

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ:1485**

**ΠΑΛΜΟΔΟΤΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ  
ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ ΙΣΧΥΟΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ  
ΣΕ ΣΥΝΕΧΕΣ ΓΙΑ ΕΛΕΓΧΟ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ  
ΙΣΧΥΟΣ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ  
ΜΗΧΑΝΗΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟΝ  
ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΗ ARDUINO**

**ΑΡΜΕΝΙΑΚΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ 6142  
ΓΕΩΡΓΙΟΥ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ 6141**

**ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΓΕΩΡΓΙΑΚΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ**

**ΠΑΤΡΑ 2018**



© 2018 – All rights reserved



# ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στο Τ.Ε.Ι Δυτικής Ελλάδας, στα εργαστήρια Ηλεκτρικών Μηχανών και Ηλεκτρονικών Ισχύος του τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών Τ.Ε.. Ένα μέρος της πτυχιακής εργασίας πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Παραγωγής, Μεταφοράς, Διανομής και Χρησιμοποίησης Ηλεκτρικής Ενέργειας του τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Πατρών.

Αντικείμενο της εργασίας αυτής είναι η παλμοδότηση ενός Ηλεκτρονικού Μετατροπέα Συνεχούς, ρεύματος υποβιβασμού, με σκοπό τον έλεγχο του Συντελεστή Ισχύος σύγχρονης μηχανής μέσω του ρεύματος διέγερσης αυτής. Στόχος της εργασίας είναι η αυτόματη διόρθωση και έλεγχος του Συντελεστή Ισχύος μέσω του μικροελεγκτή Arduino και η επίτευξη της ζητούμενης από το χρήστη τιμής (τις περισσότερες φορές είναι  $\cos\phi=1$ ).

# ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της πτυχιακής εργασίας είναι η διόρθωση του συντελεστή ισχύος μιας σύγχρονης μηχανής εναλλασσόμενου ρεύματος. Ο έλεγχος αυτός πραγματοποιείται μέσω της διέγερσης της μηχανής από έναν ηλεκτρονικό μετατροπέα ισχύος συνεχούς ρεύματος σε συνεχές. Ποιο συγκεκριμένα ελέγχοντας τη διάρκεια των παλμών του ηλεκτρονικού μετατροπέα ισχύος με τη χρήση του μικροελεγκτή Arduino.

Σε πρώτη φάση πραγματοποιείται μια σύντομη ανάλυση των λειτουργιών του μικροελεγκτή Arduino καθώς και του ηλεκτρονικού μετατροπέα ώστε να κατανοηθεί η λειτουργία τους. Στην συνέχεια αναλύεται και κατασκευάζεται σύστημα για τη δειγματοληψία της φασικής τάσης καθώς και του ρεύματος στην AC πλευρά της μηχανής, μεγέθη απαραίτητα για την εύρεση της τιμής του συντελεστή ισχύος και έτσι τη βελτίωση του. Τα δύο αυτά δείγματα εισάγονται στον μικροελεγκτή Arduino, από δύο αναλογικές εισόδους, μέσω ενός αισθητήρα τάσης και ενός αισθητήρα ρεύματος αντίστοιχα. Έπειτα γίνεται επεξεργασία αυτών των δειγμάτων ώστε να διαπιστωθεί εάν το ρεύμα έπεται της τάσης ή το αντίστροφο. Σε κάθε περίπτωση μεταβάλλεται κατάλληλα ο λόγος κατάτμησης (duty cycle) σε μία από τις PWM εξόδους του Arduino μέσω της οποίας παλμοδοτείται ο ηλεκτρονικός μετατροπέας. Μέσω αυτού μεταβάλλεται η διέγερση της σύγχρονης μηχανής με αποτέλεσμα να ρυθμίζεται ο συντελεστής ισχύος.

Ο προγραμματισμός του μικροελεγκτή γίνεται μέσω του software της Arduino που χρησιμοποιεί γλώσσα προγραμματισμού βασισμένη στην C++.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Εισαγωγή.....	1
2. Εισαγωγή στη σύγχρονη μηχανή.....	2
2.1. Σύγχρονη μηχανή.....	2
2.2. Σύγχρονη γεννήτρια.....	2
2.3. Σύγχρονος κινητήρας.....	3
2.4. Διόρθωση συντελεστή ισχύος μέσω του ρεύματος διέγερσης σύγχρονης μηχανής..	4
3. Μετατροπείας συνεχούς ρεύματος υποβιβασμού τάσης.....	5
4. Ο μικροελεγκτής Arduino ATmega 2560.....	6
5. Δειγματοληψία απαραίτητων σημάτων.....	7
5.1. Αισθητήρας τάσης.....	7
5.2. Αισθητήρας ρεύματος.....	9
6. Πρόγραμμα και ανάλυση προγράμματος.....	11
6.1. Φόρτωση βιβλιοθηκών και δήλωση μεταβλητών και σταθερών.....	12
6.2. Ανάλυση του void setup.....	13
6.3. Ανάλυση του void loop.....	14
6.4. Διαδικασία δειγματοληψίας, ανάγνωσης και αποθήκευσης των δεδομένων.....	14
6.5. Εύρεση διαφοράς φάσης μεταξύ τάσης και ρεύματος.....	18
6.6. Έλεγχος συστήματος.....	23
6.7. Διεργασίες για επανάληψη της διαδικασίας και τέλος του προγράμματος.....	24
6.8. Πρόγραμμα.....	26
7. Πειραματική διαδικασία.....	30
7.1 Πειραματική δοκιμή με αντιστάσεις και επαγωγές.....	30
7.2 Πείραμα με συγχρονισμό στο δίκτυο.....	33
7.3 Αποτελέσματα πειραμάτων.....	43
8. Η τελική μορφή της συσκευής.....	50
9. Προβλήματα που προέκυψαν κατά την κατασκευή του τροφοδοτικού.....	52
10. Βιβλιογραφία.....	53

# 1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Συντελεστής ισχύος δικτύου ονομάζεται ο λόγος της ενεργού ισχύος ( $P$  σε  $W$ ) προς την φαινόμενη ισχύ ( $S$  σε  $VA$ ) που απορροφάται ή αποδίδεται στο δίκτυο της ΔΕΗ. [1] Ο συντελεστής ισχύος ( $P/S$ ) έχει ως μέγιστη τιμή τη μονάδα. Στην ουσία εκφράζει το ποσοστό της φαινόμενης ισχύος που μετατρέπεται σε ενεργό ισχύ. Άρα χαμηλός συντελεστής ισχύος σημαίνει υψηλή άεργος ισχύς. Ορισμένα ηλεκτρικά φορτία αλλά και άλλοι παράμετροι ενός δικτύου επηρεάζουν αρνητικά το συντελεστή ισχύος. Έτσι, το δίκτυο επιβαρύνεται με υψηλότερες τιμές έντασης ηλεκτρικού ρεύματος με αποτέλεσμα, τόσο την αύξηση των απωλειών μεταφοράς όσο και την υπερδιαστασιολόγηση των επιμέρους στοιχείων του δικτύου αυτού (π.χ. τους μετασχηματιστές, τους πυλώνες, τους αγωγούς κ.λπ.). Για το λόγο αυτό οι μεγάλοι εμπορικοί και βιομηχανικοί καταναλωτές ηλεκτρισμού επιβαρύνονται από τη ΔΕΗ με υψηλότερη χρέωση για χαμηλό συντελεστή ισχύος.

Πολύ συχνά η διόρθωση του συντελεστή ισχύος πραγματοποιείται μέσω της χωρητικής αντιστάθμισης με την παράλληλη ζεύξη πυκνωτών. Αυτοί οι πυκνωτές ρυθμίζονται είτε χειροκίνητα είτε αυτόματα ανάλογα με την εφαρμογή. Συχνά, στις εγκαταστάσεις με φορτία έντονης διακύμανσης χρησιμοποιείται αυτόματη ρύθμιση. Συνήθως με αυτό τον τρόπο αντιστάθμισης επιτυγχάνεται μεταβολή του συντελεστή ισχύος κατά βαθμίδες και όχι ομαλή μεταβολή. Για το λόγο αυτό μερικές φορές είναι επιθυμητό να χρησιμοποιηθεί άλλου είδους αντιστάθμιση (διόρθωση) του συντελεστή ισχύος.

Διόρθωση του συντελεστή ισχύος μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω ηλεκτρονικών μετατροπέων ισχύος με διάφορους τρόπους. Ως παράδειγμα αναφέρεται η τροφοδοσία πυκνωτή μικρού σχετικά μεγέθους με ηλεκτρονικούς μετατροπείς ισχύος. Με αυτό τον τρόπο «ρυθμίζεται το μέγεθος του πυκνωτή» και συγχρόνως μπορεί να «φαίνεται» αρκετά υψηλότερης τιμής. Έτσι, μεταβάλλεται η άεργος ισχύς ομαλά και όσο ακριβώς απαιτείται. Μια τέτοια συσκευή έχει πολλά πλεονεκτήματα, όμως έχει και κάποια μειονεκτήματα όπως, το κόστος και η πολυπλοκότητα κατασκευής.

Μία άλλη μέθοδος για την διόρθωση του συντελεστή ισχύος μίας βιομηχανικής εγκατάστασης είναι μέσω σύγχρονης μηχανής (συνήθως κινητήρα). Για την επίτευξη αυτού απαιτείται ρύθμιση του ρεύματος διέγερσης αυτής της σύγχρονης μηχανής, έτσι ώστε κάθε φορά να καταναλώνει ή να προσφέρει άεργο ισχύ ανάλογα με το φορτίο της εγκατάστασης. Αυτός είναι και ο τρόπος που οι γεννήτριες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας τροφοδοτούν με άεργο ισχύ ολόκληρο το δίκτυο. Αυτός ο τρόπος αντιστάθμισης άεργου ισχύος έχει πλεονεκτήματα όπως, την ομαλή και ακριβή ρύθμιση του συντελεστή ισχύος σύμφωνα με τις απαιτήσεις της κάθε εγκατάστασης καθώς και την ελαχιστοποίηση των οικονομικών επιβαρύνσεων από τη ΔΕΗ.

Στη προκειμένη περίπτωση θα μελετηθεί η διόρθωση του συντελεστή ισχύος μέσω σύγχρονης μηχανής τροφοδοτώντας το τύλιγμα διέγερσής της μέσω ενός μετατροπέα  $dc/dc$  buck converter. Η ρύθμιση του συντελεστή ισχύος θα πραγματοποιείται αυτόματα λαμβάνοντας τα δείγματα της τάσης και του ρεύματος αντίστοιχα και με την βοήθεια του μικροελεγκτή Arduino θα μεταβάλλεται ο λόγος κατάτμησης της PWM εξόδου ώστε να επιτευχθεί το βέλτιστο αποτέλεσμα.



## 2.ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΣΥΓΧΡΩΝΗ ΜΗΧΑΝΗ

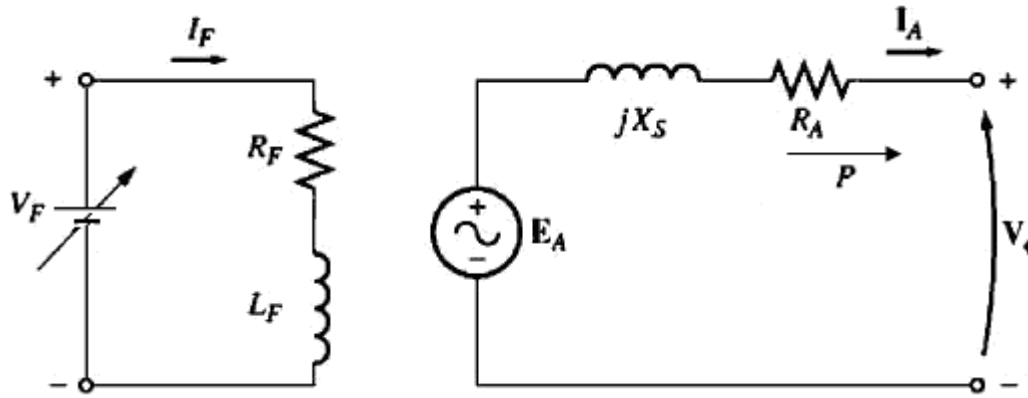
### 2.1. Σύγχρονη μηχανή

Οι μηχανές εναλλασσόμενου ρεύματος διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες τις σύγχρονες και τις επαγωγικές μηχανές. Οι σύγχρονες ηλεκτρικές μηχανές είναι κινητήρες και γεννήτριες. Συνήθως, τα δύο κύρια μέρη κατασκευής της σύγχρονης μηχανής είναι: α) ο στάτης ο οποίος αποτελείται από ελάσματα με αυλακώσεις μέσα στις οποίες τοποθετούνται με κατάλληλο τρόπο τα τυλίγματα του και β) ο δρομέας ο οποίος περιέχει το τύλιγμα διέγερσης ή ένα μόνιμο μαγνήτη. Για να δημιουργηθεί το μαγνητικό πεδίο του δρομέα (πεδίο διέγερσης) είναι απαραίτητη μια πηγή συνεχούς ρεύματος ή ένας μόνιμος μαγνήτης. Οι σύγχρονες μηχανές μόνιμου μαγνήτη χρησιμοποιούνται σε περιορισμένες εφαρμογές κυρίως λόγω υψηλού κόστους και λόγω της περιορισμένης ισχύος του μαγνήτη. Οι σύγχρονες μηχανές με τύλιγμα διέγερσης έχουν ένα επιπλέον σημαντικό πλεονέκτημα. Μέσω του πεδίου διέγερσης ρυθμίζεται η τάση ή η άεργος ισχύς της μηχανής, μεγέθη πολύ σημαντικά. Στην εργασία αυτή η δυνατότητα ρύθμισης της άεργου ισχύος μέσω της διέγερσης είναι το βασικό εργαλείο, με το οποίο θα πραγματοποιηθεί ο έλεγχος του συντελεστή ισχύος. Στη συνέχεια περιγράφεται η λειτουργία της σύγχρονης γεννήτριας και του σύγχρονου κινητήρα. [3]

### 2.2. Σύγχρονη γεννήτρια

Οι σύγχρονες γεννήτριες ή εναλλακτικές έχουν ως απαραίτητη προϋπόθεση για την λειτουργία τους και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, την τροφοδοσία του τυλίγματος του δρομέα με συνεχές ρεύμα. Κατά την περιστροφή του δρομέα μέσω κάποιας κινητήριας μηχανής, το παραγόμενο μαγνητικό πεδίο περιστρέφεται μαζί του, επάγοντας στο τύλιγμα του στάτη τριφασική τάση. Η τάση η οποία επάγεται στα τυλίγματα του στάτη εμφανίζεται στην έξοδο της γεννήτριας.[2]

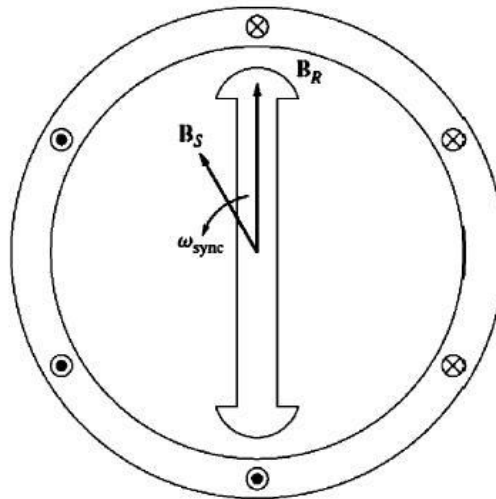
Στο σχήμα 2.1 [3] φαίνεται το μονοφασικό ισοδύναμο κύκλωμα μιας σύγχρονης γεννήτριας. Ως  $E_A$  συμβολίζεται η παραγόμενη τάση εξ' επαγωγής στο εσωτερικό της σύγχρονης μηχανής. Η τάση  $E_A$  είναι ανάλογη της μαγνητικής ροής στη μηχανή και της ταχύτητας περιστροφής. Το άθροισμα της αντίδρασης οπλισμού και της αντίδρασης αυτεπαγωγής αποτελεί την σύγχρονη αντίδραση  $X_s$ . Ως  $R_F$  συμβολίζεται ο συνδυασμός της εσωτερικής αντίδρασης διέγερσης και της εξωτερικής ρυθμιστικής αντίστασης διέγερσης, ως  $L_F$  η επαγωγή του τυλίγματος διέγερσης, ως  $R_A$  η αντίσταση των τυλιγμάτων του στάτη και ως  $V_\Phi$  η τάση στα άκρα κάθε φάσης του στάτη.



Σχήμα 2.1: Μονοφασικό ισοδύναμο κύκλωμα σύγχρονης γεννήτριας

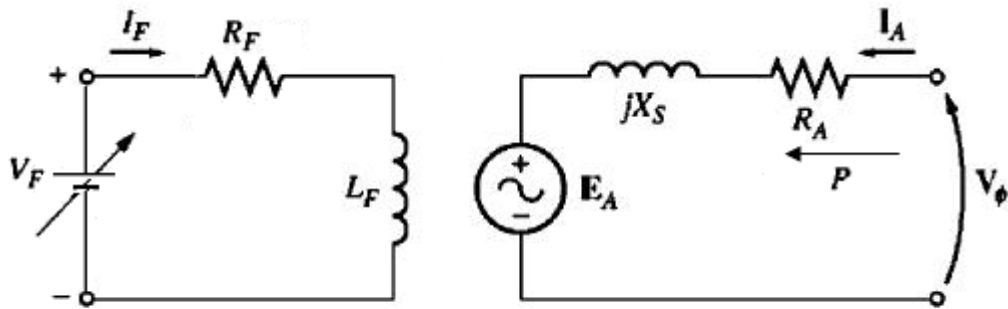
### 2.3. Σύγχρονος κινητήρας

Οι σύγχρονοι κινητήρες, σε αντίθεση με τις σύγχρονες γεννήτριες, έχουν ως ιδιότητα να μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική. Στο σχήμα 2.2 [3] φαίνεται ένας σύγχρονος κινητήρας δύο πόλων, όπου το ρεύμα διέγερσης  $I_F$  ευθύνεται για την παραγωγή μαγνητικού πεδίου στο δρομέα  $B_R$ . Ένα τριφασικό σύστημα ρευμάτων εφαρμόζεται στο στάτη της μηχανής δημιουργώντας έτσι ένα στρεφόμενο ομογενές μαγνητικό πεδίο  $B_S$  στο εσωτερικό της. Με αυτόν τον τρόπο υπάρχουν δύο μαγνητικά πεδία στο εσωτερικό του κινητήρα τα οποία στρέφονται με την ίδια ταχύτητα. Κατά την συνεχή περιστροφή του πεδίου του στάτη, το πεδίο του δρομέα και ο ίδιος ο δρομέας συνεχώς ακολουθεί. Αυτή ακριβώς είναι και η αρχή λειτουργίας του σύγχρονου κινητήρα.



Σχήμα 2.2: Σύγχρονος κινητήρας δύο πόλων

Βασική διαφορά της σύγχρονης γεννήτριας και του σύγχρονου κινητήρα είναι η φορά ροής της ισχύος τους. Η ροή της ισχύος στο σύγχρονο κινητήρα αντιστρέφεται, έτσι ως αποτέλεσμα αυτού προκύπτει ότι και το ρεύμα στο στάτη του αντιστρέφεται. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.3 [3] η μοναδική διαφορά που παρουσιάζει το ισοδύναμο κύκλωμα του σύγχρονου κινητήρα ως προς αυτό της σύγχρονης γεννήτριας είναι στην αντίστροφη φορά του ρεύματος του στάτη  $I_A$  καθώς και της ισχύος  $P$ .



Σχήμα 2.3: Μονοφασικό ισοδύναμο κύκλωμα σύγχρονου κινητήρα.

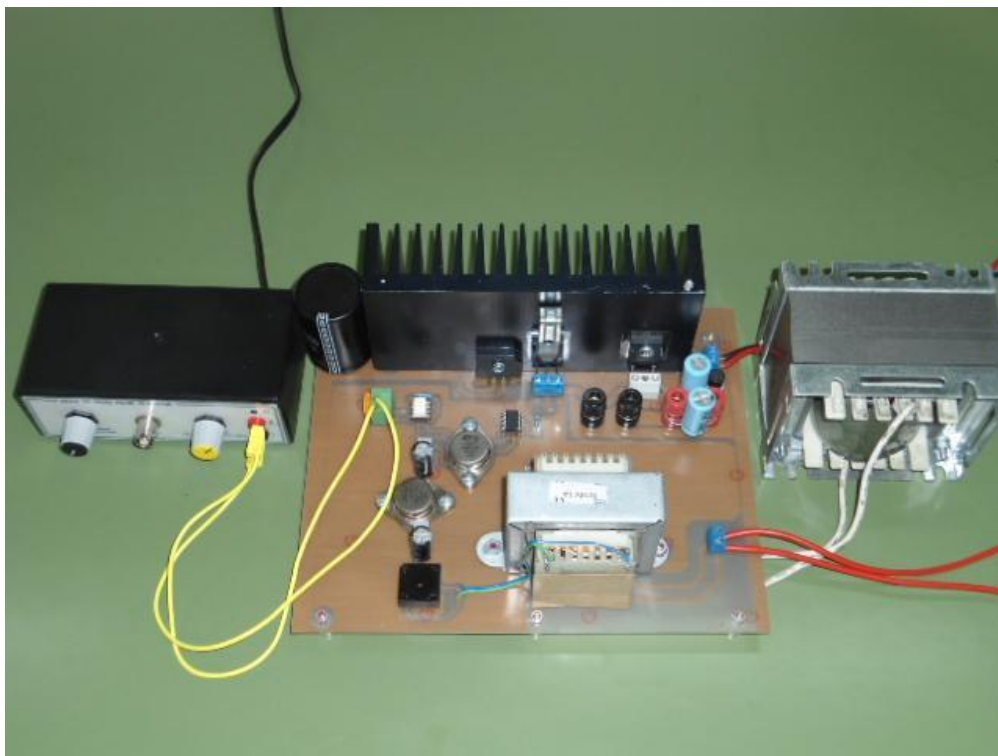
## 2.4. Διόρθωση συντελεστή ισχύος μέσω του ρεύματος διέγερσης σύγχρονης μηχανής

Όπως προαναφέρθηκε, για την λειτουργία μιας σύγχρονης μηχανής είναι απαραίτητη η τροφοδοσία του τυλίγματος διέγερσης με συνεχές ρεύμα. Μεταβάλλοντας το ρεύμα διέγερσης η σύγχρονη μηχανή θα λειτουργεί είτε σε κατάσταση υποδιέγερσης και θα απορροφά άεργο ισχύ από το δίκτυο, είτε σε κατάσταση υπερδιέγερσης όπου θα προσφέρει άεργο ισχύ σε αυτό. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η ρύθμιση του συντελεστή ισχύος σε μια εγκατάσταση μέσω σύγχρονης μηχανής. Εκμεταλλεύοντας αυτή τη δυνατότητα και τροφοδοτώντας τη διέγερση μέσω ηλεκτρονικού μετατροπέα ισχύος θα επιτευχθεί ο επιθυμητός συντελεστής ισχύος. Παρακάτω περιγράφεται και αναλύεται το σύστημα που χρησιμοποιείται.

