



ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
Α.Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΗΣ ΠΛΗΡΩΣ ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ



ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ

ΚΑΥΚΑΝΙΩΤΗΣ ΑΛΕΞΙΟΣ Α.Μ.: 33082
ΜΑΜΑΛΗΣ ΣΤΑΥΡΟΣ Α.Μ.: 33894

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

N. ΒΕΝΕΤΑΣ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον επιβλέποντα καθηγητή μας και αρωγό σε αυτά τα πρώτα μας βήματα στο πρακτικό πεδίο της επιστήμης μας, τον κύριο Βενέτα Νικόλαο. Η καθοδήγησή του υπήρξε καθοριστική για την ολοκλήρωση της πτυχιακής μας εργασίας. Επίσης ένα μεγάλο ευχαριστώ σε όσους μας στάθηκαν κατά τη διάρκεια της φοιτητικής μας διαδρομής και κυρίως στους γονείς μας για την αμέριστη συμπαράστασή τους όλα αυτά τα χρόνια.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Τα ηλεκτρονικά ισχύος αποτελούν πλέον μία από τις βασικές περιοχές της επιστήμης του Ηλεκτρολόγου Μηχανικού. Η τεχνολογία των ηλεκτρονικών ισχύος βρίσκεται σε εξέλιξη σήμερα και γνωρίζει ραγδαία ανάπτυξη τα τελευταία 25 χρόνια.

Οι εφαρμογές των ηλεκτρονικών ισχύος είναι πολλές και σημαντικές και καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα ειδικοτήτων. Παραθέτουμε τις πιο σημαντικές μεταξύ άλλων:

- Διακοπτικά τροφοδοτικά (dc) σε υπολογιστές, και συσκευές γραφείου
- Συστήματα αδιάλειπτης παροχής (UPS)
- Συστήματα ελέγχου κινητήρων dc, επαγωγικών, σύγχρονων, κλπ
- Εργαλειομηχανές και κινητήρια συστήματα ακριβείας στη βιομηχανία
- Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (φωτοβολταϊκά, αιολικά συστήματα)
- Φωτισμός (ηλεκτρονικά ballasts)
- Επαγωγική θέρμανση στη βιομηχανία
- Συγκολλήσεις, επιμεταλώσεις
- Συστήματα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας (μετατροπείς ac-dc και dc-ac)
- Έλεγχος άεργης ισχύος σε ac συστήματα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας
- Φόρτιση μπαταριών (από mW μέχρι kW)
- Ηλεκτρικά αυτοκίνητα, ηλεκτρικά τρένα, τράμ, τρόλεϊ
- Τροφοδοσία τηλεπικοινωνιακών συστημάτων, δορυφορικών συστημάτων και αεροσκαφών.

Στον τομέα των ηλεκτρονικών ισχύος εντάσσεται η πτυχιακή μας εργασία με τίτλο «**ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΗΣ ΠΛΗΡΩΣ ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ**». Η εργασία εκπονήθηκε σε δύο μέρη, το θεωρητικό και το κατασκευαστικό. Στο θεωρητικό μέρος, που χωρίζεται σε 6 κεφάλαια, αναλύονται ελεγχόμενες και μη ελεγχόμενες ανορθωτικές διατάξεις καθώς και τα εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή μας. Το κατασκευαστικό μέρος αποτελείται από 2 κεφάλαια όπου αναφέρονται το σύνολο των υλικών που χρειάστηκαν, η διαδικασία της κατασκευής και η αναλυτική περιγραφή της λειτουργίας της. Επιπλέον περιλαμβάνει ορισμένες εργαστηριακές μετρήσεις.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	1
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	2
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	3

ΜΕΡΟΣ Α' – ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1° – ΜΗ ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΕΣ ΑΝΟΡΘΩΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ

1.1 Γενικά.....	6
1.2 Δίοδος επαφής P-N.....	7
1.3 Πόλωση της διόδου.....	7
1.3.1 Ορθή πόλωση.....	8
1.3.2 Ανάστροφη πόλωση.....	10
1.3.3 Χρήση της διόδου P-N για ανόρθωση.....	12
1.4 Ημιανόρθωση ή απλή ανόρθωση.....	13
1.4.1 Εισαγωγή.....	13
1.4.2 Περιγραφή του κυκλώματος.....	13
1.5 Διπλή ή πλήρης ανόρθωση.....	17
1.5.1 Εισαγωγή.....	17
1.5.2 Περιγραφή του κυκλώματος.....	18
1.6 Ανόρθωση με γέφυρα.....	22
1.6.1 Εισαγωγή.....	22
1.6.2 Περιγραφή του κυκλώματος.....	22

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2° – ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΕΣ ΑΝΟΡΘΩΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ

2.1 Θυρίστορ.....	24
2.1.1 Γενικά.....	24
2.1.2 Τρόποι μετάβασης (Commutation) ενός θυρίστορ.....	26
2.1.3 Ψύξη του θυρίστορ.....	27
2.2 Ελεγχόμενη ημιανόρθωση με ωμικό-επαγωγικό φορτίο.....	27
2.3 Ελεγχόμενη ημιανόρθωση ωμικό-επαγωγικό φορτίο και ηλεκτρεγερτική δύναμη.....	32

2.4 Ελεγχόμενη μονοφασική γέφυρα.....	38
2.5 Έλεγχος κινητήρα Σ.Ρ. ξένης διέγερσης μέσω πλήρως ελεγχόμενης μονοφασικής γέφυρας.....	41
2.5.1 Συνεχής αγωγή.....	42
2.5.2 Ασυνεχής αγωγή.....	46

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3° – Ο ΤΕΛΕΣΤΙΚΟΣ ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ

3.1 Γενικά.....	49
3.2 Ο ιδανικός τελεστικός ενισχυτής.....	50
3.3 Ο πραγματικός τελεστικός ενισχυτής	51
3.4 Οι λειτουργίες του τελεστικού ενισχυτή.....	53
3.4.1 Ο τελεστικός ενισχυτής ως ενισχυτής.....	53
3.4.2 Ο τελεστικός ενισχυτής ως συγκριτής.....	54
3.4.3 Ο τελεστικός ενισχυτής ως αθροιστής.....	54
3.4.4 Ο τελεστικός ενισχυτής ως ολοκληρωτής.....	55
3.5 Εξάρτηση του τελεστικού ενισχυτή από τη συχνότητα.....	57
3.6 Ο τελεστικός ενισχυτής LM741.....	58

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4° – ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ

4.1 Η αρχή λειτουργίας των τρανζίστορ.....	59
4.2 Το τρανζίστορ σαν ενισχυτής ρεύματος και σαν διακοπτικό στοιχείο.....	61
4.3 Συνδεσμολογία Darlington.....	62

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5° – Ο ΧΡΟΝΙΣΤΗΣ 555

5.1 Περιγραφή του χρονιστή 555.....	64
5.2 Ο χρονιστής 555 σαν μονοσταθής πολυδονητής.....	66

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6° – Ο ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ ΠΑΛΜΩΝ

6.1 Γενικά.....	68
6.2 Το κύκλωμα της έκτης βαθμίδας.....	69
6.2.1 Περιγραφή του κυκλώματος.....	69
6.2.2 Κύκλωμα προστασίας της πύλης.....	71

ΜΕΡΟΣ Β' – ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο – ΤΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ

1.1 Γενικά.....	72
1.2 Το κύκλωμα πυροδότησης.....	76
1.3 Το τροφοδοτικό.....	87
1.4 Κατασκευή πλακέτας τροφοδοτικού.....	90
1.5 Κατασκευή πλακετών κυκλώματος πυροδότησης.....	91
1.6 Υλικά κατασκευής τροφοδοτικού και κυκλώματος πυροδότησης.....	92
1.7 Υλικά για το κουτί τοποθέτησης των πλακετών.....	93
1.8 Φωτογραφικό υλικό.....	93

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο – ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

2.1 Ωμικό φορτίο.....	95
2.1.1 Κύκλωμα.....	95
2.1.2 Παλμογραφήματα.....	95
2.1.3 Εργαστηριακές μετρήσεις.....	97
2.2 Ωμικό-επαγωγικό φορτίο (κινητήρας).....	100
2.2.1 Κύκλωμα.....	100
2.2.2 Παλμογραφήματα.....	100
2.2.3 Εργαστηριακές μετρήσεις.....	102

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	107
-------------------	-----

ΜΕΡΟΣ Α'

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1°

Μη ελεγχόμενες ανορθωτικές διατάξεις

1.1 Γενικά

Η συνεχής τάση είναι απαραίτητη για την πόλωση των ηλεκτρονικών στοιχείων όπως είναι τα τρανζίστορ, οι λυχνίες, οι τελεστικοί ενισχυτές, τα ολοκληρωμένα κυκλώματα κ.λ.π. Γι' αυτόν το λόγο απαιτείται μετατροπή της εναλλασσόμενης τάσης σε συνεχή, η οποία επιτυγχάνεται με την χρήση στοιχείων με μονοπολικές ιδιότητες, των ανορθωτών. Πρόκειται για ημιαγωγικά στοιχεία τα οποία μπορεί να είναι θυρίστορ, τρανζίστορ, GTOs και δίοδοι. Ο τύπος του ημιαγωγικού στοιχείου που θα χρησιμοποιηθεί κάθε φορά εξαρτάται κυρίως από τα εξής:

1. Ισχύς
2. Τάση
3. Ρεύμα

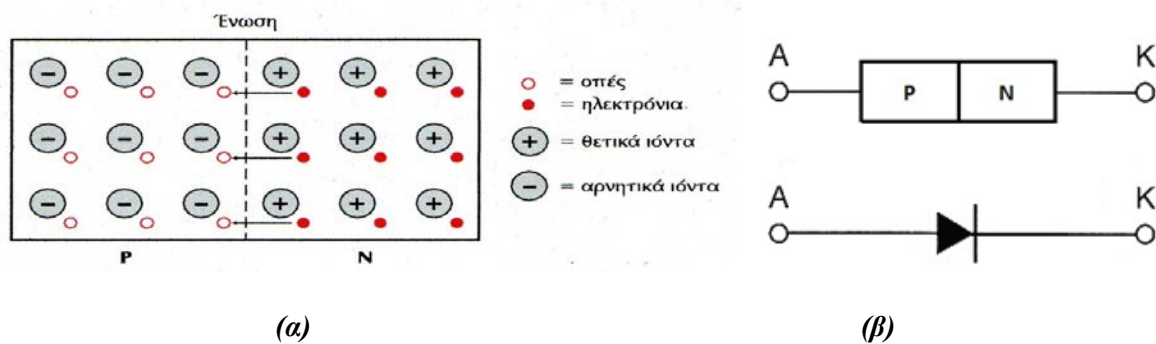
Διακρίνουμε δύο μεγάλες κατηγορίες ανορθωτών, τους ανορθωτές "Α κατηγορίας" και τους ανορθωτές "Β κατηγορίας". Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι "Ηλεκτρονικοί ανορθωτές κενού" και οι "Ξηροί ανορθωτές" ενώ στην δεύτερη οι "ανορθωτές αερίων".

Μια ανορθωτική διάταξη, γενικά, αποτελείται από:

1. Την πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος, που τροφοδοτεί τη διάταξη μέσω ενός μετασχηματιστή.
2. Τα ανορθωτικά στοιχεία, που ανάλογα με τη διάταξη, μπορεί να είναι δίοδοι σταθερής λειτουργίας (μη ελεγχόμενες), ή θυρίστορ, ελεγχόμενης λειτουργίας.
3. Το φίλτρο εξομάλυνσης.
4. Το τροφοδοτούμενο φορτίο.

1.2 Δίοδος επαφής P-N

Η επαφή είναι ο θεμέλιος λίθος πάνω στον οποίο στηρίζεται η λειτουργία όλων των συσκευών ημιαγωγών. Αποτελείται από δύο στρώματα ημιαγωγού, ένα τύπου P και ένα τύπου N. Η άνοδος (A) αντιστοιχεί στο τμήμα P της διόδου, με την προσθήκη ενός τρισθενούς στοιχείου, ενώ η κάθοδος (K) αντιστοιχεί στο τμήμα N, με την προσθήκη μικρής ποσότητας ενός πεντασθενούς στοιχείου. Στο σχήμα 1.1 παρατηρούμε: α) τη δομή μιας διόδου, β) το σύμβολο της διόδου



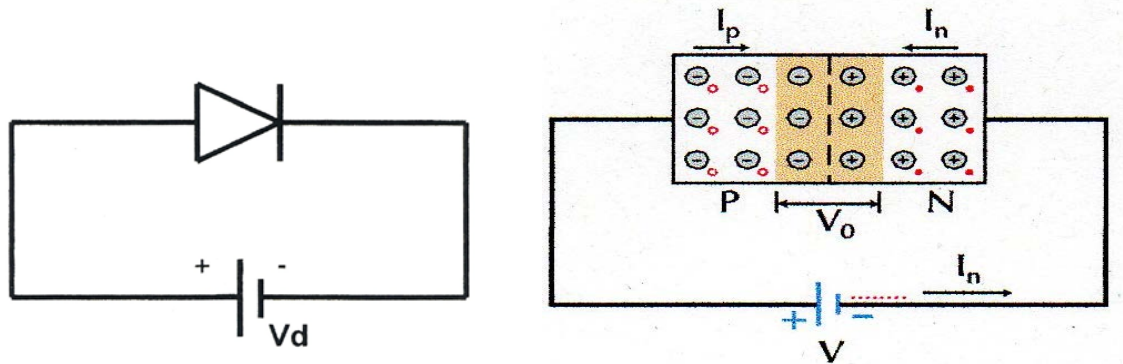
Σχήμα 1.1

1.3 Πόλωση της διόδου

Μια δίοδο P-N μπορούμε να την πολώσουμε ορθά και ανάστροφα.

1.3.1 Ορθή πόλωση

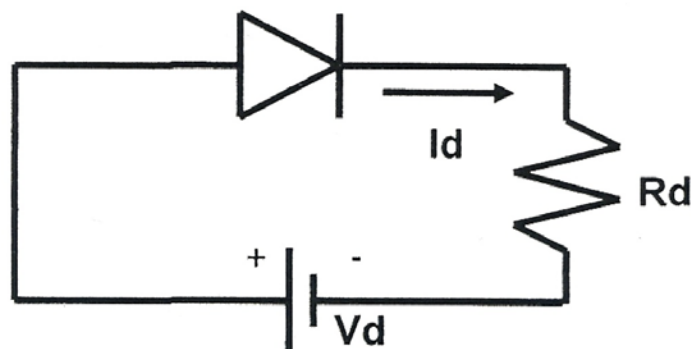
Κατά την ορθή πόλωση πολώνουμε το τμήμα τύπου P με θετική πολικότητα και το τμήμα τύπου N με αρνητική πολικότητα (σχήμα 1.2).



Σχήμα 1.2

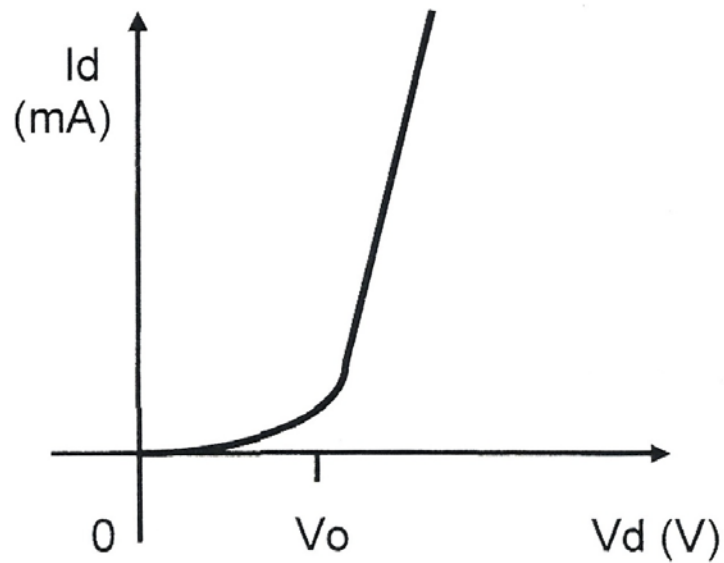
Στην επαφή των δύο στρωμάτων δημιουργείται ένα δυναμικό φραγμού (τάση κατωφλιού 0,7 V για ημιαγωγούς πρόσμιξης Si και 0,2 V για ημιαγωγούς πρόσμιξης Ge), οπότε για να άγει η διάδος θα πρέπει να εφαρμόσουμε στα άκρα της τάση μεγαλύτερη από το δυναμικό φραγμού, δηλαδή $V_d > V_o$.

Με μικρή αύξηση της τάσεως V_d το ρεύμα I_d , που περνά μέσα από την διάοδο, αυξάνει πολύ και αν υπερβεί μια ορισμένη τιμή τότε η διάδος καταστρέφεται, λόγω καταστροφής του κρυσταλλικού πλέγματος. Για να μην καταστραφεί η διάδος παρεμβάλουμε σε σειρά με την διάοδο μια ωμική αντίσταση R_d , η οποία καλείται προστατευτική αντίσταση, για περιορισμό του ρεύματος (σχήμα 1.3).



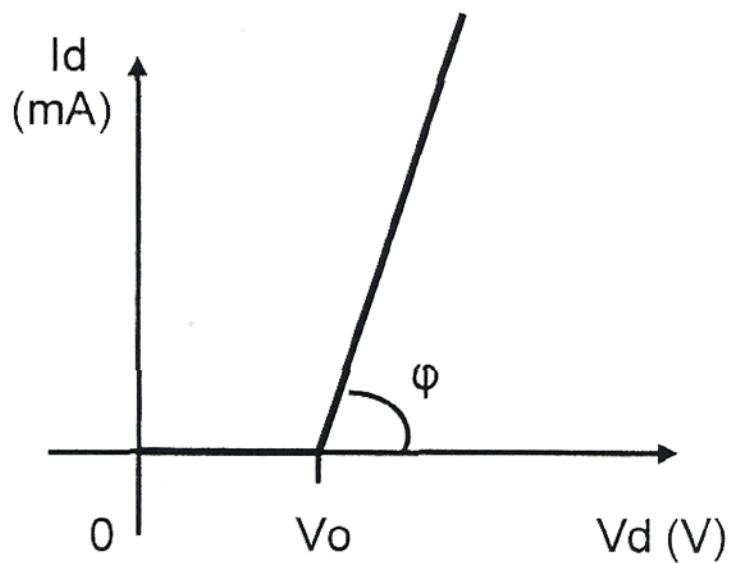
Σχήμα 1.3

Η χαρακτηριστική $I_d = f(V_d)$ της διόδου κατά την ορθή πόλωση δίνεται στο παρακάτω σχήμα 1.4.



Σχήμα 1.4

Στην πράξη η παραπάνω χαρακτηριστική προσεγγίζεται με γραμμικοποίηση, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.5.

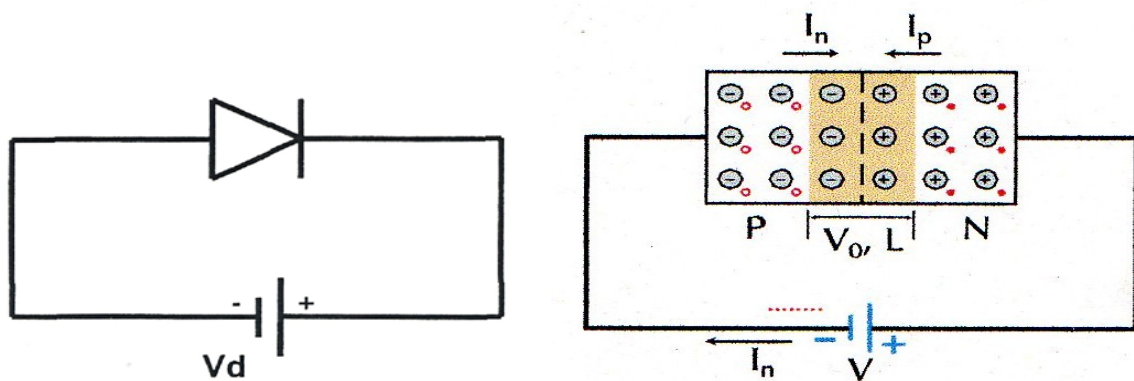


Σχήμα 1.5

Στο σχήμα 1.5 με ορθή πόλωση μεγαλύτερη από την τάση V_0 η χαρακτηριστική έχει σταθερή κλίση και ίση με $\text{εφ} = \Delta I_d / \Delta R_d = I / R_d = \text{σταθ}$. Η R_d είναι η αντίσταση της διόδου και είναι σταθερή. Ονομάζεται αντίσταση ορθής πολώσεως.

1.3.2 Ανάστροφη πόλωση

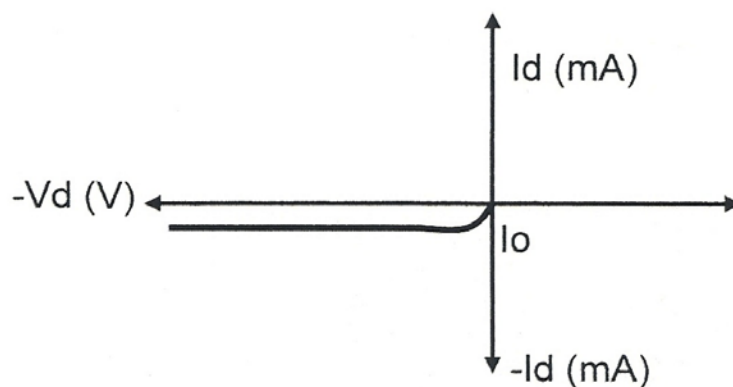
Κατά την ανάστροφη πόλωση πολώνουμε το τμήμα τύπου P με την αρνητική πολικότητα και το τμήμα τύπου N με τη θετική πολικότητα, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.6.



Σχήμα 1.6

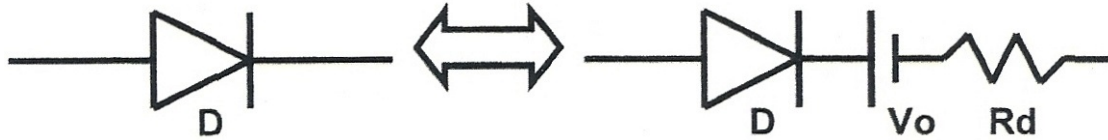
Στην ανάστροφη πόλωση το ρεύμα είναι πάρα πολύ μικρό, της τάξεως μερικών mA. Το ρεύμα αυτό εύκολα φτάνει σε κόρο που μόνο η αύξηση της θερμοκρασίας μπορεί να το αυξήσει. Ονομάζεται ανάστροφο ρεύμα κόρου, παρίσταται με το I_0 και είναι ανεξάρτητο της τάσεως πολώσεως.

Η χαρακτηριστική $I_d = f(V_d)$ κατά την ανάστροφη πόλωση δίνεται στο σχήμα 1.7.

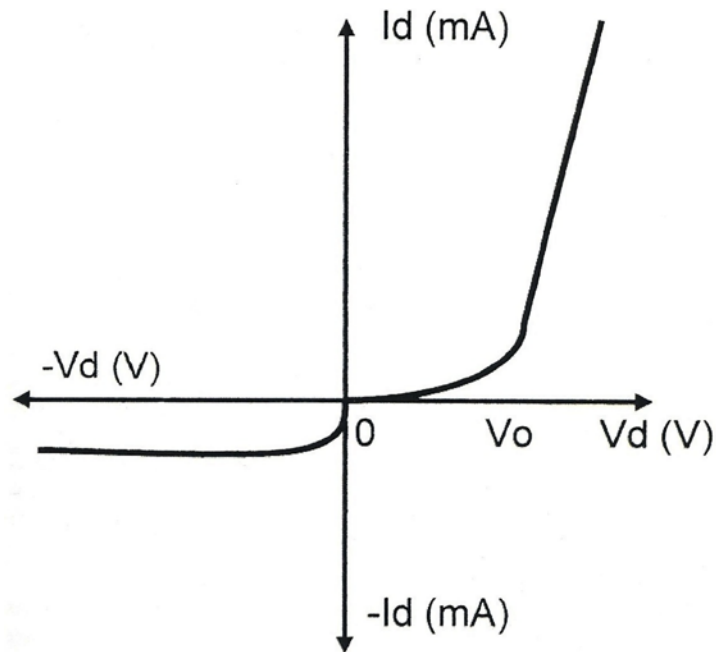


Σχήμα 1.7

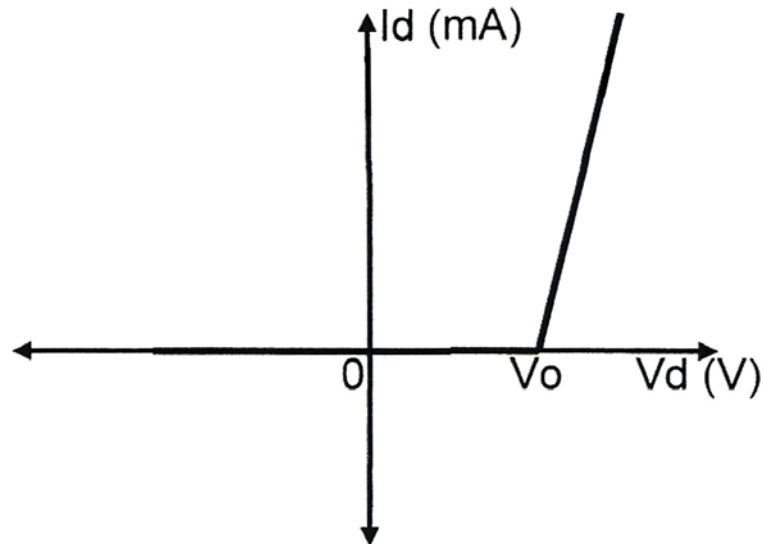
Στην πράξη θεωρούμε ότι με την ανάστροφη πόλωση η διόδος έχει άπειρη αντίσταση. Επομένως μπορούμε να θεωρήσουμε σαν ισοδύναμο της διόδου το κύκλωμα του παρακάτω σχήματος όπου D μια ιδανική διόδος (άπειρη αντίσταση στην ανάστροφη πόλωση και μηδενική στην ορθή).



Η στατική χαρακτηριστική $I_d = f(V_d)$ της διόδου δίνεται στο σχήμα 1.8 και προσεγγιστικά στο σχήμα 1.9.



Σχήμα 1.8



Σχήμα 1.9

1.3.3 Χρήση της διόδου P-N για ανόρθωση

Η χρησιμοποίηση διόδων ημιαγωγών σε ανορθωτικές διατάξεις έχει πολλά πλεονεκτήματα συγκριτικά με τις διόδους ηλεκτρονικές λυχνίες, όπως:

1. Μικρότερες διαστάσεις
2. Μεγαλύτερη μηχανική αντοχή
3. Μεγαλύτερο χρόνο ζωής
4. Δεν χρειάζεται πηγή θερμάνσεως
5. Μικρότερο κόστος

Για να χρησιμοποιηθεί μια διάδος ημιαγωγών για ανορθωτική διάταξη θα πρέπει να γνωρίζουμε γι' αυτή τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

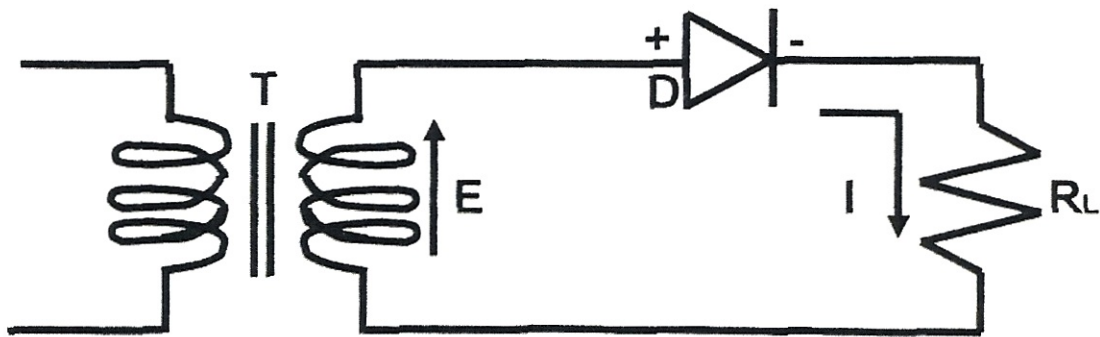
1. Τη μέγιστη τιμή του συνεχούς ρεύματος I_{DC} (ορθής πολώσεως)
2. Τη μέγιστη ανάστροφη τάση P.I.V.
3. Τη μέγιστη στιγμιαία τιμή του ρεύματος I_m

Η ανόρθωση μπορεί να γίνει με μια ή περισσότερες διόδους, οπότε θα έχουμε αντίστοιχα "ημιανόρθωση" ή "πλήρη ανόρθωση".

1.4 Ημιανόρθωση ή απλή ανόρθωση

1.4.1 Εισαγωγή

Η ημιανόρθωση είναι η πιο απλή μέθοδος μετατροπής μιας πηγής εναλλασσόμενης τάσεως σε πηγή συνεχούς τάσεως (σχήμα 1.10).



Σχήμα 1.10

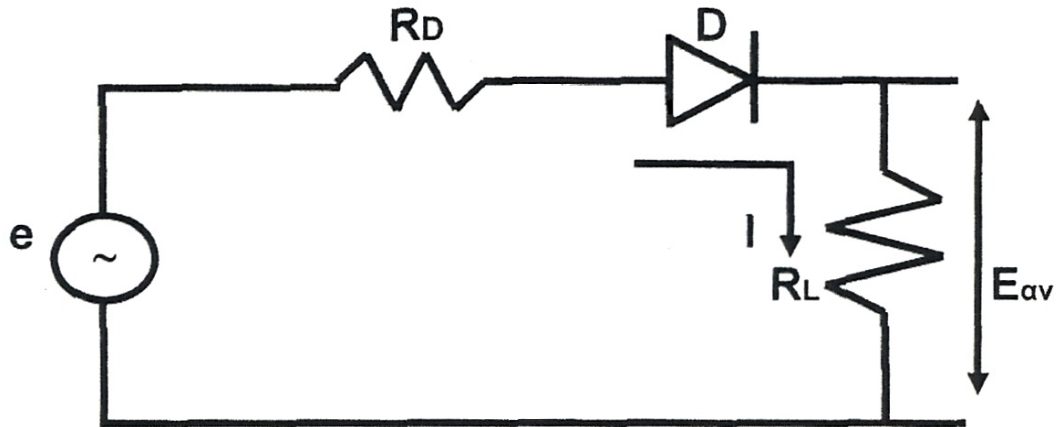
1.4.2 Περιγραφή του κυκλώματος

Το κύκλωμα του παραπάνω σχήματος περιλαμβάνει:

1. Ένα μετασχηματιστή (T) που χρησιμοποιείται για τη λήψη της επιθυμητής τάσης και για το διαχωρισμό του κυκλώματος του ανορθωτή από την κύρια πηγή.
2. Μια δίοδο ημιαγωγό D και
3. Μια αντίσταση R_L .

Η εναλλασσόμενη τάση του δευτερεύοντος του μετασχηματιστή εφαρμόζεται στο κύκλωμα της διόδου D και της αντίστασης R_L που είναι συνδεδεμένες σε σειρά. Το ρεύμα I που περνά από τη δίοδο D έχει πάντα αυτήν τη διεύθυνση και αποτελείται από παλμούς, των οποίων η μέγιστη τιμή (I_m) εξαρτάται από τη τάση e στο δευτερεύον του μετασχηματιστή. Από την αντίσταση R_L διέρχεται ρεύμα πάντα κατά αυτήν τη διεύθυνση και κατά τις θετικές ημιπεριόδους της τάσεως e του δευτερεύοντος του μετασχηματιστή.

Το ισοδύναμο κύκλωμα του παραπάνω κυκλώματος φαίνεται στο σχήμα 1.11:



Σχήμα 1.11

Όπου: $e = E_m \eta \mu \omega t$, $\omega = 2\pi f$, $f = 50\text{Hz}$

E_{av} = ανορθωμένη τάση

R_D = αντίσταση ορθής πόλωσης

D = ιδανική δίοδος

R_L = φορτίο

Η στιγμιαία τιμή του ρεύματος που κυκλοφορεί στο κύκλωμα είναι:

$$I = \frac{E_m}{R_D + R_L} \cdot \eta \mu \omega t = I_m \cdot \eta \mu \omega t \quad \text{για } 0 \leq \omega t \leq \pi \quad \text{ή} \quad 0 \leq t \leq 10 \text{ msec}$$

$$I = 0 \quad \text{για } \pi \leq \omega t \leq 2\pi \quad \text{ή} \quad 10 \leq t \leq 20 \text{ msec}$$

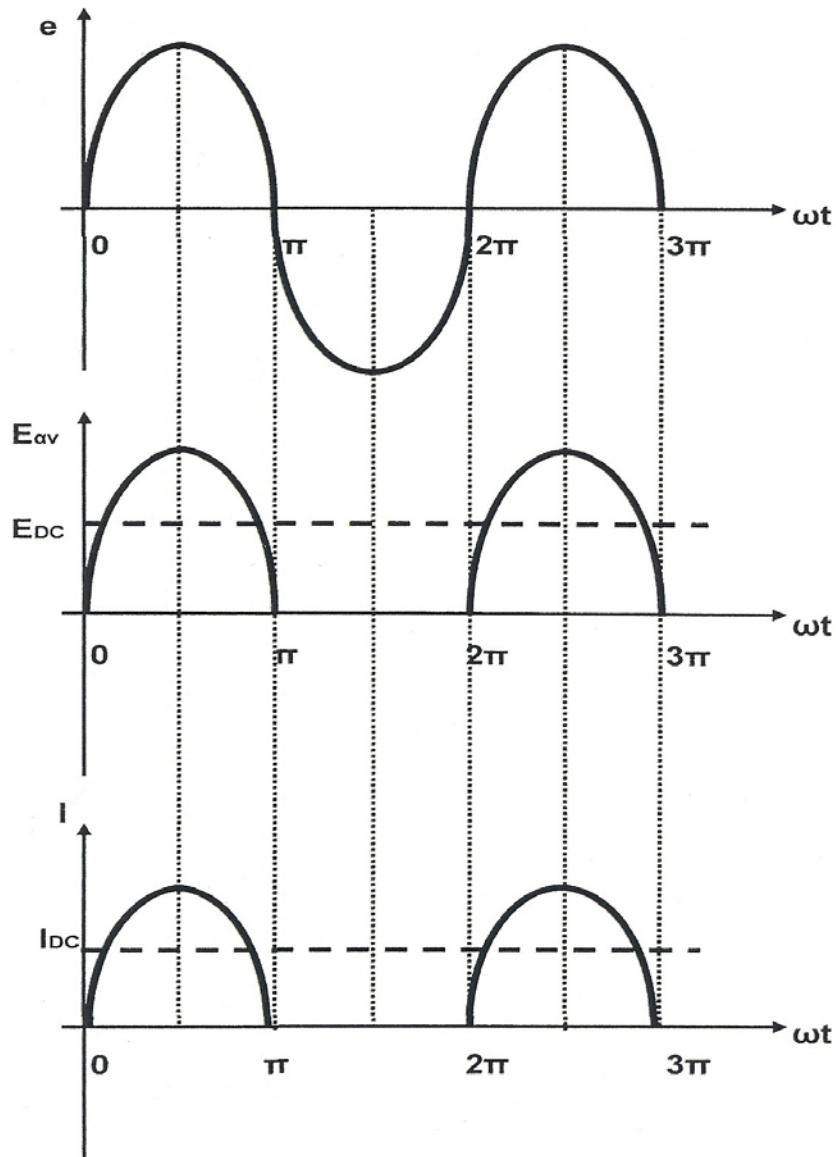
και αφού η ανορθωμένη τάση $E_{av} = I \cdot R_L$ θα έχουμε:

$$E_{av} = \frac{R_L \cdot E_m}{R_D + R_L} \cdot \eta \mu \omega t = (E_{av})_m \cdot \eta \mu \omega t \quad \text{για } 0 \leq \omega t \leq \pi$$

$$E_{av} = 0 \quad \text{για } \pi \leq \omega t \leq 2\pi$$

Για $R_D \ll R_L$ έπεται ότι $(E_{av})_m = E_m$

Στο σχήμα 1.12 έχουμε τη γραφική παράσταση των e , E_{av} και I .



