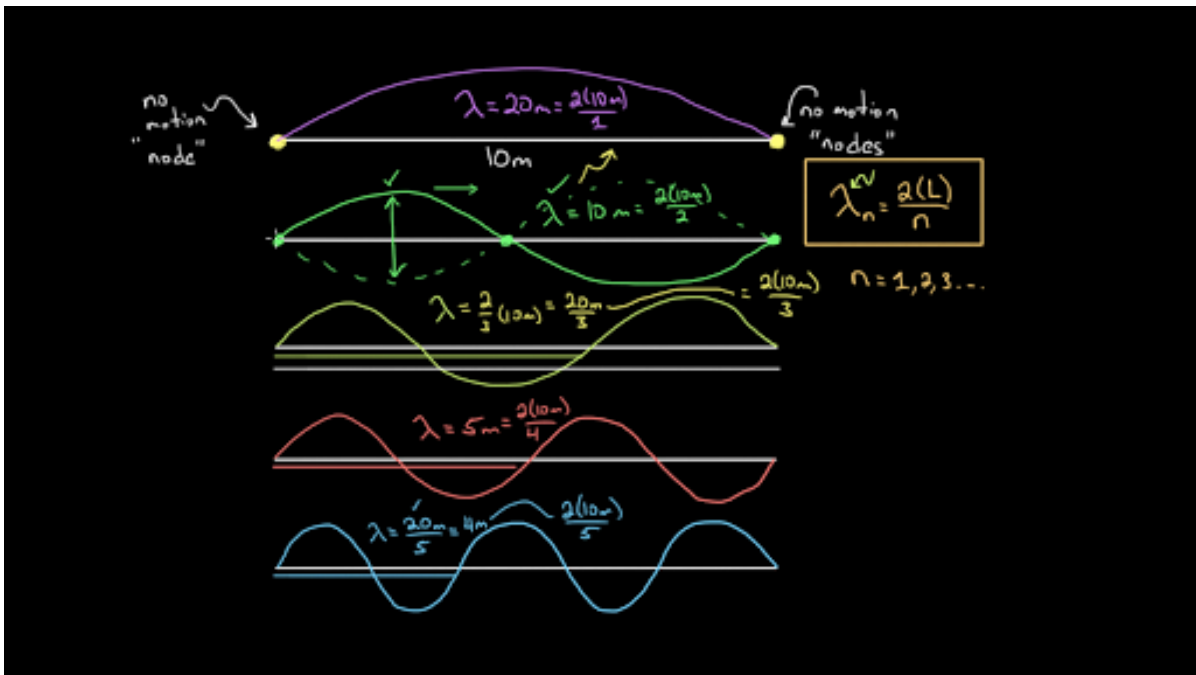


Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης
Τμήμα Μηχανικών Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής

ΣΥΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΣΗΜΑΤΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΙΝΗΣΗ
ΧΟΡΔΩΝ



Φοιτητής: Γερόλυμος Μιχαήλ-Άγγελος
Επιβλέπων καθηγητής: Σπύρος Κουζούπης

Ρέθυμνο 2019

Περιεχόμενα

| | |
|---|-----------|
| Περίληψη..... | 4 |
| Κεφάλαιο 1ο..... | 6 |
| 1.1 Ταλαντώσεις σε χορδές..... | 7 |
| 1.2 Η μονοδιάστατη κυματική εξίσωση..... | 10 |
| 1.3 Εξαναγκασμένη ταλάντωση..... | 12 |
| Κεφάλαιο 2ο | |
| 2.1 Κιθάρα..... | 15 |
| 2.1.1 Εισαγωγή..... | 15 |
| 2.1.2 Χαρακτηριστικά κιθάρας..... | 16 |
| 2.1.3 Συχνοτική απόκριση κιθάρας..... | 18 |
| 2.1.4 Ηλεκτρική Κιθάρα..... | 19 |
| 2.2 Ηλεκτρικό Μπάσο..... | 22 |
| 2.3 Μαγνήτης..... | 22 |
| 2.3.1 Ηλεκτρομαγνητική επαγωγή..... | 23 |
| 2.3.2 Ηλεκτρομαγνητική επαγωγή εφαρμοσμένη σε μαγνήτες κιθάρας..... | 24 |
| 2.3.3 Θέση του μαγνήτη..... | 24 |
| 2.3.4 Επίδοση του μαγνήτη..... | 27 |
| 2.3.5 Μαγνήτης διπλού πηνίου (Humbucker pickup)..... | 31 |
| 2.4 Οπτικός αισθητήρας εκπομπής υπερύθρων..... | 33 |
| 2.5 Μικρόφωνο..... | 38 |
| Κεφάλαιο 3 | |
| 3.1 Διαδικασία πειράματος..... | 41 |

| | |
|--|------------|
| 3.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων..... | 46 |
| 3.2.1 Φασματική ανάλυση ηχητικών δειγμάτων από το μονόχορδο..... | 46 |
| 3.2.2 Φασματική ανάλυση ηχητικών δειγμάτων από την ηλεκτρική κιθάρα με 1 χορδή..... | 54 |
| 3.2.3 Φασματική ανάλυση ηχητικών δειγμάτων από την ηλεκτρική κιθάρα με 2 χορδές..... | 83 |
| 3.2.4 Φασματική ανάλυση ηχητικών δειγμάτων από το μπάσο με 1 χορδή..... | 103 |
| 3.2.5 Φασματική ανάλυση ηχητικών δειγμάτων από το μπάσο με 2 χορδές..... | 116 |
| 3.3 Συμπεράσματα..... | 129 |
| Βιβλιογραφία..... | 131 |

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται οι ομοιότητες και οι διαφορές στο συχνοτικό φάσμα των σημάτων από την κίνηση χορδών που λαμβάνουν τέσσερις διαφορετικοί αισθητήρες: μικρόφωνο, μαγνήτης ηλεκτρικής κιθάρας/μπάσου και αισθητήρας εκπομπής-λήψης υπερύθρων.

Κατά τη διάρκεια του πειράματος οι διάφορες χορδές που χρησιμοποιήθηκαν βρίσκονταν τεντωμένες πάνω σε μουσικά όργανα όπως η ηλεκτρική και ηλεκτροακουστική κιθάρα, το ηλεκτρικό μπάσο και μία πειραματική διάταξη. Στη συνέχεια, έγινε διέγερση των χορδών αυτών σε διάφορα σημεία με τους αισθητήρες να καταγράφουν ταυτοχρόνως τον ήχο που παράγουν. Μετά, η θέση των αισθητήρων άλλαζε και επαναλαμβανόταν η διαδικασία.

Αφού πραγματοποιήθηκε η λήψη των σημάτων με τη χρήση κάρτας ήχου για τη μετατροπή από αναλογικό σε ψηφιακό και του λογισμικού Reaper, έγινε φασματική ανάλυση των ηχητικών με το πρόγραμμα Room EQ Wizard.

Πέρα από το πείραμα, παρουσιάζονται το θεωρητικό υπόβαθρο των αισθητήρων που χρησιμοποιήθηκαν για την πραγματοποίηση της εργασίας.

COMPARATIVE STUDY OF SENSORS' SIGNALS FROM STRING VIBRATIONS

This project presents the similarities and differences in the frequency spectrum of signals from the vibrations of strings which were recorded by four different sensors: a microphone, electric guitar/ bass pick-up and an infrared emitting optical sensor.

During the experiment the various strings that were used were fixed on musical instruments like the electric guitar, the electric bass guitar and an experiment set-up designed for the study of string vibrations. Afterwards the strings were plucked in different points while the sensors were recording the produced by the string sound simultaneously. The next step was changing the sensors' point of placement and repeat the process.

After accomplishing the recordings with the use of audio interface for analog to digital conversion and the Digital Audio Workstation: Reaper, the spectral analysis of the audio samples was done with Room EQ Wizard.

Along with the experiment, the theoretical base of the sensors that were used for the accomplishment of this particular project are also presented.

Κεφάλαιο 1ο

1.1 Ταλαντώσεις σε χορδές

Οι χορδές είναι σώματα των οποίων οι διαστάσεις του ύψους και του πλάτους είναι αμελητέες σχέση το μήκος. Οι ταλαντώσεις τους είναι εγκάρσιες και συνήθως είναι στερεωμένες στα δύο άκρα . Επίσης, αποτελούν την πιο απλή περίπτωση πηγής που ταλαντώνεται σε άπειρο αριθμό συχνοτήτων. Οι συχνότητες που είναι ακέραια πολλαπλάσια της θεμελίου f_0 και δίδεται από την εξίσωση:

$$f_0 = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T}{\rho}} \quad (1.1)$$

Η εξίσωση κίνησης των χορδών είναι:

$$\frac{d^2y}{dt^2} = c^2 \frac{d^2y}{dx^2}, c^2 = \frac{T}{\rho} \quad (1.2)$$

Όπου T η τάση σε N , ρ η γραμμική πυκνότητα της χορδής και L το μήκος της χορδής. Η γενική λύση της εξίσωσης έχει τη μορφή δύο κυμάτων που οδεύουν σε αντίθετες κατευθύνσεις :

$$y(x, t) = ae^{i(\omega t - kx)} + be^{i(\omega t + kx)} \quad (1.3)$$

Ή ισοδύναμα:

$$y(x, t) = (A \cos \omega t + B \sin \omega t)(C \cos kx + D \sin kx) \quad (1.4)$$

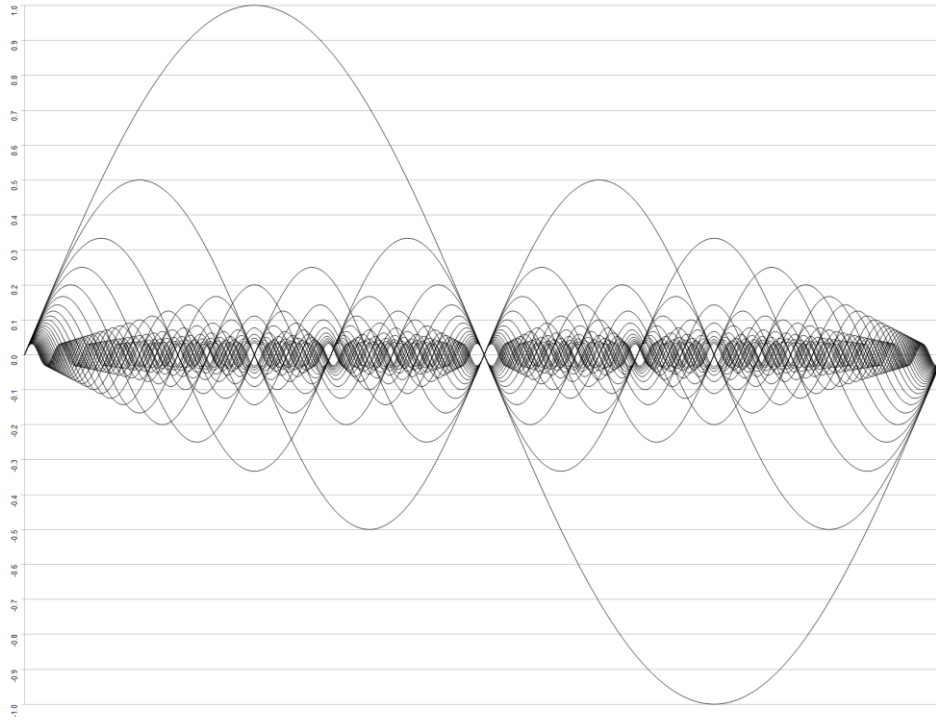
Οι σταθερές A και B προσδιορίζονται από τις αρχικές συνθήκες, ενώ οι C και D από τις συνοριακές συνθήκες. Οι μορφή της γενικής λύσης εξαρτάται από τον τρόπο πάκτωσης της χορδής, τη μορφή, τη θέση αλλά και τον τρόπο εφαρμογής της τείνουσας δύναμης. Αυτός είναι ο λόγος που η χορδής ενός πιάνου έχει διαφορετικό συχνοτικό φάσμα από της χορδή ενός βιολιού ή κιθάρας έστω κι αν έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά και τείνονται με την ίδια τάση.

Οι χορδές συντονίζονται στις φυσικές συχνότητες τους. Κατά τη διάρκεια του συντονισμού σχηματίζονται στάσιμα κύματα με τέτοιο τρόπο ώστε στα πακτωμένα άκρα να σχηματίζονται δεσμοί, ενώ στα ελεύθερα άκρα κοιλίες. Αν λάβουμε υπόψη μας ότι δύο διαδοχικοί δεσμοί απέχουν $\lambda/2$, η δε απόσταση δεσμού κοιλίας θα είναι $\lambda/4$. Για να υπάρξει συντονισμός το μήκος της χορδής ανάλογα με τα σημεία και τον τρόπο πάκτωσης της θα πρέπει να είναι πολλαπλάσια του $\lambda/2$ ή περιττό πολλαπλάσιο του $\lambda/4$. Συνεπώς οι συχνότητες συντονισμού πακτωμένης στα δύο άκρα είναι:

$$L = n \frac{\lambda}{2} f = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{T}{\rho}} n = 1, 2, 3 \dots \quad (1.5)$$

Οι συχνότητες συντονισμού της χορδής πακτωμένη στο ένα άκρο είναι:

$$L = (2n - 1) \frac{\lambda}{4} f = \frac{2n-1}{4L} \sqrt{\frac{T}{\rho}} n = 1, 2, 3 \dots \quad (1.6)$$



Σχήμα 1.1: Ιδιοσυχνότητες χορδής σε μία διάσταση (Link No15).

1.2 Η μονοδιάστατη κυματική εξίσωση

Έστω ότι έχουμε μία χορδή που τείνεται από μία τάση T . Η χορδή έχει γραμμική πυκνότητα ρ η οποία είναι ομοίμορφα κατανεμημένη. Υποθέτουμε ότι ισχύει ο νόμος του Hook, δεν υπάρχουν διατμημένες τάσεις και η εφαρμοζόμενη τάση T παραμένει σταθερή σε όλο το μήκος της χορδής. Επιπλέον, τα εύρη των ταλαντώσεων είναι μικρά, δεν υπάρχουν ροπές κάμψης και απώλειες ενέργειας.

Η διαφορά των τάσεων στα δύο άκρα:

$$dF_y = (T \sin \theta)_{x+dx} - (T \sin \theta)_x \quad (1.7)$$

όπου θ είναι η γωνία μεταξύ της εφαπτομένης της χορδής με τον x -άξονα και αναπτύσσοντας κατά Taylor έχουμε:

$$dF_y = \left[(T \sin \theta)_x + \frac{\partial (T \sin \theta)}{\partial x} dx \right] - (T \sin \theta)_x = \frac{\partial (T \sin \theta)}{\partial x} dx \quad (1.8)$$

Για μικρές μετατοπίσεις το ημίτονο μπορεί να αντικατασταθεί από την εφαπτομένη (dy/dx), μπορούμε να γράψουμε:

$$dF_y = \frac{\partial (T \frac{\partial y}{\partial x})}{\partial x} = T \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \quad (1.9)$$

Λαμβάνοντας υπόψη τον 2^ο νόμο του Newton έχουμε:

$$T \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} dx = (\rho ds) \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \quad (1.10)$$

Όπου ρds είναι η μάζα της χορδής και $\frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$ η επιτάχυνση στον y -άξονα.

Εφόσον το dy είναι μικρό το ds είναι σχεδόν ίσο με το dx οπότε προκύπτει η εξίσωση κίνησης της χορδής για εγκάρσια κύματα:

$$\frac{d^2y}{dt^2} = c^2 \frac{d^2y}{dx^2}, c^2 = \frac{T}{\rho} \quad (1.11)$$

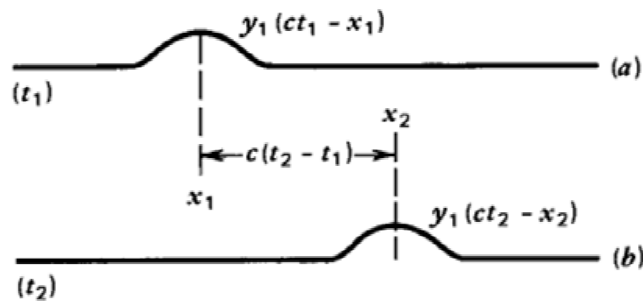
Η εξίσωση αυτή είναι μία δεύτερης τάξης διαφορική εξίσωση. Η γενική λύση της είναι:

$$y(x, t) = y_1(ct - x) + y_2(ct + x) \quad (1.12)$$

Οι παράγοντες $y_1(ct - x)$ και $y_2(ct + x)$ αντικατοπτρίζουν δύο εγκάρσια κύματα που οδεύουν προς την $+x$ και στην $-x$ αντίστοιχα.

Στο σχήμα 1.2 φαίνεται ο παράγοντας $y_1(ct - x)$ και η χρονική του εξέλιξη. Η δόνηση παρουσιάζει μέγιστα στις θέσεις x_1 και x_2 στις αντίστοιχες χρονικές στιγμές και προκύπτει ότι:

$$ct_1 - x_1 = ct_2 - x_2 \Rightarrow c = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} \quad (1.13)$$



Σχήμα 1.2: Εγκάρσια διαταραχή που οδεύει προς τη θετική κατεύθυνση (Βιβλιογραφία Νο8).

Όπου c είναι η φασική ταχύτητα του κύματος και είναι ταχύτητα με την οποία ταξιδεύει μέσο στο μέσο διάδοσης. Τα υλικά στοιχεία (σωματίδια) κινούνται εγκάρσια γύρω από τη θέση ισορροπίας τους με ταχύτητα:

$$u(x, t) = \frac{\partial y_1}{\partial t} \quad (1.14)$$

1.3 Εξαναγκασμένη ταλάντωση

Υποθέτουμε ότι έχουμε μία χορδή μήκους L , η οποία είναι πακτωμένη στο δεξί άκρο ($x = L$) και οδηγείται από το αριστερό άκρο ($x = 0$) με δύναμη F . Στο αριστερό άκρο από τις συνοριακές συνθήκες προκύπτει:

$$F e^{i\omega t} + T \left(\frac{\partial y}{\partial x} \right)_{x=0} = 0 \quad (1.15)$$

Κάνοντας αντικατάσταση την εξίσωση (1.3) στην (1.15), δίνει:

$$F + T(-ika + ikb) = 0 \quad (1.16)$$

Στο σταθερό άκρο η μετατόπιση είναι πάντα 0, οπότε:

$$a e^{-ikL} + b e^{ikL} = 0 \quad (1.17)$$

Λύνοντας το σύστημα των εξισώσεων προσδιορίζονται οι σταθερές a και b . Αντικαθιστώντας στη λύση (1.3) δίνει:

$$y(x, t) = \frac{F}{kT} \frac{\sin[k(L-x)]}{\cos kL} e^{i\omega t} = Y(x) e^{i\omega t} \quad (1.18)$$

Η παραπάνω εξίσωση παριστά ένα κύμα το οποίο δεν διαδίδεται κατά μήκος της χορδής και το πλάτος του είναι συνάρτηση της θέσης, δηλαδή παριστά ένα στάσιμο κύμα. Τα σημεία στα οποία μηδενίζεται ο αριθμητής αντιστοιχούν στους δεσμούς των στάσιμων κυμάτων που σημαίνει ότι η μετατόπιση είναι 0 οποιαδήποτε στιγμή. Η θέση των δεσμών μετακινείται με την αλλαγή της συχνότητας. Το πλάτος των μεγίστων μεγιστοποιείται στις θέσεις που μηδενίζεται ο παρονομαστής:

$$kL = \frac{2n-1}{2}\pi, n = 1,2,3 \dots \Rightarrow f = \frac{2n-1}{4} \frac{c}{L} \quad (1.19)$$

Οι παραπάνω συχνότητες ονομάζονται συχνότητες συντονισμού.

Κεφάλαιο 2ο

2.1 Κιθάρα

2.1.1 Εισαγωγή

Η κιθάρα υπήρξε έγχορδο μουσικό όργανο της ελληνικής αρχαιότητας, το οποίο ανήκε στην ευρύτερη οικογένεια της λύρας.

Στη σημερινή εποχή η κιθάρα αναφέρεται στο σύγχρονο μουσικό όργανο, το οποίο δανείζεται το όνομά του από το αρχαιοελληνικό ομώνυμο όργανο, αλλά ωστόσο αποτελεί εξέλιξη μιας ξεχωριστής οικογένειας εγχόρδων οργάνων.

Η σύγχρονη εξάχορδη κιθάρα (Σχήμα 2.1) προέρχεται από την ισπανική *vihuela* (Σχήμα 2.2), ένα όργανο που μοιάζει περισσότερο στο σχήμα με το βιολί παρά με την κιθάρα. Το γνωστό σχήμα της οφείλεται στον Antonio de Torres (1817-1892), ο οποίος και τελειοποίησε την κατασκευή της προσθέτοντας μια διάταξη εσωτερικών ενισχύσεων του καπακιού που ονομάζονται καμάρια τοποθετημένες έτσι, που σχηματίζουν βεντάλια.



Εικόνα 2.1: Κλασική κιθάρα(Link No12).



Εικόνα 2.2: Vihuela(Link No13).

2.1.2 Χαρακτηριστικά της κιθάρας

Η κλασική κιθάρα συνήθως έχει 6 χορδές μήκους περίπου 65 cm οι οποίες είναι κουρδισμένες βάσει την ισοσυγκερασμένη κλίμακα ως εξής:

$$E_2, A_2, D_3, G_3, B_3, E_4$$

Με θεμελιώδεις συχνότητες των ανοιχτών χορδών να είναι 82, 110, 147, 196, 247 και 330 Hz αντίστοιχα.

Το τμήμα που παίζει το μεγαλύτερο ρόλο στην παραγωγή του ήχου και τη χροιά είναι το καπάκι, το οποίο κατασκευάζεται από έλατο ή κέδρο. Το πάχος του είναι 2.5 mm και στο κέντρο υπάρχει μία στρογγυλή οπή η οποία σε συνδυασμό με τον όγκο του σκάφους σχηματίζουν έναν συνηχητή Helmholtz. Το πίσω καπάκι είναι περίπου ίσου πάχους με του μπροστινού και κατασκευάζεται συνήθως από μαόνι, σφένδαμο ή παλίσανδρο. Το μπράτσο είναι συνήθως κατασκευασμένο από σφένδαμο, εκτός από την ταστιέρα που είναι φτιαγμένη από σκληρά ξύλα όπως ο έβενος και το ξύλο τριανταφυλλιάς από τα οποία είναι κατασκευασμένη και η γέφυρα, που είναι κολλημένη στο καπάκι και μέσω αυτής μεταφέρονται οι δονήσεις στην υπόλοιπη κιθάρα.

Υπάρχουν πολλά είδη κιθάρας, αλλά τα βασικότερα είναι δύο: η κλασική και η ακουστική, οι διαφορές των οποίων εντοπίζονται στο είδος των χορδών, στο σχήμα του σκάφους και στον τρόπο ενίσχυσης του καπακιού με καμάρια. Η κλασική κιθάρα έχει τρεις μεταλλικές και τρεις νάιλον χορδές, των οποίων η τάση είναι μεσαία και η όλη κατασκευή είναι ελαφριά. Η ακουστική κιθάρα έχει έξι μεταλλικές χορδές και λόγω της αυξημένης τάσης τους, η κατασκευή είναι δυνατή, με τα καμάρια να τοποθετούνται σε διάταξη σχήματος X.



Εικόνα 2.3: Το εσωτερικό της κλασσικής κιθάρας. Όπως φαίνεται και στην εικόνα, τα καμάρια είναι τοποθετημένα σε σχήμα βεντάλιας (Link Νο6).



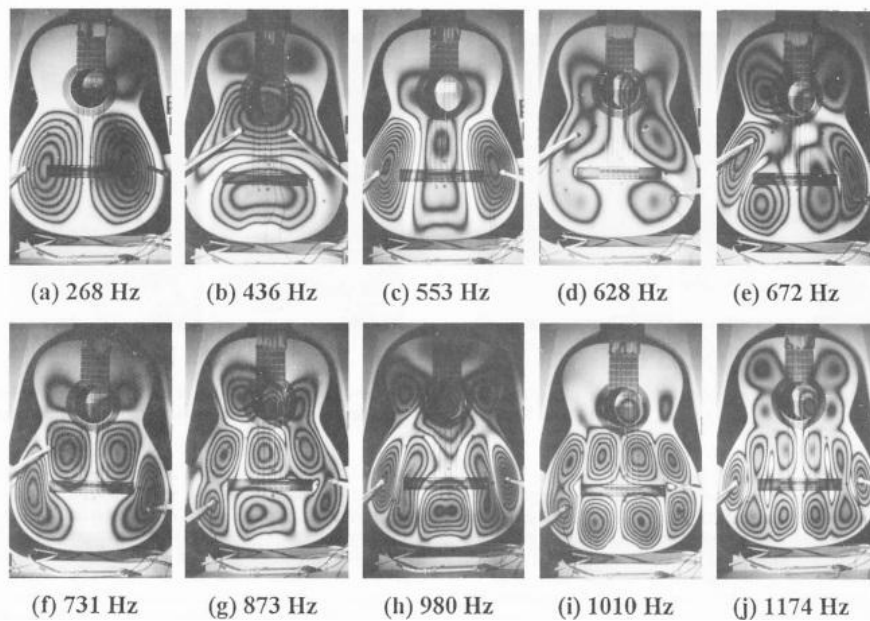
Εικόνα 2.4: Το εσωτερικό της ακουστικής κιθάρας. Στην εικόνα φαίνεται ξεκάθαρα το σχήμα X που σχηματίζουν τα καμάρια (Link Νο11).



Εικόνα 2.5: Το εσωτερικό της πλάτης της κλασικής κιθάρας, το οποίο είναι περίπου ίδιο με αυτό της ακουστικής(Link No7).

2.1.3 Συχνοτική απόκριση κιθάρας

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ο όγκος του αντηχείου μαζί με την σπή σχηματίζουν ένας σπηλαιόμορφο Helmholtz με θεμελιώδη συχνότητα περίπου στα 120 Hz. Προφανώς, η συχνοτική απόκριση διαφοροποιείται από όργανο σε όργανο. Στο σχήμα 2.6 απεικονίζονται κάποιοι από τους ιδιορυθμούς του καπακιού μιας κιθάρας που καταγράφηκαν με τη μέθοδο της οπτικής ολογραφίας. Ο πρώτος ιδιορυθμός οφείλεται στον συντονισμό του αέρα στην κοιλότητα του σκάφους, ενώ ο δεύτερος (περίπου στα 268 Hz) είναι ο πρώτος ισχυρός συντονισμός στο καπάκι της κιθάρας.



Σχήμα 2.6: Κάποιοι από τους συντονισμούς μιας κιθάρας(Βιβλιογραφία No2).

Άλλοι εξίσου σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη συχνοτική απόκριση είναι ο τρόπος που διεγείρεται μια χορδή και η γωνία έλξης της, η οποία δεν είναι απόλυτα κάθετη προς τη γέφυρα. Όταν η γωνία μιας συνιστώσας είναι κάθετη, η ακουστική έξοδος είναι σημαντική, διότι σε αυτήν την διεύθυνση η σύζευξη των χορδών με το καπάκι είναι καλή και ο ρυθμός εξασθένησης της ενέργειας των χορδών είναι υψηλός. Ωστόσο, με τις εγκάρσιες συνιστώσες έχουμε ταυτόχρονα και άλλες δυνατές κινήσεις, για τις οποίες δεν παρέχεται μεγάλη σύζευξη

με το καπάκι λόγω κατασκευής του οργάνου, με αποτέλεσμα η ενέργεια να εξασθενεί πιο αργά σε σχέση με τις εγκάρσιες κινήσεις κι έτσι, δημιουργούνται δύο ξεχωριστές περιβάλλουσες εξασθένησης του ήχου της χορδής.

2.1.4 Ηλεκτρική κιθάρα

Ηλεκτρική ονομάζεται η κιθάρα που χρησιμοποιεί ηλεκτρομαγνήτες για να μετατρέψει την ταλάντωση μιας χορδής σε ηλεκτρικό ρεύμα το οποίο έπειτα μπορεί να ενισχυθεί με ένα σύστημα ενισχυτή-ηχείου. Το σήμα που προέρχεται από την κιθάρα μπορεί επίσης να επεξεργαστεί επεμβαίνοντας στη χροιά του με ισοσταθμιστή (equalizer) και να προσθέσουμε διάφορα εφέ όπως reverb, delay, distortion κτλ καταλήγοντας σε ένα αποτέλεσμα τελείως διαφορετικό από το αρχικό. Ενώ οι περισσότεροι τύποι κιθάρας φέρουν 6 χορδές, υπάρχουν και άλλοι που φέρουν 7 και πάνω χορδές τις οποίες χρησιμοποιούνται από καλλιτέχνες της blues και της metal μουσικής.

Η ηλεκτρική κιθάρα χρησιμοποιήθηκε αρχικά από μουσικούς της τζαζ ως ένα κούφιο όργανο, ηλεκτρικώς ενισχυμένο για μεγαλύτερη ένταση κατά την περίοδο του swing. Οι πρώτες ηλεκτρικές κιθάρες διέθεταν κούφιο σώμα, ατσάλινες χορδές και ηλεκτρομαγνήτες με σπείρες από βολφράμιο που κατασκεύαζε η εταιρεία Rickenbacker το 1931 και ο Les Paul. Ωστόσο, ο πρώτος επιτυχημένος τύπος ηλεκτρικής κιθάρας ήταν η Fender Esquire το 1950. Για τα επόμενα η ηλεκτρική κιθάρα αποτέλεσε το βασικότερο όργανο μουσικής για την εξέλιξη πολλών ειδών όπως το Chicago Blues, Rock n' Roll, Metal κλπ.



Εικόνα 2.7: Ένα από τα πρώτα μοντέλα ηλεκτρικής κιθάρας της Rickenbacker της δεκαετίας του 1930 λεγόμενο ως “τηγάνι” (αγγλ. Frying pan)(Link No5)

Η κιθάρα που χρησιμοποιήθηκε για την πραγματοποίηση της πειραματικής διαδικασίας ήταν η Eriphone Les Paul Standard (Σχήμα 2.8). Το σώμα της είναι συμπαγές και φτιαγμένο από μαόνι, λαιμός της κιθάρας είναι επίσης από μαόνι και η ταστιέρα είναι από ξύλο τριανταφυλλιάς με μήκος 62.8 cm. Το ηλεκτρικό σύστημα της κιθάρας αποτελείται από δύο διπλούς μαγνήτες (humbuckers) χωρίς προενίσχυση, διακόπτη επιλογής μαγνήτη και 4 ποτενσιόμετρα, 2 για τη ρύθμιση του τόνου και 2 για τη ρύθμιση της έντασης του σήματος.



Εικόνα 2.8: Epiphone Les Paul Standard(Link No3)

2.2 Μπάσο

Το μπάσο είναι έγχορδο μουσικό όργανο που παίζεται με τα δάχτυλα ή τον αντίχειρα με τεχνικές όπως slapping, thumping, popping και tapping αλλά και με πένα. Το σχήμα του είναι παρόμοιο με αυτό της ηλεκτρικής κιθάρας, αλλά διαφέρει στο μήκος του μπράτσου και στην απόσταση μεταξύ των τάστων. Το σώμα του είναι συνήθως φτιαγμένο από σκλήθρα, ο λαιμός από σφένδαμο και η τασιέρα από ξύλο τριανταφυλλιάς. Όπως και η ηλεκτρική κιθάρα, το μπάσο συνδέεται με ενισχυτή και με άλλες συσκευές (DI box, κάρτα ήχου κτλ.) παρέχοντας τη δυνατότητα επεξεργασίας του σήματός του. Συνήθως έχει 4 χορδές, αλλά υπάρχουν και μπάσα με 5 και παραπάνω.

Το μπάσο αντικατέστησε το κοντραμπάσο, κι έτσι σήμερα χρησιμοποιείται σε όλα τα είδη μουσικής, καθώς και σε ορχήστρες έχοντας κυρίως ρυθμικό ρόλο σε ένα μουσικό σύνολο. Ωστόσο, συμμετέχει και με σόλο σε ορισμένα είδη μουσικής, όπως η jazz, η metal και η funk.

Για την εργασία χρησιμοποιήθηκε το Yamaha RDX 260F (Σχήμα 2.9) το οποίο έχει σώμα κατασκευασμένο από σκλήθρα, λαιμό από σφένδαμο η οποία είναι βιδωμένη στο σώμα και τασιέρα από ξύλο τριανταφυλλιάς. Τα ηλεκτρικά κυκλώματά του αποτελούνται από έναν



μαγνήτη χωριστού πηνίου (split coil), 2 ποτενσιόμετρα για τόνο και ένταση.

Εικόνα 2.9: Yamaha RDX 260F(Link No4)

2.3 Μαγνήτης

Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι μαγνητών για ηλεκτρικές κιθάρες διαθέσιμοι στην αγορά. Ο συνηθέστερος είναι ο παθητικός μαγνήτης που χρησιμοποιεί το νόμο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής. Αυτό το σχέδιο αντιπροσωπεύει την πλειονότητα των μαγνητών που χρησιμοποιούνται στις ηλεκτρικές κιθάρες και μπάσα.

Όλοι οι μαγνήτες είναι μετατροπείς που μετατρέπουν ένα μέρος της ενέργειας της δόνησης της χορδής σε ταλαντευόμενα ηλεκτρικά σήματα. Η κίνηση της χορδής προκαλεί μεταβολές στο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο που δημιουργείται από τον μαγνήτη και στη συνέχεια μετατρέπονται σε ηλεκτρικό ρεύμα.

2.3.1 Ηλεκτρομαγνητική επαγωγή

Η διαφορά μεταξύ του μόνιμου και του ηλεκτρομαγνήτη είναι ότι ο μόνιμος μαγνήτης έχει έναν Βόρειο και Νότιο πόλο και ελκύουν σιδηρομαγνητικά αντικείμενα συνήθως φτιαγμένα από ατσάλι ή σίδηρο. Ο ηλεκτρομαγνήτης έχει την ίδια επίδραση, αλλά είναι προσωρινή, δηλαδή ο μαγνητισμός υπάρχει όσο υπάρχει ηλεκτρικό ρεύμα. Αυτό είναι βασισμένο στον νόμο του Αμπέρ: όποτε ένα σύρμα διαρρέεται από ρεύμα, ένα μαγνητικό πεδίο προκαλείται.

Τυλίγοντας το σύρμα μερικές φορές, δυναμώνεται η ένταση του μαγνητικού πεδίου κι έτσι συμπεριφέρεται σαν μόνιμος μαγνήτης. Το φαινόμενο αυτό συνεπάγεται ότι υπάρχει μια σχέση μεταξύ του ηλεκτρισμού και του μαγνητισμού. Αν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ηλεκτρισμό για να δημιουργήσουμε μαγνητισμό, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μαγνητισμό για να δημιουργήσουμε ηλεκτρισμό;

Αυτή ήταν η ερώτηση που οδήγησε τον Joseph Henry και αργότερα τον Michael Faraday στις ανεξάρτητες ανακαλύψεις τους για την ηλεκτρομαγνητική επαγωγή. Αυτό το κατάφεραν με το παρακάτω πείραμα. Μια ράβδος τοποθετημένη κατά μήκος του ηλεκτρομαγνήτη. Τυλιγμένη γύρω από τη ράβδο υπήρχε μια μονωμένη σπείρα σύρματος. Με τις άκρες της να είναι συνδεδεμένες σε ένα γαλβανόμετρο ο Henry μπόρεσε να δει μια στιγμιαία εκτροπή όταν το ρεύμα στον ηλεκτρομαγνήτη ήταν ανοιχτό, ακόμα και όταν δεν υπήρχε ηλεκτρική σύνδεση ανάμεσα στη σπείρα και στα σύρματα του ηλεκτρομαγνήτη. Ανακάλυψε ότι προκαλείται ρεύμα ή παράγεται στη σπείρα όταν το μαγνητικό πεδίο αλλάζει. Δεν έχει σημασία αν το σύρμα κινείται ή το πεδίο ή κάθε άλλος κινητός αγωγός διαπερνά τις γραμμές του μαγνητικού πεδίου. Αυτός είναι ο ορισμός της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής.

Η παραγωγή του ηλεκτρικού ρεύματος σε ένα κύκλωμα συνεπάγεται την ύπαρξη ηλεκτρεγερτικής δύναμης (ΗΕΔ). Η ΗΕΔ ισούται με το έργο ανά μονάδα φορτίο από την πηγή της ΗΕΔ που κινεί το φορτίο σε κλειστό βρόχο. Ο Faraday δήλωσε ότι η προκαλούμενη ΗΕΔ είναι ανάλογη με το ρυθμό που οι γραμμές του μαγνητικού πεδίου περνούν τα όρια του κυκλώματος.

Ο νόμος του Faraday εκφράζεται με όρους της μαγνητικής ροής, όπως φαίνεται στην παρακάτω εξίσωση :

$$\varepsilon = \frac{-d\Phi}{dt} \quad (1)$$

Όπου $\Phi=BA$ είναι η μαγνητική ροή, A το εμβαδόν που διαπερνά και B η μαγνητική επαγωγή.

2.3.2 Ηλεκτρομαγνητική επαγωγή εφαρμοσμένη σε μαγνήτες κιθάρας

Ο μαγνήτης της κιθάρας αποτελείται από ένα σύνολο μόνιμων μαγνητών οι οποίοι είναι τυλιγμένοι με μονωμένο σύρμα, συνήθως χαλκού. Οι χορδές τις κιθάρας είναι φτιαγμένες από υλικό που επιτρέπει τη μαγνητική ροή, όπως ο σίδηρος ή από κράμα νικελίου. Οι χορδές εφόσον βρίσκονται σε κοντινή απόσταση από τους μόνιμους μαγνήτες, μαγνητίζονται, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται δύο μαγνητικοί πόλοι στη χορδή ακριβώς πάνω από τον

μαγνήτη. Όταν η χορδή δονείται, προκαλούνται αλλαγές στη μαγνητική ροή η οποίες προκαλούν μια ΗΕΔ στο πηνίο, σύμφωνα με το νόμο του Faraday. Επειδή η μαγνητική ροή αλλάζει ως συνάρτηση του χρόνου, όπως περιγράφηκε στην εξίσωση (1), η παραγόμενη ΗΕΔ είναι απλά μια συνάρτηση της ταχύτητας της χορδής. Η ΗΕΔ, από φυσικής απόψεως, είναι η τάση ανοιχτού κυκλώματος που είναι η έξοδος από την κιθάρα στα ρυθμιστικά του ήχου και μετά στον ενισχυτή. Το ρεύμα που παράγεται από την ΗΕΔ σχετίζεται με την αντίσταση εισόδου του ενισχυτή.

2.3.3 Θέση του μαγνήτη

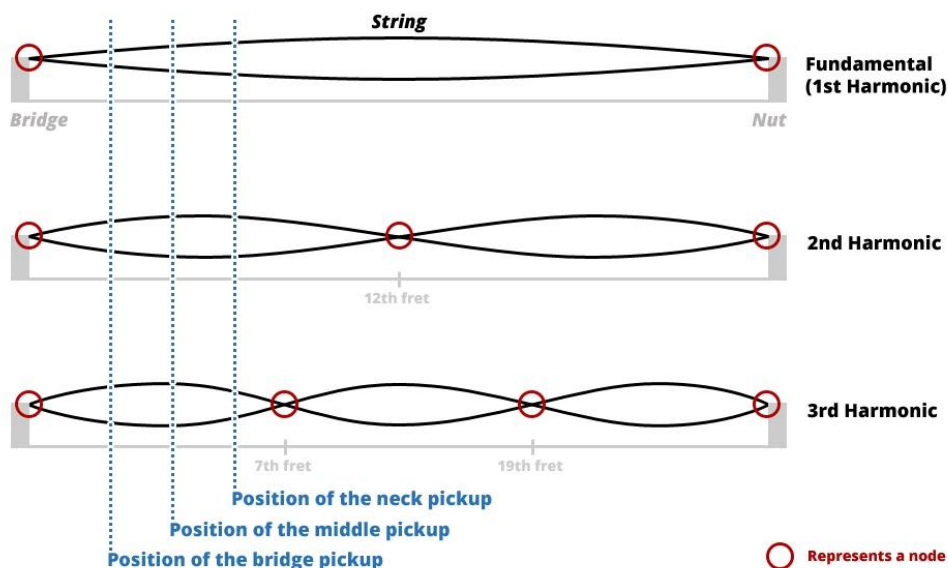
Η φυσική θέση του μαγνήτη στην ηλεκτρική κιθάρα έχει μεγάλη επίδραση στις τονικές ιδιότητες του σήματος εξόδου, όπως η χροιά του ήχου που παράγεται. Η χροιά ορίζεται ως ο συνδυασμός ιδιοτήτων ενός ήχου (αρμονικού ή φασματικού περιεχομένου) που τον διαφοροποιούν από έναν άλλον ήχο του ίδιου τονικού ύψους και πλάτους. Το μοναδικό αρμονικό περιεχόμενο των μουσικών οργάνων είναι ο λόγος που τα κάνει να ακούγονται διαφορετικά. Οι άλλοι παράγοντες είναι η ατάκα και η περιβάλλουσα απόσβεσης που χαρακτηρίζουν τη μεταβατική συμπεριφορά του ήχου.

Συνήθως λανθασμένα πιστεύεται ότι ο τόνος και η χροιά είναι συνώνυμα. Ο τόνος θα μπορούσε να θεωρηθεί ως η ισοστάθμιση που μπορεί να ρυθμιστεί από το ποτενσιόμετρο του τόνου στην κιθάρα, ένα ξεχωριστό EQ ή τα ρυθμιστικά του ενισχυτή. Η χροιά είναι το χαρακτήρας των διαφορετικών ήχων που παράγουν οι μαγνήτες πριν τη μετατροπή από το κύκλωμα του τόνου και σχετίζεται με τη θέση του μαγνήτη, όσον αφορά το αρμονικό περιεχόμενο της χορδής.



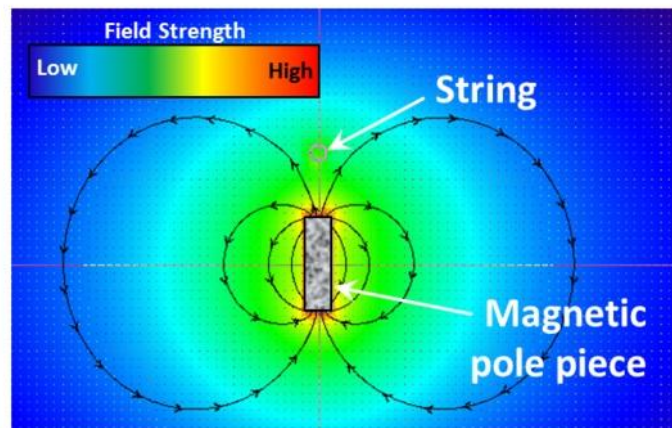
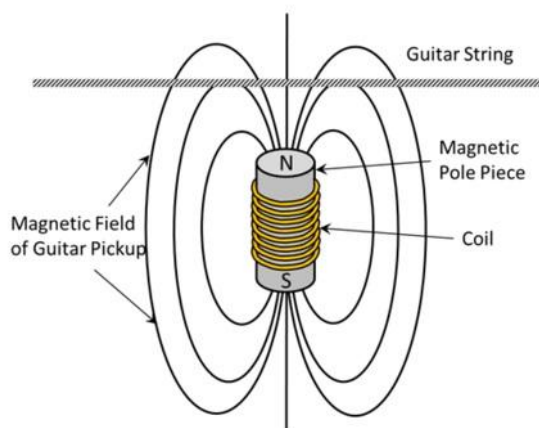
Εικόνα 2.10: Εδώ φαίνεται πως είναι τοποθετημένοι δύο μαγνήτες διπλού πηνίου πάνω σε μια ηλεκτρική κιθάρα. Ο μαγνήτης της γέφυρας είναι τοποθετημένος πιο κοντά στον καβαλάρη και ο μαγνήτης του λαιμού είναι πιο κοντά στην ταστιέρα(Link No3).

Άσχετα από το είδος του μαγνήτη, όσο πιο κοντά βρίσκεται στον καβαλάρη τόσο μεγαλύτερο είναι το περιεχόμενο του φάσματος του σήματος σε υψηλές συχνότητες, με αποτέλεσμα να ακούγεται πιο λαμπρός ο ήχος. Αντιθέτως, όσο η θέση του μαγνήτη πλησιάζει την ταστιέρα, η χροιά χαρακτηρίζεται ως βαθιά και πλούσια. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό βασίζεται στο γεγονός ότι το αρμονικό περιεχόμενο που έχουν εγγενώς οι χορδές και αυτό που πιάνουν οι μαγνήτες στις διάφορες θέσεις. Ωστόσο, πρέπει να αναφερθεί ότι καμία από αυτές τις θέσεις δεν θα προκαλέσει την ηλεκτρική κιθάρα να ακουστεί σαν ακουστική, όπου κάθε δομικό στοιχείο της δόνησης της χορδής είναι συνδεδεμένο με το σώμα μέσω μηχανικών δυνάμεων που εφαρμόζονται στις άκρες της χορδής από τους καβαλάρηδες. Αυτό περιλαμβάνει τόσο τα διαμήκη όσο και τα εγκάρσια κύματα της θεμελίου και των αρμονικών της. Στην ηλεκτρική κιθάρα μόνο η μετατόπιση των εγκάρσιων κυμάτων κατά μήκος του άξονα της ευαισθησίας του μαγνήτη και της θέσης στο σώμα λαμβάνονται. Στην ουσία, μόνο μια συγκεκριμένη όψη των πολύπλοκων μηχανικών αλληλεπιδράσεων λαμβάνονται ως ηλεκτρική τάση και στέλνονται στην είσοδο του ενισχυτή.



Σχήμα 2.11: Ταλαντευόμενη χορδή και τα σχετικά πλάτη που λαμβάνει κάθε μαγνήτης στις διάφορες θέσεις(Link No14).

Στο Σχήμα 2.11 η χορδή είναι τοποθετημένη όπως και σε μια ηλεκτρική κιθάρα με τον αριστερό μαγνήτη να βρίσκεται πιο κοντά στον καβαλάρη και δεξί πιο κοντά στην ταστιέρα και έναν στη μέση. Η χορδή ταλαντώνεται στην θεμέλιο συχνότητα, στην 2η αρμονική και στην 3η. Το σήμα που παράγεται έχει διαφορετική ένταση σε κάθε θέση και για κάθε αρμονική και επίσης αυξάνεται, κυρίως για τη θεμέλιο, καθώς η θέση πλησιάζει το κέντρο της ταστιέρας. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η ένταση του σήματος είναι ανάλογη της ταχύτητας ταλάντωσης της χορδής. Συνεπώς, όταν η χορδή ταλαντώνεται σε μια συγκεκριμένη συχνότητα, στο κέντρο θα έχει τη μεγαλύτερη ταχύτητα, με αποτέλεσμα να έχει μεγαλύτερη ένταση σήματος σε εκείνο το σημείο. Ακόμα και όταν η συχνότητα αυξάνεται, η ένταση του σήματος αυξάνεται. Αυτό συμβαίνει διότι σε υψηλότερες συχνότητες η χορδή ταλαντώνεται πιο γρήγορα.



Σχήμα 2.12 : Μαγνητικό πεδίο του μαγνήτη(Link No1).

2.5.4 Επίδοση του μαγνήτη

Ο μαγνήτης μπορεί να θεωρηθεί ως μετατροπέας που χρησιμεύει κυρίως ως αγωγός. Όπως με κάθε μετατροπέα, ο μαγνήτης έχει μια απόκριση συχνότητας που δεν είναι ίδια σε όλες τις συχνότητες και ένα μέγιστο σε μια συγκεκριμένη συχνότητα. Αυτό οφείλεται στο συνδυασμό της επαγωγής και της αντίστασης του μαγνήτη και της χωρητικότητας του πηνίου και αυτής που βρίσκεται μέσα στο καλώδιο που συνδέει την κιθάρα και τον ενισχυτή, καθώς επίσης και τον μαγνήτη και τα ρυθμιστικά τόνου.

Ένα πηνίο μαγνήτη έχει dc αντίσταση ανάλογα με το υλικό του σύρματος και πόσες φορές είναι τυλιγμένο. Τα 42 AMG (American wire gauge) έχουν αντίσταση περίπου στα 1.6 Ohms/ft και τα 43 AMG έχουν περίπου 2.1 Ohms/ft. Οι μαγνήτες έχουν μερικές χιλιάδες περιστροφές που φτάνουν έως 10,000. Η dc αντίσταση και η επαγωγή είναι σε σειρά μεταξύ τους. Εξαιτίας του γεγονότος ότι οι αντιστάσεις σχετίζονται με τα πηνία του μαγνήτη και τον αριθμό περιστροφών, οι χωρητικότητας από σπείρωμα σε σπείρωμα προστίθενται σε μία μη αμελητέα. Η χωρητικότητα όλων των σπειρωμάτων κυμαίνεται κατά προσέγγιση στα 10 με 100 pF. Η σύνθετη αντίσταση του πηνωτή υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$Z_c = \frac{1}{j\omega C} = \frac{1}{j} 2\pi f C \quad (2.1)$$

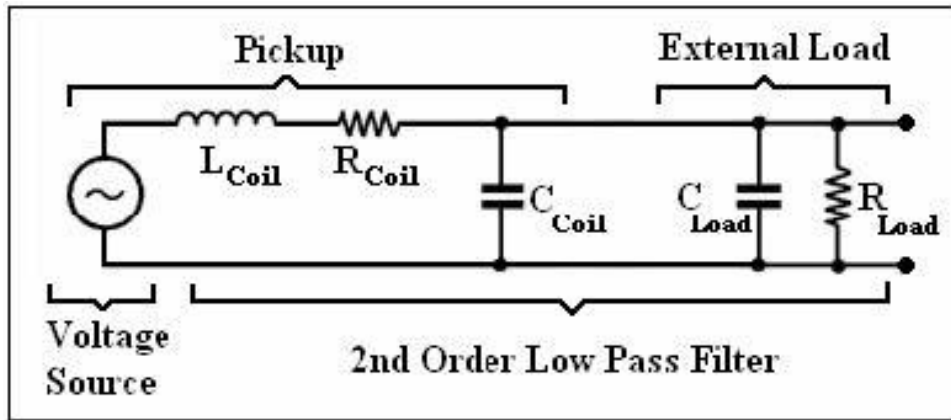
Κι έτσι, το μέγεθος της αντίστασης του πυκνωτή είναι:

$$|Z_c| = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{\omega} 2\pi f C \sim \frac{1}{f} \quad (2.2)$$

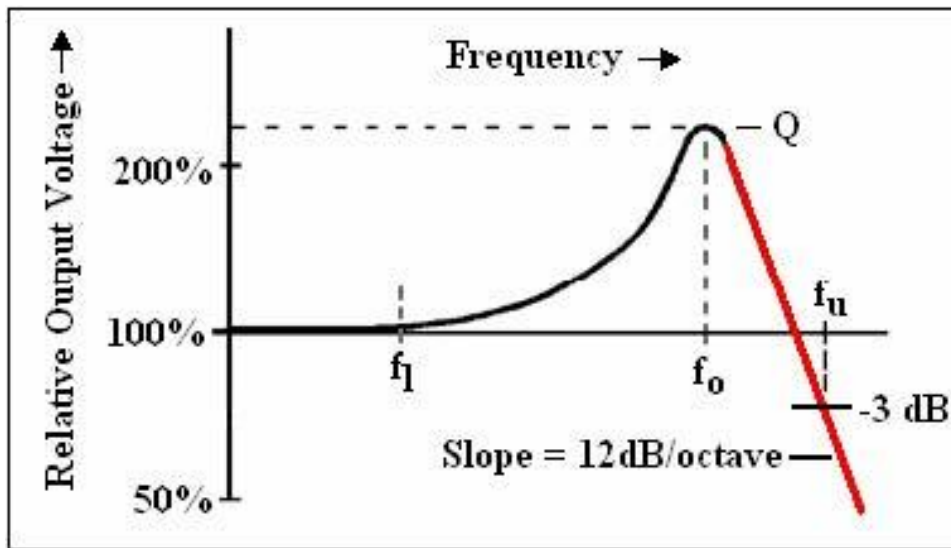
Όταν η συχνότητα είναι μηδέν, η Z_c φτάνει στο άπειρο, ενώ όταν η συχνότητα φτάνει στο άπειρο, η Z_c μηδενίζεται. Συνεπώς, στις χαμηλές συχνότητες, η χωρητικότητα λόγω του αριθμού των σπειρωμάτων έχει μικρή επιρροή. Όσο η συχνότητα της ταλαντώμενης χορδής αυξάνεται, η χωρητικότητα του μαγνήτη μεταβάλλει ή γειώνει το σήμα.

Ένα εξωτερικό φορτίο που επιδρά πάνω στο μαγνήτη αποτελείται από τις αντιστάσεις των ποτενσιομέτρων της έντασης και του τόνου στην κιθάρα και κάθε αντίσταση σε γείωση στην είσοδο του ενισχυτή. Επίσης, μέρος του εξωτερικού φορτίου είναι και η χωρητικότητα εξαιτίας

του μόλυβου και της κάλυψης του καλωδίου η οποία έχει μεγάλη επίπτωση στη χροιά του μαγνήτη.



Σχήμα 2.13 : Διάγραμμα του κυκλώματος του μαγνήτη και του εξωτερικού φορτίου(Βιβλιογραφία Νο6).



Σχήμα 2.14 : Φίλτρο διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων δεύτερης τάξης που δημιουργείται από τη φόρτιση του μαγνήτη(Βιβλιογραφία Νο6).

Η απόκριση στις χαμηλές συχνότητες είναι γραμμική μέχρι την f_1 και μετά αυξάνεται μέχρι τη συχνότητα f_0 η οποία είναι η κορυφή αντήχησης του μαγνήτη. Η απόκριση από την f_0 έως την

f_u πέφτει με ρυθμό -12 dB/oct και η συχνότητα αποκοπής του κατωπερατού φίλτρου δεύτερης τάξης καθορίζεται από την f_u . Αυτό αντιπροσωπεύει το σημείο της μέσης ισχύος όπου η απόκριση είναι 3 dB κάτω. Αυτό σημαίνει ότι κάθε αρμονική στο εύρος ζώνης της συχνότητας αντήχησης ενισχύεται και πολύ χαμηλότερα από αυτήν οι θεμέλιες και οι αρμονικές που παράγονται δεν επηρεάζονται σημαντικά. Ωστόσο, πάνω από το εύρος ζώνης αντήχησης οι αρμονικές περιορίζονται και όπως φαίνεται στο σχήμα γνωρίζοντας τη συχνότητα f_0 , καθώς και το σχετικό πλάτος της κορυφής αντήχησης παρέχεται μια ιδέα για τα χαρακτηριστικά του μαγνήτη. Η συχνοτική απόκριση μόνο του μαγνήτη χωρίς το καλώδιο θα ήταν σχετικά επίπεδη μέχρι κάποιο σημείο και μετά θα παρουσίαζε κλίση. Αλλά, η ενίσχυση μιας κιθάρας χωρίς να συνδεθεί με καλώδιο απευθείας σε ενισχυτή, μονάδες εφέ, ή με καλώδιο σε ασύρματο εκπομπό και μετά σε ενισχυτή, είναι απίθανο.

Αυτή η αντήχηση επηρεάζει τον ήχο της κιθάρας με τον εξής τρόπο: Η κορυφή αντήχησης των περισσότερων μαγνητών σε συνδυασμό με κανονικό όργανο ή καλώδιο κιθάρας κυμαίνεται από 2 kHz έως 5 kHz . Αυτό είναι το συχνοτικό εύρος όπου το ανθρώπινο αυτί έχει την μεγαλύτερη ευαισθησία λόγω του σχήματος του ακουστικού καναλιού. Στα 2 kHz ο ήχος χαρακτηρίζεται ως ζεστός ή απαλός, στα 3 kHz ως ζηηρός, στα 4 kHz ως διαπεραστικός και στα 5 kHz εύθρυπτος και λεπτός. Το ύψος της κορυφής αντήχησης μπορεί να κυμανθεί από 0 έως 12 dB στις περισσότερες κιθάρες και εξαρτάται από το μαγνητικό υλικό στο πηνίο, το εξωτερικό στατικό φορτίο και το μεταλικό καπάκι του μαγνήτη σε περίπτωση που έχει. Όσο μεγαλύτερη η μαγνητική δύναμη, τόσο μεγαλύτερο το πλάτος και όσο χαμηλότερο το στατικό φορτίο, τόσο χαμηλότερο το πλάτος.

Η συχνότητα αντήχησης εξαρτάται από την επαγωγή, την χωρητικότητα του πηνίου και του καλωδίου (περίπου $300\text{-}1000 \text{ pF}$). Αυξάνοντας την χωρητικότητα η κορυφή αντήχησης μειώνεται συχνοτικά, αλλά το πλάτος της αυξάνεται. Αυτό έχει δύο αποτελέσματα: μειώνει το φασματικό περιεχόμενο σε υψηλές συχνότητες και ενισχύει τις μεσαίες μειώνοντας την f_0 . Τυπικά το ποτενσιόμετρο της χοιράς είναι πυκνωτής που συνδεδεμένος σε ρυθμιστή τάσης για την αυξομείωση των υψηλών συχνοτήτων. Η επαγωγή έχει το αντίθετο αποτέλεσμα από αυτό των πυκνωτών, εφόσον επηρεάζουν τις χαμηλές. Συνεπώς, η συχνότητα αντήχησης μπορεί επηρεαστεί μεταβάλλοντας την επαγωγή. Χαμηλώνοντας την επαγωγή η συχνότητα αντήχησης αυξάνεται και εξαρτάται από τον αριθμό των σπειρωμάτων.

