

H/T
574

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



Α.Τ.Ε.Ι ΠΕΙΡΑΙΑ
ΣΤΕΦ
ΤΜΗΜΑ
ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ
ΠΛΗΡΩΣ ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΗΣ
ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ



ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΜΑΡΔΑΚΗΣ ΝΕΣΤΩΡ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο – ΔΙΟΔΟΣ	6
1.1 Γενικά στοιχεία	6
1.2 Πόλωση διόδου p-n	6
1.2.1 Ορθή πόλωση	7
1.2.2 Ανάστροφη πόλωση	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο – ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΟΔΟΥ ΓΙΑ ΑΝΟΡΘΩΣΕΙΣ	10
2.1 Γενικά	10
2.2 Ανόρθωση μισού κύματος (ημιανόρθωση)	11
2.3 Ανορθωτής πλήρους κύματος (διπλής ανόρθωσης)	13
2.4 Ανόρθωση με γέφυρα	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο - ΘΥΡΙΣΤΟΡ	18
3.1 Γενικά	18
3.2 Τρόποι μετάβασης ενός θυρίστορ	20
3.3 Ψύξη του θυρίστορ	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο - ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ	22
4.1 Γενικά	22
4.2 Δομή του διπολικού τρανζίστορ	22
4.3 Αναγνώριση ακροδεκτών τρανζίστορ	23
4.4 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ ΣΑΝ ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ	24
4.5 ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ. ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο - Ο ΤΕΛΕΣΤΙΚΟΣ ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ	27
5.1 Γενικά	27
5.2 Ο πραγματικός τελεστικός ενισχυτής	28
5.3 Λειτουργίες του τελεστικού ενισχυτή	30
5.3.1 Ο τελεστικός ενισχυτής ως ενισχυτής	30
5.3.2 Ο τελεστικός ενισχυτής ως συγκριτής	32
5.3.3 Ο τελεστικός ενισχυτής ως αθροιστής	33
5.3.4 Ο τελεστικός ενισχυτής ως ολοκληρωτής	36
5.4 Εξάρτηση του τελεστικού ενισχυτή από την συχνότητα	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο - Ο ΧΡΟΝΙΣΤΗΣ 555	40
6.1 Γενικά	40
6.2 Διάταξη ακροδεκτών IC 555	40
6.3 Χαρακτηριστικά του 555	41
6.4 Λειτουργία του 555 ως μονοσταθής πολυδονητής	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο - Ο ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ ΠΑΛΜΩΝ	43
7.1 Γενικά	43
7.2 Το κύκλωμα της έκτης βαθμίδας	43
7.2.1 Περιγραφή του κυκλώματος	44

7.2.2 Κύκλωμα προστασίας της πύλης	45
ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	47
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο - ΚΥΚΛΩΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ	48
1.1 Γενικά	48
1.2 Το τροφοδοτικό	64
1.2.1 Κυκλώματα σταθεροποίησης	66
1.3 Κατασκευή πλακέτας κυκλώματος πυροδότησης	68
1.4 Υλικά κατασκευής πλακετών κυκλώματος ελέγχου	70
1.4.1 Υλικά κατασκευής κυκλώματος πυροδότησης	70
1.4.2 Υλικά κατασκευής τροφοδοτικού	71
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο - ΚΥΚΛΩΜΑ ΙΣΧΥΟΣ	73
2.1 Το κύκλωμα ισχύος	73
2.1.1 Γενικά	73
2.1.2 Υλικά κατασκευής κυκλώματος ισχύος	74
2.2 Σύνδεση κυκλώματος ελέγχου	74
2.2.1 Σύνδεση τροφοδοτικού	74
2.2.2 Σύνδεση κυκλώματος πυροδότησης	75
2.3 Σύνδεση κυκλώματος ισχύος	75
2.4 Υλικά κατασκευής κουτιού κυκλώματος ελέγχου και ισχύος	76
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο – ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	77
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	78

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα ηλεκτρονικά ισχύος ασχολούνται με τη μετατροπή της ηλεκτρικής ισχύος από τη μία μορφή στην άλλη. Μία τέτοια μετατροπή είναι η μετατροπή της AC τάσης σε DC. Αυτή η μετατροπή γίνεται με ημιαγωγά στοιχεία ισχύος.

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία με τίτλο μελέτη και κατασκευή πλήρως ελεγχόμενης μονοφασικής γέφυρας, θα αναλύσουμε την λειτουργία της συγκεκριμένης διάταξης.

Η εργασία απαρτίζεται από το θεωρητικό και το κατασκευαστικό μέρος ενώ στο τέλος υπάρχει και σχετική βιβλιογραφία.

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο – ΔΙΟΔΟΣ

1.1 Γενικά στοιχεία

Στην ηλεκτρονική, η δίοδος είναι ένα στοιχείο που περιορίζει τη κατευθυντήρια ροή των φορέων αγωγιμότητας (charge carriers). Ουσιαστικά, η δίοδος επιτρέπει το ηλεκτρικό ρεύμα να περάσει από τη μια διεύθυνση, αλλά μπλοκάρει την κίνηση από την αντίθετη διεύθυνση. Έτσι, η δίοδος μπορεί να θεωρηθεί ως μια ηλεκτρονική εκδοχή της βαλβίδας. Τα κυκλώματα που απαιτούν ροή προς μία μόνο κατεύθυνση περιλαμβάνουν μία ή περισσότερες διόδους στη σχεδίαση του κυκλώματος. Οι πρώτες διόδους περιλάμβαναν κρυστάλλους *cat's whisker* και λυχνίες κενού. Σήμερα, οι περισσότερες διόδους είναι κατασκευασμένες από υλικά ημιαγωγών όπως πυρίτιο ή γερμάνιο.

Το σύμβολο της διόδου για σχηματικά διαγράμματα είναι το :

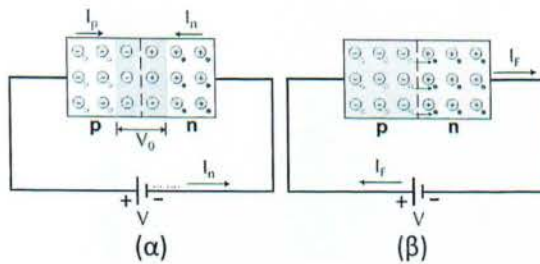


1.2 Πόλωση διόδου p-n

Ανάλογα με την σύνδεση εξωτερικής πηγής με τα άκρα της διόδου p-n διακρίνουμε δύο είδη πόλωσής της:

(α) Ορθή πόλωση (forward bias), όταν ο θετικός πόλος της εξωτερικής πηγής συνδέεται με το τμήμα p της διόδου (Σχ. 1).

(β) Ανάστροφη πόλωση (reverse bias), όταν ο θετικός πόλος της εξωτερικής πηγής συνδέεται με το τμήμα n της διόδου (Σχ. 7).



Σχήμα 1: Ορθή πόλωση διόδου p-n

1.2.1 Ορθή πόλωση

$$(\alpha) V < V_0, (\beta) V > V_0$$

Σημειώνεται κίνηση των φορέων (οπές και ηλεκτρόνια) σε κάθε τμήμα της διόδου προς την επαφή p-n.

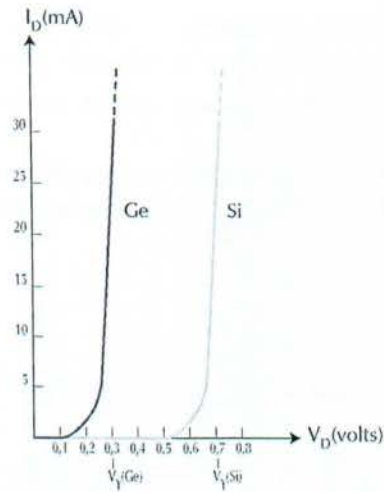
Με αύξηση της εξωτερικής τάσης, το μήκος της ζώνης απογύμνωσης βαθμιαία μειώνεται μέχρις ότου μηδενιστεί, οπότε ξεκινά ροή ρεύματος στο κύκλωμα προς μία κατεύθυνση.

Κατευθείαν ρεύμα ή ρεύμα ορθής φοράς ή ρεύμα διάχυσης (forward current) (I_f): Είναι το ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα και σημειώνεται με φορά αντίθετη προς τη φορά κίνησης των ηλεκτρονίων.

Ανάστροφο ρεύμα κόρου (I_0): είναι το ρεύμα που οφείλεται σε θερμική διέγερση του ημιαγωγού και λαμβάνει πολύ χαμηλή τιμή (μερικά μA).

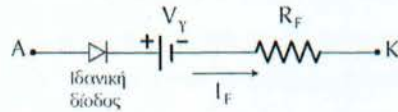
Ρεύμα εξωτερικού κυκλώματος (I_D): $I_D = I_f - I_0$.

Τάση γόνατος (V_γ): Είναι η τιμή της εξωτερικής τάσης, μετά την οποία αυτή αυξάνεται εκθετικά, βλ. Σχ. 2. Για το Ge λαμβάνει την τιμή 0.3V, ενώ για το Si την τιμή 0.7V.



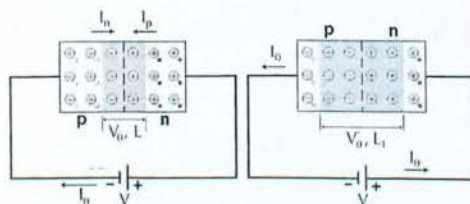
Σχήμα 2: Χαρακτηριστική καμπύλη V-I διόδου p-n σε ευθεία πόλωση

Η ορθά πολωμένη διάδος p-n λειτουργεί ως κλειστός διακόπτης και το αντίστοιχο ισοδύναμο κύκλωμά της φαίνεται στο Σχ. 3.



Σχήμα 3: Ισοδύναμο κύκλωμα διόδου p-n με ορθή πόλωση

1.2.2 Ανάστροφη πόλωση

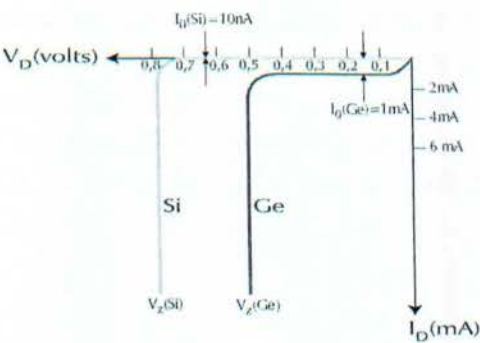


Σχήμα 4: Ανάστροφη πόλωση διόδου p-n: (α) $V < V_0$, (β) $V' > V_0$

Στην ανάστροφη πόλωση σημειώνεται κίνηση των φορέων (οπές και ηλεκτρόνια) σε κάθε τμήμα της διόδου προς τα άκρα αυτής (απομακρύνονται από την επαφή p-n).

Με αύξηση της εξωτερικής τάσης, το μήκος της ζώνης απογύμνωσης αυξάνεται συνεχώς ($L_1 > L$) και η δίοδος διαρρέεται από ένα πολύ μικρό ρεύμα (I_0), που ονομάζεται ανάστροφο ρεύμα κόρου (της τάξης των μA) και παραμένει σχεδόν σταθερό.

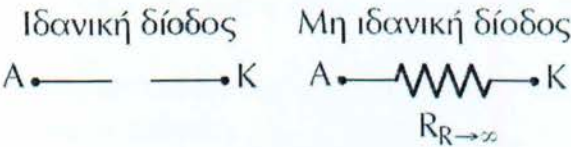
Το δυναμικό φραγμού αυξάνεται συνεχώς σύμφωνα με τη σχέση: $V_{V00V'} = +$.
Αντίθετα, η χωρητικότητα φραγμού μειώνεται στην τιμή: $T110SQLVV\Delta = \epsilon = +C$.



Σχήμα 5: Χαρακτηριστική καμπύλη V-I διόδου p-n σε ανάστροφη πόλωση

Όταν η εξωτερική τάση φθάσει μια ορισμένη τιμή (V_z) που λέγεται τάση διάσπασης ή τάση Zener, παρατηρείται ραγδαία αύξηση του ρεύματος. Το φαινόμενο καλείται κατάρρευση της διόδου. Στο Σχ. 5 παρουσιάζεται η χαρακτηριστική καμπύλη V-I της διόδου σε ανάστροφη πόλωση.

Η ανάστροφα πολωμένη δίοδος p-n αντιμετωπίζεται σε κύκλωμα ως ανοικτός διακόπτης (ιδανική δίοδος) ή ως πολύ μεγάλη αντίσταση (μη ιδανική δίοδος), βλ. Σχ.6

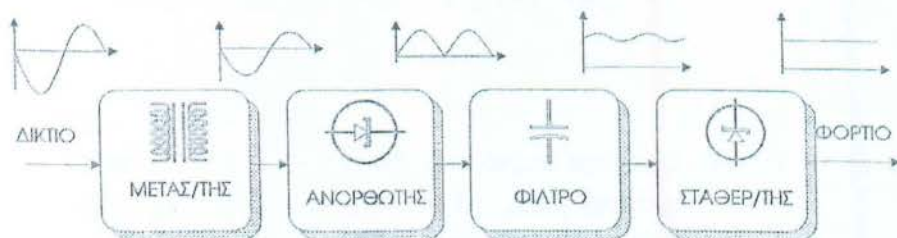


Σχήμα 6

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο – ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΟΔΟΥ ΓΙΑ ΑΝΟΡΘΩΣΕΙΣ

2.1 Γενικά

Ανόρθωση λέμε τη μετατροπή της εναλλασσόμενης τάσης σε συνεχή. Η μετατροπή αυτή είναι απαραίτητη γιατί τα περισσότερα ηλεκτρονικά κυκλώματα, για την τροφοδότησή τους χρειάζονται συνεχής τάση. Οι συσκευές που παρέχουν συνεχή τάση ονομάζονται τροφοδοτικά. Οι βασικές βαθμίδες ενός τροφοδοτικού, είναι οι παρακάτω (Σχ.1):



Σχ.1:Μπλοκ διάγραμμα τροφοδοτικού

- Ο Μ/Τ μετατρέπει την Α.Σ. τάση σύμφωνα με τις απαιτήσεις της Δ.Σ. τάσης εξόδου και ταυτόχρονα απομονώνει το κύκλωμα (ή τη συσκευή) από τη φάση του δικτύου για την αποφυγή ηλεκτροπληξίας.
- Ο ανορθωτής μετατρέπει την εναλλασσόμενη τάση σε συνεχή μεταβαλλόμενη ή παλμική.
- Φίλτρα είναι συνδυασμοί αντιστάσεων, πυκνωτών και πηνίων με σκοπό την απομάκρυνση όλων των εναλλασσόμενων συνιστωσών της συνεχούς της συνεχούς μεταβαλλόμενης τάσης από τη συνεχή συνιστώσα, για τη μείωσή της κυμάτωσης και την ταυτόχρονη αύξηση του βαθμού απόδοσης.
- Σταθεροποιητής είναι ειδικό κύκλωμα που σκοπεύει να διατηρεί την τάση στην κατανάλωση σταθερή ανεξάρτητα από τη μεταβολή στην τάση του δικτύου ή του ρεύματος κατανάλωσης.

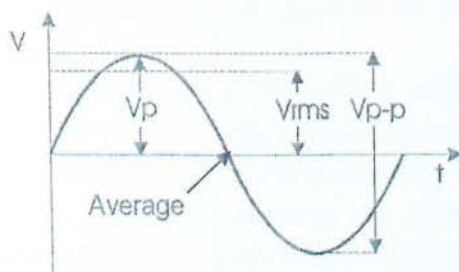
Στην άσκηση αυτή θα μελετήσουμε τον ανορθωτή μισού και πλήρους κύματος.

2.2 Ανόρθωση μισού κύματος (ημιανόρθωση)

- Ημιανόρθωση λέμε τη διαδικασία εκμετάλλευσης του ενός παλμού για κάθε πλήρη εναλλαγή της πηγής. Βασικό κύκλωμα ημιανόρθωσης φαίνεται στο Σχ.2α . Το κύκλωμα αυτό αποτελείται από ένα M/T ~T~ που μετατρέπει την τάση του δικτύου στην επιθυμητή τάση για ανόρθωση, από μια δίοδο D και μια αντίσταση φορτίου σε σειρά (RB).

Σημείωση:

- Το παρακάτω εναλλασσόμενο σήμα εισόδου δείχνει τις τάσεις κορυφής (Peak), ενεργό (r.m.s.), μέση (average), από κορυφή σε κορυφή (Peak to Peak) και δίπλα του οι αντίστοιχες μαθηματικές σχέσεις.



