



**ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ**  
**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

με θέμα

***PLASMA SPEAKER***



από την **Μπελεγάκη Χρυσάνθη (4895)**  
και τον **Βαρβαρέζο Δημήτρη (4916)**

Εκπονήθηκε υπό την επίβλεψη του Καθηγητή  
**Δρ. Μιχαήλ Ταταράκη**

Χανιά, Απρίλιος 2021

Η φοιτήτρια Μπελεχάκη Χρυσάνθη δηλώνει υπεύθυνα ότι το κείμενο της παρούσας πτυχιακής αποτελεί προϊόν προσωπικής μελέτης και εργασίας και ότι όλες οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν για τη συγγραφή και τη σύνταξη της δηλώνονται κατάλληλα τόσο στο σώμα του κειμένου όσο και στη βιβλιογραφία. Επίσης δηλώνω υπεύθυνα ότι γνωρίζω πως η λογοκλοπή αποτελεί σοβαρότατο παράπτωμα και ότι είμαι ενήμερη για την επέλευση των νόμιμων συνεπειών.

## ***ΠΕΡΙΛΗΨΗ***

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία παρουσιάζεται η αρχή λειτουργίας και η εκπόνηση της κατασκευής ενός μεγαφώνου πλάσματος, καθώς και οι διαφορές στον τρόπο λειτουργίας και στο εύρος συχνοτήτων σε σχέση με τα συμβατικά μεγάφωνα.

Τί είναι όμως ένα ηχείο πλάσματος; Το ηχείο πλάσματος είναι ένα ιονόφωνο, δηλαδή είναι μια συσκευή που μετατρέπει ένα ηλεκτρικό σήμα σε ακουστικές δονήσεις πλάσματος. Τα ιονόφωνα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη γενιά υπερηχητικών κυμάτων, όπως ακριβώς ένα μεγάφωνο. Τα ιονόφωνα είναι για το πλάσμα ό,τι είναι και τα μεγάφωνα για τον αέρα. Επειδή η ακουστική αντίσταση του αέρα και του πλάσματος είναι παρόμοιες, ένα ιονόφωνο θα λειτουργεί καλά ως μεγάφωνο όταν θα είναι κατάλληλα συζευγμένο με τον αέρα.

Σε αντίθεση με ένα συμβατικό μεγάφωνο που έχει ένα στέρεο υλικό (κόνιο), το οποίο κινείται για να ωθήσει τον αέρα, το πλάσμα (ιονισμένο αέριο) παράγει ήχο σε ένα διάκενο σπινθήρα. Συνήθως ένα υψηλής συχνότητας (υπερηχητικό) ηλεκτρικό τόξο είναι εγκατεστημένο, και στη συνέχεια διαμορφώνεται από ακουστικές συχνότητες.

## ***ABSTRACT***

This thesis presents the basic principles and the development of a plasma speaker as well as the differences in the operation and frequency range in comparison with conventional speakers.

A plasma speaker is an ionophone, a transducer which converts an electric signal to acoustic vibrations. Ionophones can be used in the design of the new generation of ultrasonic waves, as well as in loudspeakers. Ionophones are to the plasma what loudspeakers are to the air. Since acoustic resistance of the air is similar to that of the plasma, an ionophone functions efficiently when it is coupled with the air.

Contrary to a conventional speaker which utilizes a stiff cone moving back and forth pushing the air to create sound vibrations, in plasma speakers sound is produced by plasma (ionized air) in a spark gap, where a high frequency (ultrasound) electric arc is modulated by acoustic frequencies.

## ***ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ***

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στη Σχολή Εφαρμοσμένων Επιστημών στο Τμήμα Ηλεκτρονικών Μηχανικών του Ελληνικού Μεσογειακού Πανεπιστημίου. Για την εκπόνηση αυτής της εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους βοήθησαν καθόλη τη διάρκεια της προσπάθειάς μου.

Πρώτα απ' όλα , θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέπον καθηγητή της εργασίας μου Δρ. Μιχαήλ Ταταράκη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και που με ενέπνευσε για την επιλογή του θέματος. Εν συνεχεία θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου Δρ. Ιωάννη Χατζάκη για την βοήθεια και την στήριξη που μου παρείχε σε όλες τις τεχνικές δυσκολίες που συνάντησα μέχρι το τέλος της εργασίας μου. Η καθοδήγησή του ήταν καταλυτική και απολύτως απαραίτητη για την τελική επίτευξη του στόχου της εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους απόφοιτους φοιτητές του τμήματος και φίλους, Τζαγκαράκη Λεωνίδα και Χατζηδάκη Γεώργιο, για την πολύτιμη βοήθειά τους και τις ιδέες τους πάνω στον σχεδιασμό και στην κατασκευή των τμημάτων της εργασίας. Η βοήθειά τους ήταν πολύ σημαντική και ουσιαστική καθόλη τη διάρκεια της προσπάθειάς μου.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου που με στήριξε καθ' όλη την ακαδημαϊκή μου πορεία μέχρι τέλους και ιδιαίτερα στην προσπάθεια αυτή, καθώς επίσης και όλους τους φίλους και αγαπημένους μου ανθρώπους για την υπομονή τους και την υποστήριξη που μου έδωσαν.

## **ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**

<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....</b>	<b>3</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>4</b>
<b>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ .....</b>	<b>5</b>
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>8</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Θεωρητικό Υπόβαθρο Μεγαφώνου Πλάσματος .....</b>	<b>9</b>
1.1 Βασική Αρχή Λειτουργίας.....	9
1.1.1 Ιστορική αναδρομή.....	10
1.1.2 Σύγχρονοι τύποι ηγείων πλάσματος.....	12
1.2 Φαινόμενο ηλεκτρικής εκκένωσης κορώνας .....	14
1.2.1 Προβλήματα που προκαλούν οι κορώνες εκκένωσης.....	15
1.2.2 Μηχανισμός της κορώνας εκκένωσης.....	16
1.2.3 Διαχωρισμός σε θετικές και αρνητικές κορώνες.....	20
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Σχεδίαση και Κατασκευή Μεγαφώνου Πλάσματος .....</b>	<b>23</b>
2.1 Μπλοκ Διάγραμμα Μεγαφώνου Πλάσματος- Αρχή Λειτουργίας του κυκλώματος.....	23
2.2 Σχεδίαση και Περιγραφή του Ηλεκτρονικού κυκλώματος.....	30
2.3 Κατασκευή του Μεγαφώνου Πλάσματος.....	35
2.4 PCB.....	39
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Ανάλυση Μετρήσεων – Συμπεράσματα.....</b>	<b>40</b>
3.1 Μετρήσεις από Ψηφιακό Παλμογράφο.....	40

3.2 Συμπεράσματα και Μελλοντική εργασία.....44

**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....45**

## ***ΕΙΣΑΓΩΓΗ***

Το ηχείο πλάσματος είναι μια μορφή μεγαφώνου το οποίο μεταβάλλει την πίεση του αέρα μέσω ενός ηλεκτρικού πλάσματος υψηλής ενέργειας αντί ενός στερεού διαφράγματος. Το ηχείο πλάσματος συνδέεται στην έξοδο ενός ενισχυτή ήχου, και μεταβάλλοντας ορισμένα μεγέθη όπως η εκκένωση κορώνας ή το ηλεκτρικό τόξο, καταφέρνουμε να δημιουργήσουμε κύματα συμπίεσης στον αέρα, τα οποία ο ακροατής αντιλαμβάνεται ως ήχο[1].

Το μεγάφωνο πλάσματος είναι μια εξέλιξη του “μουσικού τόξου” (singing arc) που εφηύρε ο άγγλος φυσικός William Duddell το 1900. Ο ίδιος ουσιαστικά έκανε μια διασκευή ενός λαμπτήρα τόξου άνθρακα - που ήταν γνωστή ως αρκετά θορυβώδης. Ο Duddell βρήκε ότι μεταβάλλοντας την τάση στο τόξο, άλλαζε ο ήχος που παραγόταν.

Πολύ αργότερα ένας συνάδελφος του με το όνομα Siegfried Klein ασχολήθηκε και συντόνισε το τόξο τοποθετώντας το σε ένα μικρό σωλήνα χαλαζία. Συνδέοντας το σωλήνα χαλαζία σε μια κόρνα, ήταν σε θέση να δημιουργήσει ένα μεγάφωνο, ακόμη και ένα μικρόφωνο.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη των τοπολογιών σχεδίασης ενός ηχείου-μεγαφώνου πλάσματος, η επιλογή μίας συγκεκριμένης τοπολογίας σχεδίασης κατόπιν ανάλυσης των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων των επιμέρους τοπολογιών, και τελικά την κατασκευή ενός ηχείου πλάσματος έχοντας ως αποτέλεσμα την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων για την λειτουργία του συστήματος.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Θεωρητικό Υπόβαθρο Μεγαφώνου Πλάσματος

Στην αρχή του κεφαλαίου αυτού γίνεται αναφορά της αρχής λειτουργίας των μεγάφωνων πλάσματος και ποια είναι η διαφορά τους στον τρόπο λειτουργίας με τα συμβατικά μεγάφωνα. Επίσης, αναφερόμαστε στους τύπους ηχείων πλάσματος που υπάρχουν και την δεύτερη υποενότητα του κεφαλαίου γίνεται η περιγραφή του φαινομένου εκκένωσης κορώνας (corona discharge), όπου και βασίζεται η δημιουργία του ακουστικού τόξου που διαμορφώνεται στην έξοδο του μεγάφωνου πλάσματος. Επίσης, σε αυτήν την υποενότητα αναφέρουμε και τον μηχανισμό μιας κορώνας εκκένωσης, καθώς και τον διαχωρισμό της σε θετική και αρνητική κορώνα.

### 1.1 Βασική Αρχή Λειτουργίας

Τα συμβατικά ηχεία είναι κατασκευασμένα χρησιμοποιώντας ένα μαγνήτη και ένα επαγωγέα (πηνίο). Ο επαγωγέας οδηγεί ένα διάφραγμα εμπρός και πίσω για να παράγει ποικίλα κύματα πίεσης. Αυτά τα κύματα πίεσης αποτελούν το ηχητικό κύμα ή απλά τον ήχο. Τα συμβατικά ηχεία έχουν δυσκολίες στην αναπαραγωγή, με ακρίβεια, τετραγωνικών κυμάτων επειδή το διάφραγμα έχει πεπερασμένη μάζα και ως εκ τούτου δεν μπορεί να αλλάξει την κατεύθυνση του ακαριαία. Αντίθετα ένα ηχείο (τόξου – arc) πλάσματος λειτουργεί με θέρμανση αερίου προερχόμενη από διαφορετικά επίπεδα τάσης-ενέργειας, για να παράγει ένα συνεχώς κυμαινόμενο κύμα πίεσης. Το ηλεκτρικό τόξο θερμαίνει τον αέρα που περιβάλλει το τόξο. Το φαινόμενο ακολουθεί τον ιδανικό νόμο των αερίων (Εξ. 1).

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \text{ (Εξ. 1)}$$

Όπου:

P είναι ή πίεση

$V$  είναι ο όγκος (volume) του αερίου

$n$  είναι το ποσό των μορίων του αέρα (θεωρείται σταθερό)

$R$  είναι η παγκόσμια σταθερά των αερίων

$T$  είναι η απόλυτη θερμοκρασία

Εάν η θερμοκρασία αυξηθεί, ο όγκος ή η πίεση πρέπει επίσης να αυξηθεί. Καθώς το μήκος του τόξου είναι σταθερό, ο όγκος του αερίου που περιβάλλει το τόξο δεν μπορεί να αυξηθεί. Αυτό σημαίνει ότι η πίεση  $P$  πρέπει να αυξηθεί. Αυτή η πίεση του κύματος στη συνέχεια ακτινοβολείται έξω από το τόξο και παρατηρείται ως ήχος. Στις χαμηλές συχνότητες η παραδοχή ενός σταθερού αριθμού μορίων του αέρα δεν είναι απόλυτα έγκυρη και αυτό οδηγεί σε κακή απόκριση στις χαμηλές συχνότητες.

Το κύριο πλεονέκτημα ενός ηχείου πλάσματος αναφορικά με την αναπαραγωγή του ήχου είναι ότι δεν υπάρχει διάφραγμα και ως εκ τούτου καμία μηχανική μάζα, όπως συμβαίνει στα συμβατικά μεγάφωνα. Αυτό σημαίνει ότι ένα ηχείο πλάσματος έχει τη δυνατότητα να αναπαράγει ήχο με υψηλή πιστότητα έως 150 kHz. Ο περιορισμός συχνότητας ενός ηχείου πλάσματος έγκειται στην θερμική μάζα του αερίου, το οποίο και θερμαίνεται κατά την αναπαραγωγή του ήχου. Ωστόσο ο περιορισμός συχνότητας είναι πολύ χαμηλότερος από τον αντίστοιχο σε ένα ηχείο με μηχανικό διάφραγμα χαρτιού.

### 1.1.1 Ιστορική αναδρομή

Το ηχείο πλάσματος δεν είναι μια νέα έννοια. Τα μεγάφωνα ιονισμού ή πλάσματος έχουν εμφανιστεί στην αγορά τα τελευταία εξήντα χρόνια. Το πρώτο μεγάφωνο ιονισμού ήταν μια γαλλική εφεύρεση το Ionophone της Plessey το 1950. Μια δεκαετία αργότερα, κατασκευάστηκε κάτι παρόμοιο και στην Αγγλία από την Fane Acoustics με την ονομασία Ionofane (1960). Στο Ionophone αντί για ηλεκτρικούς σπινθήρες χρησιμοποιούνταν για τον ιονισμό του αέρα ένα σήμα

ραδιοφωνικής συχνότητας που τροφοδοτούσε ένα τύλιγα (πηνίο) γύρω από ένα κύτταρο χαλαζία. Το κύτταρο αυτό είχε διπλά τοιχώματα και στο εσωτερικό υπήρχε ένα κενό αέρα για να μην υπάρχει διαρροή θερμότητας από το κύτταρο. Στο εσωτερικό του κυττάρου υπήρχε ένα ηλεκτρόδιο από πλατίνα που είχε ικανότητες ιονισμού. Το ηλεκτρόδιο αυτό θερμαινόταν από το ραδιοφωνικό σήμα και εξέπεμπε ιόντα από την επιφάνειά του. Μεταβάλλοντας την ραδιοφωνική συχνότητα του ρεύματος θέρμανσης του ηλεκτροδίου άλλαζε ανάλογα και ο ρυθμός ιονισμού μέσα στο κύτταρο, άρα και η συχνότητα του παραγόμενου ηχητικού σήματος. Έτσι είχαμε μεγάφωνα χωρίς καθόλου κινούμενα μέρη που σύμφωνα με τους κατασκευαστές είχαν ιδανική απόδοση.

Από το 1957 κυκλοφορούσαν στην αγορά διάφορα προϊόντα ηχείου πλάσματος που χρησιμοποιούνταν ως tweeter. Τα ηχεία πλάσματος τόξου (plasma arc speakers) που είναι διαθέσιμα μέχρι και σήμερα στην αγορά, μπορούν να ταξινομηθούν στις εξής δύο κατηγορίες: υψηλού κόστους και πιστότητας tweeters και στα hobbyist kit sets.

