



Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ Σ.Τ.ΕΦ.

ΤΜΗΜΑ : ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑ

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Κ^{ος} ΒΥΛΛΙΩΤΗΣ ΗΡΑΚΛΗΣ
(ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ Μ.Sc.)**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΘΕΜΑ : ‘ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ
ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΗΣ ΠΛΗΡΩΣ ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ’-‘STUDY AND
CONSTRUCTION ONE PHASE FULLY CONTROLLED BRIDGE’.**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ : ΜΑΥΡΙΔΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ Α.Μ.:(33916) –
ΑΛΕΞΟΠΟΥΛΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ Α.Μ.: (35307)**

ΠΕΡΙΟΔΟΣ: ΙΟΥΝΙΟΣ 2013

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Τα ηλεκτρονικά ισχύος ασχολούνται με την μετατροπή της ηλεκτρικής ισχύος από A.C.->D.C. ή και το αντίστροφο ακόμη και παραλλαγές αυτής. Μια τέτοια μετατροπή είναι η μετατροπή της A.C. τάσης σε D.C. τάση (ανόρθωση). Αυτή η μετατροπή επιτυγχάνεται με ημιαγωγά στοιχεία ισχύος κατάλληλα τοποθετημένα σε κύκλωμα ελέγχου και με την συνεργασία ενός κυκλώματος τροφοδοτικού όπως θα δούμε παρακάτω στην ανάλυση της κατασκευής μας. Στην παρούσα πτυχιακή εργασία αναλύεται όλη η επιλογή των κατάλληλων υλικών που απαιτούνται για την κατασκευή του κύριου και βοηθητικού κυκλώματος καθώς και οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο υπό την επίβλεψη του υπεύθυνου καθηγητή. Στην εργασία περιλαμβάνεται θεωρητικό-πειραματικό αλλά και κατασκευαστικό μέρος.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ:

- ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο** : Γενικά περί μετατροπέων, τα είδη τους (A.C./D.C. – A.C./A.C. – D.C. – D.C./D.C. – D.C./A.C.) **ΣΕΛ.4-7**
- ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο** : Γενικά περί ηλεκτρονικών ισχύος ((D(δίοδος), T(θυρίστορ), MOSFET, ΤΕΛΕΣΤΙΚΟΥΣ ΕΝΙΣΧΥΤΕΣ , ΧΡΟΝΙΣΤΗΣ 555)). **ΣΕΛ.9-47**
- ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο** : Μετατροπέας A.C./D.C. (Ανόρθωση). Ανάλυση για μονοφασική πλήρως ελεγχόμενη γέφυρα. **ΣΕΛ.47-57**
- ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο** : Μελέτη κυκλωμάτων έναυσης (0° - 180° & 180° - 360°) **ΣΕΛ.58-60**
- ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο** : Κατασκευή. **ΣΕΛ.61-70**
- ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο** : Μετρήσεις. **ΣΕΛ.71-82**
- ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο** : Βιβλιογραφία. **ΣΕΛ.83**

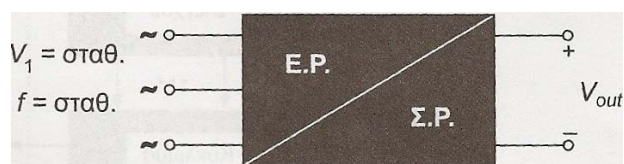
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

Είδη μετατροπών

Τα βασικά είδη μετατροπών είναι τα εξής:

1. Μετατροπείας A.C./D.C. (ανορθωτής)

Ο μετατροπείας Ε.Ρ./Σ.Ρ., 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.Ρ., 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.



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.

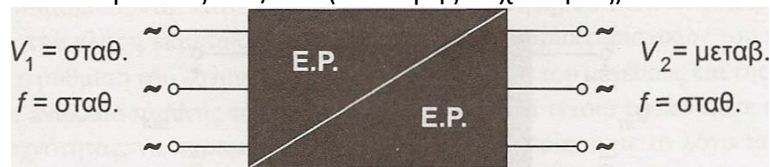
Οι μη ελεγχόμενοι μετατροπείς, χρησιμοποιούν ως διακοπτικά στοιχεία δίοδους, είναι πιο απλοί στην κατασκευή και πιο οικονομικοί έναντι των υπολοίπων (καθόσον δεν απαιτείται κύκλωμα ελέγχου), αλλά δεν έχουν τη δυνατότητα ρύθμισης της τάσης εξόδου.

Ο πλήρως ελεγχόμενος μετατροπείας, 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.Ρ., 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 αντι-στροφέα), τότε οι ημιελεγχόμενες διατάξεις πλεονεκτούν έναντι των αντιστοίχων πλήρως ελεγχόμενων ανορθωτικών διατάξεων. Πράγματι, εκτός του μικρότερου κόστους και του πιο απλού κυκλώματος ελέγχου, έχουν μεγαλύτερη μέση τιμή της τάσης εξόδου, μικρότερη κατανάλωση αέργου ισχύος και δεν απαιτούν επιπρόσθετη δίοδο "ελεύθερης ροής" για επαγωγικά φορτία.

2. Μετατροπέας A.C./A.C. (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 θυρίστορ. Τα δύο αντιπαράλληλα θυρίστορ, 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 εκκινήτες (αστέρα/τρίγωνο κ.λ.π.), οι συγκεκριμένοι εκκινήτες, 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.

3. Μετατροπέας D.C./D.C.

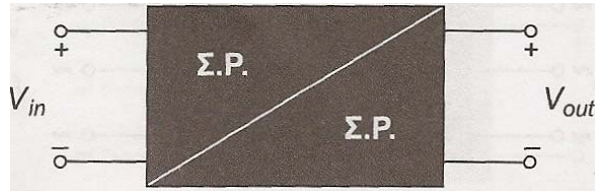
Ο μετατροπέας Σ.Ρ./Σ.Ρ., σχ.1-4, έχει ως είσοδο συνεχή τάση (σταθερού μεγέθους) και ως έξοδο συνεχή τάση ρυθμιζόμενου μεγέθους.

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:

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

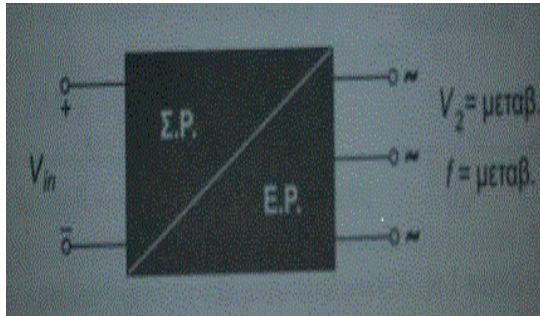


Σχήμα 1-4: Μετατροπέας Σ.Ρ./Σ.Ρ.

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 A,B,C,D και E).

4. Μετατροπέας D.C./A.C. (αντιστροφέας)

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



Μετατροπέας D.C./A.C

Οι μετατροπείς αυτοί μπορεί να είναι μονοφασικοί ή τριφασικοί. Υπάρχουν δύο παραλλαγές,

οι αντιστροφείς πηγής τάσης και
οι αναστροφείς πηγής ρεύματος.

Τα διακοπτικά στοιχεία, συνήθως είναι τρανζίστορ ισχύος, τύπου MOSFET ή IGBT. Οι συγκεκριμένοι μετατροπείς (συνδυαζόμενοι στην είσοδο με ένα μετατροπέα (Ε.Ρ./ Σ.Ρ.)), χρησιμοποιούνται κατά κόρο για τον έλεγχο κινητήρων Ε.Ρ.. 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.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΙΣΧΥΟΣ

Δίοδος (Diode).

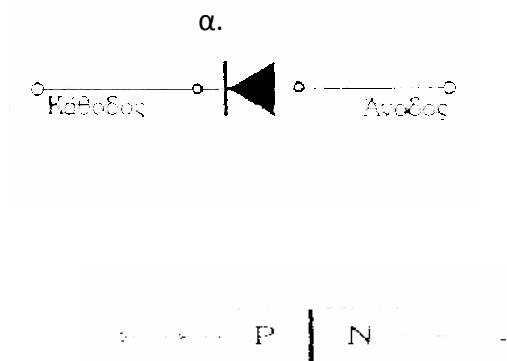
Η δίοδος ισχύος είναι ένας ημιαγωγός με πάρα πολλές εφαρμογές σε ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά κυκλώματα όπως επίσης στα ηλεκτρονικά ισχύος για τη μετατροπή ισχύος.

Τρία είναι τα είδη των δίοδων που βρίσκονται σήμερα στο εμπόριο:

- 1.Δίοδοι γενικής χρήσης (μέχρι 3000V, 3500A)
- 2.Δίοδοι υψηλής ταχύτητας (fast recovery) (μέχρι 3000V, 1000A) με αντίστροφο χρόνο επανάκτησης μεταξύ 0,1 και 5μs.
- 3.Schottkey δίοδος (χαμηλή τάση αγωγής και πολύ μικρό χρόνο επανάκτησης της τάξης nanoseconds).

Μια δίοδος άγει όταν η τάση ανόδου της είναι υψηλότερη από αυτή της καθόδου ενώ η πτώση τάσης ορθής φοράς μιας δίοδου ισχύος είναι περίπου 0,5V με 1,2V.

Αν η τάση καθόδου είναι υψηλότερη της ανόδου λέμε ση η δίοδος βρίσκεται σε κατάσταση αποκοπής. Το σχηματικό της σύμβολο και η κατασκευαστική δομή μιας δίοδου φαίνονται στο σχήμα 2.1



P= Θετικό υλικό
N= Αρνητικό υλικό

Σχ.2.1

(α) Σχηματικό σύμβολο δίοδου
(β) Κατασκευαστική δομή δίοδου

Αν και δεν έχει κινούμενα μέρη η δίοδος ενεργεί σαν ένας διακόπτης υψηλής ταχύτητας που οι επαφές της ανοίγουν και κλείνουν σύμφωνα με τους παρακάτω κανόνες:

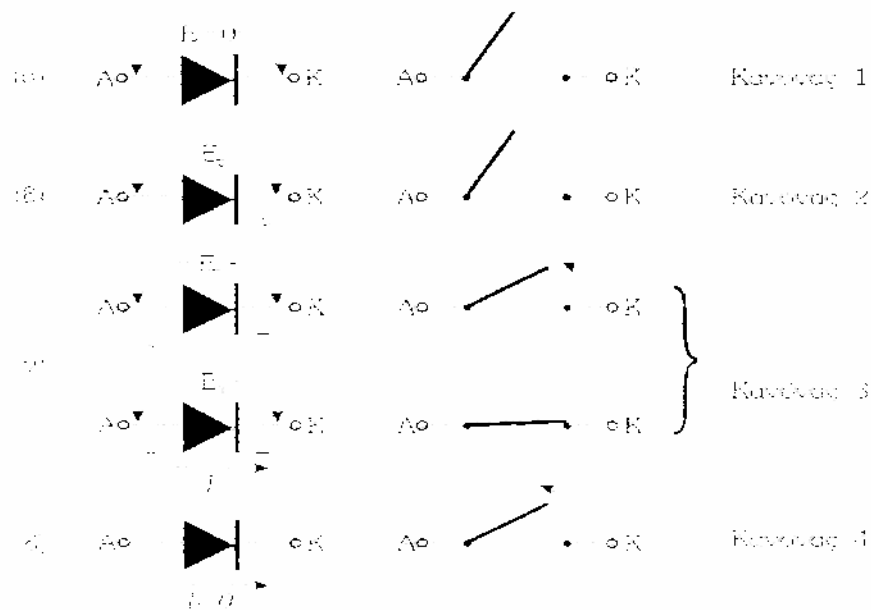
Κα νόνας 1. Όταν δεν εφαρμόζεται τάση στα άκρα μιας δίοδου αυτή ενεργεί σαν ένας ανοικτός διακόπτης . Το κύκλωμα επομένως είναι ανοικτό , μεταξύ των A και K.

Κα νόνας 2. Όταν εφαρμόζουμε μια ανάστροφη τάση E_2 στα άκρα της διόδου έτσι ώστε η άνοδος να'ναι αρνητική σε σχέση με την κάθοδο, η διόδος εξακολουθεί να ενεργεί σαν ένας ανοικτός διακόπτης .

Κα νόνας 3. Αν μια στιγμιαία τάση (forward) E_1 εφαρμόζεται στα άκρα της διόδου έτσι ώστε η άνοδος A να'ναι 'ελαφρώς' θετική σε σχέση με την κάθοδο K τότε τα άκρα βραχυκυκλώνονται.

Η διόδος τότε ενεργεί σαν ένα κλειστό διακόπτη και ένα ρεύμα αμέσως αρχίζει να ρέει από την άνοδο στην κάθοδο. Όσο η διόδος άγει μια μικρή πτώση τάσης εμφανίζεται στα άκρα της. Η τάση αυτή είναι μικρότερη από 1,5V και έτσι μπορούμε να τη θεωρήσουμε αμελητέα στα περισσότερα ηλεκτρονικά κυκλώματα.

Κα νόνας 4. Όσο η διόδος διαρρέετε από ρεύμα ενεργεί σαν ένας κλειστός διακόπτης. Ωστόσο αν το ρεύμα σταματήσει για έστω 10μs η διόδος επανέρχεται αμέσως στην φυσική της κατάσταση (ανοικτός διακόπτης).



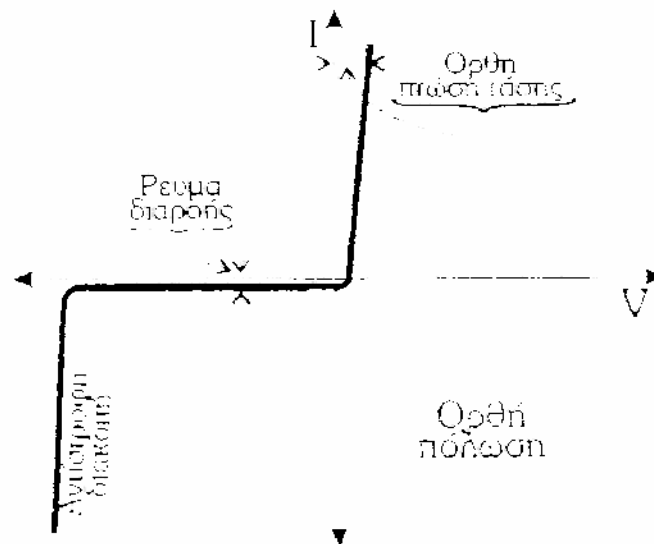
Σχήμα 2.2
Κανόνες διόδων

Χαρακτηριστικές Διόδων.

1. Στατική χαρακτηριστική.

Όταν το δυναμικό της ανόδου είναι θετικό σε σχέση με αυτό της καθόδου η δίοδος είναι θετικά (ορθά) πολωμένη και τότε λέμε ότι η δίοδος άγει. Μια δίοδος που βρίσκεται σε αγωγή έχει μια πτώση τάσης στα άκρα της σχετικά μικρή και εξαρτάται κύρια από τη θερμοκρασία και την κατασκευή της. Όταν το δυναμικό της καθόδου είναι θετικό σε σχέση με αυτό της ανόδου η δίοδος είναι ανάστροφα πολωμένη και ένα μικρό αντίστροφο ρεύμα (διαρροής) της τάξης των μA ή mA ρέει μέσα στη δίοδο.

Με αύξηση της αντίστροφης αυτής τάσης έχουμε τη διακοπή της ένωσης (reverse breakdown) παίρνοντας έτσι τη χαρακτηριστική αντίστροφης διακοπής (Σχήμα 2.3).

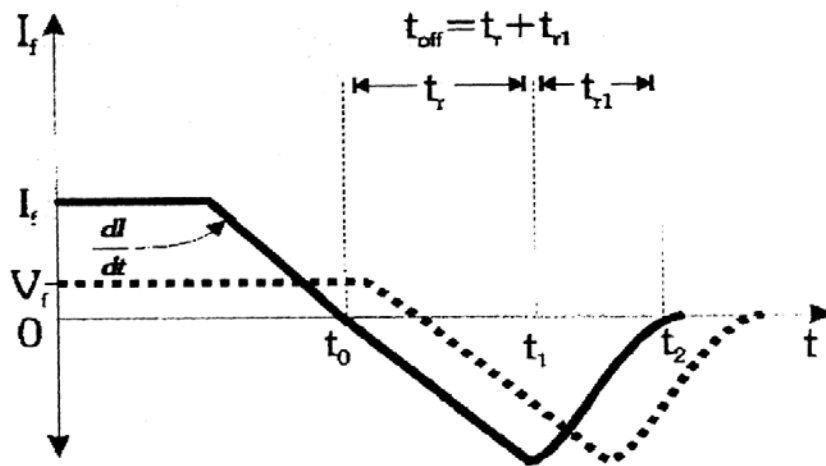


Σχήμα 2.3

Στατική χαρακτηριστική διόδου

2. Δυναμική χαρακτηριστική.

Η δυναμική χαρακτηριστική της διόδου αφορά κύρια μόνο το φαινόμενο της σβέσης (ή turn off) ή μανδάλωσης που είναι ακόμα γνωστό και σαν αντίστροφος χρόνος επανάκτησης των φορέων (ή reverse recovery time) της διόδου. Παρατηρώντας λοιπόν την χαρακτηριστική του σχήματος 2.4, βλέπουμε ότι η μανδάλωση της διόδου χαρακτηρίζεται από το μηδενισμό του ρεύματος ορθής φοράς (forward current) που τη διατρέχει και στη συνέχεια από την εμφάνιση μιας αντίστροφης τάσης στα άκρα της.

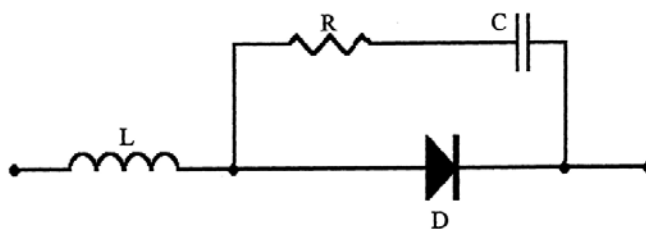


Σχήμα 2.4
Δυναμική χαρακτηριστική διόδου

Η μείωση του I_f (dI_f/dt) εξαρτάται από το εξωτερικό κύκλωμα. Την χρονική στιγμή t_0 , το ρεύμα περνά από το '0' και στη συνέχεια εμφανίζεται ένα αντίστροφο ρεύμα της ίδιας κλίσης μέχρι τη χρονική στιγμή t_1 . Η διάδος τότε αρχίζει να ξαναβρίσκει την ικανότητα της μανδάλωσης, η κλίση του ρεύματος αλλάζει και με δεδομένο ότι το εξωτερικό κύκλωμα είναι γενικά επαγωγικό, εμφανίζεται μια υπέρταση στους ακροδέκτες της διόδου.

Την χρονική στιγμή t_2 το ρεύμα μηδενίζεται και η διάδος τότε είναι μανδαλωμένη. Ο σημαντικός χρόνος t_{off} είναι της τάξης των μερικών μs ενώ το εύρος της αντίστροφης υπέρτασης εξαρτάται κύρια από την αυτεπαγωγή του εξωτερικού κυκλώματος.

Στην περίπτωση που το εύρος της υπέρτασης αυτής είναι πολύ σημαντικό ένα κύκλωμα προστασίας πρέπει να συνδεθεί στα άκρα της διόδου, όπως δείχνει το σχήμα 2.5.



Σχήμα 2.5
Κύκλωμα προστασίας διόδου

Το φαινόμενο της έναυσης δεν παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον εκτός από τον χρόνο εγκατάστασης του που είναι της τάξης των μερικών μς για όλες τις διόδους.

Ένα ακόμα σημαντικό μέγεθος που χαρακτηρίζεται από τα φύλλα δεδομένων των διαφόρων εταιριών είναι το αντίστροφο φορτίο επανάκτησης Qp. Αυτό καθορίζεται από την περιοχή που περικλείει το αντίστροφο ρεύμα επανάκτησης και είναι το ποσόν του φορτίου των φορέων που ρέει διαμέσου της διόδου κατά την αντίθετη κατεύθυνση λόγω της αλλαγής από αγωγή ορθής φοράς στην κατάσταση μανδάλωσης.

Χαρακτηριστικά Στοιχεία Διόδων.

1. Μέγιστη αντίστροφη τάση (P.L.V ή PRV).

Μια δίοδος μπορεί να αντιστέκεται μέχρι μια ορισμένη τιμή αντίστροφης τάσης πριν καταστραφεί. Η PRV αυτή τάση κυμαίνεται από 50 V έως 2000 V ανάλογα την κατασκευή της. Αν ξεπεραστεί η τάση αυτή η δίοδος αρχίζει να άγει ανάστροφα και της περισσότερες περιπτώσεις καταστρέφεται αμέσως.

2. Μέγιστο ρεύμα (Μέση τιμή).

Υπάρχει επίσης ένα όριο στην τιμή του ρεύματος που μπορεί η δίοδος να μεταφέρει. Το μέγιστο ρεύμα μπορεί να κυμαίνεται από μερικές εκατοντάδες mA μέχρι πάνω από 2000 A ανάλογα από την κατασκευή της διόδου.

3. Μέγιστη θερμοκρασία.

Μία δίοδος δεν πρέπει ποτέ να λειτουργεί με θερμοκρασία πάνω από την οποία δίνει ο κατασκευαστής της. Οι περισσότερες διόδους πυριτίου μπορούν να λειτουργούν ικανοποιητικά σε θερμοκρασία μεταξύ -50°C και $+200^{\circ}\text{C}$.

Η θερμοκρασία της μπορεί ν' αλλάξει πολύ γρήγορα και αυτό οφείλεται στο μικρό της μέγεθος και την μικρή της μάζα. Για την βελτίωση της μεταφοράς θερμότητας οι διόδους συνήθως τοποθετούνται σ' ένα μεταλλικό στοιχείο που ονομάζεται ψήκτρα. Σε μεγάλες εγκαταστάσεις οι διόδους μπορεί να ψύχονται με ανεμιστήρες, με λάδι ή από συνεχή ροή αποιονισμένου νερού.

1.3.2 Θυρίστορ (THYRISTOR). (Silicon Controlled Rectifier - SCR).

Το thyristor ή SCR (ελεγχόμενος ανορθωτής πυριτίου) είναι ένα από τα παλαιότερα, ευρύτερα χρησιμοποιούμενα και υψηλότερης ισχύος μέλη της 'οικογένειας thyristor'. Όπως είναι γνωστό οι δίοδοι ανόρθωσης επιτρέπουν τη ροή του ρεύματος προς μια διεύθυνση, ενώ δεν την επιτρέπουν προς την άλλη.

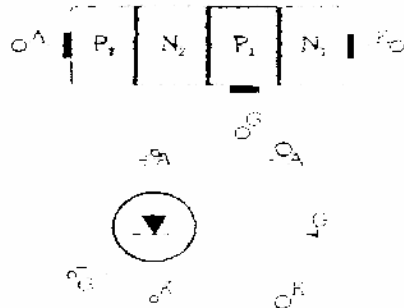
Τα thyristors εκτελούν την ίδια λειτουργία με την επιπλέον δυνατότητα που έχουν να ελέγχουν τη έναρξη της αγωγιμότητας τους με ένα τρίτο ηλεκτρόδιο που διαθέτουν και ονομάζεται πύλη (gate).

Τα βασικά πλεονεκτήματα τους είναι:

1. Μικρές διαστάσεις.
2. Υψηλή ταχύτητα μεταγωγής (της τάξης των μs).
3. Υψηλή απόδοση.
4. Μικρή πτώση τάσης ορθής φοράς λόγω μικρής εσωτερικής αντίστασης κατά τη διάρκεια της αγωγιμότητας.
5. Μεγάλη μηχανική αντοχή.
6. Ικανότητα λειτουργίας με τάση μέχρι 2000V και εντάσεις μέχρι 1000A.
7. Μικρό ρεύμα πύλης ανάλογα τον τύπο του θυρίστορ (από 0.2 mA).
8. Μεγάλη διάρκεια ζωής.
9. Μεγάλη αξιοπιστία.
10. Ελάχιστες απαιτήσεις συντήρησης
11. Υψηλή θερμοκρασία λειτουργίας.

