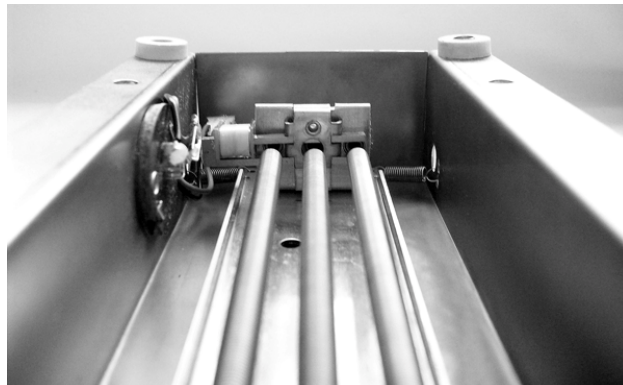




Τ.Ε.Ι. ΚΡΗΤΗΣ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΡΕΘΥΜΝΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

*“ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΕΦΕ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ ΤΥΠΟΥ ΕΛΑΤΗΡΙΟΥ (SPRING
REVERB)”*



Φοιτητής: Λαζαρίδης Σίμος, Α.Μ. 803

Επιβλέποντες: Χρήστος Χρήστου, Μπρέζας Σπύρος

ΡΕΘΥΜΝΟ 2013

Ευχαριστώ θερμά τους επιβλέποντές μου, κύριο Χ. Χρήστου και κύριο Σ. Μπρέζα για την πολύτιμη βοήθεια και συμβουλές που μου προσέφεραν για την ολοκλήρωση του εγχειρήματος αυτού. Επίσης, θερμά ευχαριστώ τους: κύριο Πιοτογιαννάκη Στέλιο, καθώς και τους συμφοιτητές μου Χαραλαμπίδη Νίκο, Σταματιάδη Βαλεντίνο και Ασίκογλου Ελένη για τη βοήθεια και στήριξη που μου προσέφεραν.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
1ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΗΧΟΥ.....	7
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
1.2 ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΗΧΟΥ.....	8
2ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΚΑΙ ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	11
2.1 ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΩΝ SPRING REVERBS.....	11
ΤΑ SPRING REVERBS ΚΑΙ ΤΟ HAMMOND ORGAN	11
2.2 ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ	13
2.3 Η ΜΟΝΑΔΑ ΤΟΥ SPRING REVERB	15
2.4 ΤΡΟΠΟΙ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΜΟΝΑΔΩΝ ΕΛΑΤΗΡΙΩΝ	16
3ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ.....	19
3.1 ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΚΥΚΛΩΜΑ	19
ΚΥΚΛΩΜΑ ΟΔΗΓΗΣΗΣ	19
ΚΥΚΛΩΜΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ	20
ΦΙΛΤΡΟ ΑΠΟΚΟΠΗΣ ΧΑΜΗΛΩΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ	21
ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΕΛΑΤΗΡΙΟΥ	23
3.2 ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ ΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ	24
ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ	25
ΑΝΑΛΥΣΗ.....	25
3.3 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ MULTISIM.....	26
4ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ.....	30
4.1 ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	30
4.2 ΣΤΑΔΙΑ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	30
4.3 ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΙ ΧΡΟΝΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ.....	34
5ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	35
5.1 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	35
5.2 ΣΥΧΝΟΤΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ - ΦΑΣΜΑΤΟΓΡΑΦΗΜΑΤΑ.....	35
ΦΑΣΜΑΤΟΓΡΑΦΗΜΑΤΑ	36
5.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΧΝΟΤΙΚΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ.....	44
5.4 ΜΕΤΡΗΣΗ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΕΛΑΤΗΡΙΩΝ Κ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ	45

5.5 ΕΛΙΚΟΕΙΔΗΣ ΔΟΝΗΣΗ ΕΛΑΤΗΡΙΟΥ	46
ΣΧΕΣΗ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ	48
5.7 ΜΕΤΡΗΣΗ ΟΛΙΚΗΣ ΑΡΜΟΝΙΚΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ.....	50
ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΤΗΔ	53
5.8 ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΥΝΘΕΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΕΞΟΔΟΥ	53
6 ^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	56
ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ	56
ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	57
ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ.....	57
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: ΥΛΙΚΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ	58
ΕΛΑΤΗΡΙΑ	58
ΚΥΚΛΩΜΑ ΟΔΗΓΗΣΗΣ	58
ΚΥΚΛΩΜΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ	58
ΦΙΛΤΡΟ ΑΠΟΚΟΠΗΣ ΧΑΜΗΛΩΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ	59
ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟ	59
ΔΙΑΦΟΡΑ.....	60
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2: ΚΡΟΥΣΤΙΚΗ ΚΑΙ ΣΥΧΝΟΤΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΕΛΑΤΗΡΙΟΥ.....	61
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3: ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΡΙΘΜΗΣΗΣ ACCUTRONICS	65
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4: DATASHEET ΤΟΥ ΤΕΛΕΣΤΙΚΟΥ TL072	66
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	75
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΟΡΩΝ.....	76

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της πτυχιακής είναι η μελέτη και κατασκευή εφέ αντήχησης, τύπου ελατηρίου (Spring Reverb). Η κατασκευή αυτή βασίζεται στην προσομοίωση της αίσθησης του χώρου από τεχνητά μέσα (αναλογικά και μηχανικά), όπου στη συγκεκριμένη περίπτωση υλοποιείται μέσω δύο ειδών ελατηρίου διαφορετικών χαρακτηριστικών.

Η όλη κατασκευή μπορεί να χωριστεί σε πέντε επιμέρους τμήματα. Το πρώτο τμήμα είναι το κύκλωμα οδήγησης, όπου αναλαμβάνει να προσαρμόσει το σήμα εισόδου. Το δεύτερο τμήμα είναι δύο μονάδες ελατηρίων – Medium μονάδα και Long μονάδα ή αλλιώς δεξαμενές αντήχησης (reverb tank) όπως ονομάζονται. Το τρίτο τμήμα είναι το φίλτρο αποκοπής χαμηλών συχνοτήτων. Το τέταρτο είναι η επιλογή ανάμεσα στις δύο μονάδες ελατηρίων (Medium τύπος και Long τύπος) και το πέμπτο και τελευταίο, είναι το κύκλωμα ανάκτησης, έτσι ώστε να εξέλθει το σήμα από σύστημα και να καταλήξει στην έξοδο.

Για να λειτουργήσει η όλη κατασκευή, θα πρέπει ακόμη να κατασκευαστεί κατάλληλη τροφοδοσία, η οποία στην προκείμενη είναι συμμετρική τροφοδοσία των $\pm 15V$.

Η συσκευή σχεδιάστηκε έτσι ώστε να είναι αυτόνομη-εξωτερική συσκευή, τύπου rack-effect για περισσότερη ευκολία και συνδεσιμότητα με άλλα μηχανήματα ήχου. Αυτό προϋποθέτει την κατασκευή ενός κουτιού, προσαρμοσμένο κατάλληλα, ώστε να εξυπηρετεί τη χρήση της συσκευής αυτής και να είναι εύκολα μετακινήσιμο.

ABSTRACT

Aim of this thesis is to study and construct a Spring Reverb. The construction lies on the simulation of the sense of space by artificial means, both analog and mechanical. In this particular case, the simulation is utilized by two types of springs of different characteristics.

The whole construction can be divided in five subsections. The first section is the driving circuit, which is responsible for adjusting the input signal to the system. The second section includes the two Spring Reverb Tanks – Medium and Long type. The third section is the low cut frequency filter. The fourth is the selection between two different springs, while the fifth section is the recovery circuit that is responsible for the system's output signal.

To operate this construction, the right power supply is necessary to be designed, which in this particular case is a symmetrical power of $\pm 15V$.

The construction has been designed so as to use as an outboard gear, rack-effect type, for the sake of usability and connectivity with other outboard gear or audio effects. This presupposes the construction of a case, properly adjusted to accommodate the use of this device and be easily removable.

1ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

1ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΗΧΟΥ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια γίνεται μια προσπάθεια να προσομοιωθεί η αντήχηση που υπάρχει σε ένα χώρο με τεχνητά μέσα. Υπάρχουν διάφορα είδη προσομοίωσης της αντήχησης: ο θάλαμος αντήχησης (reverb chamber), σωλήνας αντήχησης (duct type reverb), αντήχηση από ελατήριο (spring reverb), αντήχηση από μεταλλική πλάκα (plate reverb) και η ψηφιακή αντήχηση (digital reverb). Ο θάλαμος αντήχησης είναι ένας χώρος με ανακλαστικές επιφάνειες, όπου έχει μέσα ένα ή περισσότερα μικρόφωνα και ένα ή περισσότερα ηχεία. Τα ηχεία αναπαράγουν τον ήχο, αυτός επηρεάζεται από τα χαρακτηριστικά του χώρου και τα μικρόφωνα λαμβάνουν τον ήχο μέσα από το θάλαμο αντήχησης. Ο σωλήνας αντήχησης στο ένα άκρο του έχει ένα μεγάφωνο και στο άλλο ένα μικρόφωνο που λαμβάνει την αντήχηση. Η αντήχηση από μεταλλική πλάκα χρησιμοποιεί τις ίδιες αρχές με αυτή των ελατηρίων, όπου η πλάκα με κάποιο τρόπο δονείται και έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία του εφέ αντήχησης. Η ψηφιακή αντήχηση τα τελευταία χρόνια, χρησιμοποιείται όλο και πιο συχνά, καθώς πλέον κοστίζει λιγότερο και δε χρειάζεται πολύ μεγάλες σε μέγεθος κατασκευές, όπως οι θάλαμοι αντήχησης ή οι πλάκες αντήχησης.

Γενικότερα, η ιδέα της αντήχησης βασίζεται σε καθορισμένες ανακλάσεις του ήχου που προκαλούνται από τις επιφάνειες που υπάρχουν σε ένα χώρο και αυτό ακριβώς το φαινόμενο είναι που όλες συσκευές, ανεξαρτήτως τύπου, προσπαθούν να προσομοιάσουν. Αρχικά κάποιος υπέθεσε ότι ο ήχος θα μπορούσε να μετατραπεί σε μηχανικό κύμα και θα είχε την ίδια συμπεριφορά και αποτέλεσμα. Έτσι η πρώτη απόπειρα να γίνει αυτό ήταν ένα κατάλληλος μετατροπέας και ένα ελατήριο. Το σήμα διεγείρει το μετατροπέα, ο οποίος ταλαντώνει το ελατήριο και το στροφικό (*torsional*) κύμα 'ταξιδεύει' επάνω στο ελατήριο. Ένας ακόμη μετατροπέας βρίσκεται στο άλλο άκρο του ελατηρίου ο οποίος μετατρέπει το μηχανικό αυτό κύμα σε ηλεκτρικό πάλι. Ο μηχανισμός αυτό εξελίχθηκε και προστέθηκαν και άλλα ελατήρια για την προσομοίωση των πολλαπλών ανακλάσεων, δύο, τρία, τέσσερα, τοποθετημένα είτε παράλληλα ή σε σειρά. Ακόμα υπάρχει και η τοποθέτηση σε σειρά των ελατηρίων

σχηματίζοντας το γράμμα 'Z'. Χρησιμοποιώντας διαφορετικά χαρακτηριστικά για το καθένα από αυτά τα ελατήρια, όπως τάση ελατηρίου, διάμετρο, μήκος κτλ., αυτό που επηρεάζεται είναι το τελικό αποτέλεσμα, το οποίο προσπαθεί να δημιουργήσει την αίσθηση της αντήχησης και της τυχαίας ανάκλασης.

Η προσομοίωση της αντήχησης από ελατήρια παράγει αξιοπρεπή και ιδιαίτερο ήχο, ενώ το κόστος τους ποικίλει ανάλογα με την σχεδίαση και τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή.

Τα spring reverbs πάσχουν από κάποια προβλήματα. Ένα από αυτά είναι η απόκριση τους στις υψηλές συχνότητες, που δε θεωρείται ικανοποιητική. Ακόμη ένα μειονέκτημα που έχουν, είναι η μηχανική ανάδραση, όπου το πεδίο του ήχου προκαλεί διέγερση των ελατηρίων. Αυτό αντιμετωπίζεται με την τοποθέτηση των ελατηρίων μακριά από ηχεία ή δονούμενες επιφάνειες. Τα πιο ποιοτικά spring reverbs έχουν καλύτερο σύστημα απομόνωσης από εξωτερικές δονήσεις. [1], [2]

1.2 ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΗΧΟΥ

Ο ήχος κατά τη διάδοσή του σε κλειστούς χώρους συμπεριφέρεται διαφορετικά από ότι σε ανοιχτούς. Στους ανοιχτούς χώρους ο ήχος φτάνει απευθείας στο δέκτη, χωρίς αλλοιώσεις, εμπόδια ή ανακλάσεις, με μοναδική παράμετρο που επιδρά σε αυτόν την απόσταση του δέκτη από την πηγή. Στους κλειστούς χώρους, εκτός από την απευθείας διάδοση του ήχου, παρεμβάλλονται και οι διαδοχικές ανακλάσεις από τα τοιχώματα του χώρου στον οποίο βρίσκεται ο ήχος. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αλλοίωση των χαρακτηριστικών του αρχικού ήχου, δηλαδή το τελικό αποτέλεσμα που θα φτάσει στον δέκτη είναι ο αρχικός ήχος και οι ανακλάσεις (στο χώρο) αυτού. Βασικό ρόλο στην ακουστική συμπεριφορά των κλειστών χώρων παίζει η απορρόφηση του ήχου και οι διαστάσεις του χώρου.

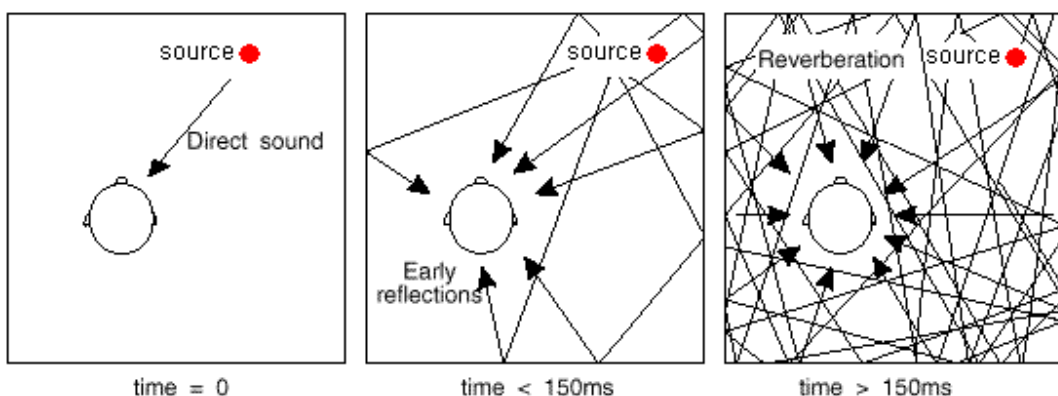
Ο ήχος στους κλειστούς χώρους σε σχέση με το χρόνο χωρίζεται σε: α) απευθείας ήχο (direct sound) β) πρώτες ανακλάσεις (early reflections) και γ) αντήχηση (reverb).

α) Ο απευθείας ήχος (direct sound): Μετά από μια μικρή χρονική διάρκεια ο ακροατής/δέκτης θα ακούσει/δεχτεί τον ήχο της πηγής, το πρώτο χρονικά ηχητικό κύμα που θα φτάσει σε αυτόν διανύοντας τη μικρότερη απόσταση μεταξύ της πηγής και του δέκτη. Ο χρόνος ο οποίος θα χρειαστεί το πρώτο κύμα να φτάσει στο δέκτη είναι ο λόγος της ταχύτητας του αέρα μέσα στο χώρο (344m/sec) προς την απόσταση του δέκτη από την πηγή. Η μικρότερη αυτή διαδρομή μεταξύ της πηγής και του δέκτη ονομάζεται απευθείας διαδρομή (direct path) και είναι στην ουσία το πρώτο ηχητικό κύμα που φτάνει στον δέκτη.

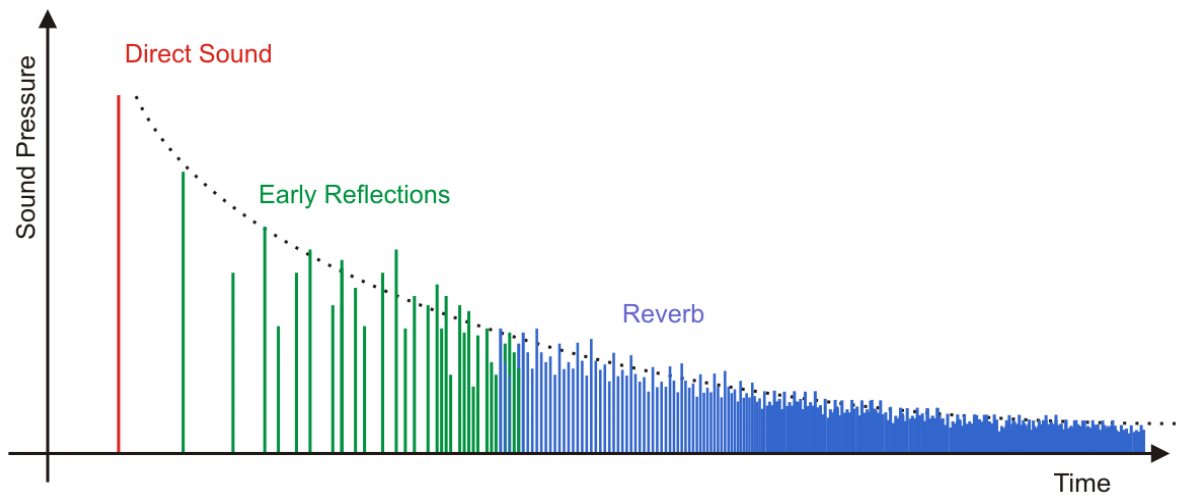
β) Οι πρώτες ανακλάσεις(early reflections): Μετά από σύντομο χρονικό διάστημα από την άφιξη του πρώτου ηχητικού κύματος, στον δέκτη φτάνουν οι πρώτες ανακλάσεις του κύματος της πηγής από τις κοντινότερες επιφάνειες του χώρου όπου βρίσκεται, όπως τοίχοι, πάτωμα κτλ. και διαφέρουν σε χρονική άφιξη και διεύθυνση από τον απευθείας ήχο. Οι ήχοι αυτοί θα είναι διαφορετικοί αν ο ακροατής/δέκτης αλλάξει θέση στον χώρο. Η αλλαγή του δέκτη στον χώρο χρησιμοποιείται για την αναγνώριση/αίσθηση του μεγέθους του χώρου αλλά και τον εντοπισμό της θέσης της πηγής. Γενικότερα, οι πρώτες ανακλάσεις έχουν μια καθυστέρηση στο χρόνο άφιξής τους έως 30-35msec, αφού ο χρόνος αυτός είναι η μέγιστη αντιληπτή διαφορά από τον άνθρωπο για την ύπαρξη ενός δεύτερου ήχου μετά τον απευθείας.

γ) Οι καθυστερημένες ανακλάσεις (late reflections)/αντήχηση: Μετά από τις πρώτες ανακλάσεις φτάνουν και υπόλοιπες ανακλάσεις που είναι οι πολλαπλές ανακλάσεις στις επιφάνειες του χώρου. Οι διαδρομές των καθυστερημένων ανακλάσεων είναι πάρα πολλές στο χώρο και οι χρονικές διαφορές ανάμεσα σε αυτές είναι πάρα πολύ μικρές με αποτέλεσμα να φτάνει στον ακροατή/δέκτη ένα σεντ/πλήθος ανακλάσεων. Το πλήθος των ανακλάσεων και ο χρόνος που χρειάζονται για να φτάσουν στο δέκτη καθορίζει και το μέγεθος του χώρου, αφού στους μικρότερους χώρους ο χρόνος που χρειάζεται για τη δημιουργία και την άφιξη των καθυστερημένων ανακλάσεων, θα είναι λιγότερος λόγω των μικρότερων διαστάσεων του χώρου. [3]

Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται σχηματικά οι διαχωρισμοί του ήχου σε σχέση με τη χρονική στιγμή της άφιξης αυτών στο χώρο.



Εικόνα 1.1: Ο απευθείας ήχος (αριστερά), οι πρώτες ανακλάσεις (κέντρο) και η αντήχηση (δεξιά) σχηματικά.



Εικόνα 1.2: Ο απευθείας ήχος (κόκκινο), οι πρώτες ανακλάσεις (πράσινο) και η αντήχηση μπλε συναρτήσει του χρόνου.

20 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

2ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΚΑΙ ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

2.1 ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΩΝ SPRING REVERBS

Το πρώτο εφέ ελατηρίου φαίνεται να ανακαλύφθηκε από ατύχημα κάποιων μηχανικών ήχου που πειραματίζονταν με τα ελατήρια του φυσιγγίου του μαγνήτη του γραμμοφώνου για τη δημιουργία εφέ βροντής για το ραδιόφωνο. Χρησιμοποιώντας ένα μετατροπέα και ενώνοντάς τον με το τέλος του ελατηρίου, ανακάλυψαν ότι το ελατήριο επέτρεπε στο σήμα να περάσει από μέσα του και μάλιστα πρόσθετε και ένα είδος αντήχησης σε αυτό. Αυτή ήταν και η αρχική ιδέα για την ανακάλυψη του spring reverb.

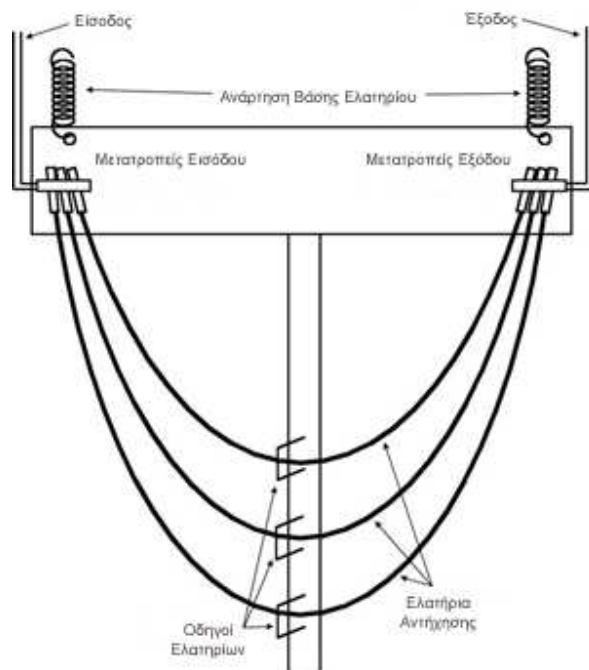
TA SPRING REVERBS ΚΑΙ ΤΟ HAMMOND ORGAN

Γενικότερα η εξέλιξη των spring reverbs είναι άμεσα συνδεδεμένη με την εταιρία *Hammond* και *Accutronics*. Όταν ο *Laurence Hammond* παρουσίασε το Hammond Organ το 1935, ο περισσότερος κόσμος ήταν συνηθισμένος στο να ακούει το παραδοσιακό όργανο-organ, που είχαν ακούσει στις εκκλησίες και στα θέατρα. Έτσι, όταν αγόραζαν ένα τέτοιο όργανο για προσωπική χρήση στα σπίτια τους, περίμεναν να είχαν την ίδια αίσθηση χώρου που είχαν ακούσει και συνηθίσει, πράγμα το οποίο ήταν ανέφικτο στο σαλόνι ή σε οποιοδήποτε σημείο του σπιτιού τους.

Έτσι, ο L.Hammond έπρεπε να βρει ένα τρόπο να προσθέσει αυτήν την αίσθηση του χώρου (της αντήχησης μεγάλου χώρου) στα σαλόνια του κάθε σπιτιού. Ανακάλυψε ότι η *Bell Labs* είχε επινοήσει μια ηλεκτρομηχανική συσκευή για την προσομοίωση μιας μεμονωμένης καθυστέρησης που είχαν παρατηρηθεί στις πολύ μακρινές κλήσεις. Η συσκευή χρησιμοποιούσε δύο ελατήρια για τη μετάδοση του σήματος καθυστέρησης και τέσσερα επιπλέον ελατήρια για να οδηγήσει το σήμα-οδηγό. Τα ελατήρια για το βασικό σήμα ήταν μέσα σε μεγάλους σωλήνες γεμάτους με λάδι, ενώ ένα από τα ελατήρια που μετέφερε το καθυστερημένο σήμα βρισκονταν μέσα σε ένα μικρό σωλήνα. Αλλάζοντας κάθε φορά την ποσότητα του λαδιού στον μικρό σωλήνα άλλαζε κάθε φορά ο χρόνος απόσβεσης του

σήματος. Το σύστημα αυτό, έπειτα από μερικές τροποποιήσεις για να δημιουργεί πολλές επαναλήψεις, ήταν ό,τι ακριβώς έλειπε.

Το Hammond Organ ήταν μια αρκετά μεγάλη κατασκευή και όσο ο καιρός και η τεχνολογία εξελίσσονταν το μέγεθος αποτελούσε πρόβλημα. Έτσι τρεις μηχανικοί της εταιρίας *Alan Young*, *Bert Meinema* και *Herbert Canfield* εξέλιξαν μια σημαντική βελτίωση, την αντήχηση “κολιέ” - *necklace reverb* (όπως φαίνεται στην εικόνα 2.1).



Εικόνα 2.1: αντήχηση “κολιέ” - necklace reverb.

Ο καινούργιος αυτός τύπος κατασκευής στηρίζονταν ολόκληρος από μια βάση μόνο, ενώ όλα τα υπόλοιπα κρέμονταν στον αέρα. Το κάθε ελατήριο είχε διαφορετικό μήκος, διαφορετικό χρόνο μετάδοσης και διαφορετική συχνότητα συντονισμού. Οι μετατροπείς ήταν εξαιρετικά μικροί και ελαφριοί έτσι ώστε η μάζα του καθενός να είναι μικρή, επιτρέποντας στα ελατήρια να ανταποκριθούν στις υψηλότερες συχνότητες (μέγιστη συχνότητα αναπαραγωγής Hammond Organ = 6kHz). Ολόκληρη η μονάδα αντήχησης δεν ήταν αυστηρά δεμένη στο ηχείο, αλλά στερεωνόταν από μια μεταλλική βάση με δύο μικρές αναρτήσεις, ανάστροφα από το ηχείο και κρεμιόταν ελεύθερα, εξαλείφοντας έτσι κάθε μηχανική ανάδραση από τις δονήσεις των ηχείων. Η κατασκευή αυτή είχε εξαιρετικά αποτελέσματα στον ήχο, αφού έδινε την εντύπωση της ύπαρξης ενός μεγάλου φυσικού χώρου, ενώ παράλληλα μειώθηκε ο όγκος, το βάρος και το κόστος.

Το necklace reverb παρουσιάστηκε το 1959 και είχε διαστάσεις: 2.5cm περίπου πλάτος, 33cm μήκος και 35.5cm ύψος. Τα ελατήρια στεγάζονταν σε ένα μεταλλικό πλαίσιο σχήματος 'T' και κρέμονταν από τη μια άκρη στην άλλη. Η ονομασία της κατασκευής προέρχεται από το σχήμα των τριών ελατηρίων που παραπέμπει σε γυναικείο κολιέ.

Παρόλα αυτά υπήρχε ένα βασικό πρόβλημα. Όταν η μονάδα κουνιόταν, τα ελατήρια χτυπούσαν μεταξύ τους και με το μεταλλικό πλαίσιο που τα πλαισίωνε, με αποτέλεσμα να αναπαράγουν στα ηχεία ένα ενοχλητικό - κρουστικό ήχο, που η ύπαρξή του ήταν σίγουρα ένα μειονέκτημα.

Το 1960, ο *Alan Young* κλήθηκε να λύσει το πρόβλημα, συνεχίζοντας τις βελτιώσεις και τελικά καταλήγοντας σε ένα τύπο spring reverb που υπάρχει μέχρι και σήμερα, ο *Accutronics Type 4 reverb unit* (σημερινή ονομασία) ή *Hammond Type 4* (πρώτη ονομασία). Στην κατασκευή αυτή τα ελατήρια τοποθετούνταν στο ειδικό πλαίσιο, είτε παράλληλα είτε σε σειρά ή και σχηματίζοντας ένα γράμμα 'Z' ενώνοντας το τέλος του ενός με την αρχή του άλλου (λιγότερο συνηθισμένη τοποθέτηση).

Ο νέος αυτός τύπος μονάδας άρχισε να γίνεται δημοφιλής και σε άλλες κατασκευαστικές εταιρίες μουσικού εξοπλισμού, όπως η *Fender Guitars & Amplifiers* του *Leo Fender*. Ο L.Fender χρησιμοποίησε τον τύπο αυτό spring reverb, σε ένα μοντέλο της εταιρίας του με την ονομασία *Fender Twin Reverb*. Το μοντέλο αυτό ήταν ενισχυτής ηλεκτρικής κιθάρας και είχε μεγάλη εμπορική επιτυχία καθιστώντας έτσι τον *Accutronics Type 4 reverb unit* ως βιομηχανικό πρότυπο.

