

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Μελέτη, σχεδιασμός και κατασκευή ηλεκτρονικού
συστήματος για την υλοποίηση των λειτουργιών
ενός Αιθερόφωνου.**

ΡΕΠΑΝΗΣ ΓΡΗΓΟΡΗΣ Α.Μ. 6025
ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΛΑΜΠΡΟΣ ΜΠΙΣΔΟΥΝΗΣ

ΠΑΤΡΑ 2014

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η πτυχιακή αυτή αποσκοπεί στη μελέτη και στην κατασκευή του ηλεκτρονικού μουσικού οργάνου Theremin (Αιθερόφωνο) καθώς και στην εκτίμηση των βασικών χαρακτηριστικών των κυκλωμάτων του. Πιο συγκεκριμένα θα υπάρξει ανάλυση των λειτουργιών και των μουσικών δυνατοτήτων του μουσικού οργάνου αλλά και ιστορική αναδρομή πάνω στα όργανα απομακρυσμένου ελέγχου μέχρι και την τυχαία ανακάλυψη του από μηχανικούς τις πρώτες δεκαετίες του 20ου αιώνα.

Κατά τη διάρκεια του σταδίου της ανάλυσης, θα μελετηθούν και θα αξιολογηθούν διάφορες υπάρχουσες τεχνολογίες ανάπτυξης του οργάνου. Κατόπιν, αφού γίνει η μελέτη του θέματος μας θα ασχοληθούμε με το κατασκευαστικό κομμάτι ,τον σχεδιασμό και την υλοποίησης της ηλεκτρονικής διάταξης του Theremin καθώς και στην ουσιαστική κατανόηση της βασικής αρχής λειτουργίας του.

Ακόμα θα μπορούμε στην διαδικασία να ασχοληθούμε με το μουσικό κομμάτι της κατασκευής αναφέροντας τις δυνατότητες του αλλά και για το ηχητικό φάσμα που καλύπτει και τέλος θα αφήσουμε τη δύναμη του ήχου να κάνει τη διαφορά ανάμεσα σε μια κοινότυπη ηλεκτρονική κατασκευή.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το αιθερόφωνο (αλλιώς θεριεμένη ή θέρεμιν) είναι ένα ηλεκτρονικό μουσικό όργανο που εφευρέθηκε το 1919. Είναι το μόνο διαδεδομένο μουσικό όργανο το οποίο μπορεί να παιχτεί από απόσταση , δηλαδή «στον αέρα», χωρίς να το αγγίξεις. Το όνομά του το πήρε από τον εφευρέτη του, το Ρώσο Lew Termen, ο οποίος μεταβαίνοντας στις ΗΠΑ άλλαξε το όνομά του σε Leon Theremin.

Περιγραφή μουσικού οργάνου Theremin

Το αιθερόφωνο (αλλιώς θερεμίνη ή θέρεμιν) είναι ένα ηλεκτρονικό μουσικό όργανο που εφευρέθηκε το 1919. Είναι το μόνο διαδεδομένο μουσικό όργανο το οποίο μπορεί να παιχτεί από απόσταση , δηλαδή «στον αέρα», χωρίς να το αγγίξεις. Το όνομά του το πήρε από τον εφευρέτη του, το Ρώσο Lew Termen, ο οποίος μεταβαίνοντας στις ΗΠΑ άλλαξε το όνομά του σε Leon Theremin.

Περιγραφή κυκλώματος Theremin

Αποτελείται από δυο ολοκληρωμένα κυκλώματα που χρησιμεύσουν στις βασικές λειτουργίες του θέρεμιν. Είναι CMOS συσκευές που χρησιμοποιούνται συνήθως στα ψηφιακά κυκλώματα για την εκτέλεση μιας λογικής λειτουργίας.

Τα τμήματα των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων σε συνδυασμό με τις αντιστάσεις και με την βοήθεια ενός πυκνωτή σχηματίζουν μεταβλητό ταλαντωτή που λειτουργεί σε ένα εύρος συχνοτήτων γύρω στα 73kHz . Η κεραία στο όργανο παίζει το ρόλο ενός μισό μεταβλητού πυκνωτή που αποτελεί μέρος του δικτύου προσδιορισμού συχνότητας του ταλαντωτή, και το χέρι του παίκτη σχηματίζει το άλλο μισό. Καθώς η απόσταση μεταξύ του χεριού και της κεραίας μεταβάλλεται, μεταβάλλεται και η χωρητικότητα του πυκνωτή, επομένως και η συχνότητα του ταλαντωτή. Συγκεκριμένα τμήματα των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων ρυθμίζουν την έξοδο του μεταβλητού ταλαντωτή και παρέχουν απομόνωση από το υπόλοιπο τμήμα του κυκλώματος. Ακόμα, άλλα τμήματα των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων σε συνδυασμό με τις αντιστάσεις και ένα πυκνωτή περιλαμβάνουν τον τοπικό ταλαντωτή του θέρεμιν που με την βοήθεια ενός προσαρμοσμένου ποτενσιόμετρου που τοποθετείται στο κύκλωμα γίνεται η βαθμονόμηση του φάσματος της συχνότητας του τοπικού ταλαντωτή. Κατά τη χρήση του οργάνου, τα ποτενσιόμετρα ρυθμίζονται από τον παίκτη, έτσι ώστε το θέρεμιν να σιωπά παίρνοντας το χέρι μακριά από την κεραία, και παράγοντας το χαμηλότερο τόνο, όταν το χέρι είναι στη μέγιστη απόσταση. Το θέρεμιν μπορεί να συνδεθεί με έναν ενισχυτή μέσω της εξόδου JACK.

Κατασκευή κυκλώματος Theremin

Για την υλοποίηση του κυκλώματος θα χρειαστούμε ολοκληρωμένα κυκλώματα τύπου CD4069UBE και CD4046BE και χρησιμοποιούνται για βασικές λειτουργίες του θέρεμιν καθώς και μια μπαταρία που θα τροφοδοτεί το κύκλωμα.

Αρχικά θα κάνουμε τις απαραίτητες κολλήσεις των αντιστάσεων και των πυκνωτών καθώς και των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων σύμφωνα με την κατάλληλη συνδεσμολογία, Τέλος θα μεταφέρουμε το κύκλωμα σε σταθερή, κλειστή βάση ανοίγοντας οπές για διακόπτη On/Off , για την κεραία, την έξοδο JACK και για το ποτενσιόμετρο ώστε να έχουμε προστασία του κυκλώματος αλλά και εύκολη χρήση του οργάνου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

- 1.1. Ιστορική Αναδρομή.....σελ.7
- 1.2. Πρώτος χειροποίητος αισθητήρας κίνησης.....σελ.9
- 1.3. Απομακρυσμένος Έλεγχος Μουσικών Οργάνων.....σελ.10
- 1.4. Τα πρώτα ηλεκτρονικά όργανα.....σελ.11
- 1.5. Ηλεκτρονική και Συγκεκριμένη Μουσική.....σελ.12
- 1.6. Εξέλιξη των Synthesizers.....σελ.12

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

- 2.1. Είδη ταλαντωτών.....σελ.13
- 2.2. Αρμονικοί ταλαντωτές LC.....σελ.14
- 2.3. Ταλαντωτές Θέρμης.....σελ.15
- 2.4. Αρχή λειτουργίας του ταλαντωτή Theremin.....σελ.16

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

- 3.1. Υλοποίηση ηλεκτρονικού κυκλώματος Theremin.....σελ.18
- 3.2 . Περιγραφή κυκλώματος Theremin.....σελ.20

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4. Επανασχεδιασμός και κατασκευή νέου σχηματικού κυκλώματος.....σελ.22	
4.1 Επανασχεδιασμός και κατασκευή νέου σχηματικού κυκλώματος.....σελ.23	
4.2. Μεταφορά του ηλεκτρονικού κυκλώματος σε κλειστή βάση.....σελ.24	
4.3. Λειτουργία ολοκληρωμένων κυκλωμάτων CD4046BE και CD4069UBE.....σελ.30	
4.3.1 Ολοκληρωμένο κύκλωμα CD4046BE.....σελ.31	
4.3.2 Ολοκληρωμένο κύκλωμα CD4069BE.....σελ.36	

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5. Πυκνωτής.....σελ.38	
5.1. Ορισμός του πυκνωτή - μονάδες χωρητικότητας.....σελ.38	
5.2. Κατασκευή πυκνωτή.....σελ.39	
5.3. Συμπεριφορά πυκνωτή σε συνεχές και εναλλασσόμενο ρεύμα.....σελ.39	
5.4. Είδη πυκνωτών.....σελ.40	
5.5 Κεραμικοί πυκνωτές.....σελ.41	
5.5.1. Ανάγνωση τιμής κεραμικού πυκνωτή.....σελ.41	
5.5.2. Ονομαστική τιμή πολυεστερικού πυκνωτή με συμβολισμό.....σελ.42	
5.6 Πυκνωτές μεταβλητής χωρητικότητας.....σελ.43	
5.7. Ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές.....σελ.44	
5.7.1. Συνδεσμολογίες πυκνωτών.....σελ.47	

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

- 6. Κεραία.....σελ.49**
- 6.1. Η σημασία της κεραίας στην ραδιοηλεκτρολογία.....σελ.49**
- 6.2. Είδη κεραιών.....σελ.51**
- 6.3. Η Χρήση της κεραίας στο κύκλωμα του Theremin.....σελ.52**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

- 7. Ποτενσιόμετρα.....σελ.53**
- 7.1 Η χρήση των ποτενσιόμετρων στο κύκλωμα.....σελ.55**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

- 8. Η ακουστική του ήχου.....σελ.56**
- 8.1. Τι είναι ο ήχος;.....σελ.56**
- 8.2 Ημιτονικό κύμα.....σελ.57**
- 8.3. Το ηχόχρωμα.....σελ.59**
- 8.4 Ακουστό φάσμα.....σελ.61**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

- 9. Το Theremin στην βιομηχανία της μουσικής
και του σινεμά.....σελ.63**
- 9.1. Καλλιτέχνες που χρησιμοποίησαν τον Theremin
στην μουσική.....σελ.63**

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....σελ.65

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....σελ.66

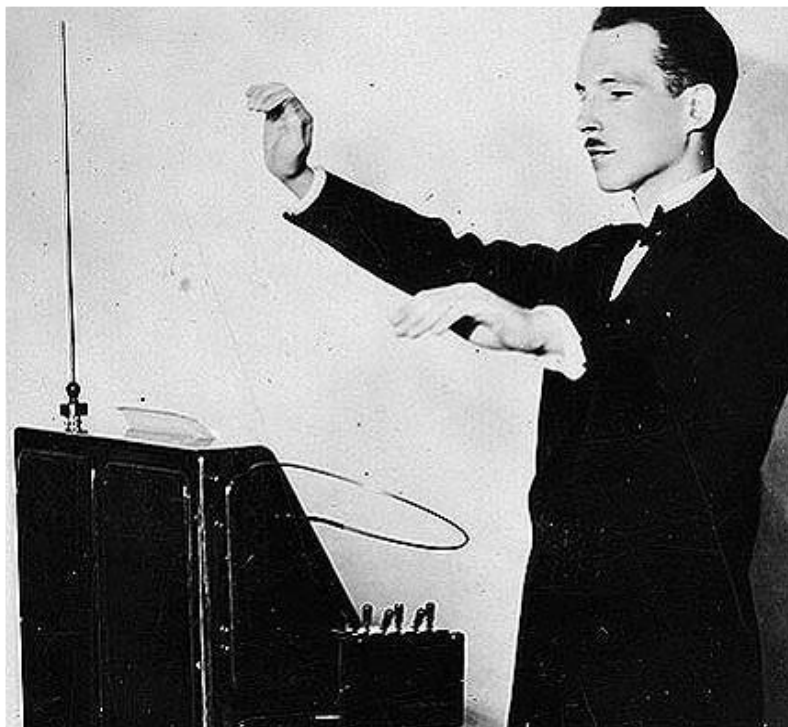
ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Από τότε που ανακαλύφθηκε ο ηλεκτρισμός, οι άνθρωποι άρχισαν να τον χρησιμοποιούν σαν μέσο παραγωγής του ήχου. Καθώς εξελισσόταν η επιστήμη της ηλεκτρονικής, αποτέλεσε το νέο μέσο κατασκευής για όλα τα είδη συσκευών των τηλεπικοινωνιών, και τα ηλεκτρονικά μουσικά όργανα άρχισαν να γίνονται πιο πολύπλοκα. Από το πρώτο μισό του 20ου πρώτου αιώνα πολλά νέα ηλεκτρονικά μουσικά όργανα ξεφύτρωσαν. Πολλά από αυτά ήταν βασισμένα σε πλήκτρα (keyboard) καθώς είχαν αποδειχθεί μια ευέλικτη διεπαφή (interface), αφού υφίσταντο αιώνες πριν μουσικά όργανα όπως το πιάνο, το εκκλησιαστικό όργανο, το τσέμπαλο κτλ.

Ένα ενδιαφέρον πρώιμο ηλεκτρονικό μουσικό όργανο (αναλογικό) είναι η Θερεμίνη ή πιο διαδεδομένα Theremin που θα αποτελέσει και το θέμα της πτυχιακής εργασίας, ενός επαναστατικού οργάνου για την εποχή του που ενέπνευσε κατά καιρούς δεκάδες μουσικούς. Πρόκειται επίσης και για ένα από τα πιο δύσκολα στο να παιχτεί σωστά όργανο και υπήρξε ένα από τα πρώτα όργανα παραγωγής συνθετικού ήχου. Πάνω σε αυτό κυριολεκτικά βασίστηκε η λειτουργία των σύγχρονων synthesizer και της ηλεκτρονικής μουσικής.

1.1. Ιστορική Αναδρομή

Το αιθερόφωνο (αλλιώς θερεμίνη ή θέρεμιν) είναι ένα ηλεκτρονικό μουσικό όργανο που εφευρέθηκε το 1919. Είναι το μόνο διαδεδομένο μουσικό όργανο το οποίο μπορεί να παιχτεί από απόσταση, δηλαδή «στον αέρα», χωρίς να το αγγίζεις. Το όνομά του το πήρε από τον εφευρέτη του, το Ρώσο Lew Termen, ο οποίος μεταβαίνοντας στις ΗΠΑ άλλαξε το όνομά του σε Leon Theremin. Ο Termen σε ηλικία πέντε χρονών μαθαίνοντας τσέλο, κατάλαβε για πρώτη φορά ότι η μουσική έκφραση του μυαλού εμποδίζεται από την μηχανική – μυϊκή μάθηση των χεριών. Το 1917 ο Leon Termen συνειδητοποίησε ότι, αντί να αποτελεί πρόβλημα, η ανθρώπινη αγωγιμότητα μπορεί να αποτελέσει μηχανισμό ελέγχου για ένα όργανο. Πιο εμπειριστατωμένα αυτό σημαίνει ότι η μικρή απόσταση ανάμεσα στις λυχνίες κενού και το ανθρώπινο σώμα δημιουργεί διακυμάνσεις στην συχνότητα, λόγω της αγωγιμότητας του σώματος. Έτσι λοιπόν, κατασκεύασε την πρώτη του μηχανή η οποία ονομάστηκε *Theremin*, συνδυασμός από το όνομά του και την λέξη «Aetherophone» και είναι το πρώτο όργανο που εκμεταλλεύεται την ετεροδυναμική αρχή. Η αρχή των ετεροδυναμικών ταλαντωτών ανακαλύφθηκε τυχαία στις πρώτες δεκαετίες του 20 αιώνα από μηχανικούς, οι οποίοι πειραματίζονταν με καθοδικές λυχνίες κενού και παρατήρησαν τις μουσικές δυνατότητες.



1.Ο Leon Theremin με το αξιοπερίεργο του Theremin

Το όργανο όπως βλέπετε και στις εικόνες είναι απλώς ένα κουτί από το οποίο προεξέχουν δύο κεραίες. Η μία (η κάθετη) χρησιμεύει στο να ελέγχει τον τόνο του ήχου, η άλλη (η οριζόντια) την ένταση. Πλησιάζοντας λοιπόν το χέρι μας στην κάθετη ο τόνος γίνεται ψηλότερος ενώ πλησιάζοντας στην οριζόντια η ένταση χαμηλώνει. Οι δύο κεραίες μας παράγουν ένα ηχητικό σήμα. Το ανθρώπινο σώμα κινούμενο κοντά στις κεραίες το επηρεάζει κατά έναν τρόπο ο οποίος θυμίζει την επιρροή που μπορεί έχει ένας κινούμενος άνθρωπος στην ποιότητα λήψης της τηλεόρασης για παράδειγμα. Η ανθρώπινη κίνηση προκαλεί μεταβολές του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου τις οποίες αναγνωρίζουν οι κεραίες, με την μία να "διαβάζει" μεταβολές στη συχνότητα και την άλλη στο πλάτος. Ο δε ήχος που παράγεται θεωρείται ένας από τους πιο "καθαρούς" από όλα τα μουσικά όργανα καθώς αποτελείται από ένα απλό ημιτονοειδές κύμα.



1.1 Διαφορετικοί τύποι του μουσικού οργάνου

1.2 Πρώτος χειροποίητος αισθητήρας κίνησης

Επόμενο στάδιο, ήταν η κατασκευή ενός χειροποίητου αισθητήρα κίνησης ή θέσης (ribbon controller), έτσι ώστε να ελέγχεται το τονικό ύψος χωρίς την χρήση της χειρολαβής – «πένας». Ένα πρώιμο παράδειγμα ηλεκτρονικού μουσικού οργάνου είναι το Theremin Cello.

Theremin Cello

Το Theremin Cello, είναι ένα ηλεκτρονικό αναλογικό όργανο του Ρώσου Leon Theremin (κατασκευάστηκε το 1930), το οποίο έχει μια μαύρη εύκαμπτη πλαστική ταινία, η οποία είναι συνδεδεμένη στο ηλεκτρονικό κύκλωμα του οργάνου. Ο μουσικός καθώς την πιέζει με το δάκτυλο του, παράγει ένα τόνο. Μεταβάλλοντας την θέση του δακτύλου του κατά μήκος της ταινίας, μεταβάλλεται και ο παραγόμενος τόνος του οργάνου. Στην *εικόνα*, φαίνεται ο ίδιος ο κατασκευαστής του οργάνου, όπου με το αριστερό του χέρι ελέγχει το τονικό ύψος του τσέλου, και με το δεξί το πλάτος του παραγόμενου τόνου, ανεβοκατεβάζοντας μια χειρολαβή. Ένας από τους πρώτους αισθητήρες που χρησιμοποιήθηκαν για το σχεδιασμό του Theremin Cello και παρόμοιων οργάνων ήταν ο αισθητήρας κίνησης (Koehly).



1.2. Theremin Cello

1.3. Απομακρυσμένος Έλεγχος Μουσικών Οργάνων

Theremin (1917)

Η αρχή των ετεροδυναμικών ταλαντωτών ανακαλύφθηκε τυχαία στις πρώτες δεκαετίες του 20^{ου} αιώνα από μηχανικούς πειραματιζόμενους με καθοδικές λυχνίες κενού. Το αποτέλεσμα αυτό δημιουργείται από δύο ηχητικά ραδιοκύματα υψηλών συχνοτήτων, των οποίων η διαφορά δημιουργεί ένα τρίτο κύμα ίσης συχνότητας με την διαφορά (περίπου 20 Hz με 20.000 Hz). Οι μουσικές δυνατότητες της αρχής αυτής, παρατηρήθηκαν από αρκετούς μηχανικούς όπως οι Maurice Martenot, Nikolay Obukhov, Armand Givelet και Leon (ή Lev) Sergeivitch Termen,

Ένα σημαντικό πρόβλημα στην χρήση της ετεροδυναμικής αρχής για μουσικούς σκοπούς είναι ότι η μικρή απόσταση ανάμεσα στις λυχνίες κενού και το ανθρώπινο σώμα δημιουργεί διακυμάνσεις στην συχνότητα, λόγω της αγωγιμότητας του σώματος. Ο Leon Termen συνειδητοποίησε ότι, αντί να αποτελεί πρόβλημα, η ανθρώπινη αγωγιμότητα μπορεί να αποτελέσει μηχανισμό ελέγχου για ένα όργανο και, συνεπώς, να απελευθερώσει τον δημιουργό από τα κλαβιέ και την προκαθορισμένη τονικότητα.

Η πρώτη μηχανή του Termen κατασκευάστηκε στην ΕΣΣΔ το 1917 και ονομάστηκε “Theremin” (συνδυασμός από το επίθετό του και την λέξη “Aetherophone”) και είναι το πρώτο όργανο που εκμεταλλεύεται την ετεροδυναμική αρχή. Στο πρωτότυπο η ένταση ρυθμιζόταν με ένα πετάλι ποδιού και η τονικότητα με έναν μηχανισμό με διακόπτη. Στο μοντέλο παραγωγής του 1920 υπήρχε μια ορθή κεραία και ένας οριζόντιος μεταλλικός βρόχος. Το όργανο παίζεται κινώντας το ένα χέρι κατά μήκος της κεραίας για την τονικότητα και το άλλο κατά μήκος του βρόχου για την ένταση. Το αποτέλεσμα είναι ένας μονοφωνικός συνεχής ήχος που διαμορφώνεται από τον εκτελεστή. Η χροιά του οργάνου είναι σταθερή και θυμίζει ήχο βιολιού. Ο ήχος παράγεται άμεσα από τον ετεροδυναμικό συνδυασμό δύο ταλαντωτών: ενός που λειτουργεί σε σταθερή συχνότητα των 170 KHz, και ενός που μεταβάλλεται μεταξύ 168 και 170 KHz. Η μεταβολή εξαρτάται από την απόσταση του χεριού του μουσικού από την κεραία και παράγει τον ήχο.

Etherwave Theremin (1954)

Οι ετεροδυναμικοί ταλαντωτές έγιναν η καθιερωμένη μέθοδος παραγωγής ηλεκτρονικής μουσικής μέχρι την εφεύρεση των τρανζίστορ την δεκαετία του 1960. Στις ΗΠΑ το Theremin έγινε γνωστό ως οικιακό όργανο, αντικαταστάτης των εγχόρδων, και χρησιμοποιήθηκε κυρίως ως καινοτομία παρά ως “σοβαρό” όργανο σε πολλές ταινίες την περίοδο 1940-50 και σε pop δίσκους του 1960. Ο Termen κατασκεύασε πολλές παραλλαγές του Theremin, όπως τα “Terpsitone”, “Rhythmicon”, “keyboard Theremin” και “Electronic Cello”.

Το 1954 ο τότε φυσικός (και αργότερα ηλεκτρονικός μηχανικός) με πλούσια μουσική παιδεία Bob Moog, κατασκευάζει και πουλάει με επιτυχία Theremin με μηχανισμό τρανζίστορ (“Theremin 201” και το 1961 το “Melodia Model Theremin”). Μετά από δεκαετίες ασχολίας με τα Moog Modular και το MiniMoog, επανέρχεται με το “Theremin 91” έχοντας γνωρίσει προσωπικά τον Termen δύο χρόνια πριν, το 1989. Μέχρι το 1997 έχει κατασκευάσει το “Etherwave Theremin” και το “Ethervox”, ένα Theremin που υποστηρίζει MIDI.

Το 2004, κυκλοφόρησε το νέο μοντέλο του πολυβραβευμένου “Etherwave Theremin”, το “Etherwave Pro”. Μετά τον θάνατο του Termen το 1993 και του Bob Moog το 2005, την σκυτάλη της αναβάθμισης του “Etherwave Theremin” έχει αναλάβει η κόρη του τελευταίου, Michelle.



1.3. Το Theremin την δεκαετία του 1960

1.4. Τα Πρώτα Ηλεκτρονικά Όργανα

Μία από τις πρώτες προσπάθειες δημιουργίας ενός οργάνου με βάση ηλεκτρονικές διατάξεις ήταν το τηλεαρμόνιο (telharmonium), επινοήση του Thaddeus Cahill το 1906. Αυτό το όργανο συνδύαζε μεμονωμένους τόνους για την παραγωγή σύνθετων ήχων (προσθετική σύνθεση). Αυτό το υπερβολικά ογκώδες όργανο ήταν εφοδιασμένο με ένα keyboard που ενεργοποιούσε μία γεννήτρια και ένα είδος μεγαφώνου για την αναπαραγωγή του ήχου. Το τηλεαρμόνιο οφείλει το όνομά του στη χρησιμότητά του στην αναμετάδοση μουσικής μέσω τηλεφώνου σε ξενοδοχεία, εστιατόρια, σπίτια κτλ. Λίγα χρόνια μετά την ανακάλυψή του έπεσε σε αχρηστία λόγω του πολύ μεγάλου όγκου του και την αλληλεπίδραση του ηχητικού σήματος που παράγαγε με άλλα τηλεφωνικά σήματα.

Ένα άλλο πρωτοποριακό ηλεκτρονικό όργανο ήταν το αιθερόφωνο (Theremin) το οποίο και μελετάμε. Βασίζεται στη μείξη δύο σημάτων ίσων συχνοτήτων των οποίων ο συνδυασμός μας δίνει ένα τρίτο σήμα ισοδύναμο με την διαφορά των δύο αρχικών ταλαντώσεων. Το όργανο αυτό δεν είχε πλήκτρα και η εκτέλεση γινόταν με κινήσεις των χεριών μπροστά από δύο αντένες, γεγονός που προσέδιδε θεατρικότητα κατά την εκτέλεση μουσικών κομματιών. Ο εκτελεστής στέκεται μπροστά από το όργανο και με κινήσεις του δεξιού χεριού διαμορφώνει τη συχνότητα του ήχου, μεταβάλλοντας την απόσταση μεταξύ του δεξιού χεριού και της

κάθετης κεραίας. Με την μεταβολή της απόστασης μεταξύ του αριστερού χεριού και της οριζόντιας κεραίας ρυθμίζεται η ένταση των παραγόμενων τόνων. Οι δύο αντένες επηρεάζονται από όλες τις κινήσεις του σώματος γι' αυτό είναι απαραίτητος ο αυστηρός έλεγχος της στάσης του σώματος και του κεφαλιού. Το Theremin ήταν το πρώτο ηλεκτρονικό όργανο για το οποίο γράφτηκαν μουσικές συνθέσεις (E. Varèse, 1927).