### 3. ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΥΠΟΒΙΒΑΣΜΟΥ ΤΑΣΗΣ

Ο ηλεκτρονικός μετατροπέας ισχύος που χρησιμοποιήθηκε είναι κατάλληλος για την τροφοδοσία του κυκλώματος διέγερσης μιας σύγχρονης μηχανής. Καθώς μεταβάλλεται η τάση εξόδου του μετατροπέα μεταβάλλεται επίσης και το ρεύμα διέγερσης της σύγχρονης μηχανής. Κατά αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται ο έλεγχος της άεργου ισχύος ενός ισχυρού δικτύου. Ο μετατροπέας, ως βασικό στοιχείο περιέχει ένα transistor ισχύος IGBT το οποίο παλμοδοτείται μέσω μίας από τις PWM εξόδους του μικροελεγκτή Arduino. Η μεταβολή της τάσης εξόδου του μετατροπέα επιτυγχάνεται μέσω του λόγου κατάτμησης (Duty Cycle) της PWM εξόδου του μικροελεγκτή.

Ο μετατροπέας αυτός κατασκευάστηκε και η λειτουργία του μελετήθηκε από το φοιτητή Λεωνίδα Μοσχόπουλο στα πλαίσια της διπλωματικής του εργασίας. Η εργασία αυτή βρίσκεται στα αρχεία του ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας με αριθμό πτυχιακής 1445. Ο μετατροπέας αυτός βρισκόταν αποθηκευμένος στο εργαστήριο Ηλεκτρονικών Ισχύος του ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας και χρησιμοποιήθηκε αυτούσιος στην υλοποίηση της παρούσας εργασίας. Φωτογραφία του φαίνεται στο σχήμα 3.1.



**Σχήμα 3.1:** Φωτογραφία του μετατροπέα συνεχούς ρεύματος υποβιβασμού τάσης.

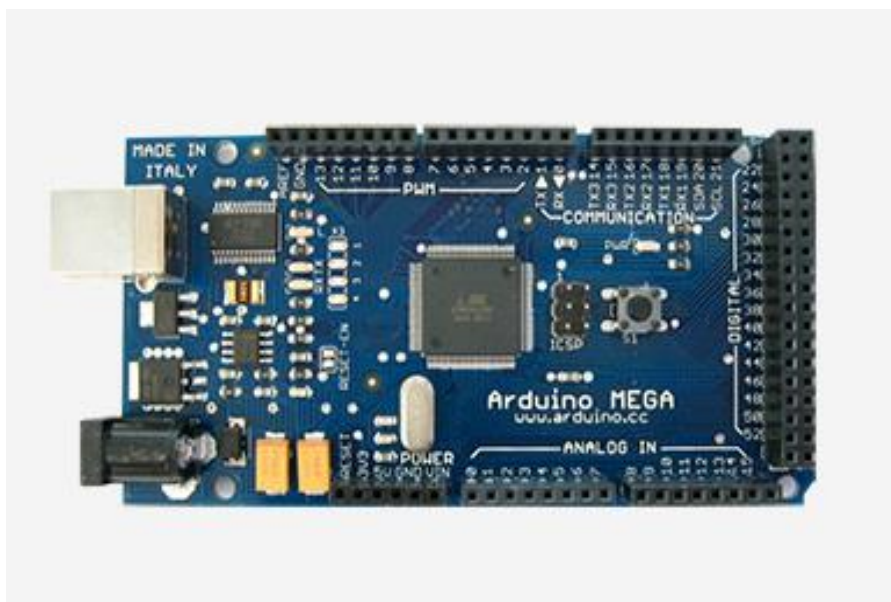
## 4. Ο ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΗΣ ARDUINO ATmega 2560

Ο Arduino είναι ένας μικροελεγκτής μονής πλακέτας, δηλαδή μια απλή μητρική πλακέτα ανοικτού κώδικα η οποία περιέχει ενσωματωμένο επεξεργαστή καθώς και εισόδους/εξόδους. Ο μικροελεγκτής μπορεί να προγραμματιστεί με τη γλώσσα Wiring (ουσιαστικά πρόκειται για τη γλώσσα προγραμματισμού C++ και ένα σύνολο από βιβλιοθήκες, υλοποιημένες επίσης στην C++). Ο Arduino μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη ανεξάρτητων διαδραστικών αντικειμένων αλλά και να συνδεθεί με υπολογιστή μέσω προγραμμάτων σε Processing, Max/MSP, Pure Data, SuperCollider. Το πρόγραμμα Arduino έλαβε τιμητική μνεία στην κατηγορία *Digital Communities* στο *Prix Ars Electronica* το 2006.

Για την εφαρμογή επιλέχθηκε ο μικροελεγκτής Arduino Mega 2560 ο οποίος είναι βασισμένος στον επεξεργαστή ATmega2560 της Atmel. Αποτελείται από 54 εισόδους-εξόδους από τις οποίες οι 15 μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως έξοδοι παλμών PWM, 16 αναλογικές εισόδους, 4 συριακές θύρες, έναν κρυσταλλικό ταλαντωτή 16MHz, μια θύρα USB, μια είσοδο τροφοδοσίας, μια κεφαλή ICSP και ένα πλήκτρο επανεκκίνησης(Reset). Η επικοινωνία με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή πραγματοποιείται με την χρήση καλωδίου USB και μπορεί τροφοδοτηθεί ηλεκτρικά μέσω αυτού είτε μέσω τροφοδοτικού συνεχούς ρεύματος ή μπαταρίας με τάσης σωστής λειτουργίας από 5 έως 12 Volt. [4]

Οι λόγοι που οδήγησαν στην χρησιμοποίηση αυτού είναι ο μεγάλος αριθμός εισόδων-εξόδων που περιλαμβάνει, η ικανοποιητική ταχύτητα του επεξεργαστή, το χαμηλό κόστος αγοράς, καθώς και η πλούσια βιβλιογραφία που χαρακτηρίζει το πλήθος των προϊόντων της εταιρίας.

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο η PWM έξοδος του παλμοδοτεί το IGBT του ηλεκτρονικού μετατροπέα ισχύος και μέσω αυτού πραγματοποιεί έμμεσα τον έλεγχο του συντελεστή ισχύος. Για την υλοποίηση του ελέγχου είναι απαραίτητη η δειγματοληψία της εναλλασσόμενης τάσης και του ρεύματος στην έξοδο της σύγχρονης μηχανής. Τα σήματα αυτά εισάγονται έμμεσα στις εισόδους A/D του επεξεργαστή και προγραμματιστικά μεταφράζονται στα πραγματικά σήματα. Στο επόμενο κεφάλαιο περιγράφονται τα κυκλώματα για τη δειγματοληψία αυτών των σημάτων.



Σχήμα 4.1: Ο μικροελεγκτής Arduino ATmega2560.

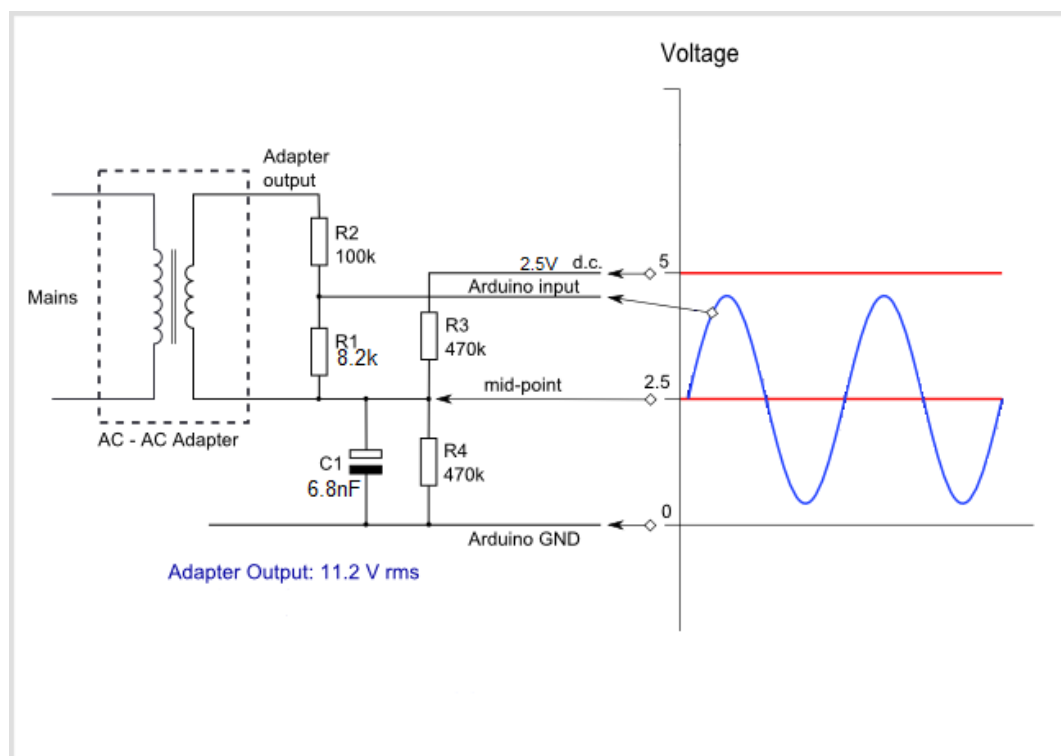
## 5. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΩΝ ΣΗΜΑΤΩΝ

Απαραίτητο στοιχείο για την διόρθωση του συντελεστή ισχύος μέσω της διέγερσης σύγχρονης μηχανής είναι η τροφοδοσία του μετατροπέα με παλμούς PWM. Οι συγκεκριμένοι παλμοί θα παράγονται μέσω του μικροελεγκτή Arduino. Για να παραχθούν οι κατάλληλοι παλμοί απαιτείται η λήψη δειγμάτων της τάσης και του ρεύματος του εναλλασσόμενου δικτύου, ώστε τα δεδομένα αυτά να επεξεργάζονται από τον μικροελεγκτή και να συγκρίνονται για το αν το ρεύμα προηγείται ή έπεται της τάσης, και πόσο. Σε κάθε περίπτωση θα αυξομειώνεται ο λόγος κατάτμησης (Duty Cycle) των παλμών PWM ώστε αν προηγείται η κυματομορφή του ρεύματος ως προς την κυματομορφή της τάσης, ο λόγος κατάτμησης να αυξάνεται και αντίθετα αν καθυστερεί. Για την δειγματοληψία αυτών των μεγεθών απαιτείται η χρήση ενός αισθητήρα τάσης και ενός αισθητήρα ρεύματος.

### 5.1. Αισθητήρας τάσης

Ο αισθητήρας τάσης είναι μια πλακέτα που σκοπό έχει την λήψη δεδομένων της τάσης του κυκλώματος ισχύος και της μετάδοσης αυτών στον μικροελεγκτή. Συγκεκριμένα λαμβάνεται η ημιτονοειδής τάση εξόδου της σύγχρονης μηχανής, π.χ. 230 V, υποβιβάζεται σε p.p. 5 V και προστίθεται μία DC συνιστώσα 2,5 V. Έτσι, εισάγεται στον μικροελεγκτή ένα ημιτονοειδές σήμα η τιμή του οποίου μεταβάλλεται από 0 – 5 V DC, κατάλληλη για τον μικροελεγκτή.

Λόγο της δυσκολίας εύρεσης ενός αισθητήρα τάσης στο εμπόριο για την συγκεκριμένη χρήση, έγινε κατασκευή αυτού. Αυτή βασίζεται στην αρχή λειτουργίας που παρουσιάζεται στο σχήμα 5.1 [5]. Η πλακέτα σχεδιάστηκε με το λογισμικό Target 3001 και κατασκευάστηκε με την μέθοδο της αποχάλκωσης.



Σχήμα 5.1: Διάγραμμα λειτουργίας αισθητήρα τάσης

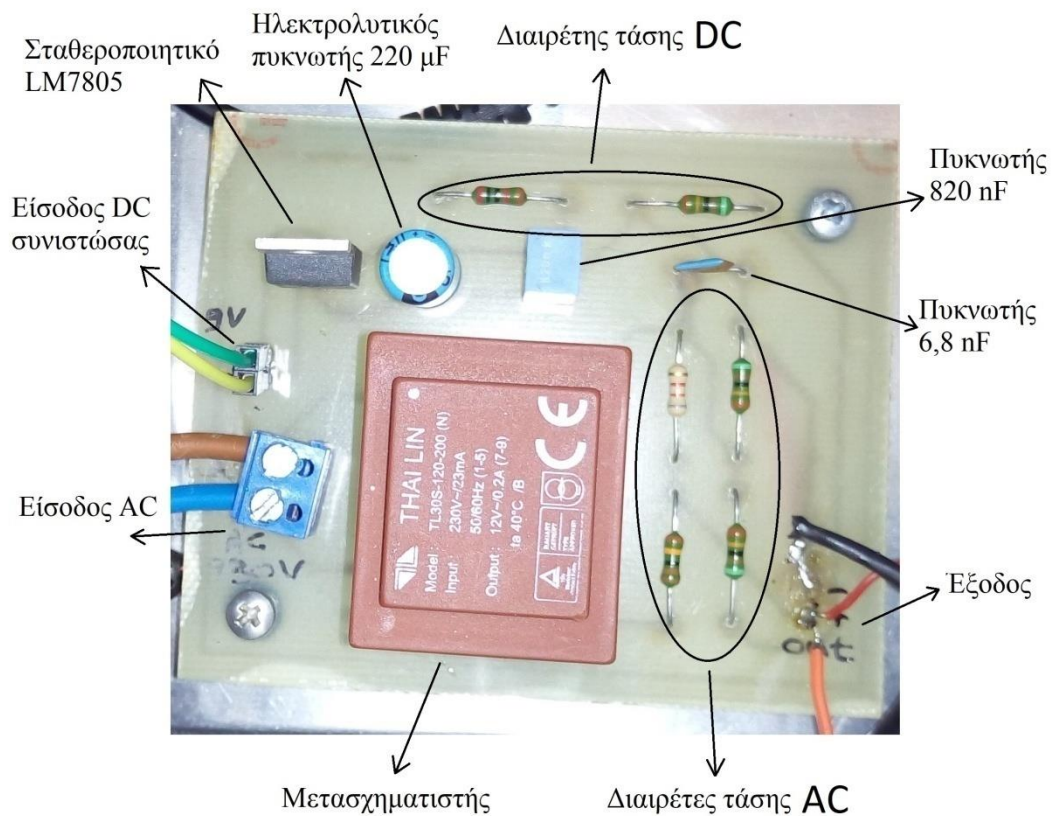


**Σχήμα 5.2:** Αισθητήρας τάσης

Κατά την διάρκεια κατασκευής του αισθητήρα τάσης πραγματοποιήθηκαν πειραματικές δοκιμές για την διασφάλιση της σταθερής τάσης εξόδου η οποία δεν πρέπει υπερβαίνει τα 5 V, καθώς ο μικροελεγκτής στις αναλογικές εισόδους του μπορεί να δεχτεί τάση ίση των 5 V. Όπως φαίνεται στο σχήμα 5.2 στον αισθητήρα υπάρχουν δύο κυκλώματα. Ένα είναι το κύκλωμα υποβιβασμού της τάσης και το άλλο είναι της DC συνιστώσας.

Για την λήψη της κυματομορφής της τάσης χρησιμοποιήθηκε μετασχηματιστής 230-12 V και στην συνέχεια διαιρέτης τάσης από τον οποίο προκύπτουν τα 5 V στην έξοδο του αισθητήρα και ένας πυκνωτής ο οποίος χρησιμοποιείται ως φίλτρο της τάξης των 6,8 nF.

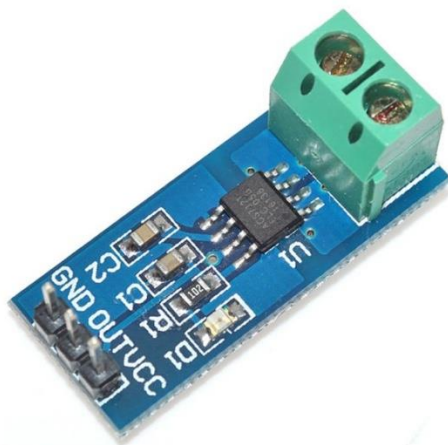
Για την τροφοδότηση του αισθητήρα με την DC συνιστώσα χρησιμοποιήθηκε τροφοδοτικό συνεχούς τάσης 9 V και στην συνέχεια σταθεροποιητικό τάσης 5 V (LM7805), ένας ηλεκτρολυτικός πυκνωτής 220  $\mu$ F, πυκνωτής 820 nF και στη συνέχεια ένας διαιρέτης τάσης ώστε να προκύψουν τα 2,5 V της DC συνιστώσας όπως φαίνεται και στο προηγούμενο σχήμα 5.1.



Σχήμα 5.3: Επεξήγηση αισθητήρα τάσης

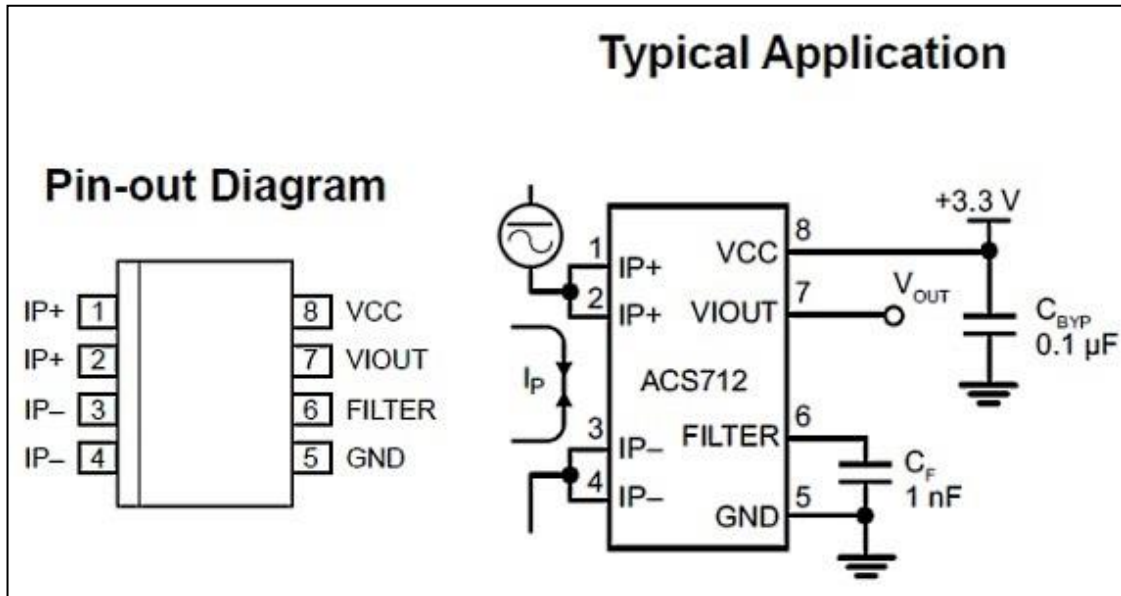
## 5.2. Αισθητήρας ρεύματος

Ο αισθητήρας ρεύματος είναι μια πλακέτα που σκοπό έχει την ανάγνωση του ρεύματος του κυκλώματος ισχύος και την μετάδοση των δεδομένων στο μικροελεγκτή. Για τον συγκεκριμένο αισθητήρα δεν έγινε κάποια κατασκευή όπως προηγουμένως καθώς υπήρχε έτοιμος στο εμπόριο και αγοράστηκε από εκεί. Η λειτουργία του αισθητήρα βασίζεται στο ολοκληρωμένο ACS712 και μπορεί να δεχθεί ρεύμα έντασης έως 5 A. Επίσης τροφοδοτείται με μία DC συνιστώσα 3,3 V από τον ίδιο τον μικροελεγκτή.

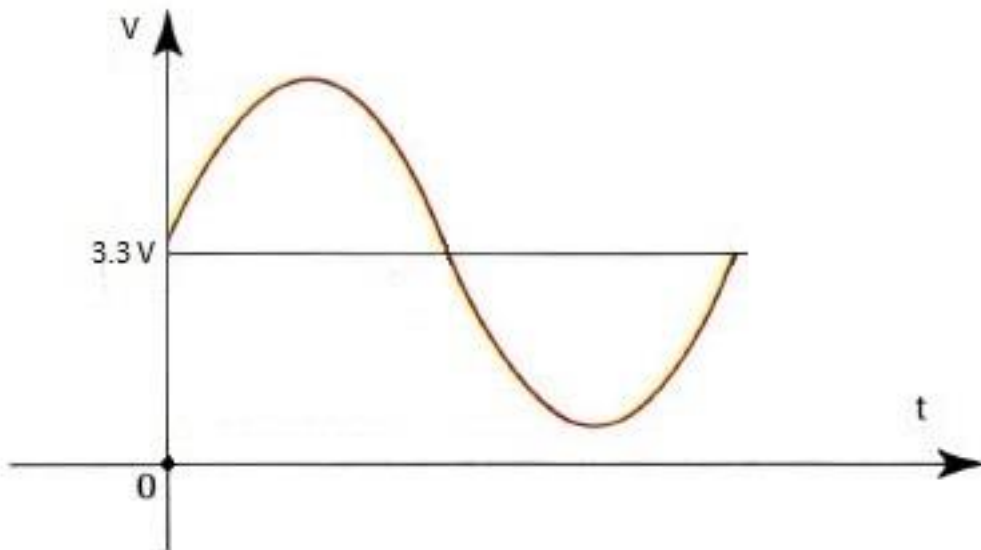


Σχήμα 5.4: Αισθητήρας ρεύματος





Σχήμα 5.5 [6]: Σχηματική απεικόνιση αισθητήρα ρεύματος

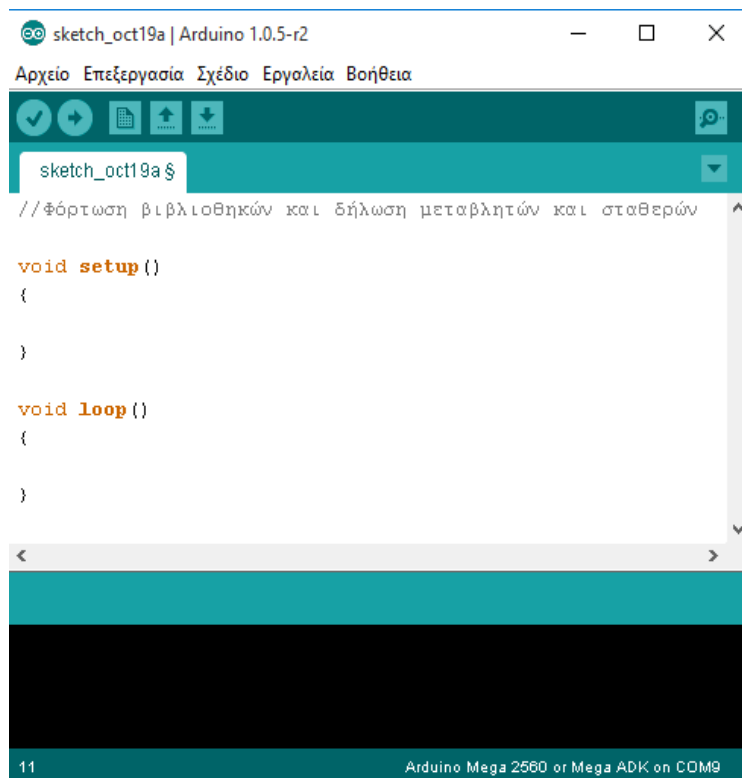


Σχήμα 5.6: Διάγραμμα εξόδου αισθητήρα ρεύματος

## 6. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Ο προγραμματισμός του Arduino μέσω του επίσημου software Arduino 1.0.5 γίνεται με γλώσσα η οποία αποτελεί συνδυασμό της C και C++.

