



Πτυχιακή Εργασία

**«Μελέτη και κατασκευή μονοφασικού μετατροπέα ισχύος
AC/DC για τον έλεγχο DC κινητήρα»**

Όνοματεπώνυμο Σπουδαστή: ΦΑΤΑΪ΄ΑΛΚΗ

Αριθμός Μητρώου: 31446

Επιβλέπων Καθηγητής: ΗΡΑΚΛΗΣ ΒΥΛΛΙΩΤΗΣ

ΑΘΗΝΑ ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2012

Περιεχόμενα:

<i>Περίληψη πτυχιακής εργασίας.....σελ. 3</i>
<i>Κεφάλαιο 1^ο: Ημιαγωγικά Στοιχεία Ισχύος.....σελ. 4</i>
<i>Κεφάλαιο 2^ο: Τύποι Τελεστικών Ενισχυτών.....σελ. 18</i>
<i>Κεφάλαιο 3^ο: Ο χρονιστής 555.....σελ. 24</i>
<i>Κεφάλαιο 4^ο: Ο Μετασχηματιστής Παλμών.....σελ. 30</i>
<i>Κεφάλαιο 5^ο: Οι ανορθωτικές διατάξεις για Κινητήρες Συνεχούς Ρεύματος.....σελ. 34</i>
<i>Κεφάλαιο 6^ο: Οι Ηλεκτρονικοί Διακόπτες Ισχύος.....σελ. 37</i>
<i>Κεφάλαιο 7^ο: Το κατασκευαστικό μέρος.....σελ. 42</i>
<i>Κεφάλαιο 8^ο: Κύκλωμα Ισχύος.....σελ. 67</i>
<i>Κεφάλαιο 9^ο: Βιβλιογραφία.....σελ. 70</i>

Περίληψη Πτυχιακής Εργασίας:

Στην παρούσα εργασία γίνεται μία προσπάθεια να παρουσιαστούν με ένα απλό και κατανοητό θεωρητικό υπόβαθρο οι πιο συνηθισμένες ανορθωτικές διατάξεις, οι ανορθωτές ισχύος καθώς και οι τελεστικοί ενισχυτές. Όλα τα παραπάνω συνυπάρχουν με το κατασκευαστικό μέρος του μονοφασικού μετατροπέα ισχύος AC/DC. Ο τελευταίος αποτελείται από το τροφοδοτικό, τα κυκλώματα σταθεροποίησης και τα κύκλωμα πυροδότησης. Γίνεται ανάλυση, παρουσίαση και επεξήγηση κάθε βαθμίδας του κυκλώματος με σαφήνεια και έχουν εκτεθεί και τα επιμέρους σχήματα και κυκλώματα. Σε ξεχωριστό κεφάλαιο γίνεται αναφορά στο κύκλωμα ισχύος καθώς και στα υλικά που το απαρτίζουν με πίνακες και διατάξεις. Παράλληλα δεν παραλείπεται να αναφερθεί ο τρόπος σύνδεσης του κυκλώματος ισχύος στην όλη διάταξη.

Σε γενικές γραμμές η πρακτική προσέγγιση είναι εκτενής και αναλυτική με όλες τις προδιαγραφές να εκτίθενται στο δεύτερο μέρος της εργασίας

Λέξεις Κλειδιά:

Θυρίστορ, Τρανζίστορ, Δίοδος, 741.555, Πλήρως Ελεγχόμενη Μονοφασική Γέφυρα, Μονοφασικός Μετατροπέας Ισχύος AC/DC

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο: ΗΜΙΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΙΣΧΥΟΣ

Στο κεφάλαιο αυτό εξετάζεται η λειτουργία των ημιαγωγικών στοιχείων που χρησιμοποιούνται σήμερα για την κατασκευή διατάξεων Ηλεκτρονικών Ισχύος. Επίσης, εξετάζονται διάφορα κυκλώματα προστασίας των στοιχείων αυτών καθώς και τα κυκλώματα οδήγησής τους.

1.1 Τύποι ημιαγωγικών στοιχείων ισχύος

Υπάρχουν πολλοί τύποι ημιαγωγικών στοιχείων ισχύος για εφαρμογές σε συστήματα ηλεκτρονικών ισχύος. Ο τύπος του ημιαγωγικού στοιχείου, που θα χρησιμοποιηθεί, εξαρτάται κυρίως από τις απαιτήσεις:

- Ισχύος
- Τάσης
- Ρεύματος και
- Διακοπτικής συχνότητας του υπό κατασκευή συστήματος ηλεκτρονικών ισχύος.

Άλλοι σχετικοί παράγοντες είναι:

- Η θερμοκρασία περιβάλλοντος
- Οι λειτουργικοί έλεγχοι που απαιτούνται
- Η θεώρηση συνολικού κόστους συστήματος
- Η θεώρηση συνολικού βάρους και μεγέθους συστήματος

Στον πίνακα 1.1 παρουσιάζονται τα κύρια στοιχεία ημιαγωγών που χρησιμοποιούνται σήμερα για την υλοποίηση συστημάτων ηλεκτρονικών ισχύος, με τα τυποποιημένα σύμβολά τους, τις V-I χαρακτηριστικές τους και το λειτουργικό ισοδύναμο κύκλωμά τους.

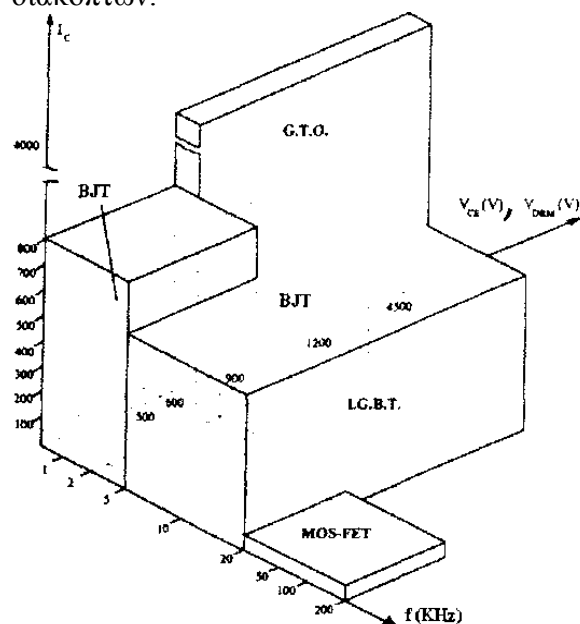
A= άνοδος (Anode) C= συλλέκτης (Collector) D= υποδοχή (Drain)
 K= κάθοδος (Cathode) B= βάση (Base) G= πύλη (Gate)
 G= πύλη (Gate) E= εκπομπός (Emitter) S= πηγή (Source)

Ημιαγωγικό Στοιχείο Ισχύος	Σύμβολο	Ισοδύναμο Κύκλωμα	Χαρακτηριστική
Δίοδος			
Τρανζίστορ Ισχύος NPN			
IGBT Insulated Gate Bipolar Transistor Τρανζίστορ επαφής με απομονωμένη βάση			
MOSFET			
Θυρίστορ SCR Silicon Control Rectifier			
GTO Gate Turn-Off Θυρίστορ			
LASCR Light Activated SCR Οπτικο - Θυρίστορ			
MCT MOS Controlled Thyristor			
ASCR Asymmetrical Silicon Controlled Rectifier	Όμοιος SCR	Όμοιος SCR	
DIAC Diode AC			

TRIAC Triode AC			
UJT Unijunction Transistor			
CUJT Complementary Unijunction Transistor			

Πίνακας 1.1 Στοιχεία Ημιαγωγών Ισχύος

Στο σχήμα 1.1 παρουσιάζονται οι δυνατότητες ισχύος καθώς και οι διατοπικές ταχύτητες των παραπάνω ημιαγωγικών διακοπών.

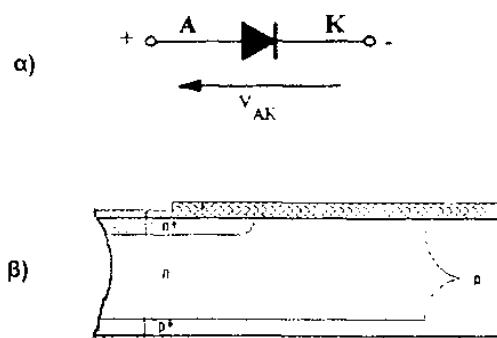


Σχήμα 1.1 Δυνατότητες ισχύος και διακοπτικές συχνότητες ημιαγωγικών διακοπών.

1.2 Δίοδος Ισχύος

Η δίοδος ισχύος είναι ένα ημιαγωγικό στοιχείο μιας επαφής το οποίο χρησιμοποιείται για την κατασκευή μη ελεγχόμενων ανορθωτικών διατάξεων. Επίσης, χρησιμοποιείται στους αντιστροφείς ισχύος (DC-AC) σαν δίοδος ελεύθερης διέλευσης και σε πολλούς άλλους μετατροπείς για διάφορους άλλους λόγους. Υπάρχουν δίοδοι ισχύος που έχουν ονομαστική τιμή ρεύματος που φθάνει έως και 5,000 Ampere και ονομαστική τιμή τάσης αποκοπής που φθάνει έως και 5,000 Volt. Όσον αφορά την διακοπτική τους ταχύτητα αυτή κυμαίνεται από 1msec για εφαρμογές πολύ μεγάλης ισχύος (MW), έως μερικών δεκάδων nsec για εφαρμογές πολύ μικρής ισχύος (mW).

Στο σχήμα 1.2 παρουσιάζεται το σύμβολο της διόδου καθώς και η κάθετος τομή του κρυστάλλου της. Όπως βλέπουμε η δίοδος έχει δύο ακροδέκτες, την Άνοδο (Anode) και την Κάθοδο (Cathode). Επίσης, από το σχήμα 1.2(β) διαπιστώνουμε ότι είναι στοιχείο δύο στρωμάτων ενός τύπου η και ενός τύπου ρ ώστε να δημιουργείται στον κρύσταλλο μια επαφή ή ένωση p-n.



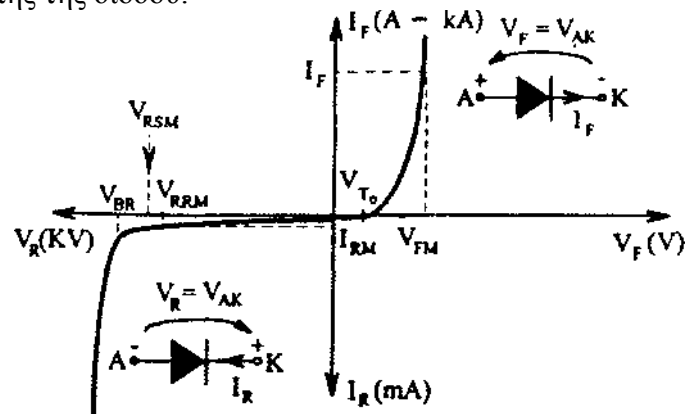
Σχήμα 1.2 Δίοδος Ισχύος

α) Σύμβολο.

β) Κάθετος τομή κρυστάλλου διόδου.

Στο τμήμα αυτό θα ασχοληθούμε με την V-I χαρακτηριστική της διόδου καθώς και τη διακοπτική χαρακτηριστική της. Θα πρέπει να διευκρινίσουμε ότι η διακοπτική χαρακτηριστική ενός ημιαγωγικού στοιχείου έχει να κάνει με την δυναμική συμπεριφορά λειτουργίας του όταν αυτό μεταβαίνει από την κατάσταση αποκοπής στην κατάσταση αγωγής και το αντίθετο. Η δυναμική συμπεριφορά των ημιαγωγικών στοιχείων χρειάζεται για δύο λόγους. Ο πρώτος λόγος είναι για να πετύχουμε με εξωτερικά κυκλώματα καλύτερους χρόνους έναυσης και σβέσης (t_{on} και W) και ο δεύτερος λόγος είναι για να γνωρίζουμε τις απώλειες ισχύος κατά την έναυση και κατά την σβέση τους. Γνωρίζοντας τις απώλειες των ημιαγωγικών στοιχείων μπορούμε να υπολογίσουμε την απόδοση ισχύος της ηλεκτρικής συσκευής μέσα στην οποία βρίσκονται.

Στο σχήμα 1.3 παρουσιάζεται η V-I χαρακτηριστική μιας διόδου. Όπως βλέπουμε και από το σχήμα αυτό, η διάδος λειτουργεί στο πρώτο και στο τρίτο τεταρτημόριο. Όταν η διάδος είναι θετικά πολωμένη (δηλαδή η άνοδος να έχει μεγαλύτερη τάση από την κάθοδο με αναφορά κάποιο σημείο) τότε η διάδος μεταβαίνει στην κατάσταση αγωγής και το ρεύμα της ανόδου αρχίζει να αυξάνεται, όπως παρουσιάζεται στο πρώτο τεταρτημόριο της V-I χαρακτηριστικής του σχήματος 1.3. Όταν η διάδος άγει και κάποια στιγμή πολωθεί αρνητικά (δηλαδή η τάση καθόδου να γίνει μεγαλύτερη από την τάση ανόδου) τότε η διάδος μεταβαίνει στην κατάσταση ανάστροφης αποκοπής. Το τρίτο τεταρτημόριο της V-I χαρακτηριστικής προσδιορίζει την φάση της αρνητικής αποκοπής της διόδου.



Σχήμα 1.3 V-I χαρακτηριστική διόδου ισχύος.

Η διάδος μπορεί να θεωρηθεί ως ένας μη ελεγχόμενος ημιαγωγικός -της που όταν πολώνεται θετικά κλείνει (ON) και όταν πολώνεται αρνητικά ανοίγει (OFF). (Εξετάζοντας την χαρακτηριστική του σχήματος 1.3 του; ακόλουθους χρήσιμους ορισμούς της διόδου :

I_F = Ρεύμα αγωγής ή ρεύμα ορθής πόλωσης

I_R = Ανάστροφο ρεύμα

I_{FM} = Μέγιστο ρεύμα ανάκτησης

V_R = Ανάστροφη ή αρνητική τάση

V_F = Τάση αγωγής

V_{FM} = Μέγιστη τάση αγωγής

V_{T0} = Τάση κατωφλιού κατά την αγωγή

V_{RRM} = Μέγιστη επαναλαμβανόμενη ανάστροφη τάση. Μέγιστη ανάστροφη ή αρνητική τάση που μπορεί να δεχθεί συνέχεια η διάδος

V_{RSM} = Μέγιστη μη επαναλαμβανόμενη ανάστροφη τάση V_{BR} = Ανάστροφη τάση κατάρρευσης

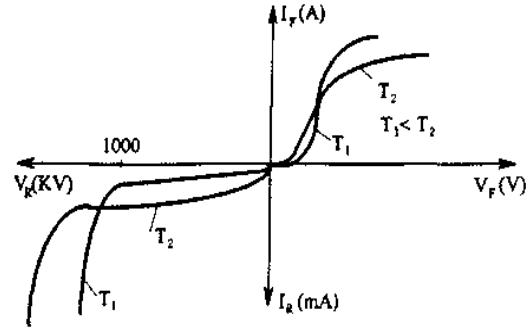
Από το σχήμα 1.3 προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα :

i) Εάν η ανάστροφη τάση της διόδου υπερβεί την τάση κατάρρευσης (V_{br}) τότε η διόδος καταστρέφεται.

ii) Στην αρχή αγωγής της διόδου στα άκρα της έχουμε μια πολύ μικρή τάση, V_{T0} (0.3-1 Volt) και στη συνέχεια, αυξανόμενου του ρεύματος αγωγής, η τάση αυτή γίνεται η τάση ορθής πόλωσης ή τάση αγωγής, V_F (1-3 Volts),

iii) Η διόδος μπορεί να δεχθεί συνεχόμενα μια ανάστροφη τάση της τάξης V_{RRM} σύμφωνα με τις προδιαγραφές της. Επίσης, μπορεί να δεχθεί μία ανάστροφη μη επαναλαμβανόμενη τάση της τάξης, V_{RSM} , σύμφωνα με τις προδιαγραφές της.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η V-I χαρακτηριστική της διόδου ισχύος μπορεί να αλλάξει λόγω της διακύμανσης της θερμοκρασίας επαφής. Στο σχήμα 1.4 παρουσιάζονται οι V-I χαρακτηριστικές μιας διόδου για δύο διαφορετικές θερμοκρασίες επαφής.

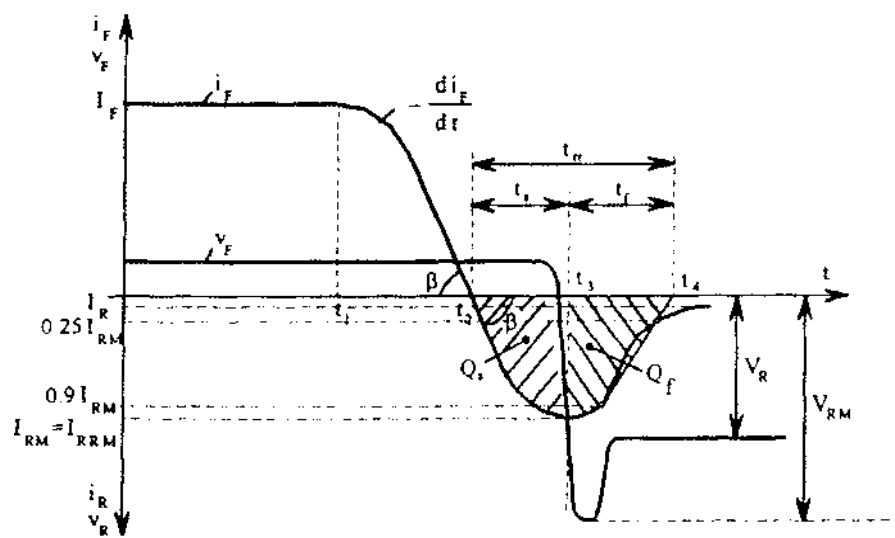


Σχήμα 1.4 V-I χαρακτηριστικές διόδου ισχύος για δύο διαφορετικές θερμοκρασίες επαφής.

1.3 Διακοπτική ή δυναμική συμπεριφορά διόδου ισχύος

Κατά την έναυσή της η διόδος ισχύος δεν παρουσιάζει κανένα στοιχείο το οποίο να είναι άξιο να μελετηθεί. Από την στιγμή που η διόδος είναι θετικά πολωμένη, μεταβαίνει στην κατάσταση αγωγής χωρίς κανένα πρόβλημα υπέρτασης ή υπερρεύματος. Παρά ταύτα κατά την σβέση της παρουσιάζει μια δυναμική συμπεριφορά η οποία είναι άξια να μελετηθεί γιατί θα μπορούσαμε να εξάγουμε κάποια χρήσιμα συμπεράσματα όσον αφορά την διακοπτική ταχύτητα και τις απώλειες σβέσης της διόδου. Στο σχήμα 1.5 παρουσιάζεται η διακοπτική χαρακτηριστική μιας τυπικής διόδου ισχύος κατά την σβέση της.

