

H/Γ
578

ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ

Α.Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ

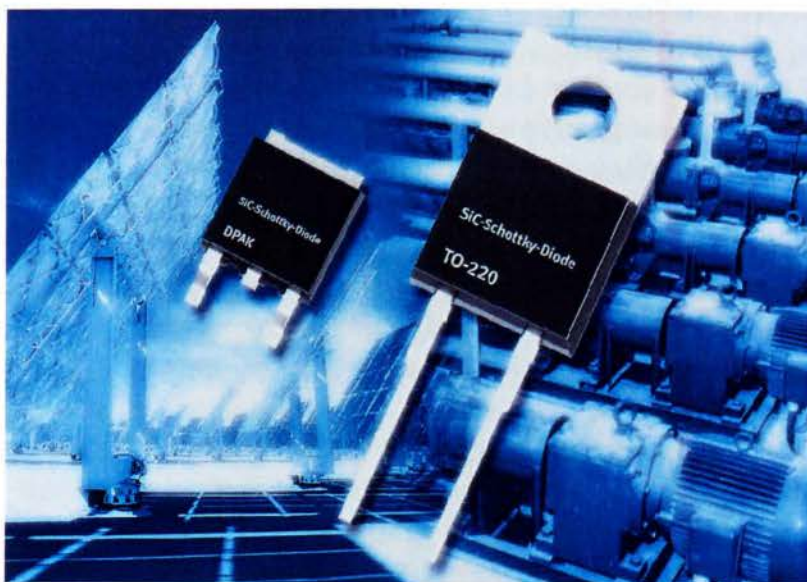
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

76

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΛΕΤΗ – ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΗΜΙΕΛΕΓΧΟΜΕΝΗΣ ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ



ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ : ΚΟΥΤΟΥΖΗ ΕΙΡΗΝΗ

ΚΑΛΟΓΕΡΟΠΟΥΛΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ – ΣΠΥΡΙΔΩΝ

Επιβλέπων Καθηγητής : Ν. Βενέτας

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 φορτίων 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.

Το θέμα της πτυχιακής εργασίας έχει τον τίτλο **«Μελέτη και κατασκευή μονοφασικής ημιελεγχόμενης γέφυρας»**. Προσπάθεια μας είναι να αναλύσουμε με όσο το δυνατόν πιο κατανοητό και λεπτομερή τρόπο τα κυκλώματα που απαρτίζουν την πτυχιακή εργασία.

Η εργασία χωρίζεται σε τρία μέρη, το θεωρητικό, το κατασκευαστικό και το πειραματικό. Στο τέλος της εργασίας περιλαμβάνεται η βιβλιογραφία.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | |
|------------------|---|
| Πρόλογος..... | 1 |
| Περιεχόμενα..... | 3 |

ΜΕΡΟΣ Α΄ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο ΜΗ ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΕΣ ΑΝΟΡΘΩΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ

| | |
|---|----|
| 1.1 Γενικά..... | 7 |
| 1.2 Δίοδος επαφής P-N..... | 7 |
| 1.3 Πόλωση της διόδου..... | 9 |
| 1.3.1 Ορθή πόλωση..... | 10 |
| 1.3.2 Ανάστροφη πόλωση..... | 12 |
| 1.3.3 Χαρακτηριστική καμπύλη διόδου PN..... | 15 |
| 1.4 Εφαρμογές των διόδων..... | 17 |
| 1.5 Ημιανόρθωση ή απλή ανόρθωση..... | 17 |
| 1.6 Διπλή ή πλήρης ανόρθωση..... | 21 |
| 1.6.1 Διπλή ανόρθωση με δύο διόδους..... | 21 |
| 1.6.2 Διπλή ανόρθωση με γέφυρα διόδων..... | 24 |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΕΣ ΑΝΟΡΘΩΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ

| | |
|--|----|
| 2.1 Θυρίστορ..... | 25 |
| 2.1.1 Γενικά..... | 25 |
| 2.2 Δομή και γενικά χαρακτηριστικά..... | 26 |
| 2.3 Αρχή λειτουργίας..... | 28 |
| 2.4 Τρόποι μετάβασης ενός θυρίστορ..... | 30 |
| 2.5 Ψύξη του θυρίστορ..... | 31 |
| 2.6 Μονοφασική ημιελεγχόμενη γέφυρα..... | 31 |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3° Ο ΤΕΛΕΣΤΙΚΟΣ ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ

| | |
|--|----|
| 3.1 Γενικά..... | 35 |
| 3.2 Ο ιδανικός τελεστικός ενισχυτής..... | 36 |
| 3.3 Ο πραγματικός τελεστικός ενισχυτής..... | 38 |
| 3.4 Ο τελεστικός ενισχυτής ως ενισχυτής..... | 39 |
| 3.5 Ο τελεστικός ενισχυτής ως συγκριτής..... | 41 |
| 3.6 Ο τελεστικός ενισχυτής ως αθροιστής..... | 43 |
| 3.7 Ο τελεστικός ενισχυτής ως ολοκληρωτής..... | 44 |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4° ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ

| | |
|--|----|
| 4.1 Η αρχή λειτουργίας των τρανζίστορ..... | 46 |
| 4.2 Το τρανζίστορ σαν ενισχυτής ρεύματος και σαν διακοπτικό στοιχείο..... | 49 |
| 4.3 Συνδεσμολογία Darlington..... | 50 |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5° Ο ΧΡΟΝΙΣΤΗΣ 555

| | |
|-------------------------------------|----|
| 5.1 Περιγραφή του χρονιστή 555..... | 51 |
|-------------------------------------|----|

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6° Ο ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ ΠΑΛΜΩΝ

| | |
|-----------------|----|
| 6.1 Γενικά..... | 53 |
|-----------------|----|

ΜΕΡΟΣ Β΄ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο Κατασκευή πλακέτας

| | | |
|-----|-------------------------|----|
| 1.1 | Κατασκευή πλακέτας..... | 54 |
| 1.2 | Ο σχεδιασμός..... | 54 |
| 1.3 | Η επεξεργασία..... | 62 |
| 1.4 | Η εμφάνιση..... | 66 |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο Το κύκλωμα ελέγχου

| | | |
|-----|--|----|
| 2.1 | Γενικά..... | 69 |
| 2.2 | Ανάλυση κυκλώματος έναυσης θυρίστορ μονοφασικής ανόρθωσης | 72 |
| 2.3 | Σχεδιασμός κυκλώματος έναυσης..... | 86 |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο Το τροφοδοτικό

| | | |
|-----|---|----|
| 3.1 | Γενικά..... | 88 |
| 3.2 | Ανάλυση κυκλώματος τροφοδοτικού..... | 90 |
| 3.3 | Σχεδιασμός κυκλώματος τροφοδοτικού..... | 91 |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο Το κύκλωμα ισχύος

| | | |
|-----|-------------|----|
| 4.1 | Γενικά..... | 92 |
|-----|-------------|----|

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Υλικά κατασκευής.....94

ΜΕΡΟΣ Γ΄ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Συμμετρική ημιελεγχόμενη γέφυρα με ωμικό φορτίο.....96

Συμμετρική ημιελεγχόμενη γέφυρα με ωμικό-επαγωγικό φορτίο
(κινητήρας).....98

Μετρήσεις.....102

ΜΕΡΟΣ Α΄ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο ΜΗ ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΕΣ ΑΝΟΡΘΩΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ

1.1 Γενικά

Η συνεχής τάση είναι απαραίτητη για την πόλωση των ηλεκτρονικών στοιχείων όπως είναι τα τρανζίστορ, οι λυχνίες, οι τελεστικοί ενισχυτές, τα ολοκληρωμένα κυκλώματα κ.λ.π. Γι' αυτό τον λόγο απαιτείται μετατροπή της εναλλασσόμενης τάσης σε συνεχή, η οποία επιτυγχάνεται με την χρήση στοιχείων με μονοπολικές ιδιότητες, των ανορθωτών.

Πρόκειται για ημιαγωγικά στοιχεία τα οποία μπορεί να είναι θυρίστορ, τρανζίστορ, GTOs και δίοδοι. Ο τύπος του ημιαγωγικού στοιχείου που θα χρησιμοποιηθεί κάθε φορά εξαρτάται κυρίως από τα εξής :

- Ισχύς
- Τάση
- Ρεύμα

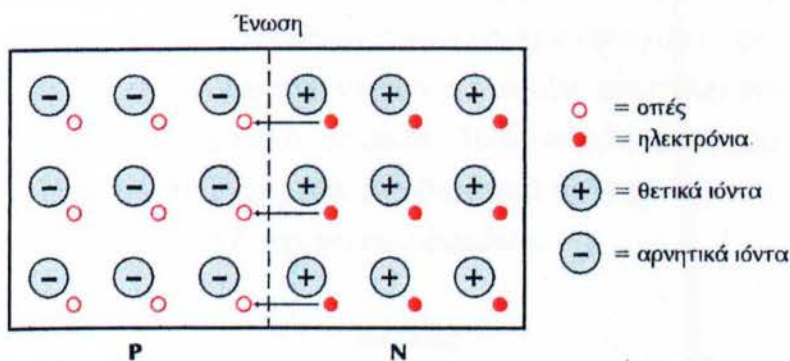
1.2 Δίοδος επαφής P-N

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 ονομά-

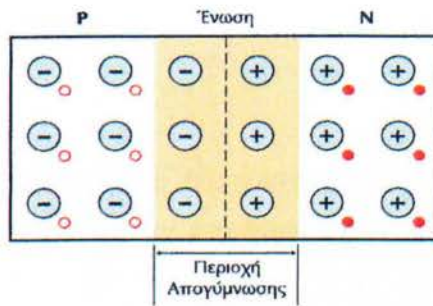
ζεται δίοδος PN. Τα κομμάτια αυτά των ημιαγωγών μπορεί να μην είναι διαφορετικά, αλλά μέρη του ίδιου κομματιού κρυστάλλου πυριτίου όπου στη μία πλευρά έχει δημιουργηθεί με κατάλληλο τρόπο τύπος P, ενώ στην άλλη ο τύπος N.

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.



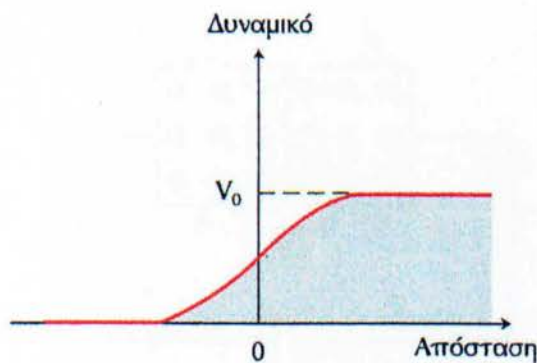
Σχήμα 1. Επαφή PN

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

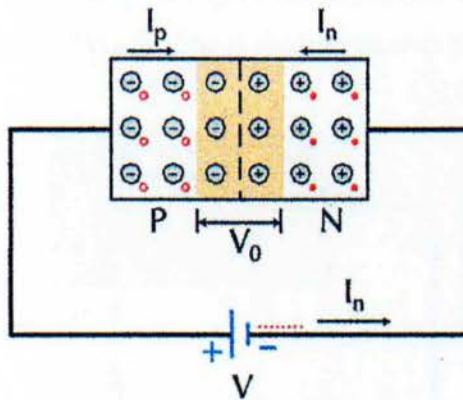
Η επαφή PN που δημιουργήθηκε με τον πιο πάνω τρόπο λέγεται δίοδος PN διότι αφήνει να διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα από αυτήν μόνο προς μία κατεύθυνση.

1.3 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.

1.3.1 Ορθή πόλωση

Μια διάδος 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.



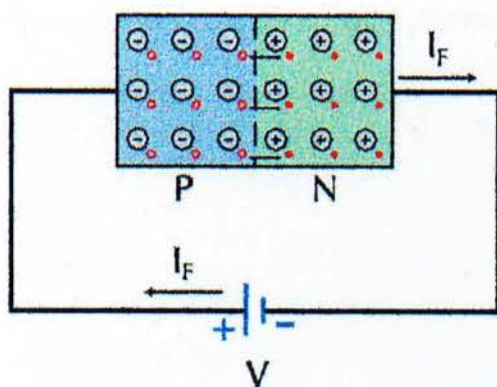
Σχήμα 4

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 διάοδο 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 μπουν 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 διόδο 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 αυξά-

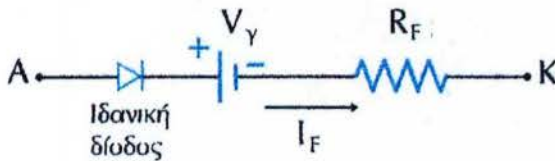
νεται εκθετικά. Η τάση γόνατος για το γερμάνιο είναι 0,3V για το πυρίτιο είναι 0,7V.

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 μικροαμπερ.

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



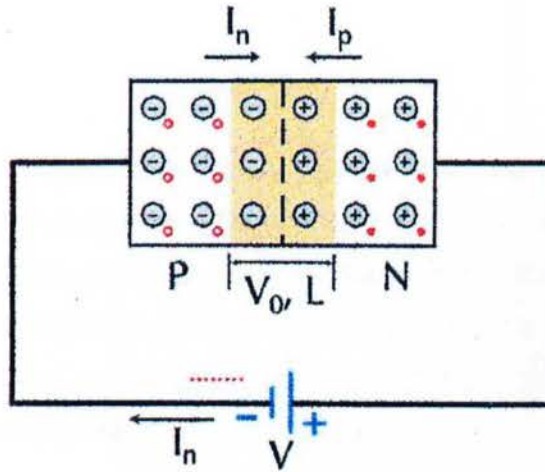
Σχήμα 6. Ισοδύναμο κύκλωμα διόδου PN

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

| | Τάση φραγμού $V_φ$ Τάση γόνατος $V_γ$ | Αντίσταση διόδου ορθής φοράς, R_F |
|---|--|--|
| Ιδανική διόδος | 0 V | 0 Ω |
| Μη Ιδανική διόδος (εμπορίου) | 0,1 V Ge 0,5 V Si 0,3 V Ge 0,7 V Si | 100 -1000 Ω |

1.3.2 Ανάστροφη πόλωση

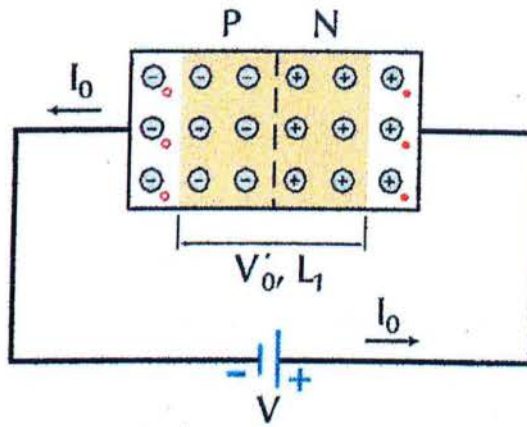
Μια δίοδος PN είναι πολωμένη κατά την ανάστροφη φορά εάν ο θετικός πόλος της εξωτερικής πηγής είναι συνδεδεμένος με το τμήμα N της δίοδου και ο αρνητικός πόλος με το τμήμα P, όπως φαίνεται και στο σχήμα 7.



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 ανάστροφο 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 C_T παίρνοντας νέα τιμή:

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

όπου S = επιφάνεια περιοχής απογύμνωσης

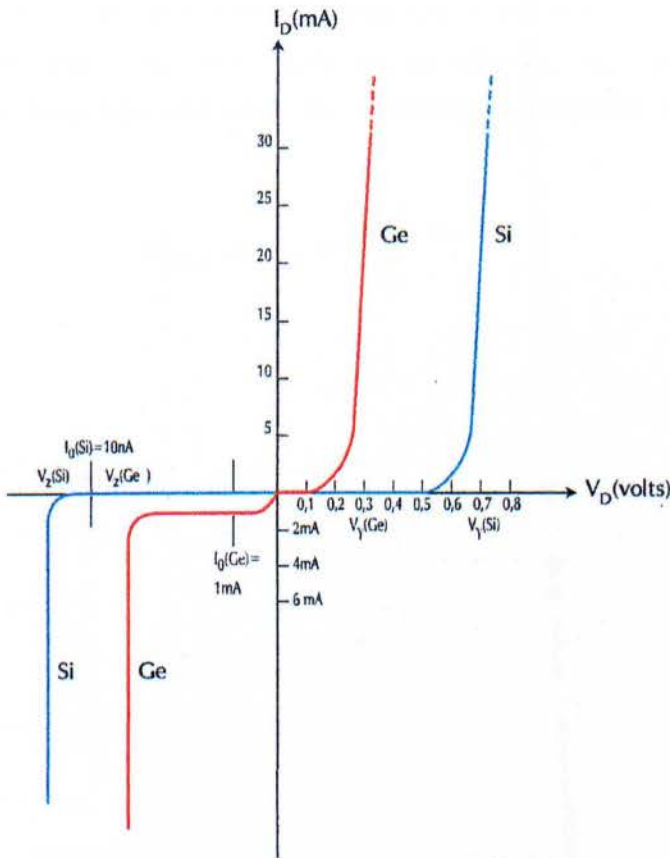
Η αντίσταση της διόδου κατά την ανάστροφη πόλωση είναι για την ιδανική δίοδο $R_R = \infty$, ενώ για της διόδους του εμπορίου λαμβάνει πολύ μεγάλες τιμές.

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



1.3.3 Χαρακτηριστική καμπύλη διόδου PN

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, κατά την ορθή πόλωση της διόδου με την αύξηση της τάσης θα υπάρχει κατ' αρχή ένα μικρό ρεύμα και μετά την τάση γόνατος μια μεγάλη αύξηση του ρεύματος. Αντίθετα, κατά την ανάστροφη φορά θα υπάρχει ένα πολύ μικρό ρεύμα, σχεδόν σταθερό, το οποίο θα αυξήσει ελάχιστα την τιμή του μέχρις ότου η τάση θα φθάσει μια ορισμένη τιμή, που καλείται τάση διάσπασης ή Zener, οπότε το ρεύμα αυξάνεται απότομα. Συνεπώς υπάρχουν τρεις περιοχές στη χαρακτηριστική καμπύλη $I - V$ μιας διόδου: η περιοχή ορθής πόλωσης, η περιοχή ανάστροφης πόλωσης και η περιοχή διάσπασης. Στο σχήμα 9 φαίνονται τυπικές χαρακτηριστικές πυριτίου και γερμανίου.



Σχήμα 9

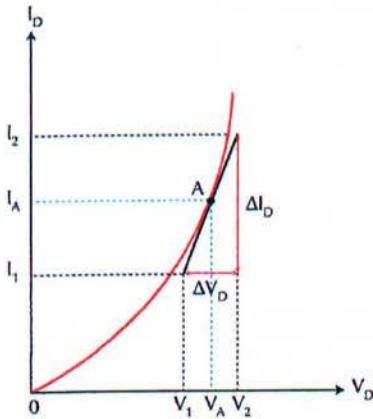
Στο κάθετο άξονα παριστάνεται το ρεύμα I_D σε mA, ενώ στον οριζόντιο η τάση V_D σε Volt. Σε κάθε σημείο A της χαρακτηριστικής, στην περιοχή της ορθής πόλωσης, μπορεί να ορισθεί η δυναμική αντίσταση $R_{F,ac}$ ως το πηλίκο μιας μικρής μεταβολής της τάσης γύρω από το σημείο A προς την αντίστοιχη μεταβολή του ρεύματος. Οι μεταβολές αυτές είναι οι κάθετες πλευρές ενός ορθογωνίου τριγώνου με υποτείνουσα την εφαπτομένη της καμπύλης στο δεδομένο σημείο A (σχήμα 10). Ορίζεται επίσης η στατική αντίσταση $R_{F,dc}$ ως το πηλίκο της τάσης στο σημείο A προς το αντίστοιχο ρεύμα.

$$R_{F,ac} = \frac{\Delta V_D}{\Delta I_D} = \frac{V_2 - V_1}{I_2 - I_1}$$

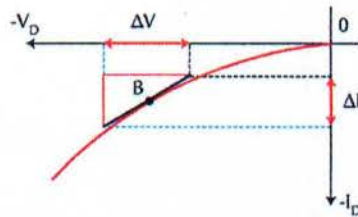
$$R_{F,ac} = R_F = \frac{V_A}{I_A}$$

Με παρόμοιο τρόπο ορίζεται γραφικά και η αντίσταση ανάστροφης φοράς ή πόλωσης R_R ως το πηλίκο της μεταβολής της τάσης, στο σημείο Β, στην ανάστροφη πόλωση την αντίστοιχη μεταβολή του ρεύματος (σχήμα 10)

$$R_{R,ac} = R_R = \frac{\Delta V}{\Delta I}$$



Σχήμα 9



Σχήμα 10

1.4 Εφαρμογές των διόδων

Οι εφαρμογές των διόδων (κρυσταλλοδίοδων) 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 δίοδοι 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 δίοδοι 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).

1.5 Ημιανόρθωση ή απλή ανόρθωση

Στα κυκλώματα που χρησιμοποιήθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους του κεφαλαίου, η πηγή τάσης εισόδου ήταν πηγή συνεχούς τάσης η οποία παραμένει σταθερή με το χρόνο. Συνεχή τάση χρησιμοποιούν σχεδόν όλες οι ηλεκτρονικές συσκευές.

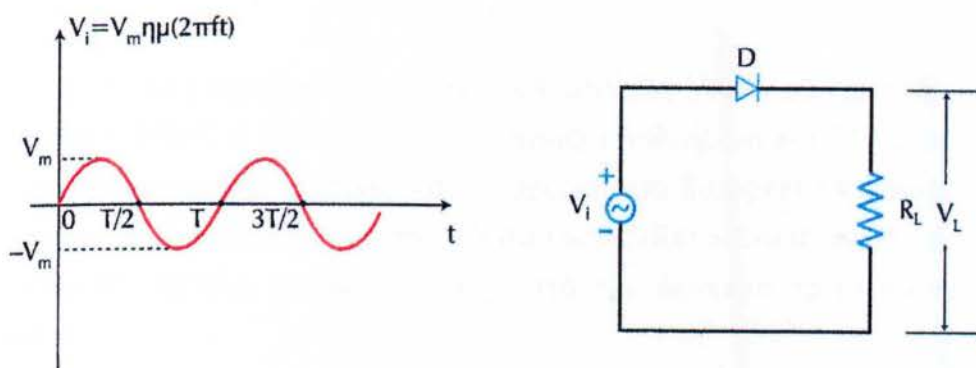
Οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας παράγουν εναλλασσόμενη τάση, η τιμή της οποίας δεν παραμένει σταθερή με τον χρόνο αλλά μεταβάλλεται. Η εναλλασσόμενη τάση έχει σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι της συνεχούς, κυρίως στην διαδικασία μεταφοράς από τα εργοστάσια παραγωγής προς τα κέντρα κατανάλωσης και χρησιμοποιείται ευρέως.

Απαιτούνται, συνεπώς, ηλεκτρονικές διατάξεις οι οποίες θα μετατρέπουν την εναλλασσόμενη τάση σε συνεχή. Οι διατάξεις αυτές λέγονται τροφοδοτικά. Τα τροφοδοτικά περιέχουν μεταξύ των άλλων ηλεκτρονικών στοιχείων και τους λεγόμενους ανορθωτές.

Οι ανορθωτές ή ανορθωτικές διατάξεις παρουσιάζουν μικρή αντίσταση όταν πολωθούν κατά την ορθή φορά και μεγάλη αντίσταση όταν πολωθούν κατά την ανάστροφη φορά. Παλαιότερα σαν ανορθωτές

χρησιμοποιούνται χημικά στοιχεία ή χημικές ενώσεις όπως το σελήνιο, το γερμάνιο, το οξείδιο του χαλκού κ.λ.π. Σήμερα χρησιμοποιούνται κυρίως δίοδοι επαφής PN διότι η αντίσταση ανάστροφης φοράς είναι πάρα πολύ μεγαλύτερη από την αντίσταση ορθής φοράς.

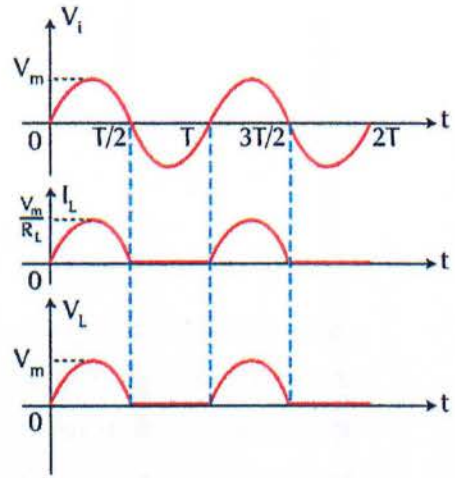
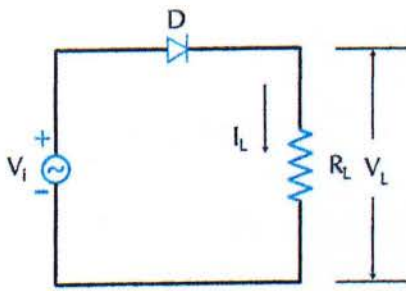
Το απλούστερο κύκλωμα ανόρθωσης φαίνεται στο σχήμα 11. Όπως βλέπουμε, αποτελείται από πηγή εναλλασσόμενης τάσης V_i ημιτονοειδούς μορφής με την μέγιστη τιμή (πλάτος V_m), συχνότητα f , περίοδο T και κυκλική συχνότητα $\omega=2\pi f$, μια ιδανική δίοδο D ($V_g = 0$, $R_D = 0$) καθώς και μια αντίσταση φόρτου R_L .



Σχήμα 11. Κύκλωμα απλής ανόρθωσης ή ημιανόρθωσης

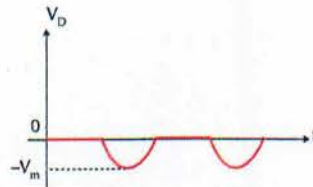
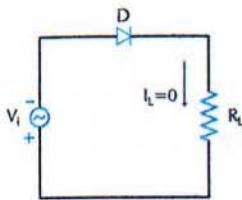
Το κύκλωμα ονομάζεται κύκλωμα απλής ανόρθωσης ή ημιανόρθωσης και η τάση εξόδου V_L λέγεται ημιανορθωμένη τάση.

Όταν η τάση εισόδου έχει θετική τιμή, δηλαδή όταν $0 < V_i < V_m$ και $0 < t < T/2$ η δίοδος είναι πολωμένη κατά την ορθή φορά και συνεπώς άγει. Επειδή η δίοδος θεωρείται ιδανική δεν υπάρχει πτώση τάσης στα άκρα της και έτσι όλη η τάση εισόδου μεταφέρεται στην έξοδο. Στο σχήμα 12 φαίνονται οι κυματομορφές της τάσης και του ρεύματος εξόδου.