Στο πέρασμα των χρόνων, η Hammond Organs είχε αρκετές αλλαγές και σαν όνομα εταιρίας (*Accutronics* ή *O.C. Electronics* ή *Sound Enhancements Inc.*, όπως στην πορεία μετονομάστηκε), αλλά και αλλαγές όσον αφορά τα στελέχη της. Το όνομα *Accutronics* είναι αυτό που πλέον σήμερα είναι άμεσα συνδεδεμένο με τα spring reverbs.

Το 2009 η *Accutronics reverbs* πωλήθηκε στην *Belton* με τη δέσμευση να παράγει τα καλύτερα ηλεκτρομηχανικά spring reverbs στον κόσμο και να συνεχίσει κανονικά με την μεγάλη κληρονομιά που ξεκίνησε ο Hammond το 1959. [1], [2], [4]

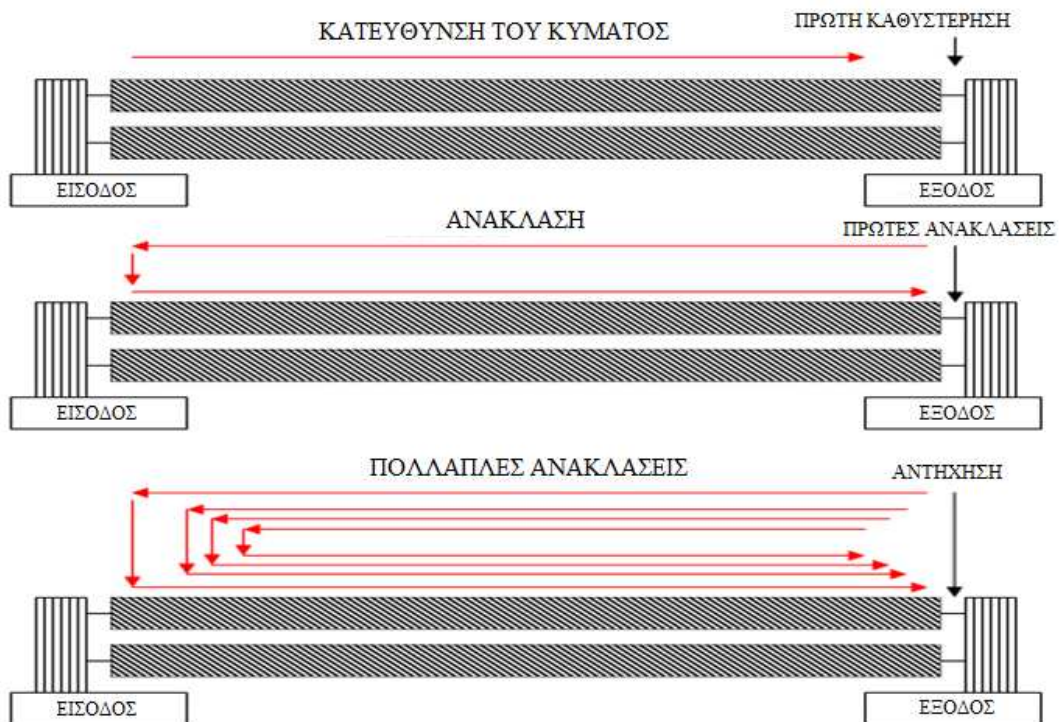
2.2 ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ

Η χρήση ελατηρίων για να καθυστερούν τα σήματα ήχου, χρησιμοποιήθηκαν για πρώτη φορά στις τηλεπικοινωνίες, από κάποιους μηχανικούς για να προσομοιάσουν τις μακρινές τηλεφωνικές γραμμές. Οι μονάδες των ελατηρίων χρησιμοποιούν ηλεκτρομαγνητικά και μηχανικά στοιχεία, για να προσομοιάσουν τον καθυστερημένο ήχο. Ένα ηχητικό σήμα οδηγείται στο πηνίο ενός μετατροπέα εισόδου, ο οποίος ασκεί δύναμη στους κυλινδρικούς

μαγνήτες. Το άκρο του μαγνήτη είναι συνδεδεμένο με ένα σιδερένιο ελατήριο το οποίο κινείται μέσω της κίνησης του μαγνήτη. Η κίνηση αυτή, το κύμα δηλαδή, ταξιδεύει σε όλο το μήκος του ελατηρίου μέχρι την άλλη άκρη αυτού όπου βρίσκεται ένα μετατροπέας εξόδου. Ο μετατροπέας εξόδου χρησιμοποιεί τα ίδια στοιχεία με το μετατροπέα εισόδου, αλλά ανάποδα. Μετατρέπει δηλαδή την κίνηση του ελατηρίου σε καθυστερημένο σήμα εξόδου. Εκτός από το πηνίο και τους μαγνήτες ο μετατροπέας έχει και δίσκους στήριξης (πλαστικούς ή χάλκινους), δηλαδή το πλαστικό έλασμα που υπάρχει γύρω από τους μαγνήτες. Ο χρόνος απόσβεσης της μονάδας αντήχησης, εξαρτάται από την επιλογή του υλικού και το πάχος του ελάσματος, αφού όσον αφορά την εταιρία Accutronics, χρησιμοποιεί τα ίδια ελατήρια σε όλες τις μονάδες της.

Όταν το σήμα εισόδου είναι παλμός, τότε δημιουργούνται μέσα στη μονάδα μια σειρά από καθυστερημένους παλμούς μετά τον αρχικό. Ο χρόνος που χρειάζεται ο πρώτος καθυστερημένος παλμός να εμφανιστεί, είναι ισοδύναμος με αυτόν που χρειάζεται το κύμα να διανύσει το μήκος του ατύλιχτου ελατηρίου. Οι υπόλοιπες επαναλήψεις δημιουργούνται από την ανάκλαση του πρώτου από την πλευρά της εξόδου και αυτό συνεχίζεται μέχρι οι επαναλήψεις να εξασθενήσουν τελείως. Όταν το σήμα εισόδου είναι ένας συνεχόμενος ήχος, οι επαναλήψεις ακούγονται μαζί με τον αρχικό ήχο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να αλληλεπιδρά το σήμα εισόδου με το σήμα που δημιουργείται από το spring reverb και την πιθανή δημιουργία συντονισμών σε κάποιες συχνότητες. Για την πιο πιστή αναπαραγωγή της αντήχησης, οι μονάδες των spring reverbs, χρησιμοποιούν παραπάνω από ένα ελατήρια με διαφορετικούς χρόνος επανάληψης.

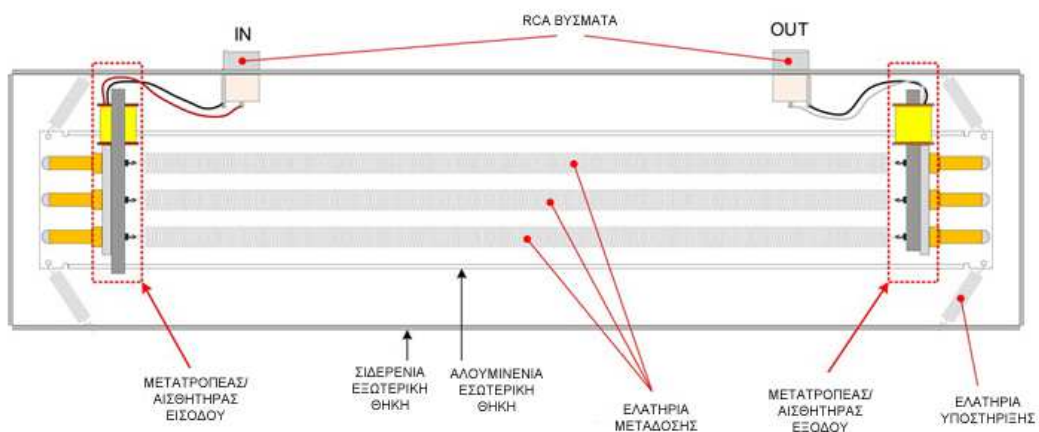
Στην παρακάτω εικόνα περιγράφεται αναλυτικά η μετάδοση του κύματος και η δημιουργία επαναλήψεων μέσα στη μονάδα ελατηρίου. [1], [2]



Εικόνα 2.2: Δημιουργία ανακλάσεων

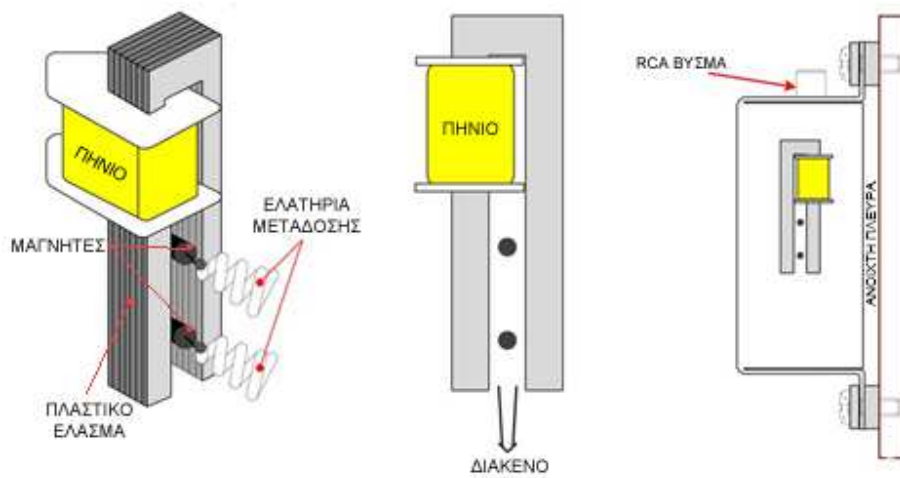
2.3 Η ΜΟΝΑΔΑ ΤΟΥ SPRING REVERB

Στην παρακάτω εικόνα περιγράφεται η μονάδα του spring reverb και των επιμέρους εξαρτημάτων αυτής.



Εικόνα 2.3: Μέρη του Spring Reverb.

Σημαντικό κομμάτι της μονάδας είναι ο μετατροπέας εισόδου και εξόδου. Στην παρακάτω φαίνονται αναλυτικά τα τμήματα του μετατροπέα. [1], [5]

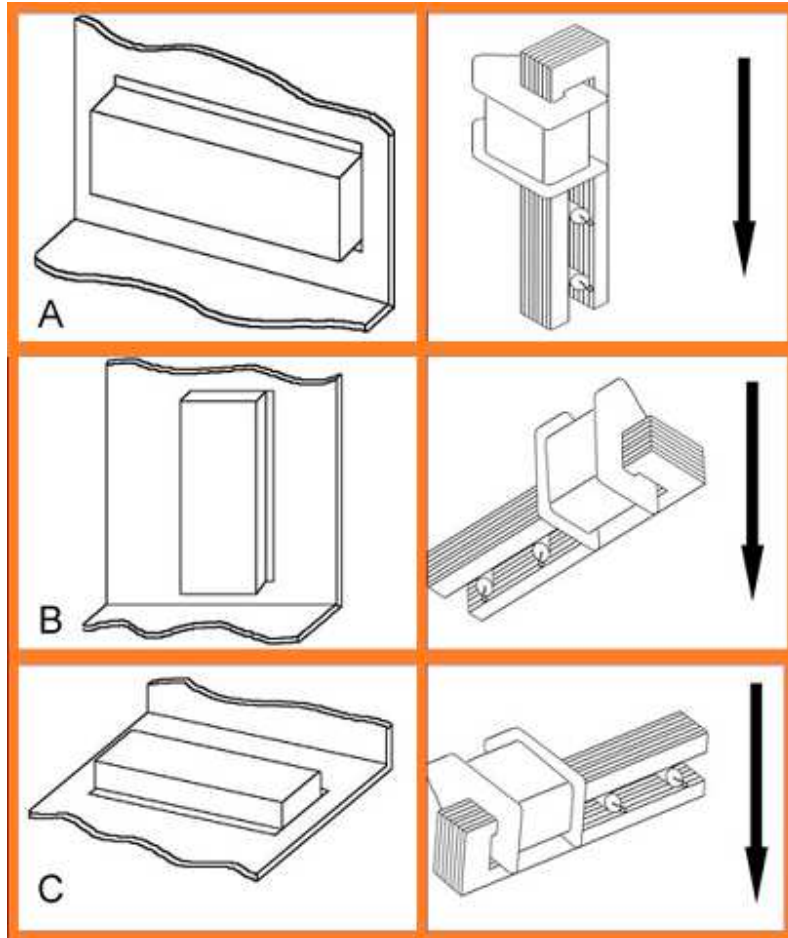


Εικόνα 2.4: Ο μετατροπέας εισόδου-εξόδου.

2.4 ΤΡΟΠΟΙ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΜΟΝΑΔΩΝ ΕΛΑΤΗΡΙΩΝ

Η εταιρία Accutronics προτείνει 3 τρόπους τοποθέτησης των μονάδων ελατηρίων της, όπου και οι τρεις αποσκοπούν στην ελαχιστοποίηση της ακουστικής ανάδρασης και της ευαισθησίας στην κρούση.

Στις παρακάτω εικόνες περιγράφονται οι τρόποι τοποθέτησης.



Εικόνα 2.5: Τρόποι τοποθέτησης μονάδας ελατηρίου.

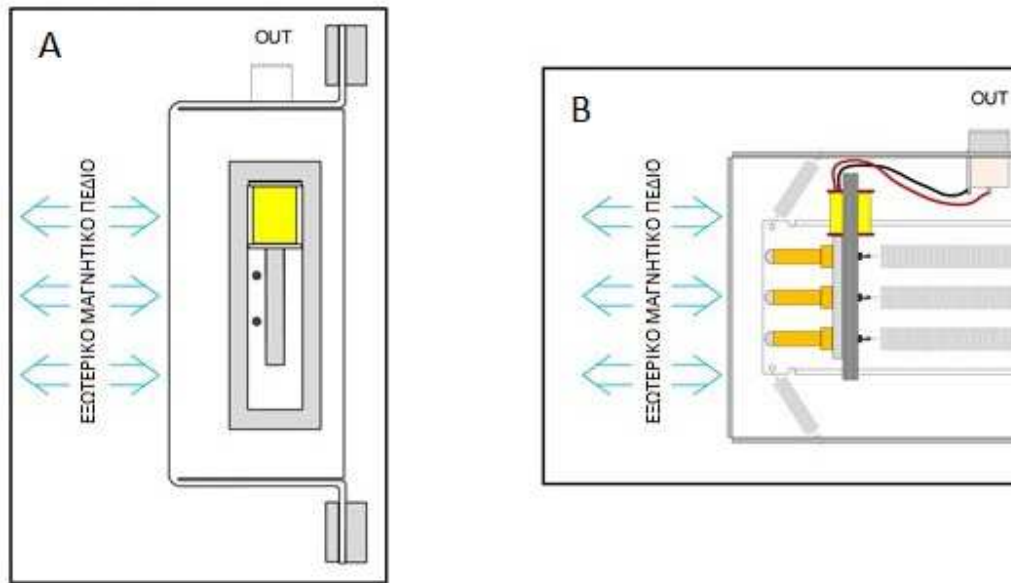
Η πρώτη μέθοδος τοποθέτησης (Α) θεωρείται ως η βέλτιστη, η δεύτερη (Β) ως η επόμενη βέλτιστη και η τρίτη (Γ) ως η τελευταία προτεινόμενη μέθοδος.

Στους τρεις αυτούς τρόπους τοποθέτησης το βάρος των ελατηρίων μετατοπίζει μαγνήτες κατά μήκος του διάκενου αέρα και όχι προς την πλαστική επιφάνεια που βρίσκεται γύρω από τους μαγνήτες. Όσο πιο κοντά είναι ο μαγνήτης στο πλαστικό μέρος, τόσο λιγότερη δόνηση μεταφέρεται στα ελατήρια.

Η εταιρία σχεδιάζει τις μονάδες της και προβλέπει για κάθε μια από αυτές συγκεκριμένο τρόπο τοποθέτησης ο οποίος και αναγράφεται στον κωδικό της κάθε μονάδας. Οι μαγνήτες που βρίσκονται στην μονάδα είναι διαφορετικά ρυθμισμένοι από το εργοστάσιο για κάθε διαφορετικό τρόπο τοποθέτησης, έτσι ώστε να βρίσκονται στο κέντρο του διάκενου. Στην κατασκευή, λόγω του τύπου του ελατηρίου, χρησιμοποιήθηκε ο τρίτος τρόπος τοποθέτησης.

Ακόμα και αν ο μετατροπέας εξόδου είναι θωρακισμένος, η τελική έξοδος θα πρέπει να προφυλάσσεται από το πεδίο του μετασχηματιστή. Η αποτελεσματικότητα της θωράκισης ποικίλει ανάλογα με τον προσανατολισμό του μαγνητικού πεδίου σε ένα εξωτερικό πεδίο.

Η παρακάτω εικόνα δείχνει την κατεύθυνση του μαγνητικού πεδίου σε σχέση με ένα εξωτερικό, για ελάχιστη τάση (A) και για μέγιστη τάση (B), στο πηνίο εξόδου.



Εικόνα 2.6: Κατεύθυνση μαγνητικού πεδίου.

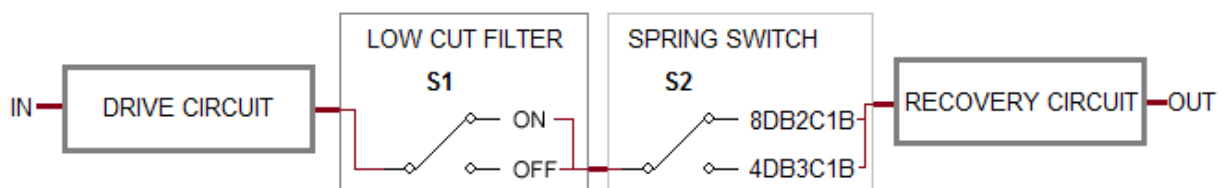
Γενικότερα θα πρέπει να αποφεύγεται η στερέωση του ελατηρίου χωρίς τη βάση του, στην οποία υπάρχουν ήδη από την εταιρία οπές στερέωσης, αφού με τη βοήθεια ροδέλων από καουτσούκ αυξάνεται η μηχανική απομόνωση. Ακόμη θα πρέπει να αποφεύγεται η τοποθέτηση σε καμπίνες που λειτουργούν σαν πηγές ήχου από μόνες του και τέλος, τα καλώδια που συνδέουν την μονάδα θα πρέπει να είναι χαλαρά για την αποφυγή δημιουργίας ανάδρασης. [1], [5]

30 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

3^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

3.1 ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΚΥΚΛΩΜΑ

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η ροή του σήματος στην κατασκευή.



Εικόνα 3.1: Ροή του σήματος ή μπλοκ διάγραμμα.

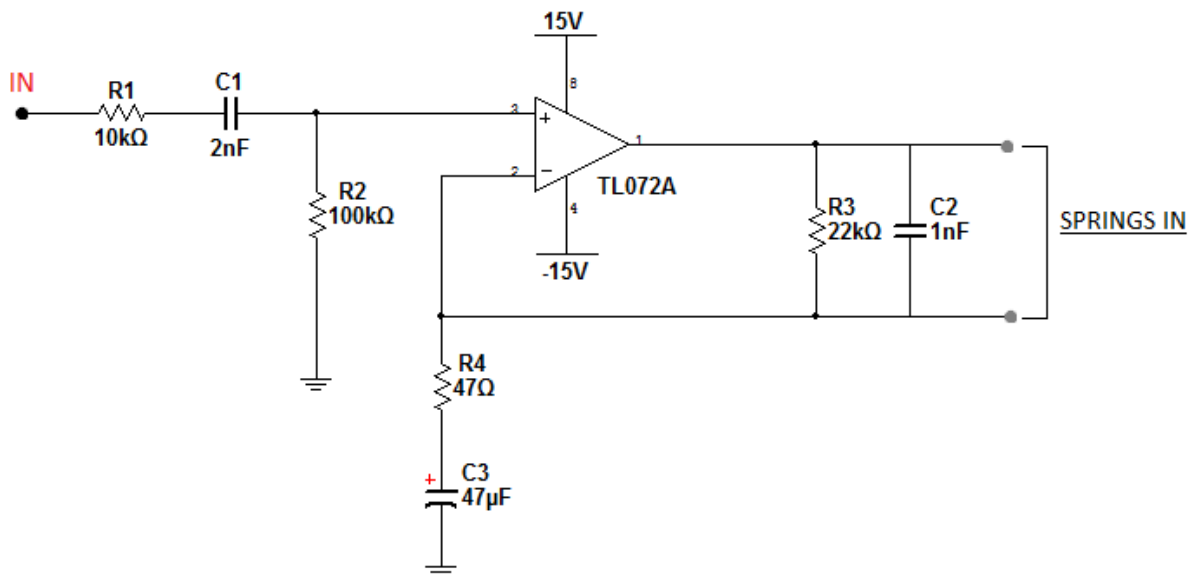
Όταν ένα σήμα εισέλθει στην είσοδο περνάει πρώτα από το κύκλωμα οδήγησης (ή προενίσχυσης) και στη συνέχεια από το διακόπτη αποκοπής χαμηλών συχνοτήτων. Ανάλογα με το αν ο διακόπτης είναι κλειστός ή ανοιχτός ακολουθεί την ανάλογη πορεία, δηλαδή όταν είναι κλειστός δεν περνάει μέσα από το κύκλωμα αποκοπής, ενώ ανοιχτός περνάει και επηρεάζεται από αυτό. Στη συνέχεια περνάει από το διακόπτη επιλογής ελατηρίου, όπου αν ο διακόπτης είναι στην πάνω θέση, το σήμα πηγαίνει στον medium τύπο ελατηρίου, ενώ αν είναι στην κάτω θέση πηγαίνει στο long τύπο ελατηρίου. Στην συνέχεια, το σήμα εισέρχεται στο κύκλωμα ανάκτησης και τέλος οδηγείται στην έξοδο του κυκλώματος.

ΚΥΚΛΩΜΑ ΟΔΗΓΗΣΗΣ

Το κύκλωμα οδήγησης είναι μια διάταξη από την οποία περνάει το σήμα εισόδου πριν εισέλθει στο ελατήριο. Το κύκλωμα οδήγησης είναι σημαντικό κομμάτι του κυκλώματος της συσκευής, καθώς το σήμα θα πρέπει να οδηγηθεί σωστά στην είσοδο του ελατηρίου, που σημαίνει ότι θα πρέπει το σήμα εισόδου να είναι στο μέγιστο και πριν να παραμορφώσει.

Ο τελεστικός ενισχυτής ο οποίος χρησιμοποιήθηκε είναι ο TL072, με μη αναστρέφουσα ανάδραση τάσης. Γενικά οι τελεστικοί ενισχυτές έχουν μεγάλη σύνθετη αντίσταση εισόδου και μικρή σύνθετη αντίσταση εξόδου και σχεδόν ποτέ δεν χρησιμοποιούνται χωρίς ανάδραση. [3]

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το κύκλωμα οδήγησης.

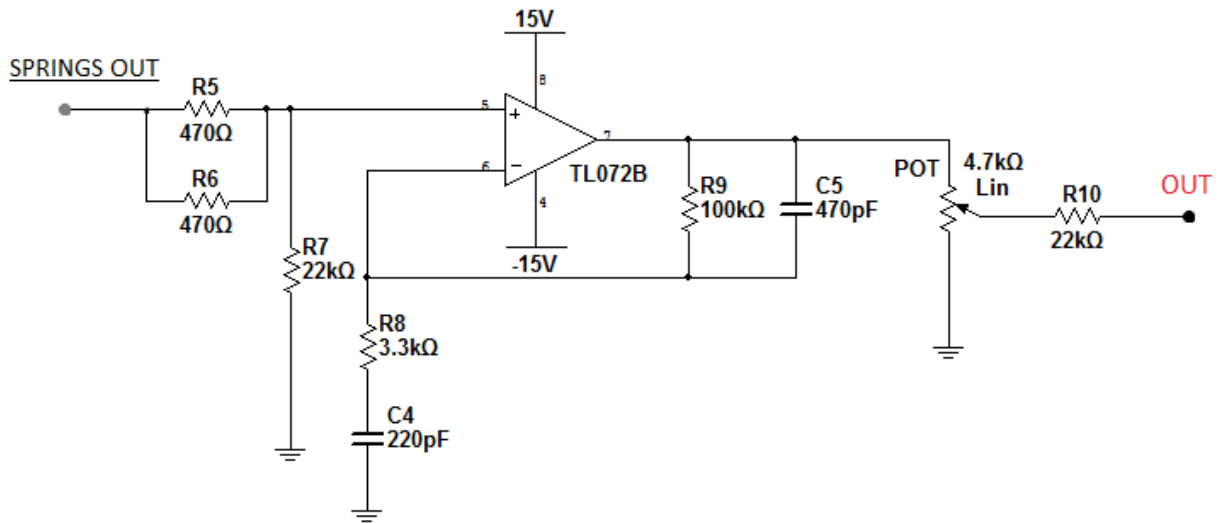


Εικόνα 3.2: Το κύκλωμα οδήγησης

Ο πυκνωτής C1 είναι πυκνωτής σύζευξης, ο οποίος επιτρέπει την διέλευση της ac συνιστώσας και εμποδίζει την διέλευση της dc συνιστώσας. Η αντίσταση που παρουσιάζει ο πυκνωτής είναι: $X_C = \frac{1}{\omega C}$ [3.1]. Η συχνότητα του συνεχούς ρεύματος είναι μηδέν, οπότε η X_C είναι άπειρη για κάθε dc σήμα, με αποτέλεσμα να εμποδίζεται η διέλευση του dc σήματος. Ο πυκνωτής C3 είναι πυκνωτής απόζευξης ή παράκαμψης και συνδέει κάποιο σημείο του κυκλώματος οδήγησης με την ac γη, δηλαδή ο πυκνωτής αυτός αποτελεί βραχυκύκλωμα για ένα ac σήμα. Η R1 ονομάζεται αντίσταση εισόδου, η οποία συνήθως είναι 10 φορές μεγαλύτερη από την αντίσταση εξόδου του κυκλώματος οδήγησης. Η R3 είναι ονομάζεται η αντίσταση ανάδρασης, είναι βασική για την λειτουργία της ανάδρασης στο κύκλωμα και συνεπώς αυτή είναι που ρυθμίζει το κέρδος τάσης του κυκλώματος οδήγησης. Η αντίσταση R4 λειτουργεί σαν διαιρέτης τάσης και έτσι ένα ποσοστό της τάσης εξόδου, γίνεται τάση ανάδρασης. [6]

ΚΥΚΛΩΜΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ

Παρακάτω παρουσιάζεται γραφικά το κύκλωμα ανάκτησης.



Εικόνα 3.3: Το κύκλωμα ανάκτησης.

Ο πυκνωτής C4 είναι πυκνωτής απόζευξης ή παράκαμψης και συνδέει κάποιο σημείο του κυκλώματος ανάκτησης με την ac γη, δηλαδή ο πυκνωτής αυτός αποτελεί βραχυκύκλωμα για ένα ac σήμα. Οι αντιστάσεις R5 και R6 είναι παράλληλα τοποθετημένες, έτσι ώστε η συνολική αντίσταση τους να είναι: $R_{56} = \frac{R5 \cdot R6}{R5 + R6}$, η οποία είναι η αντίσταση εισόδου του κυκλώματος ανάκτησης. Η R9 είναι ονομάζεται η αντίσταση ανάδρασης, είναι βασική για τη λειτουργία της ανάδρασης στο κύκλωμα και συνεπώς, αυτή είναι που ρυθμίζει το κέρδος τάσης του κυκλώματος οδήγησης. Η αντίσταση R8 λειτουργεί σαν διαιρέτης τάσης και έτσι ένα ποσοστό της τάσης εξόδου, γίνεται τάση ανάδρασης. Το ποτενσιόμετρο POT, είναι μεταβλητή αντίσταση και ρυθμίζει πόσο από σήμα θα περάσει στην έξοδο του κυκλώματος. Η αντίσταση R10 είναι η αντίσταση εξόδου του κυκλώματος.