A) Το ηχείο πλάσματος Hill Type-1 που κυκλοφόρησε στην αγορά το 1978, χρησιμοποιούσε ήλιο ως επικαλυπτόμενο αέριο κατά τρόπο παρόμοιο με έναν συγκολλητή MIG (metal inert gas) που χρησιμοποιεί αέριο αργό για τη βελτίωση της ποιότητας του ηλεκτρικού τόξου. Επειδή το προϊόν απαιτούσε περιοδική επαναπλήρωση της δεξαμενής ηλίου, το προϊόν δεν είχε ζήτηση από τους αγοραστές.

B) Μια άλλη εφεύρεση είναι το Acapella Tweeter, που είναι ακόμα διαθέσιμο σήμερα στην αγορά με κόστος 18.000 δολάρια ΗΠΑ. Το tweeter αυτό έχει απόκριση συχνότητας 5 kHz-50 kHz και μέγιστη στάθμη ηχητικής πίεσης 110 dB σε 1 m.



(A)



(B)

Εικόνες (A): ηχείο πλάσματος Hill Type-1 (1963),

(B): Acapella tweeter

### 1.1.2 Σύγχρονοι τύποι ηχείων πλάσματος

Υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι ηλεκτρικά σταθερών ηχείων πλάσματος. Αυτοί είναι: ηχεία πλάσματος με τόξο συνεχούς ρεύματος (DC arc plasma speakers), με τόξο εναλλασσόμενου ρεύματος (AC arc plasma speakers) και τα ηχεία ιονισμένου αέρα. Τόσο τα ηχεία συνεχούς τόξου, όσο και τα ηχεία εναλλασσόμενου τόξου χρησιμοποιούν υψηλή τάση για να διασπάσουν το αέριο μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων. Μόλις το αέριο έχει διασπαστεί σε αγώγιμη κατάσταση, το ρεύμα διαμορφώνεται έτσι ώστε να απελευθερώνει ποικίλες ποσότητες θερμότητας για την παραγωγή κυμάτων πίεσης.

Ένα ηχείο ιονισμένου αέρα έχει διαφορετική λειτουργία. Σε αυτήν την κατηγορία ηχείων υπάρχουν δύο ηλεκτρόδια, μεταξύ των οποίων δημιουργείται ένα ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο. Τα σωματίδια που έρχονται σε επαφή με την κάθοδο καθίστανται αρνητικά φορτισμένα και ρέουν προς την άνοδο. Η ροή των φορτισμένων σωματιδίων μπορεί να ελεγχθεί μεταβάλλοντας την ισχύ του ηλεκτρικού πεδίου.

Ο τύπος ηχείου πλάσματος που σχεδιάστηκε και παρουσιάζεται σε αυτήν την πτυχιακή εργασία είναι με τόξο εναλλασσόμενου ρεύματος (AC arc plasma speaker).

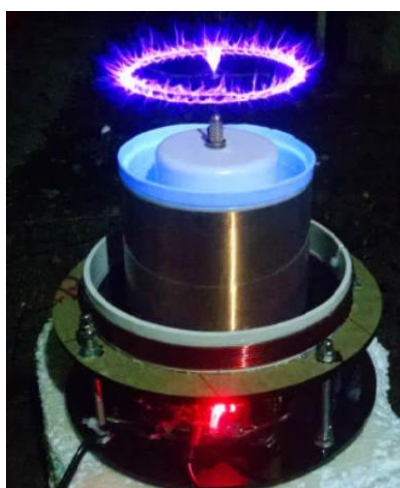
Υπάρχουν δύο υποκατηγορίες ηχείων πλάσματος εναλλασσόμενου τόξου: σταθερών τόξων (fixed arcs) και τύπου Tesla. Τα ηχεία πλάσματος με σταθερά τόξα έχουν δύο ηλεκτρόδια σε απόσταση μεταξύ τους και το ακουστικό τόξο σχηματίζεται μεταξύ αυτών των δύο ηλεκτροδίων, όπως φαίνεται στην εικόνα 1.



Εικόνα 1: Fixed arc

Τα ηχεία τύπου Tesla λειτουργούν με έναν παρόμοιο τρόπο όπως ένα πηνίο Tesla, με το ακουστικό τόξο να διακλαδίζεται προς τον περιβάλλοντα αέρα όπως φαίνεται στην εικόνα 2.

Στην πτυχιακή αυτή επιλέχθηκε η κατασκευή ενός σταθερού τόξου πλάσματος.



Εικόνα 2: Tesla arc plasma speaker

## 1.2 Φαινόμενο ηλεκτρικής εκκένωσης κορώνας

Η κορώνα εκκένωσης (εκφόρτισης), ως φυσικό φαινόμενο, είναι μια ηλεκτρική εκκένωση η οποία προκαλείται από τον ιονισμό ενός υγρού που περιβάλλει έναν ηλεκτρικά φορτισμένο αγωγό. Οι κορώνες εκκένωσης επέρχονται φυσικά σε υψηλής τάσης συστήματα. Η κορώνα θα δημιουργηθεί όταν η ισχύς (με πιθανή κλίση) του ηλεκτρικού πεδίου γύρω από έναν αγωγό είναι αρκετά υψηλή ώστε να σχηματίσει μια αγωγή περιοχή, αλλά όχι αρκετά υψηλή ώστε να προκαλέσει ηλεκτρική κατάρρευση ή τόξο σε κοντινά αντικείμενα. Συχνά εμφανίζεται ως μια γαλαζωπή λάμψη όταν ο αέρας προσκύπτει σε αιχμηρούς μεταλλικούς αγωγούς που φέρουν υψηλές τάσεις και εκπέμπεται φως. Το ιονισμένο αέριο μιας κορώνας είναι χημικά ενεργό. Αυτό οδηγεί στην παραγωγή αερίων όπως όζοντος ( $O_3$ ), οξειδίου του αζώτου ( $NO$ ), διοξειδίου του αζώτου ( $NO_2$ ) και νιτρικού οξέος αν υπάρχουν υδρατμοί στον αέρα. Αυτές οι ιδιαίτερα διαβρωτικές ουσίες είναι επικίνδυνες, και είναι ανεπιθύμητες διότι σπαταλούν ενέργεια στα ηλεκτρικά συστήματα. Οι ελεγχόμενες κορώνες εκκένωσης χρησιμοποιούνται σε μια ποικιλία διήθησης, εκτύπωσης και άλλων διεργασιών.

Η κορώνα εκκένωσης, για τη δημιουργία ακουστικού τόξου, είναι μια διαδικασία κατά την οποία ένα ρεύμα ρέει από ένα ηλεκτρόδιο με υψηλό δυναμικό σε ένα ουδέτερο ρευστό, συνήθως αέρας, ιονίζοντας το ρευστό, προκειμένου να δημιουργήσει μια περιοχή πλάσματος γύρω από το ηλεκτρόδιο. Τα ιόντα που δημιουργούνται περνάνε φορτίο σε κοντινές περιοχές χαμηλότερου δυναμικού, ή ανασυνδυάζονται για να σχηματίσουν ουδέτερα μόρια αερίου.

Όταν η κλίση του δυναμικού ( του ηλεκτρικού πεδίου) είναι αρκετά μεγάλη σε ένα σημείο στο υγρό, το υγρό στο σημείο αυτό ιονίζεται και γίνεται αγωγίμο. Εάν ένα φορτισμένο αντικείμενο έχει ένα αιχμηρό σημείο, η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου γύρω από αυτό θα είναι πολύ υψηλότερη απ' οπουδήποτε αλλού. Ο αέρας κοντά στο ηλεκτρόδιο μπορεί να ιονιστεί (να γίνει, δηλαδή ,μερικώς αγωγίμος), ενώ περιοχές που είναι πιο απομακρυσμένες δεν μπορούν. Όταν ο αέρας κοντά στο αιχμηρό σημείο γίνεται αγωγίμος, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του φαινομενικού μεγέθους του αγωγού. Αφότου η νέα αγωγή περιοχή είναι λιγότερο απότομη (αιχμηρή), ο ιονισμός ίσως να μην μπορεί να επεκταθεί πέραν αυτής της τοπικής περιοχής. Έξω από αυτήν την ιονισμένη και αγωγή περιοχή, τα φορτισμένα σωματίδια σιγά-σιγά βρίσκουν το δρόμο τους σε ένα αντίθετα φορτισμένο αντικείμενο και εξουδετερώνονται.

Αν η γεωμετρία και η κλίση είναι τέτοιες ώστε η ιονισμένη περιοχή συνεχίζει να αυξάνεται μέχρι να φτάσει έναν άλλο αγωγό σε ένα χαμηλότερο δυναμικό, θα σχηματιστεί μια χαμηλής αντίστασης αγωγίμη διαδρομή μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων, έχοντας ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός ηλεκτρικού τόξου.

Συνήθως, η κορώνα εκκένωσης σχηματίζεται σε πολύ κυρτές περιοχές σε ηλεκτρόδια, όπως σε αιχμηρές γωνίες, σε σημεία που εξέχουν, στις γωνίες μεταλλικών επιφανειών, ή σε μικρής διαμέτρου σύρματα. Η υψηλή καμπυλότητα προκαλεί μια υψηλή κλίση δυναμικού σε αυτές τις θέσεις, έτσι ώστε ο αέρας διασπάται και σχηματίζεται το πλάσμα. Προκειμένου να κατασταλθεί ο σχηματισμός της κορώνας, συχνά σχεδιάζονται τερματικά με μεγάλη διάμετρο και κυκλικό σχήμα, όπως σφαίρες ή δακτύλιοι. Συχνά, οι δακτύλιοι μιας κορώνας που σχηματίζεται, προστίθενται σε μονωτές των γραμμών μεταφοράς υψηλής τάσης.

Οι κορώνες μπορεί να είναι είτε θετικές είτε αρνητικές. Αυτό καθορίζεται από την πολικότητα της τάσης στο πολύ κυρτό ηλεκτρόδιο. Αν το κυρτό ηλεκτρόδιο είναι θετικό σε σχέση με το επίπεδο ηλεκτρόδιο, δημιουργείται μια θετική κορώνα, ενώ αν είναι αρνητικό δημιουργείται μια αρνητική κορώνα. Η φυσική των θετικών και αρνητικών κορώνων είναι πολύ διαφορετική. Αυτή η ασυμμετρία είναι ένα αποτέλεσμα της μεγάλης διαφοράς μάζας μεταξύ ηλεκτρονίων και θετικά φορτισμένων ιόντων, με αποτέλεσμα μόνο το ηλεκτρόνιο να έχει την ικανότητα να υφίσταται ένα σημαντικό βαθμό της ιονίζουσας ανελαστικής σύγκρουσης σε κοινές θερμοκρασίες και πιέσεις.

### **1.2.1 Προβλήματα που προκαλούν οι κορώνες εκκένωσης**

Οι κορώνες παράγουν ηχητικούς θορύβους και θορύβους ραδιοσυχνοτήτων, ιδιαίτερα όταν παράγονται κοντά σε γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Είναι μια πηγή απώλειας ισχύος, και η δράση τους σε ατμοσφαιρικά σωματίδια, μαζί με την παραγωγή όζοντος και οξειδίων του αζώτου, μπορεί να είναι επιβλαβής για την ανθρώπινη υγεία σε περιοχές όπου διέρχονται γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας. Για αυτόν τον λόγο, ο εξοπλισμός μετάδοσης ισχύος είναι σχεδιασμένος για να ελαχιστοποιεί τον σχηματισμό των κορώνων εκκένωσης.

Γενικά, ο σχηματισμός κορώνας εκκένωσης είναι ανεπιθύμητος σε:

*Ηλεκτρική μετάδοση ενέργειας*, όπου προκαλεί: απώλεια ισχύος, ακουστικό θόρυβο, ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή, μωβ λάμψη, παραγωγή όζοντος, ακόμη και πιθανή δυσφορία σε ζώα που είναι ευαίσθητα στο υπεριώδες φως.

*Ηλεκτρικά εξαρτήματα*, όπως μετασχηματιστές, πυκνωτές, ηλεκτροκινητήρες και γεννήτριες. Η δημιουργία κορώνας μπορεί να βλάψει προοδευτικά τη μόνωση σε αυτές τις συσκευές, με αποτέλεσμα την αποτυχία του εξοπλισμού. Στοιχεία ελαστομερούς όπως οι δακτύλιοι Ο μπορεί να υποστούν ρωγμές με όζον. Επίσης, πυκνωτές πλαστικών μεμβρανών που λειτουργούν με τάση δικτύου μπορούν να υποστούν προοδευτική απώλεια χωρητικότητας, καθώς οι εκκενώσεις κορώνας προκαλούν τοπική εξάτμιση της μεταλλοποίησης.

*Περιπτώσεις όπου χρησιμοποιούνται μεγάλες τάσεις*, όπου η παραγωγή όζοντος θα πρέπει να ελαχιστοποιείται.

### **Στατική ηλεκτρική εκφόρτιση (εκκένωση).**

Παρόλα αυτά, οι κορώνες μπορούν να κατασταλούν από τους δακτυλίους κορώνας, τις δακτυλιοειδείς διατάξεις που χρησιμεύουν για την εξάπλωση του ηλεκτρικού πεδίου πάνω σε μεγαλύτερες περιοχές και τη μείωση της κλίσης του πεδίου κάτω από το κατώφλι κορώνας.

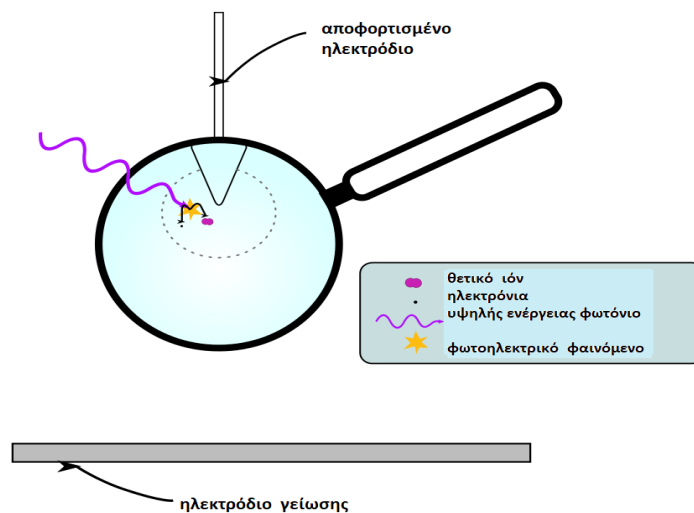
## **1.2.2 Μηχανισμός της κορώνας εκκένωσης**

Η κορώνα εκκένωσης προκύπτει όταν το ηλεκτρικό πεδίο είναι αρκετά ισχυρό, ώστε να δημιουργήσει μια αλυσιδωτή αντίδραση. Τα ηλεκτρόνια συγκρούονται, αρκετά δυνατά, στον αέρα με τα άτομα για να τα ιονίσουν, δημιουργώντας έτσι περισσότερα ελεύθερα ηλεκτρόνια που με τη σειρά τους ιονίζουν περισσότερα



άτομα. Τα ακόλουθα διαγράμματα απεικονίζουν σε μικροσκοπική κλίμακα τι πραγματικά συμβαίνει στο αέριο κοντά στο ηλεκτρόδιο με υψηλή αρνητική τάση σε σχέση με το έδαφος. Η διαδικασία είναι η εξής:

1. Ένα ουδέτερο άτομο ή μόριο, σε μια περιοχή ισχυρού ηλεκτρικού πεδίου (όπως είναι η κλίση υψηλού δυναμικού πλησίον του καμπυλωτού ηλεκτροδίου), ιονίζεται από ένα φυσικό περιβαλλοντικό συμβάν (για παράδειγμα, χτυπημένο από ένα υπεριώδες φωτόνιο ή σωματίδιο κοσμικής ακτινοβολίας) για να δημιουργηθεί ένα θετικό ιόν και ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο (εικόνα 1.2 (α)).

