

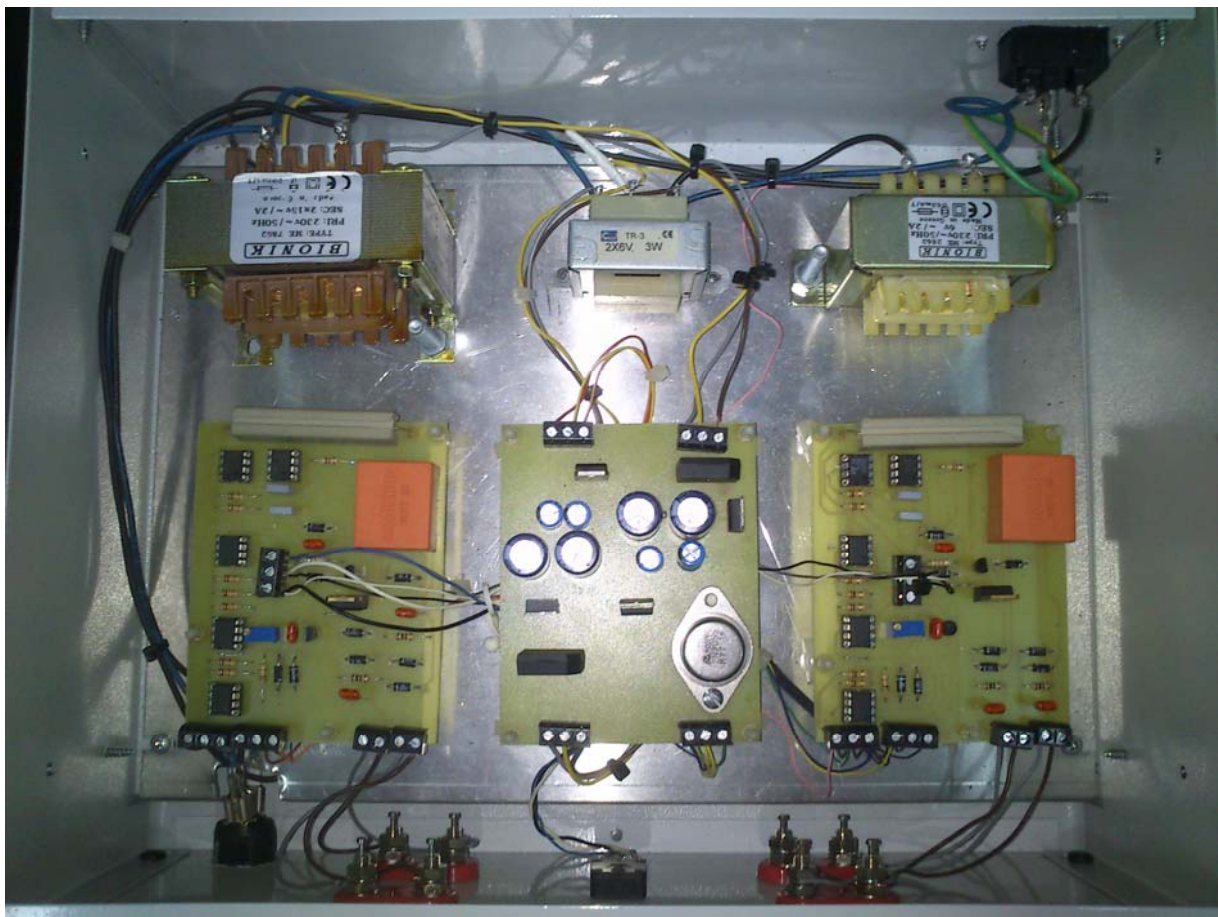


Τ.Ε.Ι ΠΕΙΡΑΙΑ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

“Μελέτη και κατασκευή Ημιελεγχόμενης μονοφασικής γέφυρας”



Μητροπούλου Αθανασία

Προδρομίδης Ιωάννης

A.M:35184

A.M:38931

Πειραιάς , Ιούνιος 2012

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η επιστημονική περιοχή των Ηλεκτρονικών Ισχύος σε συνδυασμό με τα Συστήματα Ηλεκτρικής Κίνησης, παγκοσμίως, βρίσκεται μεταξύ των δραστηριοτήτων αιχμής. Σε μία διαδρομή πέντε δεκαετιών σημειώθηκε τεράστια πρόοδος με ραγδαίους ρυθμούς στην κατάκτηση νέων γνώσεων και στην ανάπτυξη καινοτόμων τεχνολογιών. Οι εφαρμογές εκτείνονται σε ένα ευρύτατο φάσμα της σύγχρονης τεχνολογίας με ευεργετικά αποτελέσματα για την αυτοματοποίηση και τον εκσυγχρονισμό, την εξοικονόμηση ενέργειας, την προστασία του περιβάλλοντος, την οικονομική ανάπτυξη και την ποιοτική αναβάθμιση της κοινωνίας.

Σκοπός των Ηλεκτρονικών Ισχύος είναι ο μετασχηματισμός των κυματομορφών των ηλεκτρικών μεγεθών, όπως είναι η μετατροπή της εναλλασσόμενης τάσης σε συνεχή ή αντίστροφα η μετατροπή συνεχούς τάσεως σε εναλλασσόμενη, μεταβάλλοντας τη συχνότητα και την ενεργό τιμή αυτής. Μέσω αυτών των μετατροπών επιτυγχάνεται η τροφοδοσία των διαφόρων ηλεκτρικών φορτιών π.χ. μηχανών συνεχούς ρεύματος, μηχανών εναλλασσομένου ρεύματος κ.λ.π., όπου ιδιαίτερη σημασία έχει ο έλεγχος της ποσότητας ισχύος σε κάθε χρονική στιγμή ικανοποιώντας τις απαιτήσεις του χρήστη, οι οποίες συνήθως είναι αρκετά πολύπλοκες. Επιπλέον, οι διαδικασίες μετατροπής των ηλεκτρικών μεγεθών με ταυτόχρονη μετατροπή της ενέργειας, π.χ. από ηλεκτρική σε μηχανική, πρέπει να διεκπεραιώνεται γρήγορα, αξιόπιστα, με υψηλές τιμές του βαθμού απόδοσης και του συντελεστή ισχύος, καθώς και με μικρό κόστος. Στις εφαρμογές τα συστήματα με ηλεκτρονικές διατάξεις ισχύος εκτείνονται από την περιοχή των μικρών μεγεθών ισχύος (mW) μέχρι πολύ μεγάλες τιμές (τάξεως εκατοντάδων MW).

Πρέπει να επισημανθεί με ιδιαίτερη έμφαση, ότι οι διαδικασίες μετατροπών ενέργειας διεκπεραιώνονται από τους ηλεκτρονικούς μετατροπείς ισχύος με τη βοήθεια ηλεκτρονικών διατάξεων χαμηλής ισχύος, κυρίως δε μέσω μικροεπεξεργαστών και γενικά της ψηφιακής τεχνολογίας. Αυτό είναι αναγκαίο,

διότι τα ημιαγωγικά στοιχεία ισχύος στην ουσία είναι διακοπτικές μονάδες, των οποίων η διακοπτική λειτουργία διεκπεραιώνεται με εντολές προερχόμενες από ψηφιακά ηλεκτρονικά κυκλώματα κατάλληλα προγραμματισμένα σύμφωνα με τις εκάστοτε απαιτήσεις των φορτίων. Συνεπώς, η πρόοδος της επιστήμης και της τεχνολογίας των Ηλεκτρονικών Ισχύος καθορίζεται αφενός από τα επιτεύγματα στη δημιουργία νέων ημιαγωγικών στοιχείων ισχύος αφετέρου και από τις εξελίξεις στα ηλεκτρονικά χαμηλής ισχύος.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος

Περιεχόμενα

ΜΕΡΟΣ Α΄ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 Γενικά χαρακτηριστικά διακοπτικών στοιχείων

1.2 Αναφορά διακοπτικών στοιχείων

1.3 Γενικά για την δίοδο

1.3.1 Πόλωση της διόδου

1.3.2 Χαρακτηριστική καμπύλη διόδου PN

1.3.3 Εφαρμογές των διόδων

1.3.4 Ημιανόρθωση ή απλή ανόρθωση

1.3.5 Διπλή ανόρθωση με δύο διόδους

1.3.6 Διπλή ανόρθωση με γέφυρα διόδων

1.4 Θυρίστορ

1.4.1 Δομή και γενικά χαρακτηριστικά

1.4.2 Αρχή λειτουργίας

1.4.3 Τρόποι μετάβασης ενός θυρίστορ

1.4.4 Ψύξη του θυρίστορ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

- 2.1 Είδη μετατροπών ηλεκτρικής ενέργειας
- 2.2 Μετατροπείας Ε.Ρ /Σ.Ρ
- 2.3 Μετατροπείας Ε.Ρ/Ε.Ρ
- 2.4 Μετατροπείας Σ.Ρ/Σ.Ρ
- 2.5 Μετατροπείας Σ.Ρ/Ε.Ρ
- 2.6 Πλήρως ελεγχόμενη μονοφασική γέφυρα
- 2.7 Μονοφασική ημιελεγχόμενη γέφυρα
- 2.8 Χρονιστής 555
 - 2.8.1 Ο χρονιστής 555 σαν μονοσταθής πολυδονητής
 - 2.8.2 Βαθμίδα 5^η
- 2.9 Ο Μετασχηματιστής Παλμών
 - 2.9.1 Το κύκλωμα της έκτης βαθμίδας
- 2.10 Συνδεσμολογία Darlington
- 2.11 Κύκλωμα προστασίας της πύλης

ΜΕΡΟΣ Β΄ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

- 1.1 Κατασκευή πλακέτας
- 1.2 Ο σχεδιασμός
- 1.3 Η επεξεργασία
- 1.4 Η εμφάνιση

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

- 2.1 Γενικά
- 2.2 Ανάλυση κυκλώματος έναυσης θυρίστορ μονοφασικής ανόρθωσης
- 2.3 Σχεδιασμός κυκλώματος έναυσης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

- 3.1 Γενικά
- 3.2 Ανάλυση κυκλώματος τροφοδοτικού
- 3.3 Σχεδιασμός κυκλώματος τροφοδοτικού

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

- 4.1 Γενικά για το κύκλωμα ισχύος

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Υλικά κατασκευής

Πτυχιακή εργασία :Μητροπούλου Αθανασία, Προδρομίδης Ιωάννης

ΜΕΡΟΣ Α΄ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 Γενικά χαρακτηριστικά διακοπτικών στοιχείων

Οι ηλεκτρονικοί διακόπτες ή διακόπτες στερεάς κατάστασης, κατασκευάζονται από ημιαγώγιμα υλικά. Υπερτερούν έναντι των μηχανικών διακοπών, κυρίως σε θέματα ταχύτητας, όγκου, αξιοπιστίας αλλά και συντήρησης, καθότι δεν διαθέτουν κινητά μέρη. Ο κύκλος λειτουργίας ενός ηλεκτρονικού διακόπτη, δηλαδή ο καθορισμός των διαστημάτων αγωγής και αποκοπής, καθορίζεται μέσω της λογικής του κυκλώματος ελέγχου του.

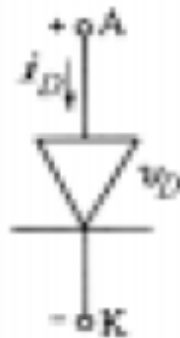
Το κύκλωμα ελέγχου ή εντολοδότησης του διακόπτη, αποτελείται κυρίως από ηλεκτρονικά στοιχεία χαμηλής ισχύος. Βασικές παράμετροι επιλογής ενός διακόπτη αποτελούν, η μέγιστη διακοπτική συχνότητα, η οποία επηρεάζει κυρίως τις δυναμικές απώλειες του διακόπτη, τα τεταρτημόρια λειτουργίας τα οποία έχουν άμεση σχέση με την εσωτερική δομή του και τους ακροδέκτες ελέγχου που διαθέτει, το είδος ελέγχου, η μέγιστη τάση αποκοπής κ.λ.π.

1.2 Αναφορά διακοπτικών στοιχείων

Ακολουθεί μια σύντομη παρουσίαση των κυριότερων ημιαγώγιμων στοιχείων που χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρονικά ισχύος, τόσο σε κλασικές εφαρμογές όσο και στις πλέον σύγχρονες.

Δίοδος ισχύος

Μη ελεγχόμενο διακοπτικό στοιχείο με συμπεριφορά που εξαρτάται από τις επιβαλλόμενες τάσεις και ρεύματα. Επιτρέπει τη διέλευση ρεύματος μόνο προς μία κατεύθυνση αποτελώντας μη ελεγχόμενο ανορθωτή, γι' αυτό είναι συχνά γνωστό και με το όνομα αυτό. Χρησιμοποιείται κυρίως για ανόρθωση και σαν «δίοδος ελευθέρως ροής» όταν συνδέεται παράλληλα και αντίστροφα με το φορτίο για να παρέχει ένα δρόμο ελεύθερης ροής των επαγωγικών ρευμάτων από το φορτίο και να αποκλεισθεί η ανάπτυξη επικίνδυνων υψηλών αντίστροφων τάσεων.

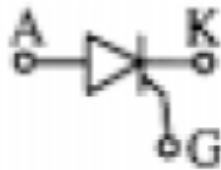


Συμβολισμός της διόδου ισχύος

Θυρίστορ

Διακοπτικό στοιχείο με 4 ημιαγωγία στρώματα και 3 ακροδέκτες. Μπορεί να χειριστεί ισχύ από δεκάδες W μέχρι MW, τη μεγαλύτερη ισχύ από όλα τα άλλα ημιαγωγία στοιχεία και με ταχύτητα λειτουργίας μέχρι 10kHz. Η ροή του ρεύματος μεταξύ ανόδου και καθόδου γίνεται προς μία φορά, αλλά είναι δυνατός ο έλεγχος της αγωγής με ένα μικρό σχετικά ρεύμα στην πύλη του θυρίστορ. Όμως, αν και η έναυση γίνεται με απλή εφαρμογή κατάλληλου παλμού, η σβέση δεν μπορεί να γίνει από την πύλη αλλά απαιτεί άλλες

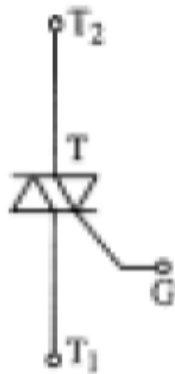
ηλεκτρονικές διατάξεις. Το θυρίστορ αποτελεί το πιο κοινό στοιχείο των ηλεκτρονικών ισχύος και βρίσκει πολλές εφαρμογές με κυριότερες τους ελεγχόμενους ανορθωτές, αντιστροφείς και γενικά ρύθμιση ισχύος προς το φορτίο. Ειδικά για μετατροπείς μεγάλης ισχύος το θυρίστορ απαιτεί ιδιαίτερη φροντίδα για την προστασία και την επαρκή ψύξη του.



Συμβολισμός του θυρίστορ

Triac

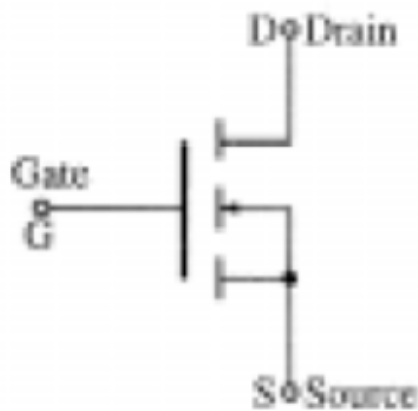
Η ονομασία υποδηλώνει ότι το στοιχείο έχει 3 ακροδέκτες και μπορεί να χειριστεί εναλλασσόμενο ρεύμα. Επιτρέπει τη διέλευση ρεύματος και προς τις δύο κατευθύνσεις χωρίς διάκριση, ενώ η αγωγή ή όχι του ρεύματος ελέγχεται με σήμα στην πύλη. Η μέγιστη ισχύς που μπορεί να διαμορφώσει φτάνει σε αρκετές δεκάδες kWatt. Κύρια εφαρμογή είναι ο έλεγχος εναλλασσομένου ρεύματος σε διατάξεις για έλεγχο φωτισμού, θερμοκρασίας ή μικρών κινητήρων όπως ανεμιστήρων. Είναι το μοναδικό ημιαγώγιμο στοιχείο που μπορεί πραγματικά να χειριστεί εναλλασσόμενο ρεύμα. Το κύριο μειονέκτημά του είναι ότι δεν μπορεί να χειρισθεί μεγάλη ισχύ και γι' αυτό σε τέτοιες περιπτώσεις συνήθως χρησιμοποιούνται δύο αντιπαράλληλα θυρίστορ.



Συμβολισμός του Triac

MOSFET

Το MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) είναι γνωστό από παλαιότερα, αλλά τη δεκαετία του 1980 τροποποιήθηκε για να μπορεί να χειριστεί μεγαλύτερη ισχύ και μπήκε στο χώρο των ηλεκτρονικών ισχύος. Ο έλεγχος της ροής ρεύματος γίνεται μέσω σήματος τάσης στην πύλη. Συνήθως τα MOSFET βρίσκονται σε αποκοπή μέχρι την εφαρμογή κατάλληλου σήματος, αλλά υπάρχει και μια ειδική κατηγορία των στοιχείων αυτού που συμπεριφέρονται αντίστροφα. Το κύριο πλεονέκτημα των MOSFET είναι η μεγάλη συχνότητα λειτουργίας τους που ξεπερνά τα 100 kHz, αλλά η ισχύς τους περιορίζεται σε μερικά kWatts. Για αυτή την ισχύ όμως έχουν προτιμότερα χαρακτηριστικά από άλλα στοιχεία, όπως ο μικρός χρόνος έναυσης και σβέσης. Λόγω της υψηλής ταχύτητας είναι κατάλληλα για εφαρμογές διαμόρφωσης εύρους παλμού(PWM), διακοπτικά τροφοδοτικά, επαγωγική θέρμανση, ηλεκτροσυγκόλληση και φωτισμό φθορισμού με υψηλή συχνότητα, ειδικά μάλιστα για φορητές συσκευές και οχήματα.



Συμβολισμός του MOSFET

Εκτός από τα παραπάνω στοιχεία υπάρχουν και άλλα στοιχεία ισχύος με χαρακτηριστικά ισχύος και ταχύτητας μεταξύ της υψηλής ισχύος και χαμηλής ταχύτητας του θυρίστορ και της μικρής ισχύος και υψηλής ταχύτητας του MOSFET.

1.3 Γενικά για την δίοδο

Στην ηλεκτρονική, η **δίοδος** είναι ένα στοιχείο που περιορίζει τη κατευθυντήρια ροή των φορέων αγωγιμότητας (charge carriers). 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. Οι πρώτες διόδους περιλάμβαναν κρυστάλλους *cat's whisker* και λυχνίες κενού. Σήμερα, οι περισσότερες διόδους είναι κατασκευασμένες από υλικά ημιαγωγών όπως πυρίτιο ή γερμάνιο.

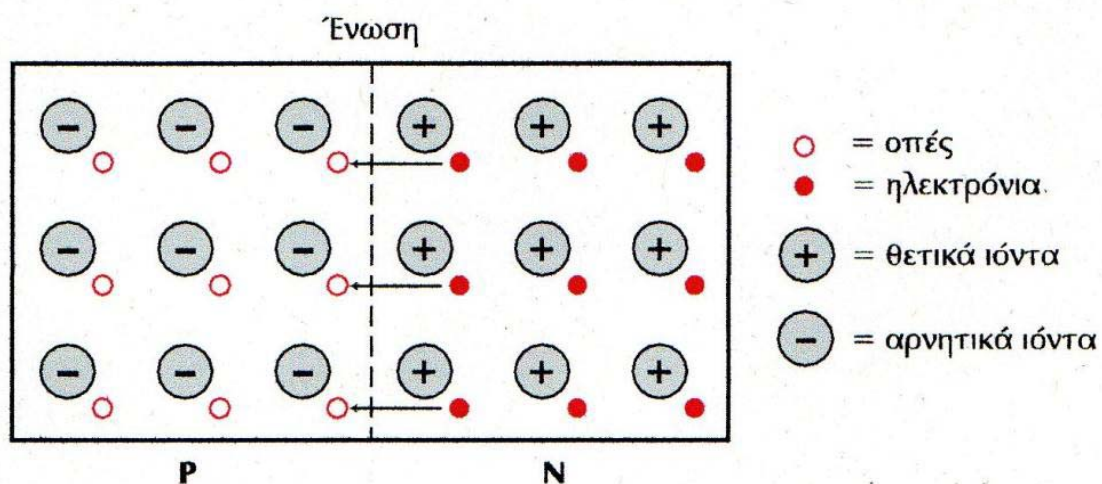
Δίοδος επαφής P-N

Οι ημιαγωγοί τύπου N έχουν περισσότερους αρνητικούς φορείς, δηλαδή έχουν περίσσεια ηλεκτρονίων και για τον λόγο αυτό ονομάζονται τύπου N (negative).

Αντιθέτως οι ημιαγωγοί τύπου P (positive) έχουν περίσσεια θετικών φορέων ή οπών. Οι οπές είναι έλλειψη ηλεκτρονίων.

Όταν μικρό κομμάτι ημιαγωγού τύπου N έλθει σε επαφή με κομμάτι ημιαγωγού τύπου P, τότε δημιουργείται μια ένωση PN ή επαφή PN η οποία αποτελεί ένα ηλεκτρονικό εξάρτημα πολύ χρήσιμο και ονομάζεται δίοδος PN. Τα κομμάτια αυτά των ημιαγωγών μπορεί να μην είναι διαφορετικά, αλλά μέρη του ίδιου κομματιού κρυστάλλου πυριτίου όπου στη μία πλευρά έχει δημιουργηθεί με κατάλληλο τρόπο τύπος P, ενώ στην άλλη ο τύπος N.

Η επαφή PN φαίνεται στο σχήμα 1. Το σημείο της ένωσης παρίσταται με μια κάθετη διακεκομμένη γραμμή. Το τμήμα τύπου N αποτελείται από θετικά ιόντα πεντασθενούς στοιχείου και ελεύθερα ηλεκτρόνια. Υπάρχει επίσης μικρός αριθμός οπών. Στο τμήμα τύπου P υπάρχουν αρνητικά ιόντα τρισθενούς στοιχείου, αρκετές οπές και μικρός αριθμός ηλεκτρονίων.

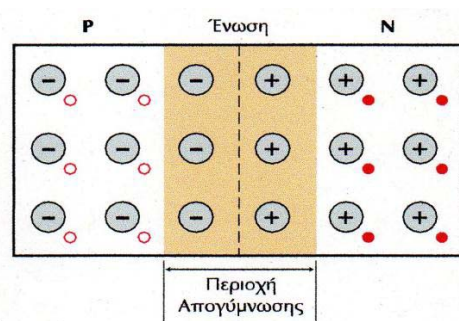


Σχήμα 1.

Επαφή PN

Την στιγμή της δημιουργίας της επαφής PN, τα ηλεκτρόνια από τον ημιαγωγό τύπου N που βρίσκονται κοντά στο σημείο της ένωσης θα κινηθούν προς τον ημιαγωγό τύπου P με σκοπό να επανασυνδεθούν με τις οπές που υπάρχουν εκεί.

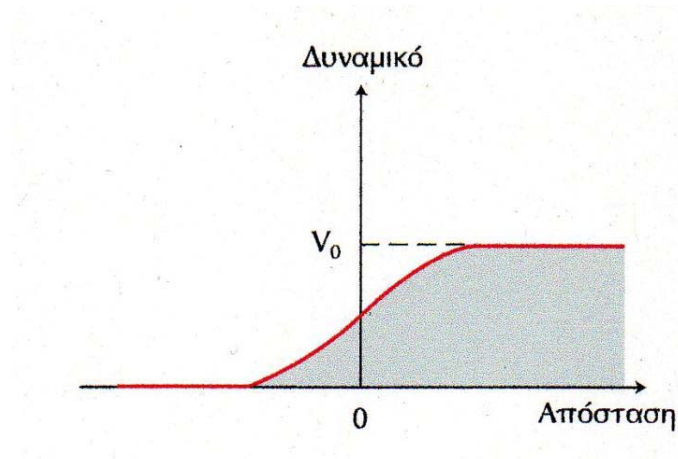
Έτσι δημιουργείται επανασύνδεση οπών και ηλεκτρονίων στα δύο τμήματα, δεξιά και αριστερά του σημείου επαφής και στο μεν ημιαγωγό τύπου N δημιουργείται ένα τμήμα με θετικά ιόντα χωρίς ηλεκτρόνια, στο δε ημιαγωγό τύπου P δημιουργείται ένα τμήμα με αρνητικά μόνο ιόντα, χωρίς οπές. Αυτά τα δύο τμήματα είναι «απογυμνωμένα» από τους φορείς τους και αποτελούν μαζί την περιοχή απογύμνωσης όπως φαίνεται στο σχήμα 2.



Σχήμα 2.

Περιοχή απογύμνωσης

Έξω από την περιοχή απογύμνωσης η δομή των ημιαγωγών δεν έχει αλλάξει και αποτελείται από ιόντα και φορείς. Αυτό συμβαίνει διότι για να μπορέσει ένα ηλεκτρόνιο να επανασυνδεθεί με μια οπή ή αντίστροφα, πρέπει να υπερπηδήσει την περιοχή απογύμνωσης η οποία όμως με την συγκέντρωση των ιόντων σε αυτήν, αποτελεί ένα εμπόδιο και δημιουργεί ένα φραγμό δυναμικού. Το δυναμικό φραγμού παριστάνεται με V_0 στο σχήμα 3 και είναι μια διαφορά δυναμικού που η πολικότητα της αντιτίθεται στη διάχυση των φορέων.



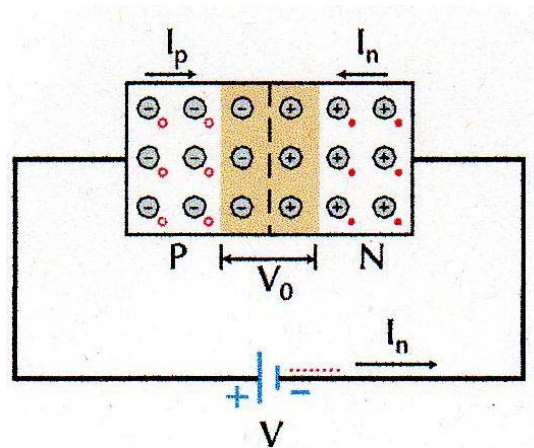
Σχήμα 3.
Δυναμικό φραγμού

1.3.1 Πόλωση της διόδου

Όταν εφαρμοσθεί εξωτερική τάση στα άκρα μιας διόδου, υπάρχουν δύο τρόποι σύνδεσης της πηγής: κατά την ορθή και κατά την ανάστροφη φορά.

Ορθή πόλωση

Μια διόδος είναι πολωμένη κατά την ορθή φορά εάν η εξωτερική πηγή είναι συνδεδεμένη στο κύκλωμα ώστε ο θετικός πόλος της να είναι στο τμήμα P της διόδου και ο αρνητικός πόλος της στο τμήμα N της διόδου, όπως φαίνεται στο σχήμα 4 .



Σχήμα 4.

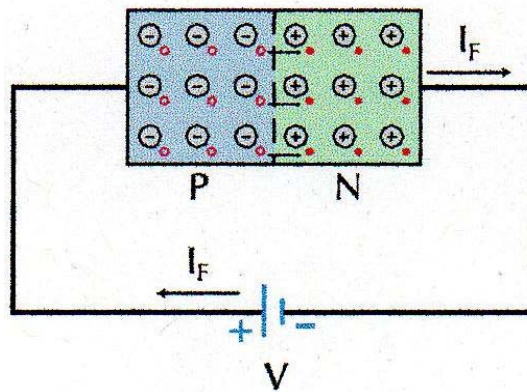
Ως γνωστόν σε μια ηλεκτρική πηγή υπάρχει μεγάλος αριθμός ηλεκτρονίων στον αρνητικό πόλο και μεγάλος αριθμός θετικών φορτίων στο θετικό πόλο. Με την αγώγιμη σύνδεση της πηγής με την διόδο κατά την ορθή φορά, τα θετικά φορτία από τον θετικό πόλο της πηγής πηγαίνουν στο τμήμα P της διόδου και τα ηλεκτρόνια πηγαίνουν στο τμήμα N αντίστοιχα.

Συνεπώς τα θετικά φορτία θα κινηθούν από τον θετικό πόλο της πηγής προς το τμήμα P της διόδου. Η μετακίνηση αυτή δημιουργεί το ρεύμα I_p των οπών εντός του τμήματος P. Η κίνηση των ηλεκτρονίων από τον αρνητικό πόλο της πηγής προς το τμήμα N της διόδου θα δώσει το ρεύμα ηλεκτρονίων I_n εντός του τμήματος N, το οποίο έχει την ίδια φορά με το ρεύμα των οπών λόγω αρνητικού φορτίου των ηλεκτρονίων.

