

“ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ “  
“ Σχολής Εφαρμοσμένων Επιστημών “

Τομέας: Ηλεκτρονικής.

**“ ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ “**

***Επιτηρητής χαρακτηριστικών  
ηλεκτρικής ισχύος με δυνατότητα  
τηλεμετρίας***

***ΟΝΟΜΑ: Σάββας - Χαράλαμπος Τζαβάρας***

***ΕΠΙΒΛΕΠΟΝ:***

***Μπαρμπουνάκης Ιωάννης - Καθηγητής Εφαρμογών***



Για αυτούς, που δεν το βάζουν κάτω...

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

**Ε**υχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή Ιωάννη Μπαρβουνάκη για την βοήθεια του στην ολοκλήρωση της πτυχιακής μου, τον Άρη Παπαδάκη για την βοήθεια που μου έδωσε, τους καθηγητή Ιωάννη Χατζάκη και Στέλιο Κουριδάκη για της συμβουλές τους πάνω στην σχεδίαση του πρωτοτύπου της πτυχιακής μου. Επίσης ευχαριστήσω θερμά τους Παπαδουλή Θωδωρή, Αλέκο Σκουλάκη, Πατεράκη Δημήτρη και Ιωάννη Φυτίλη για την πολύτιμη βοήθεια του στην κατασκευή του πρωτοτύπου. Επίσης την οικογένεια μου, που με στήριξε όλο αυτόν τον καιρό.

# Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αναφέρεται στην μελέτη και στη κατασκευή ενός τηλεμετρικού συστήματος, μέτρησης ισχύος ενός φορτίου το οποίο τροφοδοτείται από το ηλεκτρικό δίκτυο, με μονοφασική παροχή 230 Urms.

Η μέτρηση παρέχεται σε μια οθόνη LCD η οποία βρίσκεται πάνω στην συσκευή αλλά υπάρχει και η δυνατότητα λήψης μέσω δικτύου Ethernet. Επίσης στη συσκευή εκτός από τη μέτρηση της ενεργής ισχύος παρέχεται και μέτρησης φαινόμενης ισχύος του ρεύματος κατανάλωσης, της συχνότητας του δικτύου καθώς και του συντελεστή ισχύος.

Έχει υλοποιηθεί δε και ένα πληκτρολόγιο για την ρύθμιση του συστήματος και την εισαγωγή του κωδικού εισόδου.

## Abstract

This degree thesis, reported here is about a design of a device for electrical power measurement of a single phase powered load (230 Urms@50Hz).

The measurements displayed on a LCD screen attached to the device where they could be obtained via Ethernet network for storage and extra analysis purpose. The device gives except from the value of active power (P) the values of apparent power (S), amperage, frequency of network and power factor (PF). More over the device is accompanied by a keyboard for initial setup and secured access.

# Εισαγωγή

Η αρχική ιδέα αυτής της κατασκευής ήταν η μέτρηση της κατανάλωσης ενός συγκεκριμένου φορτίου και η μετάδοση και καταγραφή αυτής μέσω δικτύου. Φορτία μπορούμε να πούμε ότι είναι οι καταναλωτές (μετατροπείς) ενέργειας (φώτα, θερμαντήρες, ανεμιστήρες, τηλεοράσεις και άλλες ηλεκτρικές ή ηλεκτρονικές συσκευές ) οι οποίοι βρίσκονται σε ένα χώρο ή ακόμα και η συνολική κατανάλωση ενός χώρου, (π.χ. ένα σπίτι ή μια γειτονιά). Έτσι εάν μπορούμε να έχουμε ένα συνεχές γράφημα της κατανάλωσης αυτής θα μπορούμε να εξάγουμε συμπεράσματα και να γνωρίζουμε πότε υπέρ-καταναλώνουμε ή καταναλώνουμε άσκοπα από συσκευές οι οποίες βρίσκονται σε “Ύπνο” (Sleep mode) χωρίς λόγο (π.χ. οθόνες σε standby, τηλεόρασης σε standby κτλ) η ακόμα εφόσον μετράμε και αλλά χαρακτηριστικά της κατανάλωσης όπως συντελεστής ισχύος τότε μπορούμε να γνωρίζουμε πότε χρειάζεται διόρθωση το φορτίο έτσι ώστε να φαίνεται από το ηλεκτρικό δίκτυο ως ωμικό (PFC).

Άλλη μια εφαρμογή της συσκευής αυτής είναι η παρακολούθηση (monitoring) της ηλεκτροπαραγόμενης ενέργειας από μια γεννήτρια ή από ένα σύμπλεγμα με αναστροφείς (inverters) όπου βρίσκονται σε ένα πάρκο ενέργειας, είτε ηλιακό είτε αιολικό.



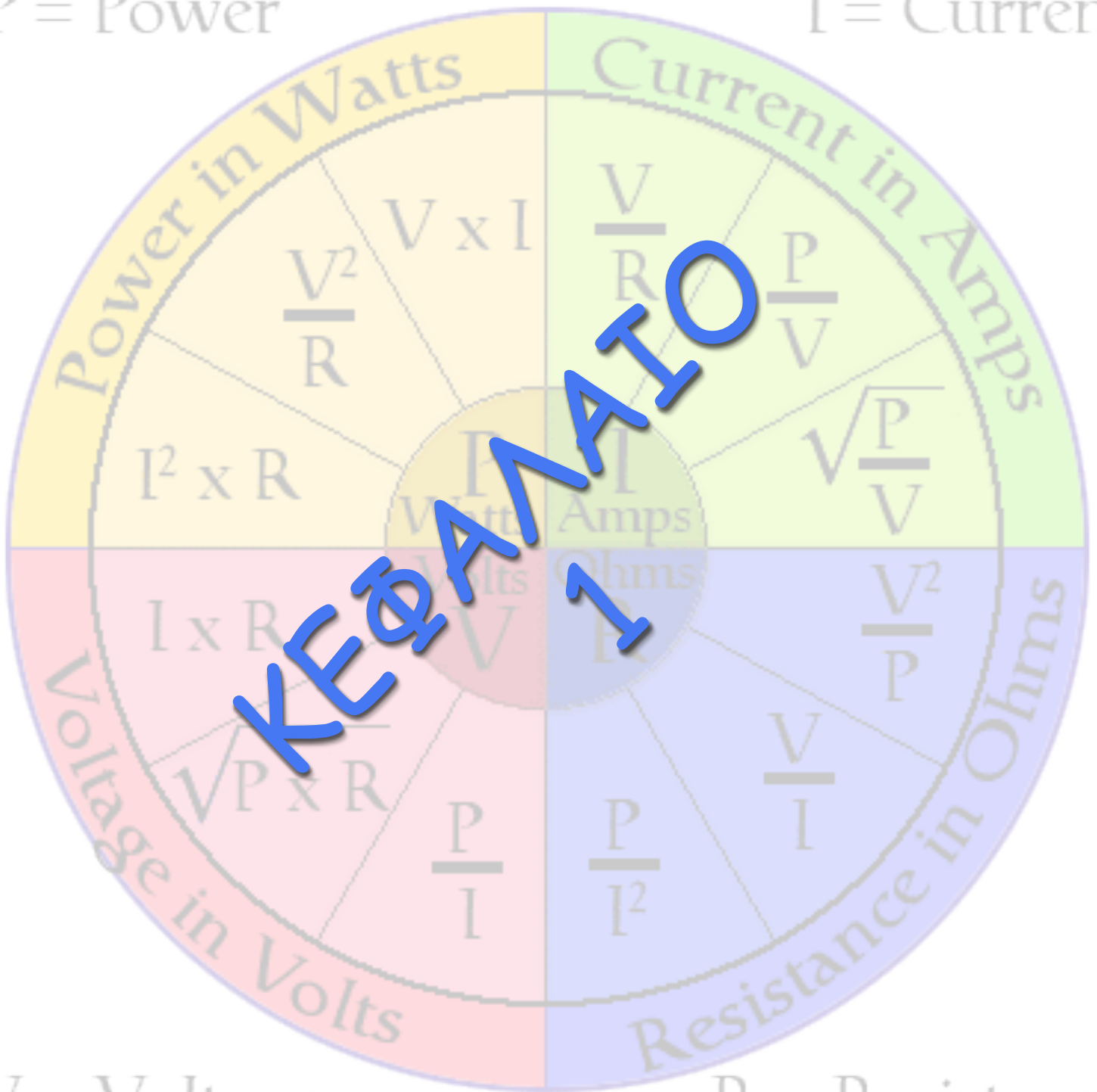
# Περιεχόμενα

	Κεφάλαιο 1	Σελ.
1.1	Τι είναι Ισχύς;	8
1.2	Ο κόσμος του AC	9
1.3	Τα χαρακτηριστικά του AC	9
1.4	Πώς υπολογίζεται η RMS τιμή;	11
1.5	Ωμικό φορτίο	12
1.6	Επαγωγικό φορτίο	13
1.7	Χωρητικό φορτίο	14
1.8	Η Ισχύς στο AC	15
1.9	Άεργος(Q), Ενεργός(P), Φαινόμενη(S) Ισχύς και Συντελεστής ισχύος(PF)	16
1.10	Διακριτός Χρόνος και Ψηφιοποίηση	17
1.11	Βάσεις χρόνου και ταλαντωτές Pierce	18
1.12	Γραμμικότητα	19
1.13	Σύνοψη του 1 <sup>ου</sup> Κεφαλαίου	20
	<b>Κεφάλαιο 2</b>	
2.1	Αισθητήρες ρεύματος	24
2.2	Το ADE7753	25
2.3	Αρχή λειτουργίας του ADE7753	27
2.4	Περί αναλογικών εισόδων	28
2.5	Ανιχνευτής περάσματος από τη στάθμη του 0 (Zero Crossing Detector)	29
2.6	Συσσωρευτές μετρούμενης ενέργειας	30
2.7	Ο μηχανισμός των Διακοπών (Interrupt) του ADE7753	31
2.8	Οι καταχωρητές του ADE7753	32
2.9	Το πρωτόκολλο SPI	35
2.10	Γενικό διάγραμμα βαθμίδας της κατασκευής	39
	Η σχεδίαση του επιπέδου μέτρηση και η προσαρμογή του ADE7753	41
	Ηλεκτρική απομόνωση	43
	Μονάδα μέτρησης της ενέργειας	44
	Μονάδα λογικών ενισχυτών	45
	Μονάδα απομόνωσης	46
	Η μονάδα τροφοδοσίας του επιπέδου μετρήσεων	47
2.11	Η Σχεδίαση του Επιπέδου Επεξεργασίας, Δικτύωσης και Απεικόνισης	49
	Μονάδα Επεξεργασίας και Απεικόνισης (Πλακέτα μικροελεγκτή)	51
	Το πρόγραμμα του κύριου μικροελεγκτή	53
	Το υπό-πρόγραμμα “Calc_and_print”	54
	Τα υπό-προγράμματα διακοπών του κύριου μικροελεγκτή για το ADE7753	55
	Μονάδα δικτύωσης (Ethernet Adapter)	57
	Το κύριο πρόγραμμα του μικροελεγκτή της μονάδας δικτύου	59
	Το υπό-πρόγραμμα διακοπής του μικροελεγκτή της μονάδας δικτύου	61
2.12	Σύνοψη του 2 <sup>ου</sup> Κεφαλαίου	63

<b>Κεφάλαιο 3</b>		<b>Σελ.</b>
<b>3.1</b>	Περιγραφή της διαδικασίας καταγραφής.....	<b>66</b>
<b>3.2</b>	Οι μηχανισμοί του συστήματος καταγραφής .....	<b>68</b>
	Το φίλτρο κείμενου .....	<b>69</b>
<b>3.1</b>	1η Εφαρμογή .....	<b>70</b>
<b>3.2</b>	2η Εφαρμογή .....	<b>71</b>
<b>3.3</b>	3η Εφαρμογή .....	<b>72</b>
<b>3.4</b>	Συμπεράσματα και βιβλιογραφία.....	<b>73</b>

P = Power

I = Current



V = Voltage

R = Resistance

Σε αυτό το κεφάλαιο αναφέρονται όλα τα εισαγωγικά, που χρειάζονται για την κατανόηση της εφαρμογής μας ως προς το κομμάτι της μέτρησης της ηλεκτρικής ισχύος.

# Ηλεκτροτεχνία και Ηλεκτρική Ισχύς

## 1.1 “Τι είναι Ισχύς;”

Στον ηλεκτρισμό, **Ισχύς** ορίζεται ως ο **ρυθμός μεταβολής** της ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα.

Συμβολίζεται με το **P** (Όπως και η μηχανική ισχύς) και ορίζεται ως:

$$P = \frac{E}{t} \quad 1.1.1$$

όπου **E**: Ενέργεια σε J (**Joules**) **t**: Χρόνος σε s (**second**)

Στα **ωμικά** κυκλώματα **συνεχούς** ρεύματος η ισχύς υπολογίζεται διαμέσου του νόμου **Joule** της θερμικής ενέργειας και είναι ίση με:

$$P = I^2 \cdot R \quad 1.1.2$$

όπου **I**: Ρεύμα σε A(Amperes) **R**: Αντίσταση σε Ω(Ohm)

Και με χρήση του νόμου του **Ohm** γίνεται:

$$P = \frac{V^2}{R} \quad \text{ή} \quad P = V \cdot I \quad 1.1.3$$

όπου **V**: Η τάση σε V(Volt)

Με πιο απλά λόγια όλα ξεκινάνε από την **ενέργεια** και αυτήν χρειάζεται να μετρήσουμε για να υπολογίσουμε την **Ισχύ**.

## 1.2 Ο κόσμος του AC

Στον κόσμο μας η μετάδοση ενέργειας γίνεται με **AC (Alternating Current)**, δηλαδή με παλινδρομικά ρεύματα. Στα ρεύματα αυτά, εναλλάσσεται η φορά από πόλο σε πόλο δεκάδες φορές στη μονάδα του χρόνου.

Λόγος χρήσης αυτών των ρευμάτων είναι ο εύκολος μετασχηματισμός τους, έτσι μπορούμε να μεταδώσουμε ενέργεια σε μεγάλες αποστάσεις χωρίς να χρειάζεται να χρησιμοποιούμε χοντρά σύρματα. Λόγω, του ό,τι η **διατομή του σύρματος είναι ανάλογη του ρεύματος που θέλουμε να μεταφέρει**. Έτσι, μέσο του μετασχηματισμού θα έχουμε μεγάλη τάση και μικρό ρεύμα και δεν θα χρειάζονται χοντρά σύρματα που συνεπάγονται και μεγάλο κόστος του δικτύου μεταφοράς.

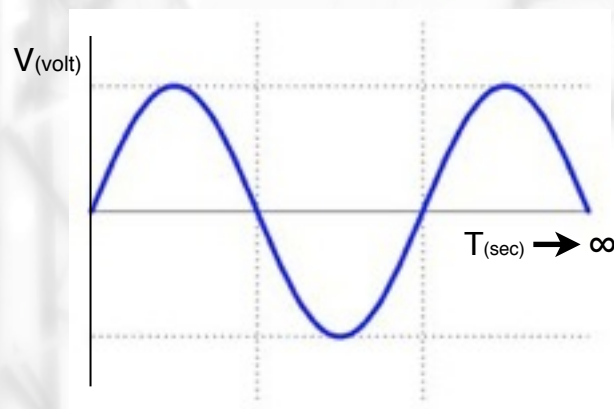
Όταν η ενέργεια φτάσει στον αποδέκτη (καταναλωτή) της επαναμετασχηματίζουμε υποβιβάζοντας την τάση για να την κάνουμε πιο ακίνδυνη και ως συνέπεια αυξάνεται το ρεύμα, στα επιτρεπτά επίπεδα του καταναλωτή (δηλ. καταναλωτές **χαμηλής και μέσης** ισχύος)

**Ιστορία:** Το **AC** θεσπίστηκε να χρησιμοποιούνται για την μετάδοση της ηλεκτρικής ενέργειας από το **1885** από την Αμερικάνικη εταιρία **Westinghouse Electric**, η οποία κατασκεύασε το ηλεκτρικό δίκτυο για την **New York** και το **Buffalo city**, με υδροηλεκτροπαραγωγικές γεννήτριες εναλλασσόμενης τάσεως που τοποθέτησε στους καταρράκτες του **Νιαγάρα** το **1896**.

Ο λόγος της χρήσης των παλινδρομικών έναντι της συνεχών ρευμάτων, ήταν και είναι ο εύκολος **υποβιβασμός** ή η **ανύψωση** τους. Αυτό επιτυγχάνεται διαμέσου μίας εφεύρεση των **Michael Faraday** και **Joseph Henry** (1831) η οποία ονομάζεται **μετασχηματιστή**, η οποία βελτιώθηκε από τον **Nikola Tesla** (1885). Βασική ιδιότητα της εφεύρεσης αυτής είναι ότι αλλάζει της βασικές συνιστώσες (δηλ. τάση και ρεύμα) της μεταφερόμενης ηλεκτρικής ενέργειας χωρίς να αλλάξει την τιμή της.

## 1.3 Τα χαρακτηριστικά του AC

Εάν απεικονίσουμε, την τάση που παρουσιάζεται στην έξοδο μία γεννήτρια **AC** συναρτήσει του χρόνου, θα έχουμε το ακόλουθο σχήμα.

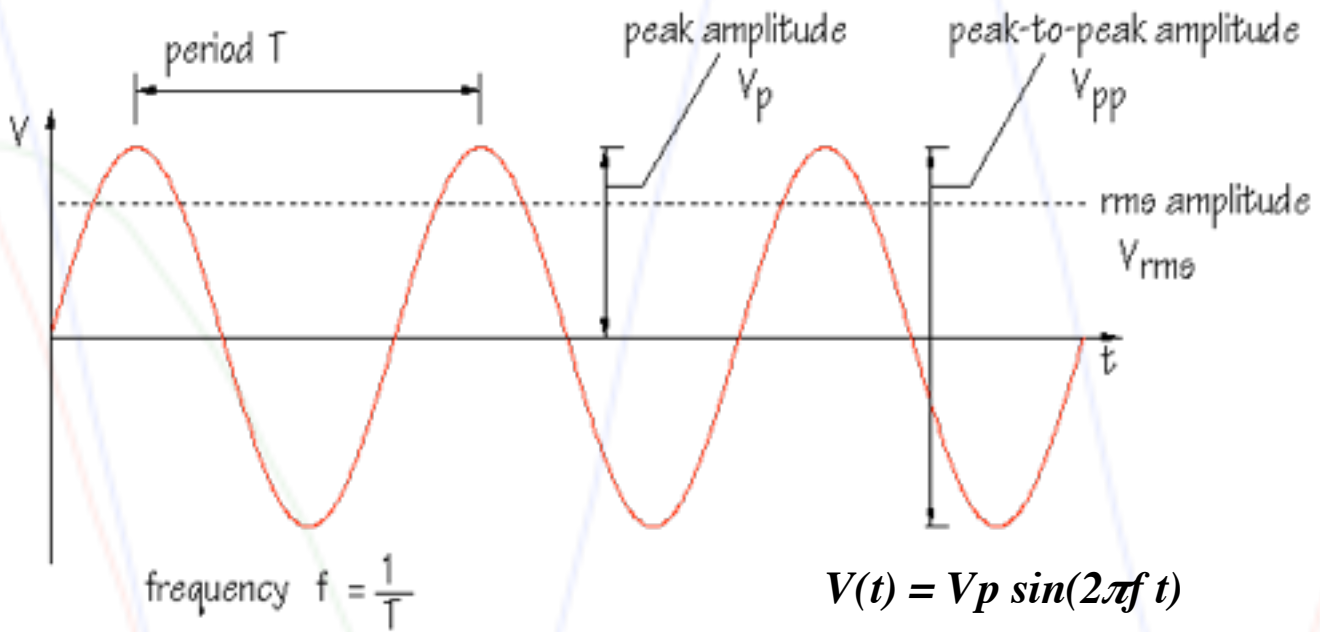


### 1.3.1 Απεικόνιση της τάσεως εξόδου

Αυτό που βλέπουμε είναι ένα αρμονικό σήμα, δηλαδή η απεικόνιση μιας αρμονικής συνάρτησης ημιτόνου.

$$V(t) = V_p \sin(2\pi f t + \phi)$$





### 1.3.2 Αρμονικής συνάρτησης ημίτονου και κάποια από τα βασικά χαρακτηριστικά

Κάποια χαρακτηριστικά τα οποία διέπουν γενικά ένα αρμονικό σήμα είναι τα ακόλουθα:

1. **Πλάτος κορυφής (Peak amplitude “ $V_p$ ”)**: Ορίζεται ως το μέτρο του πλάτους ενός αρμονικού σήματος, δηλαδή η απόσταση από την στάθμη 0 έως μια κορυφή.
2. **Πλάτος κορυφής σε κορυφή (Peak to Peak amplitude “ $V_{p-p}$ ”)**: Ορίζεται ως η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών κορυφών στο άξονα Y (Volt)
3. **Περίοδος (Period “ $T$ ”)**: Ορίζεται η απόσταση δυο διαδοχικών κορυφών ίδιας πολικότητας στον άξονα X (sec). **Συχνότητα (frequency “ $f$ ”)**: Ο λόγος  $1/T$  ο οποίος μας λέει πόσες Περίοδους έχουμε στη μονάδα του Χρόνου, Μονάδα μέτρησης είναι το **Cycles/Sec** ή το **Hz**.
4. **Φάση (Phase “ $\phi$ ”)**: Ορίζεται ως η γωνία που ξεκινά το αρμονικό σήμα σε σχέση με τον άξονα X στην χρονική τιμή 0. Μετριέται σε **Rad** ή μοίρες( $^\circ$ ) και στην περίπτωση ημιτόνου υπολογίζεται από τον χρόνο που απέχει η πρώτη μηδενική τιμή της πρώτης θετικής ημιπεριόδου της  $V(t)$  από το  $t=0$ .
5. **Τάση<sub>rms</sub> ( $V_{rms}$ )**: Εάν η αρμονική συνάρτηση δείχνει τάση η οποία τροφοδοτεί αντίσταση **R** και αποδίδει θερμική ενέργεια **E (Joules)**.  **$V_{rms}$**  ορίζουμε τη συνεχή τάση η οποία εάν τροφοδοτήσει την ίδια αντίσταση **R** θα αποδώσει την ίδια θερμική ενέργεια **E** (μαθηματική επεξήγηση στο επόμενο υπο-κεφάλαιο).

## 1.4 Πώς υπολογίζεται η RMS τιμή;

Γενικά ο ορισμός του RMS(**R**oot **M**ean **S**quare) είναι:

$$x_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{n} (x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2)} \quad 1.4.1$$

Στα αρμονικά σήματα η **RMS** τιμή ορίζεται σε μία **περίοδο** και είναι:

$$X_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T X(t)^2 dt} \quad 1.4.2$$

Εάν ορίσουμε ως  $X(t) = V_p \cdot \sin(2\pi f \cdot t)$  τότε η λύση είναι η ακόλουθη:

$$V_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (V_p \cdot \sin(2\pi f \cdot \tau))^2 dt} = \sqrt{V_p^2 \frac{1}{T} \int_0^T \sin^2(2\pi f \cdot \tau) dt} = V_p \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \sin^2(2\pi f \cdot \tau) dt}$$

$$\omega = 2\pi f$$

$$f = 1/T$$

$$V_{\text{rms}} = V_p \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \frac{1}{2} - \frac{\cos(2\omega t)}{2} dt} = V_p \sqrt{\frac{1}{T} \left[ \int_0^T \frac{1}{2} dt - \frac{1}{2} \int_0^T \cos(2\omega t) dt \right]} = V_p \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \left\{ \frac{T}{2} - \frac{1}{2} [\sin(2\omega T) - \sin(0)] \right\}} = V_p \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \left\{ \frac{T}{2} - \frac{1}{2} [\sin(2\pi)] \right\}}$$

Άρα

$$V_{\text{rms}} = V_p \sqrt{\frac{1}{T} \frac{T}{2}} = V_p \sqrt{\frac{1}{2}} \quad \text{ή} \quad V_{\text{rms}} \approx V_p \cdot 0.707 \quad 1.4.3$$

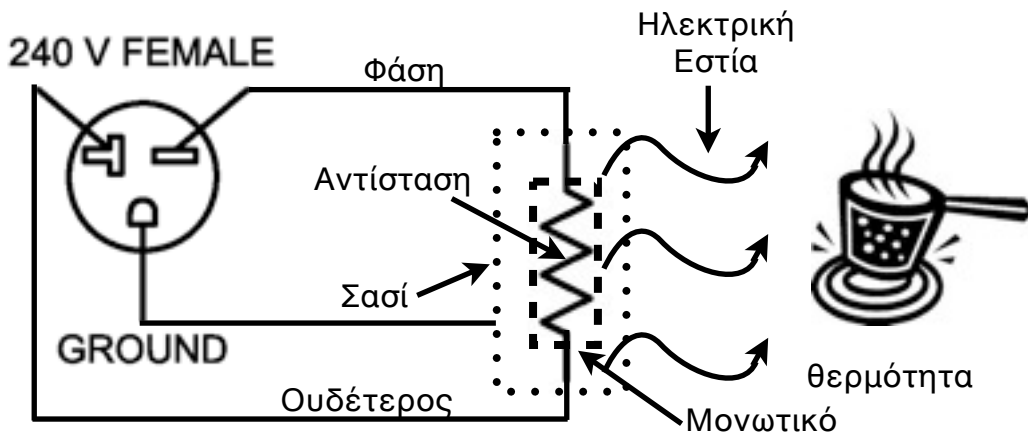
**Δηλαδή εάν γνωρίζουμε την  $V_p$  τιμή μπορούμε εύκολα να υπολογίσουμε την  $V_{\text{rms}}$  τιμή για ένα αρμονικό σήμα και το αντίθετο.**

## 1.5 Ωμικό φορτίο

**Γενικά** με τον όρο φορτίο εννοούμε οποιασδήποτε φύσης καταναλωτή, δηλαδή όποιο μηχανισμό μετατρέπει ενέργεια από μια μορφή σε άλλη.

### Παράδειγμα:

Μία αντίσταση από ένα ηλεκτρικό φούρνο η οποία τροφοδοτείται από εναλλασσόμενη τάση δικτύου. Η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε θερμική λόγω των τριβών που δημιουργούνται μεταξύ των ηλεκτρονίων που ρέουν μέσα στην κρυσταλλική δομή του υλικού της αντίστασης.



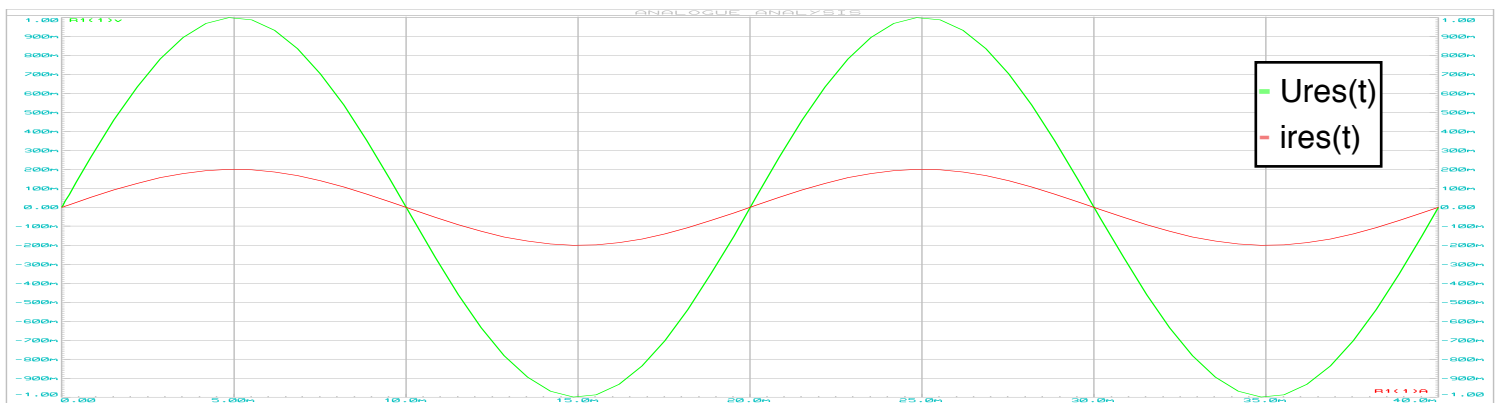
1.5.1 "Κυκλωματικό διάγραμμα"

Το προαναφερθέν παράδειγμα περιγράφει την λειτουργία μίας ηλεκτρικής εστίας.

Η αντίσταση της εστίας συνδέεται μεταξύ φάσεως και ουδετέρου, το ρεύμα που την διαρρέει μετατρέπεται σε θερμότητα η οποία ζεσταίνει το σκεύος. Το σασί της συσκευής συνδέεται στην γείωση της εγκατάστασης, για να έχει το ίδιο ηλεκτρικό δυναμικό με τον άνθρωπο ο οποίος χειρίζεται την συσκευή αυτή, έτσι αποφεύγεται η πιθανότητα ηλεκτροπληξίας σε περίπτωση αλλοίωσης της μόνωσης του φούρνου.

Η προκύπτουσα θερμική ενέργεια υπολογίζεται με το νόμο joule ( $Q=I^2 \cdot R \cdot t$ ) παίρνοντας ως  $I$  το ρεύμα rms που διαρρέει την αντίσταση

Εάν απεικονίσουμε την τάση στα άκρα της αντίστασης και το ρεύμα που την διαρρέει στο ίδιο χρονικό διάγραμμα τότε θα έχουμε το ακόλουθο σχήμα:



1.5.2 διάγραμμα τάσης-έντασης αντίστασης

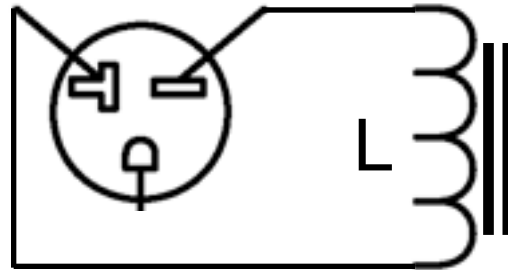
Παρατηρώντας το διάγραμμα βλέπουμε ότι το ρεύμα είναι σε φάση με την τάση δηλαδή όπου το ένα έχει θετική κορυφή έχει και το άλλο. Όταν λοιπόν συμβαίνει αυτό, το φορτίο ορίζεται ως **ωμικό** διότι ο νόμος του **Ohm** επιβεβαιώνεται σε κάθε ένα σημείο του διαγράμματος.



## 1.6 Επαγωγικό φορτίο

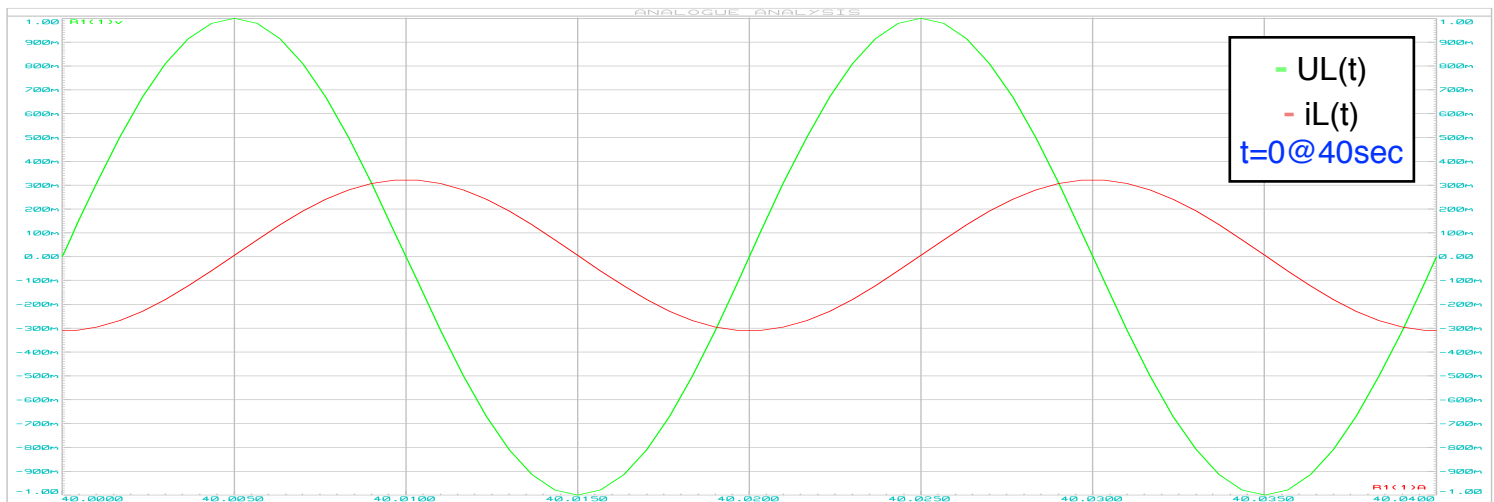
Έχουμε μια πηγή εναλλασσόμενης τάσεως η οποία τροφοδοτεί ένα ιδανικό πηνίο  $L$  αυτεπαγωγής  $H$  (henry).

240 V FEMALE



### 1.6.1 "Κυκλωματικό διάγραμμα"

Εάν χαράξουμε την τάση στα άκρα του πηνίου και το ρεύμα που το διαρρέει στο ίδιο χρονικό διάγραμμα θα έχουμε αυτό:



### 1.6.2 Διάγραμμα τάσης-έντασης πηνίου

Παρατηρώντας το διάγραμμα βλέπουμε ότι το ρεύμα δεν είναι σε φάση με την τάση και μπορούμε να πούμε ότι **καθυστερεί** κατά χρόνο  $T/4$  ή  $\pi/2$  rad ή  $90^\circ$ .

Αυτό γίνεται διότι το πηνίο αποθηκεύει ενέργεια, μετατρέποντας το ρεύμα που το διαρρέει σε μαγνητικό πεδίο (νόμος [Ampère-Maxwell](#)), το μαγνητικό πεδίο αυτό επάγεται ξανά πάνω στο πηνίο και δημιουργεί αντίθετη ηλεκτρική τάση (νόμος [Maxwell-Faraday](#)), η οποία αντιτίθεται στις μεταβολές του ρεύματος της πηγής τροφοδοσίας.

Το φαινόμενο αυτό δημιουργεί μια **καθυστέρηση** στο ρεύμα.

Η ισοδύναμη αντίσταση  $XL$  του πηνίου ορίζεται ως:  $XL = -j\omega L$  (υπό τροφοδοσία αρμονικού σήματος) με μέτρο  $|XL| = \omega L$  και φάση  $\tan^{-1}(-j\omega L/R) = -90^\circ$  για ωμική αντίσταση σειράς  $ESR$   $R=0\Omega$  (λόγω ιδανικού πηνίου)".

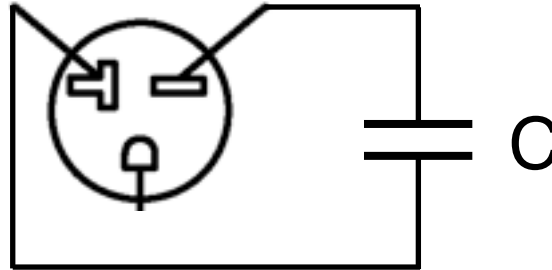
Ο συντελεστής αυτεπαγωγής ενός πηνίου είναι φυσικό μέγεθος ο οποίος ορίζει την συμπεριφορά. Μετριέται σε **Henry(H)** προς τιμή του **Joseph Henry**. Στο SI το **Henry(H)=Ohm( $\Omega$ )\*Sec(s)**.