ΦΙΛΤΡΟ ΑΠΟΚΟΠΗΣ ΧΑΜΗΛΩΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ

Φίλτρα, γενικότερα, ονομάζονται οι διατάξεις εκείνες που, καθώς το σήμα εισόδου περνάει από μέσα τους, αυτές στην έξοδο είτε επιτρέπουν, είτε μπλοκάρουν ένα μέρος τους σήματος. Οι πιο συνηθισμένες διατάξεις είναι:

1. Το χαμηλοπερατό φίλτρο (Low Pass Filter) – όπου επιτρέπει στις χαμηλές συχνότητες να περνούν ανεπηρέαστες μέχρι και την συχνότητα f_c όπου από εκεί και πέρα μπλοκάρουν την έξοδο στις υπόλοιπες συχνότητες.
2. Το υψηλοπερατό φίλτρο (High Pass Filter) - όπου επιτρέπει την έξοδο σε σήμα από την συχνότητα f_c και πάνω. Από την f_c και κάτω το φίλτρο εξασθενεί τις υπόλοιπες συχνότητες.

3. Το φίλτρο διέλευσης ζώνης (Band Pass Filter) – το οποίο επιτρέπει την διέλευση συχνοτήτων μέσα από συγκεκριμένη περιοχή συχνοτήτων. Όλες οι υπόλοιπες που δεν είναι σε αυτήν την περιοχή αποκόπτονται.

Στην κατασκευή υπάρχει ενσωματωμένο ένα παθητικό φίλτρο αποκοπής χαμηλών συχνοτήτων ή αλλιώς υψηλοπερατό, δεύτερης τάξης.

Κάθε φίλτρο έχει και μία συχνότητα αποκοπής όπου υπολογίζεται από τον τύπο:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad [3.2] \text{ σε Hz, για φίλτρο } 1^{\text{ης}} \text{ τάξης και}$$

$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 C_1 R_2 C_2}}$ [3.3] σε Hz, για φίλτρο 2^{ης} τάξης, όπου R είναι η τιμή της αντίστασης σε Ohm και C η τιμή του πυκνωτή σε Farad.

$$\text{Η αλλαγή φάσης υπολογίζεται: } PhaseShift \varphi = \arctan \frac{1}{2\pi RC} \quad [3.4]$$

Η τάση στην έξοδο αντιστοιχεί σε $V_{OUT} = V_{IN} * \frac{R_2}{R_1 + R_2}$ [3.5], όπου $R_1 + R_2 = R_{OL}$ [3.6] η ολική αντίσταση του κυκλώματος, αν μιλάμε για δύο αντιστάσεις συνδεδεμένες σε σειρά.

Η αντίσταση ενός πυκνωτή X_c , μεταβάλλεται αντιστρόφως με την συχνότητα, καθώς η τιμή της αντίστασης παραμένει σταθερή όταν η συχνότητα αλλάζει. Σε χαμηλές συχνότητες, η αντίσταση του πυκνωτή γίνεται πολύ υψηλή σε σχέση με την ωμική αντίσταση R και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να περνάει μεγαλύτερη τάση V_c μέσα από τα άκρα του πυκνωτή από ότι στην αντίσταση. Σε υψηλότερες συχνότητες συμβαίνει το αντίθετο, δηλαδή, η τάση V_r της ωμικής αντίστασης είναι μεγαλύτερη από την τάση V_c .

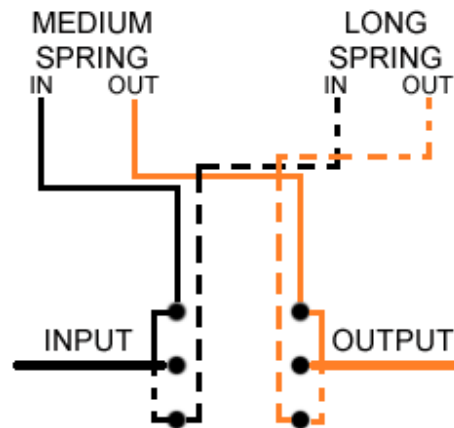
Για χαμηλές συχνότητες ισχύει ότι το $X_c \rightarrow \infty$ - $V_{out}=0$ και για υψηλές συχνότητες το $X_c \rightarrow 0$, $V_{out}=V_{in}$.

Η μείωση της έντασης A_v δίνεται ως V_{out}/V_{in} και υπολογίζεται ως:

$$A_v = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + X_c^2}} \quad [3.7] \text{ και ως } G = 20 * \log \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} \quad [3.8], \text{ εκφρασμένο σε dB.}$$

Η αντίσταση του πυκνωτή σε ένα AC κύκλωμα δίνεται σχέση 3.1: $X_c = \frac{1}{2\pi f C}$ σε Ohm. Από τον τύπο γίνεται αντιληπτό ότι η αντίσταση που παρουσιάζει ο πυκνωτής είναι άμεσα συνδεδεμένος με την συχνότητα. Ακόμη, η εμπέδηση υπολογίζεται: $Z = \sqrt{R^2 + X_c^2}$ [3.9]

Συνδυάζοντας τους παραπάνω τύπους (3.7 και 3.9) καταλήγουμε στον:

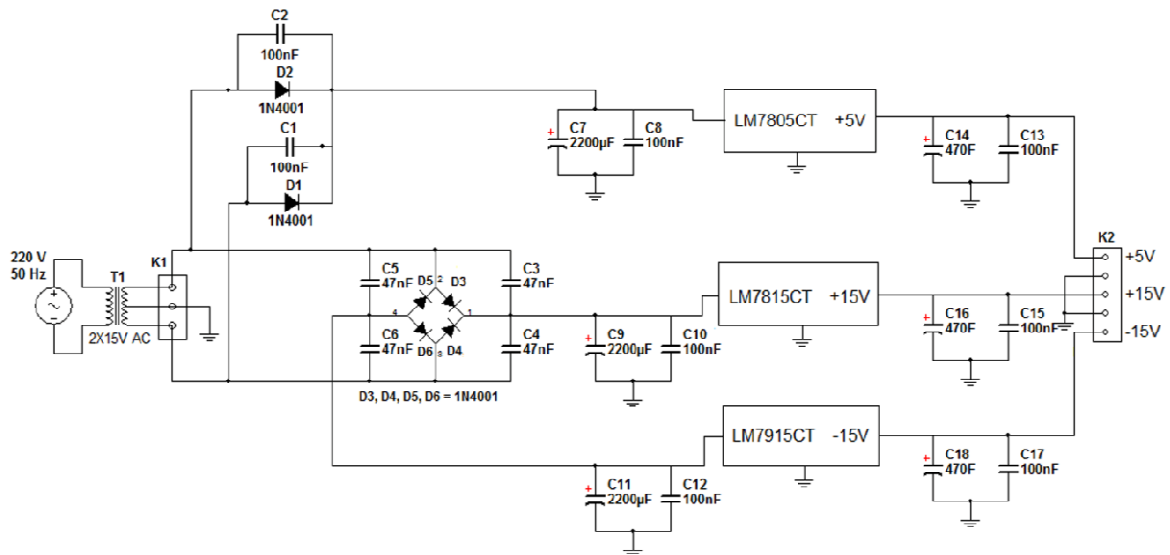


Εικόνα 3.5: Σχέδιο διακόπτη.

Οι συνεχείς γραμμές συμβολίζουν τη μία θέση του διακόπτη, η οποία επιλέγει τον Medium τύπο ελατήριου και οι διακεκομμένες τη δεύτερη θέση, δηλαδή τη λειτουργία του Long τύπου ελατηρίου.

3.2 ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ ΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ

Στην παρακάτω εικόνα περιγράφεται το ηλεκτρονικό κύκλωμα της συμμετρικής τροφοδοσίας.



Εικόνα 3.6: Το κύκλωμα του τροφοδοτικού

ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ

Πρόκειται για ένα σταθεροποιημένο, διπλό τροφοδοτικό, όπου στη μια έξοδο έχουμε σταθεροποιημένη τάση 5V - η οποία στην συγκεκριμένη περίπτωση δεν χρησιμοποιείται - και στην άλλη έξοδο έχουμε συμμετρική τάση $\pm 15V$ για τη τροφοδότηση του τελεστικού ενισχυτή της κατασκευής του spring reverb.

Το τροφοδοτικό αυτό μπορεί να δώσει μεγάλο ρεύμα στις εξόδους του ανάλογα με τη τάση και την ισχύ του μετασχηματιστή. Επίσης είναι σχεδιασμένο με τέτοιο τρόπο ώστε αλλάζοντας μόνο τους σταθεροποιητές να έχουμε στις εξόδους του διαφορετικές τάσεις. Αυτά έχουν σαν αποτέλεσμα να μπορεί να χρησιμοποιηθεί το ίδιο το τροφοδοτικό και σε άλλα κυκλώματα. [8]

ΑΝΑΛΥΣΗ

Το παραπάνω σχήμα περιγράφει το ηλεκτρονικό σχέδιο του τροφοδοτικού. Στην κλέμα K1 εισάγεται η εναλλασσόμενη τάση $2*15V$ από το μετασχηματιστή TR1. Ο μετασχηματιστής διαθέτει δύο τυλίγματα των 15V, όπου τα δύο μεσαία άκρα του ενώνονται μεταξύ τους και γειώνονται, όπως φαίνεται στο σχέδιο. Η ισχύς του μετασχηματιστή εξαρτάται κυρίως από το που θα χρησιμοποιήσουμε το τροφοδοτικό και πόσο ρεύμα χρειαζόμαστε. Το τροφοδοτικό παράγει σταθεροποιημένη συμμετρική τάση $\pm 15V$ στην μία του έξοδο και σταθεροποιημένη τάση 5V.

Η εναλλασσόμενη τάση από τα δύο άκρα του μετασχηματιστή οδηγείται σε μια γέφυρα πλήρους ανόρθωσης και σε ένα κύκλωμα ημιανόρθωσης με δύο διόδους. Η γέφυρα πλήρους ανόρθωσης χρησιμοποιείται για την δημιουργία της συμμετρικής τάσης των 15V, ενώ το κύκλωμα ημιανόρθωσης για την παραγόμενη τάση των 5V. Η γέφυρα πλήρους ανόρθωσης αποτελείται από τις διόδους D3, D4, D5, D6, ενώ οι διόδοι D1 και D2 χρησιμοποιούνται για το κύκλωμα της ημιανόρθωσης. Οι ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές C7, C9 και C11 χρησιμοποιούνται για την εξομάλυνση των τάσεων που παράγονται από τη γέφυρα και από την ημιανόρθωση.

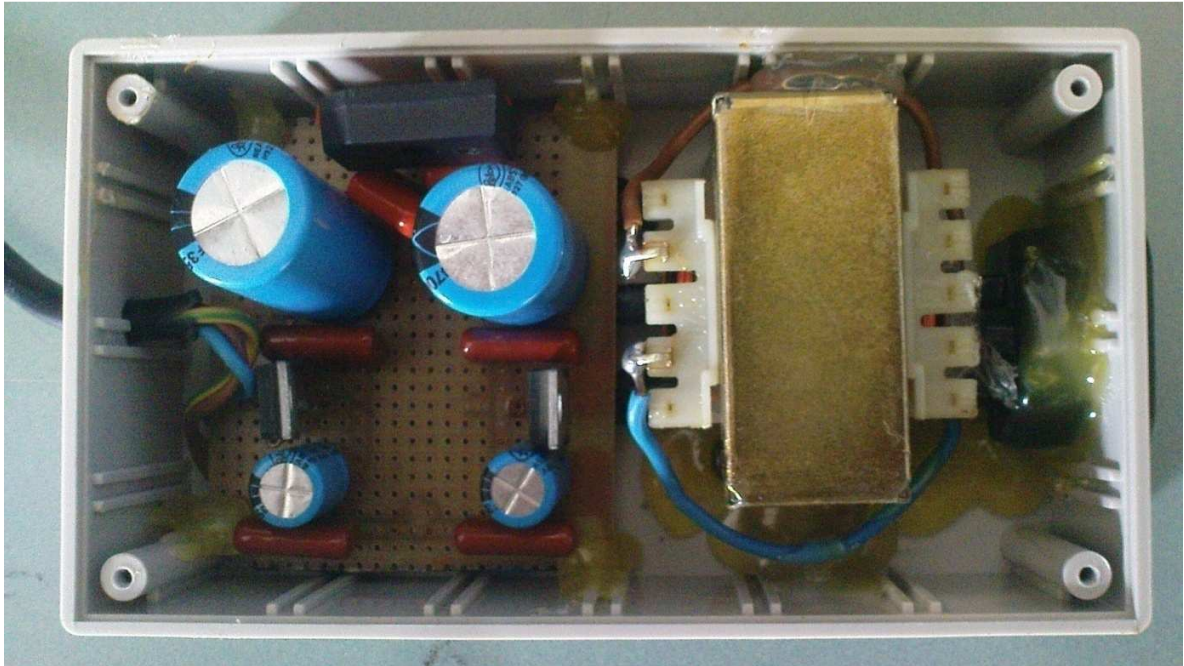
Η μεγάλη χωρητικότητα τους βοηθάει για την ελαχιστοποίηση της κυμάτωσης και του θορύβου, καθώς επίσης και για να μπορεί να δώσει το τροφοδοτικό μεγάλα ρεύματα της τάξεως του 1A με χαμηλή κυμάτωση.

Οι πυκνωτές C8, C10 και C12 εξομαλύνουν παρασιτικά σήματα υψηλότερων συχνοτήτων, ενώ οι πυκνωτές που βρίσκονται παράλληλα σε κάθε δίοδο, χρησιμοποιούνται για την εξάλειψη θορύβων που παράγονται από τις διόδους.

Στην είσοδο του IC1 η τάση από το κύκλωμα ημιανόρθωσης φτάνει στα 20V, ενώ στις εισόδους των IC2 και IC3 είναι 20V και -20V αντίστοιχα. Οι πυκνωτές C13, C14, C15, C16, C17 και C18 χρησιμοποιούνται για τις εξομαλύνσεις των τάσεων εξόδου και τη μείωση παρασιτικών θορύβων.

Η αντίσταση R1 χρησιμοποιείται για το περιορισμό του ρεύματος που διαρρέει το led LD1. Στην κατασκευή που πραγματοποιήθηκε η R1 και το led LD1 δεν υπάρχουν. [8]

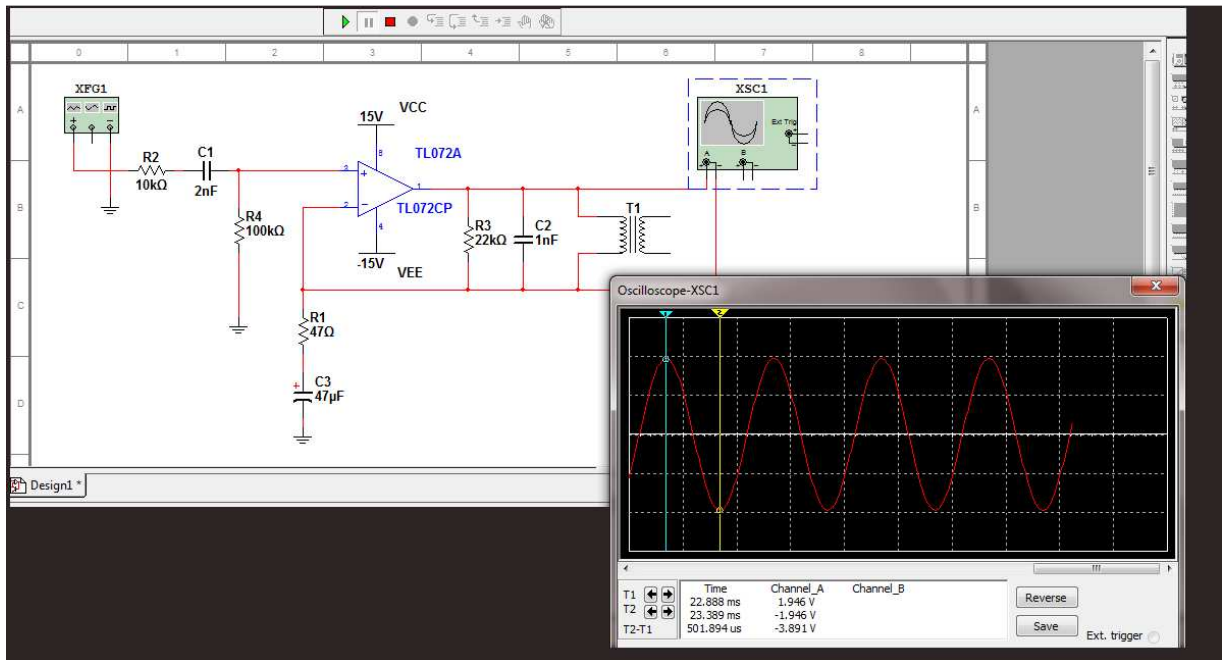
Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται το τροφοδοτικό υλοποιημένο.



Εικόνα 3.7: Το υλοποιημένο κύκλωμα του τροφοδοτικού

3.3 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ MULTISIM

Πριν την τελική κατασκευή του κυκλώματος, πραγματοποιήθηκε προσομοίωση της λειτουργίας στο λογισμικό, για ηλεκτρονική σχεδίαση και μελέτη, Multisim της εταιρίας National Instrument. Οι μετρήσεις έγιναν για σήμα εισόδου 400mV (V_{pp}) συχνότητας 1kHz. Αρχικά κατασκευάστηκε και μελετήθηκε το κύκλωμα της προενίσχυσης.



Εικόνα 3.8: Προσομοίωση κυκλώματος προενίσχυσης.

Στην παραπάνω προσομοίωση του κυκλώματος της προενίσχυσης, προστέθηκε ένα ακόμα στοιχείο, το οποίο είναι ο μετατροπέας T1. Το στοιχείο T1, τοποθετήθηκε για τον λόγο ότι δεν υπάρχει ψηφιακή προσομοίωση του Reverb Tank. Από τον τύπο της επαγωγικής αντίστασης στο AC εξάγονται τα χαρακτηριστικά του T1.

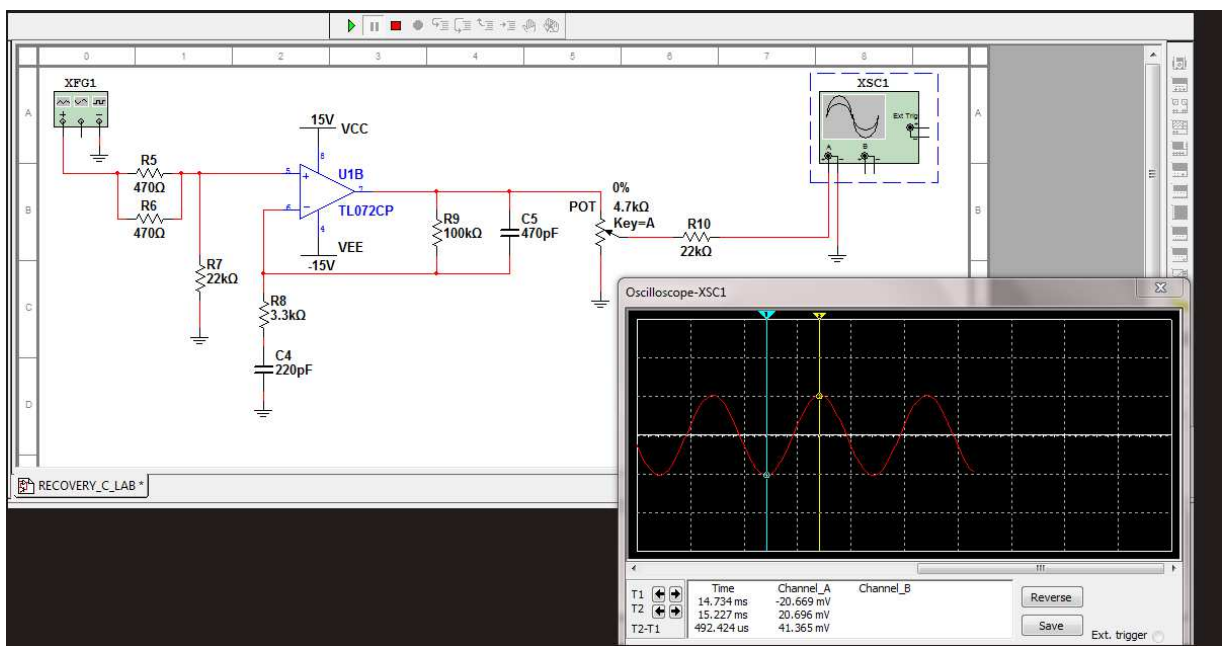
Ο τύπος της επαγωγικής αντίστασης ορίζεται ως: $X_C = 2\pi fL \rightarrow L = \frac{X_C}{2\pi f}$ [3.11] Όπου L είναι η αυτεπαγωγή του πηνίου, f η συχνότητα ίση με 1kHz, η εμπέδηση $X_C=310\Omega$ για την είσοδο και $X_C=2575\Omega$ για την έξοδο, τιμές που αναφέρει εταιρία κατασκευής για την μονάδα του ελατηρίου που χρησιμοποιήθηκε. [9]

Έτσι αντικαθιστώντας στον τύπο 3.11 τα χαρακτηριστικά του T1 είναι: πρωτεύον αυτεπαγωγή πηνίου: $L = \frac{310}{2\pi 1000} = 49,338mH$ και δευτερεύον αυτεπαγωγή πηνίου: $L = \frac{2575}{2\pi 1000} = 409,824mH$. Με την συνδεσμολογία αυτή η μέτρηση γίνεται έγκυρη, καθώς χωρίς το T1 δεν είναι δυνατόν να γίνει μέτρηση, λόγο ότι δεν μπορεί διαφορετικά να προσομοιωθεί η μονάδα του ελατηρίου. [9]

Η έξοδος του κυκλώματος προενίσχυσης στην Multisim είναι $V'_{out-pre} = 3,892V$ (Vpp) ενώ η μετρήσιμη έξοδος είναι $V_{out-pre} = 3,3V$ (Vpp).

Το σφάλμα ανάμεσα στην πειραματική και θεωρητική τιμή είναι: $\Sigma\phi\acute{\alpha}\lambda\mu\alpha\% = \frac{3,3-3,892}{3,3} * 100 = 17,9\%$. Η τιμή του σφάλματος θεωρείται λίγο παραπάνω από ότι την αποδεκτή (της τιμής του 10%), όμως πρόκειται για προσομοίωση του κυκλώματος και θεωρείται απόλυτα λογικό να υπάρχουν αποκλίσεις. Ακόμη η τοποθέτηση του T1 και όχι του Reverb Tank πιθανών να ευθύνεται για κάποιες αποκλίσεις.

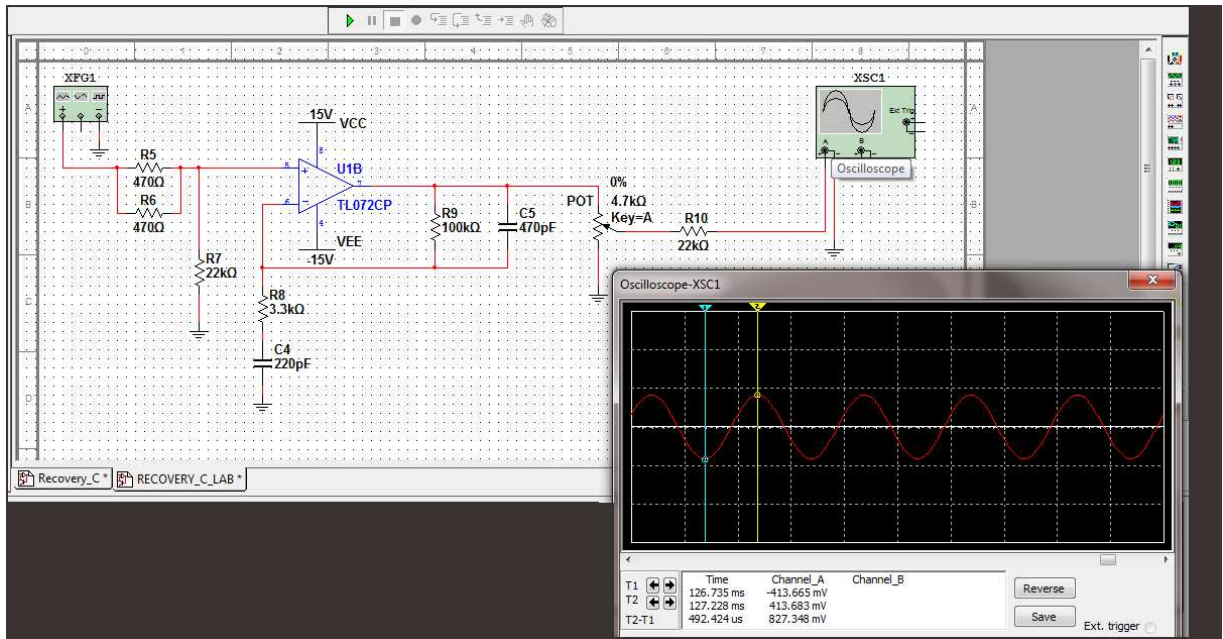
Πραγματοποιήθηκε προσομοίωση στο λογισμικό Multisim και του κυκλώματος ανάκτησης, έγιναν για δύο σήματα εισόδου αρχικά για 10mV και στην συνέχεια για 400mV (Vpp) συχνότητας 1kHz. Η κατασκευή και μελέτη φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 3.9: Προσομοίωση κυκλώματος ανάκτησης για $V_{in} = 10mV$.

Για σήμα εισόδου 10mV, η πειραματική $V'_{out-rec1} = 41,365mV$ (Vpp) ενώ η μετρήσιμη έξοδος είναι $V_{out-rec1} = 50mV$ (Vpp).

Το σφάλμα ανάμεσα στην πειραματική και θεωρητική τιμή είναι: $\Sigma\phi\acute{\alpha}\lambda\mu\alpha\% = \frac{50-41,365}{50} * 100 = 17,3\%$.



Εικόνα 3.10: Προσομοίωση κυκλώματος ανάκτησης για $V_{in} = 400\text{mV}$.

Για σήμα εισόδου 400mV , η έξοδος του κυκλώματος προενίσχυσης στην Multisim είναι $V'_{out-rec2} = 827,348\text{mV}$ (V_{pp}) ενώ η μετρήσιμη έξοδος είναι $V_{out-rec2} = 960\text{mV}$ (V_{pp}).

Το σφάλμα ανάμεσα στην πειραματική και θεωρητική τιμή είναι:

Και στην προσομοίωση του κυκλώματος ανάκτησης, οι τιμές των σφαλμάτων θεωρούνται λίγο παραπάνω από ότι την αποδεκτή τιμή του. Ωστόσο, σε όλες τις περιπτώσεις οι αποκλίσεις είναι και λογικές και αποδεκτές, καθώς στο υλοποιημένο κύκλωμα υπάρχουν παράγοντες που δεν μπορούν να προσομοιαστούν (θερμοκρασία, απώλειες κτλ.).

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται αναλυτικά οι πειραματικές τιμές και οι τιμές που εξάχθηκαν από την προσομοίωση στην Multisim.

	$V_{out-pre}$ (V)	$V_{out-rec1}$ (mV)	$V_{out-rec2}$ (mV)
Πειραματική	3,3	41,365	827,348
Multisim	3,892	50	960
Σφάλμα %	17,9	17,3	13,5

Πίνακας 3.1: Πειραματικές και θεωρητικές τιμές.

