



ΑΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ & ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ



ΤΙΤΛΟΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ:

«ΕΝΕΡΓΟ ΦΟΡΗΤΟ ΗΧΕΙΟ ΜΙΚΡΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΜΕ ΕΙΣΟΔΟ ΓΙΑ ΜΙΚΡΟΦΩΝΟ»

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ:

ΧΡΗΣΤΟΣ ΧΡΗΣΤΟΥ - ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ ΠΙΟΤΟΓΙΑΝΝΑΚΗΣ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ:

ΜΙΧΑΛΗΣ ΦΩΤΙΟΥ – ΑΡ. ΜΗΤΡΩΟΥ: 1084

ΡΕΘΥΜΝΟ 2015

Ευχαριστίες:

Πρωτίστως θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή των Αναλογικών Ηλεκτρονικών κ. Χρήστο Χρήστου, ο οποίος με στήριξε στην πιο δύσκολη χρονική στιγμή της φοίτησης μου στη Σχολή, αποδεχόμενος να αναλάβω πτυχιακή εργασία στον τομέα του.

Όχι λιγότερο θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Στέλιο Πιοτογιαννάκη για την αδιάκοπη στήριξη που μου παρείχε κατά την διάρκεια της εκπόνησης της παρούσης πτυχιακής εργασίας. Η καθοδήγησή του για την επιλογή του θέματος, Οι πολύτιμες συμβουλές που μου έδινε, η αξιοθαύμαστη υπομονή του, η φιλική προσέγγισή του, στάθηκαν πολύτιμος καταλύτης τόσο για την πρακτική άσκηση, όσο και για την εκπόνηση της πτυχιακής μελέτης μου και το εκτίμησα ιδιαίτερα.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου που τόσα χρόνια με στήριζαν οικονομικά και ψυχολογικά στις σπουδές μου εδώ στην Κρήτη. Θα ήταν παράλειψη να μην ευχαριστήσω και όσους καθηγητές και φίλους με βοήθησαν με διάφορους τρόπους.

Περίληψη:

Ο στόχος της παρούσης πτυχιακή εργασίας είναι η κατασκευή ενεργού φορητού ηχείου, μικρού μεγέθους, με είσοδο για μικρόφωνο για διάφορες κοινές χρήσεις. Είναι γεγονός ότι στο εμπόριο κυκλοφορούν ασύρματα φορητά ηχεία τα οποία όμως είναι πανάκριβα.

Το ενεργό φορητό ηχείο που κατασκευάστηκε είναι χαμηλού κόστους, τροφοδοτείται από μπαταρία 12 volt, είναι ευκολόχρηστο και συμπληρώνει το κενό για χρήσεις που δεν απαιτούν επαγγελματικά φορητά ηχεία.

Για την υλοποίηση της πτυχιακής εργασίας αναζητήθηκε το κατάλληλο κύκλωμα το οποίο έπρεπε να εκπληρώνει τις πιο κάτω βασικές προϋποθέσεις:

1. Να τροφοδοτείται με ρεύμα μπαταρίας
2. Να έχει την κατάλληλη προενίσχυση για μικρόφωνο
3. Να έχει στοιχειώδες κύκλωμα για Bass/Tremble
4. Να έχει ικανοποιητική έξοδο για χρήση μπροστά από μικρό ακροατήριο

Μετά την κατασκευή του κυκλώματος σε πλακέτα, έπρεπε να ενσωματωθεί σε μικρή φορητή καμπίνα ηχείου. Γι' αυτό το σκοπό κατασκευάστηκε ξύλινο κουτί με τέτοιες διαστάσεις ώστε να χωρεί μέσα η πλακέτα με το κύκλωμα και ένα ηχείο 8 Ω και ισχύ 15 W.

Ακολουθώντας και ανάλογα με τις δυσκολίες που παρουσιάστηκαν, πάρθηκαν μετρήσεις και έγινε η εξαγωγή συμπερασμάτων για την τελική του απόδοση.

Λέξεις Κλειδιά

Μικρόφωνο, Προενίσχυση, Κέρδος Τάσης, Ενισχυτής, Ολοκληρωμένο Κύκλωμα, Καμπίνα Μεγαφώνου, Μπαταρία, Ολική Αρμονική Παραμόρφωση, Στάθμη Εξόδου

Abstract:

The main purpose of the present thesis is to present and illustrate the manufacture of a portable active speaker with microphone input, as this electronic design may be used for several public needs.

The specific gadget already stands out in the market, but due to its high price cost, makes it unavailable for the average consumer society.

This built up manufacture has been designed with low cost materials. It has a 12V power supply battery and it is accessible for use by any public user. The purpose of this gadget bridges up the gap between professional and non professional uses that require advanced equipment.

After several conclusions, research has been done to choose the most compatible electronic circuit which has been used for the present manufacture built up, following up with the specific criteria.

1. Battery installed for power supply
2. To contain a compatible preamplifier supply
3. To be designed with a tone – control circuit
4. Be able to stand out properly for any public use (In front of a small audience for example)

After the electronic PCB manufactured it was installed in a portable speaker cabin. For this purpose a petite custom speaker cabin has been made by wood, hosting the inner parts of this gadget along with a 8Ω / 15W speaker.

At a following up stage, several calculations were made and finally conclusions were drawn for the device in order for the manufacture's final performance.

Key Words

Microphone, Preamplifier, Gain, Amplifier, Integrated Circuit, Loudspeaker, Battery, Total Harmonic Distortion, Maximum Output Level

Περιεχόμενα:

Εισαγωγή	Σελ. 6
Κεφάλαιο 1: Τεχνικά χαρακτηριστικά Δυναμικού Μικροφώνου	Σελ. 8
1.1 Επιλογή μικροφώνου	Σελ. 8
1.2 Σύνθετη αντίσταση μικροφώνου	Σελ. 8
1.3 Απόκριση συχνοτήτων μικροφώνου	Σελ. 8
1.4 Πολικό διάγραμμα μικροφώνου	Σελ. 9
1.5 Ευαισθησία μικροφώνου	Σελ.10
1.6 Καλωδίωση μικροφώνου	Σελ. 11
Κεφάλαιο 2: Ανάλυση κυκλώματος ενισχυτικής διάταξης	Σελ. 13
2.1 Προενίσχυση	Σελ. 13
2.2 Σύνθετη αντίσταση εισόδου	Σελ. 14
2.3 Κέρδος τάσης προενίσχυσης	Σελ. 15
2.4 Προσομοίωση με το πρόγραμμα LTSpice	Σελ. 15
2.5 Γραμμή Εισόδου - Line in	Σελ. 18
2.6 Bass/Treble	Σελ. 19
2.7 Δεύτερο στάδιο προενίσχυσης	Σελ. 20
2.8 Ενίσχυση με το ολοκληρωμένο κύκλωμα TDA 2004	Σελ. 21
2.9 Η λειτουργία TDA 2004 στη μονοφωνική ενίσχυση της παρούσας ενισχυτικής διάταξης	Σελ. 22
2.10 Κύκλωμα απόζευξης	Σελ. 24
Κεφάλαιο 3: Κατασκευή του κυκλώματος ενισχυτικής διάταξης στην πλακέτα	Σελ. 25
3.1 Οι μονάδες ενίσχυσης του κυκλώματος	Σελ. 26
3.2 Συναρμολόγηση αντιστάσεων	Σελ. 26
3.3 Συναρμολόγηση ψηλότερων εξαρτημάτων	Σελ. 26
3.4 Συναρμολόγηση των ποτενσιόμετρων και του IC TDA 2004	Σελ. 26
Κεφάλαιο 4: Κατασκευή της καμπίνας του μεγαφώνου	Σελ. 27
4.1 Σχεδιασμός, διαστάσεις, υλικά	Σελ. 27
4.2 Κατασκευή της καμπίνας	Σελ. 27
4.3 Εφαρμογή του μεγαφώνου και της ενισχυτικής διάταξης εντός της καμπίνας	Σελ. 27
Κεφάλαιο 5: Μετρήσεις και σχεδιαγράμματα	Σελ. 30
5.1 Μέτρηση μέγιστης στάθμης εξόδου της γραμμής εισόδου	Σελ. 30
5.2 Μέτρηση μέγιστης στάθμης εξόδου της ενισχυτικής διάταξης (Mic)	Σελ. 31
5.3 Μέτρηση της ηχητικής έντασης της ανθρώπινης ομιλίας	Σελ. 31
5.4 Συνοπτικά χαρακτηριστικά του ενισχυτή	Σελ. 32
Κεφάλαιο 6: Γενικές παρατηρήσεις – Βελτίωση	Σελ. 32
6.1 Συμπεράσματα	Σελ. 32
6.2 Εισήγηση για βελτίωση	Σελ. 33
Βιβλιογραφικές αναφορές και Βοηθήματα	Σελ. 36

Εισαγωγή:

Από τη στιγμή που αποφασίστηκε το θέμα για την πτυχιακή, με την έγκριση από το αρμόδιο σώμα της Σχολής, άρχισα την προσπάθεια υλοποίησης του συγκεκριμένου στόχου. Η αρχική ιδέα ήταν να χρησιμοποιηθεί κύκλωμα που να τροφοδοτείται με μπαταρία 9 V, να έχει tone control και το σήμα του μικροφώνου να ενισχύεται με το ολοκληρωμένο κύκλωμα TDA 2003 που είναι ενισχυτής τάξης AB.

Δεν άργησα να διαπιστώσω ότι η απόδοση ενός τέτοιου κυκλώματος θα ήταν ανεπαρκής για το σκοπό που επιδιώκετο διότι η μέγιστη ισχύς θα κυμαινόταν γύρω στα 4W / 8 Ohm. Η δεύτερη διαπίστωση ήταν ότι δεν θα μπορούσα να πάρω ικανοποιητική απόδοση αν στο σχετικό κύκλωμα δεν είχε προενίσχυση μικροφώνου. Έτσι κατέληξα στο πιο κάτω κύκλωμα (Σχήμα 1) με αποτέλεσμα η τροφοδοσία από 9 V να γίνει 12 V και να χρησιμοποιήσω ως δυναμικό ενισχυτή το ολοκληρωμένο κύκλωμα TDA 2004, ενισχυτής τάξης B και με έξοδο γύρω στα 7 W / 8 Ohm , αρκετά ικανοποιητική για μικρό ακροατήριο.

Ολόκληρη η μονάδα μοιάζει με ένα μικρό PA σύστημα που αποτελείται από:

1. Ένα δυναμικό μικρόφωνο με καλώδιο XLR
2. Την μονάδα του ενισχυτή που κατασκευάστηκε πάνω στην πλακέτα
3. Την καμπίνα του ηχείου που κατασκευάστηκε με ξύλο marine plywood
4. Το ηχείο 15W / 8 Ohm

Στην πρώτη θεματική ενότητα ασχολήθηκα με τα απαραίτητα τεχνικά χαρακτηριστικά του δυναμικού μικροφώνου που χρησιμοποιείται.

Στη δεύτερη ενότητα γίνεται διεξοδική ανάλυση του σχετικού κυκλώματος.

Στην τρίτη ενότητα περιγράφεται η κατασκευή της ενισχυτικής διάταξης.

Στην τέταρτη ενότητα γίνεται περιγραφή της κατασκευής της καμπίνας.

Στην πέμπτη ενότητα καταχωρούνται οι σχετικές μετρήσεις και τέλος στην έκτη, εξάγονται τα σχετικά συμπεράσματα και τα απαραίτητα σχόλια.

Κεφάλαιο 1: Τεχνικά χαρακτηριστικά Δυναμικού Μικροφώνου Behringer XM1800S

1.1 Επιλογή μικροφώνου

Η επιλογή ενός μικροφώνου που να συνάδει με τις ιδιομορφίες και τα δεδομένα της συγκεκριμένης ενίσχυσης ηχητικού σήματος, είναι προφανώς ύψιστη προτεραιότητα. Στην προκειμένη περίπτωση έπρεπε να ληφθούν υπόψη τα εξής δεδομένα:

1. Η όσο το δυνατό πιστότερη αναπαραγωγή της ανθρώπινης φωνής.
2. Ο ενισχυτής που τροφοδοτείται με ρεύμα μπαταρίας να μπορεί να ενισχύει το σήμα εξόδου του μικροφώνου.
3. Η σύνθετη αντίσταση του ενισχυτή να είναι συμβατή με το κύκλωμα του μικροφώνου.

Γι' αυτούς τους λόγους επιλέγηκε Υπερκαρδιοειδές Δυναμικό Μικρόφωνο. Θα μπορούσε όμως να χρησιμοποιηθεί και πυκνωτικό μικρόφωνο.

1.2 Σύνθετη αντίσταση μικροφώνου 600 Ω

Η σύνθετη αντίσταση της πηγής Z_{out} , στην περίπτωση αυτή του μικροφώνου (**source impedance**), είναι πολύ σημαντικός παράγοντας για την ορθή σύζευξη διαφορετικών κυκλωμάτων. Υπό κανονικές συνθήκες η σύνθετη αντίσταση του φορτίου Z_{in} , (**load impedance**, ενισχυτή) πρέπει να είναι πάνω από δέκα φορές μεγαλύτερη¹ από την Z_{out} .

Σχεδόν όλα τα σημερινά επαγγελματικά μικρόφωνα είναι επιθυμητό να παρουσιάζουν «χαμηλή σύνθετη αντίσταση», σε αντίθεση με τις ψηλές αντιστάσεις που εμφανίζονταν τις περασμένες δεκαετίες. Το φάσμα της αντίστασης μπορεί να είναι τυπικά από 50 μέχρι 200 Ω για τα πυκνωτικά μικρόφωνα και μέχρι 600 Ω για τα δυναμικά.²

Η σύνθετη αντίσταση στα δυναμικά μικρόφωνα μπορεί να μην είναι η ίδια σε όλο το φάσμα των συχνοτήτων. Γι' αυτό και η αναλογία Z_{in} προς Z_{out} , αν στην πράξη πλησιάζει την **1:1**, υπάρχει περίπτωση να επηρεάσει την απόκριση συχνότητας. Επειδή όμως σήμερα, η συνηθισμένη πρακτική, είναι η αντίσταση φορτίου στην είσοδο Z_{in} , να φαίνεται στην Z_{out} του μικροφώνου μέσα από ένα φάσμα 1,5K Ω μέχρι 5KΩ η διαφορά αυτή έχει συνήθως μικρή επίδραση στον ήχο του μικροφώνου.³

¹ Κεχράκος Κώστας, Εργαστήριο Ηχητικών Συστημάτων II, σελ.20

² Ray A. Rayburn, Eargle's Microphone Book, Σελ.136

3. Στην ίδια σελίδα.