**\*\*\*Η αρχή του χρόνων για το διαγράμματος 1.6.2 ξεκινά σε χρόνο τέτοιο, ώστε το πηνίο να βρίσκεται σε κατάσταση ηρεμίας. Δηλαδή όταν έχουν περάσει τα φαινόμενα μεταγωγής.**

## 1.7 Χωρητικό φορτίο

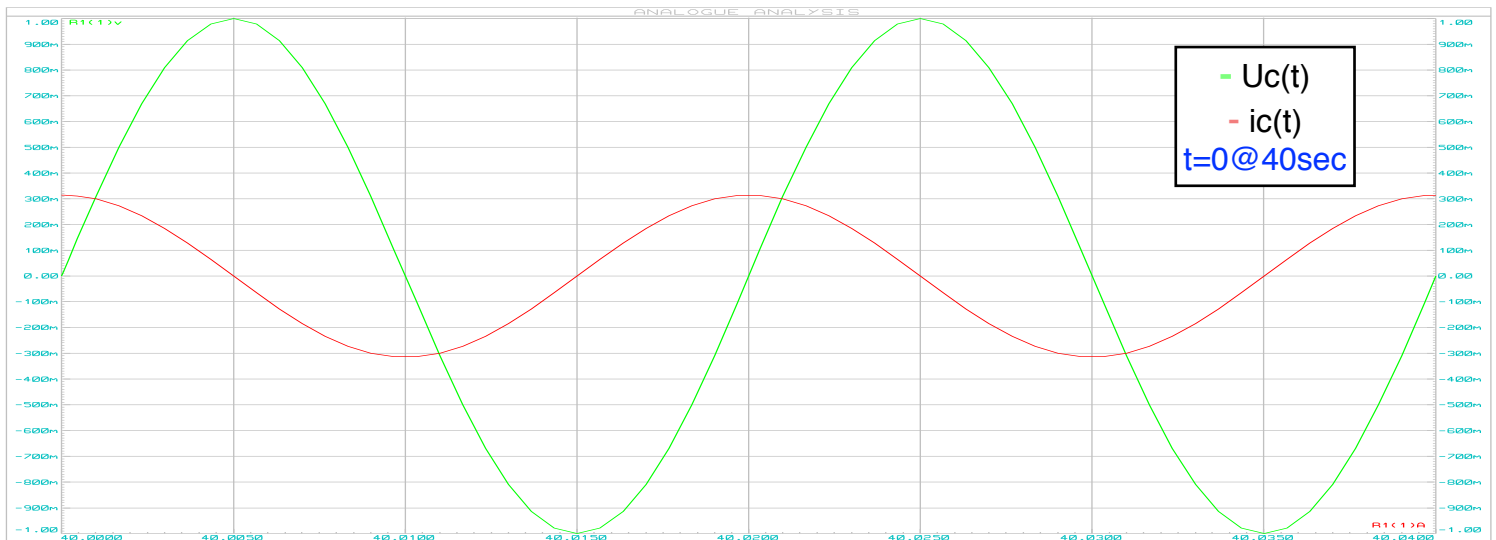
Έχουμε μια πηγή εναλλασσόμενης τάσεως η οποία τροφοδοτεί ένα ιδανικό πυκνωτή **C** χωρητικότητας **F (Farad)**.

240 V FEMALE



1.7.1 "Κυκλωματικό διάγραμμα"

Εάν σχεδιάσουμε το ρεύμα που τον διαρρέει και την τάση στα άκρα του πυκνωτή στο ίδιο χρονικό διάγραμμα θα έχουμε το ακόλουθο διάγραμμα:



1.7.2 Διάγραμμα τάσης-έντασης πυκνωτή

Παρατηρώντας το διάγραμμα βλέπουμε ότι το ρεύμα **προπορεύεται** κατά χρόνο  $T/4$  ή  $\pi/2$  rad ή  $90^\circ$ .

Όπως και το πηνίο έτσι και ο πυκνωτής **αποθηκεύει** ενέργεια. Ο τρόπος με το οποίο **αποθηκεύει** ενέργεια γίνεται με την δημιουργία ένα ηλεκτρικό πεδίο μεταξύ των δύο οπλισμών του.

Το ηλεκτρικό πεδίο αυτό παράγει αντίθετο ηλεκτρικό ρεύμα το οποίο αντιτίθεται στις μεταβολές της τάσεως της πηγής τροφοδοσίας.

Το φαινόμενο αυτό δημιουργεί μια **προπορεία** στο ρεύμα.

Η ισοδύναμη αντίσταση **XC** του πυκνωτή ορίζεται ως:  $XC=1/(j\omega C)$  (υπό τροφοδοσία αρμονικού σήματος)

$XL=1/\omega L$  και φάση  $\tan^{-1}((j\omega L \cdot R)^{-1}) = 90^\circ$  για ωμική αντίσταση σειράς **ESR**  $R=0\Omega$  (λόγω ιδανικού πυκνωτή)".

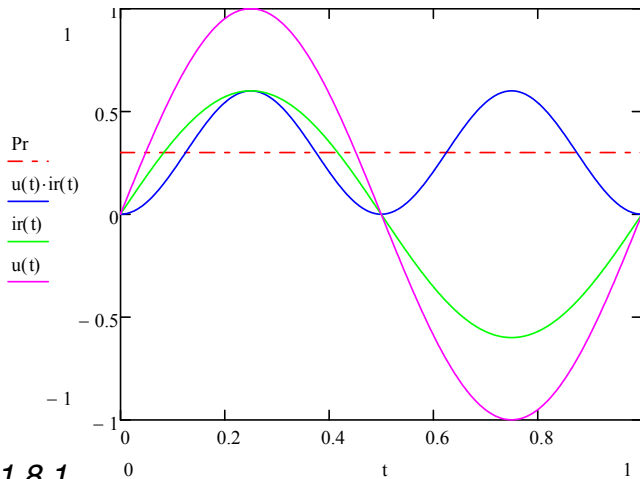
Η χωρητικότητα ενός πυκνωτή είναι ένα φυσικό μέγεθος το οποίος ορίζει την συμπεριφορά του. Μετριέται σε **Farad(F)** προς τιμή του **Michael Faraday**.

Στο **SI** το **Farad(F)=Sec(s)/Ohm( $\Omega$ )**.

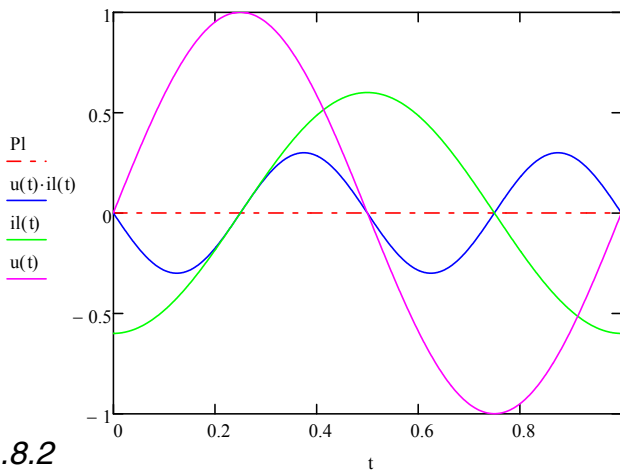
## 1.8 Η Ισχύς στο AC

Εάν πάρουμε τα ακόλουθα διαγράμματα (1.5.2, 1.6.2 & 1.7.2) τα οποία περιγράφουν το ρεύμα που διέρρεε το φορτίο όπως και την τάση στα άκρα του. Εάν θελήσουμε να υπολογίσουμε την ισχύ σε κάθε μια περίπτωση. Αυτό που έχουμε να κάνουμε είναι να πάρουμε την εξίσωση της ισχύος (βλ. 1.1.3) και να την εφαρμόσουμε σε κάθε ένα σημείο του εκάστοτε διαγράμματος. Έτσι θα προκύψει η ακόλουθη εξίσωση  $p(t)=u(t)\cdot i(t)$ .

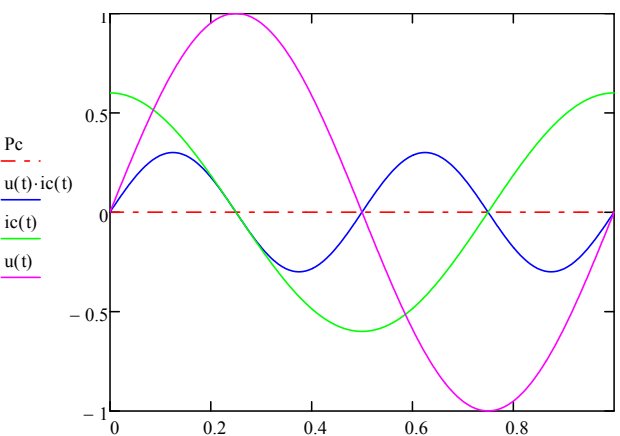
Με αυτό τον τρόπο θα προκύψουν τα διαγράμματα 1.8.1 - 1.8.3.



1.8.1 Ωμικό



1.8.2 Επαγωγικό



1.8.3 Χωρητικό

Ένα πρόβλημα το οποίο παρουσιάζεται είναι ότι, η ισχύς η οποία υπολογίσαμε δεν έχει σταθερό μέτρο (Μπλε καμπύλη), λόγω του ότι είναι εξίσωση εξαρτημένη από τον χρόνο.

Άρα, δεν έχει και τόσο χρηστική αξία για την μέτρηση της κατανάλωσης. Εμείς θέλουμε μία μονάδα η οποία να μην είναι εξαρτημένη από το χρόνο και η οποία θα χαρακτηρίζει την κατανάλωση ενός φορτίου.

Αυτή η μονάδα είναι η **μέση ισχύς** ( $P_{av}$ ).

Η οποία υπολογίζεται διαμέσου της ενέργειας στην περίοδο και ορίζεται, ως:

$$P_{av} = \frac{1}{T} \int_0^T U(t) \cdot i(t) dt \quad 1.8.4$$

“Η μέση ισχύς στα διαγράμματα είναι η **κόκκινη** διακεκομμένη γραμμή.”

Αν παρατηρήσουμε τα διαγράμματα 1.8.2 και 1.8.3 τα οποία παρουσιάζουν τα μη ωμικά φορτία, βλέπουμε ότι η **μέση ισχύς** είναι “0” οπότε δεν καταναλώνουν καθόλου ενέργεια.

Αυτό γίνεται λόγω των μηχανισμών αποθήκευσης ενέργειας. Δηλαδή, την ενέργεια που αποθηκεύουν την επιστρέφουν πίσω στην πηγή τροφοδοσίας και έτσι φαίνονται να μην έχουν καθόλου κατανάλωση.

Σε πολλές εφαρμογές τα στοιχεία αυτά (πηνία, πυκνωτές) χρησιμοποιούνται σαν αποθήκες ενέργειας, σε άλλες πάλι είναι παράσιτα στοιχεία τα οποία δημιουργούν πρόβλημα.

**Γενικά όμως τα πραγματικά ηλεκτρικά φορτία περιλαμβάνουν και τα τρία είδη μαζί.**

## 1.9 Άεργος(Q), Ενεργός(P), Φαινόμενη(S) Ισχύς και Συντελεστής ισχύος(PF)

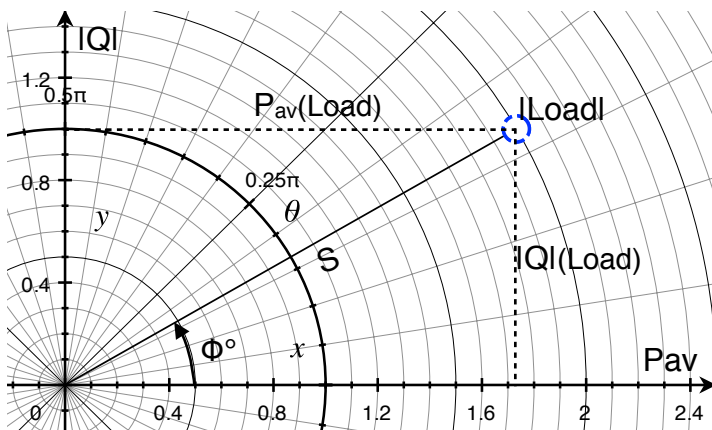
**Σ**την ηλεκτροτεχνία για να μπορέσουμε να κάνουμε ανάλυση της ισχύος στην μόνιμη ημιτονοειδή κατάσταση ορίσαμε τρεις τύπους ισχύος την **Ενεργό(P)**, την **Άεργο(Q)** και την **Φαινόμενη(S)**.

**Σ**υνεπώς, τα ηλεκτρικά φορτία έχουν την πραγματική φύση (ωμική) η οποία καταναλώνει (μετατρέπει) ενέργεια, αφετέρου έχουν και την μιγαδική φύση (χωρητική, επαγωγική), που λόγω των φυσικών μηχανισμών όπου τη διέπουν αποθηκεύει ενέργεια και την γυρίζουν πίσω στην πηγή τροφοδοσίας.

**Έ**τσι η **Άεργος(Q)** ισχύς ορίζεται ως η ισχύς που επιστρέφει πίσω στην πηγή τροφοδοσίας. Μονάδα μέτρησης της **Άεργος** ισχύος είναι το **VAr**.

**Η** ισχύς η οποία καταναλώνεται πάνω στο φορτίο ορίζεται ως, **Ενεργός(P)** ή **Μέση(P<sub>av</sub>)** ισχύς και μετριέται σε **Watt(W)**, όπως και ότι υπολογίζεται με την **εξίσωση μέσης ισχύος (1.8.4)**.

**Η φαινόμενη(S)** ισχύς είναι το διανυσματικό άθροισμα της **Ενεργού(P)** και της **Άεργου (Q)** ισχύος, την μετράμε σε **VoltAmpere(VA)** και υπολογίζεται ως:  $S = V_{rms} \cdot I_{rms}$  (1.9.1)



**Η** ανάλυση ισχύος ενός φορτίου γίνεται στο **μιγαδικό επίπεδο (x,y,θ)** όπου ο άξονας **X** παρουσιάζει την καταναλισκόμενη ισχύ, δηλαδή το πραγματικό μέρος της ισχύος και ο άξονας **Y** την επιστρέφουσα ισχύ ή αλλιώς το **μέτρο** του φανταστικού μέρους της ισχύος. Το **θ** προσδιορίζει την γωνία μεταξύ του άξονα **X** και του διανύσματος ισχύος, κινείται από **0°** έως **90°**.

1.9.2 Διάγραμμα Μιγαδικού επιπέδου (x,y,θ)

P(Watt)	Q(VAr)	S(VA)	PF
$V_{rms} \cdot I_{rms} \cdot \cos(\phi)$	$V_{rms} \cdot I_{rms} \cdot \sin(\phi)$	$V_{rms} \cdot I_{rms}$	$\cos(\phi^\circ)$
$P_{av} = \frac{1}{T} \int_0^T U(t) \cdot i(t) dt$	$S = \frac{1}{T} \left  \int_0^T \left[ U(t) + \frac{di(t)}{dt} \right] dt \right $	$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$	P/S

1.9.3 Συνοπτικός πίνακας με τύπους υπολογισμού

Στο σχήμα 1.9.2 έχουμε την απεικόνιση του μέτρου ενός φορτίου **Load** (μπλε διακεκομμένος κύκλος) πάνω σε ένα μιγαδικό επίπεδο (x,y).

**Η** απόσταση από το σημείο (x=0,y=0) έως το σημείο του φορτίου παρουσιάζει την φαινόμενη ισχύ.

Το συνημίτονο της γωνίας μεταξύ του **X** και του διανύσματος της ισχύος δίνει τον **Συντελεστή ισχύος (Power Factor)**, ο οποίος είναι ένας καθαρός αριθμός από το **0** έως **1** και μας πληροφορεί για το πόσο ωμικό είναι ένα φορτίο.

**Η** προβολή του διανύσματος αυτού στον **X** δίνει την ενεργό και στον **Y** την άεργο ισχύ.

## 1.10 Διακριτός Χρόνος και Ψηφιοποίηση

Στον πραγματικό κόσμο όλες οι φυσικές μεταβολές είναι συνεχείς. Για να μπορέσουμε να κάνουμε μέτρηση οποιασδήποτε φυσικής μεταβολής θα πρέπει να την μετασχηματίσουμε σε μετατόπιση ενός άλλου φυσικού μεγέθους την οποία θα μπορούμε να αναγνωρίσουμε ή να συσχετίσουμε με κάποια σταθερή αναφορά.

Ιδιαίτερα, εάν μετατρέψουμε την φυσική μεταβολή σε κάποιο ηλεκτρικό χαρακτηριστικό (Πχ. ρεύμα, τάση, συχνότητα κτλ.) ενός ηλεκτρικού σήματος, η μέτρηση και η επεξεργασία εάν γίνει στον συνεχή χρόνο θα είναι πόλη δύσκολη. Στο διακριτό δε, τα πράγματα απλουστεύονται πάρα πολύ, άλλα λόγω του ότι ακολουθεί ψηφιοποίηση, το δείγμα που παράγεται χαρακτηρίζεται από ένα μόνιμο σφάλμα κβάντισης, το οποίο θα πρέπει να υπολογίζουμε σε κάθε μια μέτρηση.

Εφόσον οι μετρήσεις συνήθως έχουν αναφορά τον χρόνο μιλάμε για διακριτοποίηση του χρόνου.

Η μέθοδος την οποία ακολουθούμε για να διεξάγουμε μέτρηση σε ένα ψηφιακό μετρητικό σύστημα είναι, να πάρουμε ένα δείγμα του εκάστοτε μεγέθους, να το **κβαντίσουμε**, να το μετατρέψουμε σε μια **ψηφιακή** λέξη και να το χρησιμοποιήσουμε στον εκάστοτε νόμο που διέπει το μετρούμενο σύστημα. Εφόσον η μέτρηση έχει γίνει δειγματοληπώντας το φυσικό φαινόμενο σημαίνει και ότι και ο χρόνος **παύει** πλέον να θεωρείται συνεχής και μετασχηματίζεται σε σειρά χρονικών στιγμών δειγματοληψίας. Έτσι γίνεται η μετατροπή από τον συνεχή στον διακριτό χρόνο.

**Ας** δούμε ένα παράδειγμα:

Θέλουμε να κατασκευάσουμε ένα ψηφιακό βολτόμετρο εναλλασσόμενης τάσεως με δυνατότητα **True RMS**. Θα χρησιμοποιήσουμε ένα ψηφιοποιητή ο οποίος θα μας μετατρέπει τις τιμές την τάσεως εισόδου ή ένα δείγμα αυτόν σε ψηφιακή λέξη. Έκτοτε στον υπολογιστή τον οποίο θα χρησιμοποιήσουμε για να κάνουμε την επεξεργασία θα εισάγουμε αυτά τα στοιχεία και αυτός θα μας τυπώνει την τιμή της **RMS** τάσης σε μια οθόνη. Ένα από αυτά που θα κάνει ο υπολογιστής είναι να λύνει την ακόλουθη εξίσωση.

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=0}^N (O_{adc}(n))^2} \quad 1.10.1$$

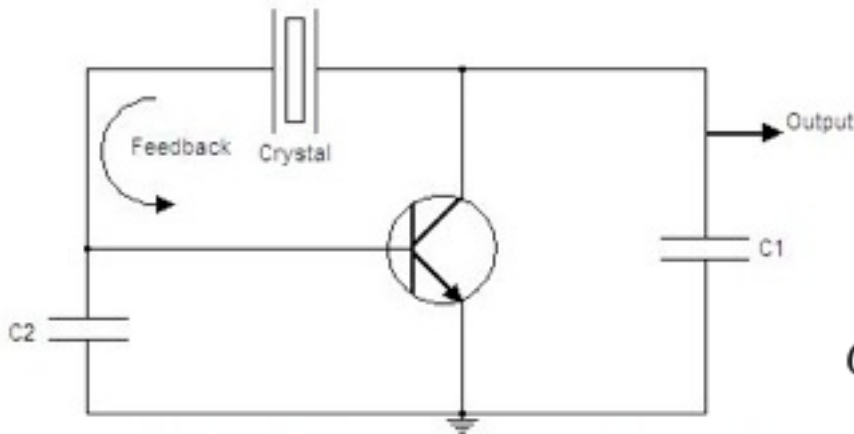
Παρατηρούμαι ότι, η εξίσωση **1.10.1** είναι παρόμοια με την **1.4.2**, που αποτελεί τον ορισμός για της **RMS** τιμής, άπλα εδώ λόγω της διακριτοποίησης του χρόνου, το ολοκλήρωμα γίνεται άθροισμα και ο χρόνος **t** μετατράπηκε σε ακέραιο **n** το οποίο δείχνει τον αύξον αριθμό του δείγματος. Το **O<sub>adc</sub>** είναι η ψηφιακή λέξη εξόδου του ψηφιοποιητή η οποία είναι ανάλογη της τάσεως εισόδου.

Η μέτρηση του **N** όπου είναι το πλήθος των δειγμάτων σε μια περίοδο μπορεί να γίνει από τον δειγματολήπτη με ένα μηχανισμό διάβασης από το **0** (**Zero Cross**) ή από το ίδιο τον υπολογιστή με ανάλογο λογισμικό ανίχνευσης της διάβασης από το **0**.

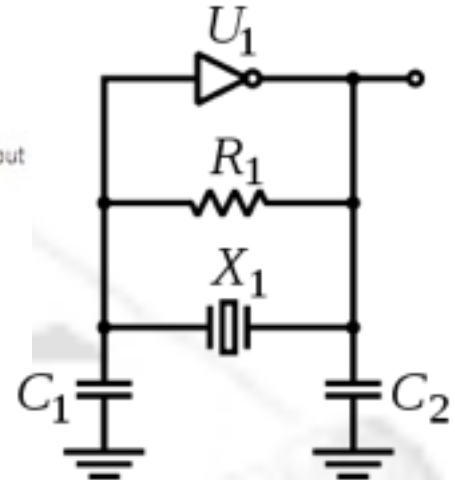


## 1.11 Βάσεις χρόνου και ταλαντωτές Pierce

Σε όλες τις μετρολογικές διατάξεις όπου η επεξεργασία των δεδομένων γίνεται ψηφιακά, υπάρχει και μια μονάδα παραγωγής παλμοσειράς **βάσεως χρόνου**. Ο λόγος ύπαρξης της είναι ότι τα ψηφιακά κυκλώματα που χρησιμοποιούνται είναι ακολουθιακά και συνήθως σύγχρονα. Κάθε ακολουθιακό κύκλωμα τροφοδοτεί τα στοιχεία μνήμης του με παλμούς διέγερσης. Οι παλμοί αυτοί είναι η παλμοσειρά βάσεως χρόνου που προαναφέρθηκε. Στην περίπτωση των σύγχρονων ακολουθιακών κυκλωμάτων η διέγερση είναι κοινή για όλα τα στοιχεία-μνήμης που τα απαρτίζουν.



1.11.1 Απλοποιημένο σχηματικό διάγραμμα ταλαντωτή Pierce



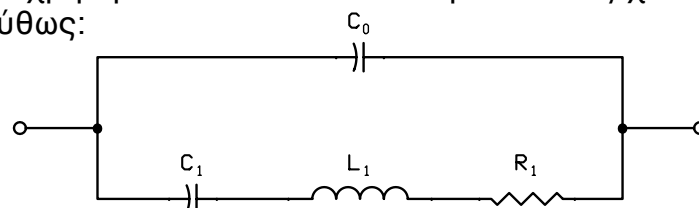
1.11.2 Σχηματικό διάγραμμα ταλαντωτή Pierce με ενισχυτή ένα λογικό αναστροφέα

Οι ταλαντωτές **Pierce** είναι τα κυκλώματα που στις περισσότερες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται για την παραγωγή της **Βάσεως χρόνου**. Αυτό οφείλεται στην μεγάλη σταθερότητα της συχνότητας εξόδου που τα διακρίνει. Η μεγάλης σταθερότητα οφείλεται στον τρόπο **ανάδρασης** που τα διέπει. Η **ανάδραση** γίνεται μέσα από ένα απορριπτικό φίλτρο με στενή ζώνη διέλευσης (εικ 1.11.1). Αυτό το φίλτρο υλοποιείται με ένα **κρύσταλλο χαλαζία**.

Η έξοδος αυτών των κυκλωμάτων είναι ημιτονική και για τον λόγο αυτό μετά από αυτά τα κυκλώματα πάντοτε ακολουθεί μορφοποιητής τετραγωνικής μορφής, ώστε να επιτυγχάνουμε την παραγωγή της παλμοσειράς βάσεως χρόνου.

Η αρχή λειτουργίας των ταλαντωτών βασίζεται στους ενισχυτές με θετική ανάδραση. Ο ενισχυτής θα ταλαντώσει ελεύθερα στην περιοχή λειτουργίας του, η αρχική διέγερση δίδεται από τον θερμικό θόρυβο που συλλέγεται από τα εξαρτήματα του ενισχυτή, εάν τοποθετήσουμε ένα φίλτρο ζώνης διέλευσης στο βρόχο ανάδρασης του ενισχυτή, θα τον εξαναγκάσουμε να ενισχύσει μόνο τη συχνότητα συντονισμού του φίλτρου. Εάν ο ενισχυτής μπορεί να ενισχύσει επαρκώς την συχνότητα συντονισμού του φίλτρου έτσι ώστε να ισχύει η συνθήκη **Barkhausen** ( $A \cdot \beta \geq 1$  όπου **A** η απολαβή του ενισχυτή και  **$\beta$**  η απολαβή του κυκλώματος ανάδρασης) τότε θα υπάρξει μη αποσβένουσα ταλάντωση.

Το φίλτρο το οποίο χρησιμοποιείται είναι ένα κρύσταλλος χαλαζία, το ισοδύναμο του οποίου δίδεται ακολούθως:

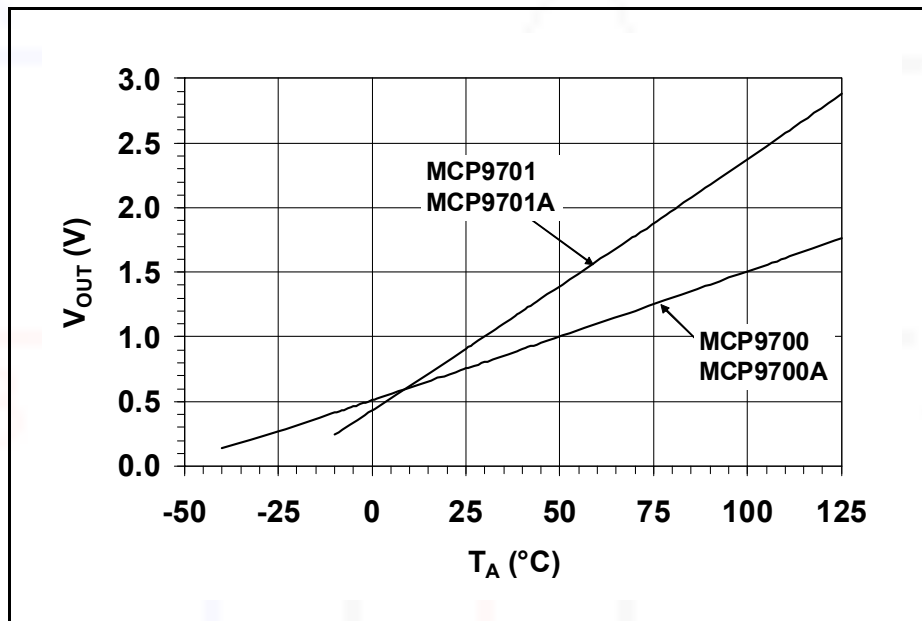


1.11.3 Ισοδύναμο κύκλωμα κρυστάλλου χαλαζία

Τα στοιχεία **C1, L1, R1** είναι το ισοδύναμο κύκλωμα σειράς του χαλαζία και **C0** είναι ο πυκνωτής που σχηματίζεται μεταξύ των ακροδεκτών στήριξης με το κέλυφος του κρυστάλλου του **χαλαζία**.

## 1.12 Γραμμικότητα

Γραμμικότητα στην μετρολογία έχουμε όταν ολόκληρη ή περιοχή της καμπύλη απόκρισης ενός αισθητηρίου είναι ευθεία.



1.12.1 Διάγραμμα απόκρισης αισθητηρίων θερμοκρασίας

Για παράδειγμα έχουμε το σχήμα 1.12.1 το οποίο παρουσιάζει τις καμπύλες απόκρισης από δύο αισθητήρια θερμοκρασίας, εάν παρατηρήσουμε τις καμπύλες αυτές θα δούμε ότι είναι σχετικά ευθείες σε όλο το εύρος χάραξης του διαγράμματος τάσης-θερμοκρασίας.

Θέλουμε να βρούμε ένα αριθμό ο οποίος θα μας προσδιορίζει την ανάλογη θερμοκρασία από την τάση που μετράμε στην έξοδο του αισθητηρίου. Αυτό που έχουμε να κάνουμε, είναι να βρούμε την **κλίση (A)** της εκάστοτε ευθείας από την καμπύλη απόκρισης.

### Παράδειγμα:

Η κλίση (A) της καμπύλη απόκρισης του αισθητηρίου **MCP9701** είναι ένας αριθμός με μονάδες **V/°C** εάν πάρουμε το αντίστροφο της κλίσης έχουμε ένα αριθμό ο οποίος εάν πολλαπλασιαστεί με την τάση εξόδου **V<sub>out</sub>(V)** θα μας δώσει θερμοκρασία συνεπώς και την τιμή της μέτρησης. Άλλα, εάν παρατηρήσουμε πιο καλά τις ευθεία του αισθητηρίου η ελάχιστη έξοδο δεν αντιστοιχεί στους **0°C** λόγω της φύσεως αυτού. Άρα από την κλίση και μόνο δεν έχουμε το αποτέλεσμα το οποίο ζητήσαμε, Αυτό που θα πρέπει να κάνουμε είναι να προσθέσουμε ένα **αριθμό μετατόπισης (B)** ο οποίος θα μας εξισορροπεί την μόνιμη μετατόπιση την οποία έχει ο αισθητήρας.

Συνοψίζοντας για να γνωρίζουμε την είσοδο του αισθητηρίου από την τιμή της μέτρησης εξόδου αυτό που έχουμε να κάνουμε είναι λύσουμε την ακόλουθη εξίσωση:  $T_a(^{\circ}C) = V_{out}(V) \cdot \frac{1}{A} + B$  όπου  $A = \frac{\Delta V_{out}(V)}{\Delta T_a(^{\circ}C)}$ ,  $B = T_a @ V_{out} = 0 \text{ Volt}$

**Εάν ένα αισθητήριο δεν είναι γραμμικό ή έχει μετατόπιση θα πρέπει να σκεφτούμε μεθόδους για να το εξισορροπήσουμε έτσι ώστε να γίνει απόλυτα γραμμικό. Ωστόσο περαιτέρω ανάλυση ξεφεύγει από τους στόχους της παρούσας εργασίας.**

## 1.13 Σύνοψη του 1<sup>ου</sup> Κεφαλαίου

Στο κεφάλαιο 1 είδαμε:

- Τι είναι Ισχύς.
- Τι είναι το **AC** και γιατί χρησιμοποιείται.
- Πώς συσχετίζεται το **AC** με τα αρμονικά σήματα και τα βασικά χαρακτηριστικά αυτών.
- Τι είναι **RMS** και πώς υπολογίζεται για ένα αρμονικό σήμα.
- Την συμπεριφορά που έχουν διάφορα φορτία στο **AC** (Ωμικό, Επαγωγικό, χωρητικό )
- Την στιγμιαία και την μέση ισχύ του **AC**.
- Την ενεργό(**W**), άεργο(**Q**) και φαινόμενη(**S**) ισχύ, όπως και τον συντελεστή ισχύος (**PF**)
- Την διακριτοποίηση του χρόνου και την ψηφιοποίηση ενός φυσικού μεγέθους.
- Τα χρόνο-κυκλώματα παραγωγής βάσεως χρόνου και τον ταλαντωτή **Pierce**
- Την γραμμικότητα ενός αισθητηρίου και τρόπους εύρεσης της μετρούμενης τιμής από την έξοδο του αισθητηρίου, όπως και την αντιστάθμισης της μετατόπισης ενός αισθητηρίου

Όλα τα υπό-κεφάλαια του **κεφαλαίου 1** συσχετίζονται μεταξύ τους, διότι όλα μαζί είναι τα βασικά εργαλεία, που χρειάζεται οποιοσδήποτε για να καταλάβει πώς γίνεται η μέτρηση της ισχύος και πώς λειτουργούν βασικά τμήματα των μονάδες της εφαρμογή μας.



**Το σημαντικό πράγμα είναι να μην σταματήσεις να κάνεις ερωτήσεις.  
Η περιέργεια έχει τον λόγο της που υπάρχει.**

Οι ευφυείς άνθρωποι ρωτάνε. Συνέχισε να αμφισβητείς τον εαυτό σου και τους άλλους, για να βρεις απαντήσεις. Αυτό θα βοηθήσει να αποκτήσεις γνώσεις και να αναπτυχθείς σε όλα τα κοινωνικά στρώματα.

**Albert Einstein (1879-1955).**





# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Σε αυτό το κεφάλαιο αναφέρονται οι τρόποι σχεδιασμού και οι μέθοδοι υλοποίησης



## 2.1 Αισθητήρες ρεύματος

Στην υλοποίηση της εφαρμογής και γενικά στους ψηφιακούς μετρητές ενέργειας - ισχύος ένα από τα βασικά προβλήματα είναι η μέτρηση του ρεύματος συνεπώς και πιο συγκεκριμένα ο αισθητήρας που απαιτείται για την μέτρηση αυτή.

**Σύμφωνα με το διάγραμμα 2.1.1 υπάρχουν 4 βασικοί τύποι αισθητήρων ρεύματος**

1. Αντίσταση διακλάδωσης (Shunt Resist)
2. Μετασχηματιστής ρεύματος (Current transformer)
3. Hall effect sensor
4. Rogowski coil (di/dt)

	Coaxial shunt	Current transformer	Hall effect device	Zero-flux Hall effect	Rogowski coil
isolation	☹	☺	☺	☺	☺
Weight	☹	☹	☹	☹	☺
DC response	☺	☹	☺	☺	☹
Low frequency resp.	☺	☹	☺	☺	☺
Fast current change	☺	☹/☺	☹	☹	☺
Output	voltage	current	voltage	voltage	voltage
Ease of installation	☹	☹	☹	☹	☺
Cost	☹	☹	☹	☹	☺

Key: ☹ = worst; ☺ = best


### 2.1.1 Διάγραμμα σύγκρισης αισθητήρων ρεύματος

Στην εφαρμογή μας, ως αισθητήρας ρεύματος επιλέχθηκε ο μετασχηματιστής ρεύματος.

Ο λόγος είναι, ότι η απλότητα που τον διέπει για την μέτρηση **AC** ρευμάτων συχνότητας δικτύου είναι εξαιρετική όπως και η ιδιότητα **απομόνωσης** που έχει.

Επίσης, η εύρεση του στην αγορά αποδείχθηκε πολύ εύκολη, σε σύγκριση με τους άλλους αισθητήρες και το κόστος του ήταν χαμηλό (**≈ 7€**)

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα που επιλέχθηκε δίδονται στον ακόλουθο πίνακα



TA1610FP

Specifications:

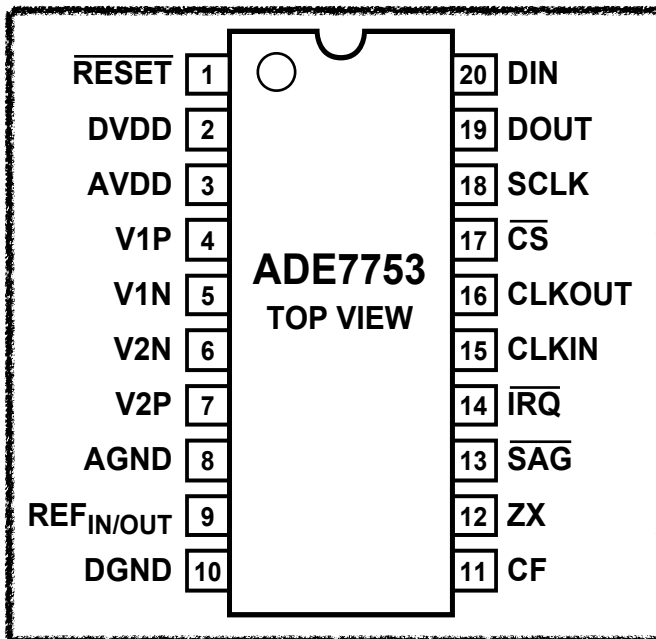
Product Name	Current Transformer
Model No.	TA1610FP
Measuring Range	0.1A-80A(50/60Hz), RL<=10Ω
Maximum Measuring Current	80A
Saturation Current	100A(50/60Hz), RL<=1Ω
Linearity	0.5%
Secondary Turn(n)	800±5
Secondary DC Resistance	39±3Ω(Typical Value)
Dielectric Strength	5000V AC/1min
Insulating Strength	DC500V, 100MΩ Up
Shot-hole Diameter	5.8mm/0.228"
Output Terminals	0.75 x 3
Distance Between Terminals	3.5mm/0.137"
Mounting Hole Diameter	25mm/0.984"
Overall Size(Approx.)	40 x 10 x 25mm/1.6" x 0.4" x 1" (L*W*H)
Color	Black
Weight	12g
Package Content	1 x Current Transformer



## 2.2 Το ADE7753

Το **ADE7753** είναι ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα το οποίο κατασκευάζεται από την **Analog Devices**. Κάποιες από τις δυνατότητες του είναι η ψηφιοποίηση σημάτων με την τεχνική **Σ-Δ** σε ανάλυση **24 bit** και η ψηφιακή επεξεργασία τους (**DSP**), η επικοινωνία με το **ADE7753** γίνεται με το πρωτόκολλο **SPI**.

Στην εφαρμογή μας το **ADE7753** χρησιμοποιείται ως μετρητής της καταναλισκόμενης ενέργειας



### 2.2.1 Το Layout του ADE7753 (SSOP Package)

Το **ADE7753** διατίθεται από την **Analog devices** σε **SSOP** (5x7mm) μορφή με 20 ακροδέκτες.

