



ΑΤΕΙ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

# Παρακολούθηση ισχύος μονοφασικής παροχής με σύστημα συγκομιδής ενέργειας

## Power monitoring of one phase electrical systems using energy harvesting

Αλμπάνο Βαλεράς

Επιβλέπων καθηγητής: Μιχαήλ Κιζήρογλου

## Abstract

In recent years has increased interest in energy harvesting from the environment is a very good solve, to power systems with low power requirements for a long time. For power harvesting is used the current measurement technique with closed-core current transformer. The monitor single-phase power on the basis of these results showed that there may be a harvest energy from a power line for very small power such as the supply of a small sensor.

## Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια έχει αυξηθεί το ενδιαφέρον για την συγκομιδή ενέργειας από το περιβάλλον που αποτελεί μια πολύ καλή λύση, για την τροφοδοσία συστημάτων με μικρές απαιτήσεις ισχύος για μεγάλο χρονικό διάστημα. Στην εργασία αυτή, για την συγκομιδή ισχύος χρησιμοποιήθηκε η επαγωγή τάσης από το εναλλασσόμενο ρεύμα αγωγών, με μετασχηματιστή ρεύματος κλειστού πυρήνα. Η παρακολούθηση μονοφασικής ισχύος με βάση τα παρακάτω αποτελέσματα έδειξε ότι μπορεί να υπάρχει συγκομιδή ενέργεια από μια γραμμή ρεύματος. Η μικρή διαθέσιμη ισχύς είναι αρκετή για την τροφοδοσία ενός αισθητήρα ρεύματος.

## Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση αυτής της πτυχιακής θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Μιχαήλ Κιζήρογλου για την ανάθεση του Θέματος. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την υποστήριξή τους καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών και της ζωής μου γενικότερα.

## Πίνακας περιεχομένων

Abstract.....	2
Περίληψη.....	3
Ευχαριστίες.....	4
Πίνακας περιεχομένων.....	5
Επεξήγηση ακρωνύμων.....	6
1.Εισαγωγή.....	7
1.1 Συγκομιδή Ενέργειας.....	7
1.2 Στόχος της Energy harvesting.....	7
1.3 Τεχνικές μέτρησης ρεύματος.....	8
1.4 Συγκομιδή ενέργειας από γραμμές ισχύος αεροσκαφών.....	10
1.5 Αισθητήρα MEMS AC για οικιακοί και εμπορική ενέργεια.....	10
1.6 Συγκομιδή ενεργείας από γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικού ρεύματος.....	11
1.7 Σύγκριση μεθόδων.....	12
1.8 Μετασχηματιστής Ρεύματος.....	13
2. Πίνακες μετασχηματιστών ρεύματος.....	15
2.1 Μετασχηματιστής ρεύματος διαιρούμενου πυρήνα.....	15
2.2 Μετασχηματιστής ρεύματος κλειστού πυρήνα.....	16
3.Γραφικές παραστάσεις.....	17
3.1 Περιγραφή ηλεκτρικού κυκλώματος.....	17
3.2 Περιγραφή μετρήσεων και αποτελεσμάτων.....	19
4. Εξαρτήματα κατασκευής ηλεκτρικού κυκλώματος.....	23
5. Συμπεράσματα-Επεκτάσεις.....	25
5.1 Συμπεράσματα.....	25
5.2 Μελλοντικές επεκτάσεις.....	26
6.Βιβλιογραφία.....	27
7. Δημοσιεύσεις.....	28

## Επεξήγηση ακρωνύμων

AC	Alternative current
CT	Current transformer
MEMS	Microelectromechanical systems

# 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Συγκομιδή Ενέργειας

Συγκομιδή ενέργειας είναι η διαδικασία κατά την οποία συλλέγεται ενέργεια από το περιβάλλον ενός συστήματος και μετατρέπεται σε αξιοποιήσιμη ηλεκτρική ενέργεια. Η ενέργεια αυτοί μπορεί να έχει πολλές μορφές π.χ. κινητική, θερμική, ηλεκτρική, ηλιακή, αιολική, πιεζοηλεκτρική και ηλεκτρομαγνητική. Βασικός στόχος της συγκομιδής ενέργειας είναι τα διάφορα συστήματα να λειτουργούν αυτόνομα χωρίς να χρησιμοποιούν μπαταρίες. Ο όρος συγκομιδή ενέργειας αναφέρεται στην μικρή παράγωγή ενέργειας η οποία είναι των μερικών nW έως αρκετά mW. Όπως είναι φανερό τα ποσά αυτά δεν είναι αρκετά να τροφοδοτούν συσκευές που απαιτούν μεγάλη κατανάλωση σε ισχύ.

## 1.2 Στόχος της Συγκομιδής Ενέργειας

Στόχος της συγκομιδής ενέργειας είναι η ενεργειακή αυτονομία των συστημάτων με τροφοδότηση ηλεκτρικής ενέργειας. Ένα τέτοιο σύστημα μπορεί να αντικαταστήσει μια μπαταρία ή να την επαναφορτίζει. Το αποτέλεσμα είναι να υπάρχει μείωση της κατανάλωσης ενέργειας στο περιβάλλον επειδή αξιοποιείται η ενέργεια που “χάνετε” στο χώρο. Επίσης, τα διάφορα συστήματα δεν χρησιμοποιούν μπαταρίες για την τροφοδότηση τους. Η συγκομιδή ενέργειας στις γραμμές μεταφοράς ισχύος είναι σημαντική για εγκατεστημένα συστήματα παρακολούθησης γραμμής. Σε τέτοια συστήματα μπορούν να γίνονται διάφορες ηλεκτρικές μετρήσεις, όπως η παρακολούθηση της θερμοκρασίας και οι περιβαντολογικές συνθήκες στα βιομηχανικά δίκτυα.

## 1.3 Τεχνικές Μέτρησης Ρεύματος

Η ανακάλυψη του φαινομένου HALL έγινε το 1879, όμως τότε δεν είχε πολλές εφαρμογές. Σήμερα με την ανάπτυξη της τεχνολογίας έχει ευρεία εφαρμογή στην ανίχνευση κίνησης, θέσης και παρακολούθησης ρεύματος [1]. Υπάρχουν πολλές μέθοδοι παρακολούθησης ρεύματος αλλά τρεις είναι που έχουν το χαμηλότερο κόστος.

1) Η ωμική ανίχνευση έχει το χαμηλότερο κόστος, εύκολη στην κατανόηση αλλά έχει μεγάλη απώλεια ενέργειας και θερμότητας.

2) Ο αισθητήρας φαινομένου HALL έχει μειονέκτημα το μικρό φάσμα συχνοτήτων και μεγαλύτερο κόστος σε σύγκριση με την ωμική ανίχνευση.

3) Η τεχνική με μετασχηματιστή ρεύματος χρησιμοποιείται μόνο σε εναλλασσόμενο ρεύμα. Οι μετασχηματιστές ρεύματος έχουν ηλεκτρική μόνωση, δεν έχουν απώλειες λόγω παρεμβολών και, αν χρησιμοποιηθούν τεχνικές συγκομιδής ενέργειας, δεν χρειάζονται εξωτερική τροφοδοσία ρεύματος.

