



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ  
(ΤΕΙ) ΚΡΗΤΗΣ



ΣΧΟΛΗ  
ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ & ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ

## ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

# ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΕΦΕ ΚΙΘΑΡΑΣ ΤΥΠΟΥ WAH

ΕΚΠΟΝΗΘΗΚΕ ΑΠΟ ΤΟΝ  
ΤΣΙΑΝΤΗ ΑΝΔΡΕΑ, Α.Μ.:542

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ  
ΚΑΡΑΔΕΛΟΓΛΟΥ ΠΡΟΔΡΟΜΟΣ

ΚΡΗΤΗ, 2012-2013

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον εισηγητή και καθηγητή μου, κύριο Καραδελόγλου Πρόδρομο, για το ερέθισμα που μου έδωσε για την πραγματοποίηση αυτής της πτυχιακής εργασίας. Τον ευχαριστώ θερμά για την άριστη συνεργασία, για το ενδιαφέρον που επέδειξε στους προβληματισμούς μου, αλλά και για την πολύ σημαντική υποστήριξη και βοήθεια που μου προσέφερε.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω το συμφοιτητή και φίλο μου Νταγκνταλιανίδη Θεόδωρο για τη βοήθεια και στήριξη που μου έδωσε όλο αυτό το διάστημα και όχι μόνο.

Κυρίως όμως θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, που μου στάθηκαν όλα αυτά τα χρόνια σε όλα τα επίπεδα και θέλω να αφιερώσω όλη αυτή τη προσπάθεια συγκεκριμένα στον αγαπημένο μου πατέρα που δυστυχώς μας άφησε νωρίς.

***ΤΣΙΑΝΤΗΣ ΑΝΔΡΕΑΣ***

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ως οπαδός της Rock και Metal μουσικής και την αγάπη που έχω προς το όργανο της ηλεκτρικής κιθάρας η φιλοδοξία μου ήταν κάποια στιγμή να κατασκευάσω ένα προϋπάρχον εφέ της αρέσκειας μου και του δικού μου μουσικού ύφους. Από τη στιγμή που αποφάσισα να διαλέξω μια τέτοια πτυχιακή δεν ήταν άλλο απο το να επιλέξω την κατασκευή-αντιγραφή ενός θρυλικού πεταλιού της εταιρίας Vox.

Οι δυσκολίες πολλές , αλλά με την συνεχή έρευνα και μελέτη απόψεων και συμβουλών κυρίως μέσω του διαδικτίου απο άλλων ομοϊδεατών , που είχαν καταφέρει νωρίτερα την επίτευξη μιας τέτοιας κατασκευής, πιστεύω να προσέγγισα και να έφτασα σ' ένα αποτέλεσμα σαν αυτό που είχα βάλει στόχο απο την αρχή.

Έτσι η ευτυχής κατάληξη για μένα είναι αυτό που παρουσιάζεται και αναλύεται διεξοδικά ,βάση των γνώσεων που απόκτησα στη σχολή μου όλα αυτά τα χρόνια, στη πτυχιακή εργασία που ακολουθεί.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b><u>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ</u></b> .....	1
<b><u>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</u></b> .....	2
<b><u>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</u></b> .....	3
<b><u>ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ – ΠΙΝΑΚΩΝ –ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ</u></b> .....	5
<b><u>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</u></b> .....	8
<b><u>ABSTRACT</u></b> .....	9
<b><u>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</u></b> .....	10
ΣΚΟΠΟΣ.....	11
ΔΟΜΗ.....	11
ΥΠΟΘΕΣΗ.....	12
ΜΕΘΟΔΟΣ.....	12
<b><u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup></u></b> .....	13
<b><u>«ΠΕΝΤΑΛ (ΕΦΕ) ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΚΙΘΑΡΩΝ»</u></b> .....	13
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	13
1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	14
1.3 ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΟΥ ΠΕΝΤΑΛ.....	15
<b><u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup></u></b> .....	16
<b><u>«ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ»</u></b> .....	16
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	16
2.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΕΦΕ ΤΥΠΟΥ WAH.....	17
2.2.1. Βαθμίδα πρώτη: Το τρανζίστορ Q1.....	18
2.2.2. Βαθμίδα δεύτερη: Το τρανζίστορ Q2.....	20
2.2.3. Βαθμίδα τρίτη: Το Buffer.....	22
<b><u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup></u></b> .....	24
<b><u>«ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ»</u></b> .....	24
3.1. ΒΑΘΜΙΔΑ ΕΙΣΟΔΟΥ.....	24
3.2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΒΑΘΜΙΔΑΣ ΕΙΣΟΔΟΥ.....	25
3.2.1. DC ανάλυση.....	25
3.2.2. AC ανάλυση.....	28
<b><u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup></u></b> .....	32
<b><u>«ΕΞΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ»</u></b> .....	32
4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	32
4.2. ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ MAXIMUM ΘΕΣΗΣ ΤΟΥ ΠΕΝΤΑΛ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ LTSPICE.....	33
4.3. ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΜΕΣΑΙΑΣ ΘΕΣΗΣ ΤΟΥ ΠΕΝΤΑΛ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ LTSPICE.....	36
4.4. ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ MINIMUM ΘΕΣΗΣ ΤΟΥ ΠΕΝΤΑΛ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ LTSPICE.....	40
<b><u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup></u></b> .....	46
<b><u>«ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ»</u></b> .....	46
5.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	46
5.2. ΤΑ ΥΛΙΚΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ.....	46
5.3. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ.....	48
5.4. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΗΣ ΠΛΑΚΕΤΑΣ.....	49
5.4.1. Τύπομα κυκλώματος στην διαφάνεια.....	50
5.4.2. Τύπομα κυκλώματος σε φωτοεναίσθητη πλακέτα.....	51
5.4.3. Εμφάνιση κυκλώματος στην πλακέτα.....	53

5.4.4. Αποχάλκωση.....	54
5.5. ΤΟ ΚΟΥΤΙ – ΘΗΚΗ ΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ .....	55
5.6. ΚΟΛΛΗΣΗ ΤΩΝ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ.....	56
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup></b> .....	<b>62</b>
<b>«ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ»</b> .....	<b>62</b>
6.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	62
6.2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ MAXIMUM ΘΕΣΗΣ ΠΕΝΤΑΛ.....	63
6.3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΕΣΑΙΑΣ ΘΕΣΗΣ ΠΕΝΤΑΛ .....	66
6.4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ MINIMUM ΘΕΣΗΣ ΠΕΝΤΑΛ .....	69
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup></b> .....	<b>74</b>
<b>«ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ»</b> .....	<b>74</b>
<b>ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ</b> .....	<b>77</b>
<b>8 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΠΗΓΕΣ</b> .....	<b>79</b>
<b>9 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ-DATASHEETS</b> .....	<b>80</b>

# ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ – ΠΙΝΑΚΩΝ – ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

## ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 1: Το πεντάλ CryBaby της εταιρίας ThomasOrgan. ....	14
Εικόνα 2: Το πεντάλ ClydeMccoy της εταιρείας VOX.....	15
Εικόνα 3: Κύκλωμα μονάδας τύπου Wah. ....	16
Εικόνα 4: Συχνοτική απόκριση εφέ τύπου Wah.....	17
Εικόνα 5: Το peak στο φάσμα συχνοτήτων του εφέ τύπου Wah. ....	18
Εικόνα 6: Πρώτη βαθμίδα κυκλώματος μονάδας τύπου Wah.....	19
Εικόνα 7: Η δεύτερη βαθμίδα κυκλώματος μονάδας τύπου Wah.....	20
Εικόνα 8: Τοbuffer εξόδου του κυκλώματος.....	23
Εικόνα 9: Βαθμίδα εισόδου. ....	24
Εικόνα 10:AC ισοδύναμο του τμήματος εισόδου. ....	29
Εικόνα 11: Το σχέδιο του κυκλώματος wah στο λογισμικό LTspice. ....	32
Εικόνα 12: Το κύκλωμα του wah πεντάλ στη maximum θέση σχεδιασμένο στο LTspice. .....	33
Εικόνα 13: Η κυματομορφή της maximum θέσης του πεντάλ στα 400 Hz από το λογισμικό LTspice. ....	34
Εικόνα 14: Η κυματομορφή της maximum θέσης του πεντάλ στα 1000 Hz από το λογισμικό LTspice. ....	34
Εικόνα 15: Η κυματομορφή της maximum θέσης του πεντάλ στα 4000 Hz από το λογισμικό LTspice. ....	35
Εικόνα 16: Το κύκλωμα του wah πεντάλ στη μεσαία θέση σχεδιασμένο στο LTspice....	37
Εικόνα 17: Η κυματομορφή της μεσαίας θέσης του πεντάλ στα 400 Hz από το λογισμικό LTspice. ....	37
Εικόνα 18: Η κυματομορφή της μεσαίας θέσης του πεντάλ στα 1000 Hz από το λογισμικό LTspice. ....	38
Εικόνα 19: Η κυματομορφή της μεσαίας θέσης του πεντάλ στα 4000 Hz από το λογισμικό LTspice. ....	38
Εικόνα 20: Το κύκλωμα του wah πεντάλ στη minimum θέση σχεδιασμένο στο LTspice. .....	41
Εικόνα 21: Η κυματομορφή της minimumθέσης του πεντάλ στα 400 Hz από το λογισμικό LTspice.. ....	41
Εικόνα 22: Η κυματομορφή της minimum θέσης του πεντάλ στα 1000 Hz από το λογισμικό LTspice. ....	42
Εικόνα 23: Η κυματομορφή της minimum θέσης του πεντάλ στα 4000 Hz από το λογισμικό LTspice. ....	42
Εικόνα 24: Το τρανζίστορ BC109. ....	48
Εικόνα 25: Η όψη του τρανζίστορ BC109. ....	48
Εικόνα 26: Το χειροποίητο πηνίο της EyeRock (handmadeinductor).....	49
<b>Εικόνα 27:</b> Το επανασχεδιασμένο κύκλωμα Wah στο λογισμικό kicad. ....	49
Εικόνα 28: Το PCB του κυκλώματος Wah στο λογισμικό kicad. ....	50
Εικόνα 29: Συνδεσμολογία των λαμπών εκφωτισμού.....	51
Εικόνα 30: Ο τρόπος κατασκευής του θαλάμου εκφωτισμού. ....	52
Εικόνα 31: Παράδειγμα τρόπου εκφώτισης της πλακέτας με την χρήση του ήλιου.....	53
Εικόνα 32: Παράδειγμα διαδικασίας αποχάλκωσης.....	54
Εικόνα 33: Η πλακέτα της κατασκευής. ....	55
Εικόνα 34: Η θήκη του πεντάλ. ....	56
Εικόνα 35: Διαφορετική όψη της θήκης του πεντάλ.....	56

Εικόνα 36: Η σύνδεση των καλωδίων με την υποδοχή της μπαταρίας και την πλακέτα..	59
Εικόνα 37: Στα αριστερά το ποτενσιόμετρο ICAR και στα δεξιά το ποτενσιόμετρο trimpot.....	60
Εικόνα 38: Ο διακόπτης ποδιού.....	60
Εικόνα 39: Η ολοκληρωμένη κατασκευή του πεντάλ. ....	61
Εικόνα 40: Διαφορετική όψη της ολοκληρωμένης κατασκευής του πεντάλ. ....	61
Εικόνα 41: Η κυματομορφή της εισόδου στον παλμογράφο. ....	62
Εικόνα 42: Η κυματομορφή του bypass σήματος εξόδου.....	63
Εικόνα 43: Η κυματομορφή της maximum θέσης του πεντάλ στα 400 Hz. ....	64
Εικόνα 44: Η κυματομορφή της maximum θέσης του πεντάλ στα 1000 Hz. ....	64
Εικόνα 45: Η κυματομορφή της maximum θέσης του πεντάλ στα 4000 Hz. ....	65
Εικόνα 46: Η κυματομορφή της μεσαίας θέσης του πεντάλ στα 400 Hz.....	67
Εικόνα 47: Η κυματομορφή της μεσαίας θέσης του πεντάλ στα 1000 Hz.....	67
Εικόνα 48: Η κυματομορφή της μεσαίας θέσης του πεντάλ στα 4000 Hz.....	68
Εικόνα 49: Η κυματομορφή της minimum θέσης του πεντάλ στα 400 Hz.....	70
Εικόνα 50: Η κυματομορφή της minimum θέσης του πεντάλ στα 1000 Hz.....	70
Εικόνα 51: Η κυματομορφή της minimum θέσης του πεντάλ στα 4000 Hz.....	71

### ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 1: Οι τιμές της μεσαίας θέσης του πεντάλ με σήμα εισόδου 125mV και συχνότητα 100 έως 5000 Hz.....	35
Πίνακας 2: Οι τιμές της μεσαίας θέσης του πεντάλ με σήμα εισόδου 125mV και συχνότητα 100 έως 5000 Hz.....	39
Πίνακας 3: Οι τιμές της minimum θέσης του πεντάλ με σήμα εισόδου 125mV και συχνότητα 100 έως 5000 Hz.....	43
Πίνακας 4: Οι αντιστάσεις που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του κυκλώματος. ....	46
Πίνακας 5: Οι πυκνωτές που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του κυκλώματος. ...	47
Πίνακας 6: Τα πηνία που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του κυκλώματος. ....	47
Πίνακας 7: Τα Τρανζίστορς που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του κυκλώματος. ....	47
Πίνακας 8: Τα ποτενσιόμετρα που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του κυκλώματος. ....	47
Πίνακας 9: Ο υπόλοιπος εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή του κυκλώματος. ....	47
Πίνακας 10: Χρωματικός κώδικας Αντιστάσεων.....	58
Πίνακας 11: Πίνακας εργαστηριακών μετρήσεων της maximum θέσης του πεντάλ.....	65
Πίνακας 12: Πίνακας εργαστηριακών μετρήσεων της μεσαίας θέσης του πεντάλ. ....	68
Πίνακας 13: Πίνακας εργαστηριακών μετρήσεων της minimum θέσης του πεντάλ. ....	71

### ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Διάγραμμα 1: Η κατανόηση της συμπεριφοράς του πεντάλ στην maximum θέση.....	36
Διάγραμμα 2: Υπολογισμός των τιμών της μεσαίας θέσης του πεντάλ. ....	40
Διάγραμμα 3: Απεικόνιση υπολογισμού των τιμών της minimum θέσης του πεντάλ. ....	44
Διάγραμμα 4: Απεικόνιση των τριών συμπεριφορών του πεντάλ.....	45
Διάγραμμα 5: Απεικόνιση των τιμών της maximum θέσης του πεντάλ. ....	66
Διάγραμμα 6: Απεικόνιση της συμπεριφοράς του πεντάλ στην μεσαία θέση.....	69
Διάγραμμα 7: : Απεικόνιση των εργαστηριακών τιμών μετρήσεων της minimum θέσης του πεντάλ.....	72

Διάγραμμα 8: Απεικόνιση των εργαστηριακών τιμών μετρήσεων των τριών συμπεριφορών του πεντάλ.....	73
Διάγραμμα 9: Απεικόνιση των τιμών της maximum θέσης του πεντάλ για δύο περιπτώσεις.....	74
Διάγραμμα 10: Απεικόνιση των τιμών της μεσαίας θέσης του πεντάλ για δύο περιπτώσεις.....	75
Διάγραμμα 11: Απεικόνιση των τιμών της minimum θέσης του πεντάλ για δύο περιπτώσεις.....	76



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Κύριος σκοπός της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας αποτελεί η θεωρητική προσέγγιση, μελέτη και κατασκευή - λειτουργία μονάδας τύπου WAH πεντάλ ηλεκτρικής κιθάρας.

Η πτυχιακή εργασία χωρίστηκε σε 7 κεφάλαια τα οποία αναφέρονται περιληπτικά παρακάτω.

Στην εισαγωγή, παρατίθενται εισαγωγικές έννοιες. Ακόμη δίνονται ο σκοπός, η δομή, η υπόθεση και η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση της πτυχιακής εργασίας.

Στο 1<sup>ο</sup> κεφάλαιο κρίθηκε σκόπιμο να αναφερθούν εισαγωγικά και ιστορικά στοιχεία για τα πεντάλ ηλεκτρικών κιθαρών.

Στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο διερευνάται και αναλύεται θεωρητικά το κύκλωμα. Αυτό επιτυγχάνεται οριοθετώντας την λειτουργία του εφέ τύπου WAH (Βαθμίδα πρώτη: Το τρανζίστορ Q1, Βαθμίδα δεύτερη: Το τρανζίστορ Q2, Βαθμίδα τρίτη: Το Buffer εξόδου).

Στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο παραθέτονται στοιχεία της θεωρητικής μελέτης του κυκλώματος με ιδιαίτερη έμφαση στην βαθμίδα εισόδου (Ανάλυση της βαθμίδας εισόδου, DC ανάλυση, AC ανάλυση).

Στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζεται η εξομοίωση του κυκλώματος στο λογισμικό LTSPICE.

Η υλοποίηση της κατασκευής αναφέρεται στο 5<sup>ο</sup> κεφάλαιο, όπου αναλύονται τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν, τα χαρακτηριστικά ηλεκτρονικών εξαρτημάτων, η κατασκευή της πλακέτας (τύπωμα κυκλώματος στην διαφάνεια, τύπωμα κυκλώματος σε φωτοευαίσθητη πλακέτα, εμφάνιση κυκλώματος στην πλακέτα, αποχάλκωση, συγκεκριμένος τρόπος χάραξης των διαδρομών του κυκλώματος στη πλακέτα), το κουτί - θήκη του κυκλώματος, και τέλος η κόλληση των εξαρτημάτων.

Το 6<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζει τον πειραματικό έλεγχο του κυκλώματος.

Τέλος στο 7<sup>ο</sup> κεφάλαιο αναφέρονται συμπεράσματα και προβληματισμοί και εξάγονται γνώμες και απόψεις από την μελέτη της μονάδας μας.

## **ABSTRACT**

The main purpose of this thesis is the theoretical approach, design and construction - operation of an effect unit - type WAH guitar pedal.

This paper consists of 7 chapters which are summarized as follows.

In the introduction, are given introductory concepts, the purpose, structure, and the method used in preparing the dissertation.

In the first chapter we mention the history and some theoretical elements about the electric guitar pedal.

In the second chapter we introduce and analyze theoretically the electronic circuit we use in this paper.

In the third chapter we give the electronic analysis of the circuit. (Stages of the circuit and AC- DC analysis of the stages).

The fourth chapter, consists of the results and study of the circuit simulation in LTSPICE simulation software.

The implementation of the construction covers the 5th chapter. Specifically we analyze the materials used, the characteristics of the electronic components, the construction of PCB, the box - housing of the circuit, and finally the soldering of components.

The sixth chapter presents the experimental testing of the circuit.

Finally, in the last chapter there are conclusions, as well as some thoughts about the whole design and construction.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ηλεκτρική συσκευή είναι κάθε μηχανήμα το οποίο χρησιμοποιεί ηλεκτρικό ρεύμα για να επιτελέσει την επιθυμητή από τον σχεδιαστή του λειτουργία. Οι ηλεκτρονικές συσκευές είναι ευάλωτες σε ισχυρούς ηλεκτρομαγνητικούς παλμούς που μπορούν να προκαλέσουν φθορές ή ακόμα και την πλήρη καταστροφή της συσκευής.

Η κατασκευή μιας ηλεκτρονικής συσκευής περιλαμβάνει τα παρακάτω βασικά βήματα:

- **Σχεδιασμός του ηλεκτρονικού κυκλώματος (ηλεκτρονικό σχηματικό)**, γίνεται με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή. Μπορούμε να σχεδιάσουμε και δίχως τη χρήση υπολογιστή, χρησιμοποιώντας απλά και μόνο χαρτί και μολύβι. Ο υπολογιστής όμως, προσφέρει κάποια μοναδικά πλεονεκτήματα όπως η δυνατότητα ταχύτητας και αξιόπιστης αυτοματοποιημένης σχεδίασης, ο εύκολος έλεγχος και η εύκολη αποσφαλμάτωση (διόρθωση λαθών) με χρήση προσομοιώσεων, η αποθήκευση του σχεδίου μας σε ηλεκτρονική μορφή κ.α.
- **Κατασκευή του τυπωμένου κυκλώματος**, τα τυπωμένα κυκλώματα είναι οι ηλεκτρονικές πλακέτες που συναντάμε στο εσωτερικό όλων των ηλεκτρονικών συσκευών. Οι πλακέτες αυτές αποτελούνται από ένα διηλεκτρικό υπόστρωμα (ηλεκτρικό μονωτή) πάνω στο οποίο είναι τυπωμένες οι αγωγίμες γραμμές - καλώδια του κυκλώματος. Πάνω στο τυπωμένο κύκλωμα-πλακέτα προσαρμόζονται με κόλληση (κολλιούνται) τα απαραίτητα ηλεκτρονικά εξαρτήματα που δομούν τις ηλεκτρονικές συσκευές. Τα ηλεκτρονικά κυκλώματα μπορούν να υλοποιηθούν και χωρίς τη χρήση τυπωμένου κυκλώματος, με απλή συνένωση εξαρτημάτων και καλωδίων. Όμως, με τη χρήση τυπωμένου κυκλώματος είμαστε σε θέση να αυτοματοποιήσουμε τη διαδικασία της συναρμολόγησης, να αποφύγουμε τα λάθη και να πραγματοποιήσουμε μαζική παραγωγή συσκευών σε ελάχιστο χρόνο. Το τυπωμένο κύκλωμα σχεδιάζεται βάσει του ηλεκτρονικού σχηματικού, με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή και στη συνέχεια τυπώνεται πάνω σε χαλκό (σε διηλεκτρικό υπόστρωμα που περιέχει στρώσεις χαλκού) με τη μέθοδο της φωτολιθογραφία. Επίσης αυτό επιτυγχάνεται και με διαφορετικούς εναλλακτικούς τρόπους.

- **Κατασκευή ηλεκτρονικής πλακέτας με κόλληση των εξαρτημάτων στο τυπωμένο κύκλωμα**, η τελική ηλεκτρονική πλακέτα προκύπτει όταν κολλήσουμε τα διάφορα ηλεκτρονικά εξαρτήματα πάνω στο τυπωμένο κύκλωμα. Η συγκόλληση των εξαρτημάτων πραγματοποιείται στον πάγκο συγκόλλησης με τη βοήθεια συσκευών συγκόλλησης όπως ηλεκτρονικά κολλητήρια επαφής και θερμού αέρα.
- **Ενσωμάτωση της πλακέτας σε κατάλληλο περίβλημα (κουτί –πλαίσιο)**, η κατασκευή μιας ηλεκτρονικής συσκευής ολοκληρώνεται όταν η ηλεκτρονική πλακέτα (ή πλακέτες) της συσκευής προσαρμοστεί (ή προσαρμοστούν) σε ένα καλαίσθητο μεταλλικό ή πλαστικό περίβλημα στο οποίο προσαρμόζονται κουμπιά, ενδεικτικά λαμπάκια, οθόνες και βύσματα.
- **Τελικός έλεγχος**, μία ηλεκτρονική συσκευή είναι έτοιμη προς χρήση όταν περάσει τον τελικό έλεγχο. Ο τελικός έλεγχος πραγματοποιείται από εξειδικευμένους τεχνικούς στο εργαστήριο αλλά και από τους ενδιαφερόμενους χρήστες. Αν η συσκευή περάσει επιτυχώς όλα τα τεστ χρηστικότητα και ασφάλειας τότε μπορεί πλέον να διοχετευτεί στην αγορά και να αποτελέσει ένα προϊόν που μπορεί να αποφέρει υψηλά κέρδη.

## ΣΚΟΠΟΣ

Σκοπός της παρούσης πτυχιακής εργασίας είναι η θεωρητική προσέγγιση, μελέτη και κατασκευή - λειτουργία μονάδας τύπου WAH πεντάλ ηλεκτρικής κιθάρας.

## ΔΟΜΗ

Η δομή της παρούσας πτυχιακής εργασίας αποτελείται από 7 κεφάλαια τα οποία ασχολούνται με τις παρακάτω έννοιες:

- **Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup>**: Αναφορά στο πεντάλ ηλεκτρικών κιθαρών.
- **Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>**: Ανάλυση του κυκλώματος.
- **Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>**: Παράθεση στοιχείων της θεωρητικής μελέτης του κυκλώματος.
- **Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>**: Παρουσίαση της εξομοίωσης του κυκλώματος στο λογισμικό LTSPICE.
- **Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup>**: Η υλοποίηση της κατασκευής.

- **Κεφάλαιο6<sup>ο</sup>**: Πειραματικός έλεγχος του κυκλώματος.
- **Κεφάλαιο7<sup>ο</sup>**: Σύγκριση αποτελεσμάτων και συμπεράσματα.

## **ΥΠΟΘΕΣΗ**

Η υπόθεση της πτυχιακής εργασίας έγκειται στην προσπάθεια να αναλυθεί το θεωρητικό κύκλωμα, να δοθούν στοιχεία της θεωρητικής μελέτης του κυκλώματος και της εξομοίωσης του κυκλώματος στο λογισμικό. Έπειτα να υλοποιηθεί η κατασκευή και να πραγματοποιηθεί πειραματικός έλεγχος του κυκλώματος.

## **ΜΕΘΟΔΟΣ**

Η μέθοδος βασίζεται στην τεχνική της έρευνας με βιβλιογραφικά στοιχεία και πηγές διαδικτύου για να αναλυθεί θεωρητικά το κύκλωμα, να δοθούν στοιχεία της θεωρητικής μελέτης του κυκλώματος και της εξομοίωσης του κυκλώματος στο λογισμικό. Καθώς και εργαστηριακή εργασία για να υλοποιηθεί η κατασκευή και να πραγματοποιηθεί ο πειραματικός έλεγχος του κυκλώματος του πεντάλ ηλεκτρικής κιθάρας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

### «ΠΕΝΤΑΛ (ΕΦΕ) ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΚΙΘΑΡΩΝ»

#### 1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ηλεκτρική αποκαλείται η κιθάρα που χρησιμοποιεί ηλεκτρομαγνήτες για να μετατρέψει τον ηχητικό παλμό των μεταλλικών χορδών της σε ηλεκτρικό ρεύμα το οποίο μπορεί έπειτα να ενισχυθεί από ένα σύστημα ενισχυτή-ηχείου. Το σήμα που προέρχεται από την κιθάρα μπορεί κάποιες φορές να διαφοροποιηθεί με εφέ ή να παραμορφωθεί. Ενώ οι περισσότεροι τύποι ηλεκτρικής κιθάρας φέρουν έξι χορδές, απαντώνται και επτάχορδες οι οποίες χρησιμοποιούνται από κάποιους μουσικούς της τζαζ και της μέταλ μουσικής, ειδικά του είδους νιού μέταλ (Nu Metal), καθώς και δωδεκάχορδες (με έξι ζεύγη χορδών οι οποίες απέχουν διάστημα μιας οκτάβας τις οποίες συναντάμε κυρίως σε μουσικά είδη όπως το τζανγκλ ποπ και το ροκ.

Η ηλεκτρική κιθάρα χρησιμοποιήθηκε αρχικά από big band μουσικούς της τζαζ ως ένα κούφιο όργανο, ηλεκτρικώς ενισχυμένο για μεγαλύτερη ένταση κατά την περίοδο της άνθησης του σουίνγκ. Οι πρώτες ηλεκτρικές κιθάρες διέθεταν κούφιο σώμα, ατσάλινες χορδές και ηλεκτρομαγνήτες με σπείρες από βολφράμιο<sup>1</sup> που κατασκεύαζε η εταιρία Rickenbacker το 1931. Παρόλο που μερικές από τις πρώτες κατασκευάστηκαν από τον Les Paul, ο πρώτος επιτυχημένος εμπορικά τύπος ηλεκτρικής κιθάρας με κούφιο σώμα ήταν η Fender Esquire το 1950. Η ηλεκτρική κιθάρα ήταν ένα όργανο-κλειδί για την ανάπτυξη πολλών μουσικών ειδών που εμφανίστηκαν από τα τέλη του 1940 και μετά όπως το Σικάγο Μπλουζ, το πρώιμο Ροκ εντ Ρολ και το Ροκαμπίλι καθώς και το Μπλουζ Ροκ του 1960. Έχει επίσης χρησιμοποιηθεί σε διάφορα άλλα είδη μουσικής όπως η Κάντρι, η Άμπιεντ, η Νιού Ώιτς, καθώς και σε κάποια είδη σύγχρονης ορχηστρικής μουσικής.

---

<sup>1</sup> Το βολφράμιο, ένα σκληρό, βαρύ, αργυρόλευκου χρώματος στοιχείο μετάπτωσης ανευρίσκεται σε πολλά μεταλλεύματα κυριότερα από τα οποία είναι ο βολφραμίτης και ο σεελίτης και ξεχωρίζει για τις φυσικές του ιδιότητες.

## 1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Η ανάγκη κιθάρας με ενισχυμένη ένταση έγινε αισθητή κατά τη διάρκεια της περιόδου των big band και καθώς οι τζαζ ορχήστρες αύξαναν σε αριθμό μελών και κυρίως σε χάλκινα πνευστά. Αρχικά οι ηλεκτρικές κιθάρες διέθεταν κούφιο αμιδωτό σώμα στο οποίο είχαν προστεθεί ηλεκτρομαγνητικοί μετατροπείς. Έχει χρησιμοποιηθεί από πολλούς καλλιτέχνες (Eric Clapton κ.α.)

Ο ClydeLeeMcCoy, δημοφιλής τρομπετίστας της τζαζ, ανέπτυξε στα τέλη της δεκαετίας του 1920 έναν ήχο με την τρομπέτα του, γνωστό ως «wah-wah». Τον Νοέμβριο του 1966, ο χαρακτηριστικός αυτός ήχος δημιουργήθηκε και για ηλεκτρικές κιθάρες χάρις στο πρώτο πεντάλ Wah-Wah, κατασκευασμένο από τον μηχανικό BradPlunkett της εταιρίας WarwickElectronicsInc./ThomasOrganCompany. Το γνήσιο πρωτότυπο αυτού του pedal είναι κατασκευασμένο από το κύκλωμα ενός ποτενσιόμετρου και ενός τρανζίστορ MRB (Mid-RangeBoost) σε συνδυασμό με το περίβλημα του πεντάλ ήχου VoxContinentalOrgan. Η δημιουργία του πεντάλ στην πραγματικότητα ήταν ένα ατύχημα. Ο Plunkett είχε φτιάξει το κύκλωμα ενός τόνου της εταιρίας ThomasOrgan (ένα ηλεκτρικό όργανο σταθερής κατάστασης) στο breadboard και έπρεπε να τεστάρει την λειτουργία ενός κυκλώματος τριών θέσεων γνωστό ως Jennings. Μετά την προσαρμογή και την δοκιμή του ενισχυτή με ένα ταλαντωτή και ένα παλμογράφο, ο Plunkett σύνδεσε την έξοδο στο ηχείο και δοκίμασε τον ήχο. Ο Plunkett είχε δημιουργήσει άθελα το εφέ τύπου WahWah και αργότερα το πεντάλ εφέ τύπου Wah-Wah. Οι πρώτες εκδόσεις του πεντάλ πήραν το όνομα του δημιουργού του ήχου, δηλαδή ClydeMcCoy και εμφάνιζαν μια εικόνα στο κάτω μέρος του πεντάλ, όπου αργότερα εμφάνιζαν μόνο την υπογραφή του. Στη συνέχεια, ο διευθυντής της εταιρίας ThomasOrgan, άλλαξε την ονομασία του πεντάλ στην αμερικάνικη αγορά σε CryBaby.

Είναι γνωστό, πως το πεντάλ εφέ τύπου Wah, χρησιμοποιήθηκε από γνωστούς κιθαρίστες όπως ο EricClapton και ο Jimi Hendrix.



**Εικόνα 1:** Το πεντάλ CryBaby της εταιρίας ThomasOrgan.



**Εικόνα 2:** Το πεντάλ Clyde McCoy της εταιρείας VOX.

Στα τέλη του 1950 και αρχές του 1960 οι κιθαρίστες προσάρμοζαν τα κουμπιά του τόνου της κιθάρας μπροστά και πίσω επιδιώκοντας έναν ήχο παρόμοιο με τον Wah. Άλλοι είχαν εξαρτήματα ενσωματωμένα στις κιθάρες τους που έβγαζαν έναν παρόμοιο ήχο με αυτό του Wah, έτσι όταν πρωτοβγήκε στην κυκλοφορία το πεντάλ Wah-Wah, οι περισσότεροι καλλιτέχνες, συμπεριλαμβανόμενου του James Brown, δεν το χρειάστηκαν. Μουσικοί όπως ο Frank Zappa, Jimi Hendrix και ο Eric Clapton όμως ενδιαφέρθηκαν πολύ για τον ήχο του. Στην αρχή οι περισσότεροι παραξενεύτηκαν όταν άκουσαν τον ήχο για πρώτη φορά. Πάραυτα, το πεντάλ του Wah-Wah κυκλοφορεί ακόμη σε πολλές μορφές και αναβαθμίσεις και δεν είναι ιδιαίτερα γνωστό ότι στην αρχή κατασκευάστηκε για πνευστά όργανα και όχι για την κιθάρα.

### **1.3 ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΟΥ ΠΕΝΤΑΛ**

Μια διαφορετική λειτουργία του πεντάλ είναι η χρήση του στην ενίσχυση ορισμένων συχνοτήτων, κρατώντας το σε μια μόνο θέση, η οποία δίνει έμφαση στην «ιδανική θέση», γνωστή ως «sweetspot» στο τονικό φάσμα του οργάνου.

Ο πολύ γνωστός και δημοφιλής κιθαρίστας Jimi Hendrix, χρησιμοποίησε το πεντάλ με αυτόν τον τρόπο μαζί με τον συνδυασμό της Fender Stratocaster και τους ενισχυτές Marshall (Marshall Amplifiers), τα οποία λειτουργούσαν σε στατική και διαμορφωμένη κατάσταση.