Τα πλεονεκτήματα αυτά κατέστησαν το θυρίστορ ένα εξαιρετικό στοιχείο στερεάς κατάστασης, το οποίο συναντάται σε πολλούς τύπους διατάξεων σε ημιαγωγούς με εφαρμογές που εκτείνονται από ισχύς μερικών mW μέχρι τις βιομηχανικές εφαρμογές που απαιτούν ισχύς έως εκατοντάδες KW.

Από πλευράς δομής το θυρίστορ είναι μια ημιαγωγός μονάδα πυριτίου τεσσάρων στρωμάτων (P1,N1,P2,N2), τριών ενώσεων (J1,J2,J3) με τρία ηλεκτρόδια: άνοδο A, κάθοδο K, και πύλη G. Η δομή, το κυκλωματικό σύμβολο και μηχανικό ισοδύναμο (διακόπτης) του θυρίστορ φαίνονται στο σχήμα 2.6.



Σχήμα 2.6
Δομή, σύμβολο Thyristor

Λειτουργία Thyristor.

Γενικά η λειτουργία του θυρίστορ μπορεί να εξηγηθεί ως εξής :

Όταν η άνοδος είναι θετική ως προς την κάθοδο το θυρίστορ είναι πολωμένο κατά την ορθή φορά, ενώ όταν η άνοδος είναι αρνητική ως προς την κάθοδο είναι πολωμένο κατά την αντίστροφη φορά. Με ορθή πόλωση του θυρίστορ μπορεί να έχουμε δύο καταστάσεις. Την κατάσταση μη αγωγιμότητας ή φραγμού ορθής φοράς (off state) κατά την οποία παρουσιάζει υψηλή αντίσταση στη ροή του ρεύματος (κυκλοφορεί ένα πολύ μικρό ρεύμα διαρροής), ή την κατάσταση αγωγιμότητας (on state) κατά την οποία παρουσιάζει μικρή αντίσταση στη ροή του ρεύματος.

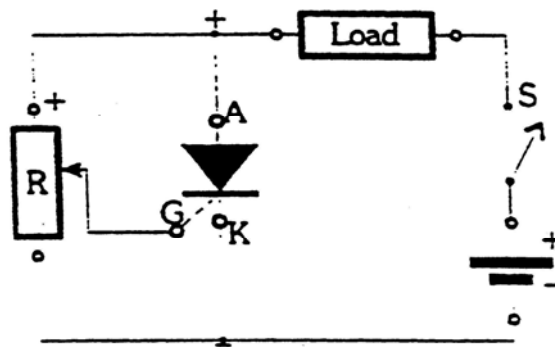
Στην περιοχή φραγμού ορθής φοράς η αύξηση της τάσης μεταξύ ανόδου καθόδου έχει πολύ μικρή ή καμία επίδραση στο ρεύμα διαρροής, μέχρι που η τάση αυτή απόκτησα μια τιμή ορισμένη που την ονομάζουμε τάση διάσπασης ορθής φοράς (break over voltage). Με μικρή αύξηση της τάσης πέρα από την τιμή αυτή προκαλείται απότομη αύξηση του ρεύματος μέσα από το θυρίστορ. Το ρεύμα ορθής φοράς τότε περιορίζεται μόνο από την αντίσταση του εξωτερικού κυκλώματος. Το θυρίστορ θα εξακολουθήσει να βρίσκεται στην κατάσταση αγωγιμότητας αρκεί το ρεύμα ανόδου να διατηρείται υψηλότερο από μια ελάχιστη οριακή τιμή, που ονομάζεται ρεύμα συγκρατήσεως (holding-current) I_H . Αν το ρεύμα πέσει κάτω από τη τιμή I_H το θυρίστορ μεταπίπτει σε κατάσταση αποκοπής (blocking stale). Το ίδιο θα συμβεί αν διακοπεί η ανοδική τάση, αν είναι συνεχής ή μηδενισθεί αν είναι εναλλασσόμενη.

Αν η τάση στα άκρα του θυρίστορ αυξηθεί κατά την αντίστροφη φορά κυκλοφορεί μέσα από αυτό μόνο ένα μικρό ρεύμα, μέχρι που η τάση φθάσει μια ορισμένη τιμή που την ονομάζουμε αντίστροφη τάση διακοπής (breakdown reverse voltage). Στην κατάσταση αυτή το θυρίστορ κινδυνεύει να καταστραφεί Η οριακή αυτή τιμή ποικίλει ανάλογα με τον τύπο του θυρίστορ.

Η τάση διακοπής (BO) ορθής φοράς, που απαιτείται για τη μετάβαση του θυρίστορ από την κατάσταση αποκοπής στην κατάσταση αγωγιμότητας, μειώνεται αισθητά αν στην πύλη διοχετευθεί ρεύμα (φορείς-οπές) με την εφαρμογή σ' αυτήν εξωτερικής θετικής τάσης. Το ρεύμα αυτό ονομάζεται ρεύμα πύλης (gate current) I_G . Όσο το ρεύμα πύλης αυξάνεται τόσο η απαιτούμενη τάση διάσπασης ορθής φοράς μειώνεται, μέχρι που η χαρακτηριστική καμπύλη V/I πάρει περίπου τη μορφή της καμπύλης μιας κλασσικής διόδου. |

Σης περισσότερες πρακτικές εφαρμογές το θυρίστορ λειτουργεί με τάση ανόδου πολύ μικρότερη της V_{BO} (για $I_G=0$) και "σκανδαλίζεται" με θετικούς (ως προς την κάθοδο) παλμούς ικανού πλάτους που να εξασφαλισθεί ότι θα μεταβεί στην κατάσταση αγωγιμότητας την επιθυμητή στιγμή, και θα παραμείνει σ' αυτήν.

Για να παραμείνει στην κατάσταση αγωγιμότητας μετά την αφαίρεση του παλμού πύλης, απαιτείται μια ελάχιστη τιμή ανοδικού ρεύματος που ονομάζεται ρεύμα μανδάλωσης I_L (Latching Current). Μια συνήθης αναλογία μεταξύ των I_L και I_H είναι 2:1



Σχήμα 2.7

Thyristor σε κύκλωμα τροφοδοτούμενο με DC τάση

Το θυρίστορ μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κυκλώματα τροφοδοτούμενα από συνεχείς ή από εναλλασσόμενες τάσεις. Η λειτουργία του με συνεχείς τάσεις είναι σχετικά απλή. Μεταξύ ανόδου και καθόδου εφαρμόζεται μια τάση (άνοδος θετική ως προς την κάθοδο) μικρότερη από την V_{BO} (για $I_G = 0$), και μεταξύ πύλης και καθόδου εφαρμόζεται μια συνεχής τάση (πύλη θετική ως προς την κάθοδο), την οποία μπορούμε να πάρουμε από τη πηγή τροφοδότησης μέσω ενός ποτενσιόμετρου R. (Βλέπε σχήμα παραπάνω). Μόλις η πύλη αποκτήσει την κατάλληλη τιμή τάσης, το θυρίστορ οδηγείται στην κατάσταση αγωγιμότητας και βραχυκυκλώνει το ποτενσιόμετρο, μηδενίζοντας έτσι το ρεύμα πύλης.

Για τη διακοπή της λειτουργίας του θυρίστορ θα πρέπει να διακοπεί η τάση ανόδου.

Η λειτουργία του θυρίστορ με εναλλασσόμενη τάση είναι διαφορετική και περισσότερο ενδιαφέρουσα, διότι δίνει την δυνατότητα ελέγχου της ισχύος που παρέχεται στο φορτίο, ανάλογα με τις απαιτήσεις.

Ο έλεγχος της παρεχόμενης ισχύος γίνεται με μεταβολή της γωνίας αγωγιμότητας. Ελέγχοντας δηλαδή τον χρόνο αγωγιμότητας, ελέγχουμε την τιμή του ρεύματος σύμφωνα με τα γνωστά από την ηλεκτροτεχνία.

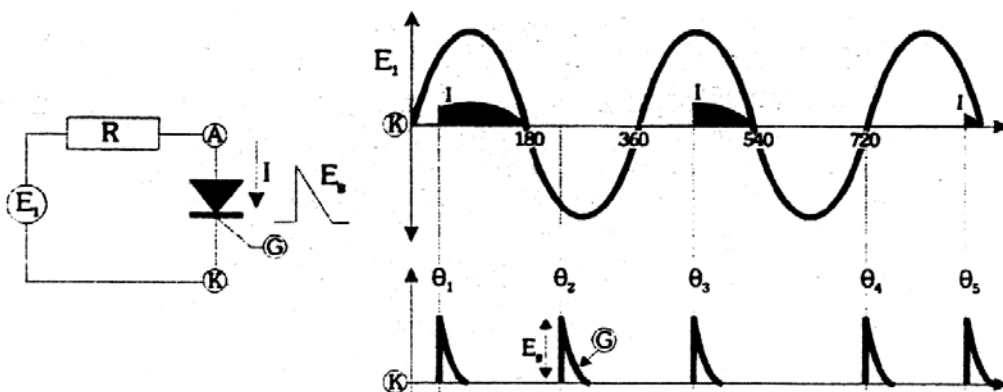
1. για ωμικό φορτίο π.χ. $P = I^2 \cdot R = U^2/R$ και αν $u(t) = U_0 \sin \omega t$ ή

2. $i(t) = I_0 \sin \omega t$

$$U_{\text{rms}}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T [u(t)]^2 dt \qquad I_{\text{rms}}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T [i(t)]^2 dt$$

Όσο μεγαλύτερο είναι το τμήμα της ημιπεριόδου του ρεύματος τόσο μεγαλύτερη είναι η μέση ισχύς που το τροφοδοτεί.

Ας δούμε τώρα, όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.8 ένα κύκλωμα, με ένα θυρίστορ και μία αντίσταση συνδεδεμένα σε σειρά με μία πηγή Α.Σ. Ένας αριθμός από θετικούς παλμούς E_g εφαρμόζονται στην πύλη και οι οποίοι έχουν αρκετό πλάτος για να αρχίσουν την αγωγή του θυρίστορ. Οι παλμοί αυτοί μπορούν να εφαρμοστούν με την βοήθεια ενός χειροκίνητου διακόπτη ή από ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα. Οι παλμοί αυτοί (σύμφωνα με το σχήμα) εφαρμόζονται στις γωνίες $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ και θ_5 . Ας δούμε λοιπόν τι συμβαίνει τις στιγμές εφαρμογής των παλμών στις γωνίες αυτές.



Σχήμα 2.8

(α) SCR και ανάσταση συνδεδεμένα με πηγή AC.

(β) Συμπεριφορά των S.C.R. ανάλογα με την γωνία σκανδαλισμού

Από 0- θ_1 : Αν και η άνοδος είναι θετική, η αγωγή είναι αδύνατη επειδή $E_g=0$. Το θυρίστορ τότε είναι ανοικτός διακόπτης.

θ_1 : Η αγωγή αρχίζει επειδή άνοδος και πύλη είναι θετική.

Από θ_1 -180°: Η αγωγή συνεχίζεται παρ' όλο που η τάση της πύλης έχει πέσει στο μηδέν. Οι παλμοί της πύλης δεν έχουν πλέον επίδραση στην αγωγή του θυρίστορ. Η πτώση τάσης άνοδος-κάθοδος είναι μικρότερη από 1.5V επομένως θεωρούμε ότι άνοδος και κάθοδος είναι βραχυκυκλωμένες, (κλειστός διακόπτης)

180^ο: Το ρεύμα του θυρίστορ είναι μηδέν και η πύλη ξαναβρίσκει την ικανότητα του ελέγχου. Από 180^ο-360^ο: Η αγωγή είναι αδύνατη επειδή η άνοδος είναι αρνητική.

Από 360^ο-540^ο: Η αγωγή αρχίζει στη γωνία θ_3 και σταματά όταν το ρεύμα μηδενίζεται στις 540^ο. Οι παλμοί στη πύλη βρίσκονται τώρα σε καθυστέρηση μεγαλύτερη απ' ότι στην πρώτη θετική ημιπερίοδο και άρα το ρεύμα ανόδου ρέει για συντομότερο χρόνο.

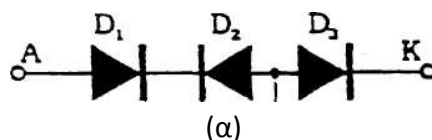
Από 720^ο-900^ο: Η αγωγή αρχίζει για γωνία θ_5 αλλά το ρεύμα ανόδου είναι τώρα ακόμη μικρότερο λόγω της μεγάλης καθυστέρησης στην "πυροδότηση" της πύλης.

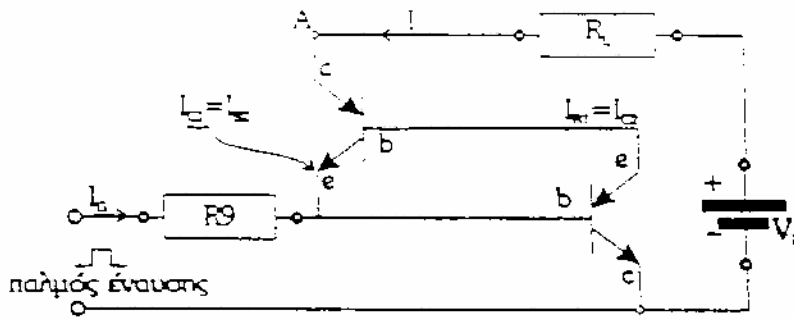
Όταν ένας παλμός εφαρμόζεται στην πύλη έχουμε και την ροή ενός ρεύματος. Επειδή όμως ο παλμός έχει διάρκεια λίγων μs η μέση τιμή της ισχύος που εφαρμόζεται είναι πολύ μικρή σε σχέση με τη μέση ισχύ που εφαρμόζεται στο φορτίο. Ο λόγος των δύο ισχύων καλείται κέρδος ισχύος και φθάνει την τιμή περίπου του 1/1000. Έτσι μία ισχύ πύλης π.χ. 1W μπορεί να ελέγξει ένα φορτίο 1000KW.

Όπως είδαμε παραπάνω στο κύκλωμα που εξετάσαμε η αγωγή του θυρίστορ σταματά στο τέλος κάθε κύκλου και η πύλη ξαναβρίσκει την ικανότητα ελέγχου. Η μεταγωγή από την μία κατάσταση στην άλλη στην περίπτωση αυτή καλείται φυσική μεταγωγή. Υπάρχουν όμως κυκλώματα όπου το ρεύμα ανόδου πρέπει να διακοπεί σε μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Αυτό γίνεται με τεχνητούς τρόπους και η μεταγωγή τότε ονομάζεται δυναμική μεταγωγή, (τις τεχνικές μεταγωγής των SCR θα δούμε παρακάτω).

Λειτουργία Thyristor με Ισοδύναμο σε Διόδους και Ανάλογο με Transistor Κύκλωμα.

α) Εξετάζοντας το ισοδύναμο (σε διόδους) Σχήμα 2.9 κύκλωμα βλέπουμε ότι αν εφαρμόσουμε μια αρνητική τάση από την άνοδο στη κάθοδο τότε οι D1 και D3 είναι ανάστροφα πολωμένες ενώ η D2 ορθά. Η χαρακτηριστική του θυρίστορ τότε είναι τελείως όμοια με αυτή της διόδου με ανάστροφη πόλωση. :



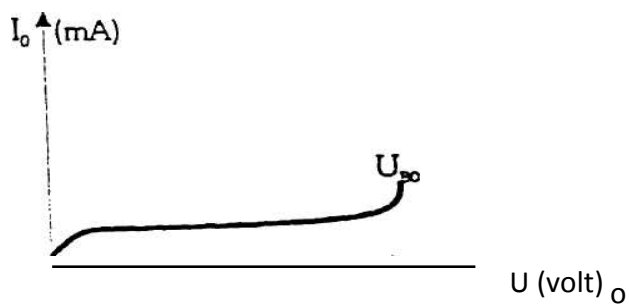


(β)
Σχήμα 2.9

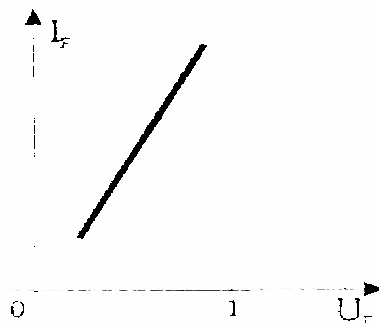
- (α) Ισοδύναμο σε διόδους κύκλωμα Thyristors
- (β) Ανάλογο με Transistors

Για αύξηση της τάσης πέρα από ένα σημείο έχουμε καταστροφή του θυρίστορ.

Αν εφαρμόσουμε θετική τάση στην άνοδο και αρνητική στην κάθοδο οι D1, D2 είναι ορθά πολωμένες επομένως άγουν ενώ η D2 είναι ανάστροφα πολωμένη επομένως από το σύστημα αυτό δεν έχουμε διέλευση ρεύματος (εκτός από ένα πολύ μικρό ρεύμα διαρροής leakage current). Το θυρίστορ θα βρεθεί σε αγωγή αν αυξήσουμε την τάση μέχρι το σημείο U_{BO} (Break over voltage) αλλά ένας τέτοιος τρόπος 'σκανδαλισμού' πρέπει να αποφεύγεται γιατί καταστρέφει το στοιχείο.



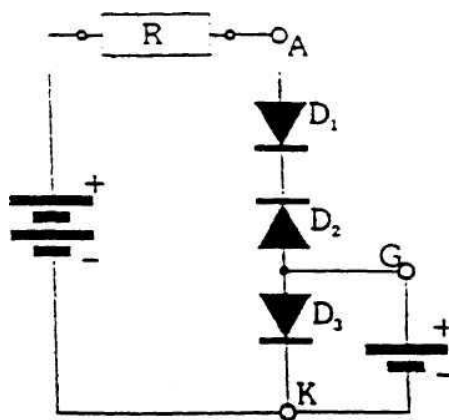
Σχήμα 2.10
Σημείο Break over voltage thyristor



Σχήμα 2.11
Ευθεία αγωγής thyristor

Το θυρίστορ τότε άγει και συμπεριφέρεται σαν μια δίοδος ορθά πολωμένη στην οποία δεν έχουμε τη δυνατότητα επέμβασης ώστε να ρυθμίσουμε το ρεύμα της.

Η πτώση τάσης στο θυρίστορ όταν άγει είναι περίπου 1V. Αν τώρα στη πύλη του θυρίστορ εφαρμόσουμε μια τάση (θετική) ενώ οι D1 και D3 είναι ορθά πολωμένες, η D3 θα άγει όπως εύκολα φαίνεται, από το σχήμα 1.13.



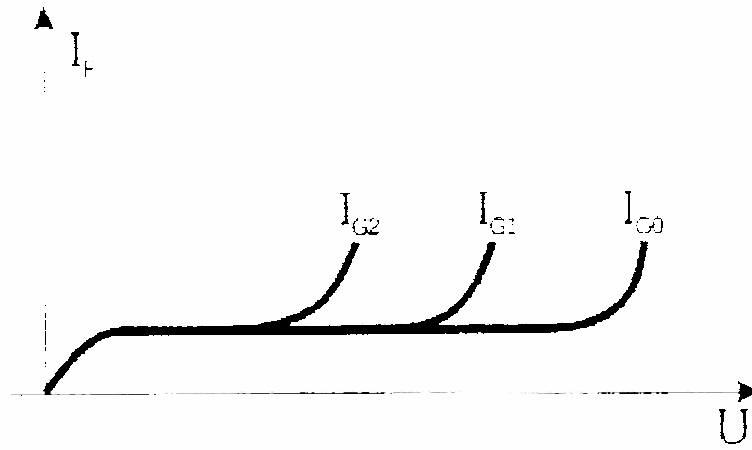
Σχήμα 2.12
Ισοδύναμο κύκλωμα thyristor με διόδους & πύλη

Τότε το θυρίστορ θα συμπεριφέρεται πλέον σαν μια ορθά πολωμένη δίοδος. Το μικρό ρεύμα που στην πραγματικότητα δημιούργησε την κατάσταση αυτή δεν είναι σε θέση τώρα να επηρεάσει το πολύ μεγάλο ρεύμα ανόδου-καθόδου.

Αν το ρεύμα ανόδου-καθόδου είναι πολύ μικρό και το ρεύμα της πύλης έχει μηδενιστεί τότε το θυρίστορ δεν άγει. Το μικρότερο ρεύμα με το οποίο το θυρίστορ μπορεί να βρίσκεται σε κατάσταση αγωγής, ενώ το ρεύμα πύλης είναι μηδέν ονομάζεται ρεύμα συγκρατήσεως (I_H - holding current).

β) Αν θεωρήσουμε τώρα το θυρίστορ σαν συνδυασμό δύο τρανζίστορ: Σχήμα 2.9. Όπως είδαμε παραπάνω όταν το θυρίστορ βρίσκεται σε κατάσταση αγωγής (μετά την εφαρμογή του παλμού έναυσης) θα εξακολουθήσει να παραμένει στην κατάσταση αυτή ακόμα και αν ο παλμός έναυσης σταματήσει να εφαρμόζεται.

Θα διακοπεί η κατάσταση αυτή μόνο όταν το ρεύμα μέσα από το θυρίστορ γίνει πολύ μικρό ή ακόμα αλλάξει η πολικότητα της ανόδου σε σχέση με την κάθοδο.



Σχήμα 2.13
Ρεύματα πύλης thyristor

Εξετάζοντας το ισοδύναμο κύκλωμα όπως αυτό δόθηκε (Σχήμα 1.13) παραπάνω έχουμε ότι:

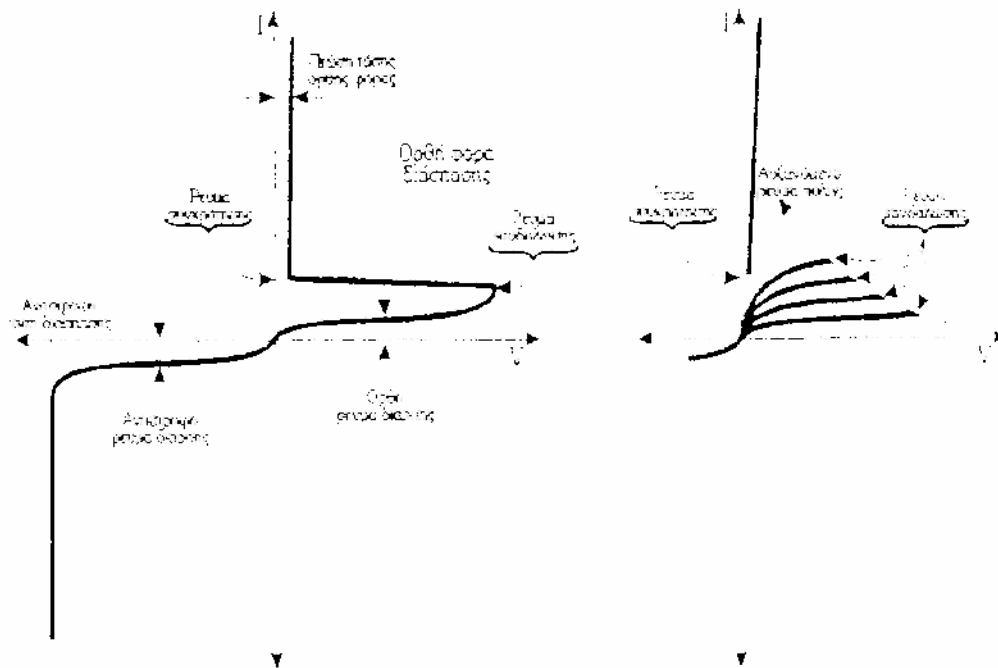
Για $I_G = 0$ δηλαδή δεν υπάρχει παλμός στη πύλη του θυρίστορ (βάση του Q2) δεν έχουμε διέλευση ρεύματος μεταξύ ανόδου & καθόδου.

Για $I_G > 0$ (δηλαδή εφαρμόζεται παλμός στην πύλη που είναι θετικός σχετικά με την κάθοδο), το Q2 αρχίζει να άγει οπότε έχουμε διέλευση ρεύματος μέσω της βάσης του Q1 με αποτέλεσμα ένα ρεύμα I_R ρέει από το εξωτερικό κύκλωμα προς το στοιχείο.