Με τον τρόπο αυτό η συγκέντρωση των οπών στο τμήμα P μεγαλώνει, η περιοχή απογύμνωσης γίνεται στενότερη και ορισμένες οπές με μεγάλη κινητική ενέργεια καταφέρνουν να υπερπηδήσουν το φραγμό δυναμικού και να μπουνε στο τμήμα N της διόδου. Η ίδια διαδικασία συμβαίνει και με τα ηλεκτρόνια της περιοχής N που εισέρχονται στο τμήμα P.

Όσο αυξάνει η τάση τόσο η περιοχή απογύμνωσης γίνεται μικρότερη μέχρι που μηδενίζεται και έχουμε ροή ρεύματος στο κύκλωμα, που ονομάζεται κατευθείαν

ρεύμα ή ρεύμα ορθής φοράς ή ρεύμα διάχυσης I_F (forward current) και έχει καθιερωθεί να έχει διεύθυνση αντίθετη αυτής των ηλεκτρονίων, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.



Σχήμα 5.

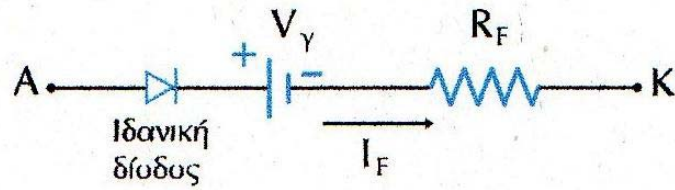
Η τιμή της εξωτερικής τάσης που πρέπει να εφαρμοσθεί στη δίοδο για να διέλθει ρεύμα στο κύκλωμα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το δυναμικό φραγμού που είναι μερικά δέκατα του Volt ($V > V_0 = 0,1$ για γερμάνιο και $0,5V$ για πυρίτιο). Το ρεύμα έχει μικρή τιμή μέχρι μια τάση που λέγεται τάση κατωφλίου ή γόνατος V_g , μετά την οποία αυξάνεται εκθετικά. Η τάση γόνατος για το γερμάνιο είναι $0,3V$ για το πυρίτιο είναι $0,7V$.

Όσο αφορά το ρεύμα του εξωτερικού κυκλώματος αυτό είναι :

$$I_D = I_F - I_0$$

όπου I_0 λέγεται ανάστροφο ρεύμα κόρου και είναι το ρεύμα που προέρχεται από την θερμική διέγερση του ημιαγωγού και η τιμή του είναι της τάξης των μικροαμπέρ.

Το ηλεκτροτεχνικό ισοδύναμο κύκλωμα της διόδου σε ορθή πόλωση φαίνεται στο σχήμα 6.



Σχήμα 6.

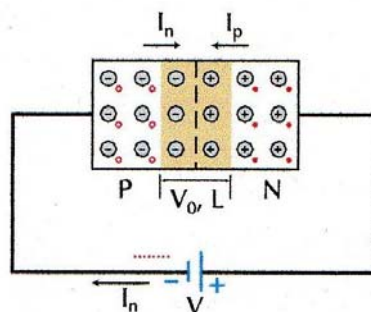
Ισοδύναμο κύκλωμα διόδου PN

Στον παρακάτω πίνακα αναγράφονται οι τάσεις φραγμού, κατωφλίου και η αντίσταση διόδου κατά την ορθή πόλωση, όταν η δίοδος θεωρείται ιδανική και όταν είναι του εμπορίου.

	Τάση φραγμού V_0 , Τάση γόνατος V_γ	Αντίσταση διόδου ορθής φοράς, R_f
Ιδανική δίοδος	0 V	0 Ω
Μη Ιδανική δίοδος (εμπορίου)	0,1 V Ge 0,5 V Si 0,3 V Ge 0,7 V Si	100 -1000 Ω

Ανάστροφη πόλωση

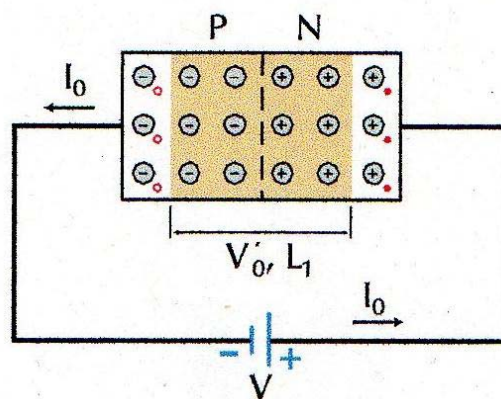
Μια δίοδος PN είναι πολωμένη κατά την ανάστροφη φορά εάν ο θετικός πόλος της εξωτερικής πηγής είναι συνδεδεμένος με το τμήμα N της διόδου και ο αρνητικός πόλος με το τμήμα P, όπως φαίνεται και στο σχήμα 7.



Σχήμα 7

Μετά την αγώγιμη σύνδεση, τα θετικά φορτία από θετικό πόλο της πηγής εισέρχονται στο τμήμα N, σαν οπές, και επανασυνδέονται με τα ηλεκτρόνια που υπάρχουν εκεί σε μεγάλη συγκέντρωση. Με τον ίδιο μηχανισμό, τα ηλεκτρόνια από τον αρνητικό πόλο της πηγής εισέρχονται στο τμήμα P και επανασυνδέονται με τις οπές που υπάρχουν εκεί σε μεγάλη συγκέντρωση.

Με τις επανασυνδέσεις αυτές η περιοχή απογύμνωσης αυξάνει διότι δημιουργούνται περισσότερα «απογυμνωμένα» θετικά και αρνητικά ιόντα, όπως φαίνεται στο σχήμα 8.



Σχήμα 8.

Ορισμένα ηλεκτρόνια που έχουν αρκετή κινητική ενέργεια διότι προκύπτουν από διάσπαση των δεσμών των ατόμων του ημιαγωγού, υπερπηδούν και την νέα περιοχή απογύμνωσης και έτσι στο κύκλωμα υπάρχει ρεύμα I_0 που λέγεται αναστροφο ρεύμα κόρου και είναι πολύ μικρό. Το ρεύμα μπορεί να αυξηθεί με παροχή εξωτερικής ενέργειας όπως θερμική, ηλεκτρική ή φωτεινή.

Συνεπώς :

$$I_D = I_0$$

Στην περίπτωση της ανάστροφης πόλωσης το νέο δυναμικό φραγμού είναι :

$$V'_0 = V_0 + V$$

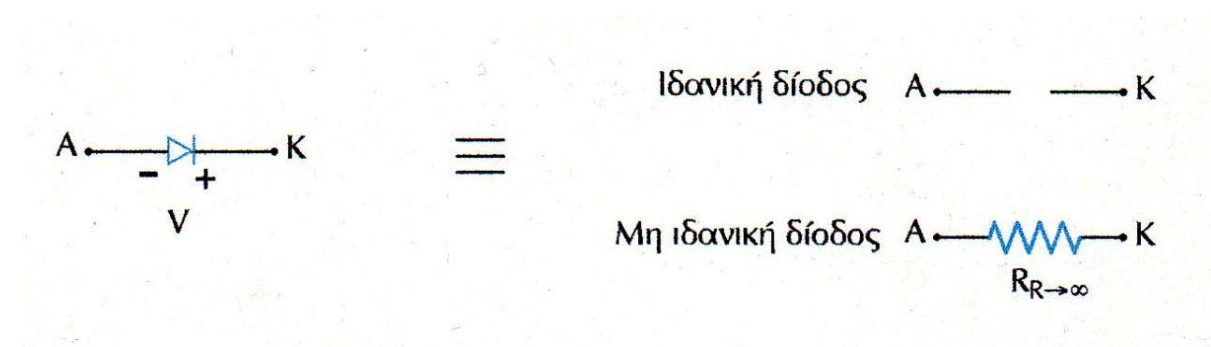
Σα συνέπεια της αύξησης του δυναμικού φραγμού και της αύξησης του μήκους της περιοχής της απογύμνωσης, ελαττώνεται η χωρητικότητα φραγμού CT παίρνοντας νέα τιμή:

$$C_{T1} = \varepsilon \frac{S}{L_1} = \frac{\Delta Q}{V + V_0}$$

όπου S = επιφάνεια περιοχής απογύμνωσης

Η αντίσταση της διόδου κατά την ανάστροφη πόλωση είναι για την ιδανική δίοδο $R_R = \infty$, ενώ για της διόδους του εμπορίου λαμβάνει πολύ μεγάλες τιμές.

Η σύνδεση της διόδου στο κύκλωμα ισοδυναμεί με ανοικτό κύκλωμα ή με αντίσταση πολύ μεγάλης τιμής.



1.3.2 Χαρακτηριστική καμπύλη διόδου PN

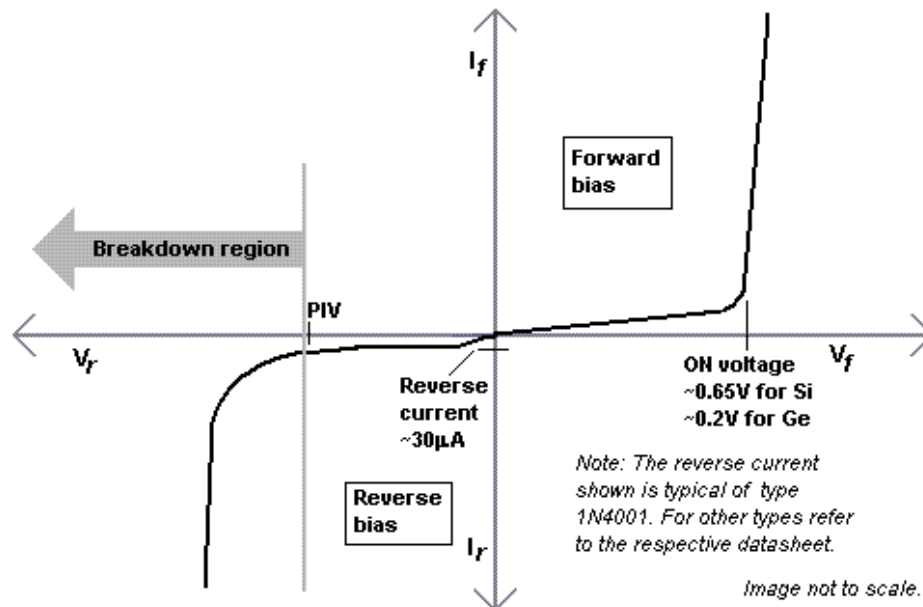
Οι περισσότερες σύγχρονες δίοδοι βασίζονται στον ημιαγωγό p-n επαφών. Σε μια p-n δίοδο, συμβατικό ρεύμα μπορεί να ρέει από τη μεριά τύπου p (η άνοδος)

στην άλλη μεριά τύπου n (η κάθοδος), αλλά δεν μπορεί να ρέει κατά την αντίθετη κατεύθυνση. Ένας άλλος τύπος διόδου ημιαγωγών, η διάδος Schottky, σχηματίζεται από την επαφή μεταξύ ενός μετάλλου και ενός ημιαγωγού παρά από μια επαφή p - n .

Η χαρακτηριστική καμπύλη ρεύματος-τάσης ή I - V μιας διόδου ημιαγωγού αποδίδεται στη συμπεριφορά της περιοχής κατάρρευσης η οποία υπάρχει στην επαφή p - n μεταξύ των διαφορετικών ημιαγωγών. Όταν αρχικά δημιουργήθηκε η επαφή p - n , ηλεκτρόνια της ζώνης αγωγιμότητας (conduction band) της νοθευμένης- N (N -doped) περιοχής διαχέονται στη νοθευμένη- P (P -doped) περιοχή όπου υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός από οπές (μέρη για τα ηλεκτρόνια στα οποία δεν βρίσκεται κανένα ηλεκτρόνιο) με τις οποίες τα ηλεκτρόνια ανασυνδυάζονται. Όταν ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο συνδυάζεται με μια οπή, η οπή εξαφανίζεται και το ηλεκτρόνιο παύει να είναι ελεύθερο. Επομένως δυο φορείς αγωγιμότητας εξαφανίστηκαν. Η περιοχή γύρω από την επαφή p - n ελαττώνεται από φορείς αγωγιμότητας και επομένως λειτουργεί ως μονωτής.

Παρόλ' αυτά, το πλάτος κατάρρευσης (depletion width) δεν μπορεί να μεγαλώσει απεριόριστα. Για κάθε ζεύγος ηλεκτρονίου-οπής που ανασυνδυάζονται, ένα θετικά φορτισμένο 'νοθευμένο' (dopant) ιόν αφήνεται πίσω στη νοθευμένη- N περιοχή και ένα αρνητικά φορτισμένο 'νοθευμένο' ιόν αφήνεται στη νοθευμένη- P (P -doped) περιοχή. Καθώς προχωράνε οι ανασυνδυασμοί και περισσότερα ιόντα δημιουργούνται, δημιουργείται ένα αυξανόμενο ηλεκτρικό πεδίο στη ζώνη κατάρρευσης το οποίο επιδρά στην επιβράδυνση και τελικά στη διακοπή των ανασυνδυασμών. Σε αυτό το σημείο, υπάρχει μια ενσωματωμένη διαφορά δυναμικού στην ζώνη κατάρρευσης. Αν μια εξωτερική τάση εφαρμοστεί στη διάοδο με την ίδια πολικότητα με την ενσωματωμένη διαφορά δυναμικού, η ζώνη κατάρρευσης συνεχίζει να λειτουργεί ως μονωτής εμποδίζοντας τη διέλευση σημαντικής ποσότητας ηλεκτρικού ρεύματος. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται ανάστροφη πόλωση. Αντίθετα, αν η πολικότητα της εξωτερικής τάσης είναι αντίθετη με την ενσωματωμένη διαφορά δυναμικού, θα συνεχίσουν οι ανασυνδυασμοί με αποτέλεσμα να έχουμε διέλευση ηλεκτρικού ρεύματος μέσω της επαφής p - n . Για τις διόδους από πυρίτιο, η εσωτερική τάση είναι περίπου ίση

με 0.6 V. Επομένως, αν ένα εξωτερικό ρεύμα περάσει από τη δίοδο, θα δημιουργηθεί στη δίοδο μια τάση περίπου 0.6 V έτσι ώστε η νοθευμένη-P περιοχή να είναι θετική σε σχέση με τη νοθευμένη-N περιοχή και η δίοδος χαρακτηρίζεται ως ανοικτή, αφού έχει ορθή πόλωση.



Η χαρακτηριστική καμπύλη I-V μιας επαφής P-N δίοδου

Η χαρακτηριστική καμπύλη I-V της δίοδου μπορεί να προσεγγιστεί από δυο περιοχές λειτουργίας. Αν η τάση ανάμεσα στα δύο άκρα (leads) είναι κάτω από μια συγκεκριμένη τιμή, η ζώνη κατάρρευσης έχει σημαντικό πλάτος και η δίοδος μπορεί να θεωρηθεί ως ένα ανοικτό (μη αγώγιμο) κύκλωμα. Όσο η τάση αυξάνεται, σε κάποιο σημείο η δίοδος θα γίνει αγώγιμη και θα επιτρέψει τη διαρροή του ηλεκτρικού ρεύματος, και μπορεί να θεωρηθεί ως μια σύνδεση με μηδενική (ή τουλάχιστον πολύ μικρή) αντίσταση.

Σε μια κανονική δίοδο από πυρίτιο, η πτώση τάσης σε μια αγώγιμη δίοδο είναι περίπου 0.6 με 0.7 volts. Η τιμή αυτή είναι διαφορετική για άλλους τύπους δίοδων – για τις δίοδους Schottky μπορεί να είναι 0.2 V και για τις δίοδους

εκπομπής φωτός (LEDs) μπορεί να είναι 1.4 V ή μεγαλύτερη (στα γαλάζια LEDs μπορεί να φτάνει και τα 4.0 V). Σχετικά με το διάγραμμα της χαρακτηριστικής καμπύλης I-V, στην περιοχή ανάστροφης πόλωσης για μια κανονική ανορθωτική δίοδο P-N, το ρεύμα μέσω της συσκευής είναι πολύ μικρό (της τάξεως των μA) για όλες τις ανάστροφες τάσεις μέχρι ένα σημείο που ονομάζεται Κορυφή Ανάστροφης Τάσης (PIV). Μετά από αυτό το σημείο, συμβαίνει μια διαδικασία που ονομάζεται αντίστροφη κατάρρευση η οποία προκαλεί βλάβες στη συσκευή με ταυτόχρονη μεγάλη αύξηση στο ηλεκτρικό ρεύμα. Για ειδικές περιπτώσεις διόδων όπως η avalanche ή οι δίοδοι zener, η αρχή της Κορυφής Ανάστροφης Τάσης δεν είναι εφαρμόσιμη αφού έχουν μια εσκεμμένη κατάρρευση μετά από ένα γνωστό αντίστροφο ρεύμα έτσι ώστε η αντίστροφη τάση να φτάσει σε μια γνωστή τιμή (η οποία ονομάζεται τάση zener ή τάση κατάρρευσης). Αυτές οι συσκευές όμως έχουν ένα ανώτατο όριο στο ρεύμα και στην ισχύ

1.3.3 Εφαρμογές των διόδων

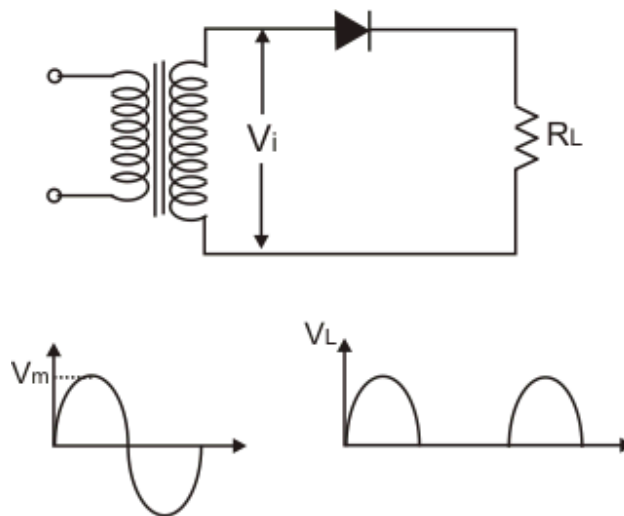
Οι εφαρμογές των διόδων (κρυσταλλοδιόδων) είναι πάρα πολλές. Χρησιμοποιούνται π.χ. στα αναλογικά ηλεκτρονικά κυκλώματα σαν ανορθωτές, δηλαδή σαν ελεγχόμενοι διακόπτες για την διέλευση ή όχι του ηλεκτρικού ρεύματος (ημιανόρθωση, πλήρης ανόρθωση) και στα ψηφιακά ηλεκτρονικά κυκλώματα για την παραγωγή παλμικών σημάτων (ψαλιδιστές). Επίσης χρησιμοποιούνται στη ραδιοφωνία και στην τηλεόραση για την επιλογή της συχνότητας εκπομπής (δίοδοι μεταβλητής χωρητικότητας) καθώς και για την ανύψωση της τάσης (πολλαπλασιαστής τάσης).

Παλαιότερα οι διόδους κατασκευάζονταν σε διακριτή μόνο μορφή όπου το σχήμα και το μέγεθος τους εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά τους (τάση, ρεύμα, ισχύς κ.λ.π.).

Με την ανάπτυξη της ηλεκτρονικής τεχνολογίας, κυρίως μετά το 1970, οι διόδους κατασκευάζονται και υπό μορφή ολοκληρωμένου κυκλώματος το οποίο περιέχει 2, 4 ή και 8 διόδους είτε ασύνδετες μεταξύ τους, είτε σε συνδεσμολογία κοινής ανόδου ή κοινής καθόδου ή γέφυρας. Αυτές οι διατάξεις διόδων λέγονται παρατάξεις ή πίνακες διόδων (diode arrays).

1.3.4 Ημιανόρθωση ή απλή ανόρθωση

Το βασικό κύκλωμα για την ημιανόρθωση ή την απλή ανόρθωση όπως λέγεται φαίνεται στο παρακάτω κύκλωμα:



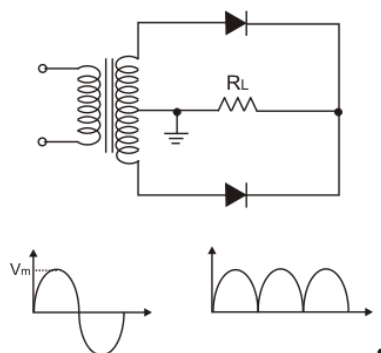
Η AC τάση $V_i = V_m \sin \omega t$ που παρέχει ο μετασχηματιστής από το δευτερεύον, η οποία είναι μια ημιτονοειδής τάση με μέγιστη τιμή V_m , εφαρμόζεται στο φορτίο, διαμέσου μιας διόδου σε σειρά μ' αυτό. Σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις, η τάση V_m είναι πολύ μεγάλη σε σύγκριση με την τάση γονάτου V_γ της διόδου και η αντίσταση της σε κατάσταση ορθής πόλωσης είναι πολύ μικρή σε σύγκριση με την αντίσταση φορτίου, γι' αυτό θεωρούμε την δίοδο ιδανική.

Κατά τη διάρκεια της θετικής ημιπεριόδου της τάσης V_i η δίοδος είναι ON και στο κύκλωμα ρέει η πρώτη ημιπερίοδος ενός ημιτονοειδούς ρεύματος με πλάτος $I_m = V_m / R_L$, όπου R_L η αντίσταση φορτίου. Κατά τη διάρκεια της αρνητικής ημιπεριόδου της τάσης V_i , η δίοδος είναι OFF, έτσι το ρεύμα είναι μηδέν και κατά συνέπεια η τάση στο φορτίο είναι μηδέν. Έτσι στο φορτίο εμφανίζεται μια μεταβαλλόμενη συνεχής τάση. Επειδή υπάρχει ρεύμα μόνο για το μισό της περιόδου, το κύκλωμα ονομάζεται ανορθωτής μισού κύματος.

Όταν συνδέσουμε ένα βολτόμετρο στα άκρα της αντίστασης φορτίου, αυτό θα δείξει τη μέση τιμή της μεταβαλλόμενης συνεχής τάσης στα άκρα της. Εφαρμόζοντας τα μαθηματικά, βρίσκουμε για την μέση τιμή της τάσης φορτίου μια τιμή ίση με $V_{dc} = V_m / \pi$. Για την ενεργό τιμή της τάσης, η οποία ορίζεται σαν εκείνη η τιμή σταθερής τάσης που εμφανίζει το ίδιο ποσό θερμότητας σε μια αντίσταση με τη πραγματική τάση κατά τη διάρκεια μιας περιόδου, όπου μαθηματικά βρίσκεται ίσο με $V_{rms} = V_m / 2$.

1.3.5 Διπλή ανόρθωση με δύο διόδους

Με τη χρησιμοποίηση δυο διόδων, όπως δείχνει το παρακάτω σχήμα, μπορεί να γίνει διπλή ανόρθωση, στην οποία η μια δίοδος άγει στη θετική ημιπερίοδο, ενώ η άλλη άγει στην αρνητική ημιπερίοδο της AC τάσης εισόδου. Έτσι και στις δυο ημιπεριόδους το ρεύμα ρέει με την ίδια κατεύθυνση στην αντίσταση φορτίου. Για να γίνει αυτό πρέπει τα σήματα στις ανόδους των δυο διόδων να έχουν μεταξύ τους διαφορά φάσης ίση με 180° , πράγμα που μπορεί να γίνει με τη χρησιμοποίηση ενός μετασχηματιστή που έχει μεσαία λήψη στο δευτερεύον.

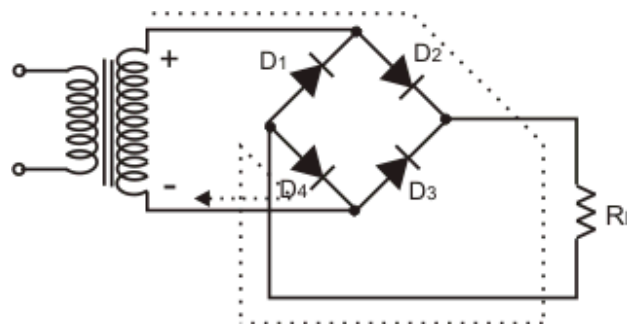


Εφαρμόζοντας τα μαθηματικά, βρίσκουμε τη μέση τιμή της συνεχούς τάσης της εξόδου, που είναι η ένδειξη ενός βολτομέτρου συνδεδεμένου στην αντίσταση φορτίου, ίση με $V_{dc}=2V_m/\pi$, όπου V_m το πλάτος της τάσης. Επίσης βρίσκουμε την ενεργό τάση της μεταβαλλόμενης συνεχής τάσης της εξόδου, ίση με $V_{rms}=V_m/\sqrt{2}$

Συγκρίνοντας τις σχέσεις βλέπουμε ότι η (μέση τιμή της) συνεχής τάσης εξόδου στη διπλή ανόρθωση είναι διπλάσια εκείνης της απλής ανόρθωσης.

1.3.6 Διπλή ανόρθωση με γέφυρα

Είναι δυνατό να πετύχουμε διπλή ανόρθωση με χρήση μετασχηματιστή χωρίς μεσαία λήψη στο δευτερεύον, χρησιμοποιώντας τέσσερις διόδους ανόρθωσης όπως φαίνεται στο σχήμα:



Κατά τη θετική ημιπερίοδο της AC τάσης με πολικότητα όπως φαίνεται στο σχήμα, οι διόδοι D2 και D4 άγουν. Στην επόμενη αρνητική ημιπερίοδο, η AC τάση του δευτερεύοντος, αλλάζει πολικότητα και άγουν οι διόδοι D1 και D3. Αποτέλεσμα είναι ότι και στις δυο ημιπεριόδους, το ρεύμα διαρρέει την

αντίσταση φορτίου με την ίδια κατεύθυνση, εμφανίζοντας στα άκρα της συνεχή τάση, μέσης τιμής ίση με $V_{dc}=2V_m/\pi$, ενώ η ενεργός τιμή της είναι $V_{rms}=V_m/\sqrt{2}$.

1.4 Θυρίστορ

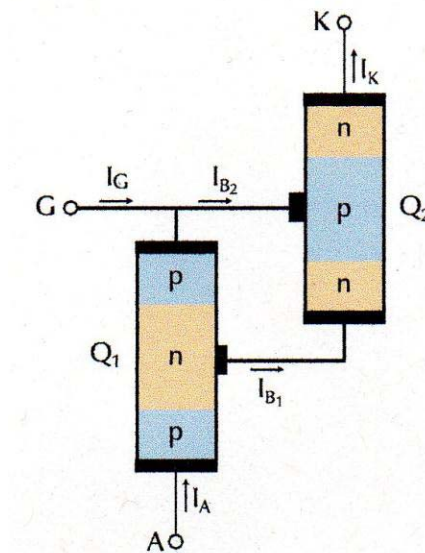
Ο όρος "θυρίστορ" προσδιορίζει περιοχή υλικών σταθερής κατάστασης τα οποία χρησιμοποιούνται ως ηλεκτρικοί ελεγχόμενοι διακόπτες. Κάθε μία από αυτές τις συσκευές μπορεί να μεταβάλλεται μεταξύ μιας αγώγιμης on κατάστασης και μιας μη αγώγιμης off κατάστασης, ώστε να επιτρέπει ή να σταματά, αποτελεσματικά, τη διέλευση ηλεκτρικού ρεύματος. Επιπλέον, κάποια θυρίστορ έχουν τη δυνατότητα να διακόπτουν τη ροή του ρεύματος, σε μία κατεύθυνση, ενώ άλλα θυρίστορ δύνανται να διακόπτουν τη ροή του ρεύματος, σε κάθε κατεύθυνση.

Τα θυρίστορ χρησιμοποιούνται, ευρέως, σε εφαρμογές, όπου πρέπει να ελεγχθεί φορτίο ισχύος DC και AC. Αυτές οι συσκευές χρησιμοποιούνται, συχνά, για να τροφοδοτήσουν ένα συγκεκριμένο ποσό ισχύος σε ένα φορτίο ή για να το αφαιρέσουν, εντελώς, από το φορτίο. Εν τούτοις, χρησιμοποιούνται, επίσης, για να προσαρμόσουν το παρεχόμενο ποσό ισχύος, σε ένα συγκεκριμένο φορτίο. Για παράδειγμα, ένα θυρίστορ μπορεί να χρησιμοποιηθεί, απλώς, για να "ξεκινήσει" ή να "σταματήσει" ένα ηλεκτρικό κινητήρα ή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ρυθμίσει την ταχύτητα ή τη ροπή στρέψης του κινητήρα, σε μία ευρεία περιοχή λειτουργίας.

Τα θυρίστορ δεν πρέπει να συγχέονται με τα διπολικά τρανζίστορ ή με τα τρανζίστορ εγκαρσίου πεδίου (FET). Παρόλο που είναι αλήθεια, ότι τα τρανζίστορ και τα FET μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ηλεκτρονικοί διακόπτες, οι συσκευές αυτές δεν είναι τόσο επαρκείς και δεν έχουν την ικανότητα χειρισμού ισχύος των θυρίστορ. Τα θυρίστορ είναι συσκευές που χρησιμοποιούνται ρητώς, για το σκοπό ελέγχου της ηλεκτρικής ισχύος, ενώ τα τρανζίστορ και τα FET χρησιμοποιούνται, πρωτίστως, για να παρέχουν ενίσχυση.