Τα γραμμικά ολοκληρωμένα κυκλώματα αισθητήρα φαινομένου HALL συμπεριλαμβάνουν ένα σήμα εξόδου που είναι ανάλογη προς τον εφαρμοζόμενο μαγνητικό πεδίο. Αποτελούνται από ένα ευαίσθητο στοιχείο HALL και ένα διπολικό ενισχυτή χαμηλού θορύβου. Για την επαγωγή, το φαινόμενο HALL χρησιμοποιεί ένα δακτύλιο με σχισμή για την ανίχνευση ρεύματος, που συλλέγει και εστιάζει ένα επαγόμενο μαγνητικό πεδίο προς το ολοκληρωμένο κύκλωμα. Η ευαισθησία καθορίζεται σε Volt ανά Tesla/Gauss. Τα όρια αντοχής και λειτουργίας είναι το μέγιστο ρεύμα, να είναι 10 mA, η μέγιστη τάση 5V και μέγιστη θερμοκρασία 150°C. Ο χρόνος απόκρισης των αισθητήρων συνήθως είναι 7 ms έως 15ms. Το εύρος ζώνης στα γραμμικά ολοκληρωμένα κυκλώματα HALL είναι  $\geq 20$  kHz. Επίσης μεταβολές της τάσης του σήματος επιτρέπονται μέχρι αυτήν την συχνότητα.

Μια μέθοδος που χρησιμοποιείται για την ενεργοποίηση του αισθητήρα είναι αλλάζοντας την παροχή ενέργειας σε σύντομο χρονικό διάστημα και μετά για



μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα. Η ανοχή ευαισθησίας του αισθητήρα είναι  $\pm 10\%$  χωρίς την επίδραση της θερμοκρασίας η οποία είναι πολύ σημαντική και πρέπει να υπολογίζεται.

Επιπρόσθετα στο σχεδιασμό του συστήματος είναι πολλή σημαντικό ο υπολογισμός της γραμμικότητας, της συμμετρίας και ο θόρυβος ευρείας ζώνης. Όλο και περισσότερο πλέον χρησιμοποιείται λογισμικό για την ακρίβεια ανίχνευσης ρεύματος με αποτέλεσμα να απαιτείται μικροελεγκτής. Τέλος το κόστος ενός τέτοιου συστήματος είναι περίπου στα 7Ευρώ.

Η τεχνική μέτρησης με μετασχηματιστή ρεύματος (CT) είναι μια πόλη απλή και ασφαλής μέθοδος μέτρησης ειδικά σε δύσκολες συνθήκες με υψηλή θερμοκρασία. Ωστόσο, εφαρμόζεται μονό σε εναλλασσόμενο ρεύμα (AC). Οι μετασχηματιστές ρεύματος είναι σχεδιασμένοι σε διάφορα μεγέθη και έχουν διαφορετικό εύρος εισόδου και σήμα εξόδου. Λειτουργούν σαν έναν κανονικό μετασχηματιστή άλλα έχουν ένα πρωτεύον τύλιγμα, που πρακτικά είναι το καλώδιο που χρησιμοποιείται για της μετρήσεις. Χρησιμοποιούν το παραγόμενο μαγνητικό πεδίο του AC ρεύματος του καλωδίου το οποίο περνάει από το πρωτεύων τύλιγμα και μεταφέρεται στο δευτερεύων τύλιγμα χωρίς να υπάρχει καμιά φυσική επαφή με το καλώδιο. Οι περιστροφές του αγωγού στο δευτερεύων τύλιγμα μαζί με τις σπείρες στο πρωτεύων τύλιγμα καθορίζουν το μέγεθος του ρεύματος ξόδου Ο πυρήνας του CT συνήθως είναι από κράμα πυριτίου/νικελίου νικέλιο και μπορεί να είναι δυο ειδών: διαιρούμενου πυρήνα και κλειστού πυρήνα. Οι μετασχηματιστές διαιρούμενου πυρήνα είναι ποιο εύκολοι στη χρήση τους γιατί μπορεί πολύ εύκολα να τοποθετηθούν πάνω στο καλώδιο, ενώ οι μετασχηματιστές κλειστού πυρήνα για να τοποθετηθούν πάνω στο καλώδιο πρέπει να γίνει αποσύνδεση του κυκλώματος.

Στις επόμενες τρεις ενότητες περιγράφονται δύο ερευνητικά συστήματα συγκομιδής ενέργειας από ηλεκτρικούς αγωγούς.

## 1.4 Συγκομιδή ενέργειας από γραμμές ισχύος αεροσκαφών

Η συγκομιδή ενέργειας από γραμμές ισχύος αεροσκαφών μπορεί να είναι χρήσιμο για μείωση του βάρους και την πολυπλοκότητα της καλωδίωσης των αεροσκαφών. Σε ένα σύστημα που παρουσιάστηκε πρόσφατα, χρησιμοποιήθηκε μια πρωτότυπη διάταξη με επαγωγικό πηνίο από διαιρούμενο πυρήνα φερρίτη για εύρος συχνοτήτων 360 -800 Hz[2]. Από την πειραματική διαδικασία παρατηρήθηκε ότι στις μεγάλες συχνότητες συλλέγεται μεγαλύτερη ισχύς από τη στις χαμηλές συχνότητες. Στη διάταξη χρησιμοποιήθηκε γεννήτρια συχνοτήτων και ενισχυτής ακουστικών σημάτων για την προσομοίωση των καλωδίων του αεροσκάφους. Επίσης, χρησιμοποιήθηκε δίοδος Zener για προστασία των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων από την υπερβολική επαγόμενη τάση στη γραμμή τροφοδοσίας. Το σύστημα διαχείρισης ισχύος περιλαμβάνει γέφυρα ανόρθωσης με διόδους Schottky για αύξηση της τάσης όταν πέφτει η τάση των διόδων, έναν σούπερ πυκνωτή των 40 mF για αποθήκευση ενέργειας, έναν ολοκληρωμένο LTC3637 step-down converter για ρύθμιση της τάσης εισόδου με εύρος από 4-76 V. Το ολοκληρωμένο αυτό κύκλωμα χρησιμοποιείται για την ρύθμιση της τάσης στα άκρα του πυκνωτή στα 3.3 V.

Στην εργασία αυτή, αποδείχθηκε πειραματικά ότι το σύστημα μπορεί να φορτώσει πλήρως τον πυκνωτή των 40 mF στα 3.3 V σε 78 s από μια γραμμή 1.5 A περιστρέφοντας τρεις φορές το καλώδιο γύρο από το επαγόμενο πηνίο. Το κύκλωμα μπορεί επίσης να περιλαμβάνει μια αντίσταση σε σειρά με ένα MOSFET, παράλληλα με τον πυκνωτή. Ο πυκνωτής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το συντονισμό της αυτεπαγωγής του πηνίου σε συγκεκριμένη συχνότητα. Η φόρτωση του πυκνωτή στα 40 mF και 3.3 V ήταν επιτυχής και το σύστημα αυτό μπορεί να τροφοδοτεί ένα ασύρματο αισθητήρα που χρειάζεται 100 mW.