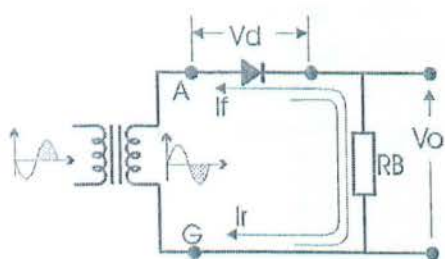
$$V_p = 1,41 \cdot V_{rms}$$

$$V_{rms} = 0,707 \cdot V_p$$

$$V_{avg} = 0$$

Λειτουργία κυκλώματος:

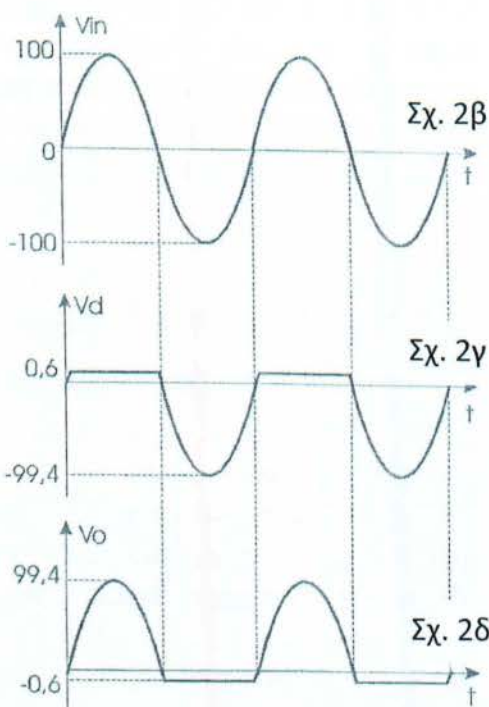
Κατά τη διάρκεια της θετικής εναλλαγής του σήματος εισόδου Σχ.2α,β. η πολικότητα στο σημείο A είναι θετική σε σχέση με το G (ή η άνοδος είναι θετική ως προς την κάθοδο στην δίοδο D). Έτσι η δίοδος είναι πολωμένη ορθά και άγει για όσον χρόνο η εφαρμοζόμενη τάση είναι αρκετά μεγάλη, ώστε να υπερνικήσει το φράγμα δυναμικού της διόδου (0,6V για δίοδο Si). Η εναλλαγή αυτή προκαλεί ροή ρεύματος μέσω της RB και διόδου.



Σχ.2α
Βασικό κύκλωμα

I_f : Ρεύμα ορθής φοράς

I_r : Ανάστροφο ρεύμα



Εφ' όσον η διάδος άγει, έχει χαμηλή αντίσταση και το μεγαλύτερο μέρος της τάσης θα εφαρμοστεί στ' άκρα της R_B όπως φαίνεται στις μορφές Σχ.2γ,δ.

Αυξανόμενη της τάσης εισόδου από 0 στα 100V και πάλι 0, η τάση εξόδου στ' άκρα της R_B ακολουθεί την ίδια σχεδόν πορεία.

Η μόνη απώλεια είναι η μικρή πτώση τάσης στα άκρα της διόδου D Σχ.2γ. Κατά την διάρκεια της αρνητικής εναλλαγής του σήματος εισόδου Σχ.2α,β, η πολικότητα αναστρέφεται και το σημείο A γίνεται αρνητικό σε σχέση με το G. Έτσι η διάδος είναι ανάστροφα πολωμένη και δεν άγει σε όλη τη διάρκεια της αρνητικής εναλλαγής. Ροή ρεύματος δεν υπάρχει στο κύκλωμα για να προκαλέσει τάση στα άκρα της R_B . Πάντως παράγεται μια μικρή πτώση τάσης αντίθετης πολικότητας στ' άκρα της R_B (από τους φορείς μειοψηφίας) που θεωρείται αμελητέα.

Στ' άκρα της διόδου κατά τη διάρκειας της αρνητικής εναλλαγής εμφανίζεται σχεδόν ολόκληρη η τάση εισόδου λόγω της μεγάλης ανάστροφης αντίστασης της διόδου, η τάση αυτή ονομάζεται μέγιστη ανάστροφη τάση (PIV) της διόδου Σχ.2γ. Για την εκλογή μιας

διόδου πρέπει $P_{IV} \geq P_{peak}$. Παρατηρούμε (Σχ.2δ), ότι η μορφή της τάσης εξόδου είναι ένα παλμογράφημα d.c., ή συνεχής μεταβαλλόμενη τάση (συνδυασμός μιας συνεχούς συνιστώσας και σύνθετης εναλλασσόμενης). Εάν η V_o μετρηθεί με βολτόμετρο d.c., η ένδειξη είναι η μέση τιμή των παλμών. Έτσι για ημιανόρθωση με RB έχουμε:

$$V_{o_{DC}} = \frac{V_{pk}}{\pi} = 0.318 V_{pk} \Rightarrow V_{o_{DC}} \cong 0.45 V_{rms}$$

(όπου $V_{rms} = V_{rms}$ δευτερεύοντος)

Η εναλλασσόμενη συνιστώσα της $V_{o,dc}$ είναι γνωστή ως κυμάτωση. Η συχνότητα της εναλλασσόμενης συνιστώσας ορίζεται ως συχνότητα κυμάτωσης (f_c). Για κύκλωμα ημιανόρθωσης $f_c = f_{εισόδου}$. Η μέθοδος ανόρθωσης μισού κύματος παρουσιάζει τρία βασικά ελαττώματα :

- i. Η μέση τιμή της τάσης εξόδου ($V_{o,dc}$) είναι χαμηλή, δηλ. μικρή εκμετάλλευση της A.C. τάσης. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι το μισό χρόνο εργασίας του κυκλώματος, η τάση εξόδου είναι μηδέν.
- ii. Είναι απαραίτητη η χρήση μεγάλου φίλτρου, για να εξασφαλιστεί μικρή κυμάτωση.
- iii. Η μέγιστη ανάστροφη τάση που εμφανίζεται στ' άκρα της διόδου είναι διπλάσια της τάσης που εμφανίζεται στο φορτίο RB, αρκεί να συνδεθεί παράλληλα πυκνωτής με φορτίο RB.

2.3 Ανόρθωτης πλήρους κύματος (διπλής ανόρθωσης)

Τα βασικά ελαττώματα της ημιανόρθωσης επέβαλαν την πλήρη ανόρθωση δηλ. την εκμετάλλευση και των δύο εναλλαγών της πηγής.

Διπλή ανόρθωση με δύο ανορθωτές

Βασικό κύκλωμα διπλού ανορθωτή φαίνεται στο Σχ.3α. Περιέχει M/T ~T~ με μεσαία λήψη, δύο ανορθωτές D1 και D2 και ένα φορτίο RB.

Σημείωση:

Εάν στο πρωτεύον του M/T εφαρμοστεί τάση δικτύου 220 V(rms), Σχ.3β, τότε στο δευτερεύον του και μεταξύ των σημείων A & B λαμβάνεται τάση 100 V(rms) της μορφής του Σχ.3γ (λόγος σπειρών 2,2:1). Λόγω μεσαίας λήψης M/T, η τάση των 100 V(rms) μοιράζεται σε δύο ίσες τάσεις των 50 V(rms) με μορφές που φαίνονται και στο δευτερεύον τύλιγμα του M/T.

Λειτουργία κυκλώματος:

Κατά την διάρκεια της θετικής εναλλαγής στο δευτερεύον του M/T, το σημείο A είναι θετικό σε σχέση με το B. Τότε το A είναι θετικότερο του Γ και το B αρνητικότερο του Γ. Έτσι η διόδος D1 είναι πολωμένη ορθά και άγει. Τότε προκαλείται ροή ρεύματος στο κύκλωμα, από τη μεσαία λήψη προς RB-D1-A, όπως φαίνεται στο Σχ.3α, με κυματομορφή τάσης στα άκρα της RB ίδια με την τάση που την προκάλεσε μείον την πτώση τάσης στα άκρα της διόδου D1, Σχ.3δ,στ. Σ' όλη αυτή τη διάρκεια η διόδος D2 είναι πολωμένη ανάστροφα και δεν άγει.

Όταν τελειώσει η θετική εναλλαγή και αρχίσει η αρνητική, οι πολικότητες του δευτερεύοντος αλλάζουν Σχ.3α,γ. Τώρα η D1 πολώνεται ανάστροφα, ενώ η D2 ορθά. Έτσι έχουμε ροή ρεύματος στο κύκλωμα, από μεσαία λήψη προς RL-D2-B (Σχ.3α), που προκαλεί κυματομορφή στα άκρα της RB πανομοιότυπη με την προηγούμενη θετική εναλλαγή (Σχ.3στ), λόγω της ίδιας ροής ρεύματος δια της RB. Η κυματομορφή εξόδου που αναπτύσσεται στην RB κατά την διπλή ανόρθωση φαίνεται στο Σχ.3στ. Η μέση τιμή είναι :

$$V_{O_{DC}} = 2 \cdot \frac{V_{pk}}{\pi} = 0.637 V_{pk} \Rightarrow V_{O_{DC}} \cong 0.45 V_{rms}$$

(όπου $V_{rms} = V_{rms}$ δευτερεύοντος)

Δηλ. η $V_{O_{dc}}$ είναι διπλάσια της ημιανόρθωσης. Η μέγιστη ανάστροφη τάση (PIV) στ' άκρα κάθε διόδου D1, D2 όταν δεν άγουν

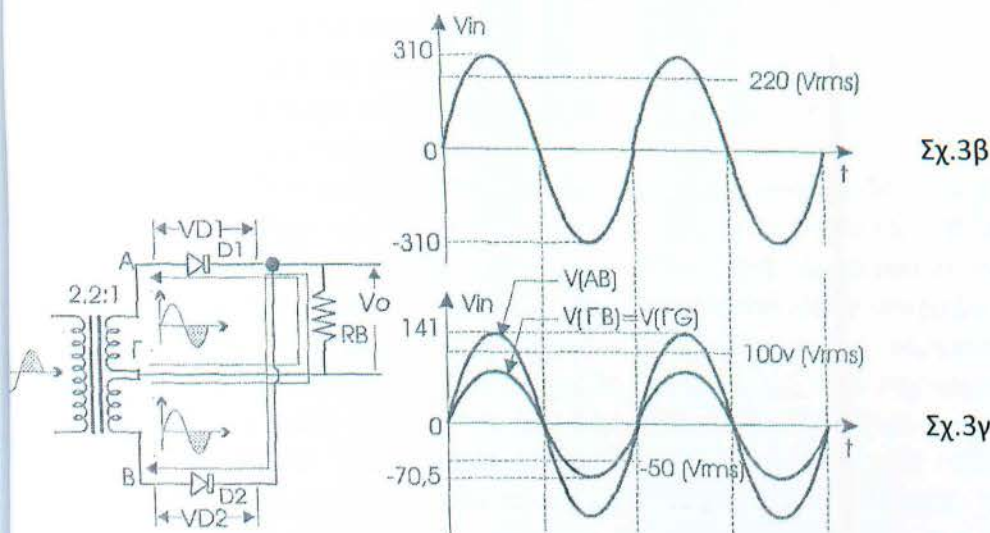
είναι κάθε φορά ίση με τη μέγιστη τάση όλου του δευτερεύοντος μείον 0,6, ή διπλάσια από εκείνη του φορτίου π.χ. για το Σχ.3α :

$$PIV = (2 \cdot 50 \cdot 1,41) - 0,6 = 140,4 \text{ Volts}$$

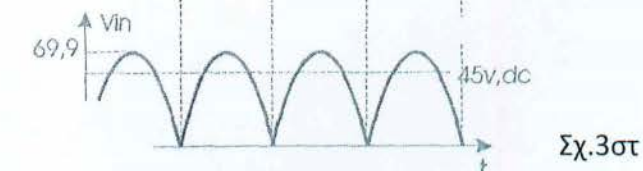
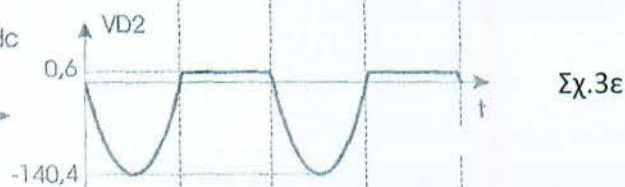
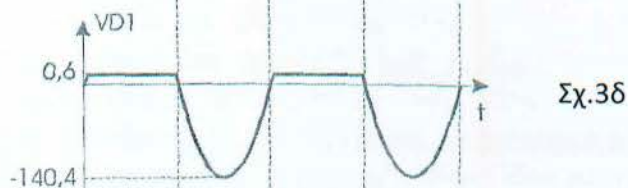
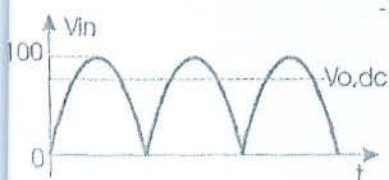
Η συχνότητα κυμάτωσης (f_c):

Στην διπλή ανόρθωση είναι διπλάσια της συχνότητας της τάσης εισόδου, γιατί για μια περίοδο του σήματος εισόδου έχουμε δύο παλμούς εξόδου $f_c = 2 \cdot f_{\text{εισόδου}}$. Και ο τρόπος της διπλής ανόρθωσης παρουσιάζει δύο βασικά ελαττώματα :

- i. Χρειάζεται M/T με μεσαία λήψη και στο φορτίο εμφανίζεται η μισή τάση του δευτερεύοντος. Επίσης όταν απαιτείται υψηλή τάση στο δευτερεύον τύλιγμα του M/T δημιουργείται το πρόβλημα του όγκου και του κόστους στο M/T (πολλές σπείρες στο δευτερεύον τύλιγμα).
- ii. Η μέγιστη ανάστροφη τάση στις διόδους είναι διπλάσια από εκείνη του φορτίου.



Σχήμα 3α
Βασικό κύκλωμα
διπλής ανόρθωσης



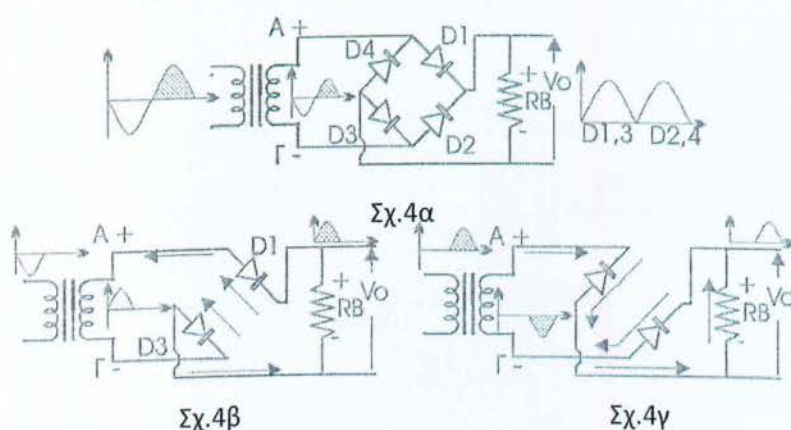
2.4 Ανόρθωση με γέφυρα

Τα προηγούμενα ελαττώματα ξεπεράστηκαν στη διπλή ανόρθωση με γέφυρα. Βασικό κύκλωμα ανορθωτή γέφυρας φαίνεται στο Σχ.4α. Περιέχει Μ/Τ «Τ», 4 ανορθωτές και ένα φορτίο R_B .

Λειτουργία κυκλώματος :

Κατά τη θετική εναλλαγή στο δευτερεύον, το σημείο A είναι θετικότερο από το G. Οι δίοδοι D1, D3 πολώνονται ορθά και άγουν, ενώ οι δίοδοι D2, D4 δεν άγουν.

Έτσι προκαλείται ροή ρεύματος στο κύκλωμα όπως δείχνεται με τα βέλη στο Σχ.4β και παλμός εξόδου στα άκρα της RB. Κατά την αρνητική εναλλαγή, η πολικότητα στο δευτερεύον του Μ/Τ αντιστρέφεται, οι δίοδοι D1, D3 πολώνονται ανάστροφα και δεν άγουν, ενώ οι D2, D4 άγουν. Τότε έχουμε ροή ρεύματος, όπως δείχνεται με τα βέλη στο Σχ.4γ και παλμό εξόδου στα άκρα της RB. Για κάθε εναλλαγή η ροή ρεύματος είναι ίδια, έτσι και ο παλμός εξόδου δεν αλλάζει φορά. Το πλάτος του παλμού εξόδου είναι μειωμένο κατά 1,2V στους δυο αγώγιμους ανορθωτές. Εάν είναι αμελητέα η μικρή αυτή τάση, θεωρούνται οι δίοδοι που άγουν ως βραχυκυκλώματα. Ενώ οι δίοδοι που δεν άγουν συνδέονται παράλληλα στο δευτερεύον του Μ/Τ. Άρα η μέγιστη ανάστροφη τάση (PIV) κάθε διόδου είναι ίση με την τάση κορυφής του δευτερεύοντος τυλίγματος. Η μέση τιμή της κυματομορφής εξόδου ($V_{O,dc}$) και η συχνότητα κυματώσεως (f_c) είναι ίδια με τους δύο ανορθωτές.

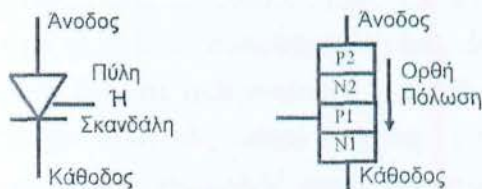


ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο - ΘΥΡΙΣΤΟΡ

3.1 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 κανονικοποιήσουν ή 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.



Σχήμα 1

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

1.Κατάσταση διέλευσης (Conduction state) :Το θυρίστορ βρίσκεται σε κατάσταση αγωγής.

2.Κατάσταση θετικής αποκοπής (Forward blocking state):Το θυρίστορ είναι θετικά πολωμένο, αλλά βρίσκεται σε κατάσταση αποκοπής. Αν δοθεί παλμός έναυσης στο θυρίστορ τότε μεταβαίνει στην κατάσταση διέλευσης.

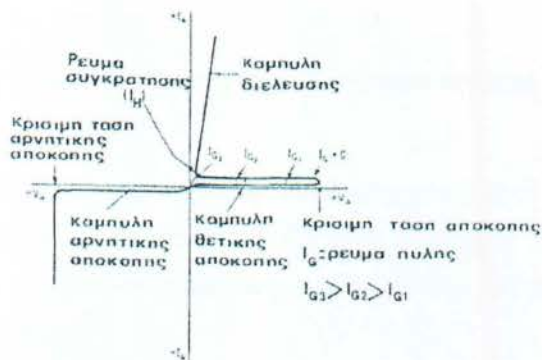
3.Κατάσταση αρνητικής αποκοπής (Reverse blocking state):Το θυρίστορ μεταβαίνει στην κατάσταση αυτή, όταν μια αρνητική τάση εφαρμοσθεί μεταξύ ανόδου και καθόδου.

