

ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΟΠΤΟΑΚΟΥΣΤΙΚΩΝ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ & ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ



Πτυχιακή εργασία

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΩΝ ΤΩΝ STUDIO ΗΧΟΓΡΑΦΗΣΕΩΝ
ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ
ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ:

Μπαρλίκας Νικόλαος ΤΑ 1693

Γκούμας Γρηγόριος ΤΑ 1738

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ:

Φιτσανάκης Μίνως, MSc

Βαλσαμάκης Νικόλας, PhD

Ρέθυμνο 2020

HELLENIC MEDITERRANEAN UNIVERSITY
SCHOOL of MUSIC AND OPTOACOUSTIC TECHNOLOGIES
DPT. of MUSIC TECHNOLOGY & ACOUSTICS



Bachelor Thesis

**COMPARATIVE STUDY BETWEEN DYNAMIC RANGE
COMPRESSORS OF RECORDING STUDIOS OF DPT.
OF MUSIC TECHNOLOGY & ACOUSTICS**

EDUCATEE:

Barlikas Nikolaos TA 1693

Goumas Grigorios TA 1738

SUPERVISING PROFESSORS:

Fitsanakis Minoas, MSc

Valsamakis Nikolaos, PhD

Rethymno 2020

Πνευματικά δικαιώματα

Copyright ©, Μπαρλίκας Νικόλαος, Γκούμας Γρηγόριος, 2019

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους επιβλέποντες καθηγητές μας, τον κ. Φιτσανάκη Μίνω και τον κ. Βαλσαμάκη Νικόλα για την καθοδήγηση κατά την περάτωση και συγγραφή αυτής της πτυχιακής εργασίας. Επίσης θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον καθηγητή κ. Πιοτογιαννάκη Στέλιο γιατί ήταν πάντα ένα ανοιχτό βιβλίο πάνω στο γνωστικό του αντικείμενο και πάνω απ' όλους τον καθηγητή κ. Ξενικάκη Δημήτρη που πέραν της βιβλιογραφίας που πρόσφερε μας έμαθε επί της ουσίας το συγκεκριμένο θέμα πολύ πριν την ανάθεση αυτής της Πτυχιακής Εργασίας.

Περίληψη

Σε αυτήν την Πτυχιακή Εργασία μελετάται ο Συμπιεστής Δυναμικού Εύρους (Compressor), η Αρχή Λειτουργίας του καθώς επίσης και η Ιστορία του. Στόχος αυτής της συγκριτικής μελέτης είναι η ανάλυση των διαφορετικών Συμπιεστών που παρέχονται στην Σχολή μας έτσι ώστε να παρατηρήσουμε τις διαφορές τους καθώς επίσης και τις ομοιότητες που ενδεχομένως έχουν. Πιο συγκεκριμένα συγκρίνονται οι Συμπιεστές που παρέχονται στα Studios της Σχολής μας, οι οποίοι είναι οι Avalon AD2044, Focusrite Red3 & DBX 160SL.

Λέξεις Κλειδιά: συμπιεστής δυναμικού εύρους, δυναμικό εύρος, κατώφλι συμπίεσης, λόγος συμπίεσης, συχνοτική απόκριση, φασική απόκριση, χρόνοι attack & release, ολική αρμονική παραμόρφωση

Abstract

In this Bachelor Thesis, the Dynamic Range Compressor, its Principle of Operation as well as its History are studied. The aim of this Comparative Study is to analyze the different Compressors provided in our School so that we can observe their differences as well as the similarities they may have. More specifically, the Compressors provided in the Studios of our School, which are the Avalon AD2044, Focusrite Red3 & DBX 160SL, are compared.

Keywords: dynamic range compressor, dynamic range compression threshold, ratio of compression, frequency response, phase response, attack & release times, total harmonic distortion

Πίνακας περιεχομένων

Κεφάλαια

Περίληψη.....	4
Abstract.....	5
Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγή.....	16
Κεφάλαιο 2 – Αρχή Λειτουργίας.....	18
2.1 Στάδιο μεταβλητού κέρδους, τεχνολογία κατασκευής, τοπολογίες του Side – Chain ..	19
2.1.1 Gain.....	19
2.1.2 Τεχνολογίες κατασκευής.....	19
2.1.3 Τοπολογίες Feed-Forward/ Feed-Back του Side-Chain.....	22
2.2 Λόγος Συμπίεσης – Ratio.....	23
2.3 Κατώφλι Λειτουργίας – Threshold.....	25
2.4 Εξομάλυνση Καμπύλης – Hard/Soft Knee.....	27
2.5 Ανίχνευση στάθμης του σήματος – Level Detection.....	28
2.6 Χρόνοι Attack & Release.....	30
2.7 Auto Attack & Auto Release.....	32
2.8 Hold.....	33
2.9 Makeup Gain.....	33
Κεφάλαιο 3 – Ιστορική Αναδρομή.....	35
3.1 Οι Δυναμικοί Επεξεργαστές στο Ραδιόφωνο και την Τηλεόραση.....	35
3.2 Οι Δυναμικοί Επεξεργαστές στην Παραγωγή Μουσικής.....	38
3.3 Οι Δυναμικοί Επεξεργαστές Κατά την Ψηφιακή Εποχή.....	39
Κεφάλαιο 4 – Τεχνικές Χρήσης των Δυναμικών Επεξεργαστών.....	41
4.1 Side-Chain (Ducking).....	41
4.2 Parallel Compression (Exciter Compression).....	42

4.3 Serial Compression	43
4.4 Multi – Band Compression	44
Κεφάλαιο 5 – Πειραματικό Μέρος & Σύγκριση των Συμπιεστών.....	45
5.1 Εισαγωγή και περιγραφή των Συμπιεστών των Studios του τμήματος.....	46
5.1.1 DBX 160SL.....	46
5.1.2 Avalon AD2044 Stereo Compressor.....	47
5.1.3 Focusrite Red 3 Compressor/Limiter	47
5.2 Πειραματική Διάταξη – Εκτέλεση Μετρήσεων.....	48
5.3 Πειραματικές Μετρήσεις.....	49
5.3.1 Συχνοτική Απόκριση (Frequency Response).....	49
5.3.2 Συχνοτική Απόκριση του Avalon AD2044.....	51
5.3.3 Συχνοτική Απόκριση του Focusrite Red3	62
5.3.4 Συχνοτική Απόκριση του DBX 160SL	75
5.3.5 Φασική Απόκριση (Phase Response).....	89
5.3.6 Ολική Αρμονική Παραμορφωση (THD)	109
5.3.7 Χρόνοι Attack & Release (Attack & Release Time Response)	114
Κεφάλαιο 6 – Συμπεράσματα.....	123
Βιβλιογραφία.....	126
Παράρτημα	129

Εικόνες

Εικόνα 1: Ο Πρώτος Συμπιεστής, ο 110A Program Amplifier.....	35
Εικόνα 2: Ο Conax 602 της Fairchild.....	36
Εικόνα 3: Ο Volumax της CBS Labs με δυνατότητες Limiting	36

Εικόνα 4: Ο Audimax της CBS Labs με το σύστημα gating.....	36
Εικόνα 5: Teletronix LA2A.....	38
Εικόνα 6: UREI (Universal Audio) 1176.....	38
Εικόνα 7: DBX 160.....	39
Εικόνα 8: Το plugin L1 Ultramaximizer της Waves.....	40
Εικόνα 9: Το plugin CLA-3A της Waves.....	40
Εικόνα 10: Ο Aural Exciter της Aphex Electronics.....	42
Εικόνα 11: Ο Mastering Compressor της Silent Hill.....	43
Εικόνα 12: Ο M5000 Multi Band Συμπιεστής της TC Electronic.....	44
Εικόνα 13: Το Rack 2 των περιφερειακών συσκευών του Studio στο οποίο βρίσκονται εγκατεστημένοι και οι 3 Συμπιεστές μαζί (στο κάτω μέρος της εικόνας διακρίνεται και η δεύτερη μονάδα Focusrite Red 3).	45
Εικόνα 14: Μέρος του Rack 2 στο οποίο διακρίνονται οι Συμπιεστές DBX 160SL (επάνω) και Avalon AD2044 (κάτω).....	46
Εικόνα 15: Μέρος του Rack 2 στο οποίο διακρίνονται οι Συμπιεστές Avalon AD2044 (επάνω) και Focusrite Red 3 (κάτω).....	48
Εικόνα 16: Μια μετατόπιση φάσης επηρεάζει την εκκεντρότητα του ωοειδούς σχήματος Lissajous. Η ανάλυση αυτού του σχήματος επιτρέπει τη μέτρηση της μετατόπισης φάσης σε ένα σύστημα LTI σύστημα (όπως είναι ένας Συμπιεστής) το οποίο είναι υπό μέτρηση.	89

Πίνακες

Πίνακας 1: Τιμές του Threshold ανά Συμπιεστή.....	50
Πίνακας 2: Κλίση τη Συχνοτικής Απόκρισης του Avalon AD2044 για κάθε λόγο συμπίεσης στην περιοχή των 3 - 20kHz.....	88
Πίνακας 3: Οι φασικές διαφορές του κάθε Συμπιεστή ανά Συχνότητα.	90
Πίνακας 4: Τιμές Στάθμης & Τάσης της THD για τον Avalon AD2044.....	110
Πίνακας 5: Τιμές Στάθμης & Τάσης της THD για τον DBX 160SL.....	111

Πίνακας 6: Τιμές Στάθμης & Τάσης της THD για τον Focusrite Red3	113
Πίνακας 7: Ελάχιστοι και Μέγιστοι Χρόνοι Attack & Release για τον Avalon AD2044	115
Πίνακας 8: Ελάχιστοι και Μέγιστοι Χρόνοι Attack & Release για τον Focusrite Red 3	117
Πίνακας 9: Ελάχιστοι και Μέγιστοι Χρόνοι Attack & Release για τον DBX 160SL.....	120
Πίνακας 10: Όλοι οι Χρόνοι των Attack & Release για κάθε Συμπιεστή.....	122

Σχήματα

Σχήμα 1: Διάγραμμα Ροής ενός τυπικού Συμπιεστή.....	18
Σχήμα 2: Block διάγραμμα Feed-Forward τοπολογίας.....	22
Σχήμα 3: Block διάγραμμα Feed-Back τοπολογίας	22
Σχήμα 4: Θεωρητικό διάγραμμα της απόκρισης εισόδου - εξόδου ενός Συμπιεστή.	24
Σχήμα 5: Θεωρητικό διάγραμμα εισόδου - εξόδου ενός Περιοριστή.....	25
Σχήμα 6: Το θεωρητικό σχήμα και το σημείο του Κατωφλιού.....	26
Σχήμα 7: Θεωρητικό διάγραμμα στο σημείο του Threshold μεταξύ Hard Knee και Soft Knee	27
Σχήμα 8: Σήμα εισόδου (Ριπή - Burst Signal) με ιδεατά μηδενικούς χρόνους attack και release.	31
Σχήμα 9: Σήμα εισόδου (Ριπή - Burst Signal) με μικρούς χρόνους attack και release.	31
Σχήμα 10: Σήμα εισόδου (Ριπή - Burst Signal) με μεγάλους χρόνους attack και release.....	31
Σχήμα 11: Σήμα εισόδου (Ριπή - Burst Signal) στο οποίο φαίνεται ο χρόνος hold που προηγείται του release.	33
Σχήμα 12: Αύξηση του συνολικού κέρδους σε έναν Συμπιεστή. Στο πρώτο γράφημα (a) φαίνεται το σήμα εισόδου όπως αυτό εισέρχεται μέσα στον Συμπιεστή. Στο δεύτερο (b) βλέπουμε την συμπίεση που υφίσταται το σήμα. Και στο τρίτο (c) βλέπουμε την ολική ενίσχυση του.....	34

Σχήμα 13: Το Block Διάγραμμα (διάγραμμα ροής σήματος) της πειραματικής διάταξης. Όπου Reference Signal το σήμα από την έξοδο της κάρτας ήχου, DUT – Device Under Test είναι η συσκευή που εξετάζεται και Recorder το πολυκάναλο TASCAM X48 mkii.	49
Σχήμα 14: Συχνοτική Απόκριση του Avalon AD2044 με Ratio 2:1 και Threshold -4 dB	51
Σχήμα 15: Συχνοτική Απόκριση του Avalon AD2044 με Ratio 2:1 και Threshold -8 dB	51
Σχήμα 16: Συχνοτική Απόκριση του Avalon AD2044 με Ratio 2:1 και Threshold -12 dB ...	52
Σχήμα 17: Συχνοτική Απόκριση του Avalon AD2044 με Ratio 2:1 και Threshold -16 dB ...	52
Σχήμα 18: Συχνοτική Απόκριση του Avalon AD2044 με Ratio 2:1 και Threshold -20 dB ...	52
Σχήμα 19: Συχνοτική Απόκριση του Avalon AD2044 με Ratio 4:1 και Threshold -4 dB	53
Σχήμα 20: Συχνοτική Απόκριση του Avalon AD2044 με Ratio 4:1 και Threshold -8 dB	53
Σχήμα 21: Συχνοτική Απόκριση του Avalon AD2044 με Ratio 4:1 και Threshold -12 dB ...	54
Σχήμα 22: Συχνοτική Απόκριση του Avalon AD2044 με Ratio 4:1 και Threshold -16 dB ...	54
Σχήμα 23: Συχνοτική Απόκριση του Avalon AD2044 με Ratio 4:1 και Threshold -20 dB ...	55
Σχήμα 24: Συχνοτική Απόκριση του Avalon AD2044 με Ratio 6:1 και Threshold -4 dB	55
Σχήμα 25: Συχνοτική Απόκριση του Avalon AD2044 με Ratio 6:1 και Threshold -8 dB	56
Σχήμα 26: Συχνοτική Απόκριση του Avalon AD2044 με Ratio 6:1 και Threshold -12 dB ...	56
Σχήμα 27: Συχνοτική Απόκριση του Avalon AD2044 με Ratio 6:1 και Threshold -16 dB ...	56
Σχήμα 28: Συχνοτική Απόκριση του Avalon AD2044 με Ratio 6:1 και Threshold -20 dB ...	57
Σχήμα 29: Συχνοτική Απόκριση του Avalon AD2044 με Ratio 8:1 και Threshold -4 dB	57
Σχήμα 30: Συχνοτική Απόκριση του Avalon AD2044 με Ratio 8:1 και Threshold -8 dB	58
Σχήμα 31: Συχνοτική Απόκριση του Avalon AD2044 με Ratio 8:1 και Threshold -12 dB ...	58
Σχήμα 32: Συχνοτική Απόκριση του Avalon AD2044 με Ratio 8:1 και Threshold -16 dB ...	59
Σχήμα 33: Συχνοτική Απόκριση του Avalon AD2044 με Ratio 8:1 και Threshold -20 dB ...	59
Σχήμα 34: Συχνοτική Απόκριση του Avalon AD2044 με Ratio 10:1 και Threshold -4 dB ...	60
Σχήμα 35: Συχνοτική Απόκριση του Avalon AD2044 με Ratio 10:1 και Threshold -8 dB ...	60
Σχήμα 36: Συχνοτική Απόκριση του Avalon AD2044 με Ratio 10:1 και Threshold -12 dB .	61

Σχήμα 37: Συχνοτική Απόκριση του Avalon AD2044 με Ratio 10:1 και Threshold -16 dB .	61
Σχήμα 38: Συχνοτική Απόκριση του Avalon AD2044 με Ratio 10:1 και Threshold -20 dB .	62
Σχήμα 39: Συχνοτική Απόκριση του Focusrite Red3 με Ratio 2:1 και Threshold -3 dB.....	62
Σχήμα 40: Συχνοτική Απόκριση του Focusrite Red3 με Ratio 2:1 και Threshold -6 dB.....	63
Σχήμα 41: Συχνοτική Απόκριση του Focusrite Red3 με Ratio 2:1 και Threshold -9 dB.....	63
Σχήμα 42: Συχνοτική Απόκριση του Focusrite Red3 με Ratio 2:1 και Threshold -12 dB.....	64
Σχήμα 43: Συχνοτική Απόκριση του Focusrite Red3 με Ratio 2:1 και Threshold -24 dB.....	64
Σχήμα 44: Συχνοτική Απόκριση του Focusrite Red3 με Ratio 4:1 και Threshold -3 dB.....	65
Σχήμα 45: Συχνοτική Απόκριση του Focusrite Red3 με Ratio 4:1 και Threshold -6 dB.....	65
Σχήμα 46: Συχνοτική Απόκριση του Focusrite Red3 με Ratio 4:1 και Threshold -9 dB.....	66
Σχήμα 47: Συχνοτική Απόκριση του Focusrite Red3 με Ratio 4:1 και Threshold -12 dB.....	66
Σχήμα 48: Συχνοτική Απόκριση του Focusrite Red3 με Ratio 4:1 και Threshold -24 dB.....	67
Σχήμα 49: Συχνοτική Απόκριση του Focusrite Red3 με Ratio 6:1 και Threshold -3 dB.....	67
Σχήμα 50: Συχνοτική Απόκριση του Focusrite Red3 με Ratio 6:1 και Threshold -6 dB.....	68
Σχήμα 51: Συχνοτική Απόκριση του Focusrite Red3 με Ratio 6:1 και Threshold -9 dB.....	68
Σχήμα 52: Συχνοτική Απόκριση του Focusrite Red3 με Ratio 6:1 και Threshold -12 dB.....	69
Σχήμα 53: Συχνοτική Απόκριση του Focusrite Red3 με Ratio 6:1 και Threshold -24 dB.....	69
Σχήμα 54: Συχνοτική Απόκριση του Focusrite Red3 με Ratio 8:1 και Threshold -3 dB.....	70
Σχήμα 55: Συχνοτική Απόκριση του Focusrite Red3 με Ratio 8:1 και Threshold -6 dB.....	70
Σχήμα 56: Συχνοτική Απόκριση του Focusrite Red3 με Ratio 8:1 και Threshold -9 dB.....	71
Σχήμα 57: Συχνοτική Απόκριση του Focusrite Red3 με Ratio 8:1 και Threshold -12 dB.....	71
Σχήμα 58: Συχνοτική Απόκριση του Focusrite Red3 με Ratio 8:1 και Threshold -24 dB.....	72
Σχήμα 59: Συχνοτική Απόκριση του Focusrite Red3 με Ratio 10:1 και Threshold -3 dB.....	72
Σχήμα 60: Συχνοτική Απόκριση του Focusrite Red3 με Ratio 10:1 και Threshold -6 dB.....	73
Σχήμα 61: Συχνοτική Απόκριση του Focusrite Red3 με Ratio 10:1 και Threshold -9 dB.....	73
Σχήμα 62: Συχνοτική Απόκριση του Focusrite Red3 με Ratio 10:1 και Threshold -12 dB....	74

Σχήμα 63: Συχνοτική Απόκριση του Focusrite Red3 με Ratio 10:1 και Threshold -24 dB....	74
Σχήμα 64: Συχνοτική Απόκριση του DBX 160SL με Ratio 2:1 και Threshold -5 dB.....	75
Σχήμα 65: Συχνοτική Απόκριση του DBX 160SL με Ratio 2:1 και Threshold -10 dB.....	75
Σχήμα 66: Συχνοτική Απόκριση του DBX 160SL με Ratio 2:1 και Threshold -20 dB.....	76
Σχήμα 67: Συχνοτική Απόκριση του DBX 160SL με Ratio 2:1 και Threshold -30 dB.....	76
Σχήμα 68: Συχνοτική Απόκριση του DBX 160SL με Ratio 2:1 και Threshold -40 dB.....	77
Σχήμα 69: Συχνοτική Απόκριση του DBX 160SL με Ratio 4:1 και Threshold -5 dB.....	77
Σχήμα 70: Συχνοτική Απόκριση του DBX 160SL με Ratio 4:1 και Threshold -10 dB.....	78
Σχήμα 71: Συχνοτική Απόκριση του DBX 160SL με Ratio 4:1 και Threshold -20 dB.....	78
Σχήμα 72: Συχνοτική Απόκριση του DBX 160SL με Ratio 4:1 και Threshold -30 dB.....	79
Σχήμα 73: Συχνοτική Απόκριση του DBX 160SL με Ratio 4:1 και Threshold -40 dB.....	79
Σχήμα 74: Συχνοτική Απόκριση του DBX 160SL με Ratio 6:1 και Threshold -5 dB.....	80
Σχήμα 75: Συχνοτική Απόκριση του DBX 160SL με Ratio 6:1 και Threshold -10 dB.....	80
Σχήμα 76: Συχνοτική Απόκριση του DBX 160SL με Ratio 6:1 και Threshold -20 dB.....	81
Σχήμα 77: Συχνοτική Απόκριση του DBX 160SL με Ratio 6:1 και Threshold -30 dB.....	81
Σχήμα 78: Συχνοτική Απόκριση του DBX 160SL με Ratio 6:1 και Threshold -40 dB.....	82
Σχήμα 79: Συχνοτική Απόκριση του DBX 160SL με Ratio 8:1 και Threshold -5 dB.....	82
Σχήμα 80: Συχνοτική Απόκριση του DBX 160SL με Ratio 8:1 και Threshold -10 dB.....	83
Σχήμα 81: Συχνοτική Απόκριση του DBX 160SL με Ratio 8:1 και Threshold -20 dB.....	83
Σχήμα 82: Συχνοτική Απόκριση του DBX 160SL με Ratio 8:1 και Threshold -30 dB.....	84
Σχήμα 83: Συχνοτική Απόκριση του DBX 160SL με Ratio 8:1 και Threshold -40 dB.....	84
Σχήμα 84: Συχνοτική Απόκριση του DBX 160SL με Ratio 10:1 και Threshold -5 dB.....	85
Σχήμα 85: Συχνοτική Απόκριση του DBX 160SL με Ratio 10:1 και Threshold -10 dB.....	85
Σχήμα 86: Συχνοτική Απόκριση του DBX 160SL με Ratio 10:1 και Threshold -20 dB.....	86
Σχήμα 87: Συχνοτική Απόκριση του DBX 160SL με Ratio 10:1 και Threshold -30 dB.....	86
Σχήμα 88: Συχνοτική Απόκριση του DBX 160SL με Ratio 10:1 και Threshold -40 dB.....	87

Σχήμα 89: Διαφορά Φάσης του Avalon AD2044 στα 31 Hz.....	91
Σχήμα 90: Διαφορά Φάσης του Avalon AD2044 στα 63 Hz.....	91
Σχήμα 91: Διαφορά Φάσης του Avalon AD2044 στα 125 Hz.....	92
Σχήμα 92: Διαφορά Φάσης του Avalon AD2044 στα 250 Hz.....	92
Σχήμα 93: Διαφορά Φάσης του Avalon AD2044 στα 500 Hz.....	93
Σχήμα 94: Διαφορά Φάσης του Avalon AD2044 στα 1000 Hz.....	93
Σχήμα 95: Διαφορά Φάσης του Avalon AD2044 στα 2000 Hz.....	94
Σχήμα 96: Διαφορά Φάσης του Avalon AD2044 στα 4000 Hz.....	94
Σχήμα 97: Διαφορά Φάσης του Avalon AD2044 στα 8000 Hz.....	95
Σχήμα 98: Διαφορά Φάσης του Avalon AD2044 στα 16000 Hz.....	95
Σχήμα 99: Φασική Απόκριση του Avalon AD2044.....	96
Σχήμα 100: Διαφορά Φάσης του Focusrite Red3 στα 31 Hz.....	97
Σχήμα 101: Διαφορά Φάσης του Focusrite Red3 στα 63 Hz.....	97
Σχήμα 102: Διαφορά Φάσης του Focusrite Red3 στα 125 Hz.....	98
Σχήμα 103: Διαφορά Φάσης του Focusrite Red3 στα 250 Hz.....	98
Σχήμα 104: Διαφορά Φάσης του Focusrite Red3 στα 500 Hz.....	99
Σχήμα 105: Διαφορά Φάσης του Focusrite Red3 στα 1000 Hz.....	99
Σχήμα 106: Διαφορά Φάσης του Focusrite Red3 στα 2000 Hz.....	100
Σχήμα 107: Διαφορά Φάσης του Focusrite Red3 στα 4000 Hz.....	100
Σχήμα 108: Διαφορά Φάσης του Focusrite Red3 στα 8000 Hz.....	101
Σχήμα 109: Διαφορά Φάσης του Focusrite Red3 στα 16000 Hz.....	101
Σχήμα 110: Φασική Απόκριση του Focusrite Red3.....	102
Σχήμα 111: Διαφορά Φάσης του DBX 160SL στα 31 Hz.....	103
Σχήμα 112: Διαφορά Φάσης του DBX 160SL στα 63 Hz.....	103
Σχήμα 113: Διαφορά Φάσης του DBX 160SL στα 125 Hz.....	104
Σχήμα 114: Διαφορά Φάσης του DBX 160SL στα 250 Hz.....	104

Σχήμα 115: Διαφορά Φάσης του DBX 160SL στα 500 Hz	105
Σχήμα 116: Διαφορά Φάσης του DBX 160SL στα 1000 Hz	105
Σχήμα 117: Διαφορά Φάσης του DBX 160SL στα 2000 Hz	106
Σχήμα 118: Διαφορά Φάσης του DBX 160SL στα 4000 Hz	106
Σχήμα 119: Διαφορά Φάσης του DBX 160SL στα 8000 Hz	107
Σχήμα 120: Διαφορά Φάσης του DBX 160SL στα 16000 Hz	107
Σχήμα 121: Φασική Απόκριση του DBX 160SL	108
Σχήμα 122: Φασική Απόκριση του DBX 160SL (σε μεγένθυση το εύρος της φάσης από 0-10°)	108
Σχήμα 123: Φασική Απόκριση των μετασχηματιστών Jensen.....	109
Σχήμα 124: Απόκριση της Ολικής Αρμονικής Παραμόρφωσης (THD) του Avalon AD2044 όπου διακρίνονται με μπλε χρώμα η θεμέλιος και με πορτοκαλί χρώμα οι αρμονικές.	111
Σχήμα 125: Απόκριση της Ολικής Αρμονικής Παραμόρφωσης (THD) του DBX 160SL όπου διακρίνονται με μπλε χρώμα η θεμέλιος και με πορτοκαλί χρώμα οι αρμονικές.	112
Σχήμα 126: Απόκριση της Ολικής Αρμονικής Παραμόρφωσης (THD) του Focusrite Red3 όπου διακρίνονται με μπλε χρώμα η θεμέλιος και με πορτοκαλί χρώμα οι αρμονικές.	113
Σχήμα 127: Σύγκριση των THD των Συμπιεστών μεταξύ τους.....	114
Σχήμα 128: Το Σήμα Ριπής για Ελάχιστο Χρόνο Attack για τον Avalon AD2044	115
Σχήμα 129: Το Σήμα Ριπής για Ελάχιστο Χρόνο Release για τον Avalon AD 2044	116
Σχήμα 130: Το Σήμα Ριπής για Μέγιστο Χρόνο Attack για τον Avalon AD 2044	116
Σχήμα 131: Το Σήμα Ριπής για Μέγιστο Χρόνο Release για τον Avalon AD 2044.....	117
Σχήμα 132: Το Σήμα Ριπής για Ελάχιστο Χρόνο Attack για τον Focusrite Red 3	118
Σχήμα 133: Το Σήμα Ριπής για Ελάχιστο Χρόνο Release για τον Focusrite Red 3.....	118
Σχήμα 134: Το Σήμα Ριπής για Μέγιστο Χρόνο Attack για τον Focusrite Red 3.....	119
Σχήμα 135: Το Σήμα Ριπής για Μέγιστο Χρόνο Release για τον Focusrite Red 3.....	119
Σχήμα 136: Το Σήμα Ριπής για Ελάχιστο Χρόνο Attack για τον DBX 160SL.....	120

Σχήμα 137: Το Σήμα Ριπής για Ελάχιστο Χρόνο Release για τον DBX 160SL.....	121
Σχήμα 138: Το Σήμα Ριπής για Μέγιστο Χρόνο Attack για τον DBX 160SL.....	121
Σχήμα 139: Το Σήμα Ριπής για Μέγιστο Χρόνο Release για τον DBX 160SL	122
Σχήμα 140: Βένναιο Διάγραμμα 3 Συνόλων με το οποίο οπτικοποιούνται οι ομοιότητες μεταξύ των Συμπιεστών ως βοήθεια προς τον αναγνώστη για καλύτερη κατανόηση.	124

Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγή

Ένα ηχητικό σήμα κατά την διαχείριση του μπορεί να έχει απρόβλεπτες διακυμάνσεις στην μεταβολή του Δυναμικού Εύρους (η περιοχή της έντασης ενός σήματος που είναι άνω του κατωφλιού του θορύβου και κάτω από την περιοχή που παραμορφώνει) του πέραν ακόμα και από τις ικανότητες του εκάστοτε ανθρώπου που το διαχειρίζεται. Έτσι ενδεχομένως να έχουμε απρόβλεπτες έως και καταστροφικές συνέπειες για το ίδιο το ηχητικό σήμα καθώς και για τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται. Έτσι δημιουργήθηκε η ανάγκη για έναν αυτόματο ελεγκτή και (ενδεχομένως περιοριστή) του δυναμικού εύρους τον Συμπιεστή (επίσης Κομπρέσορα στην καθομιλούμενη – Compressor). Η επεξεργασία του δυναμικού εύρους ενός σήματος τονίζει αλλά ταυτόχρονα ομαλοποιεί τα δυνατότερα σημεία της έντασης του, ενώ παράλληλα ανέρχονται στην επιφάνεια και τα σημεία χαμηλής έντασης του κάνοντας έτσι πιο διακριτές τις διαφορές της έντασης στο χρόνο στον ακροατή.

Στο Κεφάλαιο 2 αναλύθηκε ο Συμπιεστής ως συσκευή και πιο συγκεκριμένα το στάδιο του μεταβλητού κέρδους (Gain), οι τεχνολογίες κατασκευής (Λυχνία Κενού ή Variable - MU, Τρανζίστορ επίδρασης πεδίου ή Field - Effect Transistor, Οπτικά Στοιχεία ή Opto-Optical Filament, Ελεγχόμενοι Ενισχυτές μέσω Τάσης ή Voltage Control Amplifiers), οι τοπολογίες Feed-Forward/Feed-Back του Side-Chain, ο Λόγος Συμπίεσης (Ratio), το Κατώφλι Λειτουργίας (Threshold), η Εξομάλυνση Καμπύλης (Hard/Soft Knee), η Ανίχνευση της στάθμης του σήματος (Level Detection), οι Χρόνοι Attack & Release, τα Auto Attack & Auto Release, την λειτουργία Hold και του Makeup Gain.

Έπειτα γίνεται μία ιστορική αναδρομή στο Κεφάλαιο 3, η οποία ξεκινάει από την πρώιμη εποχή του ραδιοφώνου όπου και κάνει την πρώτη του εμφάνιση στις αρχές του προηγούμενου αιώνα καταλήγοντας να χρησιμοποιείται σε όλα τα μεγάλα (και μικρά στούντιο) και ειδικά μετά την υλοποίησή του σε πρόγραμμα για τον Η/Υ.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύθηκαν δημοφιλείς τεχνικές χρήσης των Συμπιεστών από τις οποίες οι πιο γνωστές είναι: η Side-Chain (Ducking), η Parallel Compression (Exciter Compression), η Serial Compression και η Multi-Band Compression.

Στο κεφάλαιο 5 έγινε καταγραφή του πειραματικού μέρους της πτυχιακής εργασίας και έλαβε μέρος η σύγκριση των Συμπιεστών. Έγινε περιγραφή των Συμπιεστών που συγκρίθηκαν (DBX 160SL, Avalon AD2044 και Focusrite Red 3 Compressor/Limiter), των πειραματικών διατάξεων αλλά και της διαδικασίας εκτέλεσης των μετρήσεων. Στο τέλος αυτού του κεφαλαίου έγινε ανάλυση και καταγραφή των χαρακτηριστικών του κάθε Συμπιεστή (Συχνοτική Απόκριση, Φασική Απόκριση, Ολική Αρμονική Παραμόρφωση, Χρόνοι Attack & Release).

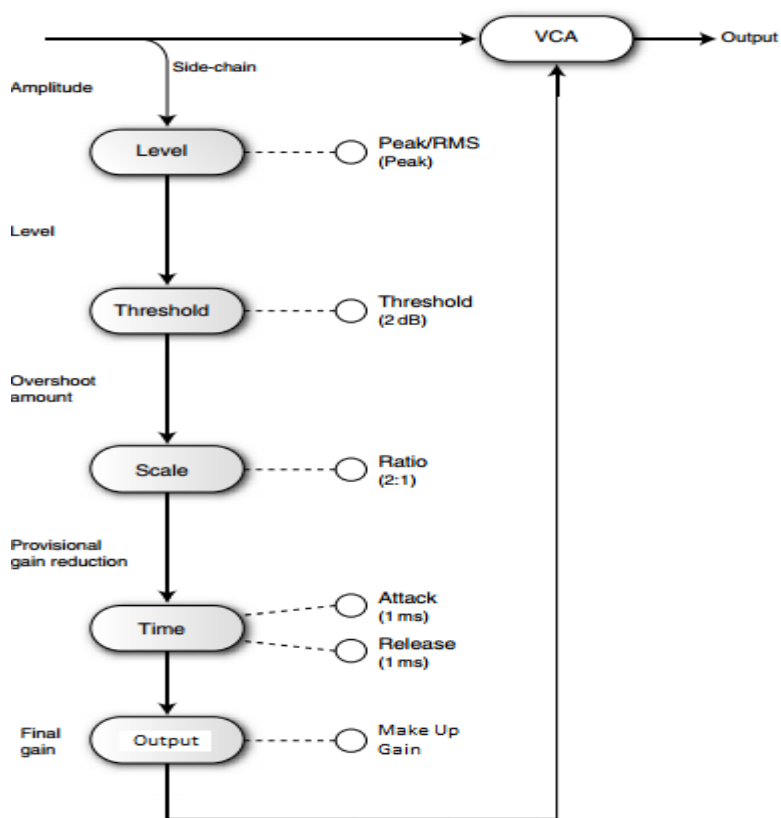
Στο τελευταίο κεφάλαιο γράφτηκαν τα τελικά συμπεράσματα των μετρήσεων και διατυπώθηκαν οι διαφορές και οι ομοιότητες των Συμπιεστών.

Κεφάλαιο 2 – Αρχή Λειτουργίας

Ως ορισμό για τον Συμπιεστή θα λέγαμε ότι:

«Συμπιεστής είναι ένας ενισχυτής ο οποίος βάση των ιδιομορφιών του σήματος εισόδου λειτουργεί συνεχώς με μεταβαλλόμενο gain έτσι ώστε να δίνει στην έξοδο του το σήμα εισόδου με μειωμένη την δυναμική περιοχή του.» [Ξενικάκης 2017]

Για να καταλάβουμε το πώς ένας Συμπιεστής λειτουργεί, αυτό που πρέπει να κάνουμε είναι να δούμε το διάγραμμα λειτουργίας του (block diagram) και την ροή του σήματος εισόδου στα διάφορα στάδια. Παρακάτω φαίνεται η ροή του σήματος και αναλύεται.



Σχήμα 1: Διάγραμμα Ροής ενός τυπικού Συμπιεστή

Το παραπάνω σχήμα δείχνει τα βασικά στοιχεία ενός Συμπιεστή τα οποία θα αναλυθούν παρακάτω.

2.1 Στάδιο μεταβλητού κέρδους, τεχνολογία κατασκευής, τοπολογίες του Side – Chain

2.1.1 Gain

Το στάδιο του κέρδους (gain) είναι υπεύθυνο για την εξασθένιση (σε μερικές περιπτώσεις και ενίσχυση) του σήματος εισόδου κατά μία προκαθορισμένη τιμή σε Decibel [Izhaki 2008, Barners 2006]. Το στάδιο του κέρδους στο *Σχήμα 1* βασίζεται σε έναν VCA (Voltage Control Amplifier) αλλά υπάρχουν και άλλα διαφορετικά στάδια κέρδους τα οποία αναφέρονται επιγραμματικά αφού θα αναλυθούν εκτενώς σε επόμενο υποκεφάλαιο και αυτά είναι:

- Variable MU (Tube)
- FET (Field – Effect Transistor)
- Opto (Optical Filament)
- VCA (Voltage Control Amplifier)

2.1.2 Τεχνολογίες κατασκευής

Ο Συμπιεστής μέσα στο πέρασμα των χρόνων ως ηλεκτρονική συσκευή δέχθηκε μεγάλες αλλαγές στον τρόπο λειτουργίας του καθώς και στην τεχνολογία στην οποία βασιζόταν για να λειτουργήσει. Παρ' όλα αυτά η αύξηση της χρήσης του σε διάφορες εφαρμογές (Ηχογράφηση, Μίξη, Mastering κλπ) οδήγησε σε μία μεγάλη ποικιλία σχεδιαστικών επιλογών. Έτσι σήμερα καταλήγουμε να έχουμε Συμπιεστές αποτελούμενους από λυχνίες κενού (variable – mu), οπτικά στοιχεία (optical filaments), τρανζίστορ επίδρασης πεδίου (field – effect transistor), ελεγχόμενους ενισχυτές μέσω τάσης (voltage control amplifiers) κλπ. αν και τις περισσότερες φορές η κάθε τεχνολογία κατασκευής υποδεικνύει τον ηχητικό «χαρακτήρα» στον εκάστοτε Συμπιεστή. Οπότε μιλώντας αναλυτικότερα για

αυτές τις τεχνολογίες κατασκευής του Συμπιεστή πρέπει να αναφέρουμε για την κάθε μία ξεχωριστά ότι:

- **Λυχνία Κενού (Variable – MU)**

Τα πρώτα κατασκευαστικά σχέδια βασίζονταν στις λυχνίες κενού. Το MU είναι μια μορφή του παράγοντα ενίσχυσης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί έτσι ώστε να μετατρέψει μια λυχνία κενού σε έναν ενισχυτή μεταβλητού κέρδους. Αυτοί οι σχεδιασμοί που βασίζονται στην λυχνία κενού δεν έχουν έλεγχο επί του λόγου συμπίεσης (ratio) αλλά παρέχουν προοδευτικά αυξανόμενη ελλάτωση του κέρδους (gain reduction) επί της στάθμης του σήματος όπου όλη αυτή η συμπεριφορά του μοιάζει με το χαρακτηριστικό του Soft Knee (§2.4) που θα εξηγηθεί παρακάτω.

Αυτό βέβαια συμβαίνει έως ότου ενός σημείο, διότι από εκείνο το σημείο και μετά ο Συμπιεστής θα γυρίσει σε ποιο γραμμική συμπεριφορά. Επίσης όσον αφορά τους χρόνους attack & release είναι πιο γρήγορος από ένα σχεδιασμό οπτικών στοιχείων αλλά αρκετά πιο αργός από τους σχεδιασμούς που βασίζονται σε VCA & FET.

- **Τρανζίστορ επίδρασης πεδίου (Field – Effect Transistor)**

Προχωρώντας στα χρόνια περνάμε από την λυχνία κενού στο τότε εμφανιζόμενο τρανζίστορ το οποίο αρχίζει και την αντικαθιστά καθώς τα σχέδια κατασκευής χρησιμοποιούν έναν από τους τύπους τρανζίστορ που υπάρχουν τότε το τρανζίστορ επίδρασης πεδίου (FET).

Αυτά τα τρανζίστορ έναντι του προκατόχου τους ενώ έχουν περίπου ίδιο ηχητικό «χαρακτήρα» έχουν σημαντικά πιο γρήγορους χρόνους attack & release σε σχέση με την λυχνία κενού και επίσης παρέχουν επιπλέον μία σημαντική

επιλογή. Αυτή του λόγου συμπίεσης (ratio). Επίσης όπως και οι Συμπιεστές με λυχνία κενού ο λόγος συμπίεσης τείνει να αποκτά μία γραμμικότητα όταν υπάρχουν σήματα με μεγάλη στάθμη.

- **Οπτικά στοιχεία (Opto-Optical Filament)**

Το παράλληλο side – chain σήμα ενός οπτικού Συμπιεστή ελέγχει την φωτεινότητα ενός νήματος (filament) μέσα σε μία λάμπα (ή σε μερικές φορές η λάμπα έχει αντικατασταθεί από μία δίοδο εκομπής φωτός – light-emitting diode, led). Στο στάδιο μεταβολής του κέρδους υπάρχει ένα φωτοευαίσθητο υλικό (μια LDR αντίσταση – Light Dependent Resistor) το οποίο αναλόγως την φωτεινότητα επηρεάζει και το κέρδος.

Παρ' όλο που εμπλέκεται το φως στην όλη διάταξη και διαδικασία μεταβολής του κέρδους επί της ουσίας το σήμα του side – chain αυτό που κάνει είναι να ζεσταίνει ένα νήμα και να παράγει φως με την φωτεινότητα του να είναι αντιπροσωπευτική της στάθμης του σήματος εισόδου. Το νήμα αυτό μέχρι να ζεσταθεί αρκετά ώστε να παράξει φως (το οποίο θα ανιχνευθεί απο την LDR) και να κρυώσει χρειάζεται ένα χρονικό παράθυρο για κάθε μία από τις δύο καταστάσεις το οποίο στα χρονικά πλαίσια που ανταποκρίνεται ένας τυπικός Συμπιεστής είναι μεγάλα. Έτσι οι Οπτικοί Συμπιεστές δεν έχουν μεγάλη ακρίβεια στους χρόνους attack & release προσδίδοντάς τους έναν ιδιαίτερο ηχητικό «χαρακτήρα».

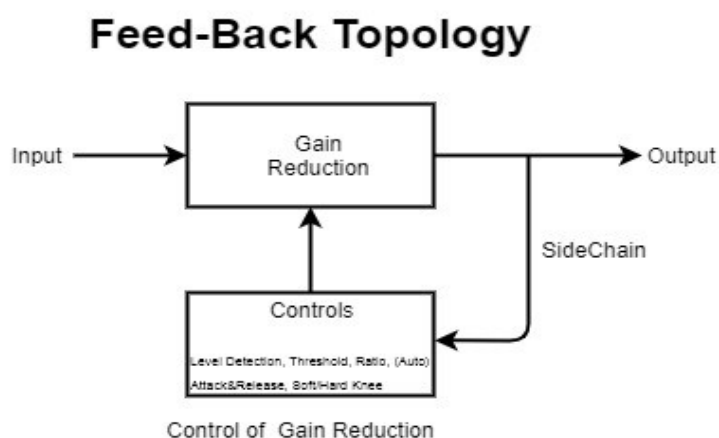
- **Ελεγχόμενοι Ενισχυτές μέσω Τάσης (Voltage Control Amplifiers)**

Από όλους τους αναλογικούς σχεδιασμούς ο VCA σχεδιασμός είναι ο πιο σύγχρονος με μεγάλη κλίμακα σε επιλογή υλικών και διατάξεων ώστε να

κατασκευαστεί ένας ελεγχόμενος ενισχυτής μέσω τάσης μεταβλητού κέρδους που να είναι γραμμικός και ταυτόχρονα να έχει μεγάλη απομόνωση επί της διαρροής (crosstalk) μεταξύ των σημάτων εισόδου και ελέγχου. Επίσης λόγω της «ελευθερίας» στα υλικά και στον σχεδιασμό παρέχουν την μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια στο χειρισμό της αλλαγής του κέρδους. [Izhaki 2008, Barners 2006]

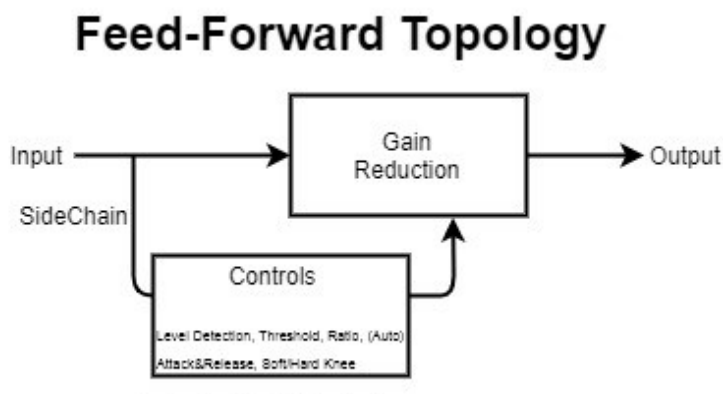
2.1.3 Τοπολογίες Feed-Forward/ Feed-Back του Side-Chain

Υπάρχουν δύο βασικές τοπολογίες κυκλωμάτων που χρησιμοποιούνται στους Συμπιεστές, οι feed-forward και feed-back. Όπως υποδηλώνουν τα ονόματα, οι feed-forward χρησιμοποιούν το σήμα εισόδου για να αναπαράξουν την περιβάλλουσα



Σχήμα 3: Block διάγραμμα Feed-Back τοπολογίας

του πλάτους του σήματος ενώ οι feed-back τοπολογίες μετράνε την ήδη συμπιεσμένη έξοδο ώστε να «εξάγει» και να δημιουργήσει το σήμα ελέγχου. Η λειτουργία της feed-back τοπολογίας είναι απλή: εάν η έξοδος είναι μεγαλύτερη από το Κατώφλι, μειώνει το κέρδος. Αυτά είναι όλα που πρέπει να κάνει το κύκλωμα από τη στιγμή που η ελάττωση του δυναμικού εύρους έχει εφαρμοστεί ήδη στο σήμα το οποίο μετράται.



Σχήμα 2: Block διάγραμμα Feed-Forward τοπολογίας

Στην περίπτωση της feed-forward τοπολογίας, ο

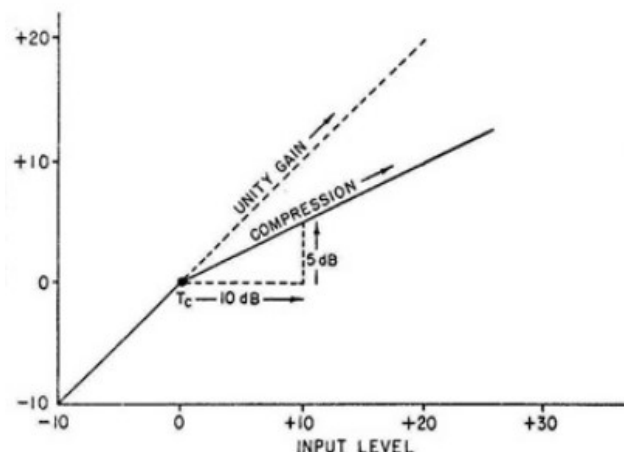
χρήστης πρέπει να γρωρίζει κατά πόσο το σήμα υπερβαίνει το Κατώφλι και να μειώσει το δυναμικό εύρος όσο χρειάζεται. Αυτό απαιτεί τα βαθμονομημένα κυκλώματα μέτρησης (calibrated measurement circuits) και κέρδους, να δουλεύουν ταυτόχρονα για να επιφέρουν τη σωστή ελάττωση του δυναμικού εύρους. Έτσι η feed-forward τοπολογία καθίσταται πιο πολύπλοκη και αυτός είναι ένας από τους λόγους που η feed-back τοπολογία χρησιμοποιήθηκε πρώτα.

Η τοπολογία σε κάποιο βαθμό μπορεί να επηρεάσει τον ηχητικό «χαρακτήρα» του Συμπιεστή. Σε γενικές γραμμές, οι feed-back τοπολογίες μειώνουν τις απαιτήσεις του δυναμικού εύρους στο κύκλωμα ελέγχου, καθώς το ίδιο το δυναμικό εύρος της εισόδου του είναι ήδη ελαττωμένο. Οι χρόνοι attack & release ενός feed-back Συμπιεστή επηρεάζεται από το λόγο συμπίεσης, ενώ οι χρόνοι attack & release ενός feed-forward Συμπιεστή καθορίζεται κυρίως από την ταχύτητα του κυκλώματος ανίχνευσης στάθμης του σήματος εισόδου. [Izhaki 2008, Barners 2006]

2.2 Λόγος Συμπίεσης – Ratio

Βάση του ορισμού του Συμπιεστή (που αναφέρθηκε παραπάνω) η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στο γεγονός ότι από μία στάθμη και πάνω η οποία ονομάζεται Κατώφλι – Threshold (συνήθως συμβολίζεται με T), ο Συμπιεστής δίνει στην έξοδο του ένα ποσοστό της αντίστοιχης στάθμης του σήματος εισόδου. Δηλαδή η transfer function (συνάρτηση σχέσης μεταξύ της εισόδου και της εξόδου) του συστήματος μας (δηλαδή του Συμπιεστή) σταματά να είναι η γραμμική συνάρτηση $y(x) = x$ (1) όπου το y είναι η έξοδος του συστήματος και x η είσοδος του και γίνεται $y(x) = \frac{1}{R} * x$ (2) με $R > 1$ όπου το R είναι ο

λόγος συμπίεσης – Ratio (συνήθως συμβολίζεται με R). Άρα το σήμα εξόδου θα είναι το $\frac{1}{R}$ της εισόδου.



Σχήμα 4: Θεωρητικό διάγραμμα της απόκρισης εισόδου - εξόδου ενός Συμπιεστή.

Μια ακόμα συνέπεια της (2) (επειδή ο Λόγος R είναι σταθερό) είναι ότι $\Delta y = \frac{1}{R} * \Delta x \rightarrow \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{1}{R}$ δηλαδή ο λόγος μεταβολών εξόδου προς είσοδο είναι και ο λόγος των αντίστοιχων μεταβολών δυναμικής το οποίο ισχύει μόνο για στάθμες εισόδου μεγαλύτερες απο την ορισμένη στάθμη του Κατωφλιού T .

Άρα θα μπορούσαμε να πούμε σύμφωνα με τις σχέσεις (1) και (2) ότι η transfer function του Συμπιεστή θα είναι η εξής:

$$y(x) = \frac{1}{R} * x, \text{ για } x > T$$

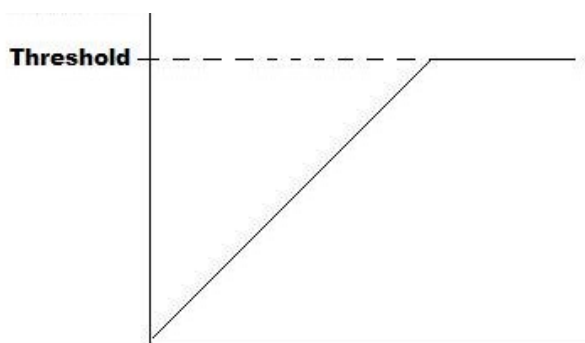
$$y(x) = x, \quad \text{για } x < T$$

Επίσης η (2) μπορεί να γραφτεί ως εξής ώστε να εισάγουμε και την παράμετρο του Κατωφλιού στην εξίσωση:

$$y(x) = T + \frac{x-T}{R}, \text{ για } x > T \quad (3)$$

Ωστόσο λαμβάνοντας υπ' όψιν την (2) θα παρατηρήσουμε ότι όσο αυξάνουμε την τιμή του Ratio τόσο πιο πολύ μειώνεται η στάθμη εξόδου του Συμπιεστή για τιμές στάθμης εισόδου μεγαλύτερες του Threshold. Αυτό σημαίνει ότι όσο αυξάνει το Ratio (δηλαδή το $\frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{1}{R} \rightarrow 0$) τόσο μικραίνει η διαφορά δυναμικού εύρους από την τιμή του Threshold και πάνω. [Ξενικάκης 2017]

Υπάρχει βέβαια μια ειδική περίπτωση που το Ratio γίνεται τόσο μεγάλο ή και απειρίζεται. Στην προκειμένη κατάσταση όπως είναι λογικό ένα σήμα εισόδου το οποίο ενδεχομένως να έχει κάποια μέρη του μεγαλύτερης στάθμης από την προκαθορισμένη τιμή στάθμης του Threshold θα συμπιεστεί με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να μειωθεί το δυναμικό του εύρος



ώστε να μην ξεπερνά την τιμή **Περιοριστή**

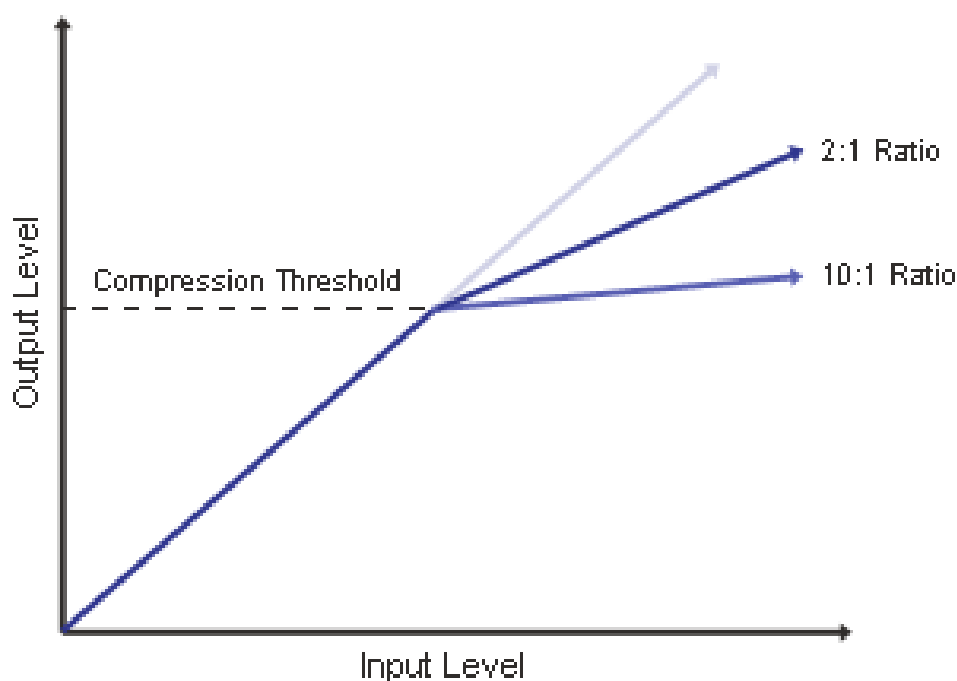
Σχήμα 5: Θεωρητικό διάγραμμα εισόδου - εξόδου ενός Περιοριστή

του Threshold, ενώ τα μέρη του σήματος τα οποία έχουν στάθμη μικρότερη του Threshold όπως είναι προφανές θα μείνουν ανεπηρέαστα. Αυτές οι συσκευές είναι μία ειδική κατηγορία του Συμπιεστή οι οποίες ονομάζονται Περιοριστές (Limiters) και επί της ουσίας είναι – στην πιο απλή μορφή τους τουλάχιστον – Συμπιεστές με Λόγο συμπίεσης $R = \frac{\infty}{1}$. [Ξενικάκης, 2017, Giannoulis et al 2012]

2.3 Κατώφλι Λειτουργίας – Threshold

Κατώφλι (Threshold) ονομάζεται η παράμετρος που αναφέρεται στην στάθμη του σήματος εισόδου για την οποία στάθμη και πάνω, ο Συμπιεστής θα αρχίσει να μειώνει το δυναμικό του εύρος. Δίκαια λοιπόν αυτή η παράμετρος ονομάζεται

Κατώφλι αφού για στάθμες εισόδου μεγαλύτερες από την τιμή του, ο Συμπιεστής τότε και μόνο τότε θα μειώσει το δυναμικό εύρος (ειδική περίπτωση είναι αυτή του Soft Knee – αναλύεται σε επόμενο υποκεφάλαιο – κατά την οποία ο Συμπιεστής θα αρχίσει να μειώνει το δυναμικό εύρος του σήματος πριν το σήμα εισόδου ξεπεράσει την στάθμη του Κατωφλιού). Επίσης η τιμή του Threshold εκφράζεται σε Decibel.

