

2014

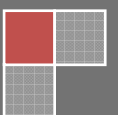
# Κύκλωμα ανόρθωσης με θυρίστορ, οδηγούμενο από το ολοκληρωμένο TCA785

Ηλεκτρονικά Ισχύος & Εφαρμογές II

Εργασία 8ου Εξαμήνου

Κολυμπάνος Γεώργιος  
Μπαρός Δημήτριος  
Πασιίδης Άγγελος

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών  
13/6/2014



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1. Εισαγωγή στα Ηλεκτρονικά Ισχύος</b> .....	3
<b>1.1 Εισαγωγή</b> .....	3
<b>1.2 Είδη μετατροπών ηλεκτρικής ενέργειας</b> .....	4
<b>1.3 Θυρίστορ (Thyristors)</b> .....	6
<b>1.4 TRIAC</b> .....	10
<b>1.5 Μονοφασικοί ανορθωτές</b> .....	11
1.5.1 Απλή ανόρθωση .....	12
<b>2. Dimmer</b> .....	19
<b>2.1 Εισαγωγικά στοιχεία</b> .....	19
<b>2.2 Αρχή λειτουργίας</b> .....	19
<b>2.3 Έλεγχος των Dimmer</b> .....	21
<b>3. Ανάπτυξη κατασκευής</b> .....	23
<b>3.1 Εισαγωγή</b> .....	23
<b>3.2 Περιγραφή λειτουργίας ολοκληρωμένου</b> .....	23
<b>3.3 Περιγραφή κυκλώματος</b> .....	26
3.3.1 Λειτουργία κυκλώματος με λαμπτήρα πυρακτώσεως .....	27
3.3.2 Λειτουργία κυκλώματος με Universal κινητήρα .....	30

# 1. Εισαγωγή στα Ηλεκτρονικά Ισχύος

## 1.1 Εισαγωγή

Τα Ηλεκτρονικά Ισχύος (Power Electronics) είναι η τεχνολογία που αναπτύχθηκε τα τελευταία τριάντα χρόνια, παρέχοντας τον έλεγχο της ροή ηλεκτρικής ισχύος (μέσω της επεξεργασίας της ημιτονοειδούς τάσης) που παρέχεται από τις ηλεκτρικές εταιρίες, και τη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας από τη μια μορφή σε άλλη.

Η τεράστια εξέλιξη που γνωρίζουν τα Ηλεκτρονικά Ισχύος οφείλεται στην ευεργετική επίδραση συγκεκριμένων παραγόντων. Κατ' αρχήν, υπήρξαν επαναστατικές πρόοδοι στην μικροηλεκτρονική τεχνολογία που οδήγησαν στην ανάπτυξη γραμμικών ολοκληρωμένων κυκλωμάτων και ψηφιακών επεξεργαστών σημάτων που χρησιμοποιούνται στα κυκλώματα ελέγχου των Ηλεκτρονικών Συστημάτων Ισχύος (Power Electronic Systems). Επιπλέον παρόμοιες πρόοδοι στην κατασκευαστική τεχνολογία κατέστησαν δυνατή τη σημαντική βελτίωση των χαρακτηριστικών τάσης και ρεύματος των ημιαγωγικών στοιχείων και τη σημαντική αύξηση των διακοπτικών τους ταχυτήτων. Υπήρξε φυσικά και η –πάντα απαραίτητη– διεύρυνση της αγοράς και η δημιουργία συγκεκριμένου χώρου για τα Ηλεκτρονικά Ισχύος.

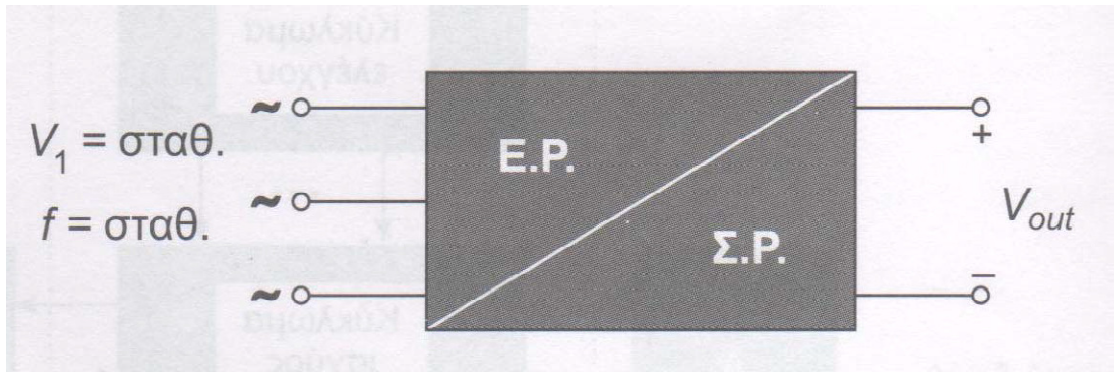
Στην ανάπτυξη των συστημάτων ισχύος έχει συμβάλει ιδιαίτερα και η πρόοδος της μικροηλεκτρονικής, η οποία έχει επιτρέψει την υλοποίηση εξαιρετικά ισχυρών ελεγκτών. Παλαιότερα η σχεδίαση της διάταξης ελέγχου βασιζόνταν σε αναλογικά ηλεκτρονικά κυκλώματα. Σήμερα μια μεγάλη ποικιλία μικροεπεξεργαστών, ειδικά σχεδιασμένων για εφαρμογές ηλεκτρονικών ισχύος, είναι διαθέσιμη από πολλούς κατασκευαστές. Με τη χρήση των μικροεπεξεργαστών η υλοποίηση του ελεγκτή απλοποιείται σημαντικά. Ταυτόχρονα είναι δυνατή η εκτέλεση πολύπλοκων τεχνικών ελέγχου, με παράλληλη αύξηση της αξιοπιστίας και ελαχιστοποίηση των διαστάσεων της διάταξης. Έτσι, οι σύγχρονες διατάξεις ηλεκτρονικών ισχύος με ημιαγωγούς διακόπτες προσφέρουν τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- Μικρό όγκο και βάρος.
- Μικρές απώλειες, επομένως υψηλό βαθμό απόδοσης.
- Υψηλή αξιοπιστία.
- Πολύ καλή δυναμική συμπεριφορά.

## 1.2 Είδη μετατροπέων ηλεκτρικής ενέργειας

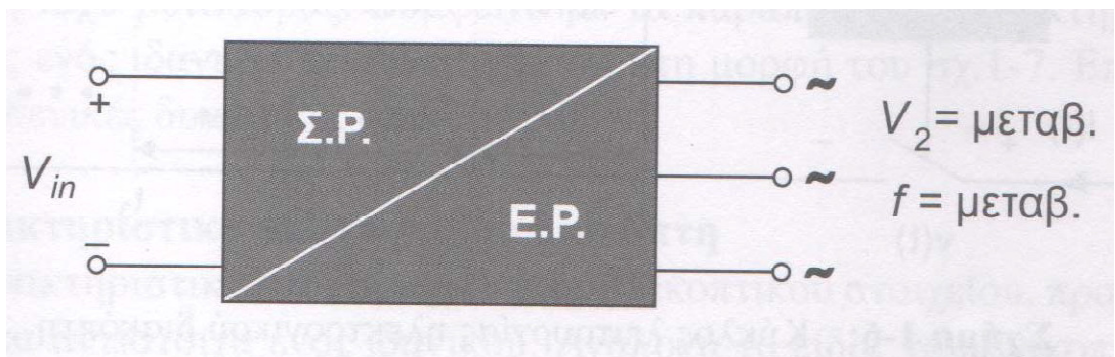
Οι μετατροπείς ηλεκτρικής ενέργειας (ισχύος) διακρίνονται σε τέσσερις κύριες κατηγορίες, ανάλογα με τη μορφή της ισχύος εισόδου και εξόδου. Αυτές είναι:

- *Μετατροπείς ac-dc ή Ανορθωτές (Rectifiers)*. Ανορθωτές ονομάζονται οι διατάξεις ισχύος, οι οποίες μετατρέπουν το εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές. Ανάλογα με τη μορφή της εναλλασσόμενης εισόδου, οι ανορθωτές διακρίνονται σε *μονοφασικούς* και *πολυφασικούς* (διφασικούς, τριφασικούς, εξαφασικούς). Ακόμη, διακρίνονται σε *ελεγχόμενους* και *μη ελεγχόμενους*, ανάλογα με το αν η τάση εξόδου είναι μεταβαλλόμενη είτε σταθερή.



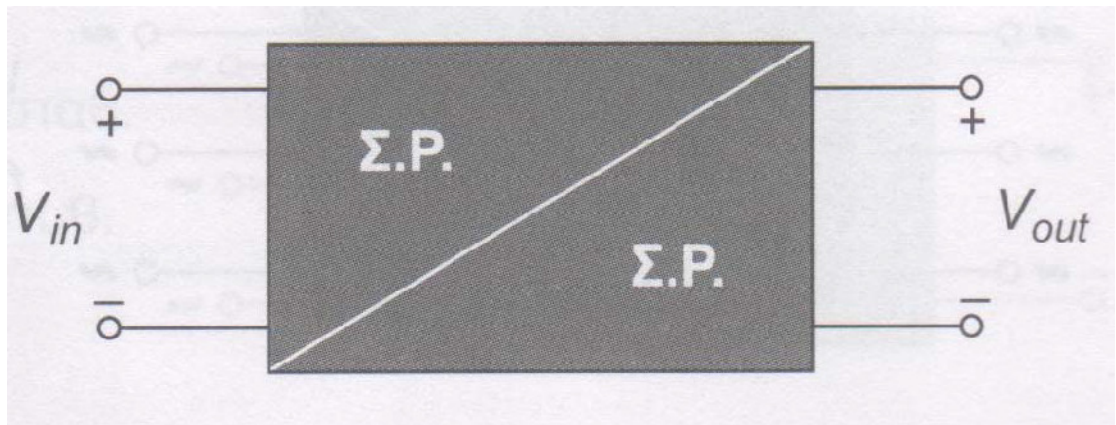
Σχήμα 1.1 Γενικό σύμβολο του ανορθωτή

- *Μετατροπείς dc-ac ή Αντιστροφείς (Inverters)*. Οι αντιστροφείς μετατρέπουν την ενέργεια συνεχούς μορφής σε εναλλασσόμενη. Η λειτουργία τους είναι δηλαδή αντίθετη από εκείνη των ανορθωτών. Η έξοδος των αντιστροφέων είναι μονοφασική είτε πολυφασική (συνήθως τριφασική). Επίσης, η συχνότητα και το πλάτος της τάσης ή του ρεύματος εξόδου είναι ελεγχόμενα.



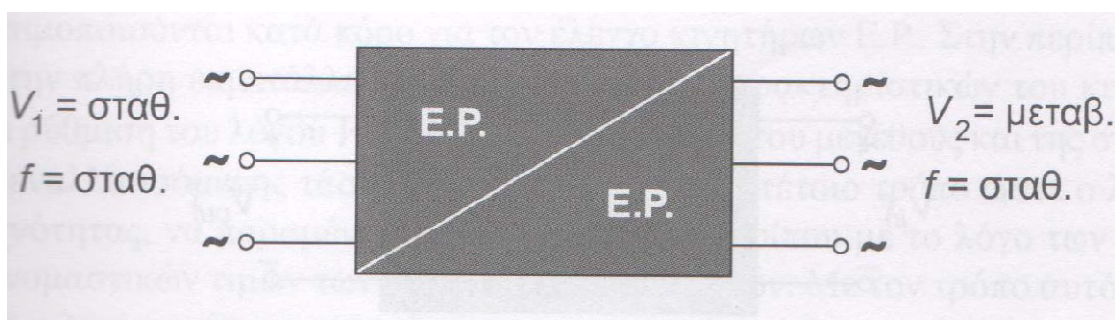
Σχήμα 1.2 Γενικό σύμβολο του αντιστροφέα

- *Μετατροπείς συνεχούς ρεύματος (dc-dc converters, choppers).* Οι μετατροπείς συνεχούς τάσης μετατρέπουν τη συνεχή τάση με ορισμένο πλάτος και πολικότητα, σε συνεχή τάση με διαφορετικό πλάτος ή/και πολικότητα. Διακρίνονται σε μετατροπείς υποβιβασμού (*step-down*) και ανύψωσης (*step-up*) της τάσης, ανάλογα με το αν η τάση εξόδου είναι μικρότερη ή μεγαλύτερη της τάσης εισόδου. Ακόμη, διακρίνονται σε μετατροπείς με απομόνωση και χωρίς απομόνωση της εξόδου από την είσοδό τους.



Σχήμα 1.3 Γενικό σύμβολο του μετατροπέα συνεχούς ρεύματος

- *Μετατροπείς εναλλασσόμενου ρεύματος ή Κυκλομετατροπείς (Cycloconverters).* Οι κυκλομετατροπείς μετατρέπουν απευθείας, την εναλλασσόμενη τάση σταθερού πλάτους και συχνότητας, σε εναλλασσόμενη τάση με ρυθμιζόμενο πλάτος και συχνότητα. Ο κυκλομετατροπέας ονομάζεται υποβιβασμού συχνότητας (*step-down*), όταν η συχνότητα εξόδου είναι μικρότερη της συχνότητας εισόδου. Διαφορετικά χαρακτηρίζεται ως ανύψωσης συχνότητας (*step-up*). Οι κυκλομετατροπείς χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές πολλής μεγάλης ισχύος.



Σχήμα 1.4 Γενικό σύμβολο κυκλομετατροπέα

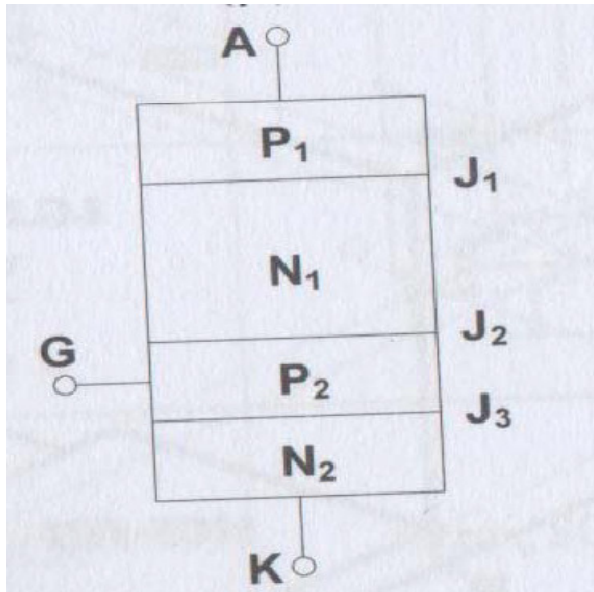
### 1.3 Θυρίστορ (Thyristors)

Ο όρος θυρίστορ (thyristor) αναφέρεται σε μία πολυμελή οικογένεια ημιαγωγικών διακοπών, οι οποίοι αποτελούνται από τέσσερα ή περισσότερα στρώματα ημιαγωγών τύπου n και p. Όλα τα μέλη της οικογένειας των θυρίστορ έχουν δύο ευσταθείς καταστάσεις λειτουργίας, την κατάσταση αγωγιμότητας και την κατάσταση αποκοπής. Στα θυρίστορ ανήκουν η δίοδος Scockley ή δίοδος τεσσάρων στρωμάτων pnpn, ο ελεγχόμενος ανορθωτής πυριτίου SCR (Silicon Controlled Rectifier), το GTO (Gate Turn-off), ο ελεγχόμενος διακόπτης πυριτίου SCS (Silicon Controlled Switch), το DIAC (Diode Alternating Current), και το TRIAC (TRIode Alternating Current). Νέα μέλη είναι ο αμφίδρομος SCR (Bi-Directional Controlled Thyristor, BCT), το Integrated Gate Commutated Thyristor (IGCT) και τα οπτικά διεγερόμενα thyristors (Light Triggering Thyristors, LTT).

Ο ελεγχόμενος ανορθωτής πυριτίου (SCR) είναι το κυριότερο μέλος της οικογένειας των θυρίστορ και συχνά, καταχρηστικά, αναφέρεται με το όνομα ολόκληρης της οικογένειας. Ο πρώτος SCR κατασκευάστηκε το 1958 στις ΗΠΑ από την General Electric και προκάλεσε επανάσταση στον τομέα των ηλεκτρονικών διατάξεων ισχύος.

Τα θυρίστορ (thyristors) μπορεί να πάρουν πολλές μορφές, αλλά έχουν ορισμένα πράγματα από κοινού. Όλα τους είναι στερεάς κατάστασης διακόπτες, τα οποία λειτουργούν ως ανοικτά κυκλώματα τα οποία είναι ικανά να αντέξουν την ονομαστική τάση μέχρι να ενεργοποιηθεί. Όταν ενεργοποιούνται, τα θυρίστορ γίνονται χαμηλής αντίστασης και παραμένουν στην κατάσταση αυτή έως ότου το ρεύμα σταματήσει ή πέσει κάτω από μια ελάχιστη τιμή που ονομάζεται επίπεδο εκμετάλλευσης. Μόλις ένα θυρίστορ έχει ενεργοποιηθεί, η τροφοδοσία του ρεύματος μπορεί να αφαιρεθεί χωρίς να απενεργοποιηθεί και η συσκευή παράλληλα.

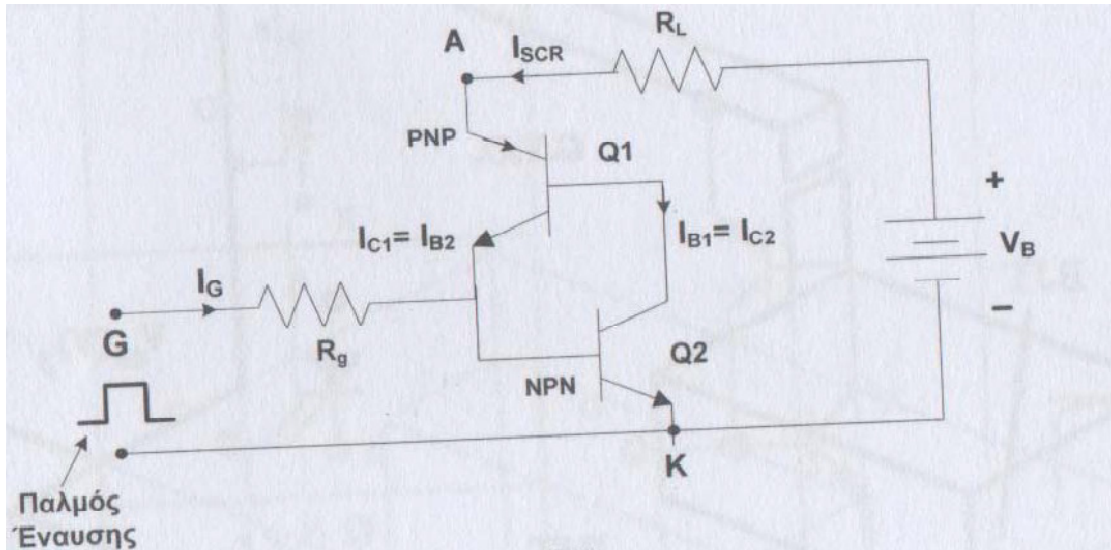
Οι ανορθωτές σιλικόνης (SCRs) και οι διακόπτες TRIAC είναι και οι δύο μέλη της οικογένειας των θυρίστορ. Οι ανορθωτές (SCRs) είναι μονής κατεύθυνσης συσκευές όπου οι διακόπτες έχουν αμφίδρομη λειτουργία. Ένας ανορθωτής SCR έχει σχεδιαστεί για να μεταβαίνει το φορτίο του ηλεκτρικού ρεύματος σε μια κατεύθυνση, ενώ ένα TRIAC έχει σχεδιαστεί για τη μετάβαση του ρεύματος και στις δύο κατευθύνσεις. Από πλευράς δομής, όλα τα θυρίστορ είναι ελεγχόμενοι ανορθωτές πυριτίου τεσσάρων στρωμάτων (p-n-p-n) το οποίο μπορεί να θεωρηθεί σαν συνδυασμός δύο τρανζίστορ.