Αρχικά υποθέτουμε ότι η διόδος βρίσκεται στην κατάσταση αγωγής έως την χρονική στιγμή t_1 μέσω της οποίας ρέει ένα ρεύμα I_F και στα άκρα της υπάρχει μια τάση ορθής πόλωσης V_F . Την χρονική στιγμή t_1 στα άκρα της διόδου εφαρμόζεται μια αρνητική τάση με αποτέλεσμα να αρχίζει η διαδικασία μετάβασης της διόδου από την κατάσταση αγωγής (ON) στην κατάσταση αποκοπής (OFF). Όπως βλέπουμε και από το σχήμα 1.5, την χρονική t_1 το ρεύμα της διόδου αρχίζει να μειώνεται με μια Κλίση- $di/dt = V_r/L$, όπου V_r είναι η τιμή της αρνητικής τάσης που έχει εφαρμοσθεί στην διόδο και L είναι η αυτεπαγωγή που τυχόν είναι συνδεδεμένη σε σειρά με την διόδο. Την χρονική στιγμή t_2 το ρεύμα της διόδου γίνεται αρνητικό και η διόδος αρχίζει να αποκτά την δυνατότητα ανάστροφης αποκοπής διότι το αρνητικό ρεύμα αρχίζει να μειώνει τα ελεύθερα φορτία που βρίσκονται και στις δύο πλευρές γύρω από την επαφή. Το φαινόμενο της μείωσης των ελεύθερων φορτίων διαρκεί έως την χρονική στιγμή t_3 οπότε και η διόδος αποκτά πλέον την δυνατότητα αποκοπής.



Σχήμα 1.5 Διακοπτική χαρακτηριστική διόδου ισχύος κατά την σβέση της.

Το αρνητικό ρεύμα της διόδου αρχίζει να μειώνεται ραγδαία και την χρονική στιγμή t_4 πάει στο μηδέν. Το αρνητικό ρεύμα έχει μέγιστη τιμή την χρονική στιγμή t_3 .

Εξετάζοντας το σχήμα 1.5 μπορούμε να εξάγουμε τα ακόλουθα ¹ αποτελέσματα:

$t_s = t_3 - t_2 =$ χρόνος αποθήκευσης = Χρονική διάρκεια μεταξύ μηδενισμού του ρεύματος και της στιγμής που φθάνει στην μέγιστη αρνητική τιμή του.

$t_f = t_4 - t_3 =$ χρόνος πτώσης = Χρονική διάρκεια που χρειάζεται το αρνητικό ρεύμα της διόδου να πέσει από την μέγιστη τιμή του στο μηδέν.

$t_{rr} = t_4 - t_2 = t_s + t_f =$ χρόνος αρνητικής ανάκτησης (Reverse Recovery Time) = Η χρονική διάρκεια μεταξύ της χρονικής στιγμής που το ρεύμα της διόδου αρχίζει να παίρνει αρνητική τιμή και της χρονικής στιγμής που αυτό γίνεται μηδέν.

$$Q_s = \text{φορτίο αποθήκευσης} = \int_0^{t_3} i_R dt$$

$$Q_f = \text{φορτίο κατά τον μηδενισμό ρεύματος} = \int_0^{t_f} i_R dt$$

$$Q_{rr} = \text{φορτίο ανάκτησης} = Q_s + Q_f = \int_0^{t_{rr}} i_R dt$$

Εάν θεωρήσουμε ότι τα διαστήματα ρεύματος $t_3 - t_2$ και $t_4 - t_3$ είναι γραμμικά, τότε έχουμε τις ακόλουθες σχέσεις :

$$Q_s = \frac{I_{RM} t_s}{2}$$

$$Q_{rr} = \frac{I_{RM} t_{rr}}{2}$$

$$t_{rr} = \frac{I_{RM}}{(-dI_f / dt)} + t_f = \sqrt{\frac{2Q_{rr}}{(-dI_f / dt)} + \frac{t_f^2}{4} + \frac{t_f}{2}}$$

$$t_f = t_{rr} - \frac{I_{RM}}{(-dI_f / dt)}$$

$$Q_f = \frac{I_{RM} t_f}{2} = Q_{rr} - \frac{I_{RM}^2}{2(-dI_f / dt)}$$

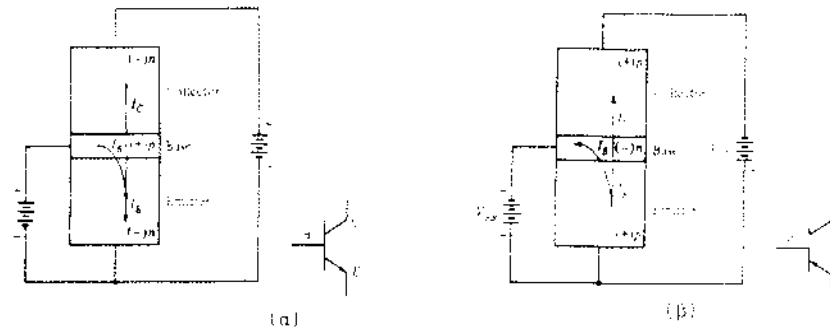
$$I_{RM} = t_s \left| \frac{dI_f}{dt} \right|$$

$$\tan \beta = \left| \frac{dI_f}{dt} \right| = \frac{I_{RM}}{t_s}$$

1.4 Τρανζίστορ Επαφής (BJT)

Το τρανζίστορ που ονομάζεται τρανζίστορ επαφής ή και διπολικό τρανζίστορ, ήταν το πρώτο ημιαγωγικό στοιχείο που χρησιμοποιήθηκε σαν στοιχείο ενίσχυσης. Το όνομα διπολικό οφείλεται στο ότι το ρεύμα του δημιουργείται από δύο είδη φορέων φορτίου με διαφορετικές πολικότητες, δηλ. τα ηλεκτρόνια και τις οπές. Το σχήμα 1.6 παρουσιάζει τους δύο τύπους τρανζίστορ που χρησιμοποιούνται σήμερα, του npn που κατασκευάζεται από πυρίτιο και του pnp που κατασκευάζεται από γερμάνιο.

Το τρανζίστορ έχει τρεις ακροδέκτες που ονομάζονται εκπομπός (E,Emitter), βάση (B,Base) και συλλέκτης (C,Collector).



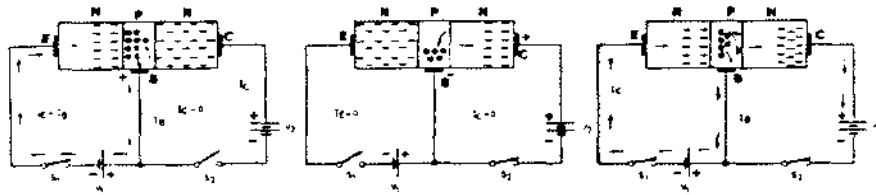
Σχήμα 1.6 Τρανζίστορ επαφής α) τύπου npn και β) τύπου pnp και οι πολικότητες τροφοδότησης τους.

1.4.1 Λειτουργία του τρανζίστορ BJT

Το σχήμα 1.7 παρουσιάζει το κατασκευαστικό πρότυπο ενός npn τρανζίστορ του οποίου θα εξετάσουμε τη λειτουργία. Όπως βλέπουμε, κατασκευής του αναπτύσσονται κατά μήκος της μάζας του δύο περιοχές απογύμνωσης. Ο κρύσταλλος p της βάσης είναι πολύ μικρότερος από όσο φαίνεται στο σχήμα 1.7. Αυτό είναι αναγκαίο διότι για να λειτουργήσει το τρανζίστορ, πρέπει ο αριθμός των οπών της βάσης να είναι μικρότερος από τον αριθμό των ηλεκτρονίων του εκπομπού και του συλλέκτη (κρύσταλλοι τύπου n).

Κατά τη λειτουργία των τρανζίστορ, πρέπει μεταξύ εκπομπού και βάσης να εφαρμόζεται ορθή πόλωση, ενώ μεταξύ συλλέκτη και βάσης ανάστροφη πόλωση. Το είδος της πόλωσης εξαρτάται από τον τρόπο συνδεσμολογίας των πηγών, που παρέχουν τις συνεχείς τάσεις πολώσεων.

Όταν στο τρανζίστορ εφαρμοσθεί μόνο ορθή πόλωση μεταξύ βάσης και εκπομπού (σχήμα 1.7(a)) τότε ο αρνητικός πόλος της πηγής V_1 , που συνδέεται στον εκπομπό, απωθεί τα ηλεκτρόνια προς την επαφή n-p, ενώ την ίδια στιγμή ο θετικός πόλος της V_1 που συνδέεται στην βάση, απωθεί οπές προς την ίδια επαφή (δηλ. την n-p). Επομένως, ένας μικρός αριθμός από τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του εκπομπού και οι οπές της βάσης ενώνονται με αποτέλεσμα να ελαττώνεται το δυναμικό φραγμού και έτσι στο κύκλωμα βάσης και εκπομπού να κυκλοφορεί ένα μικρό ρεύμα I_B .



Σχήμα 1.7 α) Κίνηση φορέων του τρανζίστορ, όταν εφαρμόζεται μόνο θετική πόλωση βάσης-εκπομπού. β) Κίνηση φορέων του τρανζίστορ, όταν εφαρμόζεται μόνο ανάστροφη πόλωση βάσης-συλλέκτη, γ) Κίνηση φορέων του τρανζίστορ, όταν εφαρμοσθούν ταυτόχρονα και οι δύο παραπάνω πολώσεις.

Όταν στο τρανζίστορ εφαρμοσθεί μόνο ανάστροφη πόλωση μεταξύ βάσης και συλλέκτη (σχήμα 1.7(β)) τότε ο θετικός πόλος της πηγής V_2 έλκει τα ηλεκτρόνια του συλλέκτη, ενώ ο αρνητικός πόλος έλκει τις οπές της βάσης. Επομένως, τα ηλεκτρόνια και οι οπές απομακρύνονται από την επαφή p-n το οποίο θα έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της αντίστασης της επαφής, με αποτέλεσμα να μην κυκλοφορεί ρεύμα στο κύκλωμα συλλέκτη-βάσης. Όμως κατά την ανάστροφη αυτή πόλωση στο κύκλωμα συλλέκτη-βάσης κυκλοφορεί ένα ασήμαντο ρεύμα λόγω των φορέων μειονότητας.

Όταν στο τρανζίστορ εφαρμοσθούν ταυτόχρονα και οι δύο παραπάνω πολώσεις (σχήμα 1.7 (γ)) τότε το αρνητικό δυναμικό του εκπομπού απωθεί τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του προς την επαφή η-p εκπομπού-βάσης, η οποία λόγω της ορθής πόλωσης παρουσιάζει μικρή αντίσταση. Επομένως, τα ηλεκτρόνια εισέρχονται στην περιοχή της βάσης και ενώνονται με τις οπές της. Επειδή όμως ο κρύσταλλος τύπου p της βάσης είναι πολύ λεπτός, διαθέτει μικρό αριθμό οπών, με αποτέλεσμα τα περισσότερα ηλεκτρόνια που εισέρχονται στο κρύσταλλο της βάσης να μη βρίσκουν οπή για να ενωθούν. Αυτά συνεχίζουν την κίνησή τους προς την περιοχή του συλλέκτη, επειδή έχουν αποκτήσει σημαντική ταχύτητα, και έλκονται από το θετικό πόλο της πηγής V_2 .

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι από τον μεγάλο αριθμό ηλεκτρονίων του εκπομπού, που απωθούνται από τον αρνητικό πόλο της πηγής V_1 και εισέρχονται στη λεπτή βάση, ένα μικρό μέρος ενώνεται με τις οπές της βάσης, ενώ τα υπόλοιπα ηλεκτρόνια εισχωρούν στον συλλέκτη και έλκονται από το θετικό πόλο της πηγής V_2 . Αποτέλεσμα του φαινομένου αυτού είναι η ροή ενός μικρού ρεύματος της βάσης και ενός πολύ μεγαλύτερου στο κύκλωμα του συλλέκτη. Επομένως, το ρεύμα I_E του εκπομπού αποτελείται από δύο συνιστώσες

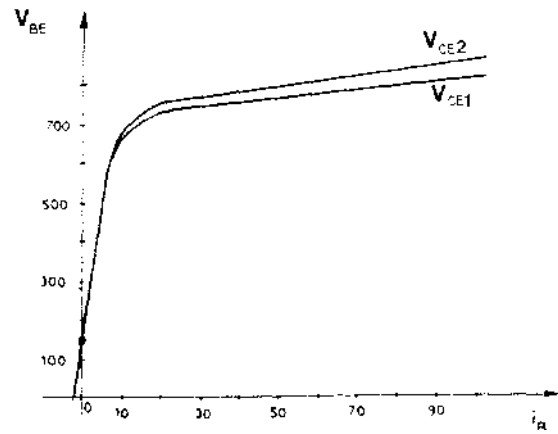
$$I_E = I_B + I_C$$

Το κέρδος του DC ρεύματος ενός τρανζίστορ ισχύος δίνεται από την ακόλουθη σχέση

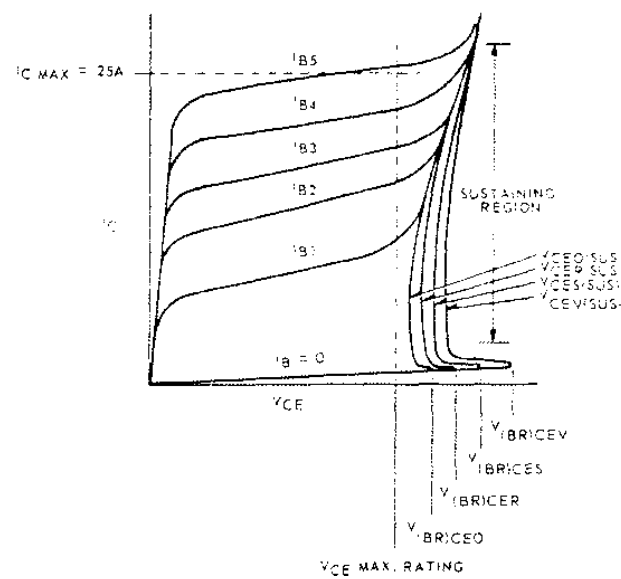
$$h_{fe} = I_C / I_B$$

Το ρεύμα I_B είναι πολύ μικρότερο από το ρεύμα I_C - Συνήθως το κέρδος h_{fe} έχει μια τιμή που βρίσκεται μεταξύ 10 και 100 και πολλές φορές ονομάζεται και συντελεστής ενίσχυσης ρεύματος του τρανζίστορ.

Στα σχήματα 1.8 και 1.9 παρουσιάζονται οι χαρακτηριστικές εισόδου και εξόδου ενός τρανζίστορ ηρη σε συνδεσμολογία κοινού εκπομπού.



Σχήμα 1.8 Χαρακτηριστικές εισόδου ενός ηρη τρανζίστορ με κοινό εκπομπό.



Σχήμα 1.9 Χαρακτηριστικές εξόδου ενός ηρη τρανζίστορ με κοινό εκπομπό.

1.4.2 Περιοχές Λειτουργίας BJT τρανζίστορ

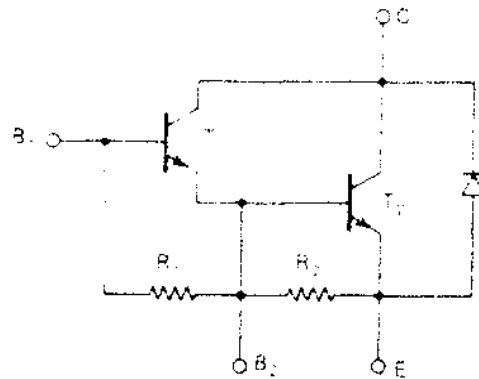
Από τις χαρακτηριστικές εξόδου του σχήματος 1.9 διακρίνουμε τις ακόλουθες περιοχές λειτουργίας του τρανζίστορ επαφής :

- α) ΕΝΕΡΓΟΣ ΠΕΡΙΟΧΗ : Για να βρεθεί ένα τρανζίστορ στην περιοχή αυτή εφαρμόζεται ορθή πόλωση στην επαφή εκπομπού-βάσης και ανάστροφη πόλωση στην επαφή βάσης-συλλέκτη. Η λειτουργία του τρανζίστορ στην περιοχή αυτή έχει αναφερθεί παραπάνω.
- β) ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΠΟΚΟΠΗΣ : Όταν και οι δύο επαφές η-ρ είναι αρνητικά πολωμένες τότε τα ρεύματα που δημιουργούνται στους ακροδέκτες του τρανζίστορ είναι πάρα πολύ μικρά και τότε λέμε ότι το τρανζίστορ λειτουργεί στην περιοχή της αποκοπής. Δηλαδή το τρανζίστορ στην περιοχή αυτή μπορεί να θεωρηθεί σαν ανοικτός διακόπτης (OFF).
- γ) ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΟΡΕΣΜΟΥ : Λειτουργία στην περιοχή κορεσμού (σχήμα 1.10) έχουμε όταν η

θετικά πολωμένη επαφή εκπομπού-βάσης δημιουργεί αρκετό ρεύμα συλλέκτη που μαζί με το εξωτερικό κύκλωμα προξενεί την ορθή πόλωση της επαφής συλλέκτη-βάσης (η οποία προηγουμένως ήταν ανάστροφα πολωμένη). Δηλαδή στην περιοχή αυτή οι δύο επαφές η-ρ είναι θετικά πολωμένες. Όταν το τρανζίστορ βρίσκεται στην περιοχή αυτή μπορεί να θεωρηθεί σαν κλειστός διακόπτης (ON).

Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι στις διατάξεις των Ηλεκτρονικών Ισχύος το τρανζίστορ λειτουργεί σαν διακόπτης, δηλαδή μπορεί να βρίσκεται είτε στην κατάσταση κορεσμού είτε στην κατάσταση αποκοπής.

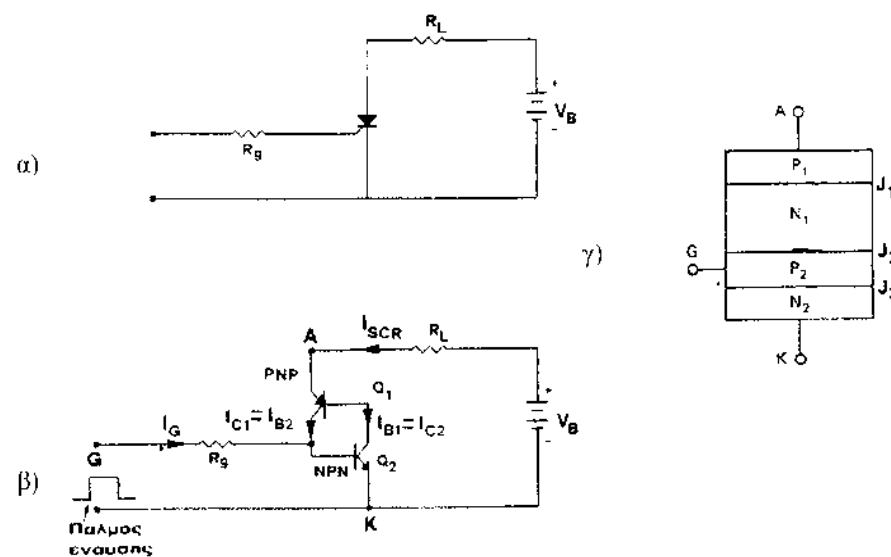
Στο σχήμα 1.11 παρουσιάζεται το τρανζίστορ ισχύος Darlington, το οποίο έχει μεγαλύτερο κέρδος ρεύματος από τα κοινά τρανζίστορ ισχύος (>100).



Σχήμα 1.11 Τρανζίστορ ισχύος Darlington το οποίο εσωτερικά περιέχει δίοδο ελεύθερης διέλευσης.

1.5 Θυρίστορ (Silicon Controlled Rectifier, SCR)

Από πλευράς δομής, το θυρίστορ είναι ένας ελεγχόμενος ανορθωτής πυριτίου τεσσάρων στρωμάτων (p-n-p-n), το οποίο μπορεί να θεωρηθεί σαν συνδυασμός δύο τρανζίστορ, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 1.12(β). Όταν στην πύλη (Gate) του θυρίστορ δεν υπάρχει παλμός έναυσης, ανεξάρτητα αν είναι θετικά πολωμένο, τότε δεν υπάρχει ροή ρεύματος μέσω του θυρίστορ.