Στο εσωτερικό του **CHIP** υπάρχουν κυκλώματα τα οποία επιτελούν όλες τις εργασίες της ψηφιακής επεξεργασίας που χρειάζονται για τον υπολογισμό της ενέργειας και των χαρακτηριστικών αυτής, όπως και κυκλώματα που παρέχουν άλλες πληροφορίες, όπως συχνότητα δικτύου, ανίχνευση αιχμών υπερτάσεως και υποτάσεως κτλ. Επίσης στο εσωτερικό του **chip** υπάρχει το υλικό για την επικοινωνία με τον έξω κόσμο (**SPI**) και διάφοροι καταχωρητές ιδιού ενδιαφέροντας για την ρύθμιση του **CHIP** όπως και για την λήψη των μετρήσεων.

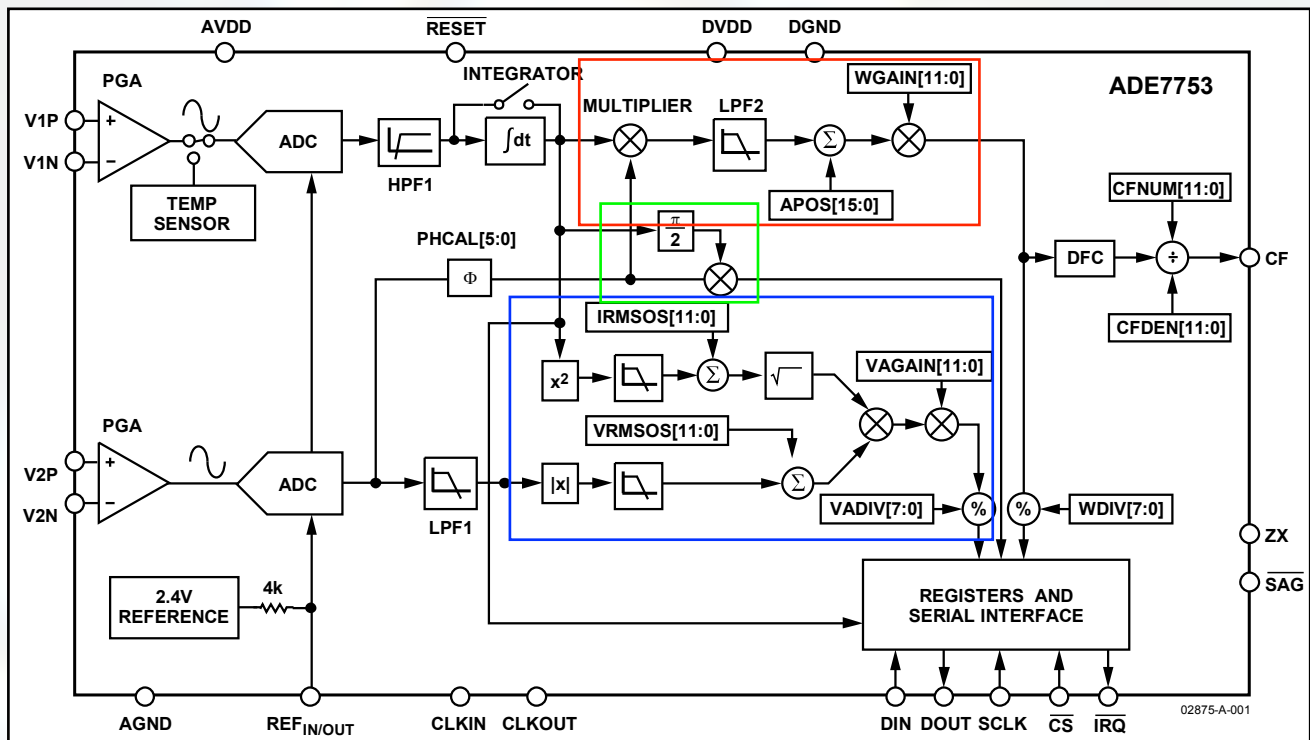
Στον πίνακα που ακολουθεί, δίδονται κατηγοριοποιημένα σε ομάδες οι λειτουργίες του κάθε ενός ακροδέκτη.

Επιτηρητής χαρακτηριστικών ηλεκτρικής ισχύος με δυνατότητα τηλεμετρίας

Pin	Μνημ.	Περιγραφή	
1	$\sim$ Reset	“Ασύγχρονη είσοδος επανάθεσης, ενεργή στο ‘0’”. Με αυτή την είσοδο θέτουμε τους εσωτερικούς καταχωρητές το <b>ADC</b> και την σειριακή επικοινωνία του <b>ADE7753</b> στην πρωταρχική κατάσταση.	
2	DVDD	Ακροδέκτης τροφοδοσίας ψηφιακών κυκλωμάτων ( <b>5V±5%</b> ), Ο ακροδέκτης αποζεύεται με δύο πυκνωτές ως προς το <b>DGND</b> ένα <b>100nF</b> κεραμικό και ένα <b>10μF</b> συνδεδεμένους παράλληλα.	<b>P O W E R</b>
3	AVDD	Ακροδέκτης τροφοδοσίας αναλογικών κυκλωμάτων ( <b>5V±5%</b> ), Ο ακροδέκτης αποζεύεται με δύο πυκνωτές ως προς το <b>AGND</b> ένα <b>100nF</b> κεραμικό και ένα <b>10μF</b> συνδεδεμένους παράλληλα.	
8	AGND	Γείωσης αναφοράς για την τροφοδοσία των αναλογικών κυκλωτών του <b>ADE7753</b> .	
10	DGND	Γείωσης αναφοράς για την τροφοδοσία των ψηφιακών κυκλωτών του <b>ADE7753</b> .	
4	V1P	Αναστρέφουσα( <b>N</b> ) και μη-αναστρέφουσα( <b>P</b> ) είσοδος του πλωτού διαφορικού ενισχυτή (Instrumentation Amplifier) για το κανάλι 1( <b>V1</b> ) και 2( <b>V2</b> ). Οι είσοδοι αυτοί προορίζονται για την σύνδεση του <b>αισθητήρα ρεύματος</b> και της προς <b>μέτρησης τάσης</b> με το <b>ADE7753</b> , η πλήρης διαφορική τάση εισόδου μπορεί να έχει εύρος <b>±0.5V</b> , <b>±0.25V</b> ή <b>±0.125V</b> ανάλογα με την τιμή της ενίσχυσης που έχουμε επιλέξει για το εκάστοτε κανάλι ( <b>PGA</b> ). Επίσης, προστατεύονται από υπερτάσεις με κύκλωμα <b>ESD (±6V)</b>	<b>ANALOG Input</b>
5	V1N		
6	V2P		
7	V2N		
9	REF <sub>IN/OUT</sub>	Ακροδέκτης πρόσβαση στη εσωτερική αναφορά των <b>2.5V±8%</b> , από εδώ μπορούμε να ελέγξουμε την αναφορά των <b>ADCs</b> ή να πάρουμε έξοδο για να την χρησιμοποιήσουμε στην σχεδίαση μας. Η έξοδος αποζεύεται ως προς τον ακροδέκτη <b>AGND</b> με <b>1μF</b> πυκνωτή και η σταθερότητα στην θερμοκρασιακές μεταβολές είναι <b>30 ppm/°C</b> .	
11	CF	Έξοδος η οποία μας δίνει μέτρηση της ενεργού ισχύος υπό μορφή παλμοσειράς, η χρήση αυτής της εξόδου είναι μονό για το καλιβράρισμα του <b>ADE7753</b> και η ρύθμιση της μεγίστης συχνότητας εξόδου γίνεται από τους καταχωρητές <b>CFDEN</b> και <b>CFNUM</b> .	
12	ZX	Zero-Crossing έξοδος για το κανάλι 2, χρησιμοποιείται για να μα δείξει πότε η τάση εισόδου πέρνα από την στάθμη τον <b>0Volt</b> .	<b>I R Q</b>
13	$\sim$ SAG	Έξοδος ανοικτού δραινίου(Drain), η οποία ενεργοποιείται όταν δεν υπάρχουν μεταβάσεις του <b>ZX</b> για κάποια ώρα ή η τάση του καναλιού 2 πέσει κάτω από κάποιο επίπεδο αναφοράς. Η εξόδου αυτής γίνεται ενεργή δίνοντας μας ένα λογικό επίπεδο ‘0’.	
14	$\sim$ IRQ	Έξοδος ανοικτού δραινίου(Drain), η οποία ενεργοποιείται όταν το <b>ADE7753</b> μας στέλνει αίτημα διακοπής (Interrupt Request), το οποίο το έχουμε προγραμματίσει ανάλογα με της ανάγκες της εφαρμογής μας. Η εξόδου αυτής γίνεται ενεργή δίνοντας μας ένα λογικό επίπεδο ‘0’.	
15	CLKIN	Κύρια είσοδος ρολογιού για τα κυκλώματα τον <b>ADCs</b> και του <b>DSP</b> . Σε αυτόν τον ακροδέκτη μπορούμε να συνδέσουμε μια εξωτερική γεννήτρια παλμών ή με την χρήση του <b>CLKOUT</b> μπορούμε να υλοποιήσουμε ένα ταλαντωτή με κρύσταλλο συχνότητας 3.579545 MHz. Οι δύο πυκνωτές φορτία τον ταλαντωτή πρέπει να είναι μεταξύ 22-33pF	<b>OSCILLATOR PINS</b>
16	CLKOUT	Έξοδος του κυρίως ρολογιού. Χρησιμοποιείται ως οδηγός έξοδος ρολογιού που οδηγεί κυκλώματα CMOS ή είναι μέρος του ταλαντωτή και συνδέουμε εδώ το ένα από τα δύο πόδια του κρυστάλλου.	
17	$\sim$ CS	Είσοδος ενεργοποίησης του πρωτοκόλλου <b>SPI</b> για το <b>ADE7753</b> , ενεργή στο ‘0’.	<b>S P I</b>
18	SCLK	Είσοδος ρολογιού του πρωτοκόλλου <b>SPI</b> για το <b>ADE7753</b> .	
19	DOUT	Έξοδος δεδομένων του πρωτοκόλλου <b>SPI</b> για το <b>ADE7753</b> .	
20	DIN	Είσοδος δεδομένων του πρωτοκόλλου <b>SPI</b> για το <b>ADE7753</b> .	

“Για να μπορέσουμε να σχεδιάσουμε οποιαδήποτε εφαρμογή, αρχικά θα πρέπει να κατανοήσουμε την συμπεριφορά των εξαρτημάτων και των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων και να την συσχετίσουμε με την γνώση την οποία κατέχουμε”

## 2.3 Αρχή λειτουργίας του ADE7753



2.3.1 Διάγραμμα βαθμίδας του ADE7753

Παρατηρώντας το διάγραμμα βαθμίδων του **ADE7753** (2.3.1) μπορούμε να διακρίνουμε κάποιες ιδιαίτερες περιοχές, οι οποίες εάν συσχετιστούν με την θεωρία που παρουσιάστηκε στο **κεφάλαιο 1**, θα προβούμε να εξαγωγούμε κάποια συμπεράσματα.

### Κόκκινο πλαίσιο

Παρατηρώντας αυτό το πλαίσιο, βλέπουμε, έναν πολλαπλασιαστή ο οποίος πολλαπλασιάζει δύο εισόδους, ένα χαμηλοπερατό φίλτρο(LPF) το οποίο παίρνει την έξοδο του πολλαπλασιαστή, ένα αθροιστή κάποιας σταθερά και ένα δεύτερο πολλαπλασιαστή συγκεκριμένου κέρδους, όπου αυτά επιδρούν στην έξοδο του φίλτρου.

Ας κάνουμε ένα συσχετισμό με το **κεφάλαιο 1** για να ερμηνεύσουμε αυτό που βλέπουμε και να καταλάβουμε με πιο τρόπο σκέφτηκε ο σχεδιαστής του **ADE7753**. Οι εισόδου του πολλαπλασιαστή κατ' ουσία είναι οι στιγμιαίες τιμές τάσεως και ρεύματος, οι οποίες εισήχθησαν στο **Chip** διαμέσου των αναλογικών καναλιών (v1,v2) και ψηφιοποιούνται από τον εκάστοτε μετατροπέα, ο πολλαπλασιασμός αυτών των δύο τιμών είναι ουσιαστικά η στιγμιαία ισχύς. Το χαμηλοπερατό φίλτρο **LPF2** στην έξοδο του πολλαπλασιαστή αναλαμβάνει να διεκπεραιώσει την απόρριψη της **AC** συνιστώσας την στιγμιαίας ισχύος και να περάσει την **DC** συνιστώσα γνωστή και ως μέση ισχύς.

Ο αθροιστής και ο πολλαπλασιαστής μετά από το **LPF2** επιτελούν τον σκοπό της διόρθωσης της μετατόπισης(**APOS**) και εύρεσης της μετρούμενης τιμής ισχύος (**WGAIN**) του συστήματος μέτρησης (βλ. κεφ. 1 “**Γραμμικότητα**”).

**Πράσινο πλαίσιο**

Παρατηρώντας αυτό το πλαίσιο βλέπουμε, ένα πολλαπλασιαστή ο οποίος πολλαπλασιάζει δύο εισόδους και έναν ολισθητή φάσης κατά  $\pi/2$  σε αυτό το πλαίσιο υλοποιείται η επεξεργασία για την μέτρηση της **άεργοι ενέργειας**, άλλα το σύστημα αυτό δεν έχει τμήμα εξισορρόπησης. Ως συνέπεια, η μέτρηση από αυτό το πλαίσιο θα πρέπει να εξισορροπηθεί μέσα στον υπολογιστή.

**Μπλε πλαίσιο**

Αυτό το πλαίσιο μπορούμε να το χωρίσουμε σε δύο μέρη, το **άνω** και το **κάτω**. Το **άνω** μέρος δέχεται την ψηφιακή λέξη από το **κανάλι 1** και την τετραγωνίζει, λόγω του ότι η έξοδος του **καναλιού 1** είναι συνάρτηση ο τετραγωνισμός αυτής δίνει έξοδο συνάρτηση δύο όρων, μιας **σταθερά** και ενός όρου **διπλάσιας συχνότητας**. Εμείς θέλουμε τον **σταθερό ορό**, ο οποίος μετέπειτα θα μας δώσει την τιμή του **rms ρεύματος**. Τον σταθερό ορο, τον απομονώσουμε με το χαμηλοπερατό φίλτρο που βρίσκετε μετά από τον τετραγωνιστεί, και του προσθέτουμε την σταθερά απαλοιφής της μετατόπιση του συστήματος μέτρησης και η τιμή της εξόδου του αθροιστή περνά από ένα σύστημα υπολογισμού τετραγωνικής ρίζας, το οποίο επαναφέρει την στάθμη του σήματος απαλείφοντας τον τετραγωνισμό. (βλ. κεφάλαιο 1 “*Πώς υπολογίζετε η RMS τιμή*”).

Το **κάτω** μέρος ακολουθεί παρόμοιο τρόπο υπολογισμού της **rms** τιμής της **τάσεως** με τη διαφορά ότι εδώ δεν γίνεται τετραγωνισμός, διόρθωση και επαναφορά αλλά άμεση επεξεργασία με μηχανισμό υπολογισμού του μέτρου.

Συνολικά με τον **πάνω** και τον **κάτω** μέρος του μπλε πλαισίου υπολογίσαμε της **rms** τιμές **τάσεως** και **ρεύματος**, οι οποίες πολλαπλασιαζόμενες μας δίνουν την **φαινόμενη ισχύ**.

## 2.4 Περί αναλογικών εισόδων

Max Signal	ADC Input Range Selection		
	0.5 V	0.25 V	0.125 V
0.5 V	Gain = 1	–	–
0.25 V	Gain = 2	Gain = 1	–
0.125 V	Gain = 4	Gain = 2	Gain = 1
0.0625 V	Gain = 8	Gain = 4	Gain = 2
0.0313 V	Gain = 16	Gain = 8	Gain = 4
0.0156 V	–	Gain = 16	Gain = 8
0.00781 V	–	–	Gain = 16

PGA 2 GAIN SELECT		PGA 1 GAIN SELECT	
000 = x 1	000 = x 1	001 = x 2	001 = x 2
001 = x 2	010 = x 4	010 = x 4	011 = x 8
010 = x 4	011 = x 8	100 = x 16	100 = x 16
011 = x 8	100 = x 16		

CHANNEL 1 FULL-SCALE SELECT	
00 = 0.5V	01 = 0.25V
10 = 0.125V	

### 2.4.1 Περιγραφή των αναλογικών εισόδων του ADE7753

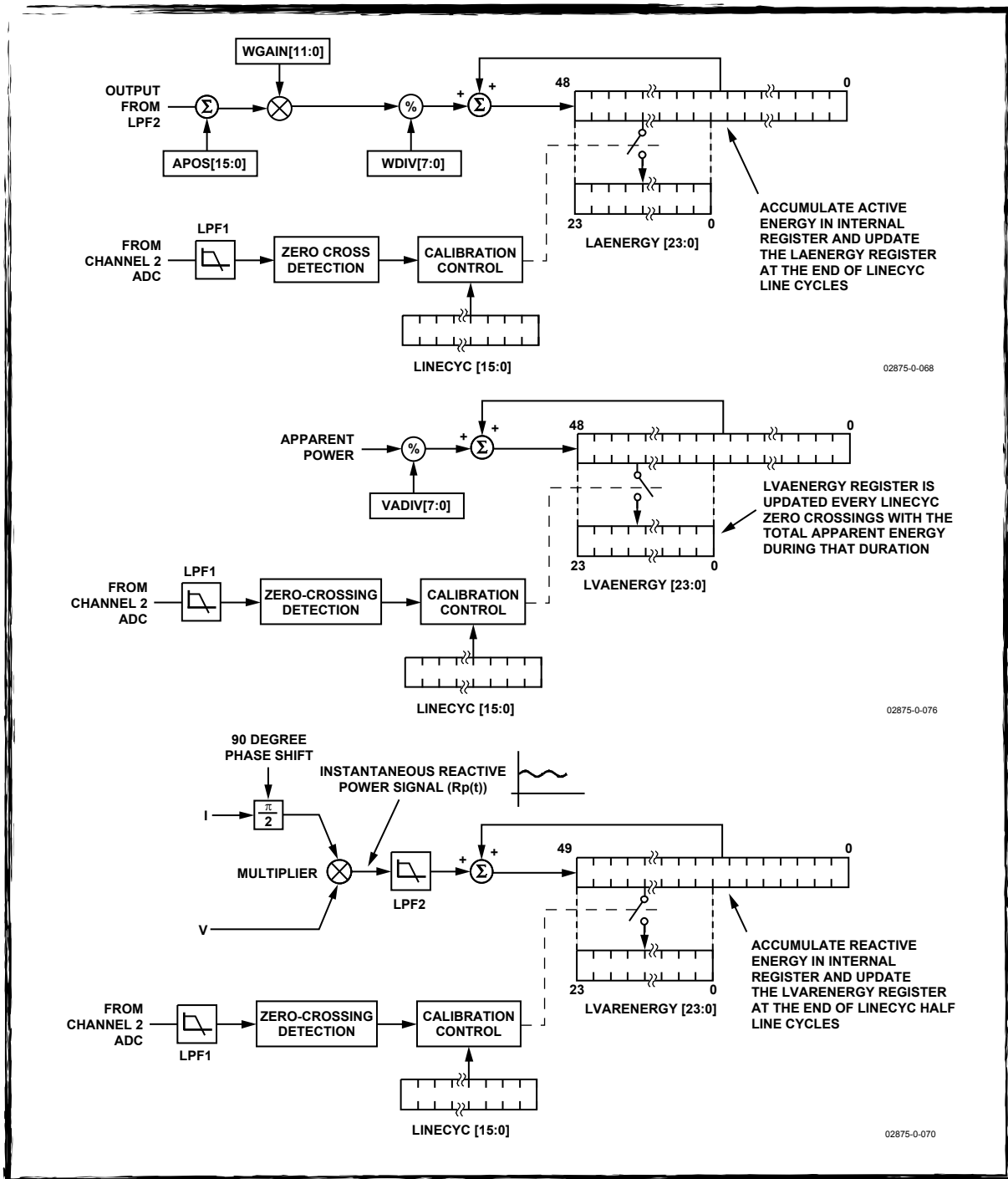
Η αναλογική είσοδο του **ADE7753** αποτελείται από δύο κανάλια διαφορικής εισόδου. Στα κανάλια αυτά υπάρχει η δυνατότητα επιλογής ενίσχυσης (**PGA**) καθώς και η επιλογή του εκάστοτε επιθυμητού εύρους τάσεως εισόδου. Η επιλογή αυτόν γίνεται από τους καταχωρητές **GAIN**, **CH1OS** και **CH2OS**. Στο καταχωρητή **CH1OS** παρέχεται η δυνατότητα ενεργοποίηση του ψηφιακού ολοκληρωτή που βρίσκεται στο **κανάλι 1**. Η ενεργοποίηση αυτού γίνεται όταν ο αισθητήρας είναι τύπου **di/dt**.

Στην εφαρμογή μας οι εισοδοί έχουν επιλεχτεί να έχει το μέγιστο εύρος(±0.5V), λόγος αυτού είναι ότι θέλουμε να έχουμε μεγάλο **SNR** για να αποφεύγονται οι λανθασμένες μετρήσεις.





## 2.6 Συσσωρευτές μετρούμενης ενέργειας



2.6.1 Διάγραμμα με τις διατάξεις των συσσωρευτών της μέτρησης της ενέργειας του ADE7753

Οι διατάξεις που περιγράφεται στο **σχήμα 2.6.1** είναι οι μηχανισμοί με τους οποίους το **ADE7753** αποταμιεύει την εκάστοτε μετρούμενη ενέργεια. Όπως παρατηρούμε η αποταμίευση γίνεται σε καταχωρητές με 49 ή 50 **bits**, σε αυτούς τους καταχωρητή προστίθεται συνεχώς η τιμή της μετρούμενης ισχύος έτσι **ολοκληρώνεται** η μέτρηση ως προς τον χρόνο και μετατρέπεται σε ενέργεια. Σε κάποιο χρονικό διάστημα **περιόδων**, το οποίο ορίζεται από την τιμή του καταχωρητή **LINECYC** τα 24 πρώτα **bits** του εκάστοτε καταχωρητή συσώρευσης περνάνε στον εκάστοτε καταχωρητή που θα μας παρέχει την ενέργεια που θέλουμε να μετρήσουμε.

**Για την εφαρμογή μας το διάστημα των περιόδων συσώρευσης έχει οριστεί στο 1 Second**

## 2.7 Ο μηχανισμός των Διακοπών (interrupts) του ADE7753

Γενικά με τον όρο διακοπή (**interrupt**) στην επιστήμη των υπολογιστών εννοούμε μια διαδικασία η οποία διακόπτει την ροή του προγράμματος το οποίο εκτελείται και στη συνέχεια ο υπολογιστής εκτελεί μια **εργασία εξαίρεσης (exception task)** ή κάποιο πρόγραμμα εξυπηρέτησης διακοπής (**ISR**), έκτοτε συνεχίζεται η ροή του προγράμματος. Στην περίπτωση που χρειάζεται ή τερματίζει το πρόγραμμα.

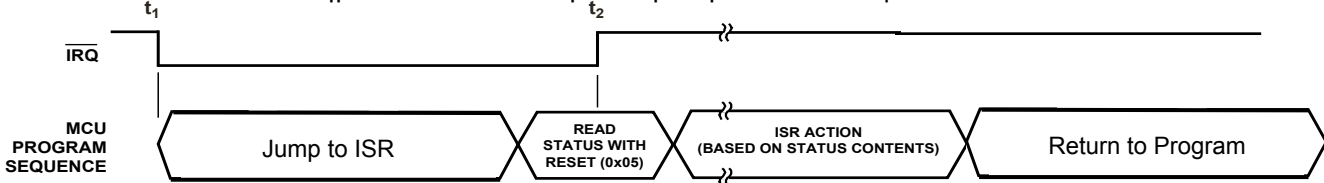
Οι διακοπές χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: σε **διακοπές υλικού** και **διακοπές λογισμικού**. Στην εφαρμογή μας κάνουμε χρήση και των δύο ειδών. Βασική διαφορά είναι ότι οι διακοπές υλικού εκτελούν πρόγραμμα **υπηρεσίας υψηλής προτεραιότητας**, όταν αυτό ζητηθεί διαμέσου **αιτήματος δίκτοπης (IRQ)**, που συνήθως είναι κάποια λογική μεταβολή κάποιου ειδικού σήματος στο υλικό, ενώ οι διακοπές λογισμικού εκτελούν **πρόγραμμα εξαίρεσης**, εάν συμβεί κάποιο αναπάντεχο γεγονός στην ροή κάποια διεργασίας του προγράμματος.

**Παράδειγμα: διακοπής υλικού** θα έχουμε όταν υπάρξει κάποιο αίτημα ανάγνωσης δεδομένων από κάποια περιφερειακή συσκευή.

**Παράδειγμα: διακοπής λογισμικού** θα έχουμε όταν κατά την διάρκεια μιας αριθμητικής πράξης συμβεί υπερχείλιση.

Στο **ADE7753** υπάρχουν 3 σήματα διακοπής (**ZX,~SAG,~IRQ**) από αυτά στην εφαρμογή μας χρησιμοποιούμε μόνο τα δύο σήματα **ZX** και **~IRQ**, ενώ το σήμα **~SAG** είναι συνδεδεμένο στον υπολογιστή της εφαρμογής μας αλλά δεν χρησιμοποιείται, υπάρχει για μελλοντική χρήση.

Από αυτά τα δύο σήματα αυτό που θα μελετήσουμε στο υποκεφάλαιο αυτό είναι το **~IRQ**



### 2.7.1 Διάγραμμα παρουσίασης των καταστάσεων χειραγίας όταν το ADE7753 στέλνει διακοπές

Bit Location	Interrupt Flag	Description
0	AEHF	Indicates that an interrupt occurred because the active energy register, AENERGY, is more than half full.
1	SAG	Indicates that an interrupt was caused by a SAG on the line voltage.
2	CYCEND	Indicates the end of energy accumulation over an integer number of half line cycles as defined by the content of the LINECYC register—see the Line Cycle Energy Accumulation Mode section.
3	WSMP	Indicates that new data is present in the waveform register.
4	ZX	This status bit is set to Logic 0 on the rising and falling edge of the the voltage waveform. See the Zero-Crossing Detection section.
5	TEMP	Indicates that a temperature conversion result is available in the temperature register.
6	RESET	Indicates the end of a reset (for both software or hardware reset). The corresponding enable bit has no function in the interrupt enable register, i.e., this status bit is set at the end of a reset, but it cannot be enabled to cause an interrupt.
7	AEOF	Indicates that the active energy register has overflowed.
8	PKV	Indicates that waveform sample from Channel 2 has exceeded the VPKLVL value.
9	PKI	Indicates that waveform sample from Channel 1 has exceeded the IPKLVL value.
A	VAEHF	Indicates that an interrupt occurred because the active energy register, VAENERGY, is more than half full.
B	VAEOF	Indicates that the apparent energy register has overflowed.
C	ZXTO	Indicates that an interrupt was caused by a missing zero crossing on the line voltage for the specified number of line cycles—see the Zero-Crossing Timeout section.
D	PPOS	Indicates that the power has gone from negative to positive.
E	PNEG	Indicates that the power has gone from positive to negative.
F	RESERVED	Reserved.

### 2.7.2 Πίνακας περιγραφής των Bits του καταχωρητή IRQEN και RSTSTATUS

Το διάγραμμα 2.7.1 παρουσιάζει την διαδικασία διακοπής του **ADE7753**, περιγράφεται ακολούθως. Εάν συμβεί μια ή περισσότερες εξαιρέσεις από αυτές που έχουμε προγραμματίσει, στο σήμα **~IRQ** θα λάβουμε μια αρνητική αιχμή, τότε διακόπτεται η ροή του προγράμματος και εκτελείται **ISR**.

Οι λειτουργίες που θα εκτελέσει ο υπολογιστής εντός του **ISR** είναι: να διαβάσει τον καταχωρητή **RSTSTATUS** για να κατανοήσει τι είδους διακοπή του έστειλε το **ADE7753** και να θα εκτέλεση την ανάλογη υπηρεσία για το εκάστοτε έτυμα του **ADE7753**, έκτοτε θα επανέλθει στο σημείο που διέκοψε τη ροή του προγράμματος

Με την ανάγνωση του καταχωρητή **RSTSTATUS** το σήμα **~IRQ** επανέρχεται στη κατάσταση ηρεμίας του.

Οι λειτουργίες εξαίρεσης του σήματος **~IRQ** προγραμματίζονται θέτοντας κατάλληλα τα ανάλογα **bit** του καταχωρητή **IRQEN**, τα οποίες **bit** παρουσιάζονται στο διάγραμμα 2.7.2.

Στην εφαρμογή μας η τιμή που δόθηκε στο **IRQEN** είναι **0x0004**, έτσι το σήμα **~IRQ** προγραμματίστηκε ώστε να δείχνει πότε έχει μηδενίσει ο καταχωρητής **LINECYC**. Έτσι καταλαβαίνει ο μικροελεγκτής ότι πρέπει να διαβάσει τις τιμές της μετρημένης ενέργειας.

## 2.8 Οι καταχωρητές του ADE7753

ΣΤΟ CHIP του ADE7753 υπάρχουν 48 καταχωρητές, ο καθένας για να επιτελέσει ένα συγκεκριμένο σκοπό. Στης ακόλουθες σελίδες παρουσιάζουμε ένα πίνακα με την διευθύνσεις των καταχωρητών και της λειτουργίες τους.

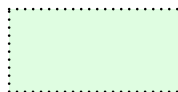
ADD	Όνομα	Bits	Λειτουργία
0x01	WAVEFORM	24	Καταχωρητής δείγματος κυματομορφής, μας δείχνει την τιμή του δείγματος που ψηφιοποίησε ο ADC του καναλιού 1 ή 2. Η επιλογή του αναλόγου καναλιού γίνεται από τα Bits 13,14 του καταχωρητή <b>MODE</b> .
0x02	AENERGY	24	Καταχωρητής συσσώρευσης πραγματικής ενέργειας.
0x03	RAENERGY	24	Το ίδιο με τον καταχωρητή <b>AENERGY</b> άλλα αυτός σε κάθε ανάγνωση μηδενίζει το περιεχόμενό του.
0x04	LAENERGY	24	Καταχωρητής συσσώρευσης πραγματικής ενέργειας συγχρονισμένος με την τιμή του καταχωρητή <b>LINECYC</b> .
0x05	VAENERGY	24	Καταχωρητής συσσώρευσης φαινόμενης ενέργειας.
0x06	RVAENERGY	24	Το ίδιο με τον καταχωρητή <b>VAENERGY</b> άλλα αυτός σε κάθε ανάγνωση μηδενίζει το περιεχόμενό του.
0x07	LVAENERGY	24	Καταχωρητής συσσώρευσης φαινόμενης ενέργειας συγχρονισμένος με την τιμή του καταχωρητή <b>LINECYC</b> .
0x08	LVARENERGY	24	Το ίδιο με τον καταχωρητή <b>LVAENERGY</b> άλλα αυτός σε κάθε ανάγνωση μηδενίζει το περιεχόμενό του.
0x09	MODE	16	Καταχωρητής προγραμματισμού λειτουργίας.
0x0A	IRQEN	16	Καταχωρητής προγραμματισμού του ακροδέκτη αιτήματος διακοπής.
0x0B	STATUS	16	Καταχωρητής ανάγνωσης κατάστασης. Χρησιμοποιείτε σε συνδυασμό με το ακροδέκτη αιτήματος διακοπής και μας υποδεικνύει την αιτία του αιτήματος διακοπής.
0x0C	RSTSTATUS	16	Το ίδιο με τον καταχωρητή <b>STATUS</b> άλλα αυτός σε κάθε ανάγνωση μηδενίζει το περιεχόμενό του.
0x0D	CH1OS	8	Καταχωρητής ρύθμισης της ολίσθησης εξόδου του καναλιού 1.
0x0E	CH2OS	8	Καταχωρητής ρύθμισης της ολίσθησης εξόδου του καναλιού 2.
0x0F	GAIN	8	Καταχωρητής ρύθμισης του κέρδους εξόδου του καναλιού 1 και 2.
0x10	PHCAL	6	Καταχωρητής ρύθμισης της χρονικής ολίσθησης που υφίσταται μεταξύ του καναλιού 1 και 2.
0x11	APOS	16	Καταχωρητής αντιστάθμισης για την ολίσθηση της μέτρησης της πραγματικής ενέργειας.
0x12	WGAIN	12	Καταχωρητής στον οποίο αποθηκεύουμε τον συντελεστή ενίσχυσης της ενεργού ισχύος ο οποίος εξάγεται από την βαθμονόμηση.
0x13	WDIV	8	Καταχωρητής στον οποίο αποθηκεύουμε την σταθερά διαίρεσης της πραγματικής ενέργειας. Η μέτρηση της ενέργειας πριν αποθηκευτεί στον καταχωρητή <b>AENERGY</b> διαιρείται με την τιμή αυτού του καταχωρητή.

Επιτηρητής χαρακτηριστικών ηλεκτρικής ισχύος με δυνατότητα τηλεμετρίας

<i>ADD</i>	<i>Όνομα</i>	<i>Bits</i>	<i>Λειτουργία</i>
0x14	CFNUM	12	Καταχωρητής ρύθμισης της συχνότητας εξόδου του ακροδέκτη <b>CF</b> . (αριθμητής του ορού της κλίσης για το μηχανισμό ισχύος σε συχνότητα)
0x15	CFDEN	12	Καταχωρητής ρύθμισης της συχνότητας εξόδου του ακροδέκτη <b>CF</b> . (παρονομαστής του ορού της κλίσης για το μηχανισμό ισχύος σε συχνότητα)
0x16	IRMS	24	Καταχωρητής μέτρησης του <b>RMS</b> ρεύματος.
0x17	VRMS	24	Καταχωρητής μέτρησης της <b>RMS</b> τάσεως.
0x18	IRMSOS	12	Καταχωρητής αντιστάθμισης της ολίσθησης της μέτρησης του <b>RMS</b> ρεύματος.
0x19	VRMSOS	12	Καταχωρητής αντιστάθμισης της ολίσθησης της μέτρησης της <b>RMS</b> τάσεως.
0x1A	VAGAIN	12	Καταχωρητής στον οποίο αποθηκεύουμε τον συντελεστή κέρδους της φαινόμενης ενέργειας ο οποίος εξαγεται από την βαθμονόμηση.
0x1B	VADIV	8	Καταχωρητής στον οποίο αποθηκεύουμε την σταθερά διαίρεσης της φαινόμενης ενέργειας. Η μέτρηση της ενέργειας πριν αποθηκευτεί στον καταχωρητή <b>VAENERGY</b> διαιρείται με την τιμή αυτού του καταχωρητή.
0x1C	LINECYC	16	Καταχωρητής ο οποίος μας δείχνει τον αριθμό των <b>ημιπεριόδων</b> στον οποίο κάνουμε συσσώρευση, όταν βρισκόμαστε στην λειτουργία της “συσσώρευσης ενέργειας σε συγκεκριμένο αριθμό περιόδων” ( <b>Line Cycle Energy Accumulation Mode</b> ).
0x1D	ZXTOUT	12	Βοηθητικός καταχωρητής για την λειτουργία του εντοπισμού διακοπής της μέτρησης. Εάν δεν ανιχνευτεί αλλαγή στην είσοδο του καναλιού 2 για κάποια συγκεκριμένη ώρα ορισμένη από αυτόν τον καταχωρητή, το <b>ADE7753</b> θα δώσει ένα αίτημα διακοπής, εάν είναι ενεργοποιημένη αυτή η λειτουργία.
0x1E	SAGCYC	8	Βοηθητικός καταχωρητής για την λειτουργία του εντοπισμού αστάθειας του δικτύου μέτρησης Εάν ανιχνευθεί η στάθμη είσοδο του καναλιού 2 να είναι μικρότερη από την σταθερά του καταχωρητή <b>SAGLVL</b> για κάποιες συγκεκριμένες περιόδους ορισμένες από αυτόν τον καταχωρητή, το <b>ADE7753</b> θα δώσει ένα αρνητικό σήμα στον ακροδέκτη <b>~SAG</b> , εάν είναι ενεργοποιημένη αυτή η λειτουργία.
0x1F	SAGLVL	8	Καταχωρητής ο οποίος ορίζει το επίπεδο αστάθειας του δικτύου μέτρησης.(βλπ <b>SAGCYC</b> )
0x20	IPKLVL	8	Καταχωρητής ο οποίος ορίζει το επίπεδο αναφοράς για ανίχνευση υπερέντασης του δικτύου μέτρησης. Εάν η τιμή του ρεύματος υπερβεί αυτή την τιμή η σημαία <b>PKI</b> στον καταχωρητή <b>STATUS</b> παίρνει τιμή ‘1’.
0x21	VPKLVL	8	Καταχωρητής ο οποίος ορίζει το επίπεδο αναφοράς για ανίχνευση υπέρτασης του δικτύου μέτρησης. Εάν η τιμή της τάσεως υπερβεί αυτή την τιμή η σημαία <b>PKV</b> στον καταχωρητή <b>STATUS</b> παίρνει τιμή ‘1’.
0x22	IPEAK	24	Η μέγιστη τιμή ρεύματος που μετρήθηκε αποθηκεύεται σε αυτόν τον καταχωρητή
0x23	RSTIPEAK	24	Το ίδιο με τον καταχωρητή <b>IPEAK</b> αλλά αυτός σε κάθε ανάγνωση μηδενίζει το περιεχόμενό του.