Σχήμα 1.5 Δομή του θυρίστορ

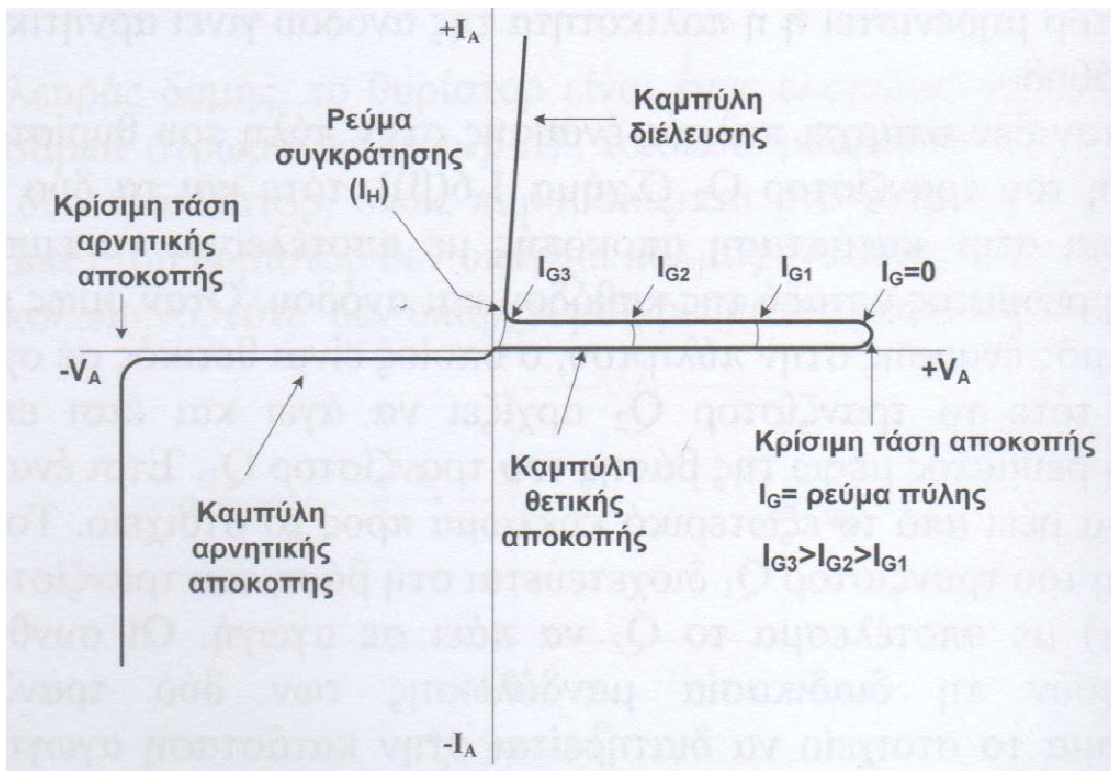
Όταν στην πύλη του θυρίστορ δεν υπάρχει παλμός έναυσης, ανεξάρτητα από το αν είναι θετικά πολωμένο, τότε δεν υπάρχει ροή ρεύματος μέσω του θυρίστορ. Για να μεταβεί το θυρίστορ σε κατάσταση αγωγής, πρέπει στην πύλη του να δοθεί παλμός έναυσης με την προϋπόθεση ότι το θυρίστορ είναι θετικά πολωμένο. Ένα τέτοιο στοιχείο, όταν βρεθεί στην κατάσταση αγωγής μετά την εφαρμογή του παλμού έναυσης, θα εξακολουθεί να παραμένει στην κατάσταση αυτή, ακόμα και αν ο παλμός έναυσης αφαιρεθεί. Μπορεί να διακοπεί η κατάσταση αγωγής μόνο όταν το ρεύμα, το οποίο ρέει μέσα από το θυρίστορ μηδενιστεί ή η πολικότητα της ανόδου γίνει αρνητική σε σχέση με την κάθοδο.

Όταν δεν υπάρχει παλμός έναυσης στην πύλη του θυρίστορ, δηλαδή στη βάση του τρανζίστορ  $Q_2$ , τότε και τα δύο τρανζίστορ βρίσκονται στην κατάσταση αποκοπής με αποτέλεσμα να εμποδίζουν τη διέλευση του ρεύματος μεταξύ της καθόδου και της ανόδου. Όταν όμως εφαρμοστεί ένας παλμός έναυσης στην πύλη του, ο οποίος είναι θετικός σε σχέση με την κάθοδο, τότε το τρανζίστορ  $Q_2$  αρχίζει να άγει και έτσι επιτρέπει τη διέλευση ρεύματος μέσω της βάσης του τρανζίστορ  $Q_1$ . Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ένα ρεύμα  $I_{SCR}$  να ρέει από το εξωτερικό κύκλωμα προς το στοιχείο. Το ρεύμα του συλλέκτη του τρανζίστορ  $Q_1$  διοχετεύεται στη βάση του τρανζίστορ  $Q_2$  με αποτέλεσμα το  $Q_2$  να πάει σε αγωγή. Οι συνθήκες αυτές δημιουργούν τη διαδικασία μανδάλωσης των δύο τρανζίστορ, με αποτέλεσμα το στοιχείο να διατηρείται στην κατάσταση αγωγής και όταν ακόμα αφαιρεθεί ο παλμός έναυσης από την πύλη. Για να μεταβεί το θυρίστορ σε κατάσταση αποκοπής, το ρεύμα ανόδου πρέπει να ελαττωθεί στο μηδέν. Στην πραγματικότητα όμως, η αποκοπή του θυρίστορ γίνεται σε μια τιμή του ρεύματος που είναι λίγο μεγαλύτερη από το μηδέν και το ρεύμα αυτό ονομάζεται ρεύμα συγκράτησης (holding current) και συμβολίζεται με  $I_H$ .



Σχήμα 1.6 Ισοδύναμο λειτουργικό κύκλωμα του θυρίστορ

Αυτό συμβαίνει διότι καθώς το ρεύμα ανόδου ελαττώνεται στο μηδέν, η διαδικασία μανδάλωσης του θυρίστορ δεν μπορεί να είναι αποτελεσματική. Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι για να μεταβεί το θυρίστορ σε κατάσταση αγωγής απαιτείται ένα ελάχιστο ρεύμα ανόδου, το οποίο δημιουργείται μέσω του εξωτερικού κυκλώματός του και ονομάζεται ρεύμα μανδάλωσης (latching current). Το ρεύμα συγκράτησης καθώς και το ρεύμα μανδάλωσης είναι το 1% του ονομαστικού ρεύματος του θυρίστορ.



Σχήμα 1.7 Χαρακτηριστική καμπύλη τάσης-ρεύματος ενός θυρίστορ



Οι απαιτούμενες στάθμες ρεύματος και τάσης για την έναυση ενός θυρίστορ εξαρτώνται από τη θερμοκρασία επαφής του στοιχείου που ενεργοποιείται. Καθώς η θερμοκρασία επαφής αυξάνει, η πύλη γίνεται περισσότερο ευαίσθητη. Το αντίθετο ισχύει για θερμοκρασίες μικρότερες της κανονικής. Έτσι για αξιόπιστη λειτουργία στην περίπτωση εφαρμογών σε χαμηλές θερμοκρασίες, είναι απαραίτητη η πρόβλεψη παροχής αρκετού ρεύματος στην πύλη του στοιχείου. Οι απαιτήσεις ρεύματος για την έναυση της πύλης, για κάθε τύπο στοιχείου, αναγράφονται στις προδιαγραφές των κατασκευαστών.

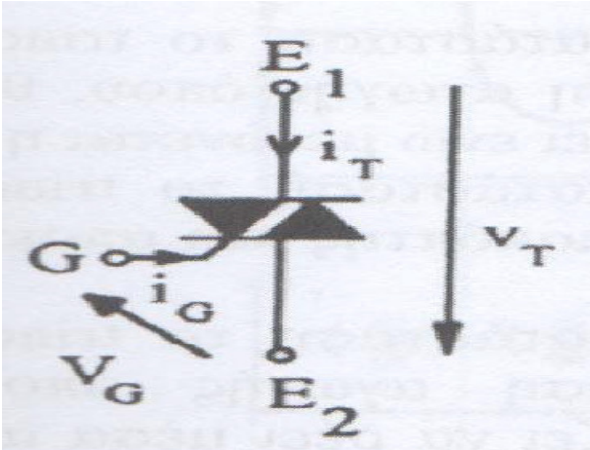
Έτσι, αν σε μια εφαρμογή χρειάζεται παλμός έναυσης, τότε ο μηχανικός πρέπει να προβλέψει το πλάτος του παλμού να είναι μεγαλύτερος της τιμής του καθοριζόμενου συνεχούς ρεύματος. Η συμπεριφορά ενός θυρίστορ κατά την αλλαγή της λειτουργικής του κατάστασης, πρέπει να μελετάται ιδιαίτερα για να είναι ο μηχανικός σίγουρος ότι η έναυση και η σβέση του θα πραγματοποιούνται σύμφωνα με τον επιθυμητό προγραμματισμό που προέρχεται από το κύκλωμα ελέγχου.

Όπως διαπιστώνεται και από την παραπάνω χαρακτηριστική V-I, ένα θυρίστορ μπορεί να βρίσκεται σε μια από τις ακόλουθες τρεις καταστάσεις:

- **Κατάσταση αγωγής (Conduction state):** όπου το θυρίστορ άγει και ρεύμα ρέει από την άνοδο προς την κάθοδο.
- **Κατάσταση θετικής αποκοπής (Forward blocking state):** όπου το θυρίστορ είναι θετικά πολωμένο, αλλά βρίσκεται σε κατάσταση αποκοπής. Αν δοθεί παλμός έναυσης στο θυρίστορ τότε μεταβαίνει στην κατάσταση διέλευσης.
- **Κατάσταση αρνητικής αποκοπής (Reverse blocking state):** το θυρίστορ μεταβαίνει στην κατάσταση αυτή όταν μια αρνητική τάση εφαρμοστεί μεταξύ ανόδου και καθόδου. Για παράδειγμα, αν το θυρίστορ βρίσκεται στην κατάσταση αγωγής και εφαρμοστεί μια αρνητική τάση μεταξύ ανόδου και καθόδου, τότε το θυρίστορ μεταβαίνει στην κατάσταση αρνητικής αποκοπής και έτσι επιτυγχάνεται η σβέση του.

## 1.4 TRIAC

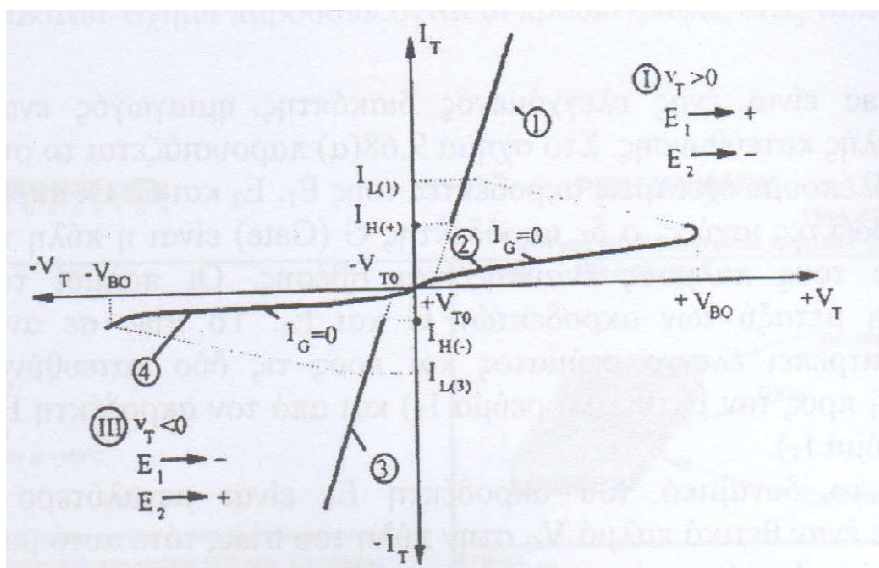
Το TRIAC είναι ένας ελεγχόμενος διακόπτης ημιαγωγός εναλλασσόμενου ρεύματος διπλής κατεύθυνσης. Στο επόμενο σχήμα παριστάνεται το σύμβολο του, το οποίο έχει τρεις ακροδέκτες τους  $E_1, E_2$  και  $G$ .



Σχήμα 1.8 Γενικό σύμβολο TRIAC

Οι ακροδέκτες  $E_1$  και  $E_2$  είναι οι ακροδέκτες ισχύος ενώ ο ακροδέκτης  $G$  είναι η πύλη του TRIAC όπου εφαρμόζουμε τους παλμούς έναυσης και σβέσης. Οι παλμοί του TRIAC,  $V_G$ , εφαρμόζονται μεταξύ των ακροδεκτών  $G$  και  $E_2$ . Το TRIAC σε αντίθεση με το θυρίστορ, επιτρέπει τον έλεγχο του ρεύματος και προς τις δύο κατευθύνσεις από τον ακροδέκτη  $E_1$  προς τον  $E_2$  (θετικό ρεύμα) και από τον ακροδέκτη  $E_2$  προς τον  $E_1$  (αρνητικό ρεύμα  $I_T$ ).

Όταν το δυναμικό του ακροδέκτη  $E_1$  είναι μεγαλύτερο του  $E_2$  και εφαρμόσουμε έναν θετικό παλμό  $V_G$  στην πύλη του TRIAC, τότε αυτό μεταβαίνει στην αγωγή και ρεύμα  $I_T$  ρέει από τον  $E_1$  προς τον  $E_2$ . Όταν το δυναμικό του ακροδέκτη  $E_2$  είναι μεγαλύτερο του  $E_1$  και εφαρμόσουμε έναν αρνητικό παλμό στην πύλη του TRIAC τότε αυτό μεταβαίνει πάλι στην αγωγή αλλά το ρεύμα  $I_T$  ρέει από τον ακροδέκτη  $E_2$  προς τον  $E_1$ .



Σχήμα 1.9 Χαρακτηριστική ρεύματος-τάσης TRIAC

Από την παραπάνω χαρακτηριστική καμπύλη, διαπιστώνεται ότι το TRIAC, σε αντίθεση με το θυρίστορ, λειτουργεί ως διακόπτης αγωγής και αποκοπής σε δύο τεταρτημόρια, στο πρώτο και το τρίτο. Σύμφωνα δηλαδή με τη χαρακτηριστική, το TRIAC μπορεί να βρίσκεται σε μια από τις ακόλουθες καταστάσεις λειτουργίας:

- I. **Κατάσταση 1:** Σ'αυτήν την κατάσταση το TRIAC μεταβαίνει στην κατάσταση αγωγής, όπου το θετικό ρεύμα  $I_T$  αρχίζει να ρέει ενώ μειώνεται η τάση  $V_T$ .
- II. **Κατάσταση 2:** Σ'αυτήν την κατάσταση το TRIAC λειτουργεί σαν ανοικτός διακόπτης και αποκόπτει θετική τάση.
- III. **Κατάσταση 3:** Σ'αυτήν την κατάσταση το TRIAC μεταβαίνει στην κατάσταση αγωγής, όπου αρνητικό ρεύμα  $I_T$  αρχίζει να ρέει μέσα από αυτό ενώ μειώνεται η τάση  $V_T$ .
- IV. **Κατάσταση 4:** Σ'αυτήν την κατάσταση το TRIAC λειτουργεί σαν ανοικτός διακόπτης αλλά αποκόπτει αρνητική τάση.

Πρέπει να σημειωθεί ότι όταν το TRIAC πάει στην κατάσταση αγωγής, μανδαλώνει στην κατάσταση αυτή λόγω της εσωτερικής του κατασκευής. Το TRIAC φεύγει από την κατάσταση αυτή, της μανδάλωσης είτε όταν το ρεύμα του  $I_T$  γίνει μηδέν ή όταν πολωθεί ανάστροφα.

## 1.5 Μονοφασικοί ανορθωτές

Οι ανορθωτές (rectifiers) είναι το πλέον διαδεδομένο είδος μετατροπών ισχύος . Οι ανορθωτές χρησιμοποιούνται κυρίως στην μετατροπή της εναλλασσόμενης τάσης του δικτύου , με συχνότητα 50 ή 60 Hz , σε συνεχή τάση . Οι μονοφασικοί ανορθωτές αποτελούν την κατηγορία των μετατροπών ac-dc με φυσική μετάβαση (phase controlled) . Οι μετατροπείς με φυσική μετάβαση επιτελούν την λειτουργία της ανόρθωσης με την χρήση διακοπών, οι οποίοι είναι είτε δίοδοι ή ελεγχόμενοι ανορθωτές πυριτίου (SCR) . Οι δίοδοι και οι SCR είναι διακόπτες , οι οποίοι δεν είναι πλήρως ελεγχόμενοι . Έτσι , η σβέση και η έναυση των διακοπών στους ανορθωτές με φυσική μετάβαση , καθορίζεται από την εναλλασσόμενη τάση του δικτύου και το ρεύμα του φορτίου .Στους ανορθωτές με SCR , η χρονική στιγμή της έναυσης εξαρτάται από τους παλμούς ελέγχου .

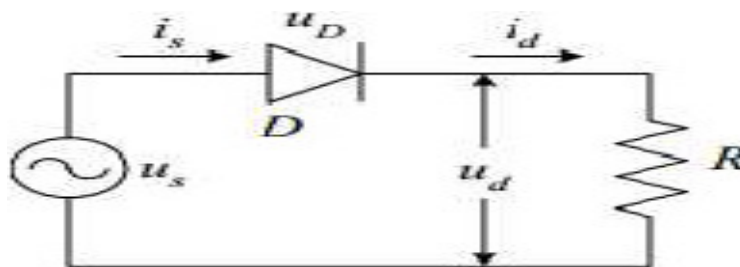
Στους ανορθωτές φυσικής μετάβασης με διόδους , το πλάτος της συνεχούς τάσης εξόδου είναι σταθερό . Οι ανορθωτές αυτοί ονομάζονται μη ελεγχόμενοι . Αντίθετα, οι μετατροπείς ac-dc με SCR ονομάζονται ελεγχόμενοι , καθώς η συνεχής τάση εξόδου ρυθμίζεται σε μία περιοχή τιμών . Η φορά του ρεύματος και στα δύο είδη ανορθωτών δεν μπορεί να αντιστραφεί . Όταν η συνεχής τάση εξόδου του ελεγχόμενου ανορθωτή είναι αρνητική , η ισχύς εξόδου είναι αρνητική. Η αρνητική ισχύς σηματοδοτεί την λειτουργία του “ανορθωτή” ως αντιστροφέα , οπότε η ισχύς ρέει από την έξοδο προς την εναλλασσόμενη είσοδο του μετατροπέα . Επειδή το ρεύμα εξόδου των ανορθωτών με φυσική μετάβαση ρέει με μια φορά , η λειτουργία τους περιορίζεται στα δύο από τα τέσσερα τεταρτημόρια του επιπέδου ρεύματος εξόδου-τάσης εξόδου . Έτσι , η αμφίδρομη ροή της ισχύος μεταξύ της εισόδου και της εξόδου δεν είναι πάντα δυνατή.

