

**Α.Τ.Ε.Ι. ΚΡΗΤΗΣ  
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΡΕΘΥΜΝΟΥ  
ΤΜΗΜΑ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ**

## **ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΜΕΛΕΤΗ, ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΝΟΣ  
ΤΕΛΙΚΟΥ ΕΝΙΣΧΥΤΗ ΑΚΟΥΣΤΙΚΩΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ  
ΤΩΝ 100 W**



**ΦΟΙΤΗΤΗΣ: ΠΕΤΡΟΣ ΖΕΙΤΟΥΝΙΑΝ**

**Α.Μ.: 688**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΧΡΗΣΤΟΣ ΧΡΗΣΤΟΥ**

**ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2013**

**Αυτή η πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στο Τμήμα «Μουσικής  
Τεχνολογίας και Ακουστικής».**

## **ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ**

Σκοπός της πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη, η κατασκευή και η αξιολόγηση ενός ενισχυτή ακουστικού σήματος με τρανζίστορ ισχύος 100 w, όπως επίσης και η αναφορά στην αρχή λειτουργίας και τις ιδιότητες του.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος.....	4
Εισαγωγή .....	5
<b>1. Η ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ</b>	
<b>Η ακουστική τεχνολογία.</b>	
1.1 Τι είναι ήχος.....	6
1.2 Ακουστική .....	7
1.3 Συστήματα ήχου.....	9
1.4 Προ ενισχυτής.....	9
1.5 Τελικός ενισχυτής.....	10
<b>2. Ενισχυτές ήχου.</b>	
2.1 Τι είναι ενισχυτής ήχου.....	10
2.2 Μεγάφωνα και ηχεία.....	14
2.3 Γραμμές μεταφορά.....	15
2.4 Τροφοδοσία.....	16
2.5 Μετασχηματιστές.....	16
2.6 Μετασχηματιστές χαμηλών συχνοτήτων.....	17
2.7 Μετασχηματιστές ρεύματος.....	18
2.8 Μετασχηματιστές υψηλής τάσης.....	18
2.9 Τορο-ειδής μετασχηματιστές.....	18
2.10 Ανάλυση τροφοδοτικών .....	19
2.11 Μετασχηματιστής.....	20
2.12 Ανορθωτής.....	21
2.13 Απλή ανόρθωση.....	21
2.14 Διπλή ανόρθωση με γέφυρα.....	22
2.15 Εξομάλυνση.....	23
2.16 Σταθεροποιητή.....	24
3. Τάξεις Λειτουργίας Ενισχυτή .....	26
4. Τρανζίστορ.....	28
5. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ.....	31
6. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	34
7. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΕΝΙΣΧΥΤΗ.....	40
8. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ .....	56
9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	60
10. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ.....	61
11. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ, ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	62
12. DATASHEET .....	63

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ενισχυτής ονομάζεται κάθε διάταξη με ενεργά στοιχεία ,η οποία δέχεται στην είσοδο της ένα ηλεκτρικό σήμα και το εμφανίζει στην έξοδο της με την ίδια μορφή, αλλά με ισχύ μεγαλύτερη από αυτήν της εισόδου.

Ένας ενισχυτής είναι μια σύνθετη συσκευή που αποτελείται από έναν αριθμό ενισχυτικών βαθμίδων τοποθετημένων σε σειρά, μέσα από τις οποίες το σήμα περνάει διαδοχικά, ώστε να αυξηθεί η ισχύς του.

Τα δύο βασικά στάδια που απαρτίζουν ένα ενισχυτή είναι ο προ-ενισχυτής (preamplifier) και ο τελικός ενισχυτής ή ενισχυτής ισχύος (power amplifier).

Οι ενισχυτές αρχικά, βασίστηκαν στις λυχνίες κενού, οι οποίες αποτέλεσαν για αρκετές δεκαετίες και το μοναδικό εξάρτημα ενίσχυσης που είχε στη διάθεση της η τεχνολογία. Η εμπορική εξάπλωση των transistors, αρχικά με την μορφή διπολικών transistor (b.j.t bipolar junction transistor) και στην συνέχεια με τη μορφή των transistor επίδρασης πεδίου (f.e.t. : field effect transistors), μείωσε το κόστος κατασκευής, αύξησε την αξιοπιστία και βοήθησε στην εξάπλωση των καταναλωτικών ηλεκτρονικών και κατ' επέκταση των στερεοφωνικών ενισχυτών.

Τις τρεις τελευταίες δεκαετίες έγινε ένα ακόμα βήμα εξέλιξης στους ενισχυτές, με την καθιέρωση της ευρείας χρήσης των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, τα οποία μείωσαν ακόμα περισσότερο το κόστος και προσέφεραν ακόμα μεγαλύτερη αξιοπιστία, σημειώνοντας ταυτόχρονα θεαματική μείωση του μεγέθους των συσκευών.

# ΕΙΣΑΓΩΓΗ

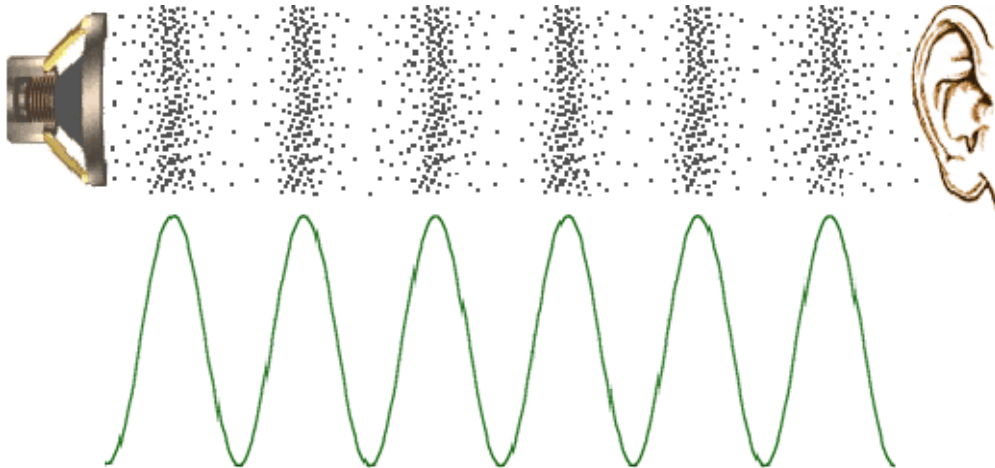
## ΓΙΑ ΤΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΓΕΝΙΚΑ

Ο τελικός ενισχυτής αυξάνει την ισχύ του σήματος που δέχεται στη είσοδο του, με έξοδο ισχύος 2x100Watt. Για τη λειτουργία του, απαιτείται ηλεκτρικό ρεύμα τάσεως 220 volt καθώς επίσης και χρήση κατάλληλων μετασχηματιστών που λειτουργούν με εύρος τάσης από  $\pm 40V$  στα 8A . Στη βαθμίδα εισόδου δέχεται ένα σήμα τύπου line .Ο τελικός ενισχυτής ισχύος με έξοδο δύο καναλιών, λειτουργεί με βάση τα τρανζίστορ υψηλής απόδοσης κατηγορίας A ,με πολύ χαμηλή απαγωγή. Ο ενισχυτής καλύπτει ακουστικό φάσμα από 20Hz έως 16KHz. Όλα τα εξαρτήματα περικλείονται σε μια αλουμινένια κατασκευή σε μορφή ορθογώνιου κουτιού.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## 1.1 Τι είναι ήχος.

Αυτό που εμείς οι άνθρωποι αντιλαμβανόμαστε ως «ήχο» δεν είναι παρά μεταβολές της πίεσης του αέρα, ικανότητα την οποία απέκτησε το είδος μας (μαζί με άλλα είδη ταυτόχρονα) ώστε να μπορεί να εντάσσεται καλύτερα στο περιβάλλον του. Οι ήχοι τους οποίους ακούμε καθημερινά είναι συνήθως πολύπλοκοι γιατί αποτελούνται από πολλές διαφορετικές συχνότητες. Ο πιο απλός τρόπος παραγωγής ενός ήχου μίας μόνο συχνότητας είναι το διαπασών. Η ταλάντωση των μεταλλικών στελεχών του διαπασών με σταθερή συχνότητα μεταφέρει την παλμική κίνηση στον αέρα με τη μορφή πίεσης, δημιουργώντας ένα κύμα πίεσης. Το κύμα αυτό είναι διάμηκες και όχι εγκάρσιο, δηλαδή η ταλάντωση λαμβάνει χώρα παράλληλα στην διεύθυνση διάδοσης του κύματος και όχι κάθετα σε αυτή, όπως συμβαίνει για παράδειγμα με τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα και το φως. Το κύμα αυτό διαδίδεται με ταχύτητα 340 μέτρων το δευτερόλεπτο και μεταφέρει τις μεταβολές της πίεσης του αέρα. Είναι προφανές ότι χωρίς αέρα δεν νοείται πίεση και έτσι ο ήχος είναι αδύνατο να διαδοθεί στο κενό.



Εικόνα 1,1 : Οι μεταβολές στην πίεση του αέρα και η αντίστοιχη  
Κύματα μορφή ήχου

Σταδιακά ο άνθρωπος απέκτησε την ικανότητα να αντιλαμβάνεται τις μεταβολές αυτές της πίεσης και να αποκωδικοποιεί το περιεχόμενό τους, μέσω των αυτιών. Το σχήμα των αυτιών είναι εκπληκτικό: η τοποθέτηση του πτερυγίου επιτρέπει την διάκριση των ήχων που έρχονται από το μπροστινό μέρος που βρίσκεται ο άνθρωπος από αυτούς που έρχονται από πίσω, ενώ σε συνδυασμό με τον υπόλοιπο λοβό δημιουργείται ένας από τους καλύτερους ενισχυτές που υπάρχουν. Επίσης, ο ανθρώπινος εγκέφαλος έχει την ικανότητα να συγκρίνει την χρονική διαφορά με την οποία ένας ήχος φτάνει στο κάθε αυτί, οπότε και να συμπεράνει την απόσταση από την οποία προέρχεται. Αυτή ήταν μία από τις σημαντικότερες άμυνες του ανθρώπου απέναντι στους κυνηγούς του, γι' αυτό και από πολύ νωρίς εξελίχθηκαν δύο αυτιά και όχι μόνο ένα. Το ανθρώπινο αυτί μπορεί να αντιληφθεί ήχους από 20Hz περίπου μέχρι και 20kHz. Οι ήχοι υψηλότερων συχνοτήτων δεν γίνονται αντιληπτοί και ονομάζονται υπέρηχοι.

Η φωνητικές χορδές επιτελούν την ακριβώς αντίστροφη διαδικασία. Πάλλονται με πολύ συγκεκριμένο τρόπο κατά το πρότυπο του διαπασών ώστε να παραχθούν ανάλογοι ήχοι διαφορετικών συχνοτήτων, ώστε με την κατάλληλη εξάσκηση αποκτάται η ικανότητα της ομιλίας.

## 1.2 Η ακουστική τεχνολογία.

Ακουστική είναι η επιστήμη της συμπεριφοράς των ηχητικών κυμάτων . Μελετά την παραγωγή, διάδοση και λήψη των εν λόγω κυμάτων από το ανθρώπινο αυτί . Είναι επίσης η επιστήμη που ασχολείται επισταμένως με όλα γενικά τα μηχανικά κύματα, τα οποία εκτείνονται πέρα από το ακουστικό φάσμα του ανθρώπινου αυτιού και ως εκ τούτου δεν γίνονται αντιληπτά .

Τέτοια κύματα είναι :

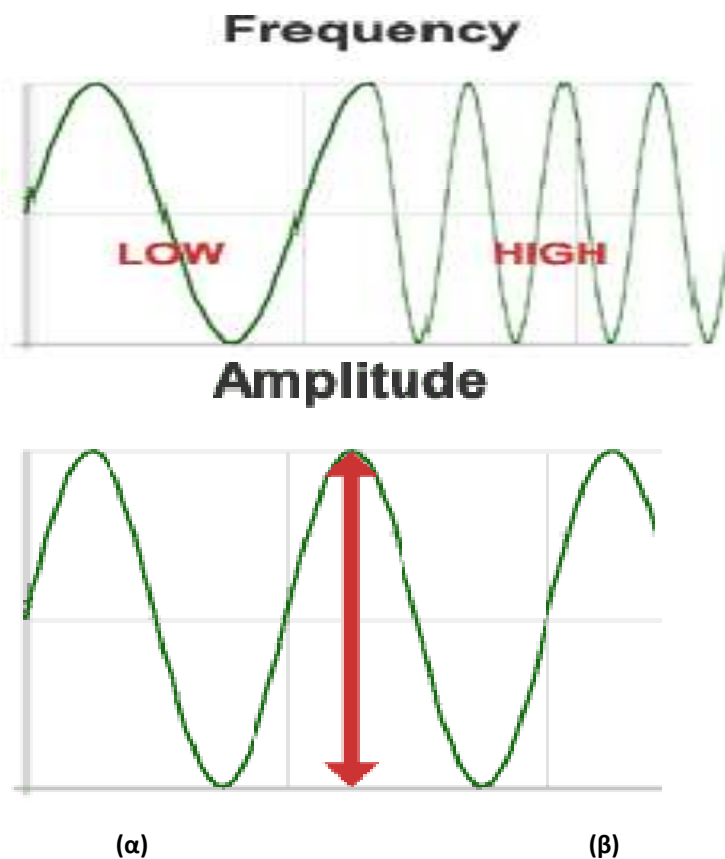
- α) Τα χαμηλής συχνότητας κύματα που παράγονται από τους σεισμούς ( υποηχητικά κύματα)
- β) Για υψηλής συχνότητας ή υπερηχητικά κύματα καθώς και οι ταλαντώσεις των ατόμων στα στερεά σώματα

Η Ακουστική είναι εξαιρετικά σημαντική:

α) Στο λόγο και στην ακρόαση (ραδιοφωνικά studio , θεατρικές αίθουσες, συνεδριακούς χώρους)

β) Στην μουσική (παραγωγή και ακρόαση ) σε studio ηχογράφησης και αίθουσες συναυλιών.

Χώροι σαν τους προαναφερθέντες , κατασκευασμένοι χωρίς να έχουν προηγηθεί μελέτες που αφορούν την ακουστική κλειστών χώρων , είναι σχεδόν βέβαιο ότι θα δημιουργήσουν απαράδεκτες συνθήκες ακρόασης με αποτέλεσμα ένα δυσάρεστο ακουστικό συναίσθημα στο ακροατήριο. Μερικά από τα προβλήματα που δημιουργούνται είναι ηχώ, στάσιμα κύματα , τυχαίες ανακλάσεις των ηχητικών κυμάτων , χρωματισμός του ήχου που οφείλεται σε ανεπιθύμητους συντονισμούς στην αίθουσα κ.ά..



(α) (β)  
Εικόνα 1.2 : α) Χαμηλή και υψηλή συχνότητα σε ηχητικό κύμα. β) Το πλάτος κύματος ήχου.



### 1.3 Συστήματα ήχου.

Ένα βασικό ηχητικό σύστημα το οποίο απαρτίζεται από:

- A) Την πηγή (CD player)
- B) Τον προ ενισχυτή
- Γ) Τον τελικό ενισχυτή (ισχύος)
- Δ) Τα ηχεία
- E) Τις γραμμές μεταφοράς (καλώδια)

#### 1.3.1 Πηγές σήματος ήχου.

Στην περίπτωση του ήχου πρόκειται για μια συσκευή αναπαραγωγής ψηφιακών δίσκων (cd). Στη θέση αυτής θα μπορούσε να είναι κάποια άλλη συσκευή όπως ένα μικρόφωνο ή η έξοδος ήχου χαμηλής στάθμης (audio line out) ενός DVD-player ή η ίδια έξοδος ενός δορυφορικού δέκτη κα.. Η στάθμη του ήχου στην έξοδο των προαναφερθέντων συσκευών, πλην του μικροφώνου, κυμαίνεται στην περιοχή των 100 millivolt ενώ η ισχύς του σήματος αυτού είναι της τάξης των milliwatt. Επειδή τα σήματα αυτά είναι χαμηλής ισχύος λέγονται και ασθενή σήματα. Ένα κοινό μικρόφωνο, όχι πυκνωτικό, παρέχει στάθμη εξόδου ακόμα χαμηλότερη περίπου 1 millivolt ενώ έχει και σημαντικά μικρότερη αντίσταση εξόδου, της τάξης του 1KΩ.

### 1.4 Προ-ενισχυτής (preamplifier):.

Ένας προ ενισχυτής είναι ένας ηλεκτρονικός ενισχυτής που προετοιμάζει ένα μικρό ηλεκτρικό σήμα για περαιτέρω ενίσχυση ή μεταποίηση. Ο προ ενισχυτής συχνά τοποθετείται κοντά στο αισθητήρα για να μειωθούν οι επιπτώσεις του θορύβου και των παρεμβολών. Χρησιμοποιείται για να ενισχύσει το σήμα μέσω καλωδίου σαν κύριο μέσο, χωρίς να αλλάζει σημαντικά την αναλογία σήματος προς θόρυβο (SNR). Η απόδοση θορύβου του προ-ενισχυτή είναι κρίσιμη. Σύμφωνα με τον τύπο του Friis, όταν η απολαβή του προ ενισχυτή είναι υψηλή, το SNR του τελικού σήματος προσδιορίζεται από το SNR του σήματος εισόδου και το σχήμα του θορύβου του προ-ενισχυτή. Σε ένα σύστημα ήχου, ο δεύτερος ενισχυτής είναι τυπικά ένας ενισχυτής ισχύος. Ο προ ενισχυτής παρέχει τάση κέρδους. Ο ενισχυτής ισχύος παρέχει την υψηλότερη τάση ρεύματος που απαιτείται για να οδηγήσει ηχεία.

## 1.5 Τελικός Ενισχυτής (Power Amplifier):

Ρόλος του είναι να ενισχύσει το εναλλασσόμενο ηλεκτρικό σήμα του ήχου που δέχεται στην είσοδό του, χωρίς όμως να το αλλοιώσει. Η ενίσχυση αυτή είναι απαραίτητη γιατί το ασθενές σήμα δεν είναι ικανό να διεγείρει το ηχείο. Από το πόσο «δυνατός» είναι ο τελικός ενισχυτής εξαρτάται και το πόσο δυνατά θα ακούμε τον ήχο. Ακόμα, όσο πιο ισχυρός είναι, τόσο μεγαλώνουν οι διαστάσεις του, το βάρος του αλλά και οι απαιτήσεις του σε ισχύ. Έτσι, ανάλογα με την εφαρμογή, συναντάμε ενισχυτές ισχύος διαφόρων μεγεθών. Οι περισσότεροι οικιακοί ενισχυτές ήχου ενσωματώνουν στην ίδια συσκευή προενισχυτή και τελικό ενισχυτή. Οι ενισχυτές αυτοί ονομάζονται ολοκληρωμένοι ενισχυτές.

