

Α.Τ.Ε.Ι. ΚΡΗΤΗΣ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΡΕΘΥΜΝΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ
ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ (Τ.Ε.)

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΝΙΣΧΥΤΩΝ ΑΚΟΥΣΤΙΚΩΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ



ΦΟΙΤΗΤΡΙΑ: ΤΣΑΤΣΑΡΑΚΗ ΕΙΡΗΝΗ

Α.Μ.: 589

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ: ΧΡΗΣΤΟΣ ΧΡΗΣΤΟΥ –
ΠΙΟΤΟΓΙΑΝΝΑΚΗΣ ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ

ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής είναι η μελέτη και η αξιολόγηση των παραμέτρων ενός ενισχυτή λυχνιών, καθώς επίσης και η αναφορά στην αρχή της λειτουργίας του και των ιδιοτήτων του.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Ακουστική, προενισχυτής, κέρδος, φάση, παραμόρφωση, ενισχυτής, λυχνία, εμπέδηση

KEY WORDS

Acoustic, pre- amplifier, gain, phase, distortion, amplifier, valve, impedance

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η συγκεκριμένη πτυχιακή πραγματεύεται την ποιοτική αξιολόγηση ενισχυτών ακουστικών συχνοτήτων. Γίνεται αναφορά στη θεωρία του ήχου και γενικότερα στην ακουστική ως επιστήμη. Στη συνέχεια αναλύονται τα συστήματα ήχου και τα επιμέρους στοιχεία από τα οποία αποτελείται. Ακολουθεί λεπτομερής ανάλυση των προενισχυτών, των ενισχυτών και των τεχνικών τους παραμέτρων. Η εργασία καταλήγει στο πειραματικό μέρος όπου παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων που δίνονται από τον κατασκευαστή και τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε ενισχυτή λυχνιών καθώς και τα συμπεράσματα που προέκυψαν.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1- ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1	Τι είναι ήχος	5
1.2	Ακουστική τεχνολογία	7
1.3	Συστήματα ήχου	9
1.4	Πηγές σήματος ήχου	9
1.5	Προενισχυτής	10
1.4.1	Δομή προενισχυτή	11

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2- ΕΝΙΣΧΥΤΕΣ ΗΧΟΥ

2.1	Τι είναι ενισχυτής	12
2.1.1	Gain ενισχυτή	13
2.1.1.α	Λογαριθμικές σκάλες	14
2.1.1.β	Κέρδος τάσης σε dB	16
2.1.1.γ	Κέρδος ισχύος σε dB	16
2.1.2	THD, THD+NOISE, IMD	17
2.1.2.α	Αρμονική παραμόρφωση	18
2.1.2.β	Ολική αρμονική παραμόρφωση plus noise (THD+N)	19
2.1.2.γ	Ενδοδιαμόρφωση, (Intermodulation distortion, IMD)	20
2.1.3	Αντίσταση εισόδου	21
2.1.4	Αντίσταση εξόδου	23
2.1.5	Παραμόρφωση φάσης	24
2.1.6	Εναισθησία εισόδου	25
2.1.7	Crosstalk	26

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3- ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

6.1	Τεχνικά χαρακτηριστικά	28
6.2	Επίσημες μετρήσεις κατασκευαστή	28
6.3	Μετρήσεις- αποτελέσματα	36

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	<i>40</i>
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	<i>41</i>
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	<i>48</i>
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	<i>49</i>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 Τι είναι ήχος

Ήχος μπορεί να θεωρηθεί κάθε τι που παράγεται από μια πηγή και γίνεται αντιληπτό από το αυτί μας. Είναι ένα ελαστικό κύμα πίεσης, το οποίο διεγείρει το αισθητήριο όργανο της ακοής. Ο όρος κύμα περιγράφει τη διάδοση μίας διαταραχής στον χώρο. Η διαταραχή αυτή είναι τοπική μεταβολή της πυκνότητας και πίεσης ενός υλικού μέσου. Για να είναι σε θέση ο δέκτης να συλλάβει τον, παραγόμενο από μία πηγή, ήχο πρέπει να μεσολαβήσει κάποιο μέσον. Το συνηθέστερο μέσο διάδοσης του ήχου είναι ο αέρας. Άλλο μέσο διάδοσης θα μπορούσε να είναι τόσο το νερό, όσο και κάποιο στερεό σώμα, διαφορετικά, χωρίς την παρουσία κάποιου ελαστικού μέσου για τη διάδοση των ηχητικών κυμάτων, ο ήχος δε θα μπορούσε να διαδοθεί στο κενό.

Όταν τα μόρια του αέρα πάλλονται γύρω από την αρχική θέση ισορροπίας, τους μεταφέρεται εξαιτίας των ελαστικών ιδιοτήτων του υλικού, κινητική και δυναμική ενέργεια στα γειτονικά τους μόρια κι έτσι με τις μεταβολές της πίεσης δημιουργούνται πυκνώματα και αραιώματα. Τα πυκνώματα και τα αραιώματα «ταξιδεύουν» μες στο υλικό σε διεύθυνση παράλληλη της διεύθυνσης των μορίων. Οι κυμάνσεις αυτές συλλαμβάνονται ως ήχος, ένα διαμήκες κύμα πίεσης, με κύρια χαρακτηριστικά την συχνότητα και το πλάτος. Η ταχύτητα διάδοσης u του ήχου εξαρτάται από τις ελαστικές ιδιότητες του μέσου διάδοσης, καθώς και την θερμοκρασία. Για παράδειγμα στον αέρα με θερμοκρασία 20°C η ταχύτητα του ήχου είναι 343 m/s . Στα υγρά ο ήχος διαδίδεται με μεγαλύτερη ταχύτητα και στα στερεά η ταχύτητα του είναι έως και 20 φορές μεγαλύτερη από τα αέρια εξαιτίας των πολύ μικρών αποστάσεων μεταξύ των μορίων.

Το ημιτονικό σήμα θεωρείται ο πιο απλός τύπος κύμανσης, γιατί αντιστοιχεί σε μία μόνο συχνότητα και είναι περιοδικό σήμα, που σημαίνει πως ο αρχικός παλμός συνοδεύεται από μία σειρά ίδιων παλμών. Τα περιοδικά αυτά κύματα δημιουργούν ήχους που ονομάζονται τόνοι, όπως για παράδειγμα τους τόνους που παράγονται από ένα διαπασών. Τα μεταλλικά στελέχη του διαπασών ταλαντώνονται με σταθερή συχνότητα, μεταφέροντας έτσι την παλμική κίνηση στον αέρα με τη μορφή πίεσης, δημιουργώντας ένα διαμήκες κύμα πίεσης, δηλαδή η ταλάντωση είναι παράλληλη ως προς την διεύθυνση διάδοσης του κύματος και με ταχύτητα 340m/s. Αυτό όμως μπορεί περισσότερο να θεωρηθεί ως ιδανική, παρά πραγματική κατάσταση, γιατί στην πράξη οι παραγόμενοι ήχοι περιέχουν παραπάνω από μία συχνότητες.

Η φυσική μονάδα μέτρησης της έντασης του ήχου είναι το decibel (dB). Ο ήχος ακούγεται ισχυρότερα όσο μεγαλύτερο είναι το πλάτος του. Η κλίμακα μέτρησης του decibel, όπως και ο τρόπος που αντιλαμβάνεται το ανθρώπινο αυτί την ένταση του ήχου είναι λογαριθμικός. Αυτό σημαίνει πως το αυτί είναι σε θέση να ακούει το ίδιο καλά ήχους με μεγάλη απόκλιση στην ένταση τους. Επίσης, το ανθρώπινο αυτί αντιλαμβάνεται ένα τεράστιο εύρος έντασης ηχητικών σημάτων και γι' αυτό το λόγο η χρήση της γραμμικής κλίμακας δε θα ήταν εφικτή.

Το επόμενο γνώρισμα ενός ηχητικού σήματος είναι η συχνότητα της πηγής που παράγει τον ήχο, δηλαδή το πόσο γρήγορα ή αργά η αρχική διαταραχή της πίεσης επαναλαμβάνεται. Τα ηχητικά κύματα που έχουν τιμές στο διάστημα μεταξύ 20Hz και 20kHz, μπορούν να γίνουν αντιληπτά από τον άνθρωπο. Κύματα συχνοτήτων εκτός των ακουστών ορίων, δηλαδή υπήχοι, που έχουν συχνότητες μικρότερες των 20Hz και υπέρηχοι που έχουν συχνότητες μεγαλύτερες των 20kHz, δεν γίνονται αντιληπτές από το ανθρώπινο αυτί. Οι χρησιμότερες συχνότητες

βρίσκονται κάτω από τα 10Hz, όπου εκεί βρίσκονται οι συχνότητες που αφορούν την ομιλία και τη μουσική.

1.2 Ακουστική τεχνολογία

Η ακουστική, μία από τις πιο βασικές υποδιαιρέσεις της κλασικής φυσικής, παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον ως επιστήμη των ήχων. Ασχολείται με την παραγωγή, τη διάδοση και την λήψη των ηχητικών κυμάτων από το ανθρώπινο αυτί.

Επίσης ασχολείται με:

- Τους υπόηχους, οι οποίοι είναι χαμηλής συχνότητας διαμήκη κύματα, τα οποία δεν γίνονται αντιληπτά από το ανθρώπινο αυτί. Οι υπόηχοι είναι πολύ χρήσιμοι στην μελέτη των καιρικών συστημάτων. Τέτοιας χαμηλής συχνότητας κύματα παράγονται και στους σεισμούς.
- Τους υπέρηχους, που είναι διαμήκη κύματα πολύ υψηλής συχνότητας, μη ακουστά από το ανθρώπινο αυτί, αλλά παρ' όλα αυτά πολύ χρήσιμα για την καθημερινότητά μας. Οι υπέρηχοι συναντώνται από την πιο απλή χρησιμότητά τους, όπως το κάλεσμα ενός σκύλου με ειδική σφυρίχτρα, μέχρι τον έλεγχο της λειτουργίας οργάνων του σώματός μας (υπερηχογράφημα) και την δομή κρυστάλλων.
- Τους υποθαλάσσιους ήχους, οι οποίοι εκπέμπονται από τα σόναρς, ειδικά υποθαλάσσια ραντάρ και συμβάλλουν στον εντοπισμό βυθισμένων αντικειμένων, όπως κοπαδιών ψαριών, καταδυόμενων υποβρυχίων κ.λπ.

- Των δονήσεων, δηλαδή τις ταλαντώσεις που δημιουργούνται στα κτίρια εξαιτίας σεισμών, ανέμων, κρούσεων ή από την λειτουργία μηχανημάτων.
- Του αυτιού, το ανθρώπινο όργανο της ακοής. Το τμήμα αυτό της ακουστικής ονομάζεται *Φυσιολογική Ακουστική* και ασχολείται με την κατασκευή, τον τρόπο με τον οποίο γίνονται αντιληπτοί οι ήχοι, καθώς επίσης και του φωνητικού οργάνου, για τον μηχανισμό με τον οποίο αρθρώνεται η ομιλία, το τραγούδι κ.λπ.
- Η ψυχοακουστική που ασχολείται με τον τρόπο που ο άνθρωπος αντιδρά, κατανοεί, και συγκρίνει τους διάφορους ήχους και πως με την οργάνωση των ήχων καταλήγουμε στην επικοινωνία μεταξύ των ανθρώπων.
- Τέλος, υπάρχει η κτηριακή ακουστική, που ασχολείται με την ηχομόνωση και την ακουστική μελέτη και διαμόρφωση των χώρων,
- και η μουσική ακουστική που μελετά το πώς αντιλαμβάνεται ο άνθρωπος την μουσική και τους μηχανισμούς παραγωγής ήχων από μουσικά όργανα.