Επιτηρητής χαρακτηριστικών ηλεκτρικής ισχύος με δυνατότητα τηλεμετρίας

ADD	Όνομα	Bits	Λειτουργία
0x24	VPEAK	24	Η μέγιστη τιμή τάσεως που μετρήθηκε αποθηκεύεται σε αυτόν τον καταχωρητή
0x25	RSTVPEAK	24	Το ίδιο με τον καταχωρητή <b>VPEAK</b> αλλά αυτός σε κάθε ανάγνωση μηδενίζει το περιεχόμενό του.
0x26	TEMP	8	Καταχωρητής στον οποίο αποθηκεύεται η τιμή θερμοκρασίας του <b>ADE7753</b> εάν ενεργοποιήσουμε την ανάλογη λειτουργία
0x27	PERIOD	16	Καταχωρητής στον οποίο αποθηκεύεται η τιμή της περιόδου βασισμένη στο μηχανισμό <b>Zero-Cross</b> .
0x28 - 0x3C	//	//	Οι διευθύνσεις αυτές δεν αντιστοιχούν σε κάποιους καταχωρητές και έχουν δεσμευθεί για μελλοντική χρήση.
0x3D	TMODE	8	Καταχωρητής δοκιμών. Με αυτόν τον καταχωρητή μπορούμε να δοκιμάσουμε την επικοινωνία για σφάλματα.
0x3E	CHKSUM	6	Καταχωρητής άθροισης άσων. Αυτός ο καταχωρητής σε κάθε μια ανάγνωση κάποιου άλλου καταχωρητή παίρνει τιμή ίση με το άθροισμα όλων των άσων του περιεχομένου του καταχωρητή που διαβάσαμε.
0x3F	DIEREV	8	Καταχωρητής ο οποίος μας παρέχει ένα αριθμό ανάλογο με την αναθεώρηση της έκδοσης του <b>CHIP</b> .



= (Καταχωρητές μόνο για ανάγνωση)



## 2.9 Το πρωτόκολλο SPI

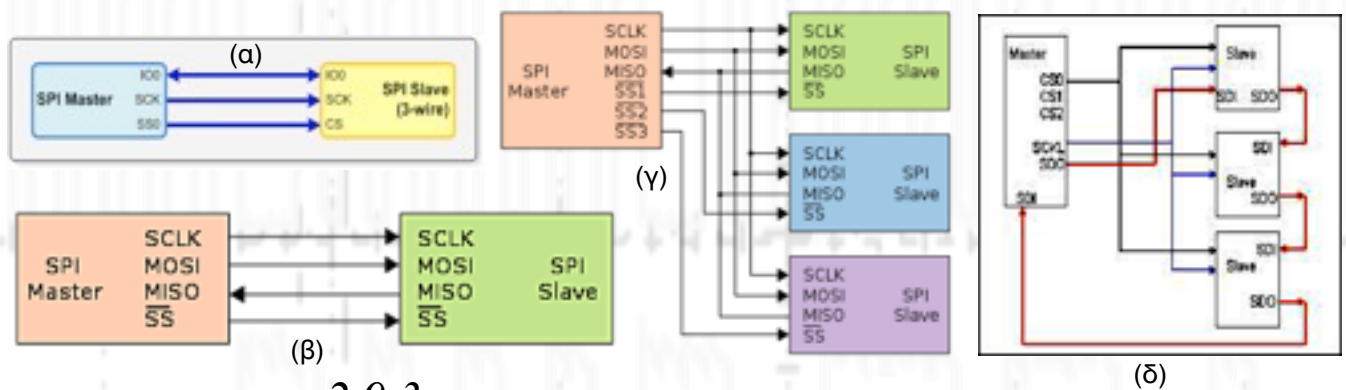
Μετά την περιγραφή των καταχωρητών του **ADE7753** παρουσιάζουμε και τον τρόπο επικοινωνίας του με τον έξω κόσμο.

Το πρωτόκολλο **SPI** είναι ένα σύγχρονο σειριακό πρωτόκολλο επικοινωνίας τύπου **Master - Slave**, το οποίο δίνει την δυνατότητα στον **Master** να επικοινωνεί με ένα ή με πολλούς **Slave(s)**. Είναι λογικής **Big-Endian** σε επίπεδο **bit** (δηλαδή το πρώτο **bit** που εκπέμπεται είναι αυτό με την μεγαλύτερη αξία) και παρέχει δυνατότητα **full-duplex**. Η επικοινωνία γίνεται με μεταβλητό μήκος δηλαδή δεν περιορίζεται σε λέξεις σταθερού μήκους πολλαπλάσιου του **byte** και το **baud rate** εκτείνεται μέχρι τα **50 Mbps**.

Χρειάζεται τρία ή τέσσερα καλώδια για να υλοποιηθεί, τα οποία επεξηγούνται ακολούθως:

- **Dout** : Σειριακή έξοδος (έξοδος από την οποία εξέρχονται δεδομένα σειριακά)
- **Din** : Σειριακή είσοδος (είσοδος από την οποία εισέρχονται δεδομένα σειριακά)
- **SCLK** : Ρολόι σύγχρονης επικοινωνίας (Σε κάθε μια μετάβαση θετική ή αρνητική ανάλογα με το πως ορίζει ο κατασκευαστής γίνεται και μία καταχώρηση)
- **SS** ή **CS** : Γραμμή επιλογής (είσοδος η οποία ενεργοποιεί την επικοινωνία με κάθε **slave**)

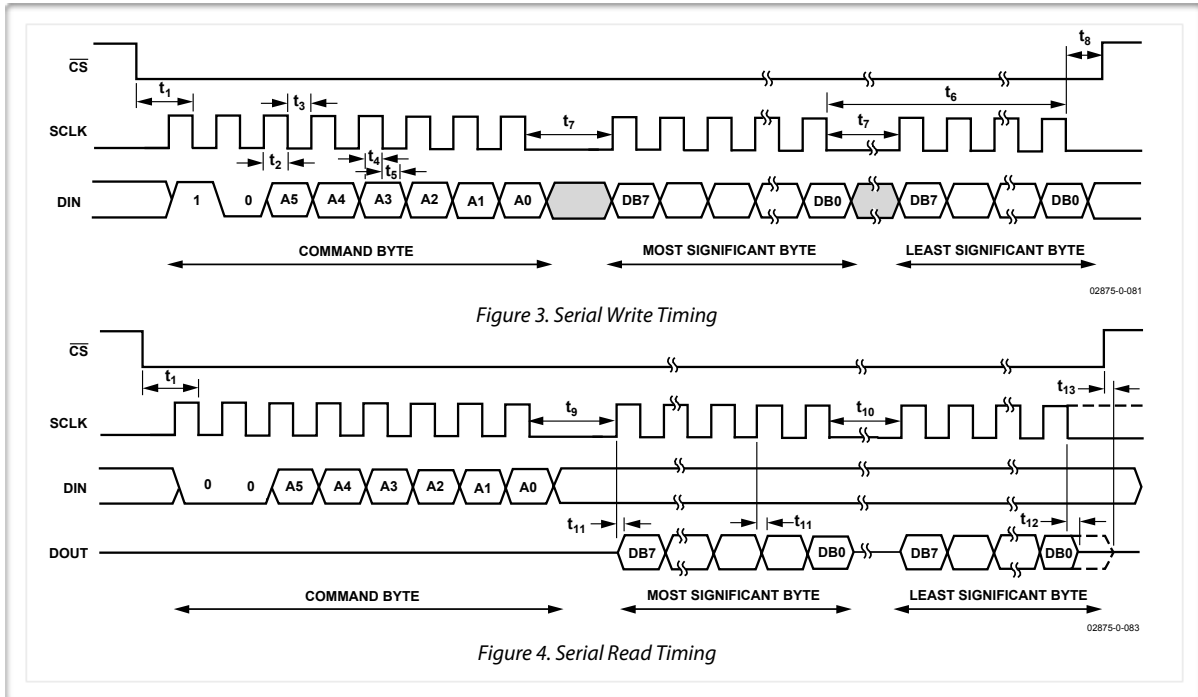
Στην υλοποίηση τριών καλωδίων τα **Dout** και **Din** πολυπλέκονται σε μία γραμμή με κόστος την απώλεια του **full-duplex**.



2.9.3 Παραδείγματα συνδεσμολογίας του πρωτόκολλο SPI

Στο διάγραμμα του σχήματος 2.9.3 παρουσιάζονται διάφοροι τρόποι σύνδεσης μεταξύ του **master** και του (των) **Slave(s)** στο πρωτόκολλο **SPI**. Στο σχήμα 2.9.3.α έχουμε την σύνδεση σημείο προς σημείο μεταξύ ενός **master** και ενός **Slave** με πολυ-πλεγμένες τις γραμμές **Dout** και **Din**, για απλούστευση του καναλιού επικοινωνίας γνωστό ως **3-Wire**, από τα τρία καλώδια που απαρτίζουν το κανάλι επικοινωνίας. Στο 2.9.3.β παρουσιάζεται η σύνδεση μεταξύ ενός **master** και ενός **Slave** με τέσσερα καλώδια. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιήθηκε για την σύνδεση του **ADE7753** στην εφαρμογή μας. Στο 2.9.3.γ παρουσιάζεται η τετρακαλωδιακή σύνδεση μεταξύ ενός **master** και τριών **Slave**, όπου σε κάθε ένας **Slave** οδηγείται και ένα κανάλι **SS(CS)** το οποίο ενεργοποιεί τον ανάλογο **Slave** με τον οποίο θέλει να μιλήσει ο **master**. Αυτός ο τρόπος διασύνδεση αυτός είναι εφικτό να υλοποιηθεί και με τρικαλωδιακή (**3-Wire**) σύνδεση. Στο 2.9.3.δ παρουσιάζεται η σύνδεση **Cascade** τριών **slaves**, με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η δικτύωση τύπου δακτύλιου βασισμένη στο πρωτόκολλο **SPI**. Η μέθοδος αυτή υλοποιείται μονό με τετρακαλωδιακή σύνδεση και από συγκεκριμένες συσκευές **Slave**. Με την διασύνδεση **Cascade** οι γραμμές **SS(cs)** και **SCLK** είναι κοινές για όλες τις συσκευές. Το μεγάλο μειονέκτημα αυτής της διασύνδεση είναι ότι το κανάλι θα πρέπει να μένει ανοικτό όση ώρα χρειάζεται για να περάσουν τα δεδομένα από όλους τους **Slaves**.

Το **Dout** του **Master** συνδέεται με το **Din** του **Slave** και το **Din** του **Master** με το **Dout** του **Slave**, με το τρόπο αυτό ερμηνεύονται και τα ονόματα των γραμμών δεδομένων στο διάγραμμα 2.9.3 (**Master Out Slave In** και **Master In Slave Out**). Η διασύνδεση αυτή αποκαλείται σταυρωτή (**cross**) και διέπει όλα τα **full-duplex** πρωτόκολλα επικοινωνίας.



### 2.9.4 Διαγράμματα χρονισμού για το πρωτόκολλο επικοινωνίας SPI του ADE7753

Στο διάγραμμα 2.9.4 επεξηγούνται χρονικά οι διεργασίες του πρωτόκολλου SPI που υλοποιείται από το ADE7753.

Το σήμα  $\overline{CS}$  τίθεται στο '0' για να ανοίξει το κανάλι και να ξεκινήσει η επικοινωνία με το ADE7753 μετά από χρόνο 50ns. Έπειτα, αποστέλλεται το πρώτο bit από τη ροή επικοινωνίας (bit stream), το οποίο καθορίζει εάν πρόκειται για ανάγνωση ('0') ή εγγραφή ('1'). Η εγγραφή ή η ανάγνωση κάθε bit γίνεται στην αρνητική ακμή του σήματος ρολογιού (SCLK) επικοινωνίας. Το δεύτερο bit εξ' ορισμού είναι '0' και τα ακόλουθα άλλα 6 bit αποτελούν την διεύθυνση του καταχωρητή με τον οποίο θέλουμε να μιλήσουμε. Μετά από μία αναμονή 50ns για εγγραφή ή 4ns για ανάγνωση επικοινωνούμε με τον επιλεγμένο καταχωρητή πακέτα με μήκος που αντιστοιχεί στο μέγεθος του εκάστοτε επιλεγμένου καταχωρητή (8,16,32bit). Για τους καταχωρητές που δεν έχουν μέγεθος πολλαπλάσιο ενός byte (π.χ. 6 ή 12 bit), επιλέγεται ανάλογα το πλησιέστερο μέγεθος, με τα επιπλέον bits, τα οποία βρίσκονται στις ψηλότερες θέσεις, να συμπληρώνονται με '0', ώστε να μην αλλοιώνεται η τιμή της πληροφορίας που θέλουμε να μεταδώσουμε μια τεχνική που ονομάζεται "zero padding".

Όταν τα δεδομένα εγγραφής ή ανάγνωσης είναι περισσότερα του ενός byte, πρέπει να διαχωρίζονται χρονικά με διαστήματα των 50ns. Τέλος μετά από χρόνο 100ns από την αποστολή ή λήψη του τελευταίου bit του τελευταίου byte της ροής επικοινωνίας, το σήμα  $\overline{CS}$  τίθεται σε κατάσταση '1' για να κλείσει το κανάλι.

(Στον ακόλουθο πίνακα δίδονται όλες οι ενδεικτικές τιμές των χρονών του πρωτοκόλλου SPI που υλοποιείται από το ADE7753)

Parameter	Spec	Unit	Test Conditions/Comments
<b>Write Timing</b>			
$t_1$	50	ns (min)	$\overline{CS}$ falling edge to first SCLK falling edge.
$t_2$	50	ns (min)	SCLK logic high pulse width.
$t_3$	50	ns (min)	SCLK logic low pulse width.
$t_4$	10	ns (min)	Valid data setup time before falling edge of SCLK.
$t_5$	5	ns (min)	Data hold time after SCLK falling edge.
$t_6$	4	$\mu$ s (min)	Minimum time between the end of data byte transfers.
$t_7$	50	ns (min)	Minimum time between byte transfers during a serial write.
$t_8$	100	ns (min)	$\overline{CS}$ hold time after SCLK falling edge.
<b>Read Timing</b>			
$t_9^1$	4	$\mu$ s (min)	Minimum time between read command (i.e., a write to communication register) and data read.
$t_{10}$	50	ns (min)	Minimum time between data byte transfers during a multibyte read.
$t_{11}$	30	ns (min)	Data access time after SCLK rising edge following a write to the communications register.
$t_{12}^2$	100	ns (max)	Bus relinquish time after falling edge of SCLK.
	10	ns (min)	
$t_{13}^3$	100	ns (max)	Bus relinquish time after rising edge of $\overline{CS}$ .
	10	ns (min)	

### 2.9.5 Επεξήγηση χρονικών διαστημάτων του διαγράμματος 2.2.4



Στην υλοποίηση μας έπρεπε να βρεθεί μια μέθοδος για να μπορεί η διαδικασία ανάγνωσης ή εγγραφής σε οποιοδήποτε καταχωρητή του **ADE7753** να γίνεται με απλό τρόπο, μιας και οι καταχωρητές δεν έχουν σταθερό μήκος.

Η λύση η οποία επιλέχθηκε, είναι όταν καλείται η συνάρτηση ανάγνωσης ή εγγραφής, ανάλογα με την διεύθυνση του καταχωρητή που θέλουμε να μιλήσουμε, να επιλέγεται και το ανάλογο μήκος **stream**, από τον αριθμό των επαναλήψεων της αποστολής ή της ανάγνωσης των **bytes** της επικοινωνίας.

Αυτό υλοποιήθηκε φτιάχνοντας τρεις ομάδες με διευθύνσεις, ανάλογα με το μέγεθος τους σε **byte** και την δυνατότητα εγγραφής.

Τα ονόματα των ομάδων είναι “**Team 1**”, “**Team 2**” και “**Team 3**” στον ακόλουθο πίνακα θα παρουσιάσουμε, το περιεχόμενο από διευθύνσεων και την ιδιότητα αυτών που παίρνει κάθε ομάδα ανάλογα με το εάν εκτελείται ανάγνωση ή εγγραφή.

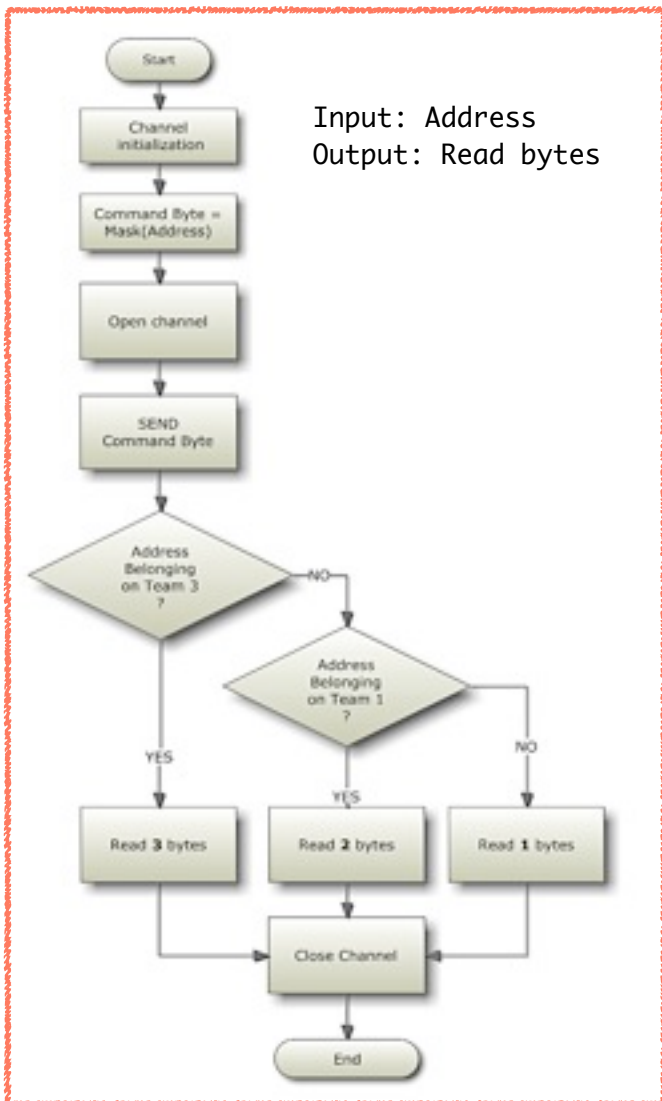
Διαδικασία ανάγνωσης		
<b>Team 1 (1 byte)</b>	<b>Team 2 (2 bytes)</b>	<b>Team 3 (3 bytes)</b>
Απο 0x0D έως 0x10, 0x13, 0x1B, Απο 0x1E έως 0x21, 0x26, Απο 0x3D έως 0x3F	Απο 0x09 έως 0x0C, 0x11, 0x12, 0x14, 0x15, Απο 0x18 έως 0x1A, 0x1C, 0x1D, 0x27	Απο 0x01 έως 0x08, 0x16, 0x17, Απο 0x22 έως 0x25

Διαδικασία εγγραφής		
<b>Team 1 (1 byte)</b>	<b>Team 2 (2 bytes)</b>	<b>Team 3 (μόνο για ανάγνωση)</b>
Απο 0x0D έως 0x10, 0x13, 0x1B, Απο 0x1E έως 0x21, 0x3D	0x09, 0x0A, 0x11, 0x12, 0x14, 0x15, Απο 0x18 έως 0x1A, 0x1C, 0x1D	Απο 0x01 έως 0x08, 0x0B, 0x0C, 0x16, 0x17, Απο 0x22 έως 0x27, 0x3E, 0x3F

Όπως παρατηρούμε το περιεχόμενο κάθε ομάδας είναι εξαρτώμενο της διαδικασίας εγγραφής ή ανάγνωσης. Το περιεχόμενο κάθε ομάδας απαρτίζεται από διευθύνσεις καταχωρητών οι οποίοι χρειάζονται ίδιο μέγεθος μεταδιδόμενης πληροφορίας σε **bytes**, ανεξάρτητα από το πραγματικό τους μέγεθος (Για παράδειγμα οι καταχωρητές με διεύθυνση 0x0F και 0x10 είναι στην ίδια ομάδα ανεξάρτητα από το ότι ο ένας είναι 8 και ο άλλος 6 bit).

Η βασικότερη διαφορά της εγγραφής από την ανάγνωση βρίσκεται στην ομάδα “**Team 3**”, όπου το περιεχόμενο της δεν ερμηνεύεται πλέον ως διευθύνσεις καταχωρητών που χρειάζονται **stream 3 bytes** για να μεταδοθούν, αλλά ως διευθύνσεις καταχωρητών που είναι **μόνο για ανάγνωση**.

## Ας δούμε δύο διαγράμματα ροής για τις διεργασιών εγγραφής και ανάγνωσης.



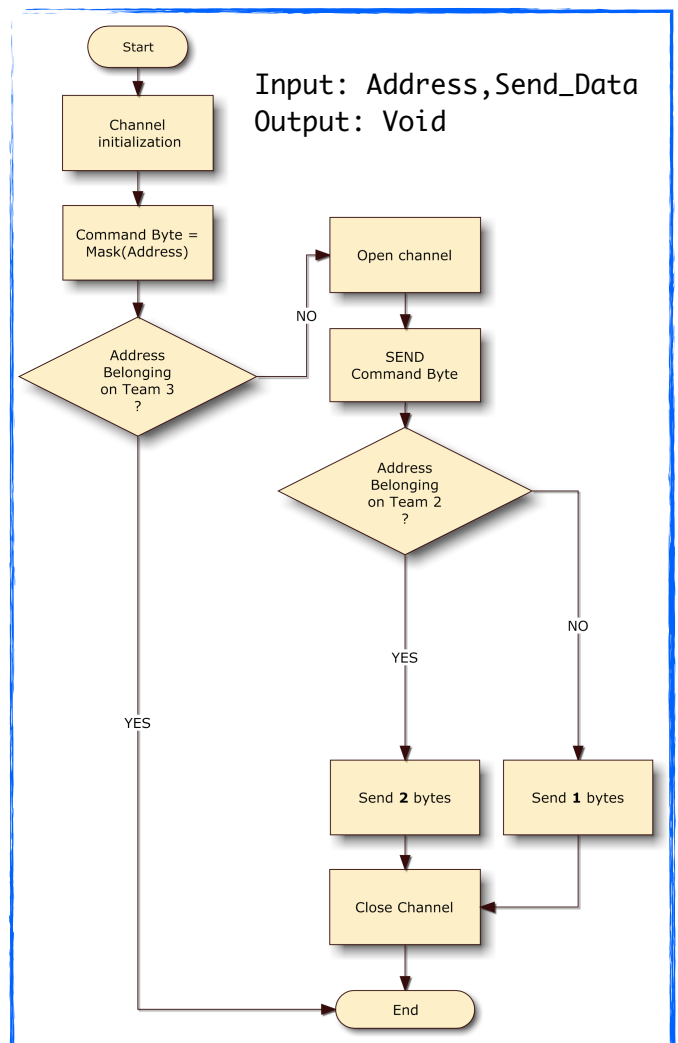
2.9.6 (Διάγραμμα ροής διαδικασίας Ανάγνωσης)

Στο διάγραμμα 2.9.7 δείχνει την διεργασία εγγραφής δεδομένων στο **ADE7753**. Η πρώτη ενέργεια που κάνουμε είναι να αρχικοποιήσουμε ξανά τα σήματα του καναλιού (**Dout,~CS,CLK**) στη θέση ηρεμίας, για να φιλτράρουμε την διεύθυνση σε αυτή την διαδικασία κάνοντας **λογική OR** με τον αριθμό **0x80** και μετέπειτα **λογική AND** με τον αριθμό **0xBF**. Με τον τρόπο αυτό το **Command byte** παίρνει την τιμή “10xxxxxx”<sub>bin</sub>.

Το ‘1’ καθορίζει το ότι κάνουμε εγγραφή και το ‘0’ είναι το **εξορίσου ‘0’ bit**. Το επόμενο βήμα είναι να ελέγξουμε εάν η διεύθυνση ανήκει στο **Team 3**, εάν “**Ναι**” σημαίνει ότι η διεύθυνση με την οποία θέλουμε να επικοινωνήσουμε, δεν έχει δυνατότητα εγγραφής. Άρα στην περίπτωση αυτή φεύγουμε από την διεργασία και έτσι τερματίζει το διάγραμμα. Εάν όμως η διεύθυνση δεν ανήκει στο **Team 3**, τότε θα αποστείλουμε το **Command byte** στο **ADE7753** και θα κάνουμε έλεγχο σε ποια ομάδα ανήκει η διεύθυνση. Μετά το πέρας της επικοινωνίας το κανάλι κλείνει και τερματίζεται η επικοινωνία και το διάγραμμα.

Κάθε διάγραμμα ροής ξεκινά και τερματίζει με ένα οβάλ σχήμα, το οβάλ σχήμα εκκίνησης (**Start**) και του τερματισμού(**End**). Τα ορθογώνια σχήματα υποδεικνύουν κάθε βήμα προς ολοκλήρωση της διεργασίας, με λειτουργίες στο εσωτερικό τους. Οι ρόμβοι υποδεικνύουν συνθήκες ελέγχου και τα βέλη την ροή των βημάτων.

Στο διάγραμμα 2.9.6 βλέπουμε το διάγραμμα ροής για την διεργασία ανάγνωσης δεδομένων από το **ADE7753**. Η πρώτη ενέργεια που κάνουμε είναι να αρχικοποιήσουμε τα σήματα του καναλιού (**Dout,~CS,CLK**) στη θέση ηρεμίας που πρέπει να έχουν, να φιλτράρουμε την διεύθυνση κάνοντας **λογική AND** με τον αριθμό **0x3F** και να καταχωρίσουμε το αποτέλεσμα ως **Command byte**. Με τον τρόπο αυτό το **Command byte** παίρνει την τιμή της διεύθυνσης και ‘0’ στις δύο πιο σημαντικές του θέσεις. Το πρώτο ‘0’ καθορίζει ότι κάνουμε ανάγνωση και το δεύτερο είναι **εξορισμού ‘0’ bit** που αναφέρθηκε πιο πάνω. Το επόμενο βήμα είναι να αποστείλουμε το **Command byte** στο **ADE7753**. Έπειτα υλοποιούμε ελέγχους, σχετικά με την ομάδα ανήκει η διεύθυνση. Με αυτό τον τρόπο επιλέγεται ο αριθμός **data bytes**. Μετά από το πέρας της επικοινωνίας το κανάλι κλείνει και ολοκληρώνεται η διεργασία.



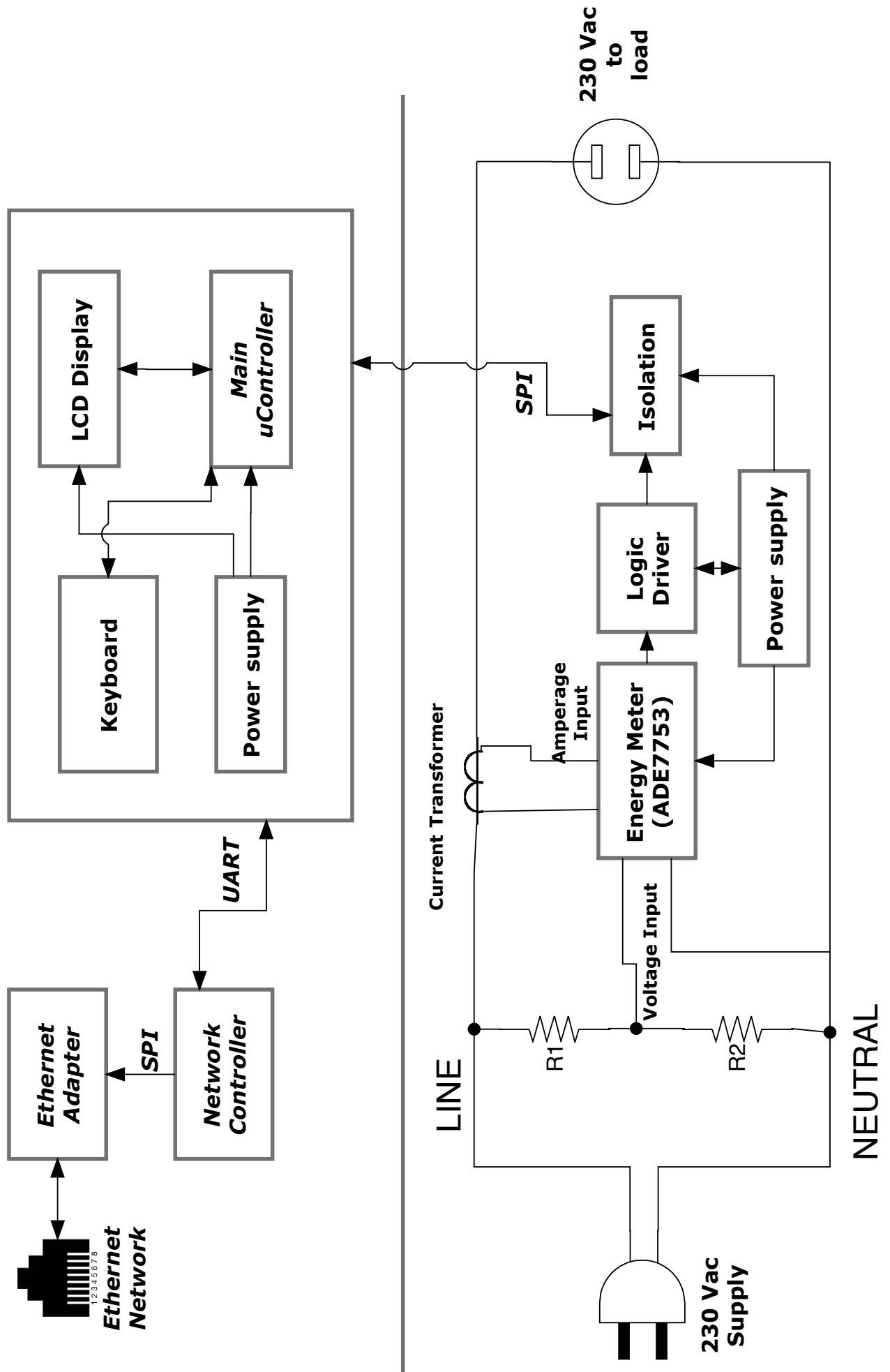
2.9.7 (Διάγραμμα ροής διαδικασίας εγγραφής)

## 2.10 Γενικό διάγραμμα βαθμίδας της κατασκευής

Σε αυτό το υπο-κεφάλαιο θα δούμε ένα γενικό διάγραμμα βαθμίδων, στο οποίο θα παρουσιαστούν περιγραφικά οι μονάδες της κατασκευής και οι τρόποι διασύνδεσής τους.

Η κατασκευή μας διακρίνεται σε δύο επίπεδα, στο **πάνω** και στο **κάτω**. Το κάτω επίπεδο είναι υπεύθυνο για την μέτρηση και το πάνω για την επεξεργασία, την απεικόνιση και την επικοινωνία τηλεμετρίας. Στο κάτω επίπεδο εισέρχεται το δίκτυο τροφοδοσίας **230 Vac** το οποίο τροφοδοτεί την μετρητική διάταξη καθώς και το επιτηρούμενο φορτίο. Η μονάδα μέτρησης της ενέργειας (**Energy Meter**) έχει δύο εισόδους, την είσοδο μέτρησης τάσεως και την είσοδο μέτρησης ρεύματος. Η μέτρηση τάσης υλοποιείται διαμέσου ενός διαιρέτη τάσεως με αντίστασης **R1**, **R2** και υποβιβάζει την τάση παροχής στην δυναμική περιοχή της μονάδας μέτρησης ενέργειας. Η μέτρηση της εντάσεως γίνεται διαμέσου ενός **μετασχηματιστή ρεύματος (Current Transformer)** ο οποίος μετατρέπει το ρεύμα παροχής και ουσιαστικά το ρεύμα κατανάλωσης του φορτίου στη δυναμική περιοχή μέτρησης της μονάδας. Η επικοινωνία της μονάδας μέτρησης με το πάνω επίπεδο γίνεται μέσω πρωτοκόλλου **SPI**. Ακολούθως μετά από την μονάδα μέτρησης ενέργειας υπάρχει η μονάδα των λογικών ενισχυτών (**Logic Driver**), η οποία ενισχύει τα σήματα εξόδου της μονάδας μέτρησης ενέργειας. Τα σήματα από την μονάδα των λογικών ενισχυτών οδηγούνται στην **μονάδα απομόνωσης (Isolation)**. Η μονάδα απομόνωσης απομονώνει οπτικά το κάτω με το πάνω επίπεδο της συσκευής, προς αποφυγή κοινής αναφοράς γείωσης των επιπέδων. Επίσης στο κάτω επίπεδο βρίσκεται η μονάδα τροφοδοσίας του, η οποία τροφοδοτεί όλες τις μονάδες του κάτω επιπέδου.

Στο **πάνω** επίπεδο της κατασκευής βρίσκεται η κύρια μονάδα επεξεργασίας και απεικόνισης, που αποτελείται από τον κύριο μικροελεγκτή της συσκευής, το πληκτρολόγιο, την οθόνη στην οποία απεικονίζονται οι μετρήσεις και το τροφοδοτικό του. Επίσης στο πάνω επίπεδο βρίσκεται και η μονάδα δικτύωσης (**Network Controller**), που παρέχει την δυνατότητα τηλεμετρίας στην συσκευή. Η σύνδεση της μονάδας δικτύωσης με την κύρια μονάδα επιτυγχάνεται μέσω του πρωτοκόλλου **UART**. Στην μονάδα δικτύωσης συνδέεται ο προσαρμογέα δικτύου (**Ethernet Adapter**) ο οποίος συνδέει την συσκευή με δίκτυο τύπου **Ethernet**. Η διασύνδεση της μονάδα δικτύωσης με τον προσαρμογέα δικτύου γίνεται μέσω πρωτοκόλλου **SPI**.



## **Η σχεδίαση του επιπέδου μέτρηση και η προσαρμογή του ADE7753**

Η κατασκευή της εφαρμογής μας έχει δύο επίπεδα, το **κάτω** επίπεδο που είναι υπεύθυνο για τις μετρήσεις και το **άνω** επίπεδο που επεξεργάζεται και απεικονίζει τις μετρήσεις και δικτυώνει την συσκευή μέσω τοπικού δικτύου **Ethernet**.

Στο επίπεδο μετρήσεων βρίσκονται όλα τα κυκλώματα που χρειάζονται για να διεξάγονται μετρήσεις με το **ADE7753**, όπως και τα σημαντικά κυκλώματα απομόνωσης για λόγους ασφάλειας. Σκοπός τους είναι η ηλεκτρική απομόνωση του επιπέδου μετρήσεων από το επάνω επίπεδο στο οποίο βρίσκεται ο υπολογιστής της συσκευής.

Στο ίδιο επίπεδο βρίσκονται, επίσης, το τροφοδοτικό του επιπέδου μέτρησης, ο αισθητήρας έντασης ρεύματος, οι καλωδιώσεις ως προς την τροφοδοσία δικτύου των συσκευών για τις οποίες διεξάγουμε μετρήσεις, ένας μετασχηματιστής **230 Vrms** σε **9 Vrms**, ο οποίος συνδέεται με το τροφοδοτικό του μικροελεγκτή στο πάνω επίπεδο και δύο ασφαλειοθήκες με τηκόμενες ασφάλειες οι οποίες προστατεύουν τα δύο επίπεδα από βραχυκύκλωμα.

Στο διάγραμμα του σχήματος **2.10.1** σημειώνεται η χωροταξική θέση όλων των βαθμίδων του επιπέδου μετρήσεων ενώ περιγράφονται και οι συνδέσεις τους.

Πάνω αριστερά στην κατασκευή του επιπέδου μετρήσεων, υπάρχει ένα βύσμα παροχής τύπου **C14** (**Σχήμα 2.10.2**), το οποίο συνδέει το φορτίο με το δίκτυο παροχής ενέργειας.