Το πρώτο ηλεκτρονικό όργανο που ενσωματώθηκε σε μία ορχήστρα ήταν τα κύματα Martenot (les ondes Martenot) που κατασκευάστηκε το 1928 από τον Maurice Martenot. Βασίζεται στην αφαιρετική σύνθεση και μοιάζει εξωτερικά με πιάνο αλλά αντί για χορδές έχει μια σειρά από ειδικές ηλεκτρικές λάμπες. Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του είναι η ύπαρξη ενός δακτυλίου, ο οποίος κινείται με τη βοήθεια του δείκτη του δεξιού χεριού, και υπερτίθεται του πληκτρολογίου. Οι κινήσεις του δακτυλίου αντιστοιχούν σε νότες και σχετικές διαβαθμίσεις υψών μιας χρωματικής κλίμακας. Επίσης, το δεξί χέρι ελέγχει την ένταση με ένα ευαίσθητο στην πίεση κουμπί.

Από το 1935 κατασκευάζεται το πολύ γνωστό όργανο Hammond που προσεγγίζει κατασκευαστικά το τηλεαρμόνιο (προσθετική σύνθεση) αλλά σε πολύ μικρότερο μέγεθος και παράγει μια μεγάλη γκάμα ηχοχρωμάτων. Αρχικός στόχος του κατασκευαστή ήταν η δημιουργία ενός οργάνου που θα μπορούσε να μιμηθεί τον ήχο του εκκλησιαστικού οργάνου με πολύ μικρότερο όγκο.

1.5. Ηλεκτρονική και Συγκεκριμένη Μουσική

Μετά τον 2ο παγκόσμιο πόλεμο αρχίζουν να αναπτύσσονται τα πρώτα studios εφοδιασμένα με την διαθέσιμη τεχνολογία για την σύνθεση και παραγωγή μουσικής. Διακρίνουμε δύο κύρια ρεύματα αυτή τη περίοδο.

Η συγκεκριμένη μουσική (musique concrète) βασίζεται στην χρήση ηχογραφημένων φυσικών ήχων και θορύβων. Οι ήχοι παραθέτονται είτε αυτούσιοι είτε διαμορφωμένοι με ειδικές τεχνικές. Πρωτοπόρος της συγκεκριμένης μουσικής είναι ο Pierre Schaeffer και το studio RTF (Radio-Television Française) στο Παρίσι.

Η ηλεκτρονική μουσική (electronic music) βασίστηκε στην τεχνολογική ανάπτυξη για την παραγωγή και ηχογράφιση ηλεκτρονικών ήχων που παράγονται από το μηδέν με χρήση ταλαντωτών, γεννητριών θορύβου κτλ. Πρωτοπόρος της ηλεκτρονικής μουσικής και ένας από τους μεγαλύτερους συνθέτες του 20ου αιώνα είναι ο Karlheinz Stockhausen που δούλεψε στο studio WDR της Κολωνίας.

1.6. Εξέλιξη των Synthesizers

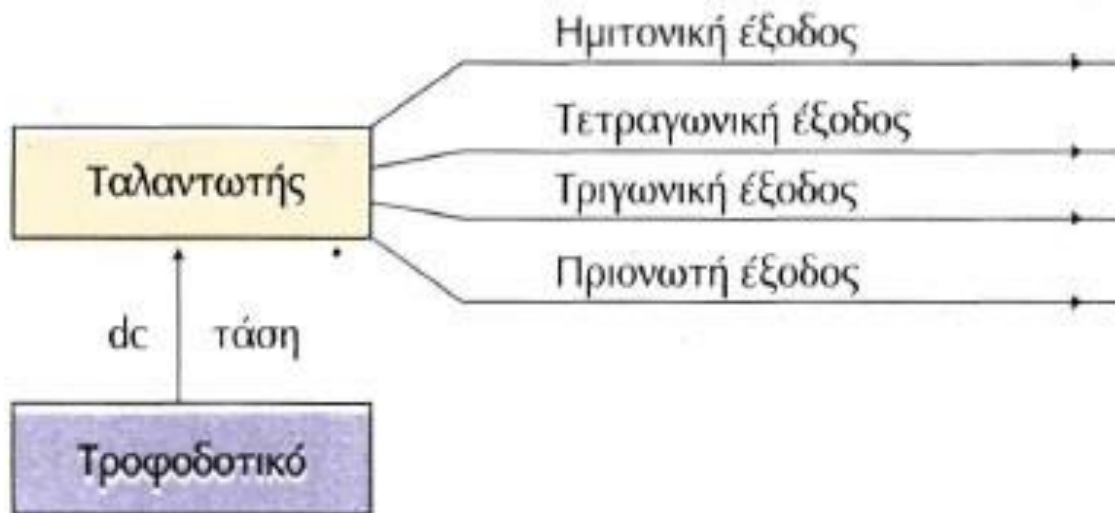
Ο συνθετητής (synthesizer ή synth) είναι ένα ηλεκτρονικό σύστημα παραγωγής, μετατροπής και οργάνωσης ήχου σε πραγματικό χρόνο. Όταν ένας synthesizer συνδυάζεται με ενισχυτή, μείκτη και υλικό ηχογράφησης έχουμε να κάνουμε με ένα ολοκληρωμένο studio ή workstation.

Ο πρώτος αναλογικός synthesizer δημιουργήθηκε το 1955 στο πανεπιστήμιο του Princeton. Ο synthesizer αυτός, που ονομάστηκε RCA – Mark II, ήταν ένα ογκώδες μηχάνημα και περιελάμβανε όλες τις συσκευές του κλασικού studio για τη παραγωγή ηλεκτρονικής μουσικής.

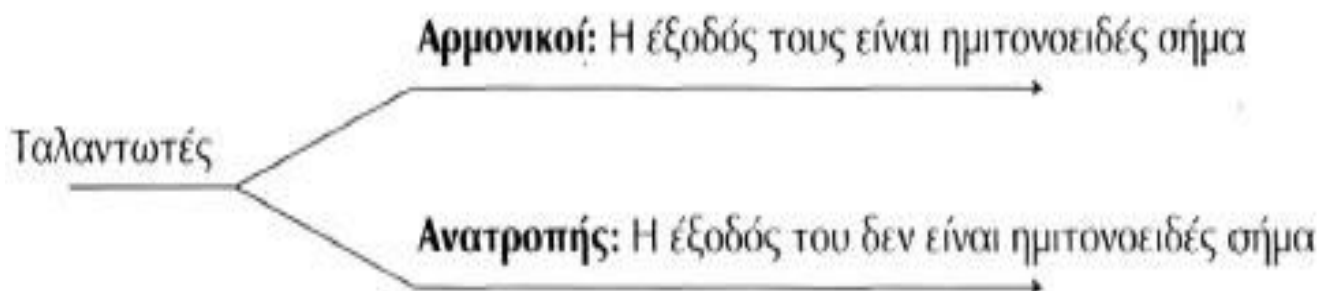
2. Ταλαντωτές

2.1. Είδη ταλαντωτών

Οι ταλαντωτές ημιτονοειδούς σήματος θυμίζουν τις ηλεκτρικές γεννήτριες έχουν όμως σημαντικές διαφορές στην αρχή λειτουργίας τους. Υπάρχουν διάφορα είδη ταλαντωτών, ανάλογα με τη μορφή της εξόδου τους (ημιτονική, τετραγωνική, τριγωνική, πριονωτή κλπ), τον τρόπο λειτουργίας, τις τιμές της παραγόμενης συχνότητας (χαμηλές, υψηλές) κ.λπ.



2.1. Ταλαντωτής

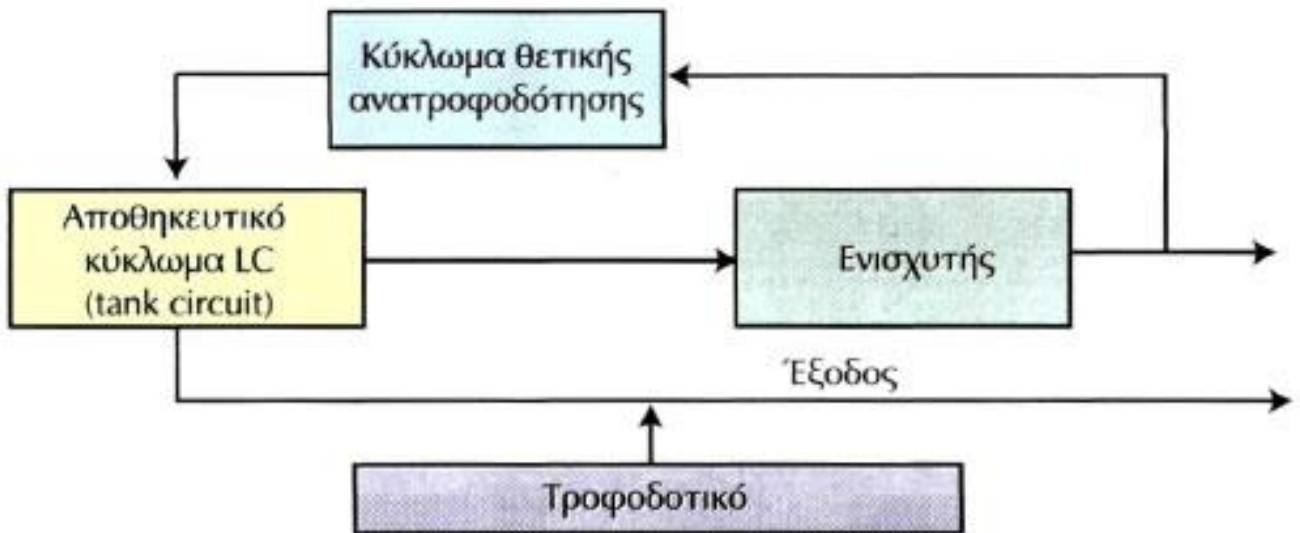


2.2. Είδη ταλαντωτών

2.2. Αρμονικοί ταλαντωτές LC

Αρχή λειτουργίας

Ο πιο συνηθισμένος τύπος ταλαντωτή είναι ο αρμονικός με κύκλωμα πηνίου - πυκνωτή (LC), οι βασικές βαθμίδες του οποίου φαίνονται στο διάγραμμα του σχήματος 2.2. Το κύκλωμα LC, όταν διεγερθεί, παράγει ημιτονοειδές σήμα του οποίου η ιδιοσυχνότητα $f_0 = 1/2\pi\sqrt{LC}$ (L: συντελεστής αυτεπαγωγής του πηνίου, C: χωρητικότητα του πυκνωτή) είναι σταθερή, το πλάτος του όμως ελαττώνεται με το χρόνο (**φθίνουσα ταλάντωση**), εξαιτίας των απωλειών ενέργειας. Σκοπός του ενισχυτή και του κυκλώματος ανατροφοδότησης είναι να διατηρήσουν το πλάτος της ταλάντωσης σταθερό (**αμείωτη ταλάντωση**) αντικαθιστώντας τις απώλειες ενέργειας με μετατροπή της ενέργειας τροφοδοσίας (dc) σε ενέργεια του σήματος.



2.2. Διάγραμμα βαθμίδων ταλαντωτή

Οι απώλειες του κυκλώματος LC οφείλονται σε:

- Θερμότητα Joule
- Διηλεκτρικές απώλειες στον πυκνωτή
- Μαγνητικές απώλειες στο πηνίο
- Ακτινοβολία ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων

Σταθερότητα λειτουργίας

Τα χαρακτηριστικά του ταλαντωτή είναι η συχνότητα και το πλάτος του παραγόμενου σήματος. Επιδίωξη μας είναι τα χαρακτηριστικά αυτά να διατηρούνται σταθερά κατά τη λειτουργία του κυκλώματος. Διάφοροι όμως παράγοντες μπορούν να τα μεταβάλλουν, όπως:

- Μεταβολή της τάσης τροφοδοσίας
- Μεταβολή των συνθηκών του περιβάλλοντος
- Κραδασμοί στο κύκλωμα
- Μεταβολές στις τιμές των εξαρτημάτων του κυκλώματος

Για να βελτιωθεί η σταθερότητα της λειτουργίας του ταλαντωτή εφαρμόζονται διάφορες τεχνικές, όπως, σταθεροποίηση της τάσης τροφοδοσίας, αντικατάσταση του κυκλώματος LC με **πιεζοηλεκτρικό κρύσταλλο (κρυσταλλικοί ταλαντωτές)**, επιμελημένη κατασκευή του κυκλώματος, αντιστάθμιση της επίδρασης της θερμοκρασίας κλπ.

Αντί των κοινών ταλαντωτών, οι οποίοι έχουν μειωμένη ακρίβεια και σταθερότητα λειτουργίας, σήμερα χρησιμοποιούνται συστήματα σύνθεσης συχνοτήτων (**synthesizer**) τα οποία δίνουν σήματα ευρείας περιοχής συχνοτήτων μεγάλης σταθερότητας.

2.3. Ταλαντωτές Θέρμης

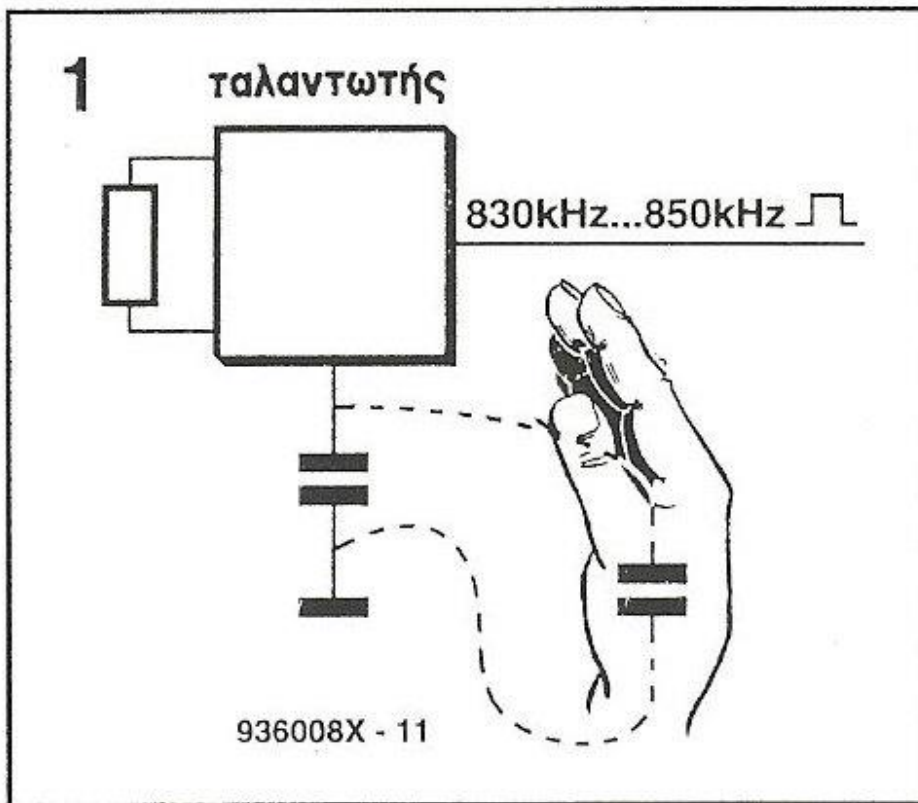
Στο πρωτότυπο όργανο Theremin η ένταση ρυθμιζόταν με ένα πετάλι ποδιού και η τονικότητα με έναν μηχανισμό με διακόπτη. Στο μοντέλο παραγωγής του 1920 υπήρχε μια κεραία και ένας οριζόντιος μεταλλικός βρόχος. Το όργανο παίζεται κινώντας το ένα χέρι κατά μήκος της κεραίας για την τονικότητα και το άλλο κατά μήκος του βρόχου για την ένταση. Σύμφωνα με την αρχή των ετεροδυναμικών ταλαντωτών Το αποτέλεσμα ήταν είναι ένας μονοφωνικός συνεχής ήχος που διαμορφώνεται από τον εκτελεστή.

Στην ουσία, αυτό το αποτέλεσμα δημιουργείται από δύο ηχητικά ραδιοκύματα υψηλών συχνοτήτων, των οποίων η διαφορά τους δημιουργεί ένα τρίτο κύμα ίσης συχνότητας με την διαφορά (περίπου 20 Hz με 20000 Hz.). Η χροιά του οργάνου είναι σταθερή και θυμίζει ήχο βιολιού. Ο ήχος παράγεται άμεσα από τον ετεροδυναμικό συνδυασμό δύο ταλαντωτών, ενός που λειτουργεί σε σταθερή συχνότητα και ενός άλλου που μεταβάλλεται. Η μεταβολή αυτή εξαρτάται από την απόσταση του χεριού του μουσικού από την κεραία καθώς παράγεται ο ήχος. Η δυσκολία του έγκειται στο ότι δεν υπάρχει άμεση επαφή με το όργανο και έτσι απαιτείται σταθερό χέρι , απόλυτη ακρίβεια και έλεγχος στην κίνηση αλλά και απόλυτη ακινησία του υπόλοιπου σώματος. Έχει όμως τεράστιες δυνατότητες καθώς μπορεί να φτάσει σε μεγάλο τονικό εύρος.

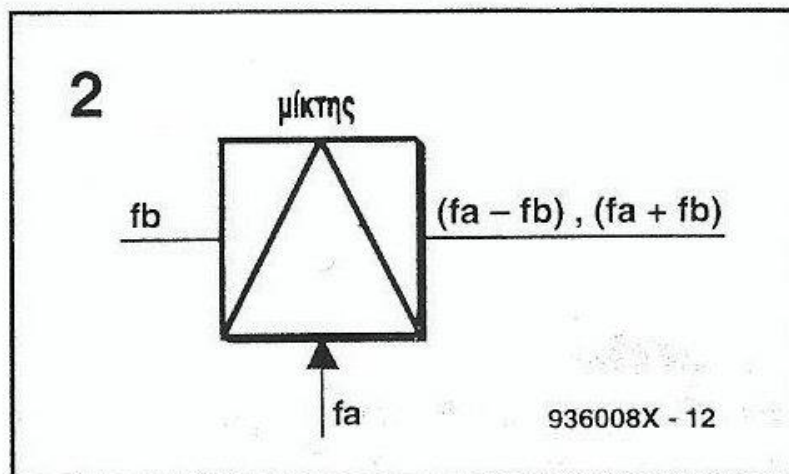
2.4. Αρχή λειτουργίας του ταλαντωτή Theremin

Η αρχή λειτουργίας με το χέρι παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα. Σε κάθε ταλαντωτή υπάρχει μία χωρητικότητα που καθορίζει μαζί με άλλα την συχνότητα ταλαντώσεων. Δηλαδή, όταν πλησιάζει ένα χέρι κοντά στο κύκλωμα δημιουργείται μια παράλληλη χωρητικότητα που αποσυντονίζει τον ταλαντωτή. Η κεραία στο όργανο παίζει το ρόλο ενός μισό μεταβλητού πυκνωτή που αποτελεί μέρος του δικτύου προσδιορισμού συχνότητας του ταλαντωτή, και το χέρι του παίκτη σχηματίζει το άλλο μισό. Καθώς η απόσταση μεταξύ του χεριού και της κεραίας μεταβάλλεται, μεταβάλλεται και η χωρητικότητα του πυκνωτή, επομένως και η συχνότητα του ταλαντωτή.

Επειδή, αυτή η παράλληλη χωρητικότητα είναι πολύ μικρή, μόνο σε πολύ υψηλές συχνότητες, γίνεται αισθητή η επίδρασή της. Ένας ταλαντωτής ακουστικής συχνότητας ακόμα και με την επαφή του χεριού δεν εμφανίζει ουσιαστικό αποσυντονισμό. Για αυτό το λόγο, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.4.1, η συχνότητα εξόδου καθορίστηκε μεταξύ 830 και 850 KHz. Σε αυτή τη συχνότητα μπορεί εύκολα να αποσυντονιστεί με χωρητικότητα του χεριού ο ταλαντωτής του κυκλώματος.



2.4.1 Η κεραία παίζει το ρόλο ενός μισό μεταβλητού πυκνωτή που αποτελεί μέρος του δικτύου προσδιορισμού συχνότητας του ταλαντωτή, και το χέρι του παίκτη σχηματίζει το άλλο μισό .



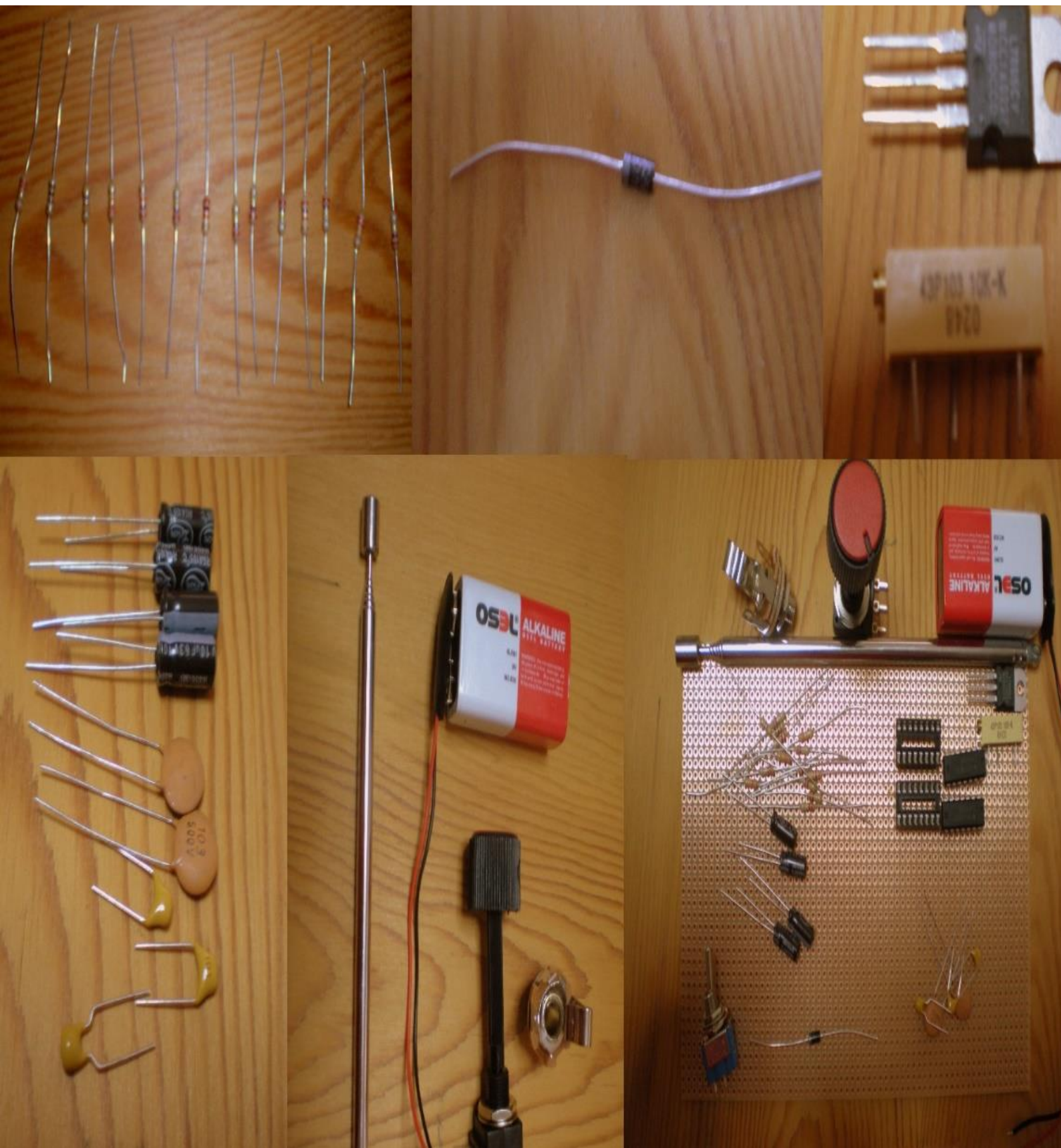
2.4.2. Κατά την μίξη δύο σημάτων παράγονται από το γινόμενο μίξεων, δύο συχνότητες που έχουν συχνότητα το άθροισμα και τη διαφορά των εισερχόμενων συχνοτήτων.

