

2014



ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ
ΟΔΗΓΗΣΗΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑ Σ.Ρ. ΜΕΣΩ ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΗΣ
ΠΛΗΡΩΣ ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ**

**DESIGN AND CONSTRUCTION OF DC MOTOR DRIVE SYSTEM
VIA ONE PHASE FULLY CONTROLLED BRIDGE**

Γεωργόπουλος Φίλιππος Α.Μ. 27985

Καλής Ευάγγελος Α.Μ. 28011

Επιβλέπων Καθηγητής: Ηρακλής Βυλλιώτης



ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

| | |
|--|-----------|
| ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ | 1 |
| Εισαγωγή | 2 |
| Κεφάλαιο 1: Ημιαγωγοί | 6 |
| 1.1 Δίοδος | 6 |
| 1.2 Η Δίοδος Ζένερ | 8 |
| 1.3 Το Θυρίστορ | 9 |
| 1.4 Διπολικό Τρανζίστορ | 12 |
| 1.5 Τρανζίστορ επίδρασης πεδίου – MOSFET | 15 |
| 1.6 Θυρίστορ GTO | 17 |
| Κεφάλαιο 2: Εξαρτήματα Αντίστασης | 19 |
| 2.1 Ωμική αντίσταση | 19 |
| 2.2 Ποτενσιόμετρο και ροοστάτης | 19 |
| Κεφάλαιο 3 Ηλεκτρονικά Εξαρτήματα | 21 |
| 3.1 Πυκνωτές | 21 |
| 3.2 Μετασχηματιστής παλμού | 22 |
| 3.3 TCA 785 | 23 |
| Κεφάλαιο 4. Ανορθωτικές διατάξεις | 25 |
| 4.1 Μονοφασική μη ελεγχόμενη γέφυρα | 27 |
| 4.2 Τριφασική μη ελεγχόμενη γέφυρα | 29 |
| 4.3 Τριφασική πλήρως ελεγχόμενη γέφυρα | 29 |
| 4.4 Μονοφασική πλήρως ελεγχόμενη γέφυρα | 31 |
| Κεφάλαιο 5. Πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος | 41 |
| Κεφάλαιο 6. Μελέτη του λογισμικού PROTEUS | 43 |
| Κεφάλαιο 7. Κατασκευαστικό μέρος | 49 |
| ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ | 58 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ | 59 |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ | 60 |

ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σήμερα υπάρχει μια τεράστια ανάγκη να μεταβάλλεται η μορφή της ενέργειας που παρέχεται προς τους καταναλωτές , δεδομένου ότι υπάρχουν πολλά εργαλεία, συσκευές και βοηθητικά κυκλώματα που απαιτούν μια πηγή ενέργειας .Όσον αφορά τις πηγές ηλεκτρικής ενέργειας , υπάρχουν διάφοροι τρόποι παροχής ηλεκτρικής ενέργειας για τον χρήστη. Ωστόσο , οι ηλεκτρικές επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας περιορίζονται σε εναλλασσόμενη τάση και μία μόνο συχνότητα (230 Vac / 50Hz για μονοφασική παροχή και 400 Vac / 50Hz για τριφασική παροχή της Δ.Ε.Η.) .Επί του παρόντος , η πιο συνηθισμένη είναι οι πηγές τάσης AC μονοφασικό. Είναι γνωστό ότι οι περισσότερες ηλεκτρονικές συσκευές λειτουργούν με DC τάση , οπότε η πλέον χρησιμοποιούμενη μέθοδος για την επίλυση της διαφοράς των πηγών τάσης είναι η λύση χρησιμοποίησης ανορθωτή. Η βασική λειτουργία του ανορθωτή είναι ο μετασχηματισμός της τάσης AC σε DC. Ωστόσο, όπου είναι απαραίτητος ο έλεγχος της συνεχούς τάσης, αυτό επιτυγχάνεται με τον ελεγχόμενο ανορθωτή, όπου είναι και το αντικείμενο μελέτης της παρούσας εργασίας.

Εισαγωγή

Η Εφαρμογή ημιαγωγικών στοιχείων για τον έλεγχο και την μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας, από τη μία μορφή σε μια άλλη, άνοιξε τον δρόμο για μια καινούργια τεχνολογία Ηλεκτρονικών Ισχύος. Η τεχνολογία αυτή που αναπτύχθηκε τα τελευταία 30 χρόνια βρίσκεται σε εξέλιξη σήμερα, καθώς η κατασκευή ημιαγωγικών στοιχείων με καλύτερες προδιαγραφές αποτελεί καθημερινά τη σύγχρονη εφαρμογή της επιστήμης στην πράξη.

Η τεραστία εξέλιξη που γνωρίζουν τα Ηλεκτρονικά Ισχύος οφείλεται στην ευεργετική συνεπίδραση 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.

Η πρόοδος στη μικροηλεκτρονική κατασκευαστική τεχνολογία οδήγησε στην ανάπτυξη των υπολογιστών των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων και των καταναλωτικών ηλεκτρονικών συσκευών που –όλα τους– απαιτούν σταθεροποιημένα ρυθμιζόμενα τροφοδοτικά και, συχνά, συστήματα αδιάλειπτου παροχής ισχύος. Το αυξανόμενο κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας καθιστά επιτακτική τη χρησιμοποίησή της κατά τον πλέον αποδοτικό τρόπο και τα ηλεκτρονικά συστήματα ισχύος προσφέρουν την πιο φθηνή επιλογή. Αναμφίβολα καθώς τα ημιαγωγικά στοιχεία ισχύος θα βελτιώνονται σε επιδόσεις και ταυτόχρονα θα μειώνονται οι τιμές τους, όλο και περισσότερες εφαρμογές θα κάνουν χρήση της τεχνολογίας των Ηλεκτρονικών Ισχύος. Για παράδειγμα ο τομέας των ηλεκτρονικών για αυτοκίνηση είναι μια ταχέως αναπτυσσόμενη περιοχή εφαρμογής των ηλεκτρονικών ισχύος. Καθώς τα ηλεκτρικά φορτία συχνά απαιτούν ή προτιμούν τροφοδοσία με χαρακτηριστικά τάσης διαφορετικά από αυτά της διαθέσιμης από τις ηλεκτρικές εταιρίες, η λειτουργία του μετατροπέα είναι να πραγματοποιεί τον επιθυμητό μετασχηματισμό με τις ελάχιστες

απώλειες και όσο το δυνατό αποδεκτό κόστος. Γενικά ο μετατροπέας ελέγχει και μετατρέπει μια ηλεκτρική είσοδο μεγέθους $i V$ συχνότητας $i f$ και αριθμού φάσεων $i m$ σε μια ηλεκτρική έξοδο μεγέθους $0 V$ συχνότητας $0 f$ και αριθμού φάσεων $0 m$. Η απαίτηση για ελάχιστες δυνατές απώλειες και το γεγονός ότι οι εφαρμογές ηλεκτρονικών ισχύος ποικίλουν από λίγα watts έως μερικές εκατοντάδες MWatt, επιβάλλουν το διακοπτικό τρόπο λειτουργίας των μετατροπέων ισχύος και πολλά ημιαγωγά στοιχεία ισχύος έχουν βελτιωθεί για αυτήν ακριβώς τη διακοπτική λειτουργία.

Σε αντίθεση με τα γραμμικά ηλεκτρονικά (όπου τα ημιαγωγά στοιχεία είναι πολωμένα στην ενεργό περιοχή και λειτουργούν σαν ρυθμιζόμενες ωμικές αντιστάσεις με αποτέλεσμα να καταναλώνουν σημαντικό πόσο ενέργειας και η 5 συνολική απόδοση του συστήματος να είναι χαμηλή), στους μετατροπείς ισχύος τα ημιαγωγά στοιχεία βρίσκονται είτε στην κατάσταση πλήρους αγωγής είτε στην κατάσταση πλήρους αποκοπής. Η απόδοση του μετατροπέα αυξάνεται και δεν υπάρχουν φαινόμενα υψηλής θέρμανσης των ημιαγωγών στοιχείων. Βεβαίως, η διακοπτική λειτουργία έχει σαν αποτέλεσμα την ασυνεχή ροή ενέργειας μέσα από τα στοιχεία. Απαιτείται λοιπόν προσωρινή αποθήκευση ή φιλτράρισμα ενέργειας ώστε η συνολική ροή ισχύος να καταστεί ομαλή και αποδεκτή τόσο από την πηγή όσο και από το φορτίο και οι διακόπτες να μην υποβάλλονται σε άσκοπες καταπονήσεις. Συνεπώς η σύνδεση διακοπών με επαγωγικά και χωρητικά στοιχεία φίλτρου ανάμεσα στην πηγή και το φορτίο συνιστά ουσιαστικά την τοπολογία ενός μετατροπέα, η δε λειτουργία μπορεί να θεωρηθεί σαν μια διάδοχη διαφορετικών τοπολογιών που επαναλαμβάνονται κυκλικά.

Υπάρχουν διάφορα κριτήρια βάσει των οποίων μπορεί να γίνει ταξινόμηση των μετατροπέων που χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρονικά ισχύος. Μεταξύ των κριτηρίων αυτών είναι:

- ✓ Ο τύπος της μετατροπής που πραγματοποιείται,
- ✓ Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η μεταγωγή των ημιαγωγών διακοπών και
- ✓ Η δυνατότητα να μεταφέρουν ισχύ από την πηγή στο φορτίο και από το φορτίο στην πηγή.

Ανάλογα με τον τύπο της μετατροπής που πραγματοποιείται ένας μετατροπέας μπορεί να είναι ανορθωτής (rectifier, ac/dc), αντιστροφέας (inverter, dc/ac), καταμητής (chopper, dc/dc) ή ρυθμιστής εναλλασσόμενης τάσης/μετατροπέας συχνότητας (ac voltage controller/cycloconverter, ac/ac).

Όσον αφορά την μετάβαση των ημιαγωγών διακοπών, ο όρος αυτός συνηθίζεται να χρησιμοποιείται όταν τίθεται υπό συζήτηση το σβήσιμο των διακοπών. Αυτό συμβαίνει διότι το άνοιγμα (ή σβήσιμο) του διακόπτη είναι συνήθως πιο δύσκολο για το ημιαγωγό στοιχείο. Για τις διόδους και τους συνήθεις ελεγχόμενους ανορθωτές πυριτίου (Silicon Controlled Rectifiers SCRs - thyristors) είναι αδύνατο η σβέση να επιτευχθεί χωρίς εξωτερική βοήθεια. Η εξωτερική αυτή βοήθεια μπορεί να είναι η περιοδική αντιστροφή της τάσης μιας πηγής εναλλασσόμενης τάσης ή ενός εναλλασσόμενου φορτίου ή ακόμα και η αντί-ηλεκτρεγερτική δύναμη κάποιου κινητήρα. Στην περίπτωση αυτή γίνεται λόγος για φυσική μετάβαση (natural commutation) ή μετάβαση με τη βοήθεια της τάσης της γραμμής (line commutation) ή μετάβαση με τη βοήθεια του φορτίου (load commutation) ή εξωτερική μετάβαση (external commutation). Σε αυτές τις περιπτώσεις τα ημιαγωγικά στοιχεία ανοίγουν και κλείνουν σε φάση (phase locked) με τις κυματομορφές της τάσης του δικτύου, δηλαδή η διακοπτική λειτουργία έχει συχνότητα 50 (ή 60) Hz. Για αυτό και οι μετατροπείς αυτοί αναφέρονται σαν μετατροπείς δικτύου (line frequency converters) ή μετατροπείς ελεγχόμενοι από φάση (phase controlled converters).

Υπάρχει βέβαια και η εξαναγκασμένη μετάβαση (force commutation) ή αυτομετάβαση (self-commutation), όπου η σβέση των ημιαγωγικών διακοπών γίνεται με τη βοήθεια κυκλώματος που είναι ενσωματωμένο στην τοπολογία ισχύος ή αποτελεί μέρος του κυκλώματος ελέγχου. Αυτό συμβαίνει όταν η σβέση γίνεται με έλεγχο του ρεύματος στη βάση του ημιαγωγού διακόπτη (προκειμένου για διπολικά τρανζίστορ ισχύος, power BJTs), ή της τάσης στην πύλη του ημιαγωγού διακόπτη (προκειμένου για τρανζίστορ μεμονωμένης πύλης επίδρασης πεδίου ισχύος, power MOSFETs) και όταν η σβέση γίνεται με βοηθητικό κύκλωμα. Όταν υπάρχει εξαναγκασμένη μετάβαση, οι διακόπτες ανοίγουν και κλείνουν σε συχνότητες που είναι υψηλές σε σχέση με τη συχνότητα του δικτύου. Συχνά δε, έχει επικρατήσει οι μετατροπείς αυτοί να αναφέρονται σαν διακοπτικοί μετατροπείς (switching converters). Στο σχήμα 1.2 6 παρουσιάζονται οι δυνατότητες ισχύος και οι διακοπτικές συχνότητες διάφορων ημιαγωγικών διακοπών.

Υπάρχουν μετατροπείς που μεταφέρουν ενέργεια μόνο από την πηγή στο φορτίο ενώ υπάρχουν κι άλλοι που μπορούν να μεταφέρουν ισχύ και προς την αντίθετη κατεύθυνση, να λειτουργήσουν δηλαδή, με αναγεννητικό (regenerative) τρόπο.

Η χρήση των Ηλεκτρονικών Ισχύος είναι πολύ εκτεταμένη και διαρκώς εμφανίζονται νέες δυνατότητες για εφαρμογές. Οι βασικότερες εφαρμογές των Ηλεκτρονικών Συστημάτων Ισχύος είναι οι ακόλουθες:

- 1) Ηλεκτροκίνηση στη βιομηχανία, όπου είναι δυνατόν να λειτουργούν κινητήρες συνεχούς ή εναλλασσόμενου ρεύματος, των οποίων η λειτουργία πρέπει να ελέγχεται με στόχο τον έλεγχο της ταχύτητας ή της ροπής ή και των δύο.
- 2) Συστήματα αδιάλειπτης παροχής (UPS) ηλεκτρικής ενέργειας όπου η τροφοδοσία δεν επιτρέπεται να διακοπεί καθόλου λόγω της φύσεως των καταναλωτών, όπως είναι ο φωτισμός αεροδρομίων, νοσοκομειακές χρήσεις (χειρουργεία, μηχανήματα υποστήριξης ασθενών κλπ.), υπολογιστές και άλλα παρόμοια κρίσιμα φορτία.
- 3) Ηλεκτροκίνητα μέσα μεταφοράς, όπου η μεταβολή της ταχύτητας επιτυγχάνεται από ηλεκτρονικούς μετατροπείς ισχύος.
- 4) Εργαλειομηχανές και κινητήρια συστήματα ακριβείας στην βιομηχανία
- 5) Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (φωτοβολταϊκά, αιολικά συστήματα) όπου η μετατροπή της τάσης είναι απαραίτητη για τη δημιουργία τάσεως με σταθερά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά (ενεργός τιμή και συχνότητα, κατάλληλη για την τροφοδοσία των καταναλωτών.
- 6) Φωτισμός (ηλεκτρονικά ballasts)
- 7) Επαγωγική θέρμανση στην βιομηχανία
- 8) Συστήματα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας (μετατροπείς ac-dc και dc-ac)
- 9) Ηλεκτροχημεία, όπως είναι η ηλεκτρόλυση, όπου απαιτείται κατάλληλη συνεχή τάση και υψηλά συνεχή ρεύματα, ο γαλβανισμός, η τήξη μετάλλων όπου απαιτείται υψηλής συχνότητας μαγνητικό πεδίο κ.λπ.
- 10) Τροφοδοσία τηλεπικοινωνιακών συστημάτων, δορυφορικών συστημάτων και αεροσκαφών.

Κεφάλαιο 1: Ημιαγωγοί

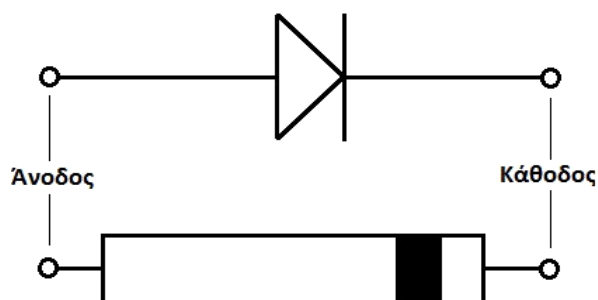
Ημιαγωγός είναι κάθε υλικό που έχει ειδική αντίσταση με τιμές ανάμεσα σε αυτές των μονωτών (μεγάλη) και των αγωγών (μικρή) και που εμφανίζει ραγδαία μείωση της ειδικής του αντίστασης με την αύξηση της θερμοκρασίας του. Οι πιο συνηθισμένοι ημιαγωγοί είναι το **πυρίτιο** (Si) και το **γερμάνιο** (Ge), με πιο συχνή τη χρήση του πυριτίου, το οποίο είναι και φτηνό και βρίσκεται σε αφθονία στην άμμο. Η αγωγή του ρεύματος στους ημιαγωγούς διευκολύνεται όταν αυτοί δεν χρησιμοποιούνται σε καθαρή μορφή αλλά νοθευμένοι. Η δίοδος, το τρανζίστορ, η δίοδος Zener, και τα ολοκληρωμένα κυκλώματα είναι μερικά από τα στοιχεία που ανήκουν στους ημιαγωγούς.

1.1 Δίοδος

Η δίοδος είναι η απλούστερη των συσκευών ημιαγωγών. Ακόμη, η δίοδος είναι ένα στοιχείο που περιορίζει τη κατευθυντήρια ροή των φορέων αγωγιμότητας. Όταν είναι θετικά πολωμένη (δηλαδή η άνοδος έχει μεγαλύτερη τάση από την κάθοδο με αναφορά κάποιο σημείο) τότε η δίοδος μεταβαίνει σε κατάσταση αγωγής και το ρεύμα ανόδου αρχίζει να αυξάνεται. Όταν η δίοδος άγει και κάποια στιγμή πολωθεί αρνητικά (δηλαδή η τάση καθόδου γίνει μεγαλύτερη από την τάση ανόδου) τότε η δίοδος μεταβαίνει στην κατάσταση ανάστροφης αποκοπής. Ουσιαστικά, η δίοδος επιτρέπει το ηλεκτρικό ρεύμα να περάσει από τη μια διεύθυνση, αλλά μπλοκάρει την κίνηση από την αντίθετη διεύθυνση. Έτσι, η δίοδος μπορεί να θεωρηθεί ως μια ηλεκτρονική εκδοχή της βαλβίδας. Τα κυκλώματα που απαιτούν ροή προς μία μόνο κατεύθυνση περιλαμβάνουν μία ή περισσότερες διόδους στη σχεδίαση του κυκλώματος. Σήμερα, οι περισσότερες διόδους είναι κατασκευασμένες από υλικά ημιαγωγών όπως πυρίτιο ή γερμάνιο.



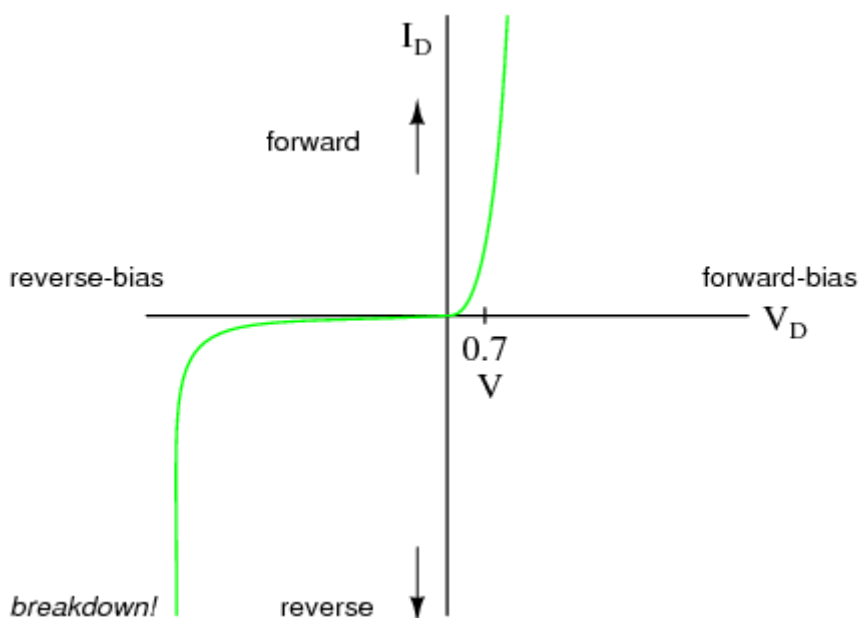
Σχήμα 1.1.1 - Δίοδος



Σχήμα 1.1.2 - Κυκλωματικό σύμβολο και πραγματική απεικόνιση διόδου

Τα διάφορα χαρακτηριστικά μεγέθη, η γνώση των οποίων είναι απαραίτητη για την ορθή επιλογή μιας διόδου για συγκεκριμένη εφαρμογή, απορρέουν από τη χαρακτηριστική τάσης-ρεύματος αυτής όπως βλέπουμε στο παρακάτω σχήμα.

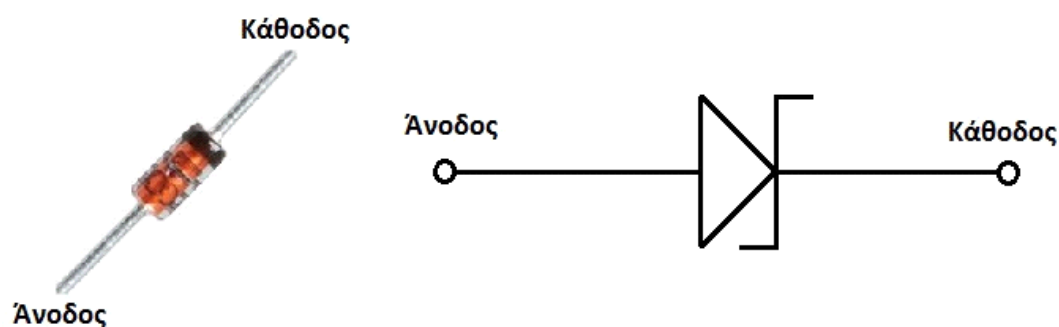
Η διάοδος λειτουργεί σε δύο τεταρτημόρια. Στο πρώτο με ορθή πόλωση και στο τρίτο με ανάστροφη πόλωση. Κατά την ορθή πόλωση και για τάσεις μικρότερες της τάσης αποκοπής ή έναυσης (περίπου 0.6-0.7V), το ρεύμα ορθής φοράς είναι αρκετά μικρό (της τάξης του 1% του ονομαστικού), δηλαδή πρακτικά η διάοδος βρίσκεται σε κατάσταση αποκοπής. Όταν η διαφορά δυναμικού που εφαρμόζεται στα άκρα της διόδου γίνει μεγαλύτερη της τάσης αποκοπής, εμφανίζεται απότομη αύξηση του ρεύματος. Υπάρχει ένα μέγιστο ρεύμα ορθής φοράς για συνεχή λειτουργία (υπό συγκεκριμένες συνθήκες ψύξης), το οποίο χαρακτηρίζει την ασφαλή λειτουργία της διόδου και το οποίο προφανώς σχετίζεται άμεσα με τη μέγιστη ισχύ θερμικών απωλειών της διόδου. Κατά την ανάστροφη πόλωση και για τάσεις μικρότερες της τάσης διάσπασης της διόδου (breakdown voltage), υπάρχει ένα ανάστροφο ρεύμα κόρου ή ρεύμα διαρροής της τάξης των nA. Στις συνηθισμένες πρακτικές εφαρμογές, το ρεύμα αυτό αμελείται. Για ανάστροφες τάσεις μεγαλύτερες της τάσης διάσπασης, εμφανίζεται απότομη αύξηση του ρεύματος (υπό σταθερή τάση) λόγω του φαινομένου της χιονοστιβάδας με αποτέλεσμα τη μόνιμη καταστροφή της διόδου.