Για παράδειγμα αν το θυρίστορ βρίσκεται στην κατάσταση διέλευσης και εφαρμοσθεί μια αρνητική τάση μεταξύ ανόδου και καθόδου, τότε το θυρίστορ μεταβαίνει στην κατάσταση αρνητικής αποκοπής και επιτυγχάνεται η σβέση του.

Αν η τάση μεταξύ ανόδου και καθόδου με θετική πόλωση φτάσει την οριακή τιμή, δηλαδή την "κρίσιμη τάση αποκοπής" τότε το θυρίστορ μεταβαίνει από την κατάσταση θετικής αποκοπής στην κατάσταση διέλευσης χωρίς να δοθεί παλμός έναυσης.

Επίσης αν η τάση ανόδου στην περιοχή της αρνητικής αποκοπής υπερβεί ένα όριο, το θυρίστορ χάνει την ιδιότητα αποκοπής και το ρεύμα I_A αποκτά μεγάλες τιμές, με αποτέλεσμα την καταστροφή του θυρίστορ. Το όριο αυτό της τάσης ονομάζεται "τάση διάσπασης". Αν επιπρόσθετα εφαρμοσθεί ένας παλμός έναυσης I_g στο θυρίστορ, τότε η τιμή της κρίσιμης τάσης αποκοπής, κάτω από την οποία γίνεται η μετάβαση από την κατάσταση αποκοπής στην κατάσταση διέλευσης, εξαρτάται από το μέγεθος του ρεύματος ελέγχου I_g . Όσο μεγαλύτερος είναι ο παλμός ρεύματος I_g τόσο μικρότερη είναι και η κρίσιμη τάση αποκοπής.

Όλα τα παραπάνω φαίνονται στην χαρακτηριστική καμπύλη τάσης-ρεύματος που ακολουθεί (σχήμα 2):



Σχήμα 2

3.2 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 (Load commutation)

β) μετάβαση λόγω της πηγής εισόδου (Line commutation)

2. Εξαναγκασμένη μετάβαση, η οποία υποδιαιρείται στη:

α) μετάβαση με παλμό ρεύματος (Forced impulse current commutation)

β) μετάβαση με παλμό έναυσης (Forced impulse voltage commutation)

3.3 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 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, thermal resistance from junction to case, °C/W.

R_{CS} = θερμική αντίσταση από τη θήκη στον απαγωγέα θερμότητας, thermal resistance from case to sink, °C/W.

R_{SA} = θερμική αντίσταση από τον απαγωγέα θερμότητας στο περιβάλλον, thermal resistance from sink to ambient, °C/W.

T_A = θερμοκρασία περιβάλλοντος, °C.

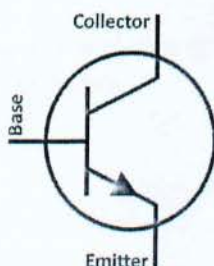
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο - ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ

4.1 Γενικά

Το τρανζίστορ (transistor), ελλ. κρυσταλλοτρίοδος και (παλαιότερα) κρυσταλλολυχνία) είναι διάταξη ημιαγωγών στερεάς κατάστασης, η οποία βρίσκει διάφορες εφαρμογές στην ηλεκτρονική, μερικές εκ των οποίων είναι η ενίσχυση, η σταθεροποίηση τάσης, η διαμόρφωση συχνότητας, η λειτουργία ως διακόπτης και ως μεταβλητή ωμική αντίσταση. Το τρανζίστορ μπορεί, ανάλογα με την τάση με την οποία πολώνεται, να ρυθμίζει την ροή του ηλεκτρικού ρεύματος που απορροφά από συνδεδεμένη πηγή τάσης. Τα τρανζίστορ κατασκευάζονται είτε ως ξεχωριστά ηλεκτρονικά εξαρτήματα είτε ως τμήματα κάποιου ολοκληρωμένου κυκλώματος.

4.2 Δομή του διπολικού τρανζίστορ

Το διπολικό τρανζίστορ είναι ένας κρύσταλλος με τρεις εμπλουτισμένες περιοχές, με άλλα λόγια, αποτελείται από τρία διαδοχικά εναλλασσόμενα στρώματα ημιαγωγού υλικού. Μπορεί να παρομοιαστεί με ένα "σάντουιτς" του οποίου το ενδιάμεσο υλικό είναι είτε τύπου $-n$ (τρανζίστορ τύπου $-pnp$) ή τύπου $-p$ (τρανζίστορ τύπου $-npn$). Οι τρεις περιοχές του τρανζίστορ αναφέρονται ως εκπομπός (E), βάση (B) και συλλέκτης (C). Ο εκπομπός είναι μια έντονα εμπλουτισμένη περιοχή που προορισμός της είναι να εκπέμπει τους φορείς ηλεκτρισμού (π.χ. ηλεκτρόνια, στην περίπτωση του τρανζίστορ τύπου $-npn$) προς τη βάση.



Σχήμα 1

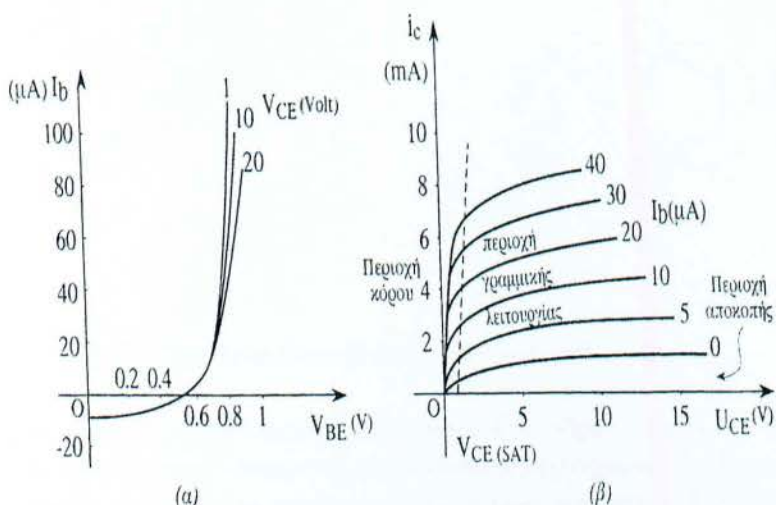
4.3 Αναγνώριση ακροδεκτών τρανζίστορ

Τα τρανζίστορ είναι γνωστό ότι έχουν τρεις ακροδέκτες που αντιστοιχούν στον εκπομπό, τη βάση και το συλλέκτη. Υπάρχουν μερικοί γενικοί κανόνες για το συμβολισμό των ακροδεκτών των τρανζίστορ που θα αναφέρουμε, αλλά επειδή ο αριθμός των τρανζίστορ που κυκλοφορούν στην αγορά είναι μεγάλος υπάρχει ένα βιβλίο αντιστοιχιών που περιέχει τα χαρακτηριστικά και τη θέση των ακροδεκτών πάνω στο κέλυφος (Data book). Μπορούμε να ξέρουμε όμως τη θέση των ακροδεκτών από την εξωτερική εμφάνιση των τρανζίστορ. Έτσι αυτά μπορούν να :

Α) Έχουν μία τελεία στο σώμα τους. Η τελεία αυτή δείχνει τον ακροδέκτη του συλλέκτη, οπότε ο πιο μακρινός ακροδέκτης είναι ο εκπομπός και στη μέση η βάση.

Β) Έχουν μια προεξοχή στο σώμα τους. Η προεξοχή αυτή δείχνει τον ακροδέκτη του εκπομπού, οπότε ο πιο μακρινός ακροδέκτης είναι ο συλλέκτης και στη μέση η βάση.

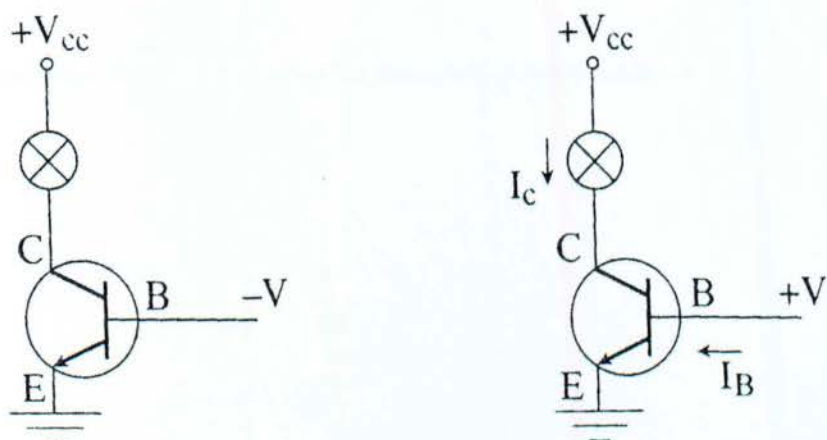
Γ) Στα τρανζίστορ ισχύος το μεταλλικό περίβλημα είναι πάντα ο συλλέκτης και οι δύο ακροδέκτες ο εκπομπός και η βάση. Αυτοί αν δε γράφουν τίποτα (συνήθως υπάρχουν τα σύμβολα E, B), μπορούμε με ένα ωμόμετρο να βρούμε τη βάση.



Σχήμα 2. Χαρακτηριστικές εισόδου (α) και εξόδου (β) για συνδεσμολογία κοινού εκπομπού.

4.4 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ ΣΑΝ ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ

Ο διακόπτης είναι εξάρτημα που έχει δύο καταστάσεις λειτουργίας την ανοικτή και την κλειστή. Όταν είναι ανοικτός (εκτός, OFF) έχει εξαιρετικά υψηλή (άπειρη) αντίσταση, ενώ όταν είναι κλειστός (αγώγιμος, εντός, ON) έχει εξαιρετικά χαμηλή αντίσταση. Ένας συμβατικός διακόπτης απαιτεί μηχανική ενέργεια για την αλλαγή από την μία κατάσταση στην άλλη. Ένα ρελαί (ηλεκτρονόμος) είναι διακόπτης που χρησιμοποιεί ηλεκτρομαγνητική ενέργεια για την παροχή της κίνησης από τη μία κατάσταση στην άλλη. Το ρελαί και ο συμβατικός διακόπτης έχουν πολλά μειονεκτήματα όπως: Υπάρχει εκκένωση τόξου μεταξύ των επαφών, η αναπήδηση των επαφών, η φυσική φθορά στα κινούμενα μέρη και ο σχετικά αργός χρόνος λειτουργίας.

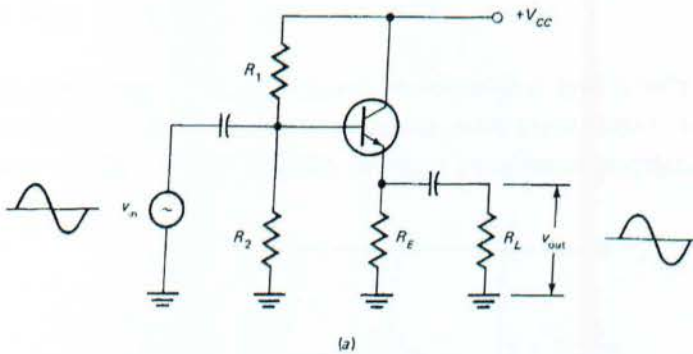


Σχήμα 3 . Διακοπτική λειτουργία του τρανζίστορ

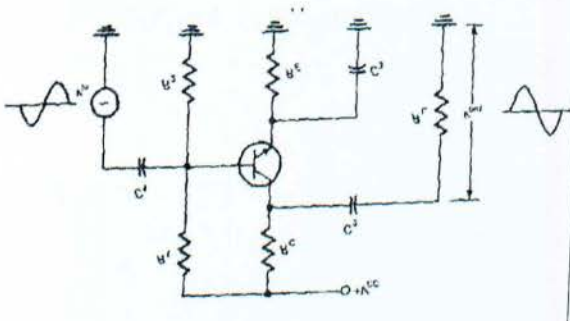
Τα εξαρτήματα στερεάς κατάστασης (ημιαγωγικά) δεν παρουσιάζουν αυτά τα μειονεκτήματα όταν χρησιμοποιούνται σε διακοπτική εφαρμογή. Τα διπολικά τρανζίστορ επαφής μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν διακόπτες. Στο σχήμα 3 δίνεται ένα κύκλωμα ελέγχου μιας λάμπας. Η αντίσταση μεταξύ συλλέκτη C και εκπομπού E είναι συνάρτηση του ορθού ρεύματος μεταξύ βάσης B και εκπομπού E. Χωρίς ρεύμα μεταξύ βάσης και εκπομπού (ανάστροφη πόλωση) η αντίσταση συλλέκτη εκπομπού είναι πολύ υψηλή, οπότε η λάμπα παραμένει σβηστή. Με την εφαρμογή μιας θετικής τάσης στη βάση, θα προκληθεί ένα μικρό ρεύμα μεταξύ βάσης και εκπομπού (ορθή πόλωση), το τρανζίστορ θα άγει και η λάμπα θα ανάβει. Αν αφαιρεθεί η ορθή πόλωση, τότε η αντίσταση συλλέκτη-εκπομπού γίνεται πάλι πολύ υψηλή και η λάμπα διακόπτεται ξανά.

4.5 ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ. ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ

Η συνδεσμολογία κοινού συλλέκτη (CC), που είναι περισσότερο γνωστή με τον όρο ακόλουθος εκπομπού (emitter follower), έχει το συλλέκτη γειωμένο στο ac μέσω της πηγής τροφοδοσίας. (σχήμα 4). Το σήμα εισόδου οδηγεί τη βάση και η έξοδος λαμβάνεται από τον εκπομπό.



Σχήμα 4. Συνδεσμολογία ακόλουθου εκπομπού (κοινού συλλέκτη).



Σχήμα 5. Ενισχυτής κοινού εκπομπού.

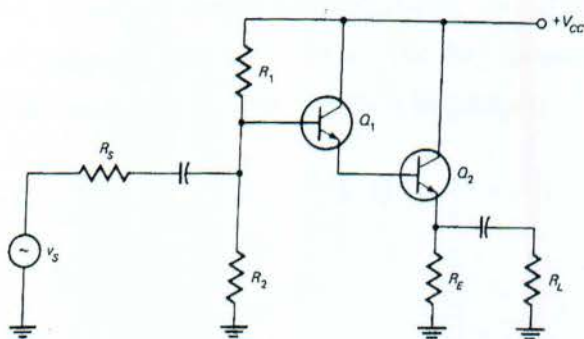
Το κέρδος τάσης του ακόλουθου εκπομπού είναι ίσο ή μικρότερο από τη μονάδα, ενώ το σήμα εξόδου βρίσκεται σε φάση με το σήμα εισόδου. Εξαιτίας της ενίσχυσης του ρεύματος, η σύνθετη αντίσταση εισόδου, που φαίνεται από τη βάση του transistor, είναι πολύ μεγάλη. Ένα άλλο πλεονέκτημα του ακόλουθου εκπομπού είναι η μικρή παραμόρφωση του ac σήματος.

Ο ενισχυτής κοινού εκπομπού (CE) που φαίνεται στο σχήμα 5 δίνει το σήμα στην έξοδο ανεστραμμένο. Η έξοδος παίρνεται από τον συλλέκτη ενώ ο εκπομπός είναι

γειωμένος. Η σύνθετη αντίσταση εξόδου του ενισχυτή CE είναι περίπου ίση με την αντίσταση συλλέκτη R_c . Αν η αντίσταση αυτή είναι μεγάλη συγκρινόμενη με την αντίσταση φορτίου R_L , το μεγαλύτερο μέρος της τάσης πέφτει στην αντίσταση εξόδου.

Ο ενισχυτής Darlington είναι ένα κύκλωμα, που σχηματίζεται από ακολουθητές εκπομπού συνδεδεμένους σε καταρράκτη (Σχήμα 6). Το ολικό κέρδος τάσης πλησιάζει τη μονάδα και η σύνθετη αντίσταση εισόδου είναι πάρα πολύ μεγάλη. Το ολικό ac βήτα του ζεύγους Darlington είναι ίσο με το γινόμενο των ac βήτα κάθε transistor, έτσι, το ενεργό βήτα του ζεύγους είναι πάρα πολύ μεγάλο.

Ο ακόλουθος Zener (Zener follower): είναι ο συνδυασμός ενός σταθεροποιητή Zener κι ενός ακόλουθου εκπομπού. Το κύκλωμα αυτό είναι ικανό να διατηρεί σταθερή την τάση εξόδου για μια μεγάλη περιοχή ρευμάτων φορτίου.



Σχήμα 6. Ζεύγη Darlington.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο - Ο ΤΕΛΕΣΤΙΚΟΣ ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ

5.1 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 (v_i) είναι η διαφορά:

$$v_i = v_+ - v_- \quad (5.1)$$

Η τάση εξόδου v_o είναι:

$$v_o = A v_i \quad (5.2)$$

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 ($+v_{οκ}$) και μια

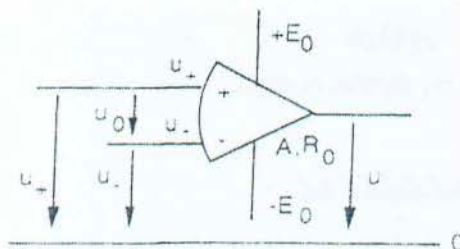
μέγιστη αρνητική τάση εξόδου που ονομάζεται αρνητική τάση κόρου ($-v_{οκ}$). Οι δύο αυτές τιμές αντιστοιχούν σε μια μέγιστη επιτρεπτή τάση εισόδου, που πάνω από αυτήν το σήμα στην έξοδο εμφανίζεται παραμορφωμένο.