Το ρεύμα του συλλέκτη του Q1 διοχετεύεται στη βάση του Q2, δηλαδή $I_{B1} = I_{C2}$. Τότε λέμε ότι έχουμε μανδάλωση (latching) του στοιχείου που διατηρείται στην κατάσταση αγωγής και όταν ακόμα αφαιρεθεί ο παλμός έναυσης από την πύλη. Για την μετάβαση του θυρίστορ στην κατάσταση αποκοπής πρέπει το κύριο ρεύμα να ελαττωθεί σε μια τιμή, που είναι λίγο μεγαλύτερη από το μηδέν και που ονομάζεται ρεύμα συγκράτησης (Holding current - I_H).

Θα πρέπει ακόμα να σημειωθεί ότι για τη μετάβαση του θυρίστορ στην κατάσταση αγωγής απαιτείται ένα ελάχιστο ρεύμα ανόδου, το οποίο δημιουργείται μέσω του εξωτερικού κυκλώματος και ονομάζεται 'ρεύμα μανδάλωσης' (latching current).

Τότε το ρεύμα συγκρατήσεως όσο και το ρεύμα μανδάλωσης είναι το 1% του ονομαστικού ρεύματος του θυρίστορ. Η χαρακτηριστική καμπύλη U, I ενός τυπικού θυρίστορ φαίνεται στο σχήμα 2.14.



Σχήμα 2.14
Χαρακτηριστικές Thyristor

Οι απαιτούμενες στάθμες ρεύματος και τάσης για την έναυση ενός θυρίστορ εξαρτώνται από τη θερμοκρασία επαφής του στοιχείου που ενεργοποιείται. Όταν η θερμοκρασία επαφής αυξάνει η πύλη γίνεται περισσότερο ευαίσθητη και αντίθετα.

Οι απαιτήσεις ρεύματος για την έναυση της πύλης για κάθε τύπο στοιχείου, δίνονται στις προδιαγραφές των κατασκευαστών. Στις προδιαγραφές καθορίζεται μόνο το DC που χρειάζεται για την έναυση του θυρίστορ (gate current to trigger i.e $I_{GT} = 150 \text{ mA}$).

Από τη χαρακτηριστική του θυρίστορ διακρίνουμε τις εξής καταστάσεις.

1. Κα τάσταση διέλευσης (conduction stale).
2. Κα τάσταση θετικής αποκοπής (Forward blocking stale).
3. Κα τάσταση αρνητικής αποκοπής (Reverse blocking stale).

Στην 1 κατάσταση: Το θυρίστορ άγει.

22

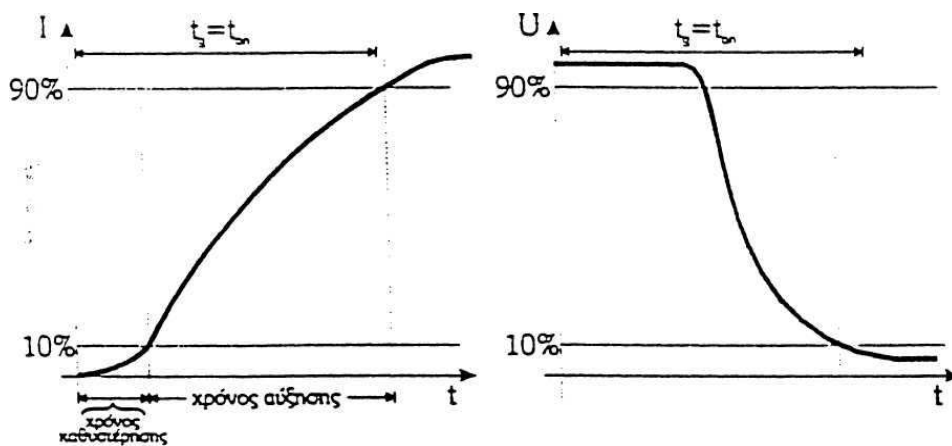
Στην 2 κατάσταση: Το θυρίστορ είναι θετικά πολωμένο και άγει όταν δοθεί παλμός έναυσης.

Στην 3 κατάσταση: θα βρεθεί το θυρίστορ αν αρνητική τάση εφαρμοστεί μεταξύ ανόδου και καθόδου, οπότε και επιτυγχάνεται η σβέση του.

Αν η τάση ανόδου-καθόδου με θετική πόλωση φτάσει την κρίσιμη τάση αποκοπής τότε στην περιοχή της αρνητικής αποκοπής υπερβεί ένα ορισμένο όριο, τότε το ρεύμα I αποκτά μεγάλες τιμές με αποτέλεσμα την καταστροφή του θυρίστορ.

Δυναμικές Χαρακτηριστικές του Thyristor.

Έναυση του thyristor (turn - on).



Σχήμα 2.15
Ρεύμα & τάση thyristor κατά την έναυση

Εξετάζοντας τις χαρακτηριστικές τάσης και ρεύματος της πύλης παρατηρούμε τα εξής :

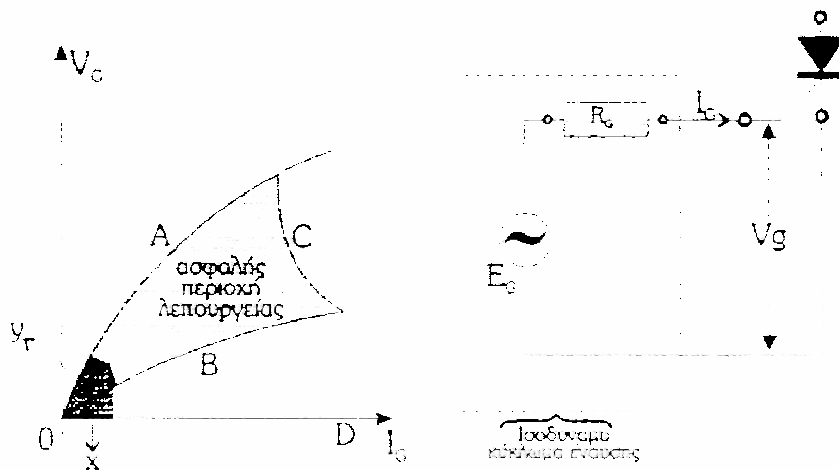
Ο παλμός έναυσης δίδεται τη χρονική στιγμή t_0 και από το πέρασμα στην κατάσταση διέλευσης από την κατάσταση μανδάλωσης, απαιτείται χρόνος $t_g = t_{on}$. Ο χρόνος αυτός εξαρτάται από δυο χρόνους : Τον χρόνο καθυστέρησης (delay time) και τον χρόνο αύξησης (rise time). Ο χρόνος καθυστέρησης είναι ο χρόνος που απαιτείται για να φθάσει το ρεύμα το 10% της τελικής τιμής του, και ο χρόνος αύξησης είναι ο χρόνος που απαιτείται για να φθάσει το ρεύμα από το 10% στο 90% της τελικής τιμής.

Ο σχεδιασμός του κυκλώματος έναυσης βασίζεται στις χαρακτηριστικές καμπύλες που δίδονται για κάθε ιδιαίτερο τύπο thyristor από τον κατασκευαστή στα φύλλα δεδομένων και χαρακτηριστικών.

23

Στα χαρακτηριστικά αυτά αναφέρονται τα μέγιστα και ελάχιστα όρια της ορθής φοράς της πύλης όπως επίσης και του ρεύματος για κάθε ιδιαίτερο thyristor.

Ακόμα δίδεται και η χαρακτηριστική καμπύλη κατανάλωσης η οποία έχει την μορφή της χαρακτηριστικής που φαίνεται στο σχήμα 216. Η χαρακτηριστική αυτή ανταποκρίνεται σε μια κλάση SCRs με τα ίδια χαρακτηριστικά.



Σχήμα 2.16
Χαρακτηριστική καμπύλη πύλης & ισοδύναμο κύκλωμα έναυσης

Η καμπύλη A αντιπροσωπεύει την χαμηλότερη τιμή της τάσης V_c που πρέπει να εφαρμοστεί στην πύλη για την έναυση του thyristor. Η καμπύλη B αντιπροσωπεύει την χαμηλότερη τιμή της V_g που πρέπει να εφαρμοστεί στην πύλη για την έναυση του thyristor. Η υπερβολή c αντιπροσωπεύει τη μέγιστη επιτρεπόμενη απώλεια της πύλης για ένα ιδιαίτερο πλάτος παλμού στην πύλη. Το σημείο D δείχνει το μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα πύλης. Τα x και y δείχνουν τις περιοχές, της μη έναυσης του thyristor και της σίγουρης έναυσης του thyristor για DC τάση και ρεύμα πύλης αντίστοιχα. Οι χαρακτηριστικές που αναφέρθηκαν παραπάνω περικλείουν μια περιοχή που ονομάζεται ασφαλής περιοχή λειτουργίας του thyristor (SOAR).

Για να 'σκανδαλιστεί' λοιπόν ένα thyristor θα πρέπει να εξασφαλιστούν οι ελάχιστες τιμές και ρεύματα πύλης, που σημαίνει ότι το κύκλωμα έναυσης θα πρέπει να' ναι ικανό να τροφοδοτήσει την πύλη με τιμή τάσης και ρεύματος πάνω από τις ελάχιστες απαιτούμενες τιμές.

Μια σπουδαία παράμετρος που πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη κατά την έναυση του thyristor είναι ο λόγος di/dt γιατί μια μεγάλη τιμή του λόγου αυτού μπορεί να προκαλέσει την καταστροφή του thyristor (di/dt =χρόνος ανόδου ρεύματος).



Σχήμα 2.1750
Σχήμα παλμού τυπικού κυκλώματος έναυσης

Ο χρόνος αυτός επιτυγχάνεται κύρια με την τεχνική παλμών που οι απώλειες τους είναι πολύ μικρότερες σε σχέση με το συνεχές ρεύμα και που ακόμα ο χρόνος σκανδαλισμού μπορεί να ελεγχθεί με ακρίβεια. Ένα πρακτικό κύκλωμα σκανδαλισμού μπορεί τυπικά να έχει τα χαρακτηριστικά του παλμού του σχήματος 2.17.

Παραδείγματα Κυκλωμάτων έναυσης.

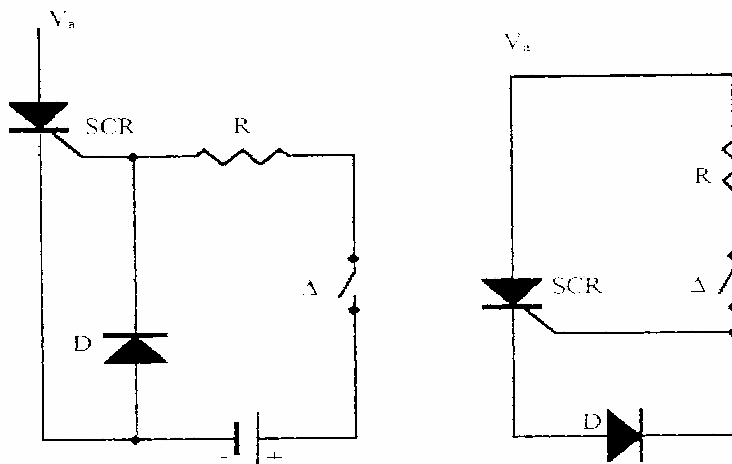
Υπάρχουν πολλά κυκλώματα σκανδαλισμού των thyristor τα οποία μπορεί να χρησιμοποιούν, την τάση του δικτύου και συνδυασμό RC κυκλωμάτων ή τους παλμούς εξόδου μετασχηματιστών παλμών, ή κυκλώματα παλμών με UJT και PJT κ.τ.λ.

Η αγορά όμως σήμερα εμπλουτίζεται και με ολοκληρωμένες μονάδες κυκλωμάτων εκκίνησης (chips) με μεγαλύτερες δυνατότητες ρύθμισης και ελέγχου. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα : MY-5001, MY-5011 της MULLARD, το L-120 της SGS / ATES UAA-145 & 146 της TELEFUNKEN, το TCA-780 της SIEMENS, το MOC-3011 της MOTOROLA κ.τ.λ.

Μερικά απλά παραδείγματα κυκλωμάτων έναυσης είναι:

1. Σήματα έναυσης με D.C.

Δύο απλά κυκλώματα έναυσης με D.C. που χρησιμοποιούν ένα διακόπτη, μια αντίσταση και μια δίοδο είναι αυτά που φαίνονται στο σχήμα 2.18.



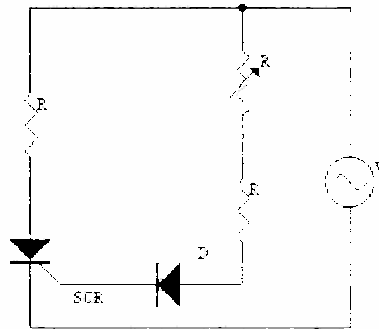
Σχήμα 2.18
Κυκλώματα έναυσης με D.C τάση

Στο κύκλωμα (1) ο διακόπτης μπορεί να είναι μηχανικός ή ηλεκτρονόμος ή ένας διακόπτης τρανζίστορ ή ακόμα ένα άλλο θυρίστορ. Η αντίσταση R περιορίζει το ρεύμα πύλης ενώ η διόδος χρησιμοποιείται για την εμπόδιση μιας υψηλής αντίστροφης τάσης σκανδάλης στους ακροδέκτες πύλης καθόδου όταν διακόπτεται το ρεύμα.

Στο κύκλωμα (2) έχουμε μια παραλλαγή του κυκλώματος (1) στην οποία δεν απαιτείται ξεχωριστή πηγή για τον σκανδαλισμό της πύλης.

2. Σήματα έναυσης με A.C.

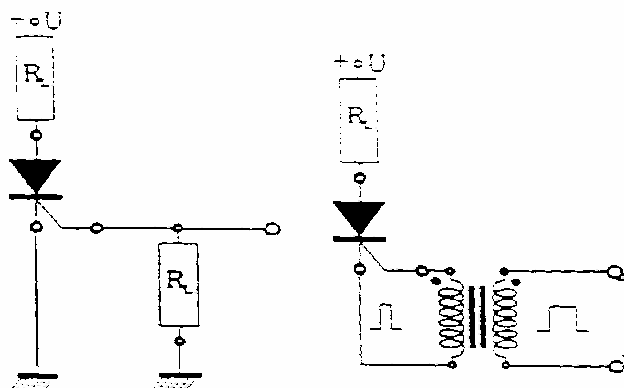
Ένα απλό κύκλωμα έναυσης με A.C. είναι αυτό που φαίνεται στο σχήμα 2.19. Στις θετικές ημιπεριόδους το thyristor διεγείρεται σε κάποια γωνία θ μικρότερη των 90° , όταν η τάση φθάσει μια τιμή τέτοια που το ρεύμα μέσω της πύλης να είναι ικανό να διεγείρει το thyristor.



Σχήμα 2.19
Διέγερση thyristor με A.C. τάση

3. Σήματα έναυσης από παλμοσειρές.

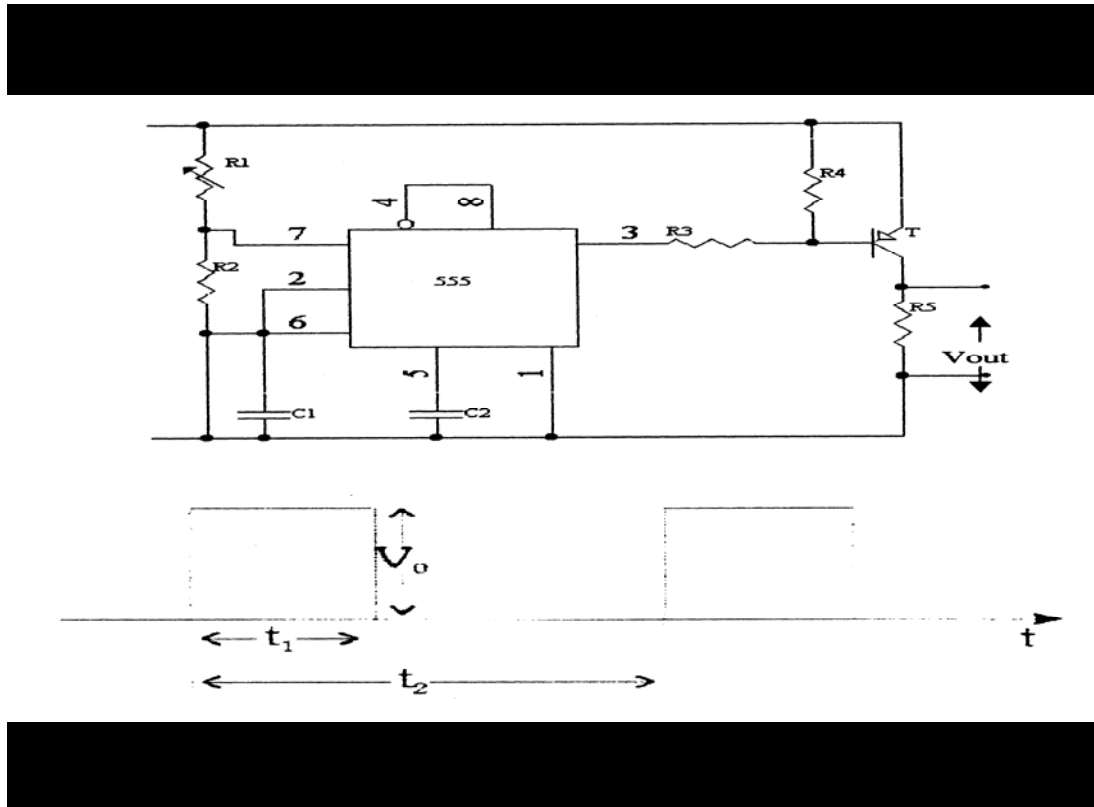
Χρησιμοποιώντας παλμικά σήματα για την έναυση των thyristors έχουμε το πλεονεκτήματα της μικρότερης κατανάλωσης ισχύος στην πύλη, τη γαλβανική απομόνωση, χρησιμοποιώντας μετασχηματιστή παλμών ή φωτοδίοδο ή φωτοτρανζίστορ, μεταξύ πύλης και καθόδου, και ακόμα την ταχύτερη και περισσότερο αξιόπιστη έναυση. Το σχήμα 2.20 δείχνει ένα τέτοιο παράδειγμα σκανδαλισμού.



Σχήμα 2.20
Διέγερση thyristor με παλμοσειρές

. Με ολοκληρωμένα κυκλώματα (chips).

Ένα παράδειγμα ολοκληρωμένου κυκλώματος για τον σκανδαλισμό thyristors είναι το γνωστό IC 555 με την συνδεσμολογία που δείχνει το σχήμα 2.21.



Σχήμα 2.21

Κύκλωμα σκανδαλισμού με το IC555 και οι κυματομορφές εξόδου του

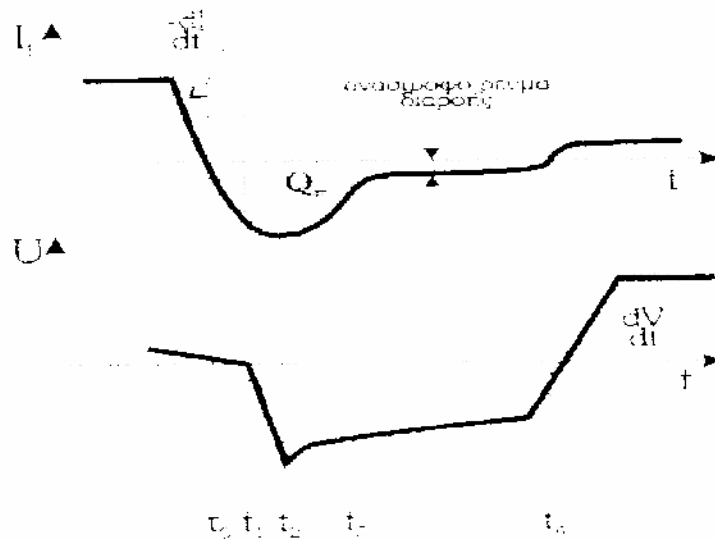
Το κύκλωμα αυτό είναι χρήσιμο για τον σκανδαλισμό SCRs λόγω των πολλών πλεονεκτημάτων του. Ο παλμός εξόδου έχει ένα γρήγορο χρόνο ανύψωσης και διάρκεια η οποία μπορεί να ελεγχθεί από ένα RC κύκλωμα.

Σβέση του Thyristor (turn-off).

Η αλλαγή της κατάστασης ενός Thyristor, από την αγωγή στην αποκοπή, (σβέση) αρχίζει όταν το ρεύμα ορθής φοράς πέφτει σε μία τιμή κατώτερη της τιμής του ρεύματος συγκράτησης (Holding Current), με μηδενικό ρεύμα πύλης. Όλο το φαινόμενο της σβέσης του thyristor εξαρτάται από το ρεύμα ορθής φοράς πριν τη σβέση, τη μέγιστη τιμή αντίστροφου ρεύματος, το λόγο αύξησης της τάσης ορθής φοράς και της επίδραση της θερμοκρασίας.

Όταν το ρεύμα έχει πέσει στο μηδέν, το thyristor πρέπει να τοποθετηθεί στην κατάσταση ανάστροφης αποκοπής, με μια ανάστροφη τάση που θα εφαρμοστεί στα 27 άκρα του, για αρκετό χρόνο ικανό να επιτρέψει στους φορείς (οπές - ηλεκτρόνια) να επανέλθουν στην αρχική κατάσταση ολοκληρώνοντας έτσι τη σβέση του thyristor.

Η δυναμική συμπεριφορά του thyristor (κατά τη σβέση) φαίνεται στο σχήμα 2.22.



Σχήμα 2.22

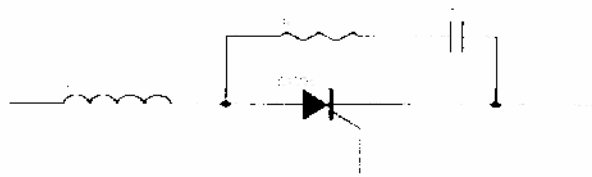
Το ρεύμα και η τάση των thyristor κατά την διάρκεια turn off με $I_g=0$

Αρχικά το ρεύμα πέφτει στο μηδέν στο χρόνο t_0 και μετά αντιστρέφεται. Από t_0 έως t_1 το αντίστροφο αυτό ρεύμα συγκρατείται (συντηρείται) από το μεγάλο αριθμό των φορέων του thyristor, και η πτώση τάσης είναι μικρή. Από τη χρονική στιγμή t_2 και μετά το αντίστροφο αυτό ρεύμα δεν μπορεί πλέον να συντηρηθεί και αρχίζει να ελαττώνεται. Την ίδια χρονική στιγμή εμφανίζεται η μέγιστη αντίστροφη τάση και καθώς το κύκλωμα είναι συνήθως επαγωγικό, η τάση αυτή θα παραμείνει ακόμη περισσότερο, οδηγώντας έτσι το αντίστροφο ρεύμα στο επίπεδο του ρεύματος διαρροής. Αν και η ανάκτηση της αντίστροφης αυτής περιόδου (αλλαγή όλων των $p-n$ ενώσεων από ορθή σε ανάστροφη πόλωση) συμπληρώνεται τη χρονική στιγμή t_3 , η ανάστροφη τάση πρέπει να διατηρηθεί μέχρι το χρόνο t_4 για να εξασφαλιστεί ότι η πυκνότητα των φορέων στην περιοχή της κεντρικής ενώσεως είναι αρκετά αραιή έτσι, ώστε να εμποδίσει την πιθανότητα έναυσης όταν μία τάση ορθής φοράς εφαρμοστεί.

Ο συνολικός χρόνος σβέσης ποικίλει ανάλογα με το thyristor αλλά τυπικά βρίσκεται μεταξύ 10 έως 100 μ s.

Οι συνθήκες που αναπτύχθηκαν παραπάνω για τη σβέση του thyristor εξελίσσονται ταυτόχρονα (αυτόματα) από κύκλωμα που χρησιμοποιούμε (Κυ κλώματα αποκοπής) και που θα εξετάσουμε αργότερα.

Για την προστασία του thyristor λόγω των υπερεντάσεων που δημιουργούν προβλήματα, χρησιμοποιούμε συχνά ένα κύκλωμα RC συνδεδεμένο στους ακροδέκτες του thyristor όπως φαίνεται στο σχήμα 2.23.



Σχήμα 2.23
Προστατευτικό κύκλωμα thyristor

Χαρακτηριστικά Μεγέθη των Thyristors.