Η ακουστική είναι μία ευρεία επιστήμη, χρήσιμη σε πάρα πολλούς τομείς όπως στη φυσική, αρχιτεκτονική, μηχανική, ψυχολογία, φυσιολογία, γλωσσολογία κ.λπ.

1.3 Συστήματα ήχου

Τα ηχητικά συστήματα αποτελούνται από:

- α) πηγή
- β) προ-ενισχυτής
- γ) τελικός ενισχυτής
- δ) ηχεία
- ε) γραμμές μεταφοράς

1.4 Πηγές σήματος ήχου

Ως πηγή σήματος ήχου μπορεί να θεωρηθεί ένα μικρόφωνο για παράδειγμα. Ένα μικρόφωνο συνήθως παρέχει στάθμη εξόδου περίπου ίση με 1 Volt και αντίσταση εξόδου 1 KΩ.

Ανάλογα θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ένα cd-player, δηλαδή συσκευή αναπαραγωγής ψηφιακών δίσκων, των cd.

Επίσης θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί η έξοδος ήχου χαμηλής στάθμης ενός dvd -player, η έξοδος ενός δορυφορικού δέκτη και άλλα. Η ηχητική στάθμη είναι κοντά στα 100 mV και η ισχύς τους μετριέται σε watt. Λόγω της πολύ χαμηλής ισχύος ονομάζονται ασθενή σήματα.

1.5 Προ-ενισχυτής

Πριν την εμφάνιση των τελικών ενισχυτών, η κατασκευή των προ-ενισχυτών γινόταν με λυχνίες κενού, κάτι που εφαρμόζεται μέχρι και σήμερα, όμως η αποδοτικότητά τους είναι μειωμένη, γιατί απαιτείται πολύ μεγάλη κατανάλωση ισχύος για την λειτουργία των λυχνιών. Επίσης, ο όγκος των λυχνιών είναι πολύ μεγάλος, η διάρκεια ζωής τους πολύ μικρή συν το γεγονός ότι είναι πολύ εύθραυστες.

Μετά τις λυχνίες οι κατασκευές των ενισχυτών γίνονταν με τρανζίστορ, που μειονεκτούσαν όμως, στο μη ταίριασμα των στοιχείων, στη μεταβολή του σημείου λειτουργίας συναρτήσει της θερμοκρασίας και στη ύπαρξη πάρα πολλών διακριτών στοιχείων, κάτι που προκαλεί παραμορφώσεις και θερμικό θόρυβο.

Με την εμφάνιση του τελεστικού ενισχυτή ξεκίνησαν τα πρώτα βήματα εφαρμογής τους στην κατασκευή ενισχυτικών διατάξεων ήχου. Μέχρι και πριν κάποια χρόνια η κατασκευή των προ-ενισχυτών γινόταν από τελεστικούς ενισχυτές οι οποίοι συνδέονταν σε τοπολογία *instrumentation amplifier*. Σε κάποιες περιπτώσεις η ίδια τοπολογία χρησιμοποιείται μέχρι και σήμερα γιατί προσφέρει με μικρό κόστος αρκετά καλά χαρακτηριστικά. Παρ' όλα αυτά έχουν ως μειονέκτημα τις πολλές συνδέσεις που δυσκολεύει στη μετάδοση των σημάτων και παραμορφώσεις, εξαιτίας της απόστασης μεταξύ των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων.

Ο προ-ενισχυτής ουσιαστικά προετοιμάζει ένα μικρό ηλεκτρικό σήμα για την μετέπειτα ενίσχυση ή μεταποίηση, χωρίς όμως να μεταβάλλει σημαντικά την αναλογία του σήματος ως προς τον θόρυβο. Ο προ-ενισχυτής συχνά τοποθετείται κοντά στον αισθητήρα για την

καλύτερη απόδοση ως προς τον θόρυβο και τις όποιες παρεμβολές παρουσιαστούν.

Σε ένα σύστημα ήχου ο προ-ενισχυτής παρέχει τάση κέρδους και υπάρχει κι ένας δεύτερος ενισχυτής, ο ενισχυτής ισχύος, ο οποίος παρέχει την υψηλότερη τάση ρεύματος που χρειάζεται να οδηγήσει στα ηχεία.

1.5.1 Δομή Προ-ενισχυτή

- Στάδιο εισόδου
- Ενισχυτική μονάδα
- Μονάδα ένδειξης σήματος και υπερφόρτισης
- Στάδιο εξόδου
- Τροφοδοτικό

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΕΝΙΣΧΥΤΕΣ ΗΧΟΥ

2.1 Τι είναι ενισχυτής

Ο ενισχυτής ή μία βαθμίδα εξόδου είναι μία ηλεκτρική συσκευή, η οποία μεταδίδει και ενισχύει εισερχόμενα σήματα ήχου. Μετατρέπει δηλαδή, την χαμηλή τάση και ισχύ του σε σήματος σε υψηλή. Είναι μία από τις σημαντικότερες βαθμίδες που χρησιμοποιούνται στα αναλογικά ηλεκτρονικά. Στην απλούστερή του μορφή, η είσοδος του αποτελείται από δύο ακροδέκτες, στα άκρα των οποίων εφαρμόζεται η τάση (σήμα) εισόδου. Η τάση (σήμα) εξόδου λαμβάνεται από δύο ακροδέκτες οι οποίοι αποτελούν την έξοδο του ενισχυτή.

Ο ενισχυτής στις περισσότερες των περιπτώσεων αντιμετωπίζεται σαν ένα μαύρο κουτί, το οποίο έχει ένα περιορισμένο σύνολο παραμέτρων. Η εξάρτηση του σήματος εξόδου από το σήμα εισόδου είναι μία από αυτές τις παραμέτρους. Στην πιο απλή μορφή του ενισχυτή, η σχέση μεταξύ εισόδου-εξόδου είναι γραμμική, δηλαδή το σήμα εξόδου είναι ανάλογο του σήματος έξοδο. Μία άλλη αντιμετώπιση ως προς τις παραμέτρους των ενισχυτών αφορά τον τρόπο απόκρισης τους σε σήματα συνεχών ή εναλλασσόμενων τάσεων, όπου αντιδρούν με διαφορετικό τρόπο ανάλογα με το τι εφαρμόζεται στην είσοδό τους, όπως διαφορετικά αντιδρούν και σε διαφορετικές συχνότητες της εναλλασσόμενης τάσης η οποία εφαρμόζεται στην είσοδό του.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον από το σύνολο των παραμέτρων ενός ενισχυτή παρουσιάζεται στην απολαβή ρεύματος ή τάσης, στη σύνθετη αντίσταση εισόδου, στη σύνθετη αντίσταση εξόδου, καθώς και στην απόκριση συχνότητας.

- Απολαβή ή κέρδος τάσης: ορίζεται από την τάση εισόδου ως προς την τάση εξόδου. Η τάση εισόδου μπορεί να είναι είτε απλή, είτε διαφορική. Οι τάσεις εισόδου εξόδου δεν περιλαμβάνουν τυχόν πολώσεις ή τάσεις αντιστάθμισης. Επίσης, πέρα από την απολαβή τάσης με τον ίδιο τρόπο ορίζονται αντίστοιχα και η απολαβή ή κέρδος ρεύματος (current gain) καθώς και η απολαβή ή κέρδος ισχύος (power gain).
- Σύνθετη αντίσταση εισόδου: συμπεριφέρεται σαν αντίσταση φορτίου και επηρεάζει την μεταφορά σήματος, από την πηγή σήματος που έχει συνδεθεί στον ενισχυτή, προς τον ενισχυτή.
- Σύνθετη αντίσταση εξόδου: είναι η αντίσταση την οποία εκδηλώνει ο ενισχυτής στην έξοδό του, όταν συνδεθεί με μία αντίσταση φορτίου ή με μία επόμενη βαθμίδα. Η σύνθετη αντίσταση εξόδου επηρεάζει τη δυνατότητα διοχέτευσης του ρεύματος.
- Απόκριση συχνότητας: είναι η απολαβή της τάσης του ενισχυτή σε συνάρτηση με τη συχνότητα του σήματος εισόδου.

2.1.1 Gain ενισχυτή

Για το λόγο ότι οι ενισχυτές έχουν τη δυνατότητα να αυξήσουν το μέγεθος ενός σήματος εισόδου, είναι χρήσιμο να είναι σε θέση να αξιολογήσουν την ικανότητα ενισχύσεως ενός ενισχυτή, από πλευράς μίας αναλογίας εξόδου-εισόδου.

Ο τεχνικός όρος ο οποίος χρησιμοποιείται για την αναλογία μεγέθους εξόδου-εισόδου του ενισχυτή είναι το κέρδος. Ως λόγος της ισότητας των μονάδων (ισχύς εξόδου προς ισχύς εισόδου) το κέρδος

ουσιαστικά δεν έχει μονάδες μέτρησης. Από μαθηματική άποψη συμβολίζεται με το κεφαλαίο γράμμα A.

Στα ηλεκτρονικά το κέρδος είναι ένα μέτρο της ικανότητας του ηλεκτρονικού κυκλώματος να αυξήσει τη δύναμη ή το πλάτος ενός σήματος από την είσοδο προς την έξοδο., με την προσθήκη ενέργειας η οποία μετατρέπεται από παροχή ρεύματος στο σήμα. Το κέρδος είναι ένας όρος που από μόνος του μπορεί να είναι ασαφής και μπορεί να αναφέρεται είτε σε κέρδος τάσης, είτε σε κέρδος ρεύματος, είτε σε κέρδος ισχύος.

Στον τομέα του ήχου και ειδικότερα των ενισχυτών, όταν αναφερόμαστε στο κέρδος εννοούμε κέρδος τάσεως. Η ενίσχυση τάσεως A_v ή κέρδος τάσης ενός ενισχυτή δίνεται από τη σχέση:

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

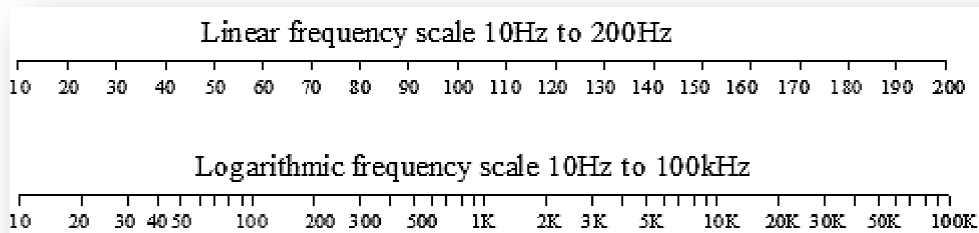
(σε περίπτωση πολλών συνδεδεμένων ενισχυτών, το συνολικό κέρδος τάσης θα ισούται με το γινόμενο των επιμέρους κερδών.)

Το κέρδος τάσης είναι μία αναλογία που δηλώνει το πόσο μεγαλύτερη είναι η έξοδος συγκριτικά με την είσοδο κι έτσι δεν έχει μονάδες. Είναι το βασικό μέτρο της αποτελεσματικότητας ενός ενισχυτή.