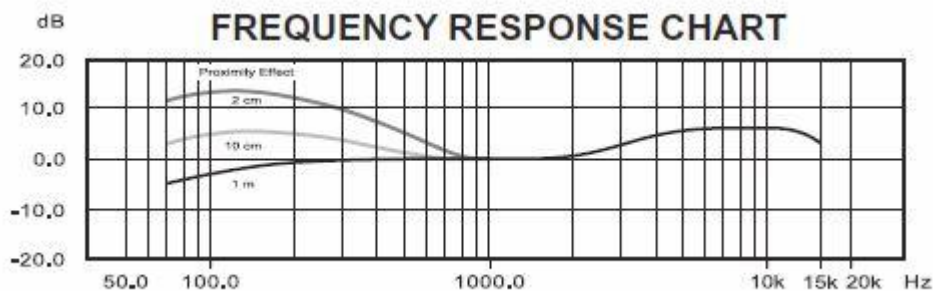
1.3 Απόκριση συχνοτήτων, Frequency response, μικροφώνου

Η απόκριση συχνοτήτων ενός μικροφώνου περιγράφει το επίπεδο ανταπόκρισης του σε dB για όλο το φάσμα ακουστικών συχνοτήτων σε ένα on axis σήμα. Τα όρια υψηλής και χαμηλής συχνότητας περιγράφονται ως τα σημεία στα οποία η απόκριση του μικροφώνου είναι 3 dB κάτω από το επίπεδο αναφοράς εξόδου στο 1 kHz. Το επίπεδο αναφοράς στο 1 kHz είναι καθορισμένο σε 0 dB.

Η απόκριση συχνοτήτων εμφανίζεται ως ένας πίνακας dB/Hz στον οποίο απεικονίζεται λογαριθμικά η απόδοση του μικροφώνου ανάλογα με την ακουστική συχνότητα, συνήθως στο φάσμα, 0 μέχρι 20 kHz.

Μερικά μικρόφωνα είναι κατασκευασμένα ώστε η απόκριση συχνοτήτων τους να είναι επίπεδη κατά μήκος του φάσματος των συχνοτήτων. Μερικοί κατασκευαστές όμως σχεδιάζουν μικρόφωνα με τέτοιο τρόπο ώστε η απόκρισή τους να εξυπηρετεί ένα συγκεκριμένο σκοπό.

Στον πιο κάτω πίνακα παρουσιάζεται η συχνοτική απόκριση του μικροφώνου που χρησιμοποιούμε. Παρατηρούμε ότι στο διάγραμμα απεικονίζεται και η επίπτωση του φαινομένου εγγύτητας, **proximity effect**. Δηλαδή η υπέρμετρη αύξηση της απόκρισης των χαμηλών μόνο συχνοτήτων, που συμβαίνει όταν η απόσταση της ηχητικής πηγής από το μικρόφωνο είναι μικρότερη από τα 50 εκατοστά του μέτρου.



Σχήμα 1.2: Απόκριση συχνοτήτων Δυναμικού Μικροφώνου Behringer XM1800S

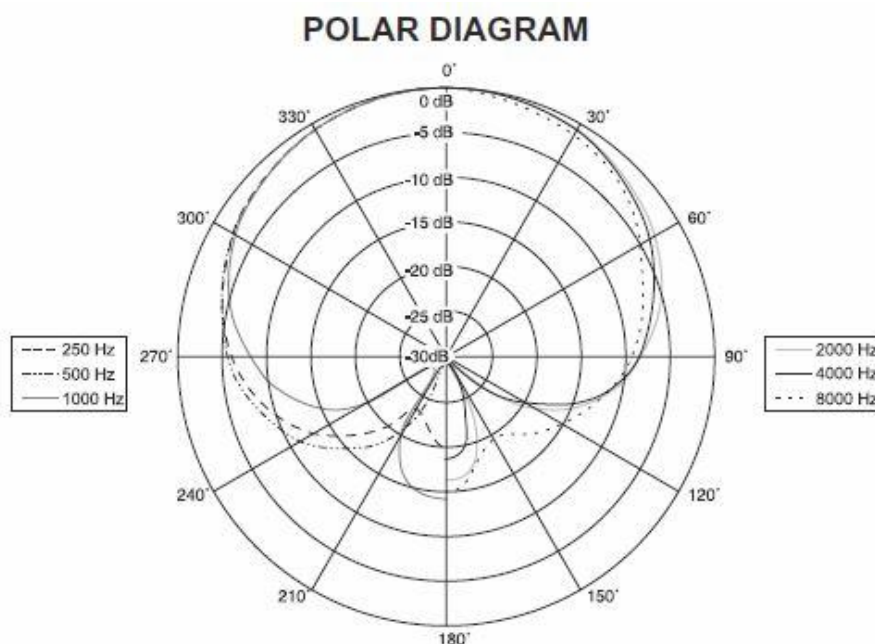
Η αύξηση των χαμηλών συχνοτήτων είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μικρότερη είναι η απόσταση της πηγής από το μικρόφωνο. Το φαινόμενο σταδιακά ελαττώνεται και εξαλείφεται πλήρως μετά την απομάκρυνση του ομιλητή πάνω από 50 εκατοστά από την κάψα του μικροφώνου.⁴

⁴ Δημήτρης Ξενικάκης, Σημειώσεις Ηχοληψίας, Σελ.40

1.4 Πολικό διάγραμμα μικροφώνου

Βασικό χαρακτηριστικό ενός μικροφώνου είναι η κατευθυντικότητα του, η οποία αποδίδει την απόκρισή του σε διάφορες διευθύνσεις του χώρου και περιγράφεται από το λεγόμενο πολικό διάγραμμα κατευθυντικότητας.

Το πολικό διάγραμμα του Υπερκαρδιοειδούς μικροφώνου προέρχεται από το συνηθισμένο διάγραμμα ενός καρδιοειδούς, αφού βρούμε την τιμή του B που καθιστά μέγιστο τον συντελεστή UDI . Το αποτέλεσμα είναι να πάρουμε ένα κατεξοχήν μονοκατευθυντικό μικρόφωνο με εξίσωση $S(\theta) = 0.37 + 0.63 \cos \theta$.⁵



Σχήμα 1.3: Πολικό διάγραμμα του Υπερκαρδιοειδούς μικροφώνου

1.5 Ευαισθησία μικροφώνου 2.5 mV/ Pa (-52 dBV)

Η κύρια μέθοδος παρουσίασης της ευαισθησίας ενός μικροφώνου είναι η εύρεση της rms τάσης εξόδου του σε mV / Pa όταν τοποθετείται σε ένα πρότυπο ηχητικό σήμα που εφαρμόζεται στην είσοδο. Το πρότυπο αυτό σήμα εισόδου αναφοράς, για τις μετρήσεις της ευαισθησίας, είναι ένα ημιτονοειδές κύμα 1 KHz πίεσης 1 Pascal (Pa) ή σε 94 dB στάθμης ηχητικής πίεσης (SPL).⁶

Όταν συγκρίνουμε δύο μικρόφωνα μπροστά από μια σταθερή ακουστική είσοδο, το μικρόφωνο με υψηλότερη τιμή ευαισθησίας εμφανίζει μεγαλύτερη ένδειξη εξόδου από το άλλο. Η ευαισθησία ενός μικροφώνου σε ντεσιμπέλ (dB) είναι συνήθως ένας αρνητικός αριθμός, γι' αυτό μια μεγαλύτερη ευαισθησία παρουσιάζει μεγαλύτερη απόλυτη τιμή.

⁵ Δημήτρης Ξενικάκης, Σημειώσεις Ηχοληψίας, Σελ.46

⁶ Douglas Self, Small signal audio design, Σελ.134

Είναι σημαντικό, όταν μελετούμε τις προδιαγραφές ενός μικροφώνου, να κατανοούμε τις μονάδες μέτρησης της ευαισθησίας του. Είναι λάθος να συγκρίνουμε την ευαισθησία των δύο μικρόφωνων, αν η ευαισθησία δεν έχει καθοριστεί με την ίδια μονάδα. Για τα αναλογικά μικρόφωνα η ευαισθησία συνήθως καθορίζεται σε μονάδες, mV / Pa .

Αυτή η μέτρηση μετατρέπεται και σε μια τιμή decibel dBV σε σχέση με πρότυπο αναφοράς, το $1,0 V rms$ ($0 dBV = 1V/Pa$) σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση:

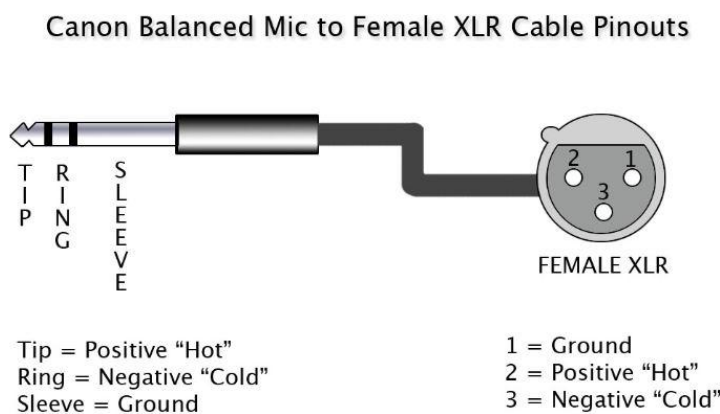
$$Sensitivity_{dBV} = 20 \log \left(\frac{Sensitivity_{mV/Pa}}{Output_{REF}} \right)$$

Το πρότυπο αναφοράς output ratio είναι $1V/Pa = 1000 mV/Pa$

Η μεγαλύτερη ευαισθησία δεν αποτελεί πάντα εγγύηση για το καλύτερο μικρόφωνο. Σε κοντινά πεδία, για παράδειγμα, σε εφαρμογές για ομιλία ή διάλεξη, ένα μικρόφωνο με μεγαλύτερη ευαισθησία είναι πιο πιθανό να προκαλέσει στρεβλώσεις. Αυτή η στρέβλωση συχνά μειώνει το συνολικό δυναμικό εύρος του μικροφώνου.⁷

1.6 Καλωδίωση μικροφώνου

Το μικρόφωνο Behringer XM1800S συνδέεται με τον ενισχυτή με καλώδιο Balanced XLR με τρεις θηλυκούς ακροδέκτες.



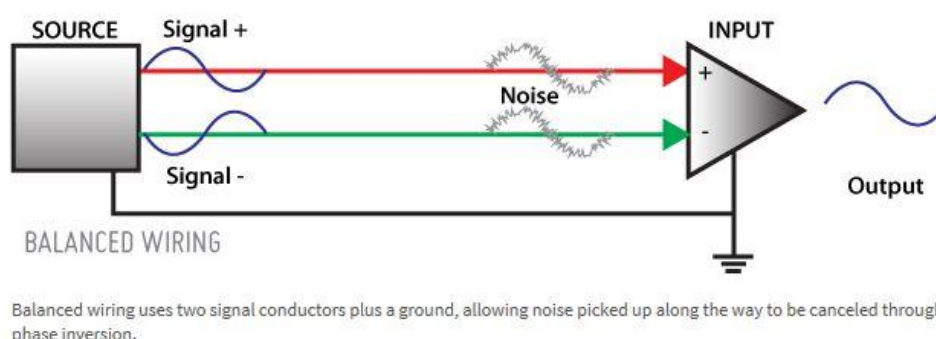
Σχήμα 1.4: Παράδειγμα XLR καλωδίου από την Canon

Τα ισορροπημένα καλώδια (Balanced) χρησιμοποιούνται για την πρόληψη του θορύβου και του φαινομένου crosstalk από το να επηρεάζουν το σήμα εισόδου. Η

⁷ Inven Sense, Microphone specifications explained (Ιστοσελίδα)

βασική αρχή της ισόρροπης διασύνδεσης είναι να πάρουμε το σήμα που θέλουμε χρησιμοποιώντας το φαινόμενο της αφαίρεσης «subtraction» διαμέσου μιας σύνδεσης τριών καλωδίων. Στην ουσία το ένα καλώδιο αποτελεί τη γείωση και τη θωράκιση ενώ τα άλλα δύο καλώδια είναι πρώτα το ονομαζόμενο «hot», ζεστό, που το σήμα του βρίσκεται σε φάση, ενώ το άλλο ονομάζεται «cold», κρύο και βρίσκεται σε διαφορά φάσης από το προηγούμενο. Έτσι κάθε αγωγός φέρνει διά μέσου του το ίδιο σήμα αλλά με την πολικότητα αντίστροφη σε σχέση με τον άλλον.

Η λειτουργία τους στηρίζεται στο ότι ο θόρυβος, που προστίθεται στους αγωγούς μαζί με το κυρίως σήμα, αναιρείται αφού η είσοδος του ενισχυτή, ενισχύει την διαφορά μεταξύ των δύο αγωγών του ήχου. Η διαφορά ανάμεσα στα δύο σήματα μας δίνει το σήμα εξόδου που επιθυμούμε για την παραγωγή του ήχου ενώ ταυτόχρονα αναιρείται ο θόρυβος.⁸



Σχήμα 1.5: Εξουδετέρωση θορύβου με την ισόρροπη διασύνδεση

Πλεονεκτήματα ισορροπημένων διασυνδέσεων.⁹

1. Απορρίπτουν θορύβους από ηλεκτροστατικά ή μαγνητικά πεδία καθώς και από ρεύματα εδάφους.
2. Δίνουν 6 dB περισσότερο σήμα στη γραμμή.
3. Πραγματοποιούνται συνήθως με βύσματα XLR που είναι σαφώς ανώτερα από τα RCA καλώδια.