Σχήμα 1.12

Οι παλμοί του ρεύματος (I) περιέχουν μια συνεχή συνιστώσα I_{DC} καθώς και απειρία αρμονικών. Η συνεχής συνιστώσα I_{DC} του ανορθωμένου ρεύματος δίνεται από τη σχέση:

$$I_{DC} = \frac{1}{2\pi} \cdot \int_0^{2\pi} I d\omega t = \frac{1}{2\pi} \cdot \int_0^{\pi} I_m \cdot \eta \mu \omega t d\omega t = \frac{1}{2\pi} \cdot [-\sigma \nu \omega t]_0^{\pi} = \frac{I_m}{\pi} = I_{DC}$$

Όπου $I_m = \frac{E_m}{R_D + R_L}$

Η συνεχής συνιστώσα της ανορθωμένης τάσης είναι:

$$E_{DC} = \frac{E_m \cdot R_L}{\pi \cdot (R_D + R_L)} \quad \text{και για } R_D \ll R_L \text{ είναι } E_{DC} = \frac{E_m}{\pi}$$

Η ενεργός τιμή του ρεύματος I είναι:

$$I_{rms} = \left[\frac{1}{2\pi} \cdot \int_0^{2\pi} I^2 d\omega t \right]^{1/2} = \left[\frac{1}{2\pi} \cdot \int_{-\pi}^{\pi} (I_m \eta \mu \omega t) \cdot d\omega t \right]^{1/2} = \frac{I_m}{2}$$

Η συνεχής ισχύς P_{DC} που καταναλώνεται στο φορτίο R_L δίνεται από τη σχέση:

$$P_{DC} = I_{DC}^2 \cdot R_L = \frac{I_m^2 \cdot R_L}{\pi^2}$$

Η εναλλασσόμενη ισχύς P_{AC} που παρέχει η πηγή στη βαθμίδα ανορθώσεως δίνεται από τη σχέση:

$$P_{AC} = I_{AC}^2 \cdot R_L = \frac{I_m^2 \cdot R_L}{4}$$

Απόδοση (η) μιας ανορθωτικής διάταξης ονομάζουμε το λόγο:

$$\eta = \frac{P_{DC}}{P_{AC}} \quad \text{άρα } \eta = \frac{P_{DC}}{P_{AC}} \cdot 100\%$$

$$\text{Οπότε: } \eta = \frac{I_m^2 \cdot R_L / \pi^2}{I_m^2 \cdot R_L / 4} \cdot 100 = \frac{4}{\pi^2} = 40,6\% \quad (\text{θεωρητική τιμή})$$

Το κύκλωμα της ημιανόρθωσης δεν παρέχει μια έξοδο σταθερής τιμής, αλλά παρουσιάζει μια κυμάτωση, οφειλόμενη στις αρμονικές. Μέτρο της κυματώσεως είναι ο βαθμός κυματώσεως r , ο οποίος ορίζεται:

$$r = \frac{\text{Ενεργός τιμή των αρμονικών της ανορθωμένης κυματομορφής}}{\text{Μέση τιμή της ανορθωμένης κυματομορφής}}$$

$$\text{ή } r = \frac{I'_{rms}}{I_{DC}} = \frac{E'_{rms}}{E_{DC}}$$

$$\text{Επειδή: } I'_{rms} = (I_{rms}^2 - I_{DC}^2)^{1/2} \quad , \quad E'_{rms} = (E_{rms}^2 - E_{DC}^2)^{1/2}$$

$$\text{Ισχύει: } r = \left[\frac{I_{rms}^2}{I_{DC}^2} - 1 \right]^{1/2}$$

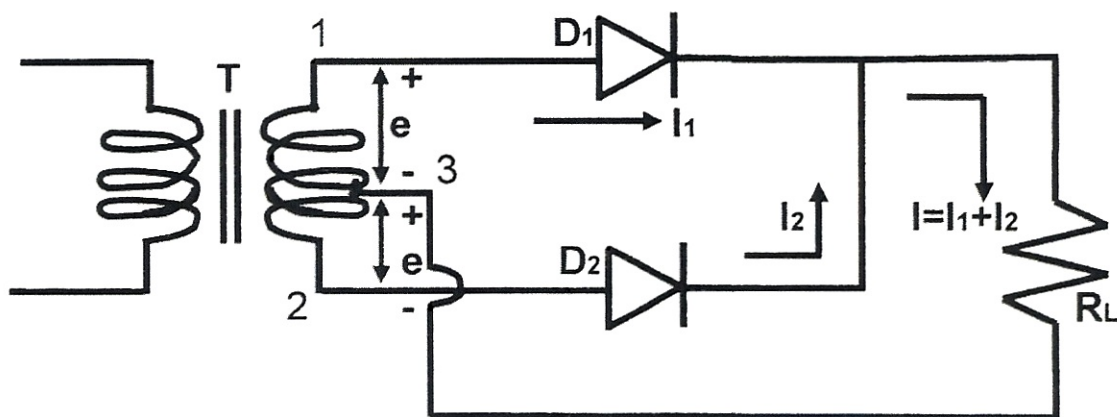
$$\text{Για την ημιανόρθωση ισχύει: } r = \left[\frac{(I_m/2)^2}{I_m/\pi} - 1 \right]^{1/2} = \left[\frac{\pi^2}{4} - 1 \right] = 1,21$$

Δηλαδή $I'_{rms} > I_{DC}$ και συνεπώς το κύκλωμα της ημιανόρθωσης είναι ένας πολύ μέτριος μετατροπέας AC σε DC. Για να μειώσουμε τις αρμονικές, παρεμβάλουμε τη βαθμίδα εξομάλυνσης (φίλτρου) μεταξύ ανόρθωσης και φορτίου.

1.5 Διπλή ή πλήρης ανόρθωση

1.5.1 Εισαγωγή

Με τη διπλή ή πλήρη ανόρθωση εκμεταλλευόμαστε και τις δύο ημιπεριόδους της πηγής εναλλασσόμενης τάσης. Για τη διπλή ανόρθωση χρησιμοποιούμε δύο διόδους D_1 και D_2 στη συνδεσμολογία του σχήματος 1.13, που ακολουθεί:



Σχήμα 1.13

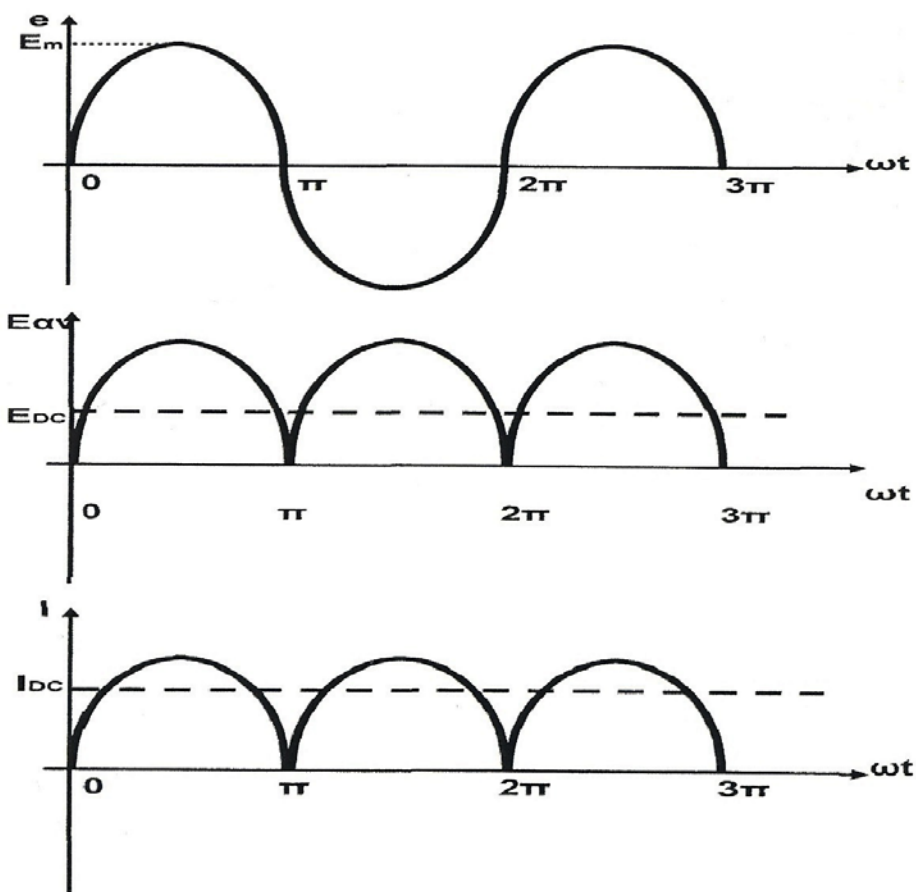
1.5.2 Περιγραφή του κυκλώματος

Το παραπάνω κύκλωμα περιλαμβάνει:

1. Ένα μετασχηματιστή (T) , με μεσαία λήψη στο δευτερεύον τύλιγμα του, που χρησιμοποιείται για τη λήψη της επιθυμητής τάσεως και για το διαχωρισμό του κυκλώματος του ανορθωτή από την κύρια πηγή.
2. Δύο διόδους D_1 και D_2
3. Μια αντίσταση R_L

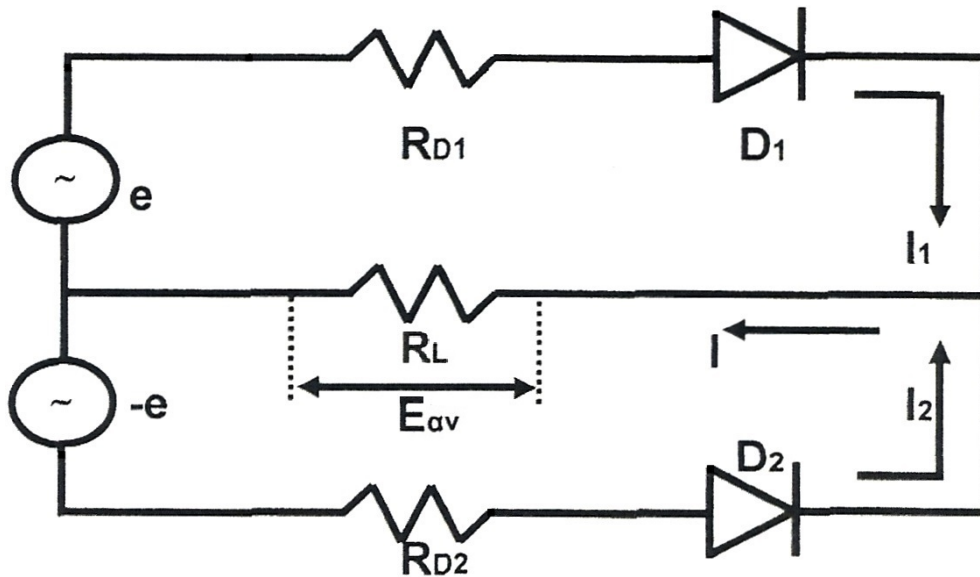
Στην θετική εναλλαγή της AC τάσεως στην είσοδο του κυκλώματος, οι τάσεις μεταξύ των σημείων 1-3 και 2-3, στο δευτερεύον του μετασχηματιστή, θα είναι $+e$ και $-e$. Δηλαδή οι δύο τάσεις $E_{1,3} = +e$ και $E_{2,3} = -e$ είναι ίσες μεταξύ τους, αλλά έχουν διαφορά φάσεως 180° , με αποτέλεσμα η diόδος D_1 , να πολώνεται ορθά και να άγει, ενώ η diόδος D_2 να είναι ανάστροφα πολωμένη και αποκομμένη.

Στο σχήμα 1.14 έχουμε τη γραφική παράσταση των e , E_{av} και I .



Σχήμα 1.14

Αν $V_{01} = V_{02} = 0$ (όπου $V_{01} =$ το δυναμικό επαφής της διόδου D_1 , $V_{02} =$ το δυναμικό επαφής της διόδου D_2) και $R_{S1} = R_{S2} = 0$, το ισοδύναμο κύκλωμα του σχήματος 12 φαίνεται στο σχήμα 1.15:



Σχήμα 1.15

Οι στιγμιαίες τιμές των ρευμάτων I_1 και I_2 που περνούν από τις διόδους D_1 και D_2 αντίστοιχα είναι:

$$I_1 = \frac{E_m}{R_L + R_{D1}} \cdot \eta \mu \omega t = I_m \cdot \eta \mu \omega t$$

$$I_2 = 0 \quad \text{για} \quad 0 \leq \omega t \leq \pi \quad \text{ή} \quad 0 \leq t \leq 10 \text{ msec}$$

$$I_1 = 0$$

$$I_2 = \frac{E_m}{R_L + R_{D2}} \cdot \eta \mu(\omega t + 180^\circ) = -\frac{E_m}{R_L + R_{D2}} = -I_m \cdot \eta \mu \omega t$$

$$\text{για} \quad \pi \leq \omega t \leq 2\pi \quad \text{ή} \quad 10 \text{ msec} \leq t \leq 20 \text{ msec}$$

Το ολικό συνεχές ρεύμα I_{DC} θα είναι:

$$I_{DC} = \frac{1}{2\pi} \cdot \int_0^{2\pi} I d\omega t = \frac{1}{2\pi} \cdot \int_0^{2\pi} (I_1 + I_2) d\omega t \quad \text{ή}$$

$$I_{DC} = \frac{1}{2\pi} \cdot \int_0^{\pi} I_1 d\omega t + \frac{1}{2\pi} \cdot \int_0^{\pi} I_2 d\omega t + \frac{1}{2\pi} \cdot \int_0^{2\pi} I_1 d\omega t + \frac{1}{2\pi} \cdot \int_0^{2\pi} I_2 d\omega t$$

Επειδή: $\frac{1}{2\pi} \cdot \int_0^{\pi} I_2 d\omega t = 0$, $\frac{1}{2\pi} \cdot \int_0^{2\pi} I_1 d\omega t = 0$ έχουμε:

$$I_{DC} = \frac{1}{2\pi} \cdot \int_0^{\pi} I_1 d\omega t + \frac{1}{2\pi} \cdot \int_0^{2\pi} I_2 d\omega t \quad \text{με αντικατάσταση των:}$$

$$I_1 = I_m \cdot \eta \mu \omega t \quad \text{και} \quad I_2 = -I_m \cdot \eta \mu \omega t \quad \text{θα έχουμε:}$$

$$I_{DC} = \frac{1}{2\pi} \cdot \int_0^{\pi} I_m \eta \mu \omega t d\omega t + \frac{1}{2\pi} \cdot \int_0^{2\pi} -I_m \eta \mu \omega t d\omega t \quad \text{ή}$$

$$I_{DC} = \frac{I_m}{2\pi} \cdot \int_0^{\pi} [-\sigma \nu \nu \omega t d\omega t]_0^{\pi} + \frac{I_m}{2\pi} \cdot \int_0^{2\pi} [-\sigma \nu \nu \omega t d\omega t]_{\pi}^{2\pi} = \frac{2I_m}{2\pi} + \frac{2I_m}{2\pi} = \frac{2I_m}{\pi}$$

Τελικά: $E_{DC} = \frac{2E_m}{\pi}$

Η ενεργός τιμή του ρεύματος I είναι: $I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$

Η ισχύς του συνεχούς ρεύματος είναι: $P_{DC} = \frac{4I_m^2 R_L}{\pi^2}$

Η ισχύς του εναλλασσομένου ρεύματος είναι: $P_{AC} = \frac{I_m^2}{2R_L}$

Η απόδοση είναι: $n = \frac{P_{DC}}{P_{AC}} \cdot 100 = \frac{8}{\pi^2} \cdot 100 = 81,2\%$ (θεωρητική τιμή)

Ο βαθμός κυματώσεως είναι: $r = \frac{I'_{rms}}{I_{DC}} = 0,48 \Rightarrow I'_{rms} < I_{DC}$

P.I.V. (η μέγιστη ανάστροφη τάση) = $2E_m$

Τα πλεονεκτήματα της διπλής ανόρθωσης, ως προς την ημιανόρθωση είναι:

1. Η μέση τιμή της ανορθωμένης τάσεως (E_{DC}) είναι μεγαλύτερη και μάλιστα διπλάσια
2. Η απόδοση είναι διπλάσια
3. Η συνεχής τάση έχει μικρότερη κυμάτωση
4. Χρησιμοποιείται μετασχηματιστής με μικρότερο πυρήνα, διότι δε μαγνητίζεται.

Τα βασικά μειονεκτήματα της διπλής ανόρθωσης είναι:

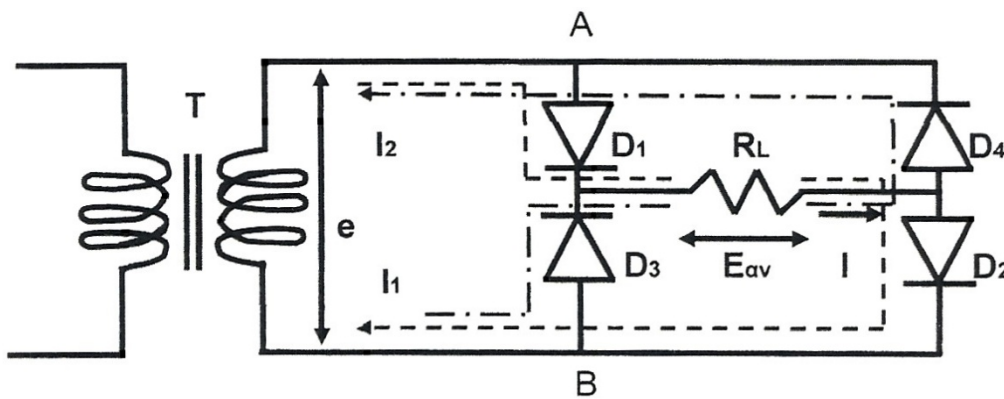
1. Χρειάζεται μεσαία λήψη ο μετασχηματιστής τροφοδοτήσεως, πράγμα που μεγαλώνει πολύ το κόστος του μετασχηματιστή
2. Η μέγιστη ανάστροφη τάση (P.I.V.) στην κάθε δίοδο είναι $2E_m$, πράγμα που σημαίνει ότι πρέπει να γίνει ειδική επιλογή των διόδων, ώστε να αντέχουν σ' αυτήν την ανάστροφη τάση.

Για να μειώσουμε τις αρμονικές και επομένως την κυμάτωση παρεμβάλουμε την βαθμίδα εξομάλυνσης (φίλτρα) μεταξύ της βαθμίδας ανορθώσεως και του φορτίου.

1.6 Ανόρθωση με γέφυρα

1.6.1 Εισαγωγή

Μια άλλη μέθοδος διπλής ανόρθωσης είναι η ανόρθωση με γέφυρα. Για την ανόρθωση με γέφυρα χρησιμοποιούμε 4 διόδους D_1 , D_2 , D_3 και D_4 στη συνδεσμολογία του σχήματος 1.16.



Σχήμα 1.16

1.6.2 Περιγραφή του κυκλώματος

Το κύκλωμα του σχήματος 1.16 περιλαμβάνει:

1. Ένα μετασχηματιστή (T) που χρησιμοποιείται για τη λήψη της επιθυμητής τάσης
2. Τις διόδους D_1 , D_2 , D_3 και D_4
3. Την αντίσταση R_L .

Στην θετική εναλλαγή της τάσεως e το σημείο A γίνεται θετικό και το σημείο B αρνητικό, οι διόδους D_1 και D_2 πολώνονται ορθά και άγουν, ενώ οι διόδους D_3 και D_4 πολώνονται ανάστροφα και είναι αποκομμένες.

Κατά την αρνητική εναλλαγή της τάσεως e το σημείο A γίνεται αρνητικό και το σημείο B θετικό, οι δε διόδους D_1 και D_2 πολώνονται ανάστροφα και αποκόπτονται.

Το ανορθωμένο ρεύμα που περνά από το φορτίο R_L θα είναι $I = I_1 + I_2$, όπου I_1 το ρεύμα που περνά από τις διόδους D_1 και D_2 και I_2 το ρεύμα που περνά από τις διόδους D_3 και D_4 . Τα ρεύματα I_1 και I_2 έχουν τη φορά που δείχνουν τα βέλη του σχήματος 1.16.

Κατά τα άλλα ισχύει ό,τι και στη διπλή ανόρθωση.

Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι:

1. Δεν χρησιμοποιεί μετασχηματιστή με μεσαία λήψη, με αποτέλεσμα, παρ' όλο που το κύκλωμα αυτό χρησιμοποιεί 4 διόδους, να είναι φθηνότερο από το κύκλωμα της διπλής ανόρθωσης.
2. Ο πυρήνας του μετασχηματιστή δεν υπάρχει περίπτωση να φτάσει στον κόρο.
3. Η μέγιστη ανάστροφη τάση (P.I.V.) είναι E_m , δηλαδή η μισή τάση από ό,τι θα εφαρμοζόταν για την αντίστοιχη περίπτωση σε κύκλωμα διπλής ανόρθωσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2°

Ελεγχόμενες ανορθωτικές διατάξεις

Για την ανάλυση των ελεγχόμενων ημιανορθώσεων που εξετάζονται στο κεφάλαιο αυτό έχουν γίνει οι εξής παραδοχές:

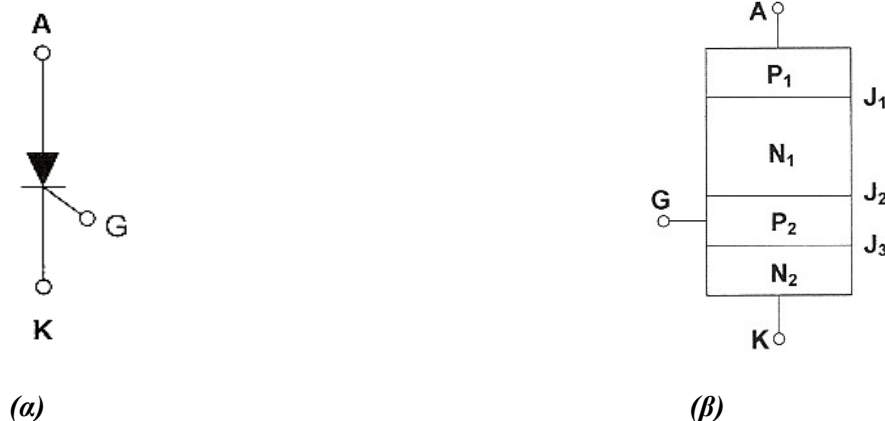
1. Για τη μελέτη των κυκλωμάτων των ημιανορθώσεων θα ληφθεί υπόψη μόνο η μόνιμη κατάσταση λειτουργίας.
2. Όλα τα ημιαγωγικά στοιχεία έχουν ιδανικές ιδιότητες.
3. Οι αντιστάσεις, οι αυτεπαγωγές και οι χωρητικότητες των αγωγών αγνοούνται.

2.1 Θυρίστορ (Silicon Controlled Rectifier, SCR)

2.1.1 Γενικά

Το θυρίστορ είναι ένας ελεγχόμενος ανορθωτής πυριτίου τεσσάρων στρωμάτων, που στηρίζει τη λειτουργία του στις ιδιότητες των ημιαγωγών (όπως και η δίοδος).

Αποτελείται από τέσσερις επάλληλες στρώσεις πυριτίου (διαδοχικά P και N), που δημιουργούν τρεις διαδοχικούς "δεσμούς" (J) και ένα ηλεκτρόδιο ελέγχου που ονομάζεται πύλη ή σκανδάλη (G). Το κύριο κύκλωμα συνδέεται στις δύο ακραίες στρώσεις, που φέρουν τις ονομασίες "άνοδος" (A) και "κάθοδος" (K), ενώ το κύκλωμα ελέγχου συνδέεται σε μια ενδιάμεση στρώση. Στο σχήμα 2.1 παρατηρούμε: (α) το σύμβολο του θυρίστορ, (β) τη δομή ενός θυρίστορ.



Σχήμα 2.1

Όταν το θυρίστορ άγει, το ρεύμα κυκλοφορεί με κατεύθυνση από την άνοδο προς την κάθοδο, που αποτελεί την "ορθή πόλωση", με μια αντίσταση πολύ μικρή. Κατά την αντίστροφη διεύθυνση του ρεύματος, που αποτελεί την "ανάστροφη πόλωση", το θυρίστορ δεν άγει και η αντίστασή του γίνεται πολύ μεγάλη.

Όταν στην πύλη του θυρίστορ δεν υπάρχει παλμός, ανεξάρτητα αν είναι θετικά πολωμένο, τότε δεν υπάρχει ροή ρεύματος μέσω του θυρίστορ. Για να μεταβεί σε κατάσταση αγωγής πρέπει στην πύλη να δοθεί παλμός έναυσης, με την προϋπόθεση ότι το θυρίστορ 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 θυρίστορ μηδενιστεί ή η πολικότητα της ανόδου γίνει αρνητική σε σχέση με την κάθοδο.

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

1. Κατάσταση διέλευσης (Conduction state):

Το θυρίστορ βρίσκεται σε κατάσταση αγωγής.

2. Κατάσταση θετικής αποκοπής (Forward blocking state):

Το θυρίστορ είναι θετικά πολωμένο, αλλά βρίσκεται σε κατάσταση αποκοπής. Αν δοθεί παλμός έναυσης στο θυρίστορ τότε μεταβαίνει στην κατάσταση διέλευσης.

3. Κατάσταση αρνητικής αποκοπής (Reverse blocking state):

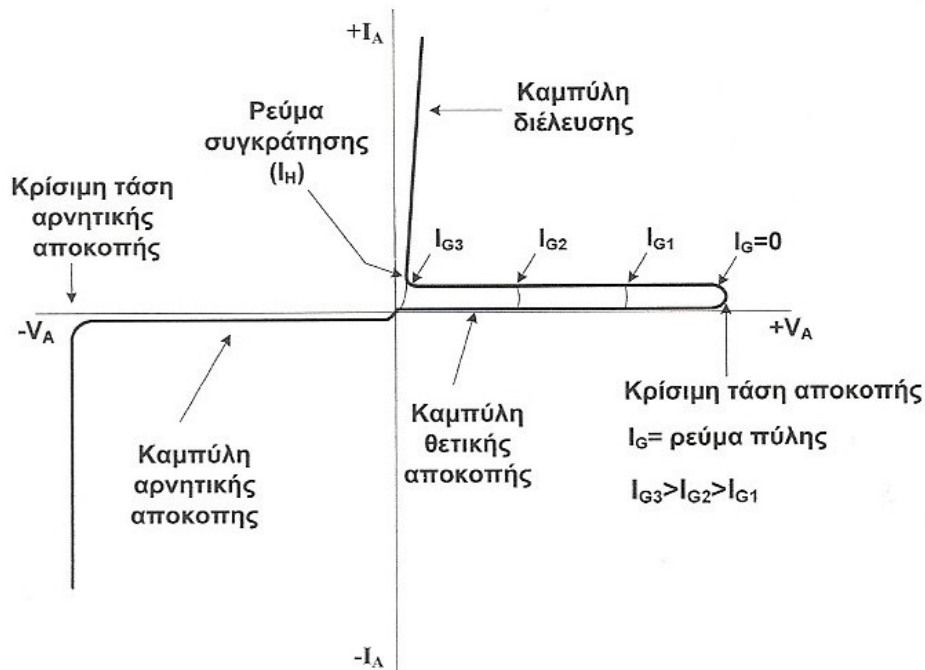
Το θυρίστορ μεταβαίνει στην κατάσταση αυτή, όταν μια αρνητική τάση εφαρμοσθεί μεταξύ ανόδου και καθόδου.

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

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

Επίσης αν η τάση ανόδου στην περιοχή της αρνητικής αποκοπής υπερβεί ένα όριο, το θυρίστορ χάνει την ιδιότητα αποκοπής και το ρεύμα I_A αποκτά μεγάλες τιμές, με αποτέλεσμα την καταστροφή του θυρίστορ. Το όριο αυτό της τάσης ονομάζεται "τάση διάσπασης". Αν

επιπρόσθετα εφαρμοσθεί ένας παλμός έναυσης I_G στο θυρίστορ, τότε η τιμή της κρίσιμης τάσης αποκοπής, κάτω από την οποία γίνεται η μετάβαση από την κατάσταση αποκοπής στην κατάσταση διέλευσης, εξαρτάται από το μέγεθος του ρεύματος ελέγχου I_G . Όσο μεγαλύτερος είναι ο παλμός ρεύματος I_G τόσο μικρότερη είναι και η κρίσιμη τάση αποκοπής. Όλα τα παραπάνω φαίνονται στη χαρακτηριστική καμπύλη τάσης-ρεύματος που ακολουθεί (σχήμα 2.2):



Σχήμα 2.2

2.1.2 Τρόποι μετάβασης (Commutation) ενός θυρίστορ

Η τεχνική με την οποία επιτυγχάνεται η σβέση ενός θυρίστορ ονομάζεται "μετάβαση" (commutation).

Η μετάβαση ενός θυρίστορ μπορεί να επιτευχθεί με τις ακόλουθες τεχνικές:

1. Φυσική μετάβαση, η οποία υποδιαιρείται στη:
 - α) μετάβαση λόγω φορτίου (Load commutation)
 - β) μετάβαση λόγω της πηγής εισόδου (Line commutation)

2. Εξαναγκασμένη μετάβαση, η οποία υποδιαιρείται στη:

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

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

2.1.3 Ψύξη του θυρίστορ

Το πρόβλημα της ψύξης του θυρίστορ είναι από τα πιο σοβαρά προβλήματα που αντιμετωπίζουμε. Σε ένα θυρίστορ έχουμε απώλεια ενέργειας υπό μορφή θερμότητας και μάλιστα σε μια πολύ μικρή σχετικά επιφάνεια.

Γενικά οι θερμικές αντιστάσεις (αντιστάσεις που εμποδίζουν την απαγωγή της θερμότητας και τις συμβολίζουμε όπως τις ηλεκτρικές) σ' ένα θυρίστορ μπορούν να χωριστούν σε τρεις συνδεδεμένες σε σειρά:

$$T_J = T_A + P_A (R_{JC} + R_{CS} + R_{SA}) \quad \text{όπου:}$$

R_{JC} = θερμική αντίσταση από την επαφή στη θήκη, thermal resistance from junction to case, °C/W.

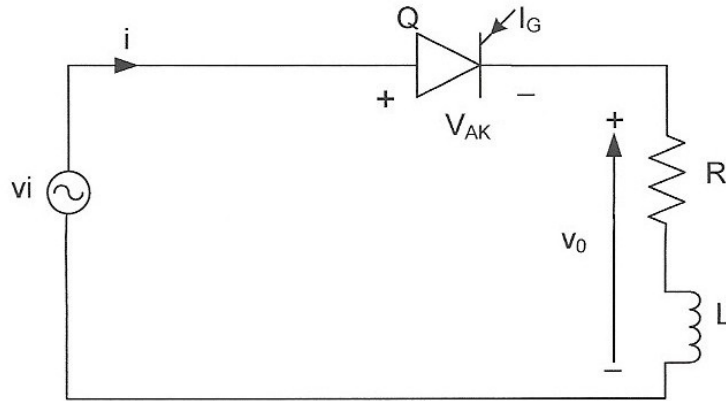
R_{CS} = θερμική αντίσταση από τη θήκη στον απαγωγέα θερμότητας, thermal resistance from case to sink, °C/W.

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

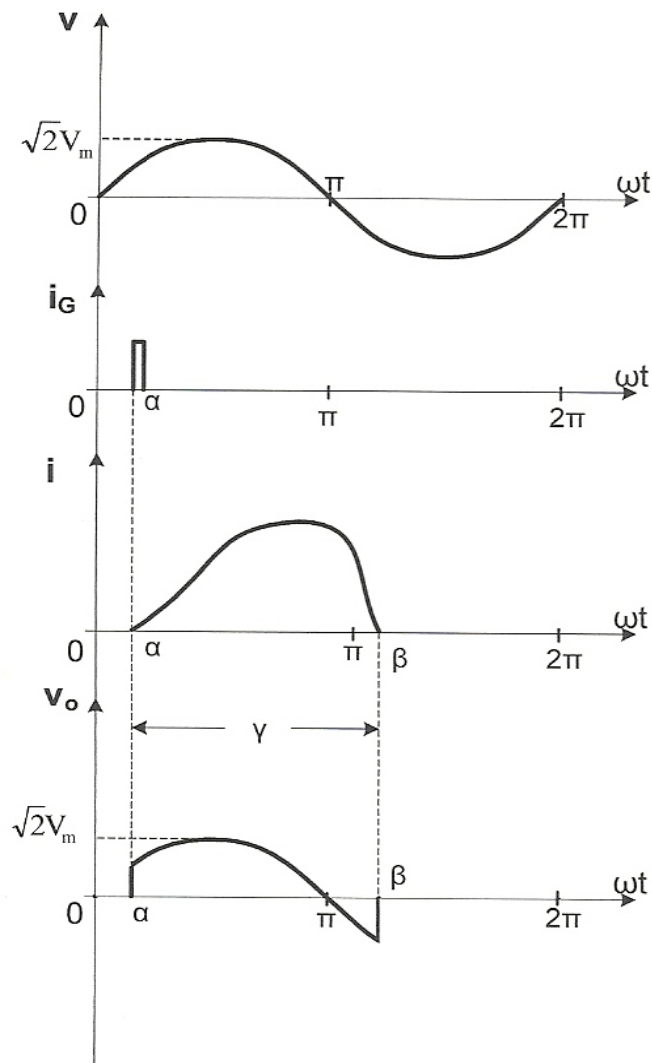
T_A = θερμοκρασία περιβάλλοντος, °C.

2.2 Ελεγχόμενη ημιανόρθωση με ωμικό-επαγωγικό φορτίο

Το κύκλωμα ελεγχόμενης ημιανόρθωσης με ωμικό-επαγωγικό φορτίο παρουσιάζεται στο σχήμα 2.3. Οι κυματομορφές του κυκλώματος φαίνονται στο σχήμα 2.4.



Σχήμα 2.3



Σχήμα 2.4

Αν ο παλμός έναυσης I_G εφαρμοσθεί στο θυρίστορ Q του κυκλώματος τότε το θυρίστορ αρχίζει να άγει και επομένως ισχύει η σχέση:

$$V_L + V_R + V_o = V \quad (1) \quad \text{ή}$$

$$L \frac{di}{dt} + R_i = \sqrt{2} V_m \eta \mu \omega t \quad (2)$$

Τότε λύνοντας την εξίσωση (2) το ρεύμα του κυκλώματος δίνεται από τη σχέση:

$$i = \frac{\sqrt{2} V_m}{|z|} \eta \mu(\omega t - \varphi) + A e^{-(R/L)t} \quad (3)$$

$$|z| = [R^2 + (\omega L)^2]^{1/2}$$

$$\text{όπου: } \varphi = \varepsilon \varphi^{-1} \left(\frac{\omega L}{R} \right) \quad \text{σε rad}$$

V_m = ενεργός τιμή της τάσης εισόδου

ω = γωνιακή συχνότητα της τάσης εισόδου

Αντικαθιστώντας στην σχέση (3) την αρχική συνθήκη του κυκλώματος, όπου $i = 0$ για $\omega t = \alpha$, υπολογίζουμε τη σταθερά A και έτσι η σχέση (3) γίνεται:

$$i = \frac{\sqrt{2} V_m}{|z|} \left[\eta \mu(\omega t - \varphi) - \eta \mu(\alpha - \varphi) \cdot e^{(R/L)(\alpha/\omega - t)} \right] \quad (4)$$

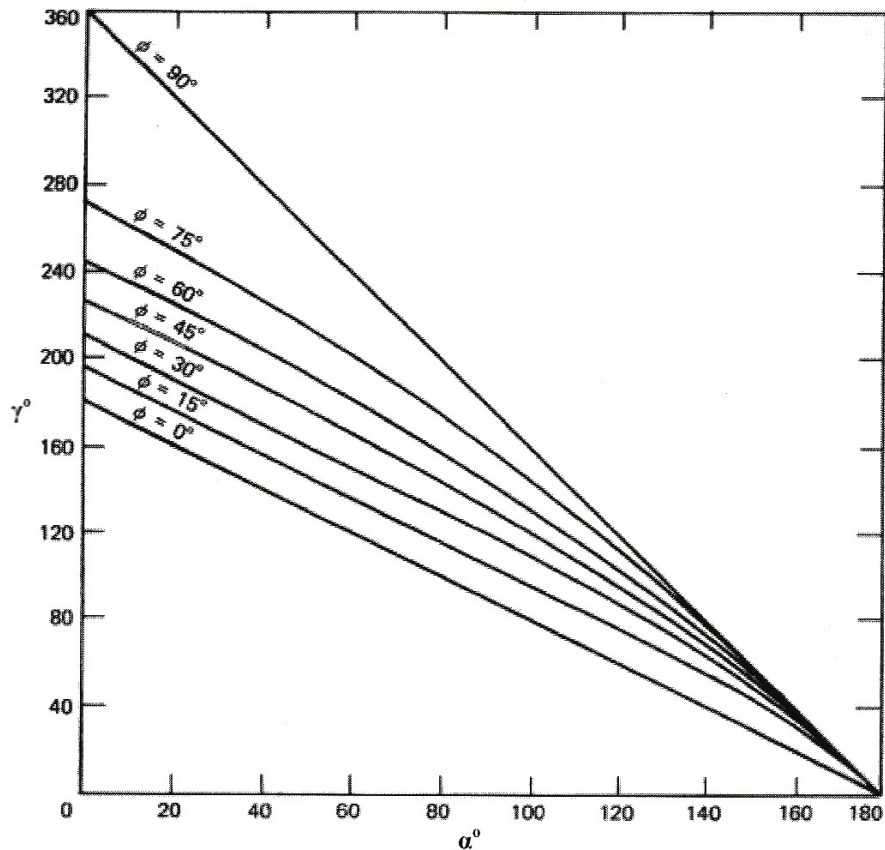
Επίσης στη γωνία $\omega t = \beta$ το ρεύμα $i=0$ και επομένως από τη σχέση (4) προκύπτει:

$$\eta \mu(\beta - \varphi) = \eta \mu(\alpha - \varphi) \cdot e^{(R/L)((\alpha - \beta)/\omega)} \quad (5)$$

Επομένως η τιμή της γωνίας β μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση (5) έχοντας ως δεδομένα του κυκλώματος τις τιμές των φ , α και ω . Τότε η γωνία αγωγής γ μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$\gamma = \beta - \alpha \quad (\text{rad}) \quad (6)$$

Στο σχήμα 2.5 παρουσιάζονται διάφορες καμπύλες, από τις οποίες μπορεί να υπολογισθεί η τιμή της γωνίας γ με δεδομένα τις τιμές των α και ϕ του κυκλώματος (σχήμα 2.3).