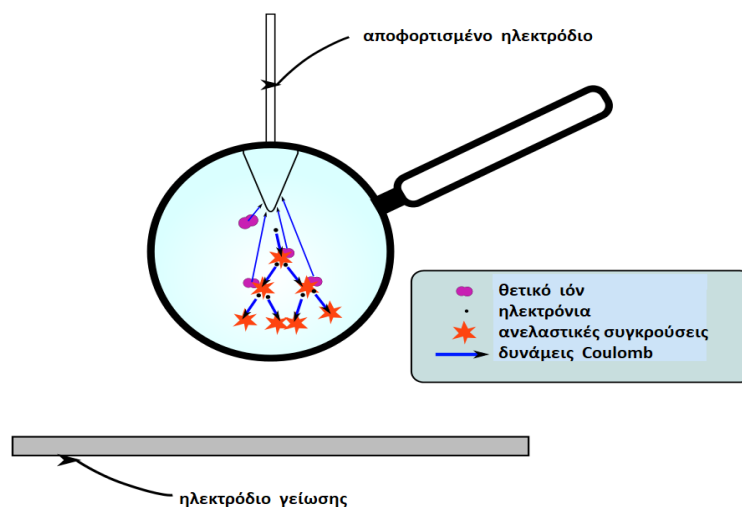


Εικόνα 1.2 (α): Έναρξη εκκένωσης

2. Το ηλεκτρικό πεδίο επιταχύνει αυτά τα αντίθετα φορτισμένα σωματίδια σε αντίθετες κατευθύνσεις, διαχωρίζοντάς τα, αποτρέποντας τον ανασυνδυασμό τους, και προσδίδοντας στο καθένα απ' αυτά κινητική ενέργεια.

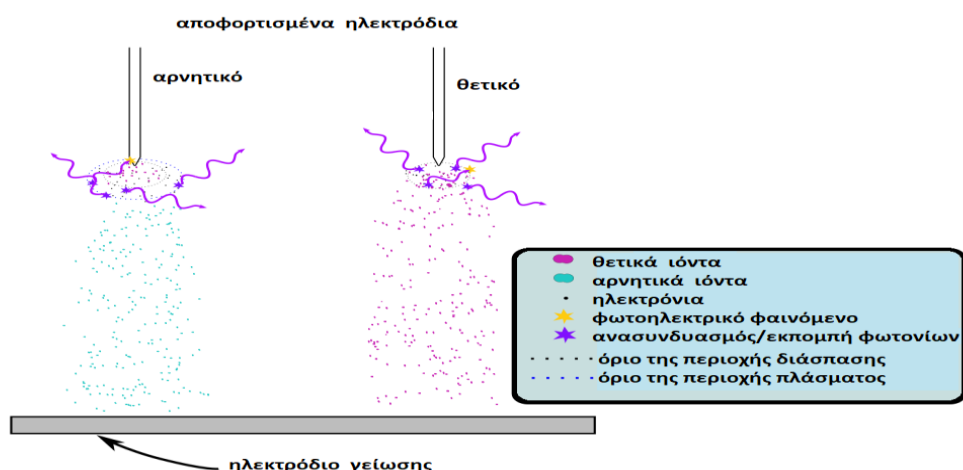
3. Το ηλεκτρόνιο έχει μια πιο υψηλή αναλογία φορτίου/μάζας, για αυτό και επιταχύνεται σε μια υψηλότερη ταχύτητα από το θετικό ιόν. Αυτό αποκτά αρκετή ενέργεια από το πεδίο, ώστε όταν χτυπά ένα άλλο άτομο να το ιονίζει, πετώντας έξω ένα άλλο ηλεκτρόνιο και δημιουργώντας ένα άλλο θετικό ιόν. Αυτά τα ηλεκτρόνια

επιταχύνονται και συγκρούονται με άλλα άτομα, δημιουργώντας περαιτέρω ζεύγη ηλεκτρονίων / θετικών ιόντων και αυτά τα ηλεκτρόνια με τη σειρά τους συγκρούονται με περισσότερα άτομα, σε μια διαδικασία αλυσιδωτής αντίδρασης που ονομάζεται χιονοστιβάδα ηλεκτρονίων. Τόσο οι θετικές όσο και τα αρνητικές κορώνες βασίζονται σε χιονοστιβάδες ηλεκτρονίων. Σε μια θετική κορώνα, όλα τα ηλεκτρόνια έλκονται προς τα μέσα προς το γειτονικό θετικό ηλεκτρόδιο και τα ιόντα απωθούνται προς τα έξω. Σε μια αρνητική κορώνα, τα ιόντα έλκονται προς τα μέσα και τα ηλεκτρόνια απωθούνται προς τα έξω.



Εικόνα 1.2(β): Ηλεκτρική κατάρρευση

4. Η λάμψη σε μια κορώνα προκαλείται από τα ηλεκτρόνια που ανασυνδυάζονται με θετικά ιόντα για να σχηματίσουν ουδέτερα άτομα. Όταν το ηλεκτρόνιο πέσει πίσω στην αρχική ενεργειακή του στάθμη, απελευθερώνει ένα φωτόνιο φωτός. Τα φωτόνια χρησιμεύουν για το ιονισμό άλλων ατόμων, διατηρώντας έτσι τη δημιουργία χιονοστιβάδων ηλεκτρονίων.



Εικόνα 1.2(γ): Ανασυνδυασμός και διατήρηση της κατάρρευσης

5. Σε μια ορισμένη απόσταση από το ηλεκτρόδιο, το ηλεκτρικό πεδίο γίνεται αρκετά χαμηλό ώστε να μην δίνει πλέον ενέργεια στα ηλεκτρόνια να ιονίζουν τα άτομα όταν συγκρούονται. Αυτή είναι η εξωτερική άκρη της κορώνας. Έξω από αυτήν, τα ιόντα κινούνται μέσα στον αέρα χωρίς να δημιουργούν νέα ιόντα. Τα προς τα έξω κινούμενα ιόντα έλκονται από το αντίθετο ηλεκτρόδιο και τελικά φθάνουν και συνδυάζονται με ηλεκτρόνια από το ηλεκτρόδιο για να γίνουν και πάλι ουδέτερα άτομα, ολοκληρώνοντας έτσι το κύκλωμα.

Στη θερμοδυναμική, μια κορώνα είναι μια πολύ μη ισορροπημένη διαδικασία, δημιουργώντας ένα μη θερμικό πλάσμα. Ο μηχανισμός χιονοστιβάδας δεν απελευθερώνει αρκετή ενέργεια ώστε να θερμαίνει το αέριο στην περιοχή της κορώνας και να το ιονίζει, όπως συμβαίνει στη δημιουργία ηλεκτρικού τόξου ή σπινθήρα. Μόνο ένας μικρός αριθμός μορίων του αέρα συμμετέχουν στις χιονοστιβάδες ηλεκτρονίων και ιονίζονται, έχοντας ενέργειες κοντά στην ενέργεια ιοντισμού (1-3 eV), το υπόλοιπο περιβάλλον του αερίου είναι κοντά στη θερμοκρασία περιβάλλοντος.

### 1.2.3 Διαχωρισμός σε θετικές και αρνητικές κορώνες

#### Θετικές κορώνες- Μηχανισμός και ιδιότητες

Μια θετική κορώνα ξεκινά από ένα εξωγενές συμβάν ιονισμού σε μια περιοχή με μεγάλη κλίση δυναμικού. Τα ηλεκτρόνια που προκύπτουν από τον ιονισμό αυτόν έλκονται προς το καμπύλο ηλεκτρόδιο και τα θετικά ιόντα απορρίπτονται από αυτό. Υποβάλλοντας ανελαστικές συγκρούσεις όλο και πιο κοντά στο καμπύλο ηλεκτρόδιο, περαιτέρω μόρια ιονίζονται σε μια χιονοστιβάδα ηλεκτρονίων. Στις διάφορες διεργασίες αποδιέγερσης που συμβαίνουν στο πλάσμα, μετά από συγκρούσεις ηλεκτρονίων ,απελευθερώνεται θερμική ενέργεια, η οποία δημιουργεί φωτόνια που ακτινοβολούνται στο αέριο.

Τα ηλεκτρόνια που προκύπτουν από τον ιονισμό ενός ουδέτερου μορίου αερίου στη συνέχεια έλκονται ηλεκτρικά προς το καμπύλο ηλεκτρόδιο, προσελκύονται στο πλάσμα, και έτσι ξεκινά η διαδικασία δημιουργίας περαιτέρω χιονοστιβάδων μέσα στο πλάσμα.

Μια θετική κορώνα εκδηλώνεται σαν ομοιόμορφο πλάσμα κατά μήκος του αγωγού. Μπορεί συχνά να φανεί μπλε/λευκή λάμψη, αν και πολλές από τις εκπομπές γίνονται στο υπεριώδες φάσμα. Η ομοιομορφία του πλάσματος προκαλείται από την ομοιογενή πηγή των ηλεκτρονίων της δευτερεύουσας χιονοστιβάδας. Με την ίδια γεωμετρία και τις ίδιες τάσεις, εμφανίζεται λίγο μικρότερη από την αντίστοιχη αρνητική κορώνα, λόγω της έλλειψης μη-ιονίζουσας περιοχής πλάσματος μεταξύ της εσωτερικής και της εξωτερικής περιοχής.

Μια θετική κορώνα έχει πολύ μικρότερη πυκνότητα ελεύθερων ηλεκτρονίων, συγκρινόμενη με μία αρνητική κορώνα – περίπου το ένα χιλιοστό της πυκνότητας ηλεκτρονίων και το ένα εκατοστό του συνολικού αριθμού ηλεκτρονίων. Ωστόσο, τα

ηλεκτρόνια σε μια θετική κορώνα είναι συγκεντρωμένα κοντά στην επιφάνεια του καμπύλου αγωγού, σε μια περιοχή με μεγάλη κλίση δυναμικού (επομένως τα ηλεκτρόνια έχουν υψηλή ενέργεια), ενώ σε μια αρνητική κορώνα πολλά από τα ηλεκτρόνια βρίσκονται στις εξωτερικές περιοχές με χαμηλό πεδίο. Συνεπώς, εάν τα ηλεκτρόνια πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε μια εφαρμογή η οποία απαιτεί υψηλή ενέργεια ενεργοποίησης, οι θετικές κορώνες μπορούν να υποστηρίξουν μια μεγαλύτερη σταθερά αντίδρασης από τις αντίστοιχες αρνητικές κορώνες-αν και ο συνολικός αριθμός ηλεκτρονίων μπορεί να είναι μικρότερος, ο αριθμός των πολύ υψηλά ενεργειακά ηλεκτρονίων μπορεί να είναι υψηλότερος.

Οι κορώνες είναι αποτελεσματικοί παραγωγοί όζοντος στον αέρα. Μια θετική κορώνα παράγει πολύ λιγότερο όζον από την αντίστοιχη αρνητική κορώνα, καθώς οι αντιδράσεις που παράγουν όζον είναι σχετικά χαμηλής ενέργειας. Επομένως, ο μεγαλύτερος αριθμός ηλεκτρονίων μιας αρνητικής κορώνας οδηγεί σε μια αυξημένη παραγωγή.

### **Αρνητικές κορώνες- Μηχανισμός και ιδιότητες**

Μια αρνητική κορώνα είναι πιο πολύπλοκη κατασκευαστικά σε σχέση με μια αντίστοιχη θετική κορώνα. Όπως και με τις θετικές κορώνες, η δημιουργία της κορώνας εκκένωσης ξεκινά με ένα εξωγενές συμβάν ιονισμού που παράγει ένα πρωτογενές ηλεκτρόνιο, ακολουθούμενο από μια χιονοστιβάδα ηλεκτρονίων.

Τα ηλεκτρόνια που ιονίζονται από το ουδέτερο αέριο δεν είναι χρήσιμα στη διατήρηση της διαδικασίας της αρνητικής κορώνας, δημιουργώντας δευτερεύοντα ηλεκτρόνια για περαιτέρω χιονοστιβάδες, καθώς η γενική κίνηση ηλεκτρονίων σε μια αρνητική κορώνα είναι έξω από το καμπύλο ηλεκτρόδιο. Για τη δημιουργία αρνητικών κορώνων, αντίθετα, η κύρια διαδικασία που παράγει δευτερογενή ηλεκτρόνια είναι το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, από την επιφάνεια του ίδιου του

ηλεκτροδίου. Η συνάρτηση έργου των ηλεκτρονίων (η ενέργεια που απαιτείται για την απελευθέρωση των ηλεκτρονίων από την επιφάνεια) είναι χαμηλότερη από την ενέργεια ιοντισμού του αέρα σε τυπικές θερμοκρασίες και πιέσεις, καθιστώντας την πιο ελεύθερη πηγή δευτερογενών ηλεκτρονίων κάτω από αυτές τις συνθήκες. Και σε αυτήν την περίπτωση, η πηγή ενέργειας για την απελευθέρωση ηλεκτρονίων είναι ένα υψηλής ενέργειας φωτόνιο από ένα άτομο μέσα στο σώμα του πλάσματος που «ηρεμεί» μετά από τη διέγερση από μια προηγούμενη σύγκρουση. Η χρήση ιονισμένου ουδέτερου αερίου ως πηγή ιοντισμού, μειώνεται περαιτέρω σε μια αρνητική κορώνα από την υψηλή συγκέντρωση θετικών ιόντων που συγκεντρώνονται γύρω από το καμπύλο ηλεκτρόδιο.