4^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

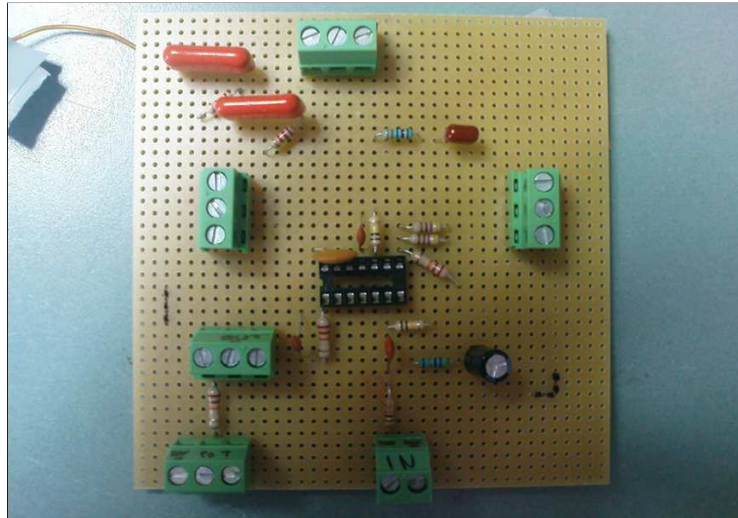
4^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ

4.1 ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

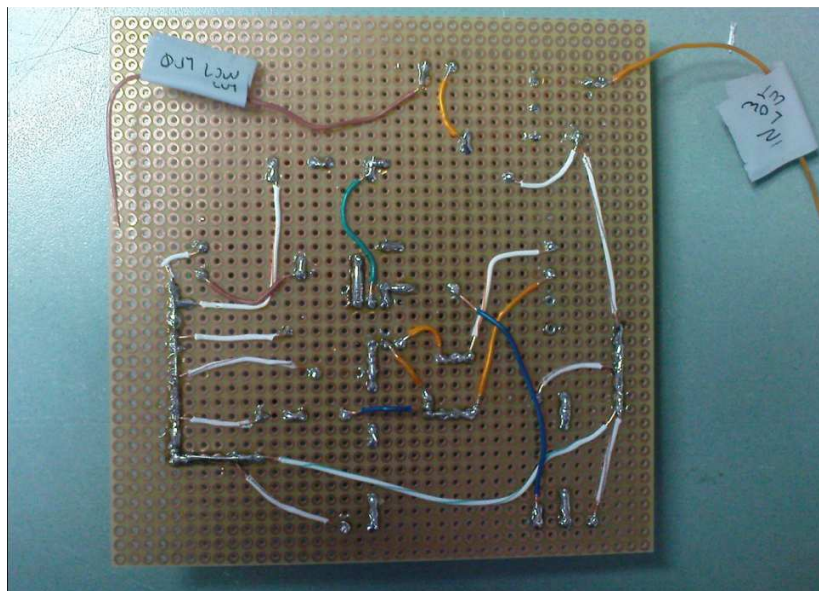
Αρχικά πραγματοποιήθηκε ένα δοκιμαστικό κύκλωμα της κατασκευής, χωρίς το φίλτρο αποκοπής χαμηλών συχνοτήτων και το διακόπτη επιλογής ελατηρίου και ελέγχθηκε ο τρόπος λειτουργίας του. Η λειτουργία του δοκιμαστικού κρίθηκε ικανοποιητική και έτσι ξεκίνησε η κατασκευή του τελικού κυκλώματος. Το τελικό ηλεκτρονικό κύκλωμα, κατασκευάστηκε από την αρχή και προστέθηκε σε αυτό το κύκλωμα του φίλτρου αποκοπής και του διακόπτη επιλογής ελατηρίου. Αφού ελέγχθηκε η λειτουργία του, τοποθετήθηκε στο αλουμινένιο μέρος του κουτιού. Το αλουμινένιο μέρος τροποποιήθηκε έτσι ώστε όλα τα ηλεκτρονικά μέρη να έχουν τη σωστή θέση μέσα στην κατασκευή με βάση τον αρχικό σχεδιασμό. Το αλουμινένιο μέρος τοποθετήθηκε στο πάνω μέρος της ξύλινης κατασκευής έτσι ώστε τα ελατήρια να τοποθετηθούν στο κάτω μέρος του κουτιού. Στη συνέχεια κατασκευάστηκε το κουτί της κατασκευής, αρχικά ξύλινο και αργότερα ντυμένο με δερματίνη. Αφού ολοκληρώθηκαν όλες οι απαραίτητες εργασίες για την τελική μορφή, ελέγχθηκε η ορθή λειτουργία της συσκευής και πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις της συσκευής για τα τεχνικά χαρακτηριστικά της.

4.2 ΣΤΑΔΙΑ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

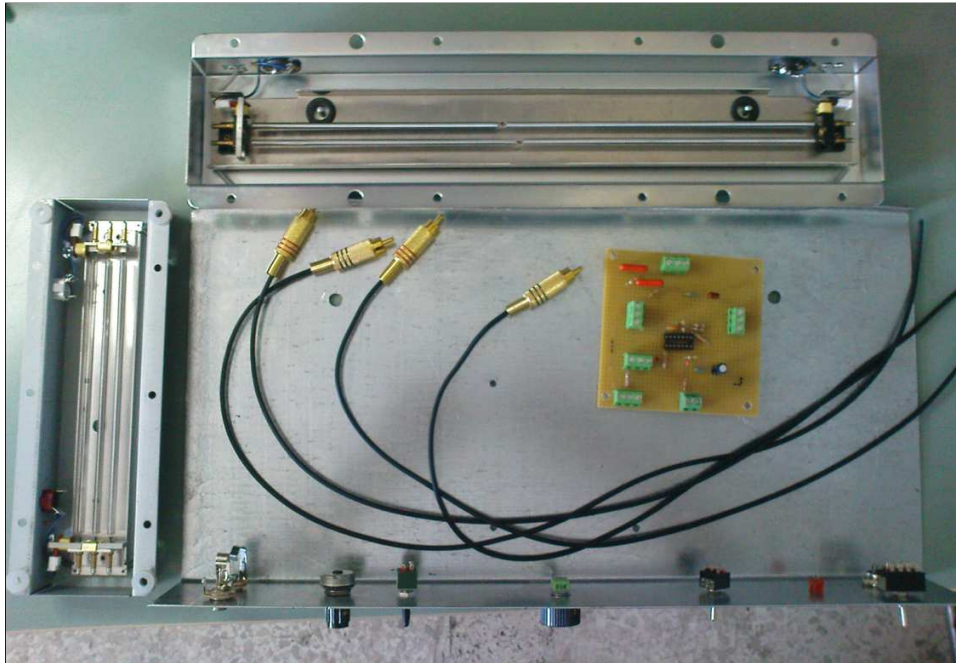
Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζεται η κατασκευή του ηλεκτρονικού μέρους, η κατασκευή του κουτιού, η επικάλυψη με δερματίνη, η τελική μορφή και ο έλεγχος ορθής λειτουργίας της συσκευής.



Εικόνα 4.1: Εμπρόσθια όψη του ηλεκτρονικού κυκλώματος



Εικόνα 4.2: Οπίσθια όψη του ηλεκτρονικού κυκλώματος



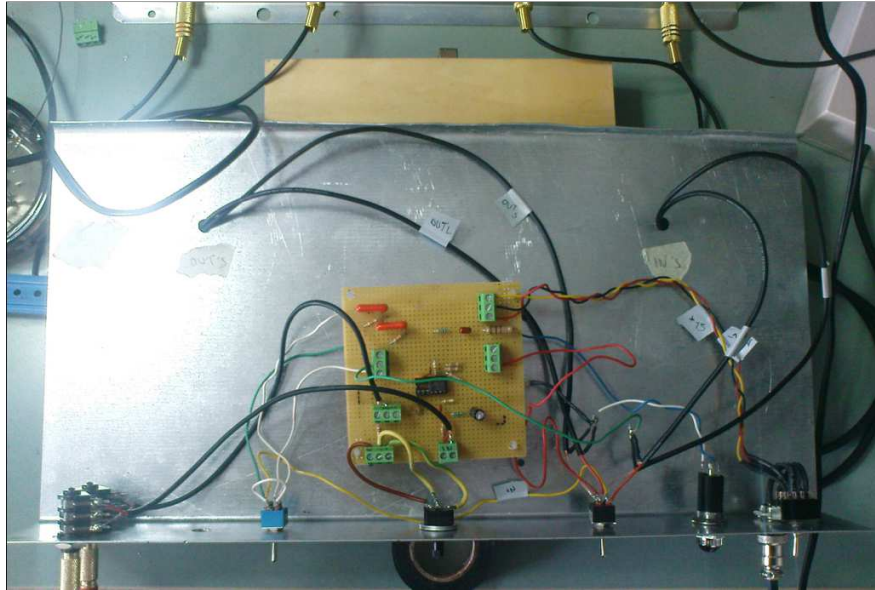
Εικόνα 4.3: Όλα τα εξαρτήματα πριν συνδεθούν μεταξύ τους.



Εικόνα 4.3: Κατασκευή κουτιού.



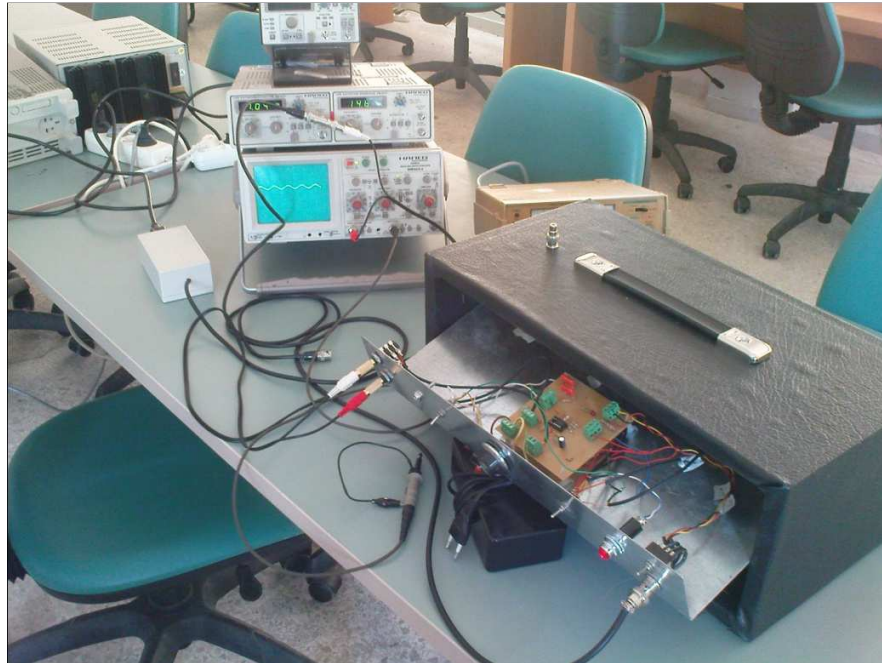
Εικόνα 4.4: Επένδυση κουτιού.



Εικόνα 4.5: Σύνδεση των επιμέρους τμημάτων της κατασκευής.



Εικόνα 4.6: Τελική μορφή της κατασκευής.



Εικόνα 4.7: Έλεγχος ορθής λειτουργίας.

4.3 ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΙ ΧΡΟΝΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Το κόστος της κατασκευής υπολογίζεται περίπου στα 180€, συμπεριλαμβανομένου όλων των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν. Ο χρόνος κατασκευή της υπολογίζεται περίπου στους 2 μήνες συνολικά, μαζί με όλη την προεργασία, πειραματισμό και έλεγχο που πραγματοποιήθηκαν μέχρι την τελική μορφή. Υποθετικά, αν η όλη διαδικασία επαναλαμβανόταν, ο χρόνος υλοποίησής της θα ήταν φυσικά μικρότερος και υπολογίζεται περίπου στις 2 εβδομάδες.

50 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

5^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

5.1 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Για τη σωστότερη κατανόηση όσον αφορά τη λειτουργία και εξαγωγή των ακριβών χαρακτηριστικών της τελικής συσκευής, πραγματοποιήθηκαν οι απαραίτητες μετρήσεις. Πραγματοποιήθηκε μέτρηση της κρουστική απόκρισης της συσκευής, μέτρηση της ολικής αρμονικής παραμόρφωσης και μέτρηση της σύνθετης αντίστασης εξόδου.

Η κρουστική απόκριση αποτελεί μια πολύ σημαντική πληροφορία για οποιοδήποτε γραμμικό και χρονικά αμετάβλητο σύστημα, γιατί γνωρίζοντας αυτήν και την είσοδο κάθε φορά, μπορεί να προβλεφθεί η έξοδος του συστήματος. Η κρουστική απόκριση δηλαδή είναι, το πώς το σύστημα κάθε φορά επιδρά σε οποιαδήποτε είσοδο. Ακόμη, μέσω της κρουστικής απόκρισης μπορεί να εξαχθεί και η συχνοτική απόκριση. Ως συχνοτική απόκριση ενός συστήματος ορίζεται ο μετασχηματισμός Fourier της κρουστικής απόκρισης του συστήματος αυτού. Η συχνοτική απόκριση συμβολίζεται με $H\{f\}$. Δηλαδή $h(t) \rightarrow \text{FFT} \rightarrow H\{f\}$.

5.2 ΣΥΧΝΟΤΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ - ΦΑΣΜΑΤΟΓΡΑΦΗΜΑΤΑ

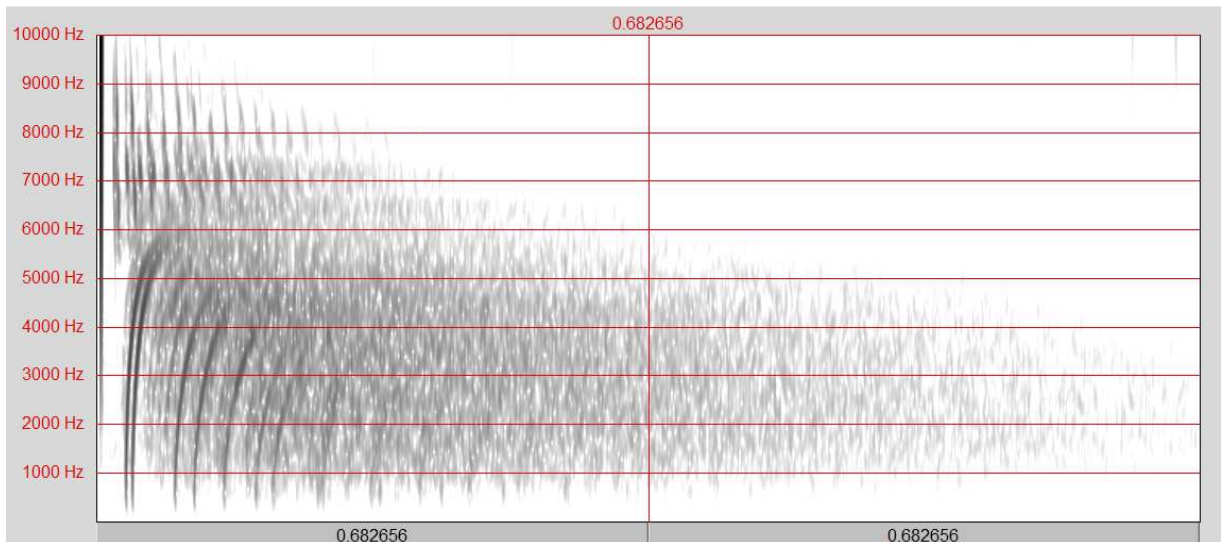
Πριν τις μετρήσεις έγινε βαθμονόμηση της κάρτας ήχου που χρησιμοποιήθηκε με το λογισμικό ARTA. Αρχικά πραγματοποιήθηκε μέτρηση της κρουστικής απόκρισης με τέσσερις διαφορετικές μεθόδους. Η πρώτη μέθοδος είναι η M.L.S. (*Maximum Length Sequence*), η δεύτερη με ροζ θόρυβο, η τρίτη με sweep tone και τέταρτη και τελευταία με λευκό θόρυβο. Η συχνότητα δειγματοληψίας ήταν 48kHz και 16-bit ανάλυση. Μέσω αυτών των κρουστικών αποκρίσεων υπολογίστηκαν με μετασχηματισμό Fourier οι παρακάτω συχνοτικές αποκρίσεις, με τη μορφή φασματογραφήματος στο λογισμικό Praat, με τη σειρά που πραγματοποιήθηκαν.

Εξοπλισμός

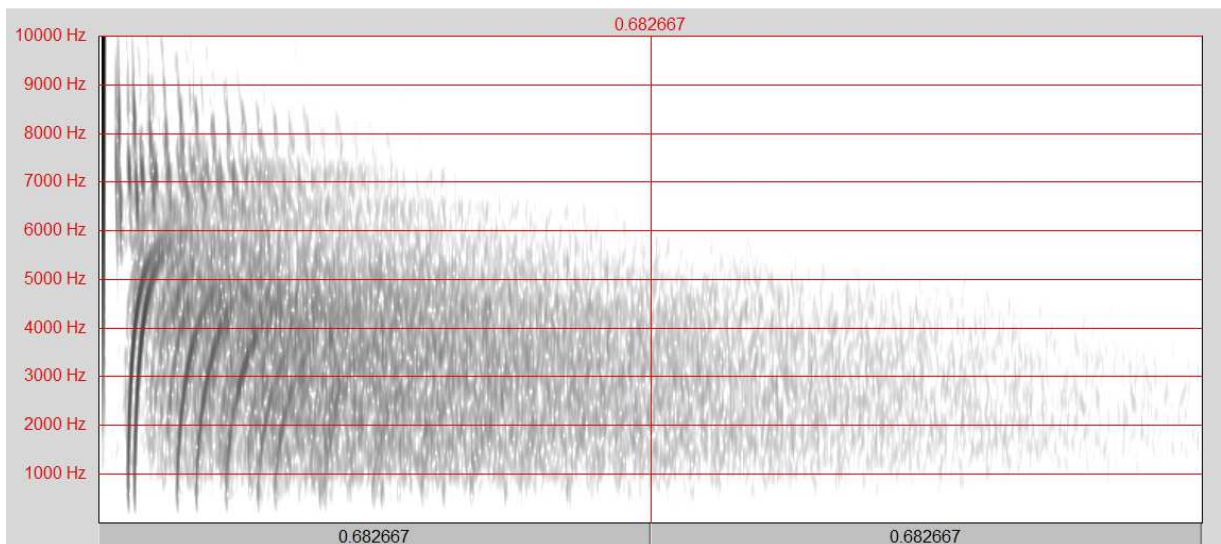
- Λογισμικό ARTA Version 1.7.1

- Λογισμικό Praat
- Κάρτα Ήχου Roland UA-55 Quad-Capture
- Spring Reverb Unit

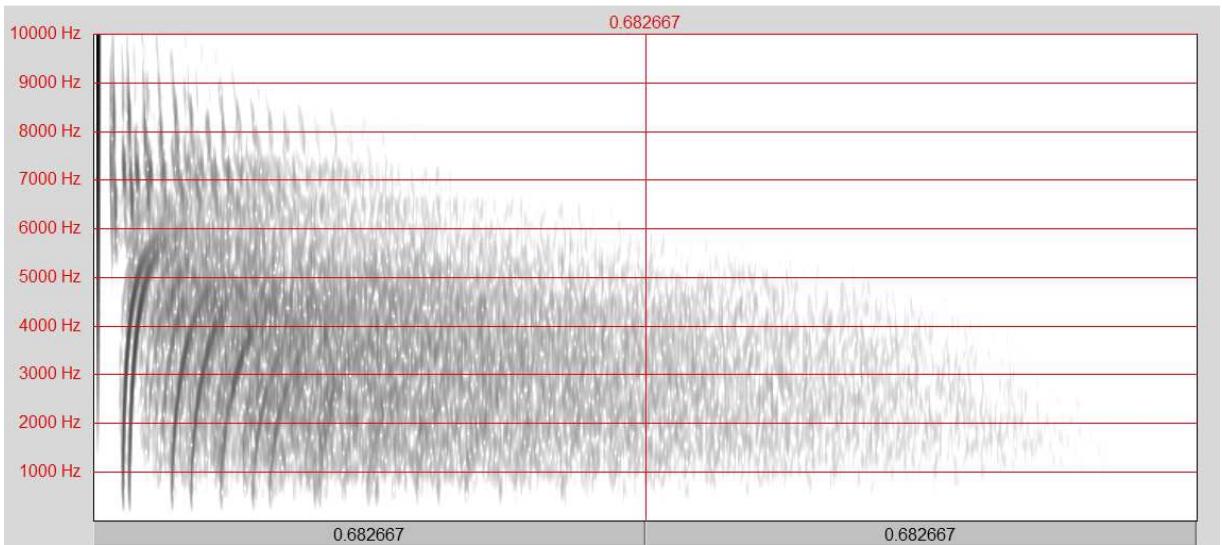
ΦΑΣΜΑΤΟΓΡΑΦΗΜΑΤΑ



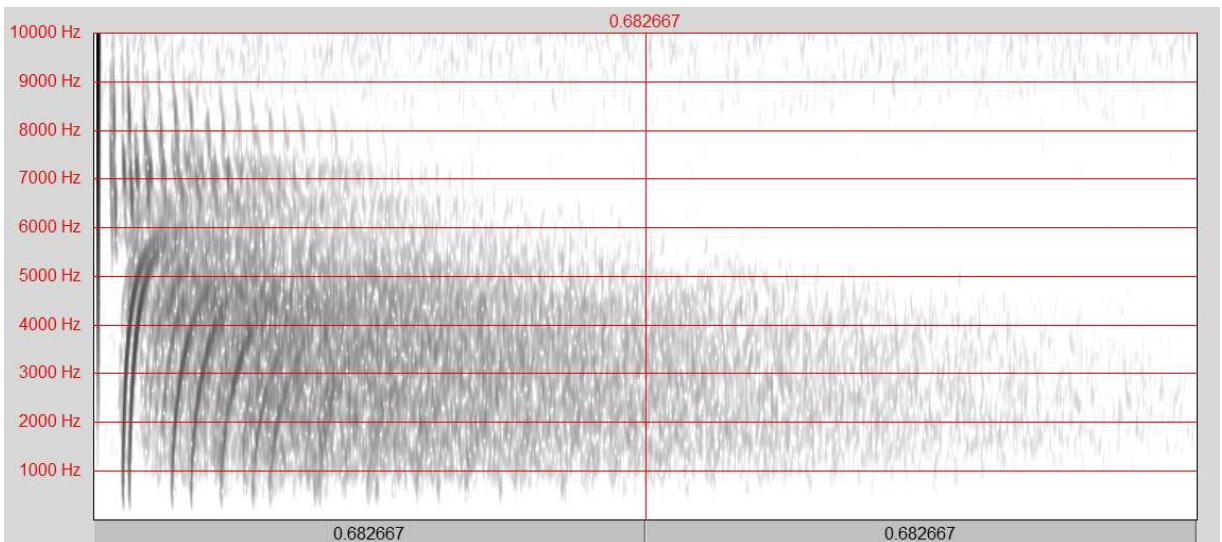
Εικόνα 5.1.1: Φασματογράφημα του Long Spring – Low Cut ON με την μέθοδο MLS.



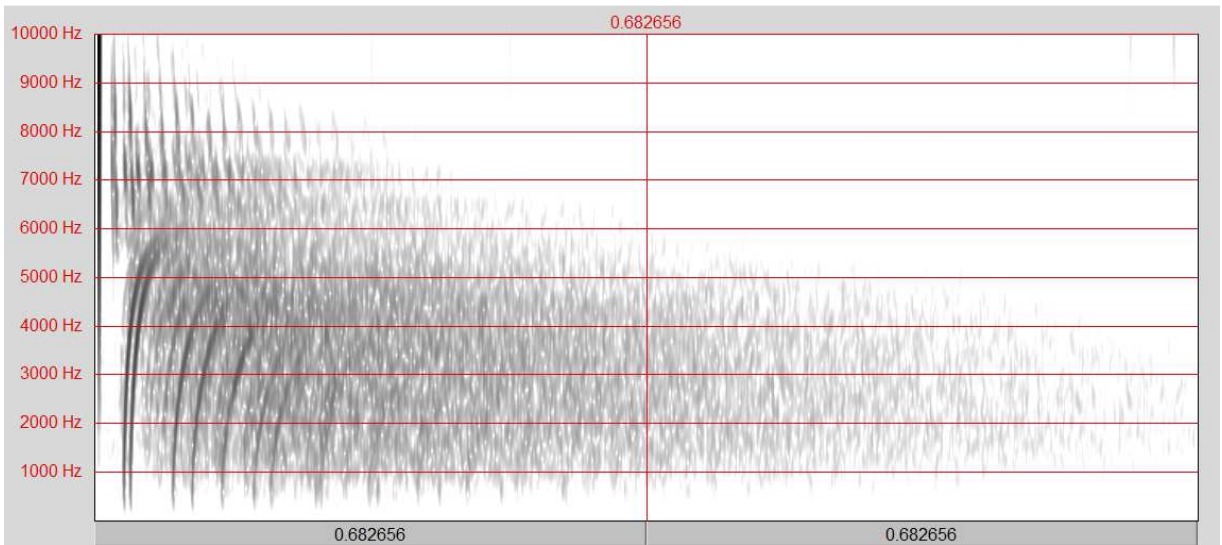
Εικόνα 5.1.2: Φασματογράφημα του Long Spring – Low Cut ON με pink noise.



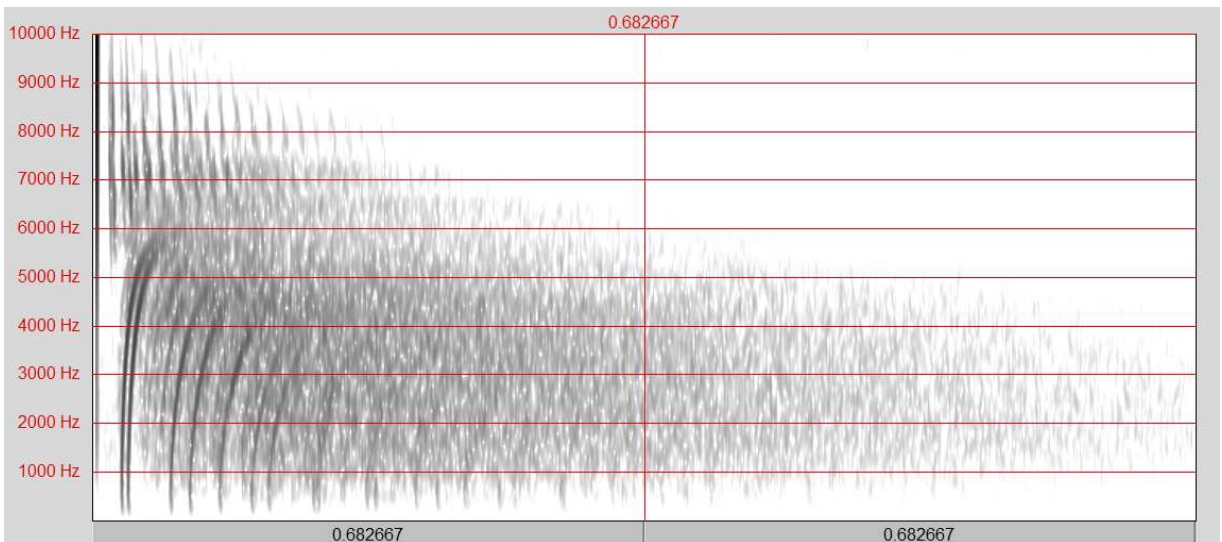
Εικόνα 5.1.3: Φασματογράφημα του Long Spring – Low Cut ON με sweep tone.



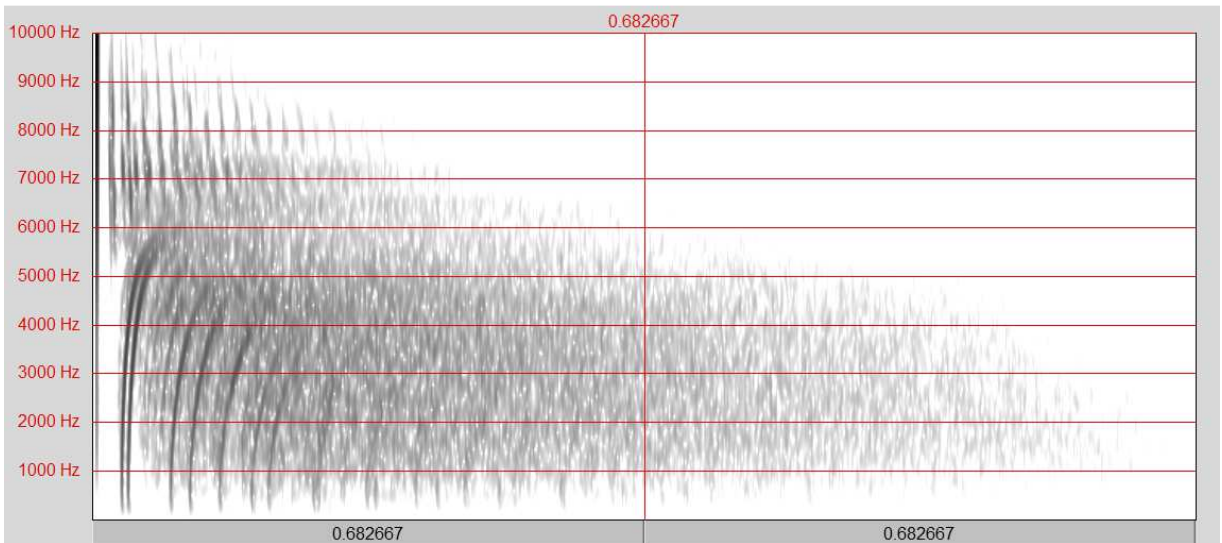
Εικόνα 5.1.4: Φασματογράφημα του Long Spring – Low Cut ON με white noise.