Σχήμα 1.12 Λειτουργία ενός τυπικού θυρίστορ.

α) Κύκλωμα ισχύος με θυρίστορ

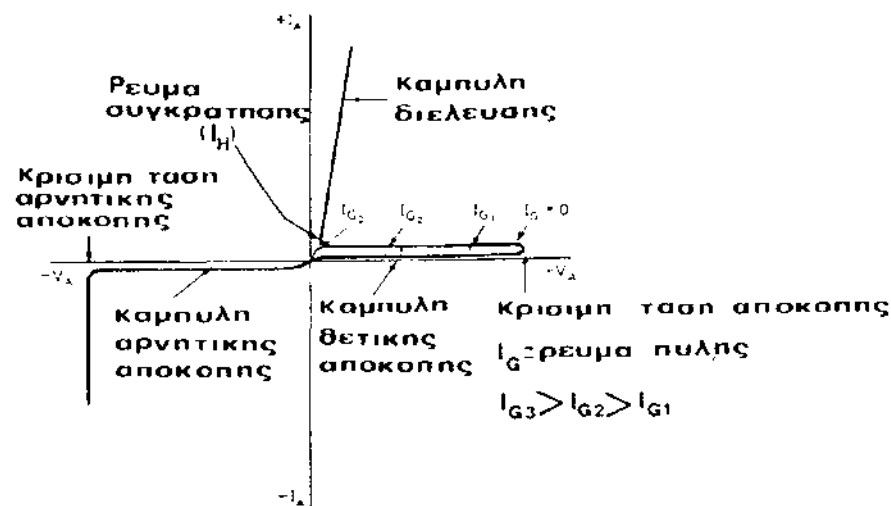
β) Ισοδύναμο λειτουργικό κύκλωμα του θυρίστορ.

γ) Η δομή του θυρίστορ.

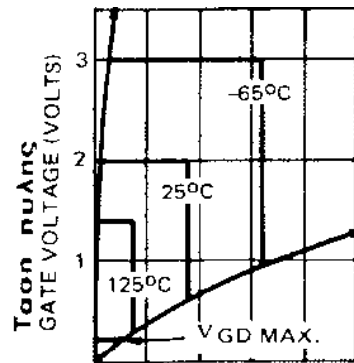
Για να μεταβεί το thyristor σε κατάσταση αγωγής, πρέπει στην πύλη του να δοθεί παλμός έναυσης, με την προϋπόθεση ότι το thyristor είναι θετικά πολωμένο. Ένα τέτοιο στοιχείο όταν βρεθεί στην κατάσταση αγωγής, μετά την εφαρμογή του παλμού έναυσης, θα εξακολουθεί να παραμένει στην κατάσταση αυτή, ακόμα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

Όταν δεν υπάρχει παλμός έναυσης στην πύλη του thyristor, δηλαδή στη βάση του τρανζίστορ Q_2 (Σχήμα 1.12), τότε και τα δύο τρανζίστορ βρίσκονται στην κατάσταση αποκοπής με αποτέλεσμα να εμποδίζουν τη διέλευση ρεύματος μεταξύ της καθόδου και ανόδου. Όταν όμως εφαρμοσθεί ένας παλμός έναυσης στην πύλη του, ο οποίος ήταν θετικός σε σχέση με την κάθοδο, τότε το τρανζίστορ Q_2 αρχίζει να άγει και έτσι επιτρέπει τη διέλευση ρεύματος μέσω της βάσης του τρανζίστορ Q_1 . Έτσι ένα ρεύμα I_{SCR} αρχίζει να ρέει από το εξωτερικό κύκλωμα προς το στοιχείο. Το ρεύμα του συλλέκτη του τρανζίστορ Q_1 διοχετεύεται στη βάση του τρανζίστορ Q_2 (δηλ. $I_{B2} = I_{C1}$) με αποτέλεσμα το Q_2 να πάει σε αγωγή. Οι συνθήκες αυτές δημιουργούν τη διαδικασία μανδάλωσης των δύο τρανζίστορ, με αποτέλεσμα το στοιχείο να διατηρείται στην κατάσταση αγωγής και όταν ακόμα αφαιρεθεί ο παλμός έναυσης από την πύλη. Για να μεταβεί το thyristor σε κατάσταση αποκοπής, το ρεύμα ανόδου I_{SCR} , πρέπει να ελαττωθεί στο μηδέν. Στην πραγματικότητα όμως, η αποκοπή του thyristor γίνεται σε μια τιμή του ρεύματος που είναι λίγο μεγαλύτερη από το μηδέν και το ρεύμα αυτό ονομάζεται ρεύμα συγκράτησης (Holding current) και συμβολίζεται με I_H . Αυτό συμβαίνει, γιατί καθώς το ρεύμα ανόδου ελαττώνεται στο μηδέν, η διαδικασία μανδάλωσης του thyristor δεν μπορεί να είναι πια αποτελεσματική. Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι για να μεταβεί το thyristor σε κατάσταση αγωγής απαιτείται ένα ελάχιστο ρεύμα ανόδου, το οποίο δημιουργείται μέσω του εξωτερικού κυκλώματος του και ονομάζεται ρεύμα μανδάλωσης (Latching current). Το ρεύμα συγκράτησης καθώς και το ρεύμα μανδάλωσης είναι το 1% του ονομαστικού ρεύματος του thyristor. Η χαρακτηριστική καμπύλη τάσης ρεύματος ($V-I$) ενός thyristor παρουσιάζεται στο σχήμα 1.13.

Οι απαιτούμενες στάθμες ρεύματος και τάσης για την έναυση ενός thyristor εξαρτώνται από τη θερμοκρασία επαφής του στοιχείου που ενεργοποιείται. Καθώς η θερμοκρασία επαφής αυξάνει η πύλη γίνεται περισσότερο ευαίσθητη. Το αντίθετο ισχύει για θερμοκρασίες μικρότερες της κανονικής, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 1.14. Έτσι, για αξιόπιστη λειτουργία στην περίπτωση εφαρμογών σε χαμηλές θερμοκρασίες, είναι απαραίτητη η πρόβλεψη παροχής αρκετού ρεύματος στην πύλη του στοιχείου. Οι απαιτήσεις ρεύματος για την έναυση της πύλης, για κάθε τύπο στοιχείου, αναγράφονται στις προδιαγραφές των κατασκευαστών.



Σχήμα 1.13 Χαρακτηριστική καμπύλη τάσης-ρεύματος ενός τυπικού thyristor.



Σχήμα 1.14 Κρίσιμες τάσεις και κρίσιμα ρεύματα πύλης που χρειάζονται για την έναυση ενός τυπικού θυρίστορ.

Έτσι, αν σε μια εφαρμογή χρειάζεται παλμός έναυσης, τότε ο μηχανικός πρέπει να προβλέψει το πλάτος του παλμού να είναι μεγαλύτερο της τιμής του καθοριζόμενου συνεχούς ρεύματος.

Η συμπεριφορά ενός θυρίστορ κατά την αλλαγή της λειτουργικής του κατάστασης, πρέπει να μελετάται ιδιαίτερα, για να είναι ο μηχανικός σίγουρος, ότι η έναυση και η σβέση του θα πραγματοποιούνται σύμφωνα με τον επιθυμητό προγραμματισμό που προέρχεται από το κύκλωμα ελέγχου.

Όπως διαπιστώνεται από τη V-I χαρακτηριστική του σχήματος 1.13 ένα θυρίστορ μπορεί να βρίσκεται σε μία από τις ακόλουθες τρεις καταστάσεις:

1.5.1 Καταστάσεις Λειτουργίας Θυρίστορ

α) Κατάσταση αγωγής (Conduction state): όπου το θυρίστορ άγει και ρεύμα ρέει από την άνοδο προς την κάθοδο,

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

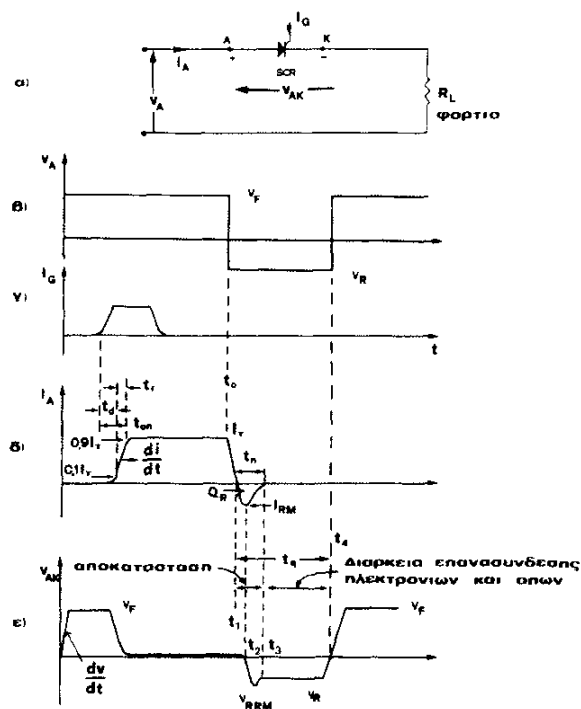
γ) Κατάσταση αρνητικής αποκοπής (Reverse blocking state): το θυρίστορ μεταβαίνει στην κατάσταση αυτή όταν μια αρνητική τάση εφαρμοσθεί μεταξύ ανόδου και καθόδου. Για παράδειγμα αν το θυρίστορ βρίσκεται στην κατάσταση αγωγής και εφαρμοσθεί μία αρνητική τάση μεταξύ ανόδου και καθόδου, τότε το θυρίστορ μεταβαίνει στην κατάσταση αρνητικής αποκοπής και έτσι επιτυγχάνεται η σβέση του.

Αν η τάση μεταξύ ανόδου και καθόδου με θετική πόλωση φτάσει την οριακή τιμή, δηλαδή την κρίσιμη τάση αποκοπής (Σχήμα 1.13), τότε το θυρίστορ μεταβαίνει από την κατάσταση θετικής αποκοπής στην κατάσταση αγωγής χωρίς να δοθεί παλμός έναυσης. Επίσης αν η τάση ανόδου στην περιοχή της αρνητικής αποκοπής υπερβεί ένα ορισμένο όριο, τότε το θυρίστορ χάνει την ιδιότητα αποκοπής και το ρεύμα I_A (Σχήμα 1.13) αποκτά μεγάλες τιμές. Το αποτέλεσμα είναι η 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.

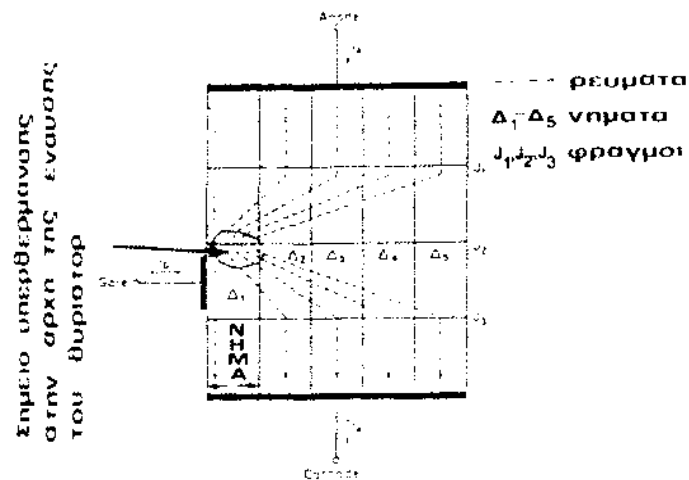
1.5.2 Δυναμική συμπεριφορά του Θυρίστορ

Στο σχήμα 1.54 παρουσιάζονται οι κυματομορφές του ρεύματος και της τάσης ενός θυρίστορ σε κατάσταση αγωγής και σε κατάσταση αποκοπής τις οποίες θα χρησιμοποιήσουμε για να εξηγήσουμε την διακοπτική συμπεριφορά του θυρίστορ. Αρχικά, στο σχήμα 1.54(a), όταν

η τάση V_A είναι θετική και το thyristor βρίσκεται σε κατάσταση θετικής αποκοπής (Σχήμα 1.13) δηλ. το thyristor λειτουργεί στην καμπύλη θετικής αποκοπής), αν ένας παλμός έναυσης εφαρμοστεί στο thyristor, υπάρχει ένας χρόνος καθυστέρησης (delay time, t_d) πριν από το ρεύμα της ανόδου I_A αρχίσει να αυξάνει. Ο χρόνος καθυστέρησης t_d (Σχήμα 1.54(δ)) είναι περίπου μερικά μδευ και οφείλεται στη μετακίνηση φορτίων μέσα στο πλακίδιο του thyristor, έτσι ώστε στο τέλος αυτού του χρόνου να αρχίσει η κυκλοφορία του ρεύματος στο εξωτερικό κύκλωμα μέσω του thyristor. Όταν το thyristor βρίσκεται στην κατάσταση διέλευσης ή αγωγής, το ρεύμα αρχίζει να αυξάνει μέχρις ότου φτάσει στην τελική του τιμή I_A με μια κλίση di/dt (Σχήμα 1.54(δ)). Η κλίση di/dt ονομάζεται ρυθμός μεταβολής του ρεύματος και χαρακτηρίζεται από μια μέγιστη τιμή $(di/dt)_{max}$ πέραν της οποίας το thyristor καταστρέφεται λόγω τοπικής υπερθέρμανσης (Hot spot). Η τιμή του $(di/dt)_{max}$ δίνεται στις προδιαγραφές του thyristor. Η τοπική αυτή υπερθέρμανση οφείλεται στο ότι κατά την έναυση του thyristor, το ρεύμα της ανόδου I_A περνάει συγκεντρωτικά από ένα σημείο ενός νήματος του thyristor και έτσι δημιουργείται πρόβλημα υπερθέρμανσης. Το φαινόμενο αυτό παρουσιάζεται στο σχήμα 1.15 Για να αποφευχθεί η καταστροφή ενός thyristor λόγω του di/dt , μια αυτεπαγωγή με τιμή μερικά μΗ μπορεί να συνδεθεί σε σειρά με το thyristor. Όπως η ταχεία αύξηση του ρεύματος, έτσι και η ταχεία αύξηση της τάσης διαταράσσει την κανονική λειτουργία του thyristor. Αν η κλίση dv_{AK}/dt υπερβεί μία κρίσιμη τιμή $(dv_{AK}/dt)_{max}$, είναι δυνατό να προκληθεί έναυση στο thyristor και όταν ακόμη βρίσκεται στην κατάσταση αποκοπής. Ο χρόνος τον οποίο χρειάζεται το ρεύμα I_A για να αυξηθεί από το 10% μέχρι το 90% του ονομαστικού ρεύματος, ονομάζεται χρόνος ανύψωσης (Σχήμα 1.54(δ), t_r). Το άθροισμα των χρόνων t_j+t_r είναι ο χρόνος έναυσης (turn-on time, t_{on}) του thyristor (Σχήμα 1.54(δ)).



Σχήμα 1.54 Δυναμική λειτουργία ενός τοπικού thyristor.
 α) Κύκλωμα με ένα thyristor.
 β) Τάση εισόδου του κυκλώματος.
 γ) Παλμός έναυσης του thyristor.
 δ) Ρεύμα του thyristor.
 ε) Τάση του thyristor.



Σχήμα 1.15 Φαινόμενο υπερθέρμανσης του θυρίστορ λόγω του di/dt .

Η σβέση του θυρίστορ αρχίζει από τη στιγμή που εφαρμόζεται αρνητική τάση στα άκρα του (Σχήμα 1.54(β)). Κατά τη σβέση του θυρίστορ (μετάβαση από κατάσταση αγωγής σε κατάσταση αποκοπής) παρατηρείται, όπως και κατά την έναυση, μια καθυστέρηση για τη μετάβαση από τη μια κατάσταση στην άλλη. Η μεταβολή της τάσης v_{AK} και του ρεύματος I_A παρουσιάζεται στο σχήμα 1.54. Όπως διαπιστώνεται από το σχήμα 1.54, το ρεύμα του θυρίστορ, από τη χρονική στιγμή t_0 κατά την οποία αρχίζει η σβέση και μετά, παρουσιάζει απότομη πτώση, μηδενίζεται κατά τη χρονική στιγμή t_j και στη συνέχεια παίρνει αρνητικές τιμές. Μειώνοντας το ρεύμα I_A μικραίνουν και τα φορτία στους δύο εξωτερικούς φραγμούς J_1 και J_3). Η πυκνότητα φορτίων των δύο αυτών φραγμών δεν ακολουθεί τον ίδιο ρυθμό με τη μεταβολή του ρεύματος ανόδου I_A , αλλά παρουσιάζει κάποια καθυστέρηση. Έτσι κατά τη χρονική στιγμή t_j όπου το I_A μηδενίζεται, υπάρχουν ακόμα τόσα φορτία, ώστε το θυρίστορ να βρίσκεται σε πλήρη κατάσταση αγωγής. Το αρνητικό ρεύμα θα εξακολουθήσει να κυκλοφορεί μέχρι να μετακινηθούν οι περισσότεροι φορείς των φραγμών J_1 και J_3 . Όταν γίνει αυτό οι φραγμοί J_1 και J_3 επανέρχονται στην κατάσταση αποκοπής και το ρεύμα πλησιάζει στο μηδέν τη χρονική στιγμή t_3 . Το θυρίστορ τώρα μπορεί να αποκόψει αρνητική τάση, διότι οι φραγμοί J_1 και J_3 είναι αρνητικά πολωμένοι (reversed biased). Όμως ο φραγμός J_2 παραμένει θετικά πολωμένος (forward biased) και περιέχει αρκετά φορτία. Οι φορείς του φραγμού J_2 δεν μπορούν να κυκλοφορήσουν μέσω του εξωτερικού κυκλώματος και έτσι επανασυνδέονται με ρυθμό, ο οποίος δεν εξαρτάται από το εξωτερικό κύκλωμα. Το θυρίστορ δεν μπορεί να μεταβεί σε κατάσταση θετικής αποκοπής μέχρι να γίνει η επανασύνδεση των φορέων του φραγμού J_2 (Σχήμα 1.54(ε)). Το φαινόμενο που συνδέεται με την αρνητική ροή του ρεύματος μέσα στο θυρίστορ, λέγεται φαινόμενο αδρανειακής συσσώρευσης φορτίων (reverse recovery). Η επανασύνδεση των ηλεκτρονίων και των οπών αρχίζει από τη χρονική στιγμή t_3 κατά την οποία το ρεύμα I_A μηδενίζεται, και συνεχίζει μέχρι τη χρονική στιγμή t_4 κατά την οποία η τάση του θυρίστορ μηδενίζεται. Ο χρόνος t_q (Σχήμα 1.54) ονομάζεται χρόνος σβέσης (turn off time) του θυρίστορ και δίνεται στις προδιαγραφές του κατασκευαστή. Όπως διαπιστώνεται από το σχήμα 1.54(ε), t_q είναι ο χρόνος που χρειάζεται το θυρίστορ για να αποκτήσει πάλι την ικανότητα της θετικής αποκοπής, μετά από το μηδενισμό του ρεύματος ανόδου. Ο χρόνος t_n (Σχήμα 1.54(δ)) ονομάζεται χρόνος αποκατάστασης.