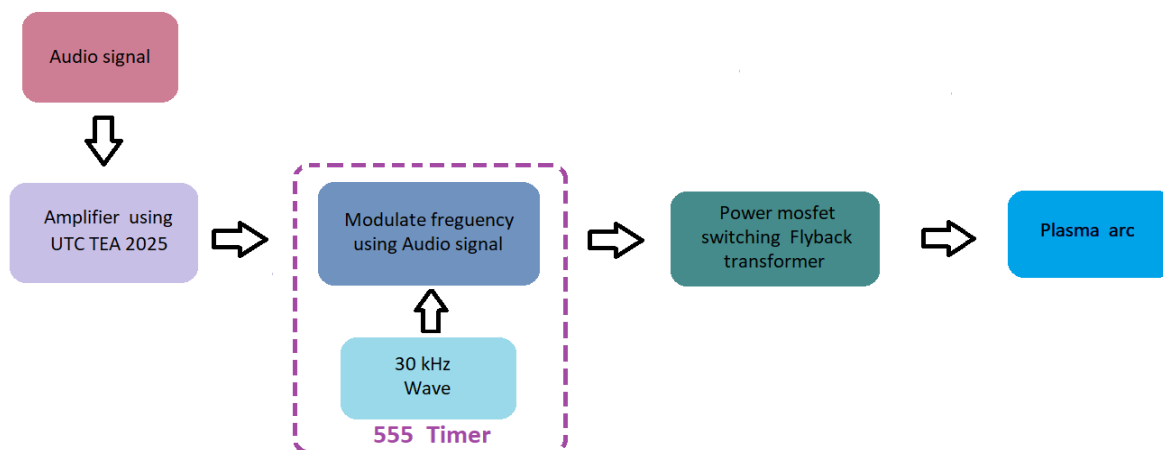
Η διαφορά μεταξύ των θετικών και αρνητικών κορωνών στη δημιουργία δευτερογενών ηλεκτρομαγνητικών χιονοστιβάδων είναι ότι σε μια θετική κορώνα παράγονται από το αέριο που περιβάλλει την περιοχή πλάσματος, τα νέα δευτερογενή ηλεκτρόνια που ταξιδεύουν προς τα μέσα, ενώ στην αρνητική κορώνα παράγονται από το ίδιο το κυρτό ηλεκτρόδιο, τα νέα δευτερογενή ηλεκτρόνια που ταξιδεύουν προς τα έξω.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Σχεδίαση και Κατασκευή Μεγαφώνου Πλάσματος

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται η παρουσίαση του μεγαφώνου πλάσματος που κατασκευάσαμε. Παρουσιάζονται τα εξαρτήματα που χρησιμοποιήσαμε για την κατασκευή του καθώς επίσης και η λειτουργία των εξαρτημάτων αυτών.

### 2.1 Μπλοκ Διάγραμμα Μεγαφώνου Πλάσματος – Αρχή λειτουργίας του κυκλώματος

Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται το μπλοκ διάγραμμα λειτουργίας του κυκλώματος μας.

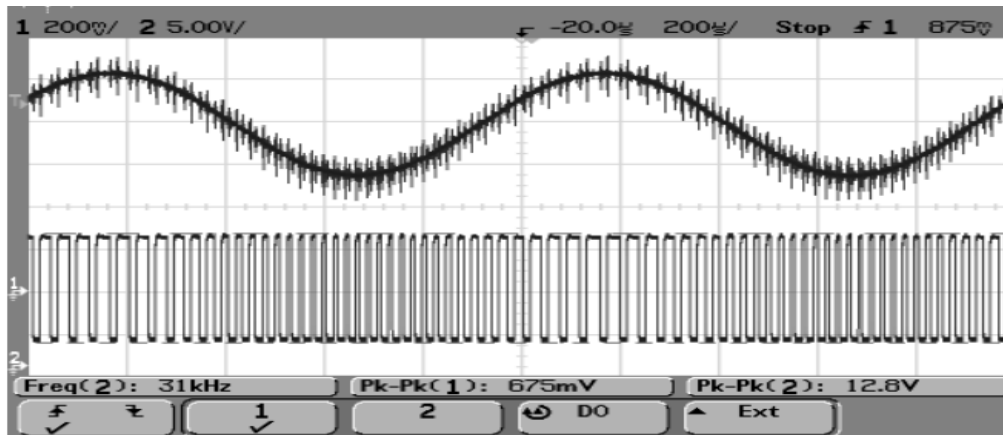


Σχήμα 2.1: Μπλοκ διάγραμμα λειτουργίας μεγαφώνου πλάσματος

Το κύκλωμα έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί από ένα ευρύ φάσμα τάσεων τροφοδοσίας, και να μπορεί να απενεργοποιεί την τάση του δικτύου με δευτερεύουσες αλλαγές στο κύκλωμα. Για λόγους ασφαλείας το κύκλωμα δοκιμάστηκε μόνο με τροφοδοσίες έως και 24 Volt.

Η αρχή λειτουργίας του κυκλώματος είναι σχετικά απλή. Διαμορφώνεται μια συχνότητα στα 30KHz χρησιμοποιώντας μια αναλογική είσοδο ήχου, που μεταβάλλει

τόσο τον κύκλο λειτουργίας (duty cycle) όσο και την συχνότητα, όπως αυτό φαίνεται στην εικόνα 2.1 (α) που ακολουθεί.



Εικόνα 2.1 (α) : Κυματομορφή εισόδου (άνω) και διαμορφωμένος τετραγωνικός παλμός (κάτω)

Παρακάτω παρουσιάζονται τα κύρια μέρη της κατασκευής, όπως αυτά φαίνονται στο προηγούμενο μπλοκ διάγραμμα:

### A. Audio Input

Το πρώτο στάδιο του κυκλώματος είναι ο έλεγχος του πλάτους της εισόδου. Το κύκλωμα μας έχει ρυθμιστεί για να παίρνει στην είσοδό του ήχο από μια συσκευή αναπαραγωγής MP3 ή από κινητό τηλέφωνο. Αυτή η είσοδος κυμαίνεται συνήθως από 0 έως 2,5V. Στο επόμενο στάδιο για τη διαμόρφωση της συχνότητας, το ακουστικό πλάτος πρέπει να κυμαίνεται έως περίπου τα 12V από κορυφή σε κορυφή (peak to peak). Ο ενισχυτής εκκίνησης που χρησιμοποιήθηκε στο κύκλωμα μπορεί να παράγει μόνο μια θετική τάση εξόδου από το 0 έως τα 15V δεδομένου ότι χρησιμοποιήθηκε παροχή τάσης +15V. Αυτό σημαίνει ότι η έξοδος πρέπει να είναι 7,5V όταν η είσοδος είναι 0V.

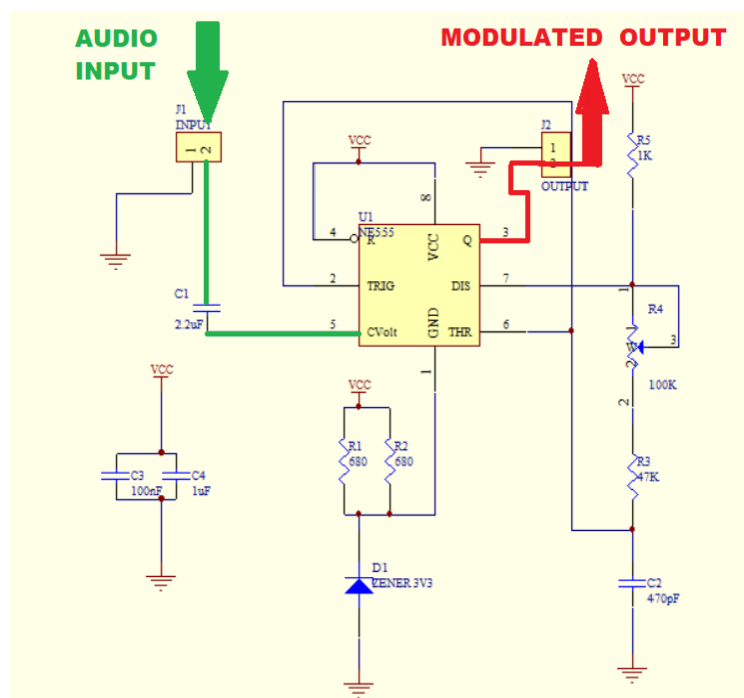


## B. Ενισχυτής ακουστικού σήματος εισόδου

Ένας ενισχυτής εκκίνησης (χρησιμοποιώντας chip UTC TEA 2025) χρησιμοποιήθηκε για να ενισχύσει το ακουστικό σήμα εισόδου (audio input) στο επιθυμητό εύρος παλμού.

## Γ. Διαμορφωτής

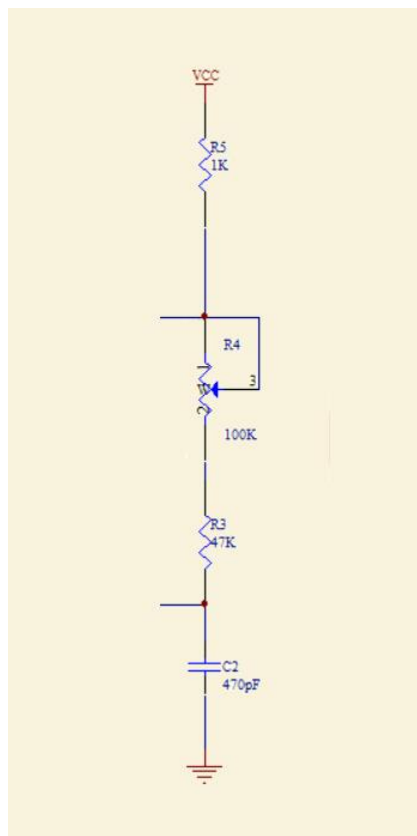
Στο σχήμα 2.1 (β) που ακολουθεί, φαίνεται το κύκλωμα διαμόρφωσης του ακουστικού σήματος εισόδου.



Σχήμα 2.1 (β): Διαμορφωτής σήματος με NE555

Το κύκλωμα ελέγχου διαμόρφωσης είναι ένα από τα πιο βασικά μέρη του κυκλώματος. Παράγει μια συχνότητα 30 kHz και τη διαμορφώνει με το σήμα εισόδου. Το ολοκληρωμένο IC που χρησιμοποιήσαμε είναι ένας απλός χρονιστής 555. Εάν αγνοήσουμε την τάση ελέγχου της εισόδου, το κύκλωμα αναλύεται πιο εύκολα. Ο πυκνωτής C2 (470pF) είναι ο πυκνωτής χρονισμού που φορτίζεται από την τάση

τροφοδοσίας ( $V_{CC}$ ) μέσω των αντιστάσεων  $R3$ ,  $R4$  και  $R5$  και εκφορτίζεται μέσω των  $R3$  και  $R4$ . Το κύκλωμα του πυκνωτή  $C2$  με τις τρεις αντιστάσεις σε σειρά  $R3$ ,  $R4$  και  $R5$  αποτελεί το κύκλωμα συχνότητας αναφοράς – φέρουσας (carrier frequency), όπως φαίνεται στο σχήμα 2.1(γ).



Σχήμα 2.1(γ): Κύκλωμα φέρουσας

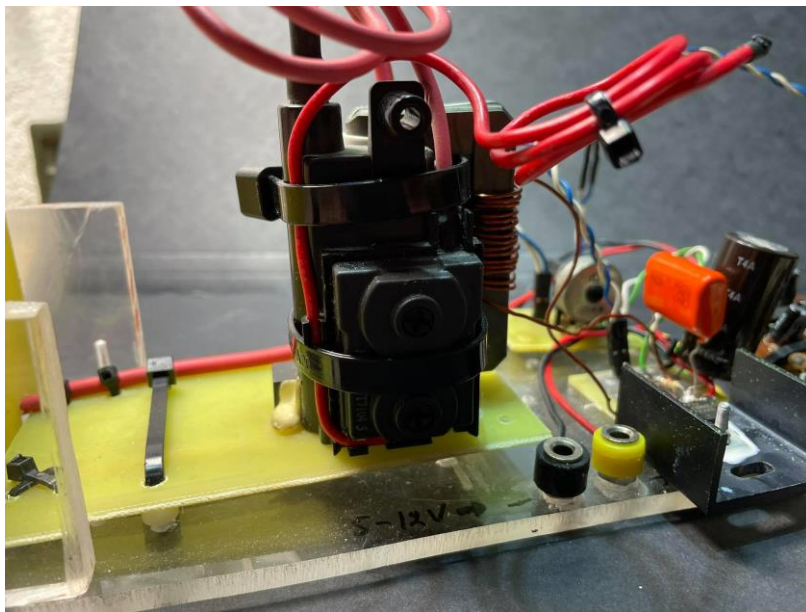
Δεδομένου ότι η  $R5$  είναι κατά πολύ μικρότερη του αθροίσματος των αντιστάσεων  $R3 + R4$ , ο κύκλος λειτουργίας (duty cycle) διατηρείται πολύ κοντά στο 50%. Η είσοδος της τάσης ελέγχου του NE555 ελέγχει το επίπεδο φόρτισης του πυκνωτή  $C2$ .

Μια υψηλής τάσης ελέγχου είσοδος θα σήμαινε πως ο πυκνωτής απαιτείται να φτάσει σε ένα υψηλότερο επίπεδο προτού η έξοδος πέσει χαμηλά. Εάν η τάση ελέγχου είναι πάνω από την τάση τροφοδοσίας του ολοκληρωμένου κυκλώματος (NE555), ο  $C2$  δεν θα φτάσει ποτέ στο υψηλότερο επίπεδο και η έξοδος θα παραμείνει ψηλά.

Ο πυκνωτής  $C1$  λειτουργεί αποζευκτικά μεταξύ των δύο βαθμίδων για την DC

συνιστώσα. Οι πυκνωτές C3 και C4 χρησιμοποιούνται σαν φίλτρα στην τροφοδοσία για τα παράσιτα που δημιουργούνται στις γραμμές τροφοδοσίας. Τέλος, η δίοδος Zener, με την βοήθεια των αντιστάσεων R1 και R2, σταθεροποιεί την τάση στα 3,3V.