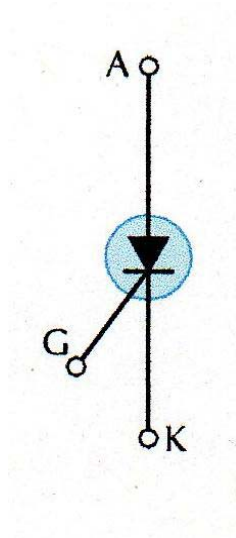
1.4.1 Δομή και γενικά χαρακτηριστικά

Ο ελεγχόμενος ανορθωτής πυριτίου ή θυρίστορ (Silicon Controlled Rectifier ή thyristor, SCR) είναι και αυτός μια διάταξη τεσσάρων στρωμάτων. Έχει την ίδια βασική δομή με την δίοδο P-N-P-N, μόνο που έχει προστεθεί ένα τρίτο ηλεκτρόδιο η πύλη (gate), το οποίο έχει συν-δεθεί με το ενδιάμεσο στρώμα ημιαγωγού τύπου P (σχήμα 17) με αποτέλεσμα ο ελεγχόμενος ανορθωτής πυριτίου να έχει τρία ηλεκτρόδια, την άνοδο (A), την κάθοδο (K) και την πύλη (G) (σχήμα 18).



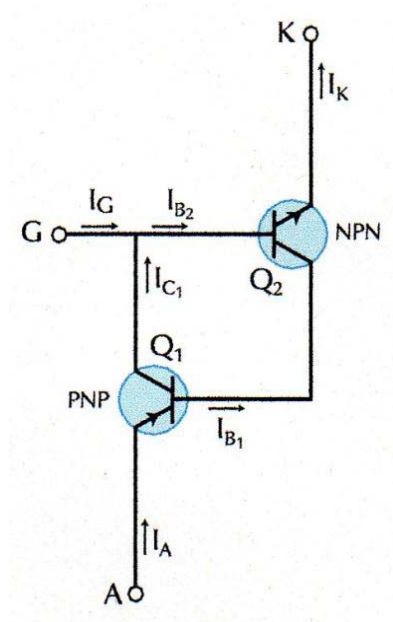
Σχήμα 17.

Ισοδύναμη δομή ενός ελεγχόμενου ανορθωτή πυριτίου



Σχήμα 18.

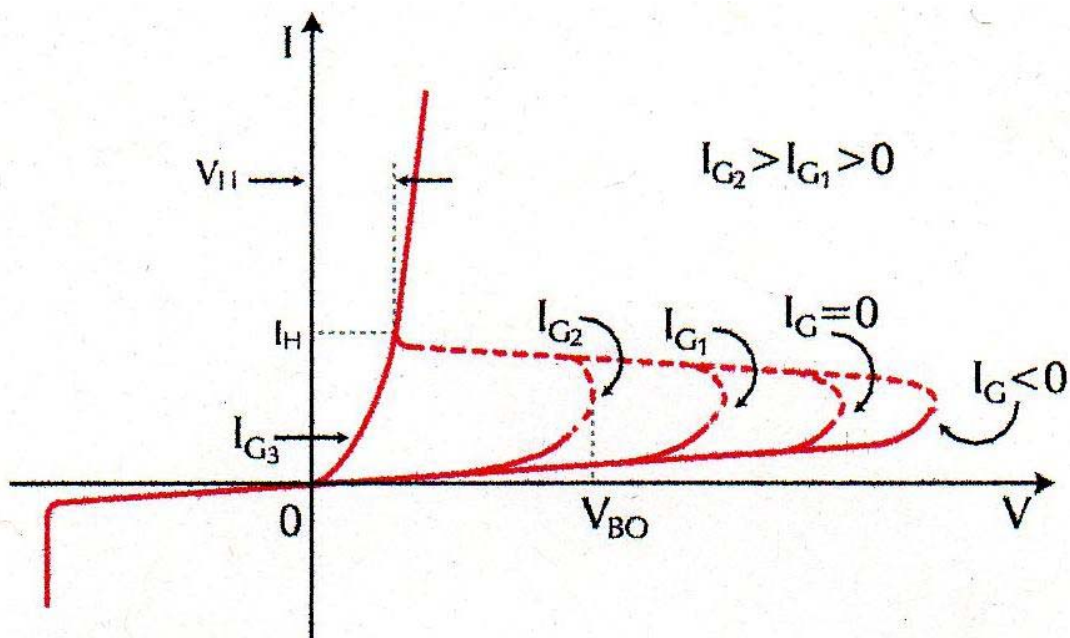
Κυκλωματικό διάγραμμα ενός ελεγχόμενου ανορθωτή πυριτίου



Σχήμα 19.

Ισοδύναμο κύκλωμα ενός ελεγχόμενου ανορθωτή πυριτίου

Ονομάζεται ελεγχόμενος ανορθωτής διότι στην ανάστροφη πόλωση συμπεριφέρεται όπως μια κοινή δίοδος ενώ στην ορθή πόλωση είναι δυνατός ο καθορισμός και έλεγχος της τάσης σκανδαλισμού μέσω του ρεύματος της πύλης. Η εξάρτηση της τάσης σκανδαλισμού από το ρεύμα πύλης φαίνεται στο σχήμα 20. Βασικό χαρακτηριστικό της διάταξης είναι ότι όταν το ρεύμα της πύλης είναι μηδέν τότε ο SCR συμπεριφέρεται ως δίοδος P-N-P-N. Όταν διαβαστεί ένα θετικό ρεύμα μέσα από την πύλη τότε η τάση σκανδαλισμού ελαττώνεται και η ελάττωση είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μεγαλύτερο είναι το ρεύμα. Για μεγάλες τιμές του ρεύματος πύλης (I_{G3} στο σχήμα 20) η τάση σκανδαλισμού είναι τόσο μικρή ώστε το SCR να παρουσιάζει μια χαρακτηριστική ρεύματος – τάσης όμοια με αυτή των διόδων. Αντίθετα, για αρνητικές τιμές του ρεύματος πύλης η τάση σκανδαλισμού αυξάνει. Σε ένα SCR η τάση συγκράτησης και το ρεύμα συγκράτησης δεν εξαρτώνται από το ρεύμα πύλης.



Σχήμα 20.

Χαρακτηριστικές ρεύματος – τάσης ενός ελεγχόμενου ανορθωτή πυριτίου για διάφορες τιμές του ρεύματος πύλης.

1.4.2 Αρχή λειτουργίας

Η ερμηνεία της λειτουργίας του SCR βασίζεται στη συμπεριφορά της διόδου P-N-P-N. Όπως προαναφέρθηκε, το SCR είναι μια διάταξη τεσσάρων στρωμάτων, όπως η δίοδος P-N-P-N, στην οποία έχει προστεθεί μια επαφή στο ενδιάμεσο P τύπου στρώμα. Το ισοδύναμο κύκλωμα παρουσιάζεται στο σχήμα 17 και 19. Έτσι, όταν το ρεύμα της πύλης είναι μηδέν τότε η λειτουργία του SCR είναι ίδια με αυτή της διόδου P-N-P-N, δηλαδή βασίζεται στα ρεύματα κόρου (ανάστροφης πόλωσης) και την μεταβολή των χαρακτηριστικών των τρανζίστορ του ισοδύναμου κυκλώματος. Επειδή μεταξύ πύλης και καθόδου σχηματίζεται μια απλή δίοδος, αρκεί να εφαρμοστεί μια τάση 0,7 V για να αρχίσει να άγει το τρανζίστορ Q2 και κατά συνέπεια και το Q1, δηλαδή το SCR.

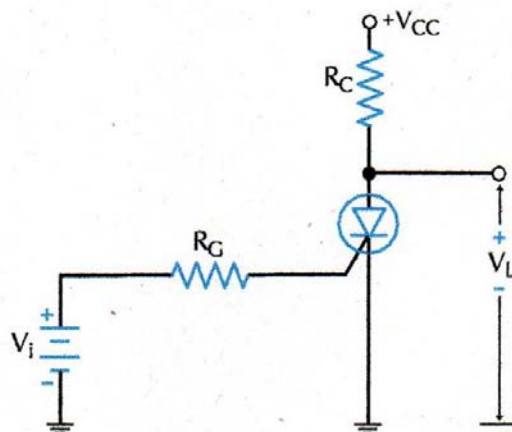
Η παρουσία της πύλης παρέχει τη δυνατότητα διοχέτευσης ρεύματος στο τρανζίστορ Q2 του ισοδύναμου κυκλώματος. Έτσι, αν διοχετευθεί ρεύμα IG όταν το SCR βρίσκεται σε κατάσταση OFF τότε είναι δυνατή η έναρξη της διαδικασίας μανδάλωσης. Στην κατάσταση OFF το ρεύμα IG προστίθεται στο ρεύμα του συλλέκτη του τρανζίστορ Q1, το οποίο είναι το ρεύμα κόρου της διόδου του συλλέκτη. Το άθροισμα των δύο ρευμάτων δίδουν το ρεύμα βάσης του Q2. Συνεπώς το μέτρο του IG θα καθορίσει την τάση στην οποία τα χαρακτηριστικά των τρανζίστορ είναι τέτοια ώστε να ξεκινήσει η διαδικασία μανδάλωσης. Είναι προφανές ότι η τιμή της νέας τάσης σκανδαλισμού θα είναι μικρότερη από εκείνη, η οποία αντιστοιχεί σε μηδενικό ρεύμα πύλης. Όταν το ρεύμα της πύλης είναι πολύ μεγάλο το Q1 άγει «συνεχώς» με αποτέλεσμα η τάση σκανδαλισμού να είναι πάρα πολύ μικρή και το SCR να βρίσκεται σε κατάσταση ON για πολύ μικρές τάσεις. Εάν ο SCR έχει μεταβεί σε κατάσταση ON, παραμένει σ'αυτήν ακόμα και αν μηδενιστεί το ρεύμα της πύλης.

Όταν το ρεύμα της πύλης είναι αρνητικό, το συνολικό ρεύμα βάσης του Q2 θα μειωθεί με αποτέλεσμα να απαιτηθεί μεγαλύτερη τάση στα άκρα του SCR για να ικανοποιηθούν οι συνθήκες οι οποίες θα οδηγήσουν τη διάταξη σε κατάσταση μανδάλωσης. Η εφαρμογή αρνητικού ρεύματος στην πύλη αποτελεί μέθοδο εξαναγκασμένης μετάβασης ενός SCR από την κατάσταση ON σε κατάσταση OFF.

Για να διοχετευθεί ένα ρεύμα στην πύλη ενός SCR απαιτείται η χρησιμοποίηση πηγής τάσης και αντίστασης περιορισμού του ρεύματος πύλης, αφού μεταξύ πύλης και καθόδου υπάρχει δίοδος, η οποία πολώνεται ορθά. Ένα τυπικό κύκλωμα πόλωσης SCR παρουσιάζεται στο σχήμα 21. Οι αντιστάσεις R_G και R_C περιορίζουν το ρεύμα πύλης. Έτσι η τάση εισόδου για να επιτευχθεί η μανδάλωση του SCR υπολογίζεται από την σχέση :

$$V_i = V_T + I_T * R_G$$

όπου V_T είναι η τάση σκανδαλισμού (trigger voltage) και I_T είναι το ρεύμα σκανδαλισμού (trigger current) του SCR. Τα στοιχεία αυτά παρέχονται στα τεχνικά φυλλάδια των κατασκευαστών. Στο κύκλωμα του σχήματος 21 το SCR θα μεταβεί σε κατάσταση OFF μόνο όταν η τάση της πηγής ελαττωθεί τόσο ώστε το ρεύμα, το οποίο διαρρέει το SCR γίνει μικρότερο του I_H ή μηδενιστεί η τάση της πηγής.



Σχήμα 21.

Τυπικό κύκλωμα πόλωσης ενός SCR

1.4.3 Τρόποι μετάβασεις ενός θυρίστορ

Η τεχνική με την οποία επιτυγχάνεται η σβέση ενός θυρίστορ ονομάζεται «μετάβαση» (commutation). Η μετάβαση ενός θυρίστορ μπορεί να επιτευχθεί με τις ακόλουθες τεχνικές :

1) Φυσική μετάβαση η οποία υποδιαιρείται στη :

α) μετάβαση λόγω φορτίου,

β) μετάβαση λόγω της πηγής εισόδου

2) Εξαναγκασμένη μετάβαση η οποία υποδιαιρείται στη :

α) μετάβαση με παλμό ρεύματος,

β) μετάβαση με παλμό έναυσης

1.4.4 Ψύξη του θυρίστορ

Το πρόβλημα της ψύξης του θυρίστορ είναι από τα πιο σοβαρά προβλήματα που αντιμετωπίζουμε, σε ένα θυρίστορ έχουμε απώλεια ενέργειας υπό μορφή θερμότητας και μάλιστα σε μια πολύ μικρή σχετικά επιφάνεια. Γενικά οι θερμικές αντιστάσεις (αντιστάσεις που εμποδίζουν την απαγωγή της θερμότητας και τις συμβολίζουμε όπως και τις ηλεκτρικές) σ'ένα θυρίστορ μπορούν να χωριστούν σε τρεις συνδεδεμένες σε σειρά :

$$T_J = T_A + P_A (R_{JC} + R_{CS} + R_{SA})$$

όπου :

R_{JC} = θερμική αντίσταση από την επαφή στην θήκη

R_{CS} = θερμική αντίσταση από την θήκη στον απαγωγέα θερμότητας

R_{CS} = θερμική αντίσταση από τον απαγωγέα θερμότητας στο περιβάλλον

T_A = θερμοκρασία περιβάλλοντος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 Είδη μετατροπέων ηλεκτρικής ενέργειας

Οι μετατροπείς ηλεκτρικής ενέργειας (ισχύος) διακρίνονται στις παρακάτω 4 κατηγορίες, ανάλογα με τη μορφή της ισχύος εισόδου και εξόδου :

- Μετατροπέας Ε.Ρ /Σ.Ρ
- Μετατροπέας Ε.Ρ/Ε.Ρ
- Μετατροπέας Σ.Ρ/Σ.Ρ
- Μετατροπέας Σ.Ρ/Ε.Ρ

2.2 Μετατροπέας Ε.Ρ /Σ.Ρ (ανορθωτής)

Μετατροπείς ac–dc ή Ανορθωτές (Rectifiers). Ανορθωτές ονομάζονται οι διατάξεις ισχύος, οι οποίες μετατρέπουν το εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές. Ανάλογα με τα διακοπτικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται (δίοδοι, θυρίστορ ή και συνδυασμός αυτών) καθώς επίσης και από τη συνδεσμολογία τους, οι συγκεκριμένοι μετατροπείς διακρίνονται σε :

Μονοφασικούς

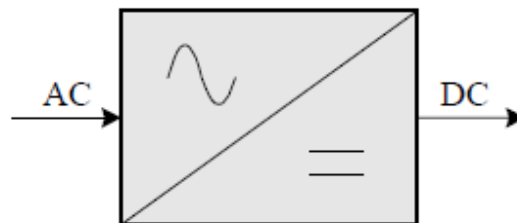
Τριφασικούς

Μη ελεγχόμενους

Ημιελεγχόμενους και

Πλήρως ελεγχόμενους.

Το γενικό σύμβολο των μετατροπέων ac–dc

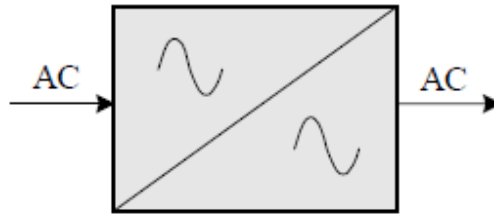


Γενικό σύμβολο του ανορθωτη

2.3 Μετατροπέας E.P/E.P (σταθερής συχνότητας)

Ο μετατροπέας E.P/E.P έχει ως είσοδο εναλλασσόμενη τάση σταθερού μεγέθους και συχνότητας και ως έξοδο εναλλασσόμενη τάση ρυθμιζόμενου μεγέθους και σταθερής συχνότητας ίση με την συχνότητα εισόδου. Η λειτουργία του συγκριτιμένου μετατροπέα είναι ανάλογη εκείνης με του Μ/Σ. Τα διακοπτικά στοιχεία του κυκλώματος ισχύος, ως προς την φορά ροής του ρεύματος, είναι στοιχεία δύο κατευθύνσεων. Για μικρές ισχείς χρησιμοποιούνται Triacs, ενώ για μεγαλύτερες ισχείς αντιπαράλληλα θυρίστορ. Τα δύο αντιπαράλληλα θυρίστορ, ψς διακόπτης εναλλασσομένου, έχει πολύ καλύτερες επιδόσεις από το Triac.

Το γενικό σύμβολο των μετατροπέων ac – ac

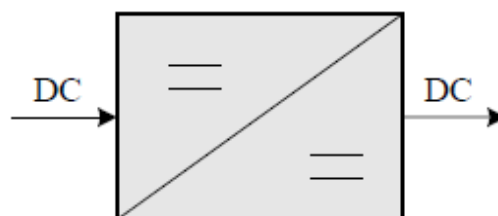


Γενικό σύμβολο του μετατροπέα σταθερής συχνότητας

2.4 Μετατροπέας Σ.Ρ/Σ.Ρ (ψαλιδιστής ή chopper)

Οι μετατροπείς συνεχούς ρεύματος 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.

Το γενικό σύμβολο των μετατροπέων dc – dc



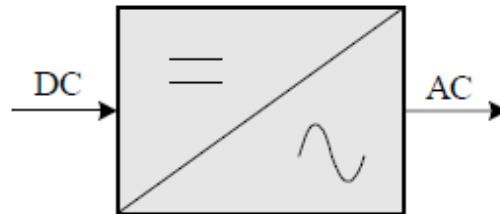
Γενικό σύμβολο του Chopper

2.5 Μετατροπέας Σ.Ρ/Ε.Ρ (αντιστοφείας)

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 τριφασική. Υπάρχουν δύο παραλλαγές α) οι αντιστροφείς πηγής τάσης και β) οι αντιστροφείς πηγής ρεύματος. Επίσης, η

συχνότητα και το πλάτος της τάσης ή του ρεύματος εξόδου είναι ελεγχόμενα. Οι συγκεκριμένοι μετατροπείς (συνδυαζόμενοι στην είσοδο με έναν μετατροπέα Ε.Ρ /Σ.Ρ) χρησιμοποιούνται κατά κόρο για τον έλεγχο κινητήρων Ε.Ρ.

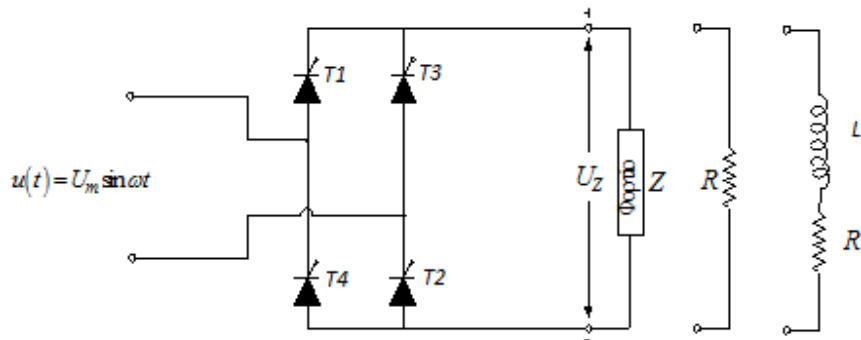
Το γενικό σύμβολο των μετατροπέων dc – ac



Γενικό σύμβολο του αντιστροφέα

2.6 Πλήρως ελεγχόμενη μονοφασική γέφυρα

Η πλήρως ελεγχόμενη μονοφασική γέφυρα αποτελεί την πληρέστερη διάταξη μονοφασικής ανόρθωσης. Η χρήση Μ/Σ στην είσοδο της διάταξης είναι προαιρετική, συνίσταται όμως για λόγους προστασίας (γαλβανική απομόνωση του φορτίου). Η διάταξη αυτή είναι δύο τεταρτημορίων. Δηλαδή με κατάλληλες προϋποθέσεις εκτός από λειτουργία ανορθωτή (ροή ισχύος απο το δίκτυο στο φορτίο) μπορούμε να έχουμε και λειτουργία αντιστοφέα (δίνοντας πλέον από την πλευρά του συνεχούς ρεύματος, ισχύ στο δίκτυο του εναλλασσομένου ρεύματος). Ο μετατροπέας αυτός αποτελείται από τέσσερα θυρίστορ, δύο ανά ημιγέφυρα. Για την ύπαρξη ρεύματος στο φορτίο, θα άγουν ταυτόχρονα τα θυρίστορ T1 και T2, και αντίστοιχα τα T3 και T4, τα οποία θα πυροδοτούνται, επίσης ταυτόχρονα. Οι παλμοί έναυσης των δύο θυρίστορ που ανήκουν στην ίδια ημιγέφυρα, θα έχουν διαφορά φάσης 180° .

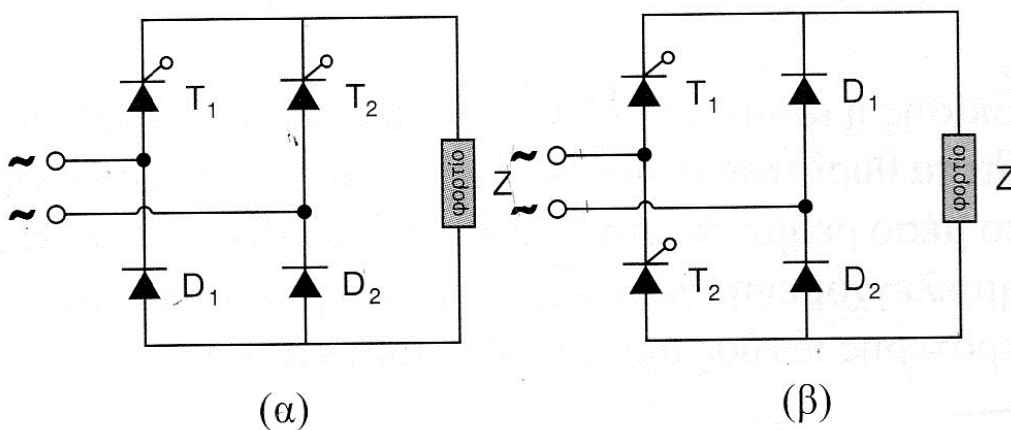


Πλήρως ελεγχόμενη μονοφασική γέφυρα

2.7 Μονοφασική ημieleγχόμενη γέφυρα

Γενικά με τον όρο «ημieleγχόμενες διατάξεις» εννοούμε τις διατάξεις εκείνες που περιλαμβάνουν ελεγχόμενα και μη ελεγχόμενα διακοπτικά στοιχεία (π.χ. θυρίστορ και διόδους).

Στο σχήμα 22 παρουσιάζονται οι δύο διαφορετικοί τύποι μονοφασικών ημieleγχόμενων διατάξεων, ενώ στο σχήμα 23 οι αντίστοιχες κυματομορφές τάσεων – εντάσεων ρεύματος, καθώς και τα διαστήματα αγωγής των επιμέρους διακοπτικών στοιχείων, στην περίπτωση ωμικής φόρτισης.



Σχήμα 22.

Μονοφασικές ημieleγχόμενες διατάξεις. (α) συμμετρική ημieleγχόμενη γέφυρα, (β) ασύμμετρη ημieleγχόμενη γέφυρα.

Το κύκλωμα (α) είναι γνωστό ως συμμετρική ημιελεγχόμενη διάταξη, διότι κάθε κλάδος του περιέχει μια δίοδο και ένα θυρίστορ.

Ανάλογα η διάταξη (β) η οποία περιέχει τις διόδους και τα θυρίστορ σε ξεχωριστούς κλάδους, είναι γνωστή ως ασύμμετρη ημιελεγχόμενη διάταξη.

Σε αντίθεση με τις πλήρως ελεγχόμενες, οι ημιελεγχόμενες διατάξεις λειτουργούν μόνο στο πρώτο τεταρτημόριο, δηλαδή ως ανορθωτές και όχι ως αντιστροφής. Η τάση στα άκρα του φορτίου, σύμφωνα με το σχήμα 22, δεν μπορεί να πάρει αρνητικές τιμές, διότι κάποιος συγκεκριμένος κάθε φορά κλάδος, βραχυκυκλώνει το φορτίο, με αποτέλεσμα την εκφόρτιση της μαγνητικής ενέργειας της αυτεπαγωγής.

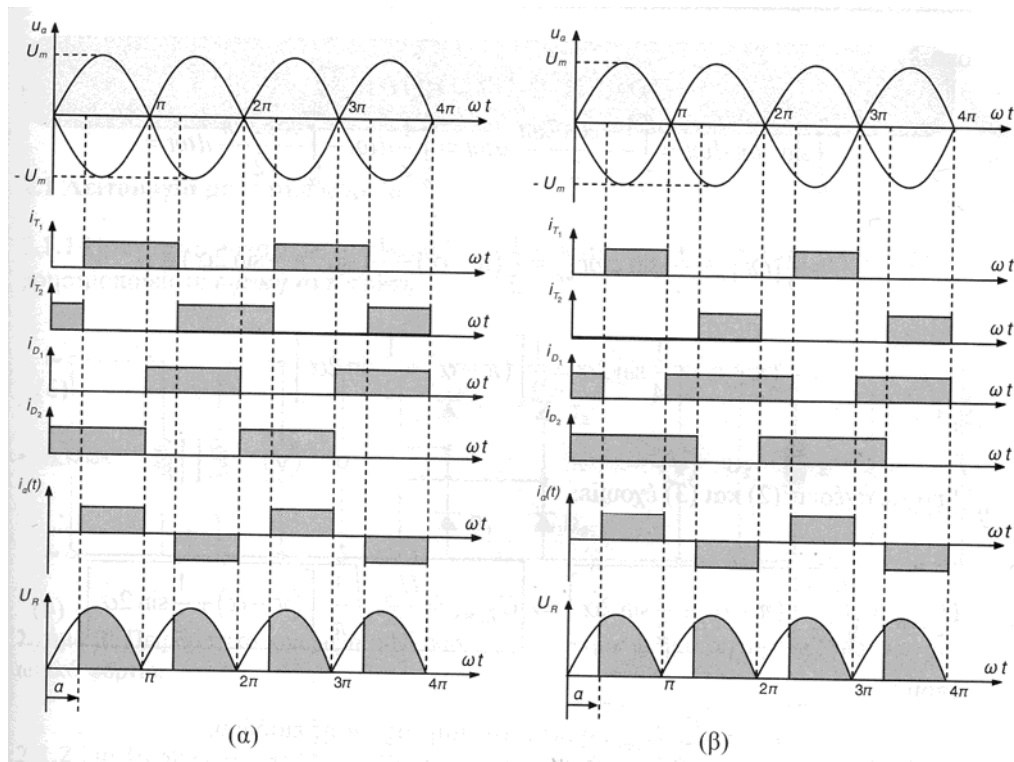
Σύμφωνα με το σχήμα 22, στην περίπτωση της συνεχούς αγωγής και για μια περίοδο της εναλλασσόμενης τάσης, στα χρονικά διαστήματα, $\alpha \leq \omega t \leq \pi + \alpha$ και $2\pi \leq \omega t \leq 2\pi + \alpha$, έχουμε τη δράση των εξής κλάδων ελεύθερης ροής ανά κύκλωμα :

Κύκλωμα	Πρώτη ημιπερίοδο	Δεύτερη ημιπερίοδο
(α)	Κλάδος $T_1 - D_1$	Κλάδος $T_2 - D_2$
(β)	Κλάδος $D_2 - D_1$	Κλάδος $D_1 - D_2$

Για λειτουργία στο πρώτο τεταρτημόριο (λειτουργία ανορθωτή), οι ημιελεγχόμενες διατάξεις πλεονεκτούν έναντι των αντίστοιχων πλήρως ελεγχόμενων, στα εξής :

- α) έχουν μικρότερο κόστος, διότι χρησιμοποιούν τα μισά θυρίστορ,
- β) μικρότερη κατανάλωση έργου ισχύος, καλύτερο συνημίτονο,
- γ) δεν χρειάζονται ξεχωριστή δίοδο ελευθέρως ροής,
- δ) κυκλώματα έναυσης μικρότερης ισχύος.

Επίσης η ασύμμετρη διάταξη, πλεονεκτεί έναντι της αντίστοιχης συμμετρικής, στο ότι τα θυρίστορ άγουν σε μικρότερα χρονικά διαστήματα (σχήμα 23), με αποτέλεσμα το μέσο ρεύμα σε αυτά να είναι μικρότερο. Αυτό σημαίνει ότι, για την ίδια ισχύ της ημιελεγχόμενης γέφυρας, στην ασύμμετρη διάταξη τα θυρίστορ μπορεί να είναι μικρότερης ισχύος από ότι στη συμμετρική.



Σχήμα 23.