## 2. Ενισχυτές ήχου.

### 2.1 Τι είναι ενισχυτής ήχου.

*Η διάταξη, που στην είσοδό της δέχεται ένα σήμα ακουστικής συχνότητας (20Hz έως 20KHz) και στην έξοδό της παρέχει ένα άλλο σήμα με πολύ μεγαλύτερο κατ' αρχήν πλάτος και ίδια ή ανάλογα τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του προς το σήμα εισόδου, ονομάζεται ενισχυτής ακουστικών συχνοτήτων ή ενισχυτής ήχου (audio amplifier).*

Το «πλάτος» που αναφέρεται στον παραπάνω ορισμό παραπέμπει ίσως στο μέγεθος «τάση». Άρα είναι λογικό να θεωρήσει κανείς ότι οι ενισχυτές ήχου είναι αποκλειστικά ενισχυτές τάσης. Λοιπόν, αυτό δεν ισχύει, τουλάχιστον για την κατηγορία των τελικών ενισχυτών, στην οποία κατατάσσεται και ο ενισχυτής ήχου της παρούσας κατασκευής. Οι τελικοί ενισχυτές ήχου μπορούν κατά κανόνα να δώσουν ένα μέτριο μόνο κέρδος τάσης αλλά σημαντικό κέρδος ρεύματος. Αυτός είναι ο λόγος που οι τελικοί ενισχυτές ήχου ανήκουν στην κατηγορία των ενισχυτών ισχύος.

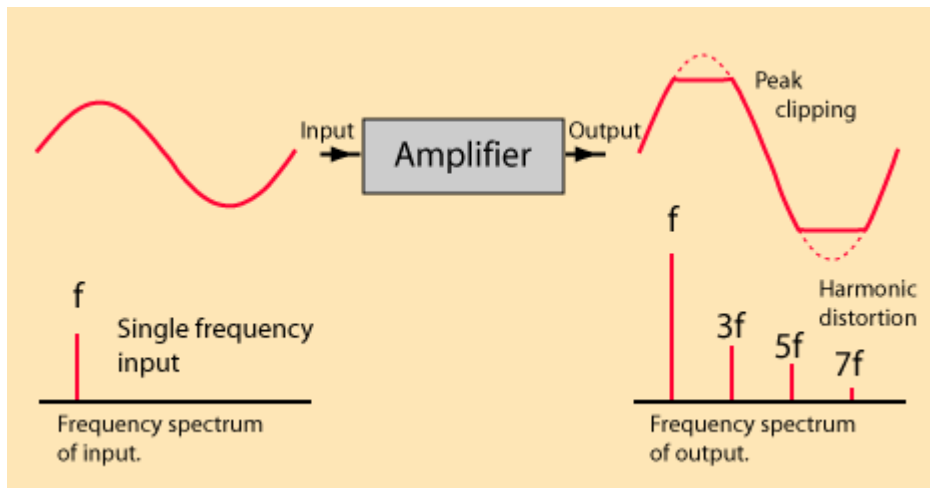
### Χαρακτηριστικά μεγέθη ενισχυτών.

Οι ενισχυτές ισχύος χαρακτηρίζονται από κάποια μεγέθη, σύμφωνα με τα οποία εμείς μπορούμε να αντιληφθούμε την ποιότητα και την εφαρμογή του κάθε ενός ενισχυτή.

Τα πιο σημαντικά από αυτά είναι τα παρακάτω:

**Μέγιστη ισχύς εξόδου (Total Output Power):** Όπως καταλαβαίνουμε από το όνομα, πρόκειται για την 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, σχεδόν πάντα, η ισχύς δίδεται για ηχείο δεδομένης αντίστασης. Π.χ. στον ίδιο ενισχυτή θα δούμε να αναγράφεται: 100W /8W ή 180W / 4W. Αυτό σημαίνει ότι ο συγκεκριμένος ενισχυτής μπορεί να δουλέψει με ηχείο αντίστασης 8 Ohm ή 4 Ohm. Στην πρώτη περίπτωση η μέγιστη ισχύς εξόδου του είναι 100 Watt ενώ στη δεύτερη ανέρχεται στα 180 Watt. Αυτό βέβαια δε σημαίνει ότι προκειμένου να πετύχουμε περισσότερη ισχύ μπορούμε να συνδέσουμε ηχείο χαμηλότερης αντίστασης από 4 Ohm, διότι αυτό θα μπορούσε να προκαλέσει επικίνδυνη αύξηση της θερμοκρασίας του ενισχυτή και ενδεχομένως την καταστροφή του.

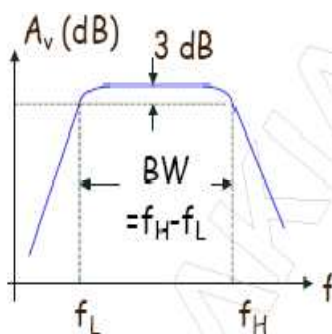
**Ολική Αρμονική Παραμόρφωση (Total Harmonic Distortion ή THD):** Όταν ενισχύεται ένα σήμα, θα πρέπει να προσέχουμε ώστε η πληροφορία που περιέχεται σε αυτό να μην μεταβάλλεται αλλά και καμία καινούρια πληροφορία να μην προστίθεται. Όταν τροφοδοτούμε ένα σήμα σε έναν ενισχυτή, θέλουμε το σήμα στην έξοδο του ενισχυτή να είναι ακριβές αντίγραφο αυτού της εισόδου έχοντας φυσικά μεγαλύτερο πλάτος. Με άλλα λόγια, θέλουμε οι διακυμάνσεις της κύματα μορφής εξόδου να είναι ταυτόσημες με αυτές της κυματομορφής εισόδου. Κάθε αλλαγή στην κυματομορφή θεωρείται παραμόρφωση και είναι προφανώς ανεπιθύμητη. Η THD είναι μία έκφραση του κατά πόσο έχει παραμορφωθεί το σήμα εισόδου στην έξοδο του ενισχυτή, λόγω της εισαγωγής ανεπιθύμητων συχνοτήτων που είναι πολλαπλάσια της βασικής συχνότητας (βλ. εικόνα 2.1). Στην εικόνα φαίνεται καταρχήν ένα καθαρό ημίτονο το οποίο στην έξοδο έχει υποστεί ψαλιδισμό, λόγω μη γραμμικότητας των στοιχείων του ενισχυτή. Το αποτέλεσμα είναι να δημιουργηθούν περιττές αρμονικές συχνότητες, μιας και το σήμα εξόδου μοιάζει περισσότερο με τετραγωνικό παλμό παρά με ημίτονο.



Εικόνα 2.1: Η συχνότητα ενισχύεται αλλά παράγονται αρμονικές.

Η THD μετριέται σε ποσοστό επί τοις εκατό ενώ για ένα ενισχυτή hi-fi έχει τιμή πολύ μικρότερη του 1%. Ένας ιδανικός ενισχυτής έχει THD=0%.

Απόκριση συχνοτήτων (Frequency Response): Δείχνει το κατά πόσο ο ενισχυτής είναι ικανός να ενισχύσει το ίδιο όλες τις συχνότητες του ακουστικού φάσματος. Συνήθως τη συναντάμε σαν μία καμπύλη, όπου στον οριζόντιο άξονα υπάρχει η συχνότητα και στον κάθετο η ενίσχυση. Στην ιδανική περίπτωση η καμπύλη αυτή πρέπει να είναι επίπεδη για την περιοχή 5Hz έως 25KHz. Στην πραγματικότητα όμως το εύρος συχνοτήτων (Bandwidth) για το οποίο θεωρούμε ότι η ενίσχυση είναι σταθερή βρίσκεται μεταξύ των τομών της χαρακτηριστικής για απολαβή ίση με το 0,707 της μέγιστης ή  $A_{max}-3dB$  (βλ. σχήμα 2.2).



Εικόνα 2.2 : Καμπύλη απόκρισης συχνοτήτων.  
 ανώτερη συχνότητα αποκοπής.  
 κατώτερη συχνότητα αποκοπής.

**Ευαισθησία εισόδου (Input Sensitivity):** Η στάθμη του σήματος που απαιτείται στην είσοδο του ενισχυτή ώστε αυτός να αναπτύξει πλήρη ισχύ στην έξοδό του. Αυτό εξαρτάται από την απολαβή (gain) και την ολική ισχύ του ενισχυτή. Για παράδειγμα, ένας ενισχυτής 10W χρειάζεται να έχει πολύ μικρότερη ενίσχυση από έναν ενισχυτή 200W για να δώσει τη μέγιστη ισχύ του, υπό το ίδιο σήμα εισόδου. Θα ήταν χρήσιμο αν όλοι οι ενισχυτές είχαν την ίδια ενίσχυση ανεξάρτητα από την ισχύ τους αλλά δυστυχώς αυτό δεν συμβαίνει. Γι' αυτό η ευαισθησία εισόδου ποικίλει ευρέως από 0,5 έως 1,5 volt ή περισσότερο.

**Απόδοση ισχύος (power efficiency):** Ορίζεται σαν το λόγο της ηλεκτρικής ισχύος που παρέχεται στο ηχείο από τον ενισχυτή προς την ισχύ που απορροφά ο ενισχυτής από το τροφοδοτικό (%). Στο παράδειγμα της παραπάνω εικόνας για να τροφοδοτήσουμε το μεγάφωνο με 100 ηλεκτρικά βατ πρέπει να καταναλωθούν εξ' αρχής 180 βατ! Αυτό οφείλεται στον βαθμό απόδοσης του ενισχυτή (60%) σε συνδυασμό με τον βαθμό απόδοσης του τροφοδοτικού του (90%). Ποιες είναι όμως οι συνέπειες από τον χαμηλό αυτό βαθμό απόδοσης; Αν τα πάρουμε από την αρχή, βλέπουμε ότι επιβαρύνεται άσκοπα το δίκτυο ηλεκτροδότησης με δυσάρεστα για την τσέπη μας αποτελέσματα, ειδικά όταν έχουμε να κάνουμε με συναυλία δηλαδή με χώρους όπου η συνολική ισχύς των τελικών ενισχυτών ανέρχεται σε χιλιάδες βατ! Εκτός από αυτό, είναι ανάγκη να χρησιμοποιηθούν ογκώδη τροφοδοτικά. Ειδικότερα, πρόκειται για μεγάλους, βαριούς μετασχηματιστές και μεγάλης χωρητικότητας ηλεκτρολυτικούς πυκνωτές, πράγμα που σημαίνει την κατακόρυφη αύξηση του ολικού κόστους κατασκευής αλλά και την ανάγκη για μεγάλα κουτιά που θα φιλοξενήσουν τα παραπάνω. Στα δύο παραπάνω, κόστος και όγκο, συμβάλουν κατά πολύ οι ογκώδεις ψήκτρες, απαραίτητες για την απαγωγή της θερμότητας από τα εξαρτήματα του ενισχυτή. Στην ψύξη βέβαια συμβάλλουν και ανεμιστήρες που συνήθως είναι θορυβώδεις κατά την λειτουργία τους.

## 2.2 Μεγάφωνα και ηχεία.

Τα μεγάφωνα αποτελούν την τελευταία βαθμίδα ενός συστήματος. Στην είσοδο τους λαμβάνουν το ηλεκτρικό σήμα και το μετατρέπουν σε ηχητική ενέργεια.

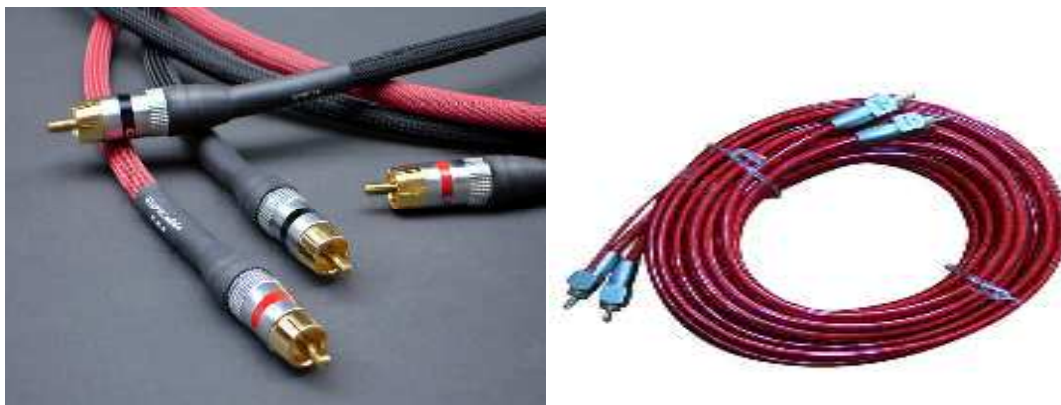


Εικόνα 2.3 : μεγάφωνο

Το μεγάφωνο είναι μια ηλεκτρομηχανική διάταξη της οποίας σκοπός είναι να μετατρέψει το ηλεκτρικό σήμα που έρχεται από τον ενισχυτή σε ωστικά κύματα του αέρα, τα οποία το αυτί μας αντιλαμβάνεται σαν ήχο. Όταν το ρεύμα του ενισχυτή ρέει μέσα στο πηνίο φωνής (voice coil), αυτό παράγει ένα μαγνητικό πεδίο που αλληλεπιδρά με αυτό του μόνιμου μαγνήτη (magnet). Έτσι υποχρεώνεται το πηνίο σε κίνηση μαζί με τον κώνο, ή διάφραγμα (diaphragm), αφού τα δυο αυτά είναι σταθερά ενωμένα μεταξύ τους. Το πόσο θα μετατοπιστεί ο κώνος και σε ποια κατεύθυνση εξαρτάται από την ένταση και την πολικότητα, αντίστοιχα, του ρεύματος που διαρρέει το πηνίο. Ένα μεγάφωνο δεν μπορεί να αναπαράγει όλες τις ακουστικές συχνότητες το ίδιο αξιόπιστα. Κάθε ένα από αυτά χαρακτηρίζεται από μια καμπύλη απόκρισης συχνοτήτων, η οποία βρίσκεται μέσα στο ακουστικό φάσμα αλλά δεν δείχνει την ίδια απόδοση για όλο αυτό φάσμα. Έτσι έχουμε μεγάφωνα χαμηλών συχνοτήτων (woofer), μεσαίων συχνοτήτων (midrange), υψηλών συχνοτήτων (tweeter) και τις παραλλαγές τους (εικόνα 2.3). Συνήθως, τα μεγάφωνα στηρίζονται σε κλειστά κουτιά τα οποία φιλοξενούν δύο, τρεις ή περισσότερους τύπους μεγάφωνων (δυο, τριών, κλπ. δρόμων), ώστε να επιτυγχάνεται καλύτερο ακουστικό αποτέλεσμα. Τα κουτιά αυτά ονομάζονται ηχεία και τα βρίσκουμε σε διάφορα μεγέθη ανάλογα με τη χρήση τους.

## 2.3 Γραμμές μεταφοράς

Τα ασθενή σήματα του ήχου είναι πολύ ευαίσθητα στις ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές και γενικότερα στο θόρυβο. Τα καλώδια που μεταφέρουν αυτά τα σήματα είναι ομοαξονικά, καμιά φορά με διπλή θωράκιση, ενώ σαν κατασκευές είναι πολύ εύκαμπτα.



Εικόνα 2.4 : Καλώδια ασθενών σημάτων με βύσματα τύπου RCA

Οι τελικοί ενισχυτές παρέχουν αρκετό ρεύμα στα ηχεία που συνήθως βρίσκονται αρκετά μέτρα μακριά του. Πρέπει λοιπόν τα καλώδια που μεταφέρουν τα ισχυρά σήματα να είναι μεγάλης διατομής και από εξαιρετικά αγώγιμο υλικό, ώστε η αντίστασή τους να μειωθεί στο ελάχιστο και μαζί με αυτήν οι απώλειες στα καλώδια. Εξίσου σημαντικά για μια καλή ποιότητα στον ήχο είναι τα σημεία σύνδεσης των καλωδίων. Αυτά είναι κατασκευασμένα από υλικά που εκτός του ότι έχουν πολύ μικρή αντίσταση, είναι ανθεκτικά στην υγρασία και στις συνέπειες από την πάροδο του χρόνου. Επίσης, αντέχουν στις καταπονήσεις από τριβές όταν συνδέουμε και αποσυνδέουμε καλώδια. Έτσι πολύ συνηθισμένα είναι τα επίχρυσα βύσματα και ακροδέκτες.

## 2.4 Τροφοδοσία

Ο ενισχυτής τροφοδοτείται με τάση 220 Volt ,και συχνότητα 50 Hz. Με την χρήση κατάλληλων τορο ειδών μετασχηματιστών τροφοδοτούμε τις βαθμίδες με την τάση λειτουργίας που χρειάζονται. Η τάση 220 Volt διανέμετε σε ένα μετασχηματιστές με της ακόλουθες εξόδους για την παροχή 40 Volt που χρειάζεται ο ενισχυτής ισχύος για την δημιουργία συμμετρικής τροφοδοσίας.

## 2.5 Μετασχηματιστές



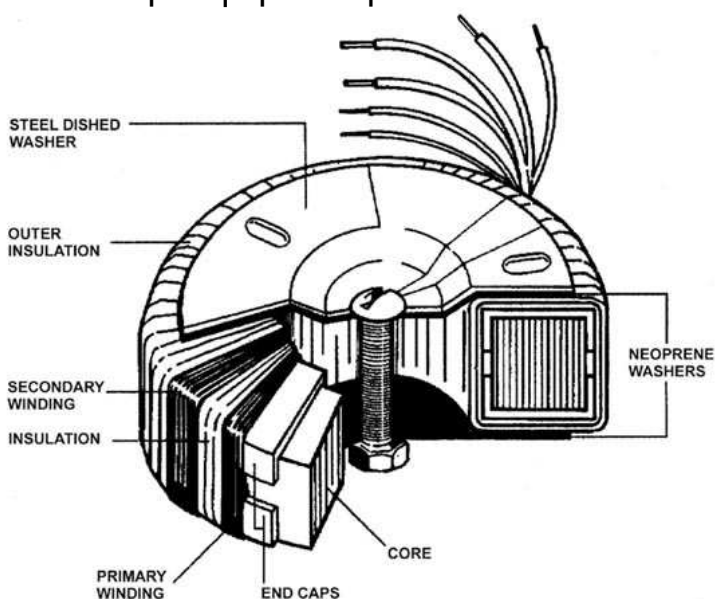
Εικόνα 2.4 : τορο-ειδής Μετασχηματιστής

### 2.5.1 Έννοια του μετασχηματιστή - Αρχή λειτουργίας

- Οι μετασχηματιστές είναι διατάξεις πηνίων, όπου με την ιδιότητα του φαινομένου της αυτεπαγωγής πετυχαίνουμε μετασχηματισμό της τάσης και του ρεύματος από μια εναλλασσόμενη πηγή τάσης. Ένας απλός μετασχηματιστής αποτελείται από δύο πηνία, όπου το ένα ονομάζεται πρωτεύον πηνίο και το άλλο δευτερεύον πηνίο. Στο πρωτεύον πηνίο οδηγείται η τάση που θέλουμε να μετασχηματίσουμε και στο δευτερεύον πηνίο λαμβάνουμε την επιθυμητή τάση. Ο σίδηρο πυρήνας αποτελεί βασικό στοιχείο του μετασχηματιστή, καθώς αυξάνει την αυτεπαγωγή των πηνίων και κατά συνέπεια τον πολλαπλασιασμό της μαγνητικής ροής του πηνίου.



- Εάν εφαρμοστεί εναλλασσόμενη τάση στο πρωτεύον τύλιγμα ενός μετασχηματιστή, η μεταβολή του ρεύματος έχει σαν συνέπεια την μεταβολή της μαγνητικής ροής στο δευτερεύον τύλιγμα, με αποτέλεσμα την εμφάνιση ηλεκτρεγερτικής δύναμης στα άκρα του δευτερεύοντος του μετασχηματιστή. Η τάση και το ρεύμα στο δευτερεύον τύλιγμα του μετασχηματιστή εξαρτάται από το πάχος του σύρματος των πηνίων, τον αριθμό στροφών των πηνίων και το μέγεθος του σιδήρου πυρήνα. Το μπροστινό πλαίσιο από επιχρισμένο αλουμίνιο, η ενιαία μονάδα με αποσπώμενη μάσκα που είναι ανθεκτικότερη από ποτέ και τα στηρίγματα με διπλή απόσβεση κραδασμών.