Μειονεκτήματα ισορροπημένων διασυνδέσεων.

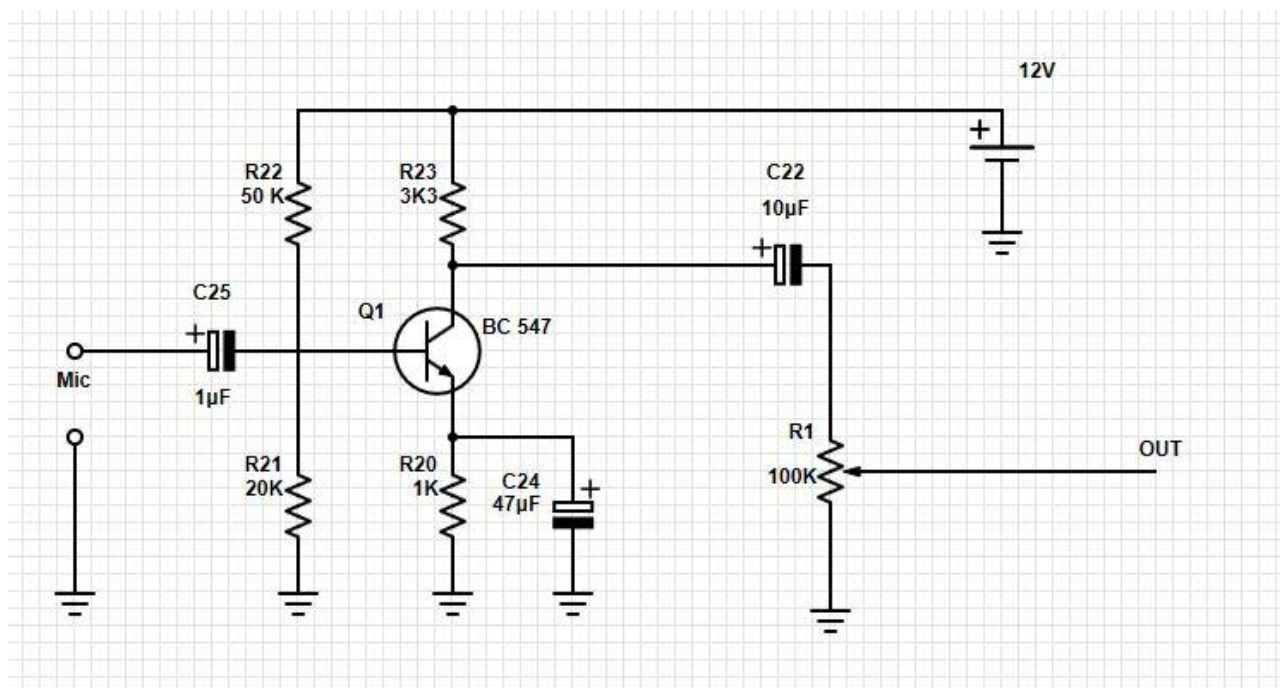
1. Είναι πιο «θορυβώδεις» από τις ισορροπημένες εισόδους όσον αφορά τον θόρυβο που παράγεται από το ίδιο το κύκλωμα εισόδου και όχι τον εξωτερικό θόρυβο.
2. Χρειάζεται περισσότερο κόστος για την κατασκευή κυκλώματος στο στάδιο εισόδου για χαμηλότερο θόρυβο.
3. Υπάρχει πάντα ο κίνδυνος ενός σφάλματος διασύνδεσης φάσης κατά την καλωδίωση ενός συνδετήρα.

⁸ Στυλιανός Πιοτογιαννάκης, Βύσματα για εφαρμογές ήχου, Σελ.3

⁹ Douglas Self, Small signal audio design, Σελ.345

Κεφάλαιο 2: Ανάλυση κυκλώματος ενισχυτικής διάταξης

2.1 Προενίσχυση



Σχήμα 2.1: Το πρώτο στάδιο προενίσχυσης του κυκλώματος

Η προενίσχυση του κυκλώματος της συγκεκριμένης ενισχυτικής διάταξης πραγματοποιείται σε δύο στάδια. Πρώτα κατά την είσοδο του σήματος από το Q_1 και σε κατοπινό στάδιο από το Q_3 , μετά τον χρωματισμό του σήματος με Bass/ Treble στο Q_2 .

Η αρχική προενίσχυση πραγματοποιείται από το τρανζίστορ BC 547(Q_1), το οποίο λειτουργεί ως ενισχυτής κοινού εκπομπού. Το σήμα εισόδου περνά μέσα από το πυκνωτή C_{25} και εφαρμόζεται μεταξύ της βάσης του τρανζίστορ και στα άκρα της R_{21} προς τη γη. Η τάση του σήματος V_{in} υπερτίθεται στην τάση πόλωσης, στα άκρα της R_{21} , προκαλώντας έτσι μεταβολές στη V_{BE} και φυσικά στο ρεύμα της βάσης I_B . Οι μεταβολές του I_B προκαλούν αντίστοιχες μεταβολές στο ρεύμα συλλέκτη, δηλαδή $I_C = \beta \cdot I_B$ με αποτέλεσμα την πτώση της τάσης πάνω στην αντίσταση συλλέκτη R_{23} .¹⁰

Το δυναμικό του συλλέκτη, που είναι η έξοδος της πρώτης φάσης της προενίσχυσης, ακολουθεί τη μορφή του σήματος εισόδου αλλά ανεστραμμένη κατά φάση 180 μοίρες και ενισχυμένη. Το σήμα εξόδου του προενισχυμένου σήματος οδηγείται μέσω του πυκνωτή C_{22} , στη μεταβλητή αντίσταση R_1 , η οποία χρησιμεύει στη ρύθμιση του σήματος του μικροφώνου σε σχέση με τον χρωματισμό του σήματος με Bass/ Tremble. (Η αντίσταση αυτή θα αποτελέσει και την R_{LOAD} , όταν πραγματοποιηθεί η προσομοίωση του κυκλώματος με το πρόγραμμα LTSpice).

¹⁰ Χρήστος Χρήστου, Αναλογικά Ηλεκτρονικά, Εργαστήριο Ενισχυτή Κοινού Εκπομπού, σελ.3

Ο πυκνωτής C_{25} , χρησιμεύει ως «φίλτρο» που δεν επιτρέπει το συνεχές ρεύμα από την πηγή να οδηγείται προς την είσοδο V_{in} και με αυτό το ενδεχόμενο να καταστρέψει το μικρόφωνο.

Ο πυκνωτής C_{22} , χρησιμεύει για να φράσσει το δρόμο του συνεχούς ρεύματος να ρέει από την πηγή V_{CC} , προς το επόμενο στάδιο με δυσάρεστα αποτελέσματα.

Οι αντιστάσεις R_{22} και R_{21} αποτελούν ένα απλό διαιρέτη τάσης, που προκαλεί ένα ρεύμα συλλέκτη ανεξάρτητο από το βdc του τρανζίστορ.¹¹

Η R_{20} συμβάλλει στη σταθερότητα της θερμοκρασίας της μονάδος προενίσχυσης και δεδομένης της μεγάλης τιμής που έχει σε Ω , μειώνει σημαντικά το κέρδος. Για αυτό προστίθεται παράλληλα με αυτήν ο πυκνωτής C_{24} , ο οποίος «παρακάμπτει» την αντίσταση από τη στιγμή που πρόκειται για ηχητικό σήμα. Γι' αυτό και ονομάζεται πυκνωτής απόζευξης ή παράκαμψης (bypass capacitor), επειδή προκαλεί μια διαδρομή από τον εκπομπό στη γη με μικρή σύνθετη αντίσταση. Αν δεν υπάρχει ηχητικό σήμα, ο πυκνωτής C_{24} «βλέπει» μόνο ένα εξάρτημα (component) και σε περίπτωση παρουσίας των AC σημάτων, λειτουργεί ως βραχυκύκλωμα που γειώνει τον εκπομπό στο ac ισοδύναμο κύκλωμα.¹² Με την αφαίρεση αυτού του πυκνωτή η προενίσχυση εξακολουθεί να λειτουργεί, αλλά με κέρδος περίπου 15 dB πιο κάτω.

2.2 Σύνθετη αντίσταση εισόδου

Η Σύνθετη αντίσταση εισόδου της παρούσας ενισχυτικής διάταξης δηλαδή η σύνθετη αντίσταση που «βλέπει» η ac πηγή είναι:

$$Z_{in} = R_1 \parallel R_2 \parallel Z_{in(base)}$$

$$Z_{in} = R_1 \parallel R_2 \parallel \beta r_e$$

$$r_e = \frac{25mV}{I_E} \quad (\text{είναι η ac αντίσταση επαφής εκπομπού})$$

$$I_E = \frac{V_E}{R_E}$$

$$V_E = V_B - 0,7V$$

$$V_B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{CC}$$

$$V_B = \frac{20K\Omega}{50K\Omega + 20K\Omega} \cdot 12V$$

¹¹ Albert Paul Malvino, Βασική Ηλεκτρονική, Σελ.160

¹² Albert Paul Malvino, Βασική Ηλεκτρονική, Σελ.201

$$V_B = 3,43V$$

$$V_E = 3,43V - 0,7V = 2,73V$$

$$I_E = \frac{2,73V}{1000\Omega} = 2,73mA$$

$$r_e = \frac{25mV}{2,73mA}$$

$$r_e = 9,16\Omega$$

$$Z_{in} = 50K\Omega \parallel 20K\Omega \parallel 200 \cdot 9,16\Omega$$

$$Z_{in} = 1,62K\Omega \text{ η σύνθετη αντίσταση εισόδου.}$$

2.3 Κέρδος τάσης προενίσχυσης

$$A = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{r_L}{r_e}$$

$$r_L = R_c \parallel R_L \text{ (είναι η ac αντίσταση φορτίου)}$$

$$r_L = 3,3K\Omega \parallel 100K\Omega$$

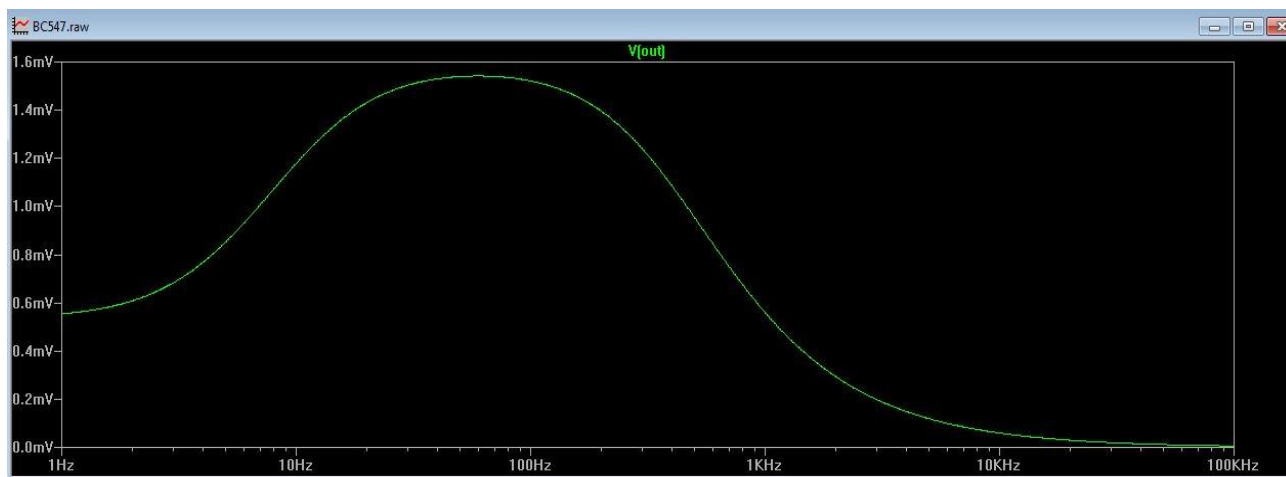
$$r_L = 3196\Omega$$

$$A = \frac{3196\Omega}{9,16\Omega}$$

$A = 348,9$ Το κέρδος τάσης είναι ευθέως ανάλογο προς την r_L και αντιστρόφως ανάλογο προς την r_e

2.4 Προσομοίωση με το πρόγραμμα LTSpice

Επιχειρήσαμε προσομοίωση της προενίσχυσης με το πρόγραμμα LTSpice για βρούμε την απόκριση συχνότητάς της. Χρησιμοποιώντας ως δεδομένα το σήμα εξόδου ενός δυναμικού μικροφώνου με $0,25\mu V$ και με AC analysis πήραμε τον ακόλουθο πίνακα.



Σχήμα 2.2: Απόκριση συχνοτήτων προενίσχυσης σύμφωνα με το πρόγραμμα LTSpice

Το αποτέλεσμα αυτό αποτελεί σαφώς μεγάλη έκπληξη, αφού το μέγιστο κέρδος λαμβάνεται γύρω στην συχνότητα 80 Hz με 1000Hz, ενώ η αναμενόμενη καμπύλη της συνηθισμένης συχνοτικής απόκρισης των ενισχυτών υφίσταται καθίζηση, εκεί που αναμέναμε αύξηση. Πού βρίσκεται το λάθος; Το ίδιο φαινόμενο παρουσιάστηκε όταν προσπάθησα να πάρω εργαστηριακές μετρήσεις της συχνοτικής απόκρισης ολόκληρης της ενισχυτικής διάταξης. Ενώ έπαιρνα κάποια δεδομένα στις μικρές συχνότητες, σε μεγάλες υπήρχε παντελώς έλλειψη. Ανατρέχοντας στα συγγράμματα της Σχολής πιστεύω πως βρήκα την απάντηση.