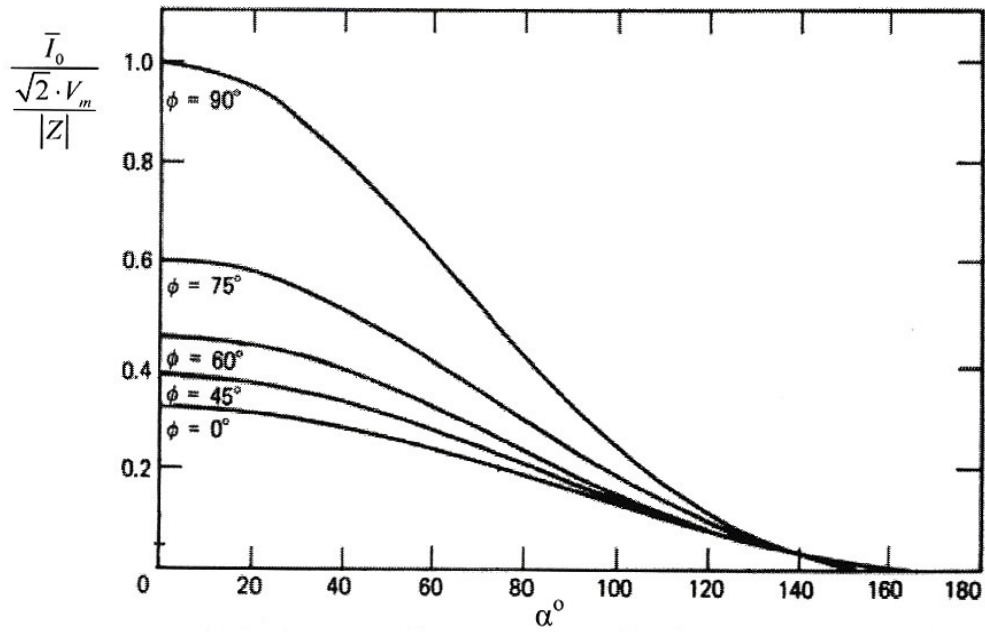
Σχήμα 2.5

Από τη σχέση (4) η μέση τιμή του ρεύματος της ανόρθωσης είναι:

$$\bar{I}_0 = \frac{\sqrt{2} V_m}{|z|} \cdot \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\alpha+\gamma} [\eta\mu(\omega t - \phi) - \eta\mu(\alpha - \phi) \cdot e^{(R/L)(\alpha/\omega - t)}] d\omega t \quad (7)$$

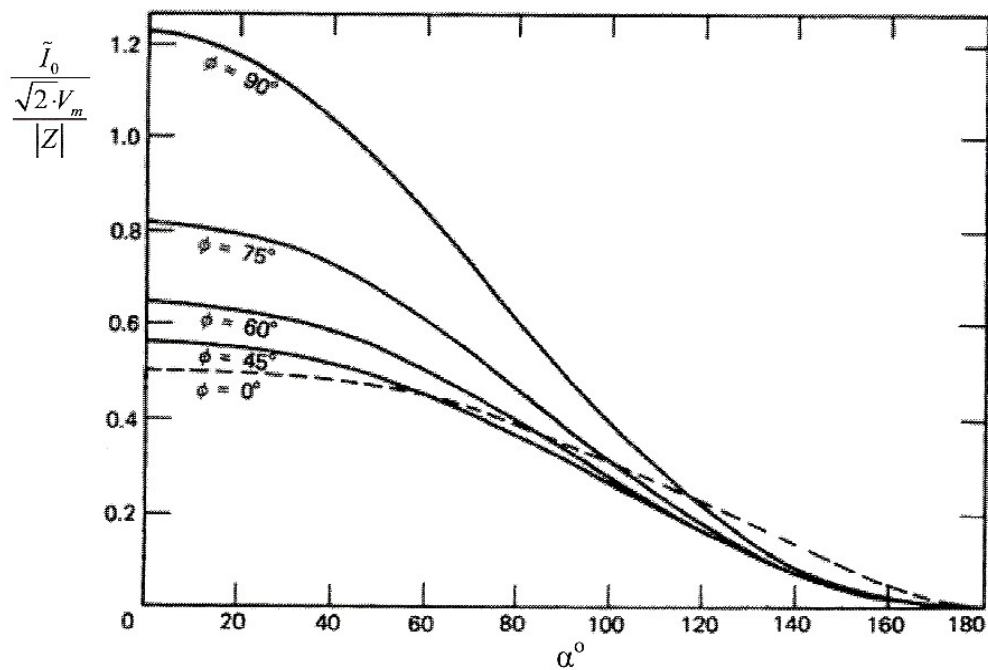
Στο σχήμα 2.6 παρουσιάζονται διάφορες καμπύλες, από τις οποίες μπορεί να υπολογισθεί η τιμή του I_0 με δεδομένα τα α και ϕ του κυκλώματος. Επίσης από τη σχέση (4) η ενεργός τιμή του ρεύματος εξόδου της ανόρθωσης δίνεται από τη σχέση (8):

$$\bar{I}_0 = \left[\frac{1}{2\pi} \cdot \int_{\alpha}^{\alpha+\gamma} \left[\frac{\sqrt{2} V_m}{|z|} [\eta\mu(\omega t - \phi) - \eta\mu(\alpha - \phi) \cdot e^{(R/L)(\alpha/\omega - t)}] \right]^2 d\omega t \right]^{1/2} \quad (8)$$



Σχήμα 2.6

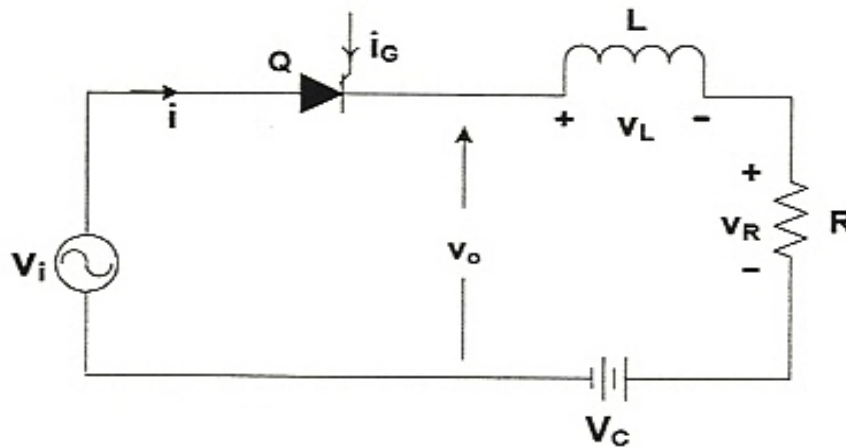
Η ενεργός τιμή του ρεύματος εξόδου της ανόρθωσης I_0 υπολογίζεται από τις παρακάτω καμπύλες (σχήμα 2.7) με δεδομένα τα α και ϕ του κυκλώματος:



Σχήμα 2.7

2.3 Ελεγχόμενη ημιανόρθωση σε ωμικό-επαγωγικό φορτίο και ηλεκτρεγερτική δύναμη

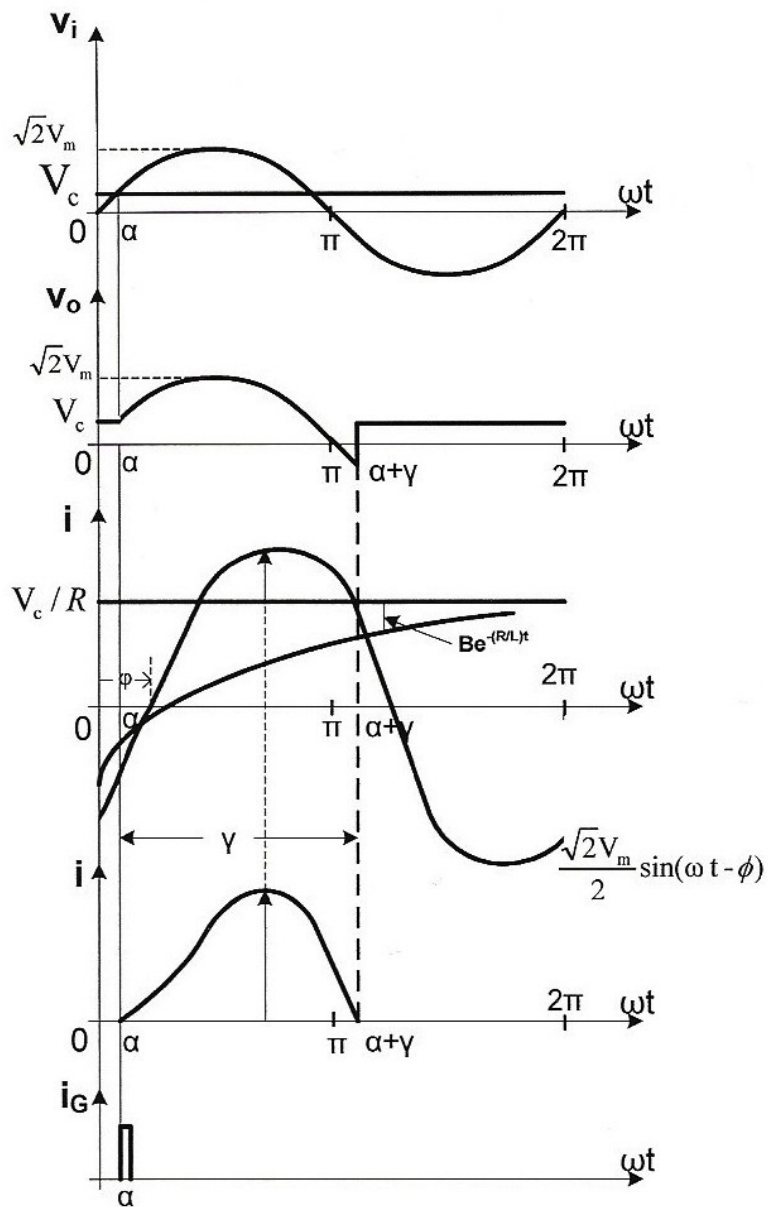
Το κύκλωμα ελεγχόμενης ημιανόρθωσης με R-L φορτίο και ηλεκτρεγερτική δύναμη παρουσιάζεται στο σχήμα 2.8:



Σχήμα 2.8

Για το κύκλωμα του παραπάνω σχήματος πρέπει να δοθεί προσοχή αν η γωνία έναυσης του θυρίστορ α είναι πριν ή μετά τη γωνία κατά την οποία η τάση εισόδου έχει την ίδια τιμή με την τάση V_C .

Εξετάζοντας τις κυματομορφές του κυκλώματος (σχήμα 2.9) αν η γωνία έναυσης α είναι μικρότερη από τη γωνία \underline{n} (γωνία όπου $v = V_C$), τότε το θυρίστορ δεν θα μπορέσει να άγει, διότι τη στιγμή που εφαρμόζεται ο παλμός έναυσης η τάση στα άκρα του θυρίστορ $V_{AK} < 0$ ($V_{AK} = v - V_C$) και επομένως το θυρίστορ είναι αρνητικά πολωμένο. Αν όμως ο παλμός έναυσης εφαρμοσθεί μετά τη γωνία \underline{n} , τότε $V_{AK} > 0$ και επομένως το θυρίστορ είναι σε θέση να μεταβεί σε κατάσταση αγωγής, διότι είναι θετικά πολωμένο.



Σχήμα 2.9

Η γωνία \underline{n} δίνεται από τη σχέση:

$$\underline{n} = \eta \mu^{-1} \left(\frac{V_c}{\sqrt{2} V_m} \right) = \eta \mu^{-1} m \quad \text{σε rad} \quad (1)$$

Επίσης το ρεύμα του κυκλώματος, όταν το θυρίστορ άγει, δίνεται από τη σχέση:

$$i = \frac{\sqrt{2} V_m}{|z|} \left[\eta \mu(\omega t - \varphi) - \left(\frac{m}{\sigma \nu \nu \varphi} - B e^{(\alpha - \omega t) / \varepsilon \varphi \varphi} \right) \right] \quad (2)$$

για $\alpha < \omega t < \alpha + \gamma$ σε rad

$$\text{όπου } B = \frac{m}{\sigma \nu \nu \varphi} - \eta \mu(\alpha - \varphi) \quad (3)$$

Με βάση τις αρχικές συνθήκες του κυκλώματος προκύπτει:

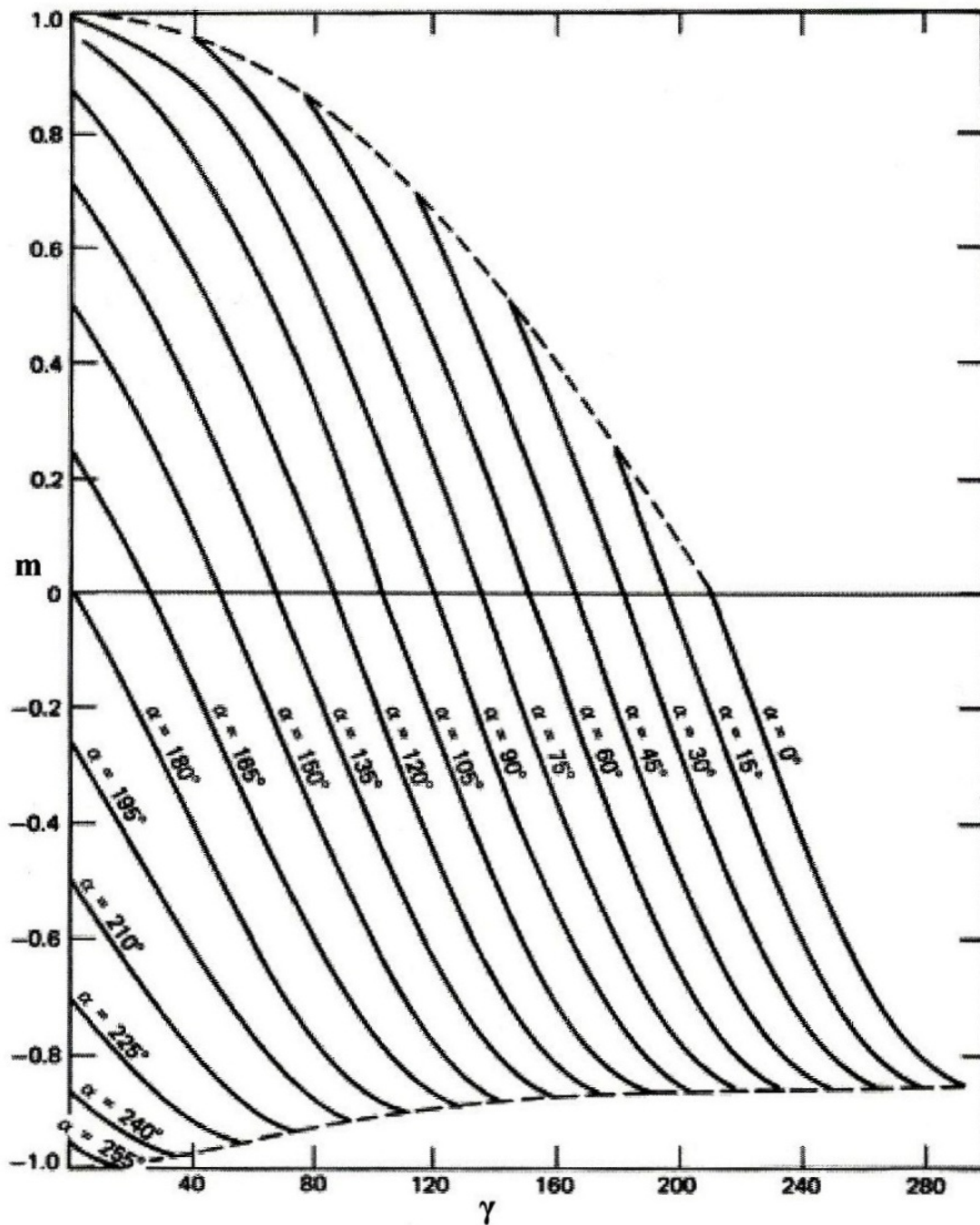
$$\frac{(m / \sigma \nu \nu \varphi) - \eta \mu(\alpha + \gamma - \varphi)}{(m / \sigma \nu \nu \varphi) - \eta \mu(\alpha - \varphi)} = e^{-\gamma / \varepsilon \varphi \varphi} \quad (4)$$

Στο σχήμα 2.10 παρουσιάζονται διάφορες καμπύλες, από τις οποίες μπορεί να υπολογισθεί η τιμή της γωνίας γ για $\varphi = \pi/6$, εφόσον είναι γνωστές οι τιμές των α και m .

Η μέση τιμή του ρεύματος της ημιανόρθωσης δίνεται από τη σχέση:

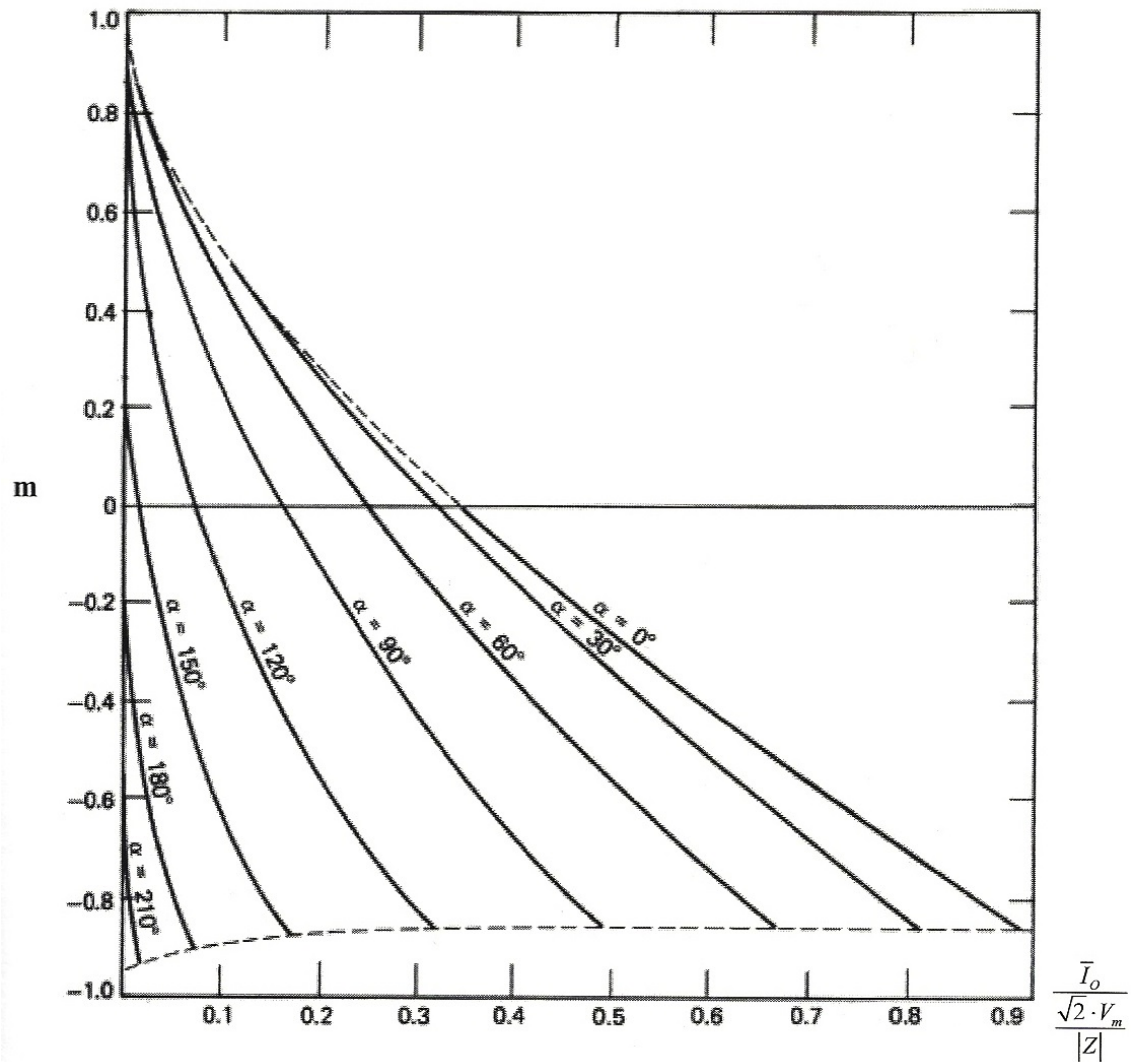
$$I_0 = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\alpha + \gamma} i d\omega t \quad (5)$$

όπου i δίνεται από τη σχέση (2).



Σχήμα 2.10

Στο σχήμα 2.11 παρουσιάζονται διάφορες καμπύλες, από τις οποίες μπορεί να υπολογισθεί η τιμή του I_0 για $\varphi = \pi/6$, εφόσον είναι γνωστές οι τιμές των α και m .

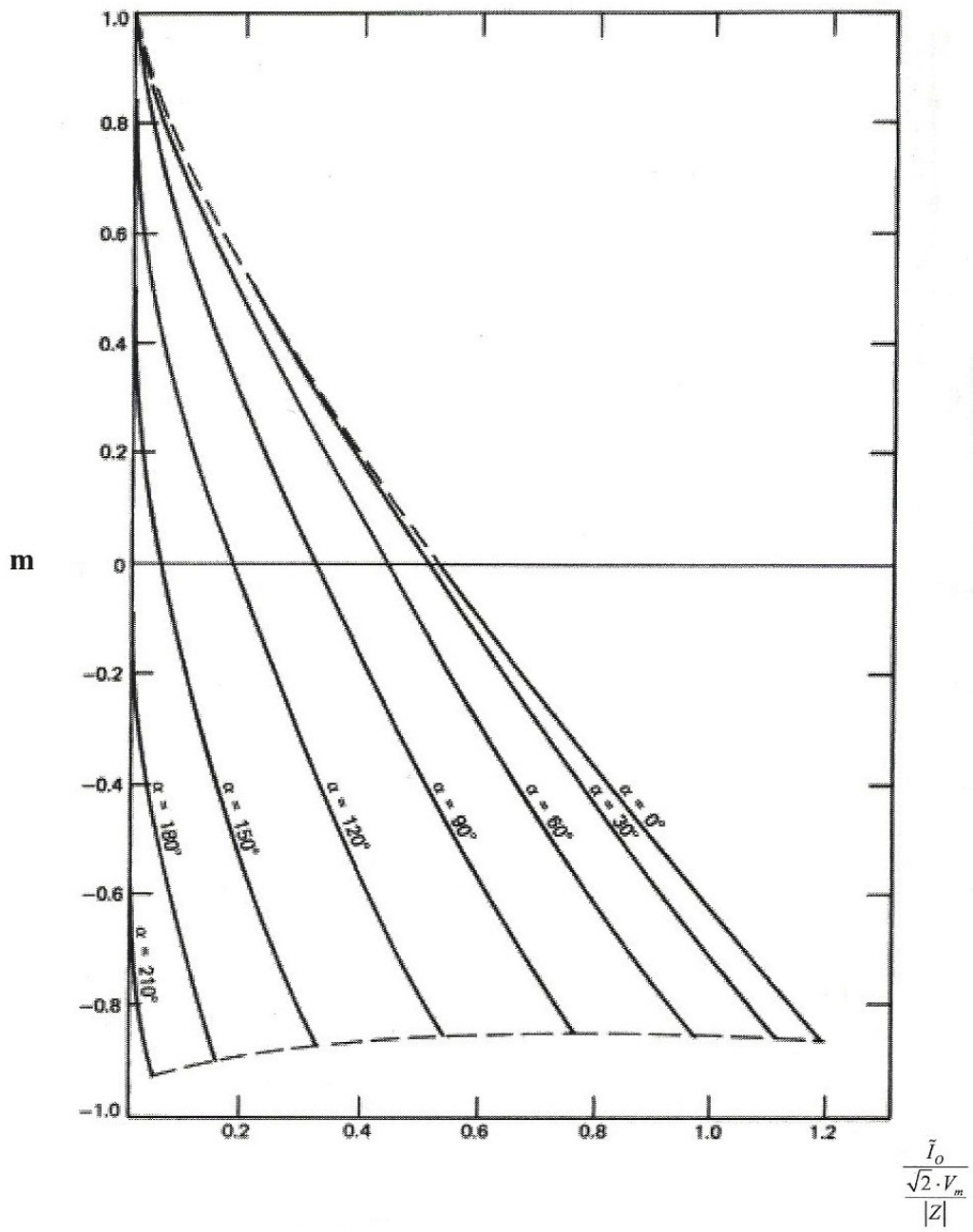


Σχήμα 2.11

Η ενεργός τιμή του ρεύματος της ημιανόρθωσης δίνεται από τη σχέση:

$$\tilde{I}_0 = \left[\frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\alpha+\gamma} i^2 d\omega t \right]^{1/2} \quad (6)$$

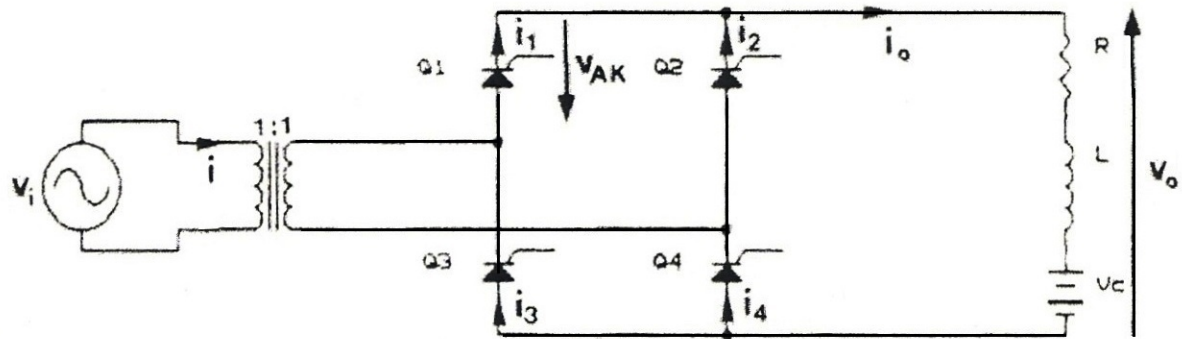
Τέλος, στο σχήμα 2.12 παρουσιάζονται διάφορες καμπύλες, από τις οποίες μπορεί να υπολογισθεί η τιμή του \tilde{I}_0 για $\varphi = \pi/6$, εφόσον είναι γνωστές οι τιμές των α και m .



Σχήμα 2.12

2.4 Ελεγχόμενη μονοφασική γέφυρα

Η σημαντικότερη ελεγχόμενη ανόρθωση μονοφασικού ρεύματος είναι η γέφυρα των τεσσάρων ημιαγωγικών στοιχείων, της οποίας η συνδεσμολογία παρουσιάζεται στο σχήμα 2.13.



Σχήμα 2.13

Το φορτίο της ανόρθωσης αντιπροσωπεύει το μοντέλο ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος, όπου V_C είναι η ηλεκτρεγερτική δύναμη του κινητήρα.

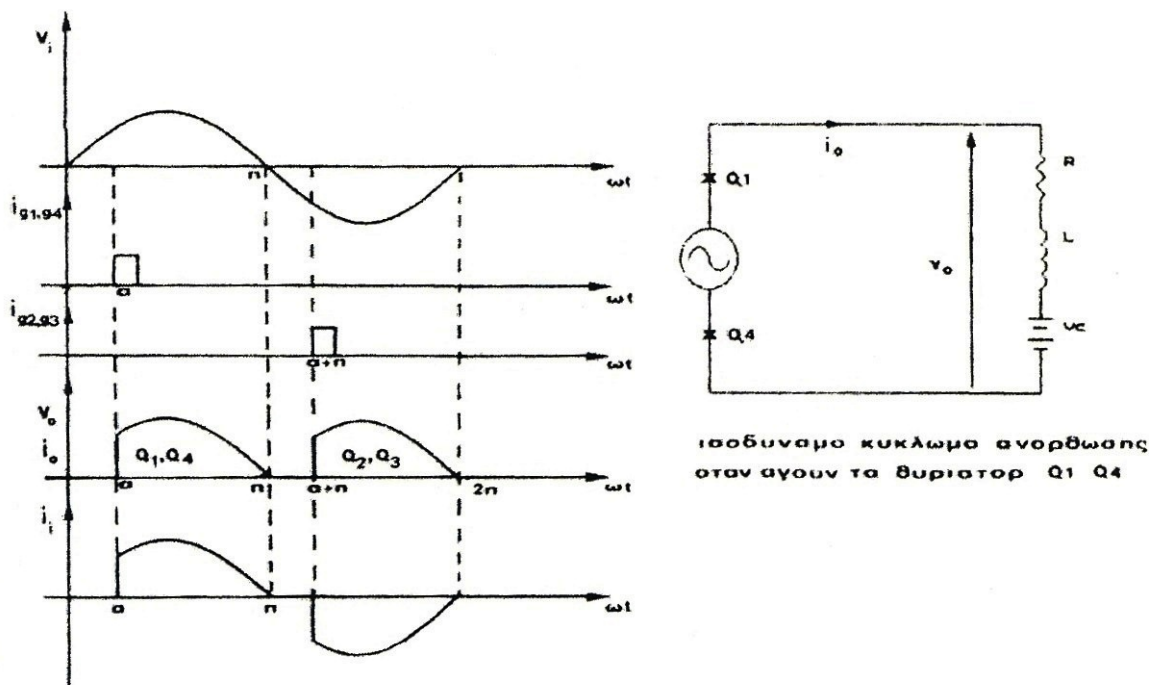
Η λειτουργία της ανόρθωσης έχει ως εξής: Το ζευγάρι των θυρίστορ Q_1, Q_4 αρχίζει να άγει σε κάποια γωνία α της θετικής ημιπεριόδου της τάσης εισόδου και το ζευγάρι των θυρίστορ Q_2, Q_3 αρχίζει να άγει στην αντίστοιχη γωνία α της αρνητικής ημιπεριόδου. Αν οι παλμοί έναυσης εφαρμόζονται στο ζευγάρι των θυρίστορ Q_1, Q_4 σε κάποια γωνία α της θετικής ημιπεριόδου, τότε τα θυρίστορ θα αρχίσουν να άγουν και έτσι το ρεύμα θα κυκλοφορήσει μέσω του φορτίου. Τότε για ωμικό φορτίο, το ρεύμα εξόδου θα είναι V/R . Όταν η τάση εισόδου μηδενισθεί, τότε το ρεύμα των θυρίστορ μηδενίζεται επίσης.

Έτσι επιτυγχάνεται η σβέση (φυσική μετάβαση) των θυρίστορ Q_1 και Q_4 σε κάποια γωνία α της αρνητικής ημιπεριόδου, παλμοί έναυσης εφαρμόζονται στα θυρίστορ Q_2 και Q_3 και έτσι τα θυρίστορ αρχίζουν να άγουν, δημιουργώντας ένα ρεύμα εξόδου V/R . Από την στιγμή αγωγής των θυρίστορ Q_2 και Q_3 , η τάση εισόδου εμφανίζεται στα άκρα των θυρίστορ Q_1 και Q_4 , τα οποία είναι έτσι ανάστροφα πολωμένα.

Τα θυρίστορ Q_2 και Q_3 θα σταματήσουν να άγουν στο τέλος της αρνητικής ημιπεριόδου, όπου και το ρεύμα εξόδου πάει στο μηδέν. Με τη σβέση των θυρίστορ Q_2 και Q_3 τελειώνει

και ο κύκλος λειτουργίας της ανόρθωσης. Ο επόμενος κύκλος θα αρχίσει πάλι με την έναυση των θυρίστωρ Q_1 και Q_4 .

Οι κυματομορφές της ανόρθωσης για ωμικό φορτίο και χωρίς ηλεκτρεγερτική δύναμη V_C φαίνονται παρακάτω (σχήμα 2.14):

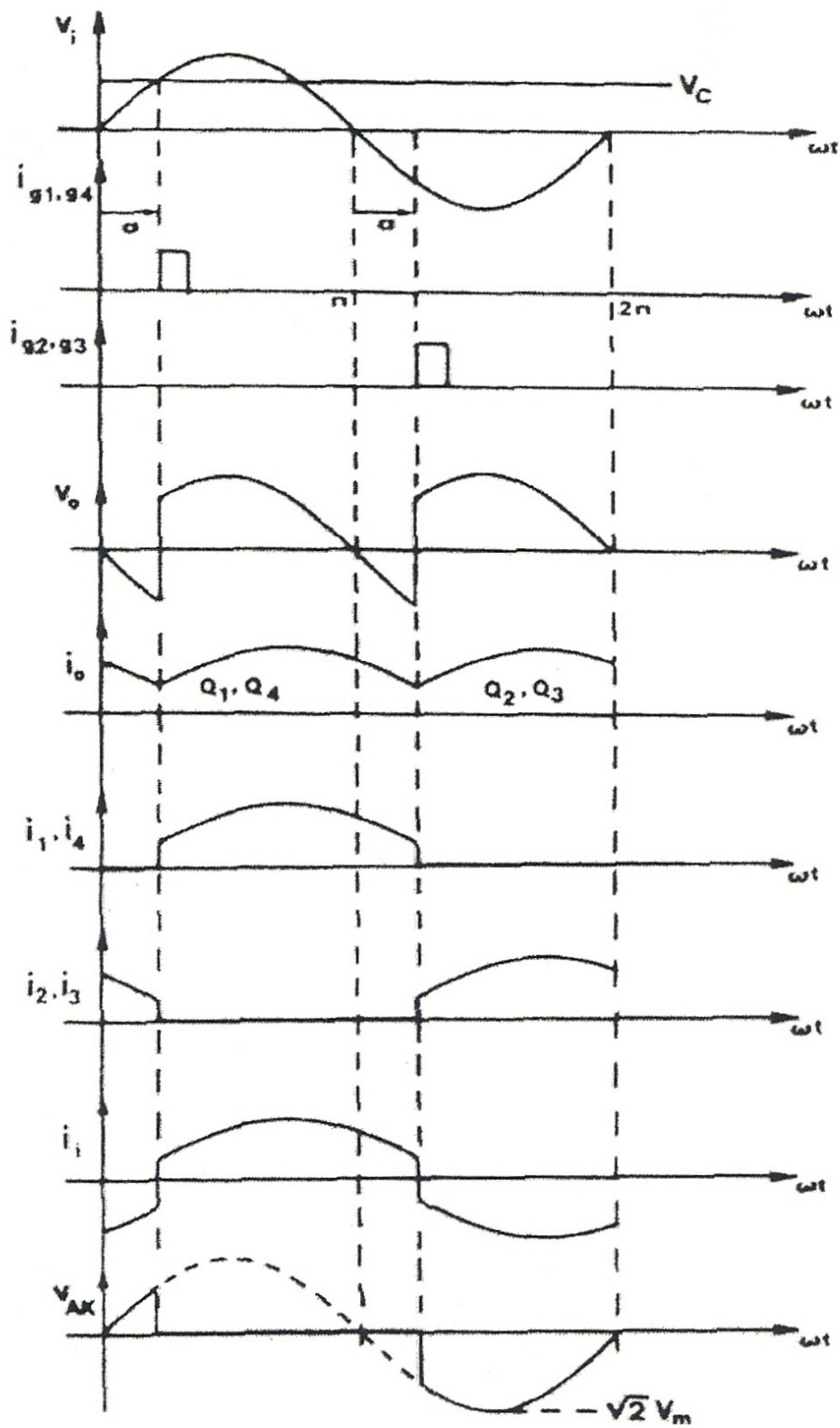


Σχήμα 2.14

Για ωμικό-επαγωγικό φορτίο με αρκετά μεγάλη τιμή αυτεπαγωγής, το ρεύμα εξόδου γίνεται συνεχές και έτσι κάθε διαγώνιο ζευγάρι θυρίστωρ άγει για 180° . Όταν τα θυρίστωρ Q_1 και Q_4 άγουν κατά την διάρκεια της θετικής ημιπεριόδου, τότε ρεύμα αρχίζει να ρέει από την πηγή εισόδου μέσω των θυρίστωρ και του φορτίου μέχρι το τέλος της ημιπεριόδου.

Με την εφαρμογή παλμών έναυσης στα θυρίστωρ Q_2 και Q_3 , κατά την αρνητική ημιπερίοδο, τα θυρίστωρ αυτά μεταβαίνουν σε κατάσταση αγωγής. Έτσι εφαρμόζεται η αρνητική τάση της πηγής εισόδου στα άκρα των θυρίστωρ Q_1 και Q_4 και κατά συνέπεια επιτυγχάνεται η σβέση τους. Ενώ το ρεύμα εισόδου κατά την αρνητική ημιπερίοδο γίνεται αρνητικό, το ρεύμα εξόδου παραμένει θετικό.

Οι κυματομορφές της ανόρθωσης για συνεχές ρεύμα εξόδου παρουσιάζονται στο σχήμα 2.15.



Σχήμα 2.15

Όπως έχει αποδειχθεί στην παράγραφο 2.3, το ρεύμα εξόδου της ανόρθωσης δίνεται από τη σχέση:

$$i_0 = \frac{\sqrt{2} V_m}{|z|} \left[\eta \mu(\omega t - \varphi) - \left(\frac{m}{\sigma \nu \nu \varphi} - \left(\frac{m}{\sigma \nu \nu \varphi} - \eta \mu(\alpha - \varphi) \right) e^{(\alpha - \omega t) / \varepsilon \varphi \varphi} \right) \right]$$

για $\alpha < \omega t < \alpha + \gamma$

Όπου: z = σύνθετη αντίσταση εξόδου της ανόρθωσης

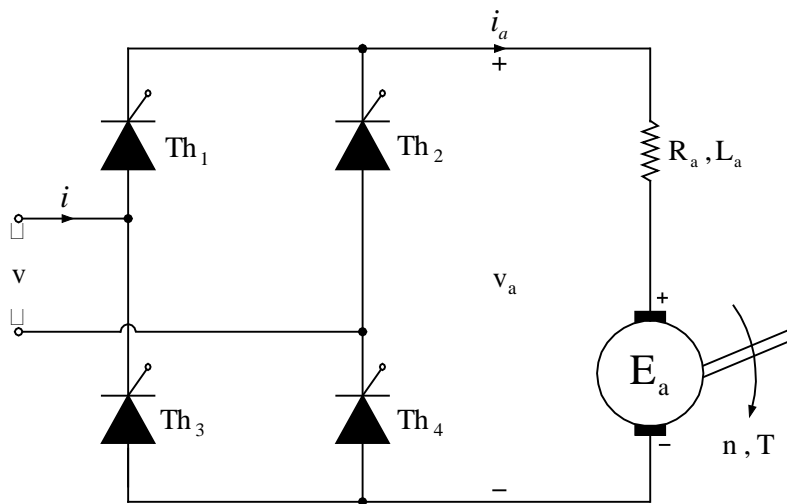
α = γωνία έναυσης των θυρίστορ

$\varphi = \varepsilon \varphi^{-1} (\omega L / R)$

$m = V_C / \sqrt{2} V_m$

2.5 Έλεγχος κινητήρα Σ.Ρ. ξένης διέγερσης μέσω πλήρως ελεγχόμενης μονοφασικής γέφυρας

Ο κινητήρας Σ.Ρ., μέσω πλήρως ελεγχόμενης μονοφασικής γέφυρας, μπορεί να λειτουργεί σε δύο τεταρτημόρια. Το ισοδύναμο κύκλωμα της διάταξης παρουσιάζεται στο σχήμα 2.16.