Εικόνα 2.6 Μετασχηματιστές ήχου μικρής ισχύος για ενισχυτές push pull

## 2.6 Μετασχηματιστές χαμηλών συχνοτήτων

Οι μετασχηματιστές χαμηλών συχνοτήτων χρησιμοποιούνται για να λειτουργούν σωστά σε όλο το ακουστικό φάσμα από 16HZ έως 16KHZ. Χρησιμοποιούνται συνήθως ως μετασχηματιστές εξόδου σε ενισχυτές τάξης A 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 πολλοί παράγοντες, όπως όρια συχνοτήτων, παρασιτικές χωρητικότητες, κτλ.

## 2.7 Μετασχηματιστές ρεύματος

Οι μετασχηματιστές ρεύματος αποτελούνται από δύο πηνία, το πρωτεύον και το δευτερεύον και έναν σίδηρο πυρήνα, 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.

## 2.8 Μετασχηματιστές υψηλής τάσης

Οι μετασχηματιστές Υ.Τ. είναι μικρής ισχύος και χρησιμοποιούνται στους δέκτες τηλεόρασης 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 σκέλος του πυρήνα περιελίσσονται το πρωτεύον και δύο άλλα 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. Τέλος εμποτίζεται σε πολυεστέρα και τοποθετείται μέσα σε θήκη από πολύ καρβονικό υλικό. Στην τελική μορφή του καλύπτεται ξανά με πολυεστέρα.

## 2.9 Τοροειδής μετασχηματιστές

Ένας τορο-ειδής μετασχηματιστής ανήκει στην κατηγορία των μετασχηματιστών τροφοδοσίας, όπου η κατασκευαστική του μορφή είναι διαφορετική από την συνήθη κατασκευή των μετασχηματιστών με σίδηρο πυρήνα. 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 σίδηρο πυρήνα, 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, (προ ενισχυτές, ενισχυτές, κτλ), χρησιμοποιούν τορο-ειδής μετασχηματιστές.

## 2.10 Ανάλυση τροφοδοτικών (Μετασχηματιστής, Ανόρθωση, Εξομάλυνση, Σταθεροποίηση)

### Τύποι τροφοδοτικών

Υπάρχουν πολλοί τύποι τροφοδοτικών. Τα περισσότερα είναι σχεδιασμένα να μετατρέπουν υψηλή τάση AC σε μία κατάλληλη χαμηλότερη ώστε να τροφοδοτήσουμε ηλεκτρονικά κυκλώματα και συσκευές. Το σύνολο του τροφοδοτικού μπορεί να απεικονιστεί σε μπλοκ διάγραμμα όπως φαίνεται παρακάτω.



Μπλοκ Διάγραμμα ενός συστήματος σταθεροποιημένου τροφοδοτικού

Εικόνα 2.6

Μετασχηματιστής: Ρυθμίζει την στάθμη AC μετασχηματίζοντας την κυρίως τάση (220V) σε μικρότερη ή μεγαλύτερη.

Ανορθωτής: Είναι το πρώτο στάδιο της μετατροπής της εναλλασσόμενης τάσης (AC) σε συνεχή τάση (DC)

Εξομάλυνση: Μειώνει την κυμάτωση της DC τάσης που εμφανίζεται μετά την ανόρθωση

Σταθεροποιητής: Εξαλείφει την κυμάτωση διατηρώντας σταθερή τάση εξόδου ανεξάρτητα από τις μεταβολές του ρεύματος. Ας ξεκινήσουμε να κατασκευάζουμε θεωρητικά ένα τροφοδοτικό, να δούμε από ποιά εξαρτήματα αποτελείται και ποιός ο ρόλος του καθενός.

## 2.11 Μετασχηματιστής

Ο μετασχηματιστής εκμεταλλεύεται τους νόμους της επαγωγής και μετασχηματίζει τα στοιχεία του ρεύματος, την τάση  $V$  και την ένταση  $I$ . Λειτουργεί μόνο με τάση AC και αποτελείται από δύο ή περισσότερα τυλίγματα, το πρωτεύον που τροφοδοτείται από την τάση του δικτύου και το δευτερεύον ή τα δευτερεύοντα τα οποία δίνουν μικρότερες ή μεγαλύτερες τάσεις. Τα τυλίγματα τυλίγονται γύρω από ένα υλικό με βάση το σίδηρο, τον πυρήνα, που βοηθάει τον μετασχηματισμό αυξάνοντας την αυτεπαγωγή. Αν το δευτερεύον δίνει μεγαλύτερη τάση έχουμε μετασχηματιστές ανύψωσης τάσης, αν το δευτερεύον δίνει μικρότερη τάση έχουμε τους μετασχηματιστές υποβιβασμού τάσης και τέλος αν τα δευτερεύοντα δίνουν και μεγαλύτερες και μικρότερες τάσεις από την τάση του δικτύου τότε έχουμε τους μικτούς μετασχηματιστές. Οι μετασχηματιστές σπαταλούν πολύ λίγη ενέργεια οπότε η ενέργεια εξόδου είναι σχεδόν ίση με την ενέργεια εισόδου. Η απόδοση ενός μετασχηματιστή φτάνει από 80% μέχρι 95% ενώ το υπόλοιπο είναι απώλειες ( ρεύματος , υστέρησης, σκέδασης κ.ά.). Η αναλογία των σπειρών κάθε τυλίγματος καθορίζει τις τάσεις του μετασχηματιστή. Ένας μετασχηματιστής υποβιβασμού τάσης έχει πολλές σπείρες στο πρωτεύον τύλιγμα που συνδέεται στην κυρίως τάση (220V), και λίγες σπείρες στο δευτερεύον που παρέχει την χαμηλή τάση εξόδου.

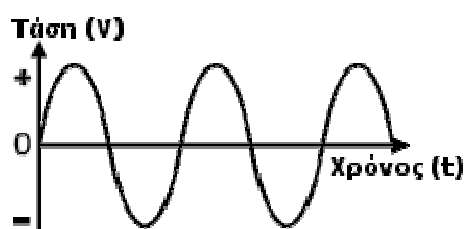
$$n = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

$V_1$ : Τάση στο πρωτεύον

$V_2$ : Τάση στο δευτερεύον

$N_1$ : Αριθμός σπειρών στο πρωτεύον

$N_2$ : Αριθμός σπειρών στο δευτερεύον



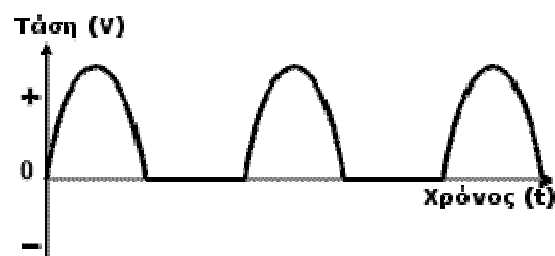
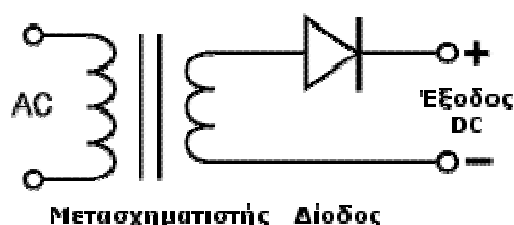
Εικόνα 2.7

## 2.12 Ανορθωτής

Όπως αναφέραμε, ο ανορθωτής είναι το πρώτο στάδιο της μετατροπής της εναλλασσόμενης τάσης (AC) σε συνεχή τάση (DC - ρεύμα που "κυλάει" προς μία μόνο φορά), η οποία περιέχει όμως και μία εναλλασσόμενη συνιστώσα (alternating component) 50Hz για την μισή ανόρθωση και 100Hz για την πλήρη ανόρθωση, την οποία θα φιλτράρουμε παρακάτω με έναν πυκνωτή. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι συνδεσμολογίας διόδων για να πραγματοποιηθεί ένας ανορθωτής. Ο πιο σημαντικός και συνηθισμένος είναι η "διπλή ανόρθωση με γέφυρα" και προσφέρει ανόρθωση πλήρους κύματος. Ανόρθωση πλήρους κύματος επιτυγχάνεται επίσης και με δύο διόδους σε έναν μετασχηματιστή με μεσαία λήψη αλλά αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται σπάνια.

## 2.13 Απλή ανόρθωση

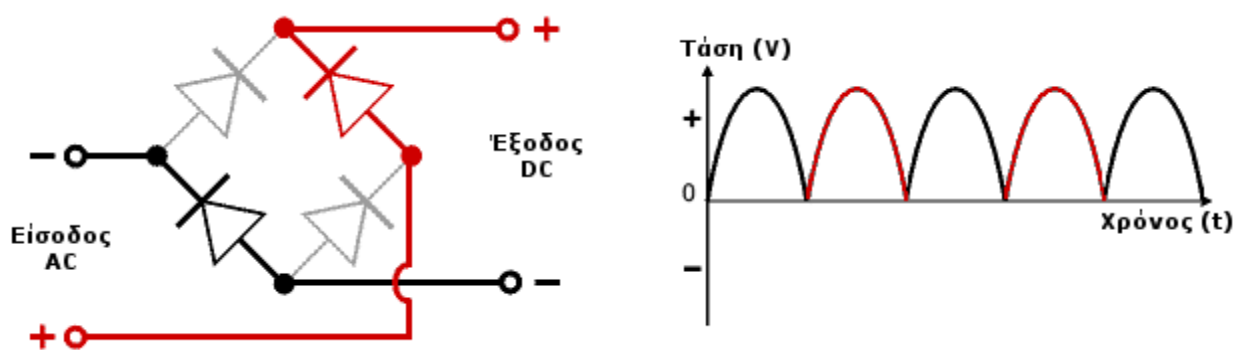
Μία μόνο diode μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν ανορθωτής αλλά η diode άγει μόνο κατά την διάρκεια της θετικής ημιπεριόδου. Σε αυτή την περίπτωση υπάρχει ρεύμα μόνο για το μισό της περιόδου και το κύκλωμα ονομάζεται ανορθωτής μισού κύματος.



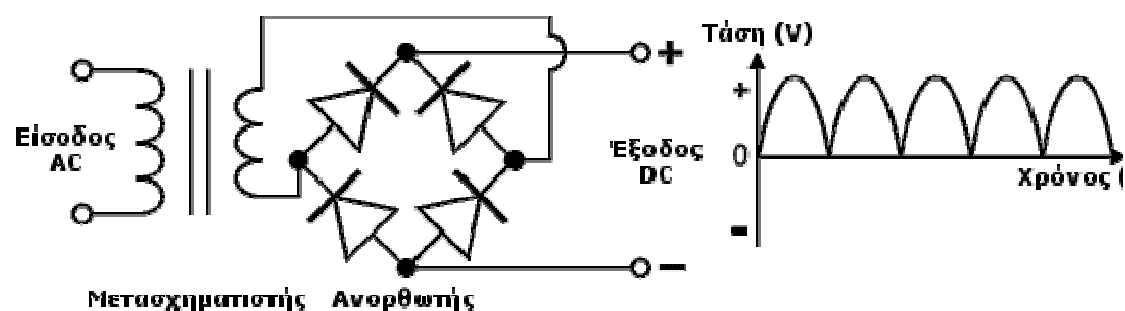
Εικόνα 2.8

## 2.14 Διπλή ανόρθωση με γέφυρα

Η ανόρθωση με γέφυρα αποτελείται από 4 διόδους και κυκλοφορεί στον εμπόριο σαν ένα εξάρτημα αλλά μπορεί επίσης να κατασκευαστεί με 4 διόδους. Ονομάζεται ανορθωτής πλήρους κύματος γιατί οι διόδοι άγουν ανά δύο σε κάθε ημιπερίοδο (αρνητική και θετική) του σήματος εισόδου. Το κύριο χαρακτηριστικό της συγκεκριμένης ανόρθωσης είναι ότι χρησιμοποιείται μετασχηματιστής χωρίς μεσαία λήψη. Επίσης κάθε diόδος έχει στα άκρα της κατά την ανάστροφη περίοδο την τάση του μετασχηματιστή.



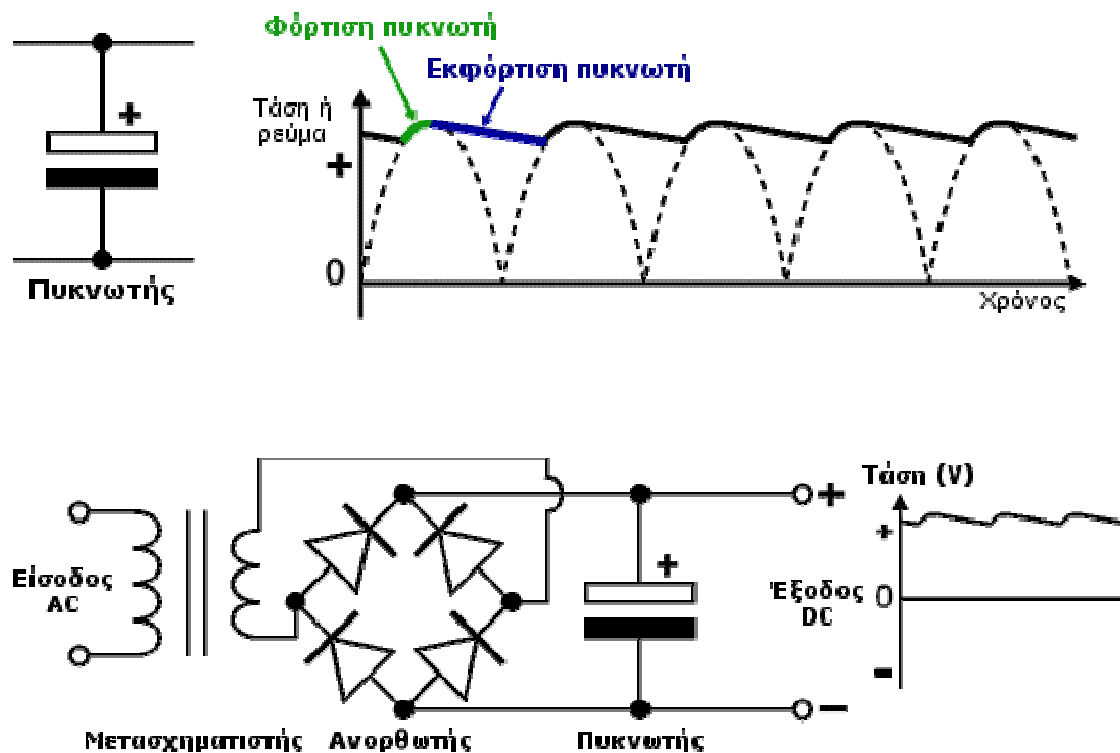
### Μετασχηματιστής+Ανορθωτής



Εικόνα 2.9

## 2.15 Εξομάλυνση

Η εξομάλυνση (φιλτράρισμα) επιτυγχάνεται με ένα ηλεκτρολυτικό πυκνωτή μεγάλης χωρητικότητας συνδεδεμένο παράλληλα με το φορτίο. Ο πυκνωτής αποθηκεύει ενέργεια (γρήγορη φόρτιση) κατά τη διάρκεια της περιόδου αγωγής και την αποδίδει την ενέργεια στο φορτίο (εκφόρτωση) κατά τη διάρκεια της περιόδου μη αγωγής. Η εξομάλυνση αυξάνει την μέση τάση DC ( $1.41 \times \text{RMS}$ ). Για παράδειγμα 12V RMS AC μετά από ανορθωτή πλήρους κύματος θα μειωθούν περίπου σε 10.6V RMS DC (τα 1.4V θα χαθούν λόγω πτώση τάσης στις διόδους - 0.66V ανά δίοδο πιο συγκεκριμένα). Με την τοποθέτηση του πυκνωτή εξομάλυνσης θα έχουμε  $10.6 \times 1.41 = 14.9\text{V DC}$ . Το παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζει την μη φιλτραρισμένη κυμάτωση DC (διακεκομμένη γραμμή) και την φιλτραρισμένη (έντονη γραμμή).



Εικόνα 2.10: Μετασχηματιστής +Ανορθωτής +Πυκνωτής

## 2.16 Σταθεροποιητής

Οι σταθεροποιητές τάσης είναι ολοκληρωμένα κυκλώματα με σταθερή τάση εξόδου (συνήθως 5 έως 24V) και ως μία συγκεκριμένη ένταση ρεύματος. Οι περισσότεροι σταθεροποιητές περιέχουν κυκλώματα προστασίας υπερφόρτωσης και υπερθέρμανσης. Αρκετοί σταθεροποιητές έχουν τρεις επαφές ή περισσότερες, μοιάζοντας σαν τρανζίστορ ισχύος, και έχουν και μία τρύπα με σκοπό να βιδωθούν πάνω σε ψήκτρα εάν είναι απαραίτητο. Είναι σημαντικό η τάση εισόδου τους να είναι μερικά Volts παραπάνω από την σταθεροποιημένη τάση εξόδου. Ο ρόλος του σταθεροποιητή είναι να εξαλείφει κάθε κυμάτωση που απομένει από τον πυκνωτή εξομάλυνσης και να αποδίδει μία σταθερή τάση εξόδου. Πλέον η τάση εξόδου του σταθεροποιητή είναι κατάλληλη για να τροφοδοτήσουμε οποιαδήποτε συσκευή ή κύκλωμα.



### 3 ΤΑΞΕΙΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΝΙΣΧΥΤΗ

#### Εισαγωγή

Όπως θα δούμε παρακάτω, η τάξη λειτουργίας στην οποία δουλεύει ένας ενισχυτής μας δίνει αμέσως πολλές πληροφορίες σχετικά με τα χαρακτηριστικά του. Γι' αυτό άλλωστε είναι το πρώτο χαρακτηριστικό που διαβάζουμε στην περιγραφή ενός ενισχυτή.

Τα κυκλώματα ενισχυτών ισχύος (βαθμίδες εξόδου) ταξινομούνται ως : A, B, AB και C για τους αναλογικούς ενισχυτές και D και E για τους ενισχυτές switching. Η ταξινόμηση γίνεται με βάση την γωνία αγωγής  $\theta$  του σήματος εξόδου μέσω της ενισχυτικής βαθμίδας που είναι το μέρος του κύκλου του σήματος εισόδου κατά τη διάρκεια του οποίου αυτή είναι σε αγωγή.