Το πρόγραμμα ουσιαστικά χωρίζεται σε δύο μέρη, στο void setup που είναι το μέρος του προγράμματος το οποίο «τρέχει» μια μόνο φορά κατά την ενεργοποίηση του επεξεργαστή και το void loop το οποίο αποτελεί έναν βρόχο που κάνει συνεχώς «κύκλους».



```
sketch_oct19a | Arduino 1.0.5-r2
Αρχείο Επεξεργασία Σχέδιο Εργαλεία Βοήθεια

sketch_oct19a $
//φόρτωση βιβλιοθηκών και δήλωση μεταβλητών και σταθερών

void setup ()
{

}

void loop ()
{

}
```

Σχήμα 6.1: Έναρξη προγράμματος

Η αρχική σκέψη για την υλοποίηση της εφαρμογής ήταν η ανάγνωση της στιγμιαίας τιμής του ρεύματος και της τάσης του συστήματος, η σύγκριση με το σημείο μηδέν και η λήψη της απόφασης. Κατά την δημιουργία όμως του προγράμματος που βασίζονταν πάνω σε αυτήν την λογική παρατηρήθηκε ότι τα σήματα που δειγματοληπτούσε ο επεξεργαστής είχαν μεγάλη απόκλιση από την πραγματική μορφή τους. Το πρόβλημα αυτό ήταν αποτέλεσμα του όγκου των διεργασιών που είχαν να υλοποιηθούν μεταξύ των στιγμών δειγματοληψίας, σε συνδυασμό και με την χαμηλή ταχύτητα του επεξεργαστή που χρησιμοποιήθηκε.

Η λύση του προβλήματος θα μπορούσε να επέλθει μόνο μέσω του προγράμματος αφού η ταχύτητα του επεξεργαστή του Arduino Mega 2560 είναι συγκεκριμένη (16 MHz). Δεδομένων αυτών στο τελικό πρόγραμμα υλοποιήθηκε η δειγματοληψία όχι κάθε σημείου των σημάτων ξεχωριστά αλλά στιγμιότυπων τα οποία και αποθηκεύονται σε πίνακες για την μετέπειτα επεξεργασία τους. Με αυτόν το τρόπο ουσιαστικά επιτυγχάνεται η μέγιστη συχνότητα δειγματοληψίας αφού μεταξύ των δειγμάτων δεν υπάρχει καμία καθυστέρηση εξ' αιτίας άλλων διεργασιών. Άρα αναλυτικά πραγματοποιείται η εξής διαδικασία. α) Λαμβάνονται και αποθηκεύονται τα δύο σήματα. β) Επεξεργάζονται και συγκρίνονται γ) Ανάλογα με την καθυστέρηση ή προήγηση υλοποιείται το πρόγραμμα. δ) «Διαβάζονται» τα σήματα εκ' νέου κ.ο.κ.

## 6.1. Φόρτωση βιβλιοθηκών και δήλωση μεταβλητών και σταθερών (γρ. 1-44)

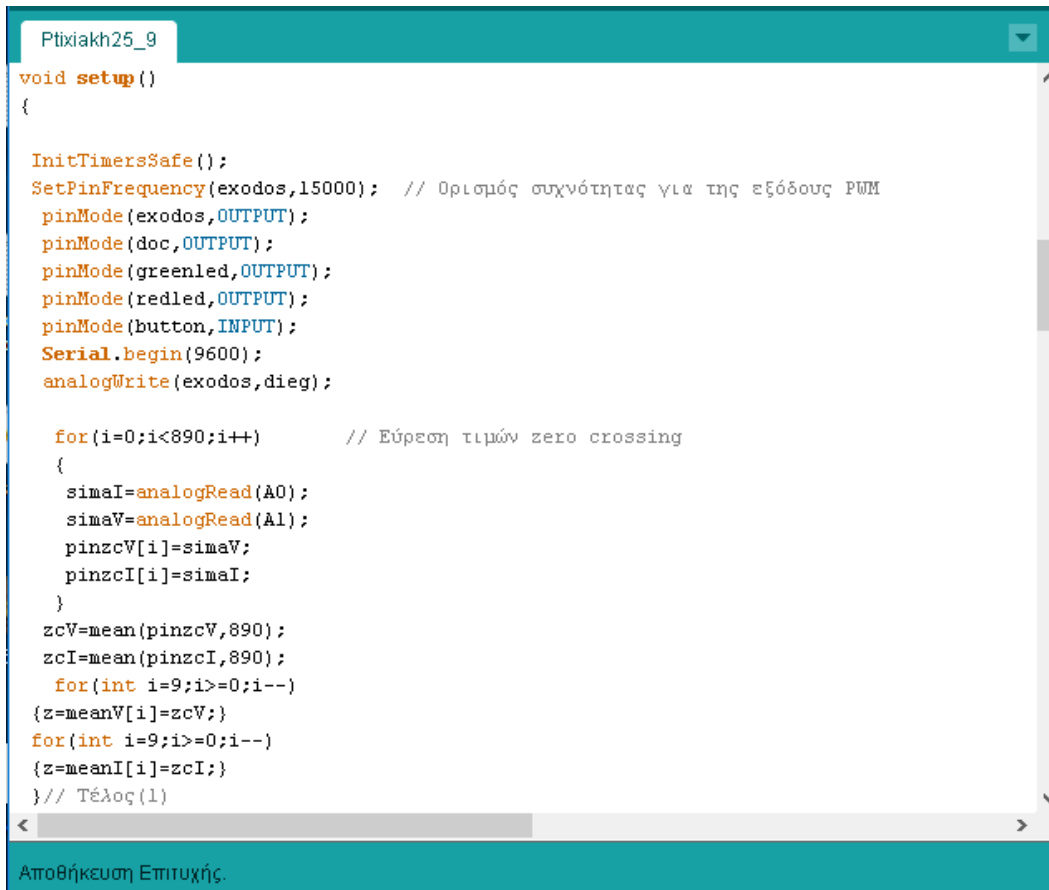
Το πρώτο που πρέπει να πραγματοποιηθεί κατά την δημιουργία του προγράμματος είναι η φόρτωση των βιβλιοθηκών, η δήλωση των μεταβλητών και των σταθερών αλλά και η αρχικοποίηση τους όπου αυτό είναι απαραίτητο. Παρακάτω φαίνεται η εξής διαδικασία.

```
Ptixiakh25_9
#include <PWM.h>
#include <Average.h>
int simaV;// αρχικό δείγμα Τάσης
int simaI;// αρχικό δείγμα Ρεύματος
int pinakasV[100]; //Πίνακας Τάσεων
int pinakasI[100]; //Πίνακας Ρευμάτων
float meanpinakasV[100]; // Πίνακας Εξομαλημένου Σήματος V
float meanpinakasI[100]; // Πίνακας Εξομαλημένου Σήματος I
int pinzcV[890]; // Πιν. για την εύρεση του σημείου 0 για το σήμα V
int pinzcI[890]; // Πιν. για την εύρεση του σημείου 0 για το σήμα I
float meanV[10]; // Πίν. Αποθήκευσης των 10 τελευταίων δειγμάτων στο το Σήμα V
float meanI[10]; // Πίν. Αποθήκευσης των 10 τελευταίων δειγμάτων στο το Σήμα I
int eis[3]; // Πιν. για την εύρεση του σωστού σημείου 0
float zcV=0; // Αρχική τιμή για τον ορισμό του σημείου 0 στην V
float zcI=0; // Αρχική τιμή για τον ορισμό του σημείου 0 στην I
int i=0; //Μετρητής i
int z=0; // Μετρητής z
int u; // Μετρητής u
int cv=0; // Σημείο δείγματος στο οποίο έχουμε το σημείο 0 για την V
int ci=0; // Σημείο δείγματος στο οποίο έχουμε το σημείο 0 για την I
float meansimaV; //Τιμή εξ. σημείου του σήματος V
float meansimaI; //Τιμή εξ. σημείου του σήματος I
float tanV; // Ρυθμός μεταβολής του σήματος V κοντα στο σημείο 0
float tanV1;
float tanV2;
float tanV3;
```

Σχήμα 6.2: Δήλωση μεταβλητών

## 6.2. Ανάλυση του void setup (γρ. 45-71)

Το επόμενο βήμα είναι η σύνταξη του void setup (πρόγραμμα που «τρέχει» μια μόνο φορά κατά την ενεργοποίηση του επεξεργαστή).



```
void setup()
{
  InitTimersSafe();
  SetPinFrequency(exodos,15000); // Ορισμός συχνότητας για της εξόδους PWM
  pinMode(exodos,OUTPUT);
  pinMode(doc,OUTPUT);
  pinMode(greenled,OUTPUT);
  pinMode(redled,OUTPUT);
  pinMode(button,INPUT);
  Serial.begin(9600);
  analogWrite(exodos,diag);

  for(i=0;i<890;i++) // Εύρεση τιμών zero crossing
  {
    simaI=analogRead(A0);
    simaV=analogRead(A1);
    pinzcV[i]=simaV;
    pinzcI[i]=simaI;
  }
  zcV=mean(pinzcV,890);
  zcI=mean(pinzcI,890);
  for(int i=9;i>=0;i--)
  {z=meanV[i]=zcV;}
  for(int i=9;i>=0;i--)
  {z=meanI[i]=zcI;}
} // Τέλος(1)
```

Σχήμα 6.3: Void setup

Κατά την έναρξη της διαδικασίας void setup παρατηρείται η χρησιμοποίηση των εντολών InitTimersSafe() και SetPinFrequency(x,value), μέσω των οποίων μπορεί να μεταβληθεί η συχνότητα σε συγκεκριμένες εξόδους PWM του μικροελεγκτή. Για να αποκτηθεί η δυνατότητα χρησιμοποίησης αυτών των εντολών είναι αναγκαία η φόρτωση της βιβλιοθήκης PWM.h.

Στην συγκεκριμένη εφαρμογή επιθυμητή συχνότητα PWM ήταν 15000 Hz στην έξοδο που είχε οριστεί με την σταθερά exodos. Άρα η ακριβής μορφή της εντολής είναι SetPinFrequency(exodos,15000);.

Στην συνέχεια πραγματοποιείται η δήλωση των Pins που χρησιμοποιούνται είτε ως είσοδοι είτε ως εξοδοι με την εντολή pinMode(x,y), ενεργοποιείται η συριακή οθόνη για επικοινωνία του Arduino με τον χρήστη (προγραμματιστή) μέσω της εντολής Serial.begin (9600) και δίνεται μια αρχική τιμή στην έξοδο για να ξεκινήσει η παλμοδότηση του συστήματος.

Συνεχίζοντας το πρόγραμμα του void setup ο μικροελεγκτής διαβάζει και αποθηκεύει περίπου δέκα περιόδους από τα σήματα της τάσης και του ρεύματος στο σύστημα αφού έχει υπολογιστεί ότι μια περίοδος είναι περίπου 89 κύκλοι του συγκεκριμένου βρόχου. Τα στιγμιότυπα αυτά αποθηκεύονται σε πίνακες 890 θέσεων pinzcV[i] και pinzcI[i] όπου στην πορεία βρίσκεται η μέση τιμή τους ως zcV και zcI μέσω της εντολής mean(x,y) οι οποίες χαρακτηρίζονται και τιμές zero crossing. Αυτό διότι η μέση τιμή της εναλλασσόμενης τάσης και ρεύματος δικτύου είναι μηδέν. Έτσι, η τιμή που θα εντοπιστεί από αυτή τη διαδικασία (της εύρεσης της μέσης τιμής) είναι στη ουσία η DC συνιστώσα που προστέθηκε στο AC σήμα για να εισαχθεί στον μικροελεγκτή. Η εντολή mean(x,y) μπορεί να χρησιμοποιηθεί με την φόρτωση της βιβλιοθήκης Average.h.

Η τελευταία διαδικασία στο void setup είναι η αρχικοποίηση των πινάκων 10 θέσεων meanV[i] και meanI[i] με τις τιμές zero crossing.

Οι πίνακες αυτοί είναι απαραίτητοι για την μετέπειτα επεξεργασία των δεδομένων και πιο συγκεκριμένα την εξομάλυνση των στιγμιότυπων που έχουν αποθηκευτεί.

### 6.3. Ανάλυση του void loop

Το void loop είναι το μέρος του προγράμματος το οποίο αποτελεί έναν βρόχο ο οποίος αναπαράγεται καθ' όλη την διάρκεια λειτουργίας του επεξεργαστή. Λόγο του ότι αποτελεί το μεγαλύτερο και βασικότερο μέρος της εφαρμογής όσον αφορά τον προγραμματισμό θα αναλυθεί σε επιμέρους διεργασίες για την καλύτερη και αποδοτικότερη προσέγγιση του τρόπου σκέψης και της λογικής σύμφωνα με την οποία δημιουργήθηκε.

### 6.4. Διαδικασία δειγματοληψίας, ανάγνωσης και αποθήκευσης των δεδομένων (γρ 71-87)



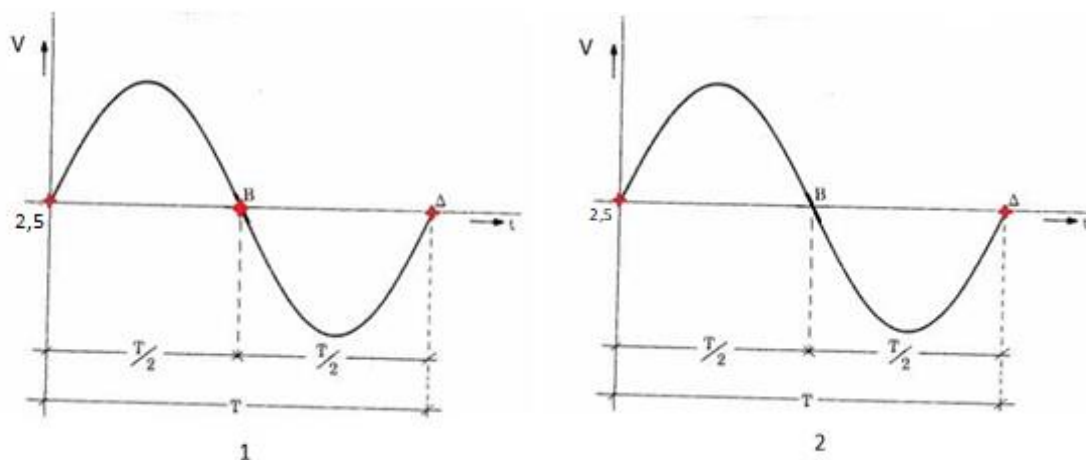
```
void loop()
{
  simaV=analogRead(A1); //Εξέταση zero crossing
  if(simaV>(zcV-25)&&simav<(zcV-16)) //για την εκκίνηση δειγματοληψιο
  {
    if(simaV>eis[1] && eis[1]>eis[2])
    {
      pon=analogRead(A4);
      kpon=map(pon,0,1023,-15,20);
      for(i=0;i<100;i++) //Εκκίνηση δειγματοληψίας(1)
      {
        simaI=analogRead(A0);
        simaV=analogRead(A1);
        pinakasV[i]=simaV;
        pinakasI[i]=simaI;
      } //Τέλος(1)
    }
  }
}
```

Σχήμα 6.4: Δειγματοληψία και αποθήκευση δεδομένων

Κατά την εκκίνηση του void loop το πρώτο πράγμα που επιχειρεί το πρόγραμμα είναι η δειγματοληψία της στιγμιαίας τιμής του σήματος της τάσης από το σύστημα μέσω της εντολής `simAV=analogRead(A1)`; ώστε να βρεθεί ένα σημείο που προσεγγίζει την μέση τιμή της.

Η μέση τιμή της εναλλασσόμενης τάσης στην πραγματικότητα είναι μηδέν όμως λόγω της ανόρθωσης του σήματος από τους αισθητήρες έχει την τιμή  $zcV$  η οποία βρέθηκε κατά την λειτουργία void setup.

Η τιμή  $zcV$  μπορεί να βρεθεί τρεις φορές μέσα σε μια περίοδο της τάσης όπως φαίνεται στο διάγραμμα 1 του σχήματος 6.5, αλλά η διεργασία θα συνεχιστεί αν βρεθούν μόνο οι δύο ακραίες τιμές 2,5 και  $\Delta$  (σχήμα 6.5- διάγραμμα 2) λόγω της συνθήκης που ακολουθεί (`if(simAV>eis[1] && eis[1]>eis[2])`) και με την βοήθεια του πίνακα `eis[i]` που αποθηκεύονται οι δυο προηγούμενες στιγμιαίες τιμές που διαβάστηκαν.



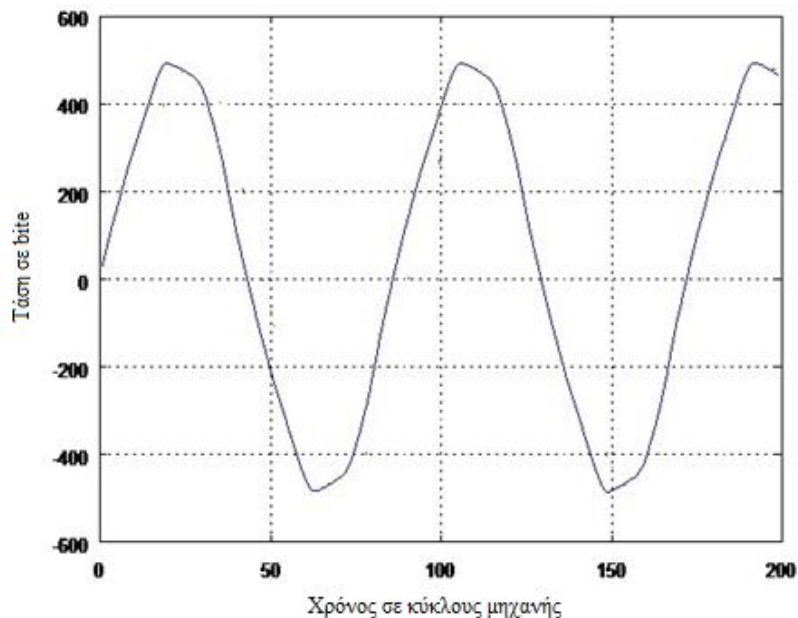
**Σχήμα 6.5:** Εύρεση μέσης τιμής

Αφού ολοκληρωθεί η παραπάνω διαδικασία το πρόγραμμα συνεχίζει με την ανάγνωση της κατάστασης του ποτενσιόμετρου έλεγχου. Η κατάσταση του ποτενσιόμετρου διαβάζεται και μεταφράζεται από τον μικροελεγκτή σε τιμές που ξεκινούν από 0 έως 1023 οι οποίες όμως αντιστοιχίζονται με την χρήση της εντολής `map`, από -15 έως 20, που είναι το φάσμα τιμών που θα χρησιμοποιηθεί σε εξίσωση στην συνέχεια. Ουσιαστικά η εντολή `map` πραγματοποιεί την απλή μέθοδο των τριών, για παράδειγμα στην περίπτωση που το ποτενσιόμετρο έλεγχου βρίσκεται στην ελάχιστη θέση ο μικροελεγκτής θα διαβάζει την τιμή 0, θα την αποθηκεύσει στην μεταβλητή `rop` και θα καταχωρήσει την τιμή -15 στην μεταβλητή `krop`, στην αντίθετη περίπτωση που το ποτενσιόμετρο έλεγχου βρίσκεται στην μέγιστη θέση ο μικροελεγκτής θα διαβάζει την τιμή 1023, θα την αποθηκεύσει στην μεταβλητή `rop` και θα καταχωρήσει την τιμή 20 στην μεταβλητή `krop`, οι δύο αυτές μεταβλητές μεταβάλλονται ανάλογα σε ποιά θέση βρίσκεται το ποτενσιόμετρο έλεγχου και μπορούν να πάρουν όλες τις ενδιάμεσες τιμές.

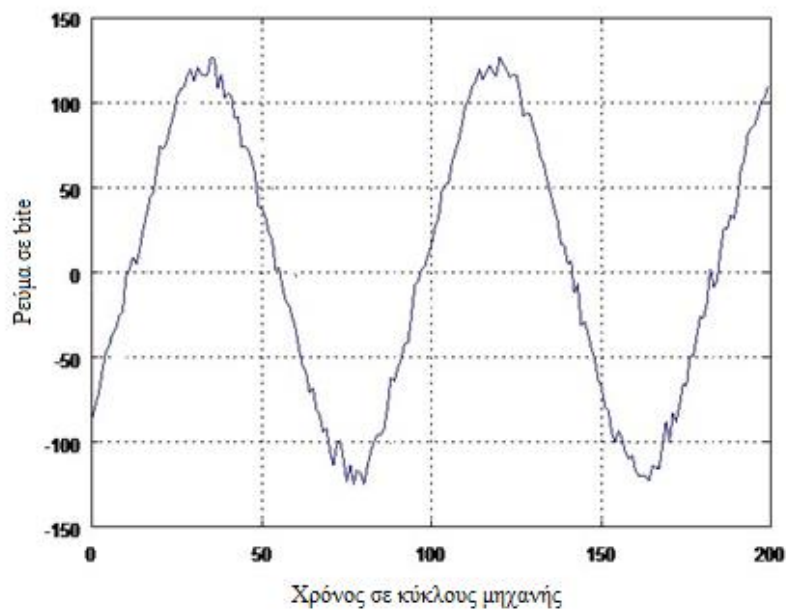
Το επόμενο σημαντικό στάδιο είναι η εκκίνηση της δειγματοληψίας και των δύο σημάτων (ρεύματος, τάσης). Πραγματοποιείται η ανάγνωση σημείων στα σήματα με την λειτουργία βρόχου ο οποίος επαναλαμβάνεται εκατό φορές στην αρχή κάθε επανάληψης του προγράμματος, έχοντας ως αποτέλεσμα σε κάθε κύκλο να διαβάζει και να αποθηκεύει στους πίνακες `pinakasV[i]` και `pinakasI[i]` από μια στιγμιαία τιμή. Με την λειτουργία αυτή αποθηκεύονται στην μνήμη του μικροελεγκτή τα στιγμιότυπα των σημάτων ρεύματος και τάσης για την μετέπειτα αναπαραγωγή τους.

Κατά την υλοποίηση της εφαρμογής για να μπορεί να γίνει γνωστή η μορφή των δεδομένων που αντιλαμβάνονταν ο Arduino και κατά πόσο ταυτίζονταν με την πραγματικότητα, αναπαράχθηκαν από την μνήμη οι αποθηκευμένες τιμές οι οποίες μπόρεσαν να προβληθούν στην συριακή οθόνη του υπολογιστή μέσω των εντολών `Serial.print()` και `Serial.println()`.

Στην συνέχεια για να υπάρξει και η γραφική τους απεικόνιση περάστηκαν οι δεδομένες τιμές σε αρχείο Notepad++ (\*.d) και με την βοήθεια του προγράμματος Octave 3.6.4 προβλήθηκαν γραφικά όπως φαίνεται στο σχήμα 6.6 και σχήμα 6.7.



**Σχήμα 6.6:** Απεικόνιση μέσω του προγράμματος Octave 3.6.4 των δεδομένων που λαμβάνει ο μικροελεγκτής (Τάση V)



**Σχήμα 6.7:** Απεικόνιση μέσω του προγράμματος Octave 3.6.4 των δεδομένων που λαμβάνει ο μικροελεγκτής (Ρεύμα I)

Εκ του αποτελέσματος είναι φανερό ότι η συχνότητα δειγματοληψίας είναι αρκετά υψηλή με αποτέλεσμα την μεγάλη ακρίβεια στα δεδομένα που ελήφθησαν, το σημαντικότερο όμως είναι ότι οποιαδήποτε διεργασία του προγράμματος έξω από τον βρόχο δειγματοληψίας δεν καθυστερεί σε καμιά περίπτωση την συγκεκριμένη διαδικασία.