Η λειτουργία των thyristors είναι οριοθετημένη από πολλούς περιορισμούς και παραμέτρους, οι οποίοι καθορίζουν τα όρια λειτουργίας τους. Τα στοιχεία αυτά για κάθε ξεχωριστό τύπο thyristor δίδονται από τους κατασκευαστές στα φύλλα δεδομένων. Ενδεικτικά αναφέρουμε την μέγιστη, τη μέση και την ενεργό (RMS) τιμή του ρεύματος, τη μέγιστη τάση ορθής και ανάστροφης τάσης όπως επίσης και τα χαρακτηριστικά μεγέθη του κυκλώματος πύλης.

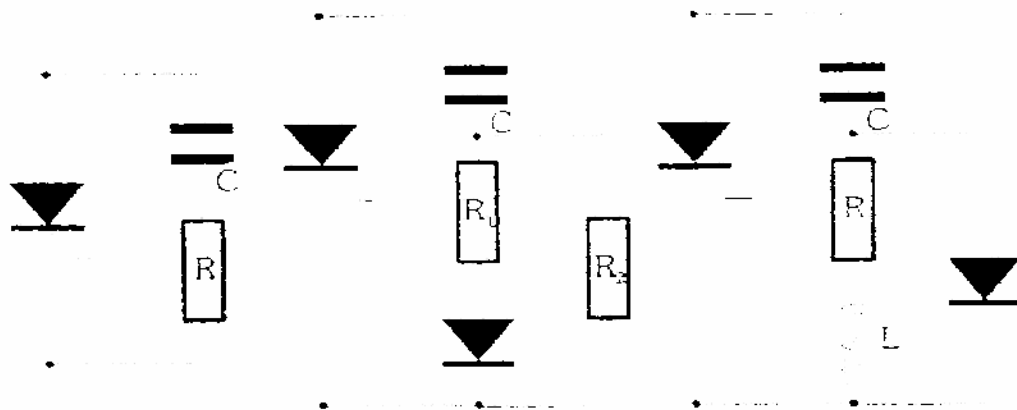
Επιπρόσθετα υπάρχουν και αρκετά παροδικά (μεταβατικά) μεγέθη τα οποία πρέπει να εκτιμηθούν κατάλληλα σε κάθε περίπτωση.

Υπερφορτίσεις μικρής διάρκειας έχουν σαν αποτέλεσμα την αύξηση της εσωτερικής θερμοκρασίας του thyristor με εξωτερική μεταφορά θερμότητας. Λαμβάνοντας υπ' όψη μας ότι οι απώλειες των thyristors είναι ανάλογες των μεταβολών του ρεύματος, η αύξηση της εσωτερικής θερμοκρασίας μπορεί να εκφρασθεί με μια τιμή:

$$\int i^2 dt$$

η οποία σχετίζεται με τη μέγιστη επιτρεπόμενη αύξηση της θερμοκρασίας.

Μεγάλη επίδραση στη λειτουργία του thyristor είναι ακόμα ο μέγιστος ρυθμός ανόδου της τάσης ορθής φοράς (dV/dt). Αν ο λόγος αυτός είναι μεγάλος, το thyristor μπορεί να καταστεί αγώγιμο χωρίς την εφαρμογή ρεύματος στην πύλη του, με αποτέλεσμα την ενδεχόμενη καταστροφή του. Η παράμετρος αυτή (dV/dt) του thyristor θα πρέπει να εκλέγεται έτσι, ώστε να εμποδίζει την έναυση με αυτόν τον τρόπο. Το μέγεθος του επιβαλλόμενου dV/dt μπορεί να ελεγχθεί με τη χρήση κυκλωμάτων σαν αυτά του σχήματος 2.24



Σχήμα 2.24
Κυ κλώματα ελέγχου dv/dt

1.3.1 MOSFET Ισχύος.

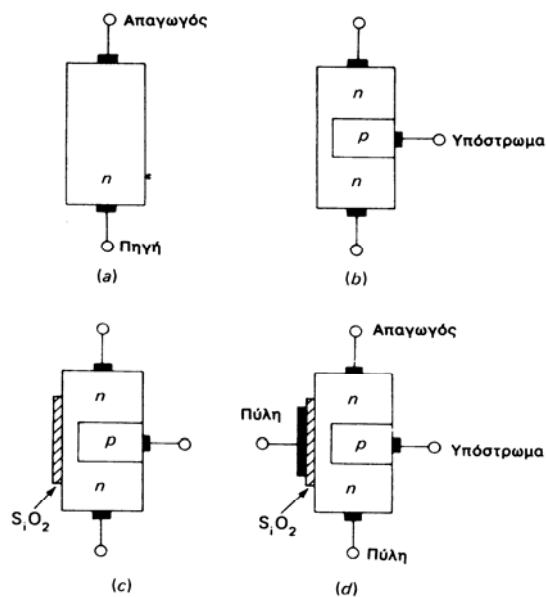
(Metal oxide semiconductor fields effect transistor). Οι αυξανόμενες απαιτήσεις από τις ηλεκτρονικές συσκευές ισχύος για υψηλότερη συχνότητα λειτουργίας σε εφαρμογές όπως η αλλαγή κατάστασης σε ισχύ τροφοδότησης, έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη των Mosfet ισχύος. Τα Mosfet ισχύος λειτουργούν με μικρές απώλειες και απαιτούν πολύ μικρότερες τιμές ρεύματος πύλης από ότι απαιτεί η βάση ενός ισοδύναμου transistor για να διατηρηθεί στην κατάσταση αγωγής. Σε χαμηλότερες τάσεις η αντίσταση στην κατάσταση αγωγής (on state) ενός MOSFET ισχύος είναι μικρότερη από αυτή ενός ισοδύναμου transistor κυμαινόμενη από 0,05 έως 0,25Ω για μια συσκευή 100V και 2-8 Ω για μια συσκευή 1000V. Οι εφαρμογές των Mosfet ισχύος δεν είναι πολύ εξαπλωμένη από το γεγονός ότι η τεχνολογία που χρησιμοποιείται για την κατασκευή τους είναι σήμερα περισσότερο ακριβή απ' ότι αυτή των άλλων συσκευών ηλεκτρονικών ισχύος. Χρησιμοποιούνται όμως ιδιαίτερα στην κατασκευή inverters, choppers και παλμοτροφοδοτικών.

MOSFET τύπου αραίωσης.

Όπως το JFET, έτσι και το MOSFET έχει μία πηγή, μία πύλη και έναν επαγωγό. Η μεγάλη διαφορά έγκειται στο ότι η πύλη είναι απομονωμένη από το κανάλι. Γι' αυτόν το λόγο, μπορούμε να εφαρμόσουμε θετικές αλλά και αρνητικές τάσεις στην πύλη. Και στις δύο περιπτώσεις, το ρεύμα της πύλης είναι αμελητέο.

Περιοχές του MOSFET.

Το MOSFET αποτελείται κατ' αρχήν από ένα τμήμα ημιαγωγού n τύπου. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.25(α), στα άκρα αυτού του τμήματος συνδέονται οι ακροδέκτες επαγωγού και πηγής. Όπως και στα JFET, η επιβολή μίας θετικής τάσης στους ακροδέκτες επαγωγού - πηγής εξαναγκάζει τα ελεύθερα ηλεκτρόνια να ρέουν από την πηγή στον επαγωγό. Όμως, αντίθετα με το JFET, το MOSFET έχει μόνο μία p περιοχή. Αυτό φαίνεται στο σχήμα 2.25(β). Αυτή η περιοχή ονομάζεται υπόστρωμα (substrate). Η p περιοχή περιορίζει το εύρος του καναλιού ανάμεσα στην πηγή και τον επαγωγό. Έτσι υπολείπεται μόνο ένα στενό πέρασμα στην αριστερή πλευρά του στοιχείου του σχήμα 2.25(β). Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια που ρέουν από την πηγή στον επαγωγό, περνούν μέσα από αυτό το στενό πέρασμα. Μία λεπτή φέτα διοξειδίου του πυριτίου (SiO_2) αποτίθεται στην αριστερή πλευρά του καναλιού. Αυτό το υλικό είναι ένας μονωτής. Τέλος, μία μεταλλική πύλη τοποθετείται πάνω από τον μονωτή (Σχήμα 2.25(δ)). Επειδή η πύλη είναι απομονωμένη από το κανάλι, το MOSFET είναι γνωστό και σαν FET μονωμένης - πύλης (IGFET).



Σχήμα 2.25

Δομή των MOSFET.

(α) n -κανάλι. (β) Προσθήκη του υποστρώματος. (γ) Προσθήκη του διοξειδίου του πυριτίου.

(δ) Προσθήκη της πύλης.

Λειτουργία αραίωσης.

Πώς λειτουργεί το MOSFET του σχήματος 2.26(α). Κατά τα γνωστά, η τροφοδοσία V_{DD} εξαναγκάζει τα ελεύθερα ηλεκτρόνια να ρέουν από την πηγή στον επαγωγό. Αυτά τα ελεύθερα ηλεκτρόνια ρέουν μέσα από το στενό κανάλι που σχηματίζεται στα αριστερά του p υποστρώματος. Όπως στα JFET, η τάση της πύλης ελέγχει την αντίσταση του n καναλιού. Όμως, επειδή η πύλη είναι απομονωμένη από το κανάλι, μπορούμε να εφαρμόσουμε σ' αυτήν είτε θετική είτε αρνητική τάση. Στο σχήμα 2.26(α) εφαρμόζεται στην πύλη αρνητική τάση.

Αυτή η τάση αναχαιτίζει τα ελεύθερα ηλεκτρόνια και τα ωθεί πίσω προς την πηγή. Αυτό σημαίνει ότι η αρνητική τάση στην πύλη ελαττώνει τη ροή ανάμεσα στην πηγή και τον επαγωγό.

Όσο πιο αρνητική είναι η τάση της πύλης, τόσο πιο μικρό είναι το ρεύμα μέσα στο κανάλι. Αν η αρνητική τάση της πύλης αυξηθεί αρκετά, το ρεύμα ανάμεσα στην πηγή και τον επαγωγό αποκόπτεται. Επομένως, με την επιβολή αρνητικής τάσης στην πύλη, το MOSFET λειτουργεί κατά τρόπον ανάλογο με αυτόν του JFET. Επειδή η επιβολή αρνητικής τάσης στην πύλη προκαλεί αραίωση των φορτίων που ρέουν μέσα στο κανάλι, αυτός ο τρόπος λειτουργίας ονομάζεται λειτουργία αραίωσης (depletion mode).



Σχήμα 2.26
(α) Αρνητική πύλη. (β) Θετική πύλη.

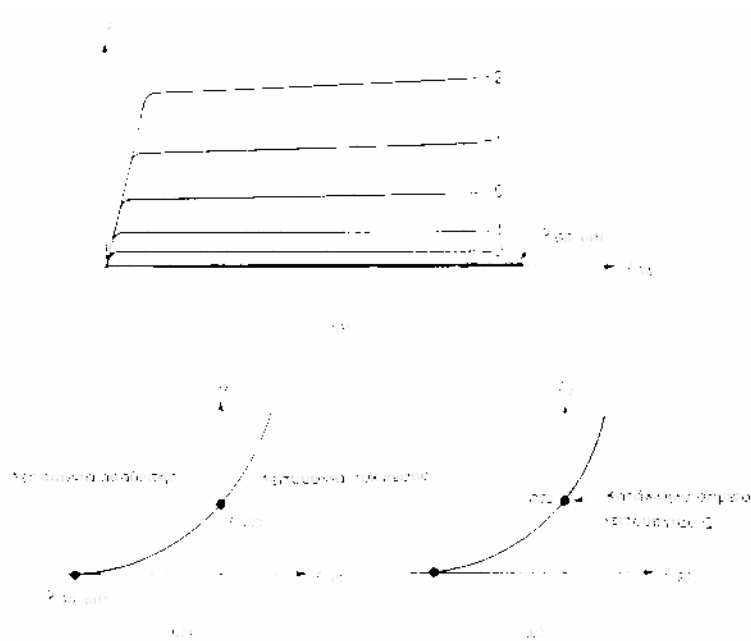
Λειτουργία πύκνωσης.

Μία θετική τάση εφαρμόζεται στην πύλη του κυκλώματος του σχήματος 2.26(β). Η τάση αυτή έλκει τα ελεύθερα ηλεκτρόνια και αυξάνει τη ροή ρεύματος ανάμεσα στην πηγή και τον επαγωγό. Μ' άλλα λόγια, η θετική τάση ενισχύει την αγωγιμότητα του καναλιού. Όσο πιο θετική είναι η τάση της πύλης, τόσο μεγαλύτερη είναι η ροή από την πηγή στον επαγωγό. Η λειτουργία του MOSFET με θετική τάση ονομάζεται λειτουργία πύκνωση (enhancement mode).

Το ρεύμα της πύλης είναι αμελητέο και στους δύο τρόπους λειτουργίας. Αυτό οφείλεται στην παρεμβολή του μονωτικού στρώματος. Η αντίσταση εισόδου της πύλης είναι πολύ μεγάλη, από 10^{10} μέχρι 10^{14} Ω. Το στοιχείο του σχήματος 2.26(α) και (β) είναι ένα MOSFET n-καναλιού. Το συμπληρωματικό του στοιχείο είναι το MOSFET p-καναλιού.

Χαρακτηριστικές καμπύλες του MOSFET.

Οι χαρακτηριστικές επαγωγού ενός MOSFET n-καναλιού δίνονται στο σχήμα 2.27(α). Η $V_{GS(off)}$ παριστάνει την αρνητική τάση πύλης που αποκόπτει το ρεύμα επαγωγού. Αν η είναι μικρότερη του μηδενός, έχουμε λειτουργία αραίωσης. Από την άλλη μεριά, αν η V_{GS} είναι μεγαλύτερη του μηδενός, έχουμε λειτουργία πύκνωσης.



Σχήμα 2.27
 (α) Χαρακτηριστικές καμπύλες επαγωγού τον MOSFET.(β) Καμπύλες διαγωγιμότητας.(γ) Μηδενική πόλωση

Η καμπύλη διαγωγιμότητας δίνεται στο σχήμα 1.29(β). Το I είναι το ρεύμα απαγωγού με βραχυκυκλωμένη πύλη. Σημειώστε ότι το $IDSS$ δεν είναι πλέον το μέγιστο δυνατό ρεύμα. Όπως βλέπετε, η καμπύλη διαγωγιμότητας εκτείνεται προς τα δεξιά, για θετικές τιμές της V_{GS} . Έτσι, το ID είναι μεγαλύτερο από το $IDSS$ στη λειτουργία πύκνωσης. Τα MOSFET με τη χαρακτηριστική διαγωγιμότητας του σχήματος 1.29(β) χρησιμοποιούνται εύκολα γιατί δεν απαιτούν τάση πόλωσης. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.29(γ), μπορούμε να τοποθετήσουμε το σημείο Q στο σημείο τομής του άξονα των τεταγμένων με τη χαρακτηριστική, όπου $ID = IDSS$ και $V_{GS} = 0$. Αυτό σημαίνει ότι δε χρειαζόμαστε τάση στην πύλη, γεγονός που απλοποιεί το κύκλωμα πόλωσης.

Ο ΤΕΛΕΣΤΙΚΟΣ ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ Γενικά

Ο τελεστικός ενισχυτής είναι ένα προκατασκευασμένο μονολιθικό κύκλωμα μικρών διαστάσεων που συμπεριφέρεται ως ενισχυτής τάσης. Συνδυάζεται με ελάχιστα εξωτερικά εξαρτήματα σχηματίζοντας

ενισχυτές τάσης, ακολουθητές τάσης, ενεργά φίλτρα και άλλα κυκλώματα. Τροφοδοτείται συνήθως με συμμετρική τροφοδοσία ($+V$, $-V$). Ο τελεστικός ενισχυτής έχει δύο εισόδους και μια έξοδο. Είναι ενισχυτής διαφοράς των τάσεων των εισόδων του. Η μια είσοδος συμβολίζεται με (-) και ονομάζεται είσοδος αναστροφής. Η άλλη συμβολίζεται με (+) και ονομάζεται είσοδος μη αναστροφής. Η τάση εισόδου στον τελεστικό ενισχυτή (u) είναι η διαφορά:

$$u_i = u_+ - u_-$$

Η τάση εξόδου U_o είναι: $U_o = A U_i$

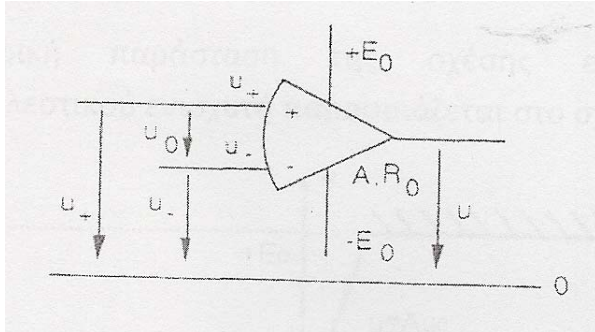
Όπου A είναι η ενίσχυση τάσης του τελεστικού ενισχυτή.

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

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

Ο πραγματικός τελεστικός ενισχυτής

Ένας πραγματικός τελεστικός ενισχυτής έχει πεπερασμένη και όχι άπειρη αντίσταση εισόδου R_o 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.



ΣΧΗΜΑ 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.

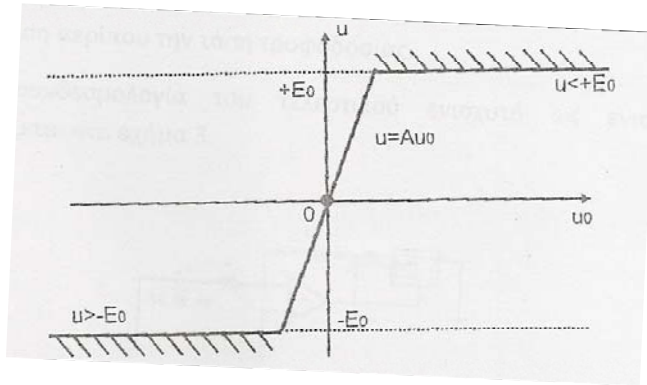
Η τάση τροφοδότησης E_0 καθορίζει κατά προσέγγιση και την τάση κόρου του ενισχυτή, το ανώτατο όριο της εξόδου.

Μία από τις σχέσεις που χαρακτηρίζουν έναν πραγματικό ενισχυτή είναι η σχέση ενίσχυσης:

$$U = A_{u_0} = A(U_+ - U_-)$$

Ο πραγματικός τελεστικός ενισχυτής ενισχύει με μία πεπερασμένη και όχι άπειρη ενίσχυση A την διαφορική τάση εισόδου U_0 , δηλαδή την διαφορά της μη αναστρέφουσας και της αναστρέφουσας τάσεως εισόδου u_+ και u_- . Η ενίσχυση αυτή είναι συνήθως της τάξης $A = 10^6$.

Η γραφική παράσταση της σχέσης ενίσχυσης ενός πραγματικού τελεστικού ενισχυτή παρουσιάζεται στο σχήμα 2.



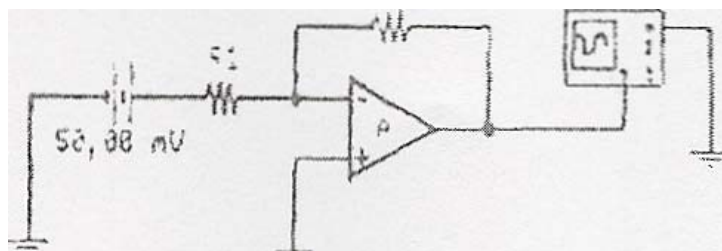
ΣΧΗΜΑ 2

Ο τελεστικός ενισχυτής ως ενισχυτής

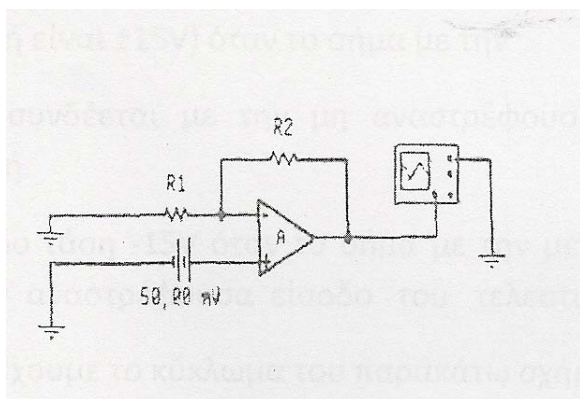
Ο τελεστικός ενισχυτής χρησιμοποιείται για ενίσχυση της τάσης, και όχι του ρεύματος. Έτσι, ενισχύει ένα σήμα εισόδου στην έξοδο, με μέγιστη τάση περίπου την τάση τροφοδοσίας.

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 : $V_{\text{εξόδου}} = -R_2/R_1 * V_{\text{εισοδου}}$ 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: $V_{\text{εξόδου}} = -R_2 + R_1/R_1 * V_{\text{εισοδου}}$

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.

Ο τελεστικός ενισχυτής ως συγκριτής

Ο τελεστικός ενισχυτής χρησιμοποιείται επίσης και ως συγκριτής.

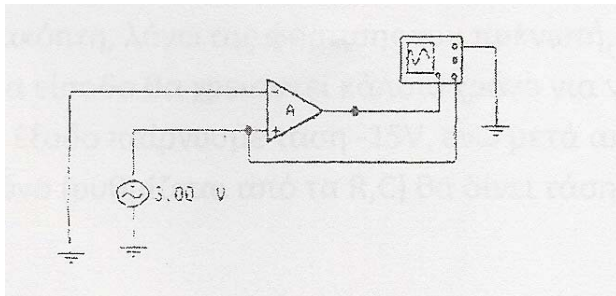
Αναλυτικότερα , μπορεί να συγκρίνει δυο σήματα στις δυο εισόδους του και να βγάζει στην έξοδο το εξής σήμα:

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.

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

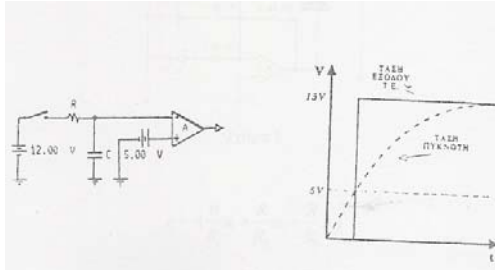


Σχήμα 5

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

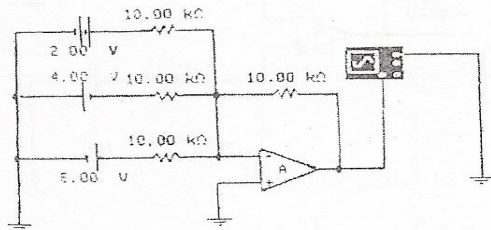


Σχήμα 6

Συνδέουμε την μη αναστρέφουσα είσοδο με τάση +5V και την αναστρέφουσα είσοδο με τάση +12V μέσω δικτύωματος 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.

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

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

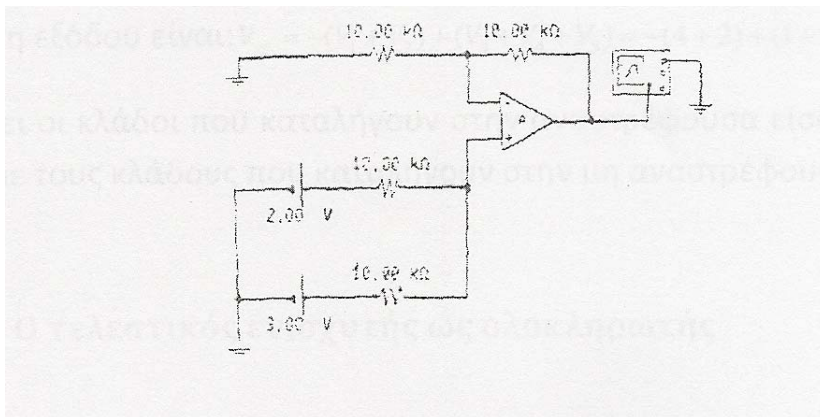
Συνδέουμε δύο σήματα στην μη αναστρέφουσα είσοδο

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: $V_{εξ} = -(2 + (4) + 5) = -3V$

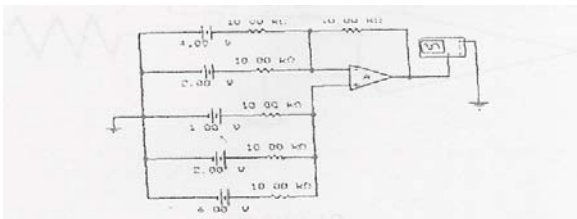
Για άθροιση στην μη αναστρέφουσα είσοδο χρησιμοποιούμε την συνδεσμολογία του σχήματος 8.