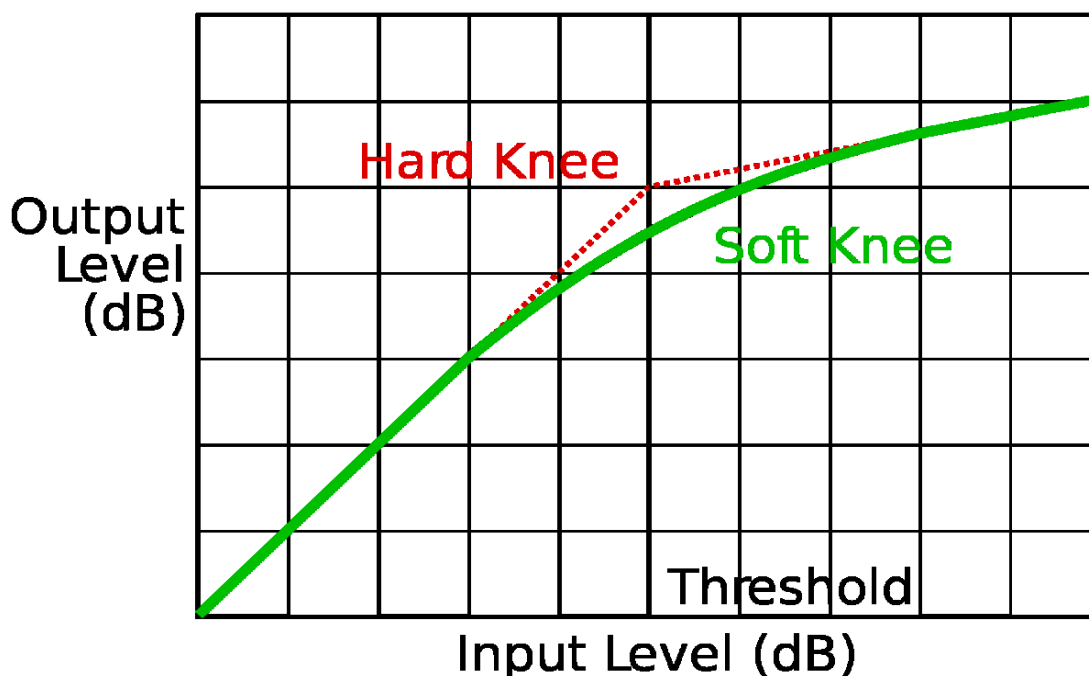


Σχήμα 6: Το θεωρητικό σχήμα και το σημείο του Κατωφλιού

Υπάρχουν όμως Συμπιεστές όπως για παράδειγμα ο Universal Audio 1176SE οι οποίοι έχουν σταθερή, προκαθορισμένη τιμή για το Threshold και ο τρόπος που πετύχαινε την επιθυμητή τιμή του Threshold ήταν με το να υπεροδηγεί το σήμα εισόδου ο χρήστης – παρόμοιος τρόπος που χρησιμοποιούταν για την υπεροδήγηση της μαγνητοταινίας. [Ξενικάκης 2017, Kadis 2016, Izhaki 2008, Martin 2003]

2.4 Εξομάλυνση Καμπύλης – Hard/Soft Knee

Ένα άλλο θέμα που προκύπτει είναι στο σημείο του Threshold. Και αυτό διότι σε αυτό το σημείο η μεταβολή στο κέρδος του σήματος (άρα και στην έξοδο του Συμπιεστή, πάντα σε σχέση με την είσοδο του) θα ελαττωθεί μεν, απότομα δε. Το οποίο πολλές φορές μπορεί να έχει διακριτό (ακουστό) αποτέλεσμα. Έτσι αυτό που κάνουν οι κατασκευαστές είναι να εισάγουν μια λειτουργία (εάν βέβαια το επιθυμεί ο χρήστης με την ύπαρξη ενός διακόπτη Soft Knee) που θα «μαλακώσει» αυτήν την καμπύλη γύρω από το σημείο το Threshold.



Σχήμα 7: Θεωρητικό διάγραμμα στο σημείο του Threshold μεταξύ Hard Knee και Soft Knee

Το σημείο αυτό είναι το σημείο που βρίσκεται το Threshold στο οποίο αλλάζει η στάθμη εξόδου του ενισχυτή και η περιοχή γύρω από αυτό ονομάζεται Knee (K). Όταν ο χρήστης ενεργοποιήσει την λειτουργία του Soft Knee επί του πρακτέου ο Συμπιεστής θα αρχίσει να μειώνει το δυναμικό εύρος λίγο πριν η στάθμη του σήματος φτάσει την τιμή του Threshold (το πόσο πριν το ορίζει ο κατασκευαστής

στην περίπτωση που δεν δίνεται στον χρήστη ως μία από τις παραμέτρους ελέγχου) και με Ratio μικρότερο του προκαθορισμένου έως φτάσει σε ένα σημείο πάνω από το Threshold τόσο όσο ήταν και πριν το υπερβεί που από εκεί και πάνω ο Συμπιεστής τώρα πια θα μειώνει το δυναμικό εύρος με Ratio όσο έχει καθοριστεί. Για το εύρος του Soft Knee γύρω από το Threshold θα έχουμε ότι :

$$y(x) = x, \quad (4.1) \quad \text{για } 2(x - T) < -W$$

$$y(x) = x + \left(\frac{1}{R} - 1\right) * \frac{\left(x - T + \frac{W}{2}\right)^2}{2W}, \quad (4.2) \quad \text{για } 2|(x - T)| \leq W$$

$$y(x) = T + \frac{(x - T)}{R}, \quad (4.3) \quad \text{για } 2(x - T) > W$$

όπου W είναι το εύρος γύρω από το σημείο του Threshold. [Giannoulis et al 2012, Massberg 2009, Ξενικάκης 2017, Kadis 2016, Izhaki 2008, Martin 2003]

2.5 Ανίχνευση στάθμης του σήματος – Level Detection

Πιθανόν ο πιο απλός τρόπος ανίχνευσης ενός σήματος είναι η ανίχνευση της ενεργού τιμής του (RMS). Όπως θα αναλυθεί παρακάτω, το σήμα εισόδου επί της ουσίας διαχωρίζεται και δρομολογείται σε δύο κυκλώματα. Το πρώτο είναι το κύκλωμα που ευθύνεται για την αύξηση ή την ελάττωση του κέρδους (gain) του σήματος που μπαίνει στον Συμπιεστή (το οποίο είναι και αυτό που στέλνεται στην έξοδο). Το δεύτερο, γνωστό και ως «διαδρομή ελέγχου» ανιχνεύει την RMS στάθμη του σήματος και παράγει στην έξοδο του ένα σήμα ελέγχου το οποίο αλλάζει το κέρδος του πρώτου κυκλώματος. Στην προκειμένη περίπτωση, η ταχύτητα στην οποία το σήμα ελέγχου «αντιδρά» σε αλλαγές της στάθμης του σήματος εξαρτώνται από την χρονική σταθερά του RMS ανιχνευτή.

Υπενθυμίζεται ότι η RMS μέτρηση είναι επί της ουσίας ένας μέσος όρος (τετραγωνική ρίζα του μέσου όρου του αθροίσματος των τετραγώνων του

πλάτους – Root Mean Square) του μεταβαλλόμενου πλάτους του σήματος σε μια δεδομένη χρονική περίοδο. Αυτό σημαίνει ότι χρειάζεται να περάσει κάποιος χρόνος για την ανίχνευση της μεταβολής της στάθμης του σήματος. Έτσι εάν ο χρόνος της RMS μέτρησης είναι αρκετά μεγάλος υπάρχει η περίπτωση για ένα σήμα πολύ μικρής διάρκειας και στάθμης μεγαλύτερης της ορισμένης στάθμης Κατωφλιού να περάσει χωρίς να ελαττωθεί το δυναμικό του εύρος.

Εάν όμως η RMS μέτρηση είναι αρκετά αργή για την ανίχνευση των σημάτων που επεξεργαζόμαστε, υπάρχει η δυνατότητα της ανίχνευσης του στιγμιαίου πλάτους (Peak) του σήματος εισόδου.

Όπως είναι προφανές η Peak ανίχνευση «κοιτάζει» σε πολύ μικρό χρονικό παράθυρο την μέγιστη τιμή του πλάτους του σήματος.

Στις μέρες μας κυκλοφορούν Συμπιεστές – όπως και πολλά προγράμματα εξομοίωσης για H/Y (plugins) – οι οποίοι μπορούν να κάνουν και των δύο ειδών ανίχνευση (Peak – RMS) αν και παλιότερα υπήρχαν Συμπιεστές που υποστήριζαν μόνο την μία εξ αυτών.

Μία τρίτη μέθοδο ανίχνευσης της στάθμης του σήματος είναι αυτή της ανίχνευσης και των δύο τιμών και αμέσως μετά η σύγκριση τους. Μιλάμε δηλαδή για τον γνωστό λόγο που ονομάζεται Παράγοντας Κορυφής (ή και Παράγοντας Κορεσμού – Crest Factor) και είναι ο λόγος της Peak τιμής προς την RMS.

$$Crest\ Factor = \frac{Peak}{RMS}$$

Η τιμή του Crest Factor μπορεί να ξεκινά από το 0 ($-\infty$ εάν είναι εκφρασμένο στην κλίμακα Decibel) μέχρι έναν αρκετά μεγάλο αριθμό. Εάν συμβαίνει αυτό τότε η RMS τιμή είναι αρκετά μεγαλύτερη της Peak τιμής και ο Συμπιεστής ανταποκρίνεται στην RMS τιμή του σήματος. Εάν όμως συμβαίνει το αντίθετο και έχουμε έναν μεγάλο αριθμό (ή μικρότερο αλλά αρκετά μεγαλύτερο του $-\infty$ εκφρασμένο στην κλίμακα Decibel) σημαίνει ότι η Peak τιμή

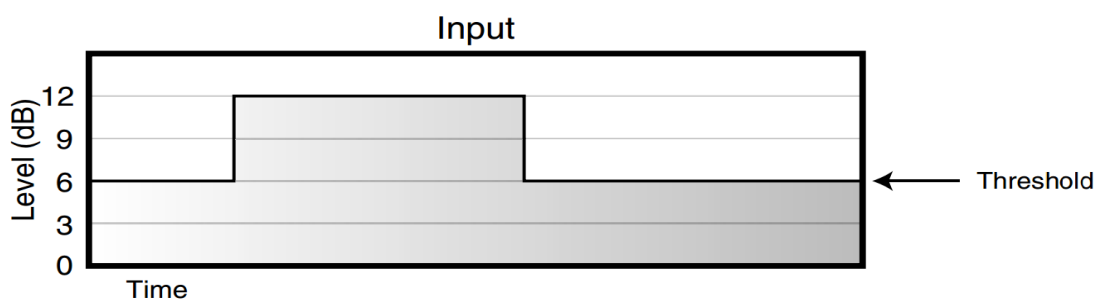
είναι μεγαλύτερη της RMS και ο Συμπιεστής τώρα ανταποκρίνεται στην Peak τιμή του σήματος. [Giannoulis et al 2012, Izhaki 2008]

2.6 Χρόνοι Attack & Release

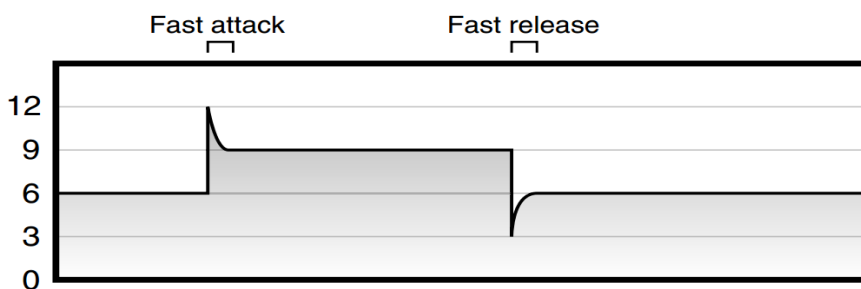
Οι σύγχρονοι Συμπιεστές μπορούν να ανταποκριθούν άμεσα στις ξαφνικές αλλαγές της στάθμης του σήματος. Ωστόσο, το γρήγορο δεν είναι πάντα και το επιθυμητό αποτέλεσμα. Για παράδειγμα, εάν θέλουμε να διατηρήσουμε φυσική την ατάκα της νότας ενός οργάνου συνήθως θέλουμε να αφήσουμε κάποια από την αρχική στάθμη του σήματος να περάσει μέσα από τον Συμπιεστή χωρίς να επηρεαστεί καθόλου (ή ελάχιστα) το δυναμικό του εύρος.

Για να γίνει αυτό, πρέπει να είμαστε σε θέση να επιβραδύνουμε την χρονική απόκριση του Συμπιεστή. Ομοίως εάν υπάρχει μία μεγάλη ελάττωση του κέρδους (gain reduction – G.R.) η οποία επανέρχεται σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα θα έχει παράξενα ακουστικά αποτελέσματα. Για να το προλάβουμε αυτό – από το να συμβεί – θα πρέπει να μπορούμε να επέμβουμε στο χρόνο που ο Συμπιεστής σταματά να ελαττώνει την δυναμική περιοχή του σήματος.

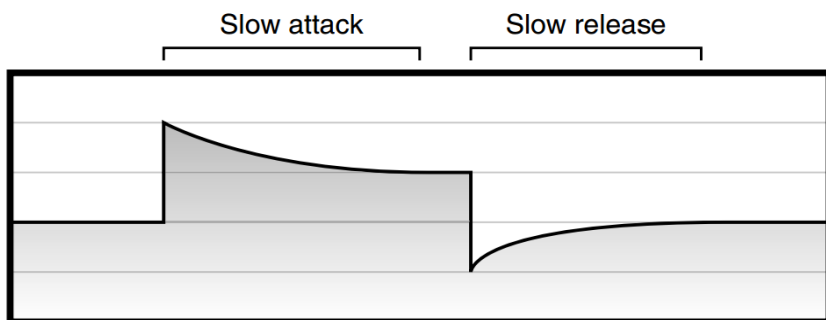
Οι παράμετροι attack και release είναι γνωστοί και ως χρονικές σταθερές ή ως χρόνοι απόκρισης του Συμπιεστή. Ο χρόνος attack καθορίζει το χρόνο που χρειάζεται η ελάττωση του κέρδους για να γίνει η μέγιστη καθορισμένη (από τον χρήστη) ενώ ο χρόνος release καθορίζει το πόσο γρήγορα η ελάττωση του κέρδους μειώνεται. Ουσιαστικά μια μεγαλύτερη ρύθμιση των παραμέτρων αυτών είτε θα επιβραδύνει το ρυθμό με τον οποίο η ελάττωση του κέρδους αυξάνεται (attack) ή μειώνεται (release) αντίστοιχα. Τόσο ο χρόνος attack όσο και ο χρόνος release ρυθμίζονται συνήθως σε χιλιοστά του δευτερολέπτου (mili seconds – ms). Οι χρόνοι του attack συνήθως κυμαίνονται μεταξύ 0,010 ms (10 μs) και 250 ms. Οι χρόνοι του release είναι κυμαίνονται συχνά από 5ms έως 3000 ms (3s).



Σχήμα 8: Σήμα εισόδου (Ριπή - Burst Signal) με ιδεατά μηδενικούς χρόνους attack και release.



Σχήμα 9: Σήμα εισόδου (Ριπή - Burst Signal) με μικρούς χρόνους attack και release.



Σχήμα 10: Σήμα εισόδου (Ριπή - Burst Signal) με μεγάλους χρόνους attack και release.

Είναι σημαντικό να καταλάβουμε ότι και οι δύο χρόνοι καθορίζουν το πόσο γρήγορα μπορεί να αλλάξει η μείωση κέρδους και όχι ο χρόνος που χρειάζεται για να αλλάξει. (Izhaki 2008). Στην πράξη, και οι δύο ορίζουν πόσο χρόνο χρειάζεται η αλλαγή κέρδους να αλλάξει κατά ένα καθορισμένο ποσό σε dB.

[Izhaki 2008, Giannoulis et al 2012, Martin 2003]

2.7 Auto Attack & Auto Release

Πολλοί Συμπιεστές προσφέρουν άλλο ένα χαρακτηριστικό αυτό των αυτόματων χρόνων attack και release. Όταν αυτή η κατάσταση είναι ενεργοποιημένη, επί της ουσίας ο Συμπιεστής αποφασίζει μόνος του για την διάρκεια των χρόνων αυτών αυτόματα.

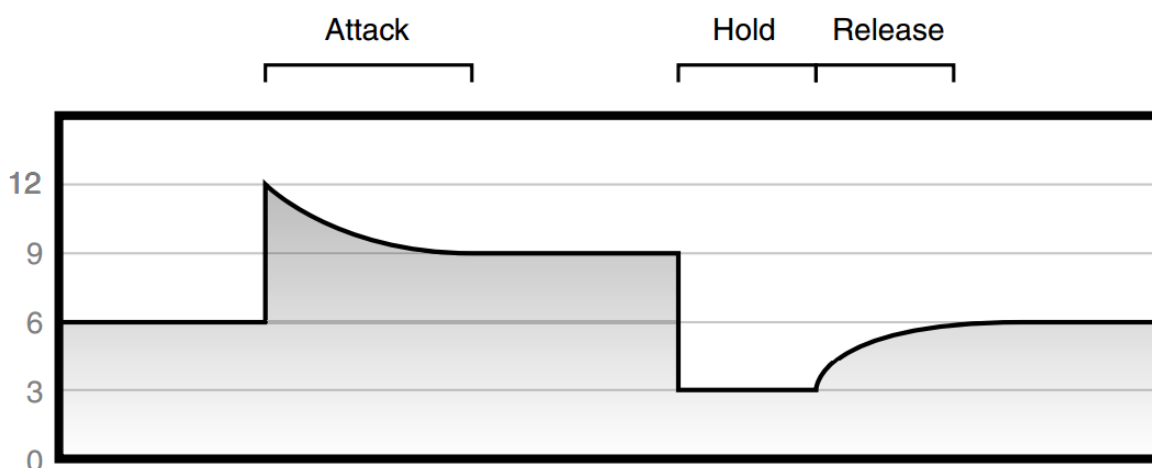
Αυτό το επιτυγχάνει παρατηρώντας τις διαφορές μεταξύ των Peak και RMS τιμών του σήματος ελέγχου. Είναι άξιο αναφοράς να πούμε ότι στην λειτουργία auto ούτε ο χρόνος του attack ούτε ο χρόνος του release είναι σταθεροί, αλλά αλλάζουν, σε αντίθεση με την κανονική τους κατάσταση που ο χρήστης καθορίζει συγκεκριμένες (σταθερές) τιμές για τους χρόνους των attack και release.

Μεγάλο ποσοστό αυτού που θα ονομάζαμε «χαρακτήρα» ενός Συμπιεστή καθορίζεται από τους χρόνους των attack και release ή γενικότερα από τους «χρονικούς νόμους (timing laws)» ή πιο απλά «χρόνο». Αυτοί οι «χρονικοί νόμοι» καθορίζουν τον ρυθμό της αλλαγής των attack και release που εφαρμόζονται στην ελάττωση του δυναμικού εύρους, που στην πιο απλή μορφή τους μπορεί να είναι εκθετικοί ή γραμμικοί. Υπάρχει βέβαια και μία ομοιότητα μεταξύ των εκθετικών και γραμμικών εξασθενήσεων. Μόνο που οι εξασθενήσεις εφαρμόζονται πάνω στο ίδιο το σήμα ενώ το attack και το release εφαρμόζονται στην ελάττωση του κέρδους.

Γενικά μιλώντας οι εκθετικοί «χρόνοι» εξασθένησης τείνουν να ακούγονται πιο «φυσικοί» και λιγότερο κωλυσιεργικοί. Ενώ οι γραμμικοί «χρόνοι» τείνουν να έχουν περισσότερο «χρώμα» κάτι που συσχετίζεται συχνά με τον ήχο ορισμένων παλαιών αναλογικών συσκευών. [Izhaki 2008]

2.8 Hold

Πολλοί Συμπιεστές παρέχουν άλλη μία παράμετρο αυτή του Hold η οποία συνδέεται με αυτές των attack και release.



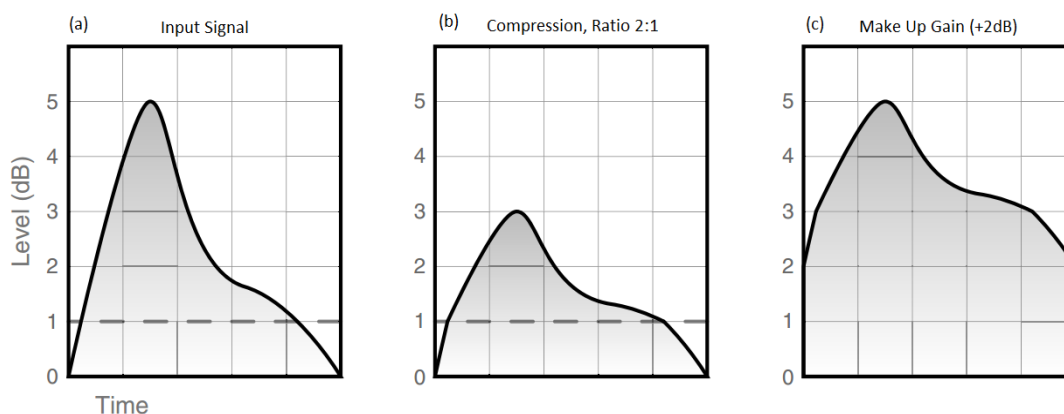
Σχήμα 11: Σήμα εισόδου (Ριπή - Burst Signal) στο οποίο φαίνεται ο χρόνος hold που προηγείται του release.

Η παράμετρος αυτή καθορίζει το πόσο η ελάττωση του δυναμικού εύρους θα παραμείνει προτού ξεκινήσει η φάση του release. [Izhaki 2008]

2.9 Makeup Gain

Προηγουμένως μιλήσαμε για την ελάττωση του δυναμικού εύρους κατά την λειτουργία του Συμπιεστή. Αυτό σημαίνει ότι η αντιληπτή ένταση (Loudness) θα έχει μειωθεί. Για αυτό το λόγο υπάρχει το Make – Up Gain (ή

αλλιώς Gain ή και Output) το οποίο ενισχύει την στάθμη του σήματος εξόδου κατά μία καθορισμένη τιμή από τον χρήστη.



Σχήμα 12: Αύξηση του συνολικού κέρδους σε έναν Συμπιεστή. Στο πρώτο γράφημα (a) φαίνεται το σήμα εισόδου όπως αυτό εισέρχεται μέσα στον Συμπιεστή. Στο δεύτερο (b) βλέπουμε την συμπίεση που υφίσταται το σήμα. Και στο τρίτο (c) βλέπουμε την ολική ενίσχυση του.

Η ενίσχυση εφαρμόζεται ομοιόμορφα σε όλο το δυναμικό εύρος του σήματος ανεξαρτήτως των άλλων παραμέτρων. Οι συμπιεστές υλοποιούν αυτή τη λειτουργία είτε επηρεάζοντας την ποσότητα κέρδους του side – chain (το κύκλωμα ελέγχου υπεύθυνο για την αυξομείωση του κέρδους (gain) που αναφέρθηκε προηγουμένως) πριν εφαρμοστεί από το στάδιο κέρδους (gain) είτε απλά ενισχύοντας το σήμα μετά το κέρδος (gain). [Izhaki 2008]

Κεφάλαιο 3 – Ιστορική Αναδρομή

3.1 Οι Δυναμικοί Επεξεργαστές στο Ραδιόφωνο και την Τηλεόραση

Οι πρώτοι δυναμικοί επεξεργαστές έκαναν την εμφάνιση τους το 1930 για να ελέγχουν την ένταση των παρουσιαστών στην τηλεόραση και το ραδιόφωνο. Τα μόνα ρυθμιστικά που είχαν ήταν αυτά της στάθμης εισόδου και εξόδου τους. Ο πρώτος επεξεργαστής δυναμικού εύρους που κυκλοφόρησε στο εμπόριο εφευρέθηκε από την Western Electric Company το 1937 και ονομαζόταν 110A Program Amplifier. Πρόκειται



Εικόνα 1: Ο Πρώτος Συμπιεστής, ο 110A Program Amplifier

για έναν Compressor με Limiting (λόγος συμπίεσης πάνω από 10:1) δυνατότητες ο οποίος ήταν ικανός να αυξήσει την στάθμη έντασης εξόδου έως +20 dB, να συμπιέζει τις υπερβολικά ψηλές τιμές (Peaks) του σήματος, να παρέχει προστασία από απότομες εναλλαγές της στάθμης του σήματος αναμετάδοσης και είχε δείκτες για να παρακολουθεί ο διαχειριστής την ομαλή λειτουργία του. Μπορούσε να δεχτεί σήμα στάθμης από -35 έως +5 dB και είχε κατανάλωση ρεύματος λιγότερη από 100 Watt. Εσωτερικά αποτελούταν από έναν ενισχυτή

εισόδου, ένα παθητικό κύκλωμα μείωσης του σήματος εισόδου, ένα τροφοδοτικό και έναν δείκτη με επιλογή ένδειξης του σήματος εισόδου ή εξόδου.

Το 1960 κυκλοφόρησε στο εμπόριο η σειρά Conax 602 της εταιρείας Fairchild, προσδίδοντας περισσότερες δυνατότητες στην οικογένεια των δυναμικών επεξεργαστών. Η σειρά αυτή αποτελούνταν από συσκευές οι οποίες διαχώριζαν, μέσω παθητικού crossover, σε δύο μέρη το σήμα με κεντρική



Εικόνα 2: Ο Conax 602 της Fairchild

συχνότητα το 1 kHz, έτσι ώστε οι συχνότητες μετά το 1 kHz να διέρχονται από ένα παθητικό φίλτρο διέλευσης υψηλών συχνοτήτων και ένα Pre–Emphasis/Clipping κύκλωμα για να αφαιρούν τους θορύβους που δημιουργούνταν όταν μία μη διαχειρίσιμη ραδιοσυχνότητα εισερχόταν σε ένα αποκωδικοποιητή (δέκτη).

Μία πρώιμη μορφή αυτού που εννοούμε σήμερα «Μοντέρνα Επεξεργασία



Εικόνα 4: Ο Audimax της CBS Labs με το σύστημα gating



Εικόνα 3: Ο Volumax της CBS Labs με δυνατότητες Limiting

Σήματος» προήλθε το 1960 από τις καινοτόμες ιδέες των CBS Laboratories με την εφεύρεση των επεξεργαστών Audimax και Volumax (Εικ. 1.4). Ο πρώτος είχε εγκατεστημένο ένα Gating

σύστημα ευρείας ζώνης συχνοτήτων για να αφαιρεί το μέχρι τότε ελάττωμα των συσκευών αυτών γνωστό ως Noise–Breathing Problem (ο θόρυβος που προϋπάρχει στο σήμα γίνεται πιο αισθητός όταν

επιστρέφει το σήμα από την κατάσταση συμπίεσης), ενώ ο δεύτερος είχε δυνατότητα Limiting και ρύθμισης του Attack Time του μηχανήματος ώστε να είναι πιο ομαλή η μετάβαση του σε κατάσταση συμπίεσης αποφεύγοντας έτσι την δημιουργία κενών κατά τη διάρκεια της αναμετάδοσης. Εξέλιξη του τελευταίου αποτελεί ο επεξεργαστής FM (Frequency Modulation) Volumax ο οποίος στόχευε στην απαλοιφή του Pre-Emphasis Problem έχοντας ένα Shelving Equalizer ενδιάμεσα από το Limiter και το Clipper. Μία δεκαετία μετά (1970) έκανε την εμφάνιση του ο πρώτος επεξεργαστής που συμπίεζε ξεχωριστά τα πρίμα, μπάσα και μεσαία ενός σήματος με όνομα “Discriminate Audio Processor” και είχε δύο εκδοχές την AM (Amplitude Modulation) και την FM. Έπειτα το 1975 η Orban Associates έφερε στο εμπόριο τον Optimod – FM ο οποίος παρείχε δυνατότητες Compression, Limiting, HF Limiting, Clipper, λογαριθμικό 15 kHz Low Pass Filtering και Stereo Multiplex Encoding (στερεοφωνική μετατροπή ήχου σε MPX σήμα για την προσαρμογή του FM πομπού) θέτοντας έτσι την δική τους πρόταση ως προς την σειρά ροής του σήματος από τα επεξεργαστικά μέσα της εποχής. Δύο χρόνια μετά (1977) η ίδια εταιρεία λάνσαρε τον Optimod-AM ο οποίος ακολουθούσε τους FCC (Federal Communications Commission) κανονισμούς (1978) που αφορούσαν την επεξεργασία του σήματος ως προς την συχνοτική αναμετάδοση, ενώ το 1982 κυκλοφόρησε τον Hilbert – Transform Clipper που αποτελούσε μέρος του Optimod – TV επεξεργαστή για στερεοφωνική τηλεόραση. Εκείνη την δεκαετία εφευρέθηκαν από διάφορες εταιρείες, όπως η Inovonics and Circuit Research Laboratories, ασύρματοι επεξεργαστές για να μπορεί ο χρήστης να προσαρμόζει τις ρυθμίσεις της συσκευής του ανάλογα με το πρόγραμμα παρακολούθησης.

[Orban 1992]

3.2 Οι Δυναμικοί Επεξεργαστές στην Παραγωγή Μουσικής

Πέρα από το ραδιόφωνο και την τηλεόραση οι δυναμικοί επεξεργαστές βρήκαν μεγάλη χρήση σε στούντιο μουσικής παραγωγής και επεξεργασίας ήχου (Recording, Mixing, Mastering), αλλά και στον χώρο των ζωντανών συναυλιών. Από το 1940 και μετά ξεκίνησαν οι πόλεμοι ακουστότητας “Loudness Wars” που σηματοδοτούσαν το πόσο δυνατά ακουγόταν η κάθε μουσική παραγωγή σε σύγκριση με μία άλλη στα διάφορα μέσα αναπαραγωγής (Jukebox, Radio, Vinyls, Tapes, αργότερα CDs και εν τέλει ψηφιακή πληροφορία κωδικοποίησης



MP3), κάτι που αναζητούσε το κοινό μανιωδώς. Οι πρώτες παραγωγές με

Εικόνα 6: UREI (Universal Audio) 1176

ανεβασμένες και συμπιεσμένες εντάσεις έγιναν από την εταιρεία Motown το 1959 με παραγωγές όπως το “I can concentrate” του Wade Jones, το “Come to Me” του Marvin Johnson, αλλά και πιο μετά σε παραγωγές διάφορων ειδών μουσικής όπως το “I call it pretty music but the old folks call it the Blues” (1961) του Stevie Wonder και το “Cloud Nine” των Temptations. Μερικοί από τους επεξεργαστές που χρησιμοποίησαν για Μίξη και Mastering, αρκετές φορές απευθείας και κατά την διαδικασία της ηχογράφησης, ήταν οι Urei 1176, DBX 160 (και 160X) και ο LA – 2A . Ο πρώτος ανήκει



Εικόνα 5: Teletronix LA2A

στην εταιρεία Universal Audio και αποτελούν από τα ρυθμιστικά Input, Output, Ratio (4/8/12/20/ALL), Attack, Release και από τα κουμπιά ελέγχου του δείκτη στάθμης



Εικόνα 7: DBX 160

(VU Meter). Ο δεύτερος εφευρέθηκε από την εταιρεία DBX και είχε ρυθμιστικά για το κατώφλι (Threshold), την ένταση εξόδου (Output Gain/Make Up Gain), για τον λόγο In/Out (Ratio) καθώς και για την ένδειξη εισόδου, εξόδου και μείωσης στάθμης έντασης (Gain Reduction). Ο LA – 2A δημιουργήθηκε από την Teletronix και έχει ρυθμιστικά για τις εντάσεις εισόδου και εξόδου, για την λειτουργία του σαν Compressor ή Limiter και για την ένδειξη του δείκτη σε Gain reduction, σε στάθμη +4 ή +10 dB. Μερικοί άλλοι επεξεργαστές που ήταν ιδιαίτερα διάσημοι εκείνη την εποχή ήταν οι Fairchild 670/660 Tube Compressor/Limiter, Universal Audio LA – 3A, Drawmer 1960 και Manley Variable MU. Εκτός από τους εξειδικευμένους χώρους της μουσικής παραγωγής οι επεξεργαστές δυναμικού εύρους βρήκαν ευρεία χρήση και έγραψαν ιστορία σε ζωντανές συναυλίες όπως το Woodstock Festival (1969) όπου ο Bill Hanley χρησιμοποίησε τέσσερις Teletronix LA – 2A για να προστατέψει το ισχυρότερο ηχητικό σύστημα της εποχής του μετρώντας πάνω από 400.000 κόσμο και 10.000 Watt στα 8 Ohm. [Orban 1992]

3.3 Οι Δυναμικοί Επεξεργαστές Κατά την Ψηφιακή Εποχή

Από την δεκαετία του 1990 πλέον οι εταιρείες Orban, CRL, Valey International, Gentner Electronics και η Audio Animation λανσάρουν τους πρώτους ψηφιακούς επεξεργαστές οι οποίοι έδωσαν μία νέα διάσταση στον

κλάδο και τη λογική της επεξεργασίας σημάτων καθώς ακόμα και ένα απλό σύστημα μπορεί να ρυθμιστεί άμεσα ώστε να ανταποκρίνεται σε οποιαδήποτε κατάσταση. Τα νέα αυτά συστήματα είχαν πιο φιλικό και κατανοητό περιβάλλον ακόμα και για ερασιτέχνες χρήστες, ενώ παράλληλα έδωσαν την δυνατότητα της αποθήκευσης και ανάκλησης μίας επεξεργασίας οποιαδήποτε στιγμή. Το 1994 η Waves Audio Ltd έφτιαξε το πρώτο Plugin Compressor/Limiter (υποπρόγραμμα για χρήση μέσα σε άλλο πρόγραμμα τύπου Digital Audio Workstation) με



ονομασία L1 Ultramaximizer, με ρυθμιστικά τα Threshold, Input, Out Ceiling και Release τα οποία ρύθμιζαν το σημείο της στάθμης του σήματος από το οποίο και έπειτα μπαίνει σε λειτουργία, την

ένταση σήματος εισόδου, το Limiting Point και το χρόνο εξόδου από την λειτουργία αντίστοιχα. Οι βελτιωμένες επανεκδόσεις του ήταν οι L2 και L3 οι οποίοι βγήκαν στο εμπόριο το 2000 και το 2005 αντίστοιχα. Μερικοί άλλοι Plugin επεξεργαστές της ίδιας εταιρείας ήταν οι SSL 4000 (2006), Renaissance Maxx και API (2007), ενώ έγιναν και προσομοιώσεις κάποιων ήδη υπάρχων επεξεργαστών όπως του Teletronix L2-2A, του Urei 1176 με όνομα CLA – 76, καθώς και του Urei L3 – 3A (2010). Τα ρυθμιστικά τους ήταν ίδια με τα αναλογικά μηχανήματα με έξτρα τα κουμπιά παραγωγής 50 και 60 Hz Hum Noise τα οποία συμπληρώνουν την συνηθισμένη αίσθηση που λείπει από το ψηφιακό πρόγραμμα σε σχέση με την αναλογική γνήσια συσκευή. [Orban 1992]



Εικόνα 9: Το plugin CLA-3A της Waves

Κεφάλαιο 4 – Τεχνικές Χρήσης των Δυναμικών Επεξεργαστών

4.1 Side-Chain (Ducking)

Η τεχνική αυτή ξεκίνησε από τον Douglas Shearer το 1930 σε μία προσπάθεια του να μειώσει τα ‘ΣΣ’ σε ηχογραφημένους διαλόγους ταινιών, ενώ ο ίδιος έφτιαξε τον πρώτο δυναμικό επεξεργαστή με μία επιπλέον είσοδο η οποία ενεργοποιούνταν κατ’ επιλογήν του. Αντέγραψε το βασικό του σήμα και στο πρώτο έβαλε τον επεξεργαστή, ενώ στο δεύτερο έβαλε ένα Equalizer που τόνιζε την συχνοτική περιοχή των ‘ΣΣ’ στο σήμα και το έστελνε στην είσοδο του Side-Chain. Ως αποτέλεσμα ο επεξεργαστής έμπαινε σε λειτουργία και συμπίεζε κυρίως τα μέρη του σήματος στα οποία υπήρχαν τονισμένα τα ‘ΣΣ’. Πλέον έχουν δημιουργηθεί επεξεργαστές λεγόμενοι De-Esser οι οποίοι κάνουν συγκεκριμένα αυτή την επεξεργασία συμπίεσης των ‘ΣΣ’ των σημάτων. Η τεχνική του Ducking άρχισε πολύ σύντομα και ευρέως να χρησιμοποιείται για την αρμονική μείωση της έντασης του μουσικής όταν μιλάει ένας ομιλητής ταυτόχρονα σε ραδιοφωνικές και τηλεοπτικές εκπομπές. Το 1966 ο Geoff Emerick χρησιμοποίησε αυτήν την τεχνική στα τύμπανα των Beatles, βάζοντας τα πιάτα του να συμπιέζονται από την μπότα χρησιμοποιώντας έναν Fairchild 660 Limiter, ενώ αργότερα αυτή η τεχνική χρησιμοποιείται και για την συμπίεση του μπάσου ή άλλων Sampled ήχων με οδηγό την μπότα. [Ableton 2018]

4.2 Parallel Compression (Exciter Compression)

Το 1970 ο Lawrence Horn της εταιρείας Motown είχε την ιδέα να αντθγράψει το αρχικό σήμα φωνής που είχε και να βάλει ένα Equalizer και εφέ βάθους στο πρώτο, ενώ στο δεύτερο να βάλει έναν Compressor και ένα υπερβατό φίλτρο. Έπειτα έφτιαξε την ένταση μεταξύ τους και έπειτα ως προς το σύνολο με αποτέλεσμα η φωνή να ξεχωρίζει από όλα τα υπόλοιπα όργανα. Αυτή η τεχνική φαίνεται ιδιαίτερα στις παραγωγές του από Stevie Wonder, Marvin Gaye και τους Jackson 5. Πιο μετά εφευρέθηκαν επεξεργαστές οι οποίοι κάνουν αυτή την συγκεκριμένη επεξεργασία σε ένα σήμα ονομαζόμενοι Exciter Compressors με τον πρώτο στο είδος του να είναι ο Aural Exciter της Aphex



Εικόνα 10: Ο Aural Exciter της Aphex Electronics

Electronics που πλέον κυκλοφορεί και σε ψηφιακό Plugin. Αργότερα, το 1990, αυτή η

τεχνική χρησιμοποιήθηκε από τον Tony Maserati σε ένα Sub Group Mix τυμπάνων προσδίδοντας τους ακρίβεια της ακουστικής του χώρου στον οποίο ηχογραφήθηκαν και έμεινε γνωστή στην ιστορία ως New York Compression. Αυτή η τεχνική χρησιμοποιείται και στο Mastering σε είδη μουσικής όπως η Ambient και η κλασική μουσική για να τονίζονται οι χαμηλοί έντασης ήχοι διατηρώντας όμως την ζωντάνια των δυναμικών τους. [Mirror Mixing 2008]

4.3 Serial Compression

Αυτή η τεχνική προϋποθέτει την ύπαρξη δύο παρόμοιων επεξεργαστών συνδεδεμένων σε σειρά στη ροή του σήματος. Ο πιο συνηθισμένος συνδυασμός είναι ο πρώτος επεξεργαστής να ανήκει στην κατηγορία των FET (Field Effect Transistor) όπως ο Urei 1176 και να ακολουθείται από έναν Optical ή Valve επεξεργαστή όπως ο Teletronix LA – 2A. Ο στόχος που επιτυγχάνεται έτσι είναι να σταθεροποιείται το δυναμικό εύρος του σήματος από τον πρώτο που είναι πιο γρήγορος και με τον δεύτερο που είναι πιο αργός να ισορροπούνται τα δυνατά μέρη.

Η τεχνική αυτή βρίσκει ευρεία χρήση στο χώρο της μουσικής παραγωγής



Εικόνα 11: Ο Mastering Compressor της Silent Hill

και πιο συγκεκριμένα κατά την ηχογράφηση και τη μίξη σε φωνές και κιθάρες. Για την διαδικασία του Mastering χρησιμοποιούνται επεξεργαστές όπως ο Mastering Compressor (2008) της Sillent Hill Ind. που συνδυάζει έναν Opto

επεξεργαστή με έναν Voltage Control Amplifier και επιλογή λειτουργίας και των δύο σε σειρά ή παράλληλα ή ενός εκ των δύο, ενώ κυκλοφορεί και σε Plugin από την Plugin Alliance. [MusicTech 2019]

4.4 Multi – Band Compression

Αυτή η τεχνική εφευρέθηκε το 1995 από την TC Electronic και τον Multi Band Compressor τους M5000. Πρόκειται για μία τεχνική που απαιτεί γραμμικά φασικά φίλτρα διαχωρισμού ή πρώτης σειράς crossover (τα Crossover διακρίνονται σε 1^{ης}, 2^{ης} 3^{ης} και 4^{ης} σειράς αναλόγως με την κλίση αποκοπής που έχουν. 1^η = -6dB/va, 2^η = -12 dB/va, 3^η = -18 dB/va, 4^η = -



Εικόνα 12: Ο M5000 Multi Band Συμπιεστής της TC Electronic

24 dB/va) για να γίνει σωστά. Πρόκειται για δυναμικούς επεξεργαστές οι οποίοι διαχωρίζουν συχνοτικά ένα σήμα σε περιοχές (συνήθως τέσσερις) και επεξεργάζονται διαφορετικά την κάθε μία. Ο M5000 είναι ένας ψηφιακός επεξεργαστής και μπορεί να ρυθμιστεί και μέσω εγκατεστημένης εφαρμογής στον υπολογιστή, οπότε τα κουμπιά του είναι για γρήγορη πλοήγηση σε προ εγκατεστημένες ή αποθηκευμένες ρυθμίσεις από τον κατασκευαστή και το χρήστη αντίστοιχα, Do, Undo και Edit επιλογές και τέλος από κουμπί Bypass για γρήγορη παράκαμψη του από την ροή του σήματος με σκοπό τον έλεγχο από το χρήστη της κατάστασης του σήματος με Compressor και χωρίς. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείτε κυρίως στο Mastering που το ζητούμενο είναι η επεξεργασία του συνόλου ενός μουσικού κομματιού ώστε να είναι ισορροπημένο συχνοτικά και να πληροί τις προϋποθέσεις για διανομή. Άλλοι Multi-Band Compressors είναι οι σειρά SMC της Tube-Tech, ο Audio Multicore Multiband Compressor της IGS και ο Nvelope της Elysia, ενώ από Plugins υπάρχουν η σειρά C4 και C6 της Waves Audio, το Precision Multiband της UAD και το Ozone 7 της Izotope. [Katz 2015]

Κεφάλαιο 5 – Πειραματικό Μέρος & Σύγκριση των Συμπιεστών

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει σύγκριση των χαρακτηριστικών των Συμπιεστών, καθώς και όποια – ενδεχομένως – ομοιότητα προκύψει βάση της ανάλυσης των πειραματικών μετρήσεων που λάβαμε.

Οι Συμπιεστές που θα συγκριθούν και θα αναλυθούν είναι οι εξής:

- Avalon AD2044
- DBX 160SL
- Focusrite Red3

οι οποίοι βρίσκονται στο Εργαστήριο Ηχοληψίας – Studio Ηχογραφήσεων του τμήματος.

Καθώς πρόκειται για συσκευές διαφορετικές μεταξύ τους στην φιλοσοφία και στον τρόπο κατασκευής και λειτουργίας τους, η σύγκριση μεταξύ τους θα γίνει σε σχέση με την κατάσταση στην οποία βρίσκονται, έτσι για παράδειγμα για την συχνοτική απόκριση δεν θα συγκριθούν για τις ίδιες στάθμες και τα κατώφλια και λόγους καθώς ο κάθε Συμπιεστής προσφέρει διαφορετικά εύρη (π.χ. Ratios: Avalon \rightarrow 10:1, DBX \rightarrow ∞ :1 και Focusrite \approx 15:1).



Εικόνα 13: Το Rack 2 των περιφερειακών συσκευών του Studio στο οποίο βρίσκονται εγκατεστημένοι και οι 3 Συμπιεστές μαζί (στο κάτω μέρος της εικόνας διακρίνεται και η δεύτερη μονάδα Focusrite Red 3).

5.1 Εισαγωγή και περιγραφή των Συμπιεστών των Studios του τμήματος

5.1.1 DBX 160SL

Ο DBX 160SL βγήκε στο εμπόριο το 2000 και ανήκει και αυτός στην οικογένεια των VCA επεξεργαστών, οι δυνατότητες του όμως είναι πολύ περισσότερες.



Εικόνα 14: Μέρος του Rack 2 στο οποίο διακρίνονται οι Συμπιεστές DBX 160SL (επάνω) και Avalon AD2044 (κάτω)

Αυτός ο στερεοφωνικός επεξεργαστής εκτός από τις βασικές ρυθμίσεις (Ratio από 1:1 έως ∞:1, Threshold από -40 dBu έως +30 dBu, Output Gain από -20 dB έως +20 dB, Attack από 400 dB/ms έως 1 dB/ms και Release από 4000 dB/ms έως 10 dB/ms (με λειτουργία Auto κατ' επιλογήν), Bypass, VU Meter (με επιλογή για ένδειξη Input/Output/Gain Reduction) και δυνατότητα Side-Chain), χωρίζει την Limiting κατάσταση σε δύο στάδια με την ενεργοποίηση του PeakStopPlus. Το πρώτο στάδιο παρεμποδίζει την στάθμη του σήματος να ανέβει πάνω από 2 dB από την ρυθμισμένη συνθήκη με το Stop Level (από +4dBu έως +30 dBu) ποτενσιόμετρο πραγματοποιώντας έτσι μία ομαλή οριοθέτηση του σήματος, ενώ το δεύτερο στάδιο διαβάζει το σήμα εισόδου και προλέγει πόσο θα

πρέπει να μειωθεί το σήμα μετά την ρυθμισμένη συνθήκη του Output Gain ποτενσιόμετρου, προστατεύοντας έτσι τα υπόλοιπα μηχανήματα από μία απότομη άνοδο της στάθμης του σήματος.

Επίσης, άλλη μία δυνατότητα του επεξεργαστή αυτού είναι η επιλογή Overeasy που ουσιαστικά εναλλάσσει δύο καταστάσεις, την Hard και την Soft Knee.

5.1.2 Avalon AD2044 Stereo Compressor

Αυτός ο επεξεργαστής (Εικόνα 14) κυκλοφόρησε το 2000 από την Avalon Industries Inc. και ανήκει στις κατηγορίες Class A Optical. Αποτελείται από δύο κανάλια τα οποία μπορούν να λειτουργήσουν και ταυτόχρονα ρυθμίζοντας μόνο το πρώτο για τεχνικές όπως η Stereo Compression.

Έχει επιλογές για το Ratio (από 1:1 έως 10:1), το Threshold (από -24 έως 20 dB), τους Attack και Release χρόνους (από 0.5ms έως 150 ms και από 80ms έως 5s αντίστοιχα) και για την ένταση εξόδου (από -10 έως 10 dB), ενώ έχει και επιλογές για το Bypass, την ενεργοποίηση της στερεοφωνικής λειτουργίας, για την ενεργοποίηση της Side-Chain λειτουργίας και για την εναλλαγή του δείκτη από κατάσταση ένδειξης Gain Reduction σε Output.

5.1.3 Focusrite Red 3 Compressor/Limiter

Ο επεξεργαστής αυτός κυκλοφόρησε το 2000 από την Focusrite PLC και ανήκει στην οικογένεια των VCA επεξεργαστών.

Αποτελείται από δύο κανάλια για την επεξεργασία ενός στερεοφωνικού σήματος, ενώ παρέχει λειτουργία Side-Chain και αυτοματοποιημένο Release



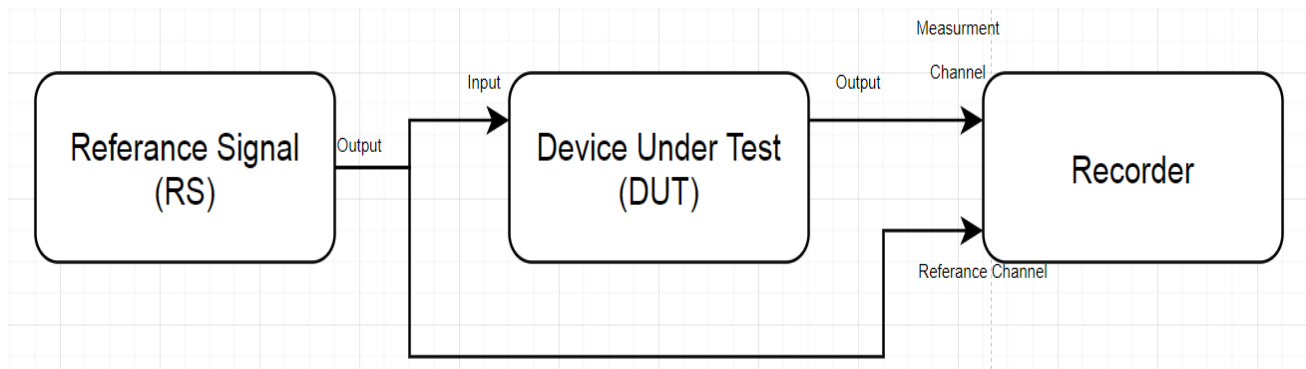
Εικόνα 15: Μέρος του Rack 2 στο οποίο διακρίνονται οι Συμπιεστές Avalon AD2044 (επάνω) και Focusrite Red 3 (κάτω)

time κατ' επιλογήν. Στα ρυθμιστικά του συγκαταλέγονται ένα Bypass κουμπί, ποτενσιόμετρα για τα Threshold (από -12 έως 24 dB), Ratio, Make-Up Gain (από -20 έως 20 dB), Attack & Release και Threshold, Bypass κουμπί για την Limiting λειτουργία, για το κάθε κανάλι. Τέλος, το κάθε κανάλι έχει δικό του VU Meter, ενώ στην στερεοφωνική λειτουργία η ρύθμιση γίνεται μέσω του κάτω καναλιού.

5.2 Πειραματική Διάταξη – Εκτέλεση Μετρήσεων

Για την ολοκλήρωση των μετρήσεων, η πειραματική διάταξη που ακολουθήθηκε είναι η εξής: Από την έξοδο της κάρτας ήχου του υπολογιστή (LynxONE) διακλαδίζουμε το σήμα σε δύο άλλα σήματα. Το ένα εισέρχεται στην είσοδο του DUT (Device Under Test) και την έξοδο του την οδηγούμε σε ένα κανάλι του πολυκάναλου (TASCAM X48 mkii). Ενώ το άλλο σήμα το οδηγούμε απευθείας σε ένα άλλο κανάλι του πολυκάναλου. Έτσι καταλήγουμε να έχουμε δύο σήματα. Το 1^ο είναι το σήμα απο το DUT (στην περίπτωσή μας ο Συμπιεστής που εξετάζουμε την κάθε στιγμή) και το 2^ο θα είναι το σήμα αναφοράς μας. Όλες οι μετρήσεις έχουν γίνει αφού πρώτα βεβαιωθήκαμε οτι στάθμες των σημάτων

μεταξύ των D/A και A/D είναι στα -18dBFS και $+4\text{dBu}$ (σε σήμα ημιτόνου συχνότητας 1kHz). Παρακάτω υπάρχει και το Block Διάγραμμα της πειραματικής διάταξης.



Σχήμα 13: Το Block Διάγραμμα (διάγραμμα ροής σήματος) της πειραματικής διάταξης. Όπου Reference Signal το σήμα από την έξοδο της κάρτας ήχου, DUT – Device Under Test είναι η συσκευή που εξετάζεται και Recorder το πολυκάναλο TASCAM X48 mkii.

Τα είδη των μετρήσεων που έγιναν είναι τα εξής:

- Συχνοτική Απόκριση (Frequency Response)
- Φασική Απόκριση (Phase Response)
- Ολική Αρμονική Παραμορφωση (THD)
- Χρόνοι Attack & Release (Attack & Release Time Response)

5.3 Πειραματικές Μετρήσεις

5.3.1 Συχνοτική Απόκριση (Frequency Response)

Για τη συχνοτική απόκριση των Συμπιεστών η μεθοδολογία των μετρήσεων είναι αυτή που αναφέρθηκε στην αρχή της παραγράφου §5.2 με την διαφορά ότι το σήμα είναι ένα σήμα Ροζ Θορύβου (Pink Noise).

Για τον κάθε Συμπιεστή για να δούμε το πώς αλλάζει η συχνοτική απόκριση του αναλόγως τις παραμέτρους του πάρθηκαν μετρήσεις για διαφορετικές τιμές των Threshold & Ratio. Δεδομένου ότι ένας Συμπιεστής με

Ratio μεγαλύτερο του 10:1 συμπεριφέρεται ως Περιοριστής (Limiter), το εύρος των μετρήσεων του Ratio περιορίστηκε σε τιμές από 1:1 έως 10:1.