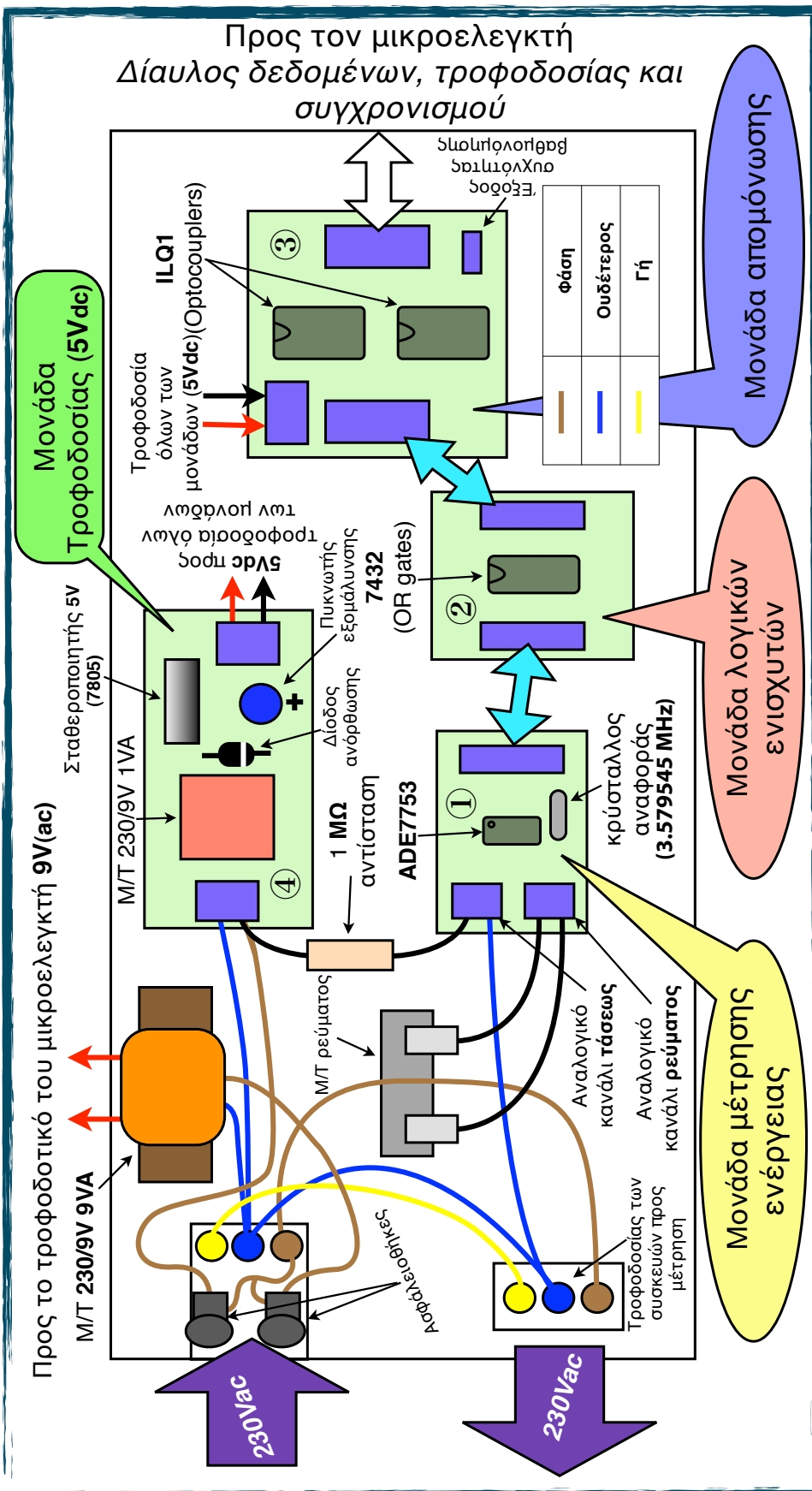
καθώς και την μονάδα τροφοδοσίας της συσκευής μας. Ενώ ο ουδέτερος και η γείωση συνδέονται απ' ευθείας στην έξοδο, από την οποία τροφοδοτούνται οι μετρούμενες συσκευές (διαμέσου κλέμας), το καλώδιο της φάσης περνά μέσα από τον αισθητήρα έντασης ρεύματος, από τον οποίο λαμβάνεται επαγωγικά η μέτρηση του έντασης ρεύματος.

Η μέτρηση τάσεως γίνεται λαμβάνοντας ποσοστό της μέγιστης τιμής της τάσεως παροχής, μέσω ενός διαιρέτη τάσεως, με εξωτερική αντίσταση **1MΩ** και αντίσταση εισόδου του καναλιού μέτρησης τάσεως του **ADE7753**, **1KΩ**.

Ο δίαυλος επικοινωνίας και τροφοδοσίας του επιπέδου μετρήσεων (διπλά βέλη κυανού χρώματος), φέρει επάνω του τον δίαυλο δεδομένων του πρωτοκόλλου **SPI**, τα σήματα για τα αιτήματα διακοπής (**~IRQ**, **~SAG**, **ZX**), το σήμα **CF** (Calibration frequency), την γραμμή τροφοδοσίας **5V** η οποία παράγεται από την μονάδα τροφοδοσίας (4) και το κοινό σήμα (**GND**) το οποίο δίνει τη τάση αναφοράς στον δίαυλο. Η τροφοδοσία των **5V** εισέρχεται στο δίαυλο επικοινωνίας από την βαθμίδα απομόνωσης.

Βασικό πρόβλημα και λόγος ύπαρξης μιας **διάταξης απομόνωσης** στην εφαρμογή μας, βρίσκεται στο ότι η σύνδεση του **ουδέτερου** ή της **φάσεως** ανάλογα με την φορά εφαρμογής της πρίζας τροφοδοσίας, η οποία γίνεται διότι η μέτρηση της τάσεως υλοποιείται με διαιρετή τάσης και αυτό συντελεί στο να έχουμε πάνω στο σασί της συσκευής **230 Vrms**, αυτό λοιπόν κάνει την συσκευή μας πολύ **επικίνδυνη** στην χρήση. Με τής διατάξεις της ηλεκτρικής απομόνωσης αυτό που επιτυγχάνουμε είναι να δημιουργήσουμε μια **εικονική γη** στο επίπεδο μέτρησης (**κάτω επίπεδο**). Έτσι στην **εικονική** αυτή **γη** θα συνδέσουμε το εκάστοτε δεύτερο άκρο του διαιρέτη (φάση ή ουδέτερος) και αυτή η **εικονική γη** δεν θα έχει **καμία σχέση** με την **γη** της τροφοδοσίας η οποία θα είναι η αναφορά των **0V** για τον υπολογιστή της κατασκευής μας, συνεπώς θα απομονώνει τον χειριστή από την υψηλή τάση του δικτύου τροφοδοσίας. (**Περισσότερη επεξήγηση Σελ. 43**)

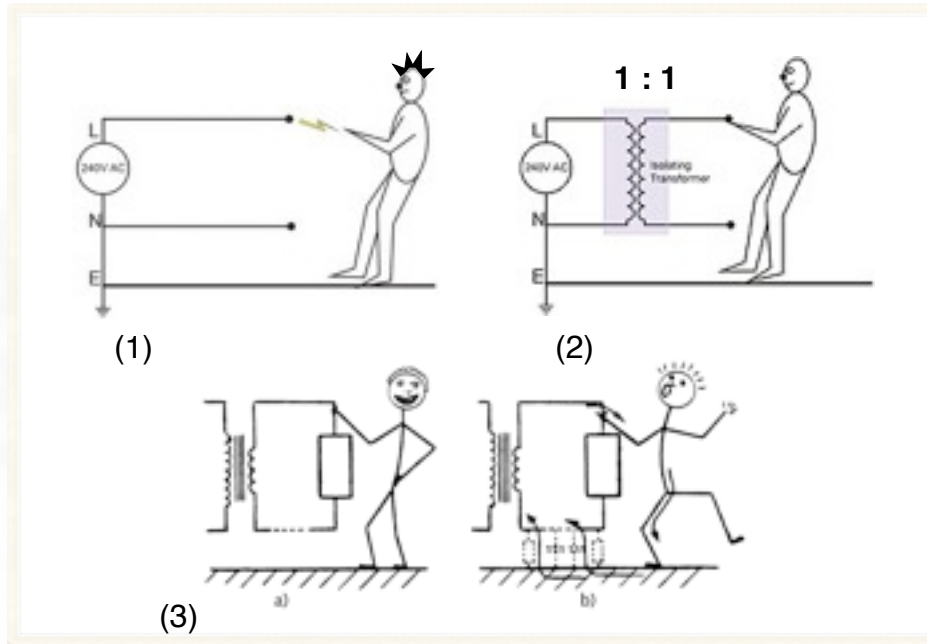




2.10.1 Σκίτσο περιγραφής των συνδέσεων και των μονάδων του επιπέδου μέτρησης της εφαρμογής



## Ηλεκτρική απομόνωση



### 2.10.3 Σκίτσο περιγραφής του τρόπου απομόνωσης με μετασχηματιστή 1:1

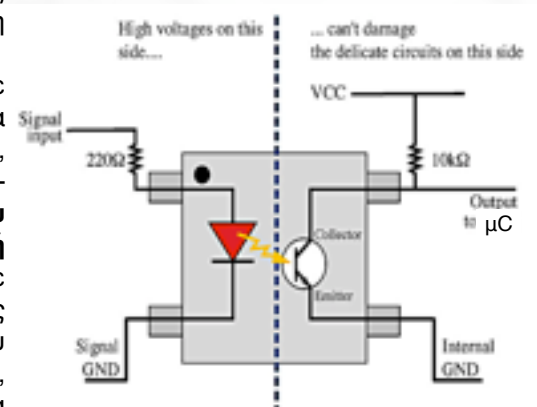
Γενικά στην καθημερινότητά μας χρησιμοποιούμε το ηλεκτρικό ρεύμα σε πολλές εφαρμογές. Ο κίνδυνος ηλεκτροπληξίας ήταν και παραμένει σημαντικό πρόβλημα, το οποίο θα πρέπει να σκεφτόμαστε σε κάθε μια εφαρμογή την οποία κατασκευάζουμε ως τεχνολόγοι.

Στο σχήμα 2.10.3 παρουσιάζεται η τεχνική της **γαλβανικής απομόνωσης** με μετασχηματιστή 1:1. Στο σχήμα 2.10.3(1) παρατηρούμε την περίπτωση της επαφής ενός αγωγού από έναν άνθρωπο, εάν ο αγωγός είναι η **φάση** τότε το κύκλωμα **φάσεως-γείωσης/ουδέτερου** θα κλείσει και ένα ρεύμα ανάλογο με την αντίσταση του ανθρώπου θα τον διαπεράσει. Εάν πάλι ακουμπήσει τον ουδέτερο λόγω της ουδετερογείωσης ο ακροδέκτης αυτός θα έχει το ίδιο δυναμικό με το δυναμικό της γης και έτσι δεν θα κλείσει κύκλωμα.

Στο σχήματα 2.10.3(2) και 2.10.3(3.a) έχουμε τοποθετήσει ένα μετασχηματιστή 1:1 μεταξύ του δικτύου τροφοδοσίας και του φορτίου. Το φορτίο πλέον τροφοδοτείται από το δευτερεύον του μετασχηματιστή και έτσι δεν έχει κοινή αναφορά με το δίκτυο τροφοδοσίας. Όποιο από τα δύο καλώδια ακουμπήσει ο άνθρωπος δεν θα κλείσει κύκλωμα με την **γή/ουδέτερος** και έτσι θα αποφευχθεί η πιθανότητα ηλεκτροπληξίας. Η πιθανότητα να συμβεί ηλεκτροπληξία υπάρχει εάν **εσκεμμένα** ο άνθρωπος πιάσει και τα δύο καλώδια του δευτερεύοντος ή εάν υπάρχει κάποιος δρόμος για το ρεύμα (**βλ. 2.10.3(3.b)**) μεταξύ της γης και ενός από τους δύο ακροδέκτες του δευτερεύοντος (π.χ. χαλασμένη μόνωση πρωτεύοντος-δευτερεύοντος ή διαρροή δευτερεύοντος), έτσι, εάν κάτι από τα δύο αυτά συμβεί θα κλείσει κύκλωμα διαμέσου του ανθρώπου, ο οποίος θα πάθει ηλεκτροπληξία.

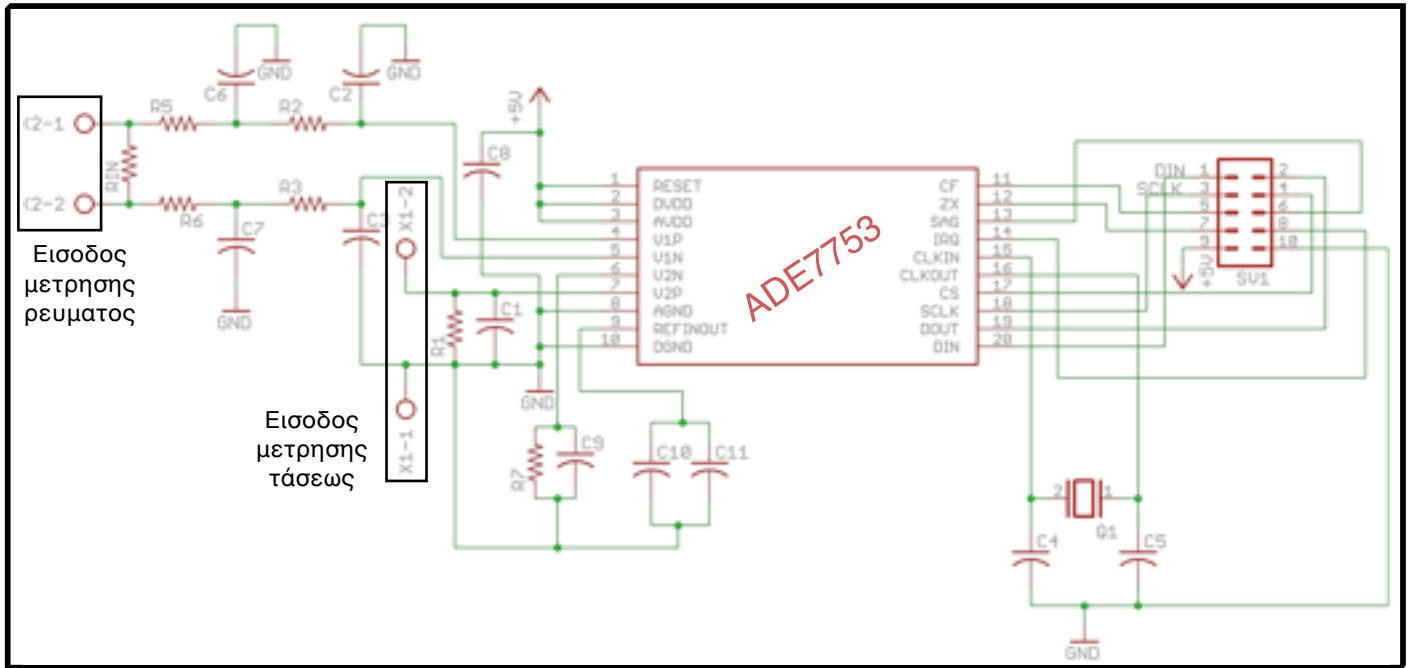
Στην κατασκευή μας η **απομόνωση** μεταξύ του **πάνω** και του **κάτω επιπέδου** επιτυγχάνεται με την βοήθεια της οπτικής απομόνωσης (Σχ2.10.4). Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται για την απομόνωση σήματα ελέγχου ή πληροφορίας, αναλογικά ή ψηφιακά.

Η λειτουργία αυτής της τεχνικής είναι το σήμα το οποίο θέλουμε να στείλουμε να οδηγεί ένα **LED** και το φως το οποίο παράγεται να διεγείρει ένα **φωτό-διεγερόμενο** εξάρτημα (π.χ. φωτό-αντίσταση, φωτό-τρανζίστορ, φωτό-triac κτλ.), στην περίπτωση μας φωτό-τρανζίστορ. Μεταξύ του **LED** και του **φωτό-διεγερόμενου** εξαρτήματος υπάρχει ένα υλικό με **μεγάλη ηλεκτρική και χαμηλή οπτική** αντίσταση. Η ηλεκτρική απομόνωση που επιτυγχάνεται με αυτήν την τεχνική φτάνει και τα 10 kVolt. Το ελάττωμα αυτής της τεχνικής είναι, ότι, λόγω του φωτό-διεγερόμενο εξαρτήματος που δεν είναι και τόσο γρήγορο στην μετατροπή του φωτός σε ρεύμα, έχουμε περιορισμό στο φασματικό περιεχόμενο που μπορούμε να περάσουμε. Για τον περιορισμό αυτού του φαινομένου οι κατασκευαστές αυτόν τον εξαρτημάτων έχουν, αντικαταστήσει το **φωτό-τρανζίστορ** με **φωτό-πύλη**. Επιτυγχάνοντας **Baudrate** μέχρι και 10 Mbps, άλλα το εξάρτημα αυτό χρησιμοποιείται αποκλειστικά για μετάδοση ψηφιακών σημάτων.



2.10.4 Περιγραφής του τρόπου απομόνωσης με **Optocoupler**

## Μονάδα μέτρησης της ενέργειας



2.10.5 Σχηματικό διαγράμματα της βαθμίδας μέτρησης ενέργειας

Στο σχηματικό διάγραμμα του σχήματος 2.10.5, υπάρχουν όλα τα εξωτερικά εξαρτήματα που χρειάζεται το **ADE7753** για να λειτουργήσει.

Όπως παρατηρούμε το κεντρικό εξάρτημα αυτής της μονάδας είναι το **chip ADE7753**. Γύρω από το **chip** παρατηρούμε διάφορα εξαρτήματα και διατάξεις. Αρχίζοντας την ανάλυσή μας από αριστερά προς τα δεξιά, πάνω αριστερά, βλέπουμε την είσοδο του ρεύματος, στην οποία συνδέεται ο αισθητήρας έντασης ρεύματος (M/T ρεύματος). Εφόσον, η έξοδος του αισθητήρα είναι ρεύμα, πρέπει να μετατραπεί σε τάση ώστε να οδηγηθεί εντός της **αναλογικής εισόδου 1**.

Η μετατροπή γίνεται μέσω της διαφοράς δυναμικού στα άκρα της αντίστασης **RIN**, όταν διαρρέετε από το ρεύμα δευτερεύοντος του αισθητήρα έντασης ρεύματος.

Η τιμή που επιλέχθηκε για την εφαρμογή μας, είναι **10Ω**, και επιλέχθηκε διότι το μέγιστο αποδεκτό εύρος τάσεως εισόδου είναι **±0.5V**, (βλ. **Παράγρ. 2.4 Σελ. 25**), με βάση την απαίτηση για αυξημένο συντελεστή **SNR**. Συνεπώς η μέγιστη RMS τάση που μπορούμε να έχουμε είναι **≈0.35V<sub>rms</sub>**, άρα και το μέγιστο ρεύμα που μπορούμε να μετρήσουμε είναι **≈28A**, λόγω του ότι ο **M/T-αισθητήρας** ρεύματος έχει λόγο ρεύματος εισόδου/εξόδου **800:1**. Το μέγιστο ρεύμα **≈28A** είναι πολύ μεγαλύτερο από το ρεύμα αντοχής του βύσματος εισόδου **C14 (≈10A cont)**, ώστε να μας δίνει την δυνατότητα ανίχνευσης αιχμών υπερεντάσεως.

Μετά την μετατροπή, το σήμα τάσης πλέον φιλτράρεται διαμέσου ενός συμμετρικού φίλτρου. Το φίλτρο αυτό είναι δεύτερης τάξης. Η μονάδα μέτρησης ενέργειας σχεδιάστηκε για να συνδέεται και αισθητήρας ρεύματος τύπου **di/dt**. Στην περίπτωσή μας, η μια τάξη του συμμετρικού φίλτρου δεν χρησιμοποιείται, ωστόσο, θα μπορούσε να χρησιμεύσει ως πρόσθετος ολισθητής φάσης εκτός από αυτόν που υποστηρίζει εσωτερικά το **ADE7753**.

Στην πλακέτα της μονάδας μέτρησης ενέργειας, οι πυκνωτές **C6** και **C7** δεν έχουν συνδεθεί, ενώ οι αντιτάσεις **R5** και **R6** έχουν αντικατασταθεί με αντιτάσεις μηδενικής τιμής. Το αναλογικό φίλτρο στην είσοδο του καναλιού είναι συμμετρικό, λόγω του ότι το κανάλι είναι διαφορικό.

Ο σκοπός που επιτελεί το κάθε φίλτρο είναι να περιορίζει το φασματικό εύρος του σήματος εισόδου στο εύρος που μπορεί να υποστηρίξει ο **ADC**.

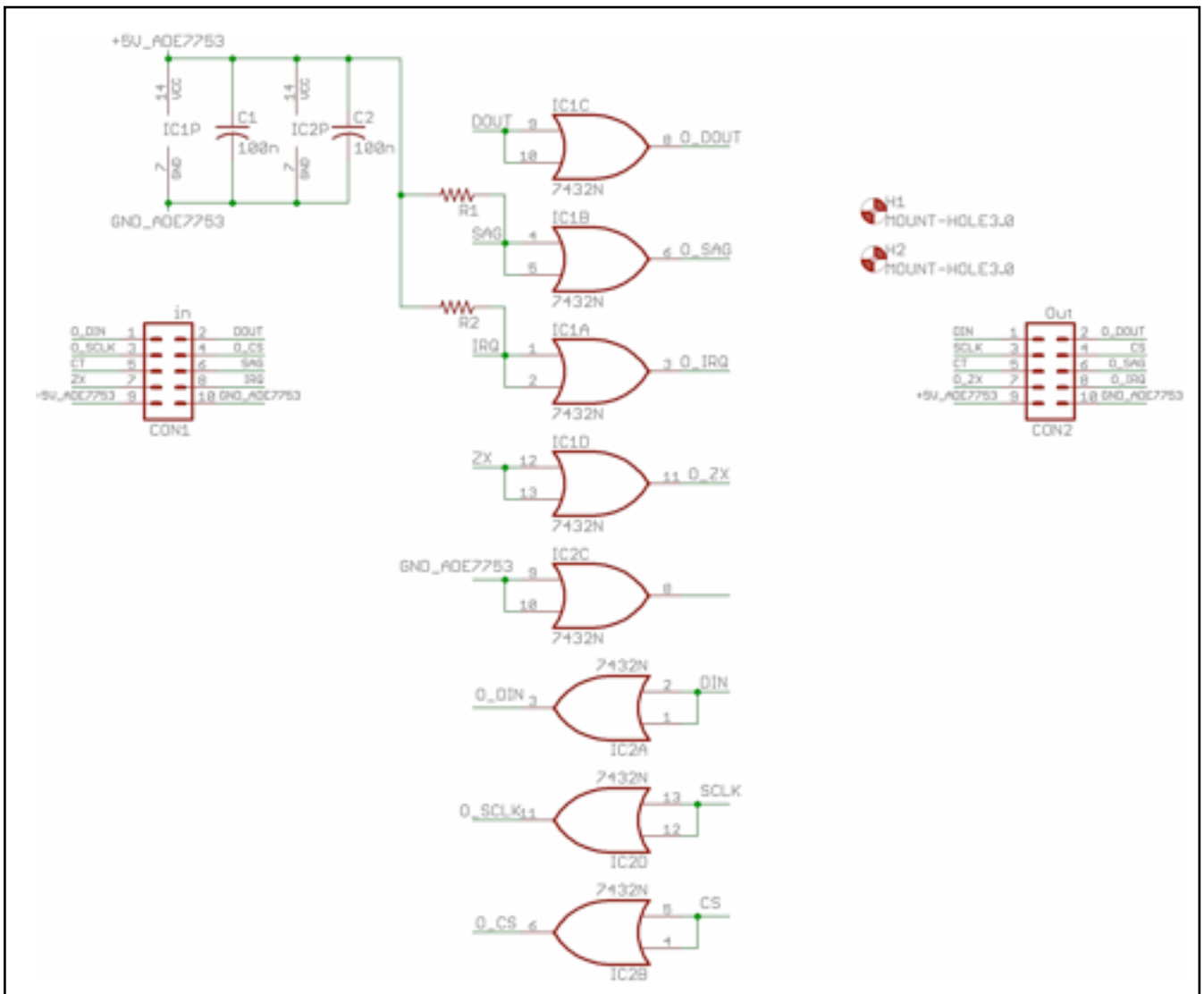
Η είσοδος μέτρησης τάσεως βρίσκεται λίγο πιο δεξιά. Εδώ, η μέτρηση γίνεται άμεσα παίρνοντας ένα κλάσμα της κυματομορφής τάσεως, στα άκρα αντίστασης **R1=1KΩ** σε διαίρεση τάσεως με αντίσταση **1MΩ** που βρίσκεται εξωτερικά από την μονάδα.

Ο **C8** λειτουργεί ως πυκνωτής απόζευξης της τάσεως τροφοδοσίας των **5V**. Οι πυκνωτές **C10** και **C11** είναι οι πυκνωτές απόζευξης της τάσεως αναφοράς των **2.5V**, η οποία παράγεται από ένα εσωτερικό τροφοδοτικό του **chip ADE7753** και αποτελεί την αναφορά των **ADCs** για τα δύο κανάλια.

Ο κρύσταλλος **Q1** και οι πυκνωτές **C4,C5** είναι κομμάτι του κυκλώματος παραγωγής της βάσεως χρόνου για το **chip ADE7753**, ενώ η συχνότητά του είναι **3.579545 Mhz**. Οι πυκνωτές υπολογίζονται ώστε η εν σειρά διασύνδεσή τους να είναι ίση ή μεγαλύτερη από την χωρητικότητα εισόδου του ενισχυτή μαζί με την ενδοχωρητικότητα του κρυστάλλου. Στην εφαρμογή μας, οι πυκνωτές αυτοί επιλέχθηκαν στα **22 pF**.

Το σήμα **~RESET** έχει καλωδιωθεί με την τροφοδοσία, διότι δεν χρησιμοποιείται. Η επανεκκίνηση του **chip** γίνεται μέσω λογισμικού ενώ η εκκίνησή του μέσω εσωτερικού κυκλώματος **Power On Reset**.

## Μονάδα λογικών ενισχυτών



2.10.6 Σχηματικό διαγράμματα της βαθμίδας λογικών ενισχυτών

Σκοπός της μονάδας αυτής είναι η ενίσχυση της στάθμης των ασθενών ψηφιακών σημάτων εξόδου της **μονάδας μέτρησης ενέργειας**, που αδυνατούν να οδηγήσουν την επόμενη μονάδα, η οποία χρειάζεται ρεύμα για να οδηγήσει τα **LED** των απομονωτών.

Όπως παρατηρούμε η μονάδα αυτή αποτελείται από δύο **CHIP(IC1,IC2)** με πύλες **OR** οι οποίες έχουν συνδεθεί ώστε να λειτουργούν ως **λογικοί ενισχυτές (Buffers)**, δηλαδή πύλες σε συνδεσμολογία βραχυκυκλωμένων εισόδων.

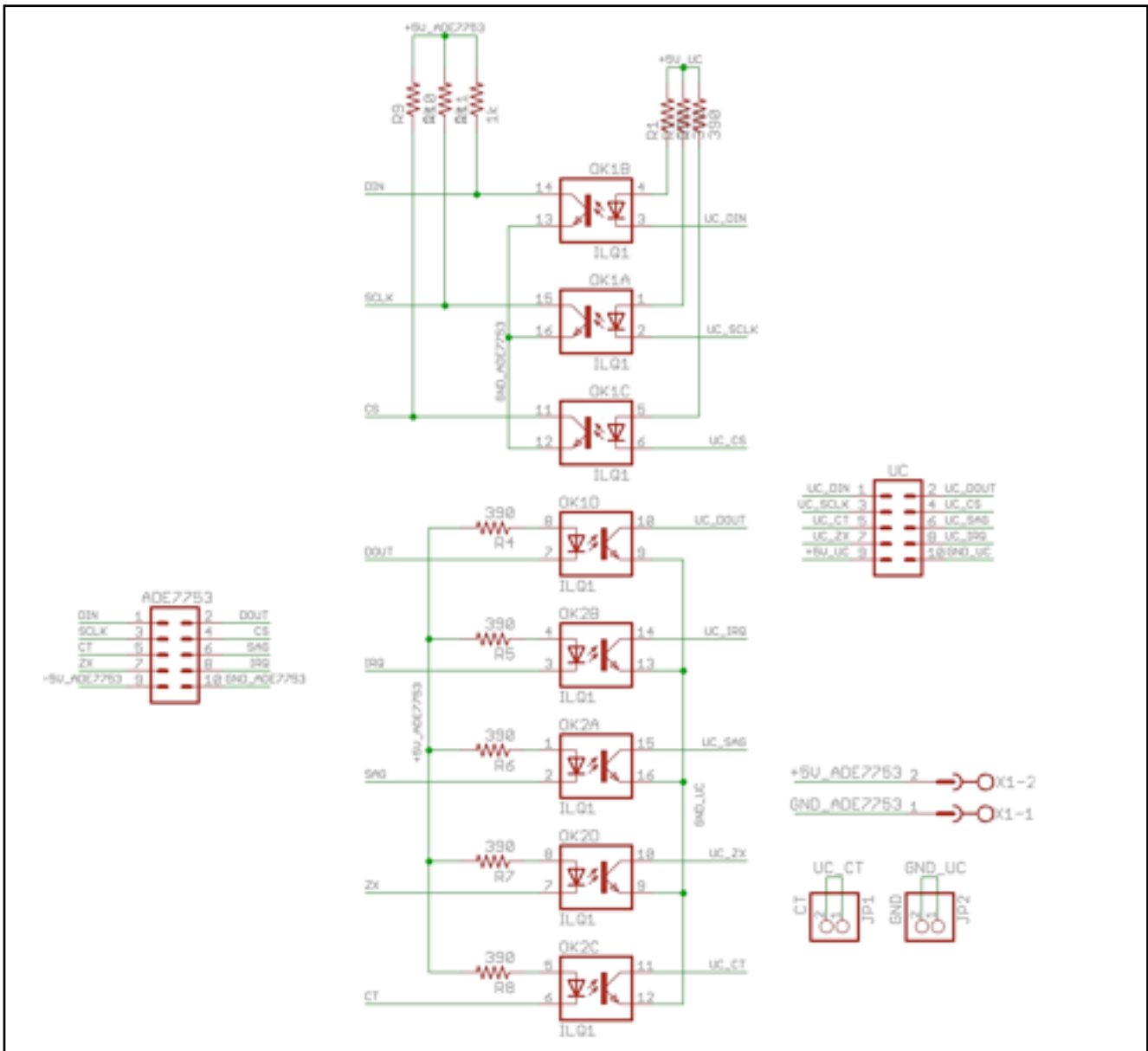
Οι αντιστάσεις **R1, R2** λειτουργούν ως **pull-up** λόγω του ότι οι αντίστοιχες έξοδοι των ανάλογων σημάτων της προηγούμενη μονάδα είναι τεχνολογίας **Open Drain**. Τα σήματα αυτών των εξόδων δεν μπορούν να οδηγήσουν τις εισόδους των πυλών **OR**, διότι ως λογικό **'1'** δεν οδηγούν υψηλής στάθμης (**high**) αλλά υψηλής εμπέδησης (**high Z**). Με τις αντιστάσεις **R1,R2** πολώνουμε την ανάλογες εισόδους με υψηλό δυναμικό ώστε να μπορούν να αναγνωρίσουν σήματα από έξοδο **Open Drain** ή **Open Collector**.

Οι πυκνωτές **C1, C2** χρησιμοποιούνται για να κάνουν απόζευξη της τροφοδοσίας του εκάστοτε **CHIP**.

Η πύλη **C (IC2C)** από το δεύτερο **CHIP** δεν χρησιμοποιείται, οπότε για να μην εισάγει θόρυβο στην τροφοδοσία, γειώνουμε και τις δύο εισόδους της.



## Μονάδα απομόνωσης



2.10.7 Σχηματικό διαγράμματα της βαθμίδας λογικών ενισχυτών

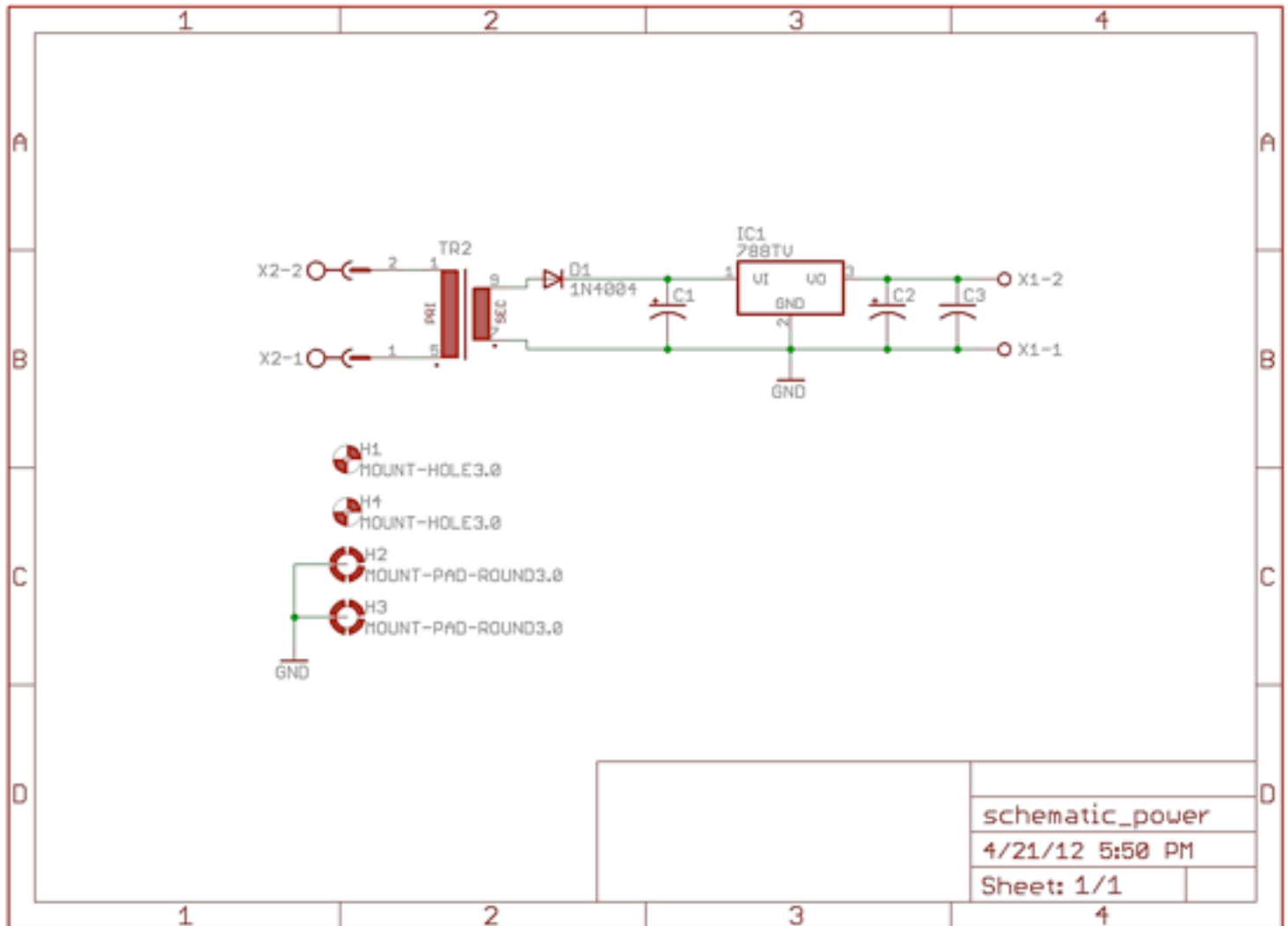
Ο σκοπός που επιτελεί η μονάδα αυτή είναι η ηλεκτρική απομόνωση του επιπέδου μέτρησης από το επίπεδο του μικροελεγκτή. Ο λόγος υλοποίησης μιας τέτοιας μονάδας στην εφαρμογή μας ήταν ότι στο επίπεδο μέτρησης η μέτρηση της τάσεως γίνεται με διαιρέτη τάσης, με κοινό άκρο την αναφορά της εικονικής γης που έχει η εφαρμογή, με αποτέλεσμα ο ουδέτερος ή η φάση (ανάλογα με τη φορά που έχει τοποθετηθεί η πρίζα της παροχής), να ενώνεται με την αναφορά της εικονικής γης, καθιστώντας επικίνδυνα όλα τα μεταλλικά μέρη της συσκευής. Η λύση η οποία δόθηκε για να αποφύγουμε τον κίνδυνο ηλεκτροπληξίας του χειριστή ή την καταστροφή του εκάστοτε δικτυακού εξοπλισμού, είναι η οπτική απομόνωση του επιπέδου μέτρησης από το επίπεδο του μικροελεγκτή.

Στο διάγραμμα 2.10.7 παρατηρούμε τους οπτικούς απομονωτές της μονάδας, οι πέντε κάτω επιτελούν αποστολή των δεδομένων και τον σημάτων αιτήματος διακοπής προς τον μικροελεγκτή και οι τρεις πάνω λήψη των δεδομένων και των σημάτων χρονισμού από τον μικροελεγκτή. Επίσης παρέχονται και δύο διπλές ακίδοσειρές για την μέτρηση της συχνότητας βαθμονόμησης. Το chip των οπτικών απομονωτών που επιλέχθηκε ήταν το **ILQ614 με ικανότητα απομόνωσης 5.3 kVrms**. (λόγω του ότι βρέθηκε πολύ εύκολα στη αγορά) το οποίο υποστήριζε 4 οπτομονωτές, γι'αυτό και χρειαστήκαν 2 chip, για να απομονώσουν τα 8 σήματα του **δίαυλου επικοινωνίας**.