3.1.Υλοποίηση ηλεκτρονικού κυκλώματος Theremin

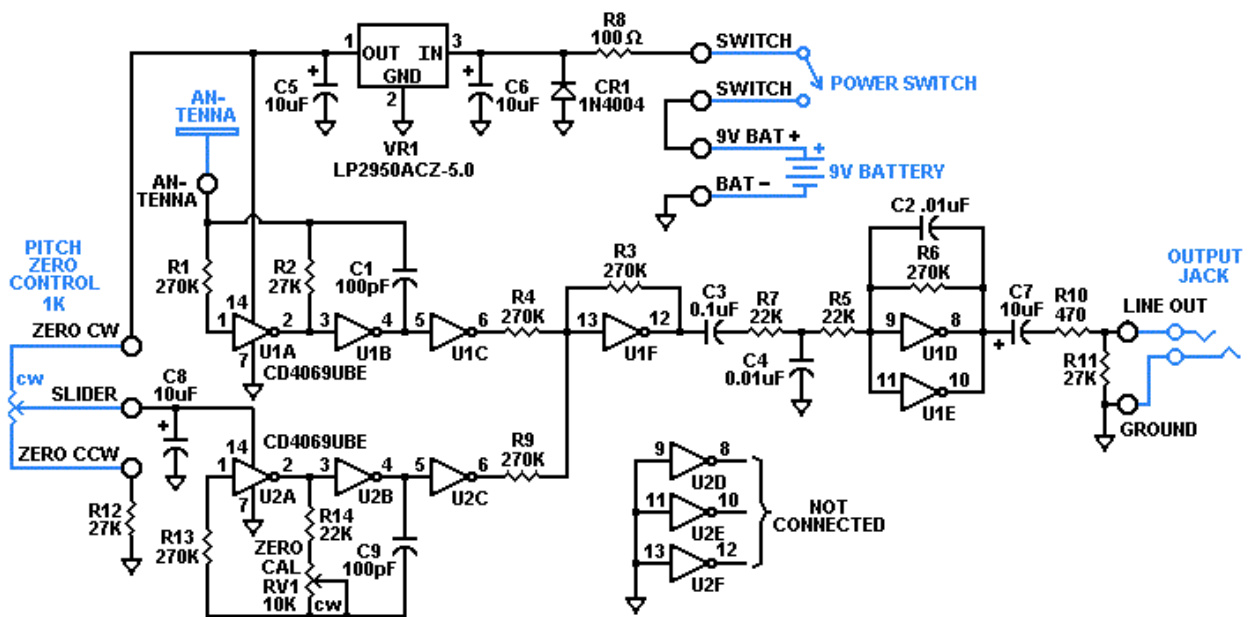
Για το ηλεκτρονικό κύκλωμα χρειαστήκαμε τα παρακάτω :

Ποσότητα	Περιγραφή
6	Resistor, 270,000 Ohm
3	Resistor, 27,000 Ohm
3	Resistor, 22,000 Ohm
1	Resistor, 100 Ohm
1	Resistor, 470 Ohm
2	Capacitor, 100 Picofarad
2	Capacitor, 0.01 Microfarad
1	Capacitor, 0.1 Microfarad
4	Capacitor, 10 Microfarad
1	Rectifier, type 1N4004
2	Integrated Circuit, type CD4069UBE
1	Voltage Regulator, type LP2950ACZ-5.0
1	Trimmer Potentiometer, type 3006P-1-103

1.Φωτογραφίες πριν την κατασκευή του κυκλώματος



Σχηματικό κύκλωμα



3.2. Περιγραφή κυκλώματος Theremin

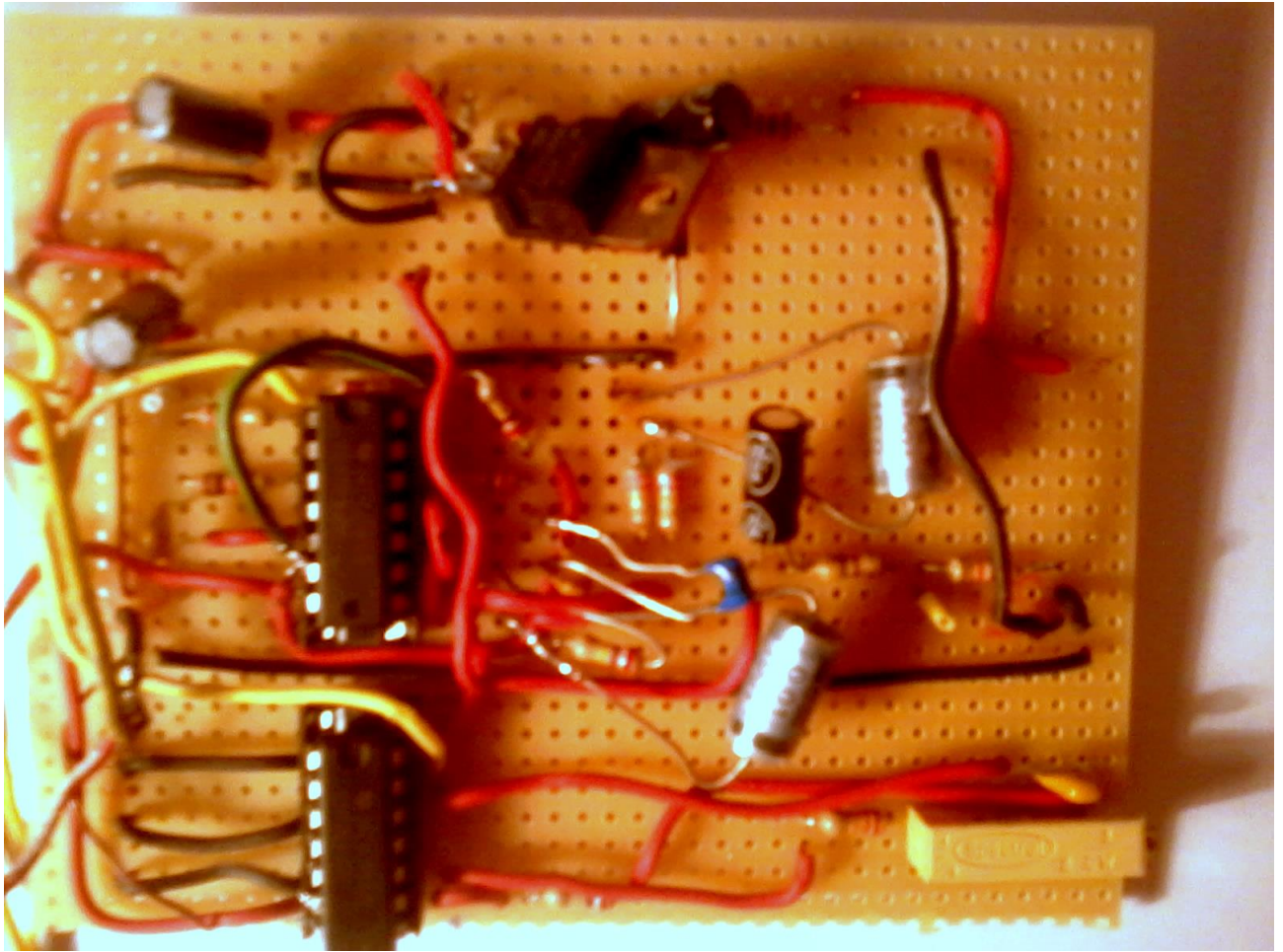
Δύο πανομοιότυπα ολοκληρωμένα κυκλώματα CD4069, U1 και U2, που είναι γνωστά ως «hex μετατροπείς» χρησιμοποιούνται για βασικές λειτουργίες του theremin. Είναι CMOS συσκευές, που χρησιμοποιείται συνήθως στα ψηφιακά κυκλώματα για να εκτελέσει μια λογική λειτουργία που ονομάζεται "αντιστροφή". Κάθε IC περιέχει έξι όμοια τμήματα, επομένως και ο όρος «hex μετατροπέας».

Τα τμήματα U1 A και B, σε συνδυασμό με τα R1, R2 και C1, σχηματίζουν ταλαντωτή μεταβλητής του theremin που λειτουργεί σε ένα εύρος συχνοτήτων γύρω 73kHz. Η κεραία αποτελεί το μισό ενός μεταβλητού πυκνωτή που αποτελεί μέρος του δικτύου προσδιορισμού συχνότητας αυτού του ταλαντωτή, και το χέρι του παίκτη σχηματίζει το άλλο μισό. Καθώς η απόσταση μεταξύ του χεριού και της κεραίας μεταβάλλεται, έτσι κάνει την χωρητικότητα, και επομένως την συχνότητα του ταλαντωτή να μεταβάλλεται. Το U1 τμήμα Γ ρυθμίζει την έξοδο του μεταβλητού ταλαντωτή να παρέχει απομόνωση από το υπόλοιπο του κυκλώματος.

Τα U2 τμήματα A και B, σε συνδυασμό με την R13, R14, RV1 και C9, περιλαμβάνουν τον τοπικό ταλαντωτή του theremin, προσαρμοσμένο με το PITCH CONTROL ZERO ποτενσιόμετρο.

Με την RV1 να ρυθμίζεται σωστά, ρυθμίζεται η συχνότητα του τοπικού ταλαντωτή η οποία θα είναι ίση με τη συχνότητα του ταλαντωτή που μεταβάλλεται με το χέρι μακριά από την κεραία. Υπό αυτές τις συνθήκες, η σχέση φάσης των δύο ταλαντωτών θα είναι σταθερή.

Τμήμα U1 F, σε συνδυασμό με το R3, R4 και R9, χρησιμεύουν στην μίξη του theremin. Ο πυκνωτής C3 είναι ένα DC πυκνωτή φραγής που διαμορφώνει την έξοδο του μίκτη σε ένα φίλτρο διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων αποτελούμενο από την R7 και C4.

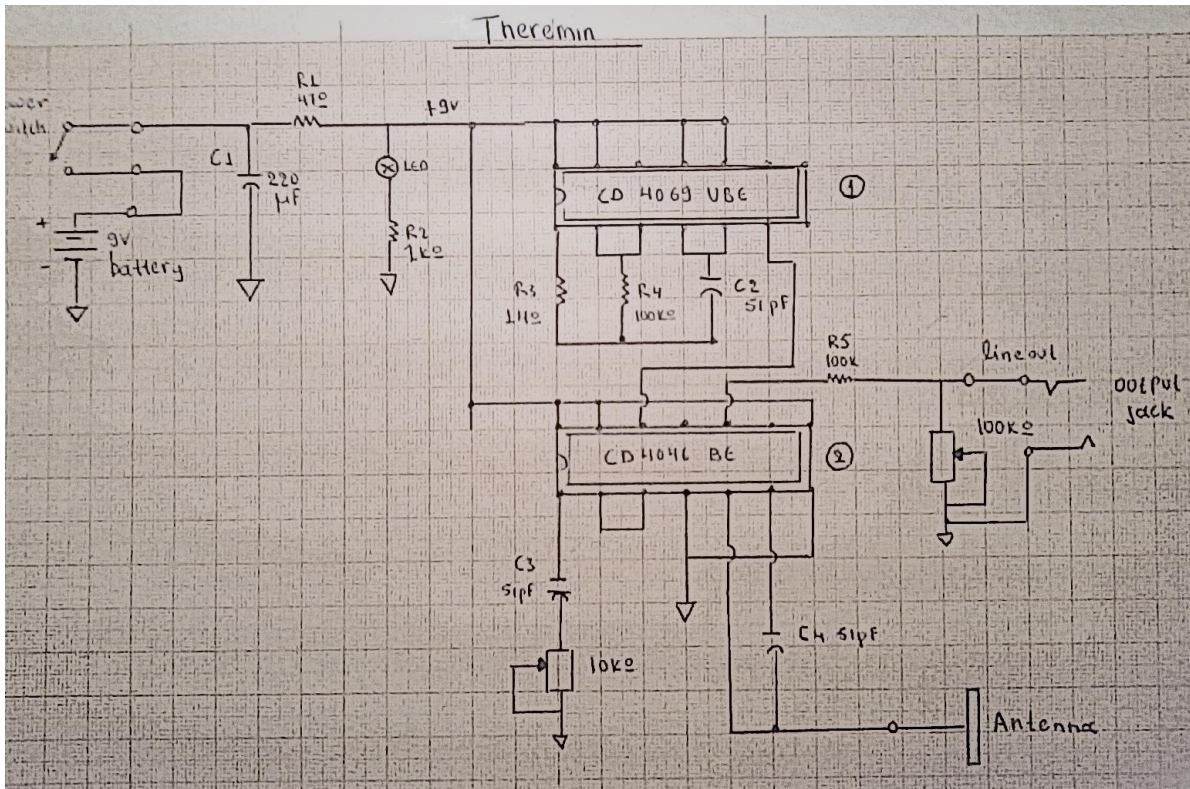


3.1. Φωτογραφία κατά την κατασκευή του κυκλώματος

«Επειδή οι ταλαντωτές του Theremin έχουν κάποια ευαισθησία στις διακυμάνσεις τροφοδοσίας και μάλλον λόγω κακής χρήσης των επαφών των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων δεν καταφέραμε να φτιάξουμε το κύκλωμα να δουλεύει πλήρως»

4. Επανασχεδιασμός και κατασκευή νέου σχηματικού κυκλώματος.

Ξανασχεδιάσαμε το αρχικό κύκλωμα αφαιρώντας το δεύτερο τμήμα τους κυκλώματος και το δεύτερο ολοκληρωμένο κύκλωμα προσθέτοντας ένα νέο ολοκληρωμένο της ίδιας οικογενείας, CD4046BE γνωστό και ως «Phase-locked loop», και κάνοντας μερικές αλλαγές όπως φαίνεται στο σχέδιο παρακάτω.



4.1. Περιγραφή νέου κυκλώματος Theremin:

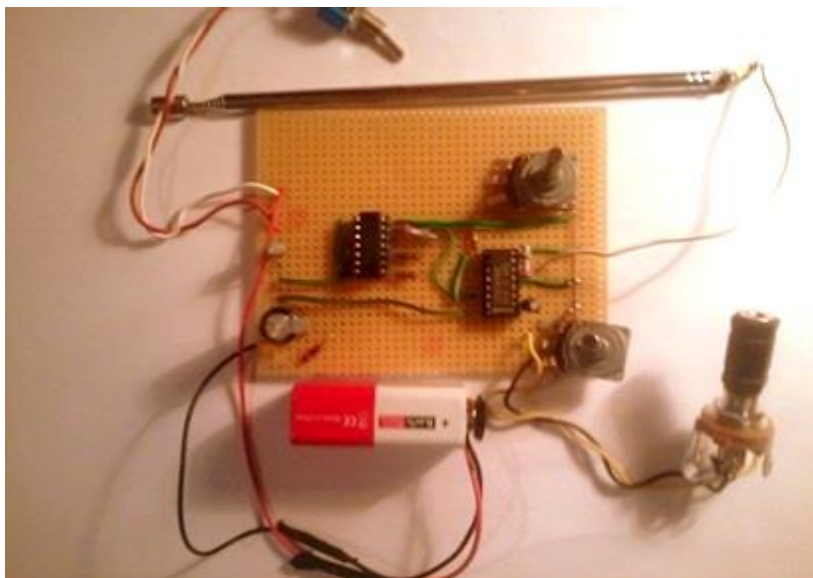
Αποτελείται από δυο ολοκληρωμένα κυκλώματα που χρησιμεύουν στις βασικές λειτουργίες του Theremin. Είναι CMOS συσκευές που χρησιμοποιούνται συνήθως στα ψηφιακά κυκλώματα για την εκτέλεση μιας λογικής λειτουργίας. Το πρώτο ολοκληρωμένο CD4069, σε συνδυασμό με τα R2, R3 και C2, σχηματίζουν τον μεταβλητό ταλαντωτή του Theremin που λειτουργεί σε ένα εύρος συχνοτήτων γύρω στα 73kHz. Η κεραία αποτελεί το μισό του μεταβλητού πυκνωτή, το οποίο είναι μέρος του δικτύου προσδιορισμού συχνότητας αυτού του ταλαντωτή, και το χέρι του παίκτη σχηματίζει το άλλο μισό. Καθώς η απόσταση μεταξύ του χεριού και της κεραίας μεταβάλλεται, μεταβάλλεται και η χωρητικότητα του πυκνωτή, επομένως και η συχνότητα του ταλαντωτή.

Το δεύτερο ολοκληρωμένο κύκλωμα CD4046, σε συνδυασμό με τους πυκνωτές C3 και C4, περιλαμβάνουν τον τοπικό ταλαντωτή του Theremin, με το πρώτο ποτενσιόμετρο, επιτυγχάνεται βαθμονόμηση του φάσματος της συχνότητας του τοπικού ταλαντωτή και με το δεύτερο ρυθμίζουμε την ένταση του παραγόμενου ήχου. Ρυθμίζοντας σωστά το ποτενσιόμετρο βαθμονόμησης, θα καταφέρομε να ρυθμίσουμε τη συχνότητα του τοπικού ταλαντωτή η οποία θα είναι ίση με τη συχνότητα του ταλαντωτή που μεταβάλλεται με το χέρι απομακρύνοντας το από την κεραία. Υπό αυτές τις συνθήκες, η σχέση φάσης των δύο ταλαντωτών θα είναι

σταθερή λόγω της μικρής ,αλλά πεπερασμένη χωρητική ζεύξη τους, οπότε δεν υπάρχει ακουστικός τόνος για να παραχθεί . Οι καθυστερήσεις στην διάδοση των μετατροπών και των σύνθετων αντιστάσεων εξόδου του κυκλώματος έχουν εξαρτώμενη παροχή έτσι κατά συνέπεια, το ποτενσιόμετρο βαθμονόμησης επηρεάζει τη συχνότητα του τοπικού ταλαντωτή μεταβάλλοντας την τάση τροφοδοσίας του. Αυτή η μέθοδος προσαρμογής επιτρέπει το ποτενσιόμετρο να βρίσκεται σε οποιαδήποτε βολική απόσταση από το κύκλωμα και την κεραία, δεδομένου ότι υπάρχουν διακυμάνσεις συχνότητας που προκύπτουν από αδέσποτη χωρητικότητα μεταξύ του ποτενσιόμετρου και της γείωσης.

Κατά τη χρήση , τα ποτενσιόμετρα ρυθμίζονται από τον παίκτη ,έτσι ώστε το theremin να σιωπά παίρνοντάς το χέρι μακριά από την κεραία , και παράγοντας το χαμηλότερο τόνο , όταν το χέρι είναι στη μέγιστη απόσταση. Το theremin χρησιμοποιεί συνήθως λιγότερο από 2 mA ρεύματος, έτσι ώστε μια αλκαλική μπαταρία 9 volt θα προσφέρει πολλές ημέρες λειτουργίας . Το Theremin μπορεί να συνδεθεί με έναν ενισχυτή μέσω της εξόδου JACK . Η έξοδος μπορεί να ποικίλει ανάλογα με τα ειδικά χαρακτηριστικά .Το κύκλωμα έχει επαρκές ρεύμα εξόδου να οδηγεί αποτελεσματικά, ακουστική υψηλής πιστότητας . Για χρήση με στερεοφωνικά ακουστικά , ο χρήστης μπορεί αν θέλει να αντικαταστήσετε το βύσμα όπου οι επαφές συνδέονται μεταξύ τους , ή απλά να χρησιμοποιήσει έναν προσαρμογέα .

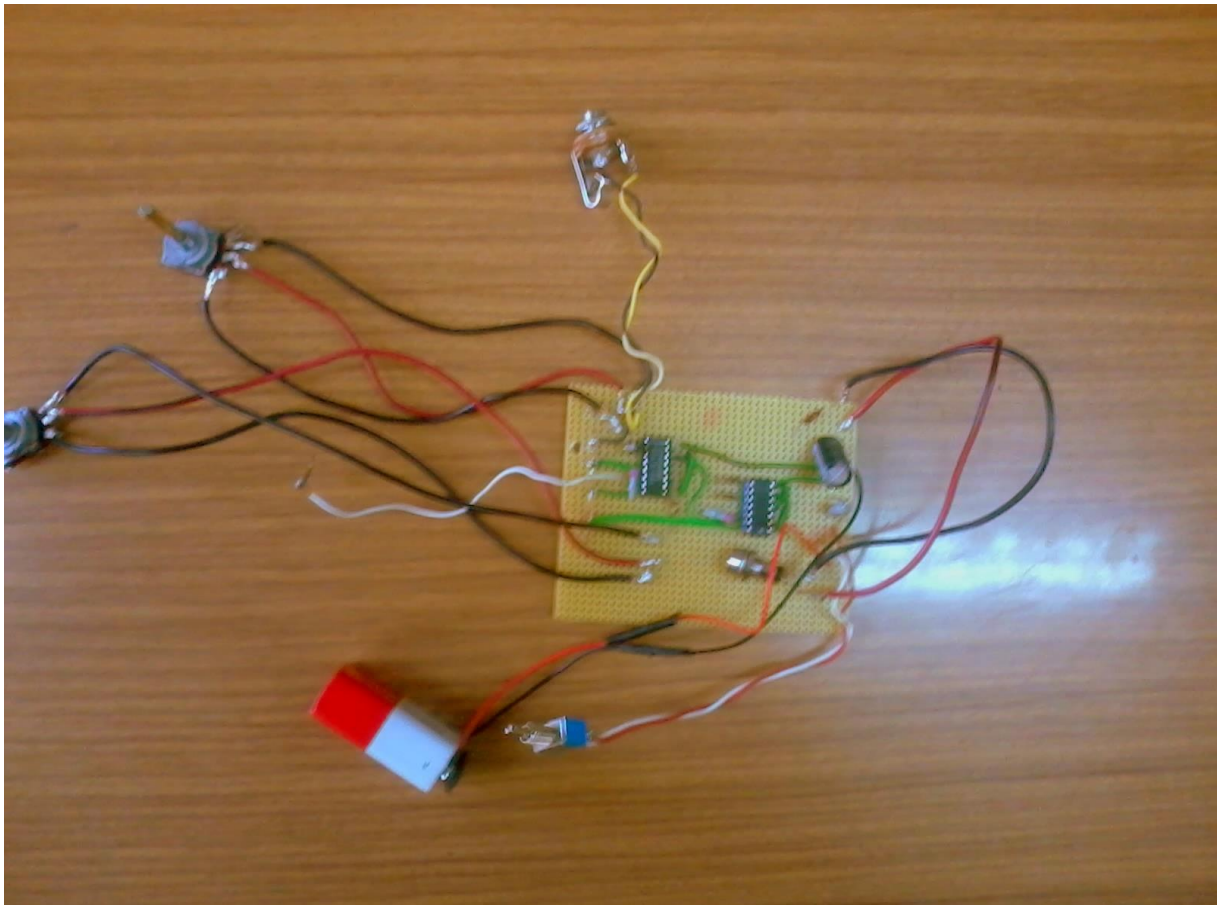
Για να λειτουργήσει σωστά ένα theremin , αρκεί να υπάρχει πυκνωτής ζεύξης μεταξύ του σώματος του οργάνου και του σώματος του παίκτη . Αν και δεν είναι προφανές , ένας παίκτης είναι αρκετά "συνδεδεμένες" στη γη , η οποία παρουσιάζει μια μεγάλη χωρητικότητα . Όταν το theremin είναι συνδεδεμένο με έναν ενισχυτή , είναι γειωμένο μέσω μιας ηλεκτρικής σύνδεσης μεταξύ του κυκλώματος του ενισχυτή και της γης . Αυτή η σύζευξης, μαζί με την σύνδεση του ενισχυτή με τη γείωση , παρέχει την επιθυμητή κοινή σύνδεση μεταξύ του σώματος και του μέσου του παίκτη. Όταν χρησιμοποιείται με τα ακουστικά, και δεν συνδέεται με εξωτερικό εξοπλισμό , μπορεί να μην υπάρχει επαρκής χωρητική σύζευξη μεταξύ του οργάνου και του παίκτη. Αυτό μπορεί να διορθωθεί με τη σύνδεση γείωσης του κυκλώματος (αρνητικό πόλο της μπαταρίας) στη γη ή σε ένα κοντινό μεταλλικό αντικείμενο . Μία μεταλλική βάση μικροφώνου , αν χρησιμοποιείται για την τοποθέτηση του theremin , είναι κατάλληλη για το σκοπό αυτό.



4.1. Τελική κατασκευή κατασκευή του κυκλώματος πριν την τοποθέτηση του σε κλειστή βάση.

4.2. Μεταφορά του ηλεκτρονικού κυκλώματος σε κλειστή βάση.

Αρχικά αφαιρέσαμε τα δυο ποτενσιόμετρα ,τον διακόπτη On/Off και το ενδεικτικό led από την πλακέτα και τα μεταφέραμε στο πάνω μέρος της βάσης βάζοντας καλώδια ως προέκταση των επαφών τους αφού πρώτα ανοίξαμε και διαμορφώσαμε τρύπες για την τοποθέτησή τους (βλέπε φωτογραφία 4.2.1) . Στη συνέχεια τοποθετήσαμε αποστάτες στο κάτω μέρος της βάσης ώστε να υπάρχει απόσταση από το κύκλωμα και το κάτω μέρος της βάσης αλλά και για να υπάρχει σταθεροποίηση της πλακέτας (βλέπε φωτογραφία 4.2.2).



Φωτογραφία 4.2.1.



Φωτογραφία 4.2.2.

Ακόμα ανοίξαμε τρυπά στην πάνω όψη της κλειστής βάσης και τοποθετήσαμε την κεραία του οργάνου, αφήνοντας το επάνω μέρος της να εξέχει από την υπόλοιπη βάση (βλέπε φωτογραφία 4.2.3). Με την βοήθεια τρυπανιού ανοίξαμε ακόμη μια τρυπά και τοποθετήσαμε την έξοδο Jack στο πλάι δεξιά της βάσης του οργάνου (βλέπε φωτογραφία 4.2.4).