Σχήμα 12. Τάσεις και ρεύματα κατά την ημιανόρθωση. Θετική τάση εισόδου.

Όταν η τάση εισόδου είναι αρνητική, δηλαδή $-V_m < V_i < 0$ και στην ημιπερίοδο $T/2 < t < T$, η διάδος είναι ανάστροφα πολωμένη και δεν άγει οπότε το κύκλωμα είναι ανοικτό και το ρεύμα που διαρρέει το φόρτο είναι μηδέν και συνεπώς και η τάση εξόδου μηδενίζεται όπως φαίνεται στο σχήμα 13. Τα ίδια συμβαίνουν και κατά την δεύτερη, τρίτη κ.λ.π περίοδο.



Σχήμα 13. Τάσεις και ρεύματα κατά την ημιανόρθωση. Αρνητική τάση εισόδου.

Από την παραπάνω ανάλυση διαπιστώνεται ότι έχουμε τάση και ρεύμα εξόδου μόνο κατά τις ημιπεριόδους θετικής πολικότητας της τάσης εισόδου και για το λόγο αυτό η τάση εξόδου είναι ημιανορθωμένη.

Όταν η διάδος δεν είναι ιδανική θα έχει, ως γνωστό, τάση γόνατος V_γ και μια αντίσταση ορθής φοράς $R_F \neq 0$. Στην περίπτωση αυτή το μέγιστο ρεύμα εξόδου θα είναι :

$$I_{mL} = \frac{V_m - V_\gamma}{R_F - R_L}$$

Και η μέγιστη τάση εξόδου :

$$V_L = I_{mL}R_L = \frac{V_m - V_\gamma}{R_F - R_L} R_L$$

Όπως είναι γνωστό, ένα συνεχές ρεύμα μετρίεται με αμπερόμετρο συνεχούς ρεύματος, ενώ ένα εναλλασσόμενο ρεύμα μετρίεται με ένα αμπερόμετρο εναλλασσομένου. Το ημιανορθωμένο ρεύμα παρουσιάζει δύο διαφορετικές τιμές όταν μετρηθεί με όργανα συνεχούς και εναλλασσομένου ρεύματος και τούτο, διότι περιέχει και συνεχή και εναλλασσόμενη συνιστώσα του ρεύματος. Το ίδιο ισχύει και για την ημιανορθωμένη τάση.

Η συνεχής συνιστώσα του ημιανορθωμένου ρεύματος ορίζεται σαν μέση τιμή του ημιανορθωμένου ρεύματος σε όλη την περίοδο $0 < t < T$. Με μαθηματικούς υπολογισμούς βρίσκεται ότι η τιμή αυτής της συνιστώσας είναι :

$$I_{dc} = \frac{I_m}{\pi} \approx 0,318I_m$$

όπου $I_m = \frac{V_m}{R_L}$ και $\pi=3,1414\dots$

Η συνεχής συνιστώσα της τάσης που μετράει ένα βολτόμετρο συνεχούς είναι :

$$V_{dc} = \frac{V_m}{\pi} \approx 0,318V_m = \frac{I_m}{\pi} R_L$$

Η ενεργός (rms) τιμή του ρεύματος και της τάσης, τα μεγέθη που μετρίονται με αμπερόμετρο και βολτόμετρο εναλλασσομένου αντίστοιχα δίδονται από την σχέση :

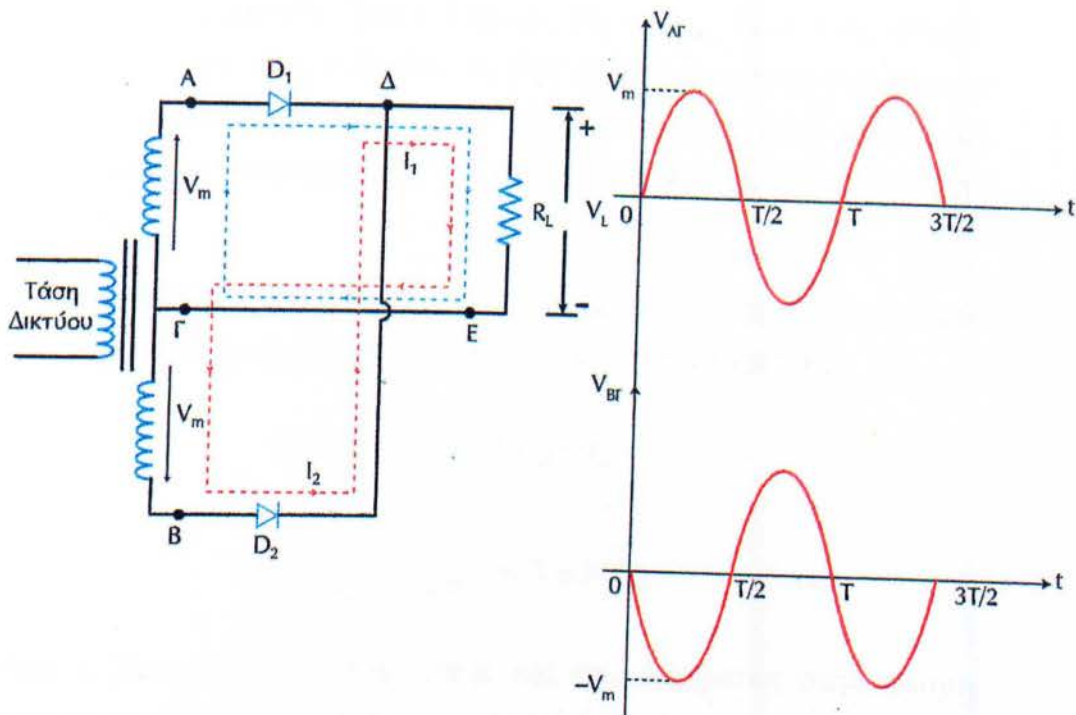
$$I_{rms} = \frac{I_m}{2} = 0.5I_m, \quad V_{rms} = \frac{V_m}{2} = 0.5V_m$$

1.6 Διπλή ή πλήρης ανόρθωση

Στην περίπτωση της ημιανορθωμένης τάσης, η συνεχής συνιστώσα του ρεύματος και της τάσης εξόδου, όπως προκύπτει από τις παραπάνω σχέσεις, είναι μόνο το $1/\pi$ ήτοι το 31,8% του μέγιστου ρεύματος και της τάσης εισόδου αντίστοιχα. Το μικρό ποσοστό αυτό οφείλεται στο ότι η δίοδος του κυκλώματος άγει μόνο κατά την θετική ημιπερίοδο και επομένως υπάρχει ρεύμα και τάση στον φόρτο μόνο κατά την ημιπερίοδο αυτή.

1.6.1 Διπλή ανόρθωση με δύο διόδους

Μια λύση για να αυξηθεί το ποσοστό αυτό, θα είναι να προστεθεί μια δεύτερη δίοδος στο κύκλωμα η οποία να δίνει ρεύμα στον φόρτο κατά την αρνητική ημιπερίοδο της τάσης εισόδου. Ένα τέτοιο κύκλωμα φαίνεται στο σχήμα 14. Το κύκλωμα αυτό παρέχει την λεγόμενη διπλή ή πλήρη ανόρθωση.



Σχήμα 14. Κύκλωμα διπλής ή πλήρους ανόρθωσης. Κυματομορφές εισόδου.

Η τάση του δικτύου (230V, 50Hz) μετασχηματίζεται σε χαμηλότερη τάση στο δευτερεύον πηνίο ενός Μ/Σ, το οποίο έχει μεσαία λήψη και παρέχει δύο ίσες τάσεις με μέγιστη τιμή V_m στους δύο βρόχους του κυκλώματος.

Η μεσαία λήψη του δευτερεύοντος πηνίου του Μ/Σ (σημείο Γ) συνδέεται με το ένα άκρο της αντίστασης φόρτου R_L ενώ το άλλο άκρο της αντίστασης συνδέεται με τις καθόδους των διόδων D_1 και D_2 (σημείο Δ). Οι διόδοι θεωρούνται ιδανικές.

Κατά την ημιπερίοδο $0 < t < T/2$, το σημείο Α είναι θετικότερο από το σημείο Γ ($V_{AΓ} = + V_m$), ενώ το σημείο Β είναι αρνητικότερο από το σημείο Γ ($V_{BΓ} = - V_m$). Αυτό συμβαίνει διότι τα τυλίγματα του δευτερεύοντος πηνίου του Μ/Σ είναι τυλιγμένα με αντίθετη φορά. Η διάδος D_1 άγει και υπάρχει ρεύμα στο κύκλωμα ΑΔΕΓΑ και επομένως και στο φόρτο R_L , που είναι το ρεύμα ημιανόρθωσης με μέση τιμή $I_{1dc} = I_m/2$. Η διάδος D_2 δεν άγει, γιατί είναι ανάστροφα πολωμένη.

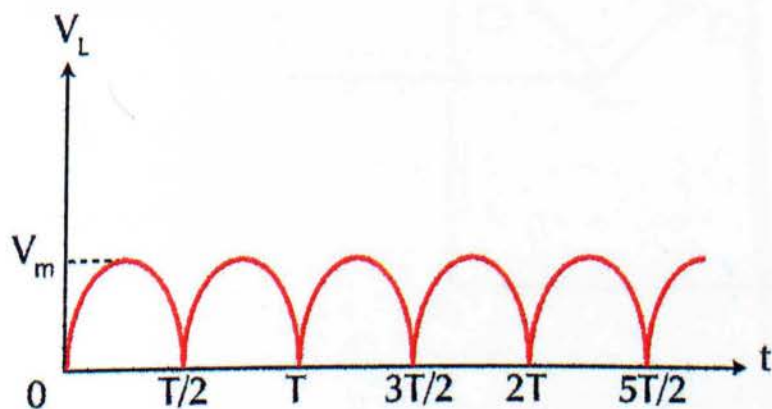
Κατά την ημιπερίοδο $T/2 < t < T$ είναι : $V_{AΓ} = -V_m$, $V_{BΓ} = +V_m$. Επομένως η διάοδος D_2 άγει ενώ η διάοδος D_1 δεν άγει, διότι είναι ανάστροφα πολωμένη. Έτσι, στο κύκλωμα ΒΔΕΓΒ διέρχεται ρεύμα I_2 με μέση τιμή $I_{2dc} = I_m/2$. Επομένως υπάρχει τάση και ρεύμα στο φόρτο, όπως φαίνεται στο σχήμα 15.

Η μέση τιμή της ανορθωμένης τάσης και του ανορθωμένου ρεύματος δίδονται από τις παρακάτω σχέσεις και είναι αντίστοιχα :

$$V_{dc} = \frac{2V_m}{\pi} = 0,636V_m$$

$$I_{dc} = \frac{V_{dc}}{R_L} = \frac{2V_m}{\pi R_L} = 0.636I_m$$

Άρα η μέση τιμή (dc) της τάσης και του ρεύματος στην πλήρη ανόρθωση είναι διπλάσια από ότι στην ημιανόρθωση.



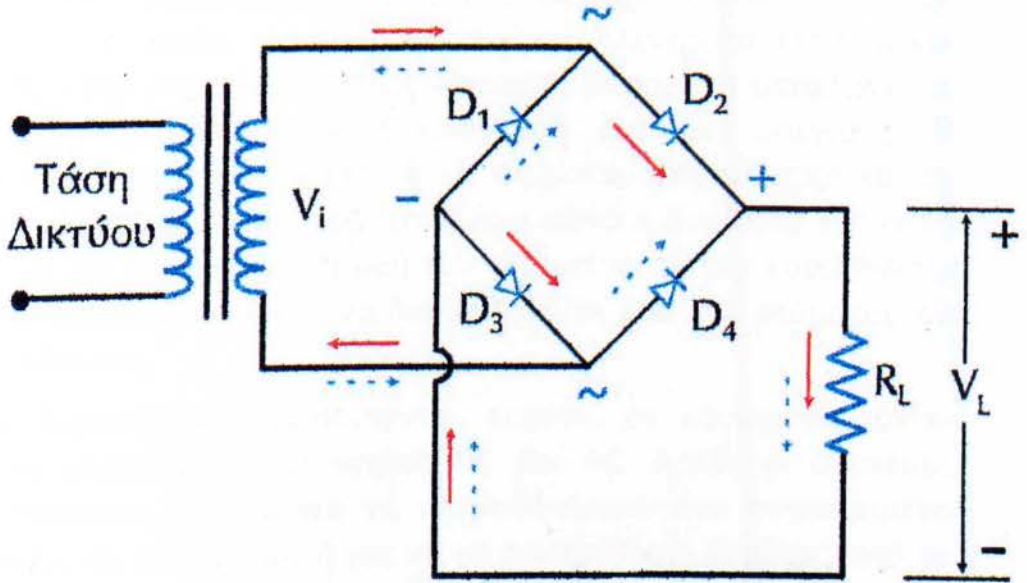
Σχήμα 15. Τάση και ρεύμα φόρτου στην πλήρη ανόρθωση.

Η αντίστοιχη ενεργός (rms) τιμή της τάσης και του ρεύματος στην πλήρη ανόρθωση είναι :

$$V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}, I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

1.6.2 Διπλή ανόρθωση με γέφυρα διόδων

Για την πλήρη ανόρθωση, χρησιμοποιείται σήμερα συχνά η διάταξη της γέφυρας διόδων. Η γέφυρα διόδων αποτελείται από 4 διόδους συνδεδεμένες όπως στο σχήμα 16. Με το κύκλωμα της γέφυρας αποφεύγεται η χρήση του Μ/Σ με μεσαία λήψη που είναι ανεπιθύμητη λόγω κόστους Μ/Σ.



Σχήμα 16. Πλήρης ανόρθωση με γέφυρα διόδων.

Κατά την θετική ημιπερίοδο της τάσης εισόδου, οι διόδοι D_2 και D_3 άγουν (κόκκινα βέλη), ενώ οι διόδοι D_1 και D_4 είναι σε αποκοπή. Κατά την αρνητική ημιπερίοδο της τάσης οι διόδοι D_1 και D_4 άγουν (μπλε διακεκομμένα βέλη), ενώ οι διόδοι D_2 και D_3 είναι σε αποκοπή. Έτσι από τον φόρτο R_L διέρχεται πάντα ρεύμα της αυτής φοράς και τιμή ίσης με τη μέση τιμή που δίνεται στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Κατά την πλήρη ανόρθωση με γέφυρα η μέση τιμή τόσο της τάσης, όσο και του ρεύματος παραμένουν οι ίδιες όπως και στην πλήρη ανόρθωση με δύο διόδους, καθώς και η ενεργός τιμή της τάσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2° ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΕΣ ΑΝΟΡΘΩΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ

2.1 Θυρίστορ

2.1.1 Γενικά

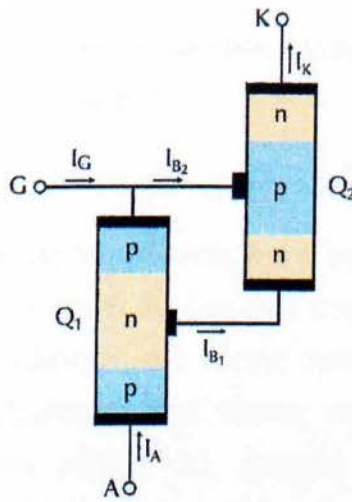
Ο όρος "θυρίστορ" προσδιορίζει περιοχή υλικών σταθερής κατάστασης τα οποία χρησιμοποιούνται ως ηλεκτρικοί ελεγχόμενοι διακόπτες. Κάθε μία από αυτές τις συσκευές μπορεί να μεταβάλλεται μεταξύ μιας αγώγιμης on κατάστασης και μιας μη αγώγιμης off κατάστασης, ώστε να επιτρέπει ή να σταματά, αποτελεσματικά, 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.

2.2 Δομή και γενικά χαρακτηριστικά

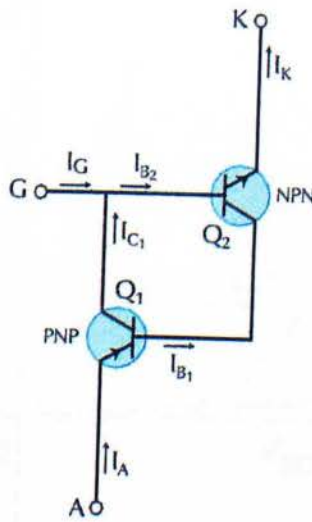
Ο ελεγχόμενος ανορθωτής πυριτίου ή θυρίστωρ (Silicon Controlled Rectifier ή thyristor, SCR) είναι και αυτός μια διάταξη τεσσάρων στρωμάτων. Έχει την ίδια βασική δομή με την διόδο P-N-P-N, μόνο που έχει προστεθεί ένα τρίτο ηλεκτρόδιο η πύλη (gate), το οποίο έχει συνδεθεί με το ενδιάμεσο στρώμα ημιαγωγού 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

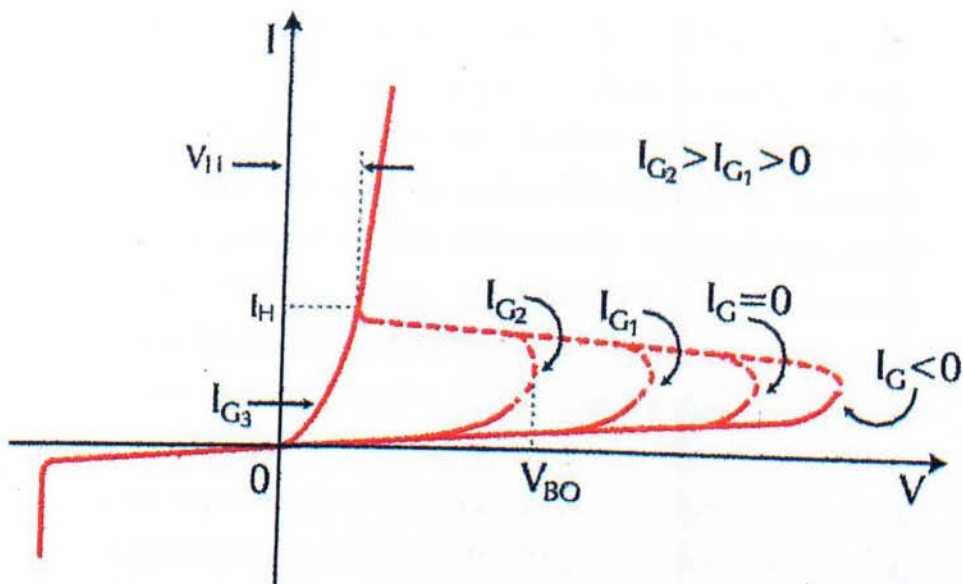


Σχήμα 18. Κυκλωματικό διάγραμμα ενός ελεγχόμενου ανορθωτή πυριτίου



Σχήμα 19. Ισοδύναμο κύκλωμα ενός ελεγχόμενου ανορθωτή πυριτίου

Ονομάζεται ελεγχόμενος ανορθωτής διότι στην ανάστροφη πόλωση συμπεριφέρεται όπως μια κοινή διάδος 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 διάδος P-N-P-N. Όταν διαβαστεί ένα θετικό ρεύμα μέσα από την πύλη τότε η τάση σκανδαλισμού ελαττώνεται και η ελάττωση είναι τόσο με-γαλύτερη 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 ό-μοια 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.

2.3 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 διόδος 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 διόδος, αρκεί να εφαρμοστεί μια τάση 0,7 V για να αρχίσει να άγει το τρανζίστορ Q_2 και κατά συνέπεια και το Q_1 , δηλαδή το SCR.

Η παρουσία της πύλης παρέχει τη δυνατότητα διοχέτευσης ρεύματος στο τρανζίστορ Q_2 του ισοδύναμου κυκλώματος. Έτσι, αν διοχετευθεί ρεύμα I_G όταν το SCR βρίσκεται σε κατάσταση OFF τότε

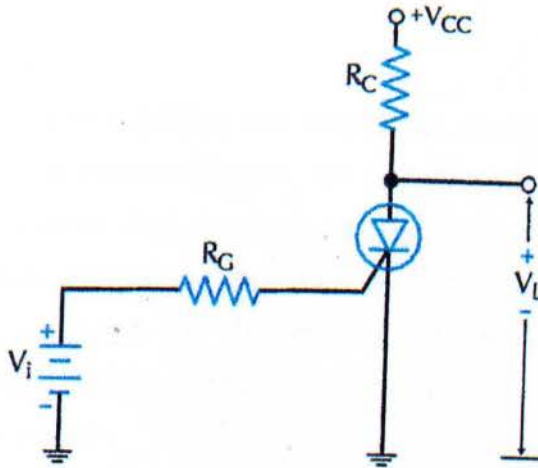
είναι δυνατή η έναρξη της διαδικασίας μανδάλωσης. Στην κατάσταση OFF το ρεύμα I_G προστίθεται στο ρεύμα του συλλέκτη του τρανζίστορ Q_1 , το οποίο είναι το ρεύμα κόρου της διόδου του συλλέκτη. Το άθροισμα των δύο ρευμάτων δίδουν το ρεύμα βάσης του Q_2 . Συνεπώς το μέτρο του I_G θα καθορίσει την τάση 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 Q_1 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 Q_2 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 διάοδος, 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

2.4 Τρόποι μετάβασης 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

2.5 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

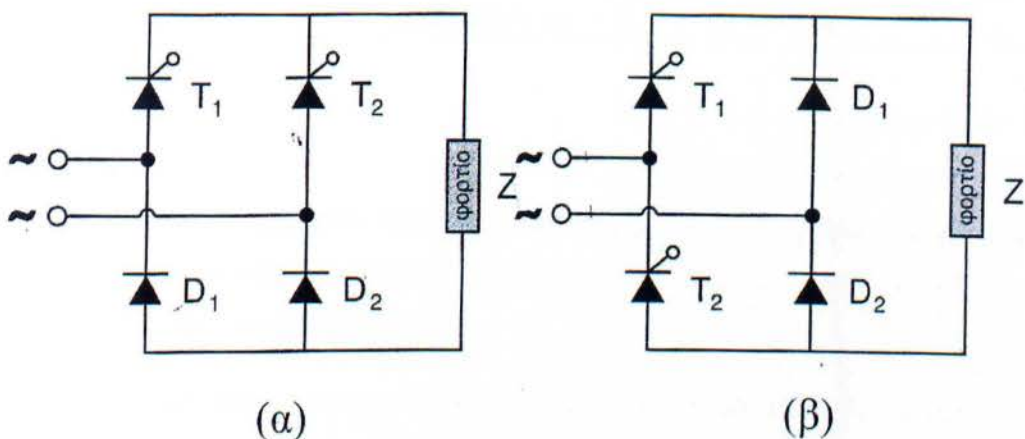
R_{CS} = θερμική αντίσταση από τον απαγωγέα θερμότητας στο περιβάλλον

T_A = θερμοκρασία περιβάλλοντος.

2.6 Μονοφασική ημιελεγχόμενη γέφυρα

Γενικά με τον όρο «ημιελεγχόμενες 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 ημιελεγχόμενων 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, (γ) ασύμμετρη ημieleγχόμενη γέφυρα.

Το κύκλωμα (α) είναι γνωστό ως συμμετρική ημieleγχόμενη 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 ημieleγχόμενη διάταξη.

Σε αντίθεση με τις πλήρως ελεγχόμενες, οι ημieleγχόμενες 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.

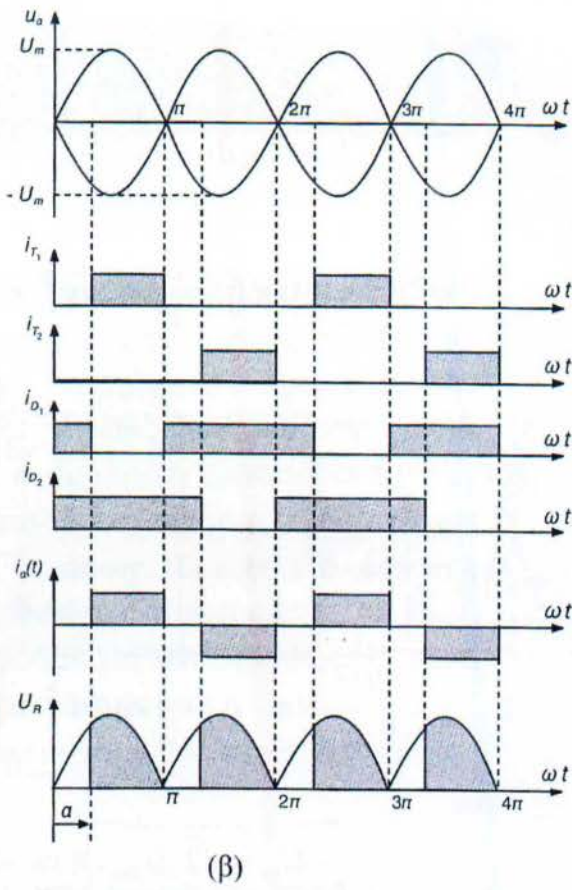
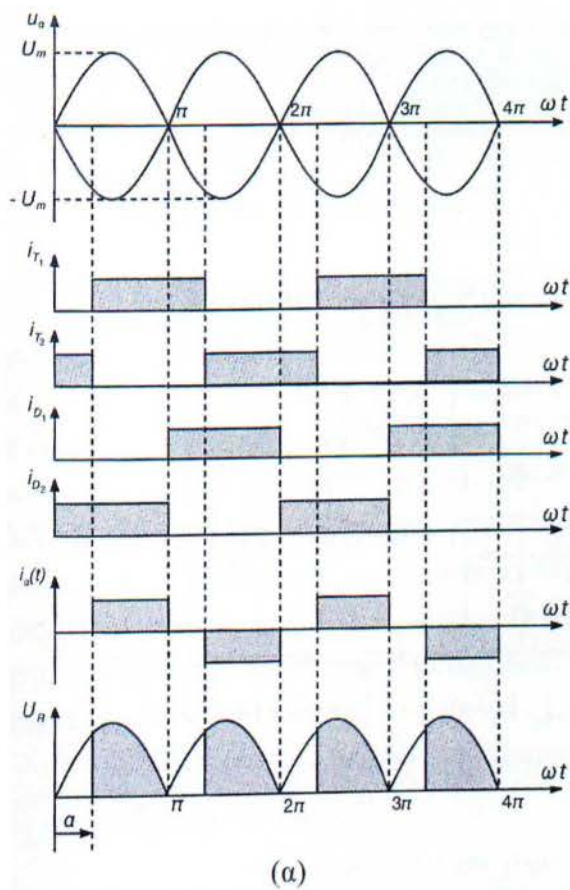
Σύμφωνα με το σχήμα 22, στην περίπτωση της συνεχούς αγωγής και για μια περίοδο της εναλλασσόμενης τάσης, στα χρονικά διαστήματα, $\alpha \leq \omega t \leq \pi + \alpha$ και $2\pi \leq \omega t \leq 2\pi + \alpha$, έχουμε τη δράση των εξής κλάδων ελεύθερης ροής ανά κύκλωμα :

| 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 άεργου 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 ημieleγχόμενης διάταξης με ωμικό φορτίο (α) συμμετρική ημieleγχόμενη γέφυρα (β) ασύμμετρη ημieleγχόμενη γέφυρα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο Ο ΤΕΛΕΣΤΙΚΟΣ ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ

3.1 Γενικά

Ο τελεστικός ενισχυτής είναι ένα προκατασκευασμένο μονολιθικό κύκλωμα μικρών διαστάσεων που συμπεριφέρεται ως ενισχυτής τάσης. Συνδυάζεται με ελάχιστα εξωτερικά εξαρτήματα σχηματίζοντας ενισχυτές τάσης, ακολουθητές τάσης, ενεργά φίλτρα και άλλα κυκλώματα. Τροφοδοτείται συνήθως με συμμετρική τροφοδοσία (+V, -V). Ο τελεστικός ενισχυτής έχει δύο εισόδους και μια έξοδο. Είναι ενισχυτής διαφοράς των τάσεων των εισόδων του. Η μια είσοδος συμβολίζεται με (-) και ονομάζεται είσοδος αναστροφής. Η άλλη συμβολίζεται με (+) και ονομάζεται είσοδος μη αναστροφής. Η τάση εισόδου στον τελεστικό ενισχυτή (u_i) είναι η διαφορά:

$$u_i = u_+ - u_-$$

Η τάση εξόδου u_o είναι:

$$u_o = Au_i$$

Όπου A είναι η ενίσχυση τάσης του τελεστικού ενισχυτή.