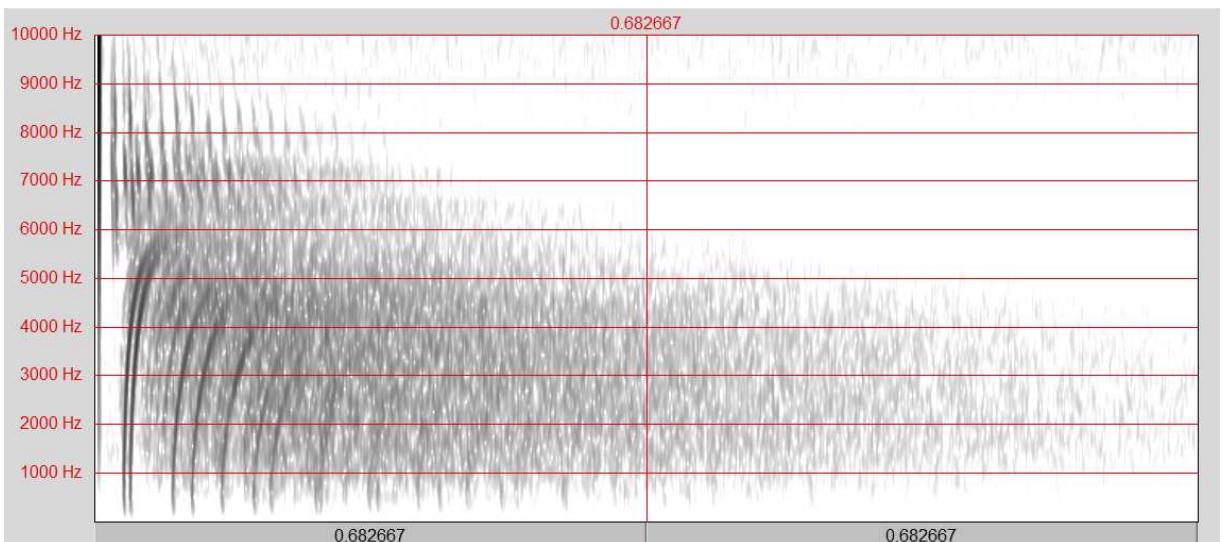
Εικόνα 5.2.1: Φασματογράφημα του Long Spring – Low Cut OFF με την μέθοδο MLS.



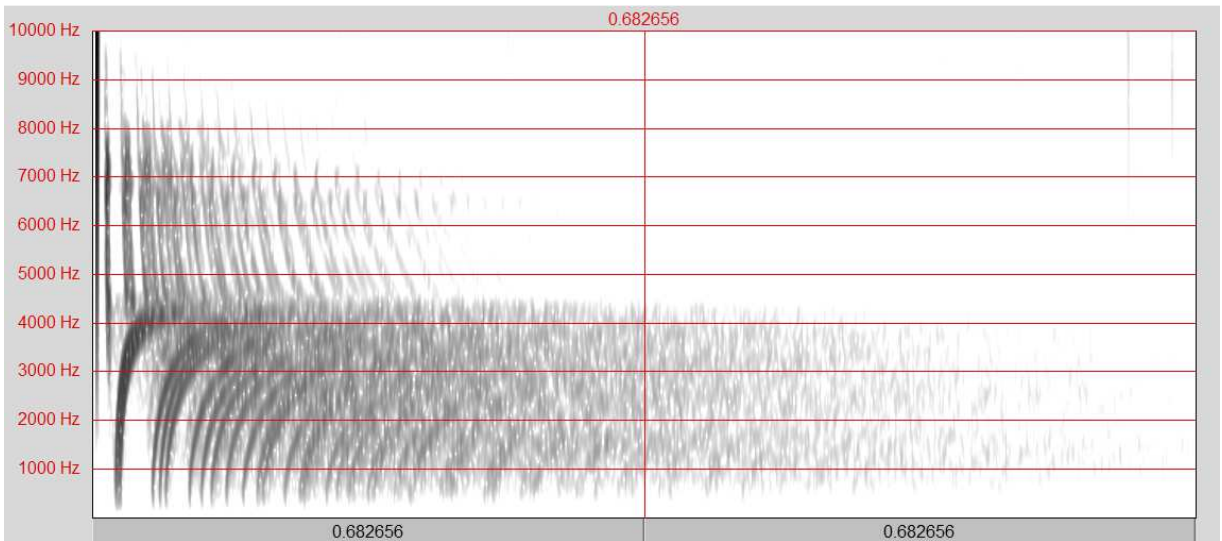
Εικόνα 5.2.2: Φασματογράφημα του Long Spring – Low Cut OFF με pink noise.



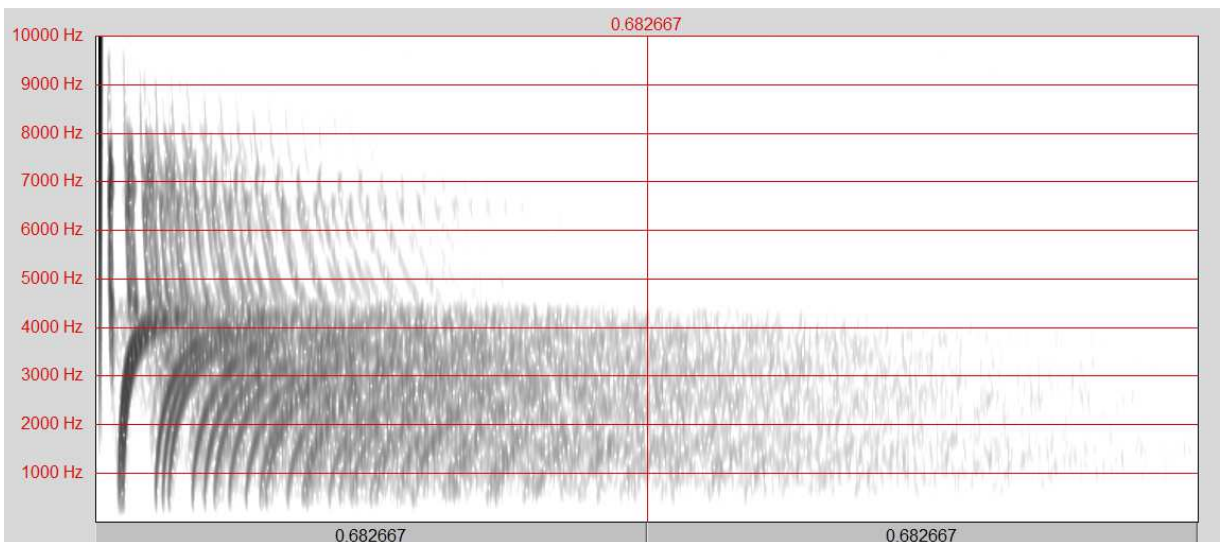
Εικόνα 5.2.3: Φασματογράφημα του Long Spring – Low Cut OFF με sweep tone.



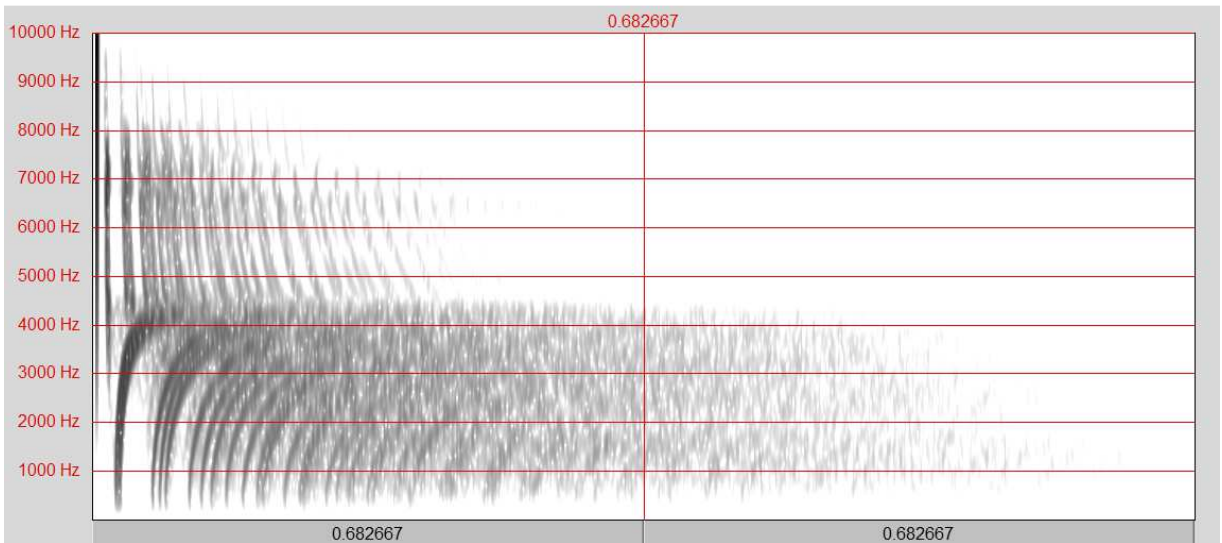
Εικόνα 5.2.4: Φασματογράφημα του Long Spring – Low Cut OFF με white noise.



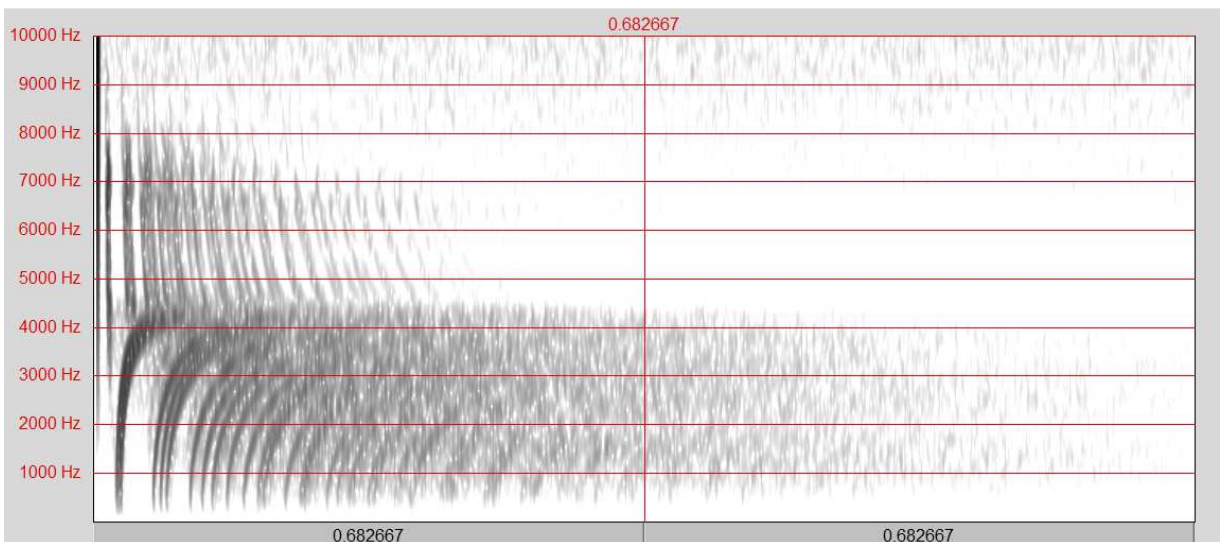
Εικόνα 5.3.1: Φασματογράφημα του Short Spring – Low Cut ON με την μέθοδο MLS.



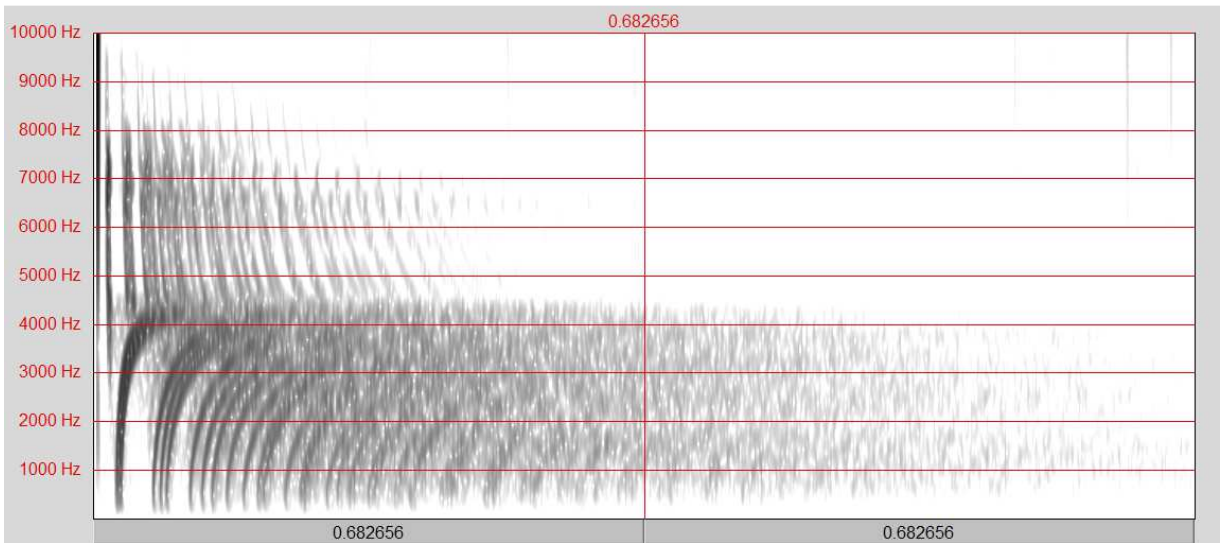
Εικόνα 5.3.2: Φασματογράφημα του Short Spring – Low Cut ON με pink noise.



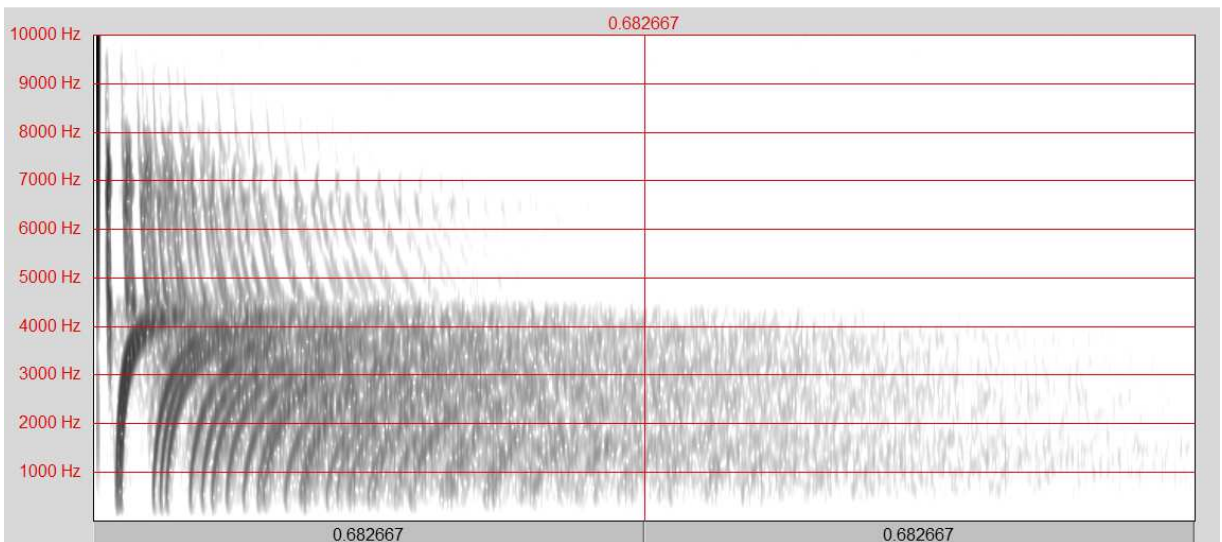
Εικόνα 5.3.3: Φασματογράφημα του Short Spring – Low Cut ON με sweep tone.



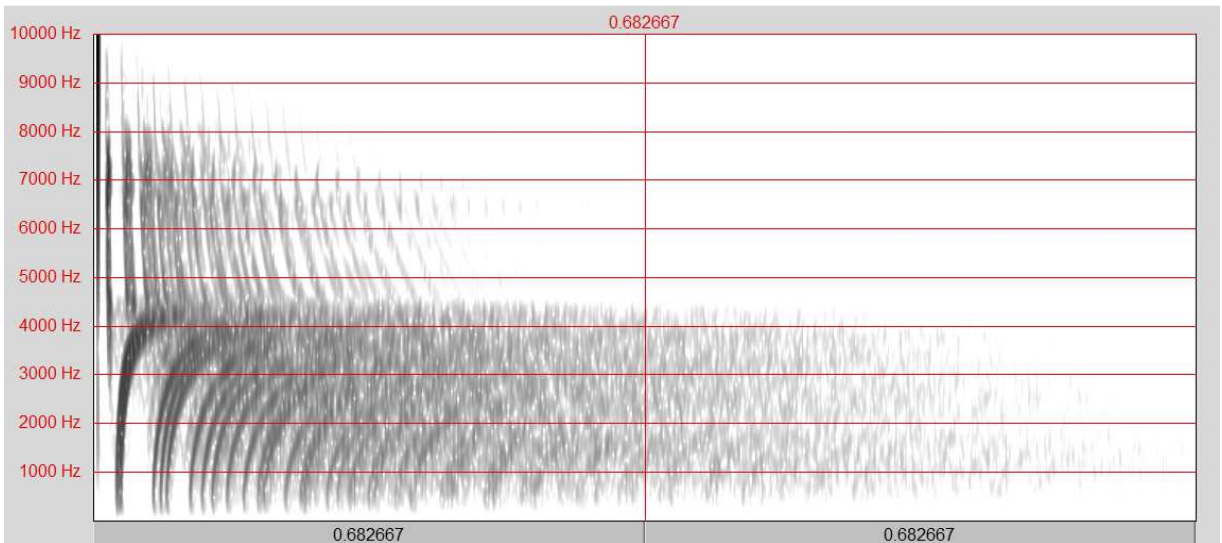
Εικόνα 5.3.4: Φασματογράφημα του Short Spring – Low Cut ON με white noise.



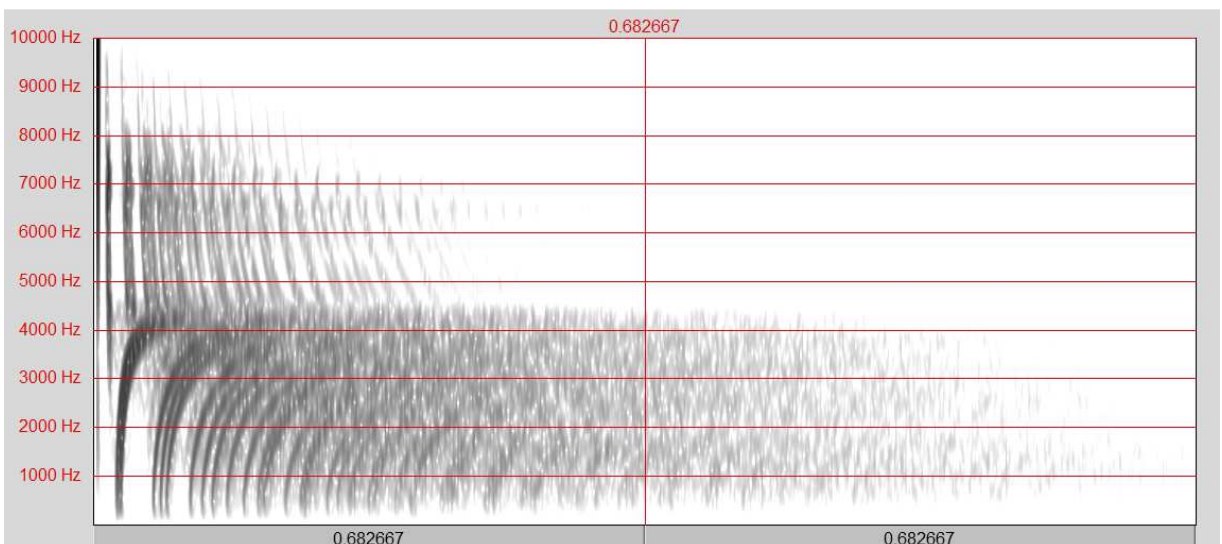
Εικόνα 5.4.1: Φασματογράφημα του Short Spring – Low Cut OFF με την μέθοδο MLS.



Εικόνα 5.4.2: Φασματογράφημα του Short Spring – Low Cut OFF με pink noise.



Εικόνα 5.4.3: Φασματογράφημα του Short Spring – Low Cut OFF με sweep tone.



Εικόνα 5.4.4: Φασματογράφημα του Short Spring – Low Cut OFF με white noise.

5.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΧΝΟΤΙΚΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ

Από τα παραπάνω φασματογραφήματα μπορούν να παρατηρηθούν δύο βασικά χαρακτηριστικά ενός spring reverb. Αρχικά μπορεί να παρατηρηθεί το φαινόμενο του διασκεδασμού (*dispersion*), δηλαδή η εξάρτηση της ταχύτητας διάδοσης του ήχου από την συχνότητα, με το φαινόμενο να γίνεται εντονότερο με την αύξηση της συχνότητας. Επίσης, υπάρχει μια συχνότητα μέχρι την οποία η επανάληψη του φαινομένου είναι διαφορετική από την επανάληψη μετά από τη συχνότητα αυτή. Οι υψηλότερες συχνοτικά επαναλήψεις πραγματοποιούνται με γρηγορότερο ρυθμό από ότι οι χαμηλότερες συχνοτικά, ενώ διαφέρουν και στην ένταση. Οι παράμετροι που ρυθμίζουν το πώς λειτουργεί μια τέτοια συσκευή είναι η συχνότητα αποκοπής F_C και ο χρόνος επανάληψης T_D .

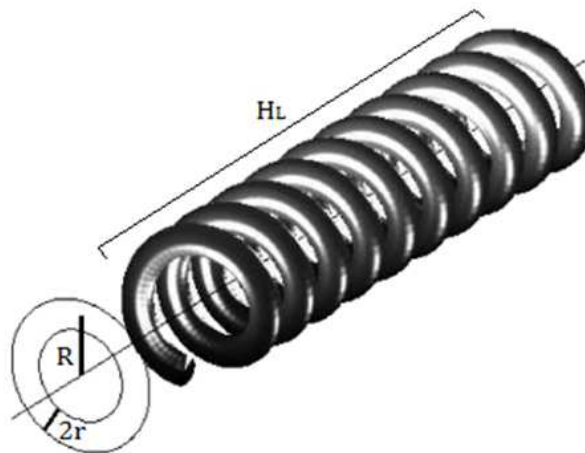
$$\text{Η συχνότητα αποκοπής ορίζεται ως: } F_C \cong \frac{3r\sqrt{\frac{E}{\rho}}}{16\sqrt{5}\pi R^2} \quad [5.1] \text{ σε Hz και}$$

$$\text{Χρόνος επανάληψης: } T_D \cong \frac{4LR}{r\sqrt{\frac{E}{\rho}}} \quad [5.2] \text{ σε sec. Όπου, } L \text{ είναι το μήκος του ελατηρίου}$$

πλήρως τεντωμένο, το R είναι η ακτίνα του ελατηρίου, r είναι η ακτίνα του υλικού του ελατηρίου, E η σταθερά του Young και ρ η πυκνότητα του υλικού.

Επειδή είναι δύσκολο να υπολογιστεί το μήκος του ελατηρίου πλήρως τεντωμένο, χρησιμοποιείται ο παρακάτω τύπος: $L = \sqrt{(2\pi RN)^2 + H_L^2}$ [5.3], σε m, όπου H_L είναι το μήκος του ελατηρίου τυλιγμένο και N ο αριθμός των στροφών στο μήκος του ελατηρίου. [10]

Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται οι παράμετροι αυτοί του ελατηρίου.



Εικόνα 5.5: Οι παράμετροι του ελατηρίου.

5.4 ΜΕΤΡΗΣΗ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΕΛΑΤΗΡΙΩΝ Κ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στα επιμέρους τμήματα των ελατηρίων για το υπολογισμό της συχνότητας αποκοπής και του χρόνου καθυστέρησης. Οι μετρήσεις έγιναν με μέτρο και παχύμετρο υψηλής ακρίβειας.

Για το Medium τύπο ελατηρίου μετρήθηκαν:

	Ελατήριο 1	Ελατήριο 2	Ελατήριο 3
Μήκος Ελατηρίου (cm)-H_i	16,6	16,6	16,6
Διάμετρος Ελατηρίου (cm)-2R	0,472	0,476	0,474
Αριθμός Σπειρών-N	359	304	277
Διάμετρος Υλικού (cm)-2r	0,036	0,036	0,036
Μήκος Μαγνήτη (cm)-L_m	0,4	0,4	0,4
Διάμετρος Μαγνήτη (cm)-D_m	0,14	0,14	0,14

Πίνακας 5.1: Χαρακτηριστικά ελατηρίου – Medium.

Για το Long τύπο μετρήθηκαν:

	Ελατήριο 1.A	Ελατήριο 1.B	Ελατήριο 2.A	Ελατήριο 2.B
Μήκος Ελατηρίου (cm)-H_i	15,3	19,6	16,2	18,6
Διάμετρος Ελατηρίου (cm)-2R	0,410	0,416	0,410	0,420
Αριθμός Σπειρών-N	397	352	251	279
Διάμετρος Υλικού (cm)-2r	0,036	0,036	0,036	0,036
Μήκος Μαγνήτη (cm)-L_m	0,35	0,35	0,35	0,35
Διάμετρος Μαγνήτη (cm)-D_m	0,14	0,14	0,14	0,14

Πίνακας 5.2: Χαρακτηριστικά ελατηρίου - Long.

Οι παραπάνω μετρήσεις είναι απαραίτητες για την εύρεση της συχνότητας αποκοπής F_C και του χρόνου επανάληψης T_D θεωρητικά, όπως φαίνεται παρακάτω. Ο υπολογισμός της θεωρητικής συχνότητας αποκοπής αφορά το καθένα επιμέρους ελατήριο και τα χαρακτηριστικά αυτού, όπου ο συνδυασμός των ελατηρίων αυτών είναι η συνολική συμπεριφορά της συσκευής. [10]

Αντικαθιστώντας τα χαρακτηριστικά του Medium ελατηρίου 1 στον τύπο της συχνότητας

$$\text{‘μετάλλαξης’ έχουμε: [5.1]} \rightarrow F_C \cong \frac{3 \cdot 0,00018 \sqrt{\frac{2 \cdot e + 11}{7800}}}{16 \sqrt{5} \pi \cdot 0,00236^2} \rightarrow F_C \cong 4368 \text{ Hz.}$$

$$\text{Ο χρόνος επανάληψης υπολογίζεται από τον τύπο [5.2] και [5.3]} \rightarrow T_D \cong \frac{4 \cdot 5,326 \cdot 0,00236}{0,00018 \sqrt{\frac{2 \cdot e + 11}{7800}}} \rightarrow T_D \cong 0,0552 \text{ sec,} \quad \text{όπου}$$

$$L = \sqrt{(2\pi \cdot 0,00236 \cdot 359)^2 + 0,166^2} = 5,326 \text{ m.}$$

Αντικαθιστώντας με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά για κάθε επιμέρους ελατήριο, υπολογίζονται οι τιμές της συχνότητας αποκοπής και του χρόνου επανάληψης, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

	Medium 1	Medium 2	Medium 3	Long 1.A	Long 1.B	Long 2.A	Long 2.B
F_c (Hz)	4368	4294,9	4331,2	5788,9	5623,2	5788,9	5516,6
T_D (sec)	0,0552	0,0475	0,0429	0,0460	0,0420	0,0291	0,0340

Πίνακας 5.3: Θεωρητικές τιμές συχνότητας αποκοπής και χρόνου επανάληψης.

5.5 ΕΛΙΚΟΕΙΔΗΣ ΔΟΝΗΣΗ ΕΛΑΤΗΡΙΟΥ

Υπάρχουν πολλά μοντέλα για τη μελέτη της ελικοειδούς δόνησης του ελατηρίου. Ο *Wittrick* μελέτησε τη συμπεριφορά των ελατηρίων που χρησιμοποιούνται για χρήση σε εφέ αντήχησης. Μια απλή παρουσίαση του μοντέλου είναι η εξής:

$$u_{tt} = -\frac{E}{4\rho}(u_{xxxx} + 2\epsilon^2 u_{xx} + \epsilon^4 u) + \frac{E\epsilon}{\rho}(\zeta_x - \epsilon u) - 2\sigma_t u_t \quad [5.4.a] \text{ και}$$

$$\zeta_{tt} = \frac{E}{\rho}(\zeta_{xx} - \epsilon u_x) - 2\sigma_l \zeta_t \quad [5.4.b]$$

Στις παραπάνω σχέσεις, το $u(x, t)$ είναι η εγκάρσια μετατόπιση του ελατηρίου για μια απλή κίνηση από την κατάσταση ηρεμίας, συναρτήσει του μήκους του τόξου x $[0, L]$, για μήκος ελατηρίου L και χρόνο $t \geq 0$. Η $\zeta(x, t)$ είναι η διαμήκης μετατόπιση. Οι δείκτες x και t δηλώνουν τη διαφοροποίηση όσον αφορά τις χωρικές και χρονικές μεταβλητές. Η παράμετρος $\cong 1/R$ δηλώνει την καμπυλότητα του ελατηρίου. Οι υπόλοιπες παράμετροι E , ρ , R , r εξηγούνται παραπάνω, ενώ οι σ_t και σ_l έχουν σαν σκοπό να λάβουν υπόψη την απώλεια του μοντέλου. Όταν το $\epsilon = 0$ και δεν υπάρχουν απώλειες, το μοντέλο είναι ίδιο με την κίνηση μιας ιδανικής μπάρας σε μια διάσταση (ζ). Η υπόθεση αυτή οδηγεί το μοντέλο στο ότι το σύρμα είναι λεπτό, με πολύ μικρή τάση και ότι η γωνία του ελατηρίου είναι μικρή. Έτσι μοντελοποιείται η κίνηση μιας μόνο πόλωσης για εγκάρσια μετατόπιση και μέτρια καμπυλότητα ελατηρίου. [10], [11]

Η παραπάνω εξίσωση, μπορεί να γραφεί και ως:

$$u_{tt} = -\kappa^2(u_{xxxx} + 2q^2 u_{xx} + q^4 u) + q^2 \gamma^2 (\zeta_x - u) - 2\sigma_t u_t \quad [5.5.a] \text{ και}$$

$$\zeta_{tt} = \gamma^2 (\zeta_{xx} - u_x) - 2\sigma_l \zeta_t \quad [5.5.b], \text{ για το διάστημα } x \in [0, 1] \text{ και όπου:}$$

$$\kappa = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{r}{2L^2}} \quad [5.6],$$

$$\gamma = \frac{1}{L} \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad [5.7]$$

$$\text{και } q = \epsilon L \quad [5.8].$$

Το κ είναι η ακαμψία του συστήματος, το γ δηλώνει την ταχύτητα του διαμήκους κύματος και το q την καμπυλότητα.