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: $v_{\xi} = V_1 + V_2 = 2 + 3 = 5V$

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

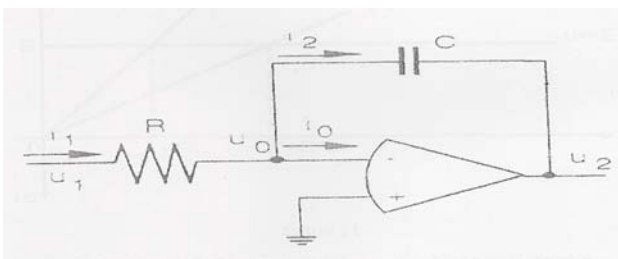


Η τάση εξόδου είναι: $V = +V_2) + (V_3 + V_4 + V_5) = -(4+2) + (1+ 2+6) = 3V$

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

. 0 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).

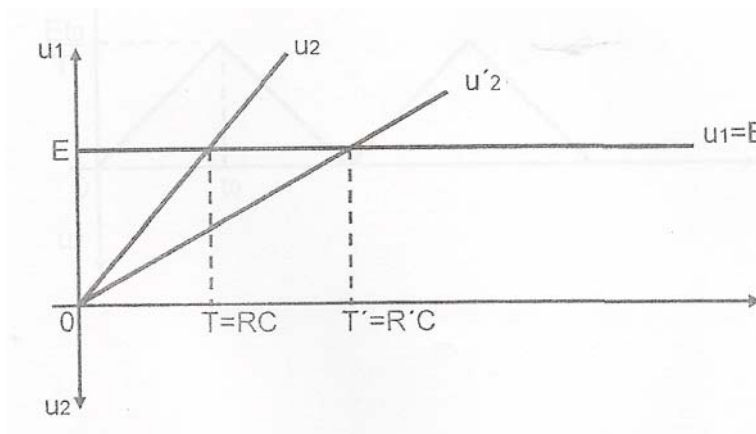


Σχήμα 10

Η τάση στην έξοδο δίνεται από την σχέση: $u_2 = -1/ RC \int_0^t U_1(t) dt$

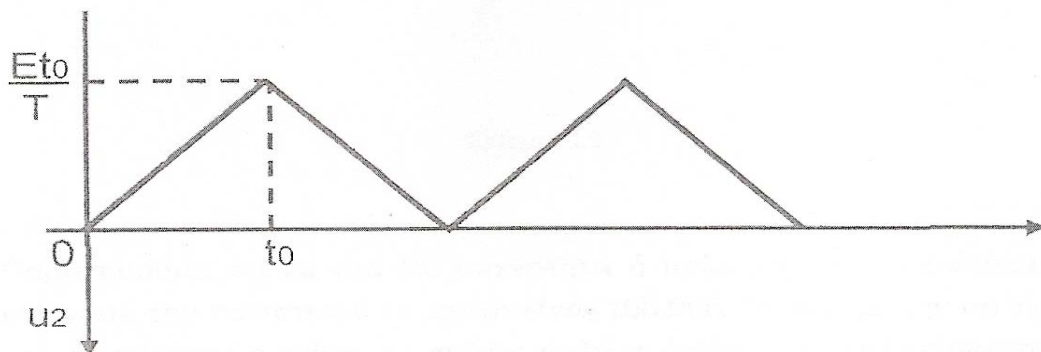
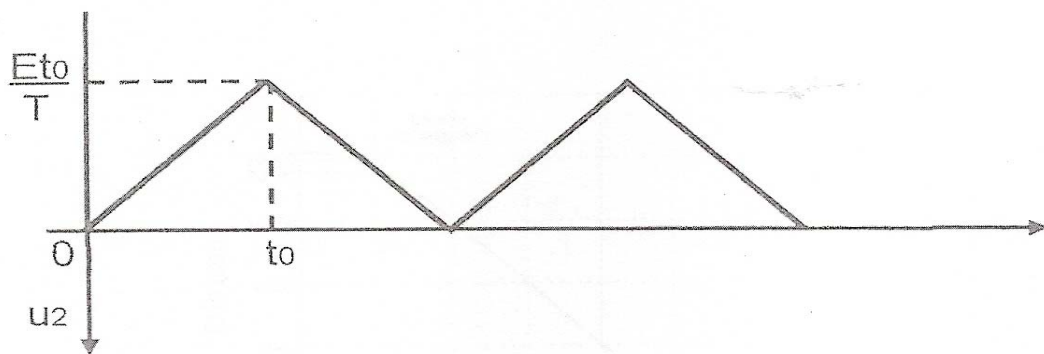
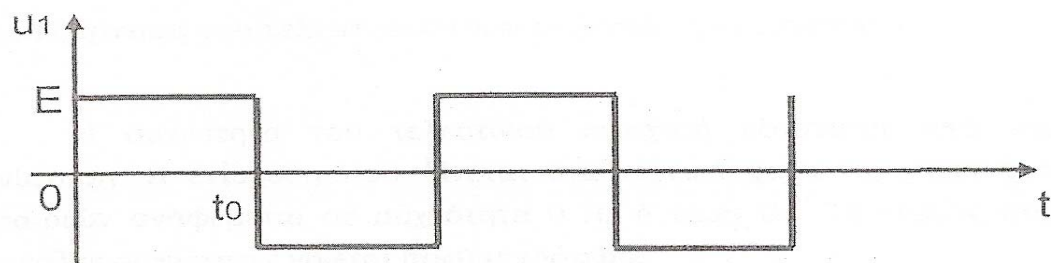
Η σταθερά $T=RC$ ονομάζεται σταθερά χρόνου (time constant) και χαρακτηρίζει την ταχύτητα της ολοκλήρωσης.

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

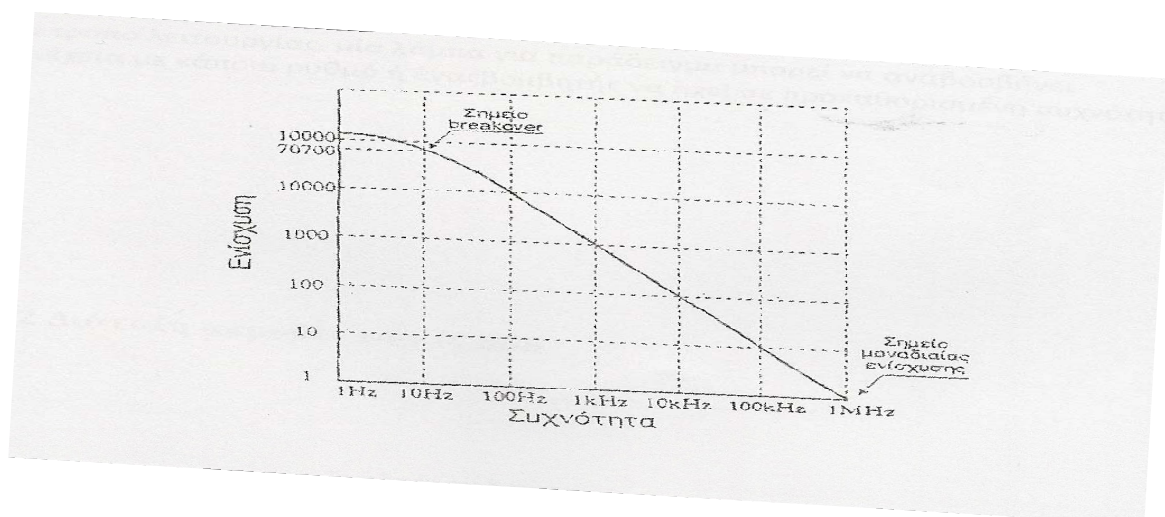
Ο τετραγωνικός παλμός στην είσοδο του ολοκληρωτή παράγει τριγωνικό παλμό στην έξοδο (σχήμα 12).



Εξάρτηση του τελεστικού ενισχυτή από την συχνότητα

Η συχνότητα του τελεστικού ενισχυτή εξαρτάται από την ενίσχυση. Η ενίσχυση που δίνεται στα τεχνικά χαρακτηριστικά των εταιριών αναφέρεται σε συχνότητα 0 Hz ή τάση DC. Το κέρδος στις μεγάλες συχνότητες γίνεται πολύ μικρότερο.

Η χαρακτηριστική καμπύλη απόκρισης συχνότητας ενός τελεστικού ενισχυτή παρουσιάζεται στο σχήμα 13.



Σχήμα 13

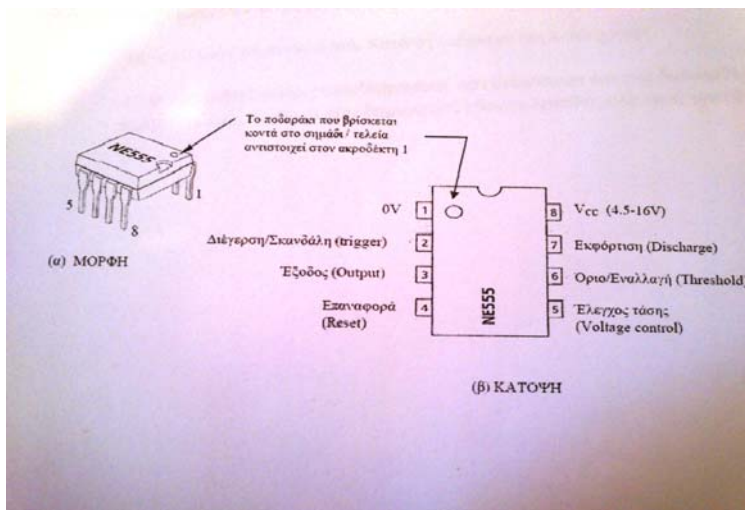
Παρατηρούμε ότι σε μια DC συχνότητα ή πολύ χαμηλή συχνότητα η ενίσχυση του τελεστικού ενισχυτή είναι 100.000. Επίσης με την αύξηση της συχνότητας η ενίσχυση πέφτει πολύ γρήγορα. Ένα χαρακτηριστικό σημείο της καμπύλης είναι το σημείο breakover στο οποίο η ενίσχυση έχει πέσει στο 70,7% της μέγιστης τιμής της.

Ο ΧΡΟΝΙΣΤΗΣ '555':

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

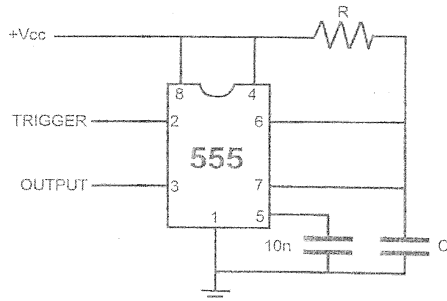
Στην ασταθής λειτουργία, το 555 δεν παρουσιάζει σταθερή κατάσταση, αλλά αλλάζει από μια κατάσταση στην άλλη σε προκαθορισμένους χρόνους. Με αυτό τον τρόπο λειτουργίας, μία λάμπα για παράδειγμα μπορεί να αναβοσβήνει συνέχεια με κάποιο ρυθμό ή ένας βομβητής να ηχεί σε προκαθορισμένη συχνότητα.



1 Συνδέεται με τα 0V (-) 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 μετράγεται από τάση 0V σε τάση υψηλή- HIGH (περίπου ίση με 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, 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.

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 κάποια προβλήματα κατά την εφαρμογή του.

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, (ο χρόνος T υπολογίζεται από την σχέση: $T=1,1RC$)

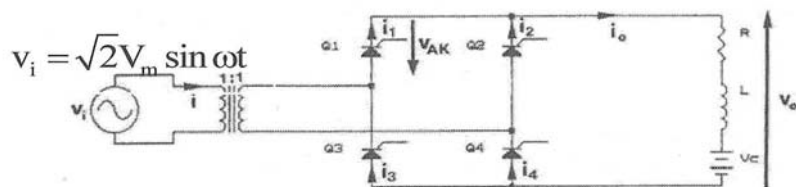
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Μετατροπέας A.C./D.C. Ανάλυση μονοφασικής πλήρως ελεγχόμενης γέφυρας. Ανάλυση και περιγραφή.

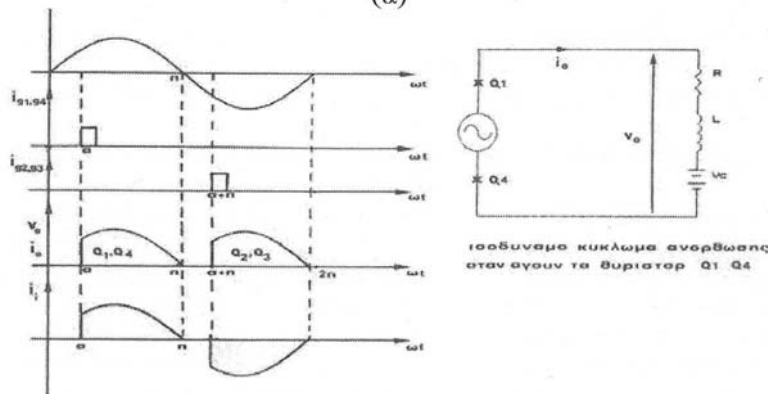
ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΗ ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΗ ΠΛΗΡΗΣ ΓΕΦΥΡΑ

Η σημαντικότερη ελεγχόμενη ανόρθωση μονοφασικού ρεύματος είναι η γέφυρα των τεσσάρων ημιαγωγικών στοιχείων, της οποίας η συνδεσμολογία παρουσιάζεται στο σχήμα 5.1(α). Το παράδειγμα φορτίου της ανόρθωσης

αντιπροσωπεύει το μοντέλο ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος, όπου V_c είναι η ηλεκτρεγερτική δύναμη του κινητήρα. Η λειτουργία της ανόρθωσης αυτής έχει ως εξής. Το ζευγάρι των θυρίστορ Q1, Q4 αρχίζει να άγει σε κάποια γωνία α της θετικής ημιπεριόδου της τάσης εισόδου, και το ζευγάρι των θυρίστορ Q2, Q3 αρχίζει να άγει σε κάποια γωνία $\alpha + \pi$ της αρνητικής ημιπεριόδου. Αν υποθεθεί ότι οι παλμοί έναυσης εφαρμόζονται στο ζευγάρι των θυρίστορ Q1, Q4 σε κάποια γωνία α της θετικής ημιπεριόδου, τότε τα θυρίστορ θα αρχίσουν να άγουν και έτσι το ρεύμα αρχίζει να κυκλοφορεί μέσω του φορτίου. Τότε για ωμικό φορτίο, το ρεύμα εξόδου θα είναι V_i/R . Όταν η τάση εισόδου μηδενιστεί, τότε το ρεύμα εξόδου μηδενίζεται με αποτέλεσμα να μηδενισθεί το ρεύμα των θυρίστορ και έτσι να επιτυγχάνεται η σβέση (φυσική μετάβαση) των θυρίστορ Q1 και Q4. Σε κάποια γωνία $\alpha + \pi$ της αρνητικής ημιπεριόδου, παλμοί έναυσης εφαρμόζονται στα θυρίστορ Q2, Q3 και έτσι αυτά να αρχίσουν να άγουν, δημιουργώντας ένα ρεύμα εξόδου V_i/R . Από τη στιγμή αγωγής των θυρίστορ Q2 και Q3, η τάση εισόδου εφαρμόζεται στα άκρα των θυρίστορ Q1 και Q4 με αποτέλεσμα αυτά να πολώνονται ανάστροφα. Τα θυρίστορ Q2 και Q3 θα σταματήσουν να άγουν στο τέλος της αρνητικής ημιπεριόδου, όπου το ρεύμα εξόδου πάει στο μηδέν. Με τη σβέση των θυρίστορ Q2 και Q3 τελειώνει ένας κύκλος λειτουργίας της ανόρθωσης. Ο επόμενος κύκλος θα αρχίσει πάλι με την έναυση των θυρίστορ Q1 και Q4. Στο σχήμα 5.1 (β) παρουσιάζονται οι διάφορες κυματομορφές της ανόρθωσης για ωμικό φορτίο και χωρίς V_c .



(α)



(β)

Μονοφασική ελεγχόμενη ανόρθωση γέφυρας.

α) Κύκλωμα.

β) Κυματομορφές για ωμικό φορτίο και $V_C=0$

Όπως διαπιστώνεται από το σχήμα 5.1 (β) το ρεύμα εξόδου είναι ασυνεχές (δηλ. παίρνει και μηδενικές τιμές) με αποτέλεσμα οι δίοδοι της ανόρθωσης να μην άγουν σε κάποια διαστήματα (ασυνεχής αγωγή) και κατά συνέπεια και η τάση εξόδου να είναι ασυνεχής. Στην περίπτωση αυτή η μέση και η ενεργός τιμή της τάσης εξόδου δίνονται από τις ακόλουθες σχέσεις

$$\bar{V}_0 = \text{μέση τιμή της τάσης εξόδου}$$

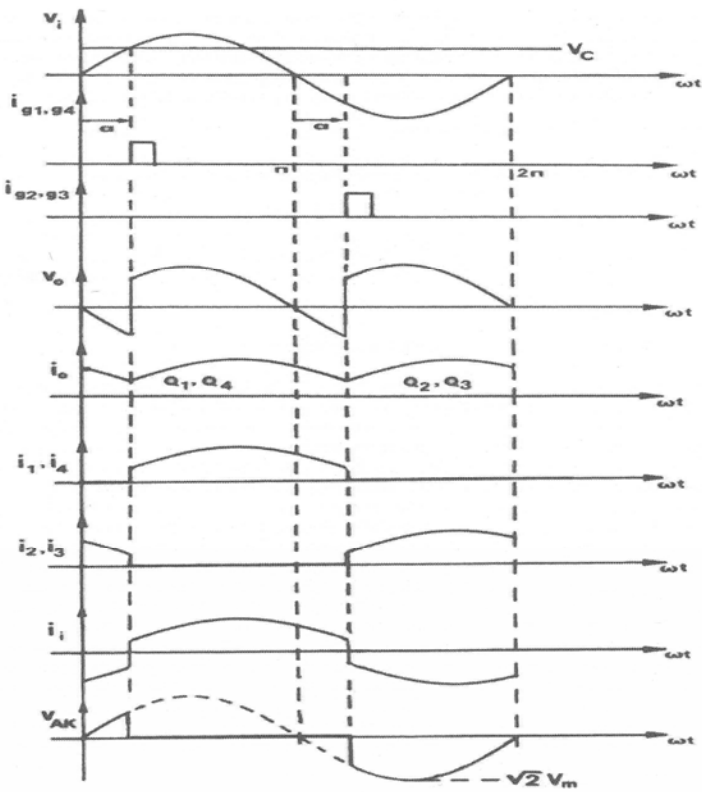
$$= \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \sqrt{2} V_m \sin \omega t \, d\omega t = \frac{\sqrt{2} V_m}{\pi} (\cos \alpha + 1) \quad (5.1)$$

$$\tilde{V}_0 = \text{ενεργός τιμή της } v_0 = \left[\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \left[\sqrt{2} V_m \sin(\omega t) \right]^2 d\omega t \right]^{1/2} \quad (5.2)$$

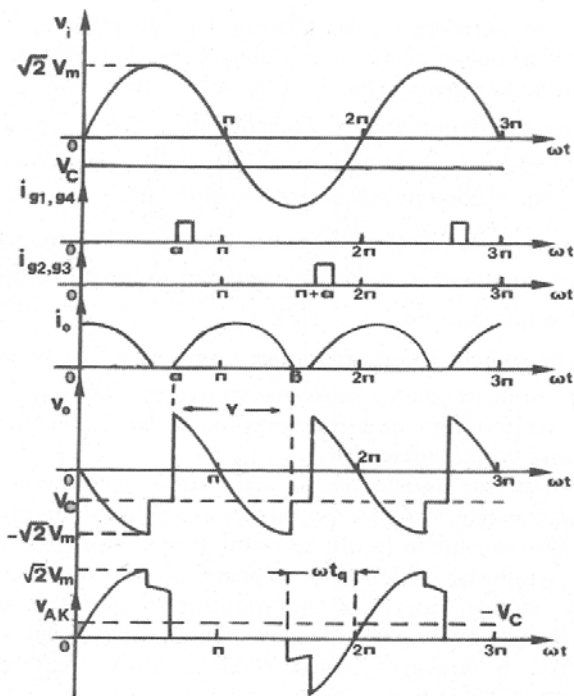
$$= V_m \sqrt{\frac{1}{\pi} \left[(\pi - \alpha) + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right]}$$

Όπου V_m είναι η RMS τιμή της τάσης εισόδου

Όταν το φορτίο της ανόρθωσης γίνει ωμικό - επαγωγικό φορτίο με αρκετά μεγάλη τιμή αυτεπαγωγής, το ρεύμα εξόδου γίνεται συνεχές με αποτέλεσμα να υπάρχει συνεχής αγωγή των θυρίστορ. Στο σχήμα 5.1 (γ) παρουσιάζονται οι κυματομορφές μιας τέτοιας περίπτωσης. Στην περίπτωση αυτή κάθε διαγώνιο ζευγάρι θυρίστορ άγει για 180°. Όταν τα θυρίστορ Q1 και Q4 άγουν κατά τη διάρκεια της θετικής ημπεριόδου (από α έως $\alpha + \pi$), τότε το ρεύμα αρχίζει να ρέει από την πηγή εισόδου μέσω των θυρίστορ και του φορτίου. Με την εφαρμογή παλμών έναυσης στα θυρίστορ Q2 και Q3 στην γωνία $\alpha + \pi$, τα θυρίστορ αυτά μεταβαίνουν σε κατάσταση αγωγής διότι είναι περισσότερο θετικά πολωμένα σε σχέση με το άλλο ζευγάρι. Έτσι εφαρμόζεται η αρνητική τάση της πηγής εισόδου στα άκρα των θυρίστορ Q1 και Q4, και κατά συνέπεια αυτά μεταβαίνουν στην κατάσταση αποκοπή. Αξίζει να σημειωθεί ότι ενώ το ρεύμα εισόδου κατά την αρνητική ημπερίοδο είναι αρνητικό, το ρεύμα εξόδου παραμένει θετικό. Επιπλέον από το σχήμα 5.1 (γ) μπορεί να διαπιστωθεί ότι η γωνία έναυσης α των θυρίστορ είναι ίδια με την γωνία φάσης μεταξύ της τάσης τροφοδοσίας και θεμελιώδους συνιστώσας του ρεύματος εισόδου. Στο σχήμα 5.1(δ) παρουσιάζεται ακόμη ένα παράδειγμα κυματομορφών της ανόρθωσης όπου λόγω του συγκεκριμένου φορτίου και γωνίας έναυσης το ρεύμα εξόδου είναι ασυνεχές .



Σχήμα 5.1 γ) Κυματομορφές για συνεχές ρεύμα εξόδου. (συνεχίζεται)



Σχήμα 5.1 δ) Κυματομορφές για ασυνεχές ρεύμα εξόδου.

