

**ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΕ**

**ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΑΚΟΥΣΤΙΚΟΥ
ΕΝΙΣΧΥΤΗ 5-10WATT ΜΕ ΛΥΧΝΙΕΣ**

**STUDY AND CONSTRUCTION OF A 5-10WATTS
VALVE AUDIO AMPLIFIER**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΩΝ

ΑΠΟΣΤΟΛΟΥ ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ

ΠΑΥΛΙΔΗ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗ

511010

511086

15198M

Επιβλέπων: Παπακόστας Κ. Δημήτριος, Καθηγητής

Θεσσαλονίκη, 2016

Τίτλος Πτυχιακής Εργασίας (Ελληνικά): Μελέτη και κατασκευή ακουστικού ενισχυτή 5-10W με λυχνίες.

Τίτλος Πτυχιακής Εργασίας (Αγγλικά): Study and construction of a 5-10Watts valve audio amplifier.

Όνοματεπώνυμο φοιτητών: Αποστόλου Βασίλειος - Παυλίδης Παναγιώτης

Όνοματεπώνυμο επιβλέποντα: Παπακόστας Κ. Δημήτριος

Ημερομηνία Ανάληψης Π.Ε.: 19/10/2015

Ημερομηνία Περάτωσης Π.Ε.: 13/9/2016

Κωδικός Π.Ε.: 15198M

Περίληψη

Η συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία πραγματεύεται την μελέτη και κατασκευή ενισχυτή ακουστικών συχνοτήτων με λυχνίες. Η υλοποίηση της αναλύεται στα κεφάλαια του συγκεκριμένου εγγράφου. Ξεκινώντας λοιπόν, γίνεται ανάλυση του τρόπου λειτουργίας των λυχνιών καθώς και των διαφορετικών ειδών που υπάρχουν. Έπειτα, εξηγούμε τις βασικές αρχές λειτουργίας των ενισχυτών, τα χαρακτηριστικά και τις τάξεις τους. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στα βασικά στοιχεία εισόδου και εξόδου του κυκλώματος, τους μετασχηματιστές τροφοδοσίας και εξόδου, και τα μεγάφωνα. Εκεί θα δούμε τον τρόπο λειτουργίας, τα χαρακτηριστικά τους και τα διάφορα είδη μετασχηματιστών και μεγαφώνων που υπάρχουν. Η ανάλυση μας θα συνεχίσει στο πως αυτά τα στοιχεία εισάγουν διάφορους θορύβους και παραμορφώσεις στο κύκλωμα και πως αυτά τα φαινόμενα μπορούν να αντιμετωπιστούν. Έπειτα, στο κεφάλαιο της κατασκευής θα αναλύσουμε πως από την αρχική ιδέα και σχεδίαση, καταλήξαμε στην τελική μορφή του ενισχυτή. Τέλος, με βάση τις μετρήσεις που έγιναν, θα αναφέρουμε την αξιολόγηση της κατασκευής και τα τελικά συμπεράσματα μας.

Abstract

This thesis deals with the design and construction of an acoustic frequency amplifier with vacuum tubes. The implementation of this project is analyzed on the chapters of this document. The thesis starts with the analysis of the function of vacuum tubes as well as the different types of tubes available. Next, we explain the basic principles of operation amplifiers, their characteristics and their classes. Then follows a reference of the basic functions and the principles followed of the input and output of this circuit, the power transformer, the output transformer as well as the basic principles of the loud speaker. The analysis continues with the noises and distortions associated with the various components of our circuit. Then on chapter 5 we analyze further the concept, the design and construction of our project as well as our observations from the results of the oscilloscope and the multimeter as shown, thus the overall evaluation of the performance of the amplifier.

Ευχαριστίες

Για τη διεκπεραίωση της παρούσης πτυχιακής θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον κ. Παρασκευόπουλο Αχιλλέα και τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Παπακώστα Δημήτριο για τη συνεργασία και την πολύτιμη συμβολή τους στην ολοκλήρωση της.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1ο - Ηλεκτρονικές Λυχνίες.....	σελ. 1
1.1 Εισαγωγή.....	σελ. 1
1.2 Ιστορία και εξέλιξη.....	σελ. 2
1.3 Τρόπος Λειτουργίας.....	σελ. 3
1.4 Στοιχεία της Λυχνίας.....	σελ. 5
1.5 Κατηγορίες και Είδη.....	σελ. 10
<i>Η Δίοδος.....</i>	<i>σελ.10</i>
<i>Η Τρίοδος.....</i>	<i>σελ. 14</i>
<i>Η Τέτροδος.....</i>	<i>σελ.18</i>
<i>Η Τέτροδος Κατευθυνόμενης Δέσμης.....</i>	<i>σελ. 20</i>
<i>Η Πέντοδος.....</i>	<i>σελ. 22</i>
Κεφάλαιο 2ο - Ενισχυτές.....	σελ. 25
2.1 Εισαγωγή.....	σελ. 25
2.2 Ενισχυτής και Βασικά Χαρακτηριστικά.....	σελ.26
2.3 Είδη και Τάξεις.....	σελ. 27
2.3.1 ΤΑΞΗ Α.....	σελ.28
2.3.2 ΤΑΞΗ Β.....	σελ. 29
2.3.3 ΤΑΞΗ ΑΒ.....	σελ. 31
2.3.4 ΤΑΞΗ C.....	σελ. 32

Κεφάλαιο 3ο - Στοιχεία του Ενισχυτή.....	σελ. 33
3.1 Εισαγωγή.....	σελ. 33
3.2 Ο Μετασχηματιστής.....	σελ. 33
3.3 Τρόπος Λειτουργίας.....	σελ. 35
3.4 Απώλειες του Μετασχηματιστή.....	σελ. 35
3.5 Είδη Μετασχηματιστών.....	σελ. 36
3.6 Χρήση των Μετασχηματιστών.....	σελ. 39
3.7 Το Μεγάφωνο.....	σελ. 39
3.8 Χαρακτηριστικά Μεγαφώνων.....	σελ. 42
3.9 Καμπίνες Μεγαφώνων.....	σελ. 43
Κεφάλαιο 4ο - Θόρυβος και Παραμορφώσεις.....	σελ. 45
4.1 Ήχος και Θόρυβος.....	σελ. 45
4.2 Κατηγορίες Θορύβου.....	σελ. 45
4.3 Παραμόρφωση.....	σελ. 48
4.4 Αρνητική Ανάδραση.....	σελ. 51
Κεφάλαιο 5ο - Η Κατασκευή.....	σελ. 53
5.1 Εισαγωγή.....	σελ. 53
5.2 Μεθοδολογία της Κατασκευής.....	σελ. 53
5.3 Το Κύκλωμα.....	σελ. 55
5.4 Το Είδος του Ενισχυτή.....	σελ. 68
5.5 Το Είδος της Λυχνίας.....	σελ. 68
5.6 Το Είδος του Μεγαφώνου.....	σελ. 69
5.7 Η Κατασκευή του Σασί.....	σελ. 69
5.8 Η Ξυλοκατασκευή.....	σελ. 70

5.9 Η Συναρμολόγηση.....	σελ 70
5.10 Καμπύλη Απόκρισης και Μετρήσεις.....	σελ 70
5.11 Ο Θόρυβος του Ενισχυτή.....	σελ 77
5.12 Συμπεράσματα.....	σελ.78
5.13 Φωτογραφίες της Κατασκευής.....	σελ.79
Βιβλιογραφία.....	σελ. 90
Παράρτημα - Φύλλα Δεδομένων.....	σελ.91



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

Ηλεκτρονικές Λυχνίες

1.1 Εισαγωγή

Η ηλεκτρονική λυχνία είναι ίσως μια από τις μεγαλύτερες ανακαλύψεις του 19^{ου} αιώνα. Αν και δεν έχει καμία σχέση με τη λυχνία ή λάμπα φωτισμού, όπως την έχουμε στο μυαλό μας, συνεχίζουμε να την αποκαλούμε έτσι, κυρίως για το ότι μοιάζει εξωτερικά με μια λάμπα, αλλά και για το ότι “λάμπει” στο εσωτερικό της όταν άγει. Άλλες ονομασίες που είναι διαδεδομένες, είναι “ηλεκτρονικός σωλήνας” (electron tube) ή απλώς “λυχνία”. Πως όμως μοιάζει μια ηλεκτρονική λυχνία;

Το εξωτερικό μιας λυχνίας είναι συνήθως γυαλί ή μέταλλο και έχει κυλινδρική μορφή, σαν σωλήνας (εξ’ ου και η άλλη της ονομασία). Στο εσωτερικό, ο αέρας έχει αφαιρεθεί και ο σωλήνας έχει κλείσει αεροστεγώς. Αυτό σημαίνει ότι μέσα στη λυχνία έχουμε κενό. Από εκεί προέρχεται και η ονομασία λυχνία κενού (vacuumtube). Υπάρχουν επίσης περιπτώσεις οπού διοχετεύονται σκόπιμα ορισμένα αέρια, κυρίως για ειδικούς σκοπούς και ιδιαίτερες χρήσεις.

Μέσα στο εσωτερικό κάθε λυχνίας είναι τοποθετημένα κάποια ηλεκτρόδια τα οποία εξυπηρετούν κάποιο σκοπό, ανάλογα τον τρόπο σύνδεσης και ανάλογα τη λυχνία. Αυτά τα ηλεκτρόδια είναι μεταλλικοί αγωγοί, οι οποίοι ανάλογα με τη χρήση τους έχουν και διαφορετική μορφή και σύσταση (πλάκες, ελικοειδή σύρματα κλπ). Τα ηλεκτρόδια αυτά, καταλήγουν στους ακροδέκτες ή “ποδαράκια” στη βάση της λυχνίας και από εκεί συνδέονται αναλόγως με τα υπόλοιπα στοιχεία του κυκλώματος.

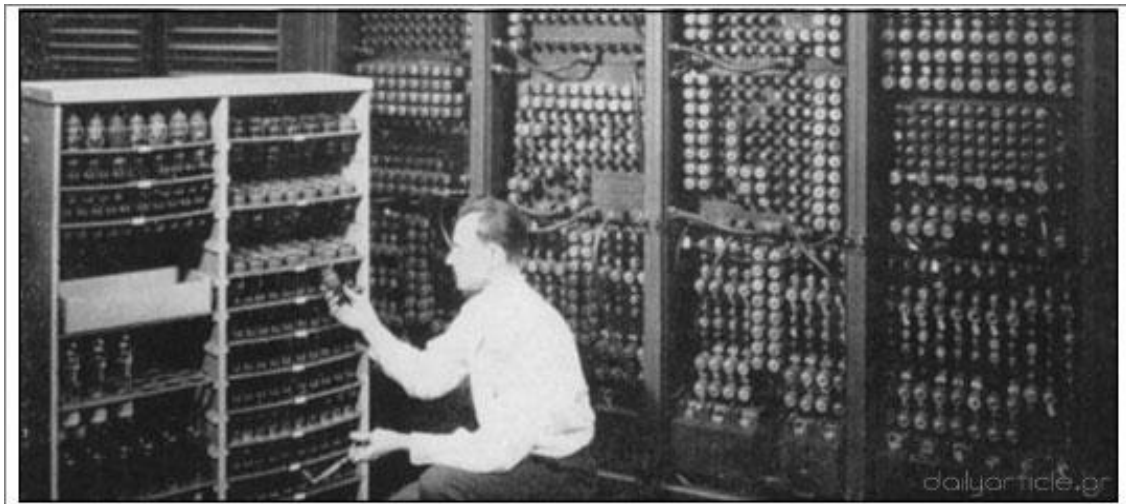
Η λειτουργία του κάθε ηλεκτροδίου καθορίζεται από το όνομα του. Κάθε λυχνία έχει τουλάχιστον δύο ηλεκτρόδια, τα οποία ονομάζονται κάθοδος (cathode) και άνοδος (anode). Σε πολλές λυχνίες υπάρχει και ένα τρίτο τουλάχιστον ηλεκτρόδιο, το οποίο ονομάζεται πλέγμα (grid). Συνήθως οι λυχνίες χωρίς πλέγμα ονομάζονται δίοδοι, ενώ αυτές με ένα πλέγμα τρίοδοι, με δύο τέτροδοι και με τρία πέντοδοι. Αυτά τα είδη των λυχνιών θα αναλυθούν παρακάτω.

1.2 Ιστορία και Εξέλιξη

Η εμφάνιση της ηλεκτρονικής λυχνίας έγινε τον 19^ο αιώνα, αρχικά από τους Thomas Edison, Eugen Goldstein, Nikola Tesla και Johann Hittorf. Αυτοί χρησιμοποίησαν πρώτοι, έστω πειραματικά την λάμπα και έθεσαν τα θεμέλια για την εξέλιξη της μετέπειτα τεχνολογίας των λυχνιών.

Η ανορθωτική ικανότητα της λυχνίας χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά τις αρχές του 20^{ου} αιώνα από τον John Ambrose Fleming, ο οποίος χρησιμοποίησε τη δίοδο λυχνία για να ανιχνεύσει ραδιοκύματα. Το 1906, αναπτύχθηκε από τον Lee De Forest η τρίοδη λυχνία, η οποία επίσης χρησιμοποιήθηκε σαν ανιχνευτής σημάτων και ήταν, μαζί με αυτήν του Fleming, που αποτέλεσαν τους πρώτους ηλεκτρονικούς ενισχυτές και οδήγησαν στην ραγδαία ανάπτυξη της τηλεφωνίας καθώς αύξησαν και τη χρήση των ραδιοπομπών και των δεκτών.

Αξίζει να αναφερθεί ότι ο Edison πρώτος ερεύνησε τη θερμιοική εκπομπή ηλεκτρονίων, με την οποία περιγράφεται η λειτουργία της ηλεκτρονικής λυχνίας, φαινόμενο το οποίο ονομάστηκε το “φαινόμενο Edison” ή “θερμοϊονικό φαινόμενο”.



Εικόνα 1.1: Μηχανικός αντικαθιστά μια λυχνία στον πρώτο υπολογιστή ENIAC.

1.3 Τρόπος Λειτουργίας

Θερμιοτική Εκπομπή Ηλεκτρονίων

Γνωρίζουμε ήδη ότι όλα τα υλικά αποτελούνται από μόρια και άτομα. Τα άτομα με τη σειρά τους αποτελούνται από έναν πυρήνα και από ηλεκτρόνια που γυρίζουν γύρω από τον πυρήνα. Ο πυρήνας, λόγω βάρους, έχει θετική φόρτιση, ενώ τα ηλεκτρόνια αρνητική. Το θετικό φορτίο του πυρήνα είναι ίσο και αντίθετο με το αρνητικό φορτίο όλων μαζί των ηλεκτρονίων. Το άτομο όμως έχει τη δυνατότητα να παίρνει από άλλα άτομα ένα ή και περισσότερα ηλεκτρόνια. Έτσι, η θετική φόρτιση του πυρήνα κάποια στιγμή θα πάψει να είναι ίση με την αρνητική των ηλεκτρονίων και έτσι θα έχουμε ένα άτομο φορτισμένο αρνητικά, το οποίο αποκαλούμε και αρνητικό ιόν. Στην αντίθετη περίπτωση που το άτομο χάσει ηλεκτρόνια, γίνεται θετικό ιόν.

Τα ηλεκτρόνια στρέφονται γύρω από τον πυρήνα σε στοιβάδες. Από όλες αυτές τις στοιβάδες, εμάς μας ενδιαφέρει πιο πολύ η εξωτερική στοιβάδα, της οποίας τα ηλεκτρόνια ονομάζονται ηλεκτρόνια σθένους. Αυτό καθορίζει και την ηλεκτρική ιδιότητα του κάθε υλικού. Αν ένα σώμα αποτελείται από άτομα των οποίων τα ηλεκτρόνια μεταπηδούν εύκολα από άτομο σε άτομο, τότε είναι καλός αγωγός (πχ χαλκός), ενώ αν συμβαίνει το αντίθετο και μένουν “δεμένα” στα άτομα, τότε το σώμα είναι μονωτικό και άρα κακός αγωγός.

Καταλαβαίνουμε λοιπόν ότι το ρεύμα που υπάρχει μέσα σε έναν αγωγό, οφείλεται στα ηλεκτρόνια. Το σύνολο των ηλεκτρονίων, εφόσον μετακινείται εύκολα, μπορεί να δημιουργήσει ρεύμα, αν μια πηγή τροφοδοσίας το “ωθήσει”. Τις περισσότερες φορές τα ηλεκτρόνια δεν έχουν τη δυνατότητα να φύγουν από την επιφάνεια του αγωγού κι αυτό γιατί εμποδίζονται από την ίδια την επιφάνεια. Ωστόσο υπάρχουν τρόποι κάποια ηλεκτρόνια να ελευθερωθούν και να κινηθούν εντελώς ελεύθερα στο γύρω χώρο. Τότε έχουμε την εκπομπή ηλεκτρονίων.

Τέτοιου είδους εκπομπή ηλεκτρονίων μπορούμε να έχουμε είτε θερμαίνοντας το μέταλλο, είτε αν “βομβαρδίσουμε” το μέταλλο με άλλα ηλεκτρόνια και ιόντα προκαλώντας ισχυρά κρούσματα που μπορούν να κάνουν τα ηλεκτρόνια να πεταχτούν έξω από το μέταλλο, είτε να φωτίσουμε το μέταλλο με ορατό φώς ή κατάλληλη ακτινοβολία έτσι ώστε, αν το μέταλλο είναι κατάλληλο, να πετύχουμε φωτοηλεκτρική εκπομπή, ή να ασκήσουμε ισχυρά ελκτικά πεδία. Η τελευταία μέθοδος αποτελεί την αυτοηλεκτρονική εκπομπή ηλεκτρονίων.

Η λειτουργία των λυχνιών βασίζεται στη θερμική εκπομπή και μοιάζει λίγο πολύ με το νερό που βράζει. Όπως βράζει το νερό σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία (100° C), εξατμίζεται σιγά-σιγά. Αυτό σημαίνει πως τα μόρια του νερού έχουν αποκτήσει τόση κινητική ενέργεια που τους επιτρέπει να ξεκολλήσουν από τη μάζα του υγρού και να μετατραπούν σε ατμό. Κάτι ανάλογο συμβαίνει και με τα ηλεκτρόνια ενός μετάλλου, όταν αυτό θερμανθεί αρκετά. Η θερμότητα του σώματος είναι μια μορφή ενέργειας που προκαλείται από τα μόρια και τα άτομα του στοιχείου. Η θερμική αυτή κίνηση, όσο γίνεται πιο έντονη, επιτρέπει στα ηλεκτρόνια να υπερνικήσουν το εμπόδιο της επιφάνειας του μετάλλου και να πεταχτούν προς τα έξω. Έχουμε δηλαδή ένα είδος

βρασμού των ηλεκτρονίων του μετάλλου, που έχει σαν αποτέλεσμα τη θερμική εκπομπή ηλεκτρονίων. Αυτό ονομάζεται θερμοϊονικό φαινόμενο ή φαινόμενο Edison, όπως εξηγήσαμε πιο πάνω.

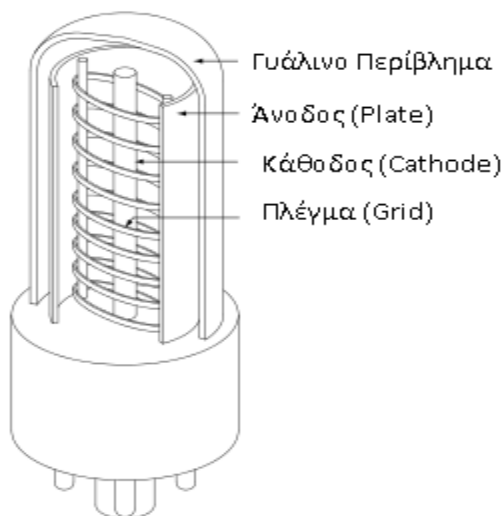
Είναι προφανές λοιπόν πως λειτουργεί γενικά η λυχνία: Μόλις η κάθοδος της αποκτήσει την κατάλληλη θερμοκρασία, επιτρέπει στα ηλεκτρόνια του μετάλλου της να κινηθούν και τελικά να πεταχτούν από την επιφάνεια της. Τα οποία αυτά ηλεκτρόνια, κινούμενα ελεύθερα, έλκονται από το θετικό της ανόδου και τελικά ταξιδεύοντας προσκολλώνται εκεί.

1.4 Στοιχεία της Λυχνίας

Αφού αναλύσαμε γενικά τον τρόπο λειτουργίας της λυχνίας, ας δούμε και το πώς συνδυάζονται τα στοιχεία που αναφέραμε πιο πάνω και τον ρόλο που παίζουν στη λειτουργία, ανάλογα με την εφαρμογή.

Τα δύο κύρια στοιχεία λοιπόν της λυχνίας είναι τα εξής:

- Η κάθοδος (Cathode)
- Η άνοδος (Plate)



Εικόνα 1.2: Η βασική διάταξη των στοιχείων μιας ηλεκτρονικής λυχνίας.

Η Κάθοδος (Cathode)

Η κάθοδος αποτελεί την πηγή των ηλεκτρονίων σε μια λυχνία. Είναι αυτή η οποία πρέπει να φτάσει σε μια συγκεκριμένη θερμότητα, έτσι ώστε τα ηλεκτρόνια στην επιφάνεια της να αρχίσουν να κινούνται και να αποκολλώνται από αυτήν, με σκοπό να ταξιδέψουν προς την άνοδο, για να λειτουργήσει η λυχνία. Η θερμοκρασία που πρέπει να φτάσει η κάθοδος για να το πετύχει αυτό, κυμαίνεται στους 1000°C με 2000°C, ανάλογα από το μέταλλο που είναι κατασκευασμένη. Η θέρμανση της γίνεται με ηλεκτρικό τρόπο, δηλαδή από το ρεύμα μιας άλλης ηλεκτρικής πηγής.

Είναι καθοριστικής σημασίας η θερμοκρασία που θα φτάσει η επιφάνεια της καθόδου. Είναι επιτακτική ανάγκη να θερμαίνεται στα κανονικά της πλαίσια, ούτε παραπάνω, ούτε παρακάτω,

ειδάλλως μπορεί να προκληθεί δυσλειτουργία ή ακόμη και ολοκληρωτική καταστροφή της λυχνίας. Αυτό σημαίνει ότι η πηγή που τροφοδοτεί την κάθοδο, πρέπει να έχει την τάση που μας δίνει ο κατασκευαστής. Αν για παράδειγμα η τάση λειτουργίας είναι στα 5,1 Volt, η λυχνία δε θα λειτουργεί σωστά αν εμείς εφαρμόσουμε τάση μικρότερη των 4,9 Volt ή μεγαλύτερη των 5,3 Volt περίπου.

Τρόπος θέρμανσης

Η κάθοδος μπορεί να φτάσει στην επιθυμητή θερμοκρασία είτε με άμεση είτε με έμμεση θέρμανση:

Μια κάθοδος άμεσης θέρμανσης αποτελείται από ένα μεταλλικό νήμα το οποίο είναι κατασκευασμένο από βολφράμιο. Λυχνίες άμεσης θέρμανσης χρησιμοποιούνται στους δέκτες με στήλες. Η θέρμανση μέσω αυτών των νημάτων γίνεται με συνεχές ρεύμα κι αυτό γιατί με το εναλλασσόμενο ρεύμα θα είχαμε εναλλαγές στη θερμοκρασία. Αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα τη μη ομαλή εκπομπή ηλεκτρονίων κάτι που, εκτός των άλλων, θα προκαλούσε θόρυβο και στο megάφωνο. Λυχνίες άμεσης θέρμανσης χρησιμοποιούνται επίσης και σε πομπούς. Επειδή όμως οι λυχνίες αυτές είναι μεγάλες και η κάθοδος τους γερή και χοντρή, μπορεί πλέον να χρησιμοποιηθεί και εναλλασσόμενο ρεύμα. Σε αυτή την περίπτωση, η θερμική χωρητικότητα της καθόδου είναι μεγάλη, οπότε δεν εμφανίζονται οι θερμικές διαφορές που λόγω της εναλλαγής του ρεύματος και έτσι η εκπομπή της καθόδου, είναι αρκετά ομαλή.

Ενώ στην κάθοδο άμεσης θέρμανσης είδαμε ότι το νήμα πυράκτωσης αποτελεί συγχρόνως και την κάθοδο της λυχνίας, στην κάθοδο έμμεσης θέρμανσης έχουμε δύο μέρη: το νήμα θέρμανσης και το κύριο μέρος της καθόδου. Ο σκοπός του νηματος θέρμανσης είναι να θερμαίνει την κάθοδο και μόνο αυτό και δεν αποτελεί ηλεκτρόδιο της λυχνίας. Η κύρια κάθοδος η οποία εκπέμπει τα ηλεκτρόνια, αποτελείται συνήθως από έναν σχετικά λεπτό σωλήνα νικελίου, ο οποίος είναι σκεπασμένος από οξειδία βαρίου και στρόντιου. Η επίστρωση του σωλήνα με στρόντιο ή βάριο έχει ως αποτέλεσμα την έκλυση μεγαλύτερου αριθμού ηλεκτρονίων από την κάθοδο. Οι λυχνίες έμμεσης θέρμανσης χρησιμοποιούνται κυρίως στις ραδιοτεχνικές κατασκευές και μπορούμε να τις τροφοδοτήσουμε είτε με συνεχές είτε με εναλλασσόμενο ρεύμα.

Το χωρικό φορτίο της καθόδου

Όπως αναφέραμε, με την κατάλληλη θέρμανση της καθόδου, εκπέμπονται ηλεκτρόνια από αυτήν, τα οποία περιφέρονται ελεύθερα στο εσωτερικό της λυχνίας και τα οποία στη συνέχεια έλκονται από την άνοδο. Τα ηλεκτρόνια αυτά, όταν “ξεκολλούν” από την επιφάνεια της καθόδου, αφήνουν πίσω τους θετικά ιόντα. Αυτό σημαίνει ότι όσο είναι κοντά στην κάθοδο, συνεχίζουν να έλκονται από αυτήν. Επιπλέον, όσα νέα ηλεκτρόνια εκπέμπονται, συναντούν στην πορεία τους ένα πλήθος από προηγούμενα ηλεκτρόνια που “ξέφυγαν”, με αποτέλεσμα να βρίσκουν ένα αρνητικό πεδίο μπροστά τους. Όντας λοιπόν κι αυτά αρνητικά, απωθούνται από τα

προηγούμενα κι έτσι καταλήγουν πολύ κοντά στην κάθοδο. Σχηματίζεται έτσι αυτό που ονομάζουμε καθοδικό χωρικό φορτίο. Ένας χώρος δηλαδή γεμάτος από αρνητικά ηλεκτρόνια, ένας χώρος αρνητικού ηλεκτρικού πεδίου. Αντί λοιπόν να έχουμε μια συγκεκριμένη κάθοδο, έχουμε αυτό το νέφος θα λέγαμε, ηλεκτρονίων, μέσα στο οποίο η κάθοδος χάνεται.

Βλέπουμε λοιπόν από τα παραπάνω ότι η κάθοδος, είναι ένα σημαντικό κομμάτι της λυχνίας και γι' αυτό πρέπει να ξέρουμε όλα της τα χαρακτηριστικά έτσι ώστε να χρησιμοποιηθεί κατάλληλα. Ανάμεσα στα είδη υπάρχουν κάποιες διαφορές. Οι λυχνίες έμμεσης πυράκτωσης πλεονεκτούν απέναντι στις λυχνίες άμεσης πυράκτωσης στο ότι αυτές παρουσιάζουν ισοδυναμική κάθοδο (δηλαδή η επιφάνεια της καθόδου παρουσιάζει ενιαίο δυναμικό). Μάλιστα είναι και πιο πλούσιες σε εκπομπή ηλεκτρονίων, επειδή έχουν μεγαλύτερη επιφάνεια.

Παρόλα αυτά και τα δύο είδη έχουν εφαρμογή και αποτελούν αντικείμενα μεγάλης προσοχής, καθώς η κάθοδος εκτός από σημαντική, είναι και πολύ ευαίσθητη. Οποιαδήποτε αλλοίωση της μπορεί να έχει αντίκτυπο στην ικανότητα της να εκπέμπει ηλεκτρόνια. Ωστόσο η κάθοδος αλλοιώνεται με το πέρασ του χρόνου όπως και να 'χει, με το όριο ζωής να φτάνει σε μερικές χιλιάδες ώρες (περίπου 2000 ώρες για μεγάλες λυχνίες εκπομπής και 5000 ώρες στους δέκτες), αν δεν καταστραφεί από άλλη αιτία. Αυτό συνήθως είναι και το όριο ζωής της λυχνίας, καθώς εξαρτάται κυρίως από το χρόνο ζωής της καθόδου.

Η Άνοδος (Plate)

Εκτός από την κάθοδο, η οποία αποτελεί ένα μέρος της ηλεκτρονικής λυχνίας, ένα ακόμη μέρος, όπως αναφέρθηκε, είναι η άνοδος της λυχνίας.

Η άνοδος της λυχνίας είναι αυτή που υποδέχεται τα ηλεκτρόνια που ελευθερώνει η κάθοδος μέσω της θερμότητας, εφόσον το δυναμικό της είναι θετικότερο από αυτό της καθόδου. Είναι ουσιαστικά η έξοδος της λυχνίας, από εκεί όπου παίρνουμε την επιθυμητή ενίσχυση του σήματος. Αυτό σημαίνει ότι στην άνοδο, εφόσον όλα τα ηλεκτρόνια που εκπέμπει η κάθοδος καταλήγουν εκεί, σημειώνεται και μεγάλη θερμοκρασία. Έτσι λοιπόν η άνοδος είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε, είτε να ψύχεται από μόνη της είτε η ψύξη της να γίνεται μέσω ψύκτρας αέρα ή νερού.

Οι άνοδοι των λυχνιών είναι μεταλλικοί κύλινδροι κατασκευασμένοι από φύλλο καθαρού σιδήρου ή νικελίου, που περιβάλλουν την κάθοδο και τα υπόλοιπα ηλεκτρόδια της λυχνίας. Συχνά μάλιστα καλύπτονται από γραφίτη για την αμαύρωσή τους και συνεπώς για την καλύτερη αποβολή θερμότητας από την άνοδο. Για την ομαλή κίνηση των ηλεκτρονίων από την κάθοδο προς την άνοδο υπάρχει ανάγκη να δεσμευτούν τα ελάχιστα μόρια αέρα που έχουν απομείνει μετά την άντληση για το σχηματισμό του κενού. Αυτό επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση αλάτων του μαγνησίου ή άλλων μετάλλων μέσα σ' ένα μικρό μεταλλικό κύπελλο, που βρίσκεται κοντά στη βάση της λυχνίας. Τα άλατα αυτά δημιουργούν, στην εσωτερική επιφάνεια του γυάλινου περιβλήματος της λυχνίας, μερική μεταλλική επιστρωση σε μορφή καθρέπτη, ενώ συγχρόνως

δεσμεύουν τα μόρια των αερίων που ελευθερώνονται από τα διάφορα μεταλλικά ηλεκτρόδια κατά τη λειτουργία της λυχνίας.

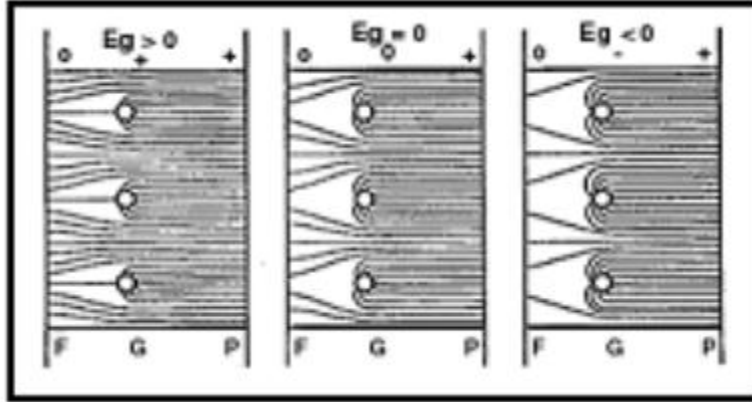
Ένα ακόμη ανεπιθύμητο φαινόμενο, που παρουσιάζεται κατά τη λειτουργία των λυχνιών, είναι η δευτερογενής εκπομπή. Αυτή προέρχεται από το γυάλινο περίβλημα της λυχνίας, δηλαδή ορισμένος αριθμός ηλεκτρονίων ξεφεύγει από την πορεία του προς την άνοδο και προσπίπτει πάνω στην επιφάνεια του γυαλιού, αποσπώντας από αυτή πολλαπλάσιο αριθμό ηλεκτρονίων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να γίνεται το γυαλί συνεχώς θετικότερο (από την έλλειψη ηλεκτρονίων), με κίνδυνο την ανάπτυξη υψηλών τάσεων ανάμεσα σ' αυτό και στα ηλεκτρόδια της λυχνίας. Αυτό αποφεύγεται με την επικάλυψη τμήματος της λυχνίας με επίχρισμα άνθρακα. Ο άνθρακας μειώνει στο ελάχιστο τα ηλεκτρόνια που εκπέμπονται δευτερογενώς από το γυαλί, εφόσον για κάθε ηλεκτρόνιο που προσπίπτει πάνω σ' αυτόν εκπέμπει δευτερογενώς ένα το πολύ ηλεκτρόνιο και έτσι δεν επιτρέπει τη φόρτιση του γυάλινου περιβλήματος της λυχνίας. Το επίχρισμα του άνθρακα δίνει μια όψη αιθάλωσης (καπνιάς) στην εσωτερική επιφάνεια του γυαλιού.

Πλέγματα (Grids)

Εκτός από τη δίοδο, όλοι οι τύποι λυχνιών, οι οποίοι θα αναλυθούν σε παρακάτω ενότητα, περιέχουν και ένα ακόμα ηλεκτρόδιο, το πλέγμα.

Το πλέγμα παρεμβάλλεται ανάμεσα στην κάθοδο και την άνοδο της λυχνίας. Μοιάζει στην πραγματικότητα με έναν "φράκτη" με διάκενα, μέσα από τα οποία περνούν τα ηλεκτρόνια που εκπέμπει η κάθοδος και φτάνουν στην άνοδο. Η τάση που εφαρμόζεται στο πλέγμα ελέγχου επηρεάζει το ρεύμα μεταξύ της καθόδου και της ανόδου. Όταν η τάση είναι αρνητικότερη σε σχέση με την κάθοδο, το πλέγμα ελέγχου δημιουργεί ένα ηλεκτρικό πεδίο το οποίο απωθεί τα ηλεκτρόνια που εκπέμπονται από την κάθοδο, μειώνοντας έτσι ή ακόμη και διακόπτοντας τη ροή του ρεύματος μεταξύ ανόδου και καθόδου. Αυτό σημαίνει ότι το πλέγμα μας δίνει την δυνατότητα να ελέγχουμε την τάση, τη ροή του ρεύματος μεταξύ της καθόδου και της ανόδου, μεταβάλλοντας συνεπώς την έξοδο.

Τα πλέγματα των λυχνιών κατασκευάζονται από σύρμα μολυβδαινίου σε μορφή ελικοειδούς σπειρώματος, το οποίο περιβάλλει την κάθοδο. Η απόσταση ανάμεσα στις σπείρες του σύρματος ποικίλει, συνήθως όμως είναι 1 έως 1,5 mm. Το πλέγμα στηρίζεται σε λεπτά κατακόρυφα ραβδία από νικέλιο ή άλλο μέταλλο. Για την ελάττωση της χωρητικότητας που παρουσιάζεται ανάμεσα στα ηλεκτρόδια της λυχνίας, τα πλέγματα κατασκευάζονται συχνά σε ελλειπτικό σχήμα. Σε ορισμένες λυχνίες, για την ελάττωση της χωρητικότητας ανάμεσα στην κάθοδο και στο οδηγό πλέγμα (control grid), η έξοδος του πλέγματος βρίσκεται στην κορυφή της λυχνίας.



Σχήμα 1.1: Η μεταβολή της τάσης στο πλέγμα, ανάλογη με την ροή των ηλεκτρονίων στη λυχνία.

1.5 Κατηγορίες και Είδη

Αφού είδαμε τις βασικές αρχές λειτουργίας της λυχνίας, ας δούμε και τις κατηγορίες στις οποίες αυτές χωρίζονται.

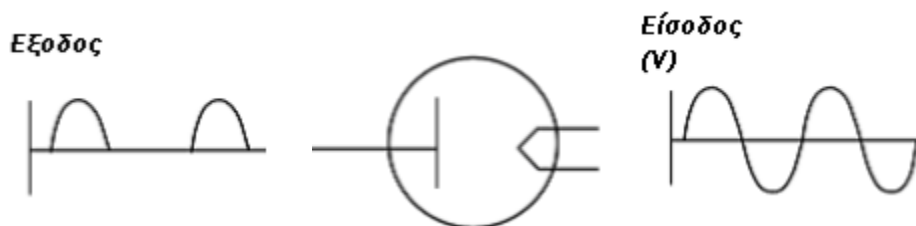
Ένας τρόπος να ξεχωρίσουμε μια λυχνία είναι από τα ενεργά ηλεκτρόδια που υπάρχουν μέσα σε αυτή. Μια λυχνία με δύο ενεργά ηλεκτρόδια ονομάζεται δίοδος (άνοδος – κάθοδος), ενώ μια λυχνία με τρία ενεργά ηλεκτρόδια (άνοδος – κάθοδος – πλέγμα), ονομάζεται τρίοδος. Έχουμε από εκεί και πέρα την τέτροδο, με τέσσερα ενεργά ηλεκτρόδια (άνοδος – κάθοδος – πλέγμα ελέγχου – προστατευτικό πλέγμα) και την πέντοδο, με πέντε ενεργά ηλεκτρόδια (άνοδος – κάθοδος – πλέγμα ελέγχου – προστατευτικό πλέγμα – πλέγμα αναστολής).

1.5.1 Η Δίοδος Λυχνία

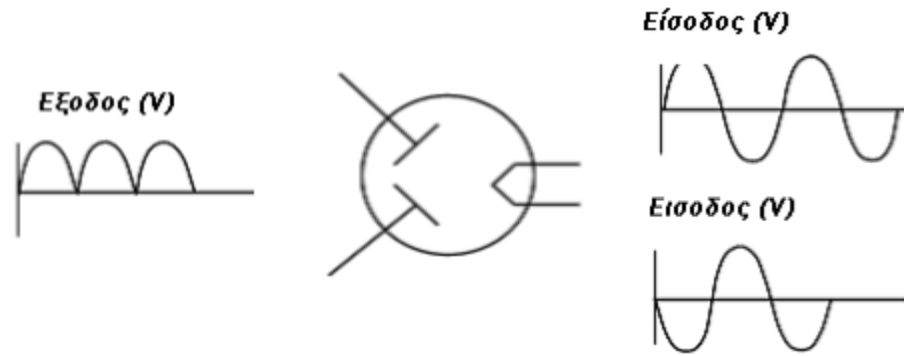
Η δίοδος λυχνία είναι στην ουσία η πιο απλή μορφή λυχνίας, όπως την περιγράψαμε πιο πάνω, με δύο βασικά ηλεκτρόδια, την άνοδο και την κάθοδο. Χρησιμοποιείται συνήθως σαν φωράτρια για ασθενή ρεύματα υψηλής συχνότητας.