Σε ιδανικές συνθήκες, χωρίς απώλειες ($\sigma_t = \sigma_l = 0$), τα χαρακτηριστικά του συστήματος συνοψίζονται σε σχέση, συνδυασμένα με την γωνιακή ταχύτητα ω και τον κυματάριθμο β . Ακόμη, βάζοντας στην συνάρτηση τις παραμέτρους $u(x, t) = Ue^{j(\omega t + \beta x)}$ [5.9.a] και $\zeta(x, t) = Ze^{j(\omega t + \beta x)}$ [5.9.b], με πλάτη U και Z τότε προκύπτει:

$$\begin{bmatrix} \omega^2 - \kappa^2(\beta^2 - q^2)^2 - q^2\gamma^2 & jq^2\gamma^2\beta \\ -j\gamma^2\beta & \omega^2 - \gamma^2\beta^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad [5.10]$$

Όταν η παραπάνω είναι μηδέν οδηγούμαστε στην συνάρτηση:

$$\begin{aligned} & (\omega^2 - \gamma^2\beta^2)(\omega^2 - \kappa^2(\beta^2 - q^2)^2 - q^2\gamma^2) - \gamma^4q^2\beta^2 = 0 \Rightarrow \\ \Rightarrow & \omega^4 - \omega^2\kappa^2\beta^4 - \omega^2\kappa^2q^2 + \omega^2\kappa^22\beta^2q^4 - \omega^2\gamma^2q^2 - \gamma^2\beta^2\omega^2 + \gamma^2\beta^2\kappa^2\beta^4 + \gamma^2\beta^2\kappa^2q^2 \\ & - \gamma^2\beta^2\kappa^22\beta^2q^4 + \gamma^4\beta^2q^2 - \gamma^4q^2\beta^2 = 0 \\ \Rightarrow & \omega^4 - \omega^2(\kappa^2\beta^4 - \kappa^2q^2 + \kappa^22\beta^2q^4 - \gamma^2q^2 - \gamma^2\beta^2) + \gamma^2(\beta^6\kappa^2 + \beta^2\kappa^2q^2 - \beta^4\kappa^22q^4) = 0 \end{aligned}$$

Η παραπάνω συνάρτηση είναι της μορφής, $\omega^4 - \omega^2A + B$ της οποίας οι λύσεις της είναι:

$$\omega = -\frac{\sqrt{A - \sqrt{A^2 - 4B}}}{\sqrt{2}}$$

$$\omega = \frac{\sqrt{A - \sqrt{A^2 - 4B}}}{\sqrt{2}}$$

$$\omega = -\frac{\sqrt{\sqrt{A^2 - 4B} + A}}{\sqrt{2}}$$

$$\omega = \frac{\sqrt{\sqrt{A^2 - 4B} + A}}{\sqrt{2}}$$

Αντικαθιστώντας τα A και B:

$$\omega = -\sqrt{\left(\frac{\beta^4 \kappa^2}{2} + \frac{\beta^2 \gamma^2}{2} + \frac{\kappa^2 q^4}{2} - \beta^2 \kappa^2 q^2 + \frac{\gamma^2 q^2}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{((- \beta^4 \kappa^2 - \beta^2 \gamma^2 - \kappa^2 q^4 + 2 \beta^2 \kappa^2 q^2 - \gamma^2 q^2)^2 - 4(\beta^6 \gamma^2 \kappa^2 + \beta^2 \gamma^2 \kappa^2 q^4 - 2 \beta^4 \gamma^2 \kappa^2 q^2))}\right)}$$

$$\omega = \sqrt{\left(\frac{\beta^4 \kappa^2}{2} + \frac{\beta^2 \gamma^2}{2} + \frac{\kappa^2 q^4}{2} - \beta^2 \kappa^2 q^2 + \frac{\gamma^2 q^2}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{((- \beta^4 \kappa^2 - \beta^2 \gamma^2 - \kappa^2 q^4 + 2 \beta^2 \kappa^2 q^2 - \gamma^2 q^2)^2 - 4(\beta^6 \gamma^2 \kappa^2 + \beta^2 \gamma^2 \kappa^2 q^4 - 2 \beta^4 \gamma^2 \kappa^2 q^2))}\right)}$$

$$\omega = -\sqrt{\left(\frac{\beta^4 \kappa^2}{2} + \frac{\beta^2 \gamma^2}{2} + \frac{\kappa^2 q^4}{2} - \beta^2 \kappa^2 q^2 + \frac{\gamma^2 q^2}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{((- \beta^4 \kappa^2 - \beta^2 \gamma^2 - \kappa^2 q^4 + 2 \beta^2 \kappa^2 q^2 - \gamma^2 q^2)^2 - 4(\beta^6 \gamma^2 \kappa^2 + \beta^2 \gamma^2 \kappa^2 q^4 - 2 \beta^4 \gamma^2 \kappa^2 q^2))}\right)}$$

$$\omega = \sqrt{\left(\frac{\beta^4 \kappa^2}{2} + \frac{\beta^2 \gamma^2}{2} + \frac{\kappa^2 q^4}{2} - \beta^2 \kappa^2 q^2 + \frac{\gamma^2 q^2}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{((- \beta^4 \kappa^2 - \beta^2 \gamma^2 - \kappa^2 q^4 + 2 \beta^2 \kappa^2 q^2 - \gamma^2 q^2)^2 - 4(\beta^6 \gamma^2 \kappa^2 + \beta^2 \gamma^2 \kappa^2 q^4 - 2 \beta^4 \gamma^2 \kappa^2 q^2))}\right)}$$

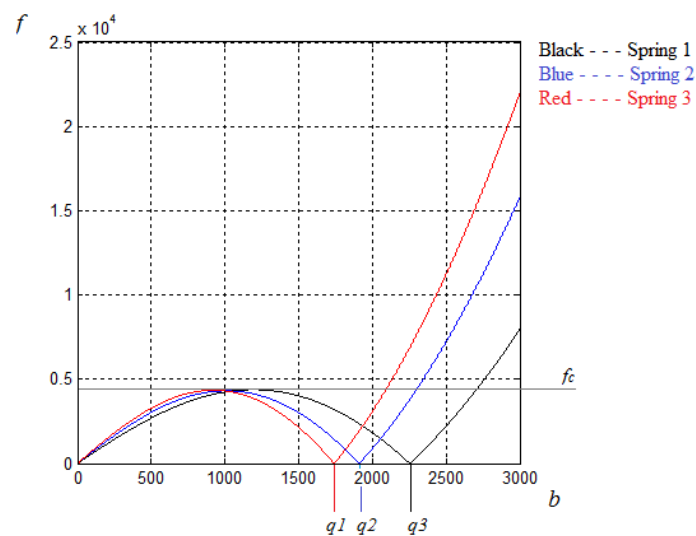
ΣΧΕΣΗ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ

Η μορφή της σχέσης της διασποράς με την συχνότητα, δείχνουν την συμπεριφορά της συχνοτικής και κρουστικής απόκρισης του Spring Reverb. Όταν ο κυματάριθμος $\beta = q$, η καμπύλη τείνει στο μηδέν, που αντιστοιχεί στην άκαμπτη περιστροφή του σώματος του ελατηρίου και αγγίζει την μέγιστη στην F_C (κατά προσέγγιση όταν $\beta = q/2$). Εισάγοντας τον παράγοντα β στην εξίσωση της συχνότητας αποκοπής F_C , καταλήγουμε σε μια άλλη έκφραση του τύπου όπου: $F_C \cong \frac{3\kappa q^2}{8\pi\sqrt{5}}$ [5.11]. Η εισαγωγή του παράγοντα αυτού βοηθάει στην

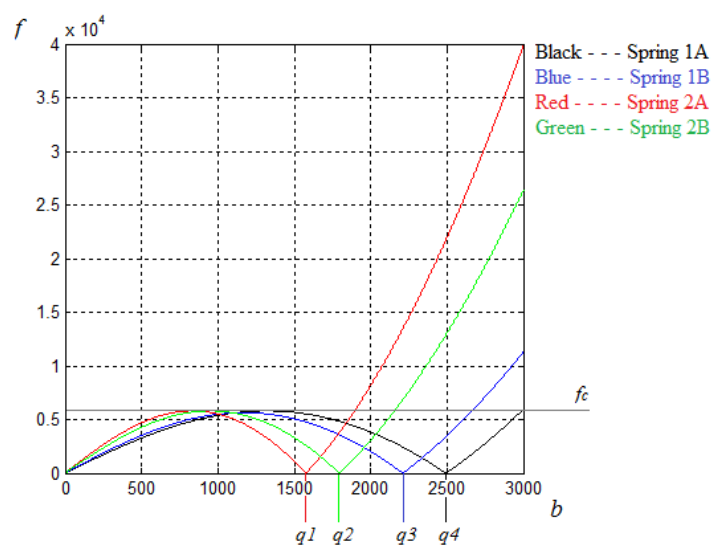
κατανόηση και σχεδίαση μιας τέτοιας μονάδας, ειδικά αν δεν είναι γνωστά τα φυσικά χαρακτηριστικά του ελατηρίου.

Στη φυσική και στην ηλεκτρονική, ο όρος 'σχέση διασποράς' περιγράφει την αλληλεπίδραση των χαρακτηριστικών του κύματος, όπως μήκος κύματος, συχνότητα, ένταση και δείκτη διάθλασης. [10], [11]

Στις παρακάτω καμπύλες φαίνεται γραφικά η σχέση διασποράς συναρτήσει της συχνότητας για τους δύο τύπους ελατηρίων, καθώς και τα επιμέρους ελατήρια που βρίσκονται στις μονάδες αυτές, για τις τέσσερις λύσεις της παραπάνω εξίσωσης.



Εικόνα 5.6: Σχέση διασποράς για τον Medium τύπο ελατηρίου. Η μαύρη γραμμή αναφέρεται στο ελατήριο 1, η μπλε γραμμή στο ελατήριο 2 και κόκκινη γραμμή στο ελατήριο 3.



Εικόνα 5.7: Σχέση διασποράς για τον Long τύπο ελατηρίου. Η μαύρη γραμμή αναφέρεται στο ελατήριο 1A, η μπλε γραμμή στο ελατήριο 1B, η κόκκινη γραμμή στο ελατήριο 2A και η πράσινη στο ελατήριο 2B.

Στις παραπάνω εικόνες υπάρχουν η συχνότητα αποκοπής F_c και η καμπυλότητα q . Όσον αφορά τις F_c και τα q , αυτά αλλάζουν σε κάθε ελατήριο και ο λόγος είναι τα διαφορετικά χαρακτηριστικά των ελατηρίων (μήκος, σπείρες, ακτίνα ελατηρίου). Στον Medium τύπο υπάρχουν τρία ελατήρια με διαφορετικά χαρακτηριστικά και στον Long τύπο τέσσερα. Η τελική έξοδος, είναι ο συνδυασμός όλων αυτών των διαφορετικών χαρακτηριστικών και αυτό είναι το στοιχείο το οποίο κάνει τα spring reverbs να λειτουργούν καλά για να προσομοιάσουν την αντήχηση. [10], [11]

5.7 ΜΕΤΡΗΣΗ ΟΛΙΚΗΣ ΑΡΜΟΝΙΚΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ

Αρμονική παραμόρφωση είναι μια μορφή θορύβου όπου δημιουργεί ανεπιθύμητες συχνότητες που δεν υπήρχαν στο αρχικό σήμα. Αρμονική παραμόρφωση είναι η παραμόρφωση που δημιουργείται από μια διάταξη και μας δίνει στην έξοδο ένα σύνθετο σήμα αποτελούμενο από συχνότητες που είναι ακέραια πολλαπλάσια μιας θεμελιώδους.

Στην περίπτωση αυτή η ένταση του αρμονικού περιγράφεται σε σχέση με την ένταση του αρχικού σήματος και έτσι ορίζουμε για τον κάθε αρμονικό την παραμόρφωση είτε σε dB είτε σε ποσοστό %. Η πρώτη περίπτωση ονομάζεται Αρμονική Παραμόρφωση (Harmonic Distortion) ενώ η δεύτερη Ολική Αρμονική Παραμόρφωση (Total Harmonic Distortion).

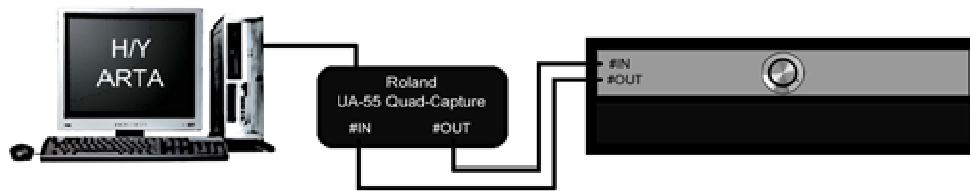
Για την μέτρηση της Ολικής Αρμονικής Παραμόρφωσης δίνεται ένα ημιτονοειδές σήμα συχνότητας 1kHz και πλάτους 0,4V_{r-p} στην είσοδο και στη συνέχεια μετράται η έξοδος με χρήση κατάλληλου λογισμικού (PC και λογισμικό ARTA).

Εξοπλισμός

- Λογισμικό ARTA Version 1.7.1
- Κάρτα Ήχου Roland UA-55 Quad-Capture
- Spring Reverb Unit

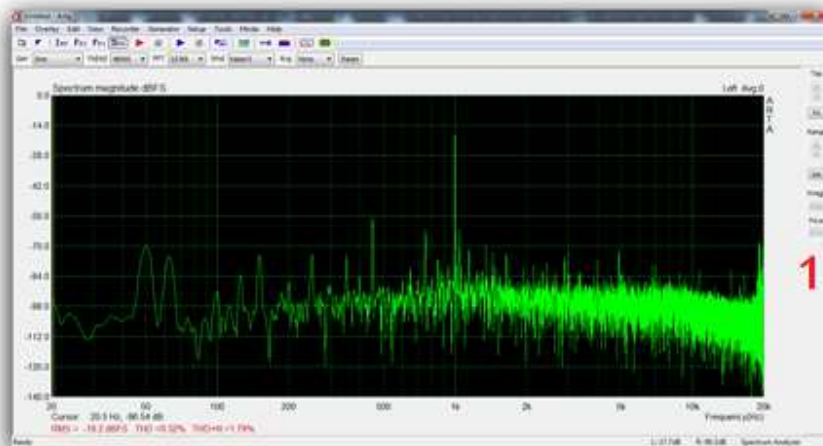
Πριν τις μετρήσεις πραγματοποιήθηκε calibration της κάρτας ήχου με το λογισμικό ARTA. Οι μετρήσεις έγιναν με σήμα εισόδου συχνότητας 1000Hz και πλάτους -15dBu ή 0.14V_{rms} ή 0,4V_{r-p}. Το σήμα εισόδου είναι τόσο χαμηλό, διότι μεγαλύτερο πλάτος σήματος εισόδου προκαλούσε παραμόρφωση και δεν ήταν δυνατόν να πραγματοποιηθεί μέτρηση THD.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η συνδεσμολογία της μέτρησης.

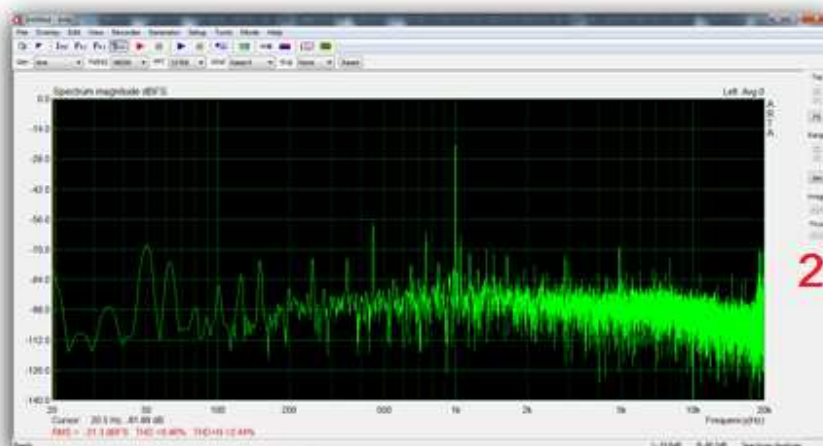


Εικόνα 5.8: Συνδεσμολογία μέτρησης THD.

Στις παρακάτω εικόνες φαίνεται η μέτρηση της Ολικής Αρμονικής Παραμόρφωσης για την κατασκευή.

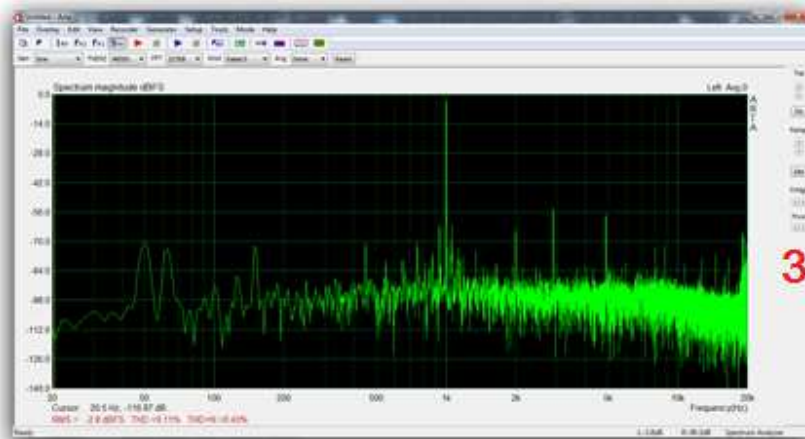


THD = 0,32%

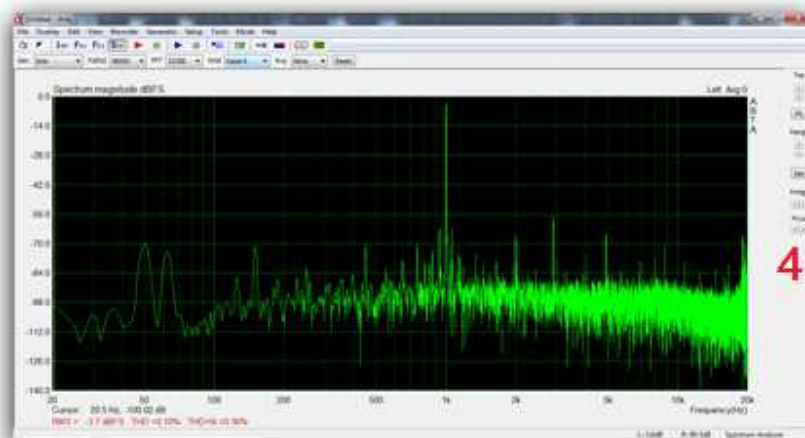


THD = 0,46%

Εικόνα 5.9: Μέτρηση ολικής αρμονικής παραμόρφωσης της Medium μηχανής με τον διακόπτη του LOW-CUT στο ON (1) και OFF (2).



THD = 0,11%



THD = 0,10%

Εικόνα 5.10: Μέτρηση ολικής αρμονικής παραμόρφωσης της Long μηχανής με τον διακόπτη του LOW-CUT στο ON (3) και OFF (4).

Οι τιμές της Ολικής Αρμονικής παραμόρφωσης σε πίνακα:

	MEDIUM-ON	MEDIUM-OFF	LONG-ON	LONG-OFF
THD %	0,32	0,46	0,11	0,10

Πίνακας 5.3: Πειραματικές τιμές THD.

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ THD

Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που επηρεάζουν την THD και που θα πρέπει να γνωρίζουμε για να εκτιμήσουμε σωστά μια συσκευή για το πώς λειτουργεί σε κανονικές συνθήκες. Μερικοί από αυτούς είναι:

A) Η στάθμη λειτουργίας της στην οποία έγιναν οι μετρήσεις. Όσο αυξάνεται η στάθμη λειτουργίας τόσο αυξάνεται και η αρμονική παραμόρφωση.

B) Το εύρος των συχνοτήτων στο οποίο έγιναν οι μετρήσεις. Όσο μεγαλύτερο είναι το εύρος συχνοτήτων τόσο περισσότερες αρμονικές περιλαμβάνει η μέτρηση.

Γ) Η τιμή της αντίστασης τερματισμού στην έξοδο και το φορτίο στην έξοδο χρησιμοποιήθηκε.

Δ) Αν έχει συμπεριληφθεί ο θόρυβος στην μέτρηση. Για το λόγο ότι ο θόρυβος έχει και αυτός ισχύ.

Ε) Όλες οι επιμέρους συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν, έχουν αρμονική παραμόρφωση, που επηρεάζουν την αρμονική παραμόρφωση της μετρούμενης συσκευής.

Η αρμονική παραμόρφωση σε όλα σχεδόν τα κυκλώματα αυξάνεται δραματικά όταν η στάθμη λειτουργίας πλησιάσει τη μέγιστη τιμή της. [12], [13]

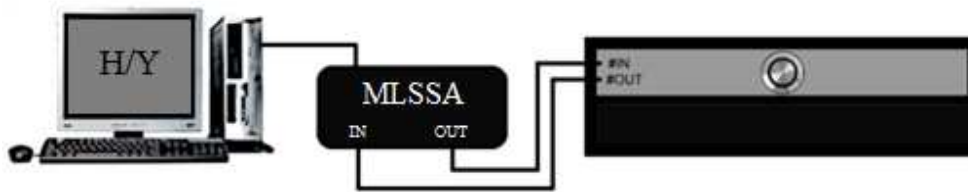
5.8 ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΥΝΘΕΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΕΞΟΔΟΥ

Η σύνθετη αντίσταση εξόδου είναι ένα μέγεθος που καθορίζει το πόσο δύσκολα η ισχύς του σήματος που παρέχει το κύκλωμα, θα εξέρχεται από την έξοδο του κυκλώματος. Στα περισσότερα σύγχρονα μηχανήματα, θεωρείται αναγκαία η αντίσταση εξόδου Z_{out} να είναι χαμηλή για να διευκολύνει την έξοδο του σήματος, ενώ η αντίσταση εισόδου Z_{in} να είναι υψηλή ώστε, ούτε να φορτώνει την προηγούμενη έξοδο (απαιτώντας περισσότερης ισχύος σήμα), ούτε να οδηγεί (λόγω μικρής τιμής) το σήμα εισόδου στην γη. Πρακτικά, όταν η Z_{in} είναι τουλάχιστον 10 φορές μεγαλύτερη από την Z_{out} τότε αυτή η ζεύξη-σύνδεση πραγματοποιείται σωστά. [12], [13]

Εξοπλισμός

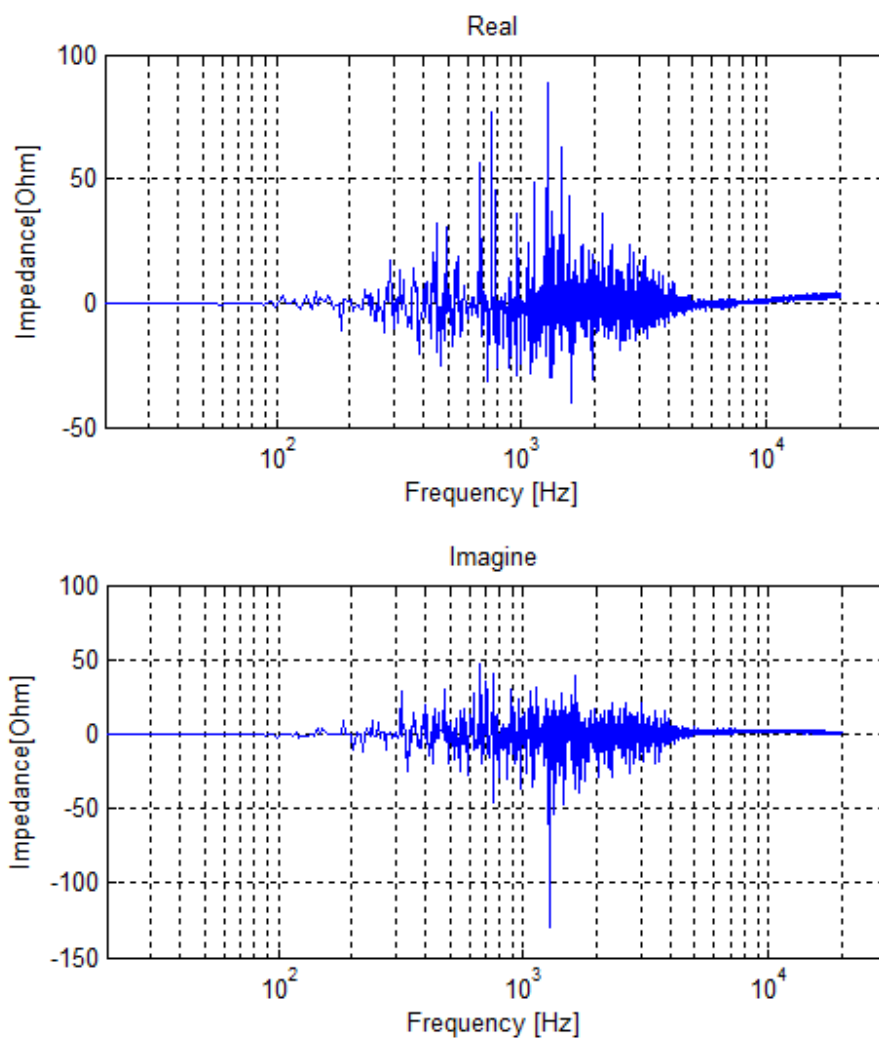
- Σύστημα MLSSA της εταιρίας DRA Laboratories
- Spring Reverb Unit

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η συνδεσμολογία της μέτρησης.



Εικόνα 5.11: Συνδεσμολογία της μέτρησης Σύνθετης αντίστασης εξόδου.

Πριν τις μετρήσεις πραγματοποιήθηκε calibration της κάρτας ήχου του MLSSA με το ίδιο το λογισμικό. Παρακάτω παρουσιάζεται η σύνθετη αντίσταση εξόδου της συσκευής, όπως εξάγεται από το λογισμικό MLSSA για όλο το φάσμα των συχνοτήτων.



Εικόνα 5.12: Πραγματικό μέρος (επάνω) και φανταστικό μέρος(κάτω).

Για την παραπάνω εικόνα αναφέρονται οι μέγιστες τιμές την σύνθετης αντίστασης εξόδου της συσκευής στον πίνακα που ακολουθεί.

	Συχνότητα (Hz)	Τιμές Σύνθετης αντίστασης (Ohm)
Πραγματικό Μέρος	1272.5	88.7
Φανταστικό Μέρος	1272.5	-129.4

Πίνακας 5.4: Μέγιστες τιμές Σύνθετης αντίστασης.

60 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

6^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΟΣ

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

Όσον αφορά την ποιοτική αξιολόγηση της μονάδας ελατηρίου, το πώς ακούγεται τελικά, το αποτέλεσμα κρίνεται αρκετά ικανοποιητικό. Η συσκευή χρησιμοποιήθηκε σε μια γυναικεία φωνή, σε ένα σετ τυμπάνων και σε μια ηλεκτρική κιθάρα σαν ηχητικά παραδείγματα. Σε όλες τις περιπτώσεις που κρίθηκε να πραγματοποιήσει συμπεριφέρθηκε με ορθή λειτουργία, όπως θα γινόταν και με μια αντίστοιχη συσκευή του εμπορίου, με τα ίδια αποτελέσματα. Ακόμη, είναι ξεκάθαρη η διαφορά του ενός ελατηρίου και του άλλου και στην συμπεριφορά αλλά και στο πώς ακούγεται το καθένα. Γνώμη του γράφοντος αποτελεί, ότι σχεδόν σε όλες, εκτός της ηλεκτρικής κιθάρας, τις περιπτώσεις ο Long τύπος ελατηρίου συμπεριφέρεται καλύτερα. Δυστυχώς, η σύγκριση που πραγματοποιήθηκε, ήταν μόνο με vst plug-in, της εταιρία *Softube* (μοντέλο *Spring Reverb*), καθώς δεν υπήρχε μια συσκευή που να είναι αντίστοιχη με την μονάδα ελατηρίου που κατασκευάστηκε.