Αντίστοιχα, λόγω του γεγονότος ότι οι Συμπίεστες προσφέρουν διαφορετικό εύρος για το Threshold ο κάθε ένας ξεχωριστά (όπως αναφέρθηκε στις παραγράφους §5.1.1, §5.1.2 & §5.1.3) οι τιμές για το Threshold ανά Συμπίεστή είναι διαφορετικές και αποσκοπούν στο να καλύψουν το αντίστοιχο εύρος του Συμπίεστή που βρίσκεται υπό μέτρηση. Έτσι συνοψίζοντας στον παρακάτω πίνακα οι τιμές ανά συμπίεστή θα είναι οι εξής:

Avalon AD 2044	Focusrite Red3	DBX 160SL
<i>Τιμές του Threshold</i>		
-4 dB	-3 dB	-5 dB
-8 dB	-6 dB	-10 dB
-12 dB	-9 dB	-20 dB
-16 dB	-12 dB	-30 dB
-20 dB	-24 dB	-40 dB

Πίνακας 1: Τιμές του Threshold ανά Συμπίεστή

Και για κάθε τιμή Threshold έχουν γίνει μετρήσεις με κάθε τιμή Ratio από 1:1 έως 10:1. Α.χ. για Threshold -4 dB για τον Avalon AD 2044 πάρθηκαν μετρήσεις για Ratio 2:1, 4:1, 6:1 κ.ο.κ

Για όλες τις μετρήσεις τα 0 dB των Συμπίεστών είναι τα +4 dBu (0.7745 V_{RMS}) όπως και όλων των συσκευών που υπήρξαν μέσα ¹στην αλυσίδα σήματος και έχουν καλιμπραριστεί πριν από κάθε μέτρηση με 1 σήμα ημιτόνου με συχνότητα 1kHz και

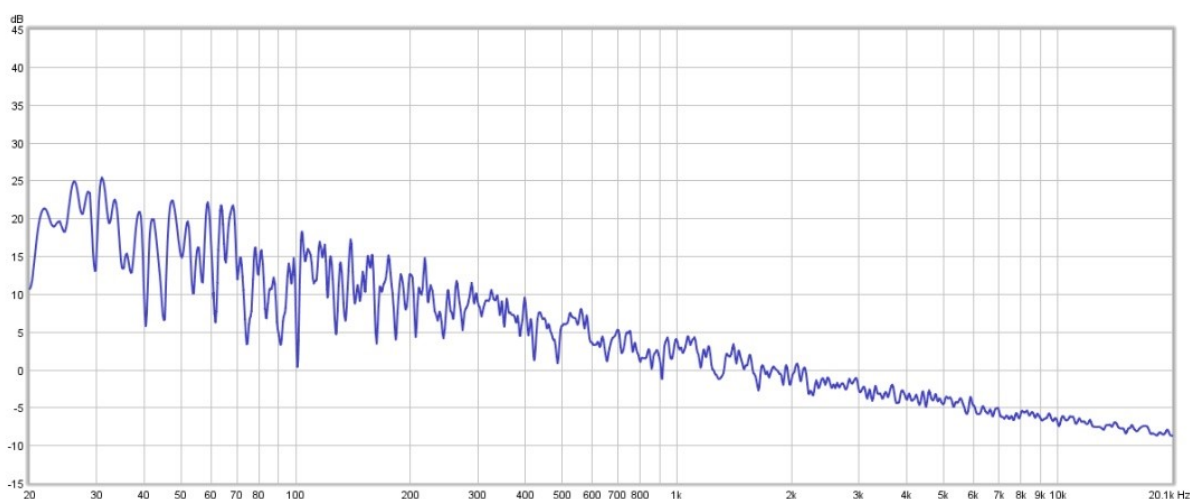
¹ Τα συμπεράσματα των Μετρήσεων των Συχνοτικών Απορκίσεων εξηγούνται στην Σελίδα 87

στάθμη +4dBu (με μέτρηση για επαλήθευση στο Klark DN6000 Audio Analyzer του Στούντιο).

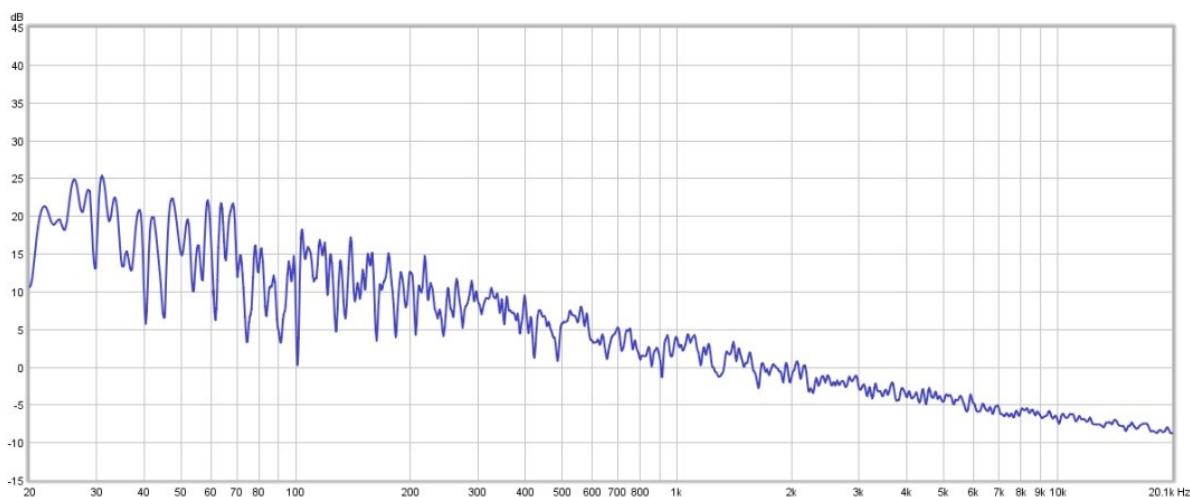
5.3.2 Συχνοτική Απόκριση του Avalon AD2044

Παρακάτω βλέπουμε την συχνοτική απόκριση του Avalon ως εξής. Για κάθε διαφορετικό Ratio θα έχουμε όλες τις συχνοτικές αποκρίσεις ανά Threshold.

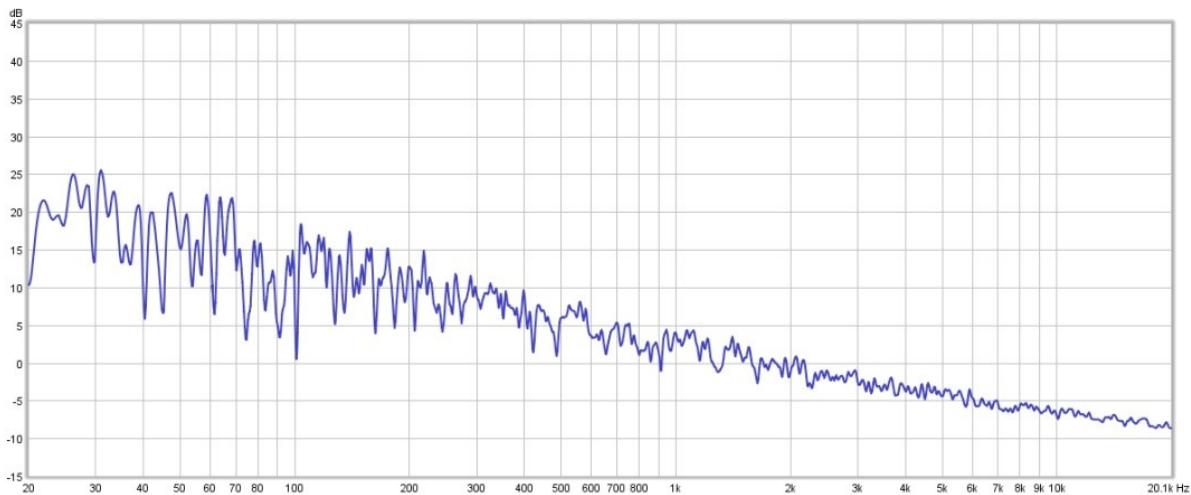
Avalon AD2044 – Ratio 2:1 – Μεταβλητό Threshold -4dB έως -20dB



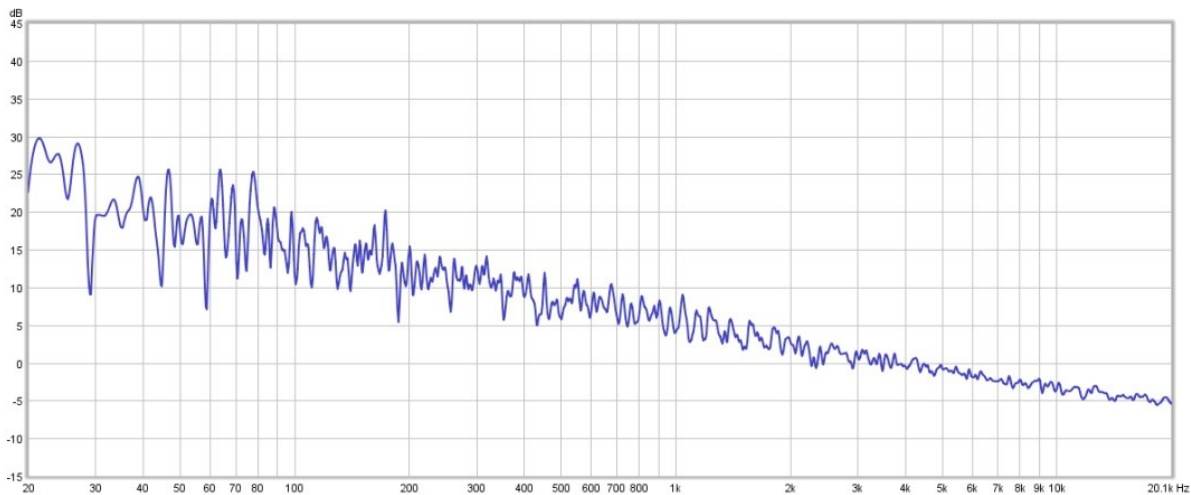
Σχήμα 14: Συχνοτική Απόκριση του Avalon AD2044 με Ratio 2:1 και Threshold -4 dB



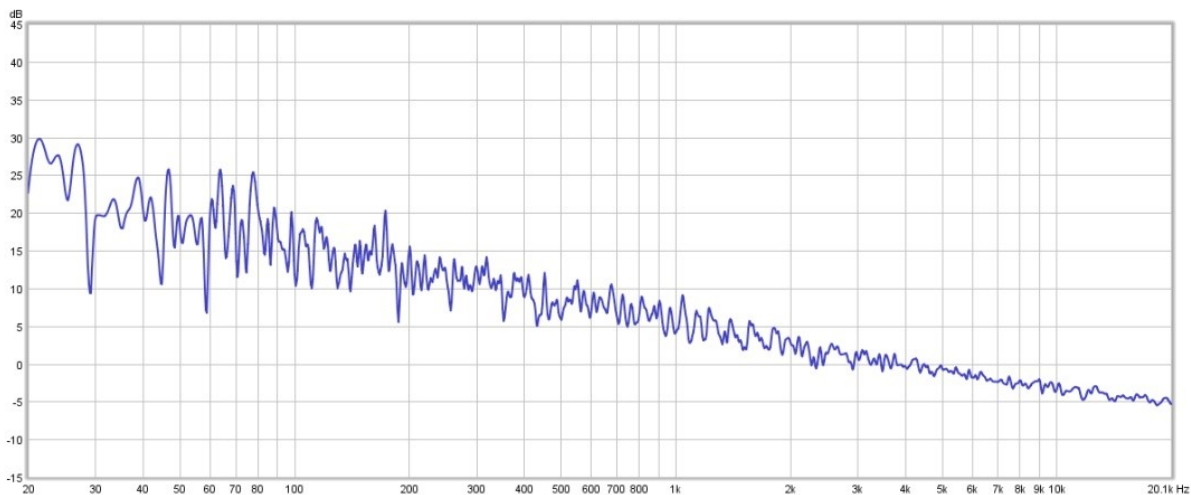
Σχήμα 15: Συχνοτική Απόκριση του Avalon AD2044 με Ratio 2:1 και Threshold -8 dB



Σχήμα 16: Συχνοτική Απόκριση του AVALON AD2044 με Ratio 2:1 και Threshold -12 dB

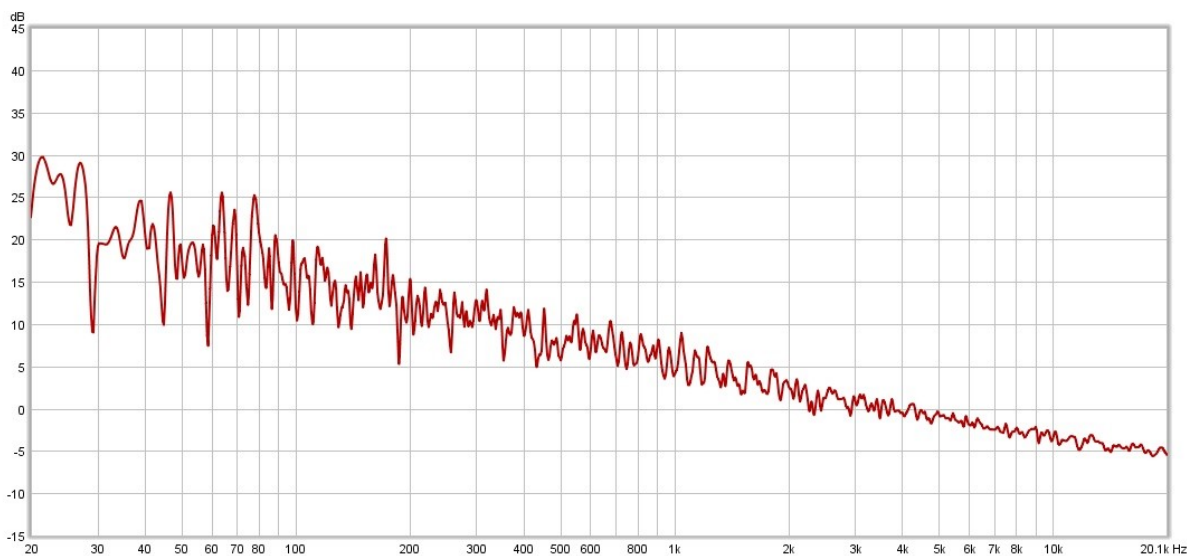


Σχήμα 17: Συχνοτική Απόκριση του AVALON AD2044 με Ratio 2:1 και Threshold -16 dB

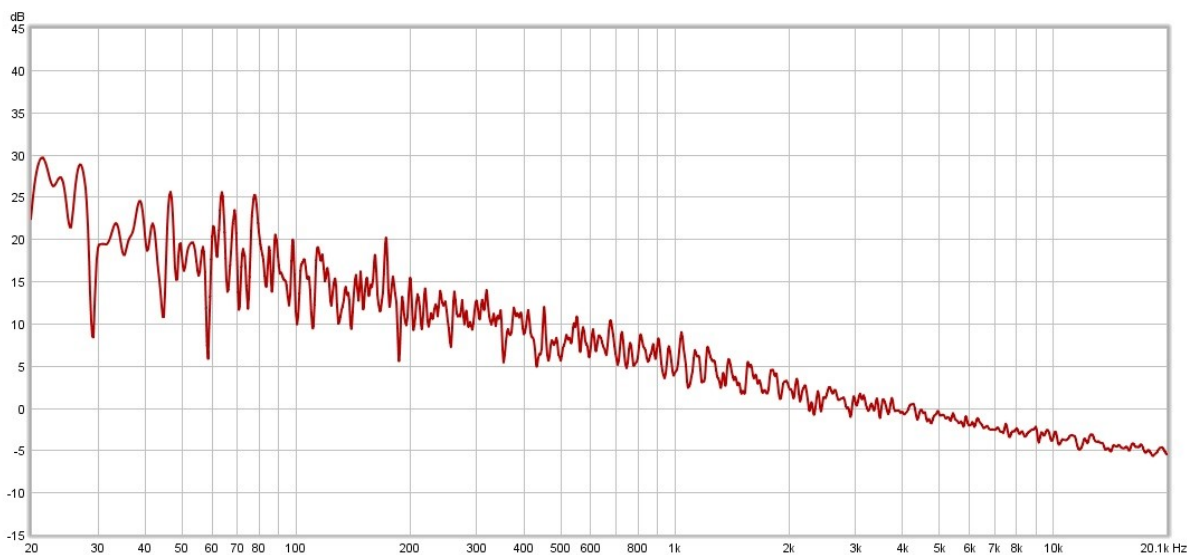


Σχήμα 18: Συχνοτική Απόκριση του AVALON AD2044 με Ratio 2:1 και Threshold -20 dB

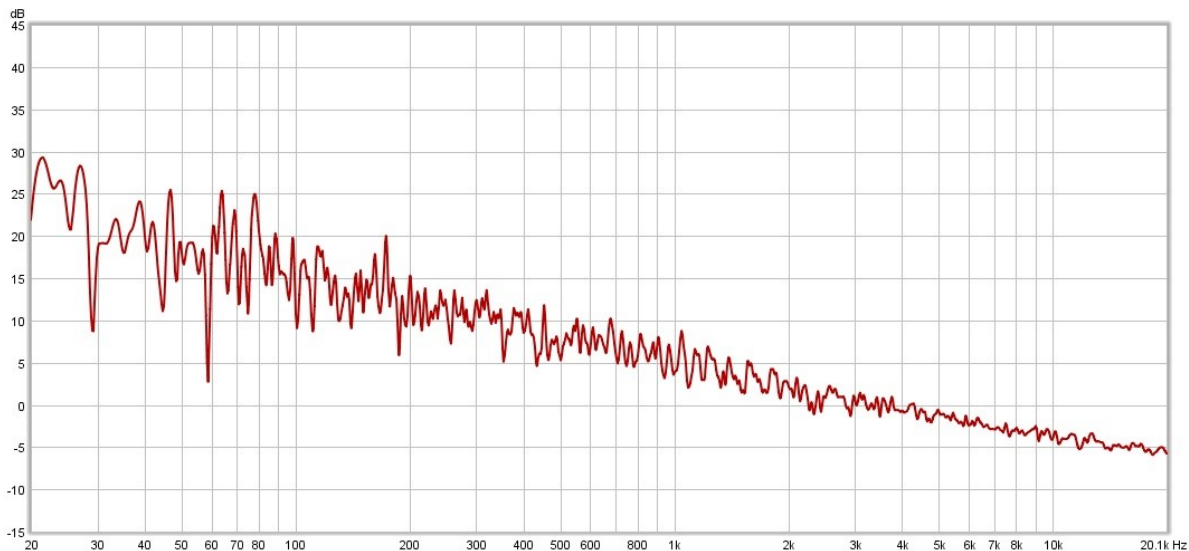
Avalon AD2044 – Ratio 4:1 – Μεταβλητό Threshold -4dB έως -20dB



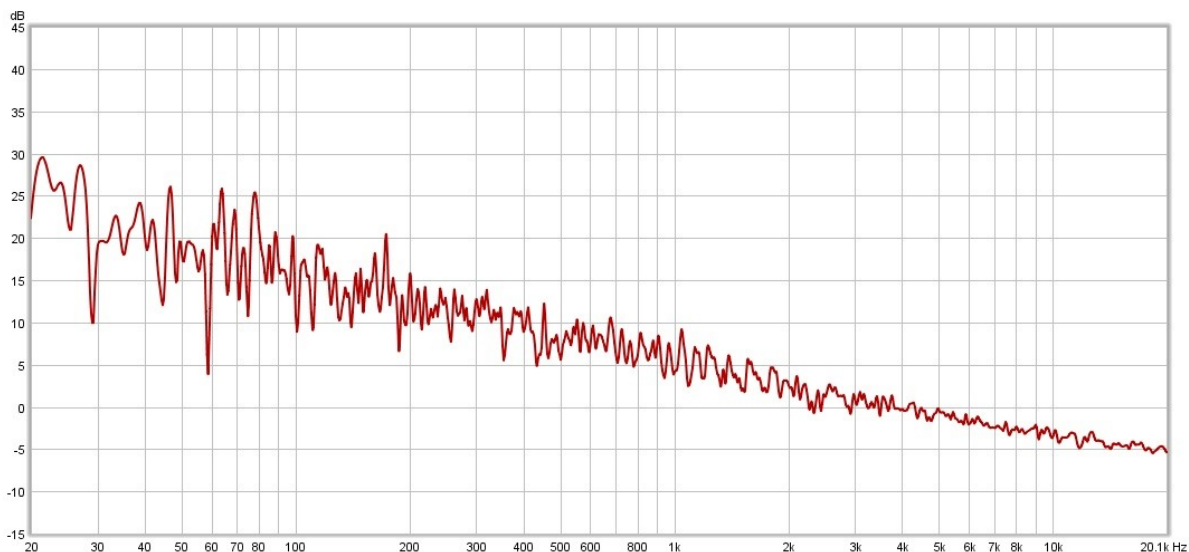
Σχήμα 19: Συχνοτική Απόκριση του Avalon AD2044 με Ratio 4:1 και Threshold -4 dB



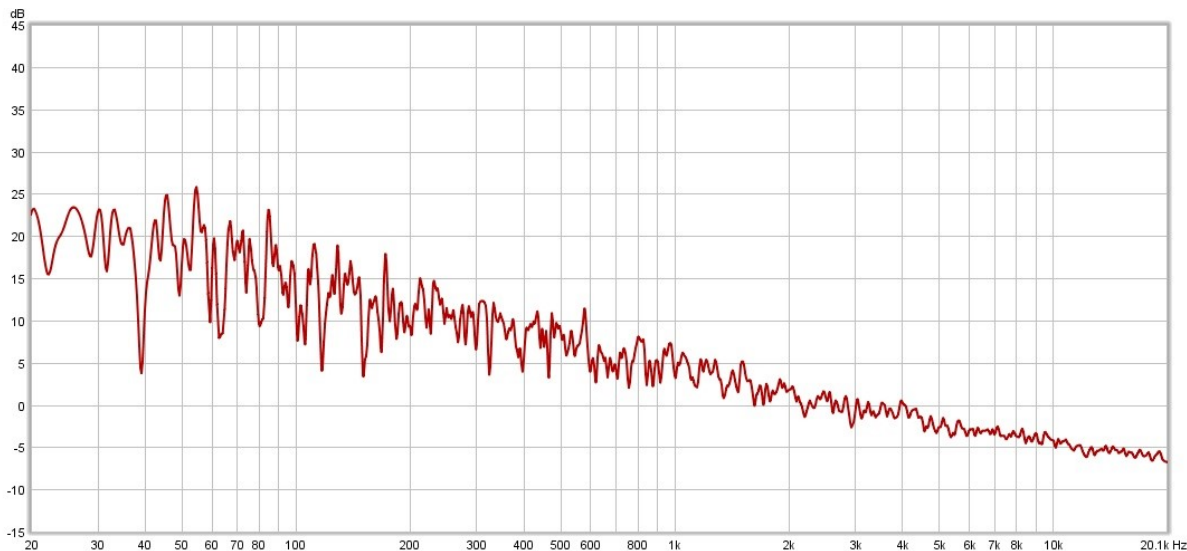
Σχήμα 20: Συχνοτική Απόκριση του Avalon AD2044 με Ratio 4:1 και Threshold -8 dB



Σχήμα 21: Συχνοτική Απόκριση του AVALON AD2044 με Ratio 4:1 και Threshold -12 dB

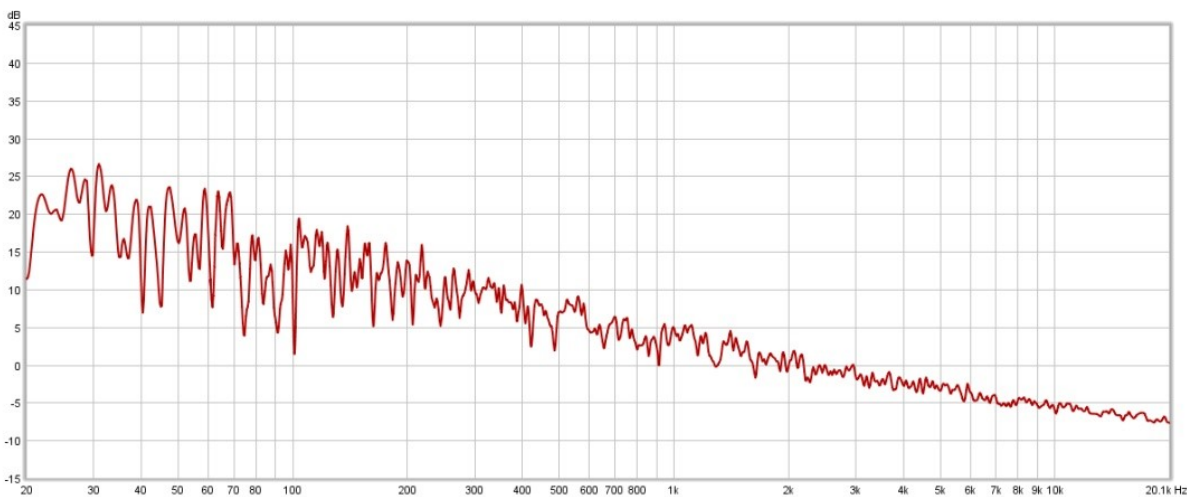


Σχήμα 22: Συχνοτική Απόκριση του AVALON AD2044 με Ratio 4:1 και Threshold -16 dB

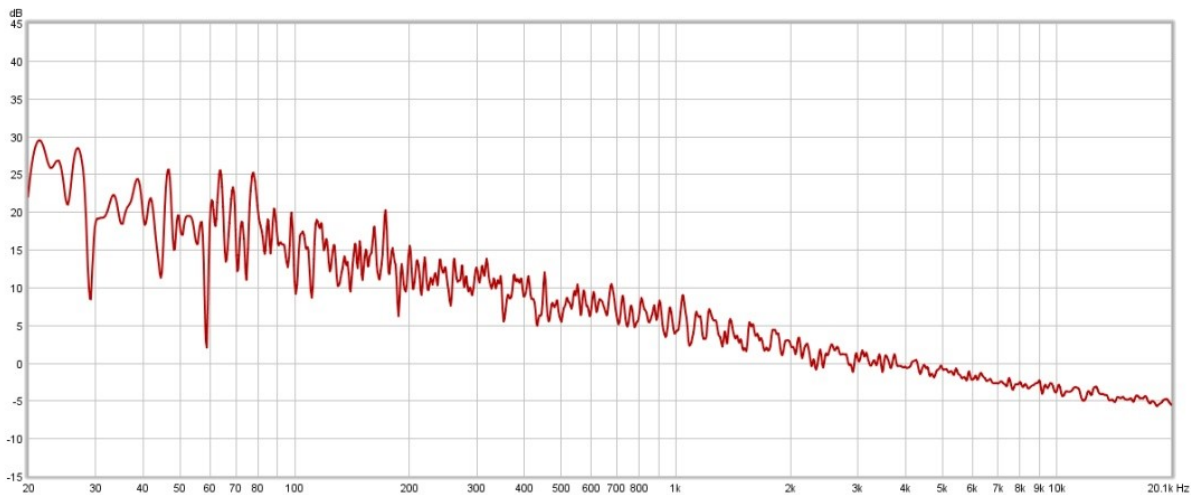


Σχήμα 23: Συχνοτική Απόκριση του Avalon AD2044 με Ratio 4:1 και Threshold -20 dB

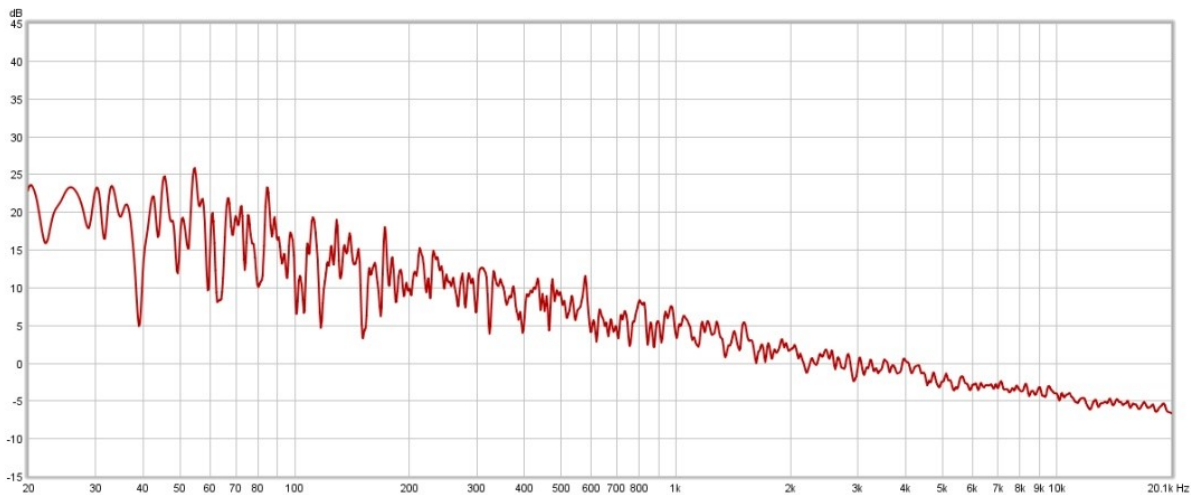
Avalon AD2044 – Ratio 6:1 – Μεταβλητό Threshold -4 dB έως -20dB



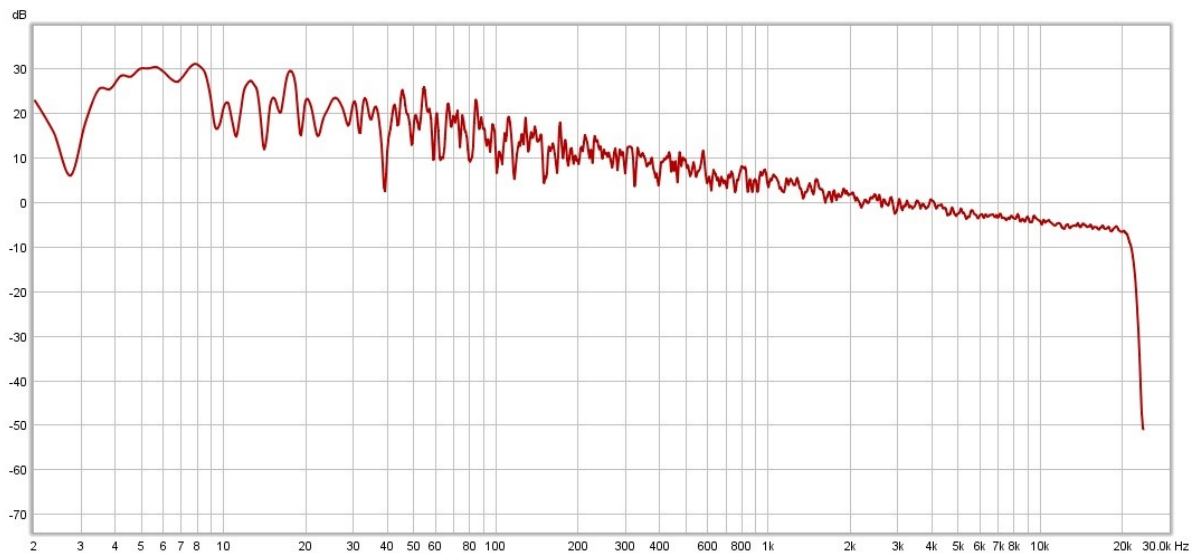
Σχήμα 24: Συχνοτική Απόκριση του Avalon AD2044 με Ratio 6:1 και Threshold -4 dB



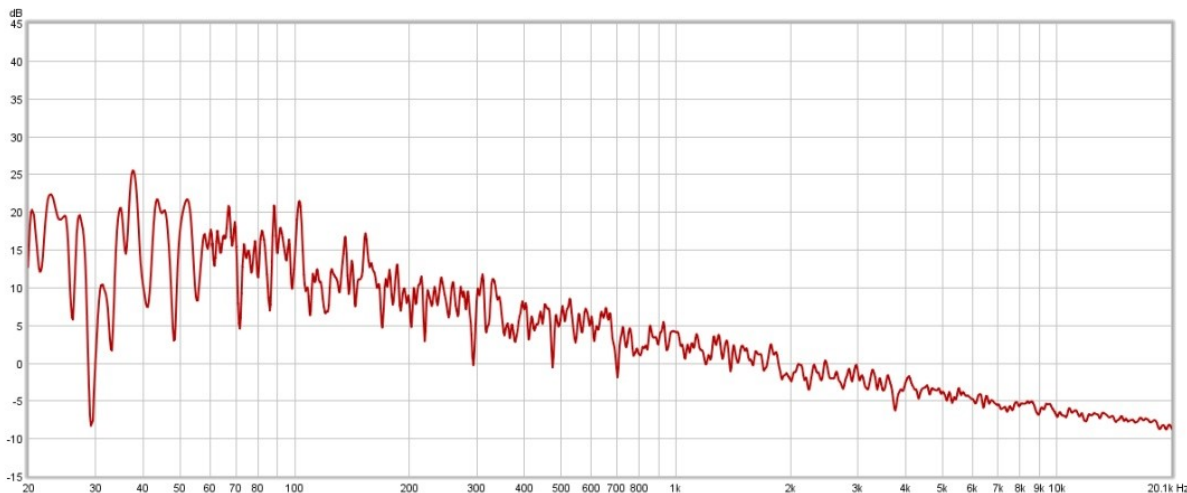
Σχήμα 25: Συχνοτική Απόκριση του AVALON AD2044 με Ratio 6:1 και Threshold -8 dB



Σχήμα 26: Συχνοτική Απόκριση του AVALON AD2044 με Ratio 6:1 και Threshold -12 dB

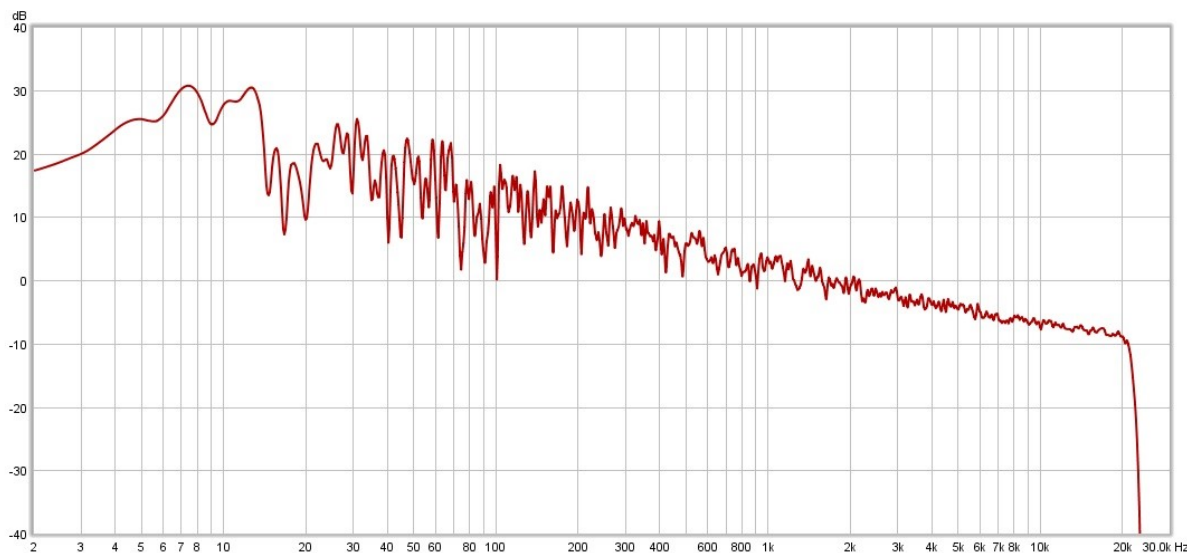


Σχήμα 27: Συχνοτική Απόκριση του AVALON AD2044 με Ratio 6:1 και Threshold -16 dB

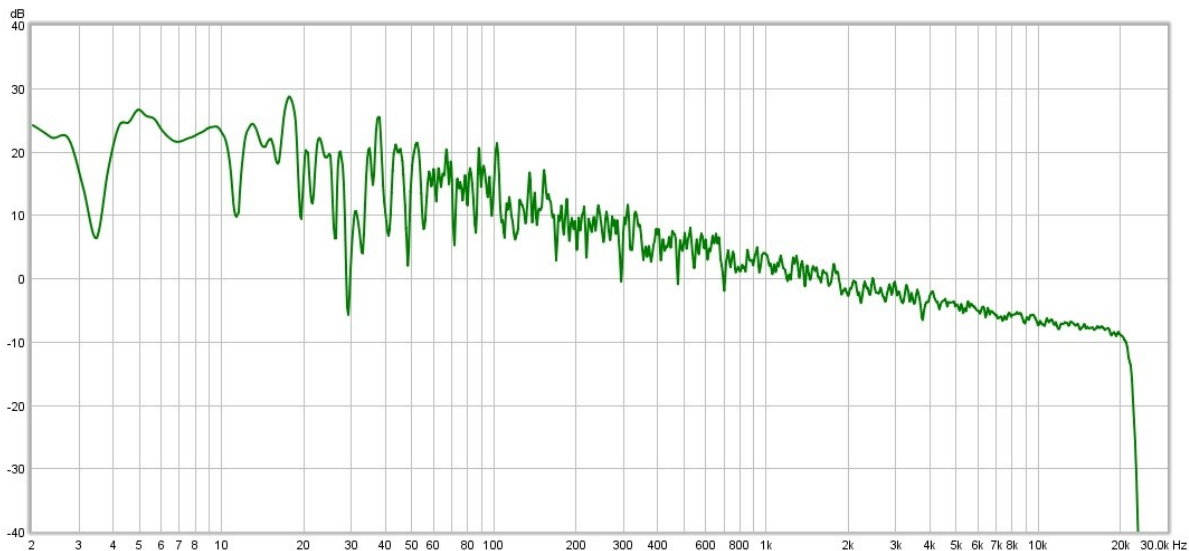


Σχήμα 28: Συχνοτική Απόκριση του Avalon AD2044 με Ratio 6:1 και Threshold -20 dB

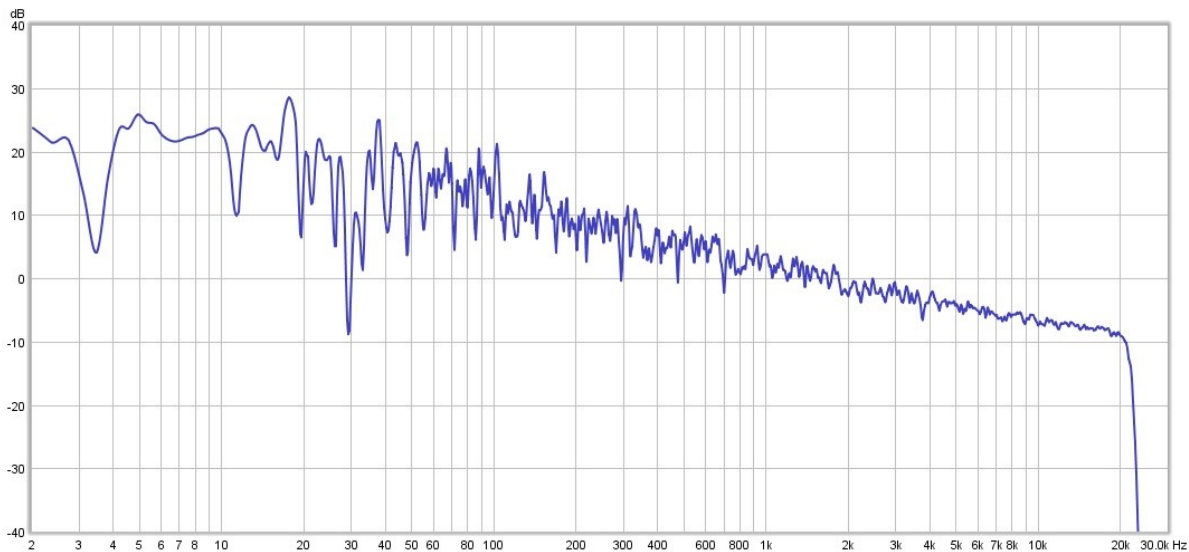
Avalon AD2044 – Ratio 8:1 – Μεταβλητό Threshold -4dB έως -20dB



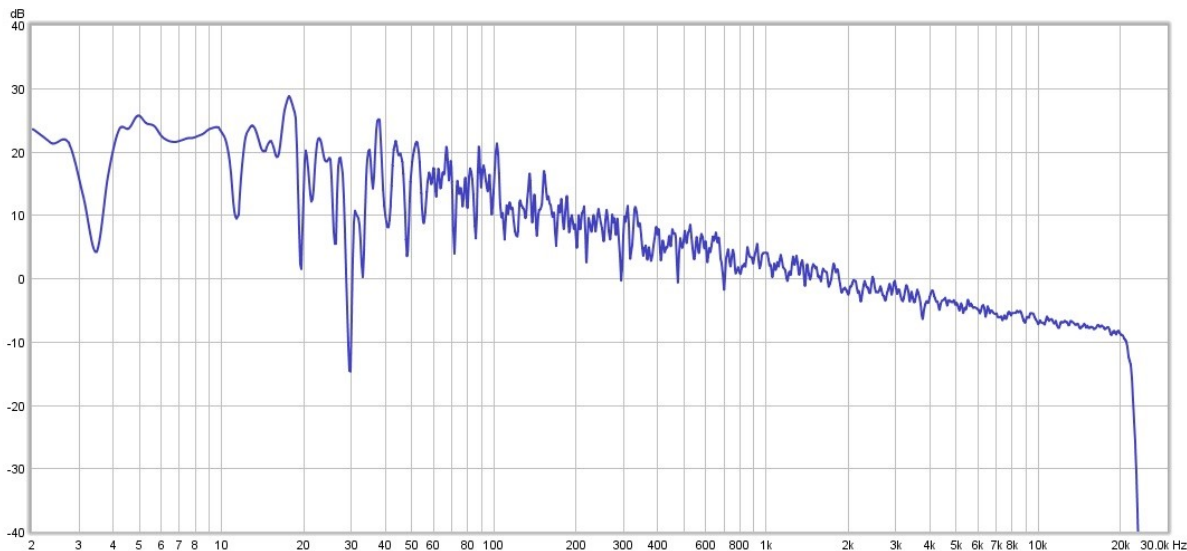
Σχήμα 29: Συχνοτική Απόκριση του Avalon AD2044 με Ratio 8:1 και Threshold -4 dB



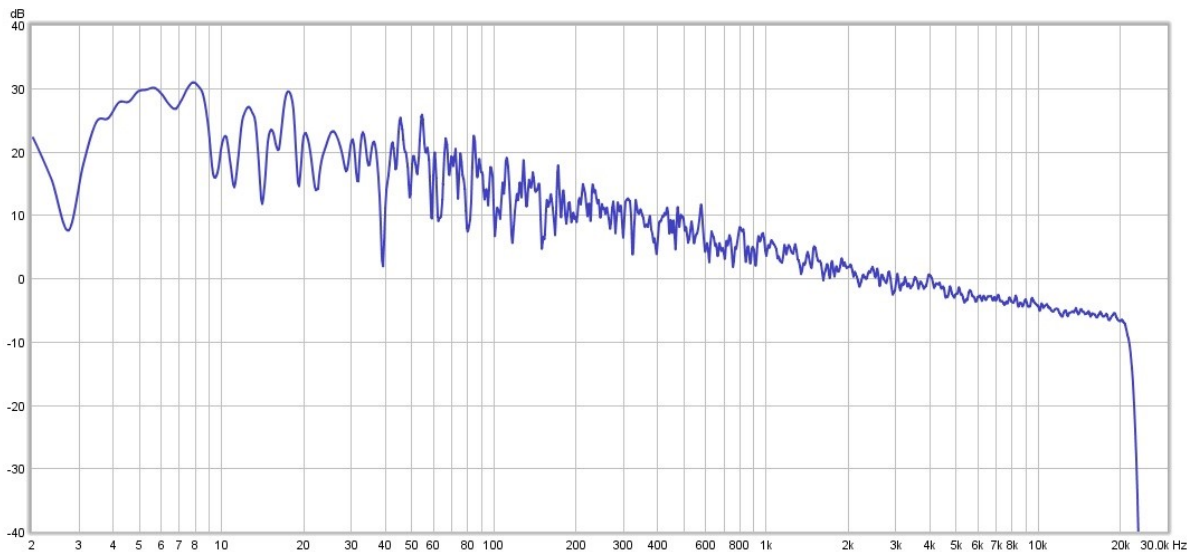
Σχήμα 30: Συχνοτική Απόκριση του Avalon AD2044 με Ratio 8:1 και Threshold -8 dB



Σχήμα 31: Συχνοτική Απόκριση του Avalon AD2044 με Ratio 8:1 και Threshold -12 dB

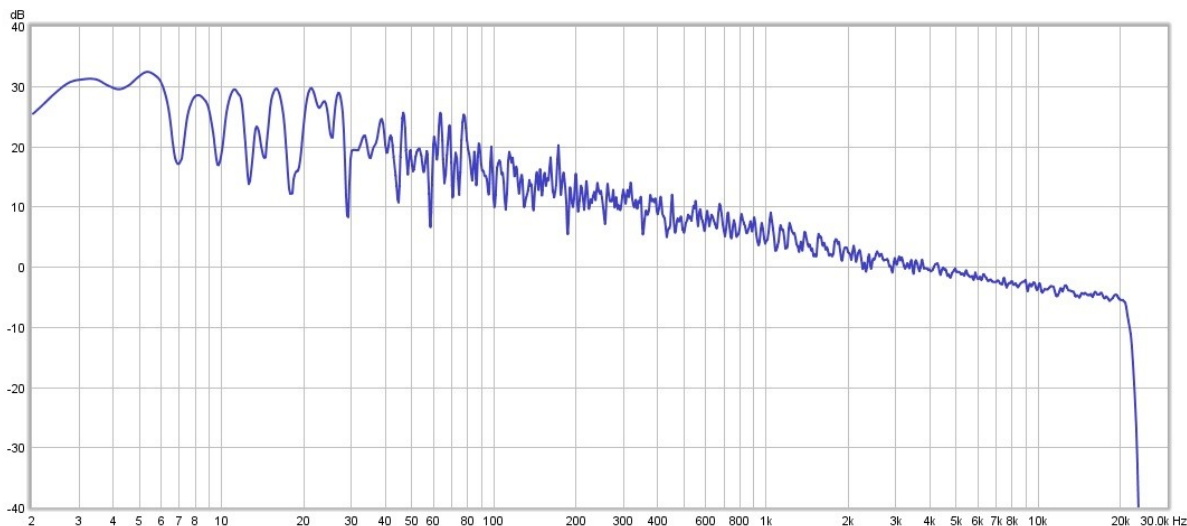


Σχήμα 32: Συχνοτική Απόκριση του AVALON AD2044 με Ratio 8:1 και Threshold -16 dB

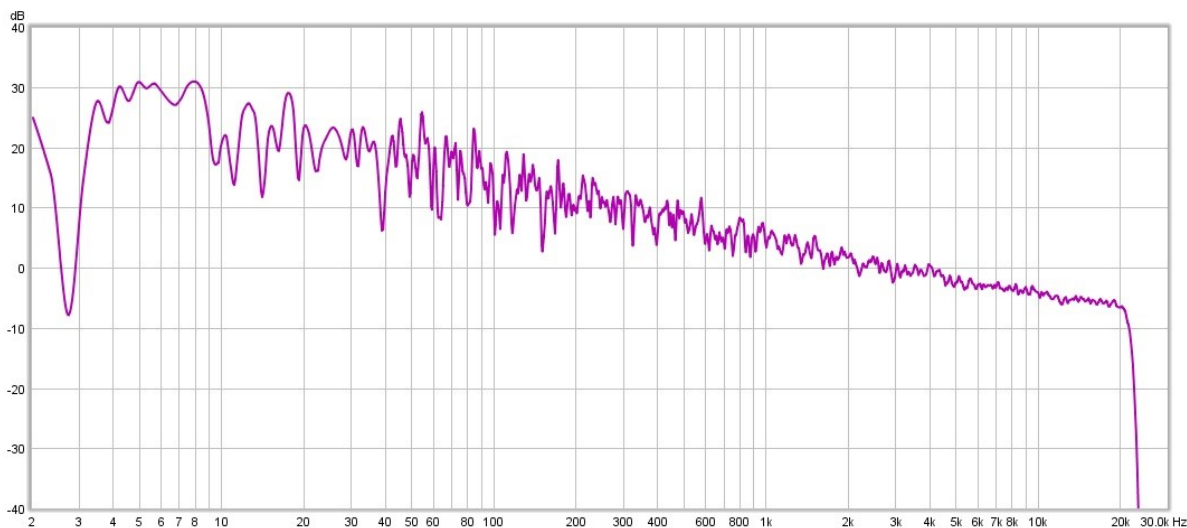


Σχήμα 33: Συχνοτική Απόκριση του AVALON AD2044 με Ratio 8:1 και Threshold -20 dB

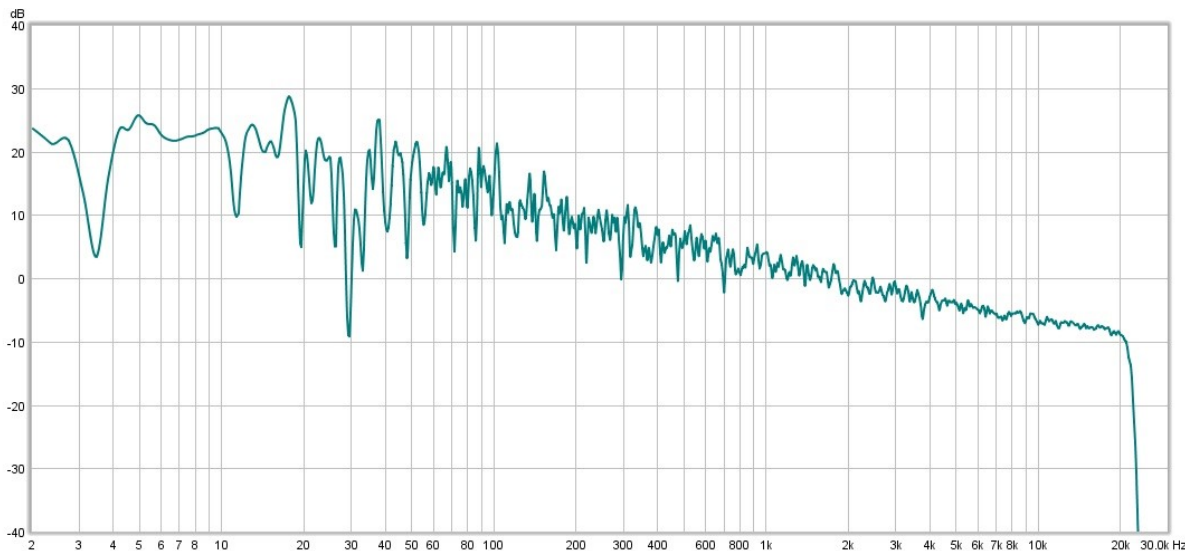
Avalon AD2044 – Ratio 10:1 – Μεταβλητό Threshold -4dB έως -20dB



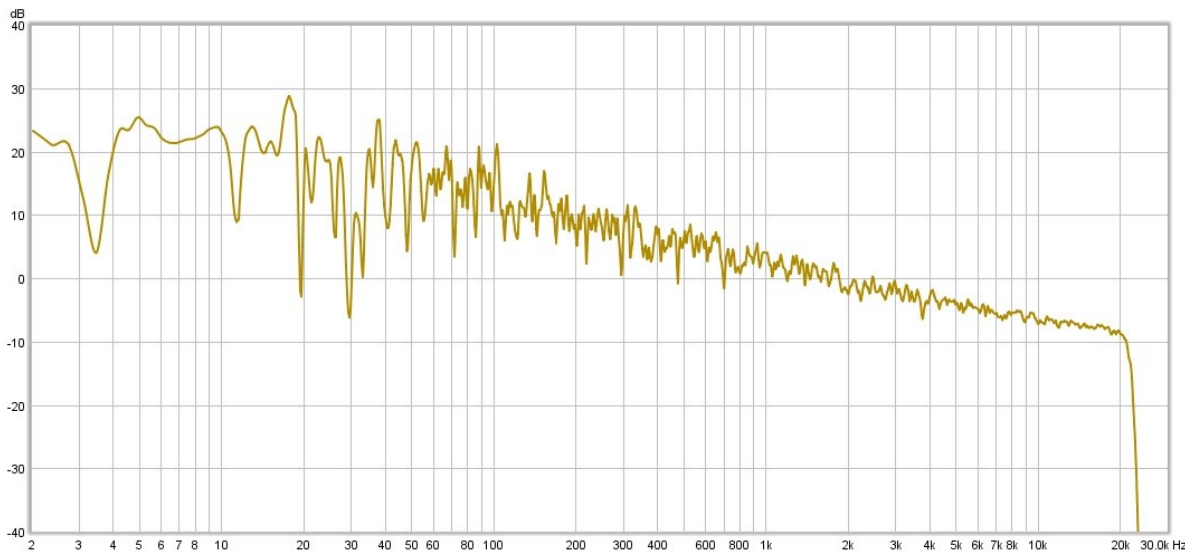
Σχήμα 34: Συχνοτική Απόκριση του Avalon AD2044 με Ratio 10:1 και Threshold -4 dB



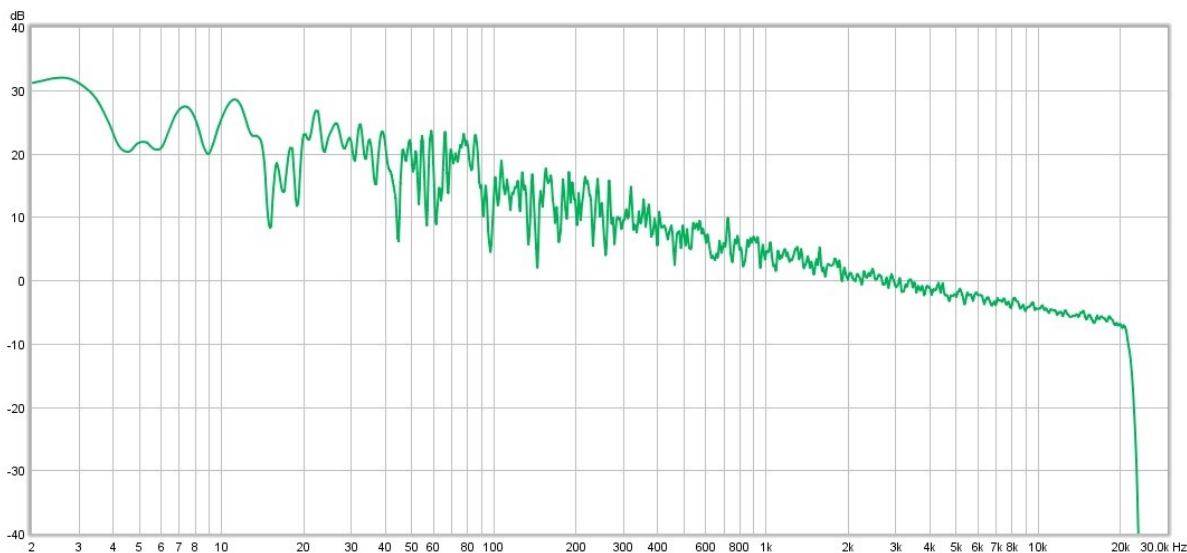
Σχήμα 35: Συχνοτική Απόκριση του Avalon AD2044 με Ratio 10:1 και Threshold -8 dB