Σχήμα 2.16

2.5.1. Συνεχής αγωγή

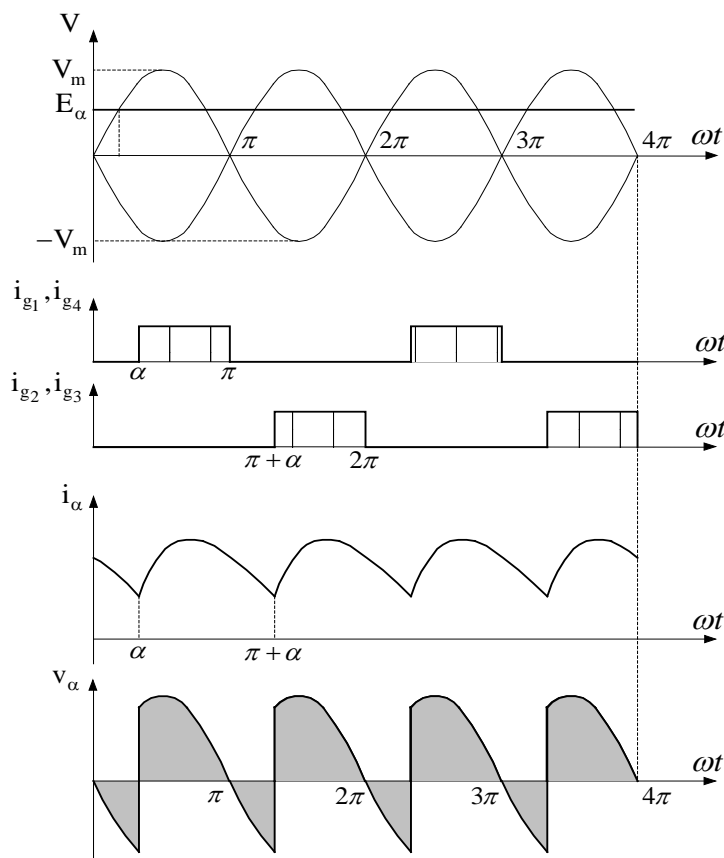
Στην ανάλυση που ακολουθεί, θεωρούμε ότι η αυτεπαγωγή του τυλίγματος τυμπάνου είναι αρκετά μεγάλη, ώστε η αγωγή του αντίστοιχου ρεύματος τυμπάνου να είναι συνεχής.

Όπως θα δείξουμε στη συνέχεια, για τιμές της γωνίας έναυσης στην περιοχή, $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$, έχουμε λειτουργία στο 1° τεταρτημόριο, δηλαδή η γέφυρα λειτουργεί ως ανορθωτής, παρέχοντας την απαραίτητη ισχύ του κινητήρα από το δίκτυο.

Για γωνίες $90^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$, η μηχανή μπορεί να λειτουργεί στο 2° τεταρτημόριο, ως γεννήτρια ή πέδη, με την προϋπόθεση βέβαια ότι ταυτόχρονα αντιστρέφεται και η πολικότητα της Α.Η.Ε.Δ. Στην περίπτωση αυτή, η γέφυρα λειτουργεί ως αντιστροφέας, παρέχοντας ισχύ από τη γεννήτρια (ή πέδη) στο δίκτυο.

Λειτουργία ανορθωτή, $0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$

Στο σχήμα 2.17 παρουσιάζονται οι κυματομορφές τάσης-ρεύματος των διαφόρων συνιστωσών του συστήματος, για τη συγκεκριμένη περιοχή λειτουργίας.



Σχήμα 2.17

Παρατηρούμε ότι, η κυμάτωση της τάσης $v_a(t)$ και του ρεύματος $i_a(t)$, είναι διπλάσια της συχνότητας της τάσης εισόδου. Από την ανάλυση της κυματομορφής $v_a(t)$ σε σειρά Fourier, έχουμε τις εξής εκφράσεις για τους συντελεστές V_{An} , V_{Bn} :

$$V_{An} = \frac{2V_m}{\pi} \left[\frac{\cos(n+1)\alpha}{n+1} - \frac{\cos(n-1)\alpha}{n-1} \right]$$

και

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

όπου $n = \text{άρτιο}$ (και $n > 1$) και V_m η μέγιστη τιμή της εναλλασσόμενης φασικής τάσης του δικτύου.

Η μέση τιμή της τάσης εξόδου της πλήρως ελεγχόμενης μονοφασικής γέφυρας, για τυχαία γωνία έναυσης (σχήμα 2.17), είναι:

$$V_a = \frac{1}{T} \int_0^T v_a(t) dt = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} v_a(t) dt = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} V_m \sin \theta d\theta = \frac{2V_m}{\pi} \cos \alpha$$

Αντίστοιχα, η μέση τιμή του ρεύματος τυμπάνου είναι:

$$I_a = \frac{V_a - E_a}{R_a} = \frac{2V_m}{\pi R_a} - \frac{E_a}{R_a}$$

Η Δ.Ε. του ρεύματος τυμπάνου στο διάστημα αγωγής, $\alpha < \omega t < \pi + \alpha$, είναι:

$$v_a(t) = V_m \sin \omega t = R_a i_a(t) + L_a \frac{di_a(t)}{dt} + e_a(t)$$

Με αρκετά καλή προσέγγιση, μπορούμε να θεωρήσουμε αμελητέα την κυμάτωση των στροφών και κατ' επέκταση της Α.Η.Ε.Δ. $e_a(t)$, οπότε αντί της $e_a(t)$ μπορούμε να θέσουμε τη μέση τιμή αυτής E_a .

Αν υποθέσουμε μερική λύση της Δ.Ε. της μορφής:

$$i_{a,\mu}(t) = A + B \sin \omega t + C \cos \omega t$$

προκύπτει η εξής έκφραση, για το ρεύμα τυμπάνου

$$i_a(t) = D e^{-t/\tau} - \frac{E_a}{R_a} + \frac{V_m}{Z_a} \sin(\omega t - \varphi)$$

όπου

$$\varphi = \tan^{-1} \left[\frac{\omega L_a}{R_a} \right], \quad \tau = \frac{L_a}{R_a} \quad \text{και} \quad Z_a = \sqrt{R_a^2 + (\omega L_a)^2}$$

και D, η σταθερά ολοκλήρωσης της γενικής λύσης της ομογενούς Δ.Ε.

Σύμφωνα με το σχήμα 2.17, έχουμε τις εξής οριακές συνθήκες:

$$-I_{a,\min} = i_a(t = \alpha) = i_a(t = \alpha + \pi)$$

Αντικαθιστώντας τις παραπάνω συνθήκες υπολογίζουμε την τιμή της σταθεράς D:

$$D = \frac{2V_m \sin(\alpha - \varphi)}{Z_a e^{-\alpha/\omega\tau} [e^{-\pi/\omega\tau} - 1]}$$

Με βάση τα παραπάνω, η τελική έκφραση του ρεύματος τυμπάνου είναι:

$$i_a(\omega t) = \frac{V_m}{Z_a} \left[\sin(\omega t - \varphi) - \frac{2 \sin(\alpha - \varphi) e^{-(\omega t - \alpha)/\omega\tau}}{(1 - e^{-\pi/\omega\tau})} \right] - \frac{E_a}{R_a}$$

Η αναλυτική έκφραση των χαρακτηριστικών ροπής-στροφών του κινητήρα, στην περίπτωση της συνεχούς αγωγής, είναι:

$$n = \frac{2\sqrt{2}V_{ms} \cos \alpha}{\pi K_g \Phi_f} - \frac{R_a}{K_m K_g \Phi_f} T$$

όπου V_{rms} = ενεργός τιμή της εναλλασσόμενης τάσης εισόδου

$$\Phi_f = \text{μαγνητική ροή ανά πόλο}$$

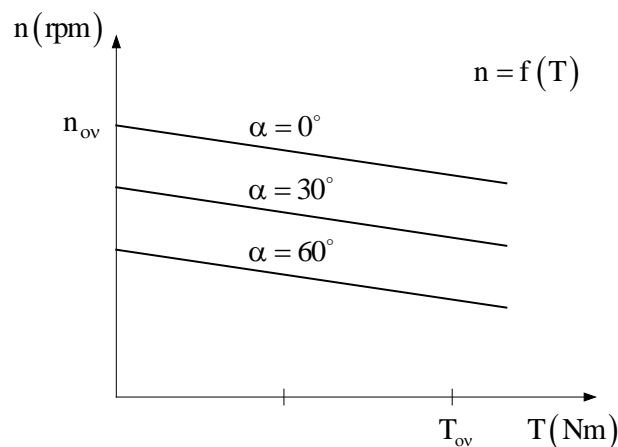
Ο πρώτος όρος παριστά την ταχύτητα όταν δεν υπάρχει φορτίο (ταχύτητα κενού φορτίου). Ο δεύτερος όρος, παριστά τη μείωση των στροφών λόγω του φορτίου. Η θεωρητική ταχύτητα περιστροφής χωρίς φορτίο μεταβάλλεται με τη γωνία έναυσης, ενώ η κλίση για συγκεκριμένο φορτίο παραμένει σταθερή.

Οι αντίστοιχες χαρακτηριστικές ροπής – στροφορμής, $n = f(T)$, παρουσιάζονται στο σχήμα 2.18.

Λειτουργία αντιστροφέα, $90^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$

Για γωνία έναυσης μεγαλύτερη των 90° , η τάση $v_a(t)$ του τυλίγματος τυμπάνου του κινητήρα, γίνεται αρνητική. Εάν ταυτόχρονα αντιστραφεί και η πολικότητα της Α.Η.Ε.Δ. $e_a(t)$, έχουμε λειτουργία αντιστροφέα, δηλαδή η μηχανή λειτουργεί πλέον στο 2° τεταρτημόριο. Υπάρχουν δύο δυνατότητες λειτουργίας της μηχανής:

1. Στην περίπτωση που το μηχανικό φορτίο στον άξονα του κινητήρα είναι παθητικό, έχουμε λειτουργία πέδης (δυναμική πέδηση).
2. Στην περίπτωση που υπάρχει η δυνατότητα συντήρησης της ροπής του άξονα (ενεργητικό μηχανικό φορτίο), τότε έχουμε λειτουργία γεννήτριας, παρέχοντας πλέον μόνιμα ισχύ στο δίκτυο.



Σχήμα 2.18

Εάν τώρα η γωνία έναυσης γίνει μεγαλύτερη των 90° , αλλά δεν αναστραφεί η φορά της $e_a(t)$, τότε το ρεύμα $i_a(t)$ μηδενίζεται και ο κινητήρας είναι σαν να διακόπτεται από το δίκτυο (ελεύθερη πέδηση).

2.5.2. Ασυνεχής αγωγή

Στο σχήμα 2.19, παρουσιάζονται οι κυματομορφές τάσεων-ρευμάτων στην περίπτωση της ασυνεχούς αγωγής.

Στο διάστημα, $\alpha < \omega t < X$, ο κινητήρας συνδέεται με το δίκτυο εναλλασσόμενου ρεύματος μέσω των θυρίστωρ T_1 και T_4 . Τη χρονική στιγμή, $\omega t = X$, το ρεύμα τυμπάνου μηδενίζεται, οπότε έχουμε τη σβέση των προαναφερθέντων θυρίστωρ. Μέχρι τον επόμενο παλμό έναυσης (T_2, T_3), δηλαδή στο διάστημα, $X < \omega t < \pi + \alpha$, το ρεύμα τυμπάνου εξακολουθεί να είναι μηδενικό.

Επομένως, στο διάστημα αυτό ο κινητήρας "επιπλέει", δηλαδή η μηχανική ενέργεια του φορτίου καλύπτεται από την κινητική ενέργεια των στρεφομένων μαζών. Επιπλέον δε για, $X < \omega t < \pi + \alpha$, είναι $v_a(t) = e_a(t) = E_a$.

Για μεγάλες ταχύτητες και μικρά φορτία, είναι δυνατόν να έχουμε διακοπή του ρεύματος πριν ακόμα η τάση του δικτύου περάσει στα αρνητικά, δηλαδή για $\omega t < \pi$.

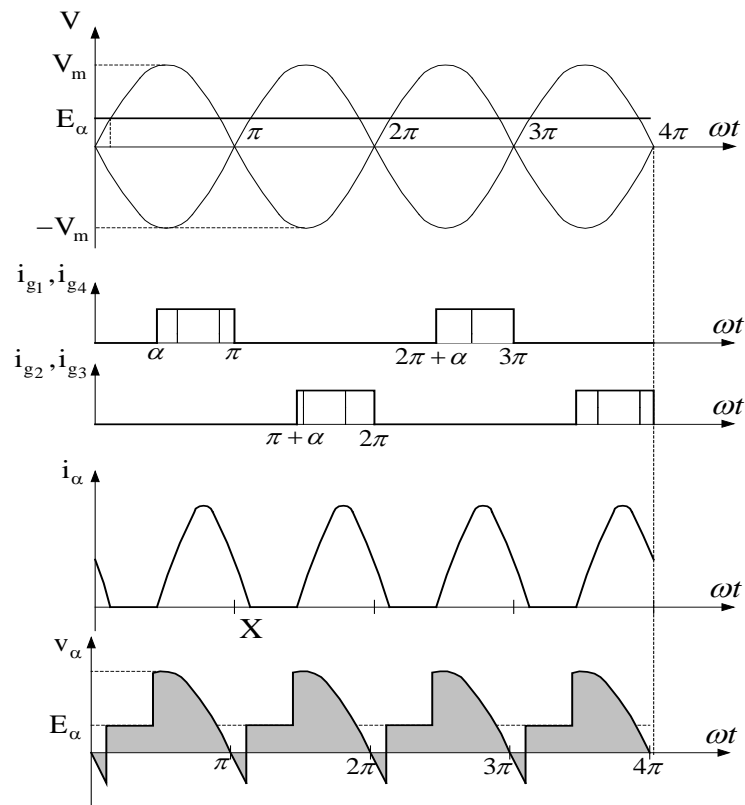
Η μέση τιμή της τάσης του τυλίγματος τυμπάνου είναι:

$$V_a = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} v_a(\omega t) \cdot d\omega t = \frac{1}{\pi} \left[\int_{\alpha}^X V_m \sin \omega t \cdot d\omega t + \int_X^{\pi+\alpha} E_a \cdot d\omega t \right] \rightarrow$$

$$V_a = \frac{V_m}{\pi} (\cos \alpha - \cos X) + \frac{E_a}{\pi} (\pi + \alpha - X)$$

Αντίστοιχα, η μέση τιμή του ρεύματος τυμπάνου είναι:

$$I_a = \frac{V_a - E_a}{R_a} = \frac{V_m}{\pi R_a} (\cos \alpha - \cos X) + \frac{E_a}{\pi R_a} (\alpha - X)$$



Σχήμα 2.19

Η Δ.Ε. του ρεύματος τυμπάνου στο διάστημα αγωγής, $\alpha < \omega t < X$, είναι η ίδια με εκείνη της συνεχούς αγωγής. Η μόνη διαφορά είναι στις οριακές τιμές, όπου τώρα

$$\text{για } \omega t = \alpha \text{ και } \omega t = X, \text{ είναι } i_a = 0 = I_{\min}.$$

Υπολογίζουμε την τιμή της σταθεράς D:

$$D = \left[\frac{E_a}{R_a} - \frac{V_m}{Z_a} \sin(\alpha - \varphi) \right] e^{\alpha/\omega\tau}$$

Επομένως μετά τον υπολογισμό της τιμής της σταθεράς ολοκλήρωσης, η γενική έκφραση του ρεύματος τυμπάνου είναι:

$$i_a(\omega t) = \frac{V_m}{Z_a} \left[\sin(\omega t - \varphi) - \sin(\alpha - \varphi)e \right] - \frac{E_a}{R_a} \left(1 - e^{-(\omega t - \alpha)/\omega\tau} \right)$$

Από την παραπάνω εξίσωση βρίσκεται η γωνία "X" μηδενισμού του ρεύματος, αν θέσουμε $i_a(\omega t = X) = 0$. Η προκύπτουσα εξίσωση είναι υπερβατική και λύνεται με επαναληπτικές μεθόδους.

Εάν θέσουμε, $\omega t = X = \pi + \alpha$, η προκύπτουσα σχέση αποτελεί το κριτήριο για την ελάχιστη απαιτούμενη "κρίσιμη" τιμή της αυτεπαγωγής του τυλίγματος τυμπάνου, για την οποία, κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες φόρτισης (V_m, E_a, α), έχουμε συνεχή αγωγή. Θα πρέπει λοιπόν:

$$\cos \varphi \cdot \sin(\alpha - \varphi) \frac{(e^{-\pi/\omega\tau} + 1)}{(e^{-\pi/\omega\tau} - 1)} \geq \frac{E_a}{V_m}$$

όπου $\varphi = \tan^{-1} \left[\frac{\omega L_a}{R_a} \right]$ και $\tau = \frac{L_a}{R_a}$

Για τη χαρακτηριστική ροπής-στροφών στην περίπτωση της ασυνεχούς αγωγής, έχουμε τη σχέση:

$$n = \frac{V_m}{\pi K_m \Phi_f} (\cos \alpha - \cos X) + \frac{E_a}{\pi K_g \Phi_f} (\pi + \alpha - X) - \frac{R_a T}{K_g K_m \Phi_f}$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3°

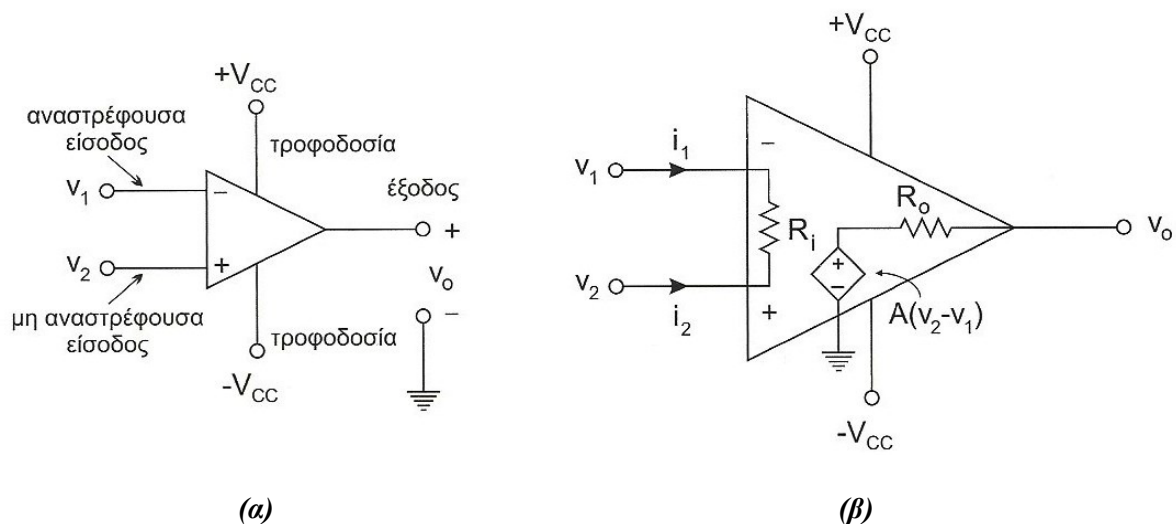
Ο Τελεστικός Ενισχυτής

3.1 Γενικά

Ο τελεστικός ενισχυτής ή Op-Amp (Operational Amplifier) είναι ένας ενισχυτής ευθείας σύζευξης και μεγάλης απολαβής που χρησιμοποιείται σε μια μεγάλη ποικιλία λειτουργιών. Συχνά ονομάζεται και βασικό γραμμικό (ή ακριβέστερα αναλογικό) ολοκληρωμένο κύκλωμα (IC) και πολλοί κατασκευαστές συσκευάζουν μία μέχρι τέσσερις ίδιες μονάδες πάνω σε ένα τσιπ. Αν και πολλοί Op-Amp αποτελούν τους διαδοχικούς ενός διαφορικού ζευγαριού, δηλαδή την βαθμίδα κοινού εκπομπού (πηγής) και ακόλουθου εκπομπού (πηγής), χρησιμοποιείται πολύ σαν ενισχυτής μιας βαθμίδας.

Ο τελεστικός ενισχυτής άνοιξε τον δρόμο για την κατασκευή των ηλεκτρονικών αναλογικών υπολογιστών. Ο τελεστικός ενισχυτής σαν αυτόνομη ηλεκτρονική βαθμίδα πρέπει να εμποδίζει την διέλευση ρεύματος, περιορίζοντας έτσι στο ελάχιστο την αλληλεπίδραση των βαθμίδων ανάμεσα τους, και πρέπει ταυτόχρονα να ενισχύει σημαντικά την τάση εισόδου.

Στο σχήμα 3.1 παρατηρούμε: (α) το σύμβολο του τελεστικού ενισχυτή, (β) το ισοδύναμο κύκλωμα του.



Σχήμα 3.1

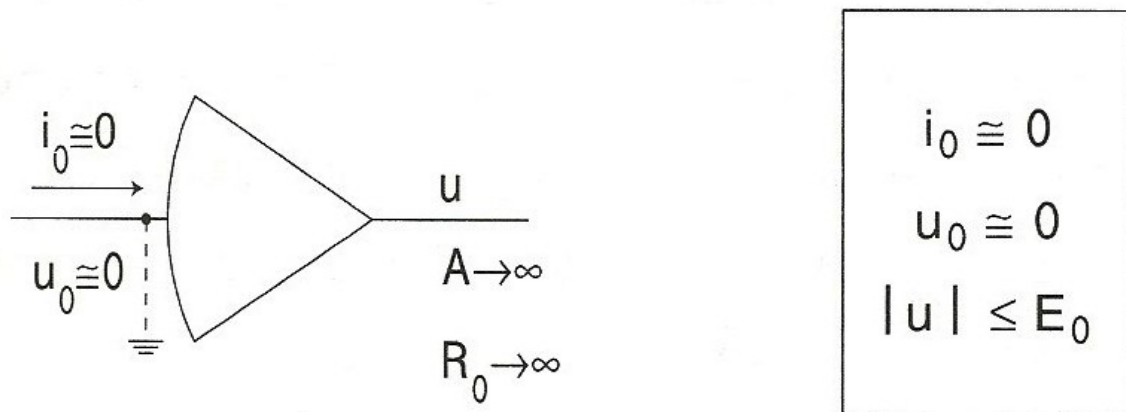
Η τάση εξόδου V_O είναι το ενισχυμένο σήμα διαφοράς $V=V_2 -V_1$. Τα σύμβολα $-$ και $+$ στην είσοδο Op-Amp αναφέρονται στους ακροδέκτες της αναστρέφουσας και μη αναστρέφουσας εισόδου. Δηλαδή, αν $V_2=0$, η V_O έχει διαφορά φάσης 180° (αναστρέφουσα) σε σχέση με το σήμα εισόδου V_1 . Παρόμοια, όταν $V_1=0$, η έξοδος V_O και η είσοδος V_2 έχουν την ίδια φάση (μη αναστρέφουσα).

3.2 Ο ιδανικός τελεστικός ενισχυτής

Οι απαιτήσεις που θέτουμε για έναν ιδανικό τελεστικό ενισχυτή είναι οι εξής:

1. Πρέπει να έχει σχεδόν άπειρη αντίσταση εισόδου R_0 , έτσι ώστε η ένταση εισόδου του να είναι πρακτικά μηδέν: $R_0 \rightarrow \infty$ άρα $i_0 \approx 0$
2. Πρέπει να έχει πολύ μεγάλη ενίσχυση A , έτσι ώστε η τάση εισόδου u_0 να είναι πρακτικά αμελητέα σε σχέση με την τάση εξόδου u :
 $A \rightarrow \infty$ άρα $u_0 \approx 0$
3. Σαν συνέπεια της δεύτερης ιδιότητας, απαιτείται η τάση εξόδου u να υπόκειται σε έναν περιορισμό, η απόλυτη τιμή της δηλαδή να μην ξεπερνά ένα ανώτατο όριο E_0 , που ονομάζουμε "τάση κόρου": $|u| \leq E_0$

Ένας τέτοιος ιδανικός τελεστικός ενισχυτής συμβολίζεται με ένα δίπολο, όπως το σχήμα 3.2.



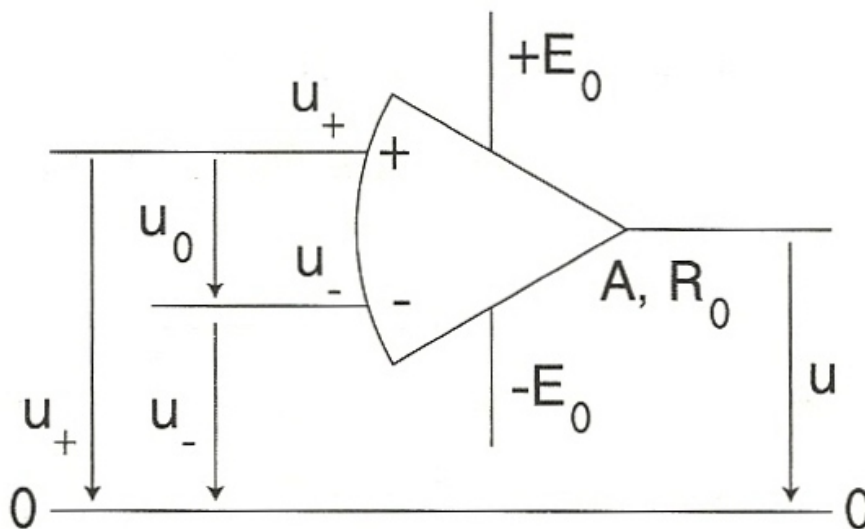
Σχήμα 3.2

Οι τάσεις εισόδου - εξόδου θεωρούνται ως προς τη γη. Η είσοδος του ενισχυτή, με δυναμικό περίπου ίσο με το μηδέν, θεωρείται κατά προσέγγιση σαν "υποθετική γη" (virtual earth).

Ο τελεστικός αυτός ενισχυτής, σε διάκριση με τα κλειστά κυκλώματα τελεστικών ενισχυτών ονομάζεται "ανοιχτός τελεστικός ενισχυτής" (open loop op-amp). Ο ανοιχτός αυτός τελεστικός ενισχυτής από μόνος του δεν αποτελεί μια αναλογική βαθμίδα του αναλογικού υπολογιστή. Αποτελεί όμως τη βάση για την κατασκευή των βασικών αναλογικών βαθμίδων, που συγκροτούνται αποκλειστικά από τελεστικούς ενισχυτές και παθητικά στοιχεία.

3.3 Ο πραγματικός τελεστικός ενισχυτής

Ένας πραγματικός τελεστικός ενισχυτής έχει πεπερασμένη και όχι άπειρη αντίσταση εισόδου R_0 και ενίσχυση A . Το πραγματικό κύκλωμα ενός τελεστικού ενισχυτή είναι ένα τετράπολο (ή ορθότερα ένα πεντάπολο με τρεις πόλους εισόδου και δύο πόλους εξόδου) και παρουσιάζεται στο σχήμα 3.3.



Σχήμα 3.3

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.

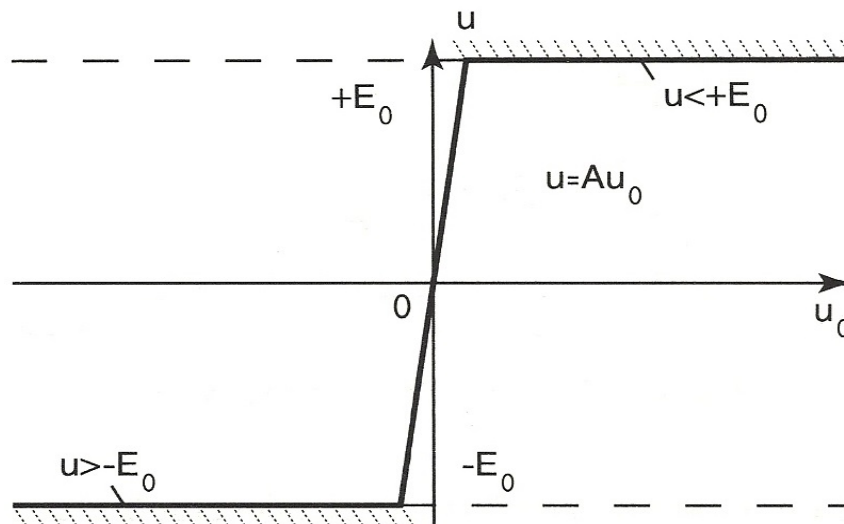
Η τάση τροφοδότησης E_0 καθορίζει κατά προσέγγιση και την τάση κόρου του ενισχυτή, το ανώτατο όριο της εξόδου.

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

$$u = Au_0 = A(u_+ - u_-) \quad (1)$$

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 3.4.



Σχήμα 3.4

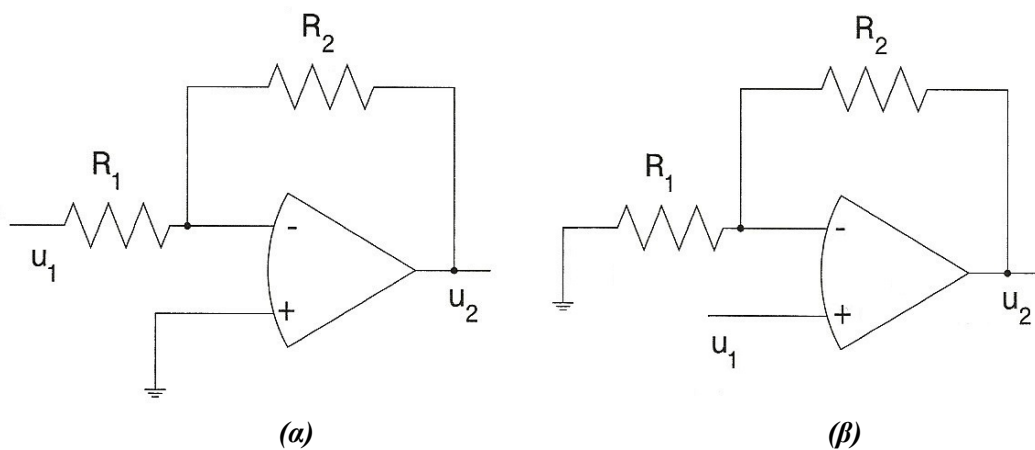
3.4 Λειτουργίες του τελεστικού ενισχυτή

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

3.4.1 Ο τελεστικός ενισχυτής ως ενισχυτής

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

Η συνδεσμολογία του τελεστικού ενισχυτή ως ενισχυτή παρουσιάζεται στο σχήμα 3.5.



Σχήμα 3.5

Για αλλαγή της πολικότητας της τάσης εισόδου στην έξοδο χρησιμοποιούμε το κύκλωμα (α). Συνδέουμε την μη αναστρέφουσα είσοδο (+) με την γη, ενώ την αναστρέφουσα είσοδο (-), μέσω μίας αντίστασης R_1 , με μια τάση εισόδου u_1 . 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 u_2 θα δίνεται από τη σχέση:

$$u_2 = -\frac{R_2}{R_1}u_1$$

Για διατήρηση της πολικότητας της τάσης εισόδου στην έξοδο χρησιμοποιούμε το κύκλωμα (β). Γειώνουμε την αναστρέφουσα είσοδο (-), ενώ τροφοδοτούμε τον τελεστικό ενισχυτή από τη μη αναστρέφουσα είσοδο (+). Το σήμα στην έξοδο ενισχύεται και διατηρεί την πολικότητα εισόδου. Η τάση εξόδου δίνεται από τη σχέση:

$$u_2 = \frac{R_2 + R_1}{R_1} u_1$$

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.

3.4.2 Ο τελεστικός ενισχυτής ως συγκριτής

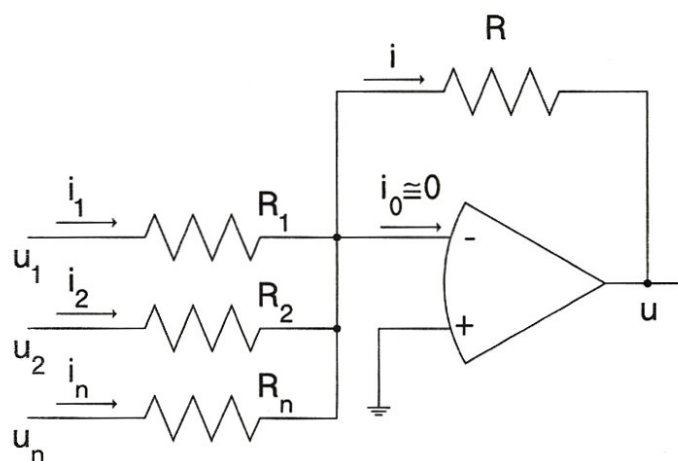
Ο τελεστικός ενισχυτής χρησιμοποιείται επίσης και ως συγκριτής.

Αναλυτικότερα, μπορεί να συγκρίνει δύο σήματα στις δύο εισόδους του και να βγάζει στην έξοδο το εξής σήμα (για τάση τροφοδοσίας του τελεστικού ενισχυτή $\pm 15V$):

1. Δίνει στην έξοδο τάση $+15V$ όταν το σήμα με την μεγαλύτερη τιμή συνδέεται με τη μη αναστρέφουσα είσοδο του τελεστικού ενισχυτή.
2. Δίνει στην έξοδο τάση $-15V$ όταν το σήμα με την μεγαλύτερη τιμή συνδέεται με την αναστρέφουσα είσοδο του τελεστικού ενισχυτή.

3.4.3 Ο τελεστικός ενισχυτής ως αθροιστής

Ο τελεστικός ενισχυτής μπορεί να αθροίζει δύο ή περισσότερα σήματα στις εισόδους του. Χρησιμοποιούμε τη συνδεσμολογία του σχήματος 3.6.



Σχήμα 3.6

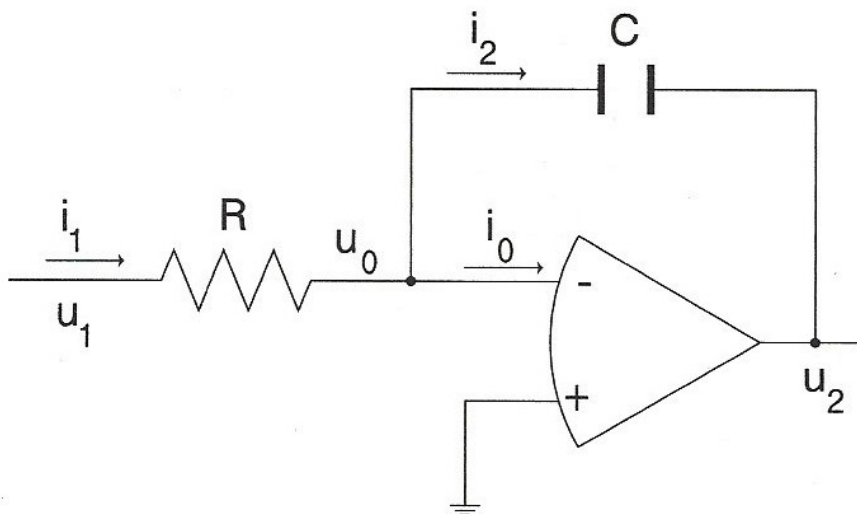
$$u = -\left(\frac{R}{R_1}u_1 + \frac{R}{R_2}u_2 + \dots + \frac{R}{R_n}u_n\right)$$

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

$$u = -(u_1 + u_2 + \dots + u_n)$$

3.4.4 Ο τελεστικός ενισχυτής ως ολοκληρωτής

Ένας τελεστικός ενισχυτής συνδεδεμένος στην αναστρέφουσα είσοδο με αντίσταση και τάση, στην ανάδραση με έναν πυκνωτή και γειωμένη τη μη αναστρέφουσα είσοδο είναι ένας ολοκληρωτής (σχήμα 3.7).