#### A. Η τάξη A

Οι ενισχυτικές διατάξεις τάξης A λειτουργούν καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου εισόδου έτσι ώστε το σήμα εξόδου να είναι ένα ακριβές αντίγραφο της εισόδου χωρίς παραμόρφωση. Τάξης A είναι συνήθως οι ενισχυτές μικρών σημάτων. Σημαντικό μειονέκτημα αυτών είναι η χαμηλή απόδοση ισχύος. Μια απόδοση της τάξης του 50% είναι εφικτή με επαγωγική σύζευξη στην έξοδο ενώ μόνο 25% με χωρητική σύζευξη. Σε ένα κύκλωμα τάξης A το στοιχείο ενίσχυσης πολώνεται με τρόπο ώστε η συσκευή να άγει συνεχώς. Η συσκευή βρίσκεται συνεχώς σε κατάσταση αγωγής ακόμα και όταν δεν υπάρχει καθόλου είσοδος με αποτέλεσμα να καταναλώνει συνεχώς ισχύ από το τροφοδοτικό. Αυτός είναι και ο λόγος της πολύ χαμηλής του απόδοσης. Αν απαιτηθεί μεγάλη ισχύς στην έξοδο του ενισχυτή η κατανάλωση ισχύος θα είναι πολύ σημαντική. Για κάθε ένα watt που πηγαίνει στο φορτίο (μεγάφωνο), ο ίδιος ο ενισχυτής καταναλώνει στην καλύτερη περίπτωση άλλο ένα! Η κατανάλωση σε ισχύ είναι ανεξάρτητη της ισχύος στην έξοδο. Σε κατάσταση ηρεμίας η κατανάλωση είναι περίπου η ίδια με αυτή σε πλήρη ένταση ήχου! Για μεγάλες κατασκευές αυτό σημαίνει ακριβά και ογκώδη τροφοδοτικά και ψήκτρες. Οι ενισχυτές τάξης A συνήθως χρησιμοποιούνται σε χαμηλής έως μέσης ισχύος ενισχυτές ήχου οι οποίοι όμως κοστίζουν πολύ και έχουν χαμηλή απόδοση. Υπάρχουν βέβαια και οι λάτρεις αυτών των κατασκευών που υποστηρίζουν ότι η τάξη A χαρακτηρίζεται από τη μέγιστη πιστότητα και πολύ μικρή παραμόρφωση. Χάριν λοιπόν της ποιότητας του ήχου δεν τους πειράζει να δώσουν κάτι παραπάνω για μια τέτοια κατασκευή.

## **B. Τάξη B και AB**

Οι ενισχυτές τάξης B ενισχύουν μόνο το μισό κύκλο του σήματος εισόδου και αποκόπτουν το άλλο μισό. Έτσι παράγουν πάρα πολύ παραμόρφωση αλλά η απόδοση ισχύος τους είναι κατά πολύ βελτιωμένη από αυτήν της τάξης A. Η τάξη B έχει μια μέγιστη θεωρητική απόδοση περίπου 78.5%. Αυτό συμβαίνει γιατί το στοιχείο ενίσχυσης δεν άγει και τελικά «σβήνει» κατά το μισό χρόνο. Έτσι δεν καταναλώνει ενέργεια. Ένα πρακτικό κύκλωμα που χρησιμοποιεί στοιχεία τάξης B είναι το συμπληρωματικό ζεύγος σε διάταξη push-pull. Εδώ δύο συμπληρωματικά στοιχεία χρησιμοποιούνται για να ενισχύσει το κάθε ένα από αυτά το ένα μισό του σήματος εισόδου το οποίο ανασυντίθεται στην έξοδο για να πάρουμε ολόκληρο το αρχικό σήμα. Αυτή η διάταξη δίνει πολύ καλή απόδοση αλλά υποφέρει από το μειονέκτημα ότι υπάρχει μια ασυνέχεια στην ένωση μεταξύ των δύο μισών του σήματος. Αυτό λέγεται «παραμόρφωση διασταυρώσεως» (crossover distortion). Μία λύση σε αυτό το πρόβλημα είναι να πολωθούν τα στοιχεία με τρόπο ώστε να μην είναι τελείως σβηστά όταν δεν χρησιμοποιούνται. Αυτή η προσέγγιση λέγεται τάξη AB.

Στην τάξη AB κάθε στοιχείο λειτουργεί κατά τον ίδιο τρόπο με την B για το κάθε μισό της κυματομορφής και επίσης βρίσκεται σε αγωγή για ένα μικρό κομμάτι του άλλου μισού. Έτσι η νεκρή ζώνη στην ένωση των δύο μισών ελαττώνεται ή εξαλείφεται με αποτέλεσμα όταν πια οι κυματομορφές από τα δύο στοιχεία ενώνονται η παραμόρφωση να έχει σχεδόν εξαφανιστεί. Παρόλο που η AB υστερεί σε απόδοση ισχύος σε σχέση με την B χάριν της γραμμικότητας, αυτή είναι κατά πολύ υψηλότερη της τάξης A. Τα κυκλώματα τάξης B και AB είναι τα πιο διαδεδομένα σε ενισχυτές ήχου. Η τάξη AB θεωρείται ένας πολύ καλός 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 δεν γίνεται αντιληπτή.

## Γ. Η τάξη C

Οι ενισχυτές τάξης C άγουν κατά λιγότερο από 50% του σήματος εισόδου. Η παραμόρφωση στην έξοδο είναι πολύ μεγάλη αλλά μπορούμε να πετύχουμε απόδοση ισχύος της τάξης του 90%. Η τάξη C δεν έχει πρακτική εφαρμογή σε ενισχυτές ήχου λόγω της πολύ μεγάλης παραμόρφωσης. Το σήμα εισόδου χρησιμοποιείται στην ουσία μόνο για να ανοίξει ή να κλείσει απότομα το στοιχείο ενίσχυσης. Αυτό μεταφράζεται στην έξοδο σε παλμούς ρεύματος οι οποίοι συνήθως περνάνε μετά σε ένα συντονισμένο κύκλωμα. Με κάποιους μηχανισμούς, που δεν χρειάζεται να αναλύσουμε, η κεντρική συχνότητα συντονισμού στην έξοδο παρουσιάζεται αρκετά ενισχυμένη και χωρίς σημαντική παραμόρφωση, σε αντίθεση με τις συχνότητες γύρω από αυτήν που βγαίνουν κατά πολύ εξασθενημένες. Έτσι η τάξη C βρίσκει εφαρμογή σε ενισχυτές RF, όπως π.χ. ραδιοφωνικούς πομπούς

## Δ. Η τάξη D

Κύριο χαρακτηριστικό των ενισχυτών αυτών είναι η μεγάλη απόδοση ισχύος. Αυτό το καταφέρνουν με τη χρήση της τεχνολογίας PWM (Pulse Width Modulation). Η τεχνολογία αυτή επιτρέπει στα στοιχεία της εξόδου να έχουν δύο καταστάσεις λειτουργίας, είτε πλήρως αγώγιμα είτε τελείως κλειστά. Έτσι αφού δεν μεταβάλλεται η εσωτερική τους αντίσταση σχεδόν εκμηδενίζονται οι απώλειες σε μορφή θερμότητας, οι οποίες είναι αρκετά μεγάλες στις τάξεις που αναφέραμε παραπάνω.

Πρακτικά η απόδοση τέτοιων κατασκευών ξεπερνά το 90%. Αυτό μεταφράζεται σε σημαντικά χαμηλότερη κατανάλωση ισχύος αλλά κυρίως σε δραματική μείωση του όγκου των ψηκτρών. Αν θα δούμε έναν ενισχυτή τάξης D το πρώτο πράγμα που παρατηρούμε είναι ότι απουσιάζουν αυτές οι τεράστιες αλουμινένιες ψήκτρες που σε άλλες περιπτώσεις είναι απαραίτητες για να διατηρούν τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα σχετικά κρύα.

Επίσης σημαντικά μικρότεροι είναι οι μετασχηματιστές και οι πυκνωτές στα τροφοδοτικά ισχύος. Όλα τα παραπάνω συνιστούν, εκτός από την εξοικονόμηση σε όγκο και βάρος. Στους κλασικούς ενισχυτές τουλάχιστον ένα στοιχείο εξόδου (BJT, FET, λυχνία) άγει συνεχώς. Αυτό σημαίνει ότι το διαπερνά ένα ρεύμα και λόγω της εσωτερικής του αντίστασης υπάρχει μια πτώση τάσης στα άκρα του. Αφού ισχύει  $P=V \cdot I$  τότε καταναλώνει ισχύ ακόμα και όταν δεν υπάρχει έξοδος αφού ένα μικρό ρεύμα πρέπει να διαρρέει τα τρανζίστορ για να αποφεύγεται η παραμόρφωση crossover.

Από την άλλη μεριά η τάξη D βασίζει την λειτουργία της στην μεταγωγή των στοιχείων εξόδου (σχεδόν πάντα MOSFET) μεταξύ δύο και μόνο καταστάσεων «on» και «off». Στην κατάσταση «on» μια ποσότητα ρεύματος διαρρέει το FET ενώ δεν υπάρχει θεωρητικά καθόλου πτώση τάσης μεταξύ drain και source ( $V_{ds}=0$ ). Στην κατάσταση «off» η τάση θα είναι ίση με την τροφοδοσία αφού το FET συμπεριφέρεται σαν ανοιχτό κύκλωμα και δεν θα ρέει καθόλου ρεύμα. Και στις δυο περιπτώσεις η κατανάλωση ισχύος είναι μηδενική.

## 4 Τρανζίστορ

### Γενική περιγραφή

Το τρανζίστορ επαφής είναι μία διάταξη η οποία αποτελείται από δύο ημιαγωγούς, έναν τύπου PN και έναν τύπου NP, όπου ο ένας πολώνεται κατά την ορθή φορά και ο άλλος κατά την ανάστροφη. Υπάρχουν δύο κατηγορίες τρανζίστορ επαφής: **Το τρανζίστορ PNP και το τρανζίστορ NPN.**

Σε κάθε τύπο τα δύο ακραία τμήματα έχουν τον ίδιο τύπο ημιαγωγού. Ο ακροδέκτης που έχει το βελάκι είναι ο εκπομπών, ο μεσαίος ακροδέκτης είναι η βάση και ο τρίτος ακροδέκτης είναι ο συλλέκτης. Μπορούμε να αντιστοιχίσουμε ένα τρανζίστορ με μία τριόδο λυχνία όπου ο οδηγός πλέγμα της λυχνίας αντιστοιχεί στην βάση του τρανζίστορ, η κάθοδος της λυχνίας αντιστοιχεί στον εκπομπό του τρανζίστορ και η άνοδος της λυχνίας αντιστοιχεί στον συλλέκτη του τρανζίστορ.

### A. Τρανζίστορ κράματος.

Η κατασκευή των τρανζίστορ αυτών βασίζεται στο γεγονός πως πάνω σε ένα κρύσταλλο γερμανίου τύπου P τοποθετείται δίσκος κράματος ψευδαργύρου, μόλυβδου ή χρυσού με προσμίξεις από αρσενικό ή αντιμόνιο. Η διάταξη αυτή θερμαίνεται σε υψηλή θερμοκρασία γύρω στους  $500^{\circ}\text{C}$  και μετά που ψύχεται το κράμα εισχωρεί στον κρύσταλλο γερμανίου ή πυριτίου. Έτσι για κατασκευή τρανζίστορ PNP, χρησιμοποιούμε μία πλάκα ημιαγωγού τύπου N όπου στις δυο πλευρές του τοποθετούνται δίσκοι από τρισθενές στοιχείο. Η διάταξη αυτή θερμαίνεται περίπου στους  $500^{\circ}\text{C}$  με αποτέλεσμα το τρισθενές στοιχείο να λιώνει και να ενώνεται σχηματίζοντας στις δύο πλευρές του κρυστάλλου τύπου N, περιοχές τύπου P. Οι ακροδέκτες τοποθετούνται κατά την θέρμανση της διάταξης και στο τέλος ολόκληρη η διάταξη τοποθετείται στο περίβλημά της.

## **B. Τρανζίστορ διαχύσεως.**

Με την μέθοδο αυτή επιτυγχάνουμε την διάχυση ατόμων άλλου στοιχείου μέσα σε ένα ημιαγωγό. Εάν πάρουμε ένα ημιαγωγό στοιχείο και το χρησιμοποιήσουμε κάτω από κατάλληλες συνθήκες πρόσμιξης και θερμοκρασίας σε ατμούς πενταμελούς στοιχείου πρόσμιξης τότε επιτυγχάνουμε την μέθοδο της διαχύσεως. Έτσι για την κατασκευή τρανζίστορ διαχύσεως παίρνουμε μια πλάκα γερμανίου τύπου P και διαχέουμε άτομα ινιδίου ή γαλλίου, σχηματίζοντας ένα λεπτό στρώμα ημιαγωγού τύπου N. Στην συνέχεια σε πολύ μικρή απόσταση μεταξύ τους τοποθετούνται δύο δίσκοι μόλυβδου με προσμίξεις από αντιμόνιο και αργίλιο. Η διάταξη θερμαίνεται και σχηματίζει μια περιοχή τύπου P που είναι η εκπομπή του τρανζίστορ και κάτω από τον άλλο δίσκο σχηματίζεται μια ένα στρώμα τύπου N και αποτελεί την βάση. Η αρχική πλάκα του ημιαγωγού τύπου P που χρησιμοποιήθηκε αποτελεί τον συλλέκτη του τρανζίστορ.

## **Γ. Τρανζίστορ ανάπτυξης.**

Με αυτή την μέθοδο παίρνουμε έναν καθαρό κρύσταλλο γερμανίου του οποίου την μία πλευρά βυθίζουμε σε λειωμένο κρύσταλλο γερμανίου. Στην συνέχεια με την ανύψωση του καθαρού κρυστάλλου παρασύρονται άτομα του λειωμένου κρυστάλλου τα οποία ψύχονται και στερεοποιούνται πάνω σε αυτόν, με αποτέλεσμα την δημιουργία επαφών PN. Με την μέθοδο αυτή κατασκευάζονται τρανζίστορ για χρήση σε υψηλές συχνότητες.

## **Δ. Τρανζίστορ πλανάρ.**

Είναι μια τεχνική με την οποία κατασκευάζονται σήμερα πολλά τρανζίστορ. Χρησιμοποιείται φέτα πυριτίου τύπου N, η οποία θερμαίνεται σε περισσότερους από 1000°C και εμπλουτίζεται με ατμό ο οποίος δημιουργεί ένα στρώμα διοξειδίου του πυριτίου στην επιφάνειά του. Με λιθογραφική μέθοδο δημιουργείται ένα άνοιγμα για να κατασκευαστεί η βάση. Ο ημιαγωγός στην συνέχεια θερμαίνεται πάλι και εμπλουτίζεται με τρισθενές στοιχείο, το οποίο εξατμίζεται από την θερμοκρασία και διαχέεται στο άνοιγμα που δημιουργήθηκε για την βάση του τρανζίστορ. Αυτή είναι η περιοχή της βάσης τύπου P.

Στην συνέχεια με κατάλληλη επεξεργασία σχηματίζεται ένα νέο άνοιγμα, μέσα στο οποίο θα δημιουργηθεί μια περιοχή τύπου N με την μέθοδο της διάχυσης, που θα αποτελέσει η εκπομπή και χρησιμοποιώντας πεντασθενές στοιχείο, π.χ. φώσφορος.

Τα τρανζίστορ τα οποία κατασκευάζονται με αυτή την μέθοδο έχουν πάρα πολλά πλεονεκτήματα, όπως μικρές χωρητικές συχνότητες και λειτουργούν σε πολύ υψηλές συχνότητες.

## **Z. J-FET τρανζίστορ.**

Τα J-FET τρανζίστορ αποτελούνται από ένα λεπτό κομμάτι ημιαγωγού τύπου P ή N, που στα άκρα του προσαρμόζεται με ωμική επαφή δύο ηλεκτρόδια που είναι η πηγή (S) και η εκροή (D). Στις απέναντι έδρες του κατασκευάζεται με την μέθοδο της διάχυσης μια επαφή P-N που καταλήγει στο ηλεκτρόδιο της πύλης (G). Όταν η πηγή (S) και η εκροή (D) συνδεθούν σε μια πηγή τάσης μέσα από τον ημιαγωγό τύπου N διέρχεται ρεύμα από τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του ημιαγωγού τύπου N. Στην περιοχή S ή D λόγω της ανάστροφης πόλωσης πύλης-πηγής δεν υπάρχει ροή ρεύματος. Όσο μεγαλώνει η ανάστροφη τάση, τόσο μειώνεται το διερχόμενο ρεύμα μέσα από τον ημιαγωγό τύπου N μέχρι η τάση να πάρει τέτοια τιμή ώστε να έχουμε μηδενικό ρεύμα. Η τάση αυτή στην οποία το διερχόμενο ρεύμα μηδενίζεται λέγεται **τάση αποκοπής**.

## **ΣΤ. MOS-FET τρανζίστορ.**

Τα τρανζίστορ MOS-FET αποτελούνται από ένα κομμάτι ημιαγωγού τύπου P πάνω στον οποίο έχουν κατασκευαστεί με διάχυση δύο επαφές P-N. Στις λωρίδες υλικού τύπου N κατασκευάζονται ωμικές επαφές που αποτελούν τους ακροδέκτες S και D. Την βάση (B) την αποτελεί μια ακόμα επαφή κατασκευασμένη στο υπόστρωμα του ημιαγωγού τύπου P.

Για την σύνδεση της επαφής της πύλης χρησιμοποιείται λεπτό στρώμα αλουμινίου. Η διάταξη αυτή αντιστοιχεί σε έναν πυκνωτή παράλληλων πλακών. Η αγωγιμότητα της επιφάνειας μεταξύ του υλικού τύπου P και τύπου N, εξαρτάται από την τάση μεταξύ των ακροδεκτών της πύλης (G) και της βάσης (B). Όσο αυξάνεται η τάση VGB, μεγαλώνει το ρεύμα ροής λόγω της δημιουργίας φορέων. Όταν η τάση VGB μηδενιστεί τότε μηδενίζεται και το ρεύμα στον ακροδέκτη D.

Τα MOS-FET τρανζίστορ χρησιμοποιούνται σε ψηφιακά κυκλώματα καθώς και στην κατασκευή ολοκληρωμένων κυκλωμάτων. Έχουν πάρα πολύ υψηλή αντίσταση εισόδου και υπάρχει κίνδυνος καταστροφής τους από στατικά φορτία. Γι' αυτό δεν πρέπει να τα αγγίζουμε ούτε με τα χέρια μας διότι μεταφέρουμε ηλεκτρικά φορτία. Τα MOS-FET τρανζίστορ μεταφέρονται με ειδικές συσκευασίες έτσι ώστε να προστατεύονται από στατικά ηλεκτρικά φορτία.