Λόγω των χαρακτηριστικών του συγκριμένου **CHIP** οπτικών απομονωτών σε συνδεσμολογία κορεσμού, το **baudrate** του διαύλου της επικοινωνίας του υπολογιστή με το επίπεδο μετρήσεων έπεσε στο **2 kbps**. Αυτό δεν ήταν πρόβλημα στην εφαρμογή μας μιας και η επικοινωνία του μικροελεγκτή με το επίπεδο μέτρησης γίνεται κάθε 20ms (50Hz).



## Η μονάδα τροφοδοσίας του επιπέδου μετρήσεων



2.10.8 Σχηματικό διαγράμματα της μονάδας τροφοδοτικού του επιπέδου μέτρησης

Όπως παρατηρούμε η μονάδα της τροφοδοσίας για το επίπεδο μετρήσεων, αποτελείται από ένα μετασχηματιστή (TR2) ο οποίος υποβιβάζει την τάση δικτύου **230Vrms** σε **9Vrms**, μία δίοδο (D1) η οποία ανορθώνει την έξοδο του μετασχηματιστή (**≈12Vpeak**), ένα πυκνωτή (C1) ο οποίος εξομαλύνει την παλμική έξοδο του ανορθωτή και την κάνει σχεδόν συνεχή και ένα ολοκληρωμένο γραμμικό τροφοδοτικό (IC1) το οποίο σταθεροποιεί την τάση εξόδου της μονάδας τροφοδοσίας σε **5Vdc** όπως και δύο πυκνωτές (C2, C3). Ο πρώτος ο οποίος είναι ηλεκτρολυτικός (C2=10μF) και ενεργεί ως εξομαλυντής της εξόδου και ο δεύτερος (C3=100nF) όπου κάνει απόζευξη της εξόδου από τον θόρυβο.

Ο λόγος που επιλέχθηκε απλός αντί του πλήρους ανορθωτή είναι διότι έχει καλύτερα χαρακτηριστικά στον θόρυβο.



## 2.11 Η Σχεδίαση του Επιπέδου Επεξεργασίας, Δικτύωσης και Απεικόνισης

Μετά την ανάλυση του **κάτω** επιπέδου της εφαρμογής μας στο προηγούμενο υπό-κεφάλαιο, όπου είδαμε της βαθμίδες μέτρησης, απομόνωσης κτλ. προχωρούμε στην ανάλυση του επάνω επιπέδου της εφαρμογής μας. Στο πάνω επίπεδο το οποίο αποκαλείται επίπεδο Επεξεργασίας Δικτύωσης και Αποίκισης, βρίσκονται:

Η βαθμίδα Επεξεργασίας και Απεικόνισης όπου αποτελείται από τον κύριο μικροελεγκτή με μια οθόνη **LCD** και ένα πληκτρολόγιο τύπου πλέγματος (**MATRIX**) **4x4**, η βαθμίδα δικτύωσης όπου αποτελείται από τον μικροελεγκτή **PIC16F1847** και τον **Ethernet** πομποδέκτη **ENC28J60** και τέλος την βαθμίδα τροφοδοσίας η οποία τροφοδοτεί όλο το πάνω επίπεδο. Ο λόγος ύπαρξης του δεύτερου τροφοδοτικού για την πάνω επίπεδο είναι ό,τι λόγω της απομόνωσης, η **γη** αναφοράς του πάνω επιπέδου δεν θέλουμε να έχει καμία σχέση με την εικονική **γη** του κάτω επιπέδου. Το τροφοδοτικό έχει είσοδο τα **9Vac** όπου παράγονται από τον μετασχηματιστή τον **230V/9Vrms 9VA** ο οποίος βρίσκεται στο κάτω επίπεδο.

Στη βαθμίδα επεξεργασίας και απεικόνισης συνδέεται ένα πληκτρολόγιο για την εισαγωγή των απαραίτητων ρυθμίσεων δικτύου (**IP Address**) και την εισαγωγή του **PIN**. Μία αλφαριθμητική οθόνη **2x16** χαρακτήρων βασισμένη στο **chip HD44780** είναι επίσης συνδεδεμένη στην ίδια βαθμίδα.

Η σύνδεση με τον υπολογιστή για τον προγραμματισμό γίνεται διαμέσου του πρωτοκόλλου **RS-232**, από ένα **DB-9** βύσμα το οποίο βρίσκεται πάνω αριστερά της **πλακέτας** του **μικροελεγκτή**. Ο μικροελεγκτής, ο οποίος επιλέχτηκε για την εφαρμογή μας είναι ο **DS89C450** ο οποίος κατασκευάζεται από την **Maxim Semiconductor** και είναι ένας **8052** συμβατός, με **64KB Rom** και μερικά επιπρόσθετα περιφερειακά τα οποία δεν παρέχονταν στην σχεδίαση του αυθεντικού **8052** της **INTEL**.

Η βαθμίδα δικτύωσης (**Ethernet Adapter**) απαρτίζεται από τον μικροελεγκτή **PIC16F1847** και ένα **module** με το **Chip ENC28J60** που δίνει την δυνατότητα προσαρμογής σε δίκτυο **Ethernet**, υλοποιεί μέχρι το επίπεδο **MAC** και η διασύνδεση με τον μικροελεγκτή γίνεται μέσω του πρωτοκόλλου **SPI**. Τα δύο αυτά **chip** κατασκευάζονται από την **MICROCHIP**.

Η βαθμίδα δικτύωσης (**Ethernet Adapter**) συνδέεται με την βαθμίδα επεξεργασίας και απεικόνισης μέσω **UART** από μία ακιδοσειρά που υπάρχει στο δεξί άκρο της πλακέτας της βαθμίδας αυτής. Σε αυτή την βαθμίδα βρίσκεται ο μικροελεγκτής **PIC16F1847** ο οποίος διασυνδέεται μέσω του πρωτοκόλλου **SPI** με το **module EN-MINI ENC28J60** στο οποίο βρίσκεται το **chip ENC28J60** με τα περιφερειακά που χρειάζεται για να λειτουργήσει, όπως επίσης ένα βύσμα **RJ-45** στο οποίο συνδέεται το καλώδιο το οποίο θα δικτύωση την συσκευή μας.

Ο προγραμματισμός αυτού του μικροελεγκτή γίνεται μέσω του πρωτοκόλλου **JDM** και η διασύνδεση με τον υπολογιστή για τον προγραμματισμό χρησιμοποιώντας το βύσμα **DB-9** όπου βρίσκεται στην αριστερή πλευρά της πλακέτας αυτής της μονάδας.





## **Μονάδα Επεξεργασίας και Απεικόνισης (Πλακέτα μικροελεγκτή)**

Στο σχήμα 2.11.2 παρατηρούμε το σχηματικό διάγραμμα της μονάδας Επεξεργασίας και Απεικόνισης. Η μονάδα αυτή απαρτίζεται από τον κύριο μικροελεγκτή **DS89C450** και διαφορά περιφερειακά (**Modules**). Η οθόνη στην οποία παρουσιάζονται οι μετρήσεις είναι συνδεδεμένη με την πόρτα **P0** του μικροελεγκτή σε πολύ-πλεγμένη διασύνδεση **4 bit** για να χρειάζονται μόνο **7** γραμμές επικοινωνίας **4** γραμμές για δεδομένα και **3** για σηματοδότηση. Η **8** γραμμή χρησιμοποιείται για να ενεργοποιεί τον φωτισμό της οθόνης με την χρήση του **PNP** τρανζίστορ **Q2** ως διακόπτη. Η μεταβλητή αντίσταση **R2** σε συνδεσμολογία ποτενσιόμετρου χρησιμοποιείται, για να παρέχει την τάση πόλωσης για την μεταβολή της αντίθεσης των υγρών κρυστάλλων τις οθόνης **LCD**. Λόγω της τεχνολογίας **Open Drain** που έχει χρησιμοποιηθεί στην σχεδίαση της πόρτας **P0** από την **Maxim Semiconductor**, δεν υπάρχει η δυνατότητα οδήγησης υψηλού δυναμικού στην πόρτα της οθόνης. Για να το διορθώσουμε αυτό, έχει τοποθετηθεί το δικτύωμα **RN1**, το οποίο πολώνει της **8** γραμμές της πόρτας **P0**.

Το πληκτρολόγιο της μονάδας είναι τύπου πλέγματος (**Matrix**) **4x4**. Λόγω του τύπου του πληκτρολογίου χρειάζονται **8** γραμμές επικοινωνίας (θύρα **P2**), **4** για την οδήγηση των γραμμών και **4** για την οδήγηση των στηλών του πλεγμάτων του πληκτρολογίου. Οι δίοδοι **D1-D4** υλοποιούν μία πύλη **AND** λογικής **RDL** η οποία στο πάτημα οποιοδήποτε πλήκτρου παράγει μια αρνητική ριπή, η οποία οδηγεί μια είσοδο εξωτερικής διακοπής του μικροελεγκτή (**ExINT0**). Με αυτή την τεχνική μπορούμε να ανιχνεύσουμε δραστηριότητα στο πληκτρολόγιο μόνο όταν χρειάζεται, δηλαδή, όταν πατηθεί κάποιο πλήκτρο ή κάποιος συνδυασμός πλήκτρων. Έτσι, δεν δαπανώνται πόροι του συστήματος σε συνεχή αναζήτηση του πληκτρολογίου.

Το **IC1** είναι το **chip MAX232**, δηλαδή ένας μετατροπέας στάθμης ο οποίος προσαρμόζει τις στάθμες **TTL** εισόδου και εξόδου του περιφερειακό **USART0** του μικροελεγκτή, σε στάθμες **RS-232** για σύνδεση με τον υπολογιστή μέσω **DB-9** βύσματος.

Το **chip MAX232** δημιουργεί την τάσεις των **+10V** και **-10V**, μέσω ενός **SMPS** που υλοποιείται εσωτερικά, οι τάσεις αυτές αποθηκεύονται στους πυκνωτές **C1,C2**. Το συγκεκριμένο **chip** υποστηρίζει **4** μετατροπείς, **2** από **TTL** σε **RS-232** και **2** από **RS-232** σε **TTL**. Επίσης μέσω του **USART0** ο μικροελεγκτής επικοινωνεί επίσης και με την βαθμίδα δικτύωσης.

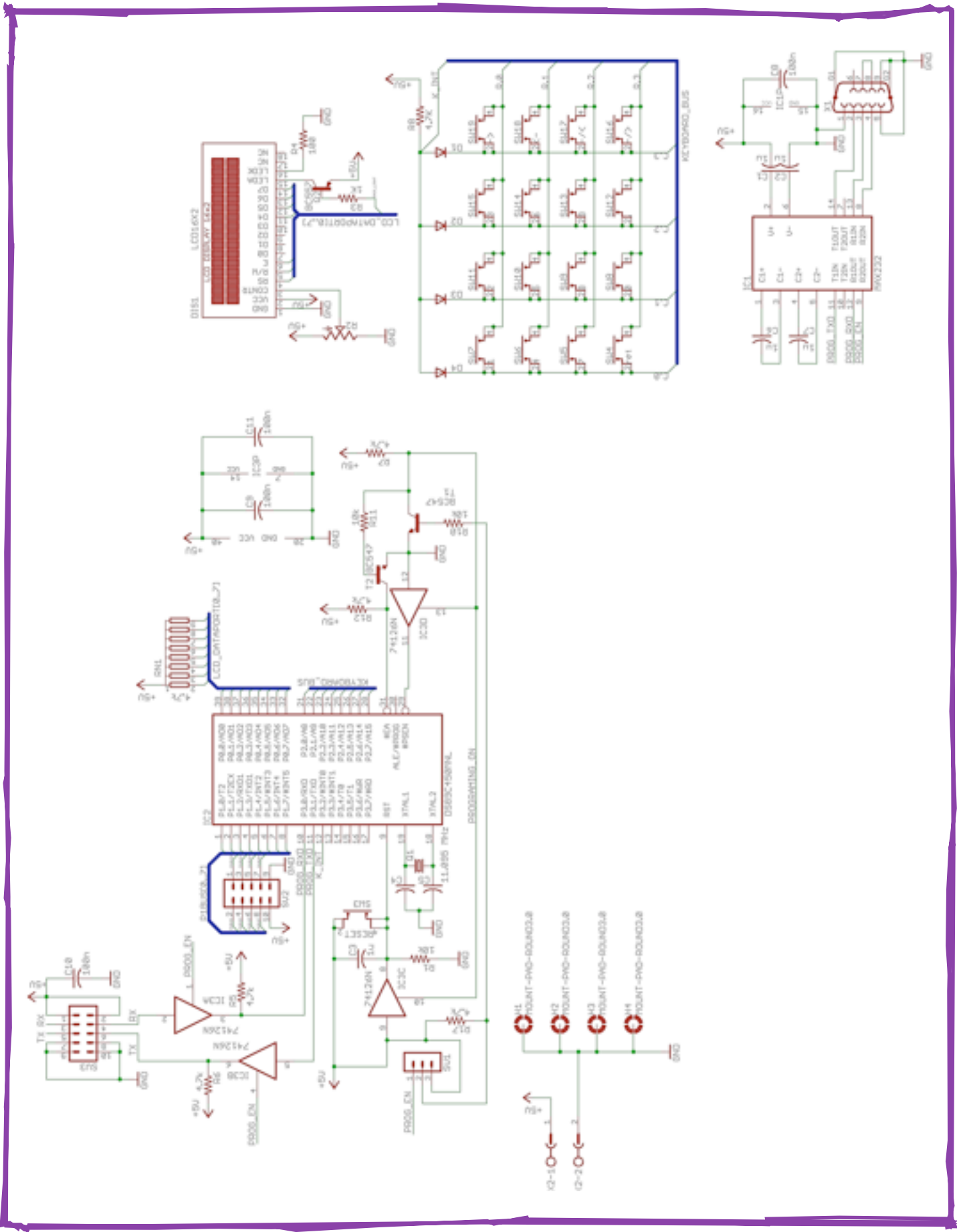
Οι τέσσερις απομονωτές **IC3A-D** από το **chip IC3** όπως και τα τρανζίστορ **T1** και **T2** χρησιμοποιούνται για να θέσουν τον μικροελεγκτή σε κατάσταση προγραμματισμού, όπως και να απομονώσουν την πόρτα του **USART0** από την βαθμίδα δικτύωσης όταν γίνεται προγραμματισμός του **DS89C450**. Η εισαγωγή του μικροελεγκτή στον προγραμματισμό γίνεται με το ανάλογο λογικό επίπεδο στο σήμα **PROG\_EN**. Έτσι με την ενεργοποίηση αυτού του σήματος διακόπτεται η επικοινωνία με την βαθμίδα δικτύωσης και ο μικροελεγκτής μπαίνει σε κατάσταση προγραμματισμού. Ο επιλεκτικός διακόπτης **SV1** δίνει την δυνατότητα ενεργοποίησης η απενεργοποίησης του προγραμματισμού. Ο λόγος υπάρξεις μιας τέτοιας δυνατότητας, είναι για να μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την πόρτα **USART0** για να αντλήσουμε μέτρησης δίχως να μπαίνει ο μικροελεγκτής σε κατάσταση προγραμματισμού, δίωτη με την ανάλογη επιλογή του **SV1** αποκόπτουμε το σήμα **PROG\_EN**.

Στην πόρτα **P1** συνδέεται ο δίαυλος δεδομένων και συγχρονισμού ο οποίος συνδέει τα **2** επίπεδα της κατασκευής μας, όπως επίσης δίνει και τροφοδοσία στην βαθμίδα απομόνωσης στην πλευρά εκείνη που έχει κοινή γη με το πάνω επιπέδου.

Ο κρύσταλλος **Q1** είναι κομμένος στα **11.0592MHz** και μαζί με τους πυκνωτές **C4, C5** συντελούν την δεξαμενή ταλάντωσης του ταλαντωτή αναφοράς του μικροελεγκτή.

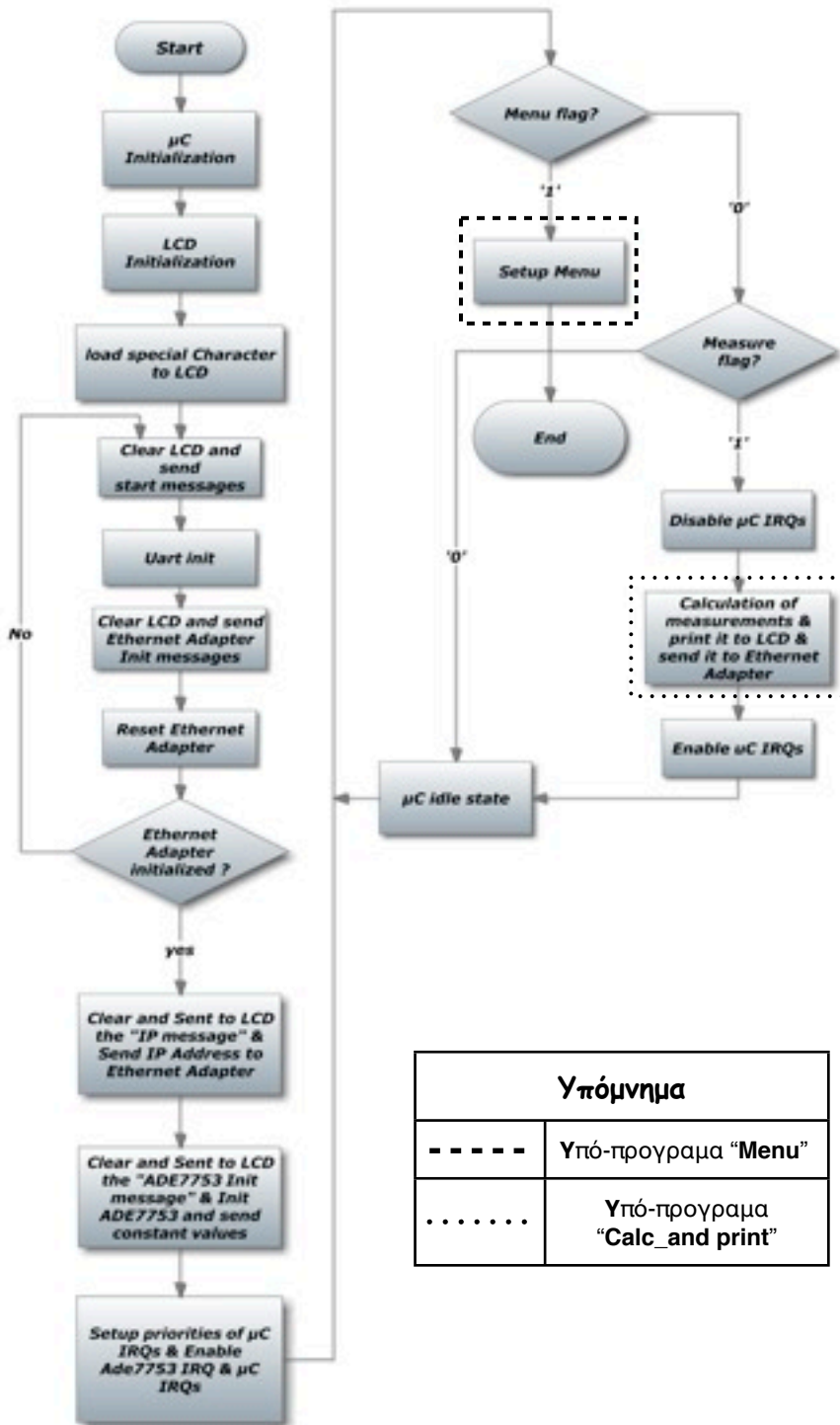
Το χρόνο-δικτύωμα **R1,C3** συντελεί το χρόνο-κύκλωμα εκκίνησης του μικροελεγκτή. Ο πιεστικός διακόπτης **SW-3** υπάρχει στην σχεδίαση αυτής της μονάδας για να επανεκκινεί τον μικροελεγκτή στην περίπτωση που πατηθεί.





2.11.2 Σχηματικό διαγράμματα της μονάδας Επεξεργασίας και Απεικόνισης

## Το πρόγραμμα του κύριου μικροελεγκτή



Υπόμνημα	
-----	Υπό-προγραμμα "Menu"
.....	Υπό-προγραμμα "Calc_and print"

### 2.11.3 Χονδρικό διαγράμμα ροής του προγράμματος που εκτελείτε από τον κύριο μικροελεγκτή

εκτελεί το ανάλογο υπό-πρόγραμμα σε κάθε περίπτωση. Η πρώτη **σημαία** είναι η **σημαία** εισαγωγής στο υπό-πρόγραμμα διαμόρφωσης της συσκευής. Η **σημαία** αυτή τίθεται στο '1' όταν ο χειριστής ζητήσει την εισαγωγή στο μενού της συσκευής. Εάν ο έλεγχος αυτής της σημαίας είναι αληθής τότε εκτελείται το υπό-πρόγραμμα "Menu" και έκτοτε τερματίζει το διάγραμμα. Το πρόγραμμα του μικροελεγκτή μετά από κάθε έξοδο από το υπό-πρόγραμμα "Menu" ξεκινά από την αρχή. Η δεύτερη **σημαία** η οποία ελέγχεται, είναι η **σημαία** επεξεργασίας των μετρήσεων που έχουν ληφθεί από το **ADE7753**. Εάν ο έλεγχος αυτής της σημαίας είναι αληθής τότε απενεργοποιούνται πάσης φύσεως διακοπές και εκτελείται το υπό-πρόγραμμα "Calc\_and\_print" το οποίο επεξεργάζεται, απεικονίζει στην **LCD** και αποστέλλει στην μονάδα δικτύωσης τις μετρήσεις. Έκτοτε επανενεργοποιούνται οι διακοπές και ο μικροελεγκτής μπαίνει σε κατάσταση ηρεμίας, έως, ότου έρθει αίτημα διακοπής για να συνεχίσει στους ελέγχους.

Το πρόγραμμα που εκτελεί ο κύριος μικροελεγκτής περιγράφεται στο διάγραμμα 2.11.3.

Όπως παρατηρούμε η εκκίνηση και ο τερματισμός του διαγράμματος γίνεται με τα **οβάλ** σχήματα που περιγράφουν την αρχή και το τέλος.

Η πρώτη εργασία που εκτελείται μετά από την εκκίνηση είναι η **αρχικοποίηση** του μικροελεγκτή, η οποία είναι, η απενεργοποίηση του μετρητή **Watchdog**, οι **αρχικοποιήσεις** των μεταβλητών και των σταθερών καθώς και η ρύθμιση της εξωτερικής μνήμης. Μετέπειτα αρχικοποιείται το **module** της οθόνης και φορτώνονται οι ειδικοί χαρακτήρες που θα χρησιμοποιηθούν μετέπειτα στο **Menu**. Το επόμενο βήμα είναι να καθαρίσουμε και να στείλουμε στην οθόνη τα μηνύματα εκκίνησης (**logo συσκευής, έκδοση κτλ.**), οπότε ακολουθεί η **αρχικοποίηση** του περιφερειακού της **ασύγχρονης σειριακής επικοινωνίας (USART)** και αποστέλλεται στην οθόνη μήνυμα **αρχικοποίησης** της μονάδας δικτύωσης. Η **αρχικοποίησης** αυτής της μονάδας είναι η αποστολή εντολής επανεκκίνησης και εάν η μονάδα αποκρίθει, ότι, επανεκκίνησε ορθά τότε αποστέλλεται η διεύθυνση **IP**.

Στην αντίθετη περίπτωση, το πρόγραμμα επιστρέφει στο σημείο όπου αποστέλλονται τα μηνύματα καλωσορίσματος και συνεχίζει κανονικά. Ακολουθεί η αποστολή του ανάλογου μηνύματος στην οθόνη, ότι ξεκινά η **αρχικοποίηση** του **ADE7753** και τίθενται οι καταχωρητές του με τις σταθερές βαθμονόμησης.

Η επόμενη ενέργεια που εκτελείται είναι ο ορισμός των επιπέδων προτεραιότητας για της διακοπές του μικροελεγκτή, η ενεργοποίηση της λειτουργίας διακοπής στο **ADE7753** και στον μικροελεγκτή. Το επόμενο βήμα του διαγράμματος και συνεπώς και του προγράμματος που εκτελεί ο μικροελεγκτής, είναι ένας βρόχος ο οποίος ελέγχει δύο **σημαίες** και

## Το υπό-πρόγραμμα “Calc\_and\_print”

Το υπό-πρόγραμμα “Calc\_and\_print” εκτελείται κάθε φορά όπου η σημαία “measure flag” έχει τεθεί στο ‘1’. Οι εργασίες οι οποίες εκτελούνται σε αυτό το υπό-πρόγραμμα είναι: Η επεξεργασία των μετρήσεων που έχουν ληφθεί από το κάτω επίπεδο, η αποστολή αυτών στην οθόνη και στην βαθμίδα δικτύωσης, όπως και ο έλεγχος της ορθής λειτουργίας της βαθμίδας δικτύωσης (**Ethernet Adapter**).

Όπως παρατηρούμε από το σχήμα 2.11.4 όπου παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής για το υπό-πρόγραμμα “Calc\_and\_print”, η πρώτη ενέργεια που εκτελείτε μετά το κάλεσμα του υπό-προγράμματος είναι να αρχικοποιηθούν οι μεταβλητές **πλωτού** τύπου (*float*), οι οποίες μετέπειτα θα χρησιμοποιηθούν στην επεξεργασία των μετρήσεων. Επίσης αρχικοποιούνται οι πινάκες για της Αλφαριθμητικές ακολουθίες (*String*), όπου χρησιμοποιούνται στην αποστολή των επεξεργασμένων μετρήσεων στην οθόνη και στην μονάδα δικτύωσης. Ακολούθως, έχουμε, την αίτηση ανάγνωσης της καταστάσεως (**Status request**) της μονάδας δικτύωσης. Με την αίτηση αυτή, η μονάδα δικτύωσης θα απάντησε σε τι κατάσταση βρίσκεται, για να γνωρίζουμε εάν αποκρίνεται σωστά ή εάν υπάρχει πρόβλημα.

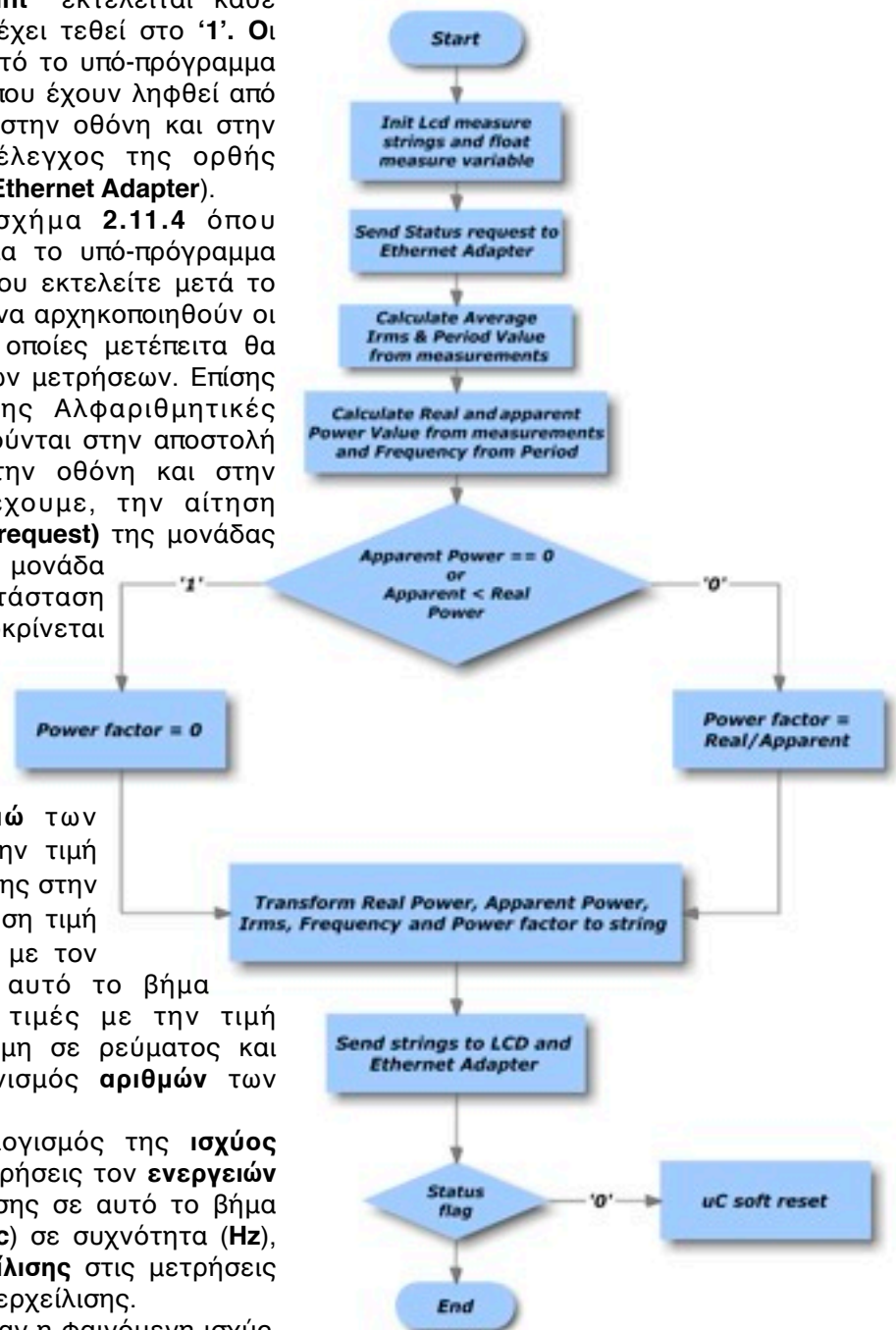
Η επόμενη ενέργεια όπου εκτελείται είναι η εύρεση της μέσης τιμής για τις μετρήσεις ρεύματος και περιόδου. Για τις μετρήσεις αυτές έχουμε δύο στοιχεία, τον **αριθμό** των δειγμάτων (**Period integrators**) και την τιμή του **αθροίσματος** της εκάστοτε μέτρησης στην **περίοδο (Irms)**, για να βρούμε την μέση τιμή **διαιρούμε** την τιμή του αθροίσματος με τον αριθμό των δειγμάτων. Επίσης σε αυτό το βήμα πολλαπλασιάζουμε τις δύο αυτές τιμές με την τιμή μετατροπής τους από διακριτή στάθμη σε ρεύματος και χρόνου, όπως, επίσης και ο μηδενισμός **αριθμών** των δειγμάτων.

Το επόμενο βήμα είναι ο υπολογισμός της **ισχύος** (φαινόμενης και ενεργής) από την μετρήσεις τον **ενεργειών** που ελήφθησαν από το **ADE7753**, επίσης σε αυτό το βήμα μετατρέπεται η τιμή της περιόδου (**Sec**) σε συχνότητα (**Hz**), όπως και ελέγχεται η ύπαρξη **υπερχείλισης** στις μετρήσεις ενέργειας από την τιμή της σημαίας υπερχειλίσεως.

Ο έλεγχος που ακολουθεί, ελέγχει αν η φαινόμενη ισχύς είναι ίση με ‘0’ ή εάν η φαινόμενη ισχύς είναι μικρότερη από την πραγματική. Η πιθανότητα να συμβεί αυτό το φαινόμενο είναι ελάχιστη στη μόνιμη κατάσταση, άλλα, εάν το φορτίο αλλάξει απότομα ή εάν η μέτρηση που πήραμε είναι σε μικρό χρονικό διάστημα μετά από την εκκίνηση της συσκευής, υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να συμβεί αυτό το φαινόμενο.

Στη περίπτωση που ο **έλεγχος** βγει **αληθής**, φορτώνουμε στην μεταβλητή του συντελεστή ισχύος η τιμή **0**, αλλιώς εκτελείται η πράξη υπολογισμού του συντελεστή ισχύος και φορτώνεται στην μεταβλητή του. Έκτοτε μετατρέπονται όλες οι μεταβλητές σε αλφαριθμητικές ακολουθίες για να μπορούν να αποσταλούν.

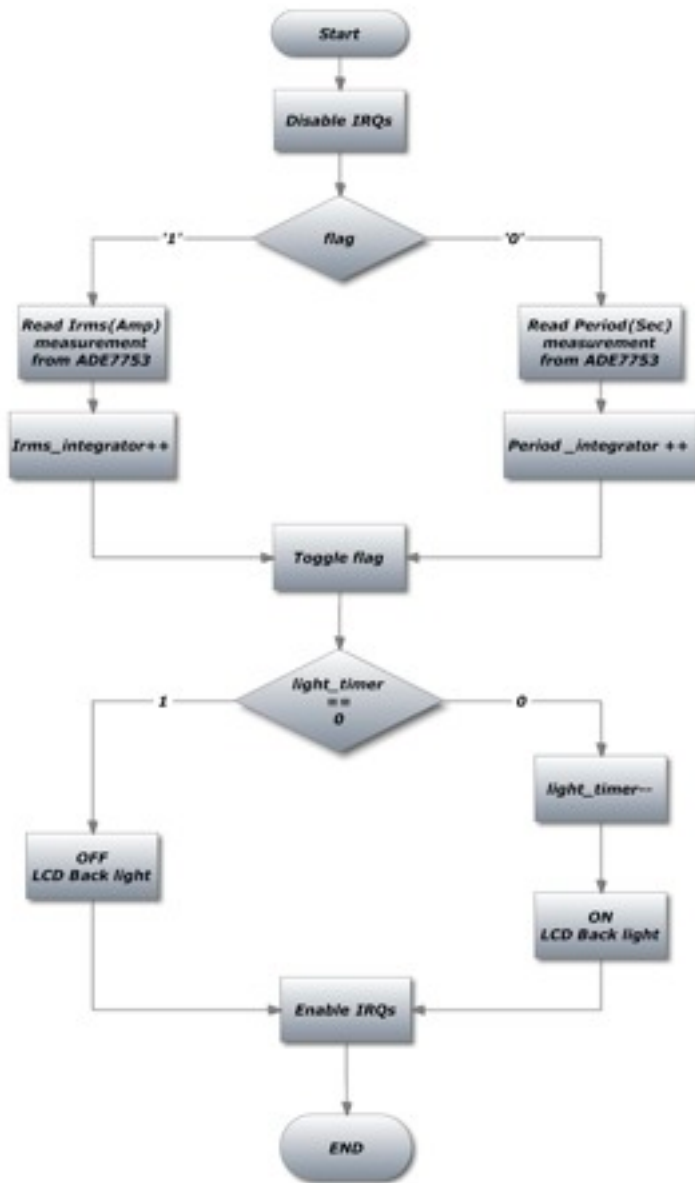
Η επόμενη ενέργεια όπου εκτελείται είναι η εκτύπωση των τιμών στην οθόνη **LCD** και η αποστολή αυτών στην μονάδα δικτύωσης. Ακολούθως ελέγχεται η σημαία “**Status**”, η σημαία αυτή δείχνει εάν η βαθμίδα δικτύωσης αποκρίνεται ορθά. Η σημαία “**Status**” τίθεται στο ‘0’ όταν εισερχόμαστε στο υπό-πρόγραμμα “**Calc\_and\_print**”, η σημαία αυτή ανήκει στις καθολικές μεταβλητές, άρα μπορεί να διαμορφωθεί από όλες τις συναρτήσεις, μετά από την αποστολή του αιτήματος ανάγνωσης της καταστάσεως (**Status request**) στην μονάδα δικτύωσης (**Ethernet Adapter**), εάν η μονάδα αποκρίνεται ορθά, μας απαντά με ένα μήνυμα επιβεβαίωσης “**Status=OK**”, όπου εάν η συνάρτηση που είναι υπεύθυνη για την λήψη μηνυμάτων ανίχνευση την προαναφερθείσα απάντηση θέτει και την σημαία στο ‘1’. Στην περίπτωση αυτή το διάγραμμα τερματίζεται και συνεπώς και το υπό-πρόγραμμα, διαφορετικά ο μικροελεγκτής επανεκκινείται, μέσω ανάλογων εντολών που αποστέλλονται στο περιφερειακό **Memory control** που βρίσκεται στο **Chip** του μικροελεγκτή **DS89C450**.



2.11.4 Διαγράμματα ροής για το υπό-πρόγραμμα “Calc\_and\_print”



## Τα υπό-προγράμματα διακοπών του κύριου μικροελεγκτή για το ADE7753



2.11.5 Το Διαγράμματα ροής για το υπό-πρόγραμμα διακοπής Περάσματος από την στάθμη των 0V (zx\_irq)

μετρητής είναι ίσος με τον αριθμό (0)dec τότε το αποτέλεσμα είναι ο **οπισθοφωτισμός** της οθόνης απενεργοποιείται, για να γίνει μια υποτυπώδης οικονομία στη κατανάλωση της συσκευής. Αλλιώς ο μετρητής μειώνεται κατά 1 και ο **οπισθοφωτισμός** της οθόνης ενεργοποιείται. Η τιμή που έχει επιλεγεί για τον μετρητή είναι (9000)dec, όπου εάν το πολλαπλασιάσουμε με την περίοδο του σήματος διακοπής **zx\_irq** (0.02 Sec) έχουμε τον χρόνο όπου μένει αναμμένος ο **οπισθοφωτισμός** να είναι **180 Sec** ή **3 Min**. Η μεταβλητή του μετρητή **light\_timer** φορτώνεται κατά την εκκίνηση της συσκευής ή επαναφορτώνεται με το πάτημα οποιουδήποτε πλήκτρου του πληκτρολογίου.