Οι μαγνήτες είναι συσκευές με υψηλή σύνθετη αντίσταση. Όσο μεγαλύτερος ο αριθμός των σπειρωμάτων, τόσο μεγαλύτερο το σήμα εξόδου. Ωστόσο, αυξάνοντας τον αριθμό των σπειρωμάτων, αυξάνεται και η χωρητικότητα του πηνίου η οποία περιορίζει την έξοδο του μαγνήτη και χαμηλώνει τη συχνότητα αντήχησης του. Ένας μαγνήτης με υψηλότερη

χωρητικότητα πηνίου θα ακούγεται λιγότερο “ζωηρός” και μουντός, σε σύγκριση με έναν μαγνήτη του ίδιου τύπου, ίση επαγωγή, αλλά μικρότερο αριθμό σπειρωμάτων.

Η επαγωγή προκαλείται από την αυτεπαγωγή του πηνίου και ενισχύεται από τη μαγνητική αγωγιμότητα όλων των μαγνητικών υλικών από τα οποία αποτελείται ο μαγνήτης. Αυτά περιλαμβάνουν και τους μόνιμους μαγνήτες καθώς και κάθε μαγνητικά αγωγίμο υλικό. Όσο δυνατότερος είναι ο μαγνήτης τόσο δυνατότερο το σήμα εξόδου του που σημαίνει ότι χρειάζονται λιγότερα σπειρώματα για μια συγκεκριμένη τάση εξόδου. Υπάρχουν, ωστόσο, μερικά μειονεκτήματα όταν χρησιμοποιείται δυνατότερος μαγνήτης. Πρώτον, έχουν υψηλότερος κόστος. Δεύτερον, εφόσον οι χορδές είναι φτιαγμένες από σιδηρομαγνητικά υλικά και έλκονται από μαγνήτες, οι δονήσεις τους θα επηρεάζονται και συνεπώς, η αρμονική αρτιότητα και ο ήχος που θα παράγεται θα ακούγεται παράφωτος.

2.3.6 Μαγνήτης διπλού πηνίου (Humbucker pickup)

Αρχικά και για πολλά χρόνια αργότερα ο συνηθέστερος μαγνήτης πάνω σε μια ηλεκτρική κιθάρα ήταν με μονό πηνίο. Ωστόσο, το πρόβλημα με αυτόν τον τύπο ήταν ότι προκαλούσε θόρυβο υψηλής έντασης μαζί με την ΗΕΔ από τις χορδές. Σε μέσης στάθμης ένταση η έξοδος του μαγνήτη έχει αρκετά υψηλό λόγο έντασης προς θόρυβο και ακούγεται ελάχιστα ο θόρυβος. Το πρόβλημα ,όμως ανέρχεται όταν ο μουσικός χρησιμοποιεί χαμηλές δυναμικές ή σταματά να παίζει. Ο θόρυβος τον 60 Hz που παράγεται από διάφορα ηλεκτρονικά συστήματα όπως, π.χ γραμμές ρεύματος ή λάμπες φθορίου, δεν σταματάει όταν ο μουσικός σταματήσει να παίζει. Ο μαγνήτης διπλού πηνίου, όπως υπαινίσσεται και η ονομασία, αντιμετωπίζει το πρόβλημα του ηλεκτρομαγνητικού θορύβου συνδέοντας δύο μονού πηνίου μαγνήτες δίπλα μεταξύ τους, αλλά με αντίθετη πολικότητα. Αυτός ο τρόπος ακυρώνει το θόρυβο αλλά έχει άλλες επιπτώσεις στη χροιά του ήχου. Πρώτα απ’ όλα, επειδή υπάρχουν δυο μαγνήτες διπλού πηνίου ο ένας δίπλα στον άλλον που αποκρίνονται στις μεταβολές της μαγνητικής ροής, ένα μεγαλύτερο μέρος της ταλαντώμενης χορδής ανιχνεύεται. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο ήχος να ακούγεται πιο παχύς, γεμάτος και ισχυρότερος.

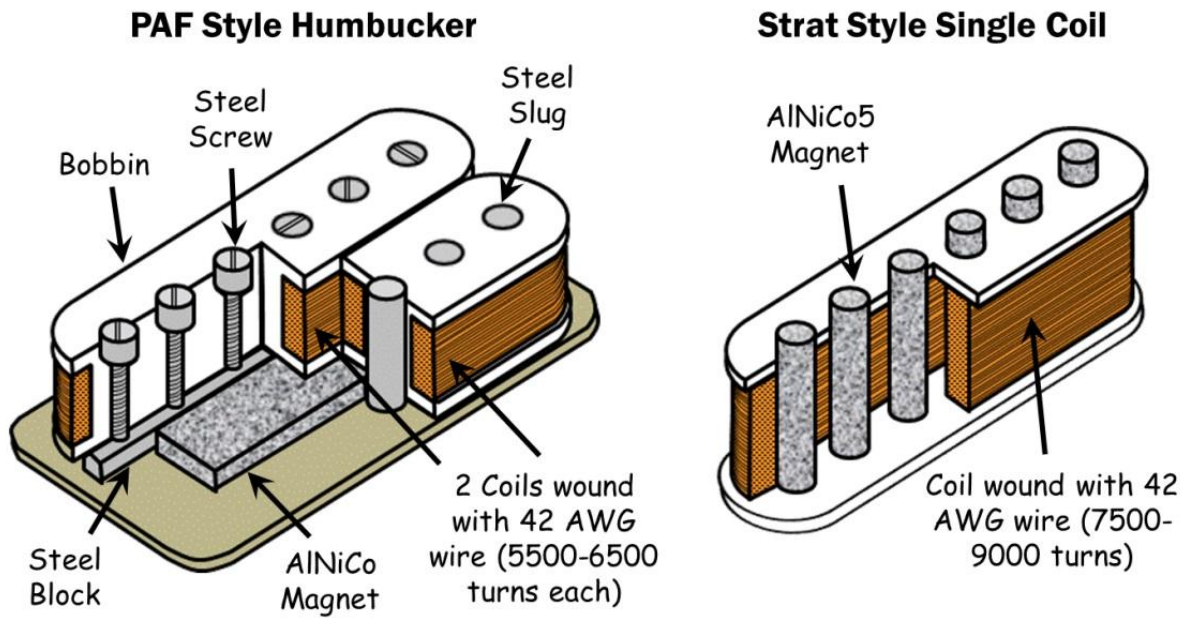
Πρακτικά, το σύστημα αυτό είναι ικανό να διαβάζει μεγαλύτερα μήκη κύματος που αντιστοιχούν σε χαμηλές συχνότητες συμπεριλαμβανομένης και της θεμελίου. Μια άλλη επίδραση είναι ότι οι υψηλές συχνότητες περιορίζονται όταν συγκρίνονται με έναν μαγνήτη ενός πηνίου διότι το καπάκι του μαγνήτη είναι συνήθως φτιαγμένο από χαλκό με επικάλυψη χρομίου.



Εικόνα
2.15 :
Μαγνήτης
διπλο
ύ
πηνίο
υ(hum
bucker
pickup

)(Link No2)

Αυτά τα χαρακτηριστικά καθιστούν αυτόν τον τύπο μαγνήτη κατάλληλο για σόλο με παραμόρφωση, εφόσον ο ήχος που παράγεται γίνεται απαλός και πλούσιος. Επιπλέον, αυτό το σύστημα δεν πλήττεται από θόρυβο υψηλών συχνοτήτων που προκαλείται από τους μαγνήτες μονού πηνίου που μπορεί να είναι ενοχλητικό για τον ακροατή αν δεν ελεγχέται. Το μειονέκτημα αυτού είναι ότι δεν περνάει στη μίξη τόσο αποτελεσματικά, κι έτσι χρειάζεται μεγαλύτερη ένταση για να ακουστεί. Ένα άλλο πρόβλημα είναι ότι ο humbucker, συγκεκριμένα στη θέση του λαιμού ακούγεται μουντός. Αυτό προκύπτει όταν η στάθμη των χαμηλών και μεσαίων συχνοτήτων είναι υψηλή. Αυτό το φαινόμενο αντιμετωπίζεται με κατάλληλη ισοστάθμιση.

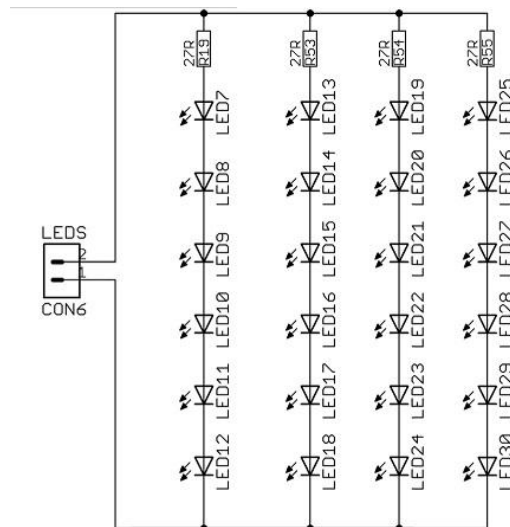


Σχήμα 2.16 : Δομικά στοιχεία ενός μαγνήτη με διπλό κι ενός με μονό πηνίο (Link No8).

2.4 Οπτικός αισθητήρας εκπομπής φωτός

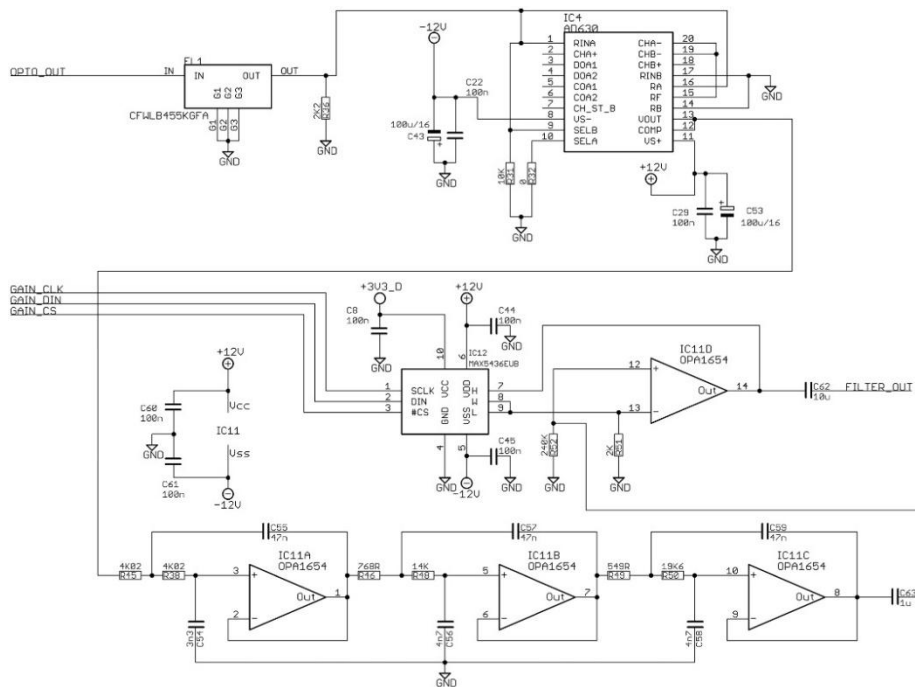
Ένας από τους αισθητήρες που χρησιμοποιήθηκαν στη διεκπεραίωση του πειράματος ήταν και ο οπτικός αισθητήρας εκπομπής υπέρυθρου φωτός ο οποίος αποτελείται από έναν οπτοηλεκτρικό αισθητήρα (Σχήμα 2.10) και μια συσκευή καταγραφής (Σχήμα 2.11). Η συσκευή αυτή ανιχνεύει τη μεταβολή της έντασης του φωτός που προκαλείται από την κίνηση της χορδής και είναι φτιαγμένος έτσι ώστε να μπορεί να λειτουργήσει σε συνθήκες φωτισμού που κυμαίνονται από σκοτάδι μέχρι υψηλή φωτεινότητα. Ωστόσο, είναι αδύνατο να ανιχνεύσει τους κάθετους στις ακτίνες φωτός τρόπους ταλάντωσης της χορδής, με αποτέλεσμα να μην μπορεί να καταγράψει όλες τις συχνότητες που εμπεριέχονται στο φάσμα του ήχου που παράγεται.

Για το κομμάτι εκπομπής του φωτός χρησιμοποιήθηκαν υπέρυθρα LED της σειράς SFH4356 που εκπέμπουν στα 860 nm με χρόνο ανόδου στα 12 nm. Η συνδεσμολογία των LED είναι ένας συνδυασμός σε σειρά και παράλληλης σύνδεσης (Σχήμα 2.8) έτσι ώστε να επιτυγχάνεται ίση ροή ρεύματος και μια απαλή διανομή φωτός σε όλη της επιφάνεια εκπομπής. Ο ενισχυτής των φωτοдиодων είναι ο OPA380 ο οποίος είναι τελεστικός ενισχυτής υψηλής σύνθετης αντίστασης, εύρος ζώνης 90 MHz ,μεγάλο ρυθμός μεταβολής στα 80 V/μs και πολύ χαμηλό θόρυβο στα $10 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$. Ως κύκλωμα μετατροπής μονής εισόδου-εξόδου σε διαφορική έξοδο χρησιμοποιήθηκε ένας AD8606 ο οποίος είναι τελεστικός ενισχυτής που παρουσιάζει χαμηλό θόρυβο στα $8 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας στο 1 mA/ κανάλι.

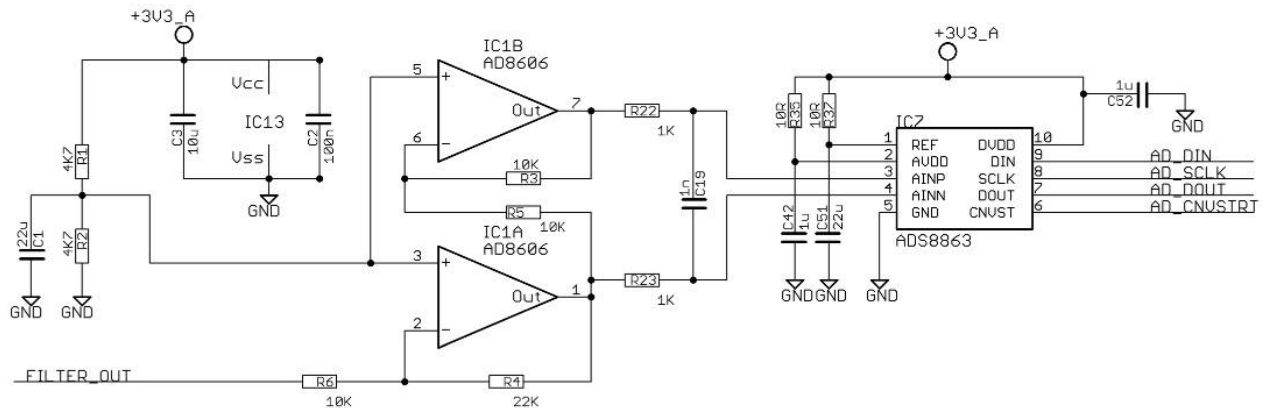


Σχήμα 2.17: Εδώ φαίνεται η συνδυασμός παράλληλης και σε σειρά σύνδεσης των φωτοδιόδων (Βιβλιογραφία Νο5).

Η μετατροπή του σήματος από αναλογικό σε ψηφιακό γίνεται από τον μετατροπέα αναλογικού σήματος σε ψηφιακό ADS8863 ο οποίος έχει απαιτούμενη ανάλυση 16-bit, χρόνο μετατροπής 930 ns και κατανάλωση ισχύος 60 μ W για συχνότητα δειγματοληψίας 10 KHz. Ως αποδιαμορφωτής χρησιμοποιήθηκε ο AD630 ο οποίος λειτουργεί ως διορθωτής ακρίβειας για να εξάγει την περιβάλλουσα του υψηλού συχνοτικού περιεχομένου της εξόδου των LED. Ως κατωπερατό φίλτρο που εφαρμόστηκε στην έξοδο του αποδιαμορφωτή χρησιμοποιήθηκε ο διαφορικός ενισχυτής τετραπλής FET-εισόδου OPA1564 ο οποίος έχει χαμηλό θόρυβο ($4.5/\sqrt{Hz}$) και κατανάλωση ισχύος 2 mA/ κανάλι.



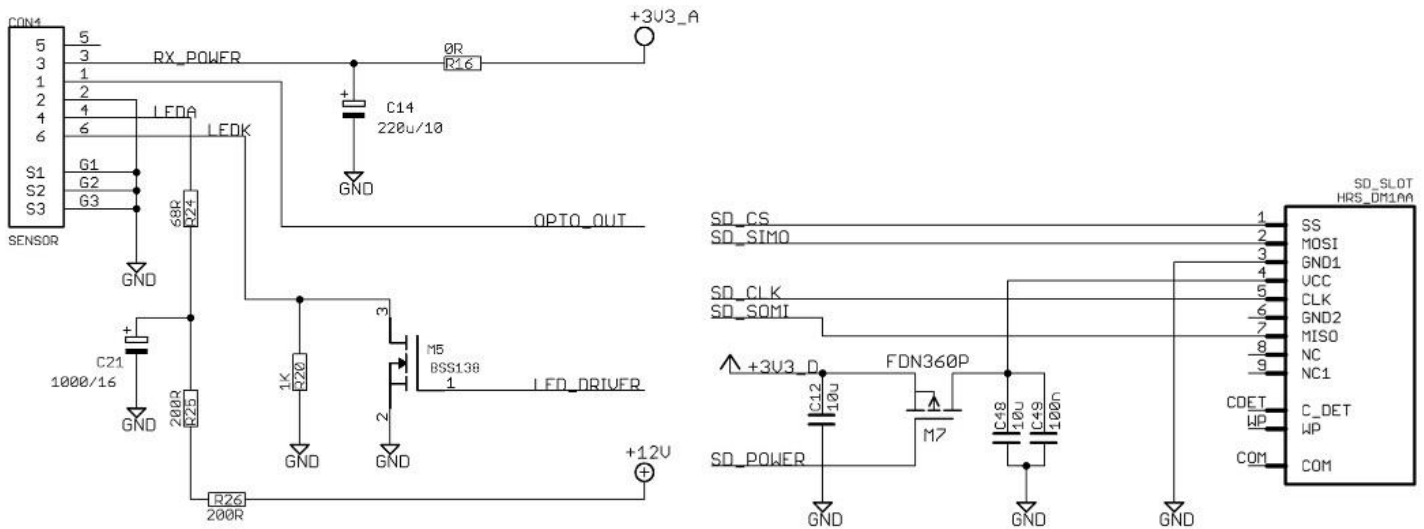
Σχήμα 2.18: Το φίλτρο του αποδιαμορφωτή. Η έξοδος των LED περνάει μέσω το φίλτρο διέλευσης ζώνης στον απόδιαμορφωτή AD630. Η υψηλή συχνότητα του αποδιαμορφωτή περνάει από 3 φίλτρα IC11A, IC11B, IC11C και στη συνέχεια ενισχύεται από το IC11D (Βιβλιογραφία Νο5).



Σχήμα 2.19: Κύκλωμα του μετατροπέα αναλογικού σήματος σε ψηφιακό. Η έξοδος το κατωπερατού φίλτρου περνάει από τον διπλό τελεστικό ενισχυτή που μετατρέπει την μονή έξοδο από το φίλτρο σε διαφορική και έπειτα περνάει στον μετατροπέα (Βιβλιογραφία Νο5).

Ως οπτικός κυματοδηγός χρησιμοποιήθηκε ένα κοινό φύλλο πολυμερούς που συνήθως χρησιμοποιείται στις οθόνες των φορητών υπολογιστών. Στους φορητούς υπολογιστές μια πηγή φωτός από το κάτω μέρος του στρώματος οδηγείται από την πηγή προς την 2D επιφάνεια της οθόνης. Στη διάταξη του αισθητήρα συμβαίνει το αντίθετο δηλαδή, κατευθύνοντας το φως που προέρχεται από τα LED, το οποίο λειτουργεί ως εκπομπός, προς την 2D επιφάνεια λήψης. Το φύλλο πολυμερούς οδηγεί το φως στην κάτω πλευρά του φύλλου. Το κάτω μέρος του πολυμερούς είναι τοποθετημένο πάνω σε μια 1D διάταξη LED και όλες οι άλλες άκρες του φύλλου και στο πίσω μέρος του είναι καλυμμένες με ένα άλλο φύλλο πολυμερούς που εμποδίζει τη διαρροή του φωτός. Το αποτέλεσμα αυτού είναι να μεγαλώσει η επιφάνεια λήψης της συσκευής χωρίς να αυξηθεί το κόστος κι έτσι να αποφευχθεί η χρήση μεγάλου αριθμού φωτοδιόδων.

Η κατανάλωση ισχύων φτάνει στα 816.7 mW από τα οποία τα 678 mW καταναλώνονται από το αναλογικό κομμάτι της συσκευής (τα LED 310 mW, αποδιαμορφωτής 130 mW, το φίλτρο 235 mW) και το ψηφιακό κομμάτι 138.66 mW (ο MCU 18.9 mW, RTC 0.39 mW, ADC 0.33 mW, αποδέκτες 24.7 mW, SD card 33 mW και το ρολόι συστήματος 61.34 mW).



Σχήμα 2.20: Στα αριστερά είναι η μονάδα οδήγησης του αισθητήρα που συνδέει τον αισθητήρα με τη μονάδα καταγραφής, περνάει την έξοδο του ενισχυτή των LED, τις σειρές τετραγωνικών παλμών στα 455 kHz που οδηγούν τα LED και 3.3 V για την τροφοδότηση του ενισχυτή των φωτοдиодων. Δεξιά είναι η διεπαφή της κάρτας SD. Η υποδοχή της κάρτας είναι συνδεδεμένη με σύνδεση τύπου SPI (Βιβλιογραφία Νο5).

Ο ενσωματωμένος μικροεπεξεργαστής τρέχει επανειλημμένα ένα πρόγραμμα που επεξεργάζεται τα δεδομένα που λαμβάνονται από τον αισθητήρα. Η πλακέτα είναι προγραμματισμένη σε C/C++ και η μέσης (line) στάθμης έξοδος του οπτοηλεκτρικού αισθητήρα αντιγράφεται σε διαφορετικά κυκλικά buffers. Το πρώτο buffer χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση της ενεργού τιμής του σήματος (RMS) χρησιμοποιώντας ένα παράθυρο 128 δειγμάτων (16 ms με συχνότητα δειγματοληψίας 8 K Hz). Σε περίπτωση που η τιμή RMS ξεπεράσει ένα προκαθορισμένο όριο, τότε η διαδικασία καταγραφής ενεργοποιείται λαμβάνοντας 5000 δείγματα από το δεύτερο buffer με 16-bit ανάλυση και συχνότητα δειγματοληψίας 8 K Hz.



Σχήμα 2.21: Ο
οπτοηλεκτρικός
αισθητήρας
(Βιβλιογραφία Νο5).



Εικόνα 2.22: Η συσκευή καταγραφής (Βιβλιογραφία Νο5).

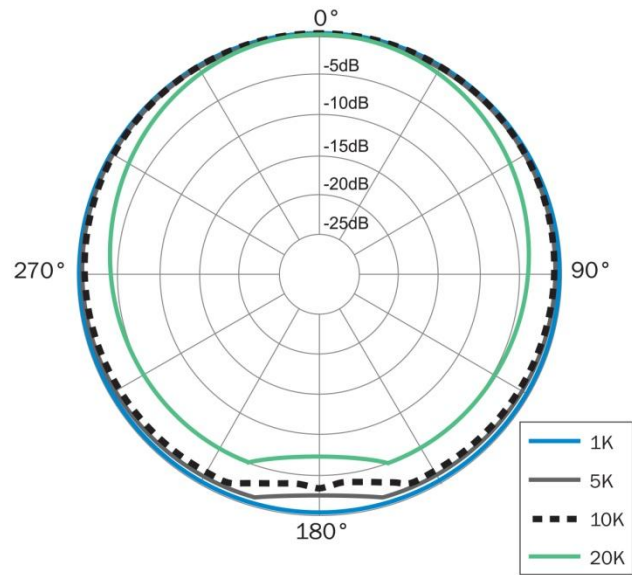
2.6 Μικρόφωνο

Το μικρόφωνο είναι μια διάταξη που μετατρέπει τα ηχητικά κύματα σε ηλεκτρική τάση εξόδου. Οι κυριότεροι τύποι μικροφώνων είναι τα δυναμικά και τα πυκνωτικά. Για τη συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκε πυκνωτικό, εφόσον η υψηλή ακρίβεια και ο χαμηλός θόρυβος το καθιστά κατάλληλο για ακουστικές μετρήσεις και σε εφαρμογές ήχου με καλά ελεγχόμενο περιβάλλον.

Το μικρόφωνο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το QTC40 της εταιρείας Earthworks. Το πολικό του διάγραμμα (Εικόνα 2.13) είναι παντοκατευθυντικό και σχεδόν ομοιόμορφο με συχνотική απόκριση ± 1 dB από 4 Hz έως και 40 kHz με αποτέλεσμα, το σήμα του μικροφώνου να είναι μια ακριβής αναπαράσταση του αρχικού ήχου. Επίσης, έχει μεγάλη ευαισθησία περίπου στα -29 dBV/ Pa, μέγιστη ακουστική είσοδο 138 dB SPL και θόρυβο 20 dBA.



2.23: Earthworks QTC40 (Link No9).



Εικόνα 2.24: Πολικό διάγραμμα του μικροφώνου (Link Νο9).

Κεφάλαιο 3ο

3.1 Διαδικασία πειράματος

Ο σκοπός του πειράματος είναι να γίνει φασματική ανάλυση στα σήματα που λήφθηκαν από τρεις αισθητήρες: μικρόφωνο, μαγνήτης κιθάρας- μπάσου και αισθητήρας εκπομπής- λήψης υπερύθρων. Στη συνέχεια θα συγκριθούν τα φάσματα για να διαπιστώσουμε τις διαφορές και τις ομοιότητές τους.

Για να πραγματοποιηθεί το πείραμα χρησιμοποιήθηκαν: μια ιδιοκατασκευή πάνω στην οποία είναι τεντωμένη μια 3η (Σολ) χορδή κλασσικής κιθάρας, μια ηλεκτρική κιθάρα και ένα ηλεκτρικό μπάσο. Αφού αφαιρέθηκαν οι χορδές εκτός από μία, έγινε ηχογράφηση του ήχου που παρήχθει, ταυτόχρονα με όλους τους αισθητήρες, από τρία διαφορετικά σημεία λήψης και διέγερσης τα οποία βρίσκονται από το 1^ο μέχρι 3^ο τάστο (θέση 1), από το 6^ο μέχρι 7^ο (θέση 2) και από το 18^ο μέχρι το 22^ο (θέση 3) στα μουσικά όργανα. Στην ιδιοκατασκευή τα σημεία λήψης και διέγερσης απείχαν 10 cm (θέση 1 είναι το αριστερό άκρο και θέση 3 το δεξί) από τα σημεία στήριξης της χορδής και στο κέντρο. Επιπλέον, η δόνηση της χορδής ηχογραφήθηκε όταν το σημείο διέγερσης ήταν διαφορετικό από το σημείο λήψης και σε όλες τις θέσεις του διακόπτη εναλλαγής των μαγνητών. Η διαδικασία επαναλήφθηκε και με δύο χορδές μαζί.

Στη συνέχεια με τη χρήση του Room EQ Wizard έγινε φασματική ανάλυση των ηχητικών δειγμάτων.



Εικόνα 3.1: Ο αισθητήρας στη θέση 1.



Εικόνα 3.2: Ο αισθητήρας στη θέση 2.



Εικόνα 3.3: Ο αισθητήρας στη θέση 3.



Εικόνα 3.4: Ο αισθητήρας και το μικρόφωνο στη θέση 1 του μπάσου.



Εικόνα 3.5: Εικόνα 3.4: Ο αισθητήρας και το μικρόφωνο στη θέση 2 του μπάσου.



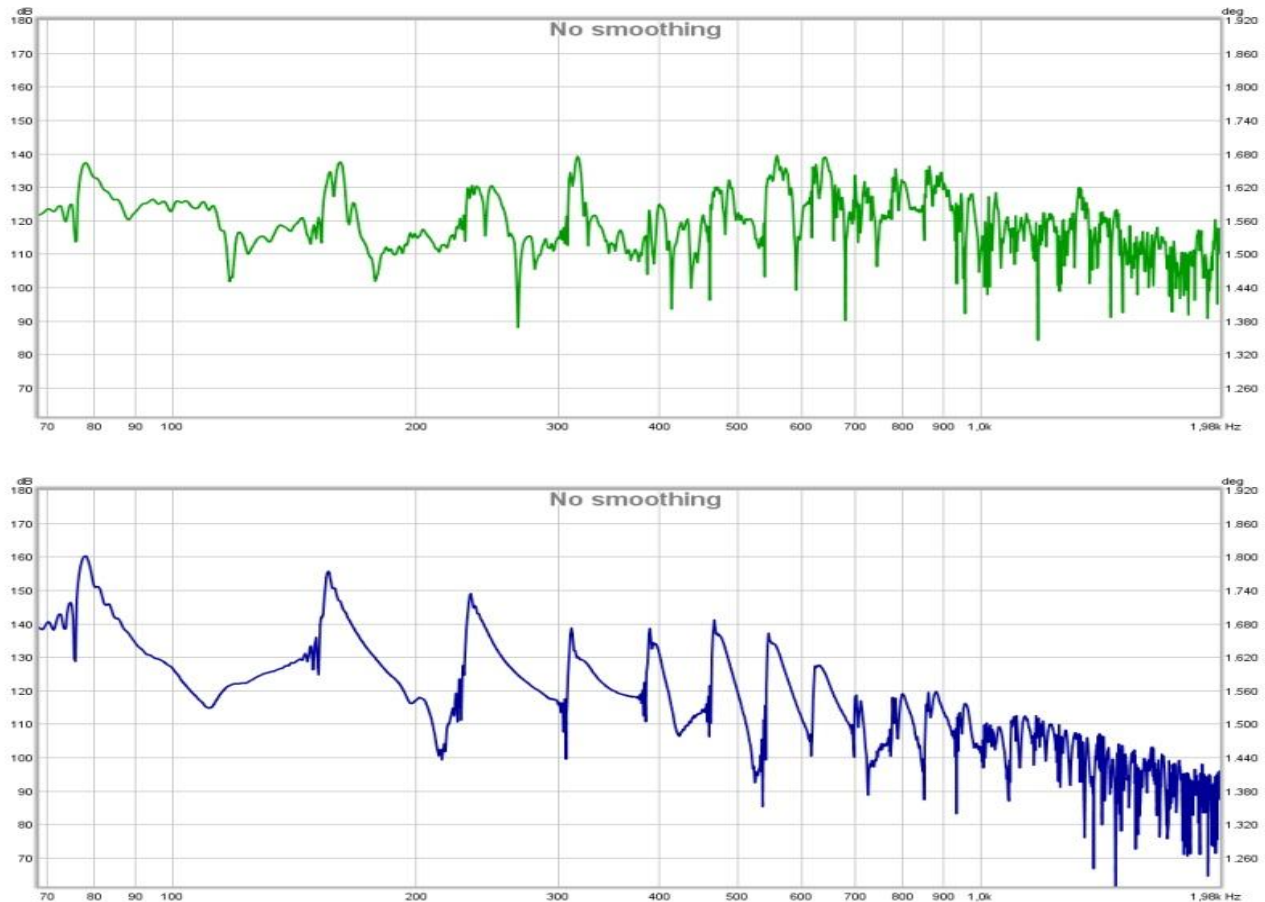
Εικόνα 3.6: Ο αισθητήρας και το μικρόφωνο στη θέση 3 του μπάσου.



Εικόνα 3.7: Το μονόχορδο.

3.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

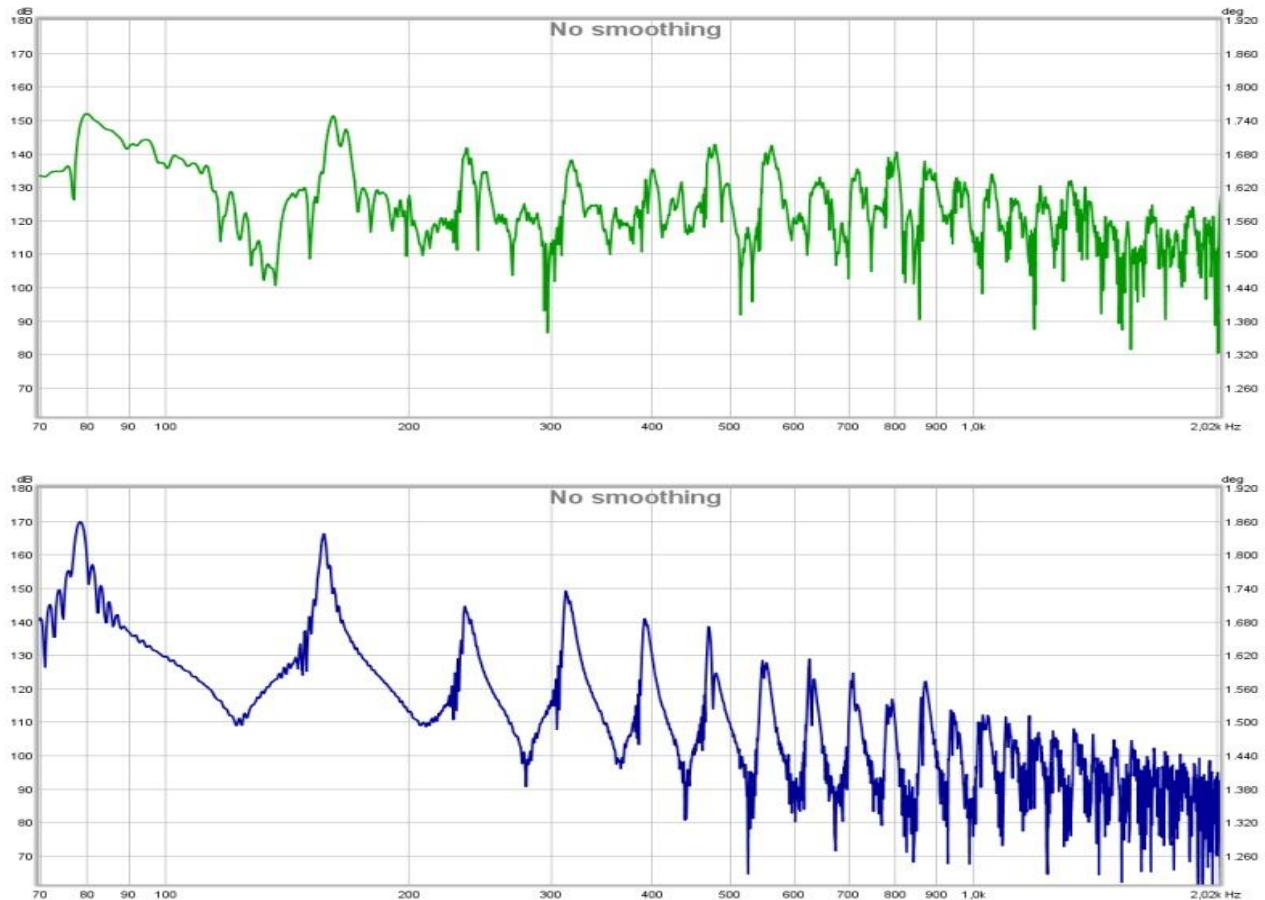
3.2.1 Φασματική ανάλυση ηχητικών δειγμάτων από το μονόχορδο



Σχήμα 3.1: Θέση διέγερσης (δ) και αισθητήρων (α) 1.

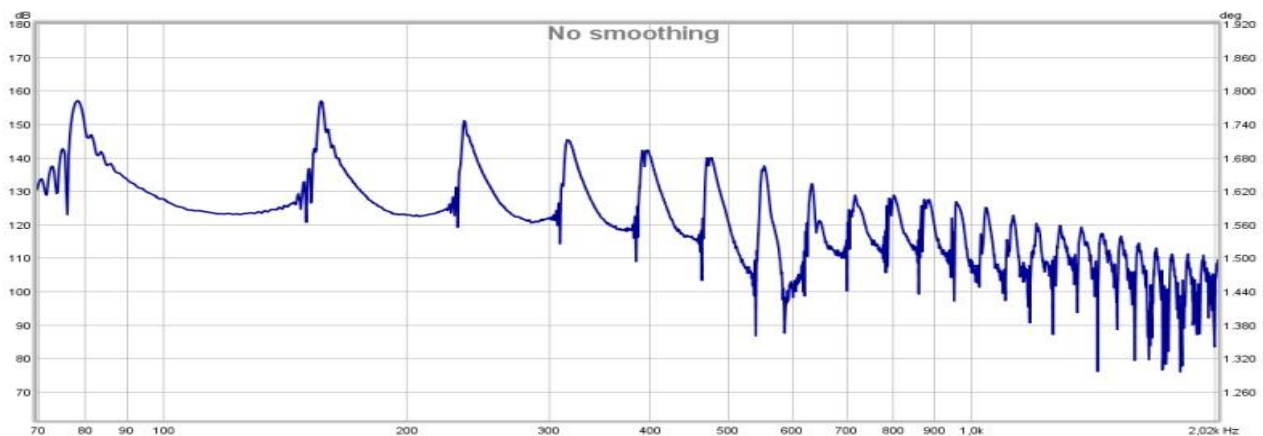
Τα παραπάνω φάσματα προέκυψαν όταν η χορδή διεγέρθηκε στη θέση 1 με το μικρόφωνο και τον αισθητήρα εκπομπής-λήψης υπερύθρων να ηχογραφούν στην ίδια θέση. Παρατηρείται ότι στο φάσμα που προέκυψε από τον αισθητήρα η θεμέλιος συχνότητα καθώς και οι αρμονικές της είναι πιο έντονες σε σχέση με τις εντάσεις στις ίδιες συχνότητες στο φάσμα που προέκυψε από το μικρόφωνο. Επιπλέον, ο αισθητήρας έχει λάβει ελάχιστα τις συχνότητες

γύρω από τις αρμονικές και αμελητέα πάνω από τα 6 kHz, ενώ το μικρόφωνο έχει πιο σταθερή απόκριση με τις μεσαίες συχνότητες να είναι ελαφρώς πιο έντονες.



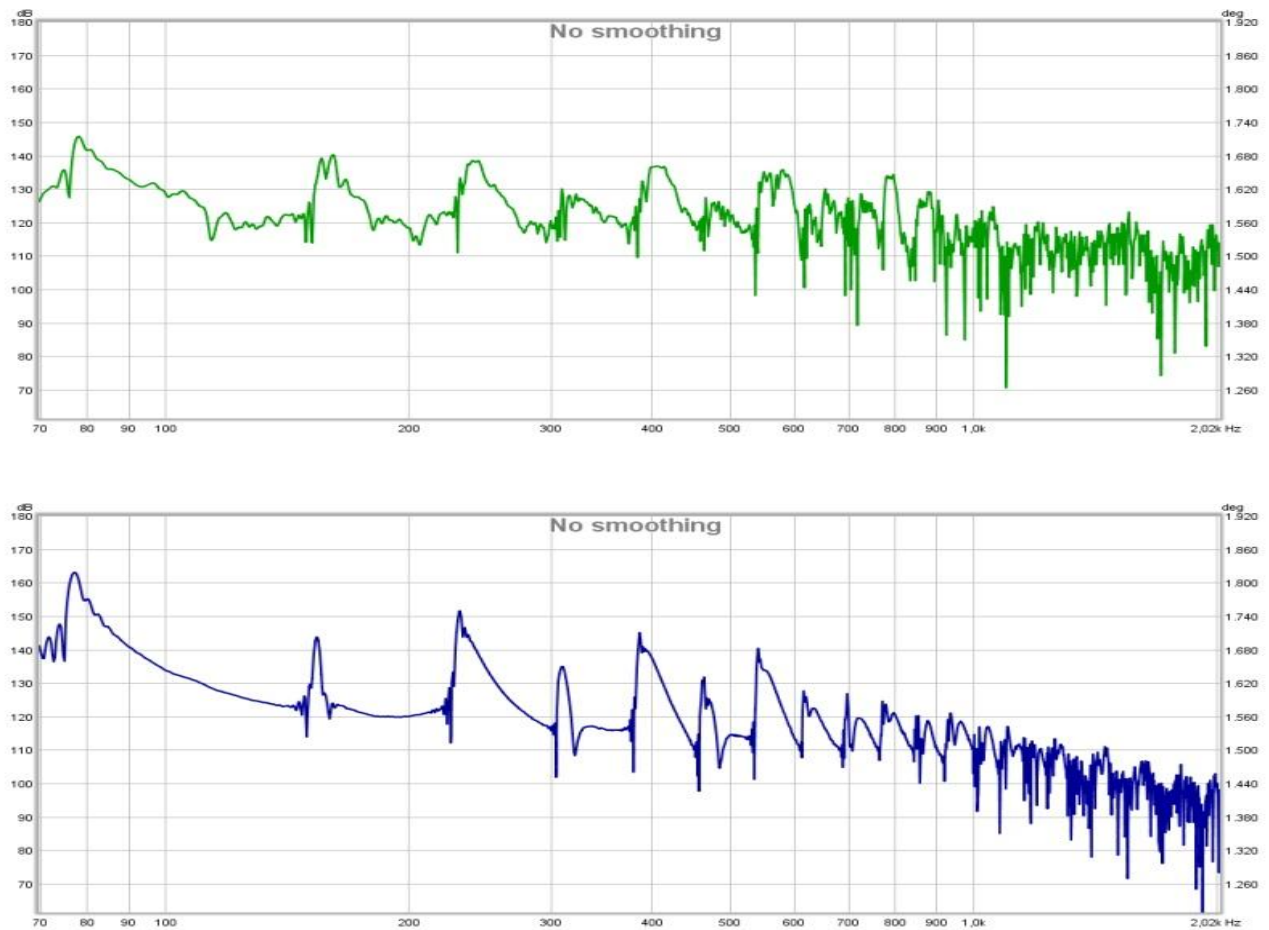
Σχήμα 3.2: $\alpha 1\delta 2$

Στο Σχήμα 3.2 απεικονίζονται τα φάσματα που προέκυψαν από τη λήψη στη θέση 1 ($\alpha 1$) η οποία βρίσκεται στη μέση, ενώ η χορδή διεγέρθηκε στη θέση 2 ($\delta 2$). Όπως και στην πρώτη περίπτωση η θεμέλιος και οι αρμονικές ξεχωρίζουν περισσότερο στο φάσμα του αισθητήρα υπερύθρων και η ένταση των υψηλών συχνοτήτων είναι πολύ πιο χαμηλή σε σχέση με αυτές που είναι κάτω από 6 kHz. Το μικρόφωνο λαμβάνει με περίπου τις ίδιες αναλογίες και σε αντίθεση με τον αισθητήρα υπερύθρων, λαμβάνει μεγαλύτερο εύρος συχνοτήτων ανάμεσα στις αρμονικές. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο αισθητήρας δεν ανιχνεύει συχνότητες οι οποίες είναι κάθετες στις ακτίνες που εκπέμπει.



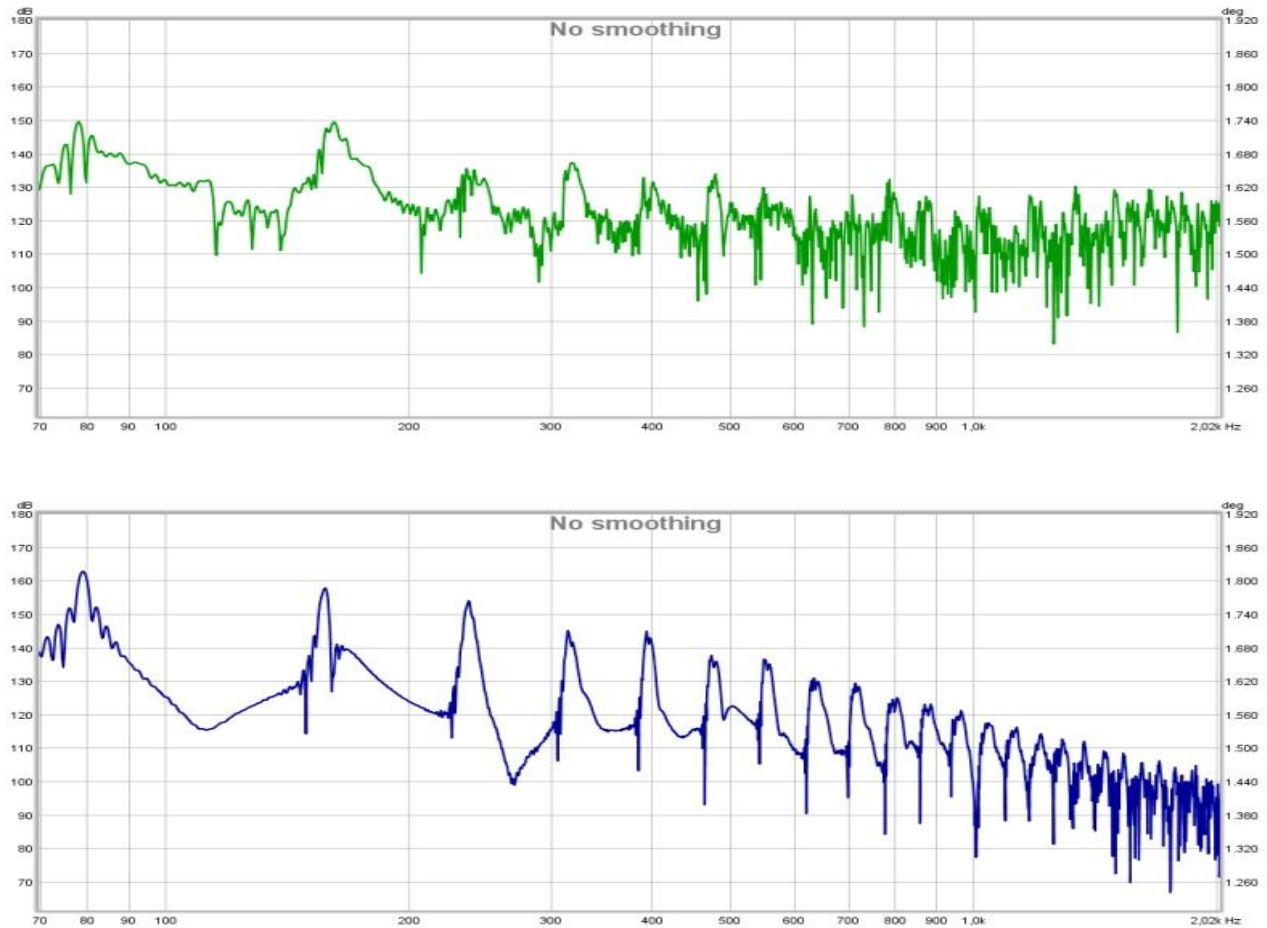
Σχήμα 3.3: α1δ3

Τα συχνοτικά φάσμα του Σχήματος 3.3 εξήχθησαν από τη θέση λήψης 1 και θέση διέγερσης 3. Στο φάσμα από το μικρόφωνο είναι εμφανές ότι η τρίτη αρμονική έχει μεγαλύτερη ένταση από τη θεμέλιο και τις υπόλοιπες αρμονικές και στο φάσμα του αισθητήρα οι συντονισμοί στις μεσαίες συχνότητες παρουσιάζουν αύξηση.



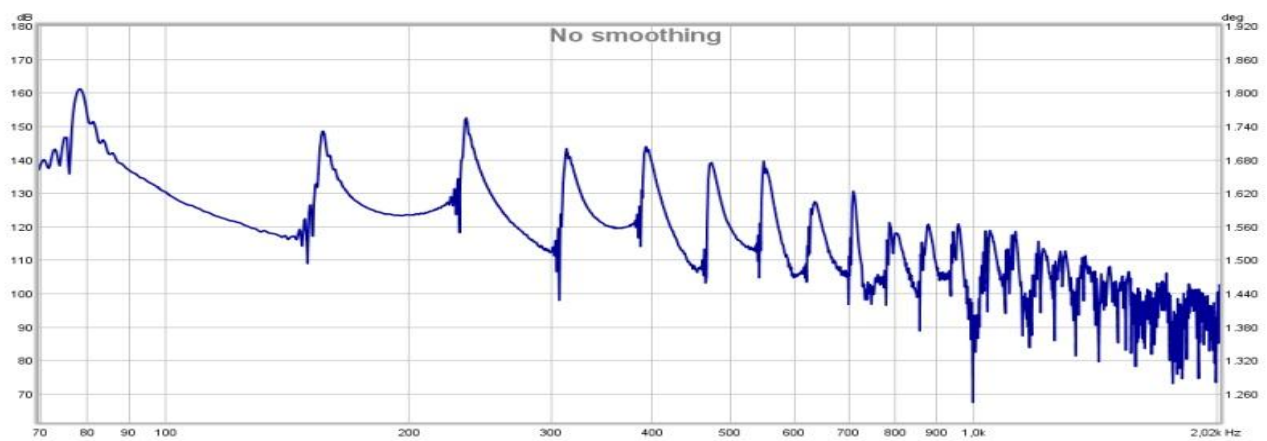
Σχήμα 3.4: α2δ1

Στο Σχήμα 3.4 φαίνονται τα συχνотικά φάσματα στη θέση διέγερσης 1 και θέση λήψης 2. Η συμπεριφορά του μικροφώνου είναι παρόμοια με τις υπόλοιπες περιπτώσεις, αλλά στο φάσμα αισθητήρα είναι εμφανής η πτώση έντασης των περιττών αρμονικών σε σχέση με τα προηγούμενα δείγματα.



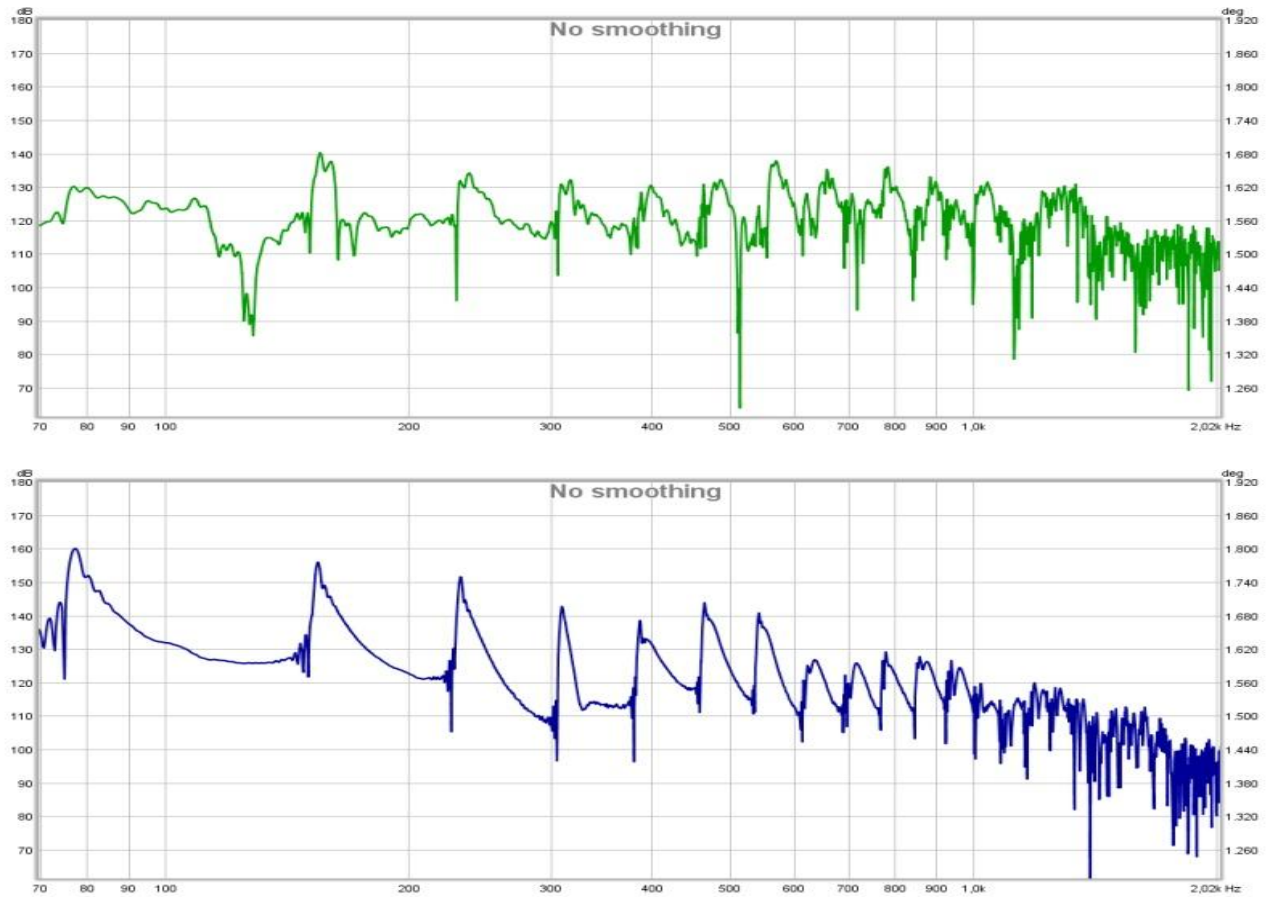
Σχήμα 3.5: α2δ2

Στα συχνοτικά φάσματα που φαίνονται στο Σχήμα 3.5 η λήψη έγινε από τη θέση 2 καθώς και η διέγερση. Στο φάσμα του μικροφώνου παρατηρείται αύξηση στις ψηλομεσαίες συχνότητες και στις υψηλές, ενώ στην περίπτωση του αισθητήρα υπάρχει ελάχιστη μείωση. Η πτώση έντασης στο φάσμα του αισθητήρα είναι ελαφρώς πιο ομαλή από άλλες περιπτώσεις.



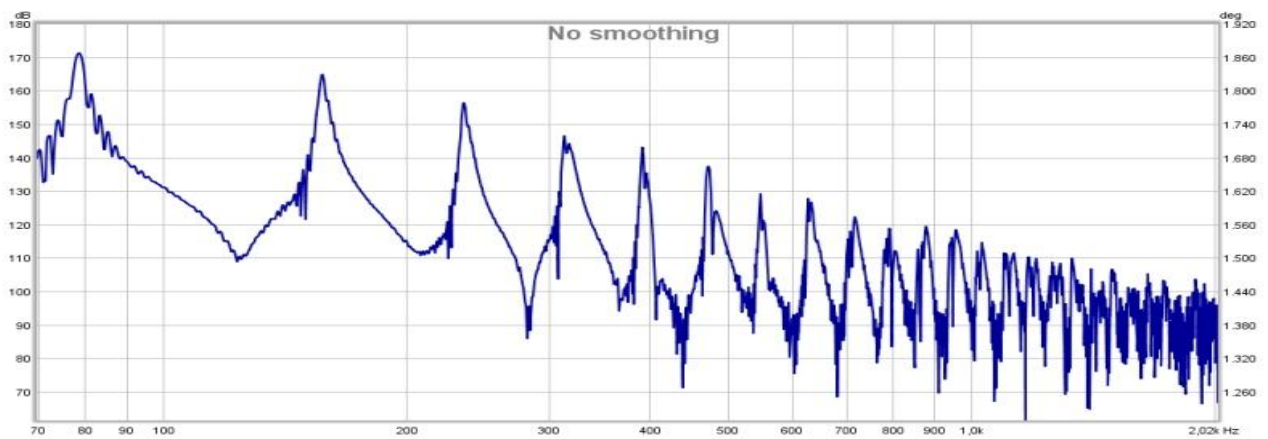
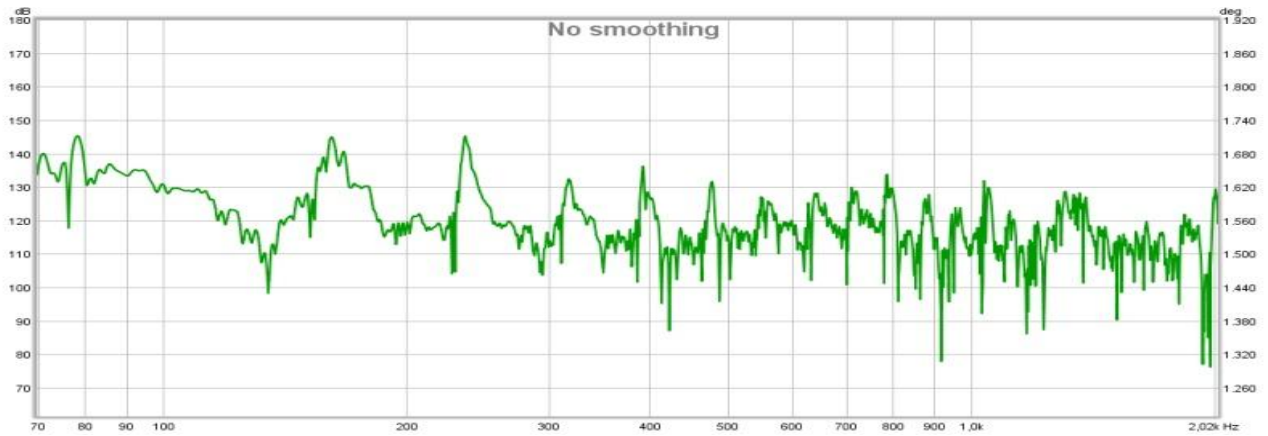
Σχήμα 3.6: α2δ3

Τα φάσματα του Σχήματος 3.6 παρουσιάζουν αμελητέες διαφορές με τα προηγούμενα. Ωστόσο, στο φάσμα του αισθητήρα παρατηρείται μείωση την έντασης των περιττών αρμονικών.