Τον 20^ο αιώνα, ο Άγγλος φυσικός, John Ambrose Fleming (Φλέμινγκ), κατασκεύασε μια συσκευή, την οποία ονόμασε σωλήνα ταλάντωσης. Αυτή η συσκευή χρησιμοποιήθηκε και σαν ανορθώτρια εναλλασσόμενων ρευμάτων, καθώς τα ηλεκτρόνια κυλούσαν προς μια και μόνο κατεύθυνση (από την κάθοδο προς την άνοδο).

Μια δίοδος λυχνία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν ανορθώτρια μισού μήκους κύματος και σαν πλήρους μήκους κύματος, όπως φαίνεται στα σχήματα 1.2 και 1.3.



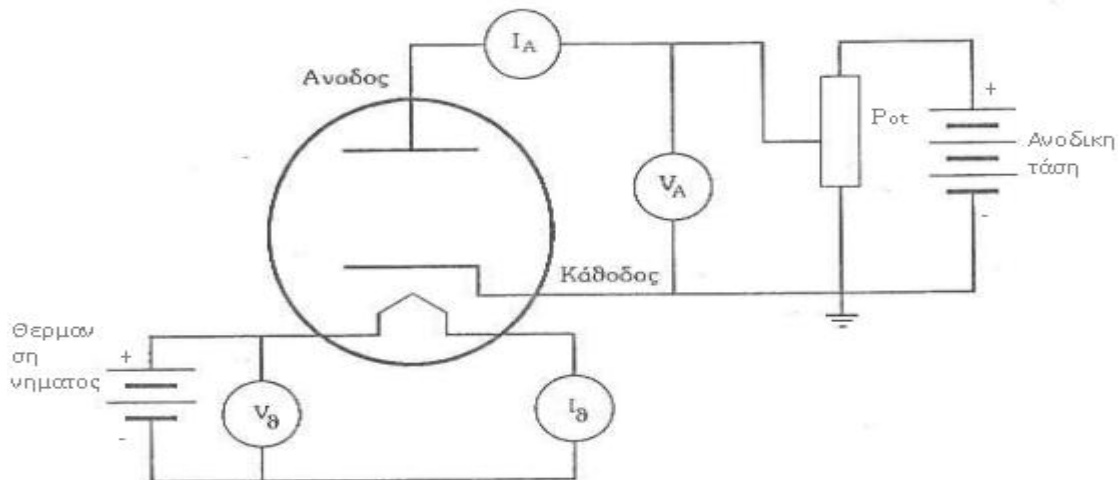
Σχήμα 1.2: Ανορθώτρια μισού κύματος.



Σχήμα 1.3: Ανορθώτρια πλήρους κύματος.

Τα ηλεκτρόνια που εκπέμπονται από την κάθοδο έχουν αρνητικό φορτίο και έτσι έλκονται από την θετικότερη άνοδο και κινούνται προς αυτήν. Δημιουργείται έτσι ανάμεσα στην κάθοδο και την άνοδο ένα ρεύμα ηλεκτρονίων. Αυτό το ρεύμα ονομάζεται ανοδικό ρεύμα. Μόλις τα ηλεκτρόνια “χτυπήσουν” στην άνοδο, συνεχίζουν την πορεία τους μέσα από τους αγωγούς, προς την πηγή της ανοδικής τάσης. Συγχρόνως, η κάθοδος συνεχίζει να εκπέμπει νέα ηλεκτρόνια, πράγμα που διατηρεί τη συνεχή ροή ηλεκτρονίων προς την άνοδο, το οποίο σημαίνει ότι το ανοδικό ρεύμα είναι συνεχές και η φορά του είναι από την κάθοδο προς την άνοδο, δηλαδή από το πλιν (-) προς το συν (+).

Το ανοδικό ρεύμα εξαρτάται από την ανοδική τάση και όσο αυξάνουμε την ανοδική τάση, τόσο περισσότερο ανοδικό ρεύμα θα ρέει. Αυτό μπορεί να γίνει κατανοητό, αν εξηγήσουμε τη συμπεριφορά της διόδου λυχνίας σε ένα κύκλωμα, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.4.



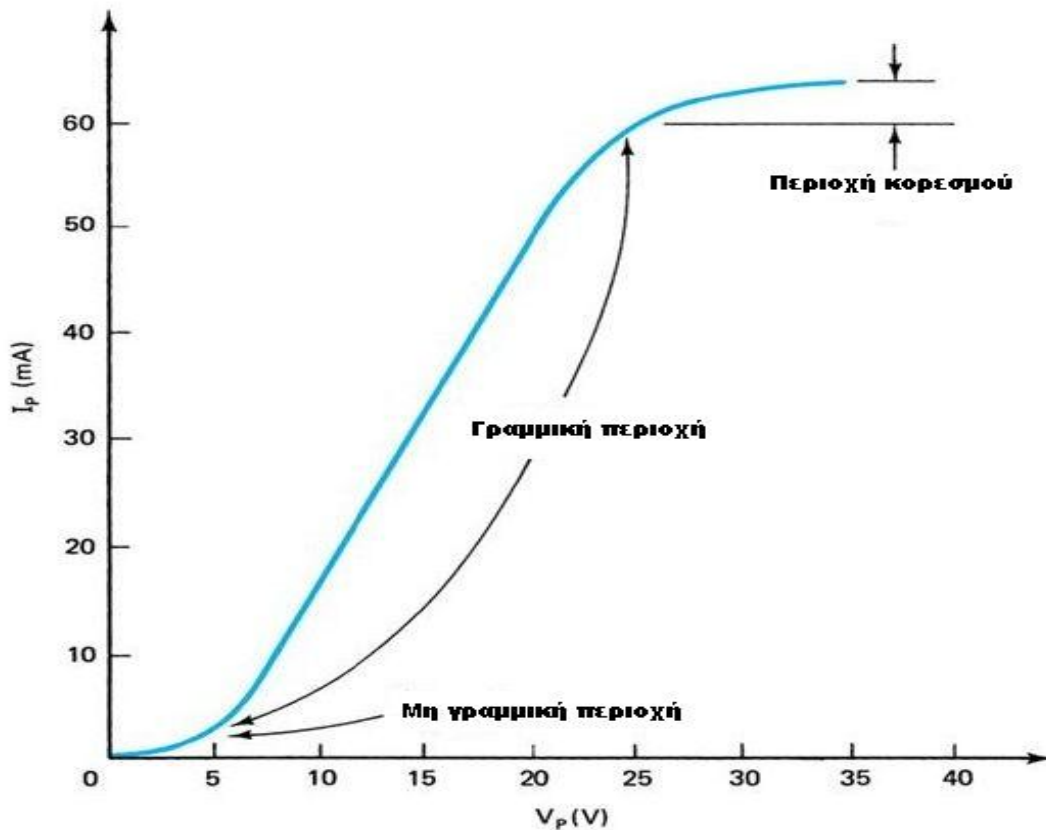
Σχήμα 1.4: Συνδεσμολογία μιας διόδου λυχνίας.

Η θέρμανση του νήματος γίνεται όπως βλέπουμε από μια ξεχωριστή πηγή από αυτή που τροφοδοτεί την άνοδο. Η πηγή για τη θέρμανση του νήματος κυμαίνεται συνήθως στα περίπου 6

Volts (πχ 6,3 Volts), ενώ η πηγή της ανόδου έχει συνήθως τιμή δεκάδων ή ακόμη και εκατοντάδων Volts.

Το ποτενσιόμετρο στο κύκλωμα χρησιμεύει στη μεταβολή της τάσης της ανόδου έτσι ώστε να είναι πιο εύκολο να παρατηρούμε τη μεταβολή τάσης και ρεύματος, τα οποία μπορούν επίσης να μετρηθούν με ένα βολτόμετρο και ένα αμπερόμετρο αντίστοιχα, συνδεδεμένα όπως φαίνεται και στο παραπάνω κύκλωμα του σχήματος 1.4.

Όπως είπαμε πιο πάνω, το ρεύμα της ανόδου εξαρτάται από την ανοδική τάση. Αυτό σημαίνει ότι όσο κινούμε τον δρομέα του ποτενσιόμετρου προς τα επάνω η προς τα κάτω, τόσο περισσότερο η λιγότερο ανοδικό ρεύμα θα μετράμε. Αν σημειώσουμε τις αντίστοιχες τιμές τάσης και ρεύματος που μετράμε επάνω στο κύκλωμα, μπορούμε να σχεδιάσουμε την χαρακτηριστική καμπύλη της διόδου λυχνίας, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.5.



Σχήμα 1.5: Χαρακτηριστική καμπύλη διόδου λυχνίας.

Πάνω στην χαρακτηριστική καμπύλη μπορούμε να διακρίνουμε τη μη γραμμική περιοχή, την γραμμική περιοχή και την περιοχή κορεσμού.

Στο πρώτο τμήμα της μη γραμμικής περιοχής, όσο η τάση αυξάνει, τόσο αυξάνει και το ρεύμα. Τα ηλεκτρόνια δεν προέρχονται από την κάθοδο απευθείας, αλλά από το καθοδικό χωρικό φορτίο.

Όταν η ανοδική τάση αυξηθεί αρκετά, το ανοδικό ρεύμα αυξάνει γρηγορότερα. Φτάνουμε έτσι στο δεύτερο σημείο της καμπύλης, τη γραμμική περιοχή. Το τμήμα αυτό είναι ευθύγραμμο και το ανοδικό ρεύμα και πάλι περιορίζεται από το καθοδικό χωρικό φορτίο.

Αν προχωρήσουμε παραπέρα, φτάνουμε στο τελευταίο σημείο της καμπύλης. Σε αυτό το σημείο όσο κι αν αυξηθεί η τάση, το ρεύμα δεν αλλάζει. Η κάθοδος από τη μεριά της, δε μπορεί να δώσει παραπάνω ηλεκτρόνια, έστω κι αν αυξάνουμε διαρκώς την τάση της ανόδου. Ο περιορισμός του ρεύματος δε γίνεται πλέον από το χωρικό φορτίο, αλλά από την ηλεκτρονική εκπομπή της καθόδου. Σε αυτό το σημείο δηλαδή η λυχνία έχει φτάσει στην περιοχή κορεσμού της. Το ρεύμα βρίσκεται στη μεγαλύτερη τιμή που μπορούμε να λάβουμε, ανεξάρτητα από την τάση της ανόδου. Σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας, η λυχνία θα πρέπει να λειτουργεί αρκετά μακριά από την περιοχή κορεσμού.

Όπως είπαμε πιο πάνω, η δίοδος λυχνία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν ανορθώτρια, κι αυτό γιατί παρουσιάζει μονόπλευρη αγωγιμότητα. Αυτό σημαίνει ότι η δίοδος επιτρέπει την διέλευση ηλεκτρονίων μόνο από την κάθοδο προς την άνοδο και όχι το αντίθετο. Αν δηλαδή η άνοδος, με μια αντιστροφή των πόλων της πηγής, γίνει αρνητική ως προς την κάθοδο, τα ηλεκτρόνια θα απωθούνται αντί να έλκονται κι έτσι δε θα υπάρχει ανοδικό ρεύμα.

Η λυχνία επίσης είναι μη γραμμικό στοιχείο κι αυτό γιατί η χαρακτηριστική της είναι φανερά καμπύλη.

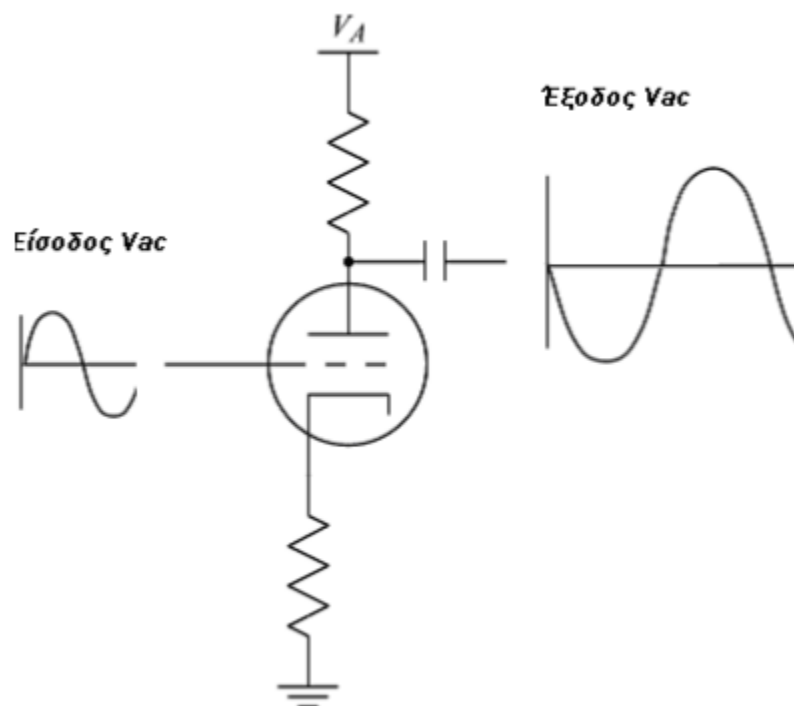
Αν η λυχνία λειτουργεί στη γραμμική περιοχή, παρουσιάζεται μια αντίσταση. Η αντίσταση αυτή ονομάζεται εσωτερική αντίσταση, είναι ο λόγος της εναλλασσόμενης τάσης προς το εναλλασσόμενο ρεύμα και συμβολίζεται με το γράμμα ρ .

Η θερμότητα που δημιουργούν τα συνεχώς κινούμενα ηλεκτρόνια, προκαλεί μια κατανάλωση ισχύος η οποία ορίζεται από το γινόμενο της τάσης ανόδου επί του ρεύματος της. Η κατανάλωση αυτή ορίζεται από τον κατασκευαστή και δεν πρέπει να ξεπερνιέται.

1.5.2 Η Τρίδος Λυχνία

Η τρίδος λυχνία δημιουργείται αν ανάμεσα στην κάθοδο και την άνοδο προσθέσουμε ένα ακόμη ηλεκτρόδιο. Το ηλεκτρόδιο αυτό ονομάζεται πλέγμα και σκοπό έχει να επιτρέπει τον έλεγχο του ρεύματος της λυχνίας. Για αυτό τον λόγο άλλωστε ονομάζεται και οδηγό πλέγμα. (ControlGrid).

Η τρίδος ανακαλύφθηκε από τον Lee De Forest το 1906 και αποτέλεσε την πιο απλή μορφή λυχνίας αμέσως μετά τη δίοδο, πάνω στην οποία βασίστηκαν οι μετέπειτα ανακαλύψεις. Και λέμε πιο απλή, γιατί αποτελείται από την κάθοδο, το πλέγμα και την άνοδο, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.6.



Σχήμα 1.6: Βασική λειτουργία τριόδου.

Το πλέγμα μέσα στη λυχνία είναι κι αυτό μεταλλικό και μοιάζει σαν ένας φράχτης ανάμεσα στην άνοδο και την κάθοδο ο οποίος ανάλογα επιτρέπει η όχι τη ροή ηλεκτρονίων ανάμεσα από τα διάκενά του.

Όταν εισάγουμε ένα σήμα και το πλέγμα είναι θετικότερο της καθόδου, τότε αυτό λειτουργεί όπως η άνοδος: έλκει τα ηλεκτρόνια που πετάγονται από την κάθοδο και τα οδηγεί προς την άνοδο, με μεγάλη ταχύτητα. Έτσι λοιπόν καταλήγουμε στο να έχουμε αρνητική άνοδο, αρκετά μεγαλύτερη σε σχέση με το σήμα εισόδου, εξαιτίας όλων των ηλεκτρονίων που συγκεντρώνονται στην άνοδο, και θετική κάθοδο, εξαιτίας της απώλειας ηλεκτρονίων. Η φάση δηλαδή αντιστρέφεται. Αν εισάγουμε μια αντίσταση με κατάλληλη τιμή στο ανοδικό κύκλωμα

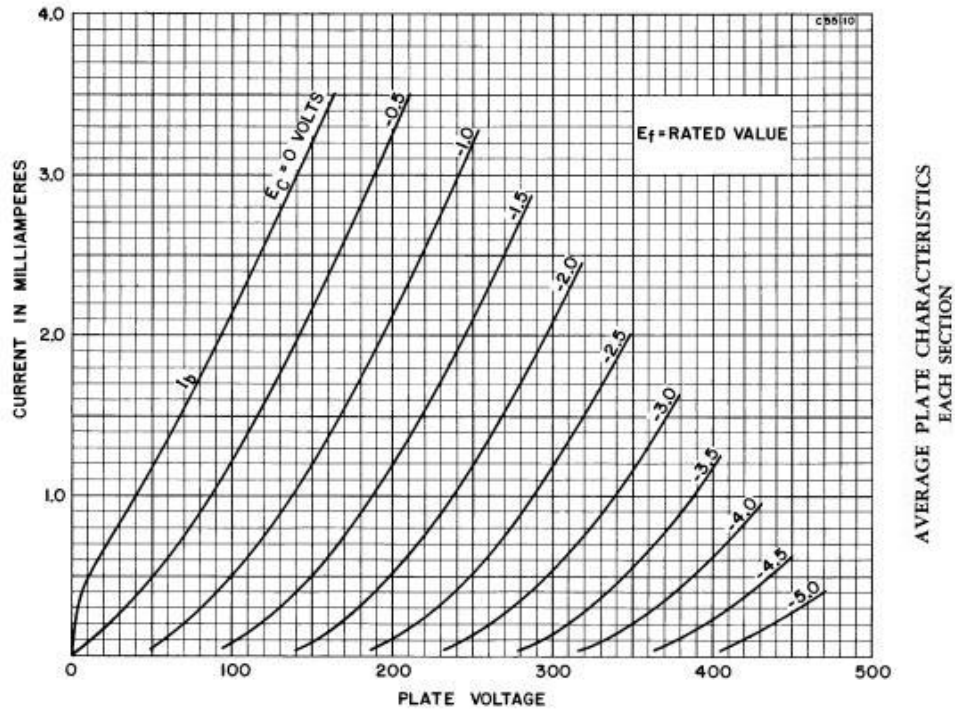
της τριόδου λυχνίας και φέρουμε στο πλέγμα της ένα σήμα εναλλασσόμενης τάσεως, οι μεταβολές του ανοδικού ρεύματος, που οφείλονται στις μεταβολές της τάσεως του πλέγματος, προκαλούν στην αντίσταση εναλλασσόμενες τάσεις. Οι εναλλαγές αυτές παριστάνουν πιστά τη μορφή του σήματος του πλέγματος αλλά με μέγεθος ανώτερο από το μέγεθος του σήματος. Το σήμα δηλαδή ενισχύεται. Λέμε τότε ότι η τριόδος λυχνία λειτουργεί σαν ενισχύτρια τάσεως και η ενίσχυση κυμαίνεται συνήθως από 5 μέχρι 200 φορές.

Το αντίστροφο συμβαίνει όταν εισάγουμε ένα σήμα και το πλέγμα γίνει αρνητικότερο της καθόδου. Η άνοδος γίνεται θετική εξαιτίας της απώλειας ηλεκτρονίων, η κάθοδος γίνεται αρνητική εξαιτίας της παρουσίας ηλεκτρονίων, τα οποία συγκεντρώνονται εκεί, αφού εμποδίζονται να ταξιδέψουν, από το αρνητικό πλέγμα. Έτσι λοιπόν καταλαβαίνουμε ότι μεταβάλλοντας την πολικότητα του πλέγματος, μπορούμε να ελέγξουμε τη ροή των ηλεκτρονίων, δηλαδή του ρεύματος μέσα στη λυχνία. Επίσης βλέπουμε ότι η τριόδος, για μια συγκεκριμένη είσοδο, μας δίνει σαν έξοδο το αντίστροφο της. Αυτό σημαίνει ότι λειτουργεί και σαν αναστροφέας φάσης.

Από τη μία πλευρά, η τριόδος έχει κάποια πλεονεκτήματα: Είναι απλή στην κατασκευή και στη συνδεσμολογία της, καθώς περιέχει μόνο τρία βασικά ηλεκτρόδια. Επίσης, στην τριόδο παρατηρείται πολύ μικρή παραμόρφωση, συνεπώς δε χρειάζεται βρόγχο αρνητικής ανάδρασης. Τέλος, η πιστότητα ήχου είναι μεγάλη, επιτρέποντας τη διέλευση των αρμονικών οι οποίες ακούγονται “ωραία” και “μουσικά” στο ανθρώπινο αυτί. Τέτοιες αρμονικές βρίσκουμε συνήθως ανά οκτάβα και είναι η ίδια νότα, η οποία απλώς αναπαράγεται ακριβώς μια ή παραπάνω οκτάβες πάνω. Αν θέλουμε να το δούμε και από άποψη συχνότητας, αν το σήμα μας είναι 440Hz (νότα Λα), τότε θα εμφανιστούν αρμονικές με συχνότητες 880Hz (μια οκτάβα πάνω, δεύτερη αρμονική), 1760Hz (δύο οκτάβες πάνω, τέταρτη αρμονική) και λοιπά. Αρμονικές που προκαλούν θόρυβο και είναι “θορυβώδεις” και “άσχημες” στο αυτί με την παραμόρφωση τους, είναι συνήθως μια οκτάβα επάνω, συν κάτι ακόμα και είναι συνήθως μονοί αριθμοί, όπως 1320Hz (Τρίτη αρμονική, ακριβώς πάνω από τη δεύτερη).

Από την άλλη, ένα βασικό μειονέκτημα είναι ότι ανάμεσα στα ηλεκτρόδια της τριόδου, αναπτύσσεται μια χωρητικότητα, η οποία στις υψηλές συχνότητες, “βραχυκυκλώνει” την λυχνία. Αυτό σημαίνει ότι σε απλούς ενισχυτές ακουστικών συχνοτήτων, η τριόδος έχει εφαρμογή, αλλά όταν πρόκειται για ραδιοσυχνότητες, αυτό το φαινόμενο της χωρητικότητας θα αποτελέσει πρόβλημα. Ένα δεύτερο μειονέκτημα είναι ότι δεν υπάρχει προστασία ανάμεσα στην άνοδο και το πλέγμα. Το μεγάλο αντεστραμμένο σήμα που δημιουργείται στην άνοδο, θα έχει αρνητική επίδραση στο πλέγμα ελέγχου, γι’ αυτό και έχουμε περιορισμό στην τάση της ανόδου. Δε θέλουμε δηλαδή να αναπτυχθεί τόσο μεγάλο σήμα στην άνοδο, το οποίο θα επηρεάσει τη λειτουργία του πλέγματος.

Εξαιτίας αυτής της απώλειας προστασίας ανάμεσα στην άνοδο και το πλέγμα ελέγχου, ο συντελεστής ενίσχυσης (μ) είναι περιορισμένος και φτάνει περίπου μέχρι το 100. Ο συντελεστής αυτός εξαρτάται κυρίως από την απόσταση που υπάρχει, ανάμεσα στο πλέγμα ελέγχου και την άνοδο. Όσο πιο κοντά δηλαδή βρίσκονται αυτά τα δύο, τόσο πιο μεγάλος είναι ο συντελεστής ενίσχυσης.



Σχήμα 1.7: Χαρακτηριστικές της τριόδου, ανάλογα με την τάση ανόδου και πλέγματος.

Χαρακτηριστικά Λειτουργίας

Συντελεστής Ενίσχυσης

Η επίδραση του οδηγού πλέγματος στην κάθοδο είναι πολύ μεγαλύτερη από την επίδρασή του προς την άνοδο κι αυτό γιατί το πλέγμα βρίσκεται πιο κοντά στην κάθοδο. Αν για παράδειγμα σε μια τριόδο λυχνία η οποία λειτουργεί με τάση ανόδου στα 150V και τάση πλέγματος στα -2V, αυξήσουμε την τάση ανόδου κατά 50V, το ανοδικό ρεύμα αυξάνεται τουλάχιστον κατά 3mA. Αν η τάση του πλέγματος πάει στα -4V, το ανοδικό ρεύμα μειώνεται κατά 3mA και επανέρχεται στην αρχική του τιμή. Η μεταβολή των 50V δηλαδή της τάσης ανόδου, εξουδετερώθηκε με τη μεταβολή της τάσης του πλέγματος, μόνο κατά 2V. Το πηλίκο $50:2=25V$, δείχνει τη μεγάλη επίδραση που έχει το οδηγό πλέγμα στην ροή του ρεύματος μέσα στη λυχνία. Αυτό το πηλίκο ονομάζεται συντελεστής ενίσχυσης και συμβολίζεται με το γράμμα μ .

$$\mu = \frac{\Delta V_d}{\Delta V_g}$$

Αμοιβαία Αγωγιμότητα

Το κατά πόσο επιδρά το οδηγό πλέγμα στη ροή των ηλεκτρονίων, όταν μεταβάλλεται η τάση του κατά 1V, χαρακτηρίζει την αγωγιμότητα της λυχνίας. Το πηλίκο της μεταβολής του ρεύματος ανόδου δια της μεταβολής της τάσης πλέγματος, ονομάζεται συντελεστής αμοιβαίας αγωγιμότητας της λυχνίας και συμβολίζεται με G_m .

$$G_m = \frac{\Delta I_a}{\Delta V_g}$$

Εσωτερική Αντίσταση

Η επίδραση, η οποία ασκείται από την τάση της ανόδου στο ανοδικό ρεύμα, εξαρτάται από την αντίσταση που παρουσιάζεται μέσα στο χώρο της λυχνίας. Το πηλίκο της μεταβολής της τάσης ανόδου ως προς την αντίστοιχη μεταβολή του ρεύματός της, μας δίνει την εσωτερική αντίσταση της λυχνίας και συμβολίζεται με το γράμμα ρ .

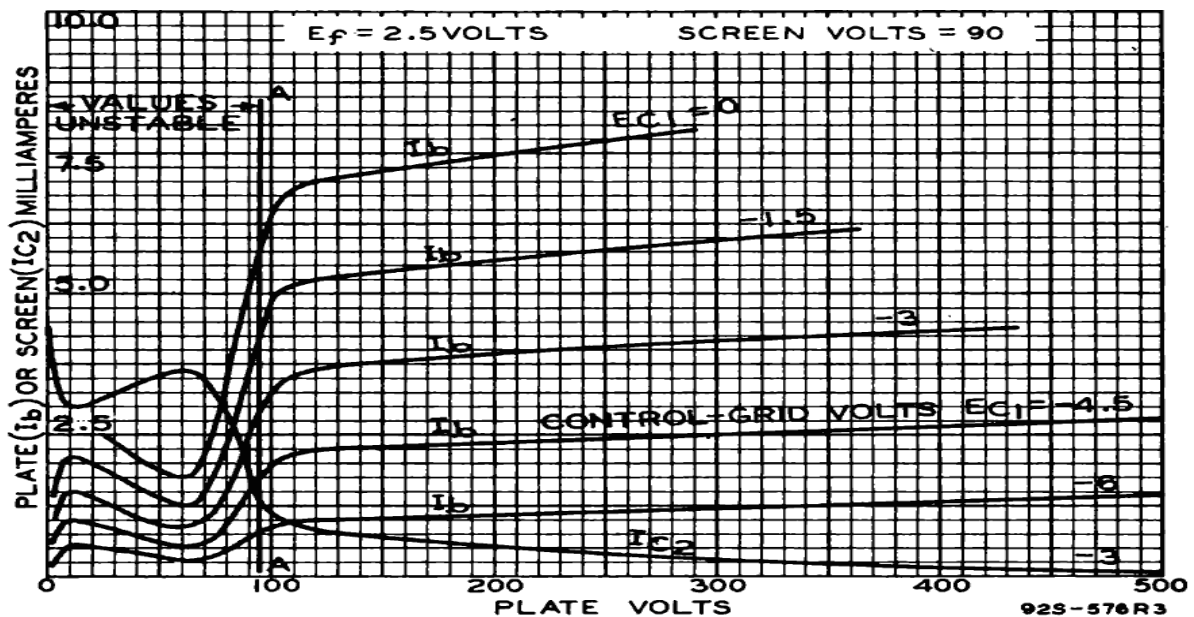
$$\rho = \frac{\Delta V_a}{\Delta I_a}$$

1.5.3 Η Τέτροδος Λυχνία

Όπως είπαμε και πιο πάνω, η τρίοδος μπορεί να εμφανίσει μια έστω μικρή χωρητικότητα, η οποία αν και είναι συνήθως της τάξης των pF, γίνεται αρκετά ενοχλητική όταν χρησιμοποιούμε τη λυχνία ως ενισχύτρια ή ως ταλαντώτρια. Έτσι λοιπόν προστέθηκε στη λυχνία ένα ακόμα ηλεκτρόδιο, ανάμεσα στο πλέγμα ελέγχου και την άνοδο. Το ηλεκτρόδιο αυτό μειώνει αποτελεσματικά την παρασιτική χωρητικότητα, επιτρέπει μεγαλύτερες τάσεις ανόδου, πράγμα που σημαίνει ότι αυξάνει το συντελεστή ενίσχυσης έως και περίπου 5 φορές από αυτόν της τριόδου. Αυτό το ηλεκτρόδιο θωρακίζει επίσης την άνοδο από το πλέγμα ελέγχου και την άνοδο, γι' αυτό και ονομάζεται προστατευτικό πλέγμα (screen grid). Ο συνδυασμός των ηλεκτροδίων στη συγκεκριμένη περίπτωση, μας δίνει την τέτροδο λυχνία, μια λυχνία δηλαδή με τέσσερα ηλεκτρόδια: την κάθοδο, το πλέγμα ελέγχου, το προστατευτικό πλέγμα και την άνοδο.

Στο προστατευτικό πλέγμα εφαρμόζεται μια συνεχής τάση, η οποία μπορεί να είναι ακόμη και σχεδόν ίδια με την τάση της ανόδου, η οποία διατηρείται σταθερή σε όλη τη διάρκεια λειτουργίας. Μπορούμε συνεπώς να καταλάβουμε, ότι τροφοδοτώντας θετικά και το προστατευτικό πλέγμα, το καθιστούμε ικανό να δεχτεί κι αυτό ηλεκτρόνια, όπως η άνοδος. Έτσι, το ολικό ρεύμα που ρέει μέσα στη λυχνία είναι το άθροισμα του ρεύματος της ανόδου συν αυτό του προστατευτικού πλέγματος.

Στο σχήμα 1.8 φαίνεται η χαρακτηριστική καμπύλη της ανόδου μιας τέτροδης λυχνίας.



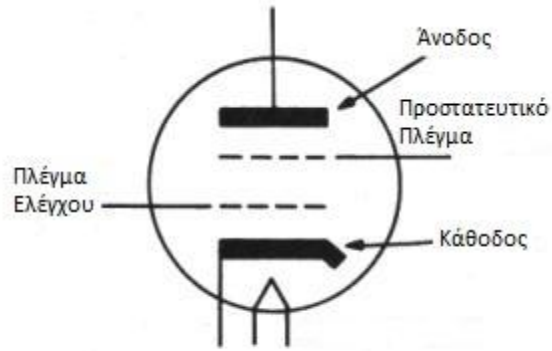
Σχήμα 1.8: Χαρακτηριστικές ανόδου μια τέτροδης λυχνίας.

Η πρώτη φανερή διαφορά, είναι ανωμαλία των χαρακτηριστικών στις χαμηλές ανοδικές τάσεις. Παρατηρώντας περαιτέρω τις διαφορές, βλέπουμε ότι για ανοδική τάση μεγαλύτερη από την τάση του προστατευτικού πλέγματος (που εδώ είναι ίση με 90V), οι καμπύλες γίνονται σχεδόν οριζόντιες άρα το ρεύμα αυξάνει ελάχιστα σε σχέση με την τάση της ανόδου που αυξάνει και από αυτό κάνει την εσωτερική αντίσταση της τετρώδου να είναι αρκετά μεγαλύτερη από αυτή της τριόδου. Επίσης, όσο μεγαλύτερη γίνεται η τάση, τόσο βλέπουμε ότι αυξάνει και το ανοδικό ρεύμα. Σε κάποιο σημείο της τάσης όμως, το ρεύμα παύει να αυξάνει και αντιθέτως μικραίνει, παρόλο που η τάση γίνεται όλο και μεγαλύτερη. Στην περιοχή αυτή λοιπόν (περίπου 20V με 75V), παρατηρείται μια υποβίβαση του ρεύματος. Αυτό, προκαλεί και την εσωτερική αντίσταση να γίνει αρνητική, αφού το ρεύμα ελαττώνεται ενώ η τάση αυξάνει. Προφανώς λοιπόν, η χρήση της λυχνίας θα πρέπει να γίνεται με την προϋπόθεση η ανοδική τάση να ξεπερνά την τάση του προστατευτικού πλέγματος.

Ας σταθούμε όμως στο διάγραμμα, για να εξηγήσουμε που οφείλεται αυτός ο υποβιβασμός του ρεύματος σε αυτό το σημείο. Στην τέτροδο παρατηρείται το φαινόμενο της δευτερογενούς εκπομπής ηλεκτρονίων. Αυτό σημαίνει με απλά λόγια ότι, κάθε ηλεκτρόνιο που ξεφεύγει από την κάθοδο, έλκεται από την άνοδο και χτυπά σε αυτήν. Όσο πιο μεγάλη η τάση της ανόδου, τόσο πιο μεγάλη η έλξη άρα και τόσο πιο μεγάλη η πρόσκρουση. Η πρόσκρουση αυτή όμως, μπορεί να αποκολλήσει κάποια άλλα ηλεκτρόνια τα οποία έχει ήδη απορροφήσει η άνοδος με το θετικό της δυναμικό. Το ηλεκτρόνιο που χτυπά στην άνοδο λέγεται πρωτεύον, ενώ αυτά που αποκολλώνται, δευτερεύοντα.

Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται φυσικά και στην τρίοδο. Καθώς όμως στην τρίοδο έχουμε μόνο ένα πλέγμα, τα ηλεκτρόνια που ξεφεύγουν, επιστρέφουν πίσω στην άνοδο. Στην τέτροδο όμως, το προστατευτικό πλέγμα που υπάρχει, δεν επιτρέπει να γίνει κάτι τέτοιο. Όσο δηλαδή το προστατευτικό πλέγμα βρίσκεται σε υψηλότερο δυναμικό από την άνοδο, έλκει όλα τα δευτερεύοντα ηλεκτρόνια που ξεκολλούν από αυτή, κάτι που σημαίνει μείωση του ρεύματος της ανόδου και συνεπώς εξασθένηση του σήματος εξόδου. Για λίγο υψηλότερη ανοδική τάση (20V με 75V περίπου, όπως φαίνεται), η δευτερογενής εκπομπή της ανόδου γίνεται σημαντική, καθώς έλκει με μεγαλύτερη δύναμη τα ηλεκτρόνια και αυτά χτυπούν επάνω της με μεγαλύτερη ορμή. Δημιουργείται έτσι ένα δευτερογενές ρεύμα, καθώς τα ηλεκτρόνια που ξεφεύγουν, έλκονται ισχυρότερα και από το προστατευτικό πλέγμα, του οποίου η τάση παραμένει σταθερά υψηλή. Το ρεύμα αυτό έχει αντίθετη φορά από την κανονική και έτσι αφαιρείται από το ανοδικό ρεύμα. Άρα το ανοδικό ρεύμα ελαττώνεται. Έτσι λοιπόν έχουμε και τον υποβιβασμό στο ρεύμα της ανόδου, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα του σχήματος 1.8.

Όπως φαίνεται επίσης, η ανωμαλία αυτή εξαφανίζεται όταν η ανοδική τάση ξεπεράσει την τάση του προστατευτικού πλέγματος (πάνω από 90V στη συγκεκριμένη περίπτωση). Η υψηλή ανοδική τάση επιτρέπει στην άνοδο να έλκει ξανά τα δευτερεύοντα ηλεκτρόνια και έτσι η λυχνία λειτουργεί κανονικά.



Σχήμα 1.9: Τέτροδη Λυχνία

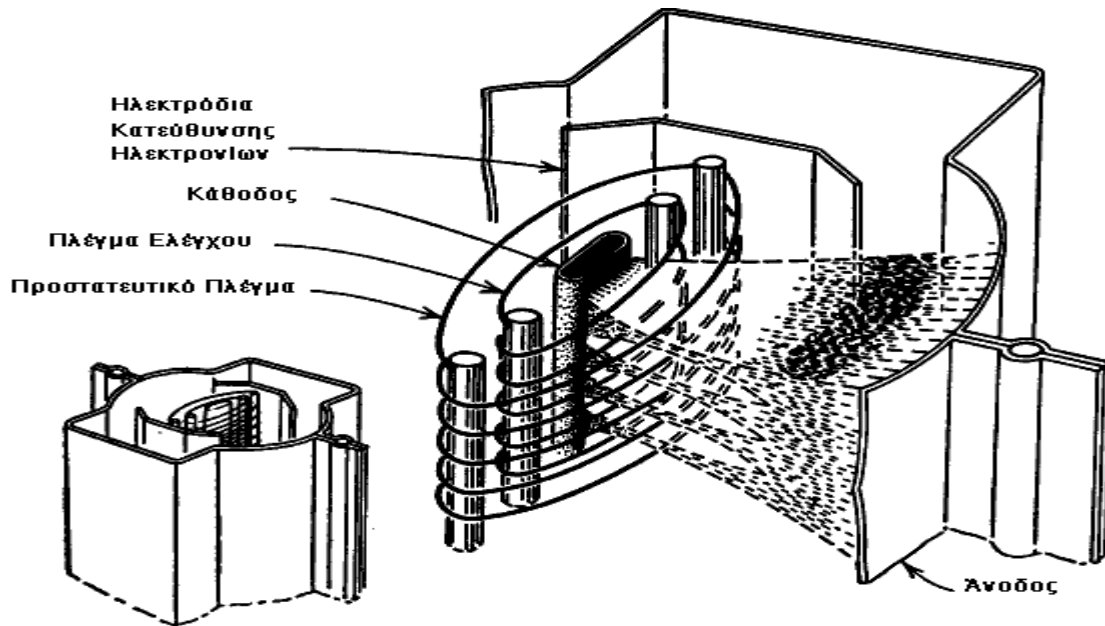
Ένας τρόπος να αποφύγουμε την ανωμαλία του υποβιβασμού του ανοδικού ρεύματος είναι να χρησιμοποιήσουμε μια ειδική κατασκευή της τέτροδης λυχνίας. Δημιουργήθηκε λοιπόν η ανάγκη για την κατασκευή μιας παραλλαγής της τέτροδης λυχνίας, με ειδική κατασκευή, όπου προστίθεται ένα ακόμη ηλεκτρόδιο. Αυτές είναι οι λυχνίες κατευθυνόμενης δέσμης, οι οποίες πλησιάζουν πολύ τις πέντοδες λυχνίες που θα δούμε παρακάτω.

Οι συνηθισμένες τέτροδοι σπάνια χρησιμοποιούνται σε κατασκευές συστημάτων ήχου, εξαιτίας της δευτερογενούς εκπομπής ηλεκτρονίων. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται αλλιώς “tetrode kink” εξαιτίας του κυματισμού του ρεύματος στις χαμηλές ανοδικές τάσεις και προκαλεί αστάθεια και μεγάλη παραμόρφωση, αν δεν αντιμετωπιστεί σωστά. Τέτροδοι ωστόσο χρησιμοποιούνται σε ενισχυτές RF και σε βιομηχανικές εφαρμογές.