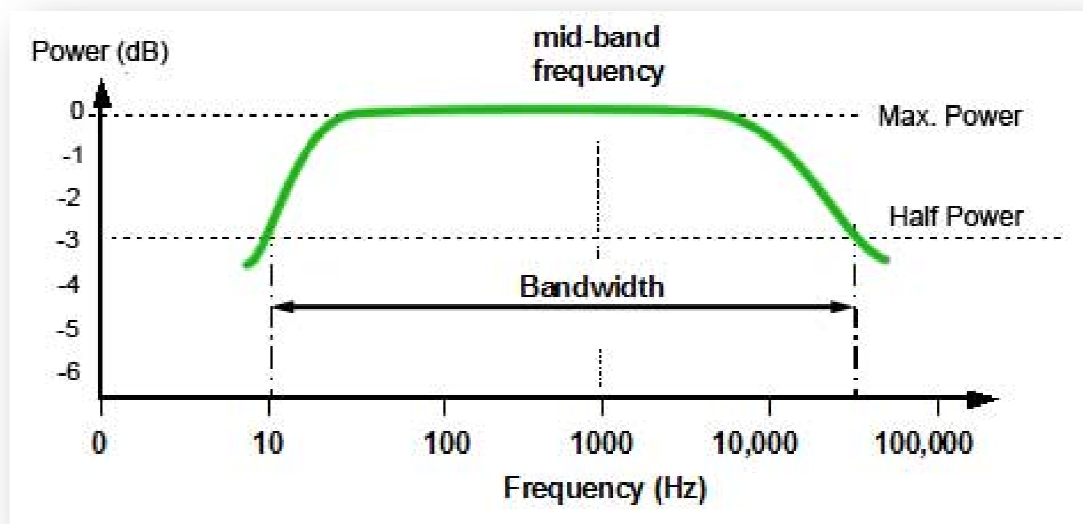
Για το λόγο ότι η έξοδος του ενισχυτή ποικίλει σε διάφορες συχνότητες σήματος, οι μετρήσεις της ισχύος εξόδου, ή συχνά τάσης, που είναι ευκολότερο να μετρηθεί από την ισχύ, απεικονίζεται σε γράφημα σε σχέση με τη συχνότητα (καμπύλη απόκρισης συχνοτήτων) για να δείξει τη σχέση εξόδου με τη ζώνη συχνοτήτων.

2.1.1.α Λογαριθμικές σκάλες

Για την απεικόνιση των συχνοτήτων στην καμπύλη απόκρισης χρησιμοποιούμε τον οριζόντιο άξονα x . Συνήθως χρησιμοποιούμε τη λογαριθμική κλίμακα για να έχουμε ένα ευρύτερο φάσμα συχνοτήτων, από το αν χρησιμοποιούσαμε τη γραμμική.



Εικόνα 1: Σύγκριση λογαριθμικών και γραμμικών κλιμάκων



Εικόνα 2: Καμπύλη απόκρισης ισχύος

Ο κάθετος άξονας y σημειώνεται σε γραμμικά τμήματα, αλλά με τη χρήση των λογαριθμικών μονάδων dB, επιτρέπεται ένα πολύ μεγαλύτερο εύρος τιμών μέσα στην ίδια απόσταση. Η Λογαριθμική μονάδα είναι το dB το οποίο είναι το 1/10 του Bel, μία μονάδα που αρχικά σχεδιάστηκε για τη μέτρηση των απωλειών στα τηλεφωνικά καλώδια. Επιλέγεται στις μετρήσεις το dB γιατί το Bel είναι πολύ μεγάλο για τις ηλεκτρονικές μετρήσεις.

Άλλο ένα πλεονέκτημα, πέρα από την παροχή μίας βολικής κλίμακας στην εμφάνιση πληροφοριών ήχου, το decibel δίνει μία πιο ουσιαστική εκπροσώπηση των επιπέδων ήχου, γιατί το ανθρώπινο αυτί ανταποκρίνεται στους ήχους λογαριθμικά.

2.1.1.β Κέρδος ισχύος σε dB

Για να περιγραφεί μία αλλαγή στην έξοδο ισχύος σε όλο το συχνοτικό εύρος, χρησιμοποιείται μία καμπύλη απόκρισης απεικονιζόμενη σε dB δείχνοντας τις μεταβολές εξόδου. Οι ισχύεις σε διάφορες συχνότητες σε όλη την περιοχή συχνοτήτων συγκρίνονται με μία συγκεκριμένη συχνότητα αναφοράς «midband frequency». Η διαφορά ανάμεσα στην ισχύ της συχνότητας αναφοράς και σε οποιαδήποτε άλλη συχνότητα που μετράται δίνεται, ή τόσα περισσότερα ντεσιμπέλ (+dB) ή τόσα λιγότερα (-dB) από τη συχνότητα αναφοράς στην οποία δίνεται μία τιμή 0dB. Σύμφωνα με το σχήμα παρατηρούμε πως η μέση τιμή των 10Hz-100kHz είναι 1KHz και οι συχνότητες γύρω (εκεί όπου συνήθως η έξοδος βρίσκεται στο μέγιστο) επιλέγονται ως συχνότητα αναφοράς.

Για τον υπολογισμό του κέρδους ισχύος χρησιμοποιείται ο τύπος:

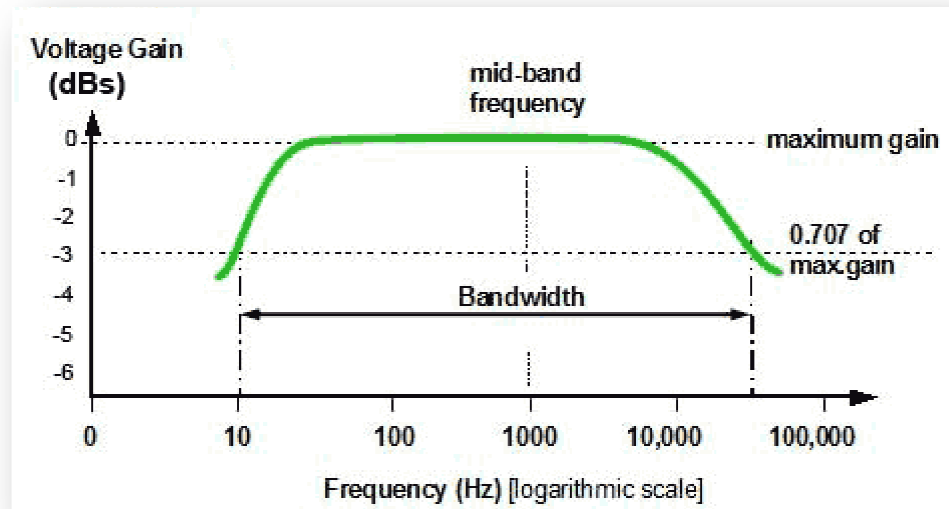
$$\text{Power (dB)} = 10 \log\left(\frac{P_1}{P_2}\right)$$

Όπου P1= midband ισχύς

P2= η ισχύς που μετράται

2.1.1.γ Κέρδος τάσης σε dB

Το κέρδος τάσης σε dB είναι μία πολύ κοινή μέτρηση για να περιγραφεί η απολαβή τάσης ενός ενισχυτή, αν και το γεγονός της ύπαρξης πολλών ντεσιμπέλ δε το καθιστά ως μία ακριβή μέτρηση, παρ' όλα είναι ευρέως αποδεκτή.



Εικόνα 3

Όταν το κέρδος τάσης συναρτήσει της συχνότητας

$$\text{Voltage (dB)} = 20 \log\left(\frac{V_{\text{out}}}{V_{\text{in}}}\right)$$

2.1.2 THD, THD+NOISE, IMD

Η μουσική είναι «φτιαγμένη» από θεμελιώδη και αρμονικές συχνότητες. Για παράδειγμα ένα βιολί παίζει τη νότα Α (λα) παράγοντας μία θεμελιώδη συχνότητα 440Hz. Επίσης όμως αναπαράγει και αρμονικές της θεμελιώδους συχνότητας που είναι τα πολλαπλάσια της, όπως 880Hz, 1220Hz, 1760Hz κι ούτω καθεξής.

Κάθε μία από τις αρμονικές συχνότητες είναι χαμηλότερη σε ένταση ή επίπεδο από τη θεμελιώδη και χρησιμεύουν στο να δώσουν στο κάθε όργανο τον μοναδικό του ήχο. Ένα πιάνο παίζει τη νότα C (ντο) όπως ακριβώς το βιολί και παρ' όλα αυτά έχει το ιδιαίτερο άκουσμα του πιάνου λόγω των αρμονικών συχνοτήτων που παράγονται και των θεμελιωδών του.

Το δυναμικό εύρος ενός ενισχυτή μπορεί να οριστεί με διάφορους τρόπους. Ένας από τους πιο συνηθισμένους, είναι να καθοριστεί η αρμονική παραμόρφωση, η συνολική αρμονική παραμόρφωση (THD), ή

η ολική αρμονική παραμόρφωση συν το θόρυβο (THD + N). Άλλες σχετικές προδιαγραφές περιλαμβάνουν παραμόρφωση ενδοδιαμόρφωσης (IMD), τα σημεία τομής (IP2, IP3), το (SFDR), και η αναλογία πολυτονικής ενέργειας (MTPR).

2.1.2.a Αρμονική παραμόρφωση

Είναι απλά ο λόγος της ενεργού τιμής της αρμονικής που μας ενδιαφέρει (2η, 3η, κλπ) στο επίπεδο του σήματος rms. Σε εφαρμογές ήχου συνήθως εκφράζεται ως ποσοστό, αλλά στις εφαρμογές επικοινωνιών, είναι πιο συχνά εκφράζεται σε dB. Μετριέται με την εφαρμογή ενός φασματικά καθαρού ημιτόνου σε έναν ενισχυτή και παρατηρώντας την έξοδο του ενισχυτή με έναν αναλυτή φάσματος.

Η ολική αρμονική παραμόρφωση χρησιμοποιείται για να χαρακτηρίσει τη γραμμικότητα των συστημάτων ήχου και την ποιότητα της ισχύος των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Όταν μετράται η ολική αρμονική παραμόρφωση ενός ενισχυτή, συγκρίνεται η διαφορά του επιπέδου των αρμονικών στο στάδιο της εξόδου, όπου εμφανίζονται κάποιες συχνότητες που δεν υπήρχαν αλλά με αρμονική σχέση, με το επίπεδο των αρμονικών κατά το στάδιο της εισόδου. Η διαφορά είναι η έκταση της παραμόρφωσης. Είναι ο λόγος της ρίζας αθροίσματος τετραγώνων όλων των αρμονικών ($2 \times 3 \times 4 \times$, κλπ) στο επίπεδο του σήματος rms. Σε γενικές γραμμές, μόνο οι πρώτες πέντε ή έξι αρμονικές είναι σημαντικές στη μέτρηση της THD.

Σε πολλές πρακτικές καταστάσεις, υπάρχει αμελητέο σφάλμα μόνο αν περιλαμβάνονται η δεύτερη και η τρίτη αρμονική, δεδομένου ότι οι όροι υψηλότερης τάξης συχνότερα είναι πολύ μειωμένοι σε πλάτος.

Όσο χαμηλότερη είναι η ολική αρμονική παραμόρφωση στα συστήματα ήχου όπως σε ένα ηχείο, ενισχυτή, μικρόφωνο ή άλλο εξοπλισμό, τόσο σημαίνει πως η αναπαραγωγή του ήχου είναι πιο ακριβής μειώνοντας την πρόσθεση από τα ηλεκτρονικά και τα ακουστικά μέσα.