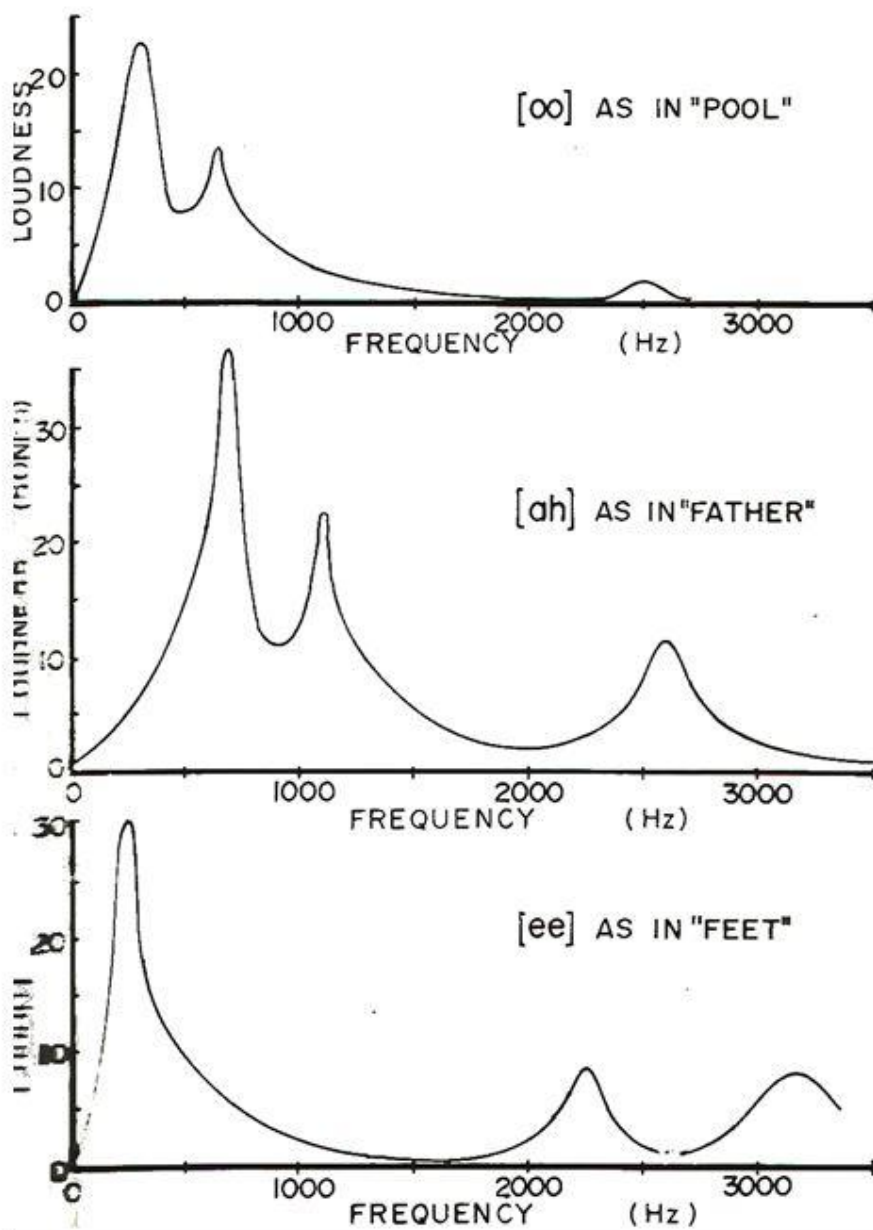
Στο Εργαστήριο Μουσικής Ακουστικής και Οργανολογίας αναφέρονται οι τυπικές συχνότητες που χρησιμοποιούνται κατά την ανθρώπινη ομιλία:¹³

Άνδρας : 110 Hz

Γυναίκα: 220 Hz

Παιδί : 300 Hz

¹³ Ελευθερίου Μαρία, Εργαστήριο Μουσικής Ακουστικής και Οργανολογίας, Σελ.50

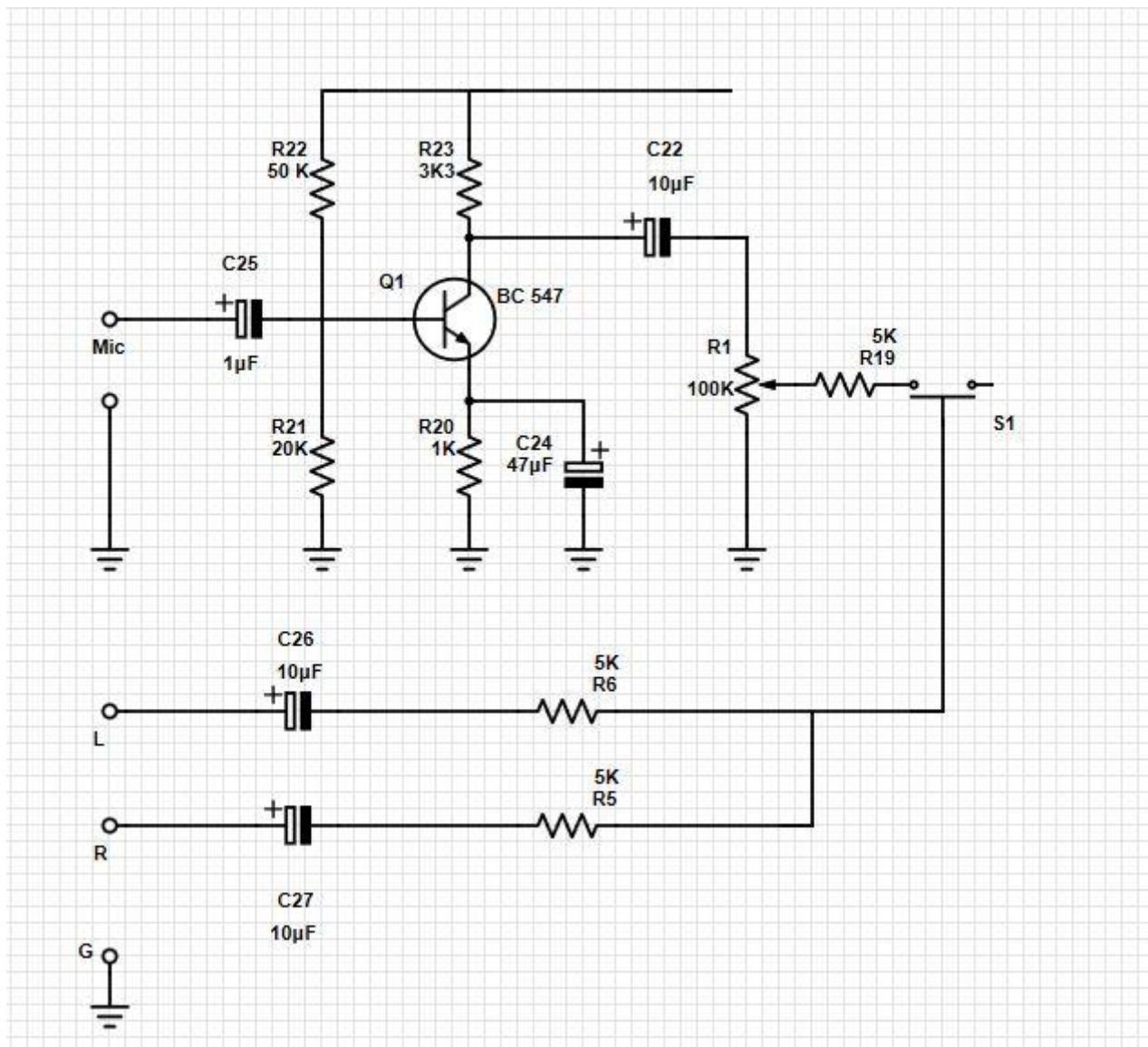


ΣΧΗΜΑ 4: Διαφορετικά ομιλούντα φωνήεντα και οι αντίστοιχες φωνοσυχνότητές τους.

Σχήμα 2.3: Συχνότητες που αντιστοιχούν στην ομιλία

Η διαπίστωση αυτή ίσως λύνει και το πρόβλημα με την συχνοτική απόκριση της εν λόγω ενισχυτικής διάταξης. Επειδή η χρήση της αφορά αποκλειστικά την ενίσχυση της ανθρώπινης φωνής, ο σχεδιαστής του κυκλώματος προσδιόρισε το κέρδος τάσης, κυρίως σε αυτές τις συχνότητες.

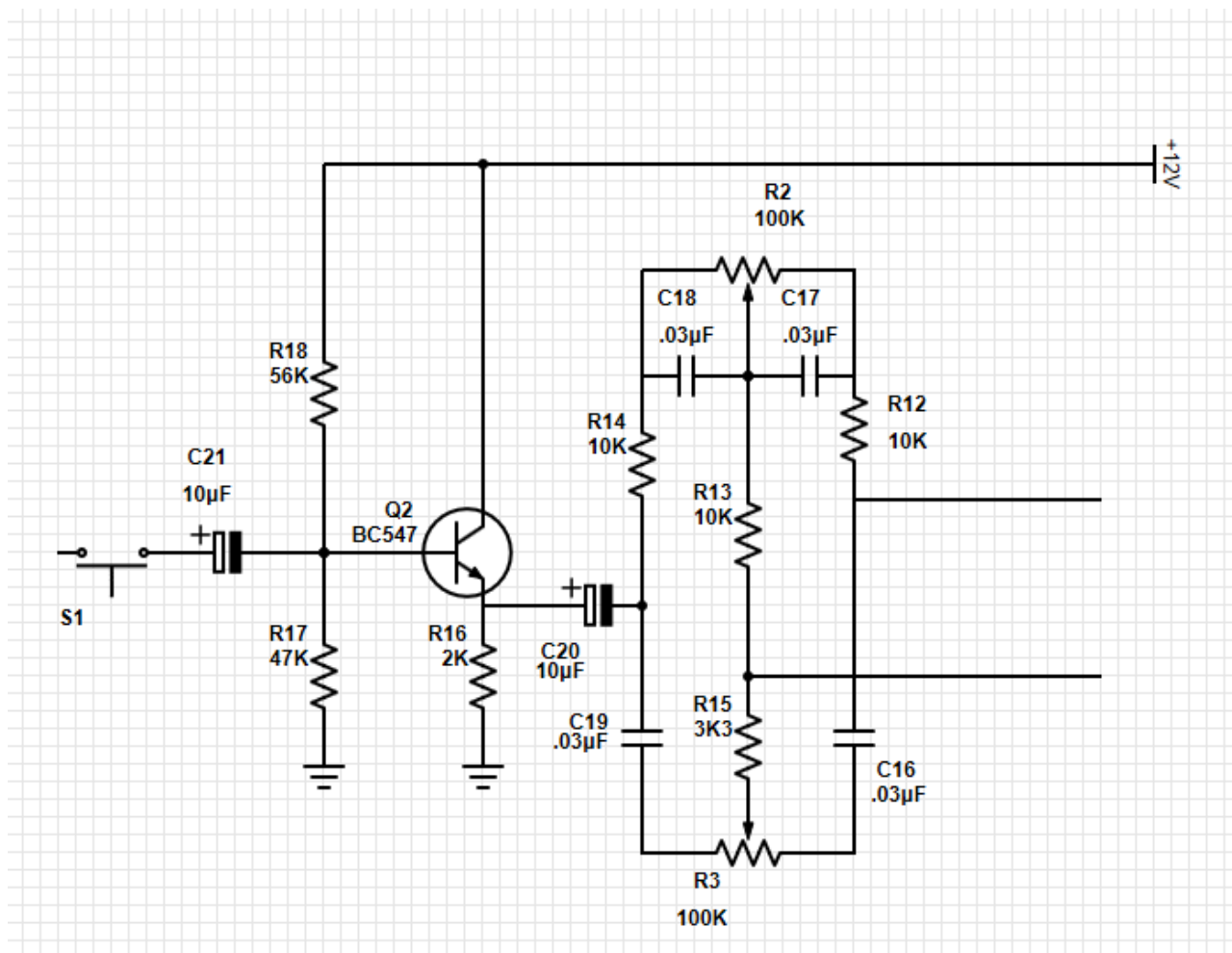
2.5 Γραμμή Εισόδου - Line in



Σχήμα 2.4: Η γραμμή εισόδου για ηχητικό σήμα από άλλη συσκευή

Το κύκλωμα είναι εφοδιασμένο με μιαν ακόμη είσοδο για ηχητικό σήμα από άλλη συσκευή, όπως για παράδειγμα CD player. Τα δύο ηχητικά σήματα του stereo, αριστερά και δεξιά (L-R), περνούν αντίστοιχα από ένα πυκνωτή 10μF, από μια αντίσταση 5K, ακολούθως ενώνονται και ανάλογα με την επιλογή τους από ένα διακόπτη, διοχετεύονται στο κύκλωμα, παρακάμπτοντας την προενίσχυση του μικροφώνου.

2.6 Bass/Treble



Σχήμα 2.5: Το κύκλωμα bass/treble

Στο μέρος αυτό του κυκλώματος, πραγματοποιείται ο χρωματισμός της φωνής με Bass/Treble. Το ac σήμα οδηγείται μέσω του πυκνωτή C_{21} στη βάση του τρανζίστορ Q_2 , το οποίο ενεργεί ως ακόλουθος εκπομπού, συνδεσμολογίας Κοινού Συλλέκτη που ρυθμίζει το Bass/Treble. Η ac τάση του σήματος οδηγεί τη βάση του τρανζίστορ. Η τάση αυτή προκαλεί την ημιτονοειδή μεταβολή του ρεύματος εκπομπού οπότε, στην αντίσταση R_{16} , εμφανίζεται μια ημιτονοειδής τάση.¹⁴ Ο ακόλουθος εκπομπού είναι ένας ενισχυτής με μικρή παραμόρφωση.¹⁵ Επειδή δεν υπάρχει πυκνωτής απόζευξης, το κέρδος τάσης είναι ίσο περίπου με την μονάδα για όλο το κύκλο της ac τάσης του σήματος που προέρχεται από την προενίσχυση. Έτσι η ac τάση εξόδου είναι σε φάση με την ac τάση εισόδου. Η R_{16} ενεργεί ως η αντίσταση φορτίου του κυκλώματος.