## 1.5 Αισθητήρα MEMS AC για οικιακή και εμπορική ηλεκτρική ενέργεια

Το πρωτότυπο αισθητήρα MEMS για εναλλασσόμενο ρεύμα είναι σχεδιασμένο για παρακολούθηση ηλεκτρικής ενέργειας σε οικιακό και εμπορικό περιβάλλον[3]. Αποτελείται από ένα πιεζοηλεκτρικό πρόβολο MEMS και έχει ένα μόνιμο μαγνήτη τοποθετημένο στο τέλος του προβόλου. Όταν ο αισθητήρα τοποθετείται κοντά σε ένα καλώδιο που μεταφέρει εναλλασσόμενο ρεύμα ο μόνιμος μαγνήτης απορροφά το εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο του καλωδίου εκτρέποντας τον πιεζοηλεκτρικό πρόβολο. Έτσι, παράγει μια ημιτονοειδής τάση ανάλογη προς το ρεύμα που μετράται. Το αισθητήριο MEMS είναι κατασκευασμένο από νιτρίδιο του αλουμινίου (AlN) . Τα πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλες τεχνολογίες είναι ότι λειτουργεί ενώ παραμένει ηλεκτρικά απομονωμένο από τον αγωγό Δεν χρειάζεται τροφοδοσία και μπορεί να ενσωματωθεί, αυτή η τεχνολογία, στα έξυπνα σπίτια και στα κτίρια που παρακολουθούν το φορτίο ηλεκτρικής ενέργειας για κάθε συσκευή ξεχωριστά. Το μαγνητικό πεδίο πρέπει να είναι ισχυρό όσο το δυνατόν περισσότερο για την βελτίωση της ευαισθησίας της συσκευής.

## 1.6 Συγκομιδή ενεργείας από γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικού ρεύματος

Μια ακόμα μη παρεμβατική μέθοδος συγκομιδής ενέργειας από αγωγούς, περιλαμβάνει την καθοδήγηση εναλλασσόμενου μαγνητικού πεδίου από γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας[4]. Ο πυρήνας της τεχνικής είναι μια γραμμική συστοιχία Halbach η οποία είναι τοποθετημένη στο ελεύθερο άκρο του ενός πιεζοηλεκτρικό δοκού προβόλου. Η συστοιχία Halbach αυξάνει την πυκνότητα της μαγνητικής ροής από την πλευρά της, ενώ μειώνεται σημαντικά το μαγνητικό πεδίο

από την άλλη πλευρά. Συνεπώς, η ένταση της μαγνητικής σύζευξης ενισχύεται και τότε περισσότερη ενέργεια μαγνητικού πεδίου μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια. Η πειραματική διαδικασία έδειξε μέγιστη ισχύ 566  $\mu\text{W}$  για διπλό καλώδιο και 897  $\mu\text{W}$  για γραμμή 10 A.

## 1.7 Σύγκριση μεθόδων

Τεχνικές μετρήσεις ρεύματος με σύστημα συγκομιδής ενέργειας			
Διάφορες τεχνικές	Ισχύς εξόδου	Έτος	Αρχή λειτουργίας
Αισθητήρας Hall-Effect ICs	600mW	2013	Δημιουργούν ένα σήμα εξόδου που είναι ανάλογο προς το εφαρμοζόμενο μαγνητικό πεδίο.
Μετασηματιστής ρεύματος	50mW	2013	Χρησιμοποιούν το παραγόμενο μαγνητικό πεδίο του AC ρεύματος του καλωδίου της μέτρησης .
Διάταξη με επαγωγικό πηνίο	100mW	2014	Διάταξη με επαγωγικό πηνίο από διαιρούμενο πυρήνα φερρίτη
Αισθητήρα MEMS από ένα πιεζοηλεκτρικό πρόβολο με μόνιμο μαγνήτη	180 $\mu\text{W}$	2009	Όταν ο αισθητήρα τοποθετείτε κοντά σε ένα καλώδιο που μεταφέρει εναλλασσόμενο ρεύμα ο μόνιμος μαγνήτης απορροφά το εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο του καλωδίου εκτρέποντας το πιεζοηλεκτρικό πρόβολο και παράγει μια ημιτονοειδής τάση ανάλογη προς το ρεύμα που μετράται
Χρήση γραμμική συστοιχίας Halbach	566 $\mu\text{W}$ Και 897 $\mu\text{W}$	2013	Απορρόφηση εναλλασσόμενου μαγνητικού πεδίου από της γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας

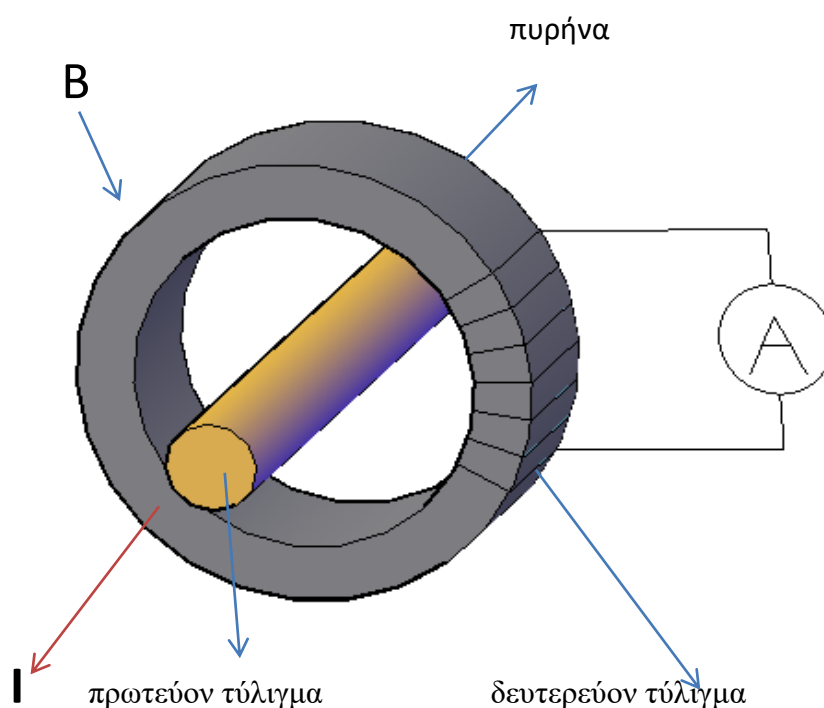
Πίνακας 1.1

## 1.8 Μετασχηματιστής Ρεύματος

Όπως κάθε μετασχηματιστής, ο μετασχηματιστής ρεύματος έχει ένα πρωτεύον τύλιγμα, ένα δευτερεύον τύλιγμα και ένα χαλύβδινο πυρήνα πυριτίου. Το ρεύμα που διέρχεται στο πρωτεύον τύλιγμα δημιουργεί ένα μαγνητικό πεδίο στο πυρήνα.

και αυτό με τη σειρά του δημιουργεί ρεύμα στο δευτερεύον τύλιγμα. Το πρωτεύον τύλιγμα αποτελείται από έναν αγωγό ή από πολύ λίγες σπείρες που τοποθετούνται μέσα στην κεντρική οπή. Το δευτερεύον τύλιγμα έχει περισσότερες σπείρες γύρω από το πυρήνα για να μειώσουμε το ρεύμα στο πρωτεύον τύλιγμα. Συνήθως έχουμε μια αναλογία 100A/5A, δηλαδή αν έχουμε ρεύμα 100A στο πρωτεύον τύλιγμα, στο δευτερεύον τύλιγμα θα έχουμε 5A.

$$\text{Τυπος: } I_{\text{πρωτεύον}} = I_{\text{δευτερεύον}} \times \left( \frac{N_{\text{πρωτεύον}}}{N_{\text{δευτερεύον}}} \right)$$