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.

5.2 Ο πραγματικός τελεστικός ενισχυτής

Ένας πραγματικός τελεστικός ενισχυτής έχει πεπερασμένη και όχι άπειρη αντίσταση εισόδου R_0 και ενίσχυση A . Το πραγματικό κύκλωμα ενός τελεστικού ενισχυτή είναι ένα τετράπολο (ή ορθότερα ένα πεντάπολο με τρεις πόλους εισόδου και δύο πόλους εξόδου) και παρουσιάζεται στο σχήμα 1.



Σχήμα 1

Οι συμβολισμοί είναι οι εξής:

U_+ : θετική ή μη αναστρέφουσα τάση εισόδου (non inverting input)

u_- : αρνητική ή αναστρέφουσα τάση εισόδου (inverting input)

$u_0 = u_+ - u_-$: διαφορική τάση εισόδου (differential input)

u : τάση εξόδου (output)

Με 0 συμβολίζουμε την ουδέτερη τάση ή την γείωση (neutral) ενώ με E_0 την τάση τροφοδότησης (power-supply) με την οποία τροφοδοτούμε συμμετρικά τον τελεστικό ενισχυτή.

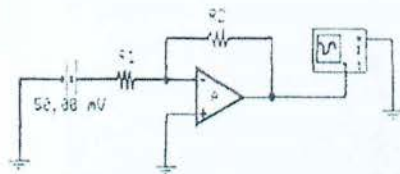
5.3 Λειτουργίες του τελεστικού ενισχυτή

Παρακάτω αναλύουμε τον τελεστικό ενισχυτή στις συγκεκριμένες λειτουργίες που έχει στο κύκλωμα μας.

5.3.1 Ο τελεστικός ενισχυτής ως ενισχυτής

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

Η συνδεσμολογία του τελεστικού ενισχυτή ως ενισχυτή παρουσιάζεται στο σχήμα 3.



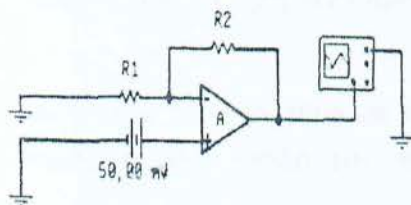
Σχήμα 3

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 μίας αντίστασης R_1 , με μια τάση 50mV. 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:
$$V_{\text{εξόδου}} = -\frac{R_2}{R_1} \cdot V_{\text{εισόδου}}$$

Για διατήρηση της πολικότητας της τάσης εισόδου στην έξοδο χρησιμοποιούμε την συνδεσμολογία του σχήματος 4.



Σχήμα 4

Στη συνέχεια γειώνουμε την αναστρέφουσα είσοδο (-), ενώ τροφοδοτούμε τον τελεστικό ενισχυτή από την μη αναστρέφουσα είσοδο (+). Το σήμα στην έξοδο ενισχύεται και διατηρεί την πολικότητα εισόδου. Η τάση εξόδου δίνεται από την σχέση:
$$V_{\text{εξόδου}} = \frac{R_2 + R_1}{R_1} \cdot V_{\text{εισόδου}}$$

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 τελεστικού ενισχυτή.

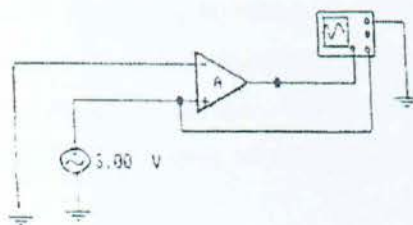
5.3.2 Ο τελεστικός ενισχυτής ως συγκριτής

Ο τελεστικός ενισχυτής χρησιμοποιείται επίσης και ως συγκριτής.

Αναλυτικότερα , μπορεί να συγκρίνει δύο σήματα στις δύο εισόδους του και να βγάζει στην έξοδο το εξής σήμα:

1. Δίνει στην έξοδο τάση $+15V$ (αν η τάση τροφοδοσίας του τελεστικού ενισχυτή είναι $\pm 15V$) όταν το σήμα με την μεγαλύτερη τιμή συνδέεται με την μη αναστρέφουσα είσοδο του τελεστικού ενισχυτή.
2. Δίνει στην έξοδο τάση $-15V$ όταν το σήμα με την μεγαλύτερη τιμή συνδέεται με την αναστρέφουσα είσοδο του τελεστικού ενισχυτή.

Έστω ότι έχουμε το κύκλωμα του παρακάτω σχήματος

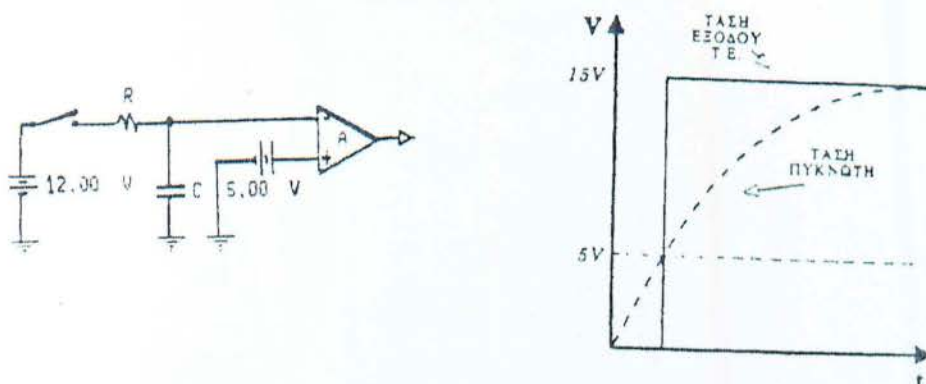


Σχήμα 5

Γειώνουμε την αναστρέφουσα είσοδο (σήμα 0V) και συνδέουμε την μη αναστρέφουσα είσοδο με μια εναλλασσόμενη τάση. Κατά την θετική ημιπερίοδο της εναλλασσόμενης τάσης το σήμα στην μη αναστρέφουσα είσοδο έχει μεγαλύτερη τιμή από αυτό της αναστρέφουσας, οπότε η έξοδος δίνει τάση $+15V$. Κατά την αρνητική ημιπερίοδο το σήμα στην αναστρέφουσα είσοδο έχει μεγαλύτερη τιμή από αυτό της μη αναστρέφουσας, οπότε η έξοδος δίνει τάση $-15V$.

Έτσι, το εναλλασσόμενο σήμα μετατρέπεται σε τετραγωνικό.

Έστω ότι έχουμε, επίσης, το κύκλωμα του παρακάτω σχήματος.

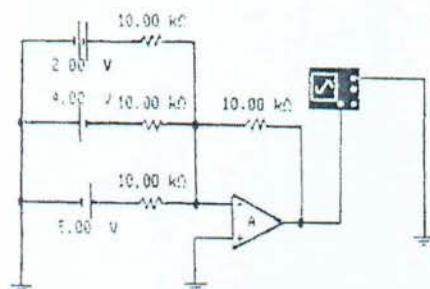


Σχήμα 6

Συνδέουμε την μη αναστρέφουσα είσοδο με τάση +5V και την αναστρέφουσα είσοδο με τάση +12V μέσω δικτυώματος R,C. Όταν κλείσουμε τον διακόπτη, λόγω της φόρτισης του πυκνωτή, η τάση στην μη αναστρέφουσα είσοδο θα χρειαστεί κάποιο χρόνο για να φτάσει +5V. Όποτε, στην έξοδο παίρνουμε τάση -15V, ενώ μετά από συγκεκριμένο χρόνο (ρυθμίζεται από τα R,C) θα δίνει τάση +15V.

5.3.3 Ο τελεστικός ενισχυτής ως αθροιστής

Ο τελεστικός ενισχυτής μπορεί να αθροίζει δύο ή περισσότερα σήματα στις εισόδους του. Χρησιμοποιούμε την συνδεσμολογία του σχήματος 7.



Σχήμα 7

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

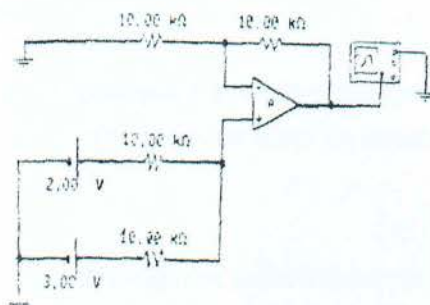
Όλες οι αντιστάσεις πρέπει να είναι ίσες για να μην έχουμε ενίσχυση του σήματος. Όποτε η τάση εξόδου γίνεται:

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

Για το παραπάνω κύκλωμα η τάση εξόδου είναι:

$$V_{\text{εξ}} = -[2 + (-4) + 5] = -3V$$

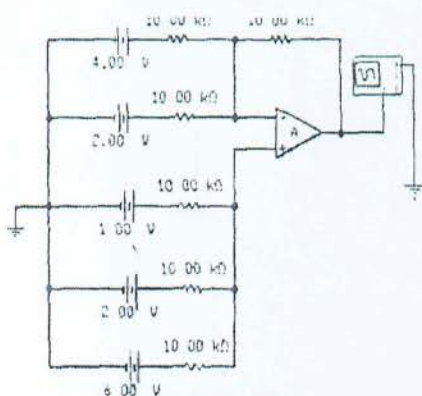
Για άθροιση στην μη αναστρέφουσα είσοδο χρησιμοποιούμε την συνδεσμολογία του σχήματος 8.



Σχήμα 8

Συνδέουμε δύο σήματα στην μη αναστρέφουσα είσοδο και την γη με τον κλάδο ανατροφοδότησης και την αναστρέφουσα είσοδο. Τότε η τάση εξόδου θα είναι: $V_{\text{eff}} = V_1 + V_2 = 2 + 3 = 5V$

Τέλος, μπορούμε να έχουμε άθροιση και στις δύο εισόδους (σχήμα 9).



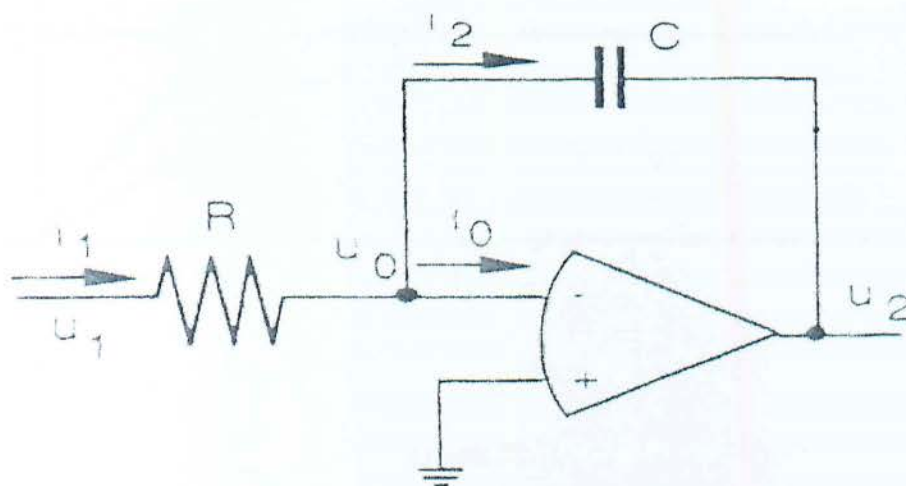
Σχήμα 9

Η τάση εξόδου είναι: $V_{\text{ex}} = -(V_1 + V_2) + (V_3 + V_4 + V_5) = -(4 + 2) + (1 + 2 + 6) = 3V$

Πρέπει οι κλάδοι που καταλήγουν στην αναστρέφουσα είσοδο να είναι ίσοι με τους κλάδους που καταλήγουν στην μη αναστρέφουσα.

5.3.4 Ο τελεστικός ενισχυτής ως ολοκληρωτής

Ένας τελεστικός ενισχυτής συνδεδεμένος στην αναστρέφουσα είσοδο με αντίσταση και τάση, στην ανάδραση με έναν πυκνωτή και γειωμένη την μη αναστρέφουσα είσοδο είναι ένας ολοκληρωτής (σχήμα 10).

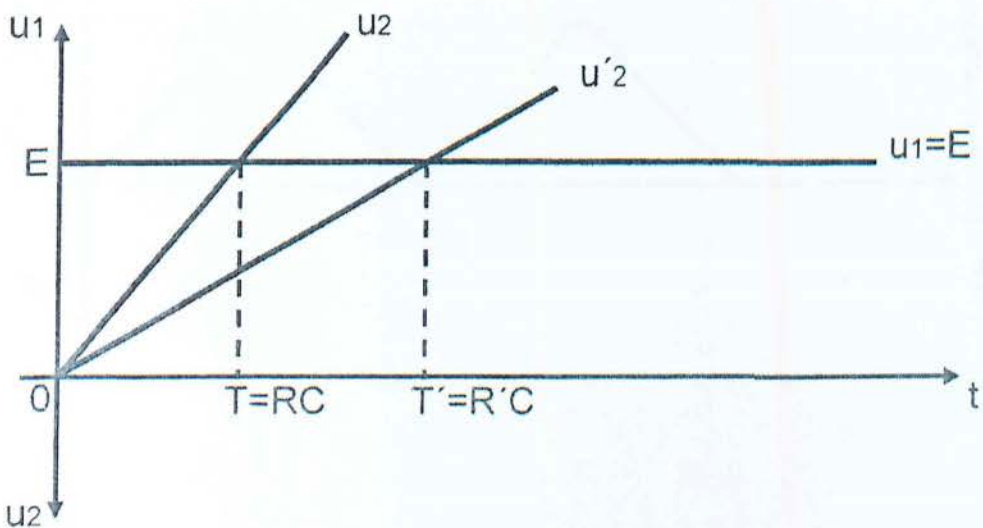


Σχήμα 10

Η τάση στην έξοδο δίνεται από την σχέση: $u_2 = -\frac{1}{RC} \cdot \int_0^t u_1(t) dt$

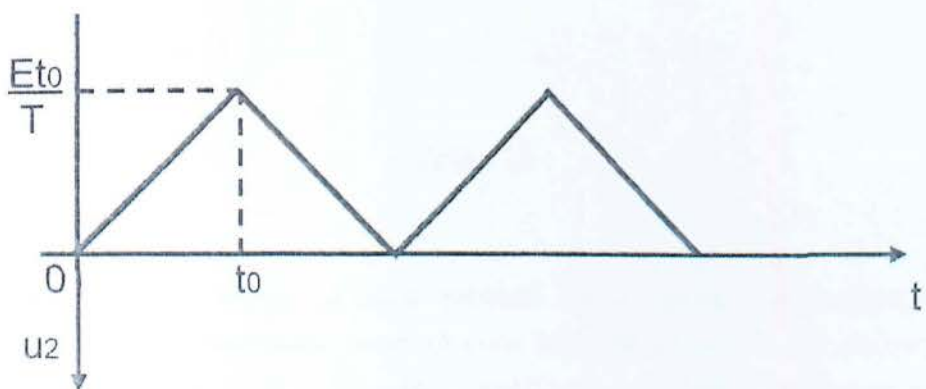
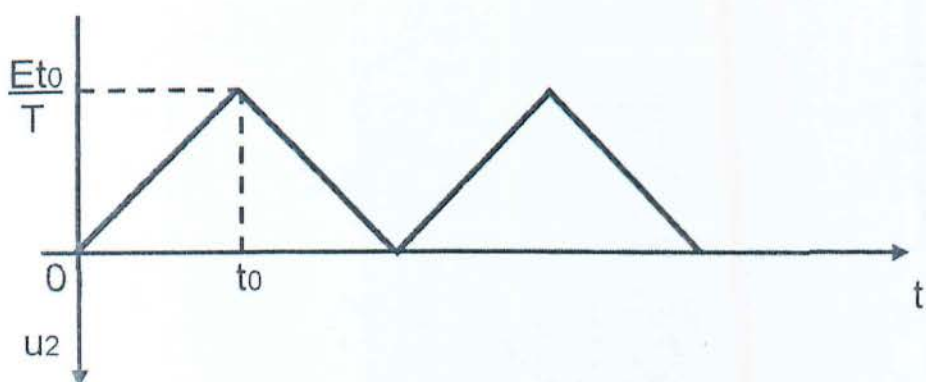
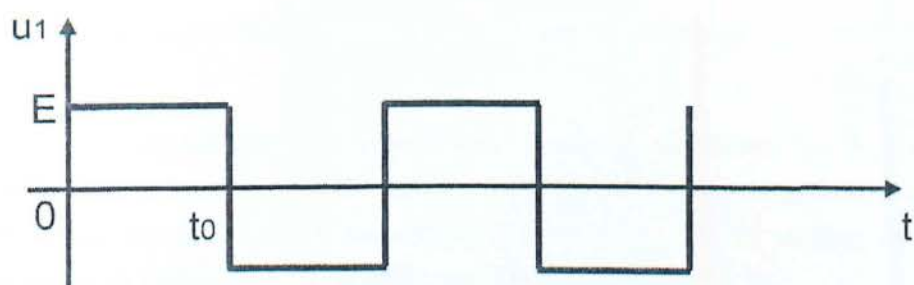
Η σταθερά $T=RC$ ονομάζεται σταθερά χρόνου (time constant) και χαρακτηρίζει την ταχύτητα της ολοκλήρωσης.

Για σταθερή είσοδο $u_1 = E$, η σταθερά χρόνου T εκφράζει τον χρόνο που χρειάζεται η έξοδος του ολοκληρωτή για να φτάσει κατ' απόλυτη τιμή την τιμή της εισόδου E (σχήμα 11).