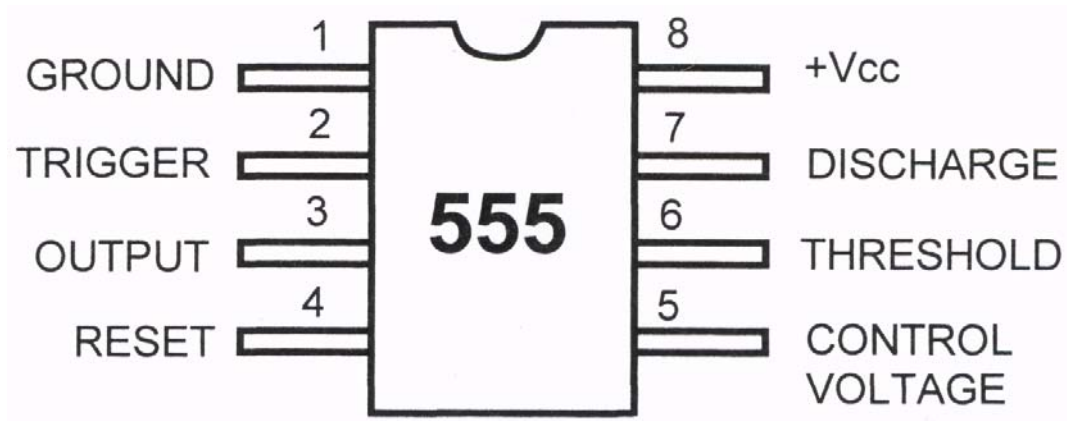
Κυματομορφές μονοφασικής ημιελεγχόμενης διάταξης με ωμικό φορτίο (α) συμμετρική ημιελεγχόμενη γέφυρα (β) ασύμμετρη ημιελεγχόμενη γέφυρα.

2.8 Ο Χρονιστής 555

Ο χρονιστής 555 είναι ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα το οποίο προκαλεί ρύθμιση στον χρόνο. Μπορεί, για παράδειγμα, να χρησιμοποιηθεί σαν ένα χρονικό, το οποίο μόλις δεχθεί έναν παλμό τότε αρχίζει και μετράει έναν χρόνο, τον οποίο έχουμε επιλέξει νωρίτερα, μετά το τέλος του οποίου θα δώσει σήμα στην έξοδο.

Ο χρονιστής 555 τροφοδοτείται από συνεχή τάση τιμής +5V έως +15V. Η έξοδος του είναι, επίσης, θετική.

Ο χρονιστής 555 έχει οχτώ ακροδέκτες, οι οποίοι φαίνονται στο σχήμα :



Σχήμα 1

Ο ακροδέκτης 8 (+Vcc) είναι η θετική τάση τροφοδοσίας ενώ ο ακροδέκτης 1 (Ground) είναι η γείωση.

Ο ακροδέκτης 3 (Output) είναι η έξοδος του χρονοιστή. Έχει δύο καταστάσεις, την κατάσταση HIGH και την κατάσταση LOW. Στην κατάσταση LOW η έξοδος του χρονοιστή ενεργεί σαν χαμηλή αντίσταση (10Ω) ως προς την γη, ενώ στη κατάσταση HIGH σαν ισοδύναμη αντίσταση 10Ω μεταξύ του Vcc και του ακροδέκτη 3.

Ο ακροδέκτης 2 (Trigger) συνδέεται με το σήμα εισόδου και είναι ο ακροδέκτης διέγερσης. Αν η τάση που εφαρμόζεται στον ακροδέκτη αυτό είναι μεγαλύτερη από τα 2/3 της τάσης Vcc, η έξοδος παραμένει σε σήμα 0" (κατάσταση LOW). Αν εφαρμοστεί το αρνητικό μέτωπο του παλμού κατάλληλου ύψους τότε η έξοδος οδηγείται σε σήμα 1" (κατάσταση HIGH). Επίσης, η διάρκεια του παλμού διέγερσης πρέπει να είναι μικρότερη από τη διάρκεια του παλμού που περιμένουμε στην έξοδο του χρονοιστή. Αν ο ακροδέκτης διατηρείται σε χαμηλή τάση, η έξοδος παραμένει στην κατάσταση HIGH. Τέλος, ο ακροδέκτης αυτός δεν πρέπει να γειώνεται για μεγάλα χρονικά διαστήματα.

Ο ακροδέκτης 4 (Reset) είναι ο ακροδέκτης μηδενισμού, ο οποίος επιτρέπει στον χρονοιστή να μηδενιστεί η λειτουργία του, λόγω της διέγερσης του από την είσοδο trigger. Όταν η είσοδος αυτή δεν χρησιμοποιείται πρέπει να συνδέεται στην τάση Vcc. Όταν η είσοδος reset γειώνεται ή όταν η τάση της είναι κάτω από 0,4, η έξοδος output και ο ακροδέκτης 7 (discharge) είναι περίπου στο δυναμικό της γης, δηλαδή η έξοδος είναι στην κατάσταση LOW. Αν η έξοδος είναι στην

κατάσταση HIGH και ο ακροδέκτης reset γειωθεί, η έξοδος οδηγείται στην κατάσταση LOW.

Ο ακροδέκτης 7 (discharge) είναι ο ακροδέκτης εκφόρτισης και χρησιμεύει για να εκφορτίσει ένα πυκνωτή που έχουμε συνδέσει εξωτερικά, κατά τη διάρκεια που η έξοδος είναι στην κατάσταση LOW. Όταν η έξοδος είναι στην κατάσταση HIGH ο ακροδέκτης 7 ενεργεί σαν ανοιχτό κύκλωμα, επιτρέποντας στον πυκνωτή να φορτιστεί με ρυθμό που καθορίζεται από την εξωτερική αντίσταση ή από την αντίσταση και τον πυκνωτή.

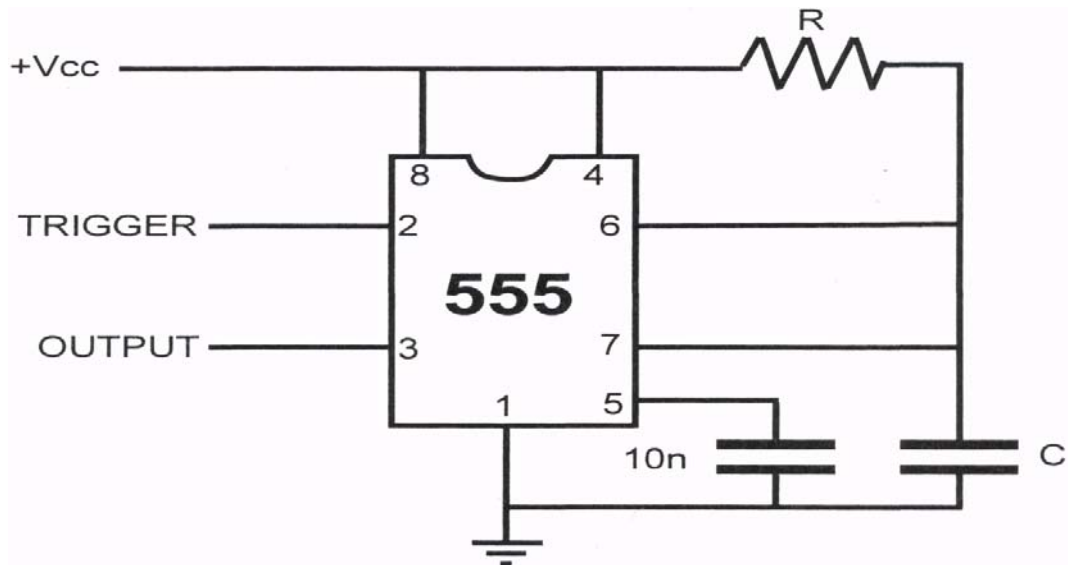
Ο ακροδέκτης 6 (threshold) είναι ο ακροδέκτης κατωφλίου. Ρυθμίζει την τάση ενός εξωτερικού πυκνωτή. Όταν ο χρονιστής 555 διεγερθεί και οδηγηθεί στην κατάσταση HIGH, ο ακροδέκτης 6 παρακολουθεί την τάση του πυκνωτή V_c . Όταν η τάση φτάσει στην τάση threshold, που είναι τα $2/3$ της V_{cc} , η έξοδος του 555 οδηγείται στην κατάσταση LOW.

Τέλος, μεταξύ του ακροδέκτη 5 (control voltage) και της γης, συνήθως, συνδέουμε ένα πυκνωτή $0,01 \mu F$ για φίλτρο. Από τον πυκνωτή αυτό διαρρέει προς την γη ο θόρυβος ή και η τάση κυμάτωσης του τροφοδοτικού, ώστε να ελαχιστοποιηθεί η επίδραση τους στην τάση threshold. Επίσης, ο ακροδέκτης αυτός χρησιμοποιείται για να αλλάξει τόσο την στάθμη της τάσης threshold όσο και τη στάθμη της τάσης trigger. Αν εφαρμόσουμε εξωτερική τάση στον ακροδέκτη 5, θα αλλάξει και την τάση threshold και την τάση trigger, ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να διαμορφώσει την κυματομορφή εξόδου.

Ο χρονιστής 555 έχει πολλές χρήσεις, η πιο διαδεδομένη όμως είναι σαν μονοσταθής πολυδονητής, που περιγράφεται παρακάτω.

2.8.1 Ο χρονιστής 555 σαν μονοσταθής πολυδονητής

Η συνδεσμολογία του χρονιστή 555 σαν μονοσταθής πολυδονητής παρουσιάζεται στο σχήμα 2:



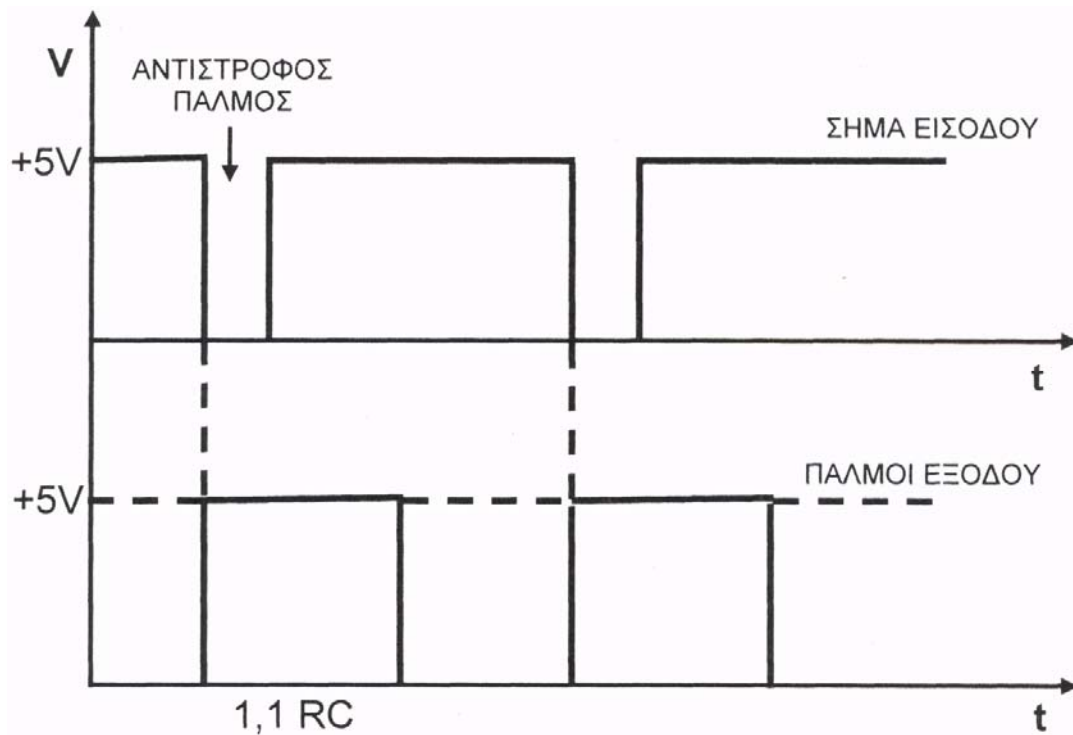
Σχήμα 2

Η λειτουργία του είναι η εξής:

Έστω ότι ο ακροδέκτης 2 (trigger) έχει μία θετική τάση +5V οπότε η έξοδος (ακροδέκτης 3) είναι ίση με 0V. Διακόπτουμε την τροφοδοσία του ακροδέκτη 2 στιγμιαία, πατώντας ένα μπουτόν stop, επομένως η έξοδος οδηγείται σε τάση +5V (κατάσταση HIGH). Αφήνουμε το μπουτόν stop, ξαναδίνοντας τροφοδοσία στον ακροδέκτη 2, ενώ η έξοδος παραμένει στα +5V. Μετά από έναν χρόνο T η έξοδος οδηγείται στην κατάσταση LOW (0V) και επανερχόμαστε στην αρχική κατάσταση. Επομένως, με μία συνεχή τάση σαν σήμα εισόδου έχουμε παραγωγή παλμού στην έξοδο, με στιγμιαία διακοπή της τάσης στην είσοδο ("αντίστροφος παλμός"), του οποίου η διάρκεια (χρόνος T) καθορίζεται από τα R, C ο χρόνος T υπολογίζεται από την σχέση : $T=1,1RC$

Ο χρονιστής 555 διεγείρεται όταν το σήμα εισόδου στον ακροδέκτη 2 πέσει κάτω από το 1/3 της τάσης τροφοδοσίας Vcc. Η διάρκεια του "αντίστροφου παλμού" στην είσοδο θα πρέπει να έχει μικρότερη διάρκεια από αυτή του παλμού εξόδου. Ο πυκνωτής 10nF υπάρχει περίπτωση να παρουσιάζει κυμάτωση, οπότε εξομαλύνει την τάση τροφοδοσίας γιατί ο χρονιστής εσωτερικά έχει συγκριτές και μια ενδεχόμενη κυματωση θα προκαλούσε προβλήματα.

Το σήμα εισόδου και εξόδου του χρονιστή 555 σαν μονοσταθής πολυδονητής παρουσιάζονται στο σχήμα 3:



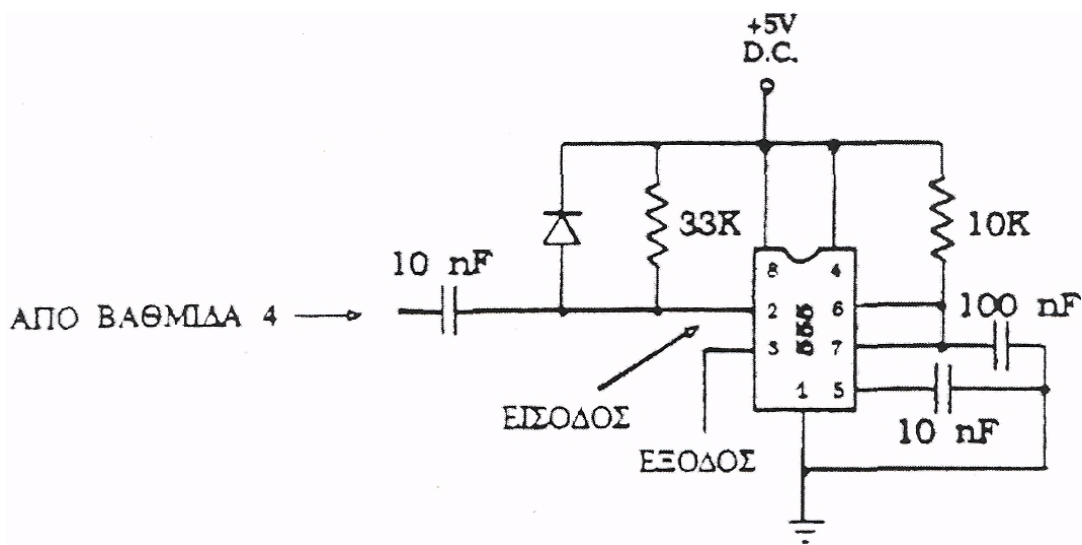
Σχήμα 3

2.8.2 Βαθμίδα 5^η

Το κύκλωμα της πέμπτης βαθμίδας περιλαμβάνει τον χρονιστή 555 σαν μονοσταθή πολυδονητή. Όπως αναφέραμε ο μονοσταθής πολυδονητής βγάζει

παλμό στην έξοδο μόνο όταν δεχθεί "αντίστροφο παλμό". Επίσης, ο "αντίστροφος παλμός" πρέπει να έχει διάρκεια μικρότερη από αυτή του παλμού εξόδου του χρονιστή.

Η διάρκεια του παλμού εξόδου είναι $T=1,1RC$ και στο συγκεκριμένο κύκλωμα είναι: $T=1,1 \times 10K\Omega \times 100nF=1,1 \text{ msec}$. Ο "αντίστροφος παλμός" από την τέταρτη βαθμίδα έχει μεταβαλλόμενη διάρκεια που φθάνει τα 10msec. Επομένως, πρέπει να μειώσουμε την διάρκεια του "αντίστροφου παλμού". Γι ' αυτό τον σκοπό χρησιμοποιούμε ένα δικτύωμα RC πριν από τον χρονιστή 555, με αντίσταση $R=33K\Omega$ και πυκνωτή $C=10 \text{ nF}$ (σχήμα 4).



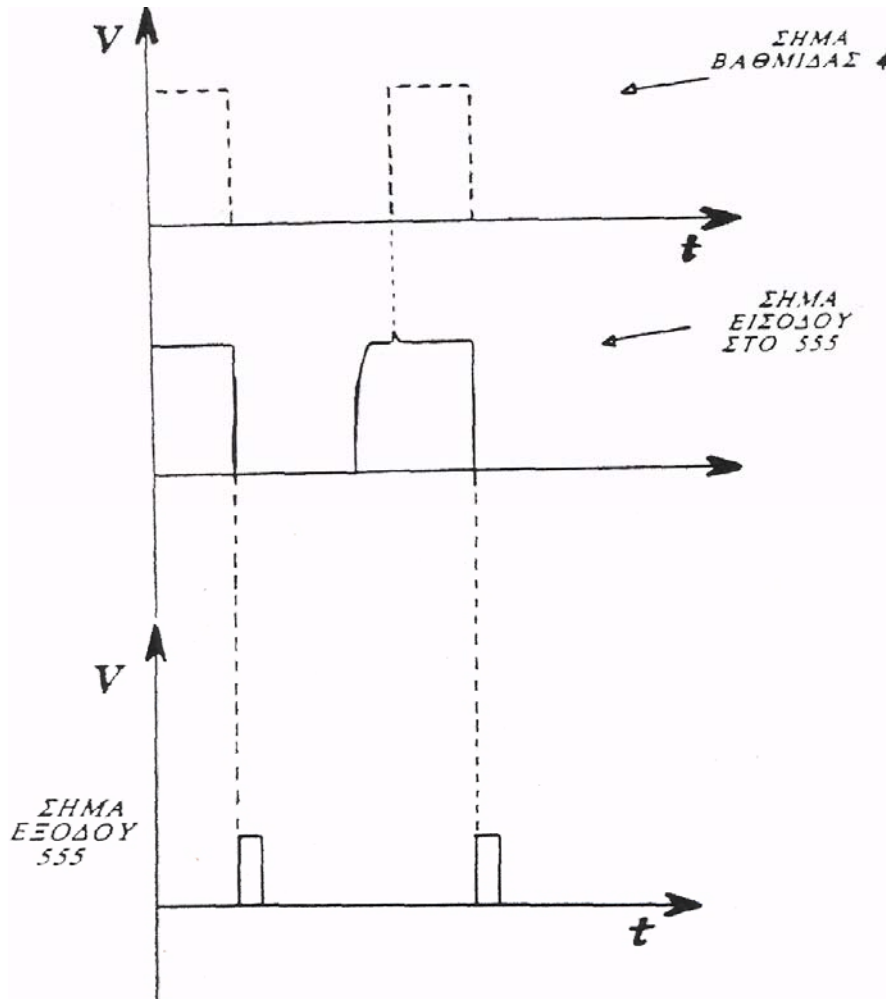
Σχήμα 4

Το ένα άκρο του δικτύωματος το τροφοδοτούμε με σταθερή τάση +5V ενώ στο άλλο άκρο δίνουμε την έξοδο του κυκλώματος της τέταρτης βαθμίδας. Για όσο διάστημα η βαθμίδα 4 δίνει τάση +12V η τάση στην επαφή 2 του χρονιστή 555 είναι +5V. Αυτό γίνεται γιατί η διάοδος είναι ορθά πολωμένη και μεταφέρει το δυναμικό των +5V, ενώ ο πυκνωτής είναι, επίσης, φορτισμένος.

Την στιγμή που η τάση από την βαθμίδα 4 μηδενίζεται τότε στιγμιαία μεταφέρεται στην είσοδο του 555 το δυναμικό του πυκνωτή που ήταν φορτισμένος αρνητικά.

Συγχρόνως έχουμε την φόρτιση του πυκνωτή στα +5V σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα και αυτό λόγω της μικρής σταθεράς χρόνου του δικτύωματος. Όταν η

βαθμίδα 4 ξαναδώσει τάση, αυτή η τάση θα προστεθεί στα +5V του πυκνωτή όμως η δίοδος θα τα αποκόψει (γι' αυτό και παρουσιάζεται η "μύτη").



Σχήμα 5

Με αυτό τον τρόπο μειώνεται η διάρκεια του αντίστροφου παλμού σε $T=33K \times 10n=0,33msec$ περίπου. Στην πραγματικότητα αυτό που μας ενδιαφέρει για τον

αντίστροφο παλμό είναι τα σημεία όπου η τάση πέφτει κάτω από το $1/3V_{cc}$ δηλαδή $5/3=1,66V$ και ανεβαίνει πάνω από τα $1,66V$. Επομένως ο αντίστροφος παλμός έχει ακόμα μικρότερη διάρκεια από τα $0,33msec$. Η έξοδος του χρονιστή 555 δίνει παλμό $+5V$ σε κάθε αντίστροφο παλμό.

2.9 Ο Μετασχηματιστής Παλμών

Ο μετασχηματιστής παλμών, ή μαγνητικός ενισχυτής, είναι μια διάταξη που χρησιμοποιεί πυρήνες κόρου σε συνδυασμό με ξηρούς ανορθωτές.

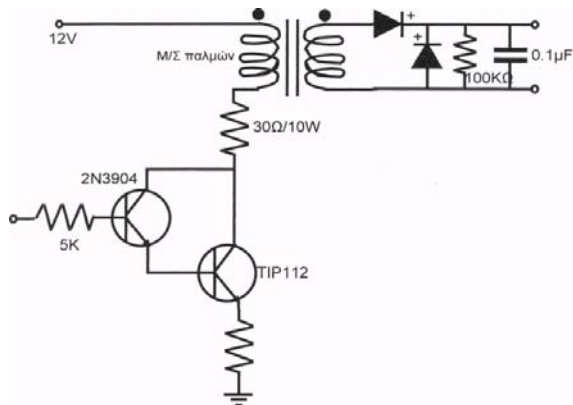
Για ισχείς μεγαλύτερες των $100 W$, οι μετασχηματιστές παλμών αποδεικνύονται οικονομικότεροι από τους ηλεκτρονικούς και τους δυναμοηλεκτρικούς ενισχυτές. Επίσης, έχουν τα εξής πλεονεκτήματα:

1. Αντέχουν σε ισχυρές μηχανικές δονήσεις και μπορούν, γενικά, να λειτουργήσουν ομαλά υπό δυσμενείς συνθήκες περιβάλλοντος.
2. Δεν έχουν κινούμενα μέρη, τα οποία απαιτούν συντήρηση.
3. Υπάρχει ηλεκτρική μόνωση μεταξύ εισόδου και εξόδου.
4. Δεν έχουν ανάγκη πυρακτώσεων και επομένως είναι έτοιμοι για λειτουργία σε κάθε χρονική στιγμή.
5. Παρέχουν υψηλή ενίσχυση ισχύος (πάνω από 10^6 ανά βαθμίδα).
6. Έχουν σχετικά υψηλό βαθμό απόδοσης (80%-90%)

Οι μαγνητικοί ενισχυτές, σήμερα, μπορούν να ενισχύσουν σήματα της στάθμης του mW και να ελέγξουν ισχείς της τάξης του MW . Επίσης, έχουν χαμηλή αντίσταση εισόδου ($100\Omega-500\Omega$) και αργή χρονική απόκριση (χρόνος αποκατάστασης από $0,1 sec$ ως και μερικά δευτερόλεπτα).

2.9.1 Το κύκλωμα της έκτης βαθμίδας

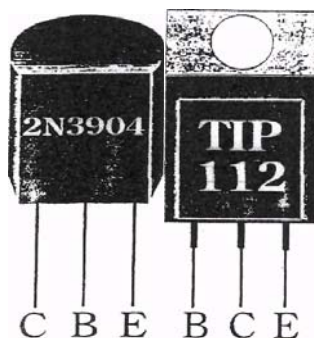
Το κύκλωμα της έκτης βαθμίδας παρουσιάζεται στο σχήμα 6.



Σχήμα 6

Το κύκλωμα αποτελείται από τρία τμήματα:

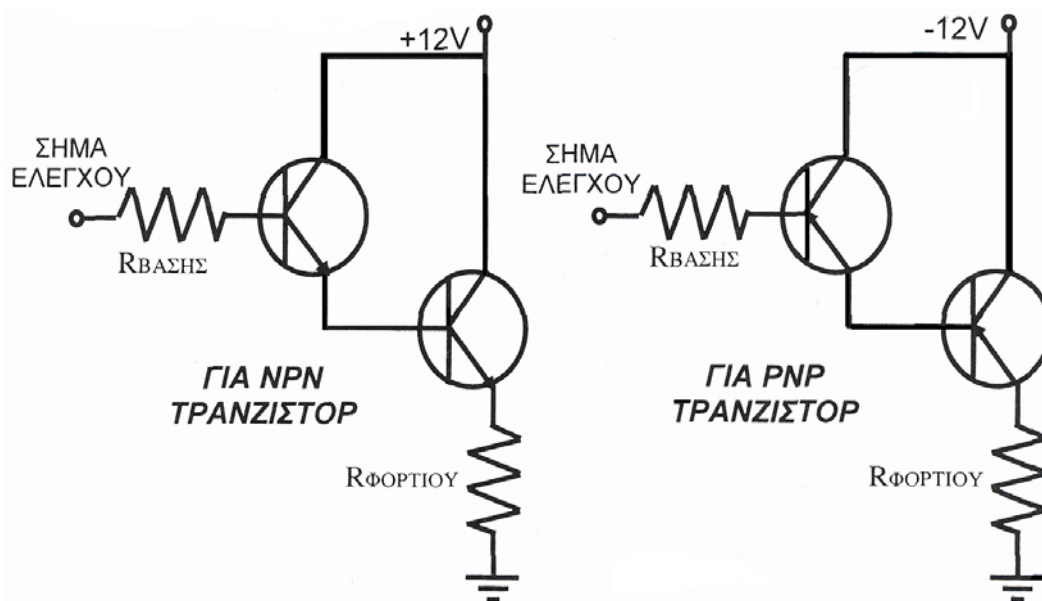
1. Δύο τρανζίστορ σε συνδεσμολογία Darlington με τις κατάλληλες αντιστάσεις
 2. Ένας μετασχηματιστής παλμών και δύο διόδοι
 3. Μία αντίσταση και ένας πυκνωτής στην έξοδο του μετασχηματιστή για προστασία της πύλης.
- Τα τρανζίστορ που χρησιμοποιούνται είναι το 2N3904 και το TIP112 (σχήμα 7). Το τρανζίστορ TIP112 έχει εσωτερικά δύο τρανζίστορ σε συνδεσμολογία Darlington και έτσι η ενίσχυση του είναι μεγάλη. Το γινόμενο των δύο εσωτερικών τρανζίστορ μας δίνει την συνολική ενίσχυση του TIP112.



Σχήμα 7

2.10 Συνδεσμολογία Darlington

Όταν το ρεύμα βάσης που παρέχει η βαθμίδα ελέγχου δεν είναι ικανό να φέρει το τρανζίστορ σε κατάσταση πλήρους αγωγής τότε θα πρέπει να το ενισχύσουμε χρησιμοποιώντας ένα άλλο τρανζίστορ. Χρησιμοποιούμε, δηλαδή, την συνδεσμολογία Darlington, όπως φαίνεται στο σχήμα 8 για NPN και PNP τρανζίστορ.



Σχήμα 8

Από το σχήμα 6 παρατηρούμε ότι το πρώτο τρανζίστορ ενισχύει το ρεύμα και ταυτόχρονα τροφοδοτεί την βάση του δεύτερου τρανζίστορ, το οποίο είναι και μεγαλύτερο. Έτσι, πετυχαίνουμε τον έλεγχο του δεύτερου τρανζίστορ από το αρχικό σήμα ελέγχου.

Χρησιμοποιώντας περισσότερα από δύο τρανζίστορ σε συνδεσμολογία Darlington πετυχαίνουμε πολλαπλές ενισχύσεις. Θα πρέπει όμως να ληφθεί υπόψη και η πτώση τάσης μεταξύ εκπομπού-βάσης σε καθένα από τα τρανζίστορ.