Επειδή η τροφοδοσία στον τελεστικό ενισχυτή είναι συμμετρική, υπάρχει μια μέγιστη θετική τάση εξόδου που ονομάζεται θετική τάση κόρου ($+u_{ok}$) και μια μέγιστη αρνητική τάση εξόδου που ονομάζεται αρνητική τάση κόρου ($-u_{ok}$). Οι δύο αυτές τιμές αντιστοιχούν σε μια μέγιστη επιτρεπτή τάση εισόδου, που πάνω από αυτήν το σήμα στην έξοδο εμφανίζεται παραμορφωμένο.

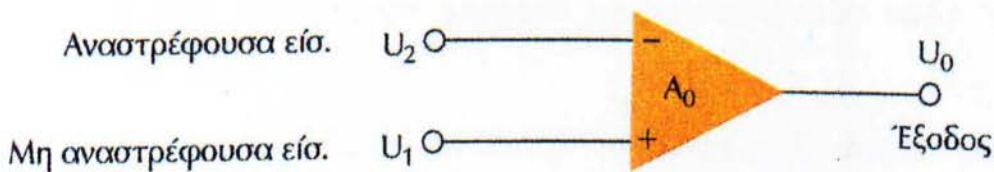
Ο ιδανικός τελεστικός ενισχυτής έχει άπειρη ενίσχυση τάσης, άπειρη αντίσταση εισόδου, μηδενική αντίσταση εξόδου και εύρος συχνοτήτων από 0 ως άπειρο. Στην πραγματικότητα οι παραπάνω τιμές είναι πεπερασμένες. Η ρύθμιση της ενίσχυσης γίνεται με αρνητική ανάδραση η οποία εξασφαλίζεται με κατάλληλη συνδεσμολογία αντιστάσεων από την έξοδο προς την είσοδο αναστροφής.

Οι τελεστικοί ενισχυτές δεν παρουσιάζουν την ίδια ενίσχυση σε όλες τις συχνότητες. Η συμπεριφορά τους σε χαμηλές συχνότητες είναι πολύ καλή και η ενίσχυση είναι η αναμενόμενη ακόμα και σε DC σήμα εισόδου. Σε υψηλές συχνότητες όμως παρουσιάζεται ελάττωση της

ενίσχυσης. Η συχνότητα αποκοπής εξαρτάται από την ενίσχυση και αυξάνεται με την ελάττωση της ενίσχυσης.

3.2 Ο ιδανικός τελεστικός ενισχυτής

Το σχήμα 24 εικονίζει το σύμβολο ενός ΤΕ, που έχει δύο εισόδους και μία έξοδο. Στο σχήμα δεν δείχνονται οι ακροδέκτες της τάσης τροφοδοσίας ούτε οι υπόλοιποι ακροδέκτες. Επειδή η πρώτη βαθμίδα του ΤΕ είναι διαφορικός ενισχυτής, οι διαφορικές εισοδοί συμβολίζονται η μία με το (+) και η άλλη με το (-). Η (+) είσοδος είναι η μη αναστρέφουσα είσοδος. Αν στη είσοδο αυτή εφαρμόζεται ένα ac σήμα (ή μια dc τάση), στην έξοδο εμφανίζεται ένα ενισχυμένο σήμα που έχει την ίδια φάση (την ίδια πολικότητα) με την τάση εισόδου. Αν όμως το ίδιο αυτό σήμα εφαρμόζεται στην είσοδο (-), στην έξοδο εμφανίζεται σήμα εξόδου ενισχυμένο και με διαφορά φάσης 180° (αντίθετη πολικότητα) ως προς την είσοδο.



Σχήμα 24. Σχηματικό σύμβολο του ΤΕ

Όπου :

u_1 = η τάση στη μη αναστρέφουσα είσοδο

u_2 = η τάση στην αναστρέφουσα είσοδο

u_0 = η τάση εξόδου

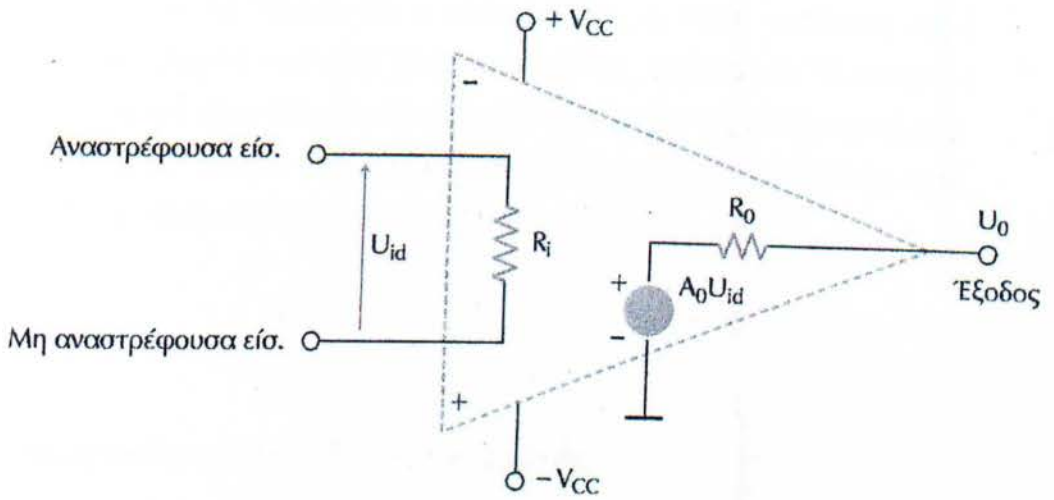
(όλες αυτές οι τάσεις μετρώνται ως προς τη γη).

Ο ιδανικός ΤΕ είναι ένα (εξιδανικευμένο) θεωρητικό μοντέλο ΤΕ με τα εξής χαρακτηριστικά :

1. Άπειρη διαφορική ενίσχυση A_0 .
2. Άπειρη αντίσταση εισόδου R_i , ώστε οποιοδήποτε σήμα να ενισχύεται κανονικά, χωρίς να υπάρχει πρόβλημα προσαρμογής με την προηγούμενη βαθμίδα.
3. Μηδενική αντίσταση εξόδου R_o , ώστε η έξοδος να μπορεί να οδηγήσει χωρίς πρόβλημα προσαρμογής οποιαδήποτε επόμενη βαθμίδα.
4. Μηδενική τάση εξόδου για μηδενική τάση εισόδου.
5. Άπειρο εύρος συχνοτήτων, ώστε να ενισχύεται οποιοδήποτε σήμα συχνότητας από 0 έως ∞ Hz χωρίς υποβιβασμό.
6. Άπειρο λόγο κοινού τρόπου, ώστε ο θόρυβος της τάσης εξόδου κοινού τρόπου να είναι μηδέν.
7. Άπειρο ρυθμό κλίσης (slew rate), ώστε η αλλαγή της τάσης εξόδου να γίνεται ταυτόχρονα με την αλλαγή της τάσης εισόδου.

Υπάρχουν πάντως πρακτικοί ΤΕ που μπορούν να προσεγγίσουν αρκετά όλα τα χαρακτηριστικά του ιδανικού ΤΕ χρησιμοποιώντας αρνητική ανασύζευξη. Ιδιαίτερα η αντίσταση εισόδου, εξόδου και το εύρος διέλευσης συχνοτήτων μπορούν να προσεγγίσουν πολύ τις ιδανικές αυτές τιμές.

Το σχήμα 25 δείχνει το απλό ισοδύναμο κύκλωμα ενός πραγματικού ΤΕ. Το κύκλωμα περιλαμβάνει σημαντικά στοιχεία από τα δεδομένα του κατασκευαστή : A_0 , R_i και R_o . Η $A_0 u_{id}$ είναι η ισοδύναμη τάση της πηγής Thevenin και R_o είναι η αντίστοιχη ισοδύναμη αντίσταση που βλέπουμε στην έξοδο του ΤΕ.



Σχήμα 25. Ισοδύναμο κύκλωμα TE

3.3 Ο πραγματικός τελεστικός ενισχυτής

Στην πράξη, οι πραγματικοί TE πλησιάζουν προσεγγιστικά τα χαρακτηριστικά που ισχύουν για τον ιδανικό TE. Δηλαδή έχουν μεγάλη (αντί ∞) διαφορική ενίσχυση A_0 , μεγάλη (αλλά όχι ∞) αντίσταση εισόδου R_i , μεγάλη (αλλά όχι ∞) αντίσταση εξόδου R_0 , μικρό (αλλά όχι 0) εύρος διέλευσης συχνοτήτων.

Άρα η τάση εξόδου δίνεται από την σχέση :

$$u_0 = A_0 u_{id} = A_0 (u_2 - u_1)$$

όπου

A_0 = η ενίσχυση τάσης ή διαφορική απολαβή ανοικτού βρόχου

u_{id} = η διαφορική τάση εισόδου

u_1 = η τάση της μη αναστρέφουσας εισόδου ως προς τη γη

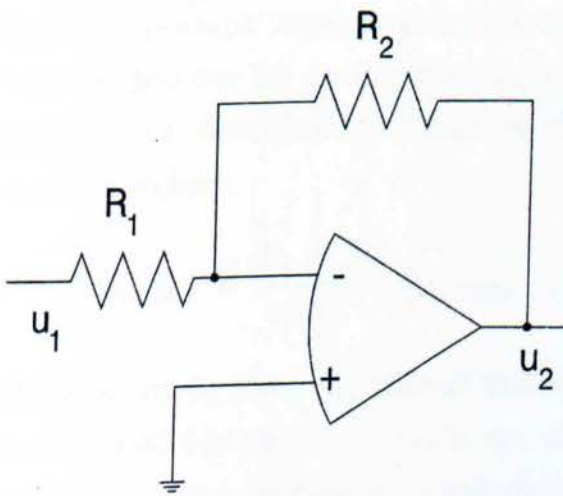
u_2 = η τάση της αναστρέφουσας εισόδου ως προς τη γη

Η εξίσωση αυτή δείχνει ότι η τάση εξόδου u_0 είναι ανάλογη της (αλγεβρικής) διαφοράς των δύο τάσεων εισόδου. Δηλαδή ο ΤΕ ενισχύει τη διαφορά μεταξύ των δύο τάσεων εισόδου και όχι τις ίδιες τις τάσεις αυτές. Για το λόγο αυτό η πολικότητα της τάσης εξόδου εξαρτάται από την πολικότητα της διαφοράς των τάσεων εισόδου.

3.4 Ο τελεστικός ενισχυτής ως ενισχυτής

Ο ΤΕ χρησιμοποιείται για ενίσχυση της τάσης και όχι του ρεύματος. Έτσι ενισχύει ένα σήμα εισόδου στη έξοδο, με μέγιστη τάση περίπου την τάση τροφοδοσίας.

Η συνδεσμολογία του ΤΕ ως ενισχυτής παρουσιάζεται στο σχήμα 26.



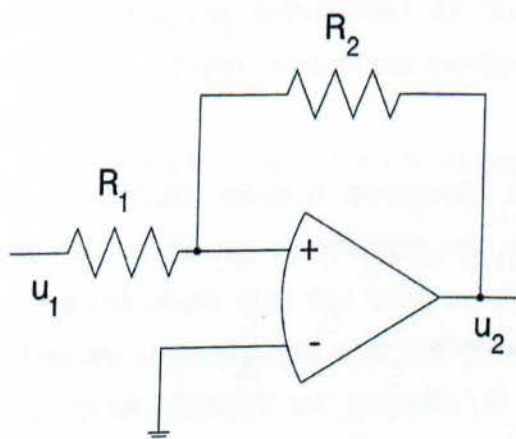
Σχήμα 26.

Για αλλαγή της πολικότητας της τάσης εισόδου στην έξοδο χρησιμοποιούμε το παραπάνω κύκλωμα. Συνδέουμε την μη αναστρέφουσα είσοδο (+) με την γη, ενώ την αναστρέφουσα είσοδο (-), μέσω μιας αντίστασης R_1 , με μια τάση.

Μεταξύ της αναστρέφουσας εισόδου και της εξόδου συνδέουμε μια αντίσταση R_2 . Στην έξοδο θα λάβουμε ένα ενισχυμένο σήμα με ανεστραμμένη πολικότητα και η τάση εξόδου θα δίνεται από την σχέση

$$V_{\text{εξόδου}} = -\frac{R_2}{R_1} V_{\text{εισόδου}}$$

Για την διατήρηση της πολικότητας της τάσης εισόδου στην έξοδο χρησιμοποιούμε την συνδεσμολογία του σχήματος 27.



Σχήμα 27

Στη συνέχεια γειώνουμε την αναστρέφουσα είσοδο (-), ενώ τροφοδοτούμε τον ΤΕ από την μη αναστρέφουσα είσοδο (+). Το σήμα στην έξοδο ενισχύεται και διατηρεί την πολικότητα εισόδου. Η τάση εξόδου δίνεται από την σχέση :

$$V_{\text{εξόδου}} = \frac{R_2 + R_1}{R_1} V_{\text{εισόδου}}$$

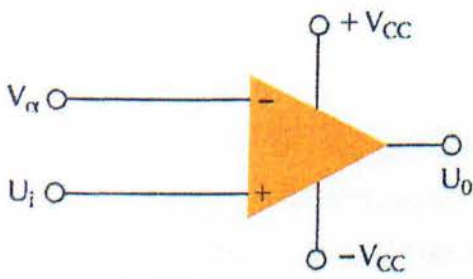
Οι αντιστάσεις R_1 και R_2 είναι της τάξεως των ΚΩ ώστε να έχουμε ροή μικρού ρεύματος, ενώ δεν πρέπει να είναι της τάξης των ΜΩ ώστε να μην είναι συγκρίσιμες με την αντίσταση εισόδου του ΤΕ.

3.5 Ο τελεστικός ενισχυτής ως συγκριτής

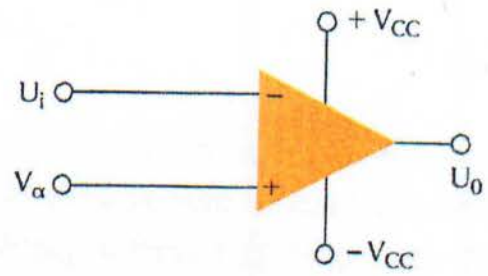
Μερικές φορές είναι απαραίτητο να συγκρίνουμε δύο τάσεις για να προσδιορίσουμε ποια είναι η μεγαλύτερη ή να καθορίσουμε ένα κατώφλι λειτουργίας. Ένα παράδειγμα είναι ο ηλεκτρονικός θερμοστάτης που μετατρέπει τη θερμοκρασία σε τάση. Όταν η τάση που αντιστοιχεί στη θερμοκρασία του δωματίου είναι η μικρότερη τάση της επιθυμητής θερμοκρασίας και αντιστοιχεί σε ορισμένη θέση του θερμοστάτη, το σύστημα δημιουργεί ένα σήμα διαφοράς που θέτει σε λειτουργία το καλοριφέρ.

Η συνθετότερη περίπτωση είναι ο συγκριτής κόρου, που είναι ένας διαφορικός ενισχυτής με ΤΕ και εικονίζεται στο σχήμα 28. Όταν η τάση εισόδου u_i είναι μεγαλύτερη από την τάση αναφοράς V_α η τάση εξόδου είναι θετική, ενώ αν u_i μικρότερη από την τάση αναφοράς V_α η τάση εξόδου είναι αρνητική. Επειδή ως γνωστό. Ο ΤΕ έχει μεγάλη ενίσχυση η έξοδος οδηγείται αμέσως στον κόρο.

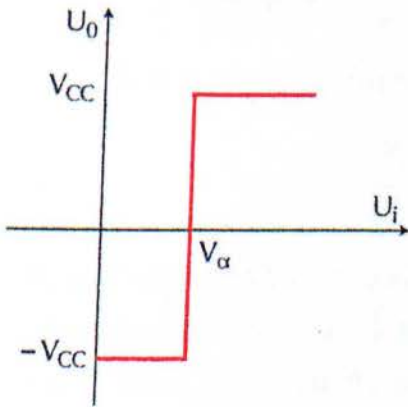
Έτσι, η τάση εξόδου παίρνει τη θετική τιμή κόρου, ίση με τη μια τάση τροφοδοσίας $+V_{cc}$, ή την αρνητική τιμή κόρου, ίση με την άλλη τάση τροφοδοσίας $-V_{cc}$, ανάλογα με το αν $u_i > V_\alpha$ ή $u_i < V_\alpha$ (σχήμα 28β). Η αντιστοίχιση αυτή μπορεί να λειτουργεί και αντίστροφα (σχήμα 28γ,δ)



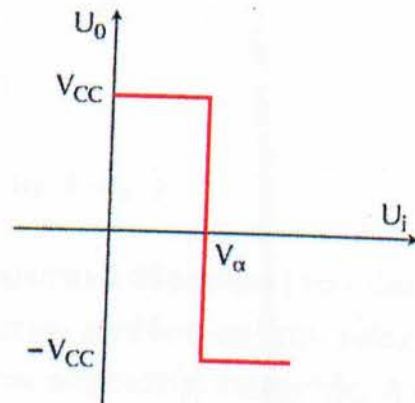
(α)



(γ)



(β)



(δ)

Σχήμα 28. Συγκριτής κόρου με ΤΕ

Όταν η είσοδος μεταβάλλεται περνώντας από την τάση αναφοράς V_{α} , δημιουργείται στην έξοδο μια μετάβαση από την μια τιμή/κατάσταση στην άλλη, μόλις η τάση εισόδου u_i διέρχεται από τον άξονα της τάσης V_{α} . Δηλαδή, τη μια χρονική στιγμή η τάση εισόδου μπορεί να είναι μικρότερη από την τάση αναφοράς, ενώ την επόμενη στιγμή συμβαίνει το αντίθετο. Στην ιδανική περίπτωση, η έξοδος θα άλλαζε ακαριαία από την θετική τιμή της τάσης κόρου $V_+ = V_{CC}$ στην αρνητική της τιμή $V_- = -V_{CC}$. Στην πράξη όμως, απαιτείται πάντα ένας μικρός χρόνος για να αλλάξει κατάσταση ο ΤΕ. Ο χρόνος αυτός καλείται χρόνος απόκρισης t_r και οφείλεται στα φαινόμενα παρασιτικής χωρητικότητας του κυκλώματος.

3.6 Ο τελεστικός ενισχυτής ως αθροιστής

Η ανεξαρτησία που υπάρχει μεταξύ των εισόδων, (+) και (-), ενός ΤΕ επιτρέπει τη χρησιμοποίησή του σε κύκλωμα που εκτελεί άθροιση τάσεων και γι' αυτό ονομάζεται αθροιστής. Το σχήμα 29 δείχνει τον ΤΕ συνδεσμολογημένο ως αθροιστής με τρεις εισόδους u_1 , u_2 και u_3 . Αποδεικνύεται ότι η τάση εξόδου του δίνεται από την σχέση :

$$u_0 = - \left(\frac{R_f}{R_1} u_1 + \frac{R_f}{R_2} u_2 + \frac{R_f}{R_3} u_3 \right)$$

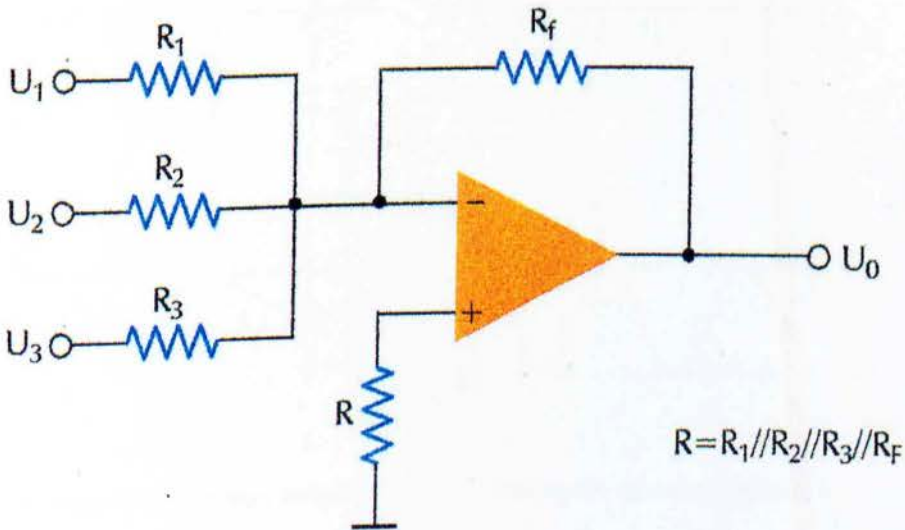
Αν $R_1 = R_2 = R_3 = R$, ο τύπος αυτός γίνεται :

$$u_0 = - \frac{R_f}{R} (u_1 + u_2 + u_3)$$

Άρα, η τάση εξόδου του είναι το αρνητικό άθροισμα (το - δείχνει απλώς διαφορά φάσης 180°) των σημάτων εισόδου επί την ενίσχυση R_f/R και γι' αυτό ο ενισχυτής ονομάζεται αθροιστής ενισχυτής. Αν δε $R_f = R$ προκύπτει :

$$u_0 = -(u_1 + u_2 + u_3)$$

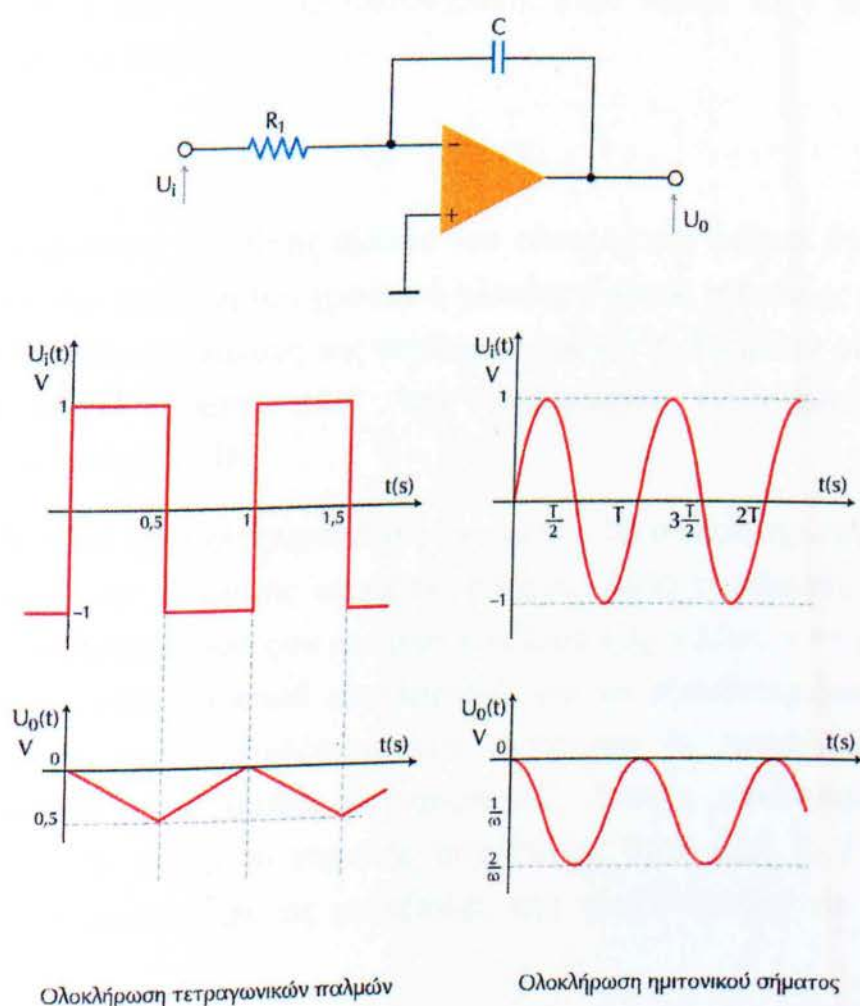
Άρα το κύκλωμα είναι τότε απλός αθροιστής.



Σχήμα 29. Αθροιστής με αναστροφή.

3.7 Ο τελεστικός ενισχυτής ως ολοκληρωτής

Σε ορισμένες περιπτώσεις, όπως π.χ. στους αναλογικούς υπολογιστές, χρειάζεται να γίνεται ολοκλήρωση μιας κυματομορφής. Το κύκλωμα στο οποίο η κυματομορφή της τάσης εισόδου είναι το ολοκλήρωμα της κυματομορφής της τάσης εξόδου ονομάζεται ολοκληρωτής ή ολοκληρωτής ενισχυτής. Το κύκλωμα αυτό δημιουργείται από το βασικό κύκλωμα ενίσχυσης του σχήματος 26 αν αντικαταστήσουμε την αντίσταση ανασούζευξης R_2 με τον πυκνωτή C (σχήμα 30).