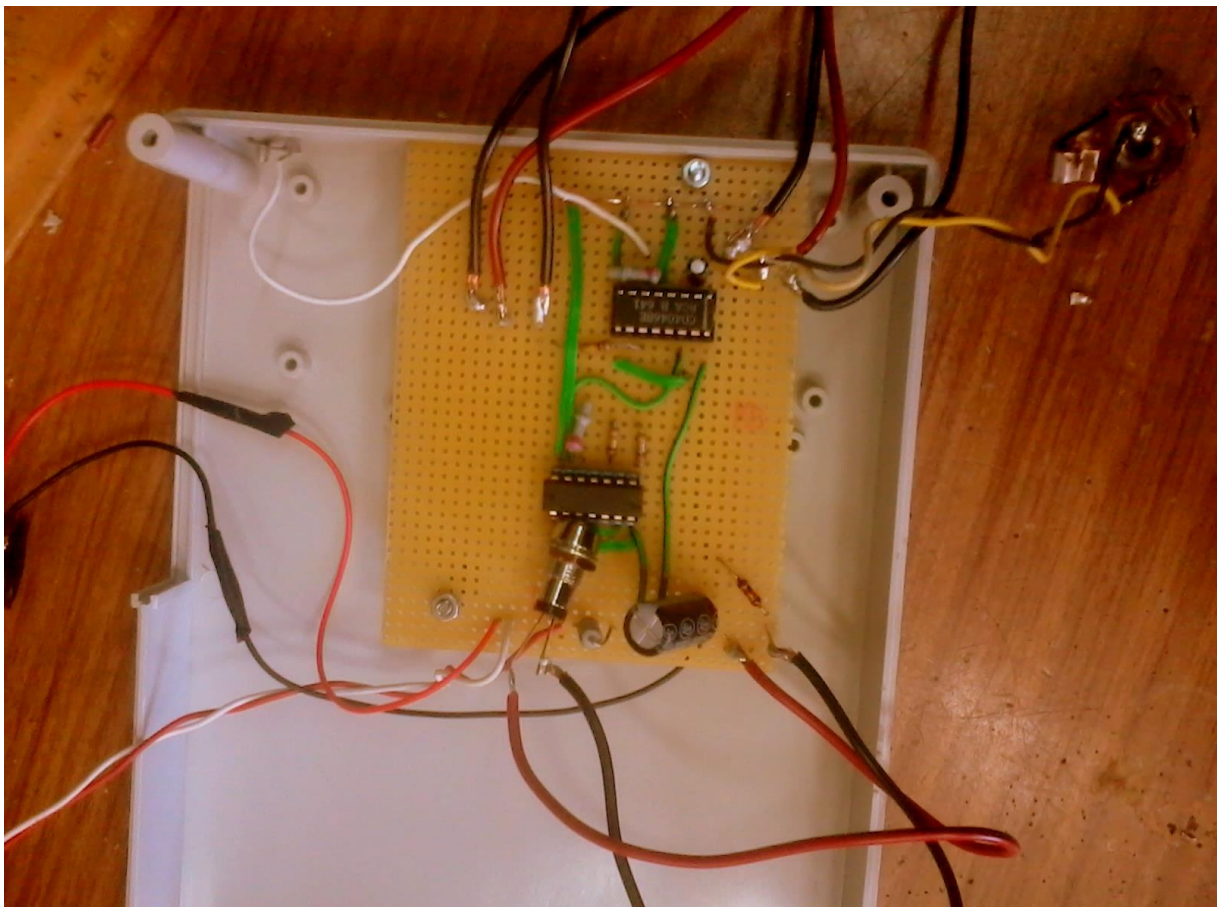


Φωτογραφία 4.2.3



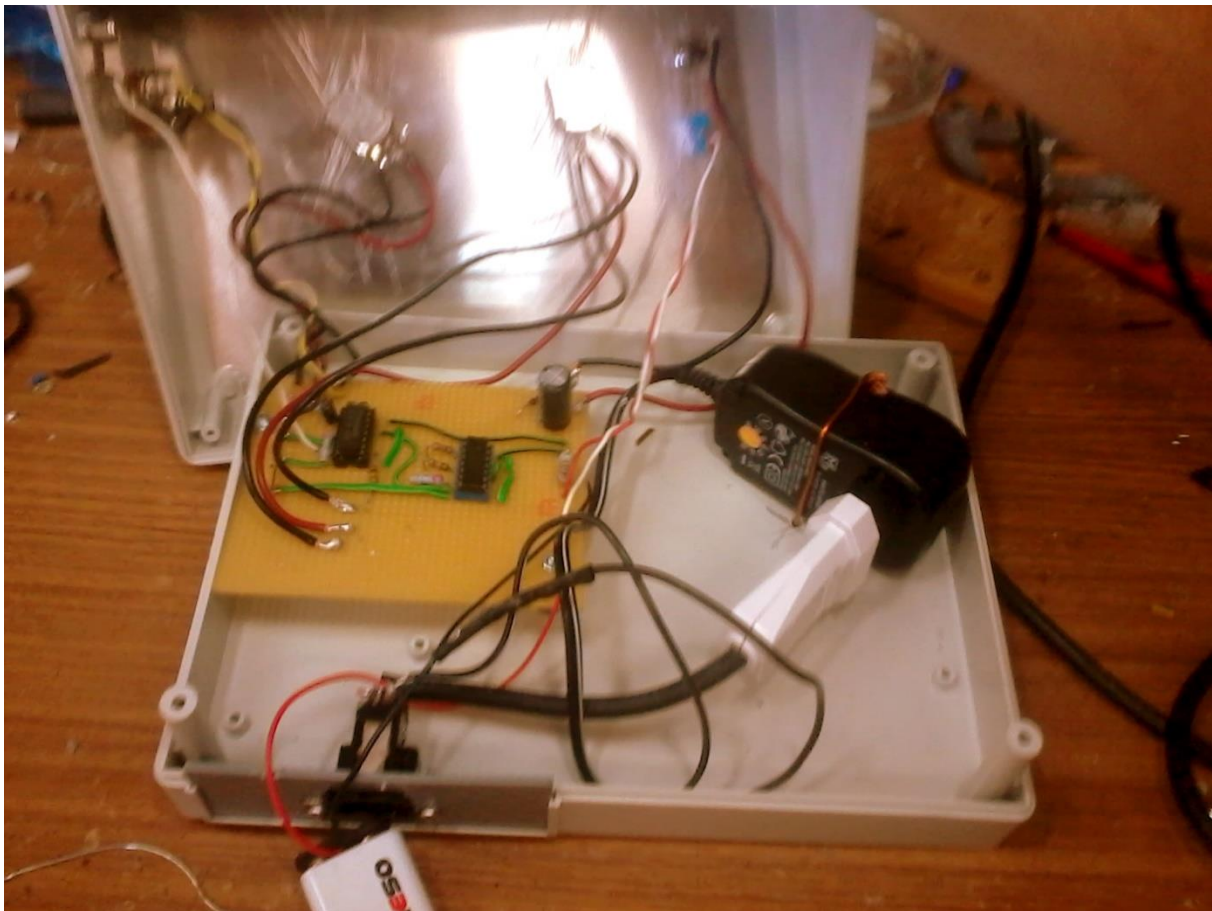
Φωτογραφία 4.2.4.

Τοποθετήσαμε και σταθεροποιήσαμε με βίδες τους αποστάτες και την πλακέτα στην κάτω μεριά της βάσης όπως φαίνεται στην επόμενη φωτογραφία.



Φωτογραφία 4.2.5.

Για να υπάρχει αυτονομία στο μουσικό όργανο πέρα από την 9 volt μπαταρία που έχουμε ήδη τοποθετήσει στο κύκλωμα, θα συνδέσουμε ένα μετασχηματιστή 220V/9V (κλειστού τύπου Pack) που θα τροφοδοτεί το κύκλωμα μέσω του δικτύου. Στον Μ/Σ τοποθετήσαμε « θηλυκό » φισάκι που μέσω ενός καλώδιου καταλήγει σε μία έξοδο (τύπου Socket). Η έξοδος Socket διαθέτει διακόπτη ο οποίος τοποθετώντας στην έξοδο το καλώδιο παροχής από το δίκτυο αυτόματα σταματάει η παροχή της 9 volt μπαταρίας και το όργανο λειτουργεί χάρις της πρίζας που συνδέσαμε στο δίκτυο. Αν θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε φορητά το όργανο, απλά αποσυνδέουμε από την έξοδο Socket το καλώδιο που πάει στο δίκτυο και αυτόματα η 9 Volt μπαταρία παίζει το ρόλο της πηγής στο κύκλωμα.



Φωτογραφία 4.2.5:

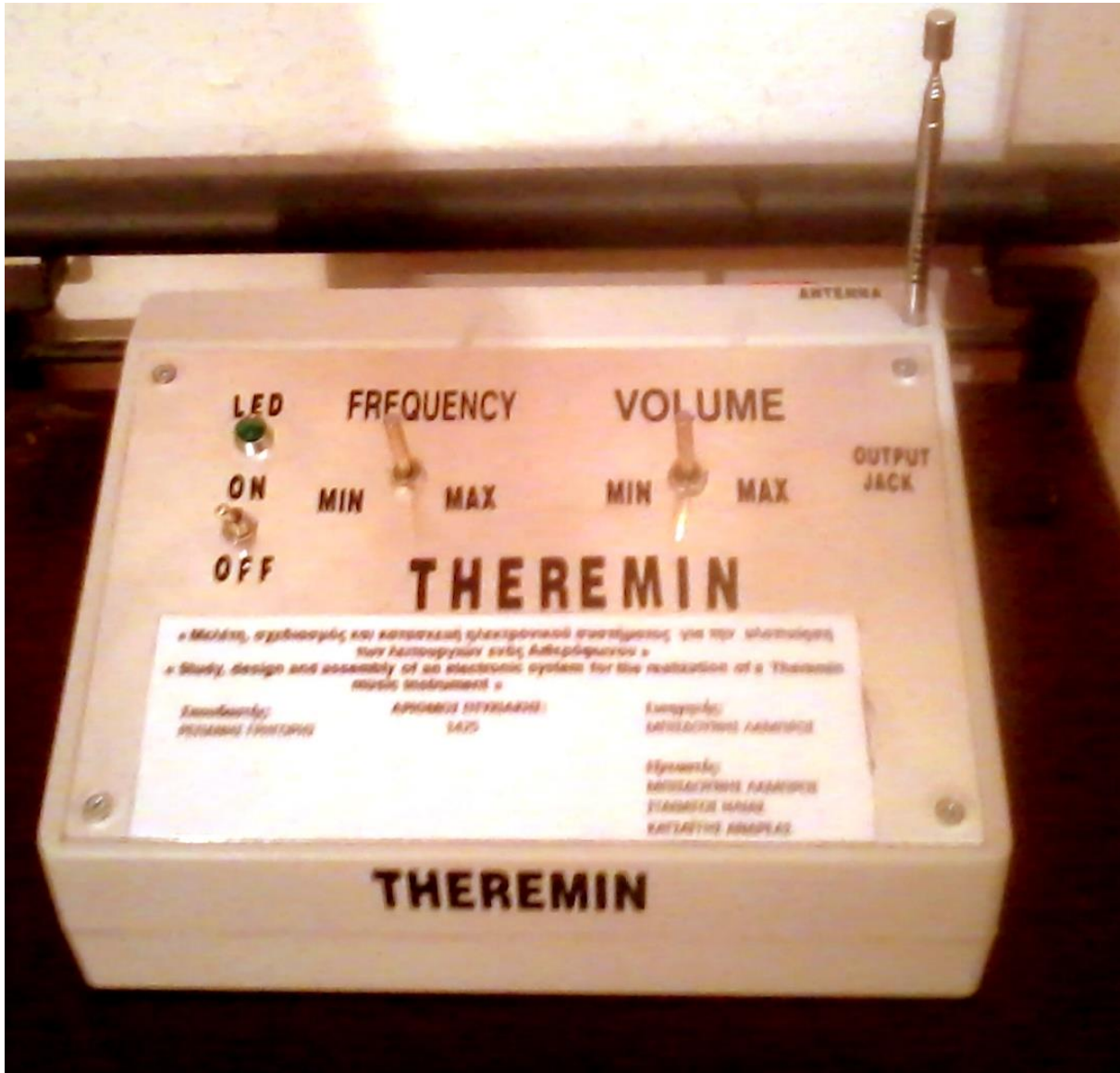
Πλήρη τοποθέτηση του κυκλώματος και του Μ/Σ στο κάτω μέρος της βάσης .



Φωτογραφία 4.2.6. :

Η έξοδος Socket και η μπαταρία εξωτερικά τοποθετημένη.

Όπως αναφέραμε παραπάνω μεταφέρουμε το κύκλωμα σε σταθερή, κλειστή βάση ανοίγοντας οπές για διακόπτη On/Off , για την κεραία, την έξοδο JACK και για τα ποτενσιόμετρα ώστε να έχουμε προστασία του κυκλώματος αλλά και εύκολη χρήση του οργάνου. Η τελική μορφή του οργάνου φαίνεται στην φωτογραφία παρακάτω.

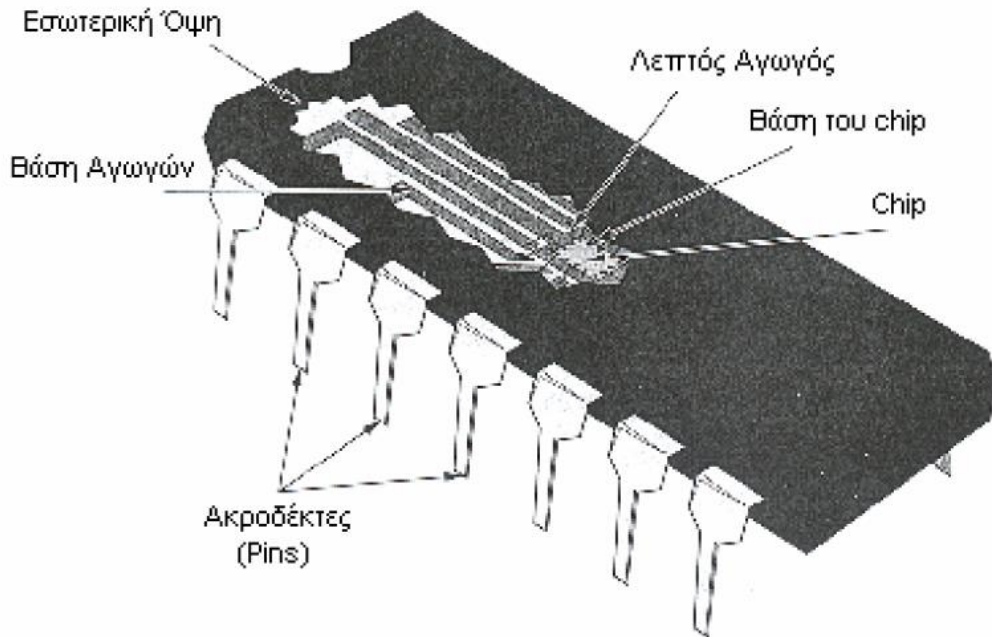


Φωτογραφία 4.2.7. :

Η τελική μορφή του οργάνου Theremin

4.3. Λειτουργία ολοκληρωμένων κυκλωμάτων CD4046BE και CD4069UBE

Εσωτερική όψη ολοκληρωμένου κυκλώματος



Ολοκληρωμένο κύκλωμα (γνωστό ως IC *integrated circuit*) ή απλά *ολοκληρωμένο* ονομάζεται ένα κύκλωμα συνδεδεμένων λογικών πυλών, δημιουργημένο πάνω σε ένα φύλλο.^[2] Η συντριπτική πλειονότητα των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων δημιουργούνται πάνω σε φύλλα ημιαγωγών, κατά κύριο λόγο πυριτίου. Το φύλλο (ημιαγωγού) ονομάζεται στα αγγλικά **τσιπ (chip)**, από το οποίο προκύπτει μια εναλλακτική ονομασία του ολοκληρωμένου κυκλώματος. Όταν αυτό το φύλλο είναι της κλίμακας των μικρομέτρων ονομάζεται και *μικροτσιπ*.

Στη φάση κατασκευής τους τα ολοκληρωμένα κυκλώματα (τα οποία ακόμη δεν έχουν ολοκληρωθεί ώστε να λειτουργήσουν) ονομάζονται κύβοι και φτιάχνονται κατά εκατοντάδες πάνω σε πλακίδια.

Οι λογικές πύλες με την παρούσα τεχνολογία υλοποιούνται με παθητικά στοιχεία, οπότε τα ολοκληρωμένα κυκλώματα είναι παθητικά.

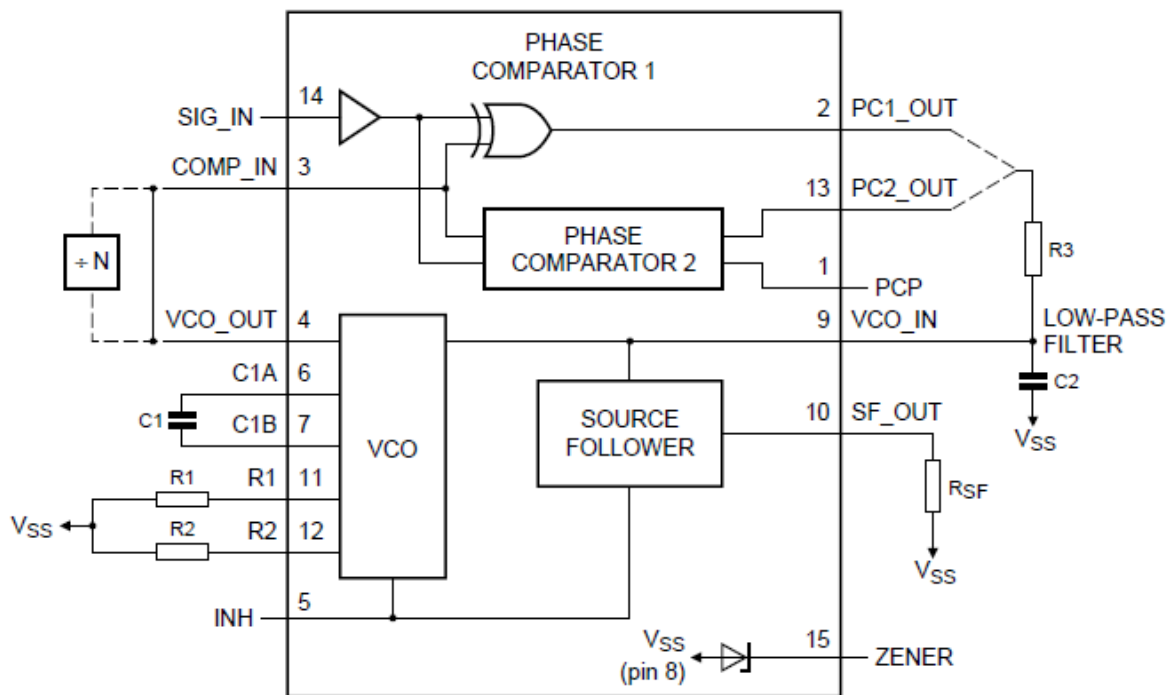
Ολοκληρωμένα κυκλώματα χρησιμοποιούνται σχεδόν σε κάθε στοιχείο ηλεκτρονικού εξοπλισμού που χρησιμοποιείται σήμερα και θεωρούνται επανάσταση στον τομέα της ηλεκτρονικής.

4.3.1 Ολοκληρωμένο κύκλωμα CD4046BE.

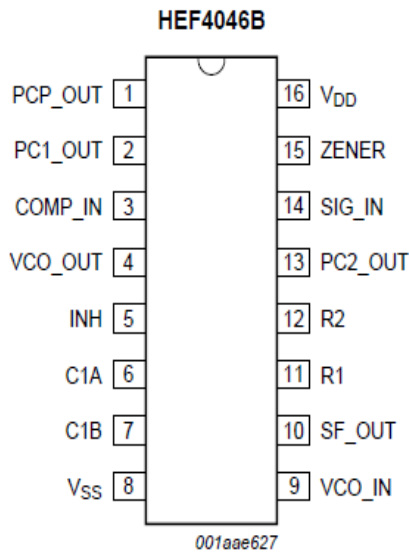
Το HEF4046B είναι ένα κύκλωμα «βρόχου κλειδωμένης φάσης» που αποτελείται από ένα γραμμικό ρυθμιστή τάσης ταλαντωτή (VCO) και δύο διαφορετικούς συγκριτές φάσης με ένα κοινό σήμα εισόδου ενισχυτή και μια κοινή είσοδο στο συγκριτή. Ακόμα αποτελείται από μια Δίοδο Zener των 7 Volt που ρυθμίζει της τάσης τροφοδοσίας, εάν είναι απαραίτητο. Λειτουργεί πάνω από μια συνιστώμενη τάση εύρους τροφοδοσίας των 3 Volt έως 15 Volt.

Χαρακτηριστικά και πλεονεκτήματα του ολοκληρωμένου κυκλώματος CD4046BE.

- Πλήρως στατική λειτουργία
- Εύρος τροφοδοσίας 3 έως 10 Volt
- Παραμετρικές αξιολογήσεις :5 V, 10 V, 15 V
- Τυποποιημένα συμμετρικά χαρακτηριστικά εξόδου
- Θερμικά όρια αντοχής 40° C μέχρι +85°C



4.3.1. Διάγραμμα λειτουργίας



PCP_OUT	1	phase comparator pulse output
PC1_OUT	2	phase comparator 1 output
COMP_IN	3	comparator input
VCO_OUT	4	VCO output
INH	5	inhibit input
C1A	6	capacitor C1 connection A
C1B	7	capacitor C1 connection B
V _{SS}	8	ground supply voltage
VCO_IN	9	VCO input
SF_OUT	10	source-follower output
R1	11	resistor R1 connection
R2	12	resistor R2 connection
PC2_OUT	13	phase comparator 2 output
SIG_IN	14	signal input
ZENER	15	Zener diode input for regulated supply
V _{DD}	16	supply voltage

4.3.2. Διάγραμμα επαφών

Ρυθμιστή Τάσης Ταλαντωτή (VCO)

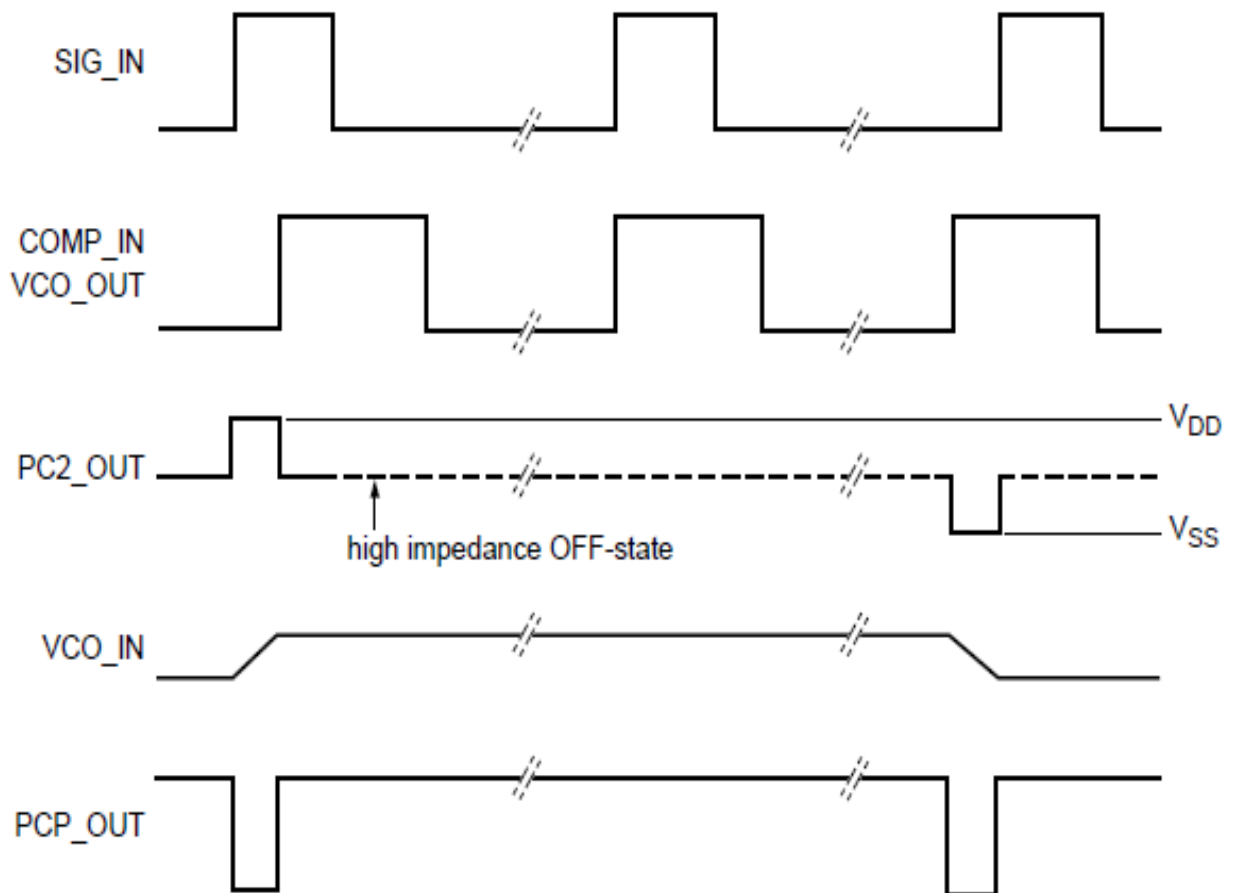
Το VCO αποτελείται από έναν εξωτερικό πυκνωτή (C1) και αντίσταση (R1), και μια προαιρετική αντίσταση (R2). Η αντίσταση R1 και ο πυκνωτής C1 καθορίζουν το εύρος συχνοτήτων του VCO, ενώ η αντίσταση R2 επιτρέπει στην VCO να έχει μια συχνότητα εάν απαιτείται. Η υψηλή εισροή της αντίστασης του VCO απλοποιεί το σχεδιασμό των βαθυπερατών φίλτρων επιτρέποντας στο σχεδιαστή μια ευρεία επιλογή των περιοχών αντίστασης / πυκνωτής.

Συγκριτής Φάσης

Ο συγκριτής φάσης μπορεί να είναι έχει απευθείας σύζευξη, με την προϋπόθεση το σήμα να είναι μεταξύ των επιπέδων λογικής εισόδου της οικογένειας των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων HE4000B. Ο συγκριτής φάσης αποτελείται από ένα δίκτυο EXCLUSIVE-OR (XOR) πυλών. Το σήμα εισόδου και σύγκρισης επιτρέπει συχνότητες που πρέπει να έχουν ένα συντελεστή δασμού 50% για να ληφθεί το μέγιστο εύρος κλειδώματος της συχνότητας.