Σχήμα 1.1.3 - Χαρακτηριστική τάσης-ρεύματος διόδου

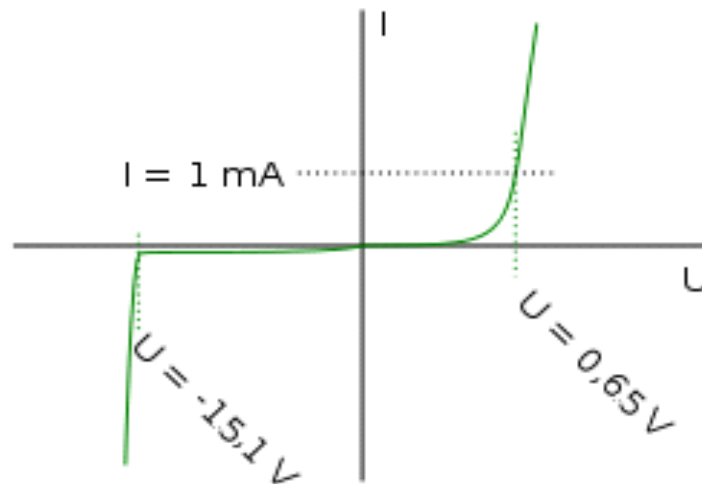
1.2 Η Δίοδος Ζένερ

Η Δίοδος Ζένερ (Zener) είναι μια δίοδος που μπορεί να λειτουργεί στην περιοχή κατάρρευσης, δηλαδή στην περιοχή τάσης στην οποία οι λοιπές διόδους κινδυνεύουν να καταστραφούν. Γι' αυτό το λόγο ονομάζεται και δίοδος κατάρρευσης. Είναι το βασικότερο εξάρτημα των σταθεροποιητών τάσης που κρατούν την τάση στο φορτίο του κυκλώματος σταθερή ανεξάρτητα από μεταβολές στην τάση της γραμμής και στην αντίσταση του φορτίου. Είναι κάτι σαν ασφάλεια τάσης. Πρακτικά σε ένα κύκλωμα απεικονίζεται ως εξής:



Σχήμα 1.2.1 - Δίοδος Ζένερ και κυκλωματικό σύμβολο

Όπως παρατηρούμε στη παρακάτω χαρακτηριστική ρεύματος-τάσης για μια δίοδο Ζένερ για ανάστροφη τάση μικρότερη των 15 Volt, το ρεύμα πρακτικά είναι ίσο με μηδέν. Αλλά για μία τάση U από 15,1 και πάνω η δίοδος αρχίζει να άγει και το ρεύμα περνάει από την δίοδο. Για μία ορθή πόλωση η δίοδος ζένερ συμπεριφέρεται σαν μία απλή δίοδος πυριτίου. Στη συγκεκριμένη περίπτωση στη χαρακτηριστική της διόδου βλέπουμε ότι η τάση 0,65 Volt αντιστοιχεί στην τάση αγωγής διόδου κατά την ορθή πόλωση.



Σχήμα 1.2.2 Χαρακτηριστική ρεύματος-τάσης για μια δίοδο Ζένερ. (χρησιμοποιείται διαφορετική κλίμακα για την τάση ορθής πόλωσης (θετική) σε σχέση με αυτή της ανάστροφης πόλωσης)

1.3 Το Θυρίστορ

Το θυρίστορ είναι ένας ελεγχόμενος ανορθωτής πυριτίου, το οποίο μπορεί να θεωρηθεί σαν συνδυασμός δύο τρανζίστορ. Όταν στην πύλη (Gate) του θυρίστορ δεν υπάρχει παλμός έναυσης, ανεξάρτητα 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 στο θυρίστορ μηδενισθεί ή η πολικότητα της ανόδου γίνει αρνητική σε σχέση με την κάθοδο.

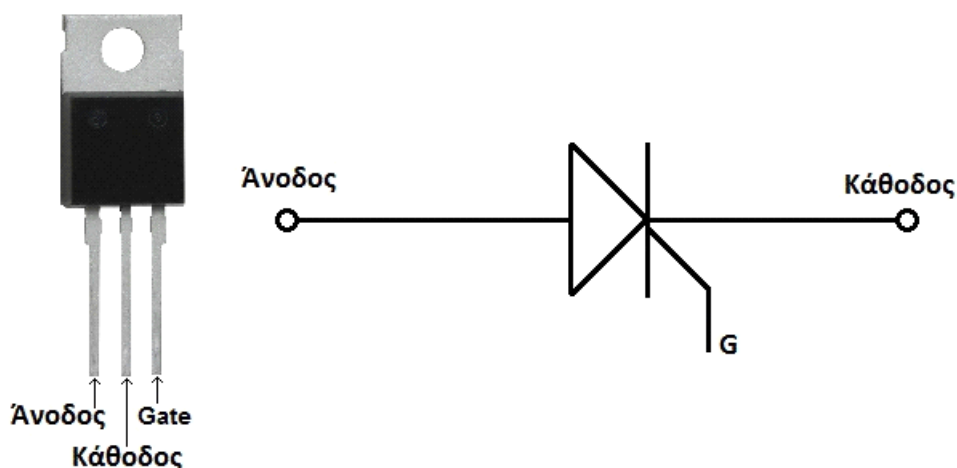
Ένα θυρίστορ μπορεί να βρίσκεται σε μία από τις ακόλουθες τρεις καταστάσεις:

α) Κατάσταση αγωγής (Conductionstate) : όπου το θυρίστορ άγει και ρεύμα ρέει από την άνοδο προς την κάθοδο.

β) Κατάσταση θετικής αποκοπής (Forwardblockingstate) : όπου το θυρίστορ είναι θετικά πολωμένο, αλλά βρίσκεται σε κατάσταση αποκοπής. Αν δοθεί παλμός έναυσης στο θυρίστορ τότε μεταβαίνει στην κατάσταση διέλευσης.

γ) κατάσταση αρνητικής αποκοπής (Reverseblockingstate) : το θυρίστορ μεταβαίνει στην κατάσταση αυτή όταν μια αρνητική τάση εφαρμοσθεί μεταξύ ανόδου και καθόδου. Για παράδειγμα αν το θυρίστορ βρίσκεται στην κατάσταση αγωγής και

εφαρμοσθεί μια αρνητική τάση μεταξύ ανόδου και καθόδου, τότε το θυρίστορ μεταβαίνει στην κατάσταση αρνητικής αποκοπής και έτσι επιτυγχάνεται η σβέση του.

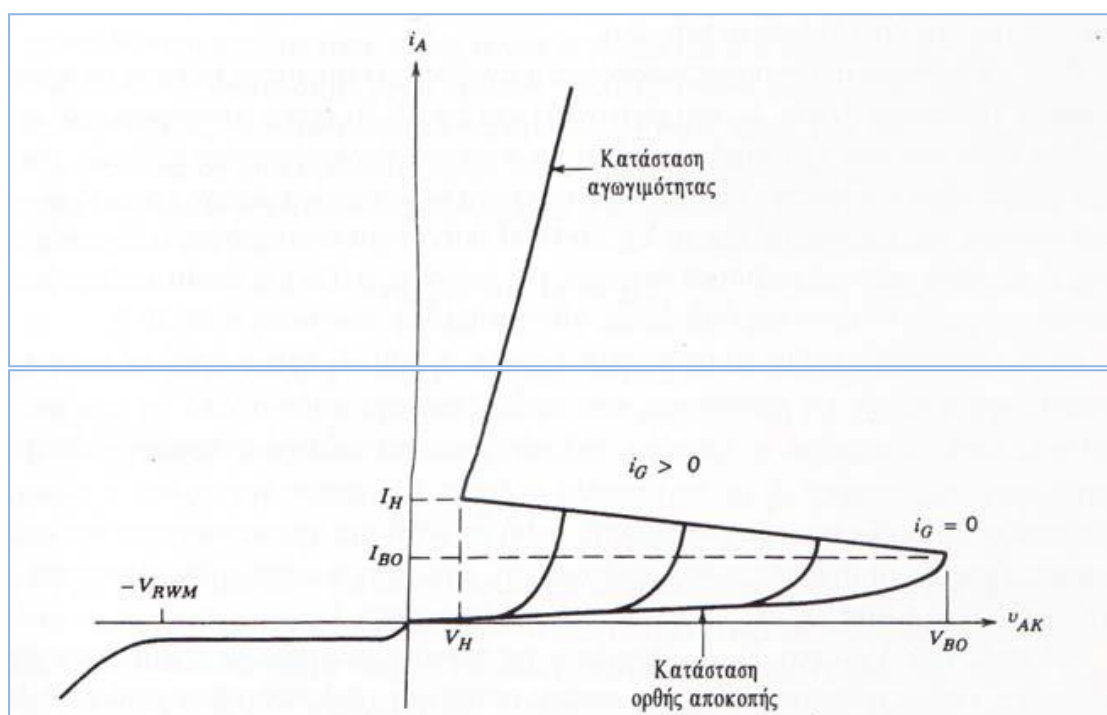


Σχήμα 1.3.1 θυρίστορ και κυκλωματικό σύμβολο

Χαρακτηριστικές I-V

Η μοναδικότητα του θυρίστορ έγκειται κυρίως στη χαρακτηριστική του καμπύλη I-V (γραφική παράσταση του ρεύματος ανόδου i_A συναρτήσει της τάσης ανόδου-καθόδου VAK), η οποία φαίνεται στο σχ. 2.27. Στην αντίστροφη φορά το θυρίστορ εμφανίζεται ίδιο με την αντίστροφα πολωμένη δίοδο, η οποία άγει πολύ μικρό ρεύμα μέχρι να πραγματοποιηθεί η διάσπαση χιονοστιβάδας. Στο θυρίστορ η μέγιστη αντίστροφη τάση ονομάζεται VRWM (υπάρχουν στοιχεία με τιμές της VRM μέχρι και 7000 V). Κατά την ορθή φορά το θυρίστορ έχει δύο ευσταθείς καταστάσεις που συνδέονται μεταξύ τους με μια ασταθή κατάσταση. Στην ασταθή κατάσταση η χαρακτηριστική i-v εμφανίζει αρνητική αντίσταση. Η περιοχή μικρού ρεύματος-μεγάλης τάσης είναι η κατάσταση ορθής αποκοπής και η κατάσταση μικρής τάσης-μεγάλου ρεύματος είναι η κατάσταση αγωγιμότητας. Στη χαρακτηριστική i-v φαίνονται και οι δυο αυτές καταστάσεις. Στην κατάσταση αγωγιμότητας ένα θυρίστορ μεγάλης ισχύος μπορεί να άγει ρεύματα μέχρι 2000-3000 A με πτώσεις τάσης μόνο μερικά volt. Στους χρήστες ενδιαφέρουν ειδικές τιμές τάσης και ρεύματος

στο τεταρτημόριο ορθής πόλωσης της χαρακτηριστικής $i-v$ και αυτές εμφανίζονται στα φυλλάδια των προδιαγραφών. Το ρεύμα συγκράτησης I_H παριστάνει το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να περάσει μέσα από το θυρίστορ και που μπορεί να διατηρεί το στοιχείο σε κατάσταση αγωγιμότητας. Αυτή η τιμή του ρεύματος και η αντίστοιχη τάση στα άκρα του στοιχείου, που ονομάζεται τάση συγκράτησης V_H , παριστάνουν τη μικρότερη δυνατή επέκταση του τμήματος αγωγιμότητας της χαρακτηριστικής $i-v$. Στην κατάσταση ορθής αποκοπής οι ποσότητες που ενδιαφέρουν είναι η τάση ορθής αποκοπής V_{BO} (που μερικές φορές ονομάζεται τάση καμπής V_{BO} , επειδή η καμπύλη $i-v$ κάμπτεται και μπαίνει στο τμήμα αγωγιμότητας) και το αντίστοιχο ρεύμα καμπής I_{BO} .



Σχήμα - 1.3.2 Χαρακτηριστική ρεύματος-τάσης για θυρίστορ

Η τάση και το ρεύμα καμπής ορίζονται για μηδενικό ρεύμα πύλης, δηλαδή όταν η πύλη είναι ανοικτό κύκλωμα. Αν στο θυρίστορ εφαρμοστεί θετικό ρεύμα πύλης, τότε η μετάβασή του ή η καμπή του στην κατάσταση αγωγιμότητας θα συμβεί σε μικρότερες τιμές της τάσης ανόδου-καθόδου, όπως φαίνεται στο σχ. 2.27. Το θυρίστορ θα μεταβεί στην κατάσταση αγωγιμότητας με μικρές τιμές της V_{AK} , αν το ρεύμα πύλης είναι αρκετά μεγάλο. Αν και δεν φαίνεται στην χαρακτηριστική $i-v$, το ρεύμα πύλης μπορεί να μην είναι dc ρεύμα, αλλά και παλμός ρεύματος με κάποια ελάχιστη χρονική διάρκεια. Αυτή η ικανότητα του θυρίστορ να μεταβαίνει στην κατάσταση αγωγιμότητας με παλμό ρεύματος υπήρξε η βάση των διαδεδομένων

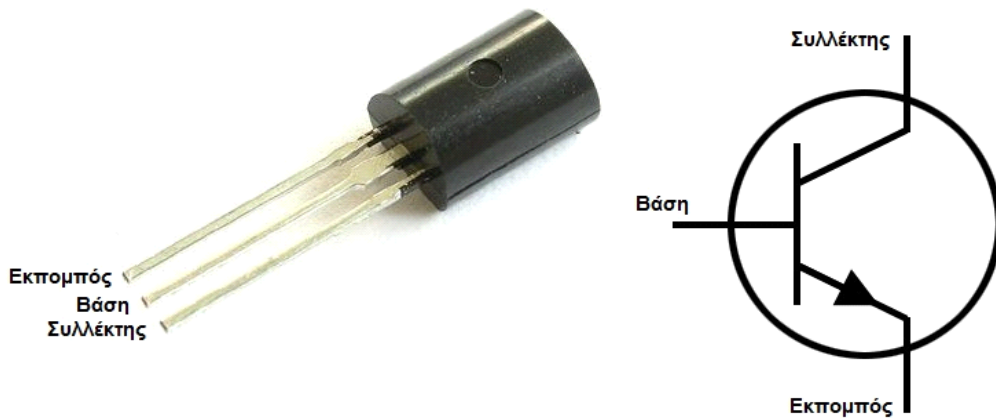
εφαρμογών του. Ωστόσο, όταν το θυρίστορ βρίσκεται στην κατάσταση αγωγιμότητας, η πύλη δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να το οδηγήσει στην αποκοπή. Ο μόνος τρόπος αποκοπής του θυρίστορ είναι ο εξαναγκασμός από το εξωτερικό κύκλωμα του ρεύματος του στου στοιχείου να γίνει μικρότερο από το ρεύμα συγκράτησης για ένα ελάχιστο καθορισμένο χρονικό διάστημα. Έχουν αναπτυχθεί ειδικοί τύποι θυρίστορ που ονομάζονται GTO (gate turn-off, με αποκοπή από την πύλη), στα οποί το στοιχείο αποκόπτεται από την πύλη.

1.4 Διπολικό Τρανζίστορ

Το διπολικό τρανζίστορ θεωρείται μία από τις μεγαλύτερες εφευρέσεις του 20ου αιώνα. Είναι το κυριότερο συστατικό όλων σχεδόν των σύγχρονων ηλεκτρονικών κατασκευών. Η πλατιά χρήση του οφείλεται κυρίως στη δυνατότητα παραγωγής του σε τεράστιες ποσότητες που μειώνουν το κόστος ανά μονάδα.

Παρόλο που αρκετοί παραγωγοί παράγουν, ακόμα και σήμερα, μεμονωμένες συσκευασίες τρανζίστορ, η μεγαλύτερη ποσότητα παράγεται μέσα σε ολοκληρωμένα κυκλώματα (που συχνά αναφέρονται ως τσιπς) μαζί με τις διόδους, αντιστάσεις, πυκνωτές και άλλα ηλεκτρονικά εξαρτήματα

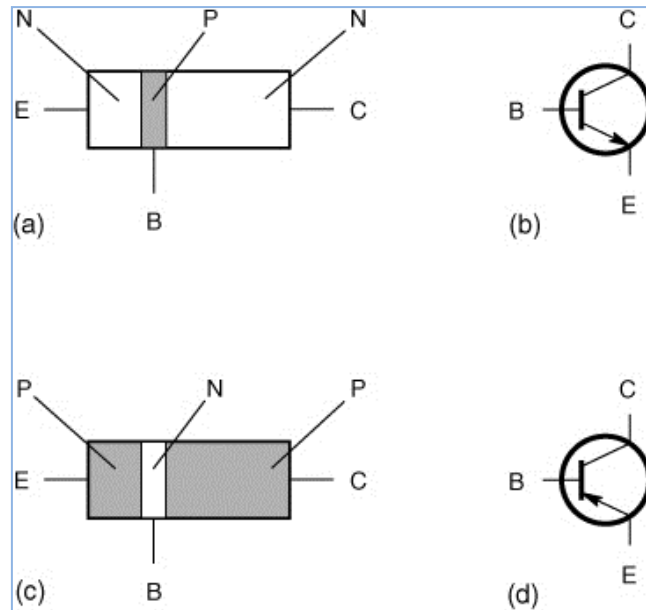
Το διπολικό τρανζίστορ (transistor) είναι μία ημιαγωγική διάταξη, που έχει διάφορες εφαρμογές στην ηλεκτρονική, μερικές εκ των οποίων είναι η ενίσχυση, η σταθεροποίηση τάσης, η διαμόρφωση συχνότητας, η λειτουργία ως διακόπτης και ως μεταβλητή ωμική αντίσταση. Το τρανζίστορ μπορεί, ανάλογα με την τάση με την οποία πολώνεται, να ρυθμίζει τη ροή του ρεύματος που απορροφά από συνδεδεμένη πηγή τάσης. Τα τρανζίστορ κατασκευάζονται είτε ως ξεχωριστά ηλεκτρονικά εξαρτήματα, είτε ως μέρη κάποιου ολοκληρωμένου κυκλώματος.



Σχήμα - 1.4.1 τρανζίστορ και κυκλωματικό σύμβολο

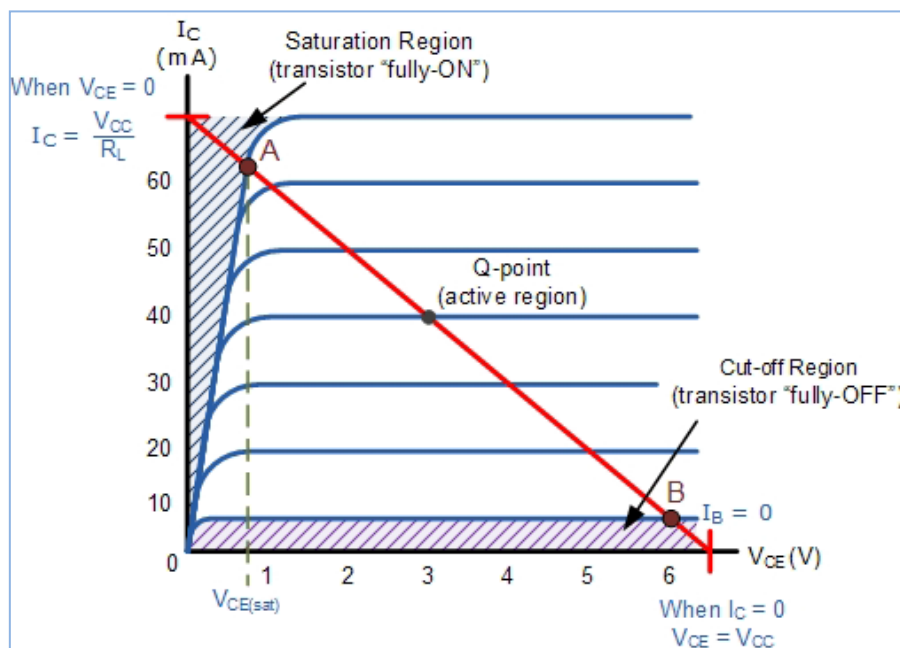
Οι τρεις περιοχές ενός διπολικού τρανζίστορ ονομάζονται, ανάλογα με την λειτουργία τους, **εκπομπός** (emitter), **βάση** (base) και **συλλέκτης** (collector). Μπορεί να θεωρηθεί ότι το διπολικό τρανζίστορ αποτελείται από δύο διόδους συνδεδεμένες σε αντίθετη φορά, μια μεταξύ βάσης και εκπομπού (δίοδος ή επαφή εκπομπού) και μια μεταξύ βάσης και συλλέκτη (δίοδος ή επαφή συλλέκτη). Το διπολικό τρανζίστορ ή τρανζίστορ επαφής, έχει τρεις ακροδέκτες, τον εκπομπό (emitter), τη βάση (base) και το συλλέκτη (collector). Ο ακροδέκτης της βάσης αποτελεί το ηλεκτρόδιο του ελέγχου. Ο εκπομπός είναι μια έντονα εμπλουτισμένη περιοχή και προορισμός του είναι να στέλνει ηλεκτρόνια προς τη βάση.

Η βάση είναι λιγότερο εμπλουτισμένη και πολύ λεπτή περιοχή. Το πάχος της, επιτρέπει στα περισσότερα ηλεκτρόνια που εκπέμπονται από τον εκπομπό να φτάνουν στο συλλέκτη. Το επίπεδο εμπλουτισμού του συλλέκτη, βρίσκεται ανάμεσα σε εκείνο του εκπομπού και της βάσης. Υπάρχουν δύο τύποι διπολικού τρανζίστορ, το 'npn' και το συμπληρωματικό του το 'pnp'.



Σχήμα - 1.4.1 Κρυσταλλική δομή και κυκλωματικό σύμβολο διπολικού τρανζίστορ. (α) Τύπος npn (β) Τύπος pnp

Το διπολικό τρανζίστορ, λειτουργεί μόνο στο πρώτο τεταρτημόριο. Οι χαρακτηριστικές τάσης-ρεύματος δείχνονται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 2 - 1.4.2 Χαρακτηριστική τάσης-ρεύματος διπολικού τρανζίστορ

Στην περιοχή αποκοπής, υπάρχει μόνο ένα πολύ μικρό ρεύμα διαρροής στην επαφή του συλλέκτη. Πρακτικά, στη συγκεκριμένη περιοχή το τρανζίστορ θεωρείται

ως ανοιχτός διακόπτης. Στην περιοχή κόρου (σχεδόν κατακόρυφο τμήμα κοντά στην αρχή των αξόνων), ανεξαρτήτως του ρεύματος του συλλέκτη, η τάση μεταξύ συλλέκτη-εκπομπού, παραμένει σταθερή σε μια πολύ μικρή τιμή της τάξης των μερικών δεκάτων του Volt. Προφανώς, στη συγκεκριμένη περιοχή το τρανζίστορ μπορεί να θεωρηθεί ως ένας κλειστός διακόπτης. Επομένως, εάν επιθυμούμε διακοπτική λειτουργία του τρανζίστορ, η λειτουργία του περιορίζεται στις περιοχές αποκοπής και κορεσμού.

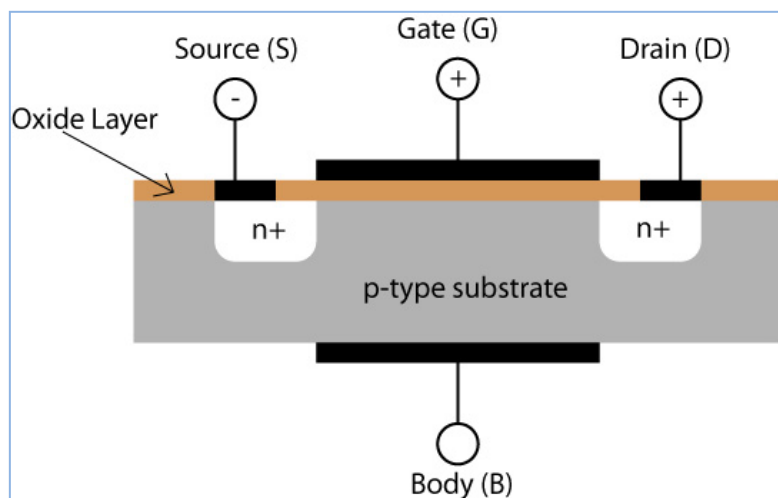
Στην ενεργό περιοχή οι χαρακτηριστικές είναι περίπου οριζόντιες, δηλαδή το ρεύμα συλλέκτη για σταθερό ρεύμα βάσης πρακτικά παραμένει σταθερό ανεξαρτήτως των μεταβολών της τάσης συλλέκτη εκπομπού. Στη συγκεκριμένη περιοχή, το ρεύμα συλλέκτη ισούται περίπου με το γινόμενο του συντελεστή ενίσχυσης και του ρεύματος βάσης. Τέλος υπάρχει κι η περιοχή διάσπασης, η οποία προφανώς αποτελεί απαγορευμένη περιοχή. Όταν η διαφορά δυναμικού μεταξύ των επαφών συλλέκτη-εκπομπού, ξεπεράσει μια χαρακτηριστική τιμή V_{CE} (τάση διάσπασης), θα έχει ως αποτέλεσμα τη μόνιμη καταστροφή των τρανζίστορ λόγω υπερβολικής κατανάλωσης ισχύος.