Σχήμα 1.1- Μετασχηματιστής ρεύματος

B = Μαγνητικό πεδίο

I = Ρεύμα στο πρωτεύον τύλιγμα

N = Αριθμός σπειρών στο δευτερεύον τύλιγμα

A = Αμπερόμετρο



Σχήμα 1-2.Μ/Σ ρεύματος διαιρούμενου πυρήνα

Google.com

## 2 Σύγκριση μετασχηματιστών ρεύματος

<b>2.1 ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΔΙΑΙΡΟΥΜΕΝΟΥ ΠΥΡΗΝΑ</b>					
<b>Όνομασία</b>	<b>Ρεύμα εισόδου(A)</b>	<b>Ρεύμα εξόδου(A)</b>	<b>Συχνότητα Hz</b>	<b>Τιμή €</b>	<b>Ιστοσελίδα</b>
30A SCT-013-030 Non-invasive AC current sensor Split Core Current Transformer	0-30	0-1	50-60	5,40	ebay.com
100A SCT-013-000 Non-invasive AC current sensor Split Core Current Transformer	0-100	0-50mA	50-60	5.10	ebay.com
YHDC mini split core current transformer of current sensor	0-600	0-200mA	50-60	8.5	alibaba.com
Split Core Current Transformer (PCT-0750/1250/2000/3000/T10/ T16/ T24/36)	0-5	0.333mA	50-400	3	Powerwaytech.en
0.01-120A 0.5M Wire Split-core Current Transformer	0-120	4mA	50-60	7.5	Amazon.com
SCT-010 Manufacturer of split core current transformer 0.01-80A Ferrite Material	0-80	26.6mA	50-60	4.1	ebay.com

Πίνακας 2.1

<b>2.2 ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣΚΛΕΙΣΤΟΥ ΠΥΡΗΝΑ</b>					
<b>Όνομασία</b>	<b>Ρεύμα εισόδου(A)</b>	<b>Ρεύμα εξόδου(A)</b>	<b>Συχνότητα Hz</b>	<b>Τιμή €</b>	<b>Ιστοσελίδα</b>
Μετασχηματιστής ρεύματος 100/5	100	5	50	5	Καυκάς
Pulse 15A current Transformer, 1:100	15	15mA	50-200	2	Rs.gr
Murata power solution 10A through hole current transformer, 1:100	10	1mA	50-200	2	Rs.gr
Murata power solution 10A through hole current transformer , 1:200	10	5mA	20-200kHz	2.61	Rs.gr
Nuvotemtalema 15A PCB Mount current Transformer, 1:300	15	5mA	20-200kHz	4.66	Rs.gr
Nuvotemtalema 15A PCB Mount current transformer, 1:500	15	3mA	20-200kHz	5.1	Rs.gr

Πίνακας 2.2

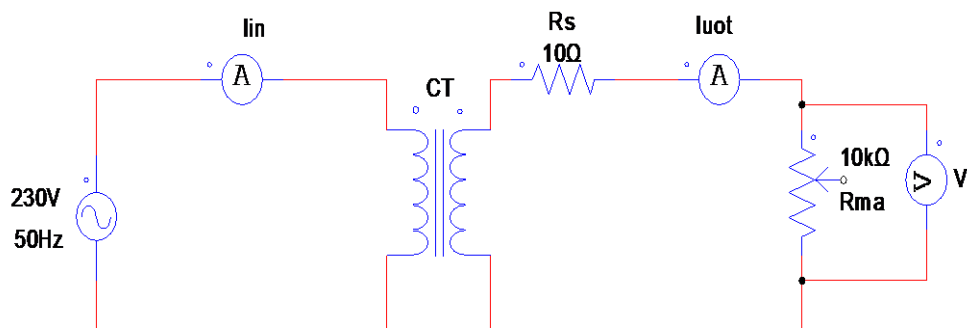
\*Με βάση τα παραπάνω στοιχεία ο μετασχηματιστής κλειστού πυρήνα με ονομασία “ **Pulse 15A current Transformer, 1:100**” είναι μια καλή επιλογή για την συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία γιατί έχει ρεύμα εισόδου 15A , μεγάλο εύρος συχνοτήτων 50-200Hz , και χαμηλό κόστος (2 €).