Σχήμα 30. Κύκλωμα ολοκληρωτή

Αποδεικνύεται ότι η τάση εξόδου του ολοκληρωτή που εξετάζουμε, δίνεται από την σχέση :

$$u_0 = -\frac{1}{\tau} \int_0^t u_i dt + c$$

όπου

$$\tau = R_2 C$$

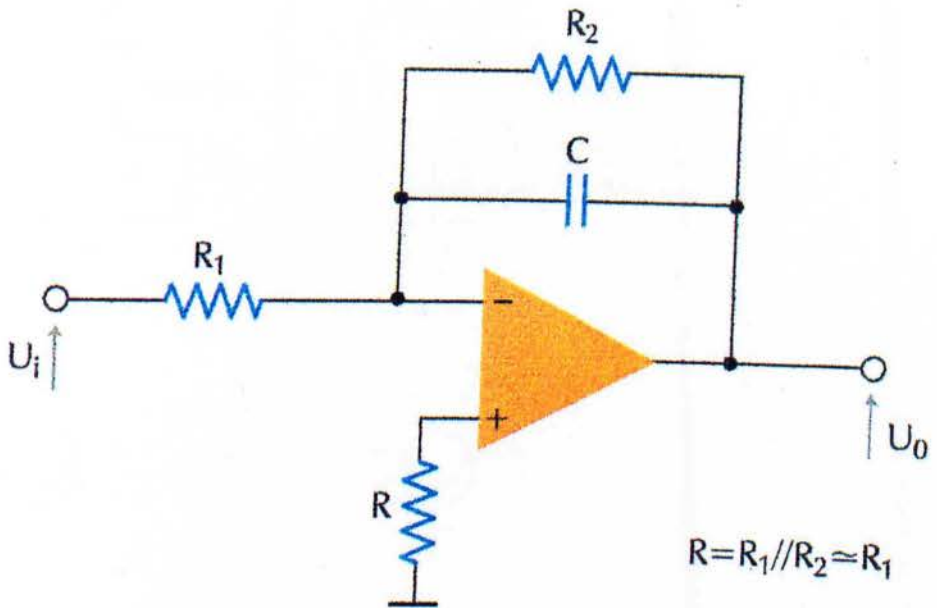
είναι η σταθερά χρόνου του ολοκληρωτή και c είναι η σταθερά ολοκλήρωσης.

Για να κάνει το κύκλωμα σωστή ολοκλήρωση της κυματομορφής εισόδου πρέπει η διάρκεια του παλμού t_p να είναι πολύ μικρότερη από τη σταθερά χρόνου τ του ολοκληρωτή. Στην πράξη το τ πρέπει να ικανοποιεί τη σχέση :

$$t_p = -\frac{\tau}{10}$$

Η εξίσωση της τάσης εξόδου του ολοκληρωτή δείχνει ότι η τάση εξόδου είναι ανάλογη του χρονικού ολοκληρώματος της τάσης εισόδου και αντιστρόφως ανάλογη της σταθεράς χρόνου τ . Το μείον οφείλεται στη διαφορά φάσης 180° που δημιουργεί η αναστρέφουσα συνδεσμολογία του ΤΕ.

Σε πολύ χαμηλές συχνότητες ($\omega = 2\pi f \cong 0$) ο ολοκληρωτής αυτός λειτουργεί σαν ενισχυτής ανοικτού βρόχου. Αυτό συμβαίνει, επειδή τότε ο πυκνωτής C δρα σαν ανοικτό κύκλωμα ($X_C = 1/\omega C = \infty$). Για το λόγο αυτό, στον πρακτικό ολοκληρωτή, για να εξουδετερώσουμε το μειονέκτημα αυτό, συνδέουμε μια αντίσταση R_2 παράλληλα στη χωρητικότητα ανασύζευξης C (σχήμα 31). Έτσι η αντίσταση αυτή περιορίζει την ενίσχυση χαμηλής συχνότητας στην τιμή R_2 / R_1 και συνεπώς ελαχιστοποιεί τις μεταβολές της τάσης εξόδου σε λογικά επίπεδα.



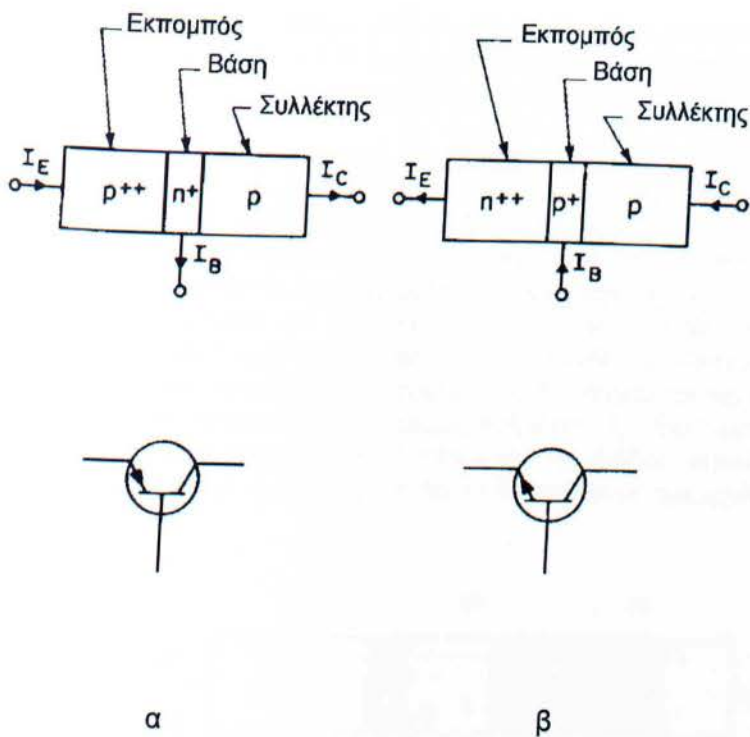
Σχήμα 31. Πρακτικό κύκλωμα ολοκληρωτή με TE

Ο ολοκληρωτής χρησιμοποιείται στους αναλογικούς υπολογιστές, στους μετατροπείς αναλογικών σημάτων προς ψηφιακά και στα κυκλώματα μορφοποίησης παλμών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ

4.1 Η αρχή λειτουργίας των τρανζίστορ

Το τρανζίστορ είναι ένας κρύσταλλος με τρεις περιοχές εμπλουτισμένες με προσμίξεις. Ανάλογα με τον τρόπο εμπλουτισμού τα τρανζίστορ διακρίνονται σε δύο τύπους, το PNP και το NPN (σχήμα α και β αντίστοιχα), όπου η σειρά των γραμμάτων εκφράζει τον τύπο του ημιαγωγού κάθε περιοχής.



Σχήμα 32. Δομή και κυκλωματικό σύμβολο ενός τρανζίστορ (α) PNP και (β) ενός NPN

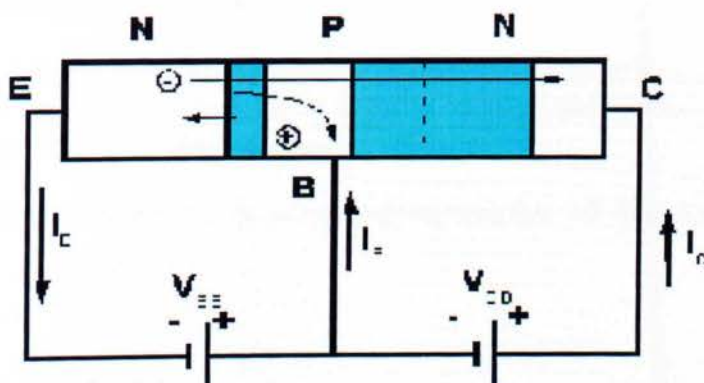
Οι τρεις περιοχές ενός τρανζίστορ ονομάζονται, ανάλογα με τη λειτουργία τους, **εκπομπός** (emitter), **βάση** (base) και **συλλέκτης** (collector). Ο εκπομπός είναι μια έντονα εμπλουτισμένη περιοχή, στο σχ.32 αυτό τονίζεται με δύο [+]. Προορισμός του είναι να εκπέμπει φορτία προς τη βάση. Η βάση είναι μια περιοχή λιγότερο εμπλουτισμένη, στο σχ.32 αυτό τονίζεται με ένα [+], και είναι πολύ λεπτή. Το λεπτό πάχος της βάσης επιτρέπει στα περισσότερα φορτία, τα οποία εκπέμπονται από τον εκπομπό, να φθάνουν στο συλλέκτη όπου και συλλέγονται. Το επίπεδο εμπλουτισμού του συλλέκτη είναι χαμηλότερο από αυτό του εκπομπού και από αυτό της βάσης. Επιπλέον, επειδή στο συλλέκτη καταναλώνεται μεγαλύτερη ισχύς, από ότι στη βάση και τον εκπομπό, η περιοχή την οποία καταλαμβάνει ο συλλέκτης είναι μεγαλύτερη.

Σε κάθε τρανζίστορ σχηματίζονται **δύο δίοδοι**, μια μεταξύ βάσης και εκπομπού και μια μεταξύ βάσης και συλλέκτη. Γι' αυτό το λόγο ένα τρανζίστορ μοιάζει σαν να αποτελείται από δύο δίοδους συνδεδεμένες σε αντίθετη φορά.

Η λειτουργία ενός τρανζίστορ, στην απλουστευμένη προσέγγιση της, βασίζεται στην εκπομπή φορέων από το εκπομπό και τη συλλογή τους από τον συλλέκτη. Για να γίνει αυτό καλύτερα κατανοητό, θα εξετάσουμε ένα τρανζίστορ τύπου NPN (σχήμα 33), όπου θα χρησιμοποιήσουμε τη συμβατική φορά των ρευμάτων. Αρχικά θεωρούμε ότι η δίοδος εκπομπού είναι ορθά πολωμένη. Όταν η τάση βάσης-εκπομπού (V_{BE}) είναι μικρότερη από 0.7 V (για τρανζίστορ πυριτίου)

πρακτικά δεν διέρχεται ρεύμα από τη βάση προς τον εκπομπό. Αν η τάση βάσης-εκπομπού ξεπεράσει τα 0.7 V θα υπάρξει αισθητή ροή ελεύθερων ηλεκτρονίων από τον εκπομπό προς τη βάση και ελεύθερων οπών από τη βάση προς τον εκπομπό.

Η βάση, όπως έχει ήδη αναφερθεί, αποτελείται από ένα λεπτό στρώμα ημιαγωγού τύπου-P, το οποίο είναι λιγότερο εμπλουτισμένο από ότι ο εκπομπός. Εξ' άλλου η επαφή του συλλέκτη, είναι ανάστροφα πολωμένη και περιορίζει σημαντικά το εύρος της βάσης. Αυτά έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση του ποσοστού των ηλεκτρονίων τα οποία δε θα παραμείνουν στο χώρο της βάσης αλλά θα εισέλθουν στο χώρο της επαφής του συλλέκτη. Το ηλεκτρικό πεδίο στην περιοχή φορτίου χώρου του συλλέκτη έχει τέτοια φορά ώστε να ωθεί τα ηλεκτρόνια, τα οποία έχουν εισέλθει, προς τον συλλέκτη. Στη συνέχεια αυτά τα ηλεκτρόνια συλλέγονται από την επαφή του συλλέκτη και δίδουν το *ρεύμα συλλέκτη* (I_C). Θα πρέπει να μη ξεχνάμε ότι υπάρχει και το ρεύμα ανάστροφης πόλωσης της διόδου συλλέκτη, το οποίο όμως είναι πολύ μικρό και σ' αυτή τη φάση θα το θεωρήσουμε αμελητέο.



Σχήμα 33. Πόλωση του τρανζίστορ και ροή των ελεύθερων ηλεκτρονίων και οπών.

Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια, τα οποία παραμένουν στο χώρο της βάσης, μαζί με τις ελεύθερες οπές, οι οποίες εισέρχονται στην περιοχή του εκπομπού, δίνουν το ρεύμα βάσης (I_B). Επειδή το ρεύμα αυτό προκύπτει από αλληλεξουδετέρωση ελεύθερων ηλεκτρονίων με ελεύθερες οπές, ονομάζεται και **ρεύμα επανασύνδεσης** (recombination current) και τα **διπολικά τρανζίστορ** (bipolar ή BJT).

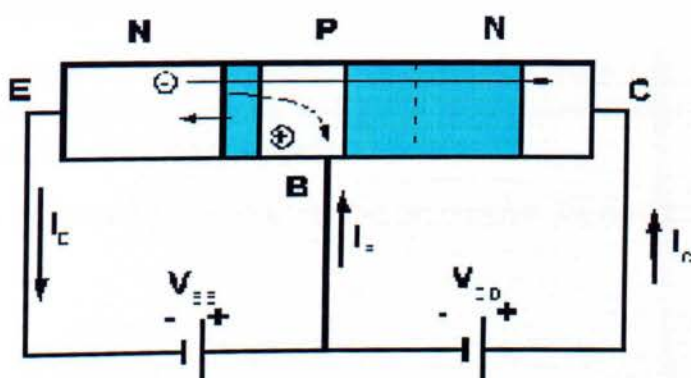
Στα περισσότερα τρανζίστορ, περισσότερο από το 95% των φορτίων, που εκπέμπονται από τον εκπομπό, φθάνουν στο συλλέκτη και λιγότερο από το 5% παραμένουν στη βάση και συμβάλλουν στο ρεύμα της βάσης.

Για τη λειτουργία των τρανζίστορ *πρέπει να θυμόμαστε τα εξής* :

1. Σε κανονική λειτουργία η επαφή εκπομπού είναι πάντα ορθά πολωμένη και η επαφή συλλέκτη είναι ανάστροφα πολωμένη. Υπάρχουν κάποιες ειδικές περιπτώσεις όπου η επαφή συλλέκτη είναι ορθά πολωμένη.
2. Το ρεύμα συλλέκτη είναι περίπου ίσο με το ρεύμα του εκπομπού
3. Το ρεύμα βάσης είναι πολύ μικρό.

πρακτικά δεν διέρχεται ρεύμα από τη βάση προς τον εκπομπό. Αν η τάση βάσης-εκπομπού ξεπεράσει τα 0.7 V θα υπάρξει αισθητή ροή ελεύθερων ηλεκτρονίων από τον εκπομπό προς τη βάση και ελεύθερων οπών από τη βάση προς τον εκπομπό.

Η βάση, όπως έχει ήδη αναφερθεί, αποτελείται από ένα λεπτό στρώμα ημιαγωγού τύπου-P, το οποίο είναι λιγότερο εμπλουτισμένο από ότι ο εκπομπός. Εξ' άλλου η επαφή του συλλέκτη, είναι ανάστροφα πολωμένη και περιορίζει σημαντικά το εύρος της βάσης. Αυτά έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση του ποσοστού των ηλεκτρονίων τα οποία δε θα παραμείνουν στο χώρο της βάσης αλλά θα εισέλθουν στο χώρο της επαφής του συλλέκτη. Το ηλεκτρικό πεδίο στην περιοχή φορτίου χώρου του συλλέκτη έχει τέτοια φορά ώστε να ωθεί τα ηλεκτρόνια, τα οποία έχουν εισέλθει, προς τον συλλέκτη. Στη συνέχεια αυτά τα ηλεκτρόνια συλλέγονται από την επαφή του συλλέκτη και δίδουν το *ρεύμα συλλέκτη* (I_C). Θα πρέπει να μη ξεχνάμε ότι υπάρχει και το ρεύμα ανάστροφης πόλωσης της διόδου συλλέκτη, το οποίο όμως είναι πολύ μικρό και σ' αυτή τη φάση θα το θεωρήσουμε αμελητέο.



Σχήμα 33. Πόλωση του τρανζίστορ και ροή των ελεύθερων ηλεκτρονίων και οπών.

Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια, τα οποία παραμένουν στο χώρο της βάσης, μαζί με τις ελεύθερες οπές, οι οποίες εισέρχονται στην περιοχή του εκπομπού, δίνουν το ρεύμα βάσης (I_B). Επειδή το ρεύμα αυτό προκύπτει από αλληλεξουδετέρωση ελεύθερων ηλεκτρονίων με ελεύθερες οπές, ονομάζεται και **ρεύμα επανασύνδεσης** (recombination current) και τα **διπολικά** τρανζίστορ (bipolar ή BJT).

Στα περισσότερα τρανζίστορ, περισσότερο από το 95% των φορτίων, που εκπέμπονται από τον εκπομπό, φθάνουν στο συλλέκτη και λιγότερο από το 5% παραμένουν στη βάση και συμβάλλουν στο ρεύμα της βάσης.

Για τη λειτουργία των τρανζίστορ *πρέπει να θυμόμαστε τα εξής :*

1. Σε κανονική λειτουργία η επαφή εκπομπού είναι πάντα ορθά πολωμένη και η επαφή συλλέκτη είναι ανάστροφα πολωμένη. Υπάρχουν κάποιες ειδικές περιπτώσεις όπου η επαφή συλλέκτη είναι ορθά πολωμένη.
2. Το ρεύμα συλλέκτη είναι περίπου ίσο με το ρεύμα του εκπομπού
3. Το ρεύμα βάσης είναι πολύ μικρό.

4.2 Το τρανζίστορ σαν ενισχυτής ρεύματος και σαν διακοπτικό στοιχείο

Παρακάτω θα αναφερθούμε στην λειτουργία του τρανζίστορ σαν ενισχυτής ρεύματος και σαν διακοπτικό στοιχείο που ανοίγει ή κλείνει ένα κύκλωμα συνεχούς ρεύματος χαμηλής τάσης.

Όταν χρησιμοποιούμε κυκλώματα με τελεστικό ενισχυτή τότε, συχνά, είναι αναγκαίο να τροφοδοτήσουμε το φορτίο στο οποίο δεν μπορεί να δώσει το απαιτούμενο ρεύμα ο τελεστικός ενισχυτής. Για αυτόν το σκοπό χρησιμοποιούμε το τρανζίστορ σαν ενισχυτή ρεύματος ο οποίος θα δώσει το απαιτούμενο ρεύμα στο φορτίο και ο οποίος ελέγχεται από τον τελεστικό ενισχυτή. Έτσι, μπορούμε να θεωρήσουμε το τρανζίστορ σαν μια επαφή ρελαί που ελέγχει κάποιο κύκλωμα ενώ τον τελεστικό ενισχυτή σαν το πηνίο του.

Όταν το τρανζίστορ χρησιμοποιείται σαν διακοπτικό στοιχείο τότε πάντα ο εκπομπός με τον συλλέκτη συνδέονται σε σειρά με το κύκλωμα και πολώνονται ορθά, ενώ η βάση δέχεται το σήμα ελέγχου.

Γνωρίζουμε ότι το τρανζίστορ μπορεί να λειτουργήσει σε τρεις διαφορετικές περιοχές:

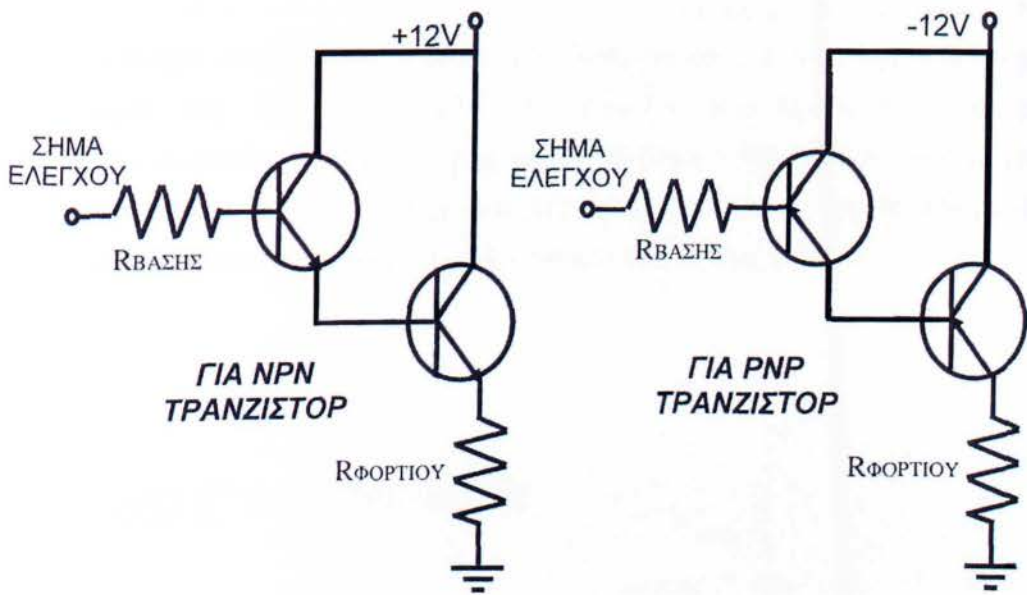
- 1) περιοχή αποκοπής
- 2) ενεργό περιοχή
- 3) περιοχή κορεσμού

Στην περιοχή αποκοπής, το τρανζίστορ αποκόπτει ή το ρεύμα βάσης δεν είναι αρκετό να το ανάψει και οι δύο επαφές είναι αντίστροφα πολωμένες. Στην ενεργό περιοχή, το τρανζίστορ ενεργεί σαν ενισχυτής, όπου το ρεύμα του συλλέκτη ενισχύεται κατά ένα ορισμένο κέρδος και η τάση συλλέκτη-εκπομπού μειώνεται με το ρεύμα βάσης. Στην περιοχή αυτή η επαφή συλλέκτη-βάσης είναι αντίστροφα πολωμένη ενώ η επαφή βάσης-εκπομπού είναι ορθά πολωμένη. Στην περιοχή κορεσμού, το ρεύμα βάσης είναι αρκετά υψηλό ώστε η τάση συλλέκτη-εκπομπού να είναι χαμηλή και το τρανζίστορ λειτουργεί σαν διακόπτης.

Αν η βαθμίδα ελέγχου (πχ του τελεστικού ενισχυτή) δεν μπορεί να δώσει το ρεύμα που χρειαζόμαστε τότε καταφεύγουμε στην συνδεσμολογία Darlington που περιγράφεται παρακάτω.

4.3 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 34 για NPN και PNP τρανζίστορ.



Σχήμα 34

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 βαπτική 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 .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο Ο ΧΡΟΝΙΣΤΗΣ 555

5.1 Περιγραφή του χρονιστή

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 $+5\text{V}$ έως $+15\text{V}$. Η έξοδος του είναι, επίσης, θετική.

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



Σχήμα 35

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 χρονιστή. Έχει δύο καταστάσεις, την κατάσταση HIGH και την κατάσταση LOW. Στην κατάσταση LOW η έξοδος του χρονιστή 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 $\frac{2}{3}$ 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 χρονιστή. 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 χρονιστή να μηδενιστεί η λειτουργία του, λόγω της διέγερσης του από την είσοδο trigger. Όταν η είσοδος αυτή δεν

χρησιμοποιείται πρέπει να συνδέεται στην τάση V_{cc} . 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.

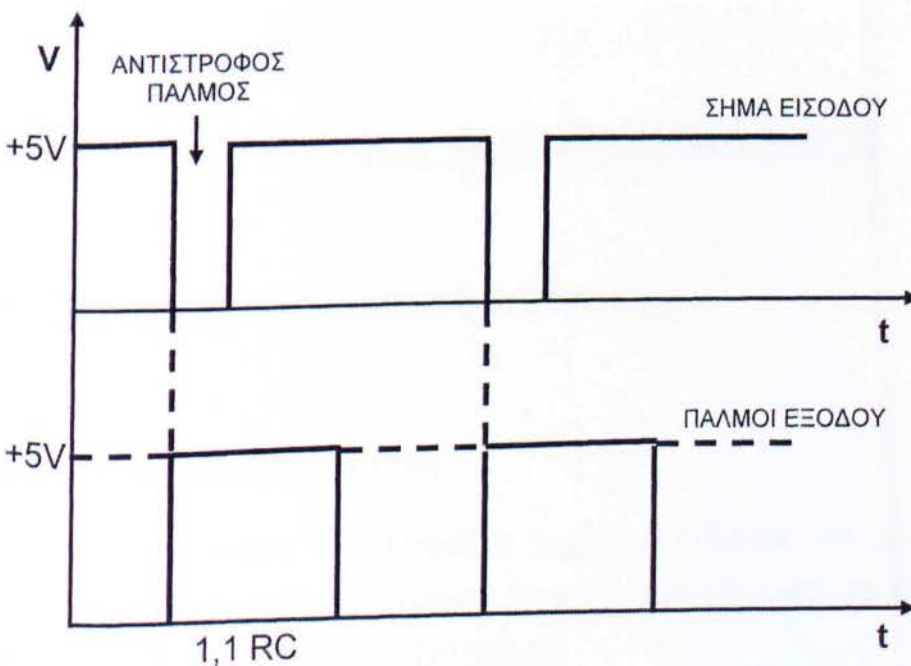
Τέλος, μεταξύ του ακροδέκτη 5 (control voltage) και της γης, συνήθως, συνδέουμε ένα πυκνωτή 0,01 μF για φίλτρο. Από τον πυκνωτή αυτό διαρρέει προς την γη ο θόρυβος ή και η τάση κυμάτωσης του τροφοδοτικού, ώστε να ελαχιστοποιηθεί η επίδραση τους στην τάση threshold. Επίσης, ο ακροδέκτης αυτός χρησιμοποιείται 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.

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 κυμάτωση θα προκαλούσε προβλήματα.

Το σήμα εισόδου και εξόδου του χρονιστή 555 σαν μονοσταθής πολυδονητής παρουσιάζονται στο σχήμα 37:



Σχήμα 37

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6° Ο ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ ΠΑΛΜΩΝ

6.1 Γενικά

Οι Μ/Σ παλμών χρησιμοποιούνται σε διατάξεις αυτοματισμών και ελέγχου ισχύων με θυρίστορ και συγκεκριμένα σε στοιχείο σύζευξης μεταξύ των κυκλωμάτων παραγωγής παλμών και των πυλών των θυρίστορ προκειμένου να υπάρχει ηλεκτρική απομόνωση. Επίσης χρησιμοποιούνται σαν μετασχηματιστές προσαρμογής και αναστροφής παλμών.

Οι μετασχηματιστές παλμών πρέπει να πραγματοποιούν απαραμόρφωτη μεταφορά των παλμών πράγμα που σημαίνει ότι πρέπει να έχουμε κατάλληλη τιμή αυτεπαγωγής και μέγιστη επιτρεπόμενη μεταβολή της πυκνότητας της ροής μέσα στον πυρήνα.

Οι μετασχηματιστές παλμών χρησιμοποιούν πυρήνες είτε από ελάσματα είτε συνηθέστερα από συμπαγείς πυρήνες. Είναι μικρού μεγέθους και με άκρα είτε αγωγούς είτε pins για τυπωμένα κυκλώματα.