Οι δύο κυριότερες εφαρμογές των ανορθωτών φυσικής μετάβασης με SCR είναι η μεταφορά της ισχύος με υψηλή συνεχή τάση (HVDC) και ο έλεγχος των dc κινητήρων . Και στις δύο εφαρμογές είναι αναγκαία η ελεύθερη ροή της ισχύος μεταξύ της εισόδου και της εξόδου , δηλαδή, η λειτουργία του μετατροπέα και στα τέσσερα τεταρτημόρια . Η απαίτηση αυτή πραγματοποιείται με την σύνδεση δύο μετατροπέων αντιπαράλληλα .

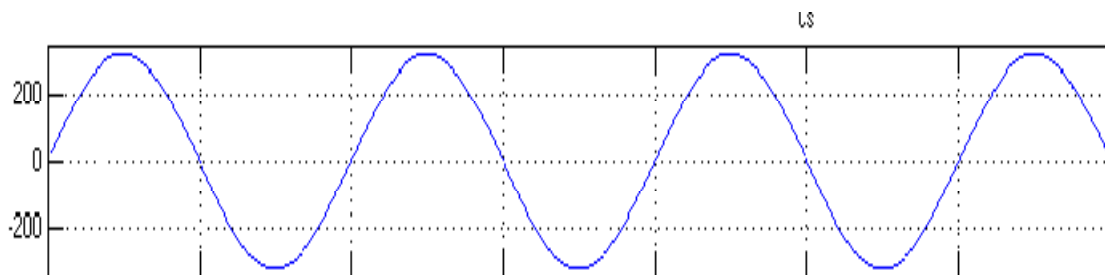
### 1.5.1 Απλή ανόρθωση

Η απλούστερη μορφή ανορθωτικής διάταξης περιλαμβάνει μόνο ένα διακόπτη (δίοδο ή SCR) και ονομάζεται διάταξη απλής ανόρθωσης ή μισού κύματος (half wave) .

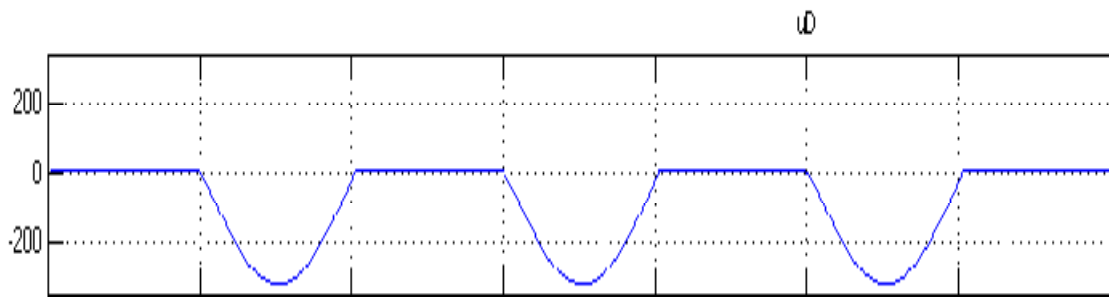
- Δίοδος με ωμικό φορτίο



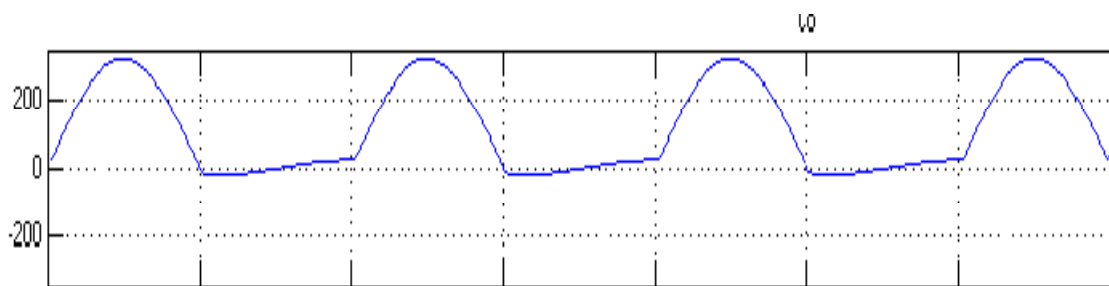
Σχήμα 1.10 Διάταξη απλής ανόρθωσης με δίοδο και ωμικό φορτίο



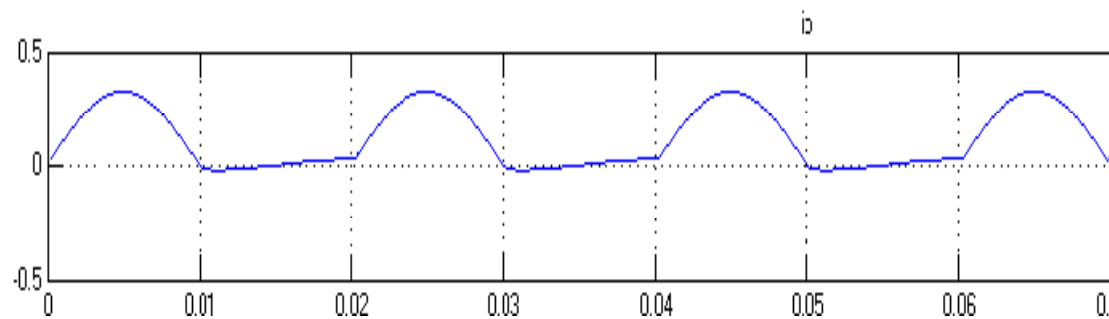
Σχήμα 1.11 Κυματομορφή τάσης εισόδου



Σχήμα 1.12 Κυματομορφή τάσης διόδου



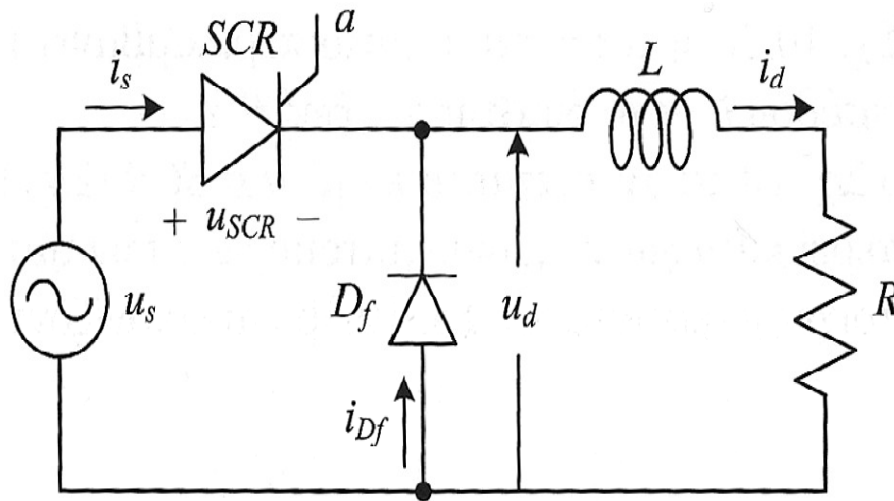
Σχήμα 1.13 Κυματομορφή τάσης εξόδου



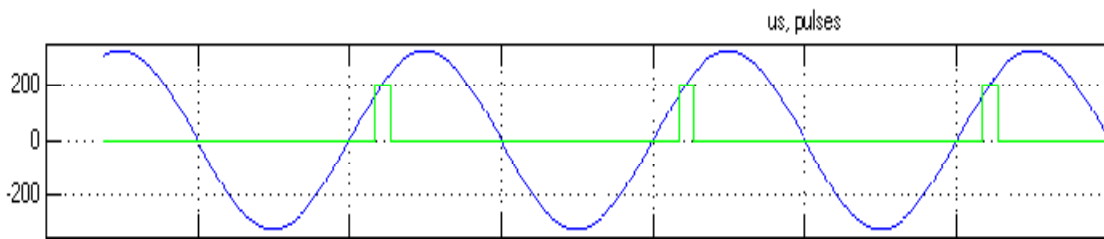
Σχήμα 1.14 Κυματομορφή ρεύματος εξόδου

Κατά την θετική ημιπερίοδο η διάδος πολώνεται ορθά, λειτουργεί ως κλειστός διακόπτης («ON») και η τάση στα άκρα της είναι 0V, ενώ κατά την αρνητική ημιπερίοδο πολώνεται ανάστροφα, λειτουργεί ως ανοιχτός διακόπτης («OFF») και η τάση στα άκρα της είναι όση η τάση στα άκρα της πηγής. Για κάθε χρονική στιγμή ισχύει  $u_s = u_o + u_D$ . Τέλος, το ρεύμα είναι ανάλογο της τάσης εξόδου,  $i_o = u_o / R$ , όπου R, η ωμική αντίσταση, είναι σταθερή.

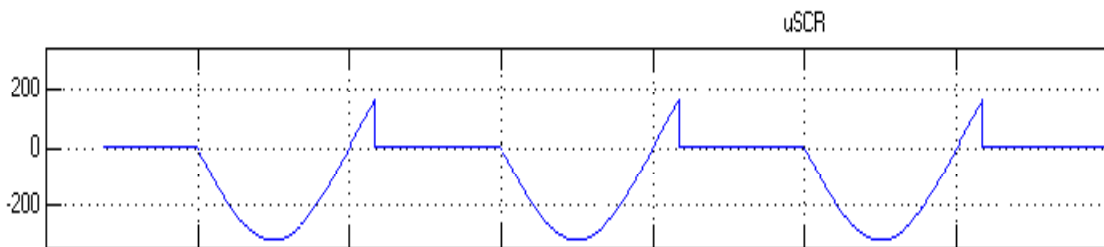
- SCR με φορτίο επαγωγικό-ωμικό και διάοδο ελεύθερης διέλευσης



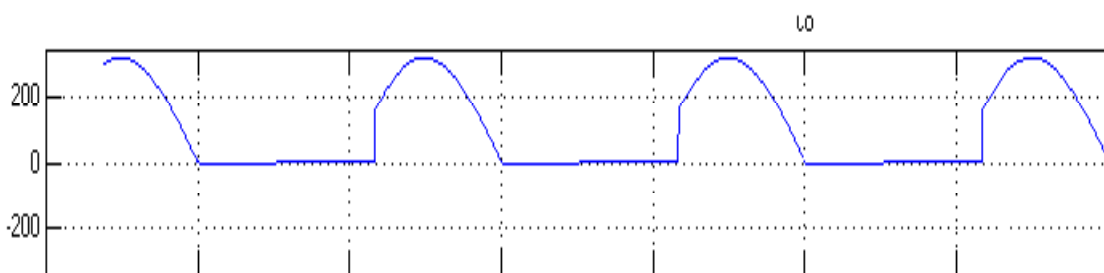
Σχήμα 1.15 Διάταξη απλής ανόρθωσης με SCR και επαγωγικό-ωμικό φορτίο.



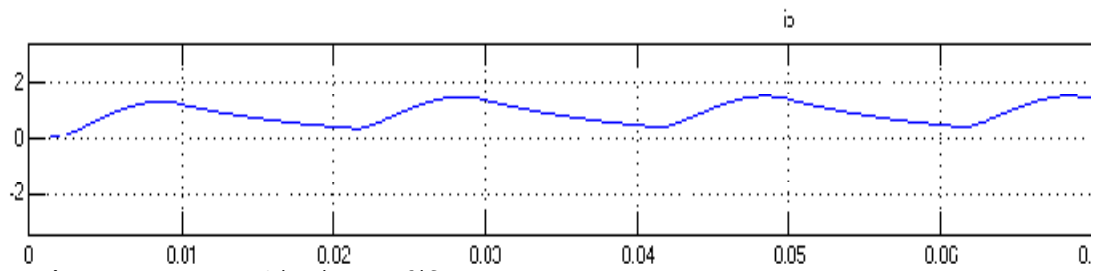
Σχήμα 1.16 Κυματομορφή παλμών και τάσης εισόδου



Σχήμα 1.17 Κυματομορφή του SCR



Σχήμα 1.18 Κυματομορφή τάσης εξόδου

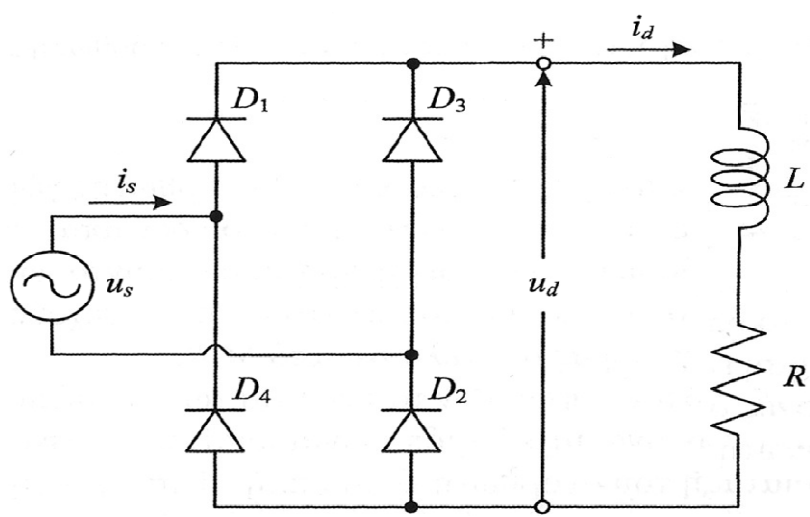


Σχήμα 1.19 Κυματομορφή ρεύματος εξόδου

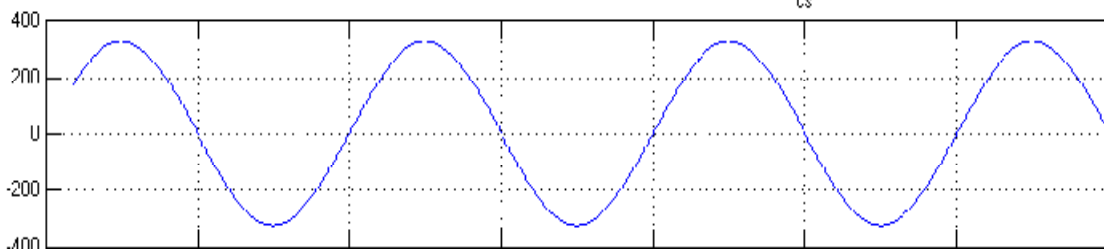
Ο SCR αρχίζει να άγει όταν εμφανίζεται ο παλμός, και συνεχίζει σε όλη την υπόλοιπη θετική ημιπερίοδο. Στο υπόλοιπο διάστημα (αρνητική ημιπερίοδος), αλλά και στο πρώτο κομμάτι της θετικής ημιπεριόδου πριν την εμφάνιση του παλμού ο SCR δεν άγει (OFF).

Όταν υπάρχει ισχυρό πηνίο αποθηκεύει ενέργεια η οποία προκαλεί ροή ρεύματος και μετά τις 180°. Όσο μεγαλύτερο είναι το επαγωγικό φορτίο τόσο το νέο ρεύμα τείνει να πάρει σταθερό πλάτος για όλη την διάρκεια της περιόδου.

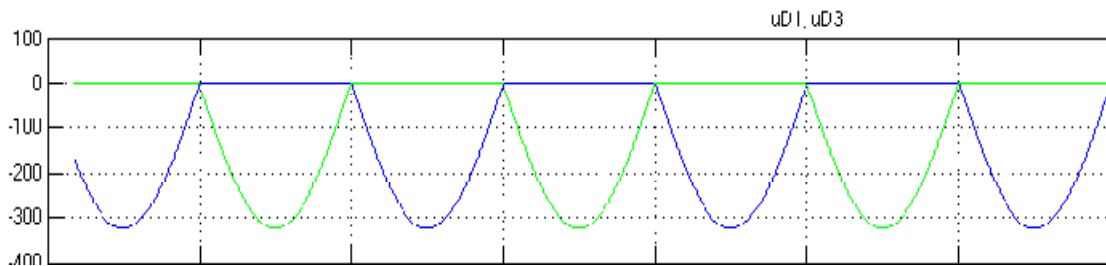
- Ανόρθωση με γέφυρα διόδων και φορτίο επαγωγικό-ωμικό



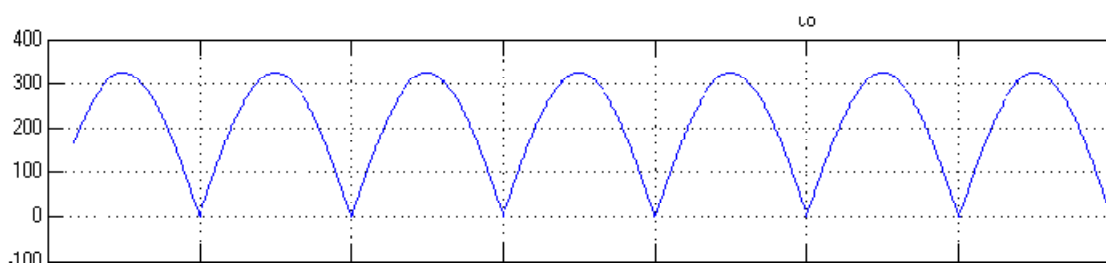
Σχήμα 1.20 Διάταξη ανόρθωσης με γέφυρα διόδων και επαγωγικό-ωμικό φορτίο



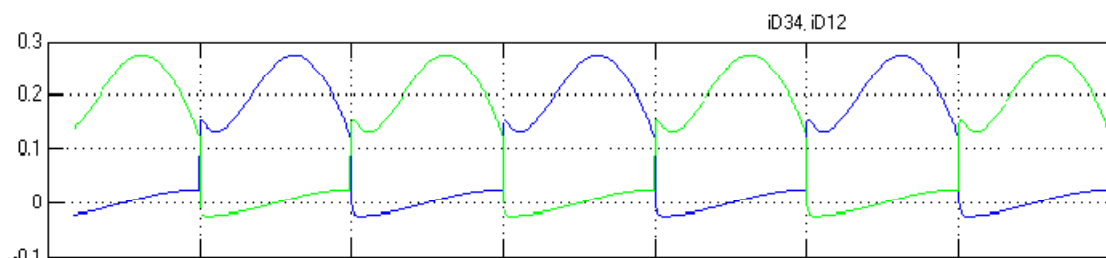
Σχήμα 1.21 Κυματομορφή τάσης εισόδου



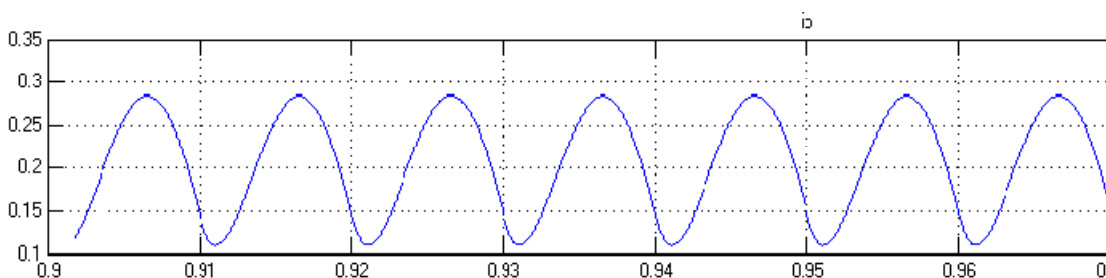
Σχήμα 1.22 Κυματομορφές των τάσεων στις διόδους  $D_1$  και  $D_3$



Σχήμα 1.23 Κυματομορφή τάσης εξόδου



Σχήμα 1.24 Κυματομορφές ρευμάτων που διαρρέουν τις διόδους

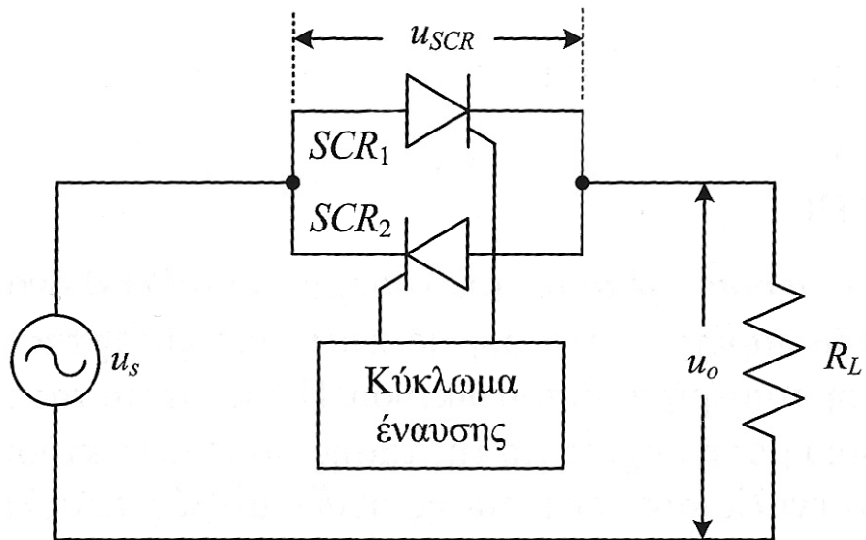


Σχήμα 1.25 Κυματομορφή ρεύματος εξόδου

Όταν η επαγωγή του πηνίου είναι μεγάλη το ρεύμα εξόδου τείνει να μείνει σταθερό (εξομάλυνση). Θεωρητικά με μια άπειρη επαγωγή το  $i_o$  θα ήταν τέλει DC ρεύμα. Η μέση τιμή της τάσης εξόδου είναι διπλάσια από εκείνη του ανορθωτή απλής ανόρθωσης (πρώτο κύκλωμα) για την ίδια πηγή εισόδου  $u_s$ .