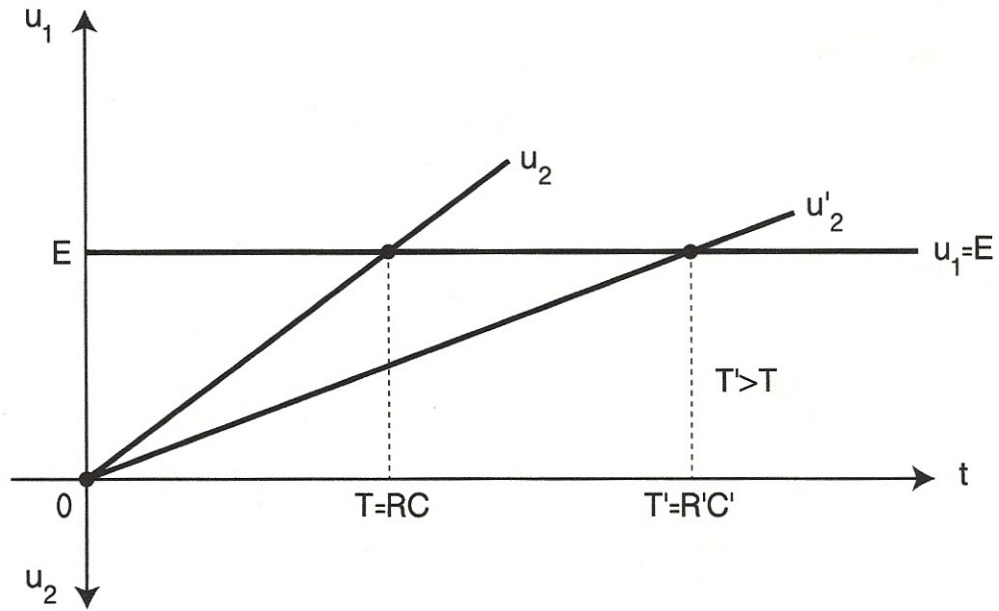


Σχήμα 3.7

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

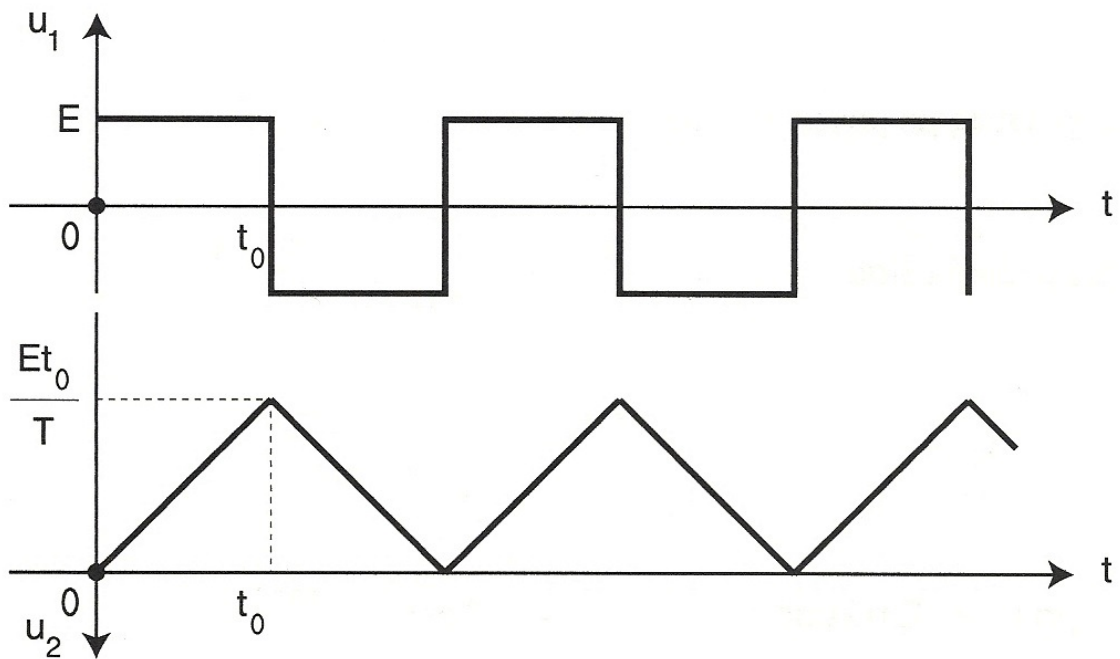
Η σταθερά $T=RC$ ονομάζεται σταθερά χρόνου (time constant) και χαρακτηρίζει την ταχύτητα της ολοκλήρωσης.

Για σταθερή είσοδο $u_1 = E$, η σταθερά χρόνου T εκφράζει το χρόνο που χρειάζεται η έξοδος του ολοκληρωτή για να φτάσει, κατ' απόλυτη τιμή, την τιμή της εισόδου E (σχήμα 3.8).



Σχήμα 3.8

Ο τετραγωνικός παλμός στην είσοδο του ολοκληρωτή παράγει τριγωνικό παλμό στην έξοδο (σχήμα 3.9).

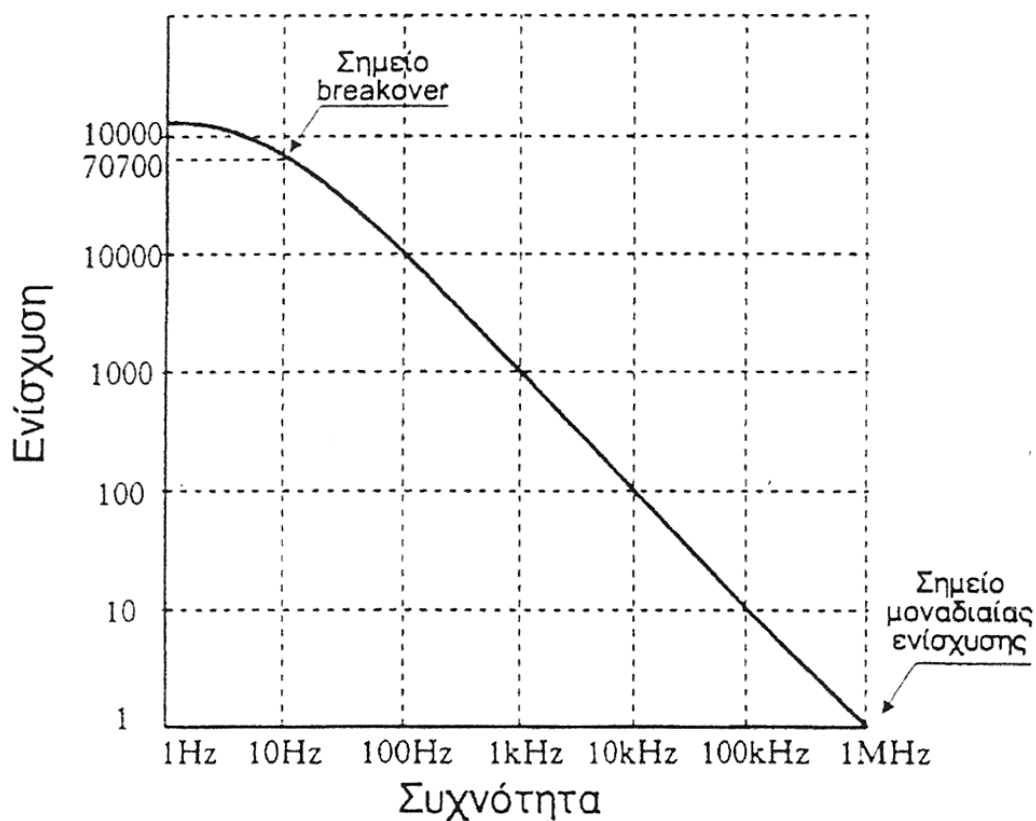


Σχήμα 3.9

3.5 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 3.10.

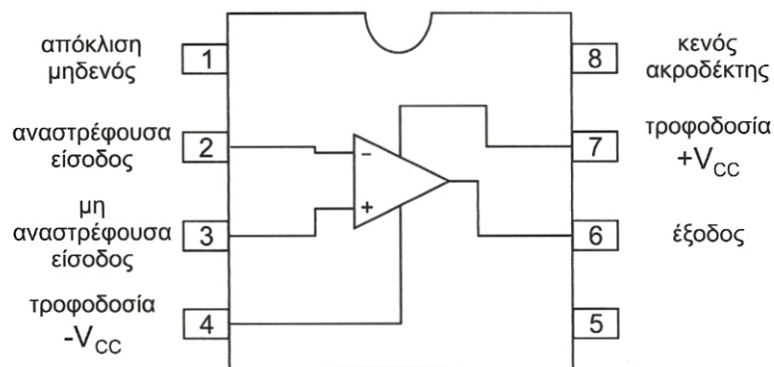


Σχήμα 3.10

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.

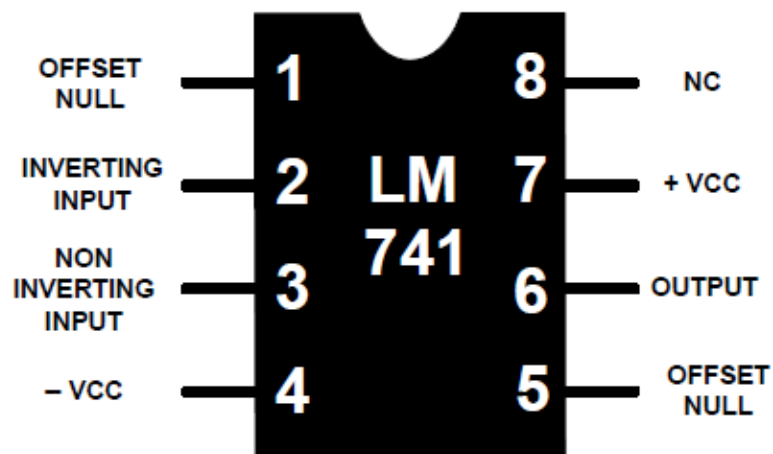
3.6 Ο τελεστικός ενισχυτής LM 741

Η πιο συνηθισμένη μορφή συσκευασίας που συναντάται ένας τελεστικός ενισχυτής, είναι ως ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα οκτώ ακροδεκτών όπως αυτό απεικονίζεται στο σχήμα 3.11. Σύμφωνα με το σχήμα αυτό, η αναστρέφουσα είσοδος συνδέεται στον ακροδέκτη 2, η μη αναστρέφουσα είσοδος στον ακροδέκτη 3, η έξοδος στον ακροδέκτη 6 και οι δύο DC τροφοδοσίες (θετική και αρνητική) στους ακροδέκτες 7 και 4 αντίστοιχα. Οι ακροδέκτες 1 και 5, χρησιμεύουν για τη ρύθμιση και την εξισορρόπηση της λειτουργίας του τελεστικού ενισχυτή και ο ακροδέκτης 8 είναι κενός (μη συνδεδεμένος).



Σχήμα 3.11

Ένας τελεστικός ενισχυτής αυτής της μορφής είναι ο LM 741 (σχήμα 3.12).



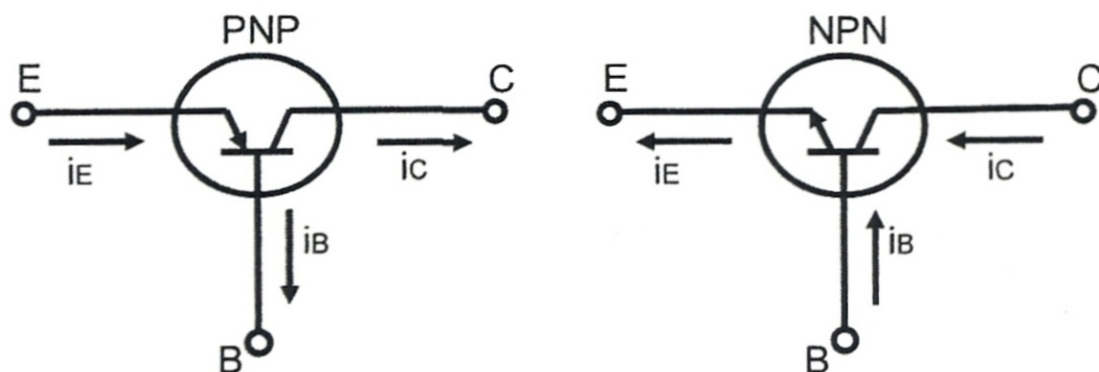
Σχήμα 3.12

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4°

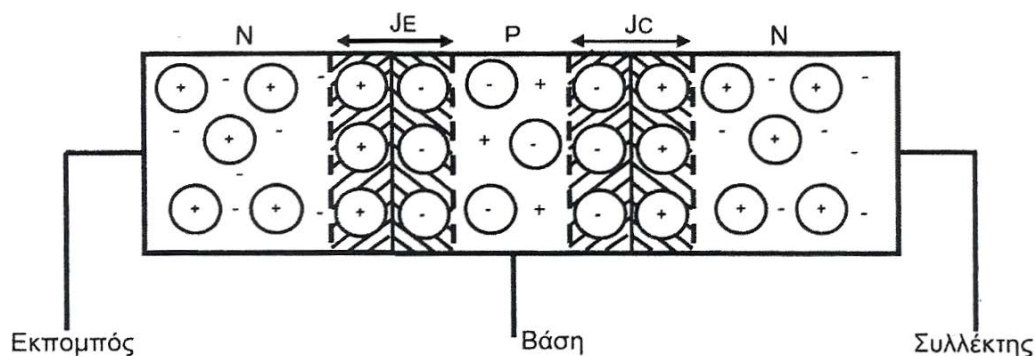
Τρανζίστορ

4.1 Η αρχή λειτουργίας των τρανζίστορ

Το διπολικό τρανζίστορ επαφής είναι μία από τις δύο κυριότερες ημιαγωγικές συσκευές που χρησιμοποιούνται για ενίσχυση και μεταγωγή. Το τρανζίστορ είναι βασικά ένας ημιαγωγός πυριτίου ή γερμανίου. Είναι κάτι ανάλογο με τη δίοδο, αλλά η λειτουργία του και οι επιδόσεις του διαφέρουν. Το τρανζίστορ αποτελείται από τρία στρώματα ημιαγωγού. Το τρανζίστορ τύπου NPN αποτελείται από δύο στρώματα τύπου N που ανάμεσα τους υπάρχει ένα στρώμα τύπου P, ενώ το τρανζίστορ τύπου PNP από δύο στρώματα τύπου P και ανάμεσα τους ένα τύπου N (σχήμα 4.1). Έτσι σε κάθε τρανζίστορ έχουμε δύο επαφές P-N. Το βέλος στον εκπομπό δείχνει τη φορά του ρεύματος (κίνηση θετικών φορτίων) μεταξύ βάσης-εκπομπού.



Σχήμα 4.1



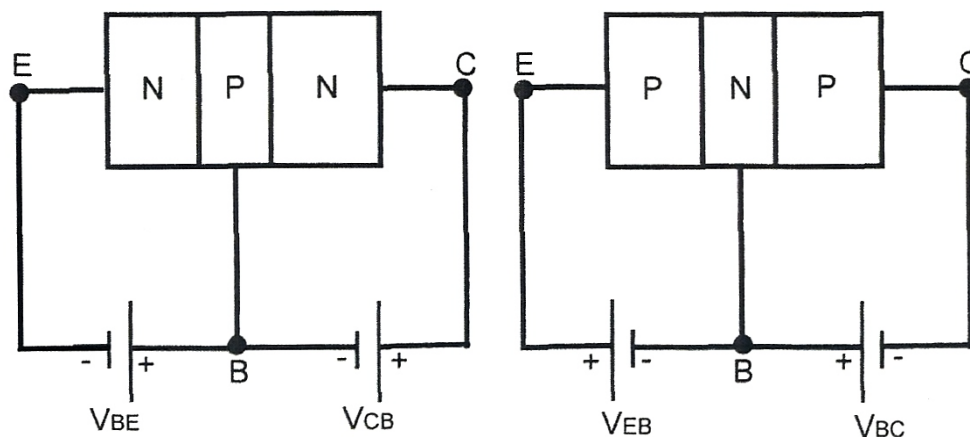
Σχήμα 4.2

Το σχήμα 4.2 δείχνει ένα τρανζίστορ τύπου NPN. Τα τρία στρώματα ονομάζονται εκπομπός (emitter), βάση (base) και συλλέκτης (collector). Η συμπεριφορά των δύο επαφών P-N, δηλαδή της JE (βάσης-εκπομπού) και JC (βάσης-συλλέκτη) είναι η ίδια με εκείνη της διόδου επαφής. Όταν δηλαδή εφαρμοστεί μία ορθής πόλωσης τάση μεταξύ βάσης-εκπομπού, σε τρανζίστορ NPN, τότε θα έχουμε ροή ηλεκτρονίων από τον τύπου N εκπομπό στην τύπου P βάση, ενώ ταυτόχρονα αντίθετη ροή οπών από τη βάση στον εκπομπό.

Αν αναστρέψουμε την πόλωση στην επαφή βάση-συλλέκτης και εφαρμόσουμε ορθή πόλωση στην επαφή βάση-εκπομπός, τότε το νέφος των ηλεκτρονίων που θα κινείται από τον εκπομπό προς τη βάση θα έλκεται και θα επιταχύνεται από τα θετικά ιόντα της επαφής βάσης-συλλέκτη και με αυτόν τον τρόπο θα περάσουν μέσα από το συλλέκτη (σχήμα 4.3).

Έτσι, το κύριο ή πρωτεύον ρεύμα που διαρρέει το τρανζίστορ μεγαλώνει.

Ένα τρανζίστορ, λοιπόν, που λειτουργεί με αυτήν την πόλωση λέμε ότι λειτουργεί στην "ενεργό περιοχή".



Σχήμα 4.3

Το τρανζίστορ είναι συνήθως πολύ μικρό της τάξης των μερικών τετραγωνικών χιλιοστών. Ολόκληρο το τρανζίστορ βρίσκεται μέσα σε ένα πλαστικό ή μεταλλικό προστατευτικό περίβλημα.

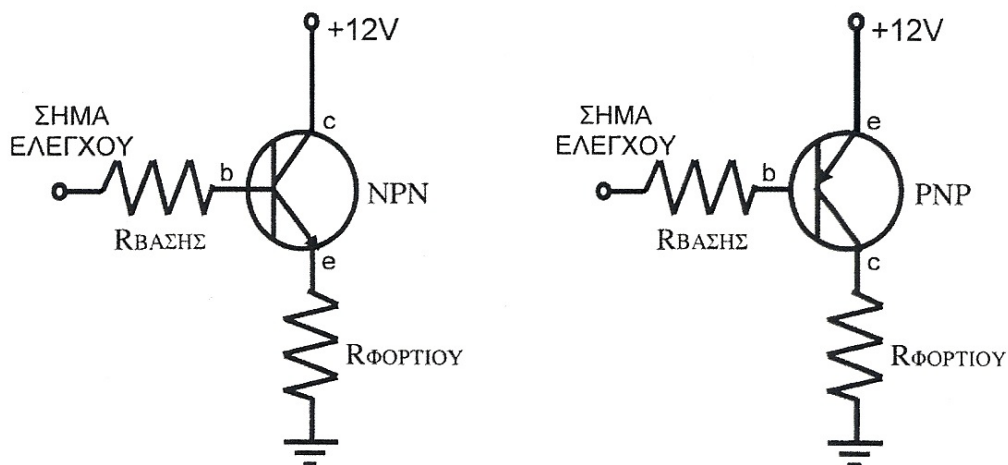
4.2 Το τρανζίστορ σαν ενισχυτής ρεύματος και διακοπτικό στοιχείο

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

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

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

Έστω ότι θέλουμε να ελέγξουμε μία τάση +12V, τα τρανζίστορ NPN και PNP συνδέονται σύμφωνα με το σχήμα 4.4.



Σχήμα 4.4

Για να λειτουργήσει σωστά το τρανζίστορ σαν διακοπτικό στοιχείο θα πρέπει:

1. Για να μην άγει, το δυναμικό μεταξύ εκπομπού-βάσης να είναι μηδέν.
2. Για να άγει, η επαφή εκπομπού-βάσης να είναι ορθά πολωμένη (φορά ρεύματος σύμφωνα με το βελάκι).

Στο σχήμα 4.4 παρατηρούμε τα εξής:

1. Όταν το τρανζίστορ δεν πρέπει να άγει (η βάση δε θα τροφοδοτείται, έχει 0V) τότε το δυναμικό στην επαφή εκπομπού-βάσης θα πρέπει να είναι μηδέν. Αυτό συμβαίνει μόνο στο τρανζίστορ NPN, οπότε το PNP απορρίπτεται.
2. Όταν το τρανζίστορ πρέπει να άγει (η βάση θα τροφοδοτείται με +12V) τότε η επαφή εκπομπού-βάσης είναι ορθά πολωμένη (τρανζίστορ NPN).

Επομένως, θα χρησιμοποιήσουμε το τρανζίστορ NPN.

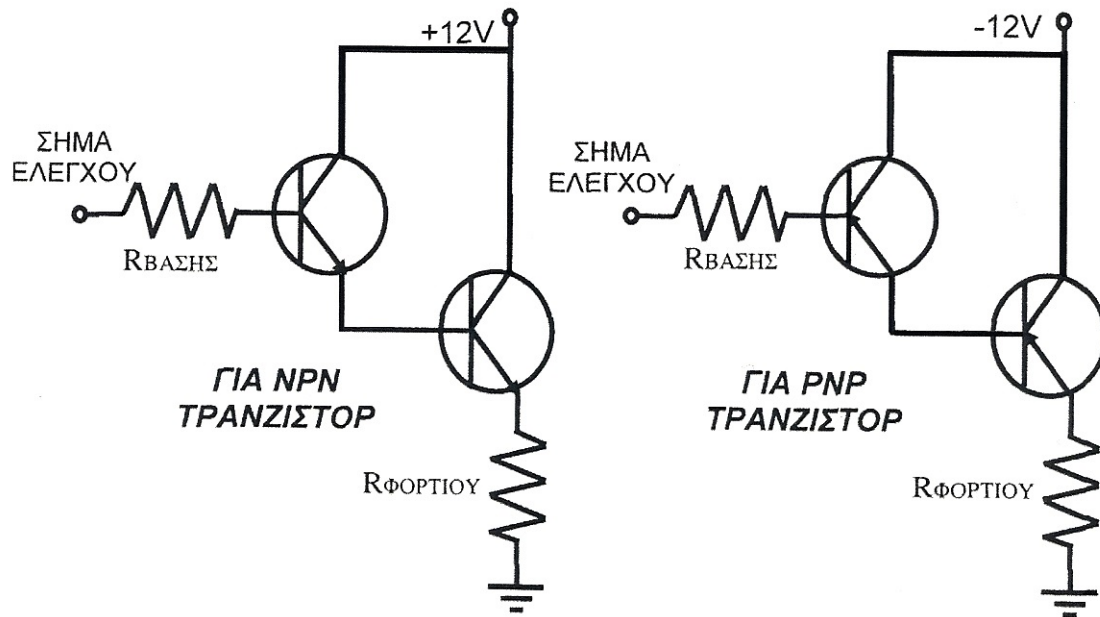
Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι:

1. Η αντίσταση της βάσης είναι απαραίτητη και ο υπολογισμός της γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε το ρεύμα της βάσης να μην ξεπερνά την επιτρεπτή τιμή του εκάστοτε τρανζίστορ.
2. Ανάλογα με το φορτίο που θέλουμε να τροφοδοτήσουμε, επιλέγουμε και το κατάλληλο τρανζίστορ. Αν το φορτίο είναι λίγα mA τότε χρησιμοποιούμε μικρό τρανζίστορ, ενώ αν είναι A τότε χρησιμοποιούμε μεγαλύτερο.

Επίσης, όσο μεγαλύτερο είναι ένα τρανζίστορ τόσο μεγαλύτερο ρεύμα βάσης θα χρειαστεί για να έρθει σε κατάσταση πλήρους αγωγής. Αν η βαθμίδα ελέγχου (π.χ. του τελεστικού ενισχυτή) δε μπορεί να δώσει το ρεύμα που χρειαζόμαστε τότε καταφεύγουμε στη συνδεσμολογία Darlington, που περιγράφεται παρακάτω.

4.3 Συνδεσμολογία Darlington

Όπως αναφέραμε παραπάνω, όταν το ρεύμα βάσης που παρέχει η βαθμίδα ελέγχου δεν είναι ικανό να φέρει το τρανζίστορ σε κατάσταση πλήρους αγωγής τότε θα πρέπει να το ενισχύσουμε χρησιμοποιώντας ένα άλλο τρανζίστορ. Χρησιμοποιούμε, δηλαδή, την συνδεσμολογία Darlington, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.5 για NPN και PNP τρανζίστορ.



Σχήμα 4.5

Από το σχήμα 4.5 παρατηρούμε ότι το πρώτο τρανζίστορ ενισχύει το ρεύμα και ταυτόχρονα τροφοδοτεί τη βάση του δεύτερου τρανζίστορ, το οποίο είναι και μεγαλύτερο. Έτσι, πετυχαίνουμε τον έλεγχο του δεύτερου τρανζίστορ από το αρχικό σήμα ελέγχου.

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

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5°

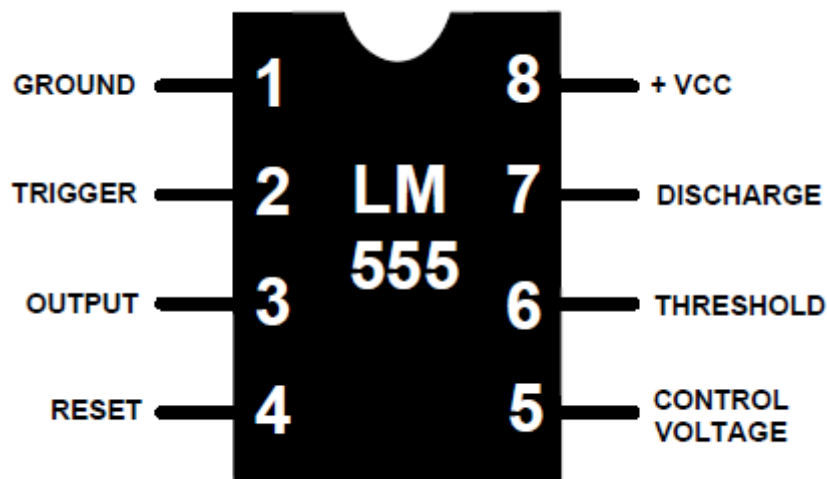
Ο Χρονιστής 555

5.1 Περιγραφή του χρονιστή 555

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

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

Ο χρονιστής 555 έχει οκτώ ακροδέκτες, οι οποίοι φαίνονται στο σχήμα 5.1.



Σχήμα 5.1

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

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

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

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

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

Ο ακροδέκτης 6 (threshold) είναι ο ακροδέκτης κατωφλιού. Ρυθμίζει την τάση ενός εξωτερικού πυκνωτή. Όταν ο χρονιστής 555 διεγερθεί και οδηγηθεί στην κατάσταση HIGH, ο ακροδέκτης 6 παρακολουθεί την τάση του πυκνωτή Vc. Όταν η τάση φτάσει στην

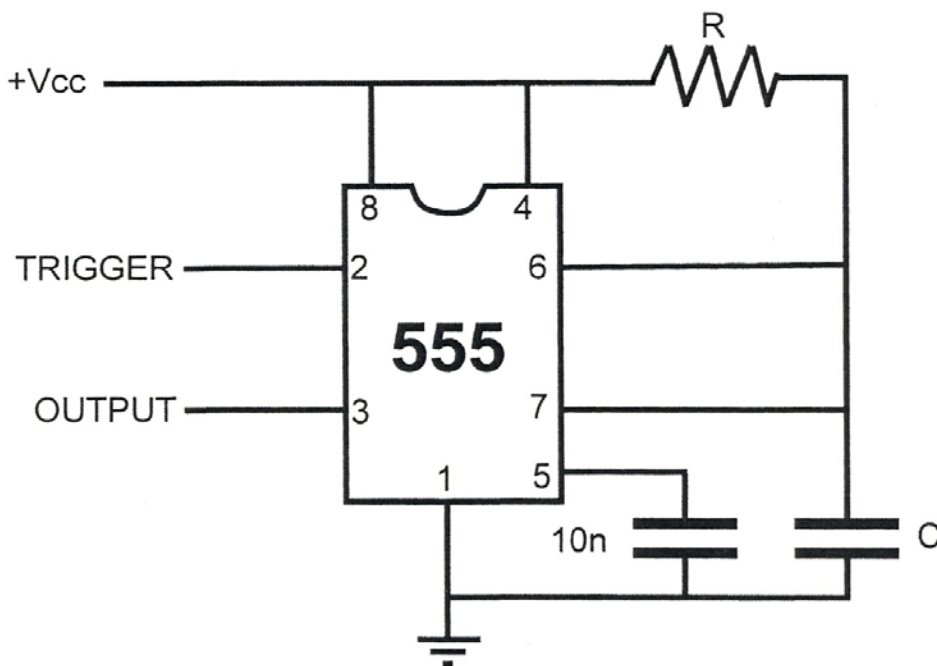
τάση threshold, που είναι τα $\frac{2}{3}$ της V_{cc} , η έξοδος του 555 οδηγείται στην κατάσταση LOW.

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

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

5.2 Ο χρονιστής 555 σαν μονοσταθής πολυδονητής

Η συνδεσμολογία του χρονιστή 555 σαν μονοσταθής πολυδονητής παρουσιάζεται στο σχήμα 5.2.



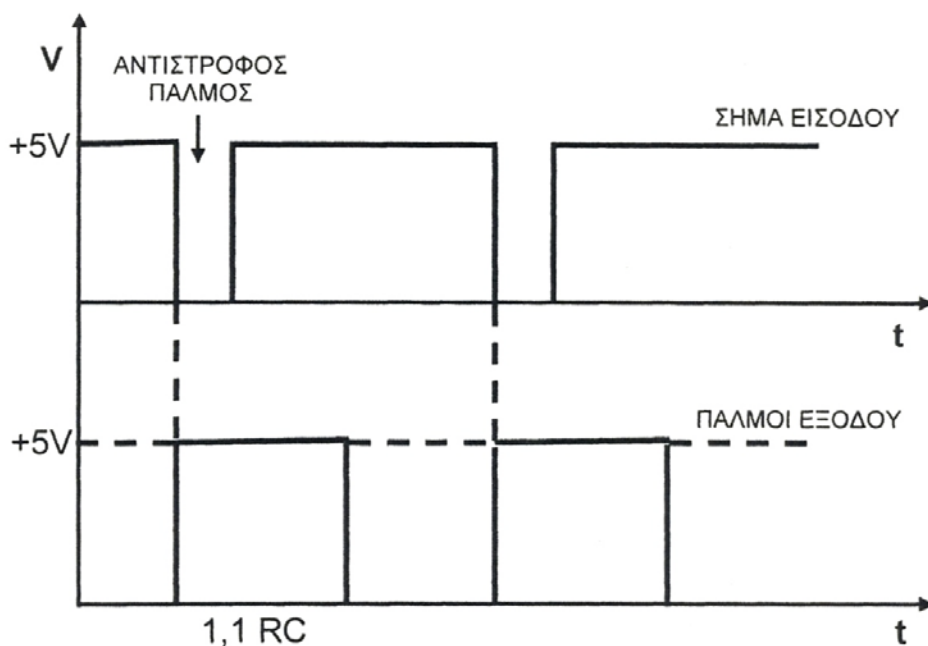
Σχήμα 5.2

Η λειτουργία του είναι η εξής:

Έστω ότι ο ακροδέκτης 2 (trigger) έχει μία θετική τάση +5V οπότε η έξοδος (ακροδέκτης 3) είναι ίση με 0V. Διακόπτουμε την τροφοδοσία του ακροδέκτη 2 στιγμιαία, πατώντας ένα μπουτόν stop, επομένως η έξοδος οδηγείται σε τάση +5V (κατάσταση HIGH). Αφήνουμε το μπουτόν stop, ξαναδίνοντας τροφοδοσία στον ακροδέκτη 2, ενώ η έξοδος παραμένει στα +5V. Μετά από ένα 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 τη σχέση: $T=1,1RC$.

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

Το σήμα εισόδου και εξόδου του χρονιστή 555 σαν μονοσταθής πολυδονητής παρουσιάζονται στο σχήμα 5.3.



Σχήμα 5.3

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6°

Ο Μετασχηματιστής Παλμών

6.1 Γενικά

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

Για ισχείς μεγαλύτερες των 100W, οι μετασχηματιστές παλμών αποδεικνύονται οικονομικότεροι από τους ηλεκτρονικούς και τους δυναμοηλεκτρικούς ενισχυτές.

Επίσης, έχουν τα εξής πλεονεκτήματα:

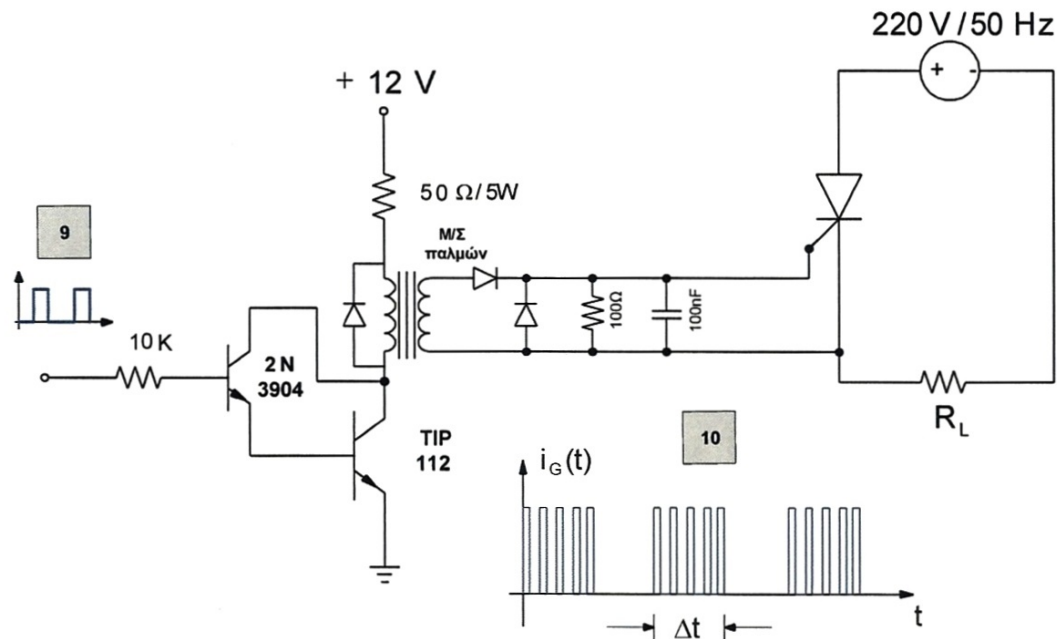
1. Αντέχουν σε ισχυρές μηχανικές δονήσεις και μπορούν, γενικά, να λειτουργήσουν ομαλά υπό δυσμενείς συνθήκες περιβάλλοντος.
2. Δεν έχουν κινούμενα μέρη, τα οποία απαιτούν συντήρηση.
3. Υπάρχει ηλεκτρική μόνωση μεταξύ εισόδου και εξόδου.
4. Δεν έχουν ανάγκη πυρακτώσεων και επομένως είναι έτοιμοι για λειτουργία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

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

6.2 Το κύκλωμα της έκτης βαθμίδας

6.2.1 Περιγραφή του κυκλώματος

Το κύκλωμα της έκτης βαθμίδας παρουσιάζεται στο σχήμα 6.1.

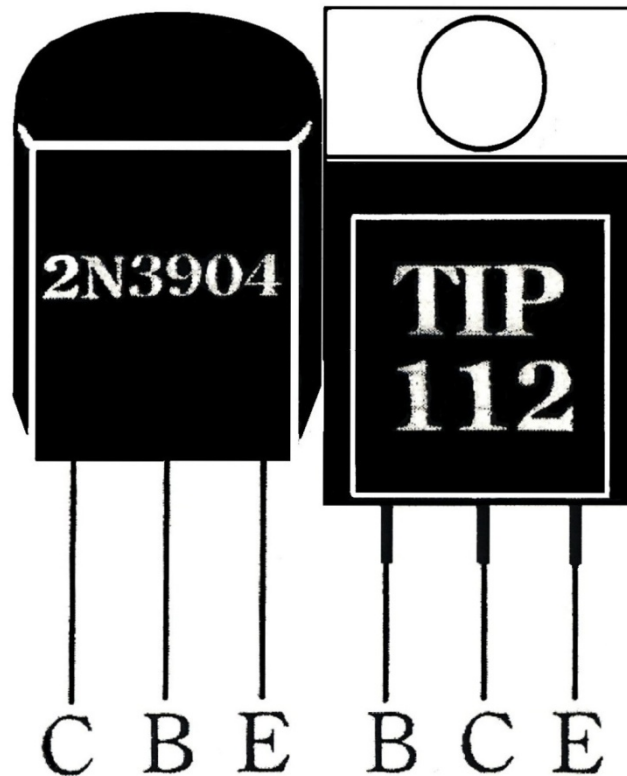


Σχήμα 6.1

Το κύκλωμα αποτελείται από τρία τμήματα:

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

Τα τρανζίστορ που χρησιμοποιούνται είναι το 2N3904 και το TIP112 (σχήμα 6.2). 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.



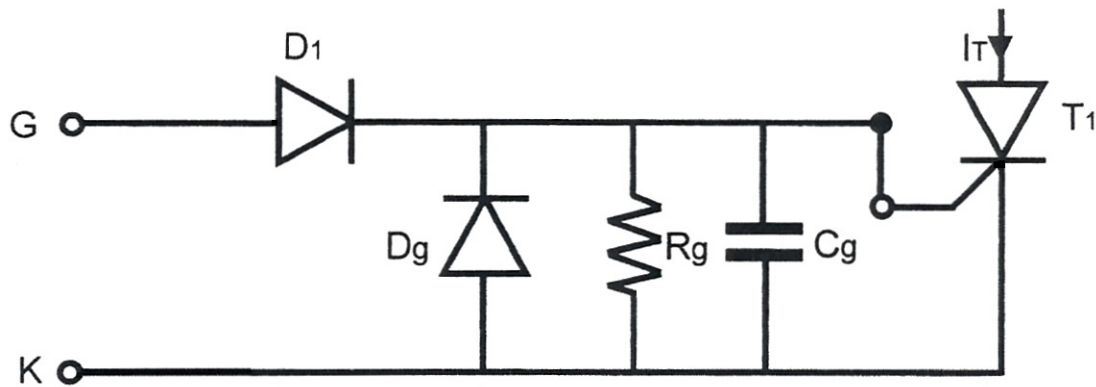
Σχήμα 6.2

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 κύκλωμά μας. Με το 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.

6.2.2 Κύκλωμα προστασίας της πύλης

Το κύκλωμα προστασίας της πύλης παρουσιάζεται στο σχήμα 6.3.