ΜΕΡΟΣ Β' ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1° Κατασκευή πλακέτας

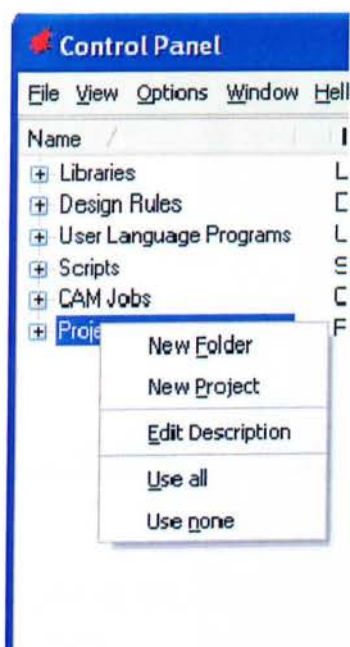
1.1 Κατασκευή πλακέτας

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

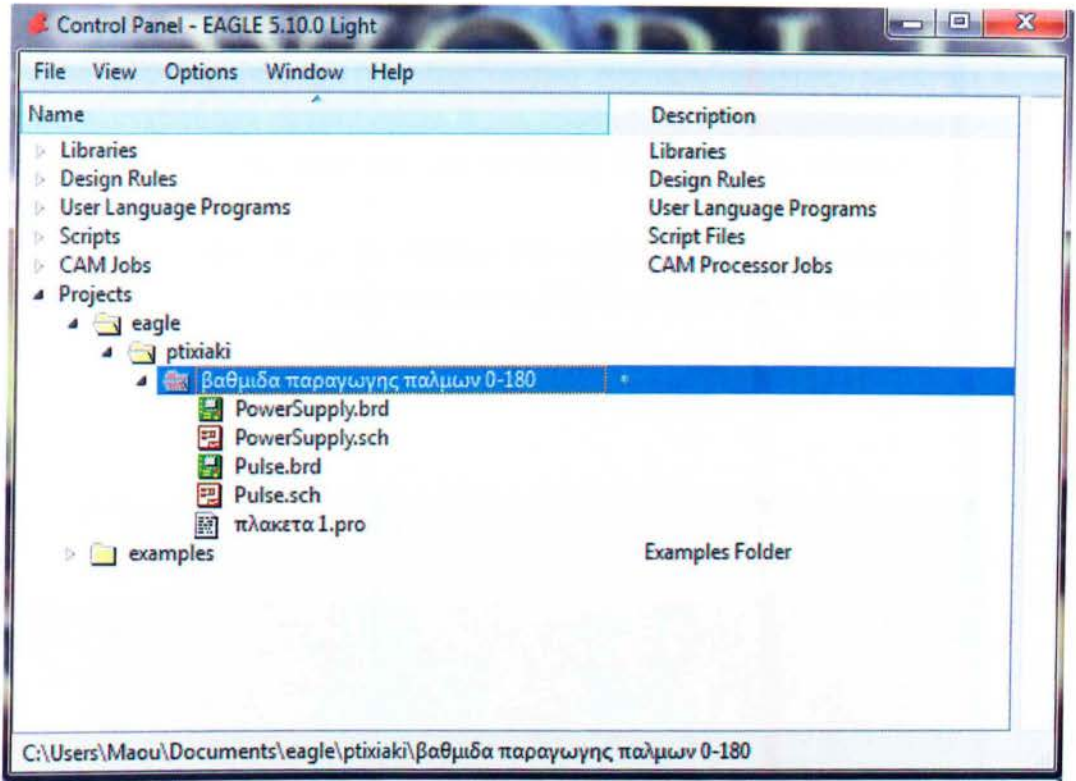
Θα ξεκινήσουμε δημιουργώντας το κύκλωμα στο **Eagle** το οποίο θα είναι το τροφοδοτικό μας.

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

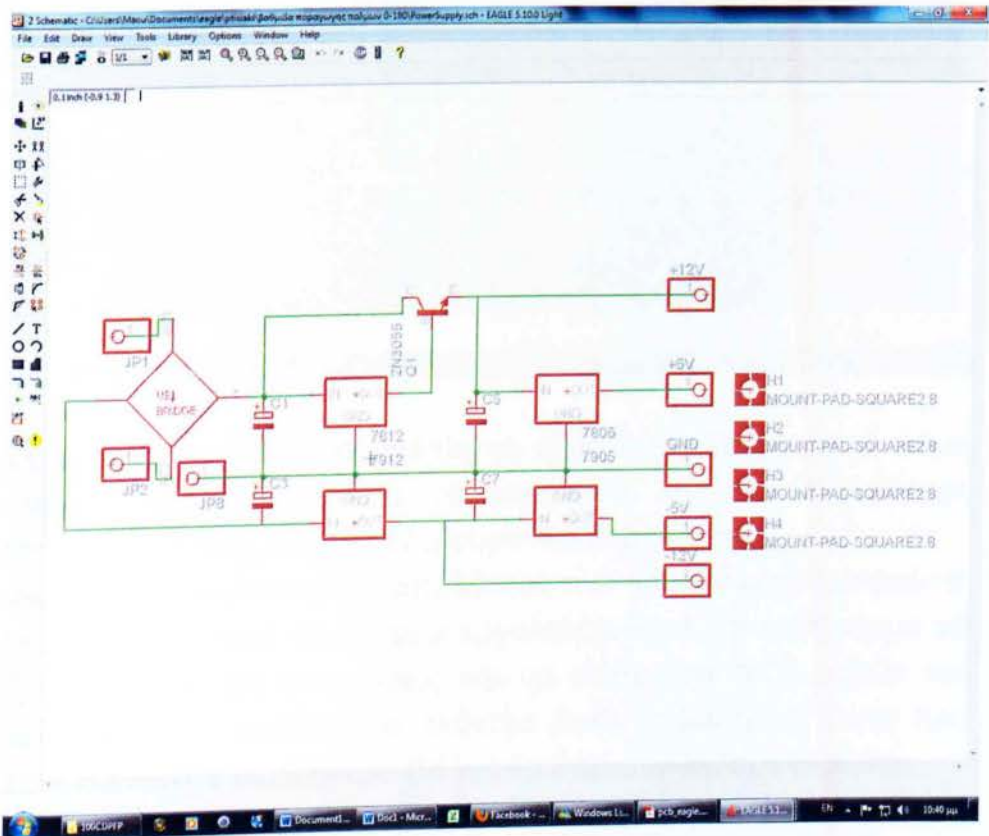


Δώστε ένα όνομα στο νέο **Project** π.χ. **PowerSupply** και κατόπιν πατήστε το πλήκτρο **Enter**.

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

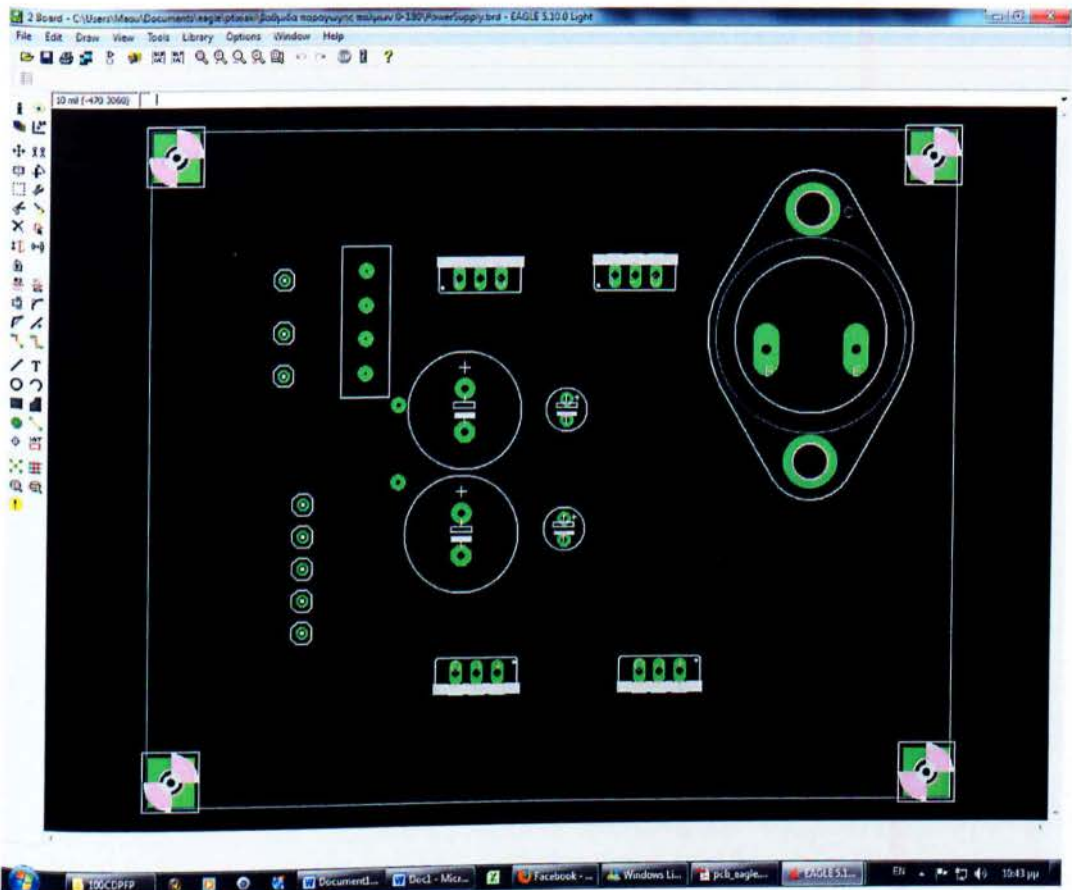


Αμέσως θα ανοίξει το κομμάτι για το σχεδιασμό του Project : **PowerSupply**



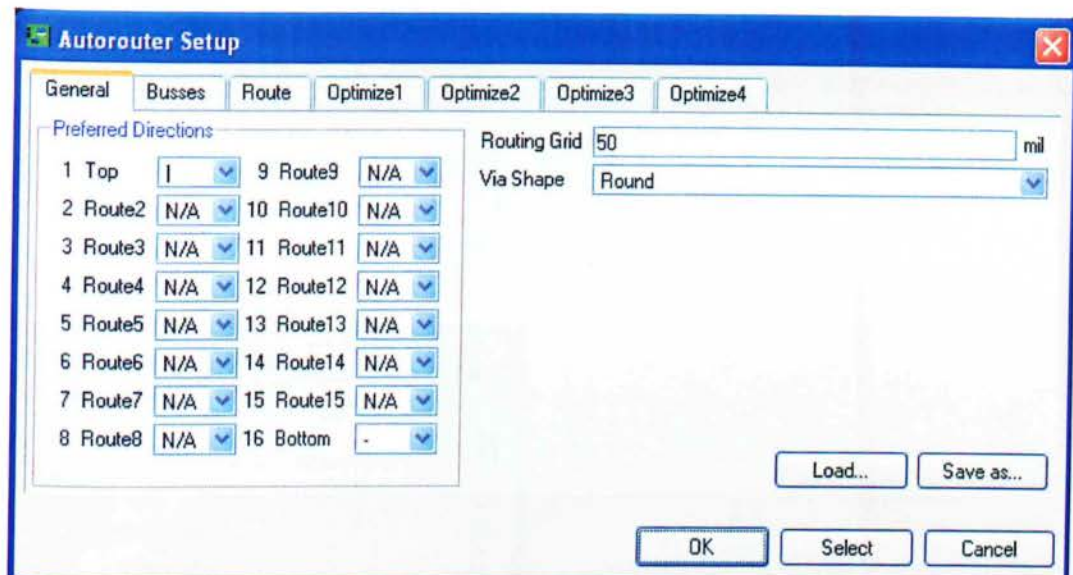
Αφού ολοκληρώσουμε τον σχεδιασμό του κυκλώματος, αυτό θα πρέπει να ελεγχθεί για τυχόν λάθη ή μη συνδεδεμένα εξαρτήματα στο κύκλωμα, αυτό επιτυγχάνετε με την επιλογή **Erc** από τον πίνακα των εργαλείων.

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.

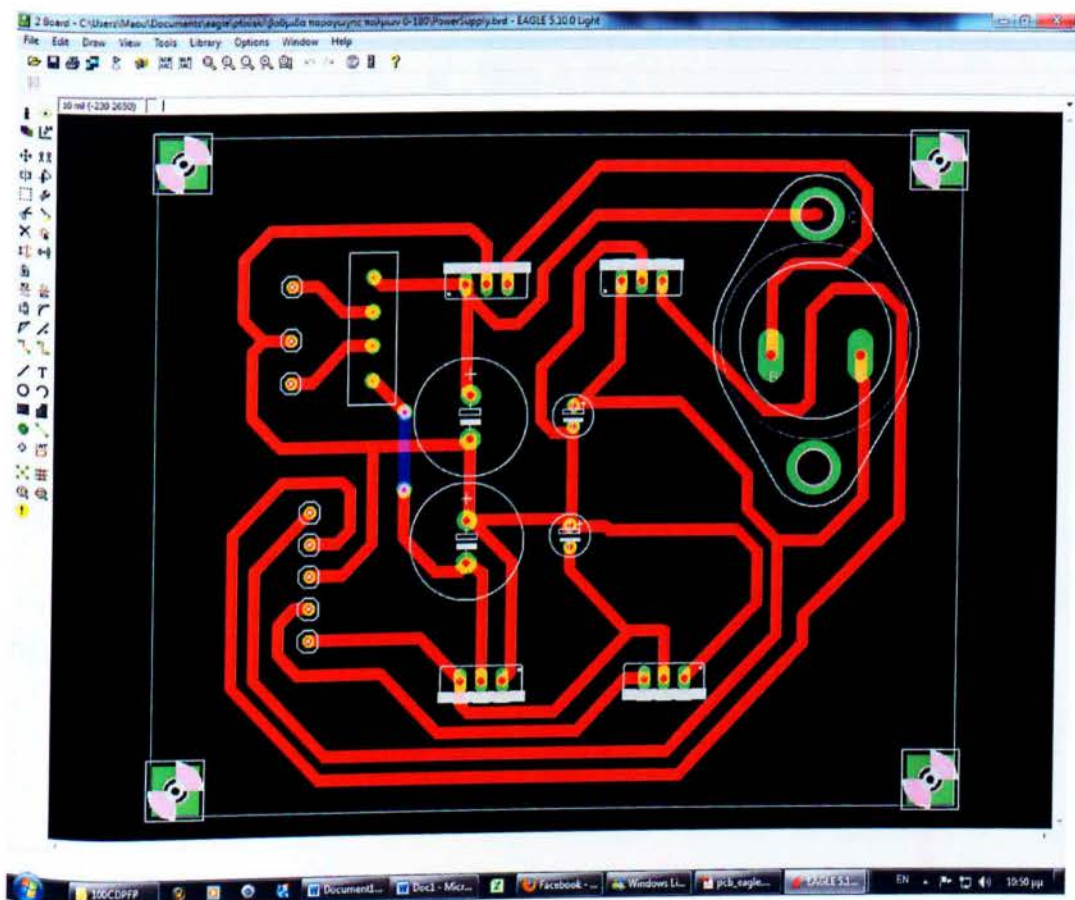


Σε αυτήν την φάση θα πρέπει να τοποθετήσετε τα υλικά όπως εσείς θέλετε, αλλά θα πρέπει να προσέξετε και την ευκολότερη διαδρομή για τις πίστες που θα δημιουργηθούν αργότερα.

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 πιέστε 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 μπορούμε 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

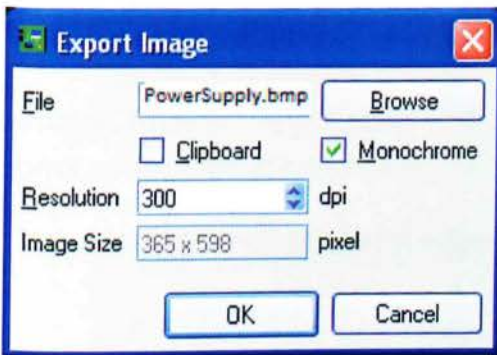
21 tPlace

22 bPlace

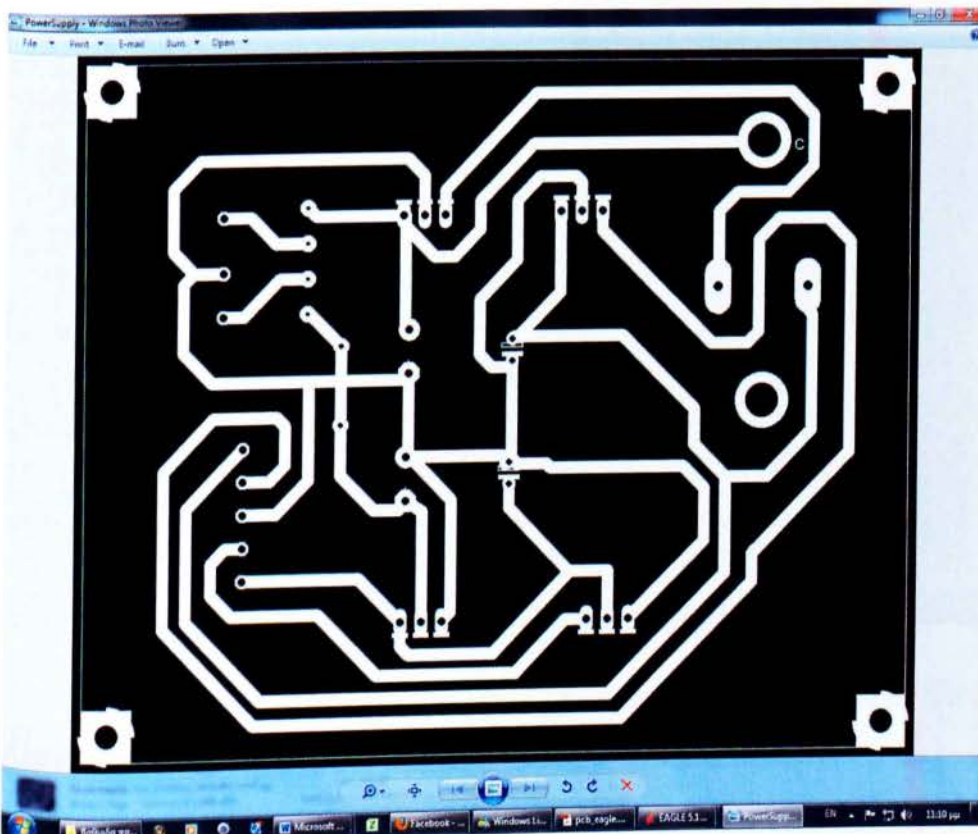
Στην οθόνη μας θα πρέπει να δούμε την παρακάτω εικόνα αφού πατήσουμε το πλήκτρο OK.

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 τσεκάρτε 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



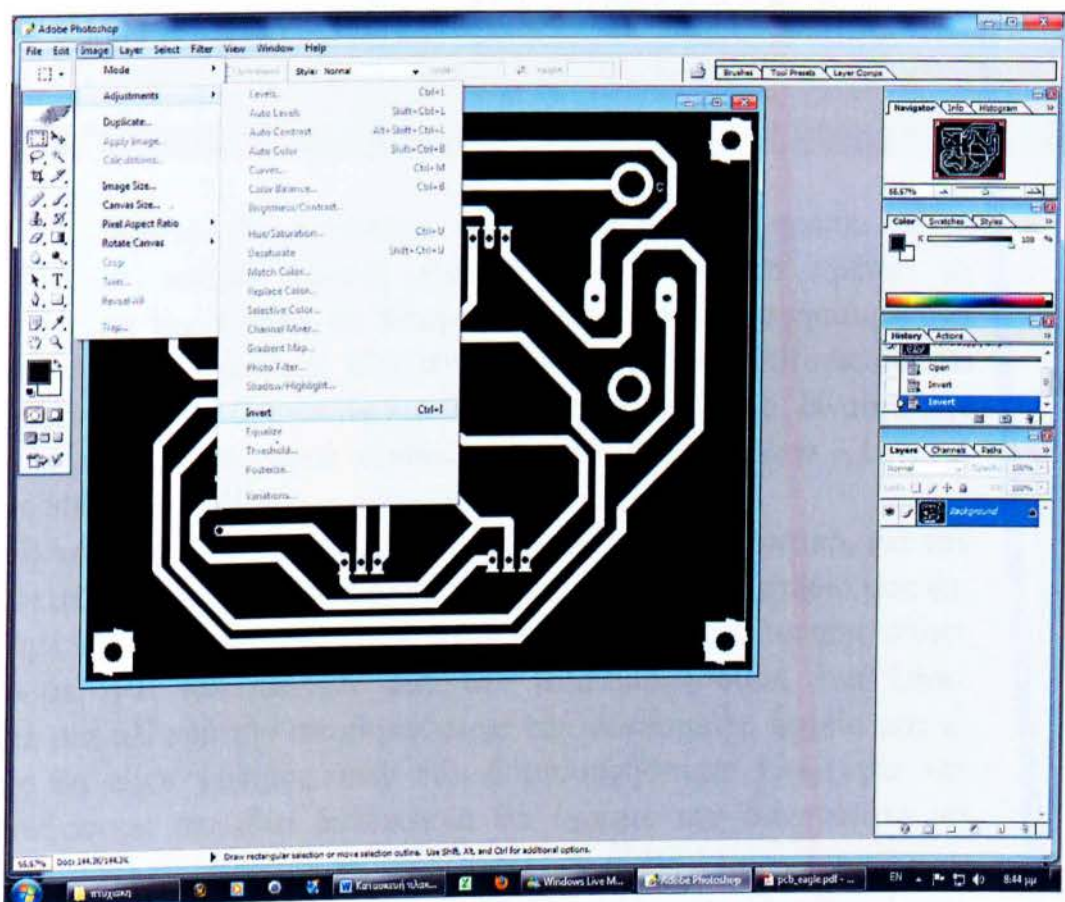
Σε αυτό το σημείο τελειώσαμε με το Eagle, το επόμενο βήμα είναι η επεξεργασία εικόνας από το Photoshop CS.

1.3 Η επεξεργασία

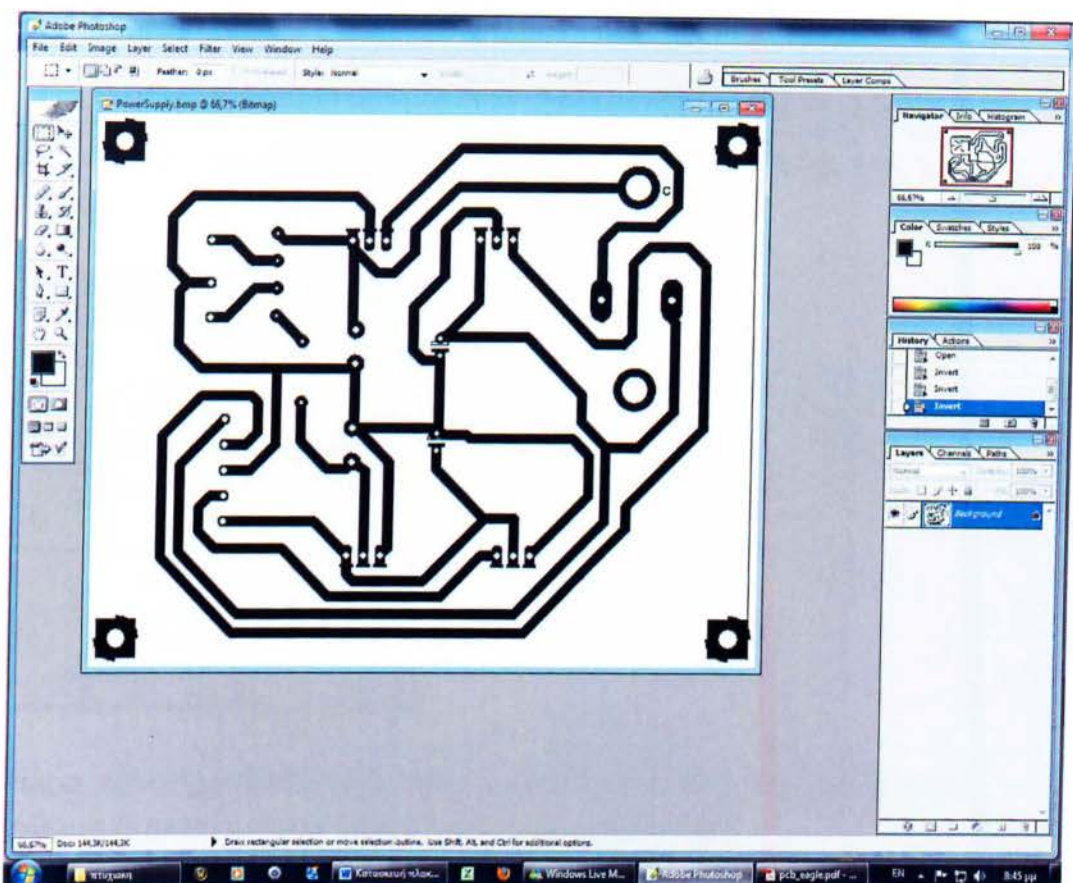
Ανοίξτε το Photoshop και κάντε κλικ στο Open βρείτε το αρχείο PowerSupply.bmp και πατήστε το πλήκτρο Open, το πρόγραμμα θα ανοίξει την εικόνα που δημιουργήσαμε προηγουμένως στο Eagle.

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.

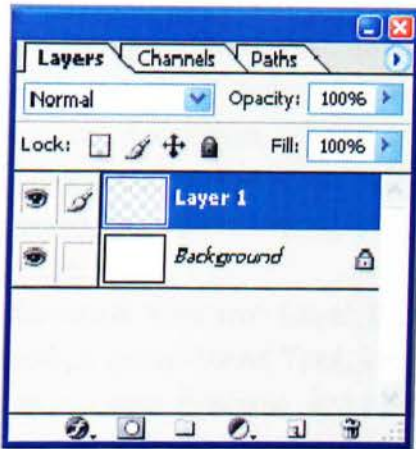


Εάν θέλουμε να γεμίσουμε τα κενά σημεία θα πρέπει να τα γεμίσουμε με μαύρο χρώμα, για να γίνει αυτό θα πρέπει να μετατρέψουμε την εικόνα σε **Grayscale** και να δημιουργήσουμε ένα καινούργιο **Layer**. Κάνουμε κλικ στο **Image – Mode – Grayscale**, θα εμφανιστεί το μενού **Grayscale** και θα ζητάει το **Size Ratio**, δίνουμε την τιμή **1** και πατάμε **OK**, μετά κάνουμε κλικ στο **Layer – New – Layer** η πατήστε **Shift+CTRL+N**.