Σχήμα 36: Συχνοτική Απόκριση του Avalon AD2044 με Ratio 10:1 και Threshold -12 dB



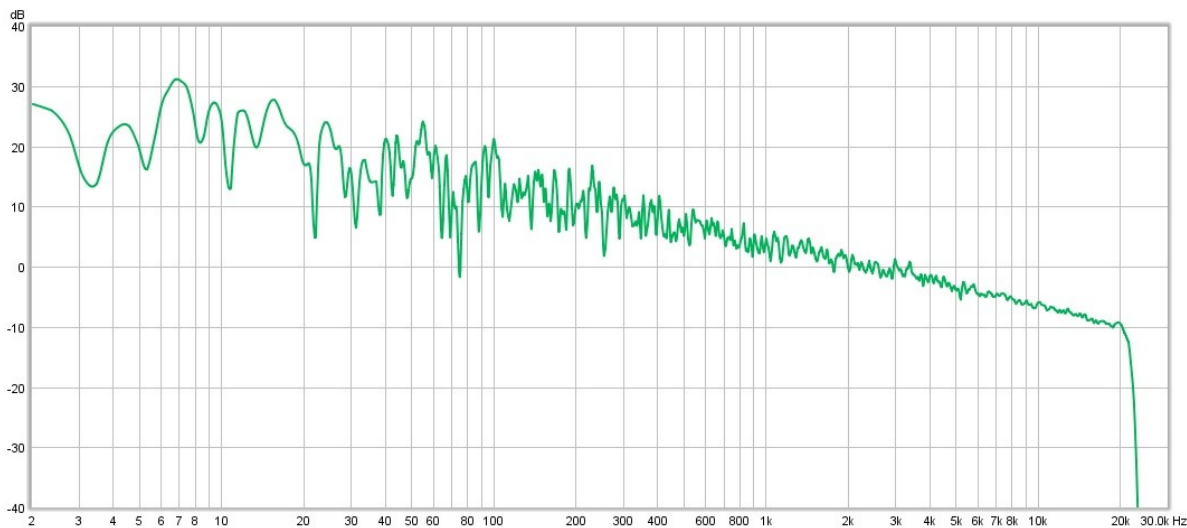
Σχήμα 37: Συχνοτική Απόκριση του Avalon AD2044 με Ratio 10:1 και Threshold -16 dB



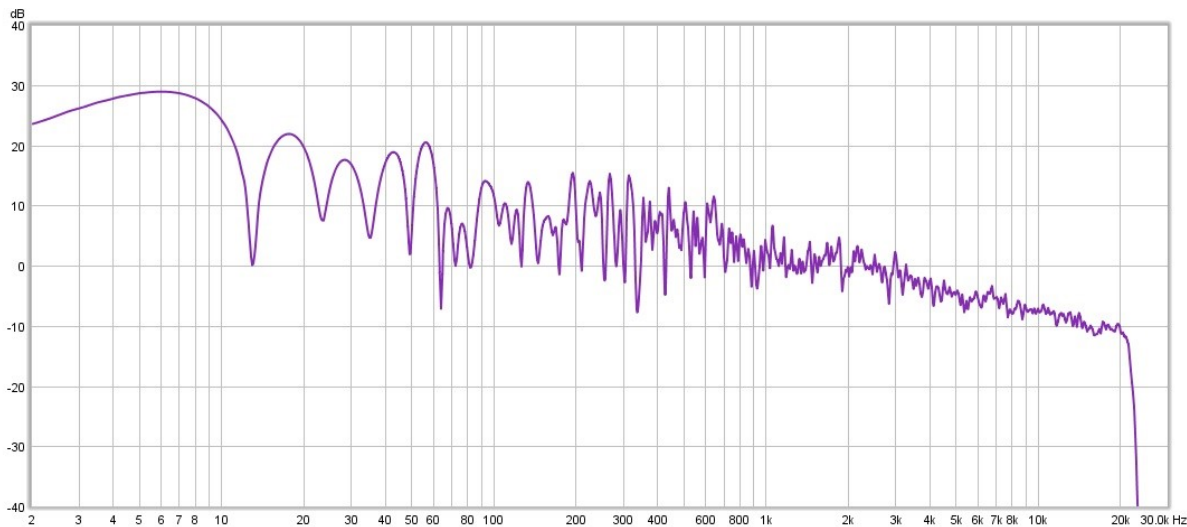
Σχήμα 38: Συχνοτική Απόκριση του Avalon AD2044 με Ratio 10:1 και Threshold -20 dB

5.3.3 Συχνοτική Απόκριση του Focusrite Red3

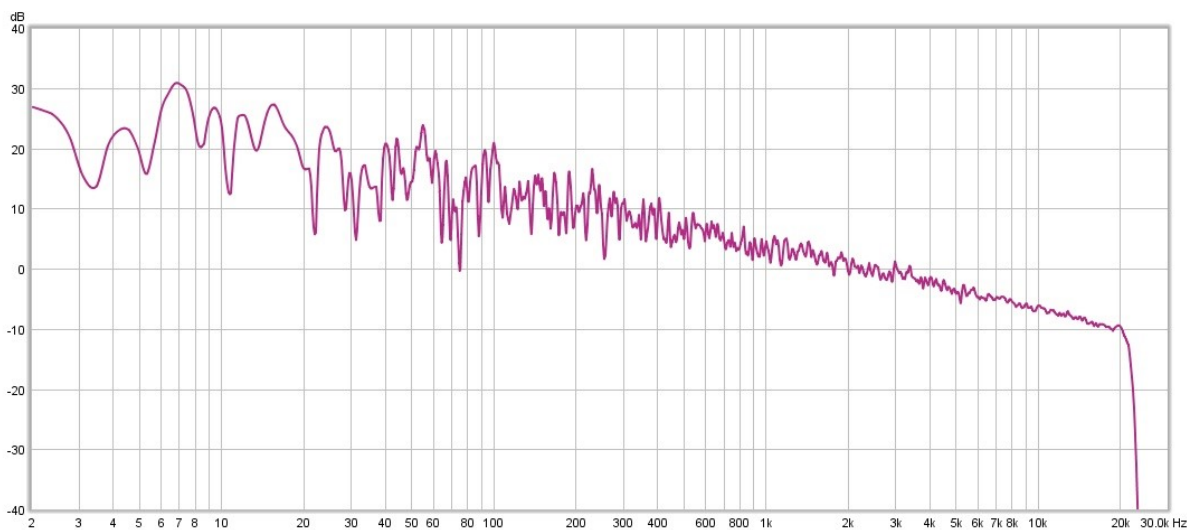
Focusrite Red 3 – Ratio 2:1 – Μεταβλητό Threshold -3dB έως -24dB



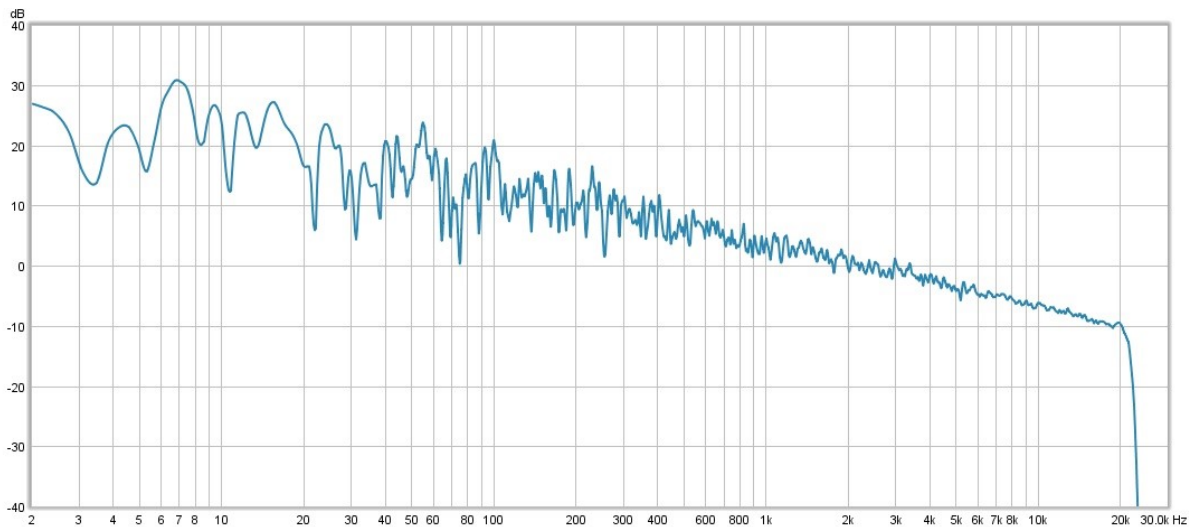
Σχήμα 39: Συχνοτική Απόκριση του Focusrite Red3 με Ratio 2:1 και Threshold -3 dB



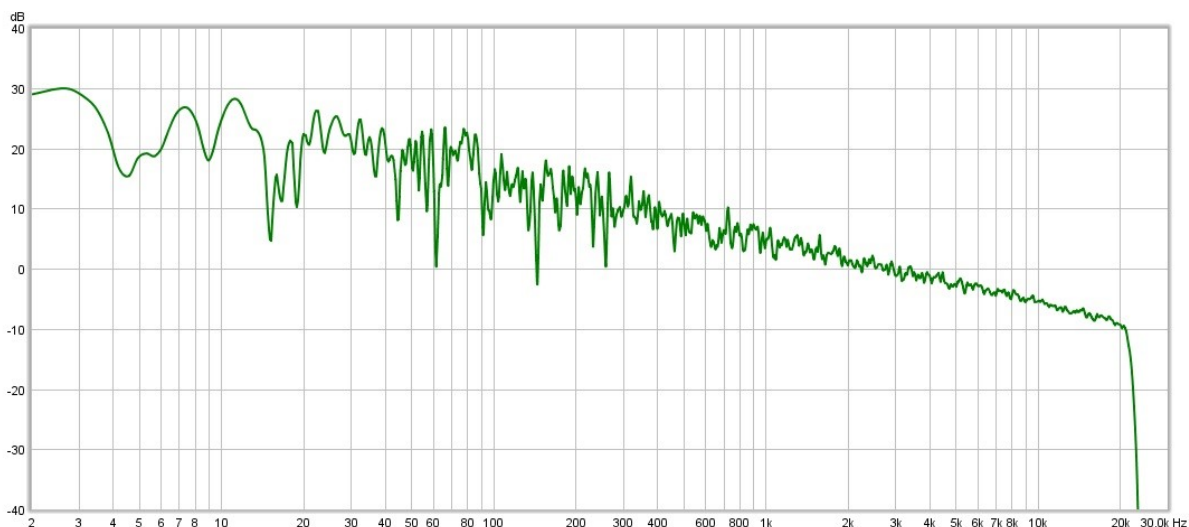
Σχήμα 40: Συγκριτική Απόκριση του Focusrite Red3 με Ratio 2:1 και Threshold -6 dB



Σχήμα 41: Συγκριτική Απόκριση του Focusrite Red3 με Ratio 2:1 και Threshold -9 dB

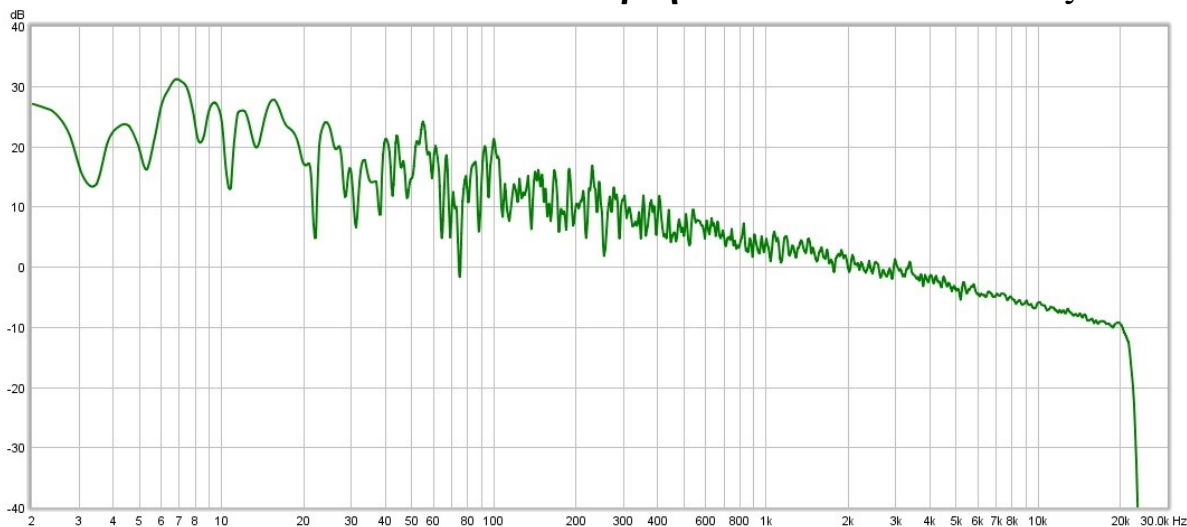


Σχήμα 42: Συχνοτική Απόκριση του Focusrite Red3 με Ratio 2:1 και Threshold -12 dB

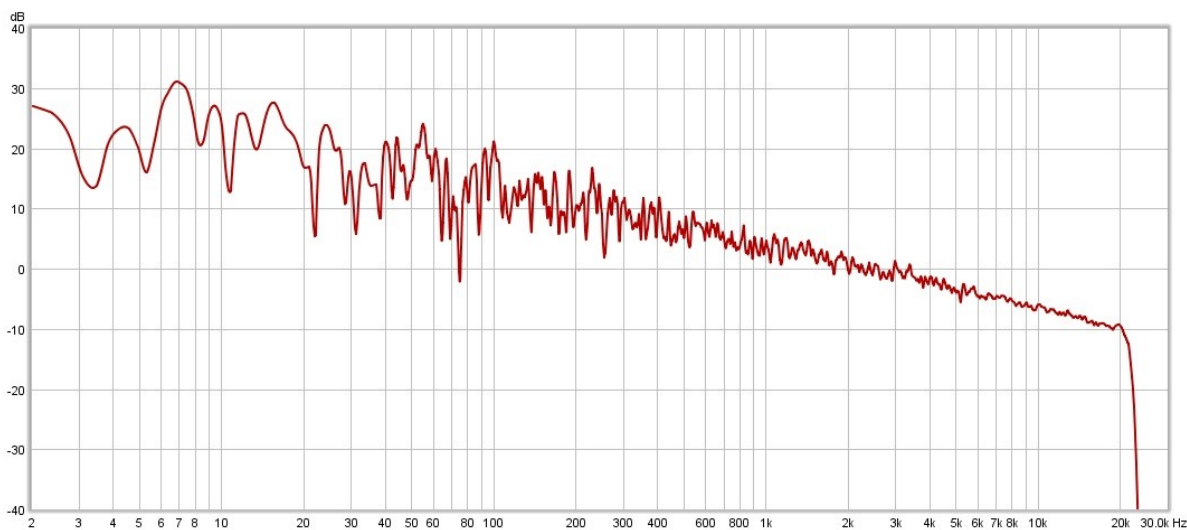


Σχήμα 43: Συχνοτική Απόκριση του Focusrite Red3 με Ratio 2:1 και Threshold -24 dB

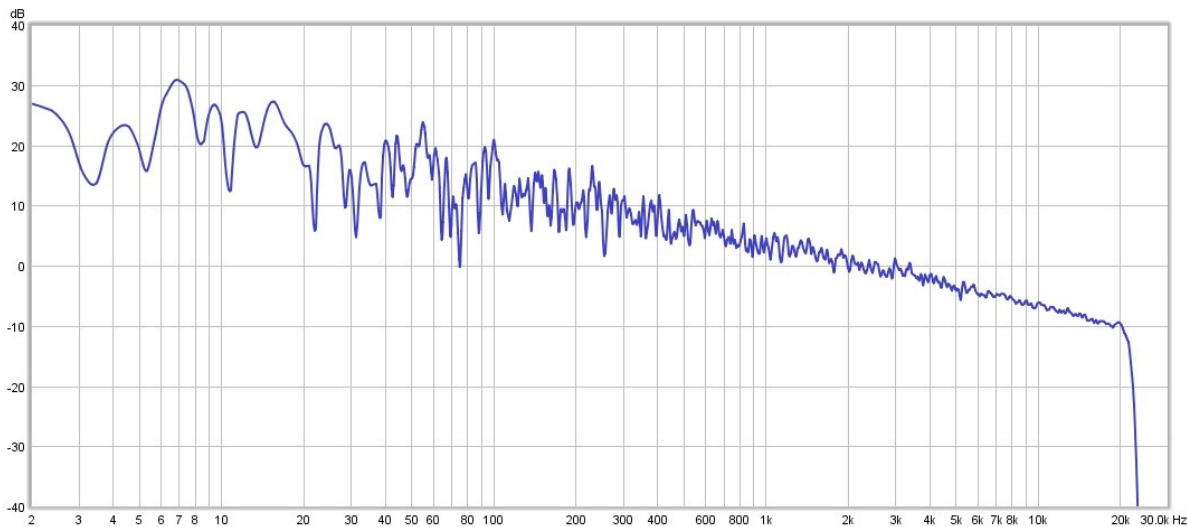
Focusrite Red 3 – Ratio 4:1 – Μεταβλητό Threshold -3dB έως -24dB



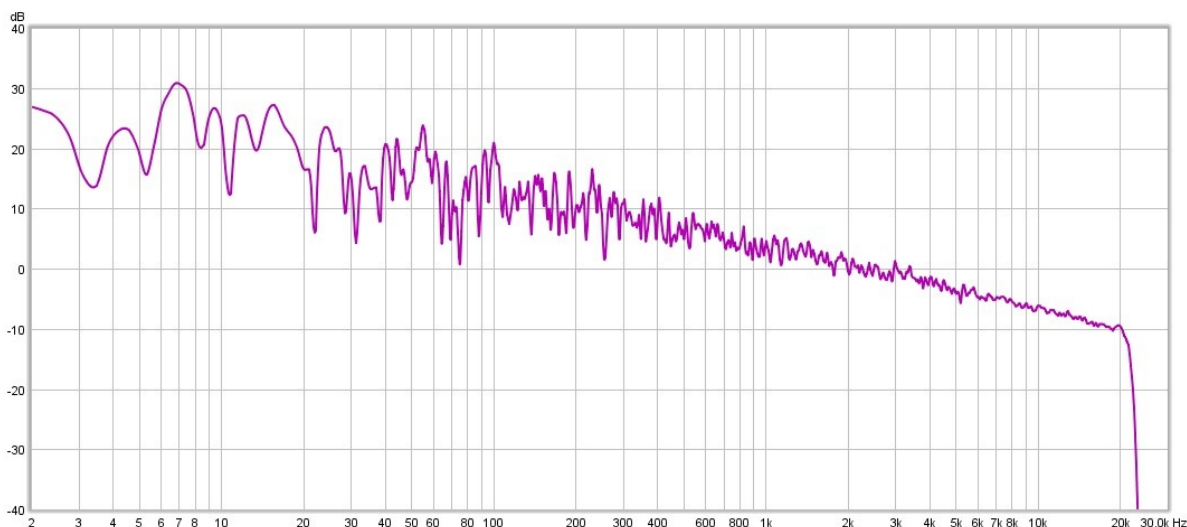
Σχήμα 44: Συγκριτική Απόκριση του Focusrite Red3 με Ratio 4:1 και Threshold -3 dB



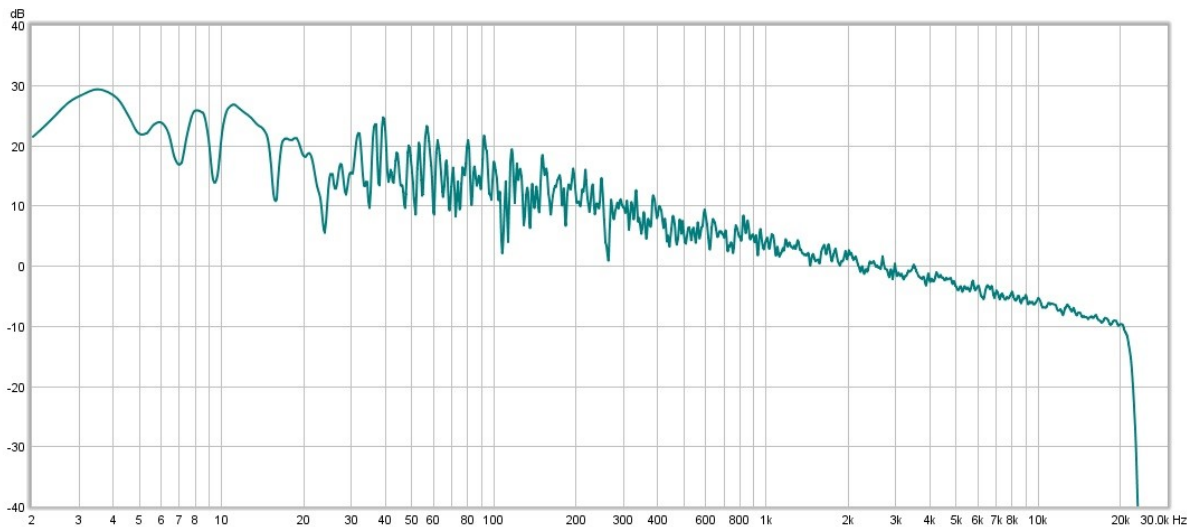
Σχήμα 45: Συγκριτική Απόκριση του Focusrite Red3 με Ratio 4:1 και Threshold -6 dB



Σχήμα 46: Συχνοτική Απόκριση του Focusrite Red3 με Ratio 4:1 και Threshold -9 dB

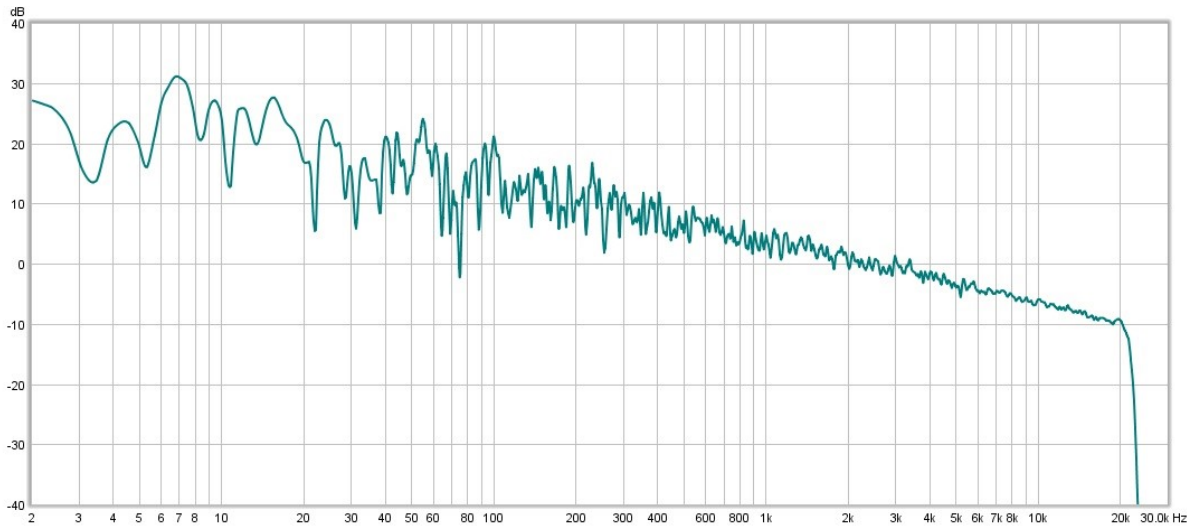


Σχήμα 47: Συχνοτική Απόκριση του Focusrite Red3 με Ratio 4:1 και Threshold -12 dB

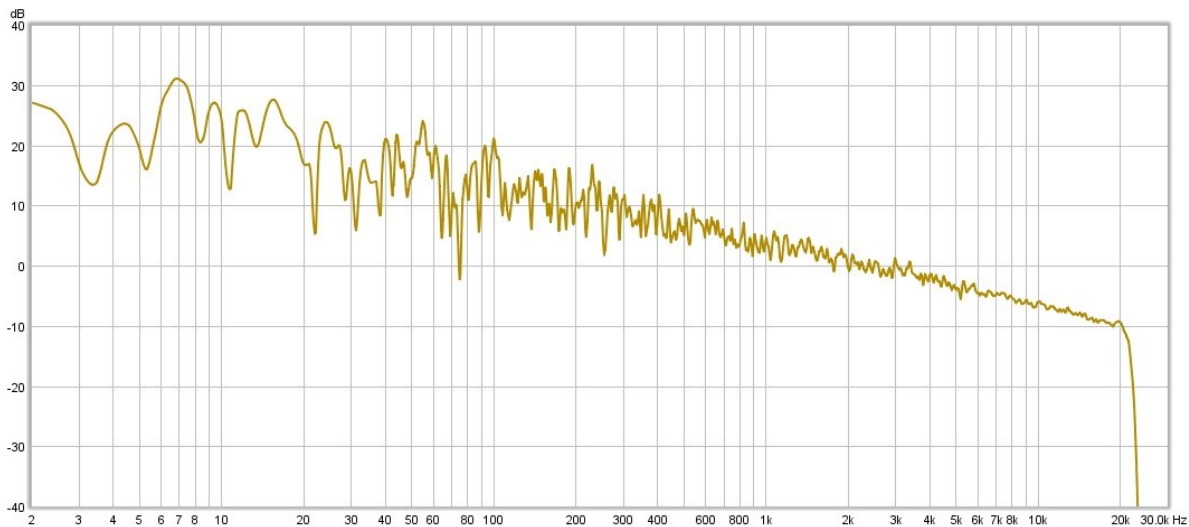


Σχήμα 48: Συχνοτική Απόκριση του Focusrite Red3 με Ratio 4:1 και Threshold -24 dB

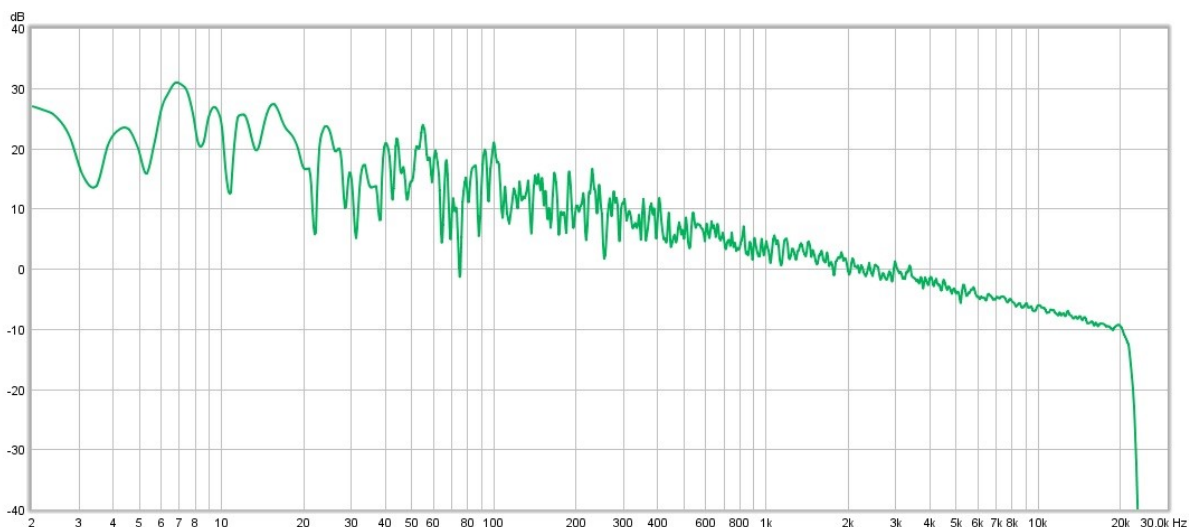
Focusrite Red 3 – Ratio 6:1 – Μεταβλητό Threshold -3dB έως -24dB



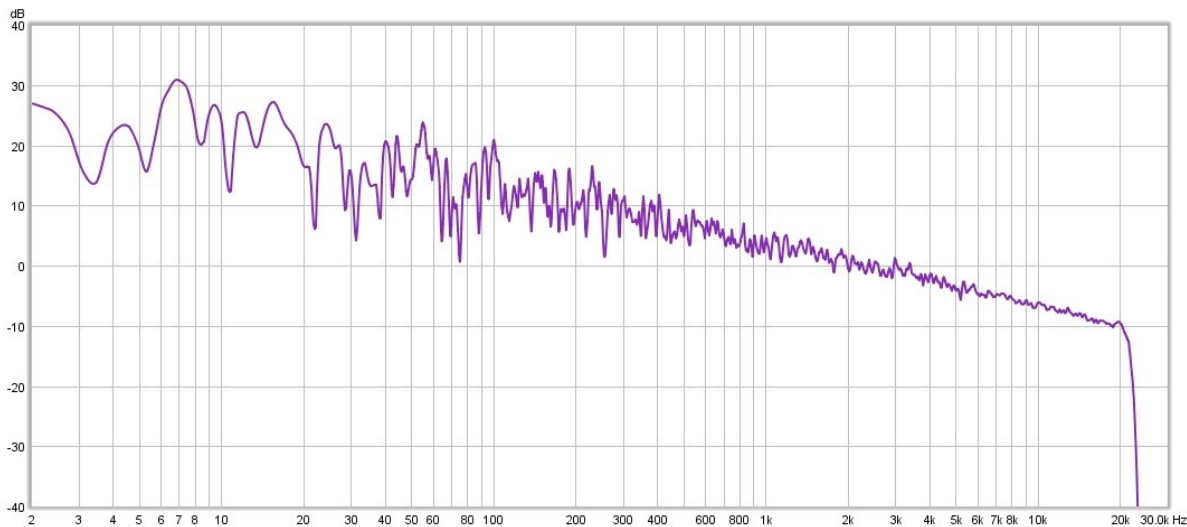
Σχήμα 49: Συχνοτική Απόκριση του Focusrite Red3 με Ratio 6:1 και Threshold -3 dB



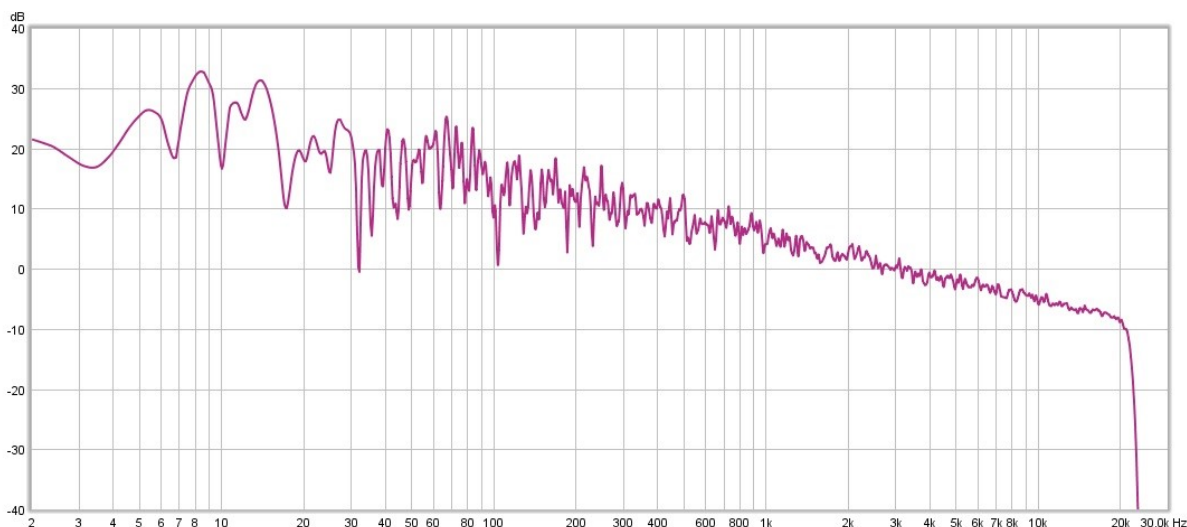
Σχήμα 50: Συχνοτική Απόκριση του Focusrite Red3 με Ratio 6:1 και Threshold -6 dB



Σχήμα 51: Συχνοτική Απόκριση του Focusrite Red3 με Ratio 6:1 και Threshold -9 dB

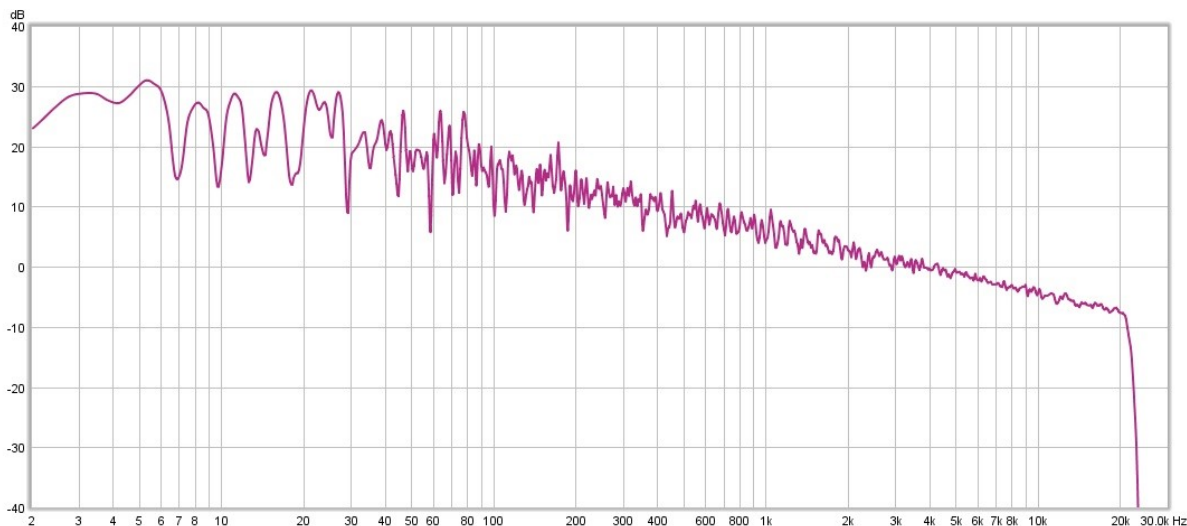


Σχήμα 52: Συχνοτική Απόκριση του Focusrite Red3 με Ratio 6:1 και Threshold -12 dB

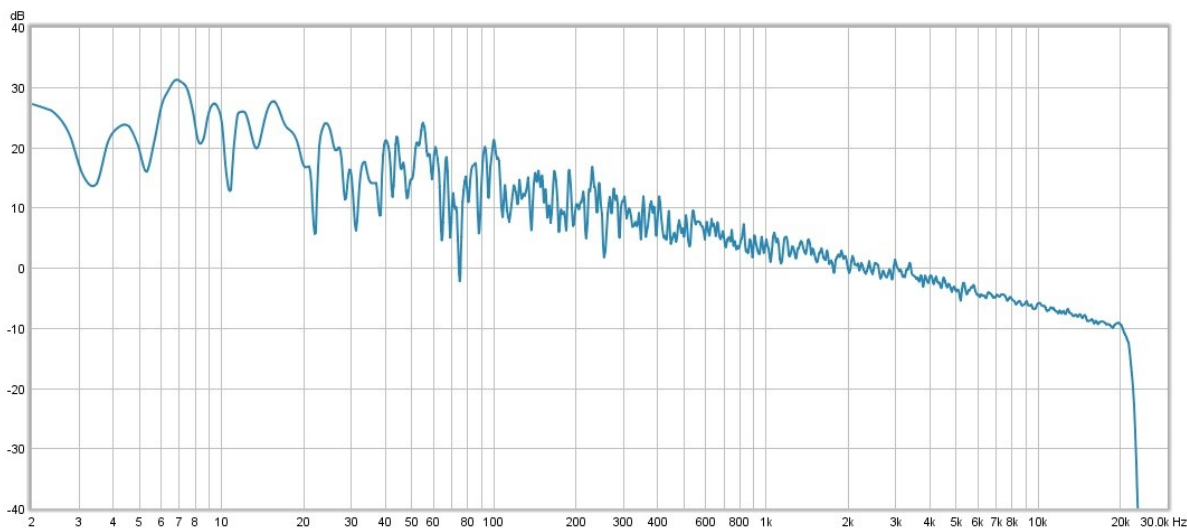


Σχήμα 53: Συχνοτική Απόκριση του Focusrite Red3 με Ratio 6:1 και Threshold -24 dB

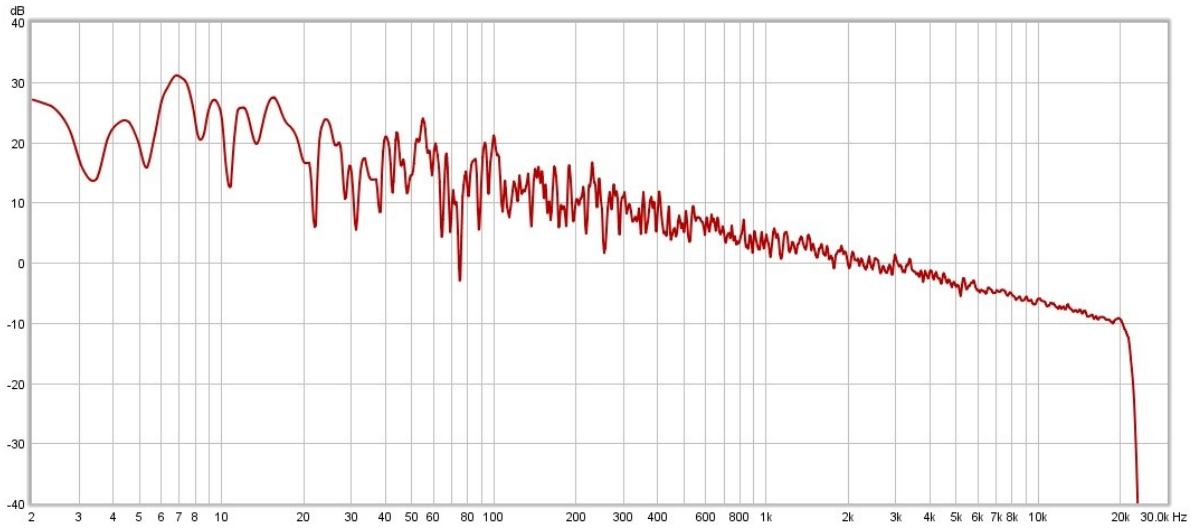
Focusrite Red 3 – Ratio 8:1 – Μεταβλητό Threshold -3dB έως -24dB



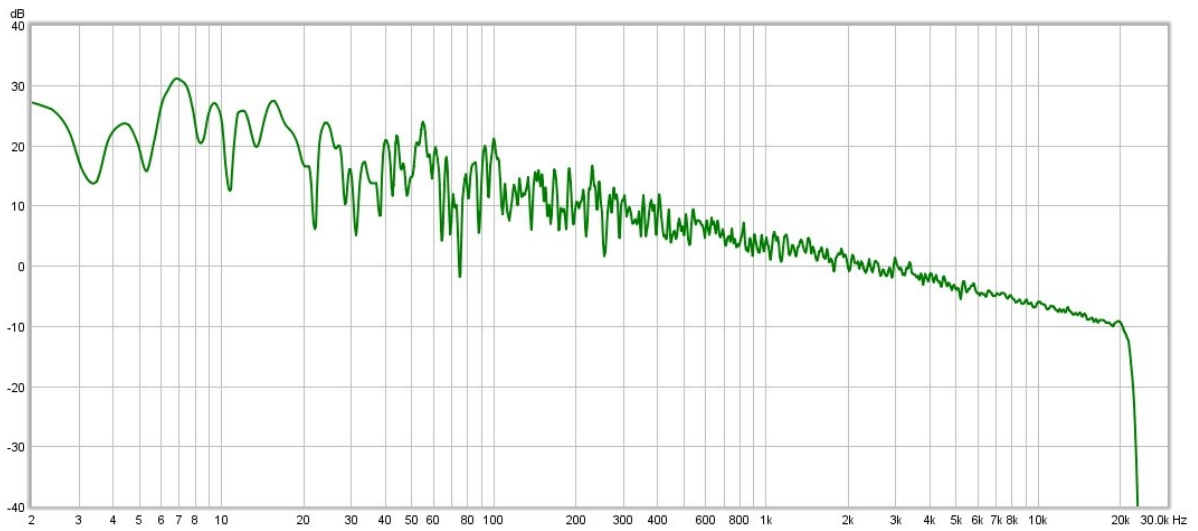
Σχήμα 54: Συχνοτική Απόκριση του Focusrite Red3 με Ratio 8:1 και Threshold -3 dB



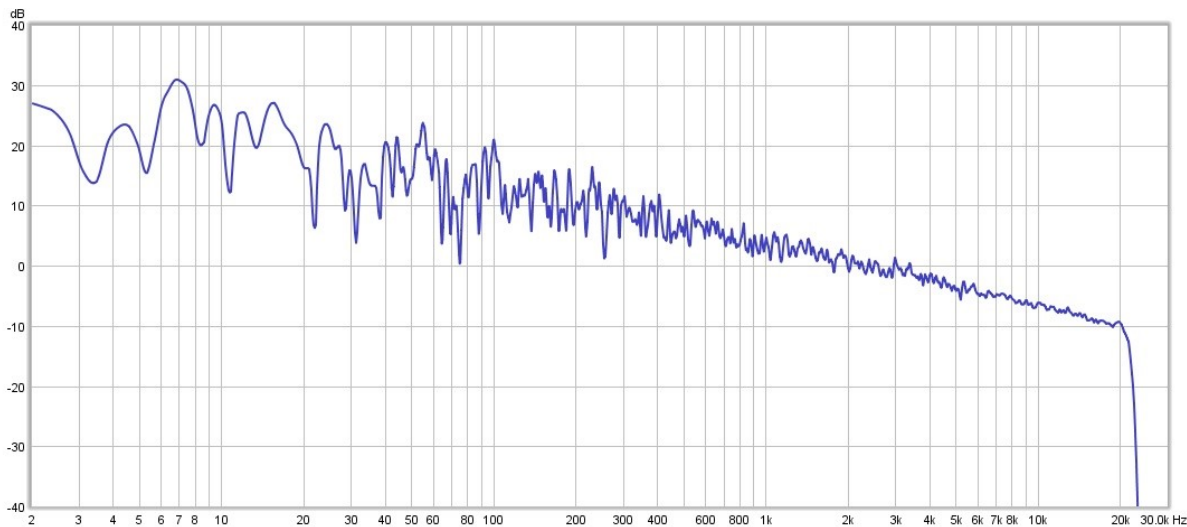
Σχήμα 55: Συχνοτική Απόκριση του Focusrite Red3 με Ratio 8:1 και Threshold -6 dB



Σχήμα 56: Συχνοτική Απόκριση του Focusrite Red3 με Ratio 8:1 και Threshold -9 dB

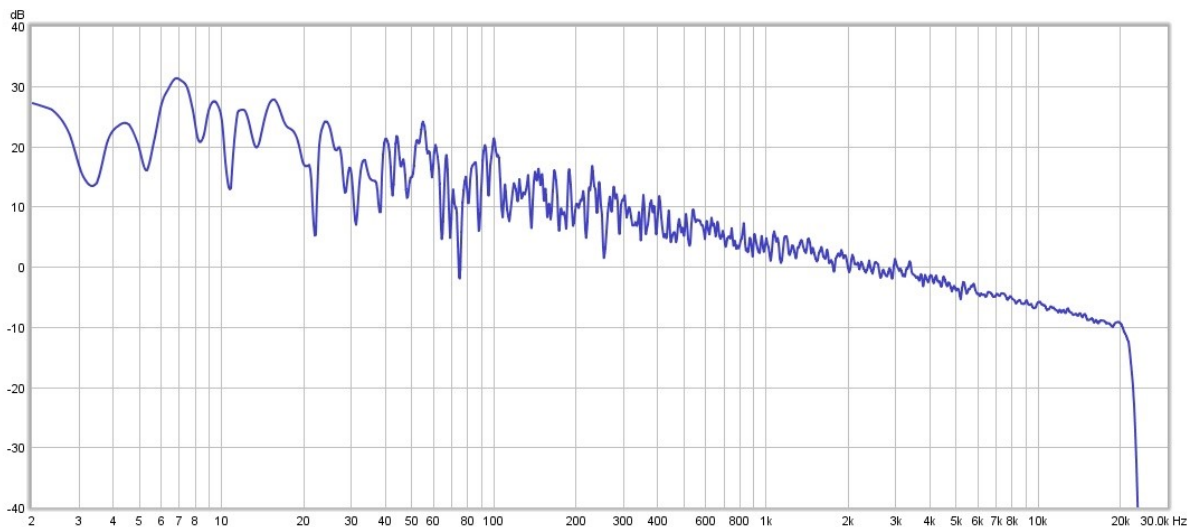


Σχήμα 57: Συχνοτική Απόκριση του Focusrite Red3 με Ratio 8:1 και Threshold -12 dB

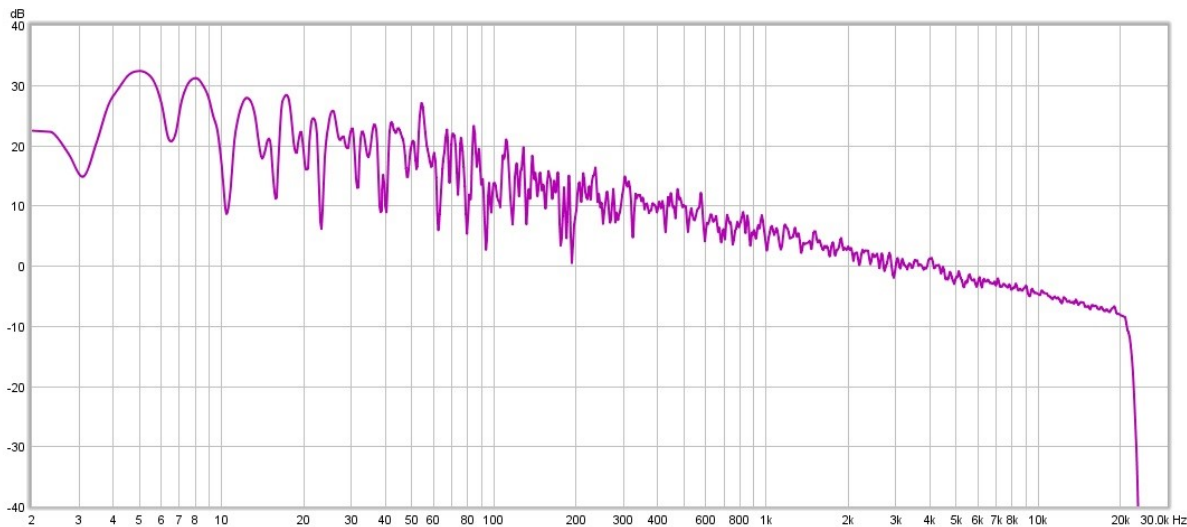


Σχήμα 58: Σοχνοτική Απόκριση του Focusrite Red3 με Ratio 8:1 και Threshold -24 dB

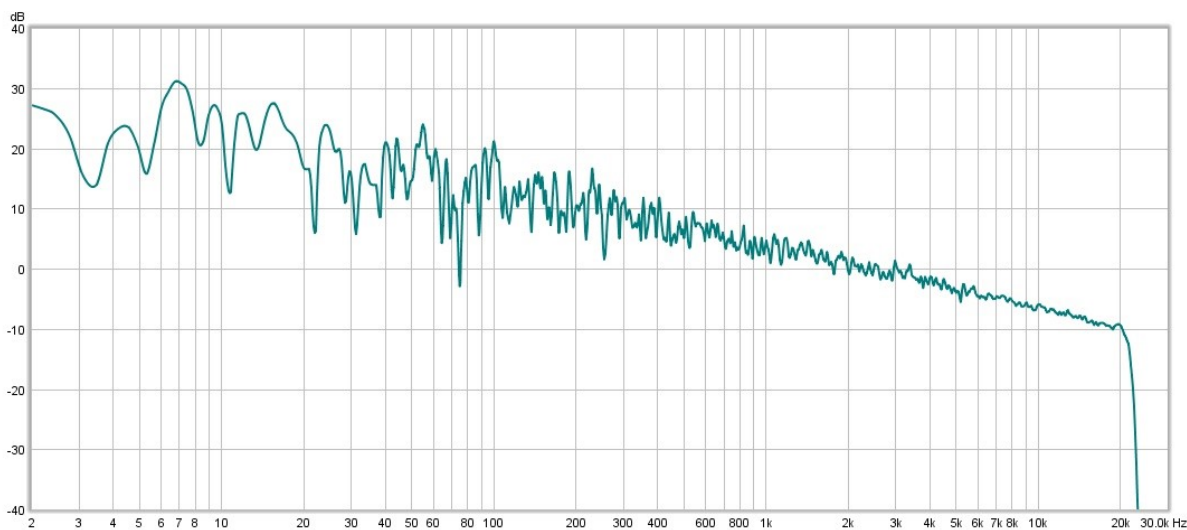
Focusrite Red 3 – Ratio 10:1 – Μεταβλητό Threshold -3dB έως -24dB



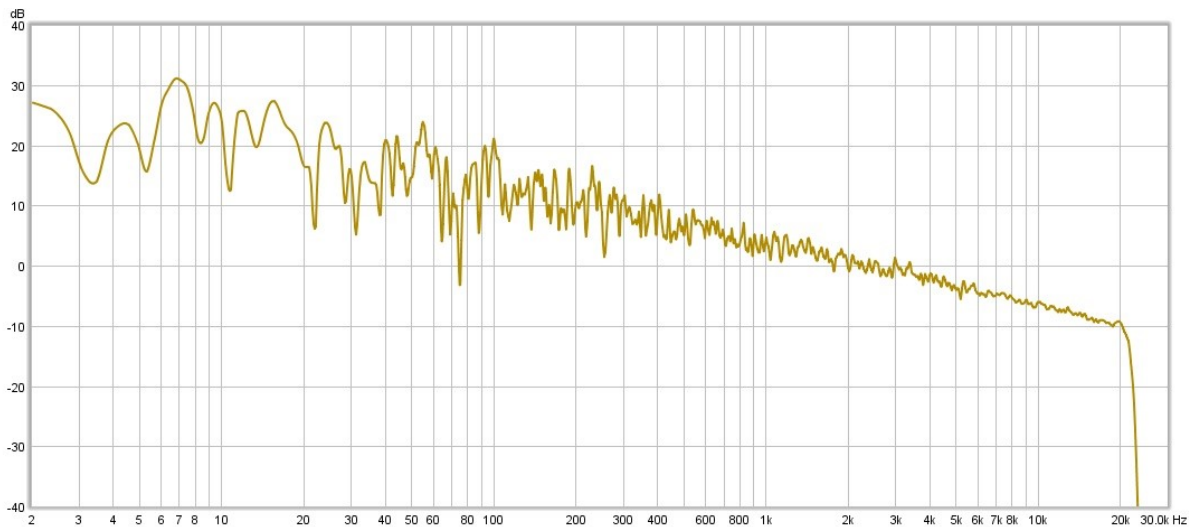
Σχήμα 59: Σοχνοτική Απόκριση του Focusrite Red3 με Ratio 10:1 και Threshold -3 dB



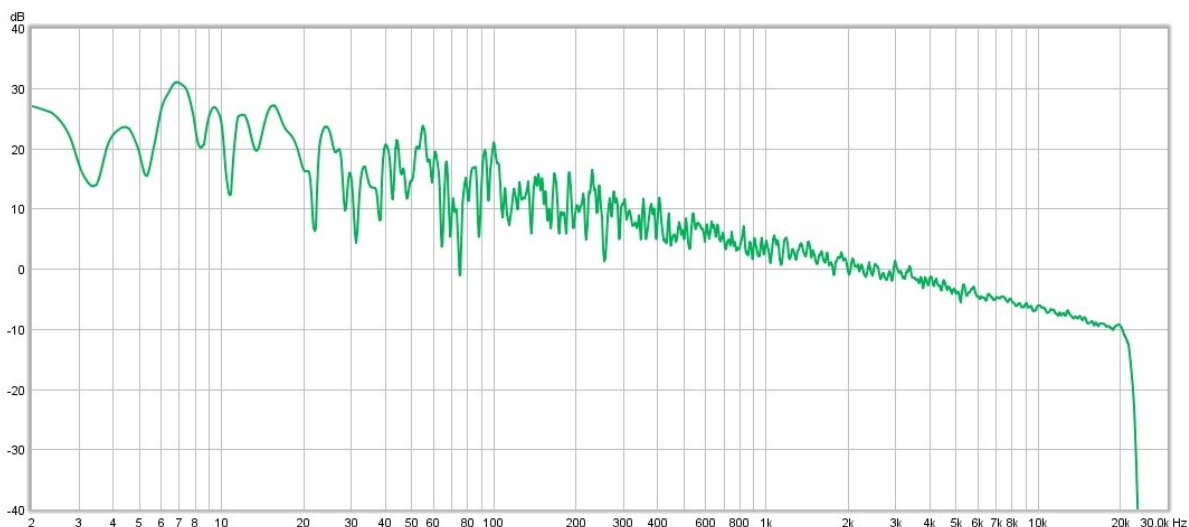
Σχήμα 60: Συχνοτική Απόκριση του Focusrite Red3 με Ratio 10:1 και Threshold -6 dB



Σχήμα 61: Συχνοτική Απόκριση του Focusrite Red3 με Ratio 10:1 και Threshold -9 dB