Η ολική αρμονική παραμόρφωση δύσκολα γίνεται αντιληπτή από το ανθρώπινο αυτί. Ορισμένα στοιχεία έχουν τόσο χαμηλή στρέβλωση που δεν είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί ακριβής μέτρηση.

2.1.2.β Ολική αρμονική παραμόρφωση plus noise (THD + N)

Ολική αρμονική παραμόρφωση συν το θόρυβο (THD + N) είναι ο λόγος της ρίζας αθροίσματος των τετραγώνων όλων των αρμονικών και τα συστατικά του θορύβου πάνω από ένα συγκεκριμένο εύρος ζώνης για το rms επίπεδο σήματος. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η μέτρηση THD δεν περιλαμβάνει τους όρους θορύβου, ενώ THD + N το κάνει. Ο όρος θόρυβος στη μέτρηση THD + N θα πρέπει να ενσωματωθεί στο εύρος ζώνης μέτρησης, και αυτό το εύρος ζώνης θα πρέπει να καθορίζεται προκειμένου η μέτρηση να έχει νόημα.

Σε εφαρμογές, το επίπεδο του θορύβου μπορεί να μειωθεί με φίλτρα, αλλά με τη σειρά του η μείωση του THD + N αυξάνει το λόγο σήματος προς θόρυβο (SNR).

Πολλές φορές (ειδικά σε εφαρμογές ήχου) όταν μια προδιαγραφή THD είναι εισηγημένη, ο κατασκευαστής εννοεί πραγματικά το THD + N, δεδομένου ότι τα περισσότερα συστήματα μέτρησης δε διαφοροποιούν τα αρμονικά σήματα από τα άλλα σήματα. Η μέτρηση THD + N γενικά γίνεται καταγράφοντας έξω τη θεμελιώδη του σήματος (για την πρόληψη τυχόν υπεροδήγησης) και με μέτρηση του εναπομείναντος σήματος το οποίο περιλαμβάνει δύο συστατικά, τον θόρυβο και την παραμόρφωση. Οι ορισμοί των THD και THD + N δίνονται από τους τύπους:

$$\text{THD + N} = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots + V_n^2 + V_{\text{noise}}^2}}{V_s}$$

$$\text{THD} = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots + V_n^2}}{V_s}$$

Όπου V_s : πλάτος σήματος (RMS Volts)

V_2 : πλάτος δεύτερης αρμονικής (RMS Volts)

V_n : πλάτος νιοστής αρμονικής (RMS Volts)

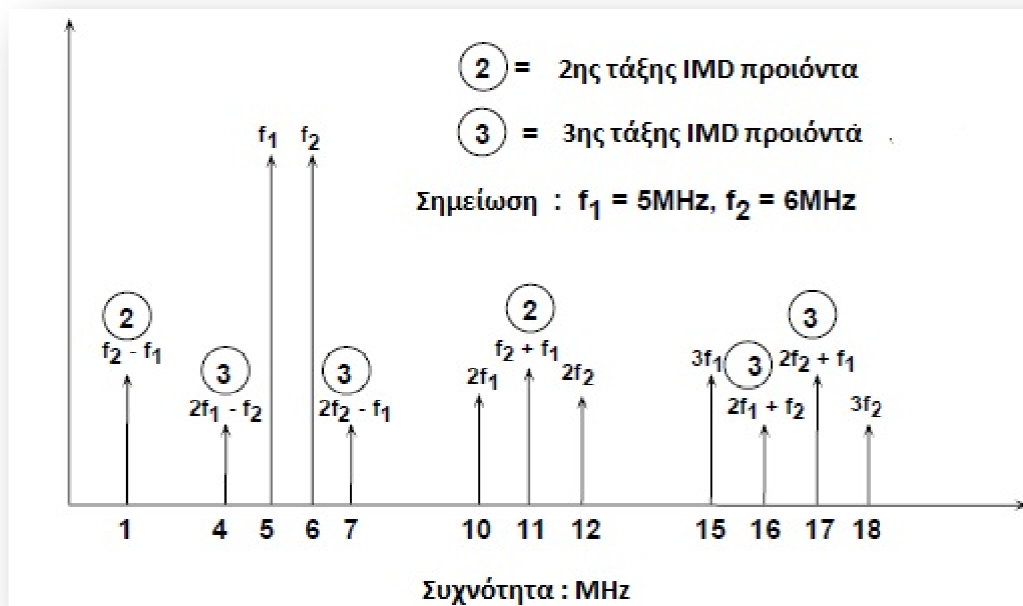
2.1.2.γ Ενδοδιαμόρφωση (Intermodulation distortion IMD)

Είναι μία από τις πιο ενδιαφέρουσες μετρήσεις ανάλυσης σήματος. Όταν ένα φασματικά καθαρό ημίτονο διέρχεται μέσω ενός ενισχυτή (ή από άλλη ενεργή συσκευή), τα διάφορα προϊόντα της αρμονικής παραμόρφωσης που θα παραχθούν εξαρτώνται από τη μ φύση και τη σοβαρότητα της μη-γραμμικότητας που θα έχουμε. Αν η απλή μέτρηση της αρμονικής παραμόρφωσης που παράγεται με απλούς ημιτονοειδείς τόνους των διαφόρων συχνοτήτων δεν δώσει όλες τις πληροφορίες που απαιτούνται για να αξιολογηθούν οι πιθανές επιδόσεις του ενισχυτή σε μια εφαρμογή επικοινωνιών, τότε στα περισσότερα συστήματα επικοινωνιών, υπάρχουν μια σειρά από κανάλια που "στοιβάζονται" σε συχνότητα.

Για να αξιολογηθεί ένας ενισχυτής σε σχέση με την παραμόρφωση λόγω της ενδοδιαμόρφωσης (IMD) που παράγεται, εισάγεται στον ενισχυτή ένα σήμα αποτελούμενο συνήθως από δύο τόνους.

Προϊόντα προερχόμενα από παραμόρφωση ενδοδιαμόρφωσης είναι ιδιαίτερου ενδιαφέροντος στην περιοχή IF και RF, και είναι μια σημαντική ανησυχία στο σχεδιασμό των ραδιοφωνικών δεκτών. Αντί απλά να εξεταστεί η αρμονική παραμόρφωση ή η ολική αρμονική παραμόρφωση (THD) που παράγεται από μια απλή είσοδο ημιτονοειδούς τόνου, συχνά απαιτείται να δούμε τα προϊόντα της παραμόρφωσης που παράγονται από δύο τόνους.

Όπως φαίνεται στο σχήμα , οι δύο αρχικοί τόνοι θα παράγουν προϊόντα δεύτερης και τρίτης τάξης ενδοδιαμόρφωσης. Το παράδειγμα δείχνει τη δεύτερη και την τρίτη σειρά προϊόντων που παράγονται με την εφαρμογή δύο συχνοτήτων, f_1 και f_2 , σε μια μη γραμμική συσκευή. Τα προϊόντα δεύτερης τάξης που βρίσκονται στο $f_2 + f_1$ και $f_2 - f_1$ είναι απομακρυσμένα από τους δύο τόνους, και μπορούν να αφαιρεθούν με φιλτράρισμα. Η τρίτη σειρά προϊόντων που βρίσκονται σε $2f_1 + f_2$ και $2f_2 + f_1$ μπορούν επίσης να φιλτραριστούν. Τα προϊόντα στην όμως στη τρίτη σειρά που βρίσκονται στο $2f_1 - f_2$ και $2f_2 - f_1$, είναι κοντά στους αρχικούς τόνους, και το να φιλτραριστούν είναι πολύ δύσκολο.



Εικόνα 4: Δεύτερης και τρίτης τάξεως προϊόντα ενδοδιαμόρφωσης

2.1.3 Αντίσταση εισόδου

Η αντίσταση εισόδου ουσιαστικά είναι η αντίσταση που τοποθετείται σε ένα κύκλωμα που διαρρέεται όχι από συνεχές, αλλά από εναλλασσόμενο ρεύμα, όπως είναι ένα ηχητικό σήμα. Μετριέται σε Ohm και σύμφωνα με τον νόμο του Ohmόπου εκφράζει τη σχέση των τριών θεμελιωδών μεγεθών του ηλεκτρισμού, που είναι η αντίσταση, η ηλεκτρική τάση και η ένταση ρεύματος.

Εκφράζεται με την εξίσωση:

$$I = V / R$$

όπου I είναι η ένταση σε Amber, V η τάση σε Volt και R η αντίσταση σε Ohm.

Σε ένα καθαρά ωμικό κύκλωμα, η αντίσταση εισόδου είναι το ίδιο πράγμα, ενώ στην περίπτωση ενός αντιδραστικού κυκλώματος (που

περιέχει πυκνωτές ή επαγωγείς) τότε η αντίσταση ποικίλλει ανάλογα με τη συχνότητα του σήματος που εφαρμόζεται.

Στις περιπτώσεις εξοπλισμού ήχου, που είναι δυνατόν να ρυθμιστεί, το κύκλωμα σχεδιάζεται έτσι ώστε η σύνθετη αντίσταση εισόδου να παραμείνει σταθερή σε όλο το ηχητικό εύρος. Αυτό ωστόσο δεν είναι πάντα δυνατόν, γιατί τα μεγάφωνα παρουσιάζουν σημαντική αλλαγή στην αντίσταση ή κοντά στη συχνότητα συντονισμού των οδηγών.

Οι ενισχυτές είναι συσκευές εξοικονόμησης τάσης ρεύματος. Ενισχύουν μια τάση που τροφοδοτείται στον ενισχυτή και δίνουν το ίδιο σήμα ως έξοδο με ένα πολύ μεγαλύτερο κέρδος. Για να λάβει ένας ενισχυτής το σήμα τάσης ως είσοδο, το σήμα τάσης θα πρέπει να μειωθεί σε όλο τον ενισχυτή. Στην περίπτωση του διαιρέτη τάσης, η τάση πέφτει αναλογικά σε όλα τα εξαρτήματα, κατά κύριο λόγο με υψηλές σύνθετες αντιστάσεις, σύμφωνα με το νόμο του Ohm. Έτσι όσο μεγαλύτερη είναι η αντίσταση μιας συσκευής, τόσο μεγαλύτερη είναι η πτώση τάσης στα άκρα της εν λόγω της συσκευής.

Για να είναι βέβαιο ότι το σήμα τάσης πέφτει πλήρως, ο ενισχυτής θα πρέπει να έχει μία πολύ υψηλή αντίσταση εισόδου, έτσι ώστε η τάση να πέφτει πλήρως. Αν είχε μια χαμηλή αντίσταση εισόδου, η τάση δε θα μπορούσε να πέσει και δεν θα λάμβανε το σήμα ο ενισχυτής. Αυτός είναι ο λόγος που ο ενισχυτής πρέπει να έχει υψηλή σύνθετη αντίσταση εισόδου.

Ένας ακόμη λόγος για τον οποίο ο ενισχυτής χρειάζεται υψηλή αντίσταση εισόδου, είναι εξαιτίας του φαινομένου της φόρτωσης. Αν οι ενισχυτές είχαν πολύ χαμηλή αντίσταση εισόδου, τότε θα συνέλεγαν πολύ μεγάλες ποσότητες ρεύματος, το οποίο θα ήταν ένα πολύ μεγάλο φορτίο με καταστρεπτικές συνέπειες για το κύκλωμα.