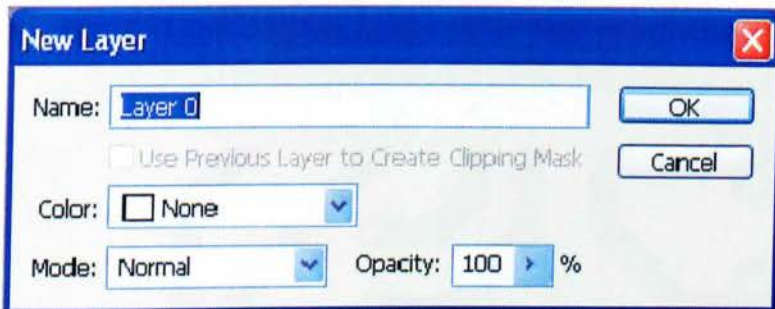
Το να δημιουργήσουμε ένα **Layer** είναι πολύ σημαντικό, για τον λόγο ότι με αυτόν τον τρόπο δεν επηρεάζουμε το αρχικό σχέδιο μας και μπορούμε να το επαναφέρουμε στην αρχική του κατάσταση όποτε θελήσουμε, για παράδειγμα εάν δεν δημιουργήσουμε ένα **Layer** κάνουμε μία αλλαγή την αποθηκεύουμε και κλίνουμε 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**.



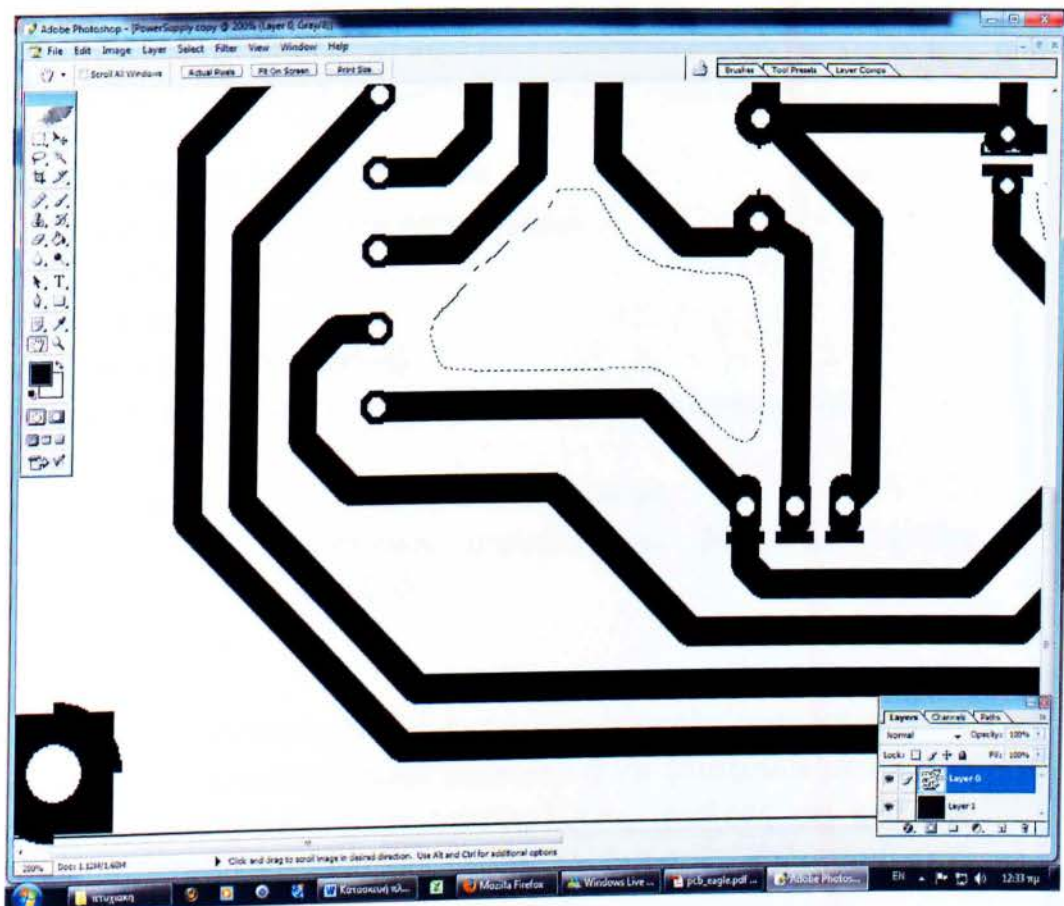
Βλέπουμε ότι το **Background** μετονομάστηκε σε **Layer 0** και έφυγε η κλειδαριά από δίπλα, τώρα κάνουμε κλικ και κρατάμε πατημένο το αριστερό πλήκτρο του ποντικιού μας στο **Layer 1** και σύρτετο κάτω από το **Layer 0**, θα δείτε πάλι το σχέδιο στην αρχική του μορφή.

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 ρυθμιζόμενο 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 υπεριώδης ακτινοβολίας και είναι λίγο ακριβές στο εμπόρειο, πέραν τούτου ώμος 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 αυτών.**

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 δυνατών 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 συνήθης 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

απλός 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 ζεσάναμε 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 $\frac{1}{4}$ 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 δουλειά χωρίς να καταπονήσουμε ή να πληγώσουμε την πλακέτα) και ανοίγουμε τις οπές για την τοποθέτηση των υλικών μας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2° Το κύκλωμα ελέγχου

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, μ'ένα 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.

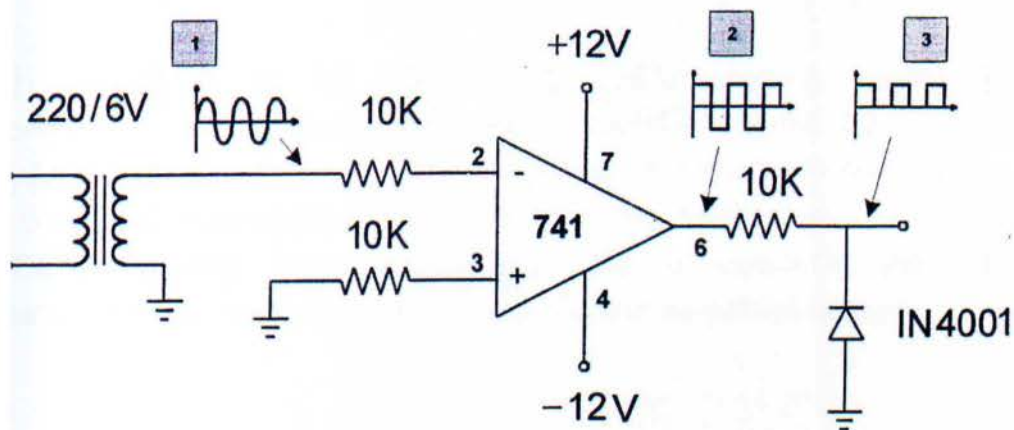
Το σχέδιο του κυκλώματος πυροδότησης παρουσιάζεται στα παρακάτω σχήματα. Χωρίζεται σε δύο κυκλώματα, ένα για τροφοδοσία έως και δύο θυρίστορ που άγουν από 0-180 και ένα για την τροφοδοσία έως και δύο θυρίστορ που άγουν από 180-360 μοίρες.

2.2 Ανάλυση κυκλώματος έναυσης θυρίστορ μονοφασικής ανόρθωσης

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

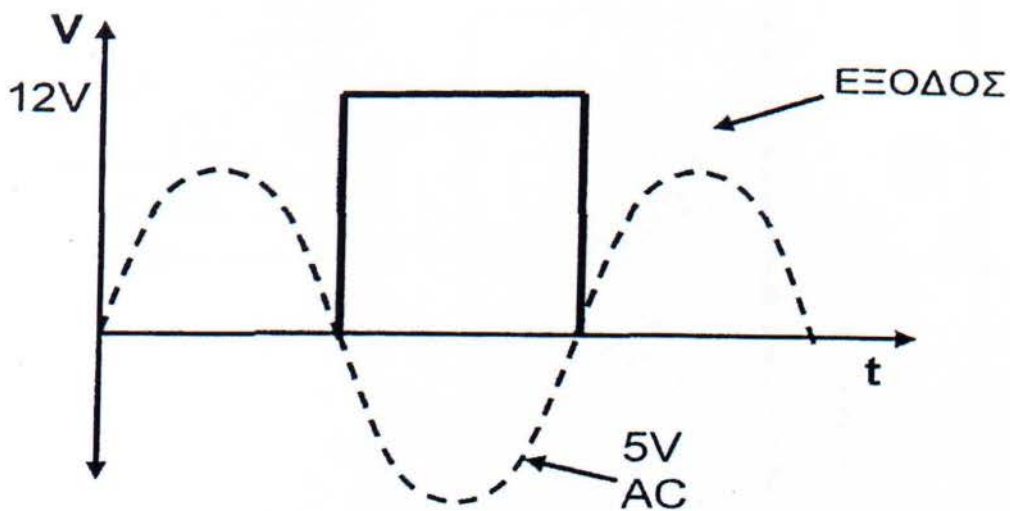
Βαθμίδα 1^η

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



Σχήμα 1

Η τροφοδοσία του τελεστικού ενισχυτή είναι ίση με ± 12 V. Η έξοδος του τελεστικού ενισχυτή μας δίνει -12 V στην θετική ημιπερίοδο της εναλλασσόμενης τάσης ενώ στην αρνητική ημιπερίοδο μας δίνει $+12$ 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).



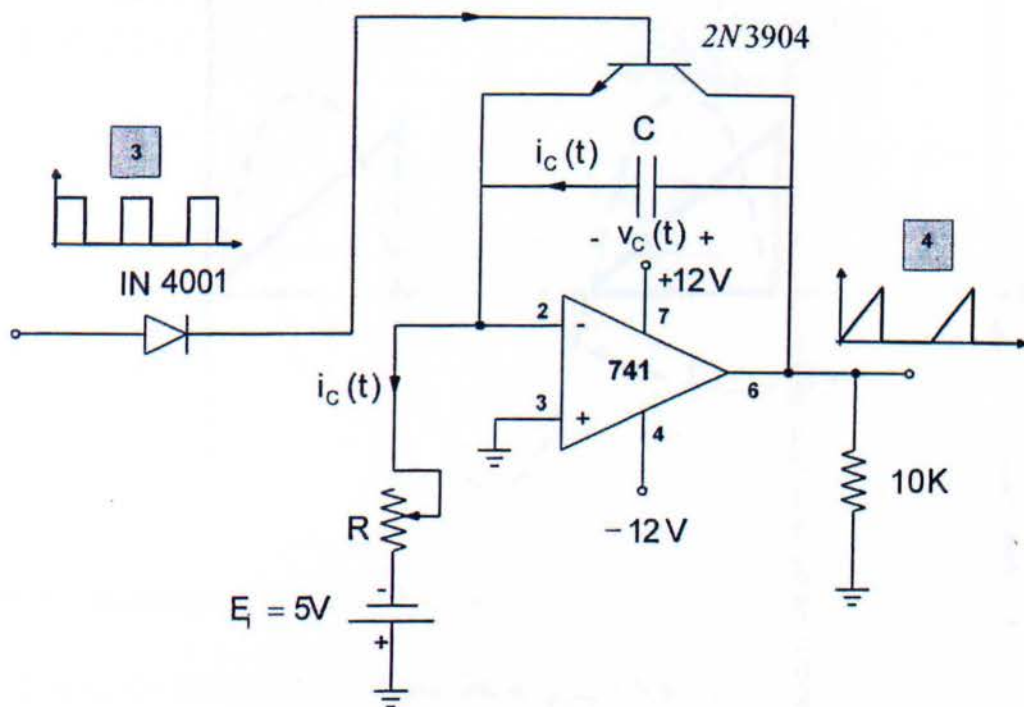
Σχήμα 2

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).

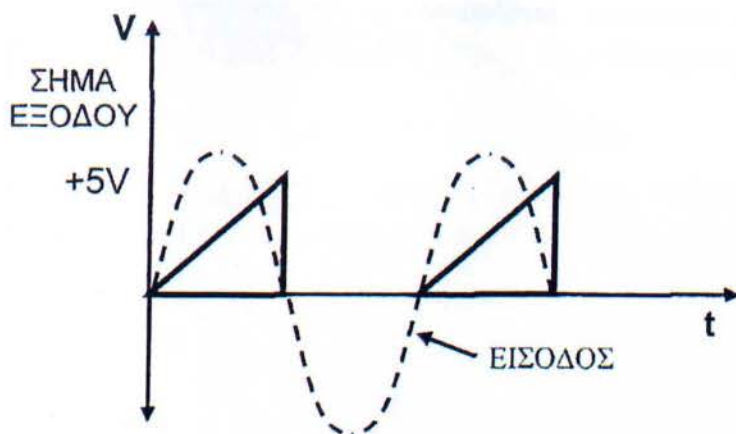


Σχήμα 3

Γειώνουμε την μη αναστρέφουσα 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 $100\text{ K}\Omega$ και είναι ίσο με $5\text{ V}/100\text{ K}\Omega = 50\text{ }\mu\text{A}$.

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).



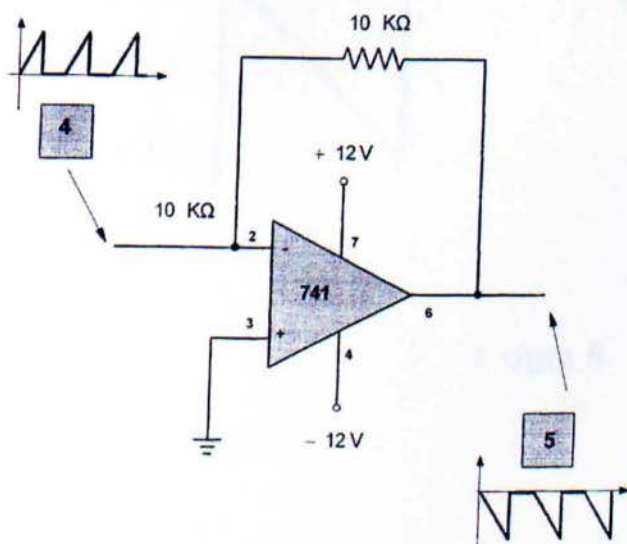
Σχήμα 4

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).

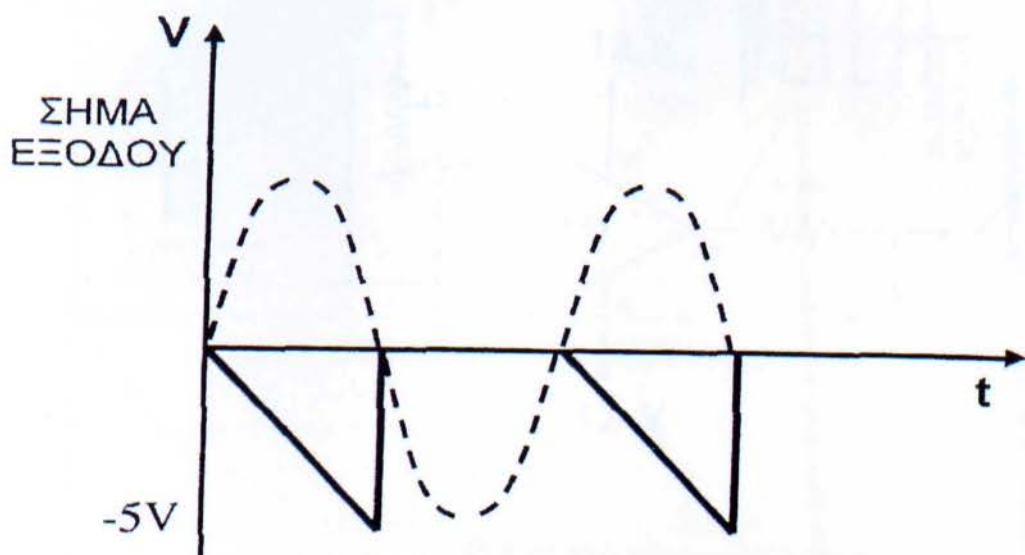


Σχήμα 5

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

$$V_{\text{εισόδου}} = - \frac{R_2}{R_1} V_{\text{εξόδου}}$$

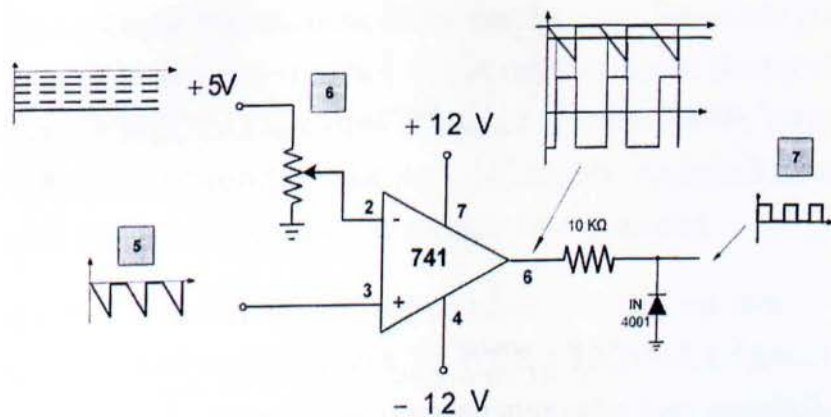
Επειδή οι αντιστάσεις R_1 και R_2 είναι ίσες παίρνουμε στην έξοδο του τελεστικού ενισχυτή το ίδιο σήμα ανεστραμμένο (σχήμα 6).



Σχήμα 6

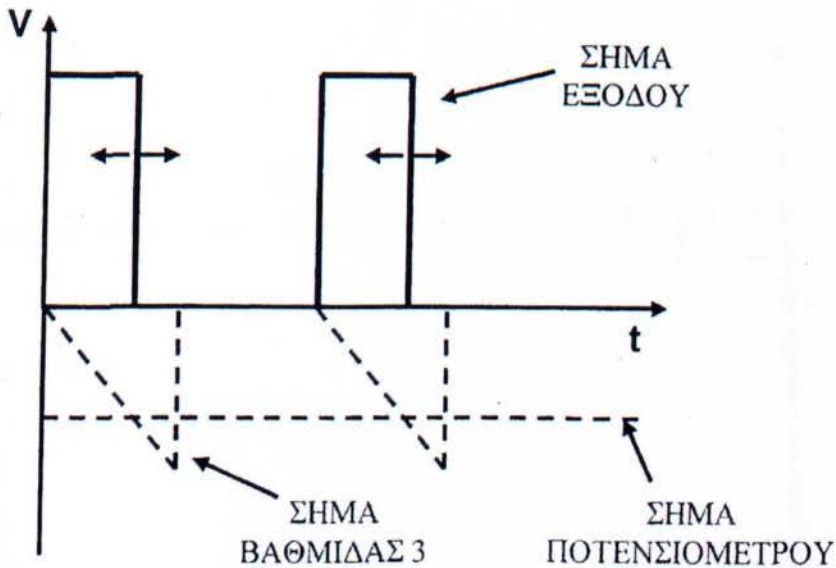
Βαθμίδα 4^η

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.



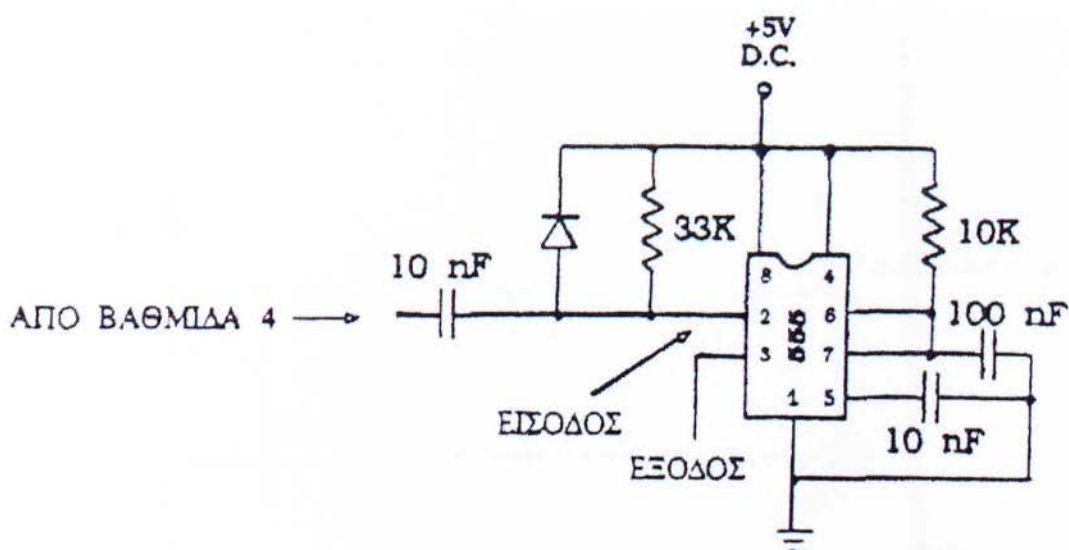
Σχήμα 8

Βαθμίδα 5^η

Το κύκλωμα της πέμπτης βαθμίδας περιλαμβάνει τον 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 $R=33\text{ K}\Omega$ και πυκνωτή $C=10\text{ nF}$ (σχήμα 9).



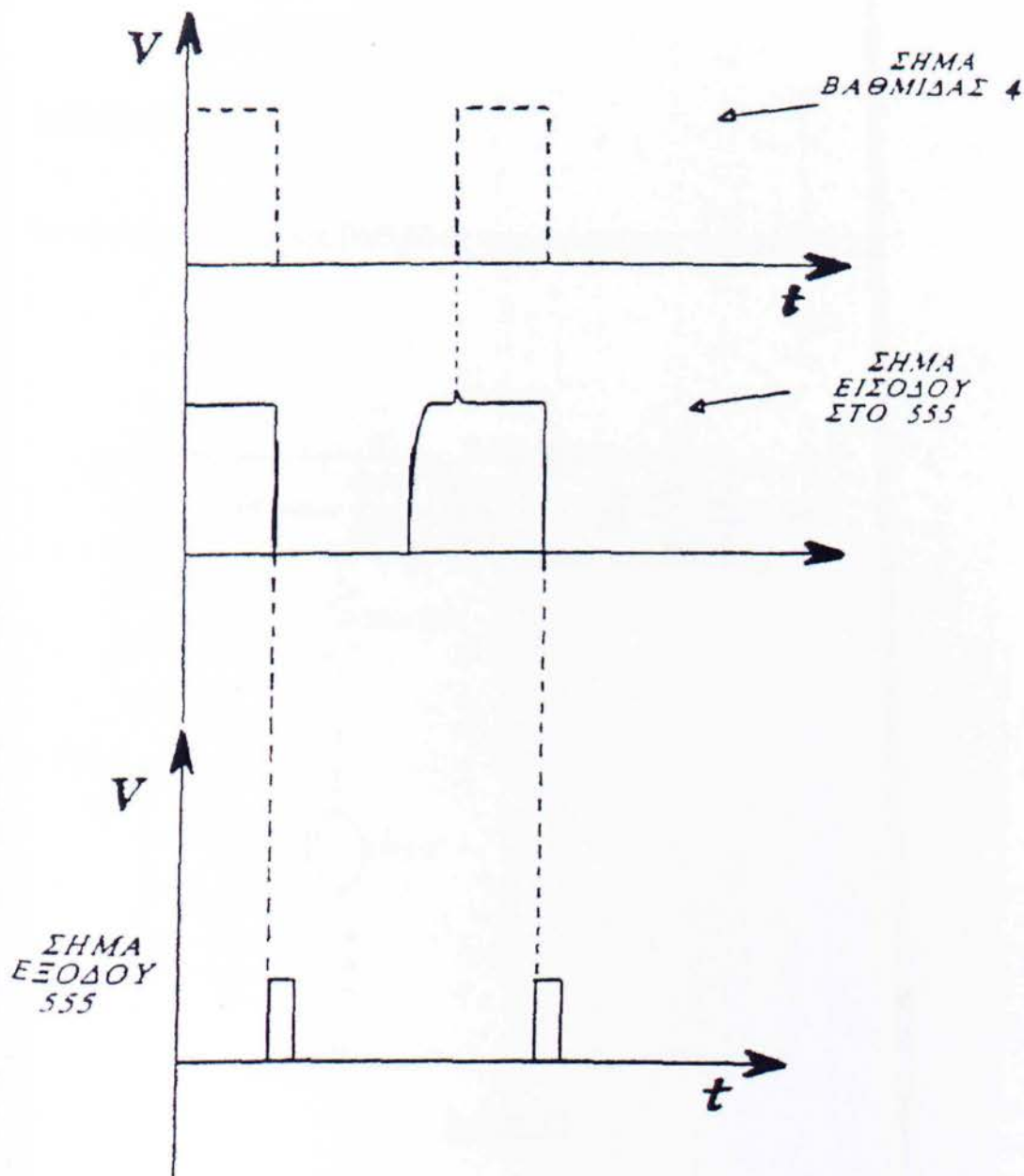
Σχήμα 9

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

προσθεθεί στα +5V του πυκνωτή όμως η δίοδος θα τα αποκόψει (γι' αυτό και παρουσιάζεται η "μύτη").



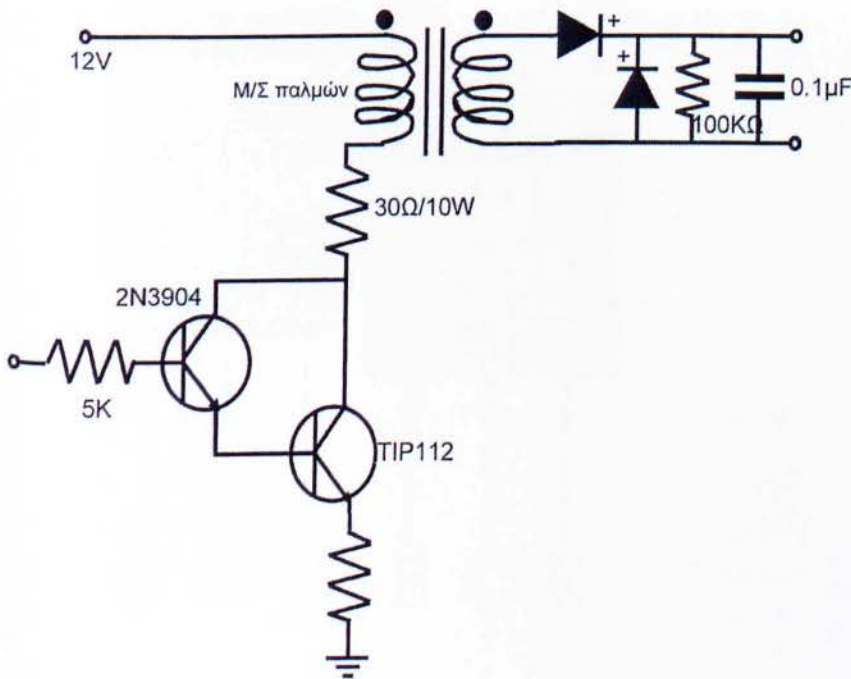
Σχήμα 10

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 χρονοστή 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 δίοδοι 3. Μία αντίσταση και ένας πυκνωτής στην έξοδο του μετασχηματιστή για προστασία της πύλης.