Ο μέσος όρος της τάσης εξόδου του συγκριτή φάσης είναι ίση με 0.5V DD όταν δεν υπάρχει σήμα ή θόρυβος στην είσοδο του σήματος. Η μέση τάση στον ρυθμιστή τάσης ταλαντωτή

(VCO) παρέχεται από ένα κατωπερατό φίλτρο που συνδέεται στην έξοδο του συγκριτή φάσεως. Αυτό επιτρέπει επίσης τον VCO να ταλαντώνεται σε κεντρική συχνότητα (f_0). Το εύρος σύλληψης συχνότητας ($2f_c$) ορίζεται από μια περιοχή συχνοτήτων των σημάτων. Με τον συγκριτή φάσης, το φάσμα των συχνοτήτων μπορεί να «κλειδωθεί» σε ένα εύρος σύλληψης ανάλογα τα χαρακτηριστικά του φίλτρου χαμηλής διόδου και το εύρος του να είναι τόσο μεγάλο όσο το εύρος του «κλειδώματος».

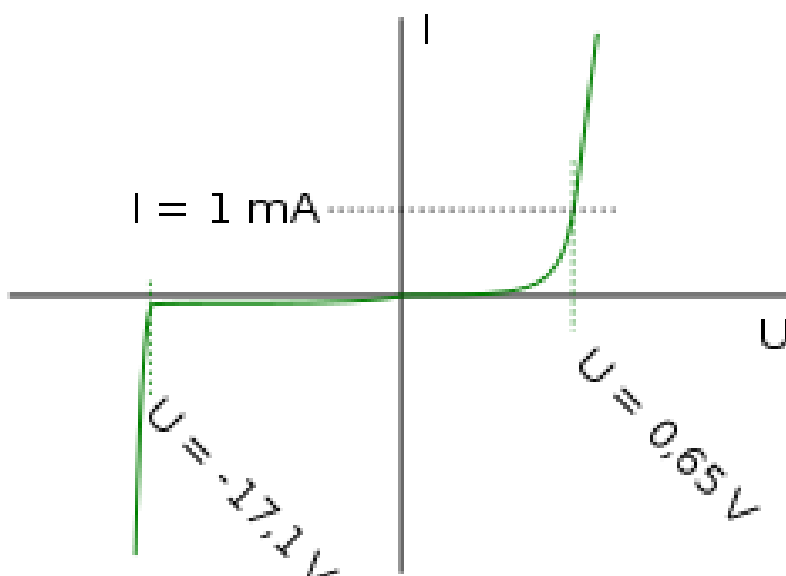


4.3.3. Τυπικές κυματομορφές για φάση «κλειδωμένου βρόχου».

Δίοδος Zener

Η Δίοδος Ζένερ (Zener) είναι μια δίοδος που μπορεί να λειτουργεί στην περιοχή κατάρρευσης, δηλαδή στην περιοχή τάσης στην οποία οι λοιπές διόδους κινδυνεύουν να καταστραφούν. Γι' αυτό το λόγο ονομάζεται και *δίοδος κατάρρευσης*. Είναι το βασικότερο εξάρτημα των σταθεροποιητών τάσης που κρατούν την τάση στο φορτίο του κυκλώματος σταθερή ανεξάρτητα από μεταβολές στην τάση της γραμμής και στην αντίσταση του φορτίου. Είναι κάτι σαν ασφάλεια τάσης.

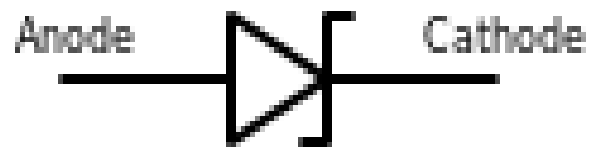
Πρακτικά σε ένα κύκλωμα απεικονίζεται ως εξής: Μεταβάλλοντας τη στάθμη προσμίξεων των διόδων πυριτίου, στην πράξη μπορούμε να έχουμε τέτοιες διόδους με τάσεις κατάρρευσης από 2 έως 200 βολτ οι οποίες έχουν δυνατότητα λειτουργίας και στις 3 περιοχές ορθής διαρροής και κατάρρευσης. Η δίοδος Ζένερ στην ορθή περιοχή αρχίζει να άγει γύρω στα 0,7 βολτ σαν μια απλή δίοδος. Στην περιοχή διαρροής ανάμεσα στο 0 και την κατάρρευση έχει ένα μόνο ανάστροφο ρεύμα. Ακολουθεί η χαρακτηριστική της διόδου Ζένερ.



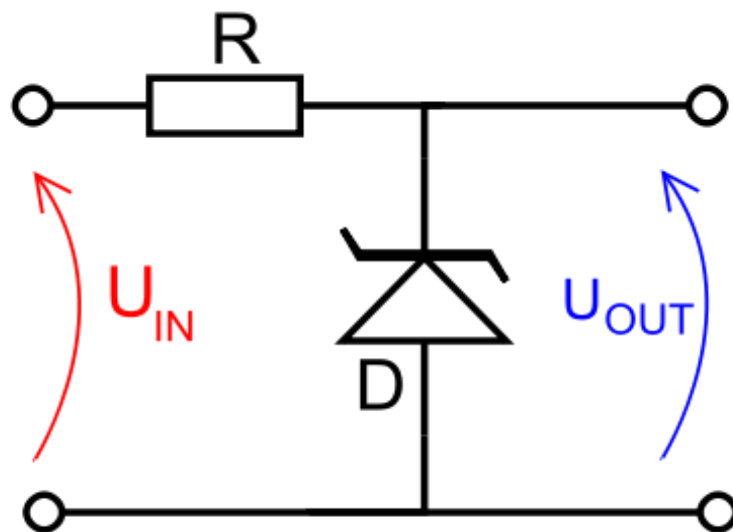
4.2.3 Χαρακτηριστική ρεύματος-τάσης μιας διόδου Ζένερ με δυναμικό κατάρρευσης 17 Βολτ.

Χρησιμοποιείται διαφορετική κλίμακα για την τάση ορθής πόλωσης (θετική) σε σχέση με αυτή της ανάστροφης πόλωσης (αρνητική).

Στην κατάρρευση έχει μια πολύ απότομη καμπή που συνοδεύεται από μία σχεδόν κατακόρυφη αύξηση του ρεύματος. Ακόμα η τάση στην περιοχή κατάρρευσης είναι σχεδόν σταθερή και περίπου ίση με U_z . Η τιμή αυτή συνήθως καθορίζεται από τα φυλλάδια προδιαγραφών της διόδου σε ένα ρεύμα δοκιμής. Η δίοδος λειτουργεί, όσο το ανάστροφο ρεύμα είναι μικρότερο του I_{zmax} . Αν το ρεύμα γίνει μεγαλύτερο από το I_{zmax} , η δίοδος θα καταστραφεί. Η αντίσταση που παρουσιάζει η δίοδος Ζένερ στην περιοχή κατάρρευσης είναι πολύ μικρή, με αποτέλεσμα μια μεγάλη αύξηση του ρεύματος να δημιουργεί μόνο μια μικρή αύξηση της τάσης, που αντιστοιχεί σε λίγα δέκατα του βολτ. Στο κύκλωμα χρησιμοποιείται πάντοτε μια αντίσταση περιορισμού ρεύματος R_s η οποία συνδέεται πάντα σε σειρά με την δίοδο με σκοπό την προστασία της διόδου.



4.3.4. Δίοδος Zener (άνοδος – κάθοδος)



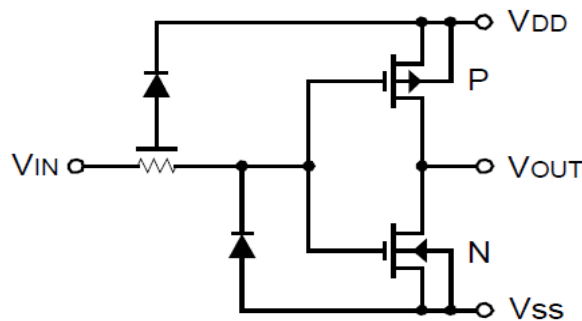
4.3.5. Στο κύκλωμα η τάση στα άκρα της αντίστασης είναι: $V_r = V_{in} - V_z$ και το ρεύμα μέσα από την αντίσταση και την δίοδο Ζένερ είναι: $I = (V_{in} - V_z) / R_s$

4.3.2 Ολοκληρωμένο κύκλωμα CD4069BE

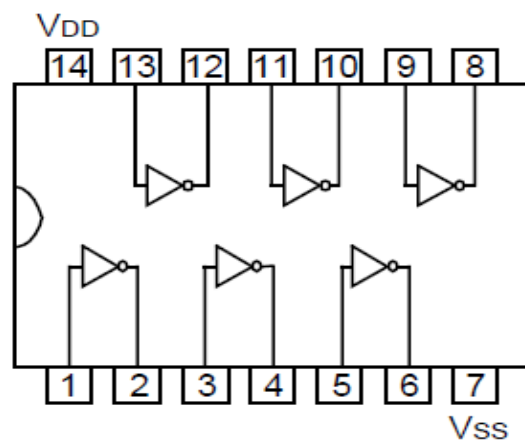
Το ολοκληρωμένο κύκλωμα αποτελείται από έξι κυκλώματα μετατροπέων και είναι κατασκευασμένα χρησιμοποιώντας συμπληρωματικά MOS (CMOS) για την επίτευξη ευρείας τροφοδοσίας, εύρους λειτουργίας, χαμηλής ισχύος κατανάλωση, υψηλή ασυλία θορύβου, και συμμετρική ελεγχόμενη άνοδος και πτώση φορές. Όλες οι εισοδοί προστατεύονται από βλάβες που οφείλονται στην δίοδο Clam. Ολοκληρωμένο κύκλωμα αποτελείτε από έξι κυκλώματα αναστροφέα CMOS και συσκευές αυτές προορίζονται για όλες τις εφαρμογές αντιστροφής γενικής χρήσης.

Χαρακτηριστικά και πλεονεκτήματα του ολοκληρωμένου κυκλώματος CD4046BE.

- Πλήρως στατική λειτουργία
- Εύρος τροφοδοσίας 3 έως 10 Volt
- Τυποποιημένα συμμετρικά χαρακτηριστικά εξόδου
- Θερμικά όρια αντοχής 40° C μέχρι +85°C



4.3.1. Block διάγραμμα λειτουργίας



4.3.2. Διάγραμμα επαφών

Η Λογική πύλη NOT που απαρτίζει το ολοκληρωμένο κύκλωμα

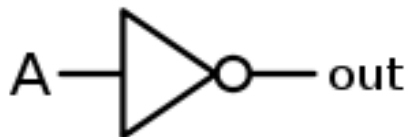
Μία **λογική πύλη** είναι ηλεκτρονικό κύκλωμα το οποίο πραγματοποιεί μία λογική πράξη στις εισόδους της και παράγει μία έξοδο. Οι λογικές πύλες έχουν δημιουργηθεί για να δουλεύουν στο δυαδικό σύστημα. Στα ηλεκτρονικά κυκλώματα ως λογικό 0 θεωρείται η τάση εκείνη η οποία είναι κάτω από ένα κατώφλι που έχουν ορίσει οι κατασκευαστές της λογικής πύλης (πχ 0,5V). Αντίστοιχα το λογικό 1 αντιστοιχεί σε τάση η οποία υπερβαίνει κάποια τάση (συνήθως 5V αλλά οι τελευταίες τεχνολογίες έχουν καταφέρει να μειώσουν την τάση αυτή). Με άλλα λόγια το λογικό 0 αντιστοιχεί στην τάση γείωσης και το λογικό 1 σε τάση τροφοδοσίας. Υπάρχουν διάφορες τεχνολογίες κατασκευής πυλών, όπως η CMOS.

Πύλη NOT (αντιστροφέας)

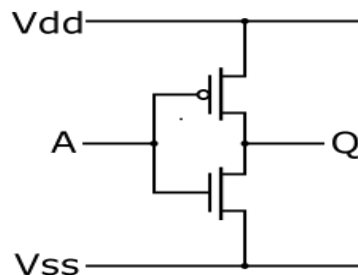
Η πύλη **NOT** (OXI) έχει μόνο μία είσοδο και δίνει μόνο μία έξοδο. Η λειτουργία της είναι η αντιστροφή του λογικού σήματος της εισόδου. Η πύλη NOT έχει μία είσοδο και μία έξοδο, ενώ οι άλλες δύο ή περισσότερες εισόδους και μία έξοδο. Από την έξοδο κάθε πύλης μπορούν να τροφοδοτηθούν μια ή περισσότερες άλλες πύλες.

Είσοδος	Έξοδος
A	OXI A
0	1
1	0

4.3.3. Ο πίνακας αληθείας της πύλης.



4.3.4. Το κυκλωματικό σχεδιάγραμμα.



4.3.5. Σχεδίαση πύλης NOT.

5. Πυκνωτές

5.1. Ορισμός του πυκνωτή - μονάδες χωρητικότητας

Πυκνωτής ονομάζεται η διάταξη εκείνη που αποτελείται από δύο αγώγιμες πλάκες οι οποίες χωρίζονται μεταξύ τους από κάποιο μονωτικό υλικό. Οι αγώγιμες πλάκες ονομάζονται οπλισμοί και το μονωτικό υλικό ονομάζεται διηλεκτρικό. Ο πυκνωτής έχει την ιδιότητα να συγκρατεί στους οπλισμούς του ηλεκτρικό φορτίο, όταν εφαρμοστεί μια τάση στα άκρα του. Η ποσότητα του φορτίου που μπορεί να συγκρατήσει ο πυκνωτής εξαρτάται από την επιφάνεια των οπλισμών του και την απόσταση μεταξύ των οπλισμών. όσο μεγαλύτερη είναι η επιφάνεια των οπλισμών και όσο μικρότερη η απόσταση των οπλισμών μεταξύ τους, τόσο μεγαλύτερο φορτίο μπορεί να συγκρατήσει. Το είδος του διηλεκτρικού υλικού παίζει πολύ μεγάλο ρόλο στην συγκράτηση του φορτίου που εκφράζεται με τον όρο χωρητικότητα. αρά λοιπόν η ικανότητα ενός πυκνωτή να αποθηκεύει ενέργεια ονομάζεται χωρητικότητα.

Η χωρητικότητα ενός πυκνωτή συμβολίζεται με το γράμμα C και μονάδα μέτρησής της είναι το Farad. Επειδή το Farad (F), είναι μεγάλη χωρητικότητα στους πυκνωτές χρησιμοποιούνται υποδιαιρέσεις του Farad όπως βλέπουμε παρακάτω:

$1F=1000mF$, $1mF=1000\mu F$, $1\mu F=1000nF$, $1nF=1000pF$. Για να είναι ποιο εύκολα κατανοητές οι μονάδες φανταστείτε μια σκάλα, με κορυφή την μέγιστη μονάδα χωρητικότητας και τελευταία την μικρότερη, όπως βλέπουμε κατά σειρά παρακάτω: $F>mF>\mu F>nF>pF$.

Κάθε σκάλα που κατεβαίνουμε προς τα κάτω πολλαπλασιάζουμε X1000, ενώ όταν ανεβαίνουμε από κάτω προς τα πάνω διαιρούμε :1000. Έτσι για παράδειγμα ένας πυκνωτής που είναι 470nF είναι ίσος με 0,47μF, ή ένας πυκνωτής που είναι 2,2nF είναι ίσος με 2200pF.

5.2. Κατασκευή πυκνωτή

Όπως αναφέραμε παραπάνω τα υλικά για την κατασκευή ενός πυκνωτή, καθώς και τον τρόπο κατασκευής του καθορίζουν την χωρητικότητά του. Συνήθως ως οπλισμοί ενός πυκνωτή χρησιμοποιούνται μέταλλα από ορείχαλκο, επικαδμιωμένο σίδηρο ή αλουμίνιο. Για την κατασκευή του διηλεκτρικού σε έναν πυκνωτή, χρησιμοποιούνται μη αγώγιμα υλικά όπως χαρτί, λάδι, γυαλί, αέρας, ταντάλιο, πολυπροπυλαίνιο, μίκα και πολλά άλλα υλικά. Το στοιχείο που χρησιμοποιεί ο πυκνωτής ως διηλεκτρικό, τον κατατάσσει σε διάφορες ονομασίες, (πυκνωτές πολυπροπυλαίνιου, πυκνωτές τανταλίου, κτλ.), όπου παρουσιάζουν κάποια ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και γι' αυτό χρησιμοποιούνται σε κυκλώματα με ειδικές εφαρμογές. Αν έχουμε έναν πυκνωτή με επίπεδους παράλληλους οπλισμούς, η χωρητικότητά του θα δίνεται από την σχέση:

$C=0,0885 [(K(s/d))]$, όπου K είναι η διηλεκτρική σταθερά του υλικού, s η επιφάνεια του υλικού σε cm^2 και d το πάχος του μονωτικού υλικού σε mm.

Αν οι οπλισμοί του πυκνωτή είναι ημικυκλικοί, τότε η χωρητικότητά του θα δίνεται από την σχέση:

$C=0,0885 \{K[(r1^2-r2^2)/d]\}$, όπου K η διηλεκτρική σταθερά του μονωτικού υλικού, d το πάχος του μονωτικού υλικού σε mm και r1, r2 οι ακτίνες των ημικυκλικών οπλισμών του πυκνωτή.

Σε περίπτωση που ο πυκνωτής χρησιμοποιεί ομοαξονικούς παράλληλους κυλίνδρους τότε η χωρητικότητά του θα δίνεται από την σχέση:

$C=0,242 K l / \log(r1/r2)$, όπου l το μήκος των κυλίνδρων σε cm.

5.3. Συμπεριφορά πυκνωτή σε συνεχές και εναλλασσόμενο ρεύμα.

Ο πυκνωτής σε ένα κύκλωμα συνεχούς ρεύματος δημιουργεί διακοπή ρεύματος στο κύκλωμα, με εξαίρεση το αρχικό χρονικό διάστημα της φόρτισής του. Σε κύκλωμα εναλλασσόμενου ρεύματος ο πυκνωτής φορτίζεται και εκφορτίζεται ανάλογα με την κατεύθυνση του ρεύματος και προβάλλει μια αντίσταση που ονομάζεται χωρητική αντίσταση X_c . Η χωρητική αντίσταση X_c εξαρτάται από την χωρητικότητα του πυκνωτή και την συχνότητα του εναλλασσόμενου ρεύματος και δίνεται από την σχέση:

$X_c = 1/2\pi fC$, όπου $\pi=3,14$, f η συχνότητα του ρεύματος σε Hz, και C η χωρητικότητα του πυκνωτή σε Farad.

α) Ονομαστική χωρητικότητα. Είναι η χωρητικότητα για την οποία έχει υπολογιστή και κατασκευαστεί ένας πυκνωτής σε συγκεκριμένη περιοχή θερμοκρασιών και συχνοτήτων λειτουργίας. Οι τιμές της χωρητικότητας είναι τυποποιημένες και για ενδιάμεσες τιμές γίνεται υπολογισμός με συνδεσμολογία.

β) Ανοχή χωρητικότητας. Η τιμή της ονομαστικής χωρητικότητας είναι η ιδανική τιμή για την οποία έχει κατασκευαστεί ο πυκνωτής. Στην πράξη όμως υπάρχει μια πολύ μικρή ολίσθηση της ονομαστικής τιμής, είτε προς τα πάνω, είτε προς τα κάτω που εκφράζεται ως ανοχή της τιμής του πυκνωτή. Συνήθως οι ανοχές στους πυκνωτές κυμαίνονται από $\pm 0.5\%$ και $\pm 1\%$ (πυκνωτές ακριβείας), $\pm 2\%$, $\pm 5\%$, $\pm 10\%$ έως και $\pm 20\%$.

γ) Τάση λειτουργίας. Είναι η μέγιστη τάση την οποία δίνει ο κατασκευαστής για την σωστή λειτουργία του πυκνωτή, η οποία αναγράφεται στο κέλυφος του πυκνωτή μαζί με την ονομαστική χωρητικότητα και μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας. Η εφαρμογή πολύ μεγαλύτερης τάσης στα άκρα του από την μέγιστη που δίνει ο κατασκευαστής προκαλεί θέρμανση και καταστροφή του διηλεκτρικού του πυκνωτή.

δ) Τάση δοκιμής. Είναι μια συνεχής τάση λίγο μεγαλύτερη από την μέγιστη που δίνει ο κατασκευαστής η οποία εφαρμόζεται για ένα πολύ μικρό χρονικό διάστημα (1 λεπτό περίπου) για να δοκιμαστεί η αντοχή του διηλεκτρικού υλικού στο εργοστάσιο κατασκευής του.

ε) Συχνότητα αναφοράς. Η ονομαστική χωρητικότητα του πυκνωτή δίνεται για ένα ορισμένο φάσμα συχνοτήτων, διότι σε πολύ υψηλές συχνότητες ένας πυκνωτής μπορεί να παρουσιάζει μεγάλη απόκλιση της ονομαστικής χωρητικότητάς του.

στ) Αντίσταση μόνωσης. Η αντίσταση μόνωσης είναι η αντίσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων του πυκνωτή καθώς και η αντίσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων και του περιβλήματος του πυκνωτή.

5.4. Είδη πυκνωτών

Τους πυκνωτές του χωρίζουμε σε δύο κατηγορίες στους διηλεκτρικούς πυκνωτές και τους ηλεκτρολυτικούς πυκνωτές. Η αρχή λειτουργίας είναι η ίδια και στις δύο κατηγορίες πυκνωτών, όμως διαφέρουν στην κατασκευή τους και στον τρόπο χρήσης τους. Στον παρακάτω πίνακα βλέπουμε τις διάφορες κατηγορίες πυκνωτών.

Χαρτιού Πλαστικών	Μεταβλητοί πυκνωτές	Ρυθμιζόμενοι πυκνωτές	Υγρού ηλεκτρολύτη	Στερεού ηλεκτρολύτη	Υγρού ηλεκτρολύτη	Στερεο ύ ηλεκτρολ ύτη
Σταθερής χωρητικότητας	Μεταβλητής χωρητικότητας	Αλουμινίου		Τανταλίου		
Μικτού διηλεκτρικού Μίκας Γυαλιού Κεραμικού	Αέρος Πλαστικών					

Τύπος πυκνωτή	Περιοχή συχνοτήτων λειτουργίας	Κυκλώματα εφαρμογής
Χαρτιού	0 - 1 MHz	Χαμηλές συχνότητες, ενισχυτές ήχου, φίλτρα, κτλ.
Επιμεταλλευμένου χαρτιού	0 - 100 MHz	Χαμηλές συχνότητες, βιομηχανικές εφαρμογές.
Πλαστικής ταινίας	0 - 10 GHz	Γενική χρήση
Μίκας	0 - 10 GHz	Κυκλώματα υψηλών συχνοτήτων, γραμμές καθυστέρησης, πομποί, κτλ.
Γυαλιού Χαλαζία	200 Hz - 5 GHz	Αντικαθιστούν τους πυκνωτές μίκας
Κεραμικοί μικρών απωλειών	1 MHz - 5 GHz	Ενισχυτές RF, πομποί
Κεραμικοί μεγάλων απωλειών	1 MHz - 1 GHz	Κυκλώματα υψηλών συχνοτήτων
Πυκνωτές σταθερής χωρητικότητας		

5.5 Κεραμικοί πυκνωτές

Για την υλοποίηση του ηλεκτρονικού κυκλώματος χρησιμοποιήσαμε κεραμικούς πυκνωτές. Στους κεραμικούς πυκνωτές το διηλεκτρικό είναι κεραμικό υλικό, όπως μίγματα πυριτιούχου μαγνησίου, αλουμίνας, οξειδίου του ζirkονίου, κτλ. Σε αυτά τα υλικά γίνεται πρόσμιξη με τιτάνιο, βάριο ή ασβέστιο. Το υλικό μίγμα για την σταθεροποίησή του ψήνεται σε υψηλές θερμοκρασίες και οι οπλισμοί του πυκνωτή μπαίνουν στο κεραμικό υλικό με επιμετάλλωση. Η μορφή των κεραμικών πυκνωτών μπορεί να είναι σωληνωτοί, σφαιρικοί, σε μορφή δίσκων, κτλ.

Οι κεραμικοί πυκνωτές χρησιμοποιούνται σε κυκλώματα υψηλών συχνοτήτων και οι ονομαστικές τους χωρητικότητες κυμαίνονται από 0,1pF έως 12μF περίπου. Κατασκευάζονται για να λειτουργούν σε πολύ υψηλές τάσεις λειτουργίας που φτάνουν την περιοχή των KV.



5.1. Κεραμικοί πυκνωτές διαφόρων χωρητικότητων χαμηλών τάσεων λειτουργίας.

5.5.1. Ανάγνωση τιμής κεραμικού πυκνωτή.

Οι κεραμικοί πυκνωτές συνήθως αναγράφουν στο σώμα τους με ειδικό συμβολισμό την ονομαστική τους τιμή. Οι πυκνωτές ιαπωνικής κατασκευής αναγράφουν την τιμή τους στο σώμα τους με τριψήφιο νούμερο, όπου τα δύο πρώτα δηλώνουν την ονομαστική τους τιμή και το τρίτο κατά σειρά νούμερο είναι ο πολλαπλασιαστής. Το τρίτο νούμερο δηλαδή δηλώνει τον αριθμό των μηδενικών που ακολουθούν τα δύο πρώτα νούμερα και η τιμή αυτή είναι σε pF. Παρακάτω αναφέρουμε ενδεικτικά παραδείγματα τιμών κεραμικών πυκνωτών.