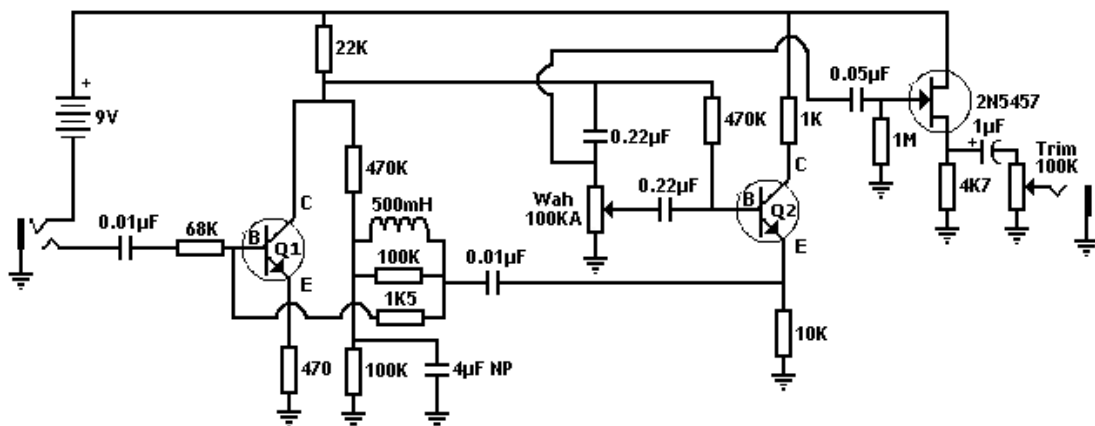


## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

### «ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ»

#### 2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην αρχή αυτού του κεφαλαίου θα γίνει μια εισαγωγική θεωρητική ανάλυση της λειτουργίας του pedal. Έπειτα το κύκλωμα θα χωριστεί σε τρεις βαθμίδες, στις οποίες θα γίνει λεπτομερής περιγραφή της ηλεκτρονικής λειτουργίας του με σκοπό την πλήρη κατανόηση της. Στην Εικόνα 2.1 παρουσιάζεται το κύκλωμα.



Εικόνα 3:Κύκλωμα μονάδας τύπου Wah.

Πρόκειται για ένα σχετικά εύκολο κύκλωμα και στις παρακάτω ενότητες θα απαντηθούν ερωτήματα όπως πως για το πώς είναι δυνατόν να παίρνεις μια μεταβαλλόμενη ακουστική συχνότητα από ένα σταθερό πηνίο και ένα σταθερό πυκνωτή ή για το πως είναι δυνατόν ένα κύκλωμα με δύο τρανζίστορ να μεταβάλλει ένα εύρος τιμών στην έξοδο ενώ παράλληλα οι τιμές του πηνίου και των πυκνωτών να παραμένουν σταθερές και το κινητό ποτενσιόμετρο (WahPot) να μεταβάλλει την αρχική τιμή. Δηλαδή πως είναι δυνατόν να παίρνουμε ένα κινητό ζωνοπερατό φίλτρο αφού το μόνο που αλλάζει είναι το ποτενσιόμετρο που αντιστοιχεί στην ρύθμιση έντασης του σήματος. Η απάντηση με λίγα και απλά λόγια είναι η εξής: Το ποτενσιόμετρο Wah μαζί με το δεύτερο τρανζίστορ και τον σταθερό πυκνωτή αποτελούν έναν ηλεκτρονικά μεταβλητό

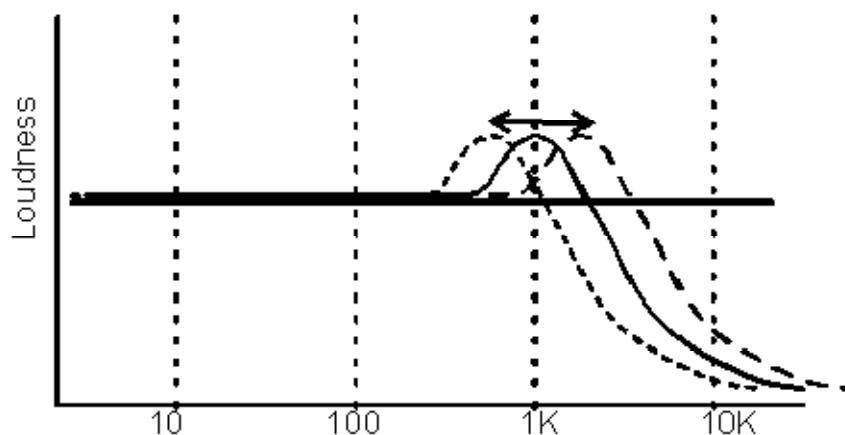
πυκνωτή. Έτσι, αυτός ο μεταβλητός πυκνωτής μαζί με το σταθερό πηνίο σχηματίζουν ένα μεταβλητό σταθερό φίλτρο, το οποίο προκαλεί το εφέ!

## 2.2. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΕΦΕ ΤΥΠΟΥ WAH

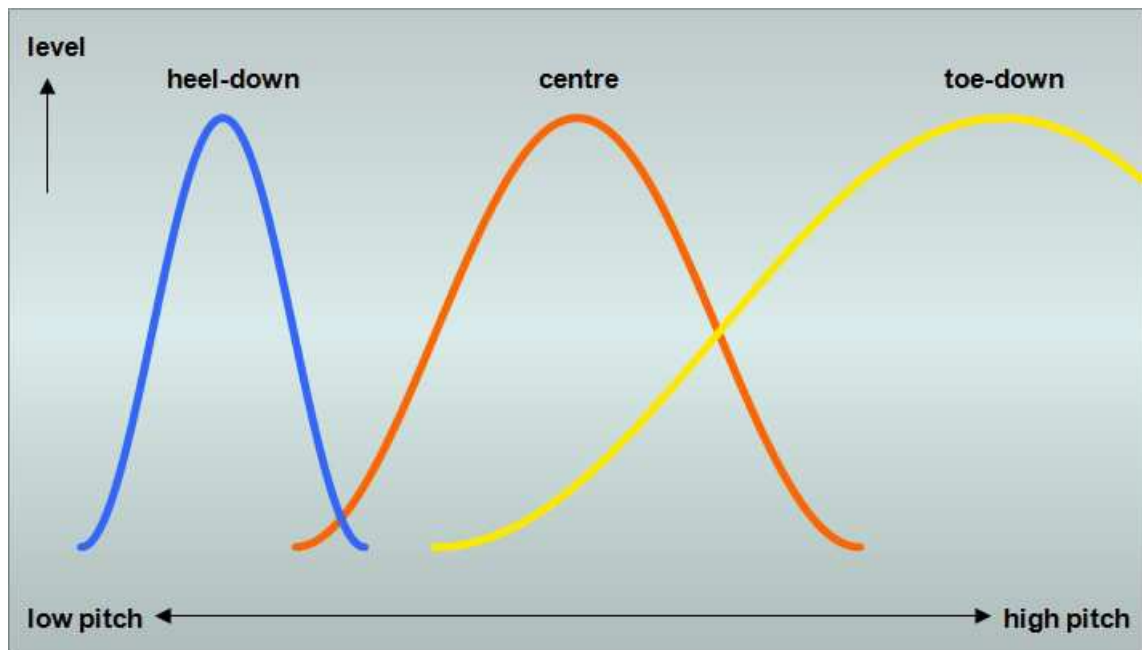
Το εφέ τύπου Wah ουσιαστικά λειτουργεί σαν ένα συχνοτικό φίλτρο ζώνης (ή αλλιώς, ζωνοπερατό φίλτρο) το οποίο μετακινεί την κορυφή του (peak) πάνω ή κάτω στο πεδίο συχνότητας. Η κίνηση αυτή ελέγχεται συνήθως πατώντας ένα πεντάλ ποδιού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα στον ήχο του εφέ, το ακουστικό σήμα που προκύπτει να μοιάζει πολύ σε ανθρώπινη φωνή που βγάζει τον ήχο «waaaah» ή τον τονικά αντίστροφο του «Aoooo». Από το γεγονός αυτό προκύπτει και η περίεργη ονομασία αυτού του εφέ.

Ο συντονισμός της κεντρικής συχνότητας (peak) του ζωνοπερατού φίλτρου, συνήθως μετακινείται από περίπου 400Hz μέχρι 2KHz. Έτσι όταν η κεντρική συχνότητα του ζωνοπερατού φίλτρου μετακινείται από τις χαμηλές συχνότητες προς τις υψηλές ο ήχος που παίρνουμε μοιάζει με τον ήχο «waaah» ενώ όταν η κεντρική συχνότητα του ζωνοπερατού φίλτρου μετακινείται από τις υψηλές συχνότητες προς τις χαμηλές ο ήχος που παίρνουμε μοιάζει με τον ήχο «Aoooo». Ένας παράγοντας που κάνει τα διαφορετικά πεντάλ να έχουν ιδιαίτερο ήχο είναι ο τρόπος των αλλαγών συντονισμού καθώς η συχνότητα μετακινείται. Τα τυπικά πεντάλ wah έχουν αυξανόμενο συντονισμό καθώς η συχνότητα μειώνεται.

### Wah Frequency Response



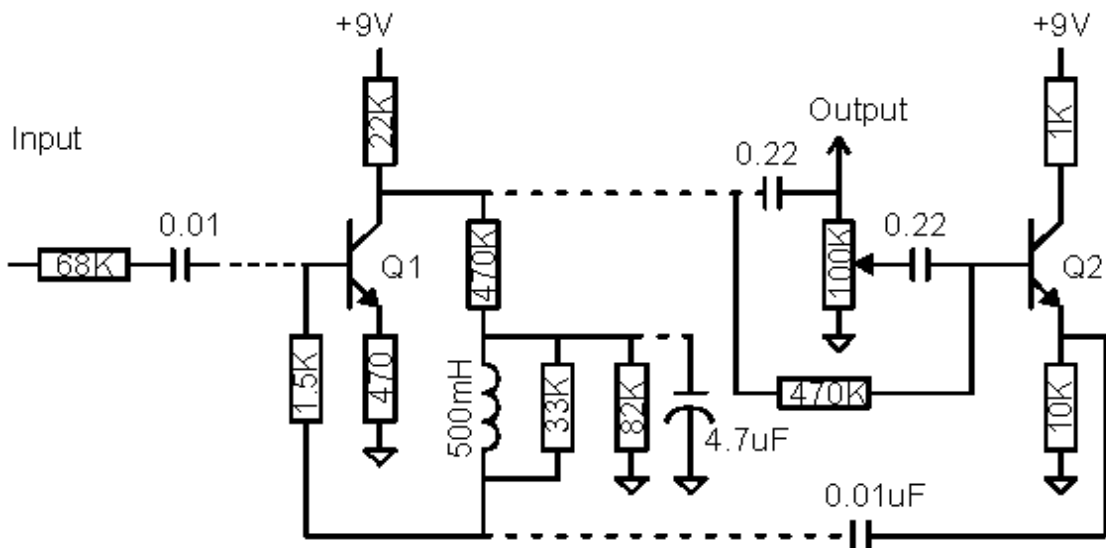
Εικόνα 4: Συχνοτική απόκριση εφέ τύπου Wah



Εικόνα 5: Το peak στο φάσμα συχνοτήτων του εφέ τύπου Wah.

### 2.2.1. Βαθμίδα πρώτη: Το τρανζίστορ Q1

Η πρώτη βαθμίδα του κυκλώματος είναι εκείνη του πρώτου τρανζίστορ Q1 και παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.3. Το τρανζίστορ αυτό, είναι ένας απλός ενισχυτής ανάδρασης. Για τη συνέχεια της ανάλυσης θα αγνοήσουμε το υπόλοιπο κύκλωμα που χωρίζεται με τις διακεκομμένες γραμμές οι οποίες φαίνονται στην εικόνα. Αυτό διαχωρίζεται από το πρώτο τρανζίστορ μέσω πυκνωτών και γι αυτόν τον λόγο δεν συμμετέχει στη πόλωση DC.



Εικόνα 6:Πρώτη βαθμίδα κυκλώματος μονάδας τύπου Wah

Το τρανζίστορ 1 λοιπόν, πολώνεται σε περιοχή γραμμικής ενίσχυσης από την τάση στον συλλέκτη που τροφοδοτεί με ρεύμα την αντίσταση των 470K ένα μέρος του οποίου διακλαδίζεται στη γείωση μέσω της αντίστασης 82K. Το υπόλοιπο ρεύμα μέσω της αντίστασης των 470K πάλι, πηγαίνει στην βάση του τρανζίστορ δια μέσου του πηνίου-επαγωγέα και της αντίστασης 33K ενώ παραλληλίζεται με μια αντίσταση 1.5K που οδηγεί στη βάση. Η DC αντίσταση του επαγωγέα είναι αρκετά χαμηλή σε σύγκριση με τις υπόλοιπες αντιστάσεις (τυπικά 40-75Ω), έτσι το ρεύμα της βάσης καθορίζεται κυρίως από τις αντιστάσεις 470K, 82K καθώς και την αντίσταση των 1500 ohm. Στην πραγματικότητα, επειδή η αντίσταση των 1,5KΩ, η αντίσταση του πηνίου και η αντίσταση των 33KΩ είναι μικρές σε σχέση με αυτήν των 470KΩ μπορούμε να τις αγνοήσουμε προς στιγμή.

Αν θεωρήσουμε ότι ο συλλέκτης του τρανζίστορ έχει τάση 4,5V, τότε δίνει ρεύμα συλλέκτη περίπου  $I_c=200\mu A$ , τάση εκπομπού 0,1V και τάση βάσης περίπου 0,6V. Οπότε η τάση στα άκρα της αντίστασης 470K είναι  $4.5V - 0.6V$  δηλαδή 3.9V και το ρεύμα της θα είναι  $3,9/470K = 8\mu A$ . Αν η ενίσχυση του τρανζίστορ είναι  $\beta=200$  τότε το ρεύμα βάσης είναι  $I_b=1\mu A$  (αφού  $I_c=\beta \cdot I_b$ ) και η τάση στα άκρα της αντίστασης 82K είναι 0.6V για ένα ρεύμα περίπου 7μΑ.

Άρα η πόλωση φαίνεται να λειτουργεί για τρανζίστορ με υψηλό κέρδος. Παρατηρούμε λοιπόν ότι το τρανζίστορ δουλεύει στη γραμμική περιοχή του και δεν πρόκειται να «ψαλιδίζει» το σήμα (ή τουλάχιστον τα μικρά σήματα).

Όσον αφορά την απολαβή, η απολαβή του τρανζίστορ από την βάση στον συλλέκτη είναι περίπου ίση με την αντίσταση φορτίου (22K) διαιρούμενη με την ενεργό αντίσταση εκπομπού. Αυτή είναι η εξωτερική αντίσταση 470 Ω συν την εσωτερική αντίσταση βάσης-εκπομπού, δηλαδή 25mV/Ic ή διαφορετικά 125 Ω. Άρα τελικά θα είναι ίση με 125+470=595 Ω. Έτσι, το κέρδος τάσης (smallsignalvoltagegain) του τρανζίστορ

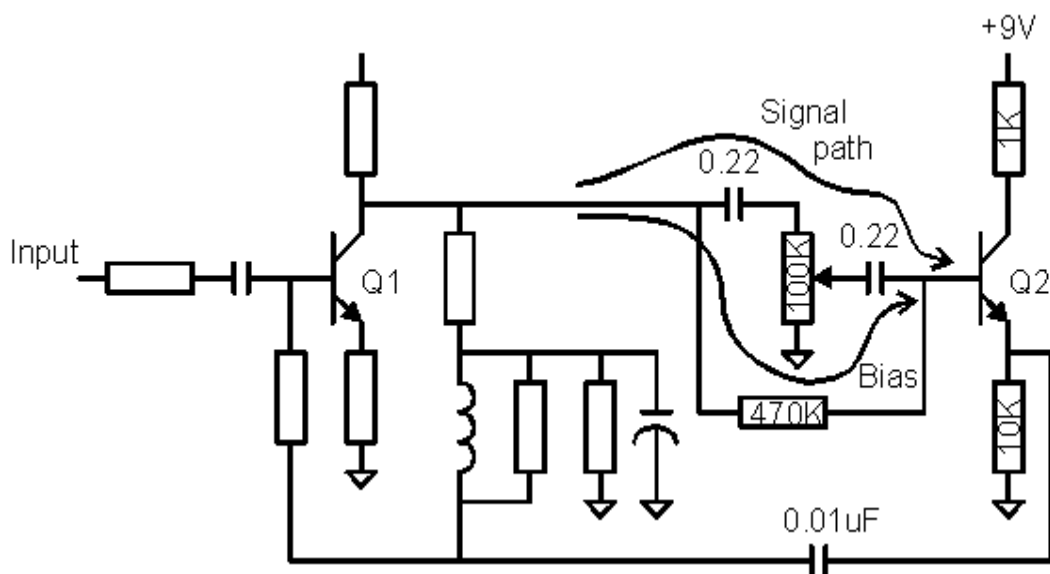
προκύπτει περίπου σε  $\frac{22K}{595} = 36$ . Από την άλλη πλευρά, υπάρχει η αντίσταση εισόδου, την οποία αγνοήσαμε, και στην οποία θα αποτεθεί ένα μέρος του σήματος. Η τάση εισόδου διαχωρίζεται από τον διαιρέτη τάσης που αποτελείται από την αντίσταση εισόδου των 68K και την ενεργό αντίσταση εισόδου του τρανζίστορ. Αυτή η ενεργός αντίσταση εισόδου θα είναι η αντίσταση των 595 Ω που υπολογίσαμε προηγουμένως πολλαπλασιασμένη με το β του τρανζίστορ. Δηλαδή 595·200=119 KΩ. Ο διαιρέτης τάσης στην είσοδο, λοιπόν, θα έχει λόγο 119K/(68K + 119K) = 0,636.

Έτσι το συνολικό κέρδος αυτής της βαθμίδας θα είναι:

$$0,636 \cdot 36 \sim 22$$

### 2.2.2. Βαθμίδα δεύτερη: Το τρανζίστορ Q2

Στην Εικόνα 2.4, παρουσιάζεται η δεύτερη βαθμίδα του κυκλώματος, εκείνη του δεύτερου τρανζίστορ Q2. Αυτό το τρανζίστορ πολώνεται σε γραμμική περιοχή από την αντίσταση 470K του συλλέκτη του πρώτου τρανζίστορ.



Εικόνα 7: Η δεύτερη βαθμίδα κυκλώματος μονάδας τύπου Wah

Αν το κέρδοςβ του τρανζίστορ είναι υψηλό, τότε η τάση στη βάση θα είναι λίγο μικρότερη από την τάση του συλλέκτη του πρώτου τρανζίστορ Q1. Το ρεύμα της βάσης που χρειάζεται για την πόλωση του Q2 αρκεί να φέρειμέσω της αντίστασης 10K τον συλλέκτη στα 4.5V. Άρα το ρεύμα της βάσης θα είναι  $(4,5V/10K)/200 = 2,25\mu A$ . Η πτώση τάσης, τότε, πάνω στην αντίσταση των 470K είναι:

$$470K \cdot 2.2\mu A = 1.1 V$$

Έτσι στη βάση του τρανζίστορ Q2 θα έχουμε περίπου  $4,5 - 1,1 = 3.4V$ .

Το Q2 λοιπόν, είναι ένας γραμμικός ακόλουθος εκπομπού όπου τα μικρά σήματα δεν θα κορεστούν ούτε θα διακοπούν. Αυτός ο ακόλουθος εκπομπού λειτουργεί σαν bufferγια το σήμα από το ρυθμιστικό του Wah, το οποίο πρόκειται για ένα διαιρέτη τάσης που ουσιαστικά ελέγχει το volümetου ήχου. Ο εκπομπός του τρανζίστορ συνδέεται μέσω ενός πυκνωτή 0.01 μFστην διακλάδωση του πηνίου και της αντίστασης 1.5K στην βάση του πρώτου τρανζίστορ Q1.

Ουσιαστικά η όλη λειτουργία του μεταβλητού ζωνοπερατού φίλτρου (στην οποία βασίζεται η λειτουργία του Wah) εξηγείται ως εξής:

Το πηνίο «κοιτάζει» προς το δεύτερο τρανζίστορ, με τρόπο ώστε η μακρινή πλευρά του να είναι γειωμένη μέσω του πυκνωτή των 4.7μF. Για το πηνίο ο πυκνωτής φαίνεται σαν να είναι γειωμένος διότι η μακρινή πλευρά του είναι συνδεδεμένη με τον εκπομπό του τρανζίστορ Q2. Ο εκπομπός του Q2 έχει χαμηλή αντίσταση εξόδου και ως εκ τούτου μοιάζει με γείωση στη περίπτωση που αγνοηθεί το σήμα που βγαίνει από τον εκπομπό. Στη διακλάδωση του πηνίου, του πυκνωτή και της αντίστασης των 1.5K, η τάση μοιάζει με εκείνη την τάση που θα υπήρχε σε ένα παράλληλο L/C κύκλωμα. Ωστόσο, το ρεύμα μέσω του πυκνωτή δεν καθορίζεται από την τάση στα άκρα του πηνίου/πυκνωτή. Καθορίζεται επίσης και από την τάση που οδηγεί την πλευρά της γείωσης, η οποία αυξάνεται ή μειώνεται από την εκάστοτε θέση του ρυθμιστικού πεντάλ (wah-pot). Αν η ρύθμιση στο wah-pot αυξηθεί, ο πυκνωτής θα αφήσει να τον διαπεράσει περισσότερο ρεύμα, διότι η τάση που τον «οδηγεί» στον εκπομπό του τρανζίστορ Q2 είναι μεγαλύτερη και με αυτόν τον τρόπο ο πυκνωτής πρέπει να αφήσει να τον διαπεράσει περισσότερο ρεύμα. Στη περίπτωση που το wahpot μειωθεί, ο πυκνωτής θα αφήσει λιγότερο ρεύμα να τον διαπεράσει. Γενικά, ο πυκνωτής μπορεί να θεωρηθεί ως μια ειδική περίπτωση του νόμου του Ohm όσον αφορά το ποσοστό του ρεύματος που αφήνει να τον διαπεράσει. Η αλλαγή στο ενεργό ρεύμα που διαπερνάει τον πυκνωτή, τον

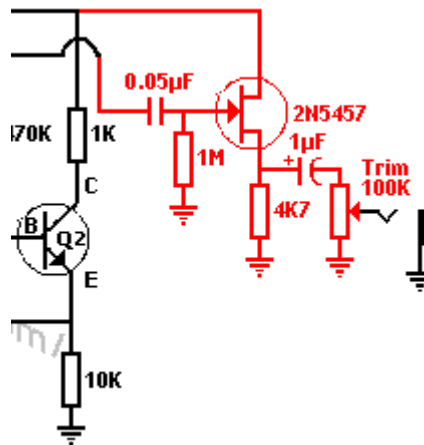
κάνει να φαίνεται μεγαλύτερος από τοπηνίοαλλά και από το υπόλοιπο κύκλωμα από ότι είναι στην πραγματικότητα. Έχουμε έτσι πετύχει να κατασκευάσουμε έναν μεταβλητό πυκνωτή.

Αυτός είναι ο λόγος της αλλαγής της συχνότητας συντονισμού. Ο πυκνωτής φαίνεται μεγαλύτερος από ότι στη πραγματικότητα είναι, και το πόσο μεγαλύτερος φαίνεται, ελέγχεται από το wah-pot. Το πρώτο τρανζίστορ Q1, είναι μια βαθμίδα κέρδους για να μας δώσει έναν ενεργό συντονισμό. Το wah-pot και το δεύτερο τρανζίστορ Q2 μεταβάλουν (στην ουσία διαμορφώνουν) την χωρητικότητα σε ένα κύκλωμα συντονισμού που αποτελείται από το πηνίο και τον μεταβλητό πυκνωτή.

Ένας διαφορετικός τρόπος ανάλυσης είναι πως ο πυκνωτής τροφοδοτείται από ένα αντίγραφο του σήματος (μέσω buffer)από τον συλλέκτη του τρανζίστορ Q1 και με τη σειρά του τροφοδοτεί την βάση του, λειτουργώντας έτσι σαν ένας πυκνωτής Επίδρασης Miller (MillerEffect). Η διαφορά μεταξύ αυτού και ενός πραγματικού πυκνωτή MillerEffect, είναι πως το wah-pot έχει την δυνατότητα να μεταβάλλει την ποσότητα του σήματος που κινείται στον πυκνωτή. Δεδομένου ότι το MillerEffect πολλαπλασιάζει την αξία ενός πυκνωτή ανάδρασης τόσες φορές όσο είναι το κέρδος της βαθμίδας, το wah-pot, μπορεί να διαφοροποιεί την φαινομενική τιμή του πυκνωτή από την πραγματική τιμή μέχρι μια τιμή που ισούται με την τιμή του πυκνωτή επί το κέρδος τάσης του Q1.

### **2.2.3. Βαθμίδα τρίτη: Το Buffer**

Ένα σύνθετο πρόβλημα που υπάρχει στην κατασκευή αυτού του κυκλώματος είναι πως οι περισσότεροι κιθαρίστες θεωρούν πως υπάρχει καλύτερος τρόπος αν συνδεθεί εν σειρά το κύκλωμα wah με ένα πεντάλ τύπου fuzz. Στην περίπτωση αυτής της σύνδεσης, το κύκλωμα wah δεν θα λειτουργήσει. Αυτό το πρόβλημα μπορεί να λυθεί προσθέτοντας ένα buffer εξόδου στο κύκλωμα, το οποίο δεν θα αλλάξει τον τόνο του πεντάλ αλλά μόνο την αντίσταση εξόδου του κυκλώματος ώστε να μπορέσει να οδηγήσει την επόμενη βαθμίδα. Το κύκλωμα του buffer εξόδου είναι ένα απλό JFETbuffer κύκλωμα το οποίο βασίζεται στοWah-Wah της Tonepad και παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα με το κόκκινο χρώμα.



Εικόνα 8: Το buffer εξόδου του κυκλώματος.

Το συγκεκριμένο buffer εξόδου μπορεί να προστεθεί σε οποιοδήποτε wah πεντάλ που δεν έχει. Θεωρείται ότι είναι από τα πιο απλά buffer εξόδου JFET ενισχυτή κοινού απαγωγού. Η σύνθετη αντίσταση εισόδου καθορίζεται από την τιμή της R1 αντίστασης και είναι της τάξεως 1MΩ, όπως φαίνεται και στο buffer εξόδου μας. Η τιμή της R2 (αντίσταση στη πηγή) δεν είναι πολύ σημαντική και μπορεί να είναι οποιαδήποτε τιμή από 3.3k έως 10k χωρίς να επηρεάζει την ακουστική του σήματος. Προτιμάται να χρησιμοποιούνται χαμηλότερες τιμές αντίστασης καθώς αυτό επιτρέπει περισσότερη κίνηση (οδήγηση) στο αρνητικό μέρος του ακουστικού σήματος όπου ή έξοδος θα καθορίζεται από την αντίσταση της πηγής (pull-down). Η διαμόρφωση της βαθμίδας αυτής έχει το μικρότερο αριθμό εξαρτημάτων, αλλά είναι περιορισμένη κατά το ότι εάν η τάση εισόδου υπερβαίνει την ορθή τάση της πύλης-πηγής συν την τάση πόλωσης της πηγής με αποτέλεσμα το σήμα να αποκόπτεται. Αυτή η διαμόρφωση δεν είναι συνήθως χρήσιμη με διπολικά ή mosfet τρανζίστορες, τα οποία απαιτούν μια θετική τάση πόλωσης για N-τύπου συσκευές. Η αντίσταση εισόδου είναι περίπου η τιμή της R1 αντίστασης. Η σύνθετη αντίσταση εξόδου θα εξαρτηθεί από το JFET και θα είναι της τάξεως μερικών εκατοντάδων ohms. Δεδομένου λοιπόν ότι αυτό το buffer μπορεί να δώσει μια μικρή ενίσχυση ήχου, υπάρχει στην έξοδο του μια ρυθμιζόμενη αντίσταση της τάξης των 100K η οποία ενεργεί ως τελικό ρυθμιστικό ήχου και με αυτόν τον τρόπο μπορεί να κρατήσει τον ήχο του wah πεντάλ στο ίδιο επίπεδο όπως όταν είναι απενεργοποιημένο.

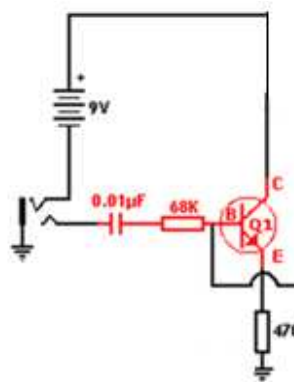


## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

### «ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ»

#### 3.1. ΒΑΘΜΙΔΑ ΕΙΣΟΔΟΥ

Κατά την είσοδο των σύγχρονων κυκλωμάτων πεντάλ wah η αντίσταση εισόδου 68K έρχεται πριν από τον πυκνωτή εισόδου. Στο κύκλωμα McCoy η αντίσταση εισόδου 68K έρχεται μετά τον πυκνωτή εισόδου 0.01μF. Αυτό δεν κάνει πραγματικά καμία διαφορά στον ήχο του κυκλώματος, αλλά είναι μοναδική τεχνική για τα μεγάλα πεντάλ Wah.



Εικόνα 9:Βαθμίδα εισόδου.

Τα τρανζίστορ που χρησιμοποιούνται σε κυκλώματα wah 1960 είναι χαμηλού κέρδους σε σύγκριση με τα πολύ υψηλά σε απολαβή MPSA18 τρανζίστορ που χρησιμοποιούνται στα σύγχρονα πετάλια wah. Τα χαμηλότερα τρανζίστορ σε κέρδος συμβάλλουν στην πιο «μπάσα» ακουστική συμπεριφορά του κυκλώματος. Τα κυκλώματα McCoy χρησιμοποιούν τρανζίστορ BC109s και BC173s. Τα τρανζίστορ 2N3900A ορίστηκαν ως υποκατάστατα για τα Q1 και Q2 στο κύκλωμα. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν και BC109 σύμφωνα με τα datasheets.

## 3.2. Ανάλυση της βαθμίδας εισόδου

Η πρώτη βαθμίδα που συναντά το σήμα καθώς εισέρχεται, είναι το τμήμα εισόδου, η λειτουργία της είναι να προσαρμόσει τις αντιστάσεις εισόδου και κυκλωμάτων επιλογής συχνότητας χωρίς την απώλεια σήματος. Ο ρόλος είναι συζευκτικός και δεν έχουμε κέρδος τάσης. Αντίθετα με την επόμενη βαθμίδα που γίνεται επιλογή και ενίσχυση συχνοτήτων για να οδηγηθεί σωστά η βαθμίδα εξόδου.

Σε γραμμικά κυκλώματα όπως σε κυκλώματα ενισχυτών με τρανζίστορ, μια τάση ή ένα ρεύμα αποτελείται από μια dc και μια ac συνιστώσα. Κάθε μια από αυτές τις συνιστώσες ικανοποιεί το αντίστοιχο ισοδύναμο κύκλωμα. Έτσι σε ένα γραμμικό κύκλωμα το dc ισοδύναμο του, που είναι εκείνο στο οποίο είναι ενεργές οι dc πηγές, αποτελεί τις dc συνιστώσες. Όμοια σε ένα γραμμικό κύκλωμα το ac ισοδύναμο του, που είναι εκείνο στο οποίο είναι ενεργές οι ac πηγές, αποτελεί τις ac συνιστώσες.

Σ' ένα κύκλωμα με δύο ή περισσότερες πηγές, η τάση (το ρεύμα) κάθε στοιχείου είναι ίσα με το άθροισμα των τάσεων (των ρευμάτων), που προκαλεί κάθε πηγή όταν δρα μόνη της<sup>2</sup>. Κάθε φορά, έχουμε μια μόνο ενεργό πηγή, όλες οι άλλες πρέπει να είναι νεκρές. Νεκρές πηγές τάσης έχουμε όταν οι πηγές τάσης αντικατασταίνονται με βραχυκυκλώματα και νεκρές πηγές ρεύματος έχουμε όταν οι πηγές ρεύματος αντικατασταίνονται με ανοικτά κυκλώματα.

### 3.2.1. DC ανάλυση

Η εκτέλεση μιας DC Sweep ανάλυσης αποσκοπεί στην εξέταση της dc απόκρισης - λειτουργίας του κυκλώματος για μεταβαλλόμενες τιμές προεπιλεγμένων (dc) πηγών. Έτσι είναι δυνατό να παρατηρείται η τιμή ενός μεγέθους σε ένα ή περισσότερα σημεία του κυκλώματος για τις διάφορες (μεταβαλλόμενες) τιμές των προεπιλεγμένων dc πηγών καθιστώντας δυνατό τον έλεγχο της γραμμικότητας του κυκλώματος. Ειδικά γι' αυτήν την περίπτωση απαιτείται η αντικατάσταση του σήματος εισόδου με μια dc μεταβαλλόμενη πηγή (τάσης ή ρεύματος) και η σε αντιπαράθεση προβολή των σημάτων εισόδου - εξόδου. Επιπλέον, η προβολή και η μελέτη των αποτελεσμάτων μπορεί να οδηγήσει σε χρήσιμα συμπεράσματα όσον αφορά τη λειτουργία του κυκλώματος κάτω από οριακές συνθήκες όπου οι πηγές (τάσεων ή ρευμάτων) εμφανίζουν μεταβολές ή μεταπτώσεις στη λειτουργία τους.

---

<sup>2</sup>Θεώρημα επαλληλίας.