Σχήμα 6.3

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

ΜΕΡΟΣ Β'

ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1°

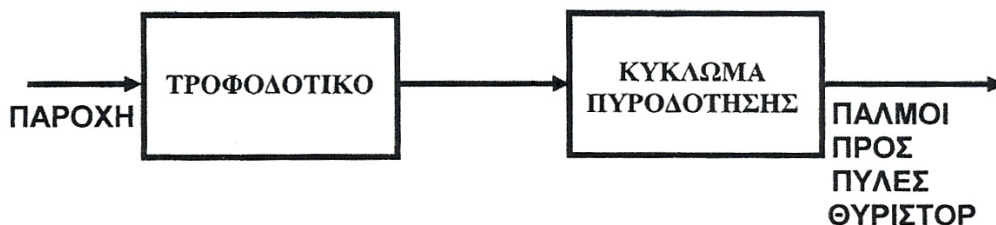
Το κύκλωμα ελέγχου

1.1 Γενικά

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

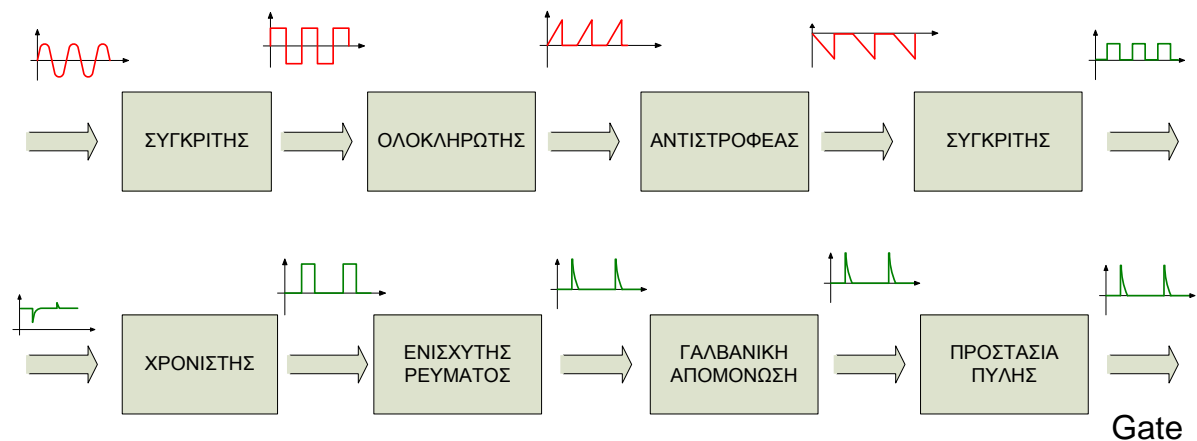
1. Το κύκλωμα πυροδότησης, το οποίο παράγει παλμούς
2. Ένα τροφοδοτικό

Το σχηματικό διάγραμμα του κυκλώματος ελέγχου φαίνεται στο σχήμα 1.1.



Σχήμα 1.1

Στο σχήμα 1.2 έχουμε το block διάγραμμα του κυκλώματος πυροδότησης όπου παρατηρούμε τη διαδικασία παραγωγής παλμών προς τις πύλες των θυρίστορ.



Σχήμα 1.2

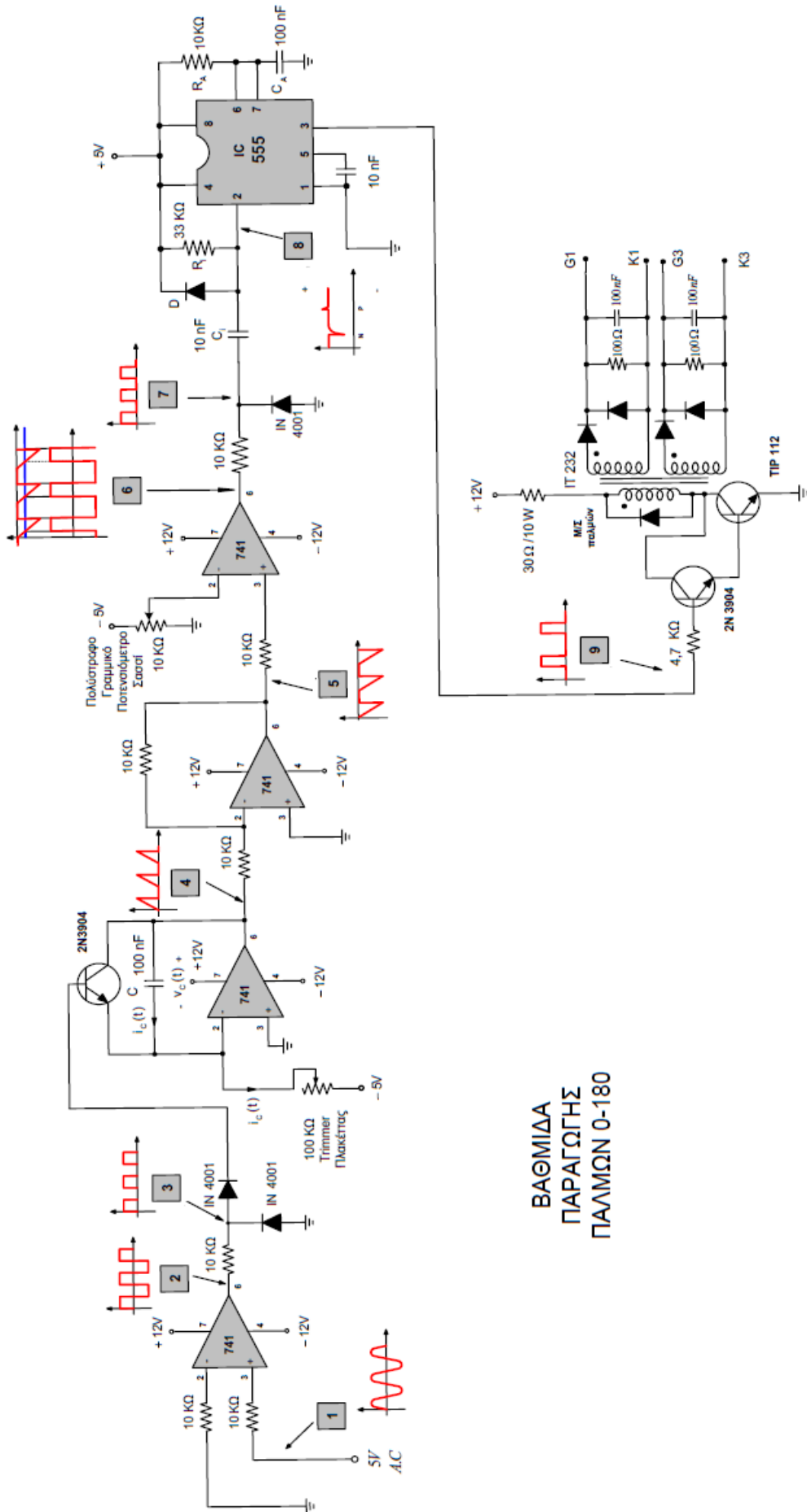
Το κύκλωμα πυροδότησης αποτελεί την "καρδιά" του κυκλώματος ελέγχου. Σκοπός του κυκλώματος πυροδότησης είναι να παράγει και να ρυθμίζει χειροκίνητα, με ένα ποτενσιόμετρο, τη χρονική στιγμή που θα δοθεί ο παλμός στα θυρίστορ. Δηλαδή τη γωνία έναυσης α° .

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

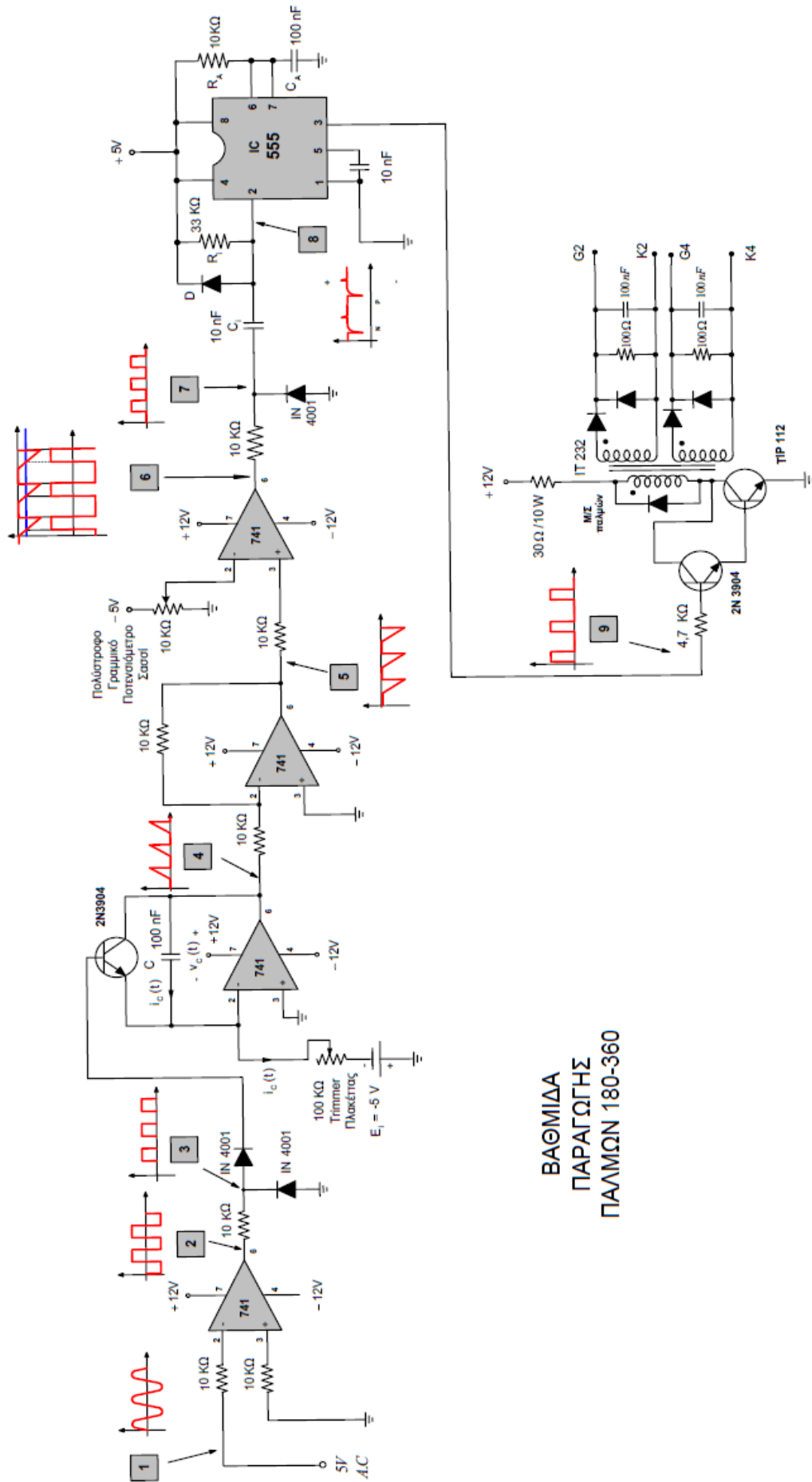
Για την παραγωγή των παλμών χρησιμοποιούμε απλά κυκλώματα, τα οποία περιλαμβάνουν τελεστικούς ενισχυτές, τρανζίστορ και άλλα εξαρτήματα, με τη βοήθεια των οποίων γίνεται κατανοητή η λειτουργία του κυκλώματος.

Το σχέδιο του κυκλώματος πυροδότησης παρουσιάζεται στα παρακάτω σχήματα. Χωρίζεται σε δύο κυκλώματα, ένα για τροφοδοσία μέχρι και δύο θυρίστορς που άγουν από 0° - 180° και ένα για τροφοδοσία μέχρι και δύο θυρίστορς που άγουν από 180° - 360° .

Συνοπτικά σε κάθε κύκλωμα ο πρώτος τελεστικός μας μετατρέπει την ημιτονοειδή τάση της εισόδου σε τετραγωνικό παλμό, ο δεύτερος τελεστικός λειτουργεί σαν ολοκληρωτής και μετατρέπει τον τετραγωνικό παλμό της εισόδου σε τριγωνικό, ο τρίτος τελεστικός λειτουργεί σαν αντιστροφέας και αντιστρέφει τον τριγωνικό παλμό και ο τέταρτος τελεστικός λειτουργεί σαν συγκριτής και συγκρίνει τον ανεστραμμένο τριγωνικό παλμό με μία ρυθμιζόμενη αρνητική τάση. Στη συνέχεια το αποτέλεσμα της σύγκρισης (παλμός) περνάει από το μονοσταθί πολυδονητή, ενισχύεται ως προς το ρεύμα από μια διάταξη Darlington και οδηγείται μέσω ενός μετασχηματιστή γαλβανικής απομόνωσης στις πύλες των θυρίστορς.



ΒΑΘΜΙΔΑ
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΠΑΛΜΩΝ 0-180



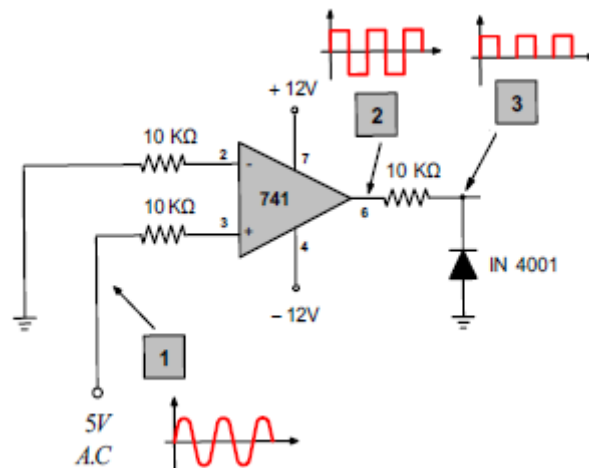
ΒΑΘΜΙΔΑ
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΠΑΛΜΩΝ 180-360

1.2 Το κύκλωμα πυροδότησης

Η διαδικασία παραγωγής του παλμού περνάει μέσα από τις έξι βαθμίδες του κυκλώματος πυροδότησης (όπως φαίνεται στα παραπάνω σχήματα), οι οποίες περιγράφονται αναλυτικότερα παρακάτω.

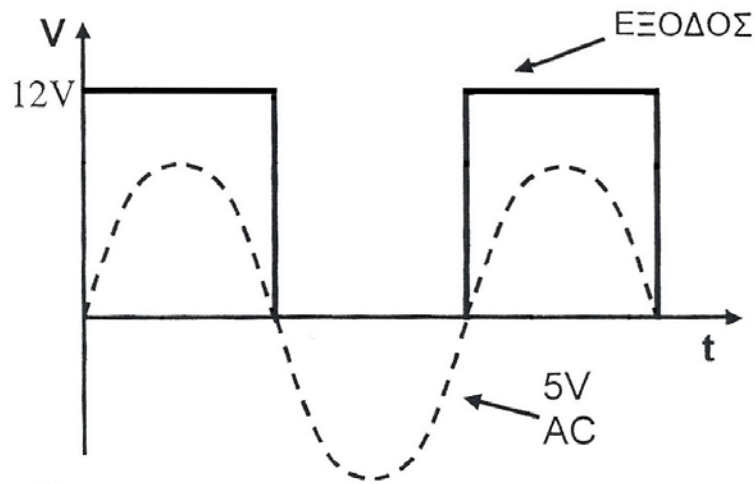
Βαθμίδα 1^η

Το κύκλωμα της πρώτης βαθμίδας περιλαμβάνει έναν τελεστικό ενισχυτή σε συνδεσμολογία συγκριτή και μια διάοδο και παρουσιάζεται στο σχήμα 1.3.



Σχήμα 1.3

Η τροφοδοσία του τελεστικού ενισχυτή είναι ίση με $\pm 12\text{V}$. Η έξοδος του τελεστικού ενισχυτή μας δίνει -12V στη θετική ημιπερίοδο της εναλλασσόμενης τάσης ενώ στην αρνητική ημιπερίοδο δίνει $+12\text{V}$. Το σήμα εξόδου είναι ένας τετραγωνικός παλμός (μετατράπηκε από εναλλασσόμενο σήμα) και λόγω της διάόδου, στην έξοδο του τελεστικού ενισχυτή, λαμβάνουμε τελικά μόνο θετικούς τετραγωνικούς παλμούς (σχήμα 1.4).

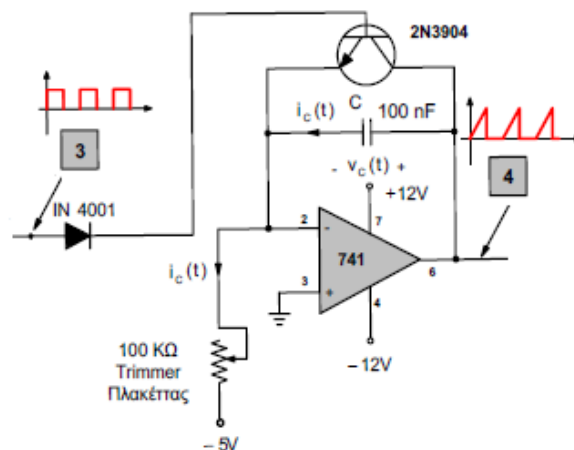


Σχήμα 1.4

Η αντίσταση 10KΩ στην έξοδο του τελεστικού ενισχυτή χρησιμοποιείται για τον περιορισμό του ρεύματος εξόδου στα 1,2mA το πολύ ($12V/10K\Omega = 1,2mA$) και συγχρόνως, αποτελεί την αντίσταση βάσης του τρανζίστορ της δεύτερης βαθμίδας που ακολουθεί. Οι αντιστάσεις στην είσοδο δεν είναι απαραίτητες γιατί η αντίσταση εισόδου του τελεστικού ενισχυτή είναι πρακτικά άπειρη.

Βαθμίδα 2^η

Το κύκλωμα της δεύτερης βαθμίδας περιλαμβάνει έναν τελεστικό ενισχυτή σε συνδεσμολογία ολοκληρωτή, μια δίοδο και ένα τρανζίστορ (σχήμα 1.5).

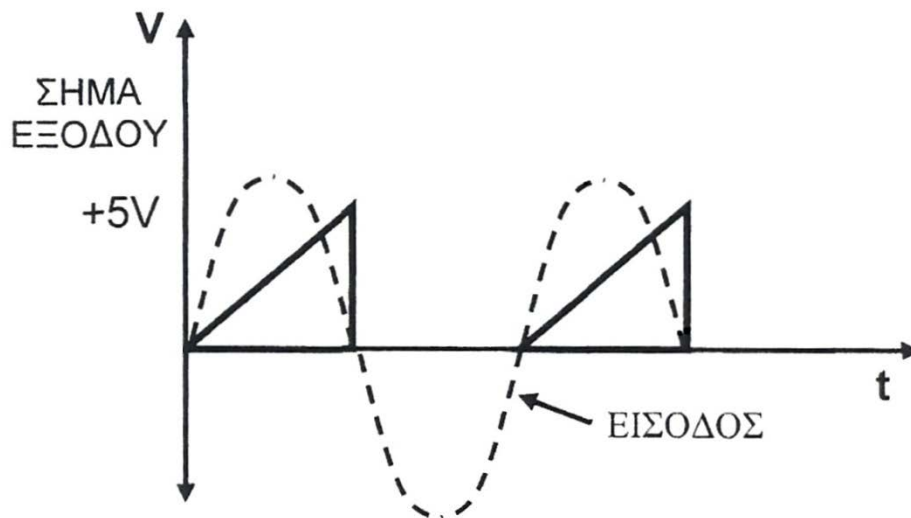


Σχήμα 1.5

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

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

Τελικά, στην έξοδο παίρνουμε ένα πριονωτό σήμα του οποίου η μέγιστη τιμή είναι: $\Delta V_{\text{πυκνωτή}} = I \Delta t / C$ (σχήμα 1.6).



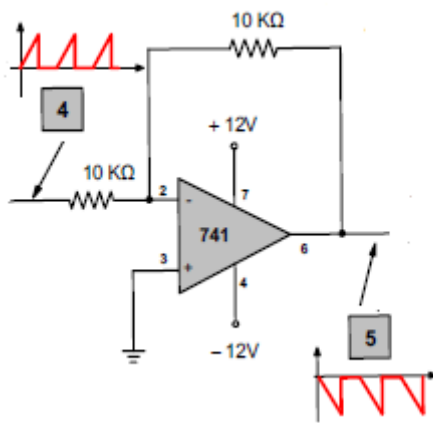
Σχήμα 1.6

Με τις συγκεκριμένες τιμές έχουμε:

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

Βαθμίδα 3^η

Το κύκλωμα της τρίτης βαθμίδας περιλαμβάνει έναν τελεστικό ενισχυτή σε συνδεσμολογία ενισχυτή και συγκεκριμένα αναστροφέα (σχήμα 1.7).

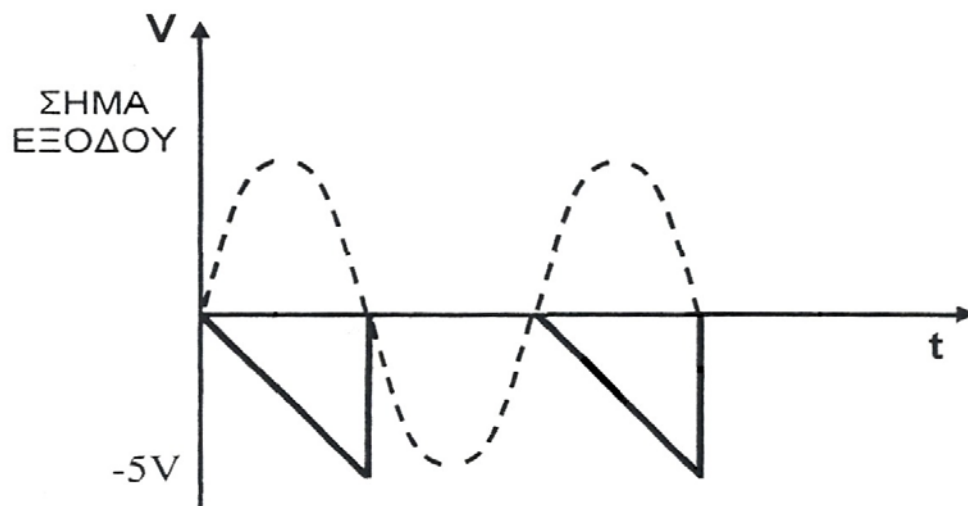


Σχήμα 1.7

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

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

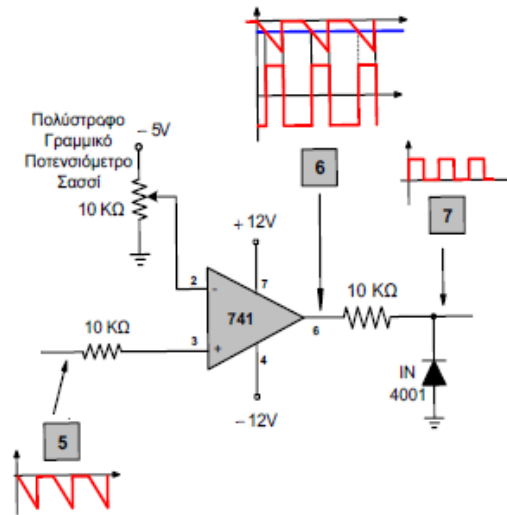
Επειδή οι αντιστάσεις R_1 και R_2 είναι ίσες, παίρνουμε στην έξοδο του τελεστικού ενισχυτή το ίδιο σήμα ανεστραμμένο (σχήμα 1.8).



Σχήμα 1.8

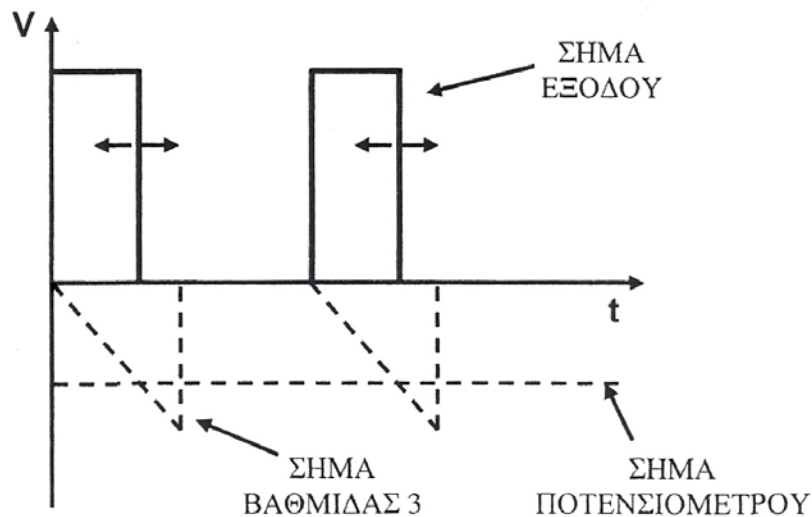
Βαθμίδα 4^η

Το κύκλωμα της τέταρτης βαθμίδας περιλαμβάνει έναν τελεστικό ενισχυτή σε συνδεσμολογία συγκριτή, μια δίοδο και ένα ποτενσιόμετρο σύμφωνα με το σχήμα 1.9.



Σχήμα 1.9

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 δίοδου (σχήμα 1.10). Αν μεταβάλλουμε το ποτενσιόμετρο, μεταβάλλεται και το πλάτος από 0 ως π ακτίνια (0-10msec).

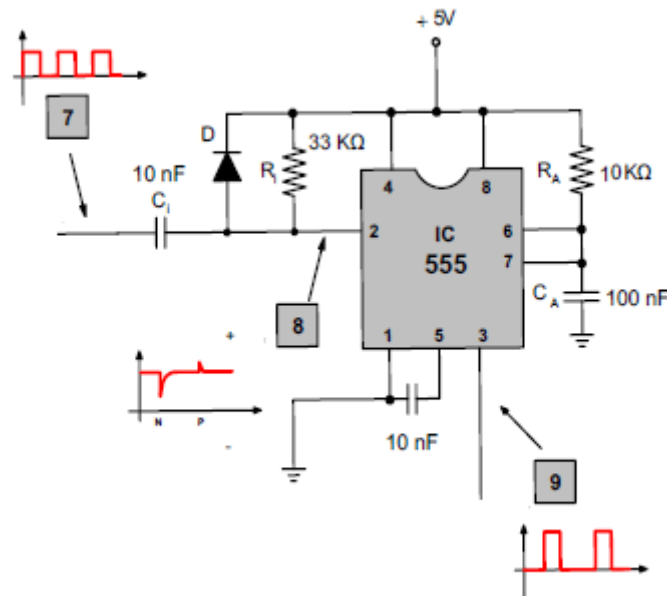


Σχήμα 1.10

Βαθμίδα 5^η

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

Η διάρκεια του παλμού εξόδου είναι $T=1,1RC$ και στο συγκεκριμένο κύκλωμα είναι: $T = 1,1 \cdot 10K\Omega \cdot 100nF = 1,1msec$. Ο "αντίστροφος παλμός" από την τέταρτη βαθμίδα έχει μεταβαλλόμενη διάρκεια που φθάνει τα 10msec. Επομένως, πρέπει να μειώσουμε τη διάρκεια του "αντίστροφου παλμού". Γι' αυτόν το σκοπό χρησιμοποιούμε ένα δικτύωμα RC πριν από το χρονοστή 555, με αντίσταση $R=33K\Omega$ και πυκνωτή $C=10nF$ (σχήμα 1.11).

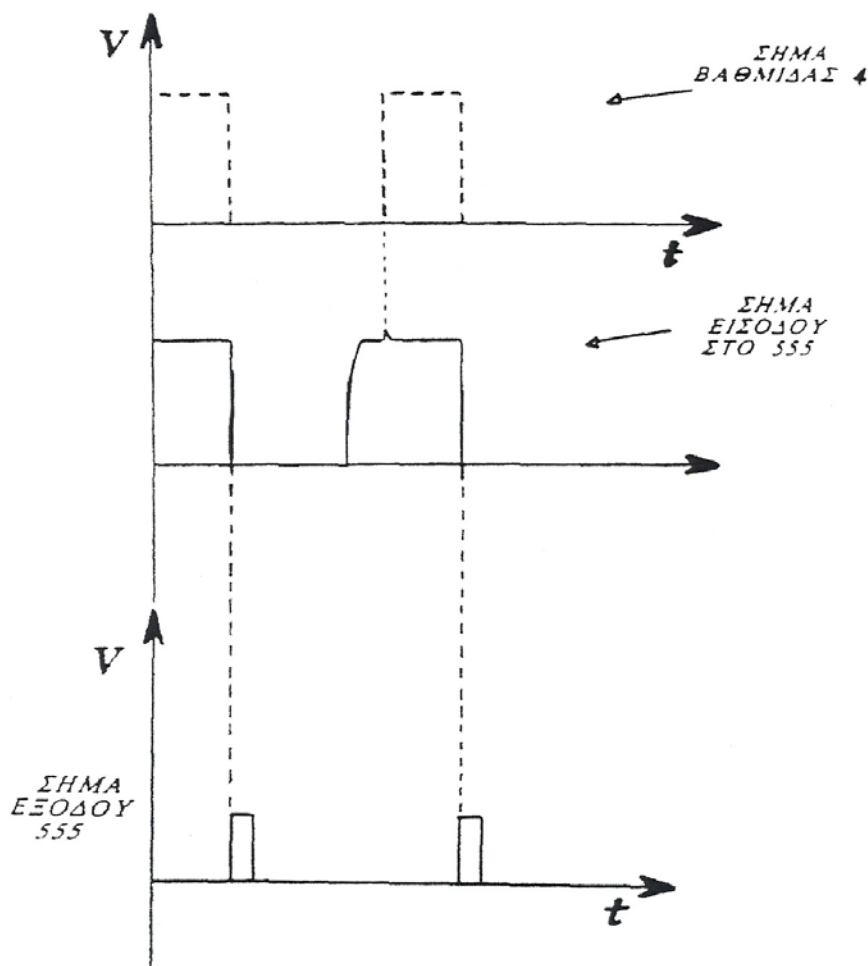


Σχήμα 1.11

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 χρονοστή 555 είναι +5V. Αυτό γίνεται γιατί η διάοδος είναι ορθά πολωμένη και μεταφέρει το δυναμικό των +5V, ενώ ο πυκνωτής είναι επίσης φορτισμένος.

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

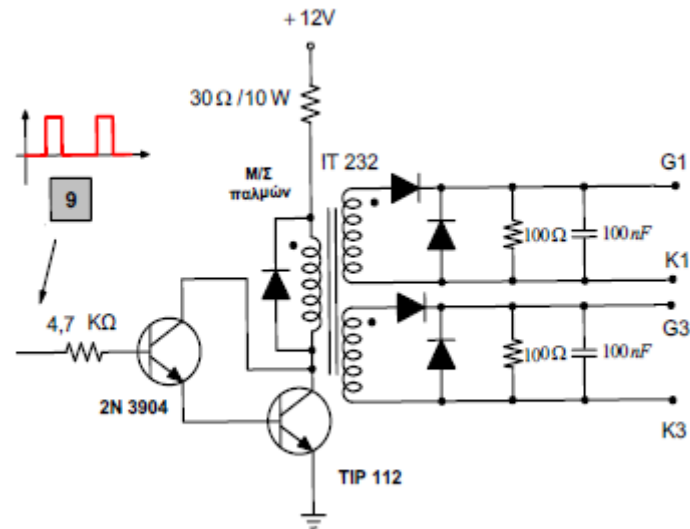
Συγχρόνως έχουμε τη φόρτιση του πυκνωτή στα +5V σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα και αυτό λόγω της μικρής σταθεράς χρόνου του δικτυώματος. Όταν η βαθμίδα 4 ξαναδώσει τάση, αυτή η τάση θα προστεθεί στα +5V του πυκνωτή όμως η διάοδος θα τα αποκόψει (γι' αυτό και παρουσιάζεται η "μύτη").



Σχήμα 1.12

Με αυτόν τον τρόπο μειώνεται η διάρκεια του αντίστροφου παλμού σε $T = 33K\Omega \cdot 10nF = 0,33msec$ περίπου.

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

Βαθμίδα 6^η

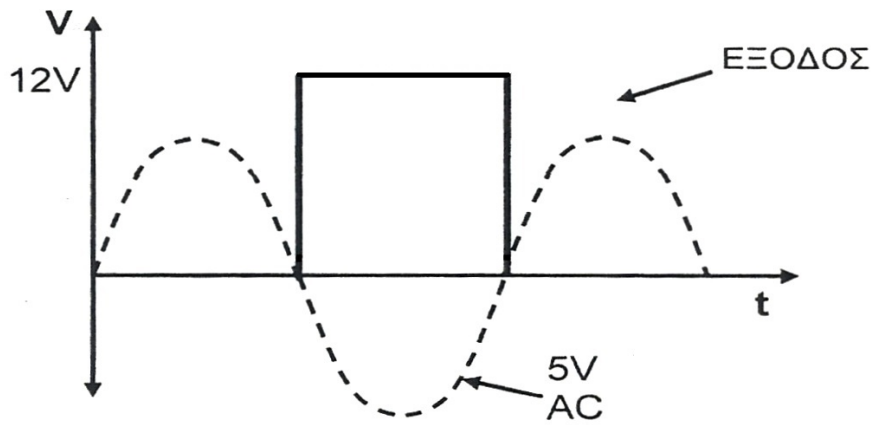
Σχήμα 1.13

Το κύκλωμα της έκτης βαθμίδας έχει αναλυθεί σε προηγούμενη παράγραφο (βλ. 6.2). 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 διάδος μηδενίζει τις αρνητικές επαγωγικές τάσεις στο πρωτεύον (σχήμα 1.13).

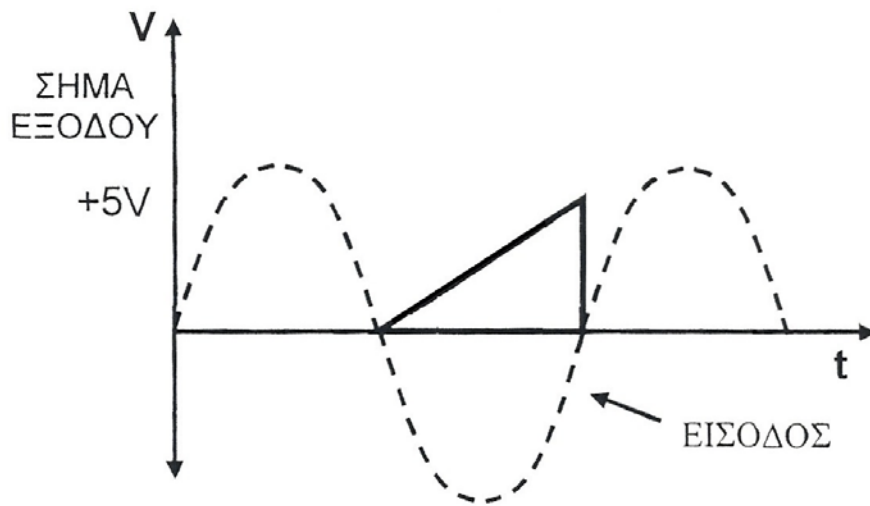
Θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε μόνο ένα μικρό τρανζίστορ TIP112 αντί για συνδεσμολογία Darlington. Το ρεύμα βάσης που χρειάζεται πρέπει να είναι τουλάχιστον 50mA. Οι διάδοι στο δευτερεύον του μ/σ χρησιμοποιούνται για την προστασία της γέφυρας από αρνητικές τάσεις. Η αντίσταση και ο πυκνωτής βελτιώνουν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

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

Στα σχήματα 1.14 και 1.15 παρουσιάζονται τα αντίστοιχα σήματα εξόδου του κάθε τελεστικού ενισχυτή για τον έλεγχο της αρνητικής ημιπεριόδου στις δύο πρώτες βαθμίδες.

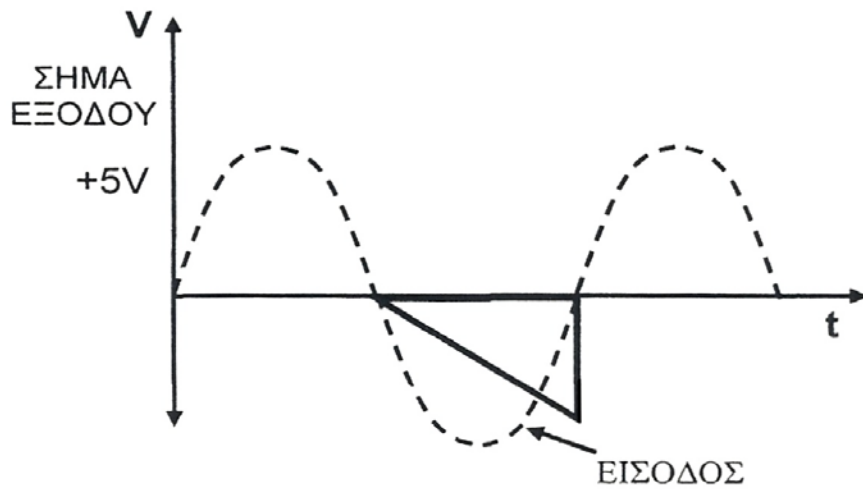


Σχήμα 1.14



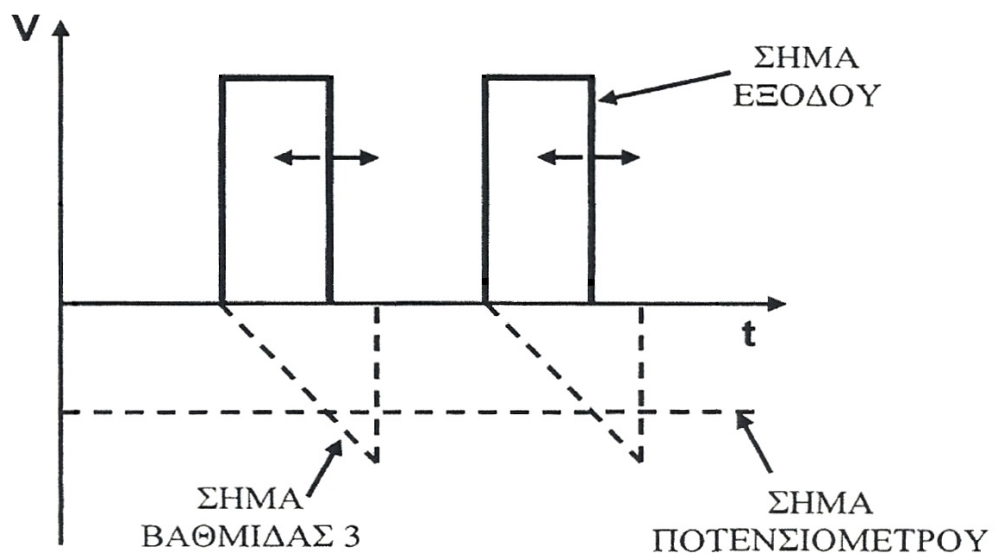
Σχήμα 1.15

Ομοίως, μετά τη βαθμίδα 3 θα πάρουμε το παραπάνω σήμα ανεστραμμένο, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.16.