Τέτροδος Κατευθυνόμενης Δέσμης

Η τέτροδος κατευθυνόμενης δέσμης, είναι ένα ιδιαίτερο είδος τετρόδου, με ένα ζευγάρι ηλεκτροδίων, για τη δέσμευση της δέσμης των ηλεκτρονίων σε μια στενή λωρίδα. Αντί λοιπόν για το τρίτο πλέγμα, τοποθετούνται δύο ηλεκτρόδια σε σχήμα π, στις δύο μεριές δίπλα από την κάθοδο, τα οποία εκτίνονται κατά μήκος μέχρι την άνοδο και προκαλούν συγκέντρωση και απόκλιση των δεσμών των ηλεκτρονίων που κατευθύνονται προς την άνοδο, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.10. Έτσι τα ηλεκτρόνια μένουν ευθυγραμμισμένα, ξεκινώντας από την κάθοδο. Επίσης, το προστατευτικό πλέγμα και το πλέγμα ελέγχου έχουν τα τυλίγματα των καλωδίων τους ευθυγραμμισμένα. Αντίθετα με τις κεραμικές, τα πλέγματα είναι τοποθετημένα σε συγκεκριμένες αποστάσεις από την κάθοδο. Επίσης στην άνοδο, δημιουργείται ένα νέφος ηλεκτρονίων, εφόσον όλα ακολουθούν συγκεκριμένες ευθυγραμμισμένες αποστάσεις. Το νέφος αυτό δημιουργεί ένα αρνητικό πεδίο ανάμεσα στην άνοδο και το προστατευτικό πλέγμα, αφού τα ηλεκτρόνια είναι αρνητικά φορτισμένα. Συνεπώς εξαλείφεται η δευτερεύουσα εκπομπή ηλεκτρονίων καθώς τα ηλεκτρόνια που ξεφεύγουν από την άνοδο, στην πορεία τους συναντούν αυτό το αρνητικό νέφος, από το οποίο απωθούνται και καταλήγουν ξανά πίσω στην άνοδο. Όλα

αυτά μαζί προσφέρουν καλύτερη απόδοση και λιγότερη παραμόρφωση από μια κανονική τέτροδο. Η πρώτη διάσημη λυχνία του τύπου αυτού ήταν η RCA 6L6, που εισήχθη το 1936. Οι σημερινές λυχνίες χρησιμοποιούνται κυρίως σε ενισχυτές κιθάρας, εφόσον είναι η πιο πρόσφατη λυχνία ισχύος στους μοντέρνους high-end ενισχυτές ήχου για το σπίτι. Πλέον κατασκευάζονται μόνο σε γυαλί και όχι σε κεραμικό. Μια τέτροδος έχει σχεδόν την ίδια συμπεριφορά με μία πέντοδο, την οποία θα αναλύσουμε παρακάτω.

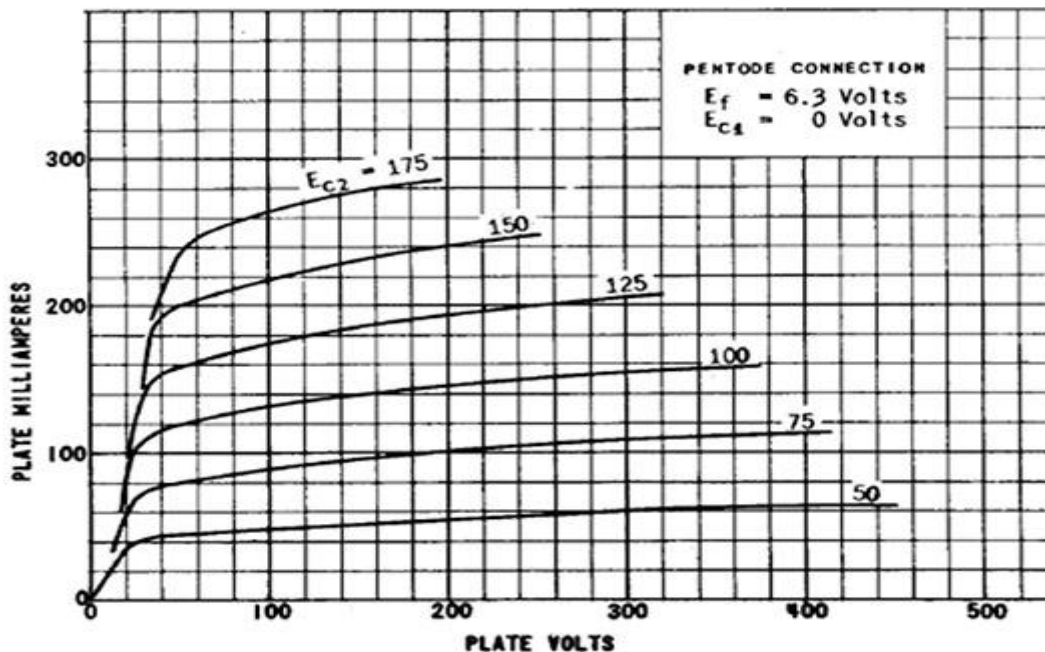


Σχήμα 1.10: Αναπαράσταση λειτουργίας της τετρόδου κατευθυνόμενης δέσμης.

1.5.4 Η Πέντοδος Λυχνία

Στην προηγούμενη ενότητα, αναλύσαμε τη βασική λειτουργία της τετρόδου και της τετρόδου κατευθυνόμενης δέσμης. Είδαμε ότι στην τέτροδο, η δύναμη της πρόσκρουσης των ηλεκτρονίων προκαλεί τα ηλεκτρόνια που υπάρχουν ήδη στην άνοδο, να αποκολλώνται από αυτήν και να έλκονται από το θετικό προστατευτικό πλέγμα. Αυτό προκαλεί εξασθένηση του σήματος, κάτι που σαφώς είναι ανεπιθύμητο και για αυτό δημιουργήθηκε η ανάγκη να διορθωθεί αυτό το πρόβλημα. Ο ένα τρόπος ήταν η τέτροδος κατευθυνόμενης δέσμης που, όπως είδαμε, διόρθωσε το πρόβλημα της δευτερεύουσας εκπομπής ηλεκτρονίων. Ένας άλλος τρόπος είναι η πέντοδος, η οποία ανακαλύφθηκε το 1926 από τον Bernard D. H. Tellegen. Οι δύο αυτές λυχνίες μοιάζουν αρκετά στον τρόπο λειτουργίας τους.

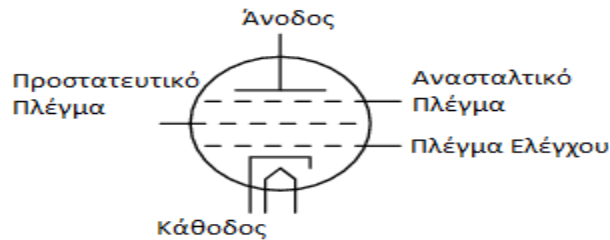
Προς αποφυγήν λοιπόν του φαινομένου της δευτερεύουσας εκπομπής ηλεκτρονίων, στην πέντοδο παρεμβάλλουμε ένα ακόμα ηλεκτρόδιο, το ανασταλτικό πλέγμα, ανάμεσα στην άνοδο και το προστατευτικό πλέγμα. Το πλέγμα αυτό έχει αρνητικό δυναμικό καθώς η τροφοδοσία του γίνεται από την ίδια πηγή με αυτή της καθόδου. Το τρίτο αυτό πλέγμα, όντας αρνητικά φορτισμένο, απωθεί τα δευτερεύοντα ηλεκτρόνια που ξεκολλούν από την άνοδο, σε αντίθεση με το προστατευτικό που τα έλκει, και έτσι τα αναγκάζει να ακολουθήσουν πορεία ξανά προς την άνοδο. Έτσι έχουμε κανονική λειτουργία της λυχνίας.



Σχήμα 1.11: Χαρακτηριστικές καμπύλες μιας πέντοδος λυχνίας.

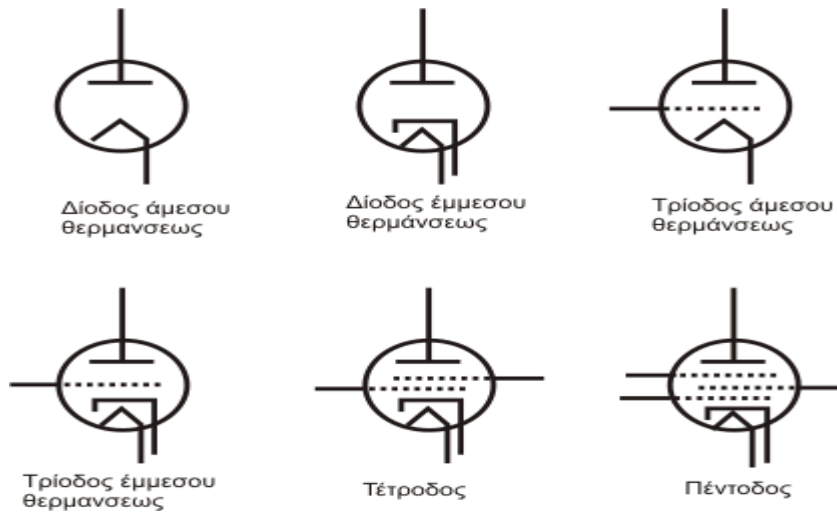
Στο σχήμα 1.11 φαίνονται οι χαρακτηριστικές ανόδου μιας πέντοδος λυχνίας. Βλέπουμε ότι οι χαρακτηριστικές εκτείνονται κανονικά προς την αριστερή περιοχή των χαμηλών ανοδικών τάσεων και δεν υπάρχει η ανωμαλία της καμπύλης του ρεύματος, όπως παρατηρήθηκε στην

τέτροδο. Επίσης, οι χαρακτηριστικές γίνονται πιο οριζόντιες για υψηλότερες τάσεις, απ' ό τι σε μια τέτροδο λυχνία, κάτι που σημαίνει ότι το ρεύμα είναι ανεξάρτητο από την τάση ανόδου. Η προσθήκη του τρίτου πλέγματος διαχωρίζει την άνοδο από τα υπόλοιπα ηλεκτρόδια της λυχνίας και με αυτόν τον τρόπο αυξάνεται και το ρεύμα της ανόδου. Τέλος, η εσωτερική αντίσταση της πεντόδου είναι ακόμη μεγαλύτερη από άλλου είδους λυχνίες που αναλύσαμε παραπάνω.



Σχήμα 1.12: Μια πέντοδος λυχνία.

Καταλήγοντας λοιπόν, θα λέγαμε ότι κάθε λυχνία, από την δίοδο ως την πέντοδο, παρόλα τα μειονεκτήματα κάθε διάταξης, μπορεί να βρει εφαρμογή σε πολλές περιπτώσεις. Είναι σαφές ότι πρέπει να είμαστε προσεκτικοί στη συνδεσμολογία, τις προδιαγραφές κάθε λυχνίας και τις οδηγίες που μας δίνει ο κατασκευαστής.



Σχήμα 1.12: Συμβολισμοί διάφορων λυχνιών κενού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

Ενισχυτές

2.1 Εισαγωγή

Ένας ενισχυτής είναι συνήθως μια διάταξη ηλεκτρονικών στοιχείων, τα οποία έχουν τη δυνατότητα, με την κατάλληλη συνδεσμολογία, να ενισχύουν ηλεκτρικά σήματα μικρού συνήθως πλάτους. Μια κιθάρα για παράδειγμα, μετατρέπει τις ταλαντώσεις των χορδών σε ηλεκτρικό σήμα. Αυτό το σήμα όμως είναι μικρό και μετά δυσκολίας ακούγεται ικανοποιητικά στο ανθρώπινο αυτί. Γι' αυτό λοιπόν, εισάγοντας αυτό το σήμα σε έναν κατάλληλο ενισχυτή, θα πάρουμε στην έξοδο του το ίδιο σήμα, με μεγαλύτερο πλάτος (εφόσον πρόκειται για ημιτονοειδές σήμα), δηλαδή ενισχυμένο, πιο δυνατό. Καταλαβαίνουμε λοιπόν πως η σωστή συνδεσμολογία καθώς και η επιλογή των εξαρτημάτων του ενισχυτή είναι καθοριστική, έτσι ώστε να μπορούμε στην έξοδό του να λάβουμε το σήμα που θέλουμε, στο μέγεθος που το θέλουμε.

Το κύκλωμα του ενισχυτή, εκτός από τα παθητικά στοιχεία (αντιστάσεις, πυκνωτές, πηνία), πρέπει να περιέχει και ένα τουλάχιστον ενεργό στοιχείο. Στα πρώτα χρόνια της ανάπτυξης των Ηλεκτρονικών το ρόλο αυτό είχε η τρίοδος λυχνία του κενού και κατόπιν το τρανζίστορ. Η αύξηση του πλάτους του σήματος μας φέρνει στο μυαλό το μετασχηματιστή ανύψωσης τάσης. Πρόκειται όμως για εντελώς διαφορετική περίπτωση, γιατί στο μετασχηματιστή η ισχύς εξόδου, στην ιδανική μόνο περίπτωση, που δεν υπάρχουν απώλειες, θα είναι ίση με την ισχύ εισόδου. Στον ενισχυτή όμως η ισχύς εξόδου είναι μεγαλύτερη από την ισχύ εισόδου. Τίθεται βέβαια το ερώτημα πώς η ενίσχυση του σήματος είναι σύμφωνη με τη γνωστή από τη Φυσική διατήρηση της ενέργειας. Αυτό απαντάται να λάβουμε υπόψη το τι χρειάζεται ο ενισχυτής για να δουλέψει. Για τη λειτουργία του ενισχυτή είναι απαραίτητη η τροφοδοσία του με συνεχή τάση. Μπορούμε λοιπόν να συμπεράνουμε, ότι ο ενισχυτής μετατρέπει την ισχύ της πηγής τροφοδοσίας (ισχύς συνεχούς) σε ισχύ του σήματος.

2.2 Ενισχυτής και Βασικά Χαρακτηριστικά Μεγέθη

Τι είναι ενισχυτής

Ενισχυτής είναι η διάταξη η οποία στην είσοδό της δέχεται ένα σήμα μιας κάποια συχνότητας (στην περίπτωση μας, ακουστικής συχνότητας 20Hz – 20kHz) και στην έξοδο της παρέχει ένα σήμα με πολύ μεγαλύτερο πλάτος από αυτό του σήματος εισόδου.

Το πλάτος που αναφέρεται στην προηγούμενη παράγραφο παραπέμπει ίσως στο μέγεθος ‘τάση’. Άρα είναι λογικό κανείς να θεωρήσει ότι οι ενισχυτές ήχου είναι αποκλειστικά ενισχυτές τάσης. Αυτό όμως δεν ισχύει. Οι τελικοί ενισχυτές ήχου μπορούν να κατά κανόνα να δώσουν ένα μέτριο κέρδος τάσης αλλά σημαντικό κέρδος ρεύματος. Αυτός είναι ο λόγος που οι τελικοί ενισχυτές ήχου ανήκουν στην κατηγορία των ενισχυτών ισχύος.

Χαρακτηριστικά μεγέθη ενισχυτών

Οι ενισχυτές ισχύος χαρακτηρίζονται από κάποια μεγέθη, σύμφωνα με τα οποία εμείς μπορούμε να αντιληφθούμε την ποιότητα και την εφαρμογή του κάθε ενισχυτή. Τα πιο σημαντικά μεγέθη είναι τα παρακάτω:

Μέγιστη Ισχύς Εξόδου (Total Output Power). Όπως καταλαβαίνουμε από το όνομα, πρόκειται για τη μέγιστη ισχύ που μπορεί να δώσει στην έξοδό του ένας ενισχυτής. Στην πραγματικότητα μιλάμε για το ρεύμα που είναι σε θέση να δώσει ο ενισχυτής πάνω σε συγκεκριμένο φορτίο, χωρίς αυτός να κινδυνεύει από υπερθέρμανση. Γι’ αυτό η ισχύς δίνεται για ηχείο δεδομένης αντίστασης. Για παράδειγμα, ίσως δούμε σε έναν ενισχυτή να αναγράφεται 100W/8Ω ή 180W/4Ω. Αυτό σημαίνει ότι ο συγκεκριμένος ενισχυτής μπορεί να δουλέψει σωστά με ηχείο αντίστασης 8Ω ή 4Ω. Τα 100 και 180 Wατ είναι η αντίστοιχη ισχύς εξόδου σε κάθε περίπτωση. Παρόλα αυτά, δε μπορούμε να συνδέσουμε ηχείο χαμηλότερης αντίστασης για να αυξήσουμε την ισχύ. Κάτι τέτοιο θα ήταν ιδιαίτερα επικίνδυνο και θα προκαλούσε αύξηση της θερμοκρασίας του ενισχυτή και πιθανόν την καταστροφή του.

Ολική Αρμονική Παραμόρφωση (Total Harmonic Distortion – THD). Όταν ένα σήμα ενισχύεται, θα πρέπει να προσέχουμε ώστε η πληροφορία που περιέχεται σε αυτό, να μην μεταβάλλεται αλλά και να μην προστίθεται σε αυτό καμία νέα πληροφορία. Όταν τροφοδοτούμε τον ενισχυτή με ένα σήμα, θέλουμε το σήμα στην έξοδο του ενισχυτή να μοιάζει όσο το δυνατόν πιο πολύ με αυτό της εισόδου, έχοντας φυσικά μεγαλύτερο πλάτος. Με άλλα λόγια, θέλουμε οι διακυμάνσεις στο σήμα εξόδου να είναι ίδιες (πρακτικά δε συμβαίνει απόλυτη ταυτοποίηση των δύο κυματομορφών) με αυτές του σήματος εισόδου. Οποιαδήποτε αλλαγή λοιπόν στην κυματομορφή θεωρείται παραμόρφωση και είναι ανεπιθύμητη. Η ολική αρμονική παραμόρφωση είναι μια έκφραση που μας δείχνει πόσο έχει παραμορφωθεί το σήμα εισόδου, στην έξοδο του ενισχυτή, λόγω της εισαγωγής ανεπιθύμητων συχνοτήτων, οι οποίες είναι πολλαπλάσια της βασικής συχνότητας. Αν εφαρμόσουμε ένα ημιτονικό σήμα στην είσοδο του ενισχυτή, μπορούμε

με έναν παλμογράφο να δούμε στην έξοδο του τον ψαλιδισμό που έχει υποστεί, λόγω της ασυμφωνίας, της μη γραμμικότητας των στοιχείων του ενισχυτή. Το αποτέλεσμα είναι να δημιουργηθούν περιττές αρμονικές συχνότητες.

Η αρμονική παραμόρφωση μετριέται σε ποσοστό επί τοις εκατό ενώ για έναν ενισχυτή h_i – φέρει τιμή πολύ μικρότερη του 1%. Ένας ιδανικός ενισχυτής έχει αρμονική παραμόρφωση 0%, πράγμα που σε επίπεδο εφαρμογών, είναι σχεδόν αδύνατον να επιτευχθεί.

Απόκριση Συχνοτήτων (Frequency Response). Η απόκριση συχνοτήτων δείχνει το κατά πόσο ο ενισχυτής είναι ικανός να ενισχύσει το ίδιο όλες τις συχνότητες του ακουστικού φάσματος. Συνήθως είναι μια καμπύλη ανάμεσα στους άξονες συχνότητας και ενίσχυσης.

Ευαισθησία Εισόδου (Input Sensitivity). Η ευαισθησία εισόδου είναι η στάθμη του σήματος που απαιτείται στην είσοδο του ενισχυτή ώστε αυτό να αναπτύξει πλήρη ισχύ στην έξοδό του. Εξαρτάται από την το κέρδος και την ολική ισχύ του ενισχυτή. Η ευαισθησία εισόδου ποικίλει από 0,5 έως 1,5 Voltή κάποιες φορές και παραπάνω.

Απόδοση Ισχύος (Power Efficiency). Η απόδοση ισχύος ενός ενισχυτή είναι ο λόγος της ηλεκτρικής ισχύος που παρέχεται στο ηχείο από τον ενισχυτή, προς την ισχύ που απορροφά ο ενισχυτής από την τροφοδοσία. Ανάλογα με τον βαθμό απόδοσης ενός ενισχυτή και τον βαθμό απόδοσης του τροφοδοτικού, διαμορφώνεται και η κατανάλωση ισχύος από την τροφοδοσία για να μπορέσει ο ενισχυτής να τροφοδοτήσει το φορτίο (ηχείο).

2.3 Είδη και Τάξεις

Οι ενισχυτές κατατάσσονται με πολλούς τρόπους, ανάλογα με την περιοχή συχνοτήτων τους, τη μέθοδο λειτουργίας τους, την τελική τους χρήση, τον τύπο του φορτίου, τον τρόπο ενδιάμεσου ζεύξεως, τον τύπο ανάδρασης και λοιπά. Η ενίσχυση εξαρτάται από το είδος του σήματος (χαμηλής ή υψηλής συχνότητας), το είδος του ενισχυτή (τάσης, ρεύματος), αλλά και από το λόγο για τον οποίο θέλουμε να ενισχύσουμε το σήμα (π.χ. να το δούμε ή να το ακούσουμε).

Στην ταξινόμηση των ενισχυτών διακρίνουμε τρεις κύριες κατηγορίες, κάθε μια με τις δικές της υποκατηγορίες. Έτσι, η ταξινόμηση μπορεί να γίνει ανάλογα με το μέγεθος του σήματος εισόδου που ενισχύεται, από τη συχνότητα των σημάτων που μπορούν να ενισχύσουν και από την παραμόρφωση του σήματος εξόδου που μας παρέχουν.

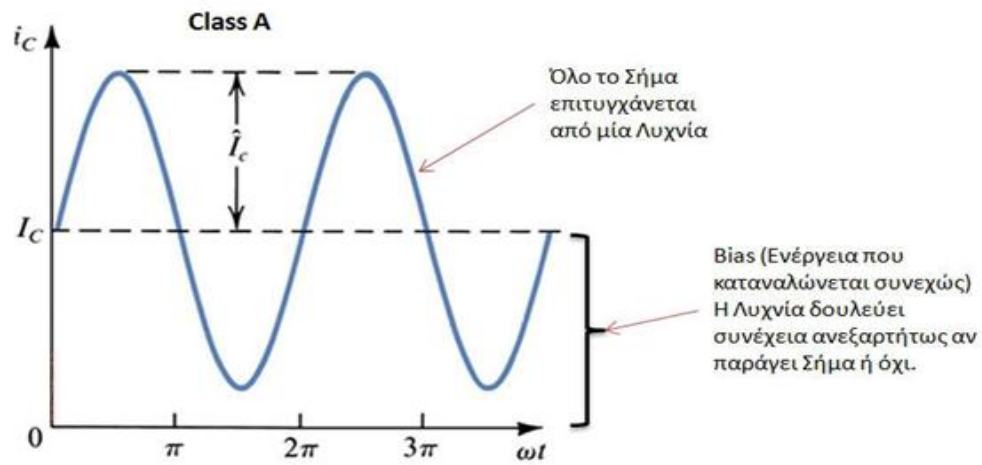
Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι ενισχυτές τάσης, οι ενισχυτές ρεύματος και οι ενισχυτές ισχύος, για ισχύ εξόδου πάνω από 2 Watt.

Οι ενισχυτές που κατατάσσονται με βάση τη συχνότητα των σημάτων που μπορούν να ενισχύσουν είναι οι ενισχυτές ακουστικών συχνοτήτων, οι παλμικοί ενισχυτές και οι ενισχυτές ραδιοσυχνοτήτων. Οι ενισχυτές ακουστικών συχνοτήτων κυμαίνονται από 20 Hz μέχρι και 20 kHz. Οι παλμικοί ενισχυτές φτάνουν μέχρι τα μερικά MHz. Σχεδιάζονται με επίπεδη χαρακτηριστική κέρδους μέσα σε ένα ευρύ πεδίο συχνοτήτων. Ονομάζονται επίσης broadband ή wide - band και χρησιμοποιούνται όταν θέλουμε η έξοδος να βρίσκεται σε εύρος μερικών μεγακύκλων. Τέλος, οι ενισχυτές ραδιοσυχνοτήτων κυμαίνονται από λίγα kHz ως και εκατοντάδες MHz και χρησιμοποιούνται στους πομπούς ραδιοσυχνοτήτων.

Στην τρίτη κατηγορία, ανάλογα με την παραμόρφωση του σήματος εξόδου, οι ενισχυτές χωρίζονται σε τάξεις. Η θέση του σημείου λειτουργίας και η έκταση του χρησιμοποιούμενου τμήματος της χαρακτηριστικής καμπύλης προσδιορίζουν τη μέθοδο λειτουργίας ή την τάξη του ενισχυτή. Έχουμε λοιπόν τις παρακάτω τάξεις ενισχυτών:

2.3.1 ΤΑΞΗ Α

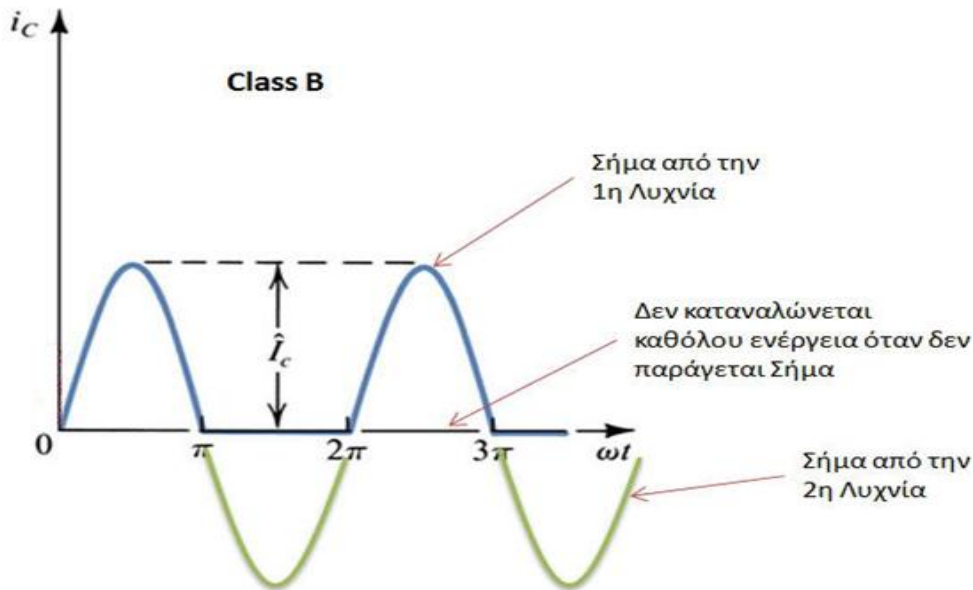
Οι ενισχυτές τάξης Α λειτουργούν καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου εισόδου, έτσι ώστε το σήμα εξόδου να είναι ίδιο με το σήμα εισόδου χωρίς παραμόρφωση. Δηλαδή η λειτουργία του πραγματοποιείται στο γραμμικό τμήμα της χαρακτηριστικής καμπύλης του μέσου (λυχνίας, τρανζίστορ, FET, MOSFET). Συγκεκριμένα στις λυχνίες, η πόλωση του πλέγματος και η ac τάση που εφαρμόζεται σε αυτό ρυθμίζονται ώστε το ρεύμα που ρέει στην άνοδο να βρίσκεται στο μέσο του γραμμικού τμήματος της καμπύλης. Οι συγκεκριμένοι ενισχυτές ενισχύουν συνήθως μικρά σήματα κι αυτό γιατί έχουν χαμηλή απόδοση ισχύος. Σε ένα κύκλωμα με ενισχυτή τάξης Α, το στοιχείο ενίσχυσης πολώνεται με τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε η συσκευή να άγει συνεχώς, ακόμη κι αν δεν υπάρχει καθόλου είσοδος. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να καταναλώνεται συνεχώς ισχύς από το τροφοδοτικό. Σε περίπτωση που απαιτηθεί μεγάλη ισχύς από την έξοδο, η κατανάλωση είναι αρκετά σημαντική. Συγκεκριμένα, για κάθε ένα Watt που πηγαίνει στο φορτίο (στην περίπτωση μας το μεγάφωνο), ο ίδιος ο ενισχυτής καταναλώνει στην καλύτερη περίπτωση άλλο ένα Watt. Ακόμη και σε κατάσταση ηρεμίας η κατανάλωση είναι περίπου ίδια με αυτή σε πλήρη λειτουργία. Είναι εύκολο να συμπεράνει κανείς ότι για μια τέτοια συσκευή μεγάλης απαίτησης ισχύος, τα τροφοδοτικά και οι ψήκτρες θα πρέπει να είναι εξαιρετικά ογκώδεις. Γι' αυτό και οι ενισχυτές τάξης Α χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές μικρής ή μέσης ισχύος. Στο σχήμα 2.1 φαίνεται η κυματομορφή ενός ενισχυτή τάξης Α.



Σχήμα 2.3: Χαρακτηριστική καμπύλη ενισχυτή τάξης A.

2.3.2 ΤΑΞΗ Β

Οι ενισχυτές τάξης Β ενισχύουν μόνο τη μία ημιπερίοδο του σήματος και αποκόπτουν την άλλη. Έτσι σε αυτούς τους ενισχυτές έχουμε μεγάλη παραμόρφωση αλλά η απόδοση ισχύος τους είναι σαφώς καλύτερη από αυτήν των ενισχυτών της τάξης Α. Η τάξη Β έχει μια μέγιστη θεωρητική απόδοση περίπου 78,5% κι αυτό γιατί το στοιχείο ενίσχυσης δεν άγει και παραμένει κλειστό κατά τη μία ημιπερίοδο και έτσι δεν καταναλώνεται ενέργεια. Ένα κύκλωμα ενισχυτή τάξης Β είναι το συμπληρωματικό ζεύγος σε push-pull συνδεσμολογία. Στο συγκεκριμένο τρόπο, χρησιμοποιούνται δύο συμπληρωματικά στοιχεία για να ενισχύσει το καθένα από μία ημιπερίοδο του σήματος εισόδου, το οποίο ανασυντίθεται ξανά στην έξοδο. Αυτή η διάταξη παρόλο που έχει καλή απόδοση, υποφέρει από το μειονέκτημα της ‘‘παραμόρφωσης διασταυρώσεως’’ (CrossoverDistortion), η οποία προκαλείται από τις διάφορες ατέλειες που συναντάμε σε τρανζίστορ ή λυχνίες. Η κυματομορφή του ενισχυτή τάξης Β φαίνεται στο σχήμα 2.2.

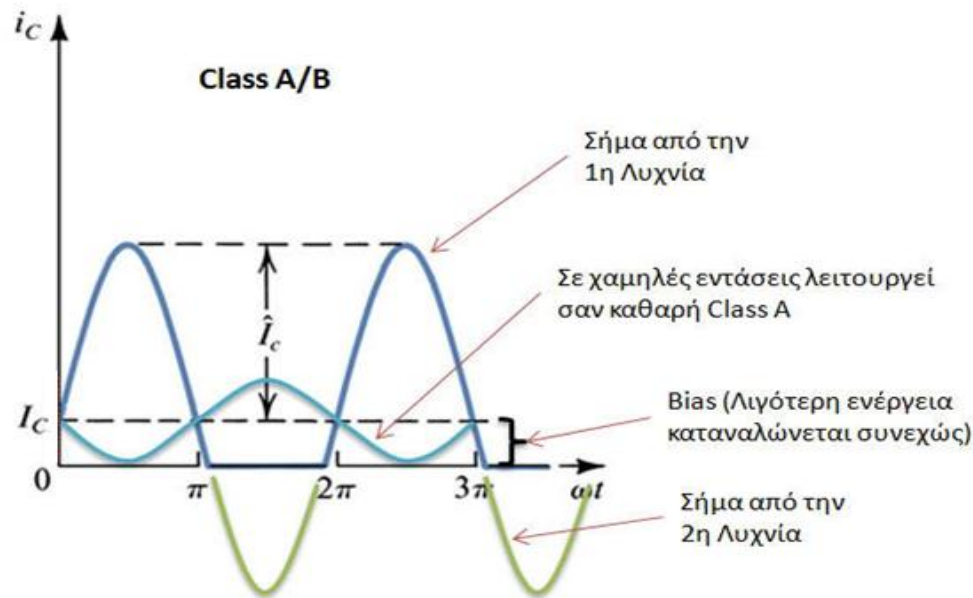


Σχήμα 2.2: Χαρακτηριστική καμπύλη ενισχυτή τάξης Β.

2.3.3 ΤΑΞΗ AB

Μια λύση στο παραπάνω πρόβλημα της παραμόρφωσης διασταυρώσεως των ενισχυτών τάξης B, είναι η διάταξη ενισχυτών τάξης AB.

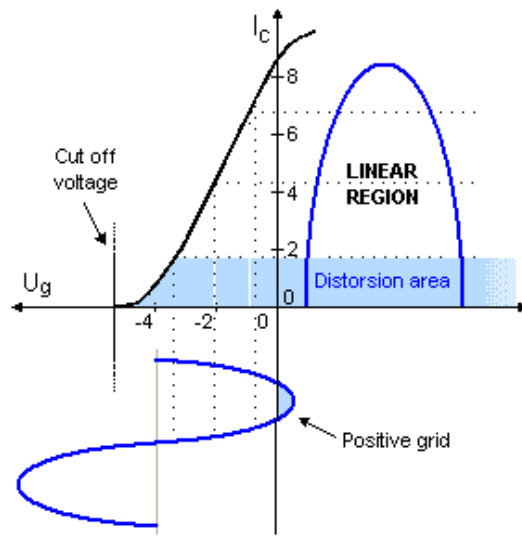
Στην τάξη AB, κάθε στοιχείο λειτουργεί κατά τον ίδιο τρόπο που λειτουργεί και στην τάξη B για το κάθε μισό του σήματος εισόδου, αλλά αυτή τη φορά συνεχίζει την λειτουργία του και για ένα μικρό κομμάτι του άλλου μισού. Έτσι, η νεκρή ζώνη στην ένωση των δύο ημιπεριόδων, ελαττώνεται ή εξαλείφεται εντελώς. Παρόλο λοιπόν που η τάξη αυτή υστερεί σε απόδοση ισχύος, σε σχέση με την τάξη B χάριν της γραμμικότητας, αυτή είναι κατά πολύ υψηλότερη από αυτήν της τάξης A. Σε ενισχυτές ήχου, τα κυκλώματα τάξης B και AB είναι τα πιο διαδεδομένα. Η τάξη AB θεωρείται ένας συμβιβασμός για ενισχυτές ήχου, αφού για χαμηλές εντάσεις το σήμα ενισχύεται με καλή πιστότητα, ενώ όταν η ένταση στην έξοδο ανέβει, η στάθμη του σήματος είναι κατά πολύ υψηλότερη από την παραμόρφωση και άρα αυτή δε γίνεται αντιληπτή. Στο σχήμα (2.3) φαίνεται η κυματομορφή ενός ενισχυτή τάξης AB.



Σχήμα 2.3: Χαρακτηριστική καμπύλη ενισχυτή τάξης AB.

2.3.4 ΤΑΞΗ C

Στην έξοδο των ενισχυτών τάξης C παίρνουμε συνήθως σήμα εξόδου, κάτω από 50% μικρότερο από το σήμα εισόδου. Επίσης, η παραμόρφωση στην έξοδο είναι μεγάλη, αλλά οι ενισχυτές αυτοί επιτυγχάνουν απόδοση ισχύος της τάξης του 90%. Η τάξη C δεν έχει πρακτική εφαρμογή σε ενισχυτές ήχου λόγω της μεγάλης παραμόρφωσης. Το σήμα εισόδου χρησιμοποιείται στην ουσία μόνο για να ανοίξει η να κλείσει τα ηλεκτρονικά στοιχεία του κυκλώματος. Αυτό μεταφράζεται στην έξοδο σε παλμούς ρεύματος οι οποίοι περνάνε με τη σειρά τους σε κάποιο άλλο κύκλωμα. Με κάποιους μηχανισμούς η κεντρική συχνότητα συντονισμού παρουσιάζεται στην έξοδο αρκετά ενισχυμένη και χωρίς σημαντική παραμόρφωση. Έτσι η τάξη C βρίσκει εφαρμογή σε ενισχυτές RF, όπως είναι τα κυκλώματα ραδιοφωνικών πομπών. Στο παρακάτω σχήμα (2.4) φαίνεται η κυματομορφή που λαμβάνουμε από έναν ενισχυτή τάξης C.



Σχήμα 2.4: Χαρακτηριστική καμπύλη ενισχυτή τάξης C.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

Στοιχεία του Ενισχυτή (Μετασχηματιστές και Μεγάφωνα)

3.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφέρουμε και θα αναλύσουμε τα στοιχεία του ενισχυτή, τα εξαρτήματα δηλαδή από την είσοδο έως και την έξοδό του, τα οποία εκτός από τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα (αντιστάσεις, πυκνωτές, λυχνίες, γραμμές μεταφοράς), είναι σημαντικά για τη σωστή λειτουργία του ενισχυτή. Θα δούμε κυρίως τα βασικά στοιχεία που καθορίζουν την τροφοδοσία και την έξοδο του ενισχυτή, το αρχικό και το τελικό στάδιο του κυκλώματος. Αυτά τα στοιχεία είναι ο μετασχηματιστής και το μεγάφωνο αντίστοιχα.

3.2 Ο Μετασχηματιστής

Ο μετασχηματιστής αποτελείται από δύο πηνία συνήθως, τυλίγματα γύρω από έναν πυρήνα σιδήρου τα οποία μέσω της επαγωγής μεταφέρουν ηλεκτρική ισχύ, μετασχηματίζοντας τους δύο βασικούς παράγοντές της, την τάση (V) και το ρεύμα (I) με τη βοήθεια της μαγνητικής σύζευξης.

