανικά για αυτά περιβάλλοντα. Για παράδειγμα μεγάλος αριθμός τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού έχει μετακινηθεί σε εξωτερικό περιβάλλον και χρησιμοποιείται την τεχνική της “ελεύθερης ψύξης”

η οποία χρησιμοποιεί τον ατμοσφαιρικό αέρα για να ψύξει τον εξοπλισμό. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται ως εναλλακτική τεχνική στις υπάρχουσες με σκοπό την μείωση του κόστους και των εκπομπών αερίων που συμβάλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Όλοι οι παραπάνω παράγοντες συνέβαλαν στην ανάπτυξη του ερευνητικού ενδιαφέροντος γύρω από την σκόνη. Τα σωματίδια της σκόνης μπορεί να περιέχουν υγρασία, οργανικά υλικά όπως ο άνθρακας, διάφορα μέταλλα ή χημικά. Η σκόνη μπορεί να προκαλέσει ηλεκτρική διαρροή ή βραχυκύκλωμα στις ηλεκτρονικές πλακέτες (PCB) κάτω από τις κατάλληλες συνθήκες. Επίσης πέραν την επίδραση στα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά η σκόνη μπορεί να έχει μεγάλη επίδραση στην ιδιότητα θερμικής αγωγιμότητας κάποιας συσκευής. Για παράδειγμα η συσσώρευση σκόνης στην ψήκτρα ενός συστήματος ή στα βύσματα τροφοδοσίας του μπορεί να προκαλέσει υπερθέρμανση η οποία μπορεί να οδηγήσει στην καταστροφή αρκετές ηλεκτρονικές συσκευές. [Γ23]

Ο ρόλος της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος, όπου εγκαθίσταται μια ηλεκτρονική συσκευή, είναι ένας κρίσιμος παράγοντας για την καλή λειτουργία της συσκευής αλλά και για την διάρκεια ζωής της. Η θερμοκρασία λειτουργίας είναι το επιτρεπόμενο εύρος θερμοκρασίας στο οποίο λειτουργεί μια ηλεκτρική ή μια μηχανική συσκευή. Η θερμοκρασία λειτουργίας για της ηλεκτρικές συσκευές μπορεί να είναι η θερμοκρασία ένωσης (junction temperature) ( $T_j$ ) των ημιαγωγών της συσκευής. Η θερμοκρασία ένωσης επηρεάζεται από την θερμοκρασία του τοπικού περιβάλλοντος και για τις ηλεκτρονικές συσκευές μπορεί να υπολογιστεί με την παρακάτω εξίσωση:

$$T_j = T_a + P_D \times R_{ja}$$

Εικόνα 5 Εξίσωση θερμοκρασίας ένωσης ( $T_j$ ) ημιαγωγών.

$T_j$ : Θερμοκρασία ένωσης σε °C

$T_a$ : Θερμοκρασία τοπικού περιβάλλοντος σε °C

$P_D$ : Απώλεια ενέργειας του κυκλώματος σε W

$R_{ja}$ : Θερμική αντίσταση που παρουσιάζει το μέσω προς το περιβάλλον σε °C/W

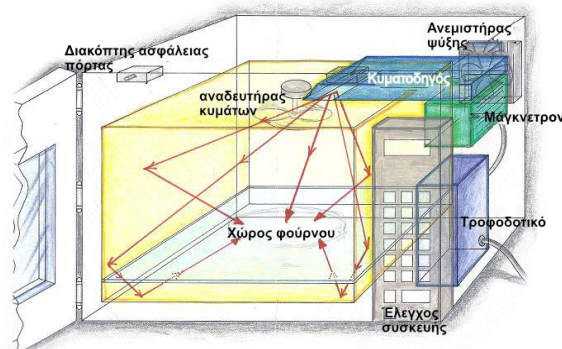
Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, υπάρχουν περιπτώσεις όπου το κουτί χρησιμοποιείται για να προστατέψει από τα περιεχόμενα του τον χρήστη ή άλλες συσκευές. Σε μια εγκατάσταση υψηλής τάσης ο ηλεκτρολογικός πίνακας αποτρέπει στα μη εξιδεικευμένα και εξουσιοδοτημένα άτομα την εύκολη πρόσβαση στις ηλεκτρικές συνδέσεις ή τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί κάποιος να προστατευτεί από ηλεκτροπληξία η οποία σε αρκετές περιπτώσεις μπορεί να είναι και μοιραία για έναν άνθρωπο.



Εικόνα 6 Ηλεκτρολογικός πίνακας σπιτιού

Ένα ακόμη παράδειγμα είναι ο φούρνος μικροκυμάτων. Η βασική λειτουργία του φούρνου μικροκυμάτων είναι το ζέσταμα ή το ψήσιμο του φαγητού εκπέμποντας ηλεκτρομαγνητικά κύματα σε υψηλή ισχύ και συχνότητα στο εσωτερικό του θαλάμου του.

Αν δεν υπήρχε το μεταλλικό περίβλημα στους φούρνους μικροκυμάτων δεν θα μπορούσαμε να τους χρησιμοποιήσουμε σε οικιακό περιβάλλον. Στην προκειμένη περίπτωση το μεταλλικό περίβλημα του φούρνου, πέραν από το να περιορίσει την πρόσβαση του χρήστη στα σημεία του φούρνου με υψηλή τάση ή θερμοκρασία, λειτουργεί και ως κλωβός Faraday περιορίζοντας τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα στο εσωτερικό του φούρνου αποτρέποντάς τα από το να εξέλθουν από αυτόν. Με αυτόν τον τρόπο προστατεύονται οι ηλεκτρικές συσκευές που υπάρχουν στον χώρο αλλά και ο άνθρωπος.



Εικόνα 7 Οικιακός φούρνος μικροκυμάτων

Οι έξι σημαντικοί παράγοντες για την επιλογή του κουτιού είναι το περιβάλλον, η ίδια η χρήση της συσκευής, προδιαγραφές διαχείρισης θερμοκρασίας, τα στάνταρ απόδοσης (IP, UL, NEMA), το υλικό του περιβλήματος και τέλος το μέγεθος του.

### **Περιβάλλον τοποθέτησης:**

Είναι σημαντικό να γνωρίζουμε τις πιο πιθανές περιβαλλοντικές “απειλές” για να αποφασίσουμε ποια κουτιά ή περιβλήματα είναι κατάλληλα για την προστασία των ηλεκτρονικών μας. Βασικές ερωτήσεις που μπορούν να βοηθήσουν στον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών των περιβαλλοντικών απειλών είναι οι εξής:

1. Ποιες είναι οι επικρατούσες περιβαλλοντικές συνθήκες ;
2. Ποια είναι η πιο σημαντική περιβαλλοντική ανησυχία ;
3. Ποιες είναι οι τιμές των ακραίων θερμοκρασιών και υγρασίας ;

Είναι σημαντικό να γνωρίζουμε το περιβάλλον στο οποίο θα τοποθετηθεί μια κατασκευή διότι μπορούμε να διαλέξουμε το αντίστοιχο κουτί ή περίβλημα το οποίο θα προσφέρει την μέγιστη προστασία στην συσκευή μας.

### **Χρήση της συσκευής:**

Οι παράγοντες που καθορίζουν που θα χρησιμοποιηθεί η συσκευή, είναι το ίδιο το προϊόν και η αγορά στην οποία απευθύνεται. Αυτή μπορεί να περιλαμβάνει, μεταξύ άλλων, τη χρήση της συσκευής σε εργοστασιακούς χώρους παραγωγής τροφίμων, σε καταστήματα επισκευών, στο γήπεδο, στην πισίνα και στους χώρους στάθμευσης. Οπουδήποτε δηλαδή θα μπορούσε να εγκατασταθεί η συσκευή. Από την άλλη μεριά, ρόλο παίζουν και οι προδιαγραφές του κουτιού όπως για παράδειγμα οι τρόποι στερέωσης, η προσβασιμότητα, οι διαστάσεις του κ.α.

### **Προδιαγραφές διαχείρισης θερμοκρασίας:**

Η διαχείριση της θερμοκρασίας που παράγεται εντός της ηλεκτρονικής πλακέτας είναι απαραίτητη για να εξασφαλίσει το χρόνο ζωής και την αποδοτικότητα των προϊόντων. Για το λόγο αυτό είναι σημαντικό να βρούμε αποδοτικούς τρόπους διαχείρισης της θερμοκρασίας, είτε μειώνοντας είτε αυξάνοντάς την, ώστε να διατηρήσουμε τις κατάλληλες συνθήκες λειτουργίας.

### **Στάνταρ απόδοσης:**

Η κατανόηση των προδιαγραφών προτύπων είναι σημαντική, ώστε να μπορούμε να εξασφαλίσουμε το επίπεδο προστασίας που προσφέρει το κάθε κουτί. Οι προδιαγραφές αυτές πλέον αποτελούν στάνταρτ πρότυπα σε κάθε χώρα και δίνουν πληροφορίες για την επικινδυνότητα ή μη συγκεκριμένων περιοχών. Για περιοχές με αυξημένη επικινδυνότητα, παρέχεται περαιτέρω περιγραφή και κατηγοριοποίηση σε τμήματα, τάξεις και ομάδες συμπεριλαμβανομένου του ενδεχόμενου συσσωρευσης επικίνδυνου υλικού στο περιβάλλον.

### **Υλικά:**

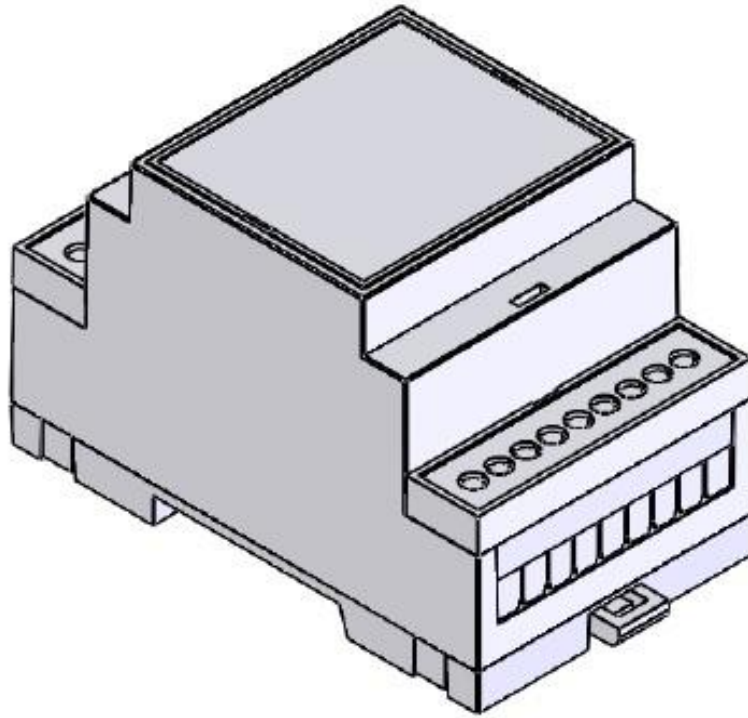
Οι παράγοντες επικινδυνότητας θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όταν επιλέγουμε το κατάλληλο υλικό για το κουτί. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται μπορεί να είναι μεταλλικά όπως π.χ αλουμίνιο και ατσάλι ή μη μεταλλικά όπως υαλοβάμβακας και πλαστικό. Η επιλογή τους εξαρτάται από τις απαιτήσεις απόδοσης της συσκευής, πχ. αν θα πρέπει να είναι αεροστεγής ή υδατοστεγής. Παρακάτω παρατίθενται κάποια υλικά τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη συσκευή καθώς και τα πλεονεκτήματά τους.

- Πρεσαριστό Αλουμίνιο: πιο τροποποιήσιμο, ελαφρύτερο από το ατσάλι και δεν σκουριάζει. Αρκετά ακριβό.
- Ανοξειδωτο ατσάλι: αντοχή στη διάβρωση, βελτιωμένη απόδοση όταν καλύπτεται με φινίρισμα πούδρας χρώματος. Ακριβό.
- Πολυεστερικό πλαστικό: ελαφρύ, αντίσταση σε χημικά και υγρασία, εξαιρετικές ιδιότητες μόνωσης, θερμική αντοχή της κλίμακας -40 ως 248 °F. Μειωμένη αντοχή κρούσης σε χαμηλές θερμοκρασίες που επηρεάζεται από την απευθείας έκθεση στο φως του ήλιου.
- Υαλοβάμβακας: Ευρεία κλίμακα θερμοκτικής αντοχής -31 ως 300 °F, διαθέσιμο σε διάφορα χρώματα, ηλεκτρικές ιδιότητες, σταθερότητα διαστάσεων, υψηλή αντοχή στην υγρασία και τα χημικά. Χαράσσεται εύκολα και μπορεί να παράξει τοξικά αέρια. Χαμηλή αντοχή κρούσης και ακριβός για τις περιοχές με χαμηλό ποσοστό κινδύνου διάβρωσης.

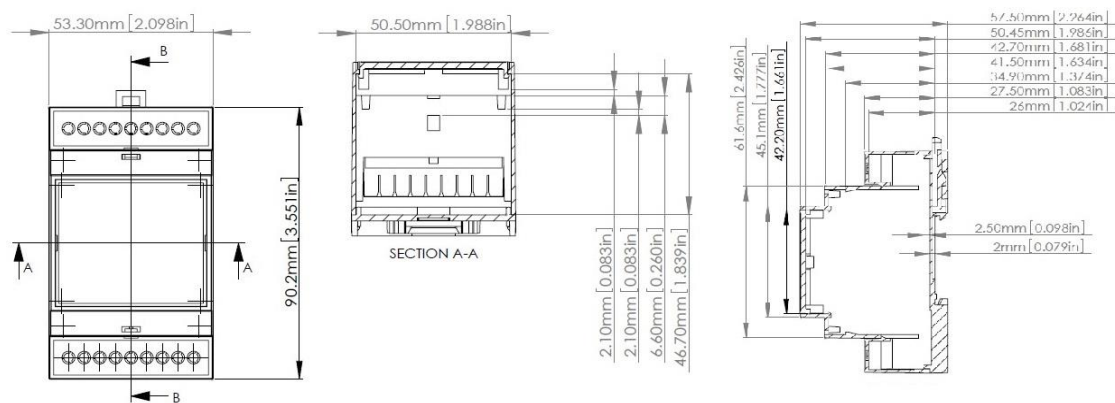
### **Μέγεθος:**

Στην επιλογή μεγέθους του κουτιού παίζει ρόλο η τοποθεσία στερέωσης της συσκευής, καθώς και όλοι οι άλλοι παράγοντες που ευθύνονται για τη σωστή της λειτουργία στην τοποθεσία αυτή.

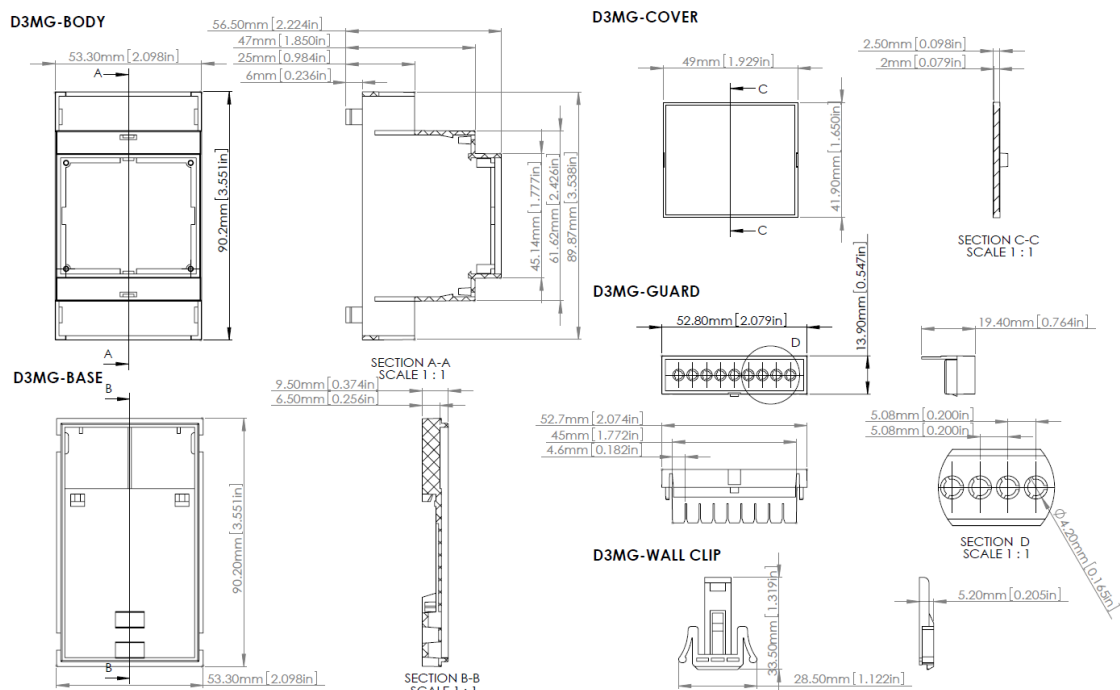
### 3.3 Επιλογή και αιτιολόγηση κουτιού



Εικόνα 8 Κουτί της συσκευής



Εικόνα 9 Διαστάσεις κουτιού



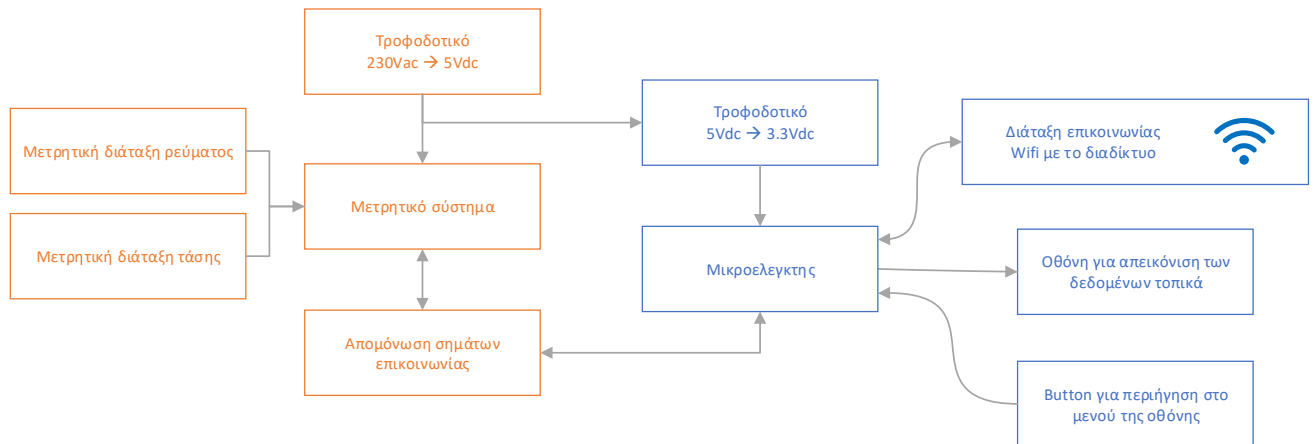
Εικόνα 10 Διαστάσεις κουτιού και παρελκόμενων εξαρτημάτων.

Το παραπάνω κουτί χρησιμοποιήθηκε για να τοποθετήσουμε μέσα του όλα τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα και τις ηλ.πλακέτες που απαρτίζουν τον έξυπνο μετρητή της εργασίας. Τα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου κουτιού που το έκανε να ξεχωρίσει έναντι άλλων επιλογών είναι τα εξής:

1. Επαρκές μέγεθος στο εσωτερικό του κουτιού ώστε να χωράν τα υλικά μας.
2. Αρκετά μικρό στο μέγεθος ώστε να είναι δυνατή η εγκατάσταση σε ηλεκτρολογικό πίνακα.
3. Ειδικό κούμπωμα (din-rail form factor) στην πλάτη του που του δίνει την δυνατότητα εύκολης εγκατάστασης και απεγκατάστασης σε ηλεκτρολογικό πίνακα.
4. Υλικό κατασκευής ABS UL-94V0. Το παραπάνω υλικό είναι βραδύκαυστο και δεν προκαλεί αναζωπυρώσεις στην περίπτωση μιας πυρκαγιάς.
5. Προστασία IP 20 η οποία διασφαλίζει προστασία έναντι στερεών αντικειμένων άνω των 12.5 mm (π.χ. δάχτυλα) [Γ22]
6. Πολύ χαμηλό κόστος αγοράς στην λιανική αγορά (2.2€).
7. Εύκολα επεξεργάσιμο χωρίς ειδικά εργαλεία.

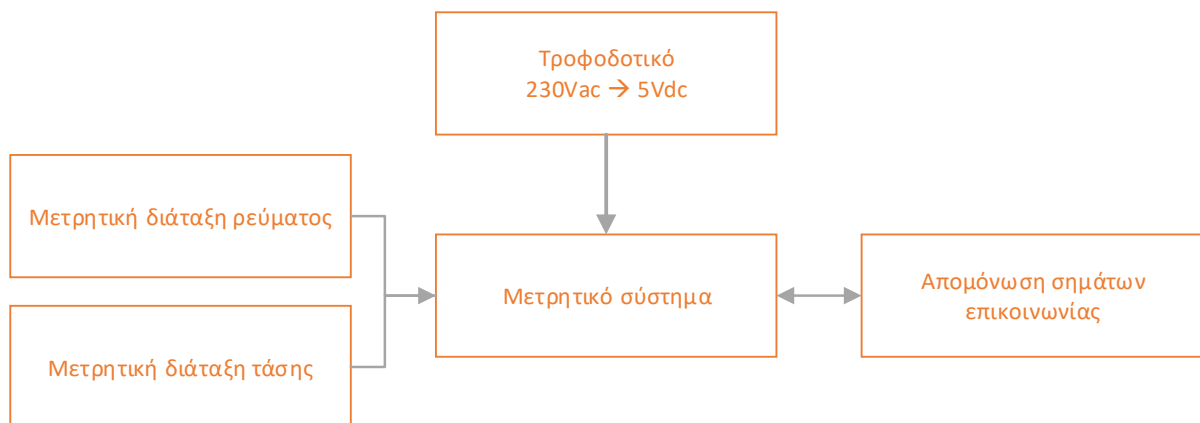


### 3.4 Μπλοκ διάγραμμα του έξυπνου μετρητή προς κατασκευή



Εικόνα 11 Διάγραμμα έξυπνου μετρητή

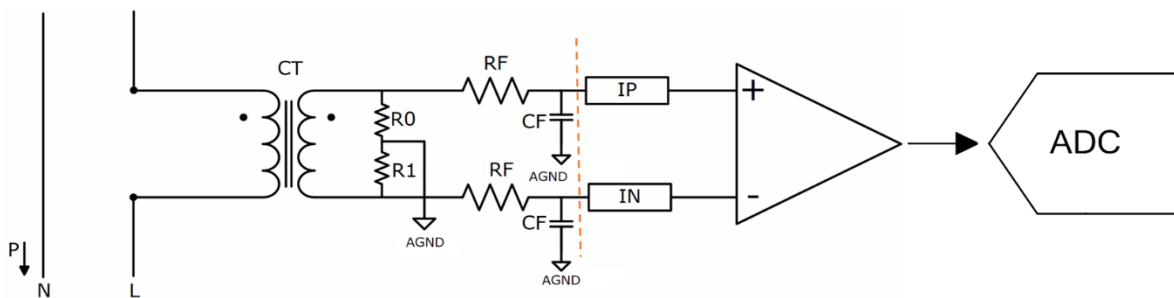
Στην παραπάνω εικόνα τμηματοποιήσαμε τον έξυπνο μετρητή σε μικρότερα κομμάτια. Τα παραπάνω κομμάτια του μπλοκ διαγράμματος είναι τα ελάχιστα απαραίτητα τα οποία χρειάζονται ώστε ο μετρητής που θα κατασκευάσουμε να έχει τις δυνατότητες που έχουμε ορίσει.



Εικόνα 12 Διάγραμμα μετρητικής διάταξης

Η τοπολογία που παρουσιάζεται παραπάνω απεικονίζει τις βαθμίδες των κυκλωμάτων που χρησιμοποιήθηκαν για την μέτρηση των ηλεκτρικών φορτίων καθώς και την επικοινωνία με τον μικροελεγκτή.

Η μετρητική διάταξη ρεύματος αποτελείται από τον μετασχηματιστή έντασης, μία αντίσταση ακριβείας, έναν διαφορικό ενισχυτή και ένα κύκλωμα αναλογικό-ψηφιακού μετατροπέα ADC (Analog to Digital Converter).



Εικόνα 13 - Κύκλωμα μετρητικής διάταξης ρεύματος

Ο μετασχηματιστής έντασης παράγει στα άκρα του τάση ανάλογη με το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείτε λόγω του ρεύματος που περνάει μέσω του καλωδίου που τροφοδοτεί το φορτίο μας.

Χρησιμοποιώντας τον διαφορικό ενισχυτή μπορούμε να μετρήσουμε την τάση στα άκρα της αντίστασης ακριβείας και στην συνέχεια να υπολογίσουμε την τιμή του ρεύματος σε πραγματικό χρόνο.

Το επόμενο βήμα είναι να μετατρέψουμε την αναλογική τιμή της τάσης στα άκρα της αντίστασης σε διακριτή, ψηφιακή, τιμή για να την επεξεργαστεί ή να την αποθηκεύσει το μετρητικό σύστημα της συσκευής μας.

Η μετρητική διάταξη τάσης αποτελείται από έναν διαιρέτη τάσης με μία σχέση διαίρεσης αρκετά μεγάλη ώστε να προσαρμόσουμε την τάση που θέλουμε να μετρήσουμε στα όρια που λειτουργεί η είσοδος του μετρητικού μας συστήματος.

Χρησιμοποιώντας τον διαφορικό ενισχυτή μπορούμε να μετρήσουμε και να ενισχύσουμε την τάση από τον διαιρέτη τάσης και να υπολογίσουμε την τιμή της τάσης.

Στην συνέχεια, μετατρέπουμε την τάση της εξόδου διαφορικού ενισχυτή σε διακριτή, ψηφιακή, τιμή με έναν αναλογικο-ψηφιακό μετατροπέα (AnalogDigitalConver).

Το μετρητικό σύστημα του έξυπνου μετρητή αποθηκεύει όλες τις τιμές της τάσης και του ρεύματος σε πραγματικό χρόνο με υψηλή ακρίβεια καθώς υπολογίζει και άλλα μεγέθη όπως ο συντελεστής ισχύος (Power Factor), η στιγμιαία κατανάλωση ισχύος αλλά και η κατανάλωση ισχύος ανά ώρα (Watt/Hour).

Ο μικροελεγκτής του έξυπνου μετρητή επικοινωνεί με το μετρητικό σύστημα μέσω της διάταξης επικοινωνίας, της οποίας προηγείται μια βαθμίδα απομόνωσης για λόγους ασφαλείας.

Η επικοινωνία είναι τύπου RS-485 και το πρωτόκολλο επικοινωνίας που χρησιμοποιείτε είναι το Modbus. Η επικοινωνία με RS-485 παρέχει τα εξής βασικά χαρακτηριστικά:

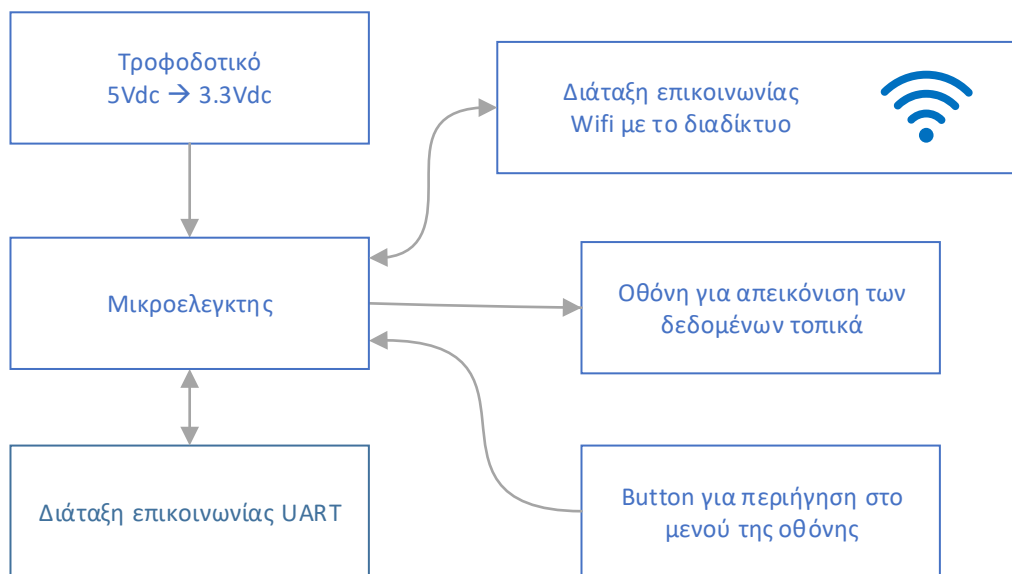
Ανοσία στον ηλεκτρομαγνητικό θόρυβο επειδή τα σήματα στην επικοινωνία είναι διαφορικά.

Υποστηρίζει την τεχνική “single master and multiple slaves” στην οποία μπορείς να έχεις μια συσκευή η οποία διαχειρίζεται πολλές άλλες μέσω δύο μόνο καλωδίων.

Ως αρνητικά χαρακτηριστικά της τεχνολογίας RS-485 είναι:

Η αδυναμία να σταλούν δεδομένα ταυτόχρονα από δύο ή παραπάνω συσκευές στον ίδιο δίαυλο επικοινωνίας.

Δεν είναι δυνατόν να μεταφέρεις μεγάλο όγκο δεδομένων λόγω του περιορισμού της ταχύτητας του (115.2 Kbps)



Εικόνα 14 - Διάγραμμα μικροελεγκτή και επιμέρους περιφερειακά

Η τοπολογία που παρουσιάζεται παραπάνω απεικονίζει τις βαθμίδες των κυκλωμάτων που απαρτίζουν την επικοινωνία με την μετρητική βαθμίδα, τον μικροελεγκτή με τα περιφερειακά του καθώς και τον τρόπο επικοινωνίας με τον διακομιστή (server).

Το τροφοδοτικό που χρησιμοποιήθηκε για να παράγει την κατάλληλη τάση ώστε να λειτουργήσει ο μικροελεγκτής και τα περιφερειακά είναι ένα low-cost τροφοδοτικό το οποίο είναι ικανό να μετατρέψει την τροφοδοσία 230Vac σε 5V/1A.

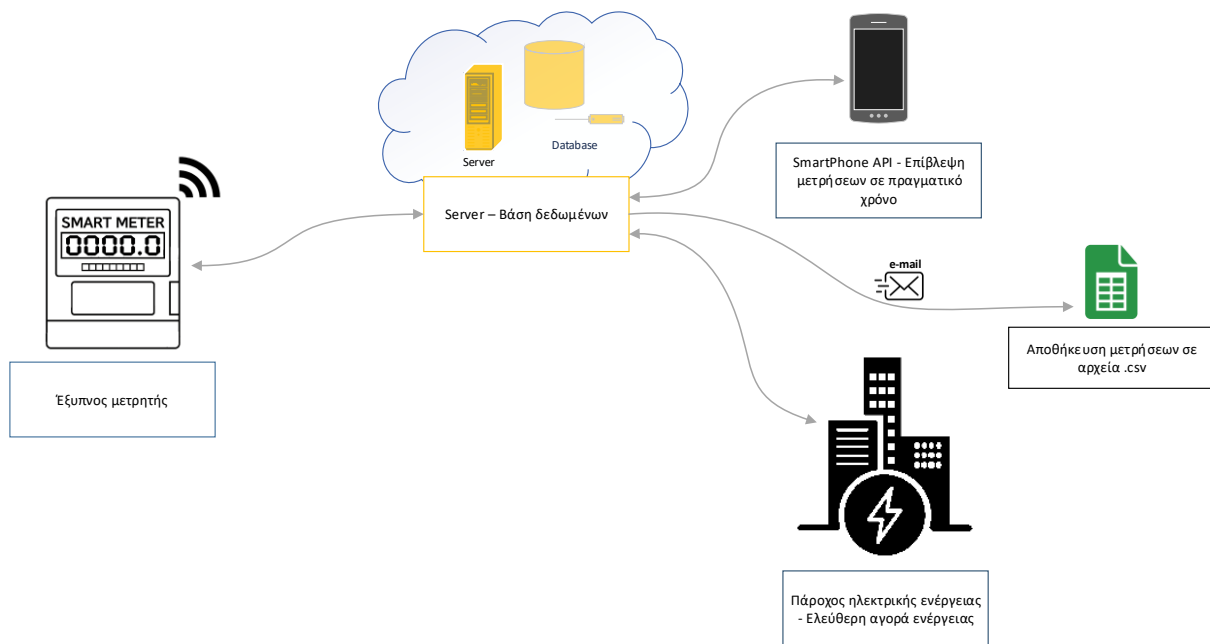


Εικόνα 15 Τροφοδοτικό 230Vac – 5Vdc

Η διάταξη επικοινωνίας στο διάγραμμα της εικόνας 2.3 είναι η ίδια που χρησιμοποιήθηκε και στην διάταξη επικοινωνίας της μετρητικής βαθμίδας (RS-485).

Ο μικροελεγκτής που χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση του έξυπνου μετρητή επιλέχθηκε λόγω του χαμηλού κόστους αγοράς αλλά και της δυνατότητας ασύρματης επικοινωνίας wifi. Χάριν τον ενσωματωμένο πομποδέκτη wifi μπορούμε μέσω του διαδικτύου να επικοινωνήσουμε με τον διακομιστή (server) ώστε να αποθηκεύσουμε με ασφάλεια τα δεδομένα που έχουμε συλλέξει με τον έξυπνο μετρητή.