101=100pF

331=330pF

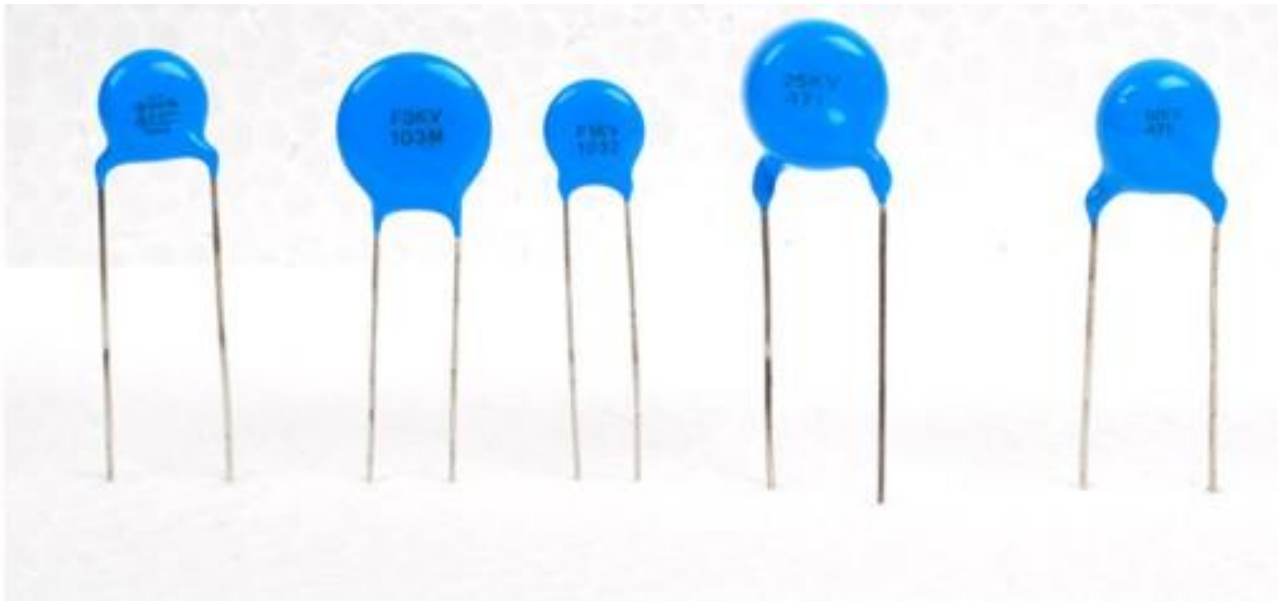
472=4.700pF ή 4,7nF

224=220.000pF ή 220nF

5.5.2. Ονομαστική τιμή πολυεστερικού πυκνωτή με συμβολισμό

Σε περίπτωση που ένας πυκνωτής πολυεστέρα δεν έχει χρωματικό κώδικα, τότε η τιμή του θα αναγράφεται με συμβολισμό. Δηλαδή η τιμή του θα αναγράφεται σε μF και θα ακολουθείτε από το γράμμα J, K ή M που δηλώνει την ανοχή του πυκνωτή, $J=\pm 5\%$, $K=\pm 10\%$ και $M=\pm 20\%$. Στην συνέχεια θα ακολουθεί η τάση λειτουργίας του σε Volt.

Παράδειγμα: .033 K 400 σημαίνει τιμή 33nF, $\pm 10\%$, 400V.



5.2. Κεραμικοί πυκνωτές διαφόρων τιμών με υψηλές τάσεις λειτουργίας, από 1KV έως 25KV

5.6 Πυκνωτές μεταβλητής χωρητικότητας

Επειδή στο κύκλωμα που κατασκευάσαμε η κεραία αποτελεί το μισό ενός μεταβλητού πυκνωτή, το οποίο είναι μέρος του δικτύου προσδιορισμού συχνότητας αυτού του ταλαντωτή, και το χέρι του παίκτη σχηματίζει το άλλο μισό, θα αναφερθούμε στην λειτουργία των μεταβλητών χωρητικότητας πυκνωτών .

Οι πυκνωτές μεταβλητής χωρητικότητας είναι απαραίτητοι όπου χρειάζεται ακρίβεια της τιμής της χωρητικότητας ενός πυκνωτή σε ένα κύκλωμα και διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες: α) στους μεταβλητούς πυκνωτές και β) στους ρυθμιζόμενους πυκνωτές. Η διαφορά τους είναι κατασκευαστική και η χρήση τους εξίσου διαφορετική, αφού ο μεταβλητός πυκνωτής χρησιμοποιείται σε κυκλώματα όπου μεταβάλλουμε συνεχώς την χωρητικότητα του πυκνωτή, (π.χ. ραδιόφωνο), ενώ οι μεταβλητοί πυκνωτές ρυθμίζονται μια φορά σε ένα κύκλωμα και μετά η χωρητικότητά τους παραμένει σταθερή.

Οι πυκνωτές μεταβλητής χωρητικότητας είναι απαραίτητοι όπου χρειάζεται ακρίβεια της τιμής της χωρητικότητας ενός πυκνωτή σε ένα κύκλωμα και διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες: α) στους μεταβλητούς πυκνωτές και β) στους ρυθμιζόμενους πυκνωτές.

Η διαφορά τους είναι κατασκευαστική και η χρήση τους εξίσου διαφορετική, αφού ο μεταβλητός πυκνωτής χρησιμοποιείται σε κυκλώματα όπου μεταβάλλουμε συνεχώς την χωρητικότητα του πυκνωτή, (π.χ. ραδιόφωνο), ενώ οι μεταβλητοί πυκνωτές ρυθμίζονται μια φορά σε ένα κύκλωμα και μετά η χωρητικότητά τους παραμένει σταθερή.



5.3. Πυκνωτές διαφόρων τιμών με υψηλές τάσεις λειτουργίας, από 1KV έως 25KV .

5.7. Ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές

Για την κατασκευή και υλοποίηση του κυκλώματος χρησιμοποιήσαμε ηλεκτρολυτικούς πυκνωτές και δώσαμε ιδιαίτερη προσοχή στην σωστή πολικότητα.

Οι ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές είναι σταθερής χωρητικότητας και η αρχή λειτουργίας τους στηρίζεται στην αρχή της ηλεκτρολύσεως. Στους ηλεκτρολυτικούς πυκνωτές το διηλεκτρικό είναι οξείδιο του μετάλλου της ανόδου. Για να σχηματιστεί ένα οξείδιο είναι απαραίτητη η παρουσία μετάλλου της ανόδου, ένας ηλεκτρολύτης και η κάθοδος. Η κάθοδος μπορεί να είναι το ίδιο ή διαφορετικό μέταλλο με την άνοδο. Τα οξείδια που χρησιμοποιούνται κυρίως είναι το αλουμίνιο και το ταντάλιο, γι' αυτό διαχωρίζουμε τους ηλεκτρολυτικούς πυκνωτές σε δύο είδη α) τους ηλεκτρολυτικούς πυκνωτές αλουμινίου και β) τους ηλεκτρολυτικούς πυκνωτές τανταλίου.

Οι ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές διαχωρίζονται επίσης σε δύο είδη: στους "υγρούς ηλεκτρολυτικούς" και τους "ξηρούς ηλεκτρολυτικούς". Οι υγροί ηλεκτρολυτικοί περιέχουν υγρό στοιχείο για την διάλυση, ενώ στους ξηρούς ηλεκτρολυτικούς η διάλυση συγκρατείται από ένα φύλλο απορροφητικού χαρτιού ή γάζας, η οποία παρεμβάλλεται μεταξύ των οπλισμών. Οι ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές θα πρέπει να πολωθούν ορθά για να εργαστούν σωστά, δηλαδή η άνοδος χρειάζεται θετικό δυναμικό ενώ η κάθοδος αρνητικό. Η ανάστροφη πόλωσή τους έχει σαν αποτέλεσμα την καταστροφή του ηλεκτρολυτικού πυκνωτή. Οι οπλισμοί μεταξύ τους βρίσκονται σε πολύ κοντινή απόσταση, γι' αυτό και παρουσιάζουν μεγάλες χωρητικότητες.

α) Ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές αλουμινίου. Κατασκευάζονται από λεπτά ελάσματα αλουμινίου υψηλής καθαρότητας. Μεταξύ των ελασμάτων παρεμβάλλεται ένα λεπτό στρώμα οξειδίου και ένα διηλεκτρικό υλικό όπως το χαρτί. Το διάλυμα που χρησιμοποιείται (ηλεκτρολύτης), στην δημιουργία του οξειδίου είναι το βορικό οξύ ή τρυγικό κάλιο. Η ταινία αλουμινίου είναι πάρα πολύ λεπτή πάχους 20-40μm. Η άνοδος του πυκνωτή έχει στην μία επιφάνειά της το οξείδιο. Όσο μεγαλύτερη η επιφάνεια του οξειδίου τόσο αυξάνεται η χωρητικότητα του πυκνωτή.

Οι ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές αλουμινίου είναι κυλινδρικής μορφής και υπάρχουν είτε σε οριζόντια μορφή είτε σε κάθετη μορφή. Τα μεγάλα τους πλεονεκτήματα είναι η μεγάλες χωρητικότητες για τις οποίες μπορούν να κατασκευαστούν, από 1μF έως πολλές χιλιάδες μF. Μειονέκτημά τους είναι ότι δεν κατασκευάζονται σε πολύ υψηλές τάσεις ανάλογα με την χωρητικότητά τους και οι πυκνωτές μεγάλης χωρητικότητας σε μεγάλη τάση έχουν πολύ μεγάλο μέγεθος. Οι τάσεις για τις οποίες κατασκευάζονται δεν ξεπερνούν τα 450V, για χωρητικότητες μέχρι 470μF.



5.4. Ηλεκτρολυτικός πυκνωτής αλουμινίου της PHILIPS με χωρητικότητα 150μF και μέγιστη τάση 385V.



5.5. Ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές αλουμινίου.

α) Οι ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές αλουμινίου παρουσιάζουν διαρροές και μείωση της ονομαστικής τους χωρητικότητας και του φορτίου που μπορεί να συγκρατήσουν με την πάροδο του χρόνου. Σε αυτές τις περιπτώσεις πρέπει να αλλάζονται στα κυκλώματα που χρησιμοποιούνται. Η διαρροή είναι ένα φαινόμενο που συμβαίνει συχνά σε βλάβες πυκνωτών. Στην περίπτωση αυτή έχουμε κακή μόνωση του διηλεκτρικού ανάμεσα στους οπλισμούς, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται βραχυκλώματα στο κύκλωμα.

Επίσης η τάση στα άκρα του δεν πρέπει να ξεπερνά την μέγιστη τάση που δίνει ο κατασκευαστής, διότι υπερθερμαίνεται και καταστρέφεται ο πυκνωτής.

Οι ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές αλουμινίου είναι κατάλληλοι για χρήση σε τροφοδοτικά κυρίως για την εξομάλυνση της τροφοδοσίας, αλλά και σε άλλα κυκλώματα που είναι απαραίτητη η μείωση του θορύβου της dc τάσης.

β) Ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές τανταλίου. Οι πυκνωτές τανταλίου έχουν πολύ καλύτερα χαρακτηριστικά από τους κοινούς ηλεκτρολυτικούς πυκνωτές καθώς έχουν πολύ μικρό μέγεθος για μεγάλες χωρητικότητες, εμφανίζουν μικρότερα προβλήματα διαρροής έναντι των πυκνωτών αλουμινίου, έχουν μεγαλύτερη ταχύτητα φόρτισης - εκφόρτισης και έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Είναι ακριβότεροι σε κόστος και δεν κατασκευάζονται για πολύ μεγάλες χωρητικότητες χιλιάδων μF όπως οι πυκνωτές αλουμινίου. Στην κατασκευή τους οι πυκνωτές τανταλίου χρησιμοποιούν οξειδία τανταλίου και το εξωτερικό τους περίβλημα μπορεί να είναι μεταλλικό ή πλαστικό υλικό. Έχουν και αυτοί πολικότητα και θα πρέπει να αποφεύγονται τα λάθη της αναστροφής πολικότητάς τους για να μην καταστραφεί.

Οι πυκνωτές τανταλίου αναγράφουν την ονομαστική τους τιμή και την τάση λειτουργίας τους στο κέλυφός τους, όπως και οι πυκνωτές αλουμινίου, υπάρχουν όμως και πυκνωτές τανταλίου με **χρωματικό κώδικα** όπως βλέπουμε παρακάτω.

Χρώμα	1ο Ψηφίο	2ο Ψηφίο	Πολλαπ/στής	Τάση (Vdc)
Μαύρο	-	0	X1	10
Καφέ	1	1	X10	1.5
Κόκκινο	2	2	X100	30
Πορτοκαλί	3	3		35
Κίτρινο	4	4		6.3
Πράσινο	5	5		16
Μπλε	6	6		20
Μωβ	7	7		
Γκρι	8	8	X0.01	25
Άσπρο	9	9	X0.1	3

Χρωματικός κώδικας πυκνωτών τανταλίου

5.6. Υπολογισμός τιμής πυκνωτών τανταλίου με χρωματικό κώδικα

Οι πυκνωτές τανταλίου με χρωματικό κώδικα αποτελούνται από τρεις οριζόντιες χρωματικές λωρίδες και μια στρογγυλή χρωματική βούλα στην μέση. Ξεκινώντας από πάνω προς τα κάτω, η πρώτη χρωματική λωρίδα αντιστοιχεί στο πρώτο ψηφίο του αριθμού της τιμής χωρητικότητας του πυκνωτή και δεύτερη χρωματική λωρίδα στο δεύτερο ψηφίο της τιμής του πυκνωτή. Η στρογγυλή βούλα στην μέση είναι ο πολλαπλασιαστής και καθορίζει την τιμή του πυκνωτή σε μF . Η τελευταία χρωματική ζώνη στην βάση του πυκνωτή καθορίζει την μέγιστη τάση λειτουργίας του.

Η αντιστοιχία των χρωματικών ζωνών, του πολλαπλασιαστή και της τάσης με τις τιμές που αντιστοιχούν, φαίνονται στον διπλανό πίνακα χρωμάτων.

Πμοιθην243Η πολικότητα του πυκνωτή βρίσκεται εύκολα, καθώς όπως κρα-τάμε τον πυκνωτή βλέποντας την βούλα στη μέση, ο δεξιός ακροδέκτης είναι ο θετικός ακροδέκτης και ο αριστερός είναι ο αρνητικός ακροδέκτης, όπως βλέπουμε και στα σχήματα.

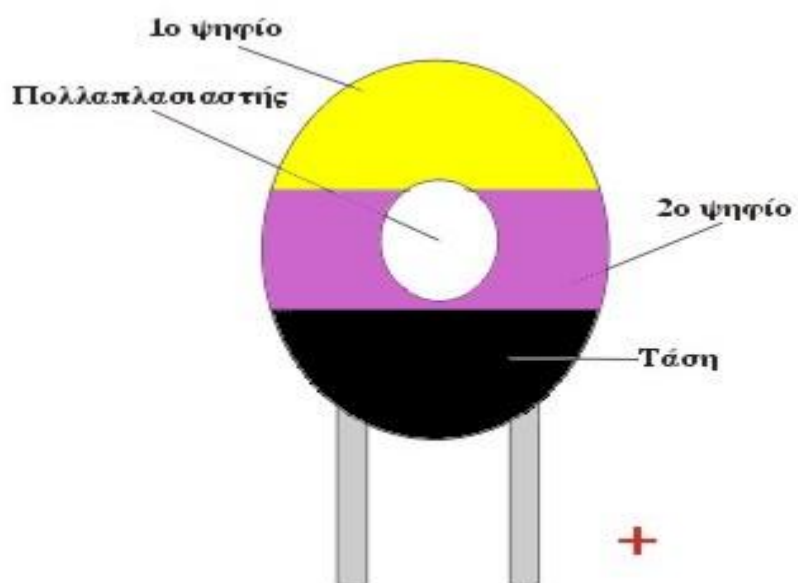


5.7. Ανάγνωση τιμής πυκνωτή τανταλίου 22 μF στα 10V με χρωματικό κώδικα.



5.8. Ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές.

5.7.1. Συνδεσμολογίες πυκνωτών



5.9. Υπολογισμός τιμής πυκνωτή τανταλίου.

α) Σύνδεση πυκνωτών σε σειρά. Η σύνδεση πυκνωτών σε σειρά επιτυγχάνεται ενώνοντας τον έναν ακροδέκτη του πυκνωτή με τον έναν ακροδέκτη του άλλου και η συνολικοί χωρητικότητα λαμβάνεται από τα ελεύθερα άκρα των πυκνωτών όπως φαίνεται και στο σχήμα-1. Στην περίπτωση αυτή, όπως βλέπουμε και στο σχήμα-1 με τρεις πυκνωτές σε σειρά, η συνολική χωρητικότητα θα είναι ίση με:

$$1/C = 1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3.$$

Από την παραπάνω σχέση προκύπτει ότι η συνολική χωρητικότητα σε πυκνωτές σε σειρά μειώνεται, ενώ αντίθετα αυξάνεται η τάση λειτουργίας του. Έτσι λοιπόν, αν έχουμε n πυκνωτές συνδεσμολογιμένους σε σειρά η συνολική χωρητικότητά τους θα βρίσκεται από την σχέση:

$$1/C = 1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3 + \dots + 1/C_n.$$

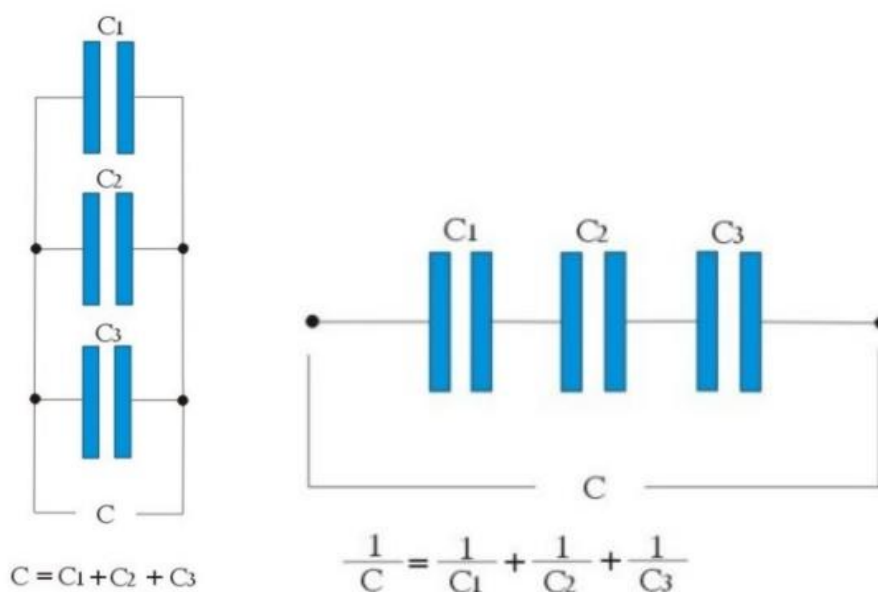
β) Σύνδεση πυκνωτών παράλληλα. Η σύνδεση πυκνωτών σε παράλληλη διάταξη επιτυγχάνεται ενώνοντας τους ακροδέκτες των πυκνωτών μεταξύ τους, όπως φαίνεται και στο σχήμα-2. Η συνολική χωρητικότητα στην περίπτωση αυτή θα ισούται με το άθροισμα των χωρητικοτήτων όλων των πυκνωτών. Οπότε στην περίπτωση του σχήματος παρακάτω θα έχουμε:

$$C = C_1 + C_2 + C_3.$$

Για μια συνδεσμολογία n πυκνωτών θα έχουμε:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n.$$

Στην συνδεσμολογία πυκνωτών σε παράλληλη διάταξη η μέγιστη τάση λειτουργίας στην συνολική χωρητικότητα καθορίζεται από την τάση λειτουργίας του κάθε πυκνωτή.



5.9. Σύνδεση πυκνωτών παράλληλα και σε σειρά .

6. Κεραία

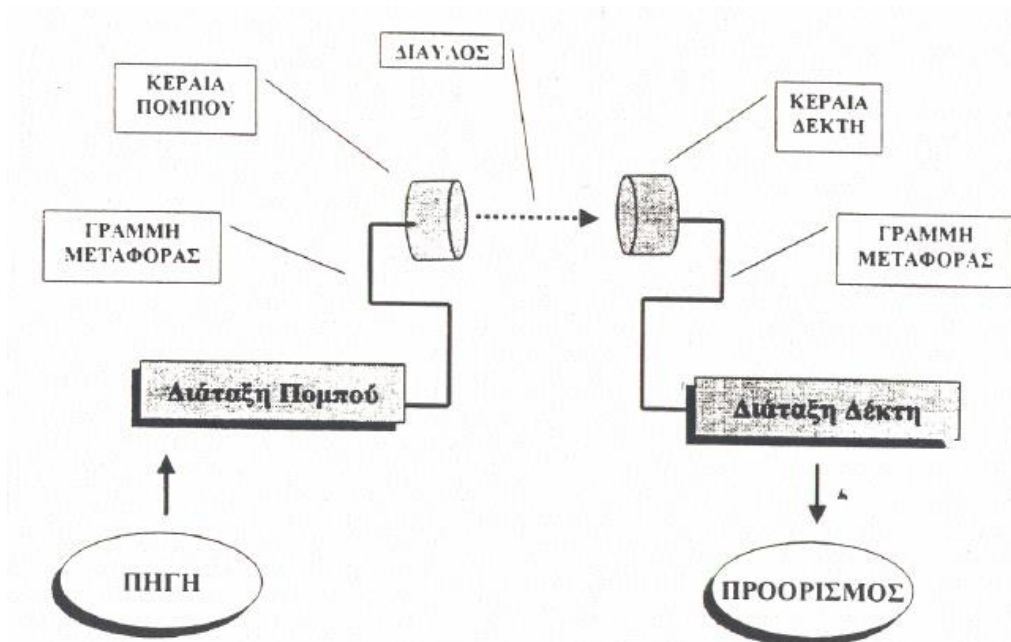
6.1. Η σημασία της κεραίας στην ραδιοηλεκτρολογία

Στην ραδιοηλεκτρολογία, **Κεραία** είναι μια διάταξη, που χρησιμοποιείται για να εκπέμπει ή να δέχεται ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Ακριβέστερα η κεραία μετατρέπει σε ηλεκτρομαγνητική ενέργεια που οδεύει σε μια γραμμή μεταφοράς ή ένα κυματοδηγό σε ηλεκτρομαγνητικό κύμα στο χώρο και αντίστροφα.

Η κεραία αποτελείται από τρεις τομείς:

- Κατευθυντήρας. Δουλειά του είναι να ενισχύει το σήμα που δέχεται ή εκπέμπει.
- Ανακλαστήρας. Ανακλά το σήμα που ενισχύθηκε από τον κατευθυντήρα και αποτρέπει παρεμβολές από την αντίθετη πλευρά της κεραίας.
- Δίπολο. Είναι ο συντονιστής της ταλάντωσης για την λήψη ή την εκπομπή .

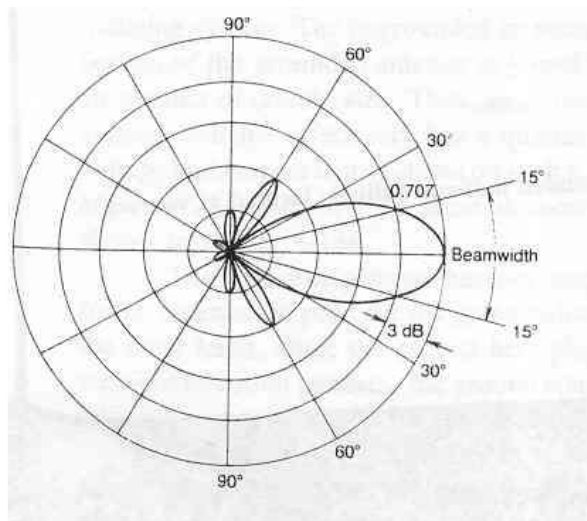
Η κεραία χρησιμοποιείται από έναν πομπό για να εκπέμπει ηλεκτρομαγνητικά κύματα τα οποία θα συλλέξει μια άλλη κεραία, αυτή του δέκτη και μέσω συντονισμού θα επικοινωνήσουν. Ακόμα αποτελεί μία μεταλλική κατασκευή η λειτουργία της οποίας εστιάζεται στη μετατροπή των υψίσυχνων τάσεων ή ρευμάτων σε ηλεκτρομαγνητικά κύματα και αντίστροφα.



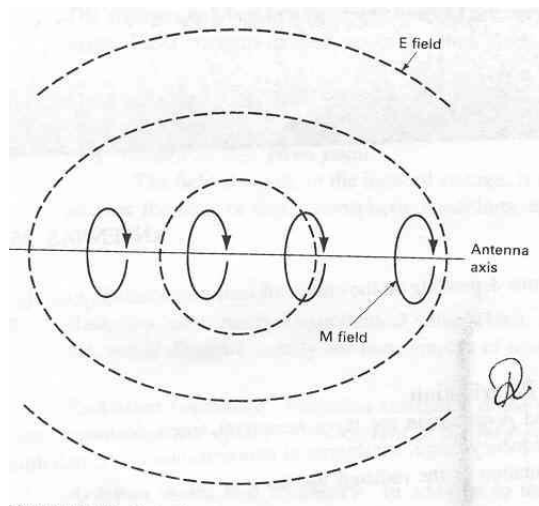
6. Δομή ασυρμάτου τηλεπικοινωνιακού συστήματος

Παράμετροι κεραίας

Κατευθυντικό κέρδος (*directive gain*) ορίζεται ως ο λόγος της πυκνότητας της εκπεμπόμενης ισχύος (*Power density*) σε συγκεκριμένη κατεύθυνση προς την πυκνότητα ισχύος η οποία θα εκπεμπόταν από μία πανκατευθυντική κεραία (*omnidirectional-isotropic Antenna*). Αυξανόμενου του μήκους της κεραίας αυξάνεται η τιμή του κέρδους της κεραίας. Οι μη συντονισμένες κεραίες παρουσιάζουν μεγαλύτερο κέρδος



6.1. Εύρος δέσμης κεραίας



6.2. Πόλωση κεραίας

6.2.Είδη κεραιών

Από την επινόηση των ραδιοεπικοινωνιών έχει αναπτυχθεί μια ποικιλία κεραιών, ώστε να καλύπτουν τις ειδικές ανάγκες διαφόρων εφαρμογών και να διευκολύνεται η κατασκευή και ένταξή τους στο φυσικό και δομημένο περιβάλλον. Οι κεραιές εντάσσονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Δίπολα και παραλλαγές αυτών. Πρόκειται για την μεγαλύτερη κατηγορία, ευρύτατα χρησιμοποιούμενη από 2 MHz έως 4 GHz.
- Κατακόρυφες κεραιές Marconi. Χρησιμοποιούνται από τις πολύ χαμηλές συχνότητες μέχρι τους 5 GHz. Δεν είναι αυτόνομες αλλά συνεργάζονται με κάποιο "έδαφος", που μπορεί να είναι το φυσικό έδαφος, μια αγωγίμη μεταλλική επιφάνεια ή μεταλλικοί αγωγοί.
- Κεραιές βρόχου (loop)
- Διάφορες απεριοδικές κεραιές, όπως ρομβικές, V, discone και ελικοειδείς.
- Χοανοειδείς κεραιές (horn), συνεργάζονται καλύτερα με κυματοδηγούς και χρησιμοποιούνται σε συχνότητες άνω του 1 GHz.