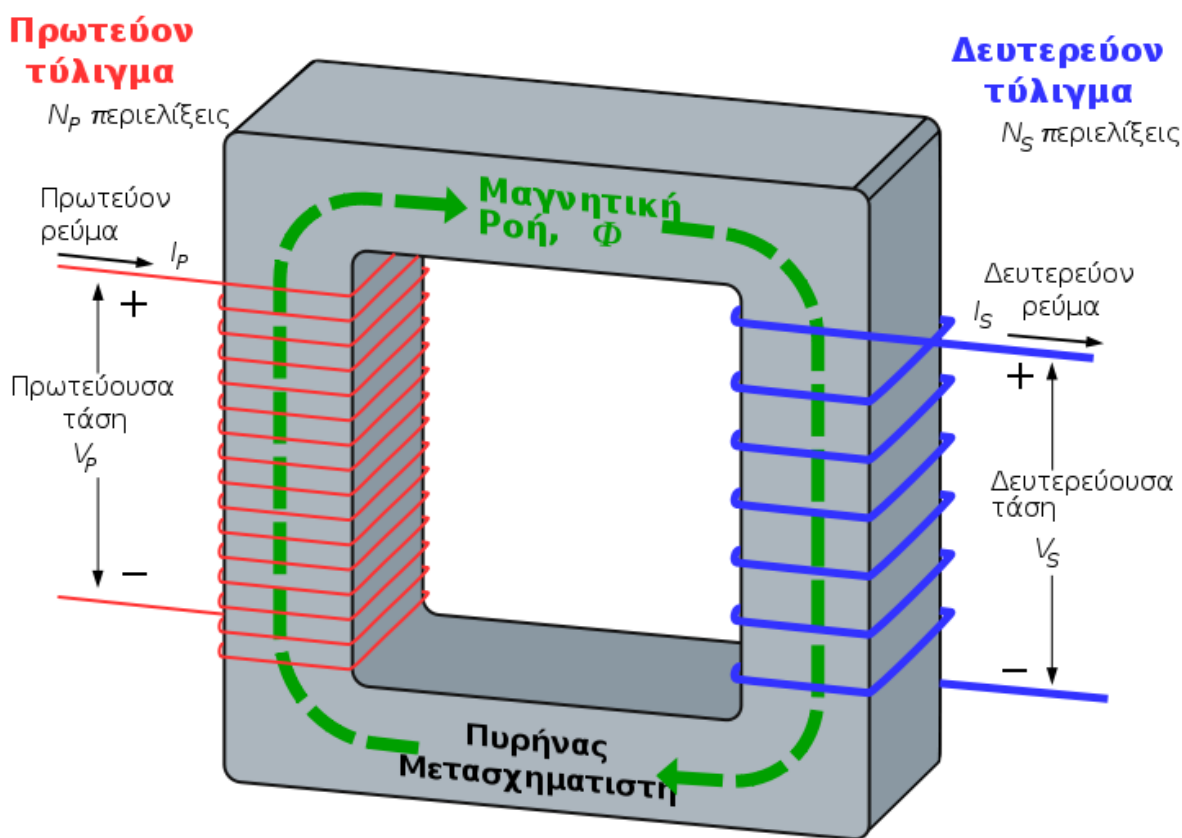
3.3 Τρόπος Λειτουργίας

Εφαρμόζοντας μια μεταβαλλόμενη τάση στο ένα πηνίο του μετασχηματιστή, η μαγνητική ροή στον πυρήνα είναι κι αυτή μεταβαλλόμενη. Η μεταβαλλόμενη αυτή μαγνητική ροή έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη εναλλασσόμενης τάσης εξ επαγωγής στο άλλο πηνίο του μετασχηματιστή. Το πηνίο στο οποίο εφαρμόζεται εξ αρχής η τάση ονομάζεται πρωτεύον ενώ το πηνίο πάνω στο οποίο αναπτύσσεται η εξ επαγωγής εναλλασσόμενη τάση, ονομάζεται δευτερεύον. Σε ορισμένους μετασχηματιστές μπορούμε να έχουμε παραπάνω από ένα δευτερεύοντα. Η εναλλασσόμενη τάση που αναπτύσσεται στο δευτερεύον είναι ανάλογη του αριθμού των σπειρών, των τυλιγμάτων δηλαδή, καθώς και της τάσης που εφαρμόζεται στο πρωτεύον. Είναι επίσης, αντιστρόφως ανάλογη του αριθμού των σπειρών του πρωτεύοντος. Αυτό φαίνεται και από τη σχέση που ισχύει για τους μετασχηματιστές μεταξύ της εφαρμοζόμενης τάσης και της επαγόμενης. Η σχέση αυτή ονομάζεται λόγος του μετασχηματιστή και δίνεται ως εξής:

$$n = \frac{N_p}{N_s} = \frac{E_p}{E_s}$$

όπου N_1 , ο αριθμός των σπειρών του πρωτεύοντος και N_2 , ο αριθμός των σπειρών του δευτερεύοντος. Αν το $n=1$ τότε ο μετασχηματιστής δεν πραγματοποιεί ούτε ανύψωση, ούτε υποβίβαση της τάσης και χρησιμοποιείται σαν απομονωτής ηλεκτρικών κυκλωμάτων. Αν το δευτερεύον έχει περισσότερα τυλίγματα, παραπάνω σπείρες δηλαδή, από το πρωτεύον, τότε πρόκειται για έναν ανυψωτή τάσης, ενώ αν έχει λιγότερες από το πρωτεύον, πρόκειται για έναν υποβιβαστή τάσης. Όταν ο μετασχηματιστής παρέχει ρεύμα στο φορτίο, ο λόγος των ρευμάτων είναι αντιστρόφως ανάλογος του λόγου των τάσεων, δηλαδή:

$$n = \frac{I_s}{I_p} = \frac{E_p}{E_s} = \frac{N_p}{N_s}$$



Σχήμα 3.1: Σχηματική λειτουργία ενός μετασχηματιστή

3.4 Απώλειες του Μετασχηματιστή

Δινορρεύματα

Λόγω του ότι ο σιδηροπυρήνας είναι καλός αγωγός του ηλεκτρισμού και διαρέεται από μεταβαλλόμενη μαγνητική ροή, αναπτύσσονται σε αυτόν κυκλικά ρεύματα, ή αλλιώς, δινορρεύματα τα οποία προκαλούν κυρίως αύξηση της θερμοκρασίας του. Γι' αυτό, ο πυρήνας δεν κατασκευάζεται από συμπαγή σίδηρο, αλλά από πολύ λεπτά φύλλα σιδήρου, ενωμένα και μονωμένα μεταξύ τους. Με αυτό τον τρόπο μειώνονται κατά πολύ οι απώλειες λόγω των δινορρευμάτων.

Ρεύμα Μαγνήτισης

Όταν ο μετασχηματιστής λειτουργεί χωρίς φορτίο, ένα μικρό ρεύμα υπάρχει στο πρωτεύον, το οποίο προκαλεί αντίστοιχη μαγνητική ροή. Το ρεύμα αυτό λέγεται ρεύμα μαγνήτισης και δε μπορεί να εξαλειφθεί.

Απώλεια Υστέρησης

Οι απώλεια υστέρησης εμφανίζεται με τη μορφή θερμότητας και προκαλείται από τη μαγνήτιση του πυρήνα.

Απώλεια Χαλκού

Όταν τα τυλίγματα του μετασχηματιστή διαρρέονται από ρεύματα, προκαλείται μια μικρή πτώση τάσης που οφείλεται στις ωμικές αντιστάσεις που παρουσιάζουν τα σύρματα. Αυτό προκαλεί μια απώλεια ισχύος ίση με $P = RI^2$, η οποία λέγεται απώλεια χαλκού.

Απώλεια Σκέδασης

Ένα άλλο είδος απώλειας του μετασχηματιστή είναι η απώλεια σκέδασης. Αυτή οφείλεται στο ότι ένα μέρος της μαγνητικής ροής η οποία αναπτύσσεται στο πρωτεύον, δεν περνά στο δευτερεύον.

3.5 Είδη Μετασχηματιστών

Μετασχηματιστές χαμηλών συχνοτήτων

Οι μετασχηματιστές χαμηλών συχνοτήτων χρησιμοποιούνται για να λειτουργούν σωστά σε όλο το ακουστικό φάσμα από 20Hz ως 20kHz. Χρησιμοποιούνται συνήθως ως μετασχηματιστές εξόδου σε ενισχυτές τάξης Α μεγάλης ισχύος, ενώ σε πολύ μικρές ισχύς μπορούμε να συναντήσουμε μικρούς μετασχηματιστές σε ραδιόφωνα με ενισχυτή push - pull για προσαρμογή της χαμηλής αντίστασης του μεγαφώνου. Η κατασκευή ενός μετασχηματιστή ήχου είναι ιδιαίτερα δύσκολη, καθώς λαμβάνονται υπ' όψιν πολλοί παράγοντες, όπως τα όρια συχνοτήτων, οι παρασιτικές χωρητικότητες, οι μαγνητικές διαφυγές και άλλα σημαντικά στοιχεία, τα οποία αν δεν υπολογιστούν, μπορούν προφανώς να προκαλέσουν δυσλειτουργία του μετασχηματιστή.

Μετασχηματιστές ρεύματος

Οι μετασχηματιστές ρεύματος αποτελούνται από δύο πηνία, το πρωτεύον και το δευτερεύον και έναν σιδηροπυρήνα, όπως και οι μετασχηματιστές τάσης. Η διαφορά μεταξύ τους είναι ότι οι μετασχηματιστές ρεύματος έχουν λίγες σπείρες στο πρωτεύον τους και το χάλκινο σύρμα που χρησιμοποιείται είναι πολύ χοντρό. Το δευτερεύον πηνίο τους έχει περισσότερες σπείρες και το σύρμα που χρησιμοποιείται είναι ψιλότερης διατομής. Στο δευτερεύον πηνίο συνδέεται ένα αμπερόμετρο σαν φορτίο για την μέτρηση του ρεύματος. Η χρήση των μετασχηματιστών ρεύματος είναι στα αμπερόμετρα καθώς με αυτόν των τρόπο αυξάνεται η ευαισθησία τους.

Μετασχηματιστές υψηλής τάσης

Οι μετασχηματιστές υψηλής τάσης είναι μικρής ισχύος και χρησιμοποιούνται στους δέκτες τηλεοράσεως για την τροφοδότηση των πηνίων απόκλισης του καθοδικού σωλήνα. Η κατασκευή αυτών των μετασχηματιστών έχει διαφορές καθώς απαιτούνται μονώσεις υψηλής ποιότητας και συμπαγής πυρήνας.

Ο πυρήνας στους μετασχηματιστές υψηλής τάσης αποτελείται από δύο κομμάτια φερρίτη σχήματος Π. Στο ένα μέρος του πυρήνα περιελίσσονται το πρωτεύον και άλλα δύο δευτερεύοντα πηνία, ενώ στο άλλο σκέλος του περιελίσσεται το δευτερεύον, δηλαδή το τύλιγμα υψηλής τάσης. Κατά την περιέλιξη του δευτερεύοντος παρεμβάλλονται μεταξύ των στρωμάτων φύλλα από πλαστική ταινία μεγάλης μόνωσης και η όλη περιέλιξη γίνεται συμπαγής χωρίς να υπάρχουν κενά. Μετά τοποθετείται σε φούρνο με θερμοκρασία από 200C° έως 300C° και ψήνεται. Τέλος εμποτίζεται σε πολυεστέρα και τοποθετείται μέσα σε θήκη από πολυκαρβονικό υλικό. Στην τελική μορφή του καλύπτεται ξανά με πολυεστέρα.

Τοροειδής μετασχηματιστές

Ένας τοροειδής μετασχηματιστής ανήκει στην κατηγορία των μετασχηματιστών τροφοδοσίας, όπου η κατασκευαστική του μορφή είναι διαφορετική από την συνήθη κατασκευή των μετασχηματιστών με σιδηροπυρήνα. Αποτελούνται από έναν στρογγυλό πυρήνα από φερρίτη, πάνω στον οποίο τυλίγονται το πρωτεύον και το δευτερεύον πηνίο. Οι μετασχηματιστές αυτοί έχουν περισσότερα πλεονεκτήματα από έναν μετασχηματιστή τροφοδοσίας με σιδηροπυρήνα, διότι έχουν μικρότερο μέγεθος και δημιουργούν μικρότερο μαγνητικό πεδίο γύρω τους. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να εξαλείφεται ο θόρυβος που μπορεί τυχόν να δημιουργηθεί σε κυκλώματα, από την κοντινή απόσταση του μετασχηματιστή. Γι' αυτό σε κυκλώματα ήχου υψηλής ποιότητας, (προενισχυτές, ενισχυτές, κτλ), οι τοροειδής μετασχηματιστές χρησιμοποιούνται στα κυκλώματα τροφοδοσίας τους. Το μόνο μειονέκτημά τους είναι το υψηλότερο κόστος τους.

Αυτομετασχηματιστές

Οι αυτομετασχηματιστές αποτελούνται από ένα πηνίο με σιδηροπυρήνα, το οποίο διαθέτει μία ή περισσότερες λήψεις. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η τάση που λαμβάνεται ανάμεσα σε μία λήψη και ένα κοινό σημείο να είναι μικρότερη από την τάση εισόδου. Έτσι πετυχαίνουμε υποβιβασμό τάσης. Για ανύψωση τάσης κάνουμε την αντίστροφη διαδικασία: τροφοδοτούμε τον αυτομετασχηματιστή από το τύλιγμα λήψης και ένα κοινό σημείο και παίρνουμε μεγαλύτερη τάση στα δύο άκρα του. Αν η λήψη του αυτομετασχηματιστή είναι μεταβλητή, τότε θα παίρνουμε διάφορες τάσεις στην έξοδό του.

Το πλεονέκτημα που έχει αυτός ο μετασχηματιστής είναι ότι έχει μικρότερο κόστος διότι διαθέτει μόνο ένα τύλιγμα, άρα λιγότερος χαλκός, καθώς επίσης και λιγότερο σιδηρομαγνητικό υλικό. Επίσης, ένα από τα μεγάλα πλεονεκτήματά του είναι ο υψηλός βαθμός απόδοσης που έχει. Η χρήση του όμως είναι πάρα πολύ περιορισμένη διότι δεν παρέχει γαλβανική απομόνωση και υπάρχει κίνδυνος εμφάνισης της φάσης στην έξοδό του. Το μεγάλο αυτό μειονέκτημα που έχει, κάνει τη χρήση του σπάνια, σε πολύ ειδικές εφαρμογές.

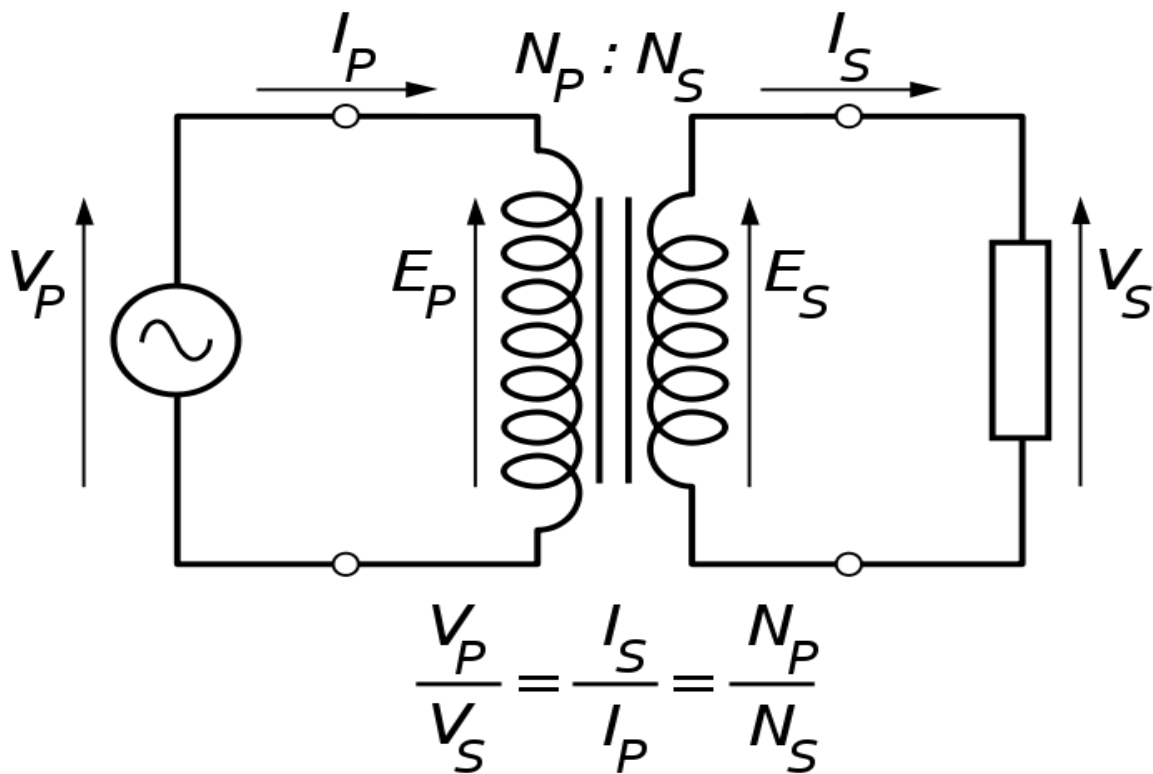
Μετασχηματιστές Ακουστικών Συχνοτήτων

Οι μετασχηματιστές ακουστικών συχνοτήτων έχουν τέτοιες απαιτήσεις, οι οποίες τους κατατάσσουν σε μια ξεχωριστή κατηγορία από τους υπόλοιπους μετασχηματιστές. Ο υπολογισμός τους είναι αρκετά περίπλοκος κι αυτό γιατί όπως αναφέραμε και προηγουμένως, για τη σωστή λειτουργία τους πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν διάφοροι παράγοντες, όπως όρια συχνοτήτων, μαγνητικές διαφυγές, παρασιτικές χωρητικότητες και λοιπά.

Ανάμεσα στις κατηγορίες των μετασχηματιστών ακουστικών συχνοτήτων συμπεριλαμβάνονται και οι μετασχηματιστές εξόδου του κυκλώματος ενός ενισχυτή με λυχνίες. Οι μετασχηματιστές αυτοί παρεμβάλλονται μεταξύ της τελευταίας βαθμίδας της ενισχυτικής διάταξης και του μεγαφώνου. Αυτό συμβαίνει γιατί το πηνίο του κάθε μεγαφώνου έχει συνήθως

μικρή σύνθετη αντίσταση, της τάξης των 4Ω ή 8Ω . Αυτό δεν επιτρέπει την απευθείας σύνδεση του μεγαφώνου με την λυχνία εξόδου του κυκλώματος, η οποία έχει μεγάλη σύνθετη αντίσταση φορτίου. Έτσι λοιπόν ο μετασχηματιστής εξόδου προσαρμόζει αυτή τη μεγάλη αντίσταση της λυχνίας στις απαιτήσεις του πηνίου του μεγαφώνου και έτσι επιτυγχάνεται η μεταφορά του σήματος, όπως επίσης και η μέγιστη δυνατή ισχύς από τη λυχνία στο μεγάφωνο. Ταυτόχρονα, η ισχύς αυτή που προσφέρεται από τη λυχνία, με μεγάλη τάση και μικρό ρεύμα, μεταβιβάζεται στο πηνίο του μεγαφώνου με μικρή τάση και μεγάλο ρεύμα.

Ο μετασχηματιστής εξόδου πρέπει να έχει πυκνές περιελίξεις με λεπτή μόνωση μεταξύ τους και ο πυρήνας να είναι καλής ποιότητας. Η κατασκευή τους μοιάζει με αυτή που περιγράψαμε στους απλούς μετασχηματιστές τάσης δικτύου.



Σχήμα 3.2: Απεικόνιση της λειτουργίας του μετασχηματιστή υπό φορτίο.

3.6 Χρήση των Μετασχηματιστών

Οι μετασχηματιστές τροφοδοσίας χρησιμοποιούνται σε κυκλώματα τροφοδοτικών, σε ηλεκτρονικές συσκευές, οι οποίοι υποβιβάζουν την υψηλή τάση του δικτύου σε χαμηλές τάσεις για τα κυκλώματα που συνήθως περιέχουν εξαρτήματα είτε ευαίσθητα στην υψηλή τάση, είτε δεν απαιτούν τόσο μεγάλη τάση τροφοδοσίας. Παράλληλα παρέχουν γαλβανική απομόνωση των κυκλωμάτων των συσκευών για προστασία από κινδύνους ηλεκτροπληξίας.

Πολλοί μετασχηματιστές χρησιμοποιούν περισσότερες από μία εξόδους, περισσότερα από ένα δευτερεύοντα δηλαδή, για διάφορες τάσεις και ρεύματα σε ηλεκτρονικές συσκευές ενώ σε κυκλώματα παλμοτροφοδοτικών οι μετασχηματιστές είναι κατασκευασμένοι για υψηλότερες συχνότητες από τα 50Hz, με εντελώς διαφορετικά κατασκευαστικά χαρακτηριστικά από τους απλούς μετασχηματιστές των 50 - 60 Hz.

3.7 Το Μεγάφωνο

Το μεγάφωνο αποτελεί την τελευταία βαθμίδα ενός ενισχυτή ήχου και είναι η συσκευή η οποία μετατρέπει την ηλεκτρική ισχύ σε ήχο, ο οποίος έχει την ίδια μορφή με αυτή του ηλεκτρικού ρεύματος που την προκάλεσε. Χωρίζονται σε μαγνητικά και δυναμικά. Τα μαγνητικά δεν αποδίδουν μεγάλη ισχύ, σε αντίθεση με τα δυναμικά, τα οποία όντας ισχυρότερα, χρησιμοποιούνται περισσότερο. Για την καλύτερη απόδοση του φάσματος συχνοτήτων, κατασκευάζουμε μεγάφωνα κατάλληλα για κάθε περιοχή συχνοτήτων. Τα μεγάφωνα αυτά είναι: τα woofers για τις χαμηλές συχνότητες, τα midrange για τις μεσαίες, τα tweeters για τις υψηλές συχνότητες και οι κόνρες.

Τα **woofers** είναι μεγάφωνα που σχεδιάστηκαν για να αναπαραγάγουν τις πολύ χαμηλές συχνότητες ή το πολύ χαμηλό, αλλά ευκρινές, ηχητικό φάσμα. Κατά την απόδοση του χαμηλού ηχητικού φάσματος, οι κώνοι από τους οποίους αποτελούνται τα woofers, μετακινούνται μέσα-έξω με τη μεγαλύτερη δυνατή έκταση, διότι τα ηχητικά κύματα γίνονται μεγαλύτερα όσο μικραίνουν οι συχνότητες. Για τη λειτουργία αυτή χρησιμοποιούνται ανθεκτικά υλικά όπως πολυπροπυλένιο, άνθρακας και πολυμερή αντικολλητικά ώστε να διατηρούν το σχήμα τους κάτω από πίεση, διαρκή υγρασία, και είναι πολύ ελαφριά.

Οι μεσαίες συχνότητες του ηχητικού φάσματος είναι μεγάλης σημασίας, καθώς σε αυτές βρίσκεται η «καρδιά» της μουσικής. Τα φωνητικά και τα όργανα θα πρέπει να ακούγονται φυσικά και λεπτομερή, όχι πολύ έντονα ή απομακρυσμένα, όχι πολύ ζωηρά ή βαρετά. Ένα **midrange** ηχείο είναι συνήθως πολύ μικρότερο από έναwoofer, αλλά έχει επιφάνεια μεγαλύτερη από ένα τυπικό tweeter. Αναπαραγάγει τις μεσαίες συχνότητες, περίπου δηλαδή μεταξύ 300Hz- 5000Hz.

Οι υψηλές συχνότητες αναπαράγονται από τα **tweeters**, ένα μικρό μεταδότη, ο οποίος διαχωρίζεται σε πολλά συστήματα. Προσδίδουν στον ήχο μια πιο παραστατική αίσθηση του ήχου της μουσικής. Υπάρχουν σε τρεις τύπους: σε κώνους, σε σχήμα τρούλου και σε κόρνες. Τα tweeters συνήθως δεν απαιτούν μεγάλα ποσά ενέργειας για να παράγουν δυνατό ήχο. Οι κυματομορφές των υψηλών συχνοτήτων είναι αρκετά μικρές και μόνο λίγα watt χρειάζονται για την παραγωγή τους.

3.7.1 Μαγνητικό μεγάφωνο

Το μαγνητικό μεγάφωνο αποτελείται από έναν μόνιμο μαγνήτη και μεταξύ των πόλων του υπάρχει ένα σταθερό πηνίο, το οποίο είναι τυλιγμένο σε ένα χαλύβδινο έλασμα που προεξέχει και προσαρμόζεται σε ένα χάρτινο διάφραγμα. Όταν το πηνίο διαρρέεται από ρεύμα, το έλασμα πάλλεται και προκαλεί την κίνηση του χάρτινου διαφράγματος με αποτέλεσμα την παραγωγή ήχων. Η αντίσταση των μαγνητικών μεγαφώνων κυμαίνεται από $2k\Omega$ – $8k\Omega$. Αυτός ο τύπος μεγαφώνων ωστόσο δε χρησιμοποιείται καθώς τα δυναμικά μεγάφωνα έχουν κάνει την προτίμηση των μαγνητικών σπάνια.

3.7.2 Δυναμικό Μεγάφωνο

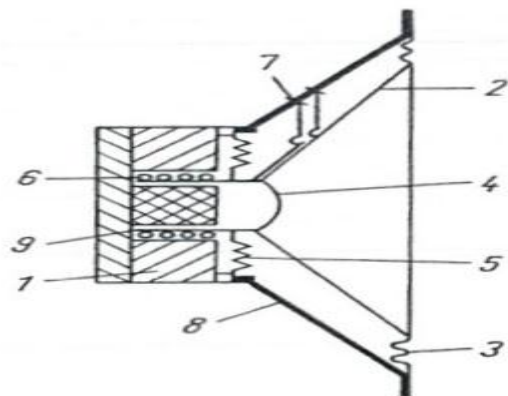
Τα δυναμικά μεγάφωνα είναι δύο τύπων: Τα ηλεκτροδυναμικά και μόνιμου μαγνήτη. Η διαφορά τους είναι στον τρόπο που δημιουργούν το μαγνητικό πεδίο. Και τα δύο ονομάζονται μεγάφωνα κινητού πηνίου.

Στο κέντρο των ηλεκτροδυναμικών μεγαφώνων βρίσκεται ένας ισχυρός μόνιμος μαγνήτης κυλινδρικού σχήματος, στο κέντρο του οποίου υπάρχει μια κυλινδρική ράβδος. Ανάμεσά τους δημιουργείται ένα κυλινδρικό διάκενο λίγων χιλιοστών, μέσα στο οποίο αναπτύσσεται ένα ισχυρό, ομοιογενές και σταθερής έντασης μαγνητικό πεδίο. Στο διάκενο και γύρω από τον πόλο, προσαρμόζεται το πηνίο φωνής (voicewind) το οποίο είναι ένας αγωγός τυλιγμένος σε σπείρες και κινείται ελεύθερα μέσα στο μαγνητικό πεδίο του διάκενου και υποβοηθείται από μία ειδική ελαστική ανάρτηση που φροντίζει ώστε το πηνίο να μην ακουμπά στον πόλο και να λειτουργεί να αιωρείται. Όταν τον αγωγό του πηνίου διαρρέει εναλλασσόμενο ρεύμα που μεταφέρει το ηχητικό σήμα, τότε στο διάκενο θα αναπτυχθούν δυνάμεις που ωθούν το πηνίο σε παλινδρομική κίνηση μπρος - πίσω. Στο εξωτερικό μέρος του πηνίου προσαρμόζεται το διάφραγμα, το μέγεθος της επιφάνειας του οποίου καθορίζεται από τη χαμηλότερη συχνότητα που επιθυμούμε να αναπαράγουμε. Το διάφραγμα κινείται και έτσι παράγεται ήχος.

Όταν ο κώνος ενός μεγαφώνου κινείται προς τα εμπρός ασκώντας πίεση στα στρώματα του αέρα, τότε στο πίσω μέρος του δημιουργείται μια ίση αλλά αντίθετης φοράς πίεση (αραίωση,

υποπίεση). Οι χαμηλές συχνότητες έχουν μικρή κατευθυντικότητα, περιθλώνται γύρω από το μεγάφωνο και τείνουν να επεκταθούν σε όλο το χώρο μπροστά και πίσω από αυτόν. Έτσι στο πίσω μέρος του θα έχουμε τη συμβολή δύο ίδιων αλλά αντίθετης φάσης ηχητικών κυμάτων, κάτι που συνεπάγεται την ακύρωσή τους. Η ιδανική λύση για να αποφύγουμε την ακύρωση είναι να προσαρμόσουμε το μεγάφωνο στο κέντρο μιας επίπεδης επιφάνειας με μεγάλο εμβαδόν ή διάμετρο (άπειρο διάφραγμα – infinite baffle). Αυτό φυσικά είναι πρακτικά αδύνατον και έτσι καταφεύγουμε στη λύση της καμπίνας.

Όσο πιο μεγάλη είναι η διάμετρος του κώνου, τόσο μεγαλύτερο πρέπει να είναι και το πηνίο φωνής και ο μαγνήτης, κάτι που οδηγεί σε μεγάφωνα μεγάλης μάζας και αδράνειας, δηλαδή σε συστήματα που απαιτούν μεγάλη ισχύ και αντιστέκονται τόσο στην έναρξη της κίνησής τους όσο και στη μεταβολή ή την παύση της. Παράλληλα οι κώνοι μεγάλης διαμέτρου τείνουν να παραμορφώνονται στα άκρα τους, γιατί η δύναμη του πηνίου ασκείται σε μία πολύ μικρή επιφάνεια του κέντρου τους. Έτσι απαιτούνται ελαφρά υλικά με μεγάλη ακαμψία (στοιχεία αλληλοαναιρούμενα), κάτι που μας οδηγεί στη χρήση σύνθετων ή εξωτικών υλικών, όπως το πολυπροπυλένιο, το kevlar, το εμποτισμένο με ειδικές ρητίνες χαρτί, το τιτάνιο και κάθε λογής κράματα και υφάσματα.



Σχήμα 3.3: Τομή ηλεκτροδυναμικού μεγαφώνου: 1) Μαγνήτης 2) Κώνος 3) Περιμετρική Ανάρτηση 4) Διάφραγμα 5) Ανάρτηση 6) Πηνίο 7) Καλώδιο για το σήμα εισόδου 8) Περίβλημα 9) Φορέας του κινούμενου πηνίου.

3.8 Χαρακτηριστικά Μεγαφώνων

Ωμική Αντίσταση

Κάθε ηλεκτροδυναμικό μεγάφωνο έχει ωμική αντίσταση, την ωμική αντίσταση του σύρματος του πηνίου φωνής. Η αντίσταση αυτή κυμαίνεται από 2Ω έως 32Ω. Όσο μεγαλύτερη η ισχύς του μεγαφώνου, τόσο μικρότερη κατά κανόνα και η ωμική του αντίσταση και το αντίστροφο. Η ωμική αντίσταση έχει μεγάλη σημασία ως προς τα Watt που θα αποδώσει ένα μεγάφωνο όταν συνδεθεί με έναν ενισχυτή. Οι ενισχυτές έχουν ένα κατώτατο όριο ωμικής αντίστασης που μπορούμε να συνδέσουμε στην έξοδο τους, το οποίο αν δεν ληφθεί υπ' όψιν μπορεί να καταστρέψει τον ενισχυτή.

Ισχύς του Ηχείου

Τα ηχεία έχουν μια μέγιστη ισχύ που μπορούν να αποδώσουν και να διαχειριστούν. Αυτή συνήθως μετριέται σε Watt όπως και η ισχύς των ενισχυτών, προκειμένου να ελεγχθεί η συμβατότητά τους, διότι σε περίπτωση που ο ενισχυτής αποδώσει περισσότερα Watt απ' αυτά που μπορεί να αντέξει το ηχείο, αυτό θα καταστραφεί. Όσο περισσότερα τα Watt ενός ηχείου ή λιγότερα τα Ohm, τόσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος του μεγαφώνου (συνεπώς και του ηχείου) και το αντίστροφο. Η απόδοση ενός ηχείου μετριέται σε dB.

Απόκριση Συχνοτήτων

Η απόκριση συχνοτήτων είναι το μέγεθος που εκφράζει το εύρος συχνοτήτων που μπορεί να αναπαράγει ένα ηχείο. Από την χαμηλότερη συχνότητα που μπορεί να αποδώσει ένα Woofer μέχρι την υψηλότερη που μπορεί να αποδώσει ένα Tweeter. Πολλές φορές επιτυγχάνεται η απόδοση ολόκληρου του ηχητικού φάσματος, από 20Hz έως 20kHz.

Κατευθυντικότητα ή Διασπορά

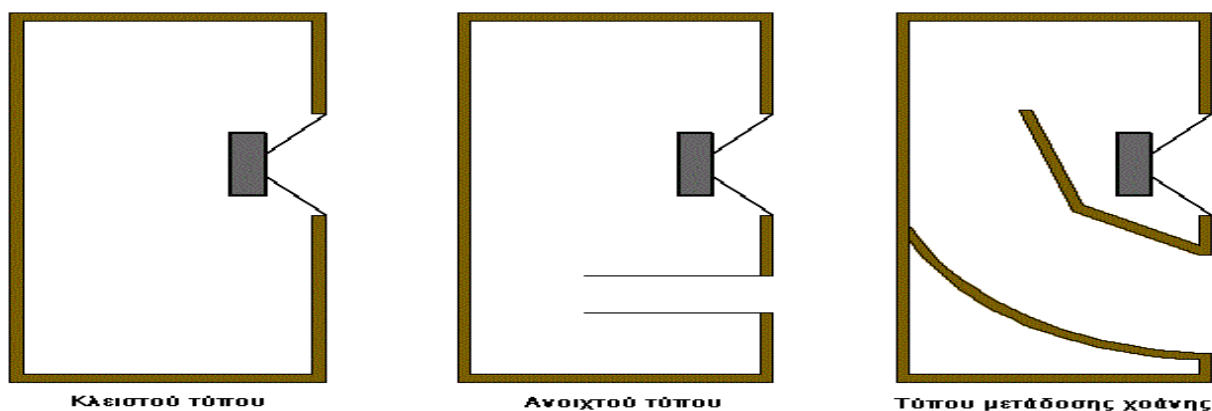
Τα ηχεία χαρακτηρίζονται από την κατευθυντικότητά τους. Πληροφορίες για την κατευθυντικότητά τους μας δίνονται από τους κατασκευαστές τους με πολικά διαγράμματα στον οριζόντιο και τον κάθετο άξονα τους. Η ιδιότητα αυτή ονομάζεται διασπορά και μετριέται σε μοίρες και ανάλογα με την χρήση, επιλέγουμε το κατάλληλο ηχείο.

3.9 Καμπίνες Μεγαφώνων

Όπως είπαμε και σε παραπάνω παράγραφο, για να αποφύγουμε την ακύρωση των ηχητικών κυμάτων κατά τη διάδοση τους από το ηχείο, πρέπει να το προσαρμόσουμε μέσα σε μια καμπίνα. Η καμπίνα ενός ηχείου βέβαια δεν είναι ένα απλό κουτί τυχαίων διαστάσεων, που αποσκοπεί στη στήριξη του μεγαφώνου και στην εξάλειψη των ακυρώσεων. Αντίθετα είναι μια προσεκτικά σχεδιασμένη διάταξη που επιχειρεί είτε να μιμηθεί το ελεύθερο μεγάφωνο (σχεδίαση άπειρου διαφράγματος), είτε να εκμεταλλευτεί τον όγκο του αέρα που βρίσκεται στο εσωτερικό, έτσι ώστε να συνεισφέρει θετικά στην απόδοση του μεγαφώνου (π.χ. σχεδιάσεις ακουστικής ανάρτησης, ανάκλασης χαμηλών και πολλές άλλες). Η ιδανική καμπίνα ενός ηχείου πρέπει να είναι άκαμπτη, ώστε να μην πάλλεται με τις εσωτερικές μεταβολές της πίεσης του αέρα. Επίσης πρέπει να έχει μεγάλη απόσβεση ώστε να εξασθενούν τα ηχητικά κύματα και να μην εκπέμπονται από την καμπίνα. Τέλος η συχνότητα συντονισμού πρέπει να είναι υψηλή και εκτός της ακουστικής μπάντας, για την αποφυγή χρωματισμών.

Υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι καμπίνων για την τοποθέτηση μεγαφώνων και είναι οι εξής:

1. **Κλειστού τύπου:** Έτσι ονομάζονται οι καμπίνες που μέσα στο εσωτερικό τους υπάρχει εγκλωβισμένη μια μάζα αέρα η οποία δέχεται τις μεταβολές πίεσης λόγω της κίνησης του μεγαφώνου και είναι κλειστή με αεροστεγή τρόπο.
2. **Ανοικτού τύπου:** Ο αέρας που βρίσκεται στο εσωτερικό αυτής της καμπίνας και δέχεται τις μεταβολές της κίνησης του μεγαφώνου και τις αντιδράσεις των τοιχωμάτων της, μπορεί να εκτονωθεί μέσω ενός ειδικά μελετημένου ανοίγματος της καμπίνας.
3. **Τύπου μετάδοσης χοάνης** όπου η καμπίνα είναι ουσιαστικά ανοικτή και χρησιμοποιείται ως προσαρμογέαεμπέδησης για την ακτινοβολία του πίσω μέρους του κώνου.



Σχήμα 3.4: Οι τρεις τύποι καμπίνας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο

Θόρυβος και Παραμορφώσεις

4.1 Ήχος και Θόρυβος

Ήχος και θόρυβος είναι συνήθως δύο δυσδιάκριτες έννοιες οι οποίες πολύ συχνά χρειάζονται να αναλύονται έτσι ώστε να γίνουν κατανοητές οι διαφορές τους.

Αυτό που εμείς αντιλαμβανόμαστε σαν ήχο είναι οι μεταβολές της πίεσης του αέρα γύρω μας. Οι ήχοι αυτοί συνήθως είναι πολύπλοκοι, ακόμη και οι καθημερινοί ήχοι, καθώς αποτελούνται από πολλές διαφορετικές συχνοτήτες.

Θόρυβος από την άλλη μεριά, θεωρείται ένας ήχος ο οποίος είναι ενοχλητικός. Αυτό φυσικά πολλές φορές είναι υποκειμενικό, καθώς μπορεί ένας ενοχλητικός θόρυβος σε μια περίπτωση, να θεωρείται αναγκαίος σε μια άλλη. Ο θόρυβος είναι διάφορες παραμορφώσεις των συχνοτήτων που αποτελούν τους ήχους γύρω μας.

Οι επιπτώσεις που έχει ο εκάστοτε θόρυβος στην υγεία του ανθρώπου εξαρτώνται από την ένταση, τη διάρκεια και την επαναληπτικότητα αυτού του θορύβου. Έτσι λοιπόν, μπορεί να παρατηρηθεί μια απλή ενόχληση, μέχρι και άγχος, δυσκολία συγκέντρωσης, ή και βλάβες στην ακοή. Έτσι λοιπόν δημιουργείται η ανάγκη εφαρμογής κάποιων μεθόδων για την καλύτερη αντιμετώπιση του εκάστοτε θορύβου, απ' όπου κι αν προέρχεται. Όπως θα δούμε παρακάτω ο θόρυβος χωρίζεται σε διάφορες κατηγορίες. Αυτό σημαίνει ότι σε πολλές περιπτώσεις "εισβάλλει" και αλλοιώνει το επιθυμητό αποτέλεσμα, το οποίο για παράδειγμα μπορεί να είναι ένα ακουστικό σήμα. Γι' αυτό είναι σημαντικό να μπορούμε να διακρίνουμε το είδος του και να εφαρμόζουμε την κατάλληλη μέθοδο αντιμετώπισης.

4.2 Κατηγορίες θορύβου

Σ' ένα ηλεκτρικό κύκλωμα δημιουργούνται διάφορα ανεπιθύμητα σήματα, τα οποία ενισχύονται με το σήμα εξόδου. Αυτά τα σήματα οφείλονται σε διάφορους παράγοντες και σε απρόβλεπτες επιδράσεις που θα εξετάσουμε παρακάτω και επηρεάζουν τη σωστή λειτουργία του κυκλώματος.

Σαν θόρυβο (noise) ονομάζουμε παρασιτικά σήματα που οφείλονται σε τυχαίες καταστάσεις και εμφανίζονται τόσο σε αισθητήρια όσο και σε κυκλώματα που παραμορφώνουν το σήμα, όπως είναι ένας ενισχυτής ακουστικών συχνοτήτων. Είναι σχεδόν αδύνατο να εξαλείψουμε τον θόρυβο από ένα σήμα, οπότε στοχεύουμε στην όσο το δυνατόν μεγαλύτερη μείωσή του. Σε ένα

κύκλωμα δεν είναι τόσο σημαντική η ποσότητα του θορύβου, αλλά η σχέση του με το σήμα που αλλοιώνει. Για αυτό το λόγο αυτό που μας ενδιαφέρει παραπάνω είναι ο λόγος σήματος προς θόρυβο (Signal-to-Noise Ratio, SNR).