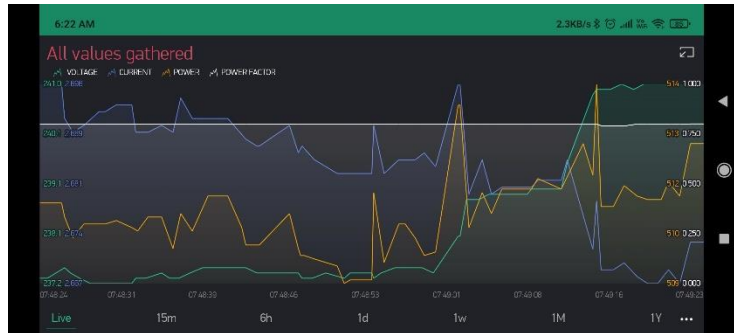
Για την παρακολούθηση των μετρήσεων του μετρητή τοπικά προστέθηκε μια οθόνη τύπου oLed καθώς και κουμπιά για πλοήγηση στο μενού της οθόνης.



Εικόνα 16 - Επικοινωνία έξυπνου μετρητή – διακομιστή – βάση δεδομένων – smartphone

Στην παραπάνω εικόνα βλέπουμε ότι όλα τα κομμάτια που απαρτίζουν το project συνδέονται μέσω του διακομιστή (server). Ο διακομιστής είναι υπεύθυνος για την σωστή και ασφαλή επικοινωνία μεταξύ των συσκευών αλλά και μεταξύ των συσκευών και της βάσης δεδομένων. Οι μετρήσεις του έξυπνου μετρητή αποθηκεύονται στην βάση δεδομένων. Ο χρήστης μπορεί ανά πάσα στιγμή να τις αποθηκεύσει τοπικά αποστέλλοντας τες στο email του μέσα από την εφαρμογή του project. Η μορφή (format) που αποθηκεύονται οι μετρήσεις είναι σε αρχεία .csv, τα οποία επιτρέπουν την εύκολη διαχείριση των δεδομένων από τα εργαλεία απεικόνισης και ανάλυσης.

Ο έξυπνος μετρητής είναι συνδεδεμένος στον διακομιστή και η βασική του λειτουργία είναι να αποστέλλει τις μετρήσεις των ηλεκτρικών φορτίων. Ο χρήστης του συστήματος μπορεί μέσω μιας εφαρμογής σε smart-phone να συνδεθεί στον server και να παρακολουθήσει τις μετρήσεις του μετρητή ανά πάσα στιγμή.



Εικόνα 17 - Παρακολούθηση μετρήσεων από την εφαρμογή σε smartphone

Η εφαρμογή που κατασκευάστηκε για την συγκεκριμένη εργασία σκοπό έχει να απεικονίσει τις μετρήσεις στον χρήστη με τρόπο εύκολο, άμεσο και κατανοητό. Γι' αυτό τον λόγο δίνει στον χρήστη την δυνατότητα να παρακολουθήσει τα δεδομένα μέσω γραφικών παραστάσεων και άλλων εργαλείων.

Το πρωτόκολλο επικοινωνίας που χρησιμοποιείτε μεταξύ όλων των συσκευών είναι το TCP/IP. Το παραπάνω πρωτόκολλο επικοινωνίας ανεξαρτήτως του υποκείμενου δικτύου προσφέρει έλεγχο σφαλμάτων, κατάρτιση και ρύθμιση ροής στην μεταφορά των δεδομένων. Τα δύο αυτά χαρακτηριστικά μας εξασφαλίζουν την διάδοση των δεδομένων.

Για την ασφάλεια των δεδομένων από υποκλοπές χρησιμοποιήθηκε το πρωτόκολλο κρυπτογράφησης TLS 1.2. Το παραπάνω πρωτόκολλο κρυπτογράφησης χρησιμοποιεί την τεχνική της “συμμετρικής κρυπτογραφίας” στην οποία τα δημόσια κλειδιά αποκρυπτογράφησης δημιουργούνται βάση ενός κοινού “μυστικού” (hash) το οποίο συμφωνείται στην αρχή της συνεδρίας και είναι μοναδικά για κάθε σύνδεση. Το κοινό “μυστικό” (hash) που δημιουργεί τα δημόσια κλειδιά πρέπει να διατηρηθεί σε ασφαλή τοποθεσία διότι αν το πάρει κάποιος στα χέρια του τότε μπορεί να αποκρυπτογραφήσει την επικοινωνία μεταξύ των συνδέσεων.

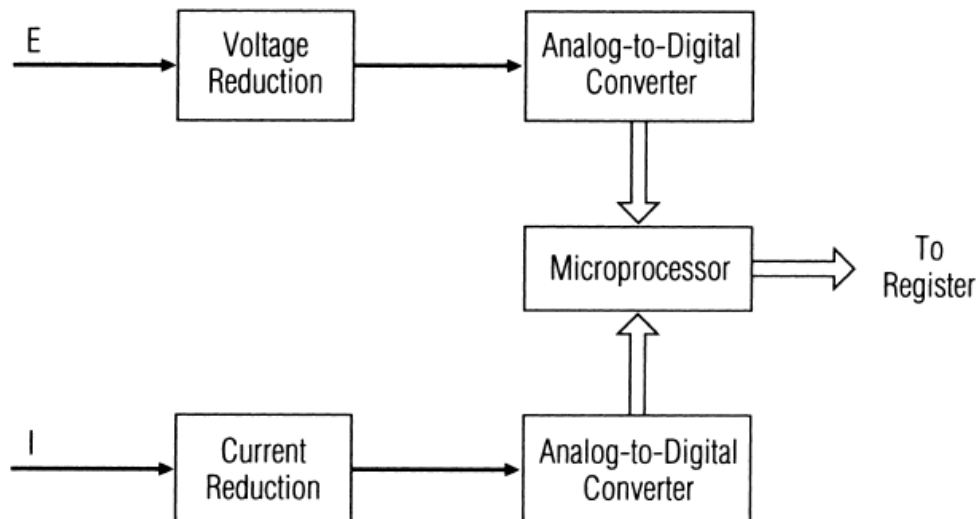
### 3.5 Επιλογή ηλεκτρονικών υλικών και module που επιλέξαμε

Τα στάδια τα οποία πραγματοποιήθηκαν μέχρι να καταλήξουμε στα συγκεκριμένα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν για το ηλεκτρονικό κύκλωμα μας ήταν τα εξής:

1. Αναζήτηση σε βιβλιογραφία των τεχνικών και των κυκλωμάτων μέτρησης εναλλασσόμενης τάσης και ρεύματος [A2]

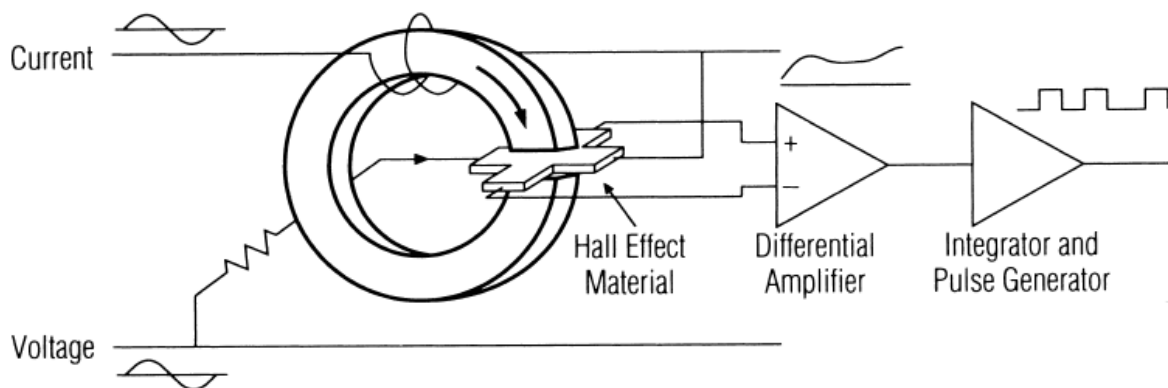
2. Αναζήτηση ολοκληρωμένων κυκλωμάτων (ICs) σε ιστοσελίδες κατασκευαστών chip όπως η STMicroelectronics, Maxim integrated, Vangotech, Texas Instruments, Cirrus logic κτλ.
3. Μελέτη των προτεινόμενων κυκλωμάτων και των datasheet των εξαρτημάτων ώστε να καταλήξουμε ποιο από όλα τα μετρητικά IC ταιριάζει στις ανάγκες και τις προδιαγραφές της εργασίας.
4. Αναζήτηση μετρητικών μονάδων – module στην αγορά

Μελετώντας την βιβλιογραφία [A2] καταλήξαμε στο παρακάτω block διάγραμμα το οποίο περιγράφει τα στάδια του κυκλώματος μέτρησης ώστε να μπορούμε να μετρήσουμε τα μεγέθη της τάσης και του ρεύματος.



Εικόνα 18 [A2] Μπλοκ διάγραμμα μετρητικής διάταξης

Βλέπουμε στο παραπάνω διάγραμμα πως λόγω του ότι η τάση και το ρεύμα είναι πολύ μεγάλα μεγέθη σε σχέση με το μετρητικό κύκλωμα το πρώτο πράγμα που θα πρέπει να κάνουμε είναι να μειώσουμε την τάση και το ρεύμα ώστε να μετρήσουμε με ασφάλεια αυτά τα δύο μεγέθη. Η τάση μπορεί να μειωθεί με την χρήση ενός μετασχηματιστή ή ενός διαιρέτη τάσης [A2]. Στο δικό μας κύκλωμα θα προτιμήσουμε την χρήση ενός διαιρέτη τάσης διότι στόχος μας είναι η μείωση του κόστους.



Εικόνα 19 [A1] Περιγραφή διάταξης μέτρησης εναλλασσόμενου ρεύματος

Το εναλλασσόμενο ρεύμα μπορεί να μετρηθεί είτε με μια αντίσταση τύπου “shunt” είτε με έναν μετασχηματιστή εντάσεως (Current Transformer). Ο μετασχηματιστής εντάσεως διεγείρεται από το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται στο καλώδιο τροφοδοσίας λόγω του εναλλασσόμενου ρεύματος που το διαπερνάει. Έτσι δημιουργείται μια τάση στα άκρα του μετασχηματιστή η οποία είναι ανάλογη με το ρεύμα του μετρούμενου φορτίου.

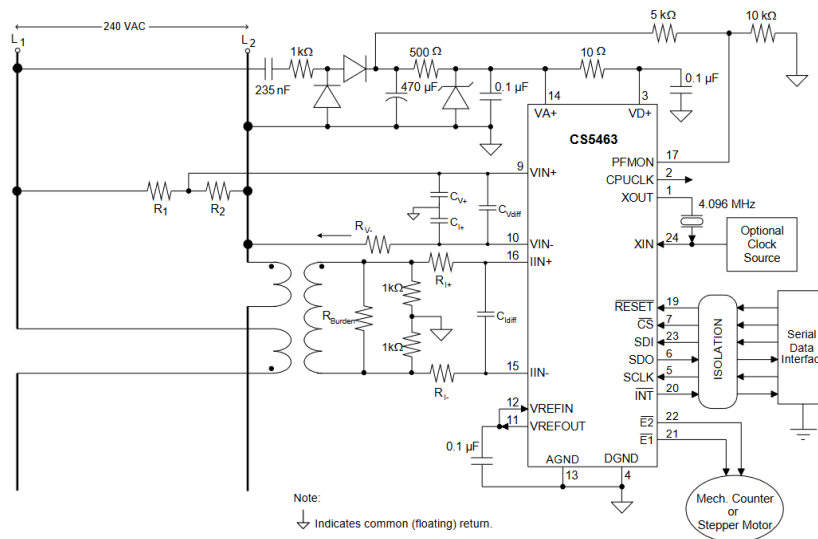
Στο δικό μας κύκλωμα θα χρησιμοποιήσουμε έναν μετασχηματιστή εντάσεως (CT) για την μέτρηση του ρεύματος διότι ένας τέτοιου είδους μετασχηματιστής μας δίνει την δυνατότητα μέτρησης μεγάλων ρευμάτων απομονώνοντας το μετρητικό κύκλωμα από το μετρούμενο φορτίο.

Έχοντας κατανοήσει το πρώτο στάδιο για την μέτρηση της τάσης και του ρεύματος μας στην συνέχεια αναζητήσαμε στις ιστοσελίδες κατασκευαστών για αναλογικο-ψηφιακούς μετατροπείς οι οποίοι θα μετατρέψουν τα αναλογικά μας σήματα σε ψηφιακή διακριτά σήματα ώστε να μπορούμε πλέον με κάποια επεξεργαστική μονάδα να αποθηκεύσουμε αυτές τις τιμές και να κάνουμε και όλες εκείνες τις μαθηματικές πράξεις ώστε να υπολογίσουμε την ισχύ (ενεργό και άεργη), την συχνότητα αλλά και την κατανάλωση ενέργειας (Watt/Hour).

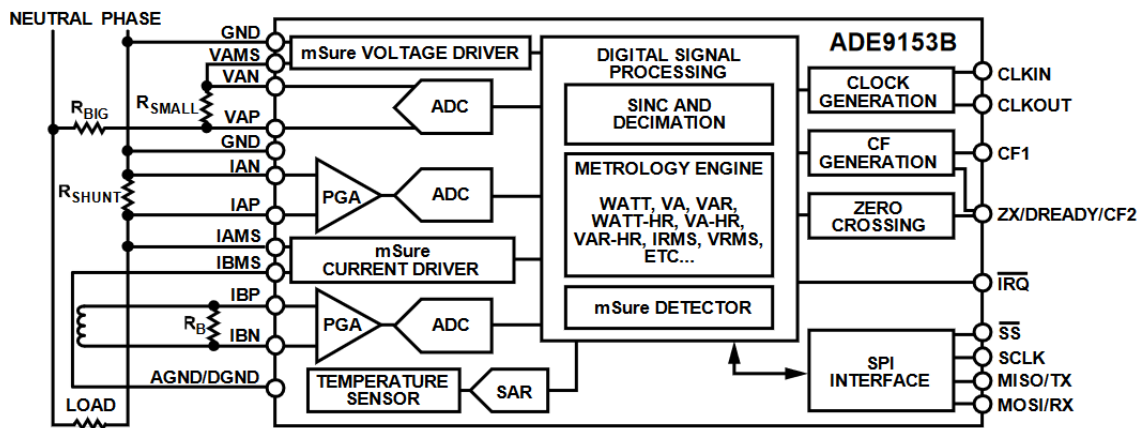
Κατά την διάρκεια αυτής της αναζήτησης, είδαμε πως οι κατασκευαστές ηλεκτρονικών εξαρτημάτων έχουν ICs τα οποία περιέχουν μέσα σε ένα μόνο τσιπ τους αναλογικο-ψηφιακούς μετατροπείς (ADC), κύκλωμα φιλτραρίσματος και ολοκλήρωσης σημάτων, επεξεργαστική μονάδα που υπολογίζει την ισχύς καθώς και τα υπόλοιπα μεγέθη που χρειαζόμαστε και τέλος κύκλωμα επικοινωνίας το οποίο μας επιτρέπει να επικοινωνήσουμε με το IC και να πάρουμε τις μετρήσεις μας.



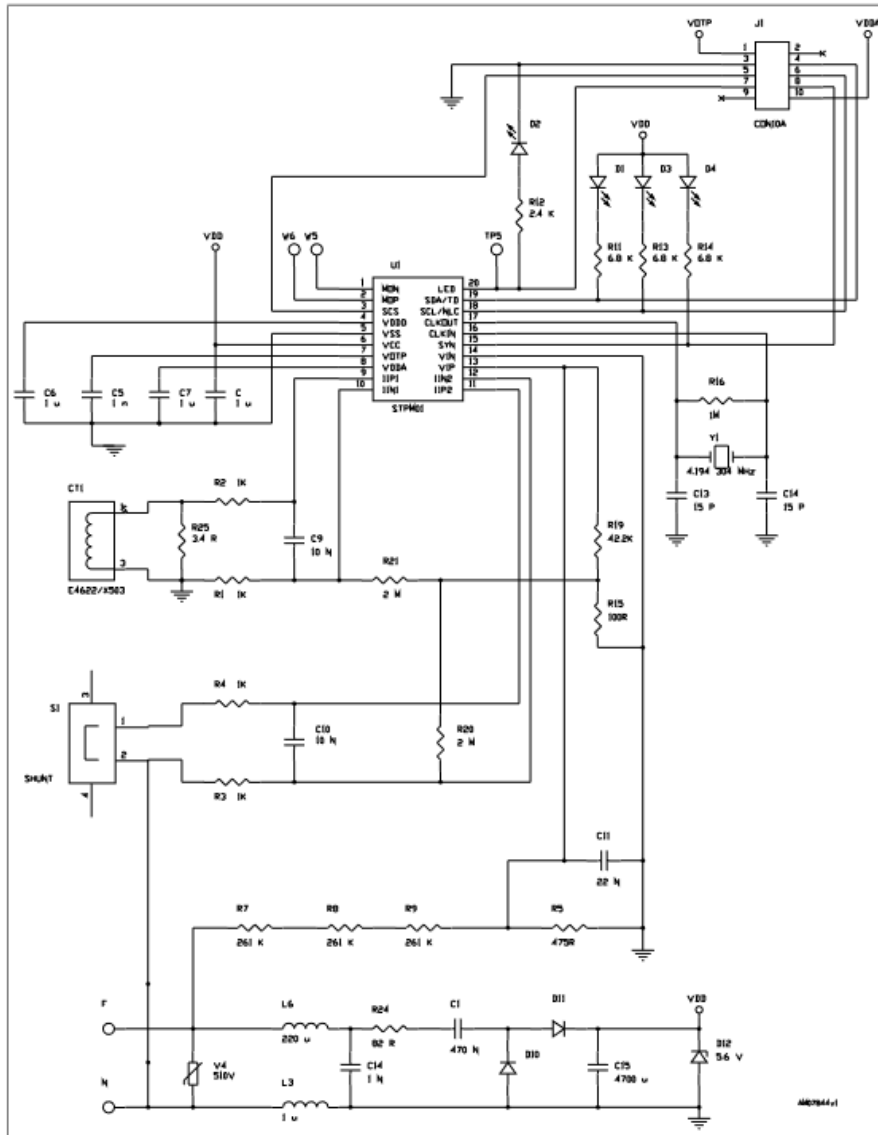
Σημαντικό είναι να τονίσουμε ότι στα datasheet των παραπάνω ολοκληρωμένων κυκλωμάτων (IC) βρίσκονται αρκετές πληροφορίες και προτεινόμενα ηλεκτρονικά κυκλώματα για την κατασκευή μιας μετρητικής μονάδας.



Εικόνα 20 [Γ19] Τυπικό διάγραμμα συνδέσεων - CS5463



Εικόνα 21 [Γ20] Τυπικό κύκλωμα μετρητικής μονάδας - ADE9153N

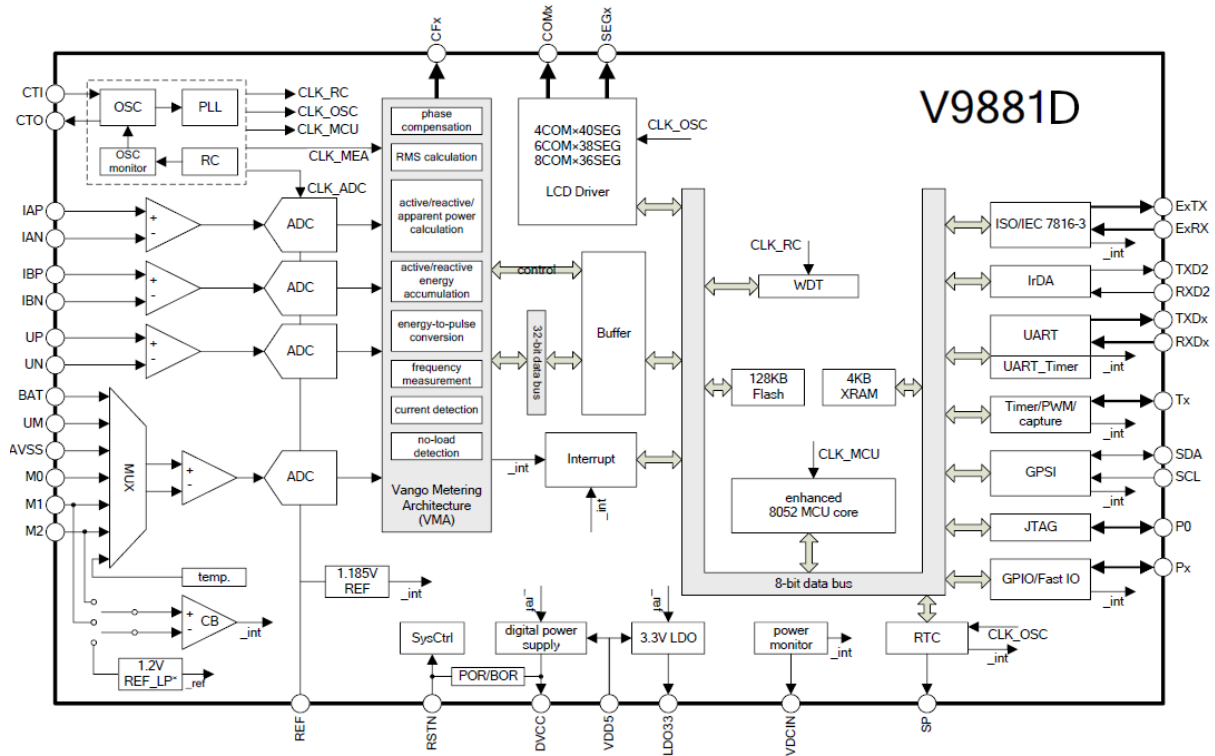


Εικόνα 22 [Γ21] Προτεινόμενο ηλεκτρονικό σχέδιο κατασκευαστή - STPM01

Μετά από την αναζήτηση των IC καταλήξαμε πως θα χρησιμοποιήσουμε το ολοκληρωμένο κύκλωμα V9881D της “Vango Technologies”. Καταλήξαμε να χρησιμοποιήσουμε το παραπάνω IC διότι:

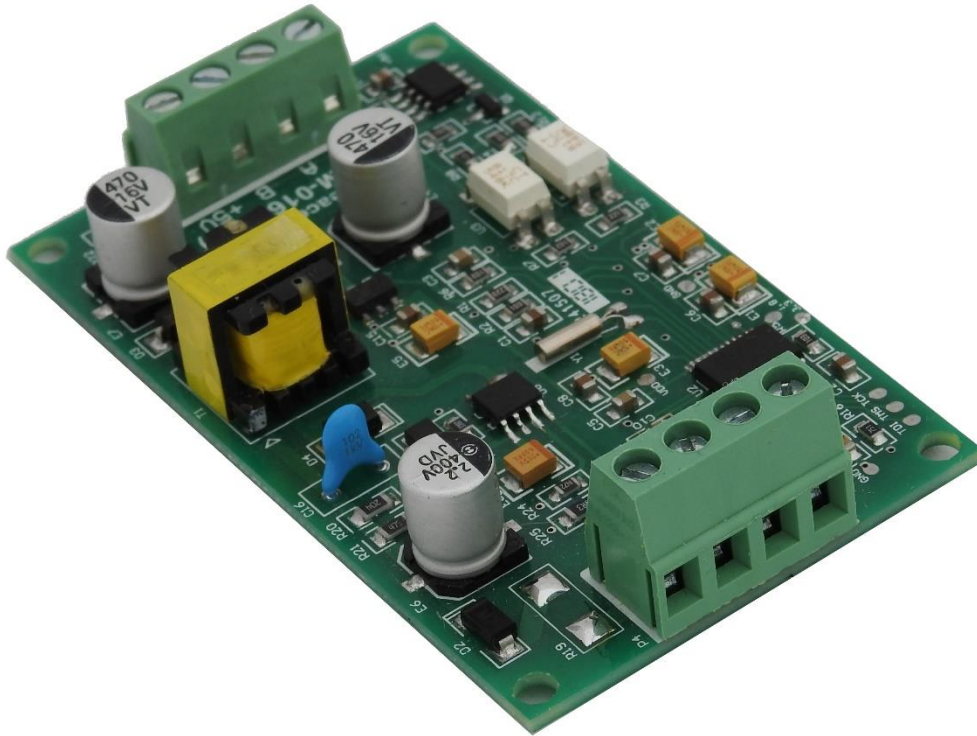
1. Έχει υψηλή ακρίβεια στις μετρήσεις των μεγεθών της τάσης, του ρεύματος, της συχνότητας, του συντελεστή ισχύος και της ισχύος.
2. Με βάση τον κατασκευαστή το παραπάνω IC πληροί τις προδιαγραφές των προτύπων του IEC 62053-21, IEC 62053-22 και του IEC 62053-2. Τα παραπάνω είναι πρότυπα ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας και ασφάλειας τα οποία πρέπει να πληροί μια συσκευή για να επιτραπεί η πώληση και διακίνηση της στην αγορά.

3. Βρήκαμε να πωλείται όλο το κύκλωμα της μετρητικής μονάδας, του τροφοδοτικού και της απομονωμένης επικοινωνίας σε module. Το κόστος του module ήταν πολύ χαμηλότερο από την αγορά του κάθε ηλεκτρονικού εξαρτήματος χωριστά και την κατασκευή ηλεκτρονικής πλακέτας για αυτά.

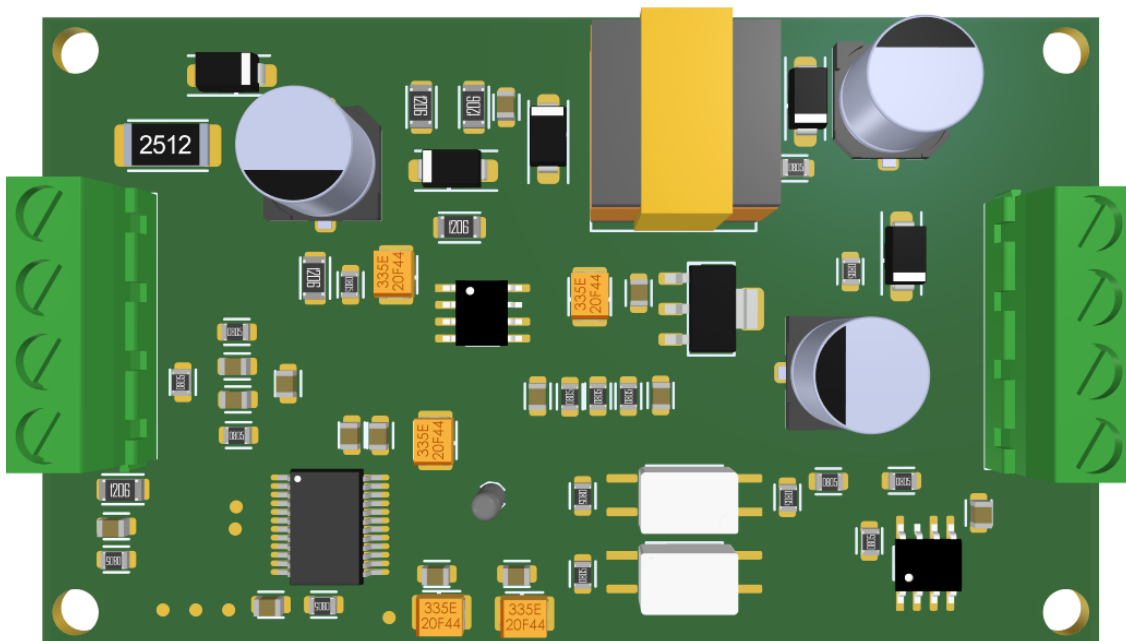


Εικόνα 23 [Γ9] Μπλοκ διάγραμμα IC V9881D

Παρακάτω φαίνεται το module που τελικά επιλέξαμε να χρησιμοποιήσουμε για την κατασκευή του μετρητή το οποίο περιέχει το IC V9881D.



Εικόνα 24 V9881D module PCB



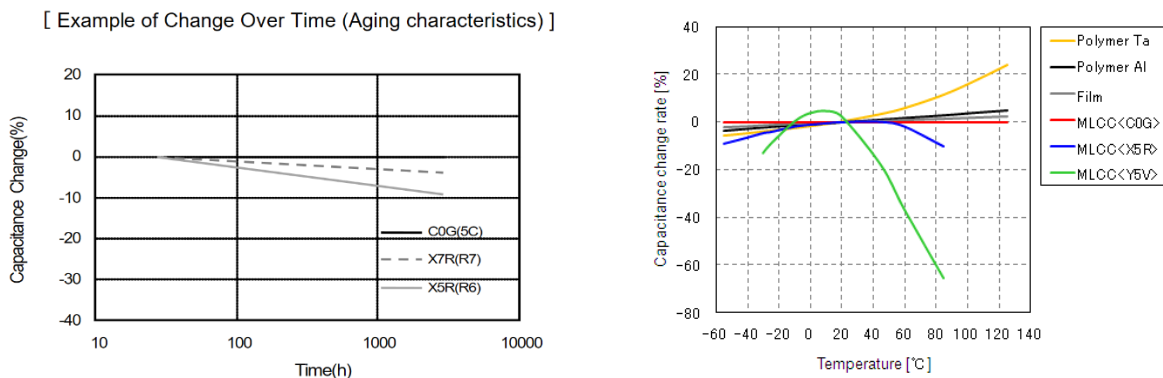
Εικόνα 25 V9881D module PCB top view

Είναι πολύ σημαντικό να τονίσουμε πως η θερμοκρασία λειτουργίας των ηλεκτρονικών υλικών ορίζει και το εύρος της θερμοκρασίας που μπορεί να λειτουργήσει μια ηλεκτρονική συσκευή. Για αυτό και τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα κατηγοριοποιούνται ως εξής:

Πίνακας 2 Κατηγορίες ηλεκτρονικών εξαρτημάτων

Εμπορικά:	0 ° μέχρι +70 °C
Βιομηχανικά:	-40 ° μέχρι +85 °C
Αυτοκινήτων:	-40 ° μέχρι +125 °C
Στρατιωτικά:	-55 ° μέχρι +125 °C

Ένα από τα υλικά του οποίου η τιμή επηρεάζεται πάρα πολύ από την αλλαγή στην θερμοκρασία είναι οι κεραμικοί πυκνωτές οι οποίοι βρίσκονται σχεδόν σε όλες τις ηλεκτρονικές συσκευές. Οι κεραμικοί πυκνωτές, οι οποίοι είναι κατασκευασμένοι με διηλεκτρικό υλικό X5R, επηρεάζονται σε πολύ μεγάλο βαθμό από τον χρόνο αλλά και από την θερμοκρασία σε σχέση με τους πυκνωτές κατασκευασμένοι από τα διηλεκτρικά υλικά X7R και COG.



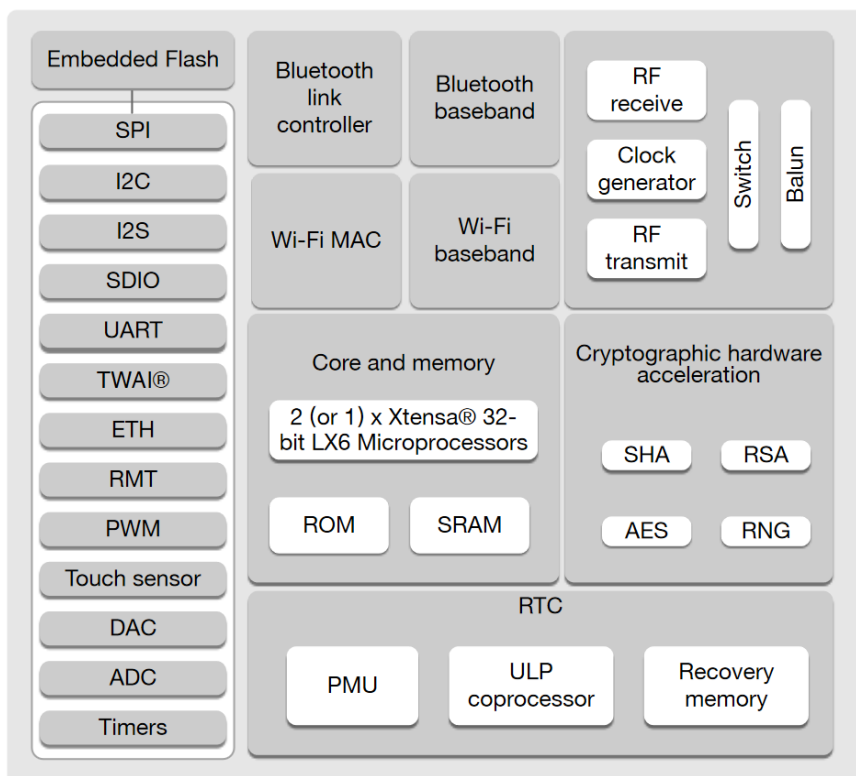
Εικόνα 26 Επιρροή χρόνου και θερμοκρασίας στην χωρητικότητα των πυκνωτών.

Ένας κεραμικός πυκνωτής Y5V χωρητικότητας 10uF σε μια θερμοκρασία 80 βαθμών κελσίου καταλήγει να έχει τιμή 4uF, έχει εν ολίγης μείωση της χωρητικότητας ως και 60%. Αυτό θα μπορούσε να είναι μια περίπτωση όπου οι πυκνωτές σύζευξης ενός τροφοδοτικού προκαλούν στο τροφοδοτικό να αστάθεια και πιθανότατα να προκληθεί βλάβη στο τροφοδοτικό μιας συσκευής ή και στο υπόλοιπο κύκλωμα.