Σχήμα 11

Ο τετραγωνικός παλμός στην είσοδο του ολοκληρωτή παράγει τριγωνικό παλμό στην έξοδο (σχήμα 12).



Σχήμα 12^α

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6° - Ο ΧΡΟΝΙΣΤΗΣ 555

6.1 Γενικά

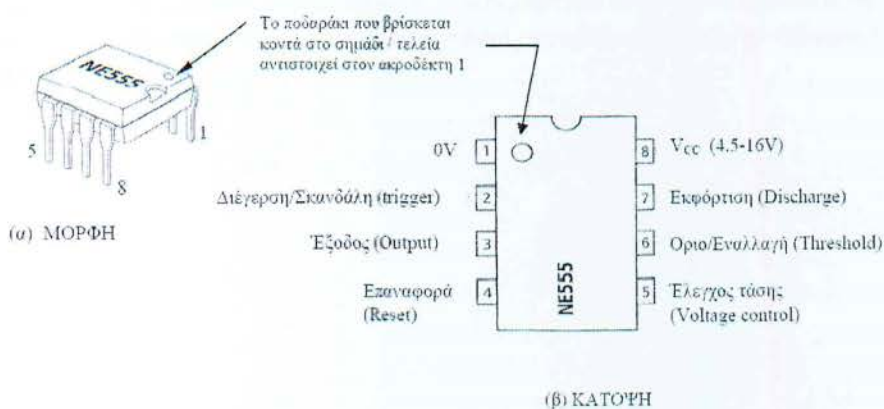
Ο χρονιστής 555 είναι ένα πολύ εύχρηστο και φθινό ολοκληρωμένο κύκλωμα. Χρησιμοποιείται σε κυκλώματα χρονισμού όπου δηλαδή στο κύκλωμα χρειάζεται να

εισαχθεί ο παράγοντας του χρόνου. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για δύο βασικές λειτουργίες: Μονοσταθής λειτουργία και ασταθής λειτουργία.

Στη μονοσταθή λειτουργία, μπορεί ένα εξωτερικό εξάρτημα να ενεργοποιηθεί για προκαθορισμένη χρονική διάρκεια ή αντίθετα, το εξάρτημα να ενεργοποιηθεί μετά από κάποιο προκαθορισμένο χρόνο.

Στην ασταθή λειτουργία, το 555 δεν παρουσιάζει σταθερή κατάσταση, αλλά αλλάζει από μια κατάσταση στην άλλη σε προκαθορισμένους χρόνους. Με αυτό τον τρόπο λειτουργίας, μία λάμπα για παράδειγμα μπορεί να αναβοσβήνει συνέχεια με κάποιο ρυθμό ή ένας βομβητής να ηχεί σε προκαθορισμένη συχνότητα.

6.2 Διάταξη ακροδεκτών IC 555



Ακροδέκτης	Περιγραφή
1	Συνδέεται με τα 0V (-) της τροφοδοσίας.
2	Διέγερση/Σκανδάλη (Trigger) – Διεγείρει τον χρονόμετρο όταν η τάση στον ακροδέκτη αυτό πέσει κάτω από το 1/3 της τάσης της τροφοδοσίας υπό την προϋπόθεση ότι ο ακροδέκτης 5 είναι «ελεύθερος».
3	Έξοδος (Output) – Με το ξεκίνημα διέγερσης ο ακροδέκτης εξόδου μεταβάλλεται από τάση 0V σε τάση υψηλή- HIGH (περίπου ίση με τη τάση τροφοδοσίας).
4	Επαναφορά (Reset) – Επαναφέρει το χρονόμετρο στην αρχική του κατάσταση όταν η τάση στον ακροδέκτη αυτό πέσει μεταξύ 0 έως 0.4V.
5	Έλεγχος τάσης (Voltage control) – Προκαθορίζει την τάση που πρέπει να φτάσει ο ακροδέκτης 6 για να γίνει εναλλαγή της κατάστασης εξόδου από HIGH σε LOW.
6	Όριο/Εναλλαγή (Threshold) – Όταν η τάση στον ακροδέκτη αυτόν ξεπεράσει την προκαθορισμένη τιμή σε σχέση με αυτή του ακροδέκτη 5, τότε γίνεται η εναλλαγή της κατάστασης εξόδου από HIGH σε LOW. Με τον ακροδέκτη 5 ελεύθερο από εξωτερικές συνδέσεις το όριο στον ακροδέκτη 6, είναι τα 2/3 της τάσης της τροφοδοσίας ($2/3 V_{cc}$).
7	Εκφόρτιση (Discharge) – Διαμέσου του ακροδέκτη αυτού εξωτερικός πυκνωτής (που αρχικά φορτίζεται μέχρι που η τάση του φτάσει το όριο) εκφορτίζεται.
8	Συνδέεται με το (+) της τροφοδοσίας V_{cc} 4.5-16V.

6.3 Χαρακτηριστικά του 555

- Λειτουργεί από **4.5 – 16V** (αποφεύγονται οι δύο ακραίες τιμές πρακτική λειτουργία 5 – 15V)

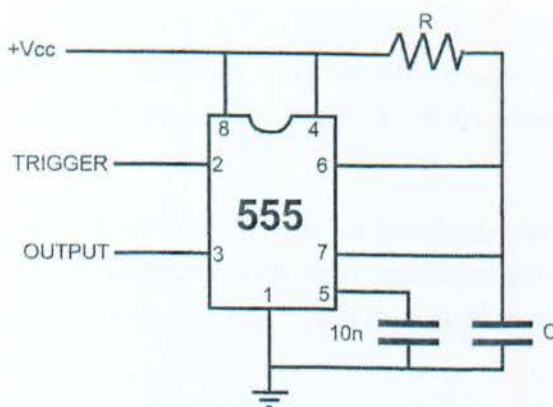
- Μπορεί να δώσει και να 'απορροφήσει μέχρι 200mA π.χ. μια LED ή μια λάμπα 6V, 60mA - μπορούν να συνδεθούν απευθείας στον ακροδέκτη εξόδου

- Καταναλώνει περίπου 8 mA. Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας

- Είναι ευαίσθητο στους σπινθηρισμούς των διακοπών και στις διακυμάνσεις της τάσης παροχής, πράγμα που δημιουργεί κάποτε προβλήματα κατά την εφαρμογή του.

6.4 Λειτουργία του 555 ως μονοσταθής πολυδονητής

Το 555 όταν λειτουργεί ως μονοσταθής πολυδονητής παράγει στην έξοδό του ορθογώνιους παλμούς συγκεκριμένης χρονικής διάρκειας. Η συνδεσμολογία του 555 ως μονοσταθής πολυδονητής παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα



Η λειτουργία του είναι η εξής:

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

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7° - Ο ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ ΠΑΛΜΩΝ

7.1 Γενικά

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

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

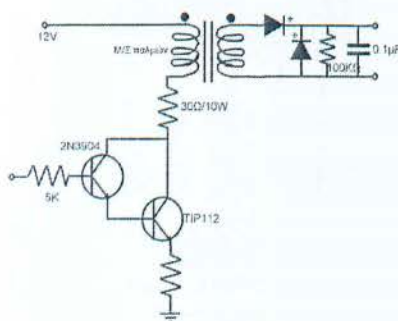
1. Αντέχουν σε ισχυρές μηχανικές δονήσεις και μπορούν, γενικά, να λειτουργήσουν ομαλά υπό δυσμενείς συνθήκες περιβάλλοντος.
2. Δεν έχουν κινούμενα μέρη, τα οποία απαιτούν συντήρηση.
3. Υπάρχει ηλεκτρική μόνωση μεταξύ εισόδου και εξόδου.
4. Δεν έχουν ανάγκη πυρακτώσεων και επομένως είναι έτοιμοι για λειτουργία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

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

7.2 Το κύκλωμα της έκτης βαθμίδας

7.2.1 Περιγραφή του κυκλώματος

Το κύκλωμα της έκτης βαθμίδας παρουσιάζεται στο σχήμα 1.



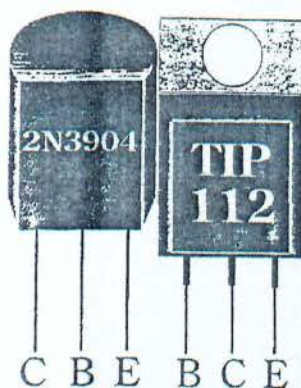
Σχήμα 1

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 2). 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.



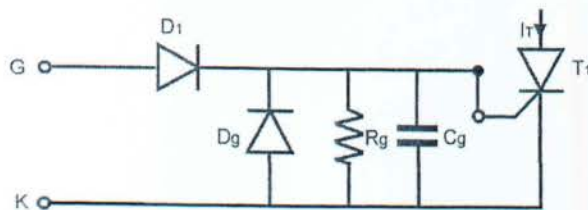
Σχήμα 2

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

Ο μετασχηματιστής παλμών έχει δύο δευτερεύοντα και έχουν σχέση μεταφοράς 1:1:1. Τα δύο δευτερεύοντα χρησιμεύουν στην περίπτωση που με ένα κύκλωμα πυροδότησης πυροδοτούνται δύο θυρίστορ, όπως στο κύκλωμα μας. Με τον μετασχηματιστή παλμών πετυχαίνουμε ουσιαστικά γαλβανική απομόνωση, λόγω της σχέσεως μεταφοράς του. Οι μετασχηματιστές παλμών που χρησιμοποιούνται έχουν τη δυνατότητα παροχής ρεύματος φορτίου 300mA, που σημαίνει ότι με το παρόν κύκλωμα πυροδότησης υπάρχει η δυνατότητα ελέγχου κάθε γέφυρας που έχει θυρίστορ με ρεύμα πύλης ως 300mA.

7.2.2 Κύκλωμα προστασίας της πύλης

Το κύκλωμα προστασίας της πύλης παρουσιάζεται στο σχήμα 3.



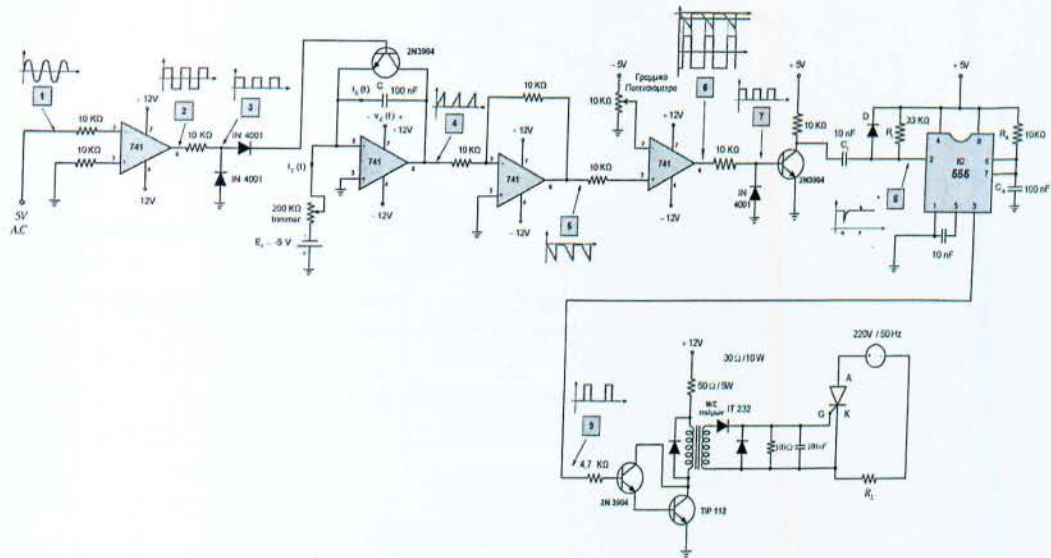
Σχήμα 3

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 .

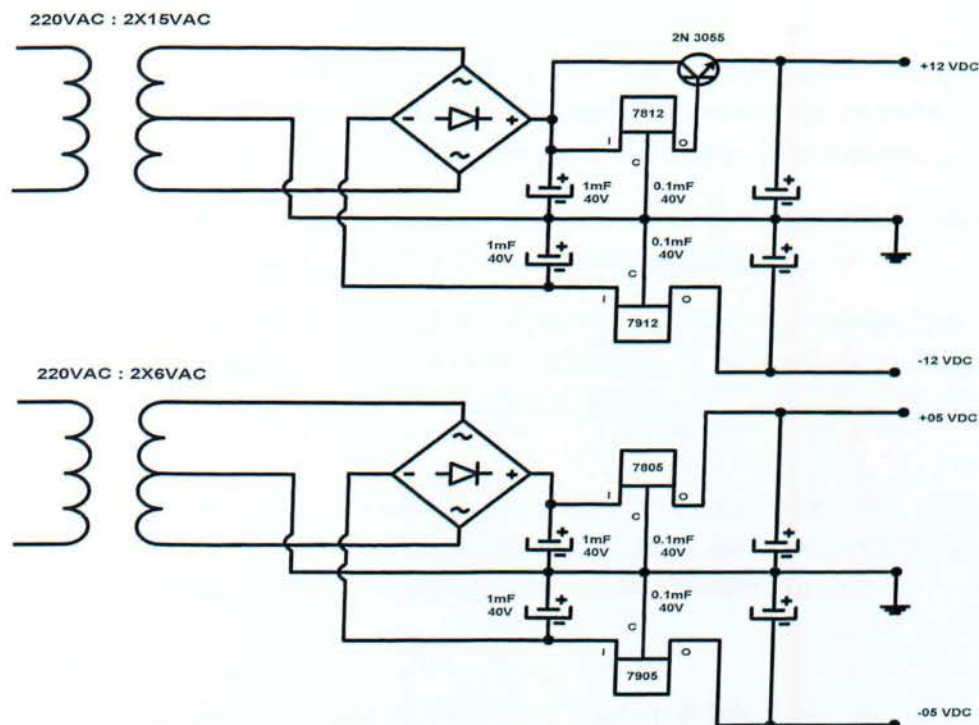
ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο - ΚΥΚΛΩΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ

1.1 Γενικά



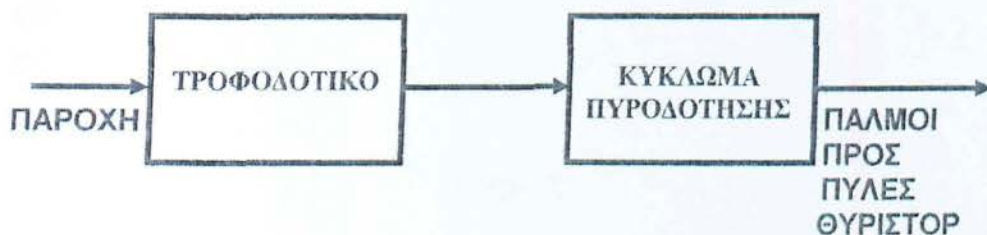
Κύκλωμα
ελέγχου



Τροφοδοτικό

Το κύκλωμα το οποίο παράγει παλμούς για τον έλεγχο της μονοφασικής γέφυρας των θυρίστορ αποτελεί το κύκλωμα ελέγχου, το οποίο, με την σειρά του, περιλαμβάνει: 1 Το κύκλωμα πυροδότησης, το οποίο παράγει παλμούς 2. Ένα τροφοδοτικό.

Το σχηματικό διάγραμμα του κυκλώματος ελέγχου φαίνεται στο σχήμα 1.



Σχήμα 1

Το κύκλωμα πυροδότησης αποτελεί την 'καρδιά' του κυκλώματος ελέγχου. Σκοπός του κυκλώματος πυροδότησης είναι να παράγει και να ρυθμίζει χειροκίνητα, με ένα ποτενσιόμετρο, την χρονική στιγμή που θα δοθεί ο παλμός στα θυρίστορ.

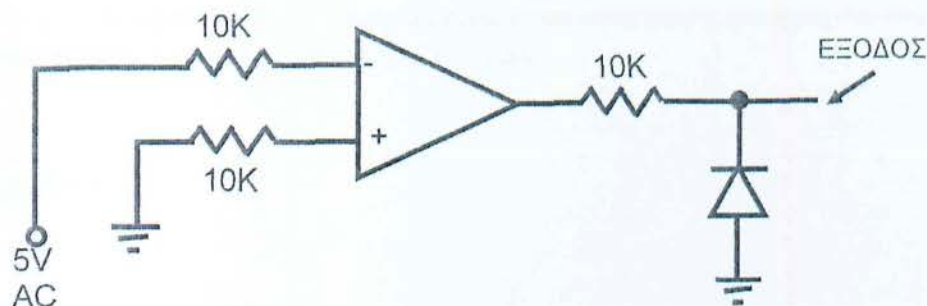
Επομένως, ρυθμίζει έμμεσα και την εναλλασσόμενη τάση στο φορτίο. Ο παλμός που παράγεται είναι συχνότητας 50 Hz.

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

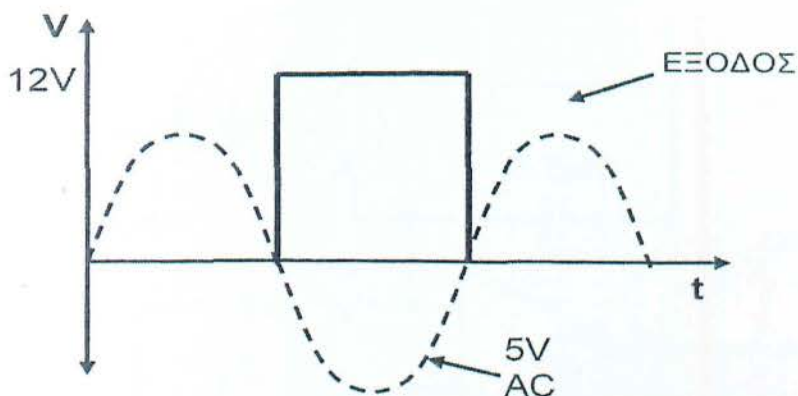
Βαθμίδα 1η

Το κύκλωμα της πρώτης βαθμίδας περιλαμβάνει έναν τελεστικό ενισχυτή σε συνδεσμολογία συγκριτή και μια διόδο και παρουσιάζεται στο σχήμα 3.