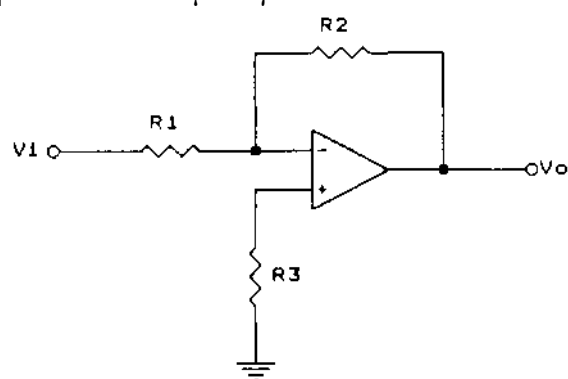
Τέλος, αξίζει να σημειωθεί, ότι αν η τάση του θυρίστορ v_{AK} πάρει θετική τιμή πριν το θυρίστορ αποκτήσει την ικανότητα της θετικής αποκοπής (δηλ. πριν το τέλος του καθοριζόμενου χρόνου t_q από τον κατασκευαστή), τότε το θυρίστορ θα αρχίσει να άγει, χωρίς να χρειάζεται παλμός έναυσης στην πύλη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο: ΤΥΠΟΙ ΤΕΛΕΣΤΙΚΩΝ ΕΝΙΣΧΥΤΩΝ

Οι διάφοροι τύποι τελεστικών ενισχυτών οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση των κυκλωμάτων ελέγχου διατάξεων βιομηχανικών ηλεκτρονικών είναι οι ακόλουθοι:

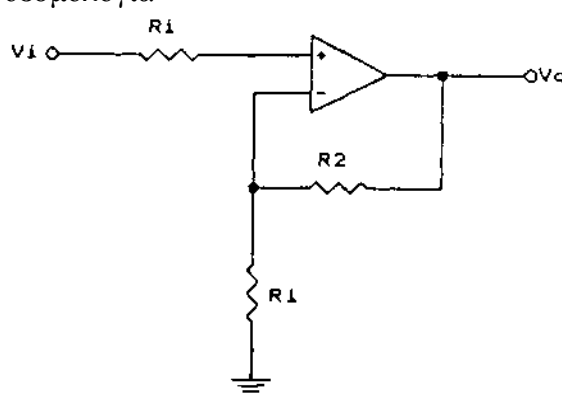
1. Αναλογικός ενισχυτής (Proportional Operation Amplifier)

α) Σε αντιστρέφουσα συνδεσμολογία

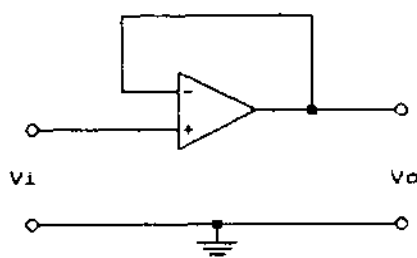


$$\text{Συνάρτηση μεταφοράς} = \frac{v_0}{v_i} = -\frac{R_2}{R_1}$$

β) Σε μη αντιστρέφουσα συνδεσμολογία

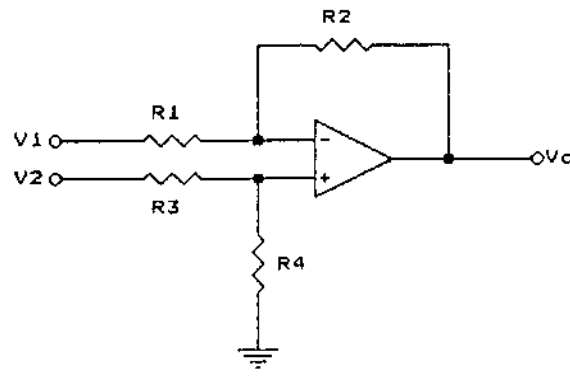


2. Ακόλουθος τάσης (follower)



$$\text{Συνάρτηση μεταφοράς} = \frac{v_0}{v_i} = 1$$

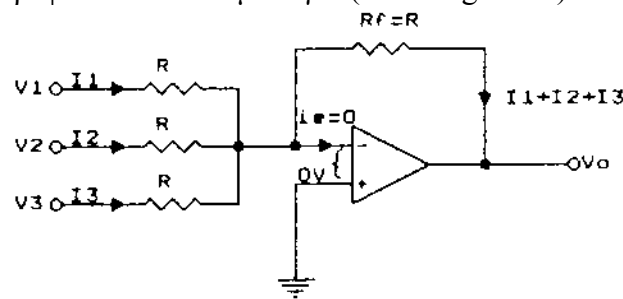
3. Διαφορικός ενισχυτής (Differential amplifier)



Συνάρτηση μεταφοράς $\frac{v_o}{v_2 - v_1} = \frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3}$ όταν $\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3}$

$\frac{R_2}{R_1} = \text{διαφορικό κέρδος}$

4. Αθροιστής σε αντιστρέφουσα συνδεσμολογία (Inverting adder)



$$v_o = -(v_1 + v_2 + v_3)$$

$$I_1 = \frac{v_1}{R}, I_2 = \frac{v_2}{R}, I_3 = \frac{v_3}{R}$$

Επομένως,

5. Συγκριτής Ενισχυτής (Comparator)

Ένας συγκριτής ενισχυτής συγκρίνει τα δύο σήματα εισόδου του και ανάλογα το πιο από τα δύο είναι μεγαλύτερο δίνει και την κατάλληλη ένδειξη (δηλ. τάση) στην έξοδό του. Η τάση εξόδου του συγκριτή κυμαίνεται μεταξύ δύο οριακών τιμών οι οποίες καθορίζονται

$$v_o = -(I_1 + I_2 + I_3) R_f$$

Σε περίπτωση που έχουμε διαφορετικές αντιστάσεις εισόδου

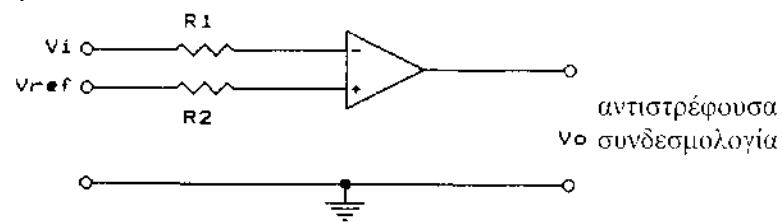
$$I_1 = \frac{v_1}{R_1}, I_2 = \frac{v_2}{R_2}, I_3 = \frac{v_3}{R_3}$$

$$v_i - v_f - v_o = 0 \Rightarrow v_o = -v_f = -(I_1 + I_2 + I_3) R_f$$

$$v_o = -\left(\frac{v_1}{R_1} + \frac{v_2}{R_2} + \frac{v_3}{R_3}\right) R_f = -\left(v_1 \frac{R_f}{R_1} + v_2 \frac{R_f}{R_2} + v_3 \frac{R_f}{R_3}\right)$$

από τις τάσεις κορεσμού του ενισχυτή, $+V_{sat}$ και $-V_{sat}$ και είναι περίπου $\pm 15V$ για ορισμένους ενισχυτές και $+5V$ και $0V$ για άλλους.

Παράδειγμα συγκριτή



Εάν	$v_i > v_{ref}$	τότε	$v_o = -V_{sat}$
Εάν	$v_i < v_{ref}$	τότε	$v_o = +V_{sat}$

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονίσουμε ότι οι καταστάσεις των δύο ρευμάτων εισόδου είναι αυτό που προσδιορίζει την κατάσταση της τάσης εξόδου του συγκριτή.

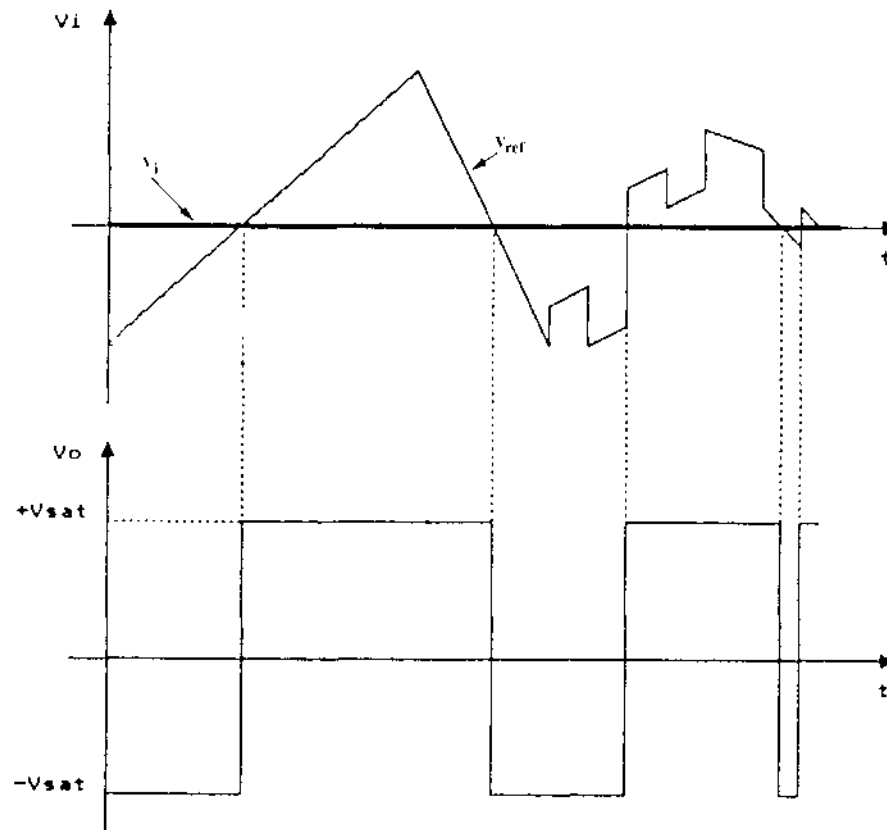
Δηλαδή

όταν $I_1 > I_2$ τότε $v_o = -V_{sat}$

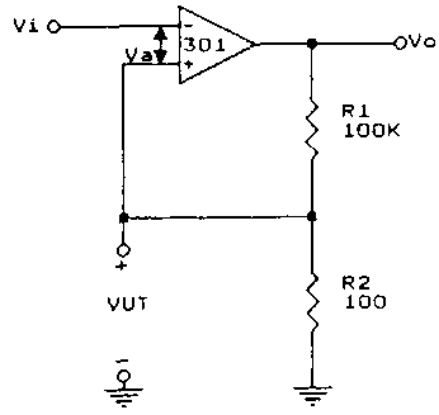
όταν $I_1 < I_2$ τότε $v_o = +V_{sat}$

$$I_1 = \frac{v_1}{R_1}, I_2 = \frac{V_{ref}}{R_2}$$

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η τάση εξόδου ενός συγκριτή για τις συγκεκριμένες τάσεις εισόδου.



Συγκριτής με άνω και κάτω τάση επιπέδου

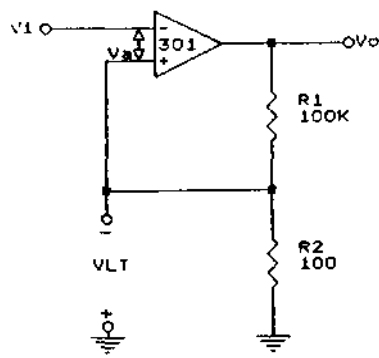


Στην περίπτωση αυτή ένα μέρος της τάσης εξόδου εφαρμόζεται στην θετική είσοδο του ενισχυτή. Όταν $v_o = +V_{sat}$, τότε η τάση της θετικής εισόδου ονομάζεται τάση άνω επιπέδου (v_{UT}). Η τάση άνω επιπέδου δίνεται από τη σχέση :

$$v_{UT} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} (+V_{sat})$$

Για τιμές της τάσης $V_i < V_{UT}$, η τάση στην (+) είσοδο είναι μεγαλύτερη της τάσης στην (-), και έτσι η v_o να είναι μανδαλωμένη στην τιμή $+V_{sat}$.

Εάν V_i γίνει λίγο μεγαλύτερη από την τάση V_{UT} τότε η πολικότητα της τάσης V_o αντιστρέφεται και τότε η τάση V_o αρχίζει να μειώνεται. Επομένως, η ανάδραση της τάσης στη θετική είσοδο είναι μικρότερη και κατά συνέπεια η v_o να γίνεται μεγαλύτερη. Στη συνέχεια η v_o μειώνεται πολύ γρήγορα ακόμη περισσότερο έως ότου φθάσει στην τιμή $-V_{sat}$. Το κύκλωμα βρίσκεται με ευστάθεια στην κατάσταση του ακόλουθου σχήματος:



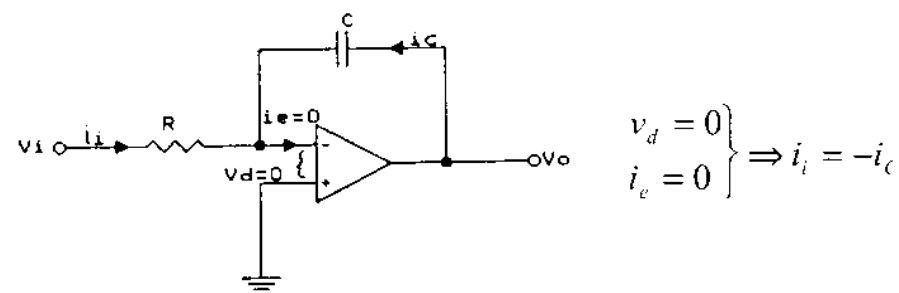
Όταν $v_o = -V_{sat}$ η τάση η οποία εφαρμόζεται στην (+) είσοδο του ενισχυτή ονομάζεται τάση κάτω επιπέδου και δίνεται από την ακόλουθη σχέση :

$$v_{LT} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} (-V_{sat})$$

Στην περίπτωση αυτή $v_{LT} < 0$. Επομένως, v_o θα παραμείνει στην τάση $-V_{sat}$ για τιμές $v_i > v_{LT}$. Όταν η v_i είναι μικρότερη της τάσης v_{LT} τότε η τάση εξόδου θα πάρει τη τιμή $+V_{sat}$ πάλι.

Η χρησιμοποίηση του άνω και κάτω επιπέδου σ' ένα συγκριτή έχει το πλεονέκτημα της αποφυγής λανθασμένης κυματομορφής στην έξοδο του συγκριτή σε περιπτώσεις που η τάση εισόδου περιέχει παρενοχλήσεις

6. Ολοκληρωτής (Integrator)

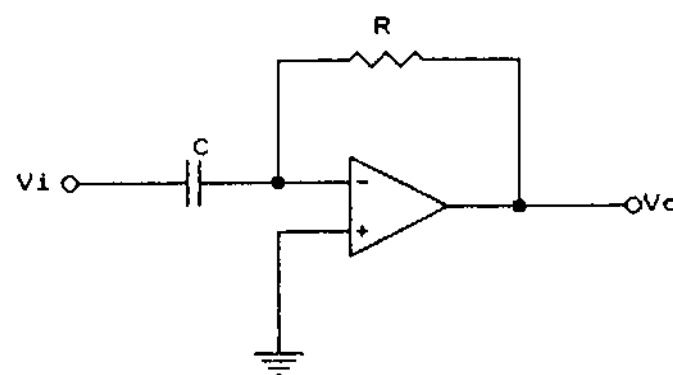


$$i_i = \frac{v_i}{R}, i_c = \frac{C dv_o}{dt} = C \frac{dv_o}{dt}$$

$$\Rightarrow \frac{v_i}{R} = -\frac{C dv_o}{dt} \Rightarrow v_o = \frac{-1}{RC} \int v_i dt$$

$\tau = RC =$ χρόνος ολοκλήρωσης

7. Διαφοριστής (Differentiator)



$$v_o = -RC \frac{dv_i}{dt}$$

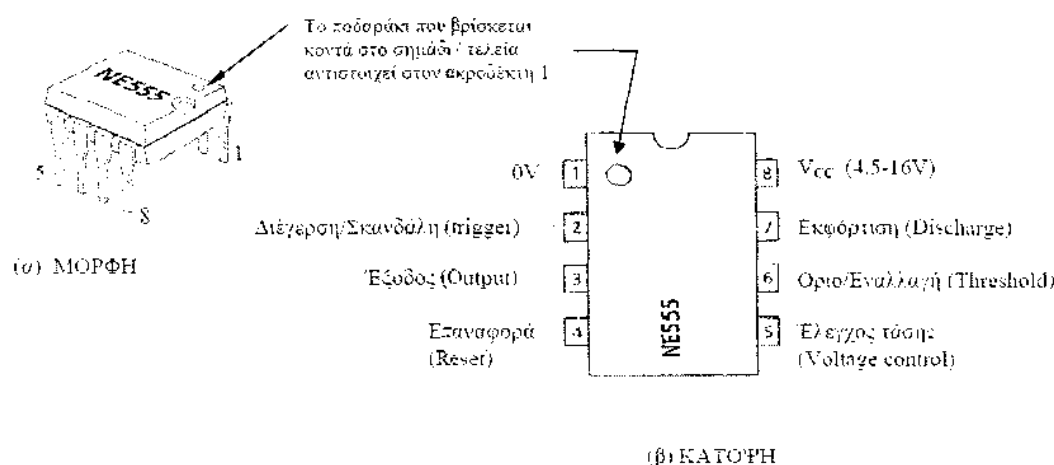
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο: ΧΡΟΝΙΣΤΗΣ 555

Ο χρονιστής 555 είναι ένα πολύ εύχρηστο και φθηνό 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.

3.1 Διάταξη ακροδεκτών IC 555



Ακροδέκτης	Περιγραφή
1	Συνδέεται με τα ΟΥ (-) της τροφοδοσίας.
2	Διέγερση/Σκανδάλη (Trigger) — Διεγείρει τον χρονομέτρη 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 μετάγεται από τάση ΟΥ σε τάση υψηλή- HIGH (περίπου ίση (,ie τη τάση τροφοδοσίας).
4	Επαναφορά (Reset) — Επαναφέρει το χρονομέτρη 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.
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.

3.2 Χαρακτηριστικά του 555

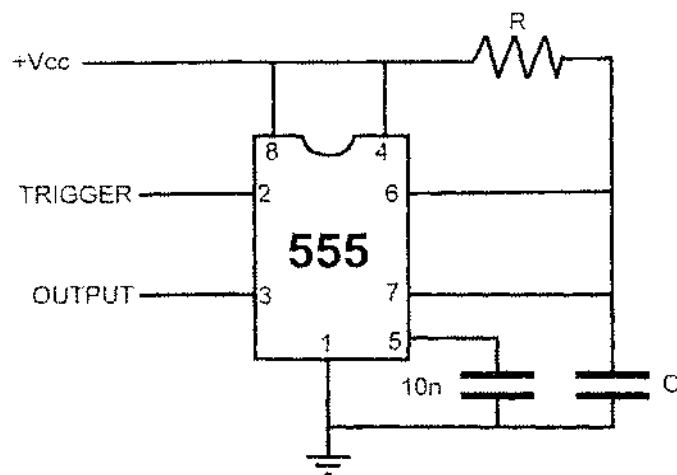
Λειτουργεί από 4.5 - 16V (αποφεύγονται οι δύο ακραίες τιμές πρακτική λειτουργία 5 - 15V) -Μπορεί να δώσει και να 'απορροφήσει μέχρι 200mA π.χ. μια LED ή μια λάμπα 6V, 60mA - μπορούν να συνδεθούν απευθείας στον ακροδέκτη εξόδου:

-Καταναλώνει περίπου 8 mA. Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας

-Είναι ευαίσθητο στους σπινθηρισμούς των διακοπών και στις διακυμάνσεις της τάσης παροχής.