Πρέπει να υπογραμμιστεί το γεγονός ότι κατά τη διεξαγωγή DC Sweep ανάλυσης απαιτείται η εκ των προτέρων αφαίρεση των πιθανών εξαρτημάτων (συνήθως) πυκνωτών σύζευξης και απόζευξης από το κύκλωμα. Αυτό συμβαίνει γιατί οι πυκνωτές ουσιαστικά αποτελούν διακοπή για το dc στοιχείο (ρεύμα) με αποτέλεσμα το κύκλωμά μας πολλές φορές να εμφανίζεται μονωμένο τόσο στην είσοδο όσο και στην έξοδο του. Με άλλα λόγια, για την περίπτωση όπου εξετάζεται η dc έξοδος του κυκλώματος συναρτήσει της μεταβαλλόμενης dc πηγής εισόδου (η πιο κοινή περίπτωση) παρουσία πυκνωτών σύζευξης / απόζευξης, τα αποτελέσματα είναι μηδενικά.

Ανάλογα αποτελέσματα προκύπτουν και για την περίπτωση που χρησιμοποιούνται εξαρτήματα πηνίων για τη σύζευξη / απόζευξη του κυκλώματος. Σε αυτή την περίπτωση τα πηνία τα οποία αποτελούν βραχυκύκλωμα για το dc, τοποθετούνται έτσι ώστε να το γειώνουν.

Θα γίνει ανάλυση Dc (συνεχής) για να καταλάβουμε σε βάθος την πόλωση του transistor και το πώς πετυχαίνεται τόσο μεγάλη αντίσταση εισόδου και μικρή αντίσταση εξόδου<sup>3</sup>.

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B + (\beta + 1)R_E}$$

**Εξίσωση 3.1:** Το ρεύμα που διαρρέει τη βάση.

Από την εξίσωση 3.1 μπορούμε να βρούμε το ρεύμα που διαρρέει τη βάση. Ητάση μεταξύ της βάσης και του εκπομπού είναι περίπου 0,7 Volt, για transistor πυριτίου (0,3 V για τρανζίστορ Γερμανίου)<sup>4</sup>. Επίσης λαμβάνουμε υπόψη την ενίσχυση του τρανζίστορ  $\beta=200$  όπως θεωρήσαμε ότι είναι και στην ανάλυση του κυκλώματος στο κεφάλαιο 2.

$$I_B = \frac{4,5V - 0,7V}{68K + (200 + 1)470} = 23 \mu A$$

<sup>3</sup>Και αυτές οι διακυμάνσεις στις αντιστάσεις εισόδου – εξόδου της βαθμίδας εισόδου έχουν να κάνουν με την προσαρμογή των όμορων βαθμίδων.

<sup>4</sup>Η τάση τροφοδοσίας είναι 9V και λόγω του διαιρέτη τάσεων η  $V_{BB}$  είναι 4,5V

Η τάση στη βάση του transistor  $V_B$ , θα είναι ίση με  $V_{BB} - V_{RB}$ . Η τάση  $V_{BB}$  είναι τα 4,5 Volts που εφαρμόζονται στην αντίσταση  $R_B$ . Η  $V_{RB}$  είναι η πτώση τάσης λόγω της  $R_B$ . Οπότε:

$$V_B = V_{BB} - I_B R_B$$

**Εξίσωση 3.2:** Η τάση στη βάση του transistor  $V_B$ .

Από την εξίσωση 3.2 μπορούμε να βρούμε την τάση που εφαρμόζεται στην βάση. Οπότε:

$$V_B = V_{BB} - (I_B * R_B) = 4,5V - (0,023mA * 68K\Omega) = 4,5V - 1,564V = 2,936V$$

Η τάση στον εκπομπό θα είναι:

$$V_E = V_B - V_{BE}$$

**Εξίσωση 3.3:** Η τάση στον εκπομπό.

Από την εξίσωση 3.3 μπορούμε να βρούμε την τάση που εφαρμόζεται στον εκπομπό. Οπότε:

$$V_E = 2,936V - 0,7V = 2,236V$$

Το ρεύμα που διαρρέει τον εκπομπό είναι περίπου ίσο με αυτό του συλλέκτη,  $I_E \approx I_C$ <sup>5</sup>.

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

**Εξίσωση 3.4:** Το ρεύμα που διαρρέει τον εκπομπό.

Από την εξίσωση 3.4 μπορούμε να βρούμε το ρεύμα που διαρρέει τον εκπομπό. Οπότε:

$$I_E = \frac{2,236V}{470\Omega} = 4,75mA$$

---

<sup>5</sup> Διότι το ρεύμα της βάσης θεωρείται αμελητέο αφού είναι της τάξης μερικών  $\mu A$ .

Επίσης αφού το ρεύμα εκπομπού είναι B φορές μεγαλύτερο του ρεύματος της βάσης:

$$I_E = (B + 1) * I_B$$

**Εξίσωση 3.5:** Το ρεύμα εκπομπού είναι B φορές μεγαλύτερο του ρεύματος της βάσης.

Από την εξίσωση 3.5 μπορούμε να βρούμε με διαφορετικό τρόπο το ρεύμα που διαρρέει τον εκπομπού. Οπότε:

$$I_E = (200 + 1) * 23\mu A = 4,23mA$$

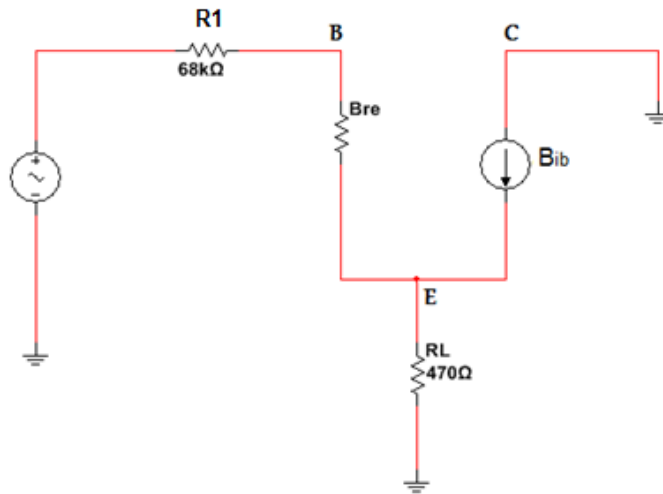
Παρατηρούμε πως και με τις δύο εξισώσεις (3.4 και 3.5.) τα αποτελέσματα είναι περίπου τα ίδια με μηδαμινή διαφορά της τάξης μερικών  $\mu A$ .

### 3.2.2. AC ανάλυση

Η AC Sweep ανάλυση χρησιμοποιείται για την εξέταση της λειτουργίας του κυκλώματος στο πεδίο της συχνότητας - απόκριση. Μέσω ενός γραφήματος καμπύλων αποκρίσεων, η ανάλυση αυτή, παρέχει τις τιμές και τις μεταβολές των διαφόρων μεγεθών (τάσεων & ρευμάτων) συναρτήσει της χρησιμοποιούμενης συχνότητας. Αυτή η λειτουργία αποκτά ιδιαίτερο ενδιαφέρον όταν πρόκειται για διατάξεις των οποίων η λειτουργία έγκειται σε συγκεκριμένο φασματικό περιεχόμενο όπως είναι π.χ. οι ενισχυτές μπάνας συχνοτήτων.

Οι ρυθμίσεις της ανάλυσης αυτού του τύπου αφορούν κυρίως την επιλογή του επιθυμητού πεδίου συχνοτήτων όπως και την χρησιμοποιούμενη κλίμακα απεικόνισης (γραμμική - Linear / Λογαριθμική - Logarithmic) των δεδομένων. Κρίσιμο στοιχείο για την ακρίβεια των παραγόμενων καμπύλων απόκρισης αποτελεί ο αριθμός των υπολογισθέντων από το πρόγραμμα σημείων - δειγμάτων που ορίζεται στα πεδία «total points» και «points/decade» (ή «points/octave»). Κατά κανόνα η ακρίβεια των απεικονίσεων αυξάνεται με αυτόν τον αριθμό. Ωστόσο, κάτι τέτοιο οδηγεί παράλληλα σε ταυτόχρονη αύξηση του όγκου των δεδομένων - υπολογισμών καθιστώντας την όλη διαδικασία περισσότερο χρονοβόρα. Μια συμβιβαστική λύση είναι πάντα προτιμότερη (αυτό φυσικά εξαρτάται από τη φύση και το σκοπό της εξομοίωσης), έτσι ώστε να επιτυγχάνεται ικανοποιητική προσέγγιση σε λογικό χρόνο.

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται το AC ισοδύναμο κύκλωμα της εισόδου, το οποίο μας διευκολύνει να κατανοήσουμε τη διαδρομή του σήματος. Έτσι μπορούμε να βρούμε τις σύνθετες αντιστάσεις εισόδου και εξόδου που παρουσιάζει η βαθμίδα αυτή, καθώς και το κέρδος τάσης.



**Εικόνα 10:** AC ισοδύναμο του τμήματος εισόδου.

Η AC αντίσταση της επαφής εκπομπού συμβολίζεται με  $r_e$  και η τιμή της προσεγγίζεται με την εξίσωση:

$$r_e = \frac{25mV}{I_E}$$

**Εξίσωση 3.6:** Η AC αντίσταση της επαφής εκπομπού  $r_e$ .

Όπως είναι γνωστό, το ρεύμα βάσης είναι πολύ μικρότερο από το ρεύμα εκπομπού. Επειδή ανάμεσα στη βάση και τον εκπομπού εμφανίζεται ένα ac κέρδος ρεύματος, κάθε αντίσταση στον εκπομπού εμφανίζεται στη βάση  $\beta$  φορές μεγαλύτερη. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο η ac αντίσταση εισόδου που φαίνεται από τη βάση είναι:

$$r_{ac} = \beta r_e$$

**Εξίσωση 3.7:** Η ac αντίσταση εισόδου που «φαίνεται» από τη βάση του τρανζίστορ.

Αυτή είναι η αντίσταση που «βλέπει» ένα ac σήμα που εφαρμόζεται στη βάση ενός transistor όταν ο εκπομπός είναι γειωμένος.

Η αντίσταση λέγεται σύνθετη αντίσταση εισόδου της βάσης και γράφεται

$$Z_{in(Base)} = \beta r_e$$

**Εξίσωση 3.8:** Σύνθετη αντίσταση εισόδου της βάσης (ο εκπομπός είναι γειωμένος).

Στην δική μας περίπτωση που ο εκπομπός δεν είναι γειωμένος αλλά υπάρχει η αντίσταση  $R_L$ , η σύνθετη αντίσταση εισόδου της βάσης θα είναι:

$$Z_{in(Base)} = \beta(r_L + r_e)$$

**Εξίσωση 3.9:** Σύνθετη αντίσταση εισόδου της βάσης (ο εκπομπός δεν είναι γειωμένος αλλά υπάρχει η αντίσταση  $R_L$ ).

Εφ' όσον έχουμε βρει το ρεύμα του εκπομπού και ξέρουμε την τιμή του  $\beta$  μπορούμε να προχωρήσουμε στην εύρεση της σύνθετης αντίστασης εισόδου της βάσης, από την εξίσωση 3.6.

$$r_e = \frac{25mV}{4,75} = 5,2\Omega$$

$$Z_{in(Base)} = 200(470 + 5,2) = 95K\Omega$$

Αυτή όμως δεν είναι η μόνη αντίσταση που «βλέπει» η πηγή σήματος στο ac. Υπάρχουν και οι αντιστάσεις πόλωσης που επιδρούν στην τελική σύνθετη αντίσταση εισόδου για το κύκλωμά μας.

$$Z_{in} = R1 + Z_{in(Base)}$$

**Εξίσωση 3.10:** Τελική σύνθετη αντίσταση εισόδου για το κύκλωμά μας.

$$Z_{in} = 68K\Omega + 95K\Omega = 163K\Omega$$

Βλέπουμε λοιπόν πως το κύκλωμά μας παρουσιάζει μια αρκετά μεγάλη αντίσταση εισόδου.

Η σύνθετη αντίσταση εξόδου (της βαθμίδας εισόδου) είναι σημαντική, επειδή σ' αυτήν πέφτει ένα μέρος της ac τάσης. Αν είναι αρκετά μεγάλη, χάνεται ένα μεγάλο μέρος

τουσήματος και η τάση στο φορτίο είναι πολύ μικρή. Η σύνθετη αντίσταση εξόδου μπορεί εύκολα να υπολογιστεί από την παρακάτω σχέση.

$$Z_{out} = R_L$$

**Εξίσωση 3.11:** Η σύνθετη αντίσταση εξόδου.

$$Z_{out} = 470\Omega$$

Το κέρδος τάσης μπορεί να υπολογιστεί από την εξίσωση 3.11.

$$A = \frac{R_L}{R_L + r_e}$$

**Εξίσωση 3.12:** Το κέρδος τάσης.

$$A = \frac{470\Omega}{470\Omega + 5,2\Omega} = 0,98$$



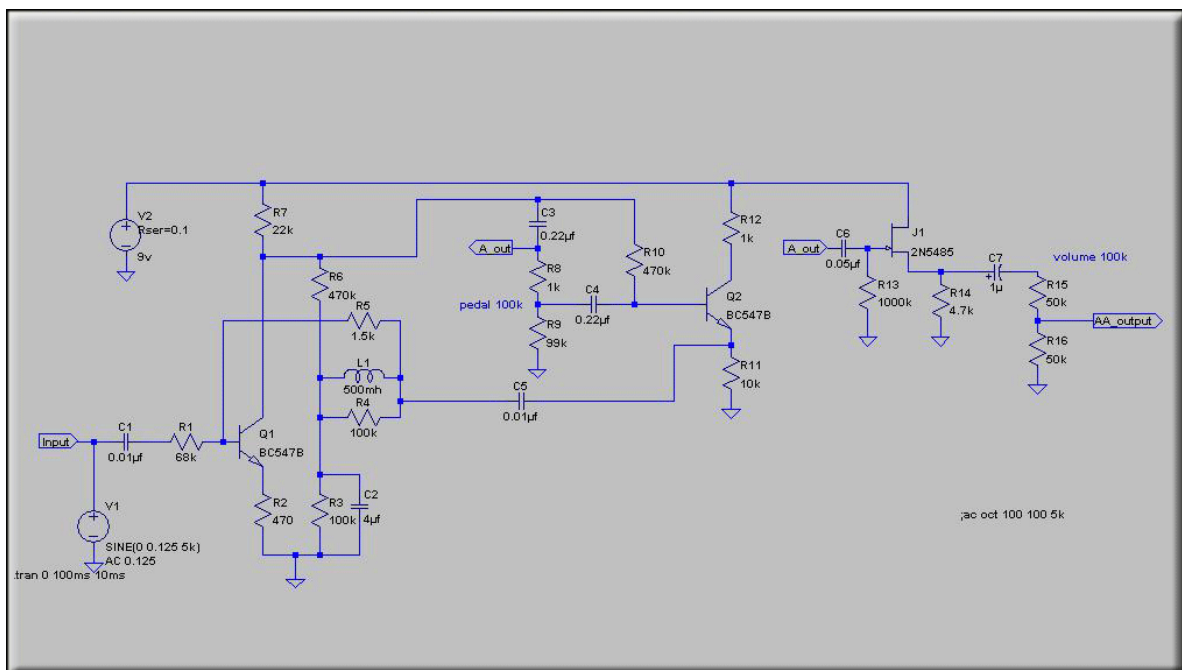
# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>

## «ΕΞΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ»

### 4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εφαρμογή που χρησιμοποιήθηκε για την εξομοίωση του κυκλώματος wah είναι το LTspice. Πρόκειται μια δωρεάν εφαρμογή λογισμικού προσομοίωσης ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, κατασκευασμένο από την εταιρία Linear Technology. Το LTspice παρέχει το σχεδιαστικό μέρος ενός κυκλώματος και την προβολή της κυματομορφής.

Το σχέδιο του κυκλώματος παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 11: Το σχέδιο του κυκλώματος wah στο λογισμικό LTspice.

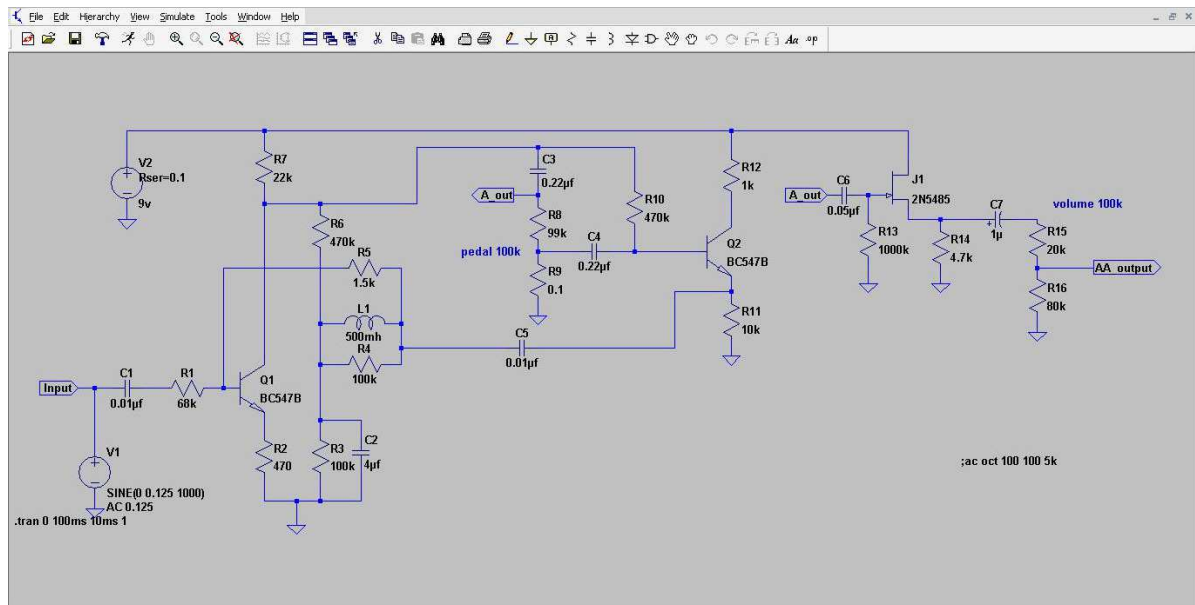
Ο έλεγχος του κυκλώματος έγινε όπως και στο πειραματικό στάδιο του εργαστηρίου. Δηλαδή, το κύκλωμα ελέγχθηκε στη maximum θέση του πεντάλ, στη

μεσαία θέση του πεντάλ και τέλος στην minimum. Το σήμα εισόδου από την γεννήτρια είναι 125mV p.p για συχνότητες από 100 έως 5000 Hz.

Στις παρακάτω ενότητες, αναλύονται τα αποτελέσματα του ελέγχου ανά θέση του πεντάλ.

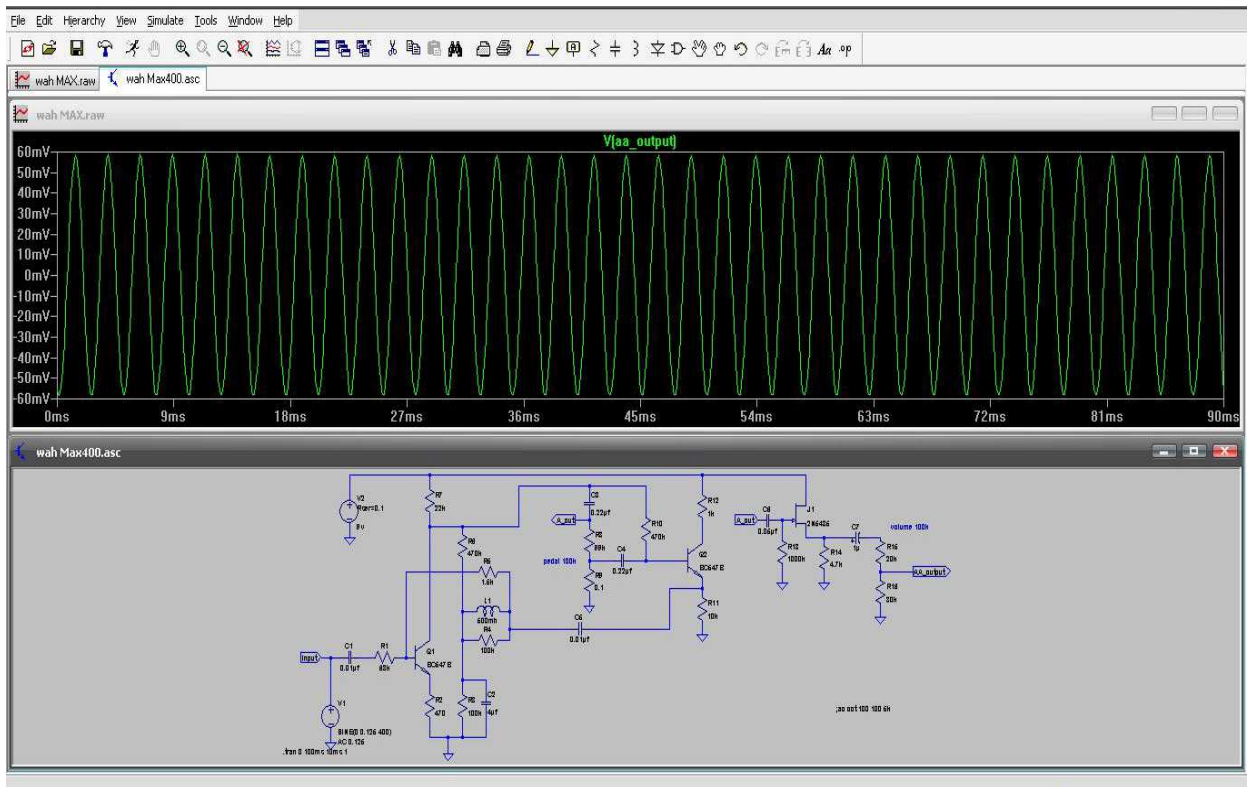
## 4.2. ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ MAXIMUM ΘΕΣΗΣ ΤΟΥ ΠΕΝΤΑΛ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ LTSPICE

Αρχικά σχεδιάστηκε το κύκλωμα στην maximumθέση. Όπου το ρυθμιστικό του πεντάλ πιέζεται από το πόδι μέχρι το τέρμα του.

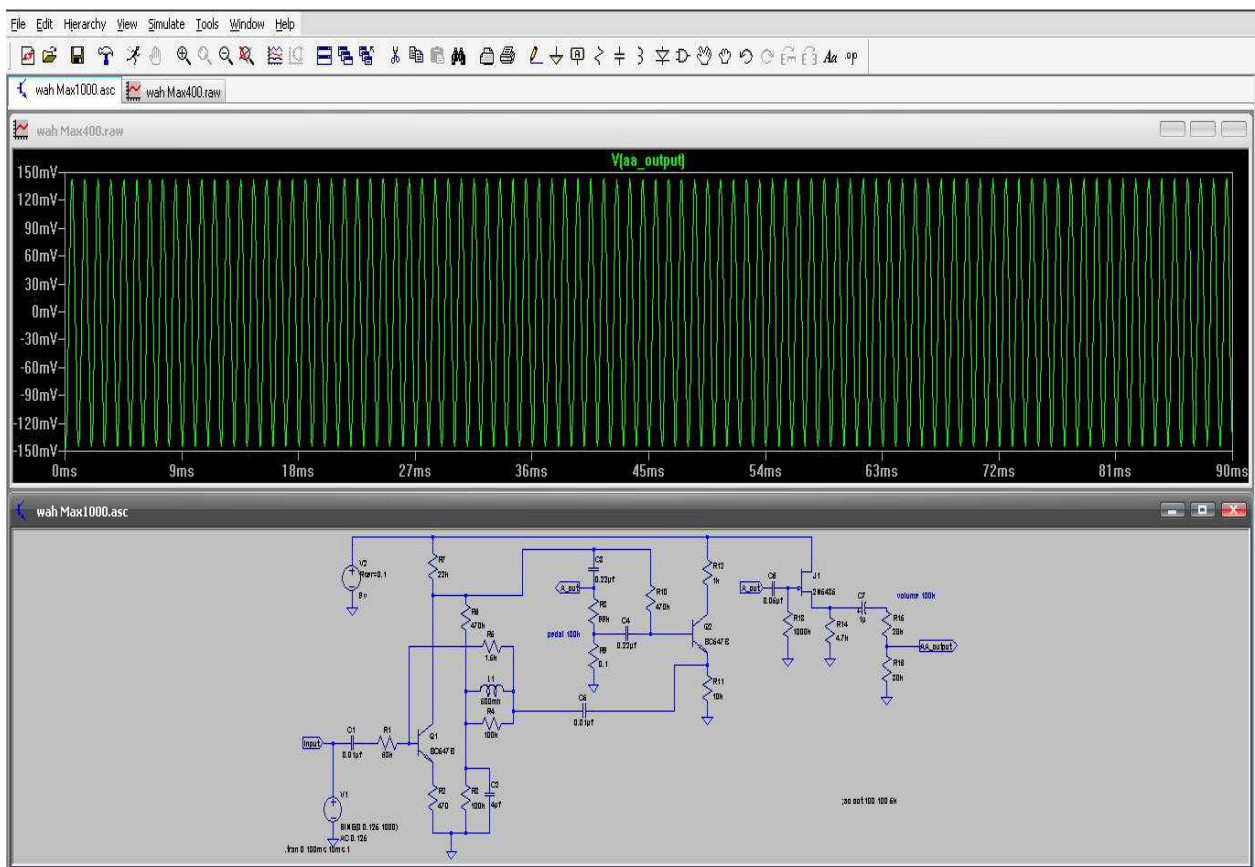


**Εικόνα 12:** Το κύκλωμα του wah πεντάλ στη maximum θέση σχεδιασμένο στο LTspice.

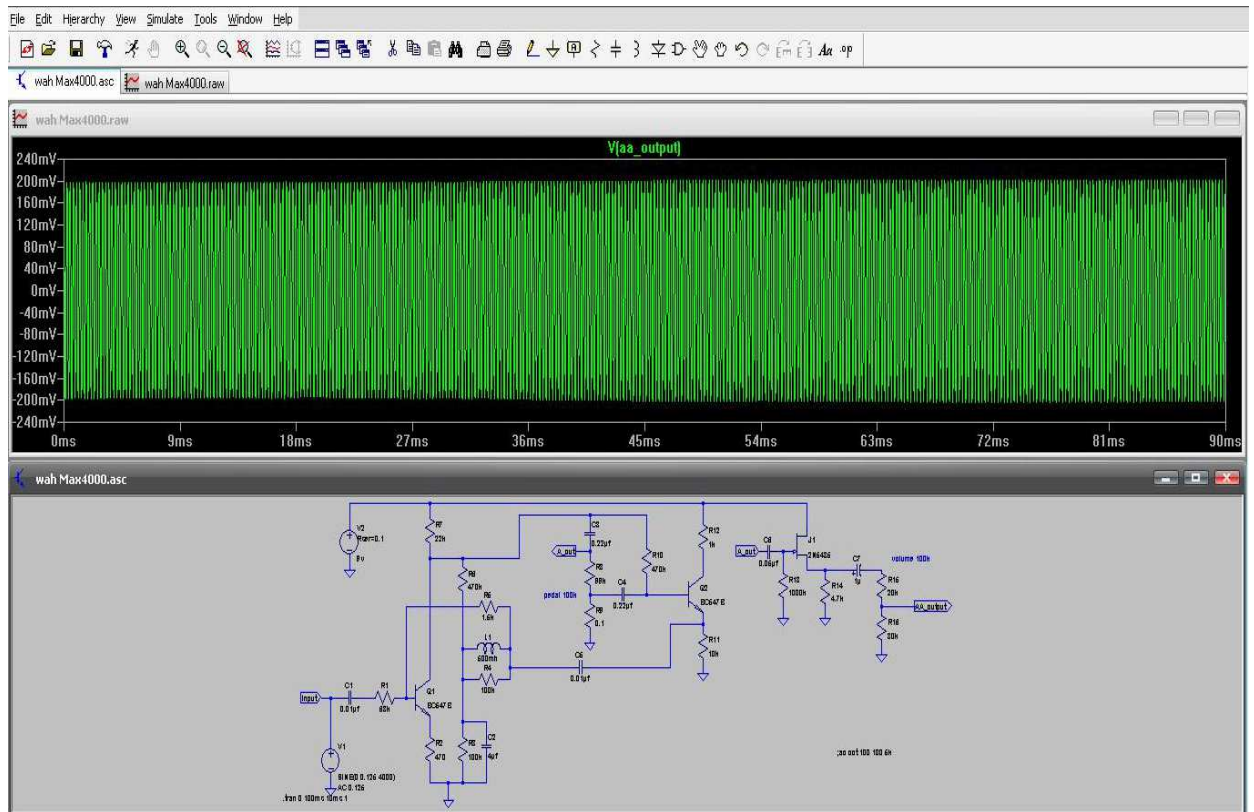
Στην συνέχεια δώσαμε στην γεννήτρια τις συχνότητες των 400Hz, 1000 Hz, 4000Hz. Η επιλογή των τιμών των συχνοτήτων δεν είναι τυχαία. Οι συχνότητες αυτές επιλέχτηκαν και στον πειραματικό έλεγχο. Παρακάτω παρουσιάζονται οι εικόνες των κυματομορφών των αντίστοιχων συχνοτήτων.



Εικόνα 13: Η κυματομορφή της maximum θέσης του πεντάλ στα 400 Hz από το λογισμικό LTspice.



Εικόνα 14: Η κυματομορφή της maximum θέσης του πεντάλ στα 1000 Hz από το λογισμικό LTspice.



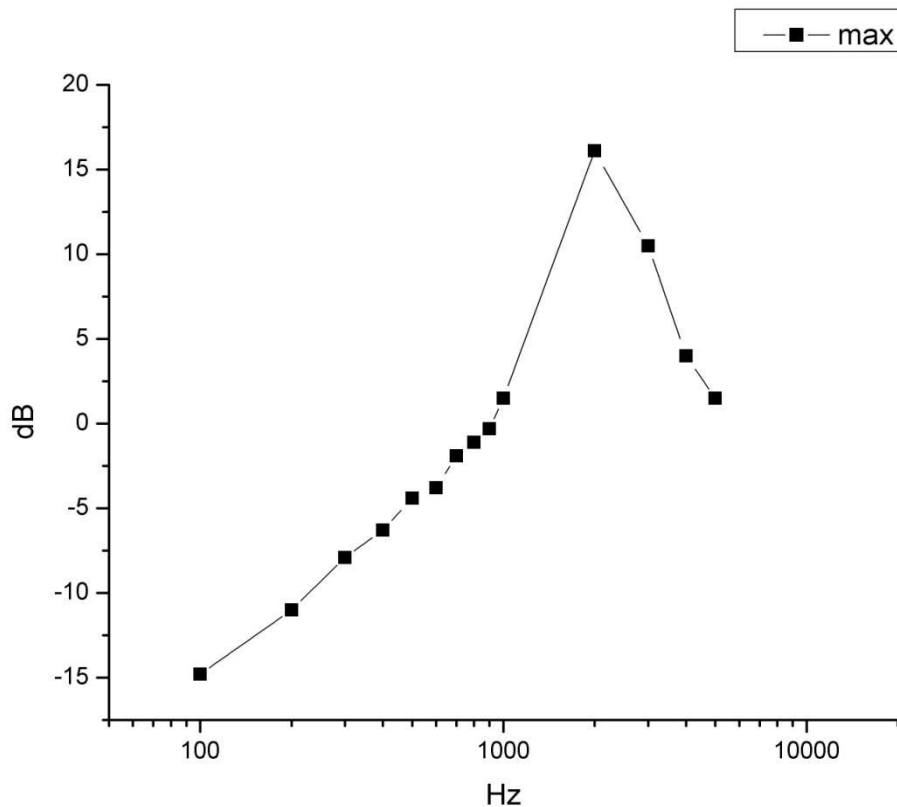
Εικόνα 15: Η κυματομορφή της maximum θέσης του πεντάλ στα 4000 Hz από το λογισμικό LTspice.

Ακολουθεί ο πίνακας από τον υπολογισμό των τιμών της maximum θέσης του πεντάλ. Το σήμα εισόδου από την γεννήτρια είναι 125mVp. για συχνότητες από 100 έως 5000Hz.

F: (HZ)	Ακραία θέση:MAX (mV)Vout	dB
100	23	-14,8
200	36	-11
300	50	-7,9
400	60	-6,3
500	75	-4,4
600	80	-3,8
700	100	-1,9
800	110	-1,1
900	120	-0,3
1000	150	1,5
2000	800	16,1
3000	420	10,5
4000	200	4
5000	150	1,5

Πίνακας 1: Οι τιμές της μεσαίας θέσης του πεντάλ με σήμα εισόδου 125mV και συχνότητα 100 έως 5000 Hz.