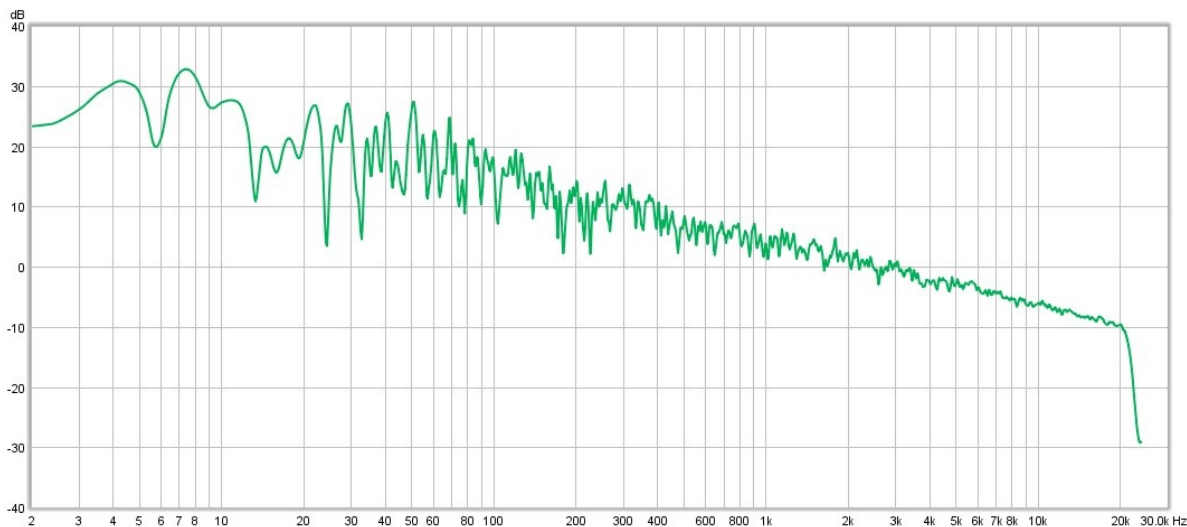
Σχήμα 62: Συχνοτική Απόκριση του Focusrite Red3 με Ratio 10:1 και Threshold -12 dB



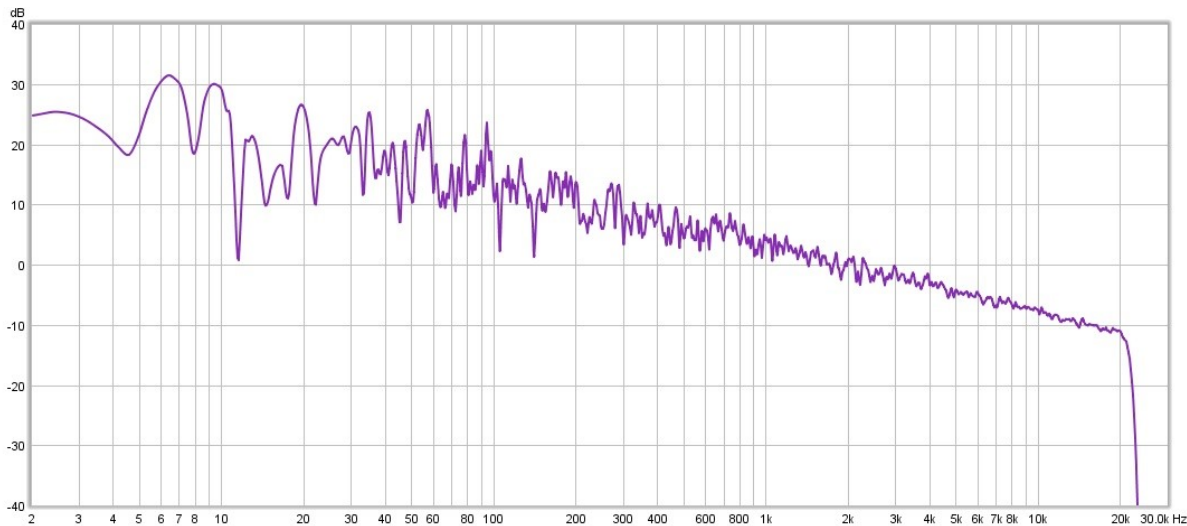
Σχήμα 63: Συχνοτική Απόκριση του Focusrite Red3 με Ratio 10:1 και Threshold -24 dB

5.3.4 Συχνοτική Απόκριση του DBX 160SL

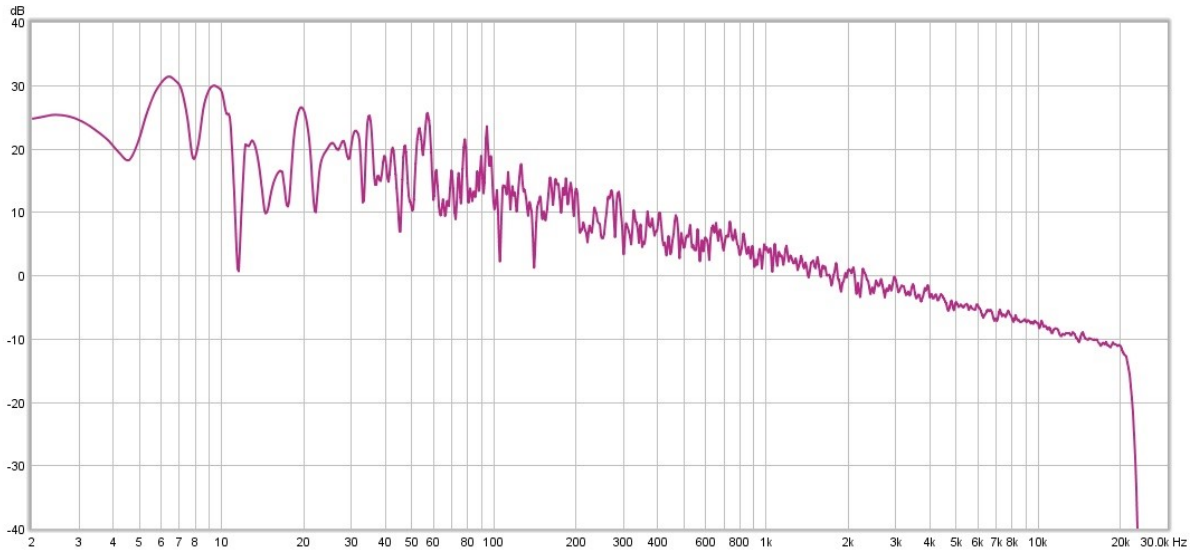
DBX 160SL – Ratio 2:1 – Μεταβλητό Threshold -5 dB έως -40 dB



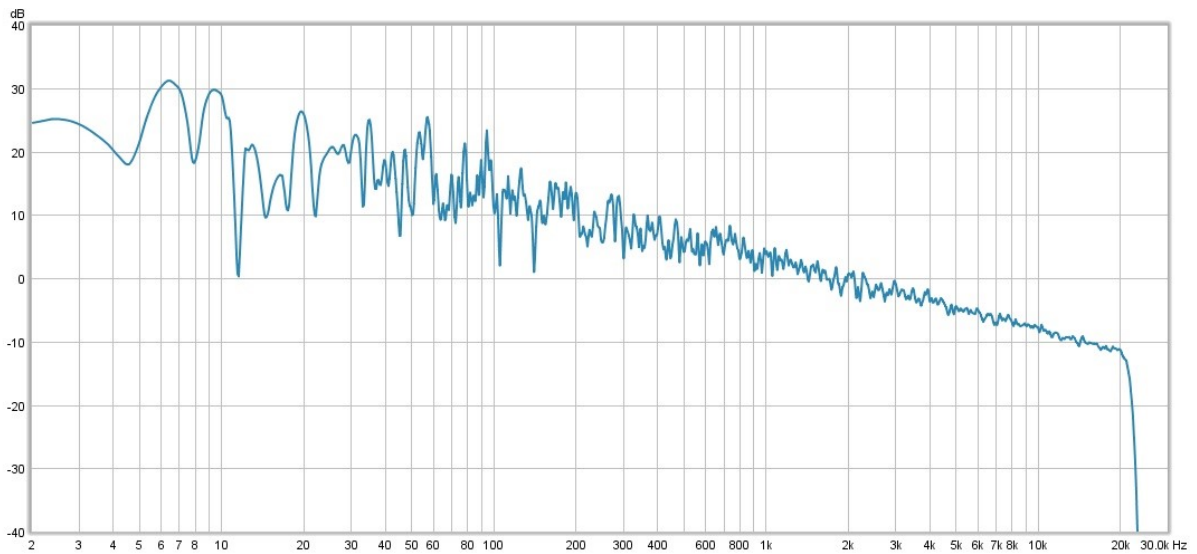
Σχήμα 64: Συχνοτική Απόκριση του DBX 160SL με Ratio 2:1 και Threshold -5 dB



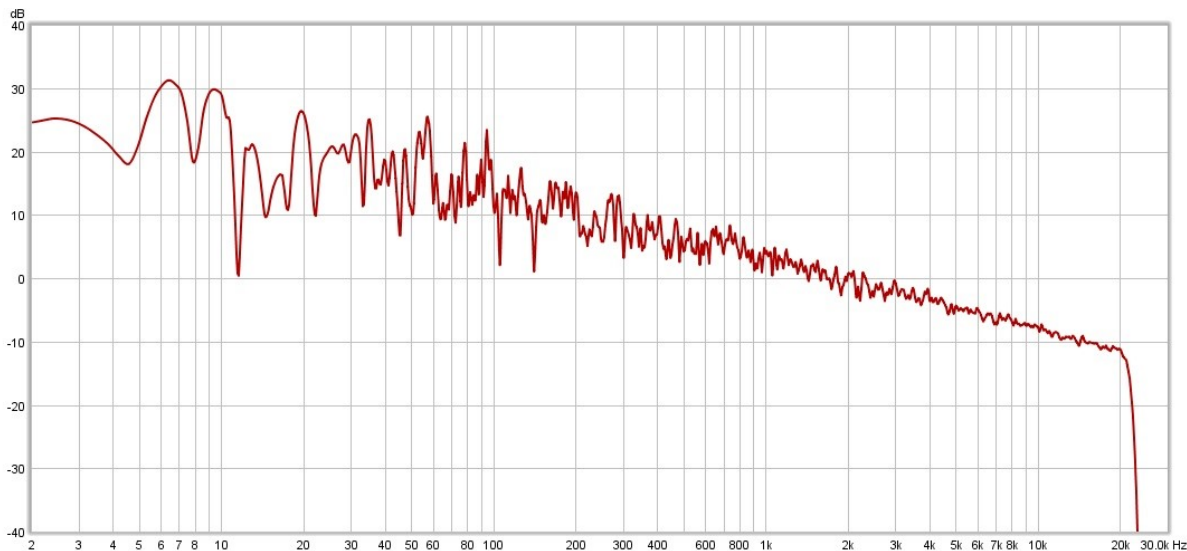
Σχήμα 65: Συχνοτική Απόκριση του DBX 160SL με Ratio 2:1 και Threshold -10 dB



Σχήμα 66: Συχνοτική Απόκριση του DBX 160SL με Ratio 2:1 και Threshold -20 dB

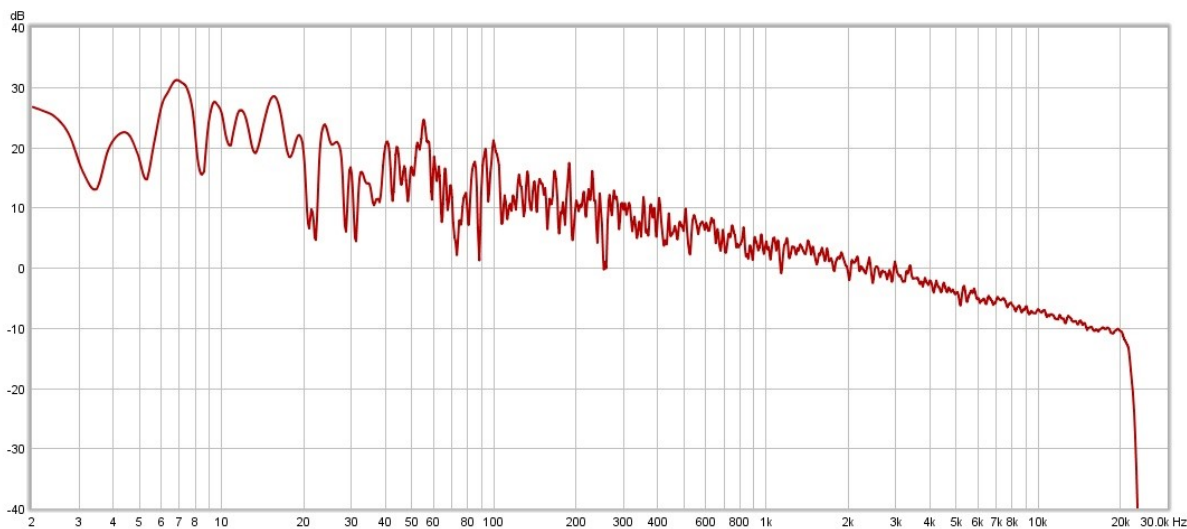


Σχήμα 67: Συχνοτική Απόκριση του DBX 160SL με Ratio 2:1 και Threshold -30 dB

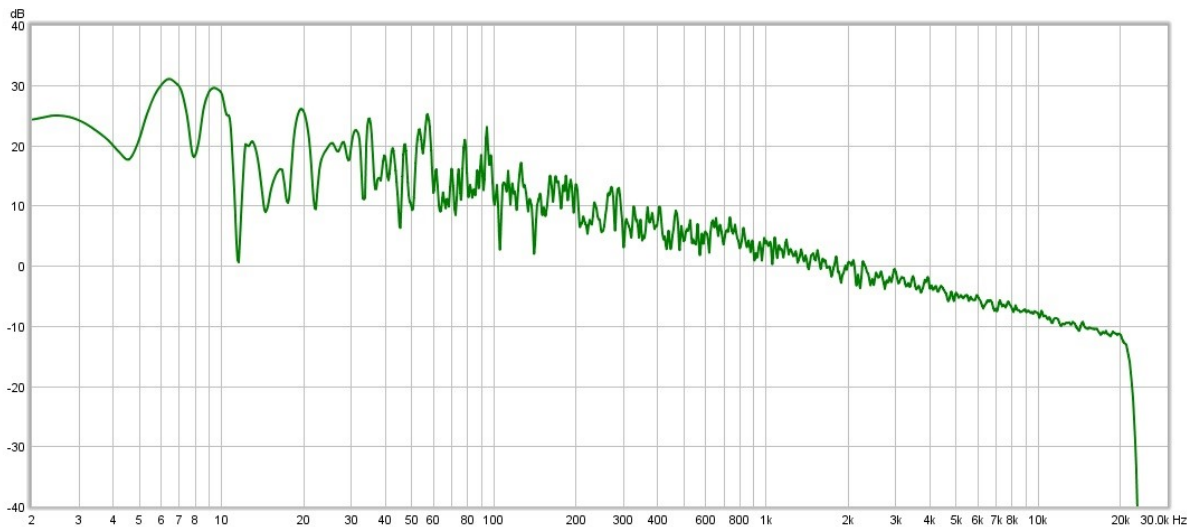


Σχήμα 68: Συχνοτική Απόκριση του DBX 160SL με Ratio 2:1 και Threshold -40 dB

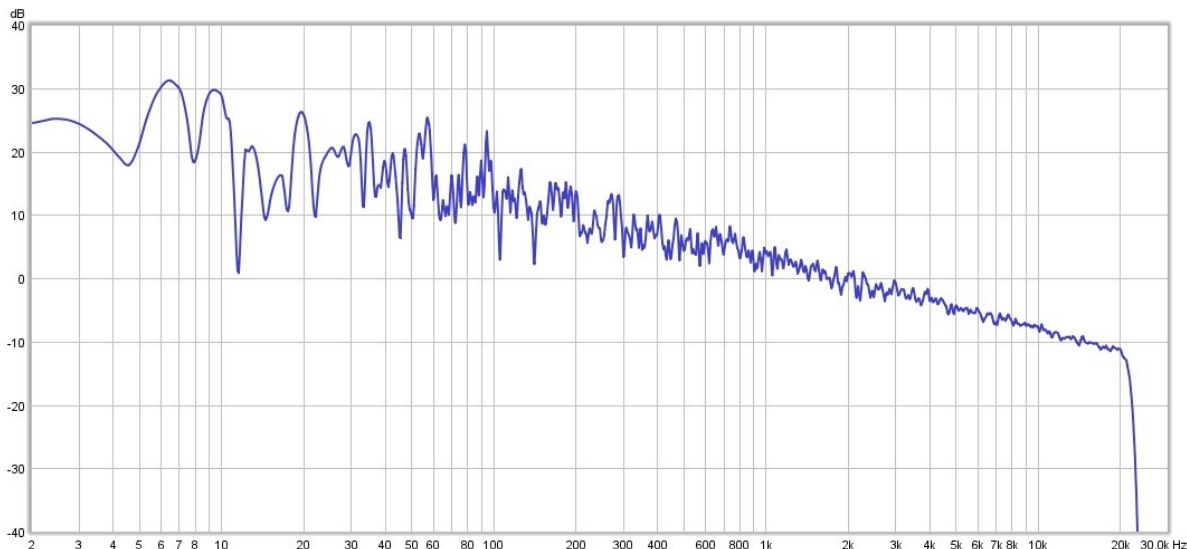
DBX 160SL – Ratio 4:1 – Μεταβλητό Threshold -5 dB έως -40 dB



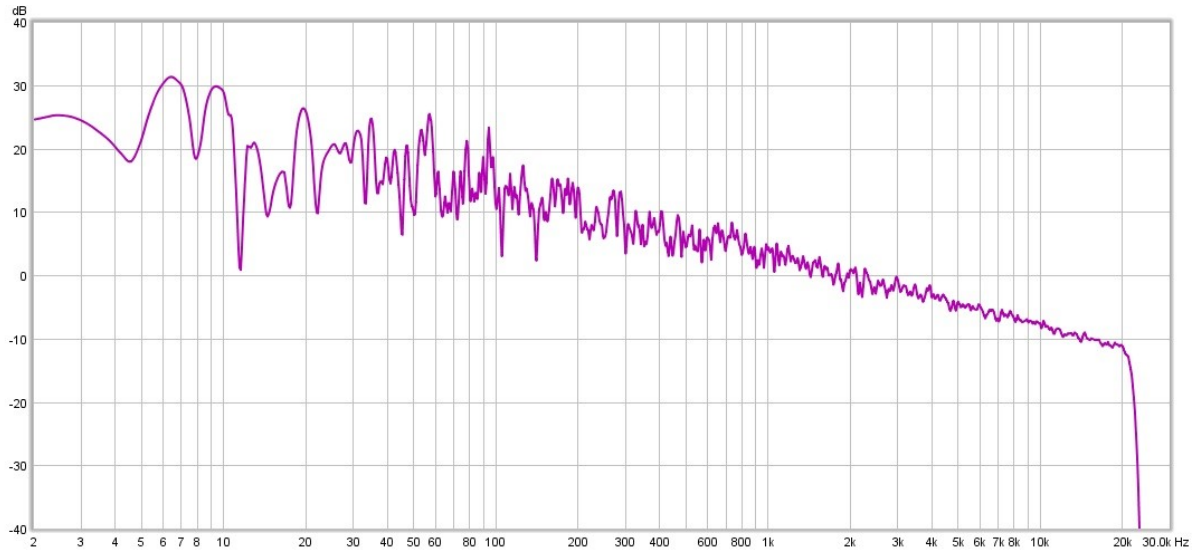
Σχήμα 69: Συχνοτική Απόκριση του DBX 160SL με Ratio 4:1 και Threshold -5 dB



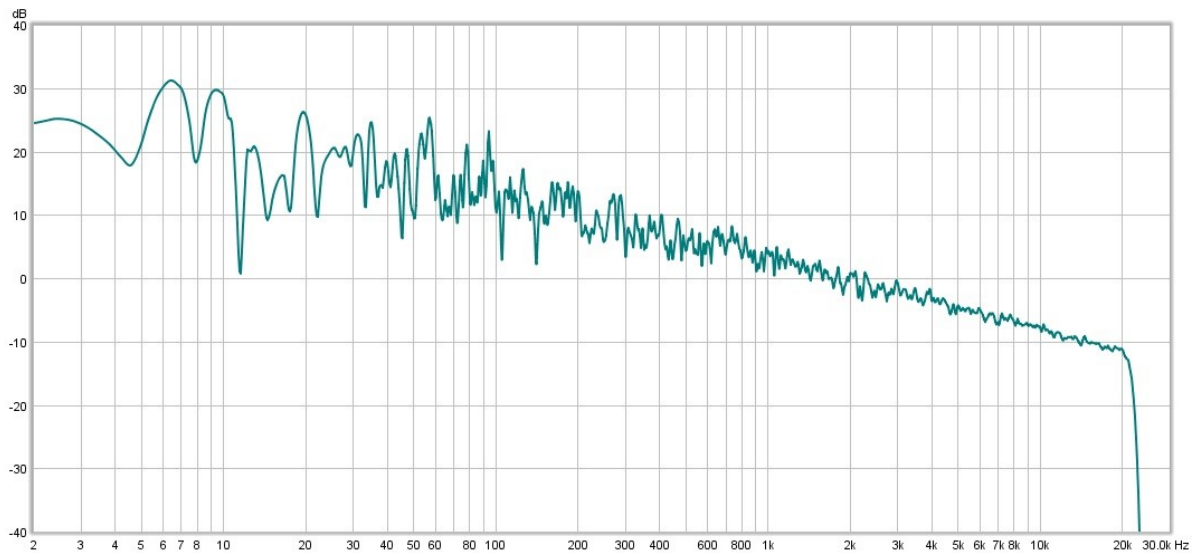
Σχήμα 70: Συχνοτική Απόκριση του DBX 160SL με Ratio 4:1 και Threshold -10 dB



Σχήμα 71: Συχνοτική Απόκριση του DBX 160SL με Ratio 4:1 και Threshold -20 dB

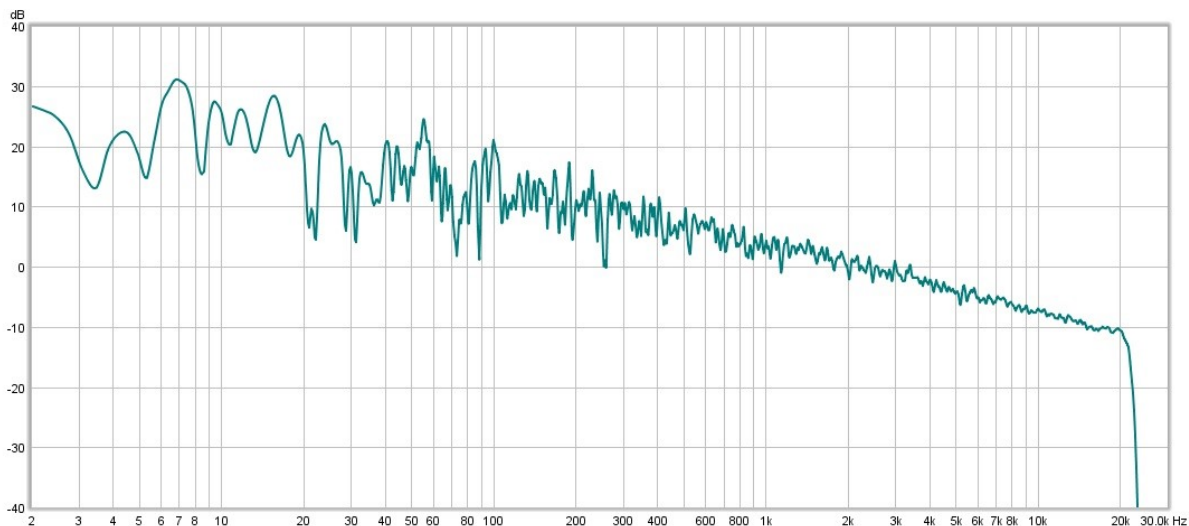


Σχήμα 72: Συχνοτική Απόκριση του DBX 160SL με Ratio 4:1 και Threshold -30 dB

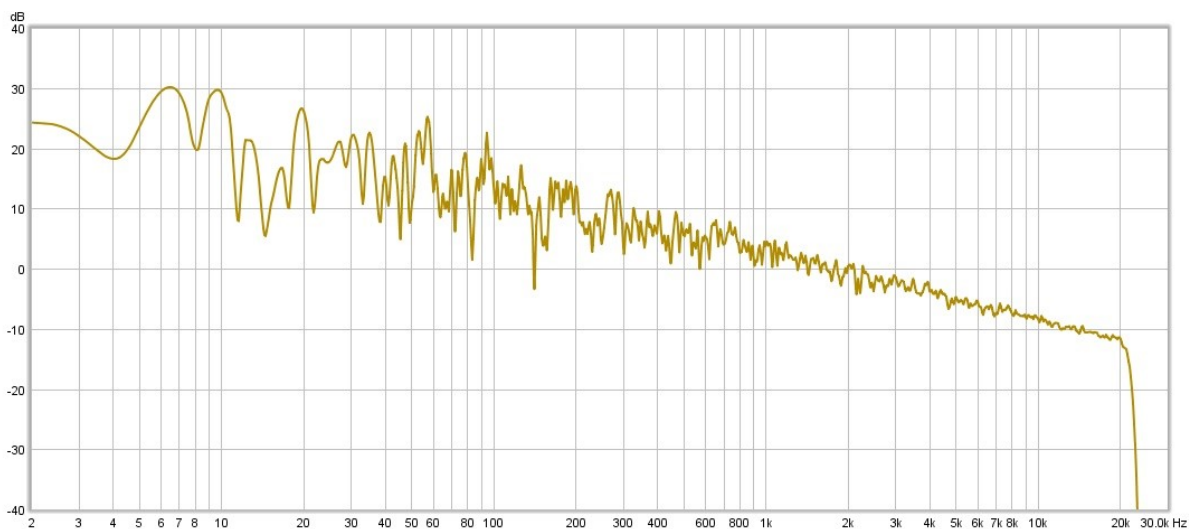


Σχήμα 73: Συχνοτική Απόκριση του DBX 160SL με Ratio 4:1 και Threshold -40 dB

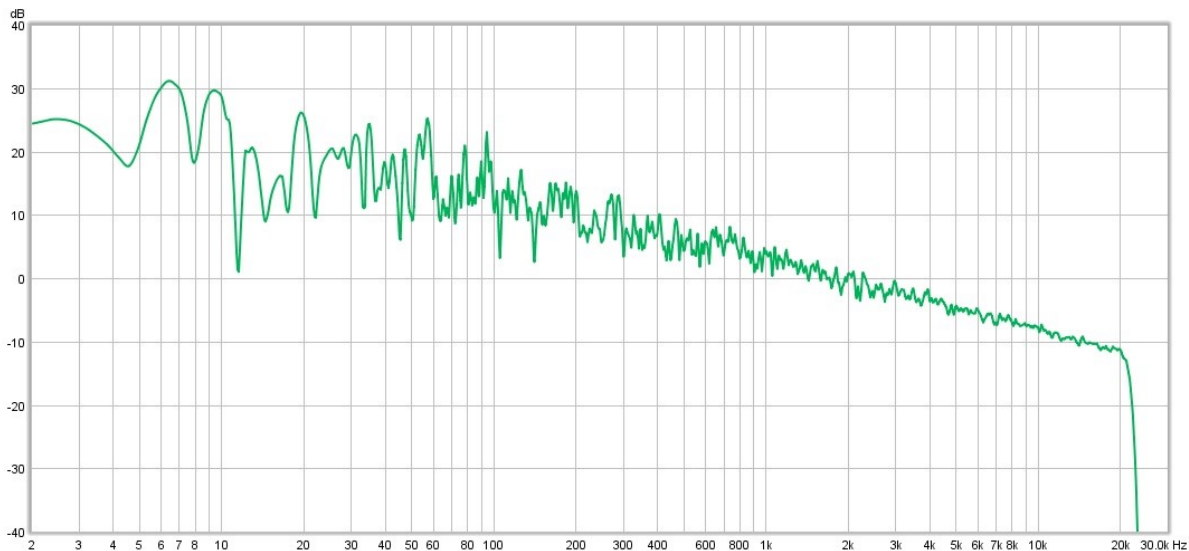
DBX 160SL – Ratio 6:1 – Μεταβλητό Threshold -5 dB έως -40 dB



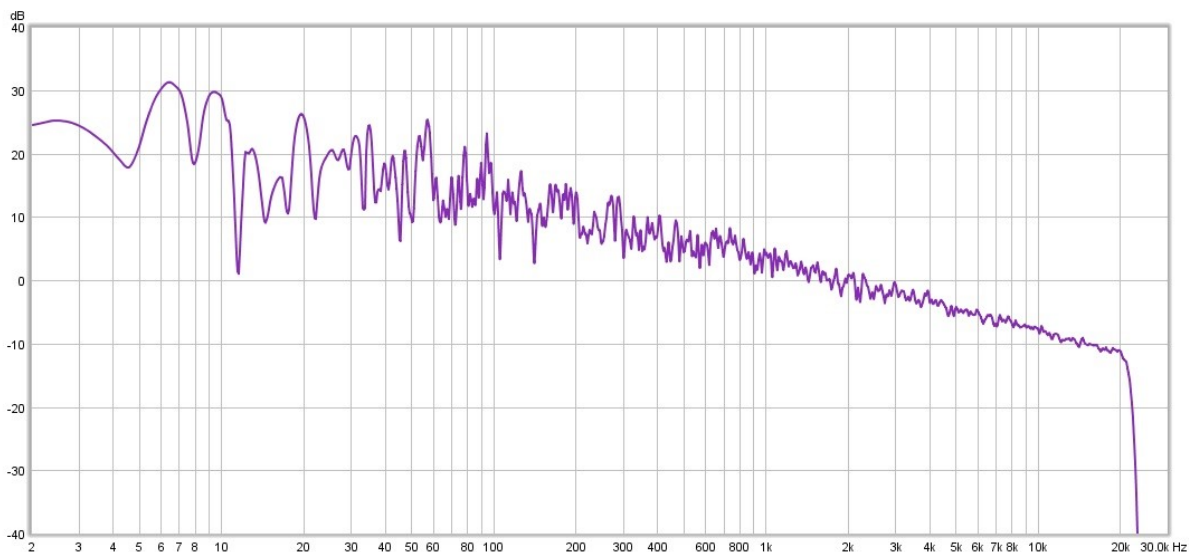
Σχήμα 74: Συχνοτική Απόκριση του DBX 160SL με Ratio 6:1 και Threshold -5 dB



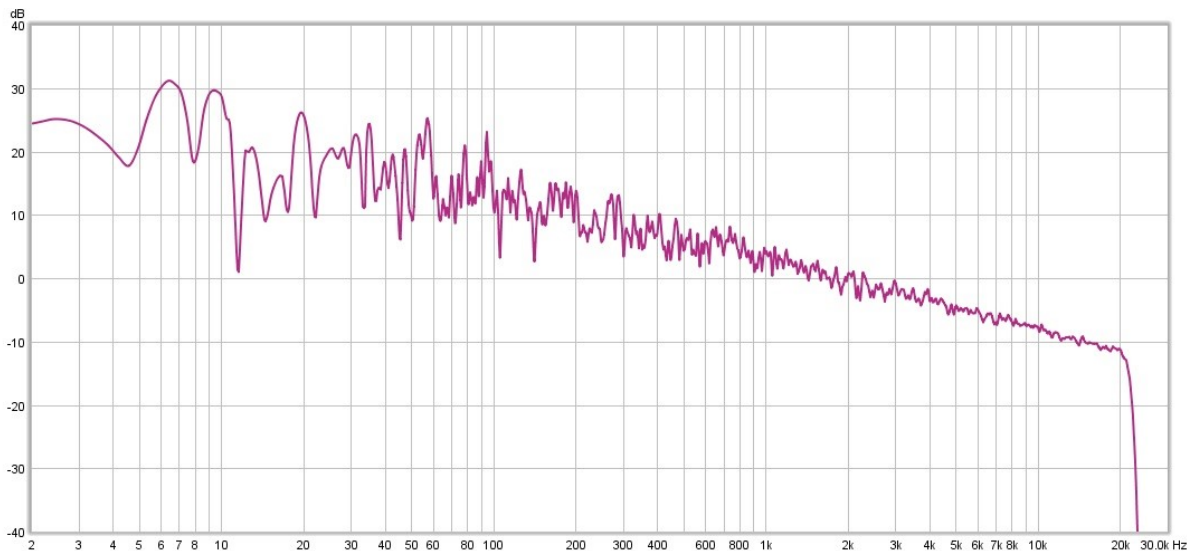
Σχήμα 75: Συχνοτική Απόκριση του DBX 160SL με Ratio 6:1 και Threshold -10 dB



Σχήμα 76: Συχνοτική Απόκριση του DBX 160SL με Ratio 6:1 και Threshold -20 dB

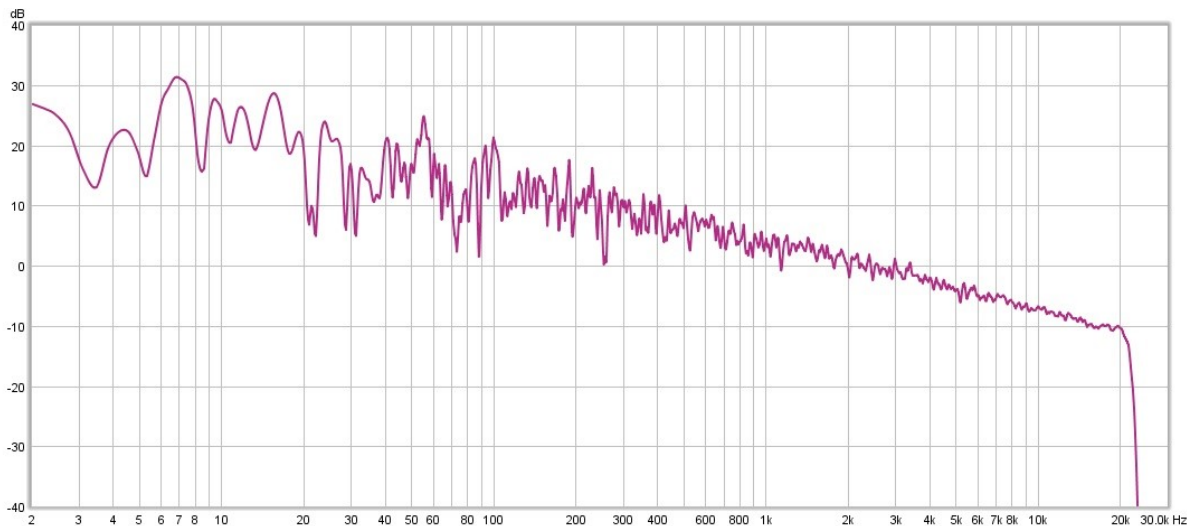


Σχήμα 77: Συχνοτική Απόκριση του DBX 160SL με Ratio 6:1 και Threshold -30 dB

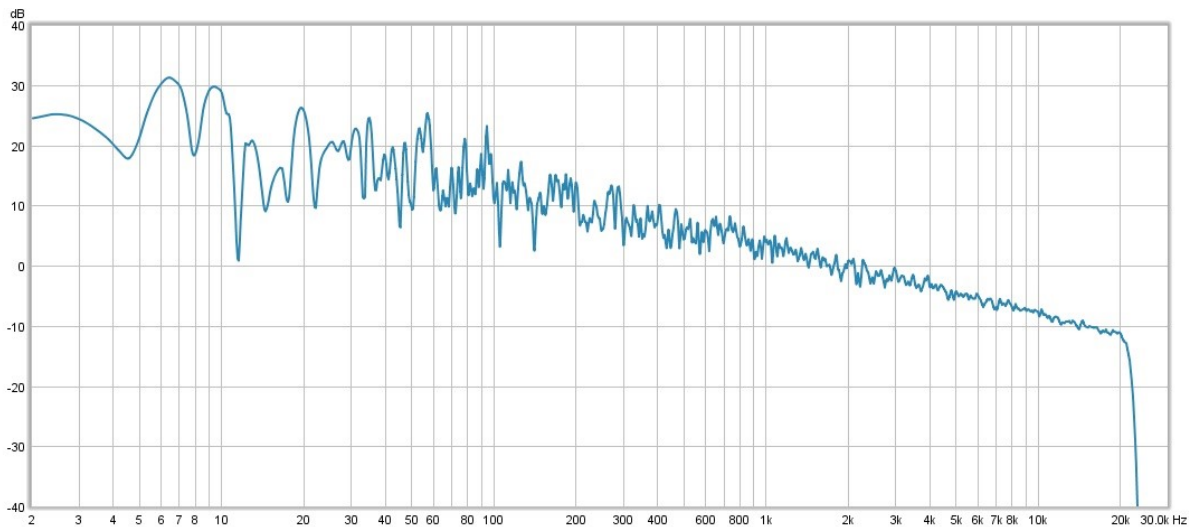


Σχήμα 78: Συχνοτική Απόκριση του DBX 160SL με Ratio 6:1 και Threshold -40 dB

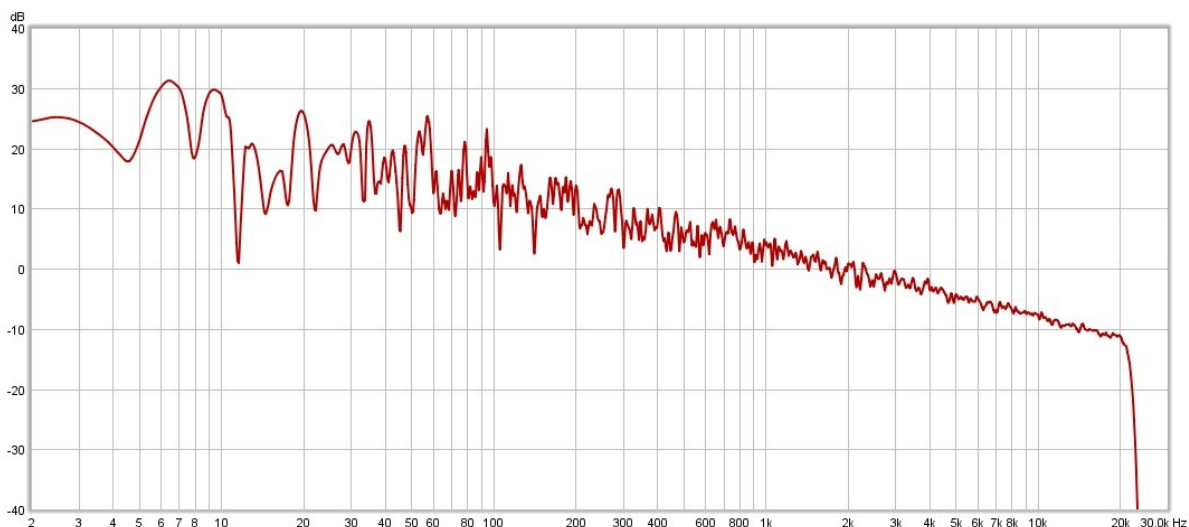
DBX 160SL – Ratio 8:1 – Μεταβλητό Threshold -5 dB έως -40 dB



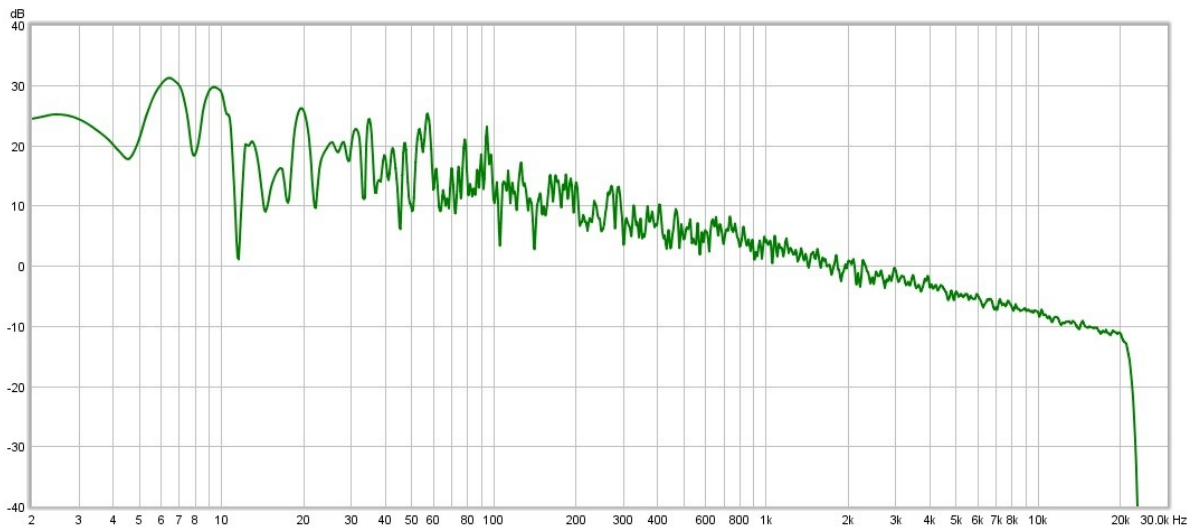
Σχήμα 79: Συχνοτική Απόκριση του DBX 160SL με Ratio 8:1 και Threshold -5 dB



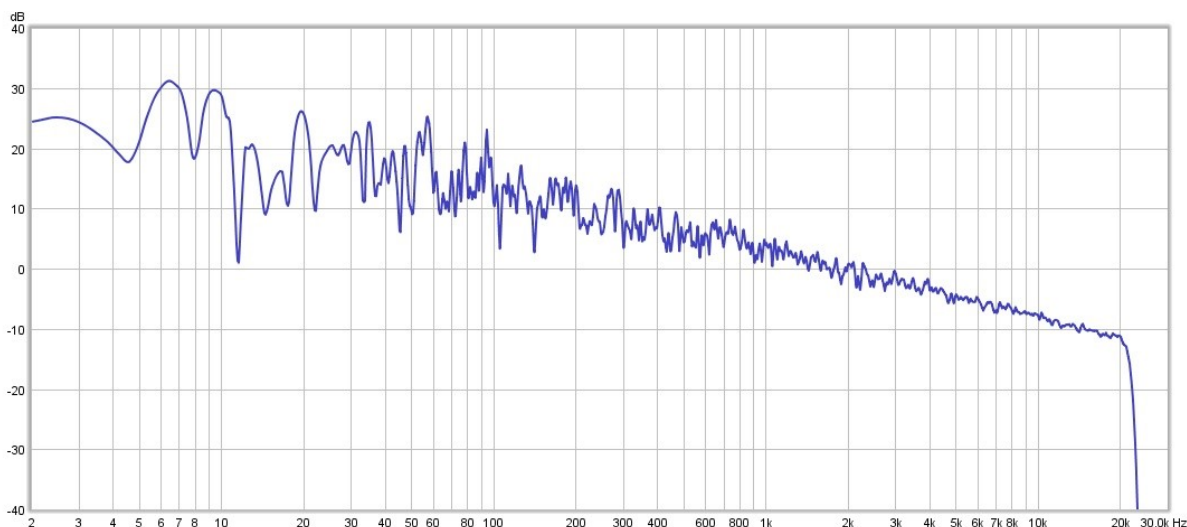
Σχήμα 80: Συχνοτική Απόκριση του DBX 160SL με Ratio 8:1 και Threshold -10 dB



Σχήμα 81: Συχνοτική Απόκριση του DBX 160SL με Ratio 8:1 και Threshold -20 dB

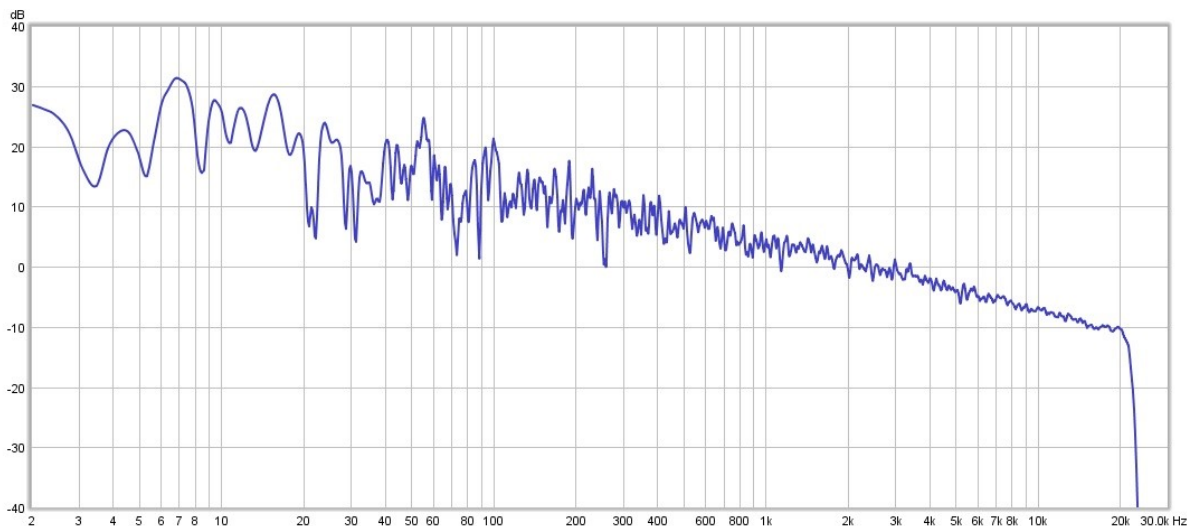


Σχήμα 82: Συχνοτική Απόκριση του DBX 160SL με Ratio 8:1 και Threshold -30 dB

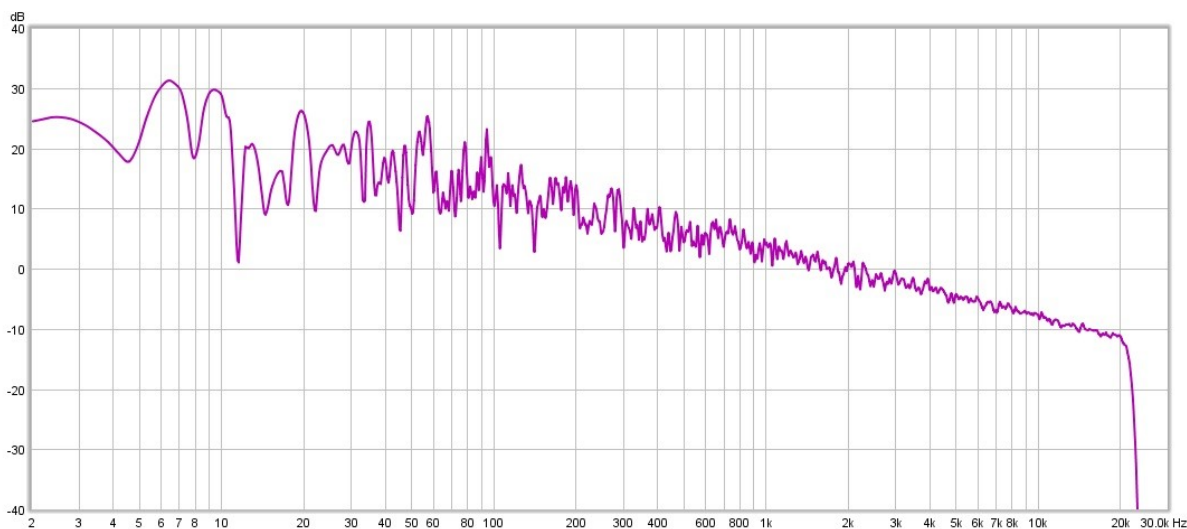


Σχήμα 83: Συχνοτική Απόκριση του DBX 160SL με Ratio 8:1 και Threshold -40 dB

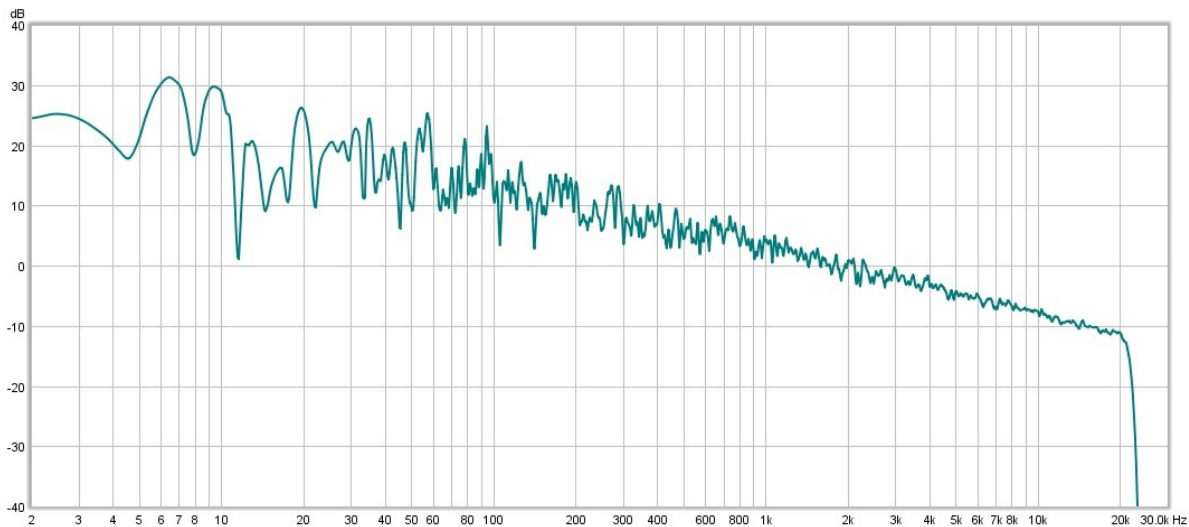
DBX 160SL – Ratio 10:1 – Μεταβλητό Threshold -5 dB έως -40 dB



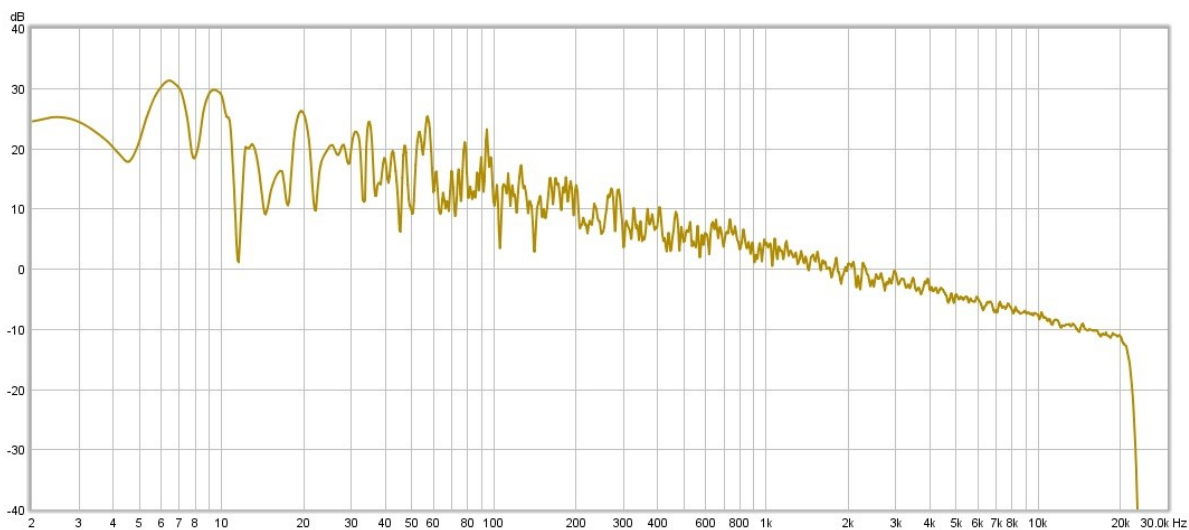
Σχήμα 84: Συχνοτική Απόκριση του DBX 160SL με Ratio 10:1 και Threshold -5 dB



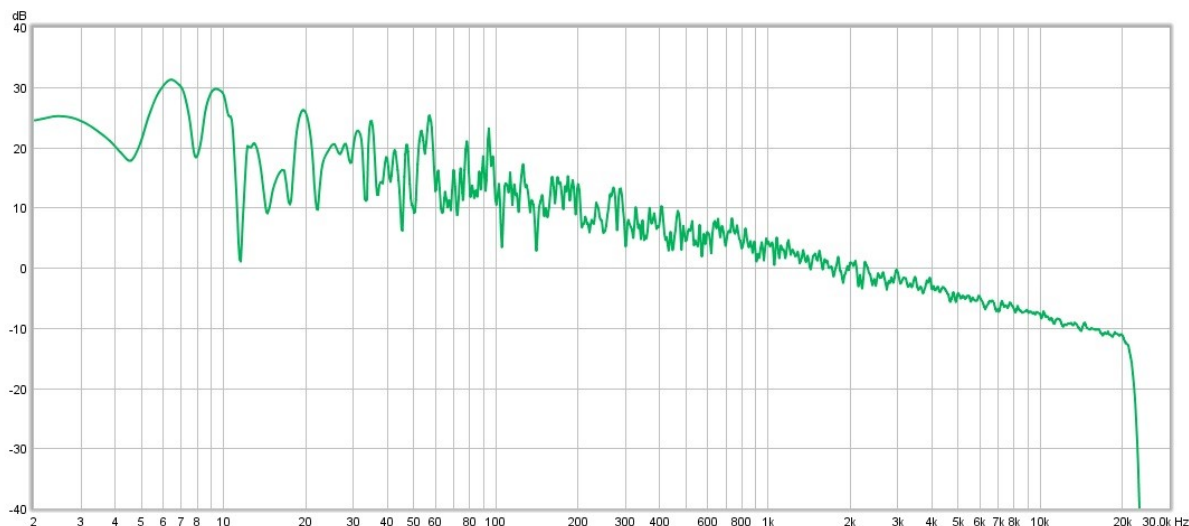
Σχήμα 85: Συχνοτική Απόκριση του DBX 160SL με Ratio 10:1 και Threshold -10 dB



Σχήμα 86: Συχνοτική Απόκριση του DBX 160SL με Ratio 10:1 και Threshold -20 dB



Σχήμα 87: Συχνοτική Απόκριση του DBX 160SL με Ratio 10:1 και Threshold -30 dB



Σχήμα 88: Συχνотική Απόκριση του DBX 160SL με Ratio 10:1 και Threshold -40 dB

Μελετώντας τα Σχήματα 39 – 88 μπορούμε να καταλήξουμε σε κάποια συμπεράσματα τα οποία είναι τα εξής:

Παρατηρούμε ότι οι Focusrite Red 3 και DBX 160SL για τις συχνотικές περιοχές μεταξύ των 20 – 100Hz (για τον Focusrite Red 3) και 20 – 300Hz (για τον DBX 160SL) πέραν κάποιων διακυμάνσεων ($3\text{dB} \pm 0.5$, όπως αναφέρεται και στα manuals του κάθε ενός Συμπιεστή) που εμφανίζουν μέσα σε αυτήν την περιοχή η συχνотική τους απόκριση εμφανίζει μία κλίση της τάξεως των $-3\text{dB}/\text{va}$ ακριβώς όπως και το σήμα του ροζ θορύβου με το οποίο χρησιμοποιήκε για τις μετρήσεις. Άρα μπορούμε να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι οι Συμπιεστές Focusrite Red 3 και DBX 160SL δεν επηρεάζουν το φασματικό περιεχόμενο του σήματος εισόδου (πέραν των μικρό διακυμάνσεων που αναφέρθηκαν στην αρχή της παραγράφου).