Όπως έχει αποδειχτεί στην παράγραφο 3.2 του τρίτου κεφαλαίου το ρεύμα εξόδου της ανόρθωσης δίνεται από τη σχέση

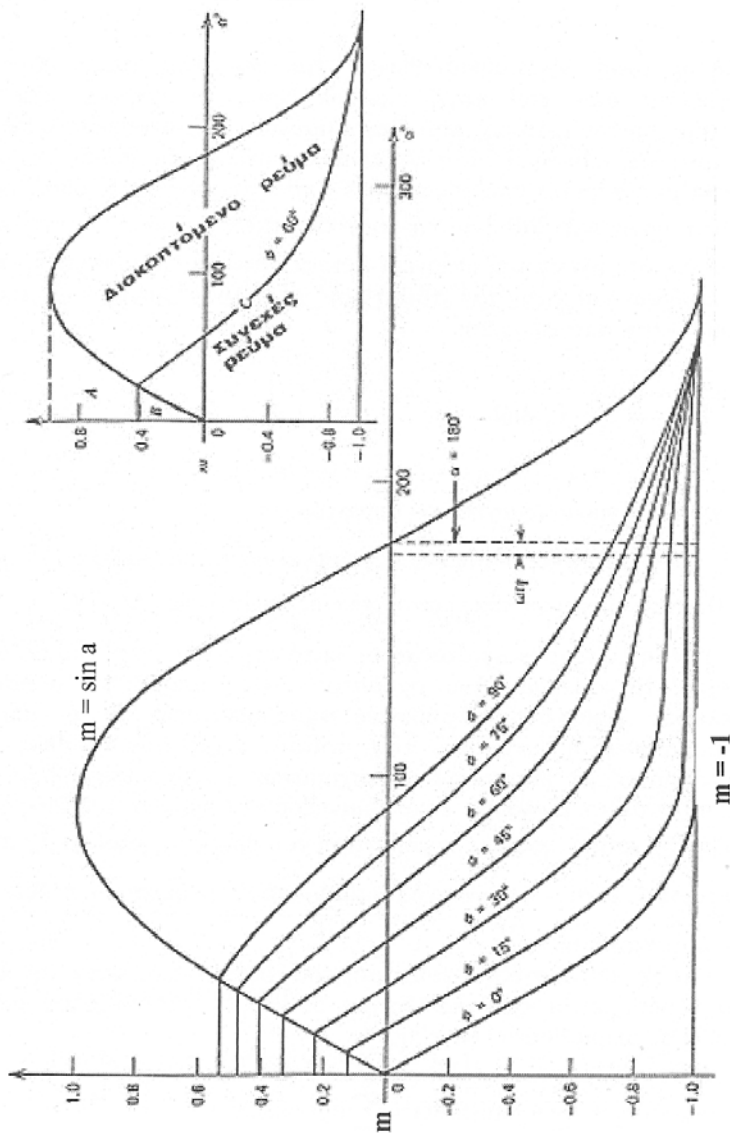
$$i_0 = \frac{\sqrt{2}V_m}{|Z|} \left[\sin(\omega t - \varphi) - \left(\frac{m}{\cos\varphi} - \left(\frac{m}{\cos\varphi} - \sin(\alpha - \varphi) \right) e^{\frac{\alpha - \omega t}{\tan\varphi}} \right) \right] \quad \text{για } \alpha < \omega t < \alpha + \gamma \quad (5.3)$$

όπου

Z = σύνθετη αντίσταση εξόδου της ανόρθωσης
 $\varphi = \tan^{-1}(\omega L/R)$, $m = V_c / \sqrt{2} V_m$ και α = γωνία έναυσης των θυρίστορ

Χρησιμοποιώντας τη σχέση 5.3 και με τη βοήθεια ενός προγράμματος ηλεκτρονικού υπολογιστή υπολογίστηκαν μια σειρά από καμπύλες, οι οποίες υποδεικνύουν τη λειτουργική κατάσταση της ανόρθωσης του σχήματος 5.1(α) (δηλ. αν το ρεύμα εξόδου είναι συνεχές ή ασυνεχές) σε σχέση με τα δεδομένα του κυκλώματος (δηλ. τα α , φ και m). Αυτές οι καμπύλες παρουσιάζονται στο σχήμα 5.2 [1]. Το περίβλημα $m = V_c / (\sqrt{2} V_m) = \sin\alpha$ περικλείει την περιοχή των σημείων $[\alpha, \omega]$ για τα οποία μπορεί να γίνει έλεγχος της τάσης εξόδου με την ακόλουθη διαδικασία:

- ι) Για τα σημεία $[\alpha, m]$, τα οποία $m \sim 1$, τα θυρίστορ της ανόρθωσης δεν θα μπορέσουν ποτέ να μεταβούν σε κατάσταση αγωγής και αυτό συμβαίνει γιατί $V_c \geq \sqrt{2} V_m$
- ii) Για τα σημεία $[\alpha, m]$, τα οποία έχουν $m \leq -1$, τα θυρίστορ της ανόρθωσης μπορεί να αρχίσουν να άγουν, αλλά δεν θα μπορέσουν ποτέ να μεταβούν σε κατάσταση αποκοπής, λόγω του ότι θα είναι πάντοτε θετικά πολωμένα.
- iii) Για όλα τα σημεία $[\alpha, m]$, τα οποία βρίσκονται δεξιά μιας συγκεκριμένης καμπύλης φ , το ρεύμα εξόδου είναι ασυνεχές.
- iv) Για όλα τα σημεία $[\alpha, m]$, τα οποία βρίσκονται στα αριστερά μιας συγκεκριμένης καμπύλης φ , το ρεύμα εξόδου είναι συνεχές.
- v) Στην περιοχή αριστερά της γραμμής $\alpha = 180^\circ$ και κάτω από το περίβλημα $m = \sin\alpha$, ο μετατροπέας λειτουργεί κανονικά με συνεχές ή ασυνεχές ρεύμα εξόδου. Αυτό συμβαίνει γιατί για $\alpha < 180^\circ$ ο τα θυρίστορ Q2 και Q3 πολώνονται αρνητικά, όταν τα θυρίστορ Q1 και Q4 αρχίσουν να άγουν και έτσι επιτυγχάνεται η μετάβασή τους.
- vi) Όταν όμως $\alpha \geq 180^\circ$, οπότε το ρεύμα εξόδου είναι συνεχές, τα θυρίστορ Q1 και Q4 δεν θα μπορέσουν ποτέ να άγουν καθώς είναι αρνητικά πολωμένα κατά τη διάρκεια που εφαρμόζεται σ' αυτά παλμός έναυσης. Επομένως κάτω από αυτές τις συνθήκες ο ανορθωτής δεν θα μπορέσει να λειτουργήσει με επιτυχία.



Σχήμα 5.2 Λειτουργικό διάγραμμα της ανόρθωσης του σχήματος 5.1(α)

Στο πρώτο τεταρτημόριο του λειτουργικού διαγράμματος του σχήματος 5.2, ο μετατροπέας του σχήματος 5.1(α) λειτουργεί ως ανόρθωση,

επειδή η τάση V_c είναι θετική και επομένως ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται από την πηγή εισόδου προς το φορτίο. Στο τέταρτο τεταρτημόριο του λειτουργικού διαγράμματος, ο

μετατροπέας λειτουργεί ως αντιστροφέας, επειδή η τάση V_c είναι αρνητική και επομένως, ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται από την πηγή V_c προς την πηγή εισόδου. Αν η τάση V_c είναι αρνητική και η μέση τιμή της τάσης εξόδου να είναι επίσης αρνητική, τότε ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται από την πηγή V_c προς την πηγή εισόδου και στην αντίσταση του φορτίου. Η μέση τιμή της ισχύος εξόδου δίνεται από τη σχέση

$$\bar{P}_0 = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\alpha+\gamma} v_0 i_0 d\omega t \quad (5,4)$$

όπου γ είναι η γωνία αγωγής των θυρίστωρ.

Αν $P_0 < 0$, τότε ο μετατροπέας λειτουργεί ως αντιστροφέας (DC-AC). Αν $P_0 > 0$, τότε ο μετατροπέας λειτουργεί ως ανορθωτής (AC-DC).

Για τη λειτουργική κατάσταση, κατά την οποία το ρεύμα εξόδου είναι ασυνεχές, το κύκλωμα του σχήματος 5.1 (α) μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται από δύο ξεχωριστές ημιανορθώσεις. Επειδή όμως σ' αυτό το κύκλωμα το ρεύμα εξόδου έχει δύο παλμούς για κάθε περίοδο της τάσης εισόδου, η μέση τιμή του ρεύματος εξόδου \bar{I}_0 πρέπει να διπλασιαστεί και η ενεργός τιμή του ρεύματος εξόδου \bar{I}_0 να πολλαπλασιαστεί με $\sqrt{2}$.

Για τη λειτουργική κατάσταση του μετατροπέα, κατά την οποία το ρεύμα εξόδου είναι συνεχές (Σχήμα 5.1 (γ)), η τάση εξόδου μπορεί να αναλυθεί σε σειρά Fourier ως εξής:

$$v_0 = \bar{V}_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(n\omega t) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos(n\omega t) \quad (5,5)$$

\bar{V}_0 = μέση τιμή της τάσης εξόδου

$$= \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} \sqrt{2} V_m \sin \omega t d\omega t = \frac{2\sqrt{2} V_m}{\pi} \cos \alpha \quad (5,5\alpha)$$

$$\begin{aligned}
a_n &= \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} v_0 \sin(n\omega t) d\omega t = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} v_0 \sin(n\omega t) d\omega t \\
&= \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} v_0 \sin(n\omega t) d\omega t = \frac{2}{\pi} \int_0^{\alpha} (-\sqrt{2} V_m) \sin(\omega t) \sin(n\omega t) d\omega t + \\
&\quad + \frac{2}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} (\sqrt{2} V_m) \sin(\omega t) \sin(n\omega t) d\omega t \\
&= \frac{-2\sqrt{2} V_m}{\pi} \int_0^{\alpha} \frac{[\cos(\omega t - n\omega t) - \cos(\omega t + n\omega t)]}{2} d\omega t + \\
&\quad + \frac{2\sqrt{2} V_m}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \frac{[\cos(\omega t - n\omega t) - \cos(\omega t + n\omega t)]}{2} d\omega t \\
&= \frac{-\sqrt{2} V_m}{\pi} \int_0^{\alpha} [\cos(1-n)\omega t - \cos(1+n)\omega t] d\omega t + \\
&\quad + \frac{\sqrt{2} V_m}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} [\cos(1-n)\omega t - \cos(1+n)\omega t] d\omega t \\
&= \frac{-\sqrt{2} V_m}{\pi} \left[\frac{\sin(1-n)\omega t}{1-n} - \frac{\sin(1+n)\omega t}{1+n} \right]_0^{\alpha} + \\
&\quad + \frac{\sqrt{2} V_m}{\pi} \left[\frac{\sin(1-n)\omega t}{1-n} - \frac{\sin(1+n)\omega t}{1+n} \right]_{\alpha}^{\pi} \\
&= \frac{\sqrt{2} V_m}{\pi} \left[\frac{\sin(n+1)\alpha}{n+1} - \frac{\sin(1-n)\alpha}{1-n} - \frac{\sin(1-n)\alpha}{1-n} + \frac{\sin(n+1)\alpha}{n+1} \right] \\
&= \frac{2\sqrt{2} V_m}{\pi} \left[\frac{\sin(n+1)\alpha}{n+1} - \frac{\sin(1-n)\alpha}{1-n} \right] \quad (5.5(\beta))
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
b_n &= \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} v_0 \cos(n\omega t) d\omega t = \\
&= \frac{2\sqrt{2} V_m}{\pi} \left[\frac{\cos(n+1)\alpha}{n+1} - \frac{\cos(n-1)\alpha}{n-1} \right] \quad (5.6)
\end{aligned}$$

όπου

$$n = 2, 4, 6, \dots$$

Η σχέση (5.3) μπορεί να γραφεί ως εξής

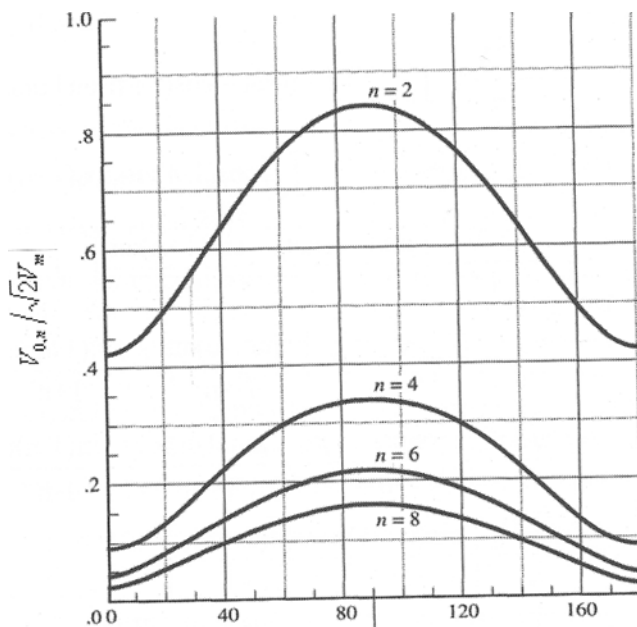
$$v_0 = \bar{V}_0 + \sum_{n=1,2,3,\dots}^{\infty} \hat{V}_{0,n} \cos(n\omega t - \theta_n) \quad (5.7)$$

όπου

$$\hat{V}_{0,n} = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \quad (5.8)$$

$$\theta_n = \text{διαφορά φάσης μεταξύ } a_n \text{ και } b_n = \tan^{-1} \left(\frac{a_n}{b_n} \right) \quad (5.9)$$

Στο σχήμα 5.2(α) παρουσιάζονται οι κανονικοποιημένες τιμές της 2ης, 4ης και 6ης αρμονικής συνιστώσας της τάσης εξόδου της μονοφασικής ελεγχόμενης πλήρους ανόρθωσης σε συνάρτηση με την γωνία έναυσης α . Όπου V_m , είναι η RMS τιμή της τάσης τροφοδοσίας.



900

Σχήμα 5.2(α) Κανονικοποιημένες τιμές αρμονικών της τάσης εξόδου της μονοφασικής ανόρθωσης πλήρους γέφυρας σε συνάρτηση της γωνίας έναυσης α . Όπου V_m , είναι η RMS τιμή της τάσης τροφοδοσίας.

Επίσης, το ρεύμα εξόδου, για τη λειτουργική κατάσταση συνεχούς ρεύματος εξόδου, δίνεται από τη σχέση

$$i_0 = \bar{I}_0 + \sum_{n=2,4,6,\dots}^{\infty} \hat{I}_{0,n} \cos(n\omega t - \theta_n - \varphi_n) \quad (5.10)$$

όπου

$$\bar{I}_0 = \text{μέση τιμή ρεύματος εξόδου} = \frac{\bar{V}_0 - V_C}{R} \quad (5.11)$$

$$\begin{aligned} \hat{I}_{0,n} &= \text{πλάτος της n-οστής αρμονικής του ρεύματος εξόδου=} \\ &= \frac{\hat{V}_{0,n}}{\sqrt{R^2 + (n\omega L)^2}} \end{aligned} \quad (5.11)$$

$$\varphi_n = \tan^{-1} \left(\frac{n\omega L}{R} \right) \quad (5.12)$$

Ο συντελεστής ισχύος για σταθερό ρεύμα εισόδου είναι

$$= \frac{\tilde{I}_1 \cos \phi_1}{\tilde{I}_i}$$

Όπου

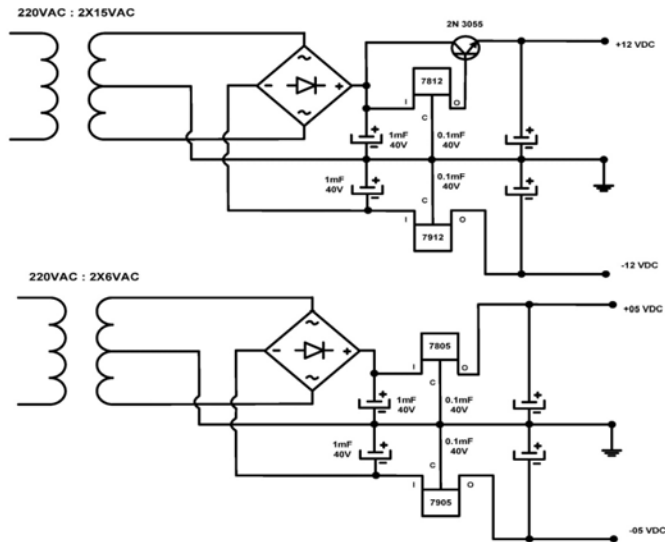
\tilde{I}_1 = ενεργός τιμή της βασική αρμονικής συνιστώσας του ρεύματος εισόδου.

\tilde{I}_i = ενεργός τιμή του ρεύματος εισόδου.

Φ_1 = διαφορά φάσης μεταξύ της τάσης εισόδου και της βασικής συνιστώσας ρεύματος εισόδου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

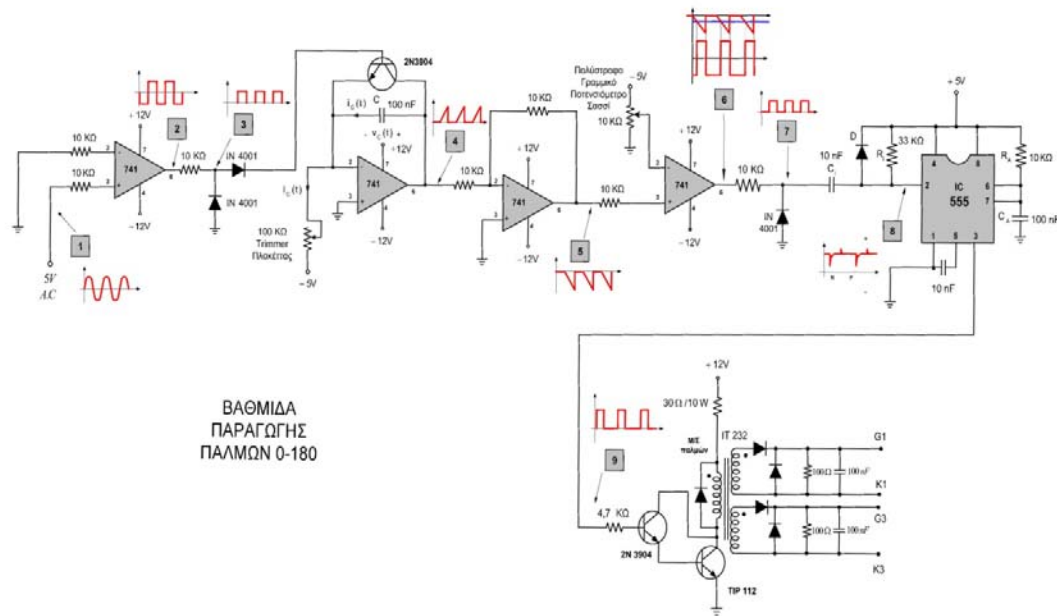
ΜΕΛΕΤΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟΥ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ



ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟ

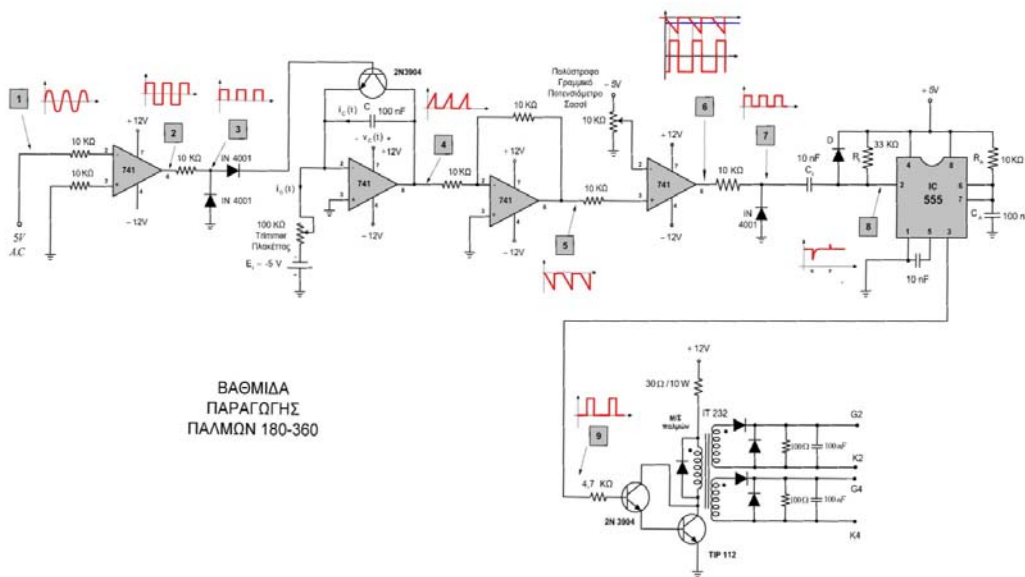
Τα τροφοδοτικά που απαιτούνται για την κατασκευή μας είναι συμμετρικά σταθεροποιημένα με τάσεις εξόδου +12V -12V & +5V-5V. Η ανόρθωση γίνεται με γέφυρα διόδων, η εξομάλυνση με ηλεκτρολυτικούς πυκνωτές μέγιστης χωρητικότητας 1mf, και η σταθεροποίηση με ολοκληρωμένους σταθεροποιητές 7812 για +12V, 7912 για -12V, 7805 για +5V, 7905 για -5V. Ο ενισχυτής darlington χρειάζεται αρκετό ρεύμα τροφοδοσίας που πιθανόν υπερβαίνει την δυνατότητα παροχής του 7812, έτσι χρησιμοποιείται σαν ενισχυτής ρεύματος του τροφοδοτικού το 2N3055 τρανζίστορ ισχύος.

Κύκλωμα ελέγχου (παραγωγής παλμών 0-180°)



- Στην 1^η και 2^η Βαθμίδα του κυκλώματος ελέγχου έχουμε στην είσοδο του πρώτου LM741 5V στο + και γείωση στο - είναι συγκριτής με κατώφλι 0V και δέχεται στην είσοδο του ημιτονική εναλλασσόμενη τάση 5V RMS και στην έξοδο βγάζει τετραγωνικούς παλμούς περίπου +12V στην μία ημιπερίοδο και -12V στην άλλη ημιπερίοδο (0-180° +12V στην θετική και -12V στην αρνητική, ενώ στις 360° το αντίθετο).
- Στην 3^η Βαθμίδα του κυκλώματος ελέγχου κάνει ανόρθωση των τετραγωνικών παλμών κρατάει -12V .
- Στην 4^η Βαθμίδα είναι ολοκληρωτής με μηδένιση,δέχεται τους τετραγωνικούς παλμούς και παράγει τριγωνικούς παλμούς στην εξοδό του.
- Στην 5^η Βαθμίδα είναι αναστρέφων ενισχυτής με κέρδος.

- Στην 6^η Βαθμίδα είναι συγκριτής με ρυθμιζόμενο κατώφλι το οποίο ρυθμίζεται απο το πολύστροφο ποτενσιόμετρο 10 KΩ και στην έξοδο ωγάζει τετραγωνικούς παλμούς μόλις η αρνητική τάση εισόδου υπερβαίνει την τιμή που έχει οριστεί στο κατώφλι απο το πολύστροφο ποτενσιόμετρο. Το μέτωπο ανόδου των τετραγωνικών παλμών εξόδου καθορίζει την γωνία έναυσης.
- Στην 7^η και 8^η Βαθμίδα το μέτωπο ανόδου των παλμών ρυθμίζει τον μονοσταθή πολυδονητή με τον χρονιστή 555.
- Στην 9^η Βαθμίδα η έξοδος 3 του χρονιστή 555 οδηγείται σε ενα ζευγάρι darlington με τα τρανζιστορ 2N3904 και TIP 112 τα οποία λειτουργούν ως ενισχυτές των παλμών και η έξοδος τους συνδέεται στο πρωτεύον Μ/Σ παλμών και τα δευτερεύοντα πάνε στα θυρίστορ ενώ η αντίσταση 30Ω/10W λειτουργεί ως περιοριστής ρεύματος.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5⁰ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ ΠΟΥ ΧΡΕΙΑΣΤΗΚΑΝ ΓΙΑ ΤΟ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟ ΚΑΙ ΤΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ.