Εικόνα 27 RF αναμεταδότης - επεξεργαστής ESP32-D0WDQ6

Το ESP32-D0WDQ6 της Espressif είναι ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα με RF αναμεταδότη το οποίο έχει δυνατότητες Bluetooth, WiFi στα 2.4GHz, δύο μικροεπεξεργαστές 32-bit LX6 της Xilinx, εσωτερική μνήμη Flash, ROM και αρκετά άλλα περιφερειακά όπως timers, ADC και DAC κανάλια, αναλογικές εισόδους για αισθητήρες αφής (capacitive touch), παράλληλες και σειριακές επικοινωνίες τύπου SPI, I2C, UART, ethernet κ.α.



Εικόνα 28 Διάγραμμα περιφερειακών του ESP32-D0WDQ6

Στην σχεδίαση μας θα χρησιμοποιήσουμε το ESP-WROOM-32 module της Espressif, το οποίο έχει ήδη πάνω του το ολοκληρωμένο ESP32-D0WDQ6. Το παραπάνω module μας δίνει την δυνατότητα εύκολης κόλλησης σε ηλεκτρονική πλακέτα σε σχέση με το package του ESP32-D0WDQ6 που χρειάζεται εξειδικευμένες μηχανές και διαδικασίες κόλλησης. Επίσης περιλαμβάνει κεραία τύπου patch στα 2.4GHz για Bluetooth και Wifi, έξτρα SPI flash μνήμη 4MB καθώς και όλα τα απαραίτητα ηλεκτρονικά υλικά που χρειάζεται το ESP32-D0WDQ6 για να λειτουργήσει.



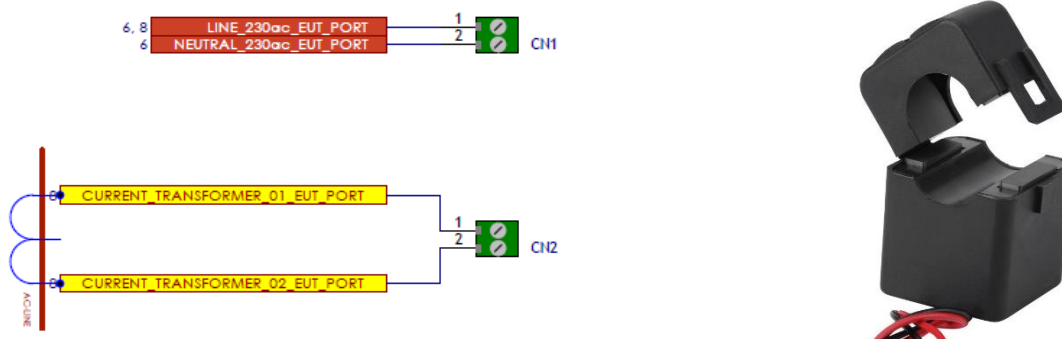
Εικόνα 29 ESP-WROOM-32 module

Επιλέξαμε να χρησιμοποιήσουμε το IC ESP-WROOM-32 για τους εξής λόγους:

1. Είναι ίσως ο πιο φθηνός επεξεργαστής στην αγορά ο οποίος έχει δυνατότητες διασύνδεσης wifi και Bluetooth στα 2.4GHz.
2. Ο compiler και το SDK της espressif είναι open-source το οποίο μειώνει το κόστος παραγωγής σημαντικά
3. Εύκολο στην κόλληση σε ηλεκτρονική πλακέτα (PCB)
4. Λειτουργεί στις επιθυμητές για το project θερμοκρασίες
5. Και έχει μεγάλη μνήμη η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποθήκευση των δεδομένων τοπικά αλλά και για μελλοντική αναβάθμιση του FW της συσκευής.

### 3.6 Ηλεκτρονικό σχηματικό διάγραμμα του έξυπνου μετρητή

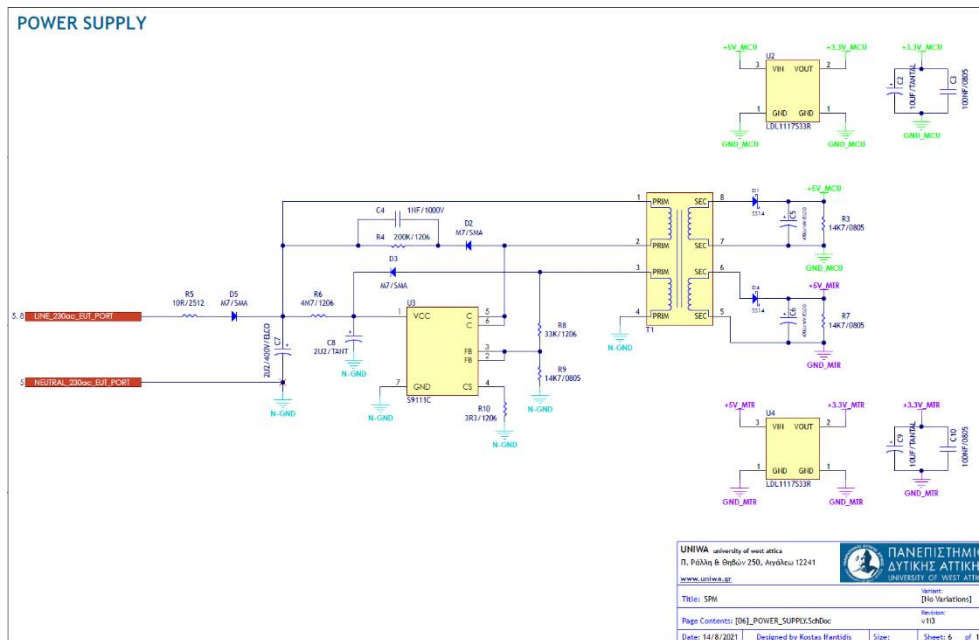
Παρακάτω παρατήθονται τα ηλεκτρονικά σχέδια του μετρητή τα οποία θα αναλύσουμε τμηματικά για την καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας του κυκλώματος.



Εικόνα 30 Αριστερά: Είσοδοι συσκευής – Κλέμες. Δεξιά: Μτσχ. εντάσεως διαχωριζόμενου πυρίνα

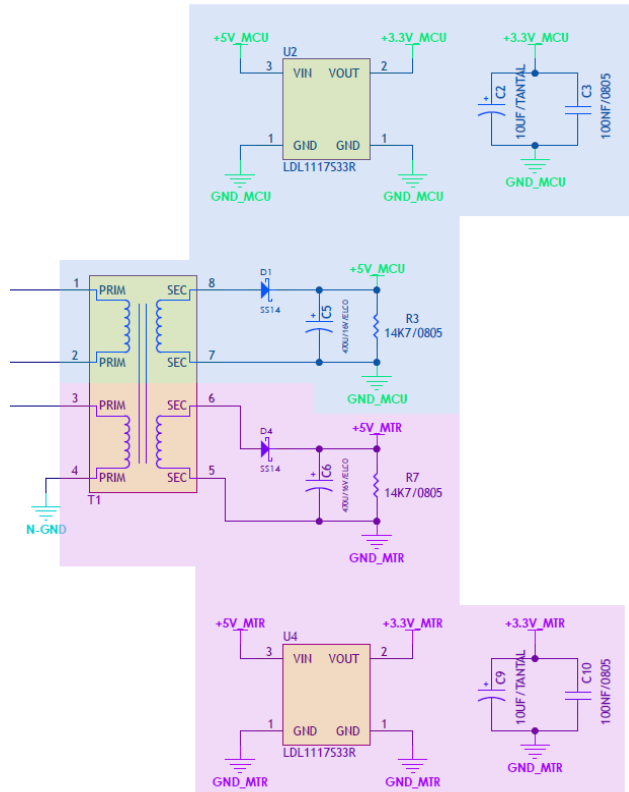
Στην παραπάνω αριστερά εικόνα απεικονίζεται η σύνδεση του μετασχηματιστή εντάσεως ο οποίος χρησιμοποιείται για να μετρήσουμε το εναλλασσόμενο ρεύμα που διέρχεται από το καλώδιο που θέλουμε να μετρήσουμε. Για να γίνει πιο εύκολη η εγκατάσταση/ απεγκατάσταση του μετρητή χρησιμοποιήσαμε μετασχηματιστή εντάσεως διαχωριζόμενου πυρίνα (Εικόνα 30). Ο παραπάνω μετασχηματιστής δουλεύει εξίσου καλά όπως και οι τοροειδής μετασχηματιστές οι οποίοι δεν είναι διαχωριζόμενου πυρίνα. Επίσης και το κόστος του δεν διαφέρει σε τέτοιο βαθμό ώστε να επηρεάζει αρκετά το κόστος της συσκευής.





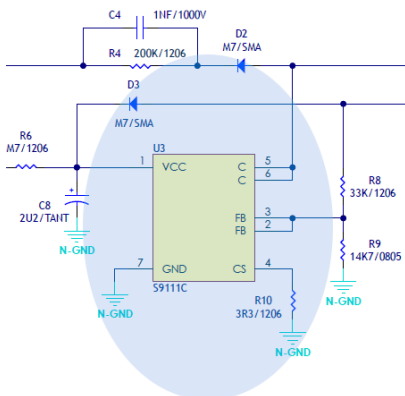
Εικόνα 31 Τροφοδοτικό του module μετρητή

Το παραπάνω κύκλωμα είναι το τροφοδοτικό της συσκευής. Η τάση λειτουργίας του τροφοδοτικού είναι 90~265Vac και στην έξοδο του έχουμε δύο απομονωμένες και ημιανορθωμένες εξόδους. Η τάση στις εξόδους του μετασχηματιστή από ημιανορθωμένη μετά τις διόδους D1, D4 μετατρέπεται σε συνεχής με την χρήση των ηλεκτρολυτικών πυκνωτών C5 και C6. Και έτσι διαμορφώνονται τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της εξόδου του τροφοδοτικού μας σε 5Vdv/ 0.5A στην κάθε έξοδο. Το κύκλωμα της ανόρθωσης με τις εξόδους βρίσκεται στην Εικόνα 32 IC τροφοδοτικού

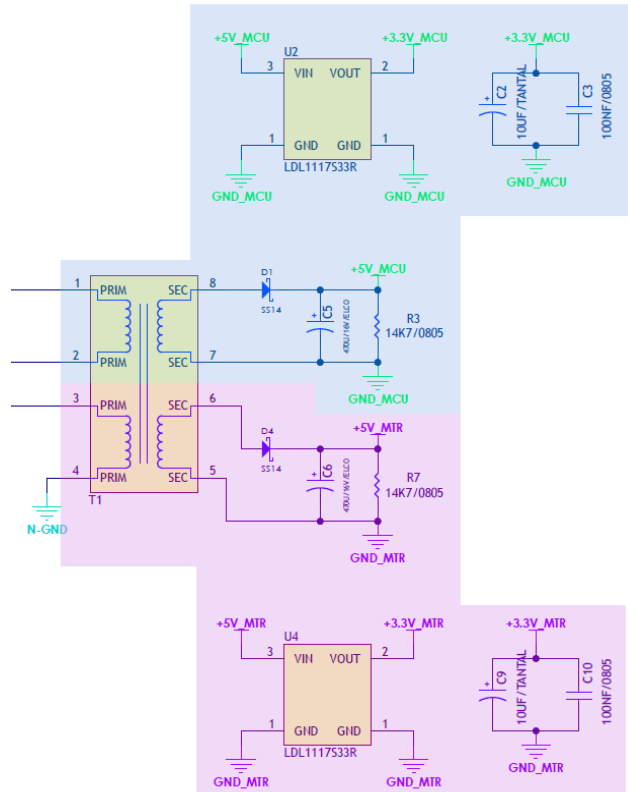


Εικόνα 33

Η βαθμίδα του τροφοδοτικού περιλαμβάνει κύκλωμα κλειστού βρόγχου ανατροφοδότησης για την τάση και το ρεύμα αντίστοιχα. Έτσι οι τιμές της τάσης και του ρεύματος στην έξοδο του τροφοδοτικού παραμένουν σταθερές.



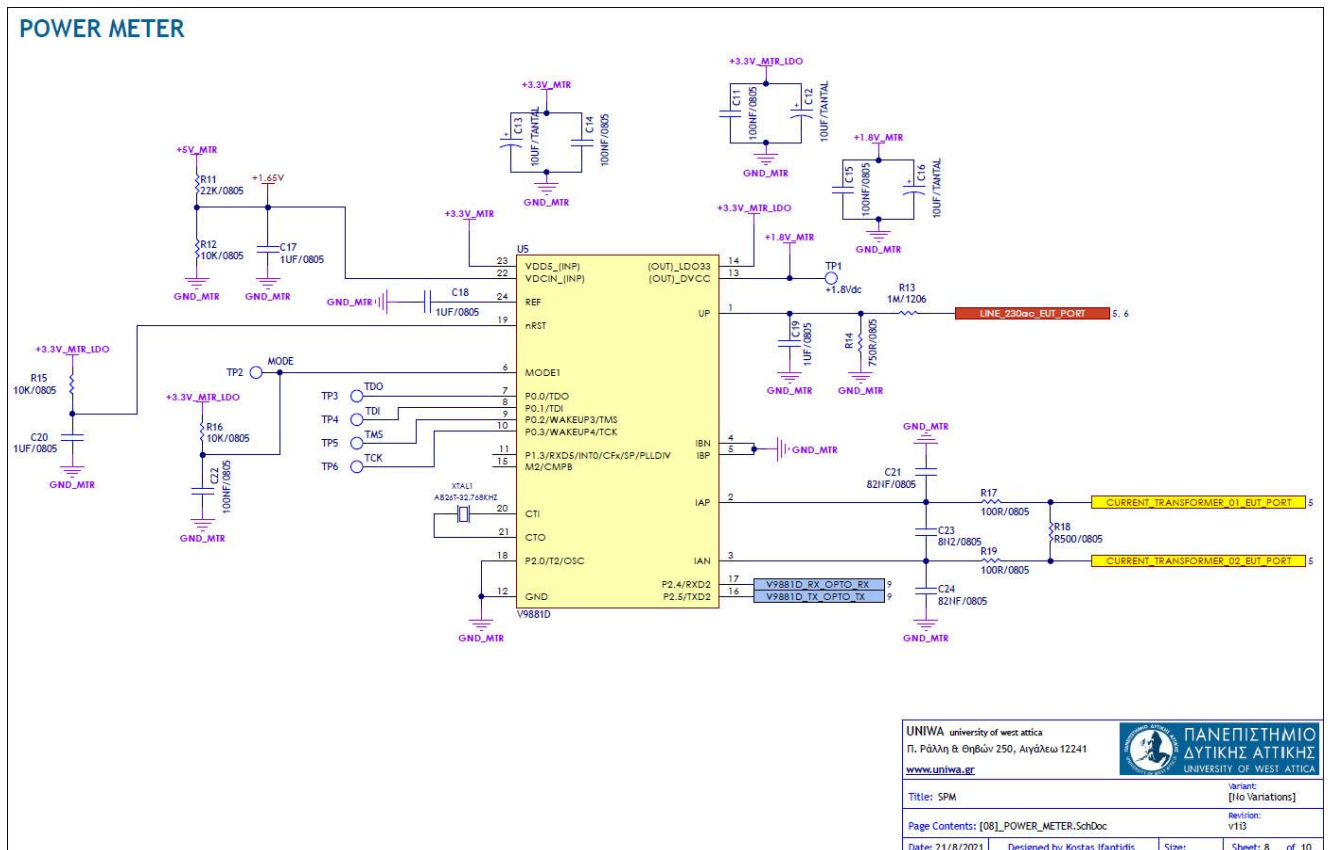
Εικόνα 32 IC τροφοδοτικού



Εικόνα 33 Κύκλωμα ανόρθωσης και μετατροπής εξόδων

Όλα τα κυκλώματα που ακολουθούν στην συνέχεια του ηλεκτρονικού μας σχηματικού, πέραν των αναλογικών κυκλωμάτων που αφορούν την μέτρηση της τάσης και του ρεύματος, λειτουργούν με συνεχή τάση (DC). Στα σημεία όπου χρειάζεται προσδιορισμός της τάσης θα υπάρχει και ο αντίστοιχος συμβολισμός  $V_{ac}$  ή  $V_{dc}$ .

Μετά την μετατροπή της εναλλασσόμενης τάσης σε συνεχή θα χρειαστεί να μειώσουμε τα 5V σε 3.3V διότι ο μικροελεγκτής, το κύκλωμα επικοινωνίας αλλά και το IC που πραγματοποιεί τις μετρήσεις λειτουργούν σε τάση 3.3V.



Εικόνα 34 Μετρητική βαθμίδα της συσκευής

Το παραπάνω κύκλωμα χρησιμοποιείτε στην κατασκευή μας για να μετρήσουμε την τάση, το ρεύμα, την ισχύς του φορτίου αλλά και τον συντελεστή ισχύος. Για την παραπάνω δουλειά επιλέξαμε το IC V9881D. Το V9881D ενσωματώνει την αρχιτεκτονική μέτρησης ενέργειας “Analog Front-End” (AFE) μαζί με έναν ενισχυμένο πυρήνα μικροελεγκτή 8052, RealTimeClock, WatchDogTimer, μνήμη Flash, μνήμη RAM αλλά και πρόγραμμα οδήγησης οθόνης LCD.

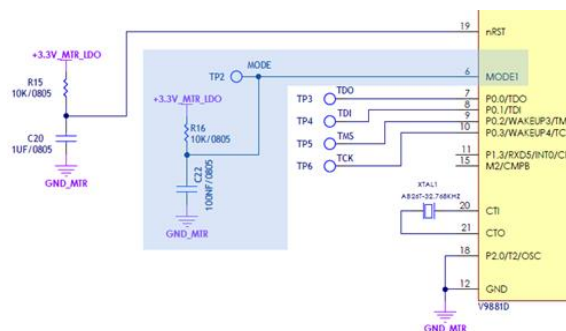
Μερικά από τα χαρακτηριστικά του V9881D είναι τα εξής:

1. Υπερκαλύπτει τις προδιαγραφές των προτύπων IEC:

- a. IEC 62053 21:2003
  - b. IEC 62053 22:2003
  - c. IEC 62053 23:2003
- Μικρότερο από 0.1% σφάλμα στην μέτρηση ενεργής ενέργειας σε εύρος 5000:1
  - Μικρότερο από 0.1% σφάλμα στην μέτρηση άεργου ενέργειας σε εύρος 3000:1

- Μικρότερο από 0.5% σφάλμα στον υπολογισμό RMS ρεύματος και τάσης σε εύρος 1000:1
2. Θερμοκρασία λειτουργίας: -40 °C ~ +85 °C
  3. Ενσωματωμένο κύκλωμα ρολογιού (RealTimeClock), αισθητήρα θερμοκρασίας και κύκλωμα αντιστάθμισης της συχνότητας του κρυστάλλου σε σχέση με την αλλαγή της θερμοκρασίας.
  4. Σειριακή επικοινωνία (EUSART) η οποία πληροί το στάνταρντ ISO/ IEC 7816 3
  5. Καλιμπράρισμα του μετρητή με χρήση λογισμικού.
    - a. Αντιστάθμιση φάσης πάνω από εύρος των  $\pm 1.4^\circ$  (το ελάχιστο) , με ακρίβεια  $0.0055^\circ/\text{Isb}$  (το ελάχιστο).
    - b. Καλιμπράρισμα του κέρδους των RMS τιμών και της ισχύος. Ρύθμιση μετατόπισης καλιμπραρίσματος της ισχύος (offset calibration of power).

Όσον αφορά την τροφοδοσία του V9881D τα χαρακτηριστικά της είναι 2.5~5.5V τάση εισόδου και σε μέτρηση με πλήρη φορτίο το ρεύμα είναι 5.5mA ενώ αν χρησιμοποιήσουμε την λειτουργία “sleep mode” τότε το ρεύμα που καταναλώνετε μπορεί να πέσει στα 10uA.



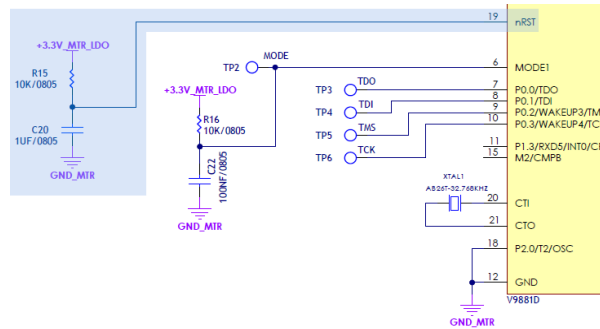
Εικόνα 35 Λειτουργία MODE1

Όταν το pin 6 (MODE1) του V9881D βρίσκεται σε κατάσταση “LOW” τότε το σύστημα μπαίνει σε λειτουργία “debugging”, ενώ όταν βρίσκεται σε κατάσταση “HIGH” τότε το σύστημα μπαίνει σε λειτουργία “μέτρησης”.

Οι καταστάσεις “LOW” και “HIGH” των ψηφιακών εισόδων του V9881D περιγράφονται από τον παρακάτω πίνακα:

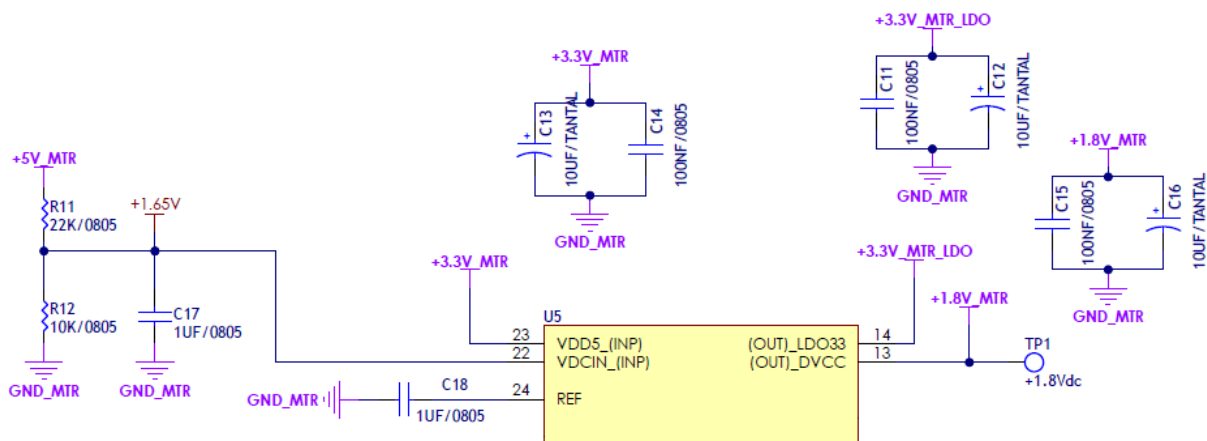
Πίνακας 3 Κατώφλι (threshold) τάσης των ψηφιακών εισόδων

Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit	Description
<b>Digital IO, Input</b>					
Input High Voltage, $V_{INH}$	2.0			V	
Input Low Voltage, $V_{INL}$			0.8	V	

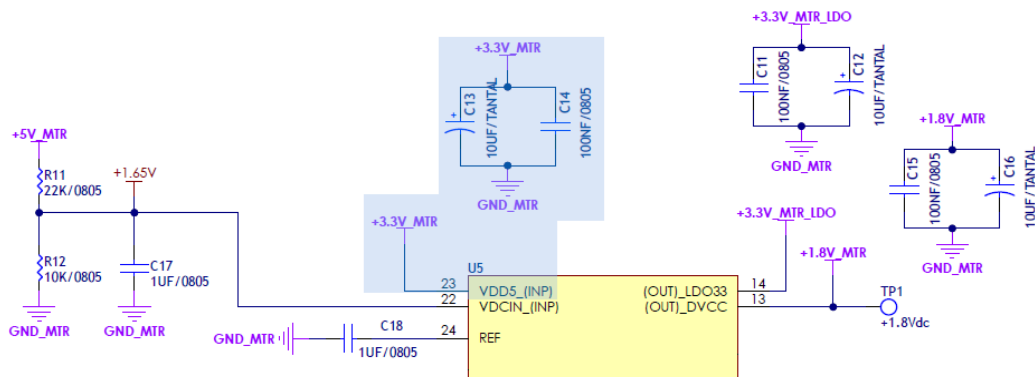


Εικόνα 36 Λειτουργία Reset

Το pin 19 (nRST) μας δίνει την δυνατότητα να κάνουμε επανεκκίνηση το V9881D. Το ολοκληρωμένο πραγματοποιεί επανεκκίνηση αν κρατήσουμε τουλάχιστον για 5 ms σε κατάσταση “LOW” το pin 19. Επειδή όμως εμείς δεν χρειαζόμαστε αυτή την λειτουργία, εξασφαλίζουμε ότι το pin 19 δεν θα μπει ποτέ σε κατάσταση “LOW” τοποθετώντας μια αντίσταση pull-up (R16) στα 3.3V. Επίσης τοποθετούμε και έναν πυκνωτή 1UF (C20) για να φιλτράρουμε την τάση στο pin 19.

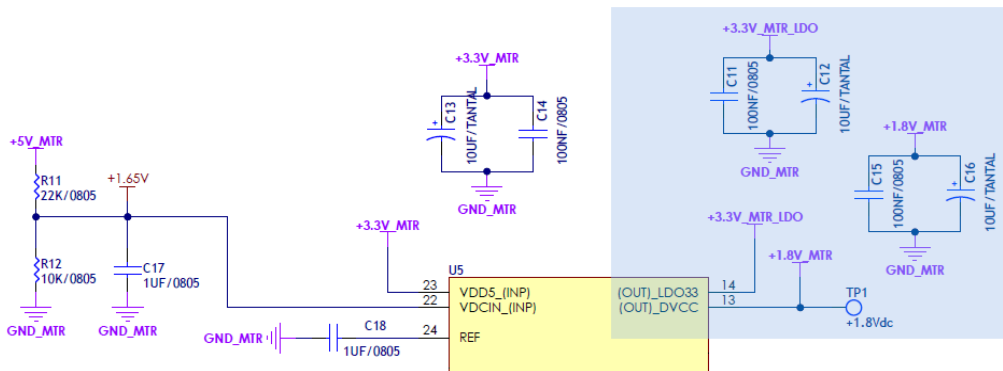


Εικόνα 37 Τροφοδοσία και ενσωματωμένα τροφοδοτικά του V9881D



Εικόνα 38 Είσοδος τροφοδοσίας V9881D

Τροφοδοτούμε το V9881D με τάση 3.3V (pin 23) από την μία απομονωμένη έξοδο του τροφοδοτικού της συσκευής μας. Τοποθετούμε κοντά στην τροφοδοσία πυκνωτές μεγάλης χωρητικότητας οι οποίοι θα φιλτράρουν τις υψηλές συχνότητες της τροφοδοσίας και θα βοηθήσουν το σύστημα (εξομάλυνση τάσης) να μην σβήσει στην περίπτωση μια σύντομης βύθισης της τάσης (λόγο φορτίου στο τροφοδοτικό ή λόγω βύθισης της τροφοδοσίας).

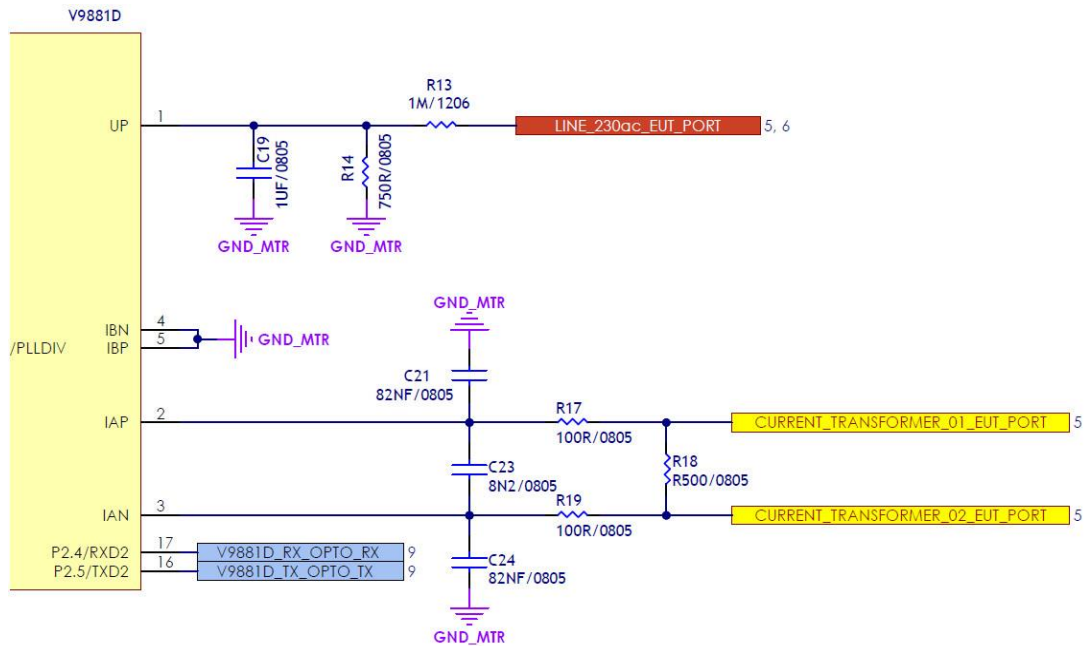


Εικόνα 39 Pin 13 DVCC και pin 14 LDO33

Το V9881D μας παρέχει μια έξοδο τροφοδοσίας στα 3.3V @ 30mA (pin 14). Λόγο του χαμηλού ρεύματος της, χρησιμοποιείται κυρίως για να τροφοδοτήσουμε σήματα ή pull-up αντιστάσεις σημάτων στο κύκλωμα.

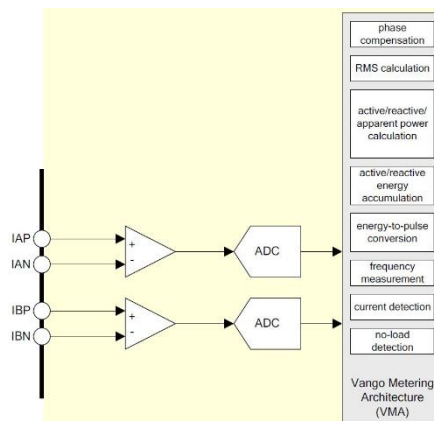
Το pin 13 (DVCC) είναι και αυτό μια έξοδο τροφοδοσίας στα 1.8V @ 35mA. Η έξοδος αυτή έχει την ιδιότητα ανίχνευσης πτώσης της τάσης στο pin της. Αν η τάση πέσει κάτω από τα 1.4V τότε ενεργοποιείται εσωτερικά το σήμα (nRST) για επανεκκίνηση του V9881D και πραγματοποιείται επανεκκίνηση του ολοκληρωμένου. Επειδή όμως εμείς δεν χρησιμοποιούμε κάπου στο κύκλωμα μας 1.8V, αφήνουμε το pin13 σε κατάσταση floating και συνδέουμε πάνω

του δύο πυκνωτές (C15, C16) για απόζευξη υψίσυχνου θορύβου αλλά και για εξομάλυνση των γρήγορων αλλαγών στην τάση.



Εικόνα 40 Μετρητικές διατάξεις τάσης, ρεύματος και σειριακής επικοινωνίας

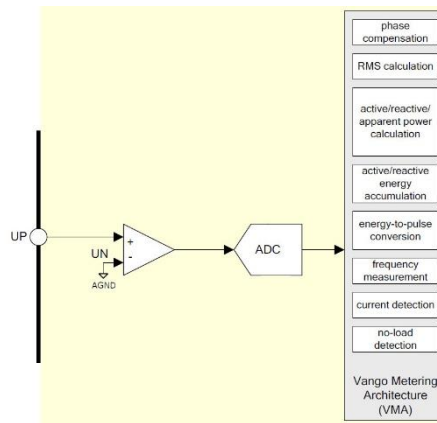
Εσωτερικά το V9881D έχει τέσσερα κανάλια από ανεξάρτητους αναλογικούς/ψηφιακούς μετατροπείς τύπου υπερδειγματοληψίας  $\Sigma/\Delta$ . Το ένα κανάλι χρησιμοποιείτε για την τάση (U), δυο κανάλια για το ρεύμα (I) και ένα πολυλειτουργικό κανάλι για μέτρηση διαφόρων σημάτων. Το V9881D έχει τρία ζευγάρια αναλογικών εισόδων που σχηματίζουν δυο κανάλια για το ρεύμα και ένα κανάλι για την τάση. Τα κανάλια για το ρεύμα αποτελούνται από δυο πλήρως διαφορικές εισόδους τάσης (εικόνα 28).



Εικόνα 41 Εσωτερική διάταξη αναλογικής εισόδων ρεύματος

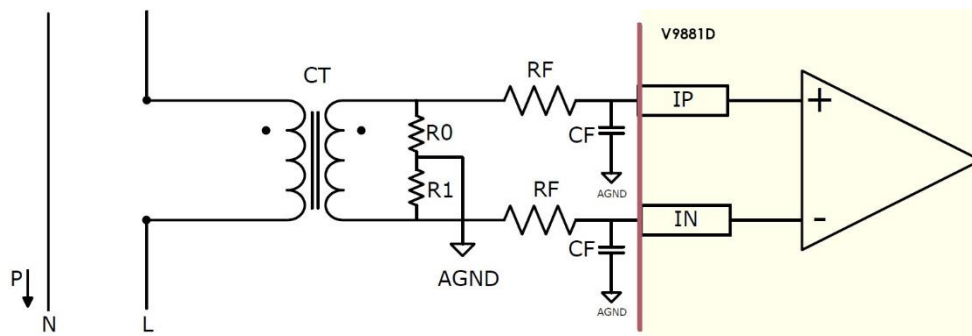


Το κανάλι για την τάση αποτελείται από μια ψευδοδιαφορική είσοδο τάσης (εικόνα 29). UP είναι η θετική είσοδος για το κανάλι και η UN με γείωση είναι η αρνητική είσοδος. Κάθε είσοδος έχει ανώτερη τάση  $\pm 200\text{mV}$  και κάθε ζευγάρι εισόδων έχει ανώτερη διαφορική τάση  $\pm 400\text{mV}$ .