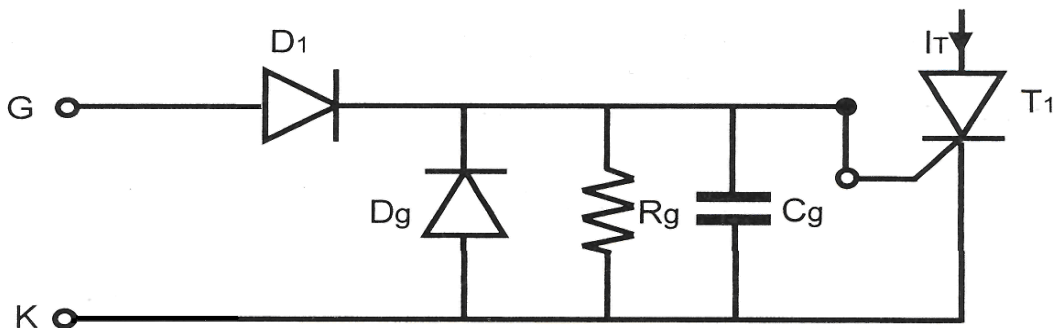
Η αντίσταση που χρησιμοποιείται, των 30Ω, είναι βαττική ώστε να αντέχει στο ρεύμα που δημιουργείται κατά την απομάκρυνση του παλμού.

Ο μετασχηματιστής παλμών έχει δύο δευτερεύοντα και έχουν σχέση μεταφοράς 1:1:1. Τα δύο δευτερεύοντα χρησιμεύουν στην περίπτωση που με ένα κύκλωμα πυροδότησης πυροδοτούνται δύο θυρίστορ, όπως στο κύκλωμα μας. Με τον

μετασχηματιστή παλμών πετυχαίνουμε ουσιαστικά γαλβανική απομόνωση, λόγω της σχέσεως μεταφοράς του. Οι μετασχηματιστές παλμών που χρησιμοποιούνται έχουν τη δυνατότητα παροχής ρεύματος φορτίου 300mA, που σημαίνει ότι με το παρόν κύκλωμα πυροδότησης υπάρχει η δυνατότητα ελέγχου κάθε γέφυρας που έχει θυρίστορ με ρεύμα πύλης ως 300mA.

2.11 Κύκλωμα προστασίας της πύλης

Το κύκλωμα προστασίας της πύλης παρουσιάζεται στο σχήμα 9.



Σχήμα 9

Η έξοδος του μετασχηματιστή παλμών συνδέεται στην πύλη και στην κάθοδο του θυρίστορ μέσω άλλων προστατευτικών στοιχείων. Η διάοδος D_1 επιτρέπει μόνο τους θετικούς παλμούς να περάσουν, ενώ η διάοδος D_g προστατεύει την πύλη από αρνητικές τάσεις. Η αντίσταση R_g αυξάνει τον ρυθμό μεταβολής της τάσης dv/dt , ελαττώνει τον χρόνο σβέσης και αυξάνει τα ρεύματα συγκράτησης και μανδάλωσης. Τέλος, ο πυκνωτής C_g γειώνει τις αιχμές τάσης υψηλών συχνοτήτων και αυξάνει την ικανότητα του θυρίστορ στον ρυθμό μεταβολής της τάσης dv/dt .

ΜΕΡΟΣ Β΄ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Πτυχιακή εργασία :Μητροπούλου Αθανασία, Προδρομίδης Ιωάννης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

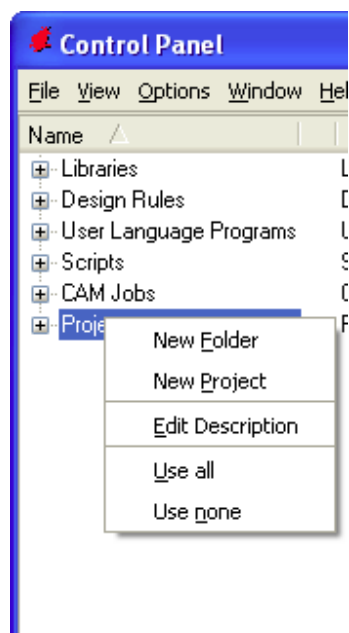
1.1 Κατασκευή πλακέτας

Για τον σχεδιασμό της πλακέτας χρησιμοποιήσαμε το **Eagle**. Είναι πρόγραμμα το οποίο διανέμεται δωρεάν στο internet, το site για να βρούμε το **Eagle** είναι www.cadsoft.de.

1.2 Ο σχεδιασμός

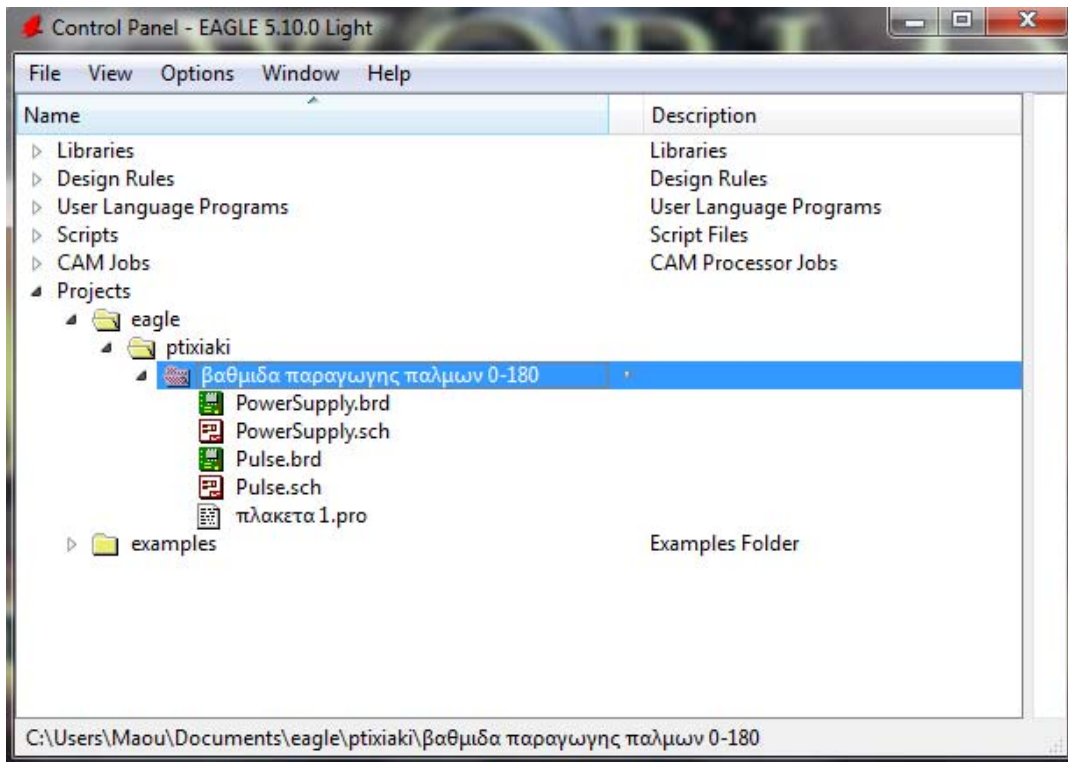
Θα ξεκινήσουμε δημιουργώντας το κύκλωμα στο **Eagle** το οποίο θα είναι το τροφοδοτικό μας.

Ανοίξτε το **Eagle**, στο πεδίο **Projects** κάντε δεξί κλικ και έπειτα αριστερό κλικ στο **New Project**.

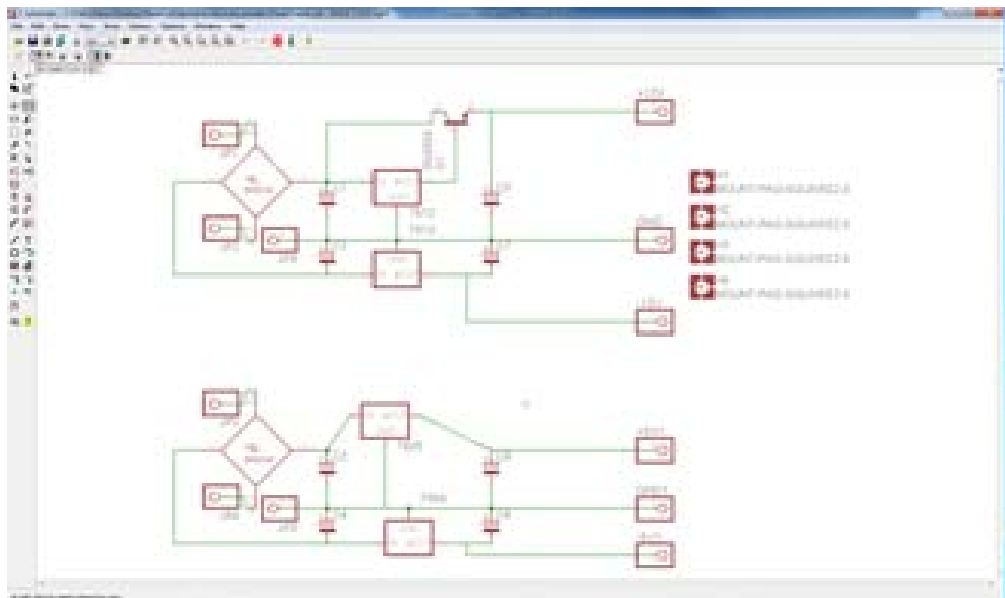


Δώστε ένα όνομα στο νέο **Project** π.χ. **PowerSupply** και κατόπιν πατήστε το πλήκτρο **Enter**.

Στο **Project** που δημιουργήσατε τώρα κάντε πάλι δεξί κλικ κατευθύνετε τον κέρσορα στην επιλογή **New** και επιλέξτε την επιλογή **Schematic**.



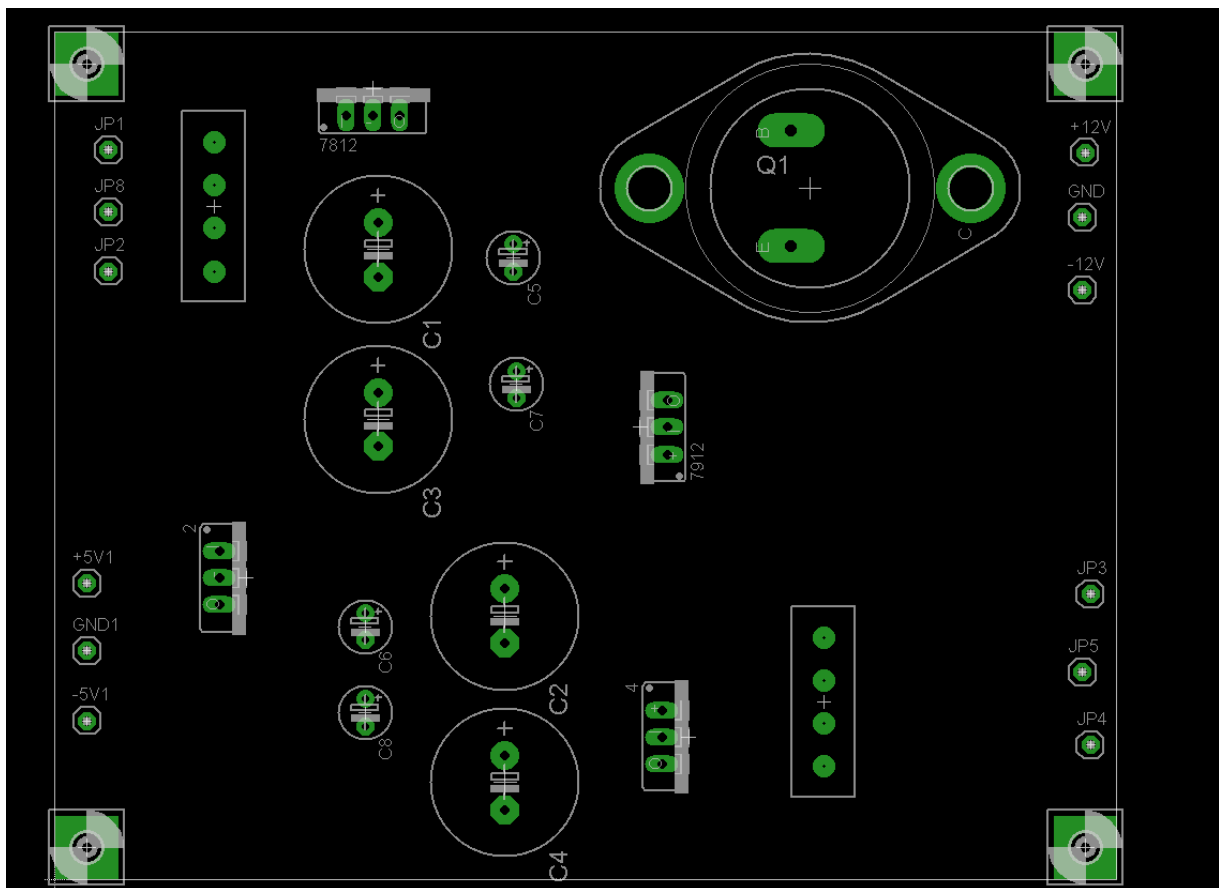
Αμέσως θα ανοίξει το κομμάτι για το σχεδιασμό του **Project : PowerSupply**



Αφού ολοκληρώσουμε τον σχεδιασμό του κυκλώματος, αυτό θα πρέπει να ελεγχθεί για τυχόν λάθη ή μη συνδεδεμένα εξαρτήματα στο κύκλωμα, αυτό επιτυγχάνετε με την επιλογή **Erc** από τον πίνακα των εργαλείων.

Κατόπιν μεταφέρουμε το σχέδιο στο κομμάτι του προγράμματος για τον σχεδιασμό της πλακέτας πατώντας στο κουμπί **Board** και εδώ θα ανοίξει αυτόματα το αντίστοιχο πρόγραμμα και θα φέρει τα εξαρτήματα και τις συνδέσεις

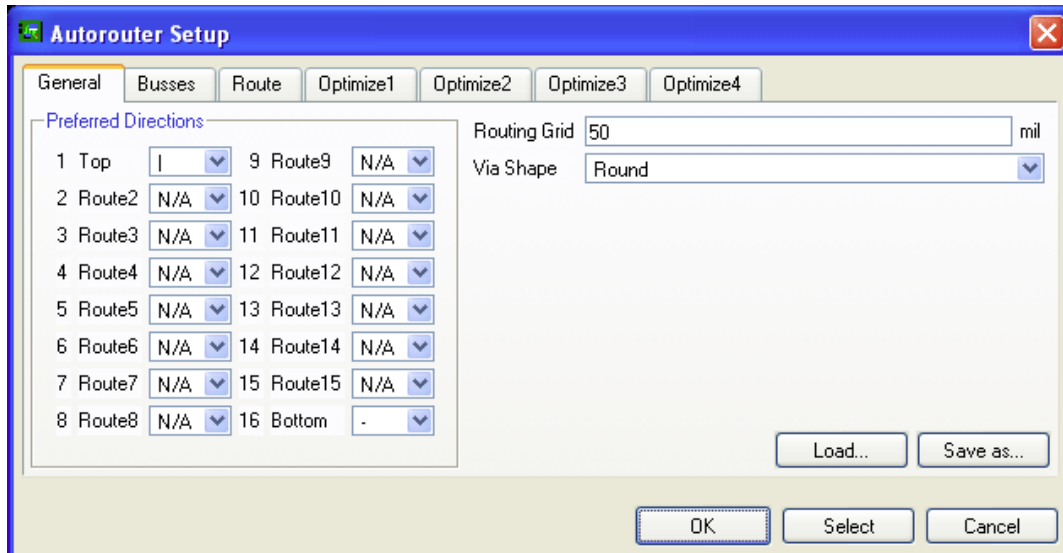
από το προηγούμενο.



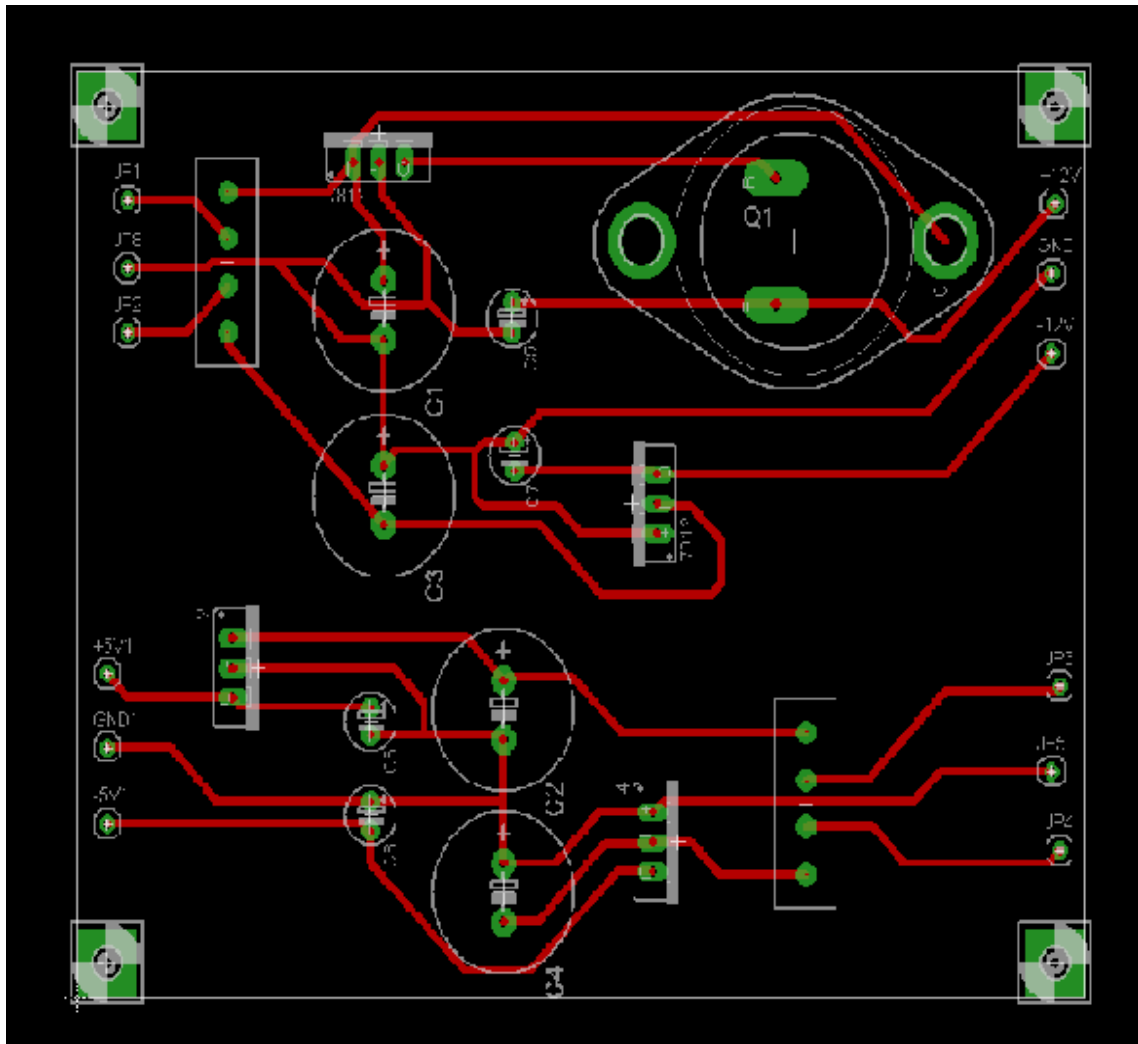
Σε αυτήν την φάση θα πρέπει να τοποθετήσετε τα υλικά όπως εσείς θέλετε, αλλά θα πρέπει να προσέξετε και την ευκολότερη διαδρομή για τις πίστες που θα δημιουργηθούν αργότερα.

Αφού ολοκληρώσετε την τοποθέτηση των υλικών χρησιμοποιήστε το πλήκτρο **Ratsnet** από την μπάρα εργαλείων ώστε το πρόγραμμα να ξανά δρομολογήσει τις δικτυώσεις και να είναι όσο το δυνατόν πιο σύντομες, στο τέλος πατήστε το

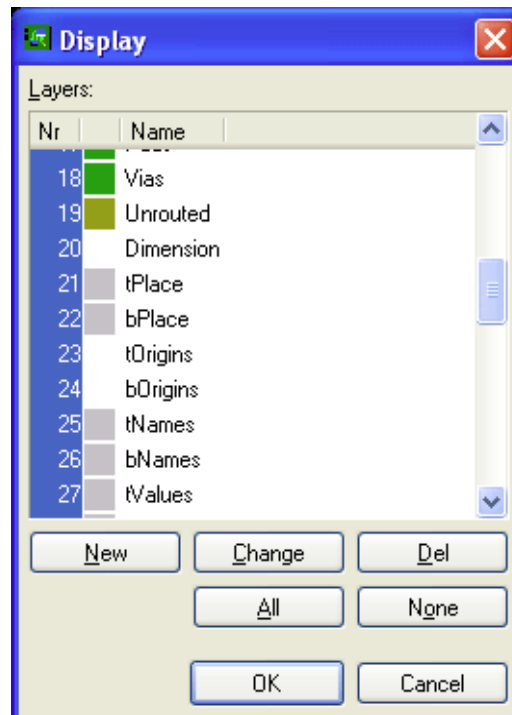
πλήκτρο **Auto** επιλέξτε τα **Layer** που επιθυμητέ και πιάστε το πλήκτρο **OK** για να δημιουργηθούν οι πίστες.



Το αποτέλεσμα θα είναι όπως η παρακάτω εικόνα Ρύθμισης του Autorouter **1 TOP [N/A] - 16 Bottom [*]** τα υπόλοιπα όπως έχουν.



Αφού λοιπόν ολοκληρώσαμε το κύκλωμα θα πρέπει να το εξάγουμε σε εικόνα ώστε μετέπειτα να μπορέσουμε να το επεξεργαστούμε στο **Photoshop CS**. Πρώτα από όλα θα πρέπει να κρύψουμε όλα αυτά που δεν χρειάζονται π.χ. τα υλικά, τα ονόματα, τις τιμές και να αφήσουμε εμφανής μόνο τις πίστες του κυκλώματος μας. Για να το πετύχουμε αυτό πρέπει να πατήσουμε το κουμπί **Display** από τον πίνακα των εργαλείων και να αφαιρέσουμε τις εξής επιλογές.

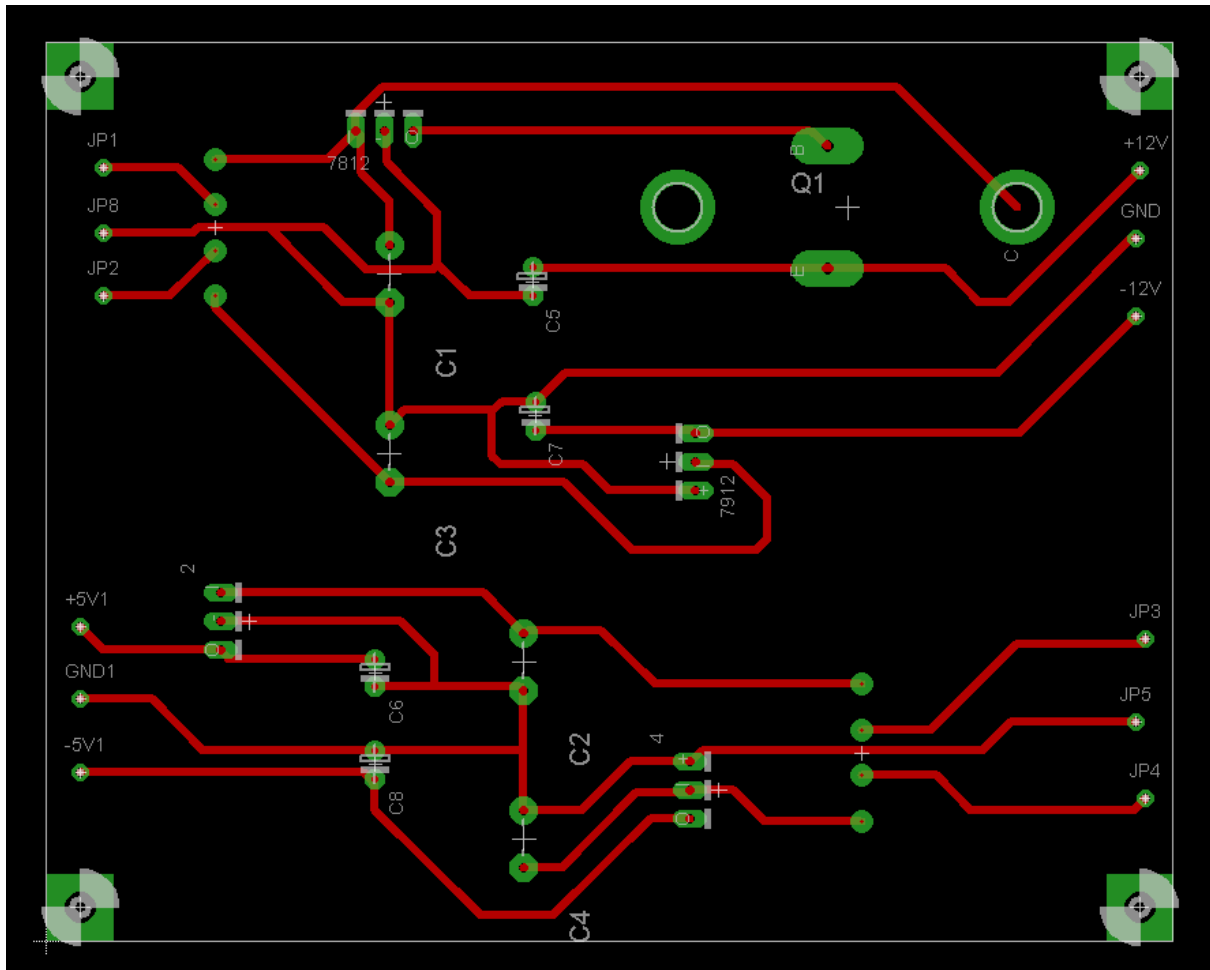


20 Dimension

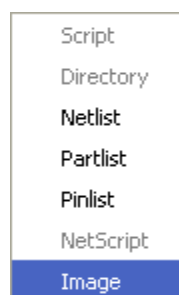
21 tPlace

22 bPlace

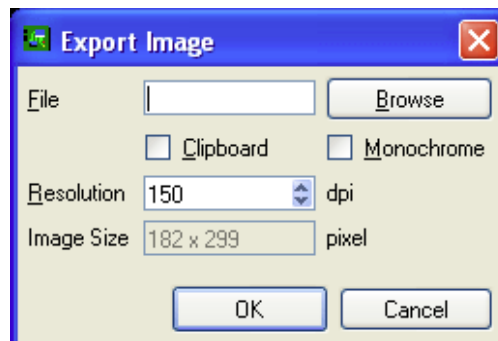
Στην οθόνη μας θα πρέπει να δούμε την παρακάτω εικόνα αφού πατήσουμε το πλήκτρο OK.



Στην συνέχεια κάντε κλικ στο **File – Export** κάντε κλικ και επιλέξτε **Image**.

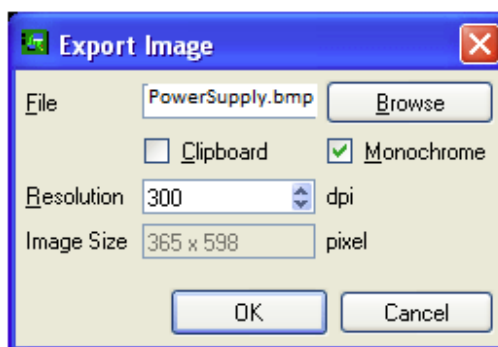


Θα εμφανιστεί το παρακάτω παράθυρο.

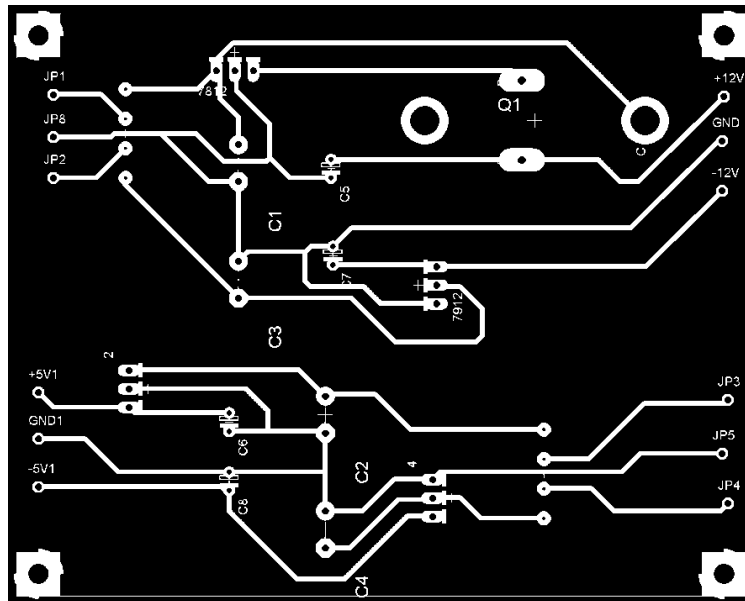


Εδώ χρειάζεται λίγο προσοχή, γιατί όσο μεγαλύτερο είναι το **Resolution** τόσο καλύτερα θα επεξεργαστούμε την εικόνα στο **Photoshop CS**, επίσης θα πρέπει να εξάγουμε την εικόνα μονόχρωμη οπότε τσεκάρετε το **Monochrome**, δώστε ένα όνομα και πατήστε **OK**.