#### Δ. Μετασχηματιστής Flyback



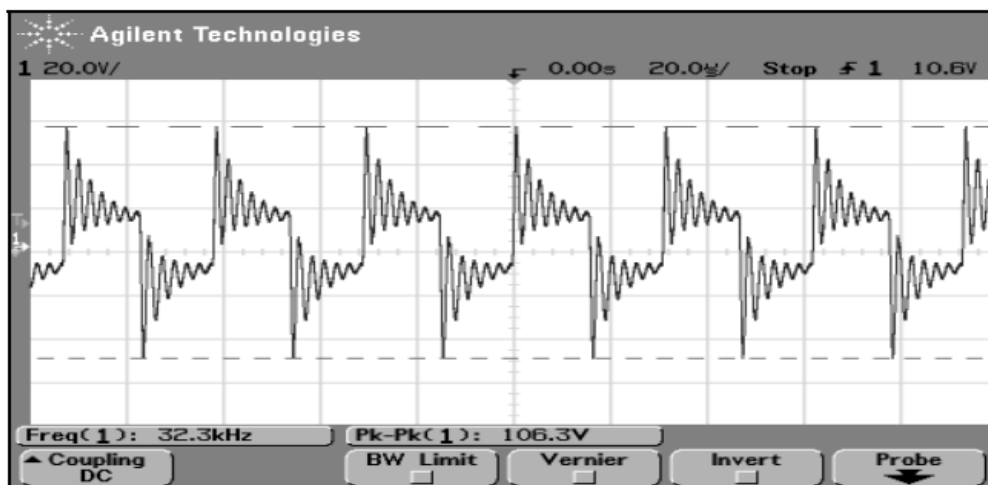
Εικόνα 2.1(δ): Φωτογραφία του μετασχηματιστή flyback που χρησιμοποιήσαμε στην κατασκευή μας

Ένας μετασχηματιστής flyback είναι ένας μετατροπέας DC σε DC. Δημιουργεί μια υψηλή τάση σε ένα μεγάλο αριθμό περιελίξεων στο δευτερεύον πηνίο, λαμβάνοντας μια μικρή τάση ως είσοδο σε ένα μικρό αριθμό περιελίξεων στο πρωτεύον πηνίο. Εάν το φορτίο δεν ιονίζει τον αέρα στο κενό, δηλαδή αν το φορτίο δεν επαρκεί, αυτό συσσωρεύεται από την μεγάλη δίοδο μέσα στον flyback που εμποδίζει να εξισορροπηθεί η τάση. Αυτό γίνεται γιατί όταν μια χαμηλή τάση εφαρμόζεται στο πρωτεύον πηνίο, δημιουργείται ένα μαγνητικό πεδίο, το οποίο 'κουβαλάει' πολύ υψηλό ρεύμα. Αυτό το μαγνητικό πεδίο αποθηκεύει μαγνητική ροή. Όταν το ρεύμα αποσύρεται, το μαγνητικό πεδίο καταρρέει στον πυρήνα του μετασχηματιστή και όλη η ενέργεια γυρνάει πίσω στις περιελίξεις του

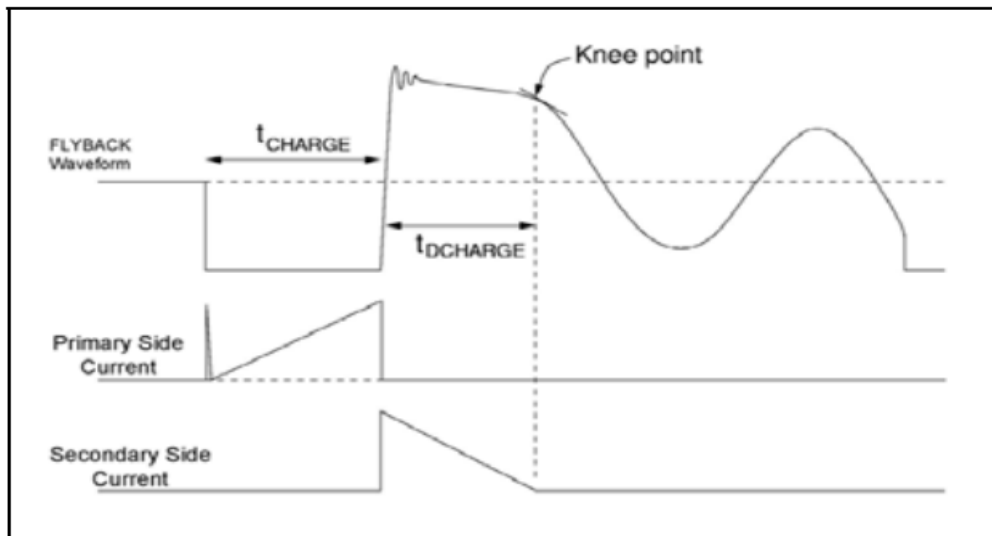
μετασχηματιστή. Αυτή η ροή μεταφέρεται σε κάθε περιέλιξη, και εξαιτίας του μεγάλου αριθμού περιελίξεων στο δευτερεύον πηνίο, δημιουργείται μια πολύ υψηλή τάση. Κατά την παραπάνω διαδικασία, ο μετασχηματιστής βρίσκεται σε κατάσταση επιστροφής (flyback), εκ τούτου και η ονομασία του.

Εάν ένας από τους παλμούς στην είσοδο του μετασχηματιστή δεν διαθέτει αρκετή ενέργεια ώστε να ionίσει το κενό, η ενέργεια στο δευτερεύον αποθηκεύεται, εξαιτίας της μεγάλης διόδου που εμποδίζει την ροή των ηλεκτρονίων πίσω στο πηνίο και την εξισορρόπησή τους.

Σε μια υψηλή συχνότητα, ο μετασχηματιστής οδηγείται σε κορεσμό. Αυτό υποδηλώνει ότι το μαγνητικό πεδίο δεν έχει χρόνο για πλήρη κατάρρευση μετά από κάθε παλμό. Από τη στιγμή που το μαγνητικό πεδίο δεν καταρρέει, λιγότερη ενέργεια γυρνά στις περιελίξεις του δευτερεύοντος πηνίου, και δημιουργείται λιγότερη τάση.

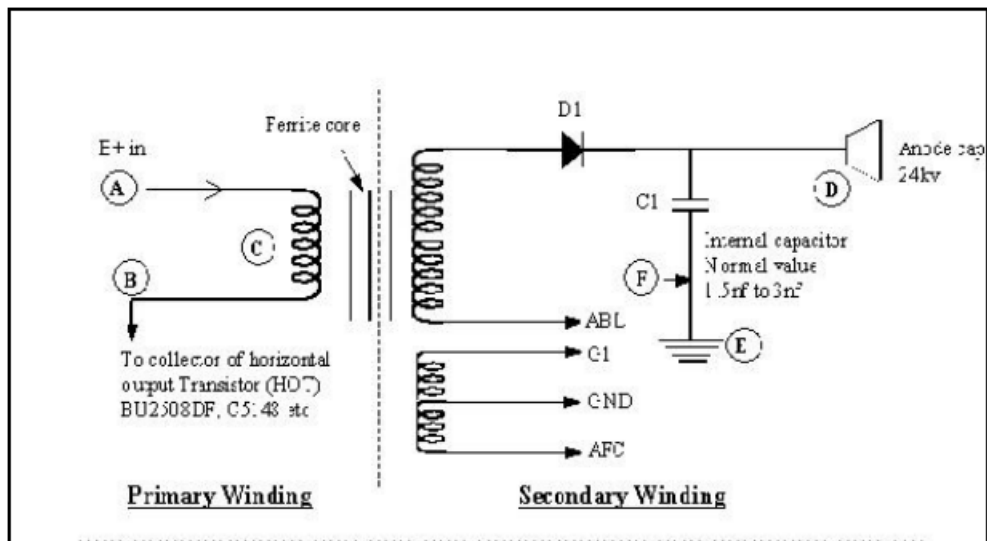


Εικόνα 2.1(ε): Κυματομορφή της τάσης μέσα στον Flyback



Εικόνα 2.1(ζ): Κυματομορφή χρόνου φόρτισης και εκφόρτισης

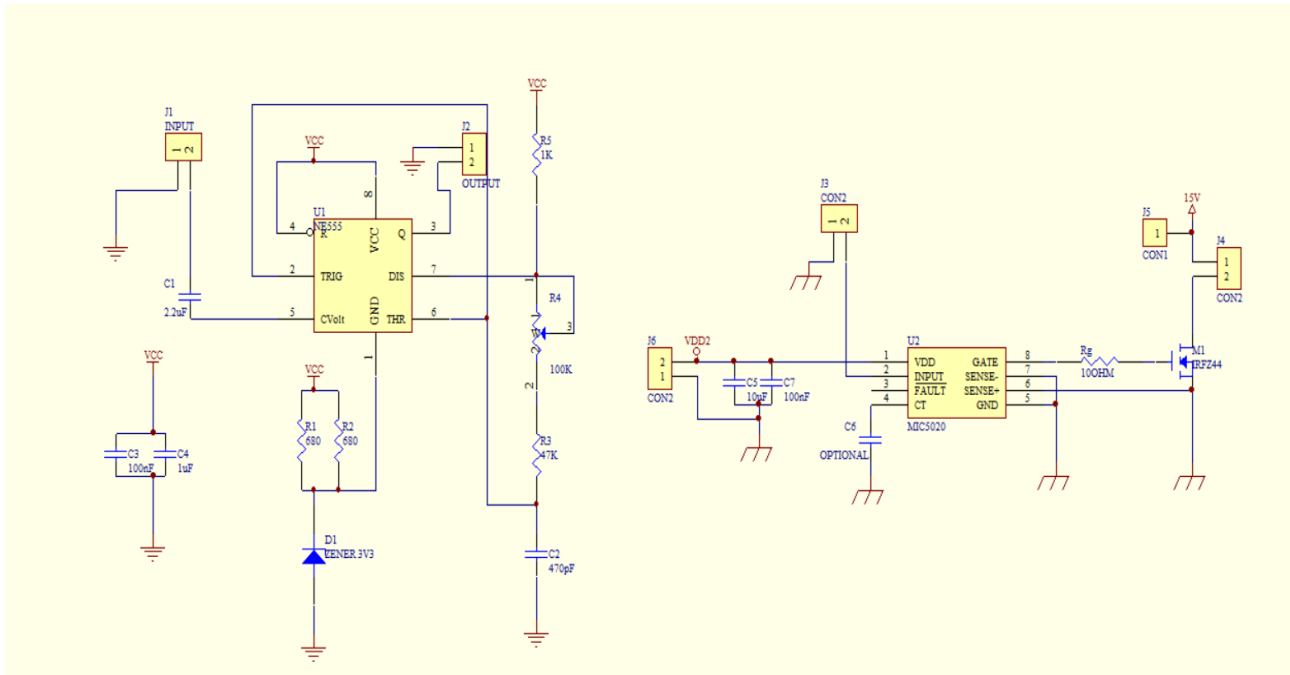
Στην εικόνα 2.1(ζ) φαίνεται πως δημιουργείται το πρωτεύον ρεύμα γραμμικά με τον χρόνο. Καθώς δημιουργείται αυτό το ρεύμα, η ποσότητα της ενέργειας που αποθηκεύεται στον μετασχηματιστή αυξάνεται. Αυτό σημαίνει ότι μειώνοντας την συχνότητα, αποθηκεύεται περισσότερη ενέργεια στον μετασχηματιστή, και περισσότερη ενέργεια απελευθερώνεται στο τόξο. Αυτές οι ιδιότητες επιτρέπουν τον έλεγχο της θερμότητας στην έξοδο του τόξου πλάσματος, μεταβάλλοντας τη συχνότητα ή αυξάνοντας τον χρόνο του κύματος εισόδου. Το κύμα εξόδου διορθώνεται και εξομαλύνεται με έναν πυκνωτή υψηλής τάσης, όπως αυτό φαίνεται στην εικόνα 2.1 (η) που ακολουθεί.



Εικόνα 2.1 (η): Εσωτερική δομή ενός μετασχηματιστή flyback

## 2.2 Σχεδίαση και περιγραφή του Ηλεκτρονικού κυκλώματος

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται τα εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του ηλεκτρονικού κυκλώματος και η λειτουργία του καθενός από αυτά μέσα στο κύκλωμα. Το ηλεκτρονικό σχέδιο που χρησιμοποιήθηκε για την σχεδίαση του μεγαφώνου πλάσματος φαίνεται στην παρακάτω εικόνα (σχήμα 2.2(i)).



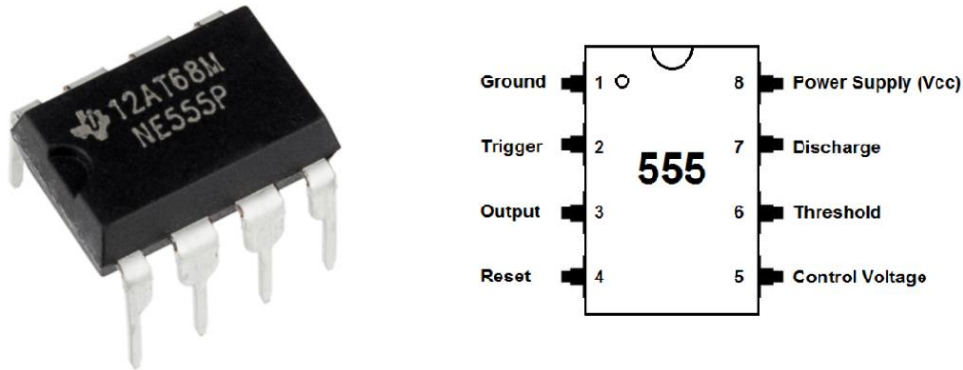
Σχήμα 2.2 (i) : Ηλεκτρονικό σχέδιο μεγαφώνου

Για το κύκλωμα ελέγχου της διαμόρφωσης χρησιμοποιήσαμε το ολοκληρωμένο **NE555**, που είναι ένας χρονιστής. Ας δούμε λίγο την εσωτερική δομή του ολοκληρωμένου, όπως αυτή φαίνεται στην εικόνα 2.2 (β).

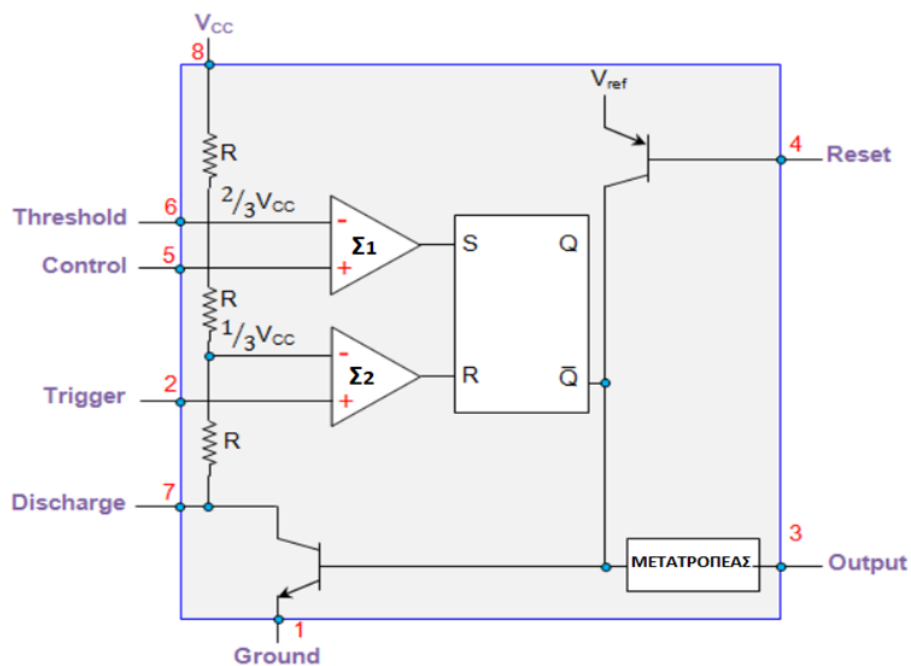
Το ολοκληρωμένο κύκλωμα χρονισμού 555 αποτελείται από:

- Έναν διαιρέτη τάσης, ο οποίος αποτελείται από τρεις ίσες αντιστάσεις των 5KΩ.
- Δύο συγκριτές, Σ1 και Σ2. Ο συγκριτής Σ1 συγκρίνει την τάση κατωφλιού (threshold) με  $2/3V_{cc}$  και ο Σ2 την τάση διέγερσης (trigger) με  $1/3V_{cc}$ , όπου  $V_{cc}$  η τάση τροφοδοσίας του NE555.
- Ένα κύκλωμα flip-flop SR, όπου οι δύο εισοδοί του είναι συνδεδεμένες στις εξόδους των δύο συγκριτών.
- Έναν μετατροπέα στην έξοδο που λειτουργεί σαν απομονωτής-αντιστροφέας.

- Δύο τρανζίστορ που σχετίζονται με τις λειτουργίες εκκένωσης και επαναφοράς της συσκευής.