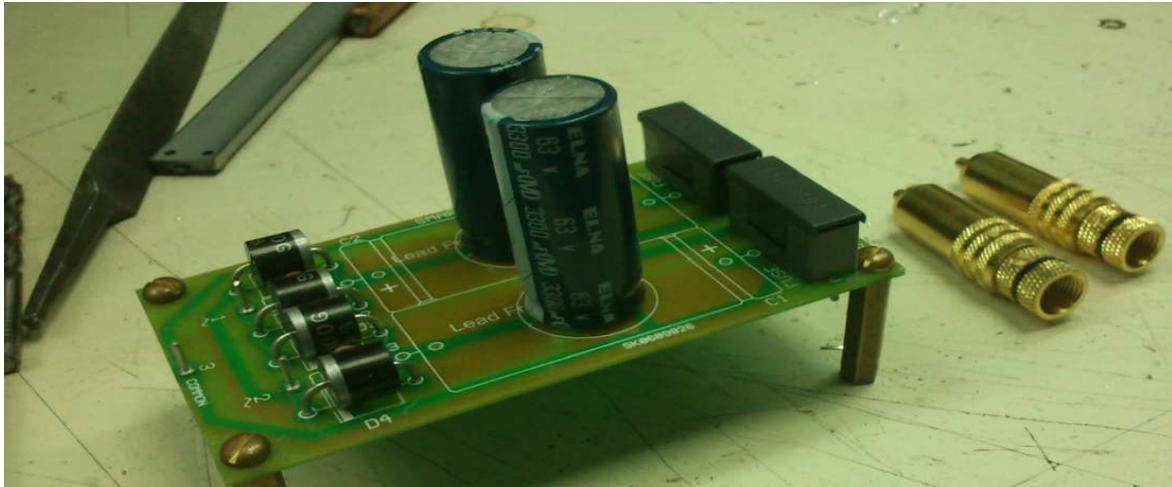
## 5. Σχεδιασμός και ανάλυση της κατασκευής:

Παρακάτω θα δούμε την περιγραφή της κατασκευής :  
(Περιγραφή κατασκευής πλακέτας , ροής διαγράμματος ,  
κατασκευής κουτιού , μοντάρισμα , τρόποι συνδεσμολογίας ,  
χαρακτηριστικά ενισχυτή )

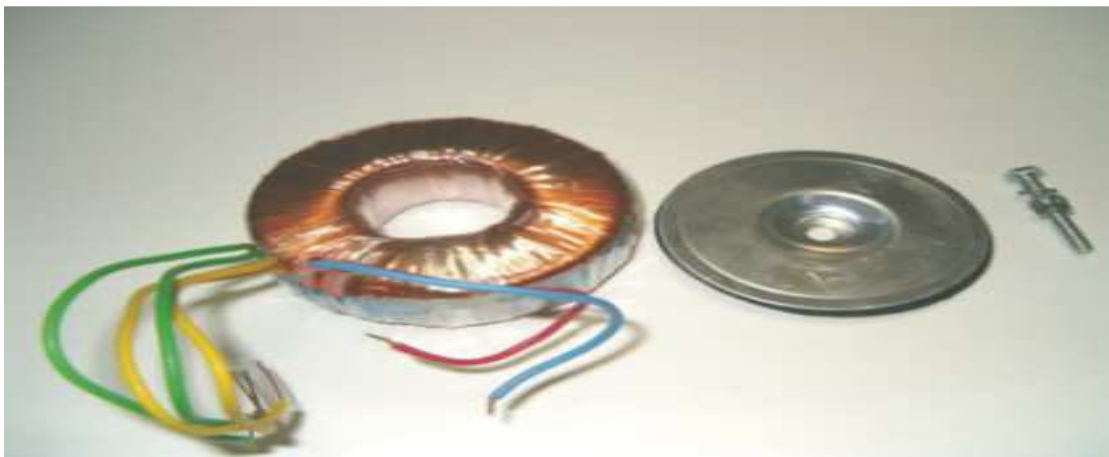
Συμφώνα με τα σχεδιαγράμματα η κατασκευή του ενισχυτή μας αποτελείτε από τα εξής :



1. Δυο κανάλια. Τελικός ενισχυτής (με τρανζίστορ)



2 .τροφοδοσία

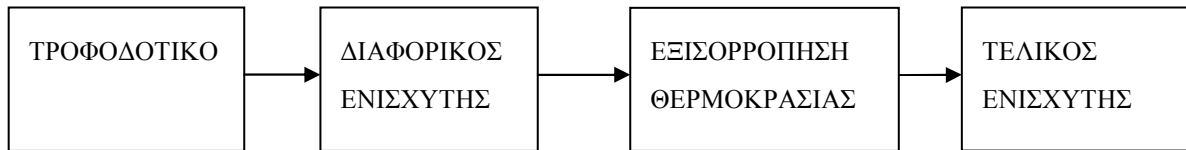


3. Τορο-ειδής μετασχηματιστής

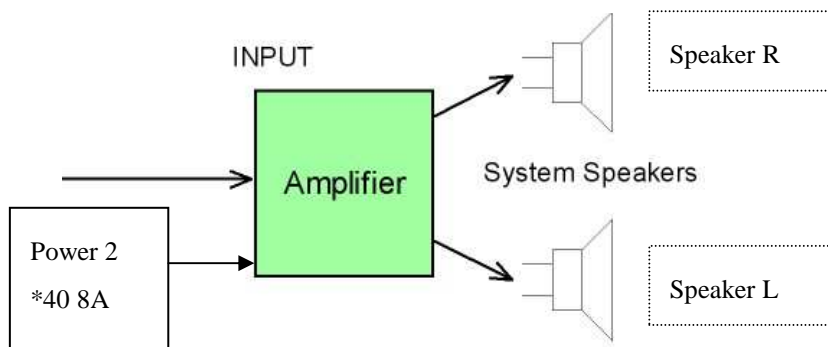


## Β. Διάγραμμα Ροής:

### Κανάλι τελικού ενισχυτή



### Διάγραμμα ροής του ενισχυτή



Από το διάγραμμα ροής βλέπουμε πως τα 220V τάση τροφοδοσίας πηγαινουν στο μετασχηματιστη και στο δευτερεύον έχουμε τροφοδοσία 2\*40V στα 8 A.

Στη συνέχεια έχουμε το τροφοδοτικό που στην έξοδο του μας δίνει συμμετρική τάση εξόδου +/- 40V με 2 A και τελος η αντίσταση εξοδου (αντίσταση φορτίου) στα δυο κανάλια του ενισχύτη είναι 8 Ω.

## 6 . ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

### A. ΤΕΛΙΚΟΣ ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ 100W

#### Περιγραφή :

Είναι ένας τελικός ενισχυτής με μεγάλα αποθέματα ισχύος, υψηλή πιστότητα, χαμηλή παραμόρφωση, συμμετρική τροφοδοσία με υψηλό λόγο σήματος προς θόρυβο, μεγάλη ευαισθησία εισόδου, μικρή κατανάλωση ρεύματος και κύκλωμα προστασίας από υπερφόρτωση. Ο σχεδιασμός του ενισχυτή ακολουθεί πιστά τις τελευταίες εξελίξεις της τεχνολογίας και τα χαρακτηριστικά του υπερκαλύπτουν ακόμη και τις αυστηρές προδιαγραφές του DIN 45.500. Το κύκλωμα συνδυάζεται αρμονικά με οποιοδήποτε προ ενισχυτή του εμπορίου.

Κατάλληλο τροφοδοτικό είναι αυτό που παρέχει συμμετρική τροφοδοσία  $\pm 40\text{ V}$  και ο μετασχηματιστής που απαιτείται είναι  $2 \times 40\text{ V}$  για στερεό αν τροφοδοτήσουμε και τις 2 βαθμίδες.

#### B. Τεχνικά χαρακτηριστικά ενισχυτή:

Ισχύς εξόδου ( $f=1\text{kHz}$ , $d=0,5\%$ )	100W
Τάση τροφοδοσίας	$\pm 40\text{V DC}$
Ρεύμα τροφοδοσίας	4 A
Ευαισθησία εισόδου	600mV(για μέγιστη έξοδο)
Περιοχή συχνοτήτων	10Hz – 35KHz (-1db)
Αρμονική παραμόρφωση	0,01%
Παραμόρφωση από ενδοδιαμόρφωση	0,02%
Λόγος σήματος προς θόρυβο ( $P_O=50\text{mW}$ )	83db
Ρεύμα ηρεμίας	50mA

## Γ . Χαρακτηριστικά Ενισχυτών

Ο ενισχυτής ως μέρος ενός συστήματος ήχου, οδηγεί τα ηχεία στις απαιτούμενες στάθμες λειτουργίας. Ο ιδανικός ενισχυτής είναι αυτός που ενισχύει τον ήχο χωρίς να επεμβαίνει καθόλου σ' αυτόν.

### Χαρακτηριστικά ενισχυτών

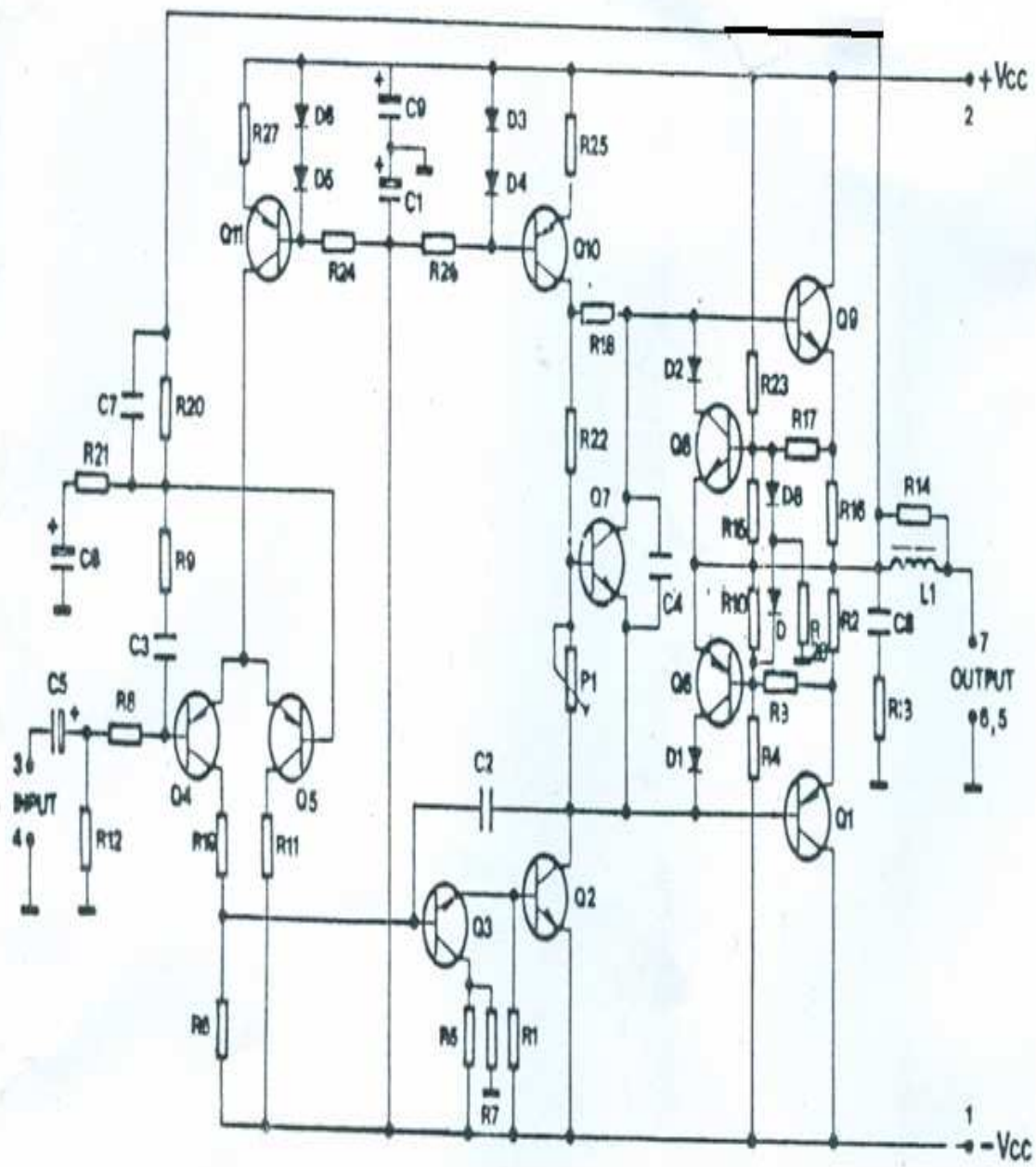
Τα χαρακτηριστικά των ενισχυτών είναι :

1. *Η ευαισθησία:* Δείχνει την απαιτούμενη τάση εισόδου για την παραγωγή της μέγιστης ονομαστικής τάσης εξόδου του ενισχυτή. Η ευαισθησία είναι ένα πολύ σημαντικό μέγεθος, γιατί δείχνει τη μέγιστη τάση που μπορούν να έχουν οι συσκευές που συνδέονται στον ενισχυτή.
2. *Η ισχύς εξόδου:* Είναι η ισχύς που μπορεί να δώσει η συσκευή σε συγκεκριμένο φορτίο και εύρος συχνοτήτων για συγκεκριμένο επίπεδο παραμόρφωσης.
3. *Το εύρος ισχύος:* Η ικανότητα του ενισχυτή να παράγει μεγάλης ισχύος σήμα εξόδου σε μεγάλο εύρος συχνοτήτων. Δείχνει δηλαδή, το εύρος συχνοτήτων στο οποίο ο ενισχυτής παράγει τουλάχιστον το ήμισυ της ονομαστικής της ισχύος χωρίς παραμόρφωση.
4. *Ο ρυθμός απόκρισης :* Είναι η ικανότητα ενός ενισχυτή να ανταποκρίνεται σε απότομες αλλαγές της τάσης του σήματος. Μονάδα μέτρησής του είναι το volts / microsecond . Κάθε αναλογικό κύκλωμα χρειάζεται κάποιο χρόνο για να ανταποκριθεί σε κάθε μεταβολή.
5. *Απόκριση Συχνοτήτων:* Δείχνει τα όρια μέσα στα οποία ο ενισχυτής ανταποκρίνεται εξίσου σε όλες τις συχνότητες όταν λειτουργεί σε χαμηλή ισχύ (συνήθως η μέτρηση γίνεται με ισχύ 1watt σε φορτίο 8ohm).

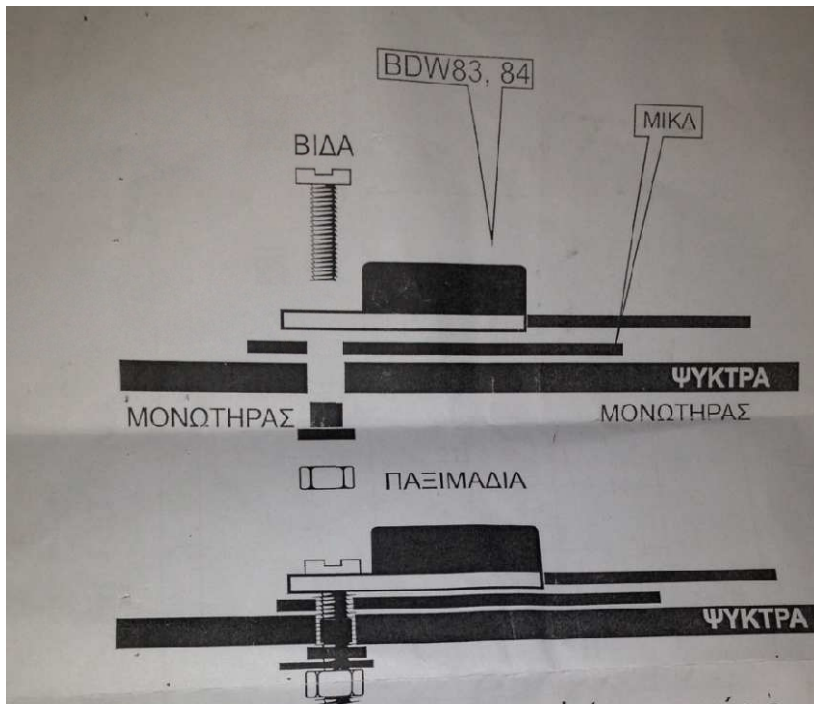
## **Δ. Αναλυτική Λειτουργία:**

Το κύκλωμα λειτουργεί με συμμετρική τάση τροφοδοσίας +/- 40V και μέγιστο ρεύμα 4 A. Το συμμετρικό τροφοδοτικό δίνει καλύτερη απόκριση στις χαμηλές συχνότητες και μειώνει τις πιθανότητες βλάβης κατά το άνοιγμα και κλείσιμο του ενισχυτή καθώς δεν χρειάζεται ηλεκτρολυτικό πυκνωτή στη έξοδο . Ο μετασχηματιστής που χρησιμοποιείται είναι 220V / 2x40V - 8A. Στην είσοδο του ενισχυτή υπάρχει ένας διαφορικός ενισχυτής που αποτελείται από τα τρανζίστορ Q4 και Q5 που εξασφαλίζουν την ανάδραση με απευθείας σύζευξη, εμποδίζοντας την τάση DC να εμφανιστεί στο μεγάφωνο με τα γνωστά καταστροφικά αποτελέσματα. Το τρανζίστορ Q11 δρα σαν πηγή ρεύματος και εξασφαλίζει στο κύκλωμα εισόδου σταθερό ρεύμα 1mA. Το σήμα που εμφανίζεται στην αντίσταση συλλέκτη του τρανζίστορ Q4 τροφοδοτεί απ' ευθείας το ζεύγος Darlington Q2-Q3, όπου μαζί με το Q5 (πηγή σταθερού ρεύματος 7mA) αποτελούν μια βαθμίδα οδήγησης που δουλεύει σε τάξη A και οδηγεί την συμπληρωματική βαθμίδα Q1 και Q9. Το τρανζίστορ Q7 αποτελεί μια θερμική εξισορρόπηση και πρέπει να εφάπτεται πάνω στην ψήκτρα κατά την κατασκευή. Ένα κύκλωμα ανάδρασης αποτελούμενο από τον βρόγχο R8, R9, C3, C2 εξασφαλίζει σταθερότητα στο AC. Το κύκλωμα περιλαμβάνει επίσης και κύκλωμα προστασίας από υπερφορτώσεις (π.χ. βραχυκύκλωμα στην έξοδο του μεγαφώνου) που αποτελείται από τα τρανζίστορ Q6, Q8. Επίσης αν για οποιονδήποτε λόγο αποσυνδεθεί μια από τις δύο γραμμές τροφοδοσίας, η έξοδος προστατεύεται απόλυτα από υψηλά ρεύματα DC. Στις γραμμές τροφοδοσίας +/- 40V τοποθετήθηκε ασφάλεια 2 A για φορτίο 8Ω και 3<sup>A</sup> για φορτίο 4Ω. Τα τρανζίστορ Q1 και Q9 τοποθετήθηκαν πάνω σε ψήκτρα (για απαγωγή μεγάλης θερμοκρασίας) με την προσθήκη μονωτικής μίκας και πλαστικών ροδελών.