Όσον αφορά τον Avalon AD2044 μελετώντας τα Σχήματα 14 – 38 συμπεραίνουμε τα εξής:

Για την συχνотική περιοχή από 20Hz – 3kHz η συμπεριφορά του Avalon AD 2044 μοιάζει αρκετά με αυτή των άλλων δύο (Focusrite Red 3, DBX 160SL) δηλαδή παρουσιάζει και αυτός μια κλίση $-3\text{dB}/\text{va}$ όπως το σήμα εισόδου του (ροζ

θόρυβος) με κάποιες μικρό διακυμάνσεις ($3\text{dB} \pm 0.5$, όπως αναφέρεται και στο manual του Συμπιεστή), αλλά στην περιοχή $3 - 20\text{kHz}$ η προαναφερθείσα κλίση αλλάζει και γίνεται -2.4dB/va (κατά μέσο όρο). Αυτή η αλλαγή της κλίσης αλλάζει ανάλογα το λόγο συμπίεσης. Πιο συγκεκριμένα ανά Ratio έχουμε:

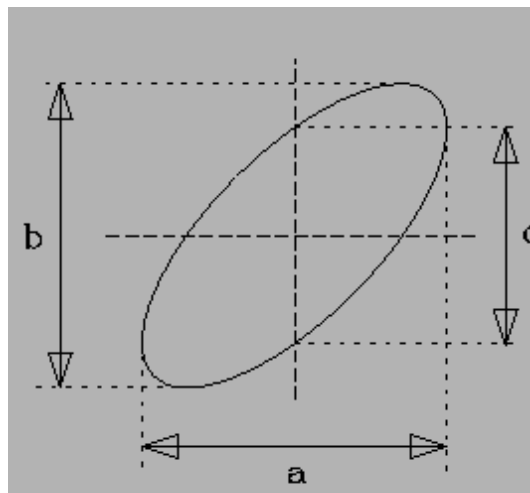
Λόγος Συμπίεσης – Ratio	Κλίση Συχνοτικής Απόκρισης
2:1	-2.52 dB/va
4:1	-2.34 dB/va
6:1	-2.35 dB/va
8:1	-2.45 dB/va
10:1	-2.34 dB/va
Μέσος Όρος	-2.40 dB/va

Πίνακας 2: Κλίση τη Συχνοτικής Απόκρισης του Avalon AD2044 για κάθε λόγο συμπίεσης στην περιοχή των $3 - 20\text{kHz}$.

Έτσι μπορούμε να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι ο Avalon AD2044 για την περιοχή των $20\text{Hz} - 3\text{kHz}$ δεν επηρεάζει το σήμα εισόδου του, ενώ στην περιοχή των $3 - 20\text{kHz}$ ο Συμπιεστής προσθέτει κάποιο φασματικό περιεχόμενο ασχέτως της τιμής του Ratio ή του Threshold αφού αυτό το πρόσθετο φασματικό περιεχόμενο διακρίνεται σε όλες τις μετρήσεις.

5.3.5 Φασική Απόκριση (Phase Response)

Οι μετρήσεις της φασικής διαφοράς έγιναν με την χρήση ενός παλμογράφου. Αυτό γιατί με τον παλμογράφο στην λειτουργία (mode) X-Y μπορούμε να μετρήσουμε την μετατόπιση φάσης (Phase Shift) δύο σημάτων (στην προκειμένη περίπτωση την έξοδο ως προς την είσοδο του εκάστοτε Συμπιεστή) με την χρήση καμπυλών Lissajous. Οπότε η φασική διαφορά της εξόδου ως προς την είσοδο δίνεται από τον τύπο $\sin\varphi = \frac{b}{c}$ όπου τα b,c τα πλάτη του ωοειδούς σχήματος Lissajous όπως



Εικόνα 16: Μια μετατόπιση φάσης επηρεάζει την εκκεντρότητα του ωοειδούς σχήματος Lissajous. Η ανάλυση αυτού του σχήματος επιτρέπει τη μέτρηση της μετατόπισης φάσης σε ένα σύστημα LTI σύστημα (όπως είναι ένας Συμπιεστής) το οποίο είναι υπό μέτρηση.

φαίνεται στο σχήμα της *Εικόνας 16* και φ είναι η διαφορά φάσης της εξόδου ως προς την είσοδο. Με αυτή τη μέθοδο μετρήθηκαν για κάθε συμπιεστή η φασική διαφορά της εξόδου ως προς την είσοδο για 10 ημίτονα με συχνότητες **31, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 και 16000 Hz** (δηλαδή η κάθε συχνότητα έχει διαφορά μία οκτάβα από την προηγούμενή της και την επόμενη της).

Παρακάτω βλέπουμε όλες τις μετρήσεις για κάθε μετρούμενο ημίτονο ανά συχνότητα για κάθε Συμπιεστή.

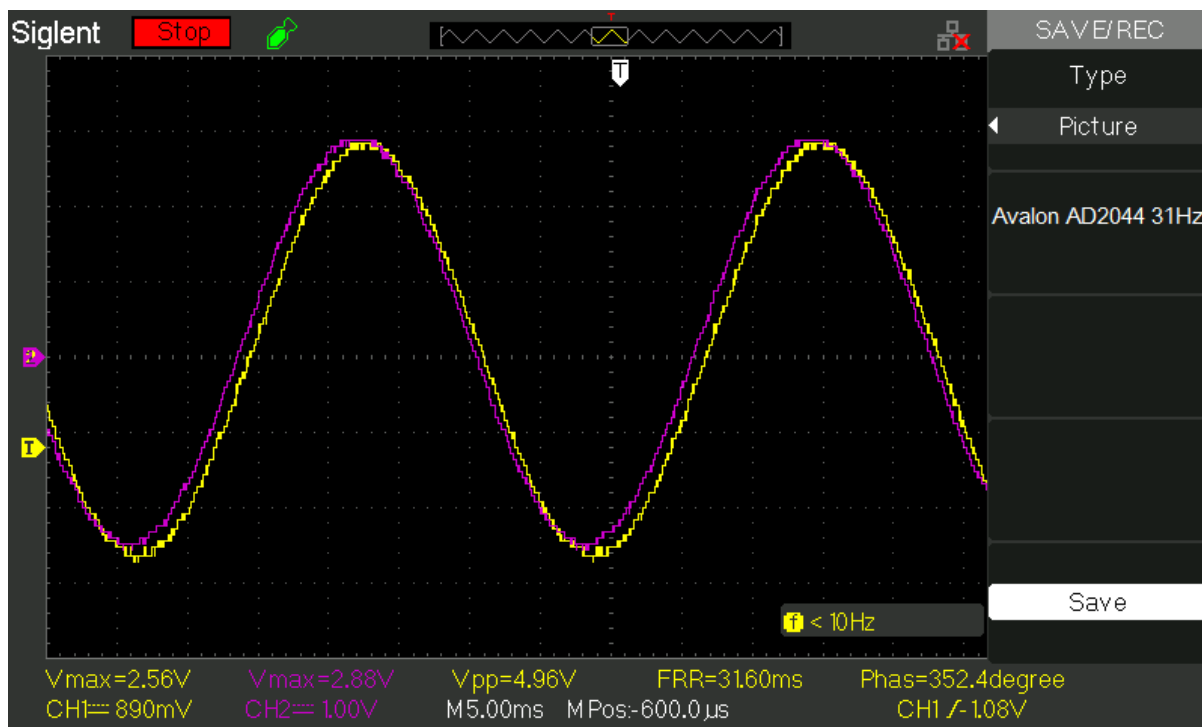
Συχνότητα (Hz)	$\Delta\varphi$ Avalon (deg)	$\Delta\varphi$ Focusrite (deg)	$\Delta\varphi$ DBX (deg)
31	352.40	355.70	0.22
63	355.90	358.60	1.82

125	358.90	358.20	0.00
250	0.32	0.72	0.18
500	0.58	0.90	0.65
1000	0.43	1.29	0.36
2000	0.58	4.18	2.30
4000	1.38	6.34	1.04
8000	1.27	12.37	3.91
16000	4.49	20.72	7.14

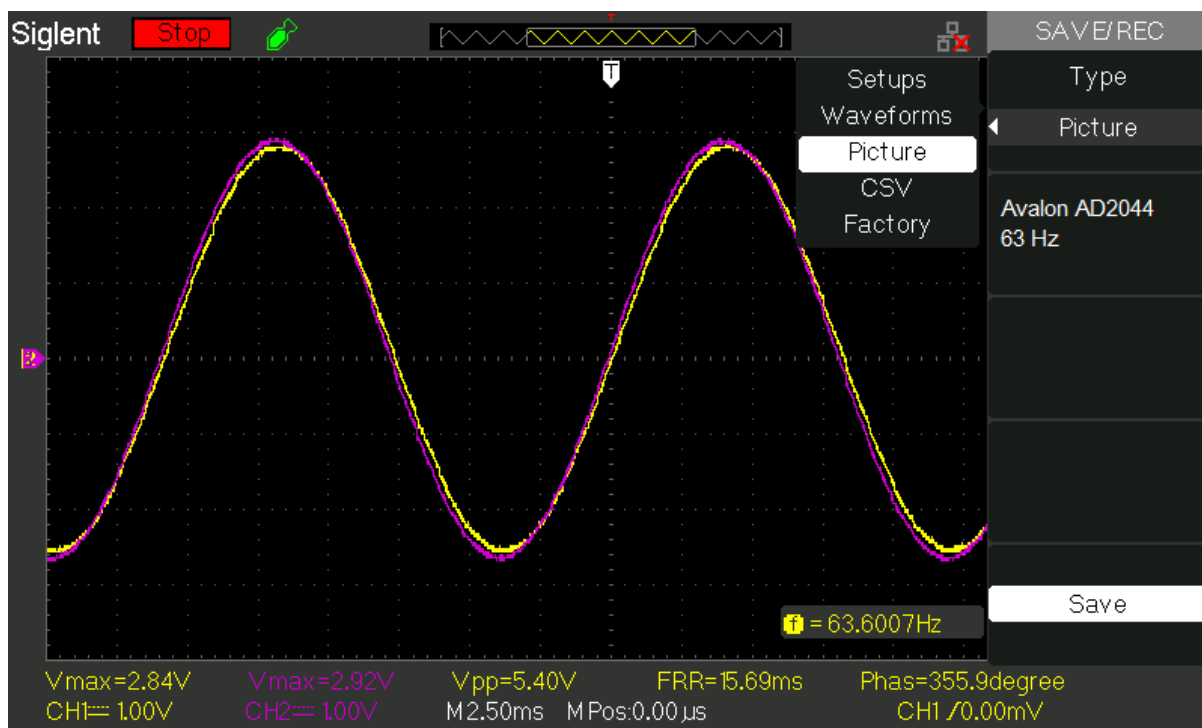
Πίνακας 3: Οι φασικές διαφορές του κάθε Συμπιεστή ανά Συχνότητα.

Μετρήσεις και Φασική Απόκριση του Avalon AD2044

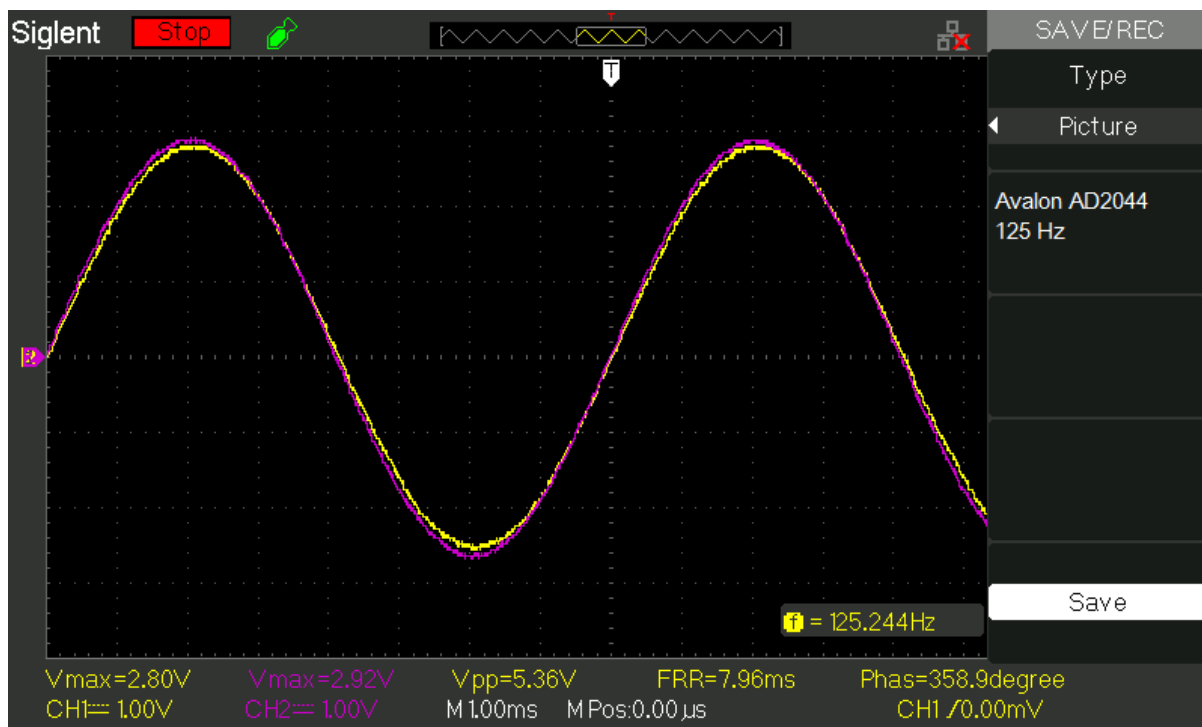
Στα παρακάτω σχήματα με κίτρινο χρώμα απεικονίζεται το σήμα εισόδου ενώ το σήμα εξόδου με μωβ χρώμα.



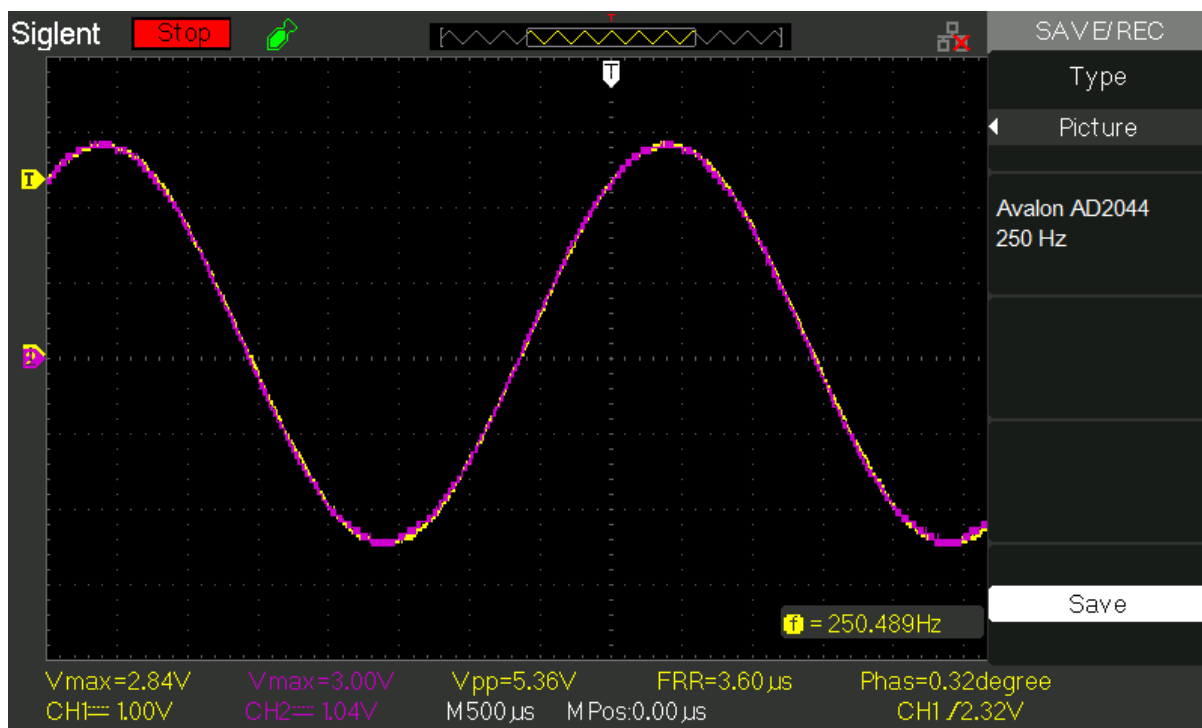
Σχήμα 89: Διαφορά Φάσης του Avalon AD2044 στα 31 Hz



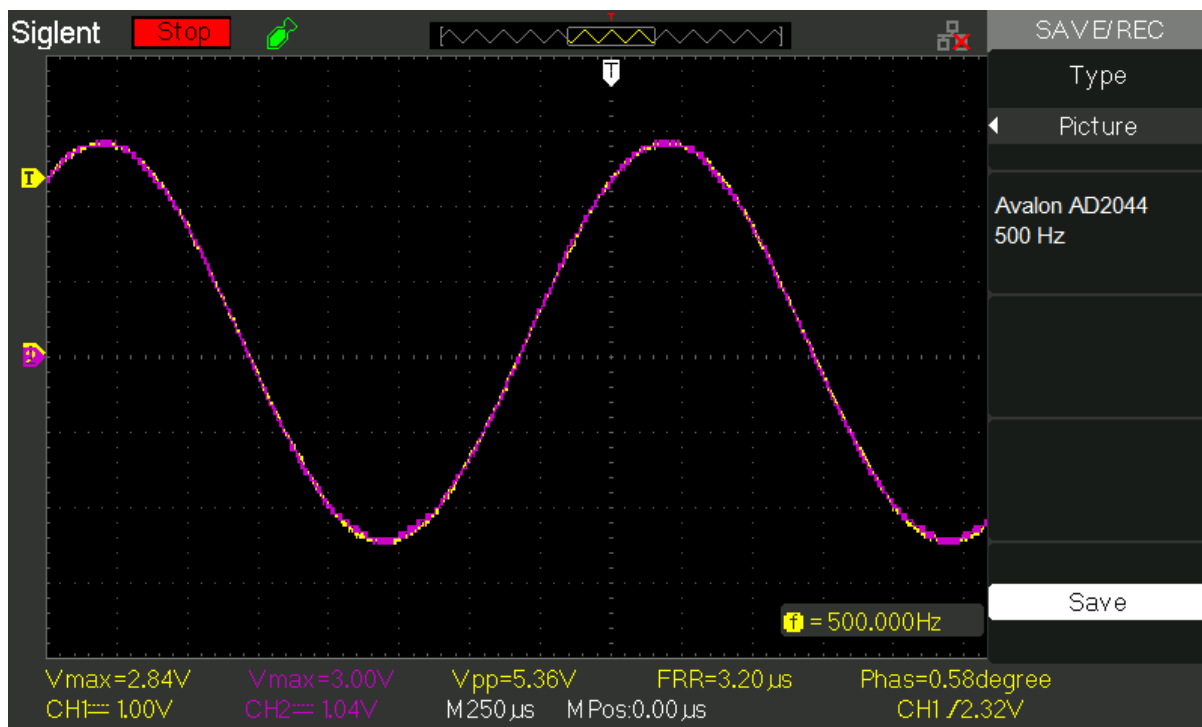
Σχήμα 90: Διαφορά Φάσης του Avalon AD2044 στα 63 Hz



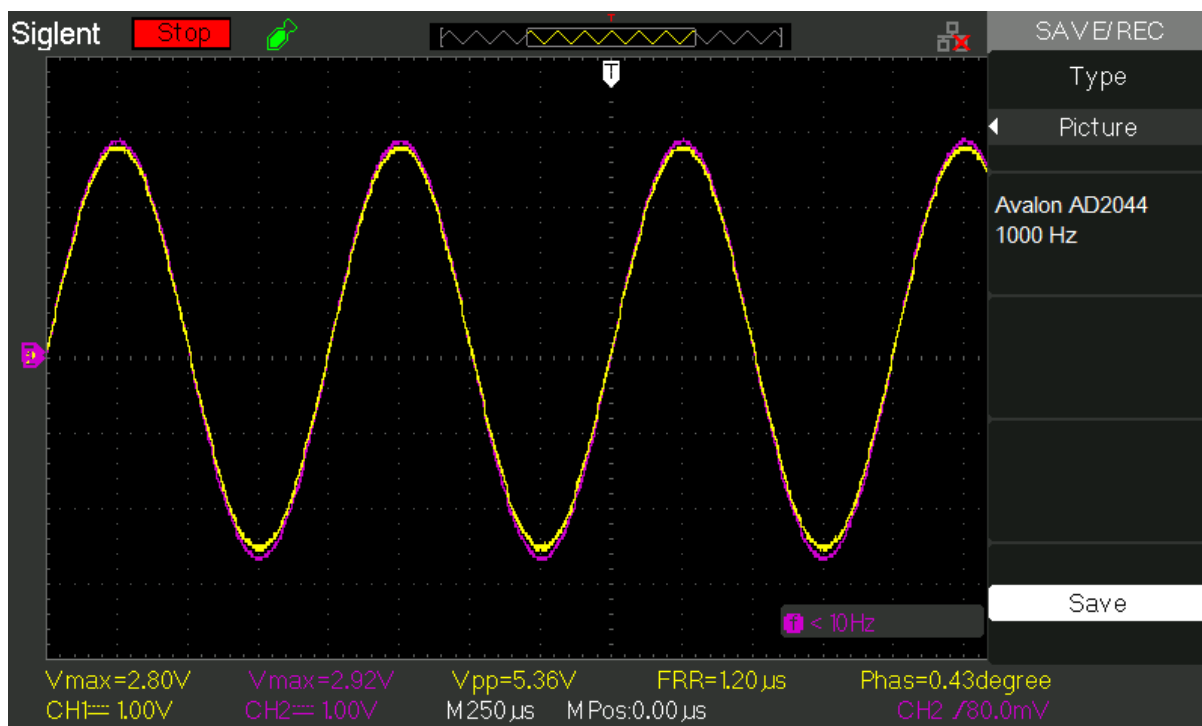
Σχήμα 91: Διαφορά Φάσης του Avalon AD2044 στα 125 Hz



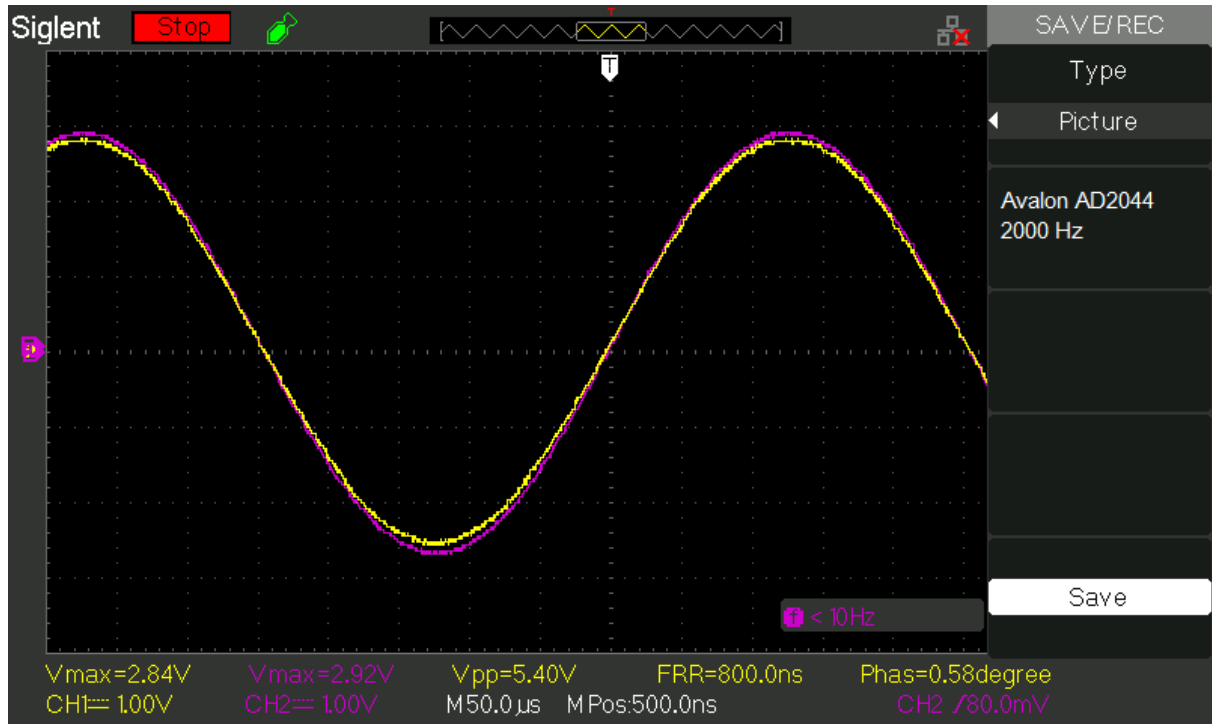
Σχήμα 92: Διαφορά Φάσης του Avalon AD2044 στα 250 Hz



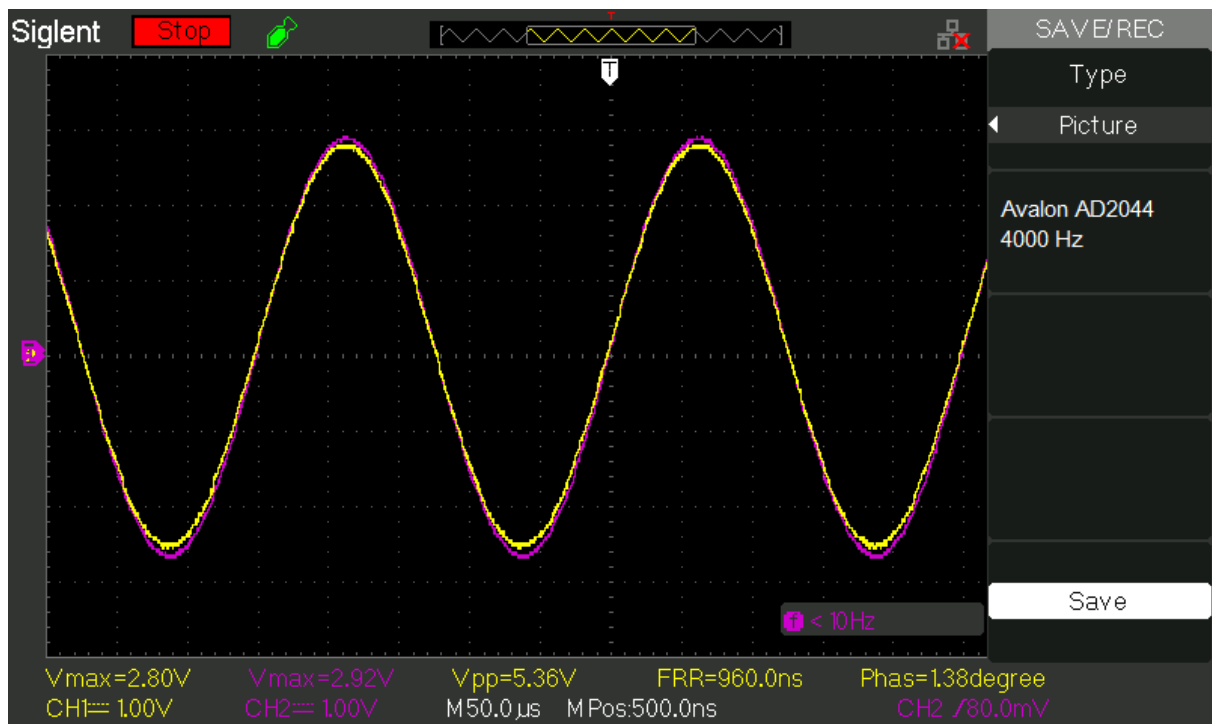
Σχήμα 93: Διαφορά Φάσης του Avalon AD2044 στα 500 Hz



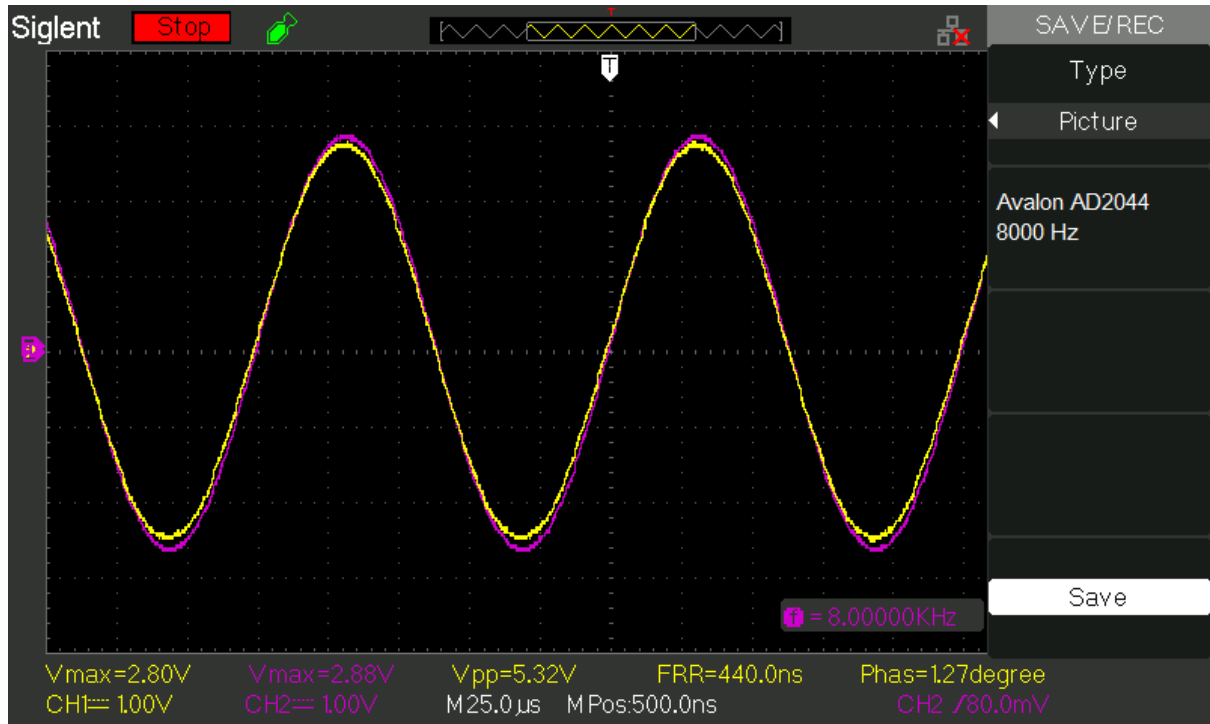
Σχήμα 94: Διαφορά Φάσης του Avalon AD2044 στα 1000 Hz



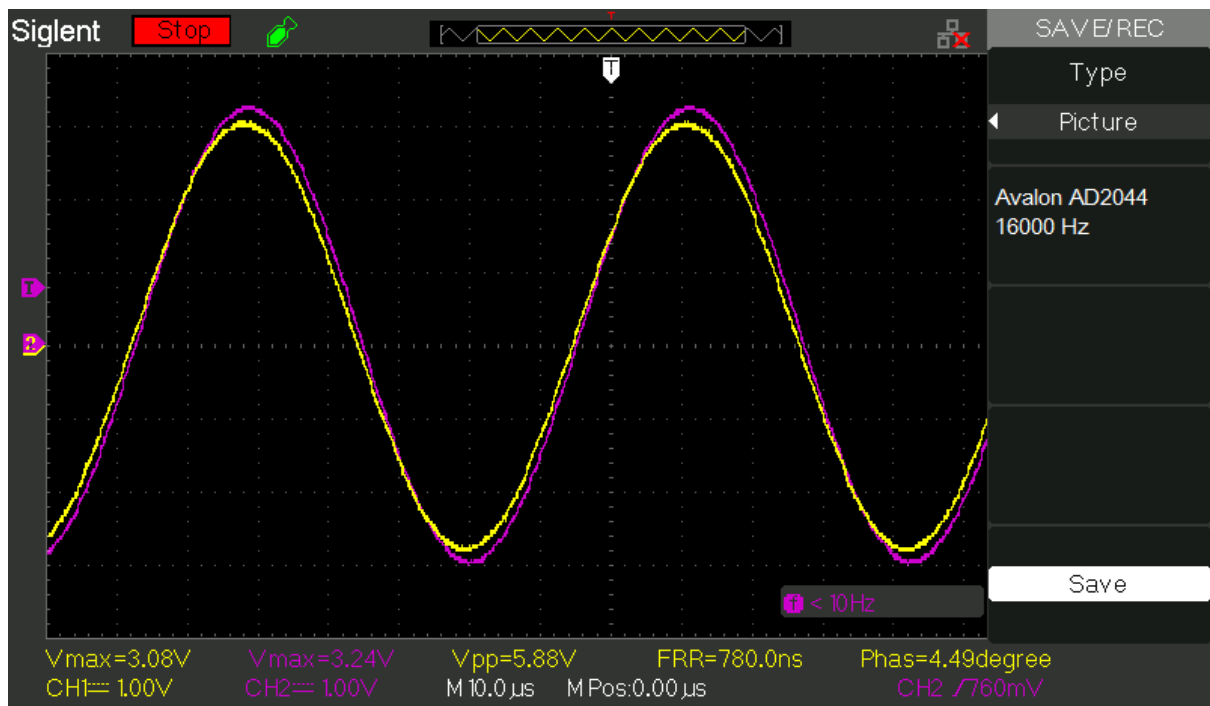
Σχήμα 95: Διαφορά Φάσης του Avalon AD2044 στα 2000 Hz



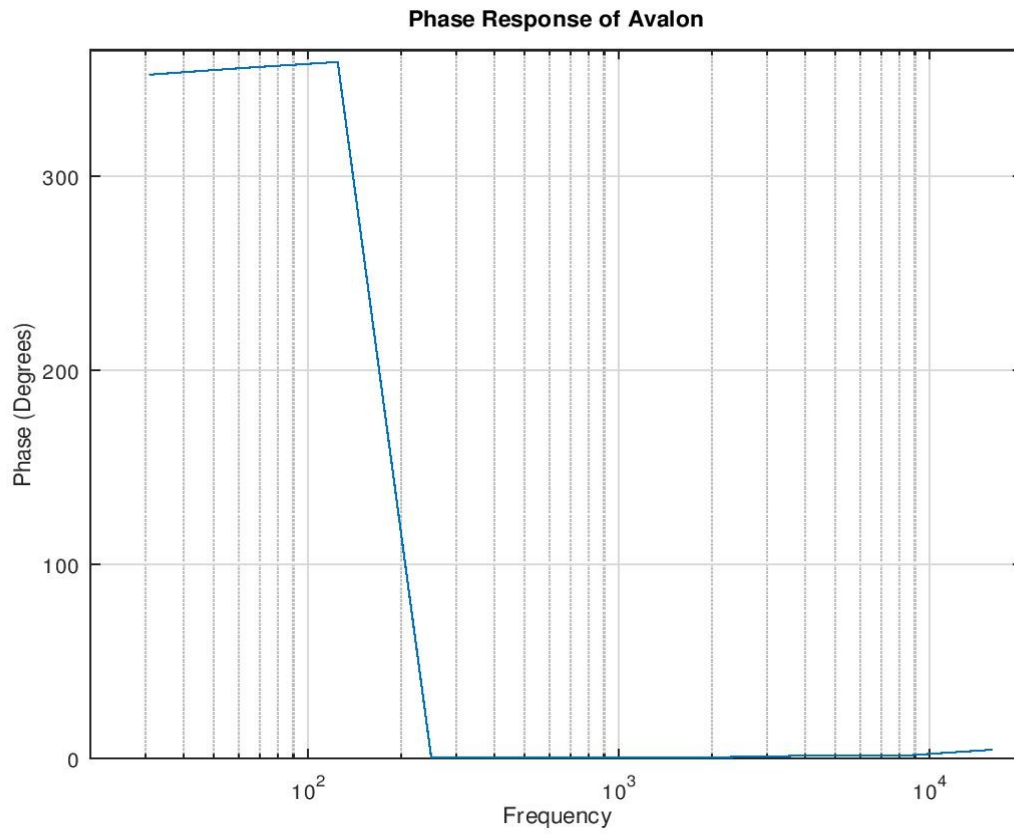
Σχήμα 96: Διαφορά Φάσης του Avalon AD2044 στα 4000 Hz



Σχήμα 97: Διαφορά Φάσης του Avalon AD2044 στα 8000 Hz

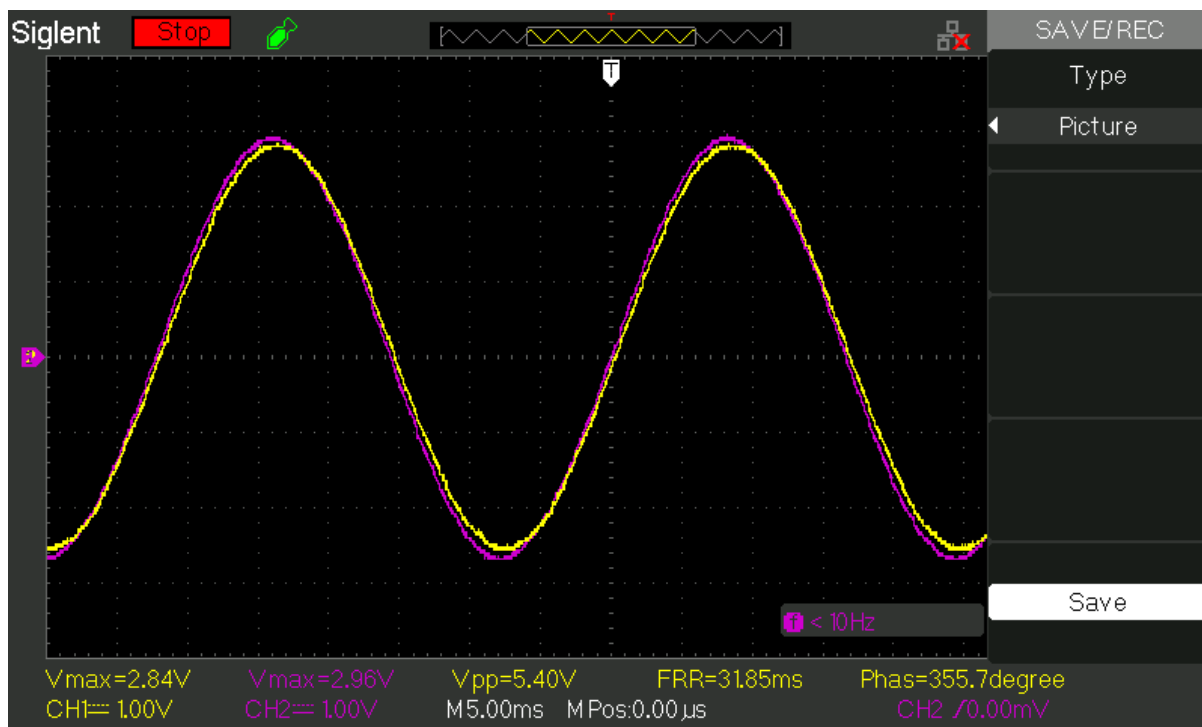


Σχήμα 98: Διαφορά Φάσης του Avalon AD2044 στα 16000 Hz

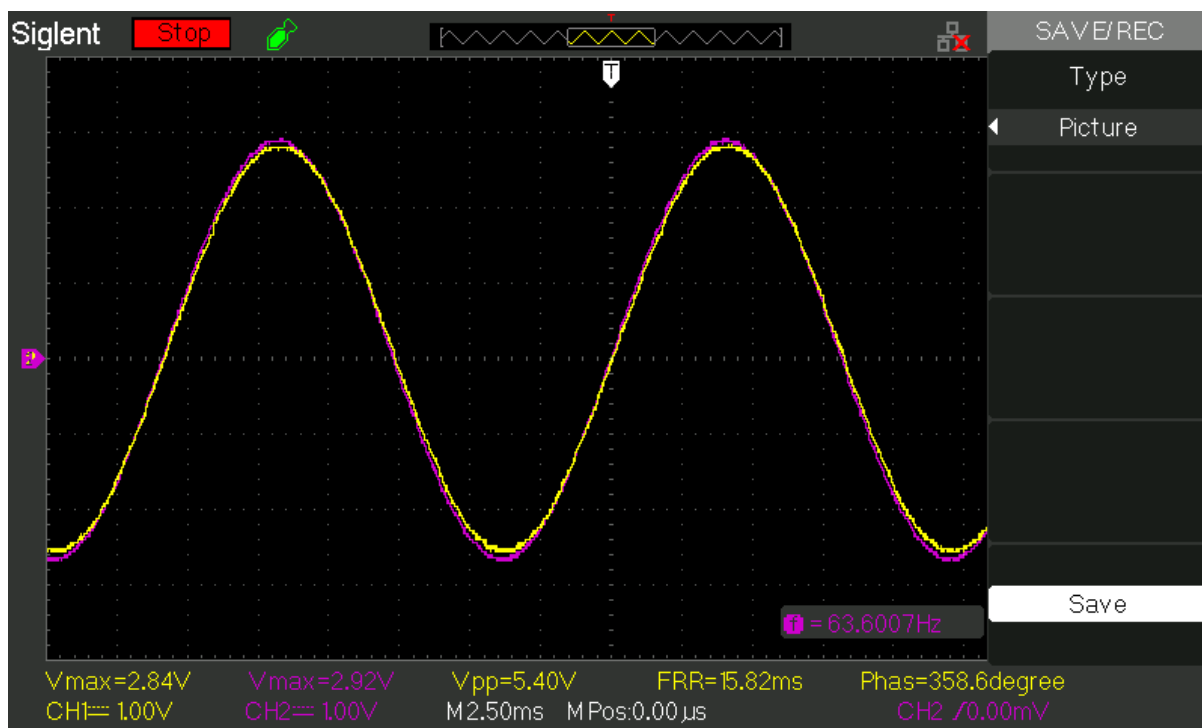


Σχήμα 99: Φασική Απόκριση του Avalon AD2044

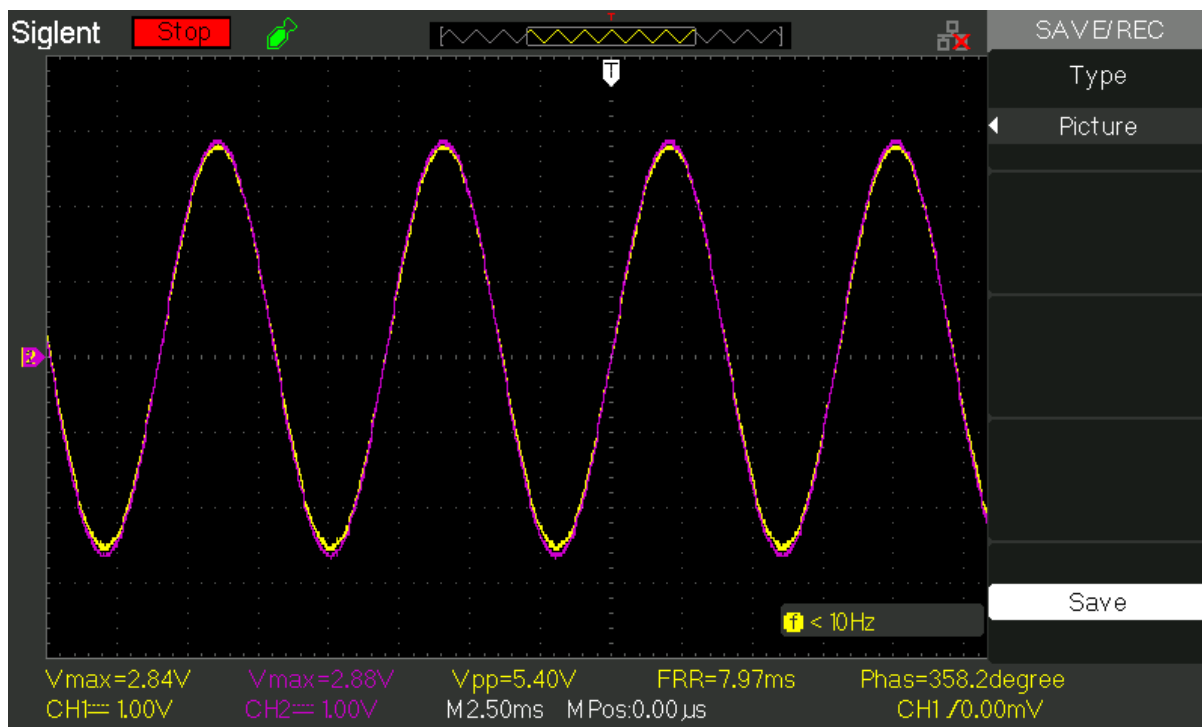
Μετρήσεις και Φασική Απόκριση του Focusrite Red3



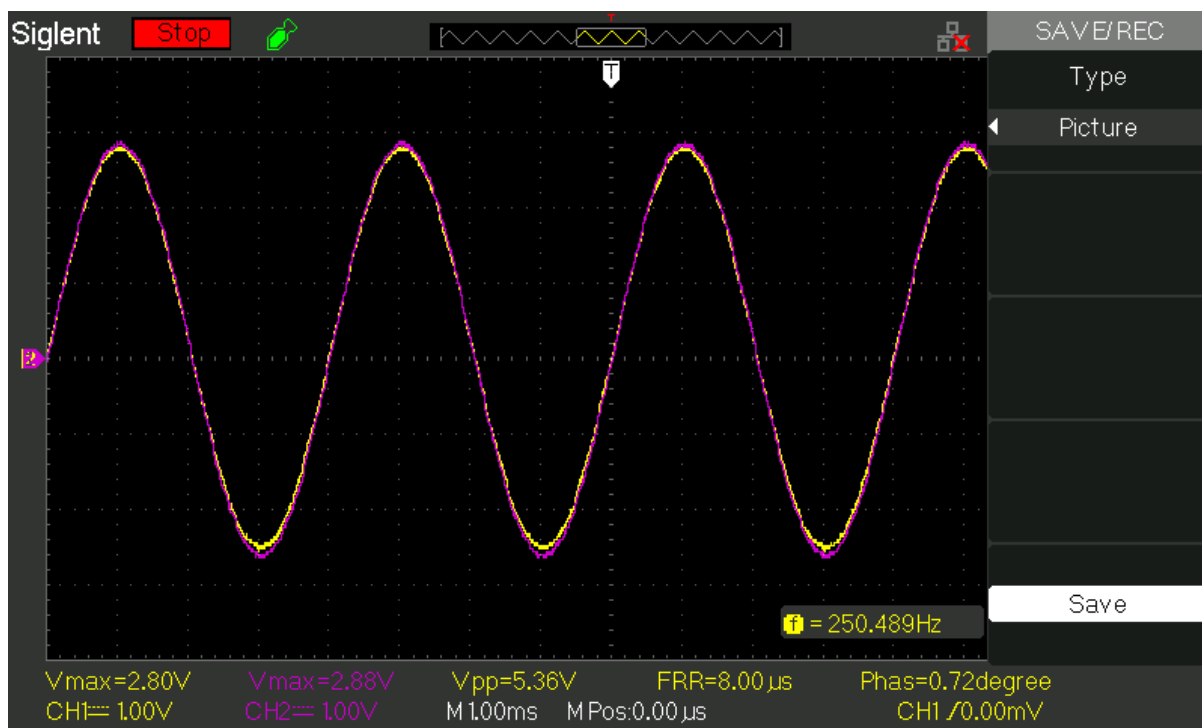
Σχήμα 100: Διαφορά Φάσης του Focusrite Red3 στα 31 Hz



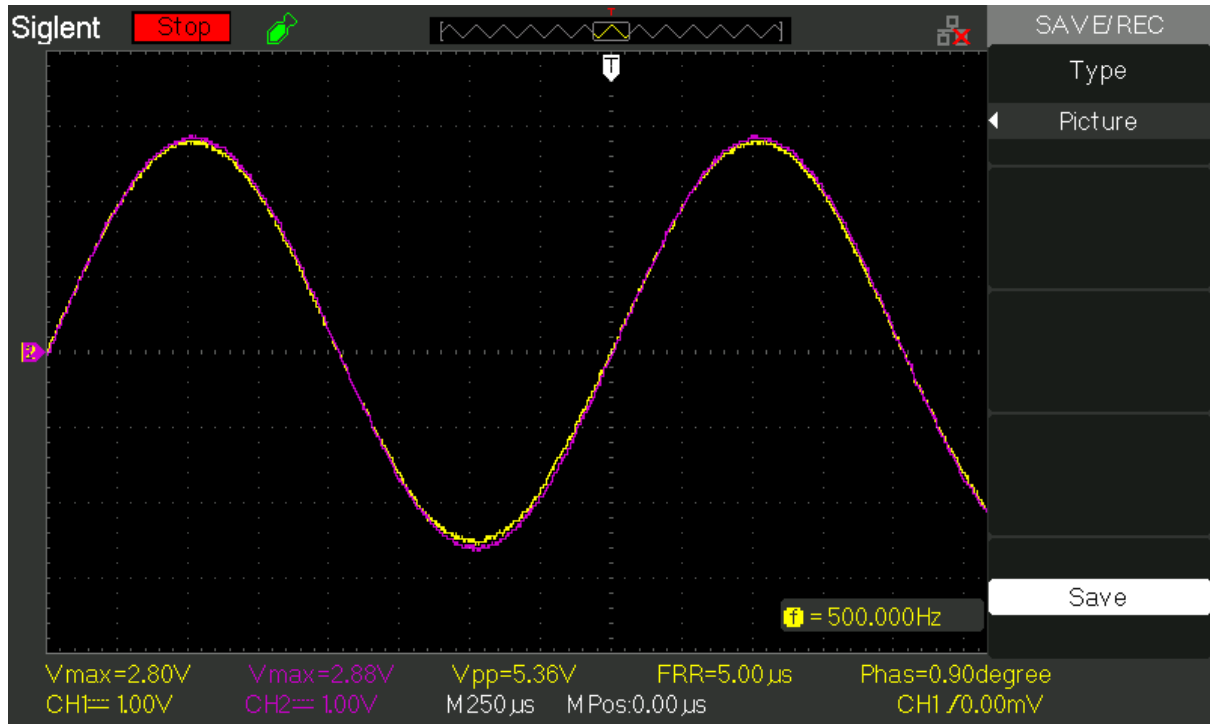
Σχήμα 101: Διαφορά Φάσης του Focusrite Red3 στα 63 Hz



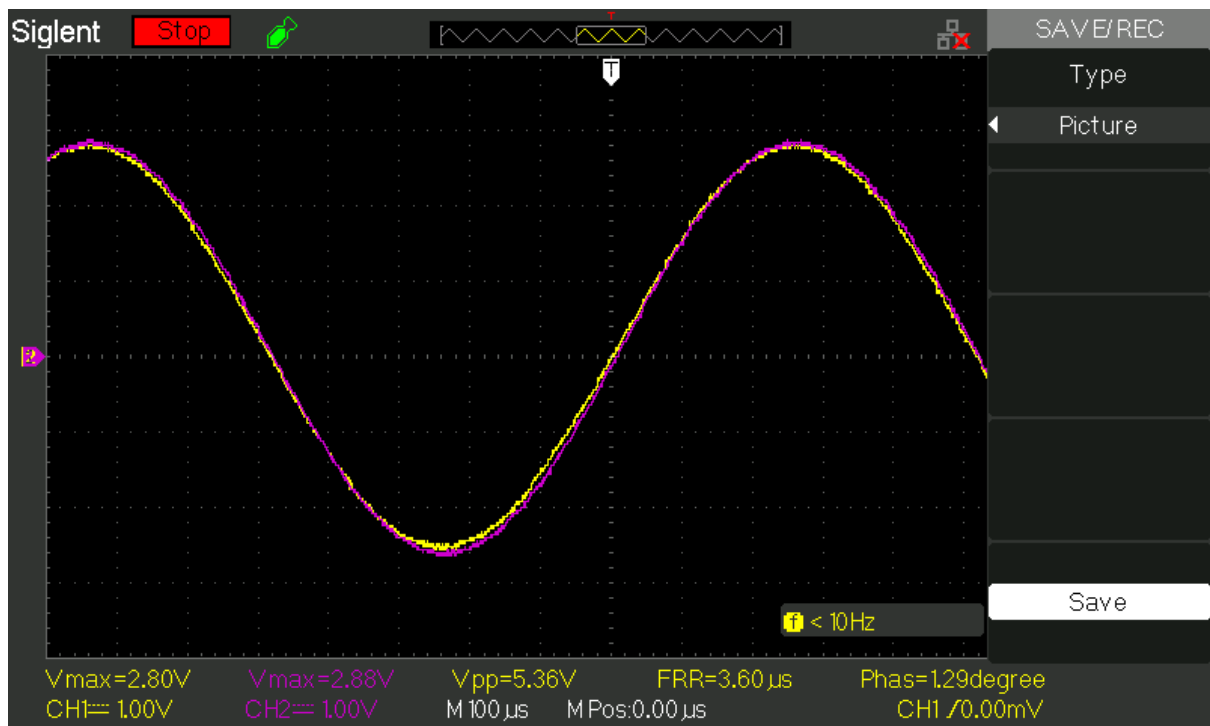
Σχήμα 102: Διαφορά Φάσης του Focusrite Red3 στα 125 Hz