Προσοχή στο **Resolution**, γιατί όσο μεγαλύτερο αριθμό δίνουμε η εικόνα γίνεται μεν πιο ποιοτική, αλλά ταυτόχρονα και μεγάλη σε όγκο για επεξεργασία, και έτσι θα αργεί ο υπολογιστής σας σε όποιες αλλαγές κάνετε σε αυτήν, συν της άλλης δεν υπάρχει και λόγος για ανάλυση μεγαλύτερης των 600dpi, από προσωπικά πειράματα κατέληξα στην ανάλυση των 300 dpi.



Το αποτέλεσμα θα είναι αυτό



Σε αυτό το σημείο τελειώσαμε με το **Eagle**, το επόμενο βήμα είναι η επεξεργασία εικόνας από το **Photoshop CS**.

1.3 Η επεξεργασία

Ανοίξτε το **Photoshop** και κάντε κλικ στο **Open** βρείτε το αρχείο **PowerSupply.bmp** και πατήστε το πλήκτρο **Open**, το πρόγραμμα θα ανοίξει την εικόνα που δημιουργήσαμε προηγουμένως στο **Eagle**.

Όπως θα παρατηρήσατε η πίστες είναι σε άσπρο χρώμα και τα κενά σημεία σε μαύρο, αυτό θα πρέπει να το αναστρέψουμε αφού εμείς θέλουμε να τυπώσουμε τις πίστες και όχι τα κενά.


Για να το επιτύχουμε αυτό θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε την εντολή **Invert**, κάντε κλικ στο **Image – Adjustments – Invert** ή χρησιμοποιήστε για συντομία το **CTRL+I**.

Αμέσως θα αναστραφούν τα χρώματα και θα έχουμε πλέον τις πίστες με μαύρο χρώμα και το κενό με άσπρο.

Εάν θέλουμε να γεμίσουμε τα κενά σημεία θα πρέπει να τα γεμίσουμε με μαύρο χρώμα, για να γίνει αυτό θα πρέπει να μετατρέψουμε την εικόνα σε **Grayscale** και να δημιουργήσουμε ένα καινούργιο **Layer**. Κάνουμε κλικ στο **Image – Mode – Grayscale**, θα εμφανιστεί το μενού **Grayscale** και θα ζητάει το **Size Ratio**, δίνουμε

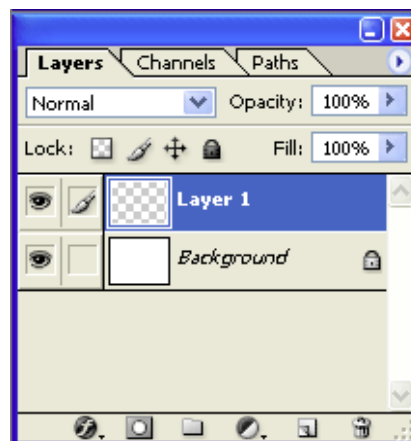
την τιμή **1** και πατάμε **OK**, μετά κάνουμε κλικ στο **Layer – New – Layer** η πατήστε **Shift+CTRL+N**.

Το να δημιουργήσουμε ένα **Layer** είναι πολύ σημαντικό, για τον λόγο ότι με αυτόν τον τρόπο δεν επηρεάζουμε το αρχικό σχέδιο μας και μπορούμε να το επαναφέρουμε στην αρχική του κατάσταση όποτε θελήσουμε, για παράδειγμα εάν δεν δημιουργήσουμε ένα **Layer** κάνουμε μία αλλαγή την αποθηκεύουμε και κλίνουμε το αρχείο μας οι αλλαγές θα είναι μόνιμες, ενώ εάν δημιουργήσουμε ένα **Layer** και ακολουθήσουμε την ίδια διαδικασία θα έχουμε την δυνατότητα να σβήσουμε μόνο το **Layer** και το σχέδιο να είναι ανέγγιχτο.

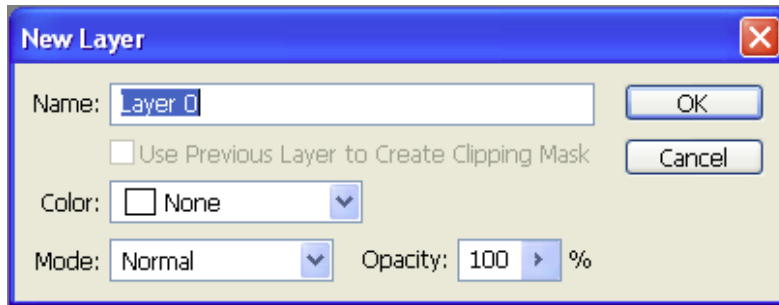
Με την δημιουργία του **Layer** θα δείτε ότι στα εργαλεία **Layer** έχετε το **Background** το οποίο έχει και μία κλειδαριά και το **Layer 1**. Κάντε ένα κλικ στο **Layer 1** και επιλέξτε το εργαλείο **Paint Bucket Tool** , επιλέγουμε σαν κύριο



χρώμα το μαύρο και κάνουμε ένα κλικ στο σχέδιο, όπως θα δούμε όλο το σχέδιο έχει γίνει πλέον μαύρο.



Τώρα κάνουμε διπλό κλικ στο Layer **Background**, θα μας ανοίξει το παράθυρο διαλόγου **New Layer**, κάνουμε κλικ στο **OK**.



Βλέπουμε ότι το **Background** μετονομάστηκε σε **Layer 0** και έφυγε η κλειδαριά από δίπλα, τώρα κάνουμε κλικ και κρατάμε πατημένο το αριστερό πλήκτρο του ποντικιού μας στο **Layer 1** και σύρτετο κάτω από το **Layer 0**, θα δείτε πάλι το σχέδιο στην αρχική του μορφή.

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να μάθουμε λίγο πως δουλεύει το **Photoshop** ώστε αργότερα να δουλέψουμε με άνεση, το **Photoshop** επιλέχτηκε σαν πρόγραμμα γιατί παρέχει μεγάλες ευκολίες κατά τον χειρισμό του, ανοίγει αρχεία PDF (Το Ελέκτορ από το Internet δίνει τις πλακέτες σε PDF μορφή) και έχει την καλύτερη υφή γραφικών από κάθε άλλο πρόγραμμα στην κατηγορία του.

Θα πρέπει να εξοικειωθούμε με το **Zoom**, το **Polygon Lasso Tool**, και το **Hand Tool**, το **Zoom** πολύ εύκολα το χειριζόμαστε με το **CTRL+** [Zoom in] – **CTRL-** [Zoom out], το **Hand tool** το χρησιμοποιούμε για να μετακινηθούμε μέσα στην εικόνα και αυτό το κάνουμε κρατώντας πατημένο το πλήκτρο **Space** και μετά κρατώντας πατημένο το αριστερό πλήκτρο του ποντικιού, μετακινούμε την εικόνα στη οθόνη μας (Προσοχή, Το **Hand tool** μετακινεί την εικόνα στην οθόνη, αντικαθιστά τα **scroll bars**, ενώ το **Move tool** μετακινεί την εικόνα στο **Layer**), το **Polygon Lasso tool** είναι το πλήκτρο **L**, το λάσο με την βοήθεια του πλήκτρου **Shift** μπορεί και τραβάει ευθείες γραμμές οριζόντια, κάθετα και διαγώνια, θα πρέπει όμως σε κάθε περίπτωση να επιστρέφουμε στο αρχικό σημείο από όπου ξεκίνησαμε το λάσο για να κλήση αυτό και να επιλέξουμε το κενό σημείο. Κάνουμε κλικ στο **Image – Duplicate**.

Κάνουμε κλικ στο **Layer 0**, κάνουμε **Ζουμ** στην εικόνα 200%, την μετακινούμε με το **Hand Tool**, επιλέγουμε το λάσο, κάνουμε κλικ κοντά σε μία πίστα του σχεδίου και κρατάμε πατημένο το **Shift**, στη συνέχεια σέρνουμε το ποντίκι κατά την φορά της πίστας, ακολουθούμε κυκλική φορά και επιστρέφουμε στην αρχή για να κλήση η περιοχή που θέλουμε να μαρκάρουμε, εάν ταυτόχρονα θέλουμε να μετακινηθούμε στην εικόνα χρησιμοποιούμε το **Hand tool** (πατώντας το **Space** και μετακινώντας την εικόνα με το ποντίκι).

Η περιοχή που μαρκάραμε εμφανίζετε με διακεκομμένη γραμμή, αυτό το σημείο θέλουμε να το γεμίσουμε με μαύρο χρώμα, για να γίνει αυτό θα πρέπει να επιλέξουμε από την μπάρα εργαλείων το χρώμα του φόντου σε μαύρο, μετά πατάμε το πλήκτρο **Delete**. Επαναλαμβάνουμε την εργασία μέχρι να γεμίσουμε τα σημεία που θέλουμε.

1.4 Η εμφάνιση

Την εμφάνιση των πλακετών την κάναμε στον Καισαρη, το site του είναι το ακόλουθο <http://www.kesaris.com.gr/index2.html>

Μια εναλλακτική λύση είναι να τυπώσουμε τις πλακέτες μόνοι μας. Για να το καταφέρουμε αυτό η διαδικασία και τα υλικά που θα χρειαστούμε περιγράφονται παρακάτω.

Εάν όλα είναι σωστά τυπώνουμε την διαφάνεια σε έναν **Laser** εκτυπωτή στην μέγιστη ανάλυση, κόβουμε την διαφάνεια στα τμήματα των σχεδίων και τα φυλάμε μέχρι την εμφάνιση τους, προσοχή στην διαφάνεια ώστε να μην την λερώσουμε, θα πρέπει να έχουμε καθαρά χέρια και να μην την πιάνουμε από σημεία όπου μπορεί να επηρεαστεί η εμφάνιση του τυπωμένου.

Για την εμφάνιση των σχεδίων χρειαζόμαστε τα εξής υλικά :

- Σκοτεινό Θάλαμο με λάμπα UV 300W
- 2 κομμάτια γυαλί 30x30cm και πάχος 0.5χιλ
- Peridrol (Από φαρμακείο)
- Κεζάπ (Από Super Market)
- Τουμποφλο (Από Super Market)
- Πλαστικά γάντια (Ζητήστε από φαρμακείο γάντια χειρουργείου)
- Φωτοευαίσθητες πλακέτες
- Σπρέι για επικάλυψη της πλακέτας από διάβρωση
- Τρυπάνη μικρό ρυθμιζόμενον στροφών με βάση και αρίδες (τρυπανάκια) από 0,5χιλ. έως 3χιλ
- 2 λεκάνες πλαστικές

Ο σκοτεινός θάλαμος δεν είναι κάτι το δύσκολο στην κατασκευή του, αρκεί να ζητήσουμε από έναν μαραγκό ή να φτιάξουμε μόνοι μας ένα ντουλάπι, με ωφέλιμο χώρο ύψους 60cm, βάθους και πλάτους 40cm και πόρτα που να εφαρμόζει όσο το δυνατόν καλύτερα στον θάλαμο. Με μία τρύπα στο κέντρο ώστε επάνω να στερεώσουμε την βάση για το ντουί της λάμπας. Το ντουί πρέπει να είναι από πορσελάνη για να μην λιώσει στην θερμοκρασία που αναπτύσσει η λάμπα.

Η λάμπες UV είναι λάμπες υπεριώδους ακτινοβολίας και είναι λίγο ακριβές στο εμπόριο, πέραν τούτου όμως χρειάζονται και μία προθέρμανση περίπου 5 λεπτών για να έχουμε την καλύτερη δυνατή απόδοση. Προτού λοιπόν οδηγήσουμε τις πλακέτες σας μέσα στον θάλαμο, ανάβουμε την λάμπα τουλάχιστον 5 λεπτά νωρίτερα, **επίσης δεν κοιτάμε ποτέ απευθείας τον λαμπτήρα καθώς υπάρχει κίνδυνος για βλάβη της όρασης σας από αυτόν.**

Τα δύο κομμάτια από γυαλί χρειάζονται για την στήριξη της πλακέτας με την διαφάνεια μέσα στον θάλαμο, χρησιμοποιούμε το ένα γυαλί σαν βάση τοποθετούμε την φωτοευαίσθητη πλακέτα με των χαλκό προς τα επάνω, τοποθετούμε την ή τις διαφάνειες με την τυπωμένη πλευρά να εφάπτεται με τον χαλκό και τέλος το δεύτερο κομμάτι γυαλιού πάνω από την ή τις διαφάνειες για να τις πιέζει πάνω στον χαλκό.

Η όλη παραπάνω διαδικασία θα πρέπει να γίνει σε χώρο όσο το δυνατόν με χαμηλότερο φωτισμό και σε γρήγορο χρονικό διάστημα, διότι οι φωτοευαίσθητες πλακέτες από την ώρα που θα αφαιρέσουμε την προστατευτική τους επικάλυψη είναι πλέον εκτεθειμένες σε οποιαδήποτε πηγή φωτός και μπορούν να δημιουργηθούν προβλήματα στην πλακέτα από την υπερβολική έκθεση της στο φως για πόλη ώρα.

Αφού προθερμάνουμε τον θάλαμο, με προσοχή βάζουμε τις 2 πλάκες από γυαλί με την πλακέτα και την διαφάνεια στον θάλαμο **χωρίς να έρθουμε σε επαφή με των λαμπτήρα και χωρίς να τον κοιτάξουμε**, κλίνουμε την πόρτα του θαλάμου και περιμένουμε για 15 περίπου λεπτά, στο διάστημα αυτό παίρνουμε ένα κουτί (π.χ. από παπούτσια) για να φυλάξουμε την πλακέτα μετά την έκθεση της και ζεσταίνουμε **(ΔΕΝ ΤΟ ΒΡΑΖΟΥΜΕ)** 1 λίτρο νερό.

Μετά το πέρας των 15 λεπτών σβήνουμε την λάμπα και βγάζουμε τις πλάκες από γυαλί με την πλακέτα και την/τις διαφάνειες από τον θάλαμο, βάζουμε την πλακέτα στο κουτί και το κλίνουμε καλά μέχρι να έρθει η ώρα για την αποχάλκωση.

Όπως θα παρατηρήσατε δεν χρησιμοποιούμε τα συνήθως υλικά για την αποχάλκωση (καυστική σόδα – αποχαλκοτικό), και αυτό γιατί είναι πολύ

επικίνδυνα για το περιβάλλον και τον άνθρωπο αλλά και δύσκολο στο να τα “ξεφορτωθούμε” αργότερα, αφού **δεν επιτρέπεται να τα πετάξουμε στο περιβάλλον ή στην αποχέτευση παρά μόνο να τα παραδώσουμε στο χημείο**, ενώ τα υλικά που περιγράφουμε μπορούμε απλώς να πετάξουμε στην αποχέτευση της οικίας μας **(σε καμιά περίπτωση όμως στο περιβάλλον)**.

Η όλη διαδικασία της αποχάλκωσης θα πρέπει να γίνει σε καλά αεριζόμενο χώρο ή σε ανοιχτό χώρο(μπαλκόνι, αυλή, ταράτσα) με την χρήση γαντιών και με την μέγιστη προσοχή αφού (ιδίως το κεζαπ που είναι καυστικό) έχουμε να κάνουμε με επικίνδυνα χημικά προϊόντα.

Στην μία από τις δύο πλαστικές λεκάνες ρίχνουμε το νερό που ζεστάναμε και τρεις κουταλιές Τουμποφλό, **(το κουτάλι δεν το χρησιμοποιούμε ποτέ ξανά για την διατροφή μας παρά μόνο για τον ίδιο σκοπό)** ανακατεύουμε καλά έως ότου να μην υπάρχει ο παραμικρός σβόλος Τουμποφλο στο νερό, εάν παρόλα αυτά υπάρχουν σβόλοι τους αποκρίνουμε με το κουτάλι.

Στην δεύτερη λεκάνη αδειάζουμε το ¼ του κεζάπ και ρίχνουμε λίγο Peridrol (περίπου 2 γεμίσματα από το πλαστικό καπάκι ενός εμφιαλωμένου νερού του ενός λίτρου) και ανακατεύουμε την λεκάνη για να αναμιχθούν τα χημικά.

Βαπτίζουμε την πλακέτα μας στην πρώτη λεκάνη με το νερό και το Τουμποφλο και την ανακατεύουμε έως ότου να αρχίσει να γίνετε ορατό το σχέδιο στην πλακέτα μας (περίπου 1-3 λεπτά), όταν αυτό είναι πλέον ορατό αφαιρούμε την πλακέτα από την λεκάνη και την πλένουμε με άφθονο νερό στον **νιπτήρα** και όχι στο περιβάλλον και κατόπιν την σκουπίζουμε καλά με χαρτί υγείας.

Βαπτίζουμε την πλακέτα στην δεύτερη λεκάνη με το κεζαπ και το Peridrol και την ανακατεύουμε έως ότου να ολοκληρωθεί η αποχάλκωση (περίπου 15-20 λεπτά), εάν η αποχάλκωση δεν ξεκινήσει ή δεν ολοκληρωθεί μέσα σ’ αυτόν τον χρόνο προσθέτουμε ακόμα μία με δύο δόσεις Peridrol.

Με την ολοκλήρωση της αποχάλκωσης θα πρέπει να έχουμε το σχέδιο μας τυπωμένο στην πλακέτα. Εν συνεχεία κάνουμε έναν σχολαστικό έλεγχο ώστε να μην έχουν μείνει ίχνη χαλκού σε ανεπιθύμητα σημεία, εάν υπάρχουν τέτοια ίχνη βαπτίζουμε ξανά την πλακέτα μέχρι να εξαφανιστούν όλα. Κατόπιν πλένουμε την πλακέτα με άφθονο νερό και πάλι στον **νιπτήρα** του σπιτιού μας και την σκουπίζουμε με χαρτί υγείας.

Απομακρύνουμε τα χημικά από τις λεκάνες στην αποχέτευση και τις ξεπλένουμε καλά με άφθονο νερό.

Στην συνέχεια, αφού στεγνώσει η πλακέτα την ψεκάζουμε με το σπρέι κατά της διάβρωσης ακολουθώντας τις οδηγίες του κατασκευαστή (Η πλακέτα κατά τον

ψεκασμό να είναι σε γωνία 45 μοιρών, την ψεκάζουμε από απόσταση περίπου 20cm, την αφήνουμε να στεγνώσει και την ψεκάζουμε ξανά). Αφού τελειώσουμε και με την προστατευτική επικάλυψη της πλακέτας είναι η ώρα για το τρύπημα, εδώ χρησιμοποιούμε το τρυπάνι με την βάση (η βάση δεν είναι απαραίτητη, με την βοήθεια της όμως θα κάνουμε τέλεια δουλεία χωρίς να καταπονήσουμε ή να πληγώσουμε την πλακέτα) και ανοίγουμε τις οπές για την τοποθέτηση των υλικών μας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 Γενικά

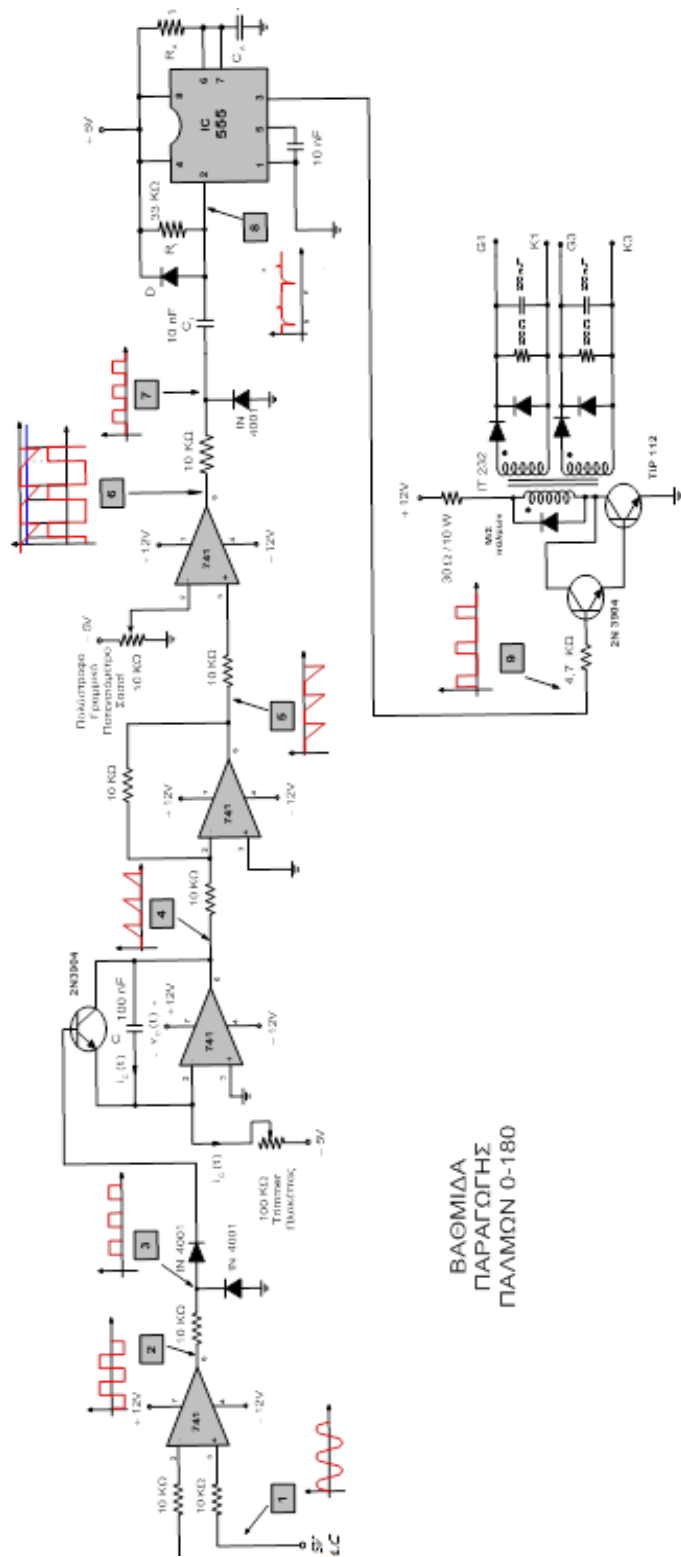
Το κύκλωμα το οποίο παράγει παλμούς για τον έλεγχο της μονοφασικής γέφυρας των θυρίστορ αποτελεί το κύκλωμα ελέγχου, το οποίο με τη σειρά του περιλαμβάνει το κύκλωμα έναυσης το οποίο παράγει παλμούς.

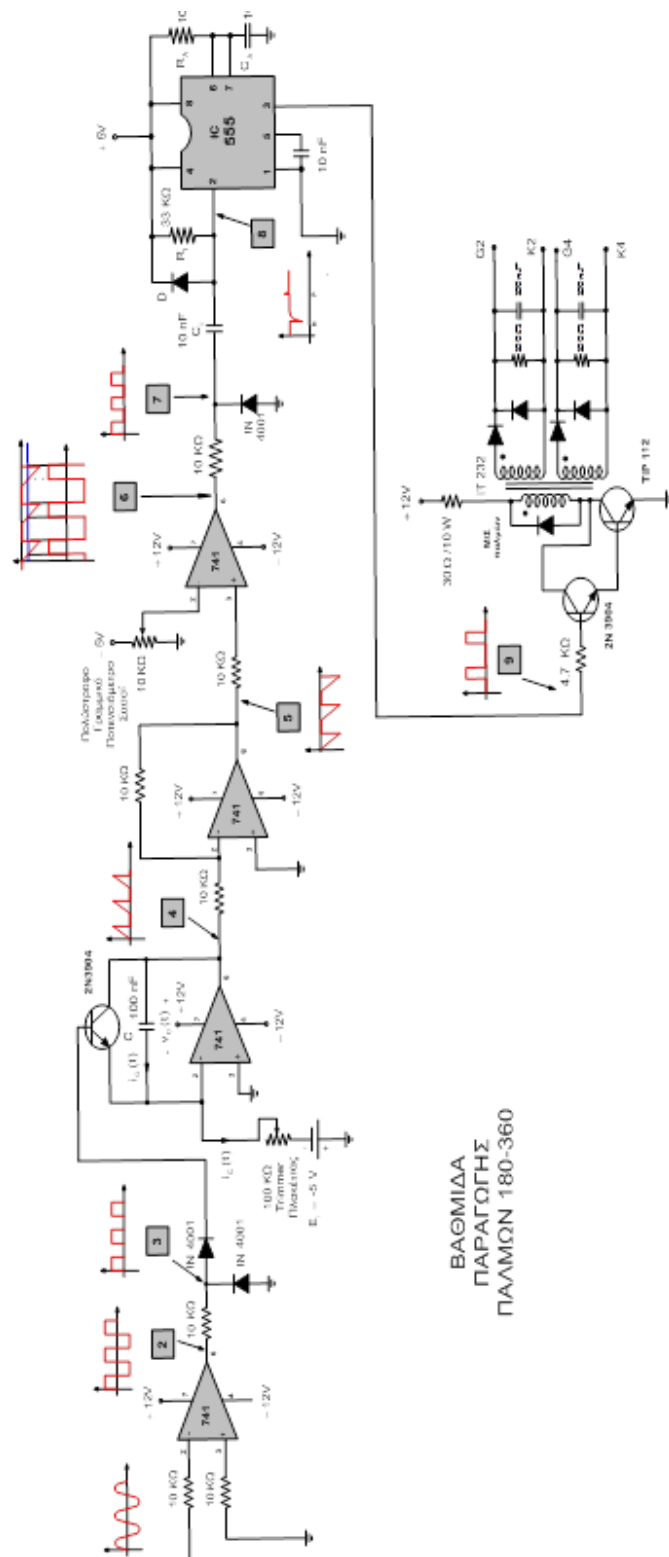
Το κύκλωμα έναυσης αποτελεί την καρδιά του κυκλώματος ελέγχου. Σκοπός του κυκλώματος έναυσης είναι να παράγει και να ρυθμίζει χειροκίνητα, μέσα ποτενσιόμετρο, την χρονική στιγμή που θα δοθεί ο παλμός στα θυρίστορ. Δηλαδή την γωνία έναυσης α° .

Επομένως ρυθμίζει έμμεσα την εναλλασσόμενη τάση στο φορτίο. Ο παλμός που παράγεται είναι συχνότητας 50Hz.

Για την παραγωγή των παλμών χρησιμοποιούμε απλά κυκλώματα, τα οποία περιλαμβάνουν τελεστικούς ενισχυτές, τρανζίστορ και άλλα εξαρτήματα, με την βοήθεια των οποίων γίνεται κατανοητή η λειτουργία του κυκλώματος.

Το σχέδιο του κυκλώματος πυροδότησης παρουσιάζεται στα παρακάτω σχήματα. Χωρίζεται σε δύο κυκλώματα, ένα για τροφοδοσία έως και δύο θυρίστορ που άγουν από 0-180 και ένα για την τροφοδοσία έως και δύο θυρίστορ που άγουν από 180-360 μοίρες.





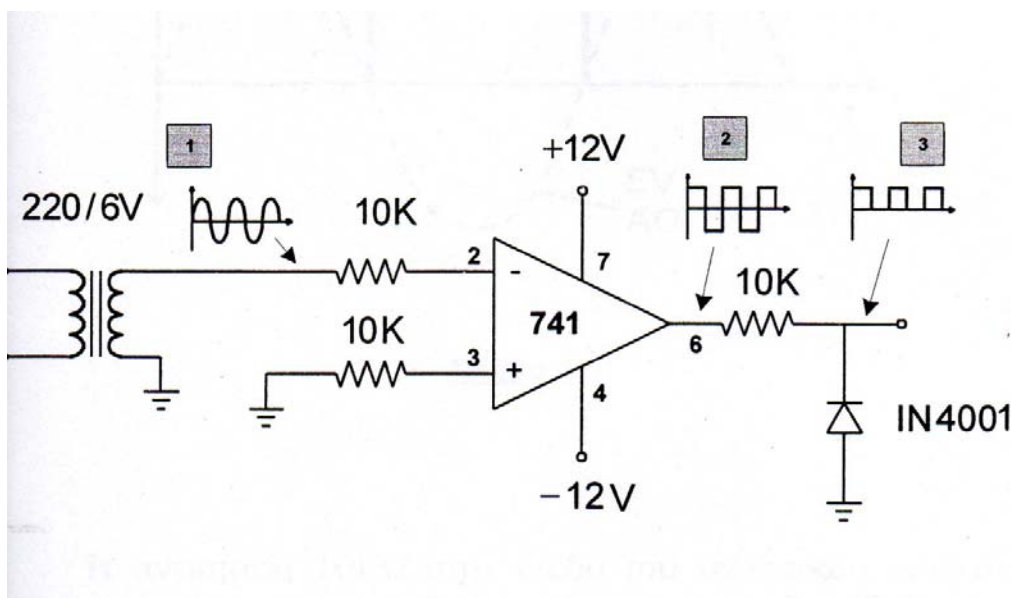
ΒΑΣΜΙΔΑ
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΠΑΛΜΩΝ 180-360

2.2 Ανάλυση κυκλώματος έναυσης θυρίστορ μονοφασικής ανόρθωσης

Η διαδικασία παραγωγής του παλμού περνάει μέσα από έξι βαθμίδες, οι οποίες περιγράφονται αναλυτικότερα παρακάτω :

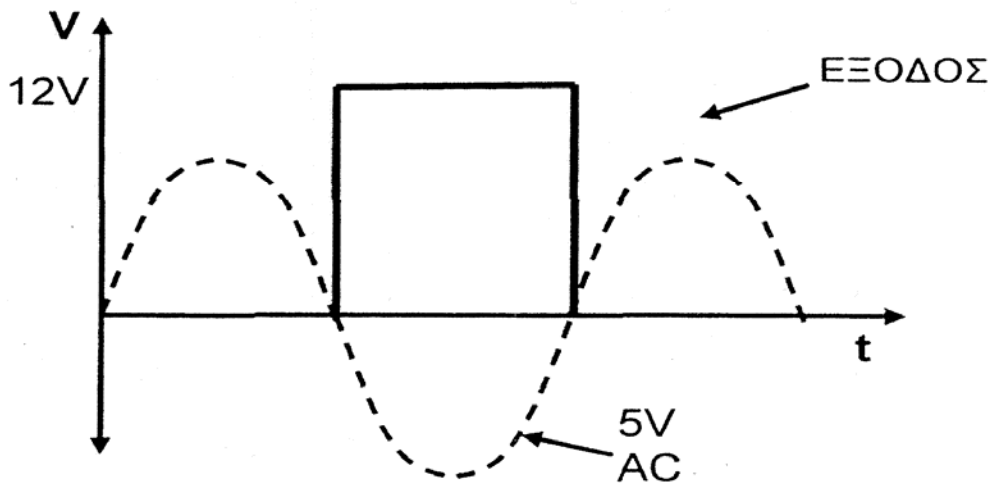
Βαθμίδα 1^η

Το κύκλωμα της πρώτης βαθμίδας περιλαμβάνει ένα τελεστικό ενισχυτή σε συνδεσμολογία συγκριτή και μια διόδο και παρουσιάζεται στο σχήμα 1.