## 6.5. Εύρεση διαφοράς φάσης μεταξύ τάσης και ρεύματος (γρ. 88-143)

Ο συντελεστής ισχύος (PF) ενός συστήματος προσδιορίζεται ουσιαστικά από την διάφορα φάσης που προκαλείται μεταξύ της τάσης και του ρεύματος λόγω του φορτίου αλλά και της συμπεριφορά της ηλεκτρικής μηχανής.

Έχοντας δεδομένα τα δύο σήματα (Τάση και Ρεύμα) τα οποία δειγματοληπτήθηκαν και αποθηκεύτηκαν στα προηγούμενα στάδια του προγράμματος θα μπορούσε να βρεθεί η διαφορά φάσης μεταξύ τους.

Παρατηρώντας όμως τα δεδομένα που απεικονίστηκαν στα παραπάνω σχήματα (6.6 και 6.7) παρατηρείται ότι τα σήματα παρουσιάζουν παράσιτα τα οποία θα μπορούσαν να προκαλέσουν προβλήματα στα συμπεράσματα και κατ' επέκταση στις αποφάσεις του μικροελεγκτή. Για την απαλοιφή των παρασίτων αυτών υλοποιήθηκε φίλτρο μέσης τιμής μέσω του προγράμματος. Ως γνωστό το φίλτρο αυτό υπολογίζει τη μέση τιμή σε χρονικό διάστημα αρκετά μικρότερο της περιόδου του βασικού σήματος. Έτσι, «απαλείφονται» τα υψίσυχνα παράσιτα.

```

Ptixiakh23_9
for (i=0;i<100;i++) //Εκκίνηση αναπαράγωγής,αξιομάλυνσης σήματος και επεξεργασίας δεδομένων(2)
{
    meanV[0]=pinakasV[i];
    meanI[0]=pinakasI[i];
    meansimaV=mean(meanV,10);
    meansimaI=mean(meanI,10);
    meanpinakasV[i]=meansimaV;
    meanpinakasI[i]=meansimaI;

    if(meansimaV>=zcV&& meansimaV<=(zcV+30) && meansimaV<meanpinakasV[i-1] && meanpinakasV[i-1]<meanpinakasV[i-2]) //Ελεγχος
    {
        cv=i;
        /*Serial.print("V->");
        Serial.print(" ");*/

    }

    if(meansimaI>=zcI && meansimaI<=(zcI+8)&& meansimaI<meanpinakasI[i-1] && meanpinakasI[i-1]<meanpinakasI[i-2]).
    {
        ci=i;
        /* Serial.print("I->");
        Serial.print(" ");*/
    }

    tanV1=(meanpinakasV[cv]-meanpinakasV[cv-5])/(cv-5)-(cv));
    tanV2=(meanpinakasV[cv-1]-meanpinakasV[cv-4])/(cv-4)-(cv-1));
    tanV3=(meanpinakasV[cv-2]-meanpinakasV[cv-3])/(cv-3)-(cv-2));
    tanI1=(meanpinakasI[ci]-meanpinakasI[ci-5])/(ci-5)-(ci));
    tanI2=(meanpinakasI[ci-1]-meanpinakasI[ci-4])/(ci-4)-(ci-1));
    tanI3=(meanpinakasI[ci-2]-meanpinakasI[ci-3])/(ci-3)-(ci-2));
    tanV=(tanV1+tanV2+tanV3)/3;
    tanI=(tanI1+tanI2+tanI3)/3;
    zeroV=(cv-(meanpinakasV[cv]-zcV)/tanV);
    zeroI=(ci-(meanpinakasI[ci]-zcI)/tanI);
    C=zeroV-zeroI+(kpon);
    Dig=C*4;

    /*Serial.print(i); //Αποστολή δεδομένων στον χρήστη
    Serial.print(" ");
    Serial.print(pinakasV[i]);
    Serial.print(" ");
    Serial.print(meansimaV);
    Serial.print(" ");
    Serial.print(pinakasI[i]);
    Serial.print(" ");
    Serial.println(meansimaI);

    //Τέλος Α.Δ.Σ.χ */

    for(int u=9;u>=0;u--) // Διαδικασία Fifo τον πίνακα εξομάλυνσηςV(3)
    {
        z=meanV[u];
        meanV[u+1]=z;
    } //Τέλος(3)
    for(int u=9;u>=0;u--) // Διαδικασία Fifo τον πίνακα εξομάλυνσηςI(5)
    {
        z=meanI[u];
        meanI[u+1]=z;
    } //Τέλος(5)
}

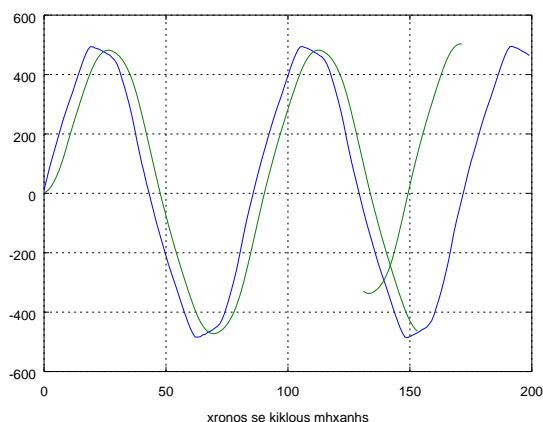
```

**Σχήμα 6.8:** Εντολές εύρεσης διαφοράς φάσης

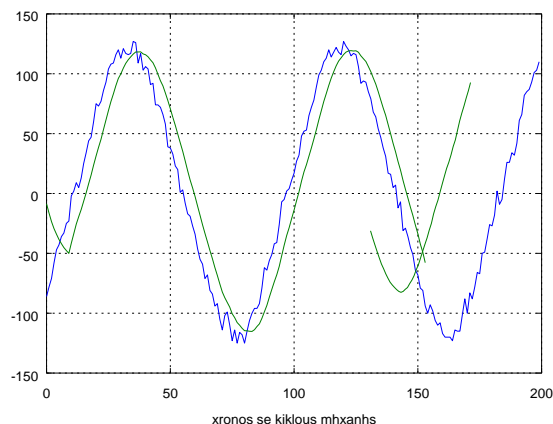
Κατά την λειτουργία εξομάλυνσης η τιμή κάθε σημείου των δύο σημάτων (pinakasV[i] & pinakasI[i]) αποθηκεύεται στο πρώτο κελί ενός μονοδιάστατου πίνακα 10 θέσεων ( meanV[i] & meanI[i]) όπου στις υπόλοιπες 9 υπάρχουν καταχωρημένα οι προηγούμενες αποθηκευμένες τιμές. Στην συνέχεια ακολουθεί η εύρεση της μέσης τιμής των δέκα αυτών στοιχείων δημιουργώντας έτσι ένα σημείο από το νέο επεξεργασμένο σήμα.

Τα σήματα της τάσης και του ρεύματος που προέκυψαν μετά την χρήση του φίλτρου αποθηκεύονται στους πίνακες 100 θέσεων meanpinakasV[i] και meanpinakasI[i].

Στα ακόλουθα σχήματα παρουσιάζεται απεικόνιση των επεξεργασμένων σημάτων μέσω του προγράμματος Octave 3.6.4 μετά την εφαρμογή του φίλτρου μέσης τιμής.



**Σχήμα 6.9:** Φιλτράρισμα τάσης

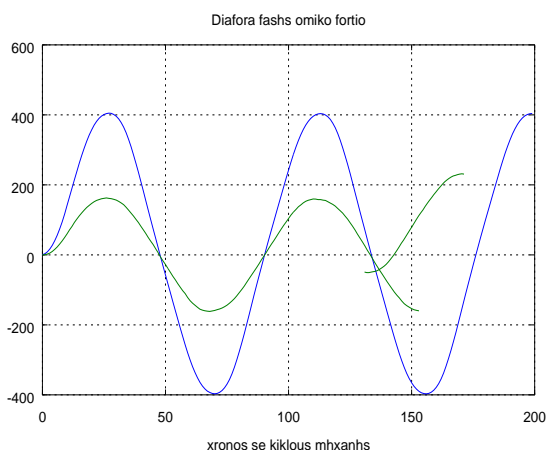


**Σχήμα 6.10:** Φιλτράρισμα ρεύματος

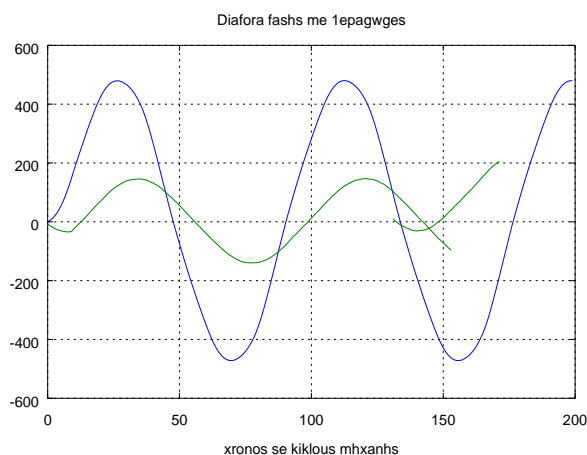
Παρατηρώντας τα παραπάνω σχήματα φαίνεται ότι μετά την επεξεργασία του σήματος έχουν απαλειφθεί εντελώς τα παράσιτα και πλέον η μορφή τους απεικονίζεται σχεδόν ημιτονοειδής.

Επίσης, διακρίνεται διαφορά φάσης μεταξύ του αρχικού σήματος και του εξομαλυμένου η οποία όμως δεν θα επηρεάζει τις μετέπειτα διαδικασίες λόγω του ότι η τιμή της είναι ακριβώς ίση τόσο στην περίπτωση της τάσης όσο και του ρεύματος αφού έχει ακολουθηθεί ακριβώς η ίδια διαδικασία σε δύο σήματα ίσης βασικής συχνότητας (50 Hz).

Λόγο της επεξεργασίας μέσω του φιλτραρίσματος ο ελεγκτής έχει πλέον μια ξεκάθαρη εικόνα της μορφής του ρεύματος και της τάσης του συστήματος, ώστε στην συνέχεια να προσεγγίσει με αξιόπιστο τρόπο στην υπάρχουσα διαφορά φάσης.



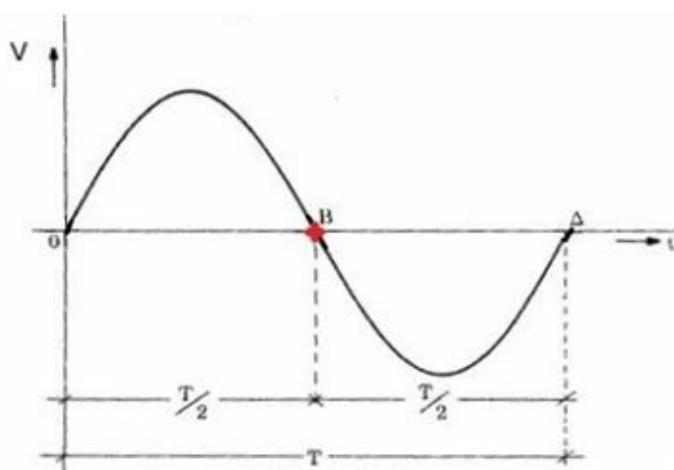
**Σχήμα 6.11 :** Διαφορά φάσης με ωμικό φορτίο



**Σχήμα 6.12 :** Διαφορά φάσης με μία επαγωγή

Για την εύρεση της διαφοράς φάσης είναι απαραίτητη η χρήση και η σύγκριση ενός κοινού σημείου αναφοράς και στα δύο σήματα. Για την χρήση αυτή επιλέχτηκε το σημείο που τα ημιτονοειδή σήματα της τάσης και του ρεύματος τέμνουν τον άξονα των X, όταν δηλαδή έχουν τιμή ίση με την μέση τιμή μιας περιόδου. Με δεδομένα τα παραπάνω, όποιο σήμα παρουσιάσει νωρίτερα το σημείο αναφοράς από το άλλο τότε αυτό προηγείται, και αντίστροφα .

Πρακτικά το πρόγραμμα συγκρίνει κάθε σημείο που δειγματοληπίστηκε και στα δύο σήματα με την μέση τιμή τους, η οποία διαδραματίζει το ρόλο του μηδενός. Αυτή η τιμή έχει υπολογιστεί νωρίτερα και έχει καταχωρηθεί στις μεταβλητές zcV για την τάση και zcI για το ρεύμα. Αν κάποιο δείγμα έχει τιμή που προσεγγίζει την μέση, η προηγούμενες 2 τιμές είναι χαμηλότερες από την τρέχουσα και οι 2 επόμενες είναι διαφορετικού πρόσημου (ώστε να θεωρηθεί δεδομένη η ημιτονοειδής τους μορφή) τότε υπάρχει zero crossing και καταχωρείται ο αριθμός της θέσης που βρίσκεται στους πίνακες στις μεταβλητές cn (στην περίπτωση της τάσης) και η ci (στην περίπτωση του ρεύματος). Αυτό επιχειρείται για την αναγνώριση της θέσης των σημείων που τέμνουν το άξονα του χρόνου στο σημείο (B) κάθε περιόδου τα δύο σήματα όπως φαίνεται στο σχήμα 6.13.

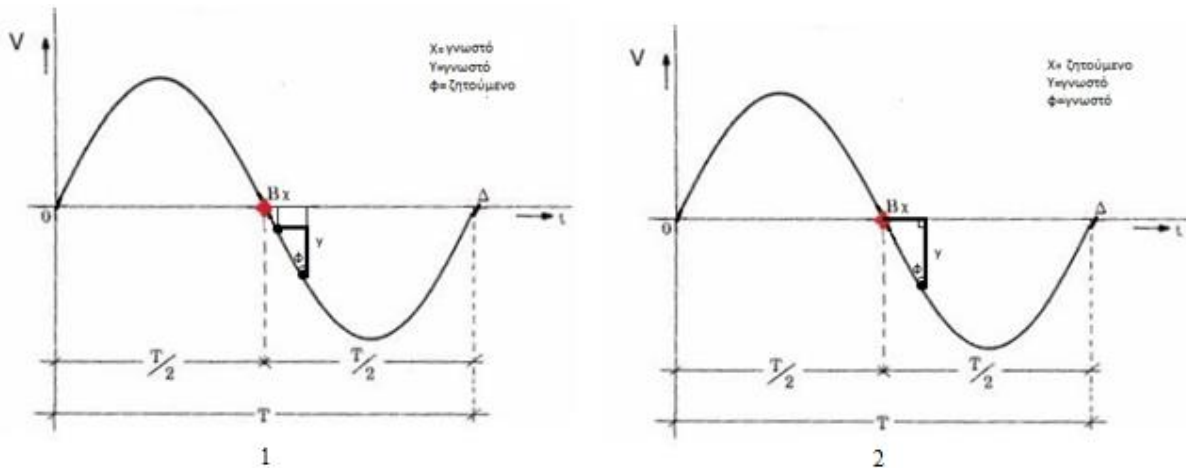


**Σχήμα 6.13:** Zero-crossing

Το πρόβλημα που προέκυψε με αυτήν την λογική, ήταν ότι λόγω τις χαμηλής συχνότητας δειγματοληψίας (περίπου 89 δείγματα ανά περίοδο), το πρόγραμμα προσέγγιζε με μικρή ακρίβεια την εύρεση της τιμής cn και ci αφού η απόσταση δύο διαδοχικών δειγμάτων ήταν περίπου 4 μοίρες.

Για να λυθεί το πρόβλημα της ακρίβειας, χρησιμοποιήθηκε τριγωνομετρική μέθοδος η οποία βασίζεται στο Πυθαγόρειο θεώρημα. Αφού γίνει η υπόθεση ότι το τμήμα κοντά στο σημείο τομής των σημάτων και του άξονα χ'χ αποτελεί ένα ευθύγραμμο τμήμα, τότε μπορεί να βρεθεί η τιμή οποιουδήποτε σημείου του τμήματος σύμφωνα με τα δεδομένα που υπάρχουν, συμπεριλαμβανομένου και του σημείου τομής.

Πιο αναλυτικά σχηματίζοντας υποθετικά ορθογώνια τρίγωνα από ζεύγη γνωστών σημείων (όπως φαίνεται στο διάγραμμα 1 του σχήματος 6.14) μπορεί να βρεθεί η γωνία φ μεταξύ υποτείνουσας και προσκείμενης κάθετης, μπορώντας στην συνέχεια να υπολογιστεί η απέναντι κάθετη πλευρά της γωνιάς ενός νέου τριγώνου όπου το ένα σημείο της θα είναι το ζητούμενο σημείο τομής (σχήμα 6.14- διάγραμμα 2).



**Σχήμα 6.14:** Εύρεση ακριβούς τιμής

Στο συγκεκριμένο πρόγραμμα η διαδικασία υπολογισμού της γωνίας  $\phi$  επαναλαμβάνεται 3 φορές διασφαλίζοντας έτσι την αποφυγή λαθών που θα μπορούσαν να αλλοιώσουν σημαντικά τα αποτελέσματα. Η τιμή από τα τελικά σημεία τομής που υπολογίζονται καταχωρούνται στις μεταβλητές zeroV και zeroI.

Το τροφοδοτικό μέσω του ποτενσιόμετρου ελέγχου δίνει την δυνατότητα στον χρήστη όχι μόνο να διορθώνει τον συντελεστή ισχύος αλλά και να λειτουργεί τη γεννήτρια με επαγωγική ή χωρητική συμπεριφορά. Για να επιτευχθεί αυτό η θέση του ποτενσιόμετρου θα διαβαστεί από τον μικροελεγκτή ορίζοντας τιμή στην μεταβλητή kρον με τον τρόπο που αναφέρθηκε παραπάνω.

Στην συνέχεια θα υπολογιστεί η διαφορά φάσης στο σύστημα με μονάδα χρόνου τους κύκλους του βρόχου δειγματοληψίας έχοντας προσθέσει όμως στην εξίσωση τη μεταβλητή kρον η οποία παίρνει τιμές από -15 έως 20 σύμφωνα με την θέση του ποτενσιόμετρου ελέγχου.

Πιο συγκεκριμένα η εξίσωση αναφέρεται ως  $C = \text{zeroV} - \text{zeroI} + (k\text{ρον})$ ; όπου zeroV-zeroI η διαφορά φάσης συν την τιμή kρον με μονάδα μέτρησης τους κύκλους του βρόχου δειγματοληψίας. Η επόμενη διεργασία που πραγματοποιείται είναι η μετατροπή του C σε μοίρες όπου εκφράζεται ως  $\text{Dig} = C * 4$  αφού υπολογίστηκε ότι ένας κύκλος βρόχου ισούται με περίπου τέσσερις μοίρες.

Η τελευταία ενέργεια που επιχειρεί το πρόγραμμα σε αυτό το μέρος είναι η διαδικασία F.I.F.O στους πίνακες meanV και meanI ώστε να μπορέσει να πραγματοποιηθεί το φιλτράρισμα των σημάτων που αναλύθηκε παραπάνω.

Οι εντολές Serial.print() και Serial.println() που υπάρχουν στο πρόγραμμα βοηθούν για τις απεικονίσεις και την προβολή διαφόρων δεδομένων απαραίτητων κατά την δημιουργία του προγράμματος. Όταν το πρόγραμμα ολοκληρώθηκε οι εντολές αυτές μετατράπηκαν σε σχόλια ώστε να μην επιβαρύνεται επιπλέον ο επεξεργαστής.

## 6.6. Έλεγχος συστήματος (γρ. 152-175)

Πλέον, λόγω των μέχρι τώρα διεργασιών ο μικροελεγκτής έχει εντοπίσει αξιόπιστα και με σχετική ακρίβεια την διαφορά φάσης μεταξύ της τάσης και του ρεύματος στο σύστημα που εκφράζει τον συντελεστή ισχύος.

Το επόμενο στάδιο είναι η αξιοποίηση των αποτελεσμάτων για τον τελικό έλεγχο του συντελεστή ισχύος του συστήματος.

```
Ptixiakh23_9
kbutton=digitalRead(button);
if(kbutton==HIGH)
{
if(Dieg>0)
{dieg=dieg+2;}
else
{dieg=dieg-2;}

if(dieg<85)
{dieg=85;}

if(dieg>340)
{dieg=340;}
analogWrite(exodos,dieg);
}
if(kbutton==LOW)
{analogWrite(exodos,200);
dieg=200;
}
y=abs((zeroV-zeroI+kpon)*4)*5;
analogWrite(doc,y);
}
//Τέλος (4)
```

Σχήμα 6.15: Εντολές ελέγχου διέγερσης

Ο μετατροπέας μέσω του προγράμματος δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να μην ξεκινήσει με έλεγχο αλλά με κάποιο αρχικό λόγο κατάτμησης. Για το λόγο αυτό εξωτερικά υπάρχει διακόπτης που τροφοδοτεί μία είσοδο A/D. Όταν αυτός τοποθετηθεί σε κατάλληλη θέση τότε ενεργοποιείται ο έλεγχος του συντελεστή ισχύος.

Σε αυτό το σημείο το πρώτο πράγμα που επιχειρεί το πρόγραμμα είναι η ανάγνωση του διακόπτη ελέγχου ώστε αυτός να πραγματοποιείται μόνο εάν το θελήσει ο χρήστης. Η διέγερση του συστήματος που έχει εκφραστεί με την μεταβλητή dieg έχει αρχικοποιηθεί εκ των προτέρων με την τιμή 200 η οποία αντιστοιχεί με duty cycle 37.7 % των παλμών στις εξόδους PWM αφού το 531 αντιστοιχεί στο 100% μετά την αλλαγή της συχνότητας τους στα 15000 Hz.

Στην περίπτωση που ο διακόπτης έχει κλείσει τότε αρχίζει η διαδικασία του ελέγχου όπου ξεκινάει να μεταβάλλει την μεταβλητή *dieg* ανάλογα την τιμή του  $C(\text{zeroV}-\text{zeroI}+(\text{kron}))$ . Όσο το *C* έχει θετικό πρόσημο τότε η τιμή *dieg* θα αυξάνεται ανά 2 bits ( περίπου 0.4%) σε κάθε κύκλο του void loop. Σε αντίθετη περίπτωση θα μειώνεται 2 bits.

Σε κάθε κύκλο επίσης μετά την μεταβολή της *dieg* εξετάζεται κατά πόσο η τιμή της είναι εντός των ορίων που έχουν τεθεί για λόγους ασφαλείας. Το ελάχιστο επιτρεπόμενο όριο είναι η τιμή 85 (16%) και το μέγιστο η τιμή 340 (64%). Αφότου η *dieg* βρίσκεται στην επιτρεπόμενη περιοχή, αποστέλλεται στην έξοδο που έχει οριστεί ως *exodos* (pin 8) για να γίνει η διέγερση της σύγχρονης μηχανής, σε αντίθετη περίπτωση αποστέλλεται η τιμή του ανωτάτου η του κατώτατου ορίου της διέγερσης που έχει τεθεί. Στο ενδεχόμενο που ο διακόπτης ελέγχου ανοίξει ενώ γίνεται ο έλεγχος του συντελεστή ισχύος τότε η *dieg* επανέρχεται στην αρχική της κατάσταση στιγμιαία.