- TRIAC (αντιπαράλληλα SCR) με ωμικό φορτίο



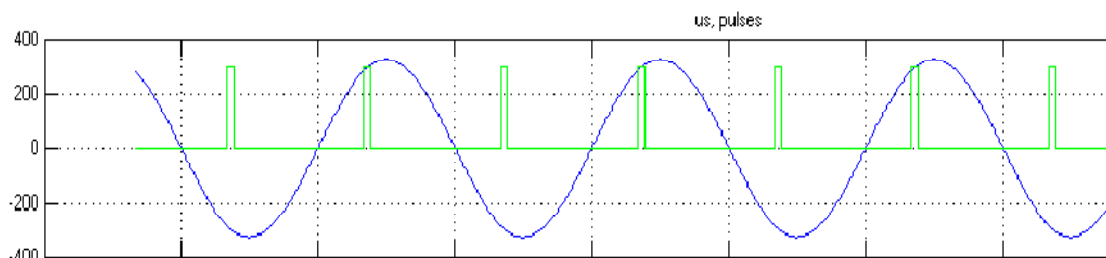


Σχήμα 1.26 Διάταξη TRIAC με ωμικό φορτίο

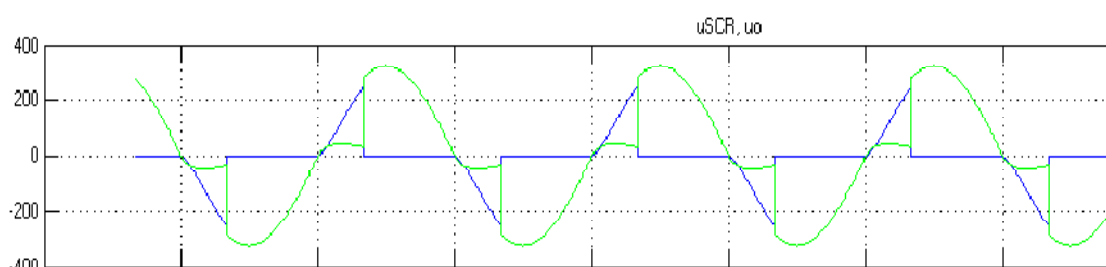
Μέσω της διάταξης του Σχήματος 1.26 έχουμε στην έξοδο εναλλασσόμενη τάση με ρυθμιζόμενο πλάτος και ίδιας συχνότητας με την τάση της πηγής.

Ένα απλό κύκλωμα TRIAC αποτελείται από δύο SCR συνδεδεμένα παράλληλα και αντίθετα μεταξύ τους (η άνοδος του ενός με την κάθοδο του άλλου) σε σειρά με την AC πηγή και το ωμικό φορτίο. Οι πύλες των SCR βραχυκυκλώνονται μεταξύ τους για κοινό παλμό σκανδαλισμού.

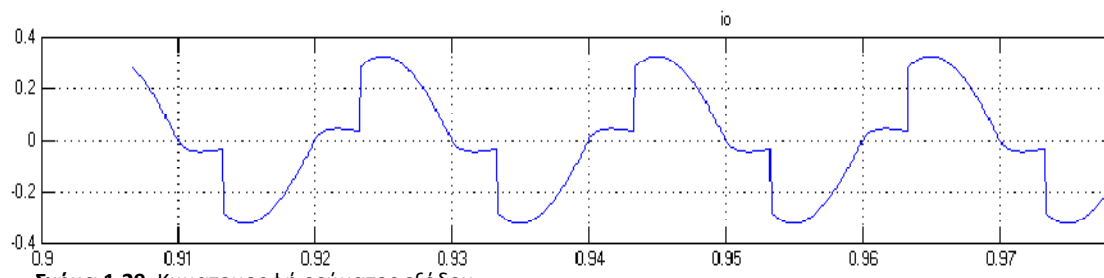
Δίνοντας κατάλληλους παλμούς ρυθμίζουμε ώστε ο SCR1 να άγει σε ένα τμήμα της θετικής ημιπεριόδου και ο SCR2 αντίστοιχα σε τμήμα της αρνητικής ημιπεριόδου. Έτσι επιτυγχάνεται έλεγχος 100% της τάσης εξόδου (φασικός έλεγχος ισχύος).



Σχήμα 1.27 Κυματομορφές τάσης τροφοδοσίας και παλμών



Σχήμα 1.28 Η τάση στα άκρα των SCR (μπλε) και η τάση του φορτίου R (πράσινη).



**Σχήμα 1.29** Κυματομορφή ρεύματος εξόδου

## 2. DIMMER

### 2.1 Εισαγωγικά στοιχεία

Συχνά, σε πολλές εφαρμογές, απαιτείται έλεγχος της έντασης φωτισμού των φωτιστικών σωμάτων. Στην καθημερινότητα αλλά και σε περισσότερο εξεζητημένες περιπτώσεις, τα φωτιστικά σώματα πρέπει να παρέχουν την επιθυμητή κατά περίπτωση ένταση φωτισμού ώστε:

- ✓ Να προσαρμόζουν αναλόγως το φωτισμό στους χώρους βελτιώνοντας την παραγωγικότητα.
- ✓ Να παρέχουν ευελιξία σε χώρους όπου εκτελούνται ποικίλες δραστηριότητες όπως συνεδριακούς χώρους, θέατρα κλπ.
- ✓ Να εξοικονομείται ενέργεια
- ✓ Να βελτιώνει τη διάθεση για προσωπικούς ή εμπορικούς σκοπούς

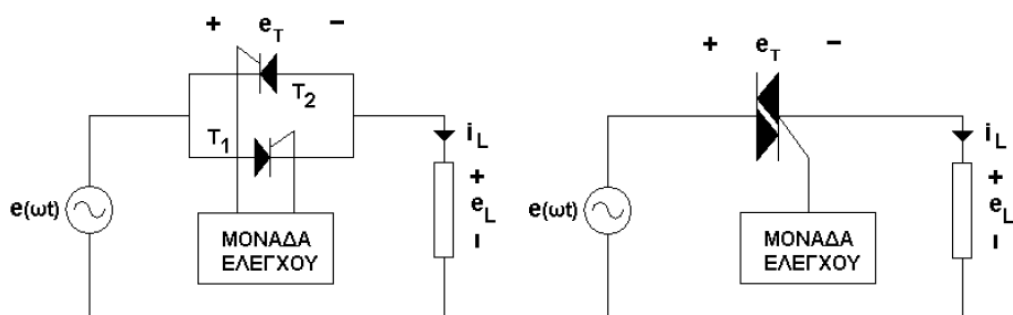
Συνεπώς απαιτείται μια συσκευή που να ελέγχει το ποσό της τάσης που τροφοδοτεί το φωτιστικό σώμα, καθορίζοντας την ένταση φωτισμού. Η συσκευή που χρησιμοποιείται για το σκοπό αυτό ονομάζεται <<ρυθμιστής έντασης φωτισμού>> ή κοινώς Dimmer.

Η κεντρική ιδέα της λειτουργίας των Dimmers είναι να ελέγχει την ηλεκτρική ισχύ που παρέχεται σ' ένα φωτιστικό σώμα. Παλαιότερα, στην θέση των Dimmers χρησιμοποιούνταν μετασχηματιστές με μεταβλητή έξοδο (αυτομετασχηματιστές). Σήμερα και σ' ένα μεγάλο ποσοστό η πρακτική αυτή έχει εγκαταλειφθεί και έχει αντικατασταθεί από ηλεκτρονικούς ρυθμιστές έντασης φωτισμού οι οποίοι υλοποιούνται με ηλεκτρονικά ισχύος (SCR ή TRIAC) και η αρχή λειτουργίας τους στηρίζεται στον έλεγχο της γωνίας έναυσης. Σε ειδικές, ωστόσο, περιπτώσεις εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται μετασχηματιστές με μεταβλητή έξοδο καθώς και απλές μεταβλητές αντιστάσεις εάν η ισχύς είναι μικρή. Επίσης, σε λαμπτήρες συνεχούς τάσης χρησιμοποιούνται ελεγκτές που στηρίζονται στη διαμόρφωση σύμφωνα με τη διάρκεια των παλμών (PWM Controllers).

### 2.2 Αρχή λειτουργίας

Οι ρυθμιστές έντασης φωτισμού είναι μονοφασικοί και χρησιμοποιούνται είτε για να ρυθμίσουν την ένταση ενός φωτιστικού σώματος ατομικά, είτε σε ομάδες (dimmer racks ή dimmer racks) για να ελέγξουν μία σειρά φωτιστικών σωμάτων. Η θεμελιώδης αρχή λειτουργίας, η οποία παραμένει अपαράλλαχτη για σαράντα και πλέον χρόνια,

περιλαμβάνει μονοφασικό έλεγχο από ένα ζεύγος θυρίστορ συνδεδεμένων αντιπαράλληλα ή από ένα TRIAC.



Σχήμα 2.1 Κύκλωμα μονοφασικού ελεγκτή τάσης

Εάν εφαρμοστούν κατάλληλοι παλμοί στις πύλες των θυρίστορ ή του TRIAC , ενώ αυτά είναι ορθά πολωμένα , τότε ρέει ρεύμα στο φορτίο. Ο χρόνος αγωγής των θυρίστορ/TRIAC εξαρτάται από την γωνία έναυσης τους και από την γωνία του φορτίου (το  $\cos\phi$  του φορτίου στην συχνότητα λειτουργίας).

Με την διάταξη του σχήματος 2.1, η τάση στο φορτίο μπορεί να μεταβάλλεται από 0 (αυτό αντιστοιχεί σε σβέση και των δύο θυρίστορ/TRIAC) μέχρι σχεδόν την πλήρη τάση τροφοδοσίας (για την ακρίβεια την πλήρη τάση τροφοδοσίας πλην την πτώση τάσης στο θυρίστορ/TRIAC).

Η λειτουργία του dimmer μπορεί να γίνει με δύο τρόπους :

**A)** Η έναυση των θυρίστορ/TRIAC γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε στο φορτίο να εμφανίζεται η πλήρης τάση τροφοδοσίας για ένα ακέραιο αριθμό περιόδων , και στην συνέχεια η τάση να μηδενίζεται για ένα άλλο ακέραιο αριθμό περιόδων.

**B)** Η έναυση των θυρίστορ/TRIAC γίνεται σε κάποια γωνία  $\alpha$  της ημιπεριόδου που το θυρίστορ/TRIAC είναι θετικά πολωμένο. Σ αυτή την περίπτωση η κυματομορφή της τάσης του φορτίου αναφέρεται ως <<ελεγχόμενη από φάση>> (phase controlled). Εάν το φορτίο είναι επαγωγικό , οι κυματομορφές της τάσης και του ρεύματος του φορτίου δεν είναι ημιτονοειδείς και δεν είναι όμοιες μεταξύ τους. Εάν η έναυση των δυο θυρίστορ/TRIAC είναι συμμετρική, τότε οι κυματομορφές της τάσης και του ρεύματος έχουν ίδια θετικά και αρνητικά μέρη. Αυτό έχει σαν συνέπεια οι κυματομορφές αυτές να περιέχουν μόνο περιττές αρμονικές.

Από το σχήμα 2.1 έχουμε :  $e = e_T + e_L$  . Όταν ένα θυρίστορ άγει , η πτώση τάσης σε αυτό πολώνει ανάστροφα το άλλο θυρίστορ. Έτσι, π.χ ένα ρεύμα το οποίο ρέει στο θυρίστορ T1, πολώνει ανάστροφα το θυρίστορ T2. Σε αυτή την κατάσταση το T2 δεν μπορεί να μεταφέρει ρεύμα ακόμη και αν εφαρμοστεί παλμός στην πύλη του. Ρεύμα μπορεί να μεταφερθεί μόνο όταν μηδενιστεί το ρεύμα στο T1. Το ίδιο ισχύει και στην περίπτωση που χρησιμοποιούμε TRIAC.

Πλεονεκτήματα αυτών των διατάξεων-οι οποίες ουσιαστικά λειτουργούν σαν ηλεκτρονικοί διακόπτες- έναντι των αντίστοιχων μηχανικών είναι:

- Η πολύ μικρή φθορά και επομένως η απαιτούμενη συντήρηση
- Η μεγάλη ικανότητα στο χειρισμό ρεύματος-ισχύος (>2MVA) ανά πόλο.
- Η μικρή χρονική καθυστέρηση (της τάξης των μs) στο χειρισμό των ρευμάτων. Αυτό επιτρέπει μεγάλες συχνότητες χειρισμών.
- Σε μερικές εφαρμογές πλεονεκτήματα είναι και ο μικρός θόρυβος (π.χ σε νοσοκομειακές εφαρμογές) αλλά και ο σχετικά μικρός όγκος τους.

Μειονεκτήματα είναι:

- Η πτώση τάσης (της τάξης των 1-2,5 V) όταν άγουν.
- Το μικρό ρεύμα διαρροής σε κατάσταση αποκοπής, με αποτέλεσμα την απαίτηση σε σειρά και ενός μηχανικού διακόπτη.

Μερικές άλλες από τις εφαρμογές των διατάξεων αυτών είναι:

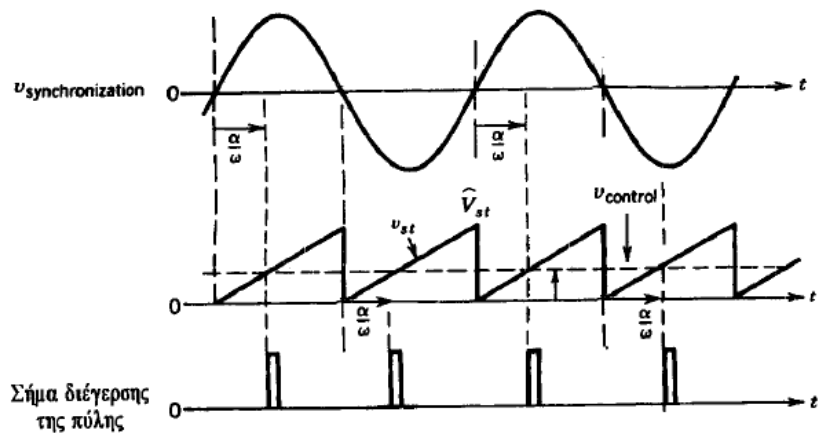
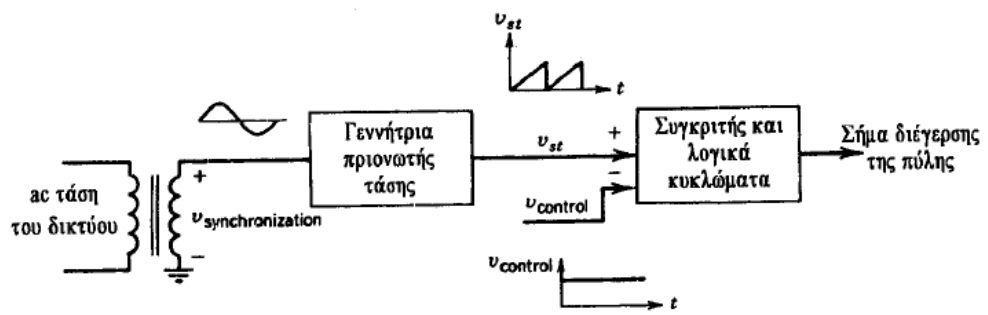
- Έλεγχος της τάσης των επαγωγικών κινητήρων
- Έλεγχος ηλεκτρικών συστημάτων θέρμανσης (σε βιομηχανικές εφαρμογές)
- Έλεγχος πυκνωτών για ρύθμιση άεργης ισχύος σε γραμμές μεταφοράς
- Γενικώς σε εφαρμογές στις οποίες απαιτείται έλεγχος της τάσης φορτίου με σχετικά υψηλή συχνότητα.

## 2.3 Έλεγχος των Dimmer

Ο μονοφασικός έλεγχος ενός ρυθμιστή έντασης φωτισμού στηρίζεται στο γεγονός ότι ένα θυρίστορ αρχίζει ν' άγει τη χρονική στιγμή που εμφανίζεται ένας παλμός τάσης στην πύλη του. Ελέγχοντας τη χρονική αυτή στιγμή που εμφανίζεται ο παλμός έχουμε άμεσο και συνεχή έλεγχο της τάσης του φορτίου, συνεπώς και του ρεύματος, από 0 έως μια μέγιστη τιμή.

Στο απλοποιημένο λειτουργικό διάγραμμα του σχήματος 2.2, μια πριονωτή κυματομορφή, η οποία είναι συγχρονισμένη με την AC είσοδο του κυκλώματος, συγκρίνεται με το σήμα ελέγχου  $V_{control}$ . Η γωνία έναυσης  $\alpha$ , σε σχέση με τον μηδενισμό (zero crossing) της AC τάσης του δικτύου, εκφράζεται ως συνάρτηση της  $V_{control}$  και της

μέγιστης τιμής της πριονωτής κυματομορφής  $V_{st}$  με τη σχέση: 
$$\alpha = 180 \frac{V_{control}}{V_{st}}$$



Σχήμα 2.2 Λειτουργικό διάγραμμα κυκλώματος έναυσης των Dimmer

## 3. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

### 3.1 Εισαγωγή

Στην εργασία αυτή εξετάζεται ένα κύκλωμα μονοφασικής ανόρθωσης με ένα θυρίστορ αρχικά, και στη συνέχεια μ' ένα TRIAC, οδηγούμενο από το ολοκληρωμένο κύκλωμα TCA 785. Σκοπός της εργασίας είναι να ελέγξουμε τη φωτεινότητα ενός λαμπτήρα πυρακτώσεως μέσω ενός trimmer καθώς και τις στροφές ενός Universal κινητήρα, μεταβάλλοντας τη γωνία έναυσης του.