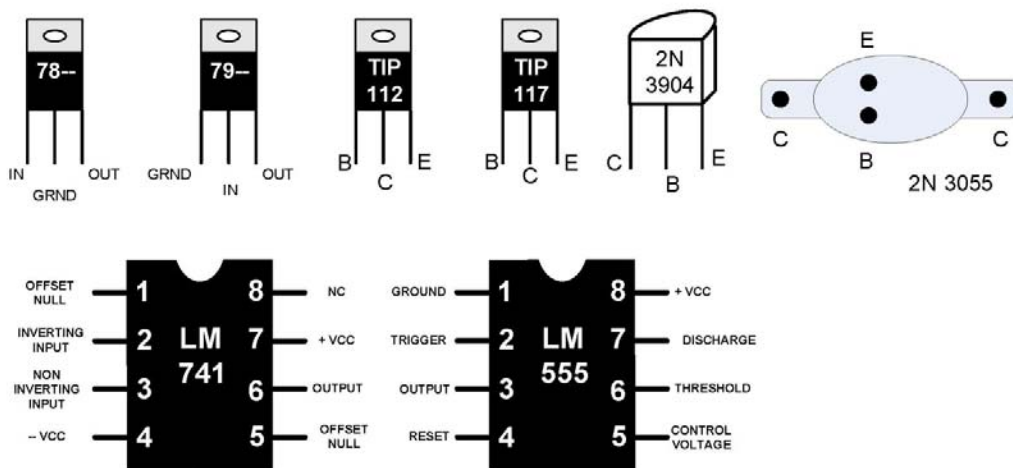
ΥΛΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟΥ

ΕΙΔΟΣ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ
Μετασχηματιστής	220V/ 2x15V/2A	1
Μετασχηματιστής	220V/2x6V	1
Ηλεκτρολυτικός πυκνωτής	1mF/40V	4
Ηλεκτρολυτικός πυκνωτής	0.1mF/40V	4
Σταθεροποιητής +12V	7812	1
Σταθεροποιητής -12V	7912	1
Σταθεροποιητής +5V	7805	1
Σταθεροποιητής -5V	7905	1
Μονοφασικές γέφυρες	2ΚΒΡ06	2
Τρανζίστορ	2Ν3055	1

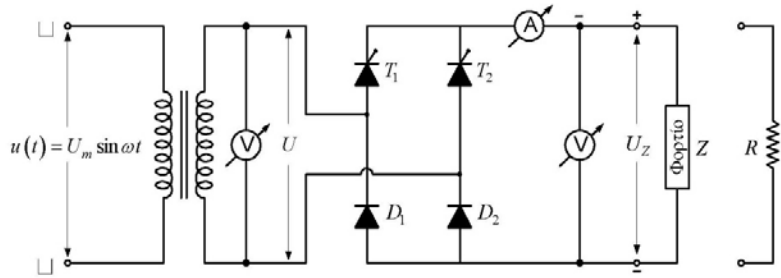
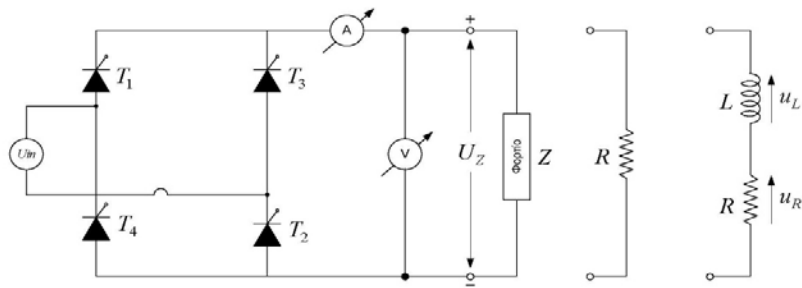
ΥΛΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΠΑΛΜΩΝ ΕΝΑΥΣΗΣ

ΕΙΔΟΣ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ
Τελεστικοί ενισχυτές	LM741	8
Χρονιστής	555 timer	2
Τρανζίστορ	2Ν3904	4
Τρανζίστορ	TIP 112 ή ΒΤΧ 53	2
Μετασχηματιστές παλμών	SKPT 25b3	2
Μετασχηματιστής	220/6V – 1A	1
Δίοδος	1Ν4002	18
Πυκνωτής	10nF	4
Πυκνωτής	100nF	8
Αντίσταση	10ΚΩ	16
Αντίσταση	100Ω	4
Αντίσταση	33ΚΩ	2
Αντίσταση	4.7ΚΩ	2
Αντίσταση	33Ω/ 10W	2
Ρυθμιστική αντίσταση (trimmer) πλακέτας	100ΚΩ	2
Γραμμικό ποτενσιόμετρο πολύστροφο σασσί	10ΚΩ	1
Κλέμες πλακέτας		18

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΩΝ



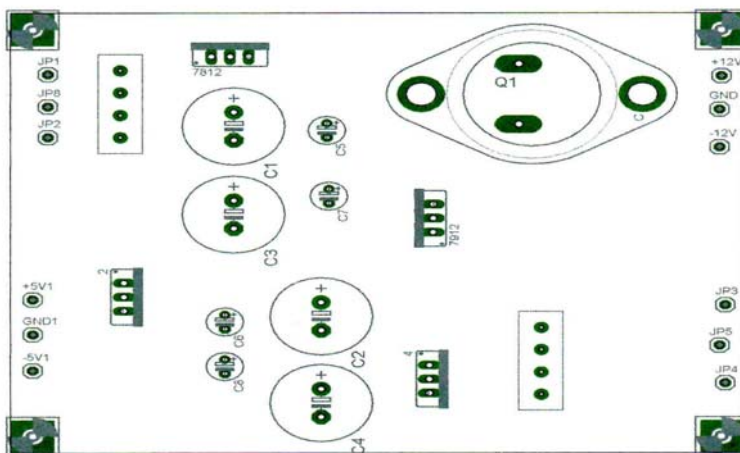
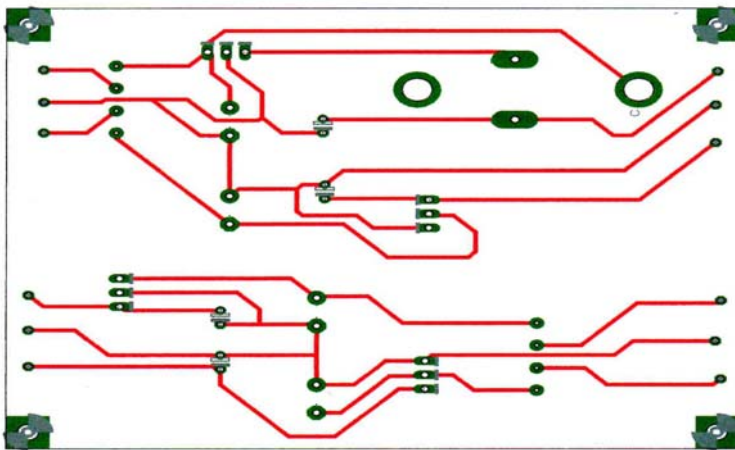
ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ ΙΣΧΥΟΣ



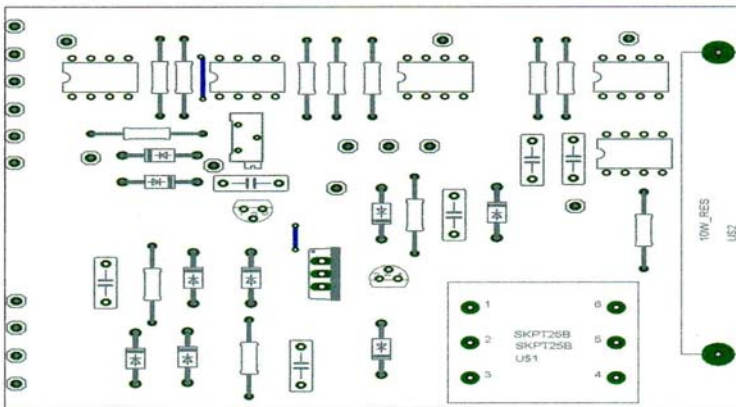
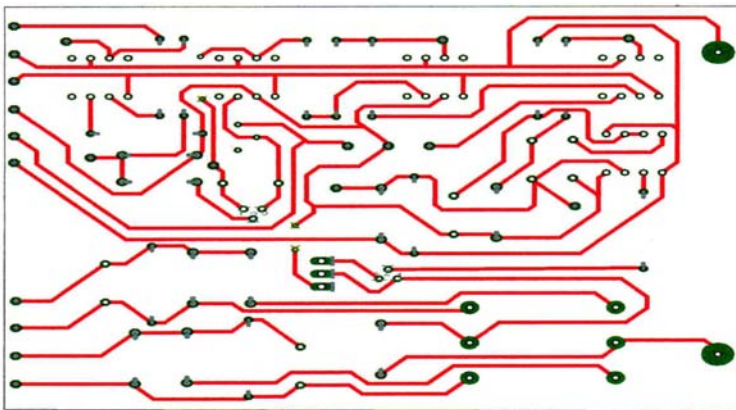
ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ ΙΣΧΥΟΣ

ΣΧΕΔΙΑ ΓΙΑ ΠΛΑΚΕΤΑ ΤΥΠΩΣΗ ΠΛΑΚΕΤΑΣ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟΥ ΚΑΙ ΠΛΑΚΕΤΑΣ ΕΛΕΓΧΟΥ

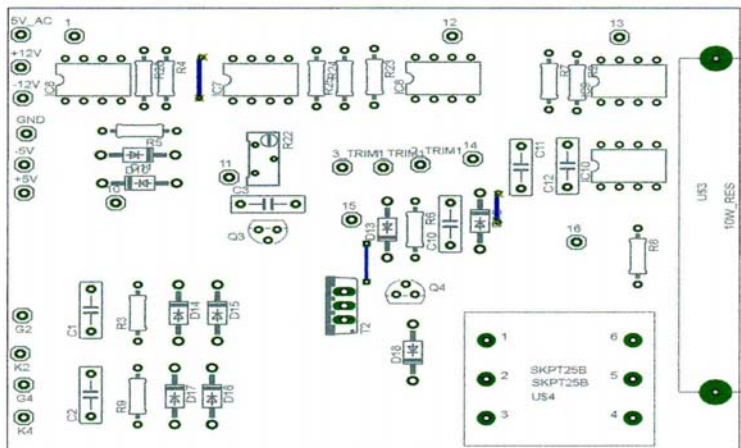
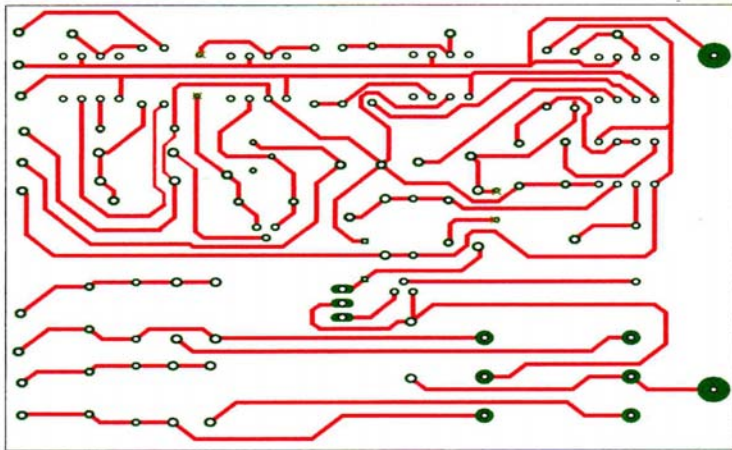
ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟ



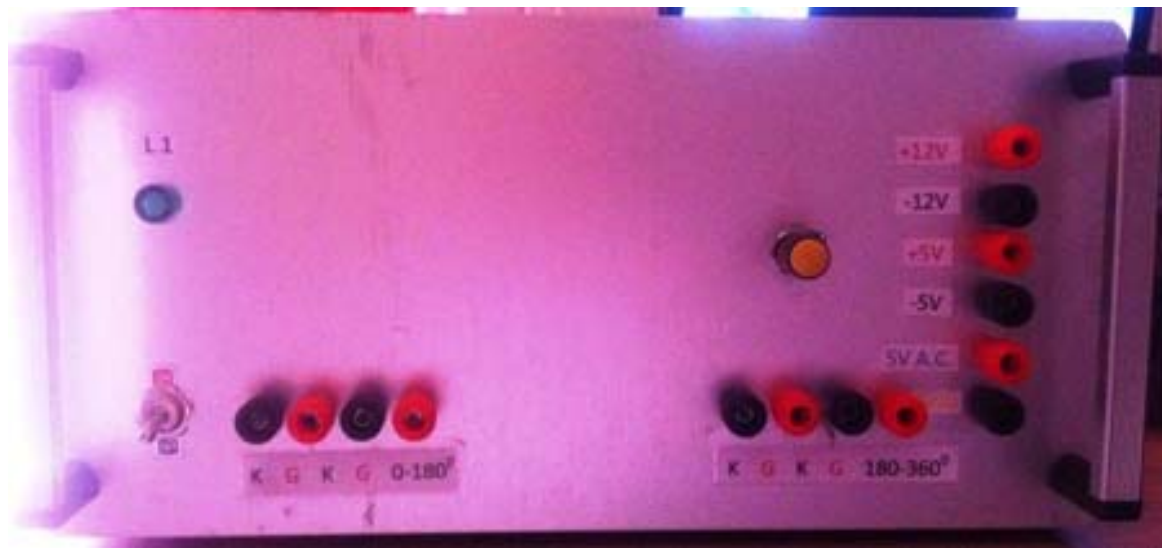
0-180⁰



180⁰-360⁰



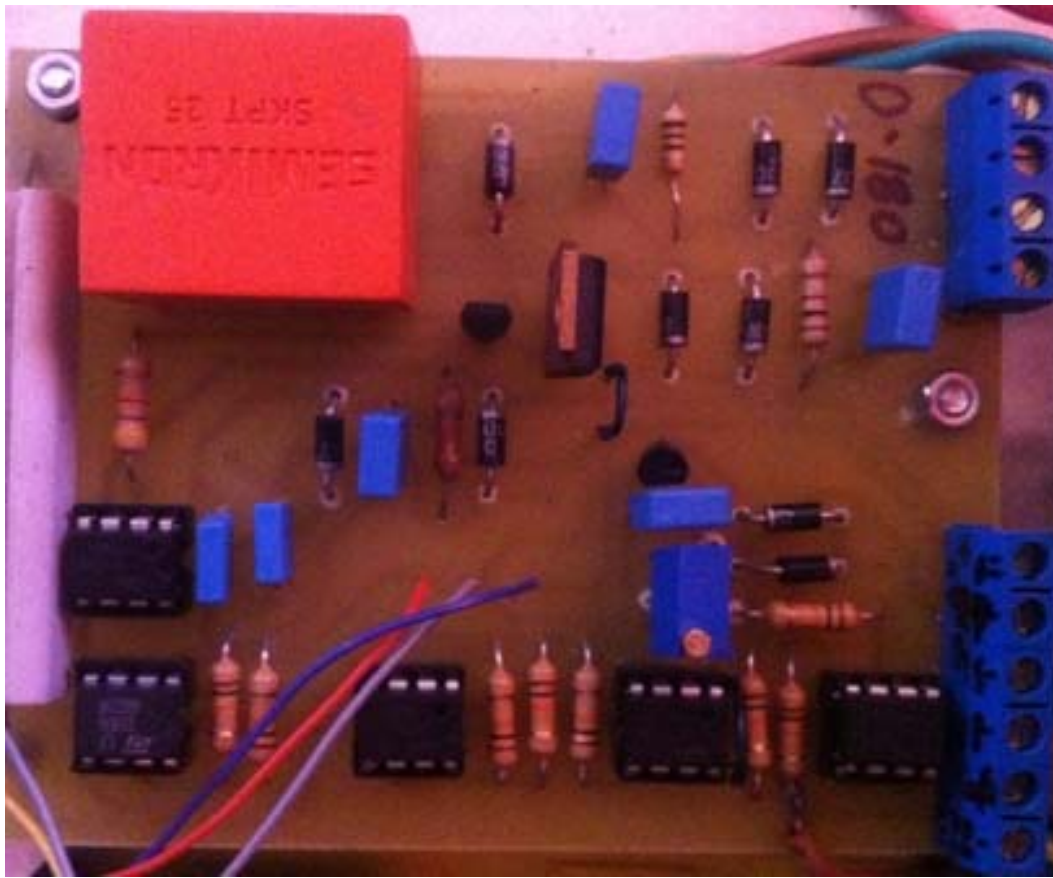
ΠΡΟΣΩΠΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ



ΚΑΤΟΨΗ ΠΛΑΚΕΤΑΣ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟΥ



ΚΑΤΟΨΗ ΠΛΑΚΕΤΑΣ 0-180⁰



ΚΑΤΟΨΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΕ ΑΝΟΙΚΤΟ ΤΟ ΚΑΠΑΚΙ

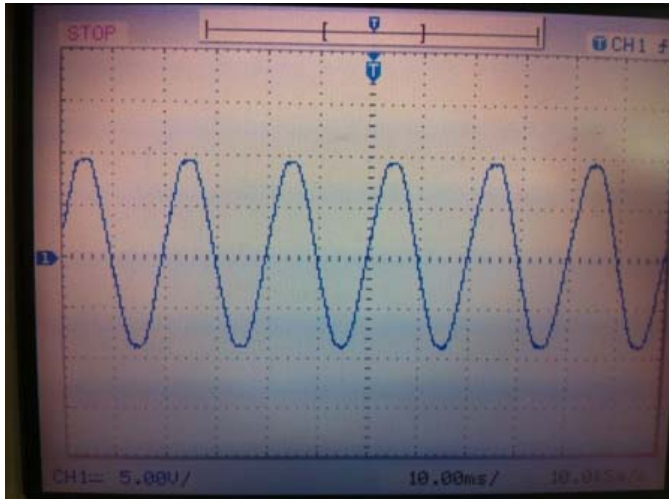


ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6⁰

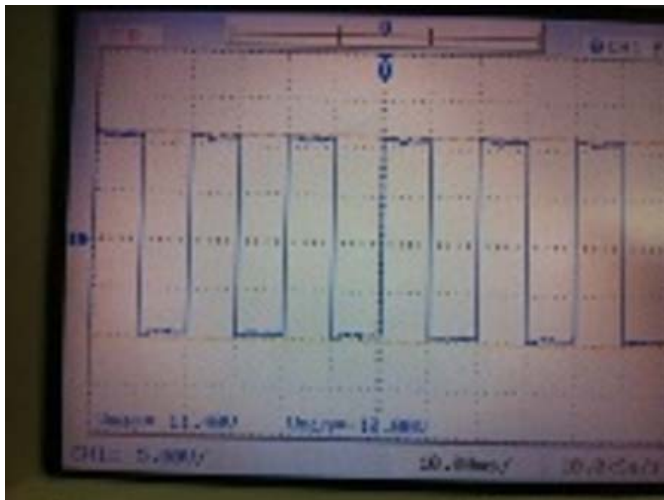
ΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΠΟ ΠΑΛΜΟΓΡΑΦΟ