Μετά από τον έλεγχο και τις εργασίες που εκτελούνται σε αυτόν, ακολουθεί η επανενεργοποίηση των διακοπών και ο τερματισμός του διαγράμματος, που σημαίνει και τον τερματισμό του υπό-προγράμματος.

Στο σχήμα 2.11.5 παρουσιάζεται το υπό-πρόγραμμα για την διακοπή περάσματος από την στάθμη των 0V (zx\_irq). Η διακοπή **zx\_irq** όπως έχουμε προαναφέρει παράγεται από την μονάδα μέτρησης ενέργειας, περίπου κάθε **0.20 Sec (50Hz)**, δηλαδή μία ριπή για κάθε κύκλο της κυματομορφής τάσεως του ηλεκτρικού δικτύου.

Όπως παρατηρούμαι η πρώτη κίνηση μετά από την είσοδο στο υπό-πρόγραμμα είναι η απενεργοποίηση όλων των διακοπών. Έκτοτε ελέγχετε η **σημαία δρομολόγησης**. Εάν η σημαία είναι ίση με '1' τότε λαμβάνουμε μέτρηση ρεύματος ή εάν είναι '0' λαμβάνεται μέτρηση της περιόδου. Η εκάστοτε μέτρηση προστίθεται στην προηγούμενη μέτρηση και ανά πρόσθεση αυξάνει και ο εκάστοτε μετρητής δείγματος (**integrator**).

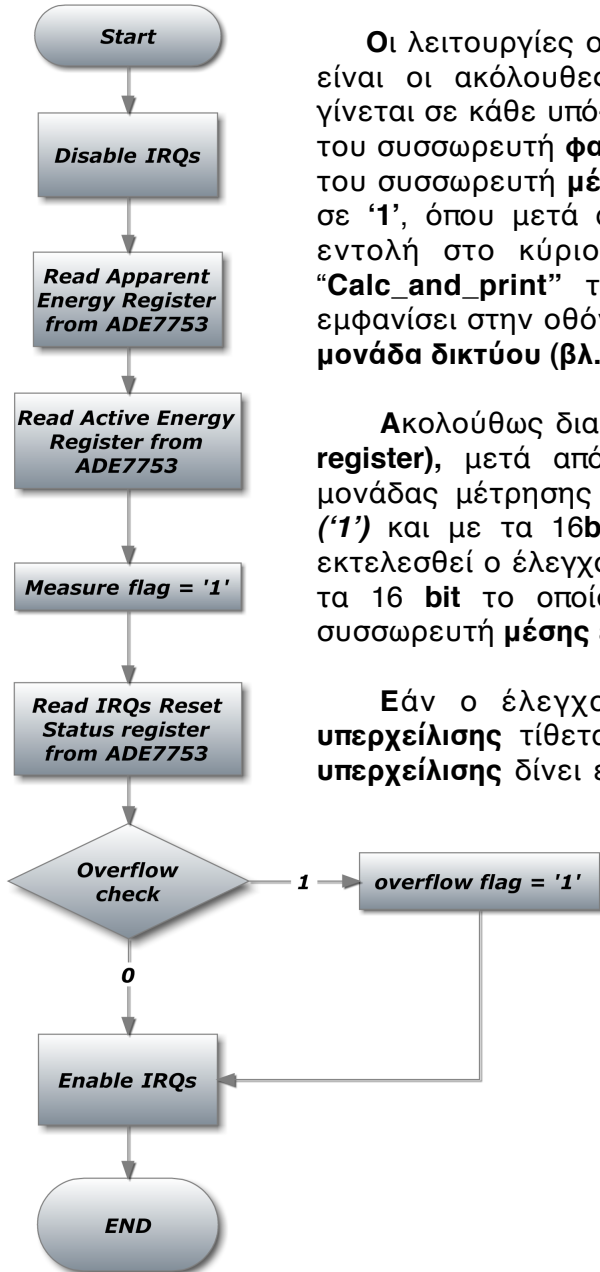
Μετά την λήψη της μέτρηση συμπληρώνεται η **σημαία δρομολόγησης**, για να επιλεγεί ο άλλος δρόμος στο επόμενο κάλεσμα του υπό-προγράμματος.

Η τεχνική αυτή χρησιμοποιήθηκε, διότι, εάν σε κάθε κάλεσμα του υπό-προγράμματος λαμβάνονταν και οι δύο μετρήσεις μαζί, θα είχαμε μεγάλη απώλεια στον αριθμό των μετρήσεων. Διότι, η εκάστοτε επικοινωνία λήψης μέτρησης χρειάζεται κοντά στα **30 msec** (λόγο των ολοκληρωμένων της απομόνωση που περιόρισαν το **baudrate** στο **1Kbps**), άρα **60 msec** για τις δύο μαζί.

Αυτό σημαίνει, ότι μέχρι ο μικροελεγκτής να πρόλαβε να τελειώσει με την επικοινωνία και συνεπώς με την λήψη των μετρήσεων, θα είχαν χαθεί **τρεις** μετρήσεις. Ενώ με την τεχνική που χρησιμοποιήθηκε η απώλεια μέτρησης είναι μόλις **μία**.

Ο έλεγχος ο οποίος ακολουθεί, ελέγχει τον μετρητή φωτισμού της οθόνης **LCD**, εάν ο

Στο σχήμα 2.11.6 παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής για το υπό-πρόγραμμα διακοπής του τερματισμού χρόνου ολοκλήρωσης. Η διακοπή τερματισμού χρόνου ολοκλήρωσης (**IRQ**) παράγεται από τη μονάδα μέτρηση της ενέργειας όταν μηδένιση ο προρυθμισμένος αριθμός παλμών ολοκλήρωσης την μονάδα του περάσματος από τα **0V**, όπου βρίσκεται στο **ADE7753**.



Οι λειτουργίες οι οποίες εκτελούνται σε αυτό το υπό - πρόγραμμα είναι οι ακόλουθες: **Απενεργοποίησης** όλων των διακοπών (όπως γίνεται σε κάθε υπό-πρόγραμμα διακοπής). **Ανάγνωση** του καταχωρητή του συσσωρευτή **φαινόμενης** ενέργειας όπως και του του καταχωρητή του συσσωρευτή **μέσης** ενέργειας. Η θέση της σημαίας "**Measure flag**" σε '1', όπου μετά από την έξοδο από το υπό-πρόγραμμα θα δώσει εντολή στο κύριο πρόγραμμα να εκτελέσει το υπό-πρόγραμμα "**Calc\_and\_print**" το οποίο θα υπολογίσει τις μετρήσεις θα τις εμφανίσει στην οθόνη της συσκευής, όπως και θα τις αποστέλλει στην **μονάδα δικτύου** (βλ. σελ. 52).

Ακολουθώς διαβάζεται ο καταχωρητής **RSTSTATUS (Reset Status register)**, μετά από την ανάγνωση το σήμα διακοπής (**~IRQ**) της μονάδας μέτρησης ενέργειας επανέρχεται στην κατάσταση ηρεμίας ('1') και με τα **16bit** όπου αναγνώστηκαν από τον καταχωρητή θα εκτελεσθεί ο έλεγχος υπερχειλίσης, στον οποίο θα ελεγχθεί το **7<sup>ο</sup>** από τα **16 bit** το οποίο μας δείξει εάν έχει συμβεί υπερχειλίση του συσσωρευτή **μέσης** ενέργειας (βλ. Πίν. 2.7.2).

Εάν ο έλεγχος της υπερχειλίσης είναι αληθής η **σημαία υπερχειλίσης** τίθεται στο '1' διαφορετικά τίθεται στο '0'. Η **σημαία υπερχειλίσης** δίνει εντολή στο υπό - πρόγραμμα "**Calc\_and\_print**" να μην κάνει κανένα υπολογισμό και να τυπώσει στην οθόνη μήνυμα υπερφόρτωσης.

Μετά από το πέρας όλων των προηγούμενων εργασιών του υπό-προγράμματος γίνεται **επανενεργοποίηση** όλων των διακοπών και το υπό-πρόγραμμα τερματίζει.

2.11.6 Το Διαγράμματα ροής για το υπό-πρόγραμμα διακοπής Τερματισμού χρόνου ολοκλήρωσης για τις μετρήσεις ενέργειας



## **Μονάδα δικτύωσης (Ethernet Adapter)**

Στο σχήμα 2.11.7 παρατηρούμε το σχηματικό διάγραμμα της μονάδας δικτύωσης. Η μονάδα αυτή απαρτίζεται από τον μικροελεγκτή **PIC16F1847 (Αντικαταστάτης του PIC16F88)**, διάφορα παθητικά εξαρτήματα, τον ακροδέκτη προγραμματισμού (**X1**), τον ακροδέκτη τροφοδοσίας και διασύνδεσης (**SV5**) με την μονάδα Επεξεργασίας και Απεικόνισης και τους ακροδέκτες σύνδεσης με το περιφερειακό (**Module**) **et-mini enc28j60** το οποίο βρίσκεται πάνω από την πλακέτα της μονάδας δικτύωσης.

Η μονάδα δικτύωσης συνδέεται με την μονάδα Επεξεργασίας και Απεικόνισης διαμέσου της ακιδοσειράς **SV5**, από εκεί τροφοδοτείται με **5V** η μονάδα και η επικοινωνία με την μονάδα Επεξεργασίας και Απεικόνισης υλοποιείται μέσω πρωτοκόλλου **UART**. Η πόρτα **UART** του μικροελεγκτή αυτής της μονάδας υλοποιείται μέσω προγράμματος, λόγο αυτού η πόρτα του δέκτη της επικοινωνίας έχει καλωδιωθεί με την εξωτερική διακοπή (**INT**) του μικροελεγκτή, η οποίος βρίσκεται στον 6<sup>ο</sup> ακροδέκτη του **CHIP**. Το εσωτερικό περιφερειακό σύγχρονης / ασύγχρονης επικοινωνίας (**USART**) του μικροελεγκτή **PIC16F1847** έχει χρησιμοποιηθεί για την επικοινωνία με το περιφερειακό **et-mini enc28j60**. Η οποία, υλοποιείται μέσω του πρωτοκόλλου **SPI**. Η σύνδεση με το περιφερειακό **et-mini enc28j60** γίνεται διαμέσου των ακιδοσειρών **SV1**, **SV2** και **SV3**.

Το **X1** είναι ένα βύσμα **DB9** το οποίο συνδέει τον μικροελεγκτή της μονάδας με υπολογιστή για τον προγραμματισμό της. Η σύνδεση για τον προγραμματισμό υλοποιείται μέσω του πρωτοκόλλου **JDM**, το οποίο εκμεταλλεύεται τις **UART** θύρες του υπολογιστή. Οι οποίες λόγω του πρωτοκόλλου **RS-232** το οποίο χρησιμοποιείται για την δικτύωση έχουν υψηλές τάσεις (**±12V**).

Από τις στάθμες υψηλής τάσεως χρησιμοποιούνται τα **+12V** για να δώσουν εντολή στον μικροελεγκτή να εισέλθει σε κατάσταση προγραμματισμού. Τα **+12V** παίρνονται από τον 3<sup>ο</sup> ακροδέκτη του **X1**, ο οποίος συνδέεται με την πόρτα εκπομπής δεδομένων (**TX**) του υπολογιστή.

Οι 4<sup>ος</sup> (**DTR**) και 8<sup>ος</sup> (**CTS**) ακροδέκτης του **X1** συνδέονται με τον 13<sup>ο</sup> (**PGD**) ακροδέκτη του **chip** του μικροελεγκτή, ο οποίος, κατά την διαδικασία του προγραμματισμού παίρνει την ιδιότητα την θήρας εισόδου εξόδου δεδομένων. Ο 7<sup>ος</sup> ακροδέκτης του **X1** συνδέεται με τον 12<sup>ο</sup> (**PGC**) του **chip** του μικροελεγκτή και έχει την ιδιότητα της θήρας εισόδου του ρολογιού.

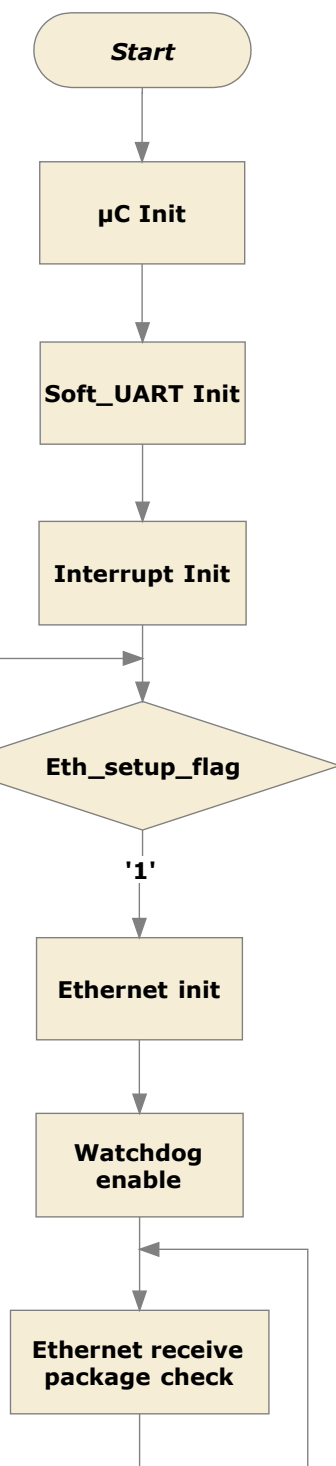
Οι αντιστάσεις **R1**, **R2**, **R3** χρησιμοποιούνται ως περιοριστές ρεύματος δίωτη η τάσης (**+12V**) στους ακροδέκτες προγραμματισμού όπου είναι μεγαλύτερες από την τάση τροφοδοσία (**+5V**) και η διαφορά αυτή μπορεί να καταστρέψει τις εσωτερικές διόδους τον **ESD** κυκλωμάτων του μικροελεγκτή. Η διάδος **D1** θέτει τον 4<sup>ο</sup> (**Vpp**) ακροδέκτη του μικροελεγκτή σε υψηλό δυναμικό όταν δεν βρίσκεται σε προγραμματισμό.

Οι πυκνωτές **C10** και **C2** επιτελούν τον σκοπό της απόζευξης και ο **C6** της εξομάλυνσης. Ο κρύσταλλος **Q1** είναι κομμένος στα **8MHz** και μαζί με τους πυκνωτές **C3** και **C4** σχηματίζουν την δεξαμενή για τον ταλαντωτή **Pierce** του μικροελεγκτή, ο οποίος οδηγεί το εσωτερικό **PLL** του **PIC16F1847** το οποίο πολλαπλασιάζει την συχνότητα του κρύσταλλο-ταλαντωτή τέσσερις (**4**) φορές και η συχνότητα ρολογιού του μικροελεγκτή γίνεται **32MHz**.

Η αντίσταση **R4** περιορίζει το ρεύμα του **LED1** το οποίο φωτοβολεί όταν η μονάδα δικτύωσης τροφοδοτείται. Τα **H1 - H4** είναι τέσσερις τρύπες για την στήριξης της μονάδας και επιπρόσθετα διασυνδέουν το πλέγμα εδάφους της πλακέτας με το σασί της συσκευής.



## Το κύριο πρόγραμμα του μικροελεγκτή της μονάδας δικτύου



Στο σχήμα 2.11.8 παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής του κύριου προγράμματος που εκτελεί ο μικροελεγκτής της μονάδας δικτύου. Όπως όλα τα διαγράμματα ροής ξεκινάει από ένα **οβάλ** σχήμα το οποίο γράφει στο εσωτερικό του “**START**” και δηλώνει την **αρχή** του διαγράμματος.

Ακολούθως γίνεται η αρχικοποίηση του **μικροελεγκτή**, στην οποία: **Απενεργοποιείται** ο εσωτερικός **ADC** και αρχικοποιούνται οι ακροδέκτες εισόδου / εξόδου, όπως και η γεννήτρια για την αναφορά της συχνότητας λειτουργία. Επίσης αρχικοποιούνται κάποιες σημαίες οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν στην μετέπειτα ροή του προγράμματος.

Η επόμενη εργασία είναι η παραμετροποίηση του υπο-προγράμματος της σειριακής επικοινωνίας. Στην παραμετροποίηση ρυθμίζεται το **baudrate** της σειριακή επικοινωνία και επίσης, επιλέγεται ο ακροδέκτης ο οποίος θα χρησιμοποιηθεί ως **πομπός (TX)** και ο ακροδέκτης οποίος θα χρησιμοποιηθεί ως **δέκτης (RX)** για την σειριακή επικοινωνία.

Ως επόμενη εργασία είναι η ενεργοποίηση των διακοπών.

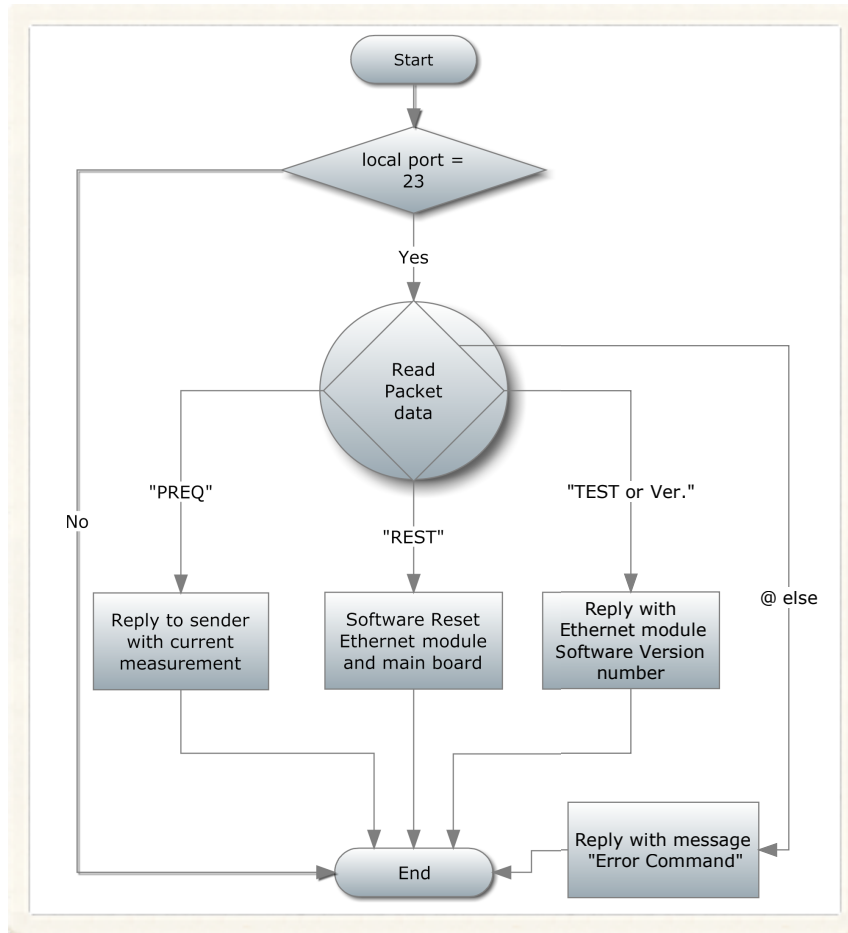
Ο μικροελεγκτής της μονάδας δικτύου **PIC16F1847** χρησιμοποιεί δύο διακοπές: την αίτηση διακοπής από την υπερχειλίση του πρώτου μετρητή (**TMRO**) και την αίτηση εξωτερικής διακοπής (**Ext INT**). Η αίτηση **εξωτερική διακοπής** έχει **καλωδιωθεί** με τον ακροδέκτη του **δέκτη (RX)** της σειριακή επικοινωνίας.

Ακολούθως, υπάρχει ένας βρόχος ελέγχου της σημαίας “**Eth\_setup\_flag**”. Σε κάθε ένα έλεγχο την σημαίας “**Eth\_setup\_flag**” που είναι **ψευδής** το πρόγραμμα αναμένει επανελέγχονται την σημαία “**Eth\_setup\_flag**”. Εάν ο έλεγχος της σημαίας είναι **αληθείς**, τότε, γίνεται αρχικοποίηση των συναρτήσεων δικτύου με της εκάστοτε **IP** διεύθυνση που δόθηκε στην μονάδα δικτύου. Επίσης αρχικοποιείται το περιφερειακό **et-mini enc28j60**.

Η επόμενη εργασία που εκτελείται είναι η αρχικοποίηση και ενεργοποίηση του **Watchdog timer**, ο οποίος είναι υπεύθυνος για την ανίχνευση οποιοδήποτε **κολλήματος** στην μετέπειτα ροή του προγράμματος.

Μετά από την ενεργοποίηση του **Watchdog timer** ακολουθεί ένας ατέρμονος βρόχος ο οποίος, ελέγχει εάν έχει **ληφθεί** οποιοδήποτε πακέτο από το δίκτυο και εάν **απευθύνεται** στην συγκεκριμένη μονάδα δικτύου.

2.11.8 Διάγραμμα ροής του κύριου προγράμματος της μονάδας δικτύου.



**2.11.9** Απλοποιημένο διάγραμμα ροής για το υπό-πλαίσιο “Ethernet receive packet check”

Στο διάγραμμα 2.11.9 παρουσιάζεται ένα διάγραμμα ροής, το οποίο δείχνει απλουστευμένα τις διαδικασίες που γίνονται κατά την εκτέλεση του βρόχου ελέγχου λήψης πακέτων δεδομένων από το δίκτυο **Ethernet**.

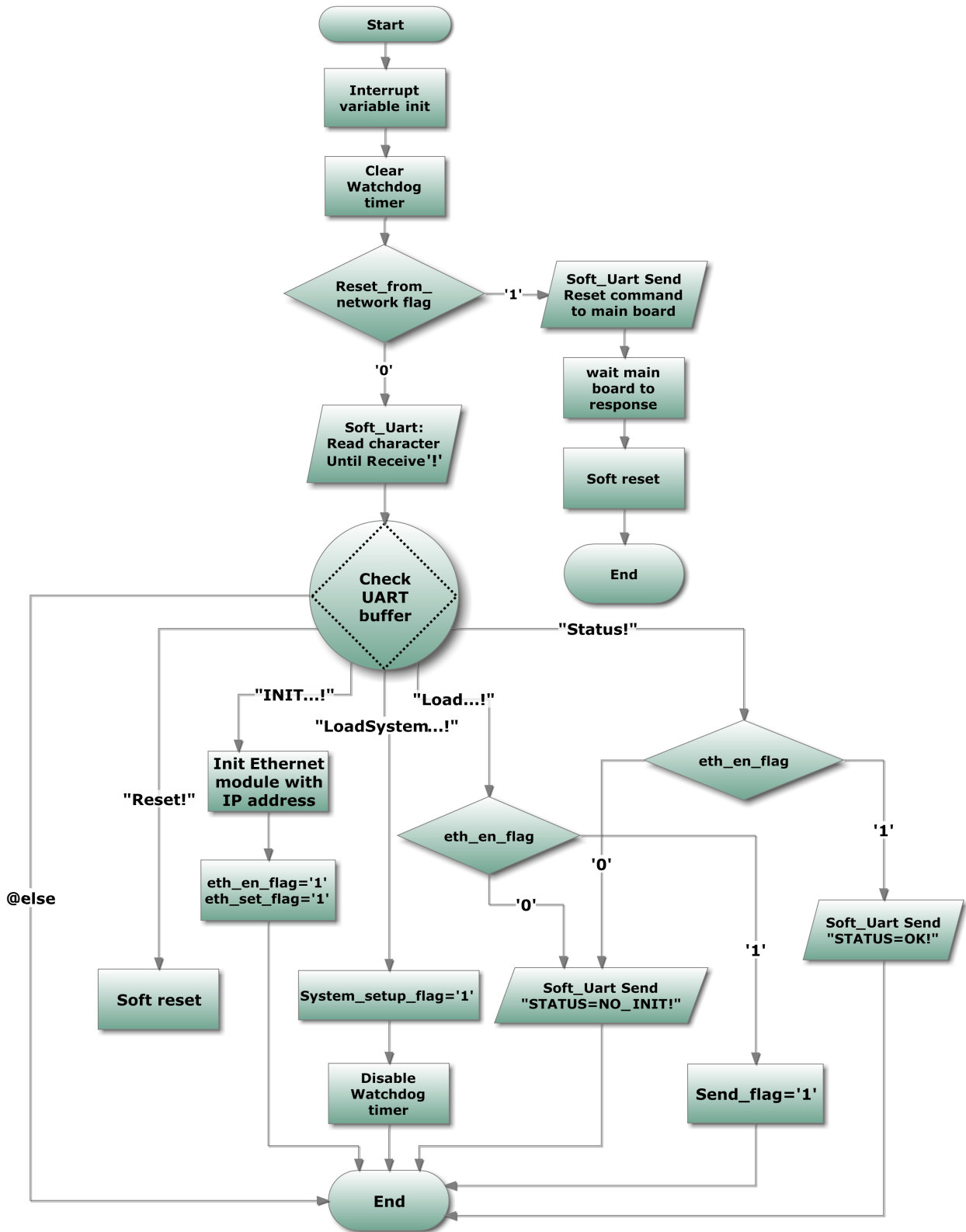
Ο πρώτος έλεγχος που εκτελείται, απευθύνεται στην **τοπική TCP πόρτα επικοινωνίας** της συσκευής. Εάν ληφθούν πακέτα που απευθύνονται σε οποιαδήποτε άλλη πόρτα εκτός από την πόρτα **23 (Telnet) απορρίπτονται**.

Έπειτα αναγνώνεται και ελέγχεται ο **buffer** του περιφερειακού **chip “enc28j60”**. Εάν μέσα στα περιεχόμενα του, εμφανιστεί κάποια από τις προκαθορισμένες εντολές **δικτυακής λειτουργίας** της συσκευής τότε, αυτή θα αποκριθεί ανάλογα.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι εντολές δικτυακού ελέγχου και λειτουργίας της μονάδας δικτύου.

Εντολή	Μνημονικό	Απάντηση	Επεξήγηση
Power Request	PREQ	MEASURE :WATT, VA, AMP, HZ, PF!	Με την εντολή αυτή η μονάδα δικτύου απαντάει με την τελευταία μέτρηση που έλαβα από την μονάδα επεξεργασίας.
Reset	REST	OK	Με την εντολή αυτή η μονάδα δικτύου στέλνει οδηγία επανεκκίνησης στην μονάδα επεξεργασίας
Test of Version	TEST , VER.	“Version N°”	Με την εντολή αυτή η μονάδα δικτύου απαντάει με την έκδοση του υλικολογισμικού ( <b>firmware</b> )

## Το υπό-πρόγραμμα διαχείρισης διακοπής του μικροελεγκτή της μονάδας δικτύου



2.11.10 Διάγραμμα ροής του προγράμματος διακοπών της μονάδας δικτύου.



Στο διάγραμμα 2.11.10 παρουσιάζεται η ροή του προγράμματος διαχείρισης διακοπών όπου εκτελείται στον μικροελεγκτή της μονάδας δικτύου.

Για να εκτελέσει ο μικροελεγκτής το πρόγραμμα διαχείρισης διακοπών θα πρέπει να συμβεί εξαίρεση (**exception**) υλικού. Εξαίρεση συμβαίνει όταν ο **κύριος μικροελεγκτής** προσπαθεί να επικοινωνήσει με την μονάδα δικτύου ή όταν έρχεται εντολή επανεκκίνησης από τον απομακρυσμένο υπολογιστή μέσω δίκτυο με χρήση της υπερχειλίσις του πρώτου μετρητή (**TMR0**).

Με την είσοδο στο υπο-πρόγραμμα, γίνεται απενεργοποίηση των δίοπων και αρχικοποίηση μεταβλητών που χρειάζονται στην μετέπειτα ροή του προγράμματος. Έπειτα μηδενίζεται ο μετρητής **watchdog** και ελέγχεται η σημαία **Reset\_from\_network**, εάν είναι ίση με '1' σημαίνει ότι έχει συμβεί **εξαίρεση** με εντολή επανεκκίνησης από το δίκτυο. Έτσι ο μικροελεγκτής της μονάδας δικτύου στέλνει εντολή **επανεκκίνησης** στο κύριο μικροελεγκτή και περιμένει να ανταποκριθεί, ώστε να επανεκκινείται και ο ίδιος. Εάν όμως η σημαία **Reset\_from\_network** είναι ίση με '0' τότε έχουμε **εξαίρεση υλικού**, οπότε γίνεται ανάγνωση και αποθήκευση των χαρακτήρων που εκπέμπει ο κύριος μικροελεγκτής έως ότου ληφθεί ο χαρακτήρας "!" που σημαίνει και το τέλος του μηνύματος.

Με το πέρας της λήψης γίνεται αποκωδικοποίηση του μηνύματος, Εάν το μήνυμα δεν αντιστοιχεί σε κάποια εντολή, τότε το υπό-πρόγραμμα επανενεργοποιεί τις διακοπές και τερματίζεται.

Στον πίνακα που ακολουθεί δίνεται το σύνολο με τις εντολές σειριακής της μονάδας δικτύου.

Μνημονικό	Σύνταξη	Επεξήγηση
Init	INITxxx.xxx.xxx.xxx!	Εντολή για την αρχικοποίηση της διεύθυνσης IP της μονάδας δικτύου
Load	LOADWatt,VA,AMP,HZ,PF!	Εντολή καταχώρησης μετρήσεων στην μονάδα δικτύου
Status	STATUS!	Εντολή ερώτησης για την κατάσταση της μονάδας
Load System	LOADSYSTEM!	Εντολή για αποστολή μηνύματος εγκατάστασης
Reset	RESET!	Εντολή επανεκκίνησης της μονάδας δικτύου

**Init:** Η εντολή αυτή αρχικοποιεί την διεύθυνση **IP** της μονάδας δικτύου μέσω της οποίας επικοινωνεί στο δίκτυο **Ethernet** στο οποίο και θα επικοινωνεί. Μετά από την λήψη και την αρχικοποίηση της διεύθυνσης **IP**, οι σημαίες **eth\_en\_flag** και **eth\_set\_flag** παίρνουν την τιμή '1'.

**Load:** Εντολή καταχώρησης των επεξεργασμένων μετρήσεων που ελήφθησαν από το επίπεδο μέτρησης της συσκευής. Τα δεδομένα εκπέμπονται όπως λαμβάνονται, δηλαδή με την ίδια σειρά. Στην περίπτωση που η εντολή "**Load**" εκπεμφθεί πριν από την εντολή **Init** ο μικροελεγκτής της μονάδας δικτύου απαντάει με το μήνυμα κατάστασης "**STATUS=NO\_INIT**". Εάν έχει προϋπάρξει αρχικοποίηση τότε η σημαία **Send\_flag** παίρνει τιμή '1'.

**Status:** Με την εντολή αυτή λαμβάνουμε μήνυμα κατάστασης από τον μικροελεγκτή της μονάδας δικτύου, το οποίο μας πληροφορεί εάν έχει γίνει αρχικοποίηση της διεύθυνσης **IP** της μονάδας.

**Load System:** Η εντολή αυτή εκπέμπετε από τον κύριο μικροελεγκτή όταν βρίσκεται στο υπο-πρόγραμμα **Menu**, για να πληροφορήσει τον απομακρυσμένο υπολογιστή ότι προσπαθεί να πάρει μέτρηση μέσω του δικτύου ότι η συσκευή βρίσκεται σε κατάσταση παραμετροποίησης.

**Reset:** Με την εντολή αυτή η μονάδα δικτύου εκτελεί διαδικασία επανεκκίνησης όλων των μονάδων της συσκευής.



## 2.12 Σύνοψη του 2<sup>ου</sup> Κεφαλαίου

Στο κεφάλαιο 2 είδαμε:

- Τους αισθητήρες ρεύματος.
- Το **ADE7753** και τις εσωτερικές βαθμίδες που το απαρτίζουν.
- Το πρωτόκολλο επικοινωνίας **SPI** και πώς προσαρμόστηκε στην εφαρμογή μας.
- Την χρησιμότητα της απομόνωσης και διάφορους τρόπους επίτευξης της.
- Τις μονάδες του κάτω και του πάνω επιπέδου της συσκευής μας.
- Τους τρόπους σχεδίασης της συσκευής μας.
- Τα διαγράμματα ροής των κύριων προγράμματα και των προγραμμάτων διακοπής που εκτελούνται στου μικροελεγκτές της συσκευής μας.



**Θεωρία είναι αυτό που ξέρεις τα πάντα, αλλά τίποτα δεν δουλεύει.**

**Πράξη είναι αυτό που δουλεύουν όλα, αλλά δεν μπορείς να εξηγήσεις το γιατί.**

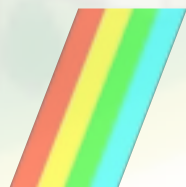
(Άγνωστος συγγραφέας)

Public Network



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

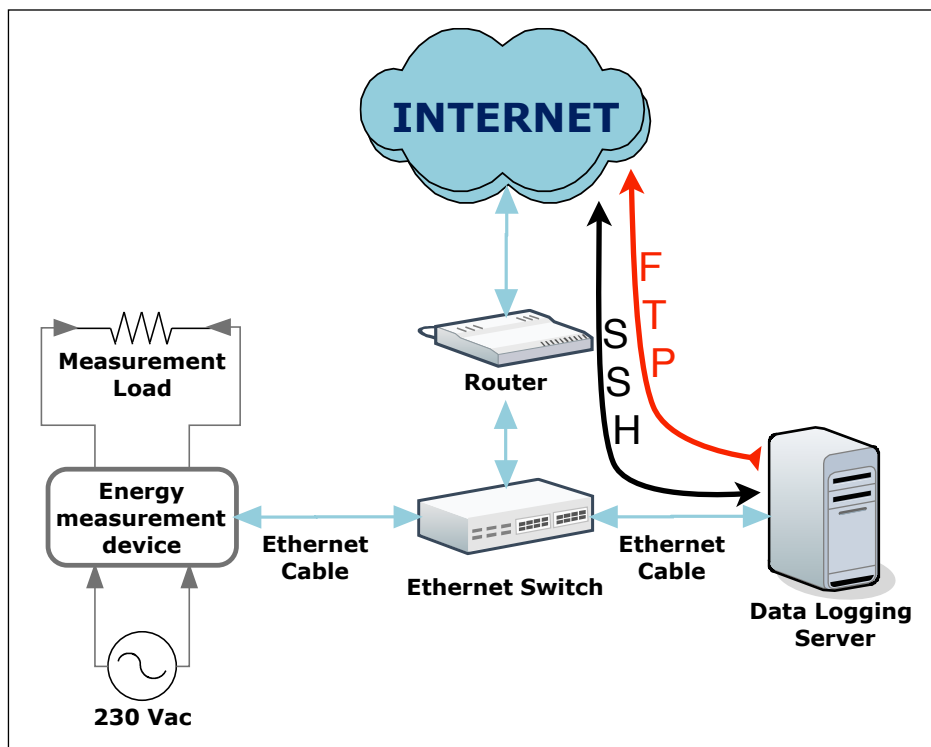
Σε αυτό το κεφάλαιο θα δούμε εφαρμογές τηλεμετρίας του επιτηρητή μέτρησης ηλεκτρικής ισχύος



### 3.1 Περιγραφή της διαδικασίας καταγραφής

Θέλοντας να καταγράψουμε τις μετρήσεις της συσκευής μας, χρειάστηκε να υλοποιήσουμε μια μονάδα η οποία θα παρέχει την δυνατότητα της απομακρυσμένης επικοινωνίας με τον επιτηρητή, καθώς και της αποθήκευσης των μετρήσεων του. Η μονάδα, η οποία, χρησιμοποιήθηκε στην περίπτωση μας ήταν ένας υπολογιστής ως εξυπηρετητής καταγραφής (**Data logging server**) συνδεδεμένος σε κοινό μεταγωγέα (**Ethernet Switch**) με τον επιτηρητή. Προκειμένου να υποστηρίζεται η δυνατότητα διασύνδεσης του επιτηρητή με το **διαδίκτυο** θα πρέπει να παρέχεται και ένας δρομολογητής (**Router**) συνδεδεμένος στον ίδιο μεταγωγέα με δυνατότητα **NAT (Network Address Translation)**.