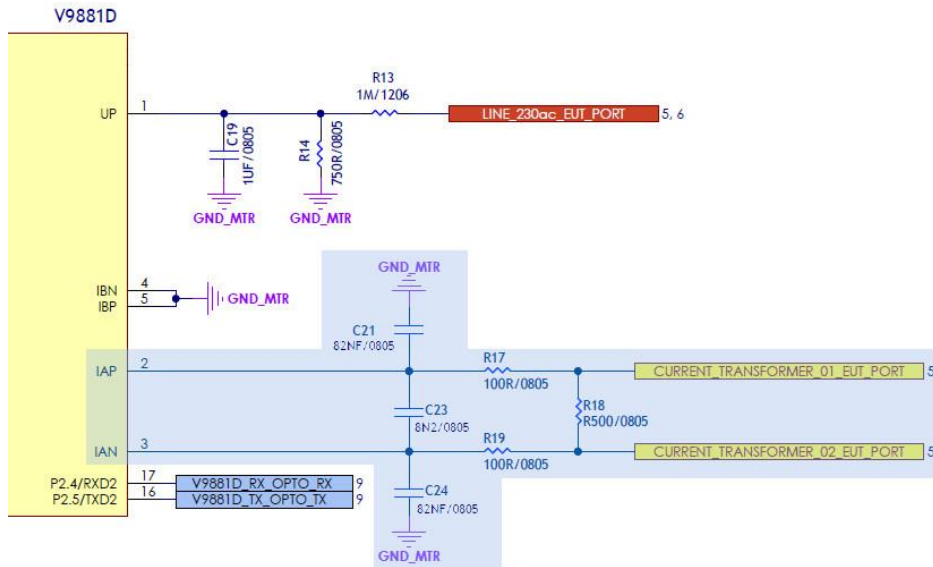
Εικόνα 42 Εσωτερική διάταξη αναλογικής εισόδου τάσης

Η πλήρης κλίμακα μέτρησης των αναλογικών/ψηφιακών μετατροπέων είναι  $\pm 1.1\text{V}$ . Επίσης περιέχονται προγραμματιζόμενοι αναλογικοί ενισχυτές κέρδους, ώστε το σήμα των εξόδων των αισθητήρων να συμφωνεί με την κλίμακα μέτρησης των αναλογικών/ψηφιακών μετατροπέων. Η τάση μετά τους ενισχυτές δεν πρέπει να ξεπερνά το  $\pm 1.1\text{V}$  γιατί θα καταστραφεί ο αναλογικός/ψηφιακός μετατροπέας.

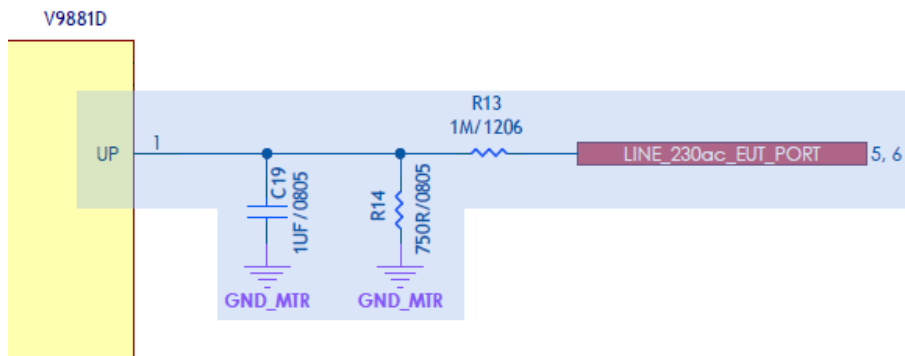


Εικόνα 43 Προτεινόμενο κύκλωμα μέτρησης ρεύματος

Για την μέτρηση του ρεύματος μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε έναν μετασχηματιστή ρεύματος (μέτρηση AC ρεύματος) ή μια αντίσταση ρεύματος τύπου shunt (μέτρηση DC ρεύματος). Στην σχεδίαση μας χρειαζόμαστε να μετρήσουμε το ρεύμα σε AC κυκλώματα και γι' αυτό χρησιμοποιούμε μετασχηματιστή ρεύματος.

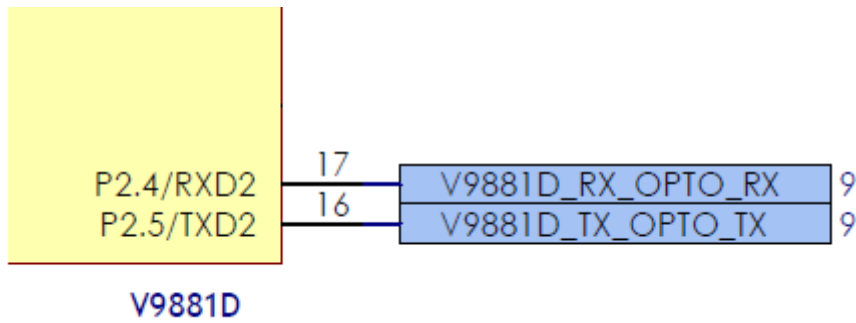


Εικόνα 44 Κύκλωμα αναλογικής εισόδου μέτρησης ρεύματος



Εικόνα 45 Κύκλωμα αναλογικής εισόδου μέτρησης τάσης

Για την μέτρηση της τάσης μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε έναν μετασχηματιστή τάσης ή ένα κύκλωμα με διαιρέτη τάσης ώστε να μειώσουμε την τάση αρκετά ώστε να μην ξεπερνάει τις προδιαγραφές για την τάση της αναλογικής εισόδου το V9881D. Στην σχεδίαση μας έχουμε προτιμήσει να τοποθετήσουμε έναν διαιρέτη τάσης για να μειώσουμε το κόστος των υλικών. Ο διαιρέτης τάσης μας είναι οι αντιστάσεις R13 (1MΩ) και R14 (750Ω).

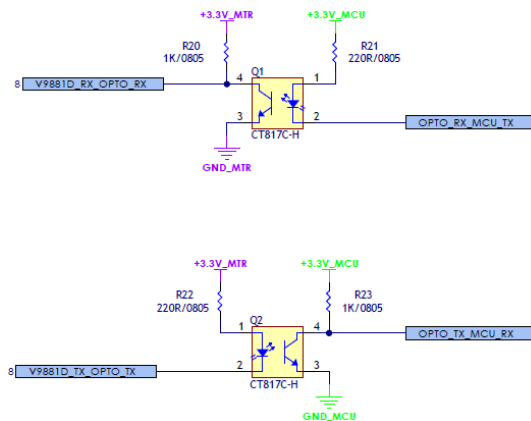


Εικόνα 46 Σειριακή επικοινωνία RS232

Η σειριακή επικοινωνία του V9881D με τον επεξεργαστή έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

1. Baud rate 9600
2. No parity bit
3. Byte size 8
4. Stop bits 1

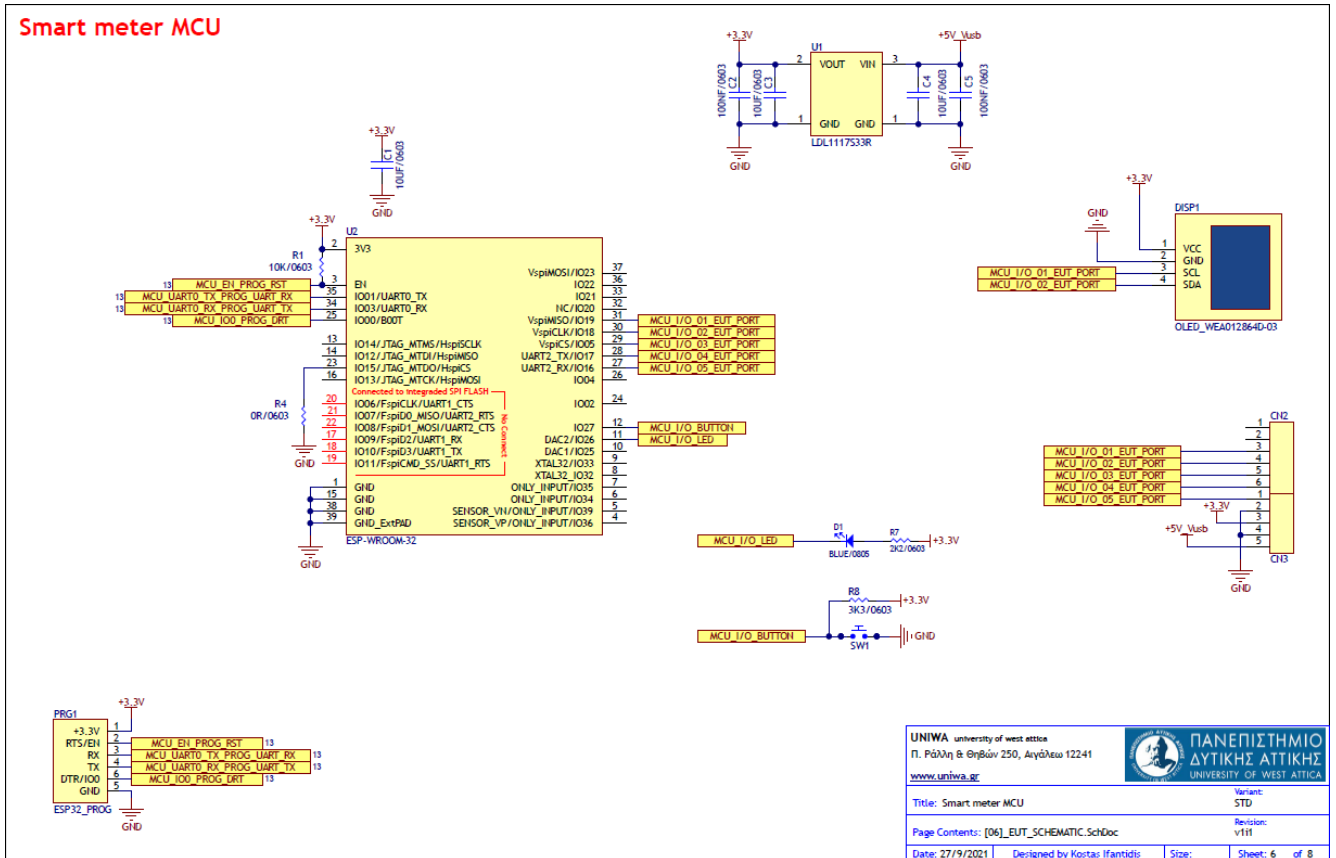
Για να ρυθμίσουμε και να πάρουμε τις μετρήσεις της τάσης, ρεύματος, ισχύς, κατανάλωση ισχύος και συντελεστή ισχύος από το V9881D χρησιμοποιούνται οι εντολές που βρίσκονται στο datasheet ολοκληρωμένου.



Εικόνα 47 Οπτική απομόνωση κυκλωμάτων επικοινωνίας

Χρησιμοποιώντας το παραπάνω κύκλωμα με δύο optocoupler CT817 (Q1, Q2) πετυχαίνουμε την απομόνωση των δύο κυκλωμάτων του μετρητή από τον επεξεργαστή. Επιλέξαμε να απομονώσουμε τα δύο μέρη της κατασκευής μας για να μειώσουμε τον θόρυβο που μπορεί να προκαλέσει ο επεξεργαστής στην μετρητική μονάδα αλλά και για να απομονώσουμε το κύκλωμα με την υψηλή τάση (μετρητής) από το κύκλωμα των περιφερειακών κυκλωμάτων που έχουν χαμηλή τάση.

## Smart meter MCU



Εικόνα 48 Ηλεκτρονικό σχηματικό MCU - ESP-WROOM-32

Παραπάνω φαίνεται το ηλεκτρονικό σχηματικό της πλακέτας που πάνω της περιέχει τα υλικά που χρειάζεται ο επεξεργαστής μας ESP-WROOM-32. Έχουμε προσθέσει μια οθόνη oLed μεγέθους 0.96” την οποία θα χρησιμοποιήσουμε για να έχουμε μια τοπική απεικόνιση των μετρήσεων μας.

### 3.7 Κόστος υλικών – Επιλογή οικονομικότερης λύσης - Bill of Materials

Πίνακας 4 Λίστα υλικών (BOM)

Component reference list		Smart Power Meter							
Project:		Smart Power Meter							
Variant:		STD							
Contact:		Generated by: Kostas Iantidis							
Report Date:		14/8/2021		10:14 AM					
Print Date:		12:00:00 AM		3:56:45 PM					
#	Quantity	Comment	Designator	Footprint	Description	LibRef	Price in € per item	Price in € total	
1	1	10UF/0603	C1	SMD_CAP_0603	Capacitor NonPolarized	SMD_CAP_NP	0.260	0.260	
2	4	1UF/0805	C17, C18, C19, C20	SMD_CAP_0603	Capacitor NonPolarized	SMD_CAP_NP	0.170	0.680	
3	5	10UF/TANTAL	C2, C9, C12, C13, C16		Capacitor Polarized	SMD_CAP_P	0.815	4.075	
4	6	100NF/0805	C3, C10, C11, C14, C15, C22	SMD_CAP_0603	Capacitor NonPolarized	SMD_CAP_NP	0.150	0.900	
5	1	1NF/1000V	C4	SMD_CAP_0603	Capacitor NonPolarized	SMD_CAP_NP	0.420	0.420	
6	2	470U/16V/ELCO	C5, C6	SMD_CAP_ELCO_8MM	Capacitor Polarized	SMD_CAP_P	1.130	2.260	
7	1	2U2/400V/ELCO	C7	SMD_CAP_ELCO_8MM	Capacitor Polarized	SMD_CAP_P	1.070	1.070	
8	1	2U2/TANT	C8	SMD_CAP_SIZE_B	Capacitor Polarized	SMD_CAP_P	0.678	0.678	
9	2	SS14	D1, D4	SMD_D_SMA (DO-214AC)	ON SEMICONDUCTOR - SS14	SMD_D_SK_SS14	0.374	0.748	
10	3	M7/SMA	D2, D3, D5	SMD_D_SMA (DO-214AC)	Gen Purp Diode 1KV 1A SMA	SMD_D_GN_M7	0.330	0.990	
11	1	PCB	PCB1		Printed Circuit Board	MISC_PCB	4.500	4.500	
12	2	CT817C-H	Q1, Q2	SMD_SOP_4_(SMD_DIP)	Optocoupler	SMD_TRAN_OPTO_CT817C-H	0.354	0.708	
13	1	10K/0603	R1	SMD_RES_0603	SMD Resistor	SMD_RES	0.020	0.020	
14	1	3R3/1206	R10	SMD_RES_1206	SMD Resistor	SMD_RES	0.030	0.030	
15	1	22K/0805	R11	SMD_RES_0805	SMD Resistor	SMD_RES	0.020	0.020	
16	3	10K/0805	R12, R15, R16	SMD_RES_0805	SMD Resistor	SMD_RES	0.020	0.060	
17	1	1M/1206	R13	SMD_RES_0805	SMD Resistor	SMD_RES	0.020	0.020	
18	1	750R/0805	R14	SMD_RES_0805	SMD Resistor	SMD_RES	0.020	0.020	
19	2	100R/0805	R17, R19	SMD_RES_0805	SMD Resistor	SMD_RES	0.020	0.040	
20	1	R500/0805	R18	SMD_RES_0805	SMD Resistor	SMD_RES	0.300	0.300	
21	1	0R/0603	R2	SMD_RES_0603	SMD Resistor	SMD_RES	0.020	0.020	
22	2	1K/0805	R20, R23	SMD_RES_0805	SMD Resistor	SMD_RES	0.020	0.040	
23	2	220R/0805	R21, R22	SMD_RES_0805	SMD Resistor	SMD_RES	0.020	0.040	
24	3	14K7/0805	R3, R7, R9	SMD_RES_0805	SMD Resistor	SMD_RES	0.020	0.060	
25	1	200K/1206	R4	SMD_RES_1206	SMD Resistor	SMD_RES	0.030	0.030	
26	1	10R/2512	R5	SMD_RES_2512	SMD Resistor	SMD_RES	0.420	0.420	
27	1	4M7/1206	R6	SMD_RES_1206	SMD Resistor	SMD_RES	0.030	0.030	
28	1	33K/1206	R8	SMD_RES_1206	SMD Resistor	SMD_RES	0.030	0.030	
29	1	R3015E1120A7S	T1		Transformer	TH_TRANSFORMER	1.500	1.500	
30	1	ESP-WROOM-32	U1	MCU_ESP-WROOM-32		SMD_MCU_WIFI_ESP-WROOM-	3.220	3.220	
31	2	LDL1117S33R	U2, U4	SMD_SOT223_3		SMD_VREG_LIN_LDL1117S33R	0.390	0.780	
32	1	S9111C	U3	SMD_SOIC_7_5.2mm	NonLinear CC, CV mains power	SMD_VREG_NLIN_PRIM_S9111C	0.864	0.864	
33	1	V9881D	U5	SMD_SSOP_24_7.2MM	NonLinear CC, CV mains power	SMD_MCU_SENSOR_V9881D	1.290	1.290	
34	1	AB26T-32.768KHZ	XTAL1	TH_XTAL_ABRA-AB26T	ABRACON AB26T-32.768KHZ	TH_XTAL_AB26T-32.768KHZ	0.593	0.593	
Q= 59							total cost:	€ 26.72	
Approved				Notes					
				Οι παραπάνω τιμές υπολογίστηκαν με βάση τις τιμές της ιστοσελίδας <a href="http://www.mouser.com">www.mouser.com</a> στις 10/08/2021.					

Συγκρίνοντας το κόστος των υλικών που χρειάζονται για την μετρητική μονάδα σε σχέση με το κόστος της αγοράς του module, που έχει πάνω του το κύκλωμα για την μετρητική μονάδα, το τροφοδοτικό και τους buffer της επικοινωνίας με την κατασκευή, καταλήγουμε πως είναι αρκετά οικονομικότερο το να αγοράσουμε το module.

Στην παραπάνω επιλογή ρόλο παίζουν το μέγεθος της παραγωγής που πρέπει να υλοποιήσουμε. Επειδή στην δική μας περίπτωση χρειάστηκε να κατασκευάσουμε μόνο 2-3

έξυπνους μετρητές, ήταν πιο οικονομικό να αγοράσουμε το module του μετρητικού κυκλώματος παρά να φτιάξουμε την δική μας ηλεκτρονική πλακέτα.

Στην περίπτωση όμως που οι συσκευές που έπρεπε να κατασκευάσουμε ξεπερνούσαν τα 500 τεμάχια τότε το κόστος των υλικών μειώνεται με βάση την αυξημένη ποσότητα και είναι προτιμότερο να κατασκευάσουμε την δική μας ηλεκτρονική πλακέτα αγοράζοντας τα υλικά. Είναι σημαντικό να σημειωθεί πως οι παρακάτω τιμές διαμορφώθηκαν με βάση την λιανική τιμή των υλικών και όχι την χονδρική.

Κόστος υλικών για την κατασκευή της μετρητικής μονάδας: 26.72€

Κόστος module μετρητικής μονάδας + custom πλακέτας + oLed οθόνη: 18.20€

Κόστος κουτιού: 3.60€

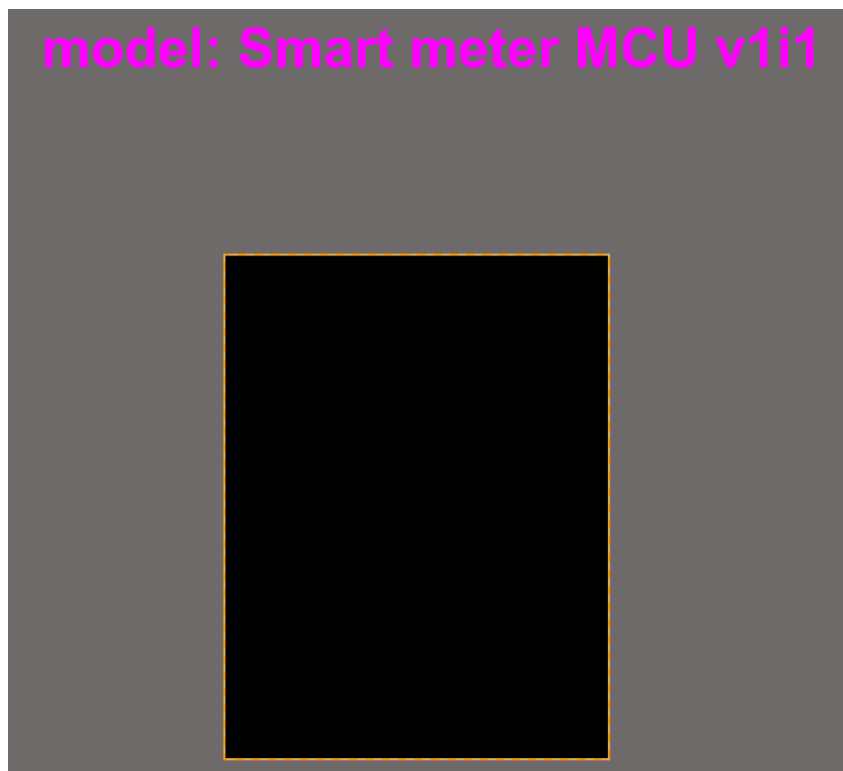
Συνοψίζοντας, μόνο το κόστος των υλικών για την κατασκευή μίας πλακέτας για την μετρητική μονάδα ξεπερνάει το κόστος της αγοράς του module. Γι' αυτό τον λόγο για τα πλαίσια της επίτευξης του στόχου μας να κατασκευάσουμε μια οικονομική συσκευή επιλέξαμε να αγοράσουμε το module της μετρητικής μονάδας και να κατασκευάσουμε μια πλακέτα για τον μικροελεγκτή και τα περιφερειακά της συσκευής (button, oLed οθόνη).

### 3.8 Σχεδιασμός ηλεκτρονικής πλακέτας (PCB) της MCU

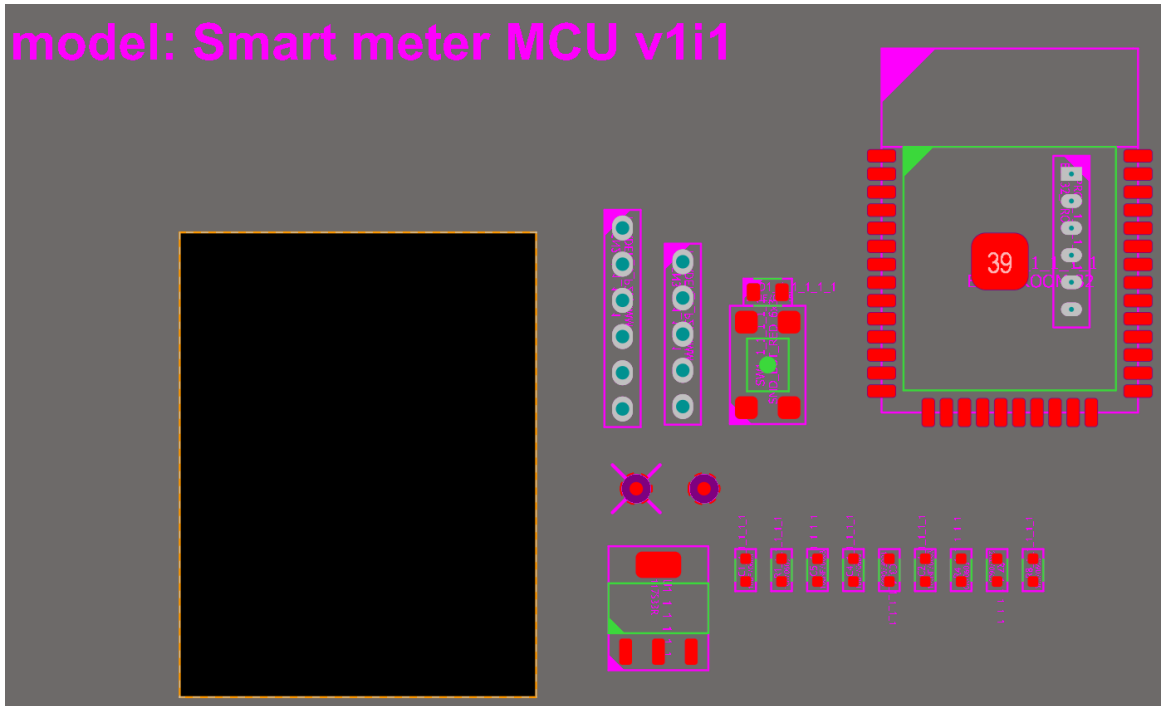
Στο παρόν κεφάλαιο θα ασχοληθούμε με τον σχεδιασμό της ηλεκτρονικής πλακέτας (PCB) του μικροελεγκτή και των υπόλοιπων περιφερειακών που θα χρησιμοποιήσουμε στην κατασκευή μας.

Μετά την σχεδίαση των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων ακολουθεί η σχεδίαση της ηλεκτρονικής πλακέτας (PCB). Η ηλεκτρονική πλακέτα είναι εκείνο το εξάρτημα που “δένει” όλα τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα, πάνω της γίνονται όλες οι απαραίτητες ενώσεις μεταξύ των ηλ. εξαρτημάτων με την χρήση ειδικών σχεδιασμένων χαλκογραμμών (copper tracks).

Το πρώτο βήμα στην σχεδίαση μιας τέτοιας πλακέτας είναι ο ορισμός των μηχανολογικών διαστάσεων και η τοποθέτηση όλων μηχανολογικών στοιχείων, όπως τρύπες στήριξης, οπές κτλ. που απαιτεί η σχεδίαση.

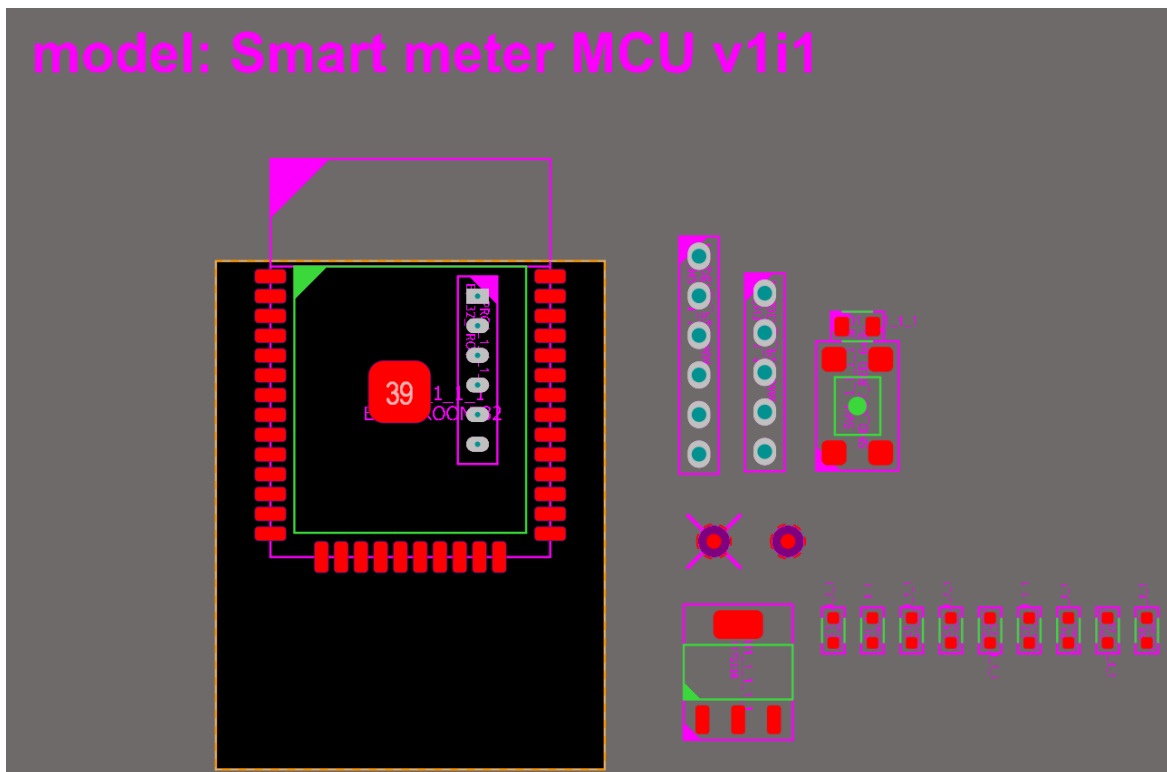


Εικόνα 49 Σχεδίαση PCB - Περίμετρος ηλ.πλακέτας



Εικόνα 50 Εισαγωγή ηλεκτρονικών εξαρτημάτων στην πλακέτα από το ηλ.σηματικό

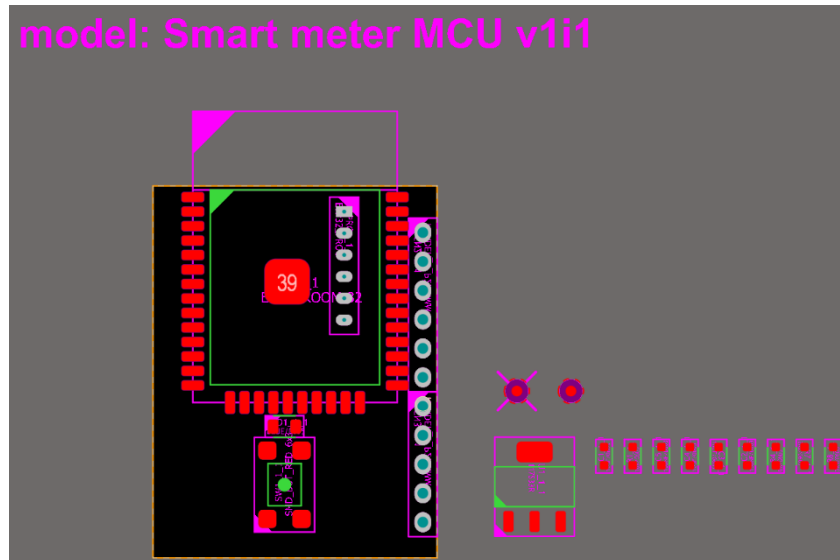
Στην συνέχεια γίνεται η τοποθέτηση των πιο κρίσιμων, ογκώδη ή υψηλά εξαρτημάτων όπως είναι οι κλέμες σύνδεσης της τροφοδοσίας, connectors επικοινωνίας, μεγάλοι πυκνωτές, οθόνες, πληκτρολόγια κτλπ.



Εικόνα 51 Τοποθέτηση μικροελεγκτή

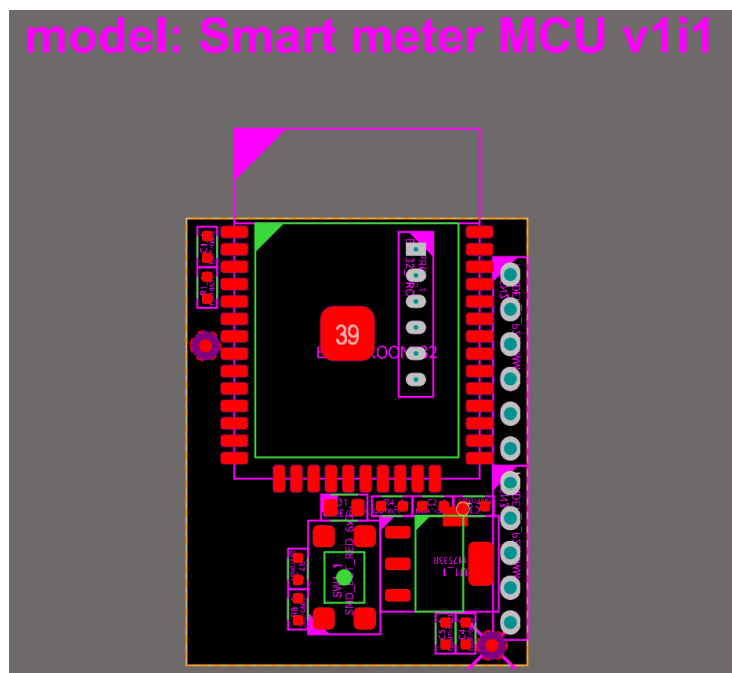


Ακολουθούμε την παραπάνω σειρά διότι ανάλογα με το κουτί και της προδιαγραφές που έχει το κάθε προϊόν απαιτείται ορισμένα εξαρτήματα να βρίσκονται σε συγκεκριμένη θέση. Λόγω του ότι είναι συγκεκριμένη η θέση τους στην πλακέτα τοποθετούνται στην αρχή του σχεδιασμού και δεν μετακινούνται συνήθως καθόλη την διάρκεια του.