Κεραιές οικιακής λήψεως

Υπάρχουν διάφοροι τύποι κεραιών :

- Yagi: δηλαδή με κατεύθυνση προς τον πομπό με ένα εύρος λαμβάνουσας λήψης 20 μοιρών. Οριζόντια κατασκευή. Αυτή η κεραιά μας επιτρέπει να δεχτούμε λήψη από μακριά.
- Panel: πρόκειται για κεραιές κατάλληλες για την τηλεοπτική ζώνη UHF. Αποτελούνται από διάταξη 2 ή 4 δίπολων εμπρός από επίπεδο ανακλαστήρα μορφής μεταλλικού πλέγματος. Η κεραιά αυτή παρουσιάζει καλό εύρος ζώνης και μειωμένη κατευθυντικότητα και απολαβή σε σχέση με την κεραιά Yagi. Χρησιμοποιήθηκε στην μετάδοση τηλεοπτικού σήματος στη Βλαχομάνδρα Ναυπακτίας.
- Ραδιοφωνίας VHF/FM: συνήθως αποτελείται από αναδιπλωμένο δίπολο συντονισμένο στο μέσον της ζώνης 88-108 MHz. Συχνά διαμορφώνεται κυκλικά σε μια προσπάθεια μείωσης της κατευθυντικότητας της.
- Ραδιοφώνου στα μεσαία AM, ένα απλό σύρμα τυλιγμένο σε στυλ πηνίου με μήκος 5 μέτρα και διάμετρος πηνίου 10 εκατοστά.
- Ραδιοφώνου βραχέων SW. Ένα απλό σύρμα τυλιγμένο σε στυλ πηνίου με μήκος από 0,5 έως 2 χιλιόμετρα με διάμετρο πηνίου έως και 100 μέτρα . Το ένα άκρος στον αέρα το άλλο στον δέκτη . Ο δέκτης στην υποδοχή του έχει δύο ακροδέκτες ο δεύτερος γειώνεται. Αυτό ως προς μια απλή και ενισχυμένη λήψη. Στην εκπομπή η κατασκευή μοιάζει με yagi αλλά έχει διάμετρο μέχρι και 15 μέτρα.

Επίσης υπάρχουν διάφοροι τύποι κεραιών για τηλεπικοινωνίες και μεταφοράς δεδομένων: Κεραιές για τα ραντάρ και εκπομπής βραχέων ταλαντώσεων μακράς εμβέλειας, που χρησιμοποιούν ως ανακλάσεις την Σελήνη ή ακόμα και πιο μακριά. Στα δορυφορικά η κατάσταση είναι διαφορετική. Υπάρχουν δύο τομείς: το κάτοπτρο ως ανακλαστήρας και το LNB ως συσκευή λήψης. Το LNB έχει δύο δίπολα, ένα οριζόντιο και ένα καθέτως, όπου το σήμα μετατρέπεται από 9.5 έως 12 GHz σε πιο χαμηλή συχνότητα της τάξεως από 800 mhz έως 2.5 ghz για να μπορέσει να διανεμηθεί στον δέκτη μέσω καλωδίου και ταυτόχρονα ενισχύεται για την διανομή του.

6.3 Η Χρήση της κεραίας στο κύκλωμα του Theremin

Η κεραία στο κύκλωμα αποτελεί το μισό του μεταβλητού πυκνωτή, το οποίο είναι μέρος του δικτύου προσδιορισμού συχνότητας αυτού του ταλαντωτή, και το χέρι του παίκτη σχηματίζει το άλλο μισό. Καθώς η απόσταση μεταξύ του χεριού και της κεραίας μεταβάλλεται, μεταβάλλεται και η χωρητικότητα του πυκνωτή, επομένως και η συχνότητα του.

Κατά τη χρήση, τα ποτενσιόμετρα ρυθμίζονται από τον παίκτη, έτσι ώστε το Theremin να σιωπά παίρνοντάς το χέρι μακριά από την κεραία, και παράγοντας το χαμηλότερο τόνο, όταν το χέρι είναι στη μέγιστη απόσταση. Με την κίνηση του χεριού του ανάμεσα στις κεραίες και το ηλεκτρικό δυναμικό του σώματός του, ο μουσικός επιδρά στο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Οι μεταβολές αυτές του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου αναγνωρίζονται, ενισχύονται και αναπαράγονται από τις κεραίες ως ήχος.



6.3.1. Η κεραία που χρησιμοποιήσαμε στο κύκλωμα

7. Ποτενσιόμετρα

Το ποτενσιόμετρο θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως ένας μεταβλητός διαιρέτης τάσης. Η πιο κλασσική μορφή ποτενσιόμετρου είναι η παρακάτω:



Το συγκεκριμένο αποτελείται από έναν άξονα τον οποίο μπορούμε να περιστρέψουμε με το χέρι και τρεις ακροδέκτες. Το παξιμάδι και η ροδέλα είναι για να στερεώνεται στις προσόψεις συσκευών. Στην άκρη του άξονα για λόγους καλαισθησίας και ευχρηστίας μπορεί να προσαρμοστεί κάποιο πλαστικό “πόμολο” όπως αυτά:

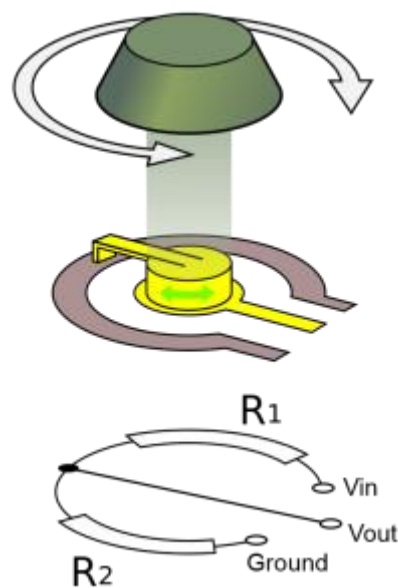


Κλασσική εφαρμογή που συναντούμε τέτοιου τύπου ποτενσιόμετρα είναι στα ραδιόφωνα για τη ρύθμιση της έντασης του ήχου.

Τυπικά το εύρος περιστροφής από άκρη σε άκρη είναι 180 ή 270 μοίρες. Για ειδικές εφαρμογές όπου χρειάζεται μεγάλη ακρίβεια στη ρύθμιση υπάρχουν ποτενσιόμετρα 10 στροφών. Εναλλακτικά, υπάρχουν τα “πόμολα” τύπου Vernier, τα οποία μπορούν να προσαρμοστούν σε ένα κλασσικό ποτενσιόμετρο 180 ή 270 μοιρών και τα οποία έχουν εσωτερικά ένα γρανάζωμα υποπολλαπλασιασμού. Έτσι το “πόμολο” μπορεί να περιστρέφεται 10 ή παραπάνω φορές, ενώ εσωτερικά το ποτενσιόμετρο ακολουθεί την τυπική του περιστροφή των 180 ή 270 μοιρών.

Σημείωση: Κάποιες συσκευές έχουν κουμπιά τα οποία περιστρέφονται χωρίς να τερματίζουν κάπου. Αυτά δεν είναι ποτενσιόμετρα, αλλά περιστροφικοί κωδικοποιητές (rotary encoders) και λειτουργούν με εντελώς διαφορετικό τρόπο.

Εσωτερικά ο μηχανισμός του ποτενσιόμετρου μοιάζει κάπως έτσι:



Η καφέ λωρίδα σε σχήμα πετάλου είναι φτιαγμένη από ειδικό σύρμα υψηλής αντίστασης. Περιστρέφοντας τον άξονα μπορούμε να μετακινήσουμε τη θέση του δρομέα (wiper, απεικονίζεται με κίτρινο χρώμα) πάνω στο σύρμα. Καθώς η αντίσταση είναι ανάλογη με το μήκος του σύρματος, όταν ο δρομέας βρίσκεται ακριβώς στη μέση, το αριστερό τμήμα έχει το ίδιο μήκος και συνεπώς την ίδια αντίσταση με το δεξί. Καθώς ο δρομέας μετακινείται αριστερόστροφα τότε η αντίσταση του αριστερού τμήματος του σύρματος γίνεται μικρότερη ενώ του δεξιού μεγαλύτερη. Το αντίστροφο συμβαίνει όταν κινείται ο δρομέας δεξιόστροφα. Η συνολική αντίσταση του ποτενσιόμετρου παραμένει αμετάβλητη ανεξάρτητα από τη θέση στην οποία βρίσκεται ο δρομέας. Ως εκ τούτου, το ρεύμα που το διαρρέει παραμένει πρακτικά σταθερό. Η αντιστοιχία με το διαιρέτη τάσης είναι εμφανής. Στους δύο εξωτερικούς ακροδέκτες συνδέουμε την τάση εισόδου και τη γείωση, ενώ από τον μεσαίο ακροδέκτη παίρνουμε την τάση εξόδου. Συνήθίζεται να συνδέουμε τη γείωση στον πρώτο ακροδέκτη έτσι ώστε η τάση εξόδου να είναι μηδέν όταν το ποτενσιόμετρο βρίσκεται στο αριστερό τέρμα και να αυξάνεται καθώς το περιστρέφουμε δεξιόστροφα, μέχρι να γίνει ίση με την τάση εισόδου στο δεξί τέρμα.

7.1 Η χρήση των ποτενσιόμετρων στο κύκλωμα

Έχουμε τοποθετήσει κατάλληλα δυο ποτενσιόμετρα στο κύκλωμα, 10KΩ και 100KΩ αντίστοιχα. Με το πρώτο ποτενσιόμετρο, επιτυγχάνεται βαθμονόμηση του φάσματος της συχνότητας του τοπικού ταλαντωτή και με το δεύτερο ρυθμίζουμε την ένταση του παραγόμενου ήχου στην έξοδο. Ρυθμίζοντας σωστά το ποτενσιόμετρο βαθμονόμησης, θα καταφέρομε να ρυθμίσουμε τη συχνότητα του τοπικού ταλαντωτή η οποία θα είναι ίση με τη συχνότητα του ταλαντωτή που μεταβάλλεται με το χέρι απομακρύνοντας το από την κεραία . Υπό αυτές τις συνθήκες , η σχέση φάσης των δύο ταλαντωτών θα είναι σταθερή λόγω της μικρής ,αλλά πεπερασμένη χωρητική ζεύξη τους, οπότε δεν υπάρχει ακουστικός τόνος για να παραχθεί . Οι καθυστερήσεις στην διάδοσης των μετατροπέων και των σύνθετων αντιστάσεων εξόδου του κυκλώματος έχουν εξαρτώμενη παροχή έτσι κατά συνέπεια, το ποτενσιόμετρο βαθμονόμησης επηρεάζει τη συχνότητα του τοπικού ταλαντωτή μεταβάλλοντας την τάση τροφοδοσίας του. Αυτή η μέθοδος προσαρμογής επιτρέπει το ποτενσιόμετρο να βρίσκεται σε οποιαδήποτε βολική απόσταση από το κύκλωμα και την κεραία, δεδομένου ότι υπάρχουν διακυμάνσεις συχνότητας που προκύπτουν από αδέσποτη χωρητικότητα μεταξύ του ποτενσιόμετρου και της γείωσης.

Κατά τη χρήση , τα ποτενσιόμετρα ρυθμίζονται από τον παίκτη ,έτσι ώστε το Theremin να σιωπά παίρνοντάς το χέρι μακριά από την κεραία , και παράγοντας το χαμηλότερο τόνο , όταν το χέρι είναι στη μέγιστη απόσταση.



7.1. Ποτενσιόμετρο που χρησιμοποιήσαμε στη κατασκευή του κυκλώματος.

8. Η ακουστική του ήχου

Ακουστική λέγεται η επιστήμη που ασχολείται με τον ήχο.

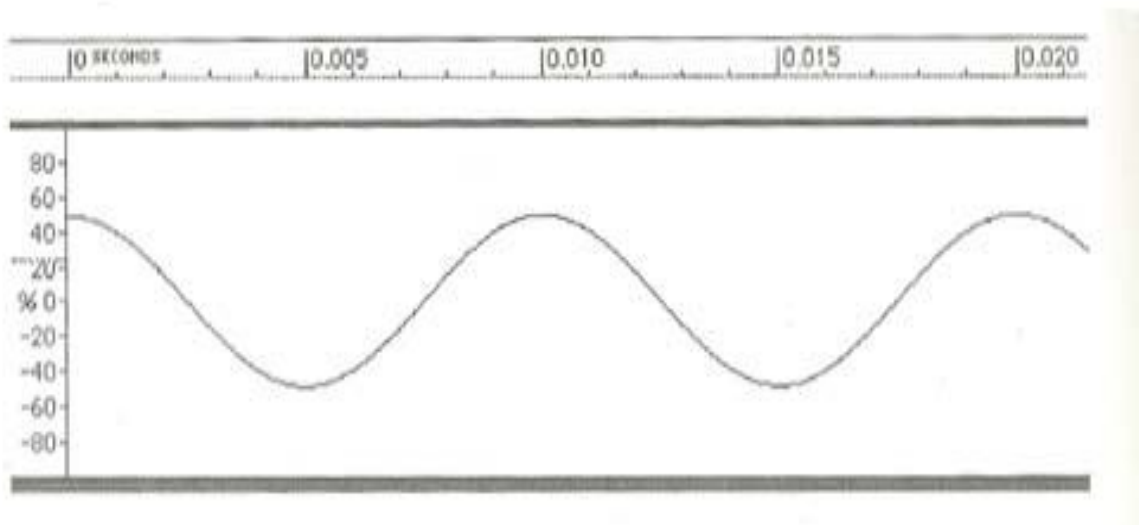
Στην σύντομη εισαγωγή στην ακουστική και στη θεωρία της μουσικής επιχειρούμε να ριζούμε φως στον κόσμο της μουσικής και στα φυσικά του χαρακτηριστικά.

8.1. Τι είναι ο ήχος;

Μια απλή απάντηση στο ερώτημα αυτό είναι η εξής: ήχος είναι κάθε τι που ακούμε. Ο ήχος παράγεται από μια πηγή και συλλαμβάνεται από το αυτί μας. Όμως για να φτάσει ο ήχος από την πηγή στο δέκτη, πρέπει να μεσολαβήσει ένα φέρον μέσο. Αυτό συνήθως είναι ο αέρας, αλλά μέσο διάδοσης του ήχου είναι και το νερό ή κάποιο στερεό σώμα. Χωρίς μέσο διάδοσης δεν είναι δυνατή η μεταφορά του ήχου. Έτσι για παράδειγμα δεν είναι δυνατή η συνομιλία στο φεγγάρι. Επίσης, το μέσο διάδοσης καθορίζει και τις ιδιότητες του ήχου. Αλλιώς π.χ. ακούγονται οι ήχοι στο νερό, αλλιώς φιλτράρονται και με άλλες ταχύτητες μεταδίδονται.

Εμάς θα μας απασχολήσουν οι ήχοι που συναντάμε στην καθημερινή μας ζωή, αυτοί που διαδίδονται στον αέρα. Όταν ο αέρας πάλλεται, δημιουργούνται κύματα. Αυτές οι κυμάνσεις συλλαμβάνονται ως ήχος. Το πλάτος και η συχνότητα τους διαμορφώνουν το ποιόν του ήχου που ακούγεται, άρα ο ήχος είναι ενέργεια.

Ο απλούστερος τύπος κύμανσης είναι το ημιτόνιο σήμα. Αυτό αντιστοιχεί σε μία μόνο συχνότητα, και περισσότερο αποτελεί ιδανική σύλληψη παρά πραγματική κατάσταση. Στο σχήμα φαίνεται η κύμανση που αντιστοιχεί σε τόνο συχνότητας 100 Hz, δηλαδή 100 περιοδικών κυμάνσεων το δευτερόλεπτο.



8. Ημιτονικό σήμα

8.2 Ημιτονικό κύμα



Το ημιτονικό κύμα είναι περιοδικό σήμα. Αυτό σημαίνει πως ο πρώτος παλμός συνοδεύεται από πολλούς ίδιους παλμούς. Τα περιοδικά κύματα δημιουργούν ήχους που λέγονται τόνοι, όπως είναι οι τόνοι που παράγει μια κιθάρα, ένα πιάνο ή ένα διαπασών. Στην πράξη αυτοί οι ήχοι που παράγονται δεν περιέχουν μόνο μια συχνότητα, αλλά και μερικές ακόμα παραπλήσιες συχνότητες, αλλά μπορούμε να θεωρήσουμε με ικανοποιητική προσέγγιση πως έχουμε πράγματι παραγωγή τόνων.

Ο ήχος όμως των κυμάτων που με δύναμη πέφτουν στην ακρογιαλιά θεωρείται ως θόρυβος, παρά ως τόνος ή τόνοι, γιατί αποτελείται από πληθώρα μη-περιοδικών κυμάνσεων.

Το βασικό σημείο της κύμανσης, είναι η έντασή της, δηλαδή το πλάτος της. Όσο μεγαλύτερο το πλάτος, τόσο ισχυρότερα ακούγεται ο ήχος. Φυσική μονάδα μέτρησης του ήχου είναι το decibel (dB). Η κλίμακα μέτρησης των dB είναι λογαριθμική, γιατί το ανθρώπινο αυτί συλλαμβάνει την ένταση του ήχου λογαριθμικά, δηλαδή μπορεί και ακούει ήχους που ποικίλουν σημαντικά σε ένταση, το ίδιο καλά. Δε θα υπεισέλθουμε στις λεπτομέρειες των λογαριθμικών κλιμάκων. Απλώς θα πούμε ότι η κλίμακα αυτή είναι συγκριτική και σήματα που διαφέρουν 3 dB έχουν διπλάσια ένταση το ισχυρότερο σε σχέση με το ασθενέστερο. Επίσης, για τη μέτρηση ισχύος κάθε σήματος λαμβάνεται συγκριτική στάθμη βαθμονόμησης τα 10 ή 12 Watt που αντιστοιχεί σε ηχητικό σήμα μη-αντιληπτό από το αυτί μας. Ένας άλλος λόγος χρήσης λογαριθμικής κλίμακας είναι το γεγονός ότι το ανθρώπινο αυτί αντιλαμβάνεται τεράστιο εύρος έντασης ηχητικών σημάτων και μόνο με τη χρήση λογαριθμικής κλίμακας μπορούμε να έχουμε συνοπτική εικόνα των εντάσεων.

Ο ήχος, όπως τον αντιλαμβανόμαστε καθημερινά, δεν έχει ως άμεσα αντιληπτό μέγεθος μόνο την ένταση. Κάτι άλλο που αντιλαμβανόμαστε ευθύς αμέσως είναι η συχνοτική συμπεριφορά του σήματος που μας επιτρέπει να κατατάξουμε τις φωνές σε μπάσες ή οξείες και τους ήχους σε στριγγλούς ή μουντούς.

Το δεύτερο βασικό λοιπόν γνώρισμά του ηχητικού σήματος είναι η συχνότητά του.

Ο αριθμός των παλμικών δονήσεων το δευτερόλεπτο είναι η συχνότητα του σήματος και μετριέται σε Hertz (Hz).

Για τον μουσικό κόσμο η συχνότητα των 440 Hz είναι πολύ σημαντική. Η συχνότητα αυτή αντιστοιχεί στη νότα Λα1 (A1). Τα περισσότερα μουσικά όργανα κουρδίζονται με βάση αυτή τη συχνότητα.

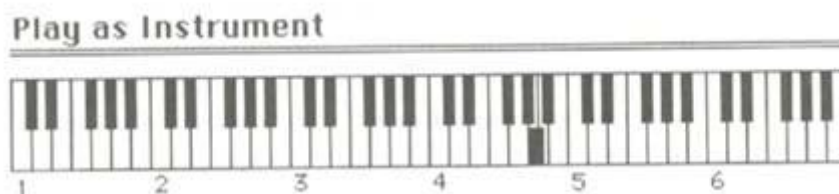
Το ανθρώπινο αυτί μπορεί να αντιληφθεί ήχους από 20 Hz ως 20 KHz. Αυτό το συχνοτικό εύρος διαφέρει από άτομο σε άτομο, ειδικά στο πάνω κατώφλι του. Επίσης οι συνεχείς θόρυβοι που βομβίζουν τα αυτιά μας στις πόλεις και η πάροδος του χρόνου αμβλύνουν ακόμα περισσότερο το συχνοτικό εύρος της αντίληψης των ήχων από τα αυτιά μας.

Πάντως οι πιο χρήσιμες συχνότητες βρίσκονται κάτω από τα 10 KHz. Εκεί εντοπίζονται οι συχνότητες που έχουν να κάνουν με την ομιλία, την μουσική ακόμα και με τους διάφορους θορύβους.

Ο παρακάτω πίνακας δίνει μια ιδέα για το συχνοτικό περιεχόμενο διαφόρων ηχητικών πηγών.

όργανο	Συχνοτικό εύρος (σε Hz)
Ανθρώπινη φωνή	70-2000
Πιάνο	30-3500
Βιολί	200-3000
Φλάουτο	260-3000
Εκκλησιαστικό όργανο	16-4000

Ένας τόνος με συχνότητα 220 Hz και ένας με συχνότητα 880 Hz είναι τόνοι που αντιστοιχούν στη νότα Λα. Αν και αντιστοιχούν στη νότα Λα και οι δύο, εντούτοις ο ένας είναι μια οκτάβα κάτω από την Λα1 και ο άλλος μία οκτάβα παραπάνω.



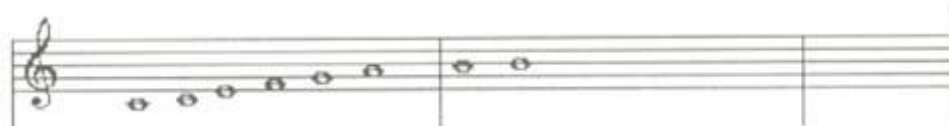
Αυτή η διάταξη των νότων του **παραπάνω σχήματος** δείχνει μια βασική μουσική αρχή: κάθε διπλασιαζόμενη συχνότητα αντιστοιχεί στην ίδια ακριβώς νότα, μόνο που αυτή είναι μια οκτάβα υψηλότερη. Συνεπώς ο λόγος συχνοτήτων των βασικών νότων (νότα Ντο) δύο διαδοχικών οκτάβων είναι 1:2.

Μερικές χαρακτηριστικές σχέσεις μεταξύ νότων και οι λόγοι των συχνοτήτων τους, δηλαδή τα διάφορα μουσικά διαστήματα, αναγράφονται στον παρακάτω πίνακα:

Διαστήματα	Νότες	παράδειγμα
Βασικές νότες	1:1	Ντο □ ντο
Ελάχιστη (μινόρε) τρίτης	5:6	Ντο □ μι δίεση
Μέγιστη (ματζόρε) τρίτης	4:5	Ντο □ μι
Τετάρτης	3:4	Ντο □ φα
Πέμπτης	2:3	Ντο □ σολ
Ελάχιστη (μινόρε) έκτης	5:8	Ντο □ λα ύφεση
Μέγιστη (ματζόρε) έκτης	3:5	Ντο □ λα
Οκτάβα	1:2	Ντο □ ντο □

Οι σύγχρονες μουσικές κλίμακες αποτελούνται από επτά βασικούς τόνους και πέντε ημιτόνια. Οι επτά βασικοί τόνοι σχηματίζουν ή ολόκληρα διαστήματα (ντο-ρε, ρε-μι, φα-σολ, σολ-λα, λα-σι) ή ημιτόνια (μι-φα, σι-ντο).

Κάθε μια από τις νότες αυτές μπορεί να ανέλθει συχνοτικά και να σχηματιστεί η ίδια νότα σε **δίεση** (#) ή να κατέλθει και να σχηματιστεί η ίδια νότα σε **ύφεση** (b). Στο πεντάγραμμο πρώτα είναι η νότα σε ύφεση, μετά η ίδια η νότα και μετά η δίεσή της. Θεωρητικά, μια νότα σε δίεση και η επόμενη της σε ύφεση δεν είναι το ίδιο πράγμα. Δηλαδή το Ρε δίεση (D#) και το Μι ύφεση (Eb) έχουν παραπλήσια συχνότητα, αλλά όχι ακριβώς την ίδια.



Για ευκολία στην μουσική εκτέλεση (ειδικά στα όργανα με πλήκτρα, όπως το πιάνο) χρησιμοποιούνται οι συγκερασμένες κλίμακες, όπου η δίεση μιας νότας και η ύφεση της επόμενης της αποδίδονται στην ίδια συχνότητα και συνεπώς χρειάζεται ένα πλήκτρο γι' αυτές. Έτσι, τα όργανα αυτά έχουν 12 νότες ανά οκτάβα. Η απώλεια αυτού του συγκερασμού δεν είναι μεγάλη γιατί ακουστικά αυτός ο συμβιβασμός δεν είναι εύκολα αντιληπτός.