Το ac σήμα οδηγείται μέσα από τον πυκνωτή C_{20} για να διαμορφωθούν οι συχνότητες μπάσου και πρίμα μέσα σε ένα δικτύωμα πυκνωτών και αντιστάσεων που

¹⁴ Albert Paul Malvino, Βασική Ηλεκτρονική, Σελ.226

¹⁵ Albert Paul Malvino, Βασική Ηλεκτρονική, Σελ.232

πήρε τη ονομασία του από τον κατασκευαστή «Peter James-Baxandal, Passive Tone Control Network».¹⁶

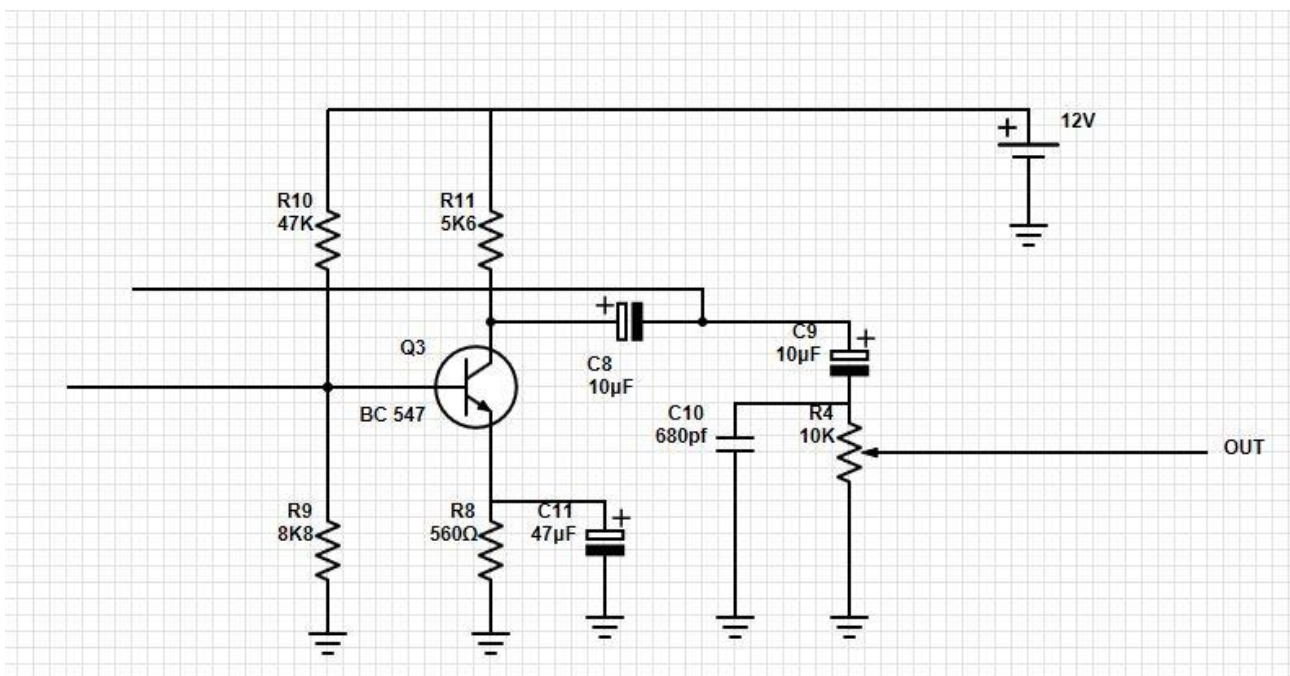
Για να διαμορφωθούν οι συχνότητες μπάσου, το σήμα περνά μέσα από την αντίσταση R_{14} και μετά καταλήγει στον κεντρικό ακροδέκτη της μεταβλητής αντίστασης (ποτενσιόμετρο) VR_2 . Οι συχνότητες μπάσου λοιπόν διαμορφώνονται μέσα από το δικτύωμα R_{12} , R_{13} , R_{14} τους πυκνωτές C_{17} , C_{18} και τη μεταβλητή αντίσταση (ποτενσιόμετρο) VR_2 .

Για να διαμορφωθούν οι συχνότητες πρίμα το σήμα περνά μέσα από τον πυκνωτή C_{19} και μετά καταλήγει στον κεντρικό ακροδέκτη της μεταβλητής αντίστασης (ποτενσιόμετρο) VR_3 . Οι συχνότητες πρίμα διαμορφώνονται, λοιπόν, μέσα από τους πυκνωτές C_{16} , C_{19} , την αντίσταση R_{15} και από την μεταβλητή αντίσταση (ποτενσιόμετρο) VR_3 .

Όταν το αντίστοιχο ποτενσιόμετρο του μπάσου ή του πρίμα βρίσκεται στη κεντρική θέση η σύνθετη αντίσταση του κυκλώματος ανάδρασης είναι ισορροπημένη και θα δώσει ένα σταθερό κέρδος σε όλες τις συχνότητες εντός του ζωνοπερατού φάσματος.

Όταν όμως τα ποτενσιόμετρα μετακινούνται δεξιά ή αριστερά η αναλογία ανατροφοδότησης θα αυξηθεί ή θα μειωθεί ανάλογα και η συχνότητα που εξαρτάται από τους πυκνωτές C_{15} έως C_{18} θα παρέχει την επιθυμητή καμπύλη απόκρισης.

2.7 Δεύτερο στάδιο προενίσχυσης



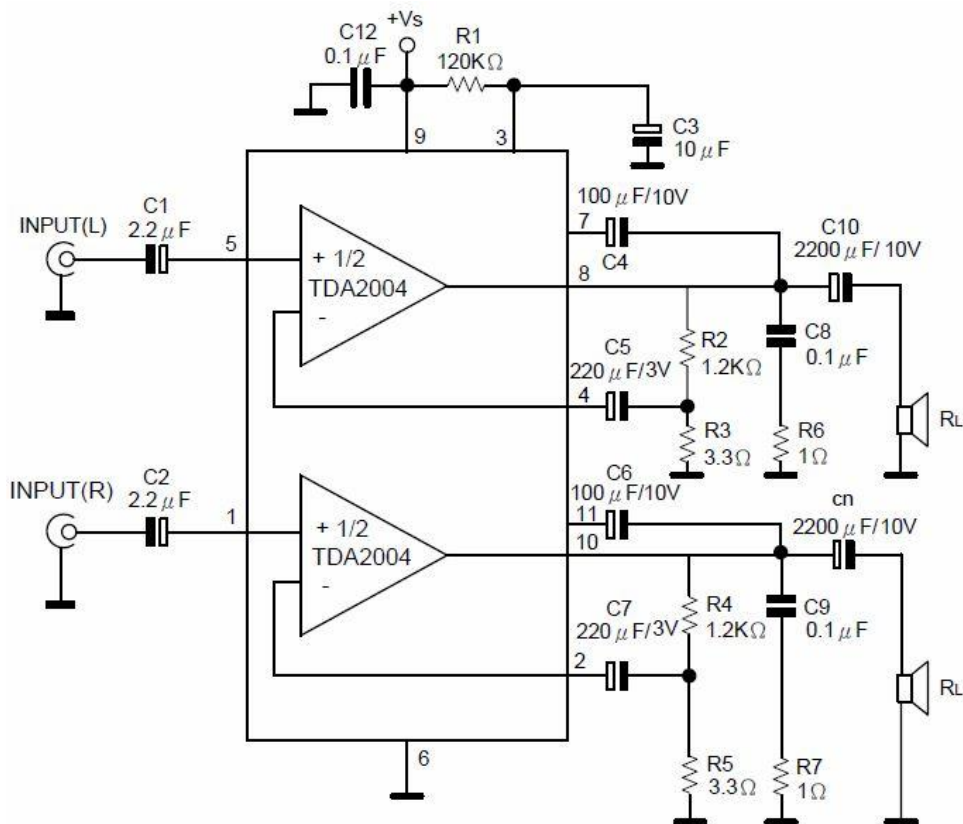
Σχήμα 2.6: Το κύκλωμα για το δεύτερο στάδιο της προενίσχυσης

¹⁶ Ramon Vargas Patron, The James-Baxandall Passive Tone-Control Network, Ιστοσελίδα

Το δεύτερο στάδιο της προενίσχυσης αποτελείται, όπως στην πρώτη φάση κατά την είσοδο του σήματος, από διάταξη ενισχυτή κοινού εκπομπού. Το σήμα οδηγείται στη βάση του τρανζίστορ Q_3 και η λειτουργία επαναλαμβάνεται. Μετά την ενίσχυση το σήμα περνά μέσα από τους πυκνωτές C_8 , C_9 , και καταλήγει στη μεταβλητή αντίσταση (ποτενσιόμετρο) VR_4 που ανατροφοδοτεί το «Passive Tone Control Network», με σκοπό την αύξηση ή την ελάττωση του ηχητικού σήματος. Οι πυκνωτές C_8 , C_9 εμποδίζουν το δρόμο του συνεχούς ρεύματος να ρέει προς το IC που ακολουθεί. Ενοείται ότι η VR_4 ρυθμίζει το σήμα εισόδου στο ολοκληρωμένο κύκλωμα TDA 2004. Επειδή η έξοδος της δεύτερης φάσης της προενίσχυσης είναι ανεστραμμένη κατά φάση 180° από την πρώτη φάση, το σήμα που εξέρχεται ακολουθεί τη φάση του σήματος εισόδου.

2.8 Ενίσχυση με το ολοκληρωμένο κύκλωμα TDA 2004

Το ολοκληρωμένο κύκλωμα TDA2004 είναι ένας Γραμμικό διπλός ενισχυτής ισχύος ήχου, Τάξης Β', σε πλαστικό περίβλημα, με 11 ακροδέκτες μολύβδου. Το κύκλωμα έχει δύο ενισχύσεις, που μπορούν να εργάζονται ξεχωριστά για στερεοφωνικές εφαρμογές ή μπορεί με κατάλληλη σύνδεση «bridge mono amplifier»,¹⁷ να μετατραπούν σε μονοφωνικό ενισχυτή, με τετραπλάσια αύξηση της ισχύος στην έξοδο, όπως είναι η περίπτωση της παρούσας ενισχυτικής διάταξης. Διαθέτει εσωτερικό κύκλωμα προστασίας από βραχυκύκλωμα και υπερθέρμανση.

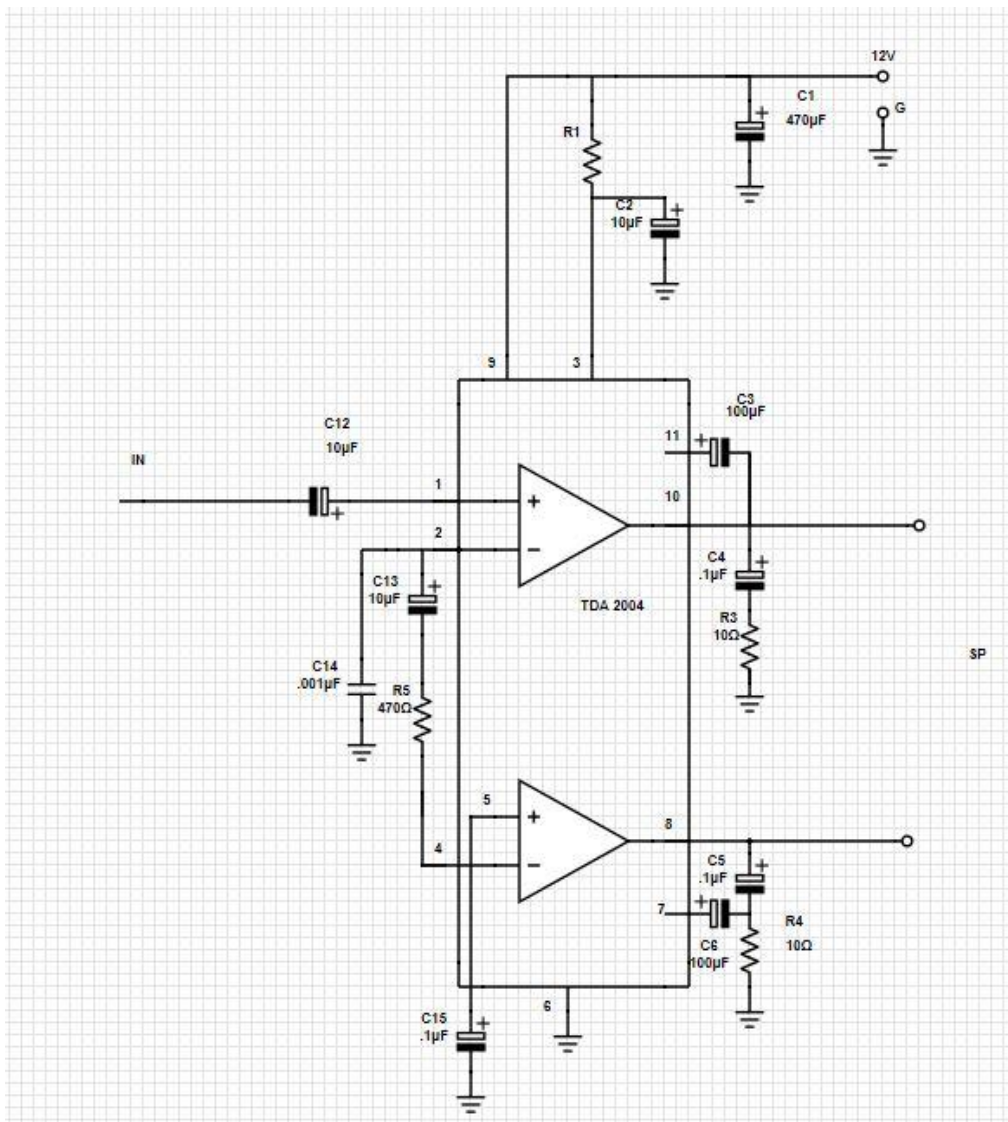


Σχήμα 2.7: Κύκλωμα TDA 2004 για στερεοφωνικές εφαρμογές

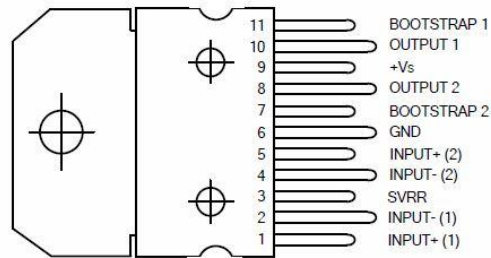
¹⁷ Michael Tooley, The maplin electronic circuit handbook, Σελ.99

Έχει τη δυνατότητα να λειτουργεί σε ένα φάσμα τάσεων τροφοδοσίας από 8 μέχρι και 18V. Το κέρδος τάσης του πιο πάνω κυκλώματος καθορίζεται από την αναλογία R_2/R_3 και R_4/R_5 . Με τις τιμές που αναφέρονται, το κάθε στάδιο λειτουργεί με κέρδος τάσης περίπου 200. Η απόκριση συχνότητας κυμαίνεται από 1 Hz έως 15 kHz. Κάθε κανάλι είναι ικανό να παρέχει ισχύ 4.5W σε ένα μεγάφωνο 8Ω όταν λειτουργεί με τροφοδοσία 12V.