Σχήμα 1

Η τροφοδοσία του τελεστικού ενισχυτή είναι ίση με $\pm 12 \text{ V}$. Η έξοδος του τελεστικού ενισχυτή μας δίνει -12 V στην θετική ημιπερίοδο της εναλλασσόμενης τάσης ενώ στην αρνητική ημιπερίοδο μας δίνει $+12 \text{ V}$. Το σήμα εξόδου είναι ένας τετραγωνικός παλμός (μετατράπηκε από εναλλασσόμενο σήμα) και λόγω της διόδου, στην έξοδο του τελεστικού ενισχυτή, λαμβάνουμε τελικά μόνο θετικούς τετραγωνικούς παλμούς (σχήμα 2).



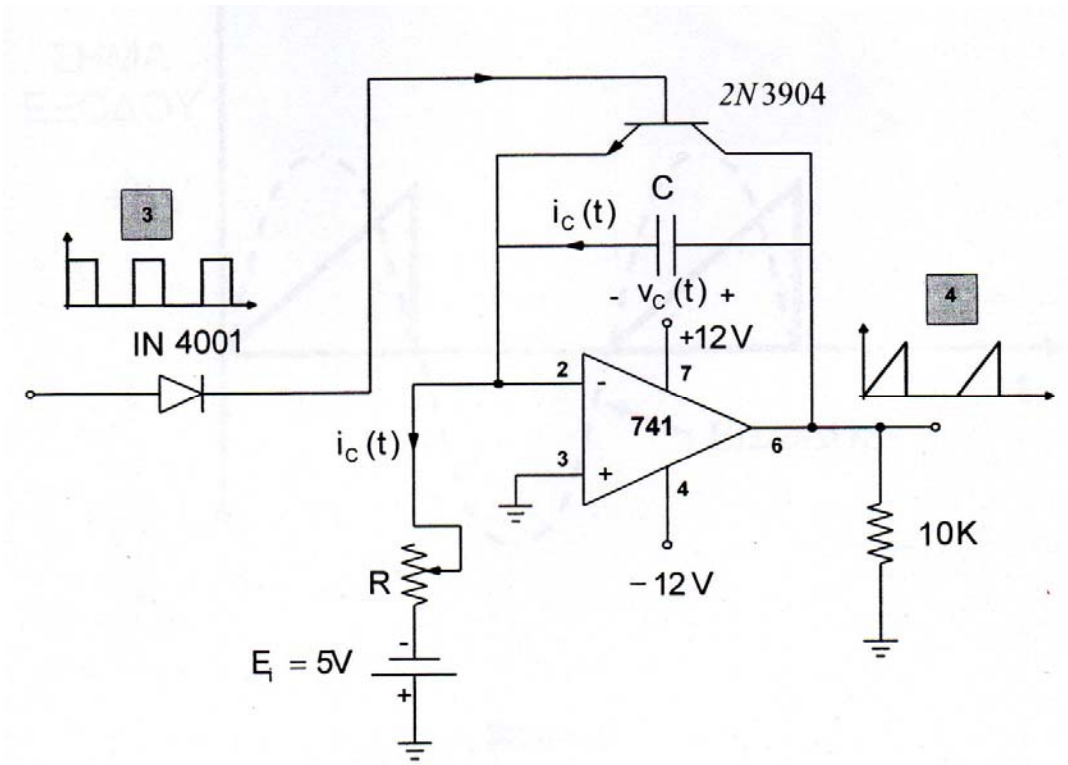
Σχήμα 2

Η αντίσταση $10\text{ K}\Omega$ στην έξοδο του τελεστικού ενισχυτή χρησιμοποιείται για τον περιορισμό ρεύματος εξόδου στα 1.2 mA το πολύ ($12\text{ V} / 10\text{ K}\Omega = 1,2\text{ mA}$) και, συγχρόνως, αποτελεί την αντίσταση βάσης του τρανζίστορ της δεύτερης βαθμίδας που ακολουθεί.

Οι αντιστάσεις στην είσοδο δεν είναι απαραίτητες γιατί η αντίσταση εισόδου του τελεστικού ενισχυτή είναι πρακτικά άπειρη.

Βαθμίδα 2^η

Το κύκλωμα της δεύτερης βαθμίδας περιλαμβάνει ένα τελεστικό ενισχυτή σε συνδεσμολογία ολοκληρωτή, μια δίοδο και ένα τρανζίστορ (σχήμα 3).

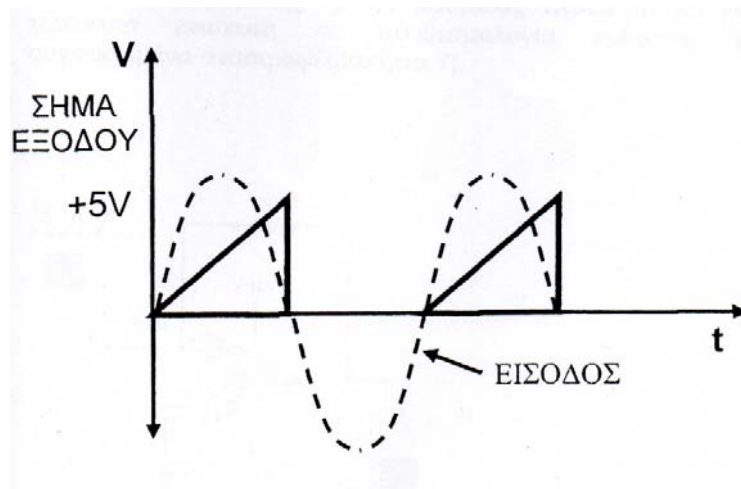


Σχήμα 3

Γειώνουμε την μη αναστρέψουσα είσοδο του τελεστικού ενισχυτή. Όσο δεν υπάρχει τάση στην βάση του τρανζίστορ, από την πρώτη βαθμίδα, ο πυκνωτής φορτίζει γραμμικά και είναι ένα θετικό αναρριχητικό σήμα στην έξοδο. Το σταθερό ρεύμα φόρτισης του πυκνωτή εξαρτάται από την αντίσταση 100 KΩ και είναι ίσο με $5 \text{ V}/100 \text{ K}\Omega = 50 \mu\text{A}$.

Αν η βάση του τρανζίστορ δεχθεί θετική τάση, από την πρώτη βαθμίδα, τότε άγει και βραχυκυκλώνει τον πυκνωτή, οπότε παίρνουμε στην έξοδο σήμα μηδέν.

Τελικά στην έξοδο παίρνουμε ένα πριονωτό σήμα του οποίου η μέγιστη τιμή είναι $\Delta V_{\text{πυκνωτή}} = I \cdot \Delta t / C$ (σχήμα 4).



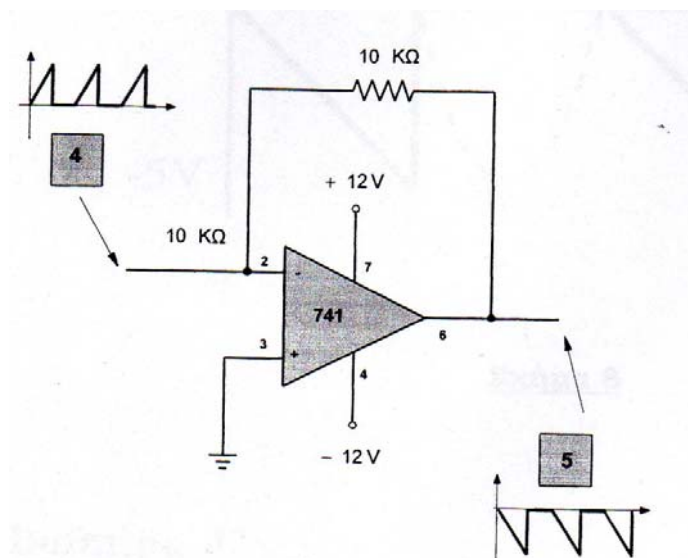
Σχήμα 4

Με τις συγκεκριμένες τιμές έχουμε :

$$I = 50\mu\text{A} , C = 100\text{nF} , \Delta t = 10\text{ ms} \Rightarrow V_{\text{μέγιστο}} = 5\text{ V}.$$

Βαθμίδα 3^η

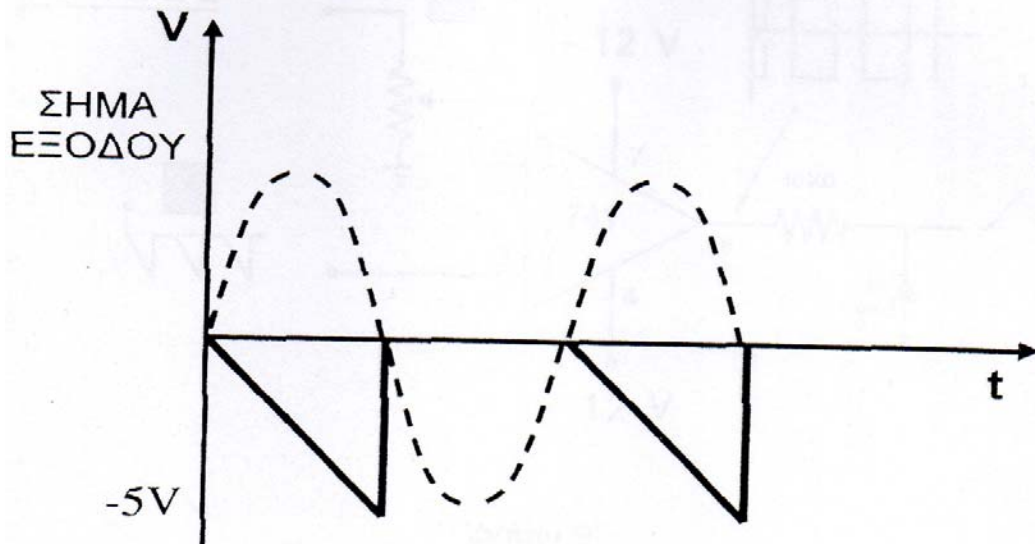
Το κύκλωμα της τρίτης βαθμίδας περιλαμβάνει έναν τελεστικό ενισχυτή σε συνδεσμολογία ενισχυτή και συγκεκριμένα αναστροφέα (σχήμα 5).



Σχήμα 5

Το σήμα της δεύτερης βαθμίδας οδηγείται στον τελεστικό ενισχυτή του παραπάνω σχήματος οπότε στην έξοδο παίρνουμε :

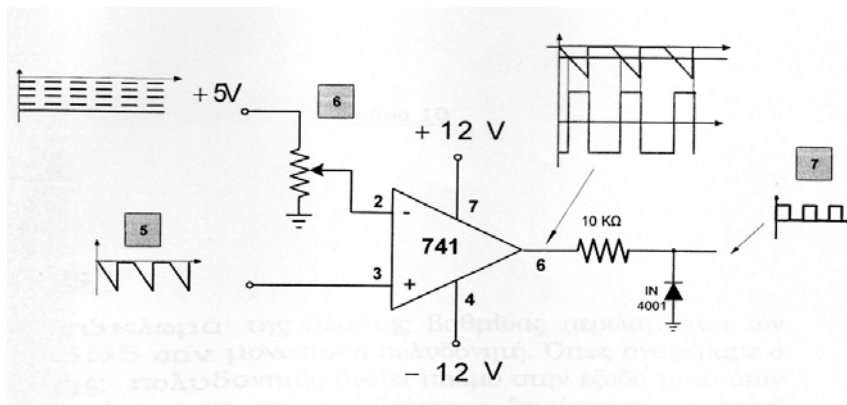
Επειδή οι αντιστάσεις R_1 και R_2 είναι ίσες παίρνουμε στην έξοδο του τελεστικού ενισχυτή το ίδιο σήμα ανεστραμμένο (σχήμα 6).



Σχήμα 6

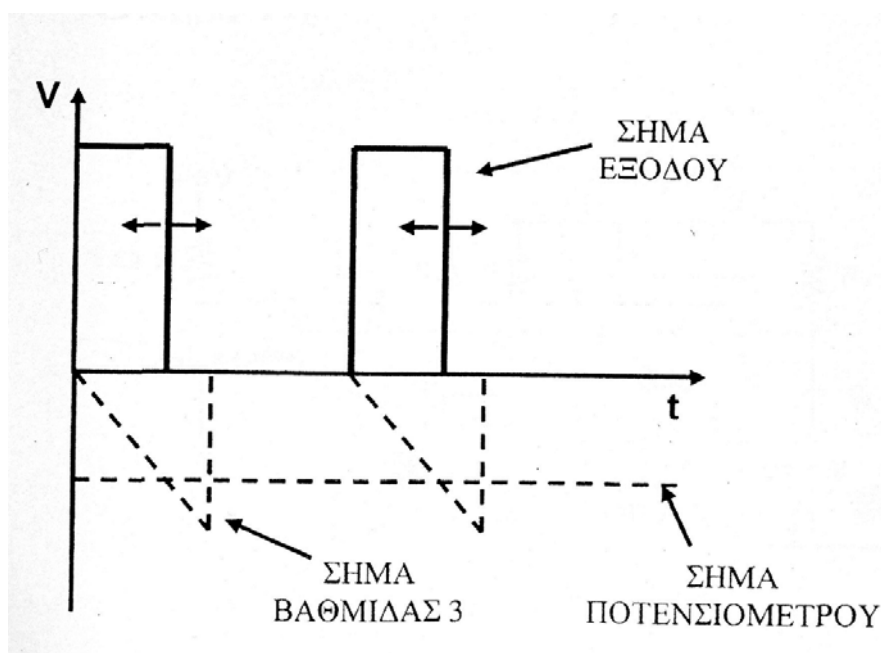
Βαθμίδα 4^η

Το κύκλωμα της τέταρτης βαθμίδας περιλαμβάνει έναν τελεστικό ενισχυτή σε συνδεσμολογία συγκριτή, μια δίοδο και ένα ποτενσιόμετρο σύμφωνα με το σχήμα 7.



Σχήμα 7

Το σήμα που δημιουργήσαμε στην Τρίτη βαθμίδα το συγκρίνουμε με μια αρνητική τάση ενός ποτενσιόμετρου, μέσω του τελεστικού ενισχυτή. Η έξοδος δίνει θετικούς παλμούς +12 V λόγω και της διόδου. Αν μεταβάλουμε το ποτενσιόμετρο, μεταβάλλετε και το πλάτος από 0 έως π ακτίνια (0 – 10 ms), σχήμα 8.



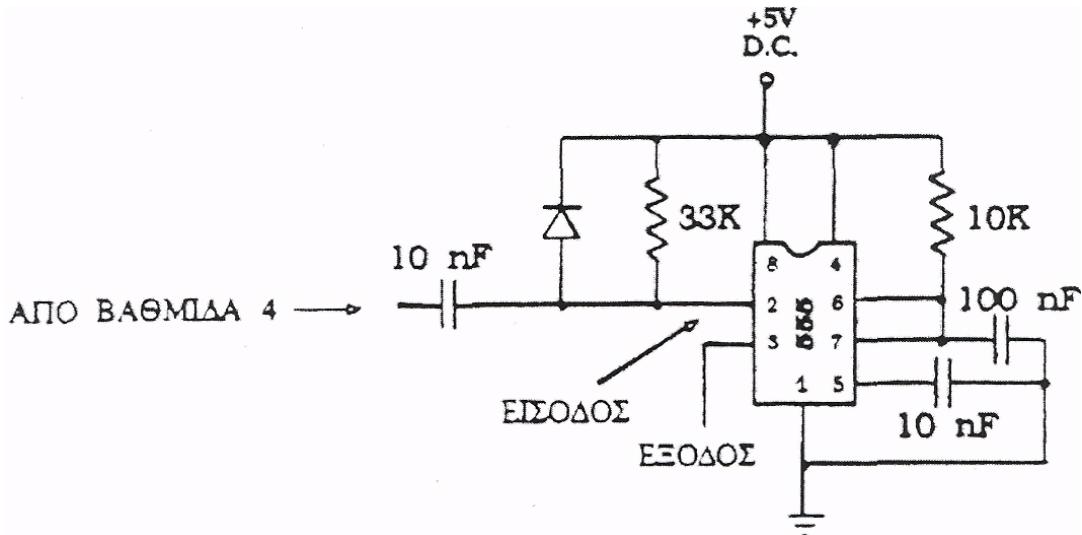
Σχήμα 8

Βαθμίδα 5^η

Το κύκλωμα της πέμπτης βαθμίδας περιλαμβάνει τον χρονοστή 555 σαν μονοσταθή πολυδονητή. Όπως αναφέραμε ο μονοσταθής πολυδονητής βγάζει παλμό στην έξοδο μόνο όταν δεχθεί "αντίστροφο παλμό". Επίσης, ο "αντίστροφος παλμός" πρέπει να έχει διάρκεια μικρότερη από αυτή του παλμού εξόδου του χρονοστή.

Η διάρκεια του παλμού εξόδου είναι $T=1,1RC$ και στο συγκεκριμένο κύκλωμα είναι: $T=1,1 \times 10K\Omega \times 100nF=1,1 \text{ msec}$. Ο "αντίστροφος παλμός" από την τέταρτη βαθμίδα έχει μεταβαλλόμενη διάρκεια που φθάνει τα 10msec. Επομένως, πρέπει

να μειώσουμε την διάρκεια του "αντίστροφου παλμού". Γι' αυτό τον σκοπό χρησιμοποιούμε ένα δικτύωμα RC πριν από τον χρονιστή 555, με αντίσταση $R=33\text{ K}\Omega$ και πυκνωτή $C=10\text{ nF}$ (σχήμα 9).

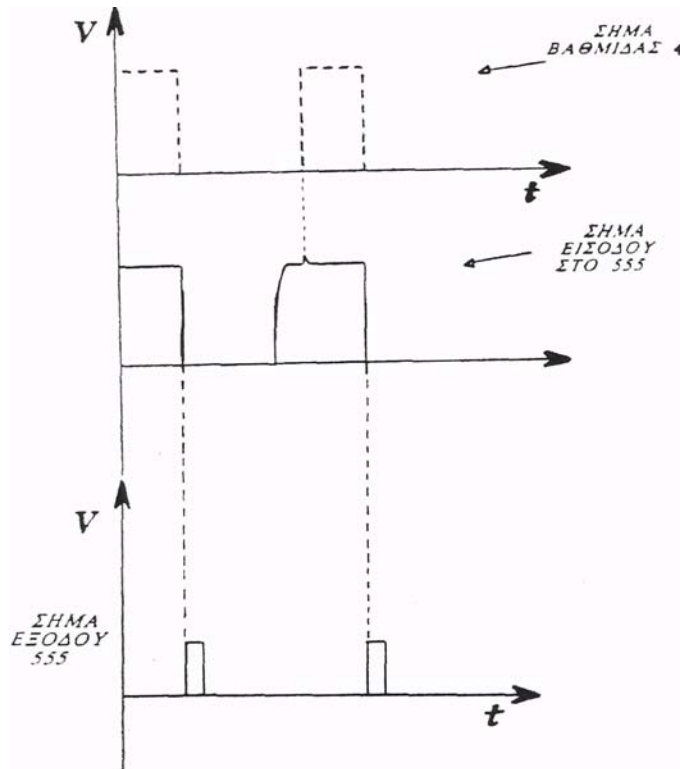


Σχήμα 9

Το ένα άκρο του δικτύωματος το τροφοδοτούμε με σταθερή τάση +5V ενώ στο άλλο άκρο δίνουμε την έξοδο του κυκλώματος της τέταρτης βαθμίδας. Για όσο διάστημα η βαθμίδα 4 δίνει τάση +12V η τάση στην επαφή 2 του χρονιστή 555 είναι +5V. Αυτό γίνεται γιατί η διάοδος είναι ορθά πολωμένη και μεταφέρει το δυναμικό των +5V, ενώ ο πυκνωτής είναι, επίσης, φορτισμένος.

Την στιγμή που η τάση από την βαθμίδα 4 μηδενίζεται τότε στιγμιαία μεταφέρεται στην είσοδο του 555 το δυναμικό του πυκνωτή που ήταν φορτισμένος αρνητικά.

Συγχρόνως έχουμε την φόρτιση του πυκνωτή στα +5V σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα και αυτό λόγω της μικρής σταθεράς χρόνου του δικτύωματος. Όταν η βαθμίδα 4 ξαναδώσει τάση, αυτή η τάση θα προστεθεί στα +5V του πυκνωτή όμως η διάοδος θα τα αποκόψει (γι' αυτό και παρουσιάζεται η "μύτη").



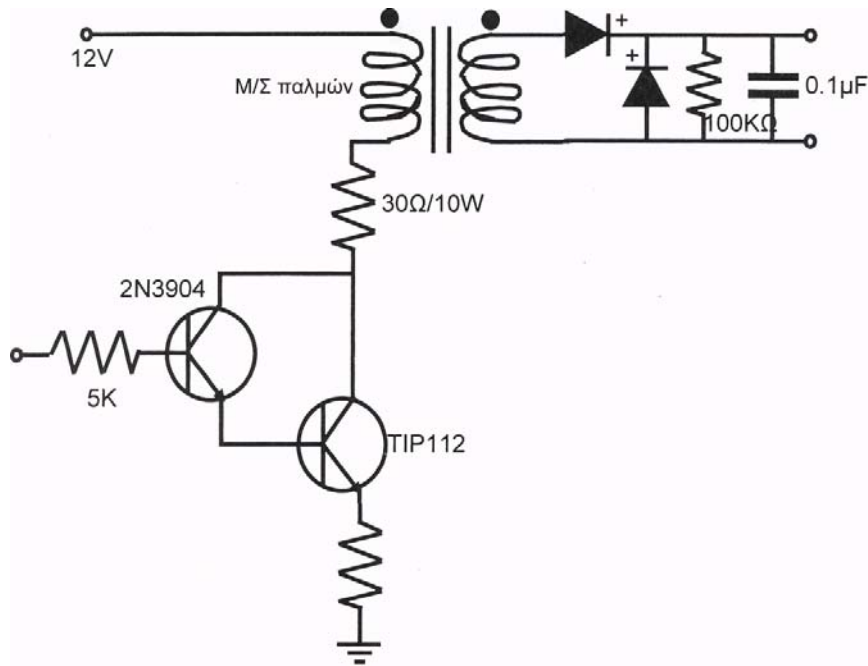
Σχήμα 10

Με αυτό τον τρόπο μειώνεται η διάρκεια του αντίστροφου παλμού σε $T=33K \times 10n=0,33msec$ περίπου.

Στην πραγματικότητα αυτό που μας ενδιαφέρει για τον αντίστροφο παλμό είναι τα σημεία όπου η τάση πέφτει κάτω από το $1/3V_{cc}$ δηλαδή $5/3=1,66V$ και ανεβαίνει πάνω από τα $1,66V$. Επομένως ο αντίστροφος παλμός έχει ακόμα μικρότερη διάρκεια από τα $0,33msec$. Η έξοδος του χρονιστή 555 δίνει παλμό $+5V$ σε κάθε αντίστροφο παλμό.

Βαθμίδα 6^η

Το κύκλωμα της έκτης βαθμίδας παρουσιάζεται στο σχήμα 11.

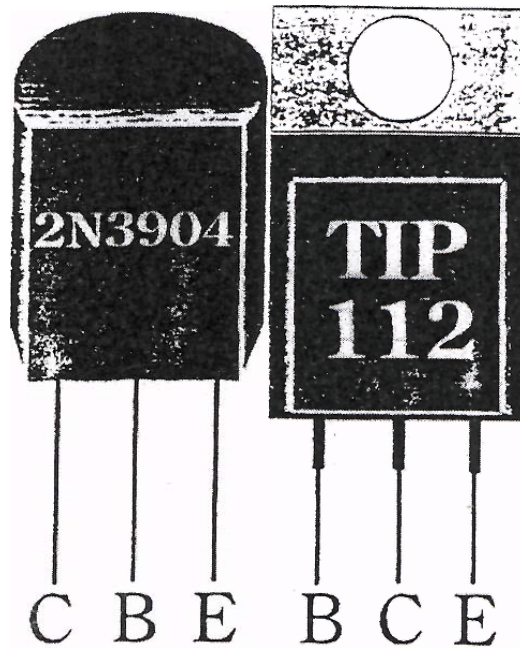


Σχήμα 11

Το κύκλωμα αποτελείται από τρία τμήματα:

1. Δύο τρανζίστορ σε συνδεσμολογία Darlington με τις κατάλληλες αντιστάσεις
2. Ένας μετασχηματιστής παλμών και δύο διόδοι
3. Μία αντίσταση και ένας πυκνωτής στην έξοδο του μετασχηματιστή για προστασία της πύλης.

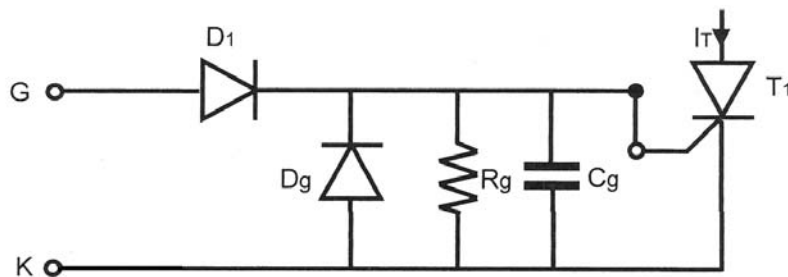
Τα τρανζίστορ που χρησιμοποιούνται είναι το 2N3904 και το TIP112 (σχήμα 12). Το τρανζίστορ TIP112 έχει εσωτερικά δύο τρανζίστορ σε συνδεσμολογία Darlington και έτσι η ενίσχυση του είναι μεγάλη. Το γινόμενο των δύο εσωτερικών τρανζίστορ μας δίνει την συνολική ενίσχυση του TIP112.



Σχήμα 12

Κύκλωμα προστασίας της πύλης

Το κύκλωμα προστασίας της πύλης παρουσιάζεται στο σχήμα 13.