### 3.2 Περιγραφή λειτουργίας ολοκληρωμένου

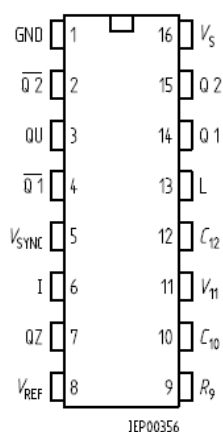
Για την κατασκευή του κυκλώματος πυροδότησης χρησιμοποιούμε ένα TCA785. Το συγκεκριμένο ολοκληρωμένο έχει σχεδιαστεί για το έλεγχο Thyristors, Triacs και Transistors. Οι παραγόμενοι παλμοί πυροδότησης μπορούν να παρέχονται με γωνία έναυσης από 0 – 180 μοίρες.



Σχήμα 3.1 TCA 785

## Χαρακτηριστικά

- Αξιόπιστη αναγνώριση της μηδενικής μετάβασης
- Μεγάλο φάσμα εφαρμογών
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν διακόπτης μηδενικού σημείου
- Συμβατό με LSL
- Είναι δυνατή η τριφασική λειτουργία (3 ICs)
- Ρεύμα εξόδου 250 mA
- Μεγάλο εύρος ρεύματος ράμπας
- Ευρύ φάσμα θερμοκρασίας



**Pin Configuration**  
(top view)

Semiconductor Group

## Pin Definitions and Functions

Pin	Symbol	Function
1	GND	Ground
2	$\overline{Q2}$	Output 2 inverted
3	Q U	Output U
4	$\overline{Q1}$	Output 1 inverted
5	$V_{SYNC}$	Synchronous voltage
6	I	Inhibit
7	Q Z	Output Z
8	$V_{REF}$	Stabilized voltage
9	$R_9$	Ramp resistance
10	$C_{10}$	Ramp capacitance
11	$V_{11}$	Control voltage
12	$C_{12}$	Pulse extension
13	L	Long pulse
14	Q 1	Output 1
15	Q 2	Output 2
16	$V_S$	Supply voltage

1

02.05

**Σχήμα 3.2** Προσδιορισμός λειτουργίας των Pin του TCA

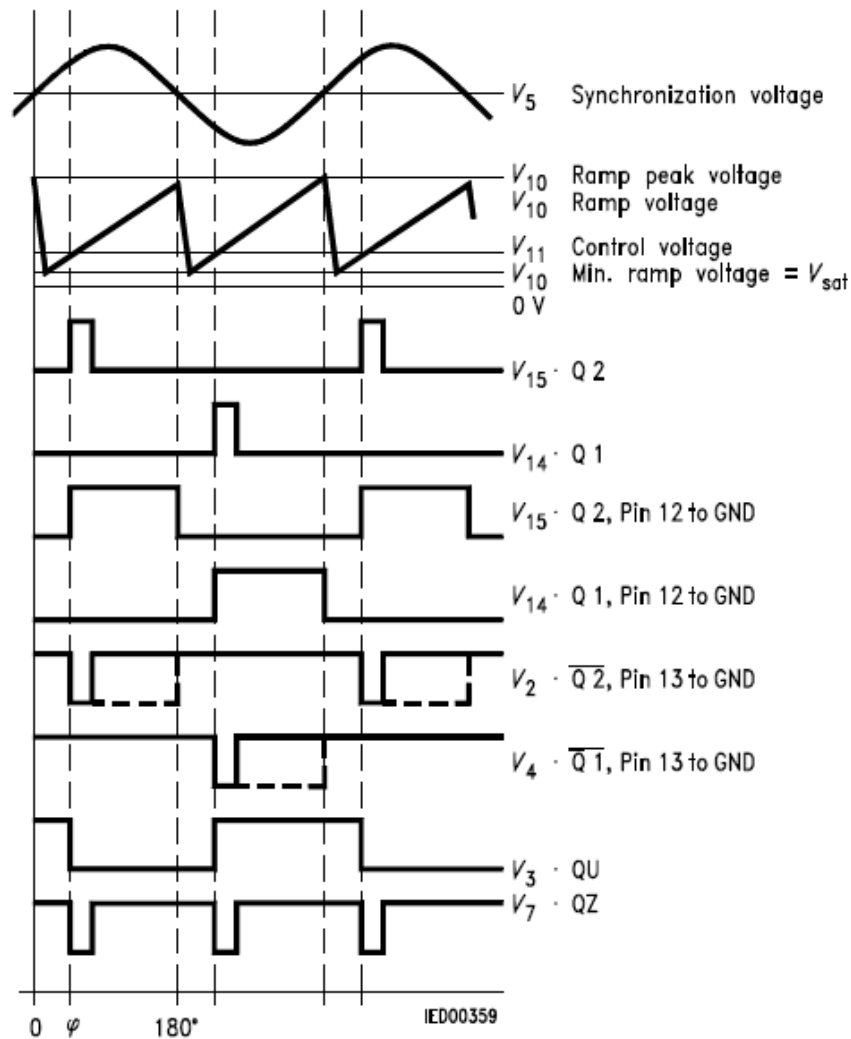
Το σήμα συγχρονισμού αποκτάται μέσω μιας υψηλής ωμικής αντίστασης από τη γραμμή τάσης  $V_S$ . Ένα κύκλωμα αναγνώρισης μηδενικής τιμής του σήματος εισόδου (zero voltage detector) αξιολογεί την μηδενική μετάβαση και τη στέλνει στον καταχωρητή συγχρονισμού.

Αυτός ο καταχωρητής συγχρονισμού ελέγχει μια γεννήτρια τριγωνικού παλμού, ο πυκνωτής  $C_{10}$  της οποίας διαπερνάται από ένα σταθερό ρεύμα (υπολογίζεται από την  $R_9$ ). Αν η τριγωνική τάση  $V_{10}$  ξεπερνάει την τάση ελέγχου  $V_{11}$  (γωνία έναυσης  $\phi$ ), ένα σήμα στέλνεται στο λογικό επεξεργαστή. Εξαρτώμενη από την τάση ελέγχου  $V_{11}$ , η γωνία έναυσης μεταβάλλεται από 0 έως 180°.



Για κάθε μισό κύμα, ένας θετικός παλμός με διάρκεια περίπου 30  $\mu$ S εμφανίζεται στις εξόδους  $Q_1$  και  $Q_2$ . Η διάρκεια του παλμού μπορεί να παρατεταθεί μέχρι τις  $180^\circ$  μέσω ενός πυκνωτή  $C_{12}$ . Αν το pin 12 είναι συνδεδεμένο στη γείωση θα έχει σαν αποτέλεσμα παλμούς με διάρκεια από  $\phi$  έως  $180^\circ$ .

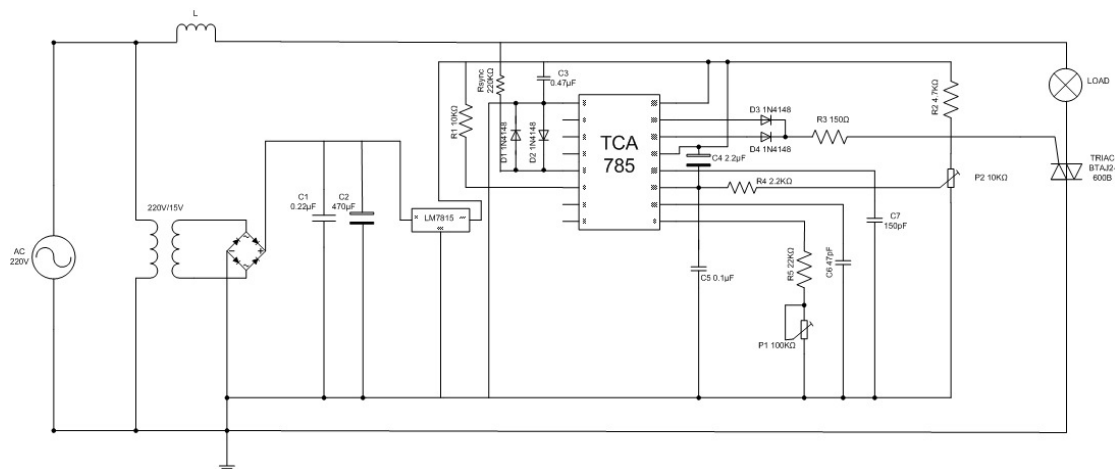
Οι εξόδοι  $Q_1'$  και  $Q_2'$  παρέχουν τα ανάστροφα σήματα των  $Q_1$  και  $Q_2$ . Ένα σήμα των  $\phi+180^\circ$ , το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο ενός εξωτερικού λογικού επεξεργαστή είναι διαθέσιμο στο pin 3. Ένα σήμα, το οποίο αντιστοιχεί στη NOR σύνδεση των  $Q_1$  και  $Q_2$  είναι διαθέσιμη στην έξοδο  $Q_z$  (pin 7). Το pin 13 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επεκτείνει τις εξόδους  $Q_1'$  και  $Q_2'$  σε παλμούς πλήρους μήκους ( $180^\circ-\phi$ ).



Σχήμα 3.3 Διαγράμματα παλμών

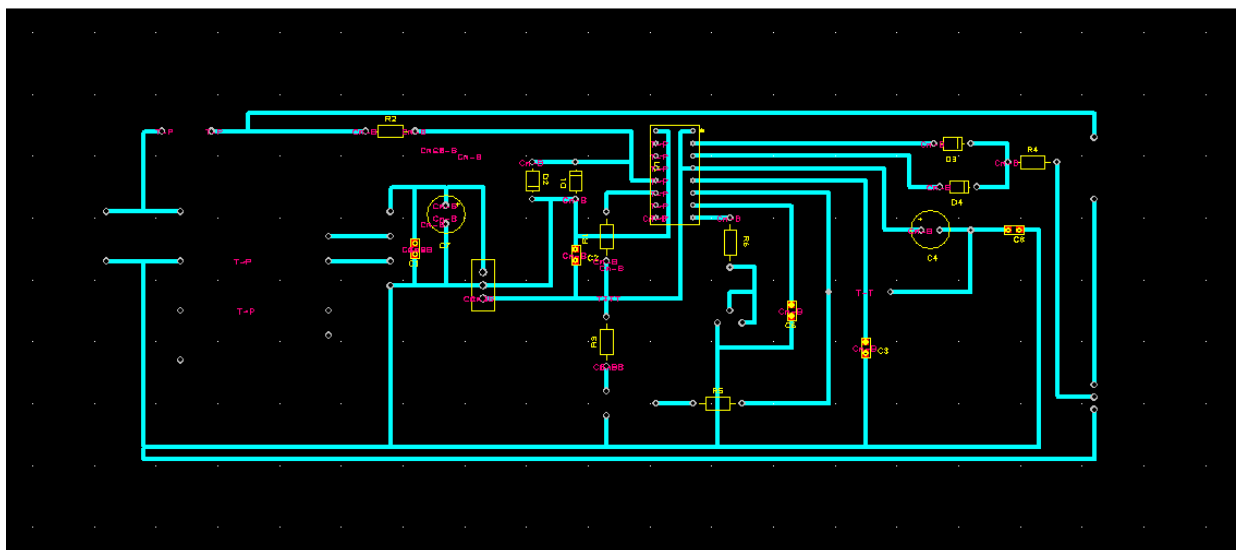
### 3.3 Περιγραφή κυκλώματος

Για την κατασκευή του κυκλώματος χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Visio 2007. Το κύκλωμα λειτουργίας που αναπτύχθηκε φαίνεται παρακάτω:



Σχήμα 3.4 Κύκλωμα λειτουργίας

Επίσης για την κατασκευή της πλακέτας στην οποία θα στηθεί το κύκλωμα λειτουργίας αναπτύχθηκε στο λογισμικό DesignSpark. Παρακάτω παρατίθεται το αντίστοιχο PCB αρχείο.



Σχήμα 3.5 PCB Κυκλώματος λειτουργίας

Η φάση της τροφοδοσίας οδηγείται σε έναν M/T όπου και υποβιβάζεται από τα 220VAC στα 15VAC. Η τάση εξόδου του δευτερεύοντος του M/T εφαρμόζεται σε μια γέφυρα διόδων, όπου ανορθώνεται και στη συνέχεια οδηγείται στο ποδαράκι 5 του ολοκληρωμένου μέσω μιας αντίστασης 220kΩ (παρεμβάλλεται για προστασία) και χρησιμοποιείται σαν παλμός συγχρονισμού. Αυτός ο παλμός οδηγείται εσωτερικά του ολοκληρωμένου σε ένα κύκλωμα αναγνώρισης μηδενικής τιμής του σήματος εισόδου (zero voltage detector) μέσω του οποίου οι μηδενικές αυτές τιμές αποστέλλονται σε έναν καταχωρητή συγχρονισμού ο οποίος με τη σειρά του θα ελέγξει - συγχρονίσει μια γεννήτρια τριγωνικού παλμού της οποίας ο πυκνωτής (ποδ. 10) φορτίζεται μέσω μιας αντίστασης τρίμερ (ποδ.9).

Η τάση τροφοδοσίας  $V_s$  του TCA785 κυμαίνεται από 8 -18 VDC αλλά στο συγκεκριμένο κύκλωμα επιλέξαμε τα 15Volt DC για τάση τροφοδοσίας. Η σταθεροποίηση των 15V που προέρχονται από τον M/T επιτυγχάνονται μέσω του ολοκληρωμένου LM7815.

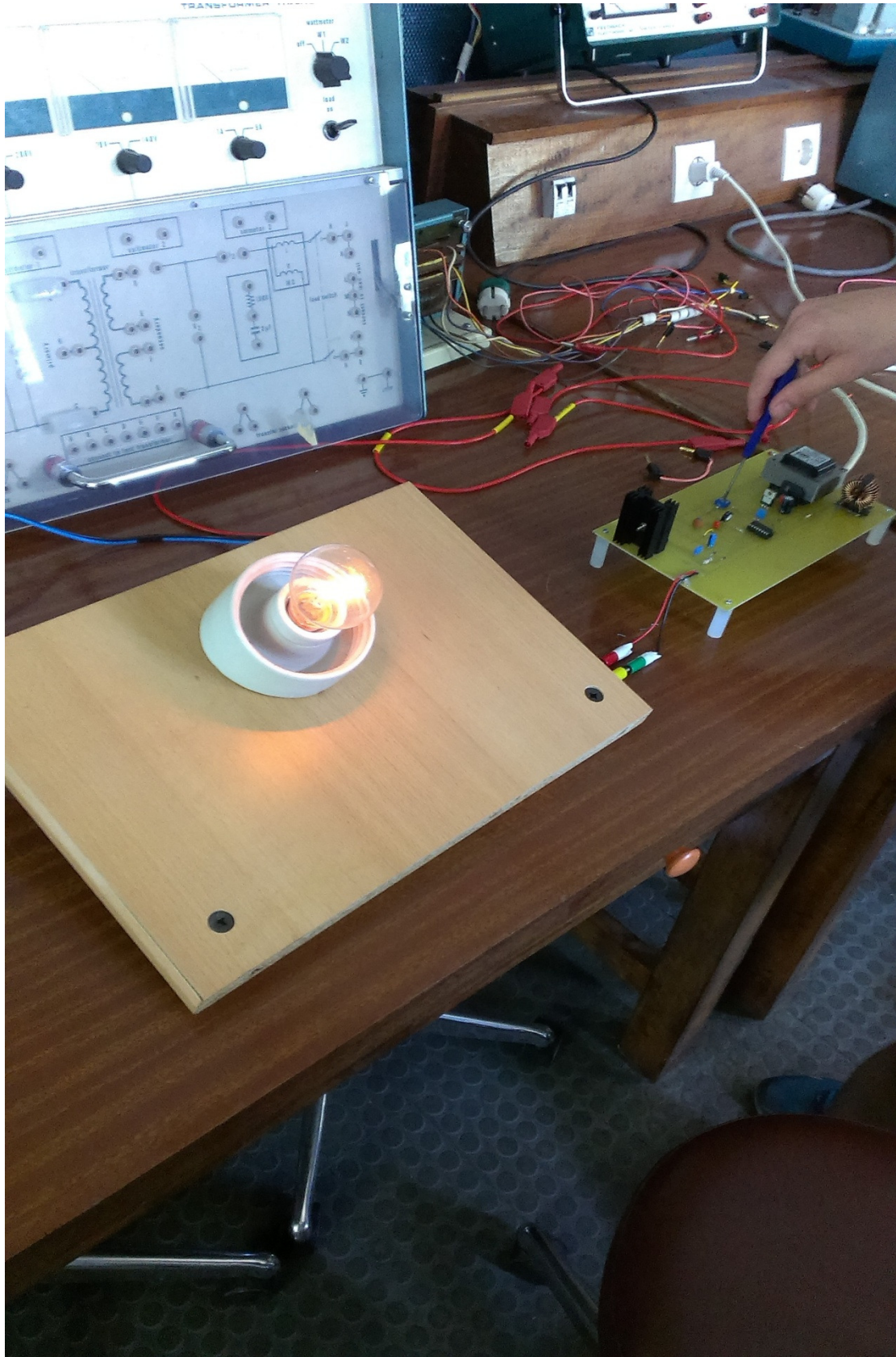
Από την τάση τροφοδοσίας και μέσω μιας αντίστασης 4,7kΩ , ενός ποτενσιόμετρου 10kΩ και μιας αντίστασης 2,2kΩ παρέχεται μια συνεχή τάση  $V_{11}$  της οποίας μεταβάλλουμε το πλάτος από 0V έως 15V.

Η έξοδος της γεννήτριας (τριγωνικός παλμός) καθώς και η συνεχής τάση μέσω του ποτενσιόμετρου 10kΩ οδηγούνται σε ένα συγκριτή. Η έξοδος του συγκριτή είναι ένας τετραγωνικός παλμός ο οποίος δύναται να μετακινηθεί χρονικά από 0-180° ανάλογα με την τιμή της τάσης εξόδου του ποτενσιόμετρου 10kΩ. Αντικαθιστώντας τις αντιστάσεις 4,7kΩ και 2,2kΩ με τρίμερ έχουμε την δυνατότητα να ελέγχουμε τα όρια της περιοχής παροχής παλμών πυροδότησης. Συγκεκριμένα η μεταβολή της τιμής της 4,7kΩ αναφέρεται στο ανώτατο σημείο 180° ενώ η μεταβολή της τιμής της 2,2kΩ αναφέρεται στο κατώτατο σημείο 0°. Για κάθε μια ημιπερίοδο παρέχεται ένας θετικός παλμός πυροδότησης του οποίου η διάρκεια είναι 30μS. Ο παλμός αυτός οδηγείται για την τελική του μορφοποίηση σε ένα λογικό επεξεργαστή από όπου παίρνουμε και τους τελικούς παλμούς πυροδότησης του TRIAC ή του θυρίστορ που θα έχουμε σε αγωγή. Στους ακροδέκτες 15 και 14 έχουμε τους παλμούς της θετικής και αρνητικής ημιπεριόδου αντίστοιχα. Οι παλμοί έναυσης οδηγούνται μέσω μιας διόδου 1N4148 (παρεμβάλλεται για προστασία του IC) ο καθένας , και μιας αντίστασης 150Ω ,στην πύλη του TRIAC ή του θυρίστορ.