1.5 Τρανζίστορ επίδρασης πεδίου – MOSFET

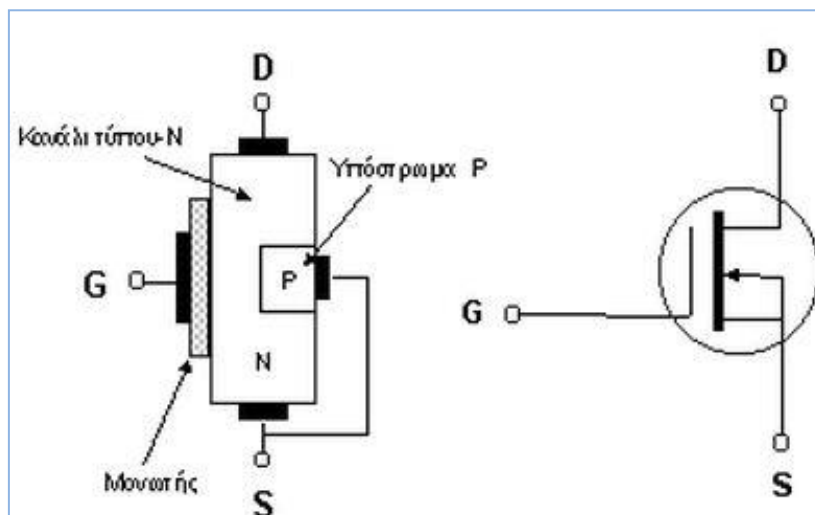
Το MOSFET ανήκει στην κατηγορία των FET's (field effect transistors). Η φύση της λειτουργίας του, είναι τελείως διαφορετική από εκείνη των διπολικών τρανζίστορ. Στα διπολικά τρανζίστορ, το ρεύμα οφείλεται σε δύο είδη φορέων (οπές και ηλεκτρόνια) και ο μηχανισμός δημιουργίας του ρεύματος οφείλεται κατά κύριο λόγο στην ανομοιόμορφη κατανομή των φορτίων (ρεύμα διάχυσης). Τα τρανζίστορ επίδρασης πεδίου είναι μονοπολικά τρανζίστορ, δηλαδή το ρεύμα οφείλεται σε ένα μόνο τύπο φορτίου, σε ηλεκτρόνια (n-καναλιού) ή σε οπές (p-καναλιού). Επιπλέον τα ρεύματα των MOSFET, είναι ρεύματα ολίσθησης (αγωγιμότητας) και όχι διάχυσης, τα οποία ελέγχονται από το ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργεί η τάση που εφαρμόζεται στο ηλεκτρόδιο ελέγχου. Τα ρεύματα αυτά ρέουν σε μια συγκεκριμένη περιοχή στο σώμα του τρανζίστορ (η οποία δημιουργείται λόγω του πεδίου), η οποία ονομάζεται κανάλι. Από την οικογένεια των MOSFET, ως διακοπτικά στοιχεία ισχύος, μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα MOSFET πύκνωσης n-καναλιού.

Ο ακροδέκτης G, είναι το ηλεκτρόδιο ελέγχου (πύλη Gate), οι άλλοι δύο ακροδέκτες S και D, ονομάζονται αντίστοιχα πηγή (Source) και υποδοχή (Drain). Η δομή του MOSFET πύκνωσης n-καναλιού δείχνεται στο πιο κάτω σχήμα.

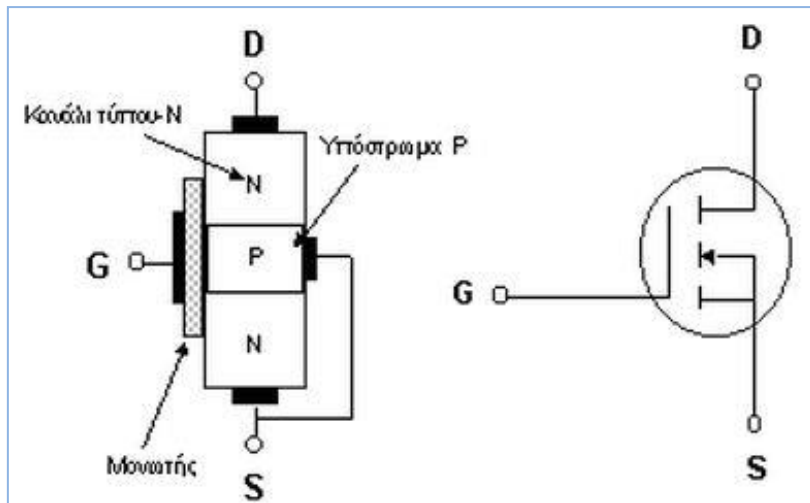
Επειδή το ηλεκτρόδιο της πύλης είναι μονωμένο από το υπόλοιπο σώμα του τρανζίστορ (με στρώμα διοξειδίου του πυριτίου), το ρεύμα της πύλης για την οδήγηση του τρανζίστορ είναι εξαιρετικά μικρό και πρακτικά θεωρείται μηδενικό. Αυτό σημαίνει ότι το μονοπολικό τρανζίστορ (MOSFET) σε αντίθεση με το διπολικό (BJT), είναι στοιχείο ελεγχόμενο από τάση.



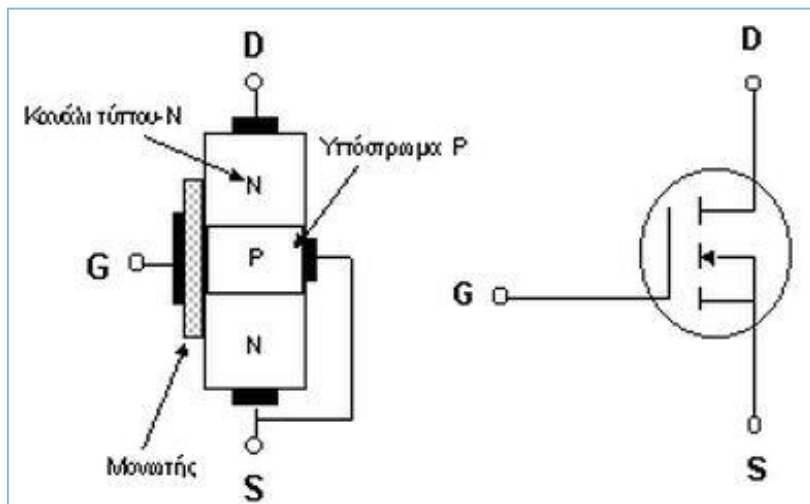
Σχήμα - 1.5.1 Δομή MOSFET πύκνωσης n-καναλιού



Σχήμα 1.5.2 - Δομή και κυκλωματικό σύμβολο Mosfet εκκένωσης



Σχήμα 1.5.3 - Δομή και κυκλωματικό σύμβολο Mosfet ενίσχυσης



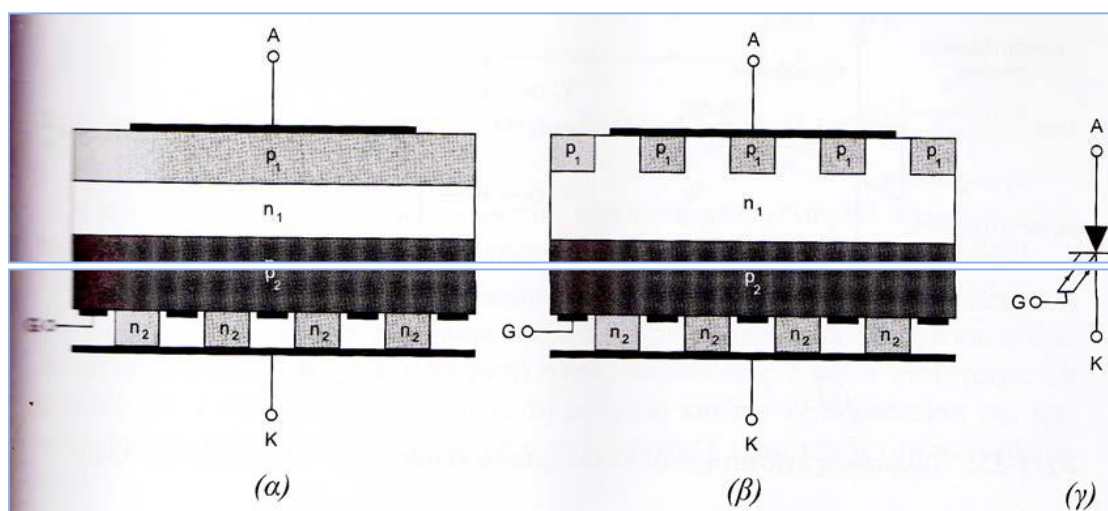
Σχήμα 1.5.3 - Δομή και κυκλωματικό σύμβολο Mosfet ενίσχυσης

1.6 Θυρίστορ GTO

Στο κλασικό θυρίστορ μπορούμε να ελέγξουμε μόνο την έναυσή του. Η σβέση του εξαρτάται αποκλειστικά και μόνο από τις συνθήκες του κυκλώματος με το οποίο είναι συνδεδεμένο (και επιτυγχάνεται όταν το ρεύμα του γίνει μικρότερο του ρεύματος συγκράτησης). Το GTO (gate turn-off thyristor), είναι ένας τύπος θυρίστορ με δύο ηλεκτρόδια ελέγχου, με το ένα από αυτά ελέγχεται η έναυση (όπως στα κλασικά θυρίστορ) και με το άλλο η σβέση του. Το κλασικό θυρίστορ, απουσία παλμού, έχει την ικανότητα να μπλοκάρει (αποκόπτει) τάσεις σχεδόν του ίδιου μεγέθους, τόσο κατά την ορθή όσο και κατά την ανάστροφη πόλωση. Στα GTOs, υπάρχουν δύο τύποι, ο “reverse blocking type” που έχει την ικανότητα να μπλοκάρει (αποκόπτει) τάσεις σχεδόν ίδιου μεγέθους, τόσο κατά την

ορθή όσο και κατά την ανάστροφη πόλωση και ο “anode short type”, του οποίου η ικανότητα στην αποκοπή τάσεων ανάστροφης πόλωσης είναι αρκετά μικρή (της τάξης των 15 V).

Η κρυσταλλική δομή και το κυκλωματικό σύμβολο του GTO, δείχνονται στο σχήμα 1.6.1.



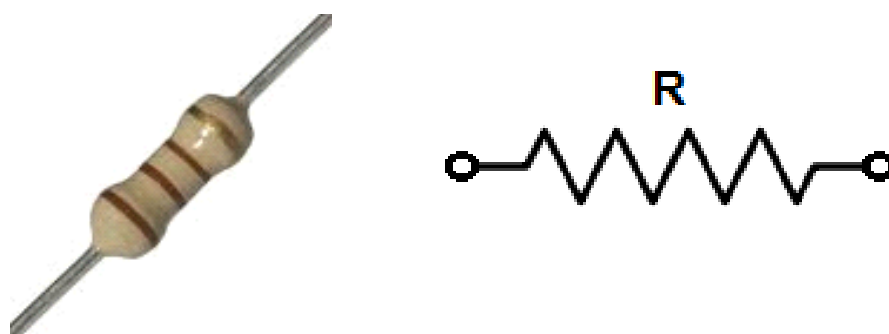
Σχήμα 1.6.1 - Θυρίστορ ελεγχόμενης σβέσης (GTO), (α) “reverse blocking type” (β) “anode short type”, (γ) κυκλωματικό σύμβολο

Για την έναυση του, απαιτείται ένα μικρό ρεύμα όπως και στην περίπτωση του κλασικού τύπου θυρίστορ. Δηλαδή, το ρεύμα της πύλης κατά την έναυση είναι ανεξάρτητο του ρεύματος που θα διέλθει από το GTO μετά την έναυσή του. Τα πράγματα είναι τελείως διαφορετικά για τις συνθήκες σβέσης, καθότι το μέγεθος του απαιτούμενου ρεύματος πύλης για τη σβέση, εξαρτάται άμεσα από το μέγεθος του διαρχόμενου ρεύματος από το GTO τη χρονική στιγμή της σβέσης. Τα θυρίστορ ελεγχόμενης σβέσης, βρίσκουν μεγάλες εφαρμογές στους μετατροπείς Σ.Ρ./Σ.Ρ.

Κεφάλαιο 2: Εξαρτήματα Αντίστασης

2.1 Ωμική αντίσταση

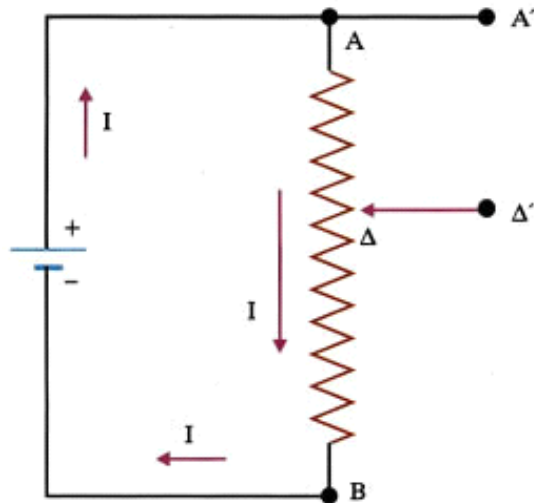
Οι αντιστάσεις είναι τα πλέον χρησιμοποιούμενα ηλεκτρονικά εξαρτήματα και καταλαμβάνουν συνήθως το 1/3 κάθε πλακέτας. Σκοπός τους είναι να άγουν ηλεκτρικά ρεύματα ή να τα περιορίζουν. Γενικά μπορεί να πει κανείς ότι υπάρχουν τρεις κατηγορίες: οι σταθερές αντιστάσεις, οι μεταβλητές και οι μεταβαλλόμενες αντιστάσεις. Σταθερές είναι οι αντιστάσεις των οποίων η τιμή δεν μπορεί να αλλάξει ενώ στις μεταβλητές αντιστάσεις ο χρήστης μπορεί να ορίσει μόνος του την τιμή. Μεταβαλλόμενες αντιστάσεις ονομάζονται εκείνες, η τιμή των οποίων μεταβάλλεται σε συνάρτηση με κάποιο φυσικό μέγεθος, για παράδειγμα με την θερμοκρασία.



Σχήμα 2.1.1 - Αντίσταση και κυκλωματικό σύμβολο

2.2 Ποτενσιόμετρο και ροοστάτης

Το ποτενσιόμετρο είναι αναλογικό ηλεκτρονικό εξάρτημα, που χρησιμοποιείται στα κυκλώματα ως μεταβλητή αντίσταση. Αποτελείται από αγωγική πλάκα, πάνω στην οποία γυρίζει, με τη βοήθεια ενός στροφέα, μια επαφή. Ανάλογα με την απόσταση της επαφής από την είσοδο του ρεύματος στο ποτενσιόμετρο μεταβάλλεται και η αντίσταση.



Σχήμα 2.2.1 - Ποτενσιόμετρο

Μετακινώντας το δρομέα Δ από το Α μέχρι το Β μπορούμε να πάρουμε τιμές τάσης από 0 έως V_{AB} .

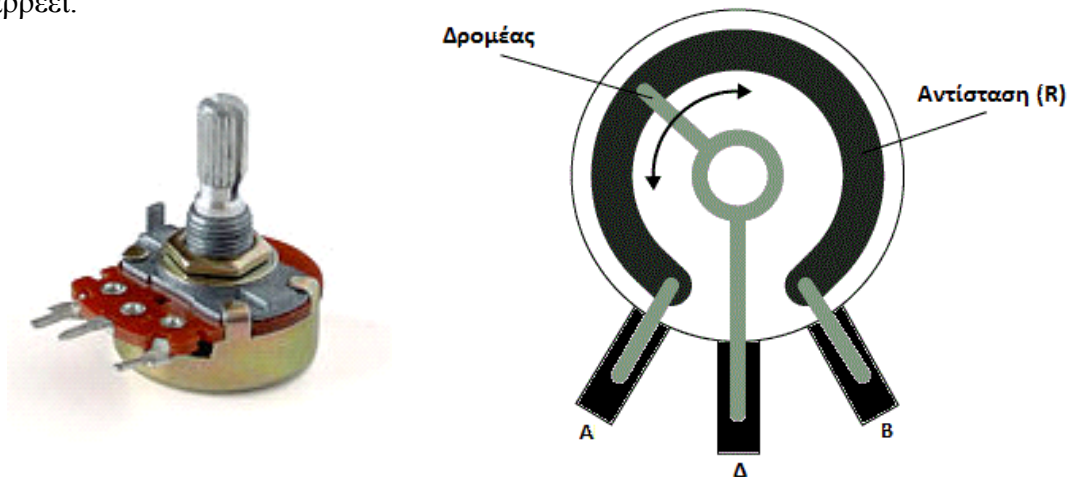
Όπου R_{AB} είναι η αντίσταση όλου του σύρματος της μεταβλητής αντίστασης.

Ο τρόπος σύνδεσης της ρυθμιστικής αντίστασης R_{AB} ως ροοστάτη φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Η κινητή επαφή Δ, που λέγεται δρομέας μπορεί να μετακινείται από το Α μέχρι το Β.

Η ένταση του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα είναι:

$$I = \frac{V}{R_{A\Delta} + R_{\Lambda}}$$

Μετακινώντας το δρομέα Δ από το Α μέχρι το Β, μεταβάλλουμε την αντίσταση $R_{A\Delta}$ που παρεμβάλλεται στο κύκλωμα, άρα και την ένταση του ρεύματος που το διαρρέει.



Σχήμα 2.2.2 - ποτενσιόμετρο και κυκλωματικό σύμβολο

Κεφάλαιο 3 Ηλεκτρονικά Εξαρτήματα

3.1 Πυκνωτές

Πυκνωτής ονομάζεται ένα σύστημα δύο γειτονικών αγωγών ανάμεσα στους οποίους παρεμβάλλεται μονωτικό υλικό. Αυτό το μονωτικό υλικό μπορεί να είναι αέρας, πλαστικό, μίκα κ.α. Οι δύο αγωγοί ονομάζονται οπλισμοί του πυκνωτή, ενώ το παρεμβαλλόμενο υλικό ονομάζεται διηλεκτρικό του πυκνωτή. Βασικό χαρακτηριστικό κάθε πυκνωτή είναι η ιδιότητά του να αποθηκεύει ηλεκτρικό φορτίο, επομένως ηλεκτρική ενέργεια.

Όταν ένας πυκνωτής είναι φορτισμένος, οι οπλισμοί του έχουν ηλεκτρικά φορτία κατά μέτρο ίσα και αντίθετα. Ονομάζουμε φορτίο του πυκνωτή (Qc) το φορτίο του θετικά φορτισμένου οπλισμού του.

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι πυκνωτών ο σταθερός και ο μεταβλητός. Οι σταθεροί πυκνωτές μπορούν ακόμη να υποδιαιρεθούν σε ηλεκτρολυτικούς, σε κεραμικούς και σε πολυεστερικούς.

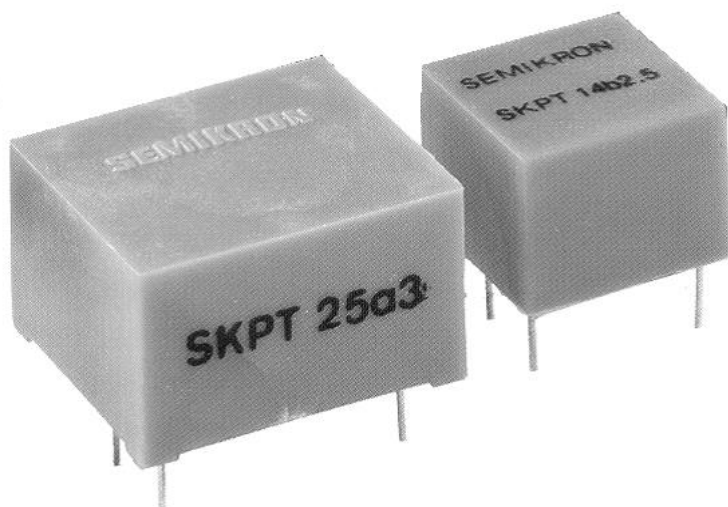


Σχήμα 3.1.1 -. πυκνωτές

3.2 Μετασχηματιστής παλμού

Η διαφορά του μετασχηματιστή παλμού από το συμβατικό μετασχηματιστή είναι ότι ο απλός μετασχηματιστής όταν χρησιμοποιηθεί για μετασχηματισμό τετραγωνικής παλμικής κυματομορφής παράγει παραμορφωμένο αποτέλεσμα. Στην περίπτωση που θέλουμε να μετασχηματίσουμε μια κυματομορφή τέτοιου τύπου χρησιμοποιούμε μετασχηματιστή παλμού. Με αυτό τον τρόπο πετυχαίνουμε γαλβανική απομόνωση του παλμού πριν πάει στο θυρίστορ.

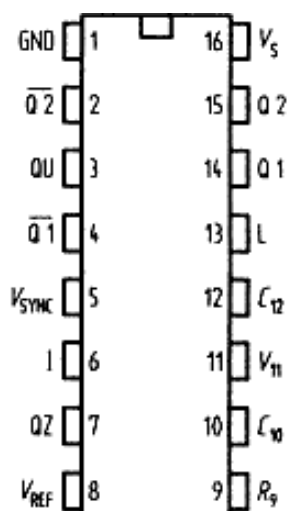
Εκτός της λειτουργίας του μετασχηματιστή ως μονωτικού υλικού, μπορούμε επίσης να τον χρησιμοποιήσουμε για να διορθώσουμε τον παλμό έναυσης, αυξάνοντας ή μειώνοντας την αξία του. Στην εργασία αυτή ο μετασχηματιστής παλμού χρησιμοποιήθηκε για να απομονώσει την έξοδο του TCA785 από το ένα θυρίστορ.



Σχήμα 3.2.1. - Μετασχηματιστές παλμού

3.3 TCA 785

Το ολοκληρωμένο TCA 785 από την SIEMENS διαθέτει 16 ακίδες (pins) και στην εργασία αυτή χρησιμοποιούμε την ακόλουθη διαμόρφωση:



Σχήμα 3.3.1 - Ολοκληρωμένο TCA785 Siemens

- ✓ **Pin1**- γείωση
- ✓ **Pin5**- το σήμα συγχρονισμού το οποίο εντοπίζει την αλλαγή φάσης της τάσης εισόδου (V_s) μέσω μιας μεγάλης ωμικής αντίστασης.
- ✓ **Pin9**- συνδέεται με ένα ποτενσιόμετρο το οποίο μαζί με ένα πυκνωτή που συνδέεται στο Pin10 ορίζουν μια τάση όπου θα χρησιμοποιήσει το TCA για να μας δώσει τους παλμούς.
- ✓ **Pin10**- συνδέεται με ένα πυκνωτή το οποίο μαζί με ένα ποτενσιόμετρο που συνδέεται στο Pin9 ορίζουν μια τάση όπου θα χρησιμοποιήσει το TCA για να μας δώσει τους παλμούς.
- ✓ **Pin11**-συνδέεται με ένα ποτενσιόμετρο που ορίζει ένα τάση ελέγχου.
- ✓ **Pin12** - συνδέεται με έναν πυκνωτή ο οποίος ορίζει το μήκος του παλμού.
- ✓ **Pin14** - έξοδος παλμού όπου συνδέεται με την πύλη του ενός θυρίστορ.
- ✓ **Pin15** - έξοδος παλμού όπου συνδέεται με την πύλη του ενός θυρίστορ.
- ✓ **Pin16** – τάση τροφοδοσίας του ολοκληρωμένου.

Το σήμα συγχρονισμού το οποίο εντοπίζει την αλλαγή φάσης της τάσης εισόδου (V_s) μέσω μιας μεγάλης ωμικής αντίστασης. Ένας ανιχνευτής μηδενικής τάσης αποτιμά την αλλαγή φάσης και στέλνει σήμα στον καταγραφέα συγχρονισμού.

Αυτός ο καταγραφέας συγχρονισμού ελέγχει τη γεννήτρια τριγωνικού παλμού, τον πυκνωτή C10 ο οποίος φορτίζεται από ένα συνεχές ρεύμα (καθορισμένο από την R9) . αν η τριγωνική τάση V10 ξεπεράσει την τάση ελέγχου V11 (γωνία πυροδότησης φ), ένα σήμα πηγαίνει στο ολοκληρωμένο. Ανάλογα με το πλάτος της τάσης ελεγχου V11, η γωνιά πυροδότησης μπορεί να πάρει τιμές από 0° έως 180° .