3.3 Λειτουργία του 555 ως μονοσταθής πολυδονητής

Το 555 όταν λειτουργεί ως μονοσταθής πολυδονητής παράγει στην έξοδό του ορθογώνιους παλμούς συγκεκριμένης χρονικής διάρκειας. 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 4ο: Ο Μετασχηματιστής Παλμών

4.1 Χαρακτηριστικά Μετασχηματιστή Παλμών

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

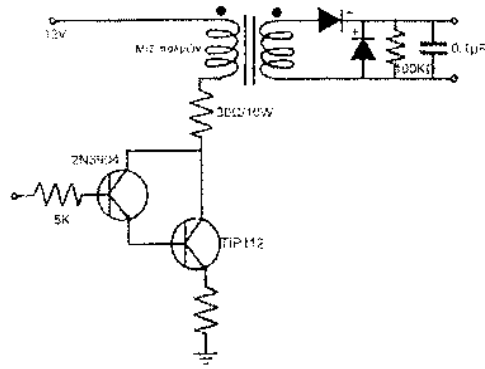
Για ισχύς μεγαλύτερες των 100 W, οι μετασχηματιστές παλμών αποδεικνύονται οικονομικότεροι από τους ηλεκτρονικούς και τους δυναμοηλεκτρικούς ενισχυτές. Επίσης, έχουν τα εξής πλεονεκτήματα:

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 ισχύς 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).

4.2 Το κύκλωμα της έκτης βαθμίδας.

Το κύκλωμα της έκτης βαθμίδας παρουσιάζεται στο σχήμα 1.



Σχήμα 1

Το κύκλωμα αποτελείται από τρία τμήματα:

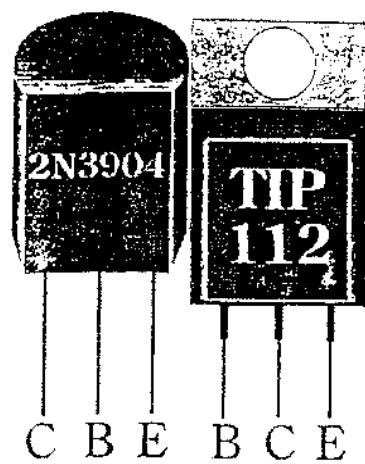
1. Δύο τρανζίστορ σε συνδεσμολογία Darlington με τις κατάλληλες αντιστάσεις

2. Ένας μετασχηματιστής παλμών και δύο διόδοι

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

Τα τρανζίστορ που χρησιμοποιούνται είναι το 2N3904 και το TIP112 (σχήμα 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.

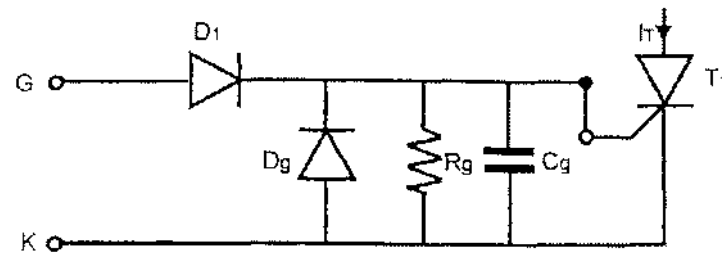


Σχήμα 2

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. Το κύκλωμα προστασίας της πύλης παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα .



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

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο: Οι Ανορθωτικές Διατάξεις για Κινητήρες Συνεχούς Ρεύματος

Σκοπός των διατάξεων αυτών, είναι η μετατροπή της εναλλασσόμενης τάσης εισόδου σε μια ελεγχόμενου μεγέθους συνεχή τάση, μεταβάλλοντας τη γωνία έναυσης α (έναρξη αγωγής) των διακοπτικών στοιχείων. Σε όλους αυτούς τους μετατροπείς, η μεταγωγή (commutation), δηλαδή η μετάβαση του ρεύματος από το ένα θυρίστορ στο επόμενο, επιτυγχάνεται πολύ εύκολα με τη λεγόμενη φυσική μεταγωγή (natural or line commutation), οφειλόμενη στην εναλλασσόμενη τάση του δικτύου. Πράγματι, στην κατάλληλη χρονική στιγμή, η έναυση του ενός θυρίστορ προκαλεί την ανάστροφη πόλωση και τη σβέση του προηγούμενου, με αποτέλεσμα να μην απαιτείται η χρήση πρόσθετων κυκλωμάτων εξαναγκασμένης μεταγωγής. Η ιδιότητα αυτή της φυσικής μεταγωγής, κάνει τους συγκεκριμένους μετατροπείς (phase-controlled converters) ιδιαίτερα απλούς και λιγότερους δαπανηρούς. Λόγω δε των σχετικά μικρών απωλειών των διακοπτικών στοιχείων, η απόδοσή τους είναι αρκετά μεγάλη της τάξης των 90% και άνω. Οι μετατροπείς αυτοί, διακρίνονται σε μονοφασικούς και τριφασικούς. Οι βασικότερες διατάξεις παρουσιάζονται στα σχ.5-1 και σχ.5-2.

Η χρήση του καθενός από αυτούς, εξαρτάται από τις απαιτήσεις της συγκεκριμένης εφαρμογής (π.χ. για μεγάλες ισχύεις χρησιμοποιούνται τριφασικές διατάξεις), από το αν υπάρχει η δυνατότητα αντιστροφής (δηλαδή λειτουργία σε περισσότερα του ενός τεταρτημόρια), από το μέγεθος της διακύμανσης της ανορθωμένης τάσης κλπ.

Οι ημιελεγχόμενες διατάξεις λειτουργούν από τη φύση τους στο 1^ο τεταρτημόριο, δηλαδή η τάση και το ρεύμα έχουν καθορισμένη πολικότητα από την πλευρά του συνεχούς. Οι πλήρως ελεγχόμενες διατάξεις, μπορούν να λειτουργήσουν σε δύο τεταρτημόρια. Δηλαδή, στους μετατροπείς αυτούς μπορεί να αντιστραφεί η πολικότητα της τάσης, όχι όμως και φορά του ρεύματος, καθόσον οι δίοδοι και τα θυρίστορ είναι μονόπορα στοιχεία. Σε αντίθεση με τους απλούς, οι διπλοί μετατροπείς μπορούν να λειτουργήσουν και στα 4 τεταρτημόρια.

Πολλές φορές, στα άκρα του τυλίγματος τυμπάνου τοποθετείται μια δίοδος, η οποία στη συνήθη λειτουργία είναι πολωμένη ανάστροφα. Η δίοδος αυτή είναι γνωστή ως δίοδος ελεύθερης ροής (free wheeling diode) και έχει σκοπό την κατανάλωση της αποθηκευμένης ενέργειας στην αυτεπαγωγή του τυλίγματος τυμπάνου, κατά τα διαστήματα της μη αγωγής των θυρίστορ. Ένα βασικό χαρακτηριστικό που θα πρέπει να διαθέτουν οι δίοδοι αυτές είναι ότι, θα πρέπει να είναι εξαιρετικά γρήγορες ως προς την αναδιάταξη των φορέων τους (ultra high speed diodes), έτσι ώστε να προστατεύουν το κύκλωμα από τις προκαλούμενες υπερτάσεις.

Η χρήση των μετατροπέων μισού κύματος είναι αρκετά περιορισμένη, διότι στις περισσότερες περιπτώσεις η αγωγή του ρεύματος τυμπάνου είναι ασυνεχής (λόγω μικρής αυτεπαγωγής). Στους υπόλοιπους μονοφασικούς μετατροπείς, η αγωγή του ρεύματος μπορεί να είναι συνεχής ή ασυνεχής. Αυτό εξαρτάται από τη συγκεκριμένη λειτουργική κατάσταση. Αντίθετα στους 3φ μετατροπείς, η αγωγή του ρεύματος τυμπάνου είναι στις περισσότερες περιπτώσεις συνεχής.

Πρέπει να διευκρινίσουμε ότι, το είδος της αγωγής του ρεύματος τυμπάνου, έχει επίδραση στη ρύθμιση της ταχύτητας καθώς επίσης και στη δυναμική απόκριση του μετατροπέα.

ΚΥΚΛΩΜΑ	ΤΥΠΟΣ	ΤΥΠΙΚΗ ΙΣΧΥΣ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΚΥΜΑΤΩΣΗΣ	ΤΕΤΑΡΤΗΜΟΡΙΟ ΑΠΙΘΥΡΓΙΑΣ
	ΑΠΛΗ ΑΝΟΡΘΩΣΗ ΠΙΣΟΥ ΚΥΜΑΤΟΣ	έως 1 Hp	f	
	ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΗ ΗΜΙΕΛΓΧΟΜΕΝΗ ΓΕΦΥΡΑ	έως 20 Hp	2f	
	ΠΛΗΡΩΣ ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΗ ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΗ ΓΕΦΥΡΑ	έως 20 Hp	2f	
	ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΣ ΔΙΠΛΟΜΕΤΑΤΡΟΠΙΣΑΣ	έως 20 Hp	2f	

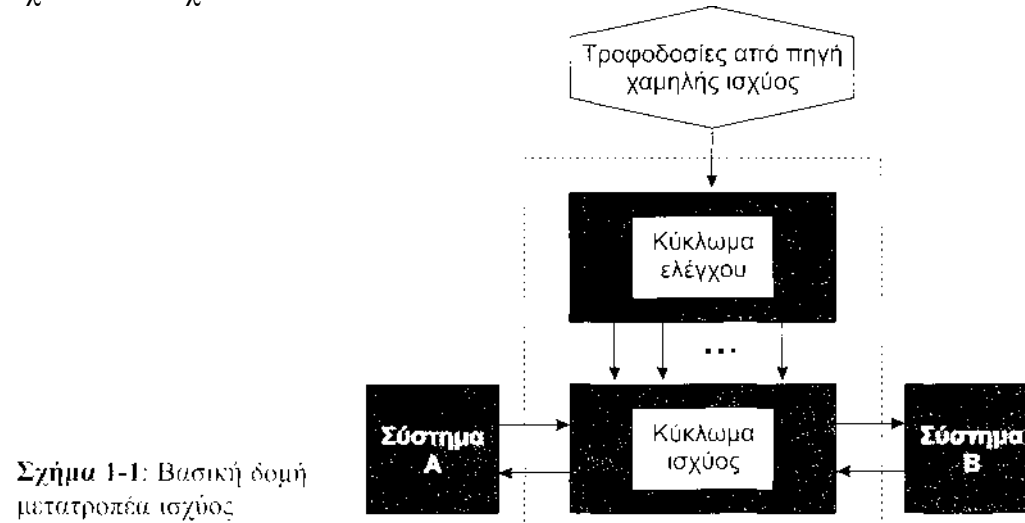
Σχήμα 5.1: Μονοφασικές ανορθωτικές διατάξεις

ΚΥΚΛΩΜΑ	ΤΥΠΟΣ	ΓΥΪΗΚΗ ΙΣΧΥΣ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΚΥΜΑΤΩΣΗΣ	ΤΕΤΑΡΙΗΜΟΡΙΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
	ΤΡΙΦΑΣΙΚΗ ΑΝΟΡΘΩΣΗ ΜΙΣΟΥ ΚΥΜΑΤΙΟΣ	έως 50 Hp	3f	
	ΤΡΙΦΑΣΙΚΗ ΗΜΙΕΛΕΥΧΟΜΕΝΗ ΓΕΦΥΡΑ	έως 150 Hp	3f	
	ΠΑΡΩΣ ΕΛΕΥΧΟΜΕΝΗ ΤΡΙΦΑΣΙΚΗ ΓΕΦΥΡΑ	έως 150 Hp	6f	
	ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΣ ΑΠΙΣΟΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ	έως 150 Hp	6f	

Σχήμα 5-2 : Τριφασικές ανορθωτικές διατάξεις

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο: Οι Ηλεκτρονικοί Διακόπτες Ισχύος

Οι αυξημένες απαιτήσεις της παραγωγής (σε ταχύτητα, βελτίωση ποιότητας προϊόντος, αλλά και μείωση του κόστους), έχουν οδηγήσει στην καθιέρωση της χρήσης των ηλεκτρονικών στοιχείων ως βασικές συνιστώσες στις διάφορες βαθμίδες (μέτρησης, επεξεργασίας και μετατροπής) μιας παραγωγικής διαδικασίας. Η βασική δομή ενός ηλεκτρονικού μετατροπέα ισχύος, δείχνεται στο σχ. 1-1.



Σχήμα 1-1: Βασική δομή μετατροπέα ισχύος

Σύμφωνα με το σχ. 1-1, ένας ηλεκτρονικός μετατροπέας ισχύος χοντρικά αποτελείται από δύο επιμέρους μονάδες, τη μονάδα ισχύος και τη μονάδα ελέγχου. Η μονάδα ισχύος, περιλαμβάνει ανάλογα με το είδος του μετατροπέα, τα απαραίτητα ηλεκτρονικά διακοπτικά στοιχεία ισχύος σε κατάλληλη συνδεσμολογία. Διαθέτει δύο θύρες, για τη διασύνδεση των συστημάτων Α και Β (μεταξύ των οποίων γίνεται ανταλλαγή ενέργειας). Η μονάδα ελέγχου, αποτελείται κατά βάση από ηλεκτρονικά στοιχεία χαμηλής ισχύος και τάσης και έχει ως στόχο τη δημιουργία της 'λογικής' της εντολοδότησης των διακοπτικών στοιχείων ισχύος του μετατροπέα. Το κύκλωμα ισχύος των εν λόγω μετατροπέων, αποτελείται από ημιαγωγικά διακοπτικά στοιχεία ισχύος (δίοδοι, τρανζίστορς, θυρίστορς κ.λ.π.). Ανάλογα με το είδος του μετατροπέα, η ροή της ισχύος μεταξύ των δύο συστημάτων (Α και Β), μπορεί να είναι μονόπλευρη ή και αμφίπλευρη (λειτουργία σε ένα ή και περισσότερα τεταρτημόρια). Για παράδειγμα, το σύστημα Α μπορεί να είναι μια εναλλασσόμενη πηγή τάσης και το σύστημα Β ένας ασύγχρονος κινητήρας, στον οποίο μέσω του μετατροπέα γίνεται έλεγχος της ροπής και των στροφών, ή το σύστημα Β θα μπορούσε να είναι μια φωτοβολταϊκή μονάδα, της οποίας η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια μέσω του μετατροπέα, διοχετεύεται στο δίκτυο (σύστημα Α).

Ο βαθμός απόδοσης των εν λόγω μετατροπέων, λόγω του ότι δεν διαθέτουν κινητά μέρη, είναι αρκετά υψηλός. Πέρα όμως από τη διαδικασία ελέγχου και μετατροπής της ενέργειας, τα ηλεκτρονικά στοιχεία προσφέρουν μεγάλες δυνατότητες και στην επεξεργασία σήματος (φιλτράρισμα, διαμόρφωση κ.λπ.).

6.1 Είδη μετατροπέων

Τα βασικά είδη μετατροπέων είναι τα εξής:

6.1.1 Μετατροπέας E.P./Σ.P (ανορθωτής)

Ο μετατροπέας E.P./Σ.P, σύμφωνα με το σχ. 1-2, έχει ως είσοδο εναλλασσόμενη τάση σταθερού μέτρου και συχνότητας και ως έξοδο συνεχή τάση, σταθερή ή ρυθμιζόμενη. Η τάση εξόδου δεν είναι ιδανικά συνεχής, όπως στην περίπτωση μιας γεννήτριας Σ.P, αλλά χρονικά μεταβαλλόμενη (εμφανίζει κυμάτωση) με σταθερή πολικότητα. Η φορά της ισχύος μιας ανορθωτικής διάταξης, είναι από την πλευρά του εναλλασσομένου προς την πλευρά του συνεχούς.



Σχήμα 1-2: Μετατροπέας E.P./Σ.P.

Ανάλογα με τα διακοπτικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται (δίοδοι, θυρίστορ ή και συνδυασμός αυτών) καθώς επίσης και από τη συνδεσμολογία τους, οι συγκεκριμένοι μετατροπείς διακρίνονται σε:

- μονοφασικούς,
- τριφασικούς,
- μη ελεγχόμενους,
- ημιελεγχόμενους και
- πλήρως ελεγχόμενους.

Οι μη ελεγχόμενοι μετατροπείς, χρησιμοποιούν ως διακοπτικά στοιχεία δίοδους, είναι πιο απλοί στην κατασκευή και πιο οικονομικοί έναντι των υπολοίπων (καθόσον δεν απαιτείται κύκλωμα ελέγχου), αλλά δεν έχουν τη δυνατότητα ρύθμισης της τάσης εξόδου.

Ο *πλήρως ελεγχόμενος μετατροπέας*, κάτω από συγκεκριμένες προϋποθέσεις (ύπαρξη ενεργητικού φορτίου από την πλευρά του συνεχούς) μπορεί να λειτουργήσει σε δύο τεταρτημόρια, δηλαδή εκτός από ανορθωτής και ως αντιστροφέας, όπου πλέον η φορά της ισχύος είναι αντίθετη από εκείνη για λειτουργία ανορθωτή. Για παράδειγμα, κατά την αναγεννητική πέδηση ενός κινητήρα Σ.P., η κινητική ενέργεια των στρεφομένων μαζών μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια και διοχετεύεται πίσω στο δίκτυο. Εάν δεν είναι απαραίτητη η λειτουργία στο δεύτερο τεταρτημόριο (ως αντιστροφέα), τότε οι ημιελεγχόμενες διατάξεις πλεονεκτούν έναντι των αντιστοιχών πλήρως ελεγχόμενων ανορθωτικών διατάξεων. Πράγματι, εκτός του μικρότερου κόστους και του πιο απλού κυκλώματος ελέγχου, έχουν μεγαλύτερη μέση τιμή της τάσης εξόδου, μικρότερη κατανάλωση έργου ισχύος και δεν απαιτούν επιπρόσθετη δίοδο "ελεύθερης ροής" για επαγωγικά φορτία.

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

Ο μετατροπέας E.P./E.P. -σταθερής συχνότητας, σχ. 1-3, έχει ως είσοδο εναλλασσόμενη τάση σταθερού μεγέθους και συχνότητας και ως έξοδο εναλλασσόμενη τάση ρυθμιζόμενου μεγέθους και σταθερής συχνότητας (ίση με τη συχνότητα εισόδου).



Σχήμα 1-3: Μετατροπέας E.P./E.P. (σταθερής συχνότητας)

Η λειτουργία του συγκεκριμένου μετατροπέα, είναι ανάλογη εκείνης του μετασχηματιστή. Τα διακοπτικά στοιχεία του κυκλώματος ισχύος, ως προς τη φορά ροής του ρεύματος, είναι στοιχεία δύο κατευθύνσεων. Για μικρές ισχύεις (της τάξης μερικών KW) χρησιμοποιούνται Triacs, ενώ για μεγαλύτερες ισχύεις αντιπαράλληλα thyristor. Τα δύο αντιπαράλληλα thyristor, ως διακόπτης εναλλασσομένου, έχει πολύ καλύτερες επιδόσεις από το Triac. Η λογική του κυκλώματος ελέγχου, ομοιάζει με εκείνη των ανορθωτικών διατάξεων. Με κατάλληλη ρύθμιση της γωνίας έναυσης, το μέγεθος της τάσης εξόδου μπορεί να μεταβάλλεται στην περιοχή τιμών

$$0 < V_2 < V_1$$

Οι εν λόγω μετατροπείς, βρίσκουν εφαρμογή σε κυκλώματα ρύθμισης φωτισμού (μονοφασικά και τριφασικά) καθώς και σε διατάξεις εκκίνησης κινητήρων E.P.. Σε αντίθεση μάλιστα με τους κλασικούς εκκινητές (αστέρα/ τρίγωνο κ.λ.π.), οι συγκεκριμένοι εκκινητές, εκτός από τη δυνατότητα ομαλής εκκίνησης (soft-starting), προσφέρουν και τη δυνατότητα της ομαλής διακοπής του κινητήρα (soft-stopping), δυνατότητα ιδιαίτερα χρήσιμη σε αντλητικά συστήματα για την αποφυγή του υδραυλικού πλήγματος.