### 3.3.1 Λειτουργία κυκλώματος με λαμπτήρα πυρακτώσεως

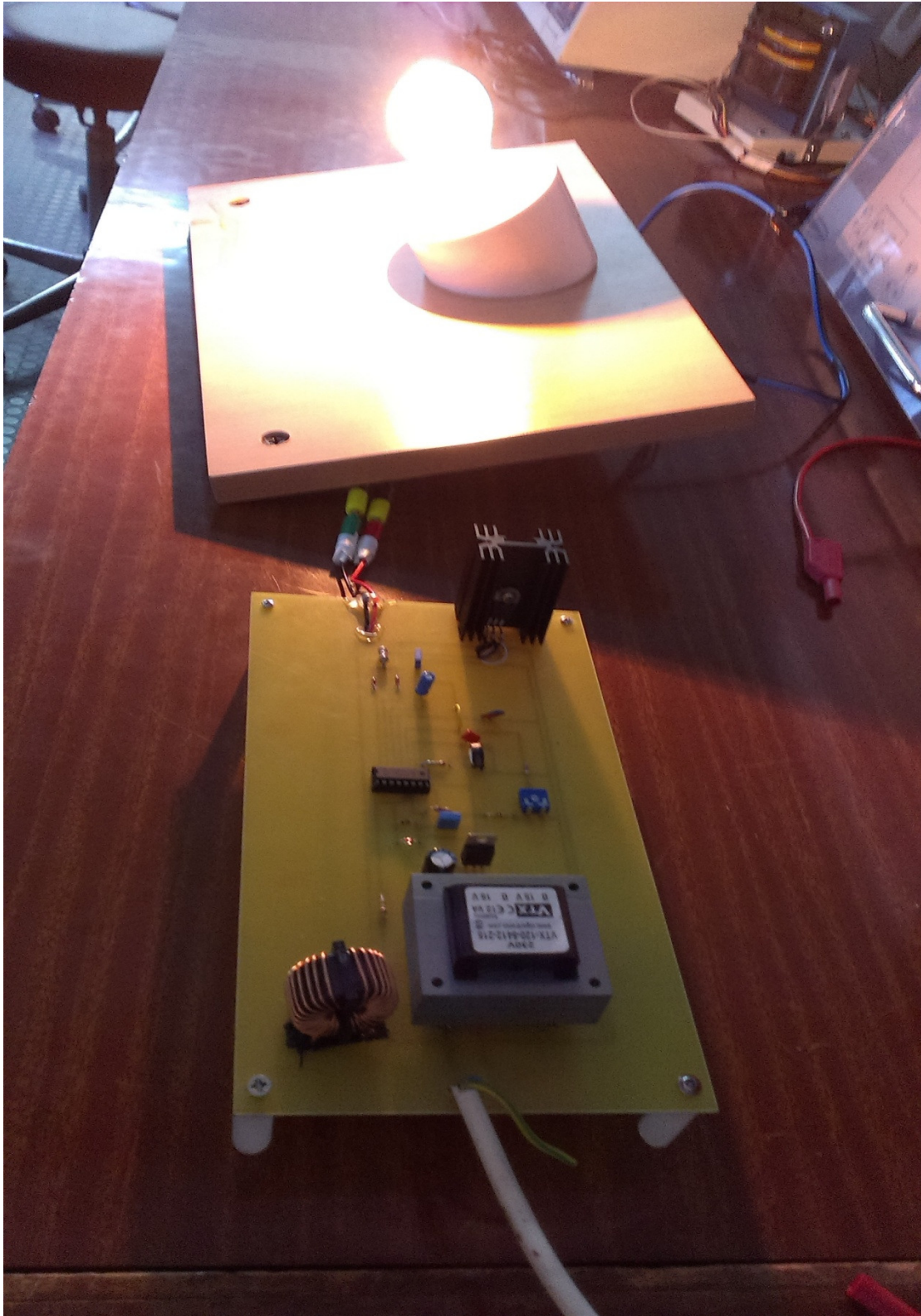
Στην συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιούμε ως φορτίο ένα λαμπτήρα πυρακτώσεως τον οποίο συνδέουμε μεταξύ του πρωτεύοντος του M/Σ ,δηλαδή τα 220V και της ανόδου του θυρίστορ. Με αυτόν τον τρόπο μεταβάλλουμε την τάση στο φορτίο από 0 έως 115V καθώς με το θυρίστορ επιτυγχάνουμε ανόρθωση μισού κύματος(ημιανόρθωση). Αυτό πραγματοποιείται μέσω του τρίμερ όπου μεταβάλλουμε την γωνία έναυσης από 0 έως 90°.

Στην συνέχεια αντί για θυρίστορ χρησιμοποιούμε TRIAC (αντιπαράλληλα θυρίστορ) και παρατηρούμε ότι η τάση στο φορτίο μεταβάλλεται από 0 έως 230V καθώς αλλάζει η γωνία έναυσης από 0 έως 180° (ανόρθωση πλήρους κύματος).



Σχήμα 3.6 Κύκλωμα ανόρθωσης με λαμπτήρα και θυρίστορ

Παρατηρούμε ότι με την χρήση του θυρίστορ η φωτεινότητα του λαμπτήρα φτάνει στο μισό της μέγιστης δυνατής φωτεινότητας.

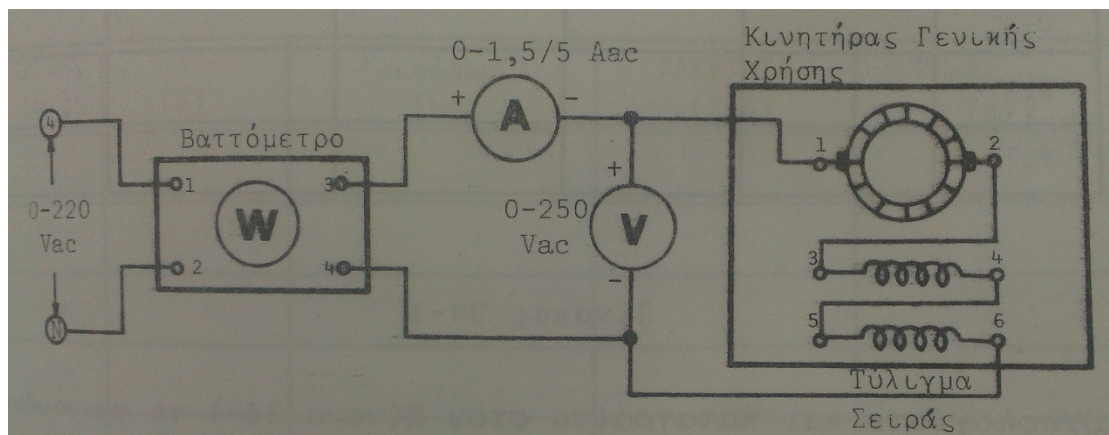


**Σχήμα 3.7** Κύκλωμα ανόρθωσης με λαμπτήρα και TRIAC

Παρατηρούμε ότι με την τοποθέτηση του TRIAC, η φωτεινότητα του λαμπτήρα φθάνει στη μέγιστη δυνατή.

### 3.3.2 Λειτουργία κυκλώματος με Universal κινητήρα

Σ' αυτήν την περίπτωση χρησιμοποιούμε ως φορτίο έναν Universal κινητήρα, τον οποίο συνδέουμε μεταξύ του πρωτεύοντος του Μ/Σ και της ανόδου  $A_2$  του TRIAC. Στο ενδιάμεσο παρεμβάλλονται ένα βαττόμετρο, ένα αμπερόμετρο και ένα βολτόμετρο όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Έτσι, πραγματοποιούμε ανόρθωση πλήρους κύματος και μεταβάλλοντας τη γωνία έναυσης του TRIAC από  $0-180^\circ$ , ρυθμίζουμε την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα.



Σχήμα 3.8 Συνδεσμολογία πειράματος με Universal κινητήρα

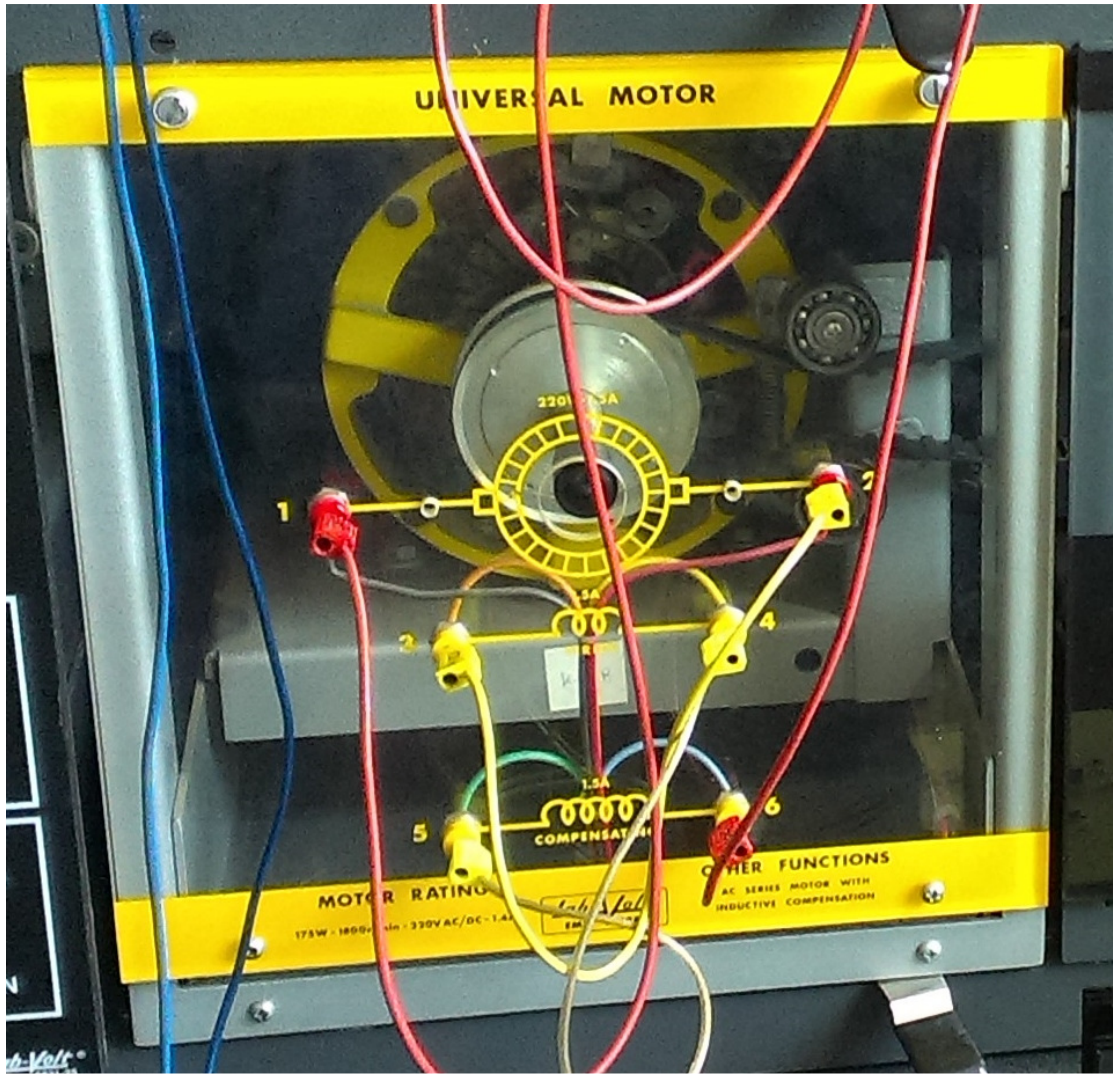
Τα ονομαστικά μεγέθη του Universal κινητήρα που χρησιμοποιούμε στο πείραμα είναι:

$$P_{ov} = 175 \text{ W}$$

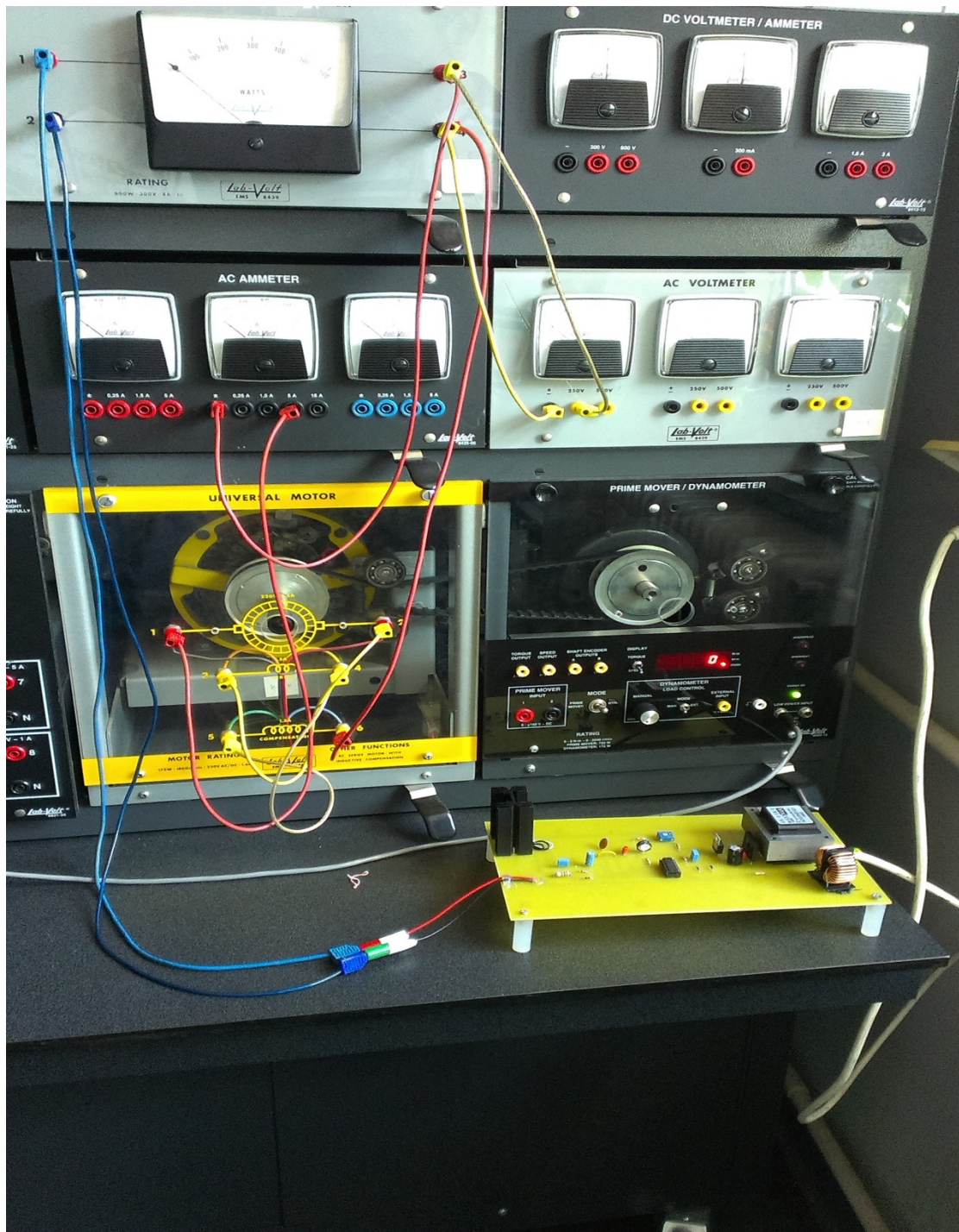
$$N_{ov} = 1800 \text{ rpm}$$

$$V_{ov} = 220 \text{ V}$$

$$I_{ov} = 1,4 \text{ A}$$



Σχήμα 3.9 Universal κινητήρας



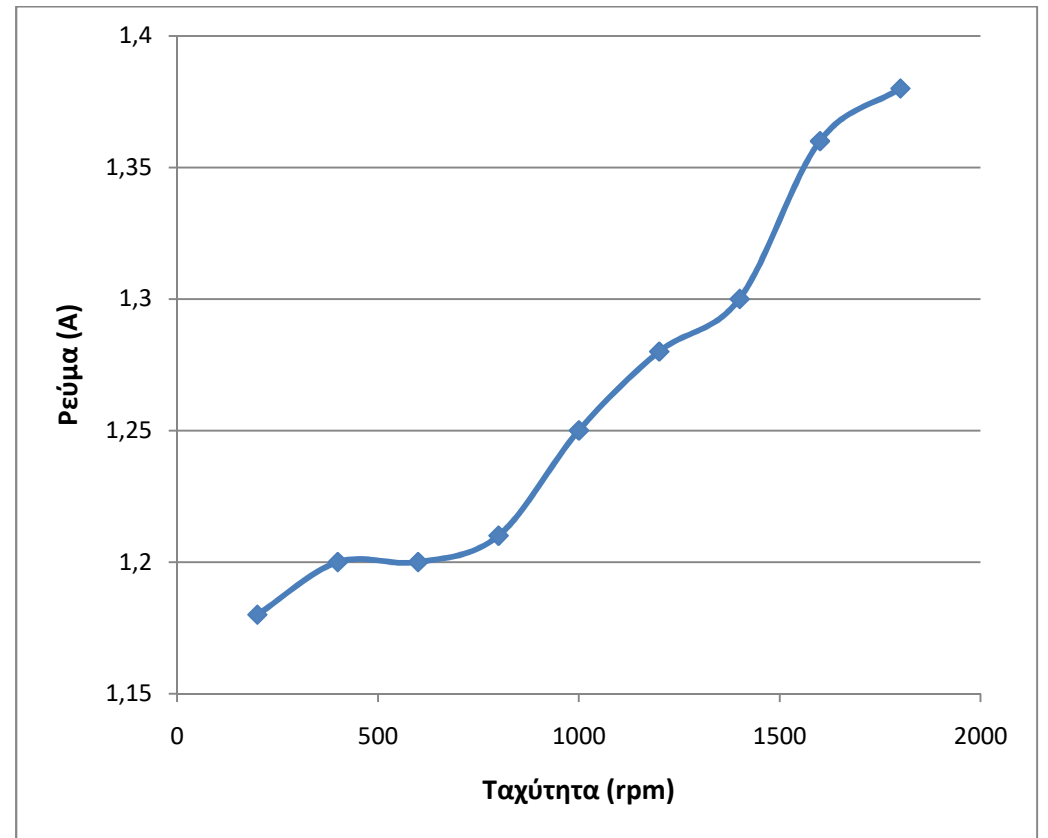
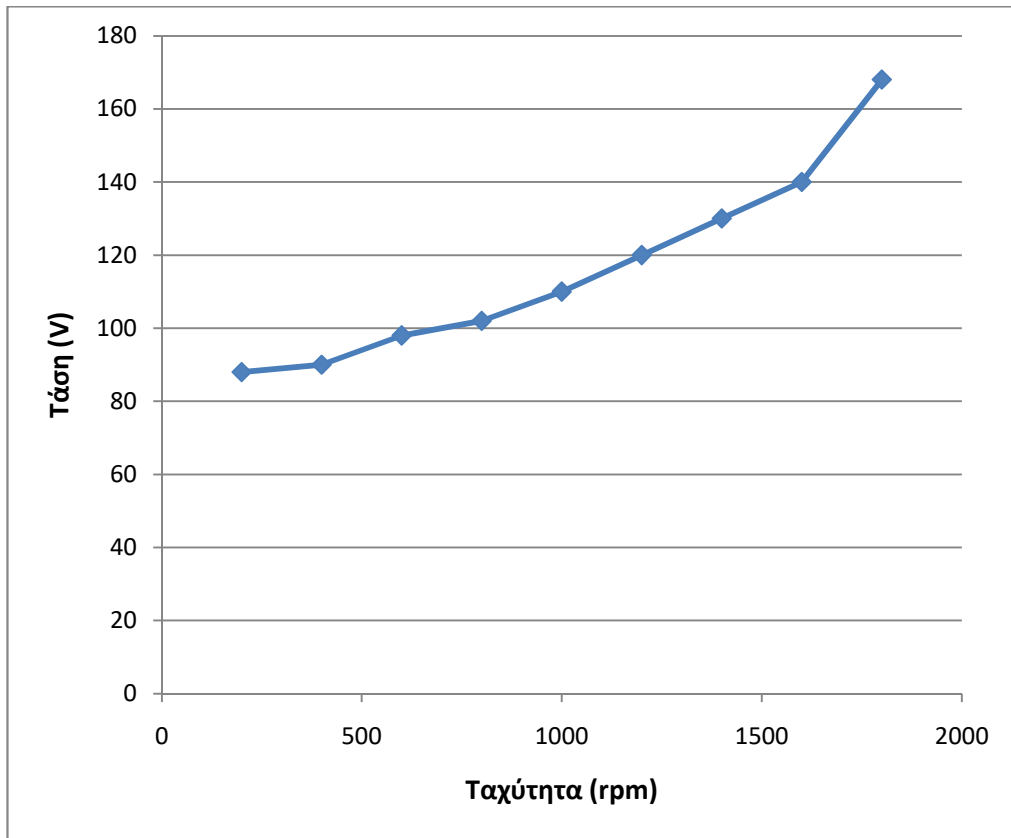
Σχήμα 3.10 Συνδεσμολογία κυκλώματος με Universal κινητήρα