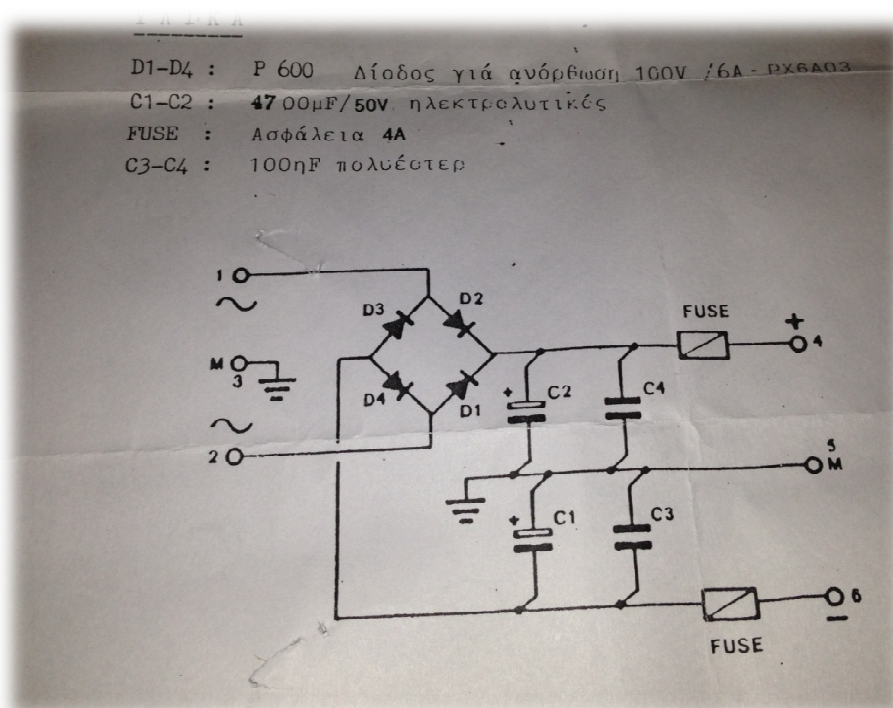
<b>Ε. Υλικά κατασκευής</b>	
R1 = 1,2Ω	R15= 39Ω
R2 = 0.47Ω	R16= 0,47Ω
R3= 220Ω	R17= 220Ω
R4= 3,9 Ω	R18= 22Ω
R5= 2,2 ΚΩ	R19= 1,2ΚΩ
R6= 2,2 ΚΩ	R20= 10ΚΩ
R7= 10 ΚΩ	R21= 220Ω
R8= 4,7ΚΩ	R22= 680Ω
R9= 150 Ω	R23= 3,9Ω
R10= 39 Ω	R24= 18ΚΩ
R11= 3,3 ΚΩ	R25= 100Ω
R12= 10 ΚΩ	R26= 18ΚΩ
R13= 4,7Ω	R27= 680Ω
R14= 1Ω	R28= 1,2ΚΩ
P1= 1ΚΩ	D1=1N4002
D2=1N4002	D3=1N414B
D5=1N414B	D6=1N414B
D7=1N414B	D8=1N414B
Q1=BDV66D	Q2=BD829
Q3=BC546	Q4=BC556
Q5=BC556	Q6=BC556
Q7=BC548	Q8=BC546
Q9=BDV67D	Q10=BD830
Q11=BC556	C1=10μ
C2=33pf	C3=270pf
C4=100nf	C5=2,2mf
C6=100mf	C7=120pf
C8=100nf	C9=10MF
L1=ΠΗΝΙΟ 10 ΣΠΕΙΡΩΝ	



Εικόνα 1: Ηλεκτρονικό κύκλωμα του ενισχυτή



Εικόνα 2: Συνδεσμολογία τρανζίστορ πάνω στην ψήκτρα



Εικόνα 3: Σχέδιο του τροφοδοτικού και τιμές εξαρτημάτων

## 7. Κατασκευή του ενισχυτή



Εικόνα 1 : Ξεκινώντας τις κολλήσεις

### A. Κατασκευή πλακετών

Ξεκινάω την κατασκευή του ενισχυτή πρώτα από τις πλακέτες. Η συσκευή αποτελείται από δύο κύριες πλακέτες, απόλυτα όμοιες μεταξύ τους, όπου αποτελούν τα κανάλια του ενισχυτή. Παρομοίως έχουμε άλλες δυο πλακέτες πανομοιότυπες που ανήκουν στο τροφοδοτικό. Χρησιμοποίησα κολλητήρι 25 Watt με φιλή μύτη για σωστές κολλήσεις. Στην συνέχεια κολλάω τις αντιστάσεις και μετά τους πυκνωτές. Ιδιαίτερη προσοχή έδωσα στις αντιστάσεις ακριβείας, ενώ κολλάω τα εξαρτήματα και από την πάνω όψη. Αρχίζω με τα βραχυκυκλώματα J1-J2-J3, ακολουθούν οι αντιστάσεις διαβάζοντας τα χρώματα τους και συνεχίζω με τους πυκνωτές προσέχοντας την πολικότητα των ηλεκτρολυτικών. Κατόπιν τοποθέτησα τα τρανζίστορ ισχύος και τα βίδωσα προσεκτικά επάνω στην ψήκτρα, τοποθετώντας πίσω από την πλάτη τους την ειδική μίκα. Μετά πέρασα την βίδα από το πίσω μέρος της ψήκτρας. Προτού τοποθετήσω το παξιμάδι, έβαλα το ειδικό μοναστηράκι. Μετά έλεγξα αν υπάρχει τέλεια μόνωση των τρανζίστορ από την ψήκτρα. Στην συνέχεια χρησιμοποίησα θερμό αγωγίμο υλικό HTC για να μειωθεί η θερμική αντίσταση μεταξύ τρανζίστορ και ψήκτρας.

Επίσης έδωσα ιδιαίτερη προσοχή στην καλή εφαρμογή των τρανζίστορ εξόδου BDV66 και BDV67 με την ψήκτρα.



Έσφιξα τις βίδες όσο χρειάζεται ώστε να μη στραβώσουν οι ψήκτρες των τρανζίστορ και δεν εφάπτονται . Στο τρανζίστορ Q 7 έβαλα λίγο θερμό αγωγίμο υλικό HTC, λύγισα την πλάτη ώστε να εφάπτεται με την ψήκτρα για να μπορεί να κάνει θερμική εξισορρόπηση του ρεύματος εξόδου συναρτήσει της θερμοκρασίας της ψήκτρας, κατά την κατασκευή, έδωσα ιδιαίτερη προσοχή στις κολλήσεις, την αποφυγή υπερθέρμανσης ,και τη σωστή τοποθέτηση πυκνωτών και διόδων ως προς την πολικότητα .

Μια καλή κόλληση επιτυγχάνεται θερμαίνοντας τον αγωγό πολύ κοντά στην πλακέτα ώστε το καλώιο να λειώσει και να απλωθεί ομοιόμορφα γύρω από τον αγωγό .Δεν ζέστανα πολύ ώρα τους αγωγούς για να μην καταστρέψω τα εξαρτήματα και την πλακέτα. Για να βιδώσω τις δύο πλακέτες στο σασί χρειάστηκα αποστάτες. Όταν τέλειωσα το κόλλημα όλων των εξαρτημάτων τοποθέτησα και καθάρισα καλά την πλακέτα από υπολείμματα, με ασετόν. Για την σωστή στήριξή της, στην μέση του βιδώνω αποστάτες , για να βιδωθεί η πλακέτα τροφοδοτικού στην βάση του κουτιού. Μόλις τελείωσα τα παραπάνω έκανα ένα προσεκτικό έλεγχο το εξής :

Είσοδος	3 και 5 γη		
Έξοδος	7 και 6 γη		
Τροφοδοσία	1 (-40VDC)	2 (+40VDC)	5 (0VDC)

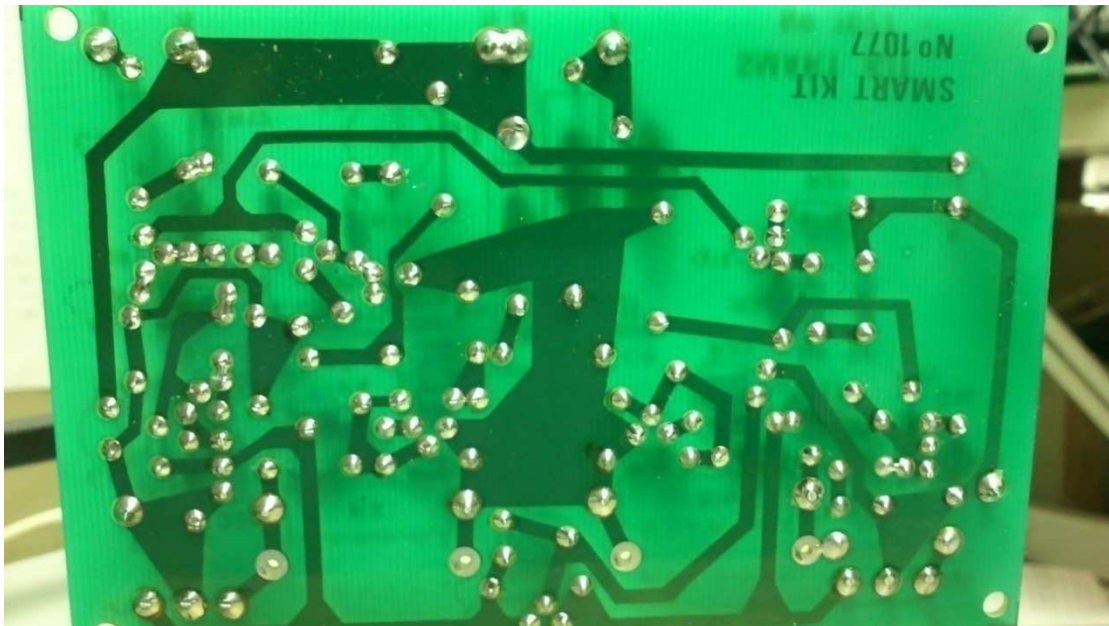
Στην συνέχεια σύνδεσα τα σημεία 6 και 7 σε ένα μεγάφωνο 100W και χωρίς σήμα στην είσοδο ,συνέδεσα την τροφοδοσία και τη ρύθμισα με το τρίμερ P1, αφού παρενέβαλα στην θετική γραμμή τροφοδοσίας ένα αμπερόμετρο DC σε σειρά το ρεύμα ηρεμίας γύρω στα 50 mA. Για το τροφοδοτικό έδωσα προσοχή στις διόδους των ηλεκτρολυτικών και κυρίως του μετασχηματιστή. Τα δυο άκρα του μετασχηματιστή συνδέονται στα σημεία 1 και 2 και μεσαία λήψη στο σημείο 3 της πλακέτας ενώ έξοδο παίρνουμε από τα σημεία 4(+) ,6(-) και το σημείο 5 είναι κοινό . Το κύκλωμα περιλαμβάνει στην έξοδο 2 ασφάλειες για βραχυκυκλώματα.



Εικόνα 2 : βλέπουμε προσεκτικά τις πολικότητες των πυκνωτών



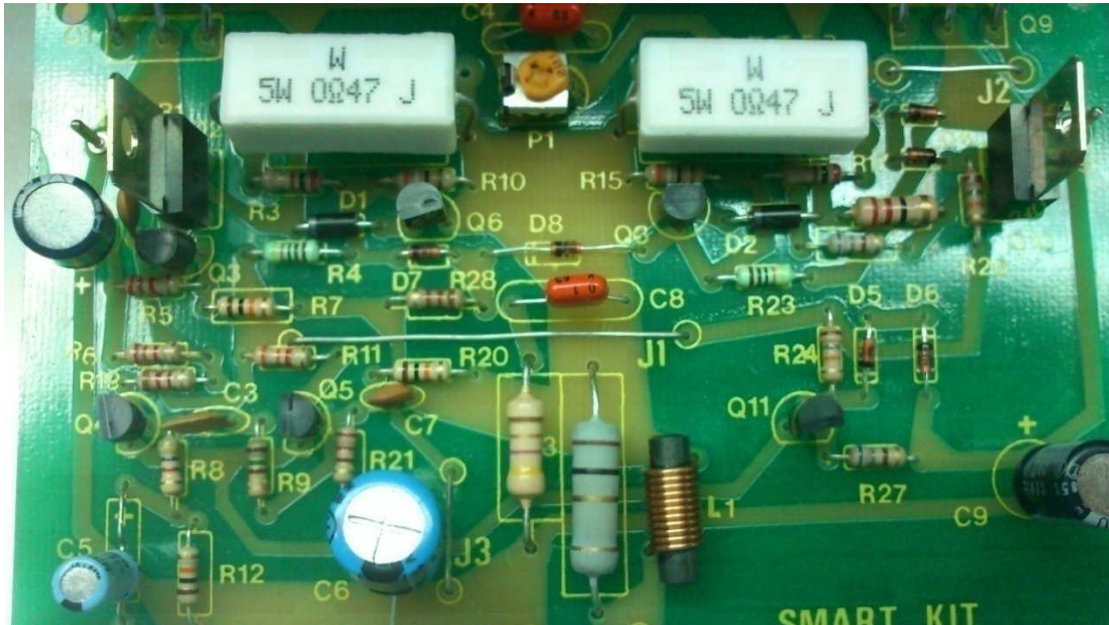
Εικόνα 3 :πάνω μέρος του καναλιού L



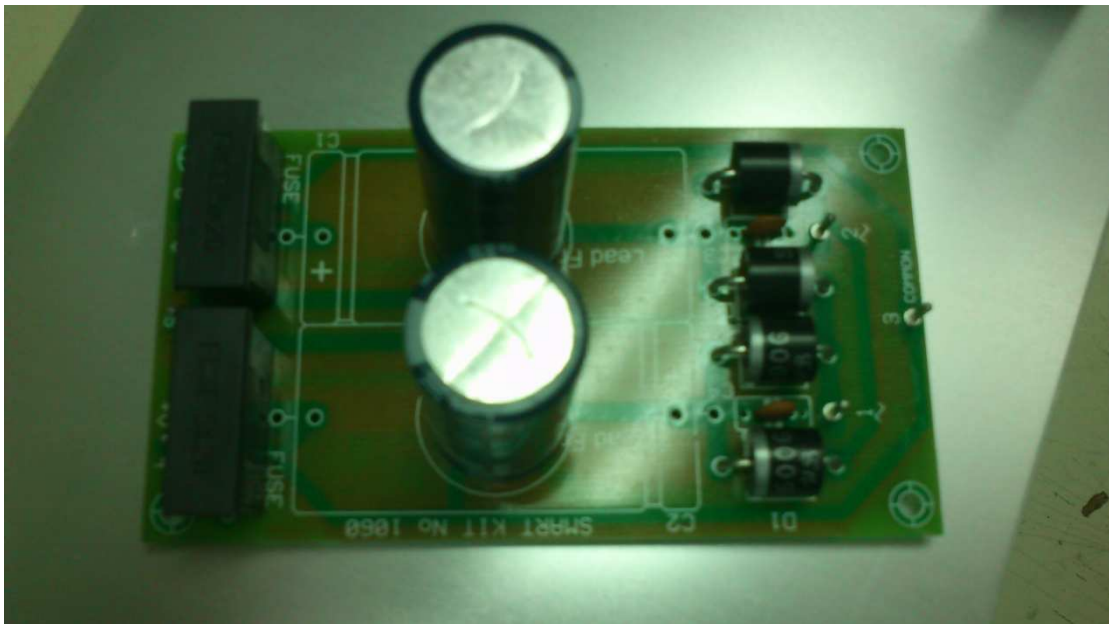
**Εικόνα 4 :**κάτω μέρος της πλακέτας του ενισχυτή

## **B. Σύνδεση των βαθμίδων**

Αφού κατασκεύασα όλες τις βαθμίδες (τοποθέτηση μετασχηματιστών, κατασκευή κυκλώματος τροφοδοσίας, θερμικό κύκλωμα προστασίας, κύκλωμα τελικής ενίσχυσης), σύνδεσα τις βαθμίδες μεταξύ τους αφού προηγουμένως έκανα έλεγχο λειτουργίας των βαθμίδων που είχα συνδέσει αρχικά. Ο έλεγχος έγινε χρησιμοποιώντας ένα ψηφιακό πολύμετρο και έναν παλμογράφο. Αρχικά επέλεξα ότι όλα τα κυκλώματα θα τοποθετούνταν σε ένα μεταλλικό κουτί, το οποίο ως ένα βαθμό προσφέρει κάποια μόνωση από εξωτερικές παρεμβολές. Ακολούθως σχεδίασα το πώς θα μπούνε μέσα οι πλακέτες, έτσι ώστε να γίνει κάποια σωστή κατανομή του βάρους. Επέλεξα τα τροφοδοτικά να τοποθετηθούν στην μέση, λόγω βάρους.



Εικόνα 1 : πάνω μέρος του καναλιού R



Εικόνα 2 :πλακέτα τροφοδοσίας

## Γ. Συνδεσμολογία του ενισχυτή .

Ο ενισχυτής που κατασκεύασα είναι στερεοφωνικός (2 κανάλια) με 2 εξόδους. Είναι σωστά κατασκευασμένος , ώστε να μην υπάρξει υπέρ-οδήγηση, παραμόρφωση και ψαλιδισμός του σήματος από τον τελικό ενισχυτή. Η συσκευή αυτή έχει τη δυνατότητα να ενισχύει και να οδηγεί το σήμα από την είσοδο κατευθείαν στην έξοδο, χωρίς να παραμορφώνει το σήμα εισόδου .Όταν πατηθεί ο κεντρικός διακόπτης και ανοίξει η συσκευή, τότε η διαδρομή του σήματος από την είσοδο παρεμβάλλεται από το ενισχυτή και διαμορφώνει τον ήχο στην ένταση που θέλουμε. Η κατασκευή αυτή είναι υψηλής ποιότητας και έχει σχεδιαστεί με τρανζίστορ, θωρακισμένα από τον θόρυβο και απ' τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία.



Εικόνα 1 :Βλέπουμε τα τρανζίστορ με το ειδικό μονωτικό πριν μπει στην Ψήκτρα

## Δ. Κατασκευή κουτιού.

Το κουτί της κατασκευής αποτελείται βασικά από τα εξής τμήματα: Την βάση, την πρόσοψη και το καπάκι. Στη κατασκευή χρησιμοποιήσα αλουμίνιο πάχους 1,5mm. Για την πρόσοψη, δεδομένου ότι ήθελα η κατασκευή να έχει επαγγελματική όψη, την παρήγγειλα από κατάστημα εμπορίου . Η πρόσοψη έχει δεχτεί ειδική επεξεργασία.

Αρχικά το αλουμίνιο τρυπήθηκε με ειδικό τρυπάνι και λεπτή μύτη ώστε να μην ξεφύγει από τις επιθυμητές διαστάσεις. Αφού τρυπήθηκε, στραταρίστηκε και στην συνέχεια το λίμαρα.

Μετά έκοψα το πίσω μέρος με ειδικό τροχό στις κατάλληλες διαστάσεις για να μπουν οι ψήκτρες. Ακολουθως τρύπησα το μπροστινό μέρος για να μπει το Led και ο διακόπτης on-off, για να ολοκληρωθούν έτσι οι εργασίες των όψεων στο μπροστινό τμήμα της συσκευής. Για το σασί του κουτιού καθώς και για το καπάκι χρειάστηκε ελάχιστο κόψιμο και στρατάρισμα.

Δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στην εξωτερική εμφάνιση του κουτιού ώστε ο ενισχυτής να μη μοιάζει καθόλου με ίδιο-κατασκευή, αντιθέτως, να είναι κατά το δυνατόν όμοιος με ενισχυτές του εμπορίου.