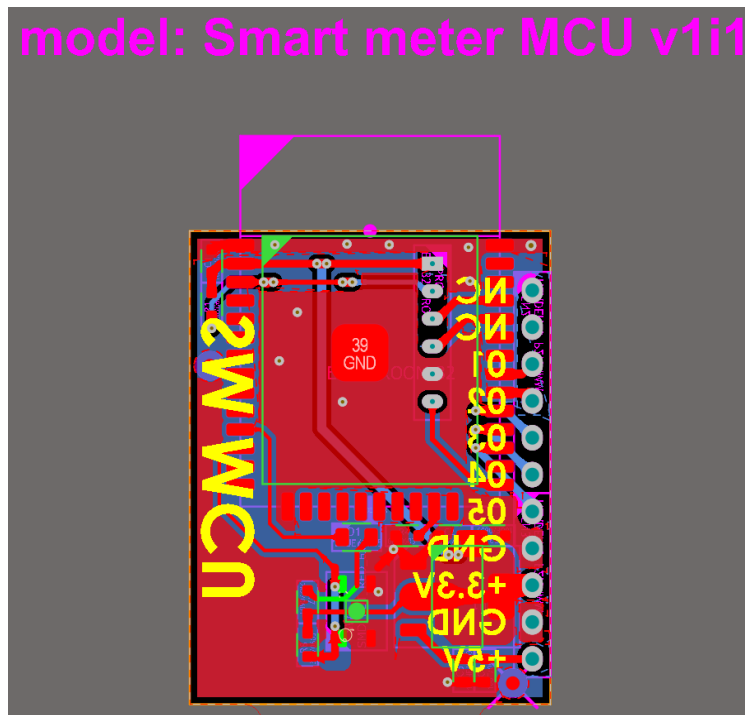
Εικόνα 52 Τοποθέτηση LED και button στην πλακέτα

Στις επόμενες εικόνες βλέπουμε την τοποθέτηση των υλικών του τροφοδοτικού που μετατρέπει τα 5v σε 3.3v που χρειάζεται ο μικροελεγκτής μας για να λειτουργήσει.

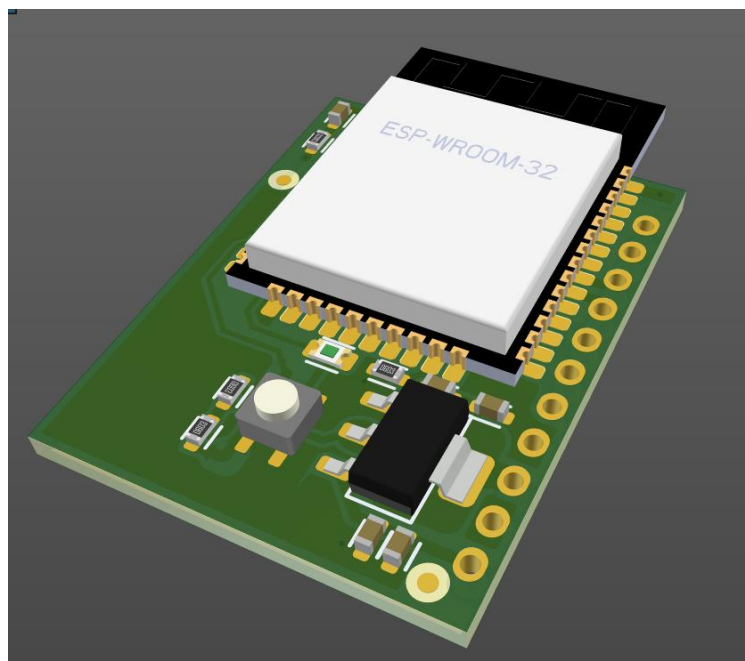


Εικόνα 53 Τοποθέτηση υπόλοιπων ηλεκτρονικών υλικών

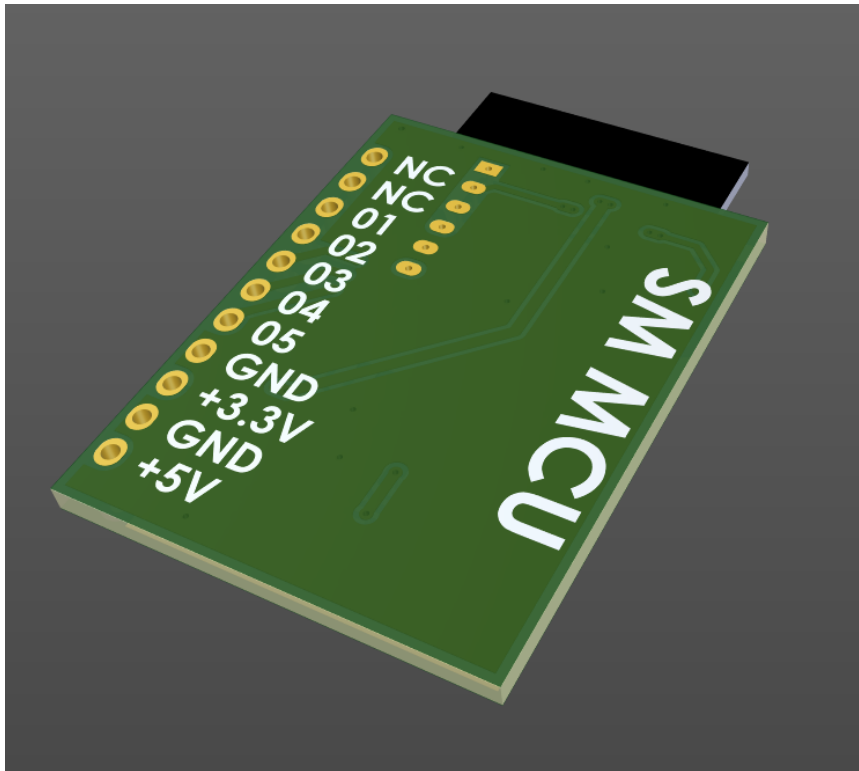
Παρακάτω φαίνεται ολοκληρωμένη η πλακέτα η οποία θα ενώσει τον μικροελεγκτή με την οθόνη Oled, το μπουτόν του χρήστη, και το module της μετρητικής διάταξης. Η παρακάτω πλακέτα αποτελεί τον “εγκέφαλο” του έξυπνου μετρητή.



Εικόνα 54 Ολοκληρωμένη η πλακέτα του μικροελεγκτή



Εικόνα 55 3D αναπαράσταση της πλακέτας του μικροελεγκτή



Εικόνα 56 3D αναπαράσταση της πλακέτας του μικροελεγκτή

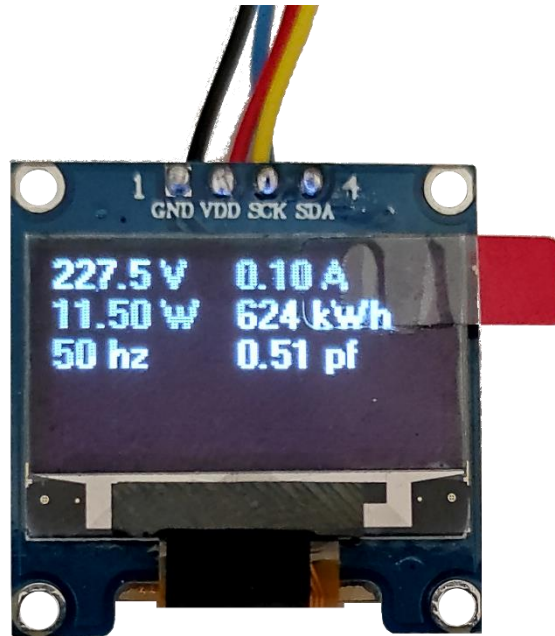


Εικόνα 57 Η πλακέτα του μικροελεγκτή μετά την κόλληση των ηλ.εξαρτημάτων

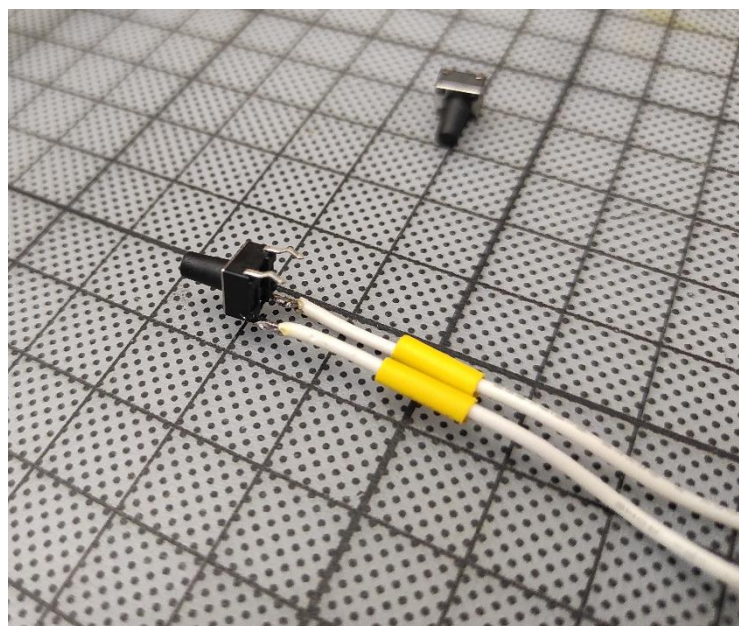
### 3.9 Μοντάρισμα των ηλεκτρονικών στο κουτί του έξυπνου μετρητή

Εδώ πρέπει να τοποθετήσω τις φωτογραφίες από το μοντάρισμα και να πω μερικά λόγια.

Στο παρόν κεφάλαιο παραθέτουμε φωτογραφικό υλικό που δείχνουν τα βήματα που ακολουθήσαμε ώστε να τοποθετήσουμε όλα τα ηλεκτρονικά και την απαραίτητη καλωδίωση μέσα στο κουτί που επιλέξαμε.

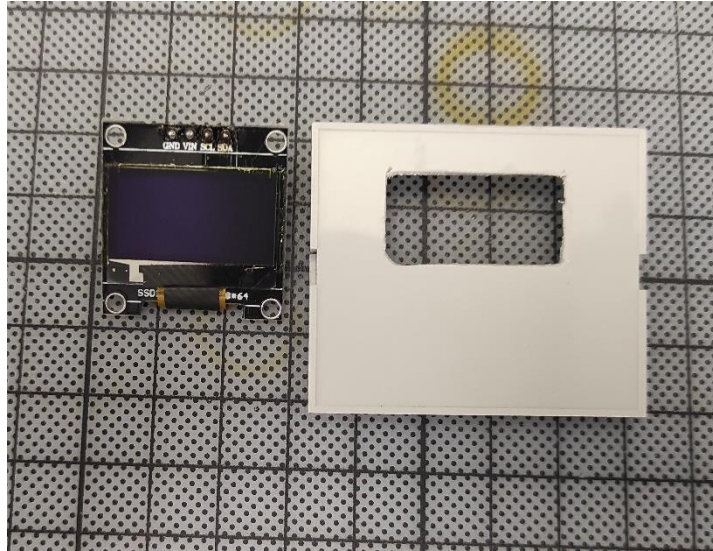


Εικόνα 58 Οθόνη oLed

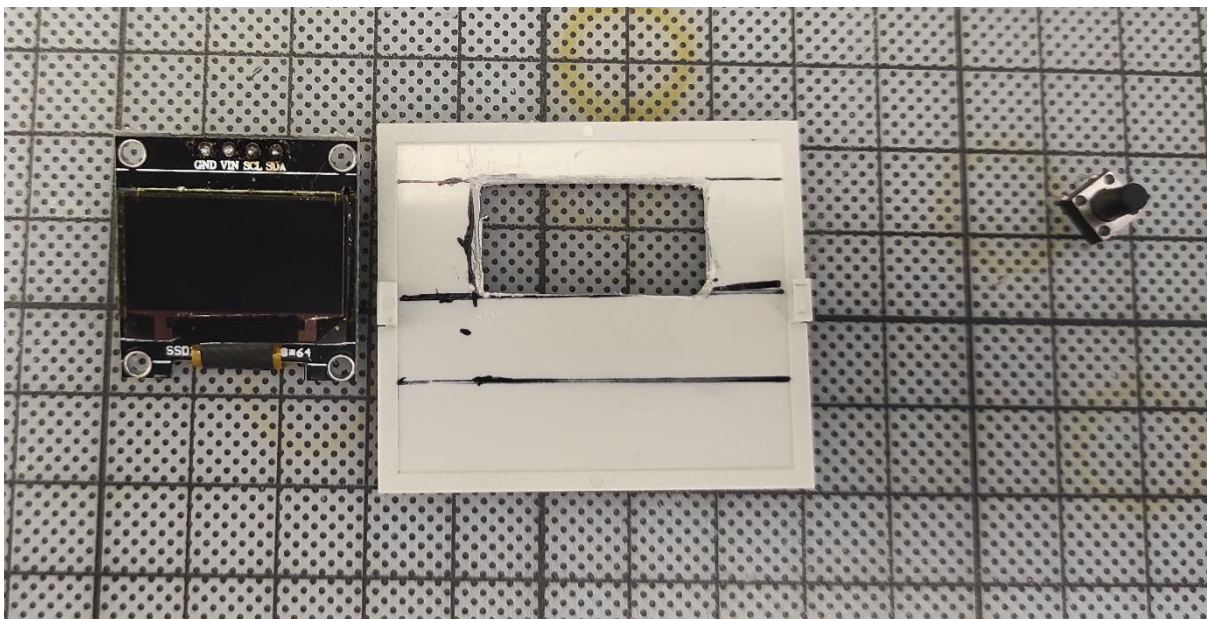


Εικόνα 59 Διακόπτης εναλλαγής μενού του έξυπνου μετρητή

Παρακάτω φαίνεται η πρόσοψη του κουτιού στην οποία κάναμε μια τετράγωνη σχισμή με την χρήση ενός ντρίμελ.



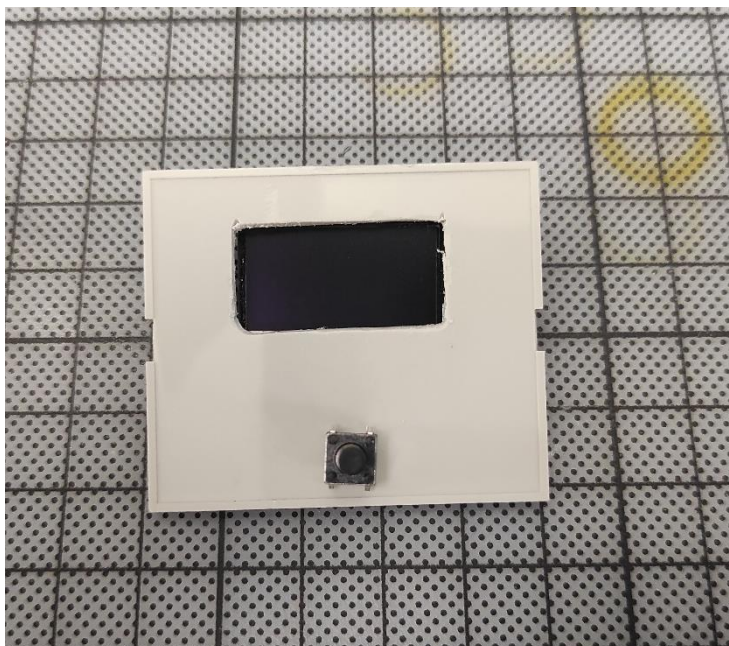
Εικόνα 60 Οθόνη oLed και τετράγωνη σχισμή πρόσοψης κουτιού



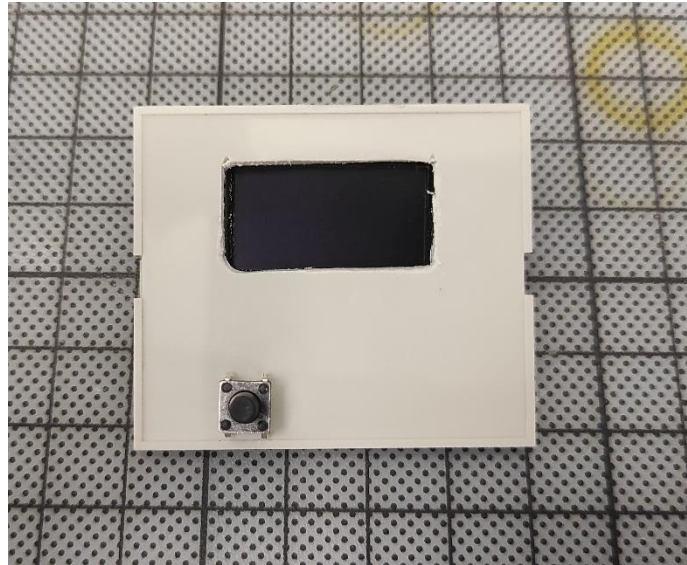
Εικόνα 61 Οθόνη oLed, διακόπτης και κομμένη πρόσοψη κουτιού



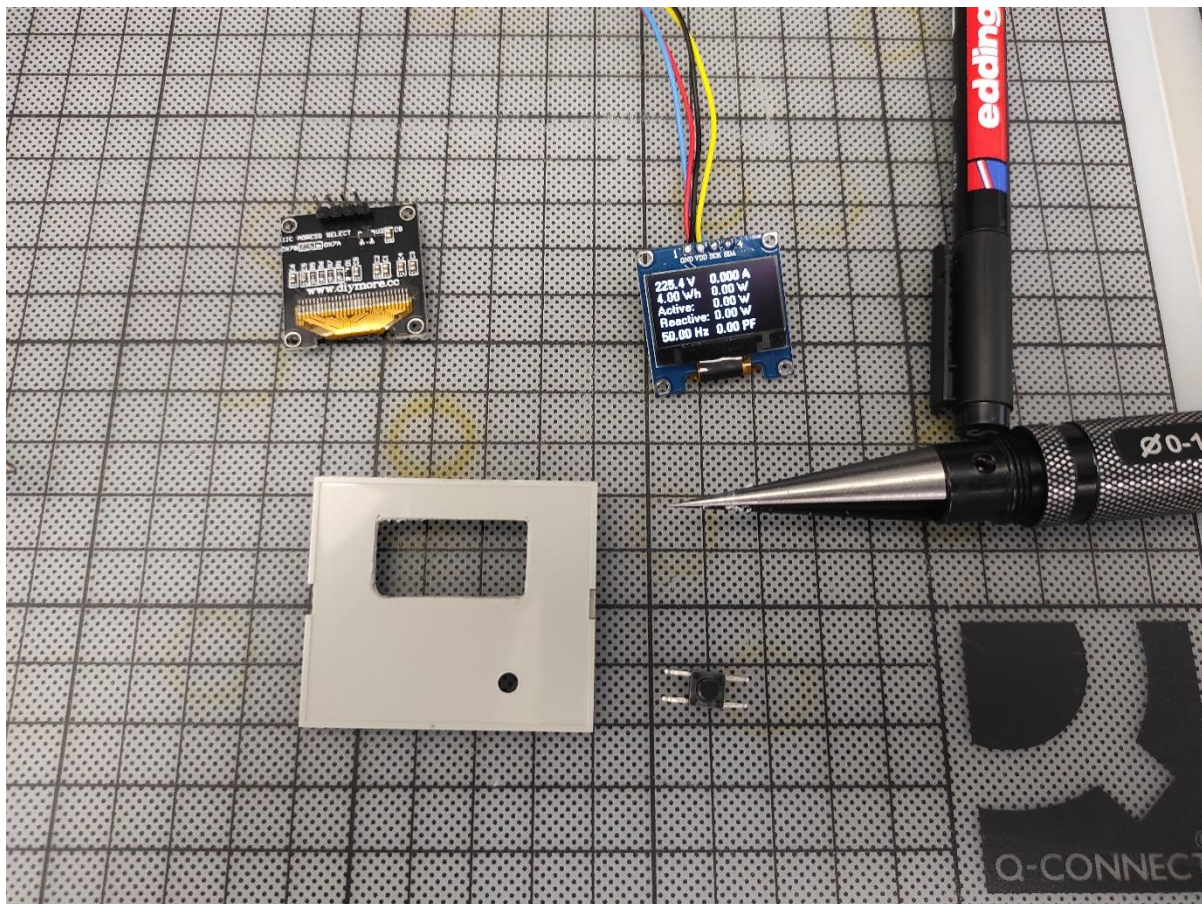
Εικόνα 62 Ντρίμελ



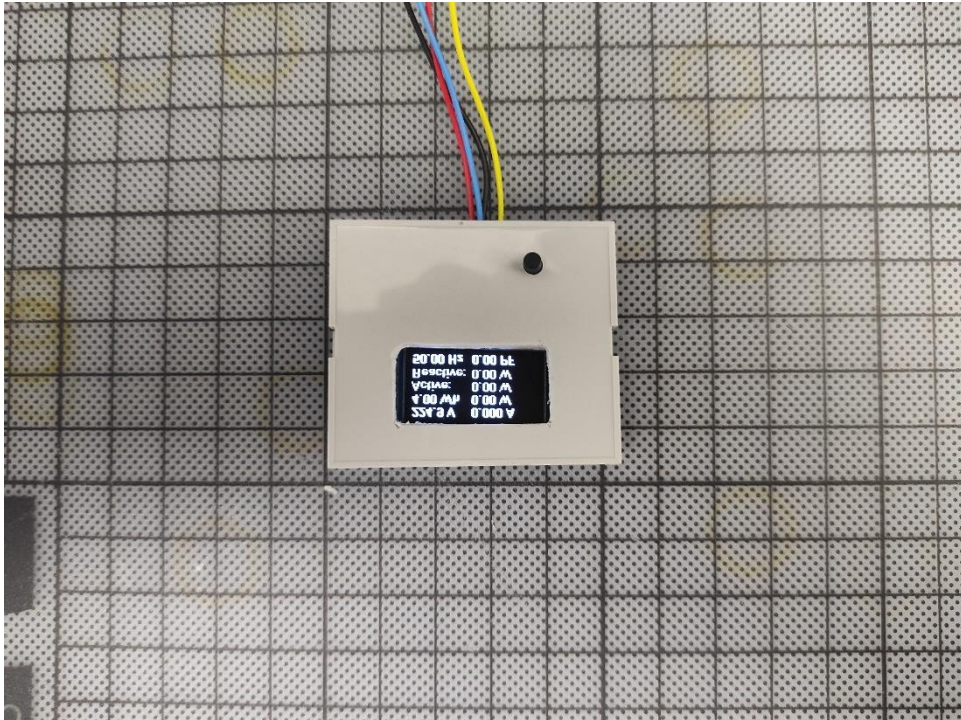
Εικόνα 63 Πρόχειρη τοποθέτηση οθόνης πριν την απόφαση ανοίγματος τρύπας του κουμπιού



Εικόνα 64 Πρόχειρη τοποθέτηση οθόνης πριν την απόφαση ανοίγματος τρύπας του κουμπιού



Εικόνα 65 Άνοιγμα τρύπας διακόπτη συσκευής με εργαλείο χειρός



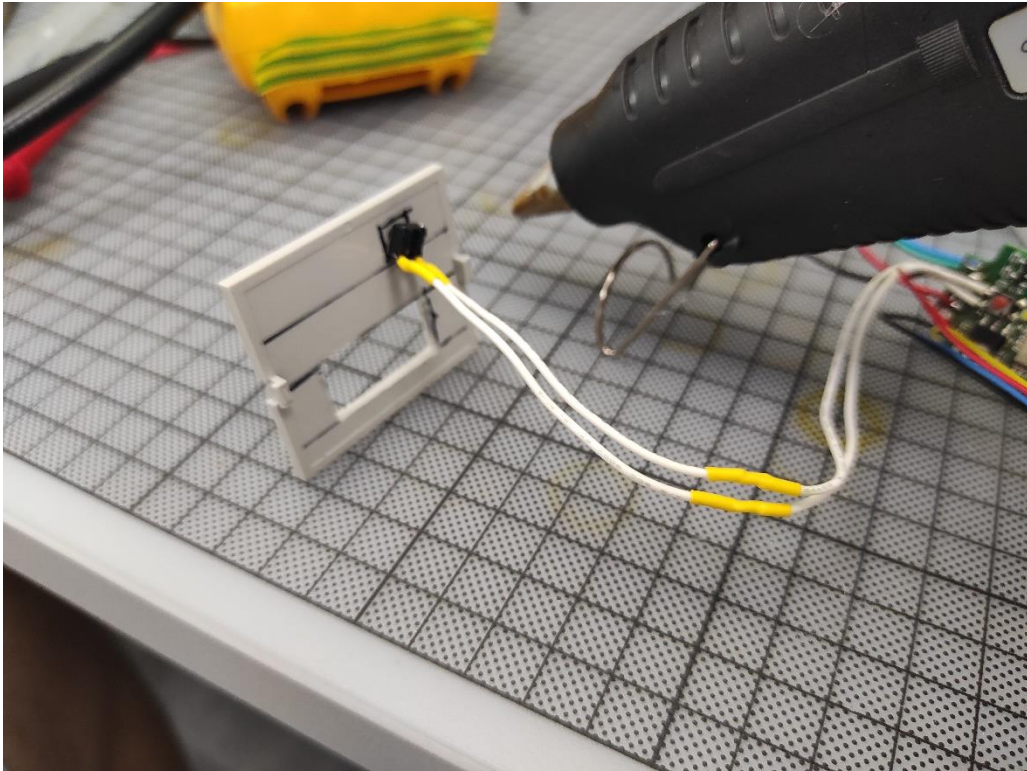
Εικόνα 66 Πρόχειρη τοποθέτηση οθόνης oLed και διακόπτη πριν την κόλληση τους στην πρόσοψη

Για την κόλληση της οθόνης και του button πάνω στην πρόσοψη του κουτιού μας χρησιμοποιήσαμε το παρακάτω πιστόλι θερμοσιλικόνης. Αποφασίσαμε να χρησιμοποιήσουμε την παραπάνω μέθοδο κόλλησης διότι ήταν μικρός ο αριθμός των συσκευών που κατασκευάσαμε (δύο). Σε άλλη περίπτωση θα χρησιμοποιούσαμε κάποια έξτρα πλακέτα στην οποία θα τοποθετούνταν τρύπες στερέωσης ή κάποιο ειδικό κλιπ ώστε να τοποθετηθούν τα παραπάνω δύο υλικά στην πρόσοψη του κουτιού μας.

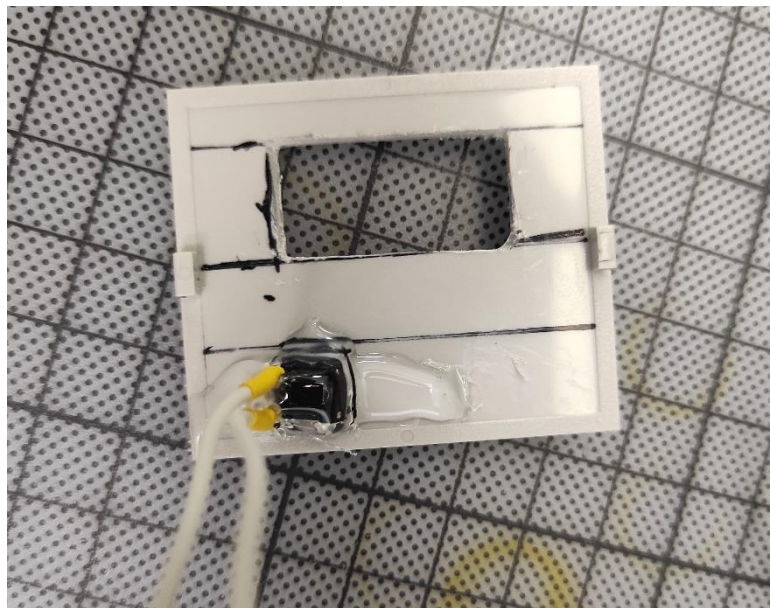


Εικόνα 67 Πιστόλι θερμοσιλικόνης

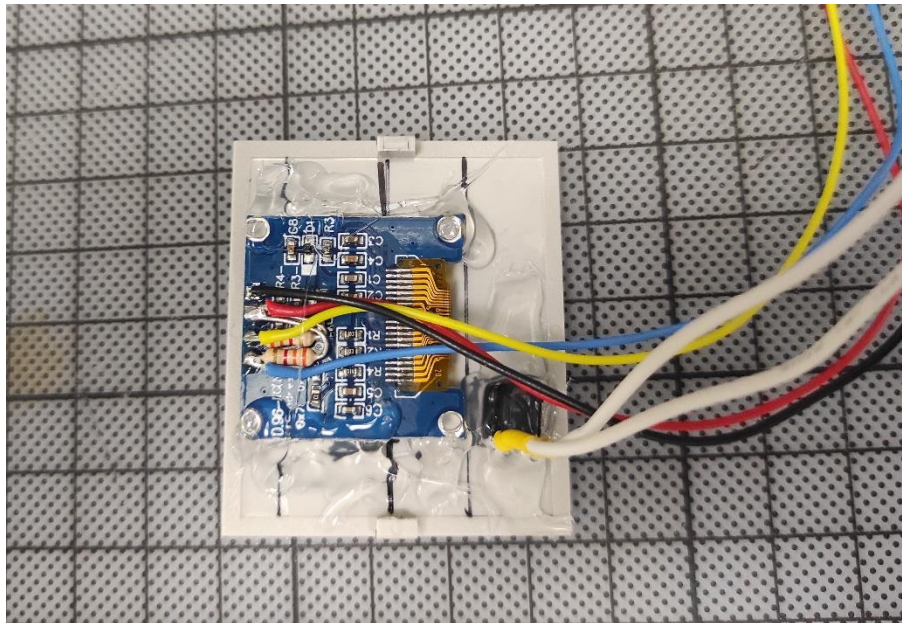




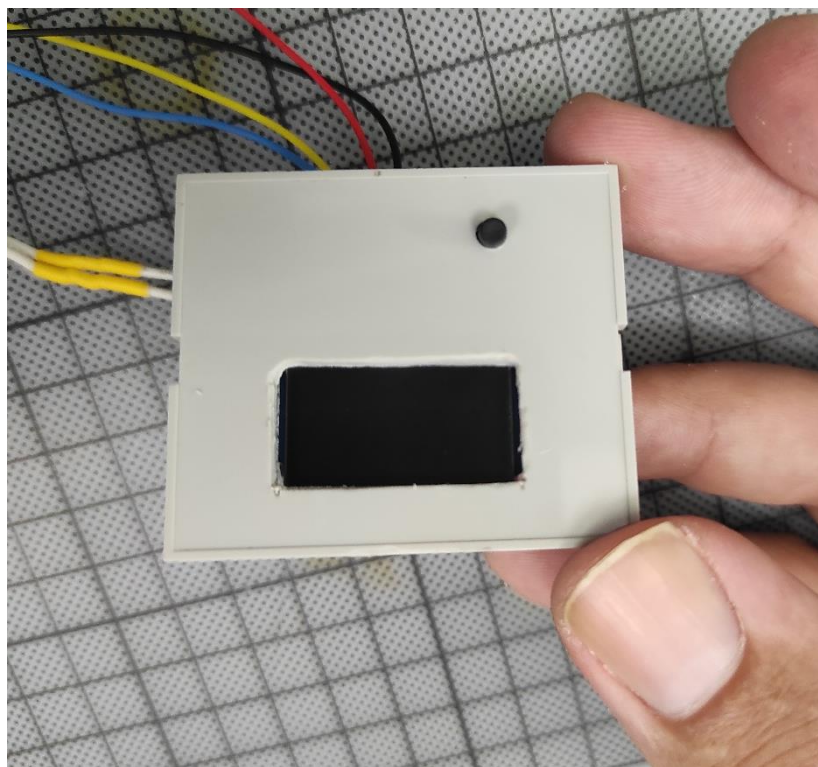
Εικόνα 68 Κόλληση διακόπτη



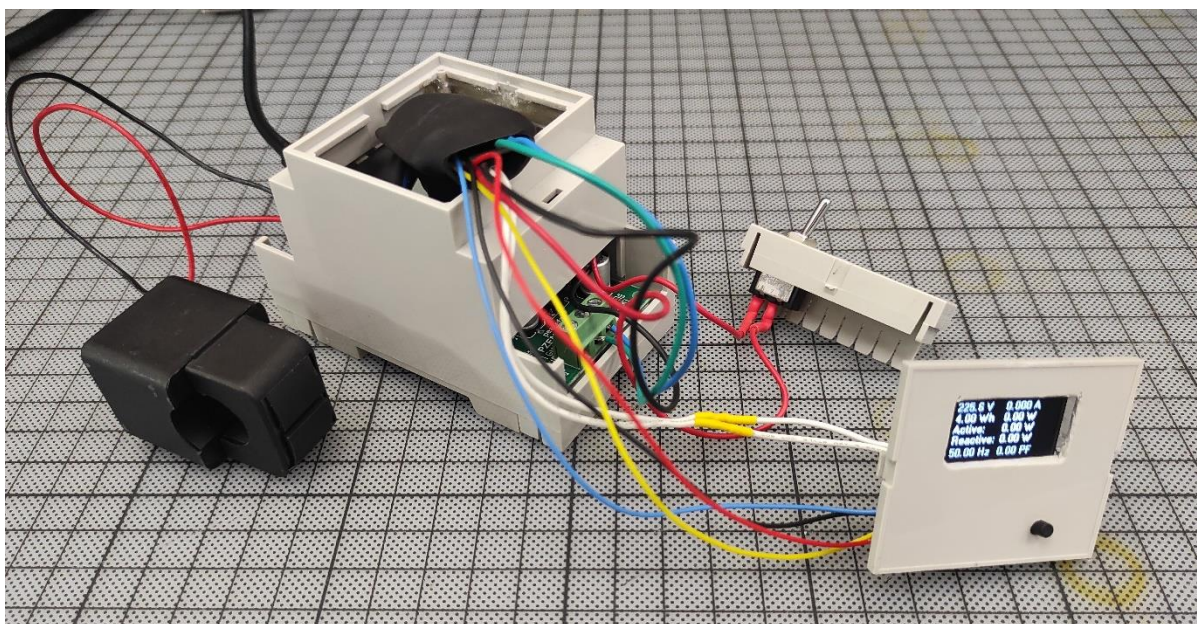
Εικόνα 69 Αποτέλεσμα κόλλησης διακόπτη



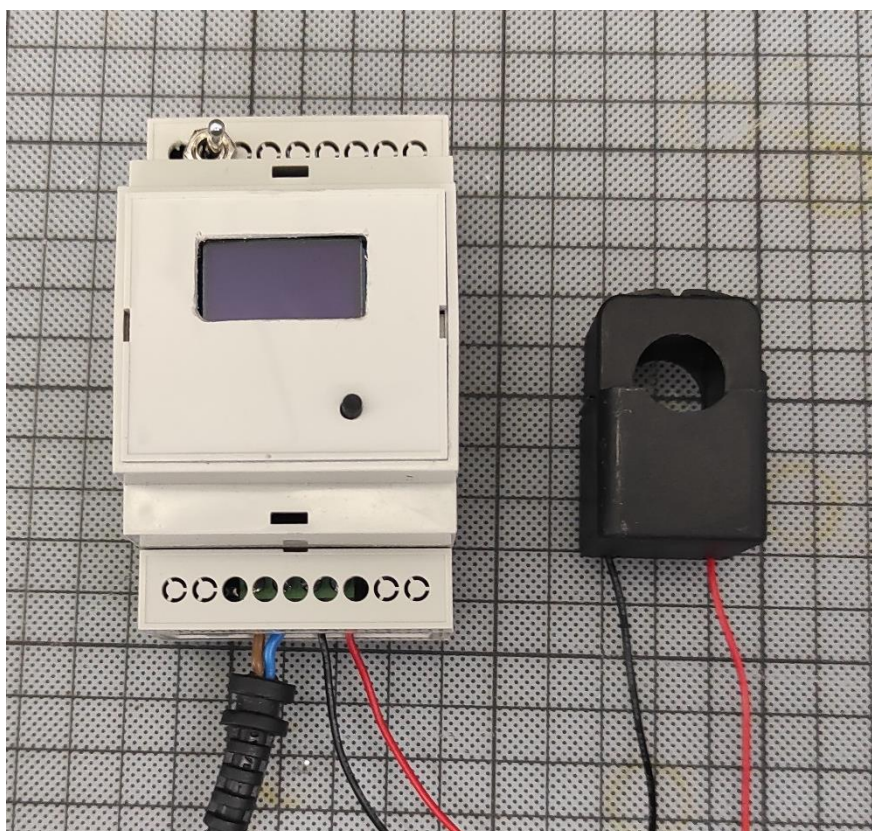
Εικόνα 70 Αποτέλεσμα κόλλησης οθόνης oLed