Για κάθε ημιπερίοδο, ένας θετικός παλμός διάρκειας περίπου 30μsec εμφανίζεται στις εξόδους Q1 και Q2. Η διάρκεια του παλμού μπορεί να φτάσει μέχρι τις 180° μέσω του πυκνωτή C12. Εάν το PIN12 είναι συνδεδεμένο στη γη, παλμοί με διάρκεια μεταξύ φ και 180° θα προκύψουν.

Οι εξοδοι ~~Q1~~ και ~~Q2~~ παράγουν το ανάστροφο σήμα των Q1 και Q2 .

Κεφάλαιο 4. Ανορθωτικές διατάξεις

Οι ανορθωτικές διατάξεις είναι διατάξεις που μετατρέπουν την εναλλασσόμενη τάση (AC) σε συνεχή (DC). Οι ανορθώσεις μπορούν να κατασκευαστούν με πολλά υλικά, όπως λυχνίες κενού, διόδους, θυρίστορ (SCR), GTO (GateTurnOff) θυρίστορ, διπολικό τρανζίστορ επαφής (BJT) κ.α.

Οι ανορθώσεις έχουν πολλές χρήσεις αλλά συνήθως χρησιμοποιούνται για την τροφοδοσία DC ηλεκτρικών μηχανών, την φόρτιση διαφόρων ηλεκτρικών συσκευών (κινητά τηλέφωνα, mp3 players κα) και σε συστήματα μεταφοράς υψηλής τάσης συνεχούς ρεύματος (high-voltage direct current power transmission systems).

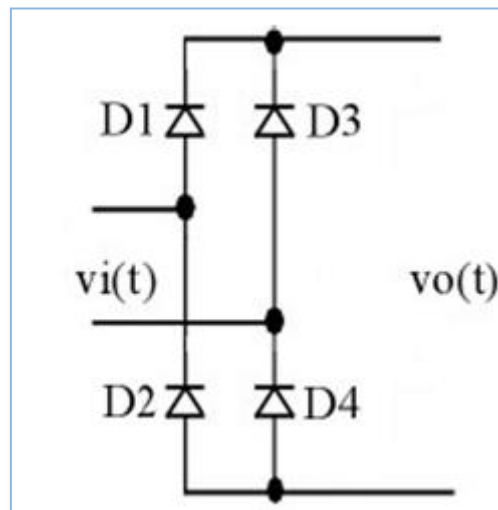
Οι πιο συνηθισμένες ανορθώσεις είναι οι γέφυρες. Αυτές μπορούν να αποτελούνται από 4 διόδους, 2 διόδους και 2 θυρίστορ ή 4 θυρίστορ. Οι γέφυρες μπορούν να είναι είτε μονοφασικές είτε πολυφασικές. Επίσης ανάλογα με τα υλικά που θα χρησιμοποιήσουμε οι γέφυρες χωρίζονται σε :

- ✓ Μη ελεγχόμενες γέφυρες
- ✓ Ημιελεγχόμενες γέφυρες
- ✓ Πλήρως ελεγχόμενες γέφυρες

Οι μη ελεγχόμενες γέφυρες, έχουν μια σταθερή τιμή εξόδου και χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που θέλουμε σταθερή τάση πχ φορτιστές.

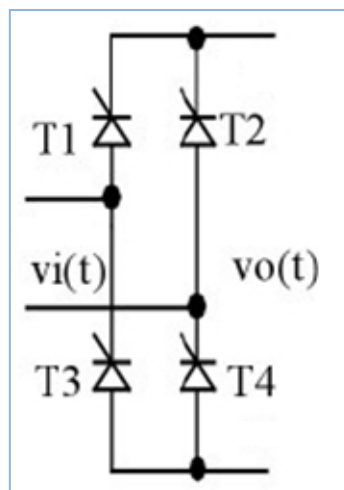
Οι ελεγχόμενες γέφυρες (ημιελεγχόμενες και πλήρως ελεγχόμενες) χρησιμοποιούνται κυρίως στον έλεγχο της ταχύτητας ενός DC κινητήρα στη βιομηχανία.

Μια μη ελεγχόμενη γέφυρα αποτελείται από 4 διόδους όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 4.1.1 - Μη ελεγχόμενη γέφυρα

Μια πλήρως ελεγχόμενη γέφυρα αποτελείται από 4 θυρίστορ όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:

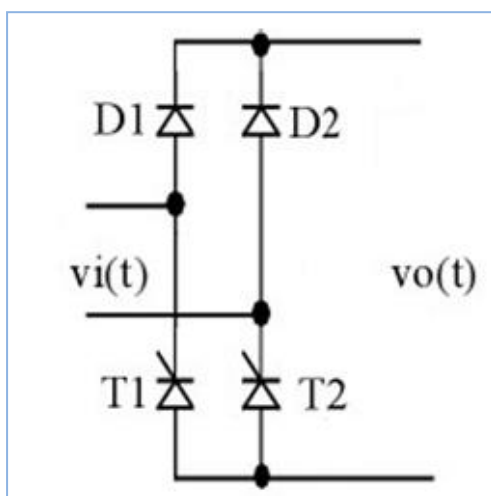


Σχήμα 4.1.2 - πλήρως ελεγχόμενη γέφυρα

Μπορεί να λειτουργήσει σε 2 τεταρτημόρια που επιτρέπει στην μέση τάση στην έξοδο να πάρει θετικές και αρνητικές τιμές, ανάλογα με την γωνία έναυσης των θυρίστορ.

Οι ημieleγχόμενες γέφυρες, όπως αυτή που καλύπτεται στην παρούσα εργασία αποτελούνται από 2 θυρίστορ και 2 διόδους. Μπορούν λειτουργήσουν μόνο στο ένα τεταρτημόριο, δηλαδή η τάση εξόδου μπορεί να πάρει μόνο θετικές τιμές.

Η γέφυρα που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



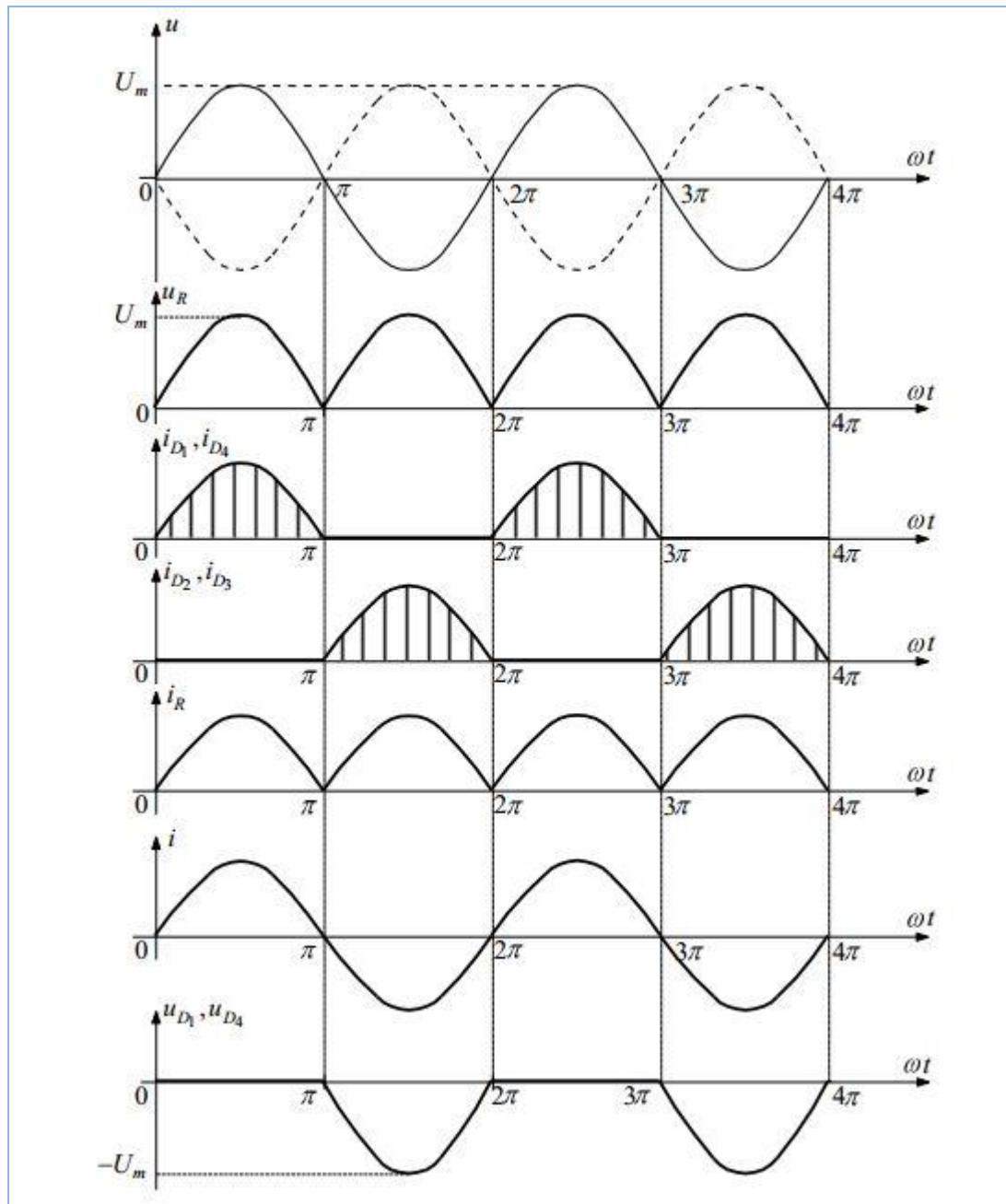
Σχήμα - 4.1.3 Ημieleγχόμενη γέφυρα

Στη θετική ημιπερίοδο είναι ορθά πολωμένα το T2 και η D1 για χρονικό διάστημα α έως π . Στην επόμενη ημιπερίοδο αντιστρέφεται η πολικότητα και είναι ορθά πολωμένα τα T1 και D2 για χρονικό διάστημα έως 2π .

Μεταβάλλοντας τη γωνία έναυσης των θυρίστορ από 0 έως π ελέγχουμε την τάση εξόδου της γέφυρας, άρα και την ισχύ στο φορτίο.

4.1 Μονοφασική μη ελεγχόμενη γέφυρα

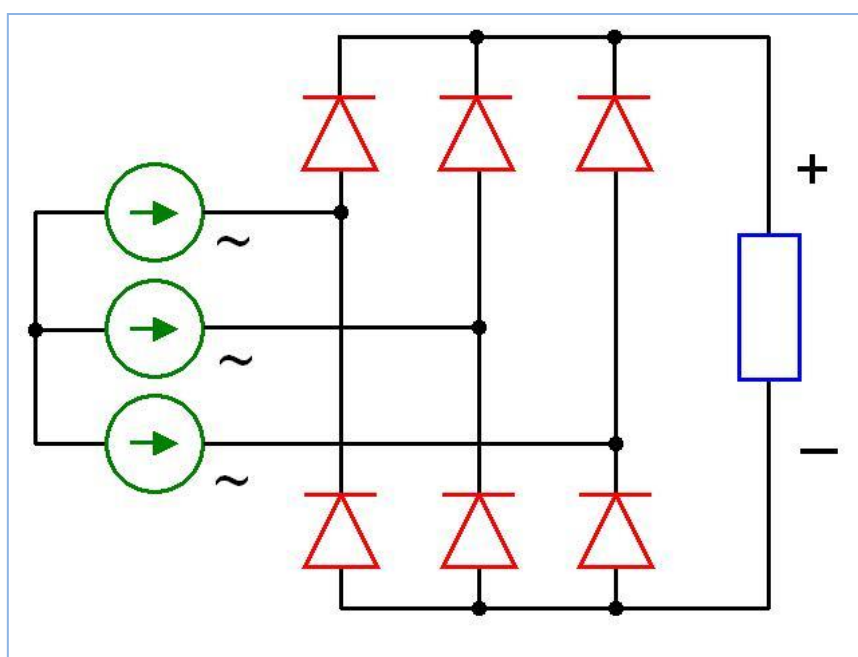
Οι μη ελεγχόμενες γέφυρες, έχουν μια σταθερή τιμή εξόδου και χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που θέλουμε σταθερή τάση πχ φορτιστές. Μια μη ελεγχόμενη γέφυρα αποτελείται από 4 διόδους όπως φαίνεται στο σχήμα 4.1.1. στο σχήμα 4.1.2 παρουσιάζονται οι κυματομορφές τάσεως και ρευμάτων για ωμικό φορτίο.



Σχήμα 4.1.4 - Κοματομορφές τάσεων και ρευμάτων μονοφασικής μ ελεγχόμενης γέφυρας με ωμικό φορτίο και λόγο μετασχηματισμού $N_1/N_2=1$

4.2 Τριφασική μη ελεγχόμενη γέφυρα

Στο σχήμα 4.2.1 παρουσιάζεται η τριφασική ανόρθωτική διάταξη με διόδους, καθώς και οι βασικότερες κυματομορφές της. Κατά τη λειτουργία αυτής της διάταξης πάντοτε άγει μια διόδος από την πάνω ομάδα διόδων και μια από την κάτω ομάδα διόδων. Όπως μπορούμε να διαπιστώσουμε από τις κυματομορφές του σχήματος 4.1.2, η μεν μονοφασική ανόρθωτική διάταξη, έχει μόνο δυο παλμούς τάσης στην έξοδο ενώ στην τριφασική έξι, πράγμα το οποίο υποδεικνύει ότι η τριφασική ανόρθωση παρέχει τάση μικρότερης κυμάτωσης και κατά συνέπεια απαιτεί μικρότερο φίλτρο εξόδου για την εξομάλυνση την κυμάτωσης αυτής. Τέλος με την τριφασική ανόρθωση έχουμε τη δυνατότητα να πάρουμε μεγαλύτερη DC τάση στην έξοδο σε σχέση με τη μονοφασική και κατά συνέπεια να τροφοδοτήσουμε το φορτίο με μεγαλύτερη ισχύς.



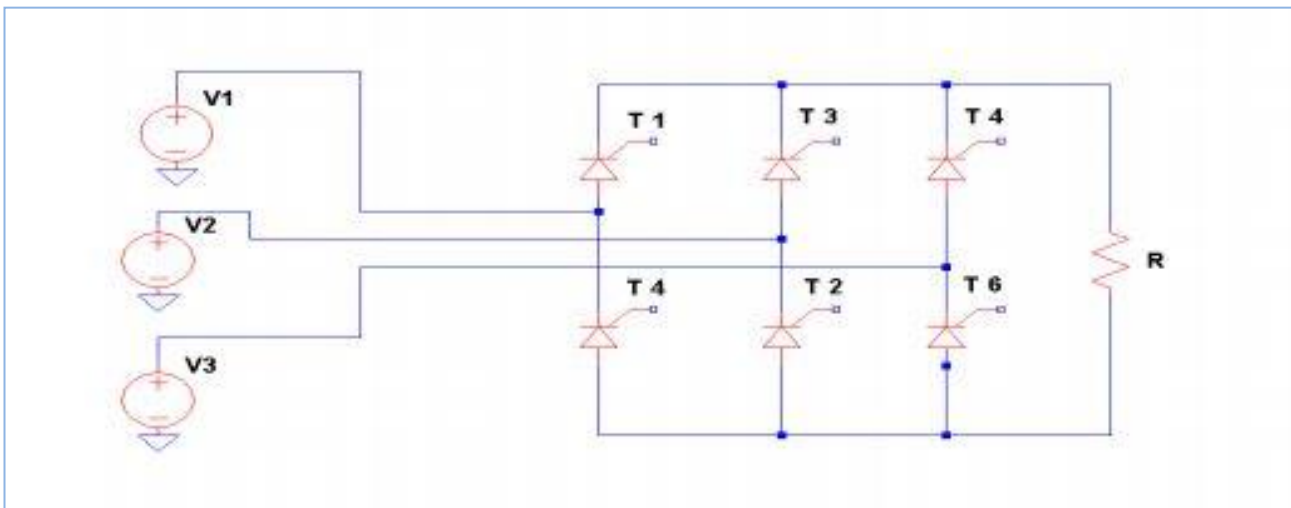
Σχήμα 4.2.1 - Τριφασική μη ελεγχόμενη γέφυρα

4.3 Τριφασική πλήρως ελεγχόμενη γέφυρα

Η αρίθμηση των θυρίστορ γίνεται με βάση τη χρονική διαδοχή λειτουργίας τους. Στην περίπτωση της συνεχούς αγωγής κάθε θυρίστορ άγει για διάστημα 120° . Σε κάθε χρονική στιγμή άγουν τα δύο θυρίστορ ένα από την πάνω και ένα από την κάτω ημιγέφυρα. Τα δύο διακοπτικά στοιχεία δεν πρέπει να ανήκουν στον ίδιο κλάδο γιατί θα έχουμε βραχυκύκλωμα του μετατροπέα. Τα θυρίστορ T1, T3, T5, συνδέονται από κοινού στον κοινό ακροδέκτη του φορτίου αλλά σε κάθε δεδομέν

η στιγμή άγει το ένα thyristor που έχει την περισσότερο θετική τιμή της φασικής τάσης ενώ τα δύο επόμενα πολώνονται ανάστροφα.

Κατά όμοιο τρόπο τα thyristor T4 , T6 ,T2 συνδέονται από κοινού στον αρνητικό ακροδέκτη του φορτίου και άγει επίσης μόνο αυτό με την περισσότερο αρνητική τιμή της τάσης ενώ τα υπόλοιπα δύο πολώνονται ανάστροφα και δεν άγουν . Έτσι το T1 άγει για χρονική διάρκεια που αντιστοιχεί σε τμήμα της θετικής ημιπεριόδου της VA . Το ρεύμα ρέει προς το θετικό ακροδέκτη του φορτίου μέσω του T1 και επιστρέφει μέσω του T6 .Στη συνέχεια ανάβει το thyristor T2 και το ρεύμα επιστρέφει μέσα από αυτό το thyristor . Η διαδικασία συνεχίζεται με το άναμα και το σβήσιμο των αντίστοιχων thyristor καθώς οι τριφασικές τάσεις διαδέχονται η μία την άλλη μέχρι να ολοκληρωθεί η περίοδος.



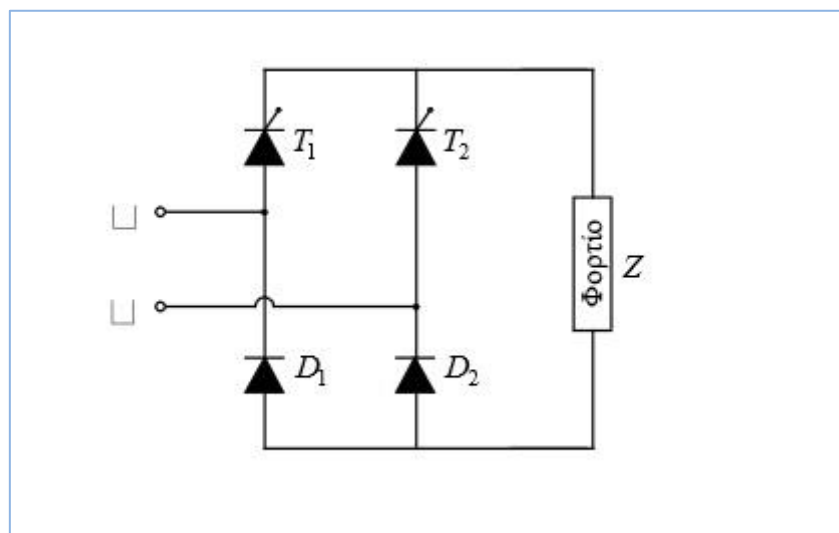
Σχήμα - 4.4.1 Τριφασική πλήρως ελεγχόμενη γέφυρα

4.4 Μονοφασική πλήρως ελεγχόμενη γέφυρα

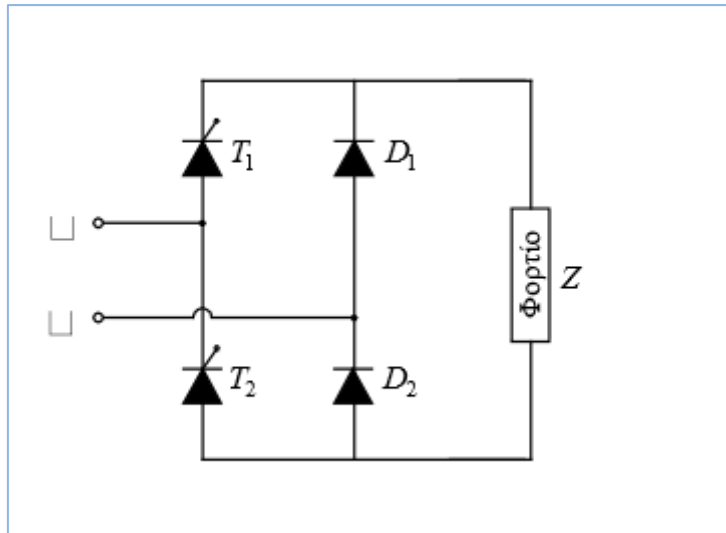
Η πλήρως ελεγχόμενη μονοφασική γέφυρα, σχ.3.5, αποτελεί την πληρέστερη διάταξη μονοφασικής ανόρθωσης. Η χρήση μετασχηματιστή στην είσοδο της διάταξης είναι προαιρετική, συνίσταται όμως για λόγους προστασίας (γαλβανική απομόνωση του φορτίου).

Όπως θα δείξουμε στη συνέχεια, η διάταξη αυτή είναι 2 τεταρτημορίων. Δηλαδή, με κατάλληλες προϋποθέσεις, εκτός από λειτουργία ανορθωτή (ροή ισχύος από το δίκτυο στο φορτίο), μπορούμε να έχουμε και λειτουργία αντιστροφέα (δίνοντας πλέον από την πλευρά του συνεχούς ρεύματος, ισχύ στο δίκτυο του εναλλασσόμενου ρεύματος). Ο παραπάνω μετατροπέας αποτελείται από τέσσερα θυρίστορ, δύο ανά ημιγέφυρα. Για την ύπαρξη ρεύματος στο φορτίο, θα άγουν ταυτόχρονα τα θυρίστορ και T_2 , και αντίστοιχα τα T_3 και T_4 , τα οποία θα πυροδοτούνται, επίσης ταυτόχρονα. Οι παλμοί έναυσης των δύο θυρίστορ που ανήκουν στην ίδια ημιγέφυρα, θα έχουν διαφορά φάσης 180° .

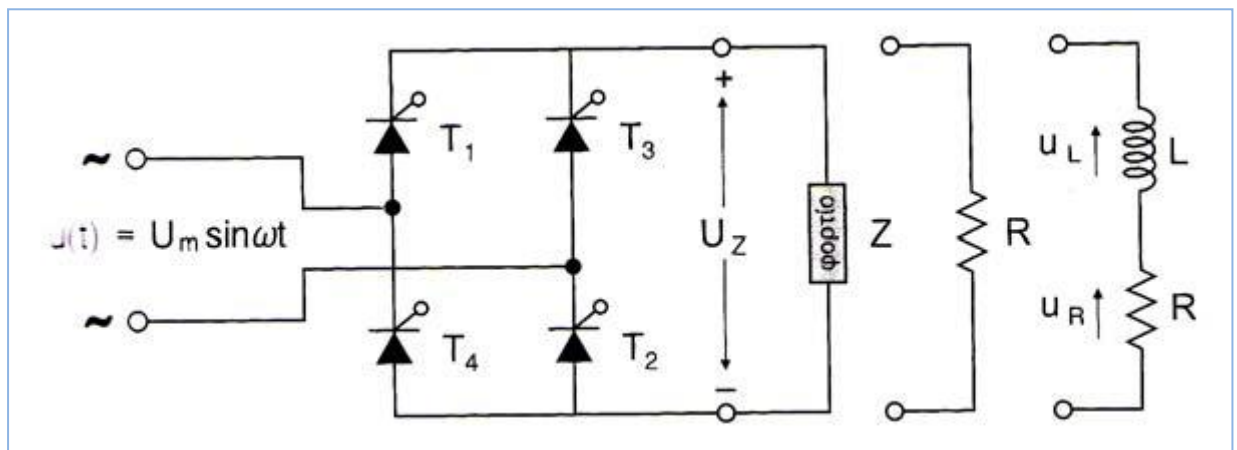
Η μονοφασική ημιελεγχόμενη γέφυρα αποτελείται από 2 διόδους και 2 θυρίστορ. Ανάλογα με τη διάταξή τους χωρίζονται σε 2 κατηγορίες, συμμετρικές και ασύμμετρες. Η διαφορά ημιελεγχόμενης και πλήρους ελεγχόμενης γέφυρας, είναι ότι η δεύτερη μπορεί να λειτουργήσει μόνο στο 1^ο τεταρτημόριο.