2.9 Η λειτουργία TDA 2004 στη μονοφωνική ενίσχυση της παρούσας ενισχυτικής διάταξης.



Σχήμα 2.8: το τελευταίο μέρος του κυκλώματος με τη δυναμική ενίσχυση από το TDA 2004



Σχήμα 2.9: Οι ακροδέκτες του TDA 2004

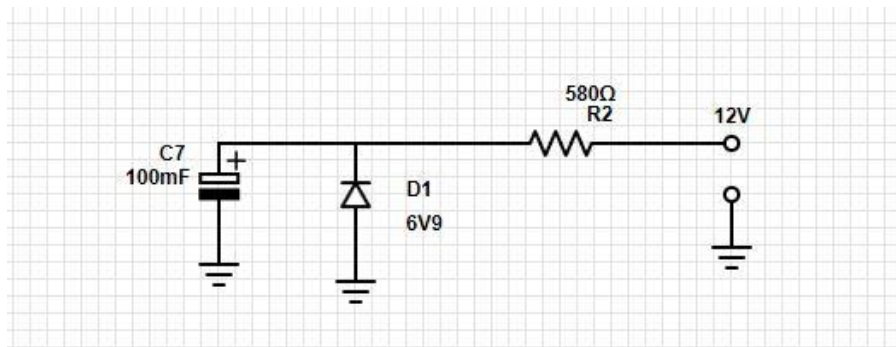
Το σήμα AC μετά την προενίσχυση και ανάλογα με τη ρύθμιση από το ποτενσιόμετρο VR_4 , διέρχεται από τον πυκνωτή C_{12} και εισέρχεται στο ολοκληρωμένο κύκλωμα από τον ακροδέκτη 1. Ακολουθώντας, με «γέφυρα», από τον πυκνωτή C_{13} και την αντίσταση R_5 , μεταφέρεται και στην είσοδο Input 2 του ακροδέκτη 4. Ο πυκνωτής C_{12} χρησιμεύει ως ανοικτό κύκλωμα για το συνεχές ρεύμα.

Το ολοκληρωμένο κύκλωμα τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα από τον ακροδέκτη 9, δηλαδή με «operation supply voltage» V_S . Η αντίσταση R_1 στον ακροδέκτη 3 χρησιμεύει για τη μεγιστοποίηση της συμμετρίας του σήματος εξόδου και ο πυκνωτής C_2 για την αποτροπή ανεπιθύμητου κυματισμού, ripple rejection, δηλαδή για την αποτροπή ανεπιθύμητων ταλαντώσεων, για να παραμένει σταθερός ο λόγος της μεταβολής της τάσης τροφοδοσίας στον ενισχυτή σε σχέση με την τάση εξόδου που παράγει.

Στους ακροδέκτες 11 και 7 οι πυκνωτές C_3 και C_6 χρησιμεύουν για να παγιδεύουν τις πολύ χαμηλές συχνότητες. Οι πυκνωτές C_4 , C_5 και οι αντιστάσεις R_3 και R_4 χρησιμεύουν για να παγιδεύουν τις πολύ ψηλές συχνότητες.

Τέλος η ενισχυμένη έξοδος για το ηχείο λαμβάνεται από τους ακροδέκτες 8 και 10.

2.10 Κύκλωμα απόζευξης



Σχήμα 2.10: Κύκλωμα απόζευξης

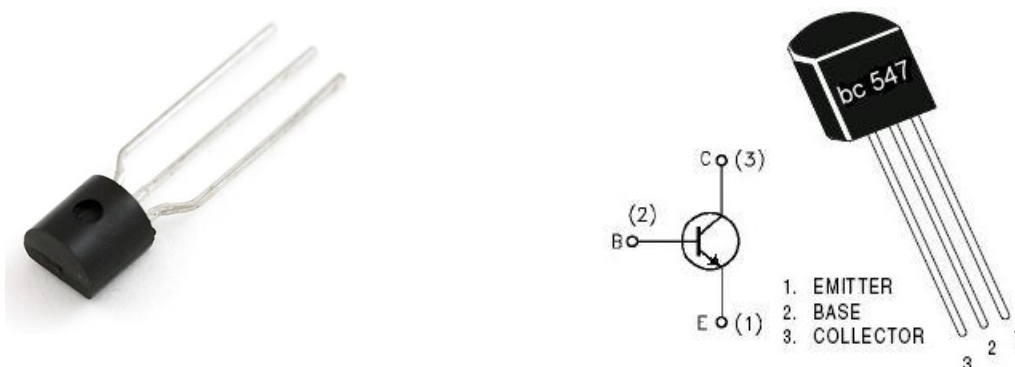
Το κύκλωμα αυτό, που αποτελείται από μια αντίσταση, ένα πυκνωτή και μια δίοδο, έχει όσο το δυνατό μικρότερη συχνότητα αποκοπής, ώστε να εμποδίζει την εμφάνιση μιας ανεπιθύμητης θετικής ανάδρασης ανάμεσα στο ολοκληρωμένο κύκλωμα και στη προενίσχυση, που μπορεί να συμβεί μέσα από την γραμμή τροφοδοσίας.¹⁸

¹⁸ Albert Paul Malvino, Βασική Ηλεκτρονική, Σελ.499

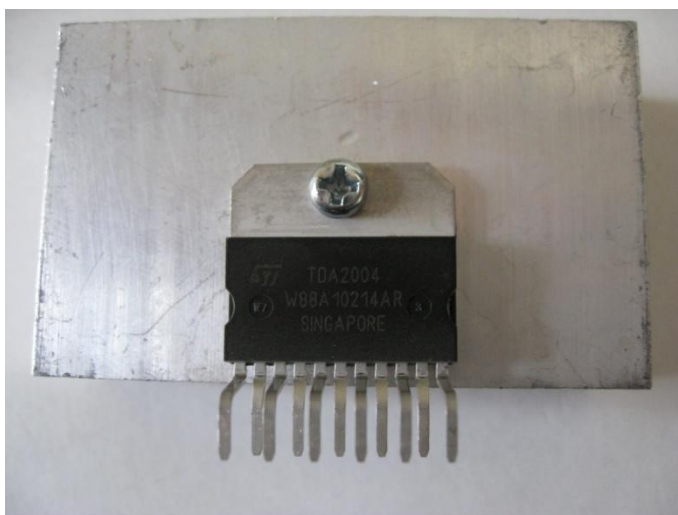
Κεφάλαιο 3: Κατασκευή του κυκλώματος ενισχυτικής διάταξης στην πλακέτα

3.1 Οι μονάδες ενίσχυσης του κυκλώματος

Οι μονάδες ενίσχυσης του κυκλώματος αποτελούν το τρανζίστορ BC 547 και το ολοκληρωμένο κύκλωμα IC TDA 2004.



Σχήμα 3.1: Το τρανζίστορ BC 547 με του ακροδέκτες του



Σχήμα 3.2: Το IC TDA 2004 με την ψήκτρα

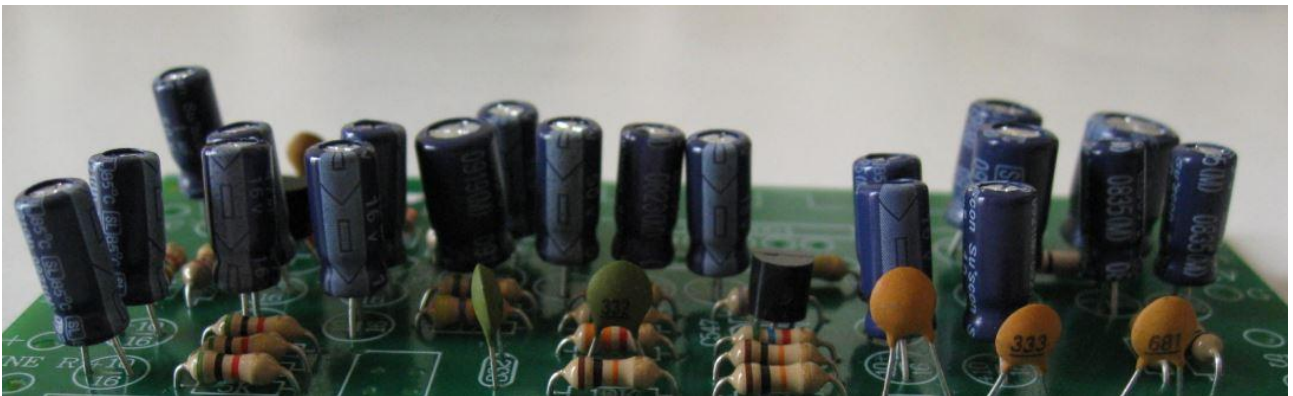
3.2 Συναρμολόγηση αντιστάσεων.

Ξεκίνησα την κατασκευή του κυκλώματος από τα πιο χαμηλά εξαρτήματα και συγκεκριμένα με την τοποθέτηση των αντιστάσεων για πρώτη φάση.



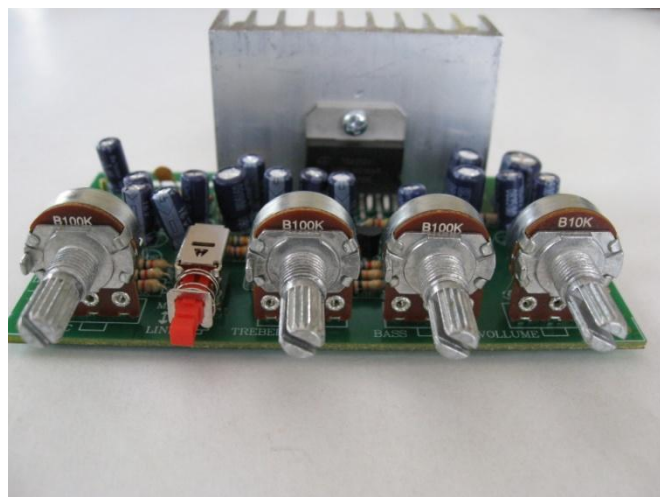
3.3 Συναρμολόγηση ψηλότερων εξαρτημάτων .

Μετά πρόσθεσα τους πυκνωτές και τα τρανζίστορ.



3.4 Συναρμολόγηση των ποτενσιόμετρων και του IC.

Στο τελικό στάδιο συναρμολόγησα τα 4 ποτενσιόμετρα με τον επιλογή Mic/Line in καθώς και το ολοκληρωμένο κύκλωμα μαζί με την ψήκτρα.



Κεφάλαιο 4: Κατασκευή της καμπίνας του μεγαφώνου

4.1 Σχεδιασμός, διαστάσεις, υλικά

Η καμπίνα διαδραματίζει σημαντικό ρόλο τόσο στην απόδοση της ενισχυτικής διάταξης όσο και από αισθητικής πλευρά του πράγματος. Ο σωστός σχεδιασμός και η κατασκευή της αποτέλεσαν τροχοπέδη στην βελτίωση και ενίσχυση του ηχητικού αποτελέσματος, αλλά και της απόδοσής της.

Το ξύλο που χρησιμοποίησα είναι τύπου (Marine Plywood), το οποίο είναι ειδικό για την κατασκευή σκαφών για τη θάλασσα. Οι διαστάσεις της καμπίνας (20×17×13 cm) σχεδιάστηκαν βάσει του μεγέθους της ενισχυτικής διάταξης. Σαφώς, επειδή πρόκειται για ενεργό φορητό ηχείο, πήρα ένα ήδη υπάρχον ηχείο στο επιθυμητό μέγεθος για την κατασκευή της καμπίνας και μέτρησα τις διαστάσεις του (Μήκος, ύψος, πλάτος). Ακολουθώντας, βάσει των συγκεκριμένων διαστάσεων, υπολόγισα το μέγεθος της καμπίνας της ενισχυτικής διάταξης να είναι παρόμοιο με το υπάρχον ηχείο. Έπειτα, βάσει των διαστάσεων που πήρα για την καμπίνα, υπολόγισα την διάμετρο που χρειαζόταν για την τοποθέτηση του ηχείου στο μπροστινό μέρος της καμπίνας.

4.2 Κατασκευή της καμπίνας

Στη συνέχεια, με την βοήθεια ξυλοκοπτικών εργαλείων, άρχισα το πρακτικό μέρος, την υλοποίηση της καμπίνας. Αφού έκοψα και επεξεργάστηκα όλα τα μέρη, με ειδική ξυλόκολλα τα ένωσα μεταξύ τους δίνοντας έτσι το τελικό σχήμα της καμπίνας.



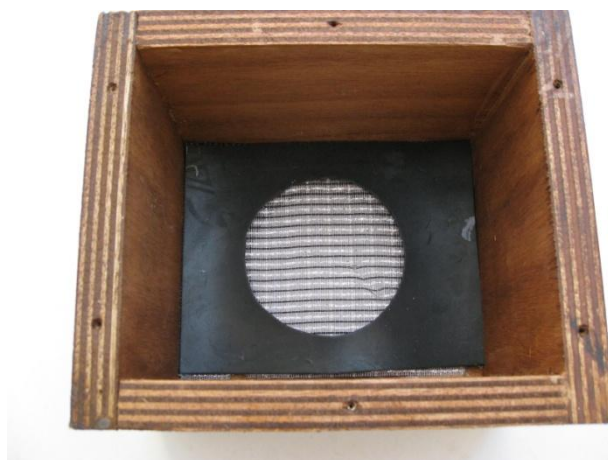
Σχήμα 4.1: Κατασκευή καμπίνας από marine plywood

Αφού πραγματοποίησα τον απαραίτητο χρωματισμό με βερνίκι, τοποθέτησα το πλέγμα για τη προστασία του ηχείου (Σχήμα 4.2). Επένδυσα το εσωτερικό της καμπίνας με ηχοαπορροφητικό υλικό για την αποφυγή συντονισμού και

οποιοδήποτε άλλου ανεπιθύμητου αποτελέσματος που θα μπορούσε να επηρεάσει την απόδοση της συσκευής. (Σχήμα 4.3).