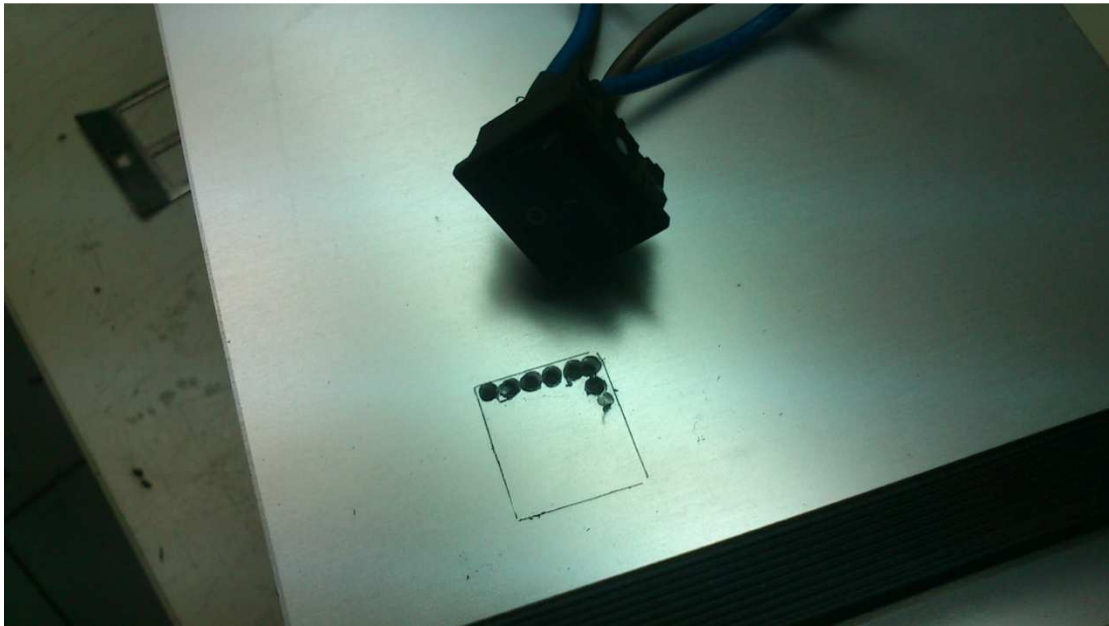
Εικόνα 1 :Πρόσοψη του κουτιού



**Εικόνα 2 :Πίσω μέρος του κουτιού**



**Εικόνα 3 :Μέτρηση για τις διαστάσεις του βύσματος**



**Εικόνα 4 : Ξεκινώντας τις τρύπες για το βύσμα τροφοδοσίας**



**Εικόνα 5 : Τελειώνοντας το τρύπημα και το λιμάρισμα**

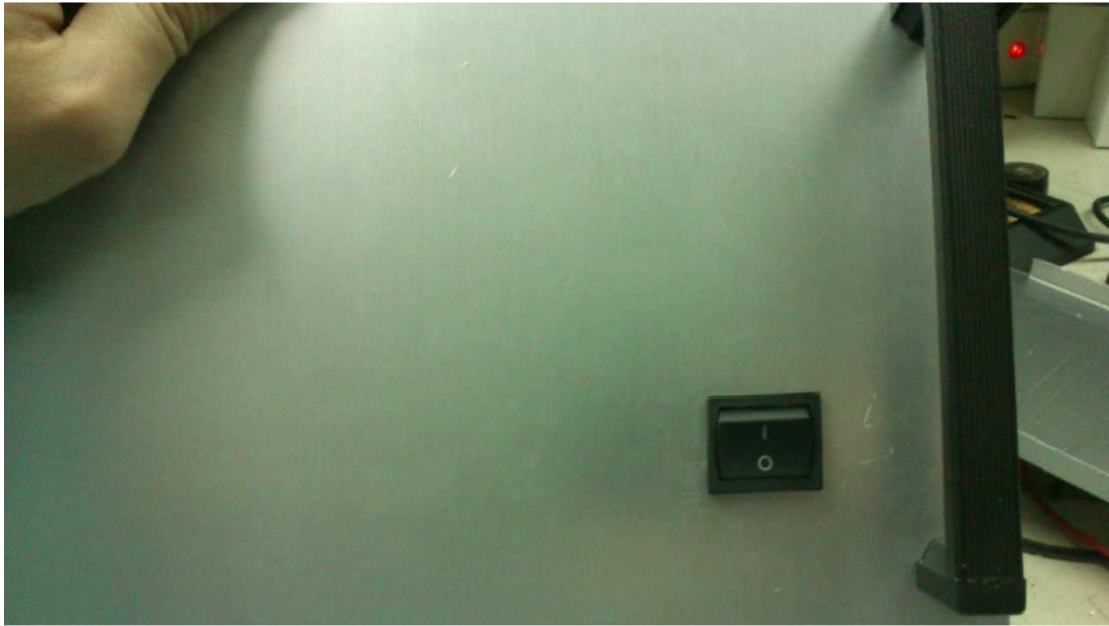




**Εικόνα 6 : Τοποθέτηση βύσματος τροφοδοσίας**



**Εικόνα 7 : Τα κατάλληλα εργαλεία ώστε να έχουμε το σωστό αποτέλεσμα**



**Εικόνα 8 :Διακόπτης on-off**



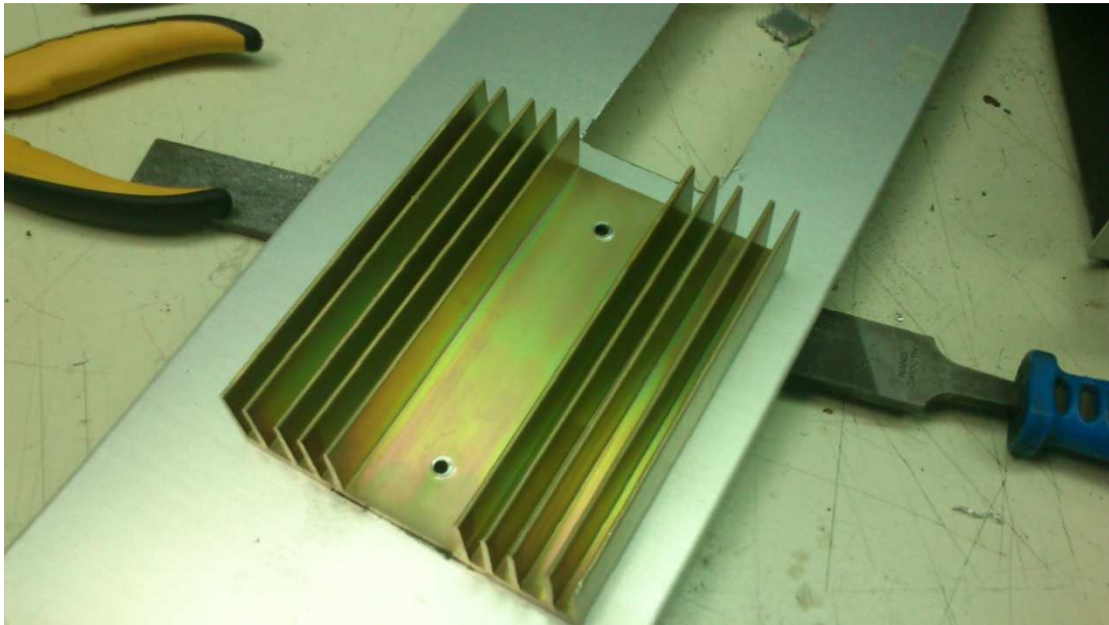
**Εικόνα 9:Σχεδιασα τις διαστάσεις για τις Ψήκτρες**



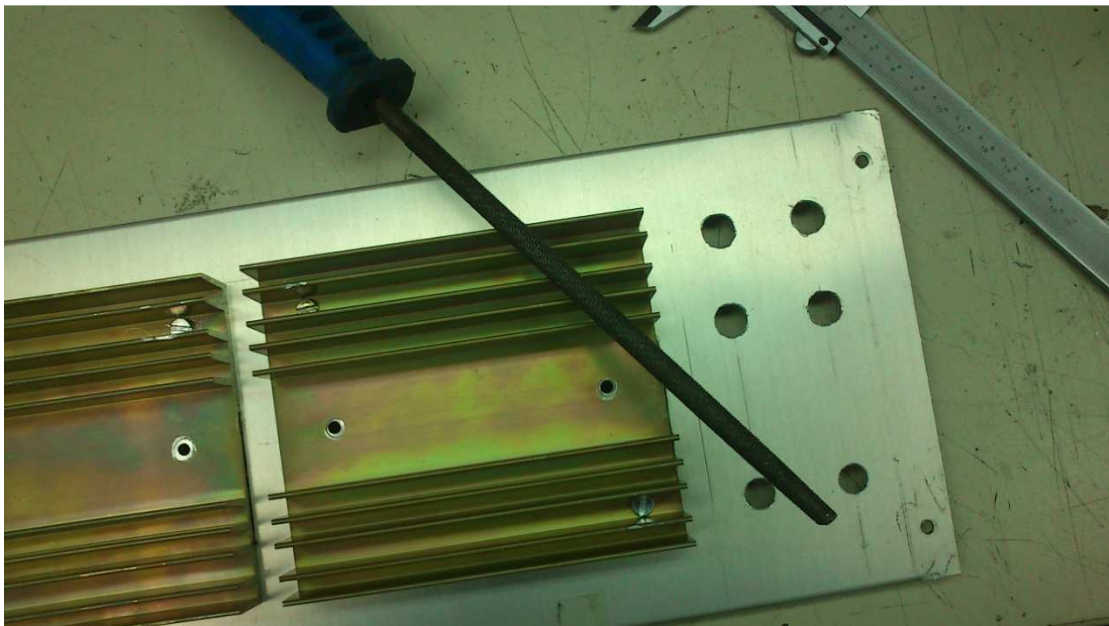
**Εικόνα 10 :Με τον κατάλληλο τροχό τελειώνοντας τις τρύπες**



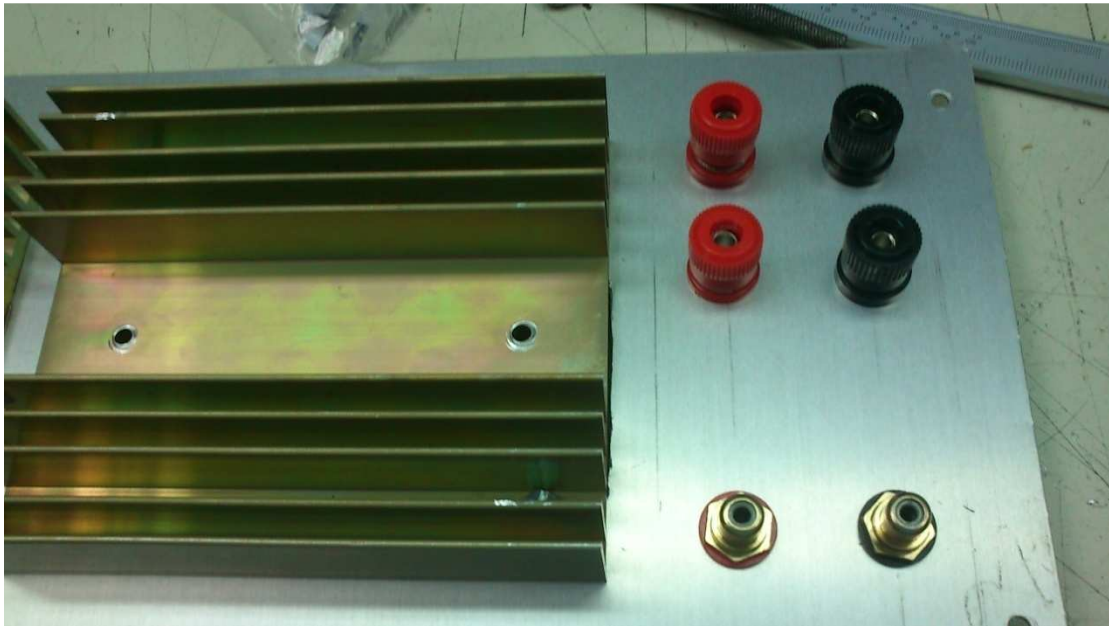
**Εικόνα 11 :Πριν το λιμάρισμα**



**Εικόνα 12 : Μετά βιδώνουμε την ψήκτρα πάνω στο κουτί**



**Εικόνα 13 : Εδώ λιμάραμε τις τρύπες που θα μπουν οι είσοδοι και έξοδοι**



**Εικόνα 14 : Τοποθετήσαμε τις εισόδους και εξόδους**



**Εικόνα 15 : Το πίσω μέρος του κουτιού με τις ψήκτρες**

## Ε . Μοντάρισμα συσκευής

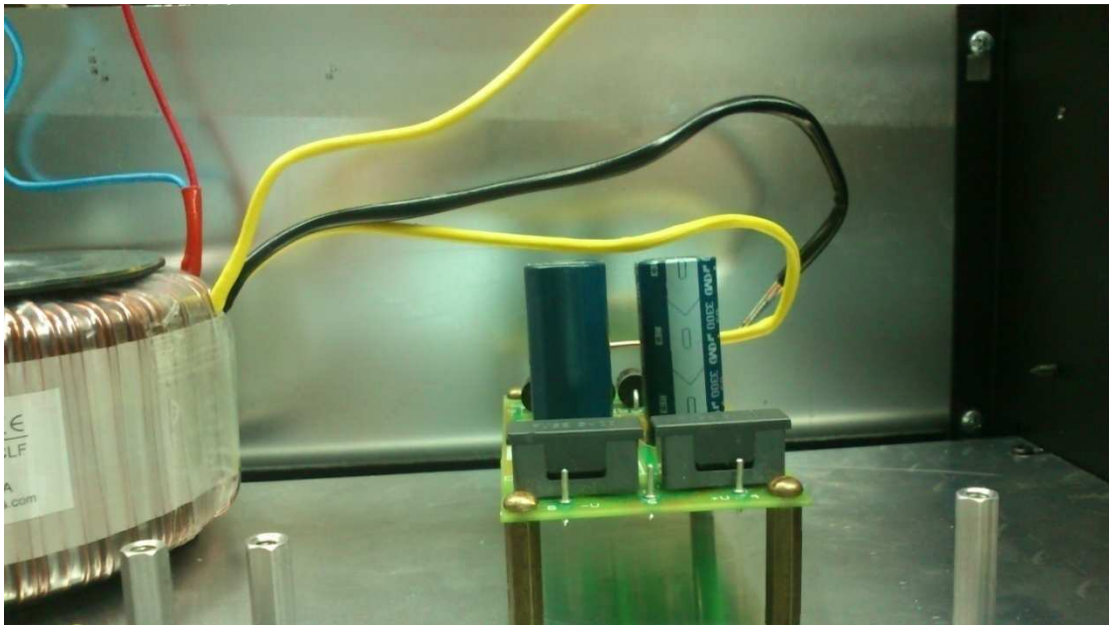
Πρώτα απ' όλα βιδώνω τις ψήκτρες στα τρανζίστορ και στην συνέχεια τις πλακέτες των καναλιών στο κουτί , αφού πρώτα σημαδέψω σωστά για τις τρύπες που θα περάσουν οι βίδες. Στην συνέχεια θα τοποθετηθούν οι πλακέτες του τροφοδοτικού. Για το λόγο αυτό θα σημαδέψω το σασί για να το τρυπήσω στις αποστάσεις που χρειάζεται . Αφού τρυπήσω, για να βιδώσω την πλακέτα, χρησιμοποιώ αποστάτες με τέτοιο ύψος, ώστε να βγαίνουν στο ίδιο ύψος οι πλακέτες με τις ψήκτρες . Σε αυτό μπορεί να παίζει ρόλο ακόμα και πόσο σφικτά είναι βιδωμένη η πλακέτα στη βάση και πόσο σωστά έχουν γίνει οι τρύπες σ' αυτήν. Έπειτα βιδώνω την πλακέτα της τροφοδοσίας με αποστάτες ύψους 1cm.

Στην συνέχεια βιδώνω την πίσω όψη, τοποθετώ τον μετασχηματιστή πίσω από τον κεντρικό διακόπτη τροφοδοσίας και πιο κοντά στο πίσω μέρος του κουτιού. Επέλεξα να χρησιμοποιήσω τορο-ειδή μετασχηματιστή λόγο ότι παράγει μικρότερο μαγνητικό πεδίο γύρω του, με αποτέλεσμα λιγότερες παρεμβολές θορύβου στο κύκλωμα. Το μειονέκτημα του είναι το ακριβότερο κόστος του.



Εικόνα 1 : Τα τρανζίστορ βιδώθηκαν στις ψήκτρες

Μετά το μοντάρισμα όλων των τμημάτων(μετασχηματιστή, τροφοδοτικού, καναλιών),ξεκίνησα τη σύνδεση καλωδίων μετασχηματιστή, τροφοδοτικού. Χρησιμοποιώντας τρία καλώδια, δυο για τη τάση (κίτρινα),και ένα για την γείωση(μαύρο). Έπειτα αφού το τροφοδοτικό μετατρέψει την εναλλασσόμενη τάση σε συνεχή ,χρησιμοποιώ τρία καλώδια δυο για την τάση και ένα για την γείωση για να συνδεθεί η τροφοδοσία στα κανάλια.



**Εικόνα 2 : Εδώ βλέπουμε τους αποστάτες που βιδώσαμε στο σασί**

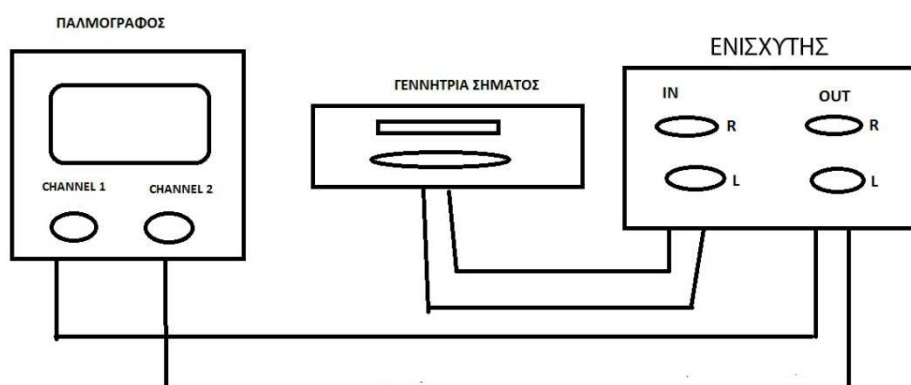
## 8. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Τελειώνοντας το μοντάρισμα της συσκευής και πατώντας το κεντρικό διακόπτη θα ανάψει το ενδεικτικό led και θα ενεργοποιηθεί η συσκευή .

Στη συνέχεια θα ακολουθήσουν μετρήσεις με την βοήθεια του παλμογράφου και της γεννήτριας σήματος στο εργαστήριο ηλεκτρονικών του Τ.Ε.Ι, ώστε να βγάλω συμπεράσματα για την ποιότητα του τελικού ενισχυτή που κατασκεύασα. Έτσι θα γίνουν μετρήσεις για την μέγιστη ισχύ εξόδου, τη συχνотική απόκριση του ενισχυτή και την ολική παραμόρφωση ).

### A. ΜΕΤΡΗΣΗ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΕΞΟΔΟΥ ΕΝΙΣΧΥΤΗ

Η συνδεσμολογία είναι η εξής :



Με αυτή την διάταξη θα κάνουμε τις μετρήσεις για την ισχύ εξόδου και για την συχνотική απόκριση .