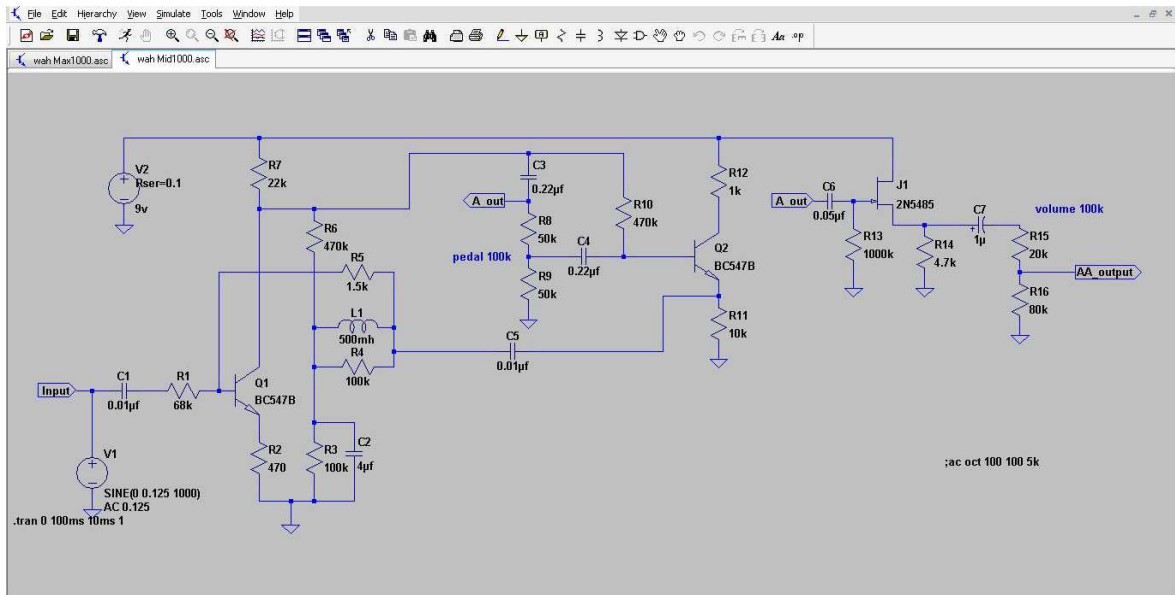
Το γράφημα που ακολουθεί προκύπτει από τις τιμές του Πίνακα 1, με άξονες  $x=Hz$  και  $y=dB$ . Σχεδιάστηκε για την κατανόηση της συμπεριφοράς του πεντάλ στην maximum θέση. Είναι εμφανές λοιπόν πως στις μικρές συχνότητες της τάξεως των 200 – 2000 Hz, η απολαβή σε dB παρουσιάζει ανοδική τάση, ενώ στις μεγαλύτερες συχνότητες της τάξεως των 3000 Hz έως 5000 Hz, η απολαβή ξεκινά και πάλι να μειώνεται.



**Διάγραμμα 1:** Η κατανόηση της συμπεριφοράς του πεντάλ στην maximum θέση. Είναι εμφανές λοιπόν πως στις μικρές συχνότητες της τάξεως των 200 – 2000 Hz, τα dB παρουσιάζουν ανοδική τάση.

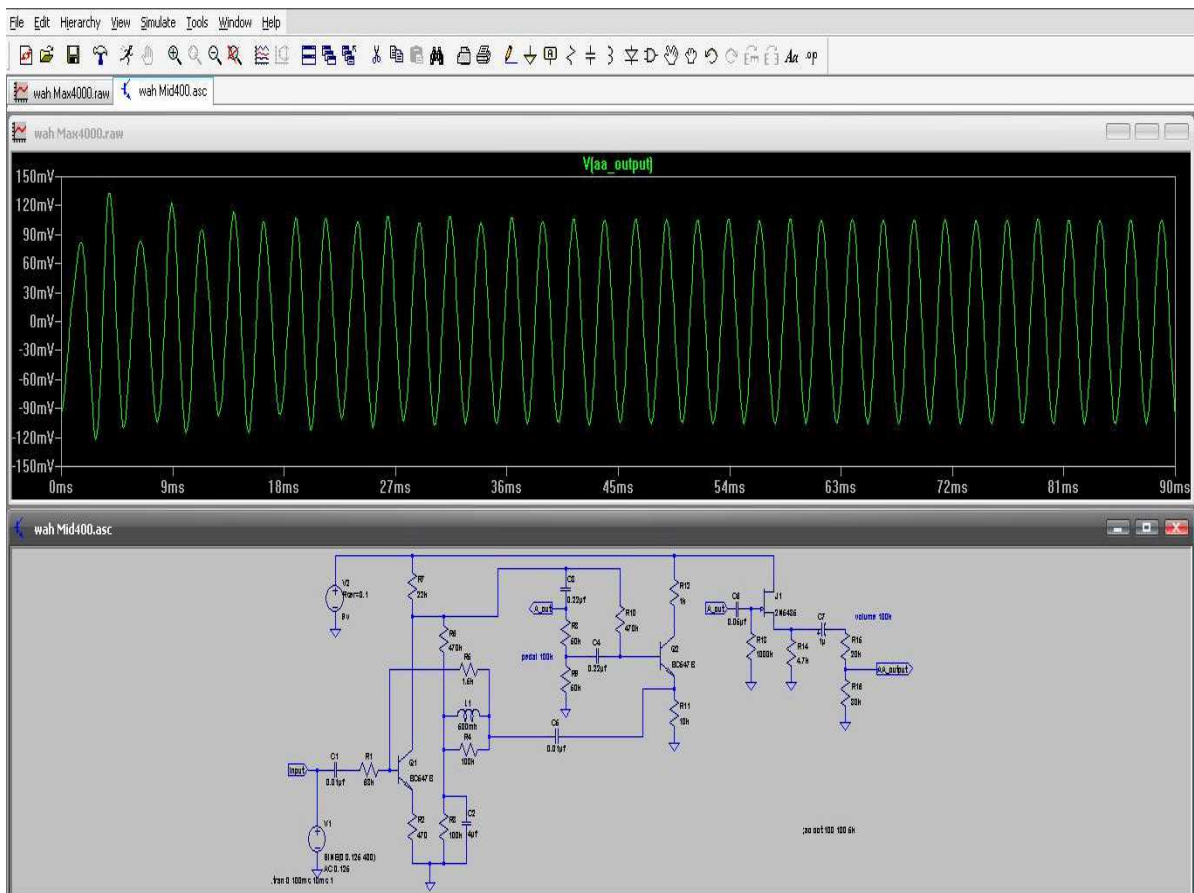
### 4.3. ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΜΕΣΑΙΑΣ ΘΕΣΗΣ ΤΟΥ ΠΕΝΤΑΛ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ LTSPICE

Αρχικά σχεδιάστηκε το κύκλωμα στην μεσαία θέση. Όπου το ρυθμιστικό του πεντάλ πιέζεται από το πόδι μέχρι την μέση.

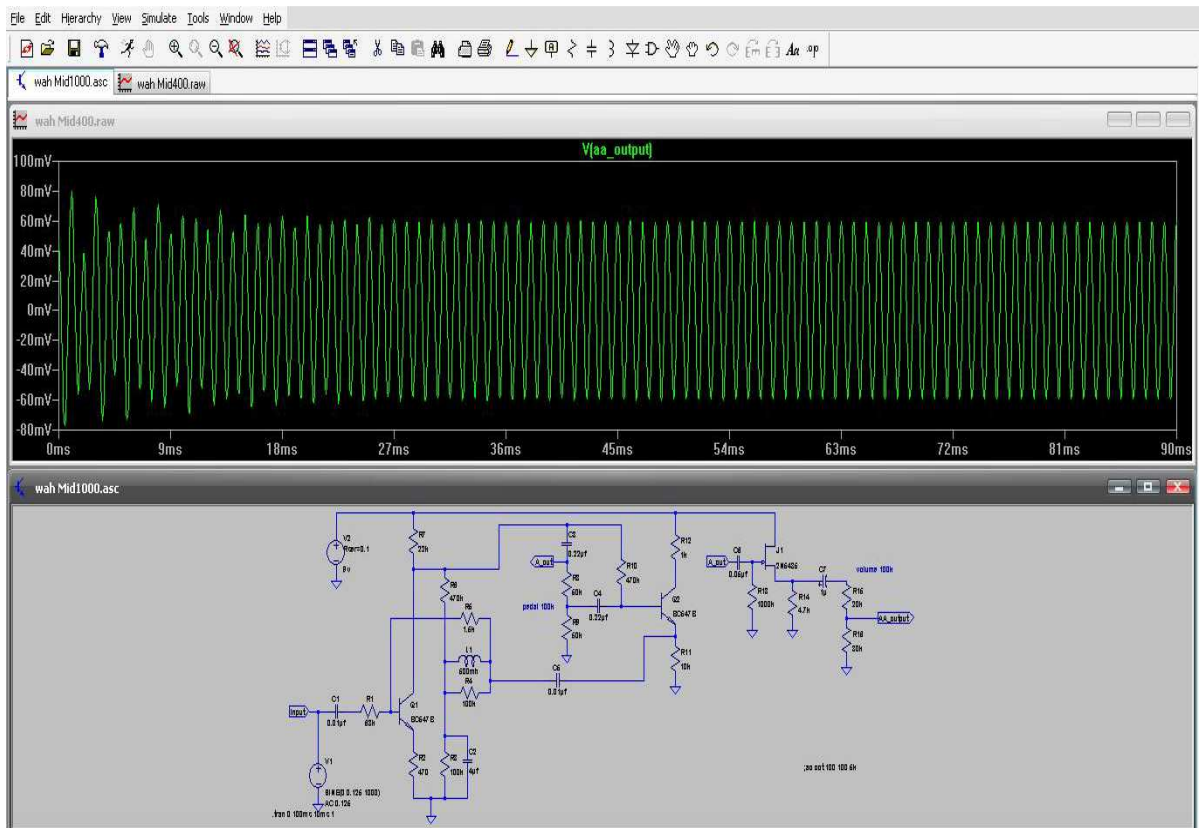


Εικόνα 16: Το κύκλωμα του wah πεντάλ στη μεσαία θέση σχεδιασμένο στο LTSpice.

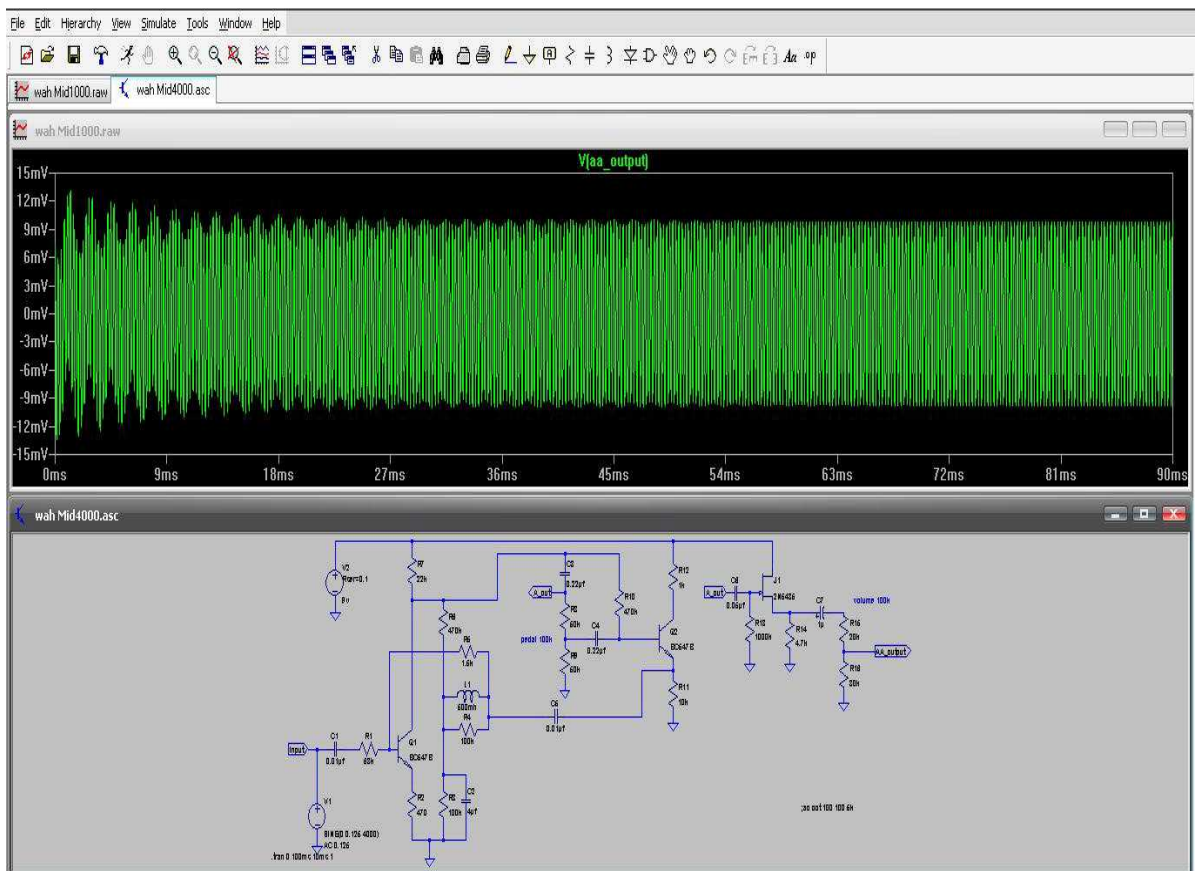
Στην συνέχεια δώσαμε στην γεννήτρια τις συχνότητες των 400Hz, 1000 Hz, 4000Hz. Παρακάτω παρουσιάζονται οι εικόνες των κυματομορφών των αντίστοιχων συχνοτήτων.



Εικόνα 17: Η κυματομορφή της μεσαίας θέσης του πεντάλ στα 400 Hz από το λογισμικό LTSpice.



Εικόνα 18: Η κυματομορφή της μεσαίας θέσης του πεντάλ στα 1000 Hz από το λογισμικό LTSpice.



Εικόνα 19: Η κυματομορφή της μεσαίας θέσης του πεντάλ στα 4000 Hz από το λογισμικό LTSpice.

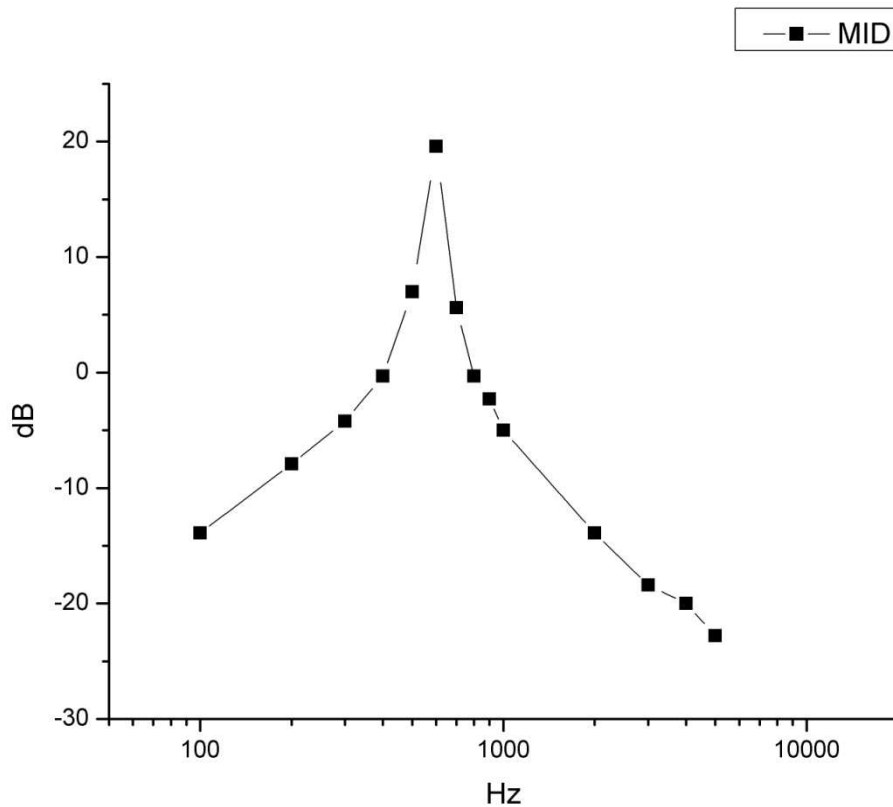
Ακολουθεί ο πίνακας από τον υπολογισμό των τιμών της μεσαίας θέσης του πεντάλ. Το σήμα εισόδου από την γεννήτρια είναι 125mV<sub>p.p</sub> για συχνότητα από 100 έως 5000Hz.

<b>F: (HZ)</b>	<b>Μεσαία θέση (mV) Vout</b>	<b>dB</b>
100	25	-13,9
200	50	-7,9
300	77	-4,2
400	120	-0,3
500	280	7
600	1200	19,6
700	240	5,6
800	120	-0,3
900	95	-2,3
1000	70	-5
2000	25	-13,9
3000	15	-18,4
4000	12	-20
5000	9	-22,8

**Πίνακας 2:** Οι τιμές της μεσαίας θέσης του πεντάλ με σήμα εισόδου 125mV και συχνότητα 100 έως 5000 Hz.

Το γράφημα που παρουσιάζεται παρακάτω προκύπτει από τον παραπάνω πίνακα. Είναι εύκολο να διακρίνουμε πως γίνεται αύξηση των dB από την συχνότητα των 200Hz τα 600Hz. Με είσοδο μεγαλύτερης συχνότητας, από αυτές, παρουσιάζουν μείωση περίπου -20dB.

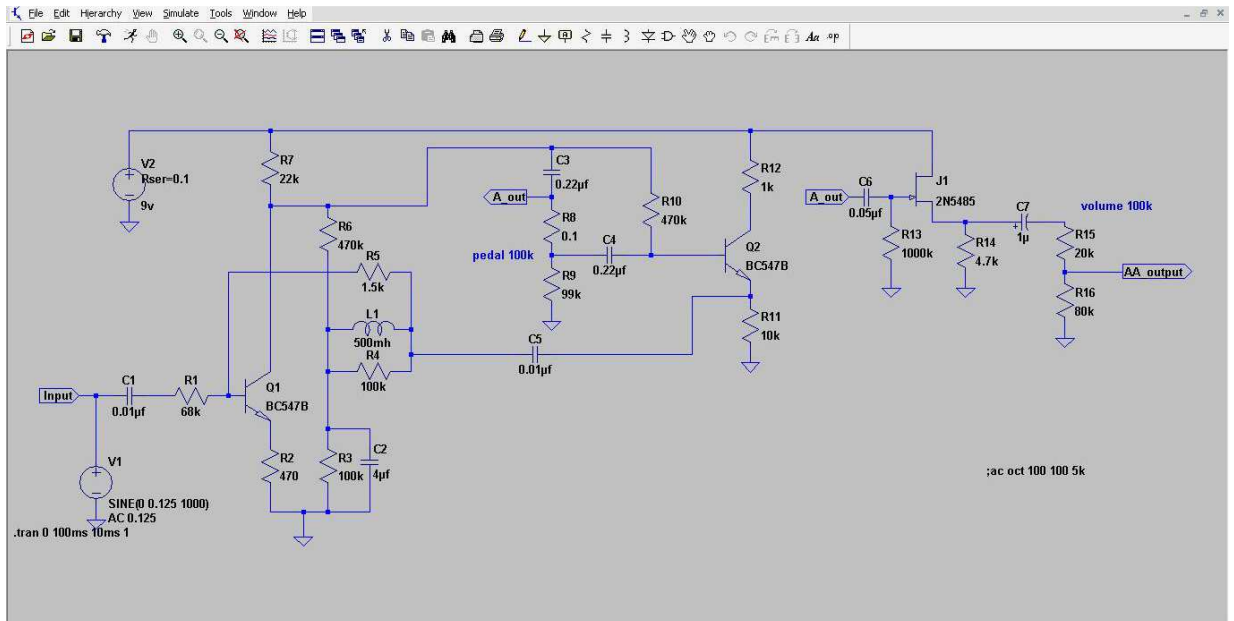




**Διάγραμμα 2:** Υπολογισμός των τιμών της μεσαίας θέσης του πεντάλ. Αύξηση των dB από την συχνότητα των 200Hz έως τα 600Hz.

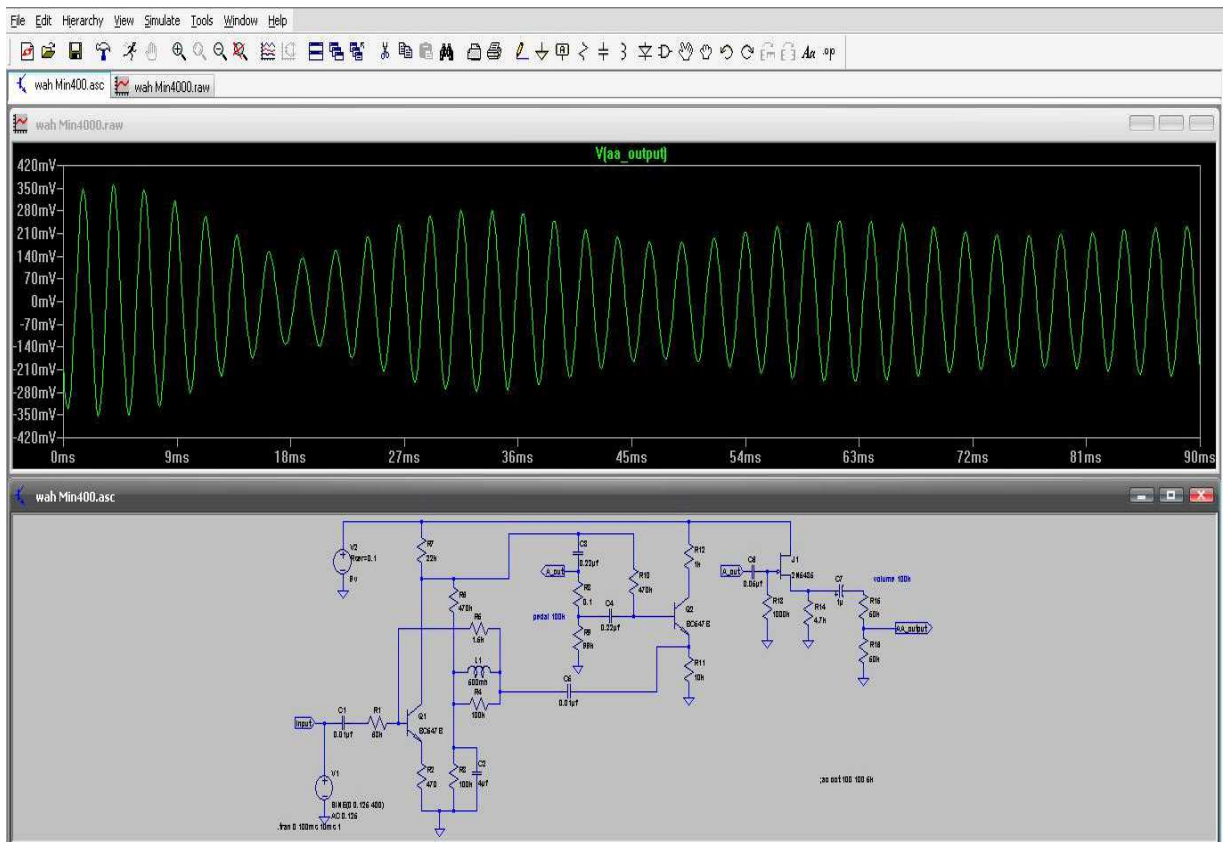
#### 4.4. ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ MINIMUM ΘΕΣΗΣ ΤΟΥ ΠΕΝΤΑΛ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ LTSPICE

Αρχικά σχεδιάστηκε το κύκλωμα στην minimum θέση. Σε αυτό το σημείο το πόδι πιέζει το ρυθμιστικό Wah-ροταπό την αντίθετη φορά της Maximumθέσης.

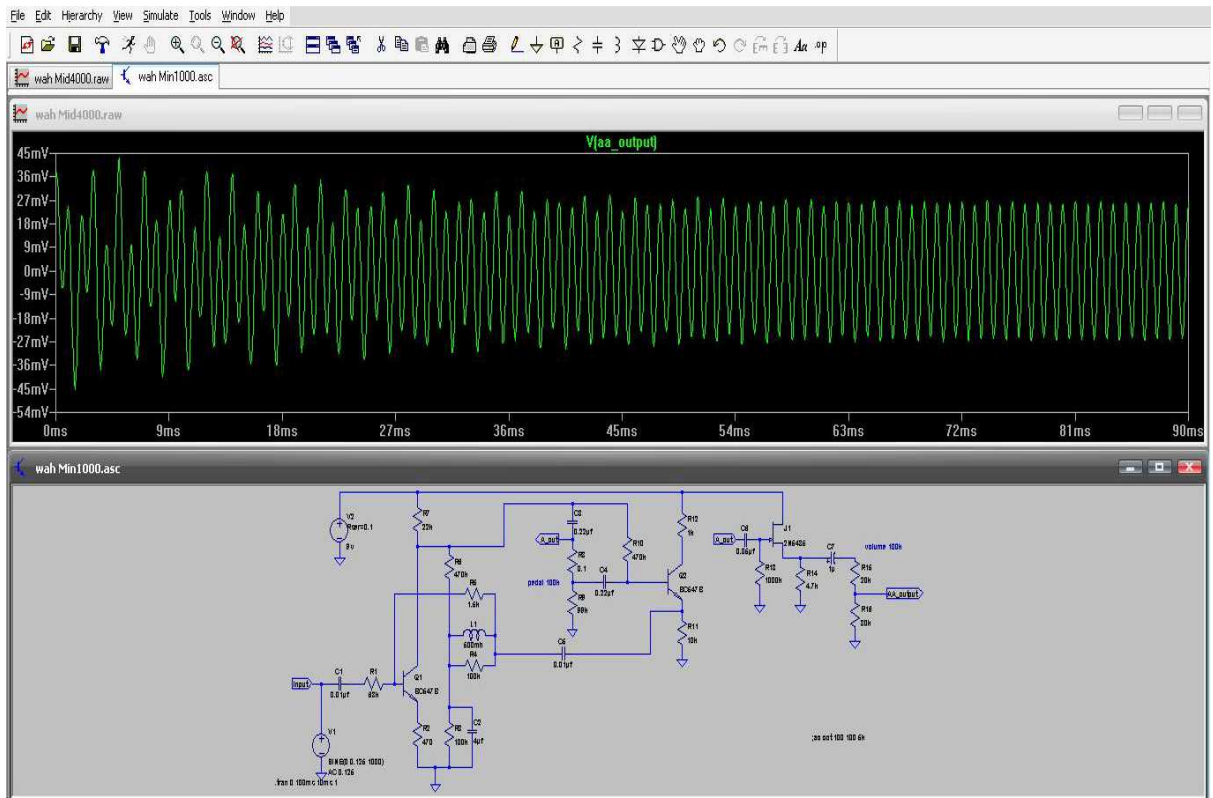


Εικόνα 20: Το κύκλωμα του wah πεντάλ στη minimum θέση σχεδιασμένο στο LTSpice.

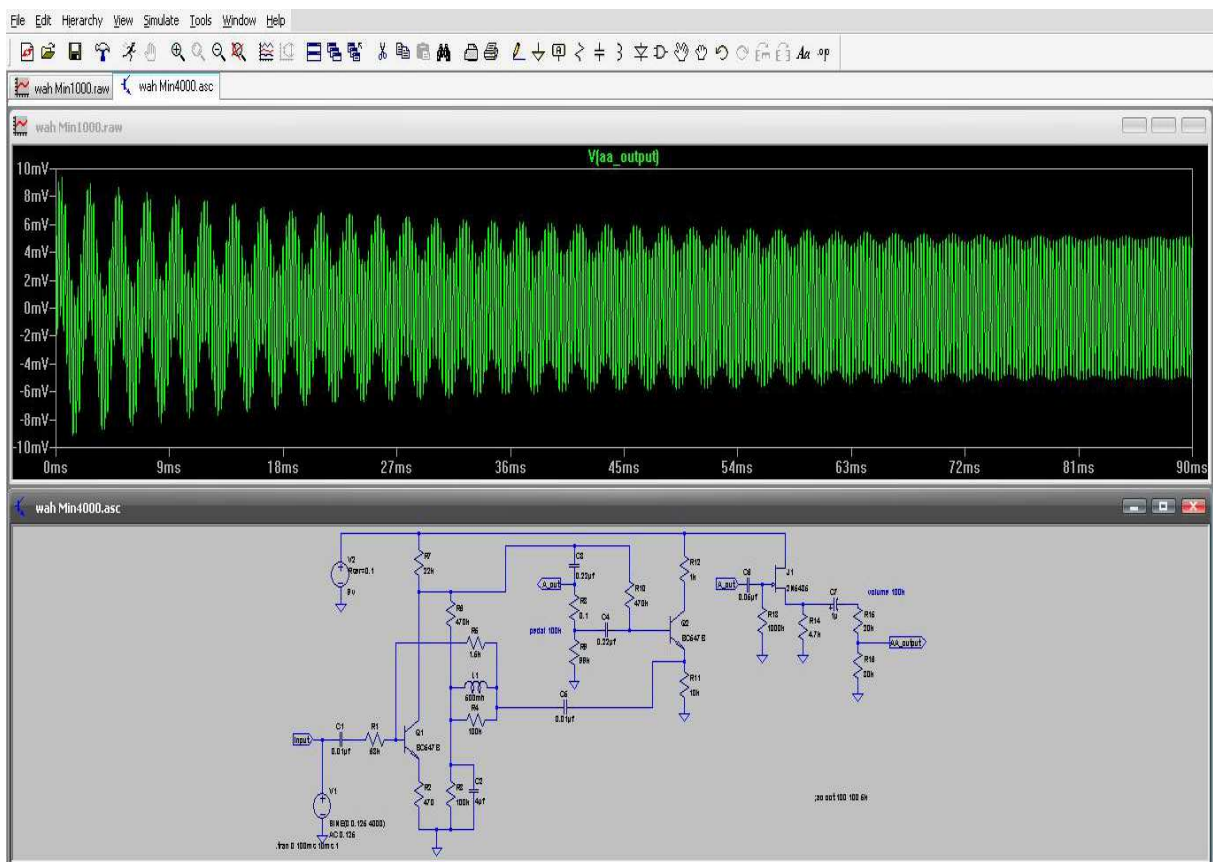
Στην συνέχεια δώσαμε στην γεννήτρια τις συχνότητες των 400Hz, 1000 Hz, 4000Hz. Παρακάτω παρουσιάζονται οι εικόνες των κυματομορφών των αντίστοιχων συχνοτήτων.



Εικόνα 21: Η κυματομορφή της minimumθέσης του πεντάλ στα 400 Hz από το λογισμικό LTSpice..



**Εικόνα 22:** Η κυματομορφή της minimum θέσης του πεντάλ στα 1000 Hz από το λογισμικό LTspice.



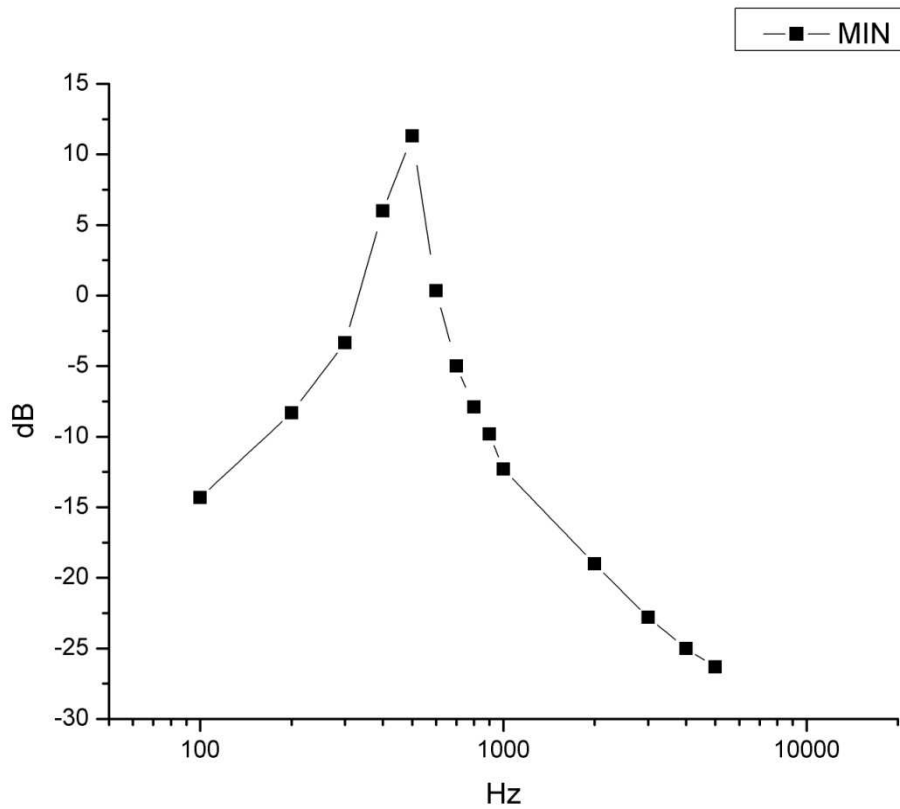
**Εικόνα 23:** Η κυματομορφή της minimum θέσης του πεντάλ στα 4000 Hz από το λογισμικό LTspice.

Ακολουθεί ο Πίνακας 4.3, ο οποίος προκύπτει από τον υπολογισμό των τιμών της minimumθέσης του πεντάλ. Τοσήμα εισόδου από την γεννήτρια είναι 125mVp.για συχνότητες από 100 έως 5000Hz.

<b>F: (HZ)</b>	<b>Ακραία θέση:MIN (mV)Vout</b>	<b>dB</b>
100	24	-14,3
200	48	-8,3
300	85	-3,34
400	250	6
500	460	11,3
600	130	0,34
700	70	-5
800	50	-7,9
900	40	-9,8
1000	30	-12,3
2000	14	-19
3000	9	-22,8
4000	7	-25
5000	6	-26,3

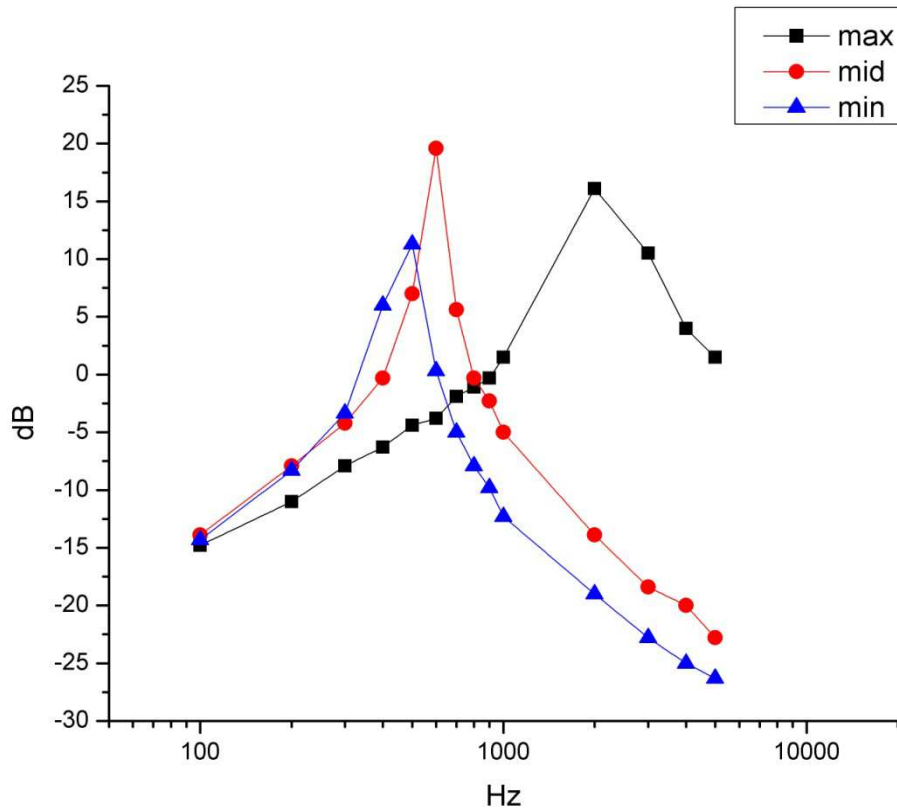
**Πίνακας 3:**Οι τιμές της minimum θέσης του πεντάλ με σήμα εισόδου 125mV και συχνότητα 100 έως 5000 Hz.