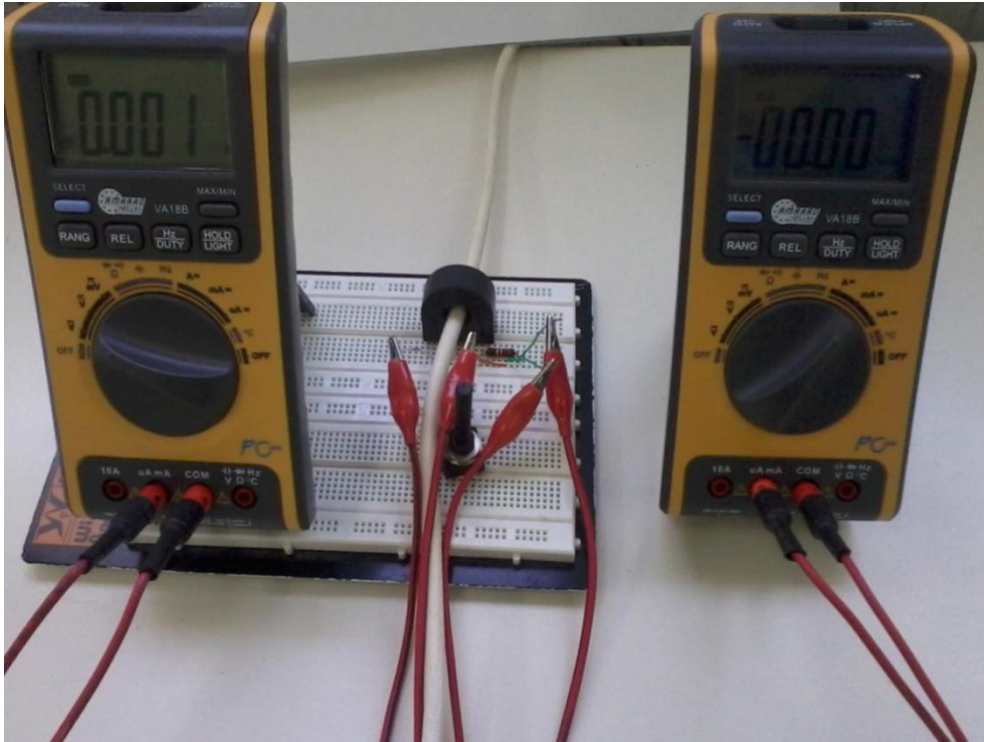
## 3 Γραφικές Παραστάσεις και Μετρήσεις

### 3.1 Περιγραφή ηλεκτρικού κυκλώματος

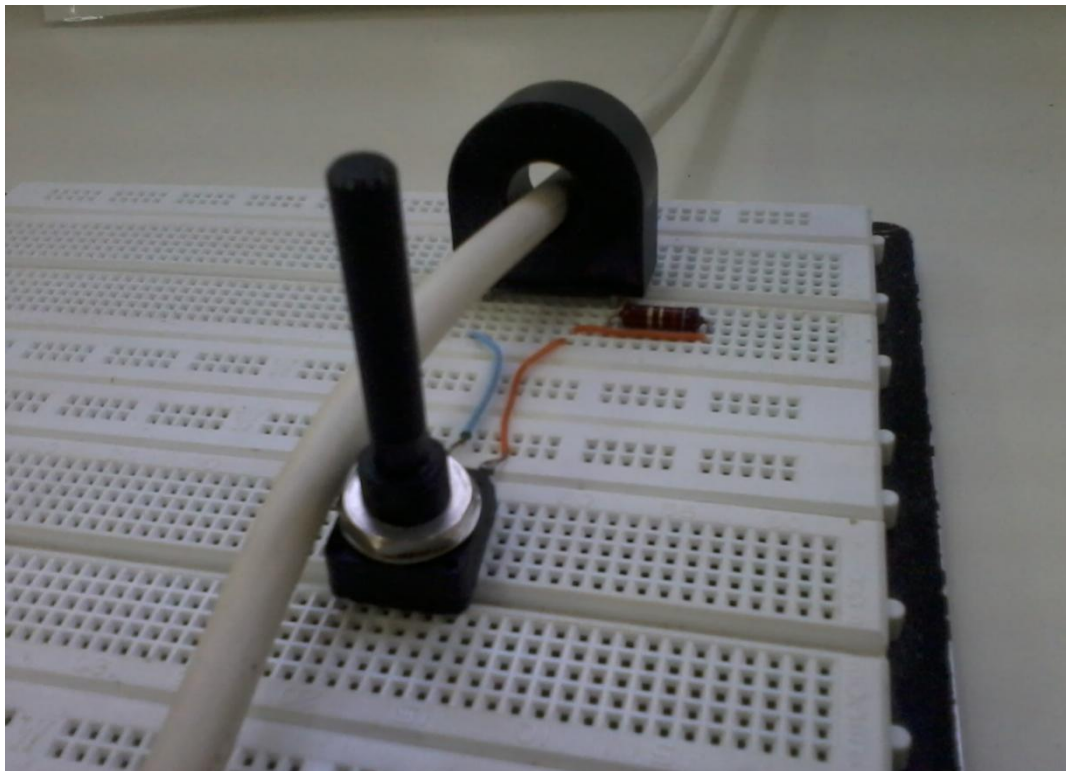
Το παραπάνω κύκλωμα (σχήμα 3.1) το χρησιμοποιήσα για τις μέτρησεις συγκομιδής ενέργειας στην συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία. Για την υλοποίηση χρησιμοποιήσα ένα μετασχηματιστή ρεύματος δακτυλοειδούς πυρήνα με ρεύμα εισόδου μέχρι 15 A, αντίσταση των 10 Ω και μια μεταβλητή αντίσταση των 100 kΩ. Χρησιμοποιήθηκαν επίσης δυο όργανα μέτρησης ένα ψηφιακό αμπερόμετρο και ένα ψηφιακό βολτόμετρο. Ο συγκεκριμένος μετασχηματιστής μας δίνει την δυνατότητα να κάνουμε της μέτρησης επαγωγικά χωρίς να χρειάζεται να κόψουμε το μονοφασικό καλώδιο.



Σχήμα 3.1  
Ηλεκτρικό κύκλωμα



Σχήμα 3-2. Ηλεκτρικό κύκλωμα με τα πολύμετρα



Σχήμα 3-3. Ηλεκτρικό κύκλωμα

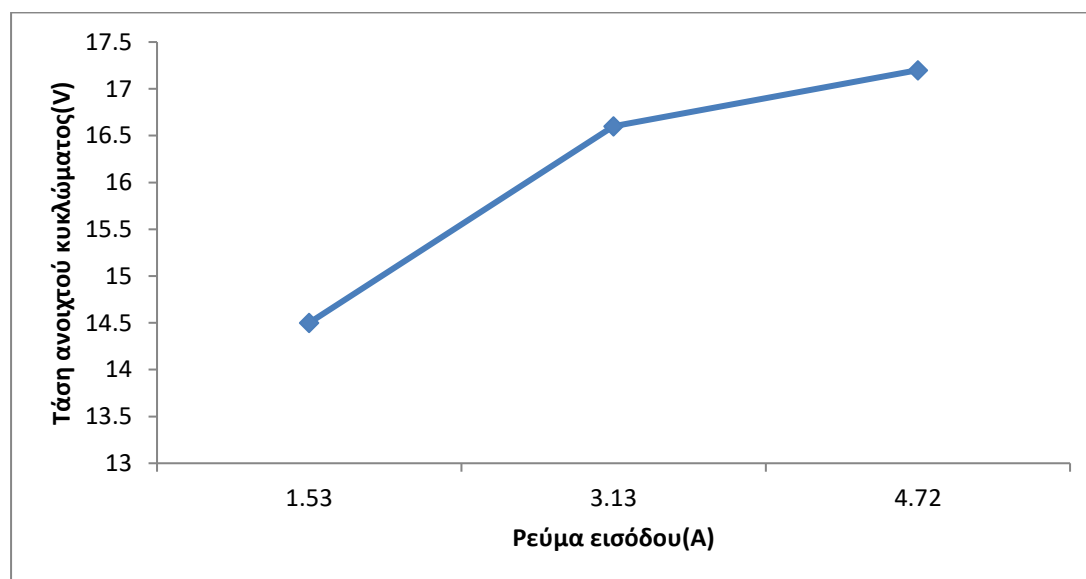
## 3.2 Περιγραφή μετρήσεων και αποτελεσμάτων

Από το σύνολο των μετρήσεων και αποτελεσμάτων που πραγματοποίησα στο εργαστήριο ηλεκτρονικών κυκλωμάτων του Τμήματος Μηχανικών Αυτοματισμού, και ιδιαίτερα από το διάγραμμα ρεύματος εξόδου - τάσης εξόδου (Σχήμα 3.5), το βασικό συμπέρασμα είναι ότι αυξάνοντας σταδιακά την τάση εξόδου έχουμε σταδιακή μείωση του ρεύματος εξόδου.

Στο διάγραμμα του Σχήματος 3.6 που δείχνει την μέτρηση τάσης εξόδου σε σχέση με την αντίσταση εξόδου, παρατηρώ ότι αυξάνοντας την αντίσταση εξόδου ανεβαίνει και η τάση εξόδου.

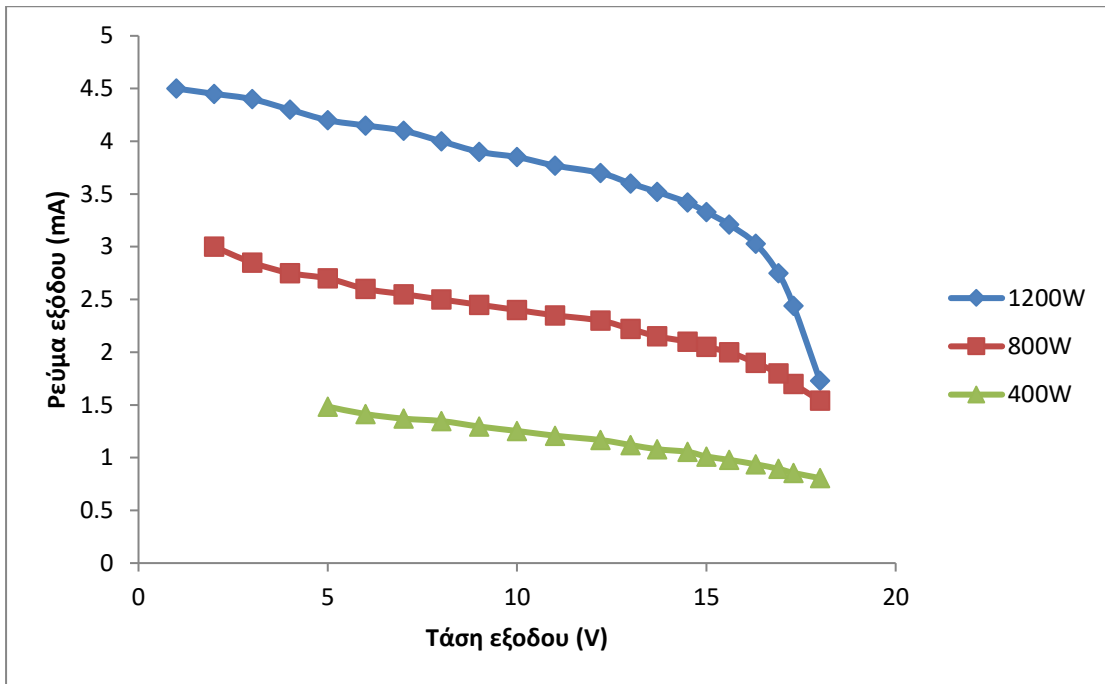
Από το διάγραμμα ρεύματος εξόδου σε σχέση με την αντίσταση εξόδου (Σχήμα 3.7) βλέπουμε ότι αυξάνοντας την τιμή της αντίστασης εξόδου μειώνετε τη τιμή του ρεύματος εξόδου.