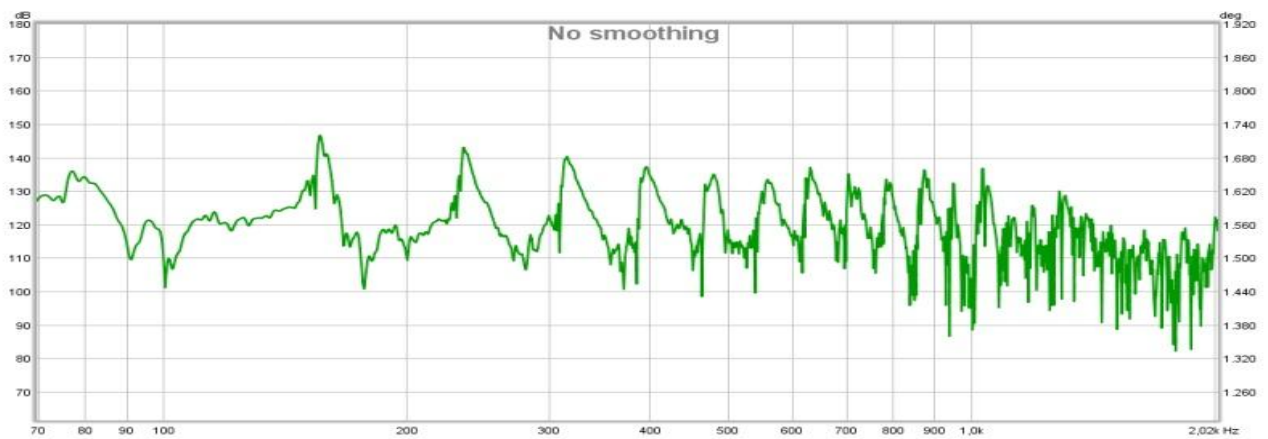
Σχήμα 3.7: α3δ1

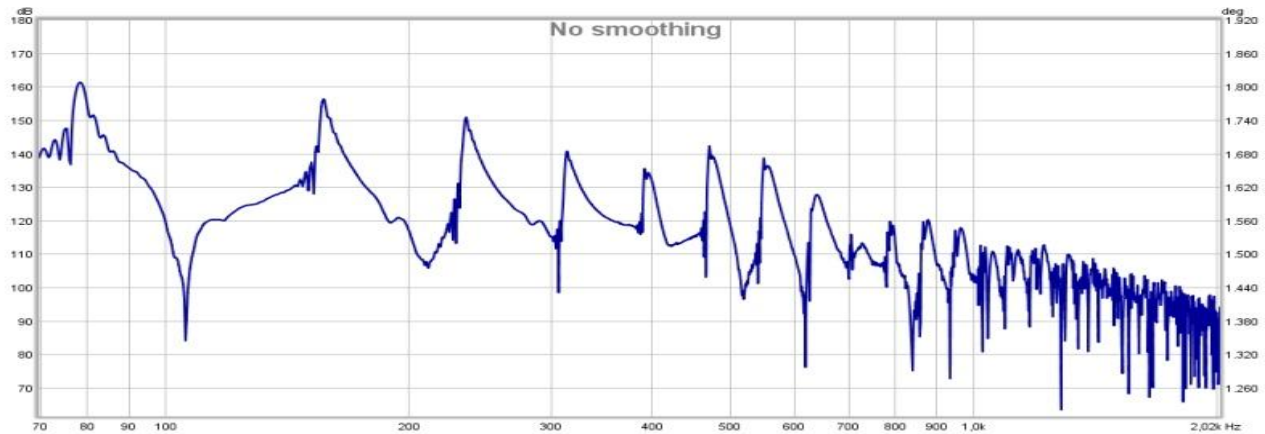
Στο Σχήμα 3.7 οι διαφορές είναι αμελητέες με τα προηγούμενα φάσματα τόσο του μικροφώνου όσο και του αισθητήρα. Παρ' όλα αυτά, στο φάσμα του μικροφώνου εμφανίζονται μία αρμονική (37-39 Hz) χαμηλότερα από τη θεμέλιο συχνότητα (78-80 Hz) και άλλη μια συχνότητα περίπου στα 58 Hz.



Σχήμα 3.8: α3δ2

Στο παραπάνω σχήμα παρουσιάζονται τα φάσματα που προέκυψαν από την ανάλυση στη θέση λήψης 3 και θέση διέγερσης 2. Στο φάσμα του αισθητήρα οι θεμέλιος και οι αρμονικές είναι πιο ξεκάθαρες σε σχέση με του μικροφώνου και με άλλες θέσεις λήψης και διέγερσης.





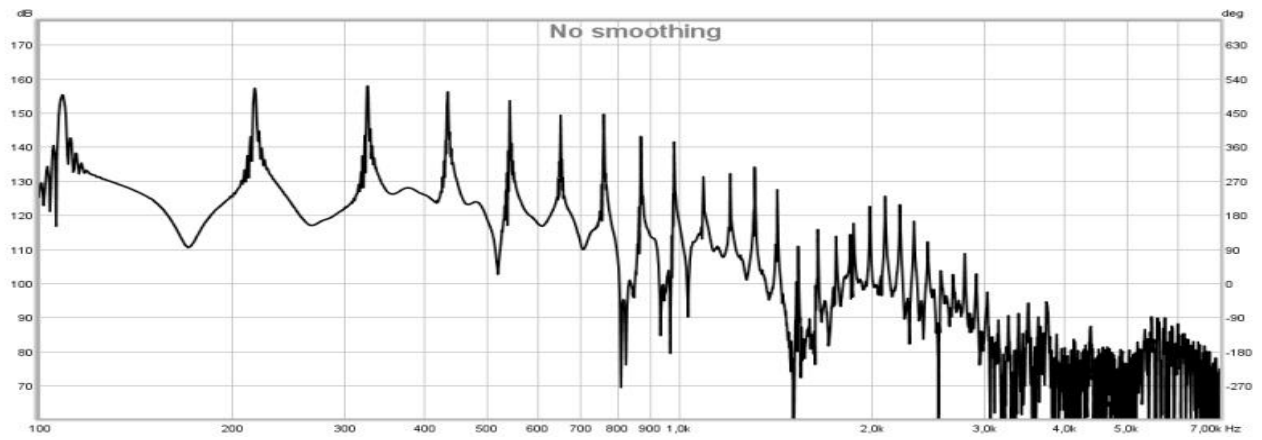
Σχήμα 3.9: α3δ3

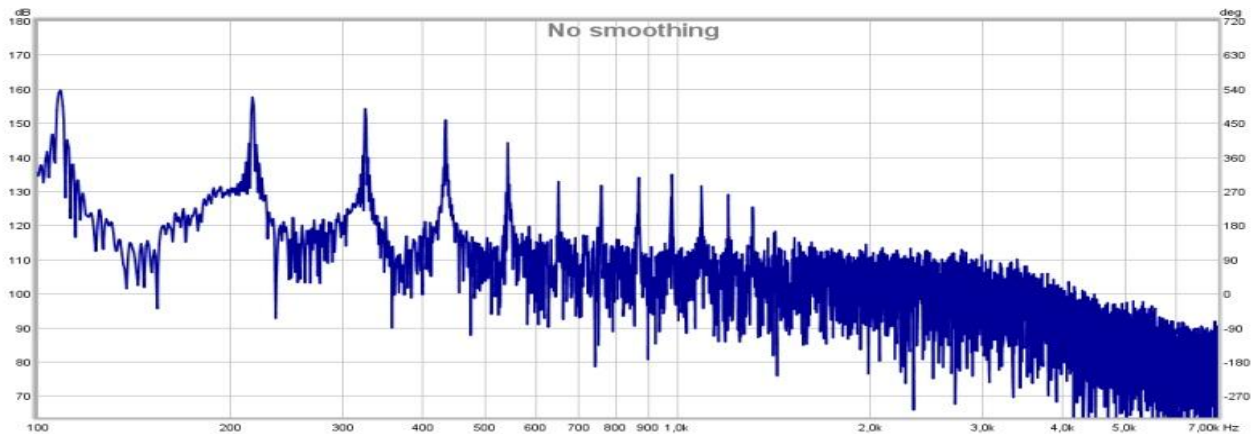
Στα φάσματα του Σχήματος 3.9 η λήψη έγινε στη θέση 3 καθώς και η διέγερση. Οι αρμονικές είναι πιο ξεκάθαρες στο μικρόφωνο σε σχέση με άλλα φάσματα και η ένταση της θεμελίου έχει μειωθεί σημαντικά. Το φάσμα του αισθητήρα δεν παρουσιάζει αξιοσημείωτη διαφορά.

3.2.2 Φασματική ανάλυση ηχητικών δειγμάτων από την ηλεκτρική κιθάρα (1 χορδή)

Σε αυτήν την ενότητα παρουσιάζονται τα συχνότητα φάσματα των ηχητικών δειγμάτων που ηχογραφήθηκαν με την ηλεκτρική κιθάρα χρησιμοποιώντας την 6η χορδή. Τα φάσματα με μαύρο χρώματα είναι των δειγμάτων από τον μαγνήτη της κιθάρας, με πράσινο αυτά από το μικρόφωνο και μπλε από τον αισθητήρα εκπομπής-λήψης υπερύθρων.

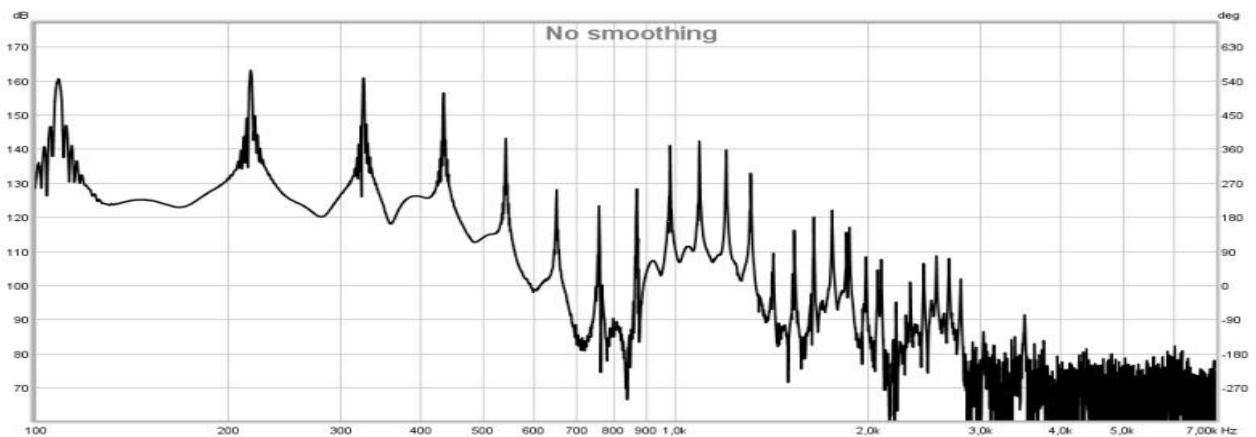
1) Θέση λήψης 1 και διέγερσης 1 (α1δ1)



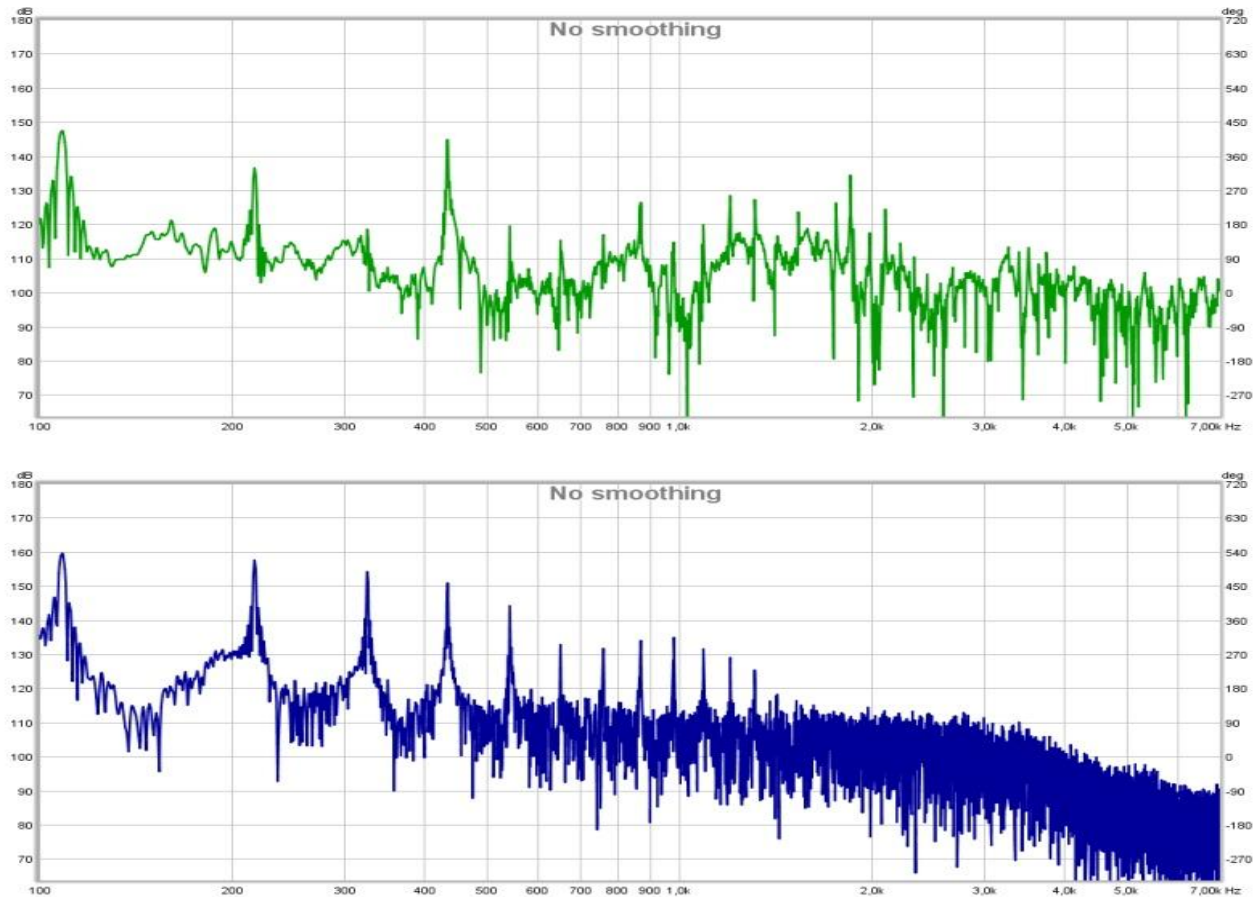


Σχήμα 3.10: α1δ1 με τον διακόπτη των μαγνητών στην κάτω θέση.

Τα φάσματα του Σχήματος 3.10 προέκυψαν από λήψη και διέγερση στη θέση 1 και με τον διακόπτη των μαγνητών στην κάτω θέση. Φαίνεται ότι οι μαγνήτες ανιχνεύει 21 αρμονικές, το μικρόφωνο 15 και ο αισθητήρας 13. Παρατηρείται, επίσης, ότι στο φάσμα του μαγνήτη και του αισθητήρα η θεμέλιος και οι αρμονικές συχνότητες είναι πιο ξεκάθαρες σε σχέση με του μικροφώνου και με πιο ομαλή πτώση καθώς αυξάνεται η συχνότητα. Στο φάσμα του

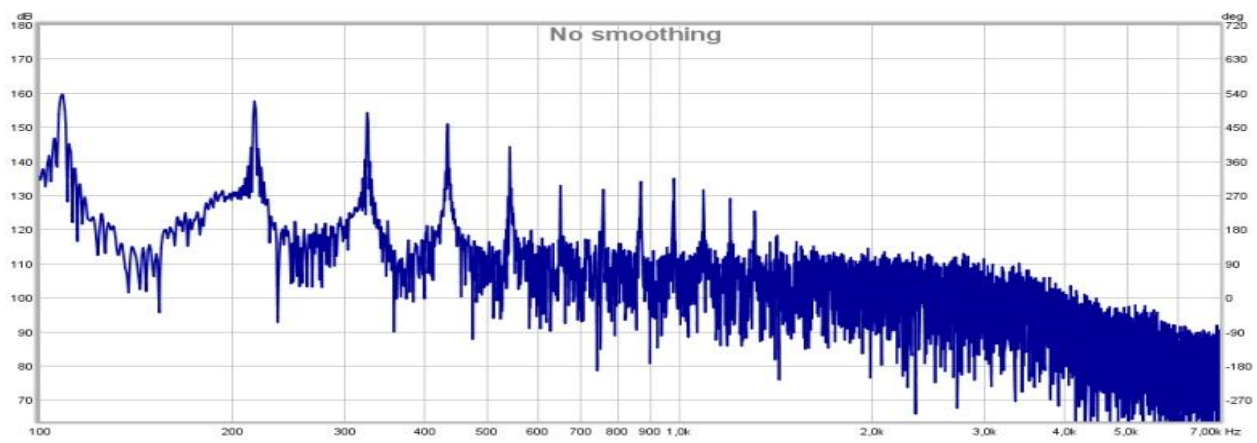
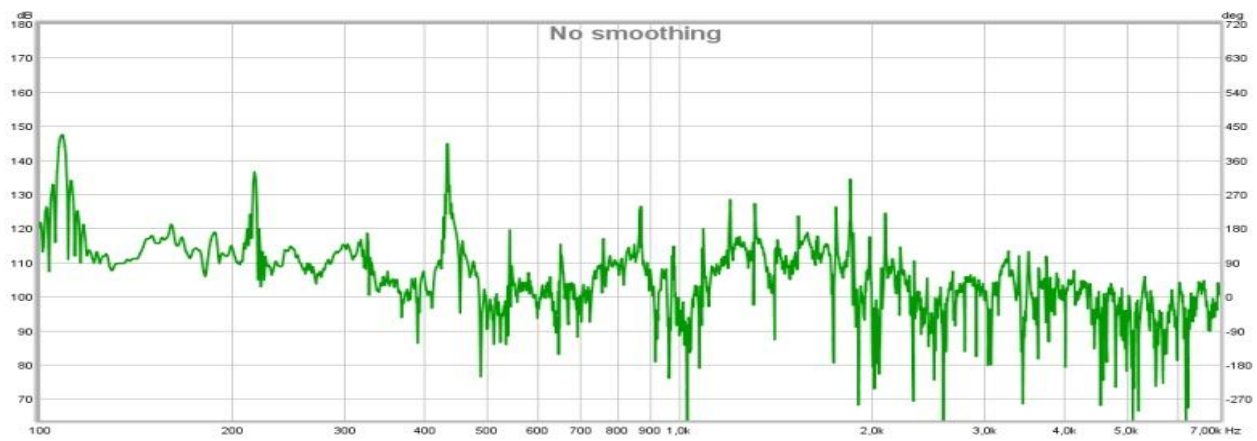
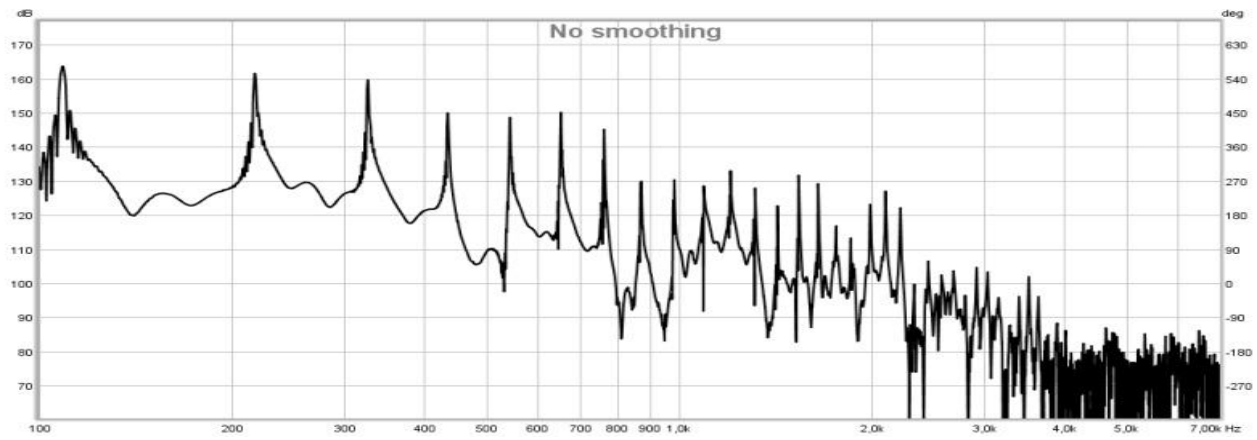


μικροφώνου οι αρμονικές παρουσιάζουν έντονη αυξομείωση με την αύξηση της συχνότητας.



Σχήμα 3.11: α1δ1 με τον διακόπτη των μαγνητών στη μεσαία θέση.

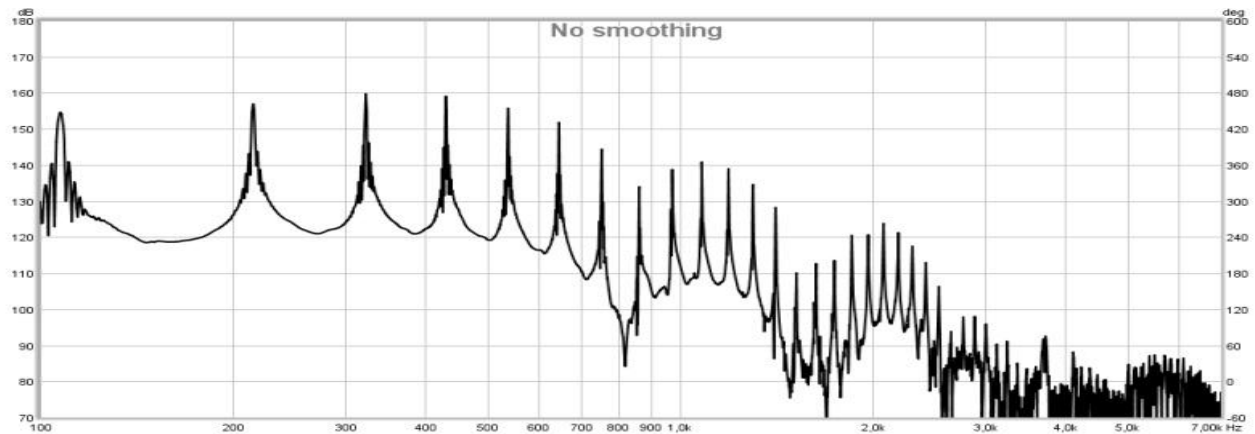
Στο Σχήμα 3.11 παρουσιάζονται τα φάσματα στη θέση λήψης και διέγερσης 1 και το διακόπτη στη μεσαία θέση. Τα φάσματα είναι παρόμοια με τα προηγούμενα με τη διαφορά ότι στο φάσμα του μαγνήτη οι συχνότητες από 1 kHz μέχρι 1.5 kHz έχουν αυξημένη ένταση, κάτι που είναι αναμενόμενο, εφόσον όταν ο διακόπτης βρίσκεται στη μεσαία θέση αυξάνεται κάποιο συχνοτικό εύρος της μεσαίας περιοχής η οποία διαφέρει ανάλογα με τον κατασκευαστή.

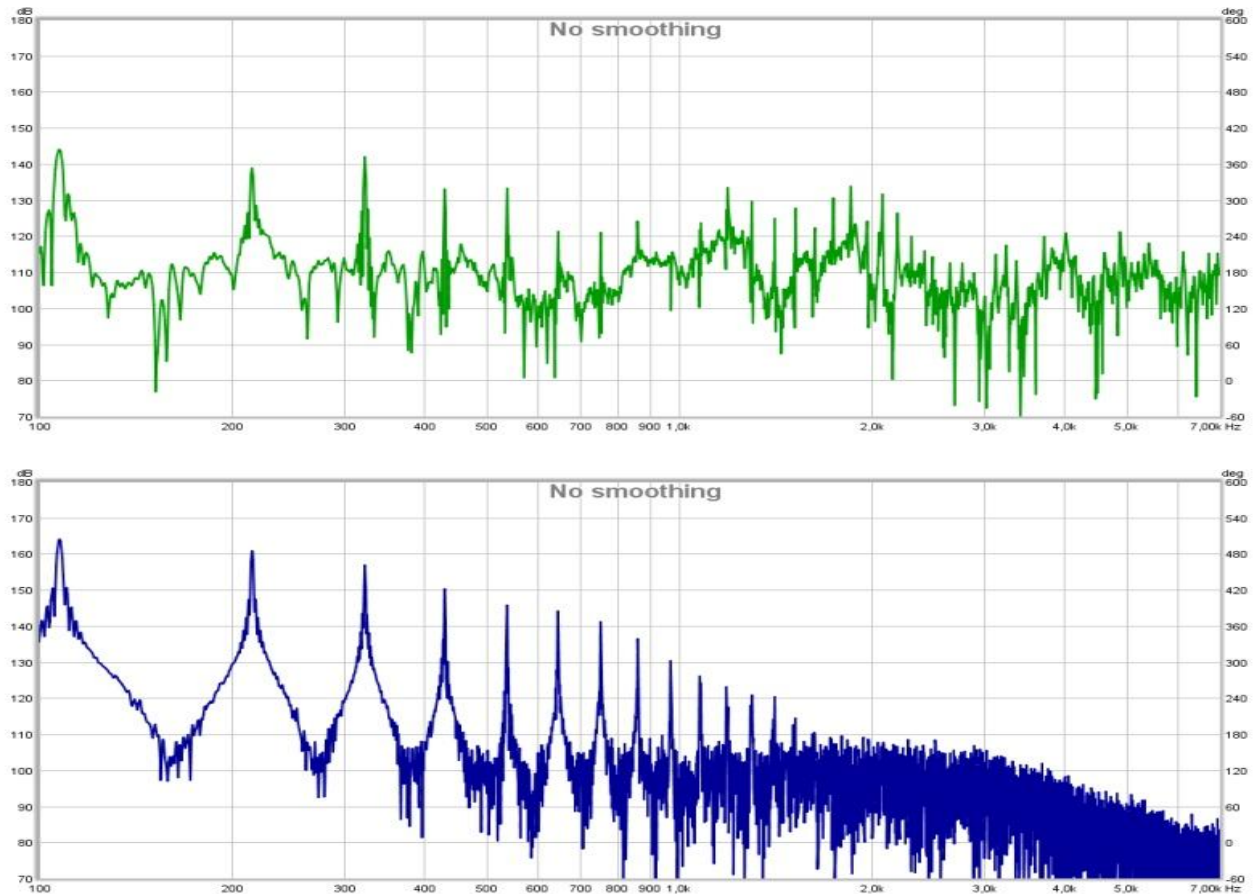


Σχήμα 3.12: α1δ1 και στην πάνω θέση του διακόπτη.

Στο Σχήμα 3.12 παρατηρούμε σημαντικές διαφορές της αναλογίας των αρμονικών συχνοτήτων με έντονη αύξηση της έντασης της 5ης, 6ης και μείωση της 8ης, 9ης, 10ης και 11ης αρμονικής στο φάσμα των μαγνητών όταν ο διακόπτης βρίσκεται στην πάνω θέση. Όπως και στις προηγούμενες αναλύσεις ο αισθητήρας συμπεριφέρεται σχεδόν με τον ίδιο τρόπο, δηλαδή διαφορά στάθμης της θεμελίου και 13ης αρμονική 25 dB.

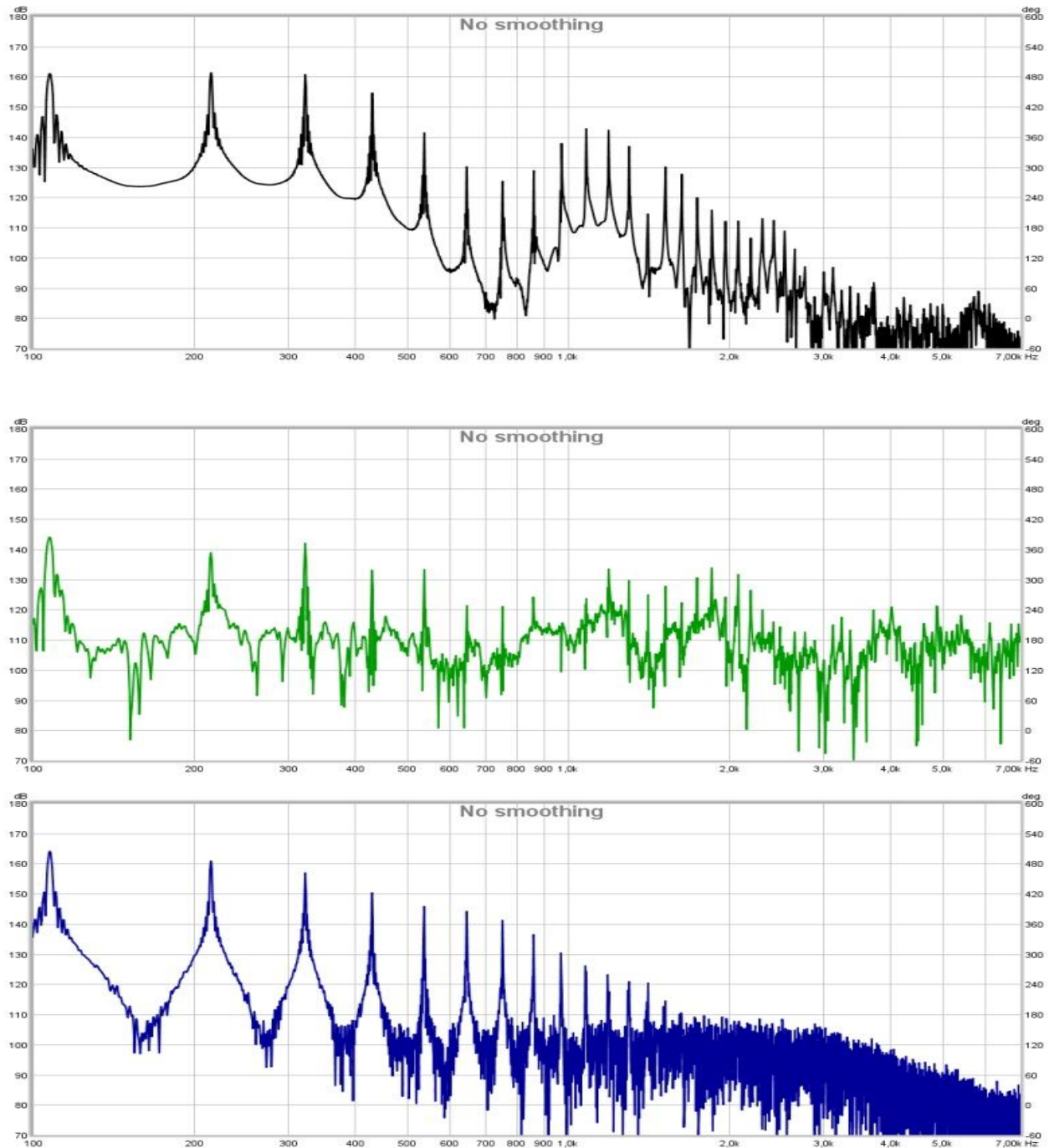
2) Θέση λήψης 2- θέση διέγερσης 1 (α2δ1)





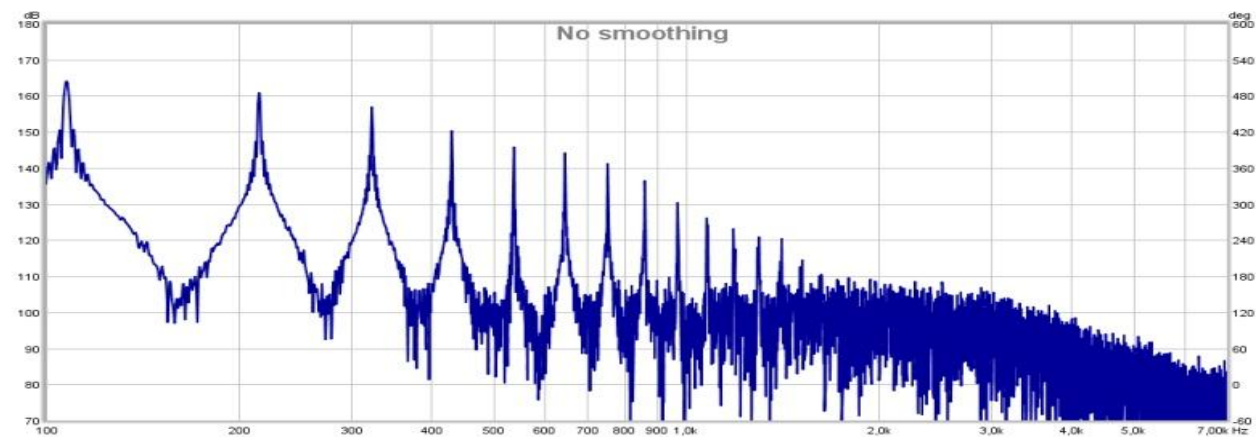
Σχήμα 3.13: α2δ1 και κάτω θέση του διακόπτη.

Στο Σχήμα 3.13 τα φάσματα έχουν εξαχθεί από τη λήψη στη θέση 2, διέγερση στη θέση 1 και με τον διακόπτη στην κάτω θέση. Ο μαγνήτης έχει λάβει τις τέσσερις πρώτες αρμονικές με μεγαλύτερη στάθμη από τη θεμέλιο και η απόκριση στις υπόλοιπες είναι παρόμοια με την α1δ1 και το διακόπτη στη μεσαία θέση. Το μικρόφωνο έχει αμελητέες διαφορές, ενώ ο αισθητήρας έχει παρόμοια συμπεριφορά, αλλά οι συντονισμοί έχουν μεγαλύτερη ένταση. Αυτό ευθύνεται στο γεγονός ότι το πλάτος της δόνησης της χορδής είναι μεγαλύτερο στο κέντρο της, επομένως δημιουργεί εντονότερη σκιά.



Σχήμα 3.14: α2δ1 με τον διακόπτη στη μεσαία θέση.

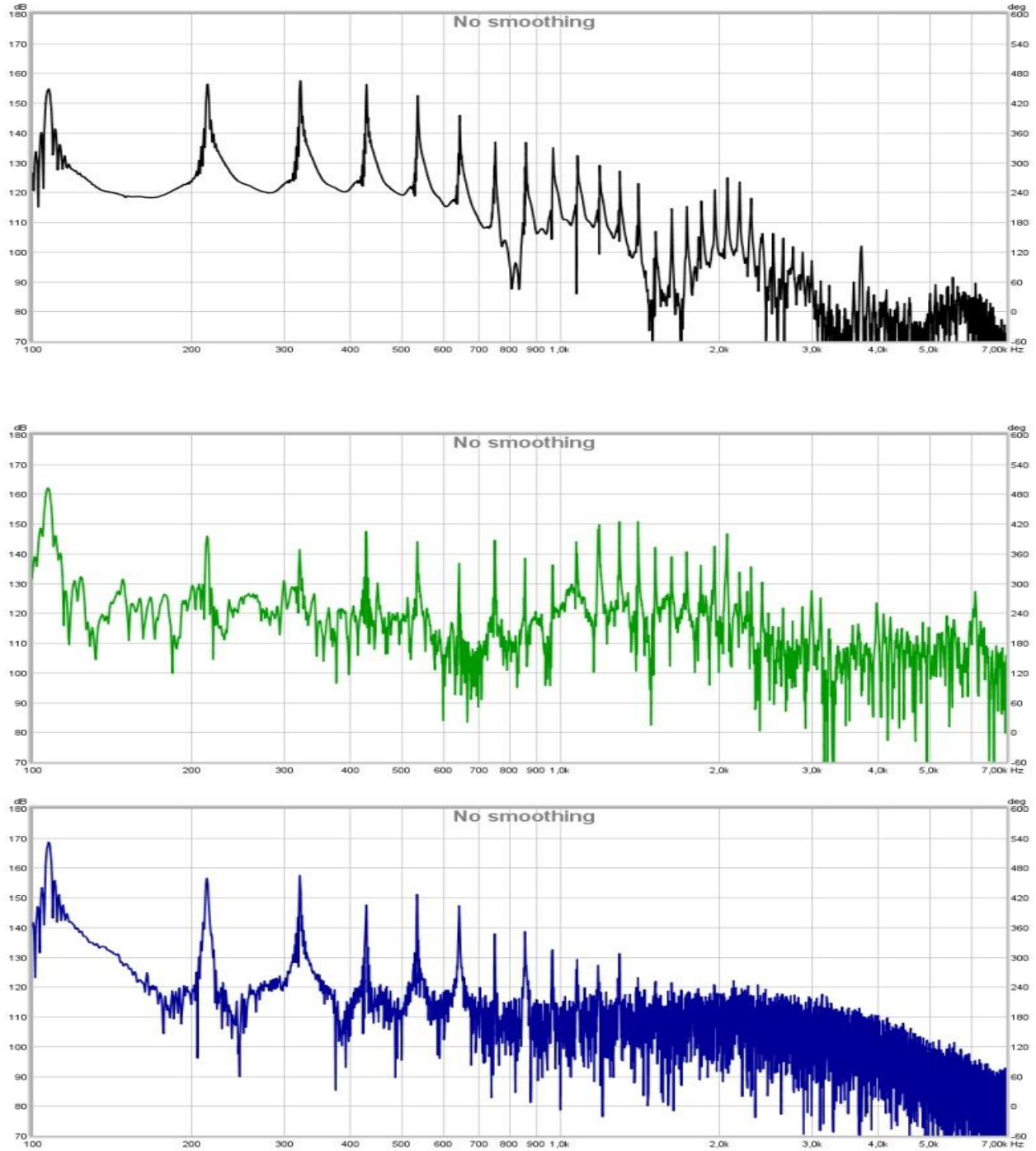
Στην περίπτωση όπου ο διακόπτης βρίσκεται στη μεσαία θέση (Σχήμα 3.14) από την 4η μέχρι την 7η αρμονική υπάρχει σημαντική μείωση στη στάθμη, αύξηση από 13η έως 15 και παρόμοιες αναλογίες των υπολοίπων.



Σχήμα 3.15: α2δ1 και διακόπτης στην πάνω θέση.

Στην περίπτωση του Σχήματος 3.15 ο μαγνήτης παρουσιάζει χαμηλότερες στάθμες στην 7η, 8η, 15η και 16 διατηρώντας τις υπόλοιπες περίπου στα ίδια επίπεδα.

3) Θέση λήψης 3-θέση διέγερσης 1 (α3δ1)

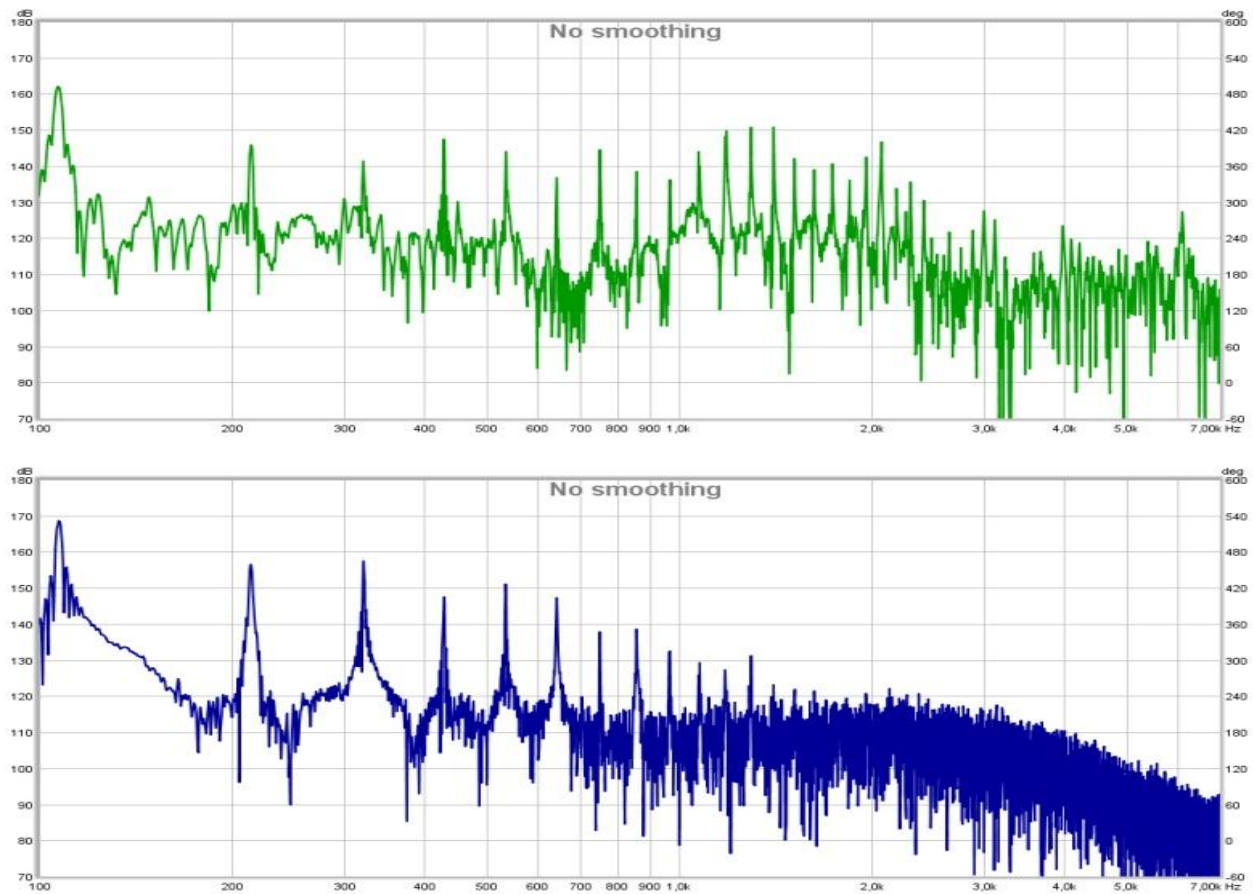


Σχήμα 3.16: α3δ1, κάτω θέση του διακόπτη.

Στο Σχήμα 3.16 παρουσιάζονται τα φάσματα που προέκυψαν από τη λήψη στη θέση 3, διέγερση στη θέση 1 και ο διακόπτης στην κάτω θέση. Ο αισθητήρας έχει λάβει τις πρώτες

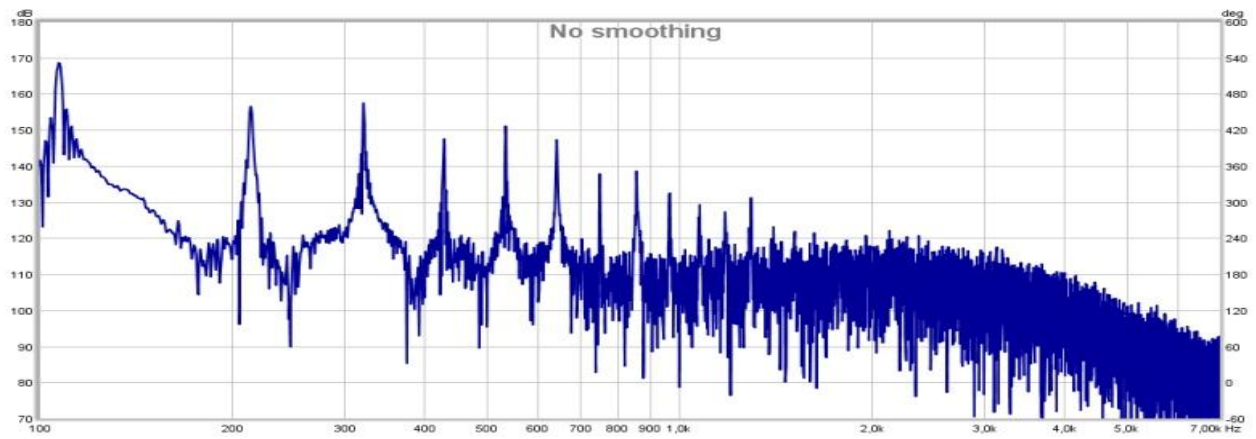
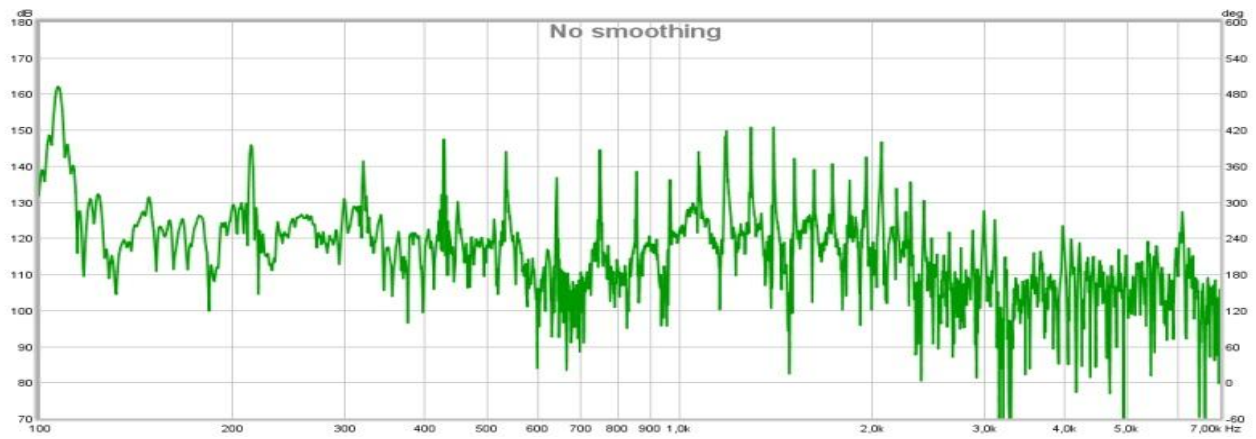
τέσσερις αρμονικές με αισθητά υψηλότερη στάθμη σε αντίθεση με άλλες λήψεις. Ο μαγνήτης δεν παρουσιάζει κάποια ιδιαίτερη διαφορά και στο φάσμα του μικροφώνου οι αρμονικές ξεχωρίζουν περισσότερο σε σχέση με άλλες περιπτώσεις.





Σχήμα 3.17: α3δ1, μεσαία θέση του διακόπτη.

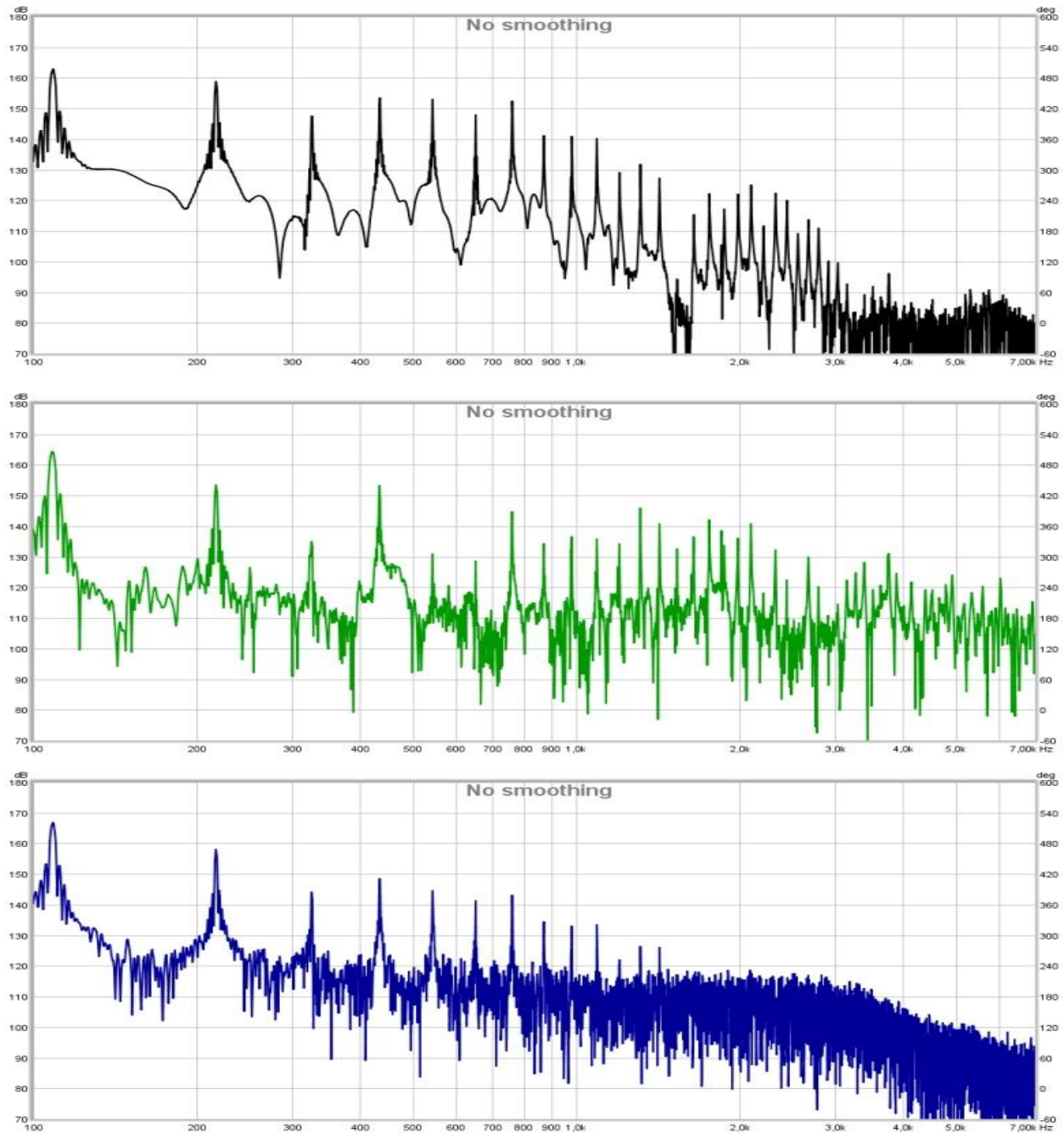
Ο μαγνήτης, όταν ο διακόπτης βρίσκεται στη μεσαία θέση, έχει αυξημένες ελάχιστα τις πρώτες δύο αρμονικές, μειωμένες τις 5 έως 6, 8 έως 11, 13 έως 16 ενώ οι υπόλοιπες έχουν μειωθεί.



Σχήμα 3.18: α3δ1, πάνω θέση του διακόπτη.

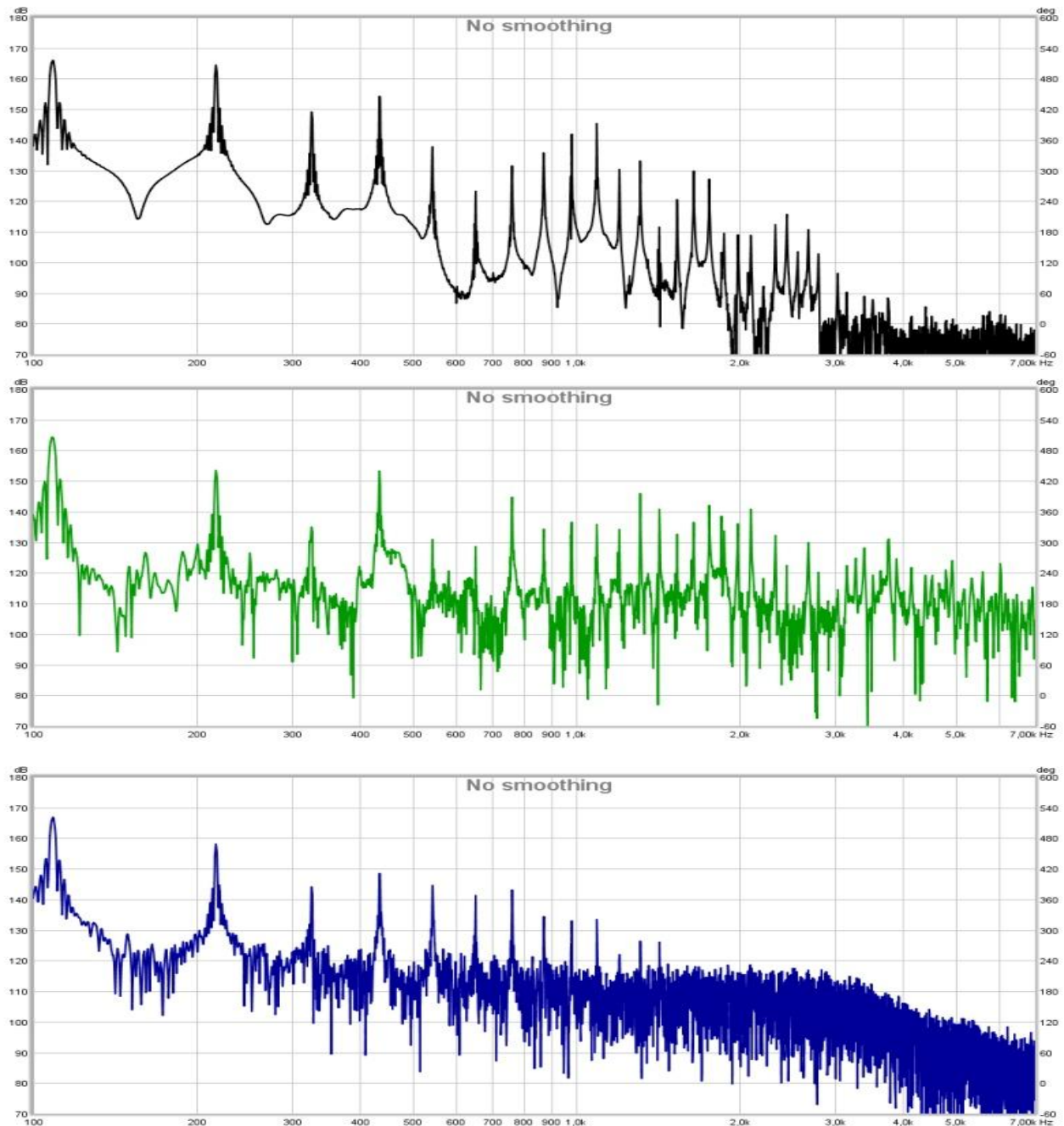
Στο Σχήμα 3.18 ο μαγνήτης λαμβάνει τις αρμονικές 4 έως 6 και πάνω από την 11η με μεγαλύτερη στάθμη απ' ότι λαμβάνει με τον διακόπτη στη μεσαία θέση, αλλά οι εντάσεις αυτές δεν διαφέρουν τόσο όταν είναι στην πάνω θέση. Επίσης, και το φάσμα του αισθητήρα έχει λιγότερες αρμονικές σε σχέση με τις διεγέρσεις στην ίδια θέση. Αυτό ενδεχομένως να οφείλεται στη διαφορά δύναμης με την οποία χτυπήθηκε η χορδή τις τρεις αυτές φορές.