Το γράφημα που παρουσιάζεται σε αυτό το σημείο προκύπτει όπως είναι κατανοητό από τον Πίνακα 4.3. Και εδώ είναι κατανοητή η συμπεριφορά του πεντάλ στην minimum θέση του. Βλέπουμε λοιπόν πως στις μικρές συχνότητες της τάξεως των 200Hz τα 600 Hz, τα dB αυξάνονται κατά περίπου 15. Στη συνέχεια, δίνοντας μεγαλύτερη συχνότητα στην είσοδο του κυκλώματος, μειώνονται αισθητά κατά περίπου 26.



**Διάγραμμα 3:** Απεικόνιση υπολογισμού των τιμών της minimum θέσης του πεντάλ.

Στη συνέχεια, παραθέτεται το γράφημα και των τριών συμπεριφορών του πεντάλ: Στη maximumθέση, στη μεσαία του θέση, στη minimumθέση. Με αυτόν τον τρόπο θα είναι πιο διακριτό το πόσο διαφορετικά συμπεριφέρεται στη κάθε μία ξεχωριστά.



**Διάγραμμα 4:** Απεικόνιση των τριών συμπεριφορών του πεντάλ. Στη maximum θέση, στη μεσαία του θέση, στη minimum θέση.

Όπως βλέπουμε, η maximum θέση αντιπροσωπεύεται από το μαύρο χρώμα του γραφήματος, η μεσαία θέση με το κόκκινο και η minimum θέση με το μπλέ. Παρατηρούμε λοιπόν, πόσο διαφορετική συμπεριφορά έχει το πεντάλ στην maximum θέση του σε αντίθεση με τις δύο άλλες, όπου ουσιαστικά δεν έχουν μεγάλη διαφορά στην συμπεριφορά του κυκλώματος.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>

### «ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ»

#### 5.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε αυτό το κεφάλαιο, θα γίνει η ανάλυση καθώς και η παρουσίαση της κατασκευής του κυκλώματος wah. Αρχικά θα αναφερθούν τα υλικά τα οποία χρησιμοποιήθηκαν και θα παρουσιαστούν τα χαρακτηριστικά τους. Στη συνέχεια θα γίνει η επεξήγηση της κατασκευής της πλακέτας, της σχεδίασης του τυπωμένου κυκλώματος, η αποτύπωση της μακέτας στη πλακέτα, η διαδικασία της κατασκευής της και τέλος η συνδεσμολογία των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων καθώς και η καλωδίωση τους.

#### 5.2. ΤΑ ΥΛΙΚΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ

Για την κατασκευή του κυκλώματος, χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω ηλεκτρονικά εξαρτήματα:

ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ	
Τεμάχια	Τιμή (σε ΩΜ)
2	470K
2	100K
1	68K
1	22K
1	10K
1	1K5
1	1K
1	470
1	1M
1	4K7

Πίνακας 4: Οι αντιστάσεις που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του κυκλώματος.

<b>ΠΥΚΝΩΤΕΣ</b>	
<b>Τεμάχια</b>	<b>Τιμή (σε <math>\mu\text{F}</math>)</b>
2	0,01 $\mu\text{F}$
1	4 $\mu\text{F}$ NP
2	0,22 $\mu\text{F}$
1	0,05 $\mu\text{F}$
1	1 $\mu\text{F}$

**Πίνακας 5:** Οι πυκνωτές που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του κυκλώματος.

<b>ΠΗΝΙΑ</b>	
<b>Τεμάχια</b>	<b>Τιμή (σε mH)</b>
1	Replica 500mH

**Πίνακας 6:** Τα πηνία που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του κυκλώματος.

<b>ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ</b>	
<b>Τεμάχια</b>	<b>Κωδικός</b>
2	BC109
1	2N5457 (J-FET)

**Πίνακας 7:** Τα Τρανζίστορς που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του κυκλώματος.

<b>ΠΟΤΕΝΣΙΟΜΕΤΡΑ</b>	
<b>Τεμάχια</b>	<b>Τιμή (σε K<math>\Omega</math>)/Κωδικός</b>
1	100K "ICAR"
1	100Ktrimpot

**Πίνακας 8:** Τα ποτενσιόμετρα που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του κυκλώματος.

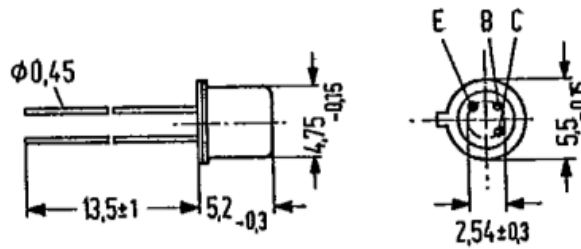
<b>ΥΠΟΛΟΙΠΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ</b>	
<b>Τεμάχια</b>	<b>Είδος</b>
1	Κουτί
1	DPDT διακόπτης ποδιού
1	¼ '' monojack
1	¼ '' stereojack
1	υποδοχή μπαταρίας
1	Hook καλώδιο (σύρμα)

**Πίνακας 9:** Ο υπόλοιπος εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή του κυκλώματος.



### 5.3. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ

Στην κατασκευή χρησιμοποιήθηκαν δύο τρανζίστορ BC109. Πρόκειται για NPN τρανζίστορ πυριτίου σε μεταλλική θήκη. Ο συλλέκτης είναι ηλεκτρικά συνδεδεμένος με την θήκη. Η χρήση των τρανζίστορ BC109 γίνεται συνήθως στην είσοδο των AF κυκλωμάτων καθώς και στάδια οδηγών (driver). Στην παρακάτω εικόνα διακρίνονται τα χαρακτηριστικά του τρανζίστορ BC109.



Εικόνα 24: Το τρανζίστορ BC109.



Εικόνα 25: Η όψη του τρανζίστορ BC109.

Επίσης, ένα πολύ σημαντικό εξάρτημα που χρησιμοποιήθηκε στην κατασκευή είναι το πηνίο. Αγοράστηκε μέσω internet, από το ηλεκτρονικό κατάστημα Small Bear Electronics και πρόκειται για ένα χειροποίητο πηνίο και όχι εργοστασιακό. Σε εργαστηριακά πειράματα που έχουν γίνει έχει αποδειχτεί πως στην αυτεπαγωγή, στην αντίσταση και στην χωρητικότητα ανάμεσα στα δύο πηνία, δεν υπάρχει κάποια ιδιαίτερη διαφορά μεταξύ τους. Βάζοντας όμως μια γεννήτρια ημιτονοειδών κυμάτων στα πηνία και μέσω ενός φασματογράφου έχει παρατηρηθεί για το σήμα ότι διακρίνονται κάποιες διαφορές. Το ειδικό χειροποίητο πηνίο ως γνωστόν και μαγικό πηνίο, που είναι κατάλληλο για τα κυκλώματα wah, έχει έξοδο ενός καθαρού ημιτονοειδούς κύματος, όπου το ημίτονο είναι αρκετά μεγάλο ή αρκετά μικρό σε συχνότητα για να ξεκινήσει τον κορεσμό. Στη δοκιμή ενός απλού πηνίου, τα αποτελέσματα δείχνουν πως η έναρξη του κορεσμού που δημιουργούνται οι αρμονικές, συμβαίνει πολύ νωρίτερα σε σχέση με το χειροποίητο πηνίο. Το εργοστασιακό πηνίο γενικότερα ψαλιδίζει ασύμμετρα. Το

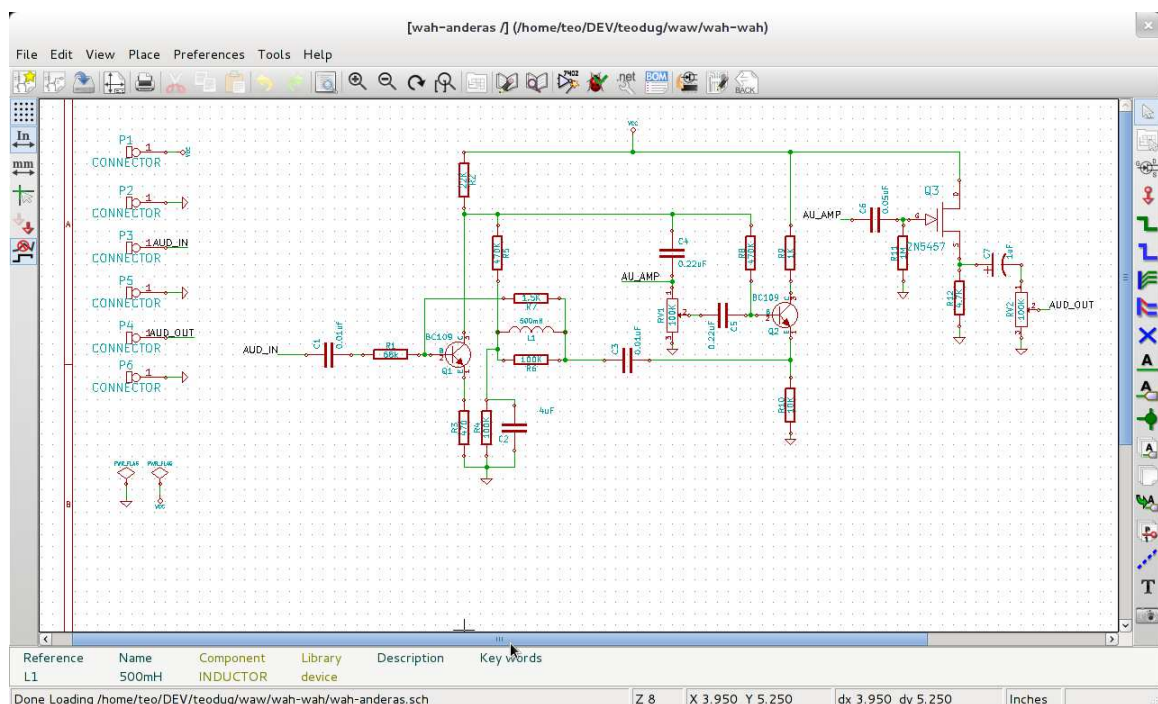
συμπέρασμα είναι πως το χειροποίητο πηνίο μεταφέρει το συνεχές ρεύμα στο πρώτο τρανζίστορ. Ενώ πρόκειται μόνο για μερικά mA, η συνεχής μονόδρομη κατεύθυνση στη πόλωση, μπορεί να οδηγήσει σε έναν μόνιμο μαγνητισμό του πυρήνα του πηνίου αν το υλικό του πυρήνα δεν είναι τόσο καλό. Στην Εικόνα 5.3 παρουσιάζεται το πηνίο της εταιρίας Eye Rock (handmade inductor).



Εικόνα 26: Το χειροποίητο πηνίο της EyeRock (handmade inductor).

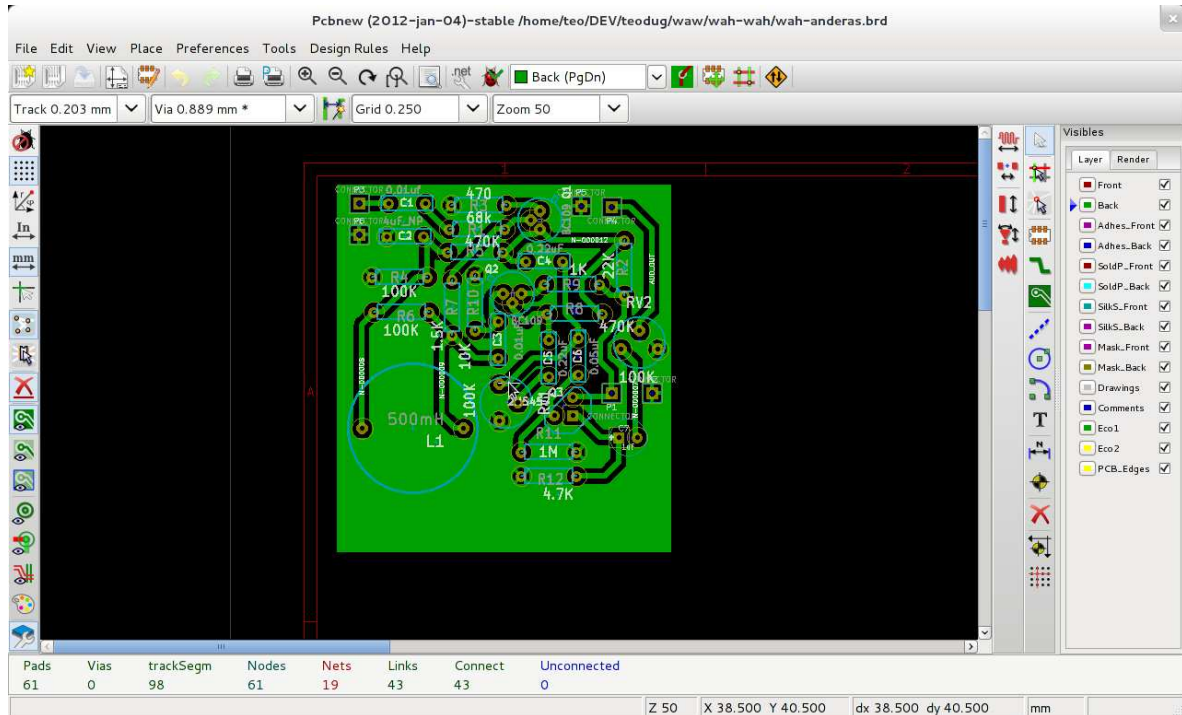
## 5.4. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΗΣ ΠΛΑΚΕΤΑΣ

Πριν προχωρήσουμε στην κατασκευή της πλακέτας, θα πρέπει πρώτα να σχεδιάσουμε το τυπωμένο κύκλωμα της συσκευής μας. Συνήθως, η δημιουργία του κυκλώματος γίνεται με τη βοήθεια κατάλληλου προγράμματος στον ηλεκτρονικό υπολογιστή.



Εικόνα 27: Το επανασχεδιασμένο κύκλωμα Wahστο λογισμικό kicad.

Στη παρούσα πτυχιακή εργασία, το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε είναι το kicad.



Εικόνα 28: Το PCB του κυκλώματος Wah στο λογισμικό kicad.

Έπειτα, η διαδικασία κατασκευής κυκλώματος σε φωτοευαίσθητη πλακέτα χωρίζεται στα τέσσερα παρακάτω στάδια:

1. Εκτύπωση κυκλώματος σε διαφάνεια
2. Τύπωμα κυκλώματος σε φωτοευαίσθητη πλακέτα
3. Εμφάνιση κυκλώματος στην πλακέτα
4. Αποχάλκωση

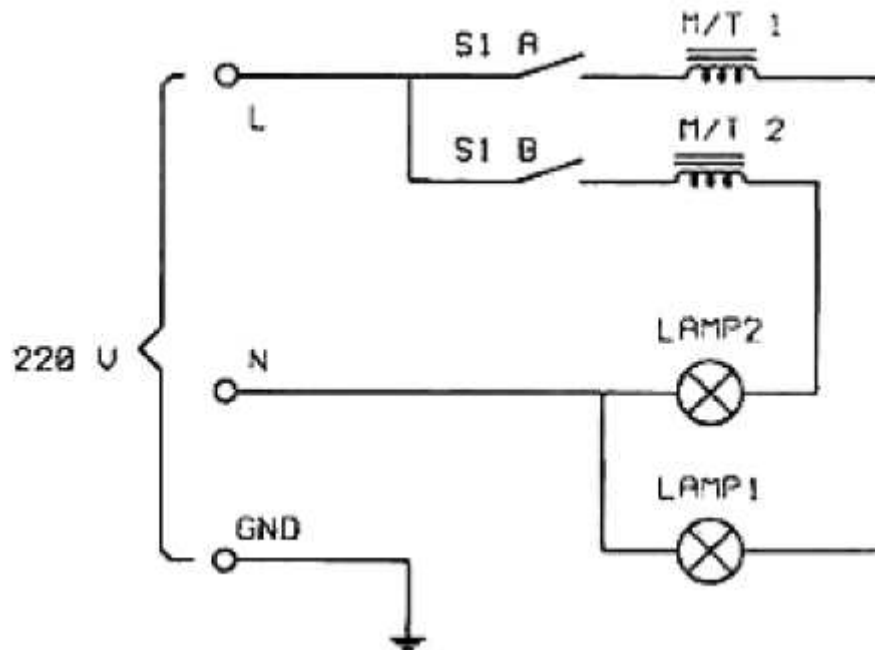
#### 5.4.1. Τύπωμα κυκλώματος στην διαφάνεια

Αφού έχουμε σχεδιάσει το τυπωμένο κύκλωμα χρειάζεται να το τυπώσουμε σε διαφάνεια. Εάν τυπώσουμε απλή διαφάνεια σε inkjet τότε το μελάνι δεν θα «καθίσει» πάνω και με το που το ακουμπήσουμε θα φύγει. Τυπώνουμε το κύκλωμα (προσέχοντας πια πλευρά είναι η «σαγρέ» της διαφάνειας) με επιλογή στον εκτυπωτή για Best quality

ώστε να πετύχουμε το πιο έντονο και πυκνό μαύρο. Το μαύρο πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο πυκνό για να είμαστε σίγουροι πως δεν θα αλλοιωθούν οι αγωγοί μας έπειτα κατά την εμφάνιση και κατά συνέπεια και κατά την αποχάλκωση. Για αυτόν τον σκοπό μπορούμε να κάνουμε δύο παραλλαγές. Η μία είναι να τυπώσουμε το κύκλωμα όπως παραπάνω και αφού το αφήσουμε μερικά λεπτά να στεγνώσει τέλεια το μελάνι τότε ξανά τοποθετούμε την διαφάνεια στον εκτυπωτή προσέχοντας να είναι απόλυτα ευθυγραμμισμένη με τους οδηγούς του εκτυπωτή (διαφορετικά δεν θα πέσει ο αγωγός ακριβώς ο ένας πάνω στον άλλον με καταστροφικά αποτελέσματα (πιθανότατα βραχυκυκλώματα) και ξανά τυπώνουμε. Έτσι έχουμε τυπώσει δύο φορές την πλακέτα την μία πάνω στην άλλη ενισχύοντας το μαύρο ακόμα περισσότερο. Ο άλλος τρόπος είναι να τυπώσουμε δύο διαφορετικές διαφάνειες και μετά να στερεώσουμε την μια διαφάνεια πάνω στην άλλη προσεχτικά ώστε οι αγωγοί να εφάπτονται. Προσωπικά προτιμώ τον πρώτο τρόπο, όπου και ακολούθησα. Έπειτα κόβουμε προσεκτικά την διαφάνεια αφήνοντας περίπου 1 cm απόσταση από το τυπωμένο κύκλωμα.

#### 5.4.2. Τύπωμα κυκλώματος σε φωτοευαίσθητη πλακέτα

Η πιο σωστή μέθοδος είναι εκείνη με τον εκφωτισμό πλακέτας σε ειδικό θάλαμο εργαστηρίου. Ωστόσο, η μέθοδος μπορεί να πραγματοποιηθεί σε κάποιο αυτοσχέδιο θάλαμο. Ο θάλαμος μπορεί να κατασκευαστεί ξέροντας την συνδεσμολογία των λαμπών, η οποία φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:

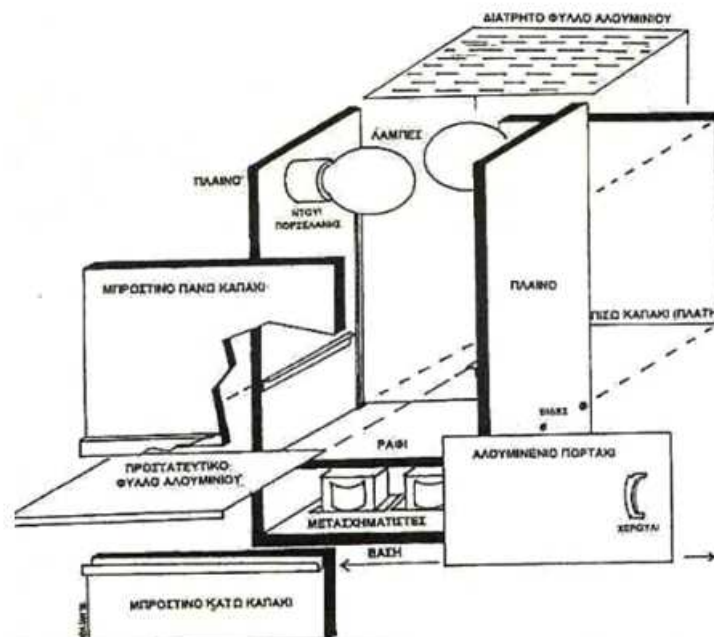


Εικόνα 29: Συνδεσμολογία των λαμπών εκφωτισμού.

Τα υλικά που χρειαζόμαστε για το παραπάνω κύκλωμα είναι:

- 1 ή 2 μετασχηματιστές για λάμπα ατμών υδραργύρου ισχύος 125 Watt
- 1 ή 2 λάμπες ατμών υδραργύρου ισχύος 125 Watt
- 1 ή 2 ντουί πορσελάνης με βάση
- 1,5 – 2 μέτρα καλώδιο ρεύματος με τρεις ακροδέκτες
- 1 διακόπτη ON/OFF απλό (για μία λάμπα) ή διπλό (για δύο λάμπες)
- 1 σειρά κλέμες ηλεκτρικών συνδέσεων

Στην παρακάτω εικόνα, παρουσιάζεται ο τρόπος κατασκευής του θαλάμου.



Εικόνα 30:Ο τρόπος κατασκευής του θαλάμου εκφωτισμού.

Ένας διαφορετικός τρόπος, είναι η χρήση του ηλίου. Πιο συγκεκριμένα, Αρχικά προετοιμάζουμε τον χώρο που θα τοποθετήσουμε το κύκλωμα που έχουμε τυπώσει πάνω στην πλακέτα. Κλείνουμε παράθυρα και κουρτίνες και έχουμε ένα όσο πιο σκοτεινό δωμάτιο μπορούμε. Βγάζουμε το προστατευτικό κάλυμμα από την πλακέτα που θα χρησιμοποιήσουμε. Βάζουμε την διαφάνεια πάνω στην πλακέτα με την φωτοευαίσθητη επιφάνεια και την κεντράρουμε. Τοποθετούμε την πλακέτα με την διαφάνεια ανάμεσα

στα δύο τζάμια και τα στερεώνουμε με τα πιαστράκια. Σημαντικό είναι να σιγουρευτούμε πως τα πιαστράκια μας κρατάνε καλά τα τζάμια και κατά συνέπεια η διαφάνεια πατάει απόλυτα πάνω στην πλακέτα μας. Σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να είναι χαλαρά τα τζάμια γιατί θα δημιουργηθούν σκιές στο κύκλωμα και δεν το θέλουμε σε καμία περίπτωση.

Αυτός ο τρόπος προϋποθέτει ηλιόλουστη μέρα. Στη συνέχεια, βγάζουμε τα τζάμια με το κύκλωμα στον ήλιο και τα τοποθετούμε σε σημείο που να πέφτει απευθείας ο ήλιος πάνω και το αφήνουμε για 4 λεπτά με φουλ ηλιοφάνεια ή 78 λεπτά αν έχουμε λίγη συννεφιά..



**Εικόνα 31:** Παράδειγμα τρόπου εκφώτισης της πλακέτας με την χρήση του ήλιου

### **5.4.3. Εμφάνιση κυκλώματος στην πλακέτα**

Από πριν έχουμε βάλει σε μια λεκάνη 1 λίτρο νερό.

Έπειτα ρίχνουμε 7 γραμμάρια καυστική σόδα (ποτάσα) και το ανακατεύουμε με κάτιξύλινο κατά προτίμηση. Αυτή η διαδικασία απαιτεί προσοχή, στο να μη πάει το υγρό σε μάτια και δέρμα. Οπότε καλό είναι να φοράμε κατάλληλα γάντια και γυαλιά. Έπειτα, επιμένουμε να ανακατεύουμε μέχρι να διαλυθεί τελείως η ποτάσα. Βγάζουμε την πλακέτα από τα τζάμια και αφαιρούμε την διαφάνεια μας.

Βυθίζουμε την πλακέτα στο διάλυμα με την φωτοευαίσθητη επιφάνεια προς τα πάνω. Αναδεύουμε με κινήσεις σαν να κυματίζουμε το διάλυμα πάνω από την πλακέτα για 5 λεπτά. Σιγά σιγά θα δούμε ότι έχει

σηματιστεί στην πακέτα μας το κύκλωμα αμυδρά.

Αφού ολοκληρώσουμε τα 5 λεπτά ανάδευσης βγάζουμε την πλακέτα φορώντας πάντα γάντια και την βάζουμε κάτω από τρεχούμενο νερό τρίβοντας απαλά με το δάχτυλο την επιφάνεια με το κύκλωμα για περίπου 23λεπτά για να απομακρύνουμε το φιλμ που έχει καεί από τον ήλιο. Είμαστε έτοιμοι για αποχάλκωση.

#### 5.4.4. Αποχάλκωση

Ρίχνουμε σε μια διαφορετική λεκάνη στην ένα μπουκάλι υδροχλωρικό οξύ (άκουα φόρτε) και βάζουμε

μέσα την πλακέτα μας με την φωτοευαίσθητη επιφάνεια προς τα πάνω. Αυτή η διαδικασία απαιτεί προσοχή, στο να μη πάει το υγρό σε μάτια και δέρμα. Οπότε καλό είναι να φοράμε κατάλληλα γάντια και γυαλιά.

Έπειτα ρίχνουμε περίπου 4ml περιντρόλστην λεκάνη αλλά όχι απευθείας πάνω στην πλακέτα. Στο σημείο αυτό μπορούμε να ανοίξουμε λίγο ένα παράθυρο να αερίζεται ο χώρος γιατί οι αναθυμιάσεις από ο μίγμα που θα τρώει τον χαλκό είναι έντονες. Κάνουμε την ίδια διαδικασία κυματισμού όπως πριν φροντίζοντας να οξυγονώνεται η πλακέτα μας (να μην έχει διάλυμα πάνω της).

Η διαδικασία θα κρατήσει (ανάλογα με το μέγεθος της πλακέτας και με τις παραπάνω αναλογίες) περίπου 15 λεπτά. Στα 15 αυτά λεπτά δεν σταματάμε τον κυματισμό. Θα φαίνεται καθαρά πως το μίγμα «τρώει» τον χαλκό μετά από λίγα λεπτά.

Όταν ολοκληρωθεί η διαδικασία και έχει γίνει η αποχάλκωση βγάζουμε προσεκτικά την πλακέτα και την βάζουμε κάτω από άφθονο τρεχούμενο νερό τρίβοντας απαλά με το δάχτυλο το κύκλωμα για να πολεϊμματα μίγματος.



Εικόνα 32: Παράδειγμα διαδικασίας αποχάλκωσης.

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία, αρχικά έγινε η διαδικασία της αποχάλκωσης σε ιδιωτικό εργαστήριο αλλά για λόγους απειρίας υπήρχαν τεχνικά προβλήματα και δεν κατέσται εφικτό να πραγματοποιηθεί η κατασκευή της πλακέτας με αυτόν τον τρόπο. Για οικονομικούς και χρονικούς λόγους η πλακέτα δημιουργήθηκε με χάραξη διαδρόμων και στην συνέχεια, οι διάδρομοι επικαλύφθηκαν με κασσίτερο. Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται η πλακέτα της κατασκευής όπου είναι εμφανής ο τρόπος χάραξης των διαδρόμων.



**Εικόνα 33:** Η πλακέτα της κατασκευής.

Τέλος, αφού έγινε η χάραξη των διαδρόμων, πραγματοποιήθηκε η διαδικασία του τρυπήματος της έτσι ώστε να είναι εφικτή η κόλληση των εξαρτημάτων.

Τα σημεία που θα ανοίξουμε τις τρύπες, θα έπρεπε να είχε προβλεφθεί το σημείο όπου θα γινόταν το τρύπημα από την κατασκευή του σχεδίου της πλακέτας.

## **5.5. ΤΟ ΚΟΥΤΙ – ΘΗΚΗ ΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ**

Η θήκη του κυκλώματος αγοράστηκε μέσω διαδικτύου και είναι γνωστή ως Wah Enclosure. Είναι από περίβλημα αλουμινίου και περιλάμβανε βίδες, ποδαρικά από



καουτσούκ, bumpers, πίσω πλαίσιο και τα υπόλοιπα υλικά που ήταν απαραίτητα για την συναρμολόγηση της θήκης. Στις εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζεται η θήκη Wah Enclosure που χρησιμοποιήθηκε στην κατασκευή του πεντάλ.



**Εικόνα 34:** Η θήκη του πεντάλ.



**Εικόνα 35:** Διαφορετική όψη της θήκης του πεντάλ.

## **5.6. ΚΟΛΛΗΣΗ ΤΩΝ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ**

Αφού η επεξεργασία της πλακέτας τελείωσε, μπορούμε πλέον να προχωρήσουμε στην διαδικασία της κόλλησης των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων με το ηλεκτρονικό κολλητήρι και τον κασσίτερο (καλά).

Σε αυτό το σημείο, πρέπει να διαθέτουμε τον κατάλληλο εξοπλισμό, ο οποίος είναι:

- ❖ Κολλητήρι με κατάλληλο μέγεθος μύτης: Συνήθως πρέπει να είναι από 0.79mm έως 3.2mm, πράγμα που εξαρτάται από το πλάτος της οπής στην οποία κολλάμε. Το μέγεθος της μύτης που επιλέγουμε πρέπει να έχει το 75% έως το 90% του πλάτους της οπής..
- ❖ Το κατάλληλο υλικό (Solder ή καλάι).
- ❖ Βρεγμένος Σπόγγος. Πάντα πρέπει η μύτη του κολλητηριού να διατηρείται καθαρή

Τα βήματα που ακολουθήθηκαν ήταν συγκεκριμένα. Αναλυτικότερα,

### 1ο. Βήμα:

Τα πρώτα εξαρτήματα τα οποία κολλήθηκαν στην πλακέτα, ήταν οι αντιστάσεις. Οι αντιστάσεις δεν έχουν πολικότητα, οπότε δεν χρειάστηκε η τοποθέτηση τους να γίνει με κάποια συγκεκριμένη φορά. Ωστόσο, στις αντιστάσεις έγινε η χρήση του χρωματικού κώδικα τους, για την αποφυγή κάποιου σφάλματος στο κύκλωμα. Στην παρακάτω εικόνα, παρουσιάζεται ο πίνακας του χρωματικού κώδικα και τα χαρακτηριστικά του.

Χρώμα	1 <sup>η</sup> λωρίδα	2 <sup>η</sup> λωρίδα	3 <sup>η</sup> λωρίδα (πολλαπλασιαστής)	4 <sup>η</sup> λωρίδα (ανοχή)	Θερμικός συντελεστής
Μαύρο	0	0	$\times 10^0$		
καφέ	1	1	$\times 10^1$	$\pm 1\%$ (F)	100 ppm
Κόκκινο	2	2	$\times 10^2$	$\pm 2\%$ (G)	50 ppm
Πορτοκαλί	3	3	$\times 10^3$		15 ppm
Κίτρινο	4	4	$\times 10^4$		25 ppm
Πράσινο	5	5	$\times 10^5$	$\pm 0.5\%$ (D)	
Μπλε	6	6	$\times 10^6$	$\pm 0.25\%$ (C)	

Μοβ	7	7	$\times 10^7$	$\pm 0.1\%$ (B)	
Γκρι	8	8	$\times 10^8$	$\pm 0.05\%$ (A)	
Λευκό	9	9	$\times 10^9$		
Χρυσάφι			$\times 0.1$	$\pm 5\%$ (J)	
Ασημί			$\times 0.01$	$\pm 10\%$ (K)	
Κανένα				$\pm 20\%$ (M)	

**Πίνακας 10:**Χρωματικός κώδικας Αντιστάσεων

### **2ο. Βήμα:**

Το δεύτερο βήμα που πραγματοποιήθηκε ήταν η κόλληση των τρανζίστορ. Σε αυτό το σημείο πρέπει να γίνει η μελέτη των datasheet των τρανζίστορ έτσι ώστε να γνωρίζουμε τον προσανατολισμό του τρανζίστορ στο κύκλωμα. Απαιτείται δηλαδή η γνώση για το πιο ποδαράκι του τρανζίστορ αντιστοιχεί στη βάση του, στον συλλέκτη του και στον εκπομπό του. Σημαντικό επίσης είναι πως γενικότερα, όλα τα ηλεκτρονικά στοιχεία πρέπει να τοποθετηθούν στην πλακέτα καλά στην επιφάνεια, και όσο πιο βαθιά γίνεται στις οπές. Το 2N5457 τρανζίστορ όμως, επειδή ανήκει στην οικογένεια των TO-92, δεν πρέπει να κολληθεί με αυτόν τον τρόπο, αλλά σχετικά ψηλά από το ύψος της πλακέτας.