Σχήμα 4.2: Βαφή και επένδυση με πλέγμα

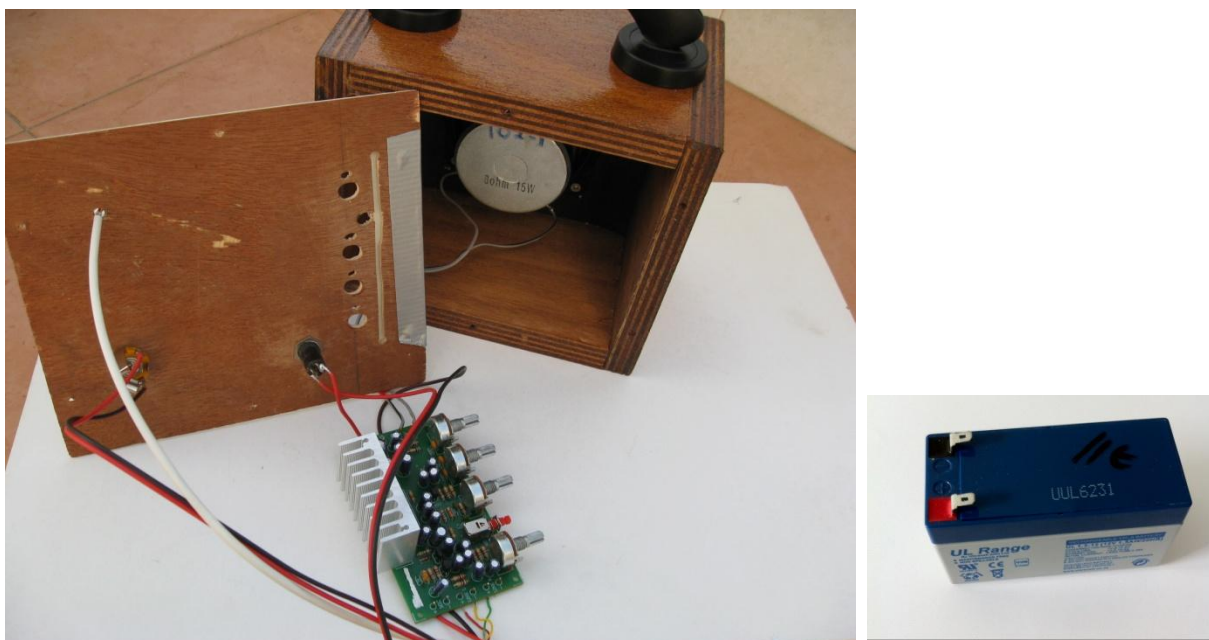


Σχήμα 4.3: Πλαστική επένδυση

4.3 Εφαρμογή του μεγαφώνου και της ενισχυτικής διάταξης εντός της καμπίνας.

Εφάρμοσα το ηχείο μέσα στην καμπίνα και ακολούθως πήρα το κομμάτι του ξύλου της πίσω όψης (καπάκι) και βάσει των ποτενσιόμετρων στην ενισχυτική διάταξη υπολόγισα και έφτιαξα τις αντίστοιχες οπές έτσι ώστε να μπορούν να προεξέχουν οι άκρες τους για να τοποθετηθούν έπειτα τα κουμπιά. Χρειάστηκαν επίσης οπές για την είσοδο μικροφώνου, για το Line In και για τον επιλογέα Mic/Line in (Σχήμα 4.4).

Εφάρμοσα πάνω στο καπάκι τον μηχανισμό του ενισχυτή και αφού έγιναν οι απαραίτητες συνδέσεις της μπαταρίας και των καλωδίων, έκλεισα την καμπίνα. Τέλος, εφάρμοσα τα κουμπιά στα ποτενσιόμετρα.



Σχήμα 4.4: Τελική μορφή της κατασκευής και η μπαταρία τροφοδοσίας 12 V

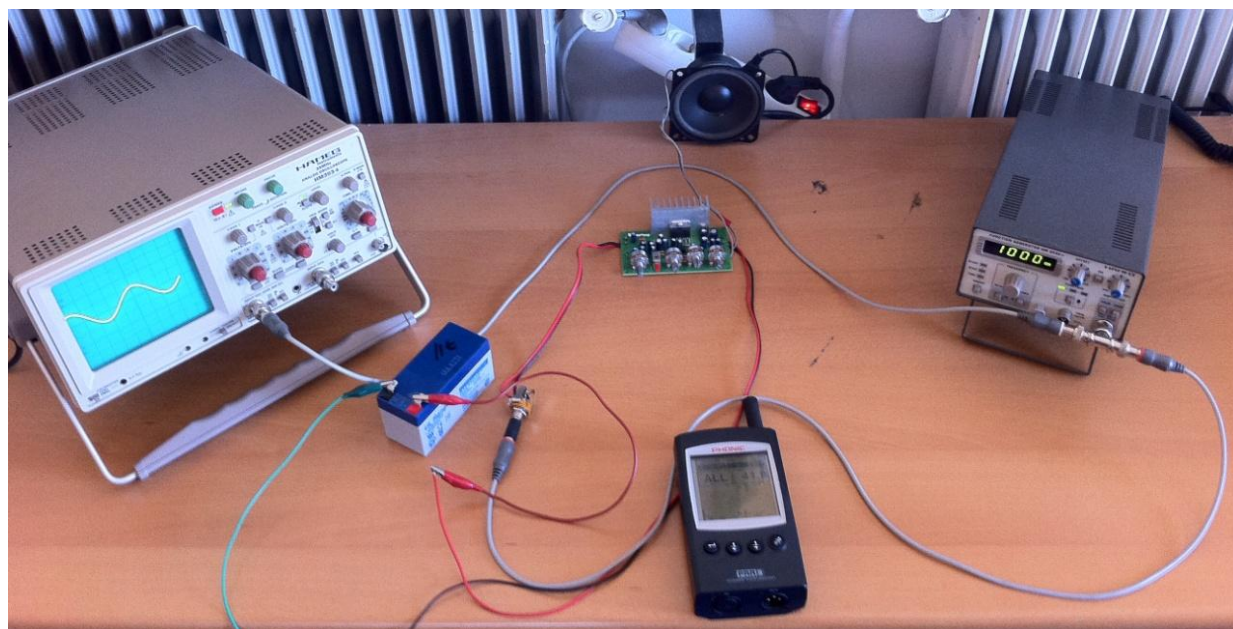
Κεφάλαιο 5: Μετρήσεις και πίνακες

Δυστυχώς με την υπερβολική ολική αρμονική παραμόρφωση (Total Harmonic Distortion) που παρουσίαζε ο ενισχυτής, ήταν αδύνατο να πραγματοποιηθούν βασικές μετρήσεις όπως η συχνοτική απόκριση της ενισχυτικής διάταξης. Το γεγονός αυτό θα αναλυθεί στο επόμενο κεφάλαιο.

Πραγματοποιήθηκαν όμως οι πιο κάτω μετρήσεις.

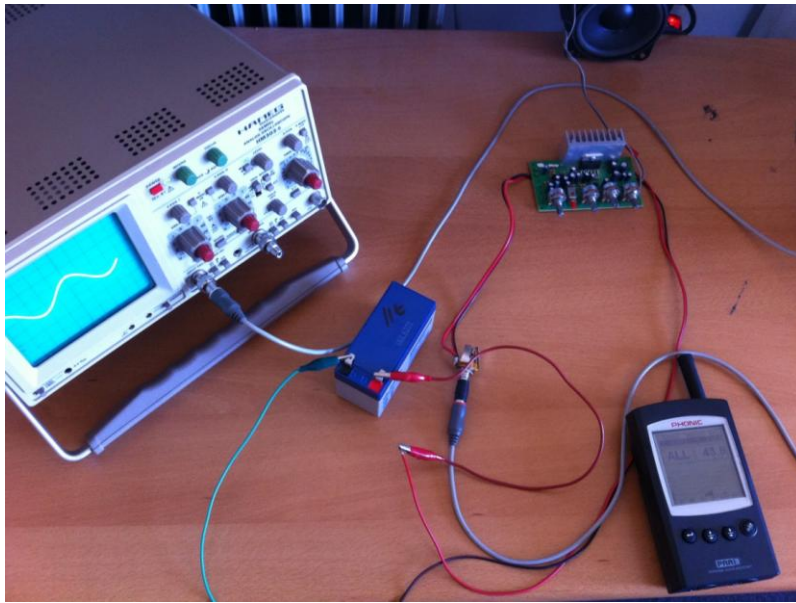
5.1 Μέτρηση μέγιστης στάθμης εξόδου της γραμμής εισόδου (Line in)

Πραγματοποιώντας την παρακάτω συνδεσμολογία, πήραμε τη μέτρηση για τη μέγιστη στάθμη εξόδου της ενισχυτικής διάταξης. Έχοντας τον επιλογέα της διάταξης στη θέση line in, το ρυθμιστικό της έντασης (volume) στη μέγιστη θέση, το tone control στη μεσαία θέση, με τη χρήση γεννήτριας ακουστικού σήματος, δώσαμε 1KHz σαν σήμα αναφοράς στην είσοδο του ενισχυτή ($1,5V_{P-P}$) και με τη χρήση ηχόμετρου και σε απόσταση ενός μέτρου μετρήσαμε τη μέγιστη στάθμη εξόδου της ενισχυτικής διάταξης, η οποία βρέθηκε να είναι 72,2 dB SPL.



5.2 Μέτρηση μέγιστης στάθμης εξόδου της ενισχυτικής διάταξης (Mic)

Στη συνέχεια επαναλάβαμε την ίδια διαδικασία για την εύρεση της μέγιστης στάθμης εξόδου της ενισχυτικής διάταξης με τον επιλογέα αυτή τη φορά στη θέση mic του ενισχυτή. Έχοντας λοιπόν τον επιλογέα της διάταξης στη θέση mic, το ρυθμιστικό της έντασης (volume) στη μέγιστη θέση, το tone control στη μεσαία θέση, με τη χρήση γεννήτριας ακουστικού σήματος, δώσαμε 1KHz σαν σήμα αναφοράς στην είσοδο του μικροφώνου (20 mV) και σε απόσταση ενός μέτρου η μέγιστη στάθμη εξόδου της ενισχυτικής διάταξης βρέθηκε να είναι 102 dB SPL.



5.3 Μέτρηση της ηχητικής έντασης της ανθρώπινης ομιλίας

Έπειτα πραγματοποιήθηκε μέτρηση της ηχητικής έντασης της ανθρώπινης ομιλίας με μικρόφωνο. Το ρυθμιστικό της έντασης τοποθετήθηκε στη μεσαία θέση και σε απόσταση 1,5 μέτρων η στάθμη ηχητικής έντασης για την ανθρώπινη ομιλία βρέθηκε να είναι 85,6 dB SPL.

5.4 Συνοπτικά χαρακτηριστικά του ενισχυτή

ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Μέγιστη στάθμη εξόδου της γραμμής εισόδου (Line in)	72,2 dB SPL
Μέγιστη στάθμη εξόδου του μικροφώνου (Mic)	102 dB SPL
Μέτρηση ηχητικής έντασης ανθρώπινης ομιλίας	85,6 dB SPL

ΠΙΝΑΚΑΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ

Τάση λειτουργίας	Μέχρι 15 Volt
Τροφοδοσία για ενισχυτή	12 Volt
Ισχύς εξόδου	15 W στα 4 Ω
Συνολική Αρμονική Παραμόρφωση THD	0,1 %

Κεφάλαιο 6: Γενικές παρατηρήσεις – Βελτίωση

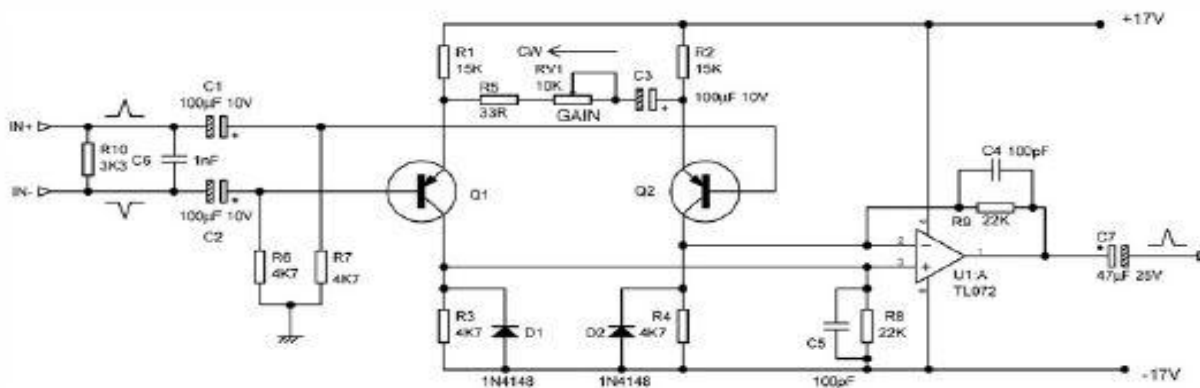
6.1 Συμπεράσματα:

Ανάλογα με τους αρχικούς στόχους της παρούσας πτυχιακής εργασίας, δηλαδή η κατασκευή ενός ενεργού φορητού ηχείου, μικρού μεγέθους, με είσοδο για μικρόφωνο για διάφορες κοινές χρήσεις και με τις βασικές προϋποθέσεις που θέσαμε στην αρχή (Σελ.3) θεωρώ ότι έγιναν εφικτοί σε αρκετά ικανοποιητικό σημείο. Αυτή όμως είναι η θετική πλευρά. Ανάμεσα στα αρνητικά ήταν το στενό εύρος συχνοτήτων που παρατηρήθηκε στο στάδιο της προενίσχυσης, γεγονός που μπορεί να αιτιολογεί και την παραμόρφωση του σήματος που παρουσιαζόταν στον παλμογράφο, με αποτέλεσμα την αδυναμία λήψης μετρήσεων για τη συχνοτική απόκριση ολόκληρης της συσκευής. Το στενό εύρος συχνοτήτων μπορεί να δικαιολογηθεί όμως με το σκεπτικό ότι ο σχεδιαστής του κυκλώματος το προόριζε για συγκεκριμένο σκοπό.