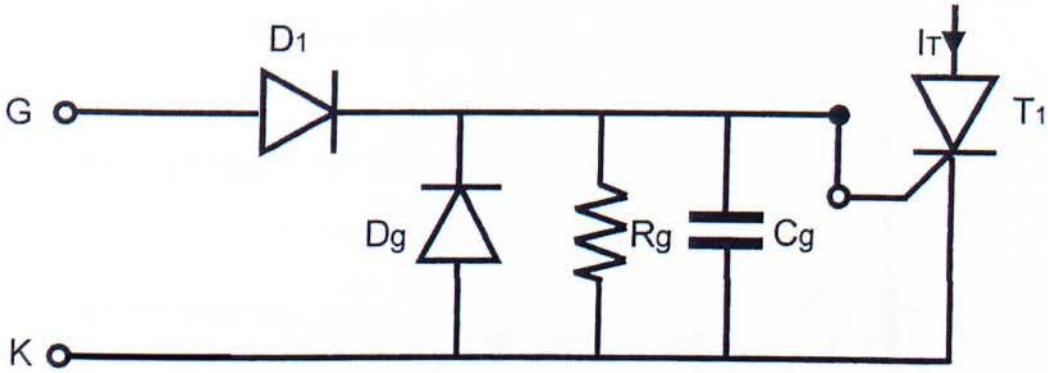
Τα τρανζίστορ που χρησιμοποιούνται είναι το 2N3904 και το TIP112 (σχήμα 12). Το τρανζίστορ TIP112 έχει εσωτερικά δύο τρανζίστορ σε συνδεσμολογία Darlington και έτσι η ενίσχυση του είναι μεγάλη. Το γινόμενο των δύο εσωτερικών τρανζίστορ μας δίνει την συνολική ενίσχυση του TIP112.



Σχήμα 12

Κύκλωμα προστασίας της πύλης

Το κύκλωμα προστασίας της πύλης παρουσιάζεται στο σχήμα 13.



Σχήμα 13

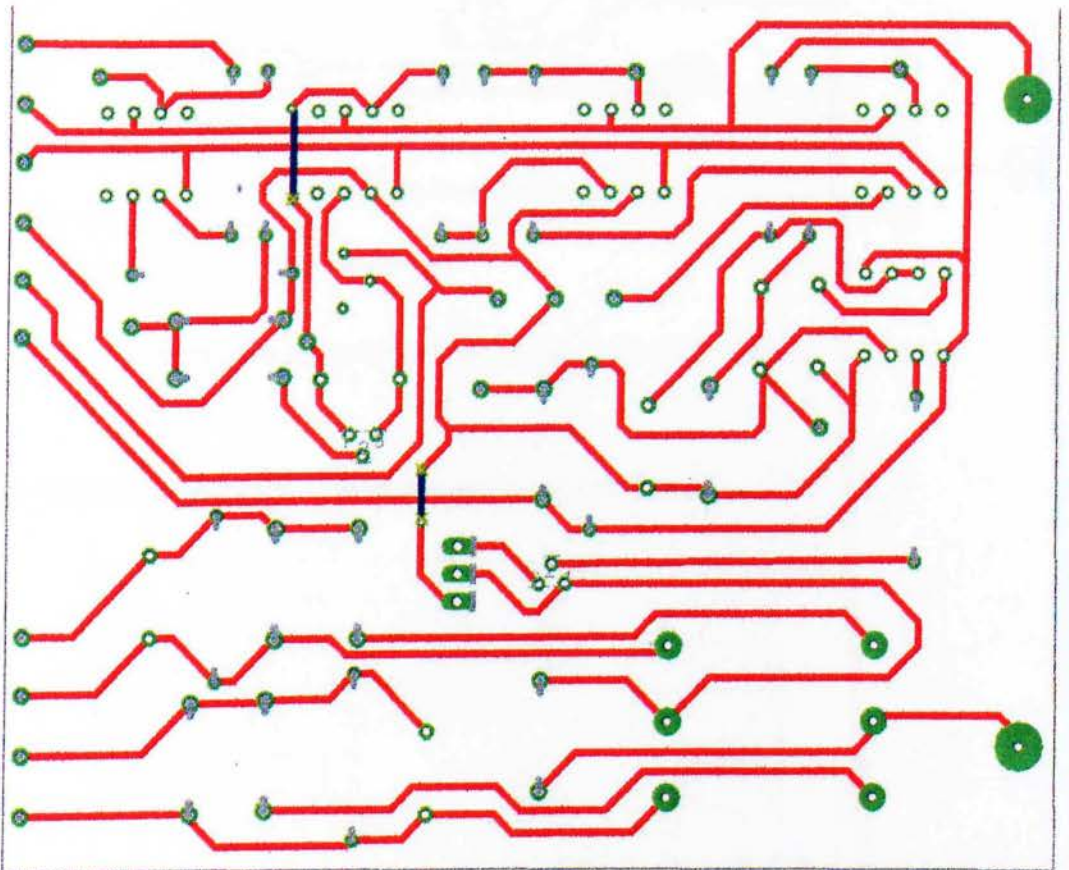
Η έξοδος του μετασχηματιστή παλμών συνδέεται στην πύλη και στην κάθοδο του θυρίστορ μέσω άλλων προστατευτικών στοιχείων. Η δίοδος D_1 επιτρέπει μόνο τους θετικούς παλμούς να περάσουν, ενώ η δίοδος D_g προστατεύει την πύλη από αρνητικές τάσεις. Η αντίσταση R_g αυξάνει τον ρυθμό μεταβολής της τάσης dv/dt , 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 .

2.3 Σχεδιασμός κυκλώματος έναυσης

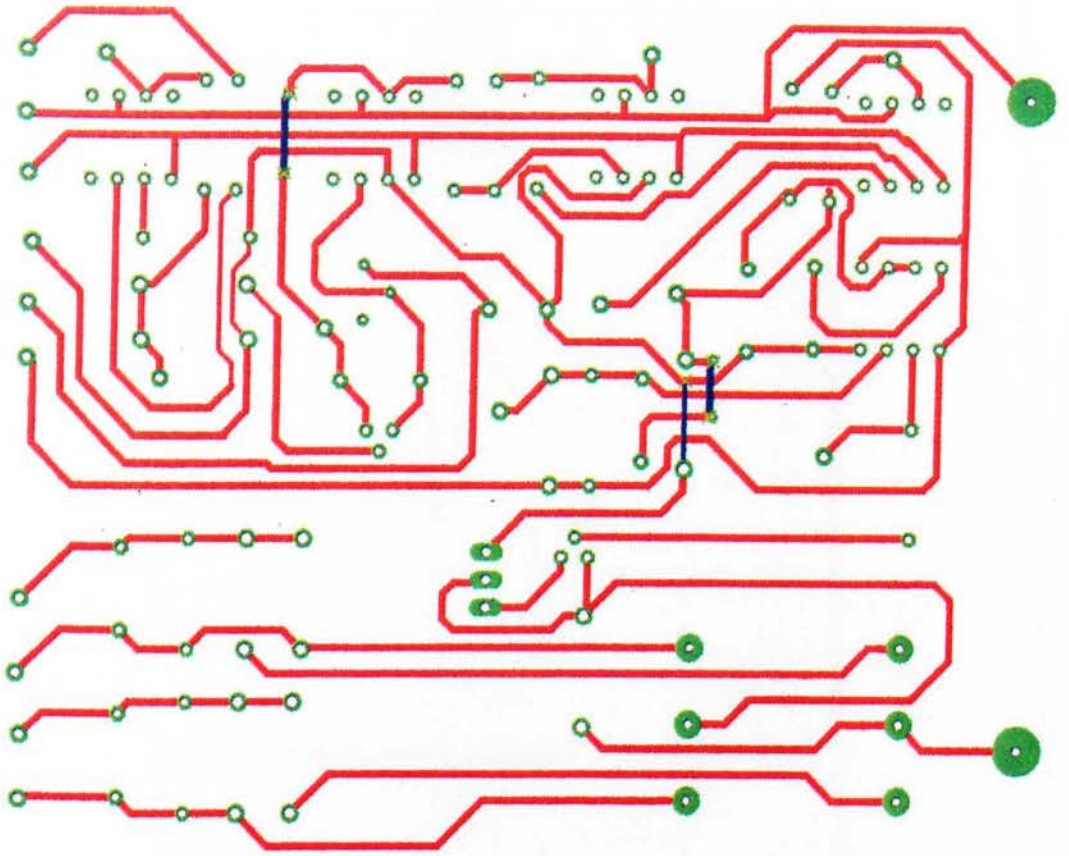
Για τον σχεδιασμό των κυκλωμάτων χρησιμοποιήθηκε το Eagle όπως αναφερθήκαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο.

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 :

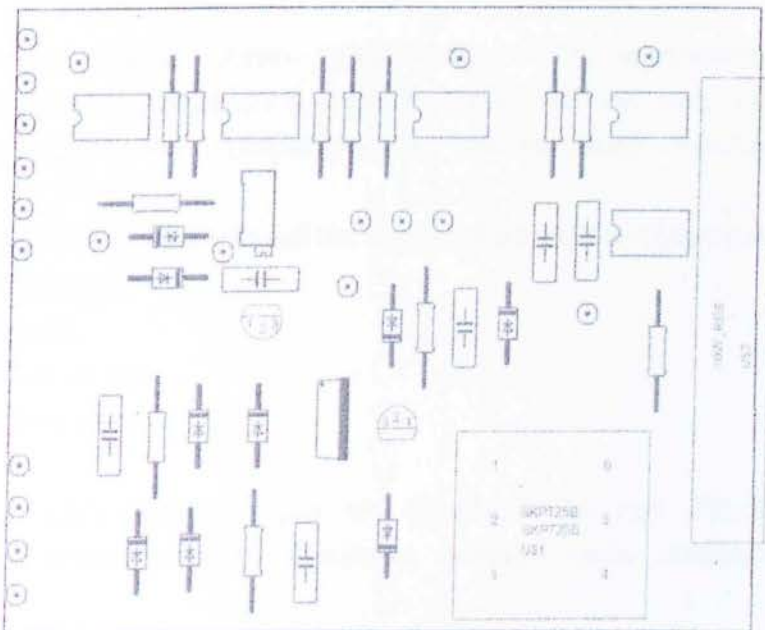


Βαθμίδα παραγωγής παλμών 0-180 μοίρες.

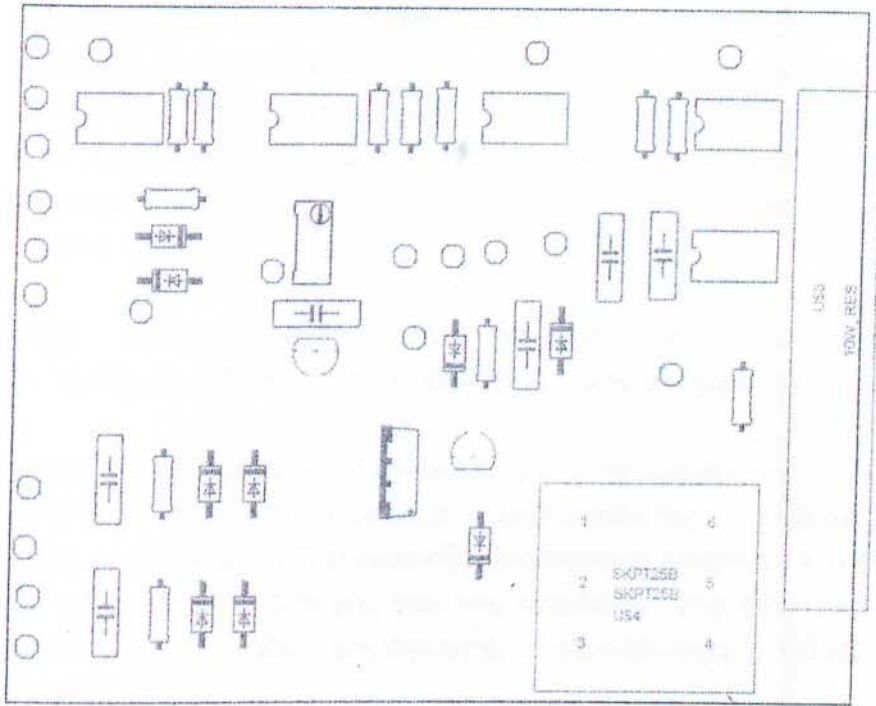


Βαθμίδα παραγωγής παλμών 180-360 μοίρες.

Η πάνω πλευρά των πλακετών με τα εξαρτήματα :



Βαθμίδα παραγωγής παλμών 0-180 μοίρες.



Βαθμίδα παραγωγής παλμών 180-360 μοίρες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο Το τροφοδοτικό

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 και 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.

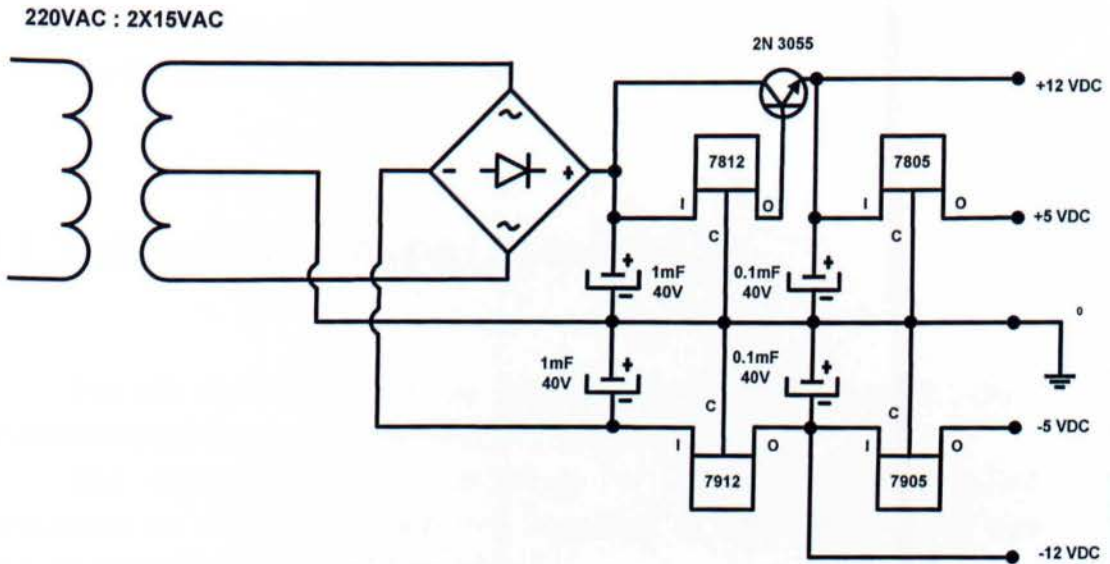
Τα ολοκληρωμένα που χρησιμοποιήσαμε είναι της σειράς LM 78_ και LM 79_ .

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 συνεχής 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

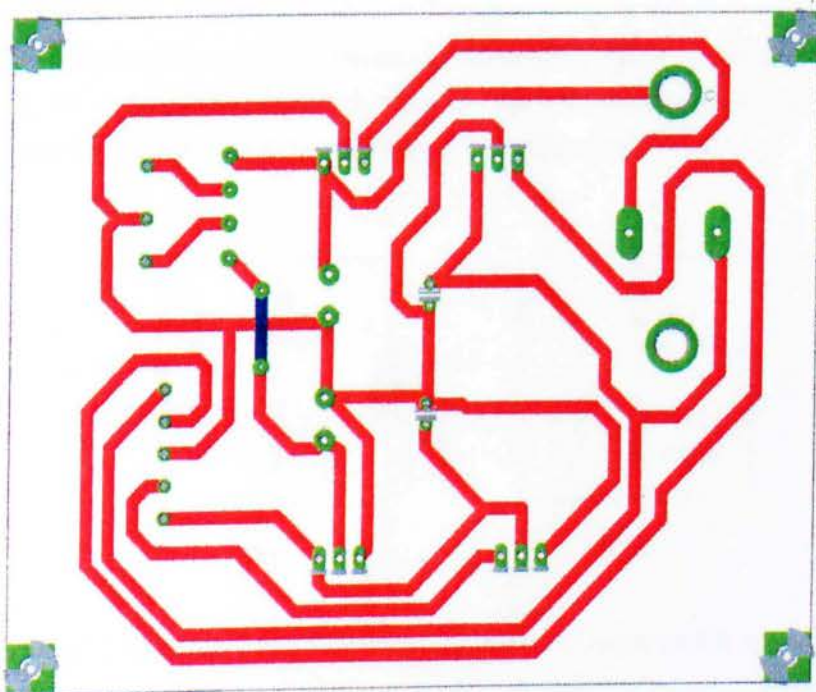
Η σχεδόν σταθερή συνεχής τάση οδηγείται στους σταθεροποιητές οι οποίοι μας δίνουν την επιθυμητή συνεχή τάση που θέλουμε για να τροφοδοτήσουμε το κύκλωμα έναυσης.

3.3 Σχεδιασμός κυκλώματος τροφοδοτικού

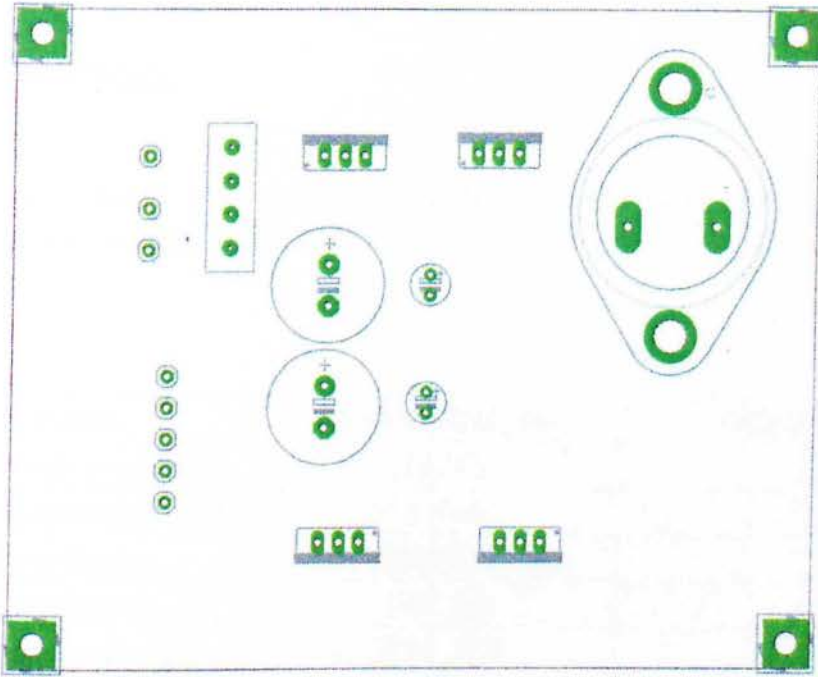
Για τον σχεδιασμό του κυκλώματος χρησιμοποιήθηκε το Eagle όπως αναφερθήκαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο.

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 :



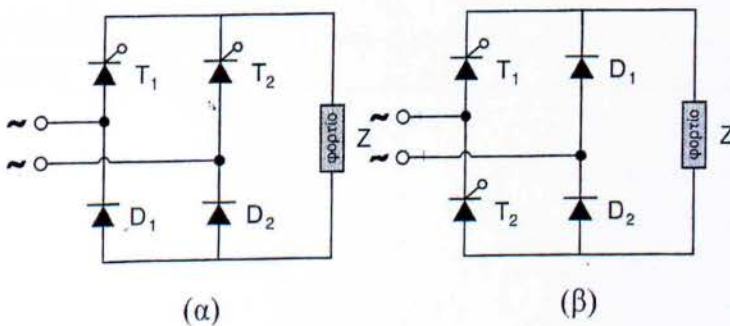
Η πάνω πλευρά της πλακέτας με τα εξαρτήματα :



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο Το κύκλωμα ισχύος

4.1 Γενικά

Το κύκλωμα ισχύος αποτελείται από δύο θυρίστορ 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 |

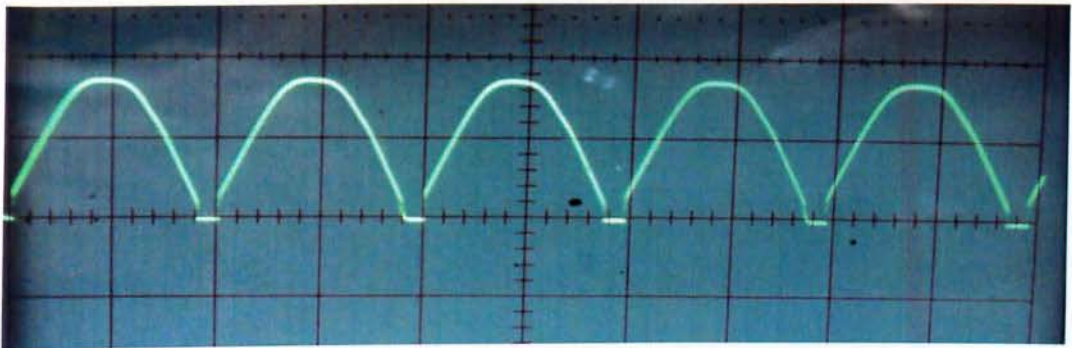
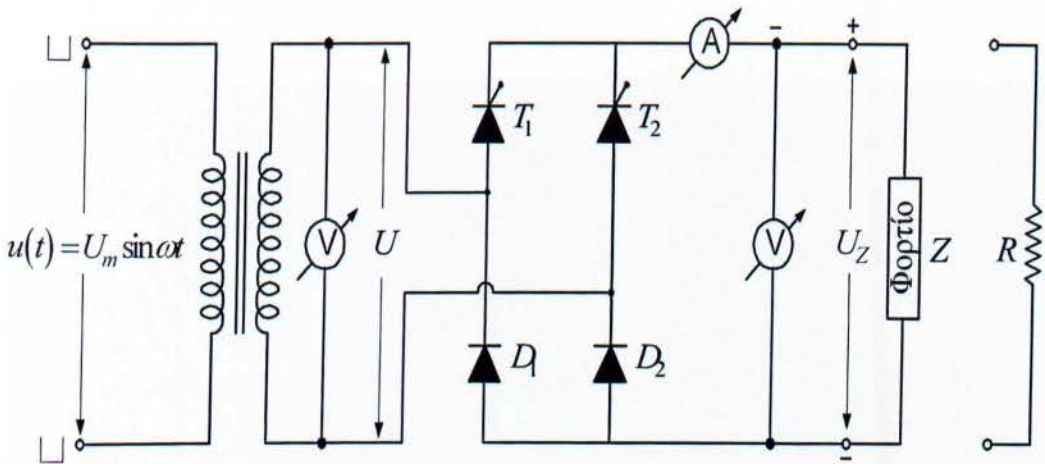
Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του κυκλώματος του τροφοδοτικού είναι τα εξής :

| 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 |

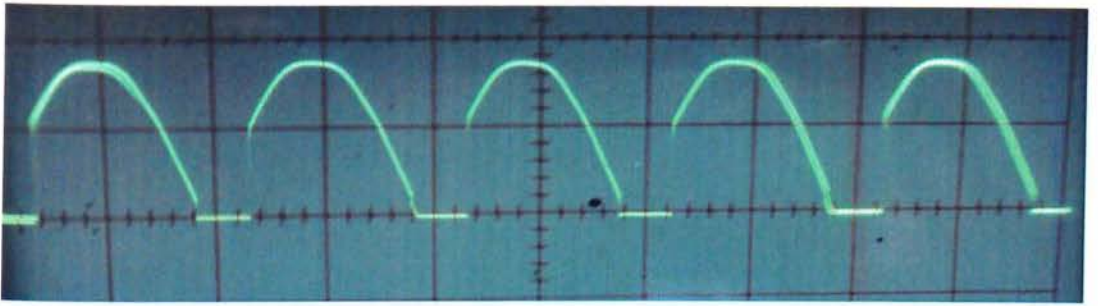
ΜΕΡΟΣ Γ΄ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Συμμετρική ημιελεγχόμενη γέφυρα με ωμικό φορτίο

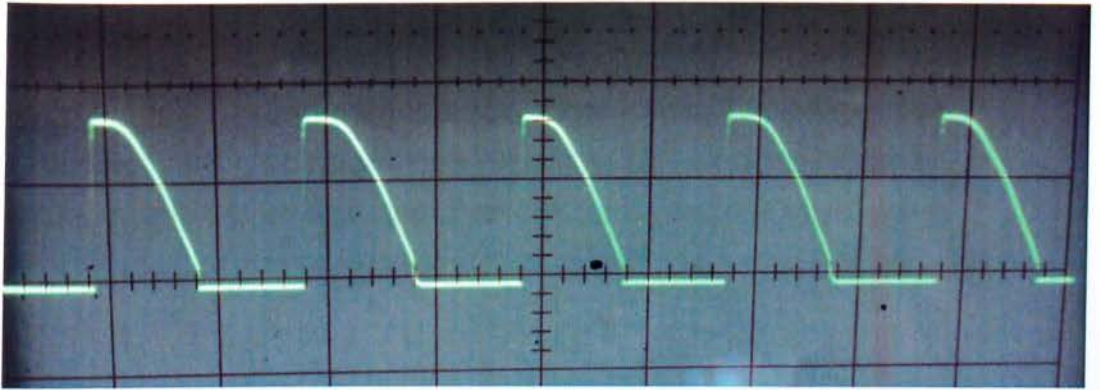
Πραγματοποιήσαμε το κύκλωμα του παρακάτω σχήματος και για διάφορες γωνίες έναυσης πήραμε τις ακόλουθες κυματομορφές.