4) Θέση λήψης 1-θέση διέγερσης 2 (α1δ2)



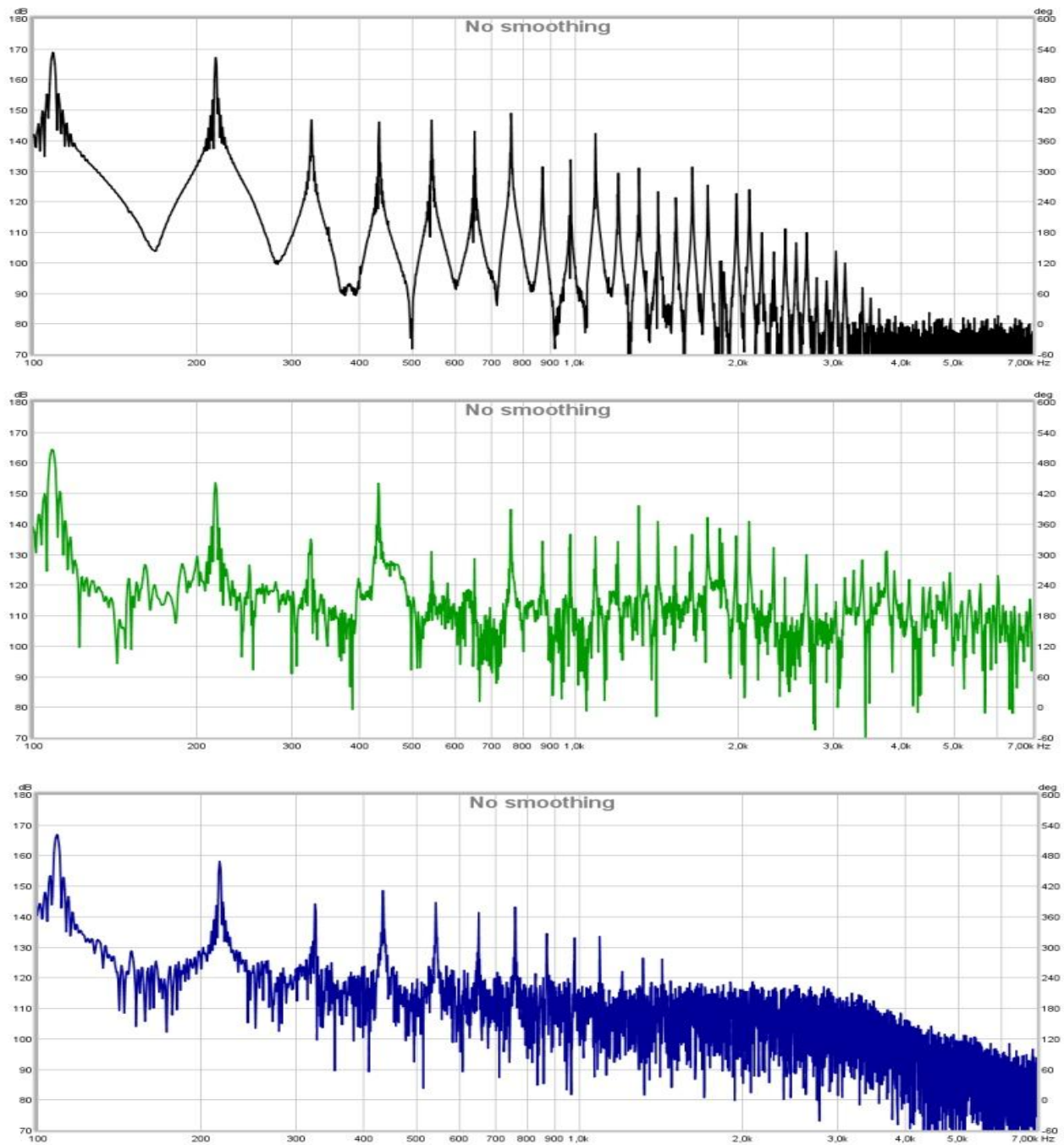
Σχήμα 3.19: α1δ2, κάτω θέση του διακόπτη.

Στην περίπτωση του Σχήματος 3.19 όπου η λήψη έχει πραγματοποιηθεί στη θέση 1, η διέγερση στη μέση της χορδής και με τον διακόπτη στην κάτω. Ο μαγνήτης δεν φαίνεται να λαμβάνει κάτι ιδιαίτερα διαφορετικό με τις άλλες λήψεις, ενώ οι αρμονικές στο μικρόφωνο έχουν αρκετά πιο χαμηλή ένταση τόσο σε σχέση με τα προηγούμενα φάσμα του όσο και με τα προηγούμενα φάσματα των υπόλοιπων αισθητήρων. Ο αισθητήρας υπερύθρων δεν παρουσιάζει κάτι αξιοσημείωτο.



Σχήμα 3.20: α1δ2, μεσαία θέση του διακόπτη.

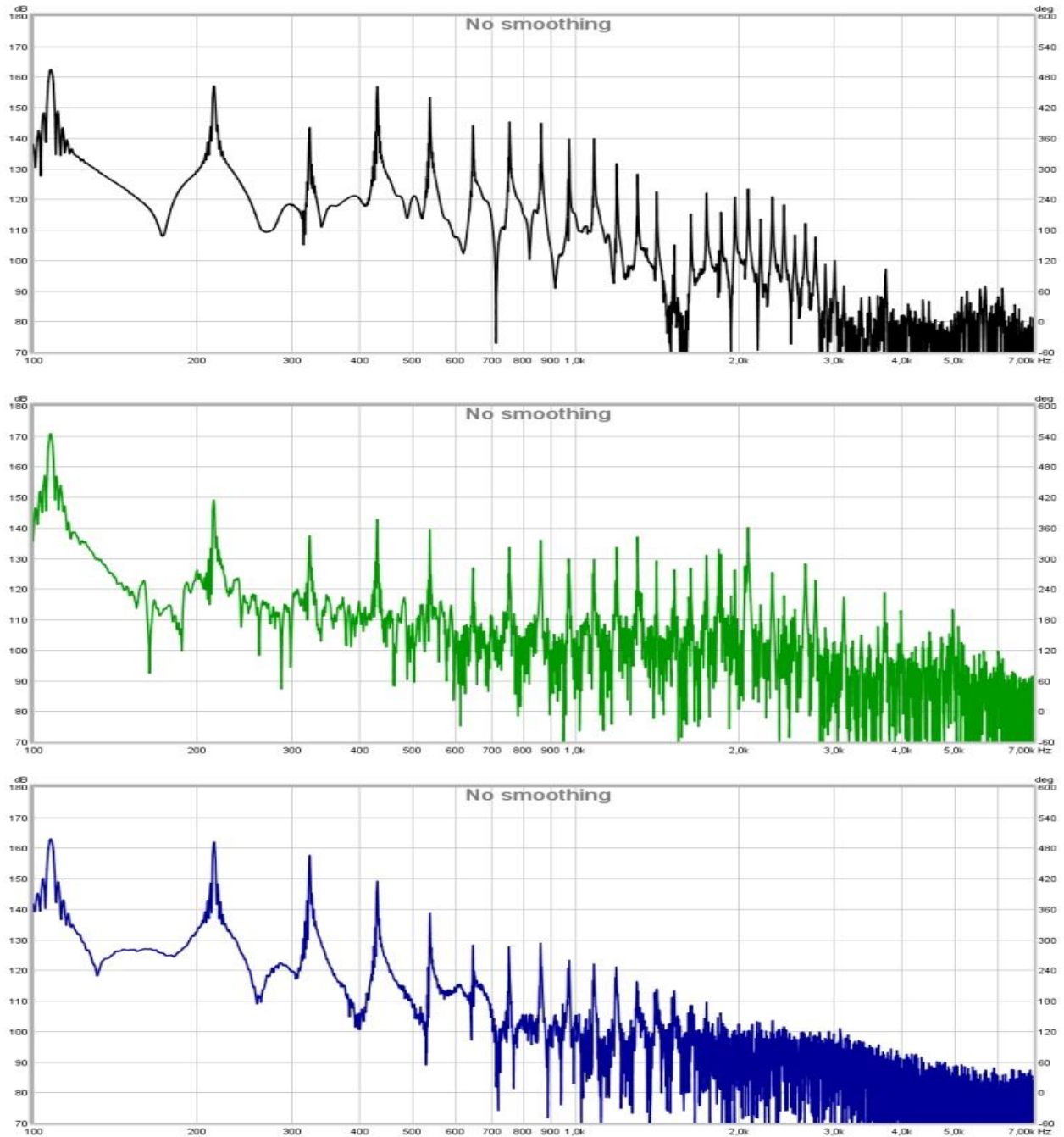
Στο φάσμα του μαγνήτη στο Σχήμα 3.20 οι αρμονικές από 4 έως 6 έχουν μειωθεί σημαντικά, καθώς και η 12η, 14η, 15η. Οι υπόλοιπες ιδιοσυχνότητες διαφέρουν στις μεταξύ τους αναλογίες με λιγότερο σημαντικές αυξομειώσεις. Στο μικρόφωνο η θεμέλιος, η 1η και 3η αρμονική είναι ιδιαίτερα αυξημένες, όπως και οι αρμονικές της μεσαίας περιοχής συχνοτήτων. Ο αισθητήρας έχει παρόμοια συμπεριφορά.



Σχήμα 3.21: α162, πάνω θέση του διακόπτη..

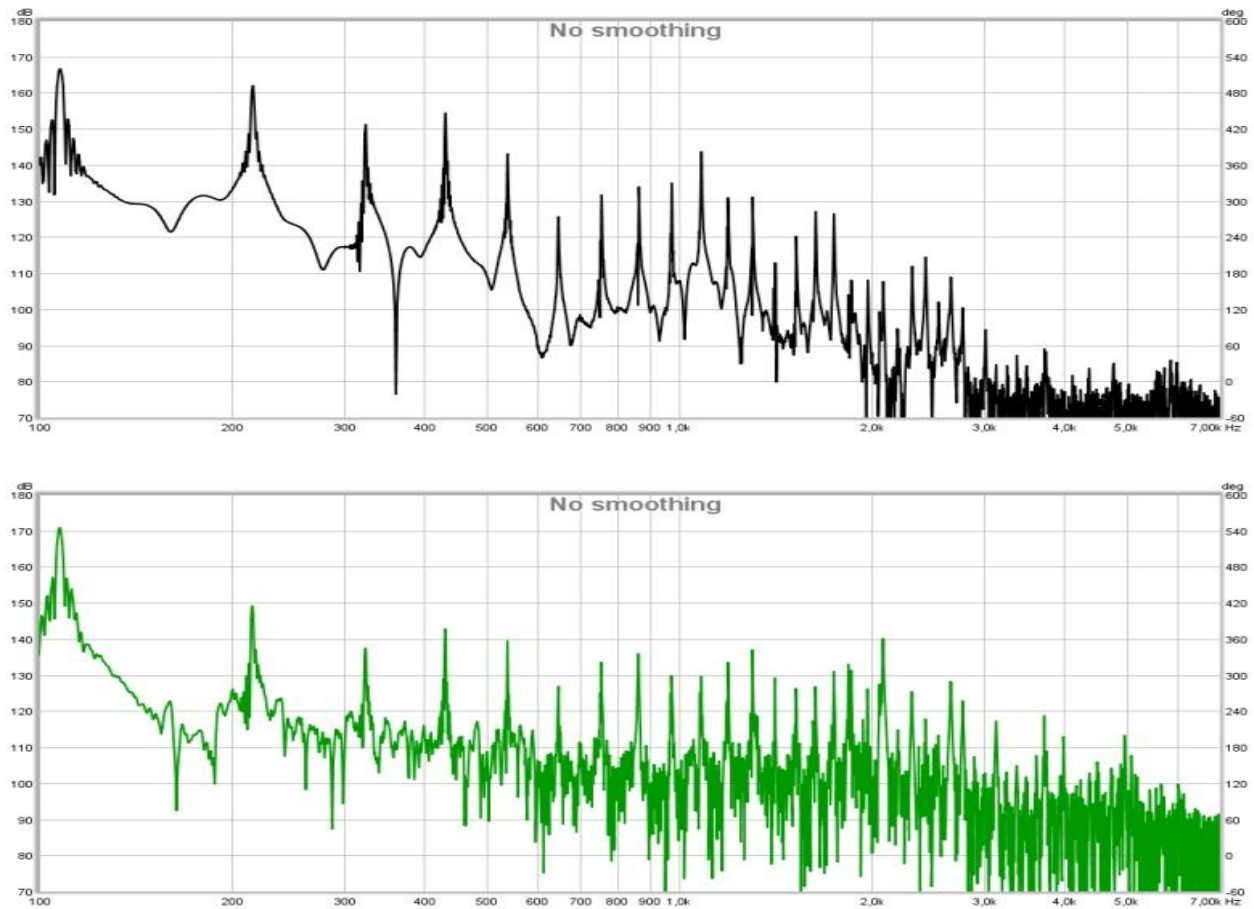
Στο Σχήμα 3.21 φαίνεται ότι ο μαγνήτης λαμβάνει όλες τις αρμονικές με αυξημένη ένταση και μια σχετικά σταθερότερη πτώση της στάθμης με διαφορά 56 dB της θεμελίου με την τελευταία αρμονική.

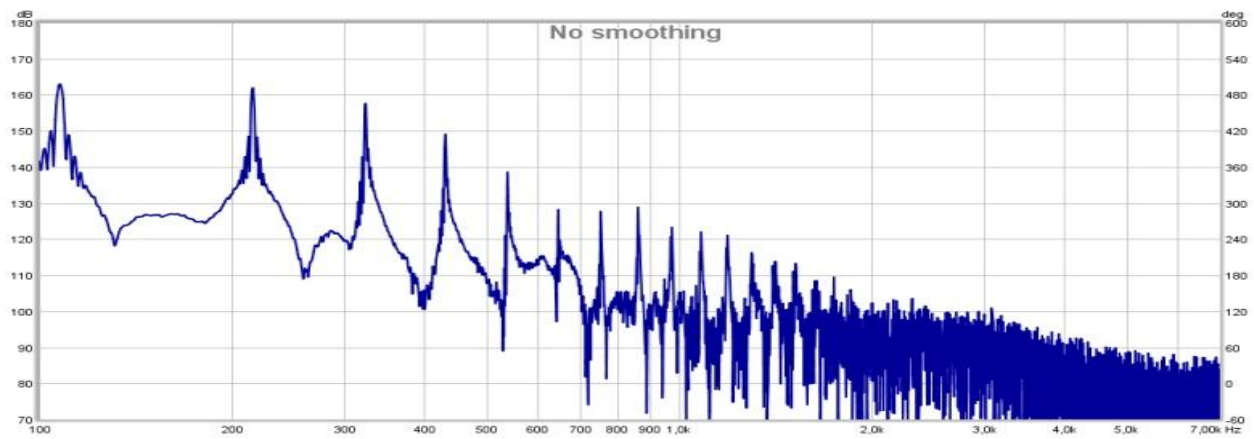
5) Θέση λήψης 2- θέση διέγερσης 2 (α2δ2)



Σχήμα 3.22: α2δ2, κάτω θέση του διακόπτη.

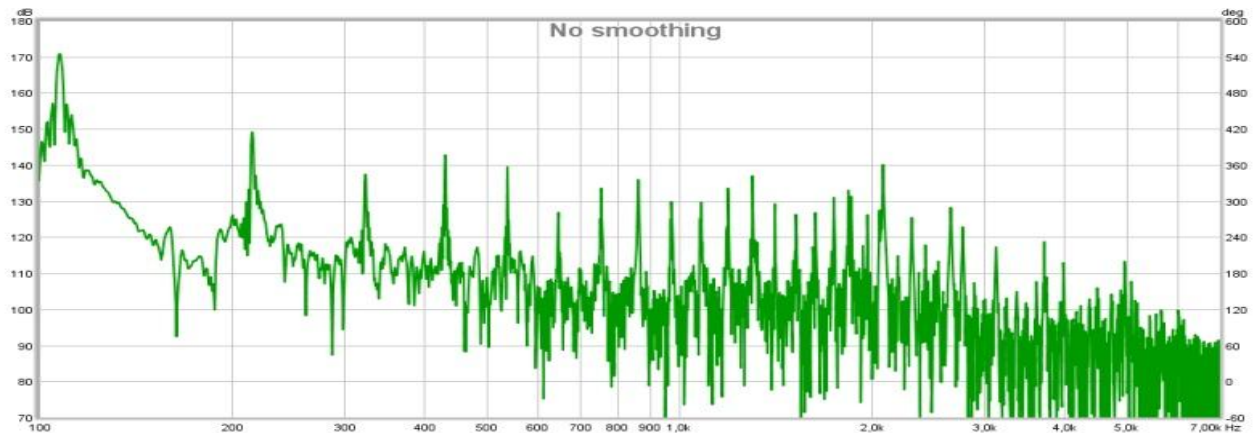
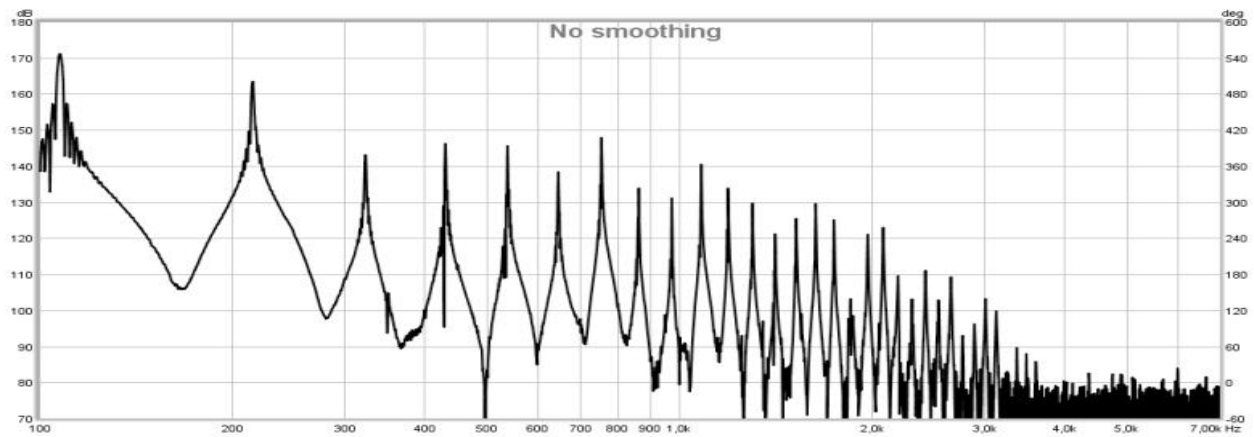
Στο Σχήμα 3.22 παρουσιάζονται τα συχνοτικά φάσματα που προέκυψαν από τη λήψη στη θέση 2, διέγερση στη θέση 2 και με τον διακόπτη στην κάτω θέση. Ο αισθητήρας δεν παρουσιάζει αξιοσημείωτη διαφορά ακόμα και σε σχέση με άλλες θέσεις λήψης και διέγερσης. Στο φάσμα του μικροφώνου όλες οι ιδιοσυχνότητες και ιδιαίτερα η θεμέλιος έχουν έντονα αυξημένη στάθμη, αλλά οι αναλογίες των συχνοτήτων παραμένουν παρόμοιες. Ο μαγνήτης έχει παρόμοια απόκριση με τις προηγούμενες λήψεις, αλλά και αυτός έχει λάβει τις ιδιοσυχνότητες με μεγαλύτερη ένταση. Η αυξημένη ένταση οφείλεται στο γεγονός ότι καθώς πηγαίνουμε από τις άκρες της χορδής προς το κέντρο, το πλάτος του κύματος θα είναι μεγαλύτερο.

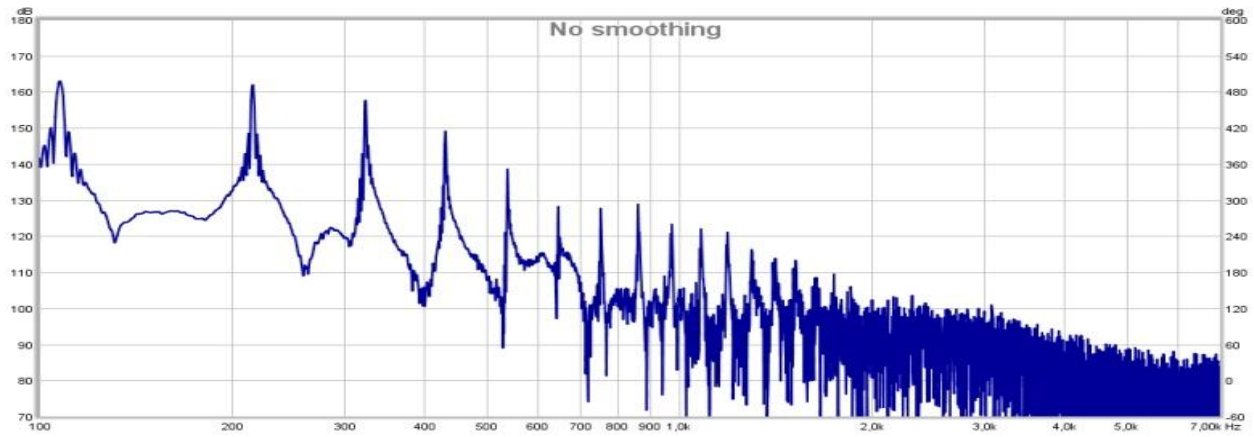




Σχήμα 3.23: α2δ2, μεσαία θέση του διακόπτη.

Στο Σχήμα 3.23 βλέπουμε τις διαφορές του φάσματος του μαγνήτη όταν ο διακόπτης βρίσκεται στη μεσαία θέση σε σχέση με τα υπόλοιπα φάσματα. Οι διαφορές παραμένουν ίδιες.



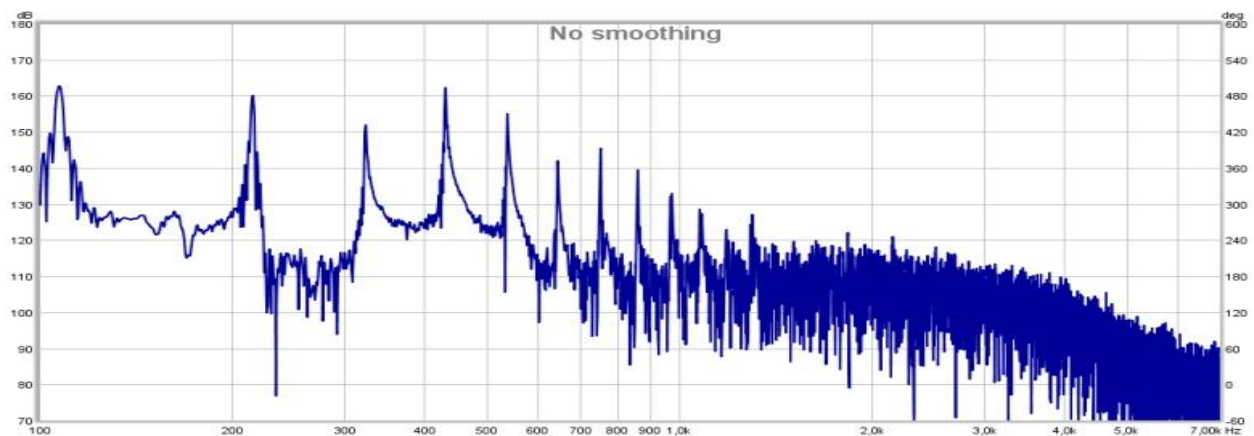


Σχήμα 3.24: α2δ2, πάνω θέση του διακόπτη.

Στο Σχήμα 3.24 βλέπουμε ότι ο μαγνήτης με τον διακόπτη στην πάνω θέση παρουσιάζει σημαντική αύξηση σε όλες του αρμονικές και το φάσμα που παράχθηκε είναι πλουσιότερο σε αντίθεση με προηγούμενες λήψεις και από το μικρόφωνο και από τον αισθητήρα.

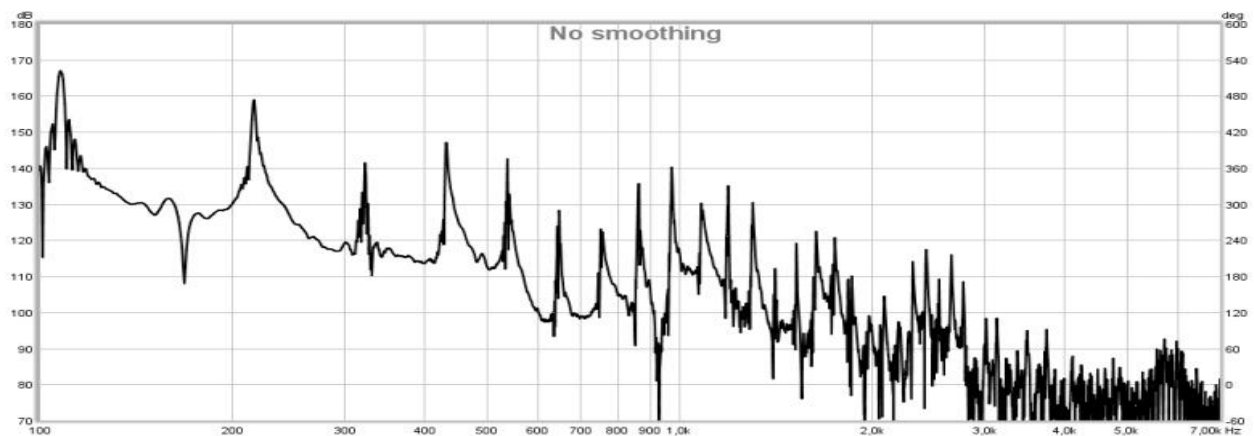
6) Θέση λήψης 3- θέση διέγερσης 2 (α3δ2)

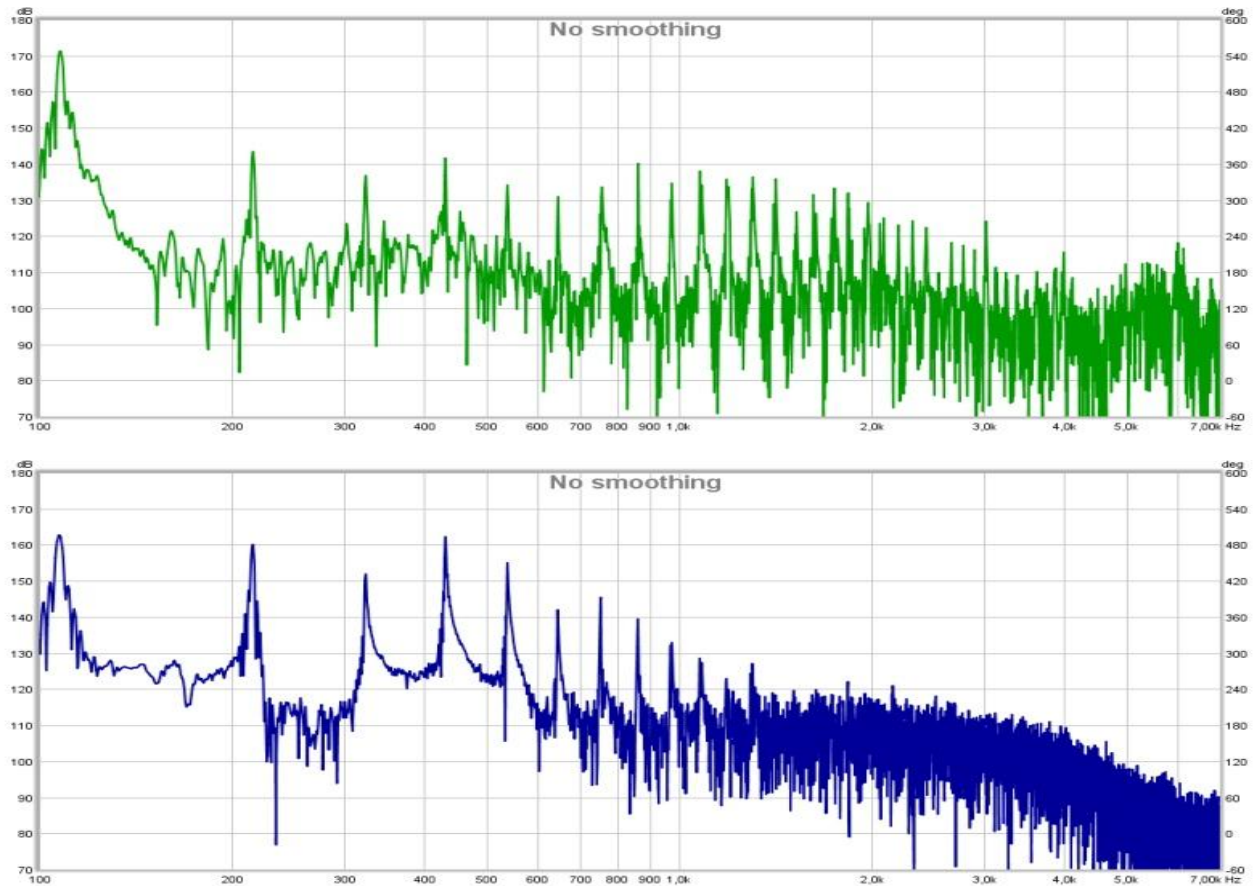




Σχήμα 3.25: α3δ2, κάτω θέση του διακόπτη.

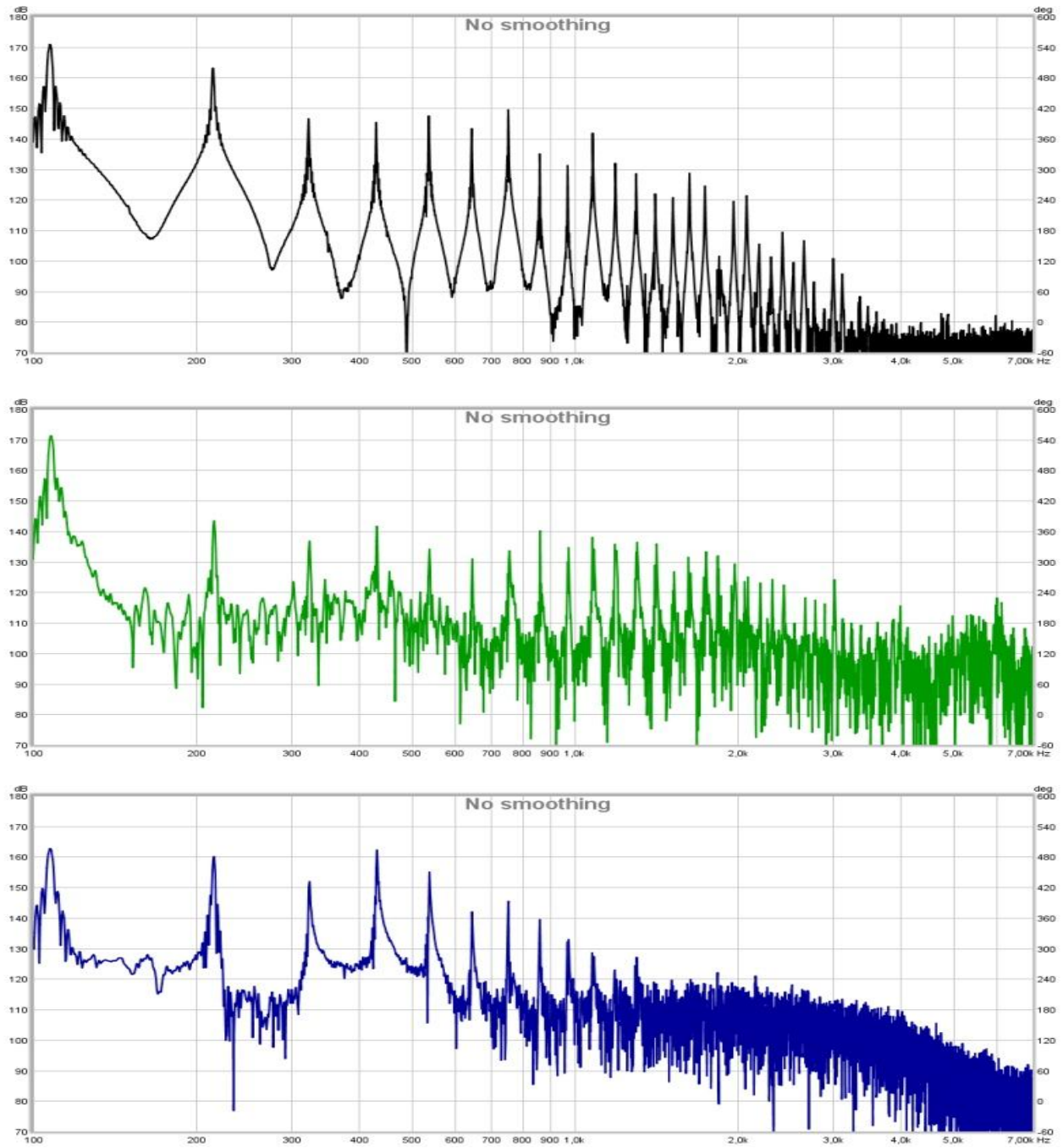
Βλέπουμε στο Σχήμα 3.25 ότι στην απόκριση του αισθητήρα υπάρχουν περισσότερες συχνότητες γύρω από κάθε αρμονική και ενώ σε άλλες περιπτώσεις παρατηρούνται 15 αρμονικές, τώρα υπάρχουν 9 και με αναλογίες που διαφέρουν ελαφρώς. Η 3η αρμονική έχει την υψηλότερη στάθμη και η συνήθης πτώση έντασης από τα 170-175 dB στη θεμέλιο στα 100-110 dB στην τελευταία αρμονική δεν υφίσταται. Όσον αφορά το μικρόφωνο, στη θεμέλιο παρατηρείται σημαντική αύξηση και οι πρώτες τέσσερις αρμονικές φτάνουν περίπου στα ίδια επίπεδα με αυτές στη μεσαία περιοχή συχνοτήτων. Ο μαγνήτης φαίνεται να έχει παρόμοια απόκριση με προηγούμενες λήψεις.





Σχήμα 3.26: $\alpha 3\delta 2$, μεσαία θέση του διακόπτη.

Μελετώντας το Σχήμα 3.26 βλέπουμε ότι στην απόκριση του μαγνήτη υπάρχουν αισθητές αυξομειώσεις σε αρκετές από τις αρμονικές όπως η μείωση της στάθμης της 2ης, 5ης, 6ης, η αύξηση από 13η έως 15η και μείωση της 16ης, 17ης και 18ης. Επιπλέον, το μικρόφωνο ανιχνεύει 24 αρμονικές αντί για 17-18 που λαμβάνει συνήθως.

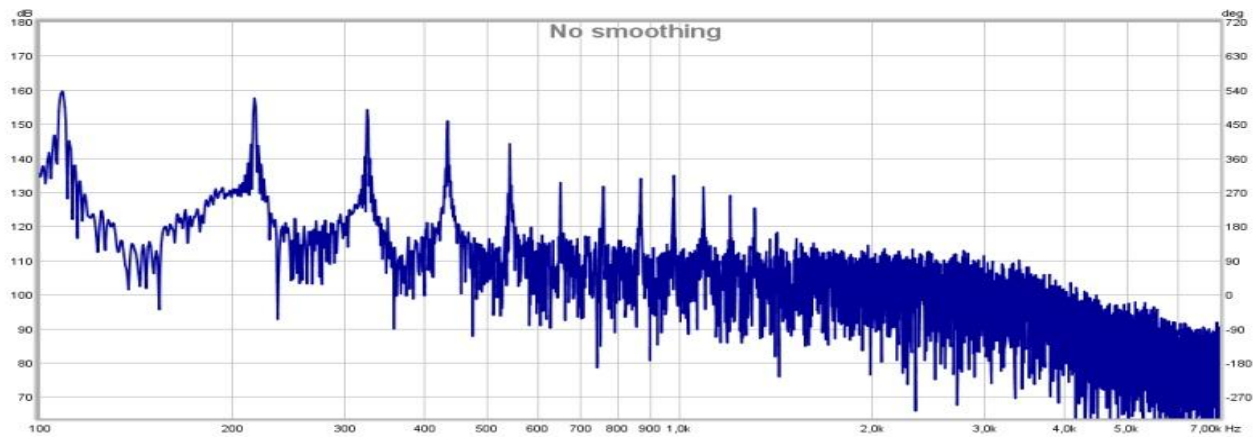


Σχήμα 3.27: α3δ2, πάνω θέση του διακόπτη.

Στο Σχήμα 3.27 βλέπουμε ότι στο φάσμα του μαγνήτη όλες οι αρμονικές έχουν σημαντικά αυξημένη ένταση και πλησιάζει την απόκριση του αισθητήρα με την διαφορά ότι έχει πλουσιότερο συχνοτικό περιεχόμενο.

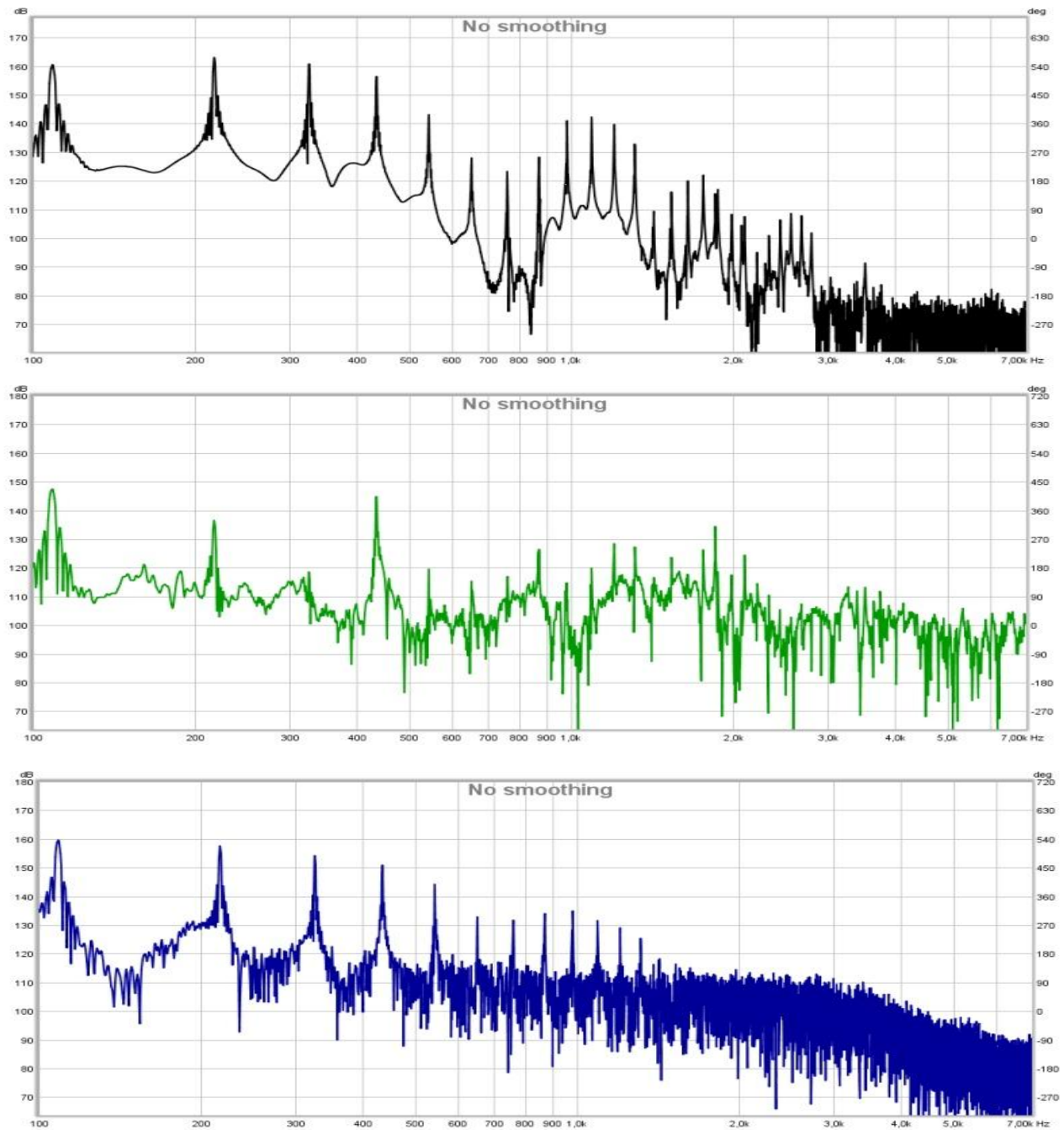
7) Θέση λήψης 1- θέση διέγερσης 3 (α1δ3)





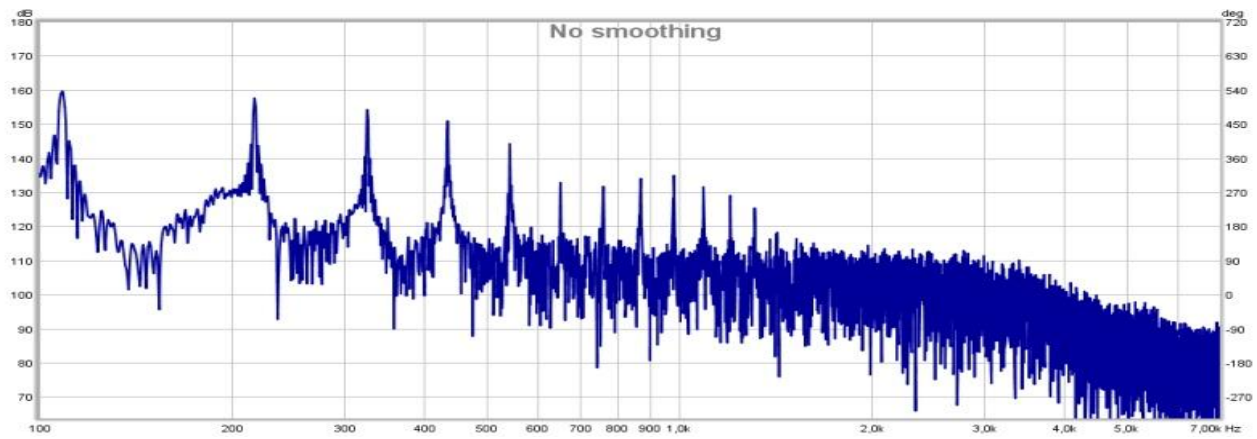
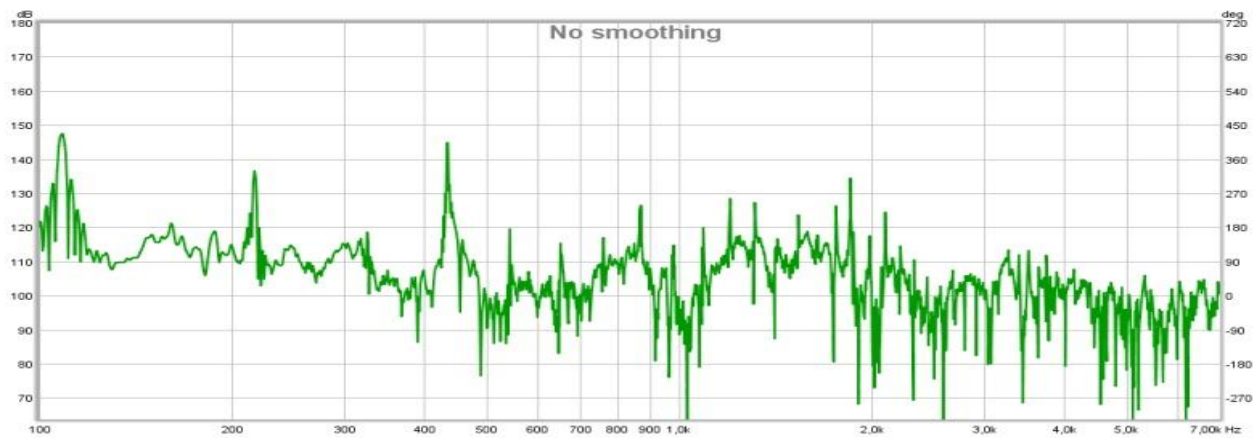
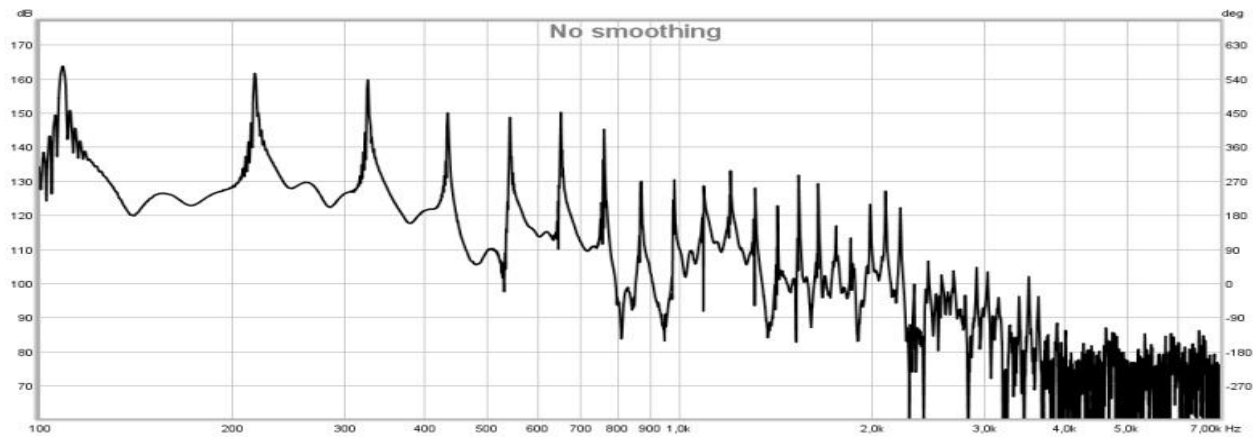
Σχήμα 3.28: α1δ3, κάτω θέση του διακόπτη.

Στο Σχήμα 3.28 παρουσιάζονται τα συχνοτικά φάσματα στη θέση λήψης 1, θέση διέγερσης 3 και με τον διακόπτη των μαγνητών στην κάτω θέση. Η συμπεριφορά που παρουσιάζουν οι αισθητήρες είναι παρόμοια με προηγούμενες λήψεις και οι διαφορές μεταξύ τους μένουν σταθερές, όπως ο αριθμός των αρμονικών (25-27 στους μαγνήτες, 17 στο μικρόφωνο, 12-15 στον αισθητήρα υπερέθρων).



Σχήμα 3.29: α1δ3, μεσαία θέση του διακόπτη.

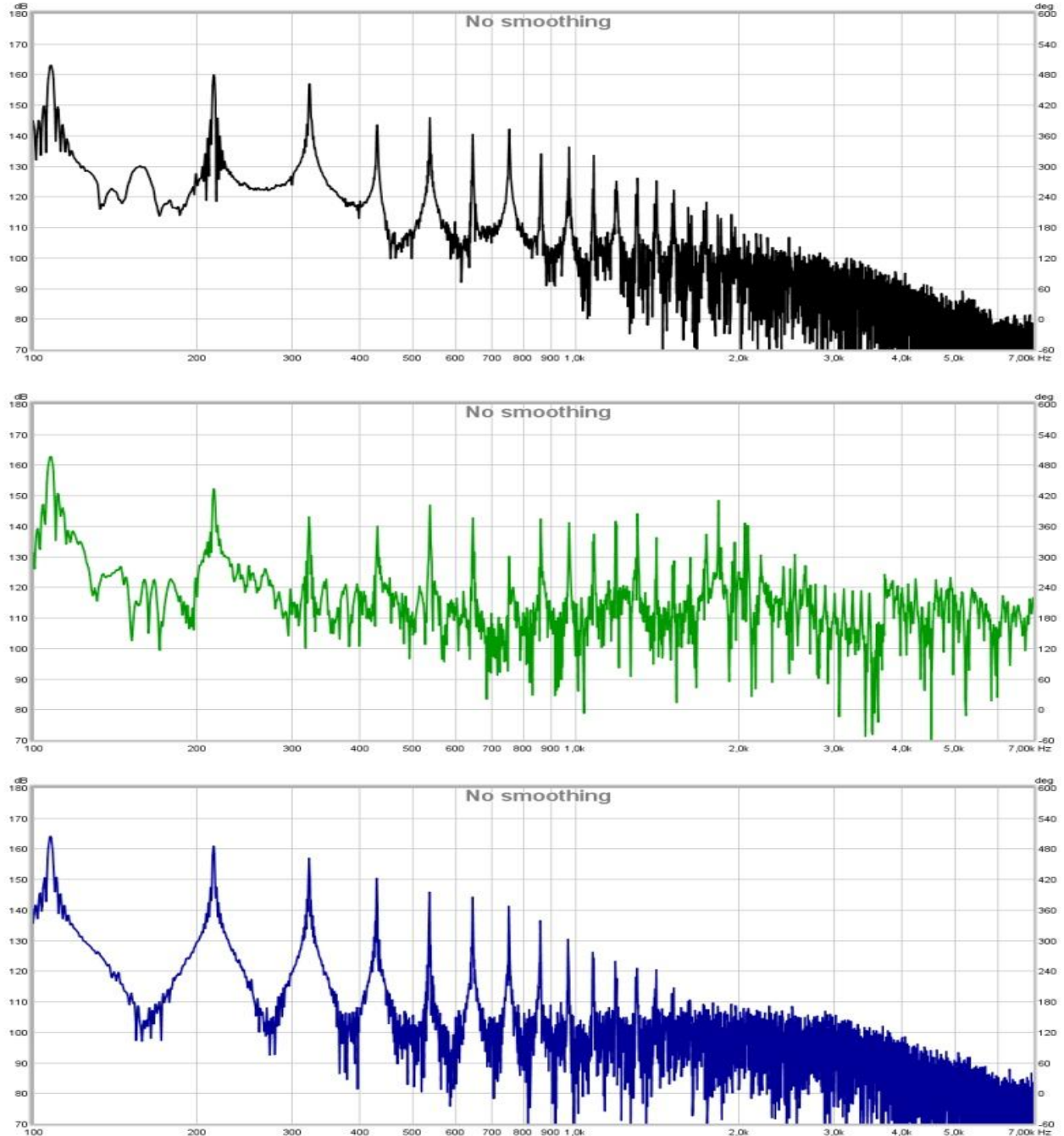
Στο Σχήμα 3.29 φαίνεται ότι ο μαγνήτης έχει την ίδια συμπεριφορά όταν ο διακόπτης βρίσκεται στη μεσαία θέση, δηλαδή υπάρχει σημαντική πτώση στάθμης στην 4η έως 6η αρμονική, 13η-15η και αρκετή αύξηση στις παραπάνω, ενώ οι υπόλοιπες παρουσιάζουν αμελητέες αλλαγές.



Σχήμα 3.30: α1δ3, πάνω θέση του διακόπτη.

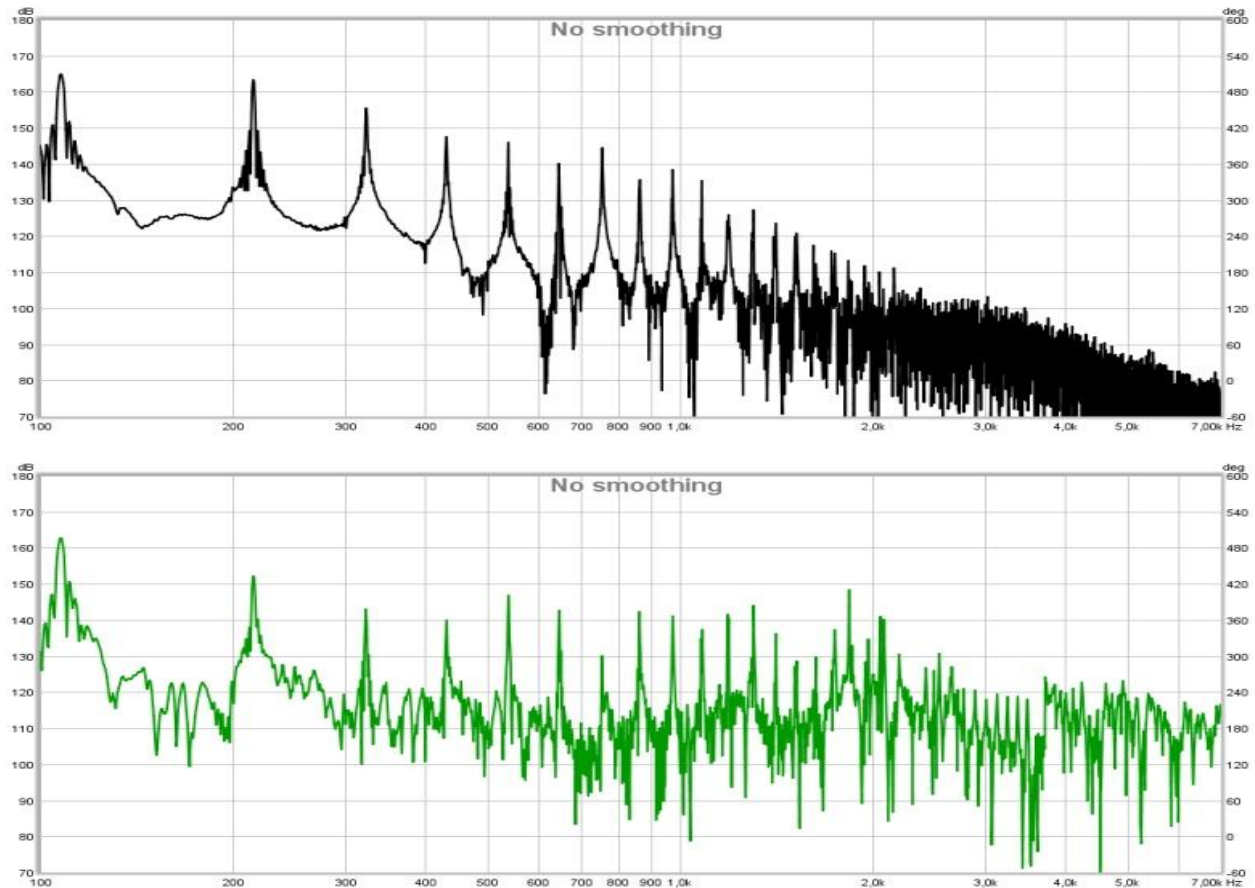
Στο Σχήμα 3.30 παρατηρείται ότι παρόλο που η θέση λήψης και διέγερσης είναι διαφορετική από άλλες περιπτώσεις, η απόκριση του μαγνήτη είναι παρόμοια με τις προηγούμενες.

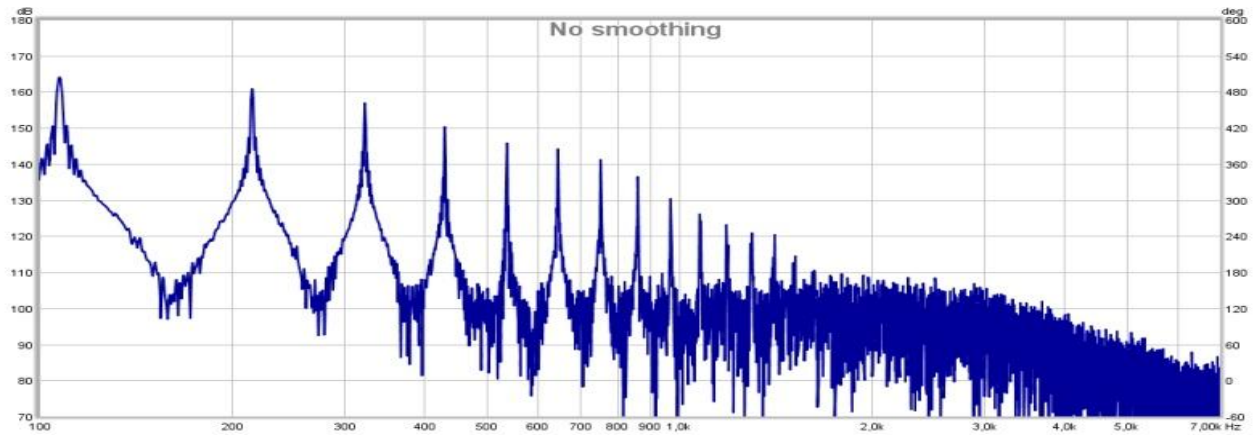
8) Θέση λήψης 2- Θέση διέγερσης 3 (α2δ3)



Σχήμα 3.31: α2δ3, κάτω θέση του διακόπτη.

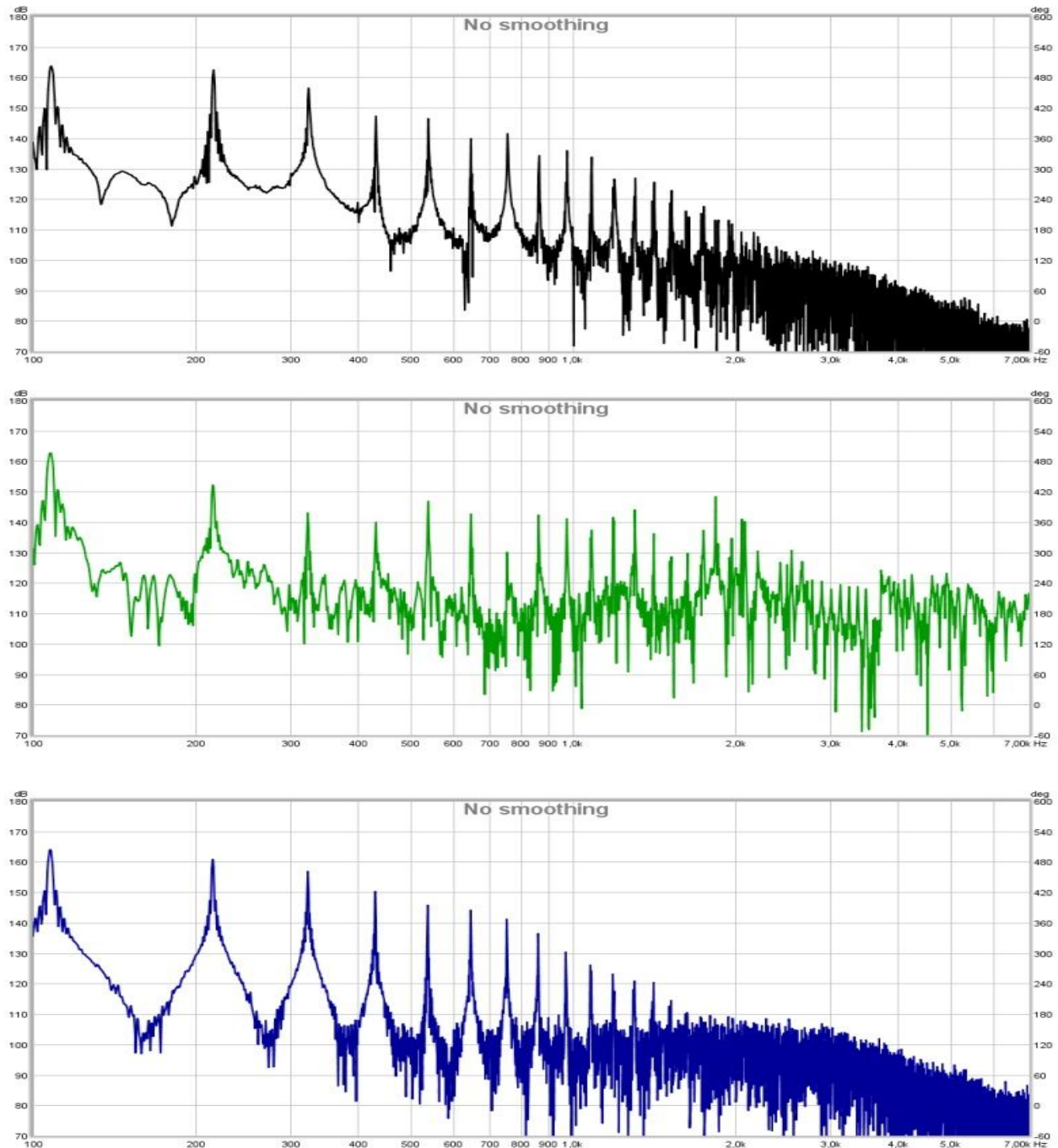
Στο Σχήμα 3.31 φαίνεται ότι οι συμπεριφορές των αισθητήρων παραμένουν ίδιες με τις προηγούμενες. Παρ' όλα αυτά, ο μαγνήτης σε αυτήν την περίπτωση πλησιάζει την απόκριση του αισθητήρα υπερύθρων, ακόμα και ο αριθμός των αρμονικών είναι ίδιος. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι η λήψη και η διέγερση πραγματοποιούνται κοντά στο κέντρο της χορδής όπου το πλάτος φτάνει στο μέγιστο σημείο του για όλες τις αρμονικές.