Συμπεράσματα: Παρατηρώντας το διάγραμμα της ισχύος εξόδου (Σχήμα 3.8), η μέγιστη μεταφορά ισχύος είναι στα 50mW, 26mW και 6.6mW για δίκτυο 220V, 50Hz.



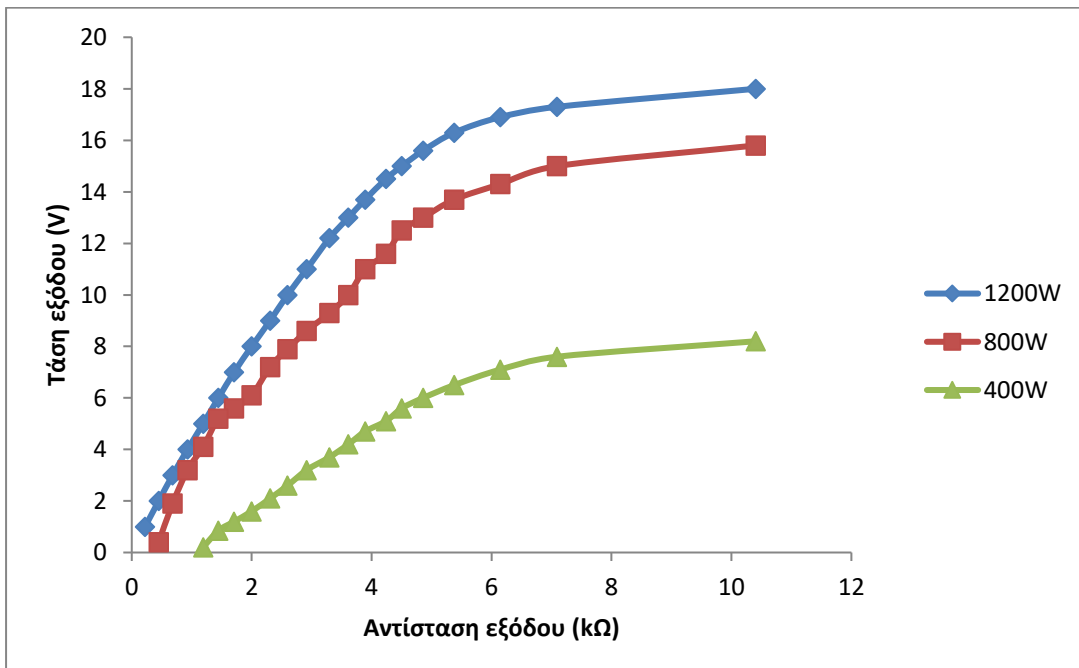
Σχήμα 3.4

Μετρήσεις της τάσης ανοιχτού κυκλώματος για διάφορες τιμές ρεύματος εισόδου



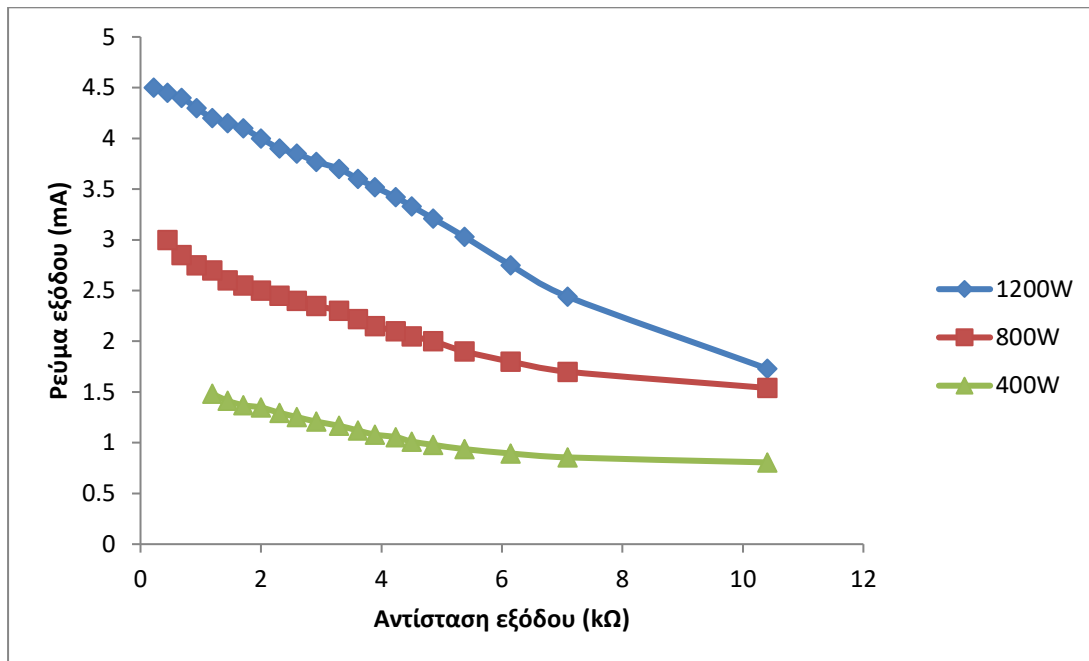
Σχήμα 3.5

Μετρήσεις του ρεύματος εξόδου του κυκλώματος για διάφορες τιμές της τάσης εξόδου



Σχήμα 3.6

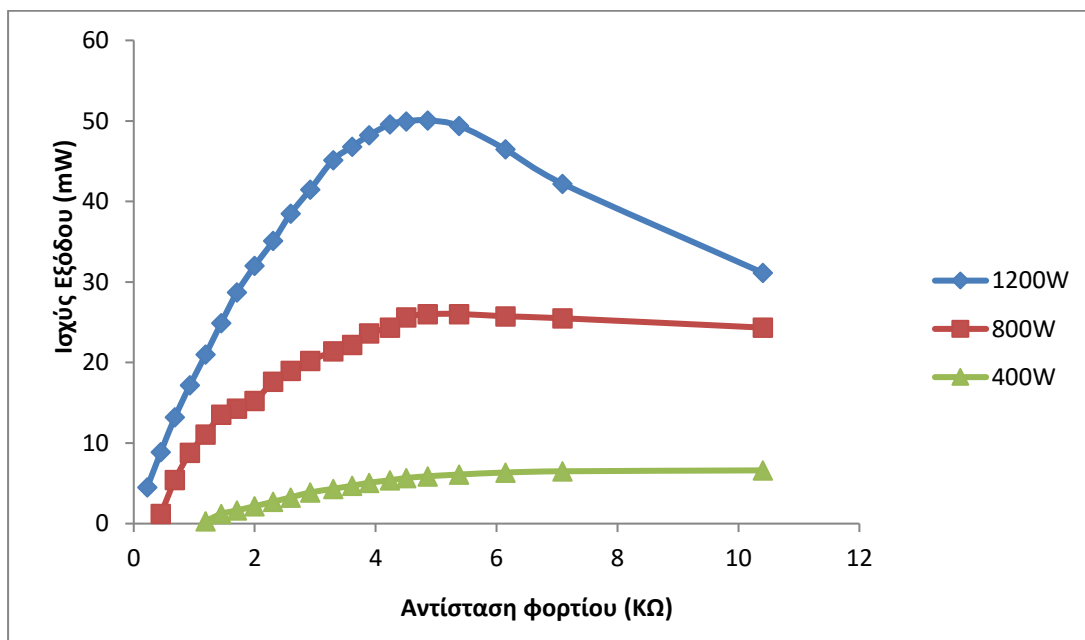
Μετρήσεις της τάσης εξόδου του κυκλώματος για διάφορες τιμές ωμικού φορτίου



Σχήμα 3.7

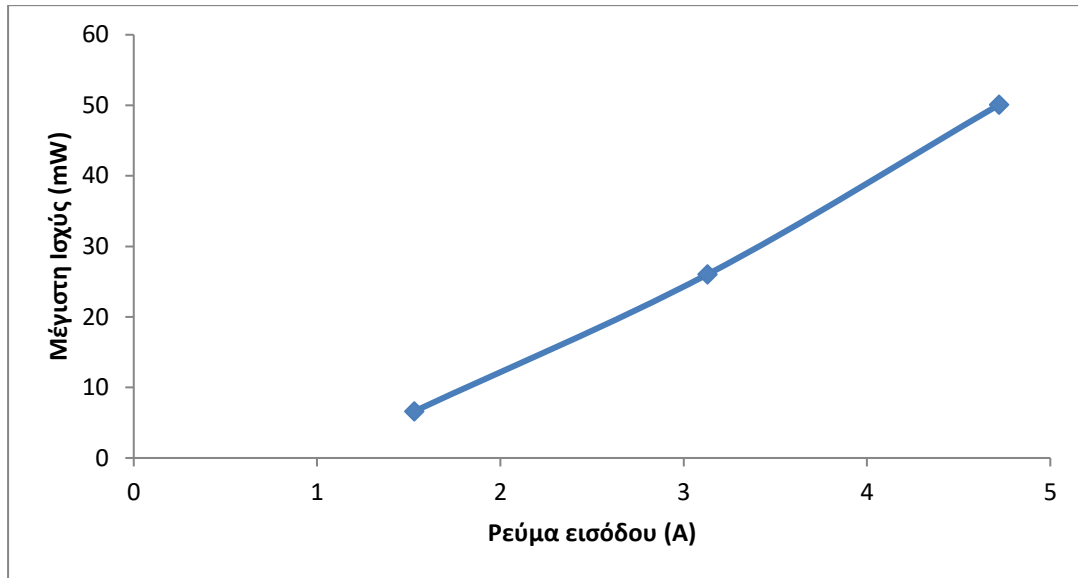
Μετρήσεις της του ρεύματος εξόδου του κυκλώματος για διάφορες τιμές ωμικού φορτίου