Εικόνα 2.2(α): Διαμόρφωση των pin στον 555



Εικόνα 2.2 (β): Εσωτερική δομή NE555

Πώς λειτουργεί ένας χρονιστής 555; Η λειτουργία του είναι απλή:

- Όταν ο ακροδέκτης trigger (pin 2) έχει τάση μικρότερη από  $1/3V_{cc}$ , ο ακροδέκτης output (pin 3) έχει τάση  $V_{cc}$ .

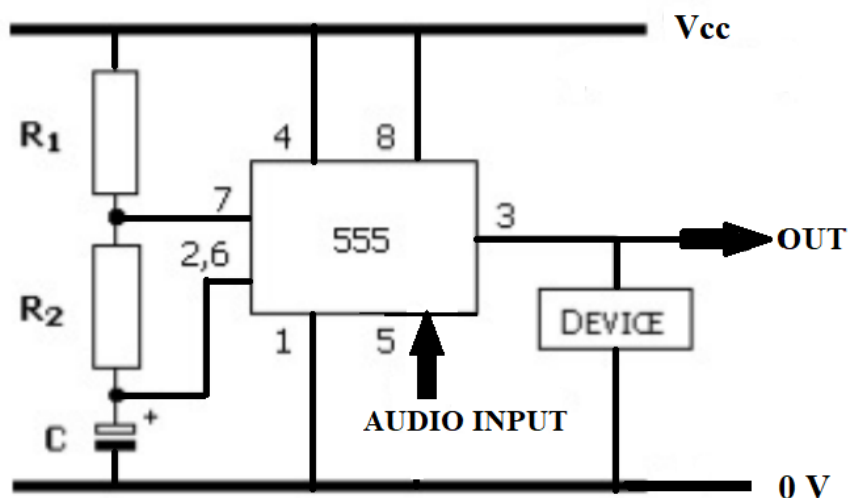


- Όταν ο ακροδέκτης threshold (pin 6) αποκτήσει τάση μεγαλύτερη από τα  $2/3V_{CC}$ , ο ακροδέκτης output έχει τάση 0 V.
- Όταν ο ακροδέκτης επαναφοράς- reset (pin 4) έχει τάση 0 V, τότε ο ακροδέκτης output είναι στα 0 V.
- Ο ακροδέκτης control (pin 5) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο του πλάτους παλμού της κυματομορφής εξόδου καθώς η τάση που εφαρμόζεται σε αυτόν τον ακροδέκτη καθορίζει την κατάσταση στην οποία η έξοδος του συγκριτή ( $\Sigma_1$ ) αλλάζει κατάσταση. Η ίδια ρύθμιση στην κυματομορφή εξόδου μπορεί να γίνει και με τη σύνδεση ενός ποτενσιόμετρου σε αυτόν τον ακροδέκτη. Επίσης, πρέπει να σημειωθεί ότι εάν ο ακροδέκτης control δεν χρησιμοποιείται, πρέπει να παρακάμπτεται στη γείωση μέσω ενός πυκνωτή 10nF για την απαλοιφή θορύβων.
- Ο ακροδέκτης εκφόρτισης (discharge) (pin 7) είναι συνδεδεμένος στο τερματικό του συλλέκτη του εσωτερικού τρανζίστορ του 555. Ένας πυκνωτής θα συνδεθεί μεταξύ αυτού του τερματικού και του εδάφους. Αυτός ο πυκνωτής εκκενώνεται μέσω του τρανζίστορ όταν κορεστεί. Αυτό συμβαίνει όταν η έξοδος του συγκριτή  $\Sigma_1$  ρυθμίζει το flip-flop που δείχνει ότι η τάση κατωφλίου έχει αυξηθεί σε σύγκριση με αυτή της τάσης ελέγχου. Από την άλλη πλευρά, εάν ο αρνητικός παλμός ενεργοποίησης υπερβαίνει το  $1/3 V_{CC}$ , τότε η έξοδος του flip-flop είναι χαμηλή όσο η έξοδος του κατώτερου συγκριτή θα αυξηθεί. Αυτό το *inturn* απενεργοποιεί το τρανζίστορ κατά τη διάρκεια του οποίου ο πυκνωτής που συνδέεται με τον τερματικό του αρχίζει να φορτίζει με ρυθμό που αποφασίζεται από την εξωτερική αντίσταση και τον πυκνωτή.

Υπάρχουν τρεις βασικοί τρόποι λειτουργίας για τον NE555:

- η **μονοσταθής λειτουργία**, δηλαδή όταν χρησιμοποιείται σαν γεννήτρια παραγωγής παλμών ρυθμιζόμενου εύρους (σε κάθε trigger και ένας παλμός),
- η **ασταθής λειτουργία**, κατά την οποία ο 555 χρησιμοποιείται σαν γεννήτρια παλμών για παραγωγή ακουστικών συχνοτήτων και
- η **δισταθής λειτουργία**, όπου εδώ ο 555 μπορεί να λειτουργήσει σαν ένας μανταλωτής (μνήμη 1 bit) ή ως συγκριτής με υστέρηση (Schmitt trigger)

Στην περίπτωση μας μελετάμε την ασταθή λειτουργία. Παρακάτω φαίνεται η συνδεσμολογία του κυκλώματος ασταθούς λειτουργίας (εικόνα 2.2(γ)).



Εικόνα 2.2(γ): Κύκλωμα ασταθούς λειτουργίας

Μετά την διαμόρφωση του ακουστικού σήματος σε PWM (Pulse Width Modulation) ακολουθεί το κύκλωμα του μετασχηματιστή flyback, που αποτελείται από ένα MOSFET driver, το MIC 5020 και ένα N-channel MOSFET, το IRFZ44.

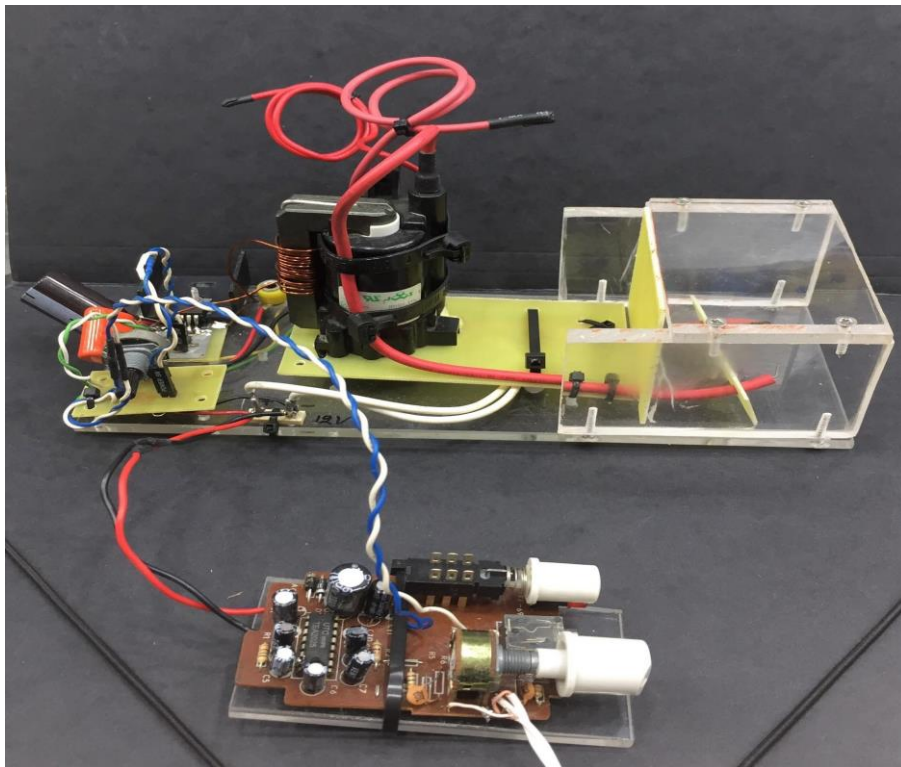
Το MIC 5020 μπορεί να ελέγξει MOSFETs που αλλάζουν τάσεις μεγαλύτερες

από 50V. Ένας παλμός, που ανεβαίνει ή πέφτει στην είσοδο, οδηγεί σε μια τρέχουσα πηγή ρεύματος ή πτώση παλμού στην έξοδο της πύλης του MOSFET. Αυτός ο παλμός ρεύματος εξόδου μπορεί να ενεργοποιήσει ή να απενεργοποιήσει ένα 2000pF MOSFET σε πάρα πολύ μικρό χρόνο (175ns).

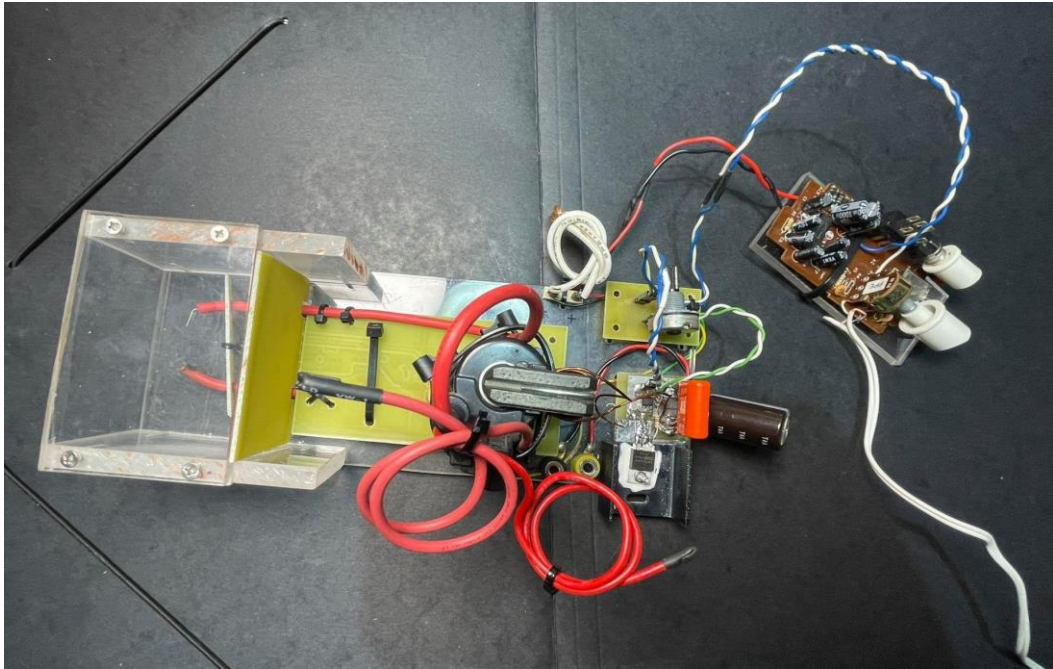
Η ενεργοποίηση του MOSFET συνδέει το πρωτεύον του μετασχηματιστή στη γείωση για τον χρόνο διάρκειας του παλμού.

## 2.3 Κατασκευή του Μεγαφώνου Πλάσματος

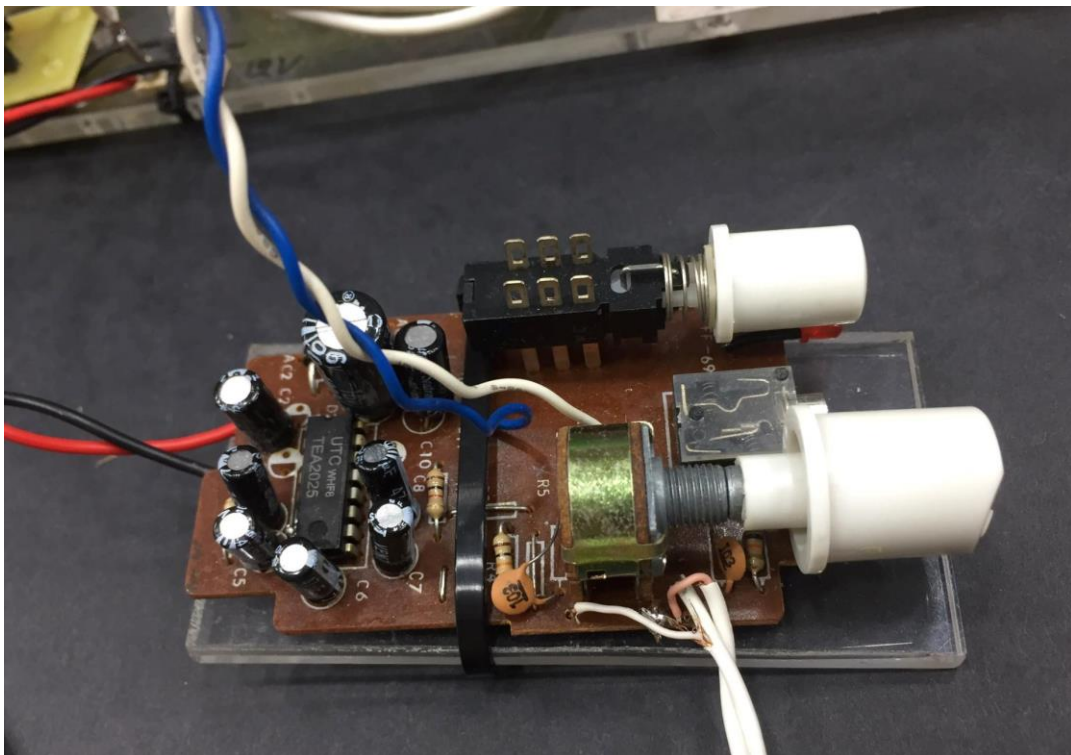
Στην ενότητα αυτή παραθέτουμε κάποιες από τις φωτογραφίες της κατασκευής μας, μέσα από τις οποίες μπορούμε να δούμε τα διάφορα δομικά μέρη του ηλεκτρονικού μας κυκλώματος.