6.1.3 Μετατροπέας Σ.Ρ./Σ.Ρ.

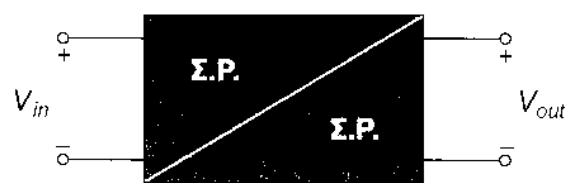
Ο μετατροπέας Σ.Ρ./Σ.Ρ., σχ.1-4, έχει ως είσοδο συνεχή τάση (σταθερού μεγέθους) και ως έξοδο συνεχή τάση ρυθμιζόμενου μεγέθους.

Η λειτουργία του είναι ανάλογη με εκείνη του μετασχηματιστή, αλλά για συνεχές ρεύμα. Ανάλογα με το μέγεθος της τάσης εξόδου, οι συγκεκριμένοι μετατροπείς διακρίνονται σε δύο κατηγορίες. Στους μετατροπείς υποβιβασμού (step-down dc/dc converters), για τους οποίους το μέγεθος της τάσης εξόδου κυμαίνεται στην περιοχή τιμών

$$0 < V_{out} < V_{in}$$

και στους μετατροπείς ανύψωσης (step-up dc/dc converters), για τους οποίους ισχύει ότι

$$V_{out} > V_{in}$$

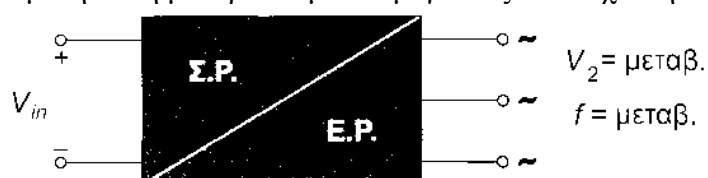


Σχήμα 1-4: Μετατροπέας Σ.Ρ. Σ.Ρ.

Ως διακοπτικά στοιχεία χρησιμοποιούνται τρανζίστορ ισχύος και πιο συγκεκριμένα τύπου MOSFET και IGBT ή και GTO (gate turn-off thyristor) για μικρές ισχύεις (λόγω του ότι το ρεύμα σβέσης του συγκεκριμένου θυρίστορ, είναι κατά πολύ μεγαλύτερο του αντιστοίχου ρεύματος κατά την έναυση). Ο λόγος που δεν χρησιμοποιούνται τα κλασικά θυρίστορ, είναι ότι απαιτούν επιπλέον κυκλώματα για την εξαναγκασμένη μεταγωγή τους (σβέση), σε αντίθεση με τις ανορθωτικές διατάξεις όπου η σβέση τους γίνεται με φυσική μεταγωγή από την εναλλασσόμενη τάση του δικτύου. Υπάρχουν δύο τεχνικές για την εντολοδότηση του διακοπτικού στοιχείου, η μία βασίζεται στη διαμόρφωση του εύρους του παλμού (pulse-width modulation) και η άλλη στη διαμόρφωση συχνότητας (frequency modulation). Η πρώτη μέθοδος, προτιμάται για φορτία κίνησης. Οι μετατροπείς Σ.Ρ./Σ.Ρ., ανάλογα με τα τεταρτημόρια λειτουργίας, διακρίνονται σε πέντε κατηγορίες (κλάσεις Α,Β,С, D και E).

6.1.4 Μετατροπέας Σ.Ρ./E.P (αντιστροφείας)

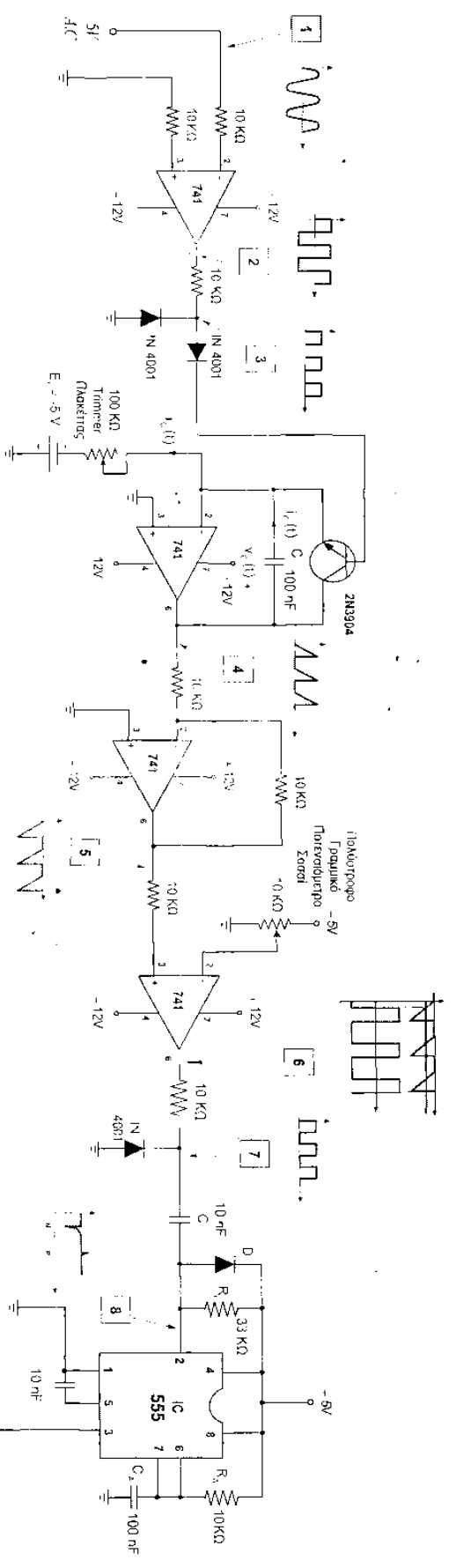
Ο μετατροπέας Σ.Ρ./E.P., σύμφωνα με το σχ. 1 -5, έχει ως είσοδο συνεχή τάση σταθερού μεγέθους και ως έξοδο, εναλλασσόμενη τάση μεταβαλλόμενου μεγέθους και συχνότητας.



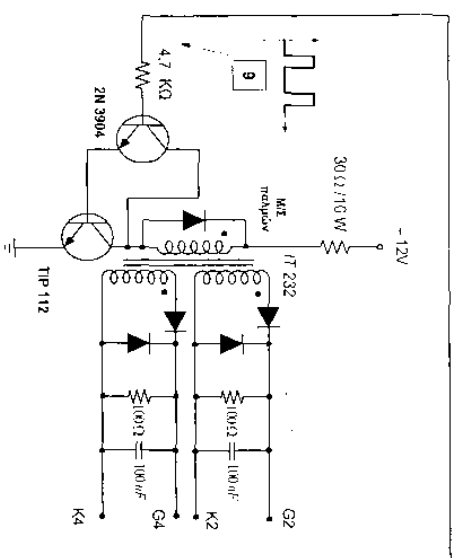
Σχήμα 1-5: Μετατροπέας Σ.Ρ./E.P.

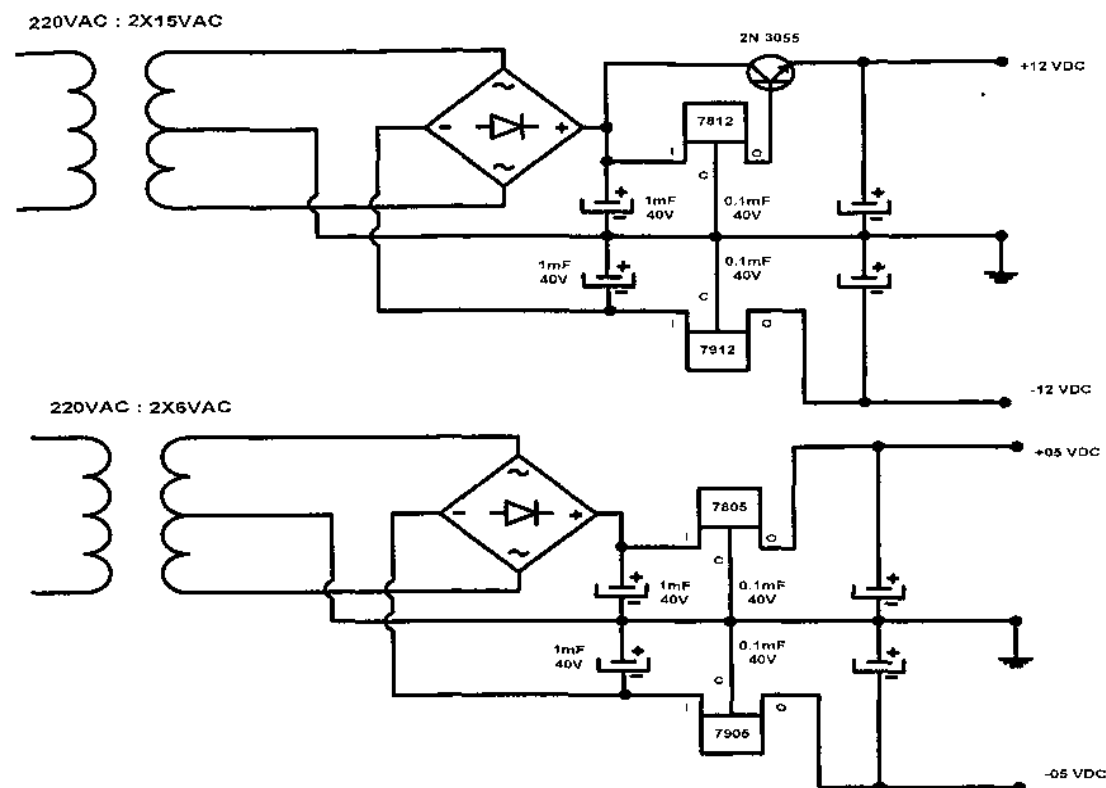
Οι μετατροπείς αυτοί μπορεί να είναι μονοφασικοί ή τριφασικοί. Υπάρχουν δύο παραλλαγές, οι αντιστροφείς πηγής τάσης και οι αντιστροφείς πηγής ρεύματος.

Τα διακοπτικά στοιχεία, συνήθως είναι τρανζίστορ ισχύος, τύπου MOSFET ή IGBT. Οι συγκεκριμένοι μετατροπείς (συνδυαζόμενοι στην είσοδο με ένα μετατροπέα (E.P./ Σ.Ρ.), χρησιμοποιούνται κατά κόρο για τον έλεγχο κινητήρων E.P.. Στην περίπτωση αυτή, για την πλήρη εκμετάλλευση των μαγνητικών χαρακτηριστικών του κινητήρα, γίνεται ρύθμιση του λόγου V/f . Δηλαδή η ρύθμιση του μεγέθους και της συχνότητας της εναλλασσόμενης τάσης εξόδου, γίνεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε ο λόγος τάσης/συχνότητας, να παραμένει σταθερός και ίσος περίπου με το λόγο των αντίστοιχων ονομαστικών τιμών των συγκεκριμένων μεγεθών. Με τον τρόπο αυτό, επιτυγχάνεται η λειτουργία του κινητήρα με ονομαστική ροή (και κατ' επέκταση βέλτιστη ροπή), ανεξάρτητα από τη συχνότητα λειτουργίας.

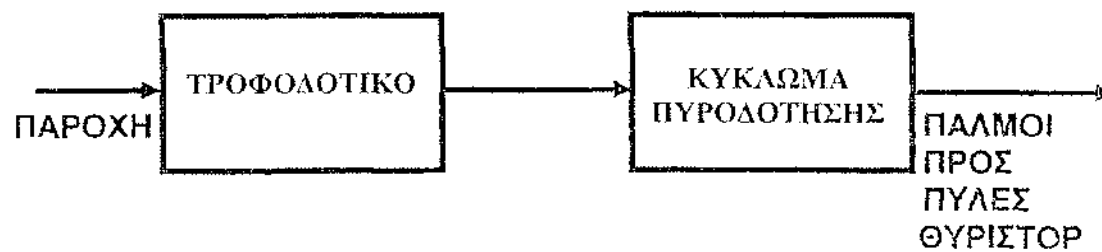


ΒΑΘΜΙΔΑ
ΠΑΡΑΤΩΤΗΣ
ΠΑΛΜΩΝ 180-360





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

7.2 Περιγραφή Λειτουργίας Κυκλώματος

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.

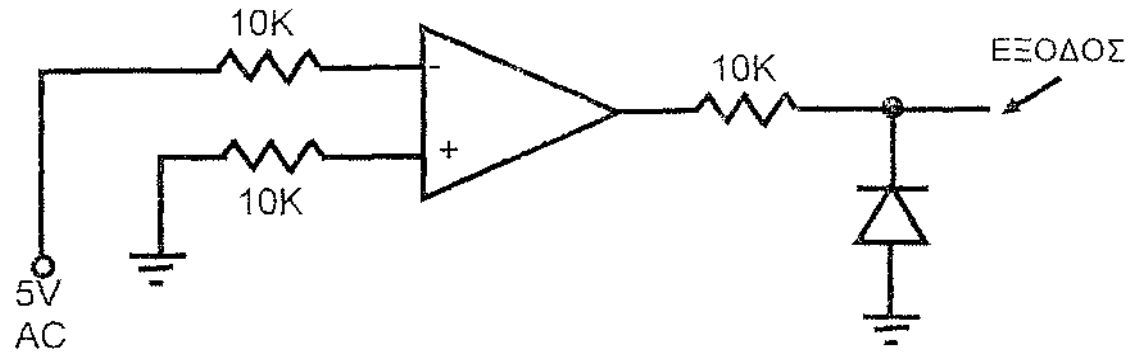
Επομένως, ρυθμίζει έμμεσα και την εναλλασσόμενη τάση στο φορτίο. Ο παλμός που παράγεται είναι συχνότητας 50 Hz.

Για την παραγωγή των παλμών χρησιμοποιούμε απλά κυκλώματα, ία 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.

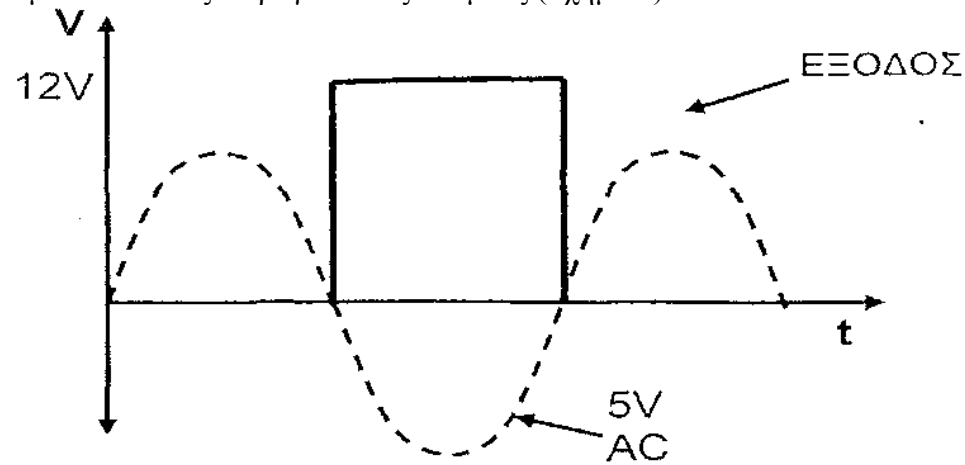
Βαθμίδα 1η

Το κύκλωμα της πρώτης βαθμίδας περιλαμβάνει έναν τελεστικό ενισχυτή σε συνδεσμολογία συγκριτή και μια διάοδο 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 διάόδου, στην έξοδο του τελεστικού ενισχυτή, λαμβάνουμε στην τελικά μόνο θετικούς τετραγωνικούς παλμούς (σχήμα 4).



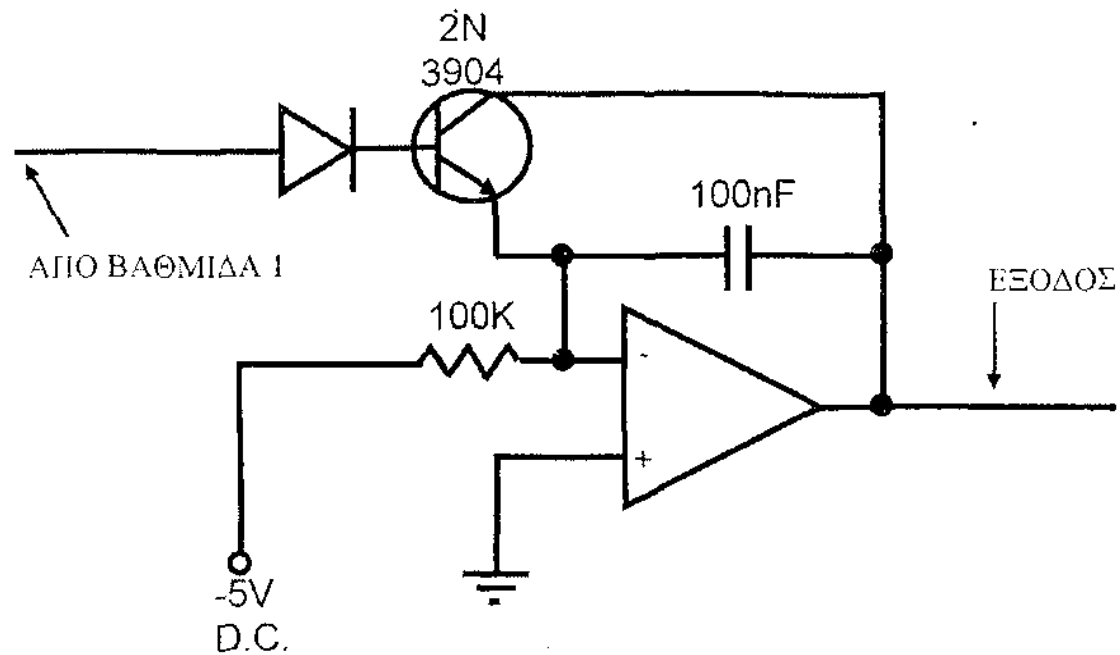
Σχήμα 4

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 2η

Το κύκλωμα της δεύτερης βαθμίδας περιλαμβάνει έναν τελεστικό ενισχυτή σε συνδεσμολογία ολοκληρωτή, μια δίοδο και ένα τρανζίστορ (σχήμα 5).



Σχήμα 5

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 $100K\Omega$ και είναι ίσο με $5V/100K\Omega=50\mu A$.

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

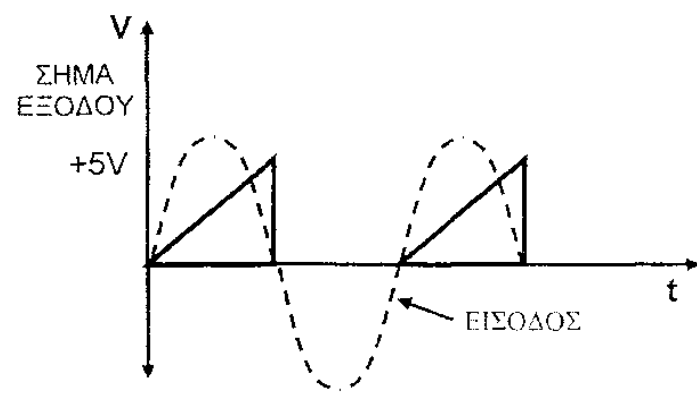
Τελικά, στην έξοδο παίρνουμε ένα πριονωτό σήμα του οποίου η μέγιστη τιμή είναι: $\Delta N/\text{πυκνωτή}$ $I\Delta t/c$ (σχήμα 6).