Σχήμα 4.4.1 - Συμμετρική ημιελεγχόμενη μονοφασική γέφυρα



Σχήμα 4.4.2 - Ασύμμετρη ημιελεγχόμενη μονοφασική γέφυρα



Σχήμα 4.4.3 - Πλήρως ελεγχόμενη μονοφασική γέφυρα

Στη συγκεκριμένη εργασία πραγματοποιήσαμε το κύκλωμα της συμμετρικής γέφυρας. Για την ύπαρξη ρεύματος στο φορτίο Z άγουν το θυρίστορ T1 και η δίοδος D1 στην 1^η ημιπερίοδο και το θυρίστορ T2 και η δίοδος D2 στη 2^η ημιπερίοδο. Οι παλμοί έναυσης έχουν διαφορά 180° μεταξύ τους.

Λειτουργία με ωμικό φορτίο

Η τάση τροφοδοσίας είναι ημιτονοειδής :

$$u(t) = U_m \sin \omega t$$

- ☞ Για $\alpha < \omega t < \pi$ σε αγωγή έρχονται το θυρίστορ T1 και η δίοδος D1.
- ☞ Για $\pi + \alpha < \omega t < 2\pi$ σε αγωγή έρχονται τα θυρίστορ T2 και η δίοδος D2.

Στο σχήμα 4.4.4 παρουσιάζονται οι κυματομορφές τάσεως και εντάσεως, καθώς και οι περιοχές αγωγής των θυρίστωρ. Η μέση τιμή της τάσης εξόδου δίνεται από τη σχέση :

$$U_{L,av} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt = \frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} U_m \sin \omega t d\omega t = \frac{U_m}{\pi} [-\cos]_{\alpha}^{\pi} =$$

$$= \frac{U_m}{\pi} (\cos \alpha - \cos \pi) \Rightarrow U_{L,av} = \frac{U_m}{\pi} (1 + \cos \alpha)$$

Αντίστοιχα η ενεργός τιμή της τάσης στο φορτίο είναι :

$$U_{L,rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} = \sqrt{\frac{2}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} U_m^2 \sin^2 \omega t d\omega t}$$

$$= \sqrt{\frac{U_m^2}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \sin^2 \omega t d\omega t}$$

Όπου :

$$\int_{\alpha}^{\pi} \sin^2 \omega t d\omega t = \int_{\alpha}^{\pi} \frac{1 - \cos 2\omega t}{2} d\omega t = \int_{\alpha}^{\pi} \frac{1}{2} d\omega t - \int_{\alpha}^{\pi} \frac{\cos 2\omega t}{2} d\omega t =$$

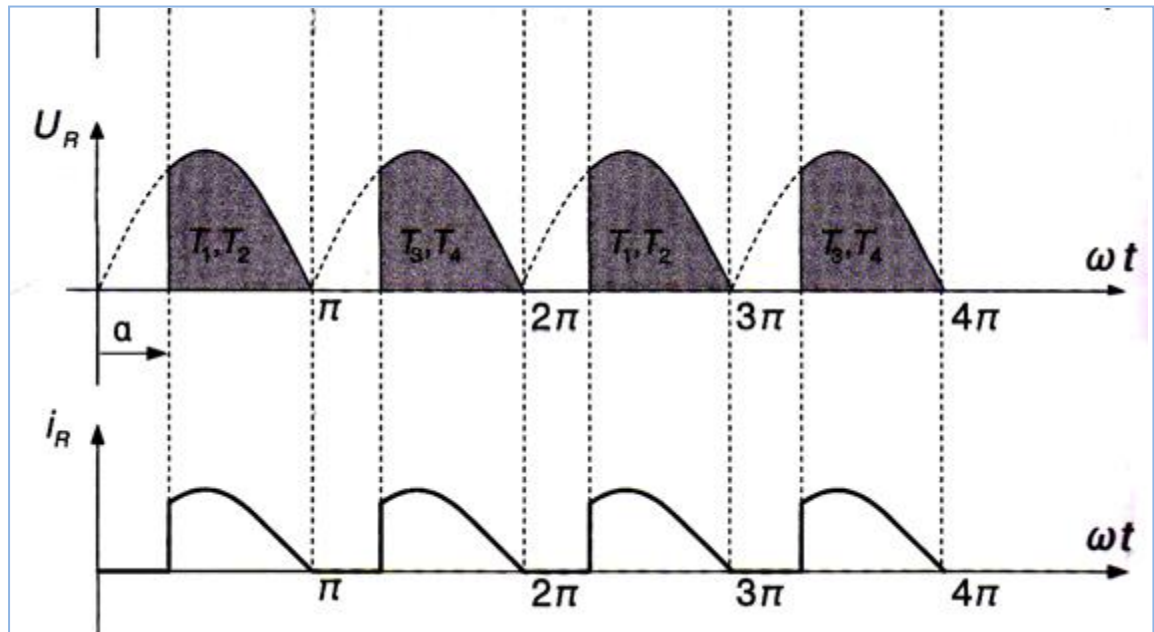
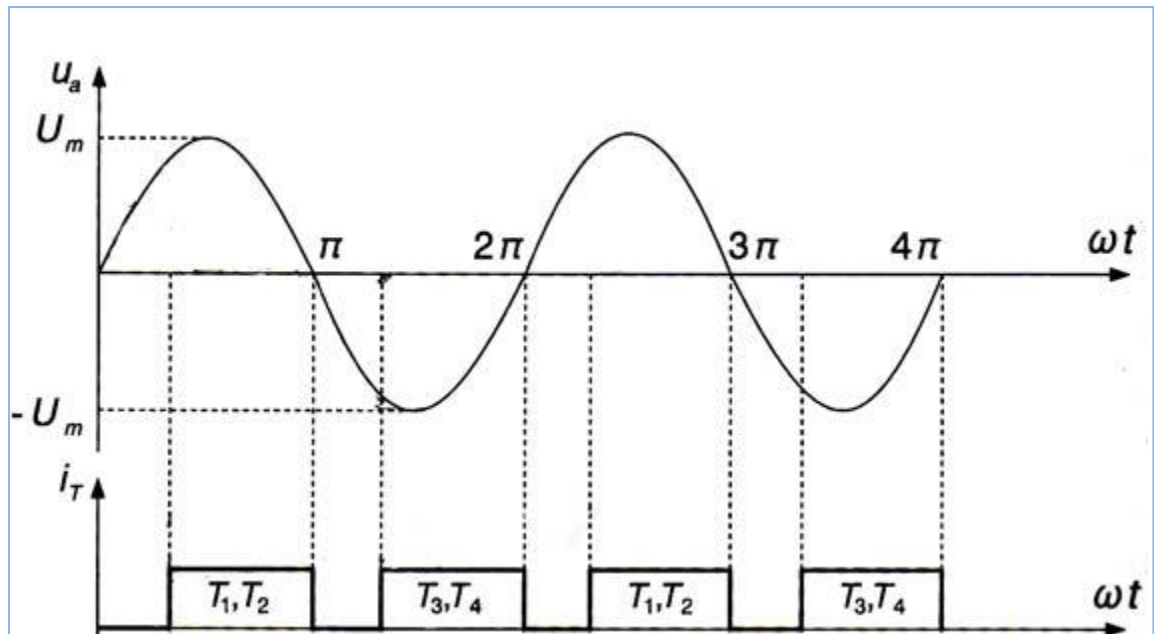
$$\frac{1}{2} [\omega t]_{\alpha}^{\pi} - \frac{1}{4} [\sin 2\omega t]_{\alpha}^{\pi} = \frac{1}{2} (\pi - \alpha) - \frac{1}{4} (\sin 2\pi - \sin 2\alpha) =$$

$$\frac{1}{2} (\pi - \alpha) + \frac{1}{4} \sin 2\alpha = \frac{1}{2} \left[(\pi - \alpha) + \frac{1}{2} \sin 2\alpha \right]$$

Από τις παραπάνω σχέσεις, έχουμε :

$$U_{L,rms} = \sqrt{\frac{U_m^2}{2\pi} \left[(\pi - \alpha) + \frac{1}{2} \sin 2\alpha \right]} \Rightarrow U_{L,rms}$$

$$= \frac{U_m}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{1}{\pi} \left[(\pi - \alpha) + \frac{1}{2} \sin 2\alpha \right]}$$



Σχήμα 4.4.4 - Κομματομορφές τάσης-έντασης με ωμικό φορτίο

Λειτουργία με ωμικό-επαγωγικό φορτίο

Στη λειτουργία ανορθωτή και όταν το φορτίο έχει επαγωγικό χαρακτήρα συνίσταται η τοποθέτηση μιας διόδου ελεύθερης ροής παράλληλα στο φορτίο.

Στο σχήμα 4.4.5, παρουσιάζονται οι κυματομορφές τάσεων-εντάσεων, των διαφόρων συνιστωσών του κυκλώματος, για τυχαία γωνία έναυσης α° .

Στις κυματομορφές του σχ.3.7, υποτίθεται ότι η αυτεπαγωγή του φορτίου έχει την απαιτούμενη τιμή, έτσι ώστε να εξασφαλίζει συνεχή αγωγή, με αποτέλεσμα η τάση στο φορτίο να παίρνει και αρνητικές τιμές.

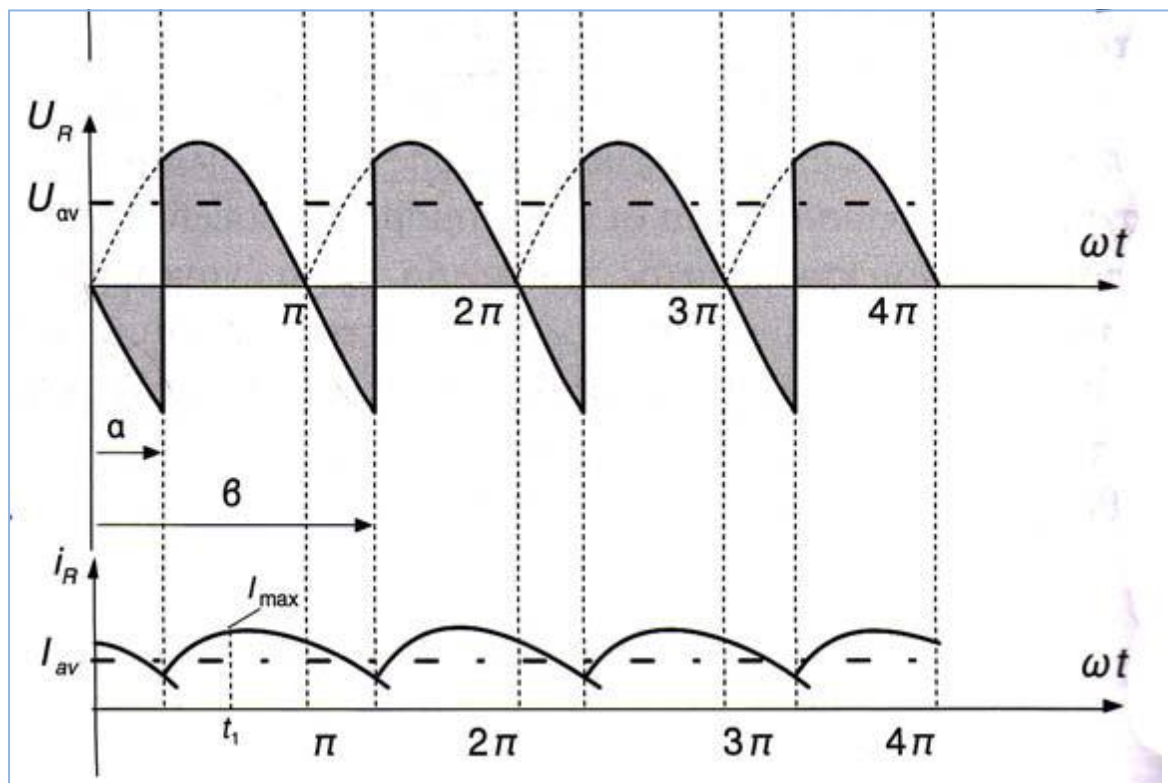
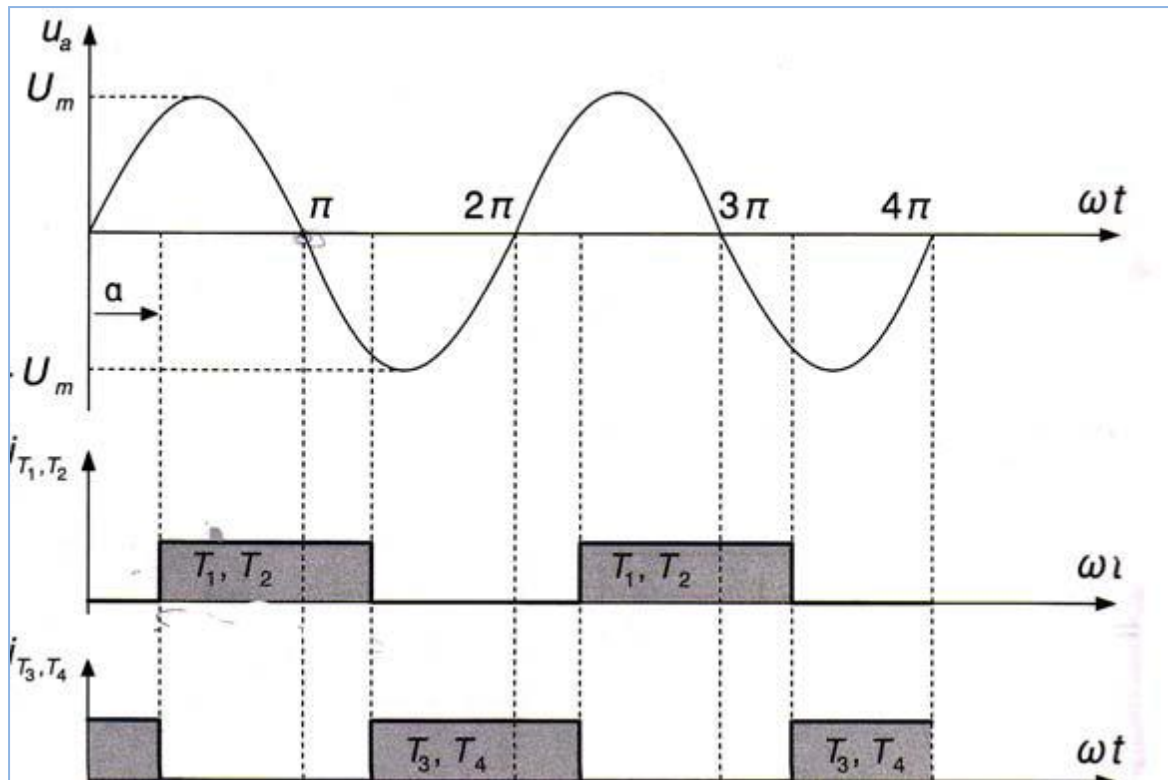
Σε κάθε χρονική στιγμή, ισχύουν οι σχέσεις:

$$U_Z(t) = U_R(t) + U_L(t)$$

$$I_Z(t) = \frac{U_R(t)}{R}$$

Σύμφωνα με το σχήμα 4.4.5 διακρίνουμε τις εξής λειτουργίες:

Στο διάστημα, $\alpha \leq \omega t \leq \pi$ και οι τρεις τάσεις (U_Z, U_R, U_L) είναι θετικές (το ρεύμα είναι πάντα θετικό καθόσον τα θυρίστορ είναι μονόπορα στοιχεία), με αποτέλεσμα το δίκτυο να δίνει ενέργεια και στην αντίσταση και στην αυτεπαγωγή. Η μαγνητική ενέργεια της αυτεπαγωγής όμως δεν καταναλίσκεται (άεργη ισχύς) και ούτε μπορεί να χαθεί (λόγω της αρχής διατήρησης της ενέργειας), με αποτέλεσμα την παράταση του διαστήματος αγωγής πέρα των 180° (όπου η τάση του δικτύου τείνει να πολώσει ανάστροφα τα θυρίστορ που άγουν), μέχρι την πλήρη εκφόρτιση του πηνίου.



Σχήμα 4.4.5 - Κυματομορφές τάσεων – εντάσεων, πλήρως ελεγχόμενης μονοφασικής γέφυρας με ωμικό-επαγωγικό φορτίο για συνεχή αγωγή

Το διάστημα φόρτισης της αυτεπαγωγής, βρίσκεται εύκολα από τη σχέση τάσεως-ρεύματος στα άκρα της.

$$U_L = L \frac{dI_Z}{dt}$$

Πράγματι σύμφωνα με την παραπάνω σχέση και το σχήμα 4.4.5, στο διάστημα $\alpha \leq \omega t \leq t_i$ το $\frac{dI_Z}{dt}$ είναι θετικό με αποτέλεσμα την φόρτιση της αυτεπαγωγής καθότι :

$$U_L(t), U_Z(t) > 0$$

Επομένως στο διάστημα αυτό, $\alpha \leq \omega t \leq t_1$, το δίκτυο δίνει ενέργεια και στην αντίσταση και στην αυτεπαγωγή. Δηλαδή :

$$P_{in}(t) = P_R(t) + P_L(t)$$

Στο διάστημα $t_1 \leq \omega t \leq \pi$, έχουμε :

$$\frac{dI_Z}{dt} < 0 \quad U_L < 0$$

Και

$$U_R > 0 \quad U_Z > 0$$

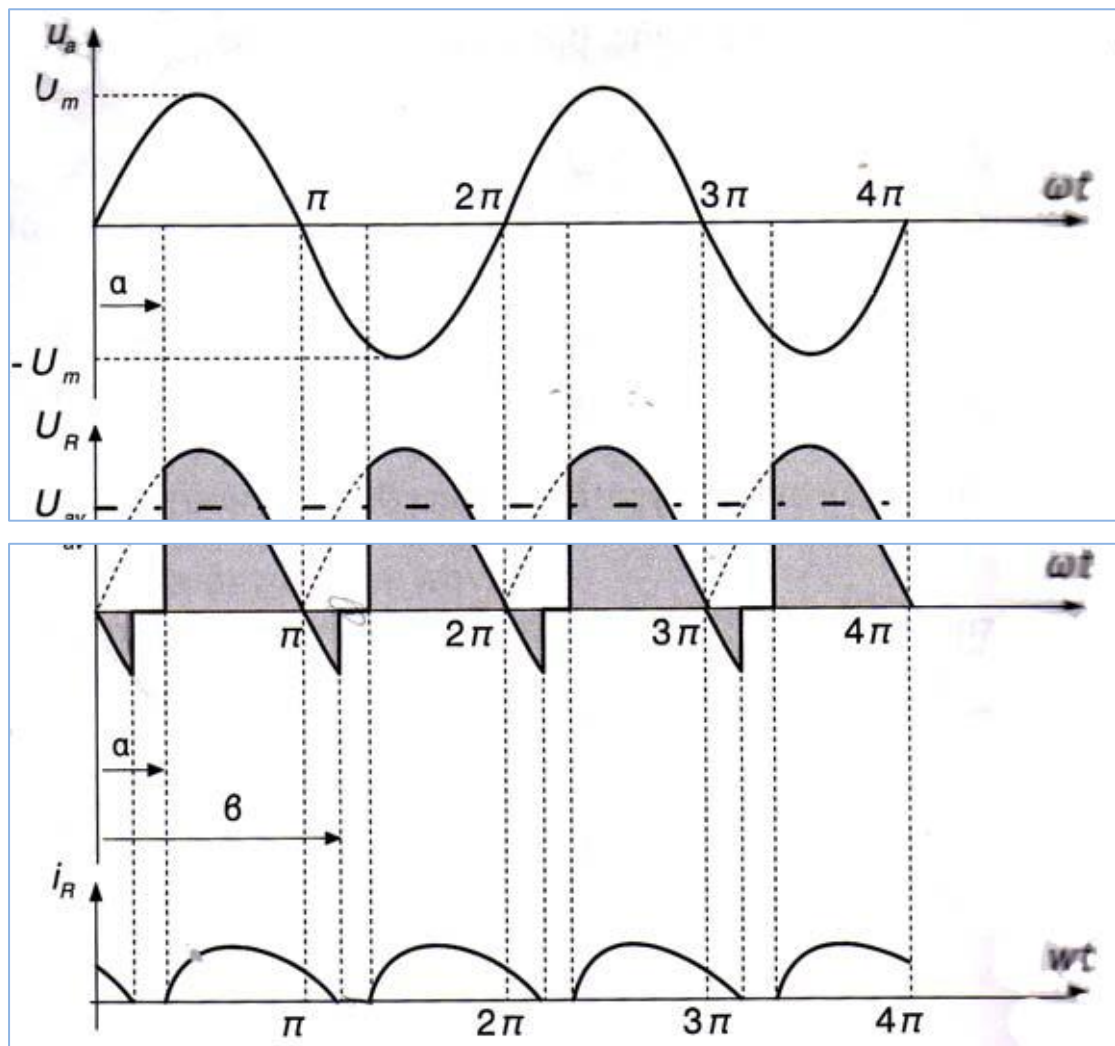
Οπότε στο διάστημα αυτό, η αντίσταση τροφοδοτείται και από το δίκτυο αλλά και απ'την αυτεπαγωγή. Επομένως :

$$P_{in}(t) + P_L(t) = P_R(t)$$

Στην περίπτωση όπου η τιμή της αυτεπαγωγής δε μας εξασφαλίζει συνεχή αγωγή, το διάστημα αγωγής περιορίζεται στην περιοχή (σχήμα 4.4.6) :

$$\alpha \leq \omega t \leq \beta \quad \text{όπου} \quad \pi \leq \beta \leq \pi + \alpha$$

Όπου β , η τυχαία γωνία με μηδενισμό του ρεύματος.