### **3ο. Βήμα:**

Σε αυτό το βήμα έγινε η επικόλληση των κεραμικών πυκνωτών, όπου δεν έχουν πολικότητα και δεν έχει σημασία η φορά τοποθέτησης τους.

### **4ο. Βήμα:**

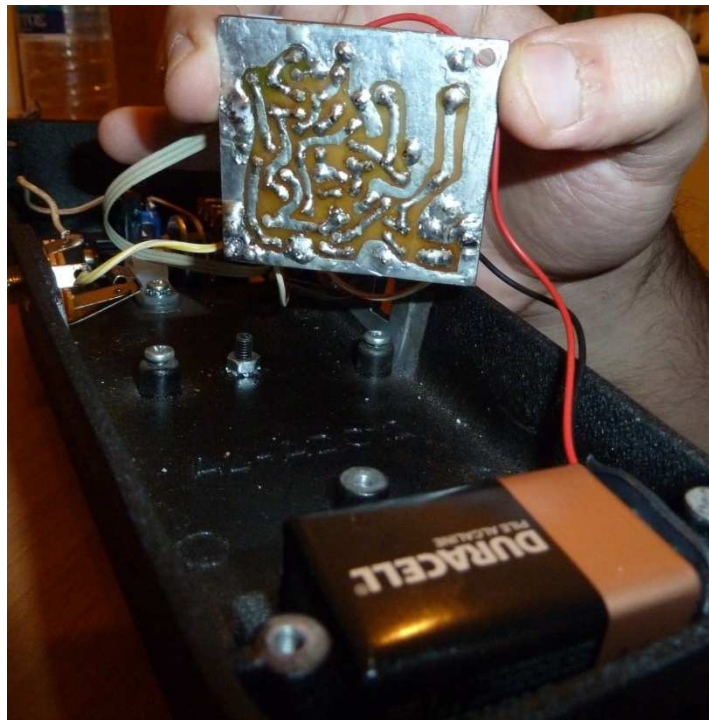
Σε αυτό το βήμα έγινε η κόλληση των πυκνωτών τανταλίου. Οι πυκνωτές αυτοί έχουν πολικότητα και γι' αυτόν τον λόγο χρειάστηκε ιδιαίτερη προσοχή και καθοδήγηση από το ηλεκτρονικό σχέδιο του κυκλώματος.

### **5ο. Βήμα:**

Εδώ, έγινε η κόλληση των ηλεκτρολυτικών πυκνωτών αλουμινίου. Όπως και στο προηγούμενο βήμα, χρειάστηκε ιδιαίτερη προσοχή και καθοδήγηση από το σχέδιο του κυκλώματος λόγω της πολικότητας των πυκνωτών.

### **6ο. Βήμα:**

Σε αυτό το σημείο, έγινε η κόλληση του κουμπώματος της μπαταρίας. Αναλυτικότερα, τα δύο άκρα των καλωδίων του κουμπώματος χρώματος κόκκινου και μαύρου, κολλήθηκαν με τα 9V είσοδο του κυκλώματος. Το κόκκινο καλώδιο στο θετικό του κυκλώματος και το μαύρο καλώδιο στον αρνητικό του. Η μπαταρία είναι η τροφοδοσία του κυκλώματος μιας και το κουτί δεν διαθέτει DC ή AC τροφοδοσία. Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται η σύνδεση των καλωδίων με την υποδοχή της μπαταρίας και την πλακέτα της κατασκευής.



**Εικόνα 36:** Η σύνδεση των καλωδίων με την υποδοχή της μπαταρίας και την πλακέτα.

### **7ο. Βήμα:**

Σε αυτό το βήμα έγινε η κόλληση των καλωδίων με τις οπές της Εισόδου, της Εξόδου και των Γειώσεων.

### 8ο. Βήμα:

Στη συνέχεια, τοποθετήθηκαν τα ποτενσιόμετρα 100K "ICAR" και 100K trimpot. Σημαντικό είναι πως τα ποτενσιόμετρα αυτά είναι ειδικά κατασκευασμένα για τα κυκλώματα wah. Το ποτενσιόμετρο ICAR, διαθέτει παξιμάδια και ροδέλες και ασφαλίστηκε στο κουτί του πεντάλ.



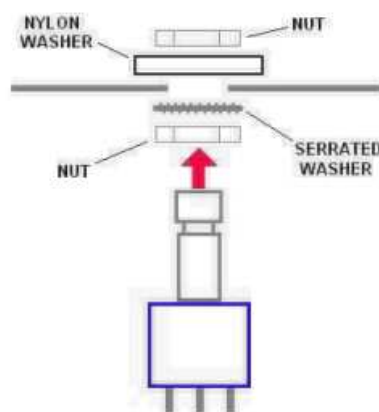
Εικόνα 37:Στα αριστερά το ποτενσιόμετρο ICAR και στα δεξιά το ποτενσιόμετρο trimpot.

### 9ο. Βήμα:

Σε αυτό το σημείο, τοποθετήθηκαν τα jack στις κατάλληλες οπές του κουτιού.

### 10ο. Βήμα:

Σε αυτό το βήμα έγινε η τοποθέτηση του διακόπτη ποδιού. Εδώ χρειάστηκε προσοχή στον προσανατολισμό του διακόπτη μιας και η επίπεδη επιφάνεια με την οποία έρχεται σε επαφή εγκαθίσταται με συγκεκριμένο τρόπο. Για την εγκατάσταση του διακόπτη ποδιού, χρειάστηκε να γίνει η σταθεροποίηση του μέσω της βίδας και του παξιμαδιού που περιλαμβάνει.

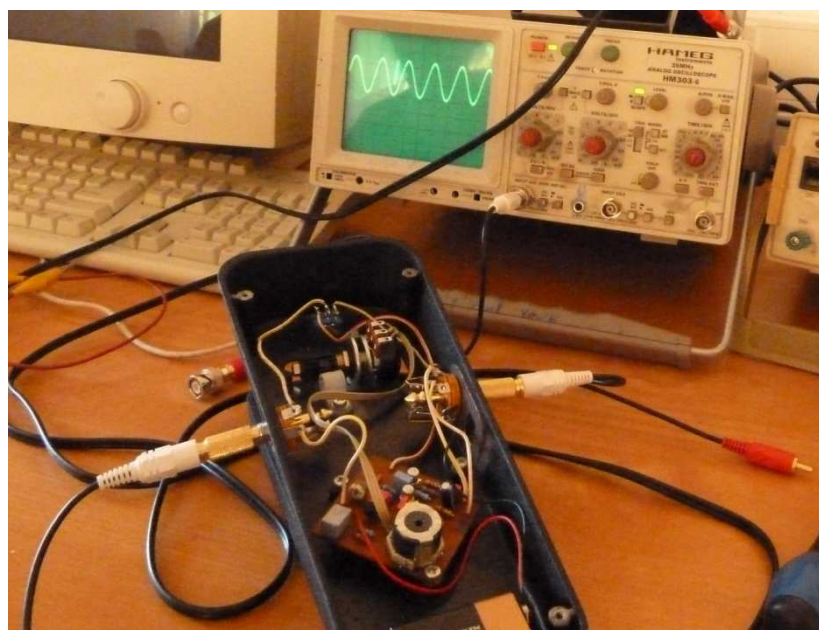


Εικόνα 38:Ο διακόπτης ποδιού.

Στις εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζεται η ολοκληρωμένη κατασκευή του πεντάλ.



**Εικόνα 39:** Η ολοκληρωμένη κατασκευή του πεντάλ.



**Εικόνα 40:** Διαφορετική όψη της ολοκληρωμένης κατασκευής του πεντάλ.

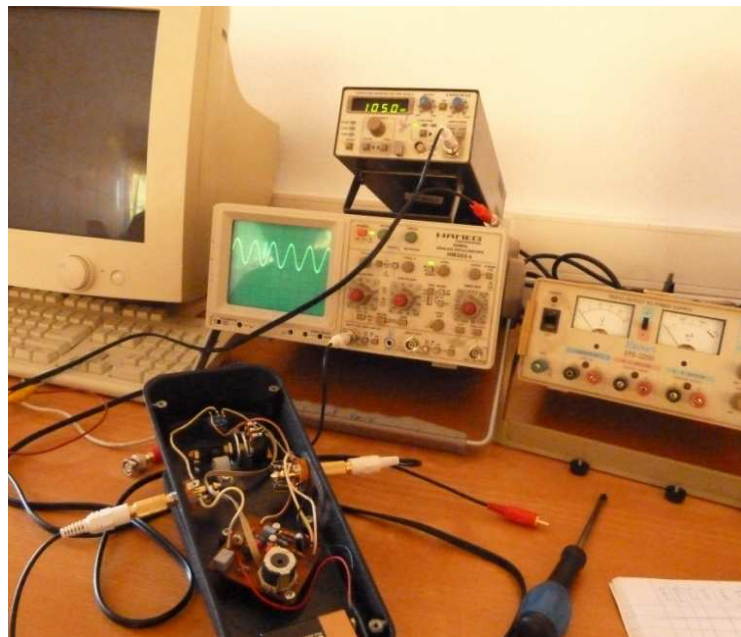
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>

### «ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ»

#### 6.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

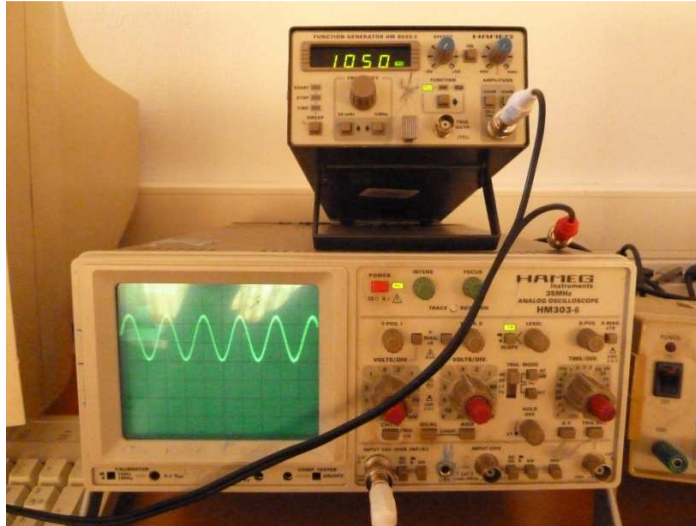
Ο πειραματικός έλεγχος του κυκλώματος έγινε στο εργαστήριο ηλεκτρονικών του τεχνολογικού ιδρύματος.

Αρχικά έγινε η σύνδεση της εισόδου του κυκλώματος με την γεννήτρια, η οποία ρυθμίστηκε στα 1050Hz. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται η κυματομορφή της εισόδου στον παλμογράφο.



**Εικόνα 41:** Η κυματομορφή της εισόδου στον παλμογράφο.

Στην συνέχεια έγινε έλεγχος του bypass σήματος εξόδου του κυκλώματος.



**Εικόνα 42:** Η κυματομορφή του bypass σήματος εξόδου.

Στη συνέχεια έγινε ο έλεγχος της εξόδου σε τρεις διαφορετικές φάσεις της κατασκευής. Οι φάσεις αυτές είναι:

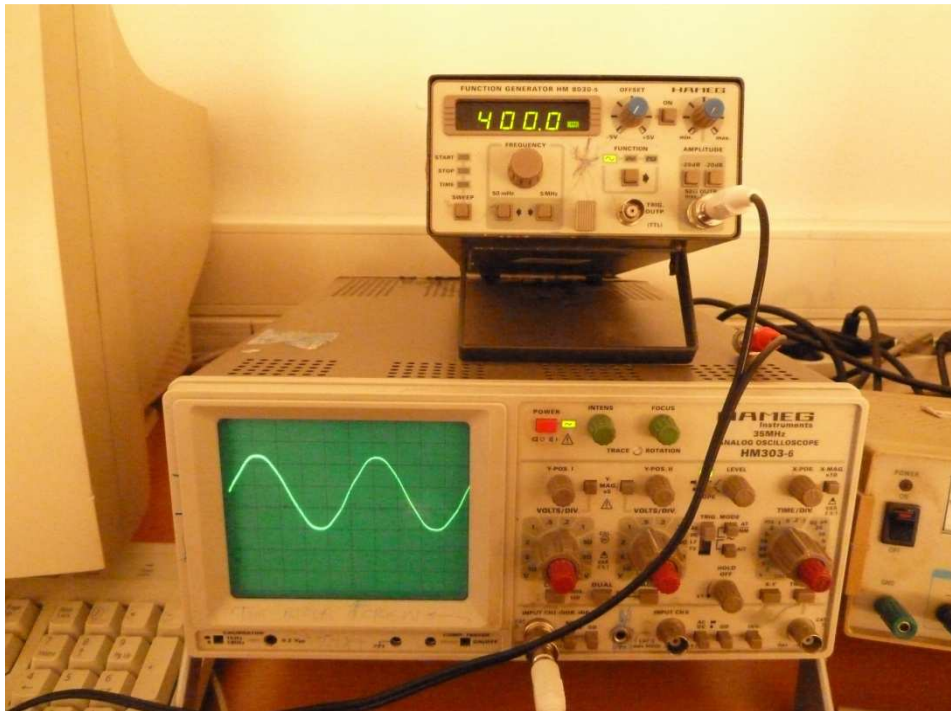
- Η minimum θέση του πεντάλ, δηλαδή στην ανοιχτή φάση του, όπου δεν ακουμπάει το πέλημα του ποδιού, αλλά η φτέρνα.
- Η μεσαία θέση του πεντάλ.
- Η maximum θέση του πεντάλ, δηλαδή η κλειστή φάση του, όπου τα δάχτυλα του ποδιού κοιτάνε προς τα κάτω.

## **6.2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ MAXIMUM ΘΕΣΗΣ ΠΕΝΤΑΛ**

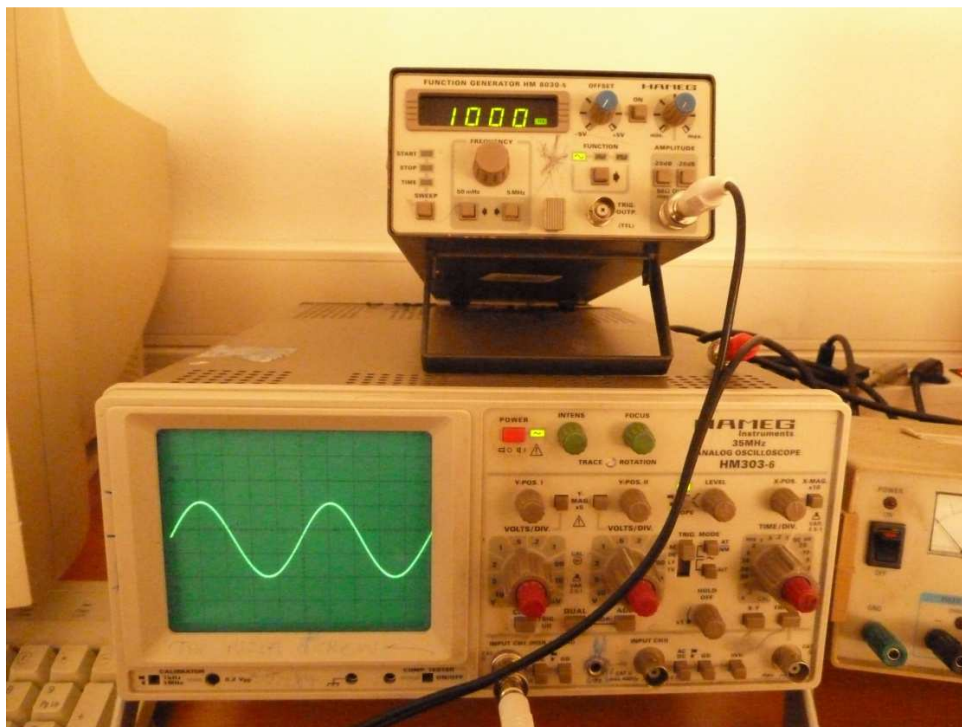
Η σύνδεση έγινε όπως ακριβώς και στον απλό πειραματικό έλεγχο, που αναφέρθηκε στη προηγούμενη ενότητα. Ο πειραματικός έλεγχος που εξελίχθηκε στο εργαστήριο παρουσιάζεται ουσιαστικά στις παρακάτω φωτογραφίες. Οι φωτογραφίες τραβήχτηκαν σε διαφορετικές συχνότητες, οι οποίες δόθηκαν από την γεννήτρια του εργαστηρίου στην maximum θέση του πεντάλ.

- Στα 400 Hz
- Στα 100 Hz
- Στα 4000 Hz

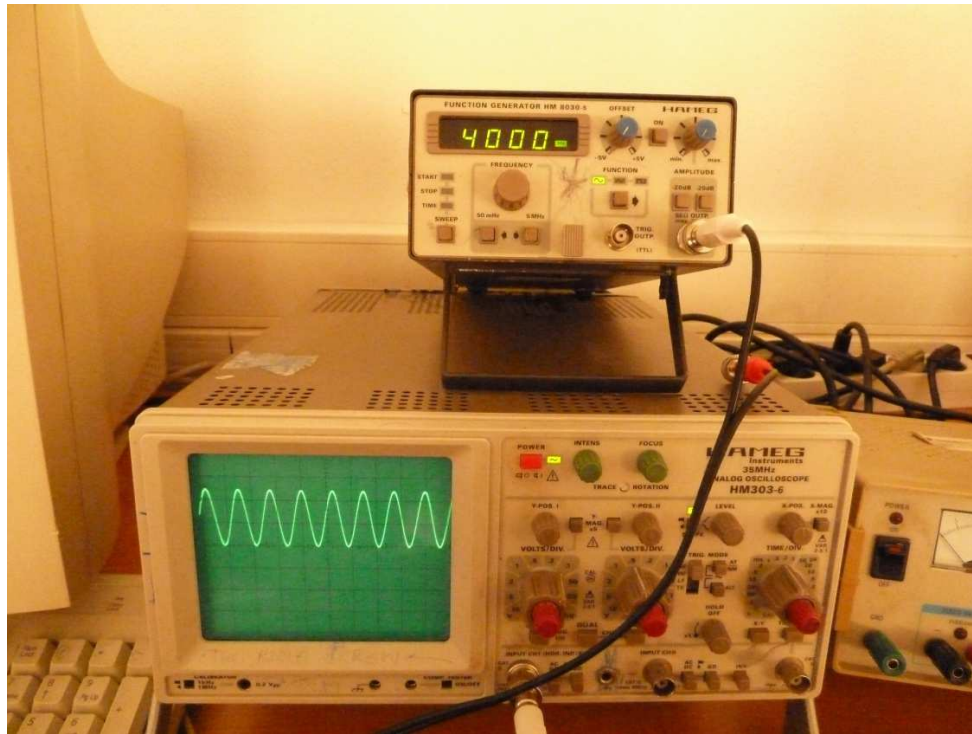




**Εικόνα 43:** Η κυματομορφή της maximum θέσης του πεντάλ στα 400 Hz.



**Εικόνα 44:** Η κυματομορφή της maximum θέσης του πεντάλ στα 1000 Hz.



**Εικόνα 45:** Η κυματομορφή της maximum θέσης του πεντάλ στα 4000 Hz.

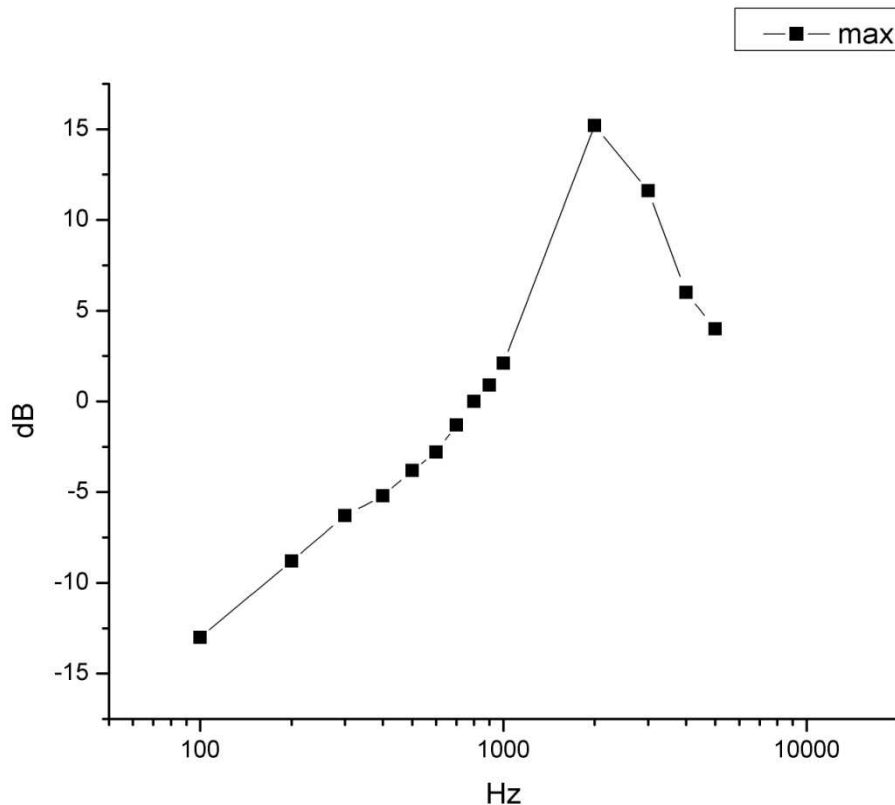
Ακολουθεί ο πίνακας με τις μετρήσεις του εργαστηριακού ελέγχου του κυκλώματος. Το σήμα εισόδου από τη γεννήτρια είναι στα 125mV r.p για συχνότητες από 100-5000 Hz.

Τα dB υπολογίστηκαν από την σχέση  $20 \log \left( \frac{V_{out}}{V_{in}} \right)$

F: (HZ)	Ακραία θέση: MAX (mV) Vout	dB
100	28	-13
200	45	-8,8
300	60	-6,3
400	68	-5,2
500	80	-3,8
600	90	-2,8
700	108	-1,3
800	125	0
900	140	0,9
1000	160	2,1
2000	720	15,2
3000	480	11,6
4000	250	6
5000	200	4

**Πίνακας 11:** Πίνακας εργαστηριακών μετρήσεων της maximum θέσης του πεντάλ.

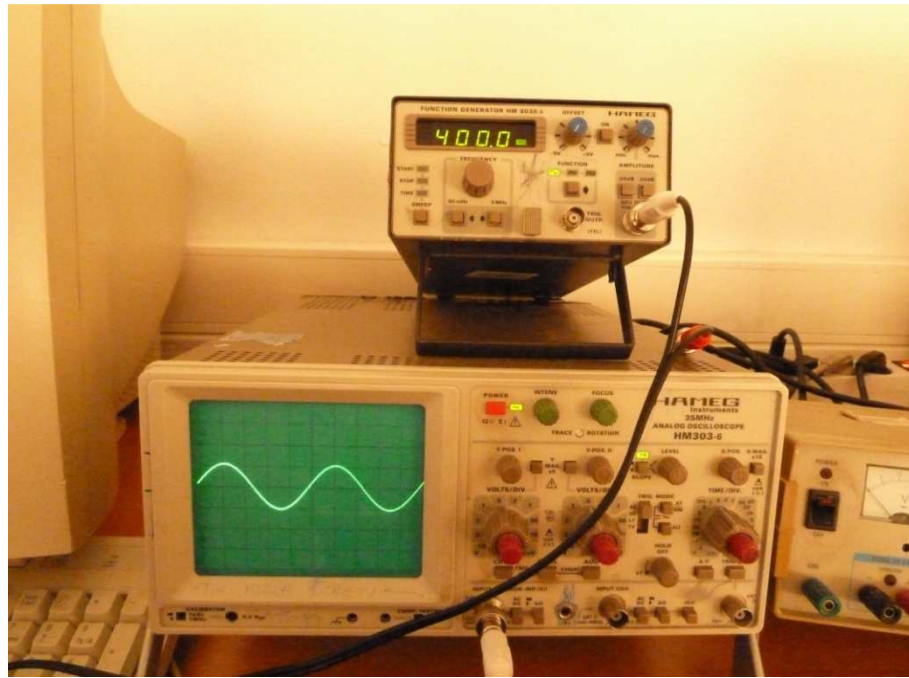
Το γράφημα που ακολουθεί προκύπτει από τον παραπάνω πίνακα των εργαστηριακών μετρήσεων. Όπου ο χάρζονας αντιστοιχεί στα Ηz και ο γαντιστοιχεί στα dB. Είναι εμφανές όπως και στις μετρήσεις που έγιναν στο λογισμικό LTspice, το κύκλωμα παρουσιάζει την ίδια συμπεριφορά σε συχνότητες τις τάξεως των 100 Hz 5000 Hz με είσοδο 125mVp.p.



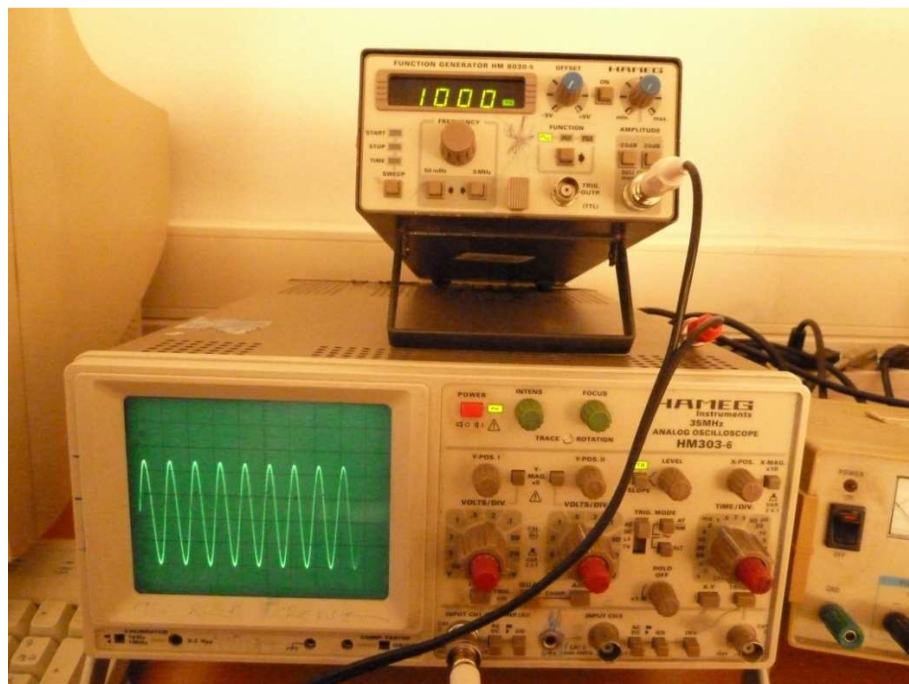
Διάγραμμα 5: Απεικόνιση των τιμών της maximum θέσης του πεντάλ.

### 6.3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΕΣΑΙΑΣ ΘΕΣΗΣ ΠΕΝΤΑΛ

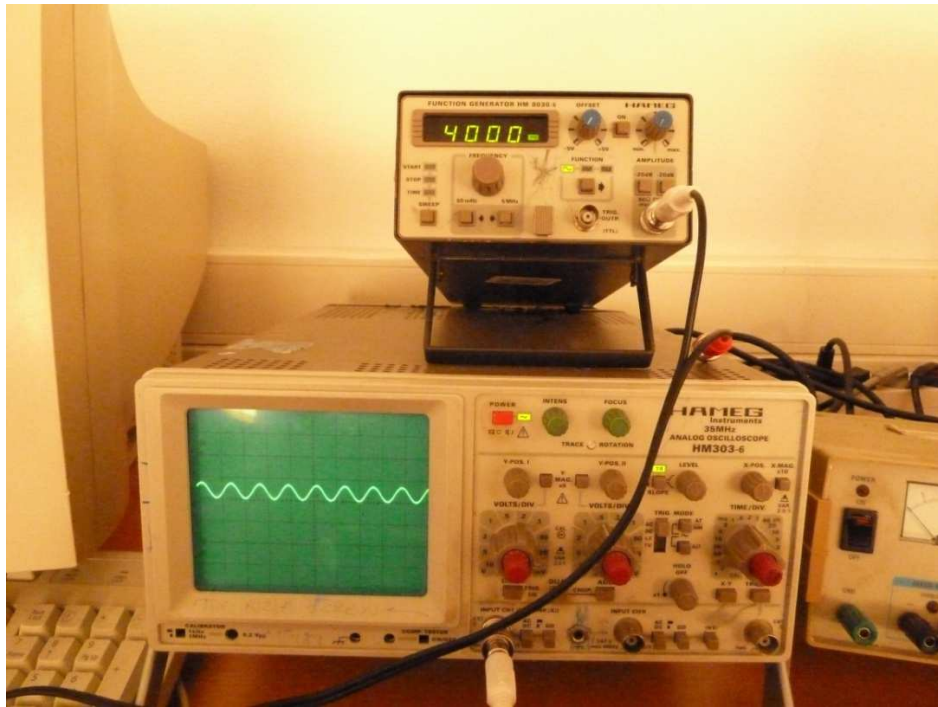
Όπως και στην maximum θέση του πεντάλ, ελέχθηκε και η μεσαία του θέση. Οι φωτογραφίες που ακολουθούν δείχνουν πάλι τις κυματομορφές της εξόδου σε τρεις διαφορετικές συχνότητες όπου δόθηκαν από την γεννήτρια του εργαστηρίου.



**Εικόνα 46:** Η κυματομορφή της μεσαίας θέσης του πεντάλ στα 400 Hz.



**Εικόνα 47:** Η κυματομορφή της μεσαίας θέσης του πεντάλ στα 1000 Hz.



**Εικόνα 48:** Η κυματομορφή της μεσαίας θέσης του πεντάλ στα 4000 Hz.

Ακολουθεί ο πίνακας με τις μετρήσεις. Το σήμα εισόδου από τη γεννήτρια είναι στα 125mV<sub>p-p</sub> για συχνότητες από 100-5000 Hz.

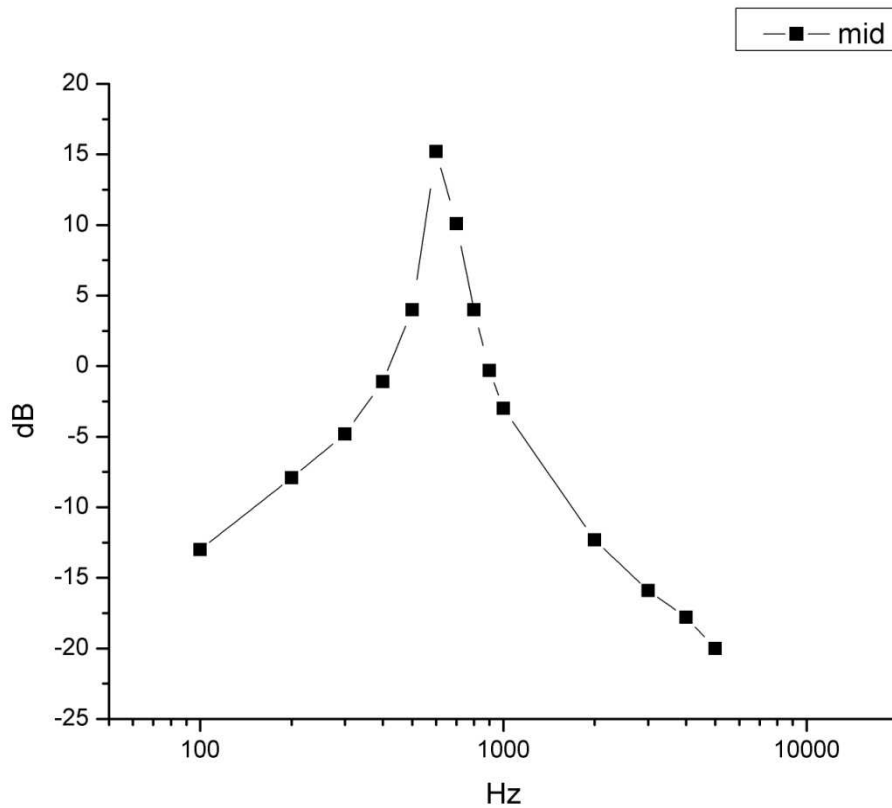
Τα dB υπολογίστηκαν από την σχέση  $20 \log \left( \frac{V_{out}}{V_{in}} \right)$

Ο Πίνακας 6.2 προκύπτει από τις εργαστηριακές μετρήσεις που έγιναν με σκοπό την μελέτη της συμπεριφοράς του κυκλώματος στη μεσαία του θέση.