Με την πολύ υψηλή αντίσταση εισόδου σε ρόλο μικρού φορτίου, εξασφαλίζεται πως η κατανάλωση του ρεύματος θα είναι πολύ από το κύκλωμα και δε θα προκληθεί πρόβλημα φόρτωσης. Θα μπορούσε να χαρακτηριστεί οξύμωρο πως η υψηλή αντίσταση εισόδου λειτουργεί ως ένα μικρό φορτίο, αλλά σύμφωνα με το νόμο του Ohm, όσο μεγαλύτερη είναι η αντίσταση μίας συσκευής, τόσο μικρότερο είναι το ρεύμα που απαιτείται για τη λειτουργία του. Η χαμηλή αντίσταση εισόδου θα οδηγήσει στην έξοδο υψηλά ποσά ρεύματος.

Τέλος, ένας ακόμη λόγος που οι ενισχυτές λειτουργούν καλύτερα ως συσκευές υψηλής αντίστασης, είναι γιατί με αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται η εισαγωγή θορύβου από τα καλώδια που οδηγούν το σήμα από την πηγή προς τον ενισχυτή.

2.1.4 Αντίσταση εξόδου

Η αντίσταση εξόδου μιας ηλεκτρονικής συσκευής είναι η αντίθεση που εμφανίζεται από τους ακροδέκτες της εξόδου της, σε ένα εναλλασσόμενο ρεύμα μιας συγκεκριμένης συχνότητας, ως αποτέλεσμα της αντίστασης, της αυτεπαγωγής και της χωρητικότητας. Είναι η ισοδύναμη σύνθετη αντίσταση Thévenin.

Στην περίπτωση μιας μη γραμμικής συσκευής, όπως είναι ένα τρανζίστορ, ο όρος «σύνθετη αντίσταση εξόδου» συνήθως αναφέρεται στην επίδραση επάνω σε ένα, μικρού εύρους, σήμα και θα ποικίλει ανάλογα με το σημείο πόλωσης του τρανζίστορ, δηλαδή, με το συνεχές ρεύμα (DC ρεύμα) και την τάση που εφαρμόζεται στη συσκευή.

Ένας ενισχυτής χρειάζεται μια χαμηλή αντίσταση εξόδου. Μόλις η τάση πέσει σε όλο τον ενισχυτή και αυτός κάνει το έργο της επέκτασης του σήματος, το σήμα πρέπει να πέσει σε όλη την συσκευή την οποία τροφοδοτεί ο ενισχυτή. Για παράδειγμα, ας πούμε ότι έχουμε ένα κύκλωμα μικρόφωνου. Τα σήματα του ομιλητή που λαμβάνει το μικρόφωνο χρειάζονται ενίσχυση από έναν ενισχυτή, έτσι ώστε να μπορέσουν να φτάσουν σε ένα επίπεδο που να μπορούν να «κινήσουν» τα ηχεία. Όταν τα σήματα ενισχυθούν, πρέπει να «πέσουν» στα ηχεία. Τα ηχεία δηλαδή θα πρέπει να είναι μεγαλύτερης αντίστασης από την έξοδο του ενισχυτή, έτσι ώστε τα σήματα τάσης να πέσουν πάνω στα ηχεία.

Ένας ενισχυτής χρειάζεται μια πολύ χαμηλή αντίσταση εξόδου, έτσι ώστε το ενισχυμένο σήμα τάσης να πέσει στα ηχεία και όχι στον ενισχυτή. Εάν δεν γίνει έτσι, τα ενισχυμένα σήματα τάσης θα πέσουν σε όλη την αντίσταση εξόδου του ενισχυτή και μόνο εν μέρει στα ηχεία. Τα ηχεία δεν θα λάβουν σχεδόν κανένα σήμα και αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την πιθανότητα στην έξοδο να μην ακουστεί τίποτα. Αυτός είναι ο λόγος που ο ενισχυτής χρειάζεται χαμηλές αντιστάσεις εξόδου, για να είναι σε θέση να μπορεί να οδηγήσει τα ενισχυμένα σήματα στην επιθυμητή συσκευή και όχι επάνω του.

2.1.5 Παραμόρφωση φάσης

Με τον όρο παραμόρφωση εννοείται η διαφορά στη μορφή του σήματος, που λαμβάνεται στην έξοδο μιας ηλεκτρονικής διάταξης, από τη μορφή του εφαρμοζόμενου σήματος στην είσοδο της ίδιας διάταξης. Τα ηλεκτρικά σήματα, κατά τη μετάδοσή τους μέσα από καλώδια ή συσκευές, είναι δυνατόν να παρουσιάσουν διάφορες παραμορφώσεις, οι οποίες μπορούν να ταξινομηθούν βασικά σε τρεις κατηγορίες: α) παραμόρφωση συχνότητας, β) μη γραμμική παραμόρφωση, γ) παραμόρφωση φάσης.

Η παραμόρφωση φάσης οφείλεται στη διαφορετική ταχύτητα μετάδοσης των διαφόρων συχνοτήτων μέσω της διάταξης, με αποτέλεσμα τη διαφορετική μετατόπιση της αρχικής φάσης αυτών στην έξοδο. Παρουσιάζεται όταν ο ρυθμός μεταβολής της μετατόπισης φάσης με συχνότητα πάνω από το απαιτούμενο εύρος ζώνης του σήματος δεν είναι σταθερός και συνήθως εκφράζεται ως το ήμισυ της διαφοράς μεταξύ των καθυστερήσεων των δύο άκρων του αναγκαίου εύρους ζώνης.

Η εξάλειψη της παραμόρφωσης φάσης έχει εξαιρετικά μεγάλη σημασία σε όλες τις περιπτώσεις κατά τις οποίες ο ήχος μετατρέπεται σε ηλεκτρικό σήμα ή και αντίστροφα. Πράγματι, τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των σημάτων (πλάτος, συχνότητα, φάση) συνδέονται προς τα χαρακτηριστικά των ήχων, γι' αυτό, η παραμόρφωση του σήματος προκαλεί πάντοτε ελαττώματα κατά την αναπαραγωγή.

Γενικά, παραμόρφωση εμφανίζεται σε μια ηλεκτρονική διάταξη όταν τα στοιχεία που τη συνθέτουν (πυκνωτές, αντιστάσεις, μετασχηματιστές, λυχνίες, τάσεις) δεν έχουν τη σωστή προσαρμογή μεταξύ τους, ή ακόμα όταν απαιτούνται άλλες επιδόσεις, όπως για παράδειγμα μία υψηλότερη ενίσχυση. Στη φυσική ακουστική, δηλαδή στα φαινόμενα που συνδέονται με τη διάδοση του ήχου στον αέρα, η παραμόρφωση σχετίζεται με ήχους υψηλής έντασης, και μάλιστα, με την ανάπτυξη της αεροναυτικής, θεωρείται ότι οι κλασικές εξισώσεις των ηχητικών κυμάτων, σύμφωνα με τις οποίες το πλάτος της ηχητικής πίεσης μπορεί να θεωρηθεί απειροστό συγκριτικά με την ατμοσφαιρική πίεση, δεν ισχύουν για ηχητικές στάθμες πίεσης ανώτερες των 140 ντεσιμπέλ. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη σταθερή παρουσία μη γραμμικής παραμόρφωσης.

2.1.6 Ευαισθησία εισόδου

Η ευαισθησία εισόδου ορίζεται ως η απαιτούμενη στάθμη σήματος που χρειάζεται στην είσοδο του ενισχυτή για να αναπτυχθεί στην έξοδο η μέγιστη δυνατή ένταση. Δείχνει ποιες πηγές σημάτων είναι σε θέση ο ενισχυτής να χειριστεί και να παράγει πλήρη ισχύ αν αυτό κριθεί αναγκαίο. Η ευαισθησία εισόδου επίσης υποδηλώνει σε ποιο σημείο πρέπει να τοποθετηθεί η ένταση και πόσο γρήγορος είναι ο ρυθμός της αύξησης της έντασης όταν αυξάνεται από το χρήστη.

Όλα τα compact disc παράγουν μέγιστη απόδοση στην έξοδο 2Volt, όπως έχει επίσημα καθοριστεί. Το ίδιο ισχύει και για τα dvd player και για τα blue-ray που τα διαδέχτηκαν. Οι ενισχυτές συνήθως έχουν μία ευαισθησία εισόδου γύρω στα 400mV για τις πηγές αυτές σε όλες τις γραμμικές εισόδους, όπως είναι το CD, Aux, Tape, (η είσοδος phono δε περιλαμβάνεται, σε περίπτωση που υπάρχει). Εντούτοις η ευαισθησία στην είσοδο αυξάνεται για να μπορεί να διαχειριστεί παλαιού τύπου πηγές, όπως είναι κασετόφωνα και ραδιόφωνα που αποδίδουν 100mV-300mV και ιδιαίτερα phono εξωτερικά στάδια που μετά βίας παράγουν 100mV στην έξοδο.

Ένας ενισχυτής με υψηλή ευαισθησία εισόδου φτάνει στη μέγιστη ένταση πολύ γρήγορα, όσο αυξάνεται η ένταση, δίνοντας την αίσθηση υψηλής ισχύος, ανεξάρτητα από την πραγματική παραγωγή. Γι' αυτό το λόγο, καθώς επίσης και διευρύνοντας τη συμβατότητα με τις πηγές, η ευαισθησία αυξάνεται στους σύγχρονους ενισχυτές.

Η ευαισθησία εισόδου είναι άμεσα εξαρτώμενη από το gain, την απολαβή και την ολική ισχύ του ενισχυτή. Έχοντας όμως αύξηση κέρδους σε ένα ενισχυτή, αυξάνεται και η πολυπλοκότητα στον έλεγχο της αυξομείωσης.

Ρυθμιζόμενη ευαισθησία εισόδου παρέχεται σε ορισμένους ενισχυτές κι έτσι δεν είναι απαραίτητη η αναδιαρρύθμιση της έντασης κατά τη διάρκεια της μεταπήδησης από τις υψηλές στις χαμηλές εντάσεις.

Οι ενισχυτές με υψηλή ευαισθησία εισόδου αποδίδουν και μεγαλύτερα επίπεδα θορύβου στην έξοδο, για το λόγο ότι ο θόρυβος

καθορίζεται από το θόρυβο στο πρώτο στάδιο ο οποίος πολλαπλασιάζεται με την επακόλουθη αύξηση. Όταν όμως το gain είναι απενεργοποιημένο, ο θόρυβος μειώνεται αναλόγως χωρίς να είναι ευδιάκριτη η παρουσία του.

Μία ευρέως χρήσιμη ευαισθησία εισόδου θεωρείται στα 200mV που είναι σε θέση να ανταπεξέλθει στις περισσότερες πηγές.

2.1.7 Crosstalk

Το crosstalk είναι το φαινόμενο μίας μη επιθυμητής σύζευξης των σημάτων μεταξύ των καναλιών ενός ενισχυτή. Δημιουργείται εξαιτίας εξωτερικών παραγόντων, όπως είναι τα τροφοδοτικά, τα καλώδια κ.λπ. Τα ηλεκτρικά κυκλώματα, έχοντας μία επαγωγική ή χωρητική σχέση, είναι δυνατόν να διαρρεύσει ρεύμα από το ένα κανάλι του ενισχυτή στο άλλο, με τη μείωση της σύνθετης αντίστασης.