Όλα το προαναφερθέντα περιγράφονται στο σχήμα 3.1.1



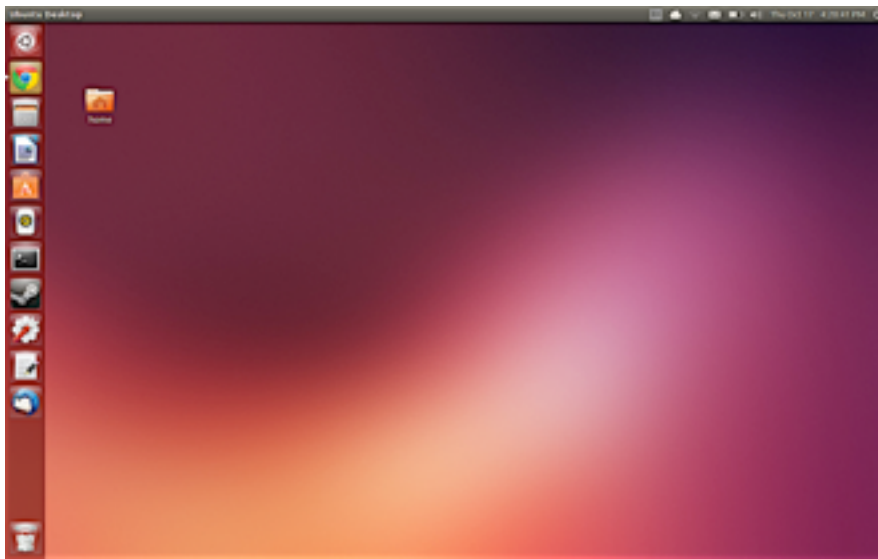
Σχήμα 3.1.1 Περιγραφή της διασύνδεσης - δικτύωσης του επιτηρητή

Η εργασία που εκτελείται στον εξυπηρετητή είναι κατά **τακτά χρονικά διαστήματα** να αποστέλλει **αίτημα λήψης μέτρησης** προς τον επιτηρητή και η απάντηση που θα λαμβάνεται από τον επιτηρητή να καταγράφεται σε ένα **προσωρινό αρχείο**. Στο πέρας μιας μέρας μετρήσεων, το προσωρινό αρχείο περνά από **φίλτρο κειμένου** και αποθηκεύεται με **όνομα αρχείου** την **ημερομηνία της μέρας** που δημιουργήθηκε. Επίσης, ο εξυπηρετητής παρέχει υπηρεσία απομακρυσμένης πρόσβασης μέσω πρωτοκόλλου **SSH** για την παραμετροποίηση του και υπηρεσία μεταφοράς αρχείων μέσω του πρωτοκόλλου **FTP** για να παρέχεται πρόσβαση στα αρχεία των μετρήσεων από οπουδήποτε.



Ο εξυπηρετητής καταγραφής είναι ένας υπολογιστής όπου χρειάζεται λειτουργικό σύστημα για να μπορεί να διαχειρίζεται τον δίσκο και να παρέχει υπηρεσίες. Στην περίπτωση μας διαλέξαμε το ελεύθερο λειτουργικό **Ubuntu GNU/Linux** που είναι βασισμένο στο **Debian GNU/Linux**.

Το **Ubuntu GNU-linux** παρέχει γραφικό περιβάλλον (**Εικόνα 1**) για να διευκολύνει τον χρήστη. Στην περίπτωση μας, ωστόσο δεν χρησιμοποιήθηκε Εφόσον όλες οι εφαρμογές και οι υπηρεσίες οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν προτιμήθηκε να εκτελεστούν μέσω τερματικού.



**Εικόνα 1** Γραφικό περιβάλλον τύπου **GNOME** του λειτουργικού **Ubuntu GNU-linux V12.4**

Μία από τις βασικές λειτουργίες του **Ubuntu** που χρησιμοποιήθηκαν στην υλοποίηση του εξυπηρετητή καταγραφής ήταν το **Cron**. Πρόκειται για ένα **εργαλείο χρονο-προγραμματισμού** στο **παρασκήνιο**. Η παραμετροποίηση που έγινε σε αυτό το εργαλείο ήταν να εκτελεί διαδικασία σύνδεσης με τον επιτηρητή ανά **5 λεπτά** και να αποθηκεύει τις μετρήσεις **2 λεπτά** μετά το πέρας ενός πλήρους **24ώρου**.

Όλες οι διαδικασίες που εκτελούνται στον εξυπηρετητή έχουν γραφτεί σε γλώσσα **Unix shell script**, εκτός από το φίλτρο κειμένου που γράφτηκε σε **C**.

Για την απομακρυσμένη πρόσβαση χρησιμοποιήθηκε η υπηρεσίας **SSH**. Ενώ για την μεταφορά αρχείων χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή **svftpd** η οποία είναι ένας εξυπηρετητής μεταφοράς αρχείων με πολλές δυνατότητες, γραμμένος για **UNIX** και **GNU-Linux**.

## 3.2 Οι μηχανισμοί του συστήματος καταγραφής

Όπως έχει προαναφερθεί, ο εξυπηρετητής καταγραφής αποστέλλει αίτημα λήψης μέτρησης ανά τακτά χρονικά διαστήματα στον επιτηρητή. Η συχνότητα των αιτημάτων και οι εργασίες που τα ακολουθούν χρονίζονται από τον δαίμονα **cron**.

Η παραμετροποίηση του **cron** γίνεται από το τερματικό του λειτουργικού συστήματος, εφόσον έχουμε περάσει σε κατάσταση διαχειριστή (**superuser**) καλώντας την εφαρμογή **crontab** με παράμετρο **-e** (**Εικόνα 2**). Έπειτα ξεκινά ο κειμενογράφος έχοντας ανοικτό το αρχείο παραμετροποίησης των χρονοδιεργασιών του **cron** (**Εικόνα 3**).

```

root@ubuntu: /home/savvas -- ssh -- 80x24
savvas@ubuntu:~$ sudo su
[sudo] password for savvas:
root@ubuntu: /home/savvas# crontab -e
    
```

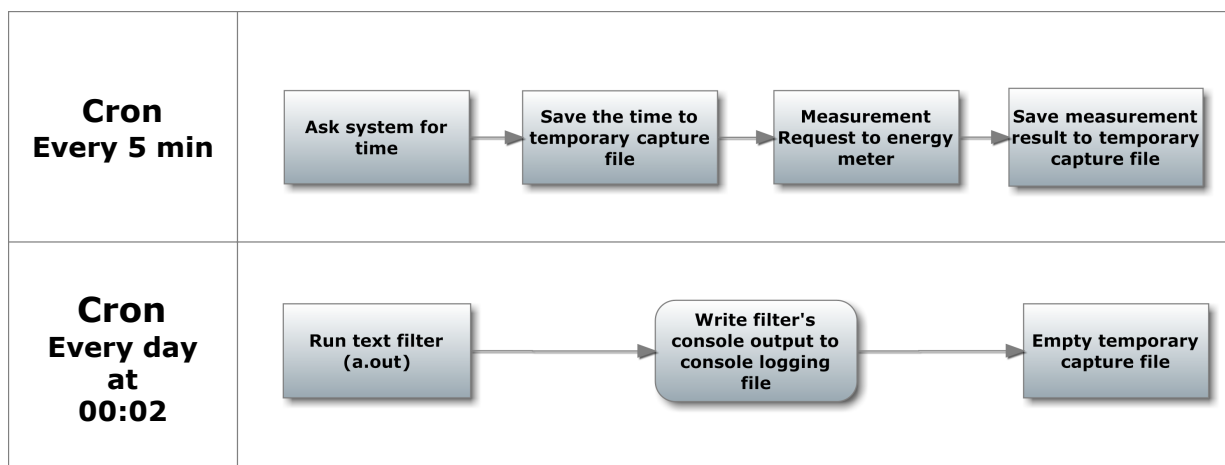
**Εικόνα 2**

```

GNU nano 2.2.6 File: /tmp/crontab.P11ksU/crontab
# minute hour day_of_month month day_of_week user command
*/5 * * * * /home/savvas/Desktop/script_time >> /home/savvas/Desktop/capture
*/5 * * * * /home/savvas/Desktop/script >> /home/savvas/Desktop/capture
@2 @0 * * * * /home/savvas/Desktop/script2
    
```

**Εικόνα 3**

Στον ακόλουθο πίνακα υπάρχουν δύο διαγράμματα λειτουργίας, που επεξηγούν τις λειτουργίες που εκτελεί ο **cron** στα προκαθορισμένα χρονοδιαστήματα.

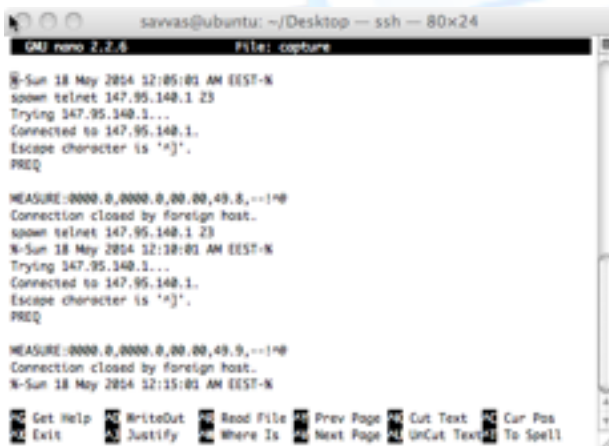


**3.2.1 Πίνακας χρονολειτουργιών δαίμονα Cron**

## Το φίλτρο κείμενου

Στην υλοποίηση του συστήματος καταγραφής παρατηρήθηκε ένα πρόβλημα στην επεξεργασία των δεδομένων. Το πρόβλημα ήταν ότι τα αρχεία τα οποία αποθηκεύονταν δεν είχαν μια τακτική δομή έτσι ώστε να μπορούν να εισαχθούν ως πίνακας σε οποιοδήποτε πρόγραμμα επεξεργασίας δεδομένων και παραγωγής γραφημάτων. Η λύση η οποία δόθηκε σε αυτό το πρόβλημα ήταν η κατασκευή ενός φίλτρου κειμένου. Το οποίο, καθάριζε το αποθηκευμένο αρχείο με της μετρήσεις ενός 24ώρου από τα άχρηστα στοιχεία και το στοίχιζε διαχωρίζοντας της μέτρησης με κόμματα (,), έτσι ώστε να είναι εύκολη η εισαγωγή του σε προγράμματα επεξεργασίας. Επίσης το φίλτρο ήταν υπεύθυνο και για το όνομα του αρχείου όπως και για την αποθήκευση του.

Για να κατανοήσουμε καλύτερα τη λειτουργία του φίλτρου ας παρατηρήσουμε της ακόλουθες εικόνες.

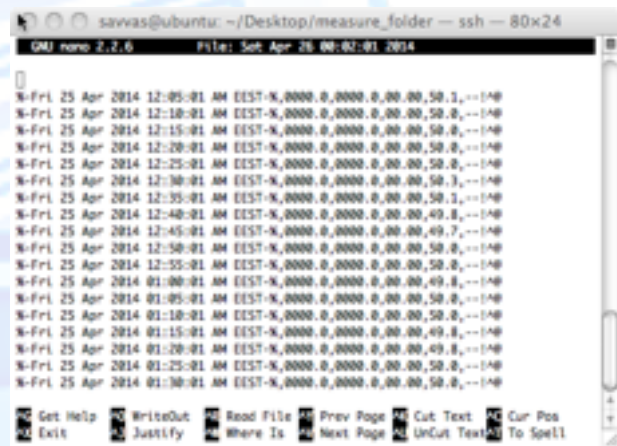


```
savvas@ubuntu: ~/Desktop -- ssh -- 80x24
GNU nano 2.2.6 File: capture
Sun 18 May 2014 12:05:01 AM EEST-N
spawn telnet 147.95.148.1 23
Trying 147.95.148.1...
Connected to 147.95.148.1.
Escape character is '^]'.
PREQ

MEASURE:0000.0,0000.0,00.00,49.8,--1#
Connection closed by foreign host.
spawn telnet 147.95.148.1 23
N-Sun 18 May 2014 12:18:01 AM EEST-N
Trying 147.95.148.1...
Connected to 147.95.148.1.
Escape character is '^]'.
PREQ

MEASURE:0000.0,0000.0,00.00,49.9,--1#
Connection closed by foreign host.
N-Sun 18 May 2014 12:15:01 AM EEST-N
```

**Εικόνα 4**



```
savvas@ubuntu: ~/Desktop/measure_folder -- ssh -- 80x24
GNU nano 2.2.6 File: Sat Apr 26 00:02:01 2014
N-Fri 25 Apr 2014 12:05:01 AM EEST-N,0000.0,0000.0,00.00,50.1,--1#
N-Fri 25 Apr 2014 12:10:01 AM EEST-N,0000.0,0000.0,00.00,50.0,--1#
N-Fri 25 Apr 2014 12:15:01 AM EEST-N,0000.0,0000.0,00.00,50.0,--1#
N-Fri 25 Apr 2014 12:20:01 AM EEST-N,0000.0,0000.0,00.00,50.0,--1#
N-Fri 25 Apr 2014 12:25:01 AM EEST-N,0000.0,0000.0,00.00,50.3,--1#
N-Fri 25 Apr 2014 12:30:01 AM EEST-N,0000.0,0000.0,00.00,50.1,--1#
N-Fri 25 Apr 2014 12:35:01 AM EEST-N,0000.0,0000.0,00.00,50.1,--1#
N-Fri 25 Apr 2014 12:40:01 AM EEST-N,0000.0,0000.0,00.00,49.8,--1#
N-Fri 25 Apr 2014 12:45:01 AM EEST-N,0000.0,0000.0,00.00,49.7,--1#
N-Fri 25 Apr 2014 12:50:01 AM EEST-N,0000.0,0000.0,00.00,50.0,--1#
N-Fri 25 Apr 2014 12:55:01 AM EEST-N,0000.0,0000.0,00.00,50.0,--1#
N-Fri 25 Apr 2014 01:00:01 AM EEST-N,0000.0,0000.0,00.00,49.8,--1#
N-Fri 25 Apr 2014 01:05:01 AM EEST-N,0000.0,0000.0,00.00,50.0,--1#
N-Fri 25 Apr 2014 01:10:01 AM EEST-N,0000.0,0000.0,00.00,50.0,--1#
N-Fri 25 Apr 2014 01:15:01 AM EEST-N,0000.0,0000.0,00.00,49.8,--1#
N-Fri 25 Apr 2014 01:20:01 AM EEST-N,0000.0,0000.0,00.00,49.8,--1#
N-Fri 25 Apr 2014 01:25:01 AM EEST-N,0000.0,0000.0,00.00,50.0,--1#
N-Fri 25 Apr 2014 01:30:01 AM EEST-N,0000.0,0000.0,00.00,50.0,--1#
```

**Εικόνα 5**

Στην **εικόνα 4** βλέπουμε τα περιεχόμενα του προσωρινού αρχείου καταγραφής. Όπως παρατηρούμε στα περιεχόμενα υπάρχουν οι χρήσιμες πληροφορίες των μετρήσεων όπως και της ημερομηνίας και ώρας. Αλλά και διάφορες περιττές πληροφορίες, όπως η προσπάθεια σύνδεσης με την δικτυακή συσκευή του επιτηρητή και διάφορες άλλες καταγραφές. Μετά το φιλτράρισμα των δεδομένων από το φίλτρο κειμένου το αποτέλεσμα που έχουμε είναι αυτό που παρουσιάζεται στην **Εικόνα 5**. Δηλαδή ένα πίνακα μετρήσεων, τον οποίο μπορούμε να επεξεργαστούμε και να συμπεράνουμε τα χαρακτηριστικά του μετρούμενου φορτίου.

### 3.3 1<sup>η</sup> Εφαρμογή

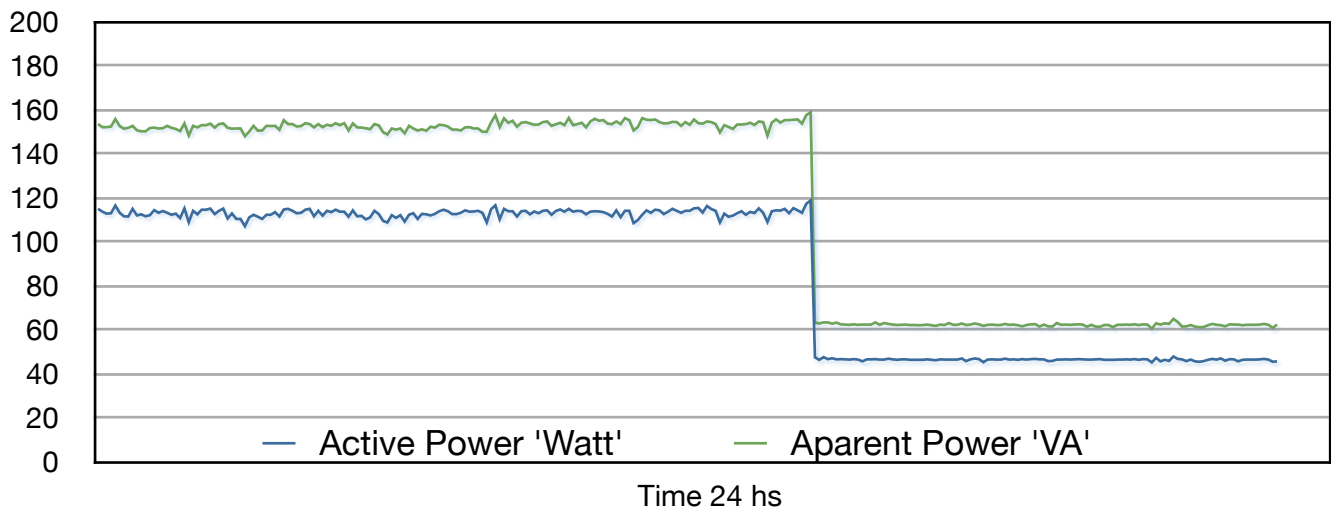
Η πρώτη εφαρμογή του επιτηρητή ήταν η παρατήρηση της κατανάλωσης του **Data/server Room** της Σχολής εφαρμοσμένων επιστημών ΤΕΙ Κρήτης.

Στην προσπάθειά μας να μετρήσουμε, χωρίσαμε τις καταναλώσεις σε τρεις περιοχές.

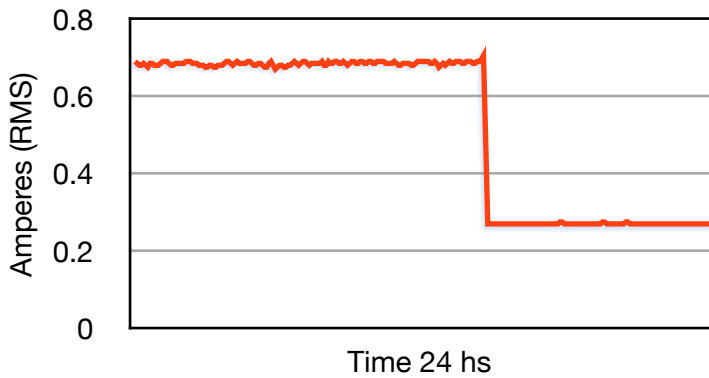
Ο Διαχωρισμός έγινε από την τοπογραφική θέση του εξοπλισμού μέσα στον χώρο του **Data/server Room**.

Η μέτρηση του **Data/server Room** κράτησε **6 μήνες** από τις **20 Μαρτίου** έως τις **15 Σεπτεμβρίου 2013**. Από το σύνολο των μετρήσεων επιλέχθηκε η ημερομηνία **5 Απριλίου** όπου διακρίνεται απότομη μεταβολή στις μέτρησης. Η μεταβολή αυτή οφείλεται στην μεταγωγή του επιτηρητή από τους δικτυακούς μεταγωγείς (**Switches**) στους εξυπηρετητές της σχολής. Η μεταγωγή έγινε στις **7:20 μμ**.

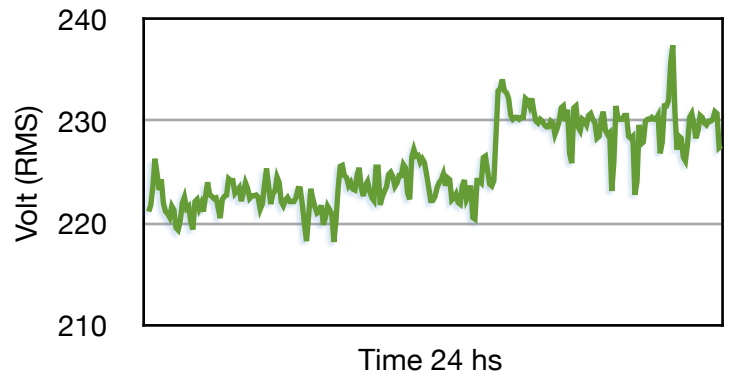
**Active and Apparent Power**



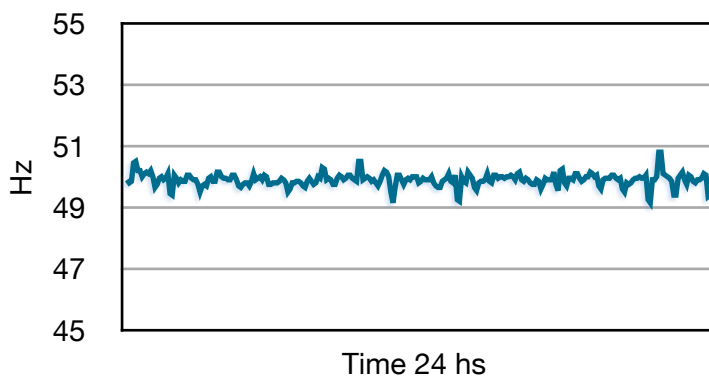
**Amperage**



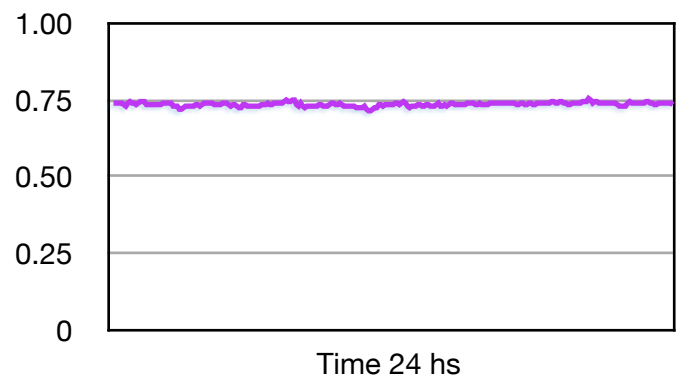
**Voltage**



**Frequency**



**Power factor**

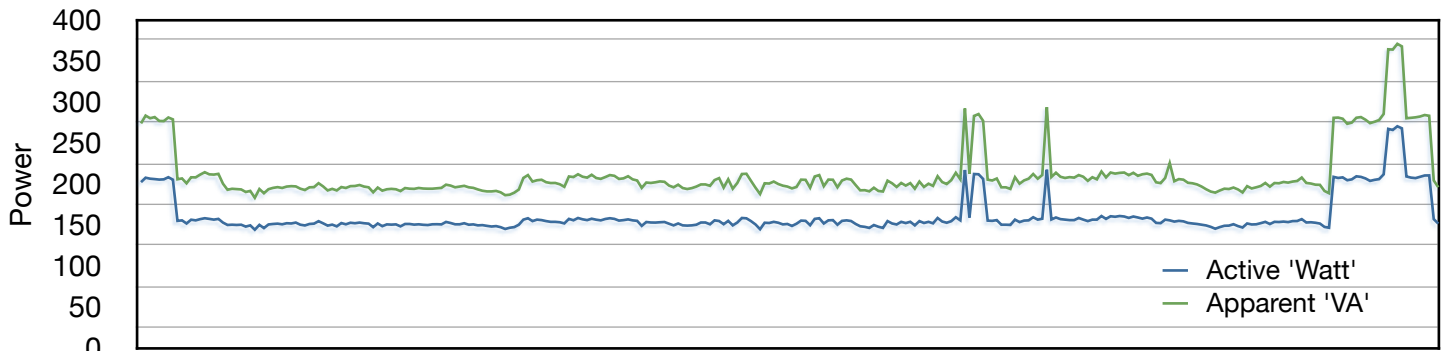


### 3.3 2<sup>η</sup> Εφαρμογή

Η δεύτερη εφαρμογή του επιτηρητή ήταν η παρατήρηση των μόνιμων καταναλώσεων ενός σπιτιού.

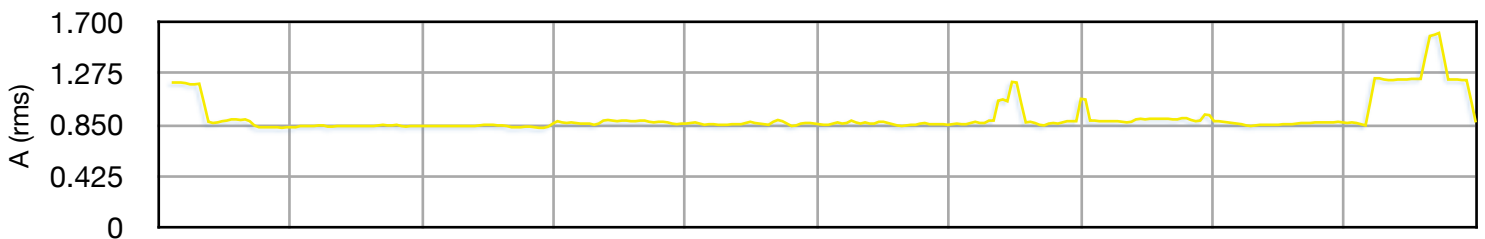
Ο λόγος που χρησιμοποιήθηκε ο επιτηρητής, ήταν να γίνει μια λεπτομερής καταμέτρηση με ακρίβεια του **1 Watt** για μικρές μόνιμες καταναλώσεις ηλεκτρονικών συσκευών και εντοπισμό ενδεχόμενων απωλειών.

**Active and Apparent Power**



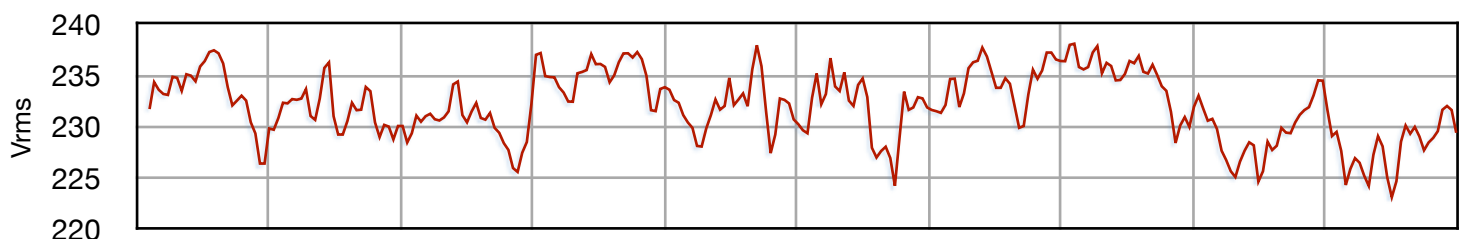
Time 24 hs

**Current**



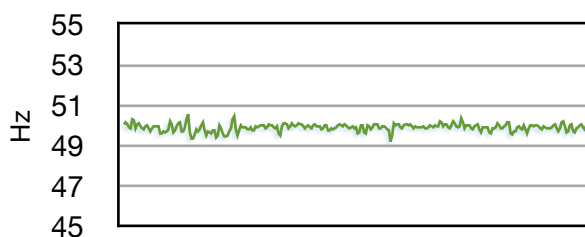
Time 24 hs

**Voltage**



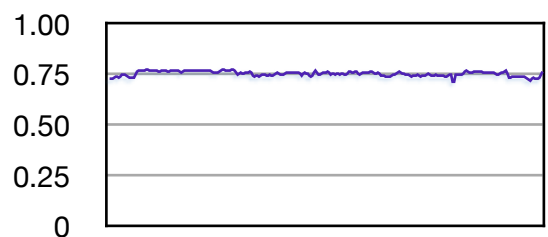
Time 24 hs

**Frequency**



Time 24 hs

**Power Factor**



Time 24 hs

Στις περισσότερες συσκευές οι μετρήσεις έδειξαν να συμφωνούμε με τις ονομαστικές τιμές. Σε κάποιες άλλες αναγνωρίστηκαν αποκλίσεις από τις ονομαστικές τιμές και τέλος για κάποιες άλλες διαπιστώθηκε ότι έχουν μεγαλύτερη κατανάλωση από την αναμενόμενη.

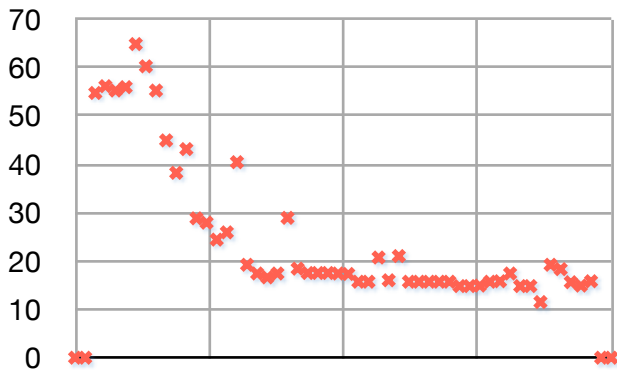


### 3.4 3<sup>η</sup> Εφαρμογή

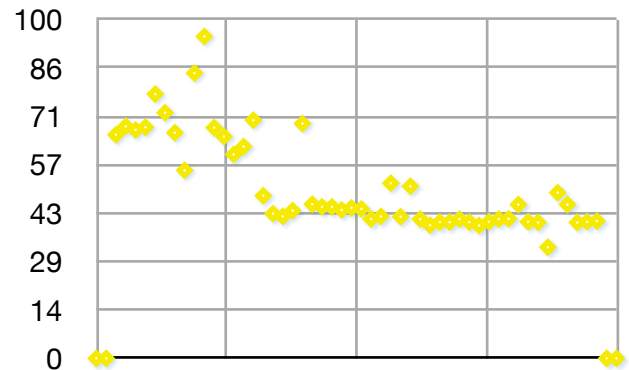
Η μέτρηση ενός κυριολεκτικά απρόβλεπτου φορτίου ήταν η τρίτη εφαρμογή του επιτηρητή. Στην περίπτωση αυτή, η παροχή ενέργειας του επιτηρητή διατίθετο χωρίς κάποια προηγούμενη γνώση των απαιτήσεων ισχύος των διασυνδεδεμένων συσκευών.

Η τρίτη εφαρμογή κατ' ουσία δεν αποτελούσε πείραμα, αλλά παρουσίαση του επιτηρητή στο πολυθεματικό τριήμερο του **ΤΕΙ Κρήτης** στο **Μεγάλο Αρσενάλι Χανίων**. Έτσι μας δόθηκε η ευκαιρία να δοκιμάσουμε τον επιτηρητή σε πραγματικές συνθήκες και επίσης να παρακολουθήσουμε την συμπεριφορά του σε απότομες μεταβολές φορτίου.

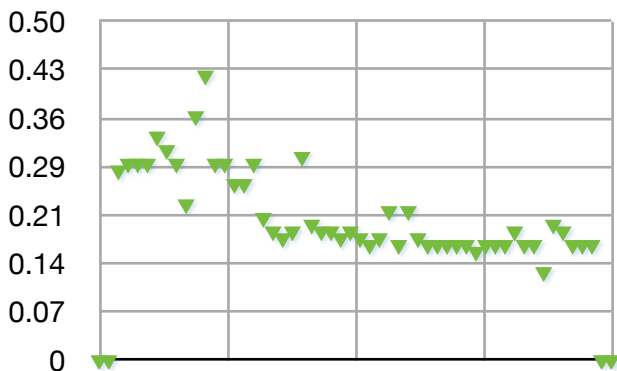
“Watt”



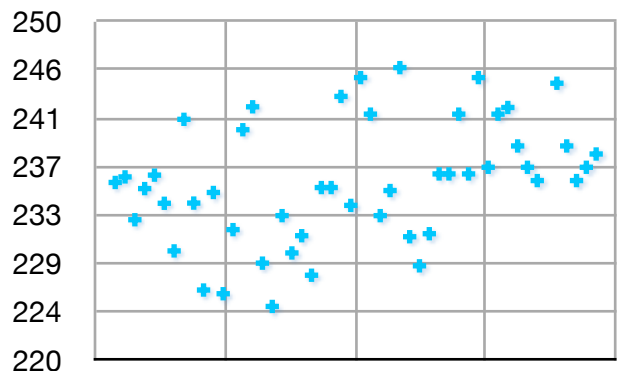
“VA”



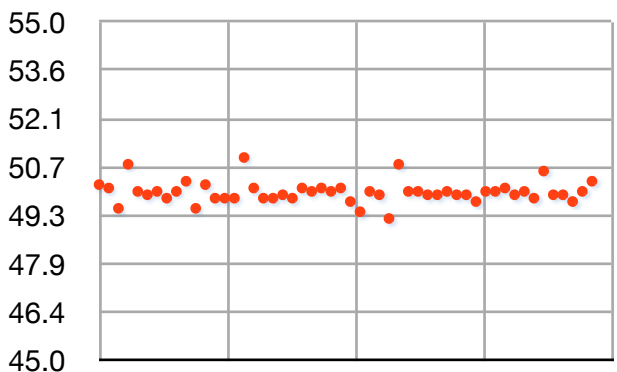
“Amp”



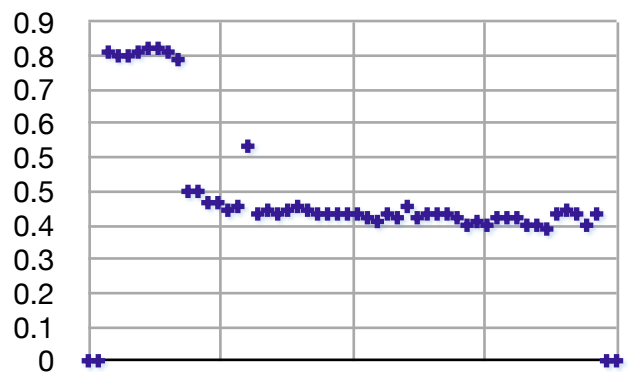
“Volt”



“Hz”



“PF”



Ο άξονας X των γραφημάτων παρουσιάζει χρόνο από τις **5:00 μμ** έως **9:30 μμ** στις **13 Μαρτίου 2014** (πρώτη ημέρα της παρουσίας μας στο **KAM**). Τα δείγματα λαμβάνονταν ανά **5 λεπτά**.

### 3.5 Συμπεράσματα και βιβλιογραφία

Με την ολοκλήρωση της πτυχιακής εργασίας μπορούμε να πούμε ότι ο σκοπός επιτεύχθηκε με επιτυχία. Τα συμπεράσματα από τις μέτρησες δείχνουν ότι με τον επιτηρητή να παρατηρεί την κατανάλωση ενός φορτίου, μπορούμε να εξαγάγουμε συμπεράσματα για τα χαρακτηριστικά και την φύση αυτού.

Σαν μελλοντικές βελτιώσεις του επιτηρητή μπορούμε να πούμε ότι η εισαγωγή δυναμικής κλίμακας στις μετρήσεις του επιτηρητή θα βοηθούσε στο ένα έχουμε ακριβέστερη ένδειξη στις χαμηλές κατανάλωσης. Επίσης η ανακατασκευή της συσκευής με σκοπό την σμίκρυνση, θα ήταν επίσης μια βελτίωση μιας και η ιδέα της επιτήρησης δεν πρέπει να περιορίζεται στην μέτρηση της κατανάλωσης όλων των φορτίων μαζί. Μια άλλη βελτίωση είναι η υλοποίησης ενός μηχανισμού άμεσης απεικόνισης των μετρήσεων από απόσταση με ένα πιο προσιτό και εύκολο τρόπο (π.χ. μέσου μιας ιστοσελίδας υλοποιημένης μέσα στην βαθμίδα δικτύωσης) και επίσης η κατασκευή ενός άλλου επιτηρητή για μέτρηση τριφασικού φορτίου. Εκτός από τις βελτιώσεις του επιτηρητή μπορεί να βελτιωθεί και ο εξυπηρετητής καταγραφής. Για παράδειγμα ένας μηχανισμός απεικόνισης τύπου **SCADA** (Supervisory Control And Data Acquisition) για πιο άμεση κατανόηση των μετρήσεων και την διευκόλυνση στην υλοποίηση αυτοματισμών (π.χ. Ο επιτηρητής να έχει την δυνατότητα να μπορεί να αποκόψει την παροχή από το φορτίο).

### Βιβλιογραφία και αναφορές



1. Ηλεκτρικά κυκλώματα Joseph A. Edminister ΕΣΠΙ Εκδοτική, 1980
2. Προγραμματίζοντας τον μικροελεγκτή 8051 Myke Predko
3. Programming and Customizing the PIC Microcontroller
4. PIC Microcontrollers Milan Verle
5. GNU Bash Reference Manual Chet Ramey and Brian Fox
6. [http://en.wikipedia.org/wiki/Serial\\_Peripheral\\_Interface\\_Bus](http://en.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface_Bus)
7. [http://www.analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/ADE7753.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADE7753.pdf)
8. <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS89C430-DS89C450.pdf>
9. [http://www.keil.com/dd/docs/datashts/dallas/ds89c420\\_ug.pdf](http://www.keil.com/dd/docs/datashts/dallas/ds89c420_ug.pdf)