Σχήμα 3.32: α2δ3, μεσαία θέση του διακόπτη.

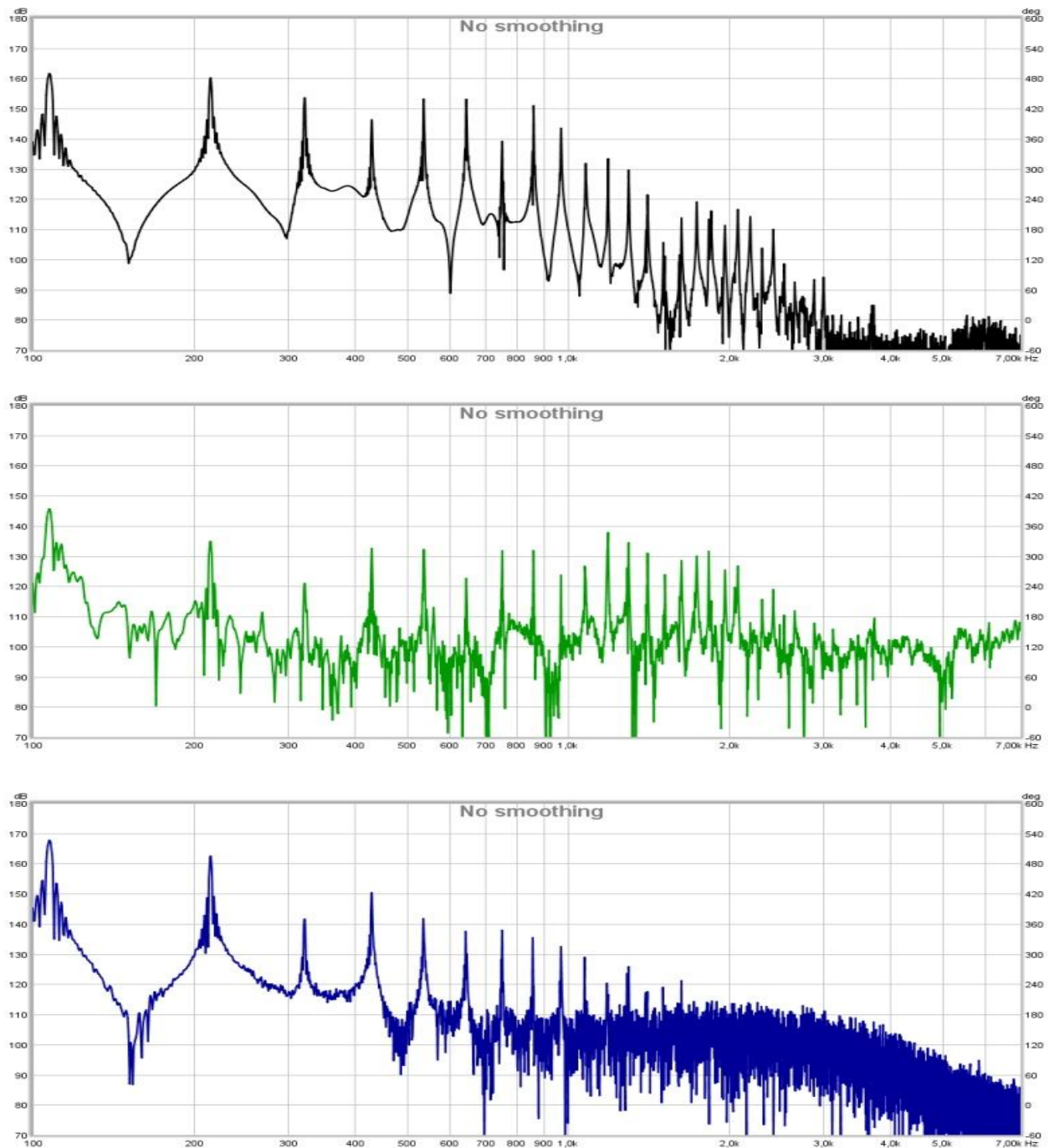
Στο Σχήμα 3.32 φαίνεται ότι το μικρόφωνο έχει παρόμοια συμπεριφορά με όλες τις φορές όπου η λήψη έγινε στη θέση 2, δηλαδή οι πρώτες 5 αρμονικές κυμαίνονται στα περίπου ίδια επίπεδα με αυτές στη μεσαία περιοχή συχνοτήτων. Ο μαγνήτης με το διακόπτη στη μεσαία θέση δεν παρουσιάζει σχεδόν καμία διαφορά με την κάτω θέση και όπως και πριν, ο μαγνήτης έχει αμελητέα διαφορά στην απόκριση του σε σύγκριση με τον αισθητήρα.



Σχήμα 3.33: α2δ3, πάνω θέση του διακόπτη.

Στο Σχήμα 3.33 φαίνεται ότι τα φάσματα διατηρούν τις διαφορές που είχαν και στις προηγούμενες λήψεις με τον διακόπτη του μαγνήτη στη κάτω και στη μεσαία θέση.

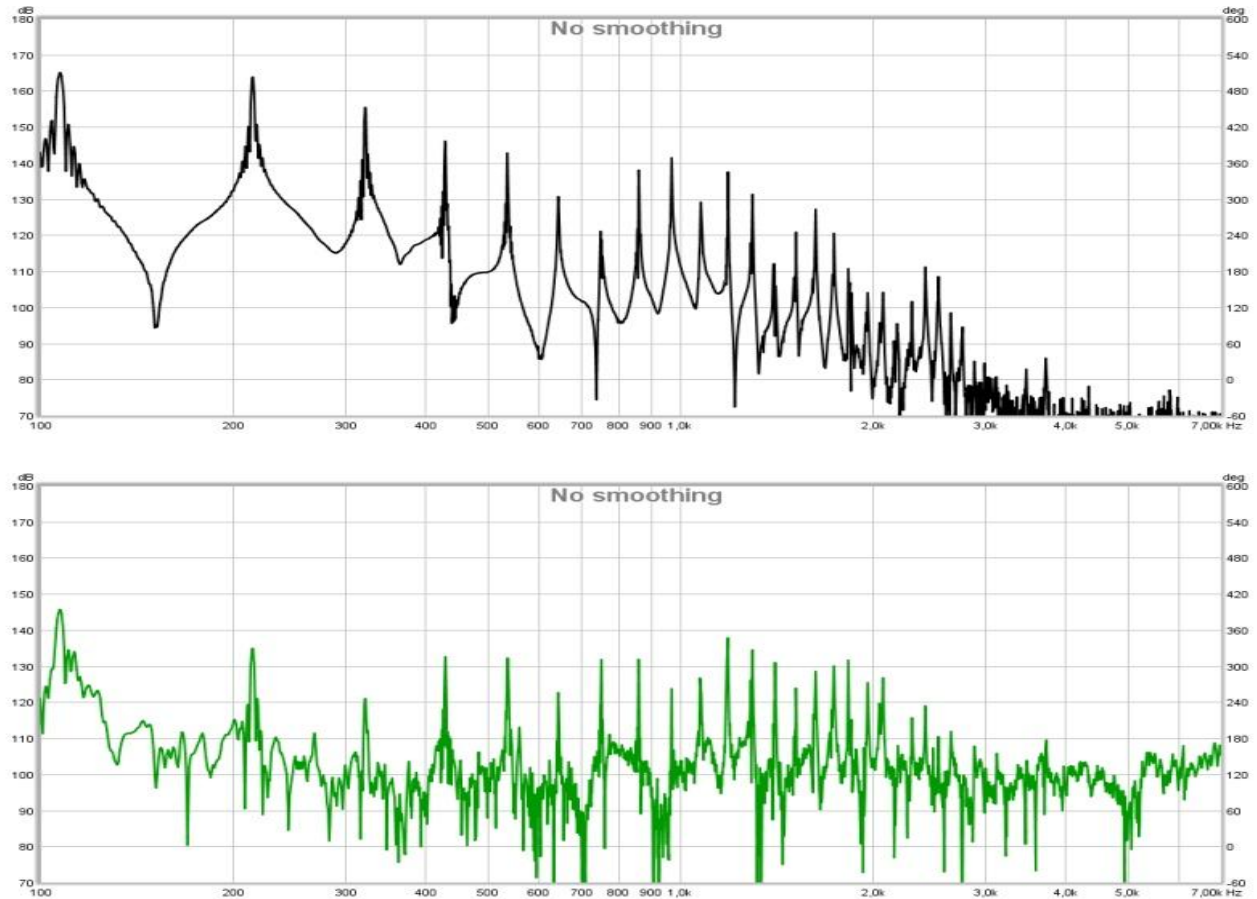
9) Θέση λήψης 3- θέση διέγερσης 3 (α3δ3)

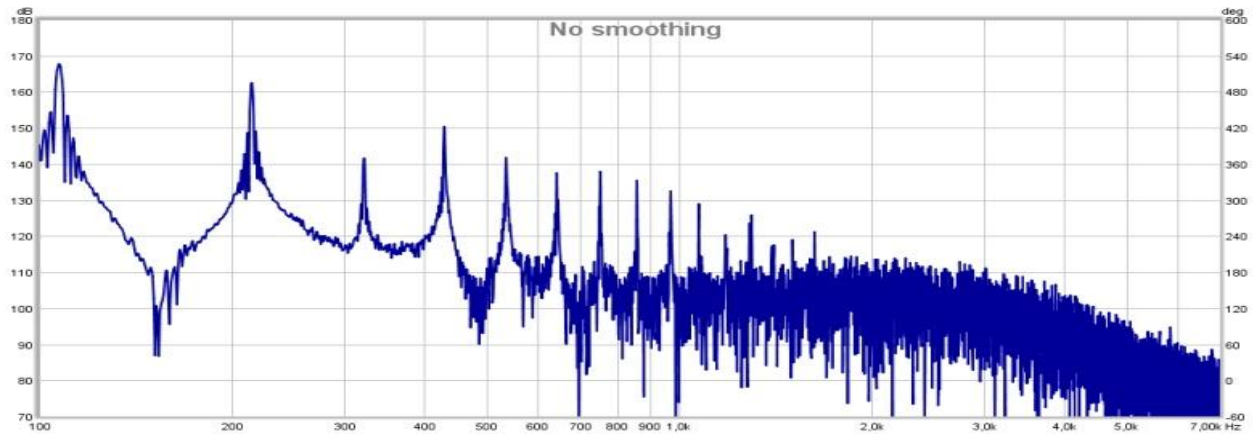


Σχήμα 3.34: α3δ3, κάτω θέση του διακόπτη.

Στο Σχήμα 3.34 παρουσιάζονται τα φάσματα από τη λήψη και διέγερση στη θέση 3 και με τον διακόπτη στην κάτω θέση. Παρατηρείται ότι ο μαγνήτης έχει τις πρώτες του αρμονικές μέχρι το 1 kHz και έπειτα πέφτει απότομα καθώς αυξάνεται η συχνότητα. Το μικρόφωνο έχει

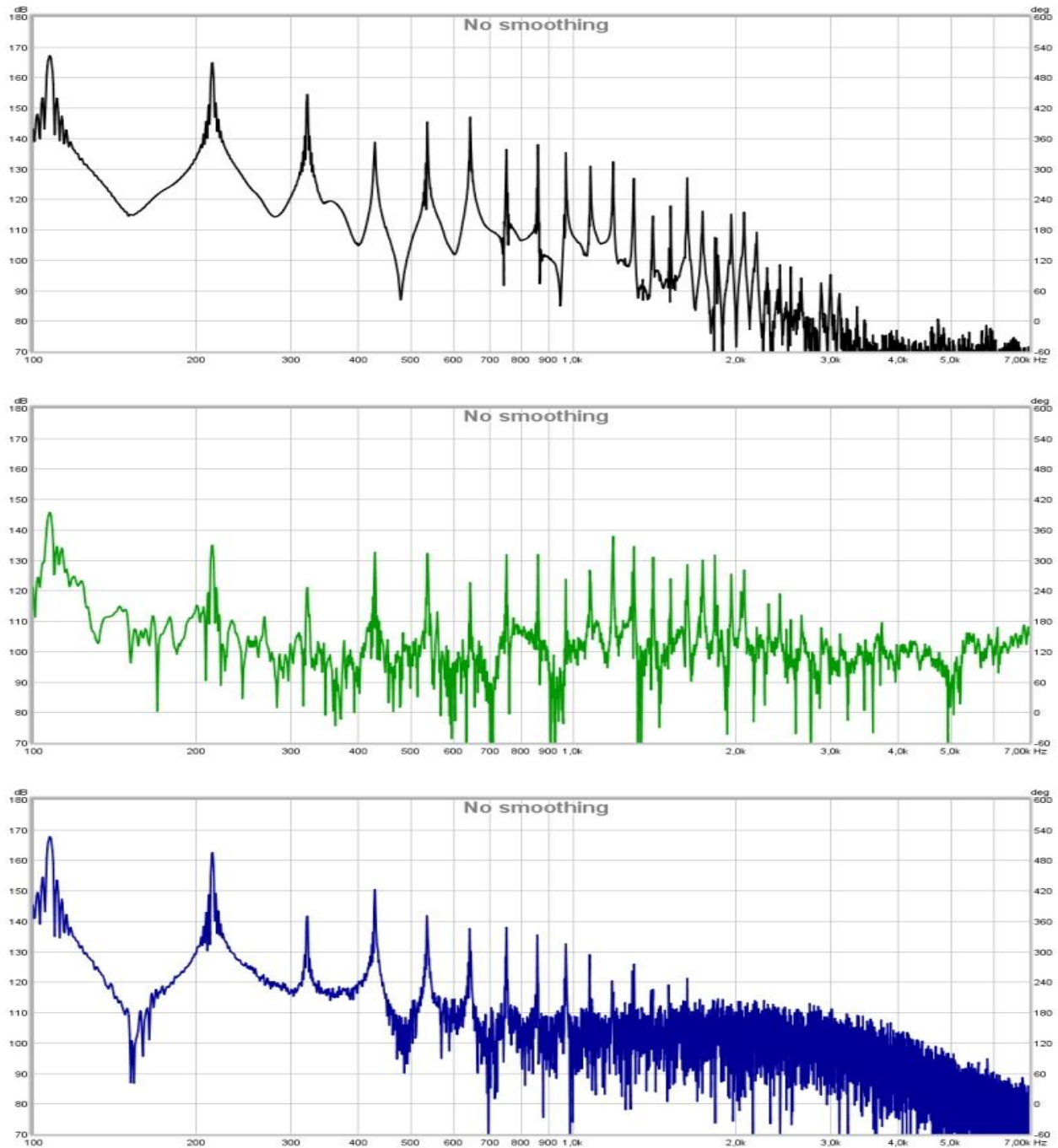
παρόμοια συμπεριφορά, αλλά η περιοχή των μεσαίων συχνοτήτων που είναι πιο έντονη έχει μετακινηθεί σε πιο ψηλές συχνότητες, π.χ. , συνήθως είναι περίπου από την 7η έως 13η, ενώ τώρα είναι από τη 10η έως τη 18η. Όσο για τον αισθητήρα υπερύθρων, η 2η αρμονική έχει σημαντικά μειωμένη ένταση, ενώ η απόκριση μένει σχετικά όμοια με άλλες περιπτώσεις.





Σχήμα 3.35: α3δ3, μεσαία θέση του διακόπτη.

Στο Σχήμα 3.35 φαίνεται ότι έχει παρόμοια συμπεριφορά και με τις προηγούμενες περιπτώσεις όπου ο διακόπτης βρισκόταν στη μεσαία θέση. Το μικρόφωνο έχει αρκετά μειωμένη σε ένταση την θεμέλιο, ενώ οι υπόλοιπες ιδιοσυχνότητες έχουν τις ίδιες διαφορές στην ένταση μεταξύ τους σε σχέση με προηγούμενες λήψεις και ο αισθητήρας παρουσιάζει αξιόλογη πτώση στάθμης στις τελευταίες του αρμονικές από την 10η και μετά.

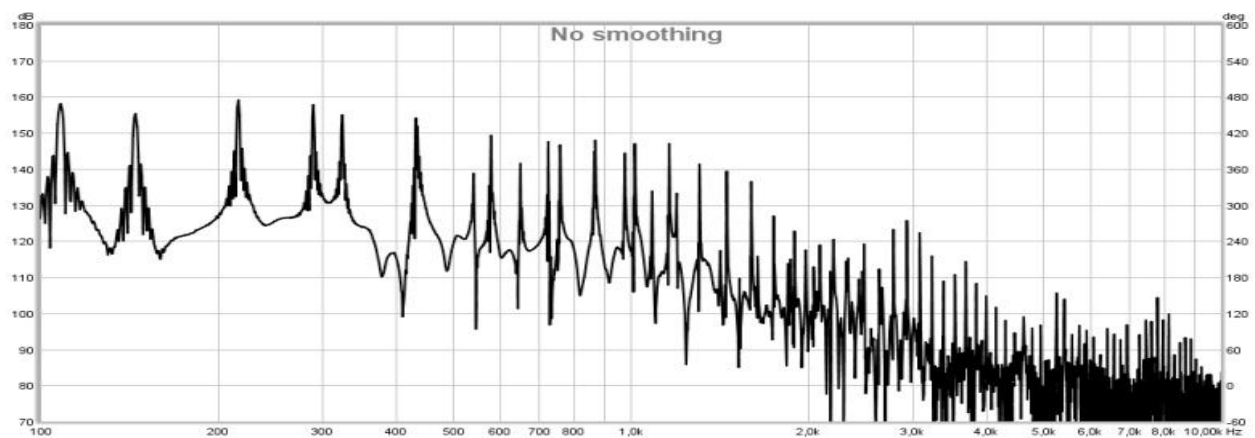


Σχήμα 3.36: α3δ3, κάτω θέση του διακόπτη.

Στο Σχήμα 3.36 φαίνεται ότι η συμπεριφορά του μαγνήτη στην κάτω θέση παρουσιάζει αμελητέα διαφορά σε σύγκριση με άλλες θέσεις λήψης και διέγερσης και οι διαφορές μεταξύ των θέσεων του διακόπτη μένουν σταθερές.

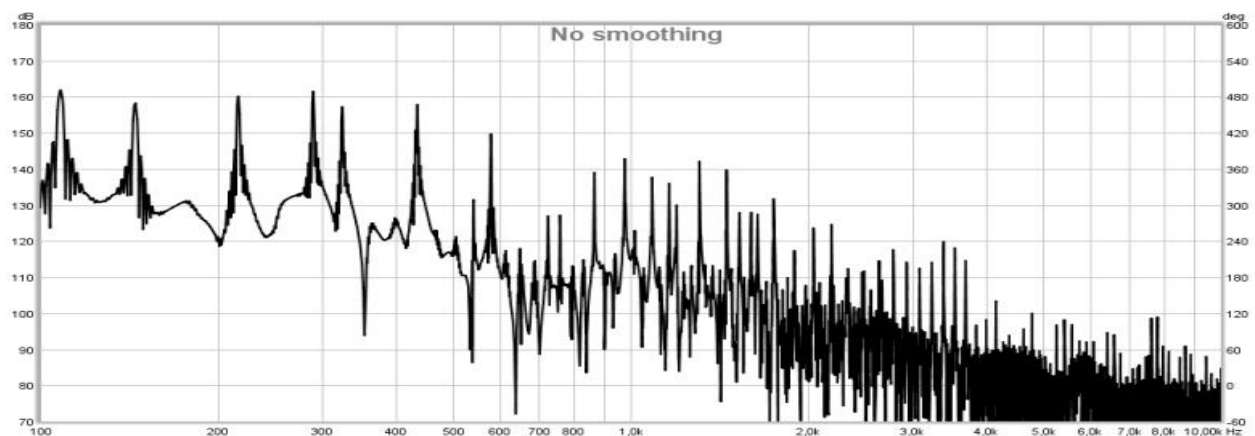
3.2.3 Φασματική ανάλυση ηχητικών δειγμάτων από την ηλεκτρική κιθάρα με 2 χορδές

Σε αυτήν την ενότητα παρουσιάζονται τα συχνότητα φάσματα των ηχητικών δειγμάτων που ηχογραφήθηκαν με την ηλεκτρική κιθάρα χρησιμοποιώντας την 6η χορδή και της 5ης. Τα φάσματα με μαύρο χρώματα είναι των δειγμάτων από τον μαγνήτη της κιθάρας, με πράσινο αυτά από το μικρόφωνο και μπλε από τον αισθητήρα εκπομπής-λήψης υπερύθρων.

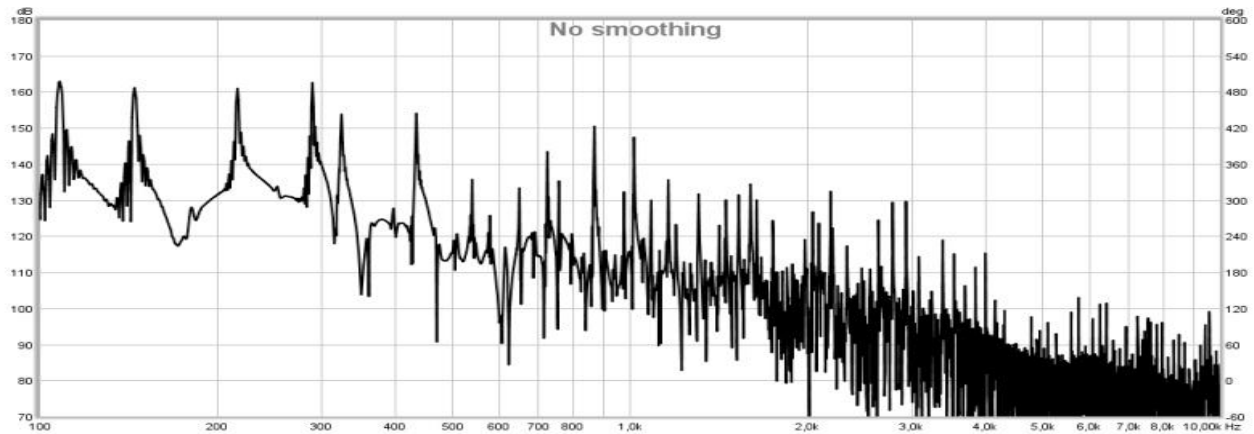


1) Θέση λήψης 1- θέση διέγερσης 1 (α1δ1)

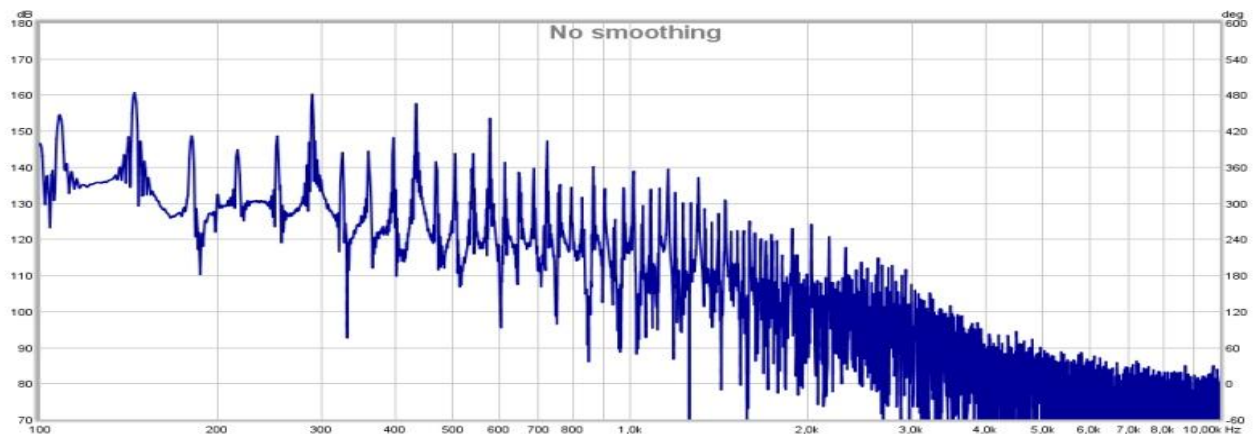
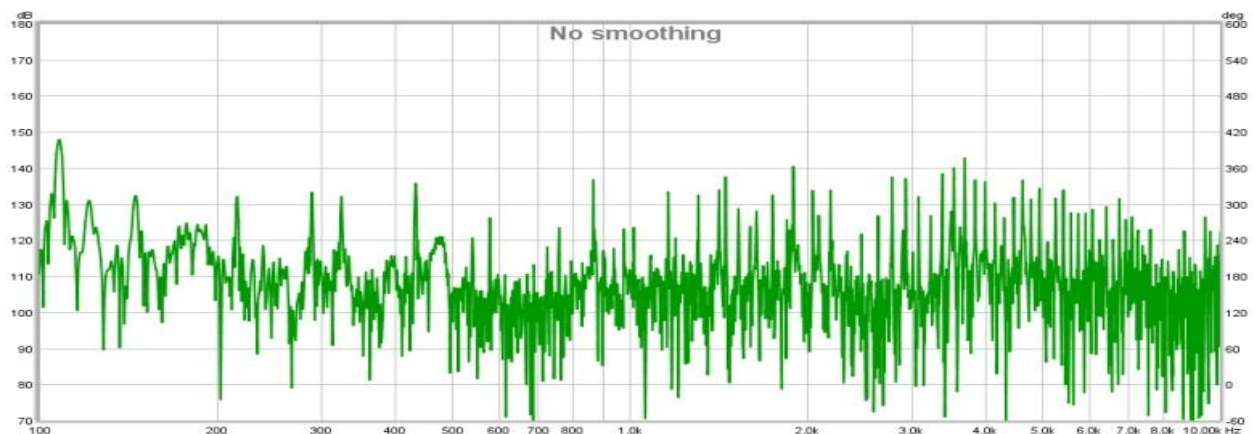
Απόκριση του μαγνήτη με τον διακόπτη στην κάτω θέση.



Απόκριση του μαγνήτη με τον διακόπτη στη μεσαία θέση.



Απόκριση του μαγνήτη με τον διακόπτη στην πάνω θέση.



Σχήμα 3.37: Θέση λήψης 1 και θέση διέγερσης 1.

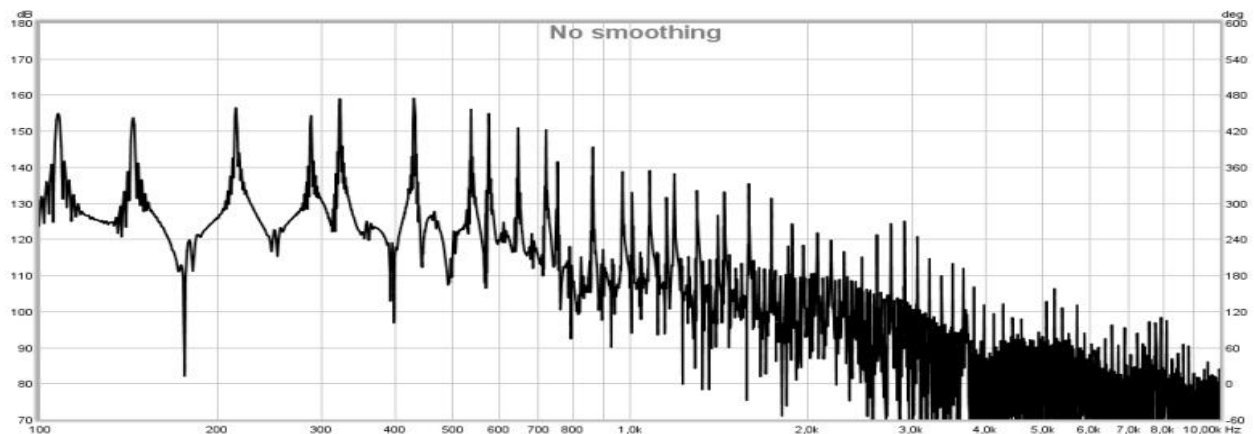
Στο Σχήμα 3.37 παρουσιάζονται οι αποκρίσεις στη θέση 1 λήψης και διέγερσης, καθώς και οι αποκρίσεις και στις τρεις θέσεις του διακόπτη των μαγνητών. Εφόσον σε αυτό το κομμάτι του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν δύο χορδές, είναι λογικό να εμφανίζονται περισσότερες

αρμονικές. Πιο συγκεκριμένα, φαίνεται να υπάρχουν οι διπλάσιες σε αριθμό αρμονικές σε σύγκριση με τις λήψεις με μία χορδή.

Στις αποκρίσεις των μαγνητών φαίνεται ότι στην κάτω θέση του διακόπτη ενισχύεται σημαντικά η περιοχή των 400 με 1k Hz και οι υψηλές συχνοτικά αρμονικές έχουν, επίσης, μεγαλύτερη ένταση συγκρίνοντας τις με τις αντίστοιχες στις άλλες δύο θέσεις. Επιπλέον, υπάρχει έντονη αυξομείωση των μεσαίων και υψηλών συχνοτήτων πηγαίνοντας από τη μεσαία θέση των μαγνητών στην πάνω.

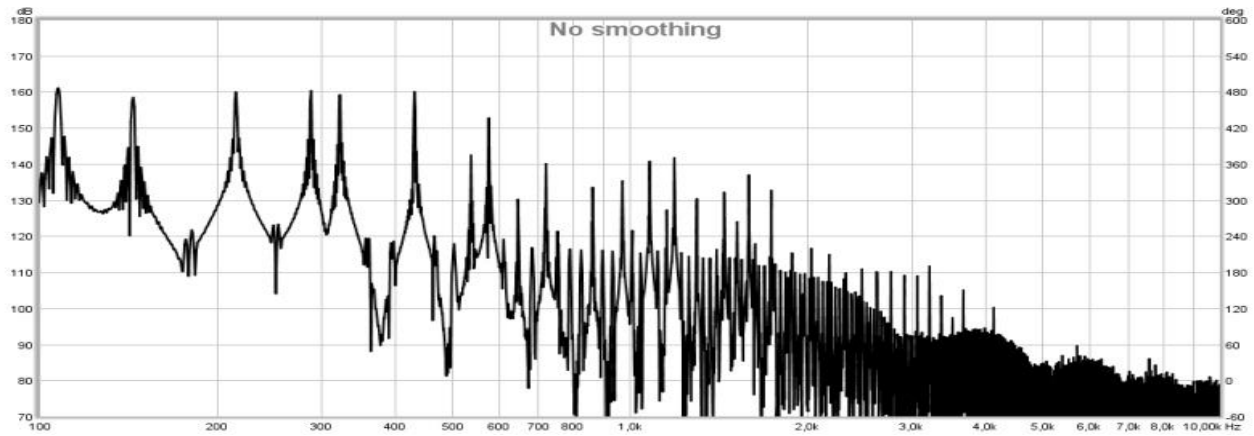
Στο δείγμα του μικροφώνου βλέπουμε ότι, επίσης, υπάρχουν διαφορές συγκριτικά με τις λήψεις με μία χορδή, όχι μόνο γιατί εμφανίζονται περισσότερες ιδιοσυχνότητες, αλλά γιατί η περιοχή που είχε στην υψηλότερη στάθμη (αλλά χαμηλότερη από τη θεμέλιο) ήταν αυτή του 1 με 2k Hz, ενώ τώρα είναι περίπου αυτή των 2.5 με 6k Hz.

Όσον αφορά τον αισθητήρα, φαίνεται να λαμβάνει τις αρμονικές που είναι πολλαπλάσια του 4 με μεγαλύτερη στάθμη από τις υπόλοιπες διατηρώντας, ωστόσο το σχήμα της απόκρισης όταν η κιθάρα είχε μία χορδή.

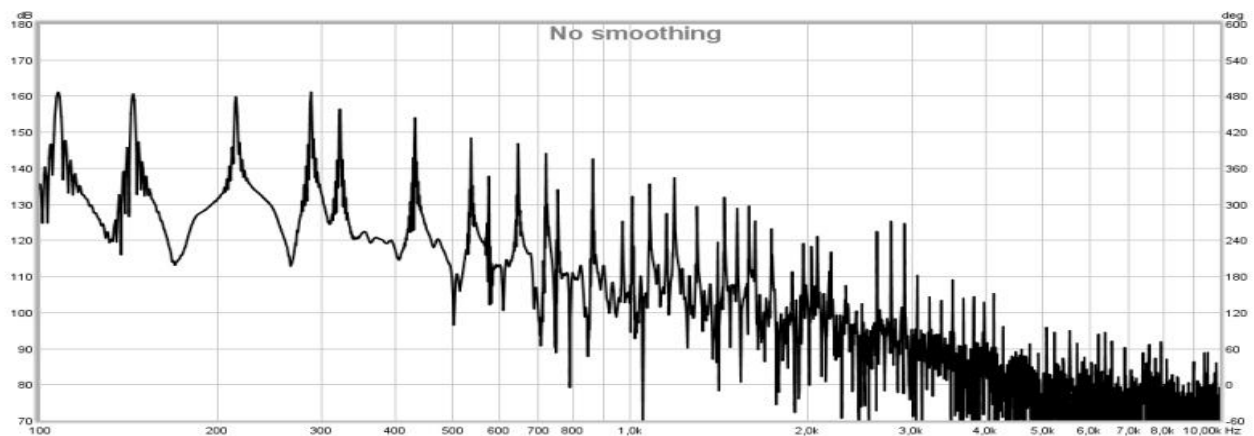


2) Θέση λήψης 2- θέση διέγερσης 1 (α2δ1)

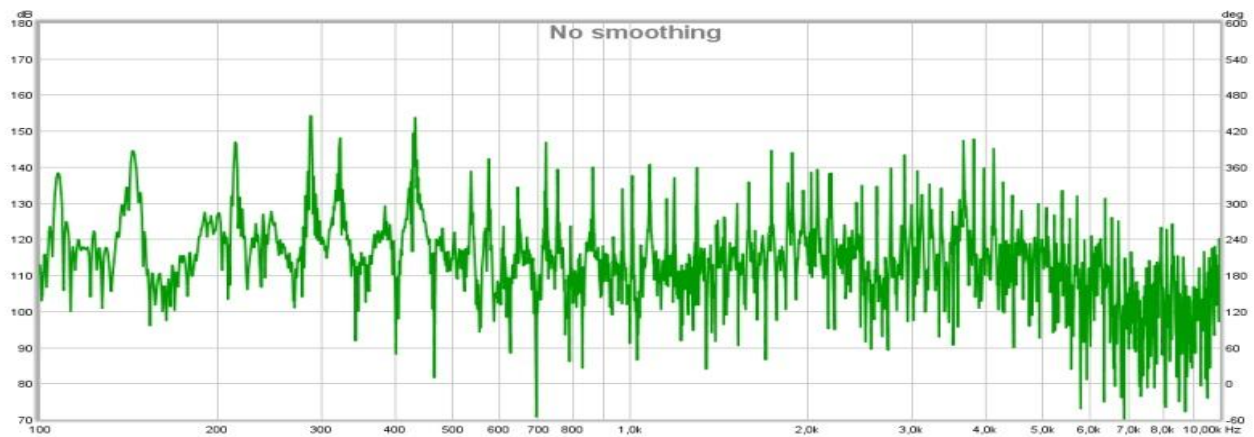
Απόκριση του μαγνήτη με τον διακόπτη στην κάτω θέση.

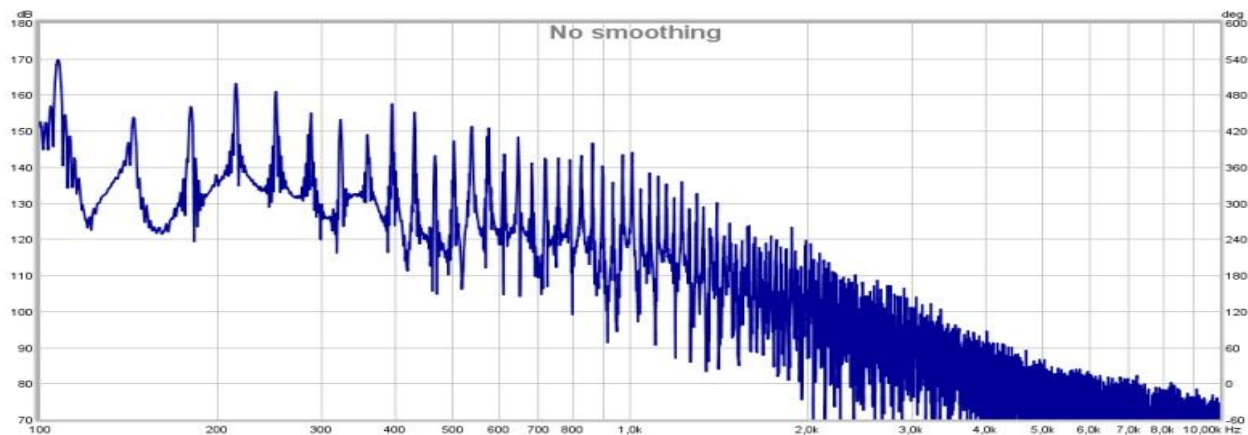


Απόκριση του μαγνήτη με τον διακόπτη στην μεσαία θέση.



Απόκριση του μαγνήτη με τον διακόπτη στην πάνω θέση.





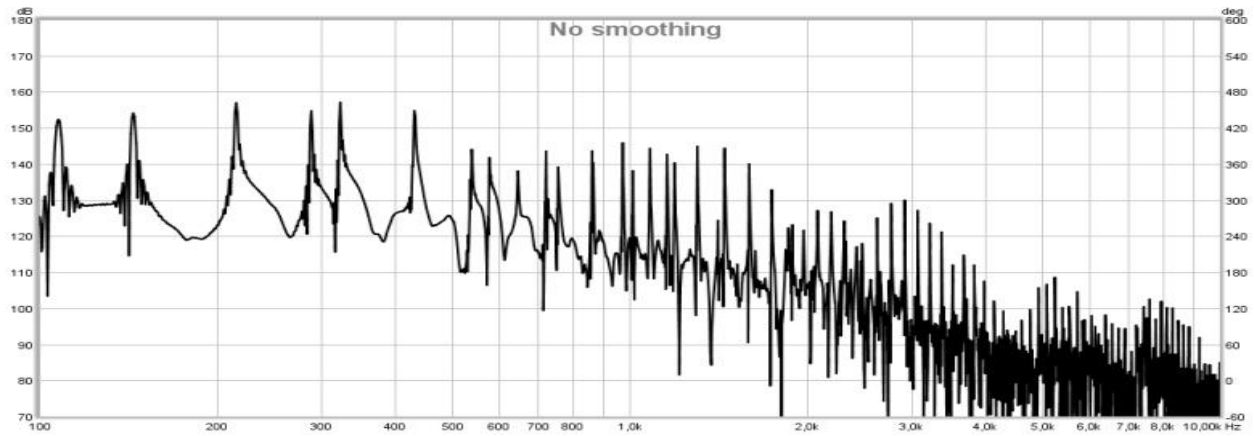
Σχήμα 3.38: Θέση λήψης 2 και θέση διέγερσης 1.

Στο Σχήμα 3.38 παρουσιάζονται οι συχνотικές αποκρίσεις στη θέση λήψης 2 και θέση διέγερσης 1. Στην απόκριση του μαγνήτη βλέπουμε ότι η συμπεριφορά είναι παρόμοια με άλλες λήψεις στην κάτω θέση του διακόπτη, δηλαδή οι πρώτες τέσσερις αρμονικές έχουν τη υψηλότερη στάθμη και ομαλή πτώση της έντασης καθώς αυξάνεται η συχνότητα, αλλά με τις αναμενόμενες αυξομειώσεις ανάμεσα στις αρμονικές. Όταν ο διακόπτης βρίσκεται στη μεσαία θέση, οι περισσότερες αρμονικές έχουν χαμηλότερη στάθμη από τα 540 Hz μέχρι τα 4 k Hz, ιδιαίτερα στην περιοχή των 640 με 800 Hz και υπάρχουν λιγότερες σε σύγκριση με την κάτω θέση. Ωστόσο, οι θεμέλιες συχνότητες και οι αρμονικές από 1 έως 4 είναι αρκετά έντονες. Στην περίπτωση όπου ο διακόπτης βρίσκεται στη πάνω θέση οι περισσότερες αρμονικές παρουσιάζουν σημαντική μείωση, αλλά το σχήμα της συνολικής απόκρισης μοιάζει πλησιάζει το σχήμα όταν ο διακόπτης είναι στην κάτω θέση.

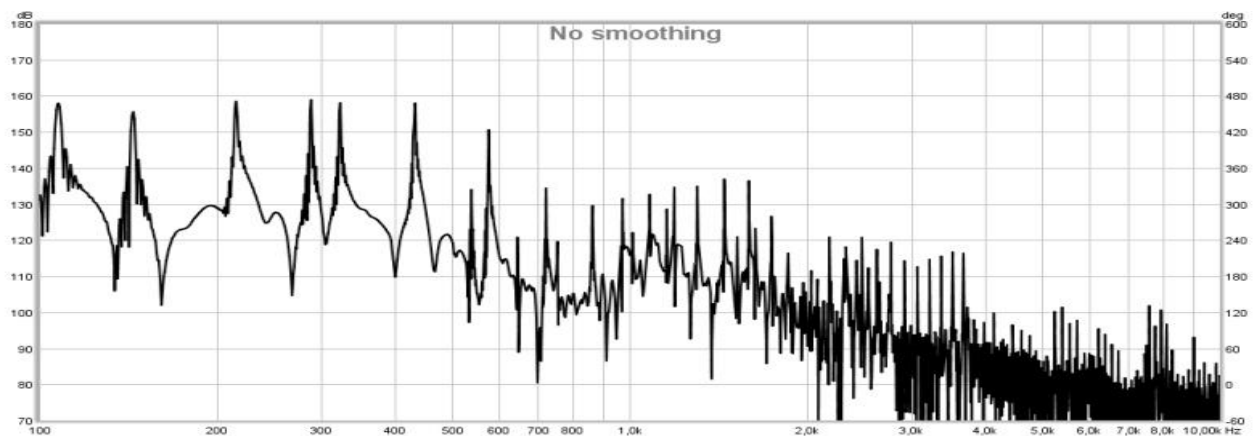
Στην απόκριση του μικροφώνου βλέπουμε ότι η περιοχή από τα 140-150 Hz μέχρι τα 700 είναι πολύ αυξημένη σε σχέση με άλλες θέσεις, αλλά και στην περίπτωση με μία χορδή. Ωστόσο, διατηρεί παρόμοια συμπεριφορά στο υπόλοιπο συχνотικό φάσμα.

Όσον αφορά τον αισθητήρα, εμφανίζονται δύο ιδιοσυχνότητες που έχουν εμφανιστεί μόνο στη θέση λήψης και διέγερσης 1, αλλά με πάρα πολύ χαμηλή ένταση. Οι συχνότητες στα 38 και 72 Hz είναι πολύ εντονότερες σε αυτή την περίπτωση και η απόκριση στις μεσαίες είναι πού πλουσιότερη συγκριτικά με προηγούμενες λήψεις του αισθητήρα, του μικροφώνου και των μαγνητών.

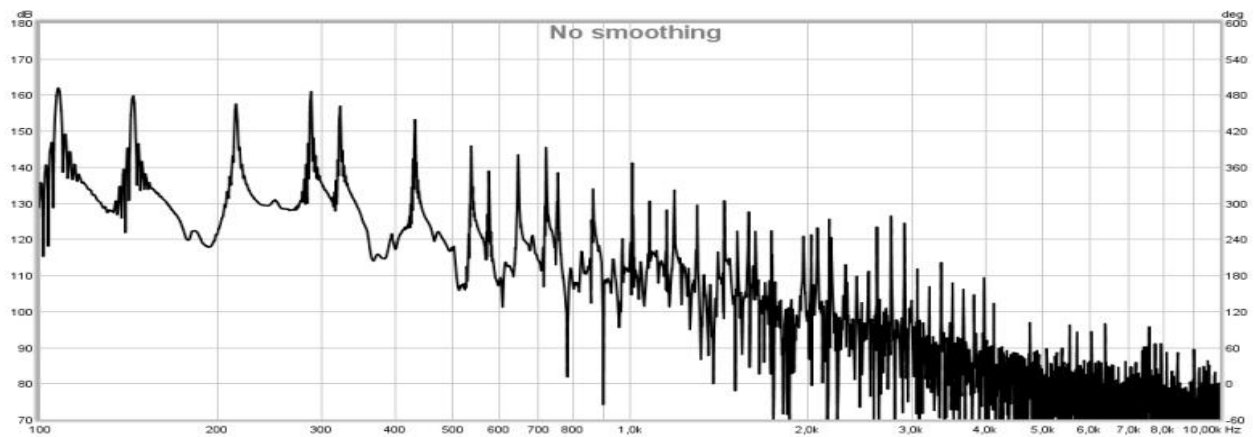
3) Θέση λήψης 3- θέση διέγερσης 1 (α3δ1)



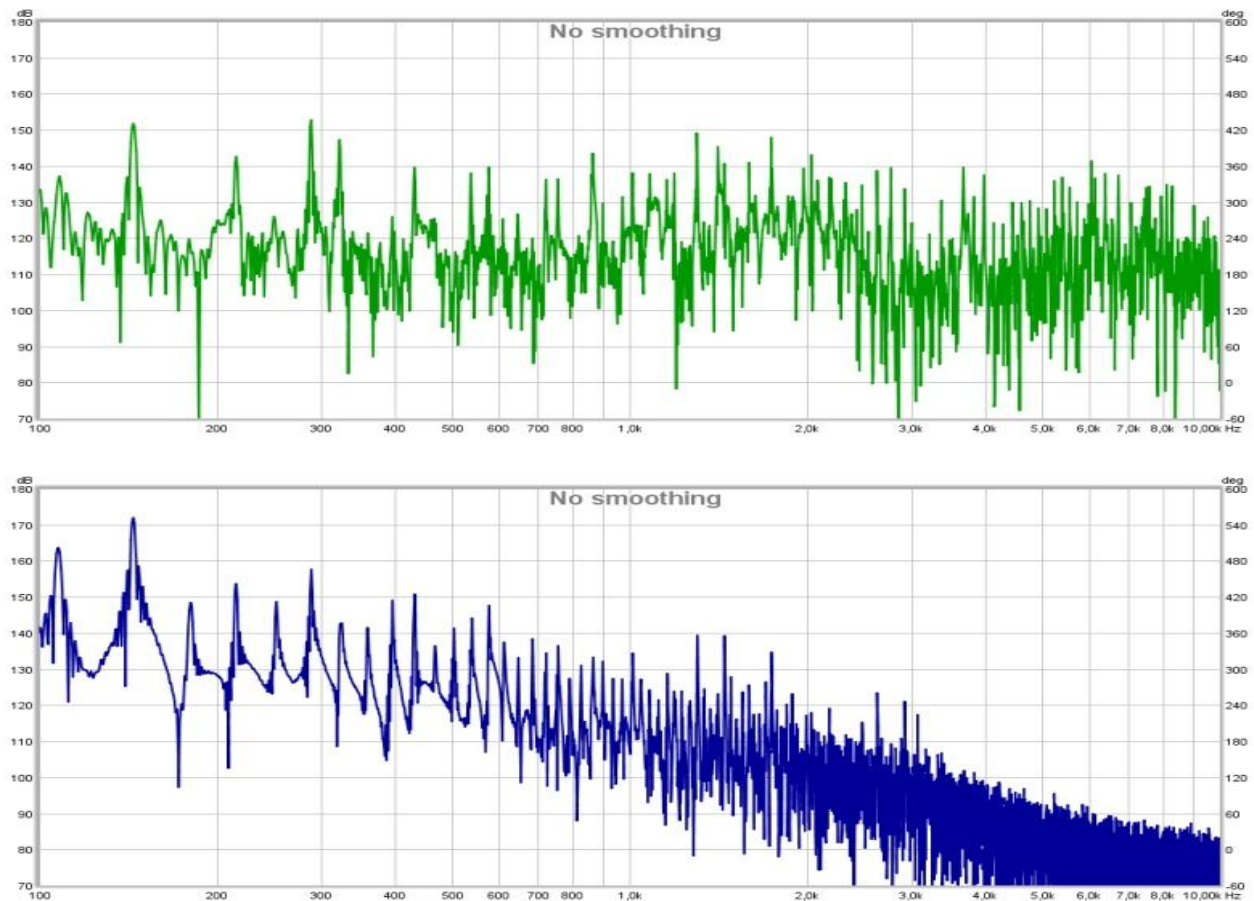
Απόκριση του μαγνήτη με τον διακόπτη στην κάτω θέση.



Απόκριση του μαγνήτη με τον διακόπτη στη μεσαία θέση.



Απόκριση του μαγνήτη με τον διακόπτη στη μεσαία θέση.



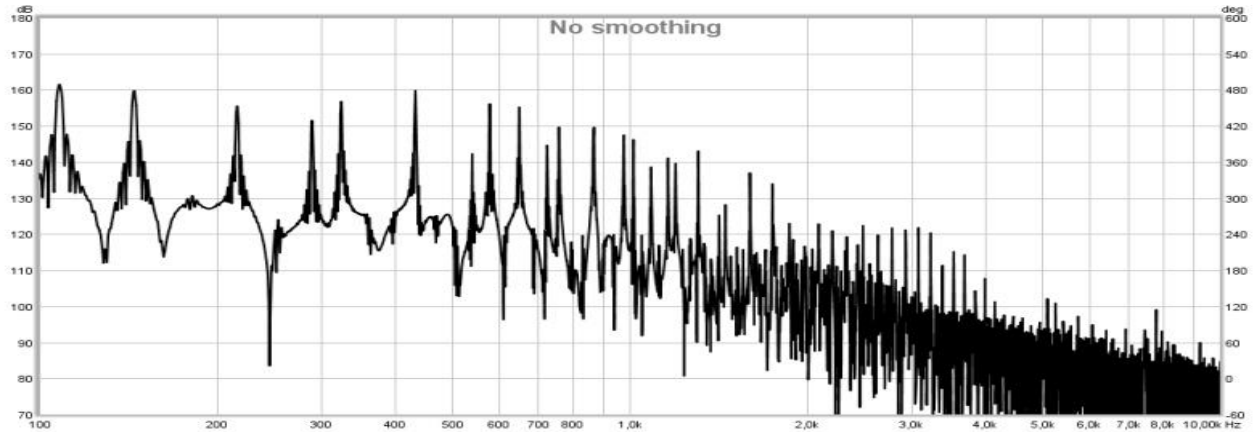
Σχήμα 3.39: Θέση λήψης 3 και θέση διέγερσης 1.

Στο Σχήμα 3.39 παρουσιάζονται οι αποκρίσεις από τη λήψη στη θέση 3 και διέγερση στη θέση 1. Παρατηρώντας την απόκριση του μαγνήτη με τον διακόπτη στην κάτω θέση βλέπουμε ότι σε αυτή τη θέση λαμβάνει τις περιοχές από 600 μέχρι 1.7 k Hz και 2.5 με 3.8 kHz με υψηλότερη στάθμη συγκριτικά με τις άλλες δύο θέσεις του διακόπτη, ενώ στη μεσαία θέση αυτές οι περιοχές είναι αρκετά πιο χαμηλά, ενώ οι θεμέλιες και πρώτες πέντε αρμονικές είναι ελαφρώς εντονότερες. Στην πάνω θέση παρατηρούμε ότι, ενώ οι μεσαίες και ψηλές συχνότητες είναι χαμηλότερα από τη στάθμη στην κάτω θέση, είναι ελαφρώς υψηλότερες σε στάθμη και οι 600-1.7k Hz και 2.5-3.8k Hz είναι πολύ πιο έντονες. Γενικότερα η συμπεριφορά των μαγνητών δεν έχει κάποια σημαντική διαφορά.

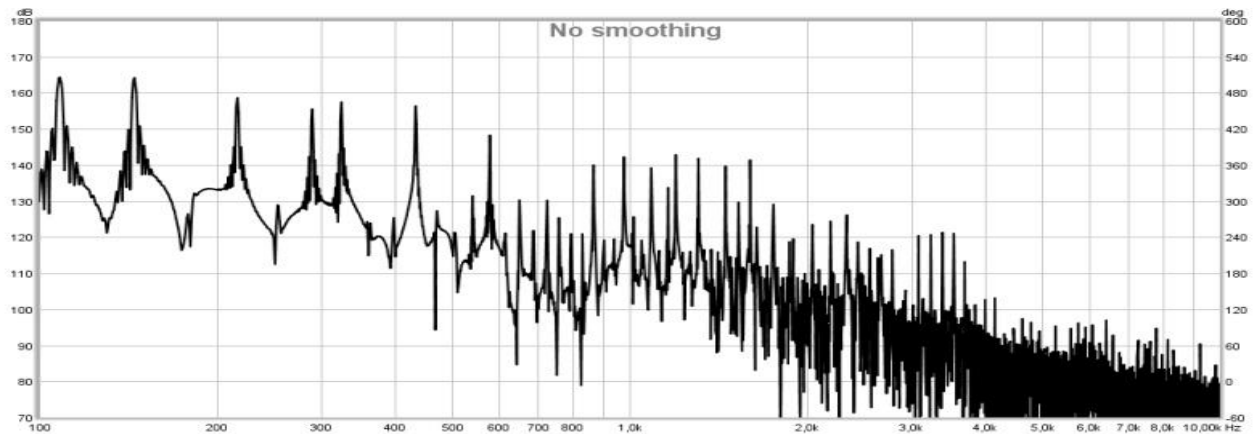
Το μικρόφωνο παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά με τις προηγούμενες λήψεις εκτός από την απόκρισή της στην περιοχή των 3k-4.8k Hz της οποίας η ένταση είναι αρκετά χαμηλότερα σε σχέση με άλλα δείγματα.

Ο αισθητήρας, επίσης δεν συμπεριφέρεται διαφορετικά συγκριτικά με τα άλλα μέσα ηχογράφησης και με άλλα δείγματα. Ωστόσο, οι αρμονικές στην περιοχή του 1k έως 3k Hz έχουν μεγάλη αύξηση στη στάθμη τους, κάτι που δεν είναι σύνηθες για τον αισθητήρα στην συγκεκριμένη περιοχή.