Σχήμα 3

Η τροφοδοσία του τελεστικού ενισχυτή είναι ίση με $\pm 12V$. Η έξοδος του τελεστικού ενισχυτή μας δίνει $-12V$ στην θετική ημιπερίοδο της εναλλασσόμενης τάσης ενώ στην αρνητική ημιπερίοδο δίνει $+12V$. Το σήμα εξόδου είναι ένας τετραγωνικός παλμός (μετατράπηκε από εναλλασσόμενο σήμα) και λόγω της διόδου, στην έξοδο του τελεστικού ενισχυτή, λαμβάνουμε στην τελικά μόνο θετικούς τετραγωνικούς παλμούς (σχήμα 4).



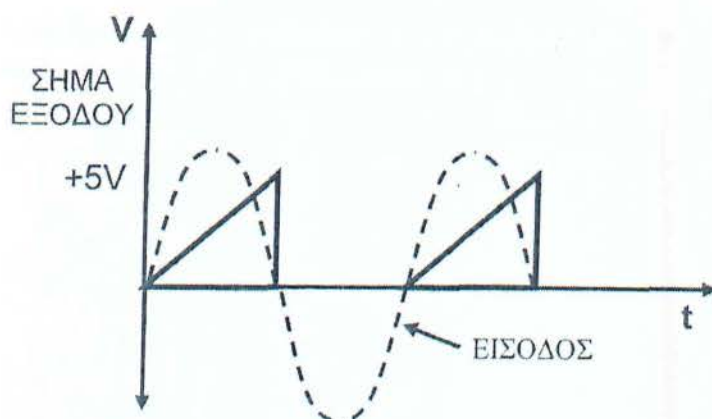
Σχήμα 4

Η αντίσταση $10K\Omega$ στην έξοδο του τελεστικού ενισχυτή χρησιμοποιείται για τον περιορισμό του ρεύματος εξόδου στα $1,2mA$ το πολύ ($12V/10K\Omega=1,2mA$) 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 έναν τελεστικό ενισχυτή σε συνδεσμολογία ολοκληρωτή, μια δίοδο και ένα τρανζίστορ (σχήμα)



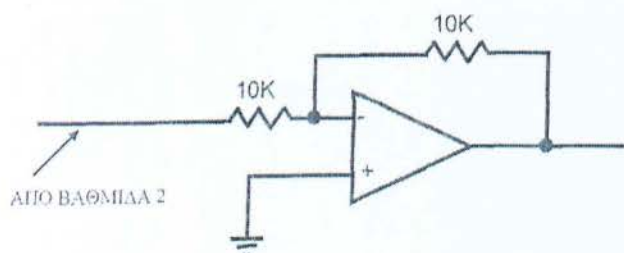
Σχήμα 6

Με τις συγκεκριμένες τιμές έχουμε:

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

Βαθμίδα 3^η

Το κύκλωμα της τρίτης βαθμίδας περιλαμβάνει έναν τελεστικό ενισχυτή σε συνδεσμολογία ενισχυτή και συγκεκριμένα αναστροφέα (σχήμα 7).

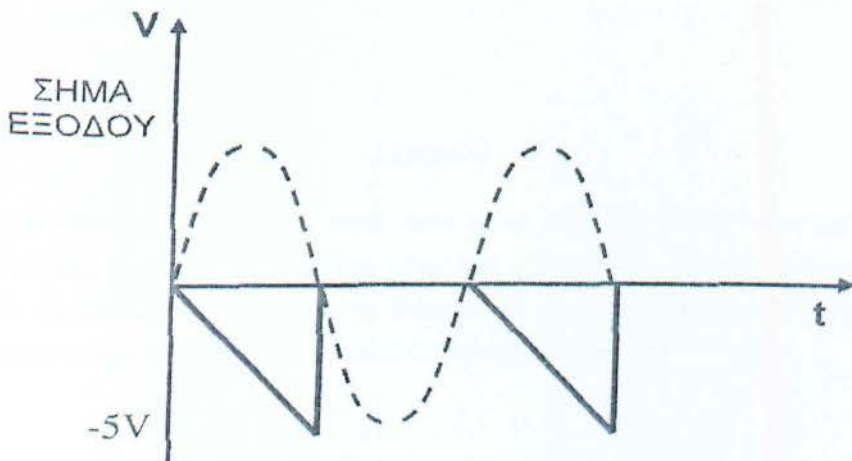


Σχήμα 7

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

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

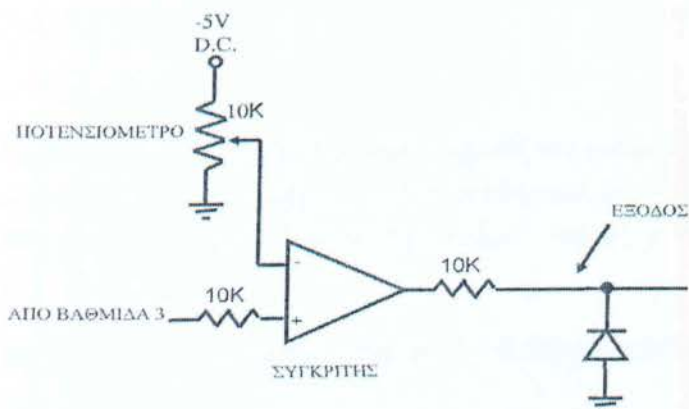
Επειδή οι αντιστάσεις R_1 και R_2 είναι ίσες ,παίρνουμε στην έξοδο του τελεστικού ενισχυτή το ίδιο σήμα ανεστραμμένο (σχήμα 8).



Σχήμα 8

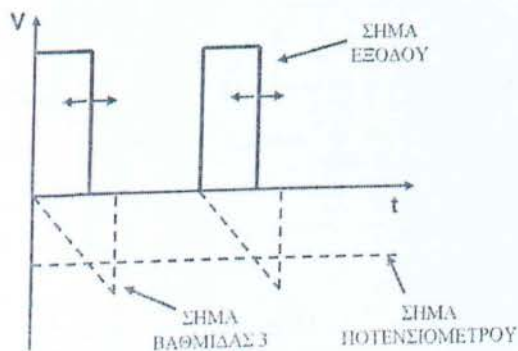
Βαθμίδα 4^η

Το κύκλωμα της τέταρτης βαθμίδας περιλαμβάνει έναν τελεστικό ενισχυτή σε συνδεσμολογία συγκριτή, μια δίοδο και ένα ποτενσιόμετρο σύμφωνα με το σχήμα 9.



Σχήμα 9

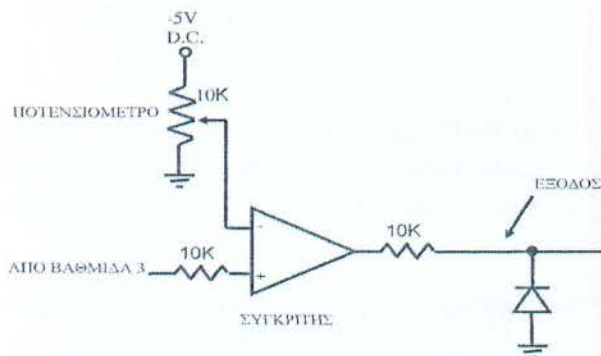
Το σήμα που δημιουργήσαμε στην τρίτη βαθμίδα το συγκρίνουμε με μια αρνητική τάση ενός ποτενσιόμετρου, μέσω του τελεστικού ενισχυτή. Η έξοδος δίνει θετικούς παλμούς +12V, λόγω και της διόδου. Αν μεταβάλλουμε το ποτενσιόμετρο, μεταβάλλεται και το πλάτος από 0 ως π ακτίνια (0-10msec), σχήμα 10.



Σχήμα 10

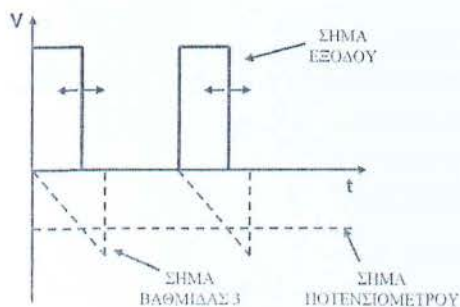
Βαθμίδα 4^η

Το κύκλωμα της τέταρτης βαθμίδας περιλαμβάνει έναν τελεστικό ενισχυτή σε συνδεσμολογία συγκριτή, μια δίοδο και ένα ποτενσιόμετρο σύμφωνα με το σχήμα 9.



Σχήμα 9

Το σήμα που δημιουργήσαμε στην τρίτη βαθμίδα το συγκρίνουμε με μια αρνητική τάση ενός ποτενσιόμετρου, μέσω του τελεστικού ενισχυτή. Η έξοδος δίνει θετικούς παλμούς +12V, λόγω και της διόδου. Αν μεταβάλλουμε το ποτενσιόμετρο, μεταβάλλεται και το πλάτος από 0 ως π ακτίνια (0-10msec), σχήμα 10.



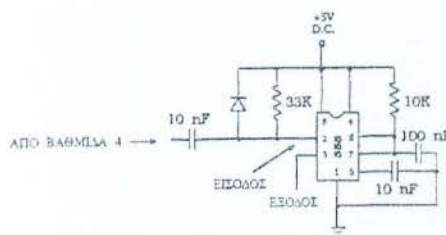
Σχήμα 10

Βαθμίδα 5^η

Το κύκλωμα της πέμπτης βαθμίδας περιλαμβάνει τον χρονιστή 555 σαν μονοσταθή πολυδονητή. Όπως αναφέραμε ο μονοσταθής πολυδονητής βγάζει παλμό στην έξοδο μόνο όταν δεχθεί "αντίστροφο παλμό". Επίσης, ο "αντίστροφος παλμός"

πρέπει να έχει διάρκεια μικρότερη από αυτή του παλμού εξόδου του χρονιστή.

Η διάρκεια του παλμού εξόδου είναι $T=1,1RC$ και στο συγκεκριμένο κύκλωμα είναι: $T=1,1 \times 10K\Omega \times 100nF=1,1 \text{ msec}$. Ο "αντίστροφος παλμός" από την τέταρτη βαθμίδα έχει μεταβαλλόμενη διάρκεια που φθάνει τα 10msec. Επομένως, πρέπει να μειώσουμε την διάρκεια του "αντίστροφου παλμού". Γι' αυτό τον σκοπό χρησιμοποιούμε ένα δικτύωμα RC πριν από τον χρονιστή 555, με αντίσταση $R=33K\Omega$ και πυκνωτή $C=10 \text{ nF}$ (σχήμα 11).

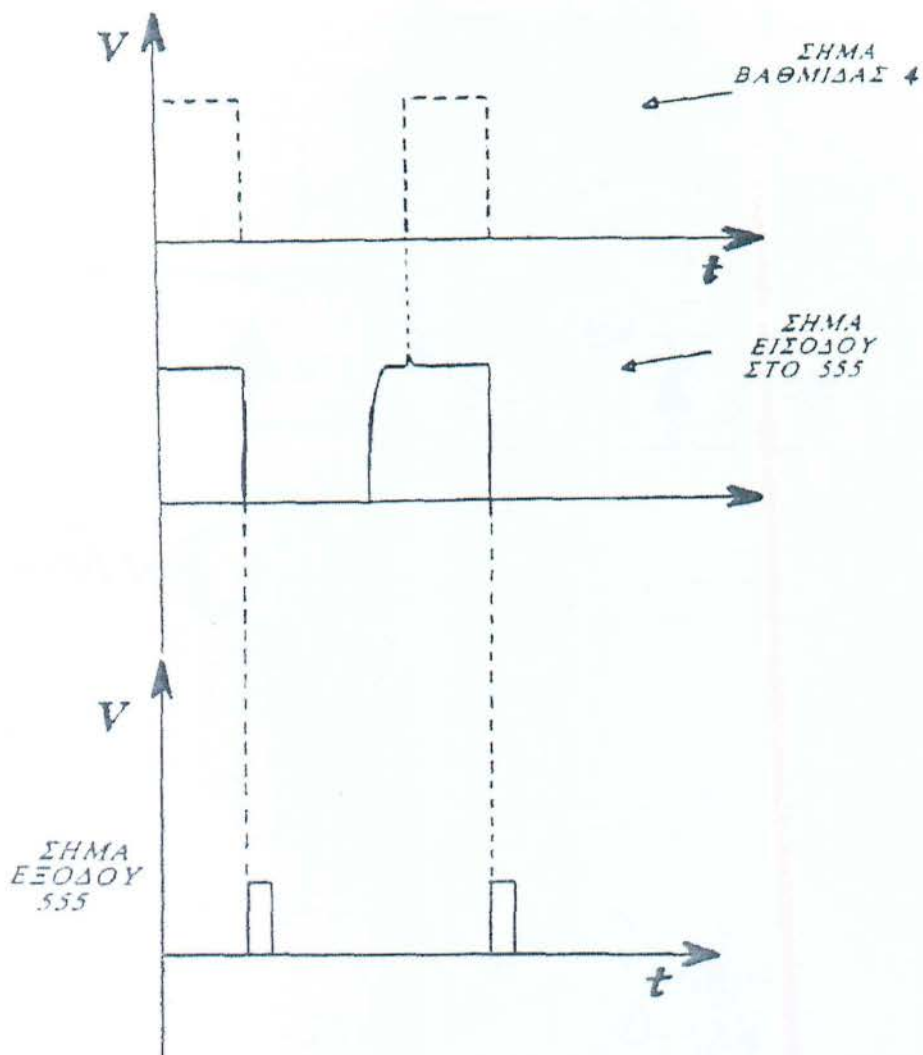


Σχήμα 11

Το ένα άκρο του δικτυώματος 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 δίοδος 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.

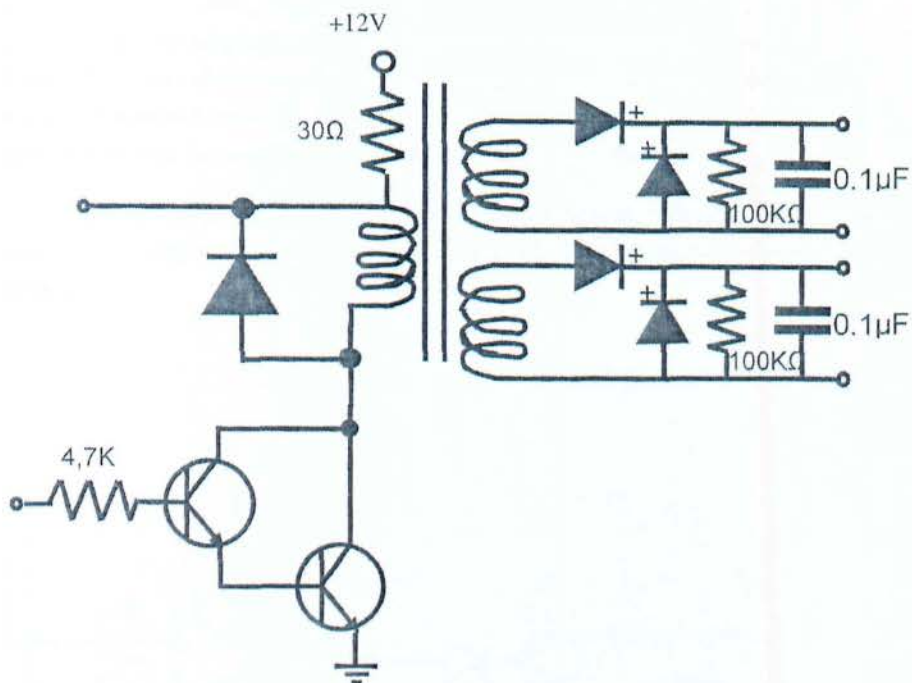
Συγχρόνως έχουμε την φόρτιση του πυκνωτή στα +5V σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα και αυτό λόγω της μικρής σταθεράς χρόνου του δικτυώματος. Όταν η βαθμίδα 4 ξαναδώσει τάση, αυτή η τάση θα προστεθεί στα +5V του πυκνωτή όμως η δίοδος θα τα αποκόψει (γι' αυτό και παρουσιάζεται η "μύτη").



Σχήμα 12

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

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



Σχήμα 13

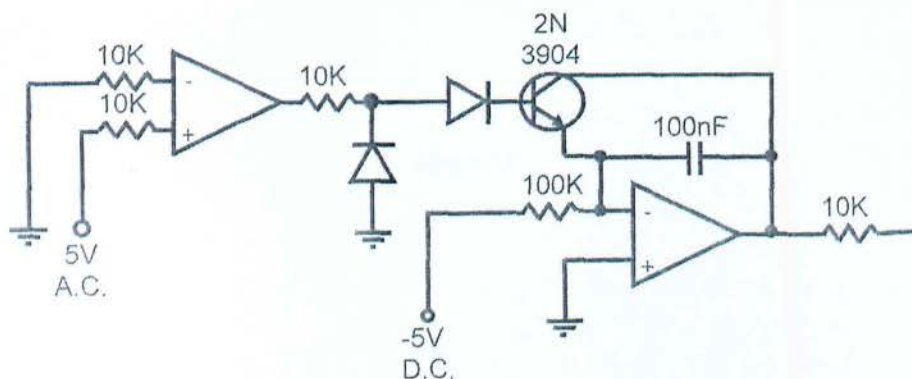
Ο μετασχηματιστής παλμών που χρησιμοποιούμε είναι 1:1:1 δηλαδή έχει δύο δευτερεύοντα. Το μέγιστο ρεύμα του είναι ίσο με 250mA επομένως μπορεί να πυροδοτήσει με μέγιστο ρεύμα πύλης 250mA. Η αντίσταση των 30Ω χρησιμοποιείται για την προστασία του μ/σ και είναι βαττική.