Φτάνοντας λοιπόν στη δική μας περίπτωση, θα δούμε ότι υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες θορύβου στα κυκλώματα ενισχυτών: ο έμφυτος (inherent), ο οποίος δημιουργείται συνήθως από ατέλειες του κυκλώματος και ο θόρυβος παρεμβολής (interference), που εισέρχεται στο κύκλωμα από εξωτερικούς παράγοντες. Θα δούμε επίσης παρακάτω το θερμικό θόρυβο, το θόρυβο αιχμής και τον υπερβολικό θόρυβο.

Έμφυτος Θόρυβος (Inherent Noise)

Σε ένα κύκλωμα ενίσχυσης, ο θόρυβος μπορεί να οφείλεται στη γραμμή ανατροφοδότησης, στην πόλωση, στον περιορισμό του εύρους συχνοτήτων και στην επίδραση της θερμοκρασίας στις θερμικές αντιστάσεις (θερμικός θόρυβος). Στο κύκλωμα συνεχούς ρεύματος, για να περιορίσουμε το θόρυβο χρησιμοποιούμε αντιστάσεις μικρής τιμής, κρατάμε χαμηλά το εύρος συχνοτήτων και χρησιμοποιούμε φίλτρα για να αποκόψουμε το θερμικό θόρυβο. Στο κύκλωμα εναλλασσόμενου ρεύματος, ο θόρυβος (Schottky) οφείλεται στη μετακίνηση φορτίων σε μια επαφή και έχει τη μορφή λεπτών παλμών. Σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιούμε FET και CMOS ημιαγωγούς και φίλτρα χαμηλών συχνοτήτων για τα άλλα είδη θορύβων.

Θόρυβος Παρεμβολής (Interference Noise)

Οι κυριότερες πηγές του θορύβου αυτού είναι η θερμοκρασία, η οποία αλλάζει τις παραμέτρους των εξαρτημάτων, οι μηχανικές καταπονήσεις (χτυπήματα στο εσωτερικό ή εξωτερικό του ενισχυτή), ηλεκτρικά ή μαγνητικά πεδία, η χρήση διακόπτη στη γραμμή τροφοδοσίας, πολύ υψηλές τάσεις και άλλες.

Θόρυβος Johnson ή Θερμικός Θόρυβος (Thermal Noise)

Ο θερμικός θόρυβος οφείλεται στην τυχαία κίνηση των ηλεκτρονίων στους αγωγούς, λόγω της θερμικής τους κατάστασης. Έτσι καθώς αυξάνει η θερμοκρασία, τα ηλεκτρόνια κινούνται με μεγαλύτερη ταχύτητα, οπότε αυξάνονται οι κρούσεις τους με τα δομικά στοιχεία των αγωγών, με αποτέλεσμα την αύξηση της αντίστασης του αγωγού.

Θόρυβος Αιχμής (Shot Noise)

Ο θόρυβος αιχμής παρουσιάζεται κατά την τυχαία μετακίνηση φορτίων κατά μήκος μιας επαφής (π.χ. σε μια λυχνία κενού ηλεκτρόνια μεταπηδούν τυχαία από την κάθοδο στην άνοδο) και έχει την μορφή παλμών μικρής διάρκειας.

Υπερβολικός θόρυβος (Excess Noise)

Σαν υπερβολικός θεωρείται ο θόρυβος που οφείλεται σε αίτια πέραν του θερμικού και του θορύβου αιχμής και συνήθως εξαρτάται από την συχνότητα. Ο θόρυβος αυτός οφείλεται σε επαγωγικά ρεύματα που δημιουργούνται στους αγωγούς ενός κυκλώματος λόγω της ύπαρξης άλλων ρευματοφόρων αγωγών σε κοντινή τους απόσταση ή στην κυμάτωση της τάσης τροφοδοσίας.

Βόμβος (Hum)

Ο βόμβος σε έναν ενισχυτή είναι ένα είδος θορύβου που συναντάται συχνά. Προκαλείται κυρίως από το δίκτυο τροφοδοσίας και τη συχνότητα που φέρει, δηλαδή τα 50 Hz. Οφείλεται σε ατέλειες της κατασκευής ή των εξαρτημάτων. Κυρίως οφείλεται στο κακό φιλτράρισμα του κυκλώματος, κυρίως της ανόδου, αλλά και στην κάθοδο, όταν αυτή έρχεται κοντά με τα νήματα και δημιουργείται μια χωρητικότητα ανάμεσα τους. Όπως γνωρίζουμε, το εναλλασσόμενο σήμα περνά μέσα από τον πυκνωτή κι έτσι περνά και από την κάθοδο προς τα υπόλοιπα στοιχεία της λυχνίας και ενισχύεται τελικά, μαζί με το επιθυμητό σήμα.

Όπως θα δούμε παρακάτω στο κεφάλαιο της κατασκευής, τα καλώδια που τροφοδοτούν τα νήματα είναι συνεστραμμένα μεταξύ τους για να αποφευχθεί αυτό το πρόβλημα του βόμβου. Ακόμη ένας τρόπος αντιμετώπισης είναι το σωστό φιλτράρισμα του κυκλώματος όπως είπαμε και η καλή γείωσή του. Το κακό φιλτράρισμα του κυκλώματος μπορεί να προκαλέσει κυμάτωση με συχνότητα μέχρι και 100 με 120 Hz, ενώ η κακή γείωση μπορεί να επιφέρει ακόμη και καταστροφή του κυκλώματος ή βαθμίδων του. Επίσης, τα μαγνητικά πεδία μπορούν να προκαλέσουν βόμβους, δύσκολους στην αντιμετώπιση τους και γι' αυτό θα πρέπει οι πρώτες βαθμίδες εισόδου να είναι θωρακισμένες και μακριά από το μετασχηματιστή τροφοδοσίας.

4.3 Παραμόρφωση

Στην ενίσχυση ενός σήματος, όπως είδαμε παραπάνω, θέλουμε το σήμα που εφαρμόζεται στην είσοδο ενός ενισχυτή, να εμφανιστεί στην έξοδο του ενισχυμένου, έχοντας παράλληλα την ίδια μορφή. Στην πράξη αυτό είναι κάτι ιδανικό και σχεδόν απίθανο να επιτευχθεί. Έτσι λοιπόν, στην έξοδο ενός ενισχυτή, βλέπουμε το ενισχυμένο σήμα να είναι παραμορφωμένο. Έχουμε λοιπόν τρία είδη παραμόρφωσης: την παραμόρφωση συχνοτήτων, την παραμόρφωση φάσης και την παραμόρφωση πλάτους.

Παραμόρφωση Συχνοτήτων

Η παραμόρφωση συχνοτήτων συμβαίνει όταν κάποια στοιχεία από ένα πολύπλοκο σήμα ενισχύονται περισσότερο από άλλα. Το αποτέλεσμα είναι στην έξοδο να έχουμε ένα εντελώς διαφορετικό σήμα. Η παραμόρφωση αυτή προκαλείται από τα στοιχεία του κυκλώματος των οποίων η αντίσταση μεταβάλλεται, ανάλογα με την συχνότητα. Τέτοια στοιχεία είναι ο πυκνωτής (χωρητικότητα), ο μετασχηματιστής εξόδου (αυτεπαγωγή) και οι λυχνίες με τις παρασιτικές χωρητικότητες. Η παραμόρφωση αυτή εμφανίζεται σε σύνθετα σήματα εισόδου, τα οποία είναι άθροισμα κάποιων συχνοτήτων (π.χ. η φωνή μας ή ο ήχος μιας κιθάρας). Αν υπάρχουν συχνότητες μεγάλου φάσματος, τότε κάποιες μπορεί να ενισχυθούν περισσότερο και κάποιες λιγότερο. Επομένως, το σήμα στην έξοδο του ενισχυτή θα εμφανίζεται διαφορετικό. Για την αποφυγή της παραμόρφωσης συχνότητας πρέπει ο ενισχυτής να έχει ίδια απολαβή για όλο το εύρος των συχνοτήτων του σήματος εισόδου.

Παραμόρφωση Φάσης

Παραμόρφωση φάσης έχουμε όταν το σήμα περνάει από έναν ενισχυτή και καθυστερεί, γνωστή και ως καθυστέρηση φάσης ή παραμόρφωση, η οποία μεταβάλλεται με την συχνότητα. Προκαλείται κυρίως από την αντίδραση των κυκλωμάτων ζεύξης μεταξύ των σταδίων ενός ενισχυτή. Όταν δηλαδή το σήμα περάσει μέσα από αντιστάσεις, πυκνωτές και πηνία, εκτός από τις μεταβολές στα πλάτη των διαφόρων συνιστωσών αλλάζουν και οι σχέσεις μεταξύ των φάσεων τους, αλλοιώνοντας το σήμα εξόδου. Τόσο η παραμόρφωση φάσης, όσο και η παραμόρφωση συχνότητας μειώνουν την πιστότητα ενός ενισχυτή ακουστικών συχνοτήτων. Η παραμόρφωση φάσης επηρεάζει περισσότερο τις υψηλές ακουστικές συχνότητες. Για την αποφυγή της παραμόρφωσης φάσης των υψηλών ακουστικών συχνοτήτων επιβάλλεται η ανώτερη συχνότητα αποκοπής να είναι μεγαλύτερη από 20KHz.

Παραμόρφωση Πλάτους

Αν ένας ενισχυτής λειτουργεί σε μία μη γραμμική περιοχή της χαρακτηριστικής του στοιχείου του, μια στιγμιαία αλλαγή στην τάση του πλέγματος επιφέρει αλλαγή στο ρεύμα που ρέει στο στοιχείο με αποτέλεσμα την παραμόρφωση του πλάτους. Η παραμόρφωση αυτή είναι αποτέλεσμα της παραγωγής νέων συχνοτήτων στην έξοδο, οι οποίες δεν υπήρχαν στην είσοδο.

Οι νέες αυτές συχνότητες ή αρμονικές είναι αποτέλεσμα της μη γραμμικής συμπεριφοράς των ενεργών στοιχείων του ενισχυτή (μη γραμμική δυναμική καμπυλών). Η παραμόρφωση αυτή ονομάζεται και παραμόρφωση εύρους.

THD (Συνολική Αρμονική Παραμόρφωση – TotalHarmonicDistortion)

Οποιοσδήποτε ήχος φυσικός ή τεχνητός, όσο σύνθετος και αν είναι, όταν μετατραπεί σε ηλεκτρικό σήμα, όσο περίεργο σχήμα κι αν έχει, μπορεί να αναλυθεί σε επιμέρους συνιστώσες που είναι ένα πλήθος από ημιτονοειδή σήματα με διάφορες εντάσεις και συχνότητες. Ακόμη και ήχοι που φαινομενικά δεν έχουν περιοδικότητα, όπως οι κρότοι, μπορούν να αναλυθούν σε επιμέρους ημίτονα.

Αυτή η μέθοδος ανάλυσης των ηλεκτρικών σημάτων λέγεται φασματοσκοπική ανάλυση και τα όργανα που αναλύουν και απεικονίζουν το σήμα λέγονται αναλυτές φάσματος (spectrumanalyzers).

Έτσι λοιπόν ένας οποιοσδήποτε σύνθετος ήχος αποτελείται πάντα από ένα συνδυασμό από “καθαρούς” ήχους που ο καθένας έχει συγκεκριμένη διάρκεια, ένταση, και συχνότητα, και που καθώς τους ακούμε ταυτόχρονα, δίνουν ένα μοναδικό άκουσμα. Με αυτόν τον τρόπο το ανθρώπινο αυτί και ο εγκέφαλος ξεχωρίζουν π.χ. τις φωνές δυο ανθρώπων, με εκπληκτική ακρίβεια. Η φασματοσκοπική ανάλυση ήχων που προέρχονται από κάποια φυσική πηγή, δείχνει ότι τα διάφορα επιμέρους ημίτονα που προκύπτουν από την ανάλυση, έχουν μεταξύ τους συγκεκριμένη δομή ως προς την συχνότητα. Έτσι, ένα από αυτά με το μεγαλύτερο πλάτος έχει την βασική συχνότητα και λέγεται θεμελιώδης συνιστώσα, ενώ τα υπόλοιπα έχουν συχνότητα πολλαπλάσια (διπλάσια, τριπλάσια κλπ.) της βασικής και συνήθως μικρότερο πλάτος και λέγονται αρμονικές συνιστώσες. Το πλήθος των αρμονικών που ποικίλει από πηγή σε πηγή, καθώς και η σχετική ένταση κάθε μιας αρμονικής ως προς την θεμελιώδη, συνιστούν αυτό που λέμε χροιά του ήχου και η οποία είναι χαρακτηριστική κάθε πηγής ήχου.

Όταν ένα ηλεκτρικό σήμα πρέπει να περάσει μέσα από έναν ενισχυτή, οι συνιστώσες του πρέπει να ενισχυθούν ομοιόμορφα, ώστε στην έξοδο να διατηρούν την ίδια σχετική ένταση μεταξύ τους, ώστε η χροιά να αποδοθεί πιστά. Όμως αυτό δεν γίνεται το ίδιο καλά σε όλους τους ενισχυτές. Η σχέση μεταξύ των εντάσεων των διαφόρων αρμονικών μπορεί να αλλάξει στην έξοδο, με αποτέλεσμα άλλες αρμονικές να ενισχυθούν περισσότερο και άλλες λιγότερο, και το κυριότερο, να δημιουργηθούν απ’ τον ενισχυτή αρμονικές που δεν υπήρχαν στο αρχικό σήμα. Το τελευταίο λέγεται Αρμονική Παραμόρφωση και μετριέται σε ποσοστό %. Σε αρκετές περιπτώσεις υπολογίζεται η συνολική αρμονική παραμόρφωση συν το θόρυβο (TotalHarmonicDistortion + Noise), όπου για την εκτίμησή της λαμβάνονται υπ’ όψιν, όχι μόνο οι αρμονικές του σήματος εισόδου, αλλά και ο θόρυβος. Η μέτρηση αυτή είναι πολύ πιο κοινή για τη σύγκριση μεταξύ συσκευών. Η ολική αρμονική παραμόρφωση εξ ορισμού, είναι ο λόγος

του αθροίσματος των πλατών των αρμονικών συχνοτήτων συν το θόρυβο προς το πλάτος της θεμελιώδους συχνότητας.

Η αρμονική παραμόρφωση στην απεικόνιση ενός ημιτονικού σήματος εμφανίζεται αρχικά σαν στρογγύλεμα των κορυφών του, που σταδιακά, αυξανόμενου του ποσοστού, εξελίσσεται σε τετραγωνισμό των κορυφών (ψαλιδισμός), μέχρις ότου φτάσει σε τελείως τετραγωνισμένο σχήμα (τετραγωνικός παλμός). Το τελευταίο σημαίνει ότι έχει εμφανιστεί άπειρο πλήθος αρμονικών, πράγμα θεωρητικό. Σαν άτυπη σύμβαση ισχύει ό,τι ένας τετραγωνικός παλμός μπορεί να λέγεται έτσι, εάν περιέχει τουλάχιστον μέχρι και την έκτη αρμονική στο πλάτος της θεμελιώδους.

Η μέτρηση της ισχύος ενός ενισχυτή γίνεται πάντα σε σχέση με την αρμονική παραμόρφωση. Η πιο συνηθισμένη περίπτωση είναι να δίνεται η ισχύς λίγο πριν τον ψαλιδισμό. Σε άλλες σχεδιάσεις ο ψαλιδισμός έρχεται απότομα αυξανόμενης της οδήγησης, και σε άλλες πιο σταδιακά. Παράδειγμα της τελευταίας περίπτωσης είναι η τοπολογία Single Ended / τάξη A, όπου η αρμονική παραμόρφωση αυξάνεται σταδιακά όσο αυξάνεται η ισχύς, και η είσοδος στον ψαλιδισμό γίνεται σχετικά ομαλά. Σε αντίθεση με το Push Pull / τάξη AB, όπου η αρμονική παραμόρφωση διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα κατά το μεγαλύτερο μέρος της καμπύλης ισχύος αλλά πλησιάζοντας την μέγιστη ισχύ παίρνει μια θεαματική άνοδο, καθορίζοντας σαφώς και το που τελειώνει ο ενισχυτής.



Εικόνα 4.1: Απεικόνιση της εξόδου του ενισχυτή και του παραμορφωμένου σήματος, σε σχέση με την είσοδο του.

4.4 Αρνητική Ανάδραση (Negative Feedback)

Σε ένα κύκλωμα ενισχυτή ο βρόγχος της αρνητικής ανάδρασης ενώνει την έξοδο του κυκλώματος με την προηγούμενη ενισχυτική βαθμίδα. Ένα μέρος του σήματος εξόδου επιστρέφει ξανά μέσω του βρόγχου και εφαρμόζεται στην προηγούμενη βαθμίδα με διαφορά φάσης 180 μοιρών. Για την προσαρμογή της τάσης που επανέρχεται στη βαθμίδα μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε είτε διαιρέτη τάσης, είτε ένα ποτενσιόμετρο. Επίσης μπορούμε να επιλέξουμε αν θέλουμε να εφαρμόσουμε την αρνητική ανάδραση στο κύκλωμά μας ή όχι με τη χρήση ενός διακόπτη συνδεδεμένο κατάλληλα.

Η αρνητική ανάδραση μέσα στα θετικά που προσφέρει είναι να μειώνει την αρμονική παραμόρφωση και να αυξάνει την απόκριση συχνοτήτων. Προσφέρει σταθερότητα με τη ρύθμιση του κέρδους ανάλογα με τις συνθήκες φόρτου και οδήγησης. Μειώνει επίσης την αντίσταση εξόδου.

Στα αρνητικά της από την άλλη μεριά, η αρνητική ανάδραση μειώνει τον συντελεστή ενίσχυσης. Επίσης, η ολίσθηση φάσης που παρατηρείται στο σήμα όταν αυτό ταξιδεύει μέσα στον ενισχυτή δημιουργεί μια μικρή χρονική μετατόπιση του σήματος, όταν αυτό επιστρέφει μέσω της ανάδρασης στο κύκλωμα. Αυτό είναι ικανό να προκαλέσει μια κάποια σύγχυση μεταξύ των σημάτων και να δημιουργήσει την αίσθηση κακής ευκρίνειας.

Η αρνητική ανάδραση σχετίζεται συνήθως με το ποσοστό του σήματος εξόδου που εφαρμόζεται στην είσοδο, ανάλογα τη ρύθμιση του διαιρέτη τάσης ή του ποτενσιόμετρου. Αυτή είναι η μία μορφή περιγραφής του βαθμού της ανάδρασης. Η άλλη σχετίζεται με την αλλαγή που προκαλεί η ανάδραση στη βαθμίδα που εφαρμόζεται, σε σχέση με το βαθμό μείωσης της ευαισθησίας εισόδου, όταν αυτή δεν εφαρμόζεται.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

Η Κατασκευή

5.1 Εισαγωγή

Φτάνοντας λοιπόν στο τελευταίο κεφάλαιο αυτής της πτυχιακής εργασίας, έχοντας εξετάσει και κατανοήσει τον τρόπο λειτουργίας όλων των στοιχείων του ενισχυτή ξεχωριστά, θα δούμε το αποτέλεσμα αυτής της κατασκευής, βήμα-βήμα. Ακολουθώντας λοιπόν τους κανόνες, καταλήγουμε σε ένα κύκλωμα ενισχυτή ακουστικών συχνοτήτων και σε μια κατασκευή ικανή να υποστηρίξει ένα τέτοιο κύκλωμα. Παρακάτω θα δούμε πώς με τη βοήθεια όλων αυτών που αναλύθηκαν σε προηγούμενα κεφάλαια, ξεκινώντας από το μηδέν, καταφέραμε να κατασκευάσουμε τον ενισχυτή. Πώς δηλαδή από τη θεωρεία, πήγαμε στην πράξη και πήραμε το αποτέλεσμα που επιθυμούσαμε.

5.2 Μεθοδολογία της Κατασκευής

Από την επιλογή του ενισχυτή μέχρι και την ολοκλήρωσή του, η πορεία της εργασίας εξελισσόταν σε στάδια, τα οποία έχουν ως εξής:

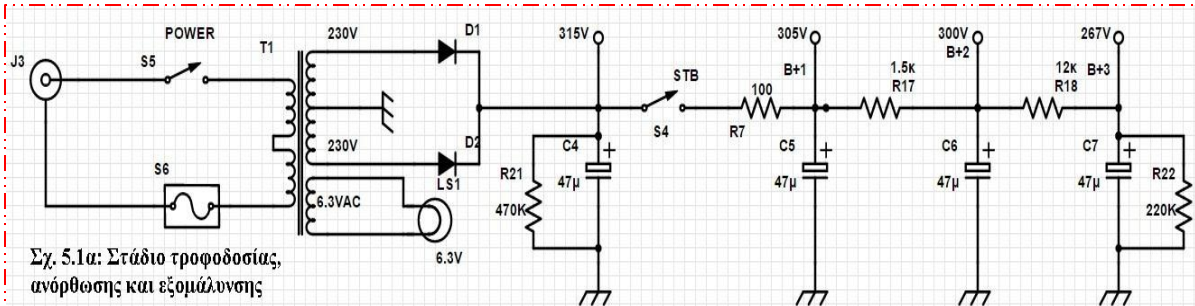
- Επιλογή του είδους του ενισχυτή. Επιλογή με βάση την απόδοση που θέλαμε, σε συνδυασμό με την ικανότητα υλοποίησης του σε ικανοποιητικό χρονικό διάστημα.
- Επιλογή των τύπων λυχνίας. Η επιλογή έγινε με βάση τα χαρακτηριστικά που θέλαμε να αποδώσουμε στον ενισχυτή, την απόδοση της κάθε λυχνίας και κατ' επέκταση του ενισχυτή και τη σωστή λειτουργία τους στα πλαίσια που επιθυμούσαμε.
- Σχεδίαση του κυκλώματος. Η σχεδίαση του κυκλώματος έγινε με βάση τα κύρια χαρακτηριστικά των λυχνιών, σύμφωνα με τα φύλλα δεδομένων του κάθε κατασκευαστή. Έγινε επίσης μελέτη για τις απαιτήσεις τροφοδοσίας, την ανοχή και την ικανότητα όλων των εξαρτημάτων που χρησιμοποιήθηκαν, έτσι ώστε να επιτευχθεί το απαιτούμενο αποτέλεσμα.
- Μελέτη για τις προδιαγραφές του μετασχηματιστή τροφοδοσίας και μετασχηματιστή εξόδου. Με βάση τους κλασσικούς τύπους υπολογισμού των μετασχηματιστών, την τάση δικτύου και τις απαιτήσεις του κυκλώματος, έγινε ο υπολογισμός του καθενός από τους δύο μετασχηματιστές.
- Κατασκευή του σασί. Ανάλογα τις διαστάσεις των μετασχηματιστών, των βάσεων των λυχνιών και την χωρική απαίτηση όλου του κυκλώματος, σχεδιάστηκε το σασί. Στη συνέχεια, το κομμάτι αλουμινίου που χρησιμοποιήσαμε, κόπηκε και στραντζαρίστηκε

(λυγίστηκε) στο τελικό σχήμα του. Αργότερα έγιναν και οι ανάλογες τρύπες για κάθε υλικό.

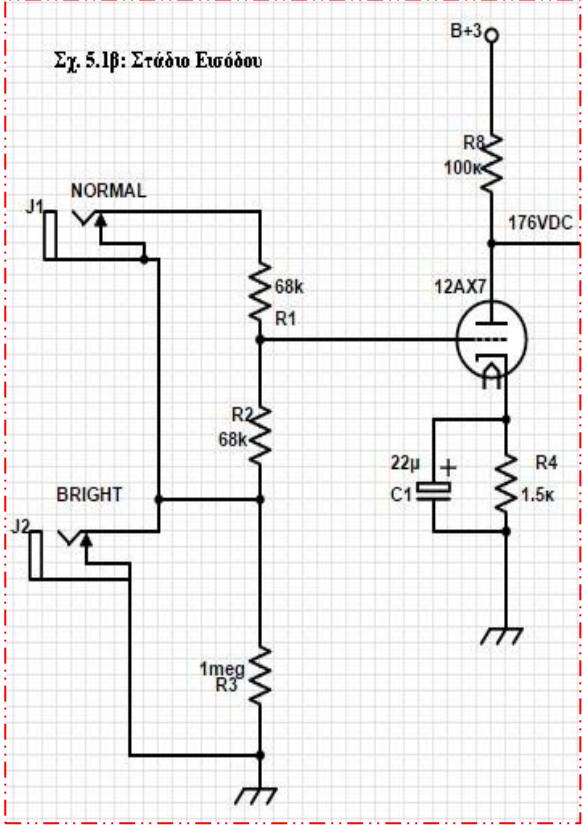
- Υλοποίηση του σχεδιασμένου κυκλώματος επάνω στο σασί (οι λυχνίες εφαρμόστηκαν τελευταίες). Όλα τα εξαρτήματα συγκολλήθηκαν μεταξύ τους με τη σειρά. Χρησιμοποιήθηκαν κόσσες για την στερέωση και τη γείωση του κυκλώματος.
- Υλοποίηση της ξυλοκατασκευής με ξύλα κομμένα στις σωστές διαστάσεις με βάση το σασί και το μεγάφωνο, συγκόλληση και επένδυση με ειδικό ύφασμα.
- Χάραξη της αλουμινένιας πρόσοψης του σασί σε ειδικό εργαστήριο. Χαράχτηκαν τα γράμματα για κάθε έναν διακόπτη η ποτενσιόμετρο που βρίσκεται στην πρόσοψη του σασί και επικαλύφθηκε με πλαστική επένδυση.
- Τοποθέτηση του σασί στο πάνω μέρος (κεφαλή) του ενισχυτή και του μεγαφώνου στην ξύλινη καμπίνα του.

5.3 Το Κύκλωμα

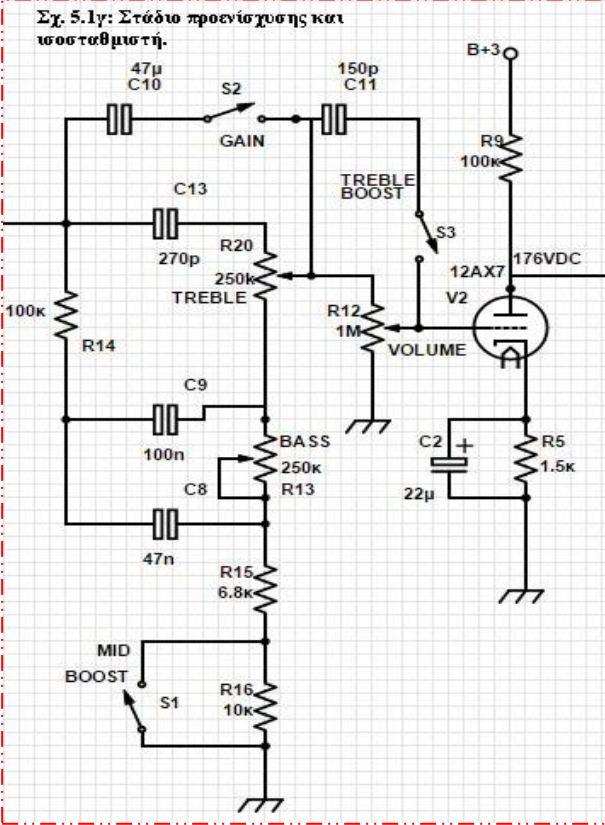
Το κύκλωμα επιλέχθηκε και σχεδιάστηκε με σκοπό να προσφέρει αφενός το επιθυμητό αποτέλεσμα και αφετέρου να τηρεί τους κανόνες για τη σωστή λειτουργία του. Έτσι η σχεδίαση του έγινε για κάθε στάδιο ξεχωριστά. Αυτό βοηθά όπως θα δούμε στην καλύτερη ανάλυση και την καλύτερη κατανόηση του κυκλώματος. Έτσι, το κύκλωμα χωρίστηκε σε τέσσερα διαφορετικά κομμάτια όπως θα αναλύσουμε παρακάτω: Το πρώτο στάδιο είναι της ανόρθωσης και εξομάλυνσης. Σε αυτό το σημείο του κυκλώματος συνδέθηκαν οι δίοδοι που ανορθώνουν την εναλλασσόμενη τάση που έρχεται από το δευτερεύον του μετασχηματιστή τροφοδοσίας. Από εκεί και έπειτα περνά στους πυκνωτές εξομάλυνσης και παίρνει την τελική DC μορφή του για την τροφοδότηση των λυχνιών. Στο ίδιο κομμάτι του κυκλώματος συνδέθηκε και ο ενδεικτικός λαμπτήρας λειτουργίας του ενισχυτή. Το δεύτερο κομμάτι είναι αυτό της εισόδου του σήματος στην πρώτη τρίοδο. Εκεί λοιπόν το σήμα ενισχύεται για πρώτη φορά από την πρώτη τρίοδο 12AX7 μέσω αυτής της συνδεσμολογίας, ενώ ταυτόχρονα δημιουργείται το δικτύωμα προστασίας της λυχνίας, της αποκοπής θορύβων, ανεπιθύμητων συχνοτήτων και ρευμάτων, και της διατήρησης της σταθερότητας, μέσω των αντιστάσεων. Το τρίτο στάδιο είναι, όπως θα δούμε, αυτό του δικτύωματος ισοσταθμιστή μαζί με την δεύτερη τρίοδο. Εκεί το σήμα, όντας ενισχυμένο από την πρώτη τρίοδο, διαχωρίζεται σε υψηλές, μεσαίες και χαμηλές συχνότητες μέσω των φίλτρων. Ταυτόχρονα δίνεται η δυνατότητα ρύθμισης των υψηλών και χαμηλών συχνοτήτων μέσω ενός ποτενσιόμετρου για το κάθε ένα φίλτρο, καθώς και η αύξηση του κέρδους του σήματος με τη χρήση των διακοπών Gain, Treble και MidBoost. Από εκεί η ποσότητα του σήματος που θα ενισχυθεί καθορίζεται από το ποτενσιόμετρο της έντασης (Volume). Η τρίοδος ενισχύει το σήμα ακόμη παραπάνω για να φτάσει στο τελικό στάδιο ενίσχυσης. Φτάνουμε έτσι στο τελικό στάδιο ενίσχυσης. Πρώτα, στην είσοδο της πεντόδου συνδέεται το δικτύωμα προστασίας της, όπως είπαμε ότι γίνεται και στην τρίοδο. Έτσι, αποκόπτονται ανεπιθύμητες συχνότητες που αν ενισχυθούν θα εμφανιστούν σαν θόρυβος και επίσης προστατεύεται η λυχνία από επικίνδυνα ρεύματα. Συνεπώς, το σήμα περνά στην τελική ενίσχυσή του και από εκεί στην έξοδο προς το ηχείο από το μετασχηματιστή εξόδου, ο οποίος το μετατρέπει σε σήμα κατάλληλης τάσης και ρεύματος έτσι ώστε να διεγείρει σωστά το μεγάφωνο. Η πέντοδος λυχνία EL34 προσφέρει την απόδοση που επιθυμούμε και εκείνα τα χαρακτηριστικά που θέλαμε στον ήχο που αποδίδει το μεγάφωνο. Αυτό φυσικά έγινε με βάση τις δικές μας προτιμήσεις, όπως και όλο το στήσιμο του κυκλώματος, για το πότε θέλουμε να παίρνουμε την παραμόρφωση του σήματος, για το πόσο “ζεστός” και καθαρός μας αρέσει ο ήχος και το πόσο θέλουμε να ενισχύεται. Στα παρακάτω σχήμα 5.1 φαίνονται τα τέσσερα διαφορετικά σημεία που αναφέραμε και θα περιγράψουμε αναλυτικά παρακάτω:



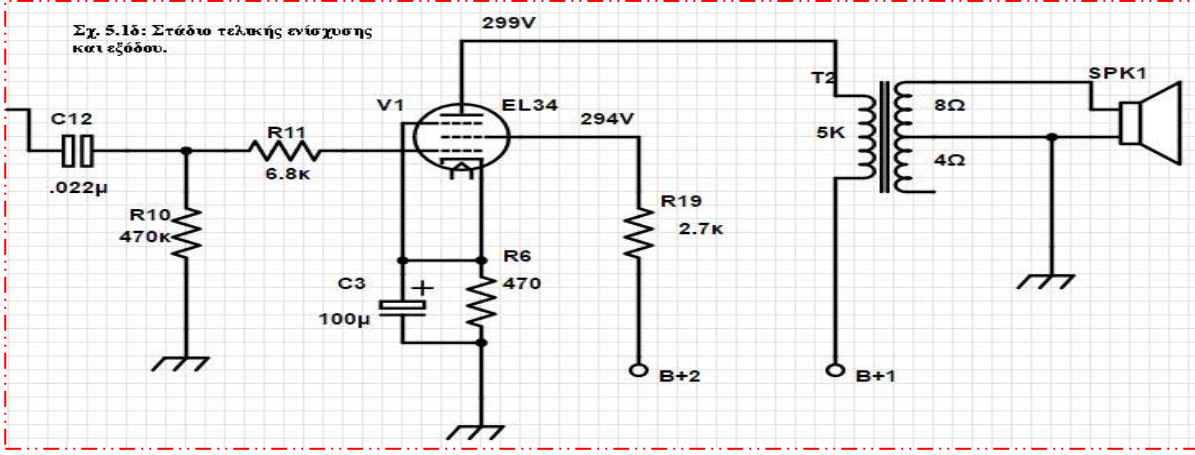
Σχ. 5.1α: Στάδιο τροφοδοσίας, ανόρθωσης και εξομάλυνσης



Σχ. 5.1β: Στάδιο Εισόδου



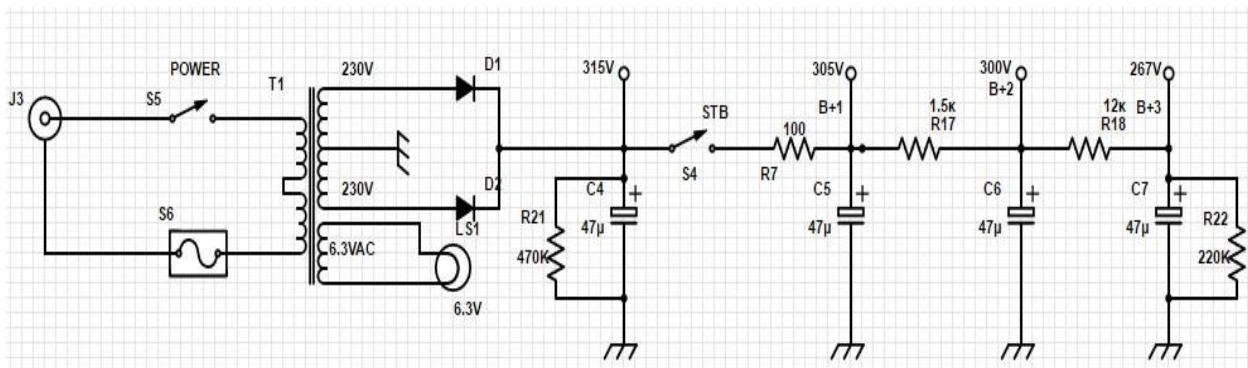
Σχ. 5.1γ: Στάδιο προενίσχυσης και ισοσταθμιστή.



Σχ. 5.1δ: Στάδιο τελικής ενίσχυσης και εξόδου.

Σχήμα 5.1 Τα τέσσερα στάδια του κυκλώματος.

Το πρώτο κομμάτι που συνδεσμολογήθηκε επάνω στο σασί ήταν αυτό της ανόρθωσης, με τις διόδους συνδεδεμένες στο δευτερεύον του μετασχηματιστή τροφοδοσίας και της εξομάλυνσης, με τους πυκνωτές να “κόβουν” την κυμάτωση του ανορθωμένου σήματος. Αρχικά λοιπόν, η εξομάλυνση της ανορθωμένης τάσης, έτσι ώστε να πάρουμε την επιθυμητή DC τάση στα σημεία B+1, B+2 και B+3, έγινε μέσω των ηλεκτρολυτικών πυκνωτών εξομάλυνσης και επιλέχτηκε η τιμή των 47μF, έτσι ώστε να μας δώσει το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα. Οι αντιστάσεις R1 και R22 στο δικτύωμα της εξομάλυνσης που είναι συνδεδεμένες παράλληλα με τον πρώτο και τέταρτο πυκνωτή χρησιμεύουν στην προστασία και την ομαλή εκφόρτιση των πυκνωτών. Οι αντιστάσεις R7, R17 και R18 εξυπηρετούν στο να ξεχωρίσουμε τους κλάδους B+1, B+2 και B+3. Ακόμη, μετρώντας την πτώση τάσης πάνω στις αντιστάσεις αυτές μπορούμε να υπολογίσουμε με σχετική ακρίβεια τα mA που καταναλώνουν οι λυχνίες όταν ο ενισχυτής βρίσκεται σε αδρανής λειτουργία, δηλαδή δεν έχει σήμα εισόδου (Idle Mode). Οι τιμές των αντιστάσεων επιλέχθηκαν με βάση τις προτεινόμενες τιμές του κατασκευαστή για τις συγκεκριμένες λυχνίες. Επίσης, η ανόρθωση που γίνεται από τις διόδους είναι σχετικά απότομη. Έτσι, ο διακόπτης αναμονής (Standby - STB) που συνδέεται αμέσως μετά τις διόδους χρησιμεύει στο να μην περάσει η υψηλή τάση αμέσως στις λυχνίες. Αυτό τις προφυλάσσει από φθορά που μπορεί να προκαλέσει η απότομη εφαρμογή της υψηλής τάσης στα στοιχεία της λυχνίας και έτσι τις επιτρέπει πρώτα να προθερμανθούν. Όλα αυτά φαίνονται στο σχήμα 5.1, όπου βλέπουμε το στάδιο τροφοδοσίας, ανόρθωσης και εξομάλυνσης.



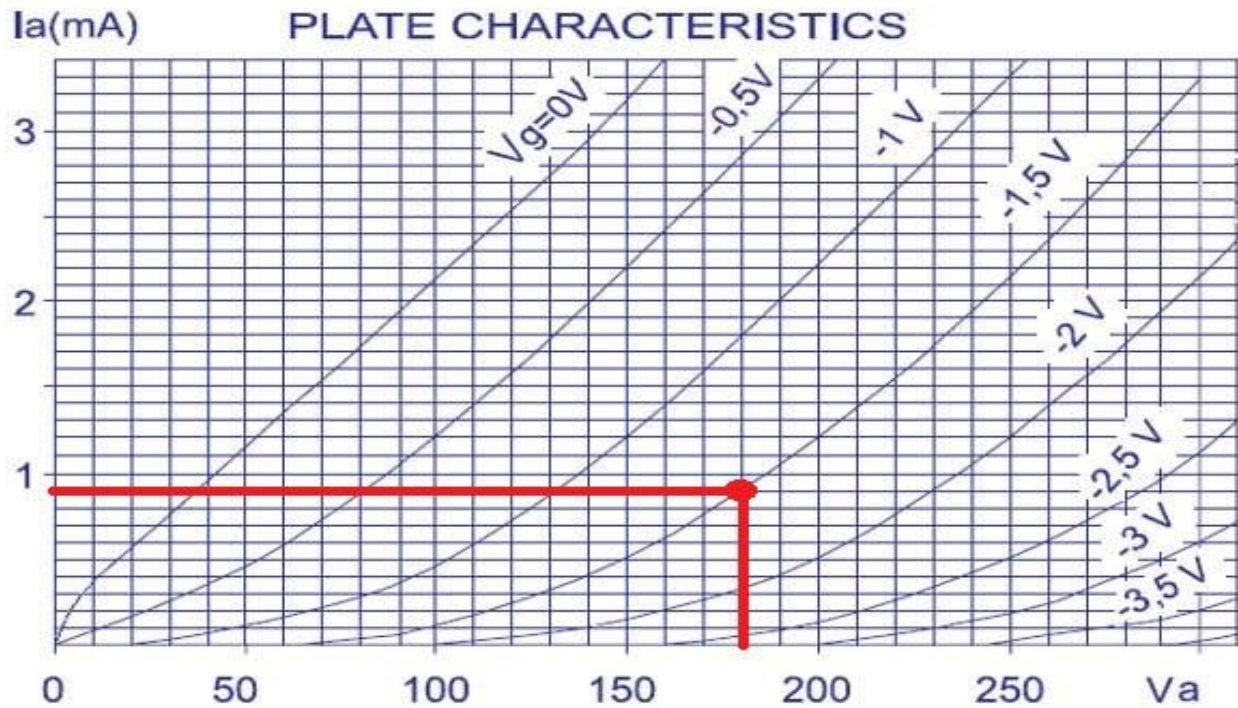
Σχήμα 5.2: Κύκλωμα τροφοδοσίας, ανόρθωσης και εξομάλυνσης.