Το crosstalk εμφανίζεται στις μετρήσεις με αρνητική τιμή των dB που σημαίνει πως οι χαμηλότερες τιμές παρουσιάζουν τα μεγαλύτερα ποσοστά θορύβου και υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\text{dB} = 20\log (\text{Vδιαρροής}/\text{Vκανονικό})$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3- ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Ο ενισχυτής που είχαμε στα χέρια μας είναι της ελληνικής εταιρίας Tsakiridis Devices και συγκεκριμένα το μοντέλο Apollo. Χρησιμοποιεί στο στάδιο εισόδου τις 12AT7 (οδήγηση), ενώ στο στάδιο εξόδου τις EL34 σε τοπολογία push-pull. Με 4 λυχνίες εξόδου και 2 στην οδήγηση σύμφωνα με τον κατασκευαστή έχουμε:

Ισχύς εξόδου : 70W σε πέντοδο λειτουργία, 40W σε τρίοδο λειτουργία

Απόκριση συχνότητας : 20Hz – 20kHz (>0,2dB)

Ευαισθησία εισόδου : 350m Vrms



Εικόνα 33: Ενισχυτής Apollo

6.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά

- Περιγραφή: Τελικός ενισχυτής μονομπλόκ, push-pull
 - Λυχνίες: 4x EL34 (ισχύος), 2x 12AT7 (οδήγηση)
 - Ισχύς: 70W (πέντοδος), 40W (τρίοδος)
 - Απόκριση συχνότητας: 20Hz-20kHz (>0.2dB)
 - Ευαισθησία εισόδου: 350mVrms
- Άλλες δυνατότητες:
- Επιλογή κέρδους της ανάδρασης (6/9dB),
 - επιλογή συνδεσμολογίας λυχνιών ισχύος (τρίοδος/πέντοδος),
 - ακροδέκτες ρύθμισης των ρευμάτων πόλωσης
 - Διαστάσεις: 270x430x220 (mm, πxβxυ) Βάρος: 20kg

6.2 Επίσημες μετρήσεις κατασκευαστή

Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων τα αποτελέσματα ως προς την **ισχύ εξόδου** ήταν τα εξής :

Πίνακας 1:

	Συνδεσμολογία Πεντόδου	Συνδεσμολογία Τριόδου
80hm	84.8Wrms	47.6Wrms
40hm	55Wrms	40Wrms

- Για την μέτρηση της ισχύς εξόδου συνδέσαμε στην είσοδο του ενισχυτή μια γεννήτρια συχνοτήτων και στην έξοδο ένα πολύμετρο με δυνατότητα μέτρησης πραγματικής ενεργού τιμής, ένα παλμογράφο και στη θέση του ηχείου συνδέσαμε ένα ωμικό φορτίο αποτελούμενο στην περίπτωση μας από αντιστάσεις ισχύος 80hm και 4 Ohm. Με ημιτονικό σήμα από τη γεννήτρια συχνότητας 1kHz αυξάνουμε το πλάτος εξόδου της και παρακολουθούμε την κυματομορφή στον παλμογράφο. Στο σημείο ψαλιδισμού σημειώνουμε την ένδειξη από το πολύμετρο. Χρησιμοποιώντας τον γνωστό τύπο από τη φυσική βρίσκουμε τη ζητούμενη ισχύ :

$$P= V^2/ R$$

Όπου V: η ένδειξη του πολυμέτρου,

R: η αντίσταση που έχουμε τοποθετήσει στην έξοδο του ενισχυτή.

Πραγματοποιούμε δύο μετρήσεις, μία για αντίσταση 8 Ohm και μια για αντίσταση 4 Ohm.

- Η μέτρηση της **παραμόρφωσης** μας έδωσε στατική τιμή 1.3% THD+N σε φορτίο 8ohm σε συνδεσμολογία πεντόδου και 0.8% THD+N σε συνδεσμολογία τριόδου (Η μέτρηση πραγματοποιήθηκε με ισχύ εξόδου στο ένα τρίτο της μέγιστης τιμής).

Για τη μέτρηση της παραμόρφωσης συνδέσαμε μια γεννήτρια σήματος στην είσοδο του ενισχυτή και στην έξοδο ένα spectrum analyzer H/Y. Στον ενισχυτή δεν υπάρχει ενδεικτικό led για να μπορεί να μας δείξει ότι η τάση του ενισχυτή φτάνει στο τέρμα, επομένως τοποθετήσαμε ένα παλμογράφο για να πάρουμε μετρήσεις πριν το σημείο ψαλιδισμού.

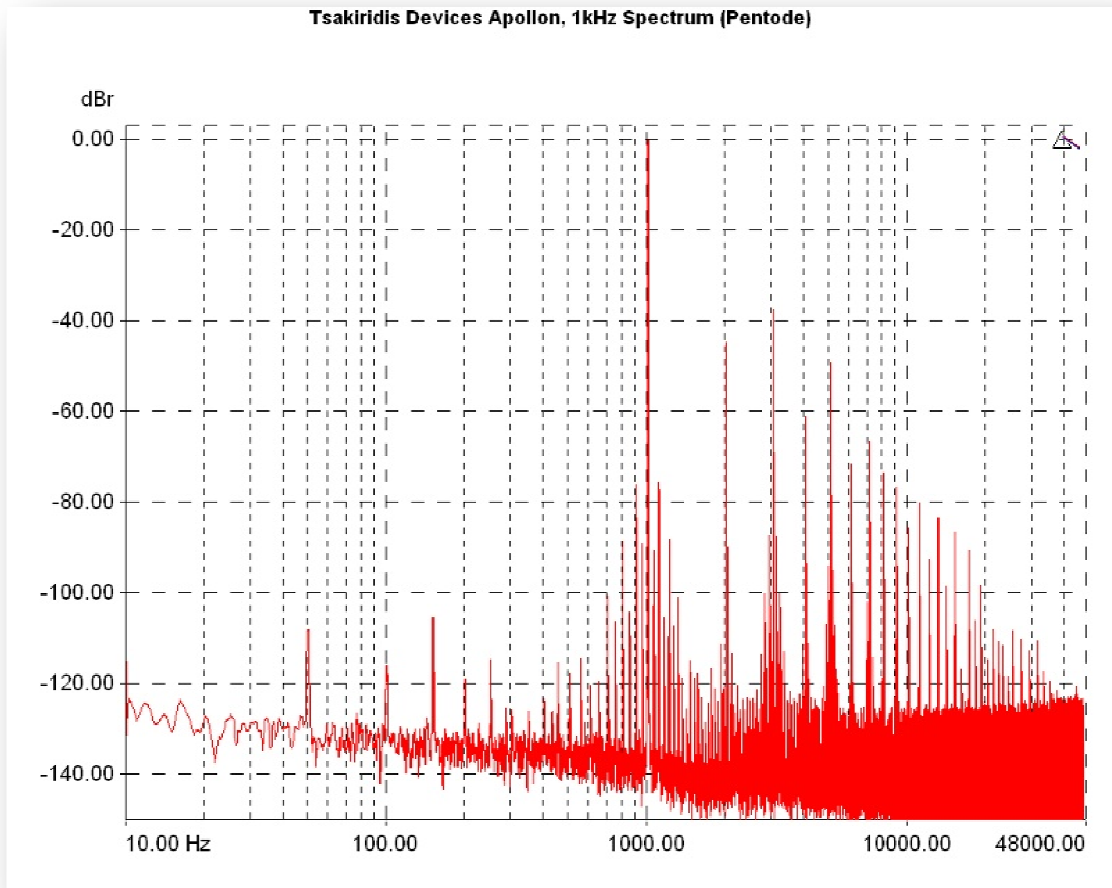
Πήραμε λοιπόν μετρήσεις για τα πλάτη των αρμονικών και της θεμελίου χρησιμοποιώντας το σταυρόνημα του spectra Lab και υπολογίσαμε την ολική αρμονική παραμόρφωση σε dB και σε ποσοστό επί τοις %. Η ολική αρμονική παραμόρφωση ορίζεται το άθροισμα των πλατών των τάσεων των αρμονικών που παράγονται (V_2, V_3, \dots, V_n) προς το πλάτος της θεμελίου V_1 .