## ΙΣΧΥΣ ΕΞΟΔΟΥ



Σχήμα 3.8

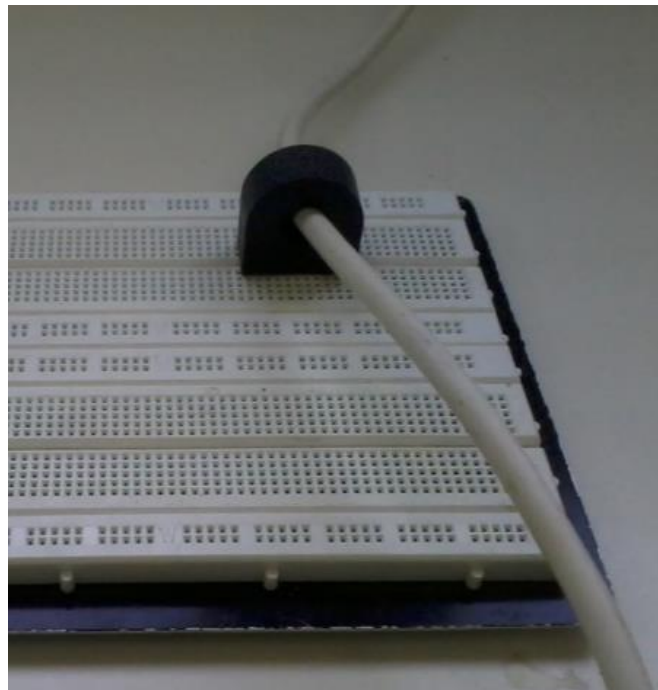
Μετρήσεις της ισχύς εξόδου του κυκλώματος για διάφορες τιμές ωμικού φορτίου



Σχήμα 3.9

Μετρήσεις της μέγιστης ισχύς εξόδου του κυκλώματος για διάφορες τιμές ρεύματος εισόδου

**Συμπέρασμα :** Παρατηρώντας της παραπάνω γραφικές παράστασης η μέγιστη ισχύς είναι  $P_{max}=50.076mW$  και η ελάχιστη είναι  $6,6mW$ .

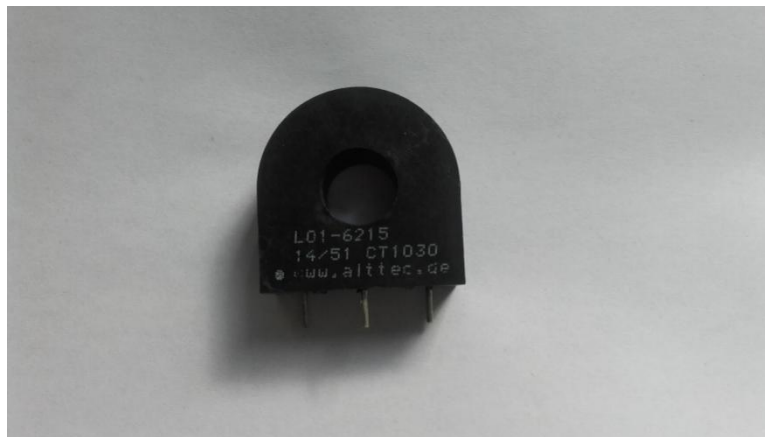


Σχήμα 3-10. Μ/Σ ρεύματος με μονοφασικό καλώδιο

## 4 Εξαρτήματα κατασκευής ηλεκτρικού κυκλώματος

Τα εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του ηλεκτρικού κυκλώματος είναι τα εξής:

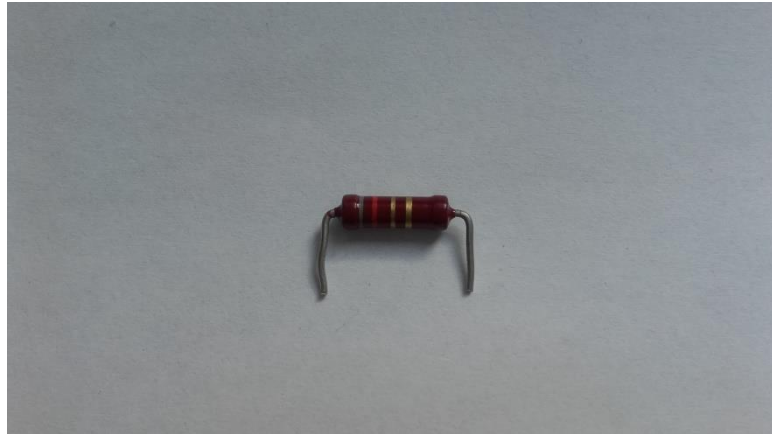
- ✓ Μετασχηματιστής ρεύματος κλειστού πυρήνα 1:100 των 15 A.
- ✓ Μεταβλητή αντίσταση (Ροστάτης) των 10 ΚΩ.
- ✓ Αντίσταση των 10 Ω.
- ✓ Ηλεκτρονικό ράστερ



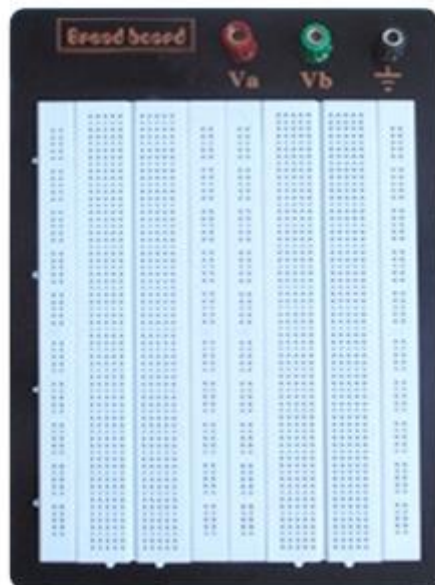
Σχήμα 4.1- Μετασχηματιστή ρεύματος



Σχήμα 4.2- Μεταβλητή αντίσταση



Σχήμα 4.3-Αντίσταση



Σχήμα 4.4- Ηλεκτρονικό ράστερ



## 5 Συμπεράσματα-Επεκτάσεις

### 5.1 Συμπεράσματα

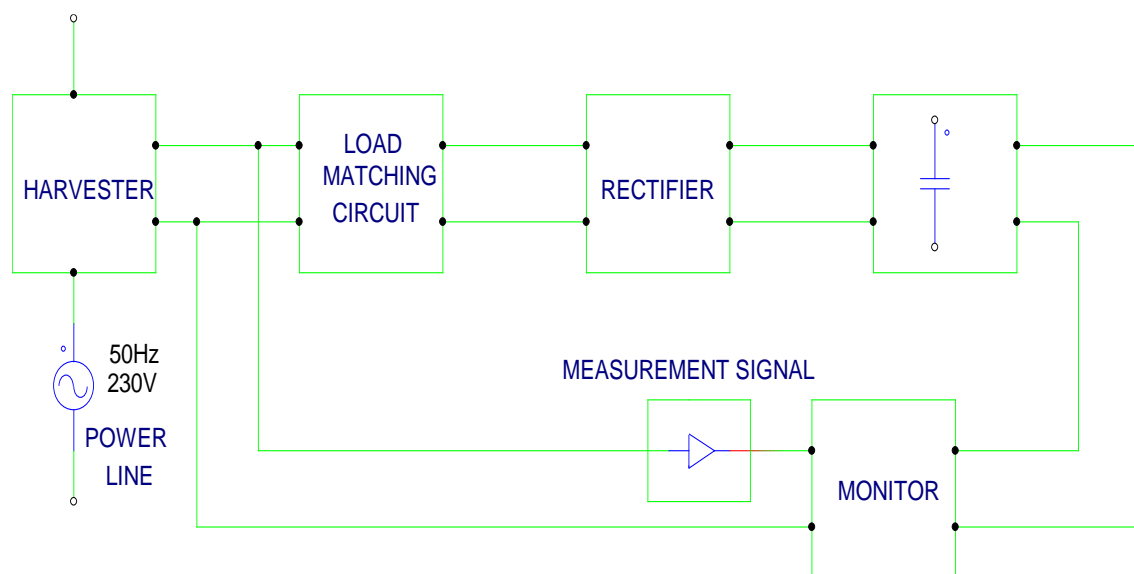
Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα συμπεραίνεται ότι η συγκομιδή που έγινε στη γραμμή ισχύος ήταν εφικτή για μεταφορά ενέργειας από ηλεκτρικό δίκτυο χαμηλής τάσης. Η μέγιστη μεταφορά ισχύος είναι στα 50 mW, 26mW, 6.6mW για δίκτυο 220V, 50Hz, σε γραμμές τον 5.5 A , 3.6 A και 1.8 A αντίστοιχα όπως φαίνεται στο σχήμα 3.6. Η ισχύς των 50 mW και 26 mW είναι σε θέση να τροφοδοτήσουν έναν μικρό αισθητήρα. Επίσης η μέθοδος αυτή είναι σε θέση να τροφοδοτήσει ένα συνηθισμένο πολύμετρο που καταναλώνει μέση ισχύς 37,5 mW.

Τα πλεονεκτήματα που ωφελούμαστε από αυτή την μέθοδο είναι:

- Έχει πολύ χαμηλό κόστος.
- Είναι πρακτική μέθοδος.
- Είναι εύκολη στην κατασκευή και στην συντήρηση.
- Δεν χρειάζεται μπαταρία ή κάποια άλλη τροφοδοσία για την λειτουργία σε σύγκριση με άλλες μεθόδους.

## 5.2 Μελλοντικές επεκτάσεις

Μπορούμε να κάνουμε μελέτη τοποθετώντας έναν πυκνωτή στο κύκλωμα το οποίο θα βελτίωση την επαγόμενη ισχύς. Επίσης μπορεί να γίνει μελέτη για κάποιο κατάλληλο μικροελεγκτή, με τη σύνδεση του οποίου θα αυξηθεί σημαντικά η συγκομιδή ενέργειας από το σύστημα. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται οι τροποποιημένη έκδοση ενός ολοκληρωμένου συστήματος συγκομιδής ενέργειας.



Σχήμα5.2  
Ηλεκτρικόκύκλωμα

## 6 Βιβλιογραφία

- [1] Paul Emerald, Non-Intrusive Hall-Effect Current-Sensing Techniques  
Provide Safe Reliable Detection and Protection for Power Electronics, Allegro  
Microsystems, LLC, 2013
- [2] Toh et al , Inductive energy harvesting from variable frequency and amplitude  
aircraft power lines, Nov.10-21, PowerMEMS, Hyogo, Japan, 2014, J.Phys:  
Conference Series 557 (2014) 012095
- [3] Leland et al, A MEMS AC current sensor for residential and commercial  
electricity end-use monitoring, Micromechanics and microengineering , 19 (2009)  
094019
- [4] Wei He, Ping Li, Yumei Wen, Jitao Zhang, Caijiang Lu, and Aichao Yang, Energy  
harvesting from electric power lines employing the Halbach arrays, REVIEW OF  
SCIENTIFIC INSTRUMENTS 84, 105004 (2013)

## 7 Δημοσιεύσεις

A. Valeras and M. E. Kiziroglou, Power line energy harvester with a toroidal soft core loop, Proceedings of the 1<sup>st</sup> International Workshop on Microsystems, Thessaloniki, Greece, 16WOM-05, 12, 2016