Στο πρόγραμμα επίσης παρατηρείται η ύπαρξη της εξίσωσης  $y=\text{abs}((\text{zeroV}-\text{zeroI}+\text{kron})*4)*5$ ; ο υπολογισμός ορίζει την διαφορά φάσης του συστήματος με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορέσει να απεικονιστεί στην έξοδο *doc* (pin 6) με την μορφή παλμών όπου το 100% του duty cycle θα αντιστοιχεί σε 106 μίρες.

## 6.7. Διεργασίες για επανάληψη της διαδικασίας και τέλος του προγράμματος (γρ. 176-191)

Η τελευταίες ενέργειες που πραγματοποιούνται σε κάθε κύκλο του void loop είναι διεργασίες που αποσκοπούν στην σωστή επανάληψη του βρόχου.



```
Ptixiakh23_9$
}
//Τέλος (4)
eis[0]=simaV;
for (i=2;i>=0;i--) // Προετοιμασία για επανάληψη της διαδικ
{
    z=eis[i];
    eis[i+1]=z;
}
for(int i=9;i>=0;i--)
{
    z=meanV[i]=zcV;
}
for(int i=9;i>=0;i--)
{
    z=meanI[i]=zcI;
}
} //Τέλος προγράμματος
```

Σχήμα 6.16: Εντολές επανάληψης διαδικασίας

Αμέσως μετά την διαδικασία ελέγχου του προγράμματος έχει συνταχθεί η λειτουργία F.I.F.O για τον μονοδιάστατο πίνακα τριών θέσεων `eis[i]` που εξυπηρετεί την εκκίνηση του βρόχου δειγματοληψίας την κατάλληλη στιγμή όπως αναλύθηκε παραπάνω (Διαδικασία δειγματοληψίας, ανάγνωσης και αποθήκευσης των δεδομένων).

Στην συνέχεια πραγματοποιείται καταχώριση σε όλα τα στοιχεία των πινάκων `meanV` και `meanI` με τις αρχικές τους τιμές `zcV` και `zcI` ώστε να μπορέσει να επαναληφθεί ορθά η διαδικασία του `void loop`.



## 6.8. Πρόγραμμα

Στη συνέχεια παρατίθεται αριθμημένο το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε στην συγκεκριμένη εφαρμογή.

```
1 #include <PWM.h>
2 #include <Average.h>
3 cint simaV;// Αρχικό δείγμα Τάσης
4 int simaI;// Αρχικό δείγμα Ρεύματος
5 int pinakasV[100]; // Πίνακας Τάσης
6 int pinakasI[100];// Πίνακας Ρεύματος
7 float meanpinakasV[100];// Πίνακας Εξομαλυμένου Σήματος V
8 float meanpinakasI[100];// Πίνακας Εξομαλυμένου Σήματος I
9 int pinzcV[890];// Πιν. για την εύρεση του σημείου 0 για το σήμα V
10 int pinzcI[890];// Πιν. για την εύρεση του σημείου 0 για το σήμα I
11 float meanV[10];// Πίν. Αποθήκευσης των 10 τελευταίων δηγμάτων από το Σήμα V
12 float meanI[10];// Πίν. Αποθήκευσης των 10 τελευταίων δηγμάτων από το Σήμα I
13 int eis[3];// Πιν. για την εύρεση του σωστού σημείου 0
14 float zcV=0;// Αρχική τιμή για τον ορισμό του σημείου 0 στην V
15 float zcI=0;// Αρχική τιμή για τον ορισμό του σημείου 0 στην I
16 int i=0; // Μετρητής i
17 int z=0;// Μετρητής z
18 int u; // Μετρητής u
19 int cv=0;// Σημείο δήγματος στο οποίο υπάρχει το σημείο 0 για την V
20 int ci=0;// Σημείο δήγματος στο οποίο υπάρχει το σημείο 0 για την I
21 float meansimaV; //Τιμή εξ. σημείου του σήματος V
22 float meansimaI; //Τιμή εξ. σημείου του σήματος I
23 float tanV;// Ρυθμός μεταβολής του σήματος V κοντά στο σημείο 0
24 float tanV1;
25 float tanV2;
26 float tanV3;
27 float tanI;// Ρυθμός μεταβολής του σήματος I κοντά στο σημείο 0
28 float tanI1;
29 float tanI2;
30 float tanI3;
31 float C; // Διαφορά φάσης σε κύκλους προγράμματος
32 float Dig;// Διαφορά φάσης σε μοίρες
33 int exodos=8;// ορισμός πιν για την PWM
34 int doc=6;//ορισμός πιν για την απεικόνιση της διαφοράς φάσης
35 int button=3; //ορισμός πιν για την είσοδο του διακόπτη ελέγχου
36 int dieg=200;// ορισμός αρχικής τιμής για την PWM
37 float zeroV;// ακριβές σημείο 0 για το σήμα V
38 float zeroI;// ακριβές σημείο 0 για το σήμα I
39 int y;//Τιμή PWM για την απεικόνιση της διαφοράς φάσης
40 int kbutton=LOW;// ορισμός αρχικής κατάστασης του διακόπτη ελέγχου
41 int pon;//Τιμή ποντεσιομέτρου ελέγχου
42 float kpon;//Τιμη ποντεσιομέτρου ελέγχου μετα την αντιστοίχιση map
43
44
45 void setup()
```

```

46 {

47 InitTimersSafe();
48 SetPinFrequency(exodos,15000); // Ορισμός συχνότητας για της εξόδους PWM
49 pinMode(exodos,OUTPUT);
50 pinMode(doc,OUTPUT);
51 pinMode(button,INPUT);
52 Serial.begin(9600);
53 analogWrite(exodos,dieg);
54
55 for(i=0;i<890;i++) // Εύρεση σημείου μηδενισμού
56 {
57 simaI=analogRead(A0);
58 simaV=analogRead(A1);
59 pinzcV[i]=simaV;
60 pinzcI[i]=simaI;
61 }
62 zcV=mean(pinzcV,890);
63 zcI=mean(pinzcI,890);
64 for(int i=9;i>=0;i--)
65 {z=meanV[i]=zcV;}
66 for(int i=9;i>=0;i--)
67 {z=meanI[i]=zcI;}
68
69 }// Τέλος (1)
70
71 void loop()
72 {
73 simaV=analogRead(A1); // Εξέταση zero crossing
74 if(simaV>(zcV-25)&&simav<(zcV-16)) // για την εκκίνηση δειγματοληψίας (4)
75 {
76 if(simaV>eis[1] && eis[1]>eis[2])
77 {
78 pon=analogRead(A4);
79 kpon=map(pon,0,1023,-15,20);
80 for(i=0;i<100;i++) // Εκκίνηση δειγματοληψίας(1)
81 {
82 simaI=analogRead(A0);
83 simaV=analogRead(A1);
84 pinakasV[i]=simaV;
85 pinakasI[i]=simaI;
86 } //Τέλος(1)
87
88 for(i=0;i<100;i++) //Εκκίνηση αναπαραγωγής, εξομάλυνσης σήματος και επεξεργασίας
δεδομένων(2)
89 {
90 meanV[0]=pinakasV[i];
91 meanI[0]=pinakasI[i];
92 meansimaV=mean(meanV,10);
93 meansimaI=mean(meanI,10);
94 meanpinakasV[i]=meansimaV;

```

```

95     meanpinakasI[i]=meansimaI;
96
97     if(meansimaV>=zcV&& meansimaV<=(zcV+30) && meansimaV<meanpinakasV[i-1]
&& meanpinakasV[i-1]<meanpinakasV[i-2]) // Έλεγχος και απεικόνιση για Zero crossing στην
τάση
98     {   cv=i;
99     /*Serial.print("V->");
100     Serial.print(" ");*/
101
102     }
103     if(meansimaI>=zcI && meansimaI<=(zcI+8)&& meansimaI<meanpinakasI[i-1] &&
meanpinakasI[i-1]<meanpinakasI[i-2]) // Έλεγχος και απεικόνιση για Zero crossing στό ρεύμα
104     {   ci=i;
105     /* Serial.print("I->");
106     Serial.print(" ");*/
107     }
108     tanV1=((meanpinakasV[cv]-meanpinakasV[cv-5])/(cv-5)-(cv));
109     tanV2=((meanpinakasV[cv-1]-meanpinakasV[cv-4])/(cv-4)-(cv-1));
110     tanV3=((meanpinakasV[cv-2]-meanpinakasV[cv-3])/(cv-3)-(cv-2));
111     tanI1=((meanpinakasI[ci]-meanpinakasI[ci-5])/(ci-5)-(ci));
112     tanI2=((meanpinakasI[ci-1]-meanpinakasI[ci-4])/(ci-4)-(ci-1));
113     tanI3=((meanpinakasI[ci-2]-meanpinakasI[ci-3])/(ci-3)-(ci-2));
114     tanV=(tanV1+tanV2+tanV3)/3;
115     tanI=(tanI1+tanI2+tanI3)/3;
116     zeroV=(cv-(meanpinakasV[cv]-zcV)/tanV);
117     zeroI=(ci-(meanpinakasI[ci]-zcI)/tanI);
118     C=zeroV-zeroI+(kpron);
119     Dig=C*4;
120
121     /*Serial.print(i);           // Αποστολή δεδομένων στον χρήστη
122     Serial.print(" ");
123     Serial.print(pinakasV[i]);
124     Serial.print(" ");
125     Serial.print(meansimaV);
126     Serial.print(" ");
127     Serial.print(pinakasI[i]);
128     Serial.print(" ");
129     Serial.println(meansimaI);
130                               // Τέλος Α.Δ.Σ.χ */
131
132     for(int u=9;u>=0;u--)      // Διαδικασία Fifo τον πίνακα εξομάλυνσης V(3)
133     {
134         z=meanV[u];
135         meanV[u+1]=z;
136     }                          // Τέλος (3)
138     for(int u=9;u>=0;u--)      // Διαδικασία Fifo τον πίνακα εξομάλυνσης I(5)
139     {
140         z=meanI[u];
141         meanI[u+1]=z;
142     }                          // Τέλος (5)
143 }                              // Τέλος (2)

```

```

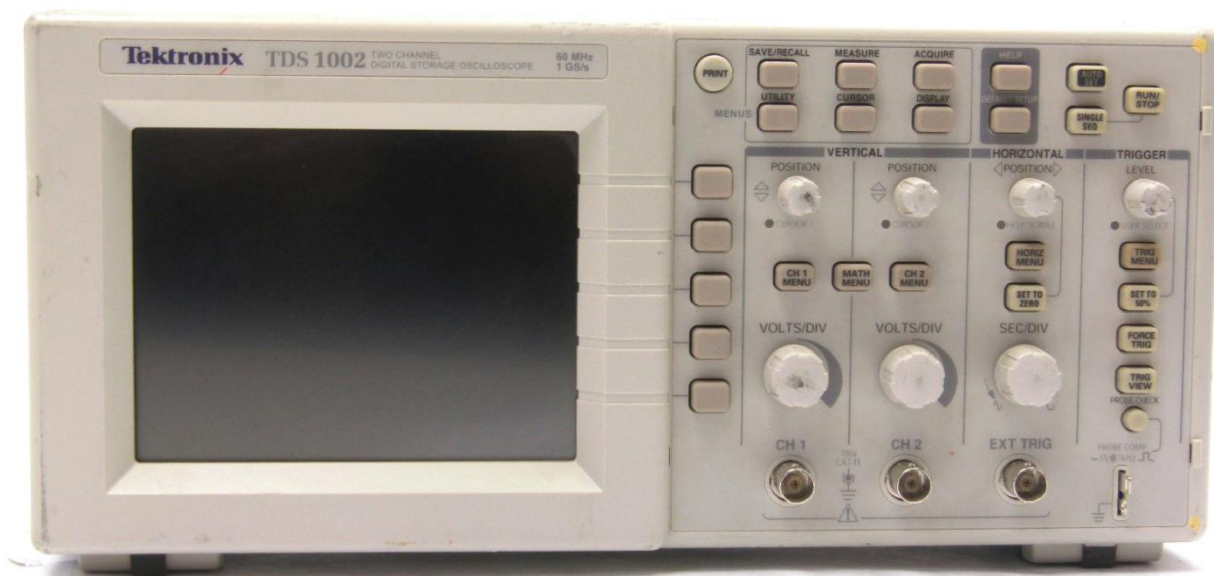
144 /* Serial.println("_____");
145 Serial.print("DF= ");
146 Serial.print(Dig);
147 Serial.print("* Exodos =");
148 Serial.println(dieg);
149 Serial.println("_____");
150 */
151
152 kbutton=digitalRead(button);
153 if(kbutton==HIGH)
154 {
155   if(Dig>0)
156     {dieg=dieg+2;}
157   else
158     {dieg=dieg-2;}
159
160   if(dieg<85)
161     {dieg=85;}
162
163   if(dieg>340)
164     {dieg=340;}
165   analogWrite(exodos,dieg);
166 }
167 if(kbutton==LOW)
168   {analogWrite(exodos,200);
169     dieg=200;
170   }
171 y=abs((zeroV-zeroI+kpon)*4)*5;
172 analogWrite(doc,y);
173 }
174
175 } // Τέλος (4)
176 eis[0]=simaV;
177 for (i=2;i>=0;i--) // Προετοιμασία για επανάληψη της διαδικασίας
178 {
179   z=eis[i];
180   eis[i+1]=z;
181 }
182 for(int i=9;i>=0;i--)
183 {
184   z=meanV[i]=zcV;
185 }
186 for(int i=9;i>=0;i--)
187 {
188   z=meanI[i]=zcI;
189 }
190
191 }//Τέλος προγράμματος

```

## 7. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

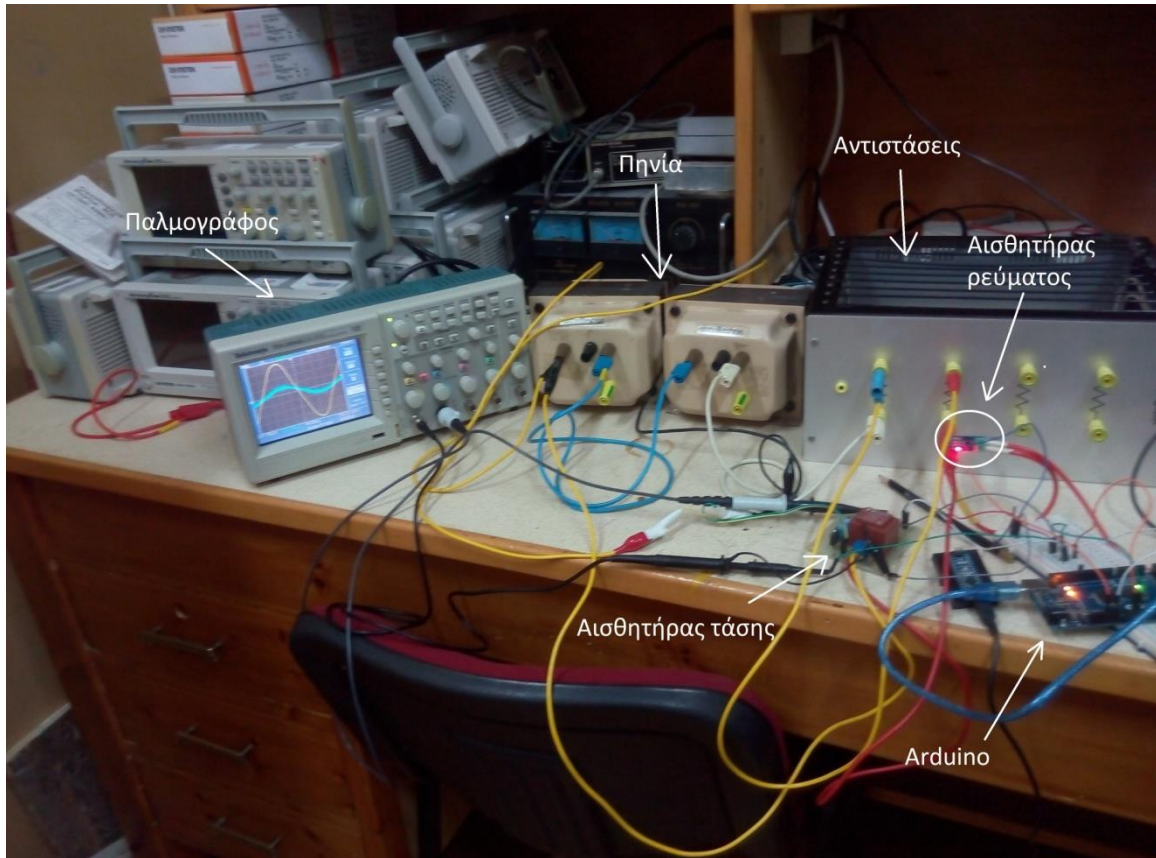
### 7.1 Πειραματική δοκιμή με αντιστάσεις και επαγωγές

Κατά την ολοκλήρωση του προγραμματισμού του μικροελεγκτή για να διασφαλιστεί η σωστή λειτουργία αλλά και η ακεραιότητα των οργάνων και των μηχανών που χρησιμοποιήθηκαν κατά την διάρκεια του πειράματος, ελέγχθηκε η ορθή και ομαλή λειτουργία του μετατροπέα μέσω αντιστάσεων και επαγωγών. Δηλαδή τροφοδοτήθηκαν με εναλλασσόμενη τάση αντιστάσεις και επαγωγές για την δημιουργία ρεύματος και διαφοράς φάσης αντίστοιχα, καθότι μελετήθηκε και η έξοδος του μετατροπέα μέσω παλμογράφου. Κατά την διαδικασία αυτή μελετήθηκε η ακρίβεια ανάγνωσης των απαραίτητων μεγεθών (τάση, ρεύμα) καθώς και η ορθότητα των παλμών PWM που παρήγαγε ο μικροελεγκτής σύμφωνα με τα δεδομένα που λάμβανε από το σύστημα.

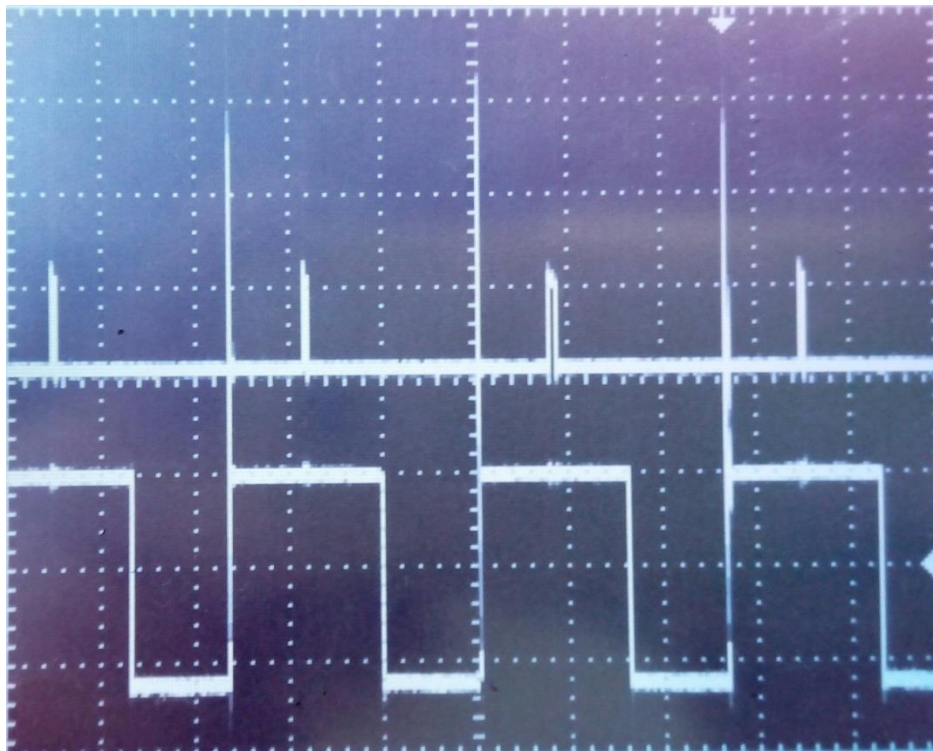


**Σχήμα 7.1:** Ο παλμογράφος που χρησιμοποιήθηκε Tektronix TDS 1002

Στο σχήμα 7.2 που ακολουθεί παρουσιάζεται η πειραματική δοκιμή ανάγνωσης των σημάτων που δέχεται ο μικροελεγκτής από τους αισθητήρες. Όπως φαίνεται στον παλμογράφο του σχήματος εμφανίζεται διαφορά φάσης μεταξύ της τάσης και του ρεύματος και αυτό οφείλεται στις επαγωγές που έχουν συνδεθεί στο κύκλωμα. Η εικόνα του παλμογράφου είναι από την τάση και το ρεύμα του φορτίου που έχει συνδεθεί στο δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Ο μικροελεγκτής λαμβάνει ακριβώς το ίδιο σήμα και αναγνωρίζει την διαφορά φάσης όπως έχει περιγραφεί στο προηγούμενο κεφάλαιο.