6.2 Εισήγηση για βελτίωση:

Ένα άλλο αρνητικό στοιχείο της μονάδας, θεωρώ πως είναι το βάρος της μπαταρίας η οποία ενσωματώνεται μέσα στη καμπίνα του ενισχυτή. Από τη στιγμή όμως που η συσκευή είναι φορητή δεν υπάρχει άλλη λύση, ακόμη και σε επαγγελματικά ανάλογα ηχεία ακολουθείται η ίδια πρακτική δηλαδή η χρήση επαναφορτιζόμενης μπαταρίας Lead-Acid.

Αν θεωρήσουμε μειονέκτημα στενό εύρος συχνοτήτων, τότε η εισήγηση για βελτίωση θα αφορά το κύκλωμα προενίσχυσης της συσκευής. Λαμβάνοντας υπόψη ότι « η απολαβή τάσης μεταβάλλεται στις διάφορες συχνότητες λόγω των συζευκτικών πυκνωτών¹⁹ και του πυκνωτή παράκαμψης C₂₄ (σχήμα 6), αναζητήσαμε σε επιστημονική βιβλιογραφία μια λύση για τη προενίσχυση του κυκλώματος. Στο πιο κάτω σχήμα δίνεται το κύκλωμα μιας προενίσχυσης μικροφώνου αποτελούμενη από δύο τρανζίστορ και το ολοκληρωμένο κύκλωμα TL072.²⁰



Σχήμα 6.1: Κύκλωμα προενίσχυσης μικροφώνου σχεδιασμένο από Douglas Self

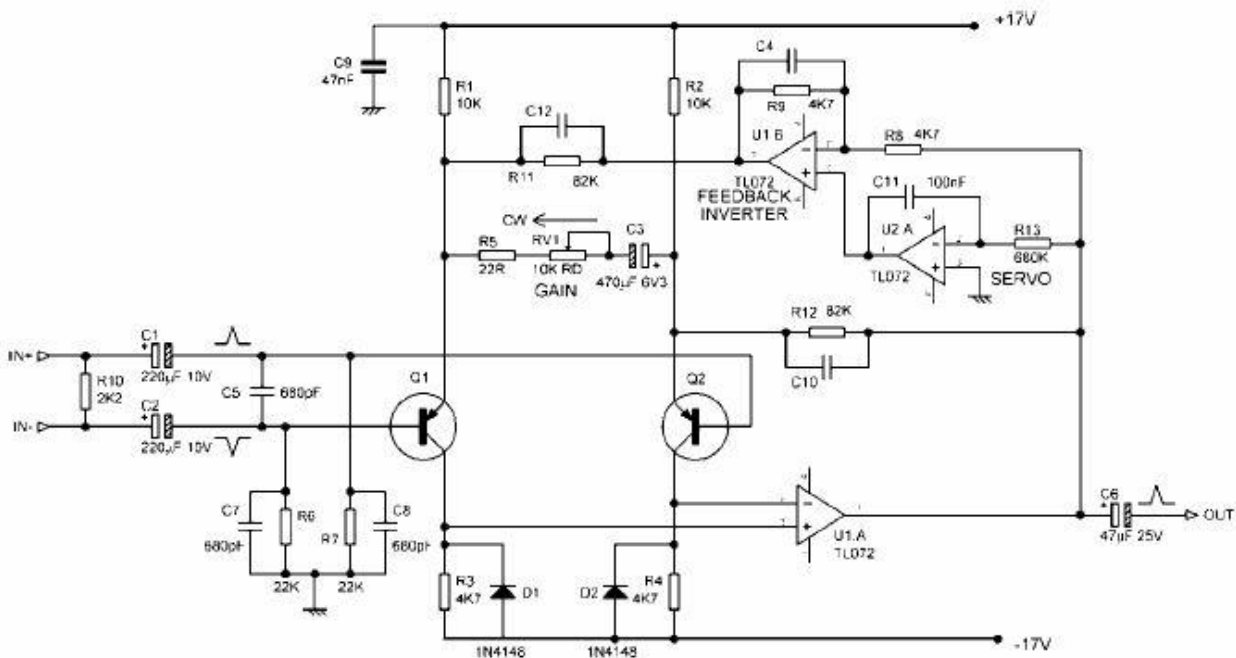
¹⁹ Χρήστος Χρήστου, Αναλογικά Ηλεκτρονικά, Εργαστήριο Ενισχυτή Κοινού Εκπομπού, σελ.21

²⁰ Douglas Self, Small signal audio design, Σελ.325

Τα τρανζίστορ Q_1 και Q_2 εργάζονται ως στάδια ενίσχυσης κοινού εκπομπού σε συνεργασία με το δικτύωμα έλεγχου του κέρδους που αποτελείται από την αντίσταση R_5 , $RV1$ και τον πυκνωτή C_3 , το οποίο τοποθετείται ανάμεσα στους δύο εκπομπούς. Ακολούθως τα δύο σήματα από τους συλλέκτες αθροίζονται στον δυναμικό ενισχυτή.

Το πιο πάνω κύκλωμα θεωρείται απλό, όμως ούτε αυτή η διάταξη λύνει εντελώς το πρόβλημα. Επειδή δεν υπάρχει βρόγχος ανάδρασης που να καταλήγει στα τρανζίστορ εισόδου, υπάρχει σημαντική παραμόρφωση, *distortion*, του σήματος. Για αυτό το λόγο έγινε βελτίωση του κυκλώματος προενίσχυσης με αποτέλεσμα το πιο κάτω σχήμα.

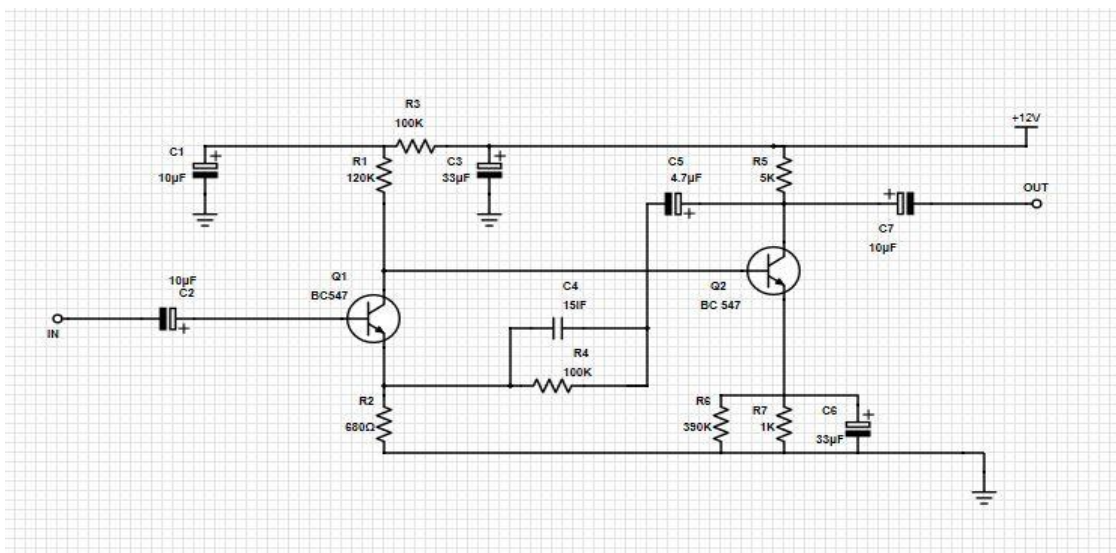
Η βασική λειτουργία του στηρίζεται στο ότι άμεση αρνητική ανάδραση οδηγείται στο τρανζίστορ Q_2 μέσα από την αντίσταση R_{12} ενώ ταυτόχρονα ανεστραμμένη ανάδραση προχωρεί μέσα από την μονάδα κέρδους $U1B$ διαμέσου της R_{11} και οδηγείται στο τρανζίστορ Q_1 . Το δικτύωμα έλεγχου του κέρδους R_5 , $RV1$ και ο πυκνωτής C_3 , συνδέονται μεταξύ των δύο σημείων ανάδρασης, στους εκπομπούς Q_1 και Q_2 και ρυθμίζουν το κέρδος κλειστού βρόγχου με τον έλεγχο του παράγοντα NFB (*negative feedback benefits*). Με αυτό τον τρόπο περιορίζεται πάρα πολύ η παραμόρφωση του σήματος.²¹



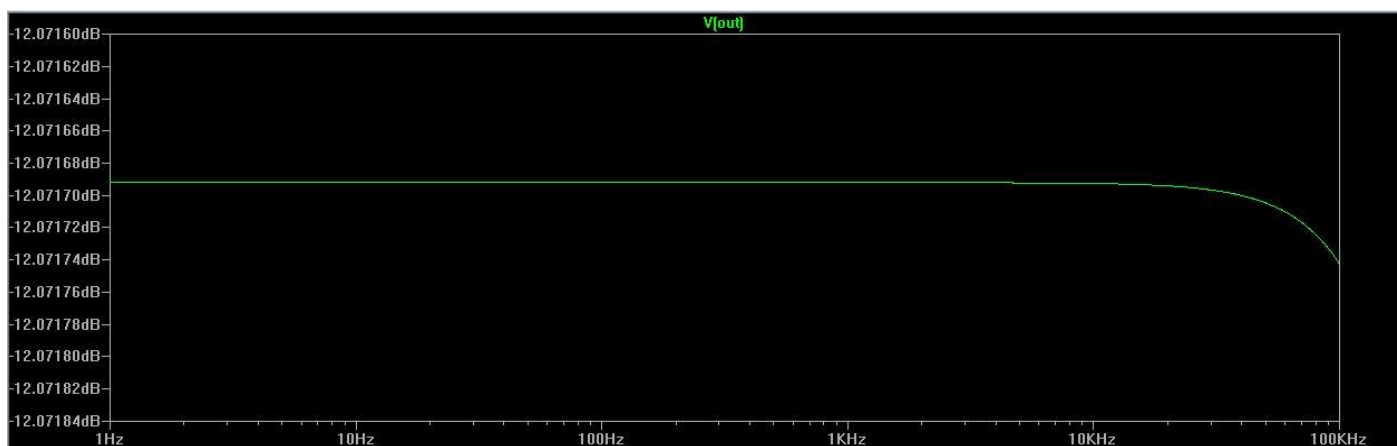
Σχήμα 6.2: Κύκλωμα προενίσχυσης μικροφώνου με feedback σχεδιασμένο από Douglas Self

²¹ Douglas Self, *Small signal audio design*, Σελ.327

Επειδή όμως το σχετικό κύκλωμα είναι αρκετά πολύπλοκο για το σκοπό βελτίωσης της παρούσας εργασίας και επειδή η τάση τροφοδοσίας δεν συνάδει με την τροφοδοσία μπαταρίας, επιλέγηκε το πιο κάτω κύκλωμα. Είναι απλό, έχει στοιχειώδη ανατροφοδότηση, εργάζεται με τάση 12 Volt και η απόκριση συχνότητας του είναι επίπεδη σε όλο το ακουστικό φάσμα των 0 μέχρι 100 kHz.²²



Σχήμα 6.3: Κύκλωμα προενίσχυσης μικροφώνου για βελτίωση της συχνοτικής απόκρισης



Σχήμα 6.4: Συχνοτική απόκριση της πιο πάνω προενίσχυσης με τη χρήση του προγράμματος LTSpice

²² Ιστοσελίδα <http://www.futurekit.com>

Βιβλιογραφικές αναφορές και βοηθήματα:

Albert Paul Malvino (1999), «Βασική Ηλεκτρονική», Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα (ISBN 960-8050-41-3)

Δημήτρης Ξενικάκης (2010), «Ηχοληψία Ι», ΤΕΙ Ρέθυμνο

Κώστας Κεχράκος (2009), «Εργαστήριο Ηχητικών Συστημάτων», ΤΕΙ Ρέθυμνο

Ray Rayburn (2012), «Eargle's Microphone Book», Focal Press. Edition: 3rd (ISBN 02408207540)

Self Douglas (2010), «Small Signal Audio Design», Focal Press Edition: 1st (ISBN 978-0-240-52177-0)

Χρήστος Χρήστου, «Εργαστήριο Αναλογικών Ηλεκτρονικών», ΤΕΙ Ρέθυμνο

Στυλιανός Πιοτογιαννάκης, «Βύσματα για εφαρμογές ήχου», ΤΕΙ Ρέθυμνο

Διαδικτυακές Αναφορές:

1. Ιστοσελίδα για τα τεχνικά χαρακτηριστικά του TDA 2004

<http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/datasheet/CD00276281.pdf>

2. CT Circuits today

<http://www.circuitstoday.com/dynamic-microphone-amplifier-using-transistors>

3. Microphone specifications explained

<http://www.invensense.com/wp-content/uploads/2015/02/MICROPHONE-SPECIFICATIONS-EXPLAINED1.pdf>

4. Ramon Vargas Patron. The James- Baxandall Passive Tone-Control Network.

http://www.inicteluni.edu.pe/sites/default/files/archivos/2015/publicaciones/04/the_james-baxandall_passive_tone_control_network.pdf

5. Για το σχεδιασμό των διαφόρων κυκλωμάτων του ενισχυτή, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Schemelt / Free Online Schematic Drawing Tool/DigiKey από την ακόλουθη ιστοσελίδα:

<http://www.digikey.com/schemeit/#>

Οι πηγές ελέγχτηκαν στις 14/06/2015