Το επόμενο στάδιο που συνδεσμολογήθηκε είναι το στάδιο της προενίσχυσης. Από εδώ ξεκινάει το σήμα και ταξιδεύει στο κύκλωμα μέχρι να πάρει την τελική ενισχυμένη μορφή του. Σε αυτό το σημείο του κυκλώματος, στόχος μας ήταν να εκμεταλλευτούμε τα χαρακτηριστικά της τριόδου λυχνίας και να εισάγουμε το σήμα όσο το δυνατόν καλύτερα στο κύκλωμα. Χρειάστηκε δε ιδιαίτερη προσοχή στην πόλωση της λυχνίας και εξετάσαμε προσεκτικά όλα τα ενδεχόμενα και τις απαιτήσεις της για να την πετύχουμε. Η πόλωση της λυχνίας είναι σημαντική γιατί μέσω αυτής καθορίζεται μια ασφαλής περιοχή λειτουργίας του ενισχυτή. Για τη σωστή πόλωση πρέπει να γνωρίζουμε τη θερμική απώλεια της λυχνίας. Από τα δεδομένα του κατασκευαστή, η μέγιστη θερμική απώλεια ισχύος (Plate Dissipation) της 12AX7 είναι 1Watt.

Αν η πόλωση γίνει πολύ κοντά σε αυτό το όριο η θερμική απώλεια είναι μεγάλη και επομένως μειώνονται τα περιθώρια καθαρού σήματος στην έξοδο της λυχνίας καθώς αυτή παραμορφώνει το σήμα ακόμα και από πολύ χαμηλές στάθμες. Ακόμη, αν η πόλωση γίνει πολύ πιο κάτω από αυτό το όριο είναι πιο δύσκολο να επιτευχθεί παραμόρφωση, γιατί η κυματομορφή του σήματος απέχει αρκετά από τα όρια της παραμόρφωσης (κατώφλια) που μας δίνει ο κατασκευαστής. Η πόλωση της λυχνίας καθορίζεται από την τιμή της αντίστασης που συνδέεται στην κάθοδο. Στο κύκλωμα μας η αντίσταση R4 (όπως και η R5 στη δεύτερη τριόδο καθώς πρόκειται για ίδια πόλωση) επιλέχθηκε να είναι 1,5 kΩ, έτσι ώστε η μέγιστη θερμική απώλεια να είναι περίπου 0,2Watt, όσο το κύκλωμα είναι σε κατάσταση αδράνειας. Η επιλογή μας βασίστηκε στο ότι θέλαμε μεγάλο κέρδος ενίσχυσης τάσης απαραμόρφωτου σήματος. Ο πυκνωτής 22μF που συνδέεται παράλληλα με την αντίσταση αυτή αποτρέπει την αρνητική ανάδραση της καθόδου συναρτήσει του πλέγματος και προσφέρει περισσότερο κέρδος. Όταν ο πυκνωτής δεν υπάρχει, ανάμεσα στο πλέγμα και την κάθοδο δημιουργείται ένας "συνωστισμός" συχνοτήτων οι οποίες εγκλωβίζονται σε εκείνο το σημείο και δε μπορούν να προχωρήσουν παραπέρα, δημιουργώντας μια αρνητική ανάδραση (cathode degeneration). Έτσι η χρήση του πυκνωτή τις βοηθά να βρίσκουν διέξοδο, αυξάνοντας ταυτόχρονα το κέρδος. Όσο μεγαλύτερος είναι τόσο μεγαλύτερο κέρδος έχουμε από τα 82Hz περίπου και πάνω, σύμφωνα με τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά. Συγκεκριμένα, και όπως φαίνεται από το διάγραμμα του σχήματος 5.3, βάση των τιμών των αντιστάσεων της καθόδου, της ανόδου και της τιμής του πυκνωτή, το κέρδος από τα 82Hz και πάνω κυμαίνεται γύρω στα 35dB. Οι ίδιες τιμές ισχύουν και για τη δεύτερη τριόδο. Έτσι λοιπόν, ανάλογα την τιμή της αντίστασης πόλωσης και την πτώση τάσης επάνω σε αυτήν υπολογίζουμε το ρεύμα της καθόδου σύμφωνα με το νόμο του Ohm. Μετρώντας την τάση ανόδου και με βάση την αντίσταση της ανόδου, βρίσκουμε το ανοδικό ρεύμα. Η τάση της καθόδου αφαιρείται από την τάση της ανόδου. Οπότε το γινόμενο της τελικής τάσης ανόδου και του ανοδικού ρεύματος μας δίνει την ακριβή θερμική απώλεια ισχύος από τον τύπο $P_{\text{dissipation}} = I_{\text{anode}} * V_{\text{anode}} = 0,9 * 174,63 = 0,159 \text{ Watt}$. Οι τιμές του πίνακα 5.1 είναι ίδιες και για τις δύο τριόδους της 12AX7.

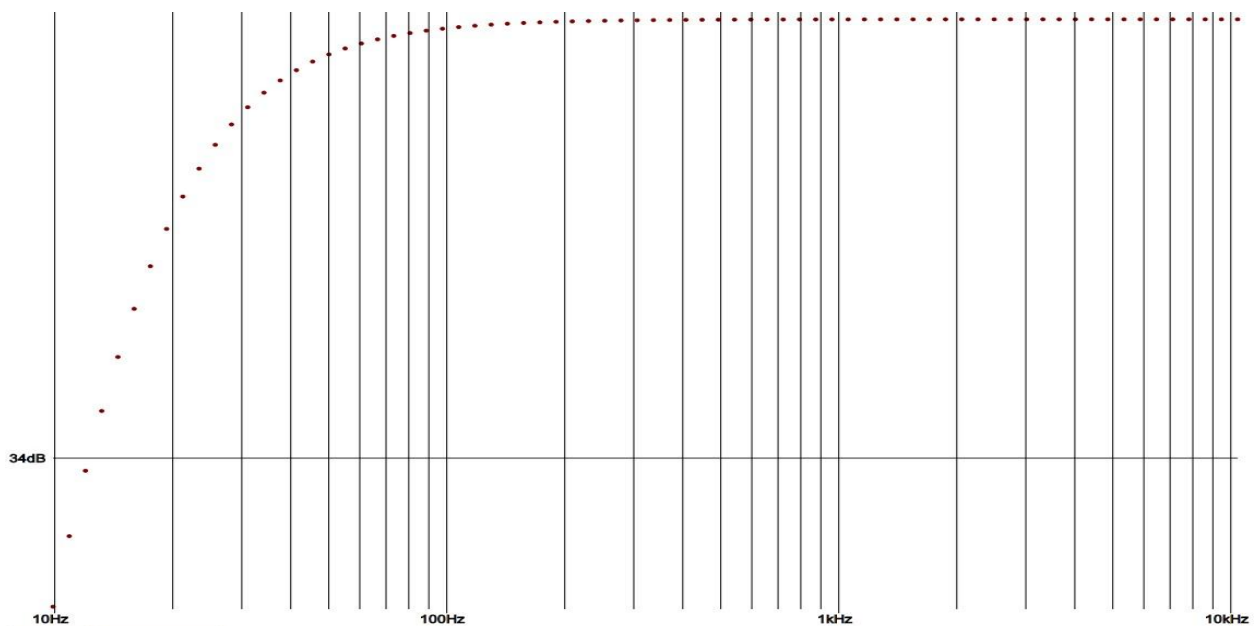
12AX7	
Τάση Ανόδου	176 VDC
Ρεύμα Ανόδου	0,9 mA
Τάση Καθόδου	1,37 VDC
Ρεύμα Καθόδου	0,9 mA
Θερμική Απώλεια Ανόδου	0,159Watt
Θερμική Απώλεια Ανόδου (%)	15,9%

Πίνακας 5.1: Μετρήσεις για την 12AX7 στο πεδίο συνεχούς ρεύματος (DC).



Σχήμα 5.3: Το σημείο πόλωσης σύμφωνα με την τάση και το ρεύμα ανόδου.

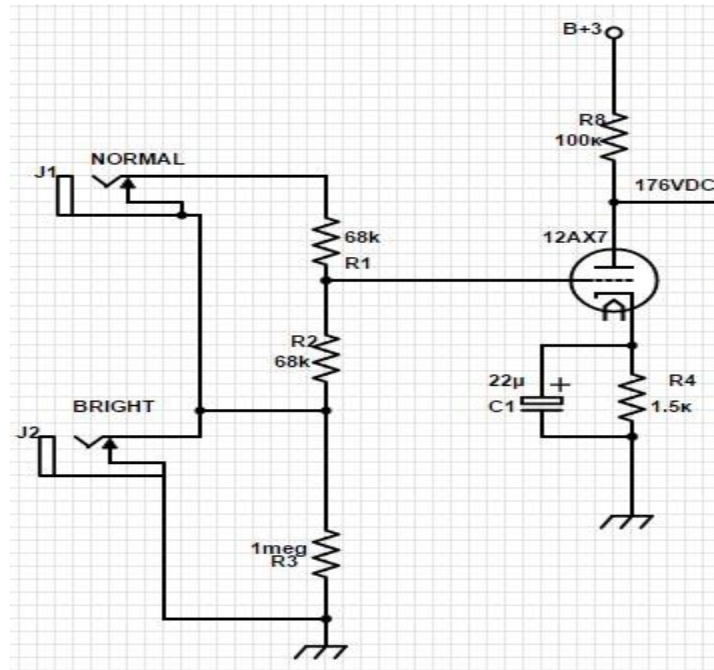
Σύμφωνα με το ρεύμα και την τάση ανόδου το σημείο πόλωσης της λυχνίας ορίζεται στην τιμή $V_g = -1,5$ Volt (τάση πλέγματος), όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα. Αυτό είναι το σημείο ηρεμίας του κυκλώματος, όπως το ορίσαμε.



Σχήμα 5.4: Καμπύλη κέρδους πυκνωτή C1 καθόδου της τριόδου.

Το σήμα εισόδου εφαρμόζεται στο στάδιο της προενίσχυσης από δύο υποδοχές, Bright και Normal, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.4. Η πρώτη παρουσιάζει μικρότερη αντίσταση κι έτσι επιτρέπει να περάσει περισσότερο σήμα προς το κύκλωμα, απ' ότι η υποδοχή Normal. Αυτό γίνεται καλύτερα κατανοητό αν εξηγήσουμε το ρόλο των αντιστάσεων R1, R2 και R3. Όταν το σήμα εφαρμόζεται στην είσοδο Bright, η είσοδος Normal είναι γειωμένη. Αυτό κάνει τις δύο αντιστάσεις των $68k\Omega$ να είναι συνδεδεμένες παράλληλα και να δίνουν μια τιμή των $34k\Omega$ συνολικά. Το σήμα λοιπόν ταξιδεύει στο πλέγμα μέσα από αυτόν τον παραλληλισμό. Αυτή η τιμή των δύο αντιστάσεων αποτελεί την αντίσταση του πλέγματος η οποία έχει μια συγκεκριμένη χρήση. Η αντίσταση αυτή είναι γνωστή με τον όρο Grid Stopper και με απλά λόγια προστατεύει το πλέγμα και συνολικά τη λυχνία. Πιο συγκεκριμένα, μια λυχνία παρουσιάζει μια μικρή χωρητικότητα στο εσωτερικό της. Η χωρητικότητα αυτή σε συνδυασμό με την αντίσταση του πλέγματος δημιουργεί ένα χαμηλοπερατό φίλτρο το οποίο κόβει τις πολύ υψηλές συχνότητες. Ωστόσο, οι συχνότητες αυτές είναι συνήθως πάνω από $20kHz$ οπότε το φίλτρο δεν επηρεάζει το ακουστικό σήμα. Συνεπώς το χαμηλοπερατό φίλτρο αποτρέπει τις RF (RadioFrequency) συχνότητες να εισέλθουν στη λυχνία και να ενισχυθούν, κάτι που θα δημιουργούσε θόρυβο στο τελικό σήμα. Επίσης, σχεδόν εξαφανίζει την παρασιτική ταλάντωση υψηλών συχνοτήτων οι οποία μπορεί να καταστρέψει μια λυχνία. Ακόμη, περιορίζει το ρεύμα που εφαρμόζεται στο πλέγμα και αποτρέπει το τελευταίο να γίνει θετικό, κάτι που θα εμπόδιζε αφενός την παραμόρφωση και αφετέρου θα προκαλούσε απώλεια της πόλωσης με αποτέλεσμα να περνά μεγάλο ρεύμα από μέσα της και να την καταστρέψει. Άρα βλέπουμε ότι η χρήση μιας αντίστασης πριν το πλέγμα της τριόδου προστατεύει τη λυχνία από το να λειτουργεί λάθος, ή ακόμα και να καταστραφεί. Η 12AX7 του κυκλώματος έχει χωρητικότητα περίπου $150pF$ και έτσι η τιμή της αντίστασης στο πλέγμα της πρέπει να είναι τουλάχιστον $68k\Omega$. Όσο μικρότερη η αντίσταση τόσο μεγαλύτερη και η συχνότητα αποκοπής και το αντίστροφο. Καταλαβαίνουμε λοιπόν όπως είπαμε στην αρχή της παραγράφου ότι το κέρδος από αυτή την είσοδο είναι μεγαλύτερο κι αυτό γιατί όταν το σήμα εφαρμόζεται στην είσοδο Normal τότε περνά μόνο από τη μία αντίσταση των $68k\Omega$ (άρα μεγαλύτερη αντίσταση πλέγματος) και συνεπώς με λιγότερες συχνότητες να περνούν, μειώνεται και το κέρδος. Από την άλλη μεριά, η αντίσταση R2 (GridLeak), αρχικά προσφέρει μια σταθερότητα στην τάση του πλέγματος κοντά στο μηδέν και σε συνδυασμό με την ελάχιστη θετικότερη κάθοδο συμβάλλει στην καλύτερη διατήρηση της πόλωσης, αφού κρατάει την τάση στο πλέγμα σταθερή. Επίσης προσφέρει μια δίοδο για το ρεύμα του πλέγματος το οποίο δημιουργείται από τα ηλεκτρόνια που συγκεντρώνονται στο πλέγμα και δε συνεχίζουν προς την άνοδο. Τη ηλεκτρόνια αυτά μπορούν να επηρεάσουν το φορτίο του πλέγματος και τη λειτουργία της λυχνίας. Τέλος, όταν η αντίσταση αυτή έχει μεγάλη τιμή, όπως στο κύκλωμά μας, τότε επιτρέπει λιγότερο σήμα να διαρρέει προς την γείωση και να χάνεται και έτσι αυξάνει το κέρδος. Έτσι, όταν το σήμα εφαρμόζεται στην είσοδο Bright, σε συνδυασμό με τη μικρή αντίσταση του πλέγματος, δεν αφήνει μεγάλη ποσότητα του σήματος να περάσει προς τη γείωση κι έτσι αυξάνεται το κέρδος. Αντιθέτως, στην είσοδο Normal το σήμα περνά από την αντίσταση των $68k\Omega$ προς το πλέγμα και από τη δεύτερη αντίσταση των $68k\Omega$,

καταλήγει στη γείωση. Έτσι συμπεραίνουμε ότι με μεγαλύτερη αντίσταση πλέγματος και μικρότερη αντίσταση που αποτρέπει τη διαρροή, το κέρδος μειώνεται.



Σχήμα 5.5: Στάδιο εισόδου του σήματος.

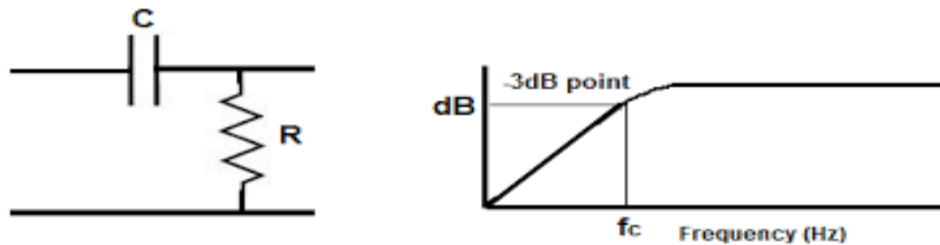
Από την άνοδο της πρώτης τριόδου φτάνουμε στο δικτύωμα ισοστάθμισης το οποίο περιέχει παθητικά φίλτρα, με τα οποία κρατάμε μόνο τις συχνότητες που θέλουμε και “κόβουμε” τις ανεπιθύμητες και μέσω των οποίων ρυθμίζονται αναλόγως στο κύκλωμά μας, οι χαμηλές και οι υψηλές συχνότητες (Bass - Treble). Σε αυτό το σημείο του κυκλώματος χρειάστηκε ιδιαίτερη προσοχή. Ο λόγος, όπως φαίνεται και από τις φωτογραφίες της κατασκευής παρακάτω, ήταν επειδή αφενός η συνδεσμολογία απαιτούσε πολλά και μικρά υλικά να συνδέονται μεταξύ του σε ένα κοινό σημείο και αφετέρου, λόγω του μικρού χώρου στον οποίο έγιναν οι συνδέσεις, ήταν δύσκολες στην σταθεροποίησή τους. Γι’ αυτό και μετά από κάθε κόλληση γινόταν έλεγχος της ποιότητας της. Έλεγχος ακόμη γινόταν και για τυχόν βραχυκυκλώματα μεταξύ των εξαρτημάτων καθώς οι αποστάσεις μεταξύ τους ήταν πολύ μικρές. Έτσι λοιπόν κατασκευάστηκε το δικτύωμα του ισοσταθμιστή, εκεί δηλαδή όπου με ποτενσιόμετρα ρυθμίζουμε την στάθμη των χαμηλών και υψηλών συχνοτήτων.

Ο ισοσταθμιστής ή αλλιώς tonestack είναι αυτό το σημείο του κυκλώματος στο οποίο ρυθμίζονται η απόδοση των συχνοτήτων από τον ενισχυτή και σε ποιο βαθμό θα προχωρήσουν στο στάδιο της τελικής ενίσχυσης μέσω φίλτρων που αποτελούνται από αντιστάσεις (μεταβαλλόμενες ή σταθερές) και πυκνωτές, και επιτρέπουν η όχι τη διέλευση συχνοτήτων.

Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά των πυκνωτών είναι ότι επιτρέπουν το AC σήμα να περάσει ενώ “κόβουν” κάθε DC. Όσο υψηλότερη η συχνότητα ενός σήματος, τόσο πιο εύκολα

περνά από έναν πυκνωτή. Αν η συχνότητα ενός σήματος είναι χαμηλή ενδέχεται να μπερδέψει τον πυκνωτή. Αυτό σημαίνει ότι όταν ο πυκνωτής δει μια συχνότητα η οποία είναι λίγων κύκλων (Hz), τότε μπορεί να το θεωρήσει DC σήμα και είτε να το απορρίψει εντελώς, είτε να αφήσει μια μικρή ποσότητα του να περάσει. Ας το δούμε αυτό με τη βοήθεια ενός παραδείγματος. Έστω ότι έχουμε έναν πυκνωτή ο οποίος είναι της τιμής των 0.1μF. Αν το σήμα που εφαρμοστεί επάνω του είναι συχνότητας από 0Hz έως περίπου 500Hz τότε ο πυκνωτής δε θα επιτρέψει σχεδόν καθόλου σήμα να περάσει. Αν η συχνότητα κυμαίνεται από 500Hz ως και περίπου 3kHz τότε θα επιτραπεί η διέλευση του 10%-90% του σήματος από τον πυκνωτή, αναλόγως βέβαια τη συχνότητα. Αν τέλος η συχνότητα γίνει μεγαλύτερη των 3000 κύκλων τότε θα περάσει σχεδόν το 100% του σήματος γιατί γίνεται ξεκάθαρο ότι πρόκειται για ACσήμα και δε "μπερδεύουμε" τον πυκνωτή. Τώρα, αν η τιμή του πυκνωτή είναι μικρότερη από αυτή που αναφέραμε, τότε περνούν υψηλότερες συχνότητες. Αν δηλαδή επιλέξουμε έναν πυκνωτή των 0.01μF, για να περάσει το 100% της τιμής της προηγούμενης ενδεικτικής συχνότητας, θα πρέπει η συχνότητα να φτάσει τα 30kHz. Όσο πιο μικρή η τιμή του πυκνωτή, τόσο αυξάνει η συχνότητα που πρέπει να εφαρμόσουμε για να μην έχουμε απώλεια σήματος.

Δύο από τις κατηγορίες φίλτρων είναι τα υπερπερατά και τα χαμηλοπερατά φίλτρα. Και τα δύο ανάλογα τη συνδεσμολογία τους, επιτρέπουν συγκεκριμένες συχνότητες και αποκόπτουν άλλες. Η συνδεσμολογία του υπερπερατού φίλτρου φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 5.5:

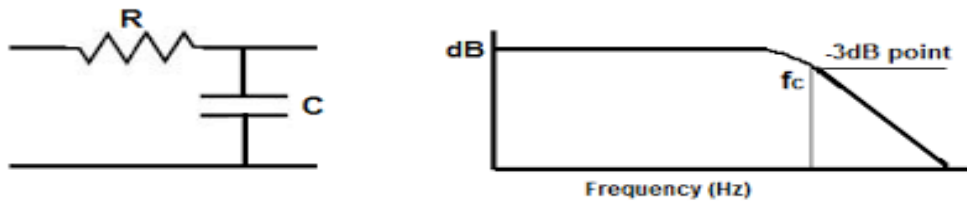


Σχήμα 5.6: Συνδεσμολογία καμπύλη απόκρισης ενός υπερπερατού φίλτρου.

Ανάλογα την τιμή του πυκνωτή και της αντίστασης καθορίζουμε και τις συχνότητες που θα περάσουν. Ο πυκνωτής στη συγκεκριμένη συνδεσμολογία επιτρέπει τις υψηλές συχνότητες να περάσουν προς το υπόλοιπο κύκλωμα και την έξοδο και αποτρέπει τις χαμηλές. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα του σχήματος 5.6 όσο η συχνότητα αυξάνει τόσο ανεβαίνει και το ποσοστό του σήματος που περνά μέχρι να φτάσει στη συχνότητα αποκοπής ή κατωφλίου όπου γίνεται παράλληλο με τον άξονα των συχνοτήτων.

Από την άλλη μεριά, στα χαμηλοπερατά φίλτρα το κύκλωμα αντιστρέφεται. Πρώτα δηλαδή συνδέεται η αντίσταση και αμέσως μετά ένας πυκνωτής σε σειρά που καταλήγει στη γείωση. Οι χαμηλές συχνότητες περνούν λοιπόν κανονικά αφού δεν τις κόβει ο πυκνωτής ενώ οι υψηλές, συναντώντας τον πυκνωτή, επιλέγουν αυτόν το σύντομο δρόμο προς τη γη. Όπως φαίνεται και το διάγραμμα είναι αντεστραμμένο. Όσο η συχνότητα παραμένει χαμηλή το σήμα είναι

ευθύγραμμο με τον άξονα των συχνοτήτων ενώ μόλις φτάσει πάλι σε ένα σημείο αποκοπής της συχνότητας, αρχίζει και μειώνεται.



Σχήμα 5.7: Συνδεσμολογία και καμπύλη απόκρισης ενός χαμηλοπερατού φίλτρου.

Ο τύπος για τον υπολογισμό της συχνότητας αποκοπής είναι:

$$f_{\text{cutoff}} = \frac{1}{2\pi * R * C}$$

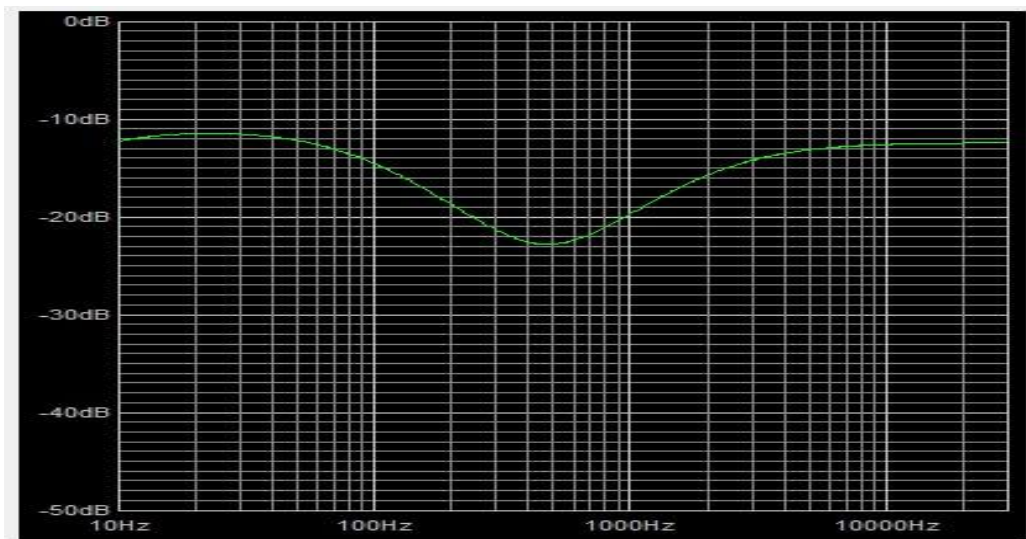
όπου η R είναι η αντίσταση και C ο πυκνωτής που συνδυάζονται αναλόγως τη συνδεσμολογία του κάθε φίλτρου.

Στο κύκλωμα μας, η συνδεσμολογία του ισοσταθμιστή αποτελείται από παθητικά φίλτρα τα οποία ανάλογα τη λειτουργία τους καθορίζουν και τις συχνότητες που θα περάσουν ή θα αποκοπούν.

Το σήμα ταξιδεύει από την άνοδο της πρώτης τριόδου στον ισοσταθμιστή και μοιράζεται στα φίλτρα που υπάρχουν εκεί. Αρχικά, ο πυκνωτής C13 μαζί με το ποτενσιόμετρο R20 επιτρέπει μόνο στις υψηλές συχνότητες να περάσουν και το σημείο αποκοπής τους ρυθμίζεται ανάλογα με την τιμή του ποτενσιόμετρου. Οι υψηλές συχνότητες περνούν από αυτό το φίλτρο γιατί είναι η διαδρομή με τη λιγότερη αντίσταση για τις ίδιες, δηλαδή η πιο εύκολη θα λέγαμε δίοδος προς τη γη. Έπειτα, η αντίσταση R4 μαζί με τον πυκνωτή C9 δημιουργούν ένα χαμηλοπερατό φίλτρο από το οποίο περνάνε οι χαμηλές συχνότητες οι οποίες απορρίφθηκαν από το υψηλερατό φίλτρο. Εκεί, το ποτενσιόμετρο R13 προσφέρει τη δυνατότητα ρύθμισης του σημείου αποκοπής της συχνότητας, για τις χαμηλές συχνότητες. Ο λόγος που αυτές οι συχνότητες ακολουθούν αυτή τη διαδρομή είναι ο ίδιος με αυτόν για τις υψηλές συχνότητες, δηλαδή η ευκολότερη δίοδος τους προς τη γείωση. Ακόμη, από την R4 περνούν και οι μεσαίες συχνότητες οι οποίες απορρίφθηκαν από το υψηλερατό και το χαμηλοπερατό φίλτρο του ισοσταθμιστή και οι οποίες συνεχίζουν προς το επόμενο φίλτρο το οποίο αποτελείται από τον πυκνωτή C8 και τις αντιστάσεις R15 και R16 συνδεδεμένες σε σειρά. Για τις μεσαίες συχνότητες αυτός είναι ο πιο εύκολος δρόμος προς τη γη. Στο κύκλωμα μας επιλέξαμε να μη ρυθμίζονται οι μεσαίες συχνότητες από κάποιο ποτενσιόμετρο γιατί η κιθάρα αποδίδει ήδη έντονα τις μεσαίες συχνότητες. Ο διακόπτης MIDBOOST παρακάμπτει την αντίσταση R16 των 10kΩ και έτσι παρουσιάζεται μικρότερη αντίσταση για τις μεσαίες συχνότητες, άρα έχουμε κάποιο παραπάνω κέρδος στις μεσαίες συχνότητες όταν ο διακόπτης λειτουργεί.

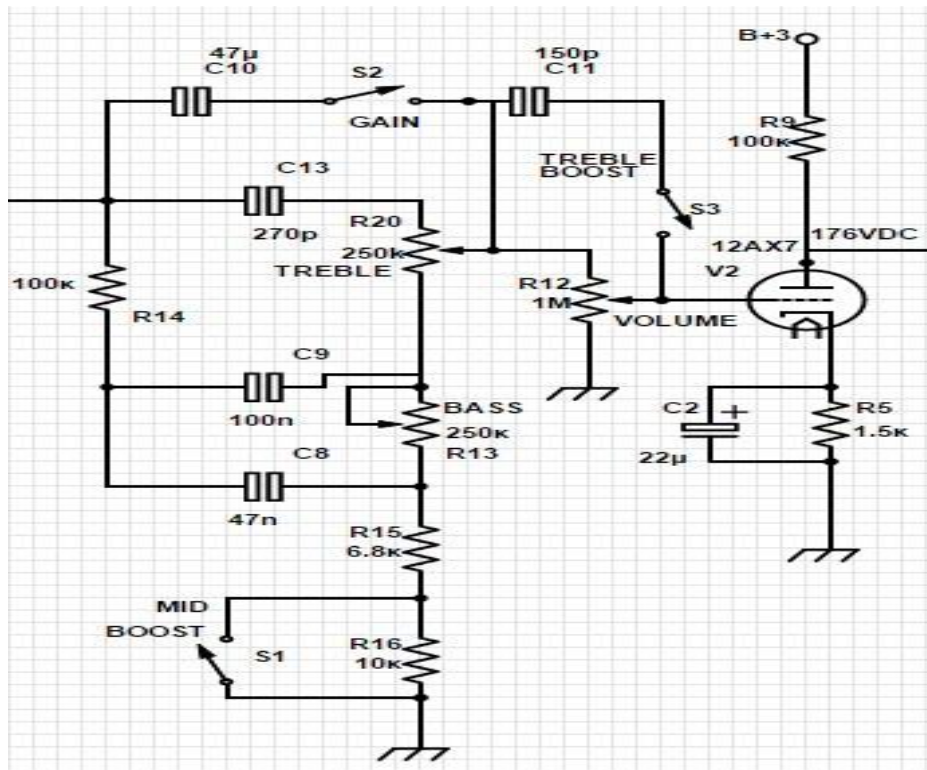
Ο διακόπτης Gain που βρίσκεται πάνω από το δικτύωμα αυξάνει το κέρδος, όταν βρίσκεται σε λειτουργία. Όταν ο διακόπτης λοιπόν είναι κανονικά κλειστός, επιτρέπει στο σήμα να μοιράζεται και στα παθητικά φίλτρα αλλά και στον πυκνωτή C10, ο οποίος όντας 47nF καθορίζει τη συχνότητα αποκοπής σε σημείο τέτοιο έτσι ώστε να περνούν και κάποιες μεσαίες συχνότητες, μαζί με τις υψηλές. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην περιορίζεται καθόλου από αυτά κι έτσι να έχουμε μεγαλύτερο κέρδος, εξ' ου και το όνομα του διακόπτη. Το ίδιο συμβαίνει και με τον διακόπτη Treble, ο οποίος όταν είναι κανονικά κλειστός, επιτρέπει τις υψηλές συχνότητες να περνούν και περιορίζει σημαντικά τις υπόλοιπες. Έτσι φτάνουμε στη δεύτερη τρίοδο, στο πλέγμα της οποίας είναι συνδεδεμένο το ποτενσιόμετρο της ρύθμισης της έντασης. Από εκεί, όπως αναφέραμε και για την πρώτη τρίοδο, καθορίζεται η ποσότητα του σήματος που θα ενισχυθεί, μεταβάλλοντας την τιμή της αντίστασης του ποτενσιόμετρου. Εκεί λοιπόν φτάνει το ρυθμισμένο από τον ισοσταθμιστή σήμα και ενισχύεται ξανά με τον ίδιο τρόπο που εξηγήσαμε για την πρώτη τρίοδο. Η αντίσταση R5 καθορίζει την πόλωση της λυχνίας με τον ίδιο τρόπο που εξηγήσαμε και στην πρώτη τρίοδο. Ο πυκνωτής εξυπηρετεί τον ίδιο σκοπό και για αυτή την τρίοδο όπως και στην πρώτη, περιορίζοντας σημαντικά την αρνητική ανάδραση της καθόδου.

Η απόκριση του ισοσταθμιστή φαίνεται στο διάγραμμα του σχήματος 5.7 και μας δείχνει αποκόπτει τις χαμηλές, τις μεσαίες και τις υψηλές συχνότητες, με βάση την τιμή των πυκνωτών και των αντιστάσεων του δικτύωματος. Η μεγάλη καμπύλη προς αρνητικότερα dB που εμφανίζεται στις μεσαίες συχνότητες έχει να κάνει με το πως αποδίδει η κιθάρα αυτές τις μεσαίες συχνότητες, όπως αναφέραμε και πιο πάνω. Πιο συγκεκριμένα, οι κιθάρες λειτουργούν πιο έντονα στις μεσαίες συχνότητες. Οπότε αν οι μεσαίες ήταν στο ίδιο σημείο με τις χαμηλές και τις υψηλές και η απόκριση ήταν σχεδόν ευθεία, όταν το σήμα της κιθάρας περνούσε από τον ισοσταθμιστή, οι μεσαίες συχνότητες θα έφταναν σε ένα πολύ υψηλό σημείο του διαγράμματος, κάτι που θα έκανε τον ήχο που θα ενισχυόταν παραπέρα, τουλάχιστον ενοχλητικό.



Σχήμα 5.8: Καμπύλη απόκρισης συχνοτήτων του ισοσταθμιστή.

Το παραπάνω διάγραμμα δημιουργήθηκε με τη βοήθεια του προγράμματος ToneStack Calculator, στο οποίο προσθέσαμε τις τιμές κάθε πυκνωτή και αντίστασης του δικτύωματος ισοστάθμισης.



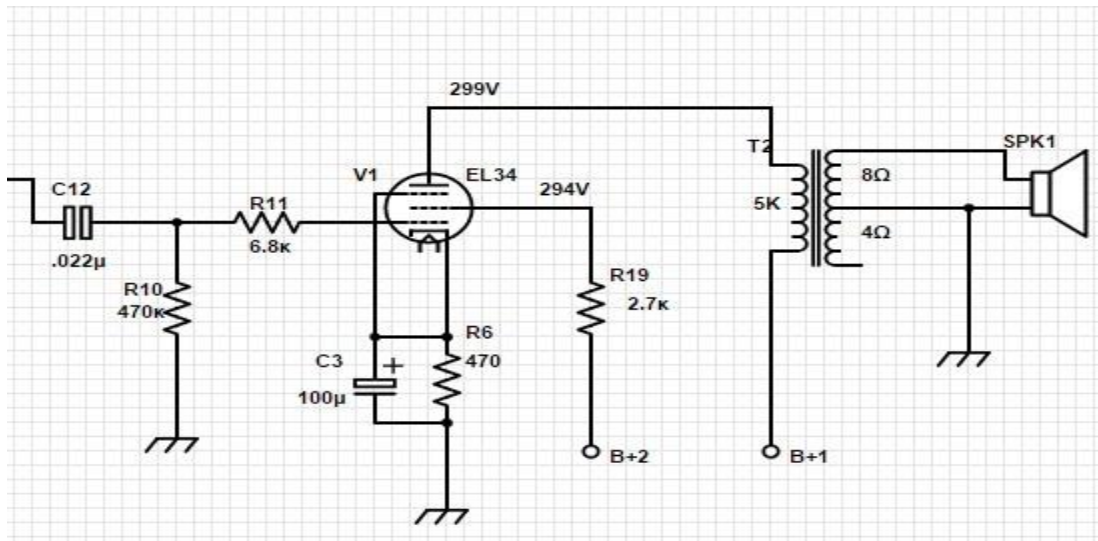
Σχήμα 5.9: Το δικτύωμα ισοστάθμισης μαζί με τη συνδεσμολογία της δεύτερης τριόδου λυχνίας.

Φτάνουμε λοιπόν στο τελικό στάδιο της ενίσχυσης, όπου το σήμα, όπως το καθορίζουμε από τα φίλτρα της προενίσχυσης, περνάει αρχικά από έναν πυκνωτή αποσύζευξης για να μην επιτρέψει να περάσει η DC τάση που παίρνουμε από την άνοδο της δεύτερης τριόδου και επιτρέπει τη διέλευση μόνο του AC σήματος που πρόκειται να ενισχυθεί. Η αντίσταση R10 των 470kΩ χρησιμοποιείται για τον ίδιο λόγο που χρησιμοποιείται και η αντίσταση R3 στο πλέγμα της πρώτης τριόδου, δηλαδή για την σταθεροποίηση του, την εκτόνωση του ρεύματος που δημιουργείται σε αυτό από τα ηλεκτρόνια που κολλούν επάνω του και την αποτροπή του σήματος να χάνεται προς τη γείωση. Η αντίσταση R11 των 6.8kΩ έχει τη χρήση του Grid Stopper όπως ο παραλληλισμός των αντιστάσεων R1 και R2 στην πρώτη τριόδο. Βοηθά συνεπώς στην εξάλειψη της παρασιτικής ταλάντωσης, στην αποκοπή πολύ υψηλών συχνοτήτων σε συνδυασμό με την χωρητικότητα που παρουσιάζει η EL34 και αποτρέπει στο πλέγμα να γίνει θετικότερο της καθόδου. Η συνολική επιτρεπτή τιμή από τον κατασκευαστή στο συνδυασμό αυτών των δύο αντιστάσεων, δεν πρέπει να ξεπερνά τα 700kΩ για το συγκεκριμένο τρόπο πόλωσης της καθόδου. Η πόλωση της λυχνίας καθορίζεται από την R6 και γίνεται με τον ίδιο τρόπο που εξηγήσαμε παραπάνω. Η τιμή της αντίστασης επιλέξαμε να είναι 470Ω. Η τιμή αυτή επιλέχθηκε για να επιτευχθεί τουλάχιστον ένα 50% της θερμικής απώλειας ισχύος της μέγιστης

τιμής που μας δίνει ο κατασκευαστής. Ο πυκνωτής C3 επιλέχθηκε στην τιμή των 100μF και λειτουργεί όπως περιγράψαμε πιο πάνω για τους πυκνωτές C1 και C2. Η τιμή του επιλέχθηκε να είναι αυτή, με σκοπό την καλύτερη απόδοση των χαμηλών συχνοτήτων που ενισχύονται από τη λυχνία. Η αντίσταση R19 χρησιμοποιείται για την προστασία του προστατευτικού πλέγματος. Έτσι, από την τελική ενίσχυση που προσφέρει η λυχνία EL34, το σήμα από την άνοδο της οδηγείται στο πρωτεύον τύλιγμα του μετασχηματιστή εξόδου, ο οποίος στο δευτερεύον του προσφέρει εξόδους 4Ω και 8Ω, στις οποίες συνδέεται το εκάστοτε μεγάφωνο, ανάλογα με τις απαιτήσεις και την επαγωγική του αντίσταση. Επίσης, ο μετασχηματιστής, αντιστρέφει το υψηλής τάσης και χαμηλού ρεύματος σήμα, σε αντίστοιχο σήμα χαμηλότερης τάσης και υψηλότερου ρεύματος έτσι ώστε να μπορέσει να λειτουργήσει σωστά το μεγάφωνο.