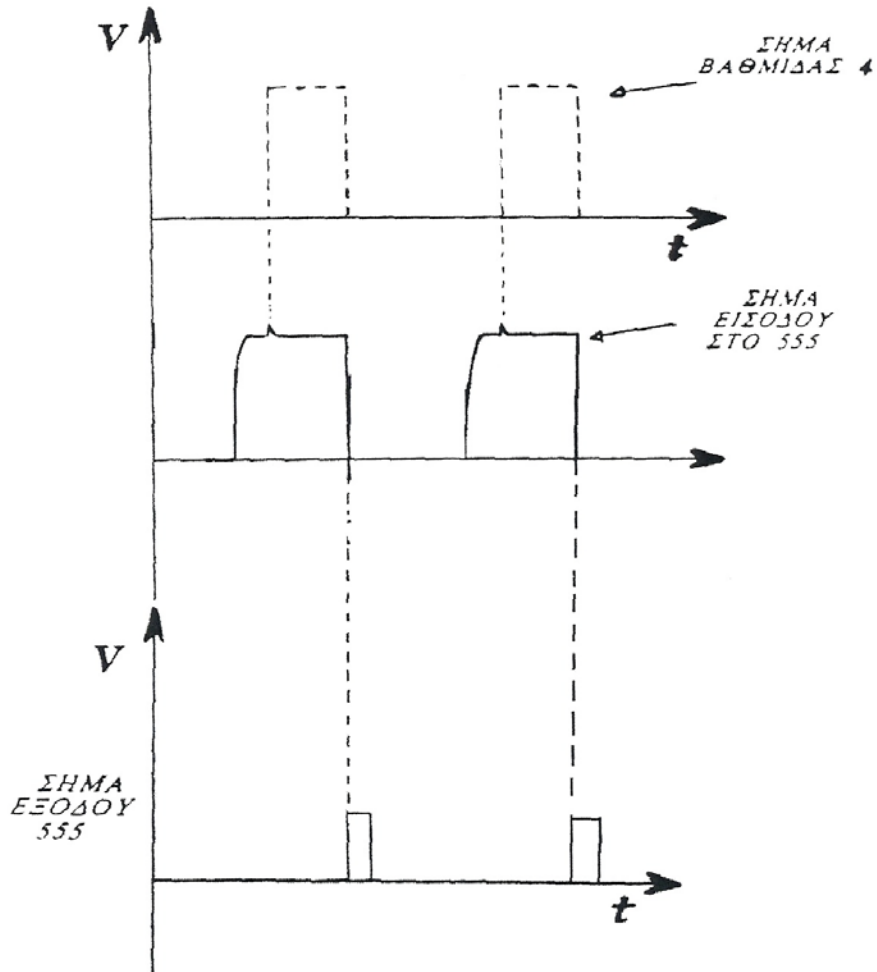
Σχήμα 1.16

Συγκρίνουμε το σήμα αυτό με μια τάση $-5V$ DC μέσω ποτενσιόμετρου (βαθμίδα 4) και σε συνδυασμό με τη δίοδο στην έξοδο του τελεστικού ενισχυτή παίρνουμε το σήμα του σχήματος 1.17.



Σχήμα 1.17

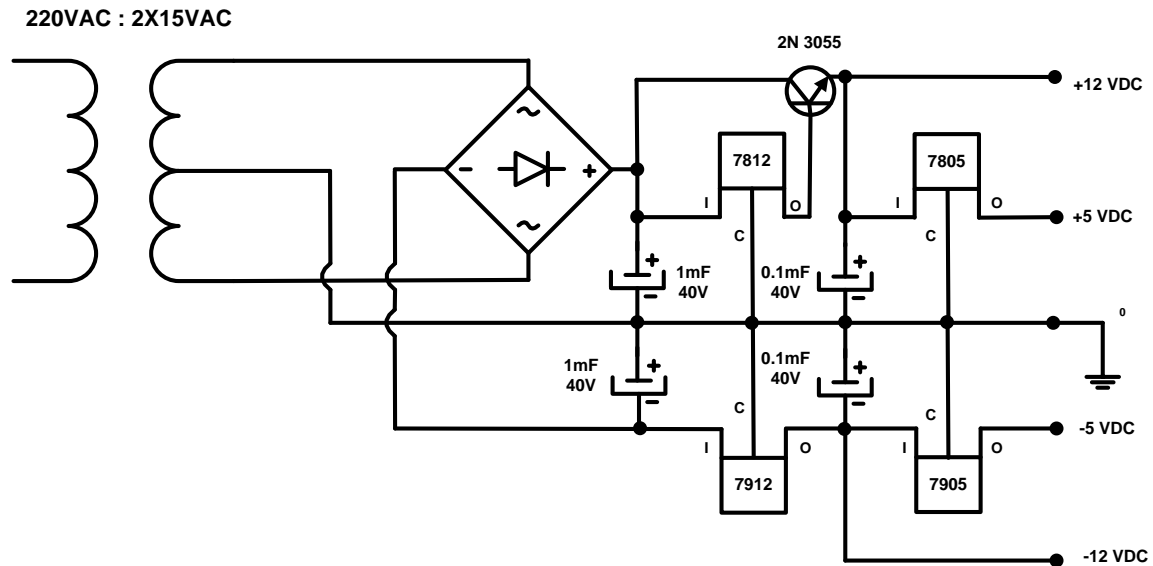
Τέλος, το σήμα που παίρνουμε μετά από τη βαθμίδα 5 και 6, για τον έλεγχο της αρνητικής ημιπεριόδου, φαίνεται στο σχήμα 1.18.



Σχήμα 1.18

1.3 Το τροφοδοτικό

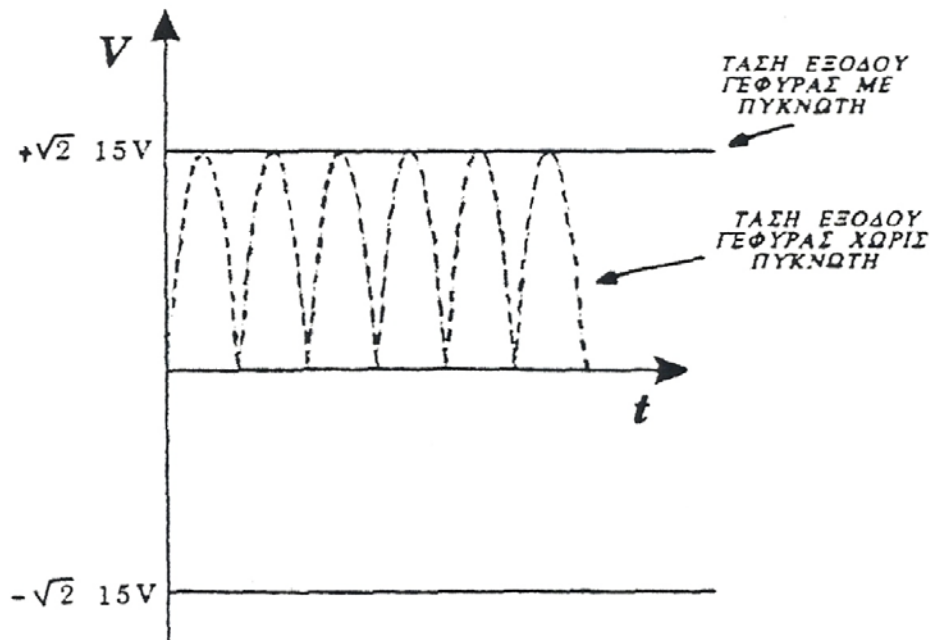
Το κύκλωμα πυροδότησης απαιτεί κάποιες τροφοδοτήσεις για τη λειτουργία του ($\pm 12\text{V DC}$, $\pm 5\text{V DC}$, 5V AC). Τις συνεχείς τάσεις τις παρέχει το τροφοδοτικό του παρακάτω σχήματος.



Σχήμα 1.19

Στο δευτερεύον του μετασχηματιστή λαμβάνουμε 15V AC , 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 $1000\mu\text{F}$ ο καθένας (σχήμα 1.20).



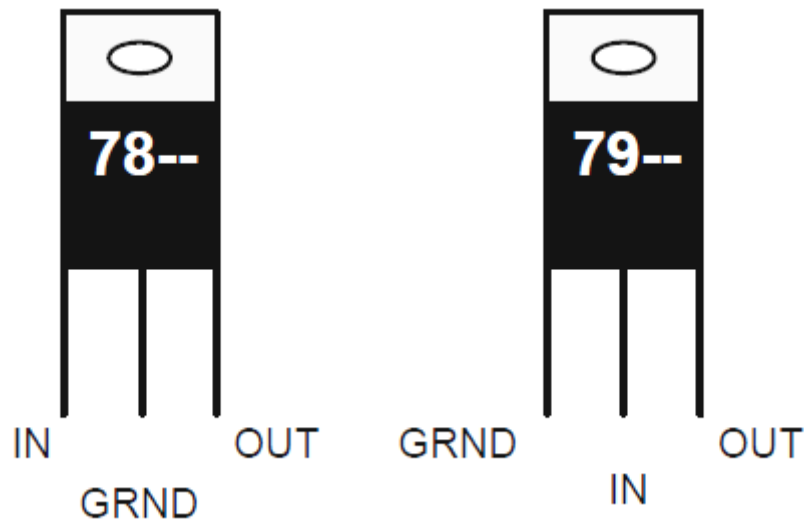
Σχήμα 1.20

Στη 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.

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 (σχήμα 1.21).



Σχήμα 1.21

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 DC και +5V DC αντίστοιχα.

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

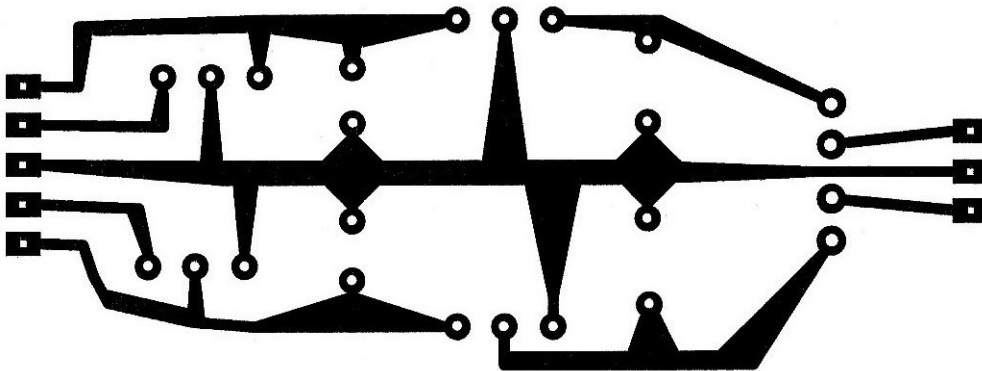
Οι ακροδέκτες των σταθεροποιητών φαίνονται στα παραπάνω σχήματα και τα σύμβολά τους είναι IN (Input) για την είσοδο, GRND (Ground) για τη γείωση και OUT (Output) για την έξοδο.

1.4 Κατασκευή πλακέτας τροφοδοτικού

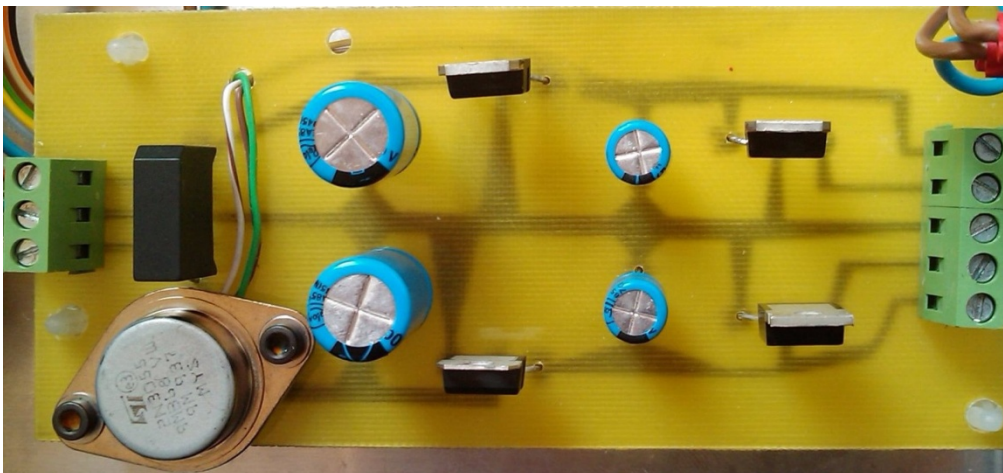
Τα στάδια κατασκευής της πλακέτας του τροφοδοτικού είναι τα εξής:

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

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



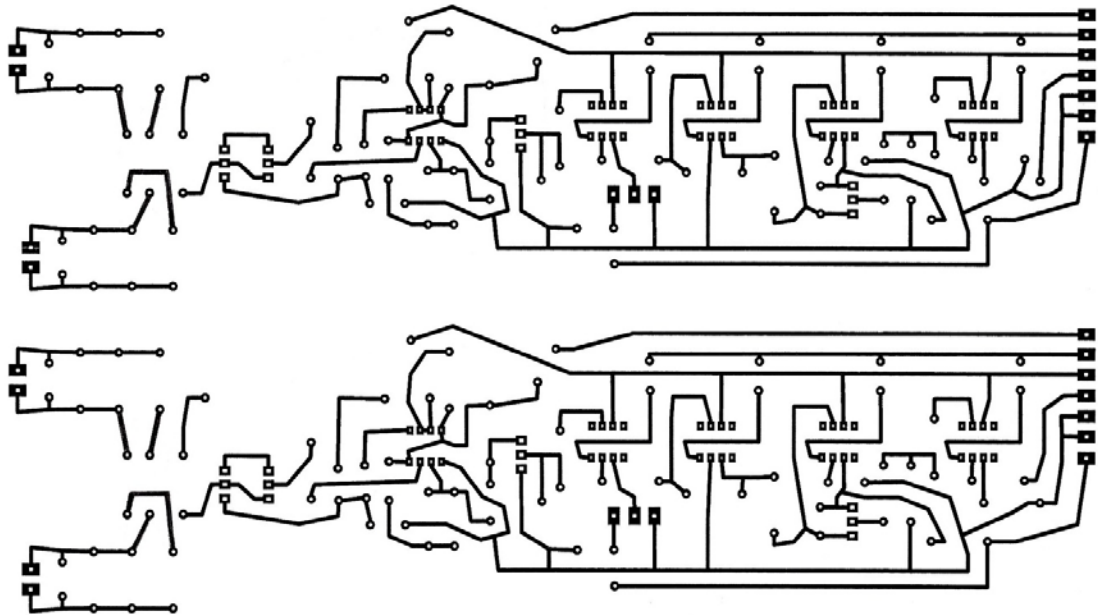
Η κάτω πλευρά της πλακέτας



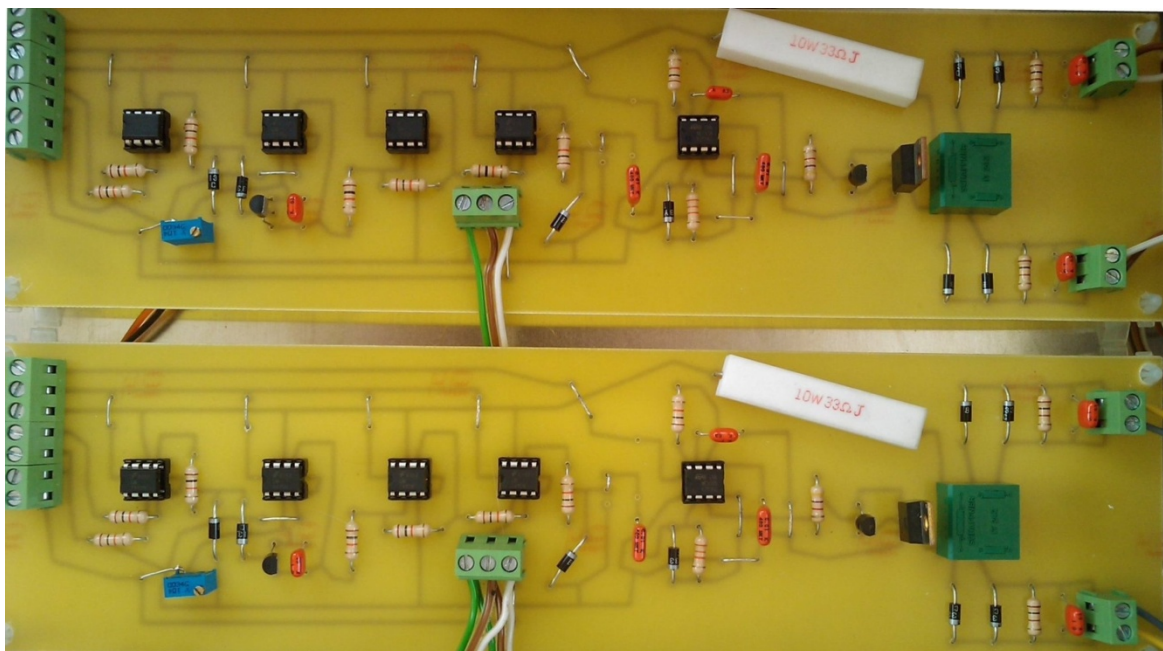
Η πάνω πλευρά της πλακέτας με τα εξαρτήματα τοποθετημένα

1.5 Κατασκευή πλακετών κυκλώματος πυροδότησης

Επαναλήφθηκε η ίδια διαδικασία κατασκευής που είχαμε για την πλακέτα τροφοδότηκου. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται το κύκλωμα πυροδότησης τυπωμένο σε διαφάνεια ώστε να ξεχωρίζει η πλευρά του από την πλευρά τοποθέτησης των εξαρτημάτων.



Η κάτω πλευρά της πλακέτας



Η πάνω πλευρά των πλακετών με τα εξαρτήματα τοποθετημένα

1.6 Υλικά κατασκευής τροφοδοτικού και κυκλώματος πυροδότησης

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

ΕΙΔΟΣ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ
Μετασχηματιστής	220V/ 2x15V/2A	1
Ηλεκτρολυτικός πυκνωτής	1mF/40V	2
Ηλεκτρολυτικός πυκνωτής	0.1mF/40V	2
Σταθεροποιητής +12V	7812	1
Σταθεροποιητής -12V	7912	1
Σταθεροποιητής +5V	7805	1
Σταθεροποιητής -5V	7905	1
Μονοφασική γέφυρα	2KBP06	1
Τρανζίστορ	2N3055	1
Κλέμες πλακέτας	–	8

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή των πλακετών του κυκλώματος πυροδότησης είναι τα εξής:

ΕΙΔΟΣ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ
Τελεστικός ενισχυτής	LM 741	8
Χρονιστής	555 timer	2
Τρανζίστορ	2N3904	4
Τρανζίστορ	TIP 112	2
Μετασχηματιστής παλμών	SCHAFFNER IT 242	2
Μετασχηματιστής	220/6V – 1A	1
Δίοδος	1N4002	18
Πυκνωτής	10nF	4
Πυκνωτής	100nF	8
Αντίσταση	10KΩ	16
Αντίσταση	100Ω	4
Αντίσταση	33KΩ	2
Αντίσταση	4.7KΩ	2
Αντίσταση	33Ω/10W	2
Ρυθμιστική αντίσταση (trimmer) πλακέτας	100KΩ	2
Γραμμικό ποτενσιόμετρο πολύστροφο σασσί	10KΩ	1
Κλέμες πλακέτας	–	28

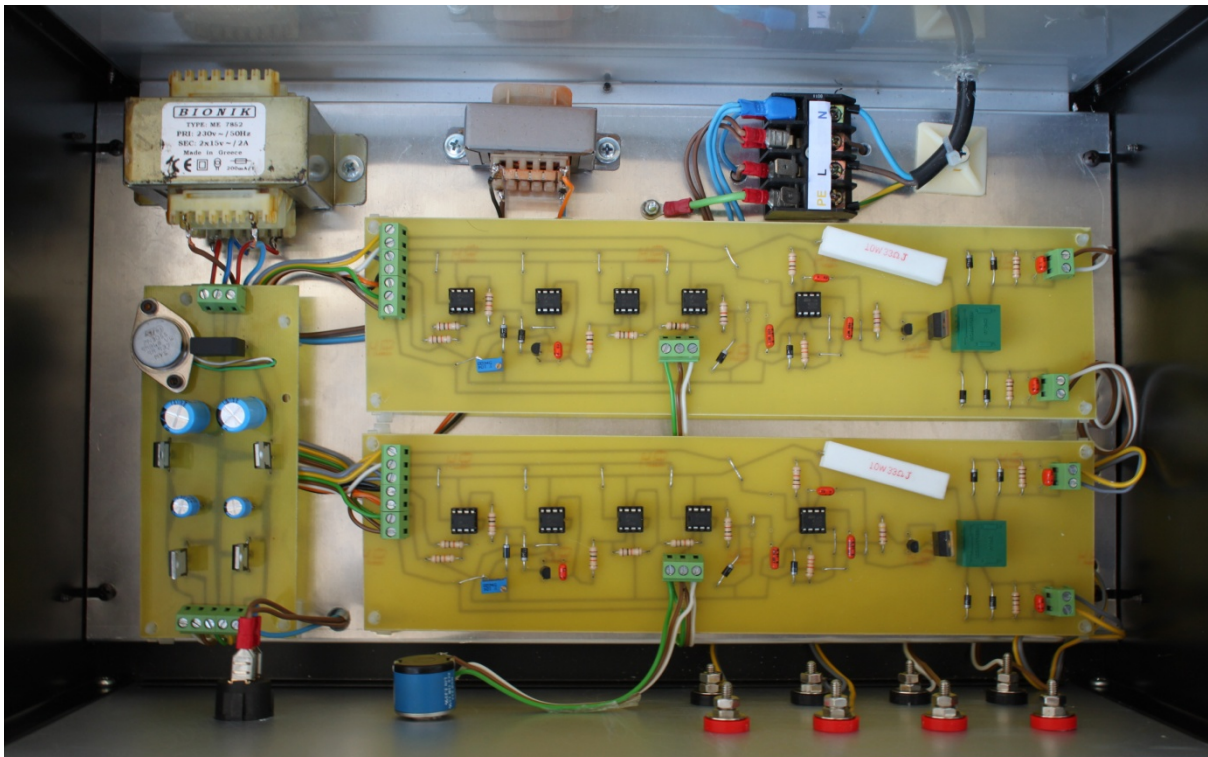
1.7 Υλικά για το κουτί τοποθέτησης των πλακετών

ΕΙΔΟΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ
Κουτί 42cm x 25.5cm x 15.5cm	1
Καλώδιο τροφοδοσίας 3x2.5mm ²	1.5 (m)
Καλωδιοταινία 16 αγωγών (16x0.25mm ²)	1 (m)
Διακόπτης ON-OFF φωτιζόμενος 220V 3 επαφών 6A 250V AC	1
Μπόρνες κόκκινες	4
Μπόρνες μαύρες	4
Κλεμοσειρά	1
Ακροδέκτες καλωδίου	14
Αποστάτες πλακέτας	12
Δεματικά / Βάσεις δεματικών	4 / 4
Βίδες / Παξιμάδια / Ροδέλες	10 / 10 / 10

1.8 Φωτογραφικό υλικό

Ακολουθούν φωτογραφίες της κατασκευής στην ολοκληρωμένη της μορφή.



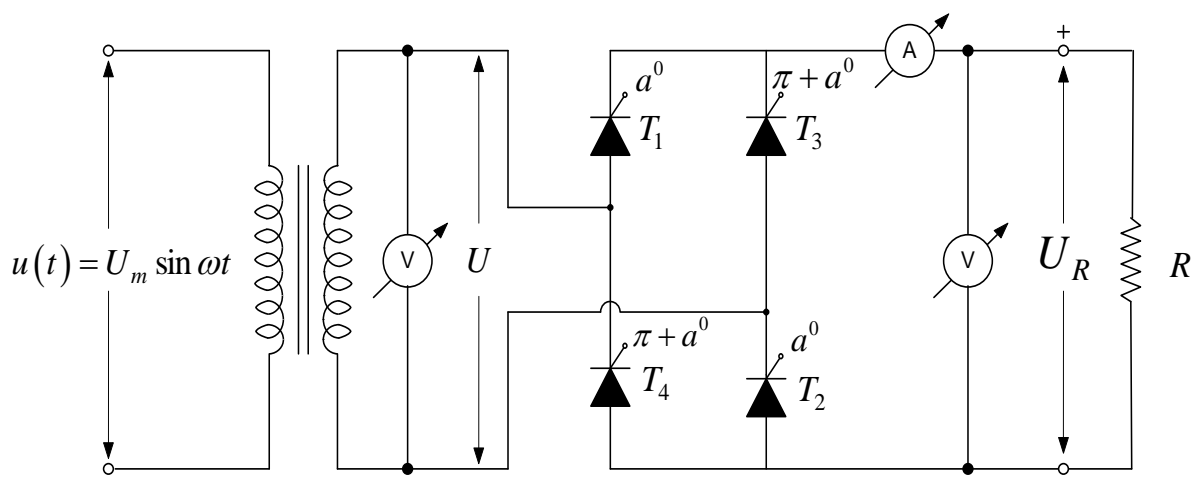


ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2°

Πειραματικό μέρος

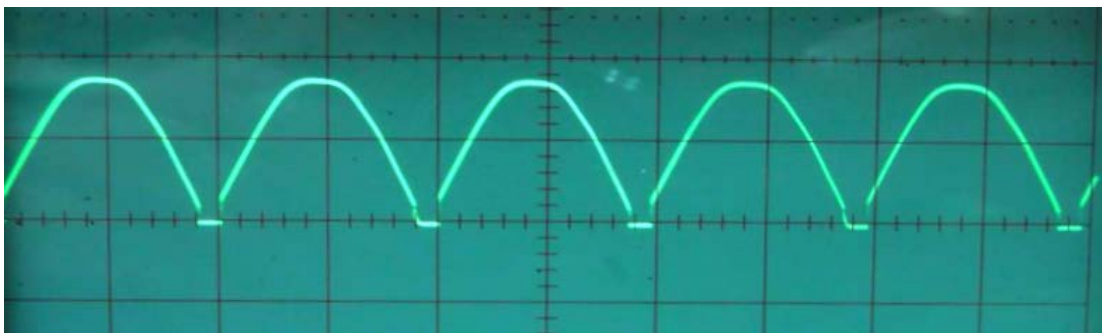
2.1 Ωμικό φορτίο

2.1.1 Κύκλωμα

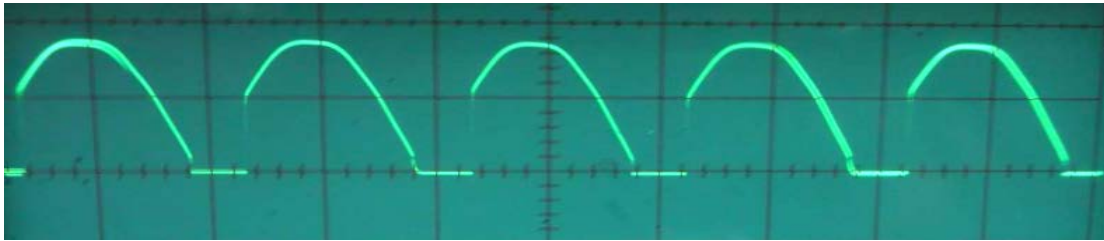


2.1.2 Παλμογραφήματα

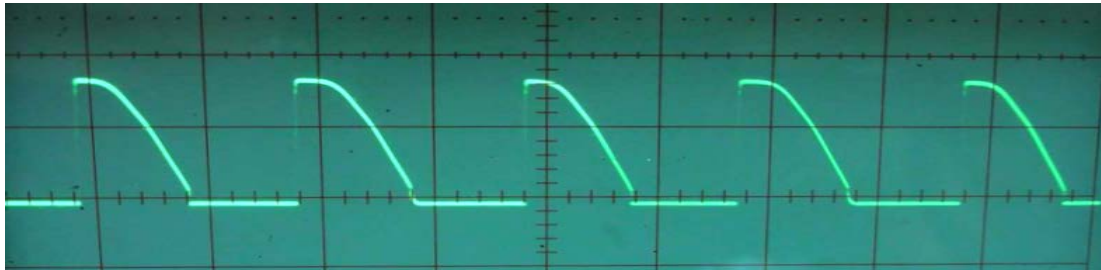
$\alpha = 18^\circ$



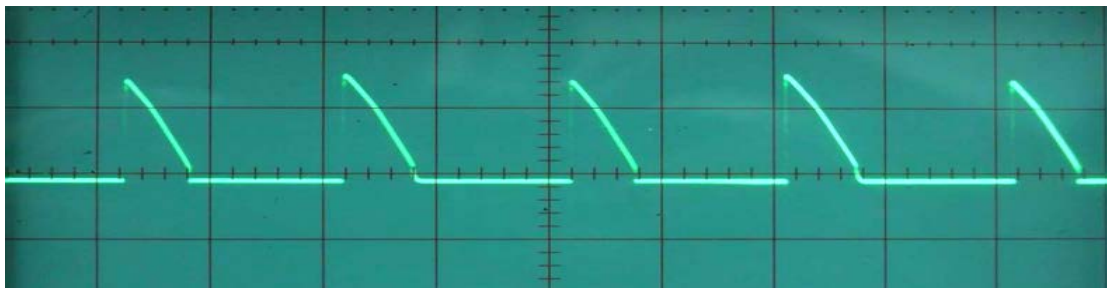
$\alpha = 36^\circ$



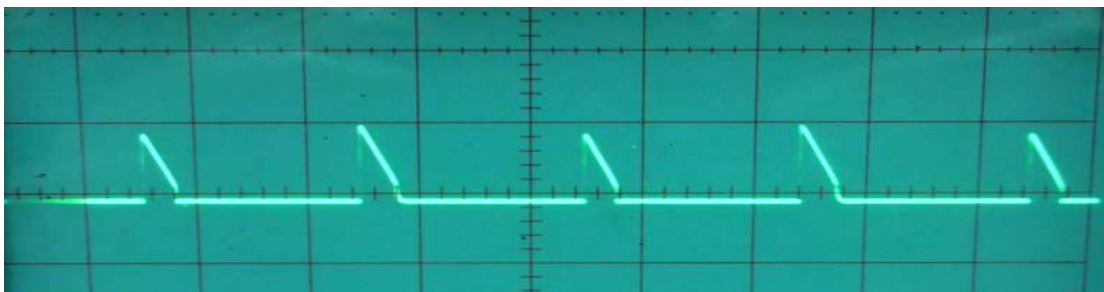
$\alpha = 90^\circ$



$\alpha = 126^\circ$



$\alpha = 154^\circ$



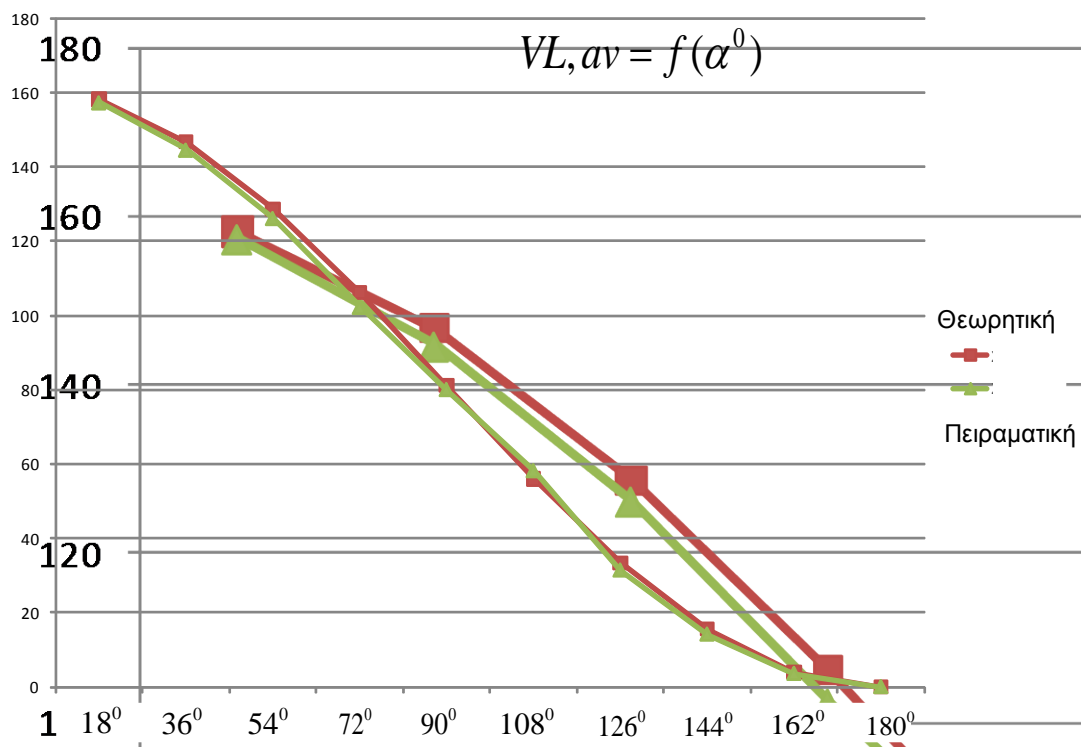
Παρατήρηση: Η τάση εξόδου μηδενίζεται λίγο πριν τις 180° . Αυτό συμβαίνει γιατί η στιγμιαία τιμή της τάσης λίγο πριν τις 180° είναι μικρή, άρα το ρεύμα που περνά από το scr είναι μικρότερο από το απαιτούμενο ρεύμα συγκράτησης, με αποτέλεσμα το scr να οδηγηθεί στην αποκοπή.