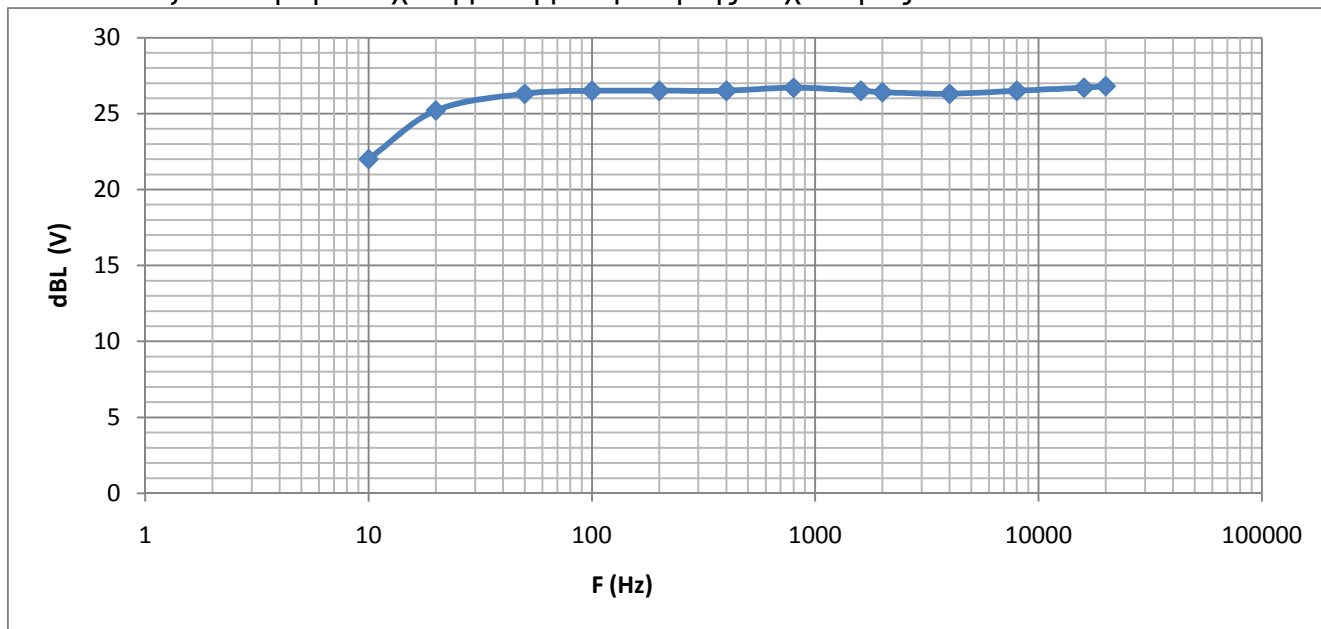
Η μέτρηση μας δείχνει *την μέγιστη ισχύ στην εξοδο του ενισχυτή.*

Hertz	V <sub>inp-p</sub>	V <sub>outp-p</sub>	Volt	Prms
20Hz	450mV	24V	12V	10W
100Hz	450mV	24V	12V	10W
500Hz	450mV	24V	12V	10W
1000Hz	450mV	24V	12V	10W
2000Hz	450mV	24V	12V	10W
8000Hz	450mV	24V	12V	10W
16000Hz	450mV	22V	11V	9W



## B. ΣΥΧΝΟΤΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΥΣΚΕΥΗΣ

Σε όλες τις συσκευές στις οποίες παρατηρείται ενίσχυση, η εξασθένιση κατά την διέλευση ενός σήματος δια μέσου αυτών, συναντάμε τον όρο απόκριση συχνότητας ,που μας πληροφορεί πως μεταβάλλεται η ενίσχυση ή η εξασθένιση σε σχέση με τη μεταβολή της συχνότητας.



**VIN (V) = 150 mV σταθερό**

F (Hz)	Vout(V)L	Vout(V)R	dBL (V)	dBR (V)
10	4V	4V	22.2	22.5
20	5.5V	5.5V	25.2	25.2
50	6.2V	6.2V	26.3	26.3
100	6.4V	6.4V	26.5	26.5
200	6.4V	6.4V	26.5	26.5
400	6.4V	6.4V	26.5	26.5
800	6.5V	6.5V	26.7	26.7
1600	6.4V	6.4V	26.5	26.5
2000	6.3V	6.3V	26.4	26.4
4000	6.2V	6.2V	26.3	26.3
8000	6.5V	6.5V	26.7	26.7
16000	6.5V	6.5V	26.7	26.7
20000	6,6	6,6	26,8	26,8

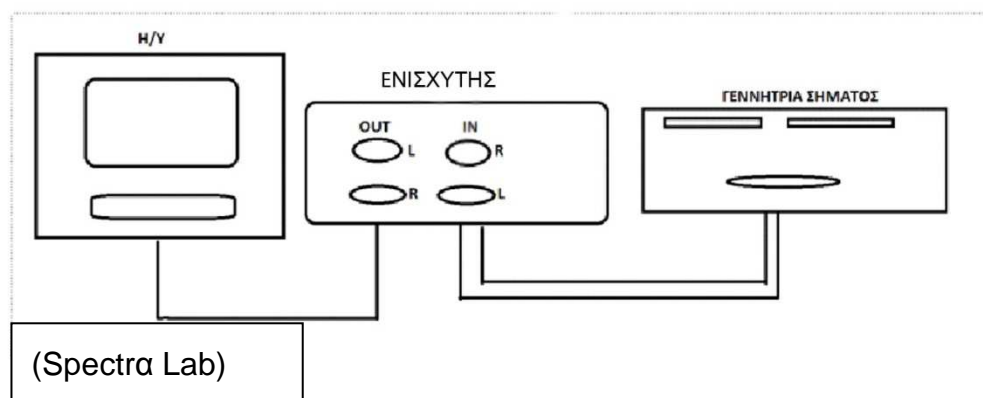
Σε αυτό το πινάκα βλέπουμε τις τιμές για την συχνοτική απόκριση. Αναφέρω μερικές από τις τιμές που έβαλα στον ενισχυτή και τα αποτελέσματα που πήρα . Από το διάγραμμα βλέπουμε από 20 hz μέχρι τα 16000 hz έχουμε σχεδόν ίδια ενίσχυση.

## Γ. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ

Η παραμόρφωση (distortion) είναι μια οποιαδήποτε ανεπιθύμητη αλλαγή που εμφανίζεται σε ένα ακουστικό σήμα. Υπάρχουν πολλοί τύποι παραμορφώσεων που μπορούν να αλλάξουν το εύρος, τη φάση ή να δημιουργήσουν νόθες συχνότητες (spurious), που δεν ήταν παρούσες στο σήμα εισόδου.

Η αρμονική παραμόρφωση είναι μια μορφή του τελευταίου τύπου παραμόρφωσης. Αποτελείται από μια ή περισσότερες νέες συνιστώσες του σήματος που δεν υπήρχαν προηγουμένως στο σήμα και οι συχνότητες τους είναι ακέραια πολλαπλάσια της συχνότητας του αρχικού σήματος. Η αρμονική παραμόρφωση περιγράφεται είτε σαν στάθμη σε dB είτε σαν ποσοστό % της στάθμης το συνόλου των αρμονικών ως προς την στάθμη του σήματος μέτρησης στην έξοδο της συσκευής.

S/N Ratio. Αναλογία σήματος προς θόρυβο. Πόσο δυνατότερη στάθμη έχει το σήμα σε σχέση με το θόρυβο. Υπολογίζεται σε dB. Για την μέτρηση του THD χρησιμοποιήσα υπολογιστή εφοδιασμένο με λογισμικό κατάλληλο για ανάλυση φάσματος (Spectra Lab). Η συνδεσμολογία για τις μετρήσεις ήταν η εξής:



Με αυτή την διάταξη θα κάνουμε τις μετρήσεις για την ολική παραμόρφωση .

<b>Frequency = 20 Hz</b>		
Αρμονική	Πτώση dB	Volt
3η	-34	0.06
THD = 0.03 %		

<b>Frequency = 100 Hz</b>		
Αρμονική	Πτώση dB	Volt
2η	-40	0.03
THD = 0.01 %		

<b>Frequency = 500 Hz</b>		
Αρμονική	Πτώση dB	Volt
2η	-43	0.02
4η	-50	0.01
THD = 0.006 %		

<b>Frequency = 1000 Hz</b>		
Αρμονική	Πτώση dB	Volt
2η	-43	0.02
4η	-63	0.002
THD = 0.01 %		

<b>Frequency = 2000 Hz</b>		
Αρμονική	Πτώση dB	Volt
2η	-43	0.02
4η	-57	0.004
THD = 0.005 %		

<b>Frequency = 10000 Hz</b>		
Αρμονική	Πτώση dB	Volt
2η	-50	0.01
THD = 0.005 %		

## 9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ

Συμπερασματικά, η κατασκευή ενός ενισχυτή απασχολεί τόσο τους κατασκευαστές όσο και τους χρηστές, όσον αφορά την ποιότητα του. Οι σχεδιαστές ενισχυτών προσπαθούν με διάφορες τεχνικές να έχουν το επιθυμητό αποτέλεσμα στην ποιότητα του ήχου, καθώς και στον εύκολο χειρισμό του. Η επιτυχία του αποτελέσματος κρίνεται σε μεγάλο βαθμό από την ισορροπία αυτών των δύο παραγόντων. Στη κατασκευή χρησιμοποίησα ενισχυτή με τρανζίστορ για καλύτερη ποιότητα ήχου και αυτό γιατί όπως γνωρίζουμε εκπέμπει αναλογικό σήμα το οποίο είναι καλύτερης ποιότητας από το ψηφιακό που εκπέμπεται από το ολοκληρωμένο κύκλωμα. Στις μετρήσεις μου παρατηρήθηκε ότι στην έξοδο του ενισχυτή έχουμε την ίδια ενίσχυση σε όλες συχνότητες, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα. Άρα το σήμα που εκπέμπει το σύστημα είναι αρκετά ποιοτικό σε ένα μεγάλο φάσμα συχνοτήτων. Ένα από τα προβλήματα που συνάντησα κατά την διάρκεια της συναρμολόγησης, ήταν να λύσω το χωροταξικό πρόβλημα στο εσωτερικό του κουτιού, ώστε να μπορέσω να τοποθετήσω τα εξαρτήματα με τέτοιο τρόπο για να έχω την καλύτερη δυνατή λειτουργικότητα τους, να αποφύγω τυχών ηλεκτρομαγνητικές επαγωγές αλλά και να μπορώ να έχω εύκολη πρόσβαση σε αυτά. Ακόμα ένα πρόβλημα που εμφανίστηκε ήταν πως η ευαισθησία εισόδου ήταν πολύ χαμηλή και είχα μεγάλη δυσκολία όποτε το συνέδεα, σε μια συσκευή με προ ενίσχυση. Έπρεπε να προσέχω παρά πολύ την ένταση που θα δώσω. Τις πρώτες φορές μου έκαψε τα τρανζίστορ ισχύος. Πιθανότατα την ευθύνη είχε η πλακέτα της τροφοδοσίας. Διέθετα μόνο μια και για τα δυο κανάλια. Γι' αυτό το λόγο έβαλα και δεύτερο τροφοδοτικό και είχα πολύ καλύτερα αποτελέσματα. Οι κολλήσεις των κυκλωμάτων ήταν μια ιδιαίτερα λεπτή δουλειά για την αποφυγή βραχυκυκλώματος και κατά συνέπεια τη λανθασμένη λειτουργία του συστήματος. Επίσης σημαντικό πρόβλημα προς επίλυση υπήρξε η ψύξη των εξαρτημάτων καθώς και η μόνωση του συστήματος ψύξης από τον θόρυβο, στο τελικό σήμα που εξάγεται από το σύστημα. Διαπίστωση, ότι χρειάζεται ένα ευρύ φάσμα γνώσεων, καλά εμπειριστατωμένων και σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση η δημιουργία μιας τέτοιας κατασκευής καθιστάτε αδύνατη.

Οι βελτιώσεις που μπορούν να γίνουν για την καλύτερη απόδοση του ενισχυτή είναι :

1. Η τοποθέτηση προ ενισχυτή για να έχουμε την δυνατότητα να συνδέουμε μουσικά όργανα ,να ρυθμίζουμε την ένταση και ακόμα καλύτερα με λάμπες, ώστε να έχουμε καλύτερη ποιότητα.

2. Ο επανασχεδιασμός της πλακέτας των τρανζίστορ και του τροφοδοτικού γιατί οι διαδρομές της πλακέτας είχαν κακή ποιότητα κατασκευής και χρειάστηκε πολλές φορές να τις επισκευάσω.

3. Προσθήκη μιας βαθμίδας επιλογής εισόδων ώστε να μπορούμε να έχουμε πολλές συσκευές συνδεδεμένες στις εισόδους και μέσω επιλογής να διαλέγουμε την είσοδο που θέλουμε .

4. Βελτίωση του κυκλώματος ώστε να έχουμε ρύθμιση του σήματος εισόδου και προστασία ώστε να μην δημιουργείται πρόβλημα σε μεγάλη τάση εισόδου .

5.Βελτίωση στην ευαισθησία εισόδου. Επειδή έχουμε πολύ χαμηλή ευαισθησία και είναι πολύ εύκολο, αν δεν προσέξουμε να κάψουμε τα τρανζίστορ ισχύος.

Κλείνοντας θα ήθελα να εκφράσω την άποψή μου λέγοντας ότι ήταν μια πολύ ωραία εμπειρία η κατασκευή του τελικού ενισχυτή , γιατί μου έδωσε την ευκαιρία να μάθω πως σχεδιάζεται, κατασκευάζεται και λειτουργεί.

Ελπίζω τις γνώσεις που αποκόμισα, να τις χρησιμοποιήσω στη δουλειά μου.

## 10. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

Μέσα από αυτή την πτυχιακή εργασία είχα την ευκαιρία να μάθω αναλυτικά και με λεπτομέρεια τους ενισχυτές με τρανζίστορ.

Θεωρώ ότι είναι αρκετά λειτουργικοί και μπορούν να χρησιμοποιηθούν χωρίς ιδιαίτερα προβλήματα. Σε γενικές γραμμές η δουλειά που έγινε στο συγκεκριμένο ενισχυτή με αφήνει αρκετά ικανοποιημένο καθώς κατάφερα μέσα από την κατασκευή του να κατανοήσω αρκετά πράγματα για τον τρόπο λειτουργίας των ενισχυτών αλλά και τα προβλήματα που θα συναντά όποιος θελήσει να προβεί στην κατασκευή του.

Όσο αναφορά για τυχόν μελλοντικές δουλειές πάνω στη κατασκευή ενισχυτών ,προτείνω για να είναι ποιοτικοί ,όσον αφορά το σήμα τους, να κατασκευάζονται με λάμπες . Επίσης επιβάλλεται και η χρήση φίλτρων για να μπορεί ο χρήστης να επεμβαίνει στη διαμόρφωση των συχνοτήτων.

## 11. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

\_ Βασική Ηλεκτρονική, Albert Paul Malvino, τέταρτη έκδοση.  
ISBN 978-960-418-410-1

\_ Σημειώσεις εφαρμοσμένης ακουστικής Ι, Μηνάς Κ. Σηφάκης Έκδοση 1.0.

\_ Πακτίτης, Σπύρος Α. Τελεστικοί ενισχυτές και γραμμικά ολοκληρωμένα κυκλώματα / Σπύρος Α. Πακτίτης. - ISBN 960-411-520-0

\_ Κεχράκος Κώστας. « Ηχητικά συστήματα 2»  
Σημειώσεις Του Τμήματος Μουσικής τεχνολογίας και  
ακουστικής ΑΤΕΙ Ρεθύμνου 2010

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

<http://en.Wikipedia.org/wiki/Amplifier>

<http://www.smartkit.gr/>

<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/2588/MOSPEC/BDV66.html>

Οι σύνδεσμοι ελέγχθηκαν 13-3-2013

BDV66,A,B PNP / BDV67,A,B NPN

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS (  $T_c = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted )**

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
----------------	--------	-----	-----	------

**OFF CHARACTERISTICS**

Collector - Emitter Sustaining Voltage (1) ( $I_c = 0.1\text{ A}$ , $L=25\text{ mH}$ )	BDV66,BDV67 BDV66A,BDV67A BDV66B,BDV67B	$V_{CEO(sus)}$	60 80 100	V
Collector Cutoff Current ( $V_{CE} = 30\text{ V}$ , $I_B = 0$ ) ( $V_{CE} = 40\text{ V}$ , $I_B = 0$ ) ( $V_{CE} = 50\text{ V}$ , $I_B = 0$ )	BDV66,BDV67 BDV66A,BDV67A BDV66B,BDV67B	$I_{CEO}$	3.0 3.0 3.0	mA
Collector Cutoff Current ( $V_{CB} = 60\text{ V}$ , $I_E = 0$ ) ( $V_{CB} = 80\text{ V}$ , $I_E = 0$ ) ( $V_{CB} = 100\text{ V}$ , $I_E = 0$ )	BDV66,BDV67 BDV66A,BDV67A BDV66B,BDV67B	$I_{CBO}$	0.4 0.4 0.4	mA
Emitter Cutoff Current ( $V_{EB} = 5.0\text{ V}$ , $I_C = 0$ )		$I_{EBO}$	5.0	mA

**ON CHARACTERISTICS (1)**

Collector-Emitter Saturation Voltage ( $I_c = 10\text{ A}$ , $I_B = 40\text{ mA}$ )		$V_{CE(sat)}$	2.0	V
--	--	---------------	-----	---

**DYNAMIC CHARACTERISTICS**

Small-Signal Current Gain (2) ( $I_c = 5.0\text{ A}$ , $V_{CE} = 3.0\text{ V}$ , $f = 1.0\text{ KHz}$ )		$f_T$	6.0	MHz
Output Capacitance ( $V_{CB} = 10\text{ V}$ , $I_E = 0$ , $f = 1.0\text{ MHz}$ )		$C_{ob}$	450	pF

## DARLINGTON COPLEMENTARY SILICON POWER TRANSISTORS

...designed for general-purpose amplifier and low speed switching applications

### FEATURES:

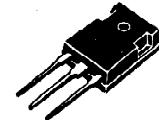
- \* Collector-Emitter Sustaining Voltage-  
 $V_{CE(SUS)}$  = 60 V (Min) - BDV66, BDV67  
 = 80 V (Min) - BDV66A, BDV67A  
 = 100 V (Min) - BDV66B, BDV67B
- \* Collector-Emitter Saturation Voltage  
 $V_{CE(sat)}$  = 2.0 V (Max.) @  $I_C = 10A$
- \* Monolithic Construction with Built-in Base-Emitter Shunt Resistor

PNP	NPN
BDV66	BDV67
BDV66A	BDV67A
BDV66B	BDV67B

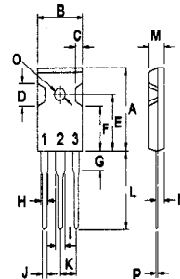
16 AMPERE  
DARLINGTON  
COMPLEMENTARY SILICON  
POWER TRANSISTORS  
60-100 VOLTS  
125 WATTS

### MAXIMUM RATINGS

Characteristic	Symbol	BDV66 BDV67	BDV66A BDV67A	BDV66B BDV67B	Unit
Collector-Emitter Voltage	$V_{CEO}$	60	80	100	V
Collector-Base Voltage	$V_{CBO}$	60	80	100	V
Emitter-Base Voltage	$V_{EBO}$	5.0			V
Collector Current-Continuous -Peak	$I_C$ $I_{CM}$	16 20			A
Base Current	$I_B$	0.25			A
Total Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ C$ Derate above $25^\circ C$	$P_D$	125 1.0			W W/ $^\circ C$
Operating and Storage Junction Temperature Range	$T_J, T_{STG}$	- 65 to +150			$^\circ C$



TO-247(3P)



PIN 1.BASE  
2.COLLECTOR  
3.EMITTER

### THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance Junction to Case	$R_{\theta jc}$	1.0	$^\circ C/W$

DIM	MILLIMETERS	
	MIN	MAX
A	20.63	22.38
B	15.38	16.20
C	1.90	2.70
D	5.10	6.10
E	14.81	15.22
F	11.72	12.84
G	4.20	4.50
H	1.82	2.46
I	2.92	3.23
J	0.89	1.53
K	5.26	5.66
L	18.50	21.50
M	4.68	5.36
N	2.40	2.80
O	3.25	3.65
P	0.55	0.70