Σχήμα 4.4.6 - Κυματομορφές τάσεων-εντάσεων, πλήρως ελεγχόμενης μονοφασικής γέφυρας με ωμικό-επαγωγικό φορτίο για ασυνεχή αγωγή

Για τη μέση τιμή της τάσης στο φορτίο, ανάλογα με το είδος της αγωγής, διακρίνονται οι εξής περιπτώσεις :

Α. Συνεχής αγωγή (φορτίο R,L)

$$\begin{aligned}
 U_{L,av} &= \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} U_m \sin \omega t d\omega t = \frac{U_m}{\pi} [-\cos \omega t]_{\alpha}^{\pi+\alpha} = \frac{U_m}{\pi} [\cos \alpha - \cos(\pi + \alpha)] \\
 &= \frac{U_m}{\pi} \left[\cos \alpha - \underbrace{\cos \pi}_{-1} \cos \alpha + \underbrace{\sin \pi}_0 \sin \alpha \right] \Rightarrow U_{L,av} = \frac{2U_m}{\pi} \cos \alpha
 \end{aligned}$$

B. Ασυνεχής αγωγή (φορτίο R,L)

$$U_{L,av} = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\beta} U_m \sin \omega t d\omega t = \frac{U_m}{\pi} [-\cos \omega t]_{\alpha}^{\beta} \Rightarrow U_{L,av} = \frac{U_m}{\pi} (\cos \alpha - \cos \beta)$$

Αντίστοιχα, η ενεργός τιμή της τάσης στο φορτίο RL στις αντίστοιχες περιπτώσεις, είναι :

A. Συνεχής αγωγή (φορτίο R,L)

$$U_{L,av} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} U_m^2 \sin^2 \omega t d\omega t} = \sqrt{\frac{U_m^2}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} \sin^2 \omega t d\omega t}$$

Όπου :

$$\begin{aligned} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} \sin^2 \omega t d\omega t &= \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} \frac{1 - \cos 2\omega t}{2} d\omega t \\ &= \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} \frac{1}{2} d\omega t \\ &\quad - \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} \frac{\cos 2\omega t}{2} d\omega t \\ &= \frac{1}{2} [\omega t]_{\alpha}^{\pi+\alpha} \\ &\quad - \frac{1}{4} [\sin 2\omega t]_{\alpha}^{\pi+\alpha} = \frac{1}{2} (\pi + \alpha - \alpha) - \frac{1}{4} [\sin 2(\pi + \alpha) - \sin 2\alpha] \\ &= \frac{1}{2} \pi - \frac{1}{4} \left[\underbrace{\sin 2\pi}_{0} \cos 2 + \underbrace{\cos 2\pi}_1 \sin 2\alpha - \sin 2\alpha \right] = \frac{\pi}{2} \end{aligned}$$

Από τις 2 παραπάνω σχέσεις, έχουμε :

$$U_{L,rms} = \sqrt{\frac{U_m^2}{2\pi} - \frac{\pi}{2}} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = U_{rms} \Rightarrow U_{L,rms} = U_{rms}$$

B. Ασυνεχής αγωγή (φορτίο R,L)

$$U_{L,rms} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\beta} U_m^2 \sin^2 \omega t d\omega t} = \sqrt{\frac{U_m^2}{\pi} \int_{\alpha}^{\beta} \sin^2 \omega t d\omega t}$$

Όπου :

$$\begin{aligned} \int_{\alpha}^{\beta} \sin^2 \omega t d\omega t &= \int_{\alpha}^{\beta} \frac{1 - \cos 2\omega t}{2} d\omega t = \int_{\alpha}^{\beta} \frac{1}{2} d\omega t - \int_{\alpha}^{\beta} \frac{\cos 2\omega t}{2} d\omega t = \\ &= \frac{1}{2} [\omega t]_{\alpha}^{\beta} - \frac{1}{4} [\sin 2\omega t]_{\alpha}^{\beta} = \frac{1}{2} (\beta - \alpha) - \frac{1}{4} [\sin 2\beta - \sin 2\alpha] = \\ &= \frac{1}{2} \left[(\beta - \alpha) - \frac{1}{2} (\sin 2\beta - \sin 2\alpha) \right] \end{aligned}$$

Από τις 2 παραπάνω σχέσεις, έχουμε :

$$\begin{aligned} U_{L,rms} &= \sqrt{\frac{U_m^2}{2\pi} \left[(\beta - \alpha) - \frac{1}{2} (\sin 2\beta - \sin 2\alpha) \right]} \Rightarrow \\ \Rightarrow U_{L,rms} &= \frac{U_m}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{1}{\pi} \left[(\beta - \alpha) - \frac{1}{2} (\sin 2\beta - \sin 2\alpha) \right]} \end{aligned}$$

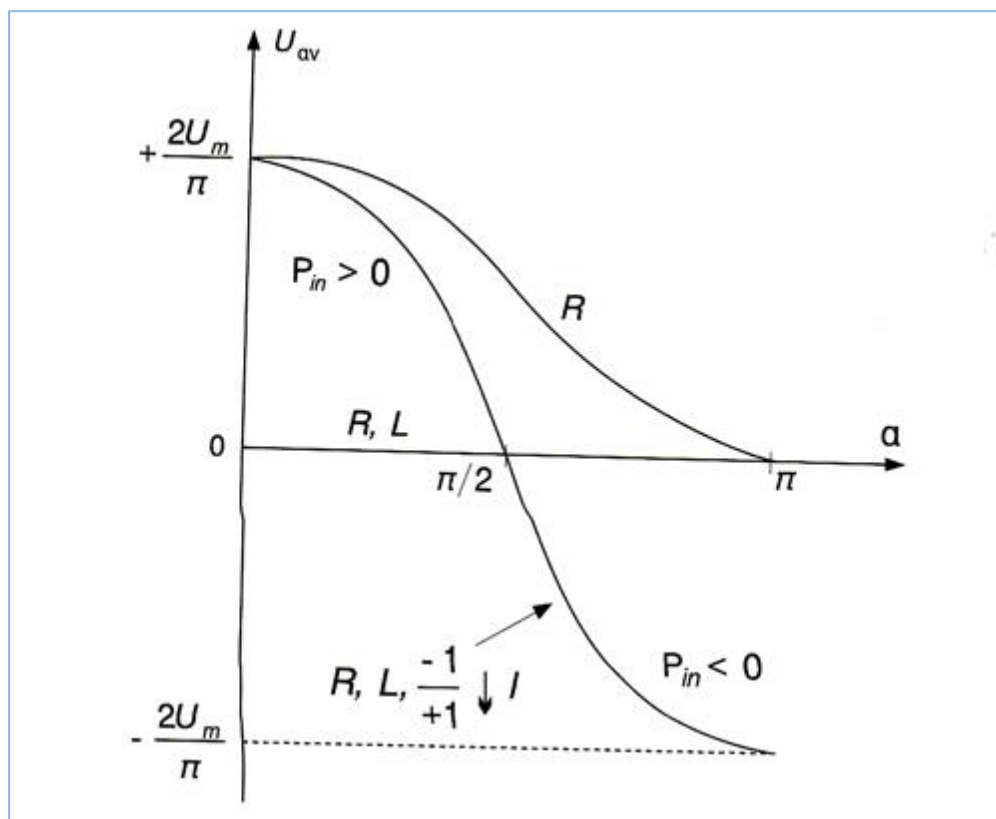
Η γραφική παράσταση της $U_{av} = f(\alpha)$, παρουσιάζεται στο σχήμα 4.4.7.

Είναι σημαντικό να διευκρινίσουμε, ότι και στην ακραία περίπτωση όπου η αυτεπαγωγή του φορτίου είναι αρκετά μεγάλη ($L \rightarrow \infty$), η συνεχής αγωγή περιορίζεται για μεταβολές της γωνίας έναυσης στο διάστημα, $0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2}$.

Σε αντίθετη περίπτωση, σύμφωνα με τη σχέση: ($U_{L,av} = \frac{2U_m}{\pi} \cos \alpha$), η μέση τιμή της τάσης θα είναι αρνητική, που σημαίνει μόνιμη παραγωγή ενέργειας της αυτεπαγωγής προς το δίκτυο, πράγμα άτοπο.

Σε περίπτωση όμως σύνδεσης ενεργητικού φορτίου από την πλευρά του συνεχούς (πηγή Σ.Ρ. τάσεως ή μηχανή Σ.Ρ.), μπορούμε να επεκτείνουμε τη γωνία έναυσης στην περιοχή $\frac{\pi}{2} \leq \alpha \leq \pi$ και να έχουμε λειτουργία αντιστροφέα (αλλαγή τεταρτημορίου) δίνοντας ισχύ στο δίκτυο Ε.Ρ. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται αρκετά για την αναγεννητική πέδηση των κινητήρων συνεχούς ρεύματος.

Στην περίπτωση ωμικού φορτίου η γωνία α° σύμφωνα με το σχήμα 4.4.8 μπορεί να πάρει οποιαδήποτε τιμή στο διάστημα $0 \leq \alpha \leq \pi$. Η μέση τιμή της τάσης στην περίπτωση ωμικής φόρτισης, έχει τη μέγιστη δυνατή τιμή.



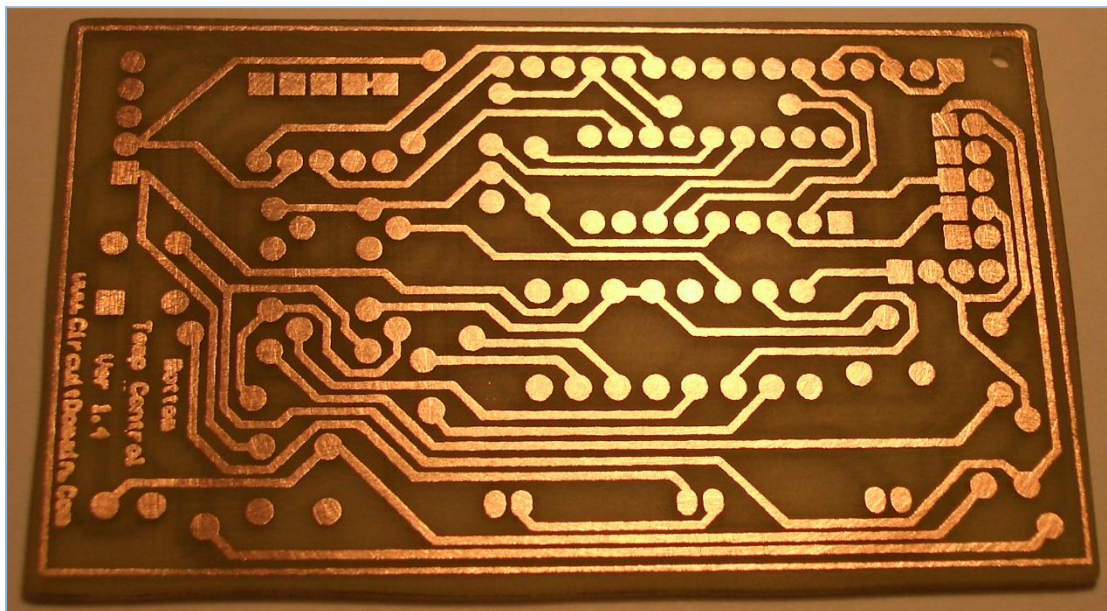
Σχήμα 4.4.7 - Γραφική παράσταση της $U_{av} = f(\alpha)$

Κεφάλαιο 5. Πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος

Η πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος στην απλούστερη μορφή της αποτελείται από μια λεπτή πλακέτα από μονωτικό υλικό που υποστηρίζει τα εξαρτήματα του κυκλώματος και τις αγωγίμες διαδρομές, συνήθως από χαλκό στη μία ή και τις δύο πλευρές της οι οποίες συνδέουν μεταξύ τους τα εξαρτήματα.

Οι ακροδέκτες των εξαρτημάτων συγκολλούνται στις νησίδες ή πίστες, οι οποίες είναι τμήματα της αγωγίμης διαδρομής με αρκετό χώρο για την

πραγματοποίηση μιας επαφής κόλλησης (soldered joint) μεταξύ του εξαρτήματος και της αγωγίμης διαδρομής. Οι πίστες μπορεί να έχουν τρύπες οι οποίες διαπερνούν την πλακέτα για να επιτυγχάνεται η στήριξη των εξαρτημάτων ή το εξάρτημα τοποθετείται και γίνεται η κόλληση απευθείας στην πίστα (τεχνολογία επιφανειακής στήριξης surface-mount technology).



Σχήμα 5.1- δείγμα PCB

Τα τελευταία χρόνια έχει γίνει σημαντική πρόοδος αναφορικά με την απόδοση, το μέγεθος και το κόστος των ηλεκτρονικών εξοπλισμών. Τα PCB διαδραματίζουν πλέον σημαντικό ρόλο στον καθορισμό της λειτουργίας ενός ηλεκτρονικού κυκλώματος και δε μπορούν να θεωρούνται πια σαν μια παθητική πλακέτα διασύνδεσης.

Οι συνεχείς βελτιώσεις στην τεχνολογία PCB έχουν σαν αποτέλεσμα μια ποικιλία στους τύπους των PCB που ταιριάζουν καλύτερα με τα νέα σχέδια των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων. Οι διάφορες τεχνολογίες PCB παρουσιάζουν μεταξύ τους αρκετές επικαλύψεις καθιστώντας το διαχωρισμό τους αρκετά δύσκολο. Με τη λίστα που ακολουθεί προσπαθούμε να ξεκαθαρίσουμε την κατάσταση κατατάσσοντας όλους τους τύπους PCB σε μία από τις τρεις κύριες κατηγορίες:

- ✓ Τυπωμένη πλακέτα μονής όψευς (single-sidedpcb)
- ✓ Τυπωμένη πλακέτα διπλής όψευς (double-sidedpcb)
- ✓ Τυπωμένη πλακέτα πολλαπλών στρωμάτων (multi-layerpcb)

Κεφάλαιο 6. Μελέτη του λογισμικού PROTEUS

Μετά τη διεξαγωγή πολλών ερευνών βρήκαμε το λογισμικό προσομοίωσης ηλεκτρονικών και ηλεκτρικών κυκλωμάτων PROTEUS, στο Διαδίκτυο.

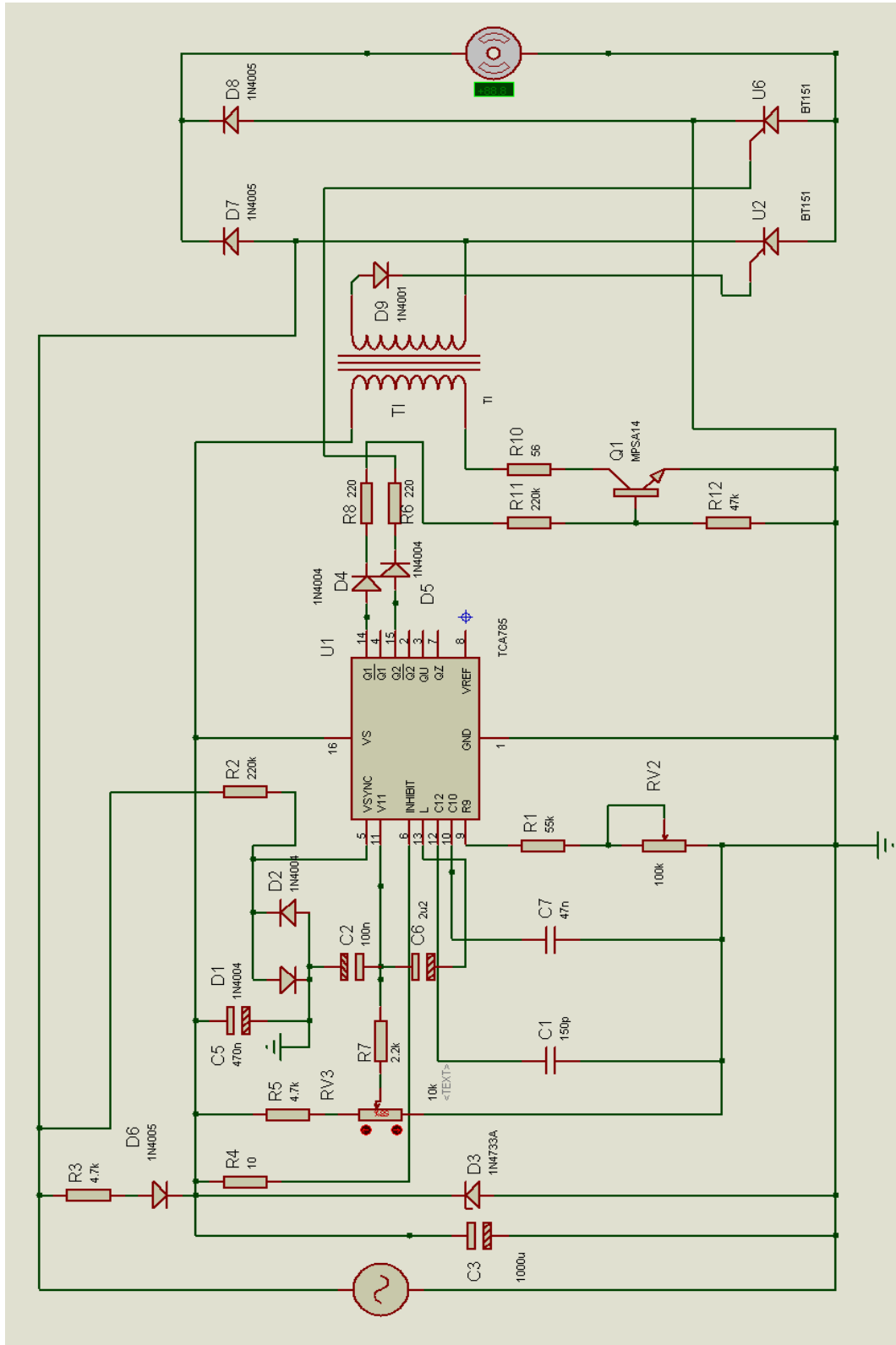
Το λογισμικό Proteus VSM (*Virtual Modelling System*) θεωρείται σήμερα ένα απαραίτητο εργαλείο για τους σπουδαστές και τους επαγγελματίες που θέλουν να δημιουργήσουν κυκλώματα, για την ανάπτυξη και την προσομοίωση διατάξεων των αναλογικών και ψηφιακών εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένων των μικροελεγκτών.

Μπορούμε να βρούμε εργαλεία απαραίτητα για τις προσομοιώσεις κυκλωμάτων όπως: Παλμογράφοι, βολτόμετρο, αμπερόμετρο, γεννήτρια σήματος (ημιτονοειδές κύμα, τετράγωνο, τριγωνικό δόντι κλπ), πηγές τάσεων και ρευμάτων.

Επίσης υπάρχει μια πλήρη βιβλιοθήκη των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων με πραγματικές διαστάσεις του πακέτου Proteus. Ενσωματωμένη στο PROTEUS έχουμε την εφαρμογή ARES (*Advanced Routing and Editing Software*), το οποίο είναι ένα interface ειδικά παρασκευασμένα για να δημιουργήσει τη δομή της πλακέτας. Με το ARES μπορούμε να οικοδομήσουμε μια διάταξη κυκλώματος, ή να εισάγουμε το *netlist* αρχείο που δημιουργήθηκε προηγουμένως στο ISIS.

Μετά την εξασφάλιση της ορθής λειτουργίας του κυκλώματος, απλά χρησιμοποιούμε το ARES που δημιουργεί αυτόματα την καλύτερη διαδρομή στο κύκλωμα της πλακέτας. Το ARES διευκολύνει σε μεγάλο βαθμό τη διαδικασία συναρμολόγησης.

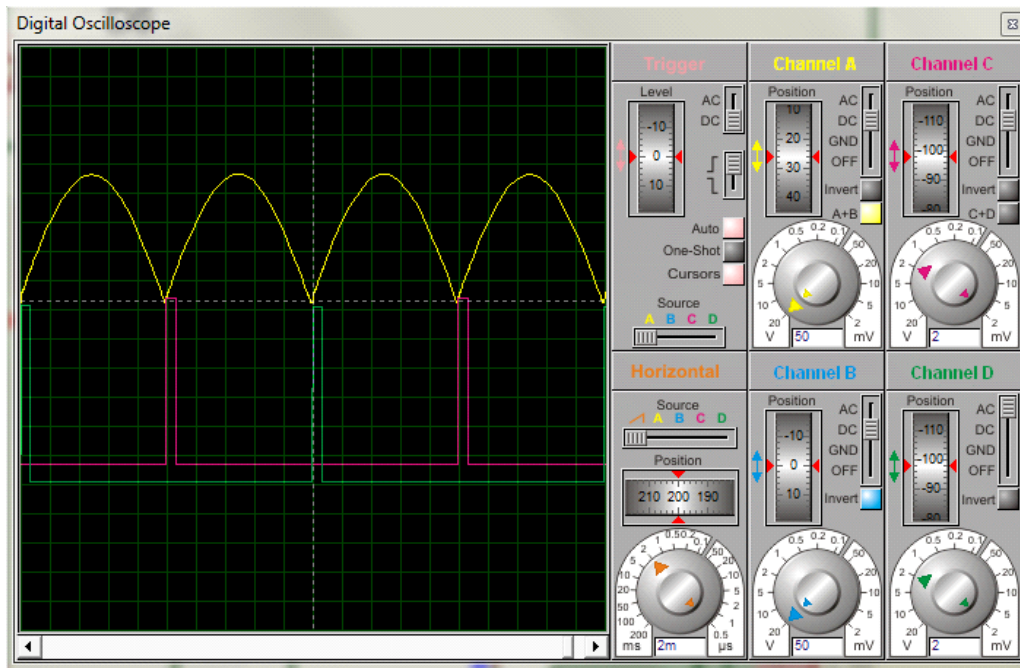
Πραγματοποιήσαμε προσομοίωση του κυκλώματος της ανόρθωσης που ελέγχεται από το TCA785 στο Proteus το οποίο είναι στο σχήμα 6.1



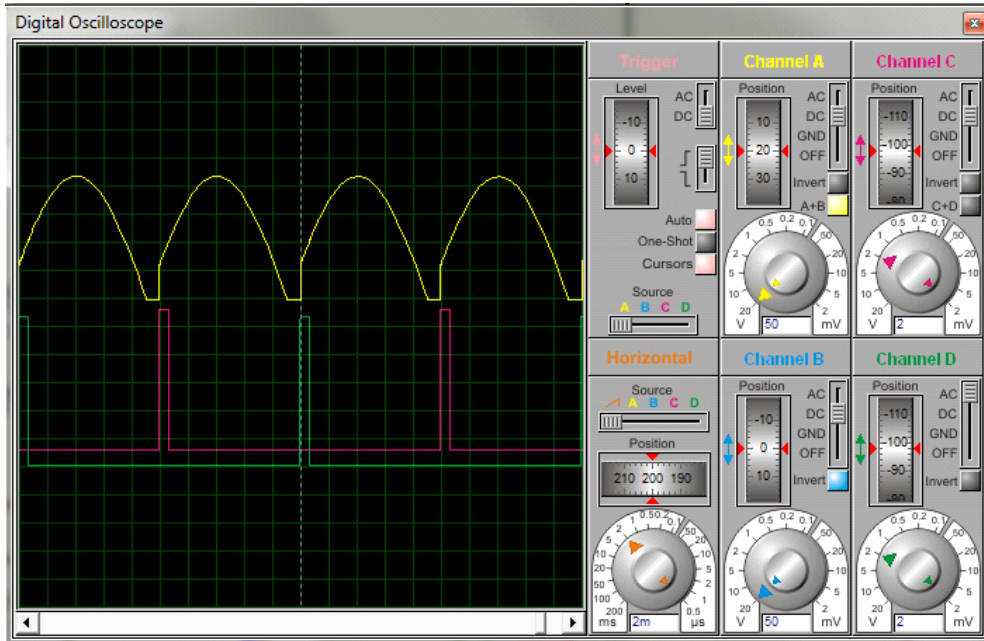
Σχήμα 6.1 - Κύκλωμα στο ISIS

Με το αμπερόμετρο, το βολτόμετρο και τον παλμογράφο τα οποία μας δίνει την δυνατότητα το πρόγραμμα να χρησιμοποιήσουμε πήραμε μετρήσεις όπου ήταν και οι αναμενόμενες με αυτές που περιμέναμε να δούμε.