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η επιφάνεια εργασίας του vst plug-in.



Εικόνα 6.1: Περιβάλλον εργασίας του Softube Spring Reverb

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Συνοπτικά η όλη εμπειρία της δημιουργίας μιας τέτοιας κατασκευής είναι πολύ σημαντική, καθότι πρόκειται για μια αρκετά απαιτητική διαδικασία, η οποία μόνο θετικά στοιχεία και γνώσεις έχει να προσφέρει. Η εκπόνηση μιας τέτοιας κατασκευής, απαιτεί σωστή οργάνωση και κατάλληλο σχεδιασμό πριν ξεκινήσει τη διαδικασία της κατασκευής. Ακόμη κατά την κατασκευή, προκύπτουν προβλήματα τα οποία ο εκάστοτε κατασκευαστής κρίνεται να αντιμετωπίσει και να βελτιώσει.

ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ

Πιθανές βελτιώσεις της μονάδας ελατηρίου θα μπορούσαν να είναι:

- Μεγαλύτερο σήμα εξόδου της συσκευής, όσον αφορά την ένταση αυτού.
- Ύπαρξη μετασχηματιστή στην είσοδο, για την μετατροπή του unbalanced (μη ισοσταθμισμένο) σήματος εισόδου σε balanced, ώστε η έξοδος να είναι balanced (ισοσταθμισμένο).
 - Ρύθμιση της έντασης εισόδου.
 - Η ύπαρξη ακόμη μιας μονάδας ελατηρίου για ακόμη περισσότερη ποικιλότητα στο ήχο.
 - Η δυνατότητα μίξης μεταξύ των δύο ελατηρίων για ίδιο σήμα εισόδου σε πραγματικό χρόνο, καθώς και η επιμέρους μίξη μεταξύ εισόδου και εξόδου.
 - Η ύπαρξη παραμετρικού ισοσταθμιστή (equalizer) στην έξοδο της συσκευής.
 - Η ψηφιακή προσομοίωση της συσκευής, σαν virtual instrument, για την χρήση του εφέ σαν plug-in σε λογισμικό ηχογράφησης και μίξης ήχου.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: ΥΛΙΚΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

ΕΛΑΤΗΡΙΑ

Medium Spring – Accutronics 8DB2C1B

Long Spring – Accutronics 4DB3C1B

ΚΥΚΛΩΜΑ ΟΔΗΓΗΣΗΣ

Αντιστάσεις

R1 = 10kΩ 1/4W 5%

R2 = 100kΩ

R3 = 22kΩ

R2 = 47Ω

Πυκνωτές

C1 = 2nF

C2 = 1nF

C3 = 47μF - ηλεκτρολυτικός

Ολοκληρωμένα

IC = TL072 A

ΚΥΚΛΩΜΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ

Αντιστάσεις

R5 = 470Ω

R6 = 470Ω

R7 = 22kΩ

R8 = 3.3kΩ

R9 = 100Kω

R10 = 22kΩ

ΠΟΤΕΝΣΙΟΜΕΤΡΟ = 4.7kΩ ΓΡΑΜΜΙΚΟ

Πυκνωτές

C4 = 220pF

C5 = 470pF

Ολοκληρωμένα

IC = TL072 B

ΦΙΛΤΡΟ ΑΠΟΚΟΠΗΣ ΧΑΜΗΛΩΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ

Αντιστάσεις

2*R_F = 3.3kΩ

Πυκνωτές

2*C_F = 220nF

ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟ

Αντιστάσεις

R1 = 470Ω

Πυκνωτές

C1 – C6 = 47nF - κεραμικοί

C7, C9, C11 = 2200μF/35V - ηλεκτρολυτικοί

C8, C10, C12, C13, C15, C17 = 100nF MKT

C14, C16, C18 = 470μF/25V - ηλεκτρολυτικοί

Δίοδοι

D1- D6 = 1N4001

Ολοκληρωμένα

IC1 = L7805

IC2 = L7815

IC3 = L7915

ΔΙΑΦΟΡΑ

Ξύλα τύπου μελαμίνης διαστάσεων 46*24cm και 24*15cm δύο φορές το καθένα

Δερματίνη 2 τ.μ.

Λαμαρίνα διαστάσεων 46*24*7cm υπό γωνία 90°

4 Πόδια στήριξης κουτιού

1 Βύσμα αρσενικό jack

1 Βύσμα θηλυκό jack

1 διακόπτης 2 θέσεων 6 pins

1 διακόπτης 3 θέσεων 6 pins

1 διακόπτης 2 θέσεων 12 pins

1 Κουμπί ελέγχου ποτενσιόμετρου

1 Λάμπα 6 V και βάση τύπου 'διαμάντι'

1 Χειρολαβή

TR1 = Μετασχηματιστής 2Χ15V AC, 220V – 1A

3 ψήκτρες για περίβλημα TO-220

1 Βύσμα αρσενικό mic 3pin

1 Βύσμα θηλυκό mic 3pin

1 Βύσμα Ρευματολήπτη Σασί αρσενικό

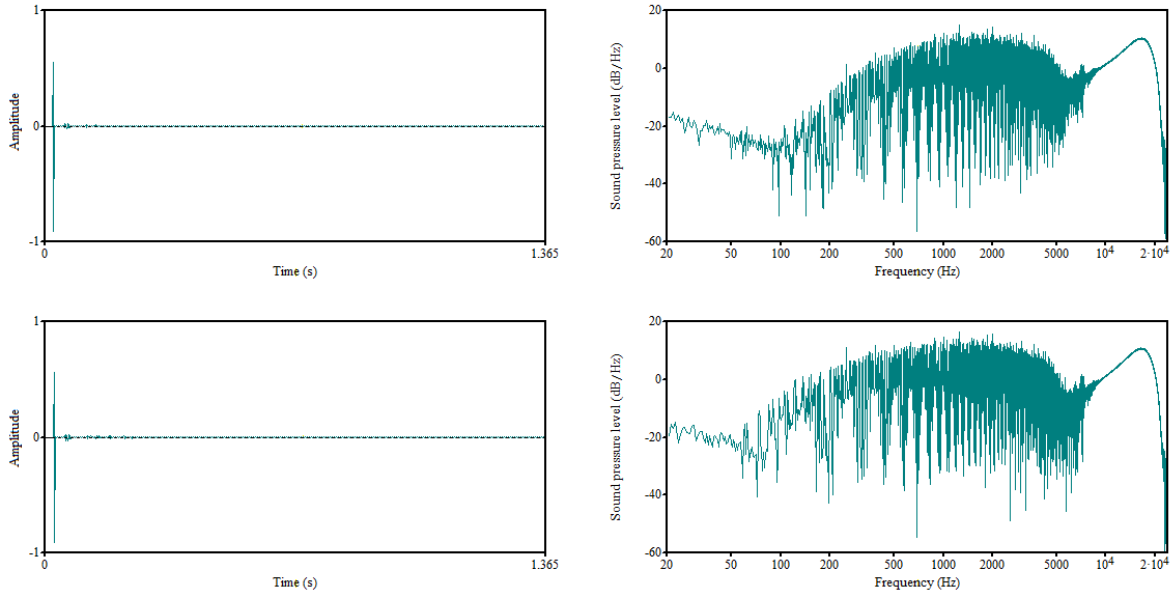
1 Σασί ασφαλειοθήκη μικρή

1,5m καλώδιο 3*0,75mm

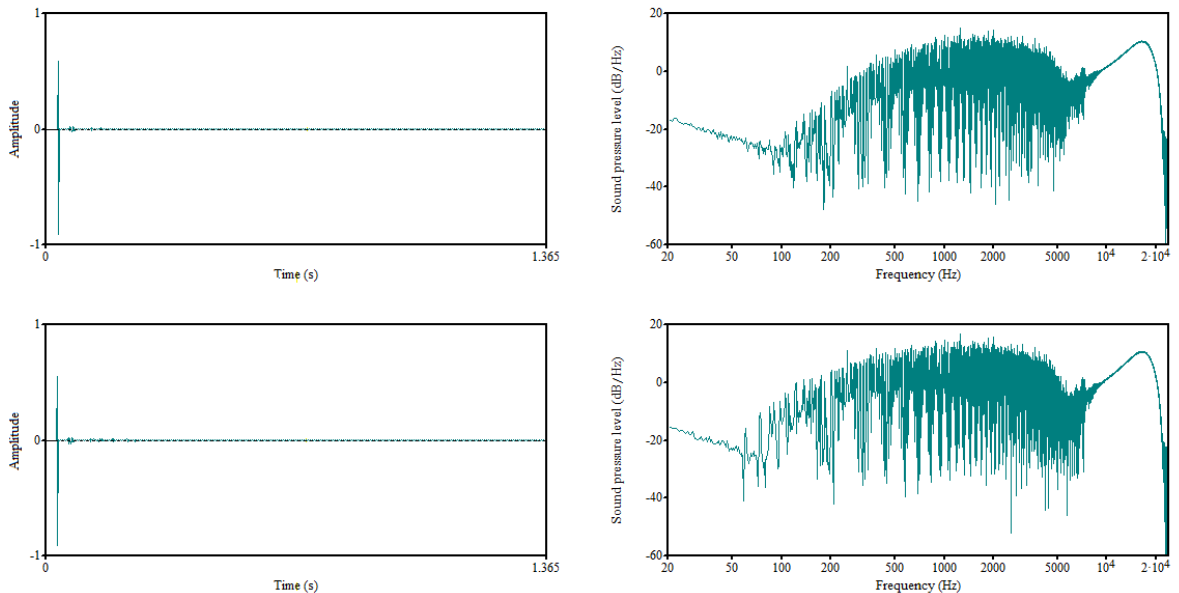
1 πλαστικό κουτί 10X15X5cm

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2: ΚΡΟΥΣΤΙΚΗ ΚΑΙ ΣΥΧΝΟΤΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΕΛΑΤΗΡΙΟΥ

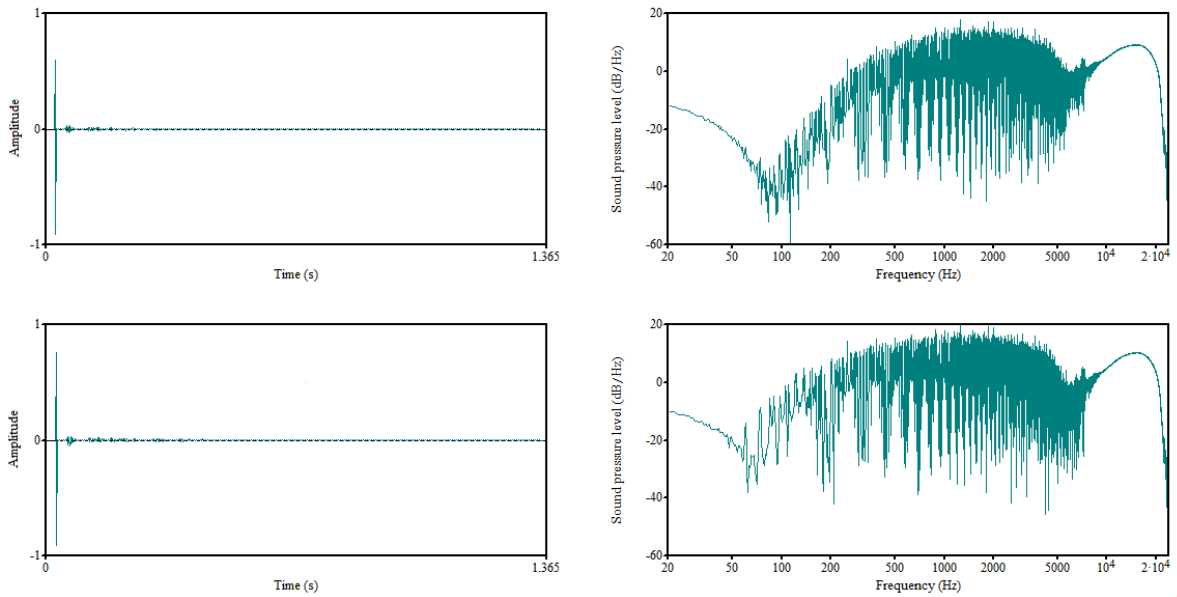
Παρακάτω φαίνονται αναλυτικά οι κρουστικές και συχνοτικές αποκρίσεις για κάθε περίπτωση της μονάδας ελατηρίου.



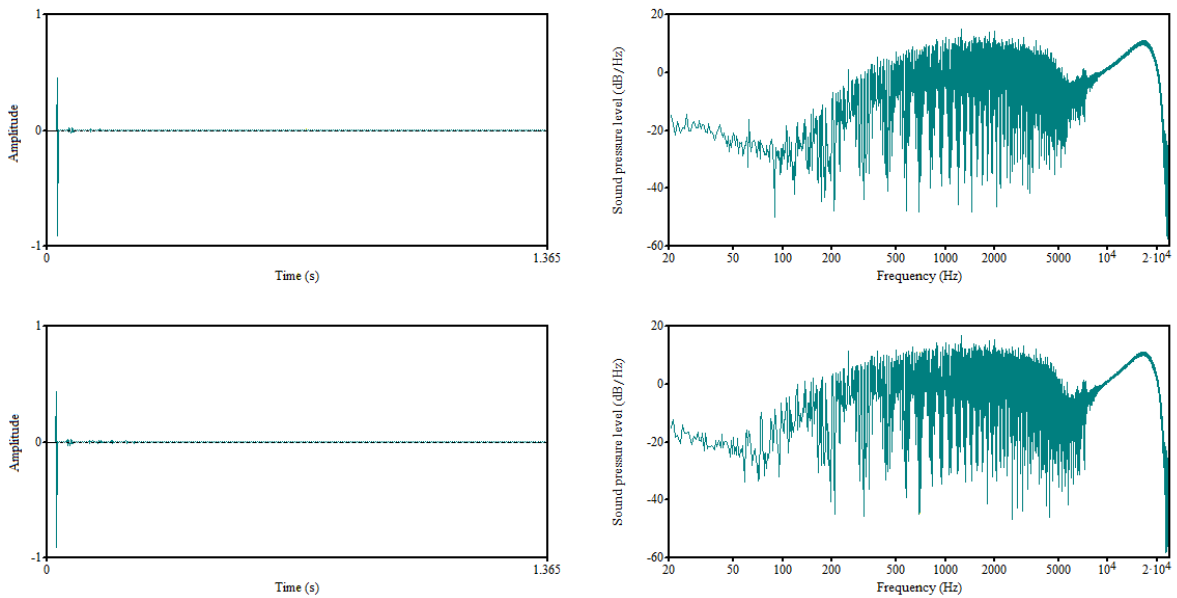
Σχήμα Π.1.1: Κρουστική απόκριση (δεξιά) και συχνοτική απόκριση για το Long ελατήριο με το Low-Cut σε κατάσταση ON (επάνω) και OFF (κάτω), με την μέθοδο MLS.



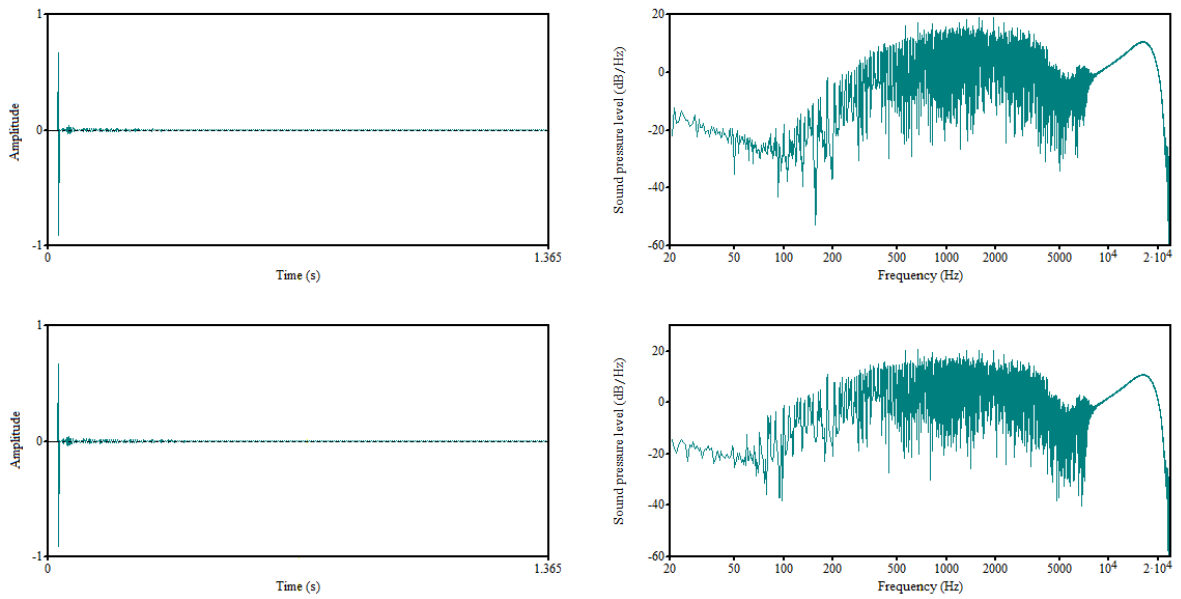
Σχήμα Π.1.2: Κρουστική απόκριση (δεξιά) και συχνοτική απόκριση για το Long ελατήριο με το Low-Cut σε κατάσταση ON (επάνω) και OFF (κάτω), με pink noise.



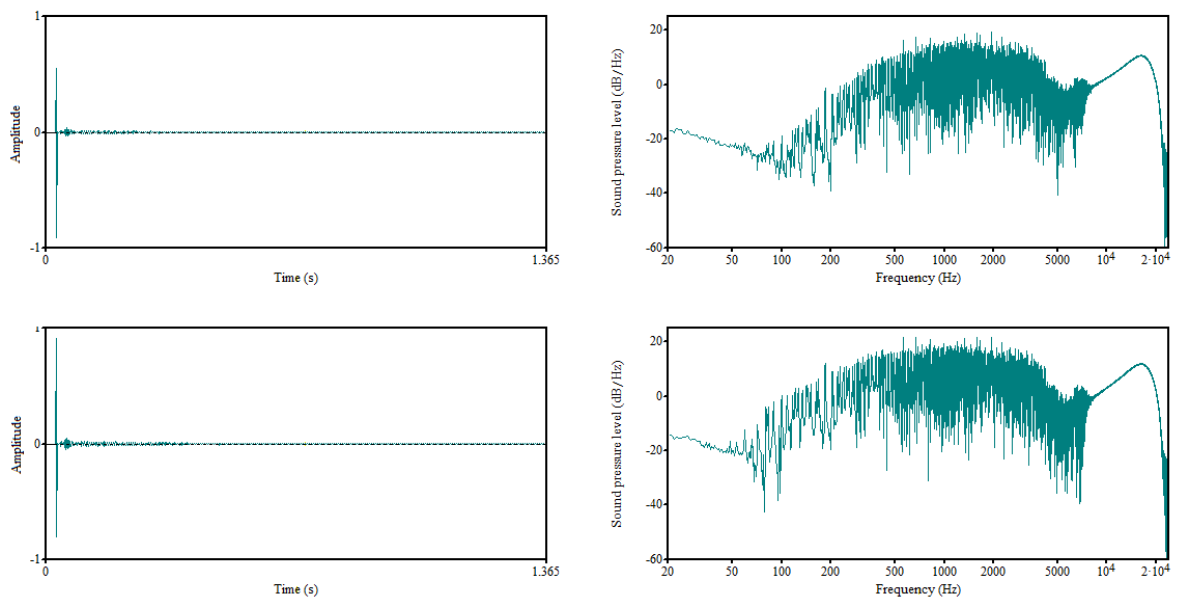
Σχήμα Π.1.3: Κρουστική απόκριση (δεξιά) και συχνοτική απόκριση για το Long ελατήριο με το Low-Cut σε κατάσταση ON (επάνω) και OFF (κάτω), με sweep tone.



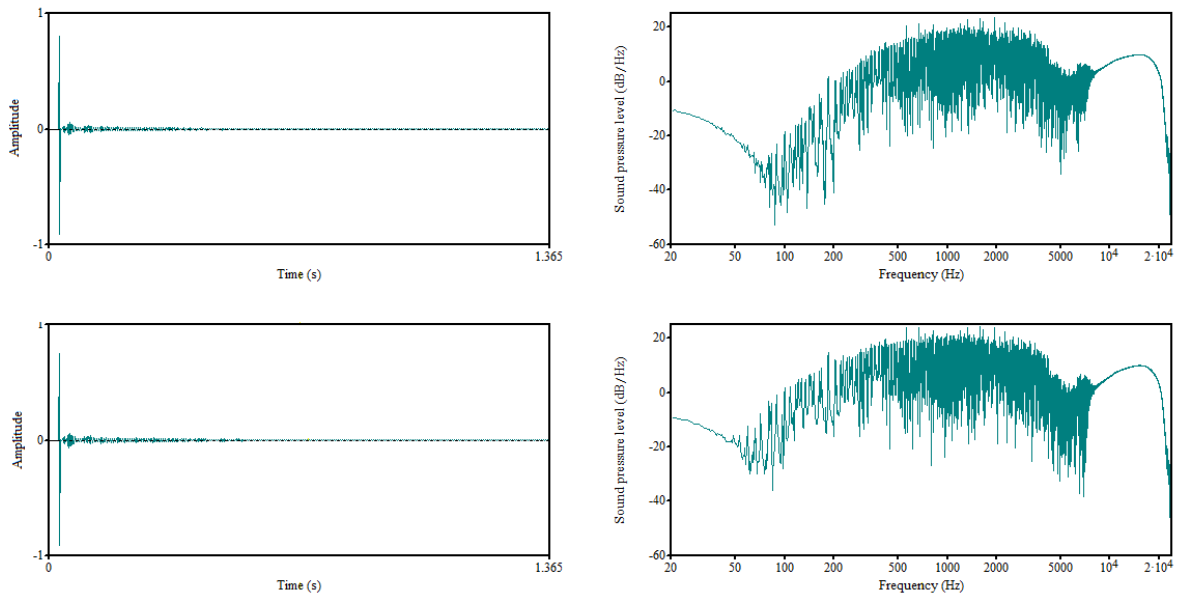
Σχήμα Π.1.4: Κρουστική απόκριση (δεξιά) και συχνοτική απόκριση για το Long ελατήριο με το Low-Cut σε κατάσταση ON (επάνω) και OFF (κάτω), με white noise.



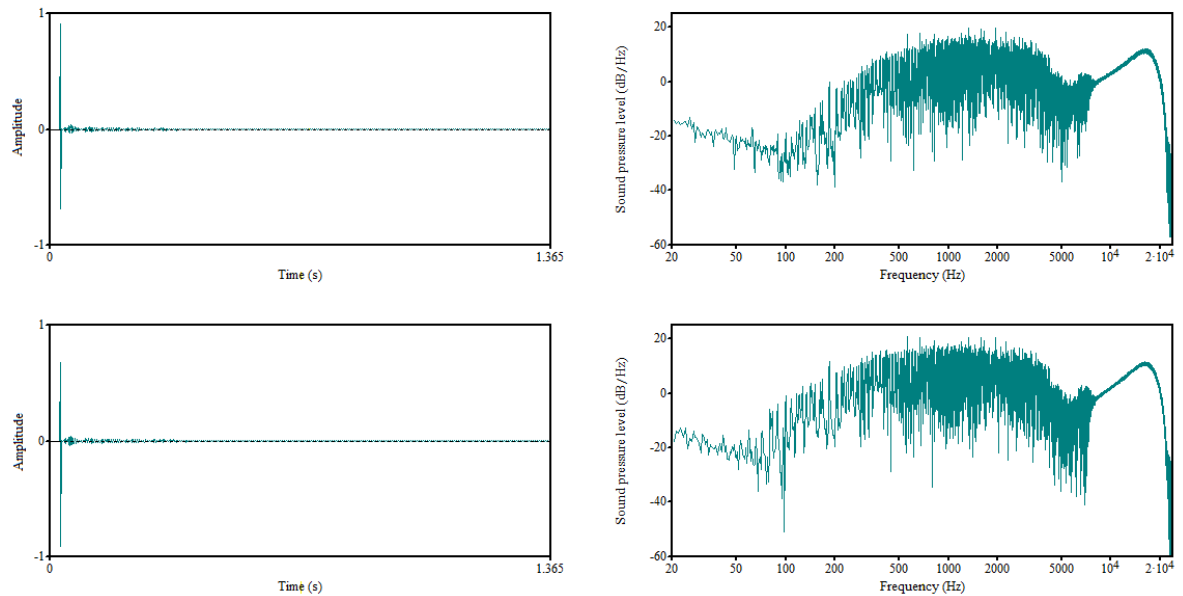
Σχήμα Π.2.1: Κρουστική απόκριση (δεξιά) και συχνωτική απόκριση για το Medium ελατήριο με το Low-Cut σε κατάσταση ON (επάνω) και OFF (κάτω), με την μέθοδο MLS.



Σχήμα Π.2.2: Κρουστική απόκριση (δεξιά) και συχνωτική απόκριση για το Medium ελατήριο με το Low-Cut σε κατάσταση ON (επάνω) και OFF (κάτω), με pink noise.



Σχήμα Π.2.3: Κρουστική απόκριση (δεξιά) και συχνотική απόκριση για το Medium ελατήριο με το Low-Cut σε κατάσταση ON (επάνω) και OFF (κάτω), με sweep tone.



Σχήμα Π.2.4: Κρουστική απόκριση (δεξιά) και συχνотική απόκριση για το Medium ελατήριο με το Low-Cut σε κατάσταση ON (επάνω) και OFF (κάτω), με white noise.


ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3: ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΡΙΘΜΗΣΗΣ ACCUTRONICS

Επεξήγηση του συστήματος αρίθμησης των προϊόντων της εταιρίας Accutronics. [7], [11]

ACCUTRONICS® (USA & KOREA) AND MOD™ REVERB TANK PART NUMBERING SYSTEM											
Accutronics® part numbers consist of a seven character alpha-numeric code with each character of the part number representing a specification (For example, 4AB3C1B). MOD™ tanks add "MOD" in front of the part number (MOD-4AB3C1B).											
TANK TYPE (Length & Number of Transmission Springs)											
1	Short tank (9.25") with 2 transmission springs	8	Short tank (9.25") with 3 transmission springs								
4	Long tank (16.75") with 2 transmission springs	9	Long tank (16.75") with 3 transmission springs								
TYPE 1 & 4: INPUT IMPEDANCE (@ 1 kHz)		TYPE 8 & 9: INPUT IMPEDANCE (@ 1 kHz)									
A	8 Ω	A	10 Ω								
B	150 Ω	B	190 Ω								
C	200 Ω	C	240 Ω								
D	250 Ω	D	310 Ω								
E	600 Ω	E	800 Ω								
F	1,475 Ω	F	1,925 Ω								
<small>* Approximate DC resistance of transducer coils can be used as a reference for input and output impedance if the original reverb tank is not labeled. The actual resistance measured may vary.</small>											
TYPE 1 & 4: OUTPUT IMPEDANCE (@ 1 kHz)		TYPE 8 & 9: OUTPUT IMPEDANCE (@ 1 kHz)									
A	500 Ω	A	600 Ω								
B	2,250 Ω	B	2,575 Ω								
C	10,000 Ω	C	12,000 Ω								
DECAY TIME											
1	SHORT	(1.2 to 2.0 s)									
2	MEDIUM	(1.75 to 3.0 s)									
3	LONG	(2.75 to 4.0 s)									
CONNECTORS (Non-Insulated or Insulated from Outer Channel)											
<table border="1"> <tr> <td>GROUNDING</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>INSULATED</td> <td>1</td> <td>GROUNDING</td> </tr> </table>	GROUNDING				0	INSULATED	1	GROUNDING		INPUT	OUTPUT
GROUNDING											
0	INSULATED	1	GROUNDING								
	A	0	0								
	B	0	1								
	C	1	0								
	D	1	1								
E = No Outer Channel											
LOCKING DEVICES											
1 - NO LOCK											
MOUNTING PLANE (Predetermined Factory Adjustment of Transducer Magnets)											
HORIZONTAL (Least Desirable*)	VERTICAL (Best*)	ON-END (Next Best*)									
A - OPEN SIDE UP	C - CONNECTORS UP	E - INPUT UP									
B - OPEN SIDE DOWN	D - CONNECTORS DOWN	F - OUTPUT UP									
<p>HORIZONTAL MOUNT OPEN SIDE DOWN (B)</p>	<p>VERTICAL MOUNT CONNECTORS UP (C)</p>	<p>ON-END MOUNT INPUT UP (E)</p>									
<small>*The ideal mounting plane for reverb tanks is one that allows the weight of the transmission springs to keep the transducer magnets centered along the air gap and not toward the limitation.</small>											

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4: DATASHEET ΤΟΥ ΤΕΛΕΣΤΙΚΟΥ TL072

Παρακάτω αναφέρονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του ολοκληρωμένου κυκλώματος TL072, που χρησιμοποιήθηκε στην κατασκευή.