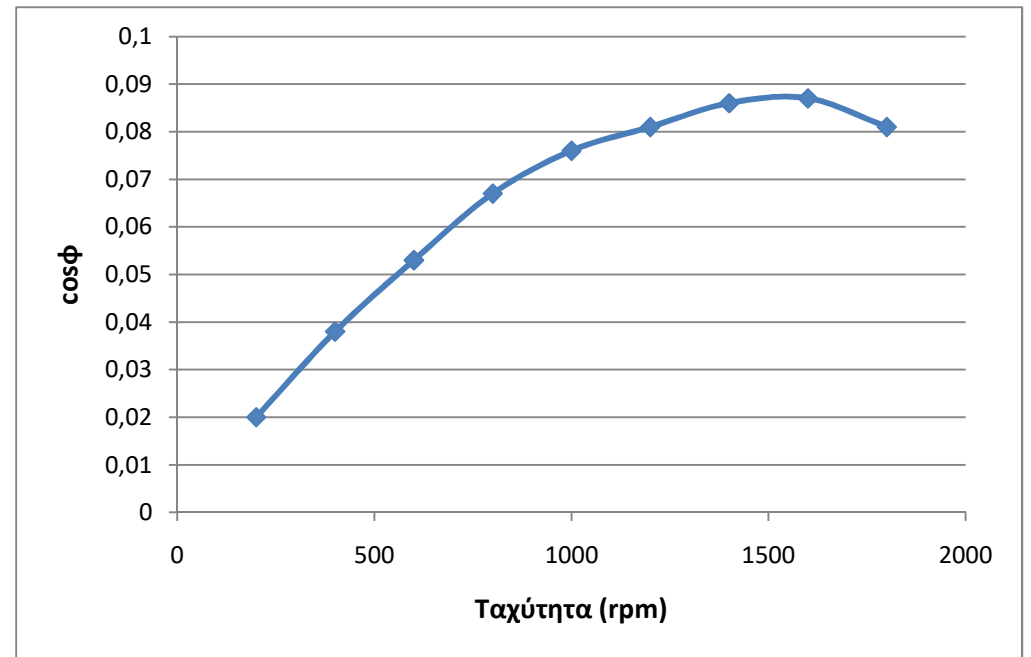
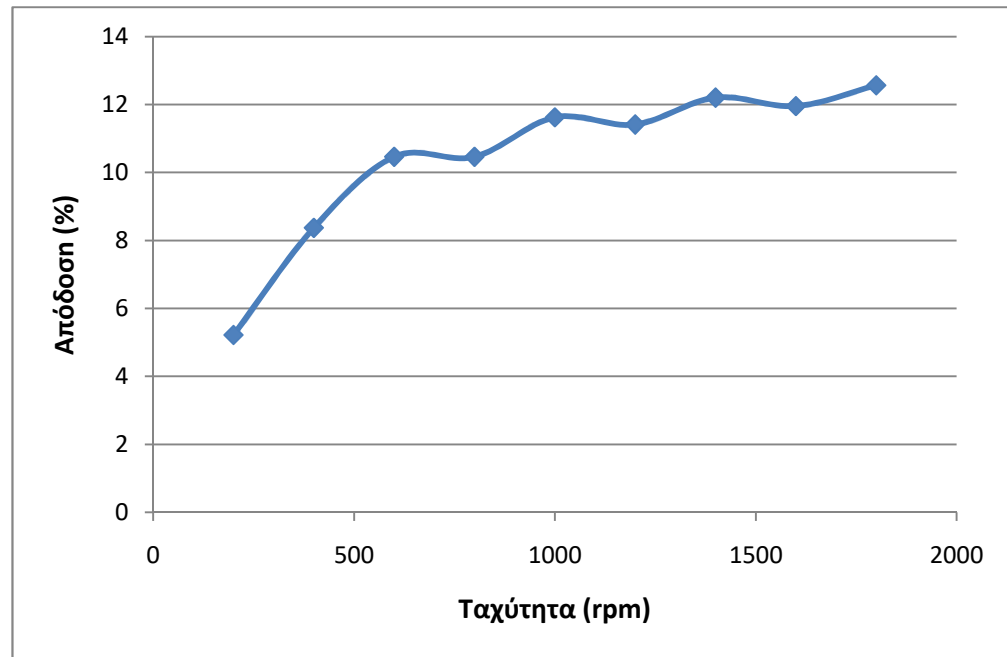
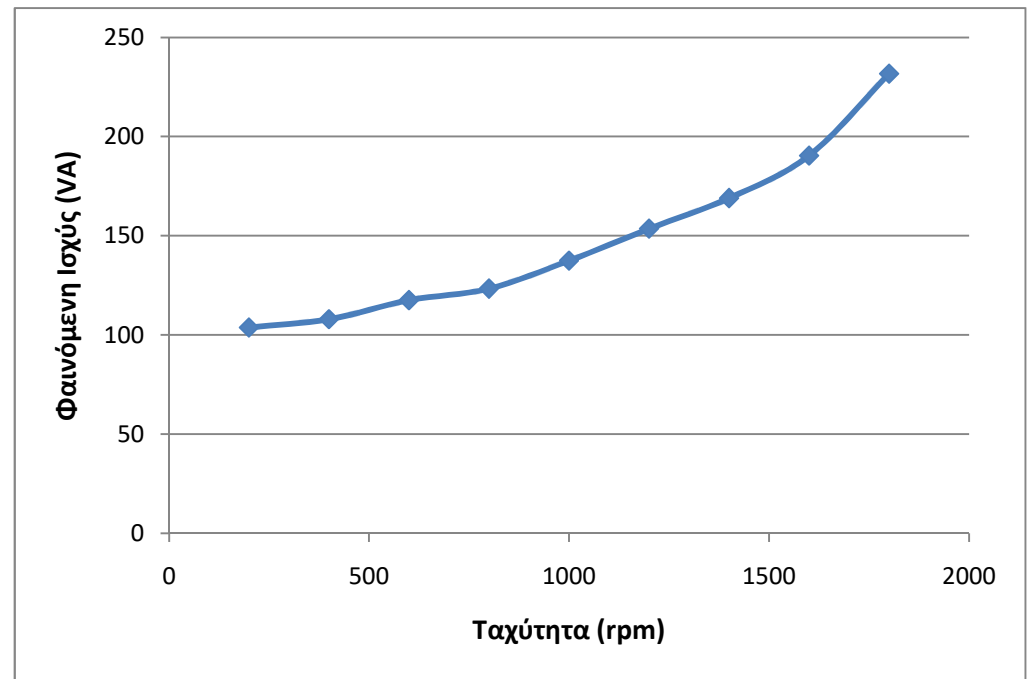
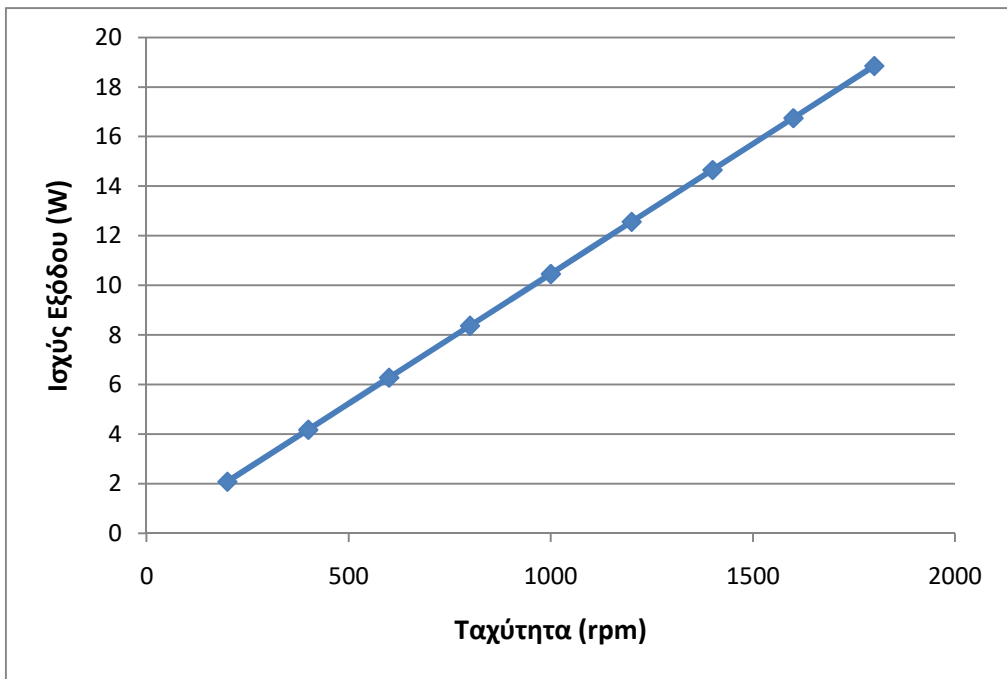
Για τιμές φορτίου 0,1 Nm, 0,3 Nm, 0,5 Nm και 0,87 Nm μεταβάλλουμε τη γωνία έναυσης του TRIAC και καταγράφουμε τις τιμές της ταχύτητας, του ρεύματος, της τάσης και της ισχύος εισόδου. Κατόπιν υπολογίζουμε τη γωνιακή ταχύτητα, την ισχύ εξόδου, τη φαινόμενη ισχύ, το βαθμό απόδοσης και το συντελεστή ισχύος του κινητήρα.

Παρακάτω παραθέτονται οι πίνακες των μετρήσεων καθώς και οι καμπύλες τάσης, ρεύματος, ισχύος εξόδου, φαινόμενης ισχύος, βαθμού απόδοσης και συντελεστή ισχύος συναρτήσει της ταχύτητας για κάθε φορτίο:

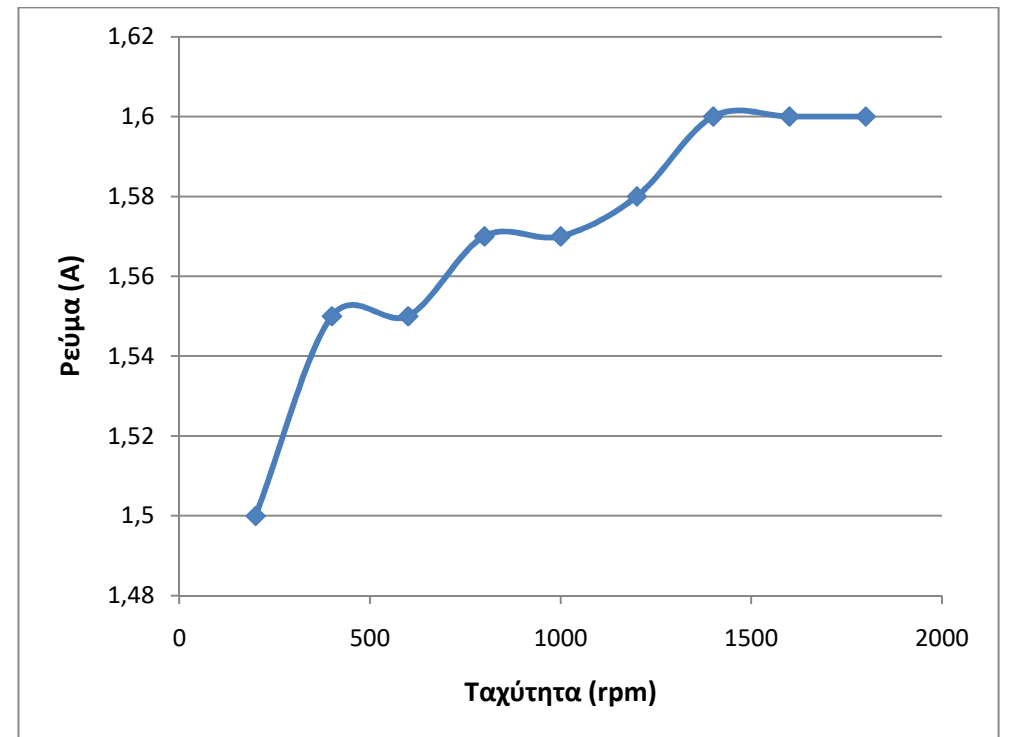
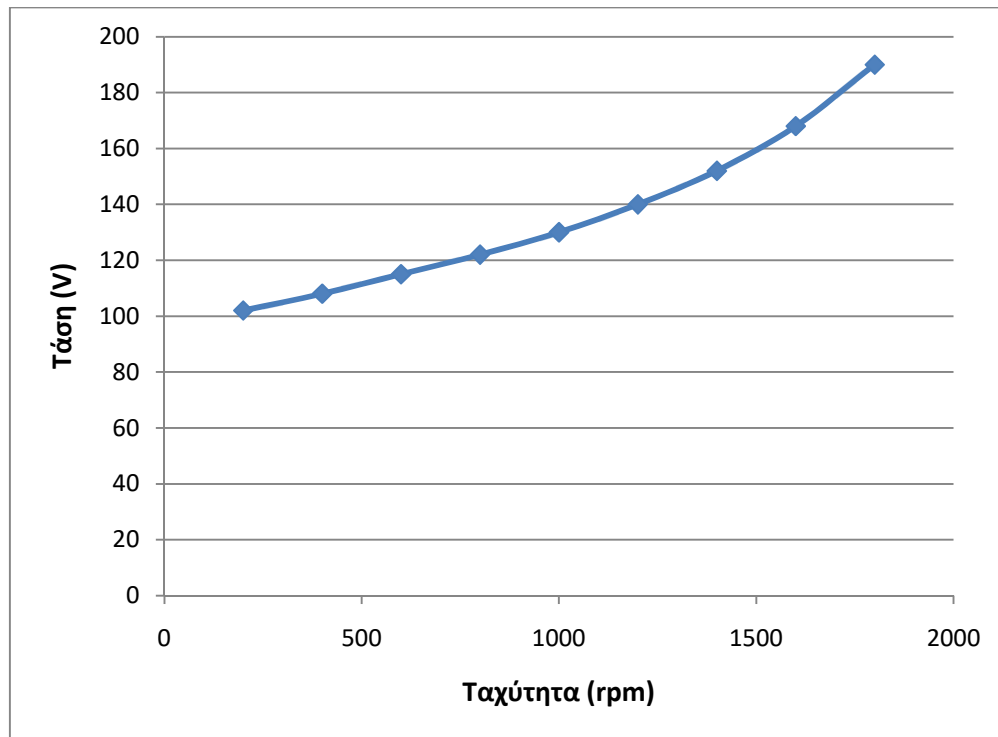