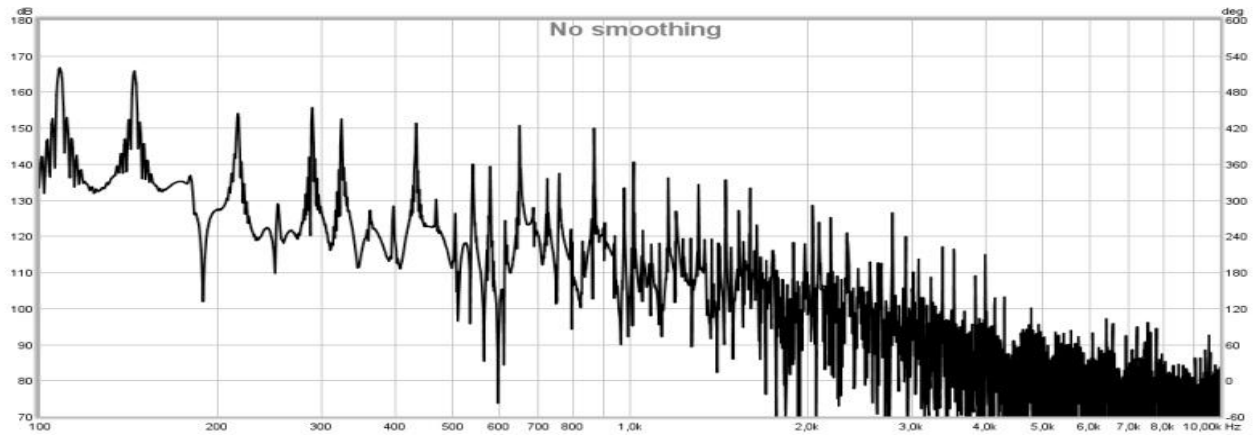
4) Θέση λήψης 1- θέση διέγερσης 2 (α1δ2)



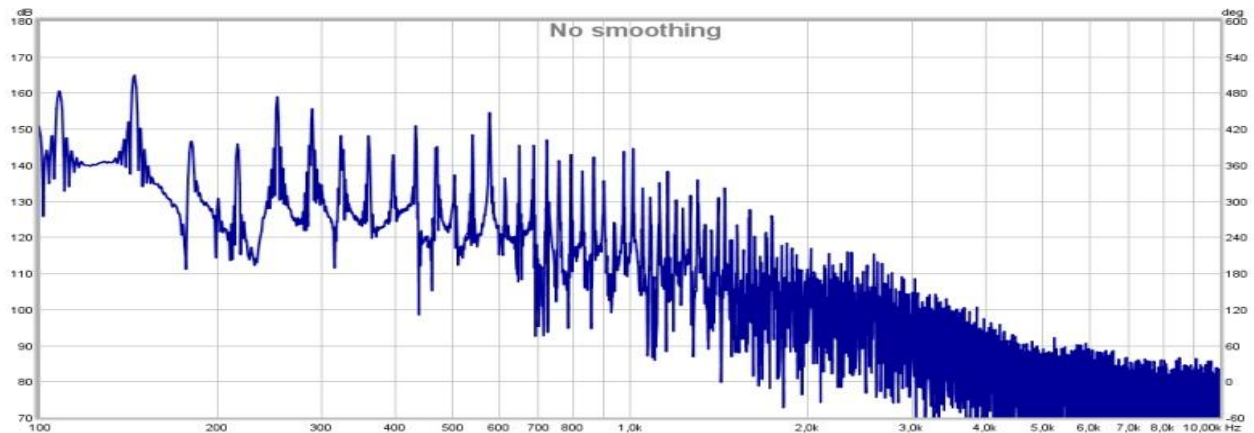
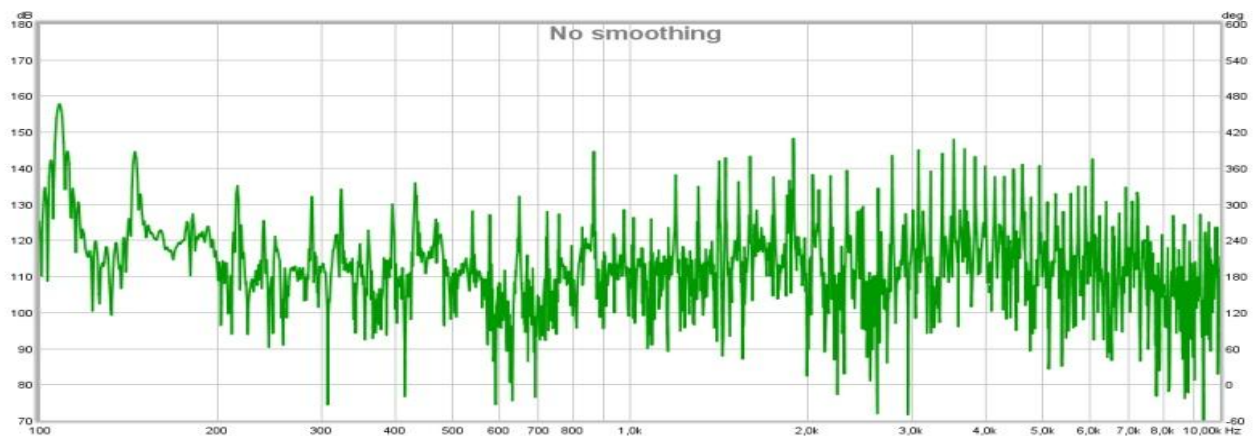
Απόκριση του μαγνήτη με τον διακόπτη στην κάτω θέση.



Απόκριση του μαγνήτη με τον διακόπτη στη μεσαία θέση.



Απόκριση του μαγνήτη με τον διακόπτη στη πάνω θέση.

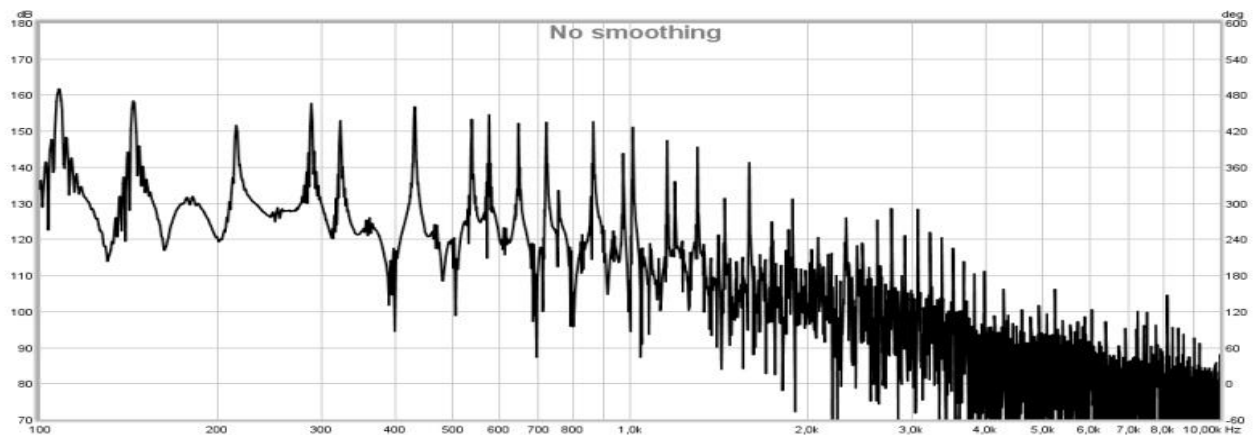


Σχήμα 3.40: Θέση λήψης 1 και θέση διέγερσης 2.

Στο Σχήμα 3.40 παρουσιάζονται τα φάσματα από τη λήψη στη θέση 1 και διέγερση στη 2. Οι μαγνήτες δεν παρουσιάζουν αξιόλογη συμπεριφορά και οι διαφορές μεταξύ των τριών θέσεων του διακόπτη παραμένουν ίδιες.

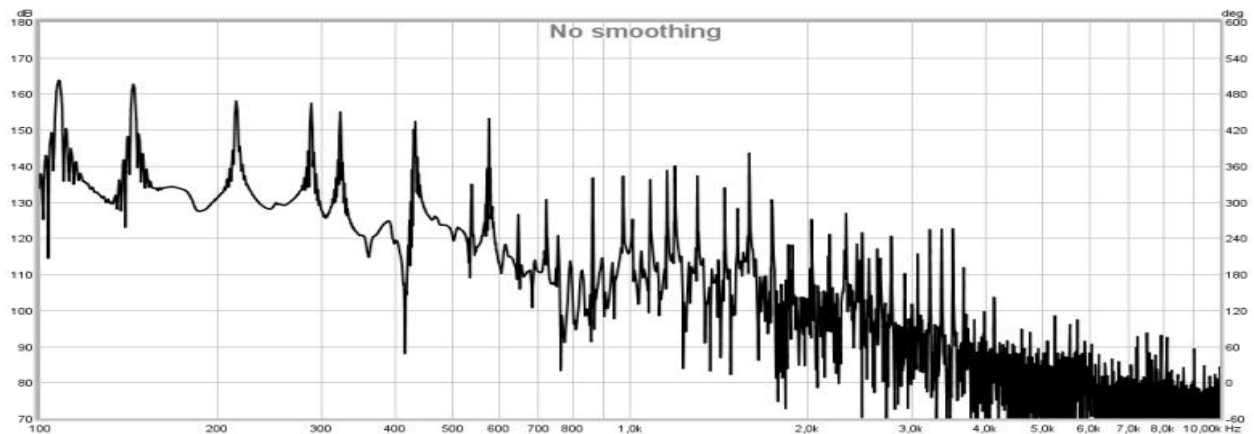
Το μικρόφωνο επίσης δεν παρουσιάζει ιδιαίτερη διαφορά με άλλα δείγματα πέρα από το γεγονός ότι η στάθμη στη συχνοτική περιοχή από 200 μέχρι 800 Hz είναι ελαφρώς μειωμένη.

Στην απόκρισή του αισθητήρα εξακολουθούν να υπάρχουν οι δύο συχνότητες στα 38 και 72 Hz και οι πρώτες δύο αρμονικές είναι πολύ εξασθενημένες.

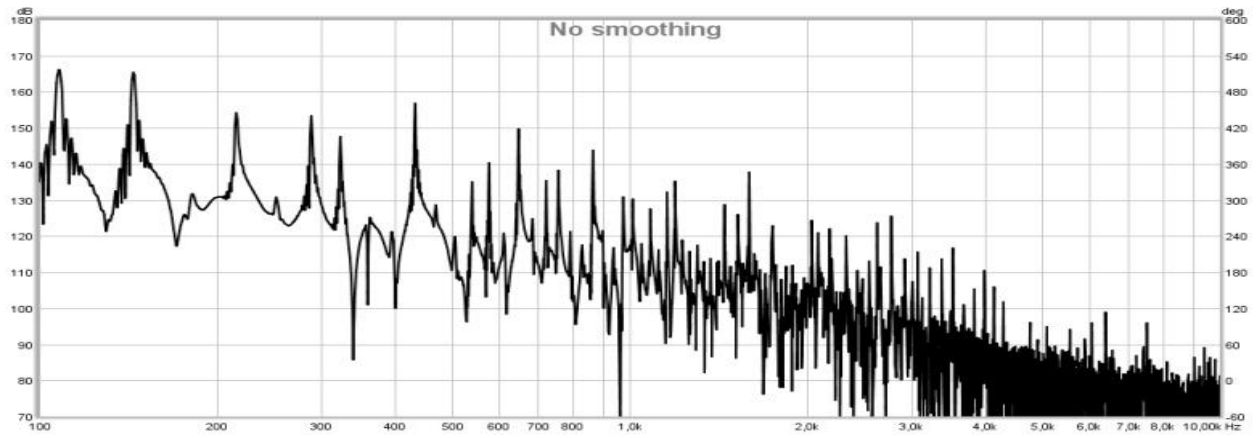


5) Θέση λήψης 2- θέση διέγερσης 2 (α2δ2)

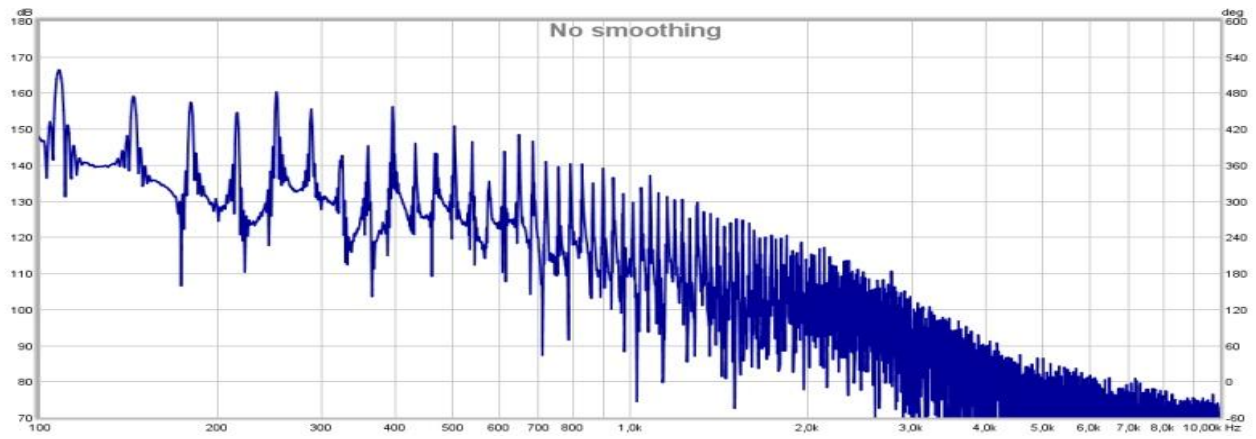
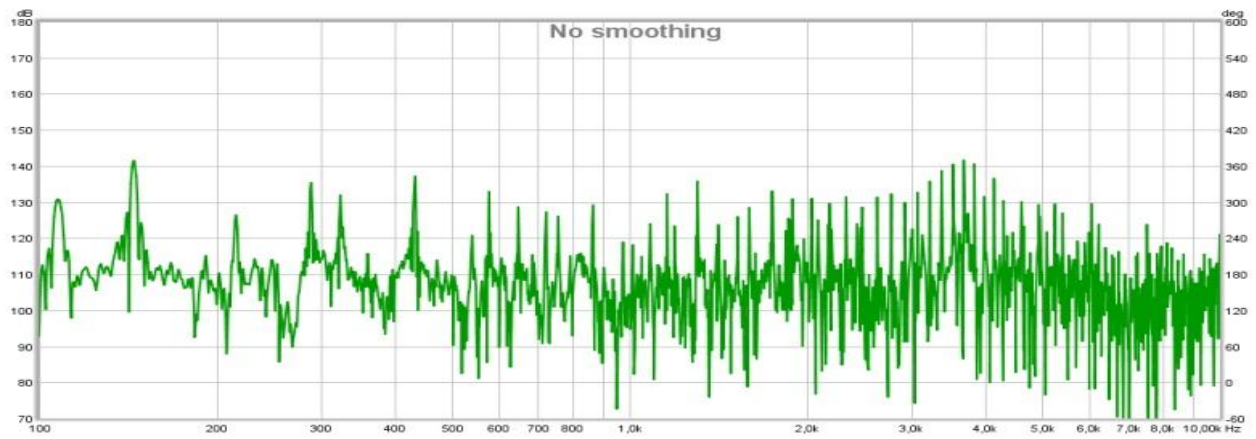
Απόκριση του μαγνήτη με τον διακόπτη στη κάτω θέση.



Απόκριση του μαγνήτη με τον διακόπτη στη μεσαία θέση.



Απόκριση του μαγνήτη με τον διακόπτη στη πάνω θέση.

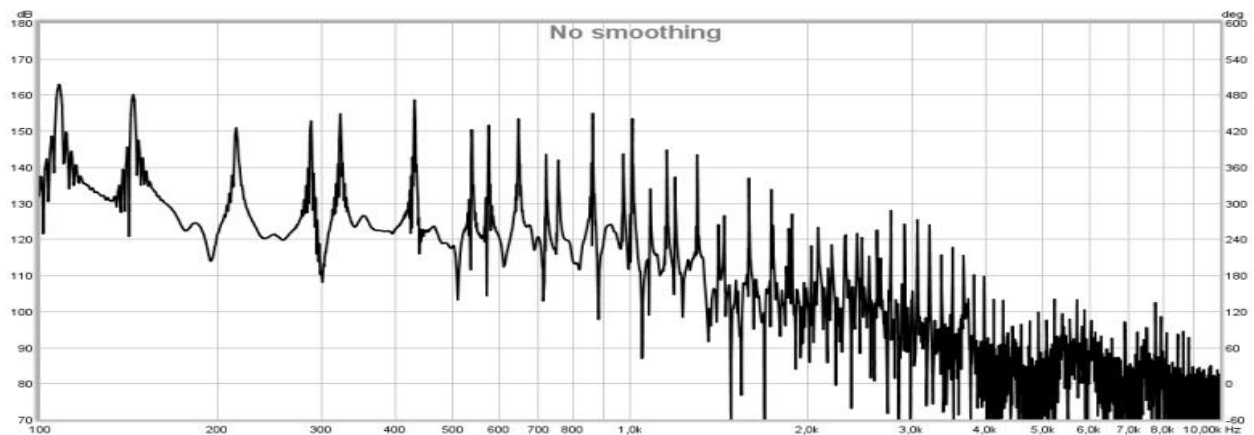


Σχήμα 3.41: Θέση λήψης 2 και θέση διέγερσης 2.

Στο Σχήμα 3.41 παρουσιάζονται οι αποκρίσεις στη θέση 2 διέγερσης και λήψης. Στους μαγνήτες φαίνεται ότι οι θεμέλιες συχνότητες έχουν υψηλότερη στάθμη συγκριτικά με άλλα δείγματα, αλλά διατηρούν την ίδια απόκρισή.

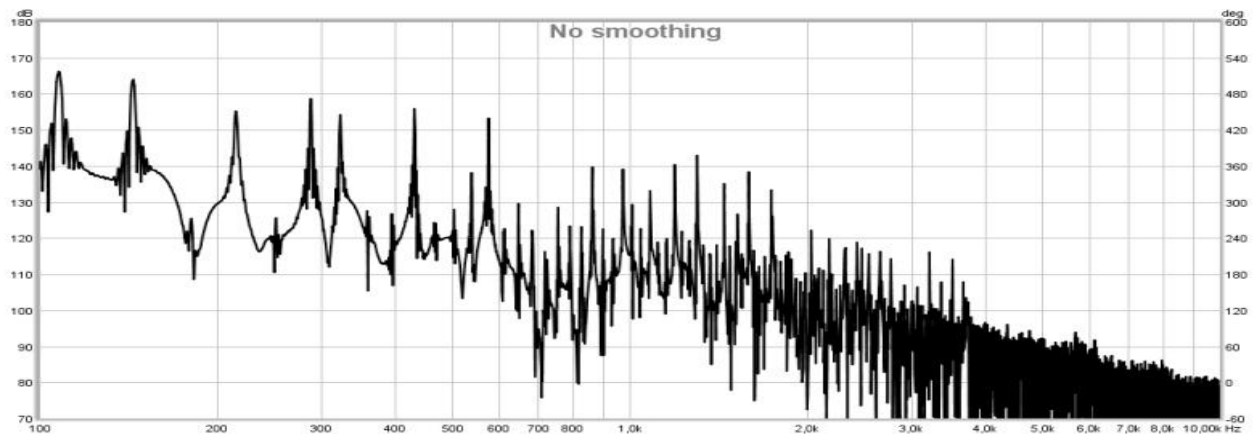
Ίδια συμπεριφορά παρουσιάζει και το μικρόφωνο με άλλες ηχογραφήσεις και οι διαφορές με τις άλλες συσκευές μένουν, επίσης, ίδιες.

Ο αισθητήρας έχει αυξημένες τις στάθμες στις περιοχές που ήταν μειωμένες στην προηγούμενη λήψη. Παρ' όλα αυτά, το σχήμα της απόκρισης του μένει παρόμοια.

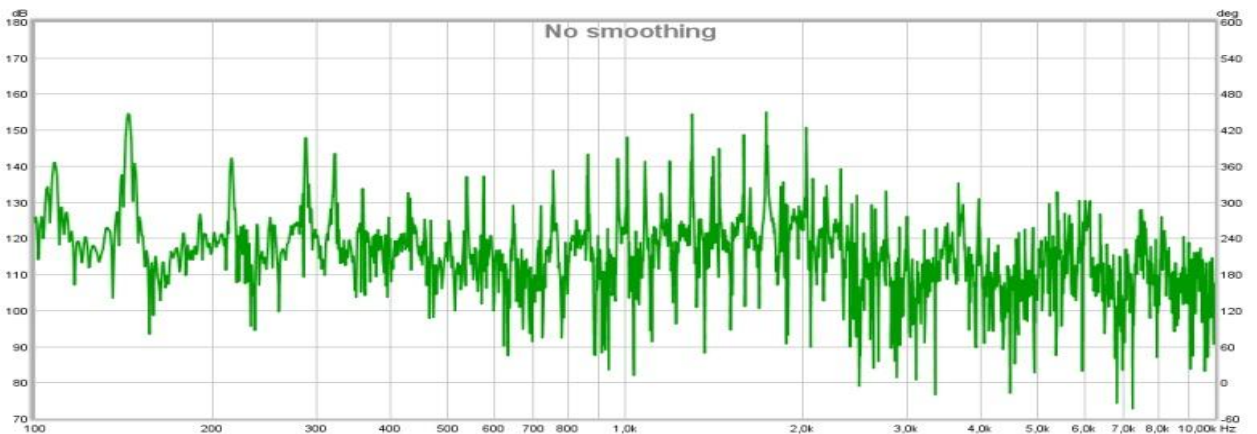
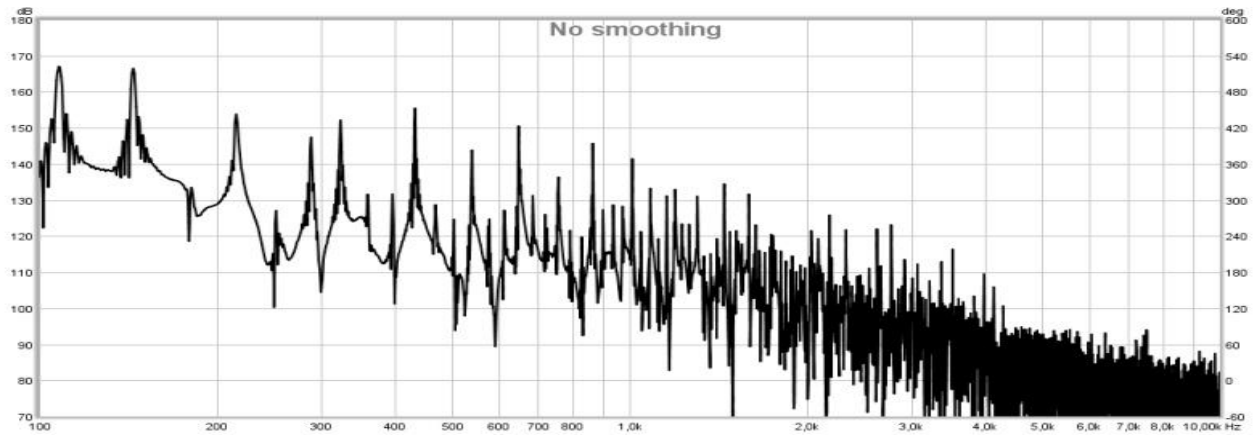


6) Θέση λήψης 3- θέση διέγερσης 2 (α3δ2)

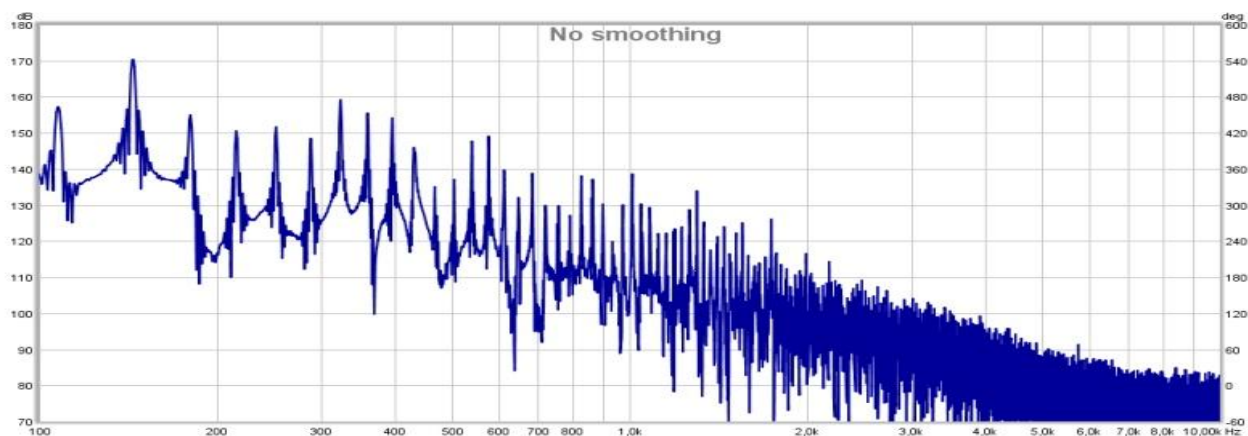
Απόκριση του μαγνήτη με τον διακόπτη στην κάτω θέση.



Απόκριση του μαγνήτη με τον διακόπτη στη μεσαία θέση.



Απόκριση του μαγνήτη με τον διακόπτη στην πάνω θέση.



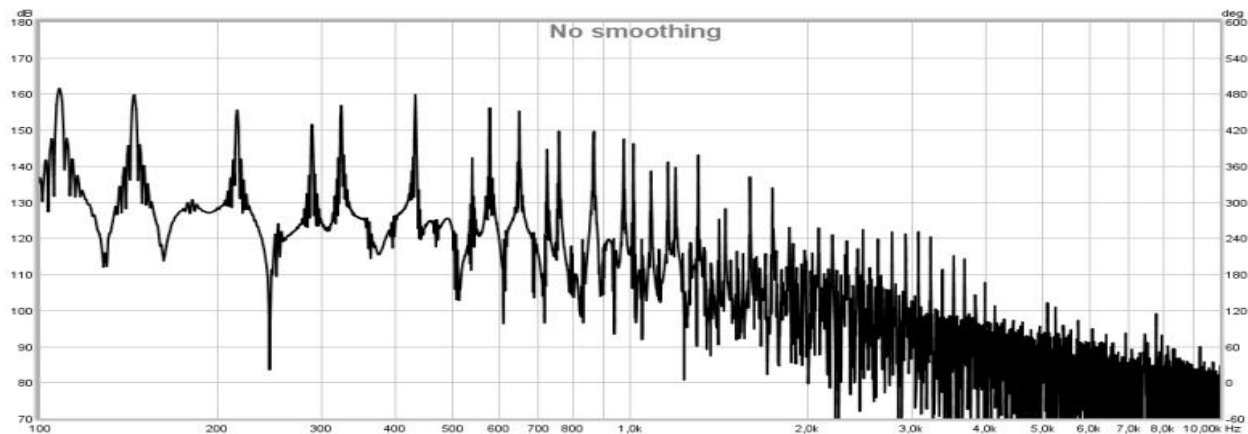
Σχήμα 3.42: Θέση λήψης 3 και θέση διέγερσης 2.

Στις αποκρίσεις των μαγνητών στο Σχήμα 3.42 παρατηρείται ότι οι μαγνήτες έχουν για ακόμη μια φορά παρόμοια απόκριση. Ωστόσο, συγκριτικά με τις αποκρίσεις των ακριβώς προηγούμενων δειγμάτων (θέσεις α2δ2), οι στάθμες στην περιοχή των 2 έως 4 kHz έχουν μειωθεί αρκετά στη μεσαία θέση του διακόπτη, ενώ υπόλοιπα δείγματα υπάρχουν ελαφρές αυξομειώσεις.

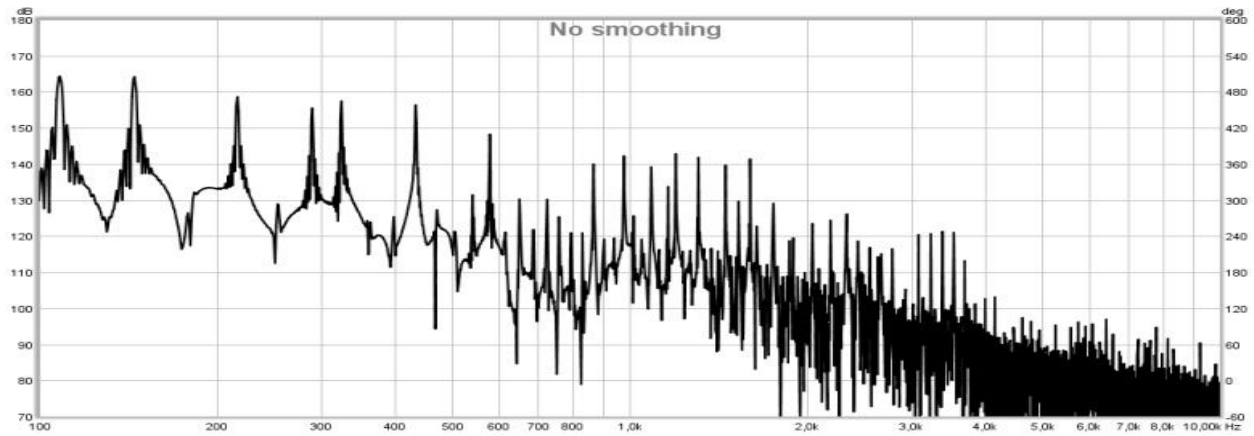
Το μικρόφωνο ανταποκρίνεται ως συνήθως με τη διαφορά ότι η περιοχή των μεσαίων συχνοτήτων που ενισχύεται περισσότερο είναι αυτή του 1 με 2 kHz.

Ο αισθητήρας παρουσιάζει σχετικά έντονες αυξομειώσεις στις αρμονικές και ανιχνεύει την δόνηση της 5ης χορδής περισσότερο από αυτή της 6ης. Το φαινόμενο αυτό δεν είναι αναμενόμενο, καθώς η 6η χορδή έχει μεγαλύτερο πάχος από την 5η και συνεπώς δημιουργεί εντονότερη σκιά, άρα υψηλότερη στάθμη.

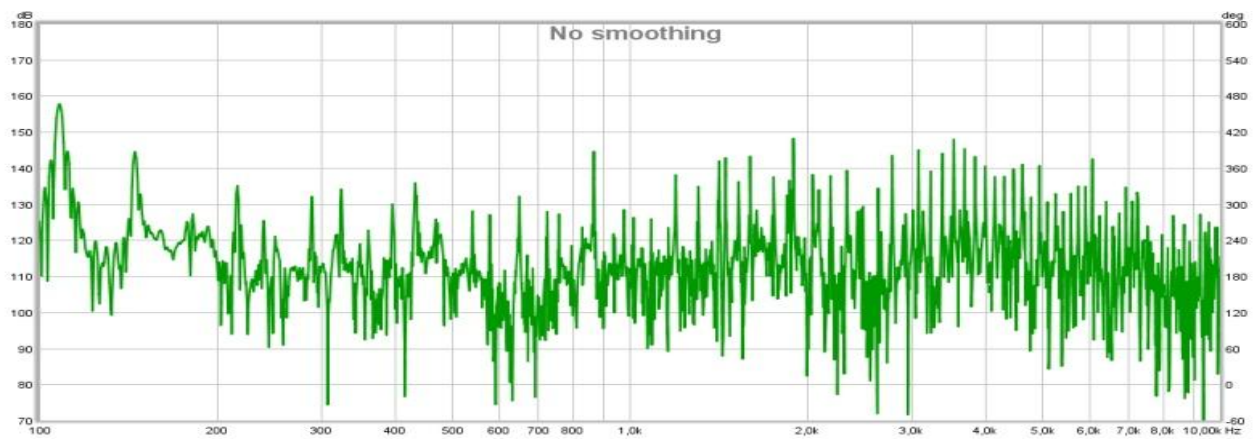
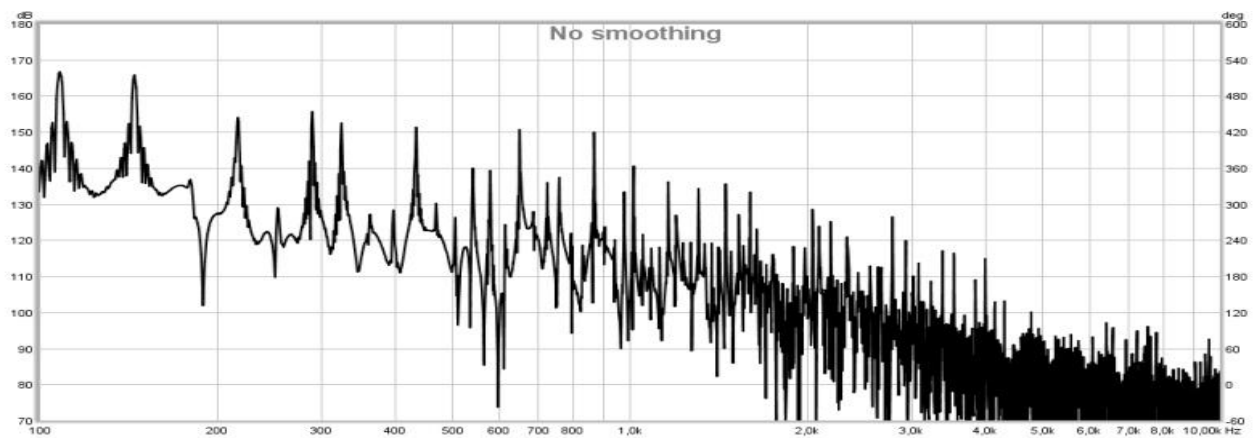
7) Θέση λήψης 1- θέση διέγερσης 3 (α1δ3)



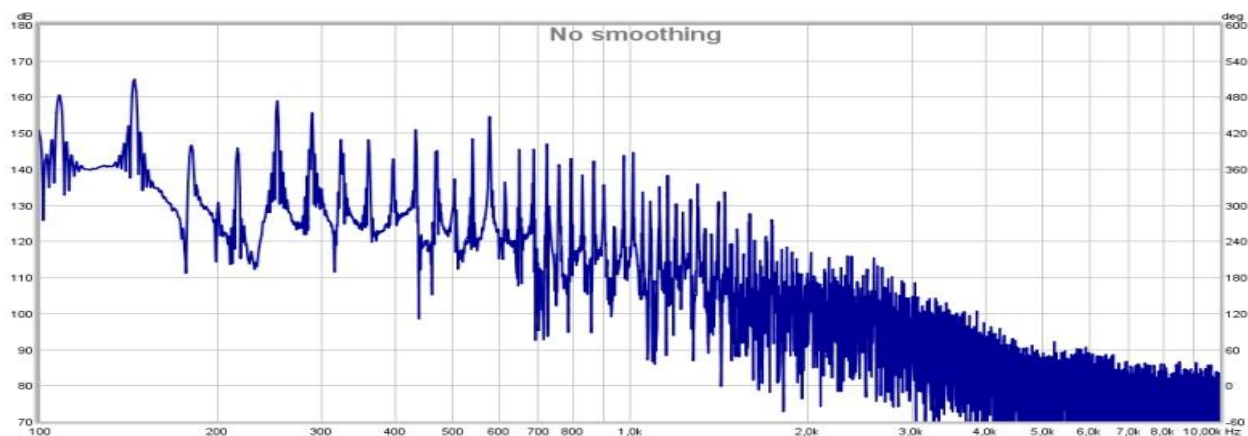
Απόκριση του μαγνήτη με τον διακόπτη στην κάτω θέση.



Απόκριση του μαγνήτη με τον διακόπτη στην μεσαία θέση.



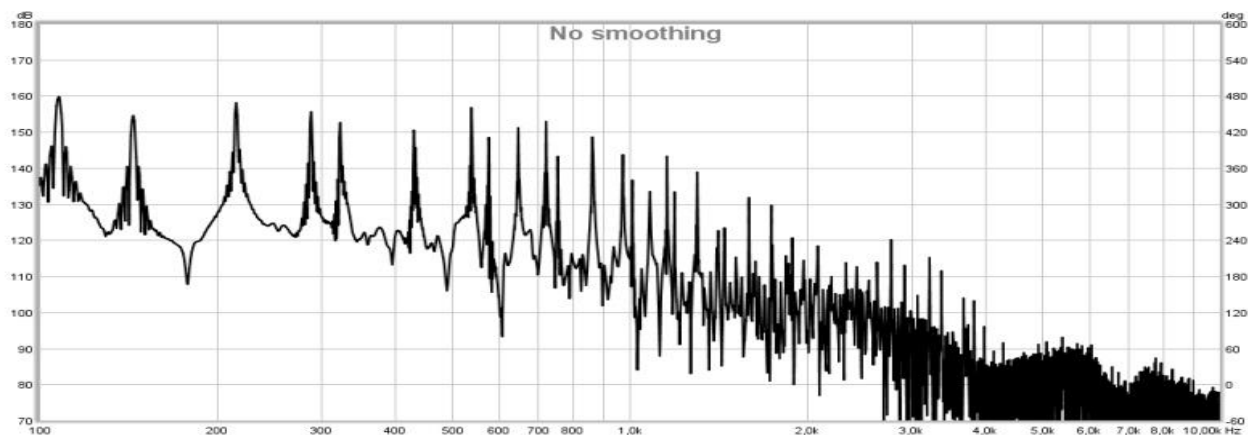
Απόκριση του μαγνήτη με τον διακόπτη στην πάνω θέση.



Σχήμα 3.43: Θέση λήψης 1 και θέση διέγερσης 3.

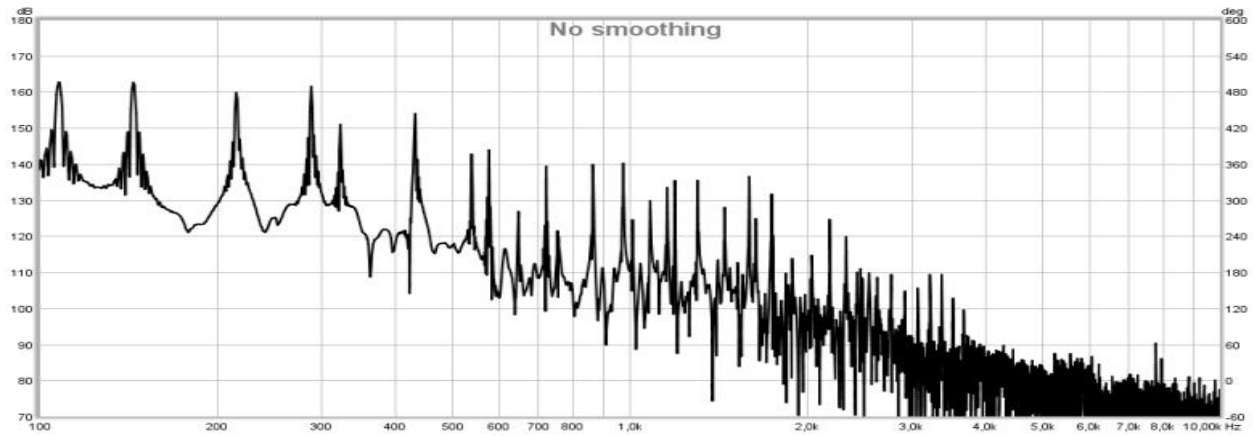
Στις αποκρίσεις των μαγνητών στο Σχήμα 3.43 οι διαφορετικές θέσεις του διακόπτη παράγουν συχνοτικά φάσματα τα οποία είναι παρόμοια με προηγούμενα δείγματα, παρόλο που η θέση είναι διαφορετική από τις προηγούμενες.

Το μικρόφωνο επίσης δεν έχει διαφορετική συμπεριφορά, ενώ ο αισθητήρας παρουσιάζει διαφορά. Πιο συγκεκριμένα, οι αρμονικές στην περιοχή των 180 με 800 Hz έχουν χαμηλότερη ένταση απ' ό,τι συνήθως.

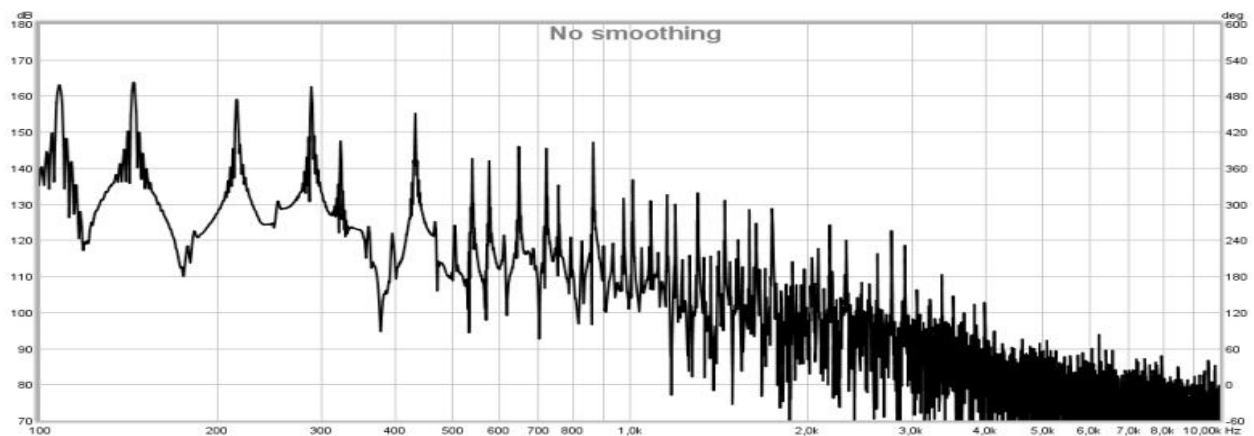


8) Θέση λήψης 2- θέση διέγερσης 3 (α2δ3)

Απόκριση του μαγνήτη με τον διακόπτη στην κάτω θέση.

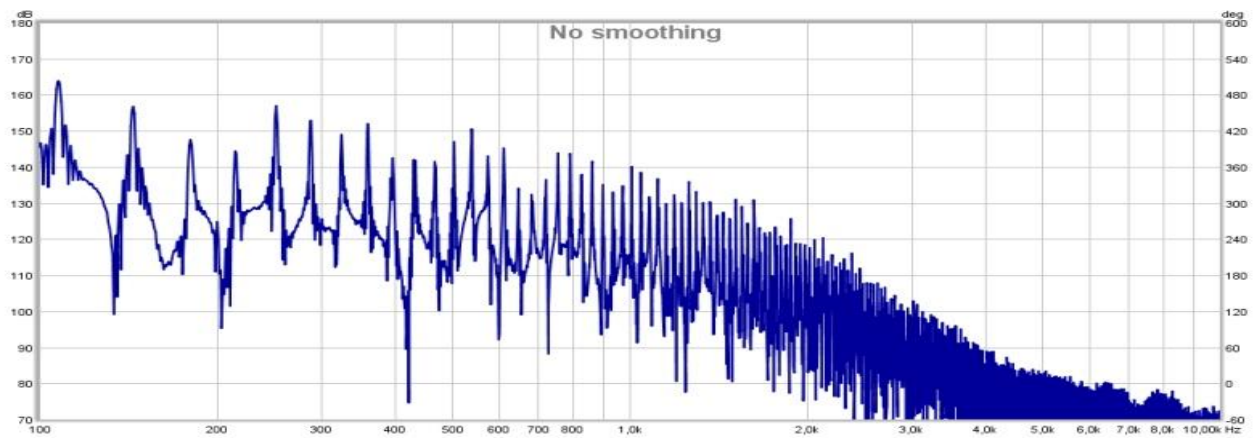


Απόκριση του μαγνήτη με τον διακόπτη στην μεσαία θέση.



Απόκριση του μαγνήτη με τον διακόπτη στην πάνω θέση.



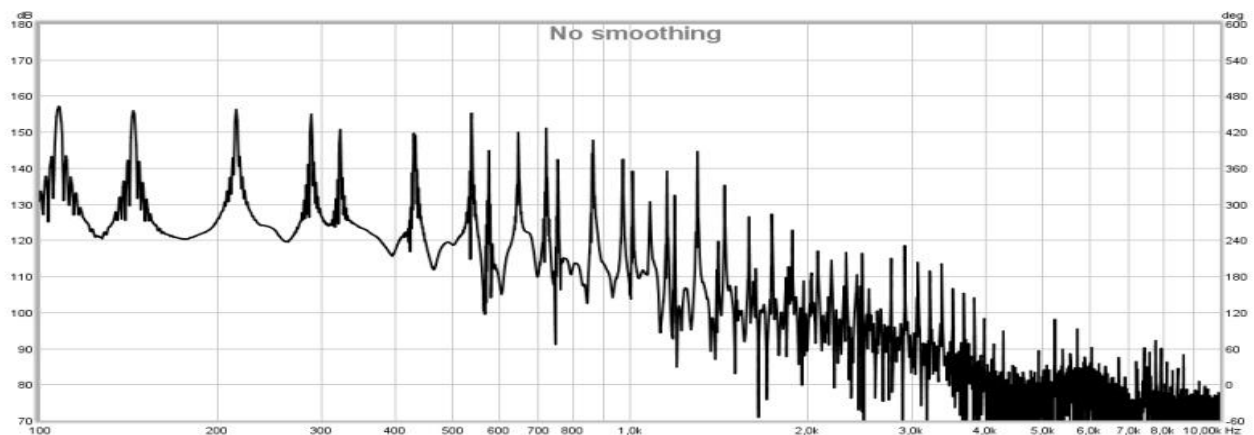


Σχήμα 3.44: Θέση λήψης 2 και θέση διέγερσης 3.

Οι μαγνήτες σύμφωνα με το Σχήμα 3.44 έχουν την ίδια συμπεριφορά και οι θέσεις του διακόπτη διατηρούν τις διαφορές μεταξύ τους.

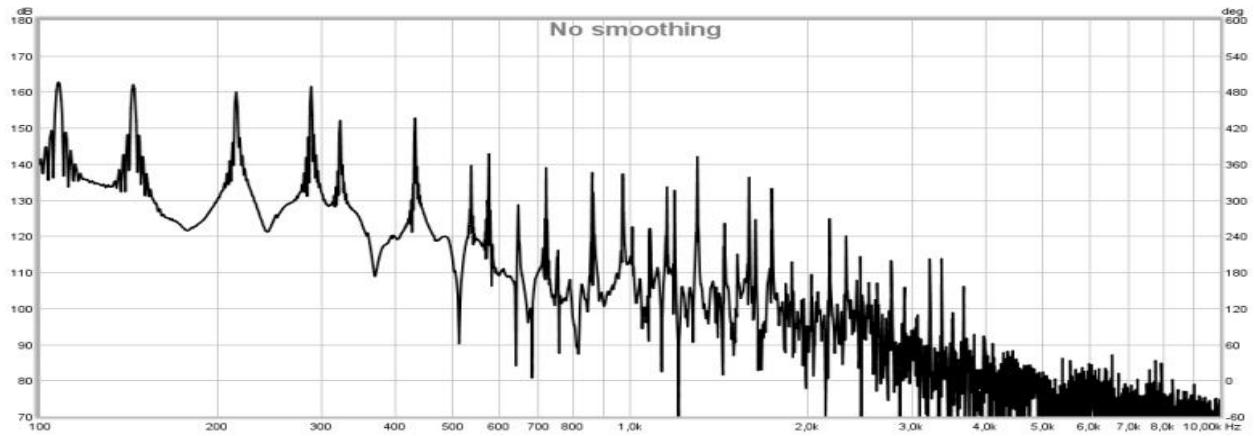
Το μικρόφωνο παρατηρείται ότι έχει μια πιο flat απόκριση σε αυτή την περίπτωση με τις αρμονικές στην περιοχή των 110 μέχρι τα 2K Hz να είναι αρκετά αυξημένες σε σύγκριση με τις περισσότερες αποκρίσεις στις διάφορες θέσεις λήψης και διέγερσης.

Όσον για αισθητήρα, δεν υπάρχει κάτι αξιόλογο στην απόκριση του, πέρα από το γεγονός ότι οι πρώτες δύο αρμονικές είναι αρκετά μειωμένες.

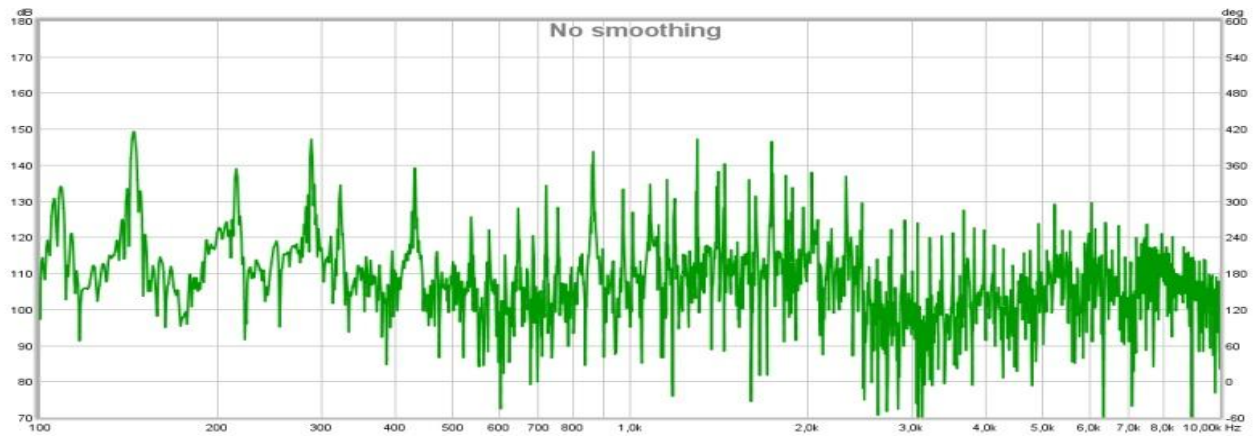
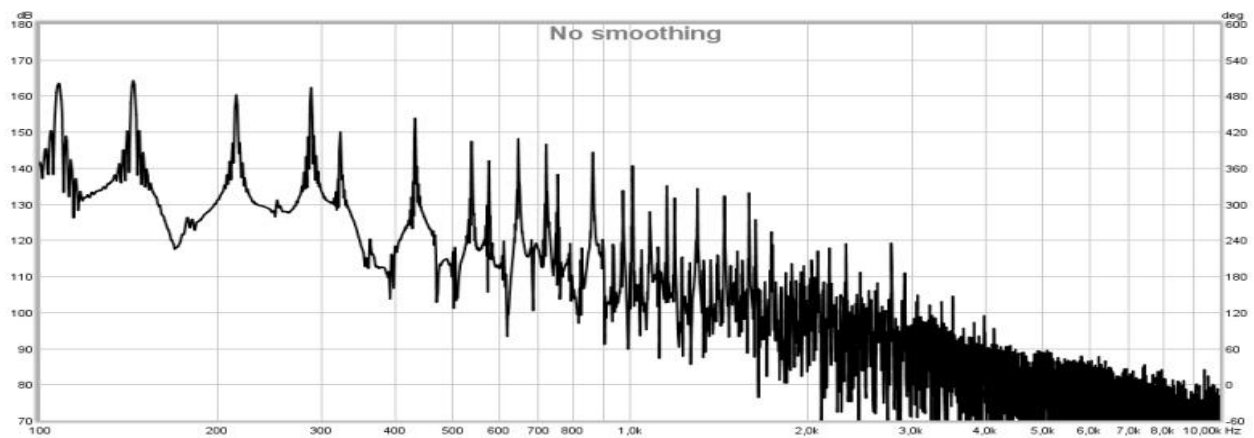


9) Θέση λήψης 3- θέση διέγερσης 3 (α3δ3)

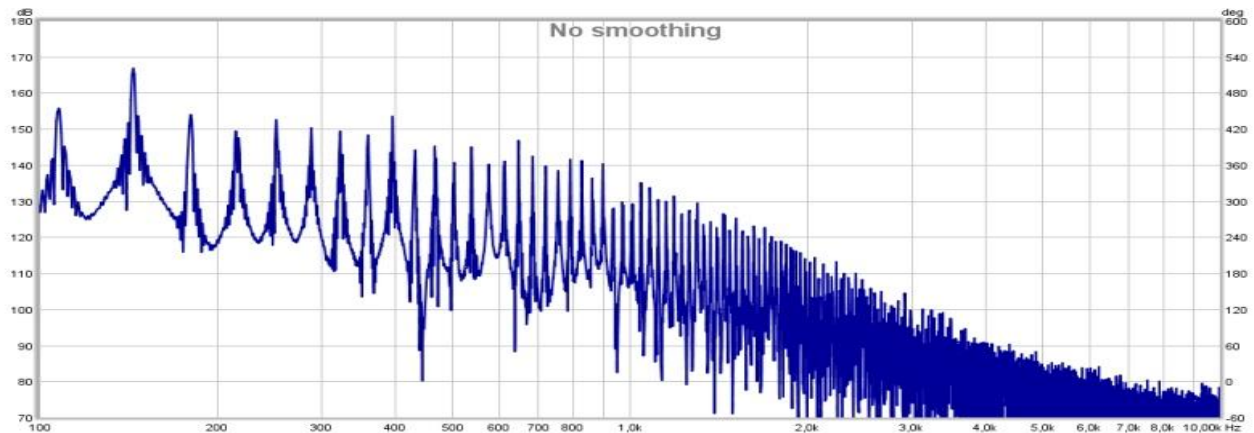
Απόκριση του μαγνήτη με τον διακόπτη στην κάτω θέση.



Απόκριση του μαγνήτη με τον διακόπτη στην μεσαία θέση.



Απόκριση του μαγνήτη με τον διακόπτη στην πάνω θέση.



Σχήμα 3.45: Θέση λήψης 3 και θέση διέγερσης 3.

Στις αποκρίσεις των μαγνητών στο Σχήμα 3.45 φαίνεται ότι οι μαγνήτες ανάλογα με τη θέση του διακόπτη επιδρούν στο φάσμα στις συγκεκριμένες συχνοτικές περιοχές όπως και σε κάθε άλλο δείγμα. Η διαφορά, όμως, είναι ότι οι περιοχές που επηρεάζονται από την κάθε θέση του διακόπτη έχει σημαντικά αυξημένη ένταση, ενώ σε άλλες περιπτώσεις συμβαίνει το αντίθετο αποτέλεσμα. Για παράδειγμα, στη μεσαία θέση του διακόπτη μειώνεται πάρα πολύ η περιοχή των 500 με 800 Hz, ενώ τώρα είναι αρκετά αυξημένη που πλησιάζει την απόκριση στην κάτω θέση του διακόπτη σε προηγούμενες λήψεις σε διαφορετικές θέσεις λήψης και διέγερσης. Ωστόσο, στην πάνω θέση οι αρμονικές στην περιοχή των 2 με 4 kHz είναι περίπου το ίδιο μειωμένη.

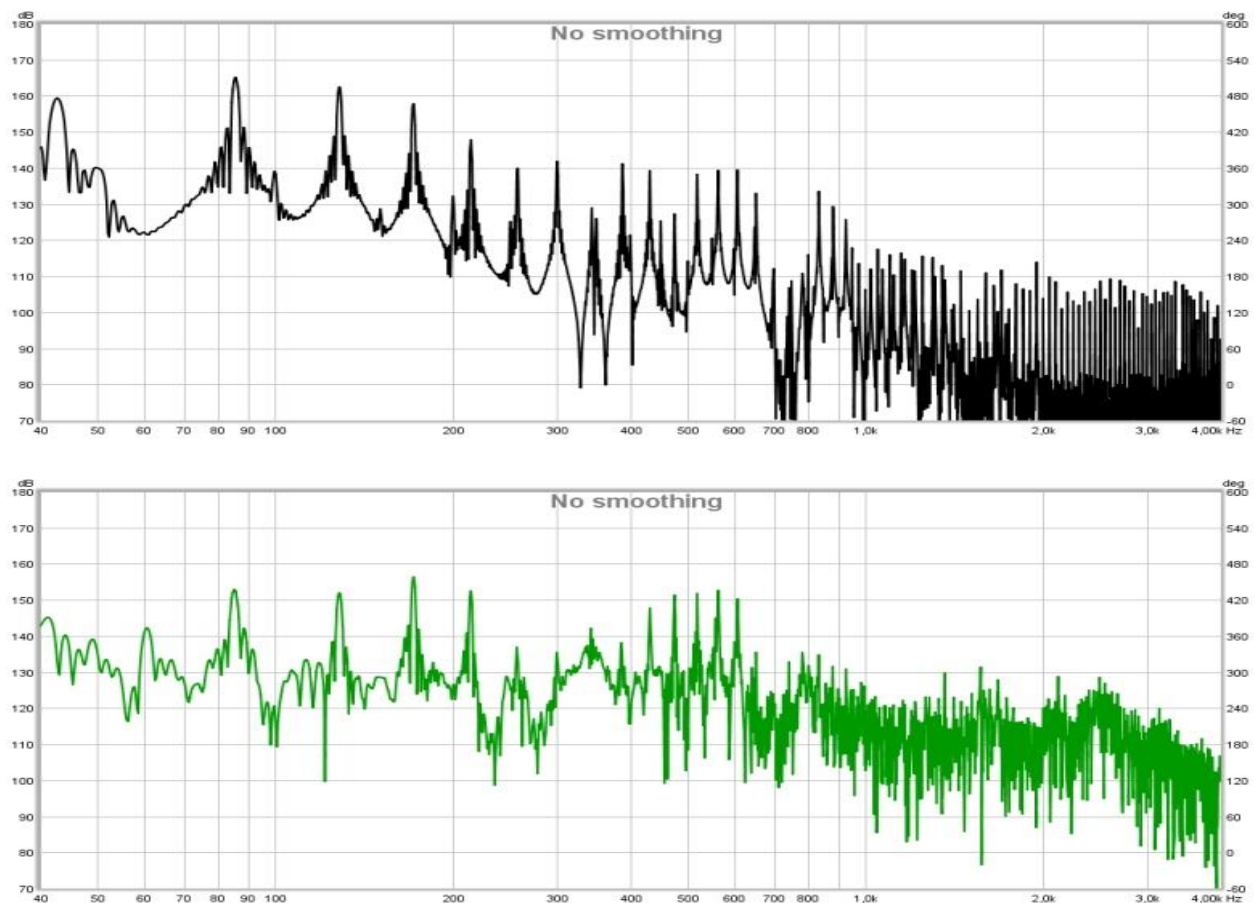
Το μικρόφωνο έχει ελαφρώς αυξημένη την περιοχή του 1 με 2 kHz, αλλά σε γενικές γραμμές δεν παρουσιάζει κάτι αξιόλογο.