EL34	
Τάση Ανόδου	299VDC
Ρεύμα Ανόδου	42,7mA
Τάση Καθόδου	21VDC
Ρεύμα Καθόδου	44,9mA
Θερμική Απώλεια Ανόδου	11,89Watt
Θερμική Απώλεια Ανόδου (%)	47,38%

Πίνακας 5.2: Μετρήσεις για την EL34 στο πεδίο συνεχούς ρεύματος (DC).



Σχήμα 5.10: Στάδιο της τελικής ενίσχυσης (PowerStage)

5.4 Το Είδος του Ενισχυτή

Η κατασκευή είναι ένας μονοφωνικός ενισχυτής ακουστικών συχνοτήτων με δύο βασικές λυχνίες και δυνατότητα χρήσης μιας επιπλέον λυχνίας στην ανόρθωση του κυκλώματος. Η επιλογή της κατασκευής έγινε κυρίως για την κατανόηση της βασικής θεωρίας των λυχνιών. Επίσης, το είδος αυτό επιλέχθηκε και για λόγους οικονομικού κόστους αλλά και για λόγους απλότητας. Άλλωστε ακόμη και η κατασκευή ενός στερεοφωνικού ενισχυτή απαιτεί την ίδια περίπου μεθοδολογία. Επιπλέον η ανάλυση της θεωρίας των λυχνιών είναι η ίδια και συνεπώς το μόνο που θα άλλαζε θα ήταν η καλύτερη απόδοση του στερεοφωνικού ενισχυτή σε σχέση με το μονοφωνικό, η μεγαλύτερη ισχύς, η μικρότερη παραμόρφωση, αλλά και το μεγαλύτερο κόστος φυσικά. Επομένως η κατασκευή επιλέχθηκε να είναι single ended, με μια λυχνία στην έξοδο δηλαδή.

5.5 Το Είδος της Λυχνίας

Παρά το πέρας του χρόνου, η λυχνία, αν και παλιό ηλεκτρονικό στοιχείο, αποτελεί ακόμη ενεργή επιλογή στις εφαρμογές αναλογικών ηλεκτρονικών. Ωστόσο, για να μπορεί κάποιος να τη χρησιμοποιήσει σωστά, πρέπει να γνωρίζει πρώτα καλά την συμπεριφορά της σε κάθε κύκλωμα που χρησιμοποιείται, τις προδιαγραφές και τον τρόπο λειτουργίας της, κι αυτό γίνεται με βάση τη θεωρία της η οποία περιέχει και περίπλοκα σημεία, δύσκολα στην κατανόηση, γι' αυτό πρέπει να εξηγούνται απλά.

Η μια λυχνία που χρησιμοποιήθηκε στο κύκλωμα, είναι η διπλή τρίοδος 12AX7 της Tung-Sol. Η συγκεκριμένη χρησιμοποιήθηκε στο τμήμα της προενίσχυσης.

Η 12AX7 είναι μια διπλή τρίοδος η οποία αναπτύχθηκε από το RCA (Radio Corporation of America) το 1946 και η συνεχής χρήση της σε κυκλώματα ενισχυτών την έχει κάνει να είναι από τις πρώτες σε ζήτηση μέχρι και σήμερα. Χρησιμοποιείται συνήθως στο στάδιο της προενίσχυσης καθώς έχει μικρό ανοδικό ρεύμα και υψηλό κέρδος (Συντελεστής Mu περίπου 100), κάνοντας την ιδανική για ενίσχυση μικρών σημάτων.

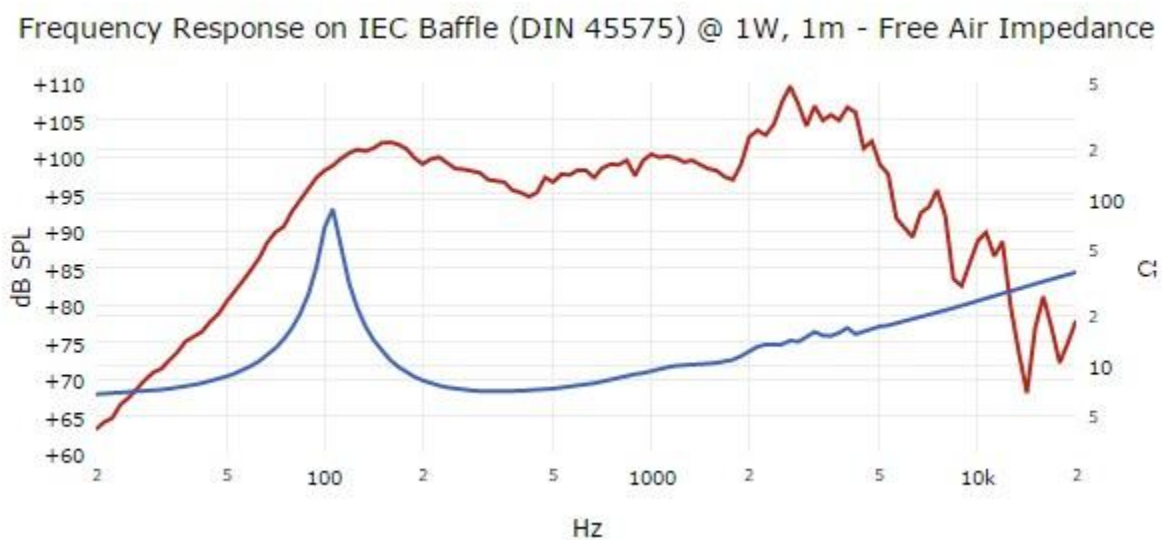
Η Tung-Sol 12AX7 που χρησιμοποιήθηκε στο κύκλωμά μας είναι από τις καλύτερες αυτής της κατηγορίας. Μικρή σε μέγεθος, με πολύ δυνατό και "ζεστό" ήχο ο οποίος περικυκλώνει τον ακροατή, ενώ παρόλη την ένταση του, η καθαρότητα του ήχου είναι υψηλή. Έχει, όπως είπαμε, μεγάλο κέρδος και πολύ καλή απόδοση στην ενίσχυση των υψηλών και χαμηλών συχνοτήτων. Με πολύ χαμηλό μικροφωνισμό και ελάχιστο θόρυβο, είναι από τις πιο αξιόπιστες της σειράς της. Το μειονέκτημα της είναι ότι δεν αποδίδει το ίδιο καλά και στις μεσαίες συχνότητες.

Η δεύτερη λυχνία που χρησιμοποιήθηκε στο κύκλωμα, στο στάδιο εξόδου, είναι η Tung-Sol EL 34 η οποία πρωτοεμφανίστηκε από τη Mullard το 1953 και χρησιμοποιείται σχεδόν από τότε

σε κυκλώματα ενισχυτών ήχου, κατά κύριο λόγο. Αρχικά ωστόσο, η λυχνία αυτή προοριζόταν να χρησιμοποιηθεί σαν σειριακός σταθεροποιητής, λόγω της ανοχής των νημάτων της σε υψηλές τάσεις, αλλά εδραιώθηκε στη χρήση σε ενισχυτές ήχου. Κάτι που την έκανε “διάσημη” είναι η μεγάλη και ομαλή παραμόρφωση που προσφέρει σε σχετικά χαμηλές στάθμες ισχύος.

5.6 Το Είδος του Μεγαφώνου

Το μεγάφωνο επιλέχθηκε με βάση την έξοδο που λαμβάναμε από το κύκλωμα και τις απαιτήσεις του, όπως και του μετασχηματιστή εξόδου. Χρησιμοποιήσαμε το Jensen Electro Lightning 10, με διάμετρο 10 ίντσες και 50W ισχύ με φορτίο στα 8Ω. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η καμπύλη απόκρισης συχνοτήτων του, όπως τις δίνει ο κατασκευαστής.



Σχήμα 5.12: Η καμπύλη απόκρισης του μεγαφώνου Jensen Electro Lightning 10.

5.7 Η Κατασκευή του Σασί

Το σασί αποτελεί τη βάση πάνω στην οποία στηρίχτηκε όλη η δομή του κυκλώματος. Στο πάνω μέρος βρίσκονται οι μετασχηματιστές και οι λυχνίες ενώ στο κάτω μέρος του βρίσκονται όλα τα εξαρτήματα της συνδεσμολογίας.

Είναι αλουμίνιο το οποίο μετά από διαδικασία κοψίματος και στραντζαρίσματος (λύγισμα στο τελικό σχήμα “Π”) πήρε τη μορφή του και είναι 32 εκατοστά μήκος, 18 εκατοστά πλάτος και 6 εκατοστά ύψος. Το πάχος του είναι 3 χιλιοστά.

5.8 Η Ξυλοκατασκευή

Οι ξυλοκατασκευές είναι δύο: μια για την κεφαλή, την καμπίνα δηλαδή του σασί, η οποία είναι 42 εκατοστά μήκος, 22 εκατοστά ύψος και 21,5 εκατοστά πλάτος. Η δεύτερη, η οποία χρησιμοποιήθηκε σαν καμπίνα του ηχείου είναι 42 εκατοστά μήκος, 34 εκατοστά ύψος και 21,5 εκατοστά πλάτος. Στο μπροστινό μέρος του σασί τοποθετήθηκε μια μεταλλική σχάρα και ένα κομμάτι αλουμινίου 38 εκατοστών μήκους και 8,4 εκατοστών ύψους πάνω στο οποίο βιδώθηκαν τα ποτενσιόμετρα, οι διακόπτες, οι αντάπτορες και η υποδοχή του λαμπτήρα και της ασφάλειας. Το μπροστινό μέρος της καμπίνας του ηχείου καλύφθηκε επίσης με μεταλλική σχάρα για την προστασία του μεγαφώνου.

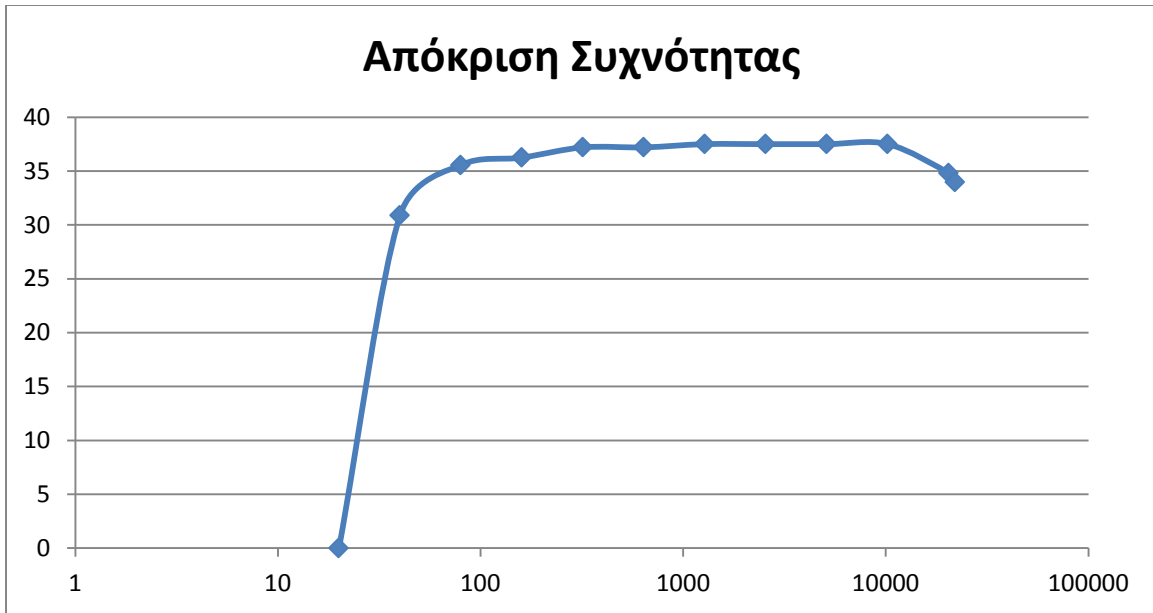
5.9 Η Συναρμολόγηση

Η συναρμολόγηση του ενισχυτή έγινε με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να αποφευχθούν ή έστω να μειωθούν θόρυβοι, βόμβοι και αναδράσεις που οφείλονται σε κατασκευαστικές ατέλειες, όσο το δυνατόν γίνεται. Γι' αυτό το λόγο οι μετασχηματιστές και οι λυχνίες τοποθετήθηκαν στο πάνω μέρος του σασί και το κύκλωμα του ενισχυτή, στο κάτω μέρος. Με τον τρόπο αυτό, ο βόμβος των 50 Hz του δικτύου μειώθηκε στο ελάχιστο και για τον ίδιο λόγο τα καλώδια που συνδέουν τα νήματα, είναι συνεστραμμένα. Επίσης οι αναδράσεις από τον μετασχηματιστή εξόδου προς την πρώτη βαθμίδα ελαττώθηκαν.

Στο κάτω μέρος τοποθετήθηκε το κύκλωμα του ενισχυτή. Από το στάδιο της προενίσχυσης μέχρι και το στάδιο εξόδου τηρήθηκαν προδιαγραφές που συνδύαζαν την προστασία του κυκλώματος, τη σωστή λειτουργία του και τη σωστή οργάνωσή του. Ιδιαίτερης σημασίας ήταν επίσης και η καλή απαγωγή θερμότητας, αλλά και η αισθητική. Όλα τα εξαρτήματα τοποθετήθηκαν με ιδιαίτερη προσοχή, κυρίως για τη μη επαφή μεταξύ τους και τη σωστή γείωση τους, προς αποφυγή θορύβων ή βραχυκυκλωμάτων. Τέλος, για τον ίδιο λόγο, τα καλώδια των συνδέσεων μονώθηκαν.

5.10 Καμπύλη Απόκρισης και Μετρήσεις

Η συνολική απόκριση του κυκλώματος από την είσοδό του ως την έξοδο με παράκαμψη του ισοσταθμιστή, φαίνεται στο διάγραμμα και στον πίνακα φαίνονται οι συγκεκριμένες μετρήσεις. Το διάγραμμα έγινε με τη χρήση του προγράμματος Microsoft Excel.



Σχήμα 5.13: Η καμπύλη της απόκρισης συχνότητας.

Με είσοδο 100 mV_{p-p} στην είσοδο Bright (Line), το ποτενσιόμετρο στα 2/4 του, όπου πήραμε το μέγιστο απαραμόρφωτο σήμα, η έξοδος του κυκλώματος για διάφορες συχνότητες από 20Hz έως 20kHz, είναι αυτή που φαίνεται στον πίνακα 5.1. Ο μαθηματικός τύπος για τον υπολογισμό της εξόδου συναρτήσει της εισόδου για να υπολογίσουμε τη συνολική απολαβή κέρδους όλου του ενισχυτή σε dB είναι:

$$A = 20 \log \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

Frequency (Hz)	V _{in} (mV)	V _{out} (V)	Gain (dB)
20	200	0	0
40	200	7	30,88
80	200	12	35,56
160	200	13	36,25
320	200	14,5	37,2
640	200	14,5	37,2
1280	200	15	37,5
2560	200	15	37,5
5120	200	15	37,5
10240	200	15	37,5
20480	200	11	34,8
22000	200	10	33,97

Πίνακας 5.3: Οι μετρήσεις του κυκλώματος.

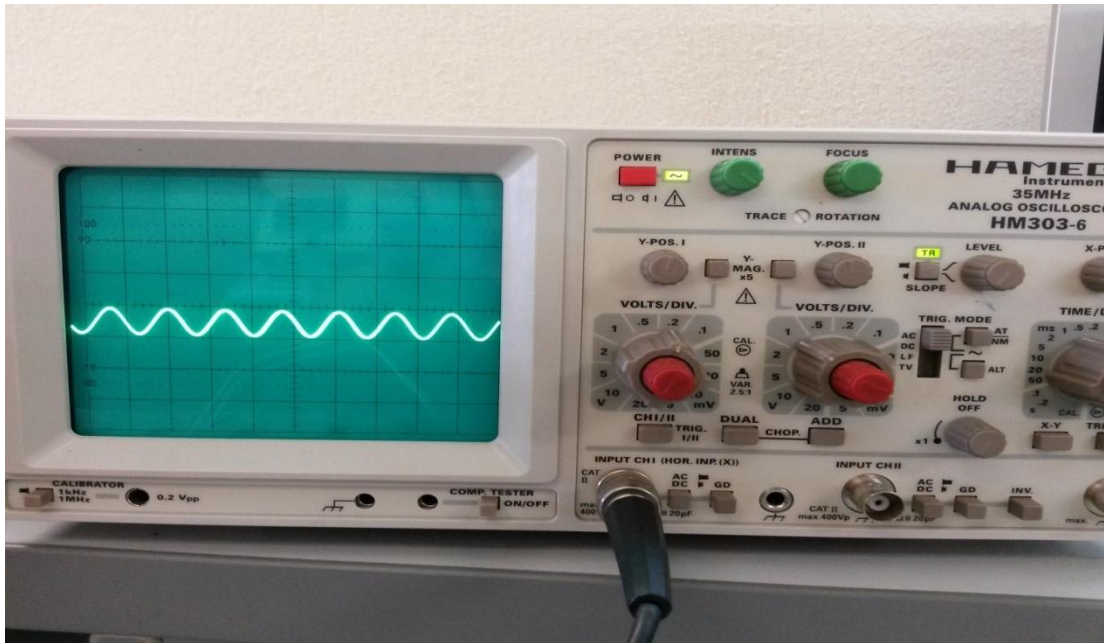
Στον παρακάτω πίνακα 5.2 φαίνεται ο συσχετισμός της τάσης εξόδου με την τιμή της εισόδου στην οποία παίρνουμε το μέγιστο απαραμόρφωτο σήμα στη λυχνία εξόδου.

Frequency (Hz)	V _{in} (V)	V _{out} (V)	Gain (dB)
20	30	0	0
40	30	7	-12,65
80	30	12	-7,95
160	30	13	-7,27
320	30	14,5	-6,32
640	30	14,5	-6,32
1280	30	15	-6,02
2560	30	15	-6,02
5120	30	15	-6,02
10240	30	15	-6,02
20480	30	11	-2,69
22000	30	10	-8,73

Πίνακας 5.4: Η τάση εξόδου της EL34 σε συσχετισμό με την είσοδο.

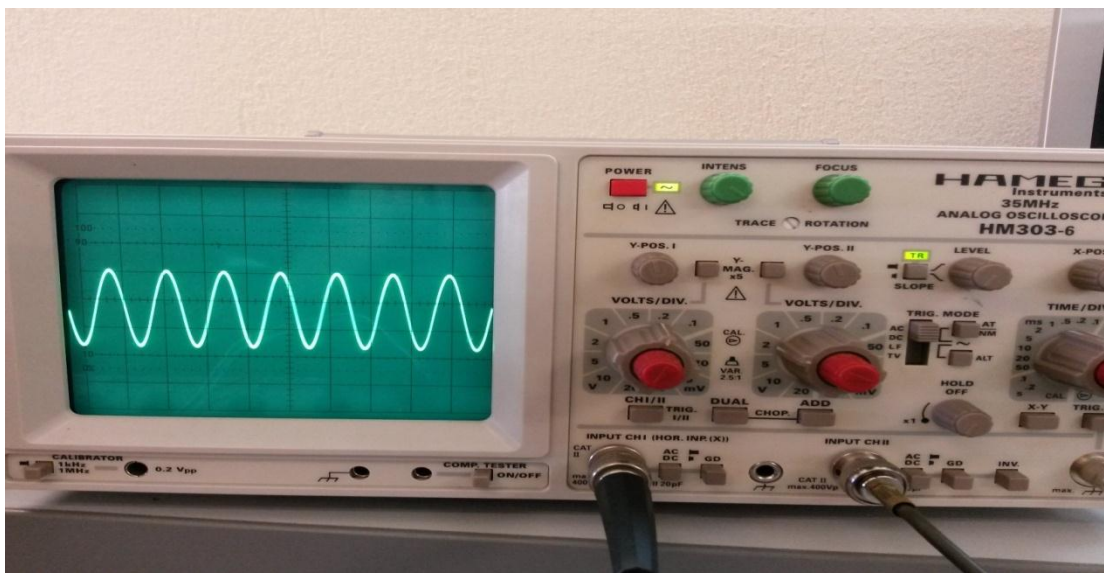
Μετρήσεις του κυκλώματος

Εκτός από τις παραπάνω μετρήσεις, έγιναν μετρήσεις και σε διάφορα άλλα σημεία του κυκλώματος. Έτσι, με τη συχνότητα στην τάξη των kHz και ξεκινώντας από την είσοδο του κυκλώματος, παρεμβάλλουμε σε σειρά ένα αμπερόμετρο αμέσως μετά τον κόμβο των αντιστάσεων R1, R2 και R3. Εκεί όμως μετράμε μηδενικό ρεύμα καθώς όπως είπαμε στην ανάλυση του κυκλώματος και συγκεκριμένα στο στάδιο της εισόδου, οι συγκριμένες αντιστάσεις είναι έτσι συνδεδεμένες ακριβώς για να σταματούν οποιοδήποτε ρεύμα προσπαθήσει να περάσει στη λυχνία και να αποτρέπουν την καταστροφή της. Η τάση που μετρήσαμε στην είσοδο είναι 200mV_{rms} συνδέοντας το πολύμετρο απευθείας στη γεννήτρια. Η κυματομορφή του φαίνεται στην εικόνα 5.1:



Εικόνα 5.1: Κυματομορφή εισόδου $200\text{mV}_{\text{rms}}$ από τη γεννήτρια.

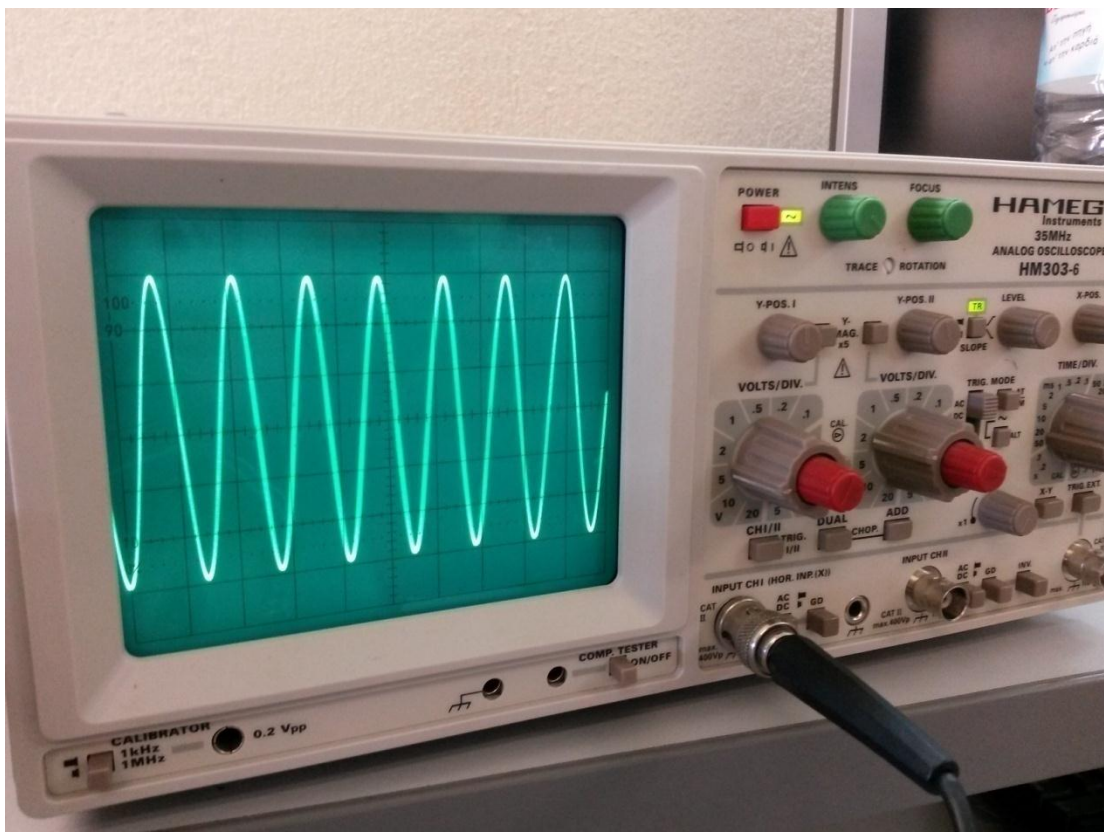
Στη συνέχεια "κόψαμε" το κύκλωμα από την άνοδο της πρώτης τριόδου μέχρι το σημείο που ενώνουν ο πυκνωτής του Gain, με τον πυκνωτή του φίλτρου Treble και η αντίσταση R14. Εκεί, βρήκαμε ότι το ρεύμα είναι $79\mu\text{A}$ με την ένδειξη του πολύμετρου στο AC. Σε εκείνο το σημείο η τάση του σήματος είναι στα $3,54\text{V}$ άρα η rms τιμή του είναι $2,5\text{V}_{\text{rms}}$, από τον τύπο $V_{\text{rms}} = V \cdot 0.707$. Η ισχύς που βρήκαμε είναι $0,2\text{mW}$ και τη θεωρήσαμε είσοδο της δεύτερης τριόδου.



Εικόνα 5.2 Κυματομορφή εισόδου της δεύτερης τριόδου στα $200\text{mV}/\text{Div}$, δια μέσου του ισοσταθμιστή.

Ενώ η προηγούμενη μέτρηση έγινε παρακάμπτοντας τον ισοσταθμιστή μέσω του διακόπτη Gain, στην εικόνα 5.2 φαίνεται η κυματομορφή εισόδου της δεύτερης τριόδου μειωμένη στα 600mV_{p-p} περίπου. Αυτό συμβαίνει γιατί την κυματομορφή τη λάβαμε όταν το probe του παλμογράφου ήταν συνδεδεμένο στο μεσαίο ποδαράκι του ποτενσιόμετρου Volume και αυτό σημαίνει ότι η μέτρηση έγινε όταν σήμα περνούσε από τον ισοσταθμιστή και για αυτό το βλέπουμε μειωμένο.

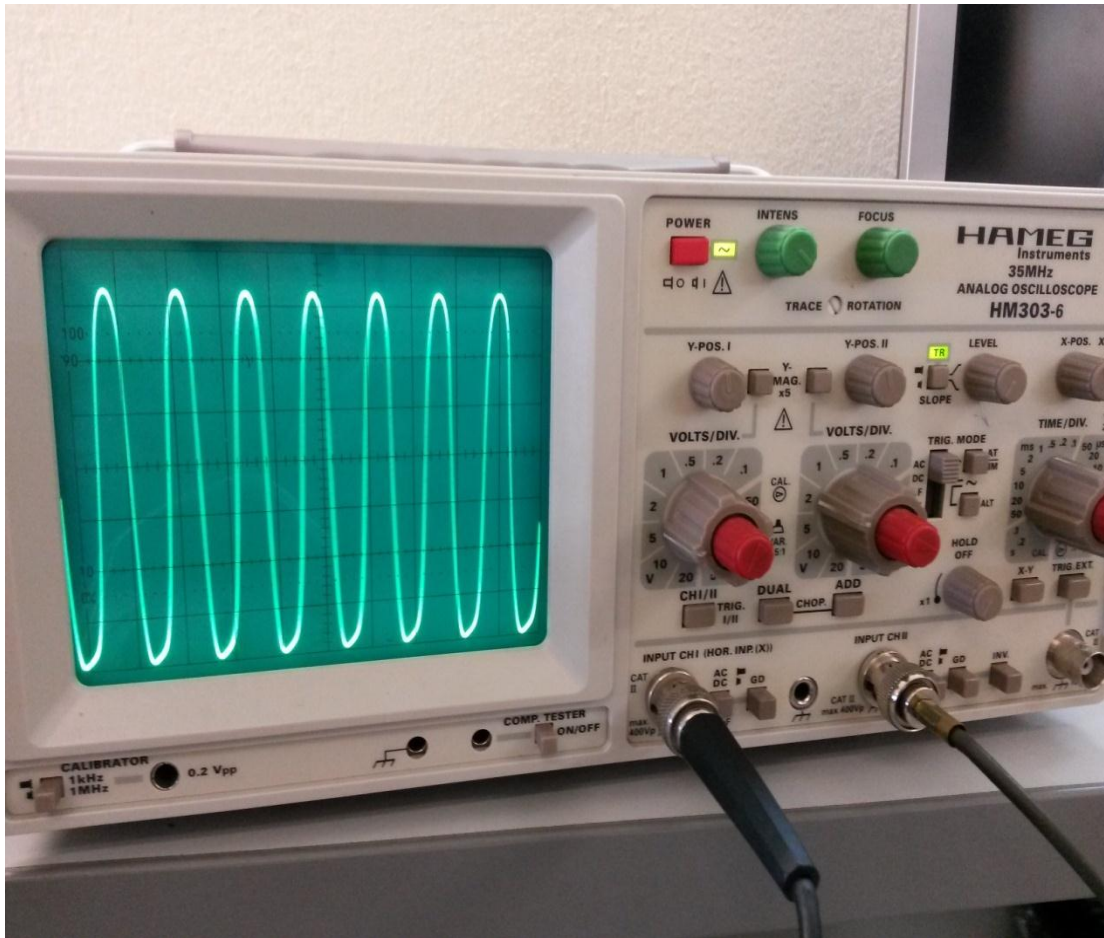
Στη συνέχεια μετρήσαμε το σήμα αμέσως μετά την ενίσχυση που επιδέχεται από την δεύτερη τριόδο. Παρεμβάλλοντας λοιπόν το αμπερόμετρο ανάμεσα στην άνοδο της δεύτερης τριόδου και στον πυκνωτή C12, πριν το στάδιο της τελικής ενίσχυσης, το ρεύμα πέφτει στα 20μΑ. Η πτώση οφείλεται στο μεγαλύτερο κέρδος τάσης που παίρνουμε από τη δεύτερη τριόδο. Η τάση είναι στα 30V, άρα περίπου 21,22V_{rms} και η ισχύς στα 0,42mW, από τον τύπο $P = V_{rms} \cdot I$, όπως φαίνεται και στην εικόνα 5.3.



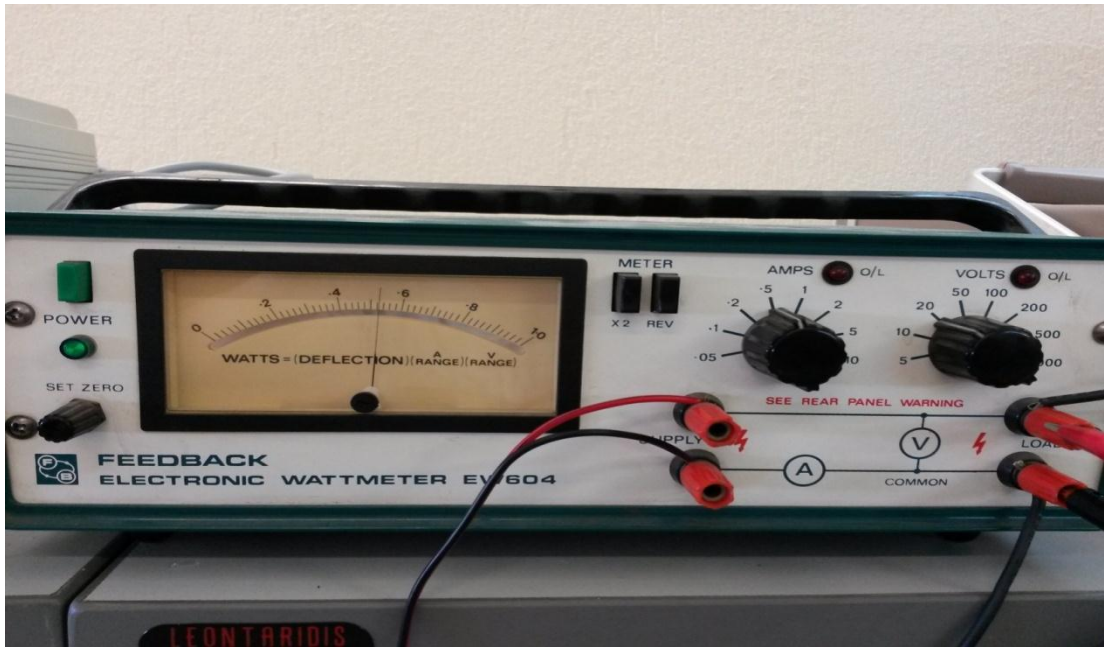
Εικόνα 5.3: Κυματομορφή του σήματος μετά τη δεύτερη τριόδο στα 5V/Div.

Η επόμενη μέτρηση έγινε στην πέντοδο. Κόψαμε το κύκλωμα στο ποδαράκι 3 της ανόδου που ενώνει με το πρωτεύον του μετασχηματιστή εξόδου και παρεμβάλλαμε το αμπερόμετρο σε σειρά. Το ρεύμα εκεί ήταν 41,5mA σε κατάσταση αδράνειας και όταν εφαρμόστηκε το σήμα και το καθορίσαμε στη μέγιστη απαραμόρφωτη τιμή του, το ρεύμα ήταν 34mA. Η τάση εκεί με

βάση ένδειξης πολυμέτρου στο AC ήταν $181,6V_{rms}$. Η ισχύς ήταν τελικά $6,17Watt$ στο πρωτεύον του μετασχηματιστή. Η τελική τάση επάνω στην αντίσταση φορτίου με βάση την ένδειξη πολύμετρου ήταν $6,84V_{rms}$. Υψώνοντας τη στο τετράγωνο και διαιρώντας την με την τιμή της αντίστασης 8Ω βρήκαμε ότι η ισχύς στην έξοδο είναι $5,5W$. Ο λόγος που δε χρησιμοποιήσαμε το αμπερόμετρο στη μέτρηση αυτή είναι γιατί μπορεί η παραμικρή απόκλιση ή δυσλειτουργία του να προκαλέσει πρόβλημα στον μετασχηματιστή εξόδου και είναι εξαιρετικά “επίπονη” μέτρηση για όλο το κύκλωμα. Η τελική κυματομορφή εξόδου και η ένδειξη του βατόμετρου φαίνονται στις εικόνες 5.4 και 5.5 αντίστοιχα.



Εικόνα 5.4: Κυματομορφή εξόδου του κυκλώματος με φορτίο 8Ω .



Εικόνα 5.5: Η ένδειξη ισχύος εξόδου από το βατόμετρο με φορτίο 8Ω.

Βάση των χαρακτηριστικών του κατασκευαστή του δευτερεύοντος του μετασχηματιστή τροφοδοσίας στην υψηλή τάση 230V στα 125mA, κάνοντας την πράξη για να υπολογίσουμε την ισχύ $P = V \cdot I$, βρίσκουμε 28,75Watt ισχύ που μπορεί να προσφέρει το τροφοδοτικό. Η ανώτερη θεωρητική τιμή της ισχύς που μπορούμε να εκμεταλλευτούμε σε συνδεσμολογία class A κυμαίνεται στο 25%, άρα η ισχύς είναι στα 7,18Watt. Οπότε με βάση τη μέγιστη τιμή που πήραμε στην έξοδο, η οποία ήταν 7,32V σύμφωνα με την ένδειξη του πολύμετρου και με βάση τον τύπο $P = V^2/R$, η μέγιστη τιμή ισχύος του ενισχυτή φτάνει στα 6,697Watt, πολύ κοντά στη θεωρητική τιμή.

5.11 Ο Θόρυβος του Ενισχυτή

Όπως ξέρουμε ο θόρυβος στα συστήματα ήχου είναι σχεδόν απίθανο να εξαλειφθεί και ενισχύεται με το επιθυμητό σήμα. Έτσι το ακούμε στην έξοδο. Αν η στάθμη του είναι μεγάλη ακούγεται δυσάρεστα και πρέπει φυσικά να ελαττωθεί όσο το δυνατόν περισσότερο. Αν βραχυκυκλώσουμε την είσοδο του ενισχυτή, αν δηλαδή συνδέσουμε το οδηγό πλέγμα στο σασί, παίρνουμε το θόρυβο του κυκλώματος, ο οποίος φαίνεται στην εικόνα 5.1.

Στο κύκλωμα μας, η μέτρηση που κάναμε μας έδειξε ότι υπάρχει θόρυβος της τάξης των 15mVp-p. Η ρύθμιση στον παλμογράφο ήταν 10mV/divκαι 1ms/div. Ο λόγος SNR(Signal to Noise Ratio), ο λόγος δηλαδή σήματος προς θόρυβο, υπολογίζεται από τον τύπο:

$$SNR = 20 \log \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

και στην περίπτωση μας είναι: $SNR = 20 \log \frac{0.013V}{15V} = -61,24dB$. Αν αναλογιστούμε ότι οι καλοί ενισχυτές έχουν θόρυβο της τάξης των -40dBέως -80dB, το αποτέλεσμα θεωρείται ικανοποιητικό.



Εικόνα 5.6: Ο θόρυβος του ενισχυτή, όπως φαίνεται από μέτρηση στον παλμογράφο.