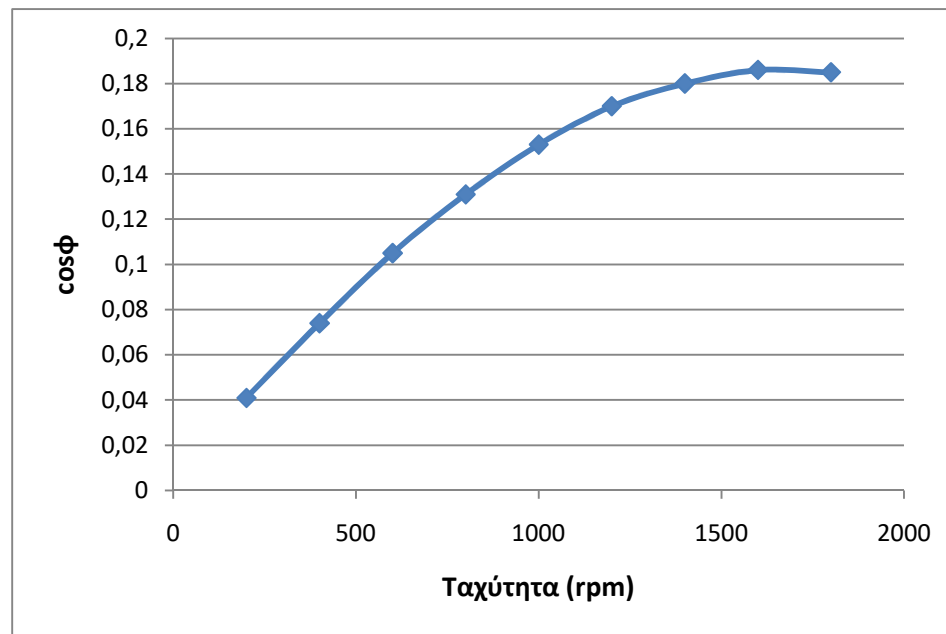
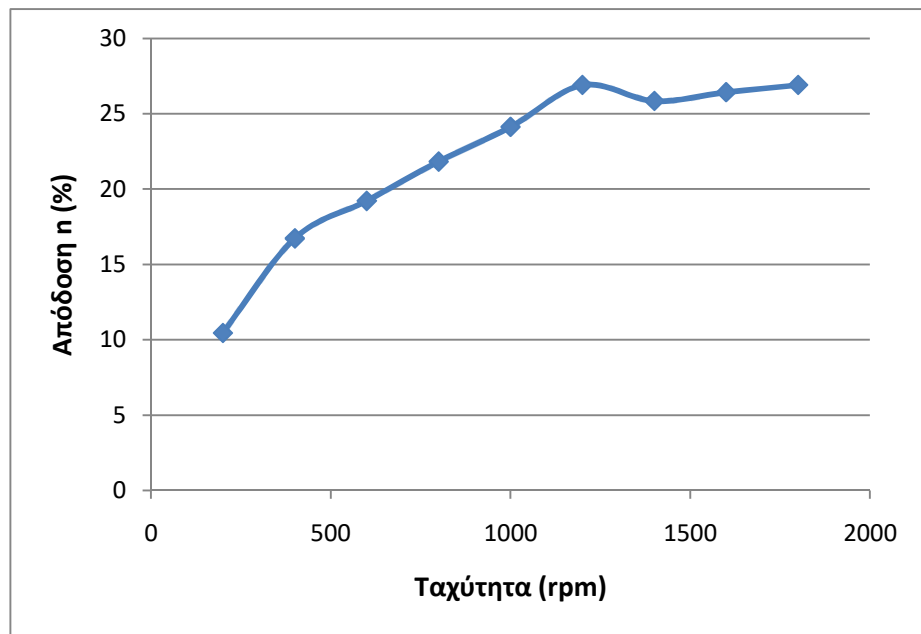
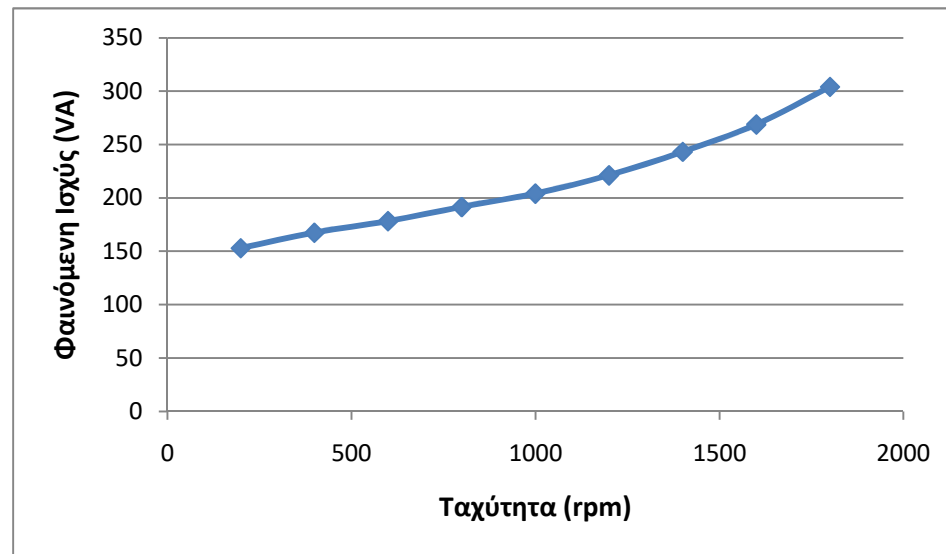
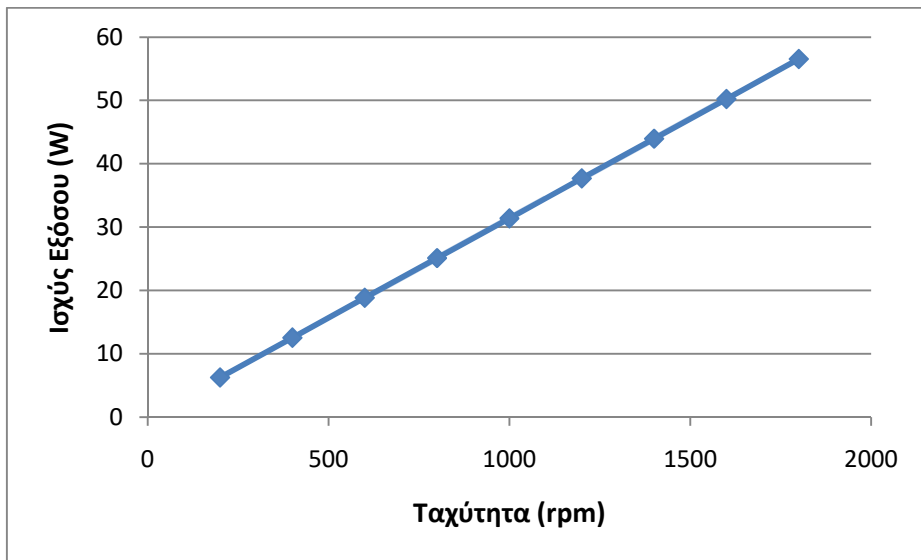
Ροπή (N*m)	Ταχύτητα (rpm)	Τάση (V)	Ρεύμα (A)	Ισχύς Εισόδου (W)	Γωνιακή Ταχύτητα (rad/s)	Ισχύς Εξόδου (W)	Απόδοση η (%)	Φαινόμενη Ισχύς (VA)	cosφ
0,1	1800	168	1,38	150	188,4	18,84	12,56	231,64	0,081
0,1	1600	140	1,36	140	167,4	16,74	11,95	190,4	0,087
0,1	1400	130	1,3	120	146,53	14,65	12,2	169	0,086
0,1	1200	120	1,28	110	125,6	12,56	11,41	153,6	0,081
0,1	1000	110	1,25	90	104,6	10,46	11,62	137,5	0,076
0,1	800	102	1,21	80	83,73	8,373	10,46	123,42	0,067
0,1	600	98	1,2	60	62,8	6,28	10,46	117,6	0,053
0,1	400	90	1,2	50	41,86	4,18	8,37	108	0,038
0,1	200	88	1,18	40	20,93	2,09	5,22	103,84	0,02



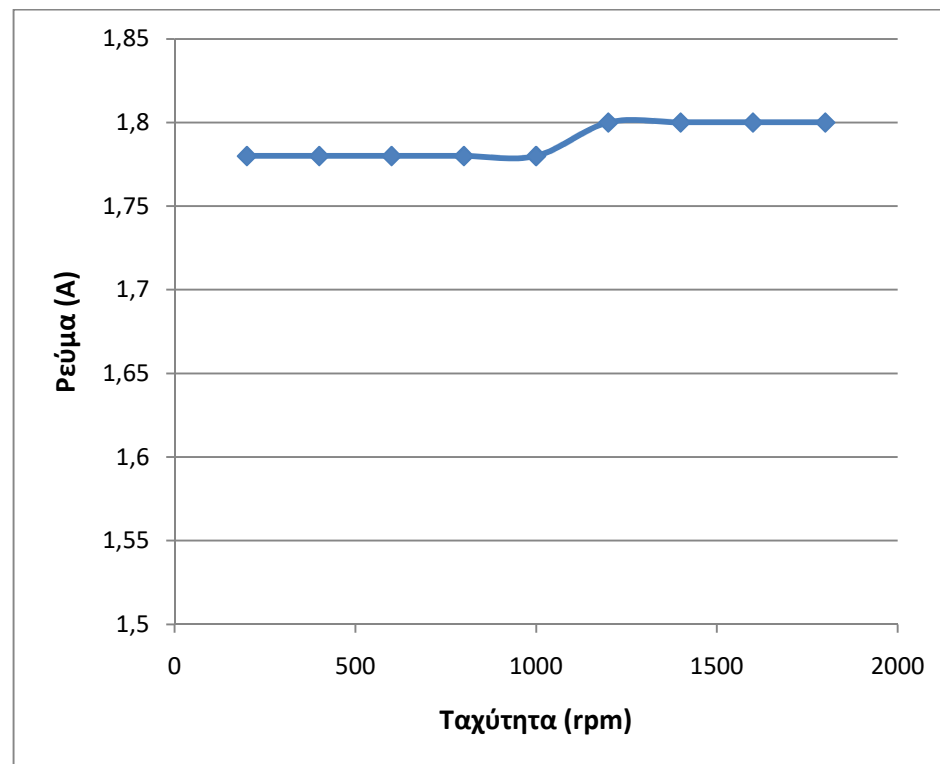
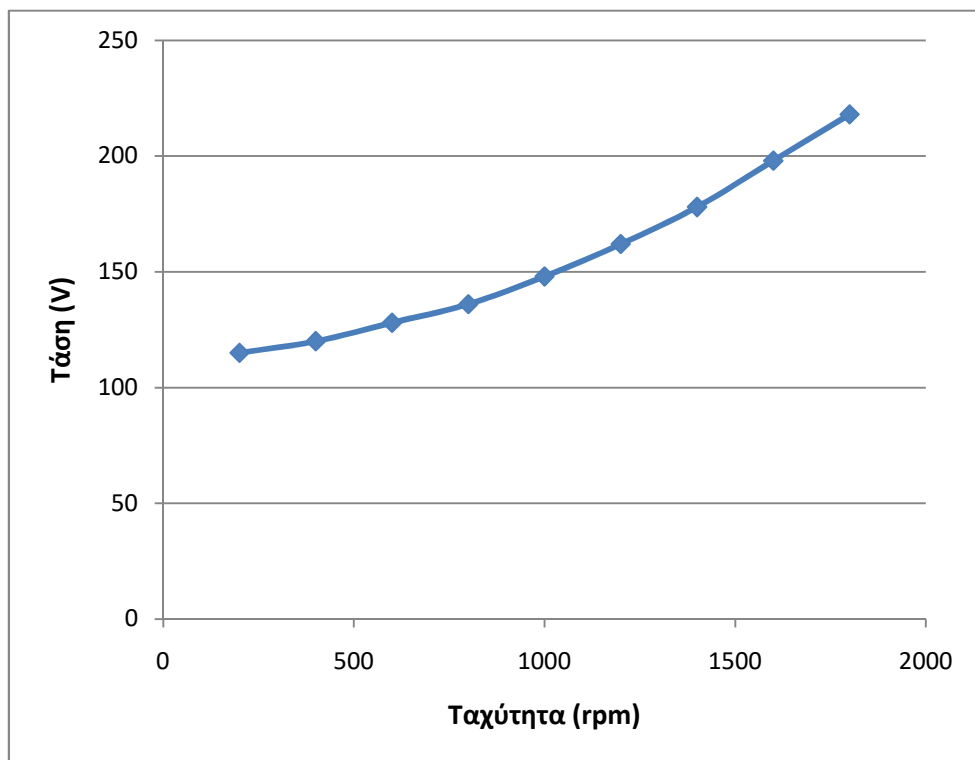


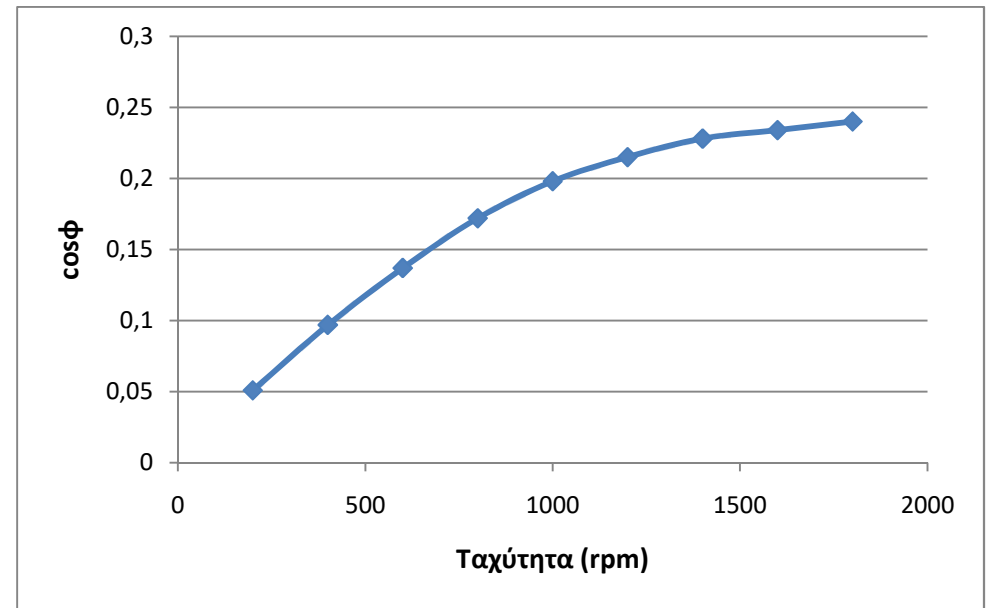
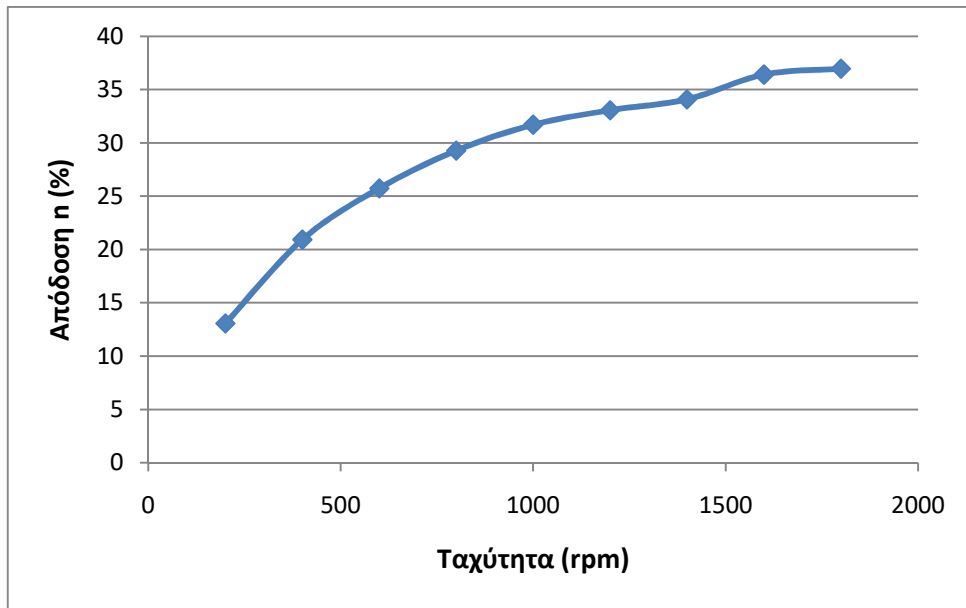
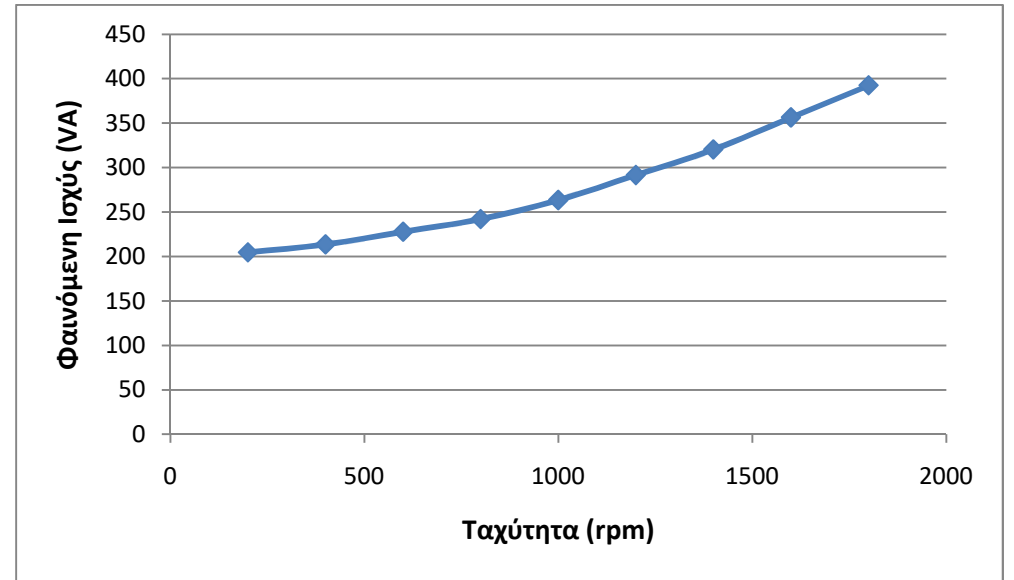
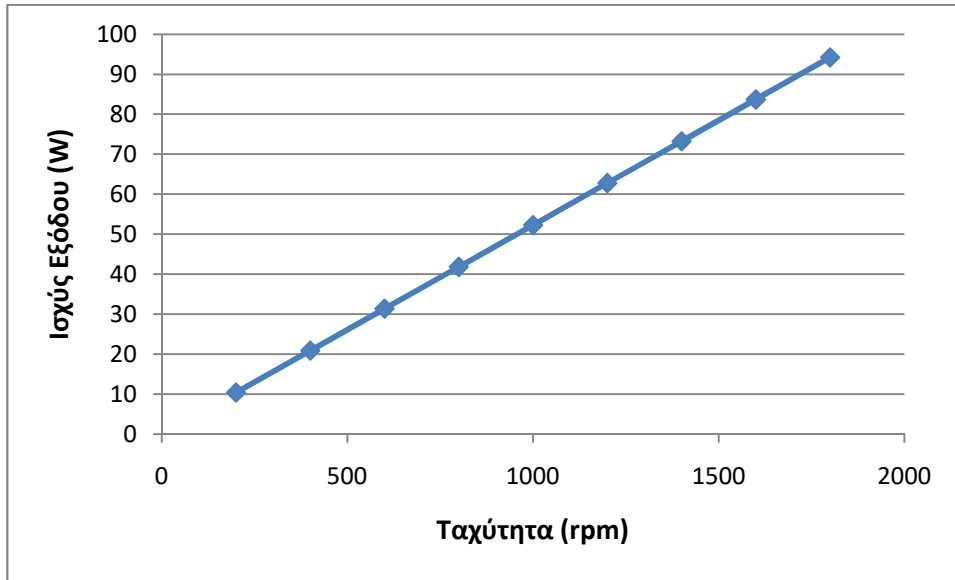
Ροπή (N*m)	Ταχύτητα (rpm)	Τάση (V)	Ρεύμα (A)	Ισχύς Εισόδου (W)	Γωνιακή Ταχύτητα (rad/s)	Ισχύς Εξόδου (W)	Απόδοση $\eta$ (%)	Φαινόμενη Ισχύς (VA)	$\cos\phi$
0,3	1800	190	1,6	210	188,4	56,52	26,91	304	0,185
0,3	1600	168	1,6	190	167,4	50,22	26,43	268,8	0,186
0,3	1400	152	1,6	170	146,53	43,95	25,85	243,2	0,18
0,3	1200	140	1,58	140	125,6	37,68	26,91	221,2	0,17
0,3	1000	130	1,57	130	104,6	31,38	24,13	204,1	0,153
0,3	800	122	1,57	115	83,73	25,11	21,83	191,54	0,131
0,3	600	115	1,55	98	62,8	18,84	19,22	178,25	0,105
0,3	400	108	1,55	75	41,86	12,55	16,73	167,4	0,074
0,3	200	102	1,5	60	20,93	6,279	10,46	153	0,041





Ροπή (N*m)	Ταχύτητα (rpm)	Τάση (V)	Ρεύμα (A)	Ισχύς Εισόδου (W)	Γωνιακή Ταχύτητα (rad/s)	Ισχύς Εξόδου (W)	Απόδοση $\eta$ (%)	Φαινόμενη Ισχύς (VA)	$\cos\phi$
0,5	1800	218	1,8	255	188,4	94,2	36,94	392,4	0,24
0,5	1600	198	1,8	230	167,4	83,7	36,39	356,4	0,234
0,5	1400	178	1,8	215	146,53	73,26	34,07	320,4	0,228
0,5	1200	162	1,8	196	125,6	62,8	33,05	291,6	0,215
0,5	1000	148	1,78	165	104,6	52,3	31,69	263,44	0,198
0,5	800	136	1,78	143	83,73	41,86	29,27	242,08	0,172
0,5	600	128	1,78	122	62,8	31,4	25,73	227,84	0,137
0,5	400	120	1,78	100	41,86	20,92	20,92	213,6	0,097
0,5	200	115	1,78	80	20,93	10,46	13,07	204,7	0,051





Ροπή (N*m)	Ταχύτητα (rpm)	Τάση (V)	Ρεύμα (A)	Ισχύς Εισόδου (W)	Γωνιακή Ταχύτητα (rad/s)	Ισχύς Εξόδου (W)	Απόδοση $\eta$ (%)	Φαινόμενη Ισχύς (VA)	$\cos\phi$
0,87	1000	223	1,85	222	104,6	92,06	41,62	412,53	0,223
0,87	800	205	1,85	190	83,37	73,68	38,7	379,25	0,194
0,87	600	190	1,83	165	62,8	55,26	33,5	347,7	0,158
0,87	400	180	1,83	135	41,8	36,78	27,2	329,4	0,111
0,87	200	175	1,82	100	20,93	18,44	18,4	318,5	0,057