0-180⁰

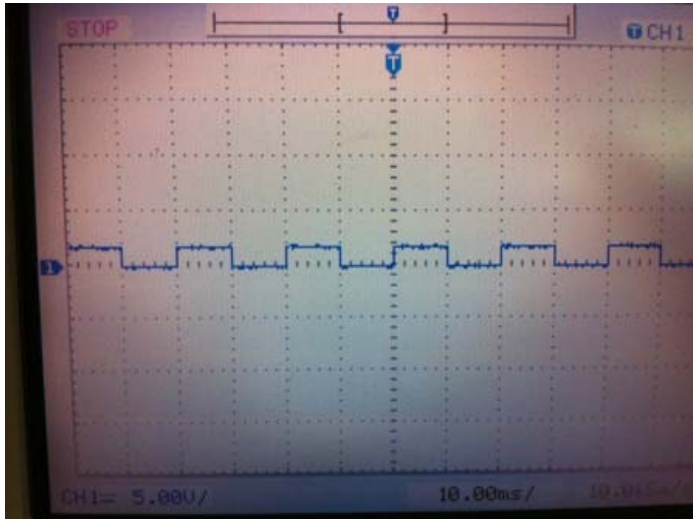
ΒΑΘΜΙΔΑ 1



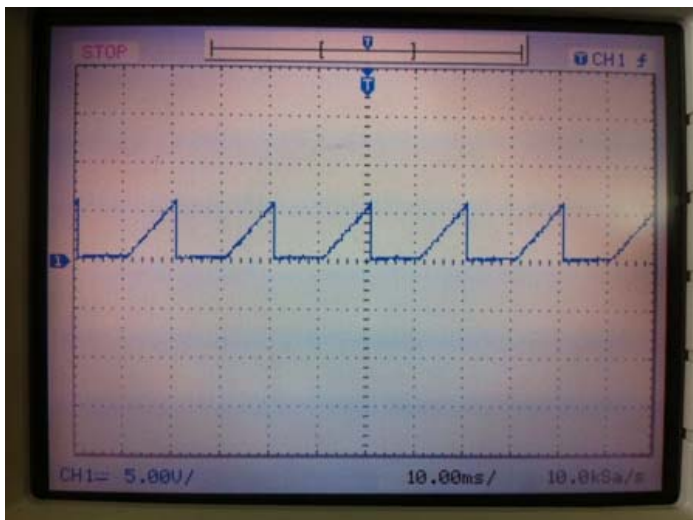
ΒΑΘΜΙΔΑ 2



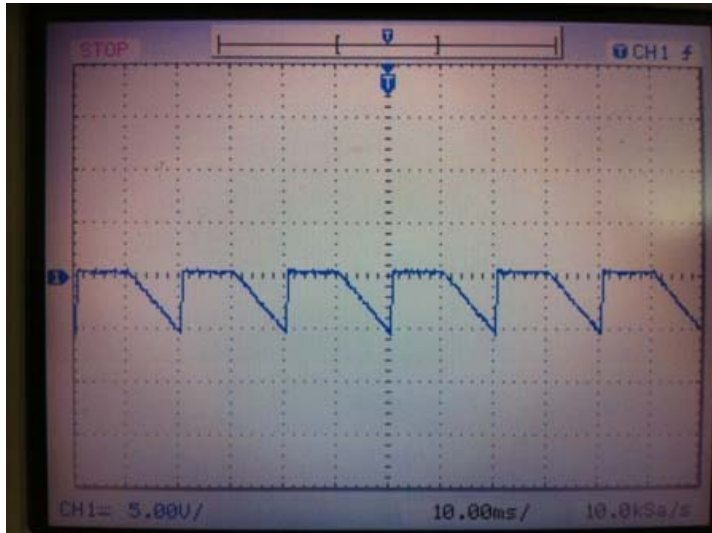
ΒΑΘΜΙΔΑ 3



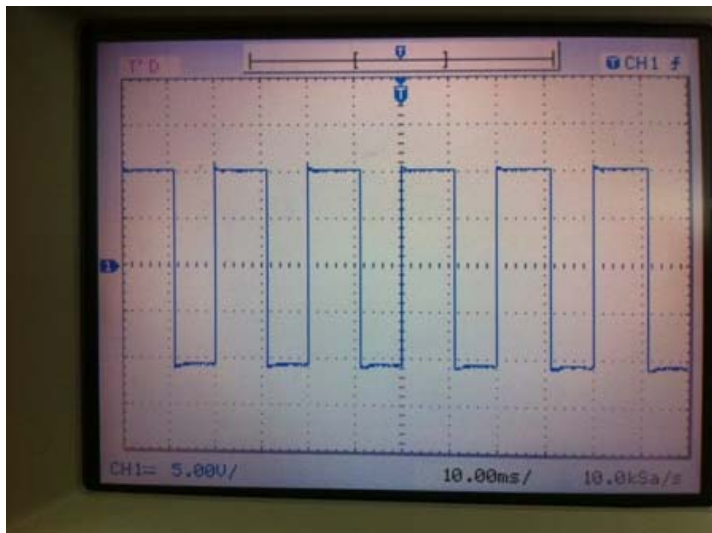
ΒΑΘΜΙΔΑ 4



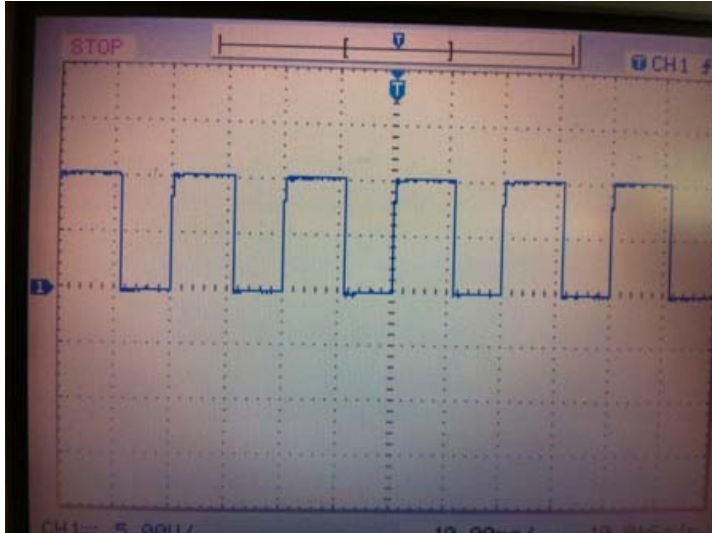
ΒΑΘΜΙΔΑ 5



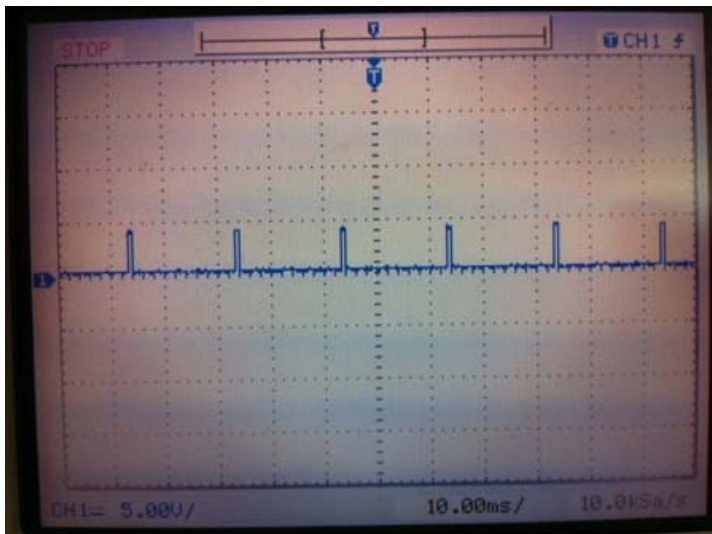
ΒΑΘΜΙΔΑ 6



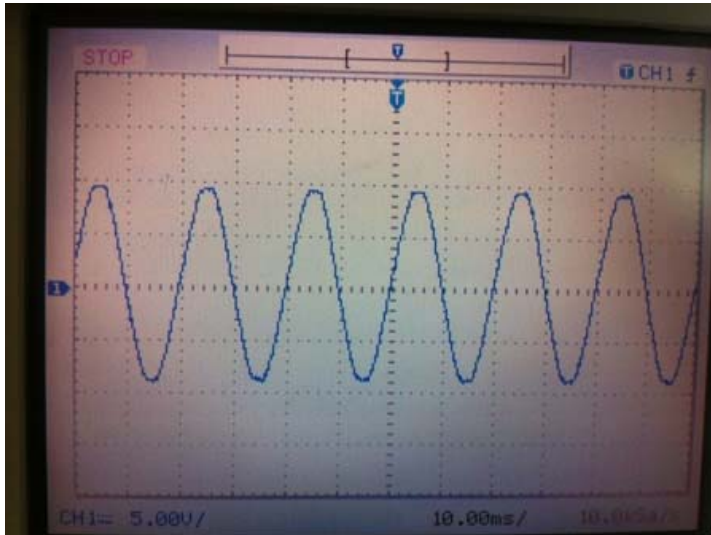
ΒΑΘΜΙΔΑ 7



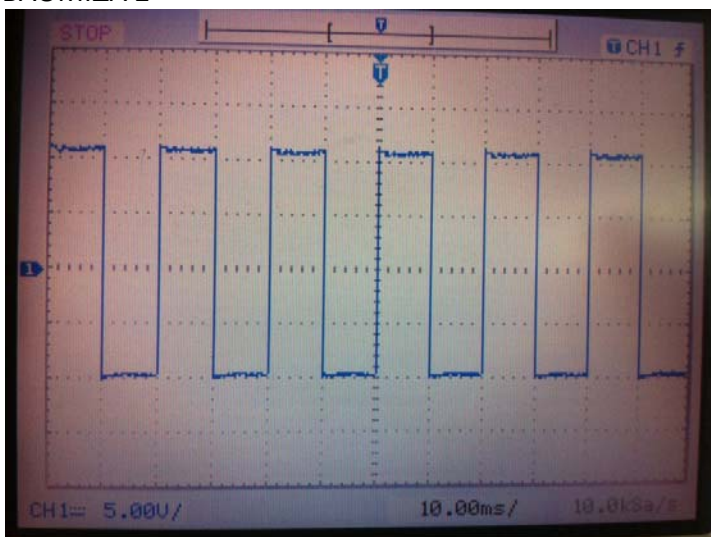
ΒΑΘΜΙΔΑ 8



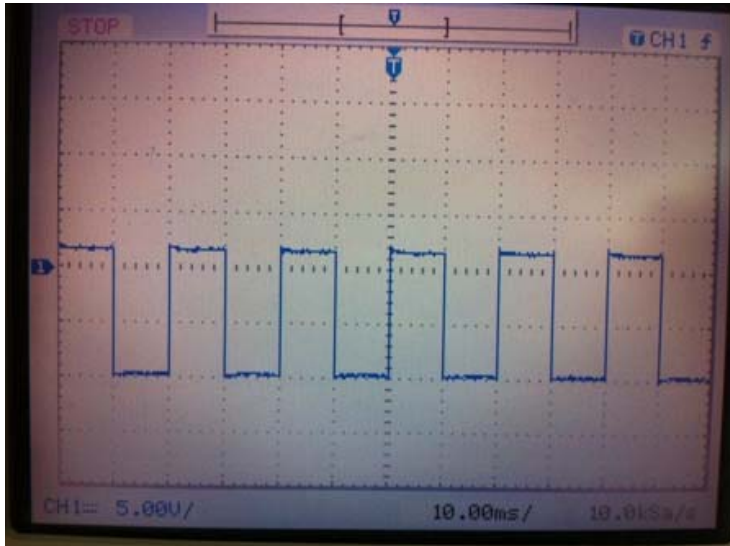
180°-360°
ΒΑΘΜΙΔΑ 1



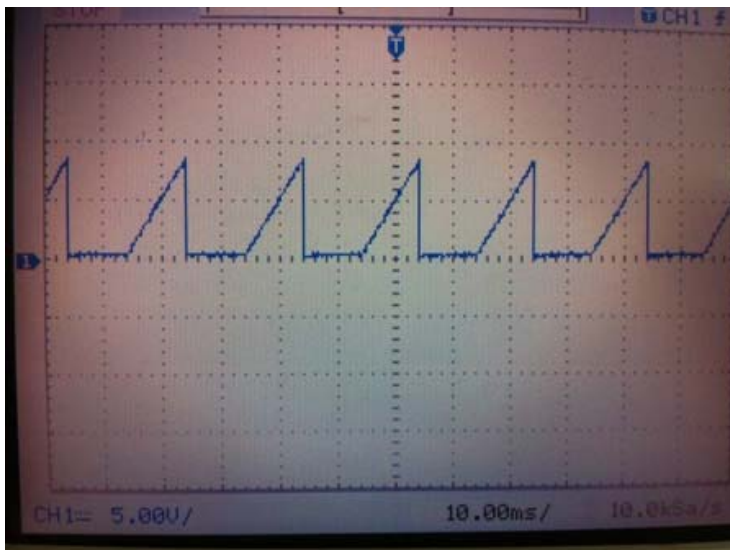
ΒΑΘΜΙΔΑ 2



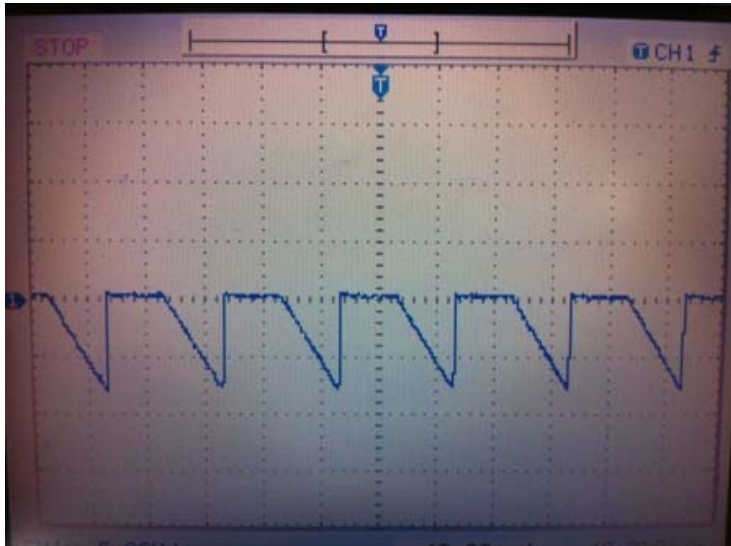
ΒΑΘΜΙΔΑ 3



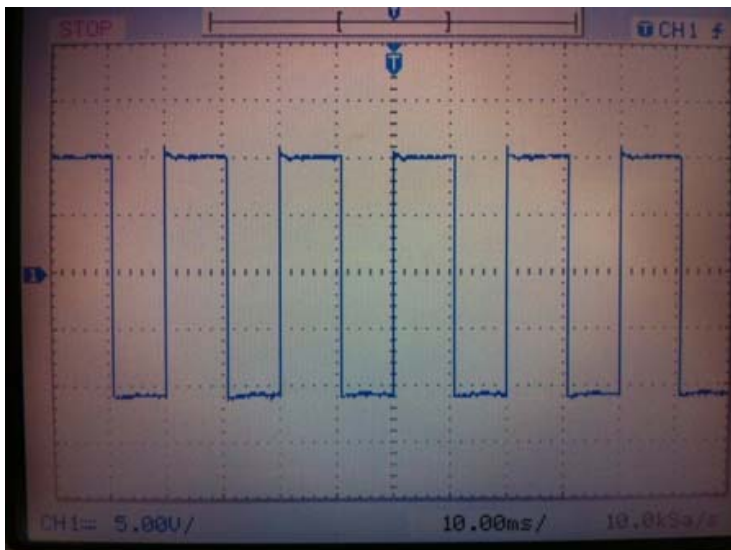
ΒΑΘΜΙΔΑ 4



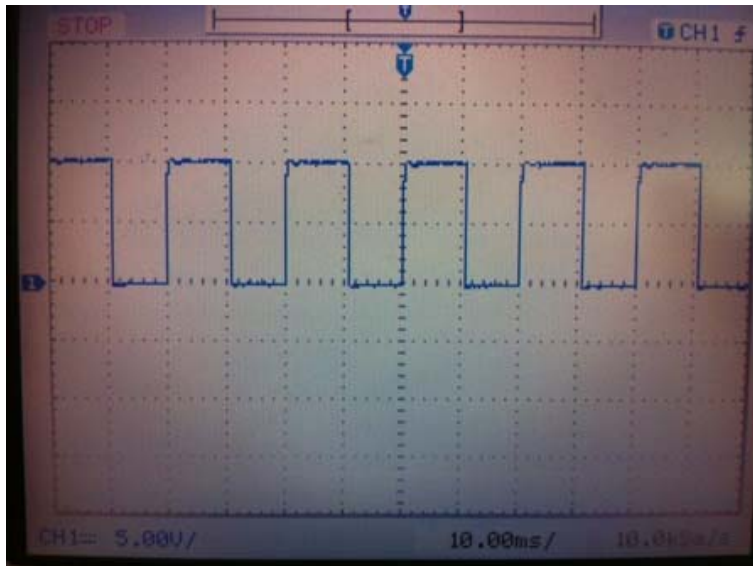
ΒΑΘΜΙΔΑ 5



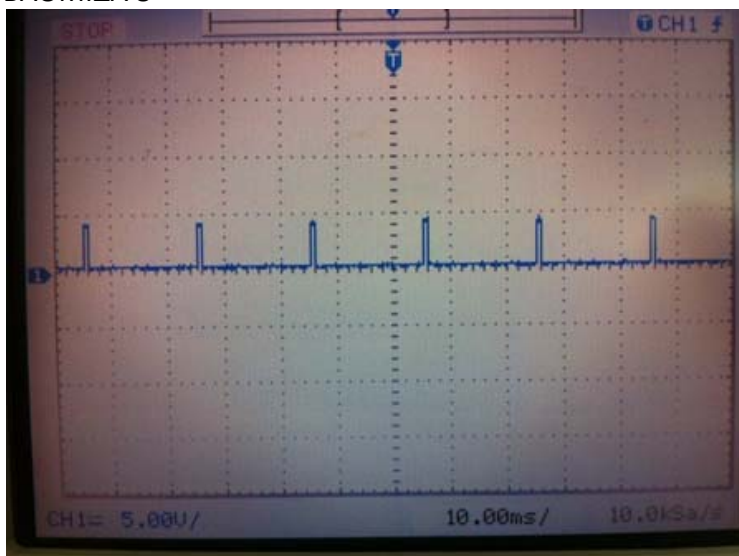
ΒΑΘΜΙΔΑ 6



ΒΑΘΜΙΔΑ 7

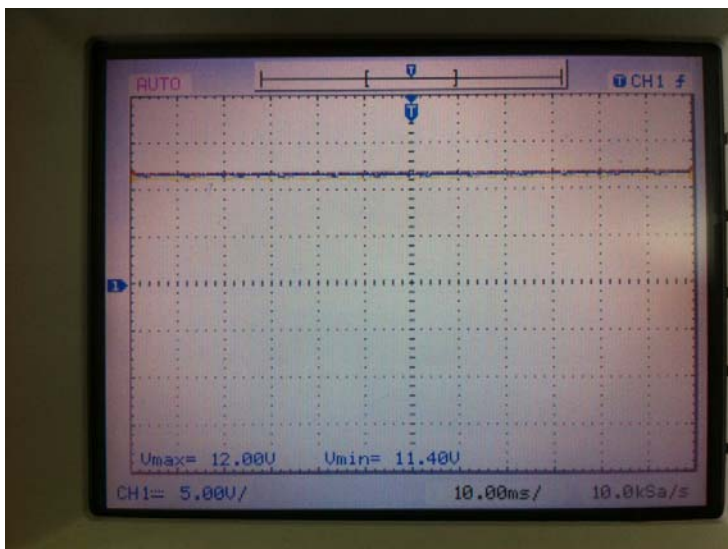


ΒΑΘΜΙΔΑ 8

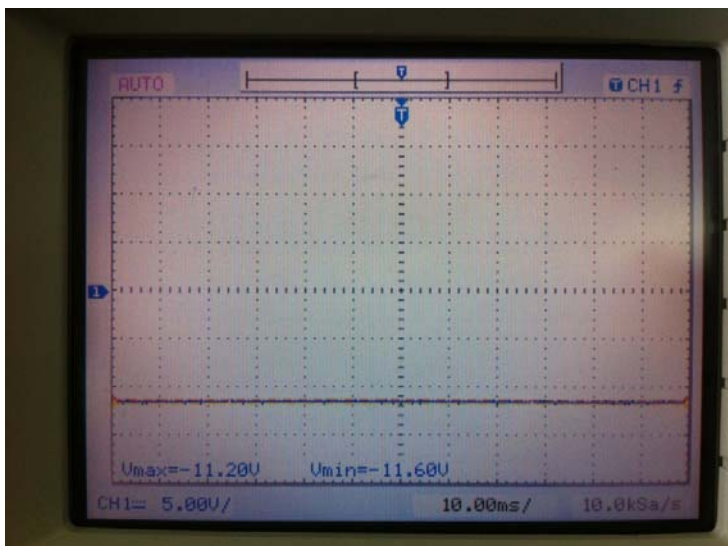


ΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟΥ ΑΠΟ ΠΑΛΜΟΓΡΑΦΟ

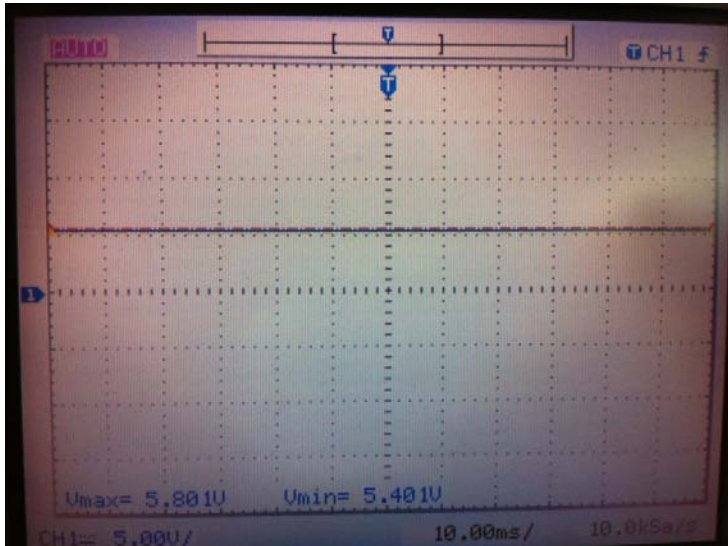
+12V



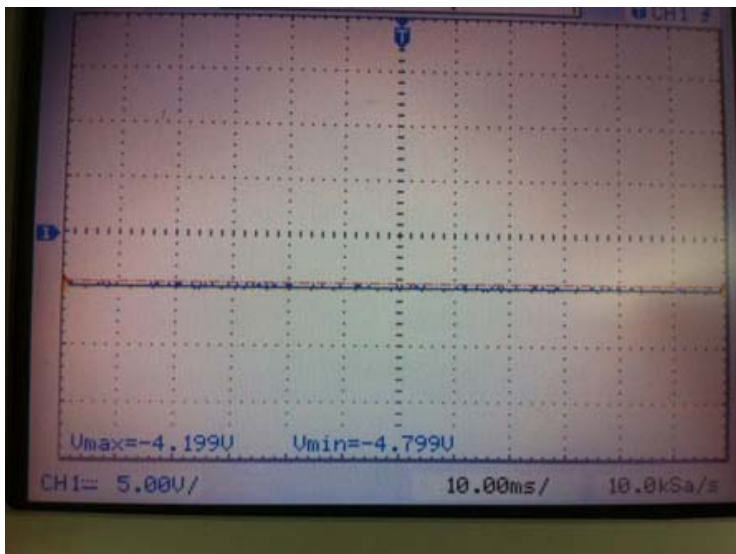
-12V



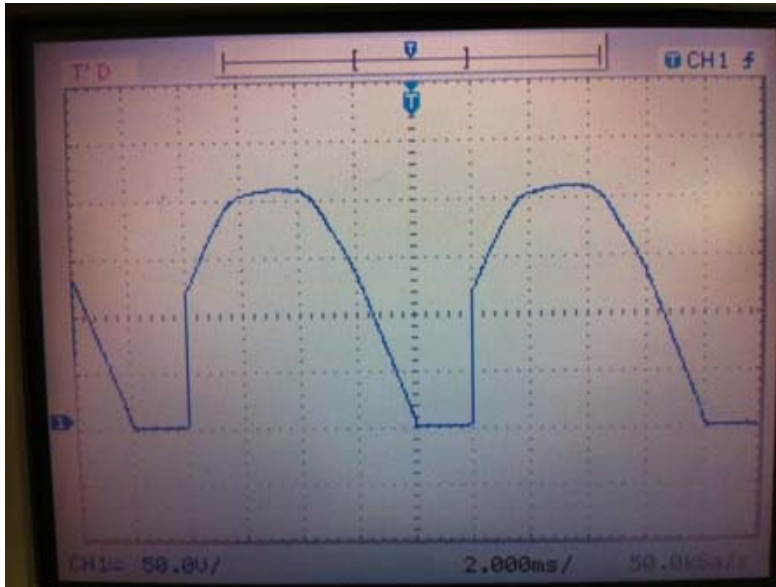
+5V



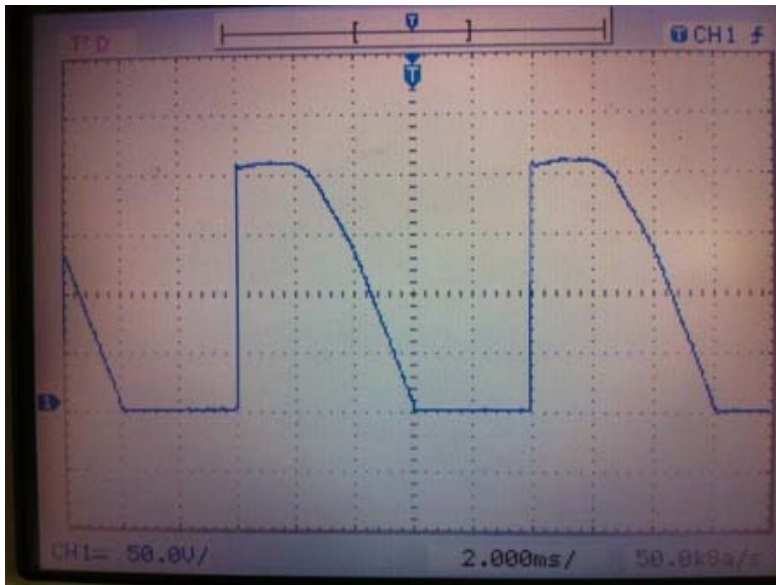
-5V



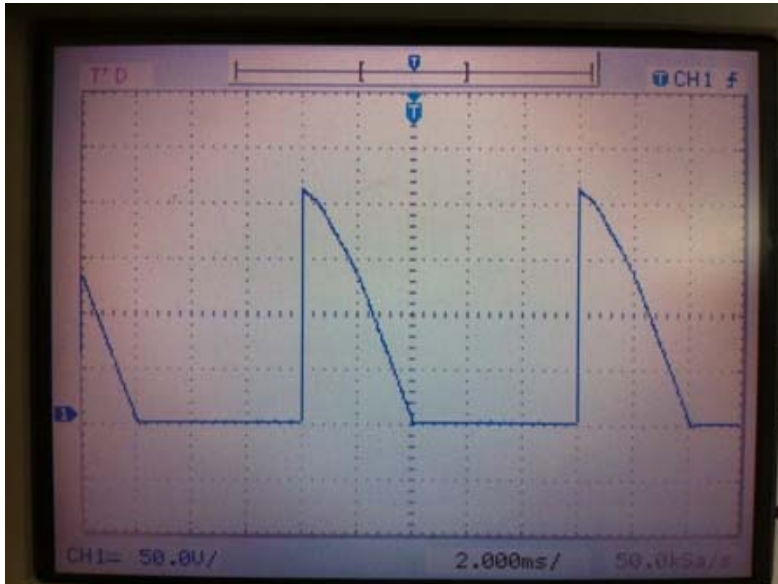
ΑΝΑΛΟΓΩΣ ΤΩΝ ΓΩΝΙΩΝ ΠΥΡΟΔΟΤΗΣΗΣ ΠΗΡΑΜΕ ΤΙΣ ΠΑΡΑΚΑΤΩ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ
ΓΙΑ 36°



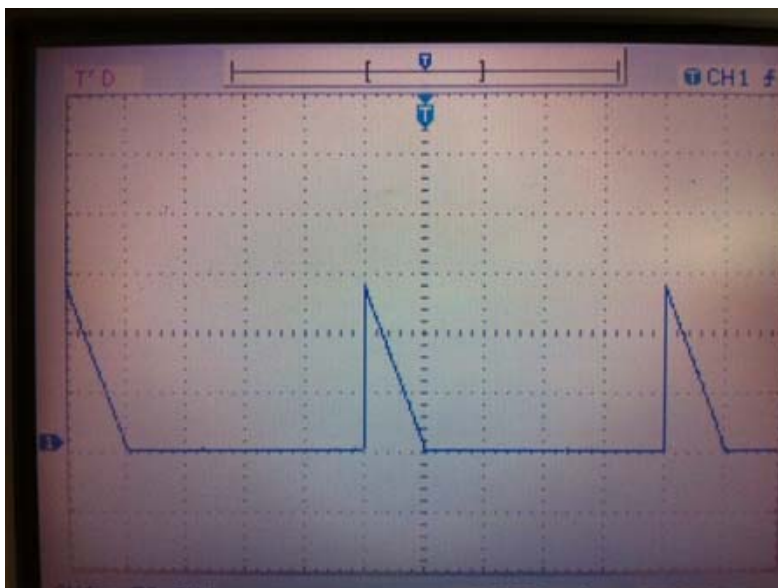
ΓΙΑ 72°



ΓΙΑ 108°



ΓΙΑ 144°



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΙΣΧΥΟΣ ΘΕΩΡΙΑ,ΣΤΕΦΑΝΟΣ ΜΑΝΙΑΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΣΗΜΑΙΩΝ 2000
- ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΙΣΧΥΟΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ,Π.Β. ΜΑΛΑΤΕΣΤΑΣ,Η.ΑΘ. ΒΥΛΛΙΩΤΗΣ
- ΕΥΡΕΣΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΜΕΣΩ INTERNET