$$\text{THD} = (V_2 + V_3 + \dots + V_n) / V_1.$$

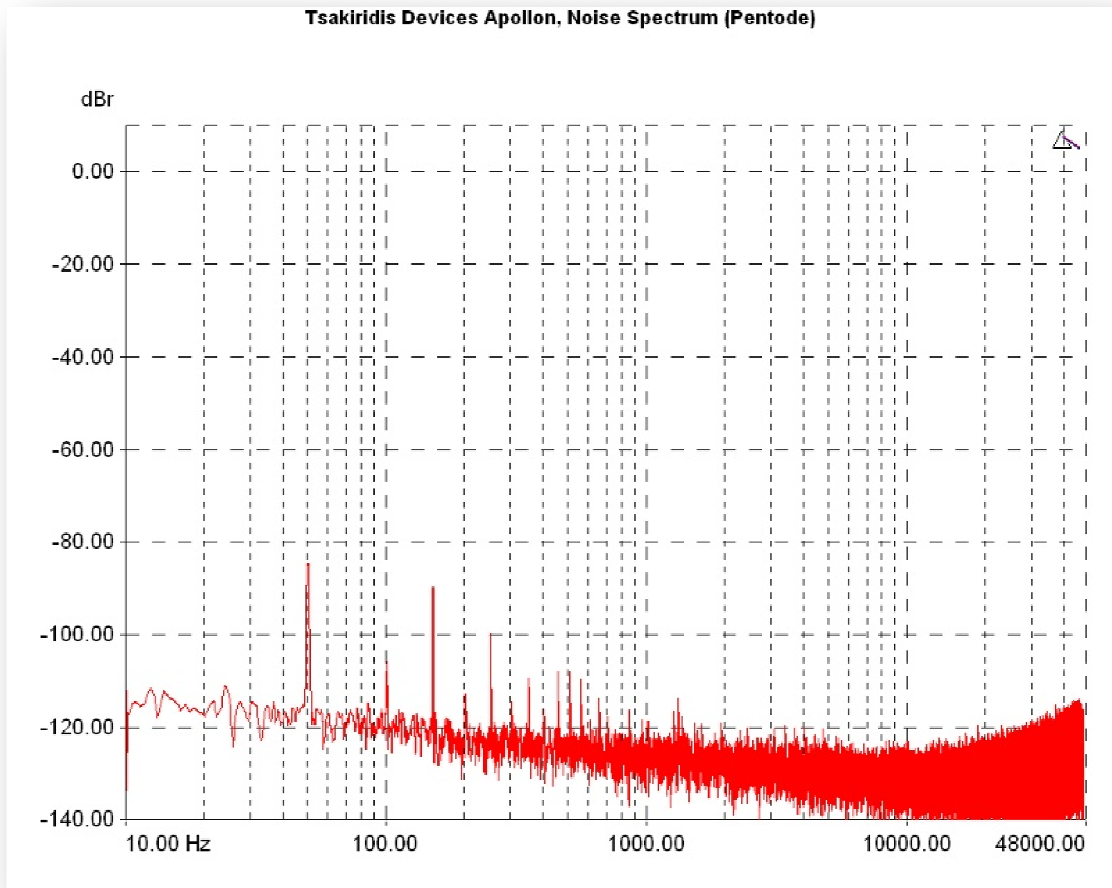
Και σε dB

$$\text{THD dB} = 20 \log (V_2 + V_3 + \dots + V_n) / V_1$$

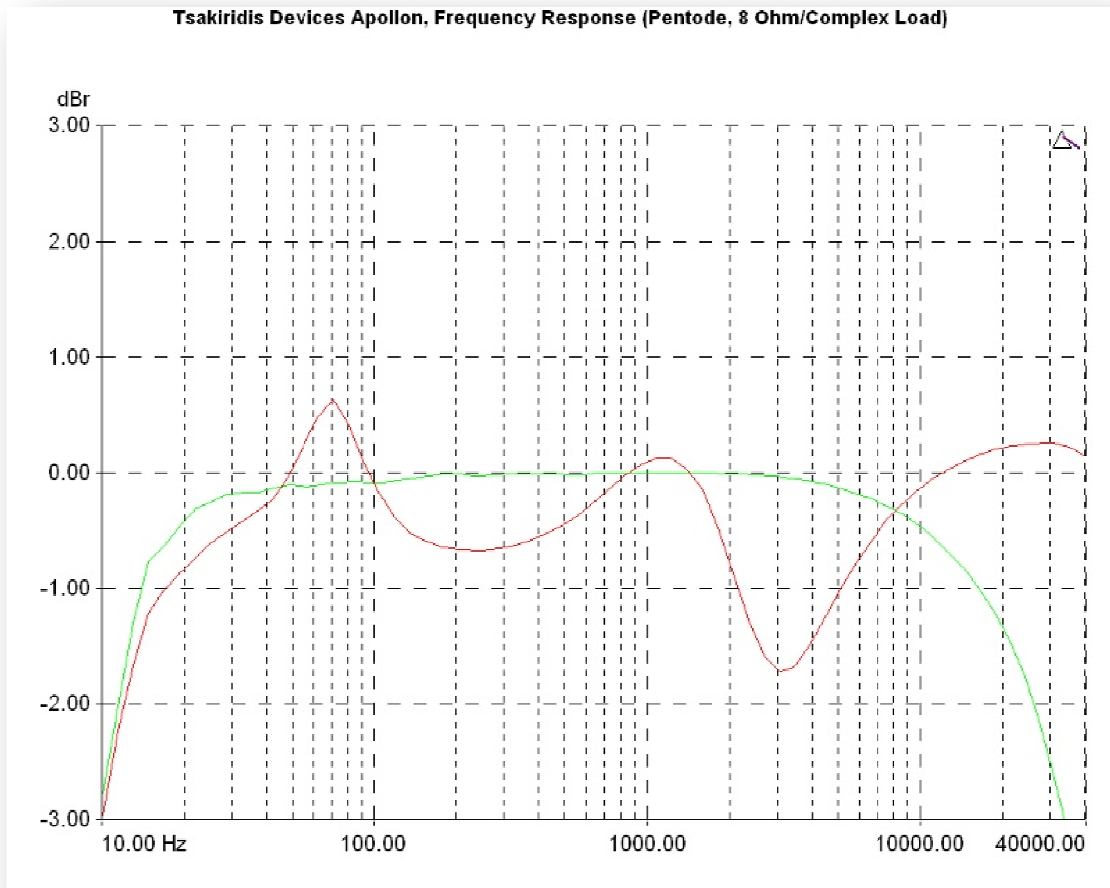
Η παραμόρφωση ενδοδιαμόρφωσης μετρήθηκε στο 1% ενώ η στάθμη θορύβου σχεδόν στα -80dBr (A).



Εικόνα 5: Φάσμα αρμονικών για σήμα 1kHz για ισχύ εξόδου 30Wrms, αντίσταση εξόδου 8ohm σε πέντοδο λειτουργία.

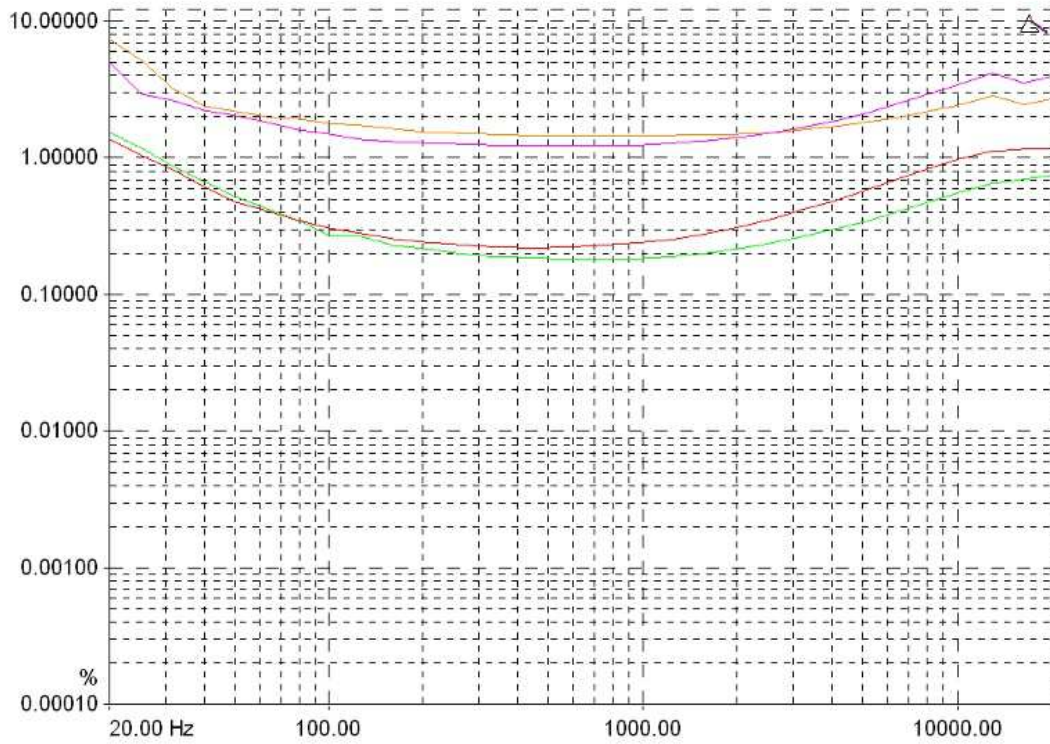


Εικόνα 6: Φάσμα θορύβου στην έξοδο, με ισχύ $1W_{rms}$, αντίσταση εξόδου 80Ω , σε πέντοδο συνδεσμολογία με είσοδο βραχυκυκλωμένη.

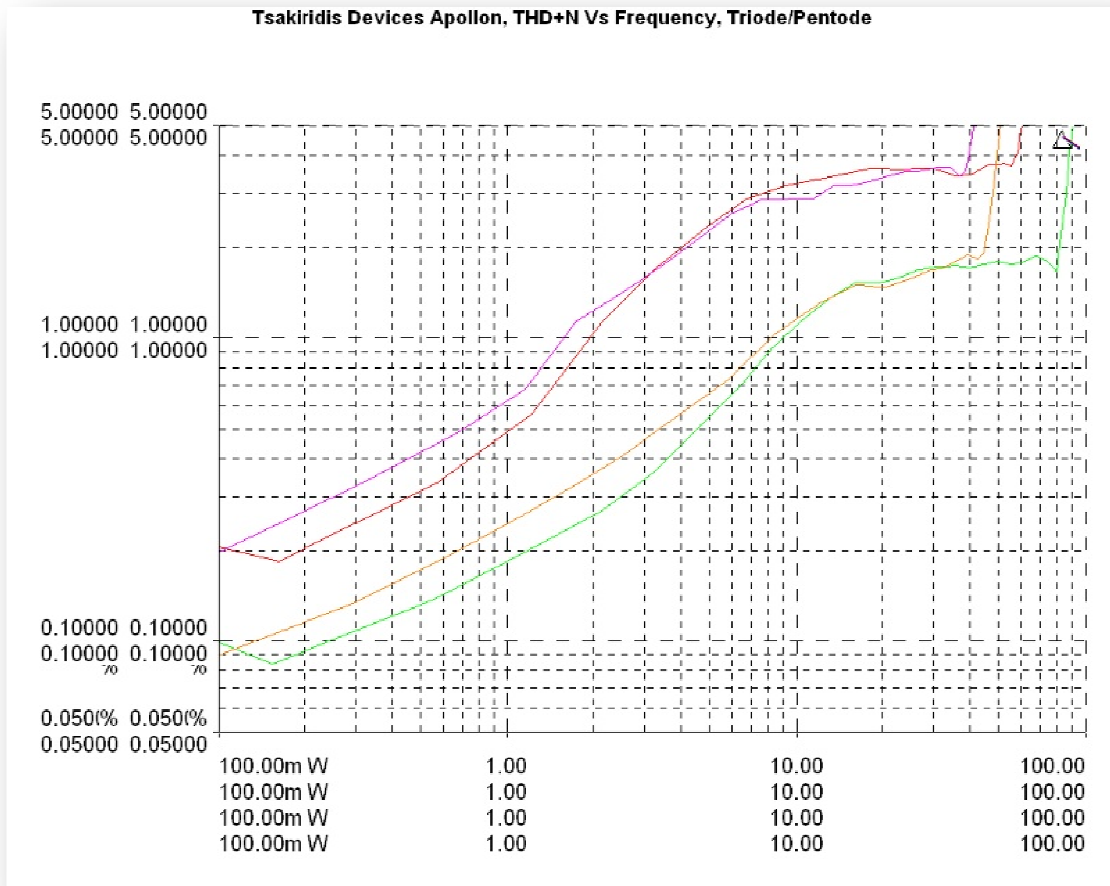


Εικόνα 7: Απόκριση συχνότητας, ισχύ εξόδου 30Wrms, αντίσταση εξόδου 8ohm, σε πέντοδο συνδεσμολογία. (Μέτρηση με ωμικό φορτίο-πράσινη καμπύλη και με σύνθετο φορτίο- κόκκινη καμπύλη).

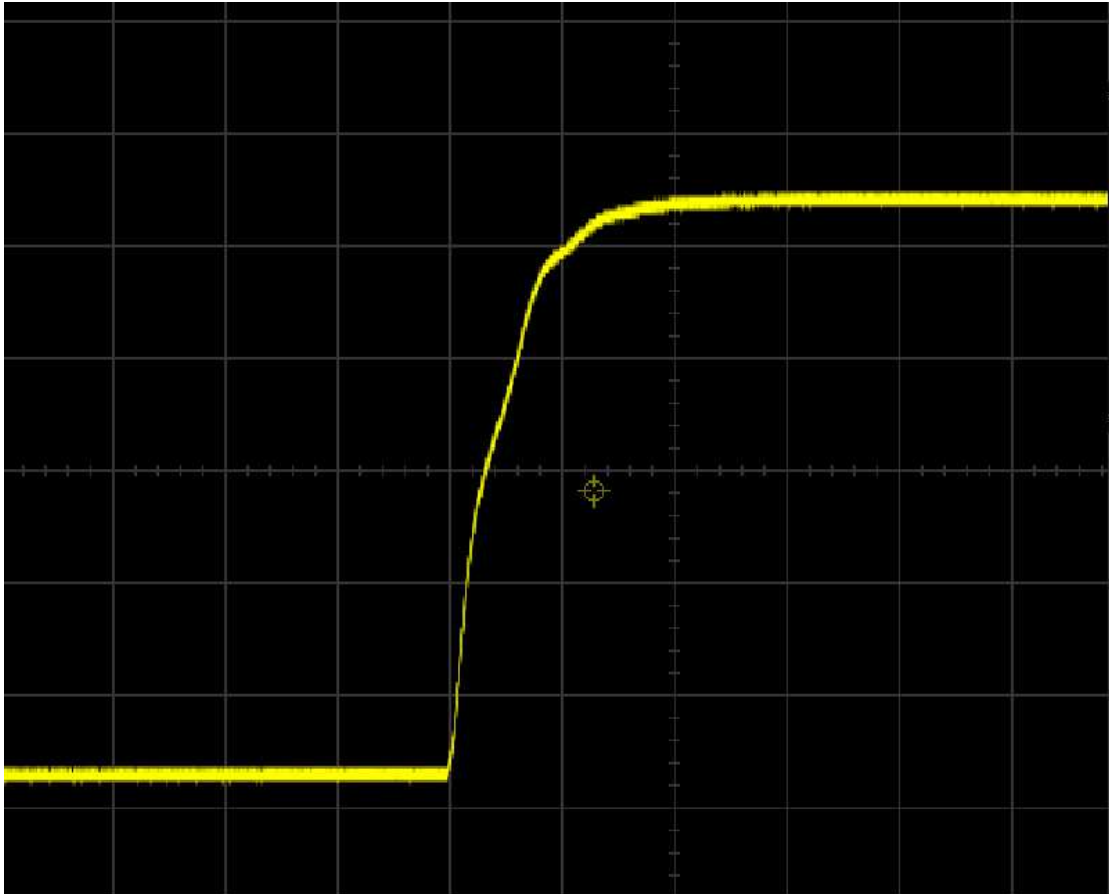
Tsakiridis Devices Apollon, THD+N Vs Frequency, Triode/Pentode