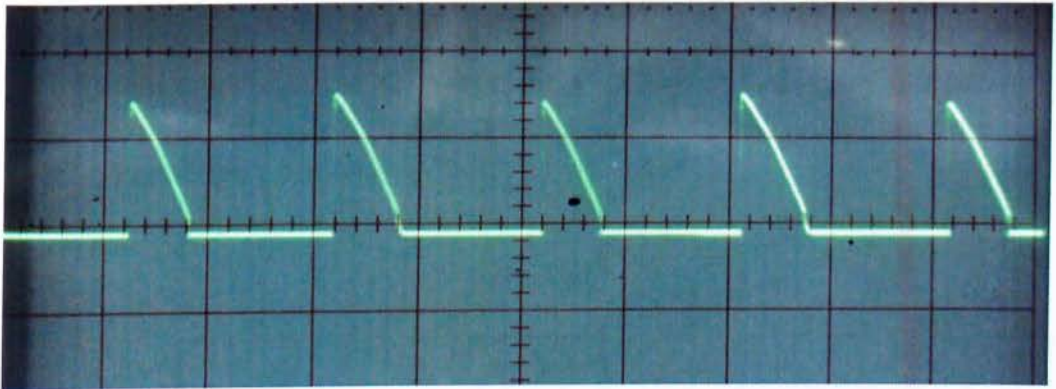
$$\alpha = 18$$



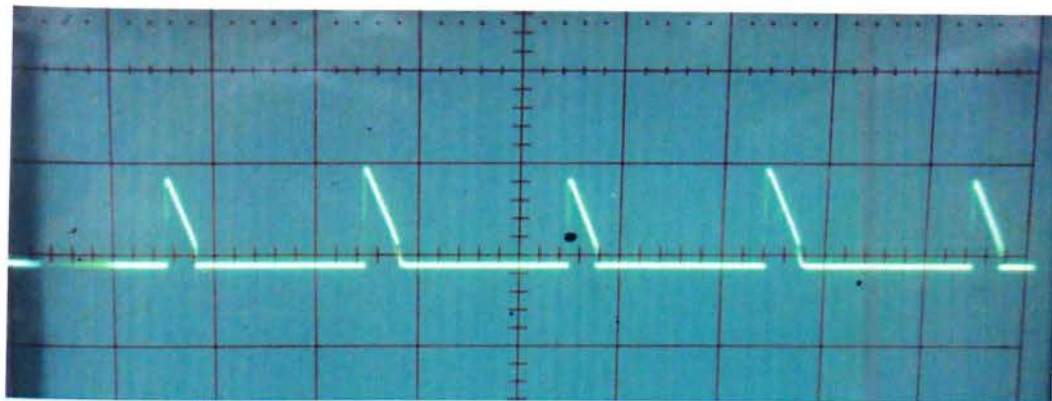
$\alpha = 36$



$\alpha = 90$



$\alpha = 126$

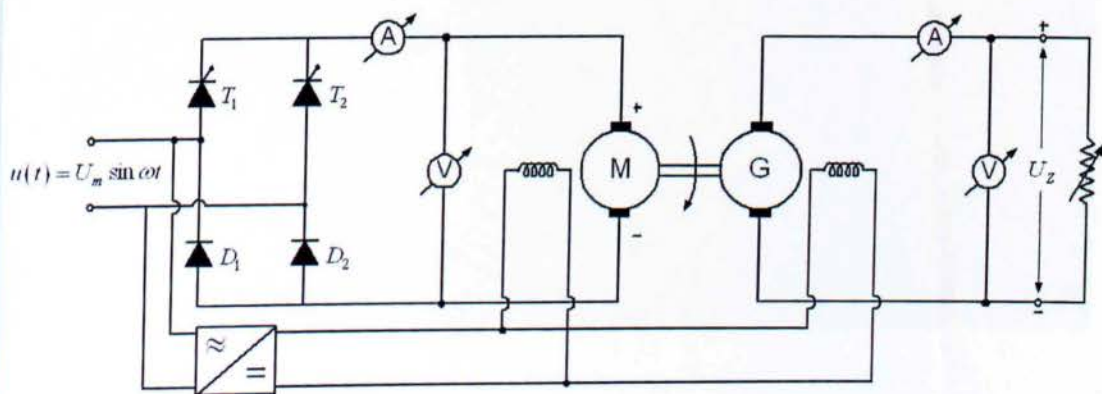


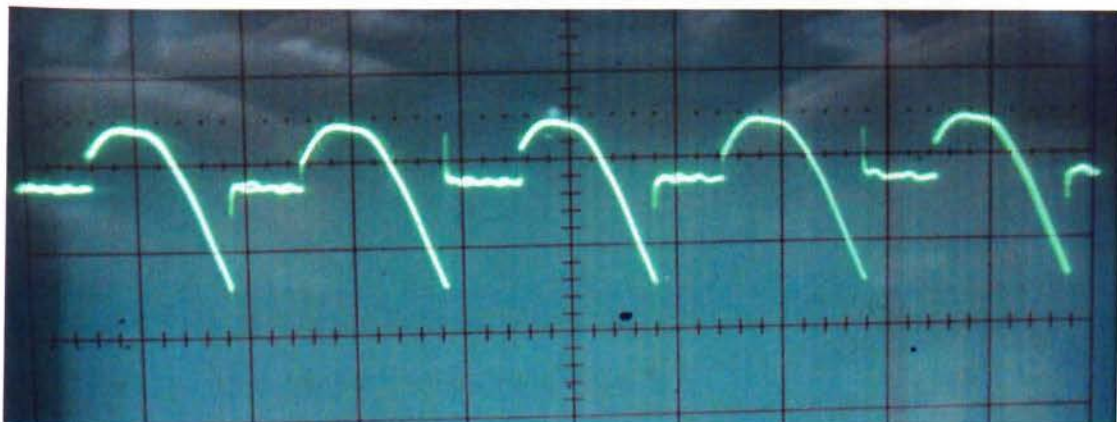
$$\alpha = 154$$

Παρατήρηση: Η τάση εξόδου μηδενίζεται λίγο πριν τις 180. Αυτό συμβαίνει γιατί η στιγμιαία τιμή της τάσης λίγο πριν τις 180 είναι μικρή, άρα το ρεύμα που περνά από το SCR είναι μικρότερο από το απαιτούμενο ρεύμα συγκράτησης, με αποτέλεσμα το SCR να οδηγηθεί στην αποκοπή.

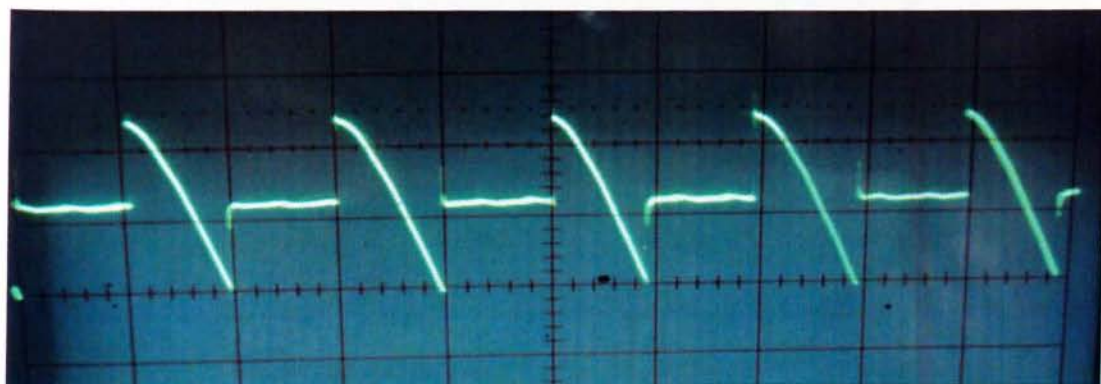
Συμμετρική ημιελεγχόμενη γέφυρα με ωμικό-επαγωγικό φορτίο (κινητήρας)

Πραγματοποιήσαμε το παρακάτω κύκλωμα και για διάφορες γωνίες έναυσης πήραμε τις ακόλουθες κυματομορφές (χωρίς δίοδο και με δίοδο ελευθέρως ροής).

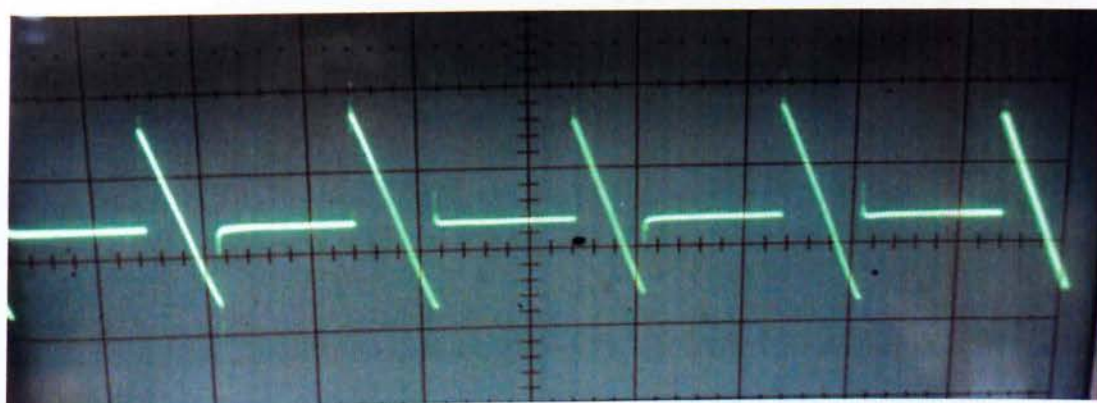




$\alpha = 72$



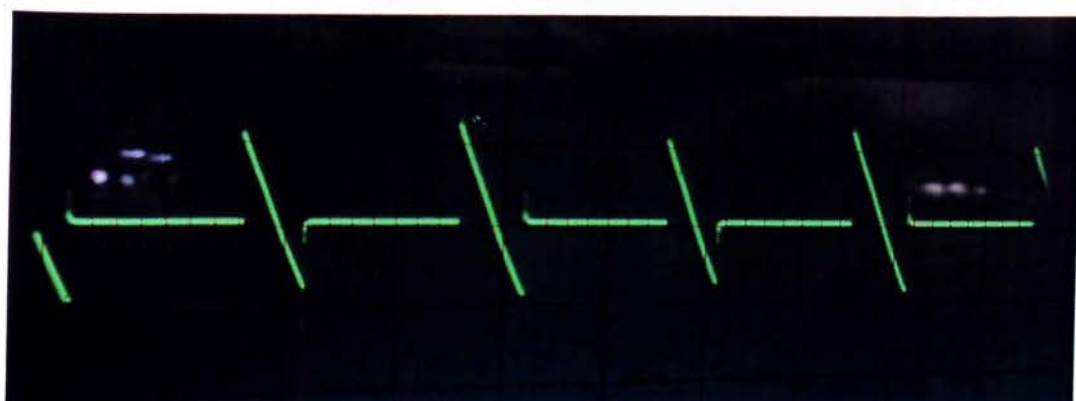
$\alpha = 90$



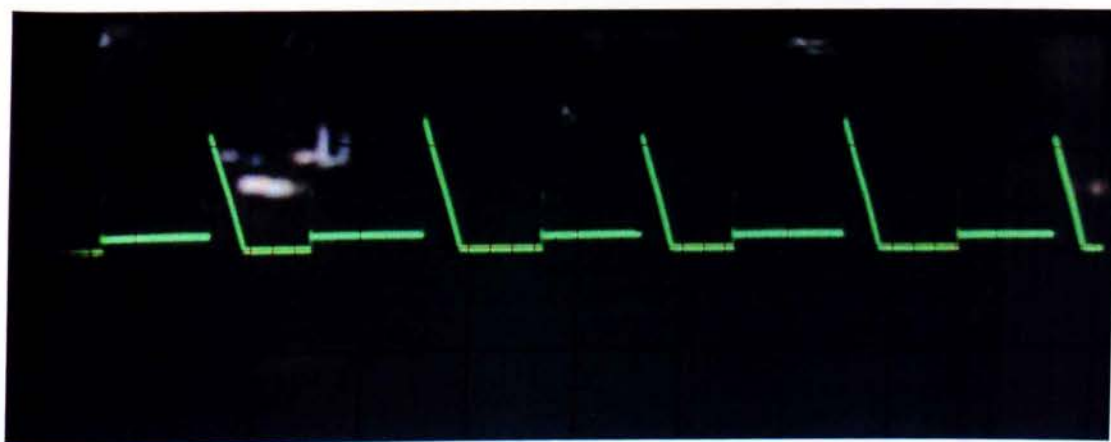
ΧΩΡΙΣ ΔΙΟΔΟ – ΥΠΑΡΧΕΙ ΑΡΝΗΤΙΚΗ ΤΑΣΗ



ΜΕ ΔΙΟΔΟ – ΔΕΝ ΥΠΑΡΧΕΙ ΑΡΝΗΤΙΚΗ ΤΑΣΗ



ΧΩΡΙΣ ΔΙΟΔΟ – ΥΠΑΡΧΕΙ ΑΡΝΗΤΙΚΗ ΤΑΣΗ (Η ΑΡΝΗΤΙΚΗ ΤΑΣΗ ΕΙΝΑΙ ΣΧΕΔΟΝ ΟΣΗ ΚΑΙ Η ΘΕΤΙΚΗ. ΜΕΣΗ ΤΑΣΗ ΠΟΛΥ ΜΙΚΡΗ)



ΜΕ ΔΙΟΔΟ – ΔΕΝ ΥΠΑΡΧΕΙ ΑΡΝΗΤΙΚΗ ΤΑΣΗ (ΑΥΞΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ)



Μετρήσεις βατομέτρου στην είσοδο. Τάση εισόδου 100 V. Όσο η γωνία έναυσης μεγαλώνει πέφτουν το ρεύμα, η ισχύς και το $\cos\phi$ της εισόδου.

Μετρήσεις

Πραγματοποιήσαμε το κύκλωμα της συμμετρικής ημieleγχόμενης γέφυρας για ωμικό φορτίο και λάβαμε τις παρακάτω μετρήσεις με δίοδο και χωρίς δίοδο ελευθέρας ροής.

**ΣΥΜΕΤΡΙΚΗ ΗΜΙΕΛΕΓΧΟΜΕΝΗ ΓΕΦΥΡΑ $V_i = 130 \text{ V}$ $R = 150 \Omega$
ΧΩΡΙΣ ΔΙΟΔΟ Df**

| A/A | α | V_i | I_i | P_i | $\cos\phi$ | Φ | $\sin\phi$ | Q | V_a | I_a | n (rpm) |
|-----|----------|-------|-------|-------|------------|--------|------------|-------|-------|-------|---------|
| 1 | 18 | | | | | | | | | | |
| 2 | 36 | | | | | | | | | | |
| 3 | 54 | | | | | | | | | | |
| 4 | 72 | 128 | 2,67 | 258 | 0,78 | 0,68 | 0,626 | 213,9 | 131,1 | 2,2 | 2500 |
| 5 | 90 | 128 | 2,56 | 211 | 0,64 | 0,88 | 0,768 | 251,8 | 116,6 | 2 | 2300 |
| 6 | 108 | 128 | 2,36 | 151 | 0,5 | 1,05 | 0,866 | 261,6 | 94,6 | 1,75 | 1950 |
| 7 | 126 | 129 | 2,07 | 94,5 | 0,36 | 1,2 | 0,933 | 249,1 | 68,5 | 1,45 | 1550 |
| 8 | 144 | 130 | 1,59 | 38 | 0,18 | 1,39 | 0,984 | 203,3 | 35 | 1,04 | 750 |
| 9 | 162 | 130 | 1,04 | 7,75 | 0,06 | 1,51 | 0,998 | 135 | 7,2 | 0,63 | 130 |
| 10 | 180 | | | | | | | | | | |

| A/A | α | $P_{\text{εσ}}$ | T | V_{ϕ} | I_{ϕ} | P_{ϕ} |
|-----|----------|-----------------|-------|------------|------------|------------|
| 1 | 18 | | | | | |
| 2 | 36 | | | | | |
| 3 | 54 | | | | | |
| 4 | 72 | 288,4 | 1,102 | 125 | 0,82 | 102,5 |
| 5 | 90 | 233,2 | 0,969 | 111 | 0,72 | 79,92 |
| 6 | 108 | 165,6 | 0,811 | 89,3 | 0,57 | 50,901 |
| 7 | 126 | 99,33 | 0,612 | 64 | 0,42 | 26,88 |
| 8 | 144 | 36,4 | 0,464 | 31,3 | 0,2 | 6,26 |
| 9 | 162 | 4,536 | 0,333 | 5,3 | 0,02 | 0,106 |
| 10 | 180 | | | | | |

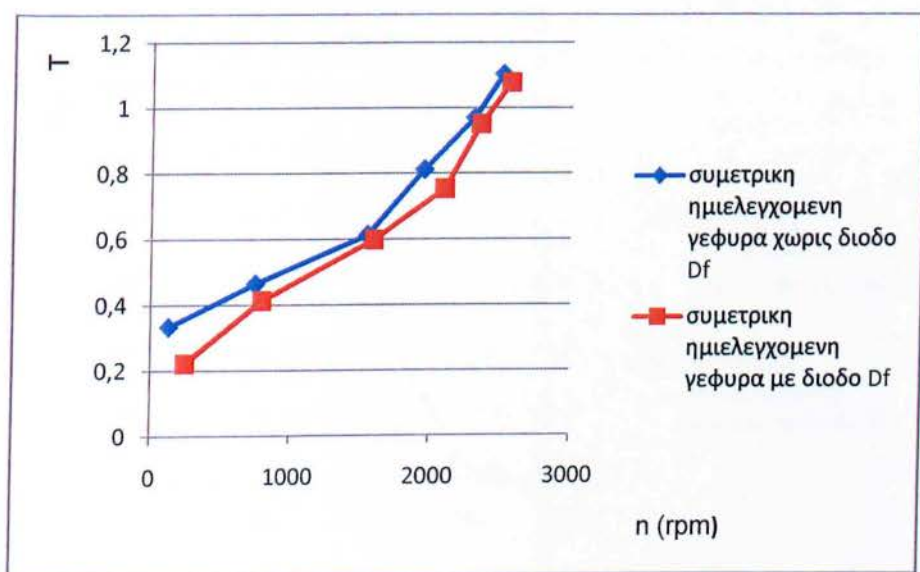
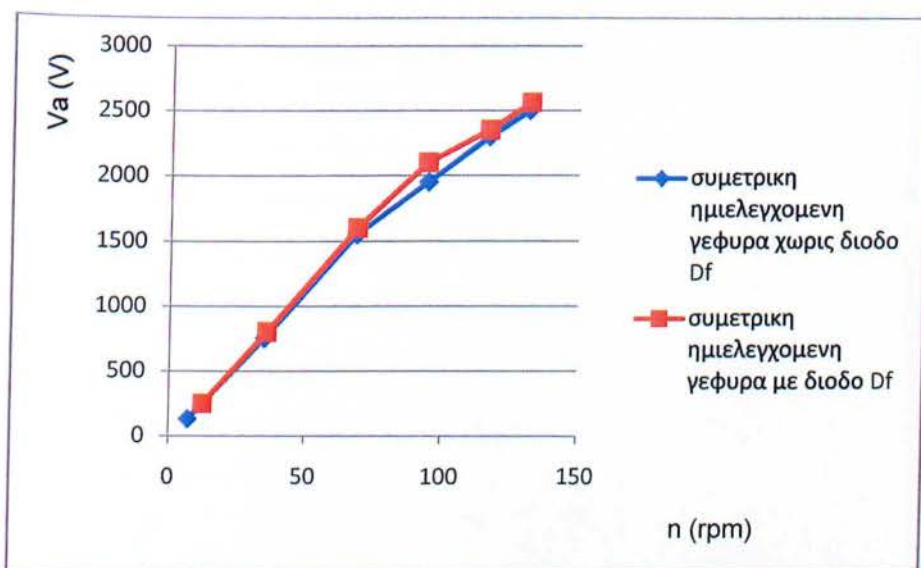
**ΣΥΜΕΤΡΙΚΗ ΗΜΙΕΛΕΓΧΟΜΕΝΗ ΓΕΦΥΡΑ
ΜΕ ΔΙΟΔΟ Df**

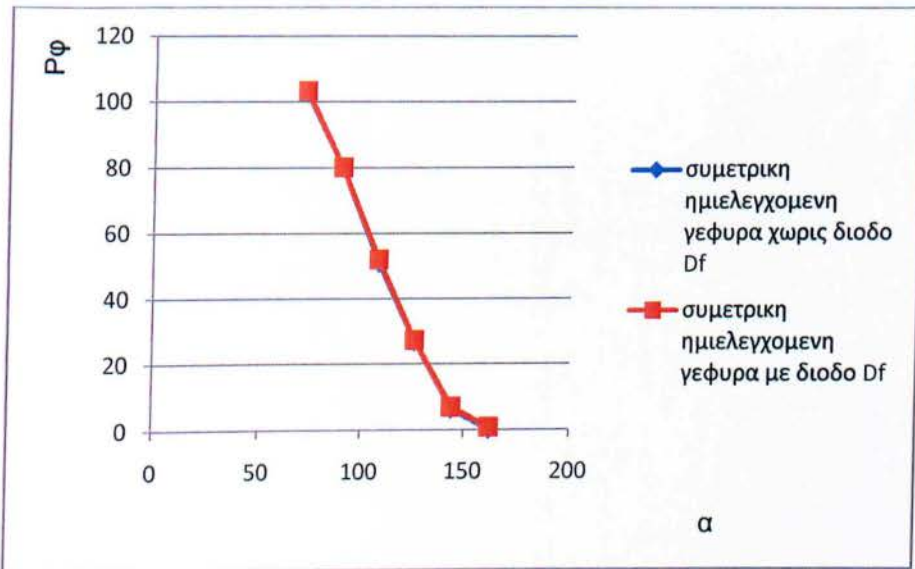
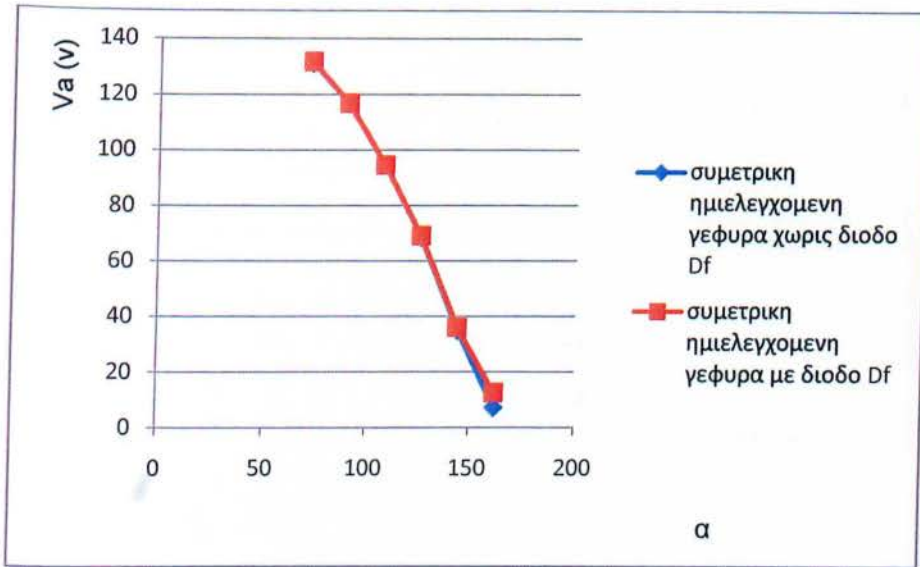
$V_i = 130 \text{ V}$ $R = 150 \Omega$

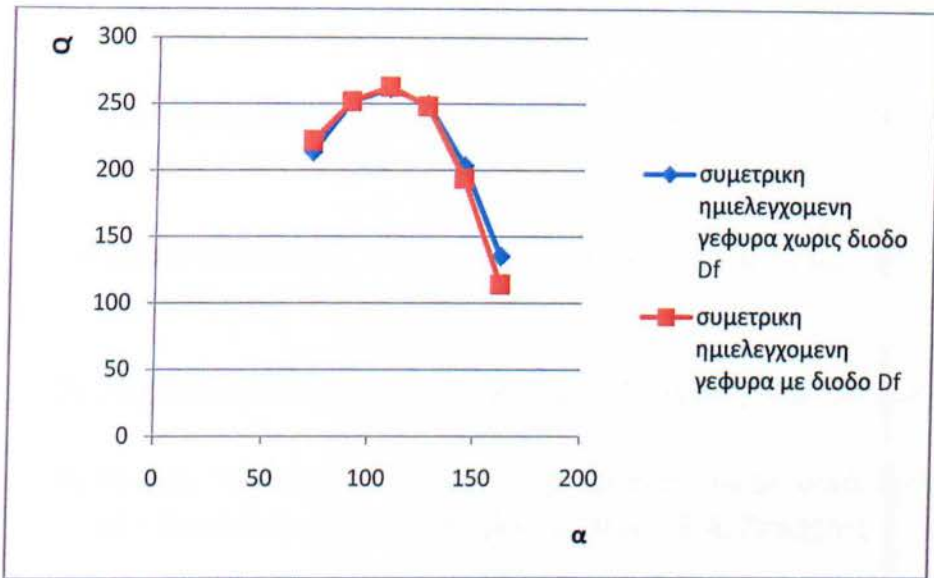
| A/A | α | V_i | I_i | P_i | $\cos\phi$ | Φ | $\sin\phi$ | Q | V_α | I_α | n (rpm) |
|-----|----------|-------|-------|-------|------------|--------|------------|-------|------------|------------|---------|
| 1 | 18 | | | | | | | | | | |
| 2 | 36 | | | | | | | | | | |
| 3 | 54 | | | | | | | | | | |
| 4 | 72 | 128 | 2,67 | 257 | 0,76 | 0,71 | 0,65 | 222,1 | 131,7 | 2,19 | 2560 |
| 5 | 90 | 128 | 2,56 | 211 | 0,64 | 0,88 | 0,768 | 251,8 | 116,8 | 2 | 2350 |
| 6 | 108 | 128 | 2,37 | 151 | 0,5 | 1,05 | 0,866 | 262,7 | 94,5 | 1,75 | 2100 |
| 7 | 126 | 129 | 2,06 | 94,6 | 0,36 | 1,2 | 0,933 | 247,9 | 69 | 1,45 | 1600 |
| 8 | 144 | 130 | 1,52 | 39 | 0,2 | 1,37 | 0,98 | 193,6 | 36 | 0,96 | 800 |
| 9 | 162 | 130 | 0,88 | 11 | 0,09 | 1,48 | 0,996 | 113,9 | 12,6 | 0,46 | 250 |
| 10 | 180 | | | | | | | | | | |

| A/A | α | $P_{\epsilon\sigma}$ | T | V_ϕ | I_ϕ | P_ϕ |
|-----|----------|----------------------|-------|----------|----------|----------|
| 1 | 18 | | | | | |
| 2 | 36 | | | | | |
| 3 | 54 | | | | | |
| 4 | 72 | 288,4 | 1,076 | 125,8 | 0,82 | 103,16 |
| 5 | 90 | 233,6 | 0,95 | 111,2 | 0,72 | 80,064 |
| 6 | 108 | 165,4 | 0,752 | 89,5 | 0,58 | 51,91 |
| 7 | 126 | 100,1 | 0,597 | 64,5 | 0,42 | 27,09 |
| 8 | 144 | 34,56 | 0,413 | 32,3 | 0,21 | 6,783 |
| 9 | 162 | 5,796 | 0,222 | 10,2 | 0,07 | 0,714 |
| 10 | 180 | | | | | |

Από τις παραπάνω μετρήσεις φτιάξαμε τις ακόλουθες κυματομορφές
 $n=f(V_\alpha)$ $V_\alpha=f(\alpha)$ $T=f(n)$ $P_\phi=f(\alpha)$ $Q=f(\alpha)$, χωρίς δίοδο και με δίοδο σε
 κοινούς άξονες







ΒΙΒΛΙΟΦΡΑΦΙΑ

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