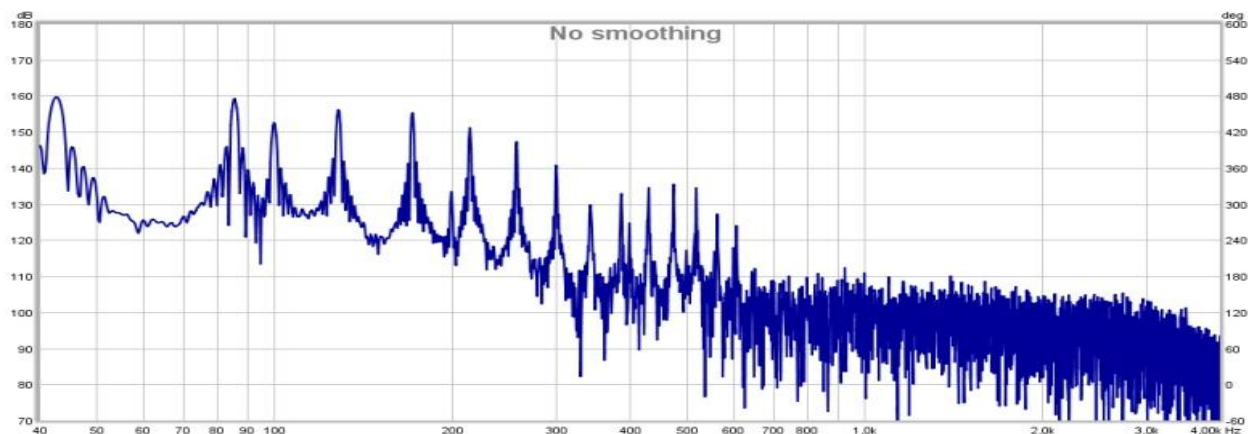
Στην απόκριση του αισθητήρα παρατηρείται ότι η θεμέλιος συχνότητα της 5η χορδής (Λα) είναι πιο έντονη σε επίπεδο πολύ υψηλότερο από άλλες λήψεις σε άλλες θέσεις. Επιπλέον, οι δύο πρώτες συχνότητες επίσης είναι εντονότερες, ενώ οι υπόλοιπες είναι μειωμένες διατηρώντας, ωστόσο, το σύνθετο σχήμα της απόκρισης.

3.2.4 Φασματική ανάλυση ηχητικών δειγμάτων από το ηλεκτρικό μπάσο με 1 χορδή

Σε αυτήν την ενότητα παρουσιάζονται τα συχνοτικά φάσματα των ηχητικών δειγμάτων που ηχογραφήθηκαν με το ηλεκτρικό μπάσο χρησιμοποιώντας την 4η χορδή (Μι). Τα φάσματα με μαύρο χρώμα είναι των δειγμάτων από τον μαγνήτη του μπάσου, με πράσινο αυτά από το μικρόφωνο και μπλε από τον αισθητήρα εκπομπής-λήψης υπερύθρων.

1) Θέση λήψης 1- θέση διέγερσης 1 (α1δ1)





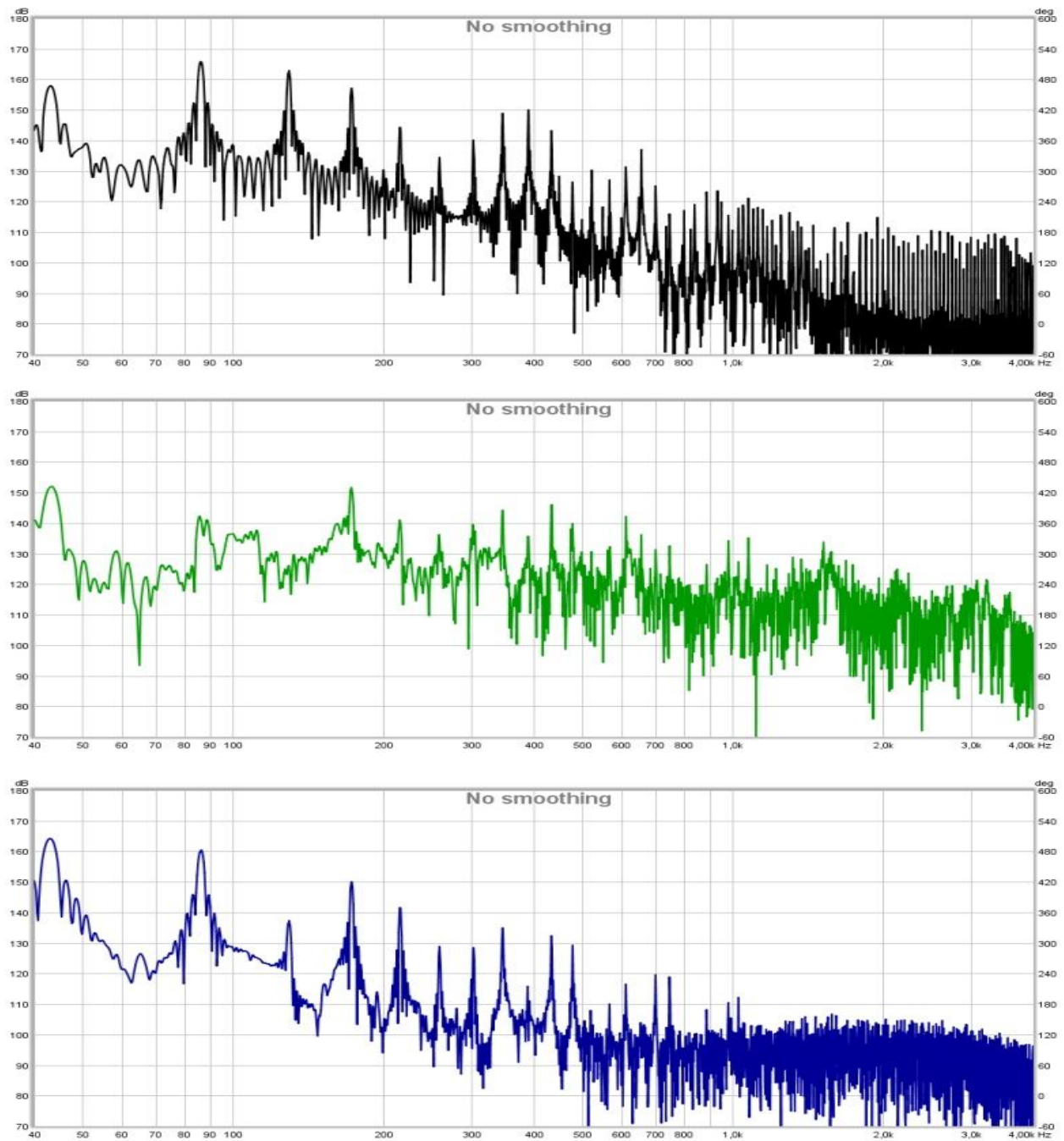
Σχήμα 3.46: Θέση λήψης 1 και θέση διέγερσης 1.

Στο Σχήμα 3.46 φαίνεται ότι ο μαγνήτης του μπάσου λαμβάνει τη θεμέλιο στα 42 Hz περίπου και τις αρμονικές μέχρι την 4η αρκετά περισσότερο σε σχέση με τις υπόλοιπες οι οποίες φτάνουν περίπου στα ίδια επίπεδα εκτός από την 7η, 10η, 15η και 16η και συνολικά φαίνεται να είναι 19.

Το μικρόφωνο λαμβάνει 15 αρμονικές από τις οποίες η 2η μέχρι την 4η και από την 9η έως τη 13η είναι ξεχωρίζουν. Οι υπόλοιπες έχουν υπερβολικά χαμηλή ένταση μεταξύ των οποίων και η θεμέλιος η οποία δεν ξεχωρίζει σχεδόν καθόλου.

Ο αισθητήρας λαμβάνει 14 ιδιοσυχνότητες και η απόκριση είναι παρόμοια με αυτές που είχε στην ηλεκτρική κιθάρα με μία χορδή, δηλαδή οι πρώτες 4 έως 5 ιδιοσυχνότητες έχουν την υψηλότερη ένταση με την 2η να ξεχωρίζει περισσότερο και καθώς αυξάνεται η συχνότητα οι εντάσεις των αρμονικών να μειώνεται σταδιακά.

2) Θέση λήψης 2- θέση διέγερσης 1 (α2δ1)

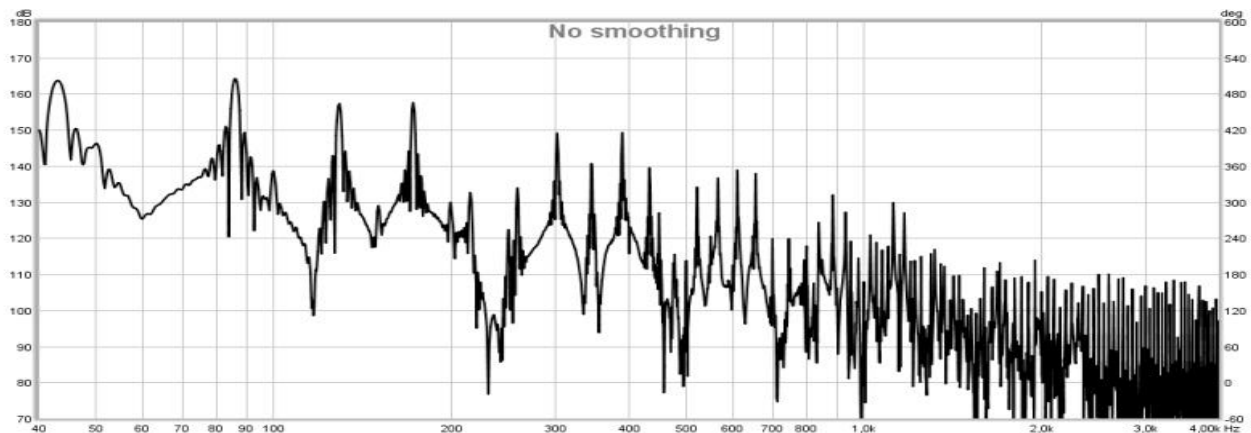


Σχήμα 3.47: α2δ1.

Στην απόκριση του μαγνήτη η 7η και 8η αρμονική έχουν αυξηθεί σημαντικά, ενώ οι υπόλοιπες έχουν μειωθεί αρκετά.

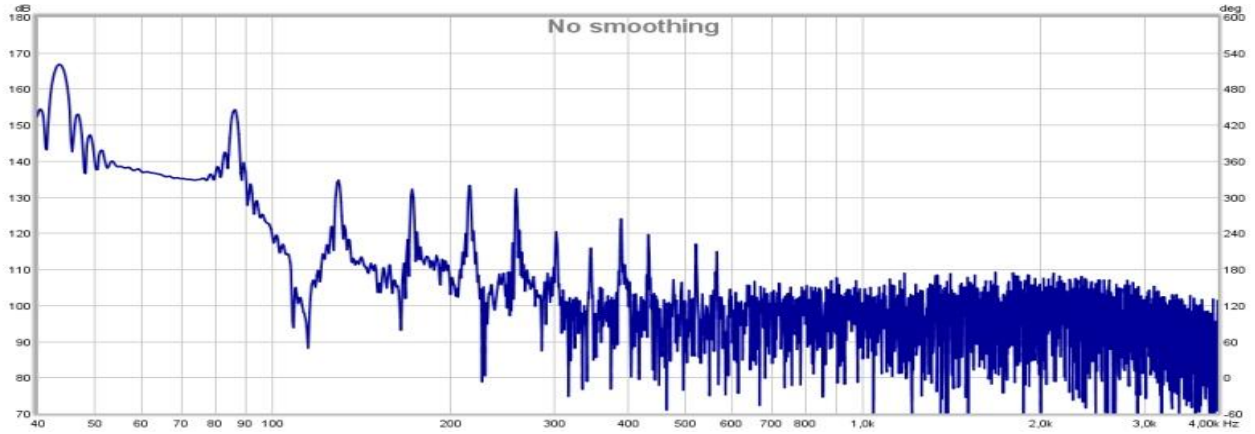
Στην απόκριση του μικροφώνου η θεμέλιος ξεχωρίζει περισσότερο συγκριτικά με πριν και εκτός από την 3η αρμονική, όλες οι υπόλοιπες έχουν μειωθεί σημαντικά και οι συχνότητες που διεγείρονται κοντά στις αρμονικές έχουν αυξηθεί αρκετά.

Στην απόκριση του αισθητήρα εμφανίζονται ιδιοσυχνότητες που δεν εμφανίστηκαν πριν. Πιο συγκεκριμένα, οι συχνότητες στα 700 Hz και περίπου στα 730 Hz δεν βρίσκονταν στο επίπεδο του θορύβου όπως ήταν στο προηγούμενο δείγμα. Ωστόσο, οι υπόλοιπες αρμονικές έχουν μειωθεί αρκετά με εξαίρεση την θεμέλιο, 1η, 4η, 5η, 7η, 9η και 10η και η 3η ιδιοσυχνότητα στα 100 Hz δεν ξεχωρίζει καθόλου ως τέτοια.



3) Θέση λήψης 3- θέση διέγερσης 1 (α3δ1)



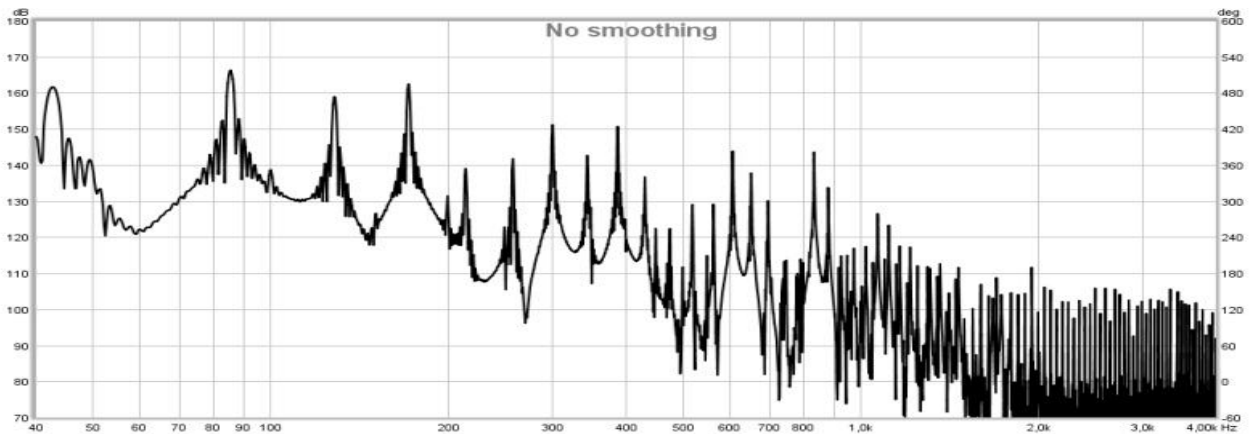


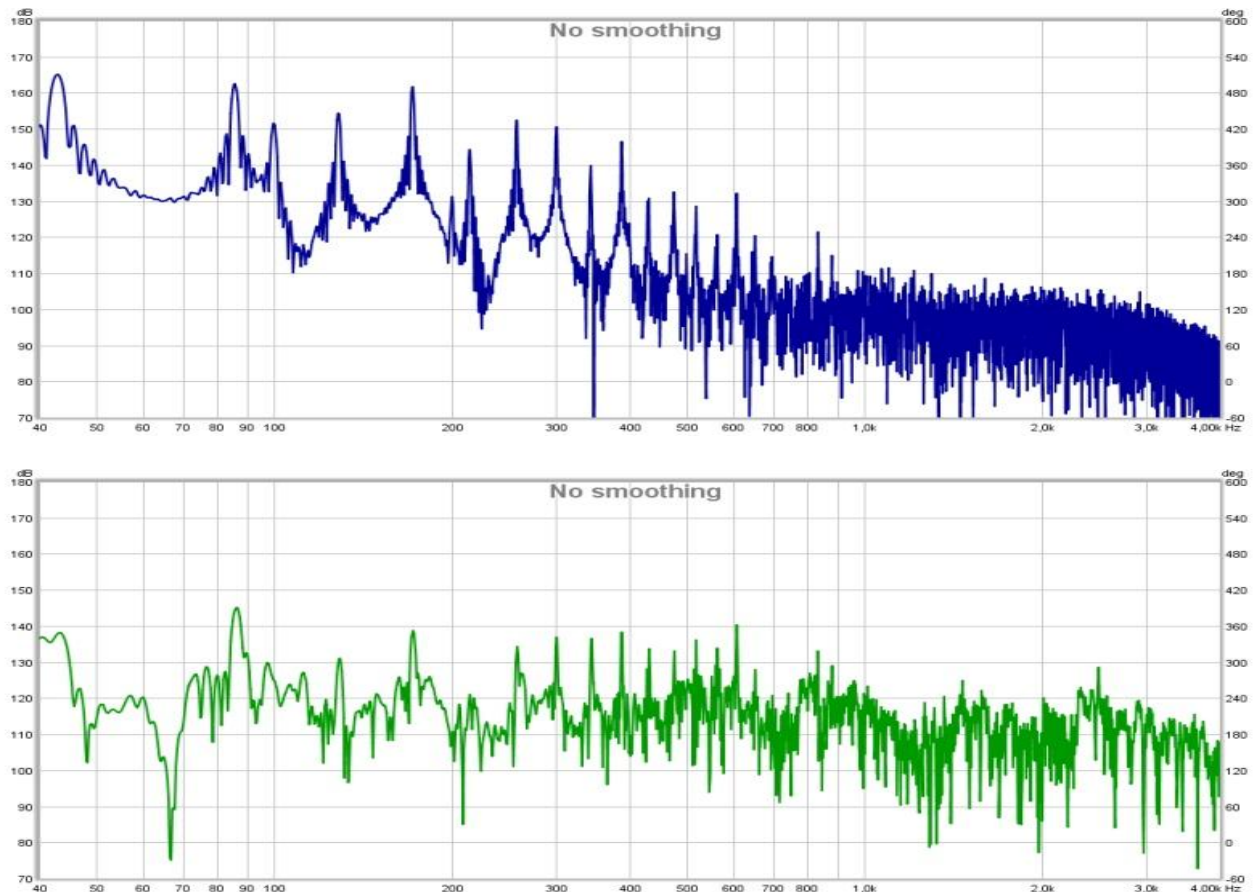
Σχήμα 3.48: $a3d1$.

Στις αποκρίσεις του μαγνήτη και του μικροφώνου στο Σχήμα 3.48 δεν συμβαίνει απολύτως τίποτα. Οι διαφορές είναι ελάχιστες και τόσο αμελητέες όπου δεν υπάρχει κάτι αξιόλογο να αναφερθεί.

Όσο για την απόκριση του αισθητήρα, παρουσιάζεται σημαντική πτώση στάθμης στις αρμονικές από 300 Hz και πάνω και μείωση από τη θεμέλιο συχνότητα μέχρι την τελευταία αρμονική είναι πιο απότομη σε σχέση με άλλα δείγματα.

4) Θέση λήψης 1- θέση διέγερσης 2 ($a1d2$)





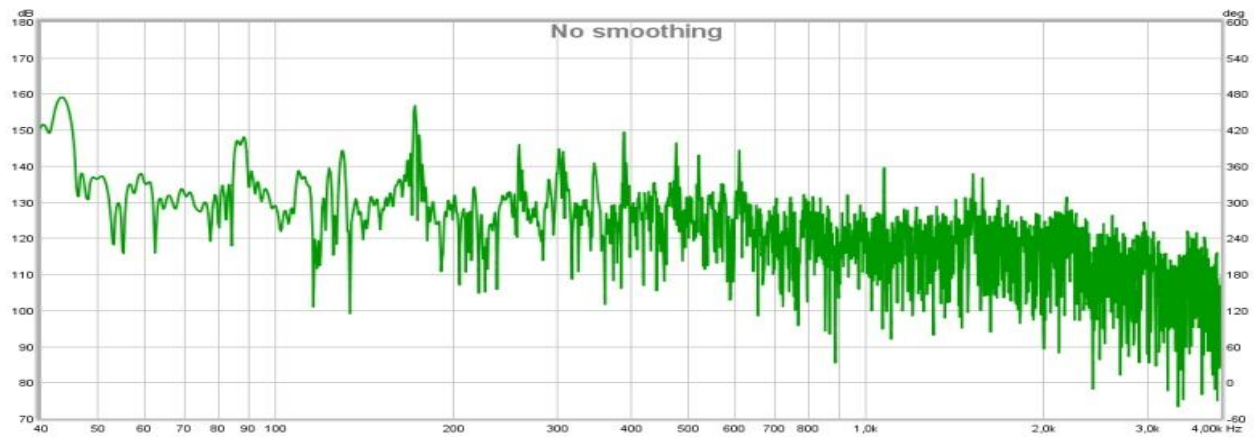
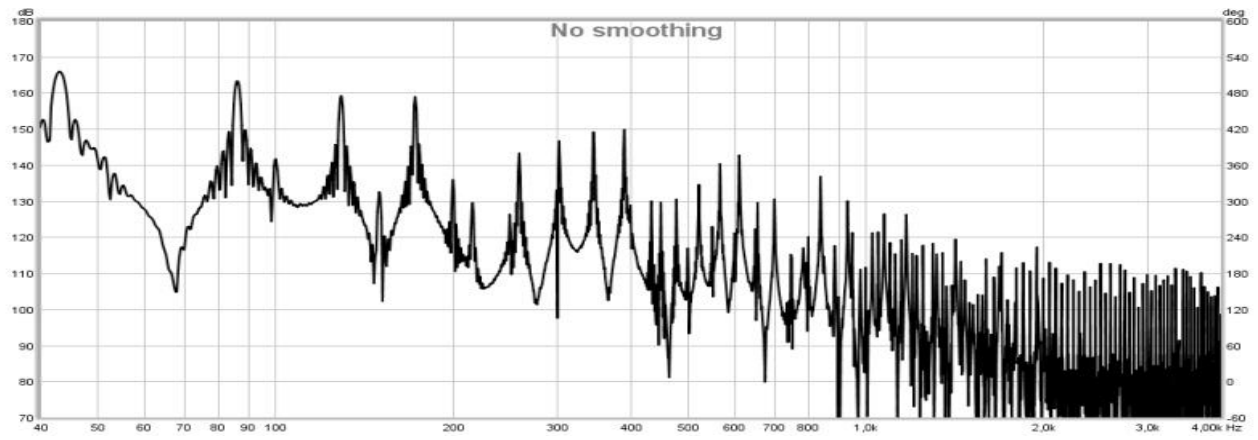
Σχήμα 3.49: a1δ2.

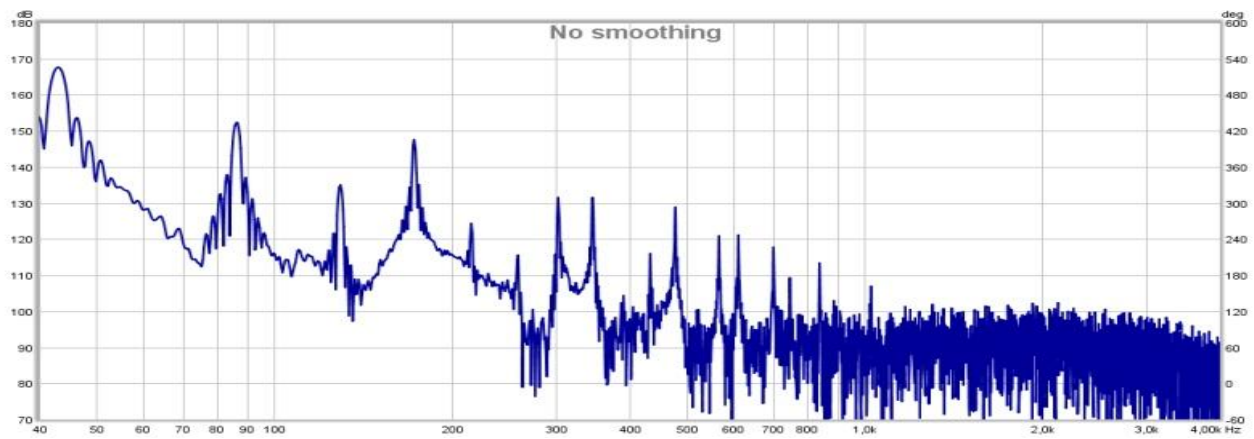
Στην απόκριση του μαγνήτη παρουσιάζονται αμελητέες διαφορές. Πιο συγκεκριμένα, η 14η και 17η αρμονική έχουν αυξηθεί πολύ σε σύγκριση με την προηγούμενη λήψη.

Στην απόκριση του μικροφώνου φαίνεται να υπάρχουν αυξομειώσεις σε όλες τις αρμονικές και η 4η δεν ξεχωρίζει καθόλου.

Στην απόκριση του αισθητήρα φαίνεται ότι το σχήμα της είναι παρόμοιο με αυτό που έχει στα περισσότερα δείγματα, δηλαδή η θεμέλιος ή η 1η και 2η αρμονική έχουν τις υψηλότερες στάθμες και μειώνεται ομαλά με την αύξηση της συχνότητας.

5) Θέση λήψης 2- θέση διέγερσης 2 (α2δ2)





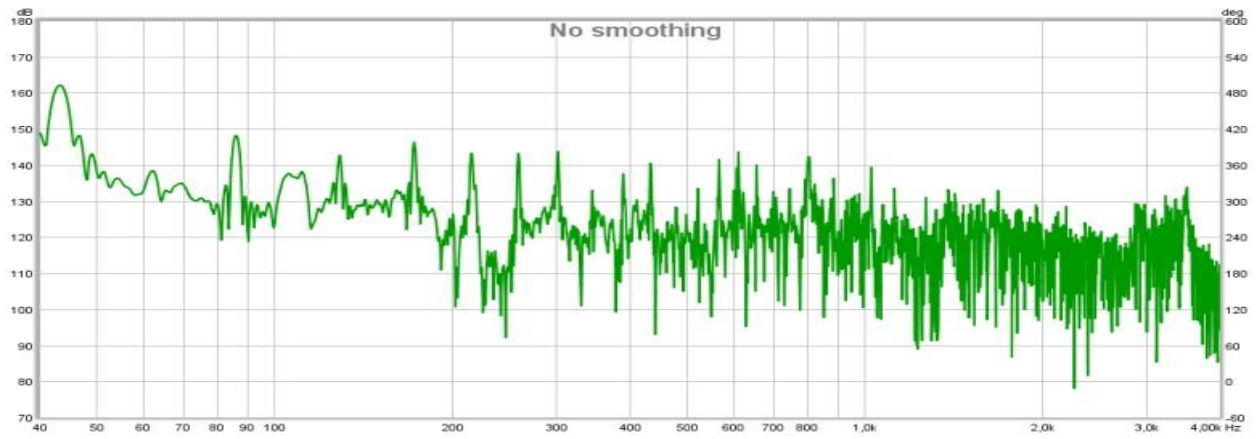
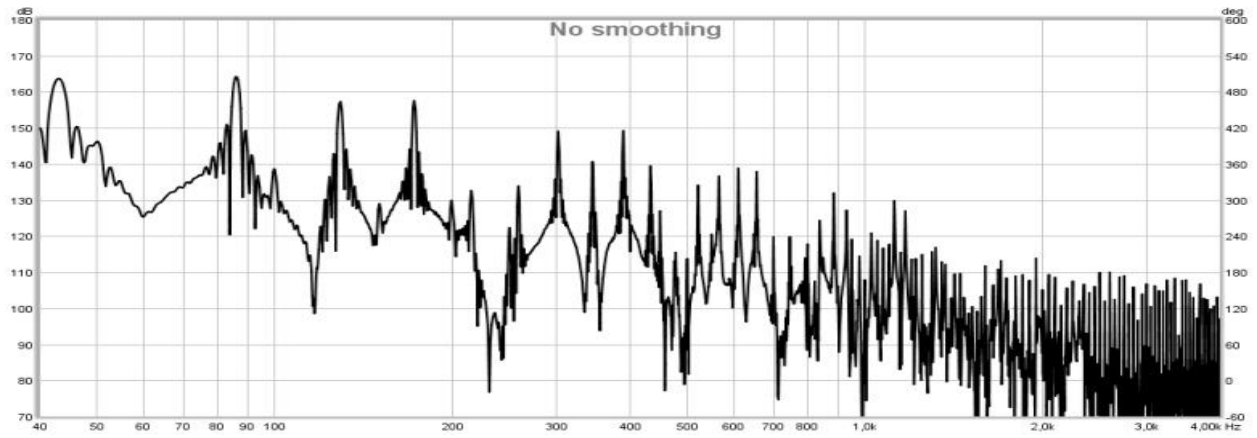
Σχήμα 3.50: $a_{2\delta 2}$.

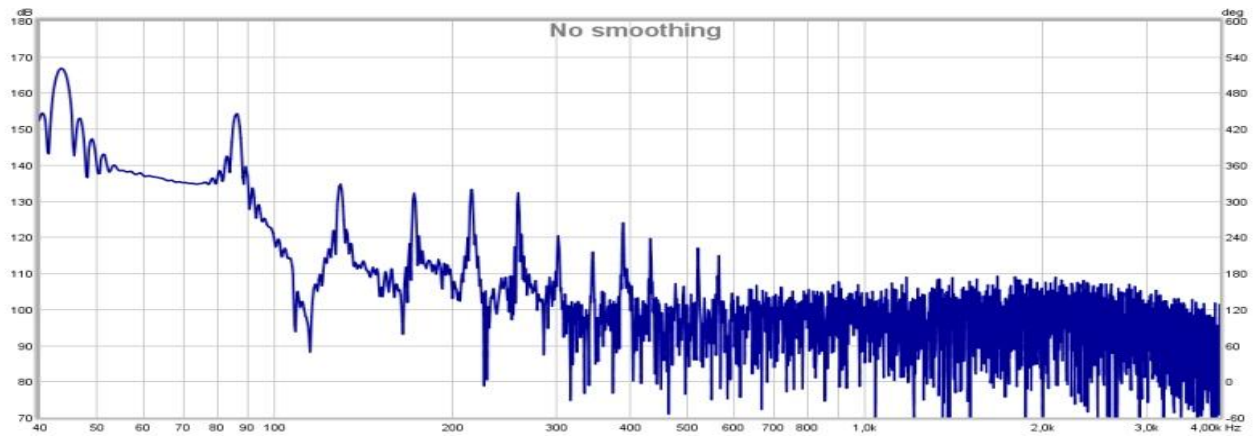
Στο Σχήμα 3.50 παρατηρείται ότι η απόκριση του μαγνήτη παρουσιάζει κάποιες ελαφρές αυξομειώσεις από τα 300 Hz και πάνω.

Στην απόκριση του μικροφώνου ξεχωρίζουν 11 μόνο αρμονικές και τα επίπεδα των στάθμεων έχουν αυξηθεί ελαφρώς σε σύγκριση με πριν.

Ο αισθητήρας παρουσιάζει μια πιο κυρτή απόκριση σε σχέση με αυτή που έχει συνήθως, παρά μόνο όταν η θέση λήψης πλησιάζει το κέντρο της χορδής και αυτό δεν συμβαίνει όλες τις φορές.

6) Θέση λήψης 3- θέση διέγερσης 2 ($a_{3\delta 2}$)



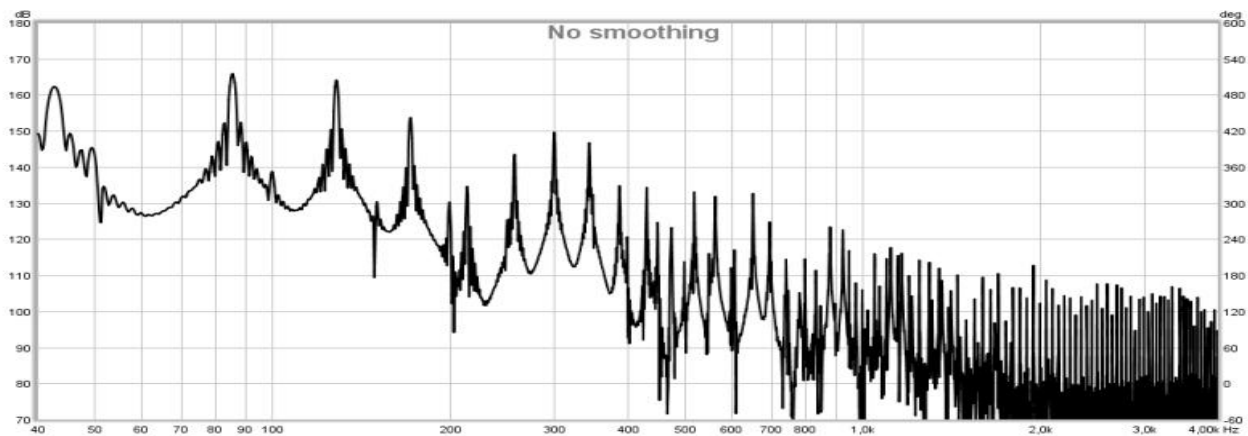


Σχήμα 3.51: $a3\delta2$.

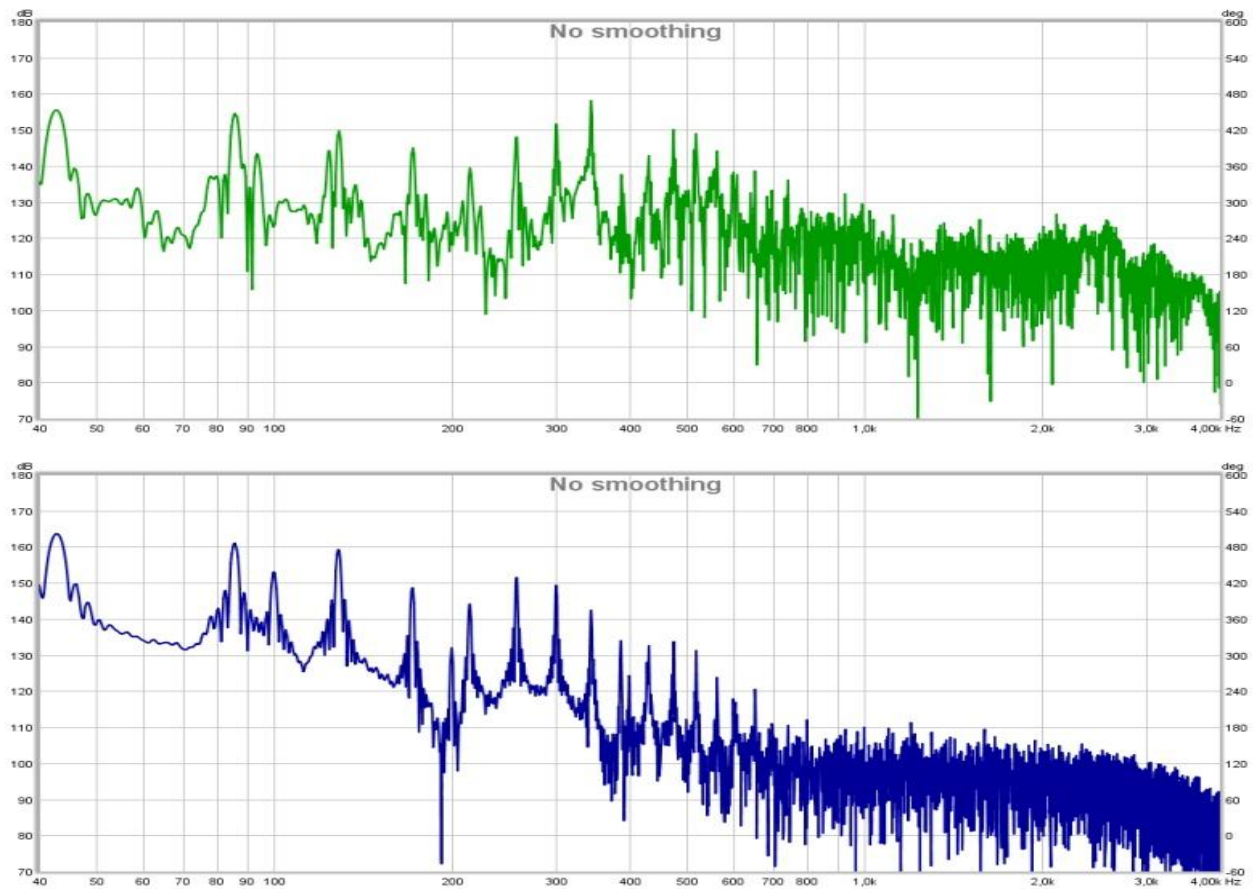
Στο Σχήμα 3.51 η 1η έως την 4η ιδιοσυχνότητα έχουν την ίδια ένταση με προηγούμενα δείγματα, ενώ οι υπόλοιπες παρουσιάζουν έντονες και ελαφρές αυξομειώσεις σε όλα το φάσμα.

Στην απόκριση του μικροφώνου φαίνεται ότι η περιοχή των 580-1k Hz έχει αυξημένη στάθμη, όπως κάθε φορά που η θέση λήψης είναι τρίτη, ενώ οι υπόλοιπες διατηρούν σχετικά σταθερά επίπεδα.

Ο αισθητήρας φαίνεται να παρουσιάζει πιο ιδιαίτερη συμπεριφορά σε αυτήν την περίπτωση. Η 1η και 2η ιδιοσυχνότητα είναι σημαντικά αυξημένες, ενώ οι υπόλοιπες είναι σημαντικά μειωμένες και από την 6η και μετά είναι ακόμη περισσότερο. Επίσης παρατηρείται μείωση του αριθμού των αρμονικών ο οποίος είναι συνήθως 14 με 15, ενώ τώρα είναι 11.



7) Θέση λήψης 1- θέση διέγερσης 3 ($a1\delta3$)



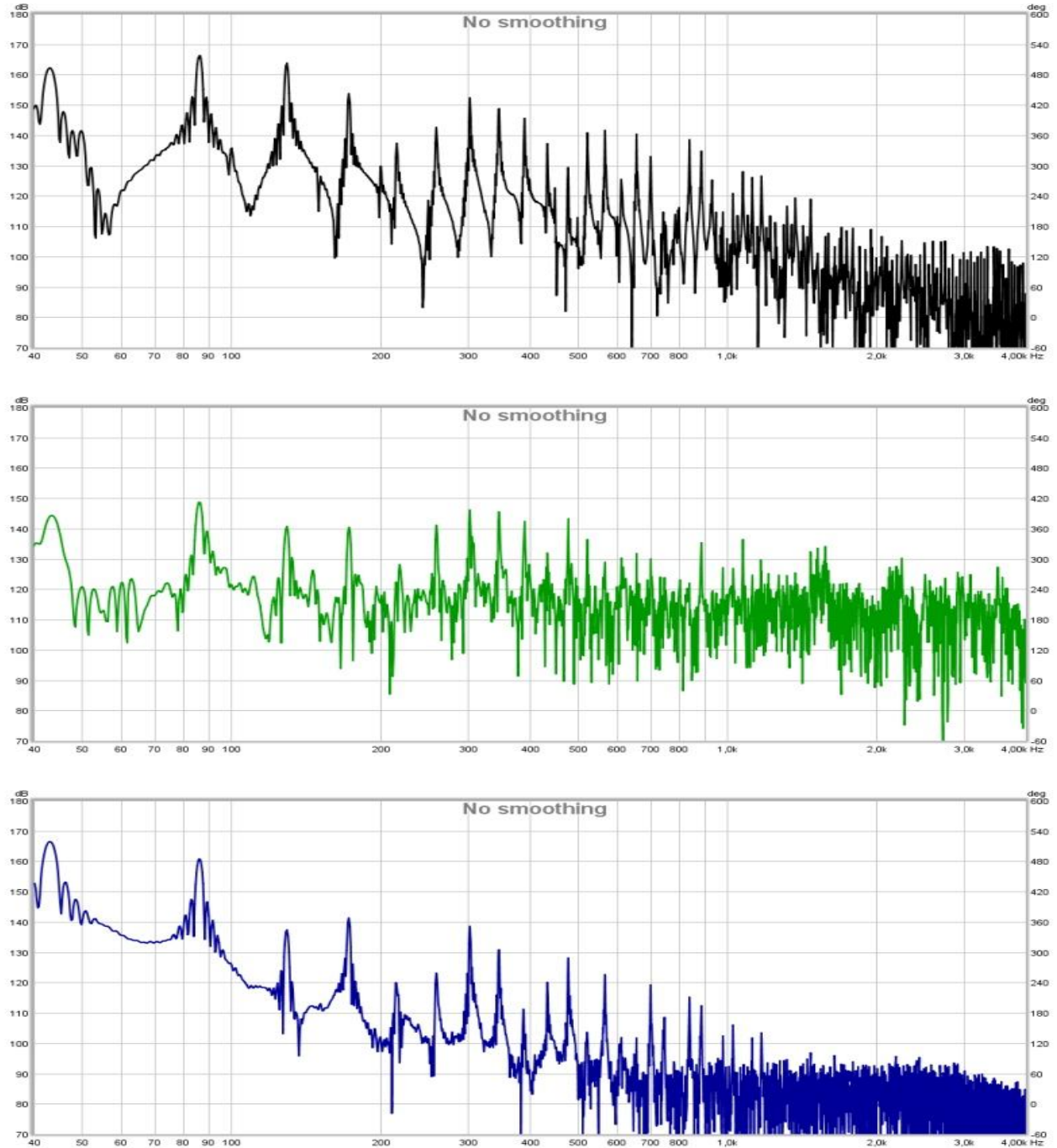
Σχήμα 3.52: α1δ3.

Στο Σχήμα 3.52 η συμπεριφορά δεν παρουσιάζει κάποια χαρακτηριστική διαφορά με τις προηγούμενες λήψεις και οι διαφορές σε σύγκριση με το μικρόφωνο και των αισθητήρα παραμένουν ίδιες.

Στην απόκριση του μικροφώνου παρουσιάζεται αύξηση όλων των ιδιοσυχνοτήτων και ακόμα μεγαλύτερη στην περιοχή των 250- 700 Hz.

Όσον αφορά την απόκριση του αισθητήρα, η συμπεριφορά είναι παρόμοια αυτή που παρουσιάζει στις περισσότερες λήψεις, αλλά οι στάθμες βρίσκονται σε υψηλότερα επίπεδα. Το γεγονός ότι η διέγερση γίνεται κοντά στο κέντρο της χορδής πιθανότατα να είναι ο πρωταρχικός παράγοντας.

8) Θέση λήψης 2- θέση διέγερσης 3 (α2δ3)

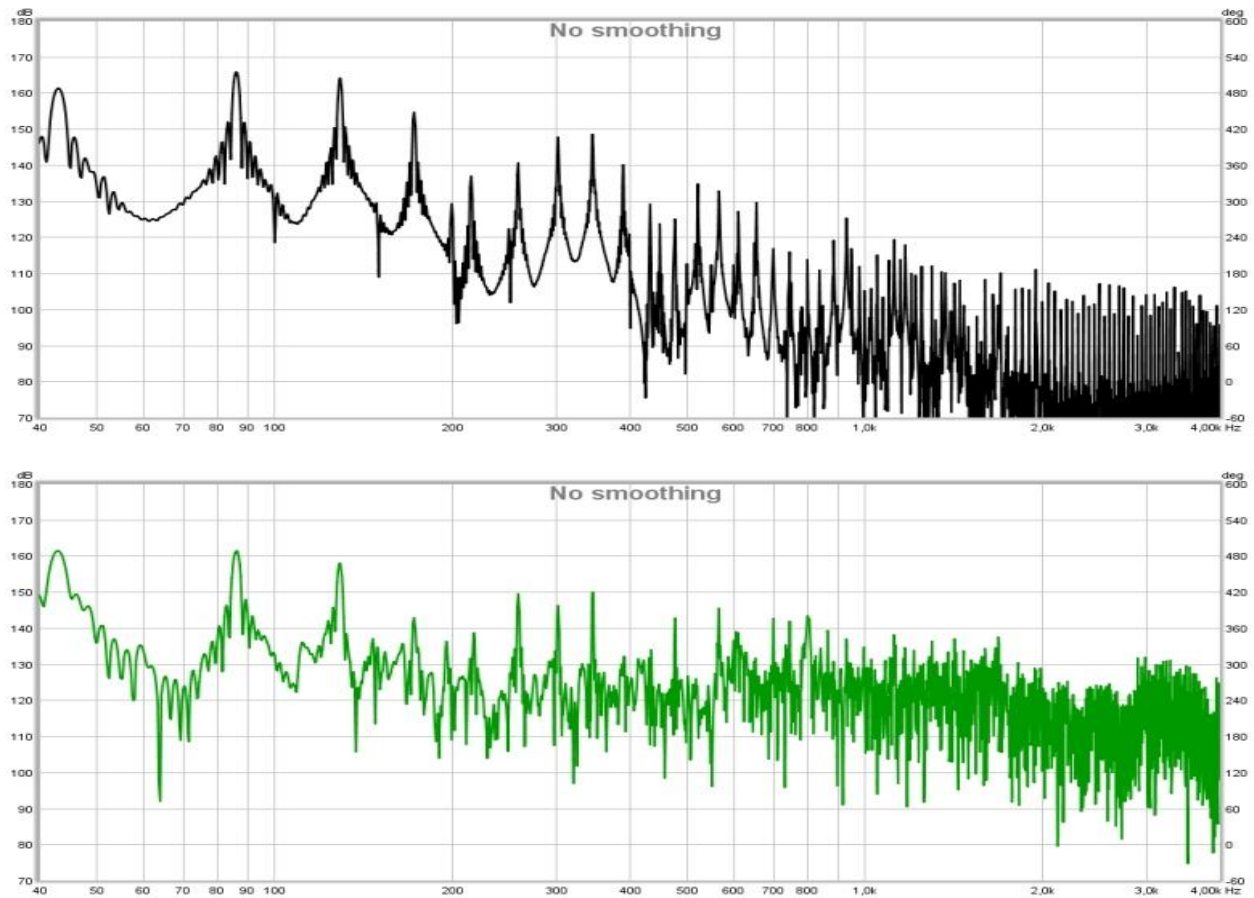


Σχήμα 3.53: α2δ3.

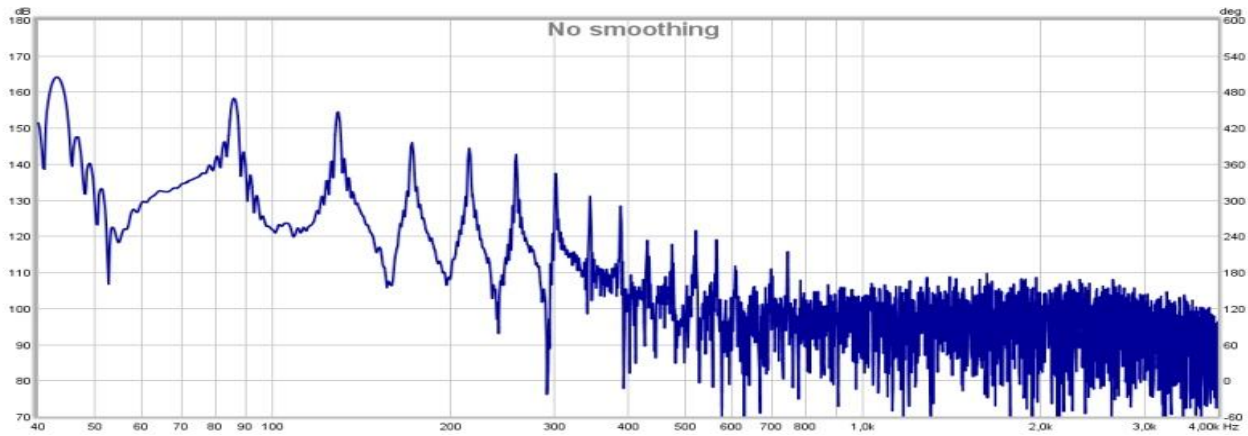
Στην απόκριση του μαγνήτη φαίνεται ότι η συχνотική περιοχή από 300-2k είναι σημαντικά αυξημένη σε σχέση με τις προηγούμενες λήψεις στις άλλες θέσεις, παρ' όλα αυτά, το σχήμα της απόκρισης κυμαίνεται στις ίδιες αναλογίες και δεν υπάρχουν δραστικές αλλαγές.

Στην απόκριση του μικροφώνου δεν φαίνεται να συμβαίνει κάτι αξιοσημείωτο. Παρόμοιες αναλογίες στις εντάσεις των ιδιοσυχνοτήτων όπως και σε προηγούμενα δείγματα.

Σε αντίθεση με τους τα άλλα μέσα ηχογράφησης, ο αισθητήρας παρουσιάζει σημαντική μείωση στις περισσότερες αρμονικές του, με αποτέλεσμα να ξεχωρίζουν πολύ περισσότερο η θεμέλιος, 1η-3η, 6η, 7η, 9η, 10η, 12η, 15η 16η, 17η, 18η. Επίσης, εμφανίζονται 18 αρμονικές, ενώ στα περισσότερα δείγματα από το μπάσο εμφανίζονται 12 με 14.



9) Θέση λήψης 3- θέση διέγερσης 3 (α3δ3)



Σχήμα 3.54: $a3\delta3$.

Στο Σχήμα 3.54 η απόκριση του μαγνήτη παρουσιάζει κάτι διαφορετικό με τα προηγούμενα δείγματα από το ίδιο μέσο και οι διαφορές που παρουσιάζει γενικότερα με τα άλλα δύο μέσα μένουν σχετικά σταθερά.

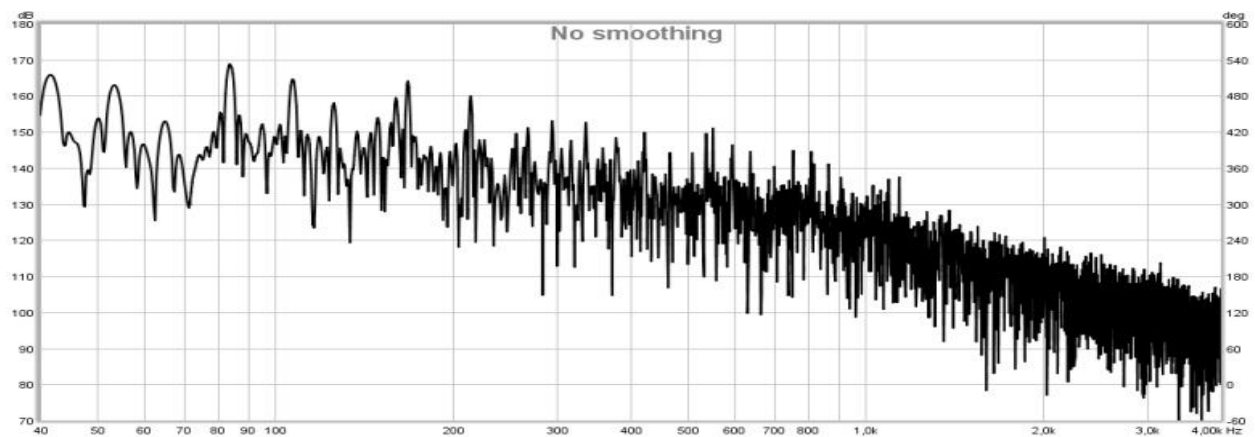
Στην απόκριση του μικροφώνου η θεμέλιος, 1η, 2η, 6η -8η και η 10η είναι αυτές που ξεχωρίζουν περισσότερο, ενώ οι υπόλοιπες έχουν πάρα πολύ χαμηλά επίπεδα στάθμεων.

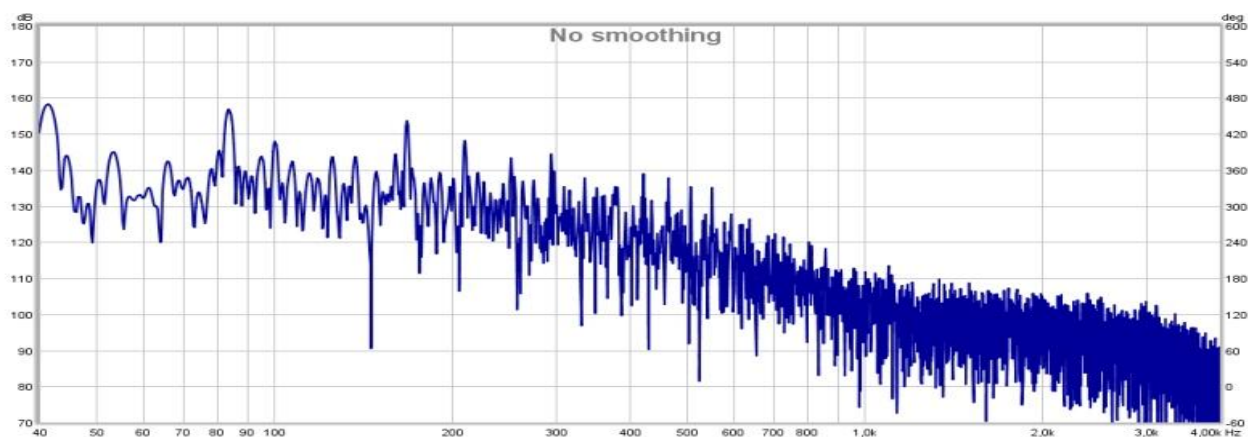
Ο αισθητήρας παρουσιάζει συμπεριφορά που έχει ξανα παρουσιάσει σε αυτή τη θέση.

3.2.5 Φασματική ανάλυση ηχητικών δειγμάτων από το ηλεκτρικό μπάσο με 2 χορδές

Σε αυτήν την ενότητα παρουσιάζονται τα συχνοτικά φάσματα των ηχητικών δειγμάτων που ηχογραφήθηκαν με το ηλεκτρικό μπάσο χρησιμοποιώντας την 4η χορδή(Mi) και την 3η(Λα). Τα φάσματα με μαύρο χρώματα είναι των δειγμάτων από τον μαγνήτη του μπάσου, με πράσινο αυτά από το μικρόφωνο και μπλε από τον οπτικό αισθητήρα.

1) Θέση λήψης 1- θέση διέγερσης 1 (α1δ1)

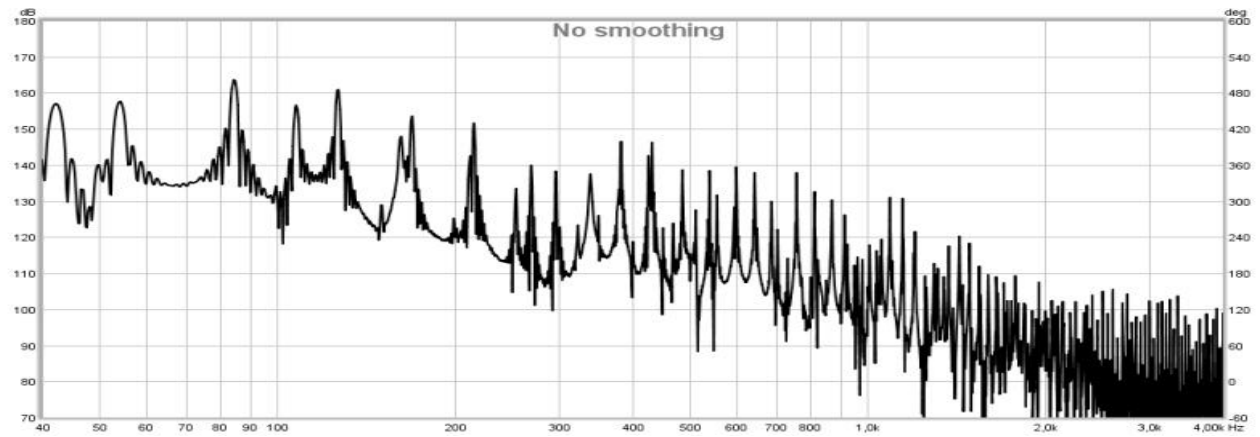




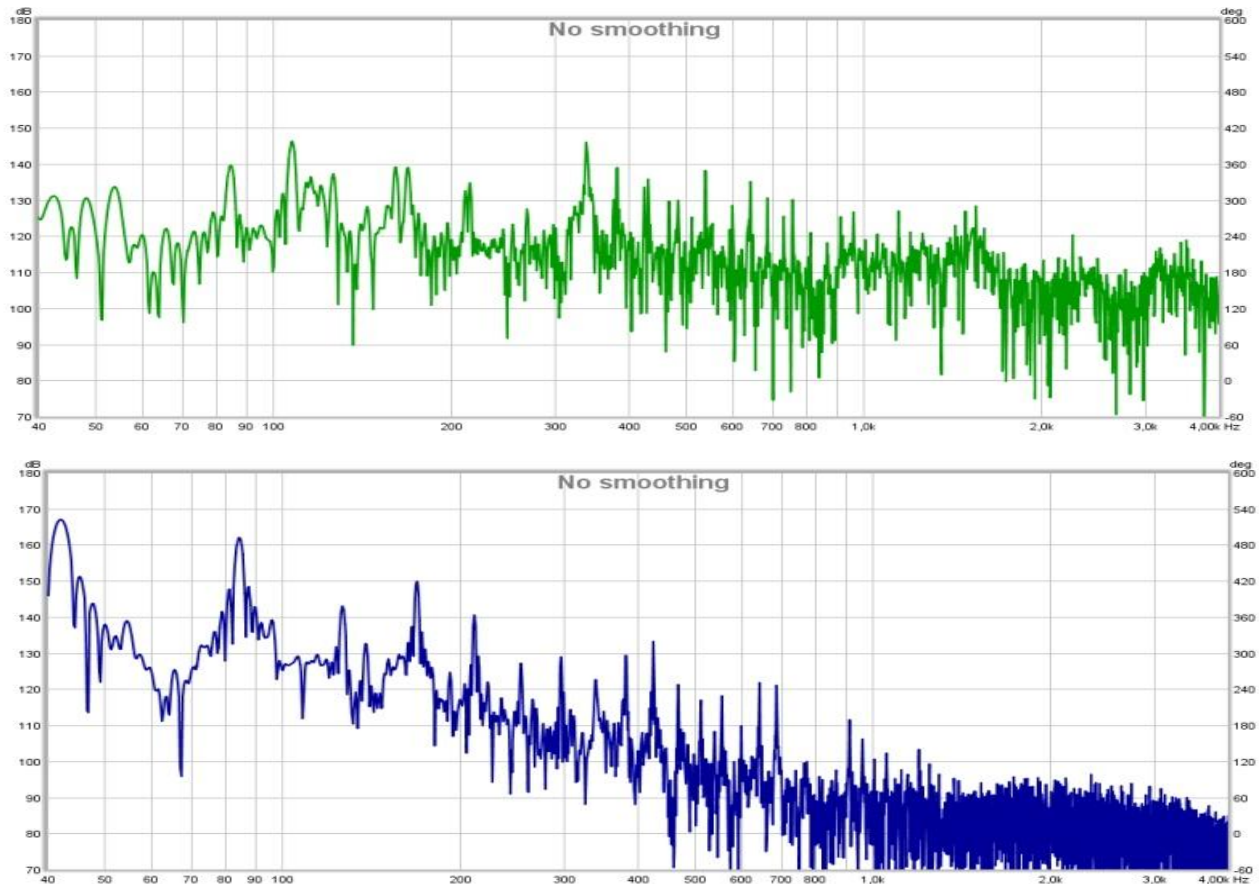
Σχήμα 3.55: *a1δ1*.