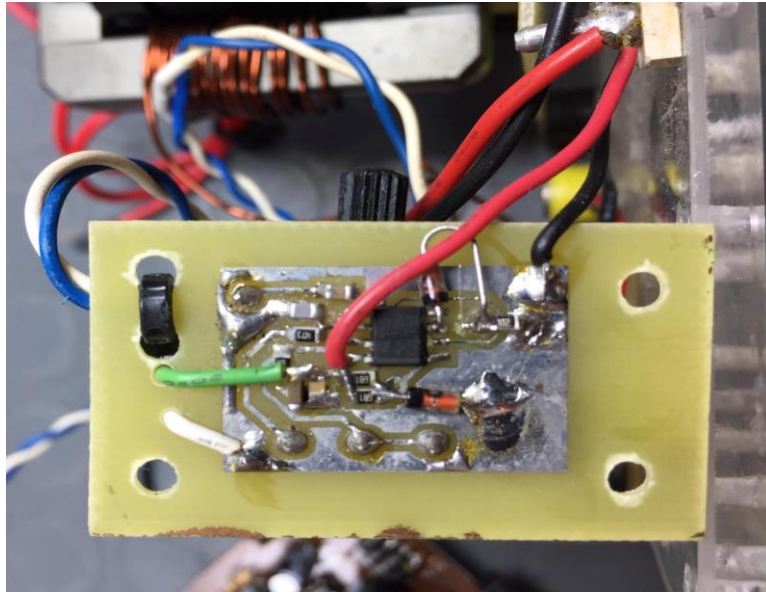
Εικόνα 2.3(α): Πρόσωση της κατασκευής μας



Εικόνα 2.3(β): Κάτοψη της κατασκευής μας



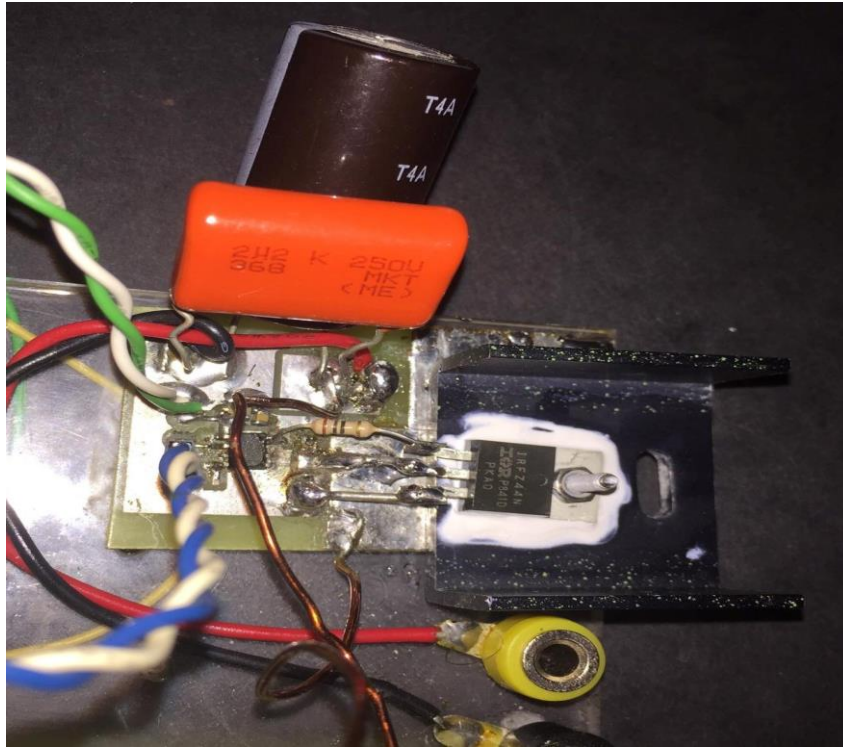
Εικόνα 2.3(γ): Κύκλωμα προενίσχυσης με UTC TEA 2025



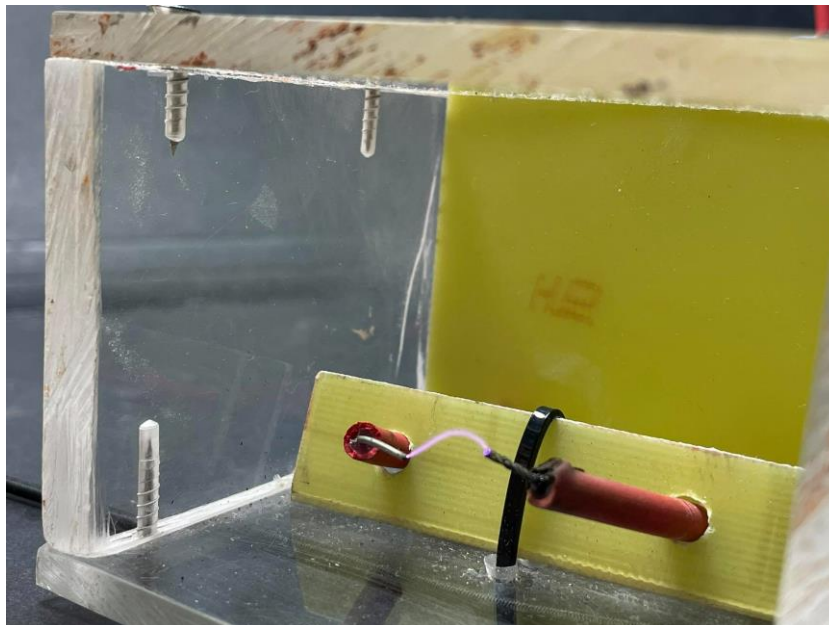
Εικόνα 2.3(δ): Το κύκλωμα διαμόρφωσης με το timer NE555



Εικόνα 2.3(ε): ο Μετασχηματιστής Flyback



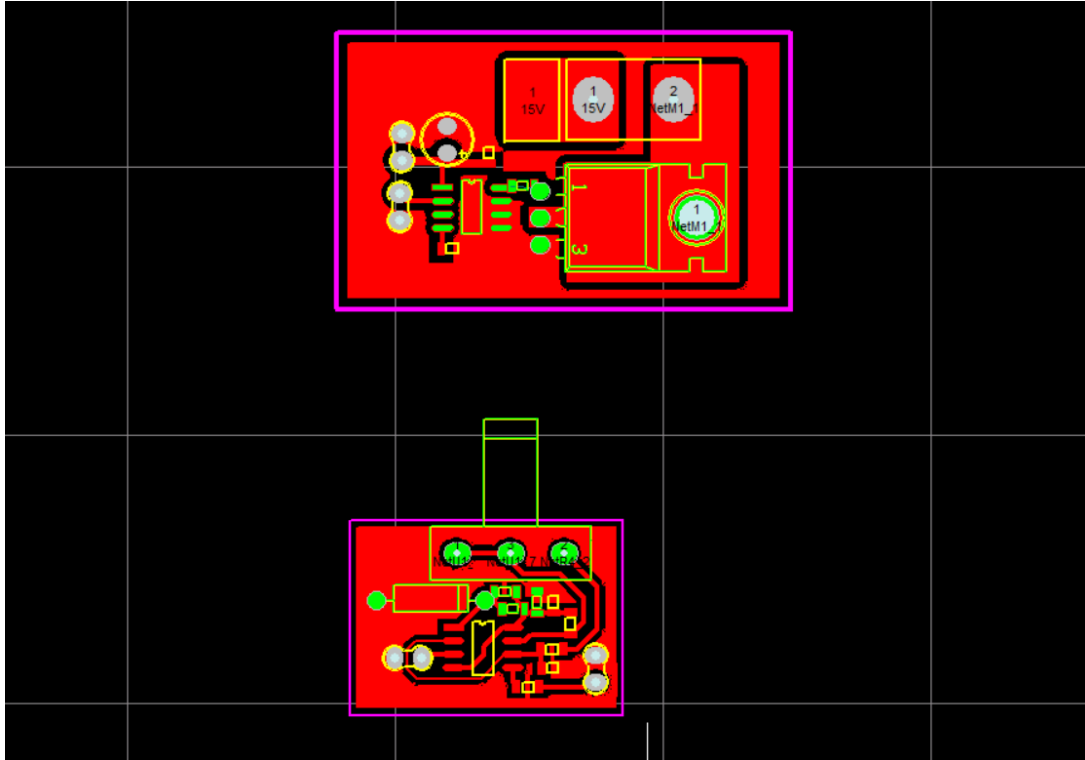
Εικόνα 2.3 (στ): Το κύκλωμα του μετασχηματιστή με τα MOSFET MIC 5020 και IRFZ44



Εικόνα 2.3(ζ): Σχηματισμός του ακουστικού τόξου

## 2.4 PCB

Στην εικόνα 2.3.1 (α) που ακολουθεί φαίνεται ο σχεδιασμός του ηλεκτρονικού μας κυκλώματος στο περιβάλλον του προγράμματος Protel 99 SE.



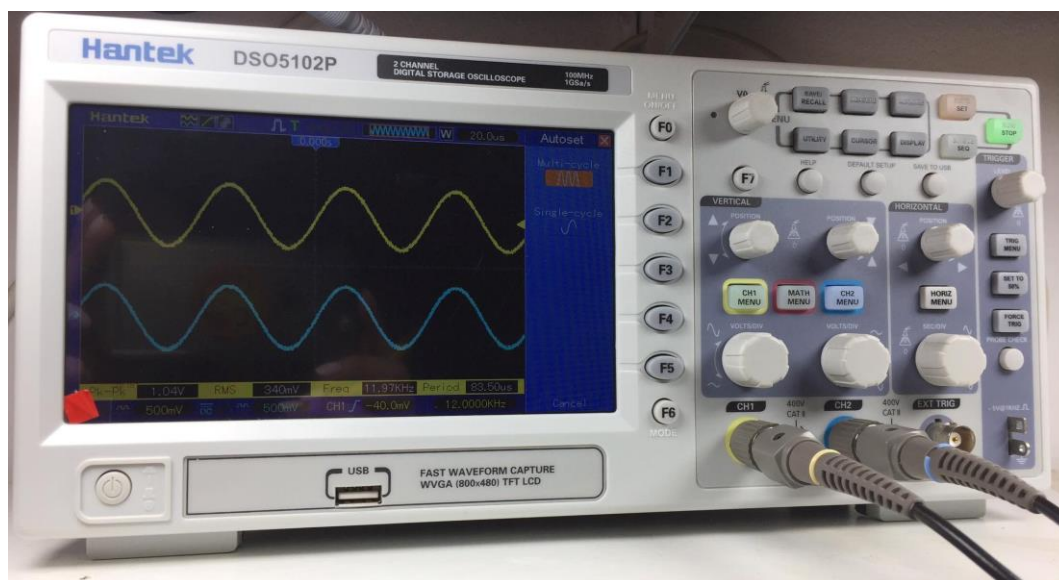
Εικόνα 2.3.1 (α): PCB μεγαφώνου πλάσματος

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Ανάλυση Μετρήσεων – Συμπεράσματα

Στο τελευταίο κεφάλαιο γίνεται η ανάλυση των μετρήσεων που πάρθηκαν σε εργαστηριακό περιβάλλον, μέσω ψηφιακού παλμογράφου και γεννήτριας ακουστικού σήματος, δίνοντας τροφοδοσία στο κύκλωμα από πηγή συνεχούς τάσεως.

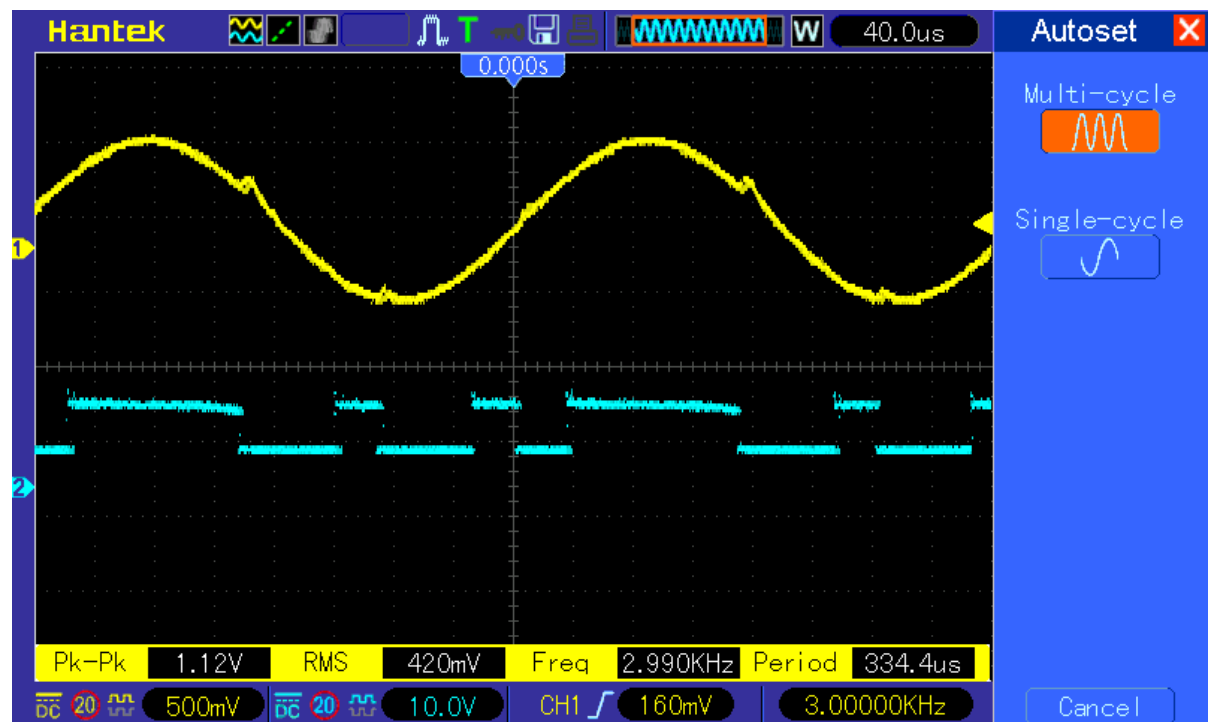
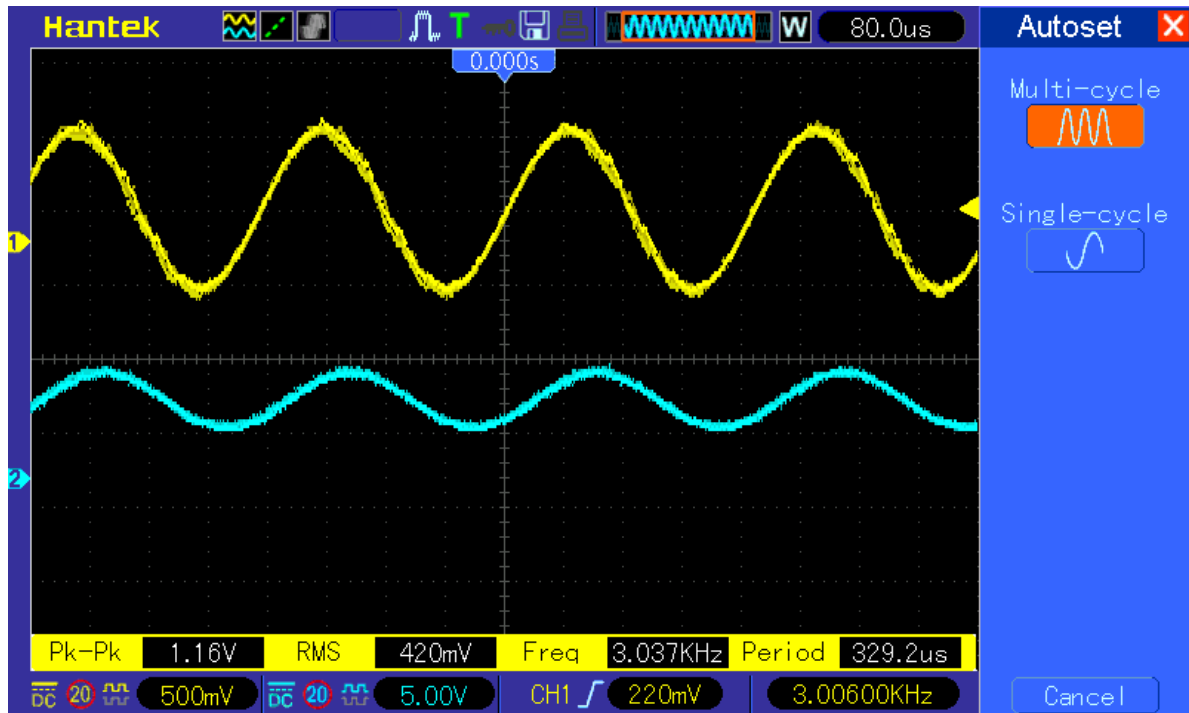
### 3.1 Μετρήσεις από Ψηφιακό Παλμογράφο