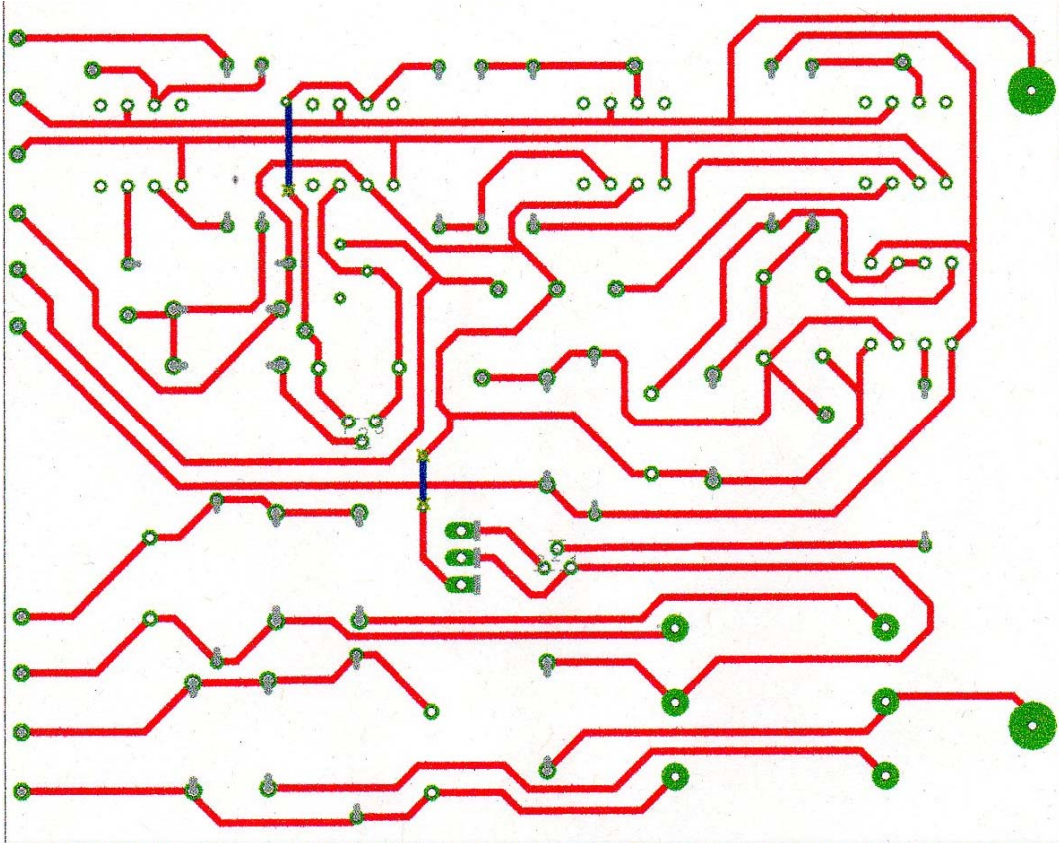
Σχήμα 13

Η έξοδος του μετασχηματιστή παλμών συνδέεται στην πύλη και στην κάθοδο του θυρίστορ μέσω άλλων προστατευτικών στοιχείων. Η δίοδος D_1 επιτρέπει μόνο τους θετικούς παλμούς να περάσουν, ενώ η δίοδος D_g προστατεύει την πύλη από αρνητικές τάσεις. Η αντίσταση R_g αυξάνει τον ρυθμό μεταβολής της τάσης dv/dt , ελαττώνει τον χρόνο σβέσης και αυξάνει τα ρεύματα συγκράτησης και μανδάλωσης. Τέλος, ο πυκνωτής C_g γειώνει τις αιχμές τάσης υψηλών συχνοτήτων και αυξάνει την ικανότητα του θυρίστορ στον ρυθμό μεταβολής της τάσης dv/dt .

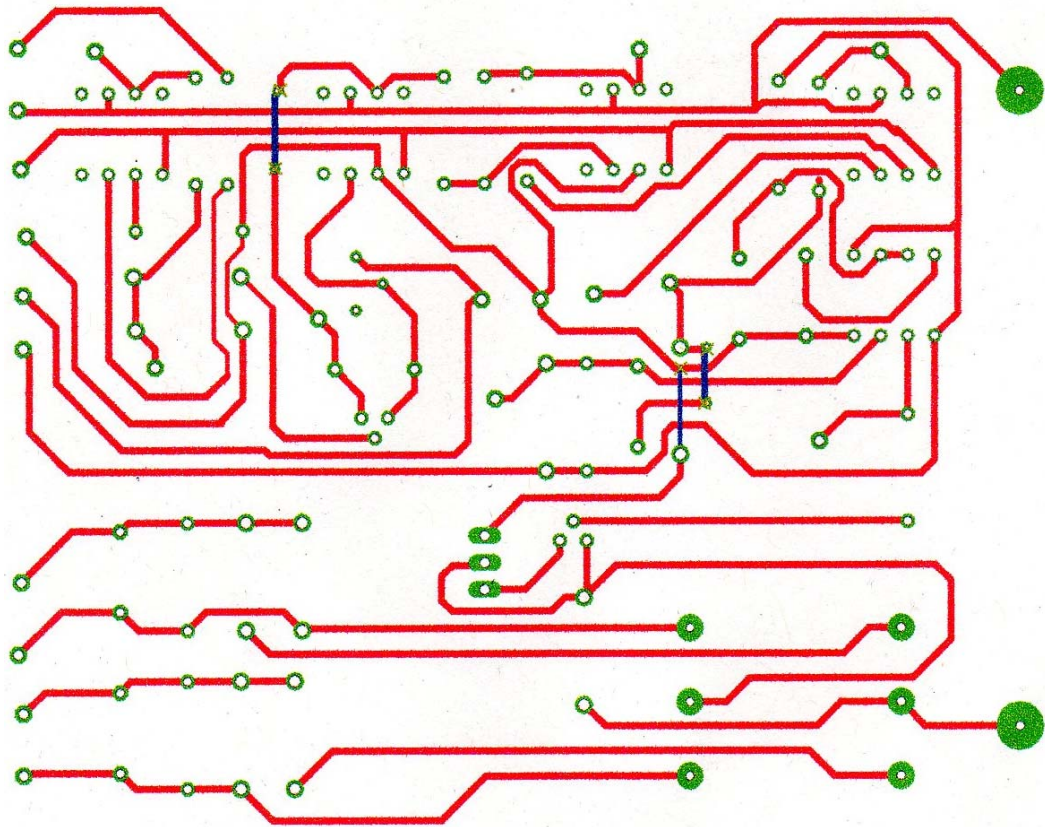
Για τον σχεδιασμό των κυκλωμάτων χρησιμοποιήθηκε το Eagle όπως αναφερθήκαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Στα παρακάτω σχήματα φαίνονται τα κυκλώματα έναυσης τυπωμένα σε διαφάνεια ώστε να ξεχωρίζουν οι πλευρές τους από την πλευρά τοποθέτησης των εξαρτημάτων.

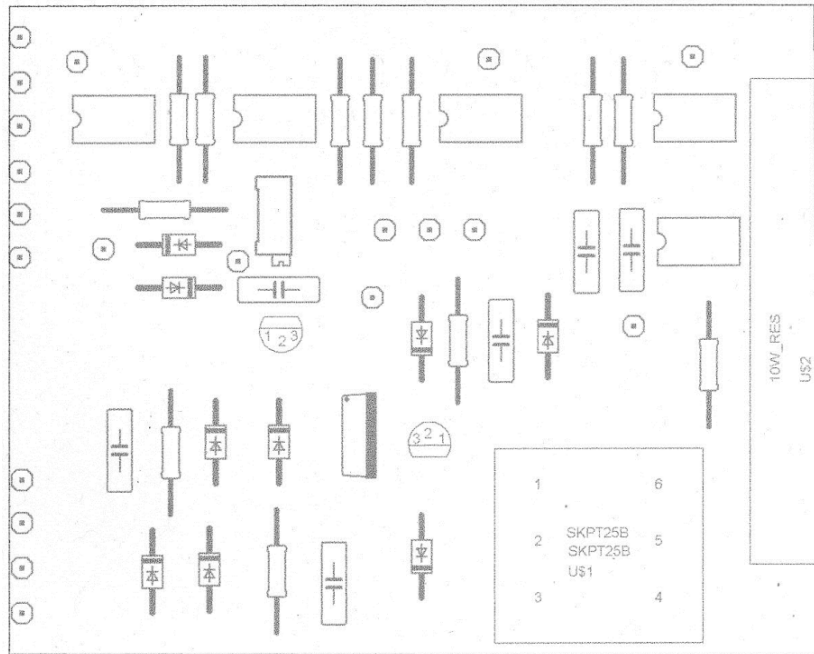
Η κάτω πλευρά των πλακετών :



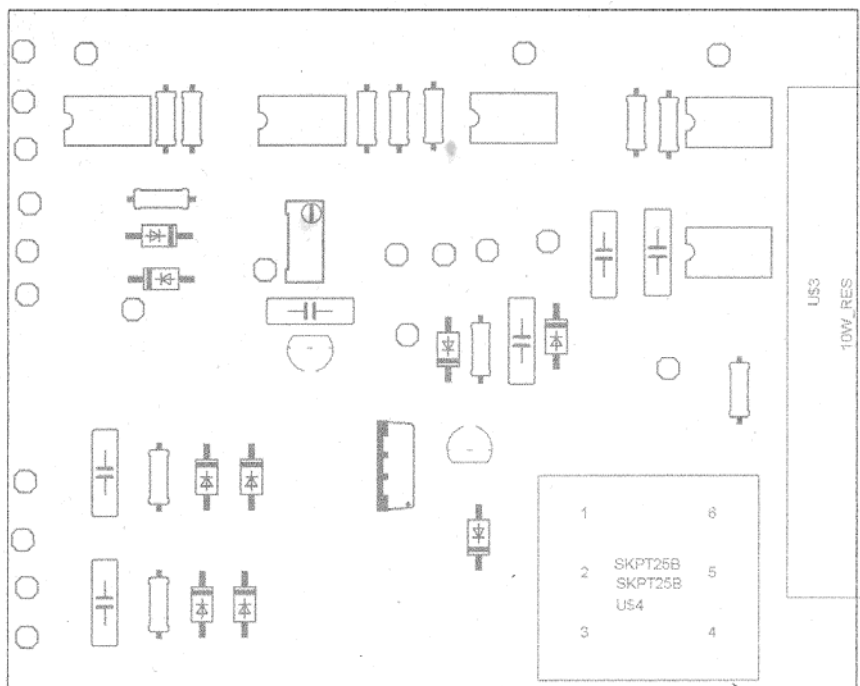
Βαθμίδα παραγωγής παλμών 0-180 μοίρες.



Η πάνω πλευρά των πλακετών με τα εξαρτήματα :



Βαθίδα παραγωγής παλμών 0-180 μοίρες.



Βαθμίδα παραγωγής παλμών 180-360 μοίρες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 Γενικά

Υπάρχουν πολλοί τύποι τροφοδοτικών. Τα περισσότερα είναι σχεδιασμένα να μετατρέπουν υψηλή τάση AC σε μια κατάλληλη χαμηλότερη ώστε να τροφοδοτούμε ηλεκτρονικά κυκλώματα κ συσκευές.

Ένα τροφοδοτικό αποτελείται από τα παρακάτω εξαρτήματα :

- Μετασχηματιστή,
- Ανορθωτή ,
- Εξομάλυνση και
- Σταθεροποιητή.

Μια συνοπτική αναφορά για την χρησιμότητα των εξαρτημάτων ακολουθεί παρακάτω, με ιδιαίτερη έμφαση στον σταθεροποιητή καθώς :

Μετασχηματιστής : ο μετασχηματιστής εκμεταλλεύεται τους νόμους της επαγωγής και μετασχηματίζει τα στοιχεία του ρεύματος, την τάση και την ένταση. Λειτουργεί μόνο με AC τάση και αποτελείται από δύο ή περισσότερα τυλίγματα, το πρωτεύων τροφοδοτείται από την τάση του δικτύου και το δευτερεύων το οποίο δίνει μικρότερες ή μεγαλύτερες τάσεις.

Ανορθωτής : είναι το πρώτο στάδιο της μετατροπής της εναλλασσόμενης τάσης σε συνεχή. Έχει αναλυθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Εξομάλυνση : η εξομάλυνση (φιλτράρισμα) επιτυγχάνεται με έναν ηλεκτρολυτικό πυκνωτή μεγάλης χωρητικότητας συνδεδεμένο παράλληλα με το φορτίο. Ο πυκνωτής αποθηκεύει ενέργεια κατά την διάρκεια της περιόδου αγωγής και την αποδίδει στο φορτίο κατά την διάρκεια της περιόδου μη αγωγής. Η εξομάλυνση αυξάνει την μέση τάση DC.

Σταθεροποιητής : οι σταθεροποιητές τάσης είναι ολοκληρωμένα κυκλώματα προρυθμισμένα σε κάποιες τάσεις εξόδου (συνήθως 5 έως 24 V) και ως μία συγκεκριμένη ένταση ρεύματος. Οι περισσότεροι σταθεροποιητές περιέχουν

κυκλώματα προστασίας υπερφόρτωσης και υπερθέρμανσης. Αρκετοί σταθεροποιητές έχουν τρεις επαφές ή περισσότερες, μοιάζοντας σαν τρανζίστορ ισχύος. Είναι σημαντικό η τάση εισόδου τους να είναι μερικά Volts παραπάνω από την σταθεροποιημένη τάση εξόδου. Ο ρόλος του είναι να εξαλείφει κάθε κυμάτωση που απομένει από τον πυκνωτή εξομάλυνσης και να αποδίδει μια σταθερή τάση εξόδου.

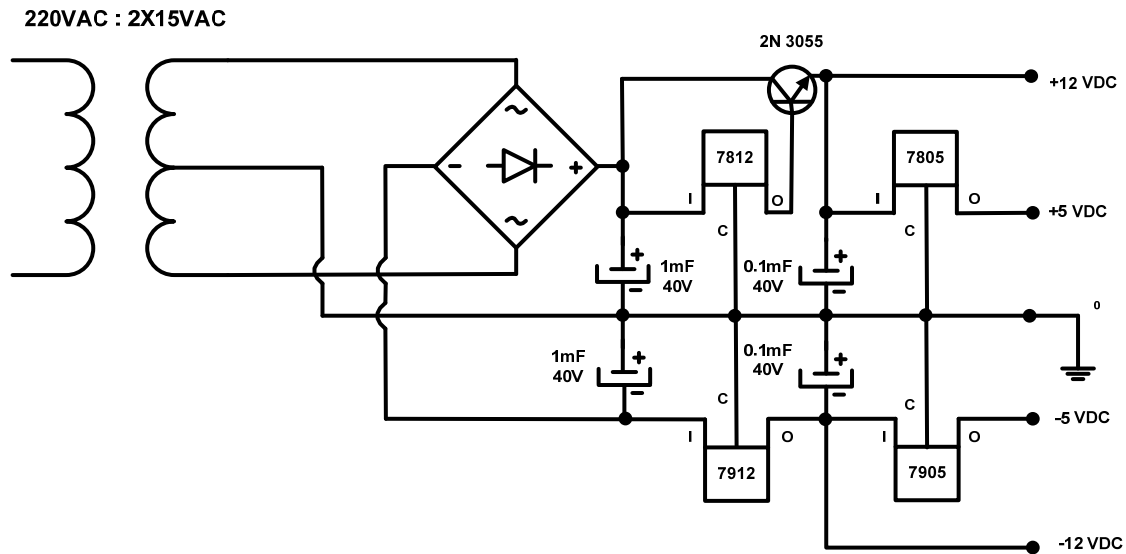
Τα ολοκληρωμένα που χρησιμοποιήσαμε είναι της σειράς LM 78_ και LM 79_ .

Ο αριθμός 78 σημαίνει σταθεροποίηση θετικής τάσης και οι αριθμοί που ακολουθούν φανερώνουν την ονομαστική τιμή της τάσης σταθεροποίησης. Επομένως τα ολοκληρωμένα LM 7805 και LM 7812 που χρησιμοποιήσαμε στο τροφοδοτικό μας φανερώνουν σταθεροποίηση στα +5 V DC και +12 V DC αντίστοιχα.

Ο αριθμός 79 σημαίνει σταθεροποίηση αρνητικής τάσης και οι αριθμοί που ακολουθούν φανερώνουν την ονομαστική τιμή της τάσης σταθεροποίησης. Επομένως τα ολοκληρωμένα LM 7905 και LM 7912 που χρησιμοποιήσαμε στο τροφοδοτικό μας φανερώνουν σταθεροποίηση στα -5 V DC και -12 V DC αντίστοιχα.

3.2 Ανάλυση κυκλώματος τροφοδοτικού

Το κύκλωμα έναυσης απαιτεί κάποιες τροφοδοτήσεις για την λειτουργία του. Τις συνεχείς τάσεις τις παρέχει το τροφοδοτικό του παρακάτω σχήματος.



Το κύκλωμά μας αποτελείται από τέσσερις βαθμίδες, οι οποίες περιγράφονται αναλυτικότερα παρακάτω :

Βαθμίδα 1^η

Ο μετασχηματισμός της τάσης τροφοδοσίας από 220 V σε 2*15 V. Αυτό πετυχαίνεται με μετασχηματιστή ο οποίος στο δευτερεύων τύλιγμα θα έχει τρία άκρα, εκ των οποίων η μεσαία λήψη γειώνεται και τα άλλα δύο άκρα συνδέονται στην γέφυρα ανόρθωσης.

Βαθμίδα 2^η

Η ανόρθωση της εναλλασσόμενης χαμηλής τάσης σε συνεχή τάση μέσω μιας γέφυρας διόδων.

Βαθμίδα 3^η

Η ανορθωμένη πλέον τάση από την έξοδο της γέφυρας συνδέεται σε ηλεκτρολυτικούς πυκνωτές μεγάλης τιμής ώστε να γίνει η εξομάλυνσή της.

Βαθμίδα 4^η

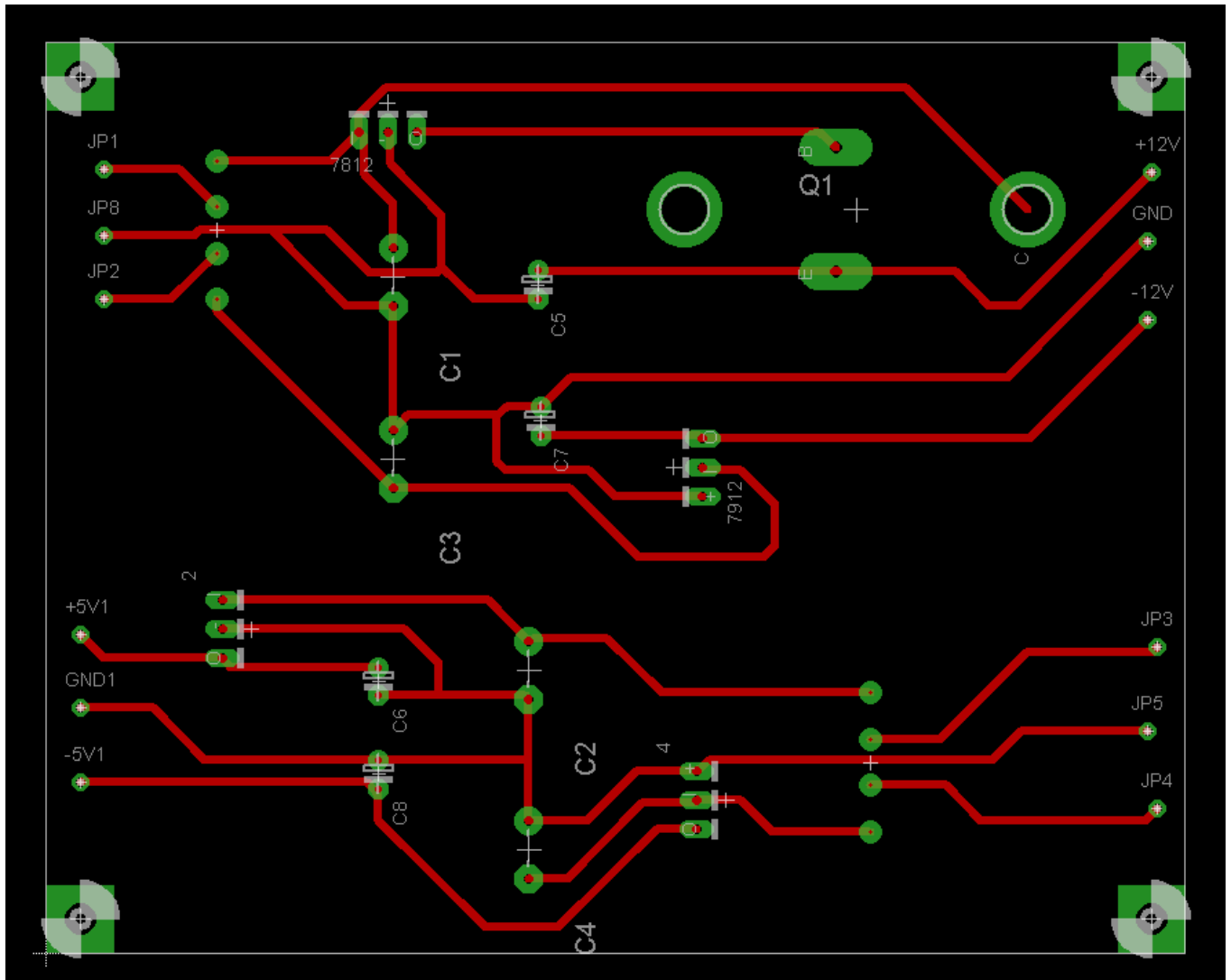
Η σχεδόν σταθερή συνεχής τάση οδηγείται στους σταθεροποιητές οι οποίοι μας δίνουν την επιθυμητή συνεχή τάση που θέλουμε για να τροφοδοτήσουμε το κύκλωμα έναυσης.

3.3 Σχεδιασμός κυκλώματος τροφοδοτικού

Για τον σχεδιασμό του κυκλώματος χρησιμοποιήθηκε το Eagle όπως αναφερθήκαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο.

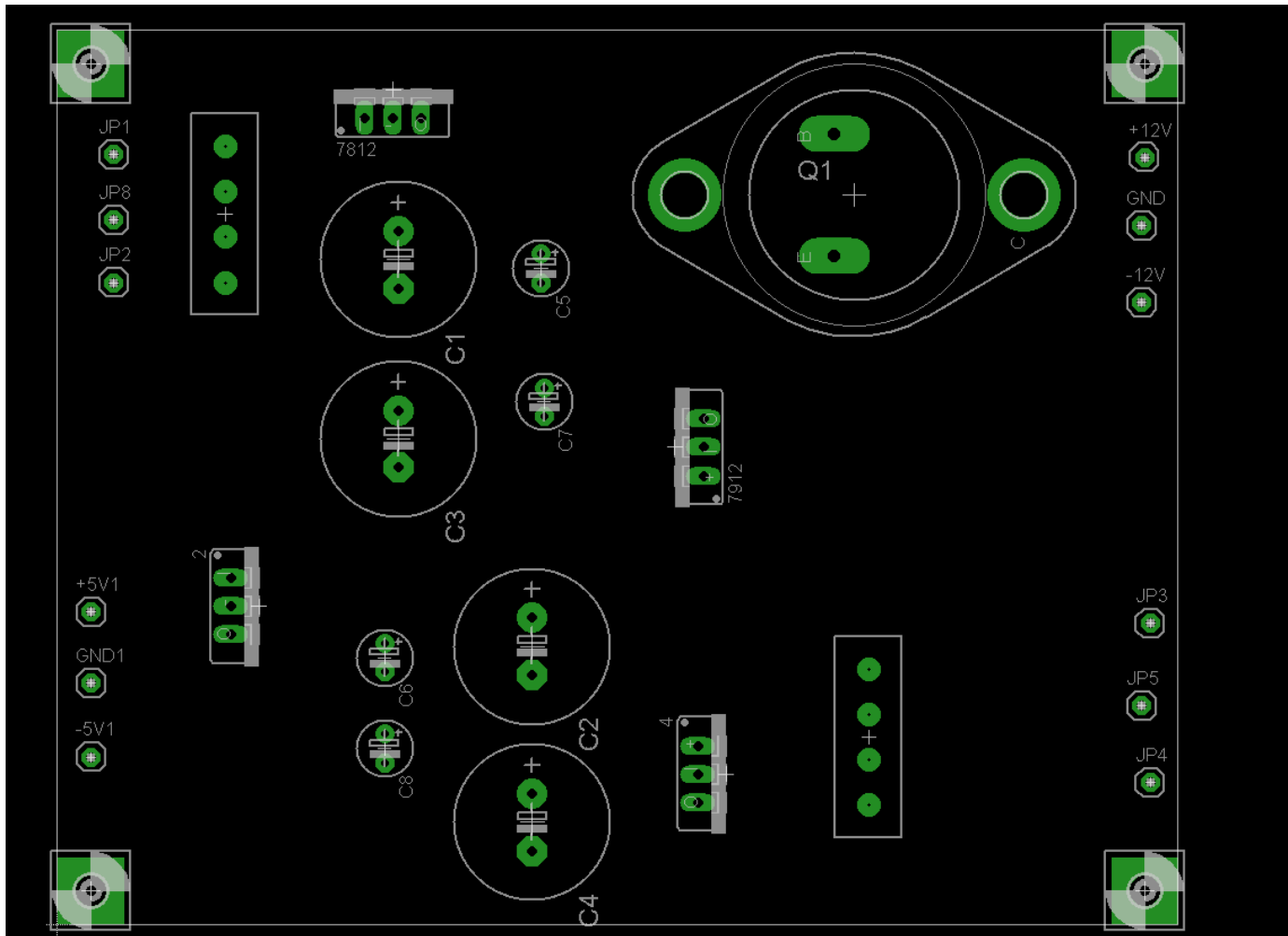
Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται το κύκλωμα τροφοδοτικού τυπωμένο σε διαφάνεια ώστε να ξεχωρίζει η πλευρά του από την πλευρά τοποθέτησης των εξαρτημάτων.

Η κάτω πλευρά της πλακέτας :



Η πάνω πλευρά της πλακέτας με τα εξαρτήματα :

Πτυχιακή εργασία :Μητροπούλου Αθανασία, Προδρομίδης Ιωάννης

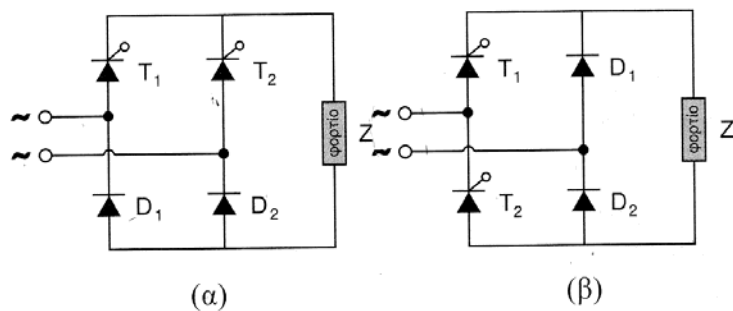


ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Πτυχιακή εργασία :Μητροπούλου Αθανασία, Προδρομίδης Ιωάννης

4.1 Γενικά για το κύκλωμα ισχύος

Το κύκλωμα ισχύος αποτελείται από δύο θυρίστωρ και δύο διόδους, τα οποία συνδέονται έτσι ώστε να σχηματίζουν μονοφασική συμμετρική ή ασύμμετρη ημιελεγχόμενη γέφυρα.



Μονοφασικές ημιελεγχόμενες διατάξεις.(α) συμμετρική ημιελεγχόμενη γέφυρα, (β) ασύμμετρη ημιελεγχόμενη γέφυρα.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Υλικά κατασκευής

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή των πλακετών έναυσης είναι τα εξής :

ΕΙΔΟΣ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ
Τελεστικοί ενισχυτές	LM741	8
Χρονιστής	555 timer	2
Τρανζίστορ	2N3904	2
Τρανζίστορ	BTX 53	2
Μετασχηματιστές παλμών	SKPT 258	2
Μετασχηματιστής	220/6V – 1A	1
Δίοδος	1N4002	18
Πυκνωτής	10nF	4
Πυκνωτής	100nF	8
Αντίσταση	10KΩ	16
Αντίσταση	100Ω	4
Αντίσταση	33KΩ	2
Αντίσταση	4.7KΩ	2
Αντίσταση	33Ω/ 10W	2
Ρυθμιστική αντίσταση (trimmer)	100KΩ	2
Γραμμικό ποτενσιόμετρο	10KΩ	1
Κλέμες		18

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του κυκλώματος του τροφοδοτικού είναι τα εξής :

ΕΙΔΟΣ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ
Μετασχηματιστής	220V/ 2x15V/2A	1
Μετασχηματιστής	220V/2x6V	1
Ηλεκτρολυτικός πυκνωτής	1mF/40V	4
Ηλεκτρολυτικός πυκνωτής	0.1mF/40V	4
Σταθεροποιητής +12V	7812	1
Σταθεροποιητής -12V	7912	1
Σταθεροποιητής +5V	7805	1
Σταθεροποιητής -5V	7905	1
Μονοφασικές γέφυρες	2KBP06	2

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) Γενικά Ηλεκτρονικά, Εμμανουήλ Γ. Τσαγάκη. Ίδρυμα Ευγενίδου.
- 2) Γενική Ηλεκτρονική, Κ.Α. Καρύμπακα. Αναλογικά ηλεκτρονικά, Ν.Γ.Θεοφάνους, Χ.Δ. Κανελλόπουλος, Σ.Α. Πακτίτης.
- 3) Εργαστηριακές ασκήσεις Ηλεκτρικών Ισχύος, Παντελής Β. Μαλατέστας. Εκδόσεις Τζιώλα
- 4) Γενικά Ηλεκτρονικά. Μπρακατσούλας Κων. Ευάγγελος, Παπαϊωάννου Ιωαν. Γεώργιος, Παπαδάκης Αρτ. Ιωάννης.
- 5) Εργαστηριακές ασκήσεις Ηλεκτρικής Κίνησης, Παντελής Β. Μαλατέστας. Εκδόσεις Τζιώλα.
- 6) Ηλεκτρονικά Ισχύος, Στέφανος Ν. Μάνιας. Εκδόσεις Συμεών.
- 7) Internet