F: (HZ)	Μεσαία θέση (mV) V <sub>out</sub>	dB
100	28	-13
200	50	-7,9
300	72	-4,8
400	110	-1,1
500	200	4
600	720	15,2
700	400	10,1
800	200	4
900	120	-0,3
1000	88	-3
2000	30	-12,3
3000	20	-15,9
4000	16	-17,8
5000	12	-20

**Πίνακας 12:** Πίνακας εργαστηριακών μετρήσεων της μεσαίας θέσης του πεντάλ.

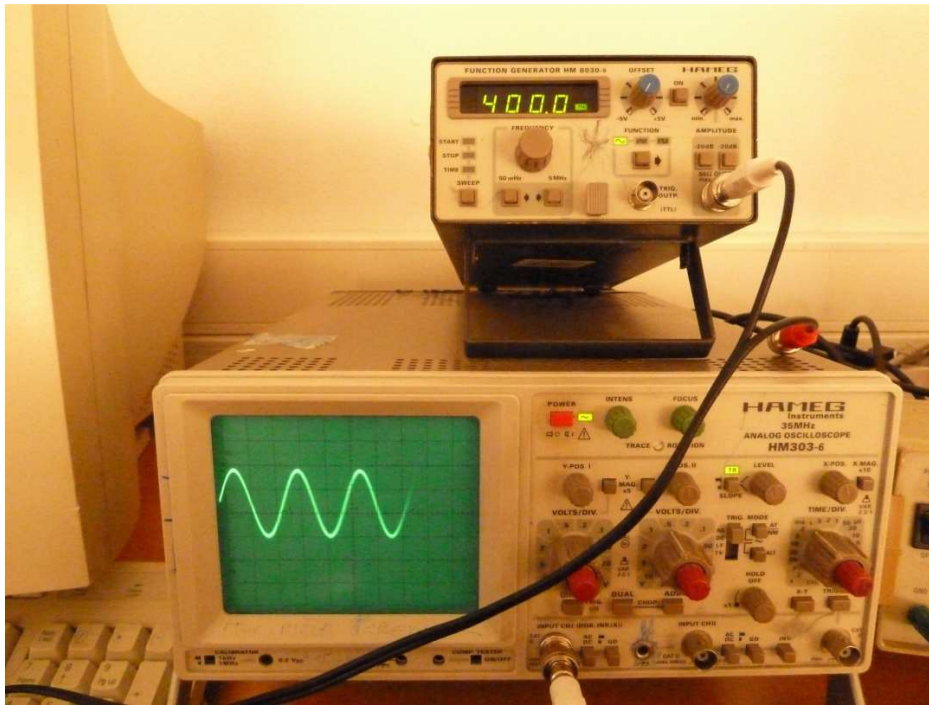
Στο σημείο αυτό παρουσιάζεται το γράφημα που αντιστοιχεί στον παραπάνω πίνακα, όπου και φαίνεται η συμπεριφορά του πεντάλ στην μεσαία θέση. Ο πειραματικός έλεγχος θεωρείται σωστός μιας και δεν διαφέρει από τους αντίστοιχους του λογισμικού LTspice. Και σε αυτό το γράφημα ο άξονας x αντιστοιχεί στα Hz της εισόδου του κυκλώματος και ο άξονας y στα dB.



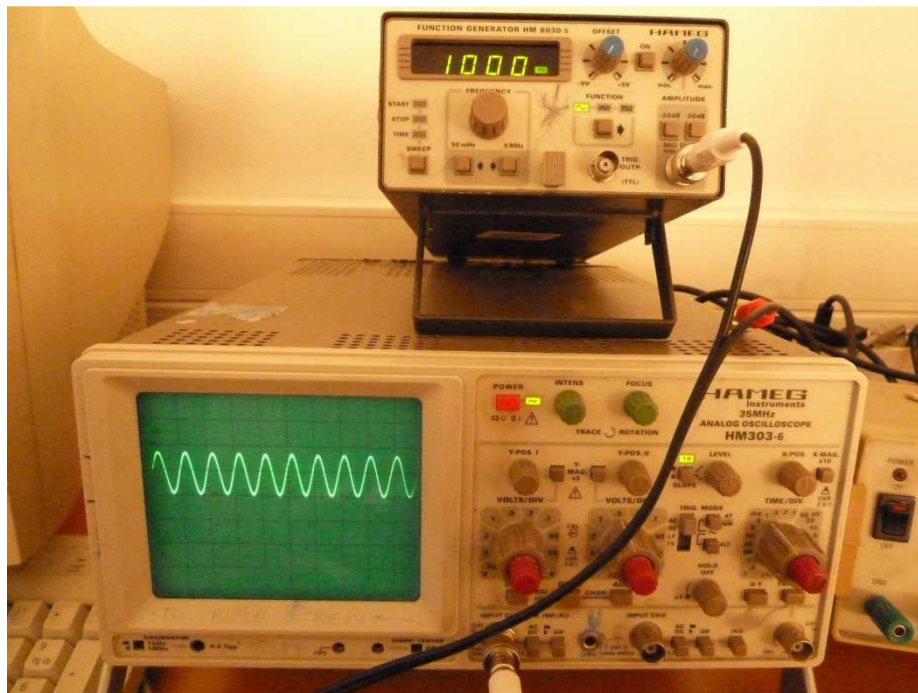
**Διάγραμμα 6:** Απεικόνιση της συμπεριφοράς του πεντάλ στην μεσαία θέση.

#### 6.4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ MINIMUM ΘΕΣΗΣ ΠΕΝΤΑΛ

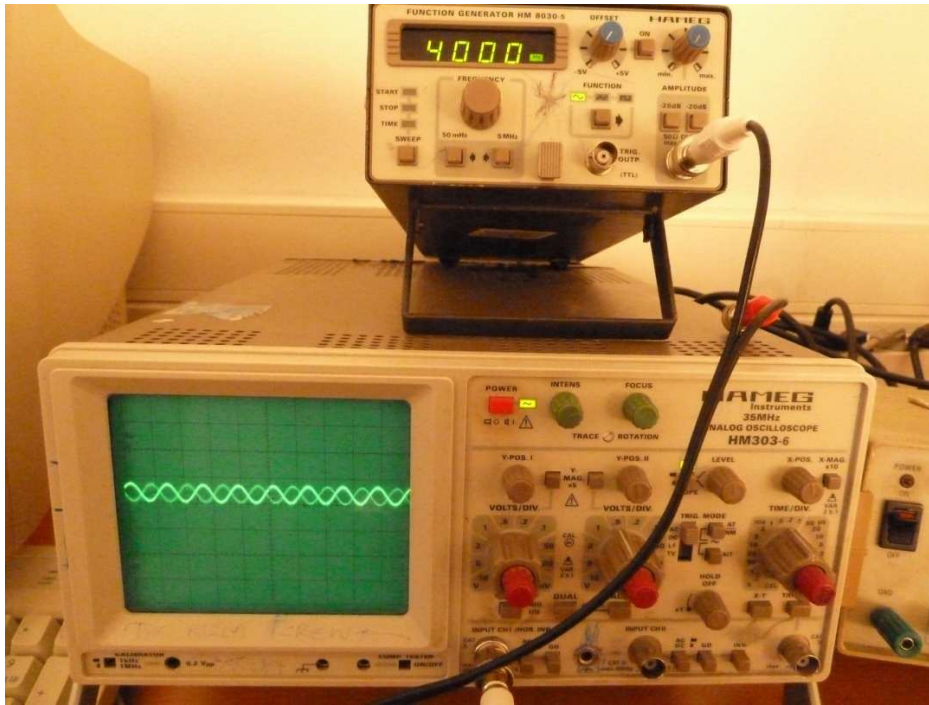
Η διαδικασία του πειραματικού ελέγχου της minimum θέσης του πεντάλ, έγινε όπως ακριβώς και στις προηγούμενες θέσεις του. Οι φωτογραφίες που παρουσιάζονται παρακάτω είναι για τις ίδιες συχνότητες, δηλαδή στα 400Hz, στα 1000Hz και στα 4000Hz.



**Εικόνα 49:** Η κυματομορφή της minimum θέσης του πεντάλ στα 400 Hz.



**Εικόνα 50:** Η κυματομορφή της minimum θέσης του πεντάλ στα 1000 Hz.



Εικόνα 51: Η κυματομορφή της minimum θέσης του πεντάλ στα 4000 Hz.

Ακολουθεί ο πίνακας με τις μετρήσεις. Το σήμα εισόδου από τη γεννήτρια είναι στα 125mV<sub>r.p.p</sub> για συχνότητες από 100-5000 Hz.

Τα dB υπολογίστηκαν από την σχέση  $20 \log \left( \frac{V_{out}}{V_{in}} \right)$

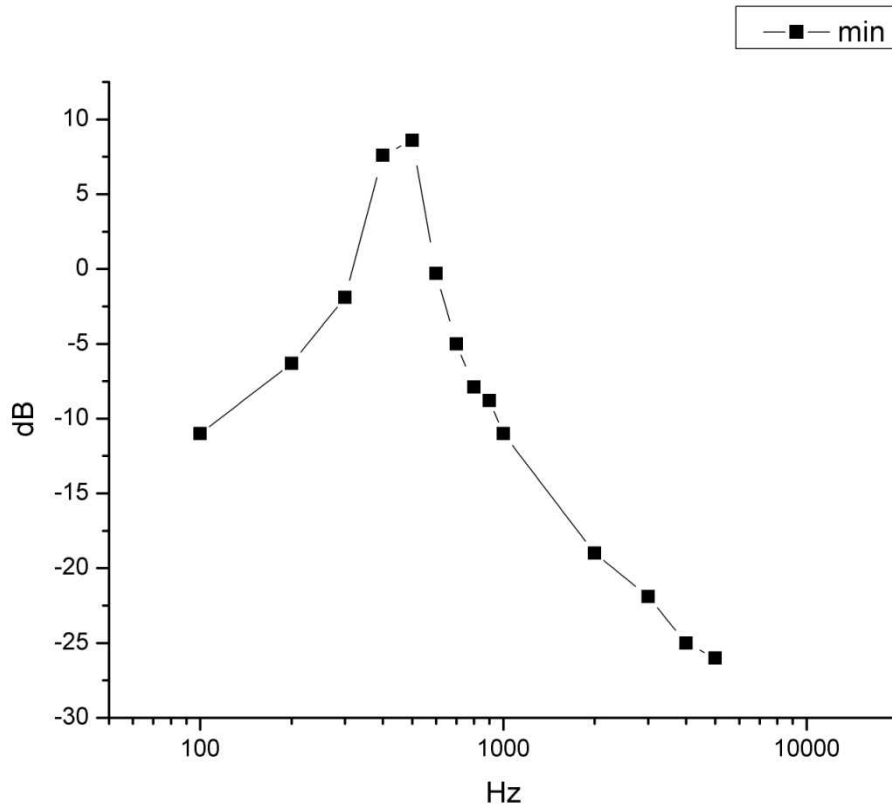
F: (HZ)	Ακραία θέση: MIN (mV) V <sub>out</sub>	dB
100	35	-11
200	60	-6,3
300	100	-1,9
400	300	7,6
500	340	8,6
600	120	-0,3
700	70	-5
800	50	-7,9
900	45	-8,8
1000	36	-11
2000	14	-19
3000	10	-21,9
4000	7	-25
5000	6	-26

Πίνακας 13: Πίνακας εργαστηριακών μετρήσεων της minimum θέσης του πεντάλ.

Όπως και στη μελέτη της συμπεριφοράς των προηγούμενων θέσεων του πεντάλ, έτσι και εδώ παρουσιάζεται το γράφημα που προκύπτει από τον παραπάνω πίνακα των

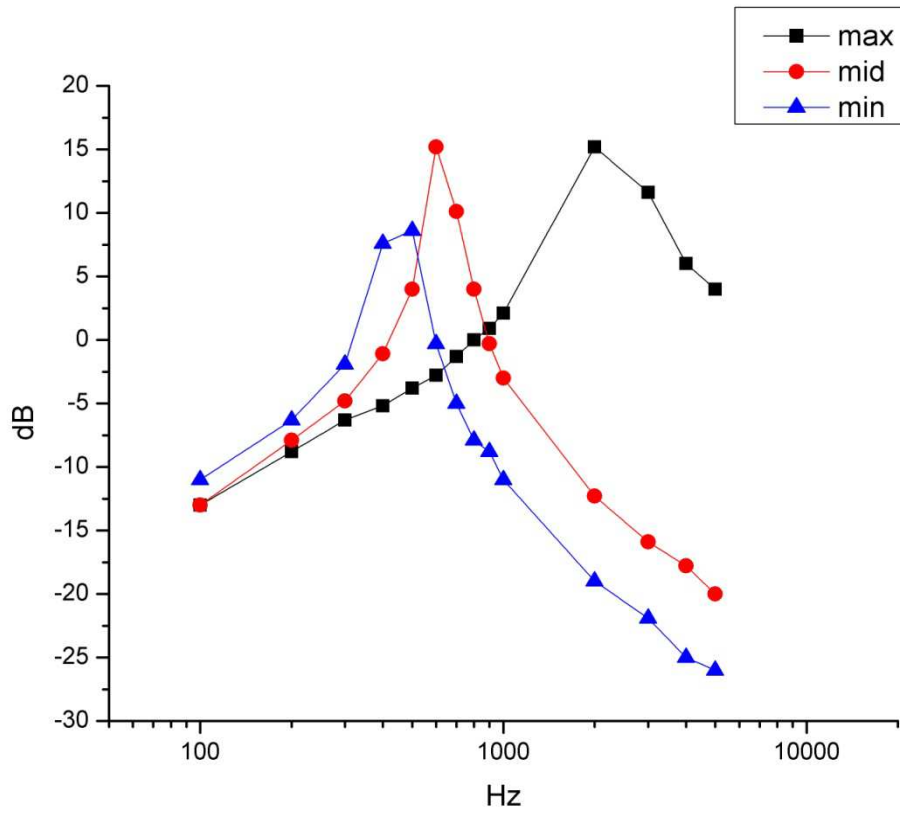


εργαστηριακών μετρήσεων. Κι εδώ ισχύει ότι ο άξονας x αντιστοιχεί στα Hz της εισόδου του κυκλώματος και ο άξονας y στα dB.



**Διάγραμμα 7::** Απεικόνιση των εργαστηριακών τιμών μετρήσεων της minimum θέσης του πεντάλ.

Στη συνέχεια, παραθέεται το γράφημα και των τριών συμπεριφορών του πεντάλ που ελέχθησαν στο εργαστήριο: Στη maximum θέση, στη μεσαία του θέση, στη minimum θέση. Με αυτόν τον τρόπο θα είναι πιο κατανοητή η συμπεριφορά της κάθε θέσης.



**Διάγραμμα 8:** Απεικόνιση των εργαστηριακών τιμών μετρήσεων των τριών συμπεριφορών του πεντάλ.

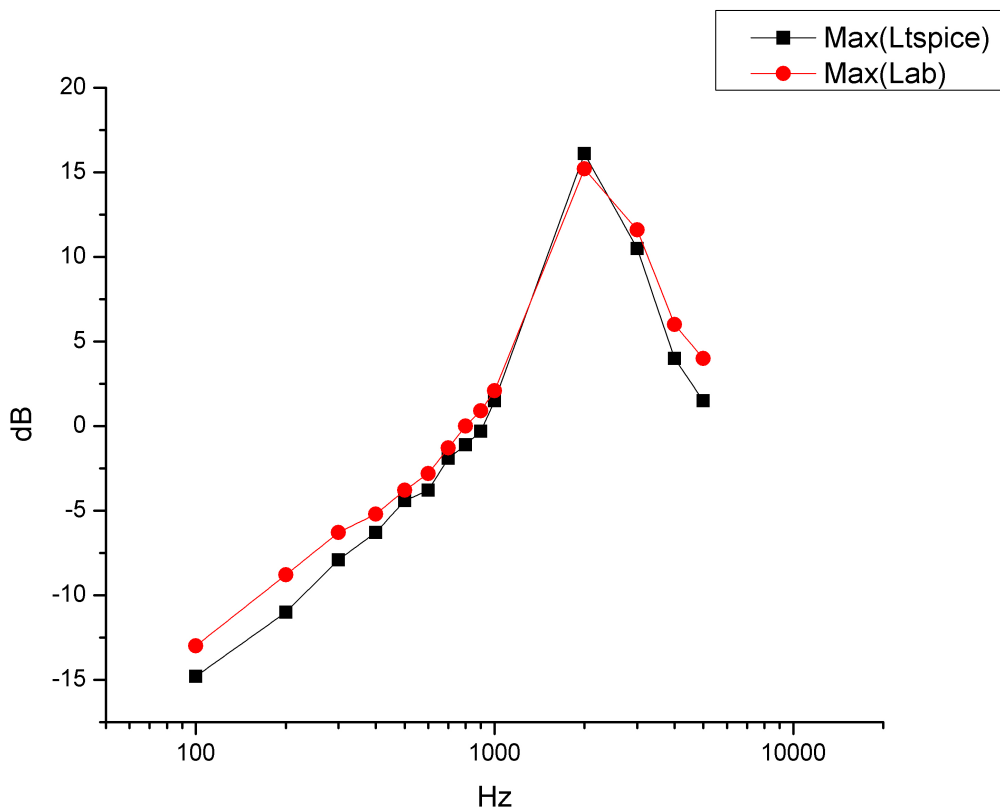
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup>

### «ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ»

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει η σύγκριση των τιμών από τις μετρήσεις της εξομοίωσης του κυκλώματος στο λογισμικό LTspice και των πειραματικών μας από το εργαστήριο του τμήματος. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων θα μας βοηθήσει να δούμε κατά πόσο τα αποτελέσματα μας μοιάζουν μεταξύ τους και με τον τρόπο αυτό να αποφασίσουμε για την σωστή λειτουργία του κυκλώματος ή όχι. Τέλος, η σύγκριση των αποτελεσμάτων αυτών, θα βοηθήσει στα συμπεράσματα μας.

Η σύγκριση θα γίνει για την κάθε θέση του πεντάλ ξεχωριστά με την βοήθεια ενός γραφήματος όπου θα παρουσιάζει τις τιμές της εξομοίωσης του λογισμικού και τις πειραματικές τιμές σε διαφορετικού χρώματος γραμμή.

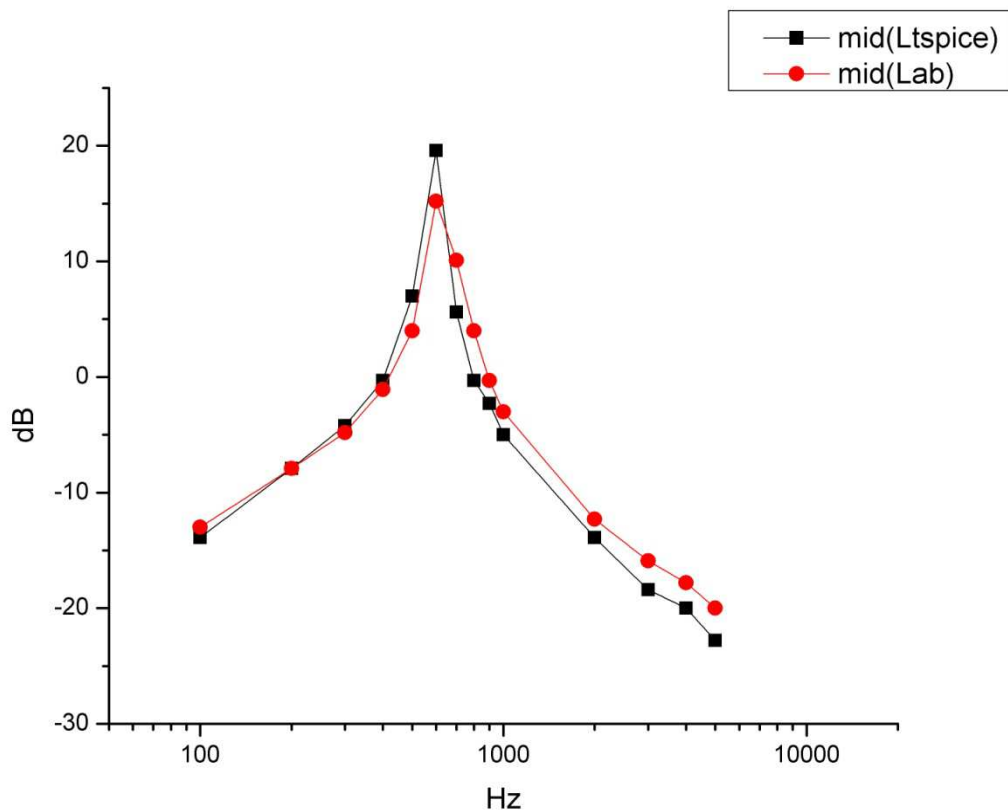
Ας ξεκινήσουμε με το γράφημα της που προκύπτει στην maximum θέση του πεντάλ:



**Διάγραμμα 9:** Απεικόνιση των τιμών της maximum θέσης του πεντάλ για δύο περιπτώσεις.

Όπως βλέπουμε, οι τιμές του λογισμικού LTspice, συμβολίζονται με τομάρο χρώμα και οι πειραματικές με το κόκκινο. Παρατηρούμε ότι οι τιμές παρουσιάζουν μικρές αποκλίσεις μεταξύ τους στα όρια του πειραματικού σφάλματος που οφείλεται σε μικρές απώλειες που παρουσιάζουν στην πραγματικότητα τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα της πλακέτας (πυκνωτές, τρανζίστορ κλπ). Επίσης μπορούμε να θεωρήσουμε επειδή στο λογισμικό εξομοίωσης τοποθετήθηκαν παρόμοια τρανζίστορ που προτείνονται για αντικατάσταση το γεγονός αυτό παίζει σημαντικό ρόλο στη διαφοροποίηση των τιμών. Παρόλ' αυτά, το κύκλωμα παρουσιάζει την ίδια ακριβώς συμπεριφορά στην maximum κατάσταση του πεντάλ, όπου αυτό μας βοηθά να βγάλουμε το συμπέρασμα ότι λειτουργεί σωστά.

Ας προχωρήσουμε στην εξέταση των τιμών που αφορούν την μεσαία θέση του πεντάλ.

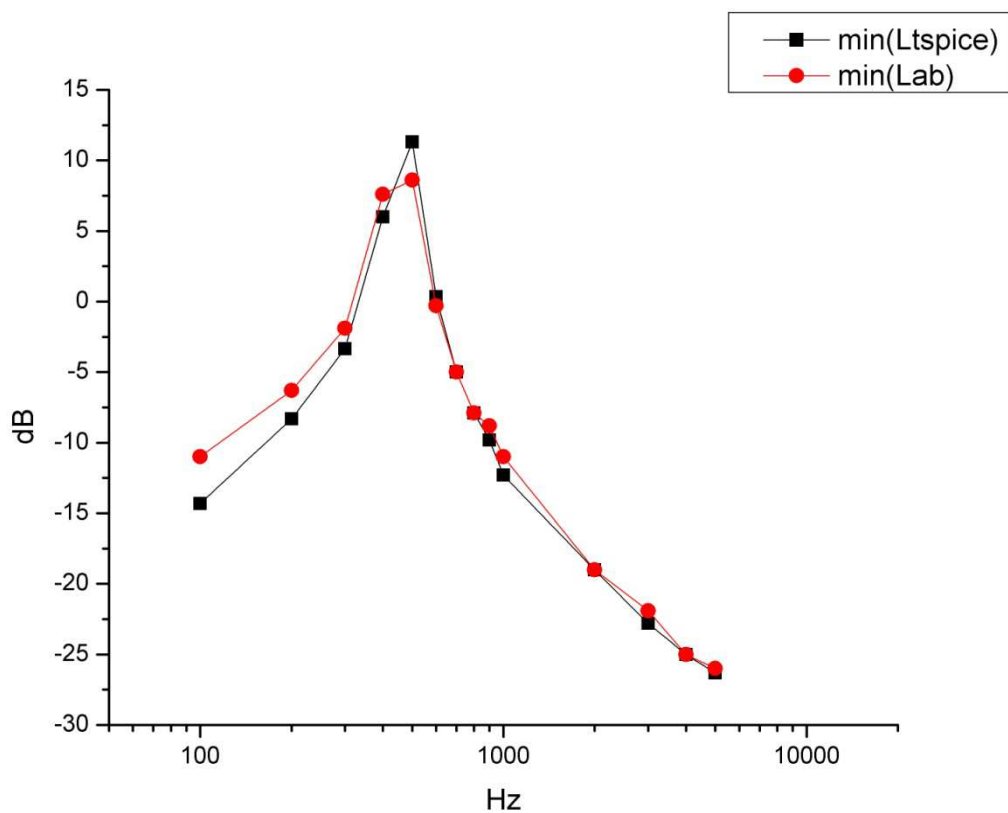


**Διάγραμμα 10:** Απεικόνιση των τιμών της μεσαίας θέσης του πεντάλ για δύο περιπτώσεις.

Όπως και στην maximum θέση, έτσι και στην μεσαία οι τιμές παρουσιάζονται με τα ίδια ακριβώς χρώματα. Και σε αυτήν την θέση λοιπόν, οι τιμές της εξομοίωσης του κυκλώματος στο λογισμικό, τείνουν να είναι σχεδόν ίδιες με τις πειραματικές τιμές, όπου

η πολύ μικρή απόκλιση λογικά και πάλι οφείλεται στις απώλειες που παρουσιάζουν τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα της πλακέτας. Ως εκ τούτου, συμπέρασμα και πάλι είναι ότι το κύκλωμα λειτουργεί σωστά στην μεσαία θέση του πεντάλ.

Ο τελευταίος έλεγχος που γίνεται είναι στην minimum θέση του πεντάλ.



**Διάγραμμα 11:** Απεικόνιση των τιμών της minimum θέσης του πεντάλ για δύο περιπτώσεις.

Σε αυτήν την θέση θα μπορούσαμε να πούμε ότι οι τιμές είναι σχεδόν ίδιες ειδικά στα 700 και 800 Hz, στα 2000 Hz και 4000 Hz. Ως εκ τούτου, συμπέρασμα και πάλι είναι ότι το κύκλωμα λειτουργεί σωστά στην minimum θέση του πεντάλ αφού όπως παρατηρούμε ότι τιμές έχουν την ανάλογη αυξομείωση και μικρές αποκλίσεις.

## Τελικά συμπεράσματα και παρατηρήσεις

Γενικά, αναφορικά με την εμπειρία από την μελέτη και κατασκευή της μονάδας εφέ αυτής της εργασίας αλλά και την χρήση της, συμπεραίνουμε ότι οι μονάδες εφέ τύπου pedal(πετάλι εφέ), είναι μια υπόθεση που απασχολεί εξίσου τόσο τους κατασκευαστές αυτών, όσο και τους μουσικούς για τους οποίους προορίζεται. Από την πλευρά των σχεδιαστών καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι η προσπάθεια τους κινείται στα πλαίσια του να αποδώσουν με διάφορες τεχνικές το επιθυμητό αποτέλεσμα σε δυο κυρίως άξονες:

- α) στην αισθητική του ήχου και
- β) στον εύκολο χειρισμό της μονάδας.

Η επιτυχία του αποτελέσματος κρίνεται σε μεγάλο βαθμό από την ισορροπία αυτών των δύο παραγόντων. Πολλές φορές οι σχεδιαστές θέλοντας να καλύψουν μεγάλη γκάμα ηχοχρωμάτων, ώστε να απευθύνονται σε όλο και περισσότερους μουσικούς, καταλήγουν σε πολύπλοκα κυκλώματα με πολλά ρυθμιστικά καθιστώντας έτσι το προϊόν απρόσιτο (από πλευράς δυσκολίας χειρισμού) στο μουσικό. Άλλες πάλι φορές καταλήγουν σε κατασκευές με τόσο συγκεκριμένο χαρακτήρα στον ήχο, ώστε να καθίσταται πολύ εξειδικευμένο για κάποιο συγκεκριμένο είδος μουσικής.

Κατά την κατασκευή της παρούσας πτυχιακής ανακαλύψαμε κάποιες τέτοιες τεχνικές κυρίως όσον αφορά τις ενισχυτικές βαθμίδες και τα κυκλώματα συντονισμού συχνοτήτων αφού η λειτουργία μιας μονάδας εφέ τύπου WAH βασίζεται στην επιλεκτική ενίσχυση διαφόρων συχνοτήτων ώστε να αποδοθεί το επιθυμητό «εφέ» στο ηχώχρωμα του ήχου της κιθάρας.

Επιπλέον, από τη σύγκριση των μετρήσεων στη εξομοίωση και στο πειραματικό μέρος, είδαμε πόσο αξιόπιστα είναι τα προγράμματα εξομοίωσης και ειδικά το πρόγραμμα LTSPICE που χρησιμοποιήσαμε. Διαπιστώσαμε ότι η σχεδίαση και προσομοίωση κυκλωμάτων σ' αυτό, μας βοηθά να αποκτήσουμε μια αρκετά πιστή εικόνα σε σχέση με το πραγματικό κύκλωμα, αποκλείοντας όμως επιβαρυντικούς παράγοντες που πολλές φορές εμφανίζονται σε πραγματικές συνθήκες, όπως για παράδειγμα το θόρυβο, που μπορεί να προέρχεται από κακές κολλήσεις, ελαττωματικές συνδέσεις και γενικά κακή κατασκευή καθώς και άλλες εξωγενείς επιδράσεις.

Τέλος, έχοντας αποκτήσει μια στοιχειώδη εμπειρία και γνώση από αυτή την εργασία, και δεδομένου ότι οι μονάδες εφέ χρησιμοποιούνται ευρύτατα στις μέρες μας στα περισσότερα είδη σύγχρονης μουσικής, θέλω να επισημάνω το πόσο ουσιώδες είναι για

ένα φοιτητή Μουσικής Τεχνολογίας και αργότερα επαγγελματία του χώρου η εμβάθυνση στον τομέα αυτό, καθώς γνωρίζοντας τους μηχανισμούς από τους οποίους αποτελείται μια τέτοια μονάδα,σε συνδυασμό με γνώσεις ηχοληψίας μπορούν να αποτρέψουν σημαντικά προβλήματα.

## 8 Βιβλιογραφία – Πηγές

- [1] Malvino A., «*Ηλεκτρονική*», 2006, εκδόσεις Τζίολα, Θεσσαλονίκη
- [2] Sedra A., Smith K., «*Μικροηλεκτρονικά Κυκλώματα, Α' τόμος*», 1994, εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα
- [3] Millman J., Grabel A., «*Μικροηλεκτρονική, Τόμος Β'*», 1991, εκδόσεις Τζίολα, Θεσσαλονίκη
- [4] Τούλογλου Σ. «*Ηλεκτρικές Μετρήσεις σε κυκλώματα συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος*», 2004, εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα.
- [5] Ιστοσελίδα της online παγκόσμιας εγκυκλοπαίδειας:  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Clyde\\_McCoy](http://en.wikipedia.org/wiki/Clyde_McCoy) τελευταία επίσκεψη 06/02/2013
- [6] Ιστοσελίδα:  
[http://www.sgvmusic.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=116:history-of-the-wah-wah&catid=70:september-2011&Itemid=99](http://www.sgvmusic.com/index.php?option=com_content&view=article&id=116:history-of-the-wah-wah&catid=70:september-2011&Itemid=99) τελευταία επίσκεψη 06/02/2013
- [7] «*Ηλεκτρονικό σχέδιο II*», Ευρωπαϊκές Τεχνολογικές Εκδόσεις, 1997.
- [8] ] Ιστοσελίδα: <http://fuzzcentral.ssguitar.com/mccoy.php> τελευταία επίσκεψη 06/02/2013
- [09] ] Ιστοσελίδα: [http://www.geofex.com/article\\_folders/wahpedl/wahped.htm](http://www.geofex.com/article_folders/wahpedl/wahped.htm) τελευταία επίσκεψη 06/02/2013
- [10] ] Ιστοσελίδα: <http://www.gmarts.org/index.php?go=221#Wah> τελευταία επίσκεψη 06/02/2013
- [11] Ιστοσελίδα: <http://www.muzique.com/lab/buffers.htm> τελευταία επίσκεψη 11/02/2013



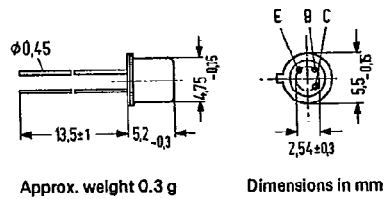
## 9 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ-ΔΑΤΑΣΗΕΤΣ

25C D ■ 8235605 0004089 T ■ SIEG T-29-17  
**NPN Silicon Transistors SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT** BC 107  
 BC 108  
 BC 109

BC 107, BC 108, and BC 109 are epitaxial NPN silicon planar transistors in TO 18 metal case (18 A 3 DIN 41 876). The collector is electrically connected to the case.

The transistors are particularly suitable for use in AF input and driver stages.

Type	Ordering code
BC 107 <sup>1)</sup>	Q62702-C680
BC 107 A	Q60203-X107-A
BC 107 B	Q60203-X107-B
BC 108 <sup>1)</sup>	Q60203-X108
BC 108 A	Q60203-X108-A
BC 108 B	Q60203-X108-B
BC 108 C	Q60203-X108-C
BC 109 <sup>1)</sup>	Q60203-X109
BC 109 B	Q60203-X109-B
BC 109 C	Q60203-X109-C



Maximum ratings		BC 107	BC 108	BC 109	
Collector-emitter voltage	$V_{CES}$	50	30	30	V
Collector-emitter voltage	$V_{CEO}$	45	20	20	V
Emitter-base voltage	$V_{EBO}$	6	5	5	V
Collector current	$I_C$	100	100	50	mA
Collector peak current	$I_{CM}$	200	200	—	mA
Base current	$I_B$	50	50	5	mA
Junction temperature	$T_j$	175	175	175	°C
Storage temperature range	$T_{stg}$		-55 to +175		°C
Total power dissipation	$P_{tot}$	300	300	300	mW
<b>Thermal resistance</b>					
Junction to ambient air	$R_{thJA}$	≤ 500	≤ 500	≤ 500	K/W
Junction to case	$R_{thJC}$	≤ 200	≤ 200	≤ 200	K/W

1) If the order does not include any exact indication of the current amplification group desired, a transistor of a current amplification group just available from stock will be delivered.