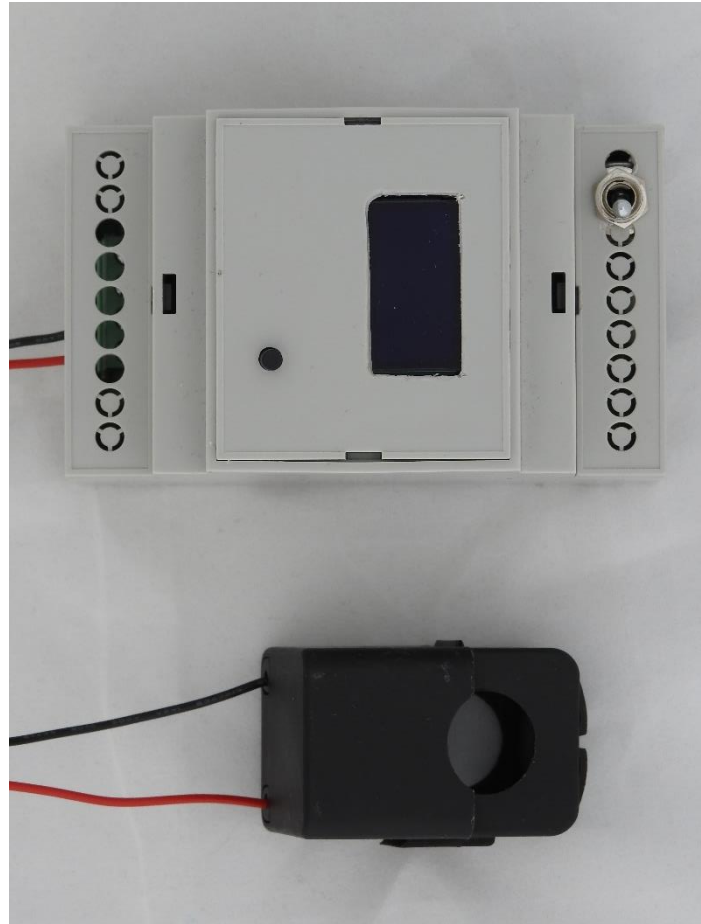
Εικόνα 71 Τελικό αποτέλεσμα της πρόσοψης



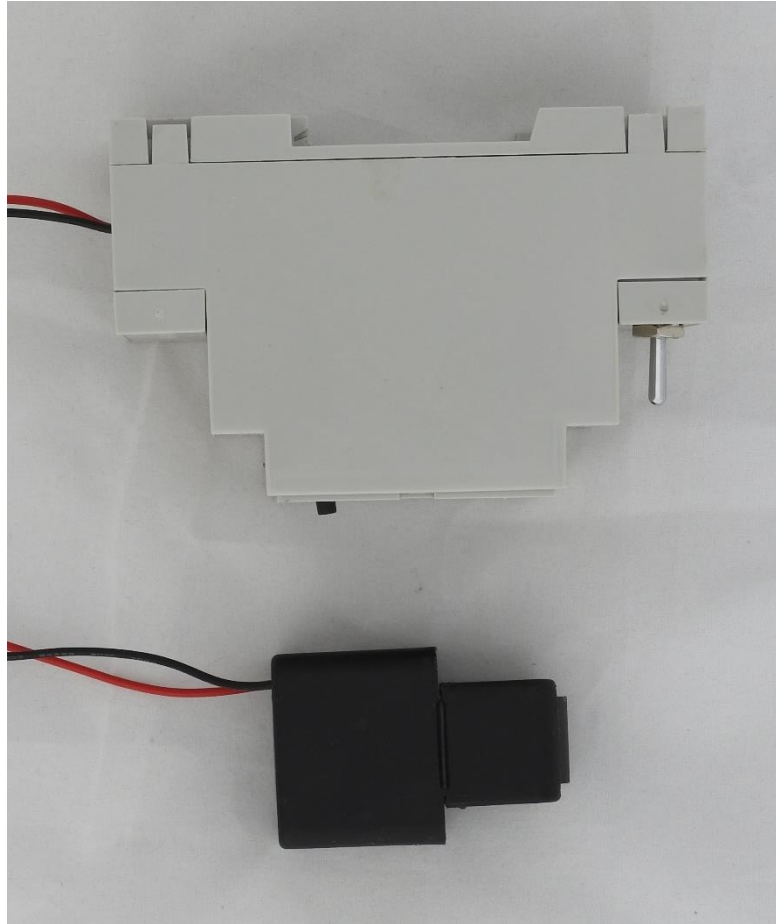
Εικόνα 72 Εσωτερική καλωδίωση πριν το κλείσιμο του κουτιού



Εικόνα 73 Έξυπνος μετρητής μετά το μοντάρισμα όλων των υλικών



Εικόνα 74 Έξυπνος μετρητής SM21 - Πρόσοψη

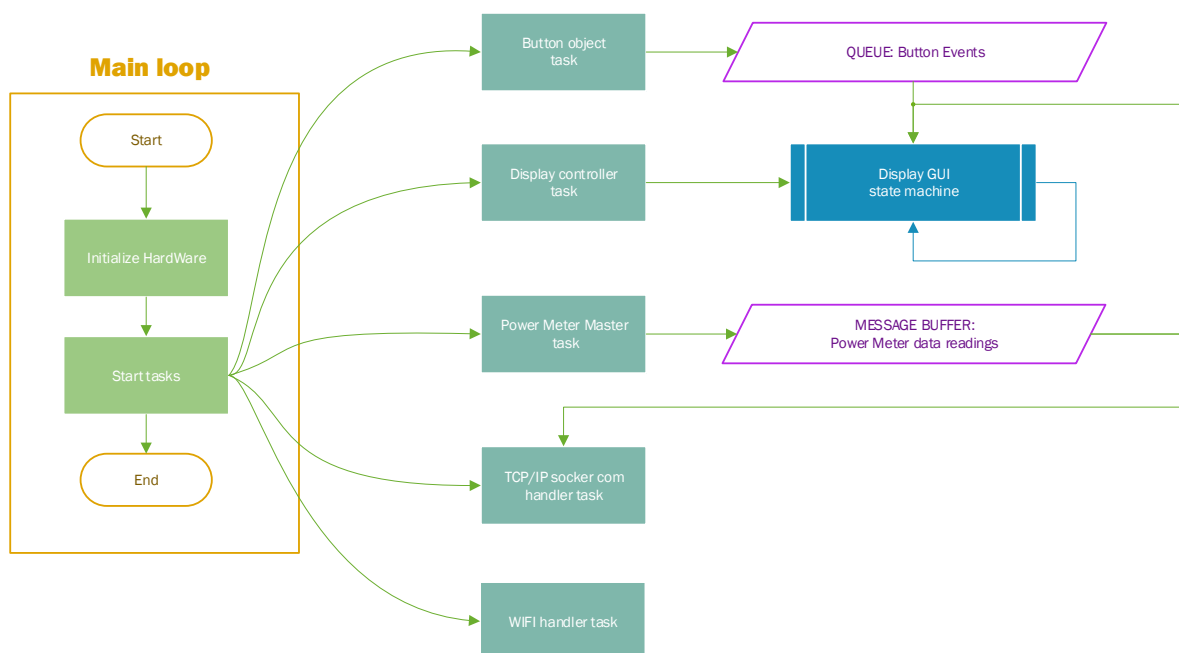


Εικόνα 75 Έξυπνος μετρητής SM21 - Πλαϊνή όψη

### 3.10 Μπλοκ διάγραμμα Firmware έξυπνου μετρητή και ανάλυση FreeRTOS kernel.

Ο προγραμματισμός του μικροελεγκτή μας πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας τα εργαλεία που παρέχει ο κατασκευαστής του. Η Espressif προσφέρει το SDK esp-idf που περιέχει όλα εκείνα τα εργαλεία που χρειαζόμαστε για να γράψουμε κώδικα και να προγραμματίσουμε τους μικροελεγκτή μας. Η γλώσσα η οποία χρησιμοποιήθηκε είναι η C. Στον επεξεργαστή μας εγκαταστήσαμε Real Time Operating System (RTOS) και συγκεκριμένα το λειτουργικό FreeRTOS το οποίο είναι δωρεάν και open-source.

Με την χρήση του λειτουργικού FreeRTOS μπορούμε να πετύχουμε πραγματική παράλληλη επεξεργασία με τους δύο πυρήνες του ESP32-D0WDQ6 και να κάνουμε ταυτόχρονα πράγματα δημιουργώντας διεργασίες (tasks) οι οποίες μπορούν να τρέξουν και από τους δύο πυρήνες. Με αυτόν τον τρόπο αξιοποιούμε στο μέγιστο τους πόρους του επεξεργαστή ώστε ακόμη και σε καταστάσεις με υψηλές απαιτήσεις να έχουμε άμεσα διαθέσιμο τον επεξεργαστή να αναλάβει έργο.

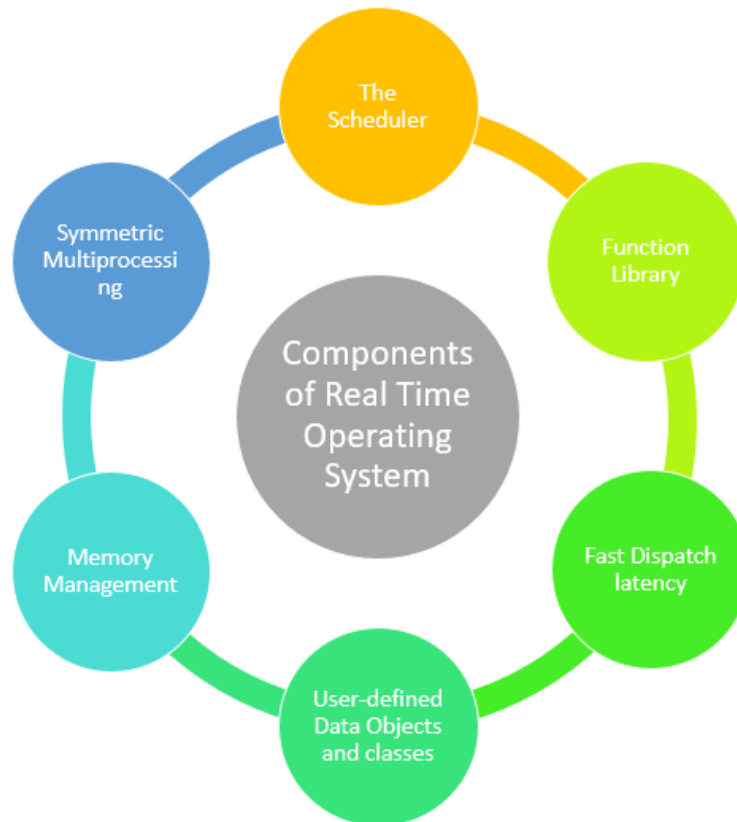


Εικόνα 76 Μπλοκ διάγραμμα προγράμματος κατασκευής

Παραπάνω (Εικόνα 39) φαίνεται το μπλοκ διάγραμμα που περιγράφει την λειτουργία και την ροή του προγράμματος του μικροελεγκτή της συσκευής. Ένα πρόγραμμα για μια συσκευή συντάσσεται πάντα με τις εξής σκέψεις:

1. Η λειτουργία της συσκευής δεν πρέπει να σταματάει ποτέ μέχρι την διακοπή τροφοδοσίας ή κάποιας άλλης ενέργειας με βάση τις προδιαγραφές.
2. Ο κώδικας πρέπει να προβλέπει και να αντιμετωπίζει καταστάσεις όπου μπορεί να προκύψει κάποιο σφάλμα και να κολλήσει η συσκευή. (αμυντικός προγραμματισμός)
3. Και τέλος ο κώδικας μας να μην μπλοκάρει τον επεξεργαστή ώστε να μπορούμε να αξιοποιήσουμε το hardware όσον το δυνατόν περισσότερο.

Με τις παραπάνω σημειώσεις αποφασίσαμε να χρησιμοποιήσουμε το λειτουργικό σύστημα πραγματικού χρόνου FreeRTOS στον μικροελεγκτή μας. Χρησιμοποιώντας το FreeRTOS kernel έχουμε την δυνατότητα να δημιουργήσουμε tasks, queues, ringbuffers, mutexes και αρκετά άλλα χρήσιμα εργαλεία τα οποία είναι το κλειδί για την παράλληλη διεργασία (multitasking).

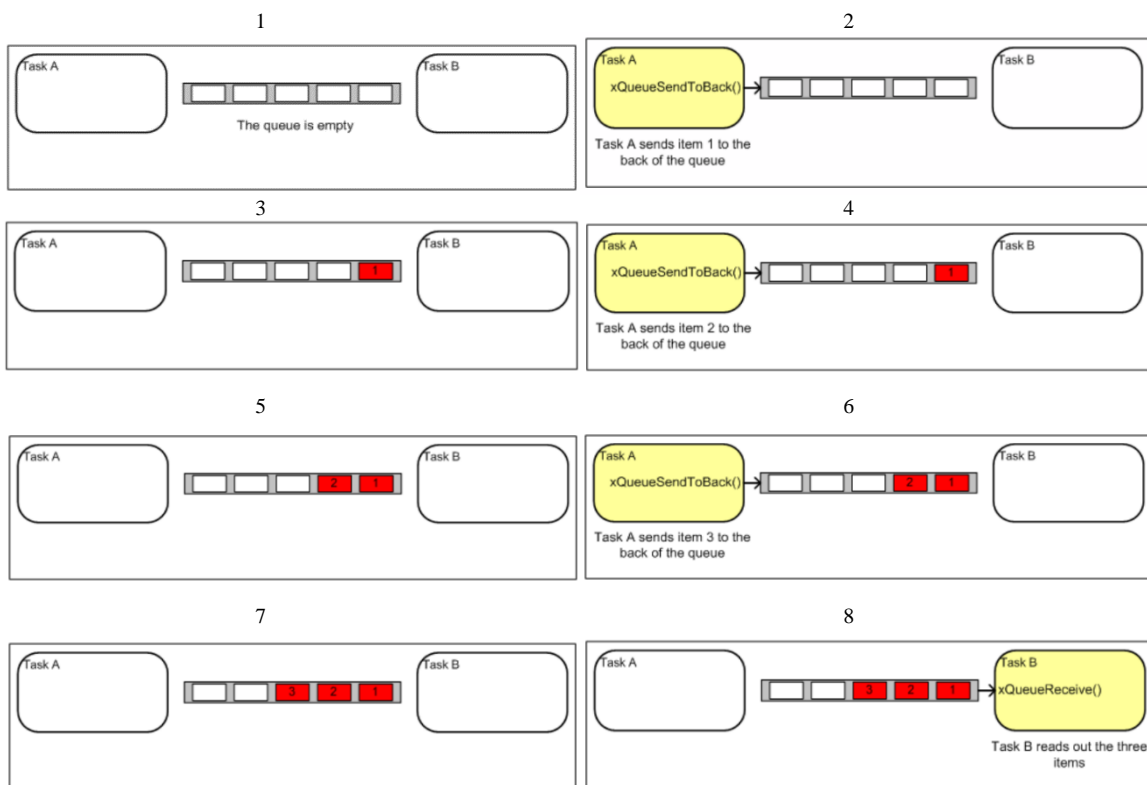


Εικόνα 77 Στοιχεία λειτουργικού πραγματικού χρόνου

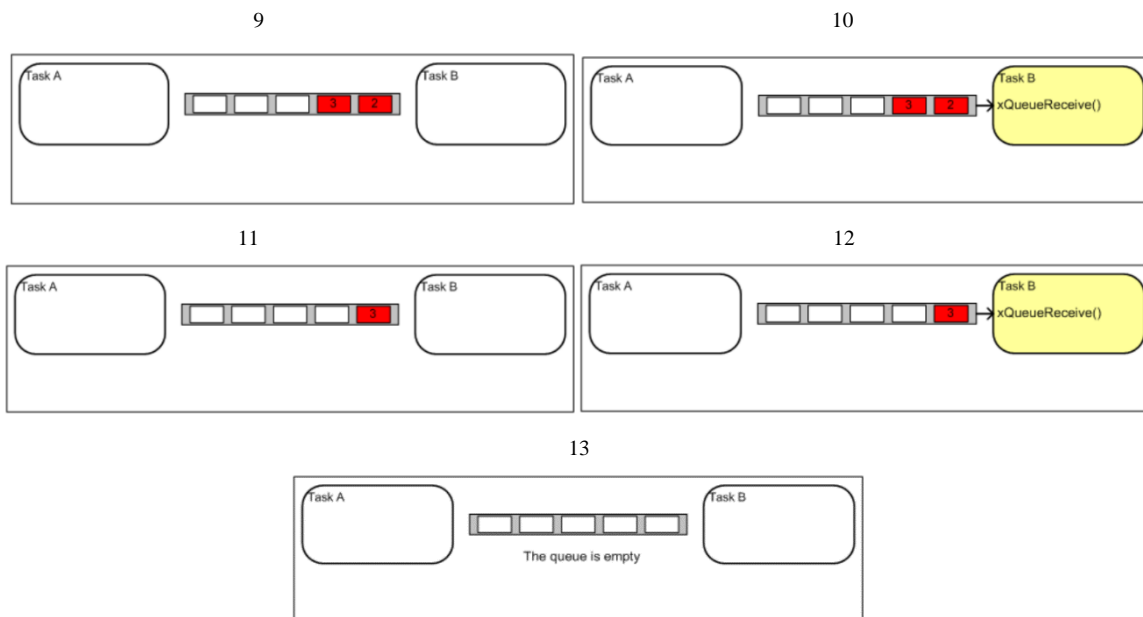
Ένα πρόγραμμα/εφαρμογή που χρησιμοποιεί λειτουργικό σύστημα πραγματικού χρόνου (RealTimeOperatingSystem) μπορεί να είναι δομημένο από ένα σετ ανεξάρτητων διεργασιών (tasks). Κάθε διεργασία εκτελείται μόνο μέσα στον δικό της χώρο μνήμης χωρίς να υπάρχουν

τυχαίες αλληλεξαρτήσεις με τις άλλες διεργασίες μέσα στο λειτουργικό σύστημα ή ακόμη και με τον ίδιο τον χρονοταξινομητή (scheduler) του λειτουργικού. Μόνο ένα task του προγράμματος μπορεί να εκτελείται κάθε φορά και υπεύθυνος για να αποφασίσει ποιο task θα είναι αυτό, είναι ο χρονοταξινομητής (scheduler). Συνεπώς, ο scheduler του RTOS μπορεί επανειλημμένα να ξεκινήσει και να σταματήσει κάθε task καθόλη την διάρκεια του προγράμματος. Εκτός αυτών ο scheduler του RTOS πρέπει να διασφαλίσει ότι οι τιμές των register, τα περιεχόμενα του stack κτλπ μιας διεργασίας πρέπει να είναι ακριβώς τα ίδια όπως ακριβώς ήταν πριν αντικατασταθεί με μια άλλη διεργασία από τον scheduler. Για να επιτευχθεί αυτό βέβαια απαιτείται η κάθε διεργασία να έχει το δικό της stack memory (στοίβα μνήμης). Όταν η εργασία αλλάζει προς τα έξω (μπαίνει σε παύση προσωρινά), το περιβάλλον εκτέλεσης αποθηκεύεται στη στοίβα μνήμης της συγκεκριμένης διεργασίας, ώστε να μπορεί επίσης να αποκατασταθεί με ακρίβεια όταν η ίδια διεργασία αντικατασταθεί αργότερα.

Οι ουρές είναι η κύρια μορφή επικοινωνίας μεταξύ των διεργασιών. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποστολή μηνυμάτων μεταξύ δύο διεργασιών ή μεταξύ μιας ρουτίνας τύπου interrupt και μιας άλλης διεργασίας (task). Στις περισσότερες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται ως buffer ασφάλειας τύπου FIFO (First In First Out) με τα νέα δεδομένα να αποστέλλονται στο πίσω μέρος της ουράς.





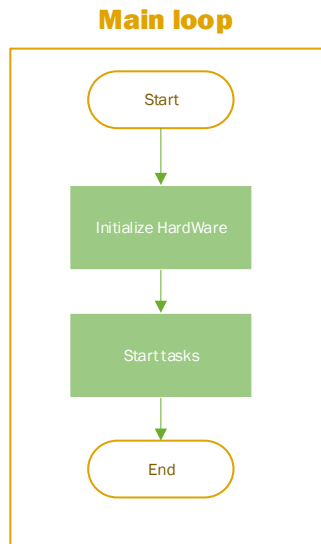


Εικόνα 78 Γράψιμο και ανάγνωση ουράς

Όπως λειτουργεί μια ουρά λειτουργούν και η ενδιάμεση μνήμη μηνυμάτων (Message buffer). Η διαφορά αυτού του εργαλείου σε σχέση με μια ουρά είναι η δυνατότητα μεταφοράς μεγάλου αριθμού δεδομένων (κείμενο, λίστα, πίνακες κτλπ) σε κάθε αποστολή σε σχέση με την ουρά όπου μεταφέρουμε μόνο ένα αντικείμενο την φορά (flag, register, 1 byte, κτλπ). Τις message buffers τις χρησιμοποιούμε στο πρόγραμμά μας κυρίως για να μεταφέρουμε τα δεδομένα των μετρήσεων από το “Power Meter Master task” στα task της οθόνης “Display Controller task” και της επικοινωνίας με τον server “TCP/IP socket com handler task”.

Ο χρονοταξινομητής (scheduler) είναι μέρος του kernel (πυρήνας) του FreeRTOS και είναι υπεύθυνος για να επιλέξει ποια διεργασία θα πρέπει να εκτελεστεί/διακοπεί και σε ποια συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Η παραπάνω διαδικασία αναφέρεται ως πολιτική χρονοπρογραμματισμού και είναι στην ουσία ο αλγόριθμος του scheduler. Οι πολιτικές χρονοπρογραμματισμού που χρησιμοποιούνται είναι οι: preemptive scheduling (όπως η τεχνική round-robin), non-preemptive scheduling οι οποίες μπορεί να χρησιμοποιούν αριθμό προτεραιότητας στις διεργασίες ή όχι.

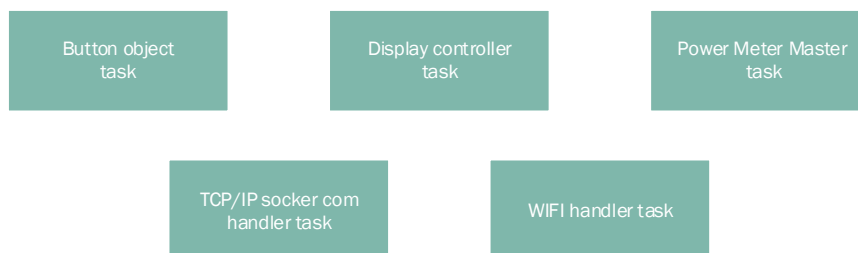
### 3.11 Επεξήγηση Firmware του έξυπνου μετρητή.



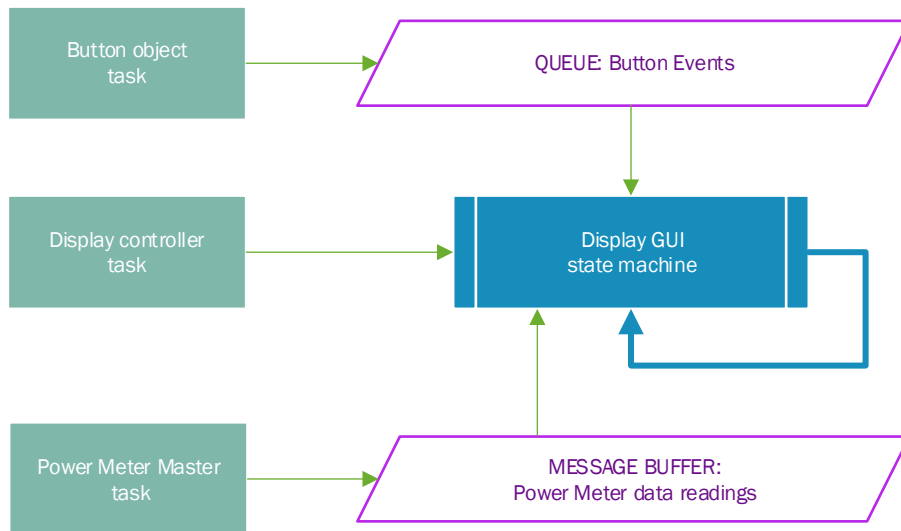
Εικόνα 79 Κώδικας κυρίου προγράμματος έξυπνου μετρητή

Ο κώδικας του κυρίως προγράμματος της συσκευής μας απεικονίζεται στην εικόνα 42. Η μόνη δουλειά που έχει να κάνει αυτό το κομμάτι του κώδικα είναι να εκκινήσει τα περιφερειακά του ESP32 και να αρχικοποιήσει μερικές μεταβλητές. Στην συνέχεια δημιουργεί και ξεκινάει τις διάφορες διεργασίες (tasks) που θα τρέχουν στο λειτουργικό μας σύστημα. Μετά από την δημιουργία των task ο κώδικας του κυρίως προγράμματος φτάνει στο τέλος και τερματίζεται η κυρίως λούπα (main loop).

Τα task που θα χρησιμοποιήσουμε είναι τα παρακάτω:



Εικόνα 80 Διεργασίες συσκευής

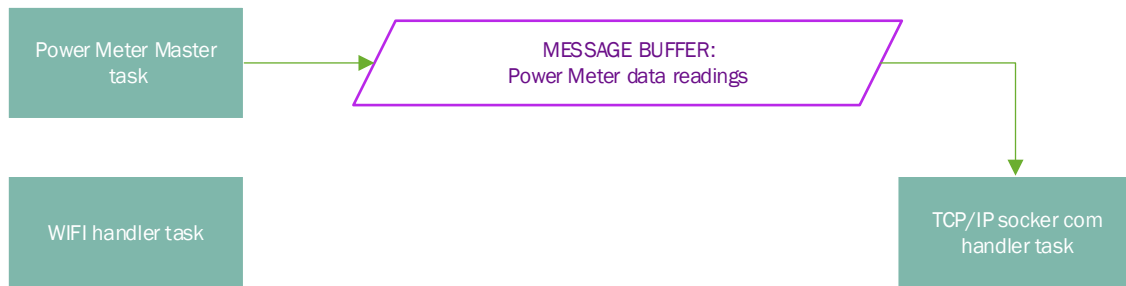


Εικόνα 81 Διεργασίες Button, Display controller και Power Meter Master

Η διεργασία “Button object” ανιχνεύει το πάτημα/απελευθέρωση του κάθε κουμπιού της συσκευής. Επίσης η παραπάνω διεργασία μετράει και την διάρκεια όπου ένας διακόπτης μπορεί να παραμένει πατημένος. Όταν ανιχνευθεί ένα πάτημα κάποιου κουμπιού ενημερώνει με το αντίστοιχο event το task “Display controller” μέσω της ουράς “Button Events”.

Η διεργασία “Display controller” περιλαμβάνει το μενού και την γραφική απεικόνιση των μετρήσεων κατανάλωσης. Περιλαμβάνει ένα state machine του οποίου η κατάσταση (state) αλλάζει ανάλογα τα διάφορα event του συστήματος, όπως το πάτημα κάποιου κουμπιού ή η λήψη νέων μετρήσεων από την μετρητική μονάδα.

Το task “Power Meter Master” χρησιμοποιεί το περιφερειακό του UART για να επικοινωνήσει με το ολοκληρωμένο V9881D. Η διεργασία αυτή είναι υπεύθυνη για να αρχικοποιήσει την μετρητική μας μονάδα και στην συνέχεια να διαβάσει τις μετρήσεις του ρεύματος, της τάσης, του συντελεστή απόδοσης κτλπ. Στην συνέχεια μόλις λάβει τα παραπάνω δεδομένα επιτυχώς τα στέλνει στις διεργασίες “Display controller” και “TCP/IP socket com handler” μέσω δύο προσωρινών μνημών μηνυμάτων (message buffers). Η διεργασία αυτή επίσης μπορεί να ελέγξει και την συχνότητα αποστολής των μετρήσεων στα δύο παραπάνω task.



Εικόνα 82 Διεργασίες Power Meter Master, TCP/IP socket com handler και WiFi handler

Η διεργασία “Power Meter Master” στέλνει τις μετρήσεις, μέσω της Message Buffer στην διεργασία “TCP/IP socket com handler” κάθε 1 λεπτό. Στην συνέχεια η διεργασία “TCP/IP socket com handler” μόλις λάβει τα δεδομένα των μετρήσεων δημιουργεί ένα πακέτο δεδομένων με βάση το format MQTT και στέλνει τα δεδομένα των μετρήσεων στον server ο οποίος στην συνέχεια τα αποθηκεύει σε μια βάση δεδομένων.

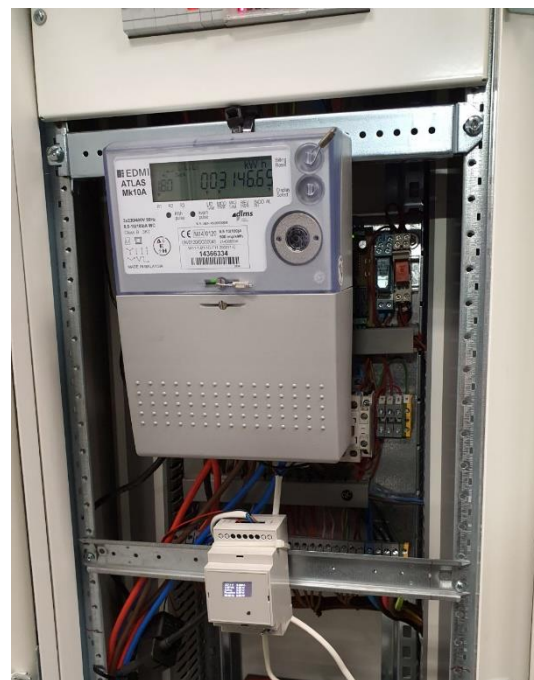
Για να μπορούν όμως να σταλούν τα δεδομένα στον server απαιτείται να υπάρχει σύνδεση στο διαδίκτυο. Την διαχείριση στο διαδίκτυο την χειρίζεται η διεργασία “wifi handler task”. Η παραπάνω διεργασία είναι υπεύθυνη στο να διατηρήσει ενεργή και λειτουργική την σύνδεση του έξυπνου μετρητή στο router. Για παράδειγμα σε περίπτωση που η σύνδεση wifi με το router πέσει ή κολλήσει η διεργασία “WiFi handler task” εκτελεί όλες εκείνες τις ενέργειες για επανασύνδεση στο wifi δίκτυο του router.

#### 4.1 Τοποθέτηση των μετρητών SM21 και Atlas Mk10A

Οι συγκριτικές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν μεταξύ του έξυπνου μετρητή μας (SM21) και του έξυπνου μετρητή της EDM I ATLAS Mk10A. Ο έξυπνος μετρητής ATLAS Mk10A είναι ένας τριφασικός μετρητής της αγοράς ενώ ο μετρητής (SM21) που κατασκευάσαμε είναι μονοφασικός μετρητής.

Για να μπορούμε να συγκρίνουμε τους δύο μετρητές αλλάξαμε την συνδεσμολογία του μετρητή Mk10A από τριφασική σε μονοφασική. Στην συνέχεια τοποθετήσαμε και τον δικό μας μετρητή στον ίδιο ηλεκτρολογικό πίνακα με τον μετρητή ATLAS Mk10A.