Σχήμα 7.2: Πειραματική διαδικασία με αντιστάσεις και επαγωγές



Σχήμα 7.3: Παλμοί μικροελεγκτή για ωμικό φορτίο

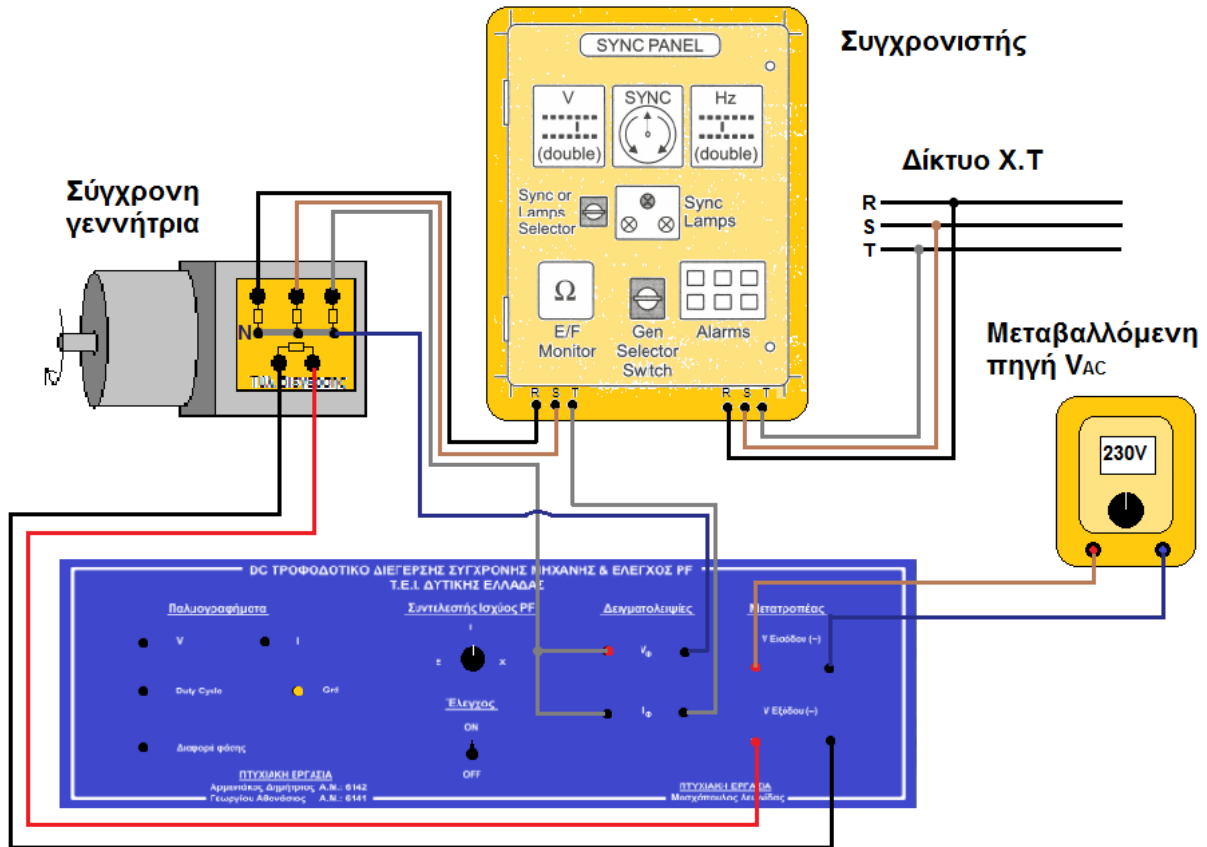
Στο σχήμα 7.3 παρουσιάζονται οι παλμοί που παράγει ο μικροελεγκτής για ωμικό φορτίο. Στο πάνω κανάλι του παλμογράφου διακρίνεται η διαφορά φάσης που διαβάζει ο μικροελεγκτής και εξάγει στην αναλογική έξοδο ως τιμή. Όσο μεγαλύτερη είναι η γωνία, τόσο μεγαλύτερη και η διάρκεια του σήματος. Στο κάτω κανάλι φαίνονται οι παλμοί PWM που παράγει ο μικροελεγκτής για την υποτιθέμενη τροφοδότηση του μετατροπέα. Για να είναι εμφανής η διαφορά φάσης που διαβάζει ο μικροελεγκτής και να υπάρχει δυνατότητα από τον χρήστη να την βλέπει, χρησιμοποιήθηκε μια εντολή μέσα στον κώδικα όπου ανάλογα με τη διαφορά φάσης που υπάρχει, να παράγεται και ένας PWM παλμός με τον αντίστοιχο λόγο κατάτμησης (Duty cycle). Στην προκειμένη περίπτωση που η διαφορά φάσης είναι μηδέν (δηλαδή PF=1) ο λόγος κατάτμησης του παλμού είναι κάτι περισσότερο από 1%. Σε αντίθετη περίπτωση όπου θα υπήρχε διαφορά φάσης ο λόγος κατάτμησης θα ήταν αντίστοιχος της διαφοράς αυτής.

Έτσι αφού διαπιστώθηκε η σωστή λειτουργία του προγράμματος πραγματοποιήθηκε δοκιμή με την σύγχρονη γεννήτρια όπου συνδέθηκαν επαγωγικά και ωμικά φορτία στην έξοδό της. Δοκιμάστηκαν διάφορες τιμές του συντελεστή ισχύος για τα φορτία που συνδέθηκαν στη γεννήτρια και διαπιστώθηκε ξανά η ορθότητα της λειτουργίας όλου του συστήματος. Από την συγκεκριμένη διαδικασία όμως δεν λήφθηκαν μετρήσεις και εικόνες και για αυτό το λόγο δεν παρουσιάζονται.

Εφόσον η λειτουργία του συστήματος προσαρμόστηκε σύμφωνα με τις απαιτήσεις και τα όρια λειτουργίας της γεννήτριας υπήρξε συγχρονισμός στο δίκτυο και έλεγχος του συντελεστή ισχύος όπως περιγράφεται στη συνέχεια.

## 7.2 Πείραμα με συγχρονισμό στο δίκτυο

Αφού ολοκληρώθηκε η δοκιμή της σωστής λειτουργίας του προγράμματος ακολούθησε ο έλεγχος του συντελεστή ισχύος μέσω σύγχρονης μηχανής. Η διάταξη του κυκλώματος καθώς και μία μορφή της τελικής εικόνας του μετατροπέα παρουσιάζονται στο ακόλουθο σχήμα.



Σχήμα 7.4: Σχηματική απεικόνιση κυκλώματος

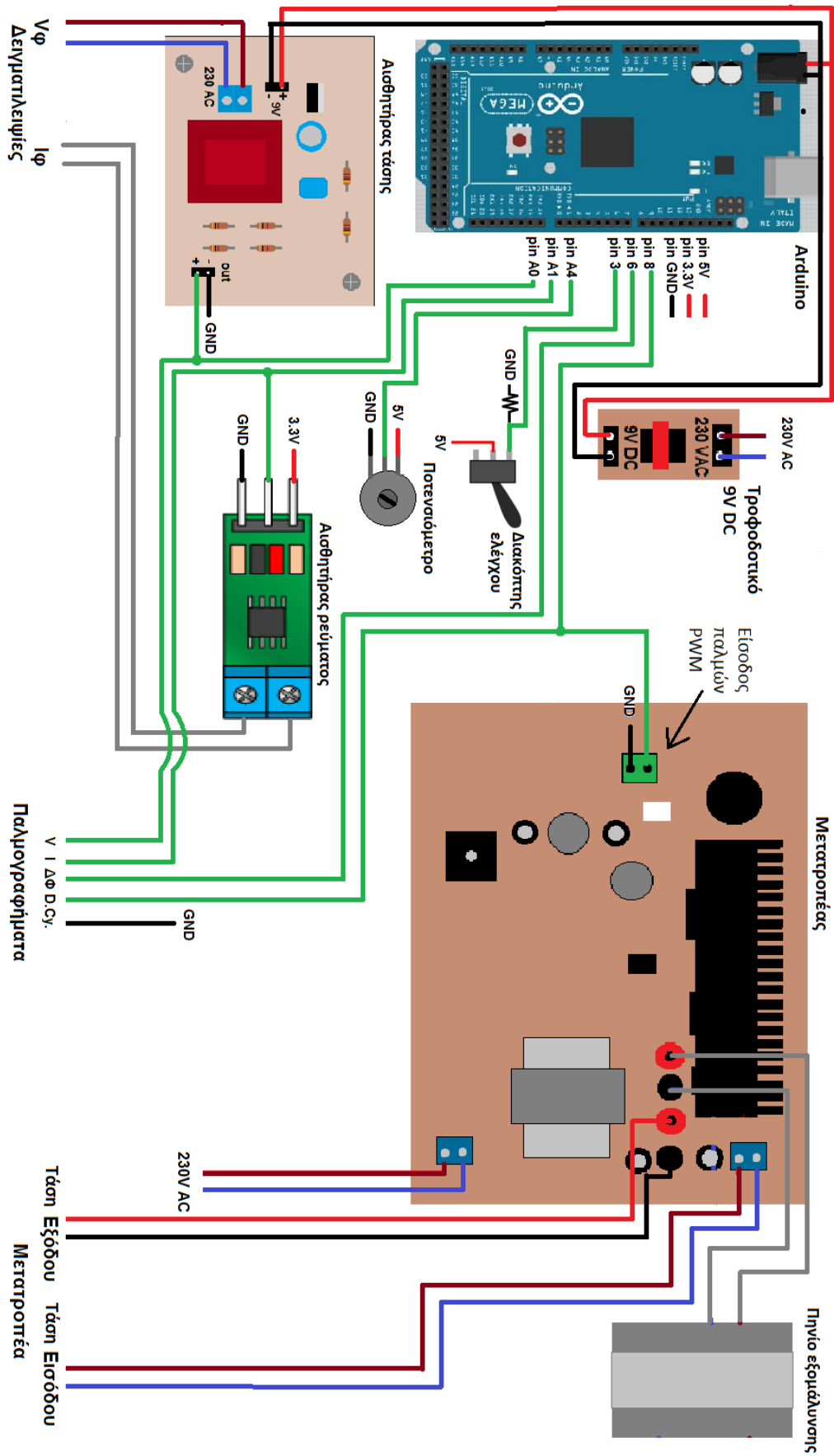


Το τελικό πείραμα πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο ηλεκτρικών μηχανών του ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας από το οποίο χρησιμοποιήθηκαν και απαραίτητες συσκευές (μηχανές, όργανα, τροφοδοτικά και συγχρονιστής). Για την στρέψη της σύγχρονης γεννήτριας χρησιμοποιήθηκε κινητήρας συνεχούς ρεύματος ο οποίος τροφοδοτούνταν από πηγή συνεχούς. Στη συνέχεια οι τρεις φάσεις της γεννήτριας συνδέονται στη συσκευή συγχρονισμού με το δίκτυο (συγχρονιστή). Ο μετατροπέας τροφοδοτείται με εναλλασσόμενο ρεύμα μέσω Variac. Η έξοδος του μετατροπέα συνδέεται στη διέγερση της σύγχρονης γεννήτριας. Στο σχήμα 7.5 παρουσιάζεται η πειραματική διάταξη.



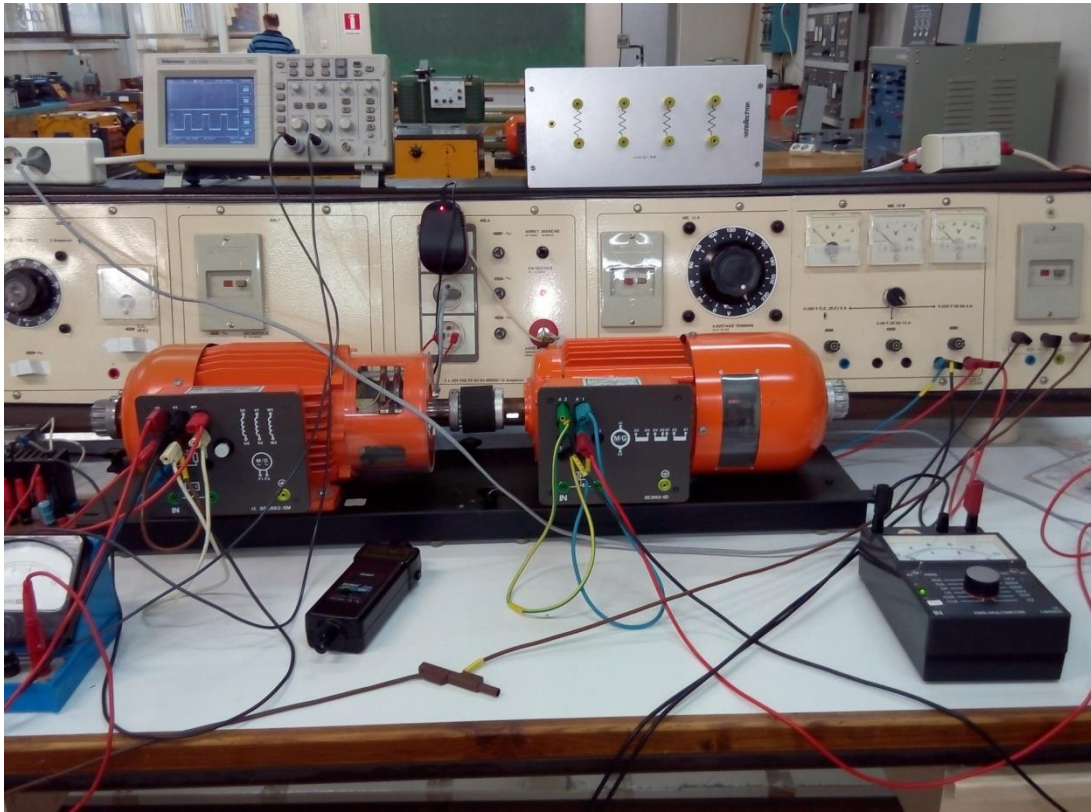
**Σχήμα 7.5:** Πειραματική διάταξη. 1) Τροφοδοτικό συνεχούς ρεύματος. 2) Κινητήρας συνεχούς ρεύματος. 3) Σύγχρονη γεννήτρια. 4) Συσκευή συγχρονισμού με δίκτυο χαμηλής τάσης. 5) Μετατροπέας με την παλμοδότηση. 6) Παλμογράφος. 7) Μεταβαλλόμενη πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος (Variac). 8) Τριφασικό δίκτυο χαμηλής τάσης.

Στη συνέχεια ακολουθεί αναλυτικό σχεδιάγραμμα με την συνδεσμολογία του μετατροπέα και των αισθητήρων ως ένα ενιαίο τροφοδοτικό.



Σχήμα 7.6: Σχεδιάγραμμα συνδεσμολογίας τροφοδοτικού

Κατά την έναρξη του πειράματος τροφοδοτήθηκε ο κινητήρας συνεχούς ρεύματος ώστε να φτάσει στις ονομαστικές του στροφές (1500 rpm) και η τάση εξόδου της γεννήτριας να είναι 220 V λαμβάνοντας ρεύμα διέγερσης από το τροφοδοτικό που κατασκευάστηκε. Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε συγχρονισμός με το δίκτυο χαμηλής τάσης.



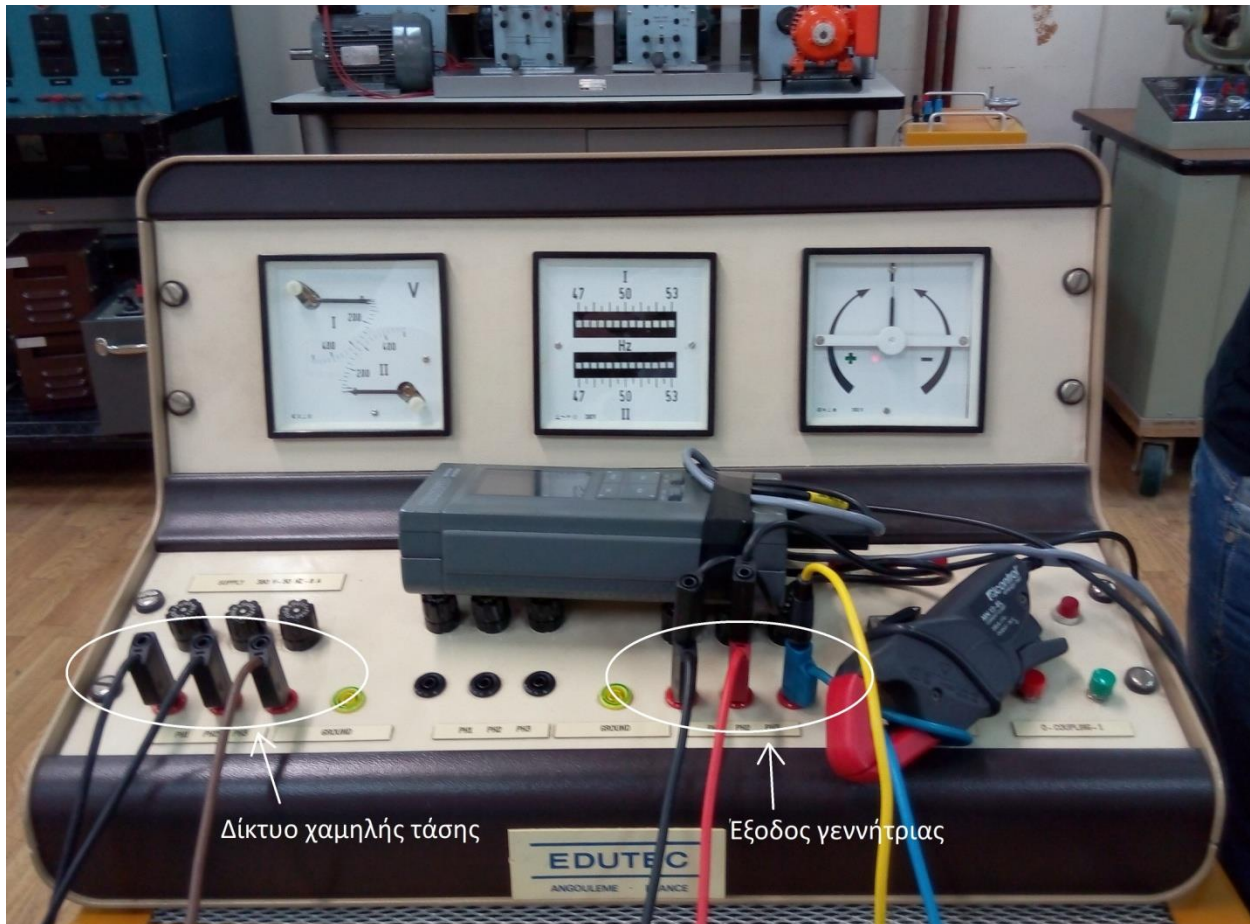
**Σχήμα 7.7:** Κινητήρας συνεχούς και σύγχρονη γεννήτρια

Στο σχήμα 7.7 παρουσιάζεται η διάταξη του κινητήριου συστήματος αποτελούμενο από τον κινητήρα συνεχούς ρεύματος και τη σύγχρονη γεννήτρια. Η γεννήτρια είναι συνδεδεμένη σε συνδεσμολογία αστέρα.

 <b>Lucas-Nuelle Lehr- und Meßgeräte GmbH</b> Germany - 50170 Kerpen - Siemensstr. 2			
SE2662-5M	VDE 0530	IP: 20	Is.Kl. :
$\Delta/Y$	U: 230 / 400 V	I: 2,8 / 1,6 A	
Mot. SY	0,8 kW	cos : 1 / 0,8	
	1500 1/min	f : 50 Hz	
U <sub>err</sub> :	220- V	I <sub>err</sub> :	0,6- A
C <sub>ε</sub> :	C <sub>ε</sub> :	Made in Germany	

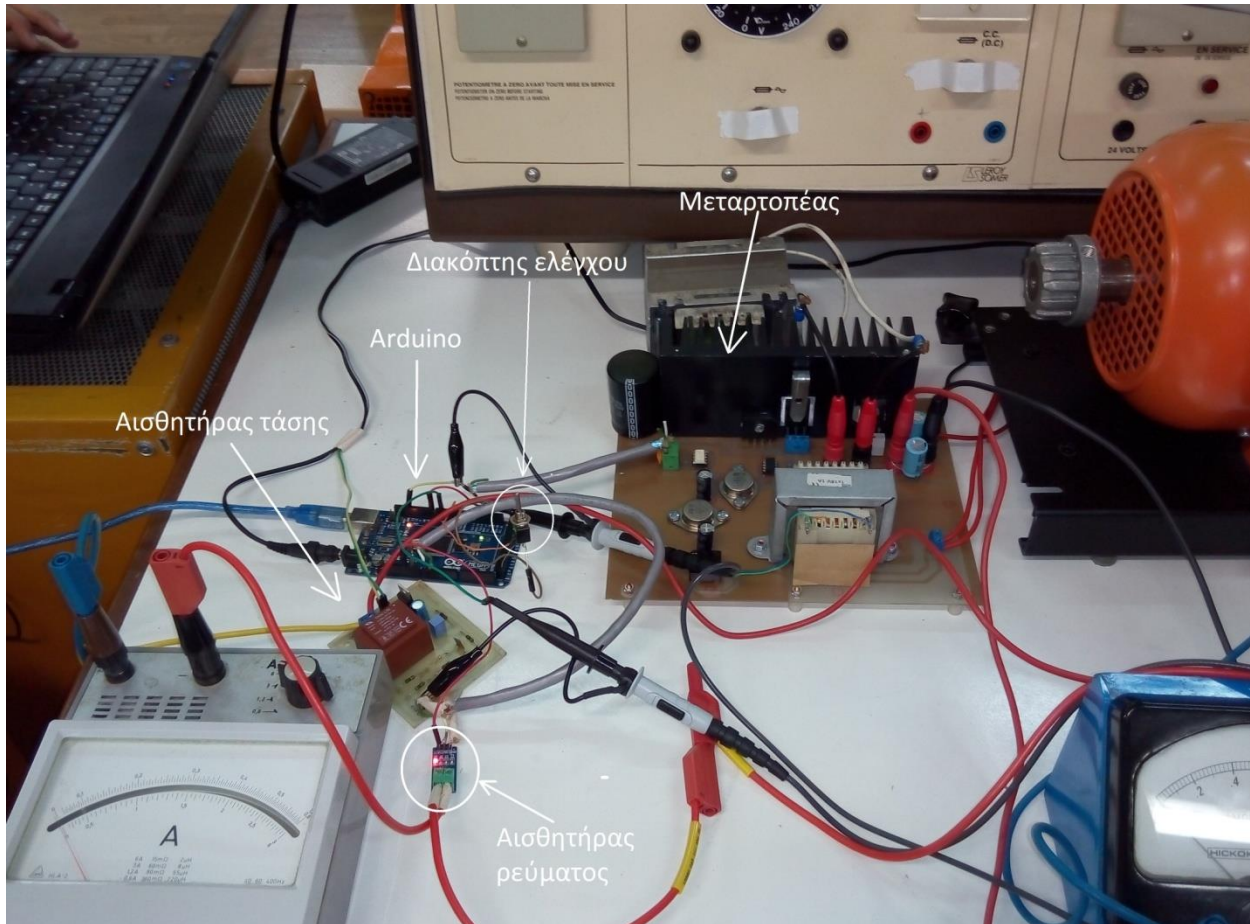
**Σχήμα 7.8:** Πινακίδα κατασκευαστή σύγχρονης γεννήτριας

Καθ' όλη την διάρκεια του πειράματος για λόγους ασφαλείας ελέγχονταν συνεχώς το ρεύμα στις μηχανές καθώς και το ρεύμα διέγερσης της γεννήτριας. Ο συγχρονισμός στο δίκτυο χαμηλής τάσης πραγματοποιήθηκε με την συσκευή του σχήματος που ακολουθεί.



**Σχήμα 7.9:** Συσκευή συγχρονισμού με δίκτυο χαμηλής τάσης

Όπως φαίνεται στο σχήμα 7.9 στην έξοδο της γεννήτριας έχει τοποθετηθεί αναλυτής ισχύος για την ανάγνωση της ισχύος της γεννήτριας, του ρεύματος καθώς και του συντελεστή ισχύος όπου είναι και το ζητούμενο μέγεθος.



**Σχήμα 7.10:** Διάταξη μετατροπέα, μικροελεγκτή και αισθητήρων

Στο σχήμα 7.10 παρουσιάζεται η πειραματική διάταξη του μετατροπέα, του μικροελεγκτή και των αισθητήρων τάσης και ρεύματος. Ο αισθητήρας τάσης λαμβάνει την φασική τάση από την έξοδο της γεννήτριας και ο αισθητήρας ρεύματος λαμβάνει το φασικό ρεύμα στην έξοδο αυτής. Στη συνέχεια ο μικροελεγκτής παλμοδοτεί κατάλληλα τον μετατροπέα με PWM παλμούς. Όπως διακρίνεται και στο παραπάνω σχήμα έχει τοποθετηθεί αμπερόμετρο σε σειρά με τον αισθητήρα ρεύματος για την συνεχή ανάγνωση της τιμής του ρεύματος της γεννήτριας η οποία δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 1,6 A και το ρεύμα διέγερσης δεν πρέπει να υπερβεί τα 0,6 A (ονομαστικά στοιχεία της γεννήτριας).