Η δίοδος μηδενίζει τις αρνητικές επαγωγικές τάσεις στο πρωτεύον.

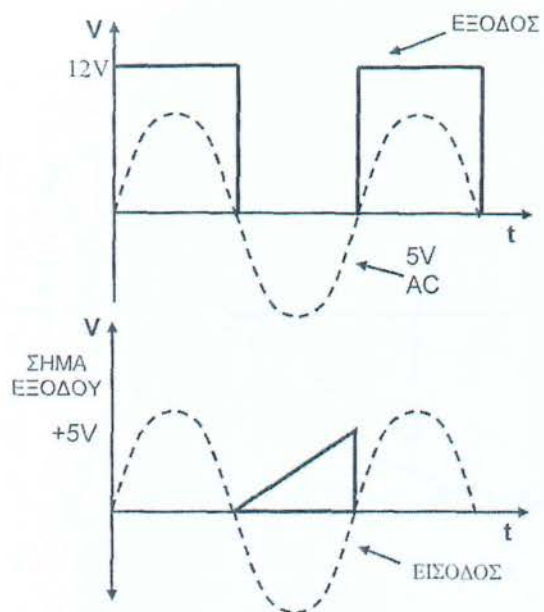
Θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε μόνο ένα μικρό τρανζίστορ TIP112 αντί για συνδεσμολογία Darlington. Το ρεύμα βάσης που χρειάζεται πρέπει να είναι τουλάχιστον 50mA. Οι δίοδοι στο δευτερεύον του μ/σ χρησιμοποιούνται για την προστασία της γέφυρας από αρνητικές τάσεις. Η αντίσταση και ο πυκνωτής βελτιώνουν κάποια χαρακτηριστικά του θυρίστορ (I_L , dV/dt).

Έως τώρα πετύχαμε έλεγχο μόνο της θετικής ημιπεριόδου της εναλλασσόμενης τάσης (σήμα εισόδου, από 0° - 180°). Για να ελέγξουμε και την αρνητική ημιπερίοδο (από 180° - 360°) χρησιμοποιούμε, επίσης, τελεστικούς ενισχυτές στις συνδεσμολογίες που αναφέραμε παραπάνω, με την διαφορά ότι τώρα γειώνουμε την αναστρέφουσα είσοδο του τελεστικού ενισχυτή που χρησιμοποιείται σαν συγκριτής στην πρώτη βαθμίδα (σχήμα 14).

Στο σχήμα 15 παρουσιάζονται και τα αντίστοιχα σήματα εξόδου του κάθε τελεστικού ενισχυτή για τον έλεγχο της αρνητικής ήμιπεριόδου στις δύο πρώτες βαθμίδες.

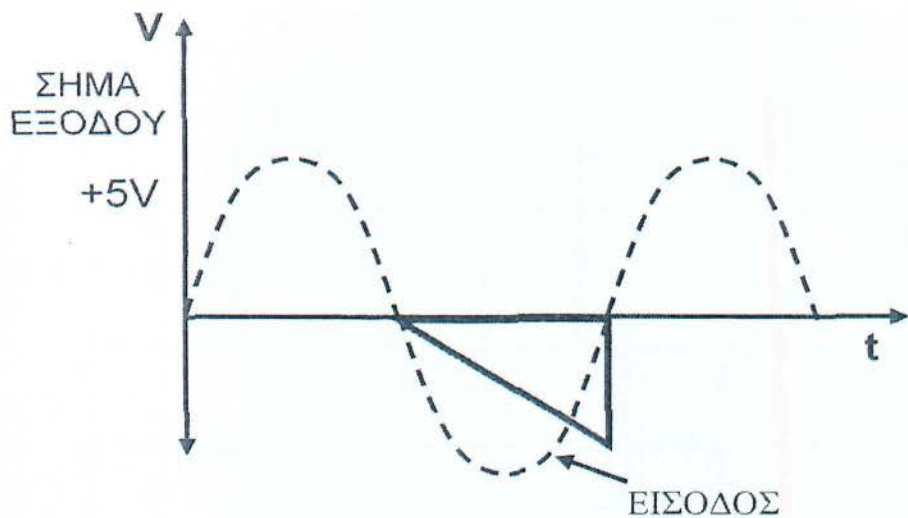


Σχήμα 14



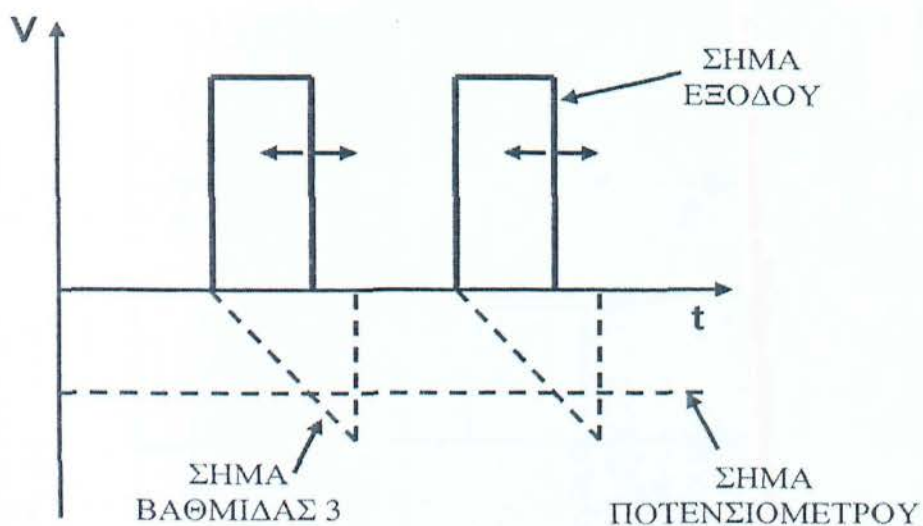
Σχήμα 15

Ομοίως, μετά την βαθμίδα 3 θα πάρουμε το παραπάνω σήμα ανεστραμμένο, όπως φαίνεται στο σχήμα 16.



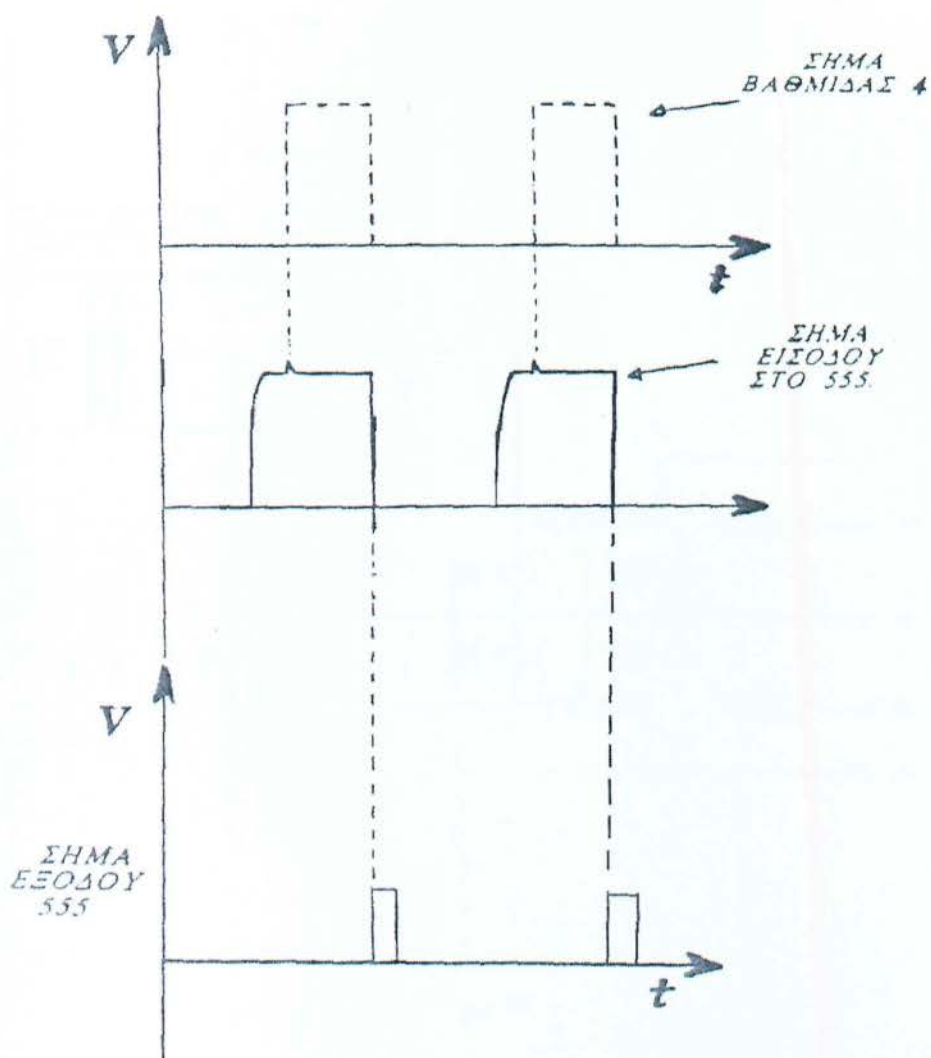
Σχήμα 16

Συγκρίνουμε το σήμα αυτό με μια τάση $-5V$ D.C. μέσω ποτενσιομέτρου (βαθμίδα 4) και σε συνδυασμό με την δίοδο στην έξοδο του τελεστικού ενισχυτή παίρνουμε το σήμα του σχήματος 17.



Σχήμα 17

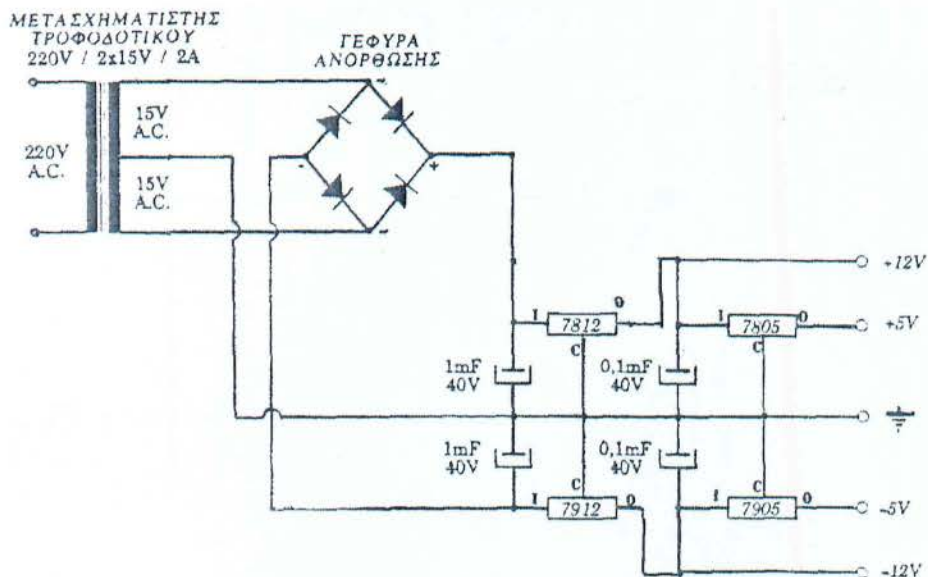
Τέλος, το σήμα που παίρνουμε μετά από την βαθμίδα 5 και 6, για τον έλεγχο της αρνητικής ημπεριόδου, φαίνεται στο σχήμα 18.



Σχήμα 18

1.2 Το τροφοδοτικό

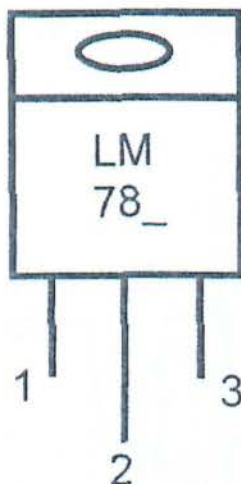
Το κύκλωμα πυροδότησης απαιτεί κάποιες τροφοδοτήσεις για την λειτουργία του (+12V, +5V, 5V A.C). Τις συνεχείς τάσεις τις παρέχει το τροφοδοτικό του παρακάτω σχήματος.



Σχήμα 19

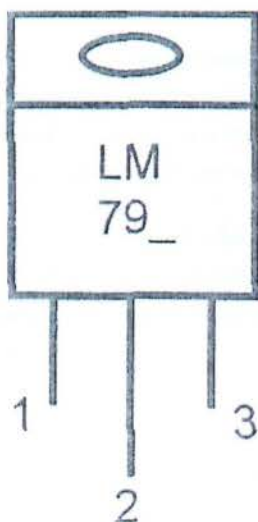
ΣΤΟ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝ ΤΟΥ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ ΛΑΜΒΑΝΟΥΜΕ 30V A.C., ΤΑΣΗ Η ΟΠΟΙΑ ΧΩΡΙΖΕΤΑΙ ΣΕ ΔΥΟ ΜΕΡΗ ΤΩΝ 15V ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΜΕΣΑΙΑΣ ΛΗΨΗΣ. Η ΜΕΣΑΙΑ ΛΗΨΗ ΓΙΩΝΕΤΑΙ ΕΝΩ ΜΕΤΑ ΤΟ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝ ΤΟΥ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ ΑΚΟΛΟΥΘΕΙ ΜΙΑ ΓΕΦΥΡΑ ΑΝΟΡΘΩΣΗΣ ΤΕΣΣΑΡΩΝ ΔΙΟΔΩΝ, ΣΤΗΝ ΕΞΟΔΟ ΤΗΣ ΟΠΟΙΑΣ ΠΑΙΡΝΟΥΜΕ ΘΕΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΡΝΗΤΙΚΗ ΤΑΣΗ ΜΕ ΚΥΜΑΤΩΣΗ. ΓΙΑ ΝΑ ΕΧΟΥΜΕ ΕΞΟΜΑΛΥΝΣΗ ΤΗΣ ΤΑΣΗΣ (ΜΕΙΩΣΗ ΤΗΣ ΚΥΜΑΤΩΣΗΣ) ΣΤΙΣ ΕΞΟΔΟΥΣ ΤΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΠΑΡΕΜΒΑΛΟΥΜΕ ΔΥΟ ΠΥΚΝΩΤΕΣ 1mF Ο ΚΑΘΕΝΑΣ (ΣΧΗΜΑ 20).

Τα κυκλώματα αυτά χρησιμοποιούν τα ολοκληρωμένα της σειράς LM 78_ για σταθεροποίηση της θετικής τάσης και LM 79_ για σταθεροποίηση της αρνητικής τάσης. Ουσιαστικά λειτουργούν σαν περιοριστές και αποκόπτουν την τάση εξόδου από κάποια κρίσιμη τιμή και πάνω.



- 1 : INPUT (Είσοδος)
- 2 : GROUND (Γείωση)
- 3 : OUTPUT (Έξοδος)

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

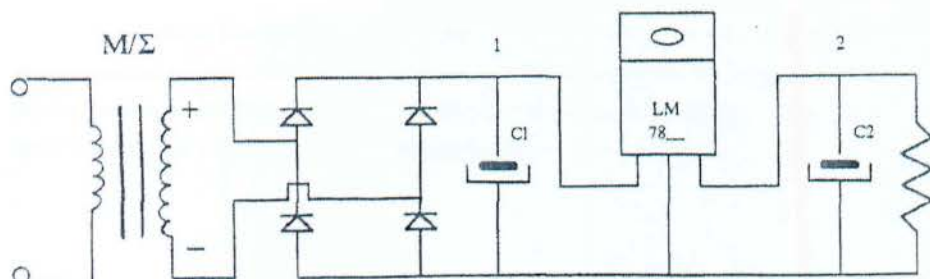


- 1 : GROUND (Γείωση)
- 2 : INPUT (Είσοδος)
- 3 : OUTPUT (Έξοδος)

Ο αριθμός 79 σημαίνει σταθεροποίηση αρνητικής τάσης και οι αριθμοί που ακολουθούν φανερώνουν την ονομαστική τιμή της τάσης σταθεροποίησης.

Επομένως, τα ολοκληρωμένα LM 7912 και LM 7905 που χρησιμοποιούμε στο τροφοδοτικό μας φανερώνουν σταθεροποίηση στα -12V D.C. και -5V DC. αντίστοιχα.

Οι ακροδέκτες των σταθεροποιητών φαίνονται στα παραπάνω σχήματα και τα σύμβολα τους είναι I (Input) για την είσοδο, C (Common) για το κοινό και O (Output) για την έξοδο.



Στο παραπάνω κύκλωμα η γέφυρα των διόδων μας δίνει διπλή ανόρθωση, ο πυκνωτής C1 εξομαλύνει την τάση εξόδου της γέφυρας, δηλαδή ανυψώνει την μέση τάση (σημείο 1) και ο σταθεροποιητής ψαλιδίζει την τάση από το σημείο λειτουργίας του και πάνω (σημείο 2).