Για φορτίο χρησιμοποιήσαμε τις εγκαταστάσεις της εταιρείας H.E.C. systems η οποία στον χώρο της περιλαμβάνει διαφόρων ειδών φορτία όπως είναι τα επαγωγικά ή τα χωρητικά (εσωτερικό ασανσέρ, λάμπες led, inverters κτλ.). Με αυτό τον τρόπο καταφέραμε να δούμε την συμπεριφορά του μετρητή και την αξιοπιστία του σε διαφορετικά είδους φορτία τα οποία επηρεάζουν πολύ το τον συντελεστή απόδοσης της ισχύος (active/ reactive power, power factor).



Εικόνα 83 Ηλεκτρολογικός Πίνακας H.E.C. systems - Έξυπνοι μετρητές ATLAS Mk10A και SM21

Παρακάτω παραθέτουμε τις γραφικές παραστάσεις των συγκριτικών μετρήσεων και ένα μέρος από τα δεδομένα των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν το χρονικό διάστημα 29/03/2021 έως 08/06/2021.

Επειδή ο όγκος των δεδομένων που συλλέχθηκαν στις μετρήσεις είναι πάρα πολύ μεγάλος το σύνολο των μετρήσεων έχουν τοποθετηθεί στα παραρτήματα της παρούσας εργασίας.

Είναι σημαντικό να σημειωθούν οι περιβαλλοντικές συνθήκες του χώρου στον οποίο πραγματοποιήθηκαν οι συγκριτικές μετρήσεις μεταξύ των δύο έξυπνων μετρητών.

Πίνακας 5 Περιβαλλοντικές συνθήκες χώρου μέτρησης

Θερμοκρασία:	27~30 °C
Υγρασία:	35-45 %
Ατμοσφαιρική πίεση:	1003.11 hPa
Ύψος από την θάλασσα:	55 m

Στις παρακάτω γραφικές παραστάσεις πέραν την απεικόνιση των μετρήσεων των δύο μετρητών, έχουμε προσθέσει και τις γραφικές παραστάσεις που απεικονίζουν την διαφορά σε ποσοστό του δικού μας μετρητή (SM21) από τον μετρητή Mk10A.

Ο υπολογισμός της διαφοράς σε ποσοστό πραγματοποιήθηκε με τον παρακάτω τύπο:

$$| ((X_{SM21}/X_{MK10A}) * 100) - 100 | (%)$$

Όπου  $X_{SM21}$  είναι οι τιμές των μετρήσεων του μετρητή SM21 και όπου  $X_{MK10A}$  είναι οι τιμές των μετρήσεων του μετρητή MK10A.

Για τον παραπάνω τύπο θεωρούμε ότι οι μετρήσεις του μετρητή Mk10A είναι σωστές και με βάση αυτές υπολογίζουμε την απόκλιση των δικών μας μετρήσεων σε ποσοστό.

## 4.2 Σύγκριση τεχνικών χαρακτηριστικών του έξυπνου μετρητή μας με άλλους μετρητές

Πίνακας 6 Συγκριτικός πίνακας έξυπνων μετρητών Α [10]

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΞΥΠΝΩΝ ΜΕΤΡΗΤΩΝ											
Εταιρεία Κατασκευής	NINGBO SANXING SMART ELECTRIC CO., LTD	NINGBO SANXING SMART ELECTRIC CO., LTD	NINGBO SANXING SMART ELECTRIC CO., LTD	Landis + Gyr	Landis + Gyr	HOLLEY TECHNOLOGY LTD	HOLLEY TECHNOLOGY LTD	Bigama - Elektronika	EDM ATAA1	ENEL	UNIWA
Μοντέλο	SX1A1 - SEIS-08	384U18	P12U02	6470	CM100	DDSD286	DTSD64	GAAMA300	Mk10A	A1200 ALPHA	SM21
Τύπος	1 Ph	3 Ph	1 Ph	1 Ph	1 Ph	1 Ph	3 Ph	3 Ph	3 Ph	3 Ph	1 Ph
Τάση αναφοράς	220 ~ 240V	220/380 V ~ 240/415V	220V	220 ~ 240V	120 ~ 240V	220 ~ 230V	220/380V ~ 57,7/100V	220/380V ~ 230/400V ~ 240/415V	220/380V ~ 230.400V	500V	80 ~260V
Εύρος τάσης λειτουργίας	0,6 ~ 1,2Un	0,8 ~ 1,2Un	0,6 ~ 1,2Un	0,8 ~ 1,15Un	0,8 ~ 1,2Un	0,75 ~ 1,15Un	0,75 ~ 1,15Un	0,75 ~ 1,15Un	0,8 ~ 1,15Un	0,8 ~ 1,15Un	
Συχνότητα	50 Hz	50 Hz	50 Hz	50 Hz	50 - 60 Hz	50 Hz	50 Hz	50 - 60 Hz	45 - 60 Hz	50 - 60 Hz	50 - 60 Hz
Βασικό ρεύμα	5A	5A	10A	10A	5A	2,5A	1,5A	5A	1A	1A	
Μέγιστο ρεύμα	100A	100A	80A	100A	100A	100A	100A	100A	100A	120A	100A
Ρεύμα εκκίνησης	0,004 Ib	≤ 0,004 Ib	0,004 Ib	0,001 Ib	0,004 Ib	0,004 Ib	0,001 Ib	0,004 Ib	0,002 Ib	≤ 0,004 Ib	0,001 Ib
Ακρίβεια	Class 1,0	Class 1,0	Class 0,5	Class 0,5	Class 2,0	Class 1,0	Class 0,5	Class 1,0	Class 1,0	Class 1,0	
Κατανάλωση ενέργειας Κύκλωμα τάσης	≤ 10VA	≤ 10VA	≤ 5VA	≤ 2VA	≤ 3,8VA	≤ 0,5VA	≤ 0,5VA	≤ 1VA	≤ 0,5VA	≤ 10VA	≤ 0,5VA
Κατανάλωση ενέργειας Κύκλωμα ρεύματος	≤ 0,5VA	≤ 1VA	≤ 2VA	≤ 0,22VA	≤ 0,35VA	≤ 2,5VA	≤ 1VA	≤ 2,3VA	≤ 0,5VA	≤ 2,5VA	≤ 0,5VA
Αντοχή μόνωσης Δοκιμή τάσης AC	4 kV	4 kV	4 kV		4 kV	4 kV	4 kV		5 kV	4 kV	
Αντοχή μόνωσης Δοκιμή τάσης παλμών	6 kV	6 kV	6 kV		≥ 8 kV	≥ 6 kV	≥ 6 kV	≥ 6 kV	10 kV	12 kV	

Πίνακας 7 Συγκριτικός πίνακας έξυπνων μετρητών Β [10]

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΞΥΠΝΩΝ ΜΕΤΡΗΤΩΝ											
Εταιρεία Κατασκευής	NINGBO SANXING SMART ELECTRIC CO., LTD	NINGBO SANXING SMART ELECTRIC CO., LTD	NINGBO SANXING SMART ELECTRIC CO., LTD	Landis + Gyr	Landis + Gyr	HOLLEY TECHNOLOGY LTD	HOLLEY TECHNOLOGY LTD	Elgama - Ηλεκτρονικά	EDMI ΑΙΓΑΪ	Elster	UNIWA
Μοντέλο	SK1A1 - SBL3-0E	S3R01B	F15002	E470	C/M100	DSD528E	DSD546	GAAMA300	MR10A	A1200 ALPHA	SM21
Τύπος	1 Ph	3 Ph	1 Ph	1 Ph	1 Ph	1 Ph	3 Ph	3 Ph	3 Ph	3 Ph	1 Ph
Διεπαφή επικοινωνίας	GSM / GPRS, RF, OPTICAL, RS485	4G/ 3G/ GPRS/ G3/ RF / NB-IOT + RS485 + ΟΠΤΙΚΟ + P1	ΟΠΤΙΚΟΣ	ΟΠΤΙΚΟΣ + SMS / GSM	Ενσύρματη + SMS	RS485 Modbus RTU - I.R. Έξοδο θύρας	Άμεση τοπική ανταλλαγή δεδομένων - baud rate 300 bps~9600bps	Οπτικές και ηλεκτρικές διεπαφές DLMS/ COSEM μοντεμ PLC + USB + ασύρματο ή ενσύρματο Mbus, RS485 + ethernet	Optical port: FLAG + ANSI type2 + RS-232 + 2G/ 3G/ 4G LTE + RS485 multi-drop (2 or 4 wire RJ45 or 2-wire screw terminal) + RS232 + UDP/IP/PPP/ GPRS capable MV-90 compatible EDMI command line MODBUS	Optical port 4800 bps + RS232/ RS485 Configurable 300 bps to 9600 bps	wifi 2.4GHz, TCP/IP over TLS 1.2
Εύρος λειτουργίας	-25°C ~ +70°C	-40°C ~ +70°C	-25°C ~ +70°C	-25°C ~ +55°C	-25°C ~ +75°C	-25°C ~ +55°C	-200°C ~ +450°C	-40°C ~ +70°C	-25°C ~ +60°C	-40°C ~ +55°C	-40°C ~ +70°C
Οριακό εύρος αποθήκευσης και μεταφοράς	-40°C ~ +80°C	-40°C ~ +80°C	-25°C ~ +70°C	-30°C ~ +85°C	-25°C ~ +75°C	-40°C ~ +70°C	-300°C ~ +600°C	-40°C ~ +70°C	-40°C ~ +80°C	-40°C ~ +85°C	-40°C ~ +80°C
Προστασία	CAT II	CAT II	CAT II	CAT II				CAT II	CAT II	CAT II	
Αξιολόγηση IP	IP54	IP54	IP54	IP54		IP51	IP51	IP53	IP53	IP53	
Ακρίβεια RTC	≤ 0,5s την ημέρα	≤ 0,5s την ημέρα	≤ 0,5s την ημέρα			≤ 0,5s την ημέρα	≤ 0,5s την ημέρα	≤ 0,5s την ημέρα	≤ 0,5s την ημέρα	≤ 0,5s την ημέρα	0.089s την ημέρα
Καθαρό βάρος	1,16kg	1,85kg	0,60kg		1,4kg	0,7kg	2,5kg	1,5kg	2kg		0,125 kg
Διάρκεια ζωής	> 15 έτη	> 10 έτη	> 15 έτη		> 30 έτη	> 10 έτη	> 10 έτη	> 12 έτη	> 10 έτη	> 10 έτη	
Διάσταση Μ x Π x Υ	228mm x 130mm x 64mm	290mm x 170mm x 83mm	213mm x 130mm x 67mm		230mm x 133mm x 66mm	164,5mm x 112mm x 71mm	278mm x 174mm x 77mm	260mm x 175mm x 80mm	210mm x 166mm x 74mm	210mm x 166mm x 74mm	90mm x 53mm x 58mm

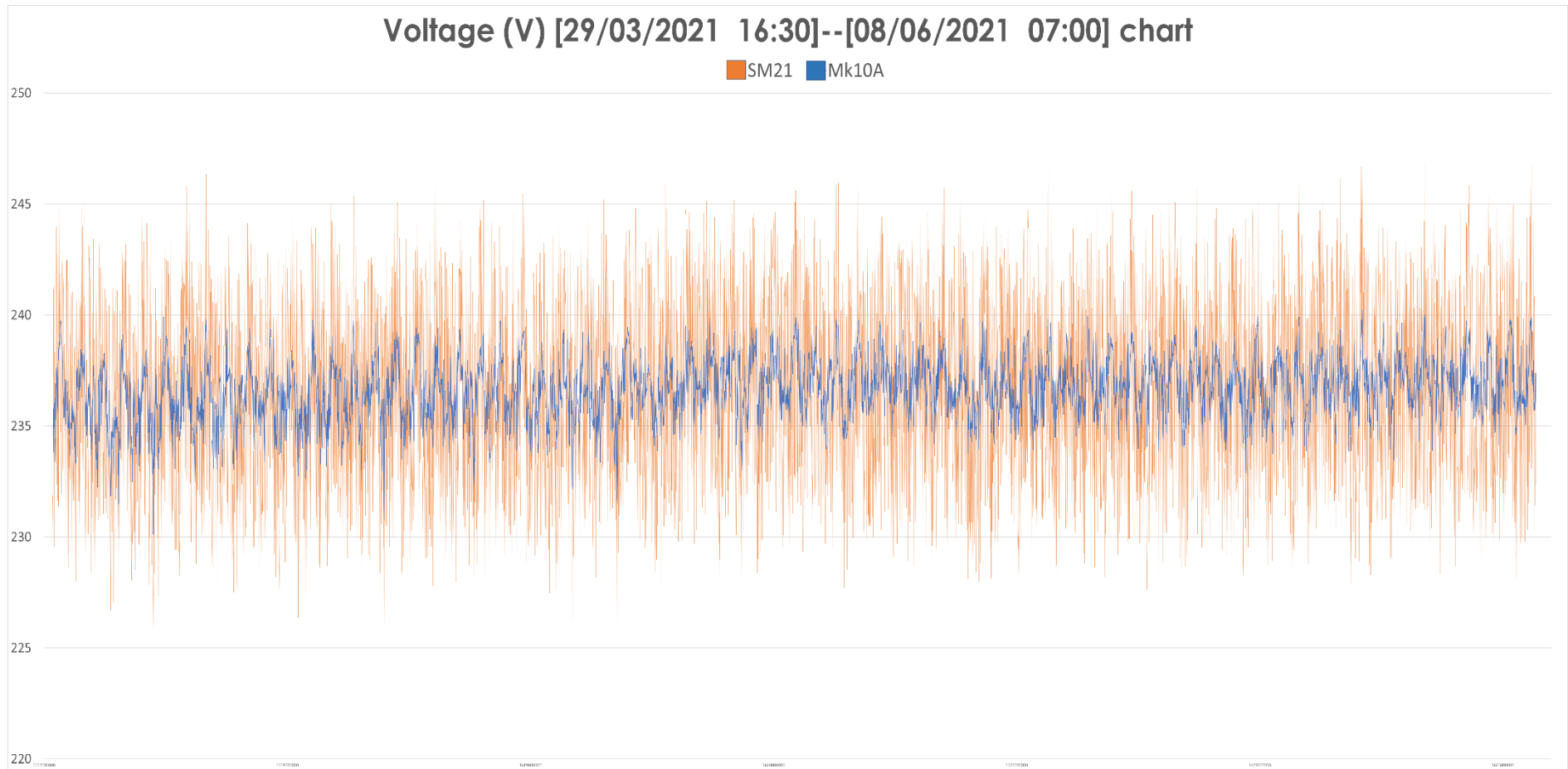




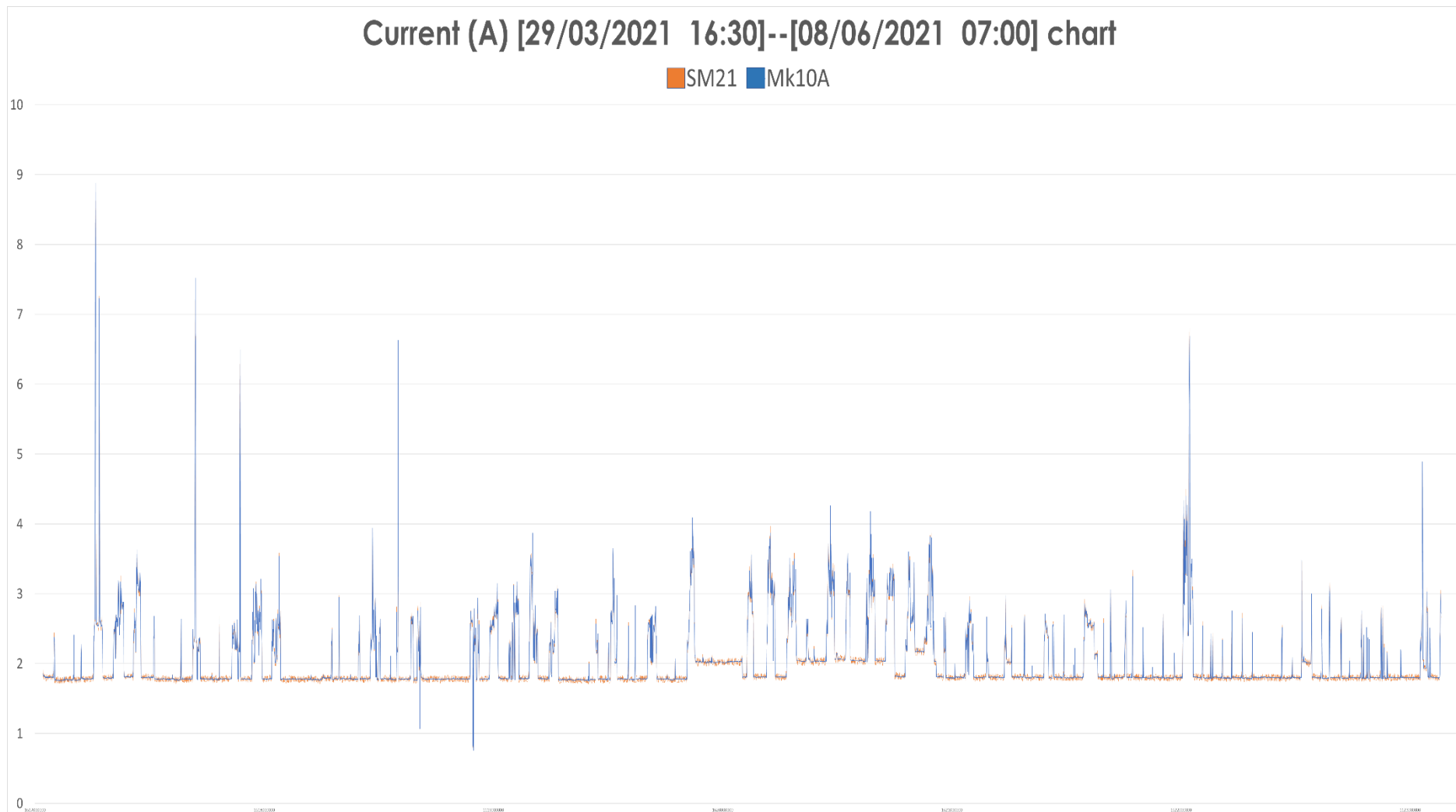




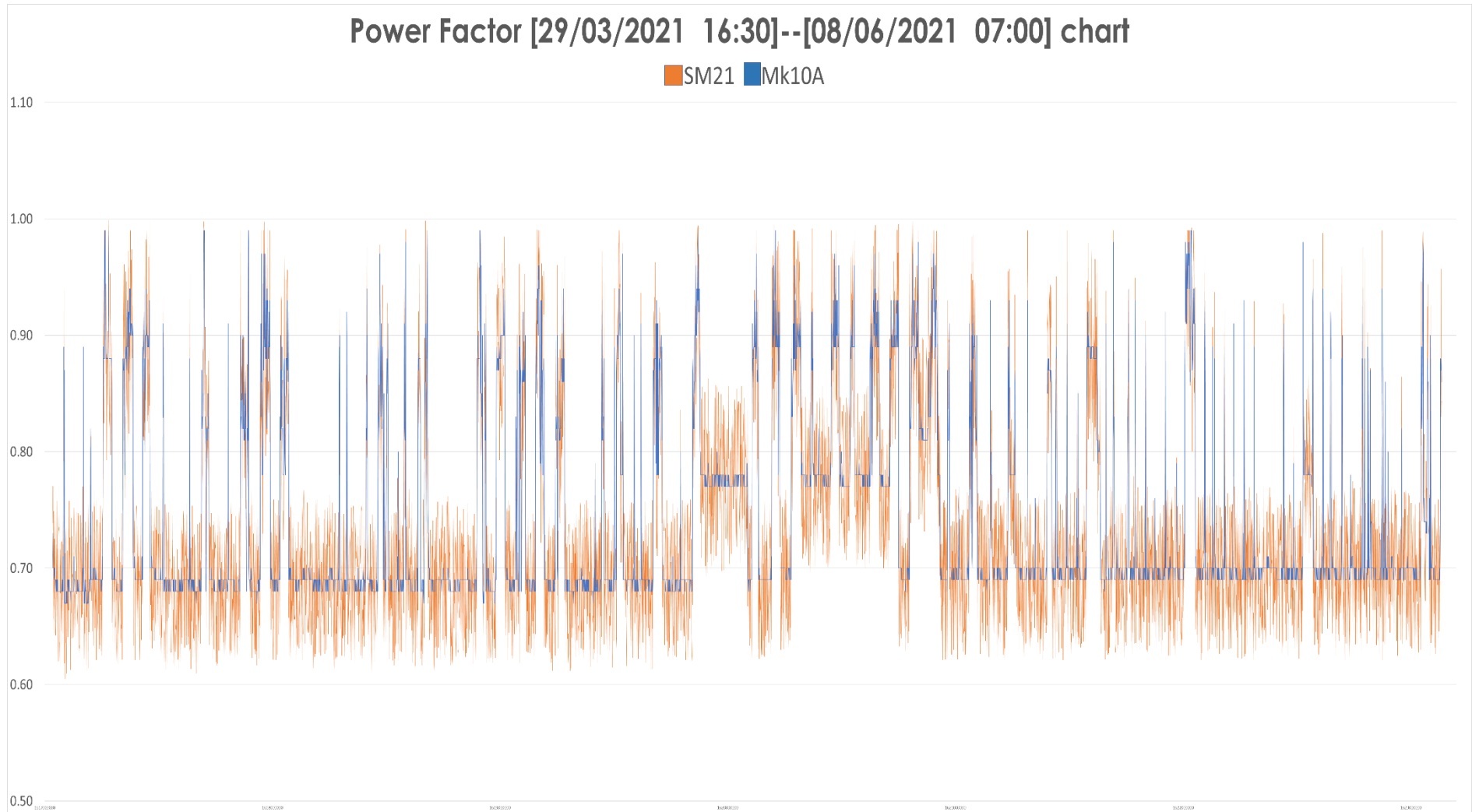
#### 4.4 Γραφήματα αποτελεσμάτων συγκριτικών μετρήσεων



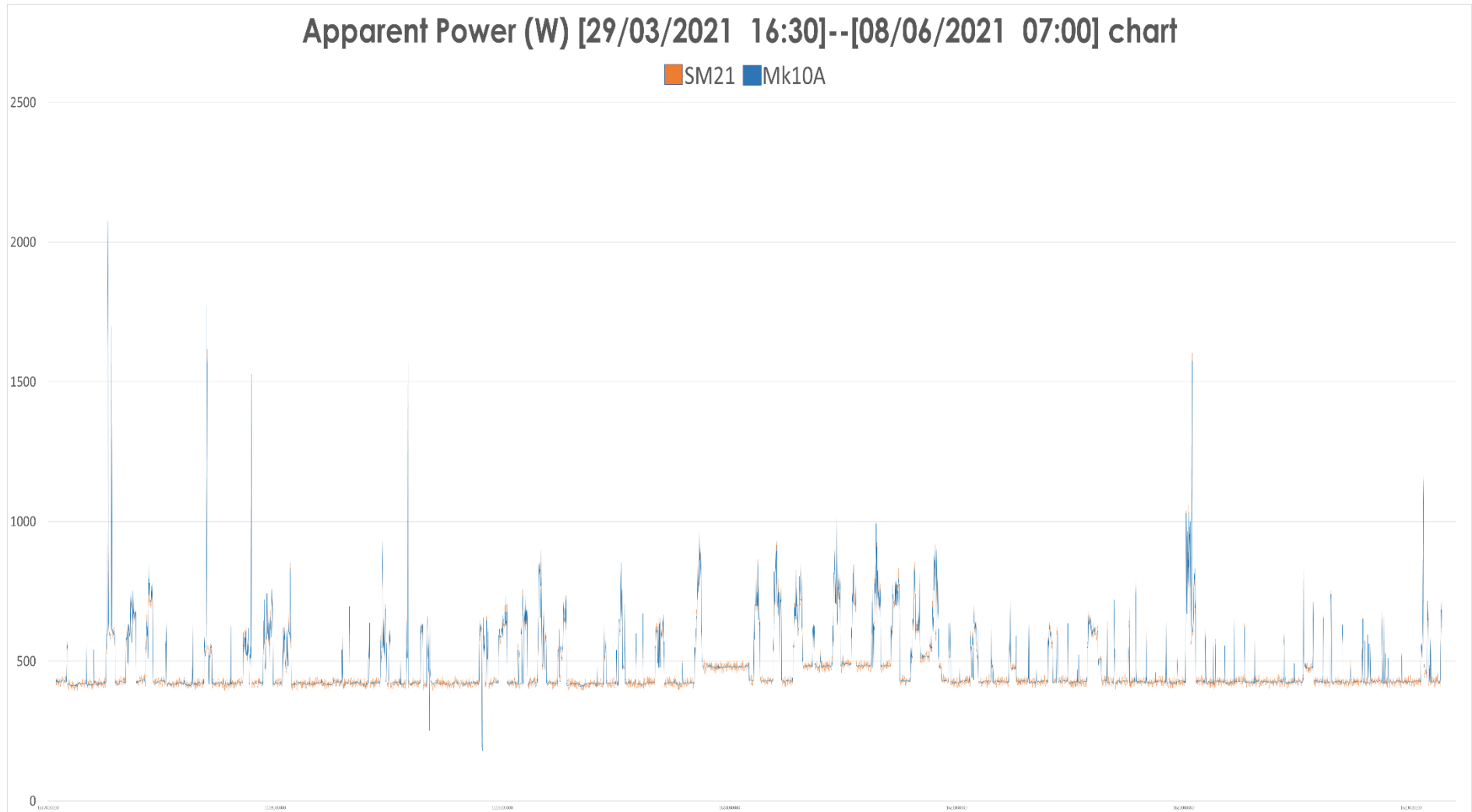
Εικόνα 84 Συγκριτικές μετρήσεις τάσης



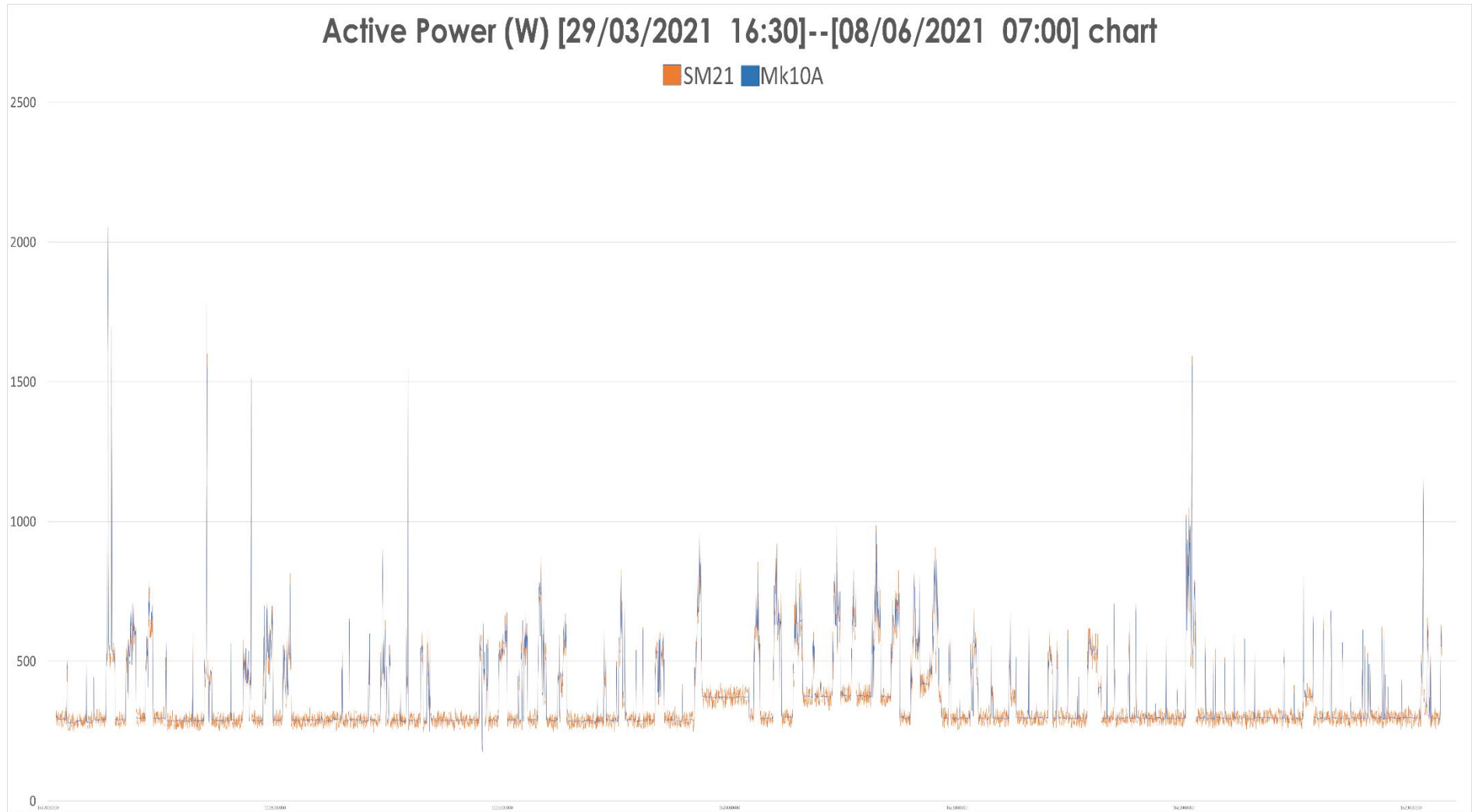
Εικόνα 85 Συγκριτικές μετρήσεις ρεύματος



Εικόνα 86 Συγκριτικές μετρήσεις συνολικής ισχύος

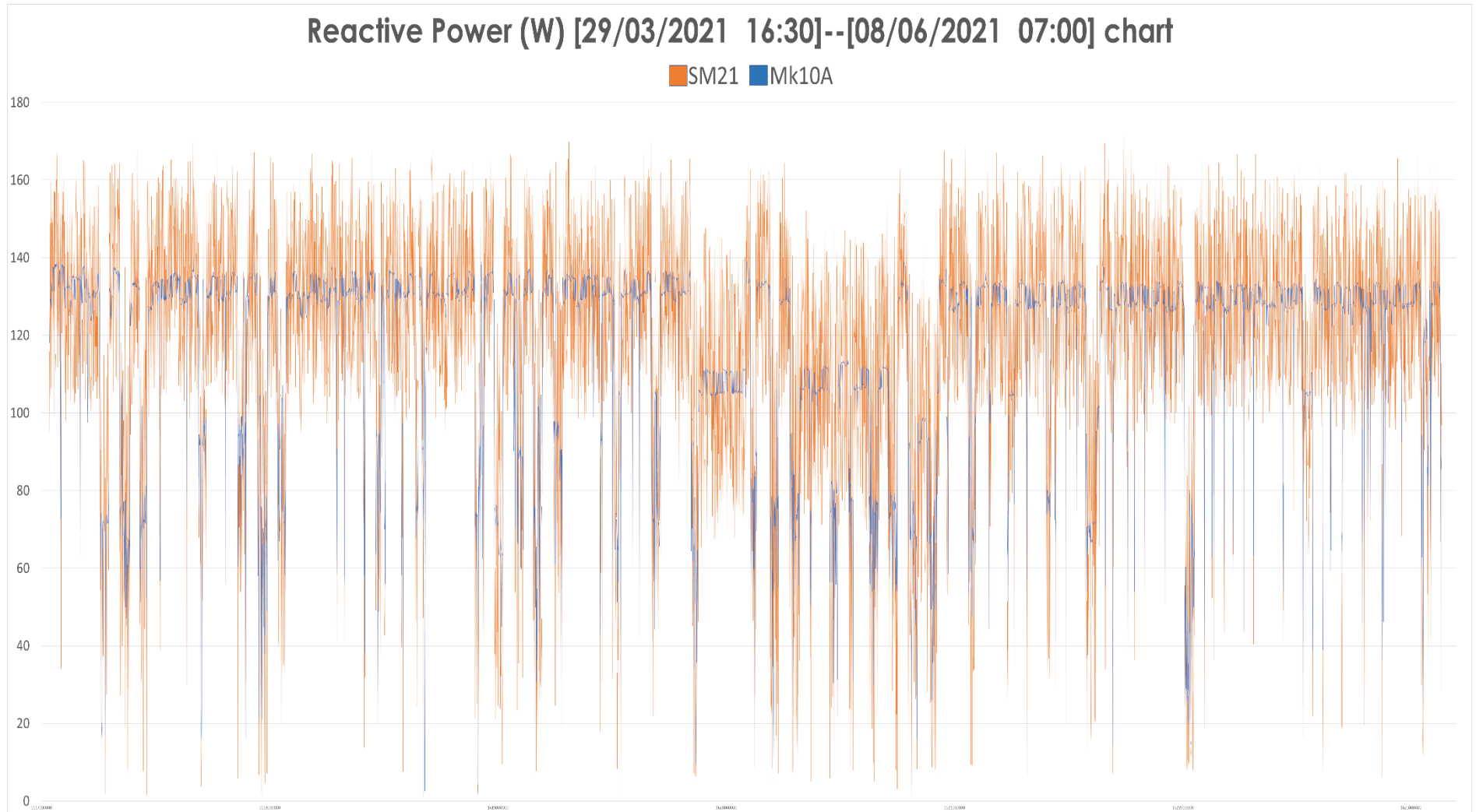


Εικόνα 87 Συγκριτικές μετρήσεις συντελεστή ισχύος



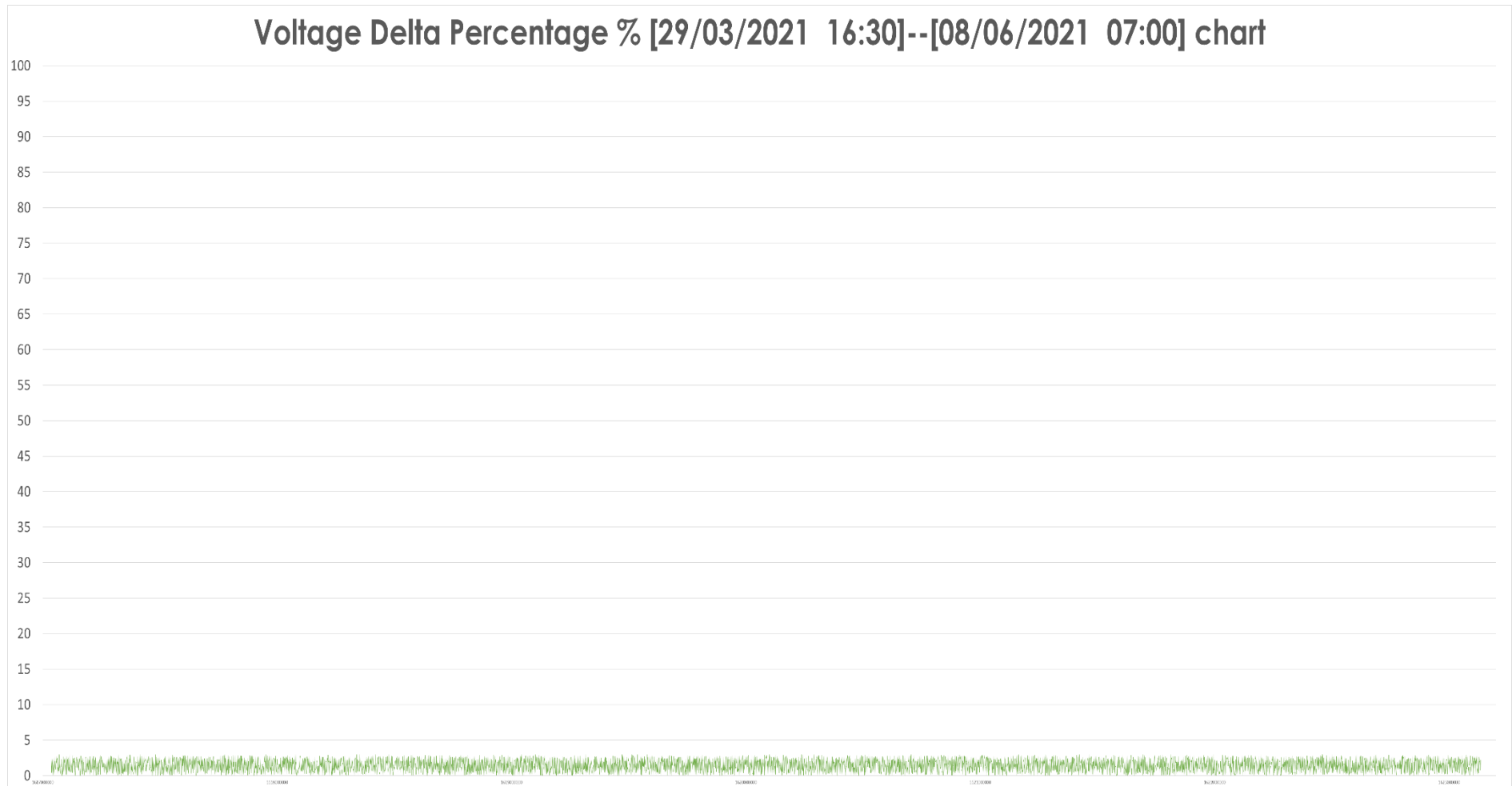
Εικόνα 88 Συγκριτικές μετρήσεις ενεργής ισχύος