Στο Σχήμα 3.55 βλέπουμε ότι οι αποκρίσεις του μαγνήτη και αισθητήρα είναι τελείως διαφορετικές σε σχέση με τα δείγματα από τον μπάσο με μία χορδή. Εκτός από το γεγονός ότι υπάρχουν περισσότερες αρμονικές λόγω των δύο χορδών, στα σχήματά τους παρατηρείται ότι ο ρυθμός πτώσης της στάθμης καθώς αυξάνεται η συχνότητα είναι πολύ αργός και δεν υπάρχουν κυρτώματα. Επιπλέον, διεγείρονται πολλές περισσότερες συχνότητες κοντά στις αρμονικές και στις θεμέλιες και ιδιαίτερα στον αισθητήρα για τον οποίο αυτή είναι μια συμπεριφορά που δεν έχει ξανά δείξει. Στο φάσμα από τον μαγνήτη ξεχωρίζουν 27 ιδιοσυχνότητες, στον αισθητήρα 16 και στο μικρόφωνο 29.

Στην απόκριση του μικροφώνου βλέπουμε ότι το μικρόφωνο συμπεριφέρεται με παρόμοιο τρόπο με τις τα προηγούμενα δείγματα. Ωστόσο, παρουσιάζει περισσότερες αρμονικές και από τις δύο άλλες συσκευές και οι συχνότητες ανάμεσα στις ιδιοσυχνότητες έχουν χαμηλότερη στάθμη, με αποτέλεσμα οι αρμονικές να ξεχωρίζουν πολύ περισσότερο.



2) Θέση λήψης 2- θέση διέγερσης 1 (α2δ1)



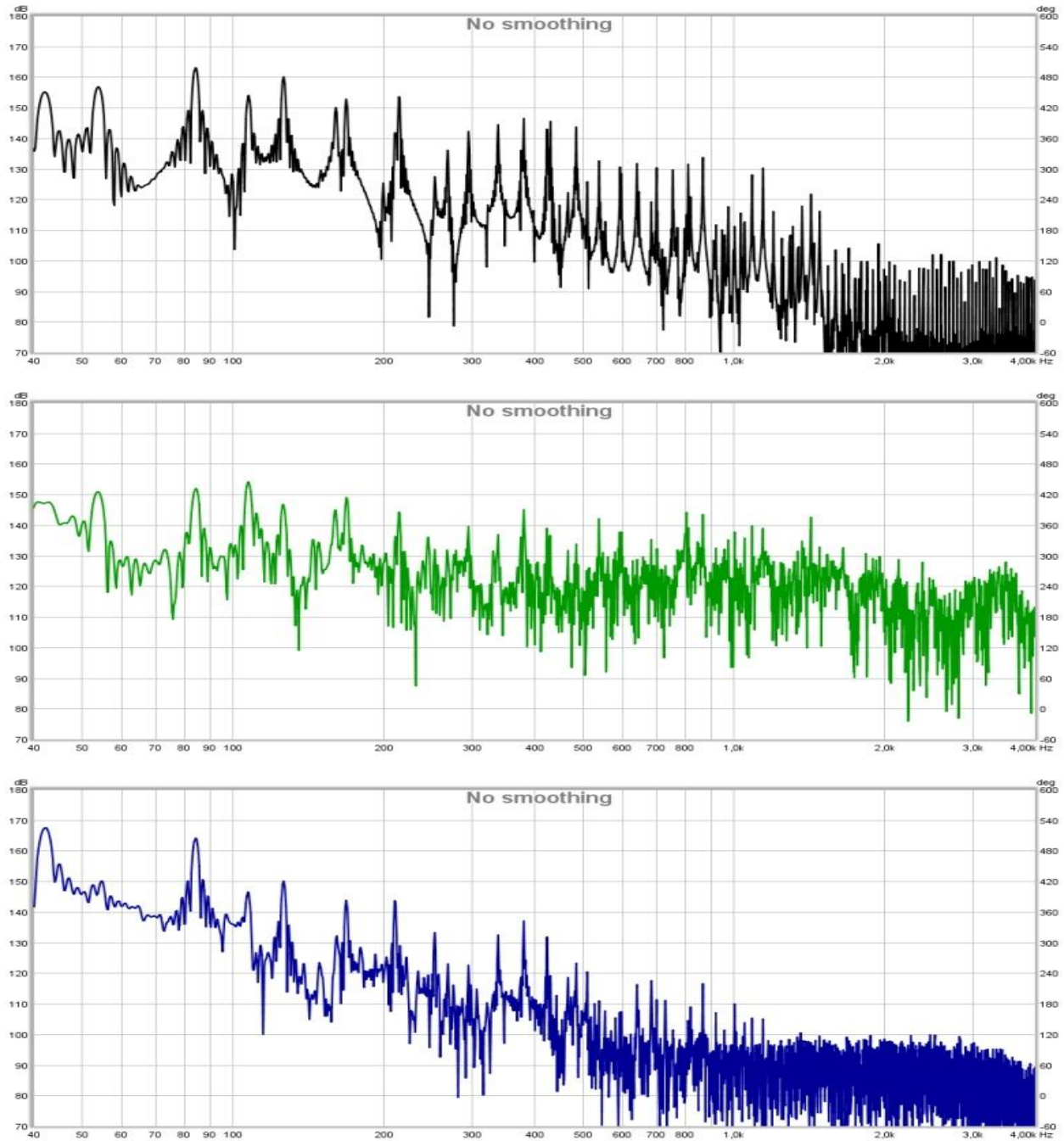
Σχήμα 3.56: α2δ1.

Στο Σχήμα 3.56 φαίνεται ότι ο μαγνήτης λαμβάνει τις συχνότητες ανάμεσα στις ιδιοσυχνότητες είναι σε πολύ χαμηλότερα επίπεδα σχετικά με πριν, με αποτέλεσμα οι θεμέλιες και οι αρμονικές να ξεχωρίζουν πολύ περισσότερο απ' όσο ξεχώριζαν στην προηγούμενη λήψη.

Στην απόκριση του μικροφώνου παρατηρείται ότι οι αρμονικές βρίσκονται στα ίδια περίπου επίπεδα και στην περιοχή των 340-1K Hz παρουσιάζονται έντονες αυξομειώσεις διαφορετικές με πριν.

Στο φάσμα που λαμβάνει ο αισθητήρας παρατηρείται παρόμοια συμπεριφορά με το μαγνήτη, δηλαδή υπάρχει μείωση των στάθμων των συχνοτήτων ανάμεσα στις ιδιοσυχνότητες. Ωστόσο, οι θεμέλιες και οι αρμονικές δεν έμειναν περίπου στα ίδια επίπεδα όπως στην απόκριση του μαγνήτη. Ιδιαίτερα στην περιοχή των 200-600 Hz υπάρχει μείωση της έντασης, ενώ στις χαμηλότερες περιοχές δεν υπάρχει.

3) Θέση λήψης 3- θέση διέγερσης 1 (α3δ1)

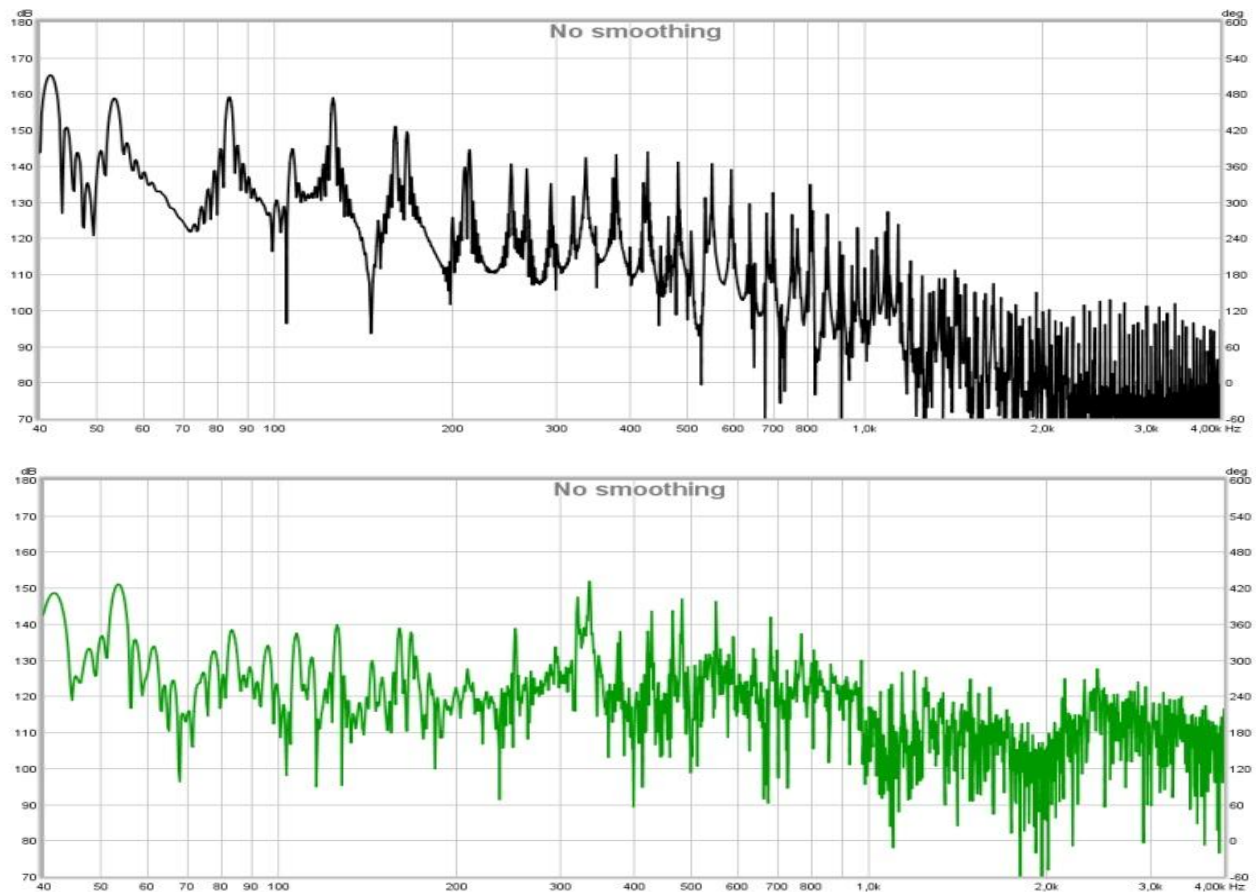


Σχήμα 3.57: α3δ1.

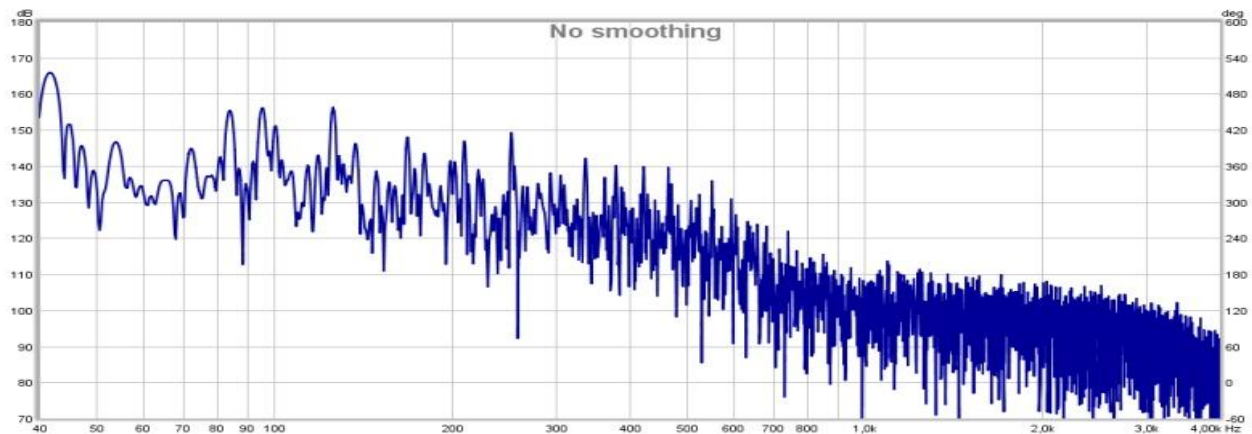
Στην απόκριση του μαγνήτη παρατηρείται ελάχιστη διαφορά με την προηγούμενη λήψη. Πιο συγκεκριμένα, η περιοχή περίπου 240-900 Hz παρουσιάζει διαφορές στις αναλογίες μεταξύ των εντάσεων των αρμονικών.

Στην απόκριση του μικροφώνου φαίνεται να παρουσιάζει μια πιο flat συμπεριφορά και οι θεμέλιες είναι πιο έντονες σε σχέση με άλλα δείγματα και οι θεμέλιες είναι υψηλότερα επίπεδα.

Στην ανάλυση του δείγματος του αισθητήρα παρατηρείται ελάχιστη διαφορά, δηλαδή τα επίπεδα των εντάσεων και ο ρυθμός πτώσης της στάθμης με την αύξηση της συχνότητας είναι παρόμοιος. Ωστόσο, παρατηρείται διαφορές στις αναλογίες μεταξύ των εντάσεων των ιδιοσυχνοτήτων.



4) Θέση λήψης 1- θέση διέγερσης 2 (α1δ2)

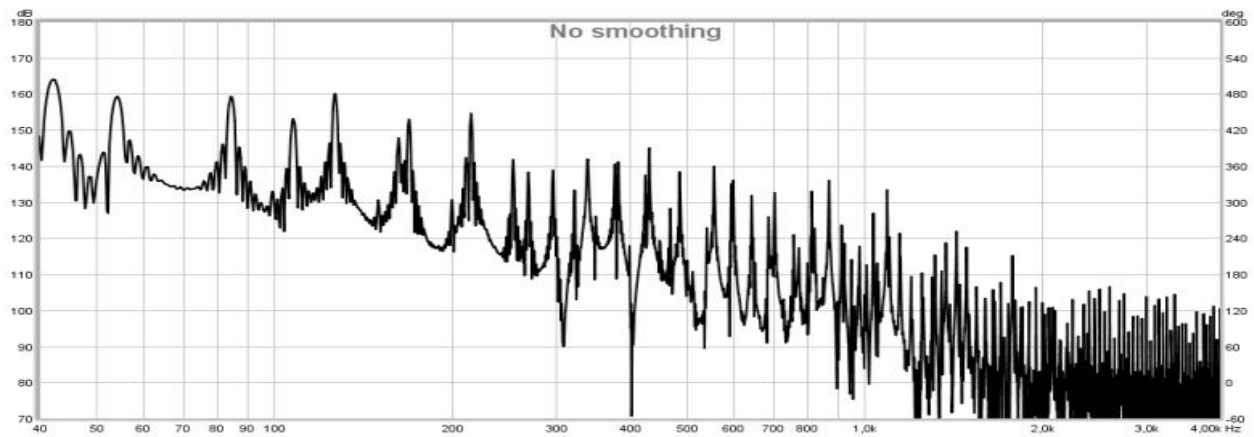


Σχήμα 3.58: $a_{1δ2}$.

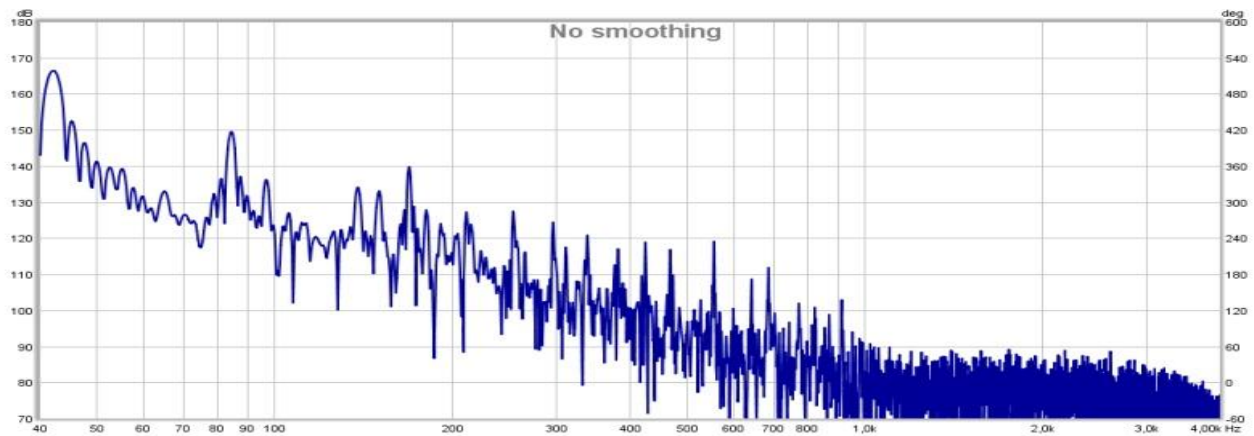
Στο Σχήμα 3.58 παρατηρείται ότι το φάσμα του μαγνήτη δεν διαφέρει από αυτό που παρουσιάζει τις περισσότερες φορές. Σε σχέση με πριν, η πτώση στάθμης είναι πιο ομαλή καθώς αυξάνεται η συχνότητα, ενώ στο προηγούμενο δείγμα ήταν ομαλή μέχρι κάποιο σημείο, μετά έπεφτε απότομα και στη συνέχεια συνέβαινε το ίδιο. Επιπλέον, οι θεμέλιες βρίσκονται σε υψηλότερα επίπεδα από τις αρμονικές, ενώ τις περισσότερες φορές οι τρεις πρώτες έχουν μεγαλύτερη ένταση.

Η απόκριση του μικροφώνου επίσης παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά με τις περισσότερες λήψεις, αλλά η εντάσεις της συχνοτικής περιοχής των 220-800 Hz είναι σημαντικά αυξημένες.

Οι εντάσεις και οι αναλογίες των ιδιοσυχνοτήτων στην απόκριση του αισθητήρα παρουσιάζουν αμελητέα διαφορά, αλλά οι συχνότητες ανάμεσα στις ιδιοσυχνότητες παρουσιάζουν μεγάλη αύξηση.



5) Θέση λήψης 2- θέση διέγερσης 2 (α2δ2)



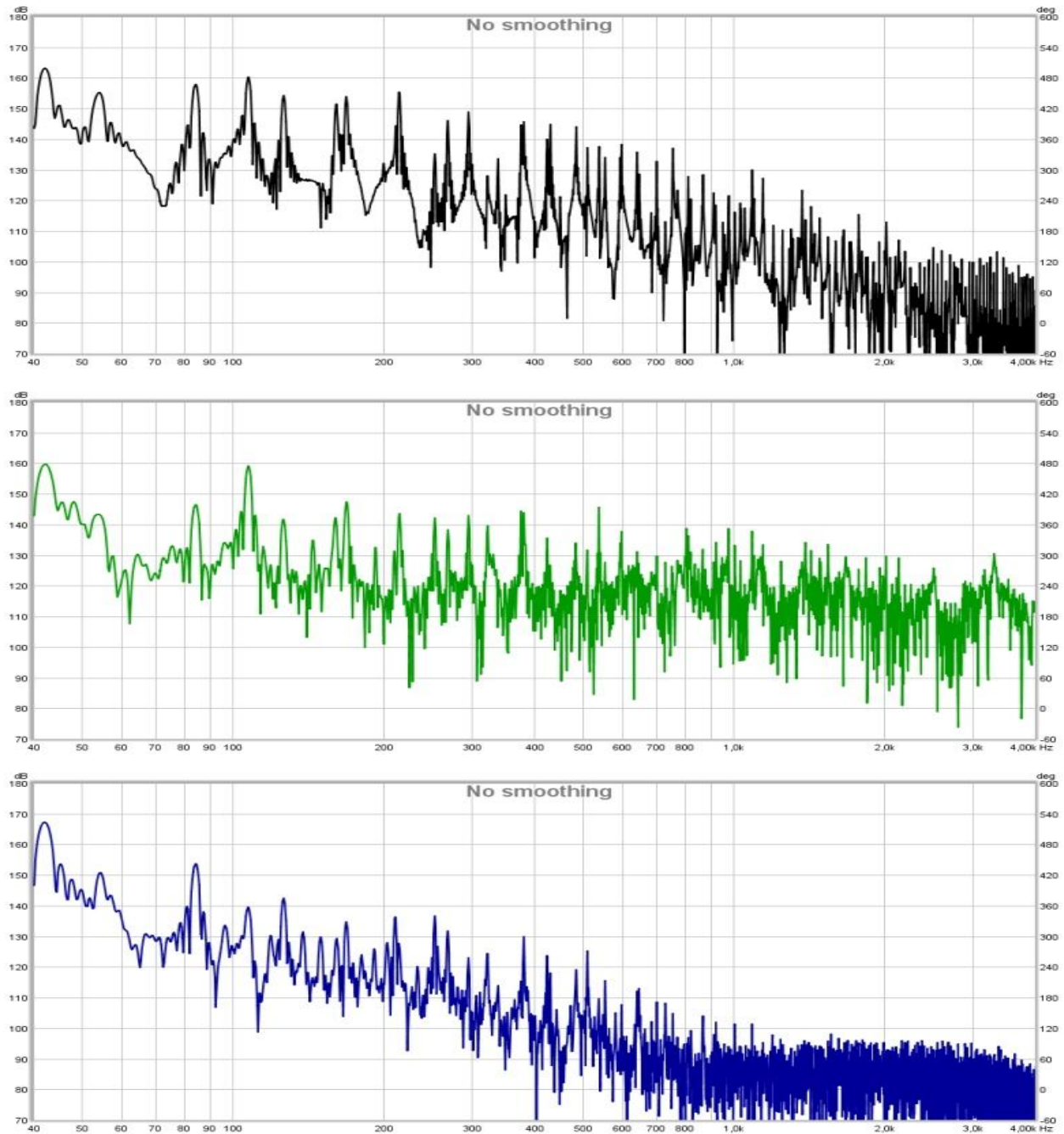
Σχήμα 3.59: α2δ2.

Στο Σχήμα 3.59 φαίνεται ότι ο μαγνήτης έχει την ίδια συμπεριφορά με τα περισσότερα δείγματα και δεν υπάρχει αξιόλογο.

Η απόκριση του μικροφώνου είναι η πιο flat που έχει προκύψει μέχρι τώρα. Επιπλέον, οι αρμονικές ξεχωρίζουν αρκετά και από τις θεμέλιες μόνο η 1η ξεχωρίζει και έχει τη μεγαλύτερη ένταση σε σχέση με τις υπόλοιπες ιδιοσυχνότητες, ενώ η 2η δεν ξεχωρίζει.

Ο αισθητήρας έχει ξανά παρουσιάσει τέτοια συμπεριφορά, δηλαδή η πτώση στάθμης καθώς αυξάνεται η συχνότητα είναι πιο γρήγορη σε σχέση με την πιο συχνή απόκριση που παρουσιάζει και επιπλέον, η 2η θεμέλιος δεν ξεχωρίζει καθόλου.

6) Θέση λήψης 3- θέση διέγερσης 2 (α3δ2)

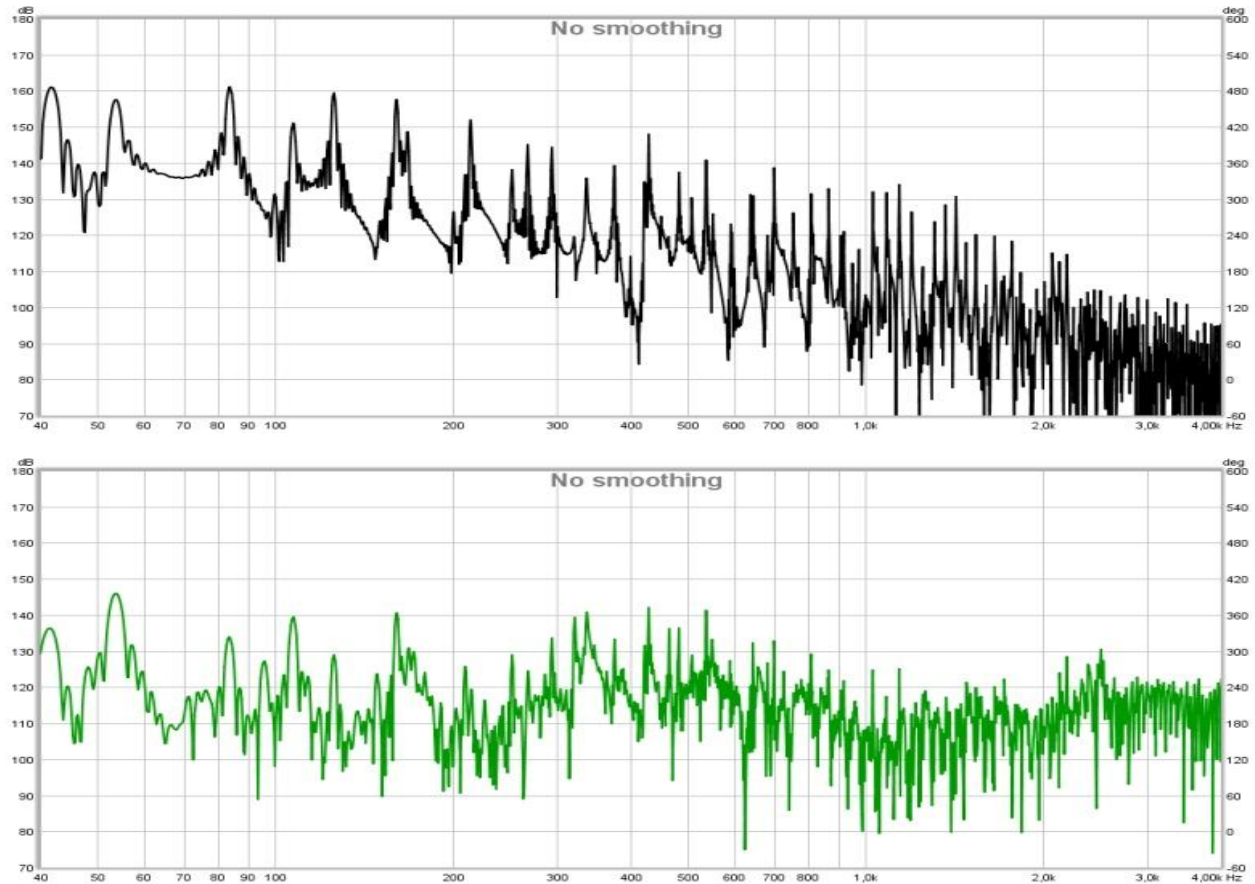


Σχήμα 3.60: $a3\delta2$.

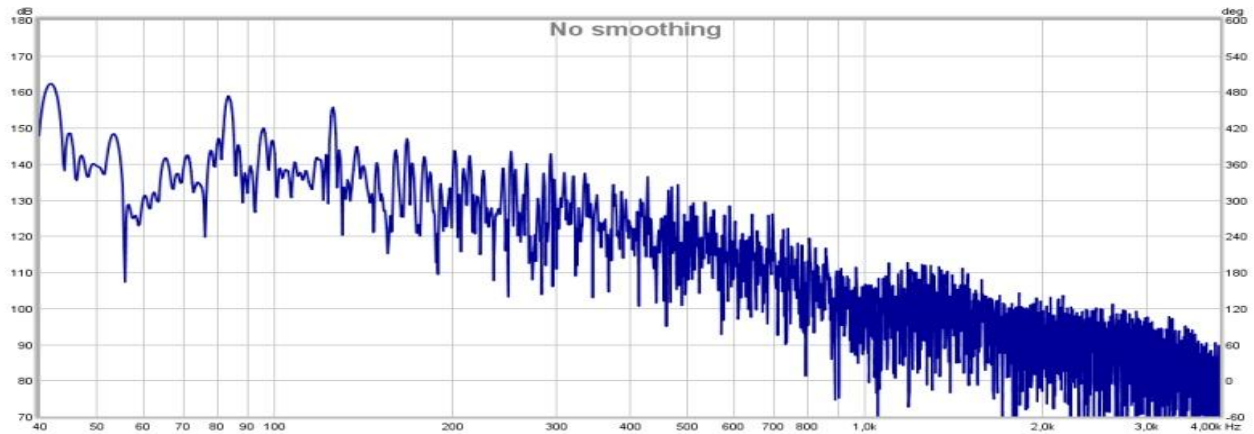
Στην απόκριση του μαγνήτη στο Σχήμα 3.60 παρατηρείται αμελητέα. Η πτώση έντασης με την αύξηση της συχνότητας είναι σταθερή και ομαλή και ο αριθμός των αρμονικών παραμένει ίδιος.

Η απόκριση του μικροφώνου είναι παρόμοια με αυτήν του προηγούμενου δείγματος, αλλά οι πρώτες τέσσερις ιδιοσυχνότητες παρουσιάζουν σημαντική αύξηση.

Στο φάσμα που προέκυψε από τη λήψη με τον αισθητήρα παρατηρείται αύξηση του αριθμού των αρμονικών στις 30, ενώ σε προηγούμενα δείγματα παρουσιάζονται περίπου 16 με 18. Επιπλέον. Η 1η θεμέλιος συχνότητα έχει πολύ υψηλότερη στάθμη σε σχέση και με τις υπόλοιπες ιδιοσυχνότητες σε αυτή τη λήψη, αλλά και στις προηγούμενες. Ωστόσο, οι υπόλοιπες αρμονικές έχει αρκετά χαμηλότερη ένταση συγκριτικά με προηγούμενα δείγματα του αισθητήρα και των άλλων συσκευών και η πτώση της έντασης είναι πιο γρήγορη.



7) Θέση λήψης 1- θέση διέγερσης 3 (α1δ3)



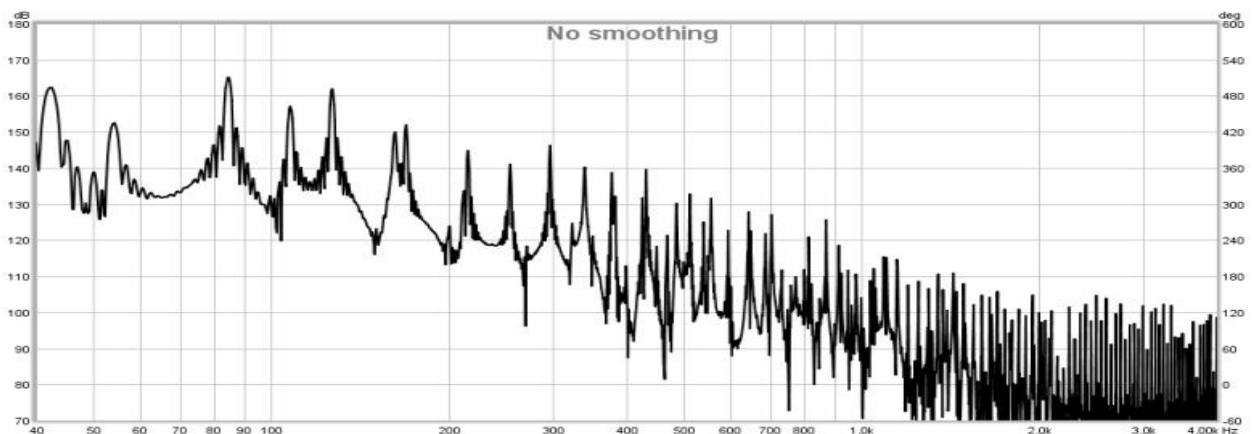
Σχήμα 3.61: $a1δ3$.

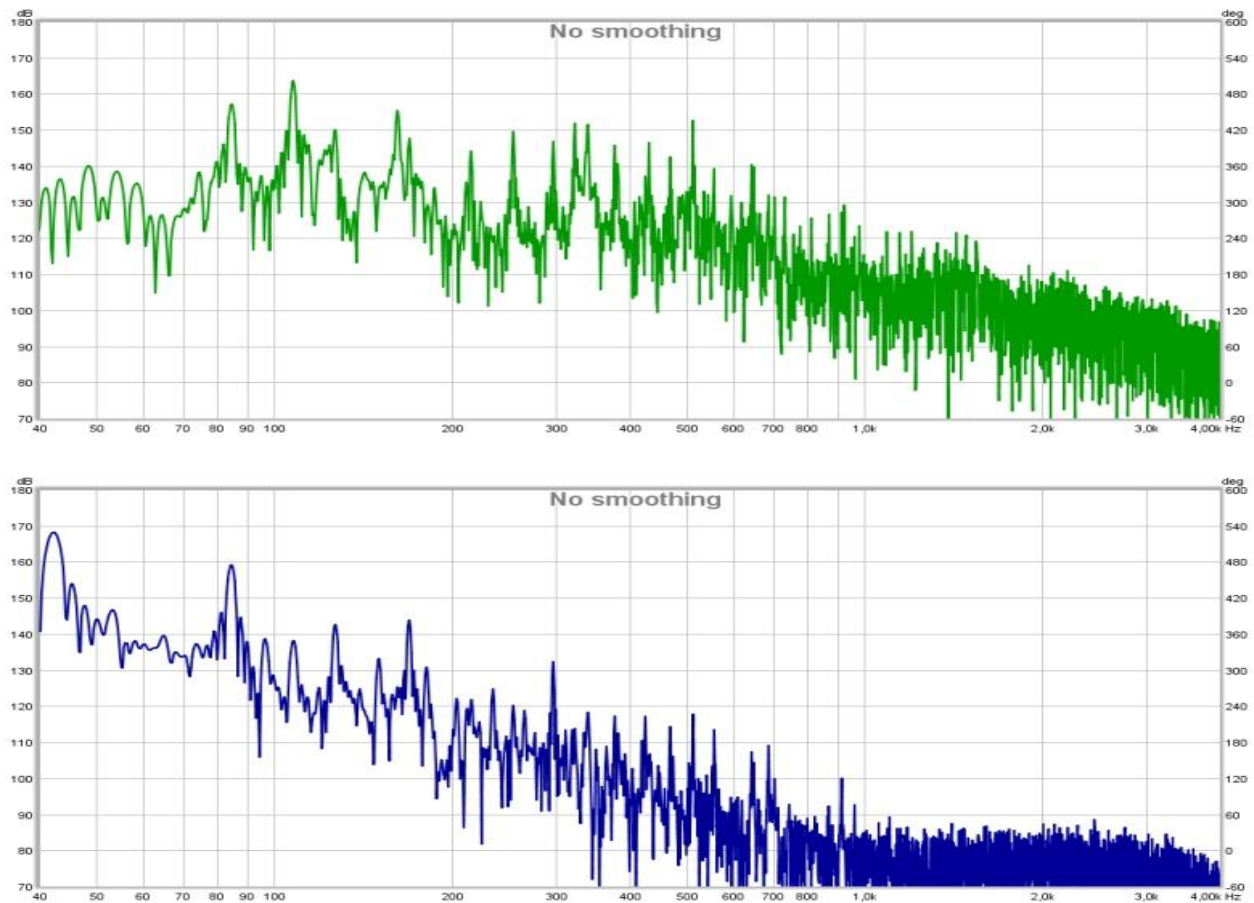
Στο συχνοτικό φάσμα που προέκυψε από τον μαγνήτη παρατηρείται σημαντική αύξηση στη στάθμη της περιοχής του 1K με 2K Hz, ενώ οι υπόλοιπες αρμονικές διατηρούν σχεδόν σταθερά επίπεδα. Η συγκεκριμένη αύξηση δεν έχει παρατηρηθεί ξανά σε λήψεις στη θέση 1.

Στο δείγμα του μικροφώνου φαίνεται ότι η περιοχή των 300-700 Hz είναι αρκετά ενισχυμένη, όπως σε κάθε λήψη στη θέση 1, ενώ οι προηγούμενες συχνότητες είναι χαμηλότερες σε ένταση.

Ο αισθητήρας παρουσιάζει ιδιαίτερη συμπεριφορά σε αυτήν την περίπτωση, καθώς όλες οι ιδιοσυχνότητες βρίσκονται σε επίπεδα που πλησιάζουν αυτά του θορύβου και μόνο τρεις ιδιοσυχνότητες: η θεμέλιος της 4ης χορδής και οι πρώτες δύο αρμονικές της ξεχωρίζουν, ενώ η θεμέλιος της 3ης χορδής και όλες οι αρμονικές της έχουν πολύ χαμηλές στάθμες.

8) Θέση λήψης 2- θέση διέγερσης 3 ($a2δ3$)





Σχήμα 3.62: a2δ3.

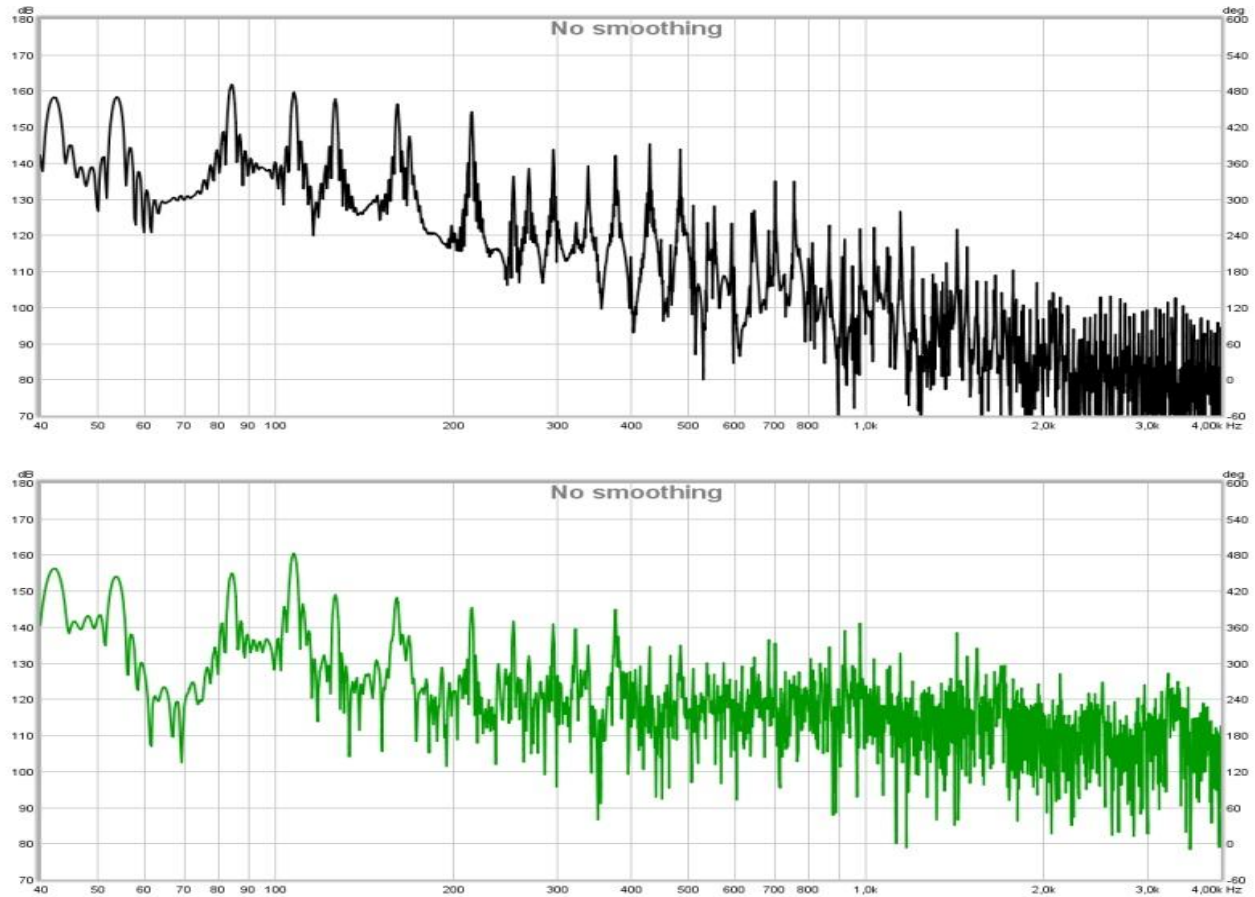
Στο Σχήμα 3.62 δεν παρατηρείται ιδιαίτερη διαφορά στην απόκριση του μαγνήτη. Οι αναλογίες των εντάσεων των ιδιοσυχνοτήτων είναι σχετικά σταθερές και οι διαφορές με τις αποκρίσεις των άλλων μέσων παραμένουν ίδιες.

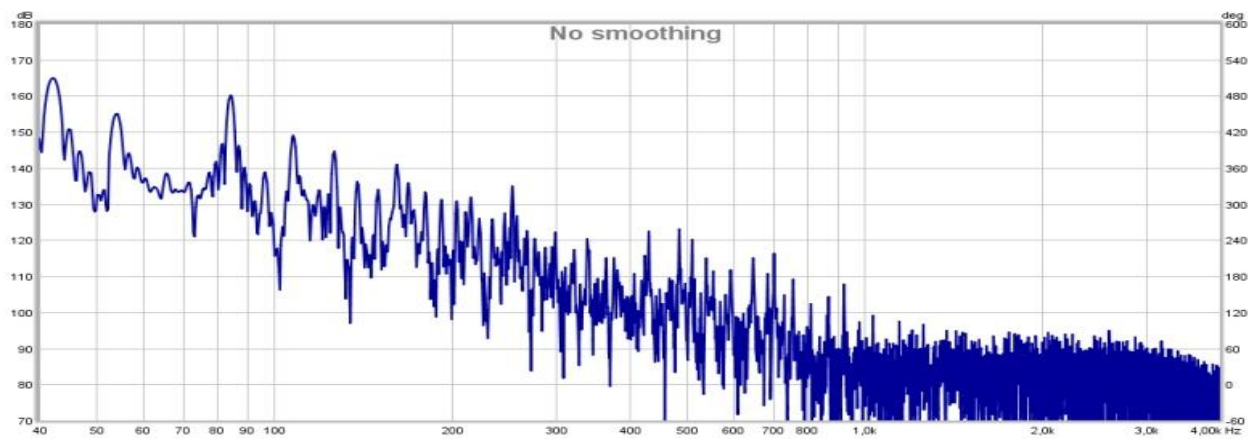
Ωστόσο, στη συγκεκριμένη περίπτωση η απόκριση του μικροφώνου είναι τελείως διαφορετική με οποιαδήποτε άλλη απόκριση σε όλα τα συστήματα με χορδή που έχουν χρησιμοποιηθεί έως τώρα. Οι θεμέλιες συχνότητες παρουσιάζουν σημαντική πτώση ενώ οι πρώτες του αρμονικές έχουν την υψηλότερη στάθμη. Επιπλέον, η περιοχή των 600-2K Hz είναι πολύ μειωμένη και η πτώση έντασης καθώς αυξάνεται η συχνότητα είναι παρόμοια με αυτήν που παρουσιάζει ο μαγνήτης, ενώ σε όλα τα προηγούμενα δείγματα οι αποκρίσεις είναι πιο flat και περιοχές των μεσαίων συχνοτήτων με εύρος περίπου 500 με 1K Hz ξεχωρίζουν περισσότερο.

Όσον αφορά τον αισθητήρα, η συμπεριφορά του έχει παρουσιαστεί και σε άλλα δείγματα όπου η λήψη έγινε στη θέση 2. Η θεμέλιος της 4η χορδής επικρατεί, καθώς και οι τρεις

αρμονικές που φαίνονται στο σχήμα, ενώ η θεμέλιος της 3ης χορδής ανιχνεύεται ελάχιστα και οι αρμονικές της βρίσκονται σε χαμηλότερες στάθμες σε σχέση με αυτές της 4η χορδής.

9) Θέση λήψης 3- θέση διέγερσης 3 (α3δ3)





Σχήμα 3.63: $a3d3$.

Η απόκριση του μαγνήτη στο Σχήμα 3.63 δεν αποτελεί εξαίρεση της συνήθους συμπεριφοράς του μαγνήτη. Η διαφορά με τις άλλες λήψεις στην ίδια θέση αλλά σε άλλο σημείο διέγερσης είναι η αναλογία των εντάσεων των αρμονικών μεταξύ τους. Η διαφορά είναι πιο έντονη συγκριτικά με την περίπτωση όπου η θέση διέγερσης είναι η πρώτη.

Στο φάσμα του μικροφώνου φαίνεται ότι οι πρώτες έξι ιδιοσυχνότητες ξεχωρίζουν αρκετά, ενώ οι υπόλοιπες βρίσκονται σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Επιπλέον, η συγκεκριμένη απόκριση είναι η πιο flat που έχει προκύψει έως τώρα.

Όσον αφορά τον αισθητήρα, στην απόκριση παρατηρείται σημαντική αύξηση της στάθμης της 2ης θεμελίου, ενώ στις υπόλοιπες λήψεις με δύο χορδές στο μπάσο η έντασή της είναι ελάχιστη. Παρ' όλα αυτά, η συμπεριφορά αυτή είναι παρόμοια με τις προηγούμενες λήψεις με δύο χορδές στο μπάσο.

3.3 Συμπεράσματα

Μελετώντας όλα τα δείγματα από τις ηχογραφήσεις στις διάφορες θέσεις διέγερσης και λήψης προκύπτουν κάποια συμπεράσματα ως προς τη λειτουργία των αισθητήρων που χρησιμοποιήθηκαν για το πείραμα και την εξάρτηση του προκύπτοντος συχνοτικού φάσματος από τη θέση λήψης και διέγερσης.

Οι μαγνήτες της κιθάρας και του μπάσου λάμβαναν τις περισσότερες αρμονικές σε σχέση με τους άλλους αισθητήρες με διαφορά άνω των 15 τις περισσότερες φορές. Επιπλέον, παρατηρήθηκε μεγάλη ευαισθησία στις χαμηλές συχνότητες και στο μεγαλύτερο αριθμό των αποτελεσμάτων οι θεμέλιες και οι αρμονικές από 1 έως 6 είχαν τη υψηλότερη στάθμη. Στις χαμηλές μεσαίες συχνότητες η στάθμη χαμηλώνει αρκετά, αλλά η πτώση της έντασης είναι

σχετικά ομαλή. Ωστόσο, οι αναλογίες των εντάσεων διέφεραν με την αλλαγή της θέσης του διακόπτη στην περίπτωση της ηλεκτρικής κιθάρας, διατηρώντας όμως την ομαλή καμπυλότητα της απόκρισης. Στη μεσαία συχνοτική περιοχή μειώνεται ακόμα περισσότερο με έντονες διαφορές εντάσεων μεταξύ των αρμονικών. Στις υψηλές μεσαίες διατηρείται περίπου ο ίδιος ρυθμός πτώσης της στάθμης και στην περίπτωση της ηλεκτρικής κιθάρας είναι η περιοχή που επηρεάζεται περισσότερο από τη θέση του διακόπτη των μαγνητών. Στις υψηλές συχνότητες και πιο συγκεκριμένα πάνω από τα 6 kHz δεν υπάρχει κάποια αρμονική συχνότητα και επικρατεί ο θόρυβος.

Ο αισθητήρας εκπομπής-λήψης υπερύθρων ανιχνεύει λιγότερες αρμονικές από τους μαγνήτες (σχεδόν 10 σε μία χορδή και παραπάνω από 15 σε δύο χορδές) με μέγιστο εύρος συχνοτήτων 6 kHz. Πάνω από αυτό το όριο επικρατεί ο θόρυβος. Παρατηρήθηκε επίσης ότι ο αισθητήρας έχει μεγάλη ευαισθησία στις χαμηλές συχνότητες. Στις χαμηλές μεσαίες η στάθμη χαμηλώνει σχηματίζοντας μια καμπύλη με ομαλό ρυθμό πτώσης της έντασης που διατηρείται σχεδόν σε όλα τα προκύπτοντα συχνοτικά φάσματα από την κιθάρα. Η καμπυλότητα των φασμάτων, όμως αλλάζει στα φάσματα από το μπάσο και γίνεται πιο απότομη. Επίσης, ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι εμφανίζονται πολλές ομοιότητες με φάσματα που προέκυψαν από τον μαγνήτη στη θέση του λαιμού και στο μπάσο όταν η λήψη γίνεται στην 3η θέση. Επιπλέον, τις υψηλότερες στάθμες έχουν οι θεμέλιες συχνότητες και στις περιπτώσεις με δύο χορδές εμφανίζεται μία χαμηλή αρμονική της θεμελίου της 6ης χορδής(περίπου στα 36 Hz) που δεν παράγεται από τις ταλαντώσεις της. Ωστόσο, ο αισθητήρας έχει ένα βασικό μειονέκτημα: το σήμα του προέρχεται από τη μετατροπή της διαφοράς έντασης της σκιάς που προκαλεί η κίνηση της χορδής σε αναλογικό σήμα, κι έτσι από την ίδια του τη λειτουργία συνεπάγεται ότι όσο μεγαλύτερος ο αριθμός των χορδών που βρίσκονται μέσα στην περιοχή εκπομπής-λήψης, τόσο μεγαλύτερη η απώλεια συχνοτικού περιεχομένου. Αυτό συμβαίνει, διότι η σκιά των λεπτότερων χορδών πέφτουν πάνω στις μεγαλύτερης διαμέτρου χορδών των οποίων οι σκιάς είναι εντονότερες, με αποτέλεσμα να μην καταγράφεται το σήμα από τις λεπτότερες χορδές όπως θα καταγραφόταν σε περίπτωση που δεν υπήρχε άλλη χορδή.

Όσον αφορά το μικρόφωνο, οι αποκρίσεις του είναι τελείως διαφορετικές σε σύγκριση με τους υπόλοιπους αισθητήρες. Τα συχνοτικά φάσματα που προέκυψαν από τη λήψη με το μικρόφωνο παρουσιάζουν τις λιγότερες αρμονικές και τα αποτελέσματα από τις λήψεις είναι τα πιο αναμενόμενα. Πιο συγκεκριμένα, οι συχνότητες με τις υψηλότερες στάθμες είναι πάντα οι θεμέλιες και σε αρκετές λήψεις οι αρμονικές από τη 2η έως την 4η. Παράλληλα, στις περισσότερες περιπτώσεις οι συχνοτικές περιοχές που βρίσκονται η 10η αρμονική έως 21 έχουν υψηλότερη στάθμη σε σχέση με τις υπόλοιπες και αρκετές φορές την υψηλότερη σε ολόκληρο το φάσμα. Επιπλέον, σε πολλές περιπτώσεις στα δείγματα του μπάσου

παρατηρείται ότι η θεμέλιος συχνότητα της 3ης χορδής έχει την μεγαλύτερη ένταση σε σχέση με την 4η. Ωστόσο, το γενικότερο σχήμα της απόκρισης του μικροφώνου παραμένει σχετικά ίδιο. Κάτι ακόμα που παρουσιάζει ενδιαφέρον είναι το γεγονός ότι ενώ ο αισθητήρας και οι μαγνήτες ανιχνεύουν την παράλληλη ταλάντωση της χορδής προς τις υπέρυθρες ακτίνες και το μαγνητικό πεδίο αντίστοιχα, στα φάσματα από τα δείγματα του μικροφώνου δεν φαίνονται ιδιοσυχνότητες διαφορετικές από τα φάσματα των δειγμάτων από τις άλλες συσκευές. Συνεπώς, μεγαλύτερο ρόλο παίζουν οι συχνότητες που είναι παράλληλες ως προς την ταστιέρα των οργάνων και τη βάση του μονόχορδου για τη διαμόρφωση της χροιάς.

Βιβλιογραφία

1. Σκαρλάτος Δ., «Εφαρμοσμένη Ακουστική», Τρίτη έκδοση , GOTSIS ΕΚΔΟΣΕΙΣ, 2008.
2. Λουτρίδης Σ.Ι., «ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ: Αρχές και Εφαρμογές» ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ, 2015.
3. Κουζούπης Σ., Σημειώσεις του μαθήματος Εφαρμοσμένη Ακουστική ΙΙΙ, «Κύματα και δονήσεις σε συνεχή συστήματα», Τμήμα Μηχανικών Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής.
4. Κουζούπης Σ., Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Ακουστικής ΙΙ, « Εργαστήριο 5ο: Κύματα σε μία διάσταση», Έκδοση 0.99 (23/4/2017), ΤΕΙ Μηχανικών Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής.
5. Ποταμίτης Η., Ριγάκης Η., «Large Aperture Optoelectronic Devices to Record and Time-Stamp Insects' Wingbeats», IEEE SENSORS JOURNAL, VOL. 16, NO.15, AUGUST 1,2016.
6. Nicholas G. Horton, Thomas R. Moore, «Modeling the magnetic pickup of an electric guitar», American Association of Physics Teachers, American Journal of Physics 77, 114 (2009).
7. Fanuel T. Ban- Graduate Student, «Analysis of Electric Guitar Pickups», Penn University/ Sales Executive, LMS North America.
8. Βάλια Βλαχάκη, Στέλλα Μηνιάδακη, Πτυχιακή εργασία, «Ανάπτυξη οπτοηλεκτρικών διατάξεων και εφαρμογή τους στην ανίχνευση των ταλαντώσεων των χορδών και των επιφανειών του αντηχείου εγχόρδων μουσικών οργάνων», ΤΕΙ Μηχανικών Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής, Ρέθυμνο 2012. (Εικόνα 1.2)

Διαδικτυακές πηγές (Links):

1. <https://lawingmusicalproducts.com/dr-lawings-blog/how-does-a-pickup-really-work> (Εικόνα 2.12)
2. <https://www.suhr.com/pickups/humbucker-pickups/suhr-ss-humbuckers/> (Εικόνα 2.15)
3. https://www.richtonemusic.co.uk/product/epiphone_les_paul_standard_metallic_gold-ex_demo_hairlinecrack/ (Εικόνες 2.8, 2.10)
4. <https://equipboard.com/items/yamaha-rbx-260-f> (Εικόνα 2.9)
5. [https://en.wikipedia.org/wiki/Frying_pan_\(guitar\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Frying_pan_(guitar)) (Εικόνα 2.7)
6. <https://gr.pinterest.com/pin/151011393731616369/> (Εικόνα 2.3)
7. <https://www.guitarrepairbench.com/guitar-info/acoustic-guitar-bracing-patterns/> (Εικόνα 2.5)
8. <https://www.guitarplayer.com/gear/interpreting-pickup-specs-part-one> (Εικόνα 2.16)
9. <https://earthworksaudio.com/products/microphones/gtc-series/gtc40/> (Εικόνες 2.23, 2.24)
10. <https://www.khanacademy.org/science/ap-physics-1/ap-mechanical-waves-and-sound/standing-waves-ap/v/standing-waves-on-strings> (Εξώφυλλο εργασίας)
11. http://www.danielbrauchli.com/Acoustic_Concepts.htm (Εικόνα 2.4)
12. <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CE%B9%CE%B8%CE%AC%CF%81%CE%B1> (Εικόνα 2.1)
13. <http://www.vihuelademano.com/> (Εικόνα 2.2)
14. <http://igdb.co.uk/guitar-lessons/guitar-pickups/> (Εικόνα 2.11)
15. [https://en.wikipedia.org/wiki/Harmonic_series_\(music\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Harmonic_series_(music)) (Εικόνα 1.1)