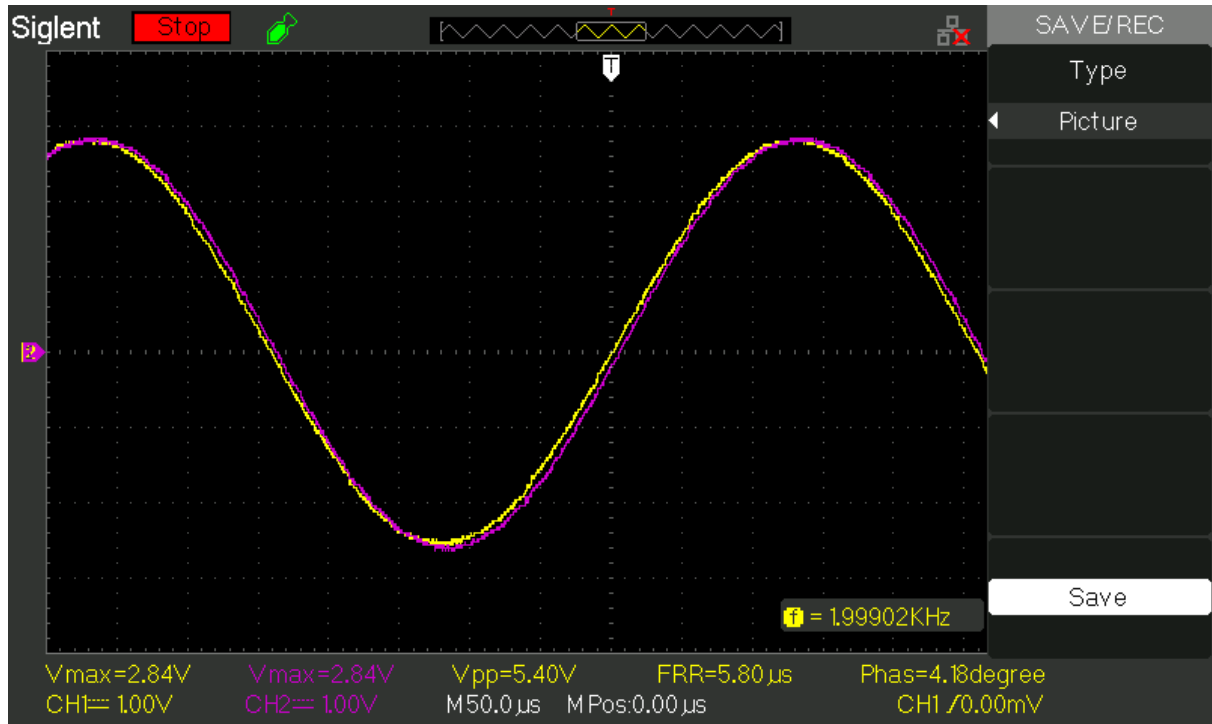
Σχήμα 103: Διαφορά Φάσης του Focusrite Red3 στα 250 Hz



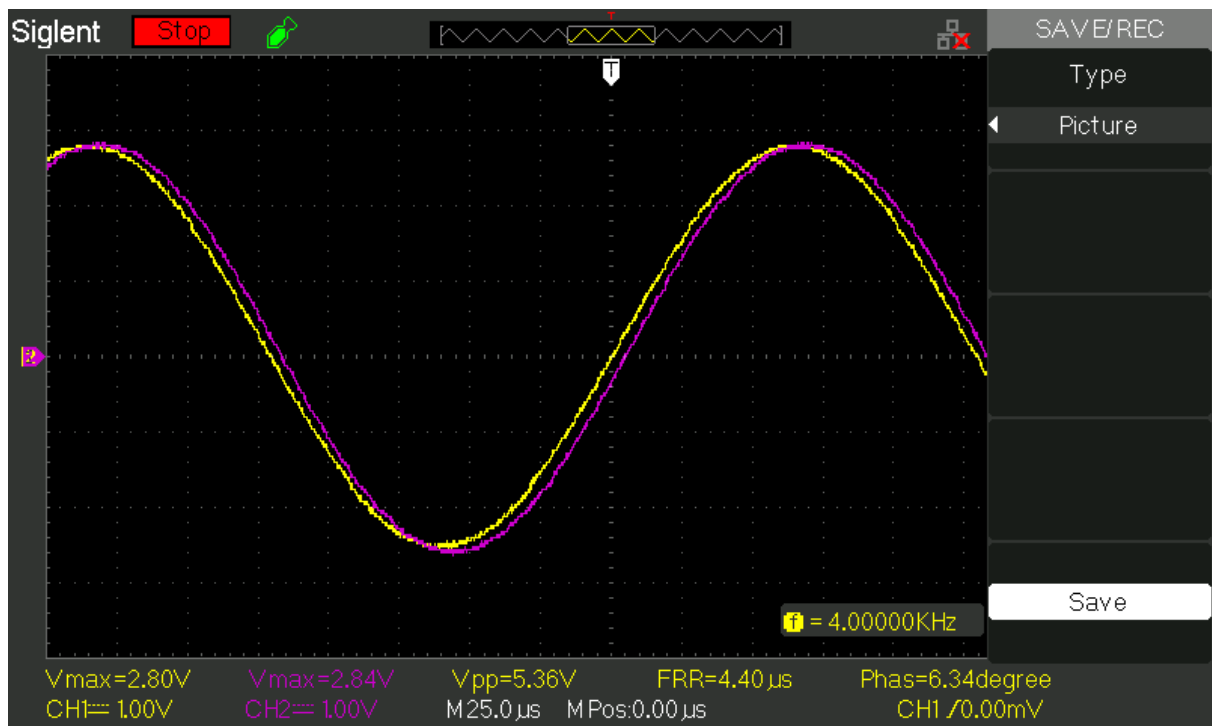
Σχήμα 104: Διαφορά Φάσης του Focusrite Red3 στα 500 Hz



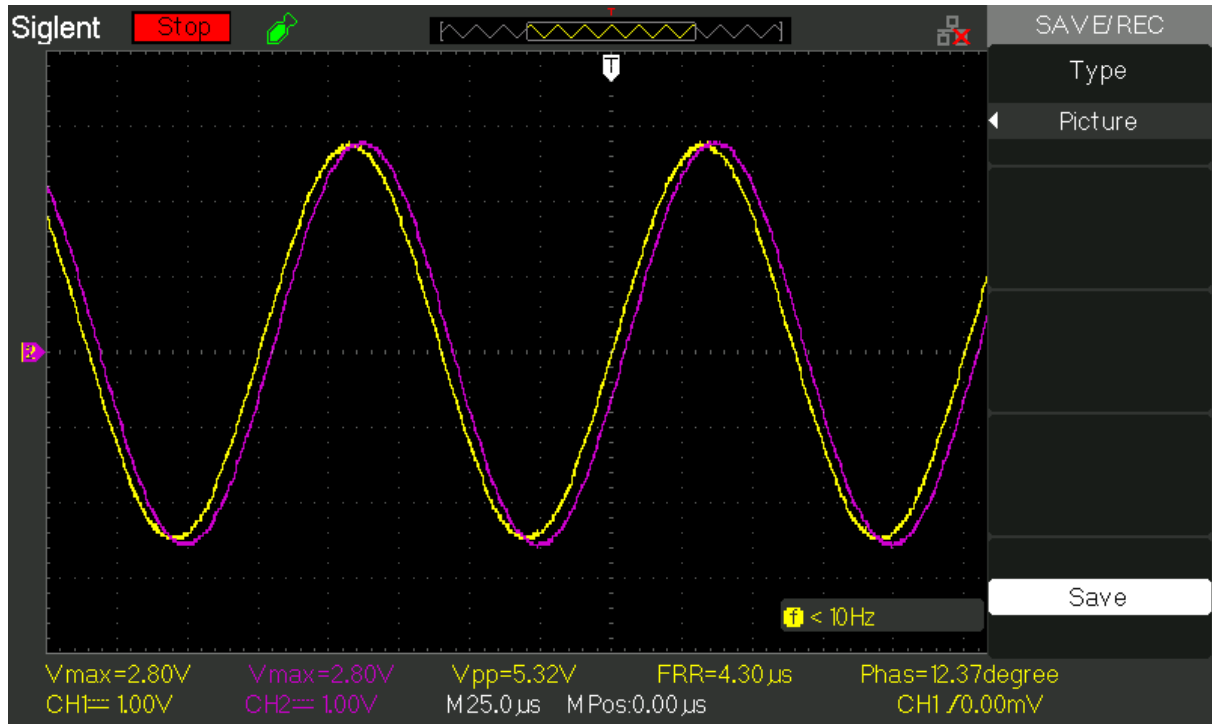
Σχήμα 105: Διαφορά Φάσης του Focusrite Red3 στα 1000 Hz



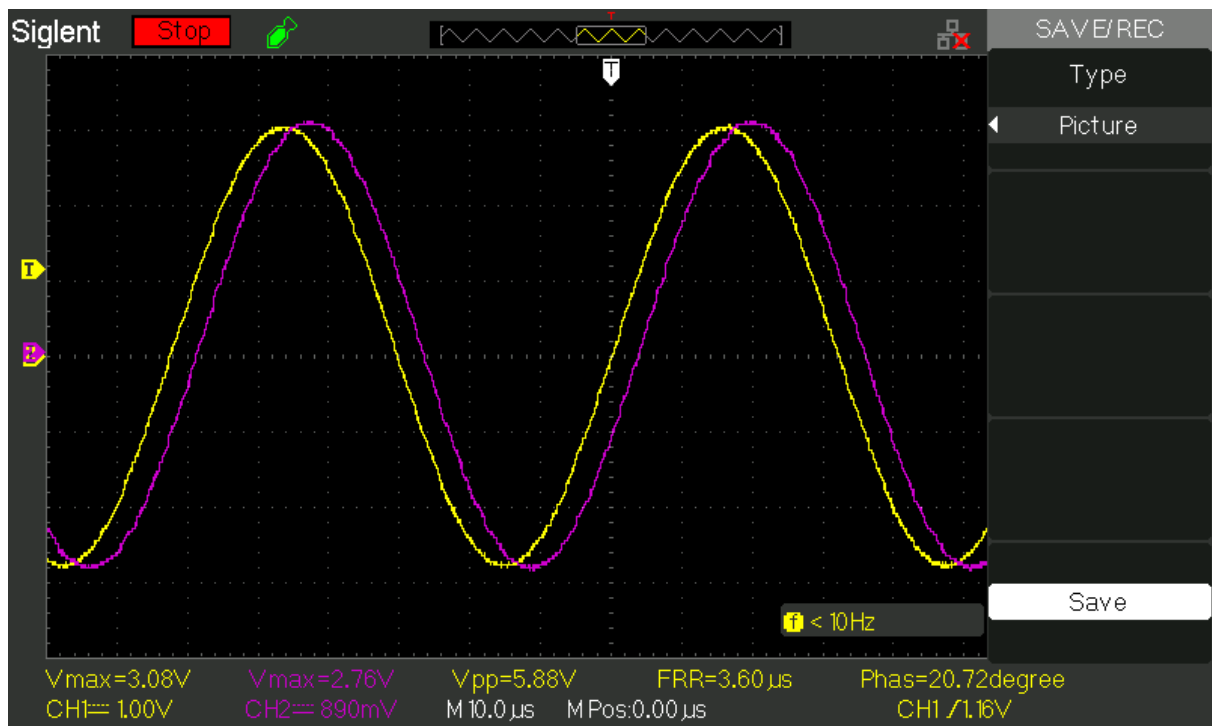
Σχήμα 106: Διαφορά Φάσης του Focusrite Red3 στα 2000 Hz



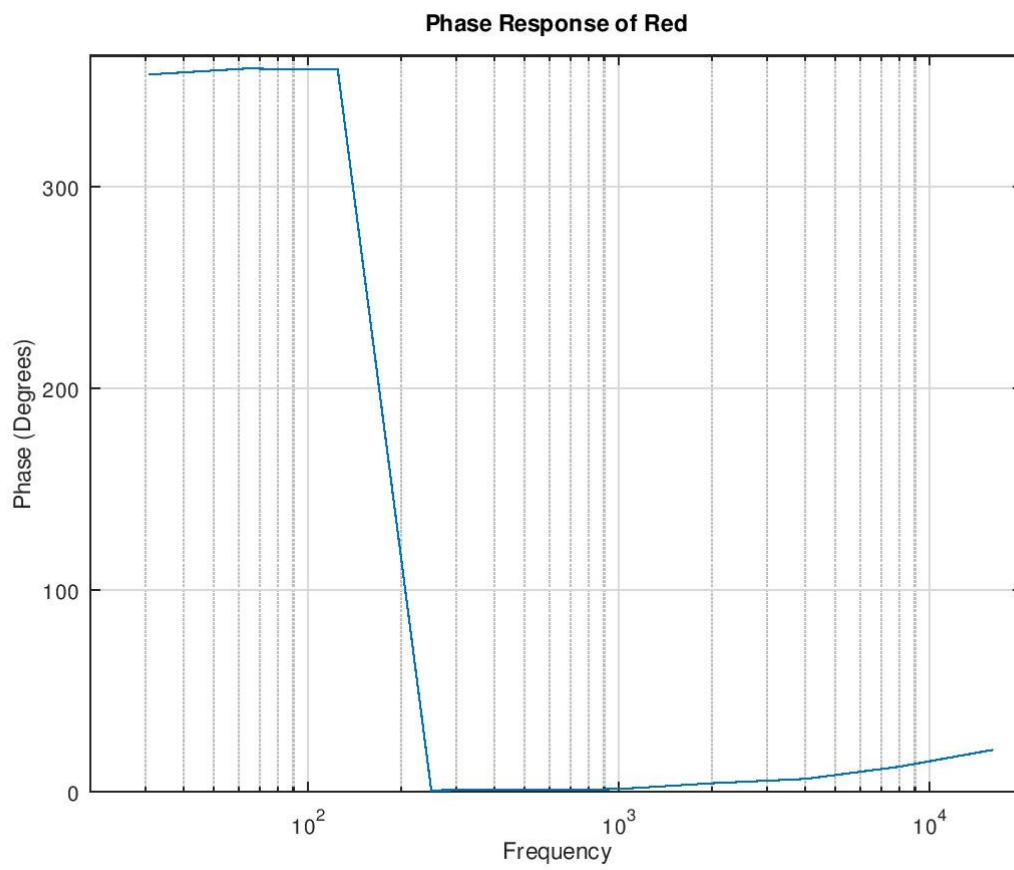
Σχήμα 107: Διαφορά Φάσης του Focusrite Red3 στα 4000 Hz



Σχήμα 108: Διαφορά Φάσης του Focusrite Red3 στα 8000 Hz

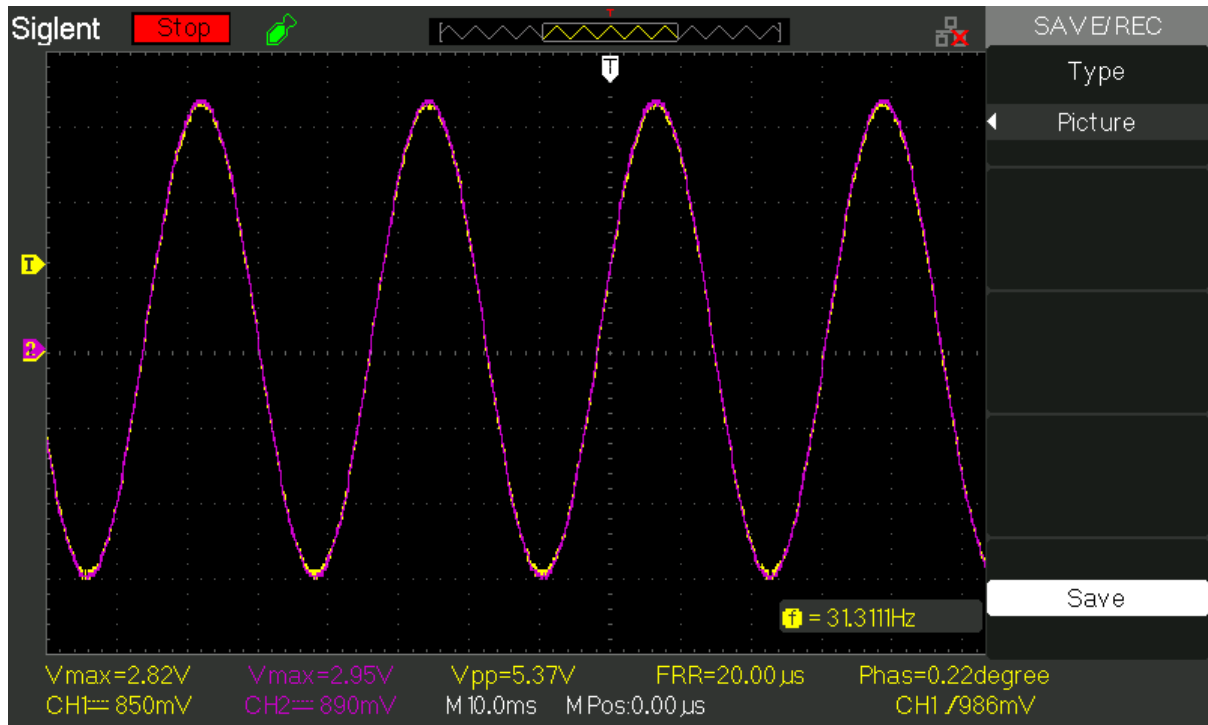


Σχήμα 109: Διαφορά Φάσης του Focusrite Red3 στα 16000 Hz

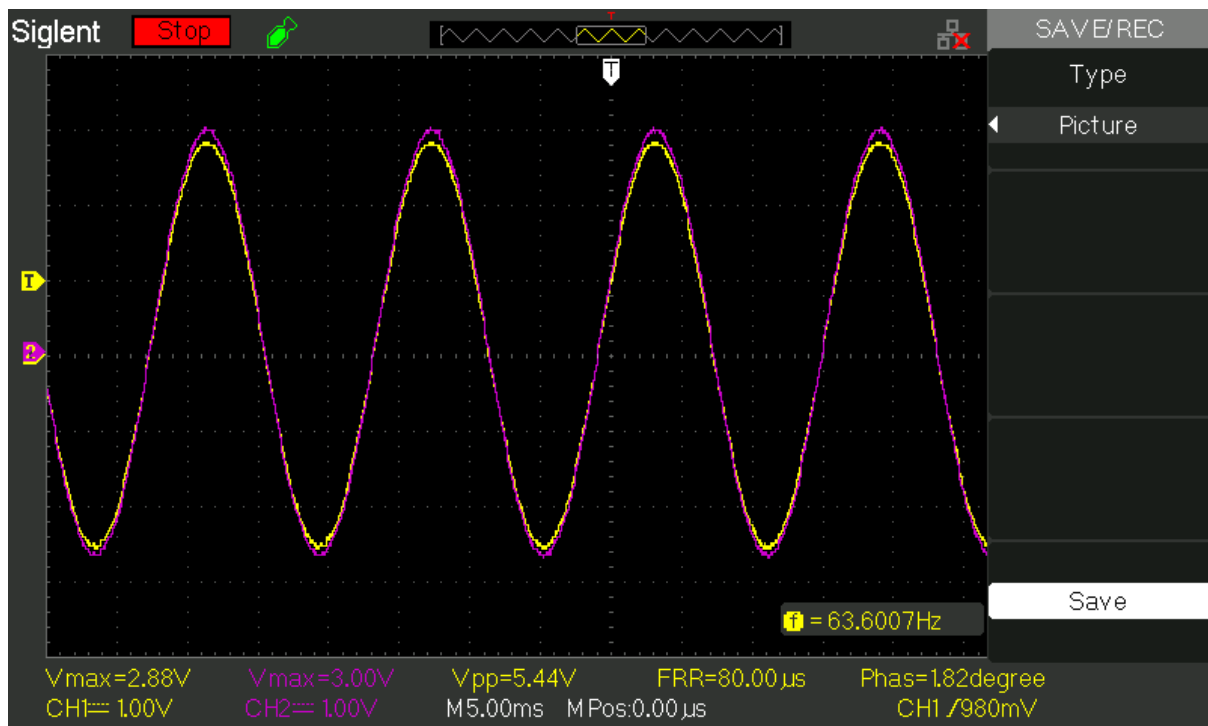


Σχήμα 110: Φασική Απόκριση του Focusrite Red3

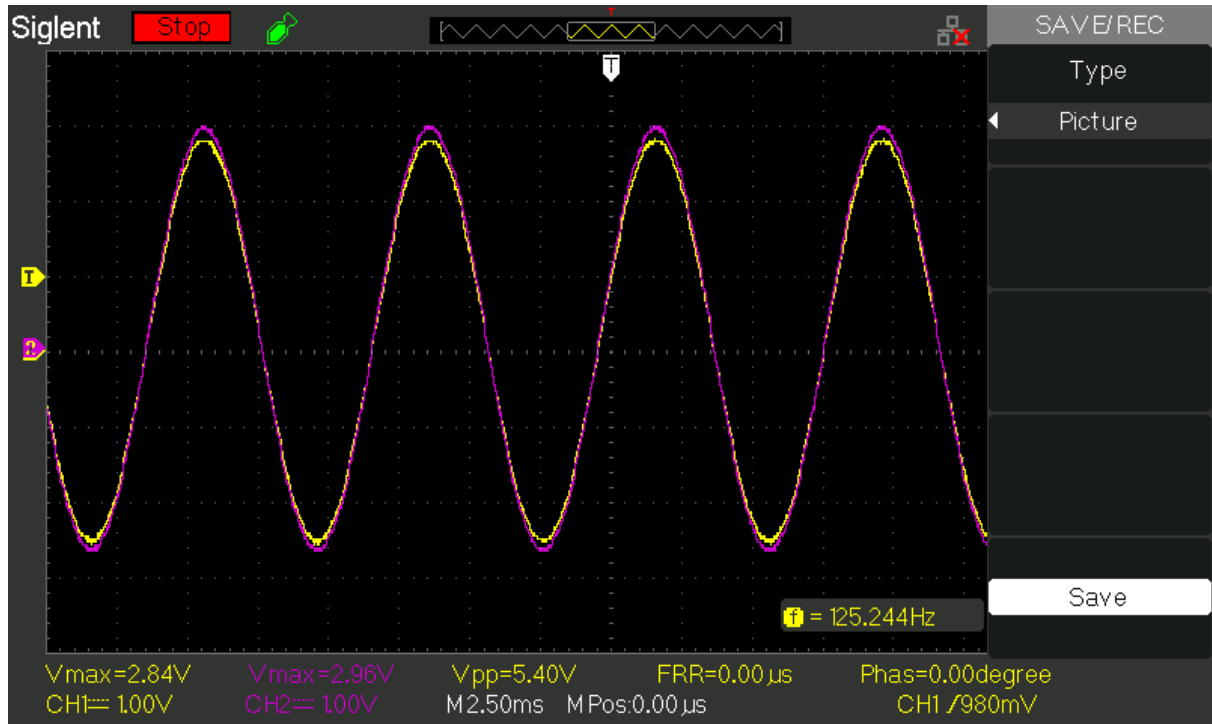
Μετρήσεις και Φασική Απόκριση του DBX 160SL



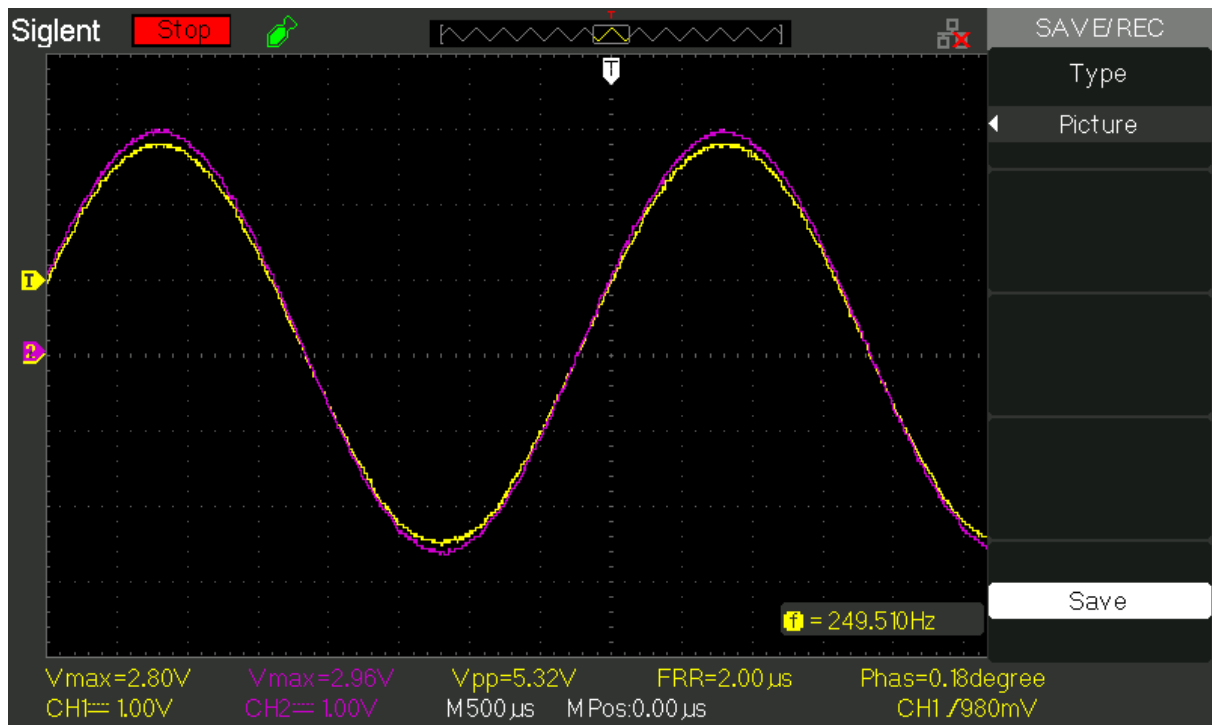
Σχήμα 111: Διαφορά Φάσης του DBX 160SL στα 31 Hz



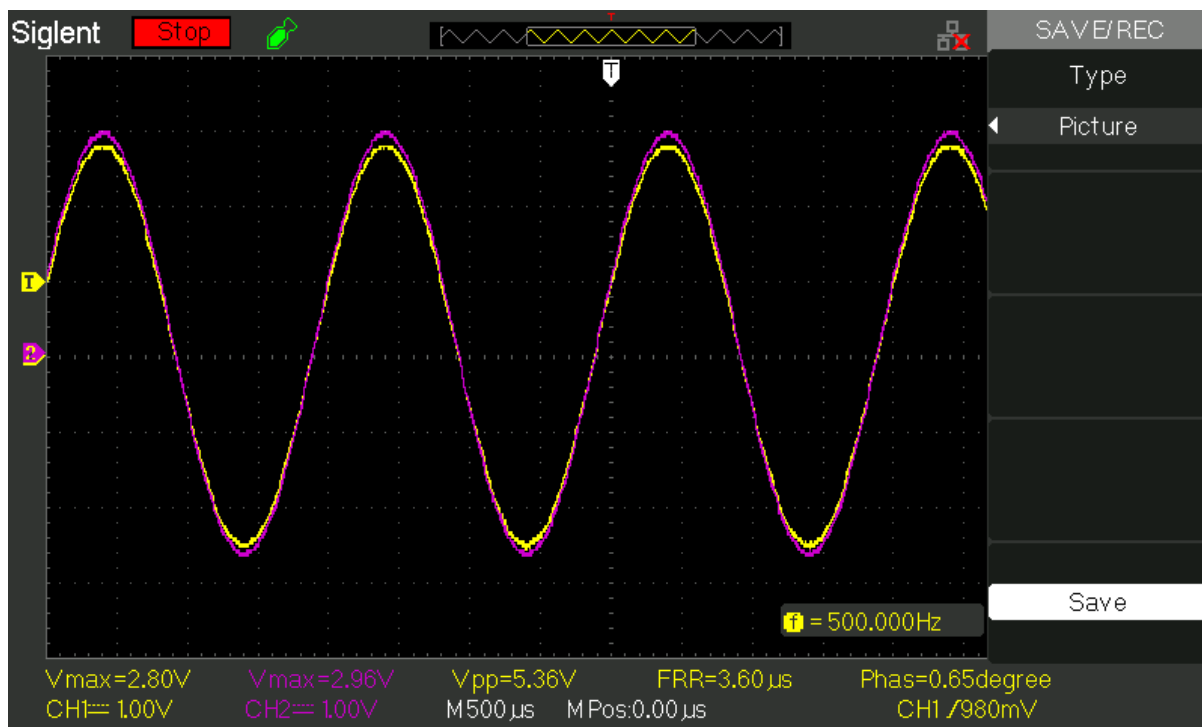
Σχήμα 112: Διαφορά Φάσης του DBX 160SL στα 63 Hz



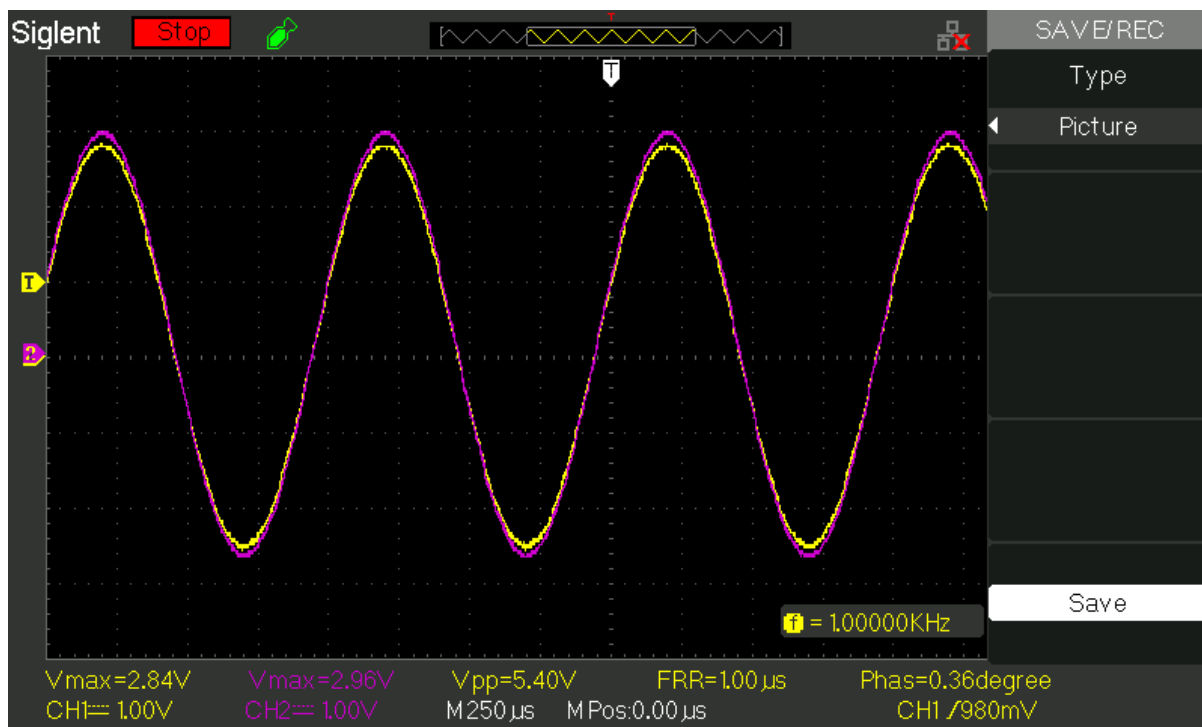
Σχήμα 113: Διαφορά Φάσης του DBX 160SL στα 125 Hz



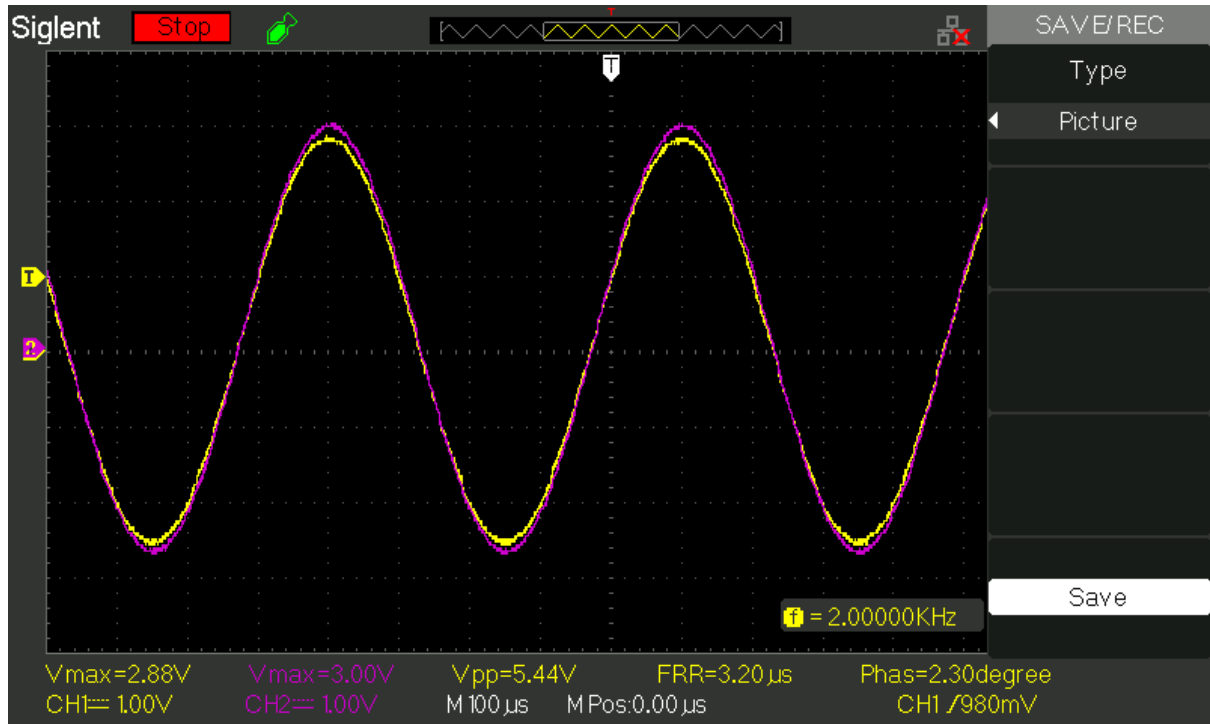
Σχήμα 114: Διαφορά Φάσης του DBX 160SL στα 250 Hz



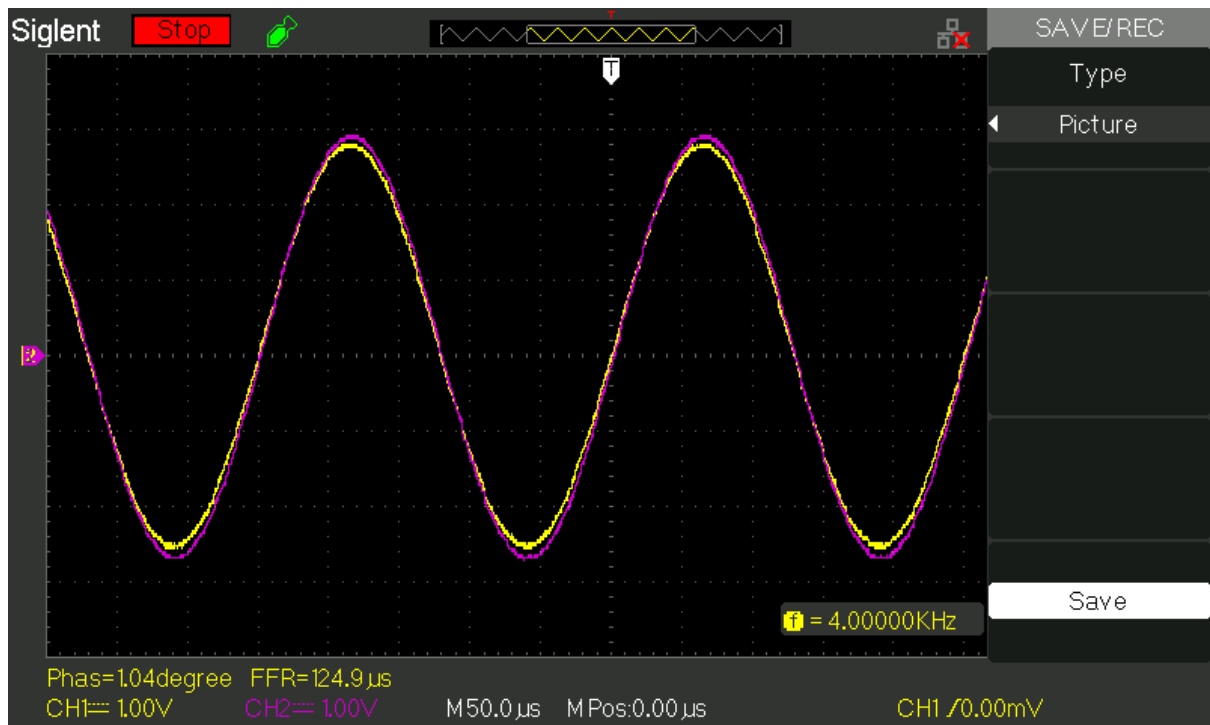
Σχήμα 115: Διαφορά Φάσης του DBX 160SL στα 500 Hz



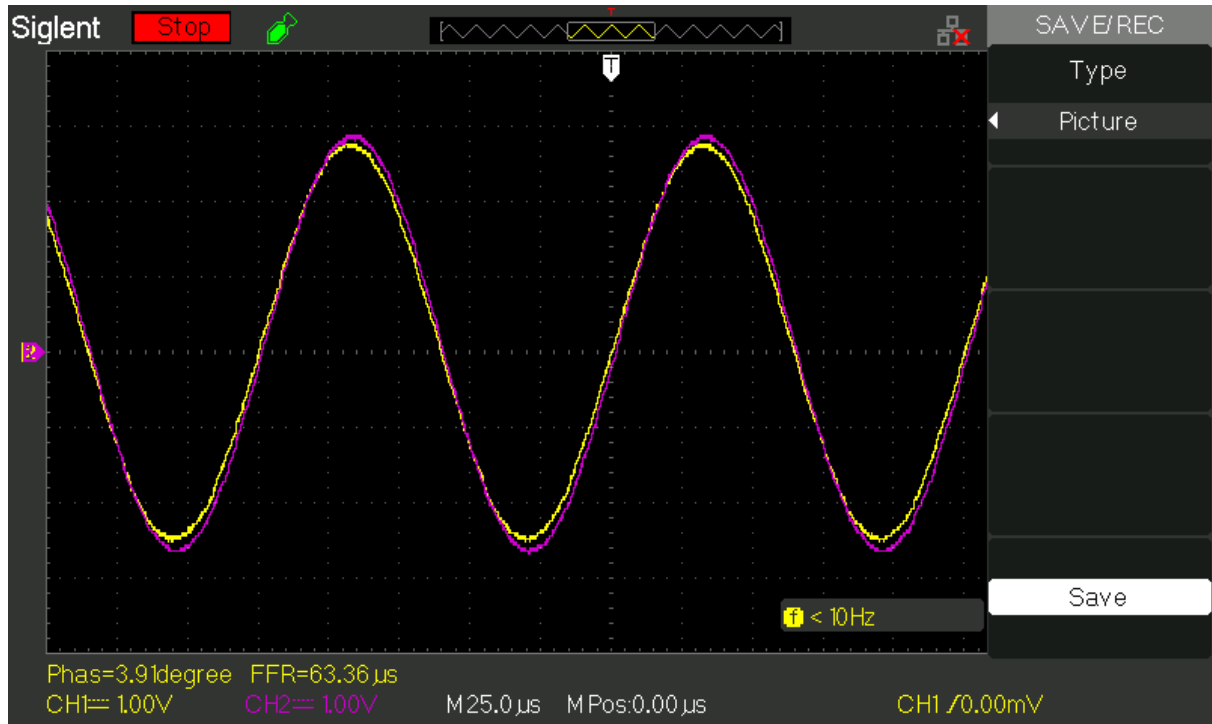
Σχήμα 116: Διαφορά Φάσης του DBX 160SL στα 1000 Hz



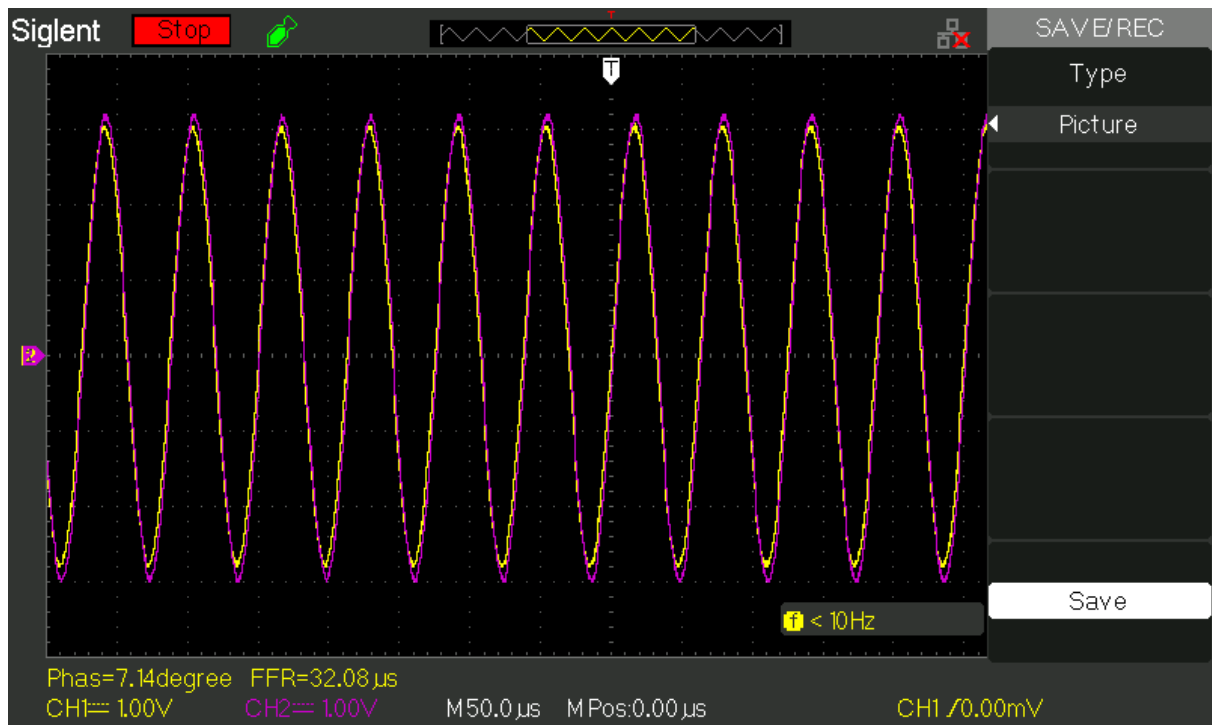
Σχήμα 117: Διαφορά Φάσης του DBX 160SL στα 2000 Hz



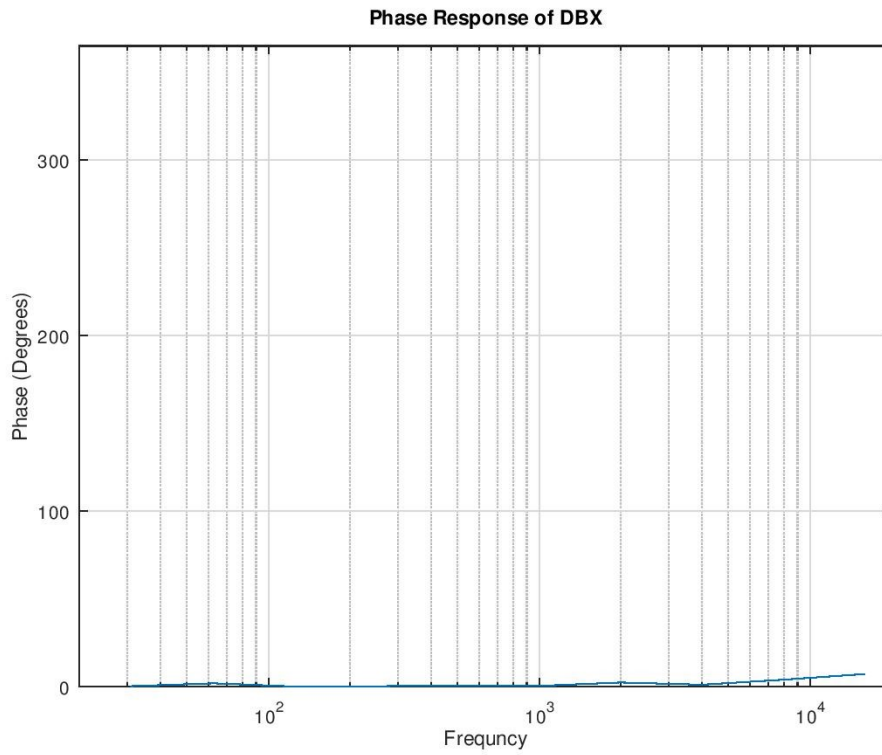
Σχήμα 118: Διαφορά Φάσης του DBX 160SL στα 4000 Hz



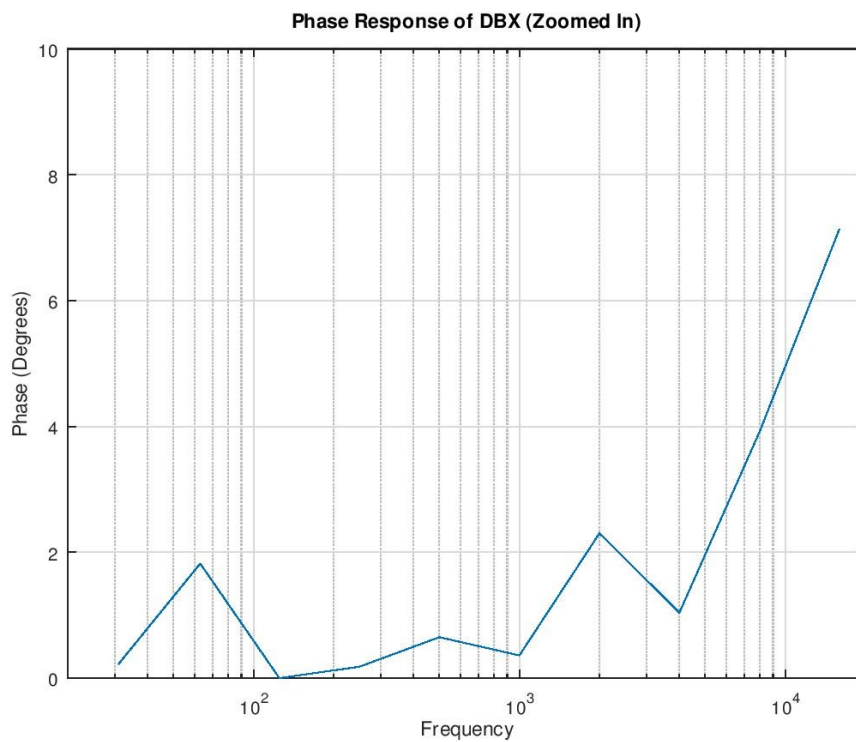
Σχήμα 119: Διαφορά Φάσης του DBX 160SL στα 8000 Hz



Σχήμα 120: Διαφορά Φάσης του DBX 160SL στα 16000 Hz

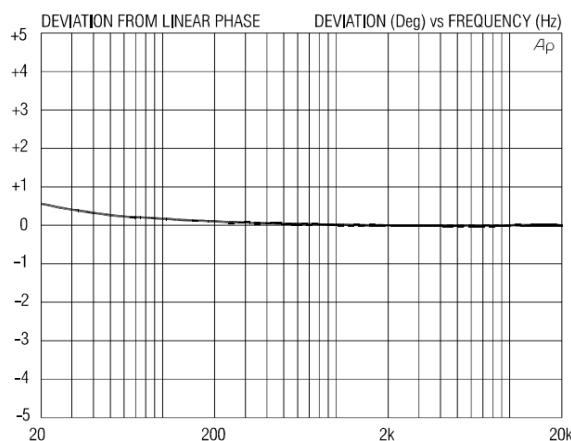


Σχήμα 121: Φασική Απόκριση του DBX 160SL



Σχήμα 122: Φασική Απόκριση του DBX 160SL (σε μεγένθυση το εύρος της φάσης από 0-10°)

Η Φασικές Αποκρίσεις των δύο Συμπιεστών Avalon AD2044 & Focusrite Red3 φαίνονται σχεδόν ίδιες με μόνη διαφορά ίσως στην περιοχή των πρίμων συχνοτήτων (άνω των 8000 Hz) ενώ ο DBX 160SL δεν εμφανίζει τέτοιες



Σχήμα 123: Φασική Απόκριση των μετασχηματιστών Jensen.

διακυμάνσεις. Αυτό εν μέρει οφείλεται στα υλικά κατασκευής του όπως επίσης και στους μετασχηματιστές εξόδου που έχει (Jensen JT-123-FLPC 1:1 Isolators) οι οποίοι έχουν μέγιστη φασική μετατόπιση σε όλο το φάσμα περίπου 0.6° το οποίο φαίνεται και στην φασική απόκριση των

μετασχηματιστών. Ειδική μνεία πρέπει να γίνει επίσης στο γεγονός ότι οι Avalon & Focusrite εμφανίζουν μία φασική διαφορά των εισόδων τους με τις εξόδους τους που κυμαίνεται από $355^\circ - 359^\circ$ μέχρι και την οκτάβα των 125Hz.

5.3.6 Ολική Αρμονική Παραμορφωση (THD)

Σε ένα ιδεατό σύστημα η transfer function του συστήματος θα είναι γραμμική και χρονικά αμετάβλητη (linear & time invariant). Επειδή όμως στην πραγματικότητα ένα τέτοιο σύστημα δεν υφίσταντο υπάρχει το εξής φαινόμενο. Όταν ένα ημιτονοειδές σήμα συχνότητας f περάσει μέσα από αυτό το μη ιδεατό σύστημα, προστίθεται περιεχόμενο με την μορφή $n \cdot f$ (αρμονικών) στο αρχικό σήμα το οποίο ονομάζεται Ολική Αρμονική Παραμόρφωση (Total Harmonic Distortion – THD) και ορίζεται ως:

$$THD_V = \frac{1}{V_1} \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2} * 100\% \quad (5)$$

όπου V_1 η τάση της θεμελίου, V_h η τάση της κάθε αρμονικής.

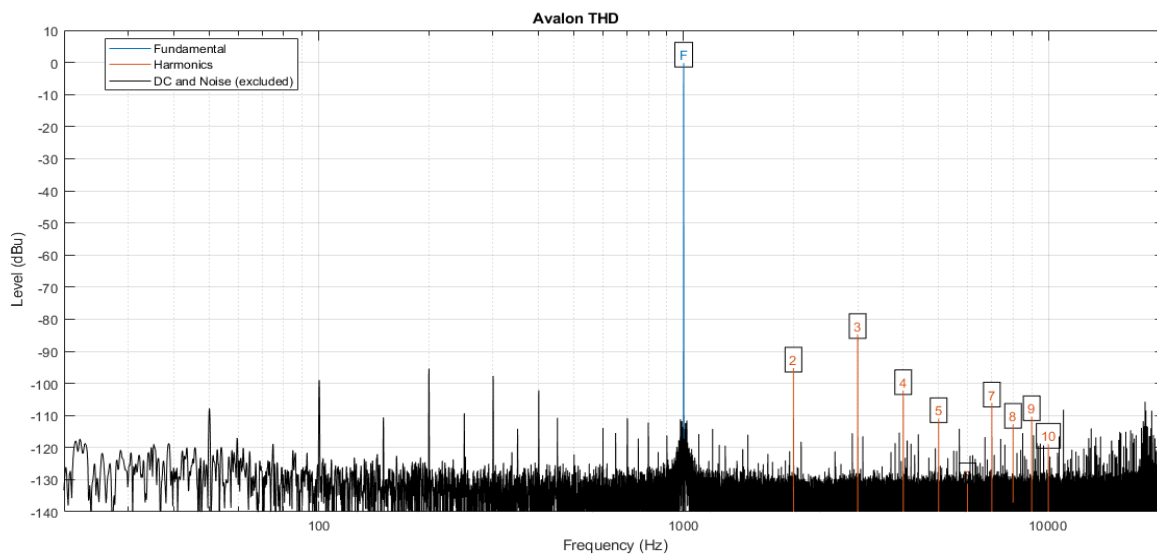
Με βάση τα παραπάνω για την THD των Avalon AD2044, DBX 160SL, & Focusrite Red 3 θα έχουμε:

Avalon AD2044

Συχνότητα	Στάθμη (dBu)	Τάση (Volt RMS)
Θεμέλιος	0	0.7745
2 ^η Αρμονική	-95,10	0.000013617
3 ^η Αρμονική	-84,50	0.000046140
4 ^η Αρμονική	-101,94	0.000006195
5 ^η Αρμονική	-110,96	0.000002193
6 ^η Αρμονική	-131,25	0.000000212

Πίνακας 4: Τιμές Στάθμης & Τάσης της THD για τον Avalon AD2044

Όπου η θεμέλιος είναι ημίτονο συχνότητας 1kHz και η Ολική Αρμονική Παραμόρφωση (THD) βάση της σχέσης (5) και των τιμών του Πίνακα 2 υπολογίζεται σε: $THD_{Avalon} = 0.0062\%$



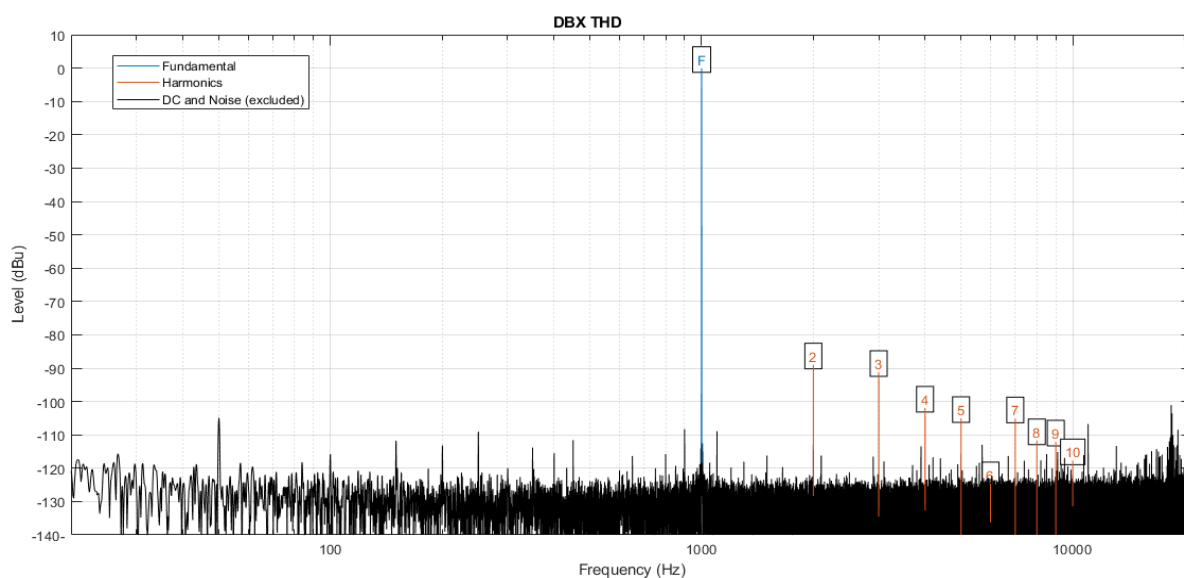
Σχήμα 124: Απόκριση της Ολικής Αρμονικής Παραμόρφωσης (THD) του Avalon AD2044 όπου διακρίνονται με μπλε χρώμα η θεμέλιος και με πορτοκαλί χρώμα οι αρμονικές.