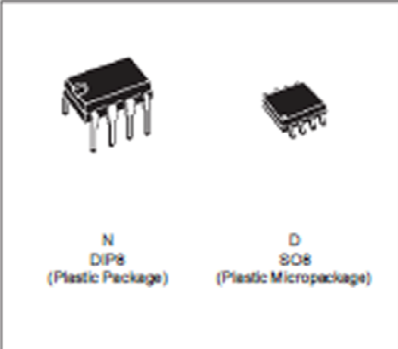


TL072

TL072A - TL072B

LOW NOISE J-FET DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS

- WIDE COMMON-MODE (UP TO V_{CC}^+) AND DIFFERENTIAL VOLTAGE RANGE
- LOW INPUT BIAS AND OFFSET CURRENT
- LOW NOISE $e_n = 15\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ (typ)
- OUTPUT SHORT-CIRCUIT PROTECTION
- HIGH INPUT IMPEDANCE J-FET INPUT STAGE
- LOW HARMONIC DISTORTION : 0.01% (typ)
- INTERNAL FREQUENCY COMPENSATION
- LATCH UP FREE OPERATION
- HIGH SLEW RATE : $16\text{V}/\mu\text{s}$ (typ)



N
DIP8
(Plastic Package)

D
SO8
(Plastic Micropackage)

DESCRIPTION

The TL072, TL072A and TL072B are high speed J-FET input dual operational amplifiers incorporating well matched, high voltage J-FET and bipolar transistors in a monolithic integrated circuit.

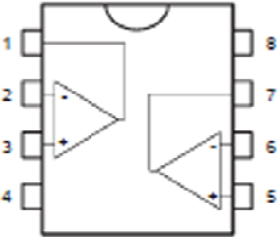
The devices feature high slew rates, low input bias and offset current, and low offset voltage temperature coefficient.

ORDER CODES

Part Number	Temperature Range	Package	
		N	D
TL072M/A/M/B/M	-55°C, +125°C	•	•
TL072H/A/H/B/H	-40°C, +105°C	•	•
TL072C/A/C/B/C	0°C, +70°C	•	•

Example : TL072CN

PIN CONNECTIONS (top view)



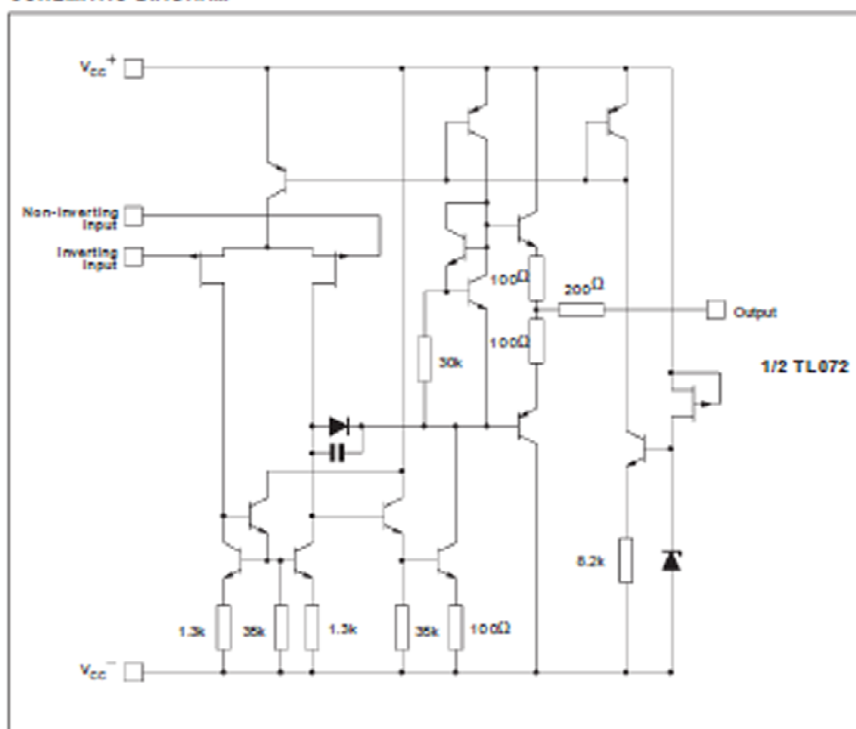
- 1 - Output 1
- 2 - Inverting input 1
- 3 - Non-inverting input 1
- 4 - V_{CC}^+
- 5 - Non-inverting input 2
- 6 - Inverting input 2
- 7 - Output 2
- 8 - V_{CC}^+

December 1998

1/9

TL072 - TL072A - TL072B

SCHEMATIC DIAGRAM



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V _{CC}	Supply Voltage - (note 1)	±18	V
V _I	Input Voltage - (note 3)	±15	V
V _{IO}	Differential Input Voltage - (note 2)	±30	V
P _{tot}	Power Dissipation	880	mW
	Output Short-circuit Duration - (note 4)	Infinite	
T _{oper}	Operating Free Air Temperature Range	TL072C,AC,BC 0 to 70 TL072(A,AB) -40 to 105 TL072M,AM,BM -55 to 125	°C
T _{stg}	Storage Temperature Range	-65 to 150	°C

Notes: 1. All voltage values, except differential voltage, are with respect to the zero reference level (ground) of the supply voltages where the zero reference level is the midpoint between V_{CC}⁺ and V_{CC}⁻.
 2. Differential voltage are at the non-inverting input terminal with respect to the inverting input terminal.
 3. The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage or 15 volts, whichever is less.
 4. The output may be shorted to ground or to either supply. Temperature and for supply voltages must be limited to ensure that the dissipation rating is not exceeded.

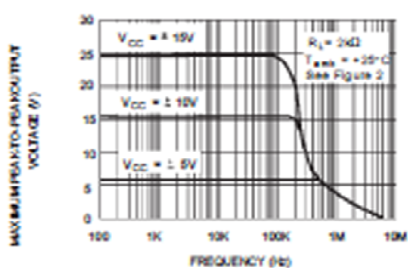
ELECTRICAL CHARACTERISTICS

V_{CC} = ±15V, T_{amb} = 25°C (unless otherwise specified)

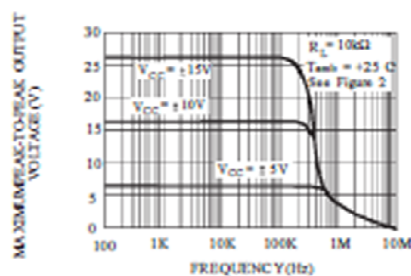
Symbol	Parameter	TL072LM,AC,AL, AM,BC,BL,BM			TL072C			Unit
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
V _{io}	Input Offset Voltage (R _s = 50Ω) T _{amb} = 25°C T _{min} ≤ T _{amb} ≤ T _{max}		3 3 1	10 8 3		3	10 13	mV
DV _{io}	Input Offset Voltage Drift		10			10		μV/°C
I _o	Input Offset Current * T _{amb} = 25°C T _{min} ≤ T _{amb} ≤ T _{max}		5	100 4		5	100 10	pA nA
I _b	Input Bias Current * T _{amb} = 25°C T _{min} ≤ T _{amb} ≤ T _{max}		20	200 20		20	200 20	pA nA
A _{vd}	Large Signal Voltage Gain (R _L = 2kΩ, V _O = ±10V) T _{amb} = 25°C T _{min} ≤ T _{amb} ≤ T _{max}	50 25	200		25 15	200		V/mV
SVR	Supply Voltage Rejection Ratio (R _s = 50Ω) T _{amb} = 25°C T _{min} ≤ T _{amb} ≤ T _{max}	80 80	88		70 70	88		dB
I _{cc}	Supply Current per Amp, no Load T _{amb} = 25°C T _{min} ≤ T _{amb} ≤ T _{max}		1.4	2.5 2.5		1.4	2.5 2.5	mA
V _{cm}	Input Common Mode Voltage Range	±11	+15 -12		±11	+15 -12		V
CMR	Common Mode Rejection Ratio (R _s = 50Ω) T _{amb} = 25°C T _{min} ≤ T _{amb} ≤ T _{max}	80 80	88		70 70	88		dB
I _{os}	Output Short-circuit Current T _{amb} = 25°C T _{min} ≤ T _{amb} ≤ T _{max}	10 10	40	60 60	10 10	40	60 60	mA
±V _{opp}	Output Voltage Swing T _{amb} = 25°C T _{min} ≤ T _{amb} ≤ T _{max}							V
SR	Slew Rate (V _{in} = 10V, R _L = 2kΩ, C _L = 100pF, T _{amb} = 25°C, unity gain)		8	16		8	16	V/μs
t _r	Rise Time (V _{in} = 20mV, R _L = 2kΩ, C _L = 100pF, T _{amb} = 25°C, unity gain)			0.1		0.1		μs
K _{OV}	Overshoot (V _{in} = 20mV, R _L = 2kΩ, C _L = 100pF, T _{amb} = 25°C, unity gain)			10		10		%
GBP	Gain Bandwidth Product (f = 100kHz, T _{amb} = 25°C, V _{in} = 10mV, R _L = 2kΩ, C _L = 100pF)	2.5	4		2.5	4		MHz
R _i	Input Resistance		10 ¹²			10 ¹²		Ω
THD	Total Harmonic Distortion (f = 1kHz, A _v = 20dB, R _L = 2kΩ, C _L = 100pF, T _{amb} = 25°C, V _O = 2V _{pp})			0.01		0.01		%
e _n	Equivalent Input Noise Voltage (f = 1kHz, R _s = 100Ω)			15		15		nV √Hz
φ _m	Phase Margin			45		45		Degrees
V _{OH/V_{OL}}	Channel Separation (A _v = 100)			120		120		dB

* The input bias currents are junction leakage currents which approximately double for every 10°C increase in the junction temperature.

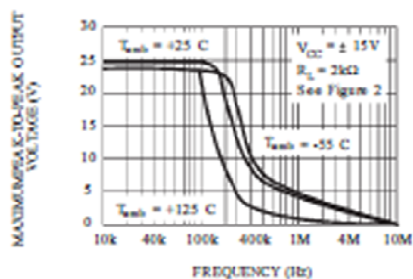
MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE VERSUS FREQUENCY



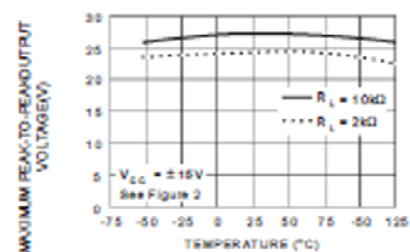
MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE VERSUS FREQUENCY



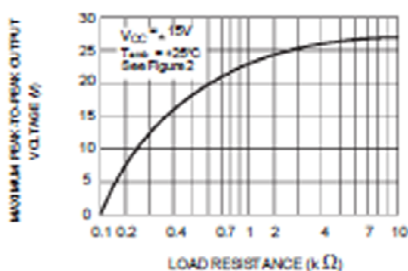
MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE VERSUS FREQUENCY



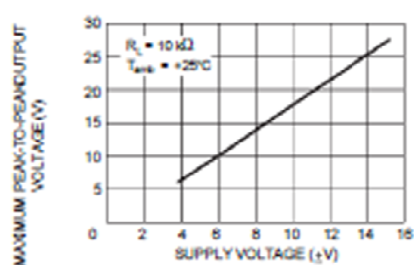
MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE VERSUS FREE AIR TEMP.



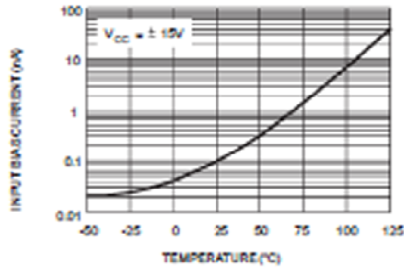
MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE VERSUS LOAD RESISTANCE



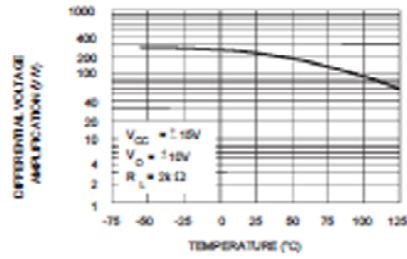
MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE VERSUS SUPPLY VOLTAGE



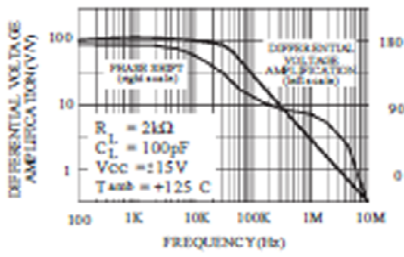
INPUT BIAS CURRENT VERSUS FREE AIR TEMPERATURE



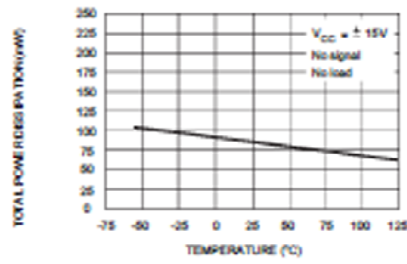
LARGE SIGNAL DIFFERENTIAL VOLTAGE AMPLIFICATION VERSUS FREE AIR TEMPERATURE



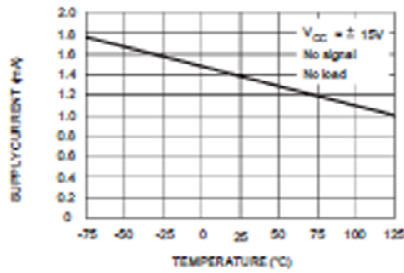
LARGE SIGNAL DIFFERENTIAL VOLTAGE AMPLIFICATION AND PHASE SHIFT VERSUS FREQUENCY



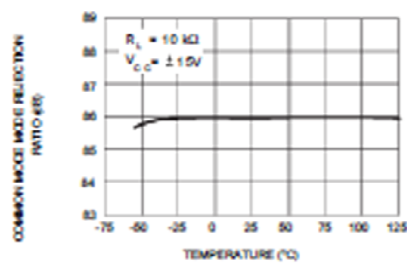
TOTAL POWER DISSIPATION VERSUS FREE AIR TEMPERATURE



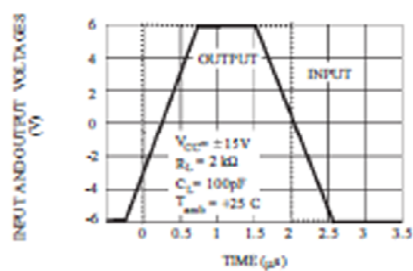
SUPPLY CURRENT PER AMPLIFIER VERSUS FREE AIR TEMPERATURE



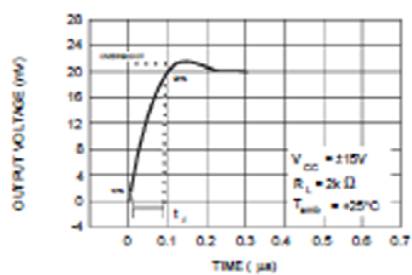
COMMON MODE REJECTION RATIO VERSUS FREE AIR TEMPERATURE



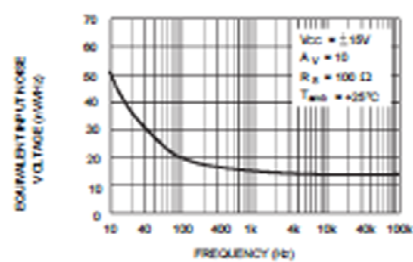
VOLTAGE FOLLOWER LARGE SIGNAL PULSE RESPONSE



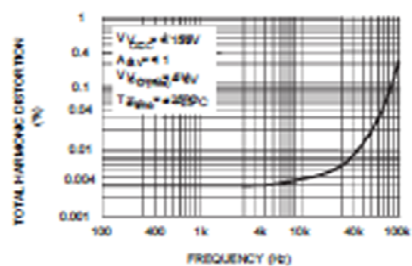
OUTPUT VOLTAGE VERSUS ELAPSED TIME



EQUIVALENT INPUT NOISE VOLTAGE VERSUS FREQUENCY



TOTAL HARMONIC DISTORTION VERSUS FREQUENCY



PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

Figure 1 : Voltage Follower

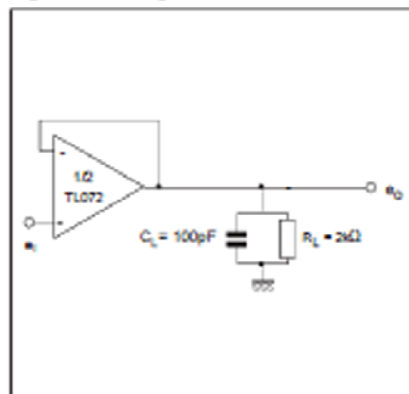
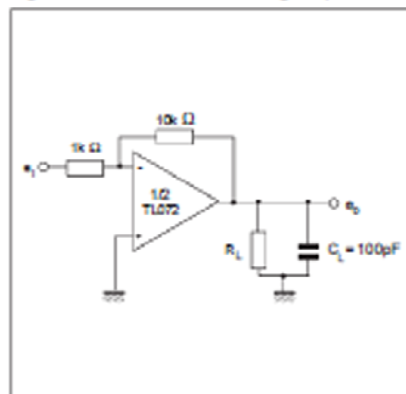
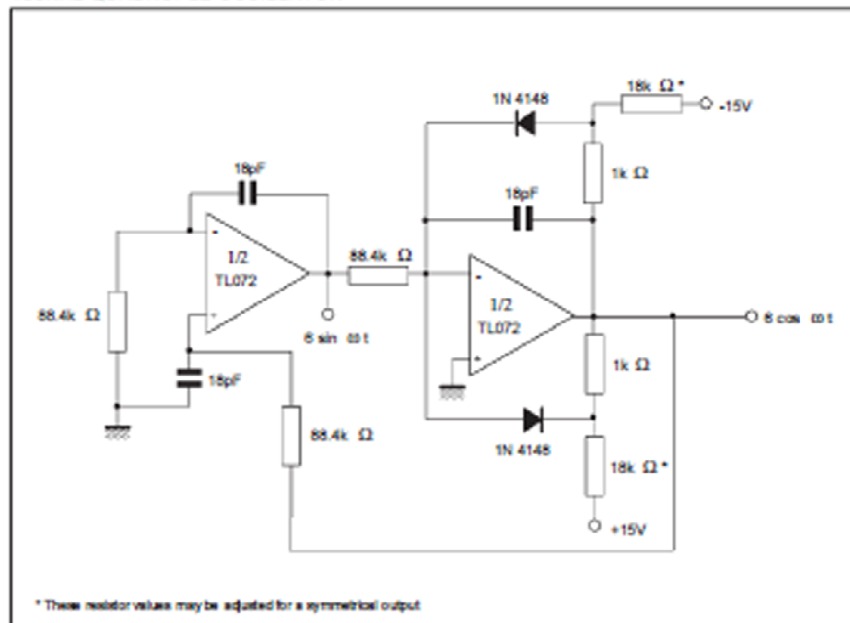


Figure 2 : Gain-of-10 Inverting Amplifier



TYPICAL APPLICATION

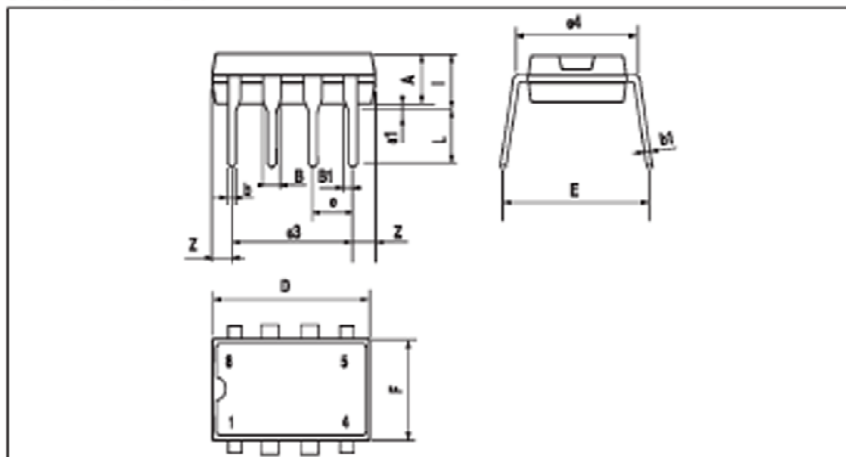
100KHz QUADRUPLE OSCILLATOR



* These resistor values may be adjusted for a symmetrical output

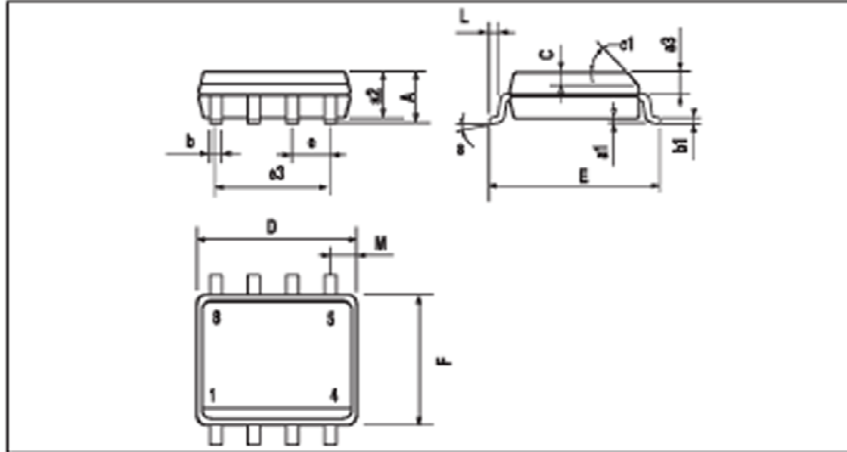
TL072 - TL072A - TL072B

PACKAGE MECHANICAL DATA
8 PINS - PLASTIC DIP



Dimensions	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A		3.32			0.131	
e1	0.51			0.020		
B	1.15		1.65	0.045		0.065
b	0.356		0.55	0.014		0.022
b1	0.204		0.304	0.008		0.012
D			10.92			0.430
E	7.95		9.75	0.313		0.384
e		2.54			0.100	
e3		7.62			0.300	
e4		7.62			0.300	
F			6.6			0.260
i			5.08			0.200
L	3.18		3.81	0.125		0.150
Z			1.52			0.060

PACKAGE MECHANICAL DATA
8 PINS - PLASTIC MICROPACKAGE (SO)



Dimensions	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A			1.75			0.069
a1	0.1		0.25	0.004		0.010
a2			1.65			0.065
a3	0.65		0.85	0.026		0.033
b	0.35		0.48	0.014		0.019
b1	0.19		0.25	0.007		0.010
C	0.25		0.5	0.010		0.020
c1	45° (typ.)					
D	4.8		5.0	0.189		0.197
E	5.8		6.2	0.228		0.244
e		1.27			0.050	
e3		3.81			0.150	
F	3.8		4.0	0.150		0.157
L	0.4		1.27	0.016		0.050
M			0.6			0.024
S	8° (max.)					

Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, STMicroelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of STMicroelectronics. Specifications mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. STMicroelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of STMicroelectronics.

© The ST logo is a trademark of STMicroelectronics.

© 1998 STMicroelectronics - Printed in Italy - All Rights Reserved

STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES

Australia - Brazil - Canada - China - France - Germany - Italy - Japan - Korea - Malaysia - Mexico - Morocco
 The Netherlands - Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - Taiwan - Thailand - United Kingdom - U.S.A.

© <http://www.st.com>



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Yamaha Corporation of America, Gary Davis και Ralph Jones, *Sound Reinforcement Handbook*, 2^η Έκδοση, Milwaukee USA, 1989, Εκδόσεις Hal Leonard, ISBN: 0-88188-900-8.
2. Επίσημη ιστοσελίδα της Accutronics, <http://www.accutronicsreverb.com/>, τελευταία επίσκεψη στις 20/5/2013.
3. Rossing – Moore – Wheeler, *The science of sound*, Τρίτη έκδοση, Addison Wesley εκδόσεις, 2002, ISBN 0-8053-8565-7, Κεφάλαια 23 – 24 – 25.
4. <http://www.nshos.com/HammondPAGE16.htm>, τελευταία επίσκεψη στις 20/5/2013.
5. http://www.amplifiedparts.com/tech_corner/spring_reverb, τελευταία επίσκεψη 19/3/2013.
6. Albert Paul Malvino, *Βασική Ηλεκτρονική*, 4^η Έκδοση, Θεσσαλονίκη, 1990, Εκδόσεις Α. Τζιόλας, ISBN: 960-7219-12-0.
7. http://www.electronics-tutorials.ws/filter/filter_1.html, τελευταία επίσκεψη στις 20/5/2013.
8. Δήμου Χρήστος (Μελέτη- Κατασκευή- Παρουσίαση), Περιοδικό *Electronic Circuits*, Απρίλιος 2010, Τεύχος 3, σελίδες 40-44.
9. <http://www.capturedlightning.org/hot-streamer/TCIA/TCIA/10.1.html>, τελευταία επίσκεψη στις 20/5/2013.
10. Julian Parker και Stefan Bilbao, *Spring Reverberation: A physical perspective*, στην 12^η διάσκεψη Digital Audio Effects (DAF-x 09), Como, Italy, 1-4 September 2009.
11. Stefan Bilbao και Julian Parker, *A Virtual model of Spring Reverberation*, IEEE Transactions on audio, speech and language processing, Vol. 18, No. 4, May 2010.
12. Χουσιδης Χρήστος, Σημειώσεις Θεωρίας "Εισαγωγή στη σύγχρονη Μουσική Τεχνολογία II", Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής, Ρέθυμνο 2006.
13. Κεχράκος Κώστας, Σημειώσεις Εργαστηρίου "Εισαγωγή στη σύγχρονη Μουσική Τεχνολογία II", Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής, Ρέθυμνο 2006

Ηλεκτρονικές Διευθύνσεις (Website)

- <http://www.uaudio.com/webzine/2006/april/text/content2.html>, τελευταία επίσκεψη στις 20/5/2013.
- <http://sim.okawa-denshi.jp/en/Fkeisan.htm>, τελευταία επίσκεψη στις 20/5/2013.
- http://en.wikipedia.org/wiki/Dispersion_relation, τελευταία επίσκεψη στις 20/5/2013.
- <http://www.wolframalpha.com/>, τελευταία επίσκεψη στις 20/5/2013.

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΟΡΩΝ

A

Accutronics, 11, 13, 14, 16, 58, 65, 75

D

direct sound, 8

E

early reflections, 8, 9

F

Fender, 13

H

Hammond Organ, 11, 12

L

late reflections, 9
low cut frequency filter, 6

R

reverb, 5, 7, 8, 11, 12, 13, 14, 15, 25, 44, 75
reverb tank, 5

S

Spring Reverb, 5, 6, 15, 36, 48, 50, 53, 56

T

THD, 50, 51, 52, 53

A

αντήχηση, 7, 8, 9, 10, 12, 50
απευθείας ήχο, 8, 9
Αρμονική παραμόρφωση, 50

Δ

δεξαμενές αντήχησης, 5

K

καθυστερημένες ανακλάσεις, 9
κύκλωμα οδήγησης, 5, 19, 20

M

μετατροπέας, 7, 14, 15, 16, 18, 27

O

Ολική Αρμονική Παραμόρφωση, 50

Π

πρώτες ανακλάσεις, 8, 9, 10

Σ

συμμετρική τροφοδοσία, 5
σύνθετη αντίσταση εξόδου, 20, 53, 54
συχνότητα αποκοπής, 22, 23, 44, 50
συχνότητας 'μετάλλαξης', 45
συχνοτική απόκριση, 35, 61, 62, 63, 64
σχέση διασποράς, 49

T

τελεστικός ενισχυτής, 20
τροφοδοτικό, 25, 26

Φ

φίλτρο, 5, 21, 22, 23, 30
φίλτρο αποκοπής χαμηλών συχνοτήτων, 5, 22, 30

X

χρόνος επανάληψης, 14, 44, 45
Χρόνος επανάληψης, 44