Με τις συγκεκριμένες τιμές έχουμε:

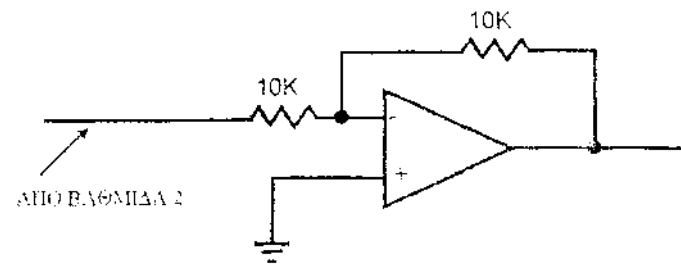
$$I=50\mu A, C=100nF, At=10mS \Rightarrow v \text{ μέγιστο}=5v.$$

Βαθμίδα 3η

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



Σχήμα 6

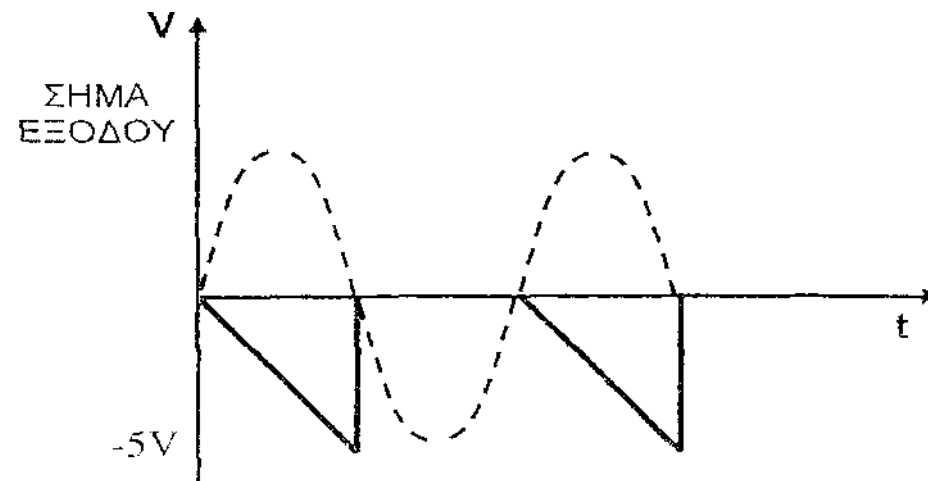


Σχήμα 7

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

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

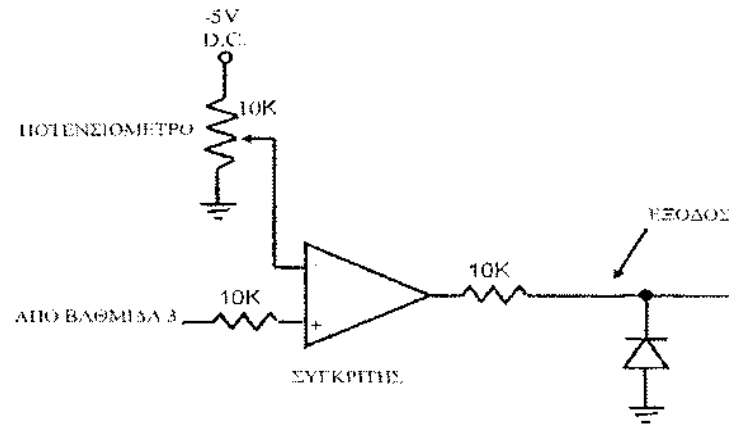
Επειδή οι αντιστάσεις R_1 και R_2 είναι ίσες ,παίρνουμε στην έξοδο του τελεστικού ενισχυτή το ίδιο σήμα ανεστραμμένο (σχήμα 8).



Σχήμα 8

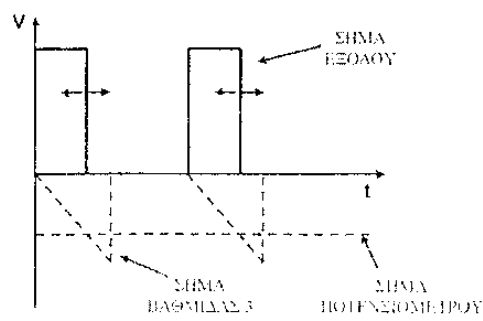
Βαθμίδα 4η

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.

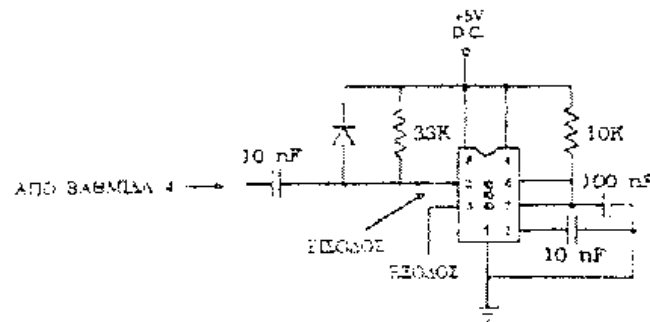


Σχήμα 10

Βαθμίδα 5'

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 $C=10nF$ (σχήμα 11).

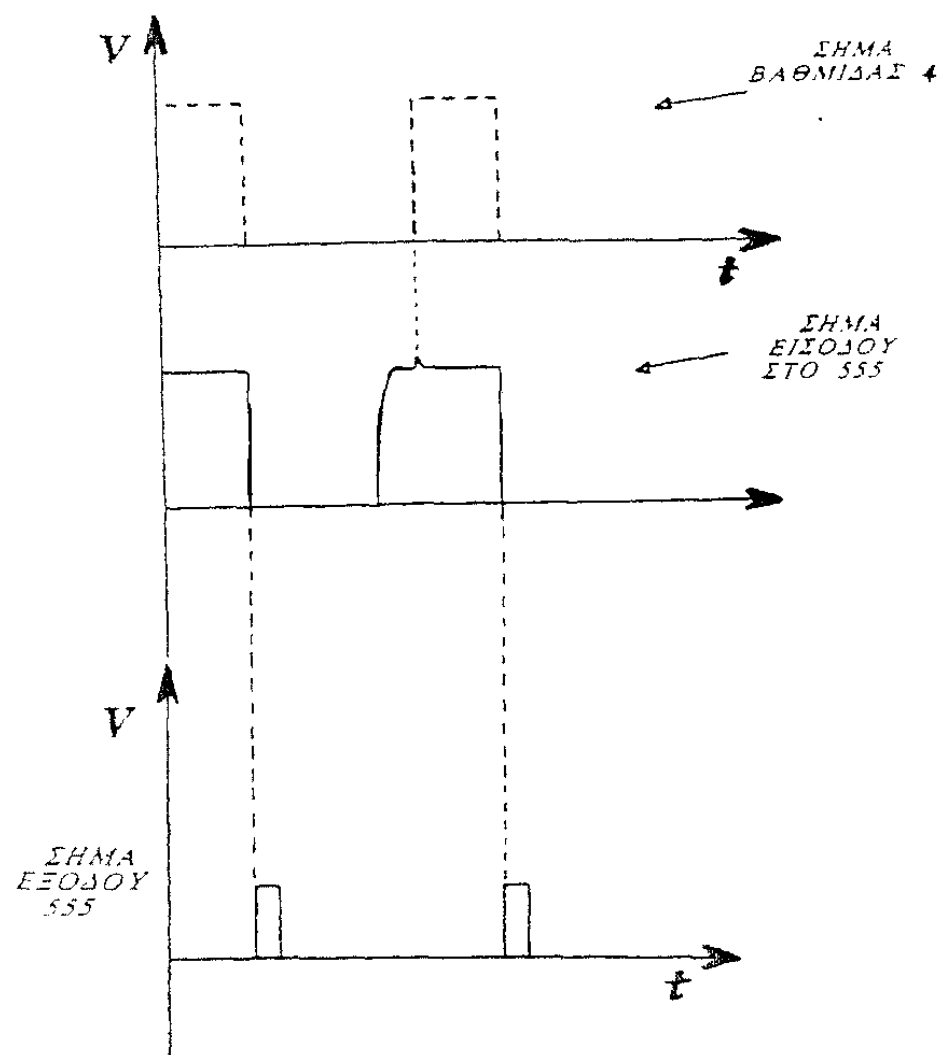


Σχήμα 11

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 διόδος είναι ορθά πολωμένη και μεταφέρει το δυναμικό των +5V, ενώ ο πυκνωτής είναι, επίσης, φορτισμένος.

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

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



Σχήμα 12

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

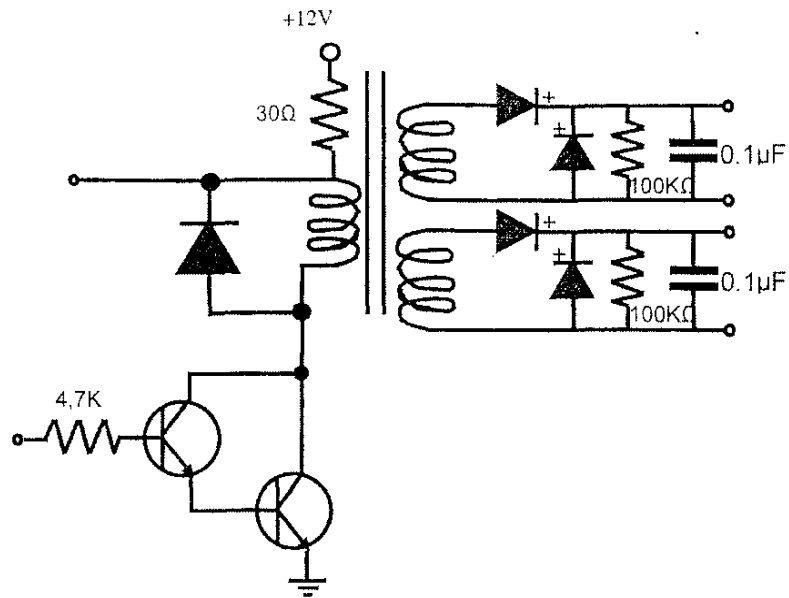
Στην πραγματικότητα αυτό που μας ενδιαφέρει για τον αντίστροφο παλμό είναι τα σημεία όπου η τάση πέφτει κάτω από το $1/3V_{cc}$ δηλαδή $5/3=1,66V$ και ανεβαίνει πάνω από τα $1,66V$. Επομένως ο αντίστροφος παλμός έχει ακόμα μικρότερη διάρκεια από τα $0,33msec$. Η έξοδος του χρονιστή 555 δίνει παλμό $+5V$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

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 διάοδος 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 διάοδοι στο δευτερεύον του μ/σ χρησιμοποιούνται για την προστασία της γέφυρας από αρνητικές τάσεις. Η

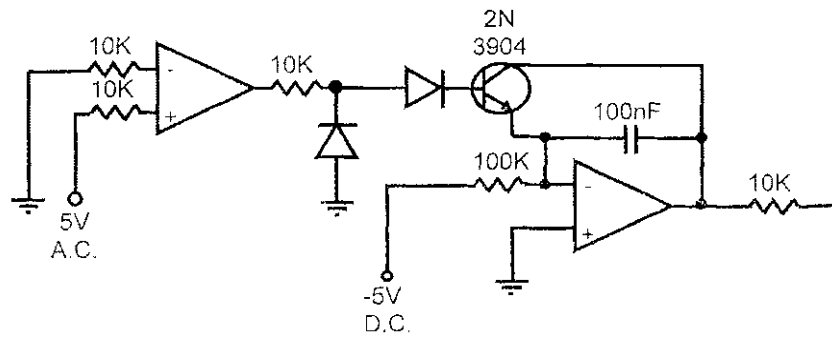
αντίσταση και ο πυκνωτής βελτιώνουν κάποια χαρακτηριστικά του θυρίστορ (I_L , dV/dt).



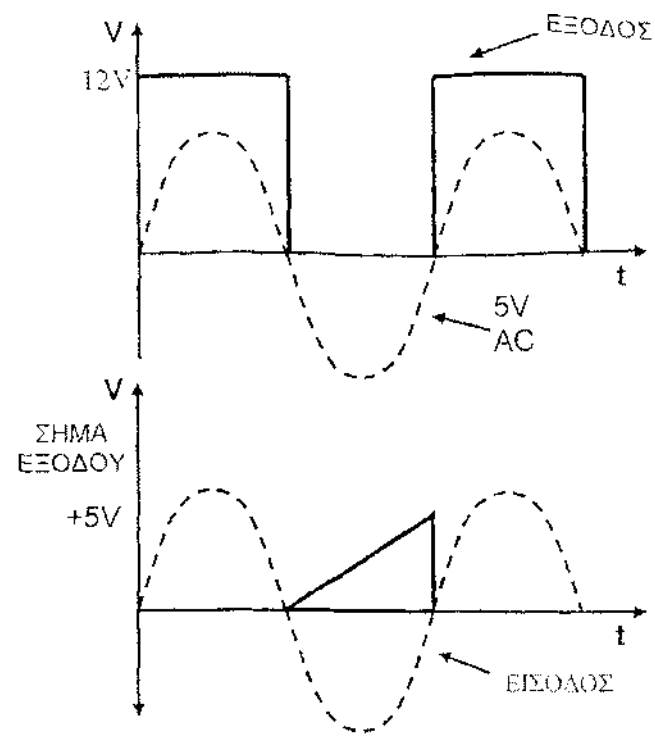
Σχήμα 13

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.