2.1.3 Εργαστηριακές μετρήσεις

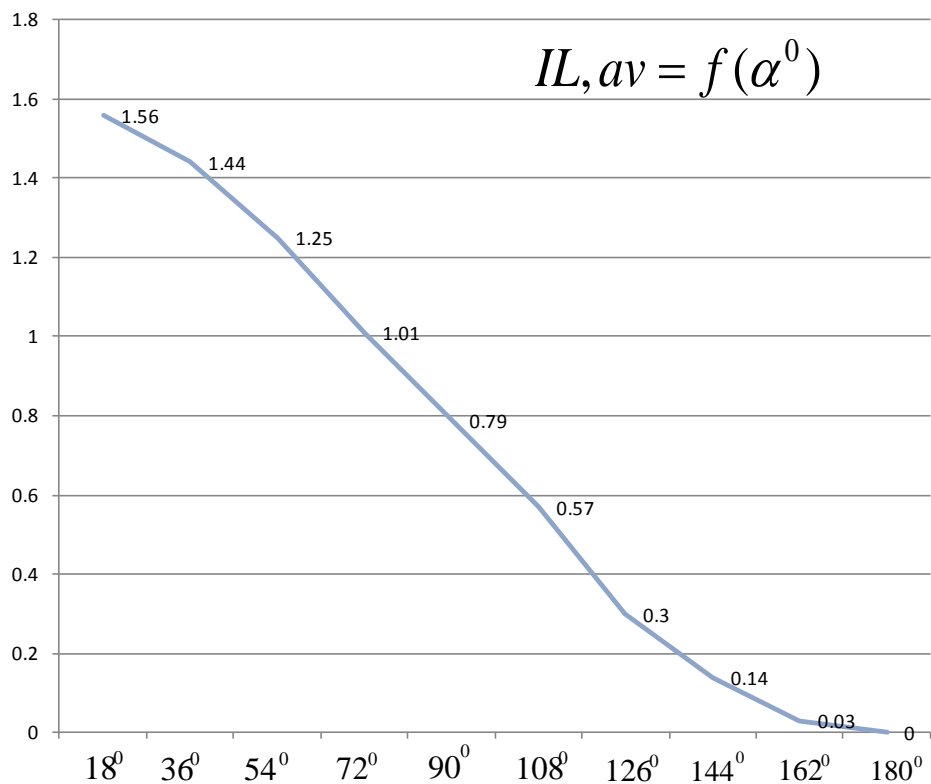
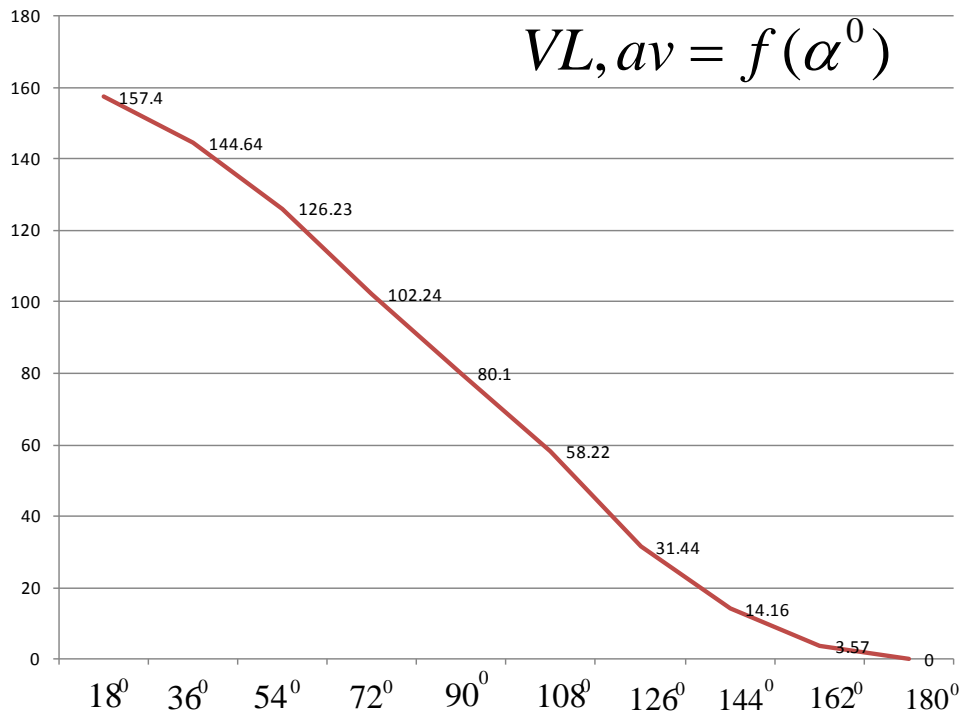
Για τάση εισόδου $V_{i,rms} = 180V$, φορτίο $R=100\Omega$

α/α	α (°)	V_m (V)	$V_{αν \theta.}$ (V)	$V_{L,αν}$ (V)	$I_{L,αν}$ (A)	$P_{L,αν}$ (W)	R (Ω)	$V_{L,rms}$ (V)	$I_{L,rms}$ (A)	$P_{L,rms}$ (W)
1	18	254.55	158.17	157.4	1.56	245.54	100	146.56	1.4656	214.79
2	36	254.55	146.67	144.64	1.44	208.28	100	143.41	1.4341	205.68
3	54	254.55	128.752	126.23	1.25	157.78	100	135.67	1.3567	184.08
4	72	254.55	106.170	102.24	1.01	103.26	100	122.46	1.2246	149.98
5	90	254.55	81.13	80.1	0.79	63.27	100	103.99	1.0399	108.15
6	108	254.55	56.09	58.22	0.57	33.18	100	81.42	0.8142	66.29
7	126	254.55	33.49	31.44	0.3	9.43	100	56.69	0.5669	32.14
8	144	254.55	15.54	14.16	0.14	1.98	100	32.35	0.3235	10.47
9	162	254.55	4.00	3.57	0.03	0.10	100	11.42	0.1142	1.30
10	180	254.558	0	0	0	0	100	0	0	0

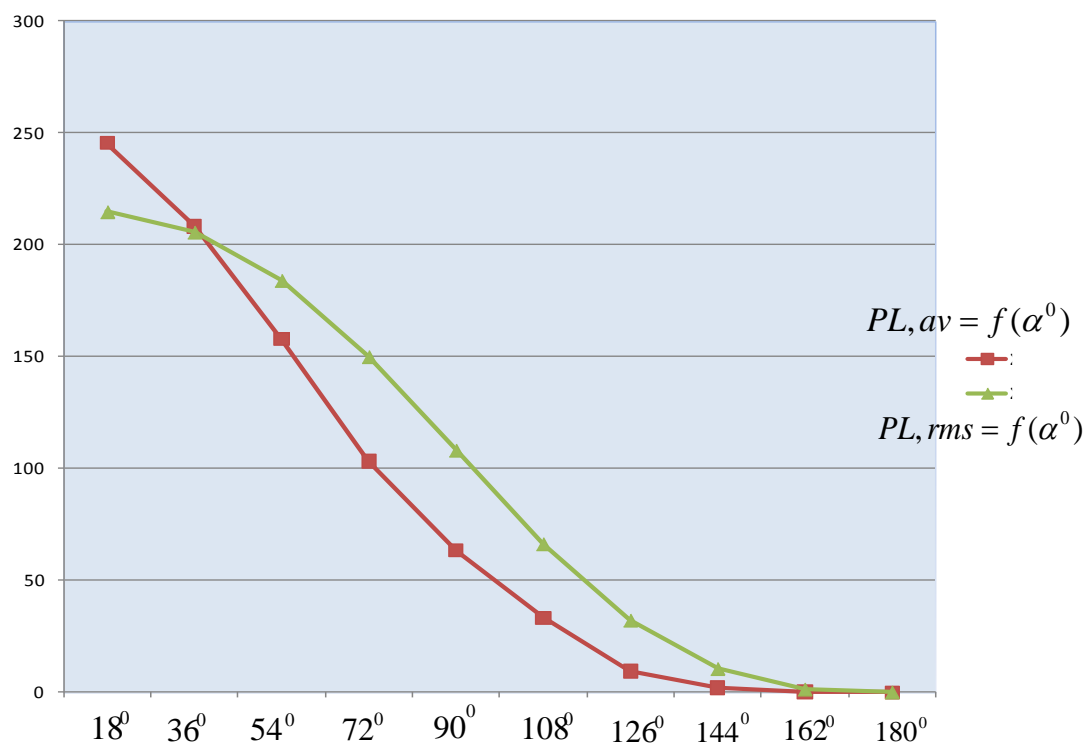
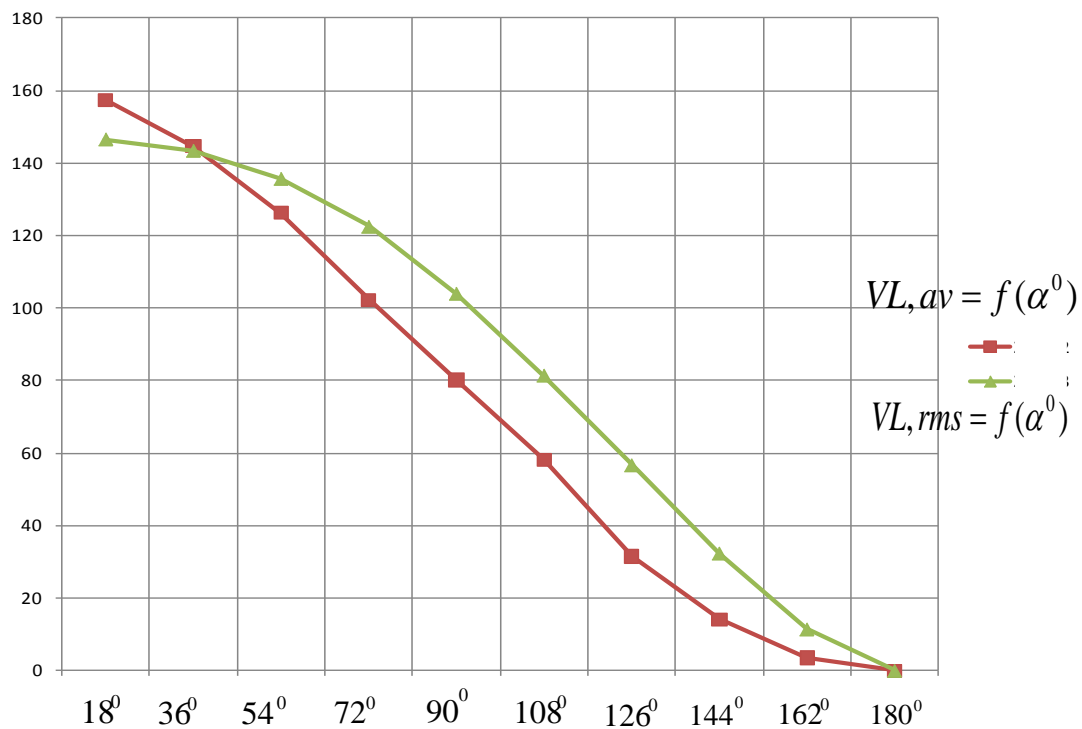
Γραφικές παραστάσεις



Η καμπύλη της θεωρητικής τιμής της ανορθωμένης τάσης στο φορτίο είναι λίγο μεγαλύτερη από την πειραματική. Αυτό οφείλεται στην πτώση τάσης πάνω στην αντίσταση φορτίου και σε τυχόν σφάλματα κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.



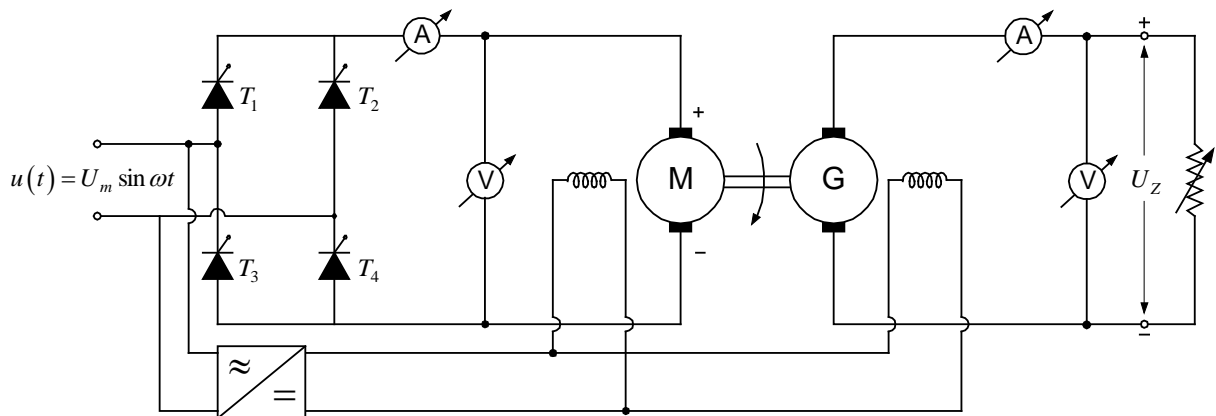
Η καμπύλη της ανορθωμένης τάσης στο φορτίο δεν ακολουθεί γραμμική μεταβολή αλλά μεταβολή σύμφωνα με την τάση εισόδου που είναι ημιτονοειδής. Επειδή το φορτίο είναι ωμικό, την ίδια μεταβολή ακολουθεί και το ρεύμα.



Και στα δύο συγκριτικά διαγράμματα και οι τάσεις και οι ισχύεις (μέση και ενεργός) ακολουθούν την μεταβολή της ημιτονοειδούς εισόδου με τις ενεργές τιμές να εμφανίζονται μεγαλύτερες.

2.2 Ωμικό-επαγωγικό φορτίο (κινητήρας)

2.2.1 Κύκλωμα



2.2.2 Παλμογραφήματα

$\alpha = 72^\circ$ χωρίς δίοδο ελευθέρας ροής



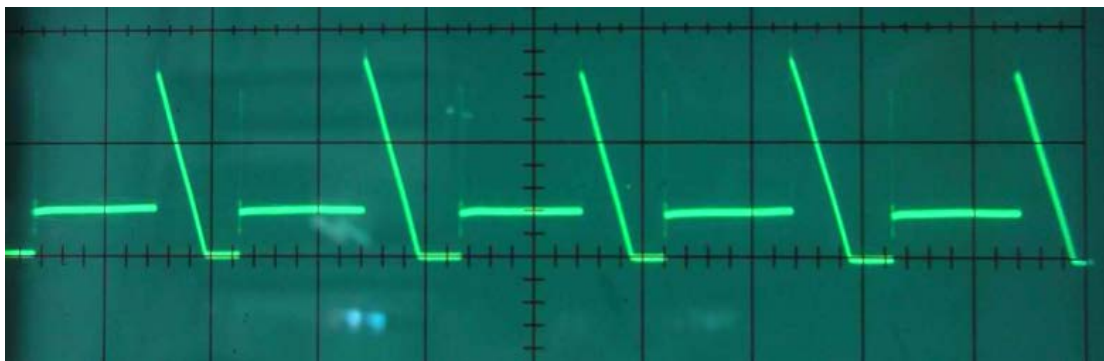
$\alpha = 90^\circ$ χωρίς δίοδο ελευθέρας ροής



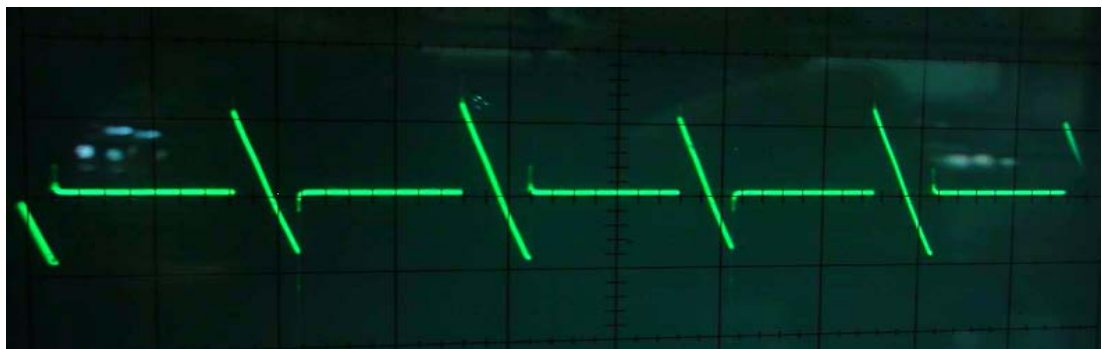
$\alpha = 126^\circ$ χωρίς δίοδο ελευθέρως ροής



$\alpha = 126^\circ$ με δίοδο ελευθέρως ροής (δεν υπάρχει αρνητική τάση)



$\alpha = 154^\circ$ χωρίς δίοδο ελευθέρως ροής



$\alpha = 154^\circ$ με δίοδο ελευθέρως ροής (δεν υπάρχει αρνητική τάση)

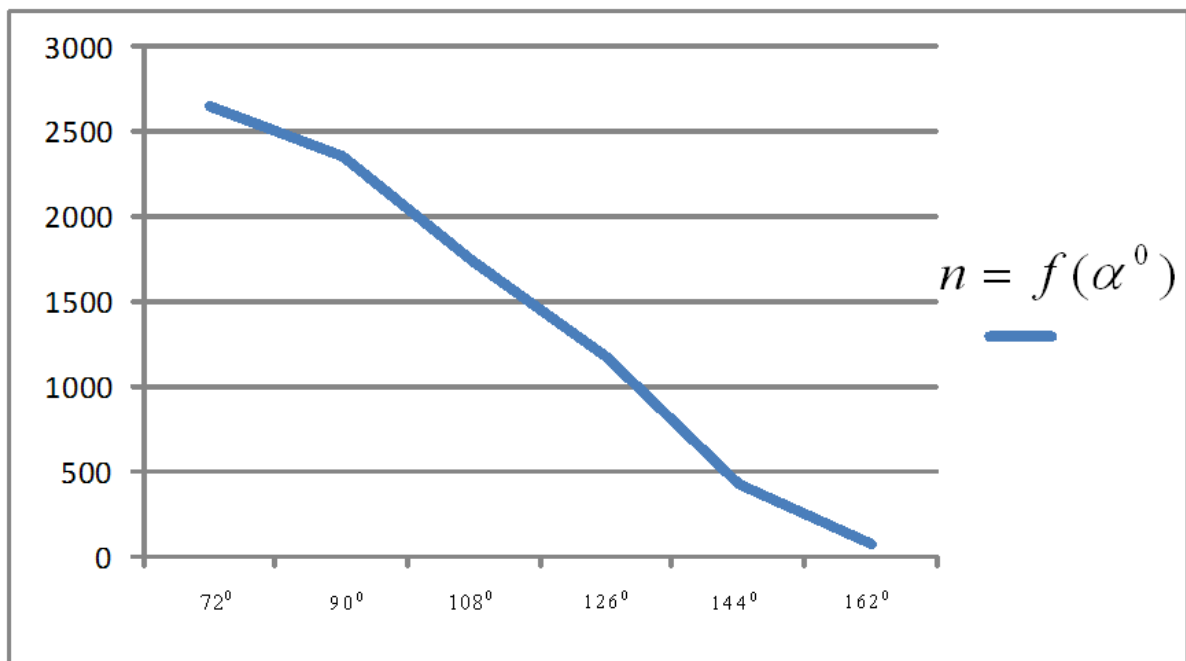


2.2.3 Εργαστηριακές μετρήσεις

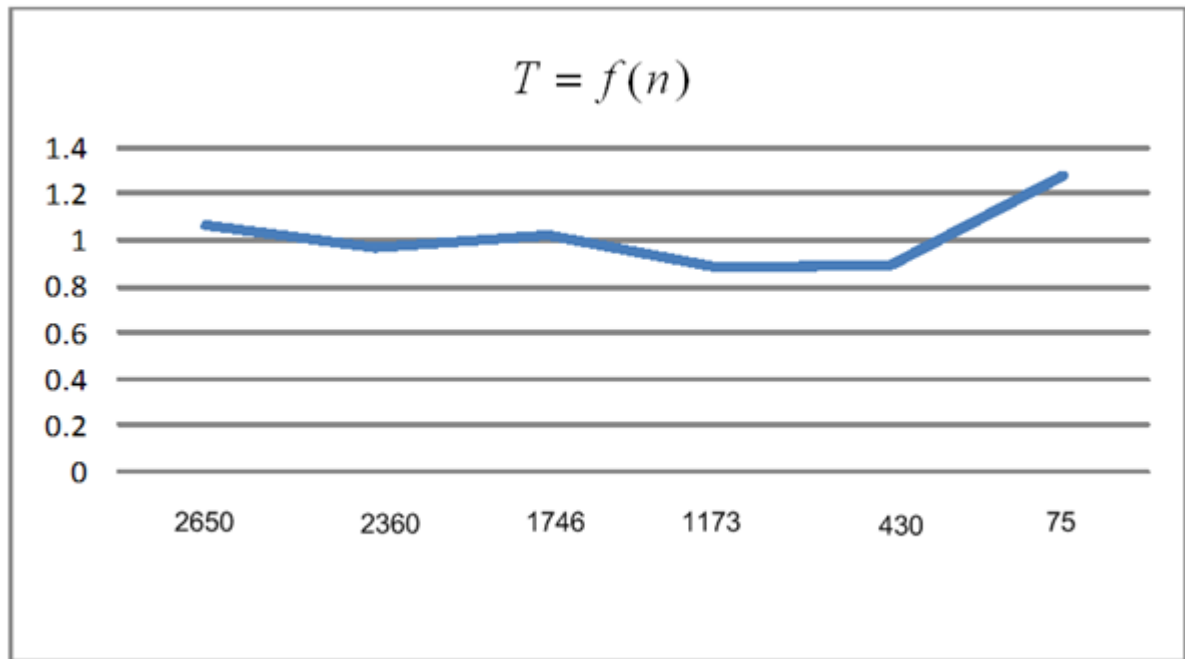
Για τάση εισόδου $V_i = 130V$, $R = 100\Omega$ χωρίς δίοδο Df

α/α	α (°)	V_i (V)	I_i (A)	P_i (W)	$\cos\phi$	ϕ (°)	$\sin\phi$	Q (VAr)	$V\alpha$ (V)	$I\alpha$ (A)	n (rpm)	$P_{\epsilon\sigma}$ (W)	T (Nm)	$V\phi$ (V)	$I\phi$ (A)	$P\phi$ (W)
1	18															
2	36															
3	54															
4	72	128	2.66	261	0.77	0.69	0.638	217.2	133	2.21	2650	293.9	1.06	127	0.83	105.41
5	90	128	2.56	214	0.66	0.85	0.751	246.2	118.3	2.02	2360	239	0.967	112.8	0.73	82.344
6	108	129	2.4	168	0.54	1	0.842	260.6	101.6	1.83	1746	185.9	1.017	96.8	0.62	60.016
7	126	130	2.07	100	0.37	1.19	0.929	250	72.7	1.49	1173	108.3	0.882	68	0.45	30.6
8	144	130	1.58	40.8	0.2	1.37	0.98	201.3	37.7	1.06	430	39.96	0.888	34.3	0.22	7.546
9	162	130	1.17	12.8	0.09	1.48	0.996	151.5	13.7	0.73	75	10	1.274	11.6	0.07	0.812
10	180															

Γραφικές παραστάσεις



Οι στροφές είναι ανάλογες της τάσης τυμπάνου του κινητήρα. Όσο η γωνία έναυσης μεγαλώνει τόσο η μέση τάση στο τύμπανο του κινητήρα μικραίνει, με συνέπεια να πέφτουν οι στροφές.

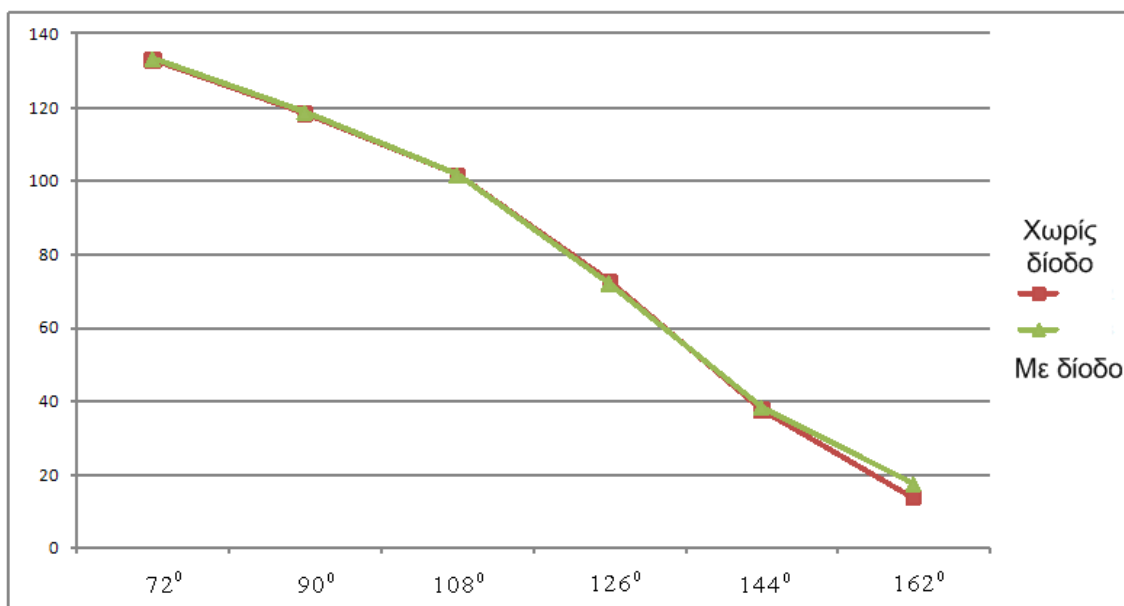


Για τάση εισόδου $V_i = 130V$, $R = 100\Omega$ με δίοδο Df

α/a	α ($^\circ$)	V_i (V)	I_i (A)	P_i (W)	$\cos\phi$	ϕ ($^\circ$)	$\sin\phi$	Q (VAr)	V_α (V)	I_α (A)	n (rpm)	$P_{\epsilon\sigma}$ (W)	T (Nm)	V_ϕ (V)	I_ϕ (A)	P_ϕ (W)
1	18															
2	36															
3	54															
4	72	128	2.64	258	0.77	0.69	0.638	215.6	133.3	2.21	2655	294.6	1.06	127	0.83	105.41
5	90	128	2.56	215	0.66	0.85	0.751	246.2	118.8	2.04	2370	242.4	0.977	113.3	0.74	83.842
6	108	129	2.4	167	0.54	1	0.842	260.6	101.7	1.84	1820	187.1	0.982	97	0.63	61.11
7	126	129	2.07	99	0.37	1.19	0.929	248.1	72.1	1.49	1347	107.4	0.762	67.8	0.43	29.154
8	144	130	1.53	40.6	0.2	1.37	0.98	194.9	38.3	0.99	650	37.92	0.557	35.1	0.23	8.073
9	162	130	1.02	15	0.11	1.46	0.994	131.8	17.5	0.57	195	9.975	0.489	15.2	0.1	1.52
10	180															

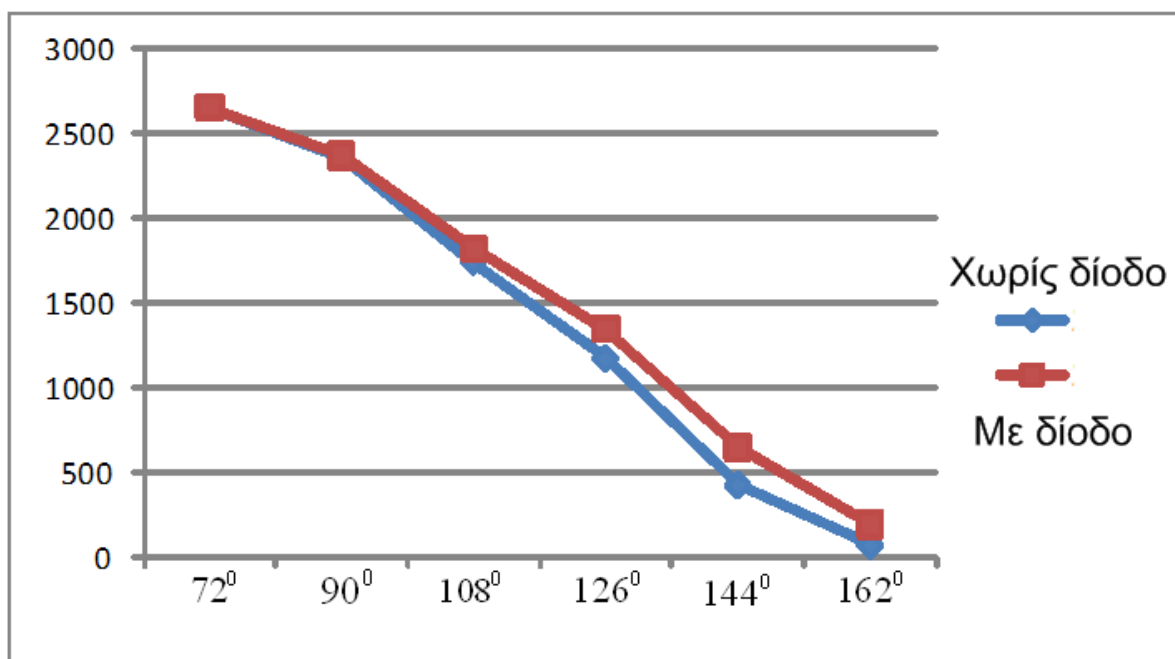
Γραφικές παραστάσεις

$$V_a = f(\alpha^\circ)$$



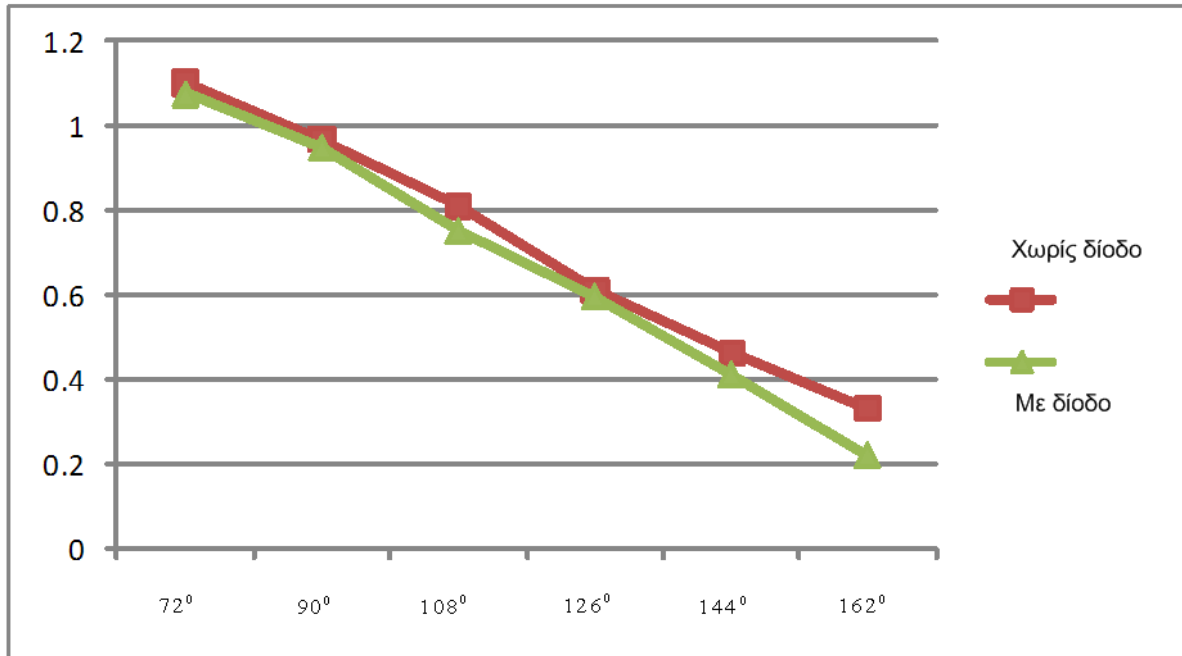
Με τη χρήση της διόδου ελευθέρως ροής και για γωνίες μεγαλύτερες των 90 μοιρών, εμφανίζεται στο φορτίο μεγαλύτερη ανορθωμένη τάση. Αυτό είναι αναμενόμενο, μιας και η δίοδος αποκόπτει τις αρνητικές τιμές της τάσης που εμφανίζονται λόγω του επαγωγικού χαρακτήρα του φορτίου, με συνέπεια να αυξάνεται η μέση τιμή.

$$n = f(\alpha^\circ)$$

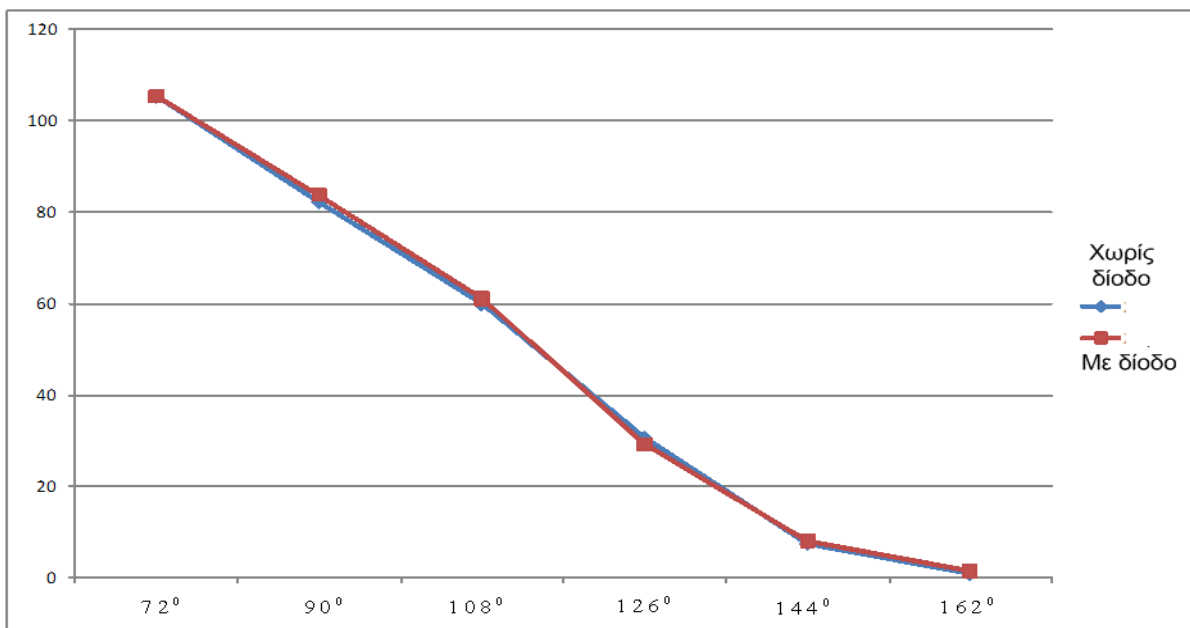


Με τη χρήση της διόδου ελευθέρως ροής και από τη στιγμή που εμφανίζεται στο φορτίο μεγαλύτερη ανορθωμένη τάση, θα έχουμε και περισσότερες στροφές στον άξονα του κινητήρα.

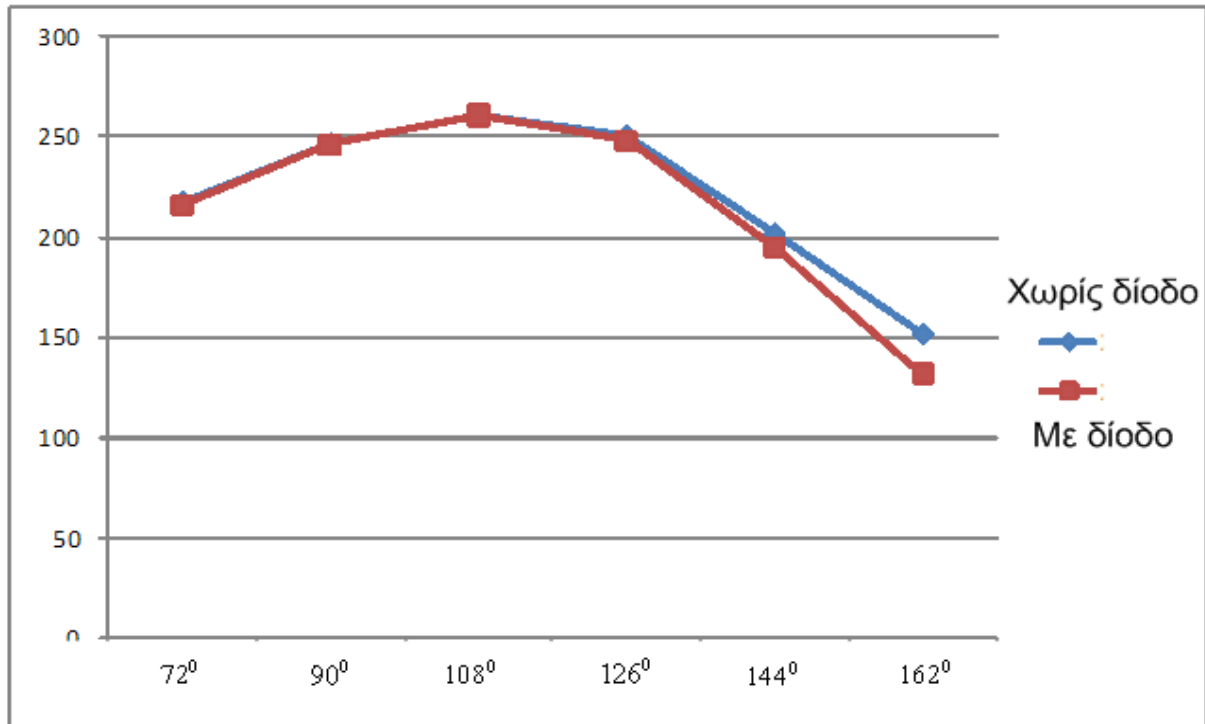
$$T = f(\alpha^0)$$



$$P\phi = f(\alpha^0)$$



$$Q = f(a^\circ)$$



Με τη χρήση της διόδου ελευθέρας ροής αποκόπτουμε τις αρνητικές τιμές της τάσης που εμφανίζονται στην έξοδο λόγω του επαγωγικού χαρακτήρα του φορτίου, με συνέπεια τη μείωση της άεργου ισχύος.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- (1) Ηλεκτρονικά Ισχύος, Στέφανος Ν. Μανιάς, Εκδόσεις Συμεών
- (2) Συστήματα Οδήγησης Ηλεκτρικών Κινητήρων, Παντελής Β. Μαλατέστας, Στέφανος Ν. Μανιάς, Εκδόσεις Συμεών
- (3) Ηλεκτρονική Φυσική, Κώστας Ζιγκήρης, ΟΕΔΒ, Αθήνα 1997
- (4) Τεχνολογία Υλικών & Εξαρτημάτων, Α. Τζιαμπάζης, Β. Τζιαμπάζη, Σύγχρονη Εκδοτική, Αθήνα 1993
- (5) Ηλεκτρονικά Ισχύος, Α. Τζιαμπάζης, Β. Τζιαμπάζη, Σύγχρονη Εκδοτική, Αθήνα 1993
- (6) Μικροηλεκτρονική, Τόμος Α, Jacob Millman, Arvin Grabel, Εκδόσεις Α. Τζιόλα Ε
- (7) Αναλογική Εξομοίωση Συστημάτων, Δ. Καλλιγερόπουλος, Σ. Βασιλειάδου, Σύγχρονη Εκδοτική
- (8) Σημειώσεις Εργαστηρίου Ηλεκτρονικών Ι, Κωστής Ιωάννης.
- (9) Σημειώσεις Ηλεκτρονικών Ισχύος & Ηλεκτρικής Κίνησης, Ε. Ξανθούλης
- (10) Σημειώσεις Εργαστηρίου Ηλεκτρική Ηλεκτρονική Κατασκευή, Ν. Βενέτας
- (11) Εργαστηριακές Ασκήσεις Ηλεκτρικής Κίνησης, Παντελής Β. Μαλατέστας – Ηρακλής Αθ. Βυλλιώτης, Εκδόσεις Τζιόλα
- (12) Εργαστηριακές Ασκήσεις Ηλεκτρονικών Ισχύος, Παντελής Β. Μαλατέστας – Ηρακλής Αθ. Βυλλιώτης, Εκδόσεις Τζιόλα
- (13) Power electronics, second edition, Cyril W. Lander, McGraw-Hill Book Company
- (14) Power Electronics. Circuits, Devices and Applications, M.H. Rashid, Prentice-Hall international Editions
- (15) Advanced Power Electronics, Second Edition, Noel M. Morris, McGraw-Hill Book Company

(16) *The Electric Power Engineering Handbook*, Grigsby L.L, .CRC Press LLC, 2001, ISBN 0-8493-8578-4

(17) *The Electric Power Engineering Handbook - Industrial Electronics Series*, TIMOTHY L. SKVARENINA, .CRC Press LLC, 2003, ISBN 0-8493-7336-0

(18) *Digital Power Electronics and Applications* , Fang Lin Luo / Hong Ye / Muhammad Rashid, . Elsevier Academic Press, 2005, ISBN 0-1208-8757-6