Αφού ολοκληρώθηκε ο συγχρονισμός με το δίκτυο με τον τρόπο που περιγράφηκε προηγουμένως ο έλεγχος του συντελεστή ισχύος ενεργοποιείται μέσω του διακόπτη που φαίνεται στο προηγούμενο σχήμα (Σχήμα 7.10). Αρχικά, η επιθυμητή τιμή του συντελεστή ισχύος δινόταν μέσω του προγράμματος, κατά την ενεργοποίηση του διακόπτη ελέγχου. Έτσι, μετέβαινε στην προκαθορισμένη τιμή. Για κάθε τιμή του συντελεστή ισχύος που ήταν επιθυμητή να τεθεί γινόταν αλλαγή της τιμής μέσω του προγράμματος και η διαδικασία του πειράματος επαναλαμβανόταν από την αρχή. Για να υπάρχει απ' ευθείας μεταβολή του συντελεστή ισχύος από τον χρήστη τοποθετήθηκε ποτενσιόμετρο κατά την ολοκλήρωση της κατασκευής, όπου γίνεται πλέον ρύθμιση αυτού σύμφωνα με τα όρια λειτουργίας της γεννήτριας του πειράματος.

Η τιμή του συντελεστή ισχύος ( $\Sigma.I.$ ) σύμφωνα με τα όρια της γεννήτριας είναι από 0,74 χωρητικό έως 0,74 επαγωγικό. Η τιμή του λόγου κατάμησης που μεταβάλλεται μέσω του προγράμματος του μικροελεγκτή είναι και αυτή ανάλογη του ρεύματος διέγερσης της γεννήτριας. Τα όρια του ρεύματος έχουν προσδιορισθεί μεταξύ των τιμών 0,2 A και 0,6 A.

Καθώς η γεννήτρια είναι συγχρονισμένη με το ισχυρό δίκτυο, η μεταβολή στην ενεργό ισχύ της πραγματοποιείται από την κινητήρια μηχανή. Αυξάνοντας το ρεύμα του κινητήρα αυξάνεται η ενεργός ισχύς στον άξονα της γεννήτριας και κατά συνέπεια αυξάνεται το ρεύμα στην έξοδο αυτής. Η τιμή του ρεύματος της γεννήτριας πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 0,8 A γιατί δεν ήταν εφικτή η σωστή «ανάγνωση» της κυματομορφής από τον αισθητήρα ρεύματος. Έτσι, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις για διάφορες τιμές της ενεργού ισχύος και διάφορες τιμές του συντελεστή ισχύος.

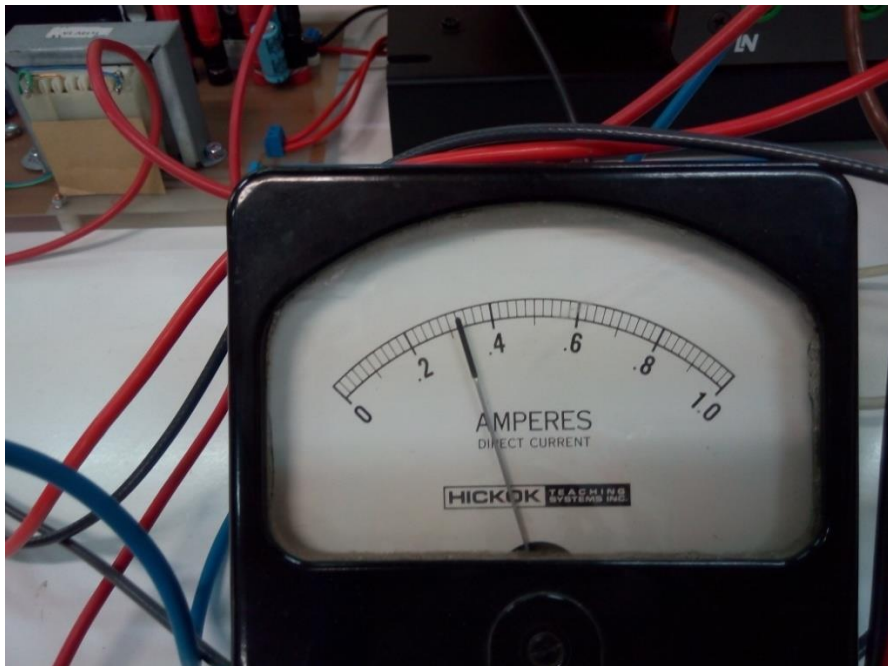
Στην συνέχεια ακολουθούν εικόνες από τα όργανα για  $\Sigma.I.=0,75$  επαγωγικό με μεταβολή του ρεύματος του κινητήρα.



**Σχήμα 7.11:** Ένδειξη αναλυτή ισχύος για  $\Sigma.I.= 0,75$  επαγωγικό



Σχήμα 7.12: Ένδειξη αμπερομέτρου για ρεύμα γεννήτριας 1 A



Σχήμα 7.13: Ένδειξη για ρεύμα διέγερσης 0,32 A

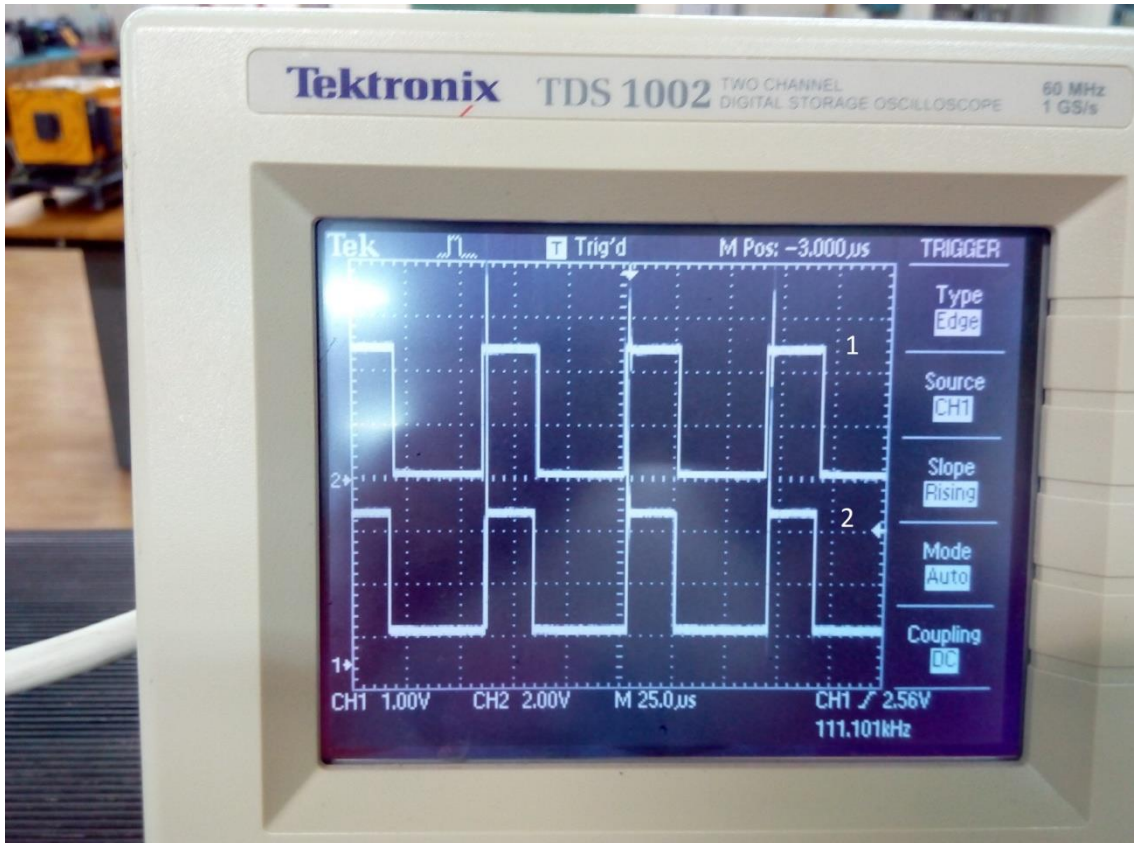


Σχήμα 7.14: Ένδειξη τάσης μετατροπέα 220 V



Σχήμα 7.15: Ένδειξη ρεύματος κινητήρα συνεχούς 5,55 A





**Σχήμα 7.16:** Ένδειξη παλμογράφου για  $\Sigma.I= 0,75$  (κυματομορφή 1) και Duty cycle 32% (κυματομορφή 2)

Πραγματοποιήθηκαν πειράματα με διάφορες τιμές τάσης τροφοδοσίας του ηλεκτρονικού μετατροπέα ισχύος (από 220 V AC ως 160 V AC) αλλά και για διάφορες τιμές του ρεύματος της κινητήριας μηχανής (από 5,5 A ως 6,5 A). Στην επόμενη παράγραφο περιγράφονται τα πειράματα.

### 7.3 Αποτελέσματα πειραμάτων

Σε αυτό το σημείο πραγματοποιήθηκαν τα πειράματα μεταβάλλοντας το ρεύμα της κινητήριας μηχανής (και κατά συνέπεια το φορτίο στον άξονα της γεννήτριας), καθώς και μεταβάλλοντας την τάση τροφοδοσίας του μετατροπέα ισχύος. Στη συνέχεια παρατίθενται τα αποτελέσματα από τις δύο δοκιμές καθώς και κάποια παλμογραφήματα.

Στον πίνακα 7.1 που ακολουθεί ορίστηκε ο Σ.Ι. στην τιμή 0,74. Υπήρχε μεταβολή του φορτίου στον άξονα της γεννήτριας και μεταβολή στη τάση τροφοδοσίας του μετατροπέα.

Ορισμός Σ.Ι.=0,74.

	Μετατροπέας		Κινητήρας	Γεννήτρια			Σ.Ι.
	V (V)	D.C (%)	I <sub>K</sub> (A)	I <sub>φ</sub> (A)	I <sub>δ</sub> (A)	P (kW)	
Μεταβολή φορτίου στον άξονα	220	32	5,5	1	0,31	1,13	0,74
	220	32	4,6	0,8	0,32	0,97	0,74
	220	33	6,5	1,15	0,31	1,31	0,75
Μεταβολή τάσης τροφοδοσίας μετατροπέα	200	37	6,4	1,13	0,31	1,3	0,76
	180	40	6,4	1,16	0,3	1,3	0,77
	160	44	6,2	1,1	0,31	1,3	0,77

Πίνακας 7.1

Όπως παρατηρείται στον προηγούμενο πίνακα η τιμή του Σ.Ι. που ορίστηκε αρχικά ως 0,74 διαφοροποιείται ελάχιστα ως προς τη ζητούμενη τιμή, ανεξάρτητα από το φορτίο. Κατά την μεταβολή του φορτίου στον άξονα της γεννήτριας, ο Σ.Ι. μεταβλήθηκε μόνο κατά 0,01, ενώ κατά την μεταβολή της τάσης τροφοδοσίας του μετατροπέα ο Σ.Ι. μεταβλήθηκε κατά 0,03. Η ακρίβεια είναι πολύ υψηλή και κάποιες μικρές αποκλίσεις είναι λογικές εφόσον η ακρίβεια της δειγματοληψίας δεν είναι τεράστια, καθώς και η εμφάνιση παρασίτων στα σήματα δειγματοληψίας είναι αναπόφευκτη.

Ορισμός  $\Sigma.I.=1$

	Μετατροπέας		Κινητήρας	Γεννήτρια			$\Sigma.I.$
	V (V)	D.C (%)	$I_K$ (A)	$I_\Phi$ (A)	$I_\delta$ (A)	P (kW)	
<b>Μεταβολή φορτίου στον άξονα</b>	220	48	5,5	0,8	0,44	1,2	1
	220	48	4,6	0,7	0,43	0,997	1
	220	51	6,5	0,95	0,47	1,4	1
<b>Μεταβολή τάσης τροφοδοσίας μετατροπέα</b>	200	55	6,5	0,95	0,46	1,4	1
	180	59	6,5	0,95	0,46	1,4	1
	160	63	6,5	0,94	0,42	1,37	0,98

**Πίνακας 7.2**

Στον πίνακα 7.2 φαίνονται τα αποτελέσματα για  $\Sigma.I.$  στην τιμή 1. Και κατά τις δύο μεταβολές του φορτίου ο  $\Sigma.I.$  παραμένει σταθερός εκτός από την τελευταία περίπτωση όπου μειώνεται κατά 0,02. Στην προκειμένη περίπτωση ο έλεγχος έχει πολύ μεγάλη ακρίβεια.

Ορισμός  $\Sigma.I.=0,94$

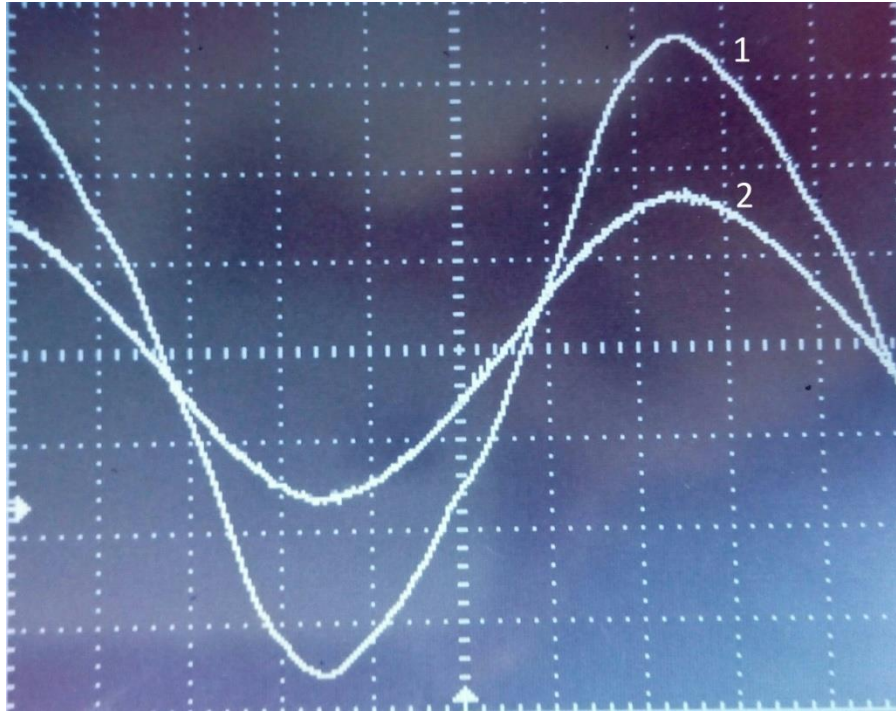
	Μετατροπέας		Κινητήρας	Γεννήτρια			$\Sigma.I.$
	V (V)	D.C (%)	$I_K$ (A)	$I_\Phi$ (A)	$I_\delta$ (A)	P (kW)	
<b>Μεταβολή φορτίου στον άξονα</b>	220	59	5,6	0,95	0,54	1,3	0,89
	220	63	4,6	1,1	0,57	1,4	0,89
	220	52	6,5	0,75	0,48	1	0,91
<b>Μεταβολή τάσης τροφοδοσίας μετατροπέα</b>	200	63	5,5	0,9	0,51	1,23	0,92

**Πίνακας 7.3**

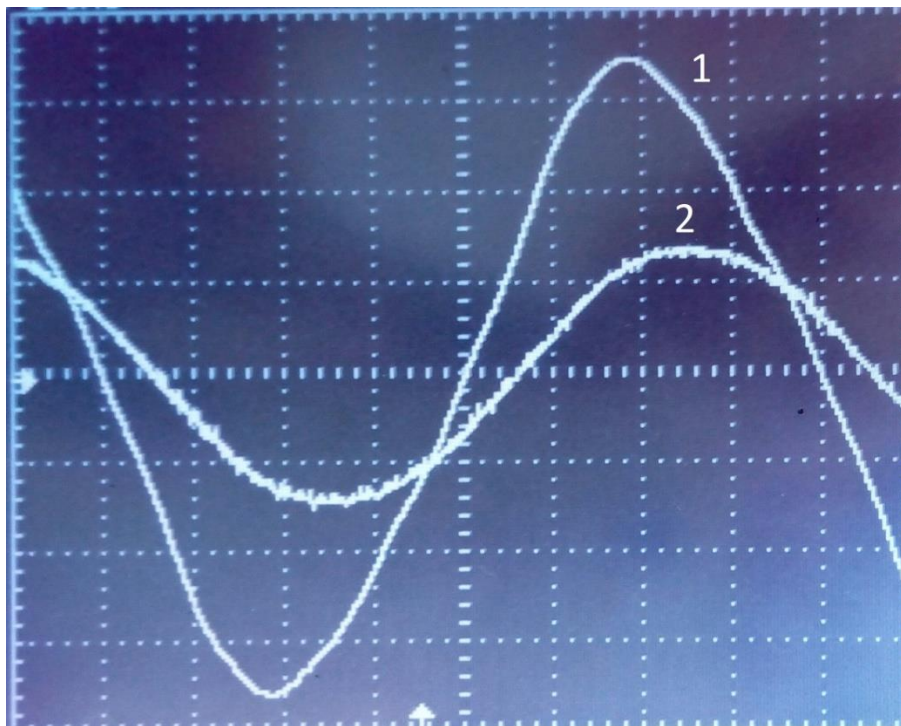
Στον πίνακα 7.3 παρουσιάζονται αποτελέσματα για  $\Sigma.I.$  στην τιμή 0,94. Η απόκριση του συστήματος σε αυτή την περίπτωση δεν είναι τόσο ικανοποιητική όπως στις προηγούμενες δύο. Παρ' όλα αυτά στις δύο πρώτες μετρήσεις κατά την μεταβολή του φορτίου στον άξονα παρατηρείται απόκλιση κατά 0,05 ενώ στη συνέχεια βελτιώνεται.

Κατά την μεταβολή της τάσης τροφοδοσίας παρατηρείται η έλλειψη των άλλων δύο τιμών. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το σύστημα κατά την λήψη της επόμενης μέτρησης έφτασε στην μέγιστη τιμή του λόγου κατάτμησης με συνέπεια το ρεύμα διέγερσης της γεννήτριας να φτάσει στο μέγιστο. Οπότε το πείραμα τερματίστηκε σε αυτό το σημείο.

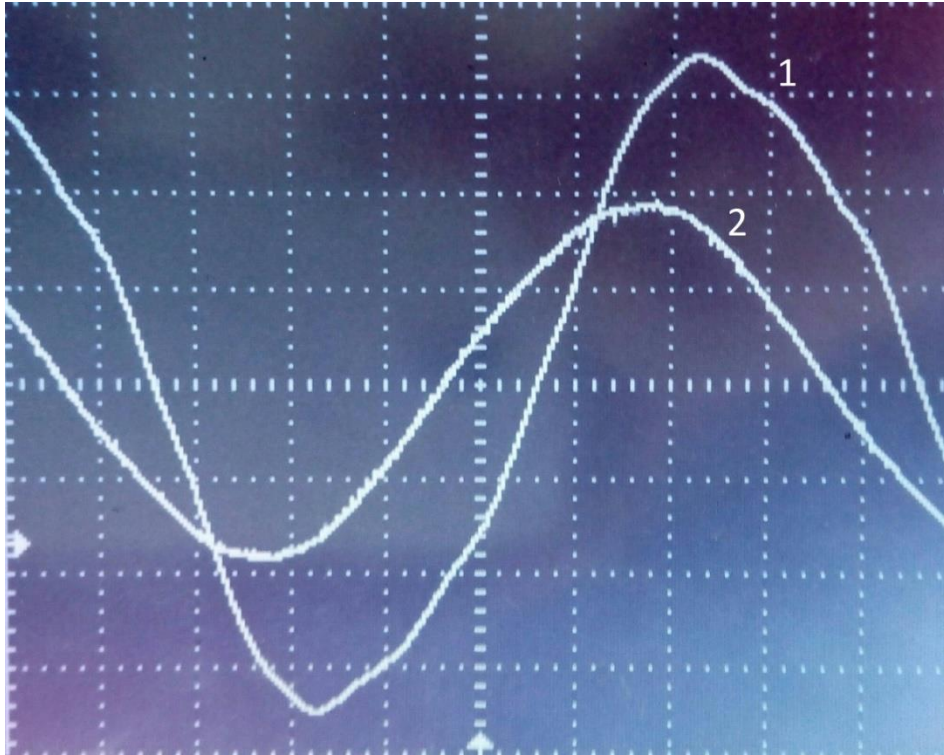
Στην συνέχεια παρατίθενται παλμογραφήματα κατά την διάρκεια του πειράματος.