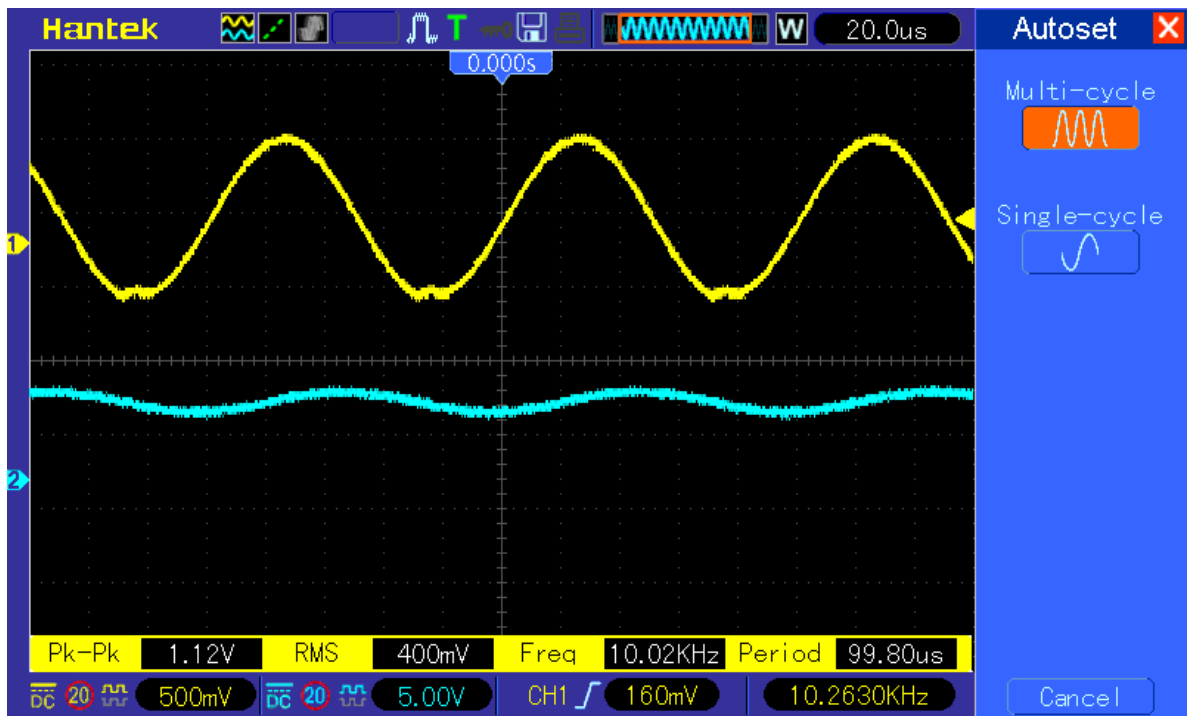
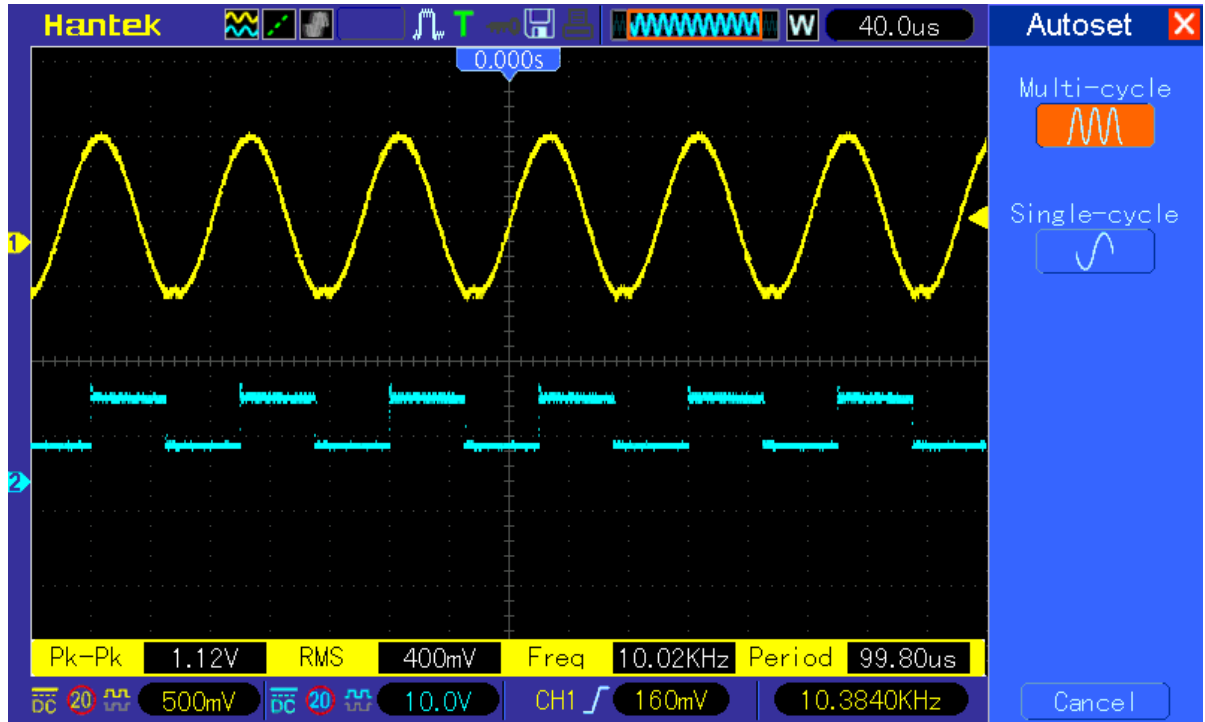
Στις εικόνες που ακολουθούν φαίνονται οι μετρήσεις του κυκλώματος στον διαμορφωτή από ψηφιακό παλμογράφο με τάση τροφοδοσίας 12V και 1 Vpp και με κύκλο λειτουργίας (duty cycle) 50%. Η πρώτη κυματομορφή (1) δηλώνει την είσοδο του ακουστικού σήματος (audio in) και η δεύτερη κυματομορφή (2) την έξοδο του σήματος (audio out). Οι μετρήσεις πάρθηκαν συνδέοντας την είσοδο στον ακροδέκτη 5 του timer NE555 και την έξοδο στον ακροδέκτη 3. Επίσης, μέσω του ροοστάτη που είναι συνδεδεμένος στον NE555 ρυθμίσαμε την συχνότητα αναφοράς (carrier frequency) γύρω στα 10,8 KHz.

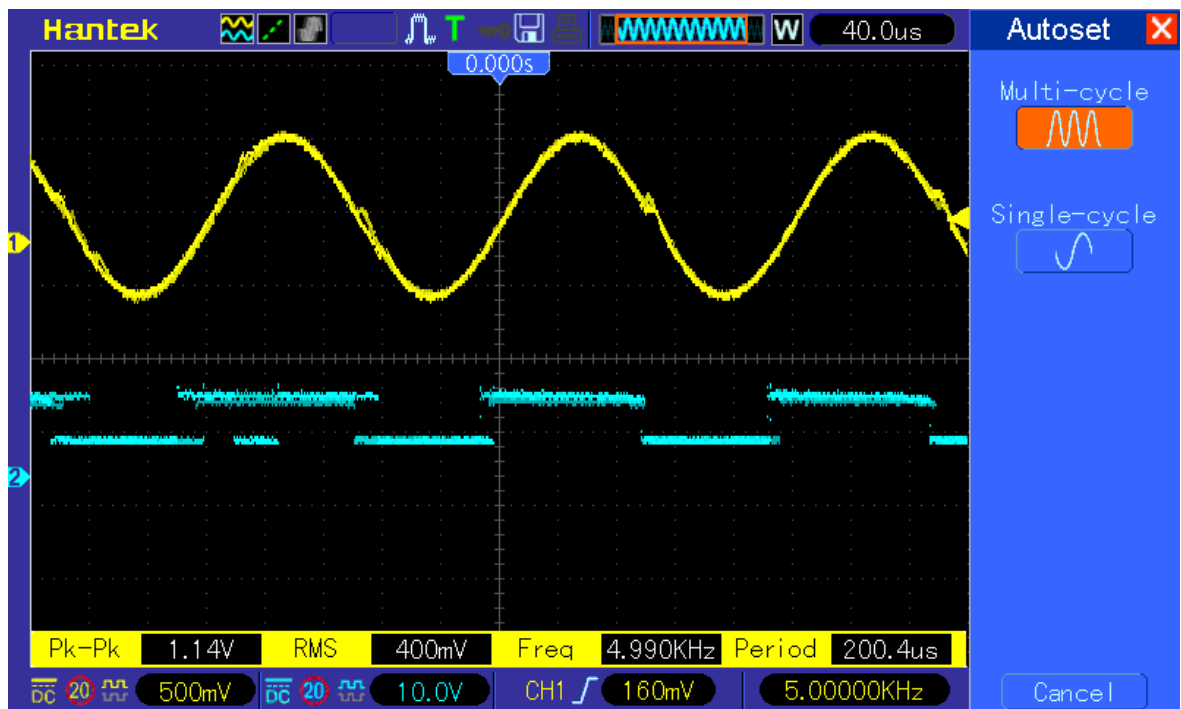
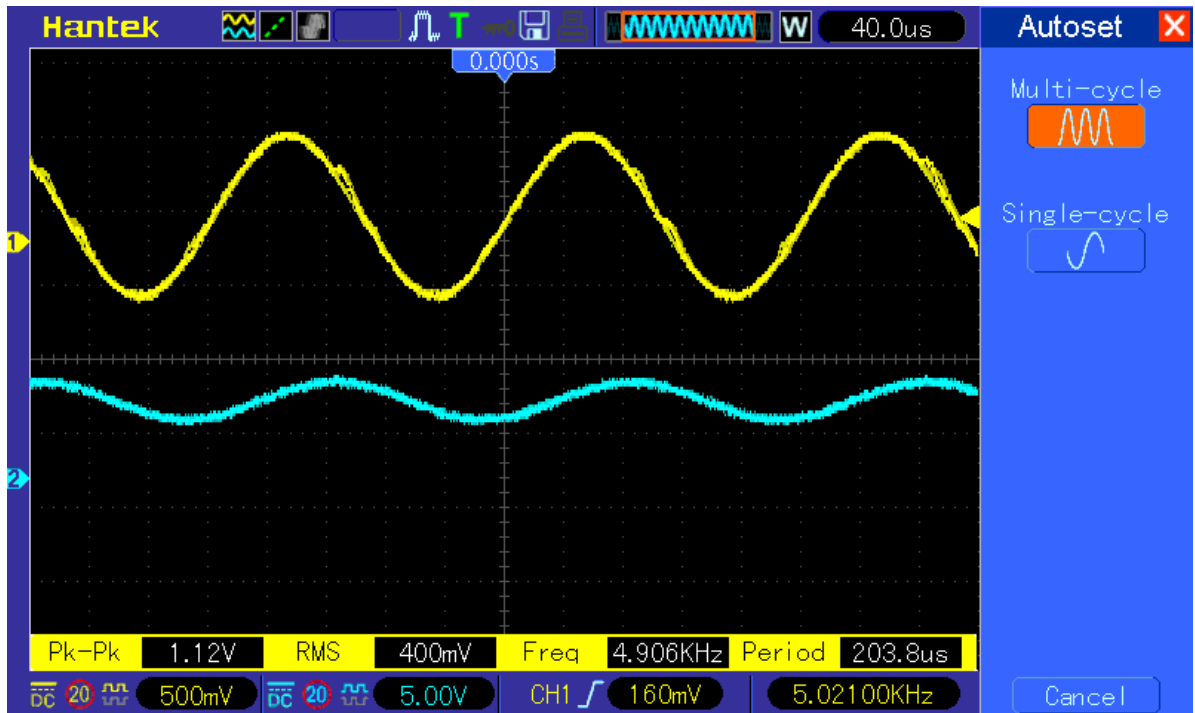


Εικόνα 3.1: Ο ψηφιακός μας παλμογράφος









### 3.2 Συμπεράσματα και Μελλοντική εργασία

Με την κατασκευή του ηχείου πλάσματος προσπαθήσαμε να κατανοήσουμε το φαινόμενο της ηλεκτρικής κατάρρευσης μέσω του ιονισμού των μορίων του αέρα, με τη βοήθεια ενός μετασχηματιστή flyback, καθώς και πώς μπορεί μέσα από ένα κύκλωμα απλής διαμόρφωσης (με τον NE555) και το κύκλωμα του μετασχηματιστή να παραχθεί ήχος μέσω του ακουστικού τόξου . Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι τα αποτελέσματα που λάβαμε χρησιμοποιώντας ένα μεγάφωνο πλάσματος είναι αρκετά παρόμοια με αυτά που θα λαμβάναμε χρησιμοποιώντας ένα απλό ηχείο. Συνεπώς, μπορούμε μέσω αυτής της ερευνητικής εργασίας που κάναμε, να υποστηρίξουμε την χρήση των μεγαφώνων πλάσματος έναντι των συμβατικών ηχείων στο μέλλον, καθιστώντας μια προσιτή τιμή αγοράς.

## ***ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ***

[1] Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο:

[https://en.wikipedia.org/wiki/Plasma\\_speaker](https://en.wikipedia.org/wiki/Plasma_speaker)

[2] Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο:

<http://www.noiseaddicts.com/2009/04/plasma-speakers/>

[3] Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο:

[http://en.wikipedia.org/wiki/Plasma\\_speaker](http://en.wikipedia.org/wiki/Plasma_speaker)

[4] Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο:

<http://www.instructables.com/id/Build-A-Plasma-Speaker/>

[5] Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο:

<https://www.gr.circuitlib.com/>

[6] Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο:

[https://www.diodes.com/assets/Datasheets/NE555\\_SA555\\_NA555.pdf](https://www.diodes.com/assets/Datasheets/NE555_SA555_NA555.pdf)

[7] Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο:

<https://www.microchip.com/wwwproducts/en/MIC5020>

[8] Ξένη Βιβλιογραφία:

I. Alexeff, “A Plasma Loudspeaker Using a D. C, Carbon Arc,” IEEE Abstracts, p. 490, 2001.

[9] Ξένη Βιβλιογραφία:

M. S. Mollen, Mazzola and G. Marshall, “Moldeling of a dc glow plasma loudspeaker,” Journal of the Acoustical Society of America, vol. 81, no. 6, pp. 1972-1978, 1987.

[10] Ξένη Βιβλιογραφία:

Y. Sutton, J. Moore, D. Sharp, S. Braithwaite and J. Nicholas, “Looking Into a Plasma Loudspeaker,” IEEE Transactions On Plasma Science, pp. 2146-2147, 2011.

[11] Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο:

[http://www.plasmatweeter.de/eng\\_corona.htm](http://www.plasmatweeter.de/eng_corona.htm)

[12] Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο:

<http://store.studentrnd.org/products/plasma-speaker>

[13] Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο:

<http://www.dos4ever.com/flyback/flyback.html>