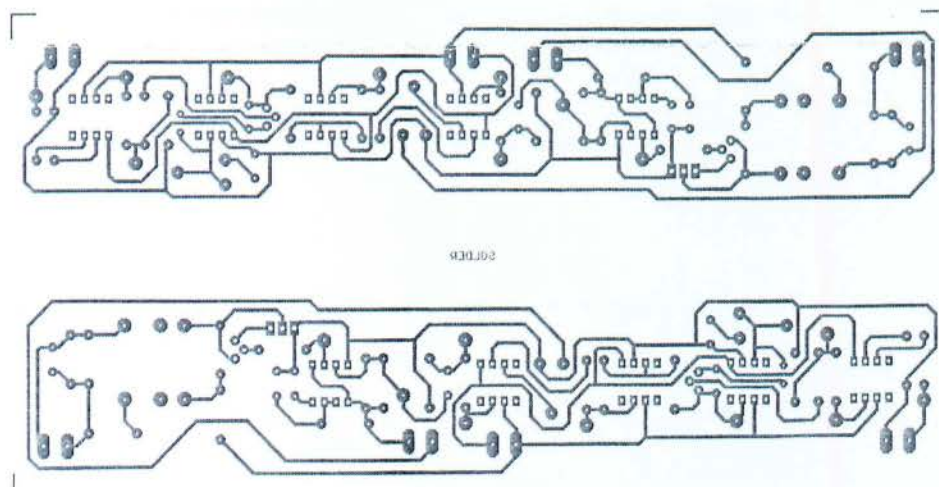
Τα κυρίως εξαρτήματα για την δημιουργία της επιθυμητής συνεχούς τάσης είναι η ανορθωτική γέφυρα και ο πυκνωτής εξομάλυνσης. Η γέφυρα είναι επιλεγμένη ώστε να αντέχει στην μέγιστη τιμή της τάσης που εφαρμόζεται στα άκρα της.

1.3 Κατασκευή πλακέτας κυκλώματος πυροδότησης

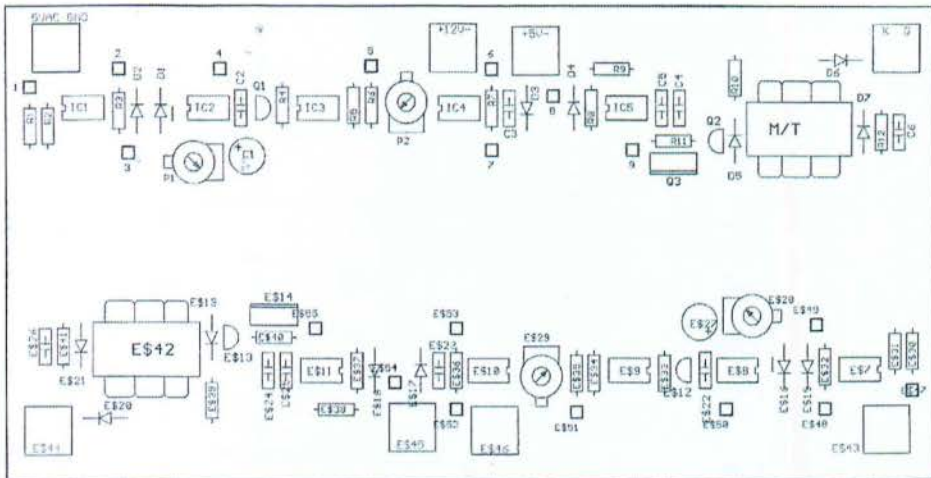
Τα στάδια κατασκευής της πλακέτας του κυκλώματος πυροδότησης είναι τα εξής:

1. Σχεδίαση τυπωμένου κυκλώματος στον υπολογιστή
2. Εκτύπωση σε διαφάνεια μέσω εκτυπωτή Laser
3. Αρνητική φωτογράφιση
4. Εκτύπωση με Photoresist
5. Τρύπημα
6. Τοποθέτηση και συγκόλληση των εξαρτημάτων

Η πλακέτα του κυκλώματος πυροδότησης σχεδιάστηκε με την χρήση του προγράμματος Eagle σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται το κύκλωμα πυροδότησης 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 ονομαστικά

1.4 Υλικά κατασκευής πλακετών κυκλώματος ελέγχου

1.4.1 Υλικά κατασκευής κυκλώματος πυροδότησης

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή της πλακέτας του κυκλώματος πυροδότησης είναι τα εξής:

ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΕΙΔΟΣ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ
8	Τελεστικοί ενισχυτές	LM741
8	Μετασχηματιστής	IT 242

1	Μετασχηματιστής	220V/ 5V
2	Χρονιστής	555 Timer
4	Τρανζίστορ	2N 39C4
2	Τρανζίστορ	TIP 112
18	Δίοδος	1N 4001
4	Πυκνωτής	10nF
8	Πυκνωτής	100nF
16	Αντίσταση	10KΩ
6	Αντίσταση	100KΩ
2	Αντίσταση	33KΩ
2	Αντίσταση	4.7KΩ
2	Αντίσταση	30Ω/10W
2	Ρυθμιστική Αντίσταση	0...10KΩ
7	Κλέμεις	

1.4.2 Υλικά κατασκευής τροφοδοτικού

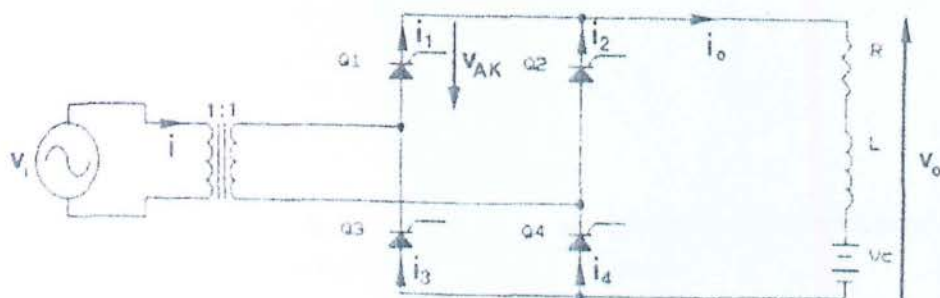
Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του κυκλώματος του τροφοδοτικού είναι τα εξής:

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2° - ΚΥΚΛΩΜΑ ΙΣΧΥΟΣ

2.1 Το κύκλωμα ισχύος

2.1.1 Γενικά

Το κύκλωμα ισχύος αποτελείται από 4 θυρίστορ, τα οποία συνδέονται έτσι ώστε να σχηματίζουν μονοφασική γέφυρα (σχήμα 1).



Σχήμα 1

Το παράδειγμα φορτίου της ανόρθωσης αντιπροσωπεύει το μοντέλο ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος, όπου V_c είναι η ηλεκτρεγερτική δύναμη του κινητήρα.

2.1.2 Υλικά κατασκευής κυκλώματος ισχύος

Τα υλικά κατασκευής της πλακέτας του κυκλώματος ισχύος που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα εξής:

ΕΙΔΟΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ
Θυρίστορ BT 151	4
Κλέμενς	6

2.2 Σύνδεση κυκλώματος ελέγχου

Αφού κατασκευασθούν οι πλακέτες του τροφοδοτικού και του κυκλώματος πυροδότησης, τα τοποθετούμε στο κουτί και τα συνδέουμε.

2.2.1 Σύνδεση τροφοδοτικού

Συνδέουμε την παροχή των 220V με τον μετασχηματιστή 220V/ 2x15V, αφού πρώτα παρεμβάλλουμε έναν διακόπτη και μία ασφάλεια για προστασία των τυλιγμάτων του μετασχηματιστή. Γειώνουμε την μεσαία λήψη του μετασχηματιστή, ενώ τα άλλα δύο άκρα συνδέονται με την πλακέτα του τροφοδοτικού.

2.2.2 Σύνδεση κυκλώματος πυροδότησης

Συνδέουμε την έξοδο του τροφοδοτικού στην είσοδο του κυκλώματος πυροδότησης, καθώς επίσης και το τροφοδοτικό 220V/ 5V με το κύκλωμα πυροδότησης. Η ρυθμιστική αντίσταση 0...10KΩ συνδέεται στο ποτενσιόμετρο στην πρόσοψη του κουτιού. Κάθε παλμός που παράγεται συνδέεται με μπόρνες στην πρόσοψη του κουτιού, ώστε να μπορούμε να παρατηρούμε καθένα σε παλμογράφο.

2.3 Σύνδεση κυκλώματος ισχύος

Συνδέουμε την παροχή των 220V, αφού πρώτα πάλι παρεμβάλλουμε διακόπτη και ασφάλεια, στην είσοδο του κυκλώματος ισχύος. Από το κύκλωμα πυροδότησης παίρνουμε τον κάθε παλμό που θα εφαρμοστεί στην πύλη του αντίστοιχου θυρίστορ και τον συνδέουμε στο κύκλωμα ισχύος. Επίσης, στην είσοδο και έξοδο του κυκλώματος συνδέουμε μπόρνες(στην πρόσοψη του κουτιού), ώστε να βλέπουμε το σήμα σε παλμογράφο πριν και μετά από την γέφυρα, καθώς και για να συνδεθεί το φορτίο στην έξοδο της γέφυρας. Μετά την γέφυρα και πριν το φορτίο συνδέουμε ασφαλειοθήκη, στην οποία θα τοποθετηθεί ασφάλεια έτσι ώστε να ασφαλίζουμε το φορτίο που θα συνδεθεί. Τέλος, πάνω στο κουτί τοποθετούμε μπάρα στην οποία καταλήγουν όλες οι γειώσεις.

Η τοποθέτηση όλων των παραπάνω κυκλωμάτων στο κουτί φαίνεται στο παρακάτω σχέδιο:

Συνδέουμε την παροχή των 220V με τον μετασχηματιστή 220V/ 2x15V, αφού πρώτα παρεμβάλλουμε έναν διακόπτη και μία ασφάλεια για προστασία των τυλιγμάτων του μετασχηματιστή. Γειώνουμε την μεσαία λήψη του μετασχηματιστή, ενώ τα άλλα δύο άκρα συνδέονται με την πλακέτα του τροφοδοτικού.

2.2.2 Σύνδεση κυκλώματος πυροδότησης

Συνδέουμε την έξοδο του τροφοδοτικού στην είσοδο του κυκλώματος πυροδότησης, καθώς επίσης και το τροφοδοτικό 220V/ 5V με το κύκλωμα πυροδότησης. Η ρυθμιστική αντίσταση 0...10KΩ συνδέεται στο ποτενσιόμετρο στην πρόσοψη του κουτιού. Κάθε παλμός που παράγεται συνδέεται με μπόρνες στην πρόσοψη του κουτιού, ώστε να μπορούμε να παρατηρούμε καθένα σε παλμογράφο.

2.3 Σύνδεση κυκλώματος ισχύος

Συνδέουμε την παροχή των 220V, αφού πρώτα πάλι παρεμβάλλουμε διακόπτη και ασφάλεια, στην είσοδο του κυκλώματος ισχύος. Από το κύκλωμα πυροδότησης παίρνουμε τον κάθε παλμό που θα εφαρμοστεί στην πύλη του αντίστοιχου θυρίστορ και τον συνδέουμε στο κύκλωμα ισχύος. Επίσης, στην είσοδο και έξοδο του κυκλώματος συνδέουμε μπόρνες(στην πρόσοψη του κουτιού), ώστε να βλέπουμε το σήμα σε παλμογράφο πριν και μετά από την γέφυρα, καθώς και για να συνδεθεί το φορτίο στην έξοδο της γέφυρας. Μετά την γέφυρα και πριν το φορτίο συνδέουμε ασφαλειοθήκη, στην οποία θα τοποθετηθεί ασφάλεια έτσι ώστε να ασφαλίζουμε το φορτίο που θα συνδεθεί. Τέλος, πάνω στο κουτί τοποθετούμε μπάρα στην οποία καταλήγουν όλες οι γειώσεις.

Η τοποθέτηση όλων των παραπάνω κυκλωμάτων στο κουτί φαίνεται στο παρακάτω σχέδιο:

Η πλακέτα του κυκλώματος ισχύος τοποθετήθηκε σε διαφορετικό επίπεδο από τις πλακέτες των υπόλοιπων κυκλωμάτων, λόγω έλλειψης χώρου.

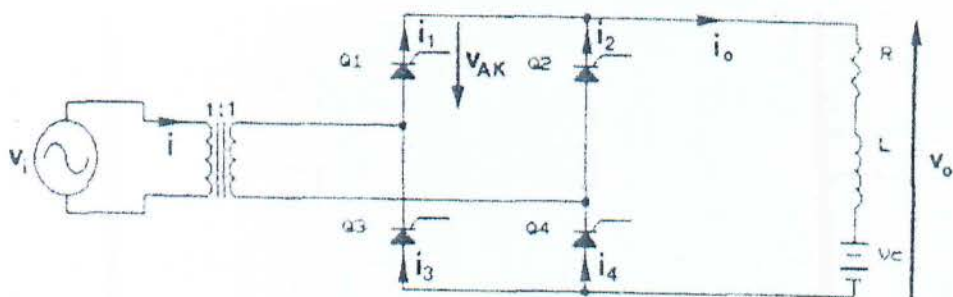
2.4 Υλικά κατασκευής κουτιού κυκλώματος ελέγχου και ισχύος

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

ΕΙΔΟΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ
Κουτί 24,5x16x8,5 cm	1
Διπολικός διακόπτης 6A	1
Ασφαλειοθήκη	2
Ενδεικτική λυχνία 220V	1
Μπόρνες	12
Ποτενσιόμετρο αναλογικό 2x10KT	1
Αγωγοί 0,15mm ² -1,5mm ²	
Βίδες και αντίστοιχα παξιμάδια	20
Στηρίγματα πλακετών	12
Μπάρα γείωσης	1

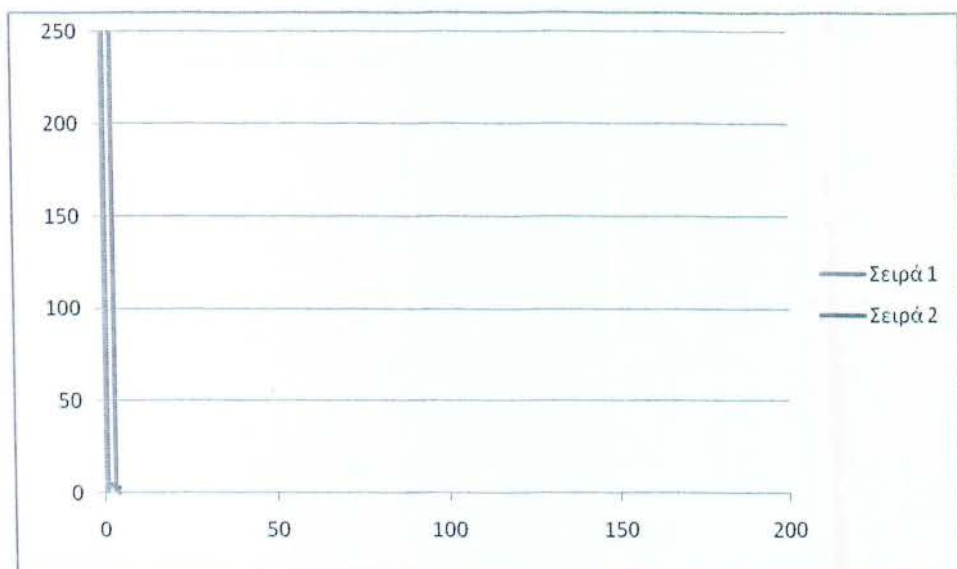
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο – ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Κύκλωμα εργασίας:



Για 10 διαφορετικές τιμές της γωνίας έναυσης και με σταθερό το φορτίο θα καταγράψουμε τις ενδείξεις των οργάνων για τάσεις εισόδου και εξόδου του κυκλώματος.

α	V_{in} (v)	I_{in} (A)	V_{out} (v)	I_{out} (A)	P_{in} (W)	P_{out} (W)
30	230	1.07	167	0.83	246.1	138.61
60	230	0.94	132.6	0.66	216.2	87.55
90	230	0.81	103.5	0.51	186.3	52.7
110	230	0.6	64.5	0.32	138	20.64
140	230	0.39	34.8	0.17	89.7	5.91
160	230	0.18	11.9	0.05	41.4	0.595
180	230	0.016	0	0	3.68	0



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ηλεκτρονικά Ισχύος, Στέφανος Μανιάς Εκδόσεις Σημαιών 2000.
2. Power Electronics handbook, Muhammad H. Rashid, Academic Press 2001.
3. High Voltage Direct Current Transmission 2nd Edition, Jos Arrilaga, The Institution of Electrical Engineers, London UK 1998.
4. Φροντιστηριακές ασκήσεις Ηλεκτρονικών Ισχύος, Στέφανος, Μανιάς, Εκδόσεις Σημαιών 1990.
5. Ανώτερα Κεφάλαια Ηλεκτρονικών Ισχύος, Στέφανος Μανιάς Εκδόσεις Παπασωτηρίου 1997
6. Ανάλυση Κυκλωμάτων με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα SPICE, Στέφανος Μανιάς, Εκδόσεις Σημαιών 1991.
7. Fundamentals of power electronics, Robert W. Erickson, J. Kluwar, Academic Publish 1999.
8. Harmonics Filtering of High Power 12-pulse Rectifier with selective hybrid filter system, IEEE transaction of industrial electronics vol48, Dec 2001.
9. Low-Harmonics three phase diode rectifiers based on the current injection principle, Predrag Pejovic, Academic Mind 2005.
10. Power Electronics converters, Applications and design, Mohan, Robbins, New York, John Wiley 1989.
11. Dynamic Simulation of Electric Machinery using Matlab/Simuling, Chee Mun Ong, Prentice Hall PTR 1998.

12. A practical Approach to harmonic compensation in power systems-series connection of passive and active filters, Hideaki Fujita and Hirofumi Akagi IEE/IAS Ann. Conf. Rec. pp1107- 1112, 1990.