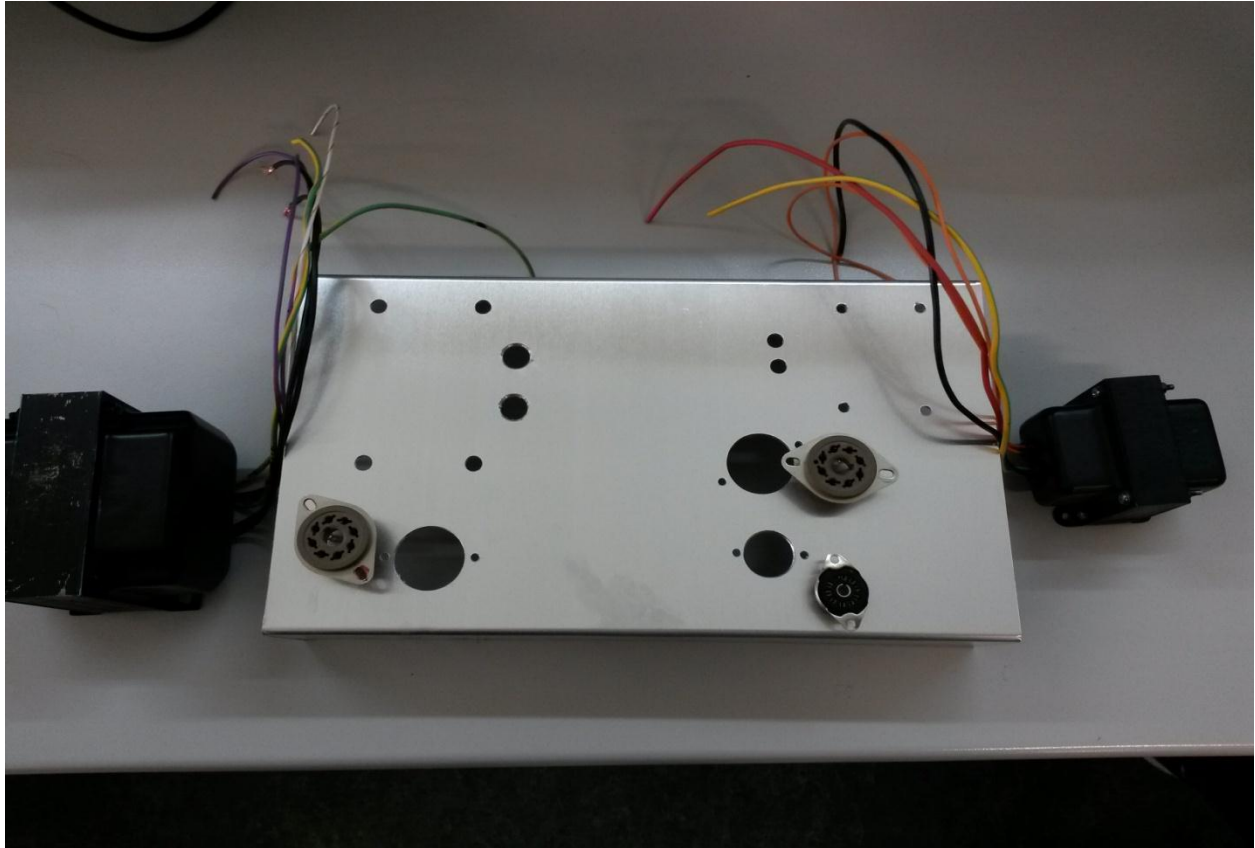
5.12 Συμπεράσματα

Καταλήγοντας λοιπόν στα αποτελέσματα των μετρήσεων, εξετάζοντας τη βασική θεωρία όλων των στοιχείων, αλλά και των ίδιων των ενισχυτών και εφαρμόζοντάς τα στην πράξη, μπορούμε πλέον να αξιολογήσουμε τη σωστή λειτουργία του.

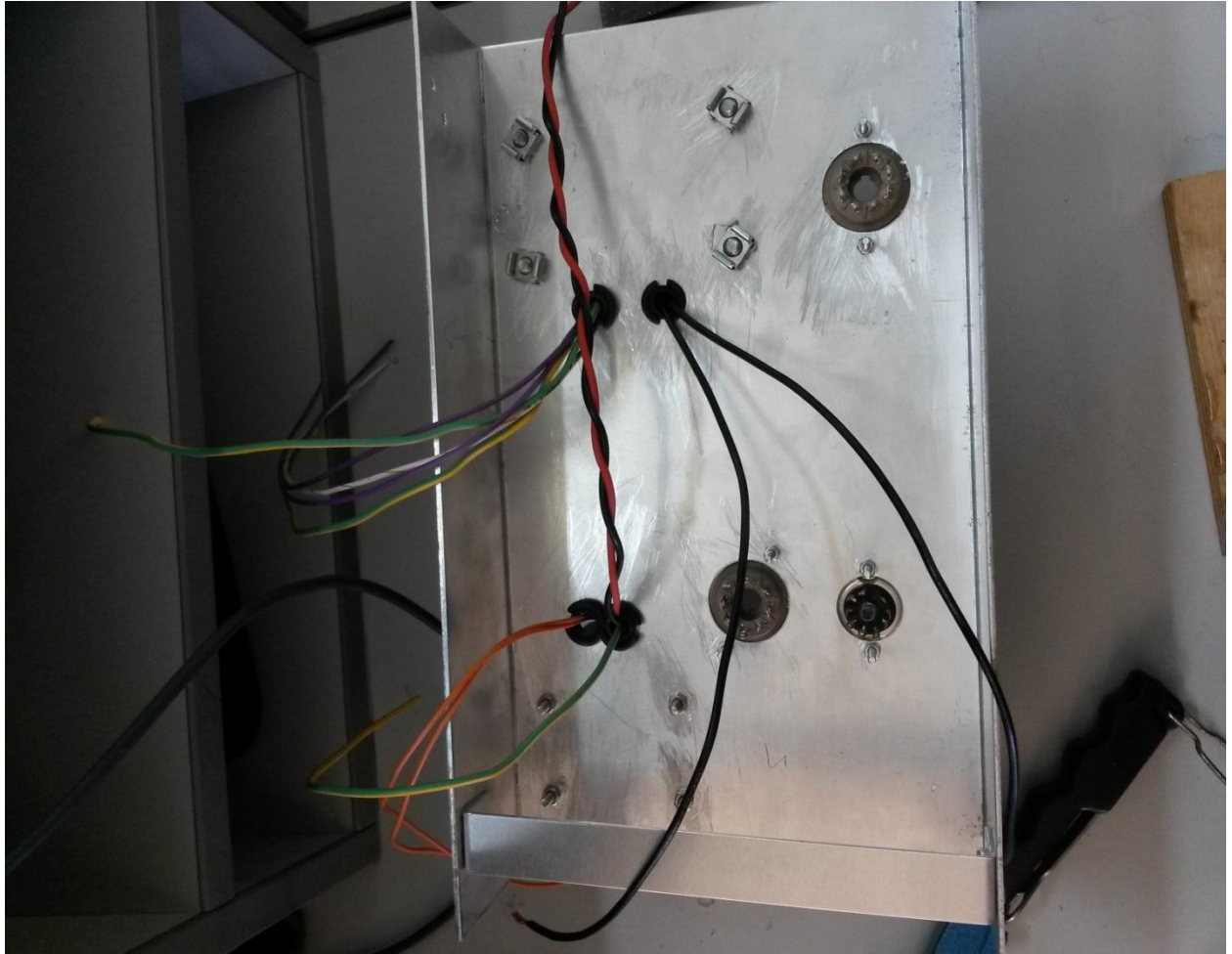
Έπειτα από μεγάλο χρόνο έρευνας στο διαδίκτυο και τη βιβλιογραφία και μελέτη όλων των παραμέτρων, σχεδιάστηκε το κύκλωμα με βάση τις απαιτήσεις της πτυχιακής, τις δικές μας προτιμήσεις και φυσικά τη δυνατότητα υλοποίησης μια τέτοιας κατασκευής, από την αρχή. Επιλέχθηκαν οι λυχνίες και μαζί τους όλα τα υπόλοιπα υλικά που θα τις καθιστούσαν ικανές να αποδώσουν το επιθυμητό αποτέλεσμα. Το κύκλωμα συναρμολογήθηκε με γνώμονα τη σωστή τοποθέτηση, την καλή αισθητική και την αποφυγή σφαλμάτων. Επιλέχθηκε το κατάλληλο μεγάφωνο το οποίο θα απέδιδε τον επιθυμητό ήχο και θα ταίριαζε με τις απαιτήσεις του κυκλώματος. Διαμορφώθηκε όλη η βάση πάνω στην οποία θα υλοποιούνταν το κύκλωμα (σασί, ξυλοκατασκευή) ανάλογα με τις προδιαγραφές που αναφέραμε σε προηγούμενες παραγράφους, για τη σωστή λειτουργία αλλά και την καλή αισθητική του ενισχυτή. Στη συνέχεια και έπειτα από ελέγχους, διορθώσεις και δοκιμές, καταγράψαμε τις τελικές μετρήσεις του κυκλώματος με βασικό μας μέλημα την καλή αναπαραγωγή του ήχου. Στις μετρήσεις αυτές αποδείχθηκε ότι με βάση το μέγιστο απαραμόρφωτο σήμα, ο ενισχυτής αποδίδει ισχύ εξόδου 5,5 έως 6,69Watt, με μια αρκετά ικανοποιητική καμπύλη απόκρισης συχνοτήτων και με συνολικό θόρυβο στα -61dB περίπου.

Καταλήγοντας λοιπόν, θα λέγαμε πως επιτεύχθηκε η σωστή λειτουργία του ενισχυτή, χωρίς κανένα ιδιαίτερο πρόβλημα ή κάποια μεγάλη παρεμβολή, κάτι που αποδεικνύει τη σωστή εφαρμογή των κανόνων και των οδηγιών. Θα μπορούσαμε συνεπώς να πούμε πως η ενασχόληση με μια τέτοιου είδους κατασκευή, εκτός από την εμπειρία που μας προσέφερε στο τεχνικό μέρος της, μας έκανε να κατανοήσουμε την όλη φιλοσοφία πάνω στην λειτουργία αρχικά της λυχνίας και έπειτα των ενισχυτών ακουστικών συχνοτήτων.

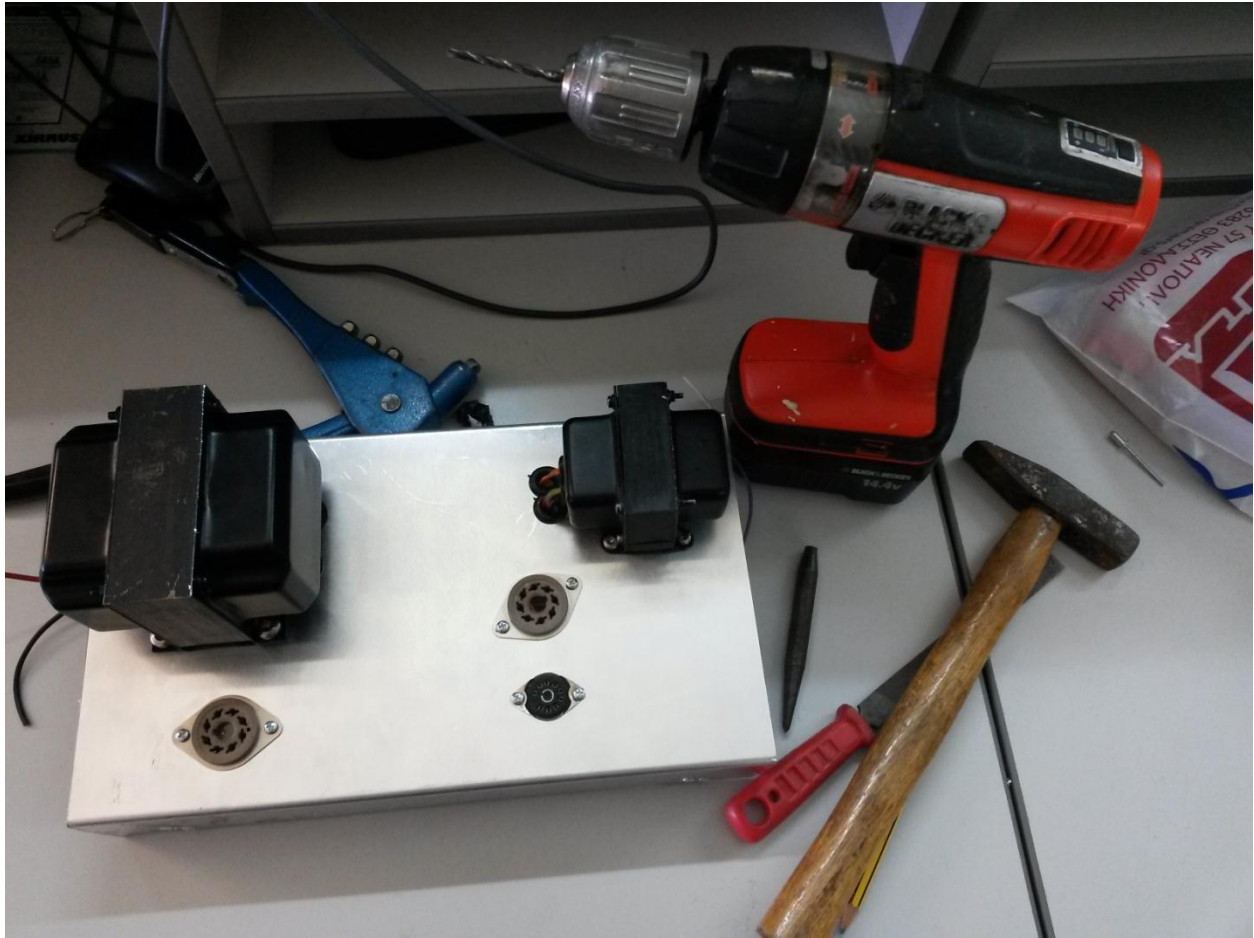
5.13 Φωτογραφίες της Κατασκευής



Κατασκευή 5.1: Δημιουργία υποδοχών για τους μετασχηματιστές και τις βάσεις.



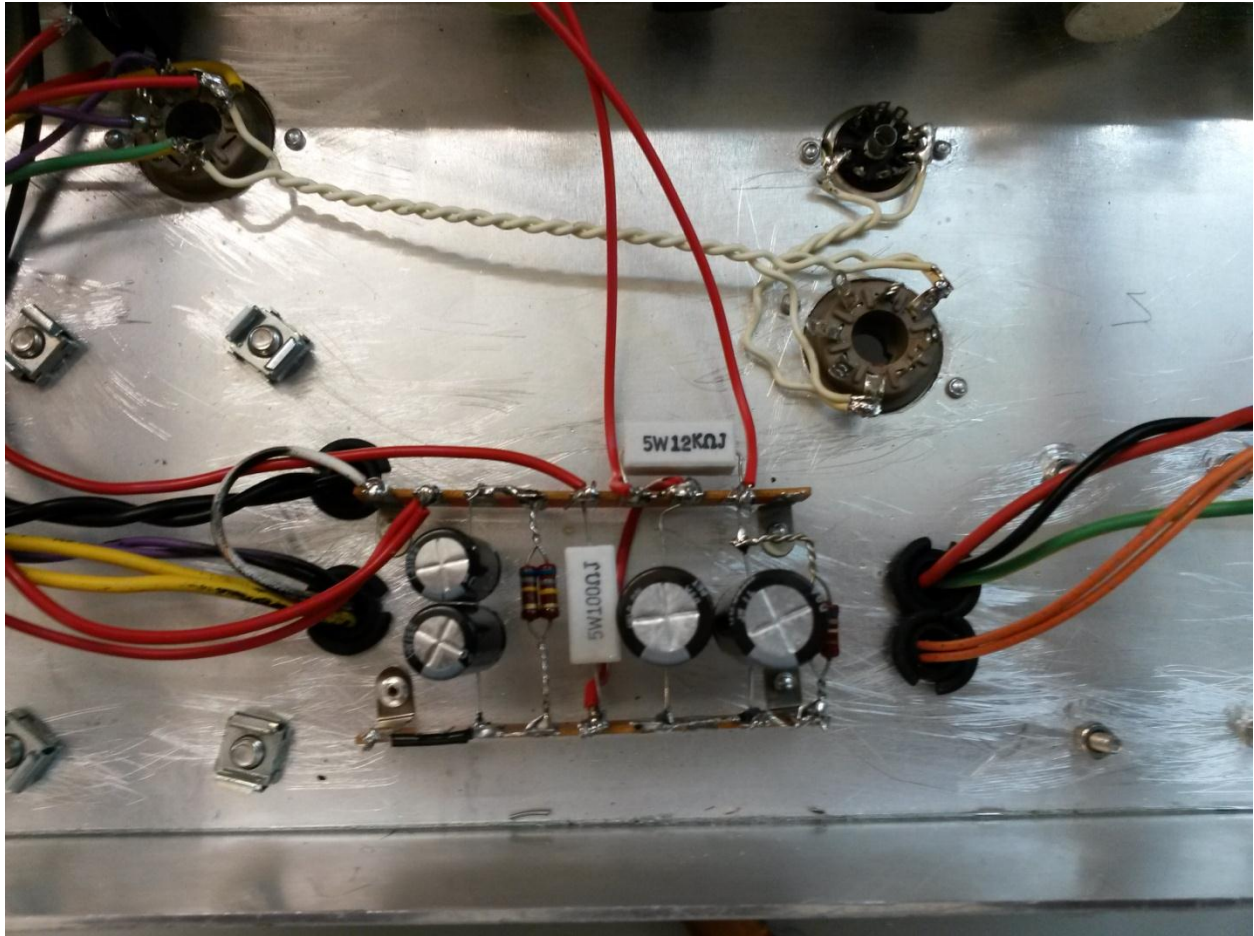
Κατασκευή 5.2: Η αρχική όψη του κάτω μέρους.



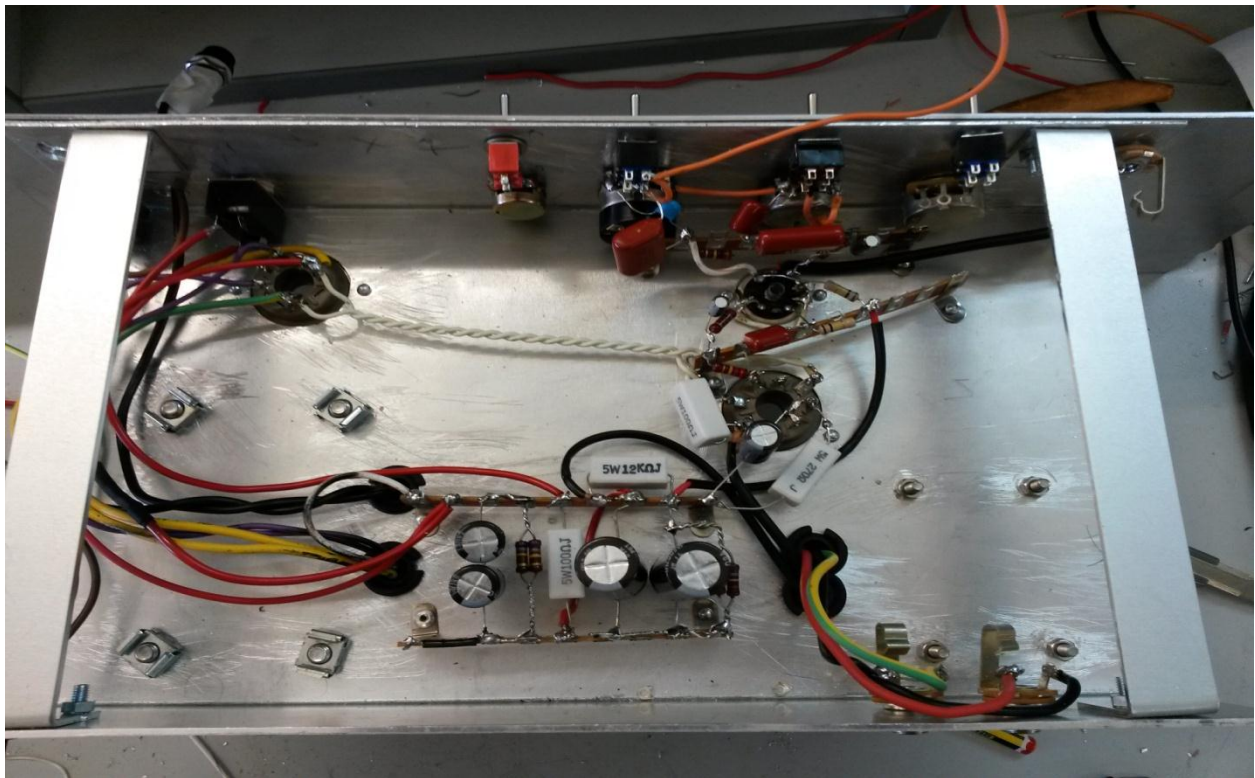
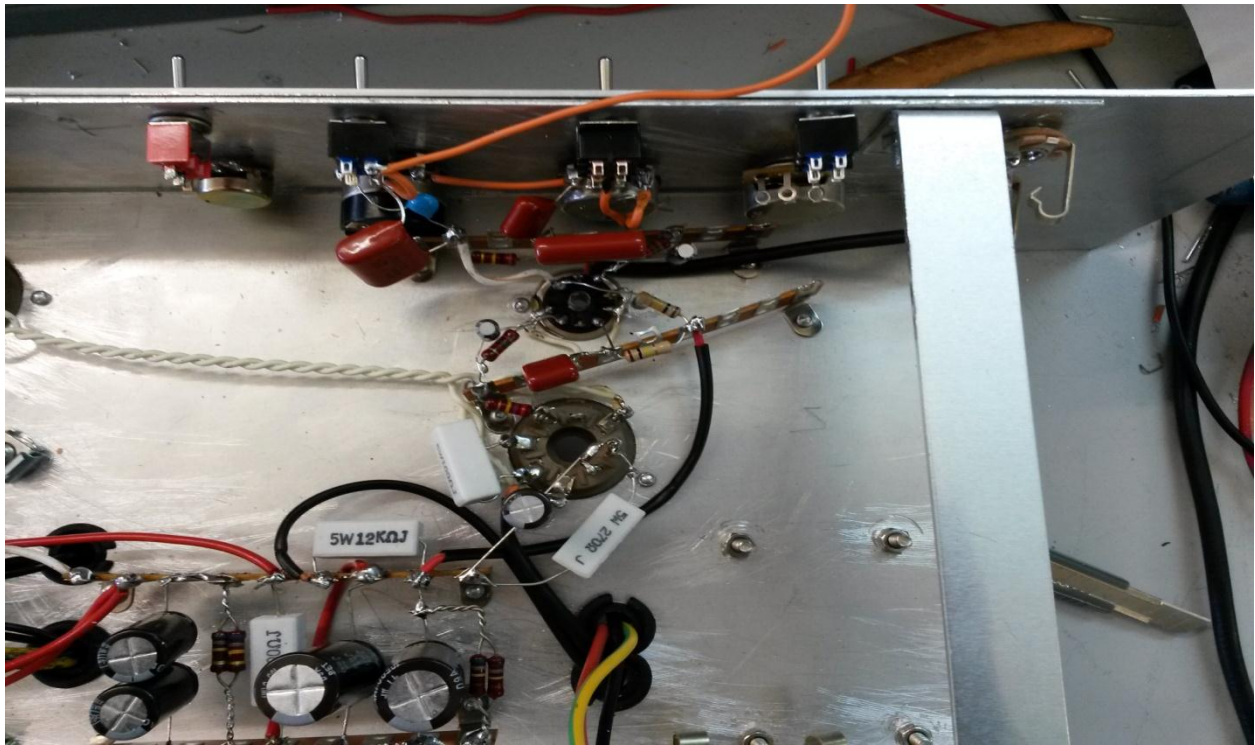
Κατασκευή 5.3: Το τελικό πάνω μέρος.



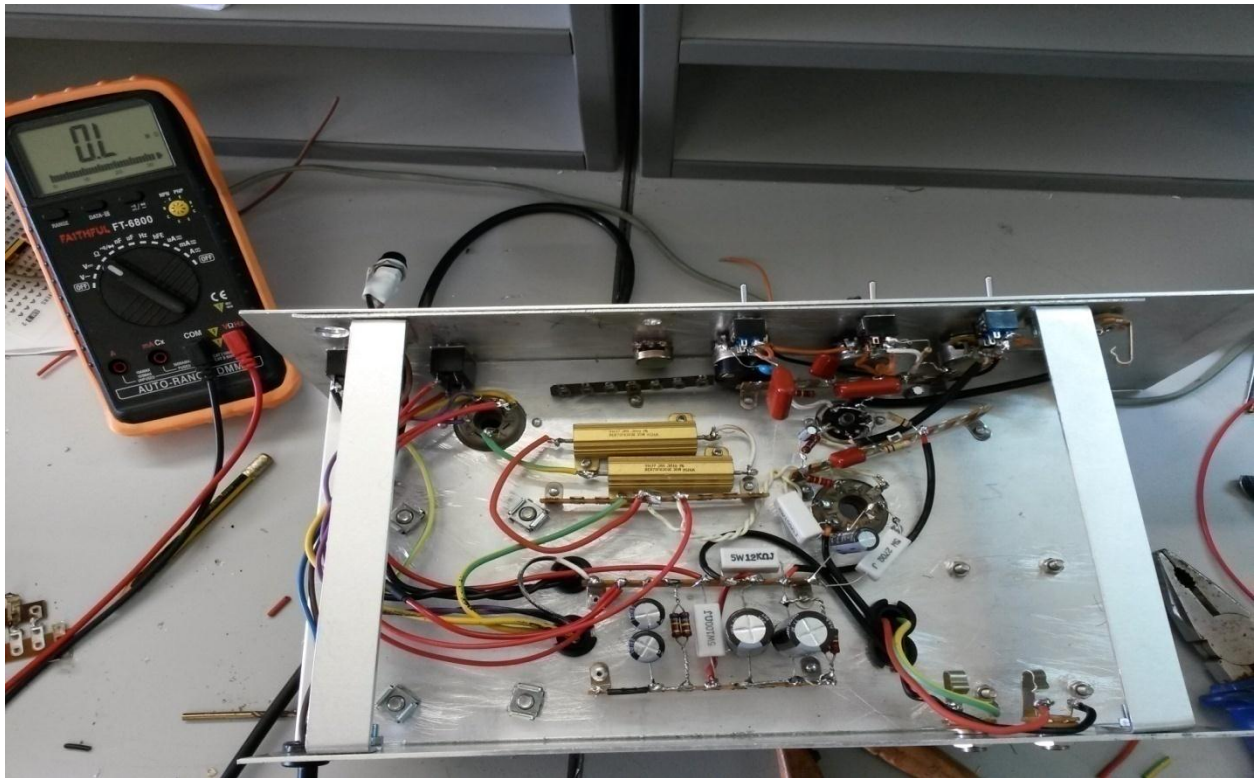
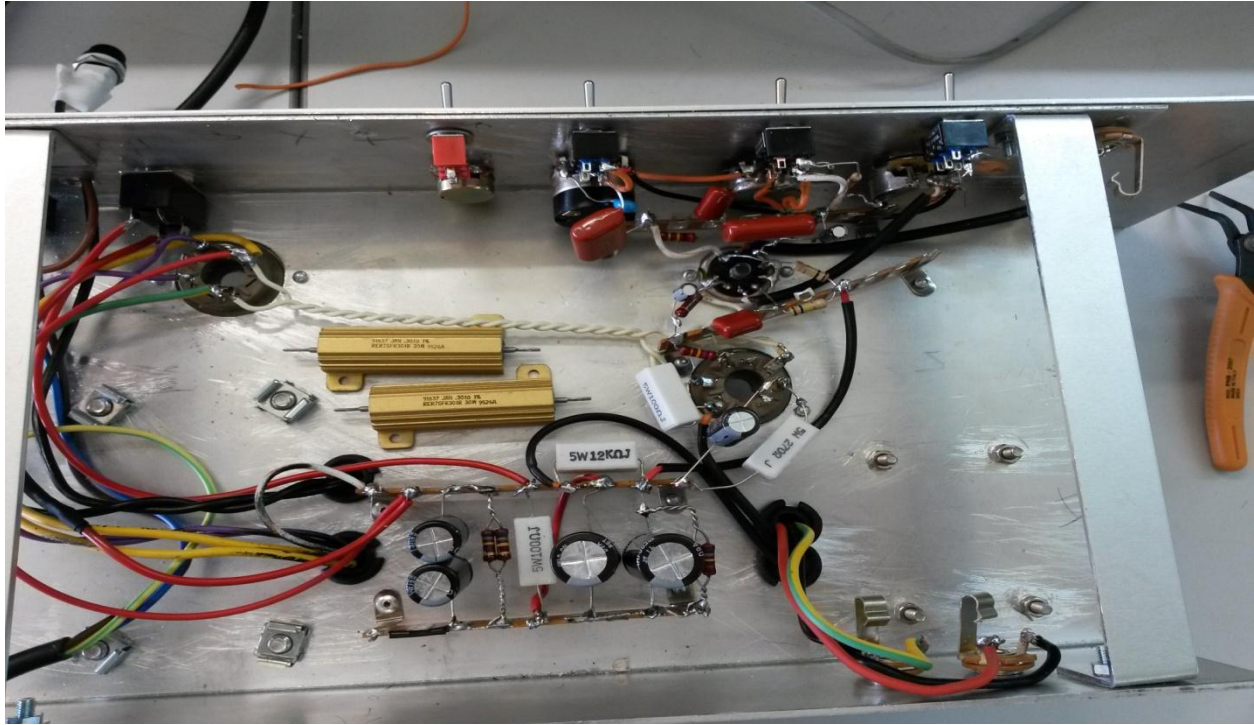
Κατασκευή 5.4: Σχεδιασμός και χάραξη της πρόσοψης.



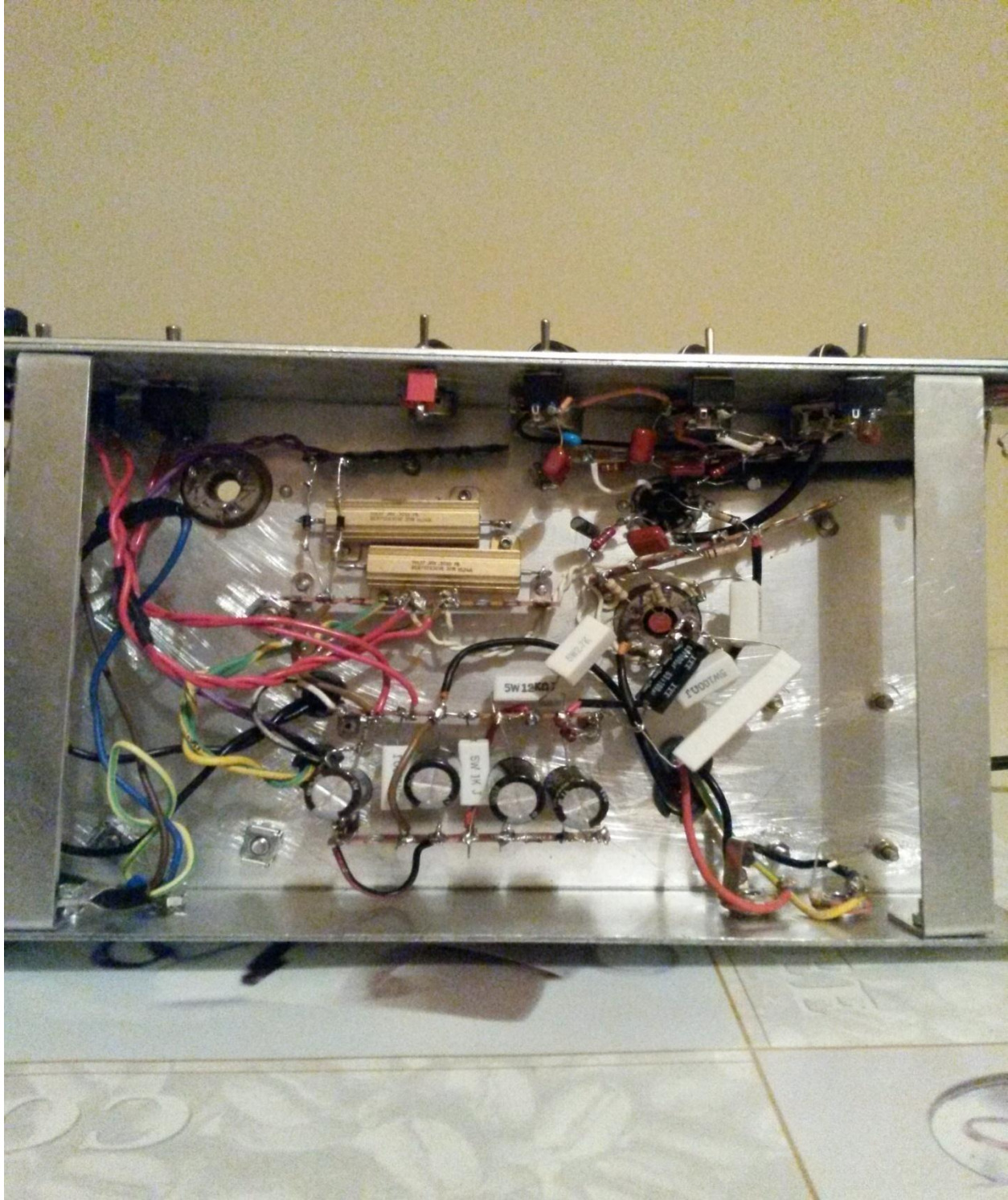
Κατασκευή 5.5: Το κύκλωμα εξομάλυνσης της τροφοδοσίας.



Κατασκευή 5.6: Συνδεσμολογία ανορθώτριας και φίλτρων.



Κατασκευή 5.7: Τελικές συνδέσεις πριν την ολοκλήρωση.



Κατασκευή 5.8: Τελική μορφή του κυκλώματος μετά από διορθώσεις.



Κατασκευή 5.9: Η πρόσοψη του ενισχυτή.





Κατασκευή 5.10: Η Ξυλοκατασκευή.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ΗΧΟΤΕΧΝΙΑ, ΚΟΥΛΟΥΡΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ – ΠΕΤΡΙΔΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΙΩΝ, Τόμος Α' και Β', ΑΘΗΝΑ 2009
- ΡΑΔΙΟΤΕΧΝΙΑ, ΓΕΩΡΓΙΟΥ ΟΔ. ΒΟΥΔΟΥΡΗ, ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ, Τόμος Α' και Β', ΑΘΗΝΑ 1968
- ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ, ΑΝΔΡΕΟΥ Β. ΖΕΡΒΑΚΟΥ, ΑΘΗΝΑ 1975
- ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΗΧΕΙΩΝ, ΓΕΩΡΓΙΟΣ Α. ΣΑΓΟΣ, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΓΙΩΓΓΑΡΑ, 2012
- DESIGN AND CONSTRUCTION OF TUBE GUITAR AMPLIFIERS, ROBERT C. MEGANTZ, TACTEC PRESS, 2009
- THE GUITAR AMP HANDBOOK, DAVE HUNTER, BACKBEAT BOOKS, USA 2005
- THE TUBE AMP BOOK, ASPEN PITTMAN, BACKBEAT BOOKS, USA 2003
- VALVE AMPLIFIERS, MORGAN JONES, ELSEVIER SCIENCE & TECHNOLOGY, UNITED KINGDOM 2011

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ

- http://b52radioactiveandpiratesofgreece.blogspot.gr/2012/01/valves_19.html
- <http://www.drtube.com/library/tube-datasheets>
- <http://ebooks.edu.gr/modules/ebook/show.php/DSGL-C123/487/3182,12880/>
- http://el34world.com/charts/Schematics/files/fender/Fender_Schematics.htm
- http://www.electronics-tutorials.ws/diode/diode_6.html
- http://www.freebytes.com/catalog/product_info.php?products_id=1685
- <http://www.hlektronika.gr/>
- <http://ilektroutomatismoι.blogspot.gr>
- <http://www.r-type.org/static/contents.htm>
- http://www.tubebooks.org/technical_books_online.htm
- http://www.tubebooks.org/tubedata/mullard_tubes.pdf
- http://www.vacuumtubes.net/How_Vacuum_Tubes_Work.htm

TUNG-SOL

DOUBLE TRIODE

MINIATURE TYPE

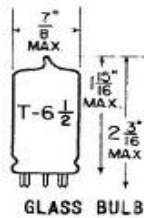
UNIPOTENTIAL CATHODES

HEATER

SERIES
12.6 VOLTS
150 MA.

PARALLEL
6.3 VOLTS
300 MA.

AC OR DC



GLASS BULB



BOTTOM VIEW
SMALL BUTTON
9 PIN BASE

FOR 12.6 VOLT OPERATION APPLY HEATER VOLTAGE BETWEEN PINS #4 AND #5. FOR 6.3 VOLT OPERATION APPLY HEATER VOLTAGE BETWEEN PIN #9 AND PINS #4 AND #5 CONNECTED TOGETHER.

ANY MOUNTING POSITION

THE 12AX7 COMBINES TWO COMPLETELY INDEPENDENT HIGH-MU TRIODES IN THE SMALL 9 PIN BUTTON CONSTRUCTION. IT IS ADAPTABLE TO APPLICATIONS WHERE HIGH VOLTAGE GAIN AND LOW HEATER POWER ARE THE IMPORTANT CONSIDERATION, SUCH AS VOLTAGE AMPLIFIERS, PHASE INVERTERS AND MULTIVIBRATORS. THE CENTER TAPPED HEATER CONNECTION PERMITS OPERATION FROM EITHER A 6.3 VOLT OR 12.6 VOLT SUPPLY AND IN 300 MA. OR 150 MA. SERIES HEATER SERVICE.

DIRECT INTERELECTRODE CAPACITANCES
WITH NO EXTERNAL SHIELD

	TRIODE UNIT 1	TRIODE UNIT 2	
GRID TO PLATE: (G TO P)	1.7	1.7	μf
INPUT: G TO (H + K)	1.6	1.6	μf
OUTPUT: P TO (H + K)	0.46	0.34	μf

RATINGS

INTERPRETED ACCORDING TO RMA STANDARD MB-210

EACH TRIODE UNIT

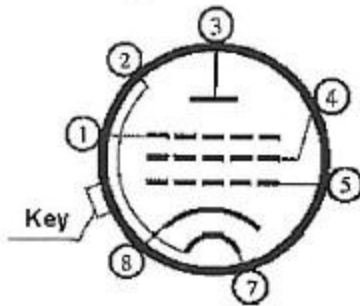
	12.6	6.3	
HEATER VOLTAGE	12.6	6.3	VOLTS
MAXIMUM HEATER-CATHODE VOLTAGE		180	VOLTS
MAXIMUM PLATE VOLTAGE		300	VOLTS
MAXIMUM NEGATIVE DC GRID VOLTAGE		50	VOLTS
MAXIMUM POSITIVE DC GRID VOLTAGE		0	VOLTS
MAXIMUM PLATE DISSIPATION		1	WATT

TYPICAL OPERATING CONDITIONS AND CHARACTERISTICS

CLASS A₁ AMPLIFIER - EACH TRIODE UNIT

	12.6	6.3	12.6	6.3	
HEATER VOLTAGE	12.6	6.3	12.6	6.3	VOLTS
HEATER CURRENT	150	300	150	300	MA.
PLATE VOLTAGE		100		250	VOLTS
GRID VOLTAGE		-1		-2	VOLTS
PLATE CURRENT		0.5		1.2	MA.
PLATE RESISTANCE		80 000		62 500	OHMS
TRANSCONDUCTANCE		1 250		1 600	μMHOS
AMPLIFICATION FACTOR		100		100	

EL34B Tung-Sol



Pin #	Electrode name
1	Grid 3
2,7	Heater
3	Plate
4	Grid 2
5	Grid 1
6	-
8	Cathode

Electrical data

Cathode	Oxide, indirect heating
Heater voltage (AC/DC)	6.3 v
Heater current	1.5 a
Cathode to heater voltage	+/-100 v
Interelectrode capacitance:	
Input (nominal)	15.4 uf
Output (nominal)	8.4 uf
Transfer (nominal)	1.1 uf

Mechanical data

Envelope	Glass balloon, 8pin
Socket	octal
Operating position	Any
Dimensions:	
Maximum height	110 mm
Balloon diameter	31 mm
Maximum weight	60 g

Typical operation

Plate voltage	250 v
2 nd grid voltage	265 v
1 st grid voltage	-13.5 v
Plate current (nominal)	100 ma
2 nd grid current (nominal)	12 ma
Transconductance (nominal)	12 ma/v
Load resistance	2000 ohm
Output power (nominal)	11 w
Non-linear distortion factor (nominal)	9%

Limited values

	min	max
Heater voltage	5.5 v	7.0 v
Plate voltage		800 v
2 nd grid voltage		425 v
1 st grid reverse voltage		-100 v
Cathode current		150 ma
Plate dissipation power		25 w
2 nd grid dissipation power		8 w
Balloon temperature at hottest point		250° C
Grid circuit resistance		
Under fixed bias		0.5 mohm
Under automatic bias		0.7 mohm