1565 G-06

135

Static characteristics ( $T_{amb} = 25^\circ\text{C}$ ). The transistors are grouped according to the DC current gain  $h_{FE}$  and marked by A, B, C. At  $V_{CE} = 5\text{ V}$  and the collector currents indicated below the following static characteristics apply:

$h_{FE}$ group	A	B	C
Type	BC 107 BC 108 -	BC 107 BC 108 BC 109	- BC 108 BC 109
$I_C$ mA	$h_{FE}$ $I_C/I_B$	$h_{FE}$ $I_C/I_B$	$h_{FE}$ $I_C/I_B$
0.01	90	150	270
2	170 (120 to 220)	290 (180 to 460)	500 (380 to 800)
100 <sup>2)</sup>	120	200 <sup>2)</sup>	400 <sup>2)</sup>

	BC 107	BC 108	BC 109		
$I_C$ mA	$V_{BE}$ V	$I_C$ mA	$I_B$ mA	$V_{CEsat}^{1)}$ V	$V_{BEsat}^{1)}$ V
0.1	0.55	10	0.5	0.07 (<0.2)	0.73 (<0.83)
2	0.62 (0.55 to 0.7)				
100 <sup>2)</sup>	0.83 <sup>2)</sup>	100 <sup>2)</sup>	5	0.2 (<0.6) <sup>2)</sup>	0.87 (<1.05) <sup>2)</sup>

Static characteristics ( $T_{amb} = 25^\circ\text{C}$ )	BC 107	BC 108	BC 109	
Collector cutoff current ( $V_{CES} = 50\text{ V}$ )	$I_{CES}$ 0.2 (<15)	-	-	nA
Collector cutoff current ( $V_{CES} = 30\text{ V}$ )	$I_{CES}$ -	0.2 (<15)	0.2 (<15)	nA
Collector cutoff current ( $V_{CES} = 50\text{ V}; T_{amb} = 125^\circ\text{C}$ )	$I_{CES}$ 0.2 (<4)	-	-	$\mu\text{A}$
Collector cutoff current ( $V_{CES} = 30\text{ V}; T_{amb} = 125^\circ\text{C}$ )	$I_{CES}$ -	0.2 (<4)	0.2 (<4)	$\mu\text{A}$
Emitter-base breakdown voltage ( $I_{EBO} = 1\ \mu\text{A}$ )	$V_{(BR)EBO}$ >6	>5	>5	V
Collector-emitter break- down voltage ( $I_{CEO} = 2\text{ mA}$ )	$V_{(BR)CEO}$ >45	>20	>20	V

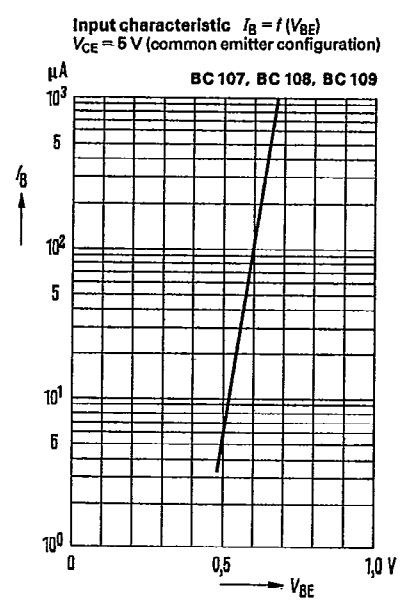
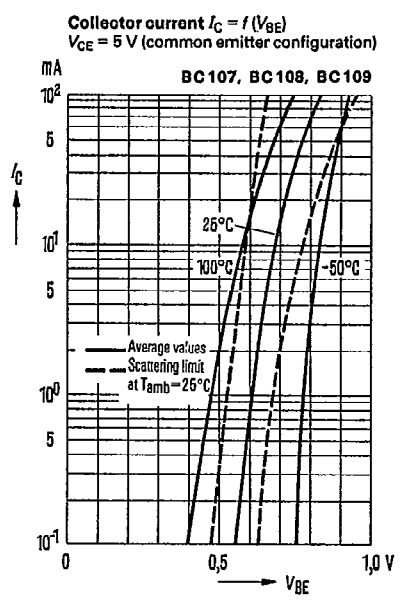
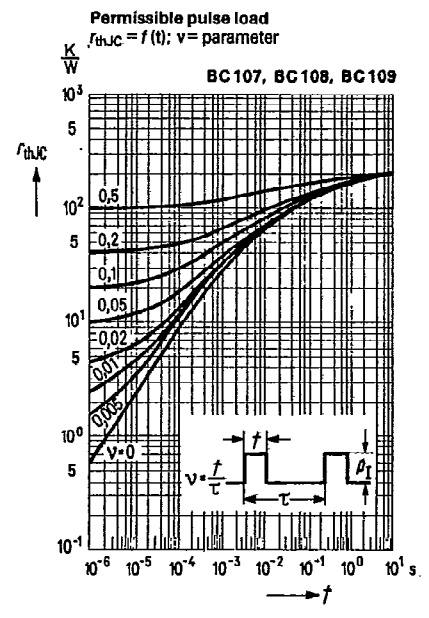
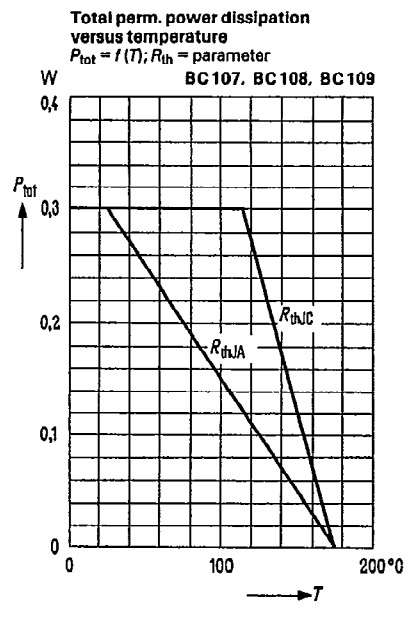
1) The transistor is overloaded to such an extent that the DC current gain decreases to  $h_{FE} = 20$   
2) These values do not apply to BC 109.

Dynamic characteristics ( $T_{amb} = 25^{\circ}\text{C}$ )		BC 107	BC 108	BC 109	
Transition frequency ( $I_C = 0.5 \text{ mA}$ ; $V_{CE} = 3 \text{ V}$ )	$f_T$	85	85	85	MHz
Transition frequency ( $I_C = 10 \text{ mA}$ ; $V_{CE} = 5 \text{ V}$ ; $f = 100 \text{ MHz}$ )	$f_T$	250 (>150)	250 (>150)	300 (<150)	MHz
Collector-base capacitance ( $V_{CBO} = 10 \text{ V}$ ; $f = 1 \text{ MHz}$ )	$C_{CBO}$	3.5 (<6)	3.5 (<6)	3.5 (<6)	pF
Emitter-base capacitance ( $V_{EBO} = 0.5 \text{ V}$ ; $f = 1 \text{ MHz}$ )	$C_{EBO}$	8	8	8	pF
Noise figure ( $I_C = 0.2 \text{ mA}$ ; $V_{CE} = 5 \text{ V}$ ; $R_g = 2 \text{ k}\Omega$ ; $\Delta f = 30 \text{ Hz to } 15 \text{ kHz}$ )	NF	-	-	<4	dB
Noise figure ( $I_C = 0.2 \text{ mA}$ ; $V_{CE} = 5 \text{ V}$ ; $R_g = 2 \text{ k}\Omega$ ; $f = 1 \text{ kHz}$ ; $\Delta f = 200 \text{ Hz}$ )	NF	2 (<10)	2 (<10)	<4	dB

Dynamic characteristics ( $T_{amb} = 25^{\circ}\text{C}$ )

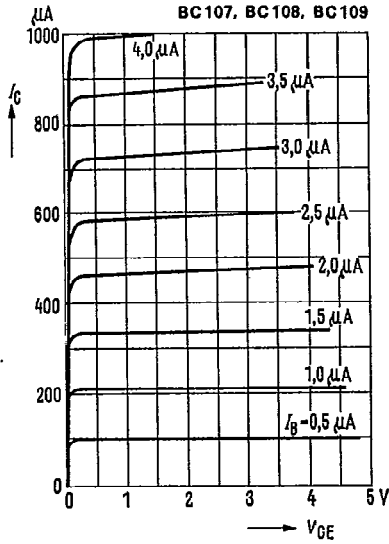
$I_C = 2 \text{ mA}$ ;  $V_{CE} = 5 \text{ V}$ ;  $f = 1 \text{ kHz}$

$h_{FE}$ group	A	B	C	
Type	BC 107 BC 108 -	BC 107 BC 108 BC 109	- BC 108 BC 109	
$h_{11e}$	2.7 (1.6 to 4.5)	4.5 (3.2 to 8.5)	8.7 (6 to 16)	k $\Omega$
$h_{12e}$	1.5	2	3	$10^{-4}$
$h_{21e}$	220	330	600	-
$h_{22e}$	18 (<30)	30 (<60)	60 (<110)	$\mu\text{S}$

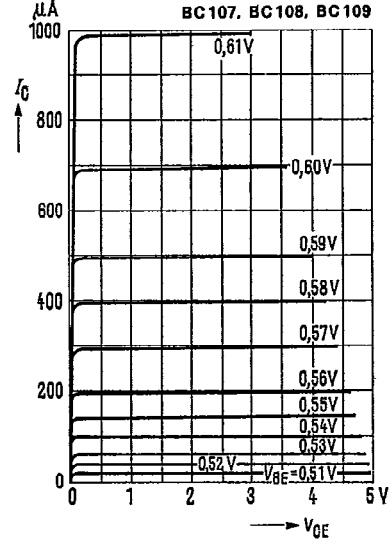


138  
 1568 G-09

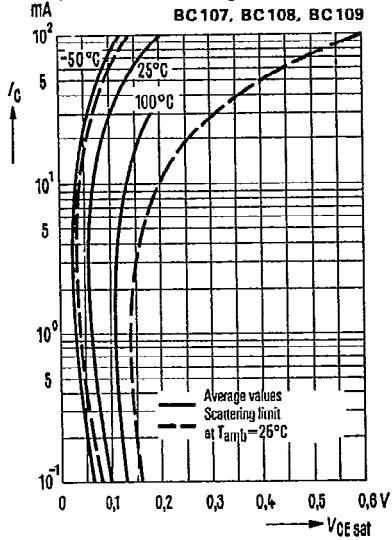
**Output characteristics**  
 $I_C = f(V_{CE})$ ;  $I_B = \text{parameter}$   
 (common emitter configuration)



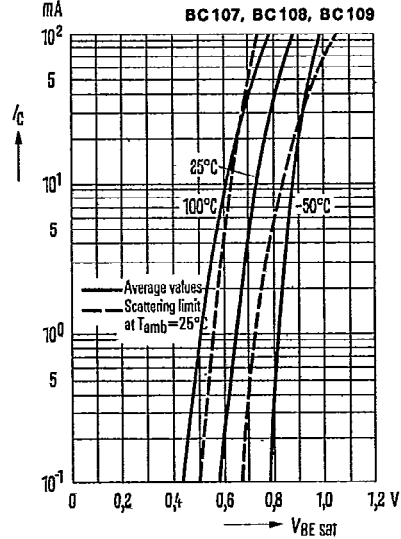
**Output characteristics**  
 $I_C = f(V_{CE})$ ;  $V_{BE} = \text{parameter}$   
 (common emitter configuration)



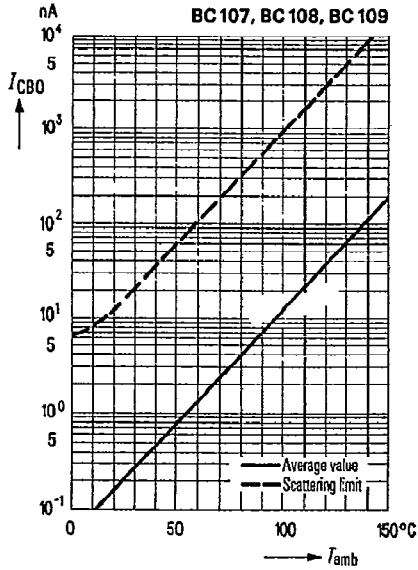
**Collector-emitter saturation voltage**  
 $V_{CEsat} = f(I_C)$ ;  $h_{FE} = 20$ ;  $T_{amb} = \text{parameter}$   
 (common emitter configuration)



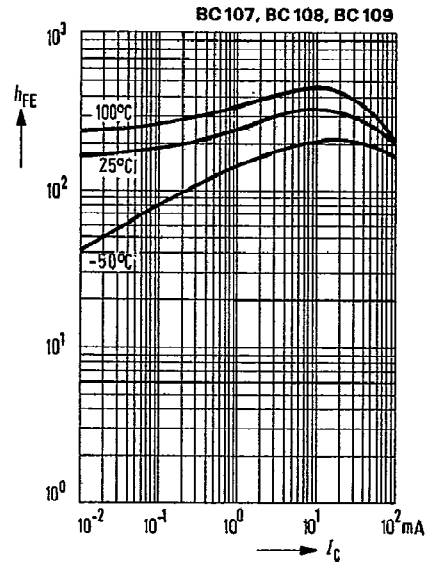
**Base-emitter saturation voltage**  
 $V_{BEsat} = f(I_C)$ ;  $h_{FE} = 20$ ;  $T_{amb} = \text{parameter}$   
 (common emitter configuration)



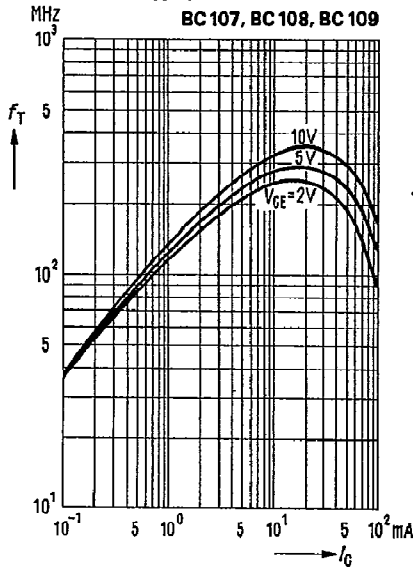
Collector cutoff current versus temperature  $I_{CBO} = f(T_{amb})$  for maximum permissible breakdown voltage



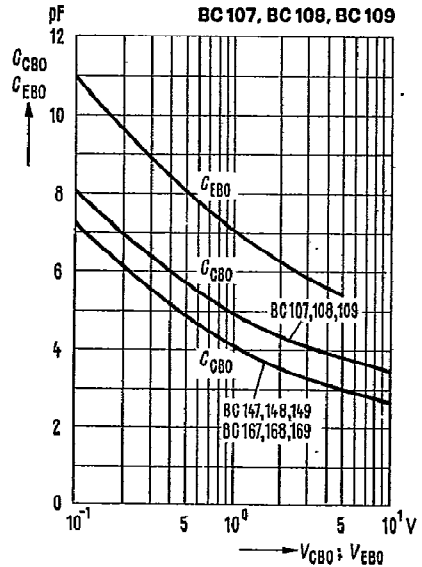
DC current gain  $h_{FE} = f(I_C)$ ;  $V_{CE} = 6V$ ;  $T_{amb} = \text{parameter}$  (common emitter configuration)



Transition frequency  $f_T = f(I_C)$ ;  $V_{CE} = \text{parameter}$



Collector-base capacitance  $C_{CBO} = f(V_{CBO})$   
Emitter-base capacitance  $C_{EBO} = f(V_{EBO})$



140

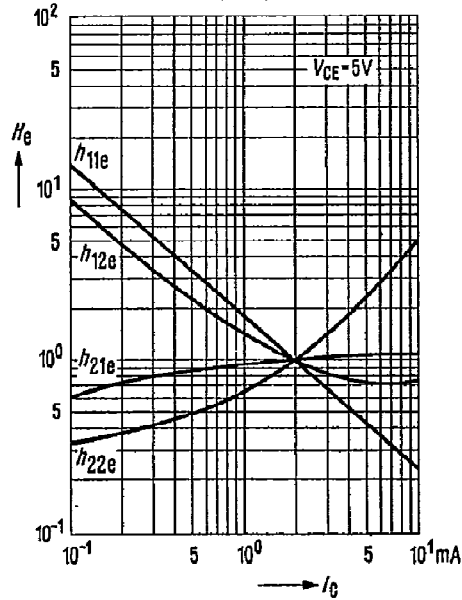
1570

G-11

**h-parameter versus collector current**

$$H_o = \frac{h_o(I_c)}{h_o(I_c=2\text{mA})} = f(I_c); V_{CE}=5\text{V}$$

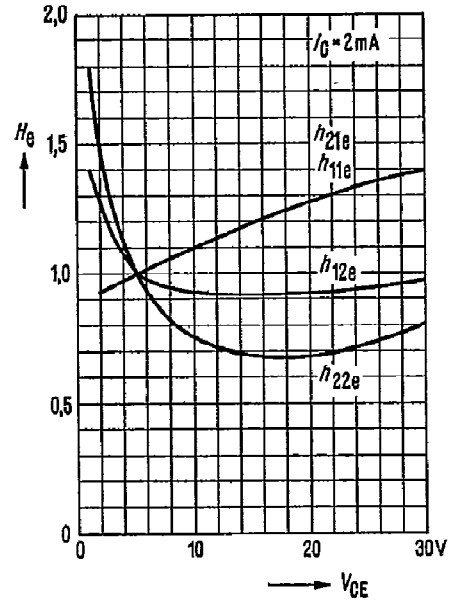
BC 107, BC 108, BC 109



**h-parameter versus collector-emitter voltage**

$$H_o = \frac{h_o(V_{CE})}{h_o(V_{CE}=5\text{V})} = f(V_{CE}); I_c=2\text{mA}$$

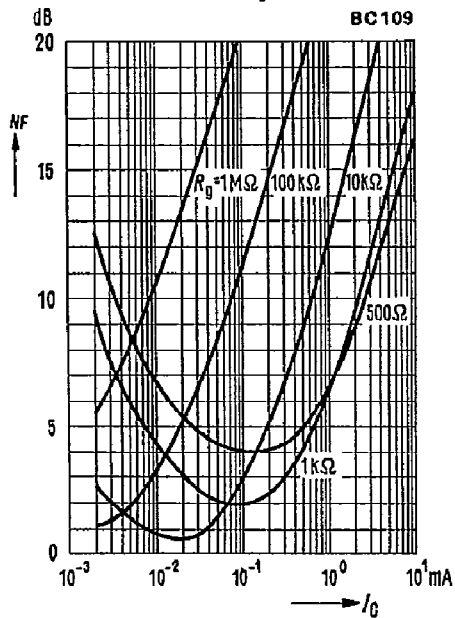
BC 107, BC 108, BC 109



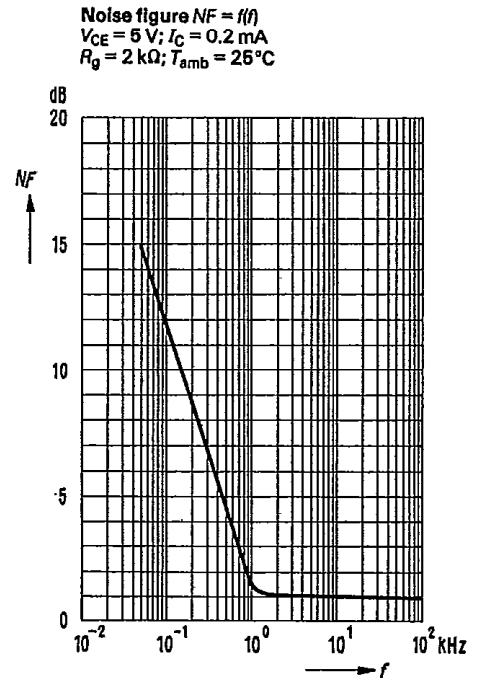
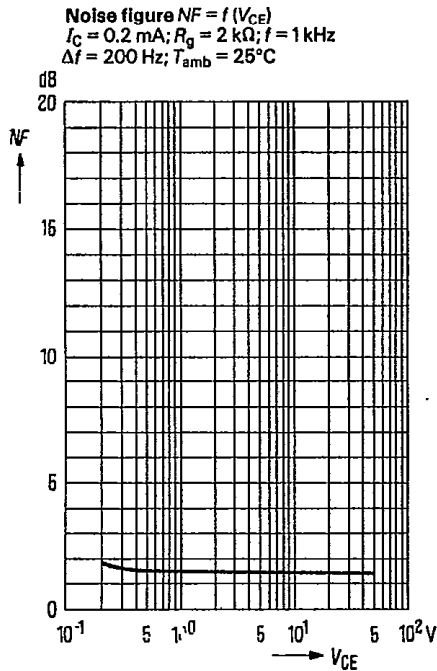
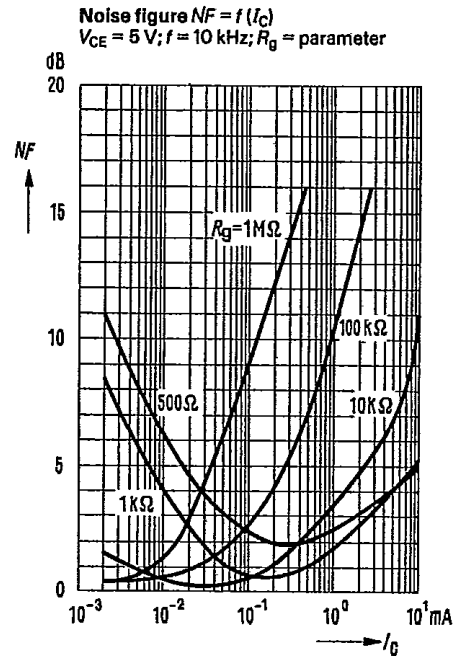
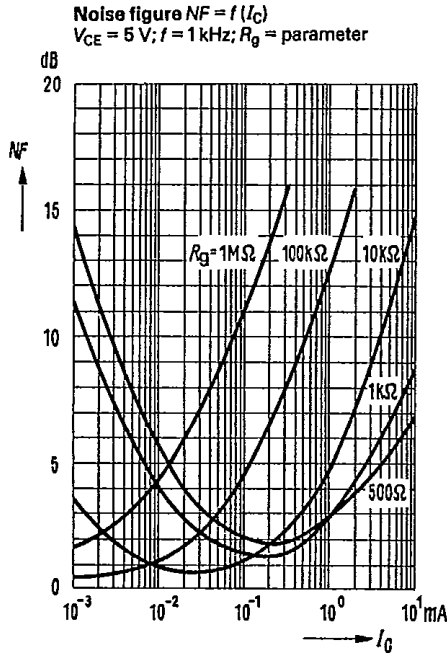
**Noise figure NF = f(Ic)**

$$V_{CE} = 5\text{V}; f = 120\text{Hz}; R_g = \text{parameter}$$

BC 109



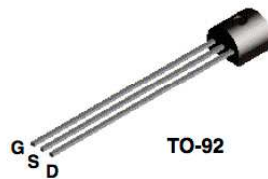
T-29-17





**2N5457**  
**2N5458**  
**2N5459**

**MMBF5457**  
**MMBF5458**  
**MMBF5459**



### N-Channel General Purpose Amplifier

This device is a low level audio amplifier and switching transistors, and can be used for analog switching applications. Sourced from Process 55.

#### Absolute Maximum Ratings\*

TA = 25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V <sub>DG</sub>	Drain-Gate Voltage	25	V
V <sub>GS</sub>	Gate-Source Voltage	- 25	V
I <sub>GF</sub>	Forward Gate Current	10	mA
T <sub>J</sub> , T <sub>stg</sub>	Operating and Storage Junction Temperature Range	-55 to +150	°C

\*These ratings are limiting values above which the serviceability of any semiconductor device may be impaired.

#### NOTES:

- 1) These ratings are based on a maximum junction temperature of 150 degrees C.
- 2) These are steady state limits. The factory should be consulted on applications involving pulsed or low duty cycle operations.

#### Thermal Characteristics

TA = 25°C unless otherwise noted

Symbol	Characteristic	Max		Units
		2N5457	*MMBF5457	
P <sub>D</sub>	Total Device Dissipation	625	350	mW
	Derate above 25°C	5.0	2.8	mW/°C
R <sub>θJC</sub>	Thermal Resistance, Junction to Case	83.3		°C/W
R <sub>θJA</sub>	Thermal Resistance, Junction to Ambient	200	357	°C/W

\*Device mounted on FR-4 PCB 1.6" X 1.6" X 0.06."

**N-Channel General Purpose Amplifier**  
(continued)

**Electrical Characteristics** TA = 25°C unless otherwise noted

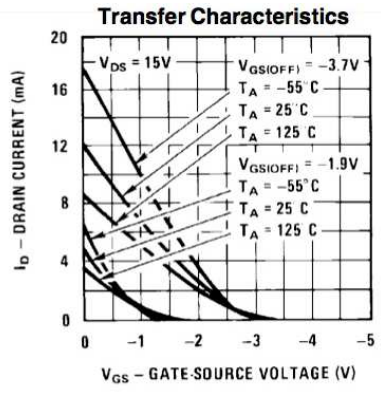
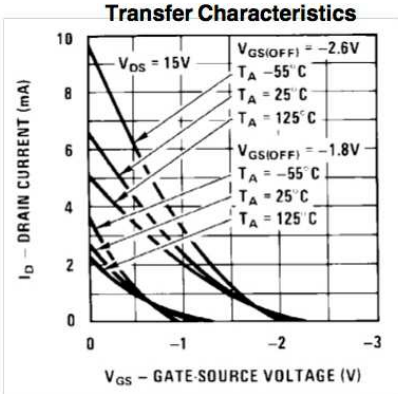
Symbol	Parameter	Test Conditions	Min	Typ	Max	Units
<b>OFF CHARACTERISTICS</b>						
$V_{(BR)GSS}$	Gate-Source Breakdown Voltage	$I_G = 10 \mu A, V_{DS} = 0$	-25			V
$I_{GSS}$	Gate Reverse Current	$V_{GS} = -15 V, V_{DS} = 0$ $V_{GS} = -15 V, V_{DS} = 0, T_A = 100^\circ C$			-1.0 -200	nA nA
$V_{GS(off)}$	Gate-Source Cutoff Voltage	$V_{DS} = 15 V, I_D = 10 nA$	-0.5 -1.0 -2.0		-6.0 -7.0 -8.0	V V V
$V_{GS}$	Gate-Source Voltage	$V_{DS} = 15 V, I_D = 100 \mu A$ <b>2N5457</b> $V_{DS} = 15 V, I_D = 200 \mu A$ <b>2N5458</b> $V_{DS} = 15 V, I_D = 400 \mu A$ <b>2N5459</b>		-2.5 -3.5 -4.5		V V V

<b>ON CHARACTERISTICS</b>							
$I_{DSS}$	Zero-Gate Voltage Drain Current*	$V_{DS} = 15 V, V_{GS} = 0$	<b>2N5457</b> <b>2N5458</b> <b>2N5459</b>	1.0 2.0 4.0	3.0 6.0 9.0	5.0 9.0 16	mA mA mA

<b>SMALL SIGNAL CHARACTERISTICS</b>							
$g_{fs}$	Forward Transfer Conductance*	$V_{DS} = 15 V, V_{GS} = 0, f = 1.0 kHz$	<b>2N5457</b> <b>2N5458</b> <b>2N5459</b>	1000 1500 2000		5000 5500 6000	$\mu mhos$ $\mu mhos$ $\mu mhos$
$g_{os}$	Output Conductance*	$V_{DS} = 15 V, V_{GS} = 0, f = 1.0 kHz$			10	50	$\mu mhos$
$C_{iss}$	Input Capacitance	$V_{DS} = 15 V, V_{GS} = 0, f = 1.0 MHz$			4.5	7.0	pF
$C_{rss}$	Reverse Transfer Capacitance	$V_{DS} = 15 V, V_{GS} = 0, f = 1.0 MHz$			1.5	3.0	pF
NF	Noise Figure	$V_{DS} = 15 V, V_{GS} = 0, f = 1.0 kHz,$ $R_G = 1.0 megohm, BW = 1.0 Hz$				3.0	dB

\*Pulse Test: Pulse Width  $\leq$  300 ms, Duty Cycle  $\leq$  2%

**Typical Characteristics**



## N-Channel General Purpose Amplifier

(continued)

### Electrical Characteristics

TA = 25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min	Typ	Max	Units
<b>OFF CHARACTERISTICS</b>						
$V_{BRIGSS}$	Gate-Source Breakdown Voltage	$I_G = 10 \mu A, V_{DS} = 0$	-25			V
$I_{GSS}$	Gate Reverse Current	$V_{GS} = -15 V, V_{DS} = 0$ $V_{GS} = -15 V, V_{DS} = 0, T_A = 100^\circ C$			-1.0 -200	nA nA
$V_{GS(OFF)}$	Gate-Source Cutoff Voltage	$V_{DS} = 15 V, I_D = 10 nA$	2N5457 2N5458 2N5459	-0.5 -1.0 -2.0	-6.0 -7.0 -8.0	V V V
$V_{GS}$	Gate-Source Voltage	$V_{DS} = 15 V, I_D = 100 \mu A$ $V_{DS} = 15 V, I_D = 200 \mu A$ $V_{DS} = 15 V, I_D = 400 \mu A$	2N5457 2N5458 2N5459	-2.5 -3.5 -4.5		V V V

### ON CHARACTERISTICS

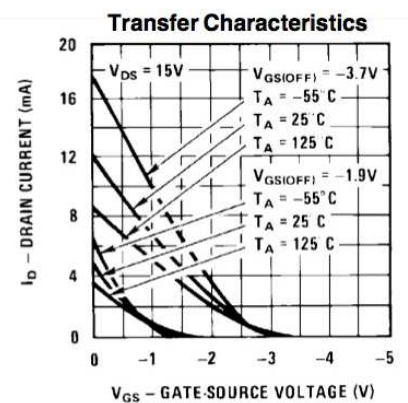
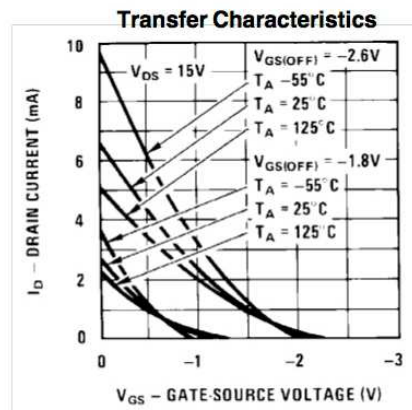
$I_{DSS}$	Zero-Gate Voltage Drain Current*	$V_{DS} = 15 V, V_{GS} = 0$	2N5457 2N5458 2N5459	1.0 2.0 4.0	3.0 6.0 9.0	5.0 9.0 16	mA mA mA
-----------	----------------------------------	-----------------------------	----------------------------	-------------------	-------------------	------------------	----------------

### SMALL SIGNAL CHARACTERISTICS

$g_{fs}$	Forward Transfer Conductance*	$V_{DS} = 15 V, V_{GS} = 0, f = 1.0 kHz$	2N5457 2N5458 2N5459	1000 1500 2000		5000 5500 6000	$\mu mhos$ $\mu mhos$ $\mu mhos$
$g_{os}$	Output Conductance*	$V_{DS} = 15 V, V_{GS} = 0, f = 1.0 kHz$			10	50	$\mu mhos$
$C_{iss}$	Input Capacitance	$V_{DS} = 15 V, V_{GS} = 0, f = 1.0 MHz$			4.5	7.0	pF
$C_{rss}$	Reverse Transfer Capacitance	$V_{DS} = 15 V, V_{GS} = 0, f = 1.0 MHz$			1.5	3.0	pF
NF	Noise Figure	$V_{DS} = 15 V, V_{GS} = 0, f = 1.0 kHz,$ $R_G = 1.0 megohm, BW = 1.0 Hz$				3.0	dB

\*Pulse Test: Pulse Width  $\leq 300 ms$ , Duty Cycle  $\leq 2\%$

### Typical Characteristics



**N-Channel General Purpose Amplifier**  
(continued)

**Electrical Characteristics**

TA = 25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min	Typ	Max	Units
<b>OFF CHARACTERISTICS</b>						
$V_{BR(GSS)}$	Gate-Source Breakdown Voltage	$I_G = 10 \mu A, V_{DS} = 0$	-25			V
$I_{GSS}$	Gate Reverse Current	$V_{GS} = -15 V, V_{DS} = 0$ $V_{GS} = -15 V, V_{DS} = 0, T_A = 100^\circ C$			-1.0 -200	nA nA
$V_{GS(off)}$	Gate-Source Cutoff Voltage	$V_{DS} = 15 V, I_D = 10 \mu A$	-0.5 -1.0 -2.0		-6.0 -7.0 -8.0	V V V
$V_{GS}$	Gate-Source Voltage	$V_{DS} = 15 V, I_D = 100 \mu A$ $V_{DS} = 15 V, I_D = 200 \mu A$ $V_{DS} = 15 V, I_D = 400 \mu A$		-2.5 -3.5 -4.5		V V V

**ON CHARACTERISTICS**

$I_{DSS}$	Zero-Gate Voltage Drain Current*	$V_{DS} = 15 V, V_{GS} = 0$	2N5457 2N5458 2N5459	1.0 2.0 4.0	3.0 6.0 9.0	5.0 9.0 16	mA mA mA
-----------	----------------------------------	-----------------------------	----------------------------	-------------------	-------------------	------------------	----------------

**SMALL SIGNAL CHARACTERISTICS**

$g_{fs}$	Forward Transfer Conductance*	$V_{DS} = 15 V, V_{GS} = 0, f = 1.0 \text{ kHz}$	2N5457 2N5458 2N5459	1000 1500 2000		5000 5500 6000	$\mu mhos$ $\mu mhos$ $\mu mhos$
$g_{os}$	Output Conductance*	$V_{DS} = 15 V, V_{GS} = 0, f = 1.0 \text{ kHz}$			10	50	$\mu mhos$
$C_{iss}$	Input Capacitance	$V_{DS} = 15 V, V_{GS} = 0, f = 1.0 \text{ MHz}$			4.5	7.0	pF
$C_{rss}$	Reverse Transfer Capacitance	$V_{DS} = 15 V, V_{GS} = 0, f = 1.0 \text{ MHz}$			1.5	3.0	pF
NF	Noise Figure	$V_{DS} = 15 V, V_{GS} = 0, f = 1.0 \text{ kHz}$ $R_G = 1.0 \text{ megohm}, BW = 1.0 \text{ Hz}$				3.0	dB

\*Pulse Test: Pulse Width  $\leq 300 \text{ ms}$ , Duty Cycle  $\leq 2\%$

**Typical Characteristics**