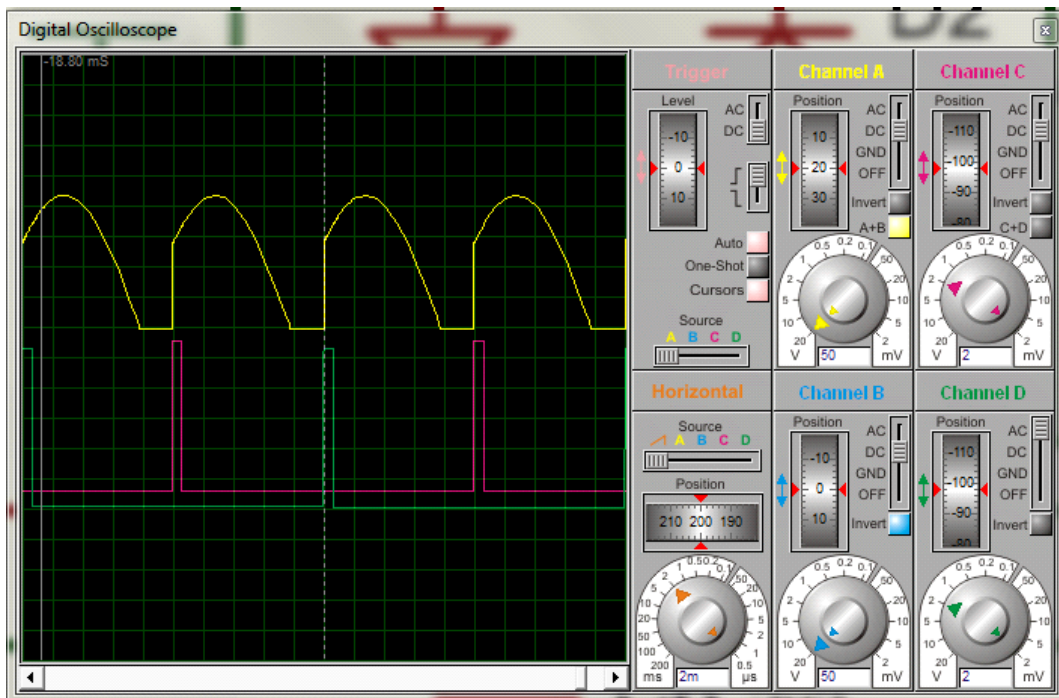
Για διάφορες τιμές του ποτενσιόμετρου το οποίο είναι συνδεδεμένο στο Pin11 του TCA ο παλμογράφος μας έδωσε τις παρακάτω μετρήσεις για διαφορετικές γωνίες έναυσης:



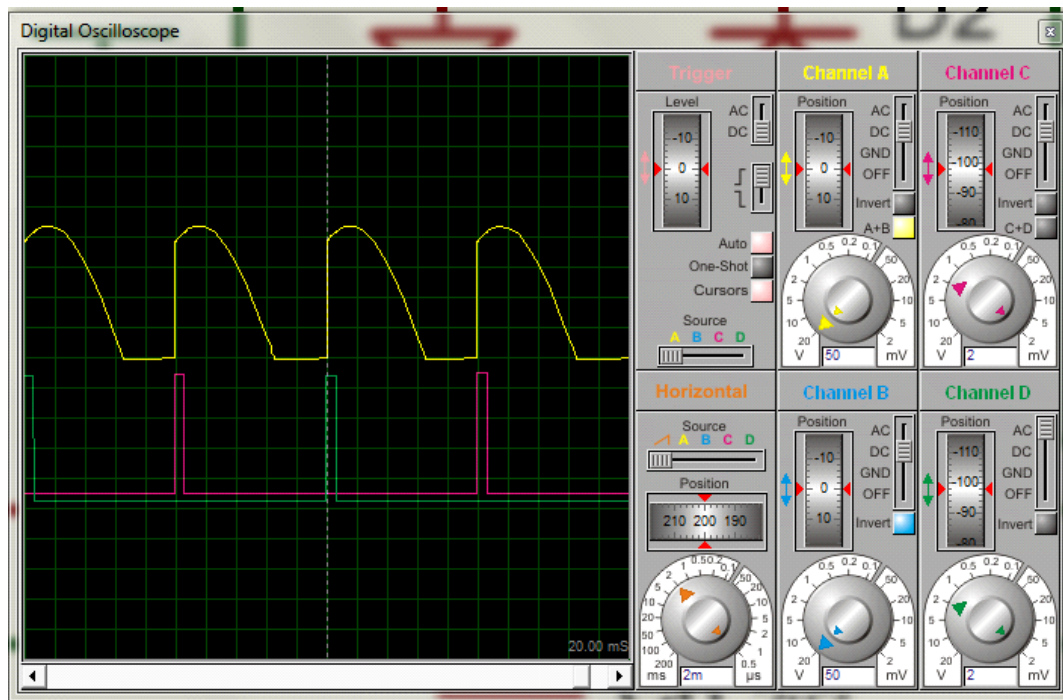
Σχήμα 6.2 - Γωνία έναυσης $\alpha=0^\circ$



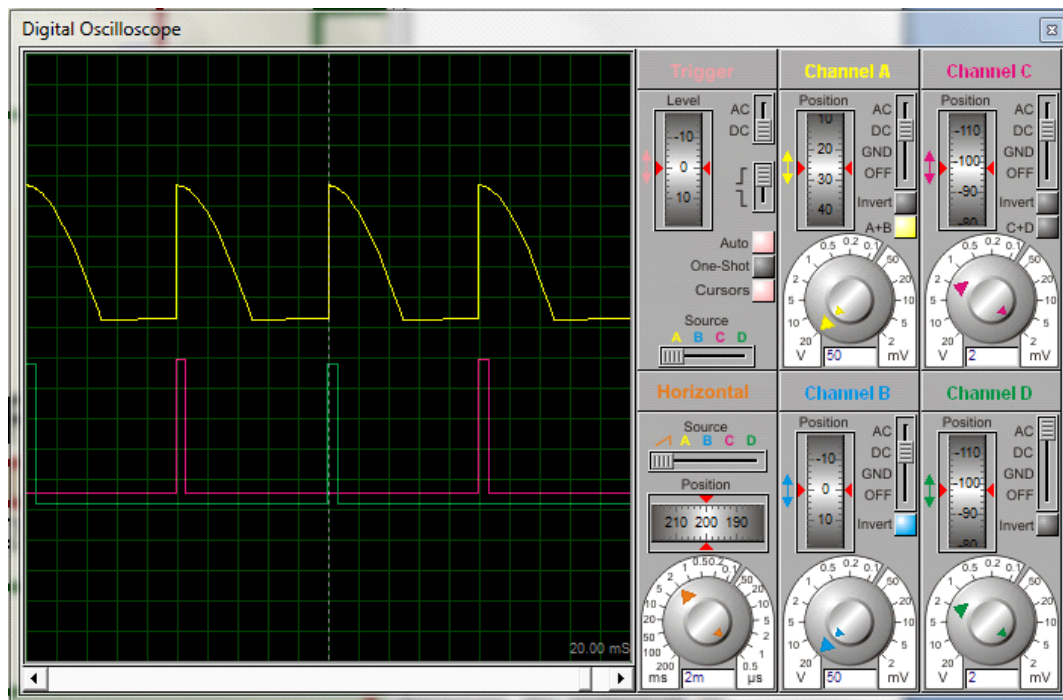
Σχήμα 6.3 - Γωνία έναυσης $\alpha=10^\circ$



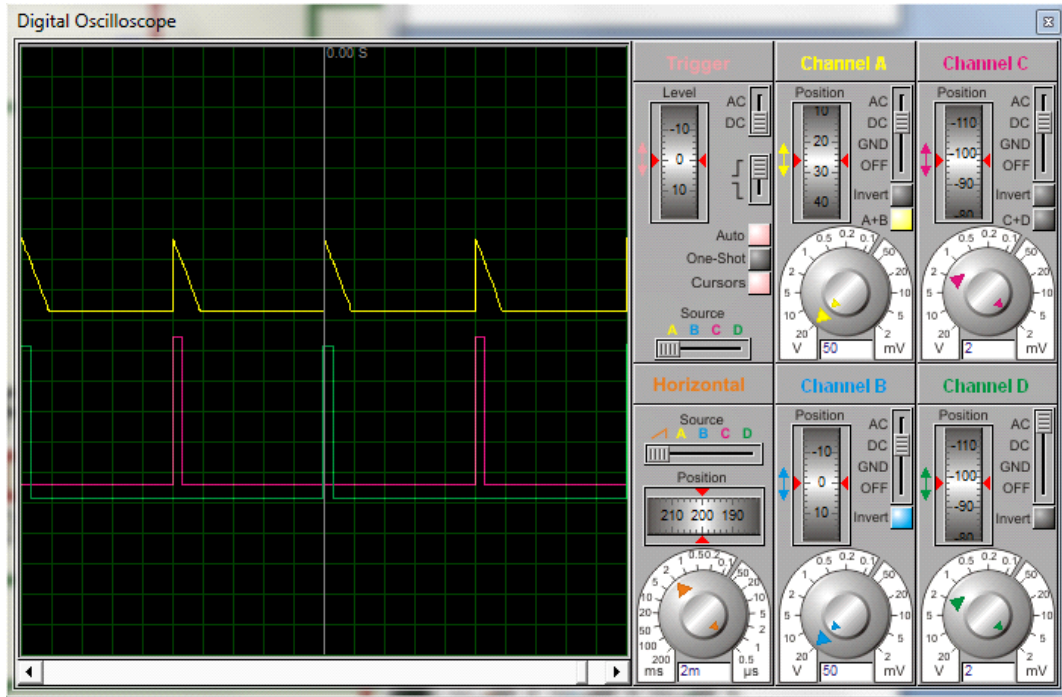
Σχήμα 6.4 - Γωνία έναυσης $\alpha=45^\circ$



Σχήμα 6.5 - Γωνία έναυσης $\alpha=75^\circ$



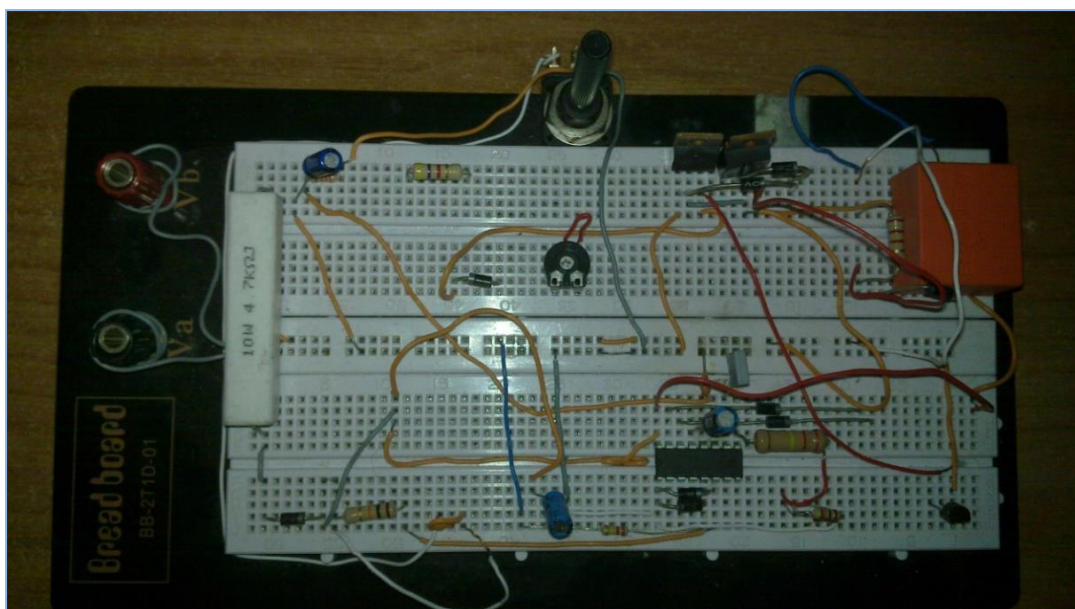
Σχήμα 6.6 - Γωνία έναυσης $\alpha=90^\circ$



Σχήμα 6.7 - Γωνία ένασης $\alpha=160^\circ$

Κεφάλαιο 7. Κατασκευαστικό μέρος

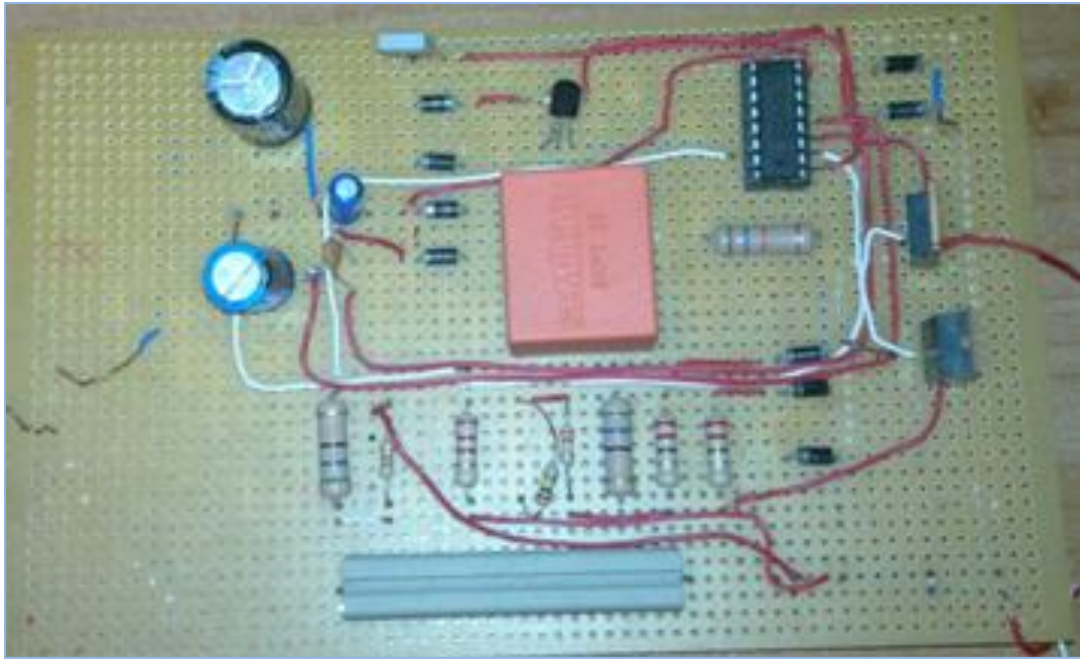
Όταν το πρόγραμμα προσομοίωσης Proteus μας έδωσε τα αναμενόμενα σωστά αποτελέσματα αποφασίσαμε να πραγματοποιήσουμε το κύκλωμα σε πλακέτα breadboard. Οι πλακέτες breadboard είναι πλακέτες που χρησιμεύουν για να κατασκευάσουμε πειραματικά ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα. Είναι φτιαγμένες από μια πλαστική βάση στην οποία υπάρχουν εκατοντάδες οπές, όπου τοποθετούνται τα εξαρτήματα. Αυτές οι οπές είναι γραμμικά ενωμένες μεταξύ τους κάθετα ή οριζόντια. Το μεγάλο πλεονέκτημα που έχουν τα breadboard είναι ότι μας επιτρέπουν να κατασκευάσουμε ένα κύκλωμα εύκολα και γρήγορα, καθώς δε χρειάζεται συγκόλληση.



Σχήμα 7.1 - Κύκλωμα πραγματοποιημένο σε breadboard

Λόγω των πολλών συνδεδεμένων στοιχείων επάνω στο breadboard συνεχώς είχαμε αστοχίες στα αποτελέσματα που περιμέναμε. Έτσι αποφασίσαμε να κατασκευάσουμε το κύκλωμα και σε διάτρητη πλακέτα πριν το κατασκευάσουμε σε PCB όπου δεν θα μπορούμε να κάνουμε οποιαδήποτε αλλαγή.

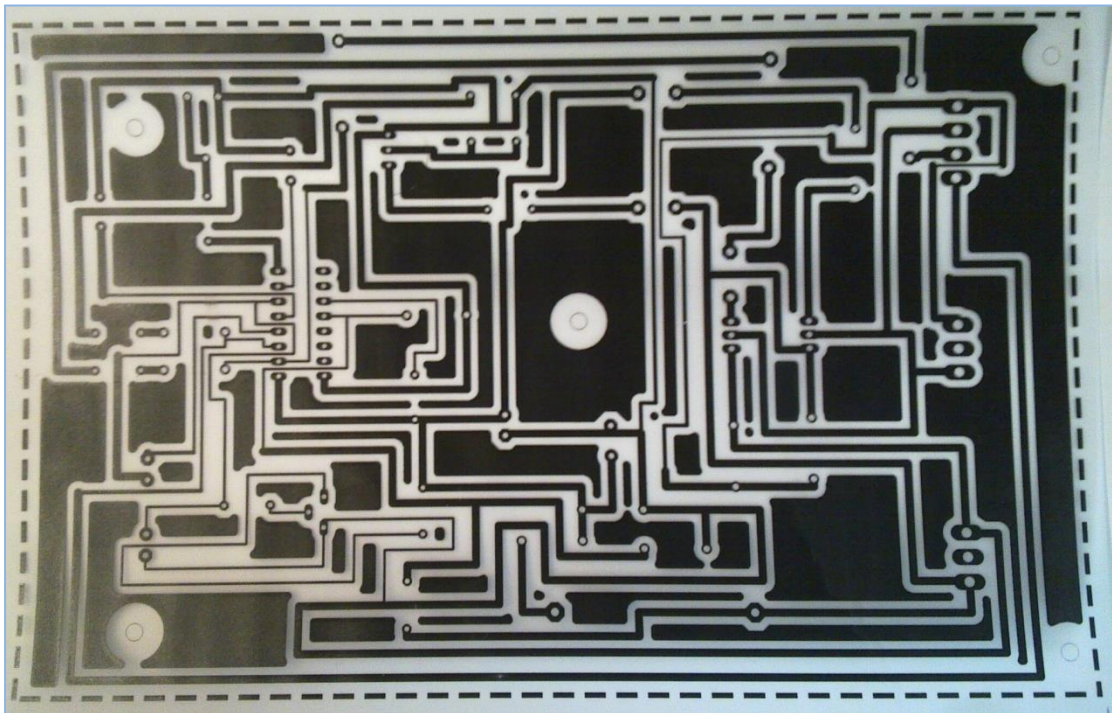
Έτσι το κύκλωμά μας είχε την παρακάτω μορφή στην διάτρητη πλακέτα:



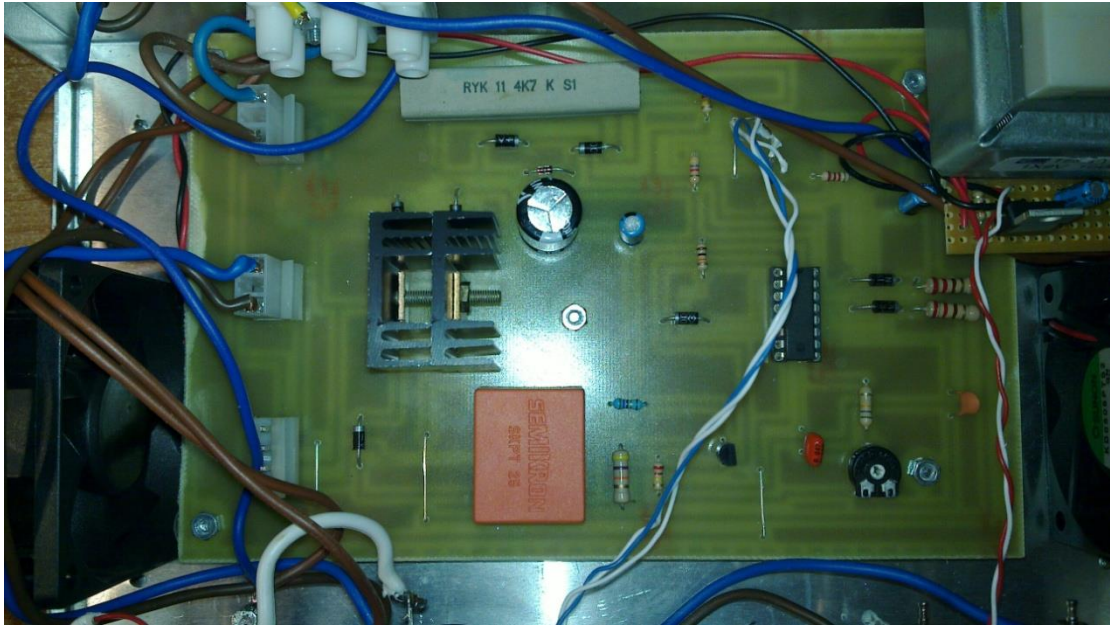
Σχήμα 7.2 - Κύκλωμα πραγματοποιημένο σε διάτρητη πλακέτα

Εφόσον το κύκλωμα στη διάτρητη πλακέτα λειτουργούσε ικανοποιητικά, προχωρήσαμε στην κατασκευή του PCB.

Η κατασκευή του PCB έγινε από ένα συνάδελφό μας στο σπίτι του μετά την εκ μέρους μας αποστολή του κυκλώματος.

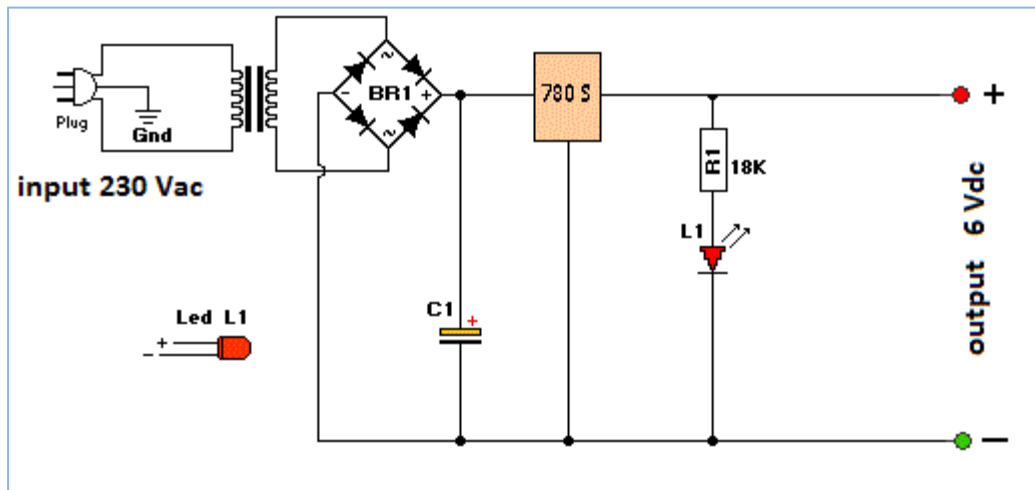


Σχήμα 7.3 - Διαδρομές κυκλώματος πλακέτας

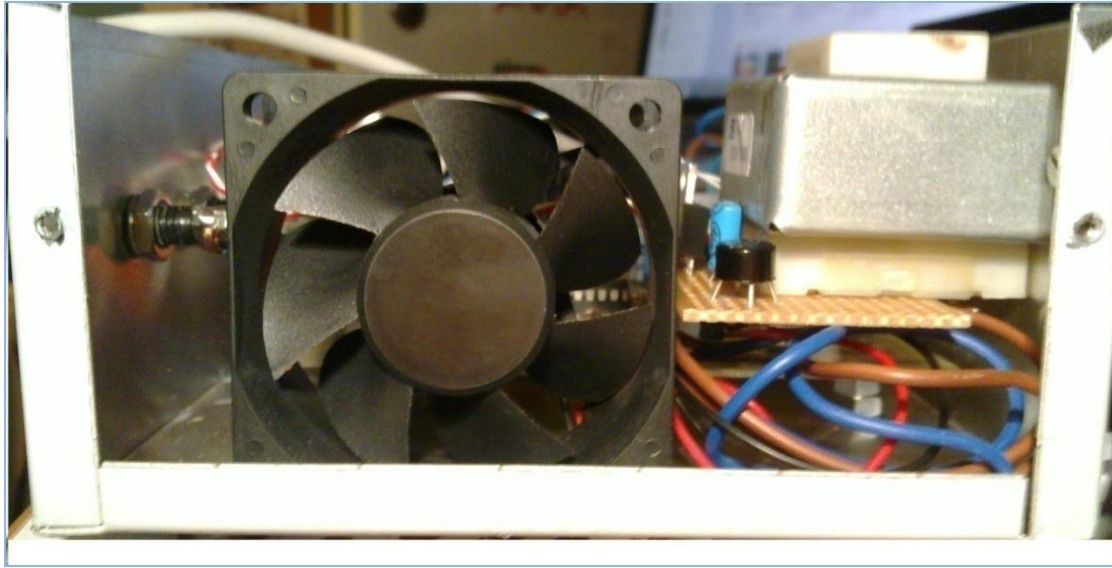


Σχήμα 7.4 - Τελική μορφή πλακέτας

Αφού έγινε η κόλληση των εξαρτημάτων πάνω στην πλακέτα, τη μεταφέραμε στο εργαστήριο των ηλεκτρονικών ισχύος, για να κάνουμε τις απαραίτητες πειραματικές μετρήσεις με τα κατάλληλα εργαστηριακά όργανα (παλμογράφος, πολύμετρα). Επειδή κατά τις πειραματικές μετρήσεις, διαπιστώσαμε ότι η αντίσταση R3 ανέβαζε υψηλή θερμοκρασία, αποφασίσαμε να τοποθετήσουμε στο κουτί ένα σύστημα απαγωγής αέρα ώστε να μειώσουμε ει δυνατόν τη θερμοκρασία στο εσωτερικό της κατασκευής.