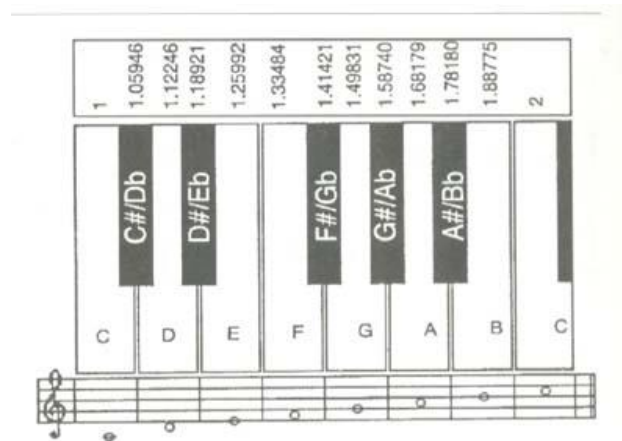
Σε μερικά όργανα όπως το βιολί που δεν έχει τάστα, μπορεί κανείς να αποδώσει ξεχωριστά για παράδειγμα το Ρε δίεση (D#) και το Μι ύφεση (Eb).

Όλα αυτά που είπαμε τα βλέπουμε συγκεντρωμένα στο σχήμα που φαίνεται η συγκερασμένη κλίμακα. Για να βρούμε την ακριβή συχνότητα κάθε νότας αρκεί να πολλαπλασιάσουμε τη συχνότητα της θεμελιώδους της οκτάβας (Ντο-C) με το νούμερο που αναγράφεται πάνω από κάθε νότα.

Για παράδειγμα το σολ δίεση έχει συχνότητα:

1.58740 * τη συχνότητα του ντο.

Όλα όσα αναφέρθηκαν μέχρι στιγμής είναι αρκετά για να χειρίζεται κανείς με άνεση εργαλεία προγραμμάτων ήχου που στηρίζουν τη λειτουργία τους σε πεντάγραμμα ή πλήκτρα σαν του πιάνου.



8.1 Πλήκτρα πιάνου

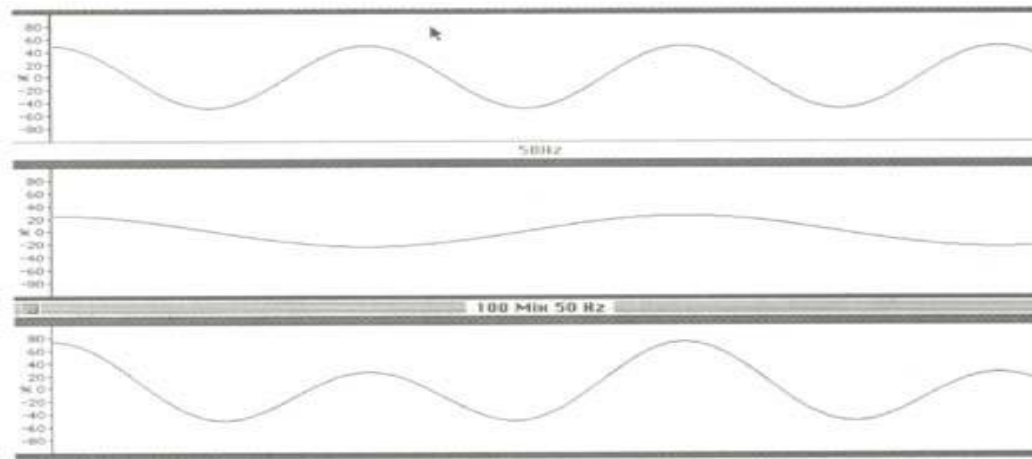
8.3. Το ηχόχρωμα

Η συχνότητα δεν είναι το μόνο χαρακτηριστικό γνώρισμα κάθε ήχου. Για παράδειγμα, μπορούμε να παίξουμε τη νότα Λα1, που αντιστοιχεί στα 440 Hz, με κιθάρα και με φλάουτο. Το άκουσμα της ίδιας νότας είναι εντελώς διαφορετικό σε κάθε μουσικό όργανο. Αυτό οφείλετε στο γεγονός ότι εκτός από τον τόνο των 440 Hz, που είναι καθαρά ημιτονικό σήμα, παράγονται και διαφορετικές αρμονικές αυτής της συχνότητας, διαφορετικές για κάθε όργανο. Σε αυτές οφείλετε και το διαφορετικό ηχόχρωμα του κάθε οργάνου.

Έτσι όταν ένα όργανο παράγει τον θεμελιώδη τόνο των 440 Hz, παράγονται με μικρότερη ένταση και οι τόνοι των 880 Hz, 1320 Hz, 1760 Hz ...

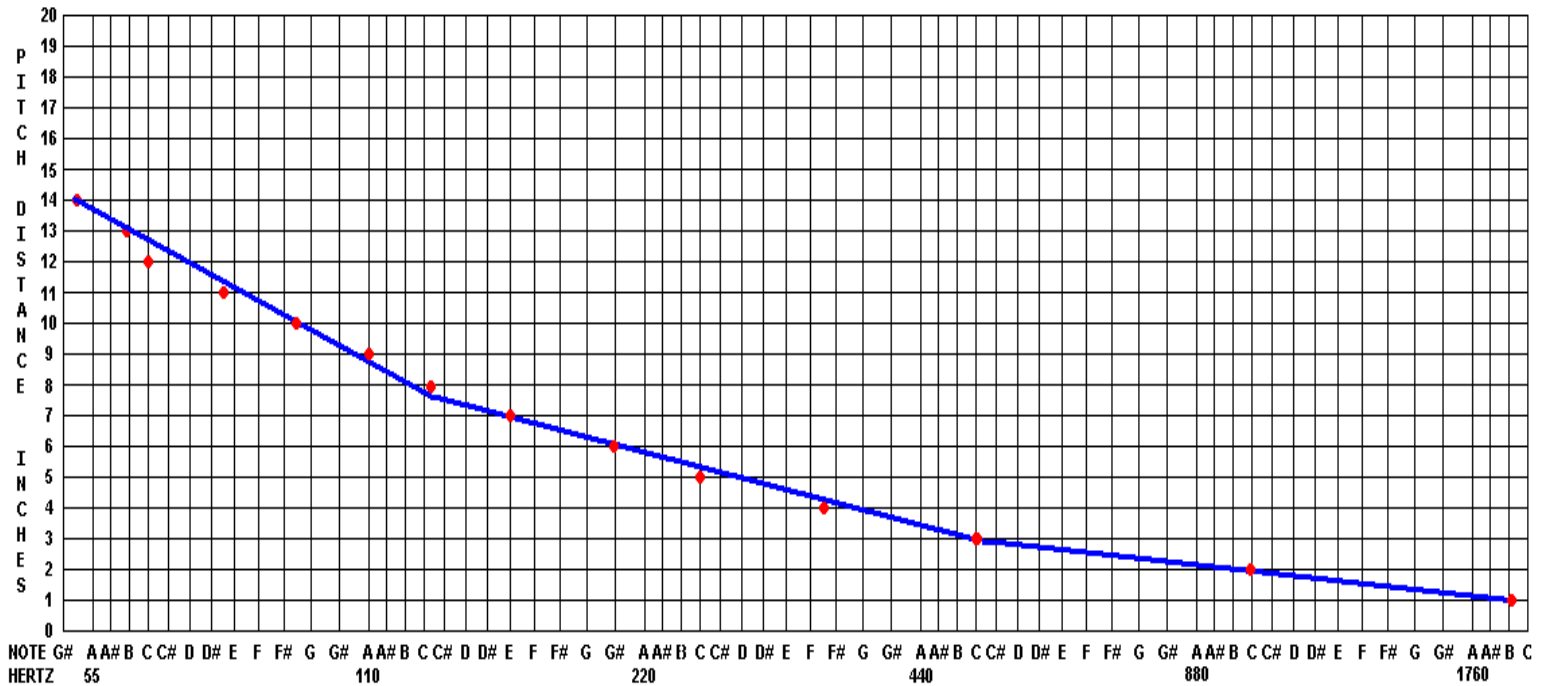
Παρόλο που οι αρμονικές χαρακτηρίζουν τελικά τον ήχο, η θεμελιώδης συχνότητα καθορίζει το όνομα της νότας που παίζουμε.

Το τι μορφή θα έχει η υπέρθεση ενός τόνου με μία αρμονική το βλέπουμε στο επόμενο σχήμα, όπου ένα ημιτονικό σήμα 100 Hz συνδυάζεται με ένα άλλο διπλάσιας συχνότητας αλλά με πλάτος το μισό του πρώτου.



8.2. Μίξη δυο σημάτων

Στα πιο πολλά διαγράμματα επεξεργασίας ήχου έχουμε τη δυνατότητα να δημιουργήσουμε ήχους συνδυάζοντας διάφορους τόνους. Συνήθως αυτή η διεργασία ονομάζεται **FM σύνθεση** και περιέχει και τη δυνατότητα για διαμόρφωση της συχνότητας συν τοις άλλοις. Από εκεί άλλωστε προέρχεται και το όνομά της (frequency modulation).



MINIMUM THEREMIN RESPONSE TO HAND DISTANCE

© 2006 HARRISON INSTRUMENTS, INC.
SILVER SPRING, MD USA

8.3 Η ανταπόκριση του οργάνου **Theremin** σε σχέση με την απόσταση του παίκτη φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα.

8.4 Ακουστό φάσμα

Ως **Ακουστό φάσμα** περιγράφεται το διάστημα μεταξύ της μικρότερης και της μεγαλύτερης συχνότητας ήχου που μπορεί να ακούσει ένας άνθρωπος ή ένα ζώο. Στους ανθρώπους το ακουστό φάσμα εκτείνεται κατά προσέγγιση από τα 20 Hz έως τα 20 KHz (20.000 Hz). Ωστόσο, υπάρχουν σημαντικές διαφορές στο φάσμα μεταξύ ατόμων, ειδικά στην περιοχή των ψηλών συχνοτήτων, στην οποία παρατηρείται και η μεγαλύτερη ανομοίωση ανάλογα με την ηλικία του ατόμου. Η ευαισθησία στον ήχο εξαρτάται επίσης από την συχνότητα, όπως δείχνουν οι Καμπύλες ίσης ακουστότητας. Η εξέταση των ορίων του ακουστού φάσματος και της σταδιακής αλλοίωσής τους περιλαμβάνει το ακούγραμμα, κατά το οποίο εκπέμπονται ήχοι διαφορετικών συχνοτήτων σε σταδιακά μειωμένη ένταση.

Προσδιορισμός των ακουστών ορίων

Στους ανθρώπους, η εξέταση ακουστικού φάσματος γίνεται με χρήση του ακουγράφου, ο οποίος επιτρέπει την εκπομπή ήχων σε διαφορετικές συχνότητες προς τον εξεταζόμενο. Οι ήχοι μεταφέρονται σε ειδικά ρυθμισμένα ακουστικά, σε προκαθορισμένες και προτυποποιημένες εντάσεις. Οι συνδυασμοί συχνότητας και έντασης του κάθε ήχου που εκπέμπεται ακολουθούν την καμπύλη ελάχιστης ακουστότητας, η οποία αναπαριστά την «κανονική» ακοή. Δεν υπάρχουν καθολικά αποδεκτοί συνδυασμοί συχνότητας και έντασης, καθώς διαφορετικά διεθνή πρότυπα ορίζουν την καμπύλη ελάχιστης ακουστότητας με διαφορετικό τρόπο. Για παράδειγμα, το πρότυπο ASA-1951 χρησιμοποιεί το επίπεδο 16.5 dB SPL (Sound Pressure Level) στα 1 kHz, ενώ το μεταγενέστερο πρότυπο ANSI-1969/ISO-1963 χρησιμοποιεί το 6.5 dB SPL, και προβλέπει σφάλμα/διόρθωση 10 dB για ηλικιωμένους ανθρώπους.

Τα ακουστά όρια ανθρώπων οι οποίοι δεν μπορούν να αντιδράσουν πλήρως σε μια ακουομετρική εξέταση, αλλά και άλλων θηλαστικών, μπορούν να βρεθούν είτε με εξετάσεις αλλαγής της συμπεριφοράς είτε με εξετάσεις φυσιολογίας. Μπορεί να ληφθεί ένα ακούγραμμα μέσω μιας συμπεριφορικής εξέτασης, η οποία ονομάζεται Ακουομετρία. Στους ανθρώπους, η εξέταση περιλαμβάνει την εκπομπή διαφορετικών ηχητικών τόνων καθορισμένης συχνότητας και έντασης. Όταν ο εξεταζόμενος ακούσει τον ήχο, αντιδρά κάνοντας μια κίνηση (συχνά ύψωση του χεριού, ή πάτημα ενός κουμπιού). Από τον εξεταστή καταγράφεται ο ακουστός ήχος με την χαμηλότερη ένταση. Στα παιδιά, ως αντίδραση στον ακουστό ήχο παρατηρείται κάποια κίνηση του σώματος, ή κάποια συγκεκριμένη χρήση ενός παιχνιδιού, για την οποία το παιδί έχει προηγουμένως εκπαιδευτεί. Στα ζώα χρησιμοποιείται παρόμοια συμπεριφορική εξέταση, κατά την οποία το εξεταζόμενο μπορεί να επιβραβευτεί με φαγητό όταν αντιδρά στον ήχο.

Οι εξετάσεις φυσιολογίας δεν απαιτούν την εσκεμμένη αντίδραση του εξεταζόμενου. Για παράδειγμα, εξετάζονται οι αντιδράσεις του εγκεφάλου του εξεταζόμενου όταν ένας ήχος φτάνει στο αυτί. Οι πληροφορίες για την ακοή διαφόρων θηλαστικών, έχουν αποκτηθεί κυρίως από εξετάσεις συμπεριφοράς.

9. Το Theremin στην βιομηχανία της μουσικής και του σινεμά.

Στη δεκαετία του 50 αρκετοί σκηνοθέτες εκμεταλλευόμενοι τον ιδιόρρυθμο και ολίγον τι ανατριχιαστικό ήχο του, το χρησιμοποίησαν σε ταινίες τρόμου και επιστημονικής φαντασίας αλλά και σε B-movies .

Ενδεικτικά αναφέρω ταινίες που άφησε το στίγμα του το μουσικό όργανο Theremin:

- "The Day the Earth Stood Still" (1951),
- "It Came From Outer Space" (1953)
- "The Lost Weekend" (1945, σε σκηνοθεσία του Billy Wilder και μουσική του Miklos Rozsa),
- "Forbidden planet" (1956, με την μουσική του Bebe Barron)
- "Spellbound" (σε σκηνοθεσία του Hitchcock)

Στην πιο σύγχρονη εποχή το χρησιμοποίησε ο Danny Elfman στην ταινία του Tim Burton "Mars Attacks" (1996), η οποία ήταν μάλιστα μια παρωδία των sci-fi ταινιών των 50s.

Στα 60s ο ψυχεδελικός άλλα ταυτόχρονα απόκοσμος ήχος του Theremin γοήτευσε πολλούς ανήσυχους μουσικούς που έψαχναν κάτι καινούργιο στον ήχο . Στην διάδοση του συνέβαλε και ο γνωστός Robert Moog, ο οποίος άρχισε να κατασκευάζει μαζικά Theremins (ακόμη και σήμερα έχει εταιρεία που φτιάχνει Theremins). Έτσι μουσικοί όπως οι Beach Boys, οι Led Zeppelin, οι Bonzo Doo Dah Dog Band, ο Captain Beefheart χρησιμοποίησαν το theremin για την ενσάρκωση των μουσικών τους ονείρων. Στη συνέχεια όμως τα "λουλούδια" μαράθηκαν, τα ναρκωτικά έγιναν σκληρότερα, μαζί και η μουσική, και το theremin πέρασε στην αφάνεια μαζί με όλη την εποχή. Για σχεδόν είκοσι χρόνια παρέμεινε στην αφάνεια.



9.1. Ο κιθαρίστας των Led Zeppelin Jimmy Page χρησιμοποιώντας το Theremin στο σόλο του.

Η μόδα όμως της επιστροφής στον αναλογικό πρωτόγονο ήχο που σάρωσε το δεύτερο μισό των 90s έφερε το Theremin πάλι στο προσκήνιο. Σ' αυτό συνέβαλε και ένα ντοκιμαντέρ του Steven Martin με τίτλο "Theremin: An Electronic Odyssey" του 1993, το οποίο και ανακίνησε το ενδιαφέρον με αποτέλεσμα πλήθος καλλιτεχνών να το χρησιμοποιήσουν στις ηχογραφήσεις τους (βλ. παρακάτω). Το theremin υπήρξε ίσως το πρώτο ηλεκτρονικό όργανο και άνοιξε τον δρόμο για την κατασκευή και άλλων "παράξενων" οργάνων όπως το Ondes-Martenot το οποίο και χρησιμοποιούσε την τεχνική του Theremin, και όπου με ένα δαχτυλίδι που φορούσε ο εκτελεστής μπορούσε να παραλλάσει την νότα που έπαιζε (χρησιμοποιήθηκε κυρίως από τον γνωστό Edgard Varese). Σαν όργανο όμως είναι απίστευτα δύσκολο στην εκμάθηση (θεωρείται μάλιστα το ...Εβερεστ των οργάνων, ενώ μια στατιστική αναφέρει ότι το 90% όσων παίζουν theremin τα παρατάει μέσα σε 6 μήνες). Η δυσκολία του έγκειται στο ότι δεν υπάρχει άμεση επαφή με το όργανο και έτσι απαιτείται σταθερό χέρι, απόλυτη ακρίβεια και έλεγχος στην κίνηση αλλά και απόλυτη ακινησία του υπόλοιπου σώματος. Έχει όμως τεράστιες δυνατότητες καθώς μπορεί να φτάσει ένα εύρος οκτώ οκτάβων! Η κορυφαία του Theremin είναι (ήταν δηλαδή) η Clara Rockmore (1911-1998), μαθήτρια (και παρ' ολίγον γυναίκα) του εφευρέτη, η οποία έβγαλε και αρκετούς δίσκους για solo theremin καταφέροντας να παίξει ολόκληρες μελωδίες από συμφωνικά έργα και όχι απλώς ηχητικά συνοδευτικά εφέ! Η διάδοχος της σήμερα θεωρείται η Lydia Kavina, ανιψιά του Theremin!

9.1 Καλλιτέχνες που χρησιμοποίησαν τον Theremin στην μουσική.

Ακολουθεί ένα χαρακτηριστικό δείγμα τραγουδιών στα οποία κάνει την εμφάνιση του το Theremin.

1. Good Vibrations - Beach Boys

Δικαιωματικά καταλαμβάνει την πρώτη θέση. Όχι μόνο ο ήχος του theremin είναι διαυγής και σαφής και δίνει το κύριο χρώμα στον ήχο (αν και στην πραγματικότητα δεν ήταν ακριβώς theremin αλλά ένα theremin-οειδές όργανο ονόματι tannerin), αλλά είναι και το πιο επιτυχημένο! No 1 και στις δυο πλευρές του Ατλαντικού το 1966. Και είναι και η αιτία για την οποία οι **Beach Boys** καταλαμβάνουν κάποιες σειρές στα κιτάπια της ιστορίας της ηλεκτρονικής μουσικής!

2. Sleep - Godspeed You Black Emperor

Το εκπληκτικό κομμάτι που ανοίγει το 2ο δίσκο του άλμπουμ "Lift Your Skinny Fists Like Antennas to Heaven". σημαδεύεται από τον ανατριχιαστικό απόμακρο ήχο του theremin που μοιάζει να έρχεται από τα βάθη της μνήμης και επιτείνει το νοσταλγικό κλίμα.

3. Whole Lotta Love - Led Zeppelin

Οι New **Yardbirds** μεταλάσσονται σε **Led Zeppelin** και ο ήχος του ροκ μεταλάσσεται σε κάτι πιο σκληρό και αιχμηρό. Εμβληματικό κομμάτι, στο μεταίχμιο μιας εποχής, από το group του Jimmy Page. Με το theremin να συμβάλει σημαντικά στο σόλο στη μέση του κομματιού.

4. Electricity - Captain Beefheart and the Magic Band

Ο **Captain Beefheart** ηχογραφεί το 1967 τον 1ο του δίσκο, το "Safe as milk". Το theremin κοντράρεται με την ιδιόρρυθμη φωνή του τραγουδιστή.

5. **Mysterons - Portishead**

Πινελιές από το theremin παιγμένο από τον Adrian Utley στοιχειώνουν κυριολεκτικά την ατμόσφαιρα σ' αυτό το αξέχαστο τους live το 1994

6. **Oxygene 10 - Jean Michel Jarre**

Εδώ το Theremin χάρηξ τον new age ήχο δημιουργεί εκπληκτικές ηλεκτρονικές ατμόσφαιρες ως εφέ, αλλά παίζοντας και μελωδία.

7. **Velouria – Pixies**

Εδώ το theremin κρύβεται διακριτικά κάτω από στρώσεις κιθαριστικού θορύβου.

8. **Echoes - Pink Floyd**

Οι **Pink Floyd** δημιουργούν ένα 23λεπτο μουσικό ταξίδι το οποίο πιάνει μια ολόκληρη πλευρά στο δίσκο έχοντας το Theremin να δημιουργεί εκπληκτικές ηλεκτρονικές ατμόσφαιρες.

9. **Metal fingers in my body - Add N To X**

Ίσως είναι το group που έχει τιμήσει με το παραπάνω την εφεύρεση του Theremin. Έχει μάλιστα ως μόνιμο μέλος του τον πολύ καλό "θερεμινοπαίχτη" Steven Claydon.

10. **Race for Prize - Flaming Lips**

Το theremin παλεύει να ακουστεί "δυναστευόμενο" από τα πλούσια ψυχεδελικά έγχορδα αφήνοντας απλά μουσικά εφέ.

Επίσης theremin έχει ακουστεί στα:

- "Jacky Cane" - Hooverphonic,
- "Saturn III" - Fu Manchu,
- "Get your freak on" - Missy Elliott
- "Cup of coffee" - Garbage,
- "Astronaut" - David Byrne
- "Little people" - White Stripes,
- "Ego brain" - System of a Down..... **Και ασφαλώς σε πολλά ακόμη...**



9.2. Το Theremin παιγμένο από τον Adrian Utley στο κομμάτι **Mysterons** των **Portishead** (1994)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Γεώργιος Ε. Χατζαράκης, «Ηλεκτρικά Κυκλώματα», Εκδόσεις Τζιόλα 2001
- Κ.Α Καρύμπακα, «Γενική Ηλεκτρονική, τόμος Α», Θεσσαλονίκη 2001
- Κ.Α. Καρύμπακα, «Γενική ηλεκτρονική, τόμος Β», Θεσσαλονίκη 2001
- Collins, N. (2006). Handmade electronic music: the art of hardware hacking. Taylor & Francis.
- Jensenius, A. R., Koehly, R., & Wanderley, M. M. (2006). In Computer Music Modeling and Retrieval (pp. 123-129), Springer Berlin Heidelberg.
- Kraus, J. (1998). Κεραίες. Τζιόλας. [ISBN 960-7219-63-5](https://www.isbn-international.org/product/960-7219-63-5)
- Theremin Kit: <http://www.harrisoninstruments.com/>
- Ολοκληρωμένα κυκλώματα, Texas instruments : <http://www.ti.com/>
- Τζεδάκη, Κ. (2011). “Ηλεκτρονικά Μουσικά Όργανα”
- Μαρκόπουλος, Δ. (1981). Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα ΙΙ: (Μικροκύματα-Κεραίες-Διάδοση-Ραντάρ-Ραδιοζεύξεις). Παπασωτηρίου.
- Θέρεμιν - Βικιπαίδεια : <http://el.wikipedia.org/wiki/Θέρεμιν>
- Ηλεκτρονικός ταλαντωτής : http://wikipedia.qwika.com/en2el/Electronic_oscillator
- Αρχή λειτουργίας του ταλαντωτή Theremin : <http://oceanis.lib.teipir.gr>
- Ποτενσιόμετρο : <http://el.wikipedia.org/wiki/ποντεσιόμετρο>
- Sensor : <http://en.wikipedia.org/wiki/Sensors>
- Λογικές πύλες, Πύλη NOT : http://el.wikipedia.org/wiki/Λογική_πύλη
- Ηχητικό φάσμα : www.eugenfound.edu.gr
- Ηχητικές πηγές : www.kalogeropoulos.gr
- Ηλεκτρονικά εξαρτήματα και πυκνωτές : <http://www.ee.teihal.gr/lessons>

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ ιδιαίτερα :

Τους γονείς μου Μανόλη και Νίτσα Ρεπάνη για την στήριξη τους ,την υπομονή τους καθώς και την βοήθεια τους στην υλοποίηση της πτυχιακής μου εργασίας.

Τους καθηγητές μου Ανδρέα Κατσαΐτη και Λάμπρο Μπισδούνη για την βοήθεια τους, τις συμβουλές τους και την θετική τους ενέργεια κάθε φορά που ερχόμασταν σε επαφή μαζί.

Τον κ. Μανόλη Μανδαμαδιώτη για την βοήθεια του σε θέματα ηλεκτρονικής.

Την Ελπισία Σπαθάρη για την βοήθεια της και τις συμβουλές της σε σχεδιαστικά και κατασκευαστικά θέματα.

Τους εργαζόμενους της βιβλιοθήκης της σχολής για την παροχή διαδικτύου και χώρου για την υλοποίηση του γραπτού μέρους της πτυχιακής εργασίας.

Όλους τους φίλους και συμφοιτητές μου για το ενδιαφέρον και την στήριξη τους.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστώ όλο το τμήμα, φοιτητές και υπεύθυνους που το απαρτίζουν, για την παραχώρηση των εργαστηριακών χώρων της σχολής.

Η πτυχιακή αυτή εργασία αφιερώνεται στους γονείς μου.

..