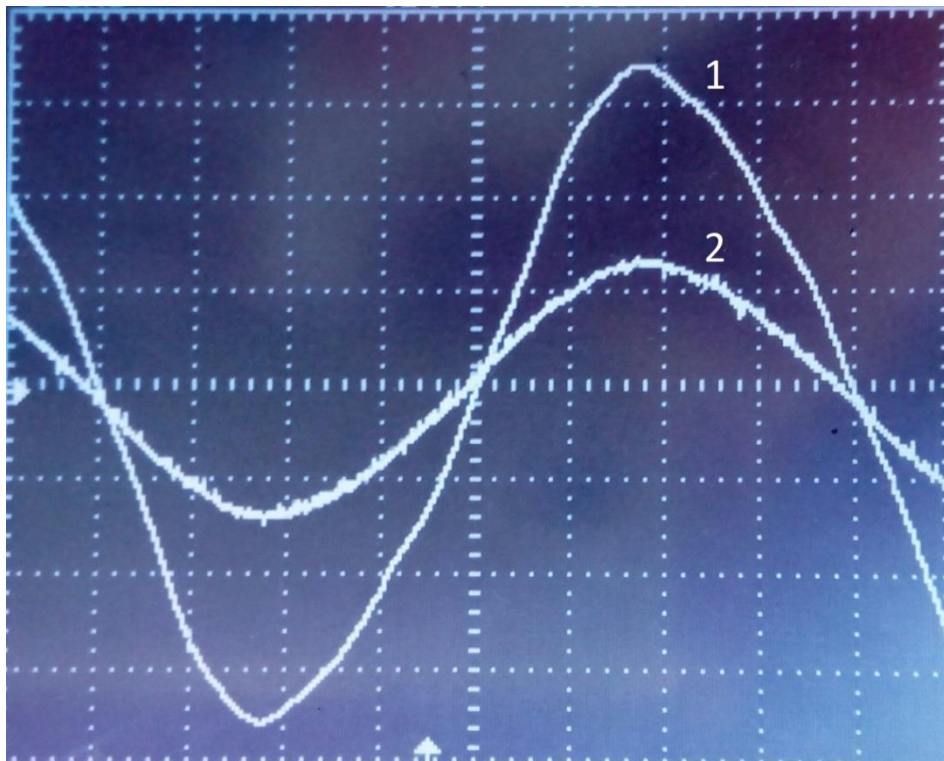
**Σχήμα 7.17:** Εικόνα παλμογράφου τάσης (1) και ρεύματος (2) για  $\Sigma.I.=0,92$  χωρητικό.  
Το ρεύμα προηγείται της τάσης



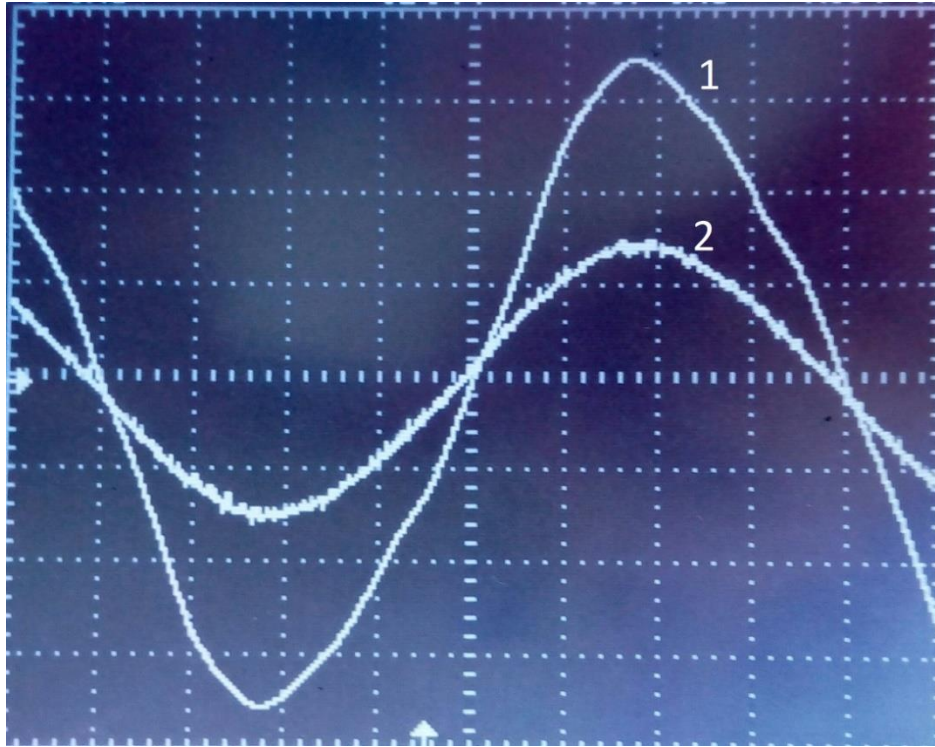
**Σχήμα 7.18:** Εικόνα παλμογράφου τάσης (1) και ρεύματος (2) για  $\Sigma.I.=0,74$  επαγωγικό.  
Το ρεύμα καθυστερεί της τάσης



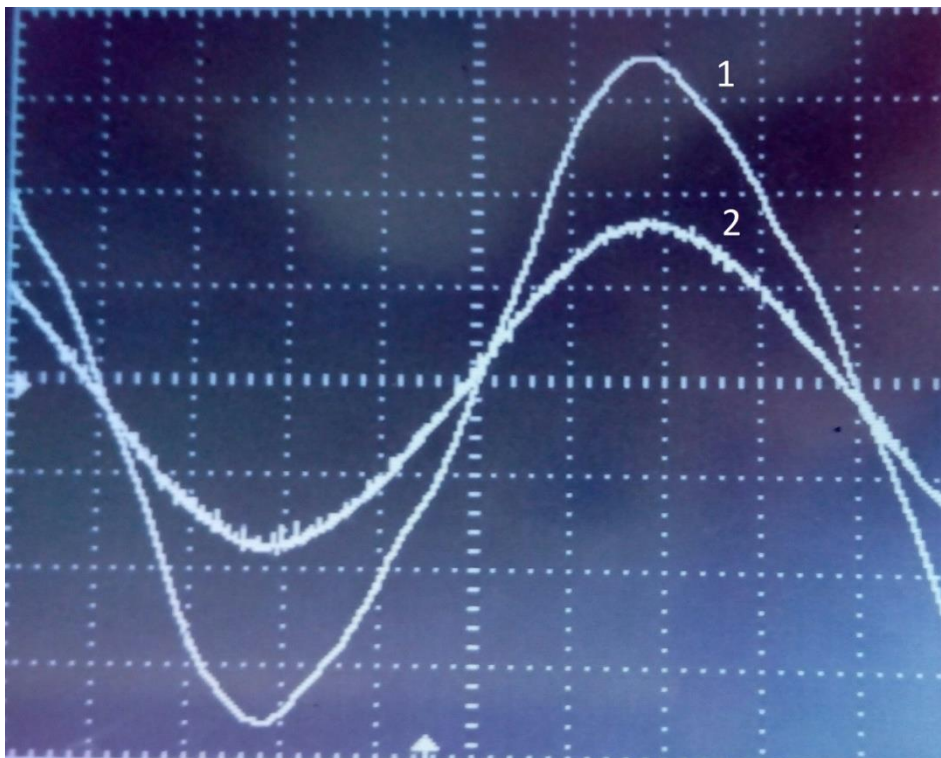
**Σχήμα 7.19:** Εικόνα παλμογράφου τάσης (1) και ρεύματος (2) για  $\Sigma.I.=0,81$  χωρητικό και μέγιστο ρεύμα διέγερσης. Το ρεύμα προηγείται της τάσης



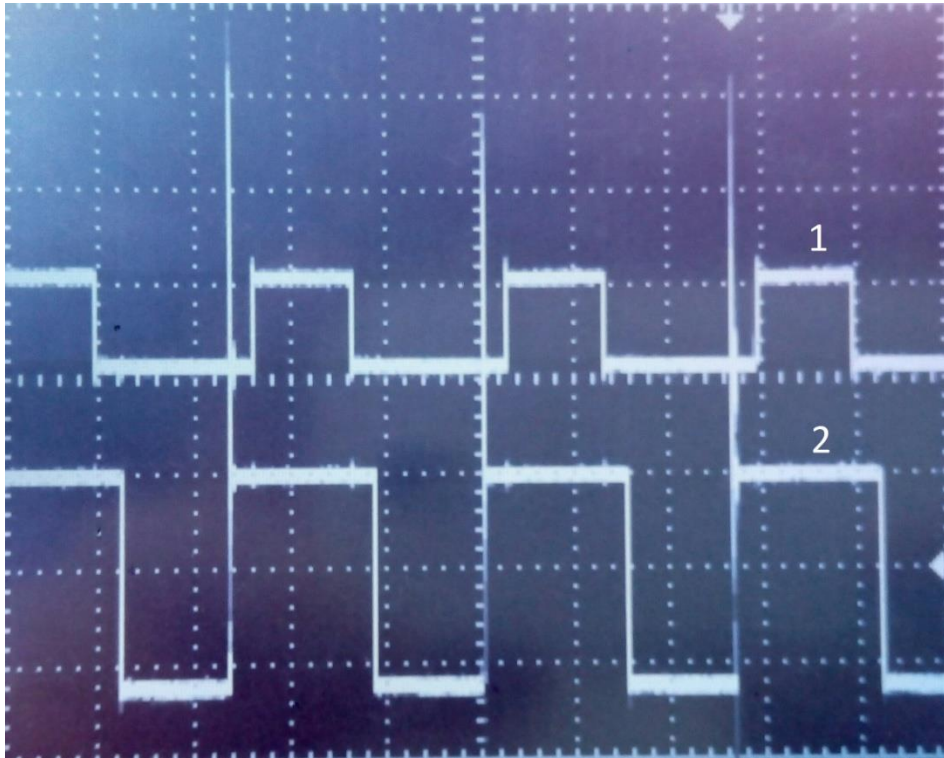
**Σχήμα 7.20:** Εικόνα παλμογράφου τάσης (1) και ρεύματος (2) για  $\Sigma.I.=1$  και ελάχιστο φορτίο. Τάση και ρεύμα είναι συμφασικά



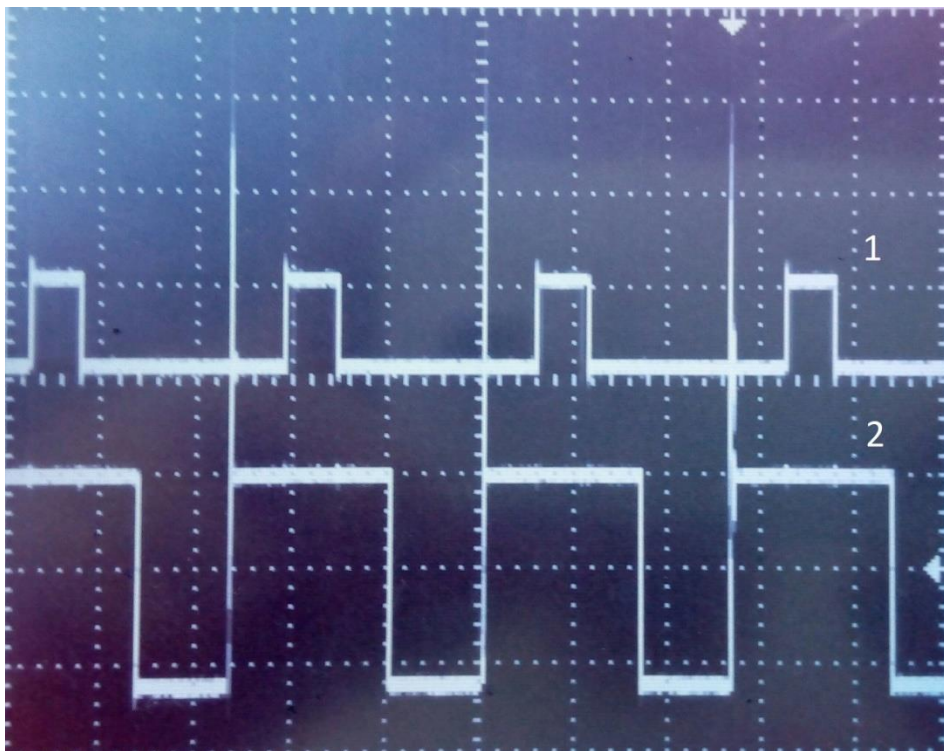
**Σχήμα 7.21:** Εικόνα παλμογράφου τάσης (1) και ρεύματος (2) για  $\Sigma.I.=1$  και μέσο φορτίο. Τάση και ρεύμα είναι συμφασικά



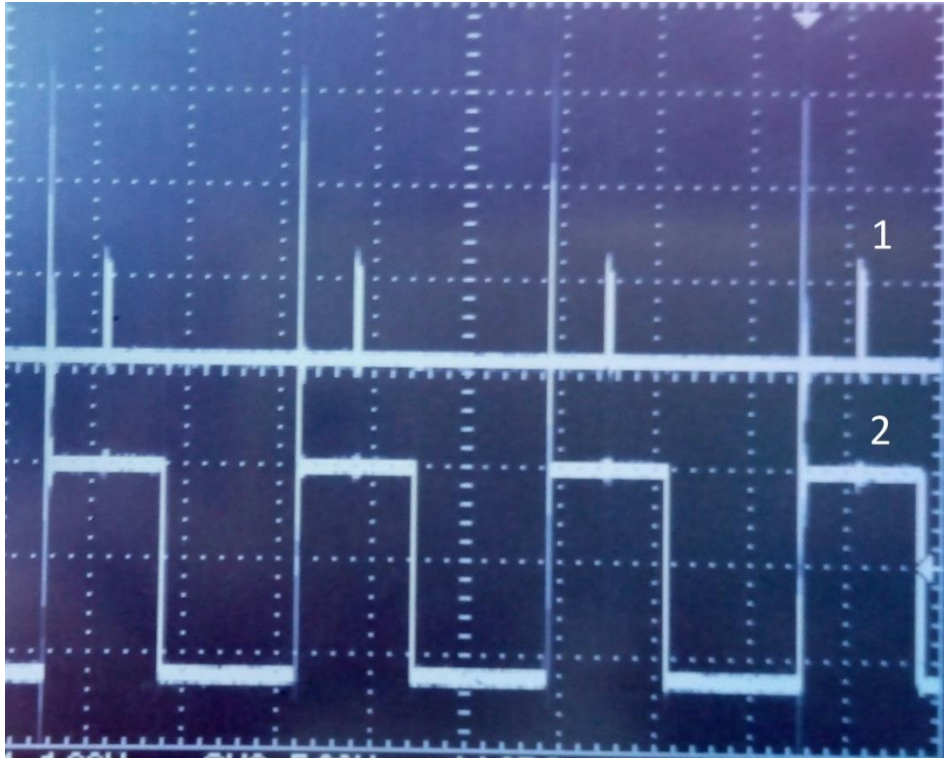
**Σχήμα 7.22:** Εικόνα παλμογράφου τάσης (1) και ρεύματος (2) για  $\Sigma.I.=1$  και μέγιστο φορτίο. Τάση και ρεύμα είναι συμφασικά



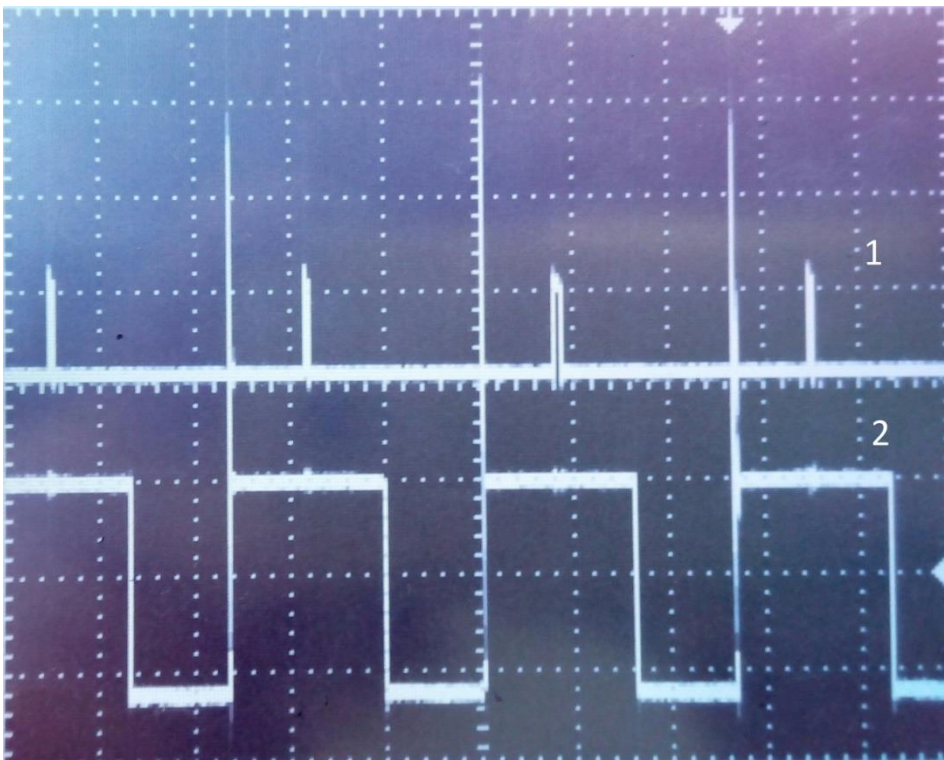
**Σχήμα 7.23:** Εικόνα παλμογράφου Σ.Ι. (1) και λόγου κατάτμησης (2) για Σ.Ι.=0,89 χωρητικό και λόγο κατάτμησης 59%



**Σχήμα 7.24:** Εικόνα παλμογράφου Σ.Ι. (1) και λόγου κατάτμησης (2) για Σ.Ι.=0,92 χωρητικό και ανώτατο λόγο κατάτμησης



**Σχήμα 7.25:** Εικόνα παλμογράφου Σ.Ι. (1) και λόγου κατάτμησης (2) για Σ.Ι.=1 και λόγο κατάτμησης 44%

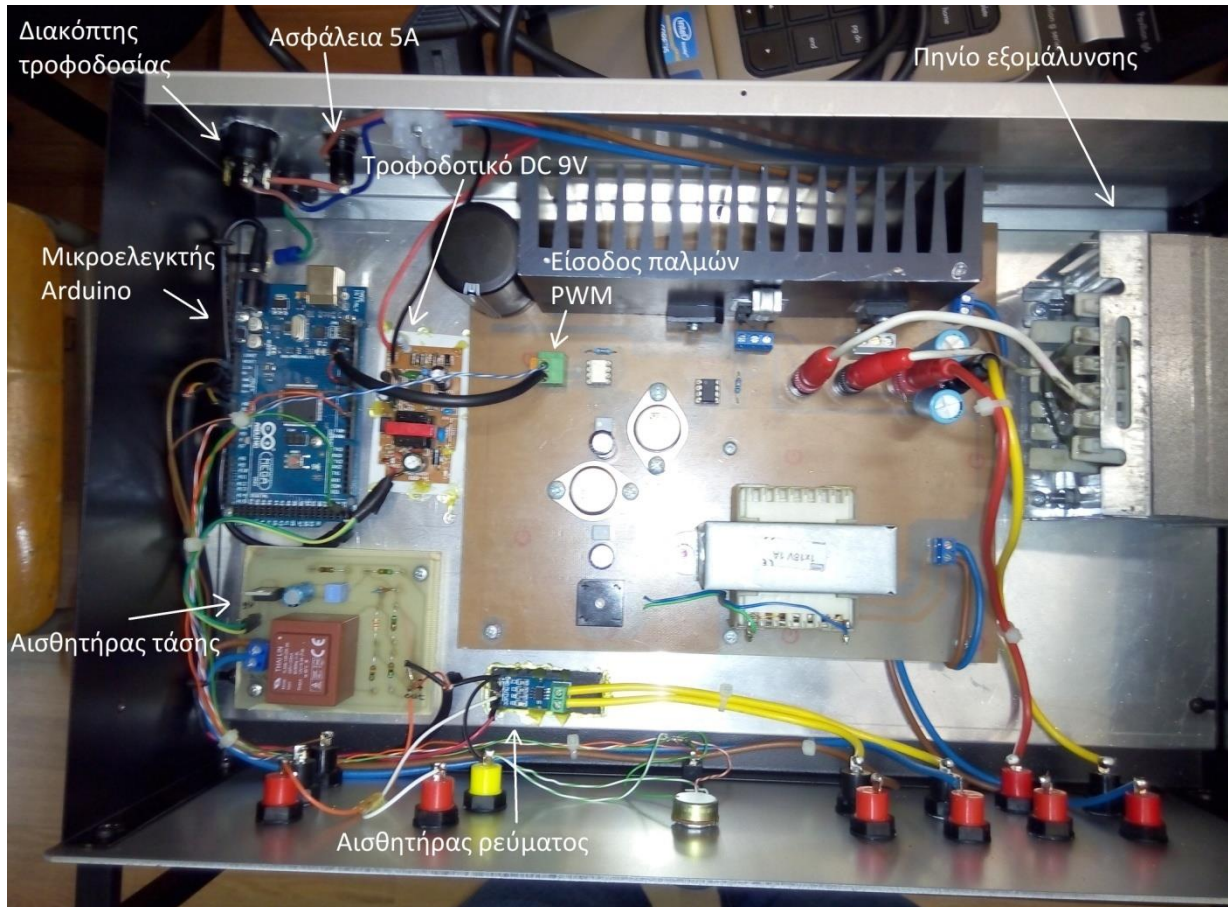


**Σχήμα 7.26:** Εικόνα παλμογράφου Σ.Ι. (1) και λόγου κατάτμησης (2) για Σ.Ι.=1 και λόγο κατάτμησης 59%



## 8. Η ΤΕΛΙΚΗ ΜΟΡΦΗ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ

Μετά την ολοκλήρωση του πειράματος και την λήψη των μετρήσεων αγοράστηκε μεταλλικό κουτί όπου τοποθετήθηκαν με κατάλληλο τρόπο όλα τα επιμέρους στοιχεία του τροφοδοτικού και δημιουργήθηκε μια ενιαία συσκευή. Στην συνέχεια παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο τοποθετήθηκαν τα στοιχεία του τροφοδοτικού καθώς και η τελική μορφή του.



Σχήμα 8.1: Περιγραφή στοιχείων συσκευής



**Σχήμα 8.2:** Εικόνα της πρόσοψης που σχεδιάστηκε



**Σχήμα 8.3:** Τελική μορφή τροφοδοτικού

## 9. ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΠΡΟΕΚΥΨΑΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟΥ

Κατά την διάρκεια της κατασκευής του τροφοδοτικού διέγερσης παρουσιάστηκαν προβλήματα και δυσκολίες οι οποίες είτε αντιμετωπιστήκαν είτε κρίθηκε αναγκαία η διαφοροποίηση στην μέθοδο ή στον τρόπο λειτουργίας της συσκευής σε σχέση με την αρχική εκτίμηση.

Μετά το στάδιο της μελέτης και της υλοποίησης των κυριότερων κυκλωμάτων και συνδεσμολογιών αλλά και με το πέρας της πρώτης φάσης προγραμματισμού του μικροελεγκτή, πραγματοποιήθηκαν πειραματικές διαδικασίες από τις οποίες προέκυψε ότι η ταχύτητα του επεξεργαστή που χρησιμοποιήθηκε δεν ήταν αρκετή για την ταυτόχρονη δειγματοληψία, επεξεργασία και σύγκριση των δεδομένων. Με την προϋπόθεση ότι ο ATmega2560 ήταν "αργός" για την συγκεκριμένη εφαρμογή πραγματοποιήθηκε η εξολοκλήρου αλλαγή της δομής και φιλοσοφίας στον τρόπο προγραμματισμού. Η τελική μορφή του προγράμματος βασίστηκε στη δειγματοληψία όχι κάθε σημείου των σημάτων ξεχωριστά αλλά στιγμιότυπων τα οποία και αποθηκεύονται σε πίνακες για την μετέπειτα επεξεργασία τους. Με αυτόν το τρόπο ουσιαστικά επιτυγχάνεται η μέγιστη συχνότητα δειγματοληψίας αφού μεταξύ των δειγμάτων δεν υπάρχει καμία καθυστέρηση εξ' αιτίας άλλων διεργασιών.

Στον τον αρχικό σχεδιασμό της εργασίας είχε συμπεριληφθεί η τοποθέτηση οθόνης LCD στο τροφοδοτικό στην οποία επρόκειτο να αναγράφονται στοιχεία και παράμετροι που αφορούσαν άμεσα τον χρήστη, όπως η τρέχουσα και η επιθυμητή τιμή του συντελεστή ισχύος. Αυτό όμως δεν πραγματοποιήθηκε καθώς κατά την λειτουργία της γεννήτριας και του μετατροπέα δημιουργούνταν μαγνητικά πεδία και παράσιτα που ουσιαστικά διέκοπταν την επικοινωνία του μικροελεγκτή όχι μόνο με την οθόνη, αλλά και με το ηλεκτρονικό υπολογιστή που ήταν συνδεδεμένος. Δυσλειτουργίες λόγω των μαγνητικών πεδίων και των ηλεκτρικών παρασίτων παρατηρήθηκαν επίσης στην ανάγνωση των δεδομένων και στη σωστή λήψη αποφάσεων από τον μικροελεγκτή οι οποίες όμως διορθώθηκαν με την χρήση καλωδιώσεων με θωράκιση (μπλεντάζ) και τοποθέτηση των στοιχείων που αποτελούν το τροφοδοτικό σε συγκεκριμένη διάταξη.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Διόρθωση συντελεστή ισχύος (2017): [http://www.cres.gr/energy\\_saving/biomixania/kinisi\\_diorthosi\\_isxyos.htm](http://www.cres.gr/energy_saving/biomixania/kinisi_diorthosi_isxyos.htm)
- [2] Σύγχρονες γεννήτριες (2016): [http://eclass.opencourses.teicm.gr/eclass/modules/document/file.php/TMA112/mix\\_hm\\_07\\_SYGXRONES\\_GENNHTRIES.pdf](http://eclass.opencourses.teicm.gr/eclass/modules/document/file.php/TMA112/mix_hm_07_SYGXRONES_GENNHTRIES.pdf)
- [3] Stephen J. Chapman, Ηλεκτρικές Μηχανές, 4<sup>η</sup> Έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα, 2010.
- [4] Arduino Mega (2017): <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMegaADK?from=Main.ArduinoBoardADK>
- [5] Αισθητήρας τάσης (2016): <https://learn.openenergymonitor.org/electricity-monitoring/voltage-sensing/measuring-voltage-with-an-acac-power-adapter?redirected=true>
- [6] Διάγραμμα αισθητήρα ρεύματος (2018): <http://embedded-lab.com/blog/a-brief-overview-of-allegro-ac712-current-sensor-part-1/>