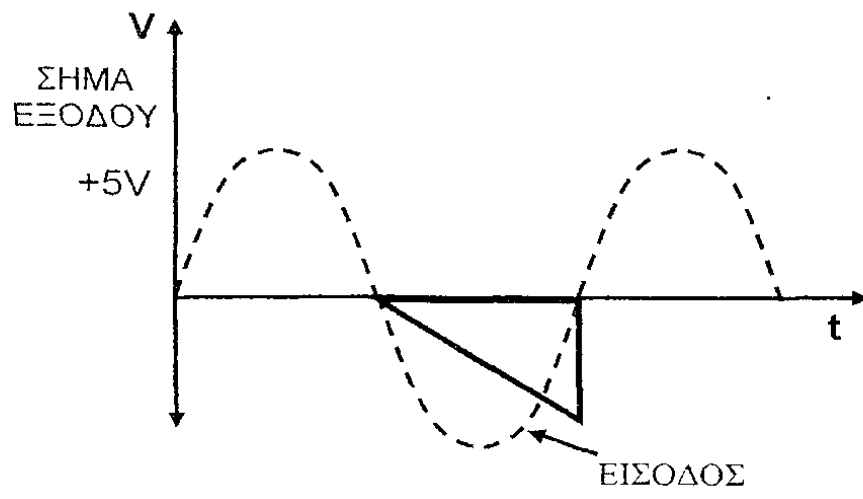


Σχήμα 14



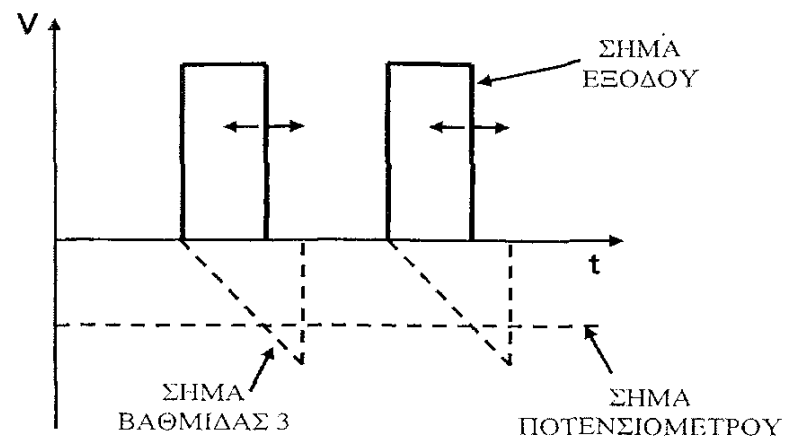
Σχήμα 15

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

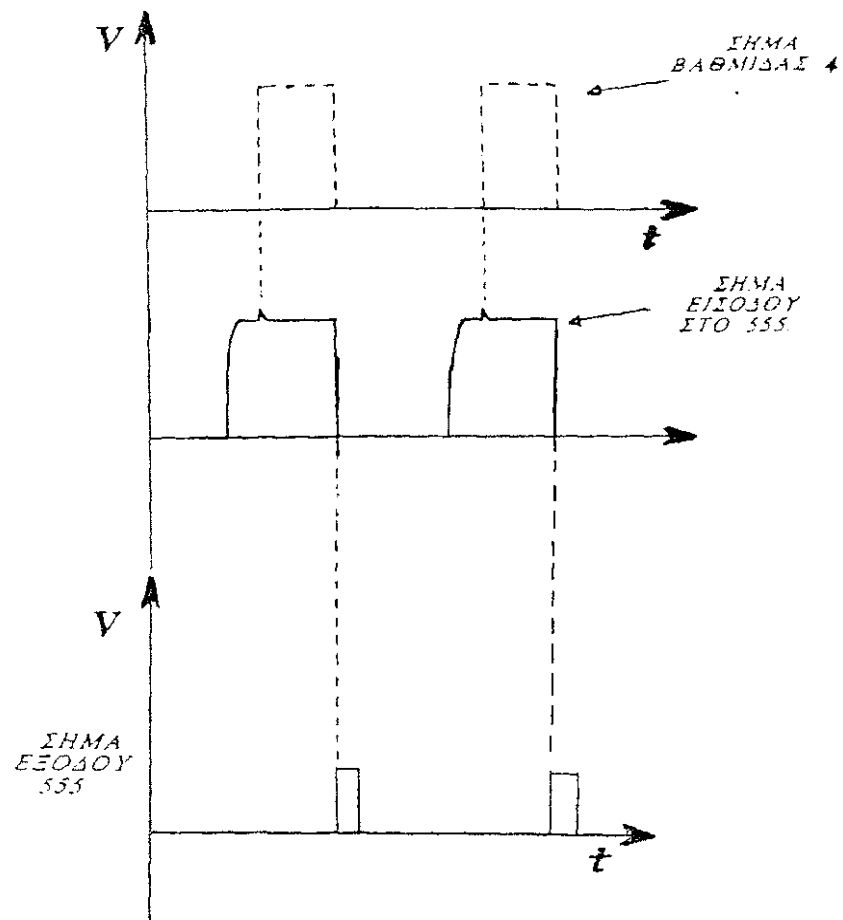


Σχήμα 16

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



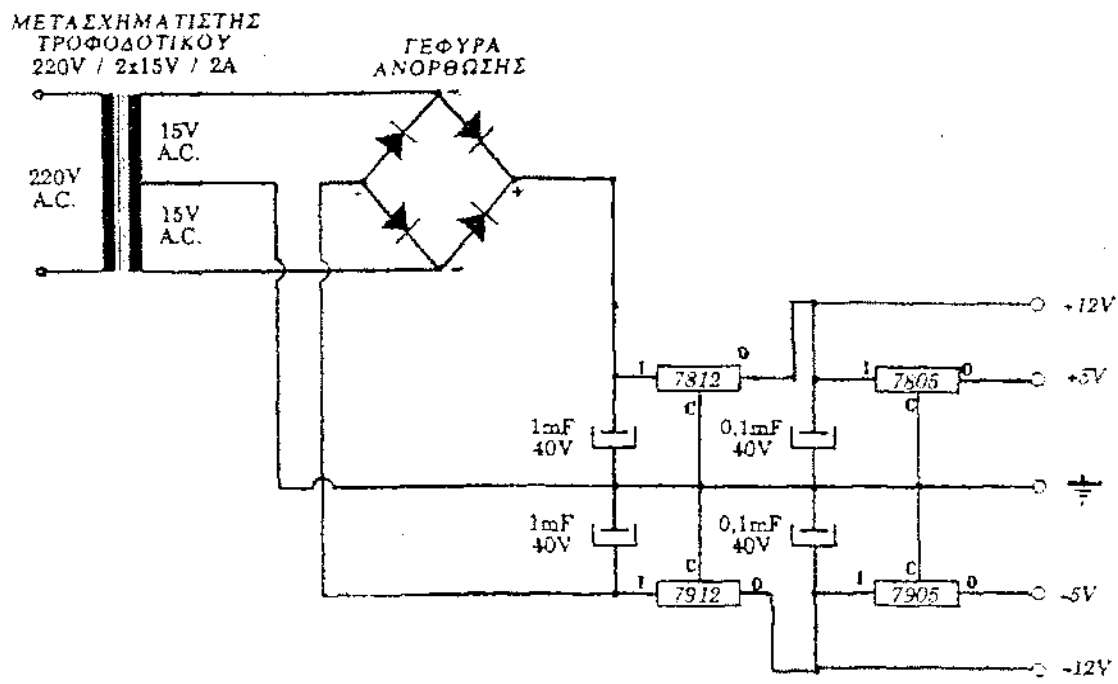
Σχήμα 17



Σχήμα 18

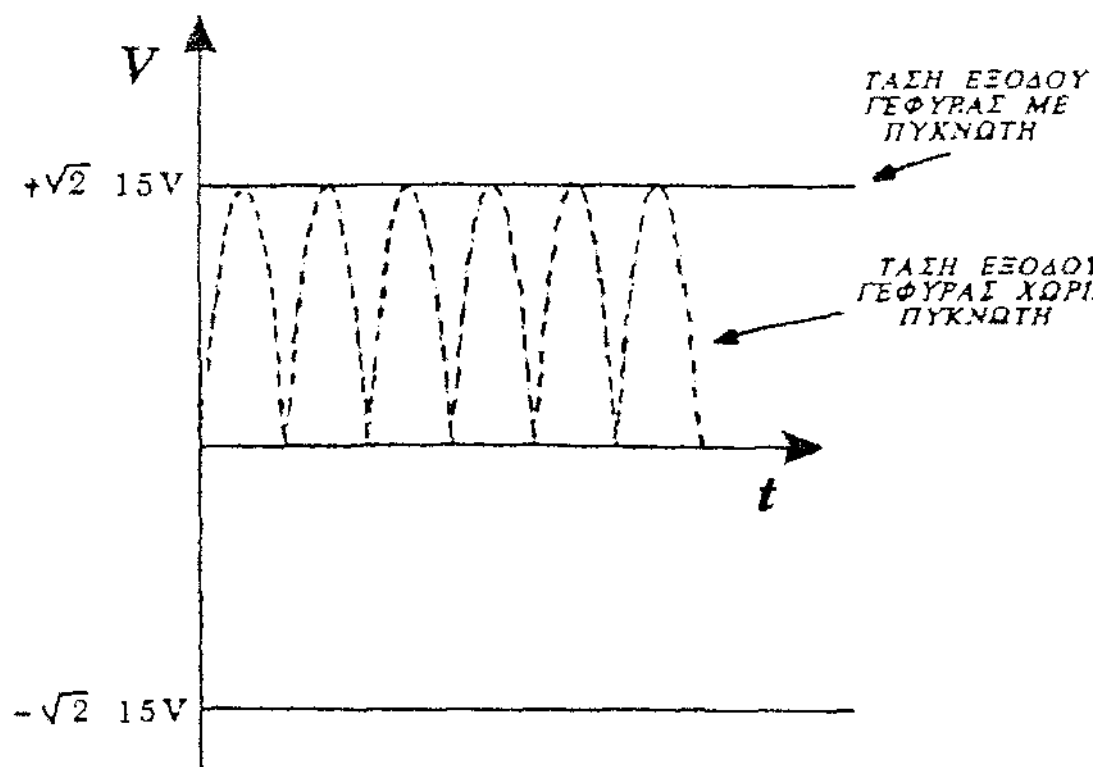
7.3 Το τροφοδοτικό

Το κύκλωμα πυροδότησης απαιτεί κάποιες τροφοδοτήσεις για την λειτουργία του (+12V,+5V,5V A.0).Τις συνεχείς τάσεις τις παρέχει το τροφοδοτικό του παρακάτω σχήματος.



Σχήμα 19

Στο δευτερεύον του μετασχηματιστή λαμβάνουμε 30V A.C, τάση η οποία χωρίζεται σε δύο μέρη των 15V μέσω της μεσαίας λήψης. Η μεσαία λήψη γειώνεται ενώ μετά το δευτερεύον του μετασχηματιστή ακολουθεί μία γέφυρα ανόρθωσης τεσσάρων διόδων, στην έξοδο της οποίας παίρνουμε θετική και αρνητική τάση με κυμάτωση. Για να έχουμε εξομάλυνση της τάσης (μείωση της κυμάτωσης) στις εξόδους της γέφυρας παρεμβάλουμε δύο πυκνωτές 1mF ο καθένας (σχήμα 20).



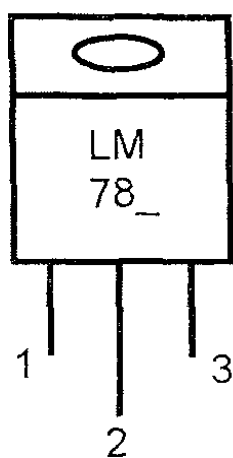
Σχήμα 20

Στην συνέχεια παρεμβάλουμε δύο σταθεροποιητές της τάσης των 12V, τους 7812 και 7912, καθώς και δύο σταθεροποιητές της τάσης των 5V, τους 7805 και 7905. Στα κυκλώματα των σταθεροποιητών τάσης θα αναφερθούμε αναλυτικότερα παρακάτω.

7.4 Κυκλώματα Σταθεροποίησης

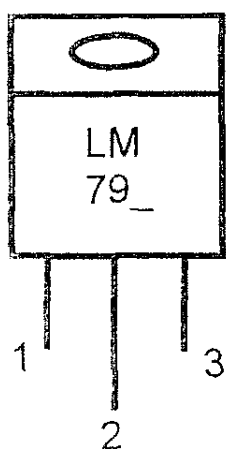
Με τα κυκλώματα σταθεροποίησης πετυχαίνουμε να έχουμε συνεχή τάση στην έξοδο του τροφοδοτικού, ανεξάρτητα από το φορτίο

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.

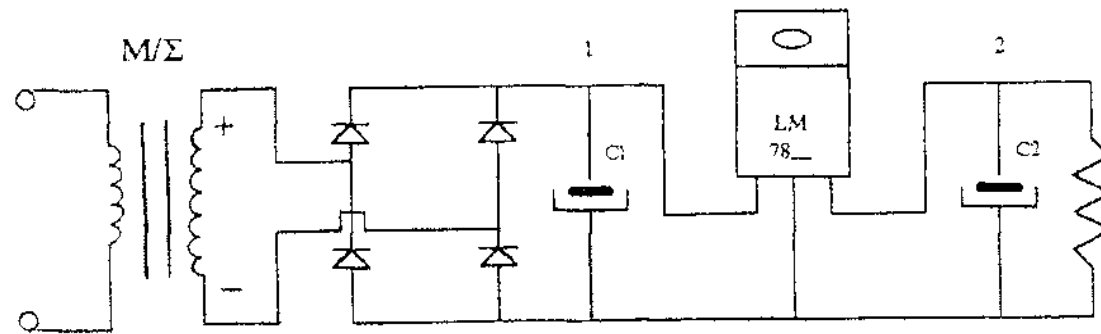


- 1 : GROUND (Γείωση)
- 2 : INPUT (Είσοδος)
- 3 : OUTPUT (Έξοδος)

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.

7.5 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.

7.6 Υλικά κατασκευής πλακετών κυκλώματος ελέγχου

7.6.1 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
2	Μετασχηματιστές παλμών	IT 252
1	Μετασχηματιστής	220V/6V
2	Χρονιστείς	555 TIMER
4	Τρανζίστορ	2N3904
2	Τρανζίστορ	TIP 112
18	Δίοδος	1N 4001
4	Πυκνωτής	10nF
8	Πυκνωτής	100nF
16	Αντίσταση	10 KΩ
6	Αντίσταση	100 KΩ
2	Αντίσταση	33 KΩ
2	Αντίσταση	4.7 KΩ
2	Αντίσταση	30Ω/ 10W
2	Ρυθμιστική Αντίσταση	0.....10KΩ
20	Κλεμενς	

7.6.2 Υλικά κατασκευής τροφοδοτικού

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

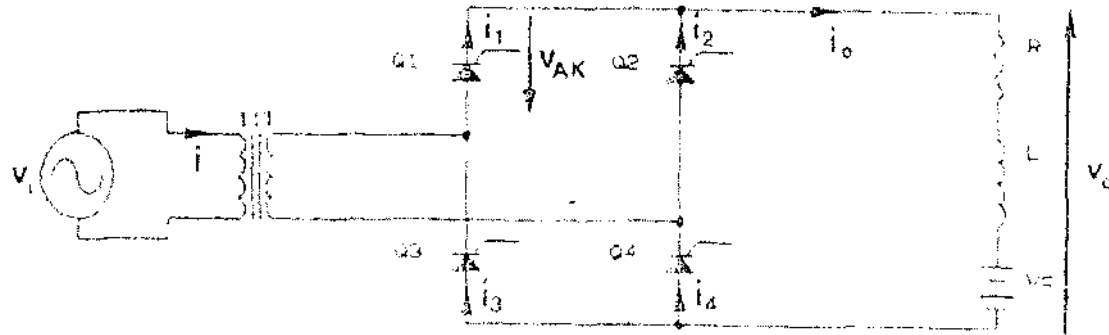
ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΕΙΔΟΣ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ
1	Μετασχηματιστής	220V/2X15V/2A
1	Μονοφασική γέφυρα	2KBP06
2	Ηλεκτρολυτικός πυκνωτής	1000mF/ 50V
2	Ηλεκτρολυτικός πυκνωτής	100mF
1	Σταθεροποιητής +12V	7812
1	Σταθεροποιητής -12V	7912
1	Σταθεροποιητής +5V	7805
1	Σταθεροποιητής -5V	7905
10	Κλέμες	

Στην έξοδο του τροφοδοτικού παίρνουμε συνεχείς τάσεις $\pm 12V$, $\pm 5V$.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο – ΚΥΚΛΩΜΑ ΙΣΧΥΟΣ

8.1 Το κύκλωμα ισχύος

Το κύκλωμα ισχύος αποτελείται από 4 θυρίστωρ, 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.

8.2 Υλικά κατασκευής κυκλώματος ισχύος

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

ΕΙΔΟΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ
Θυρίστωρ BT 151	4
Κλέμενες	6

8.3 Σύνδεση κυκλώματος ελέγχου

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

8.3.1 Σύνδεση τροφοδοτικού

Συνδέουμε την παροχή των 220V με τον μετασχηματιστή 220V/ 2x15V, αφού πρώτα παρεμβάλουμε 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.

8.3.2 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.

8.4 Σύνδεση κυκλώματος ισχύος

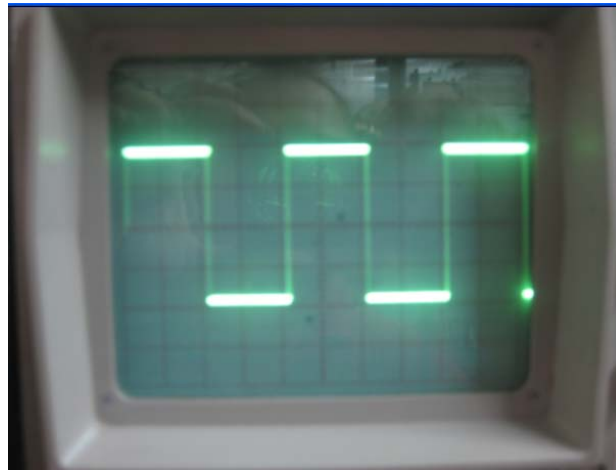
Συνδέουμε την παροχή των 220V, αφού πρώτα πάλι παρεμβάλλουμε διακόπτη και ασφάλεια, στην είσοδο του κυκλώματος ισχύος. Από το κύκλωμα πυροδότησης παίρνουμε τον κάθε παλμό που θα εφαρμοστεί στην πύλη του αντίστοιχου θυρίστορ και τον συνδέουμε στο κύκλωμα ισχύος. Επίσης, στην είσοδο και έξοδο του κυκλώματος 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.

Υλικά κατασκευής κουτιού κυκλώματος *ελέγχου και ισχύος*

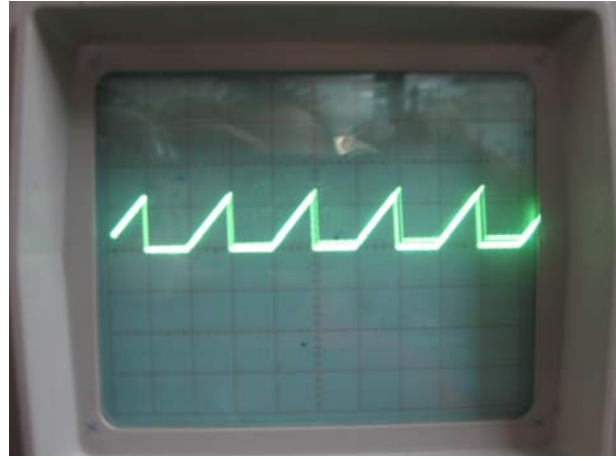
Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του κουτιού είναι τα εξής:

ΕΙΔΟΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ
Κουτί 48x36x9 cm	1
Διπολικός διακόπτης 6A	1
Ασφαλειοθήκη	2
Ενδεικτική λυχνία 220V	1
Μπόρνες	8
Ποτενσιόμετρο αναλογικό 2x10KT	1
Αγωγοί 0,15mm ² -1,5mm ²	
Βίδες και αντίστοιχα παξιμάδια	20
Στηρίγματα πλακετών	12
Μπάρα γείωσης	1

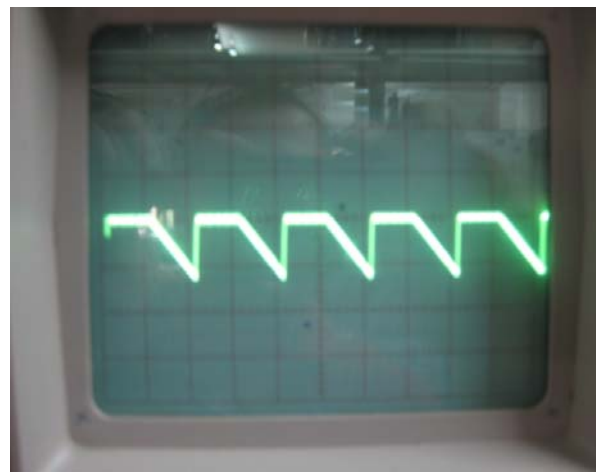
8.5 Πειραματικά αποτελέσματα παλμών κυκλώματος έναυσης



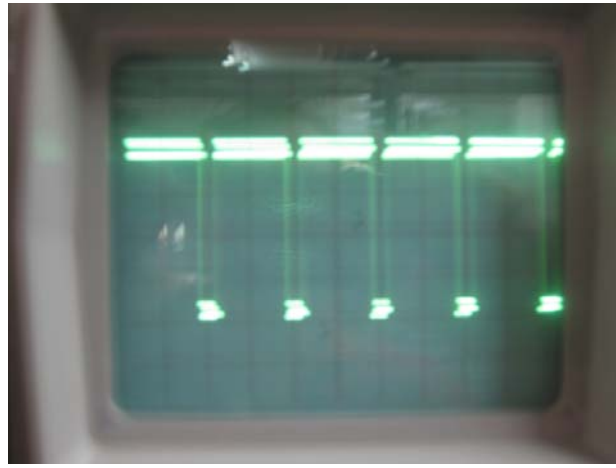
Παλμός στο σημείο 2 του κυκλώματος για $0 - 180^\circ$



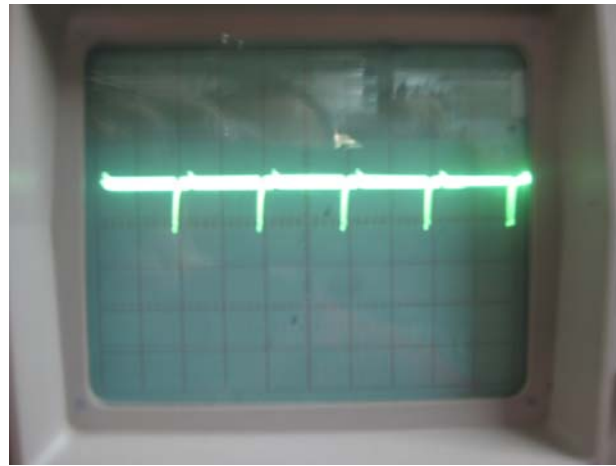
Παλμός στο σημείο 4 του κυκλώματος για $0 - 180^\circ$



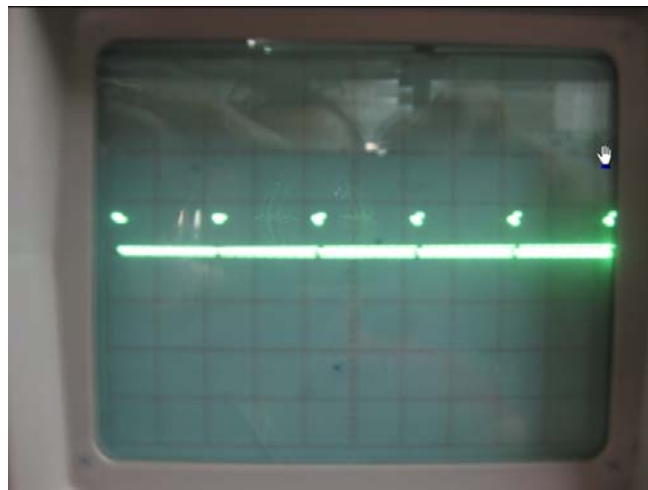
Παλμός στο σημείο 5 του κυκλώματος για $0 - 180^\circ$



Παλμός στο σημείο 6 του κυκλώματος για $0 - 180^\circ$



Παλμός στο σημείο 8 του κυκλώματος για $0 - 180^\circ$



Παλμός στο σημείο 9 του κυκλώματος για $0 - 180^\circ$

Κεφάλαιο 9^ο-ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ηλεκτρονικά Ισχύος, Στέφανος Μανιάς Εκδόσεις Σημειών 2000.
2. Power Electronics handbook, Muhammad H. Rashid, Academic Press 2001.
3. Βιομηχανικά Ηλεκτρονικά , Στέφανος Μανιάς
4. Φροντιστηριακές ασκήσεις Ηλεκτρονικών Ισχύος, Στέφανος, Μανιάς, Εκδόσεις Σημειών 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 Σημειών 1991.