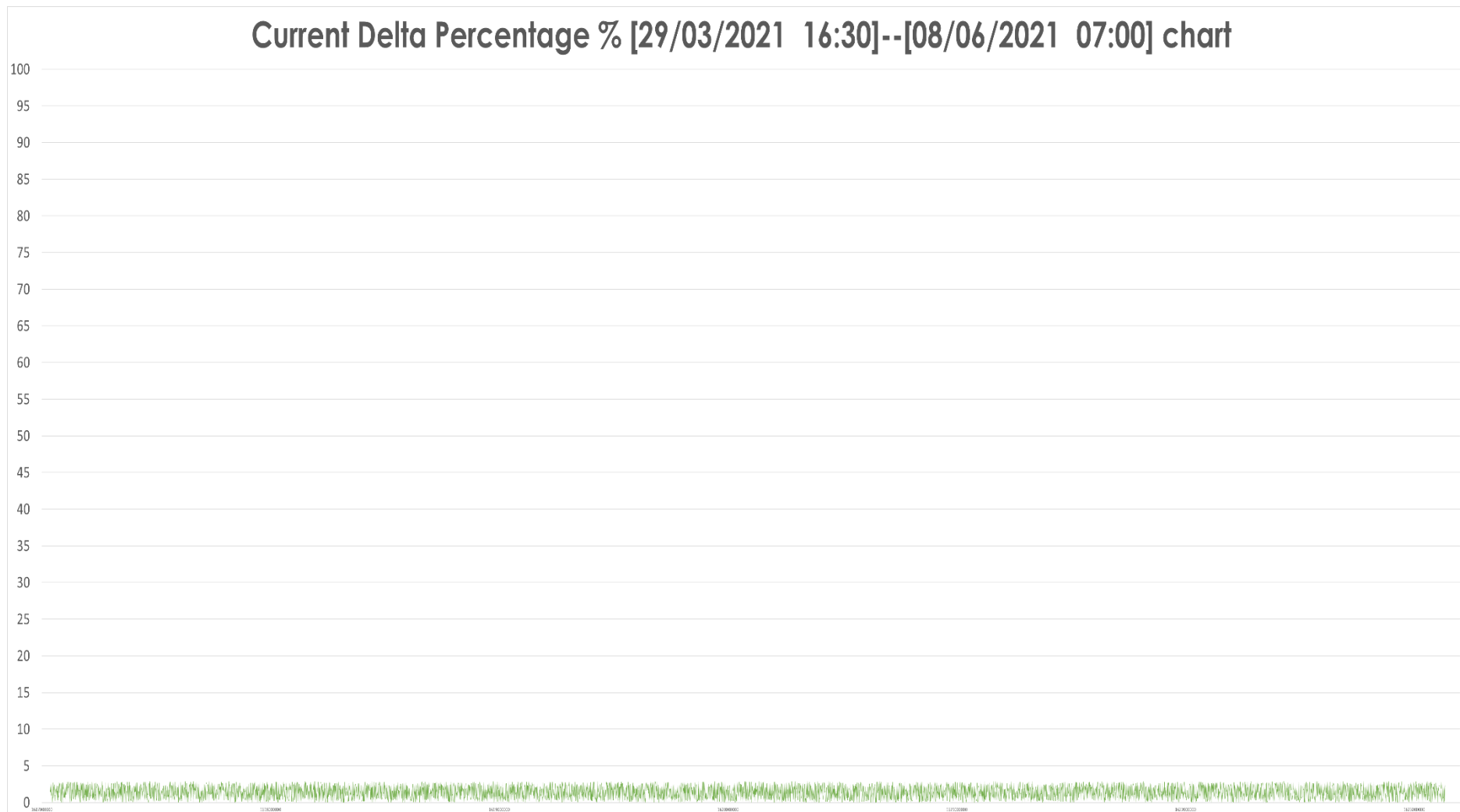


Εικόνα 89 Συγκριτικές μετρήσεις άεργης ισχύος

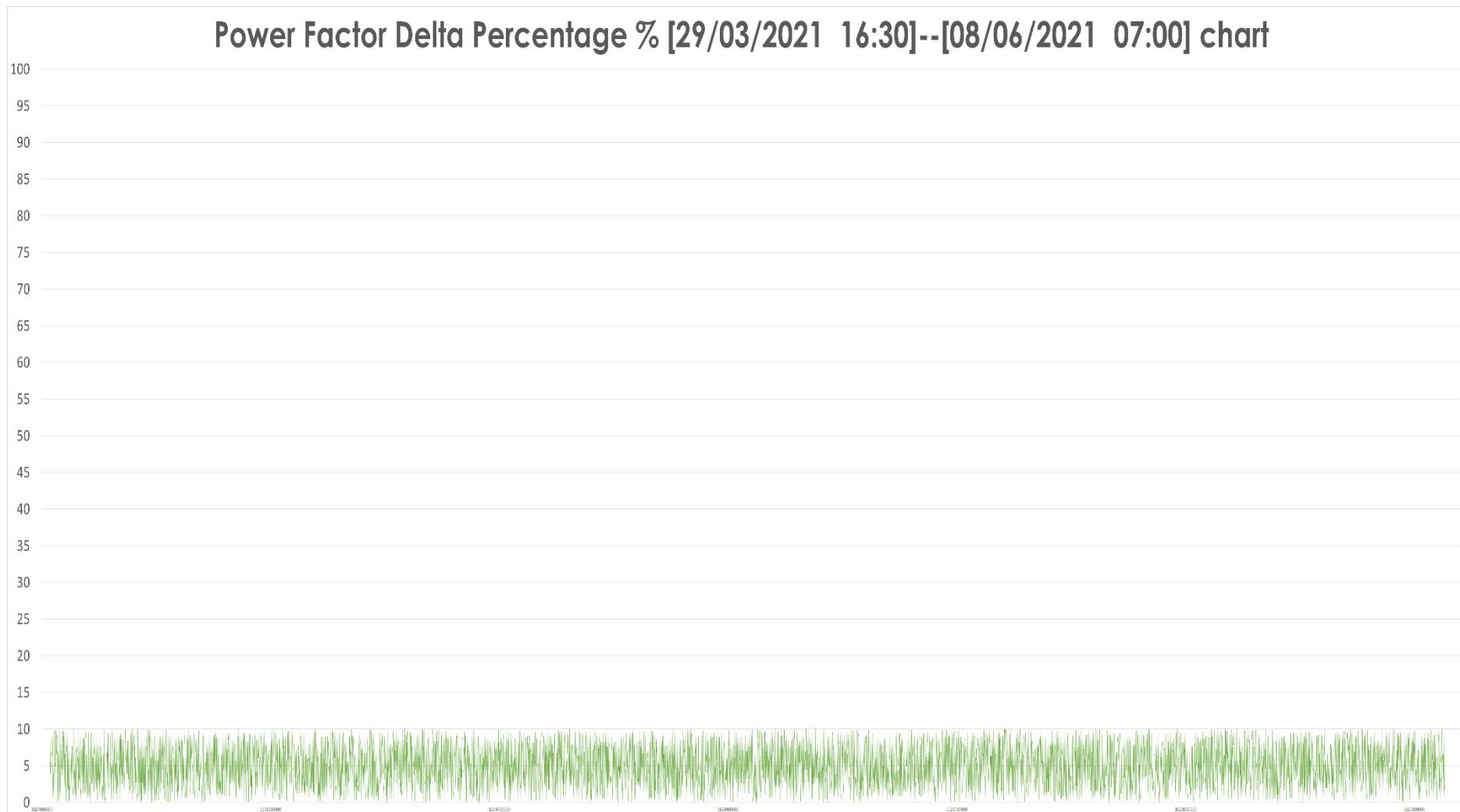
#### 4.5 Γραφήματα διαφοράς των συγκριτικών μετρήσεων σε ποσοστό



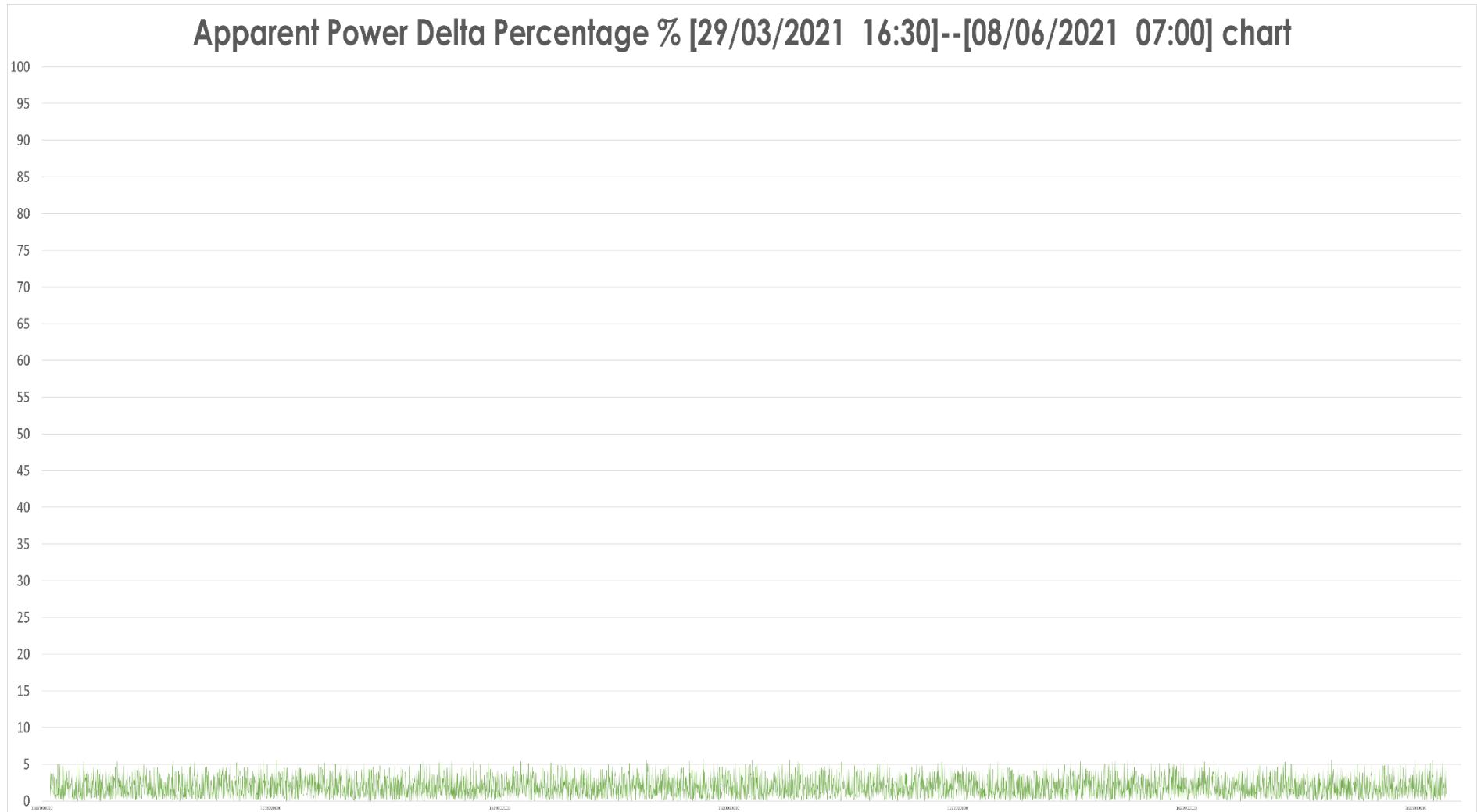
Εικόνα 90 Γραφική παράσταση διαφοράς σε ποσοστό της τάσης μεταξύ των δύο έξυπνων μετρητών Mk10A – SM21



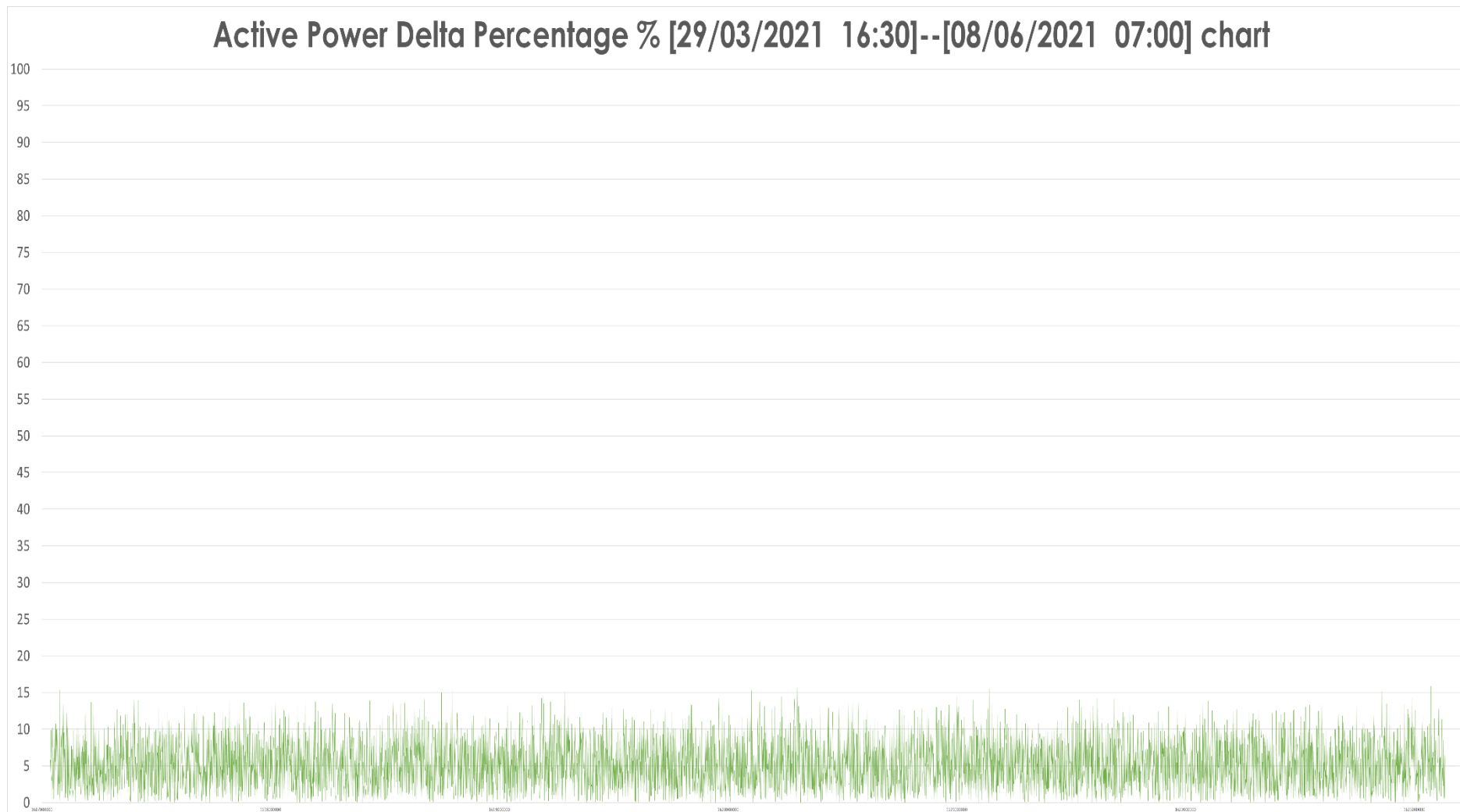
Εικόνα 91 Γραφική παράσταση διαφοράς σε ποσοστό του ρεύματος μεταξύ των δύο έξυπνων μετρητών Mk10A – SM21



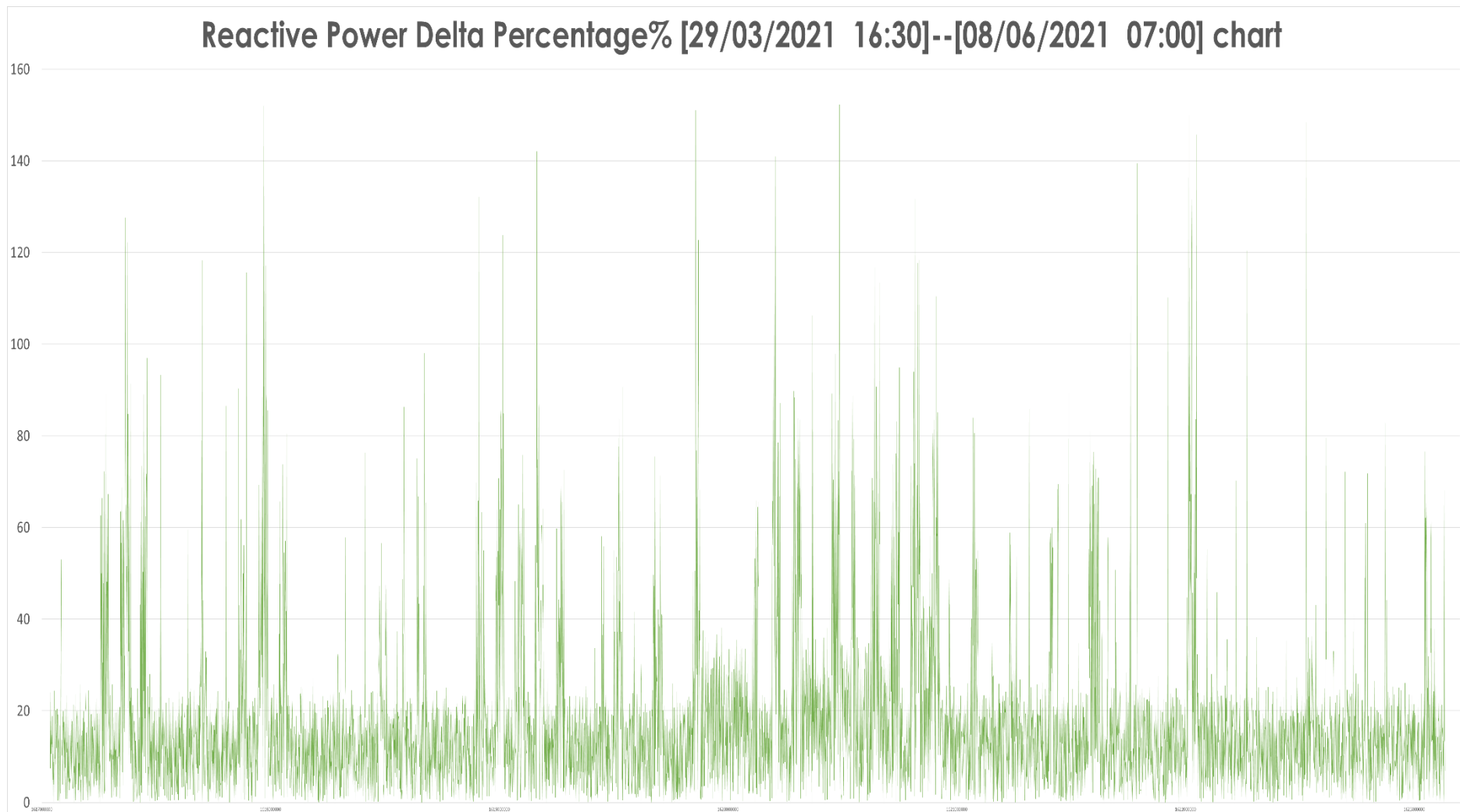
Εικόνα 92 Γραφική παράσταση διαφοράς σε ποσοστό του συντελεστή ισχύος μεταξύ των δύο έξυπνων μετρητών Mk10A – SM21



Εικόνα 93 Γραφική παράσταση διαφοράς σε ποσοστό της συνολικής ισχύος μεταξύ των δύο έξυπνων μετρητών Mk10A – SM21



Εικόνα 94 Γραφική παράσταση διαφοράς σε ποσοστό της ενεργούς ισχύος μεταξύ των δύο έξυπνων μετρητών Mk10A – SM21



Εικόνα 95 Γραφική παράσταση διαφοράς σε ποσοστό της άεργου ισχύος μεταξύ των δύο έξυπνων μετρητών Mk10A – SM21

#### 5.1 Συμπεράσματα

Μετά το πέρας της παραπάνω σχεδίασης, κατασκευής και σύγκρισης του μετρητή κατανάλωσης μπορούμε να αναφέρουμε με ασφάλεια παρακάτω τα συμπεράσματα μας.

1. Η επιλογή του κουτιού που θα τοποθετήσουμε τα ηλεκτρονικά υλικά μας είναι πολύ κρίσιμη διότι επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την σχεδίαση της ηλεκτρονικής πλακέτας, προσδιορίζει τον χώρο εγκατάστασης της συσκευής, καθορίζει εάν η συσκευή μας θα είναι σε θέση να πληροί τις προδιαγραφές των οδηγιών LVD, UL, IP έως ακόμη και εάν θα μπορεί να γίνει συντήρηση της συσκευής στο μέλλον ή όχι (πχ σφράγισμα κουτιού με έγχυση ρητίνης ή ανοιγόμενο κουτί με βίδες).
2. Οι παρακάτω παράγοντες παίζουν σημαντικό ρόλο στην διαμόρφωση της τιμής, της ποιότητας του τελικού προϊόντος και των μετρήσεων μας. Αυτοί είναι:
  - Η ποσότητα των συσκευών που θέλουμε να κατασκευάσουμε.
  - Η ποιότητα/ προδιαγραφές των υλικών που θα χρησιμοποιήσουμε.
  - Το ηλεκτρονικό κύκλωμα της συσκευής
  - Τα μέσα/ εργαλεία τα οποία διαθέτουμε για την κατασκευή της συσκευής μας
  - Η τεχνολογία των υλικών που θα διαλέξουμε (through-hole υλικά, smd υλικά ή κάποιο module)
  - Το λογισμικό (FirmWare) της συσκευής
  - Το κουτί που θα περιβάλλει την συσκευή
3. Το τελικό (συνολικό) σφάλμα της σχεδίασης μας είναι το άθροισμα του σφάλματος του καθενός, που μπορεί να υπάρχει, από τους παραπάνω προαναφερόμενους παράγοντες.
4. Το κόστος της κατασκευής οποιασδήποτε συσκευής μειώνεται κυρίως αν αγοράσουμε τα υλικά/ πρώτη ύλη σε πολύ μεγάλες ποσότητες ή αν αξιοποιήσουμε υλικά, modules τα



οποία παράγονται ήδη σε πολύ μεγάλες ποσότητες και κατ' επέκταση το κόστος τους είναι πολύ μικρό.

5. μετατροπή ενός συστήματος/ προβλήματος , είτε αυτό αφορά λογισμικό είτε hardware, σε μπλοκ διάγραμμα αποτελεί ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για οποιονδήποτε μηχανικό. Διότι με την απεικόνιση του λογισμικού και του hardware σε μπλοκ διάγραμμα, μπορέσαμε να προβλέψουμε αρκετά προβλήματα αλλά και να κατακερματίσουμε σε μεγάλο βαθμό τα μέρη που απαρτίζουν το όλο εγχείρημα.
6. Μετά την παράθεση των χαρακτηριστικών του έξυπνου μετρητή μας με τους εμπορικούς μετρητές, τα χαρακτηριστικά:
  - Μέγιστου μετρήσιμου ρεύματος
  - Συχνότητας
  - Ρεύματος εκκίνησης
  - Κατανάλωσης ενέργειας του κυκλώματος τάσης/ ρεύματος
  - Θερμοκρασιακά όρια λειτουργείας και μεταφοράς του μετρητή

Είναι πολύ κοντά ή ίδια με αυτά των εμπορικών μετρητών κατανάλωσης. Είναι σημαντικό να τονίσουμε πως ο μετρητής κατανάλωσης που κατασκευάσαμε είναι πολύ ελαφρύς (μόλις 125gr) και έχει πολύ μικρό μέγεθος (90mm x 53mm x 58mm) σε σχέση με τους υπόλοιπους συγκρινόμενους μετρητές.

Αυτό προσδίδει την δυνατότητα εγκατάστασης του ακόμη και σε έναν οικιακό ηλεκτρολογικό πίνακα.

7. Το τελικό κόστος του εγχειρήματος μας ανήλθε στα 21.8€.
8. Η τοποθέτηση και στερέωση των υλικών στο κουτί απαιτούν την χρήση εξειδικευμένων εργαλείων.

9. Η θερμοκρασία του χώρου επηρεάζει σημαντικά την συμπεριφορά των υλικών. Λόγω του ότι ο στόχος ήταν να κατασκευαστεί ένας οικονομικός έξυπνος μετρητής η ποιότητα των περισσότερων πυκνωτών που χρησιμοποιήσαμε δεν έχουν καλή σχέση μεταξύ χωρητικότητας και θερμοκρασιακής αλλαγής γιατί είναι κατασκευασμένοι από το διηλεκτρικό υλικό X5R.

## 5.2 Προβληματισμοί

Τέλος θα θέλαμε να αναφέρουμε μερικούς από τους προβληματισμούς που συναντήσαμε κατά την διεξαγωγή του εγχειρήματος της παρούσας εργασίας αλλά και τους αντιμετωπίσαμε.

1. Μετά την ανάπτυξη του λογισμικού, κατά την διάρκεια των πρώτων δοκιμών καλής λειτουργίας της συσκευής η αντίσταση ( $R5 = 10\Omega$ ) (ασφάλεια υπερέντασης) κήκε με αποτέλεσμα το να αποσυνδεθεί η τροφοδοσία στην είσοδο του κυκλώματος του τροφοδοτικού και να σβήσει η συσκευή μας.

Το πρόβλημα προκλήθηκε από τους ηλεκτρολυτικούς πυκνωτές που υπάρχουν στην είσοδο του τροφοδοτικού μας. Οι ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές κατά την φόρτιση τους όταν είναι τελείως άδειοι τραβούν πολύ μεγάλο ρεύμα από την πηγή που τους τροφοδοτεί. Αυτό το φαινόμενο λέγεται in-rush current.

Το παραπάνω πρόβλημα λύθηκε με αντικατάσταση της αντίστασης  $R5$  με μία αντίσταση μεγαλύτερης τιμής ( $100\Omega$ ).

2. Με την κρίση έλλειψης ηλεκτρονικών υλικών μας ήταν δύσκολο να βρούμε διαθέσιμα κάποια από τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του μετρητή μας.
3. Το κουτί που χρησιμοποιήσαμε δεν είχε εξ αρχής τις απαραίτητες οπές για την ο-Led οθόνη και το button της συσκευής. Χρειάστηκε να προμηθευτούμε τα κατάλληλα εργαλεία για την κοπή και στερέωση των εξαρτημάτων μας καθώς και να εξοικειωθούμε με αυτά. Μέχρι ανοιχθούν σωστά οι απαραίτητες οπές, καταστρέψαμε 2 από τα κουτιά που είχαμε προμηθευτεί αρχικά.



## 6.1 Βιβλία

- [A1] Edison Electric Institute, 2002. HANDBOOK FOR ELECTRICITY METERING – TENTH EDITION
- [A2] Paul Horowitz & Winfield Hill, 2015. THE ART OF ELECTRONICS- THIRD EDITION

## 6.2 Αρθρογραφία

- [B1] Πτυχιακή εργασία (Ποιοτική και ποσοτική διερεύνηση διαχείρισης ενέργειας μέσω Smart Meters), Κωνσταντίνος Κουκουβίνος, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής

## 6.3 Ιστοσελίδες

- [Γ1] [Πίνακες εγκεκριμένων μετρητών από ΔΕΔΔΗΕ και συμβατότητα με μέσα επικοινωνίας](#)
- [Γ2] <https://www.burnettprocessinc.com/blogs/news/the-importance-of-dust-free-electronics>
- [Γ3] <https://www.freertos.org/taskandcr.html>
- [Γ4] <https://www.freertos.org/Embedded-RTOS-Queues.html>
- [Γ5] <https://www.freertos.org/RTOS-stream-message-buffers.html>
- [Γ6] [Multitasking](#) - <https://www.freertos.org/implementation/a00004.html>
- [Γ7] [Scheduling](#) - <https://www.freertos.org/implementation/a00005.html>
- [Γ8] [Real Time Scheduling](#) - <https://www.freertos.org/implementation/a00008.html>
- [Γ9] <http://www.vangotech.com/int/uploadpic/152782258251.pdf>
- [Γ10] <https://gdpr-info.eu/>
- [Γ11] [https://en.wikipedia.org/wiki/General\\_Data\\_Protection\\_Regulation](https://en.wikipedia.org/wiki/General_Data_Protection_Regulation)
- [Γ12] <https://www.europarl.europa.eu/news/el/headlines/society/20201208STO93325/ilektronika-apovlita-stin-ee-stoicheia-kai-arithmoi-grafima>
- [Γ13] <https://www.ewaste1.com/what-is-e-waste/>

- [Γ14] [https://ec.europa.eu/environment/topics/waste-and-recycling/rohs-directive\\_en](https://ec.europa.eu/environment/topics/waste-and-recycling/rohs-directive_en)
- [Γ15] <https://www.mdpi.com/1996-1073/10/2/199>
- [Γ16] [https://www.researchgate.net/publication/252896727\\_Improving\\_Production\\_Line\\_Performance\\_A\\_Case\\_Study](https://www.researchgate.net/publication/252896727_Improving_Production_Line_Performance_A_Case_Study)
- [Γ17] <https://www.penglight.com/big-factories-or-small-and-medium-size-factories/>
- [Γ18] <https://www.weschler.com/reference/guides/ac-power-measurement-guide/>
- [Γ19] [https://statics.cirrus.com/pubs/proDatasheet/CS5463\\_F3.pdf](https://statics.cirrus.com/pubs/proDatasheet/CS5463_F3.pdf)
- [Γ20] <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADE9153B.pdf>
- [Γ21] <https://www.st.com/en/data-converters/stpm01.html>
- [Γ22] <http://el.floorsocket.com/news/the-complete-guide-to-waterproof-ip-rating-ip44-ip54-ip55-ip65-ip66-ipx4-ipx5-ipx7/>
- [Γ23] <https://www.burnettprocessinc.com/blogs/news/the-importance-of-dust-free-electronics>