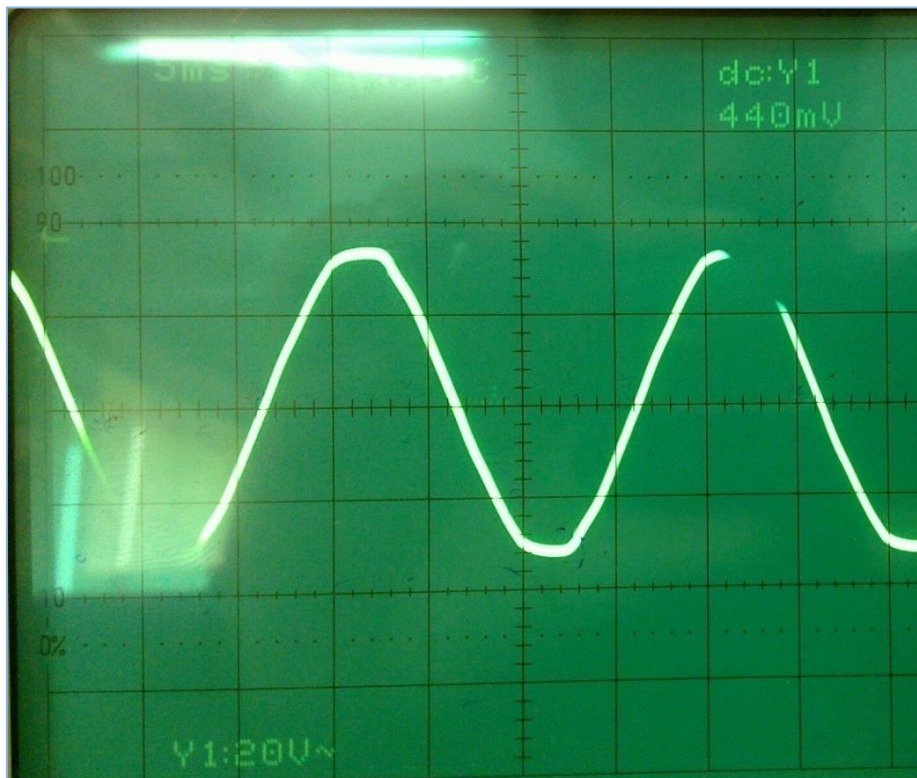


Σχήμα 7.5 - Κύκλωμα συστήματος απαγωγής αέρα



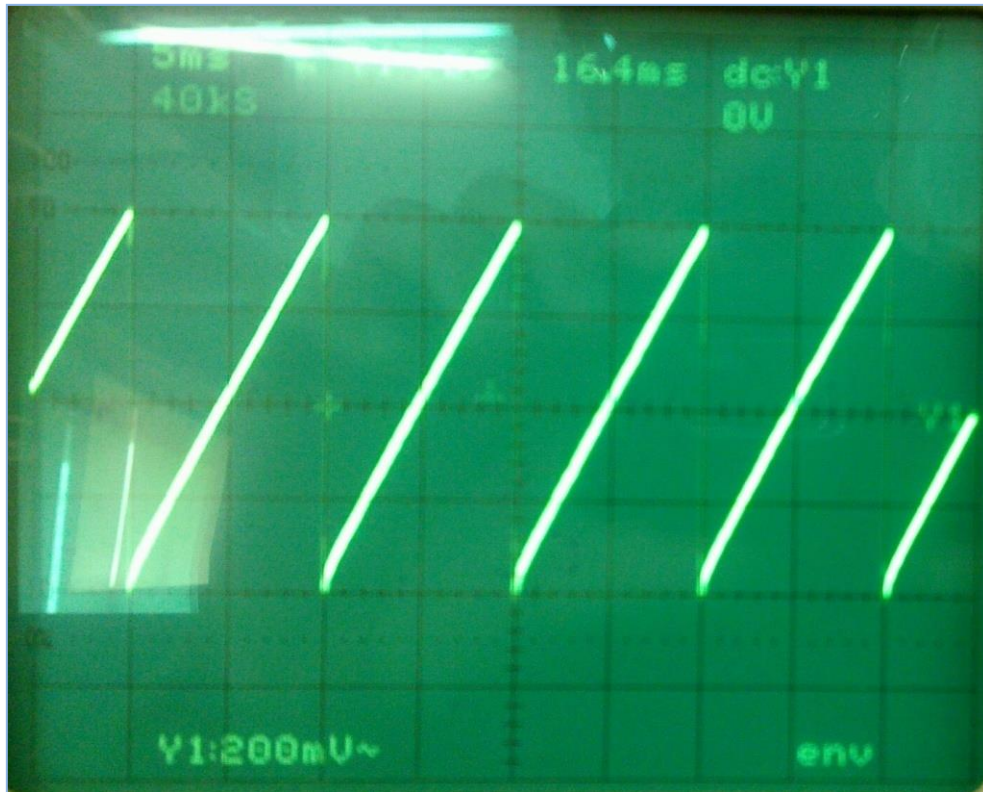
Σχήμα 7.6 - Τελική μορφή συστήματος απαγωγής αέρα

Αρχικά, πήραμε μέτρηση της τάσης εισόδου V_s η οποία λαμβάνεται ως τάση συγχρονισμού από το ολοκληρωμένο TCA 785. Ένας συγκριτής μηδενικών τιμών εντοπίζει τις μηδενικές τιμές και τις μεταφέρει σε έναν καταχωρητή μηδενικών τιμών.



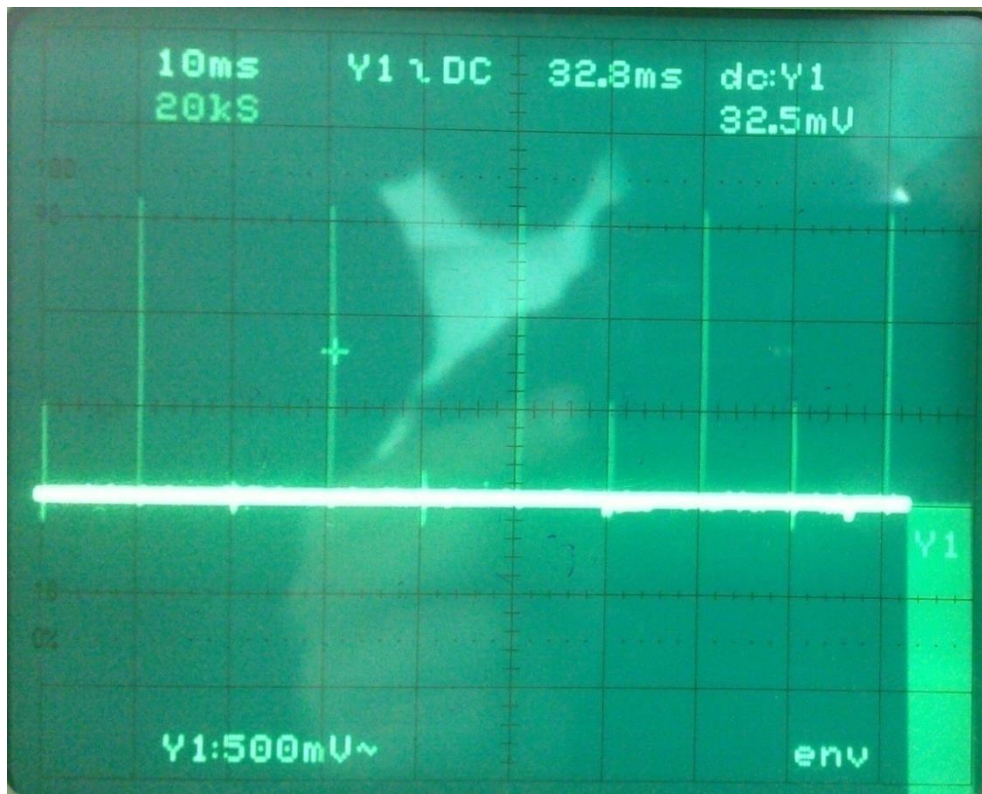
Σχήμα 7.8 - Τάση εισόδου V_s

Αυτός ο καταγραφέας ελέγχει μια γεννήτρια κεκλιμένων ραμπών, τον πυκνωτή C10 οποίος φορτίζεται μόνιμα από ένα σταθερό ρεύμα (καθορισμένο από την R9). Αν η τάση V10 ξεπεράσει την τάση ελέγχου V11 (γωνία πυροδότησης φ), ένα σήμα πηγαίνει στο ολοκληρωμένο. Ανάλογα με το πλάτος της τάσης ελέγχου V11, η γωνία πυροδότησης φ μπορεί να πάρει τιμές από 0° ως 180° .

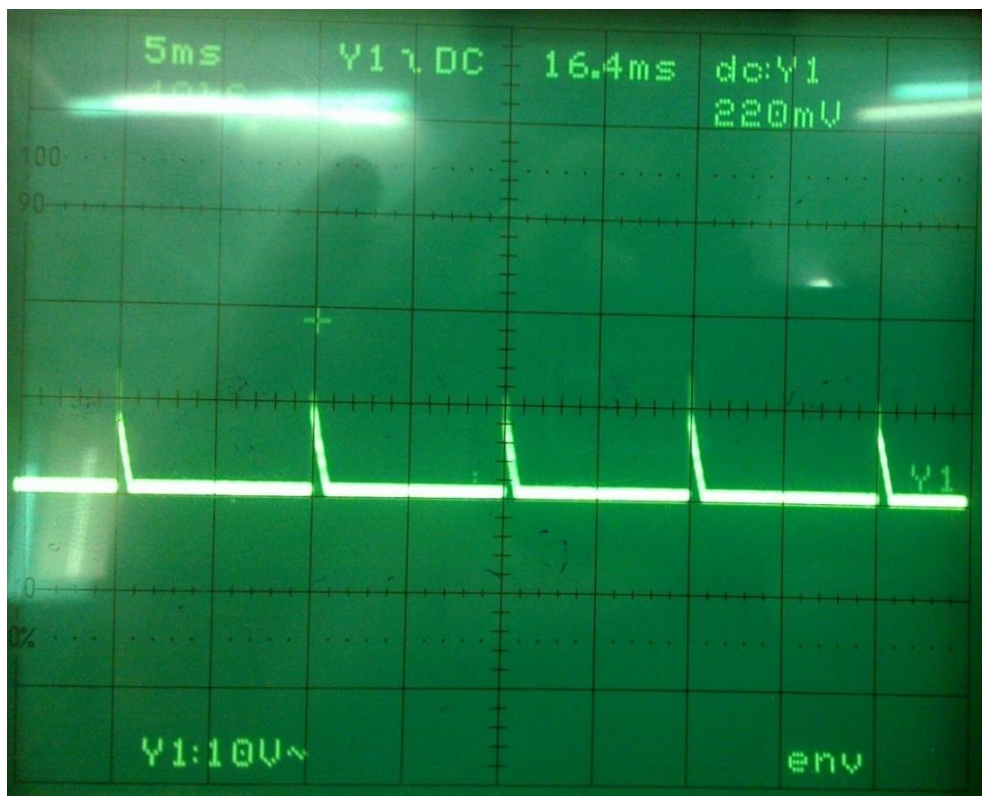


Σχήμα 7.6 - Τριγωνική τάση V₁₀

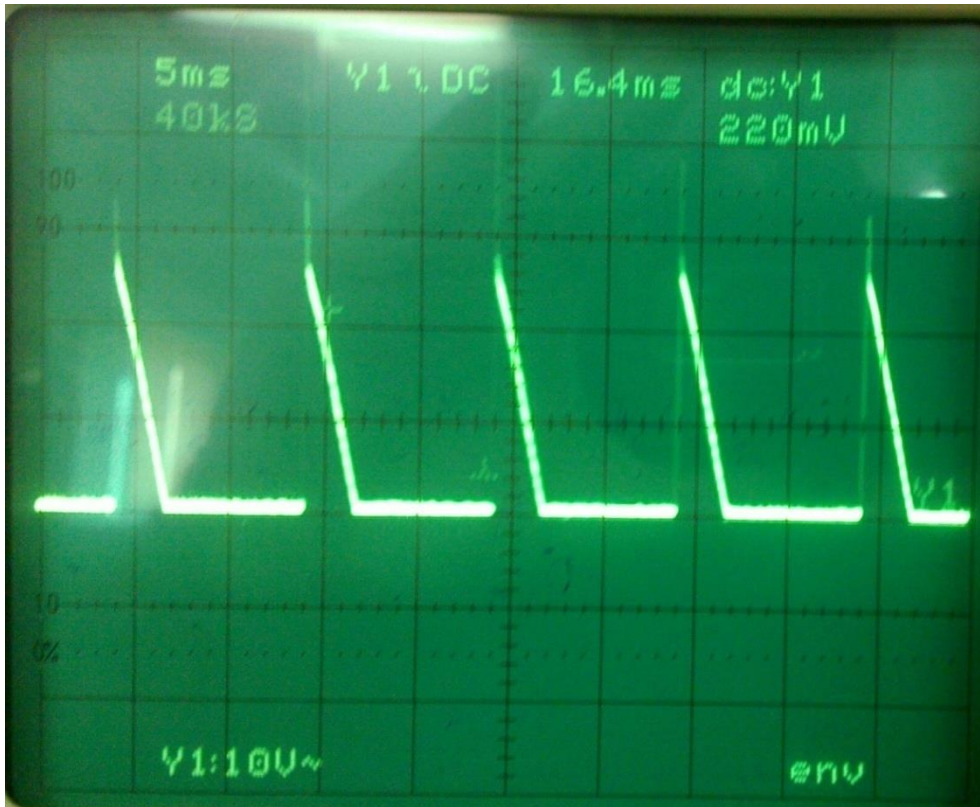
Για κάθε ημιπερίοδο, ένας θετικός παλμός διάρκειας περίπου 30 μ s εμφανίζεται στις εξόδους Q1 και Q2. Η διάρκεια του παλμού μπορεί να επιμηκυνθεί ως τις 180° μέσω του πυκνωτή C12. Αν η έξοδος 12 του ολοκληρωμένου συνδεθεί με τη γη, παλμοί με διάρκεια από φ ως 180° θα προκύψουν.



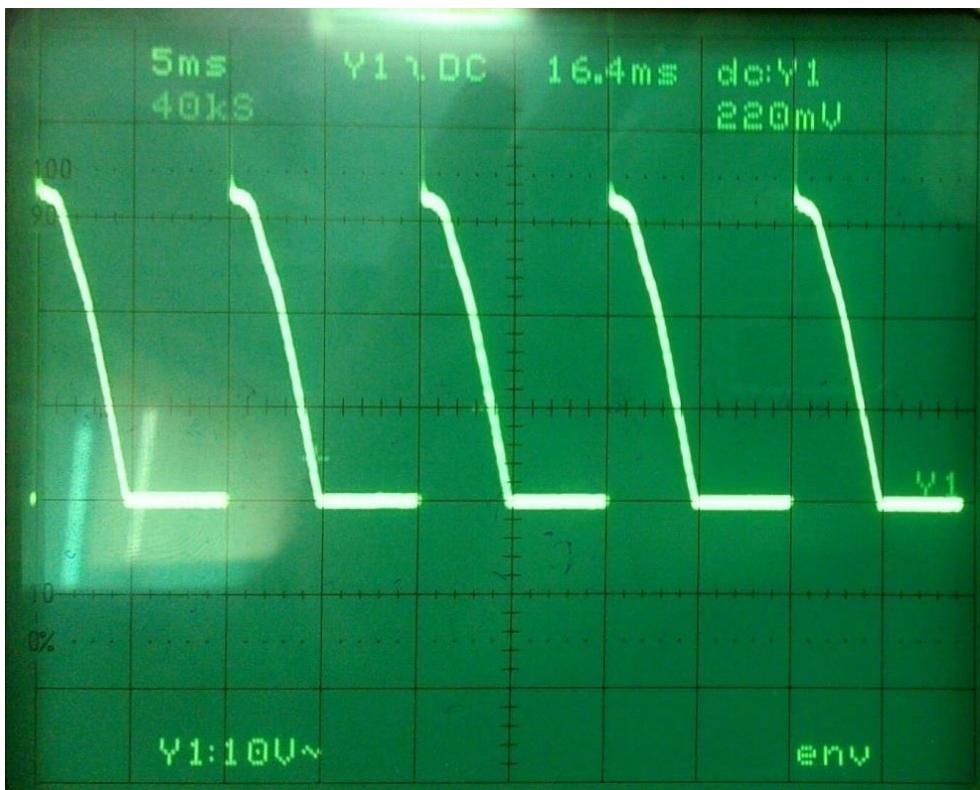
Σχήμα - 7.7 Παλμοί έναυσης



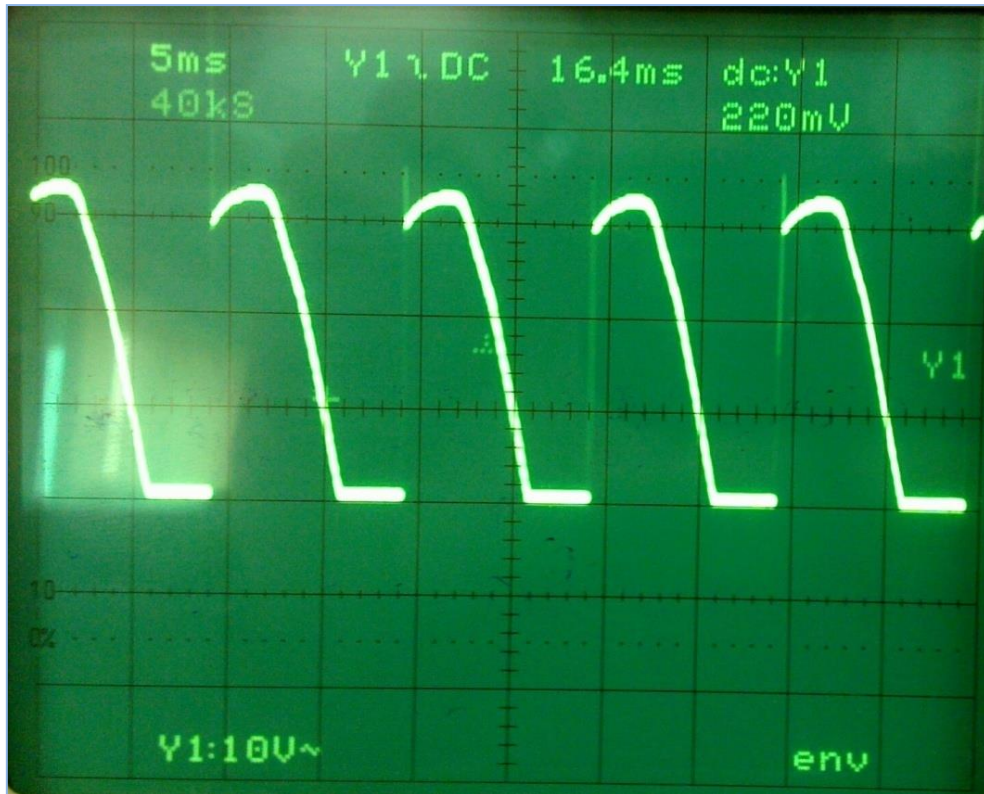
Σχήμα 7.10 - Γωνία έναυσης 160°



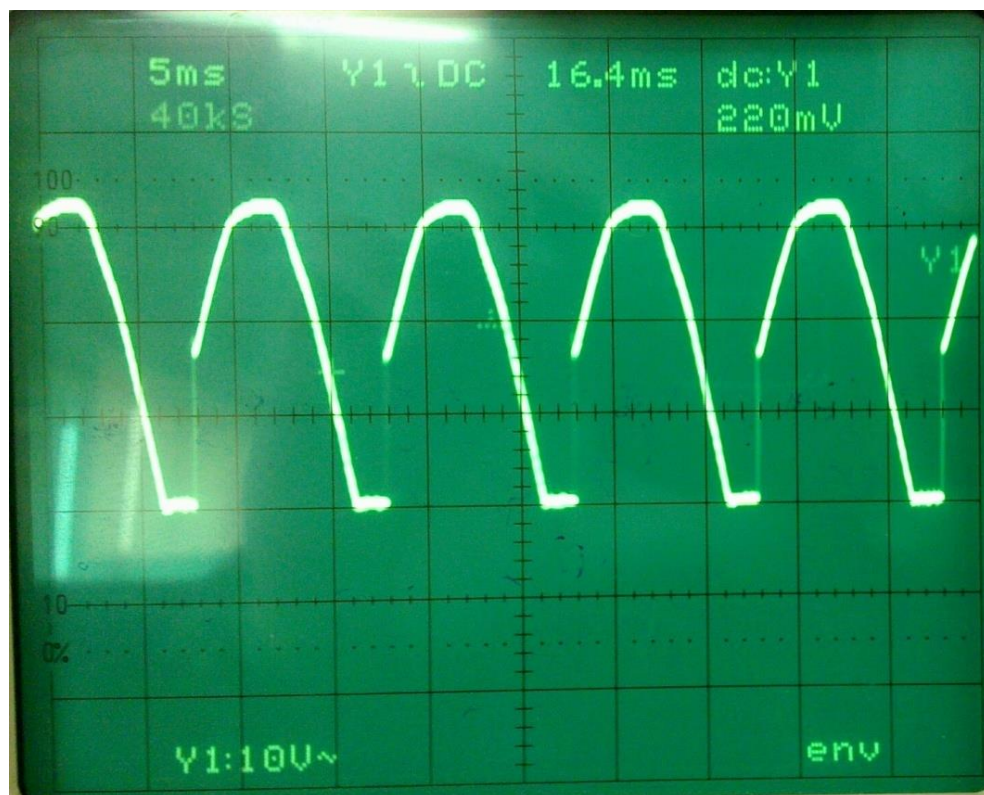
Σχήμα 7.11 - Γωνία έναυσης 120°



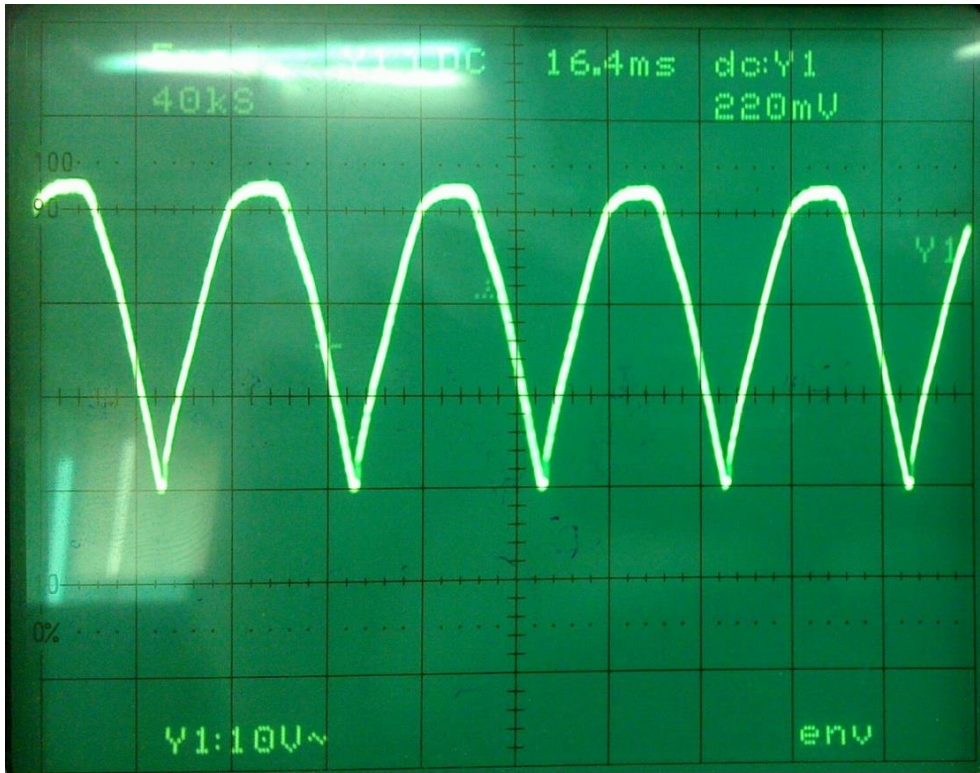
Σχήμα 7.12 - Γωνία έναυσης 90°



Σχήμα 7.13 - Γωνία έναυσης 72°



Σχήμα 7.14 - Γωνία έναυσης 45°



Σχήμα 7.15 - Γωνία έναρξης 0°

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Λόγω της φύσης της πτυχιακής εργασίας χρειάστηκε να εφαρμόσουμε στην πράξη η θεωρητική γνώση που αποκτήθηκε από μαθήματα Ηλεκτροτεχνίας Ηλεκτρονικών, Μηχανών, Ψηφιακών και φυσικά Ηλεκτρονικών Ισχύων. Επιπλέον για τον σχεδιασμό και την προσομοίωση του κυκλώματος της ανορθωτικής γέφυρας αλλά και του κυκλώματος του συστήματος ψύξης χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Proteus με αποτέλεσμα την επιτυχή υλοποίηση του πρωτότυπου κυκλώματος.

Για τις διάφορες δοκιμές και μετρήσεις του κυκλώματος της ανορθωτικής γέφυρας χρησιμοποιήθηκαν τα όργανα μετρήσεων του εργαστηρίου των Ηλεκτρονικών Ισχύος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ✓ Σ.Ν. Μανιάς, “Ηλεκτρονικά Ισχύος”, Εκ. Συμεών, 3η Έκδοση Αθήνα, 1991.
- ✓ Παντελής Β. Μαλατέστας, Ηρακλής Αθ. Βυλλιώτης, “Εργαστηριακές
- ✓ Ασκήσεις Ηλεκτρονικών Ισχύος”, Εκδόσεις Τζιόλα 2004.
- ✓ Τεγόπουλος Ιωάννης Ηλεκτρικές Μηχανές, ΜΕΡΟΣ Β: Μόνιμη Κατάσταση
- ✓ <http://www.wikipedia.org/>
- ✓ <http://www.teipir.gr/>
- ✓ <http://library.tee.gr/digital/>
- ✓ <http://www.ece.ucy.ac.cy/>
- ✓ <http://www.datasheetcatalog.com>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