DBX 160SL

Συχνότητα	Στάθμη (dBu)	Τάση (Volt RMS)
Θεμέλιος	0	0.7745
2 ^η Αρμονική	-88.86	0.00002793
3 ^η Αρμονική	-91.03	0.000021756
4 ^η Αρμονική	-101.60	0.000006443
5 ^η Αρμονική	-104.93	0.000004391
6 ^η Αρμονική	-124.61	0.000000456

Πίνακας 5: Τιμές Στάθμης & Τάσης της THD για τον DBX 160SL

Όπου η θεμέλιος είναι ημίτονο συχνότητας 1kHz και η Ολική Αρμονική Παραμόρφωση (THD) βάση της σχέσης (5) και των τιμών του Πίνακα 3 υπολογίζεται σε: $THD_{DBX} = 0.0046\%$



Σχήμα 125: Απόκριση της Ολικής Αρμονικής Παραμόρφωσης (THD) του DBX 160SL όπου διακρίνονται με μπλε χρώμα η θεμέλιος και με πορτοκαλί χρώμα οι αρμονικές.

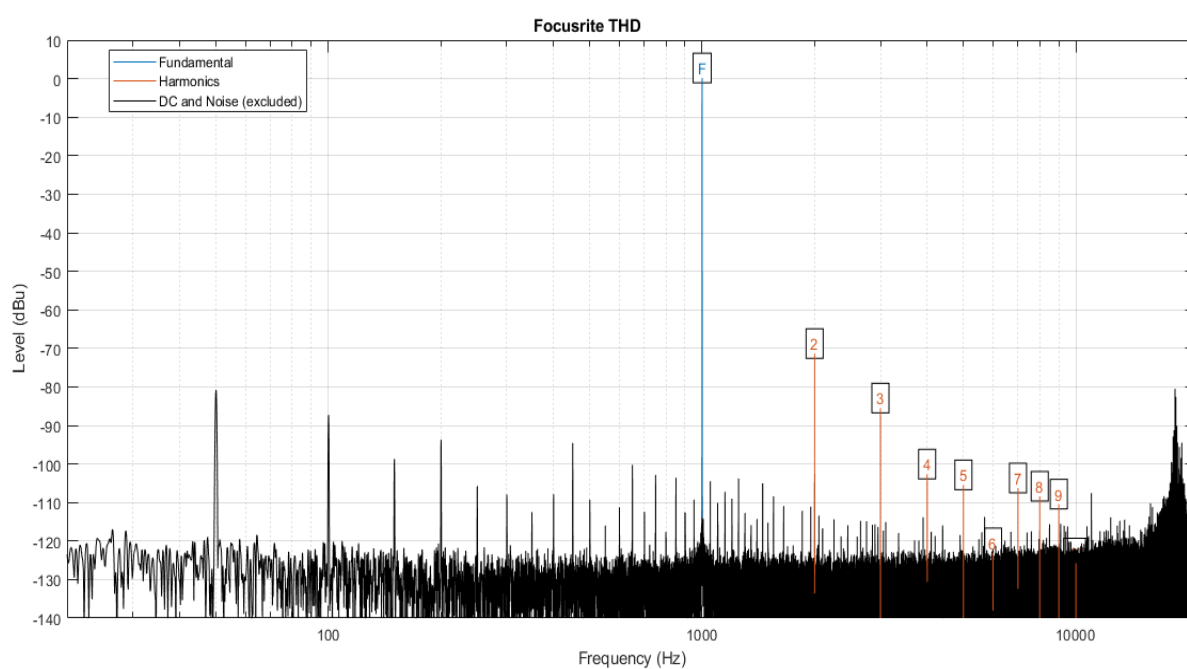
Focusrite Red3

Συχνότητα	Στάθμη (dBu)	Τάση (Volt RMS)
Θεμέλιος	0	0.7745
2 ^η Αρμονική	-71.28	0.000211386
3 ^η Αρμονική	-85.29	0.000042128

4 ^η Αρμονική	-102.27	0.000005965
5 ^η Αρμονική	-105.36	0.000004179
6 ^η Αρμονική	-123.09	0.000000543

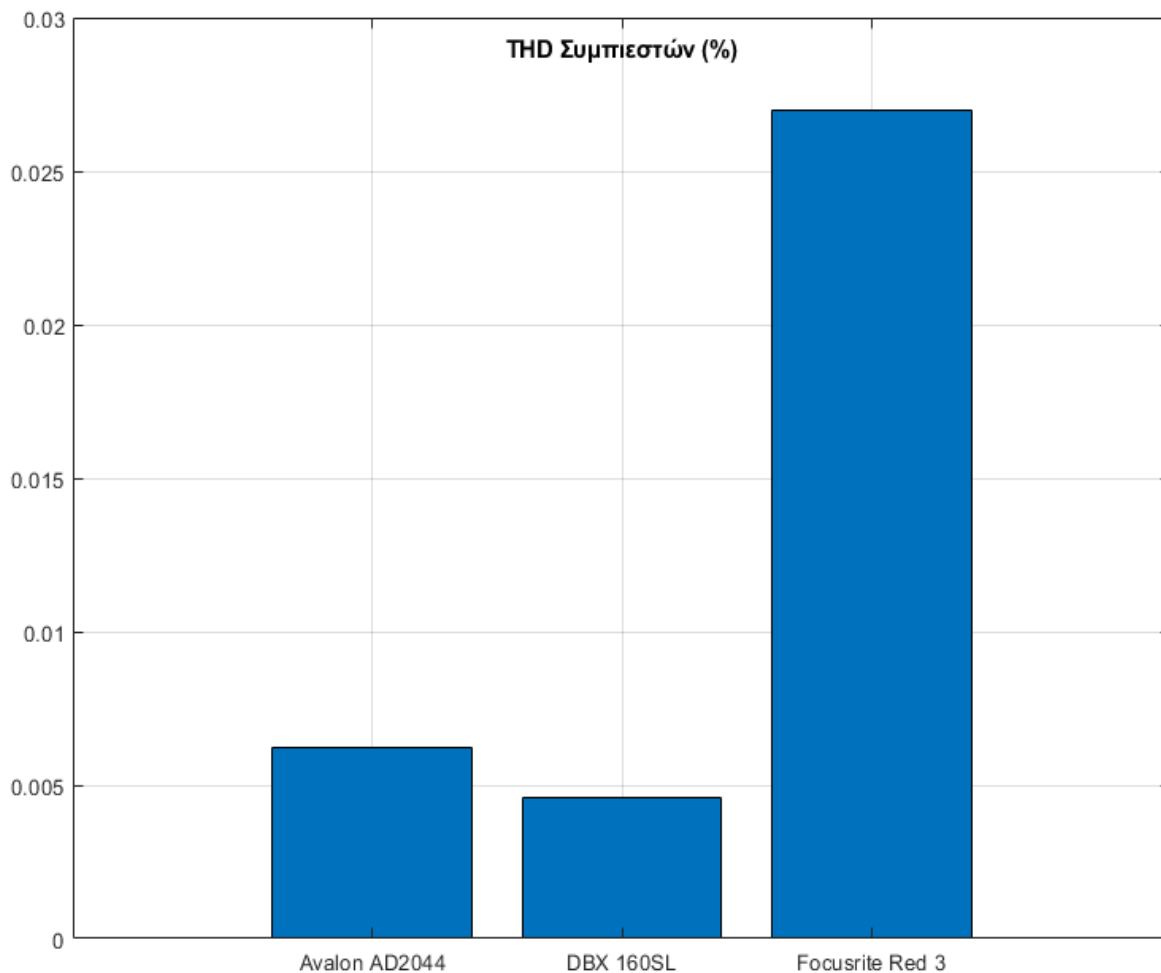
Πίνακας 6: Τιμές Στάθμης & Τάσης της THD για τον Focusrite Red3

Όπου η θεμέλιος είναι ημίτονο συχνότητας 1kHz και η Ολική Αρμονική Παραμόρφωση (THD) βάση της σχέσης (5) και των τιμών του Πίνακα 4 υπολογίζεται σε: $THD_{Focusrite} = 0.027\%$



Σχήμα 126: Απόκριση της Ολικής Αρμονικής Παραμόρφωσης (THD) του Focusrite Red3 όπου διακρίνονται με μπλε χρώμα η θεμέλιος και με πορτοκαλί χρώμα οι αρμονικές.

Συνοψίζοντας τις παραπάνω μετρήσεις μπορούμε να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι την μικρότερη Ολική Αρμονική Παραμόρφωση την εμφανίζει ο Συμπιεστής DBX 160SL με $THD_{DBX} = 0.0046\%$, αμέσως επόμενος είναι ο Avalon AD 2044 με $THD_{Avalon} = 0.0062\%$ και τελευταίος με την μεγαλύτερη Ολική Αρμονική Παραμόρφωση είναι ο Focusrite Red 3 με $THD_{Focusrite} = 0.027\%$.



Σχήμα 127: Σύγκριση των THD των Συμπιεστών μεταξύ τους.

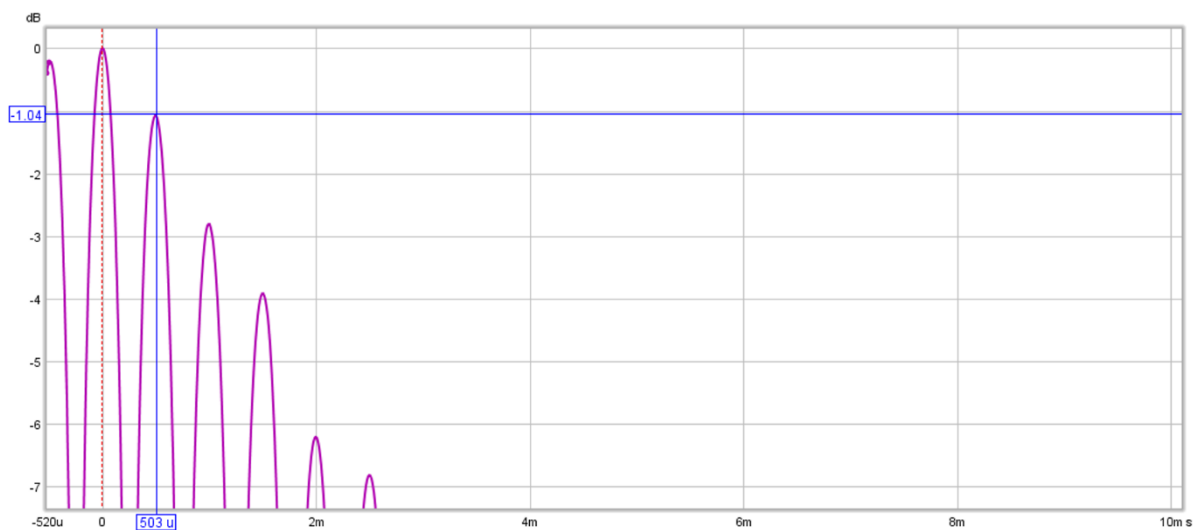
5.3.7 Χρόνοι Attack & Release (Attack & Release Time Response)

Βάση των όσων αναφέρθηκαν στα υποκεφάλαια §2.6 & §2.7 μετρήθηκαν τα όρια των Attack & Release για κάθε Συμπιεστή ξεχωριστά. Οι μετρήσεις έγιναν με ένα σήμα εισόδου τύπου ριπή συχνότητας 1kHz και +4dBu (Burst Signal – Σχήμα 8, σελ.29) για κάθε ελάχιστο και μέγιστο χρόνο των Attack & Release ανά Συμπιεστή.

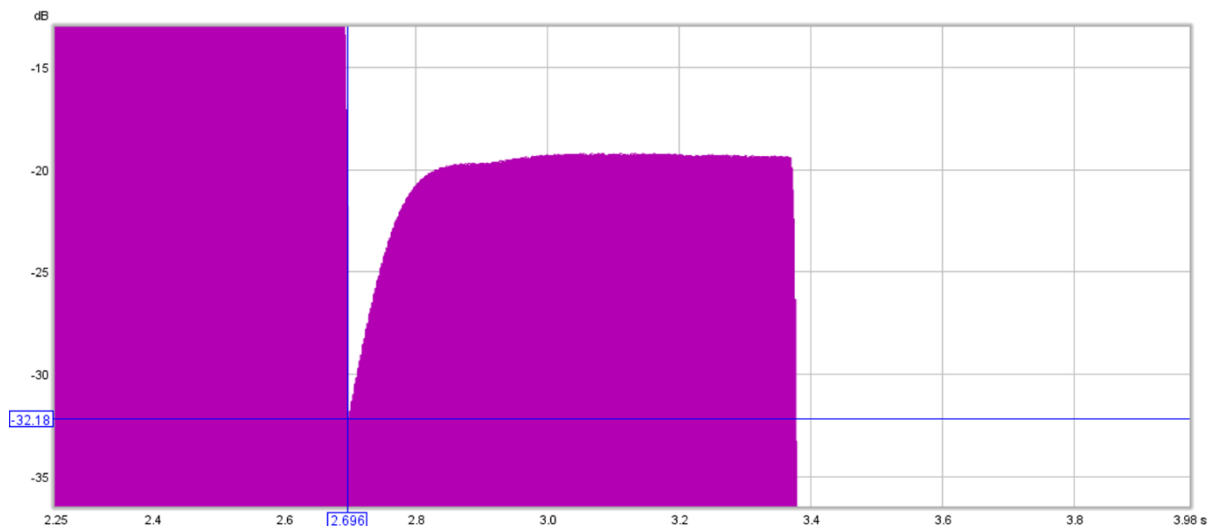
Έτσι για τους Χρόνους Attack & Release του Avalon AD 2044 έχουμε:

Avalon AD2044	Διάρκεια (sec)
Ελάχιστος Χρόνος Attack	0.0005 (0.5ms)
Ελάχιστος Χρόνος Release	0.0850 (85ms)
Μέγιστος Χρόνος Attack	0.1440 (144ms)
Μέγιστος Χρόνος Release	4.6800 (4680ms)

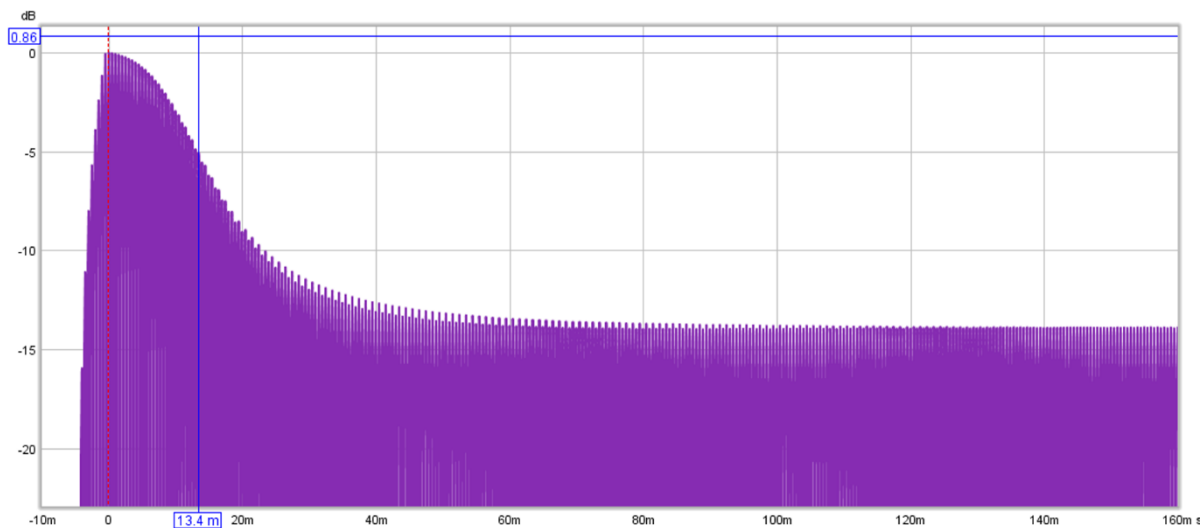
Πίνακας 7: Ελάχιστοι και Μέγιστοι Χρόνοι Attack & Release για τον Avalon AD2044



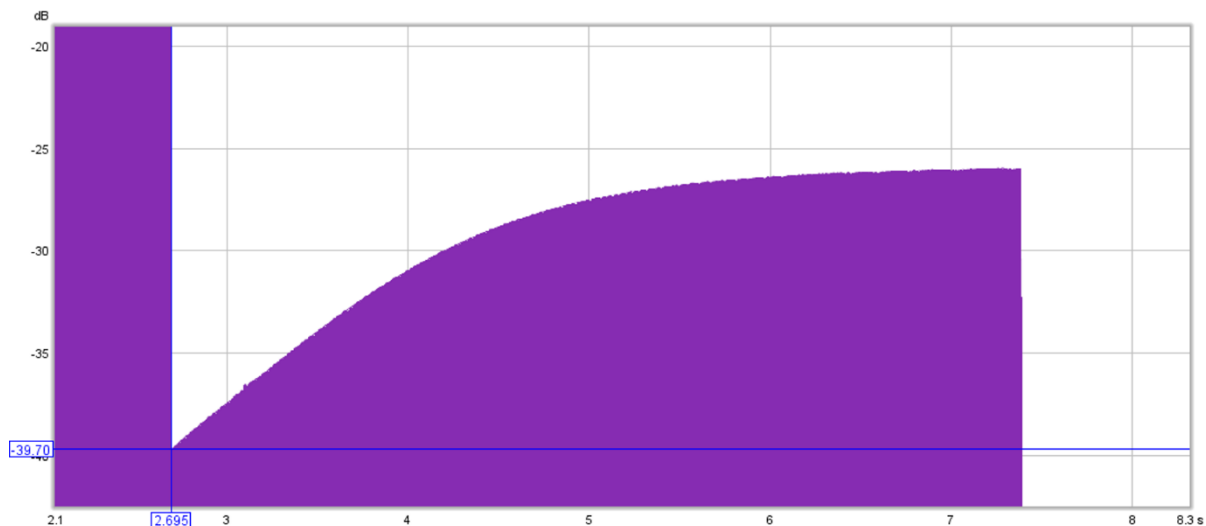
Σχήμα 128: Το Σήμα Ριπής για Ελάχιστο Χρόνο Attack για τον Avalon AD2044



Σχήμα 129: Το Σήμα Ριπής για Ελάχιστο Χρόνο Release για τον Avalon AD 2044



Σχήμα 130: Το Σήμα Ριπής για Μέγιστο Χρόνο Attack για τον Avalon AD 2044

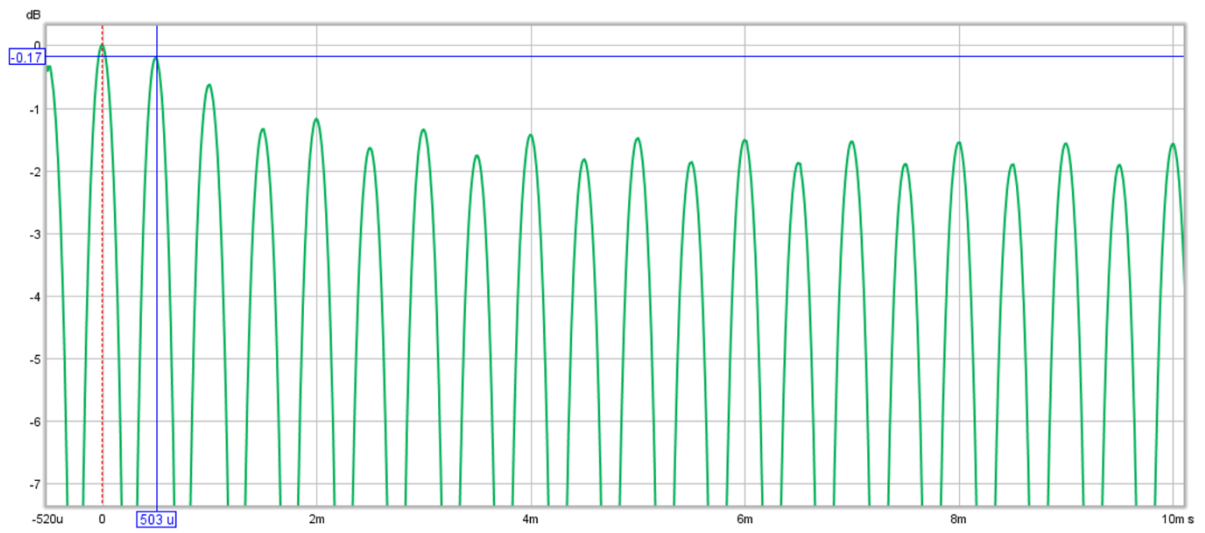


Σχήμα 131: Το Σήμα Ριπής για Μέγιστο Χρόνο Release για τον Avalon AD 2044

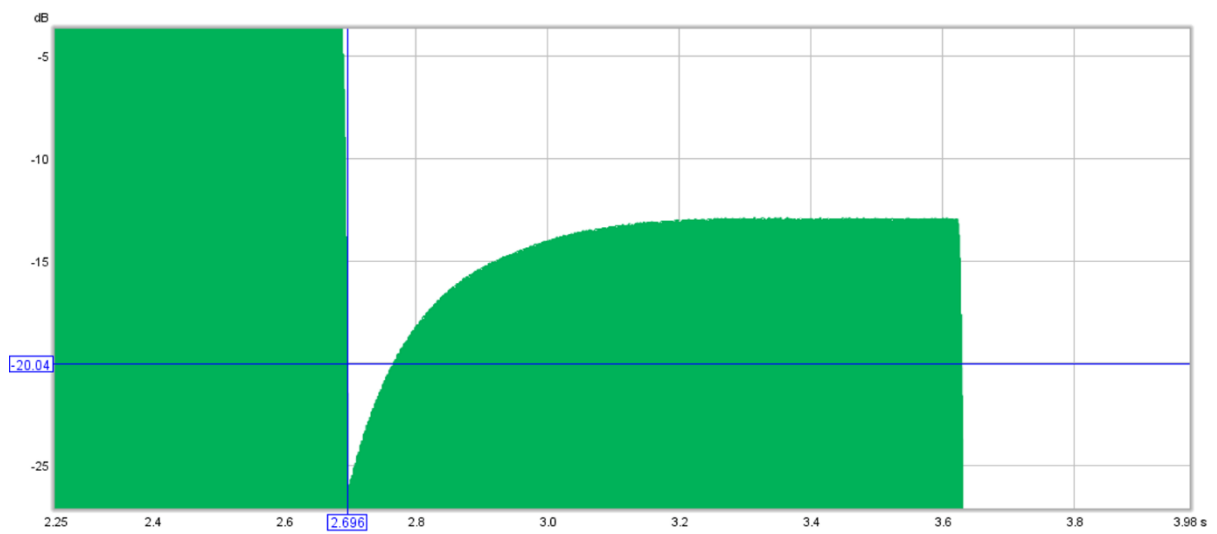
Για τους Χρόνους Attack & Release του Focusrite Red 3 έχουμε:

Focusrite Red 3	Διάρκεια (sec)
Ελάχιστος Χρόνος Attack	0.000498 (0.498ms)
Ελάχιστος Χρόνος Release	0.2659 (265.9ms)
Μέγιστος Χρόνος Attack	0.1175 (117.5ms)
Μέγιστος Χρόνος Release	3.4500(3450ms)

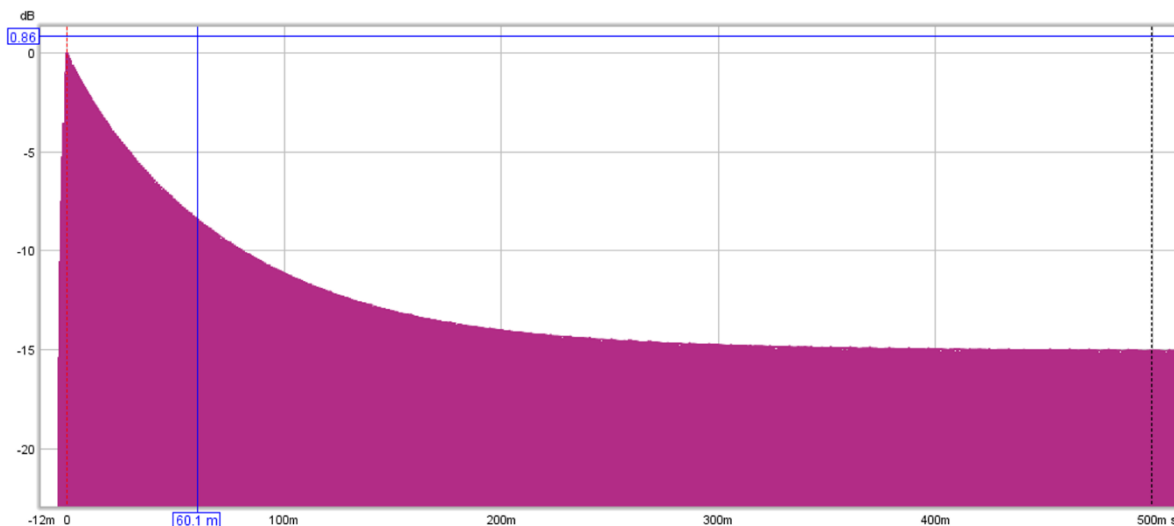
Πίνακας 8: Ελάχιστοι και Μέγιστοι Χρόνοι Attack & Release για τον Focusrite Red 3



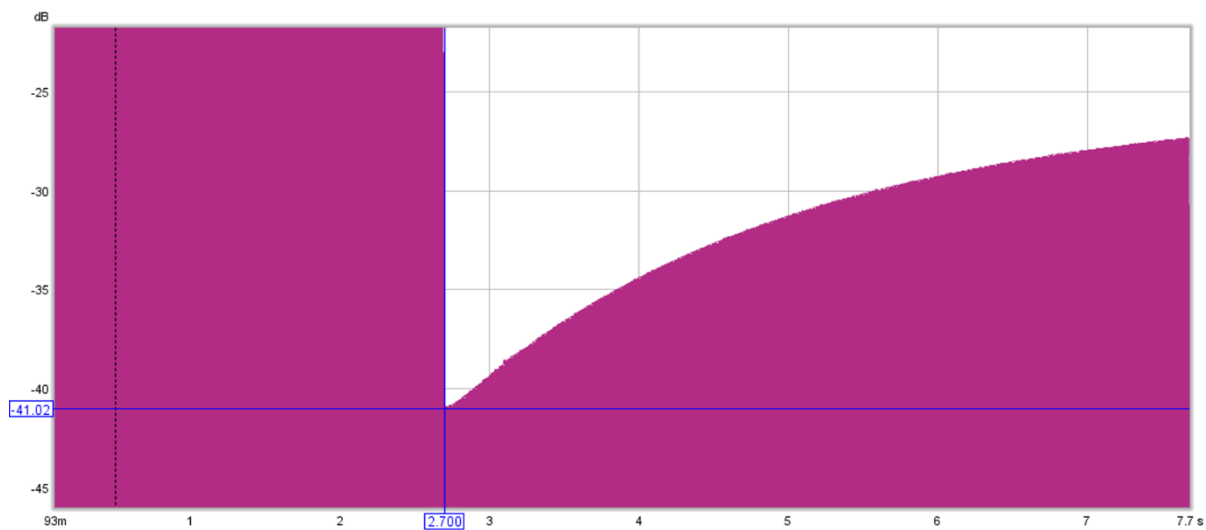
Σχήμα 132: Το Σήμα Ριπής για Ελάχιστο Χρόνο Attack για τον Focusrite Red 3



Σχήμα 133: Το Σήμα Ριπής για Ελάχιστο Χρόνο Release για τον Focusrite Red 3



Σχήμα 134: Το Σήμα Ριπής για Μέγιστο Χρόνο Attack για τον Focusrite Red 3

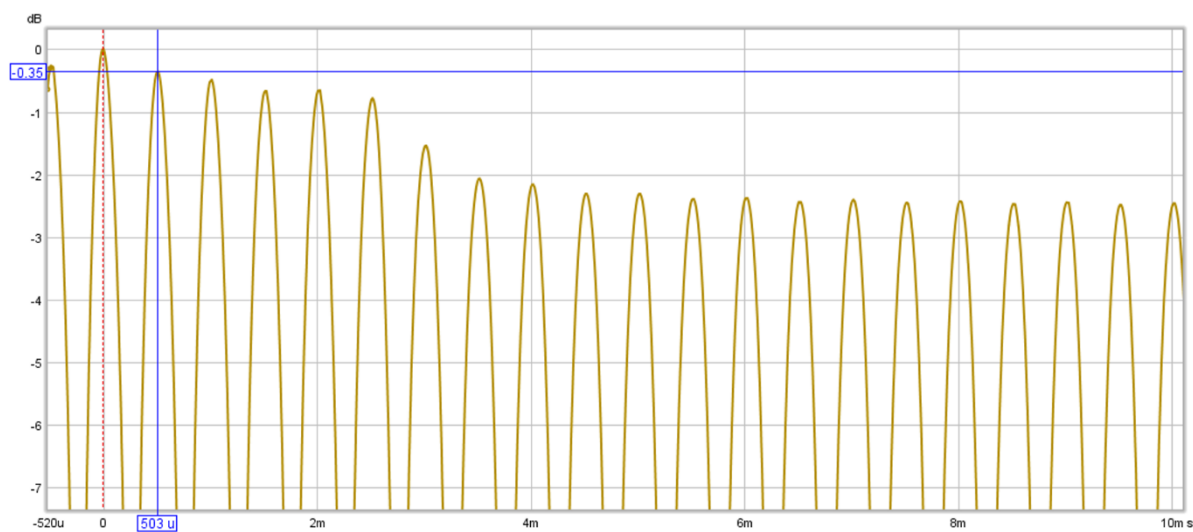


Σχήμα 135: Το Σήμα Ριπής για Μέγιστο Χρόνο Release για τον Focusrite Red 3

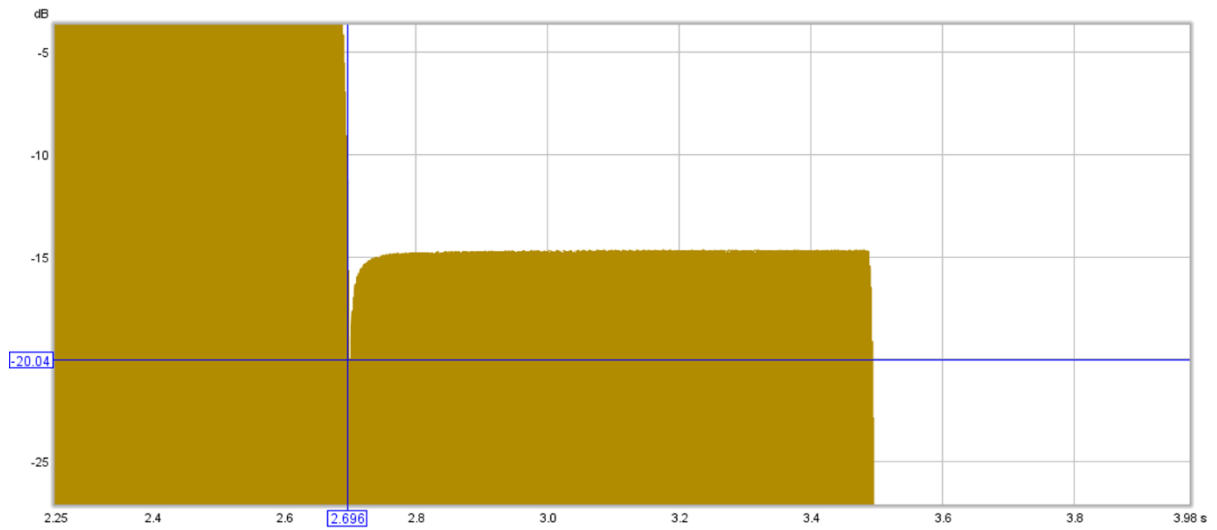
Και τέλος για τους Χρόνους Attack & Release του DBX 160SL έχουμε:

DBX 160SL	Διάρκεια (sec)
Ελάχιστος Χρόνος Attack	0.000162 (0.162ms)
Ελάχιστος Χρόνος Release	0.380 (380ms)
Μέγιστος Χρόνος Attack	0.05101 (51.01ms)
Μέγιστος Χρόνος Release	1.3000 (1300ms)

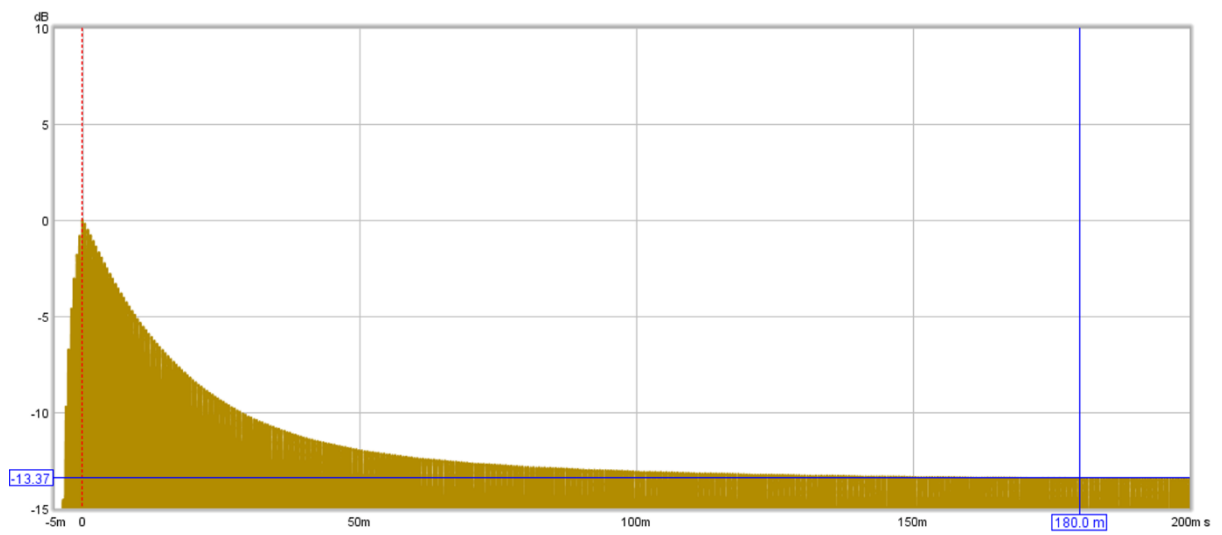
Πίνακας 9: Ελάχιστοι και Μέγιστοι Χρόνοι Attack & Release για τον DBX 160SL



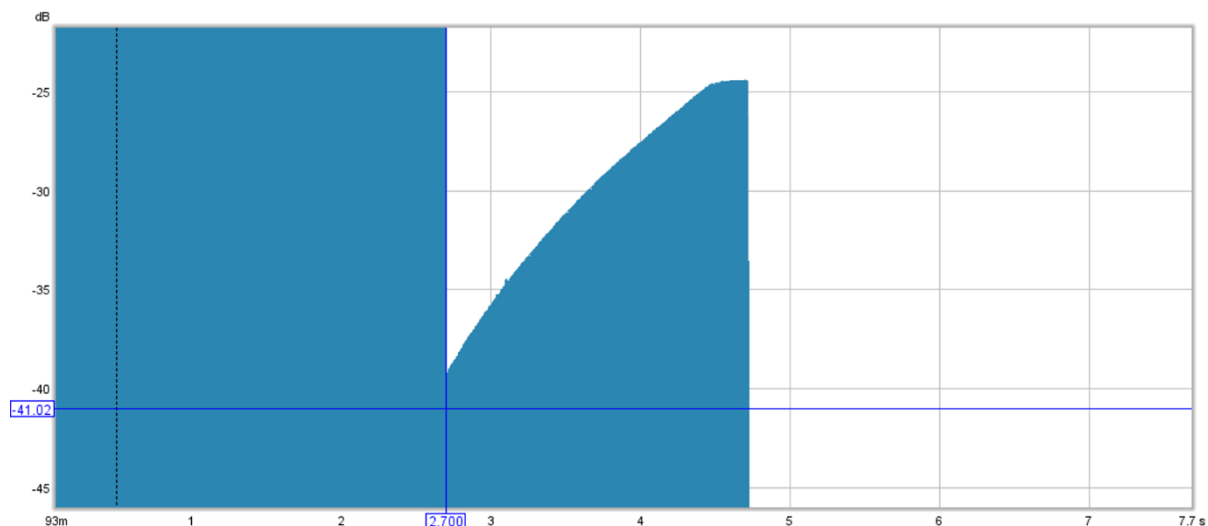
Σχήμα 136: Το Σήμα Ριπής για Ελάχιστο Χρόνο Attack για τον DBX 160SL



Σχήμα 137: Το Σήμα Ριπής για Ελάχιστο Χρόνο Release για τον DBX 160SL



Σχήμα 138: Το Σήμα Ριπής για Μέγιστο Χρόνο Attack για τον DBX 160SL



Σχήμα 139: Το Σήμα Ριπής για Μέγιστο Χρόνο Release για τον DBX 160SL

Συγκεντρωτικά όλοι οι Χρόνοι για όλους τους Συμπιεστές είναι οι εξής:

Χρόνοι	Avalon AD2044	Focusrite Red3	DBX 160SL
Ελάχιστος Χρόνος Attack	0.0005 s	0.000498 s	0.000162 s
Ελάχιστος Χρόνος Release	0.0850 s	0.2659 s	0.380 s
Μέγιστος Χρόνος Attack	0.1440 s	0.1175s	0.05101 s
Μέγιστος Χρόνος Release	4.6800 s	3.4500s	1.3000 s

Πίνακας 10: Όλοι οι Χρόνοι των Attack & Release για κάθε Συμπιεστή.

Από τις παραπάνω μετρήσεις μπορούμε να συμπεράνουμε τα εξής: Το πιο γρήγορο Ελάχιστο Attack το εμφανίζει ο DBX 160SL με τον Focusrite Red 3 να είναι ο δεύτερος πιο γρήγορος και τελευταίος ο Avalon AD 2044.

Αντίστοιχα το μικρότερο Ελάχιστο Χρόνο Release εμφανίζει ο Avalon AD2044 με δεύτερο τον DBX 160SL και τελευταίο τον Focusrite Red 3.

Μεγαλύτερο Χρονικό Εύρος του Attack (Μέγιστο – Ελάχιστο) παρουσιάζει ο Avalon AD 2044 με συνολικό Χρονικό Εύρος του Attack 143.5 ms, δεύτερος ο Focusrite Red 3 με συνολικό Χρονικό Εύρος του Attack 117.002 ms και τελευταίος ο DBX 160SL με το μικρότερο συνολικό Χρονικό Εύρος του Attack 50.848ms.

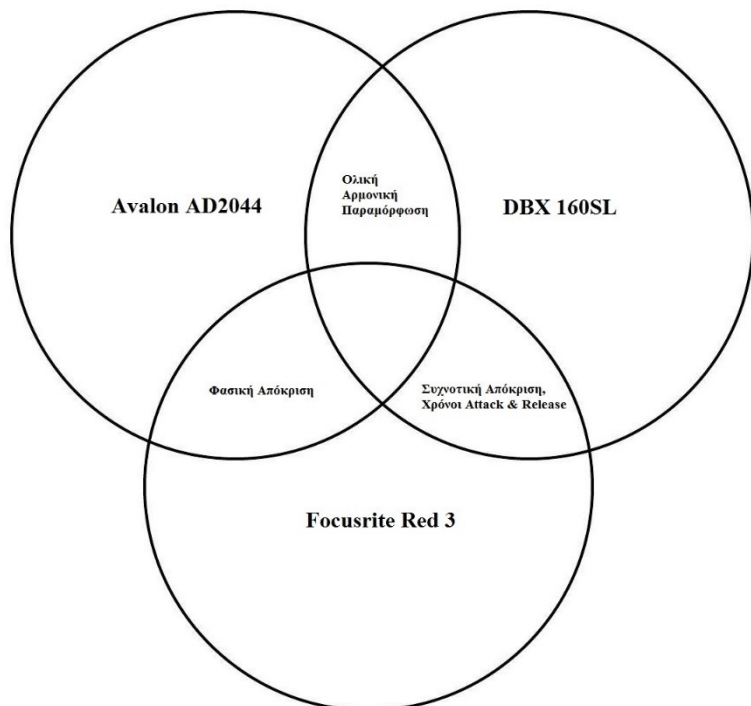
Αντίστοιχα το μεγαλύτερο Χρονικό Εύρος του Release (Μέγιστο – Ελάχιστο) παρουσιάζει ο Avalon AD 2044 με συνολικό Χρονικό Εύρος του Release 4595 ms, δεύτερος ο Focusrite Red 3 με συνολικό Χρονικό Εύρος του Release 3184.5 ms και τελευταίος με τον μικρότερο συνολικό Χρονικό Εύρος του Release 920 ms, ο DBX 160SL.

Κεφάλαιο 6 – Συμπεράσματα

Μελετώντας προσεκτικά τις μετρήσεις του κεφαλαίου 5.3 (§5.3.1 έως §5.3.7) παρατηρούμε ότι οι Συμπιεστές μεταξύ τους εμφανίζουν ομοιότητες σε συγκεκριμένα χαρακτηριστικά ενώ σε άλλα διαφέρουν κατά πολύ.

Έτσι όσον αφορά τις συχνотικές διαφορές μεταξύ των συμπιεστών που μετρήθηκαν παρατηρούμε ότι στις περιοχές των χαμηλών και χαμηλομεσαίων συχνοτήτων οι Συμπιεστές παρουσιάζουν διακυμάνσεις της τάξεως των 3 ± 0.5 dB που επηρεάζονται από το λόγο συμπίεσης και το Κατώφλι. Ενώ μία πρόσθετη ιδιοτροπία του Avalon AD2044 που μπορεί να την εκμεταλλευτεί ο χρήστης είναι αυτή της προσθήκης φασματικού περιεχομένου στις περιοχές των μεσαίο – υψηλών και υψηλών συχνοτήτων ($> 3\text{kHz}$) σε σήματα τα οποία ενδεχομένως να μπορούν να εκμεταλλευτούν αυτήν την φασματική προσθήκη.

Έπειτα, οι φασικές μετρήσεις που έγιναν απέδειξαν ότι οι Συμπιεστές με εξαίρεση τον DBX 160SL λόγω κατασκευής παρουσιάζουν ίδια περίπου φασική



απόκριση μεταξύ τους με ελάχιστη διαφορά στην περιοχή των υψηλών συχνοτήτων, ενώ ιδιαίτερο ενδιαφέρον προκάλεσαν οι φασικές διαφορές τους που υπάρχουν μεταξύ των εισόδων και εξόδων τους της τάξεως των 355 – 359° μέχρι την οκτάβα των 125 Hz.

Σχήμα 140: Βένναιο Διάγραμμα 3 Συνόλων με το οποίο οπτικοποιούνται οι ομοιότητες μεταξύ των Συμπιεστών ως βοήθεια προς τον αναγνώστη για καλύτερη κατανόηση.

Οι μετρήσεις που αφορούν την Ολική Αρμονική Παραμόρφωση έδειξαν ότι

τη λιγότερη THD έχει ο DBX 160SL με 0.0046%, την αμέσως λιγότερη έχει ο Avalon AD2044 με 0.0062% και την περισσότερη έχει ο Focusrite Red 3 με 0.027% που σημαίνει ότι αυτός ο Συμπιεστής θα παραμορφώσει πολύ περισσότερο το σήμα σε σχέση με τους άλλους δύο Συμπιεστές. Τέλος, τον πιο σύντομο χρόνο Attack εμφανίζει ο DBX 160SL με 0.0162 ms και μέγιστη τιμή την 51.01 ms, δεύτερος έρχεται ο Focusrite Red 3 με 0.498 ms και μέγιστη τιμή την 117.5 ms, ενώ τελευταίος έρχεται ο Avalon AD2044 με 0.5 ms και μέγιστή τιμή την 144 ms. Τον πιο σύντομο χρόνο Release παρουσιάζει ο Avalon AD2044 με 85 ms και μέγιστη τιμή την 4680 ms, δεύτερος έρχεται ο DBX 160SL με 380 ms και μέγιστη τιμή την 1300 ms, ενώ τελευταίος έρχεται ο Focusrite Red 3 με 265.9 ms και μέγιστη τιμή την 3450 ms.

Άρα συνοψίζοντας, εμφανή ομοιότητες έχουν οι DBX 160SL και Focusrite Red 3 μεταξύ τους στην συχνοτική απόκριση με τον Avalon AD 2044 να διαφέρει με τον τρόπο που αναφέρθηκε πιο πάνω. Επίσης ομοιότητες εμφανίζουν οι Avalon AD2044 και Focusrite Red 3 στην Φασική τους Απόκριση, με τον DBX 160SL να διαφέρει εδώ, στην Ολική Αρμονική Παραμόρφωση να έχουμε ομοιότητες μεταξύ του Avalon AD2044 και του DBX 160SL ενώ στους χρόνους Attack και Release ομοιότητες εμφανίζουν οι Avalon AD2044 και Focusrite Red 3. Άρα και τις περισσότερες ομοιότητες τις εμφανίζουν μεταξύ τους οι Avalon AD2044 και Focusrite Red 3 παρ'όλο που ο πρώτος είναι Opto – Compressor και ο δεύτερος είναι VCA Compressor.

Εν κατακλείδι μπορούμε να πούμε ότι αυτοί οι τρεις Συμπιεστές έχουν παίξει βασικό ρόλο στην επεξεργασία σήματος των τελευταίων χρόνων και ότι οι διαφορές και ομοιότητες που εμφανίζουν είναι οι κύριοι λόγοι για τους οποίους χρησιμοποιούνται με διαφορετικούς τρόπους σε διαφορετικές καταστάσεις.

Βιβλιογραφία

Έντυπη Μορφή

Eargle, John M. (1996), *Music, Sound and Technology*, Van Nostrand Reinhold Inc, Stamford, Connecticut, US

Giannoulis, Dimitrios and Massberg, Michael and Reiss, D. Joshua (2012), *Digital Dynamic Range Compressor Design—A Tutorial and Analysis*, Centre for Digital Music, Queen Mary, University of London, London, UK

Izhaki, Roey (2008), *Mixing Audio Concepts, Practices and Tools*, [sine nomine, s.n.], London, UK

Jeffs, Rick and Holden, Scott and Bohn, Dennis and Rane Corporation (2005), *DYNAMICS PROCESSORS*, Mukilteo, WA, US

Kadis, Jay (2016-2018), *Dynamic Range Processing and Digital Effects*, [s.n], [sine loco, s.l.]

Katz, Bob (2015), *MASTERING AUDIO: The Art and the Science*, 3rd edn, [s.n], Canada

Katz, Bob (n.d.), *The Secret of the Mastering Engineer*, [s.n], [s.l.]

Martin, Geoff (2003), *Intro to Sound Recording*, [s.n.], [s.l.]

Massberg, Michael (2009), *Investigation in Dynamic Range Compression*, Centre for Digital Music, Queen Mary, University of London, London, UK

Massey, Howard (2015), *The Great British Recording Studios*, [s.n.], Milwaukee, US

Orban, Robert (1992), *A Short History of Transmission Audio Processing in the United States*, San Francisco, CA, US

Owsinski, Bobby (2016), *The Mastering Engineer's Handbook*, 2nd edn, 4th edn, Burbank, CA, US

Pedersen, Karl & Grimshaw-Aagaard, Mark (2019), *The Recording, Mixing, and Mastering Reference Handbook*, [s.n.], Oxford, UK

Reiss, Josh (2011) *Under The Hood Of Dynamic Range Compression*, Centre for Digital Music, Queen Mary, University of London, London, UK

Sterling, H. Christopher (2004), *Encyclopedia of Radio*, [s.n.], New York, USA

Waddell, Gebre (2013), *COMPLETE AUDIO MASTERING: Practical Techniques*, McGraw, Hill Education, NY, US

Western Electric (1937), *110A Program Amplifier*, NY, USA

Καρακίτσιος Χρήστος (2010), *Οργάνωση & Χειρισμός Ηχητικών Συστημάτων (P.A.)*, ΙΩΝ, Αθήνα, Ελλάδα

Ξενικάκης Δημήτρης (2017), *Ηχοληψία II*, Τμήμα Μηχανικών Μουσικής Τεχνολογίας & Ακουστικής, Σχολή Εφαρμοσμένων Επιστημών, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, Ρέθυμνο, Ελλάδα

Σαπουντζής, Παύλος (2015), *Live Sound: Μιζάροντας Θεωρία Με Πράξη*, Αθήνα, Ελλάδα

Διαδίκτυο

Ableton (2018), *Sidechain Compression: Part 1 - Concepts and History*, <https://www.ableton.com/en/blog/sidechain-compression-part-1> τελευταία πρόσβαση: Μάιος 2020

Archer, Robert (2019), *How Hanley Sound and McIntosh Made Woodstock Possible with Better Festival Sound*, <https://www.commercialintegrator.com/av/hanley-sound-mcintosh-amplification-festival/?fbclid=IwAR3ageyFg3bbMpUCebqLQB0LrnVMzwwg02MrjRoPgLulTLgX8fZoOO8l3Ijc> τελευταία πρόσβαση: Μάιος 2020

Askew, Dave (2016), *A Brief History of Audio Compression*, Sonarworks, <https://theproaudiofiles.com/video/a-brief-history-compression-explained> τελευταία πρόσβαση: Μάιος 2020

Audio Engineering Society (2020), *An Audio Timeline*, New York, <http://www.aes.org/aeshc/docs/audio.history.timeline.html> τελευταία πρόσβαση: Μάιος 2020

Barners, Dave (2006), *Analog Obsession: Compression Technology and Topology*, Universal Audio, <https://www.uaudio.com/webzine/2006/april/text/content4.html> τελευταία πρόσβαση: Μάιος 2020

Barry, Rudolph (1999), *Understanding Audio Compressors and Audio Compression*, Los Angeles, <https://www.barryrudolph.com/mix/comp.html> τελευταία πρόσβαση: Μάιος 2020

Dave, Isaac (n.d.), *Recording Vocals The "Motown Way"*, <https://www.uaudio.fr/blog/motown-vocals-dave-isaac/?fbclid=IwAR3yAB15VldEP4ie1WpHCeA7j8AMnApbq72VatvdMA-r4vo62FqOfJi4Rkk> τελευταία πρόσβαση: Μάιος 2020

Hunter, Dave (2018), *Gear History*, <https://reverb.com/news/when-were-phasers-compressors-and-more-classic-effects-pedals-first-released> τελευταία πρόσβαση: Μάιος 2020

Kane, John (2019), *Woodstock: 50 Years After*, <https://fohonline.com/articles/milestones/woodstock-50-years->

[after/?fbclid=IwAR2OyTYFMH3wWoILVWz6YgUklkL7HomOTE59zRNLm3B7opDORT35hFxL7fQ](#) τελευταία πρόσβαση: Μάιος 2020

Mirror Mixing (2008), *From Motown to New York: Parallel Compression*, <https://mirrormixing.wordpress.com/2008/09/14/from-motown-to-new-york-parallel-compression> τελευταία πρόσβαση: Μάιος 2020

MusicTech (2015), *Pro Tools Tutorial: Cutting Edge Production Techniques – Serial Compression*, musictech.net <https://www.musictech.net/tutorials/pro-tools-serial-compression> τελευταία πρόσβαση: Μάιος 2020

Orban, Robert (n.d.), *Transmission Audio Processing* <https://static1.squarespace.com/static/58f8d954b8a79b4ccf726c3b/t/5996db51f5e231b4a279db2f/1503058769976/Broadcast+Transmission+Audio+Processing.pdf> τελευταία πρόσβαση: Μάιος 2020

Pettersen, Michael (2019), *The History of the Sound at Woodstock*, https://www.shure.com/en-US/performance-production/louder/the-history-of-the-sound-at-woodstock?fbclid=IwAR34dWdro2iY0egvMijJ0YyEjZ69T49IAJcoq94ALaFDoDfdrCZ_Q11aIvA τελευταία πρόσβαση: Μάιος 2020

Sean, Vincent (2012), *The Beginner's Guide to Compression*, Envatotuts+, <https://music.tutsplus.com/tutorials/the-beginners-guide-to-compression--audio-953> τελευταία πρόσβαση: Μάιος 2020

Sexauer, Paul (2001), *The issue of pre-emphasis, de-emphasis, clipping and repeater audio quality*, <http://www.repeater-builder.com/tech-info/fm-theory-discussion.html> τελευταία πρόσβαση: Μάιος 2020

Wikipedia (2018), *Aphex Systems*, wikipedia.com https://en.wikipedia.org/wiki/Aphex_Systems#Aural_Exciter τελευταία πρόσβαση: Μάρτιος 2020

Wikipedia (2020), *Dynamic range compression*, wikipedia.com, https://en.wikipedia.org/wiki/Dynamic_range_compression/ τελευταία πρόσβαση: Μάρτιος 2020

Yamaha (n.d.), *Digital Mixer History*, <https://asia-latinamerica-mea.yamaha.com/en/products/contents/proaudio/about/history/index.html> τελευταία πρόσβαση: Μάιος 2020

Εγχειρίδια Χρήσης

Avalon Industries, INC. (2000), *Avalon Design Pure Class A AD2044 Dual Mono-Stereo Opto-Compressor*, <http://www.avalondesign.com/pdfs/AD2044.pdf>

DBX by Harman (2011), *160SL Stereo Compressor/Limiter*, Utah, USA, <https://dbxpro.com/en/products/160sl>

Focusrite (2000), *RED 3 compressor/limiter*,
<http://www.studiomanuals.com/docs/focusrite/red3.pdf>

Παράρτημα

Κατά την περάτωση αυτής της Πτυχιακής Εργασίας χρησιμοποιήθηκαν τα εξής προγράμματα για την εκτέλεση και επεξεργασία των μετρήσεων, τα οποία είναι:

- MatLab R2018a (MathWorks Inc.) <https://www.mathworks.com/>
- Room EQ Wizzard <https://www.roomeqwizard.com/>
- SoundForge7.0 (Magix Software GmbH)<https://www.magix.com/int/music/sound-forge/>