Εικόνα 8: THD+N σε συνάρτηση με τη συχνότητα. Έξοδος 1Wrms , αντίσταση εξόδου 80hm, πέντοδος συνδεσμολογία(πράσινη καμπύλη), τρίοδος συνδεσμολογία (κόκκινη καμπύλη). Έξοδος 30Wrms , αντίσταση εξόδου 80hm, πέντοδος συνδεσμολογία (πορτοκαλί καμπύλη), τρίοδος συνδεσμολογία (ιώδης καμπύλη).



Εικόνα 9: THD+N σε συνάρτηση με την ισχύ εξόδου. Συχνότητα 1KHz, πέντοδος συνδεσμολογία, φορτίο 80hm (πράσινη καμπύλη) και 40hm (κόκκινη καμπύλη). Τρίοδος συνδεσμολογία, φορτίο 80hm (πορτοκαλί καμπύλη) και 40hm (ιώδης καμπύλη).

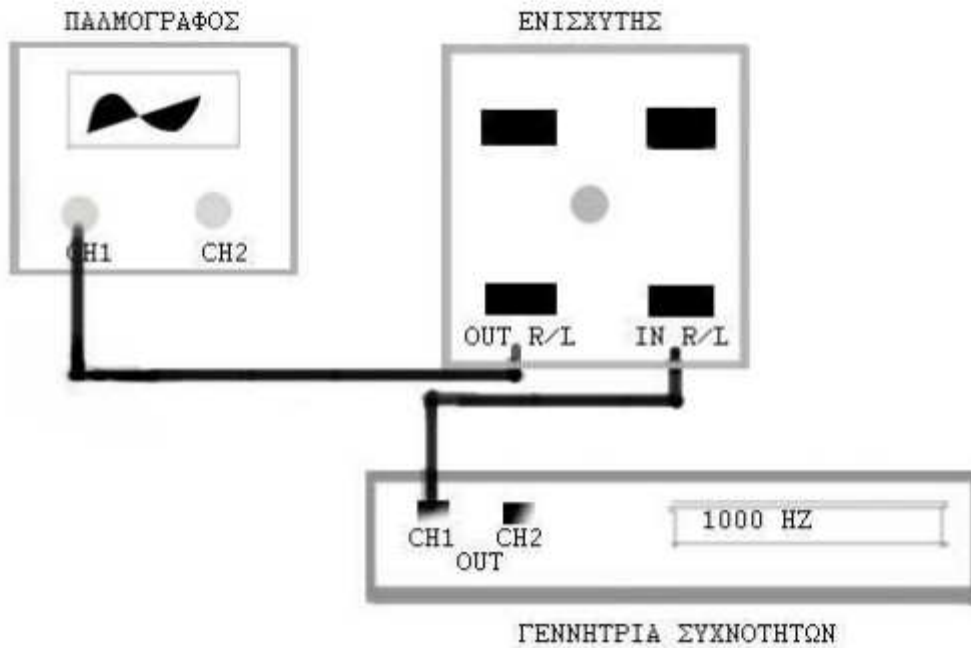


Εικόνα 10: Απόκριση σε τετραγωνικό σήμα 1KHz. Μέγιστη τάση εξόδου σε φορτίο 80hm (πέντοδος συνδεσμολογία). Οριζόντιος άξονας 20μS/Div, κατακόρυφος άξονας 13V/Div.

6.3 Μετρήσεις- αποτελέσματα

Μέτρηση συχνοτικής απόκρισης:

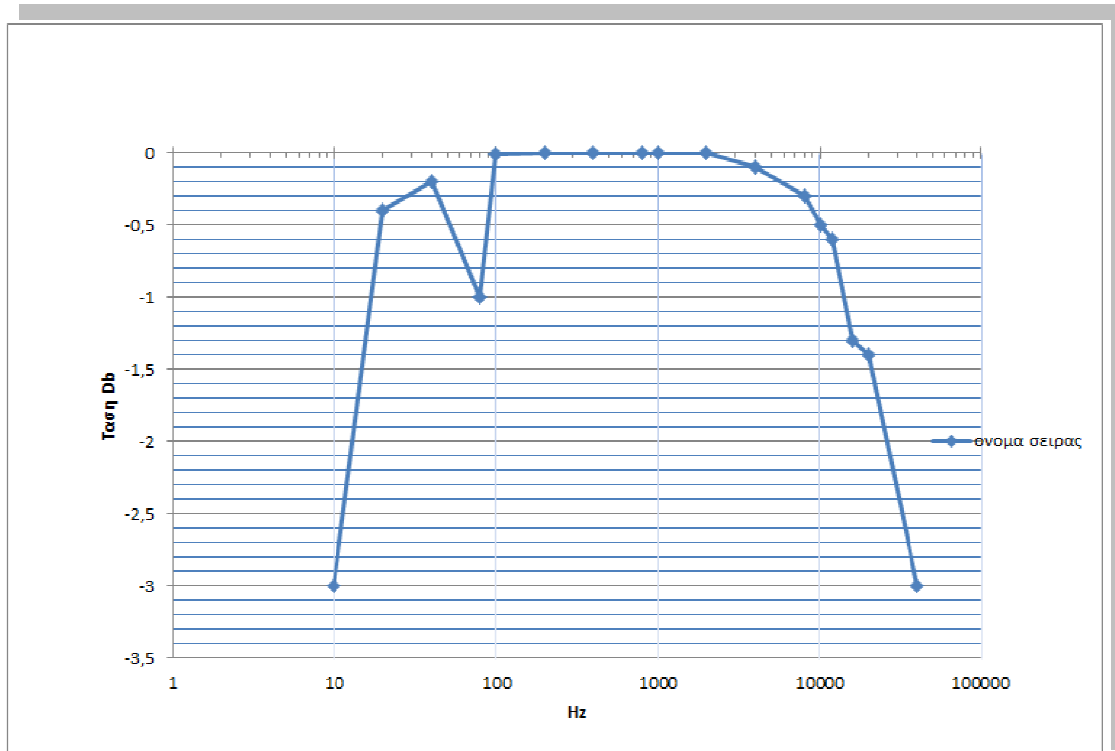
Διάταξη για τη μέτρηση της συχνοτικής απόκρισης του ενισχυτή :



Εικόνα 11: Συνδεσμολογία

Πίνακας 2: Τα αποτελέσματα των μετρήσεων σε dBr είναι:

F(Hz)	dB
10	-3.00
20	-0.40
40	-0.20
80	-0.10
100	-0.01
200	0.00
400	0.00
800	0.00
1000	0.00
2000	0.00
4000	-0.10
8000	-0.30
10000	-0.50
12000	-0.60
16000	-1.30
20000	-1.40
40000	-3.00



Εικόνα 12: Γραφική παράσταση συχνοτικής απόκρισης

Από τις μετρήσεις παρατηρούμε ότι χαμηλά ο ενισχυτής κατεβαίνει μέχρι τα 10Hz (-3dB) ενώ στην περιοχή των υψηλών συχνοτήτων ξεπερνάει άμεσα τα 20Hz και η εξασθένιση των -3dB εμφανίζεται λίγο πάνω από τα 30KkHz.

Παρατήρηση: Στην μέτρηση στα 80Hz παρατηρείται ένα λάθος στην γραφική παράσταση το οποίο πιθανότατα να οφείλεται σε συστηματικό λάθος.

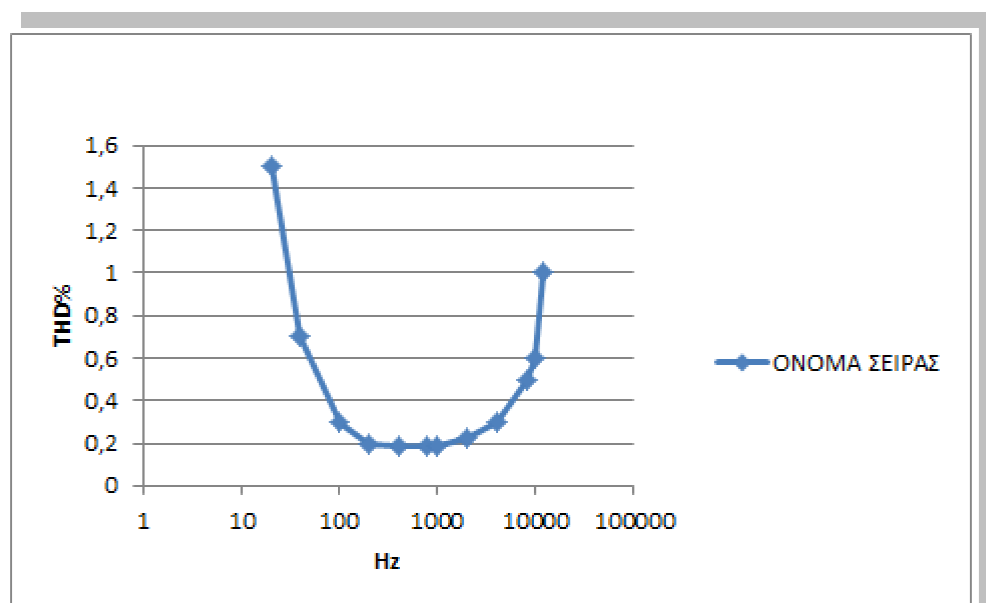
Μέτρηση παραμόρφωσης ως προς τη συχνότητα και ως προς την ισχύ εξόδου

Για τη μέτρηση της παραμόρφωσης θα χρησιμοποιήσουμε μία γεννήτρια συχνοτήτων, ένα παλμογράφο κι ένα spectrum analyzer. Συνδέουμε τη γεννήτρια στην είσοδο του ενισχυτή και παρακολουθούμε την

κυματομορφή στον παλμογράφο. Έτσι θα εντοπίσουμε το σημείο ψαλιδισμού, δηλαδή το σημείο λήψης της μέτρησης. Στο spectrum analyzer θα έχουμε την επιθυμητή μέτρηση. Οι μετρήσεις συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα :

Πίνακας 3: Παραμόρφωση εξόδου ως προς τη συχνότητα

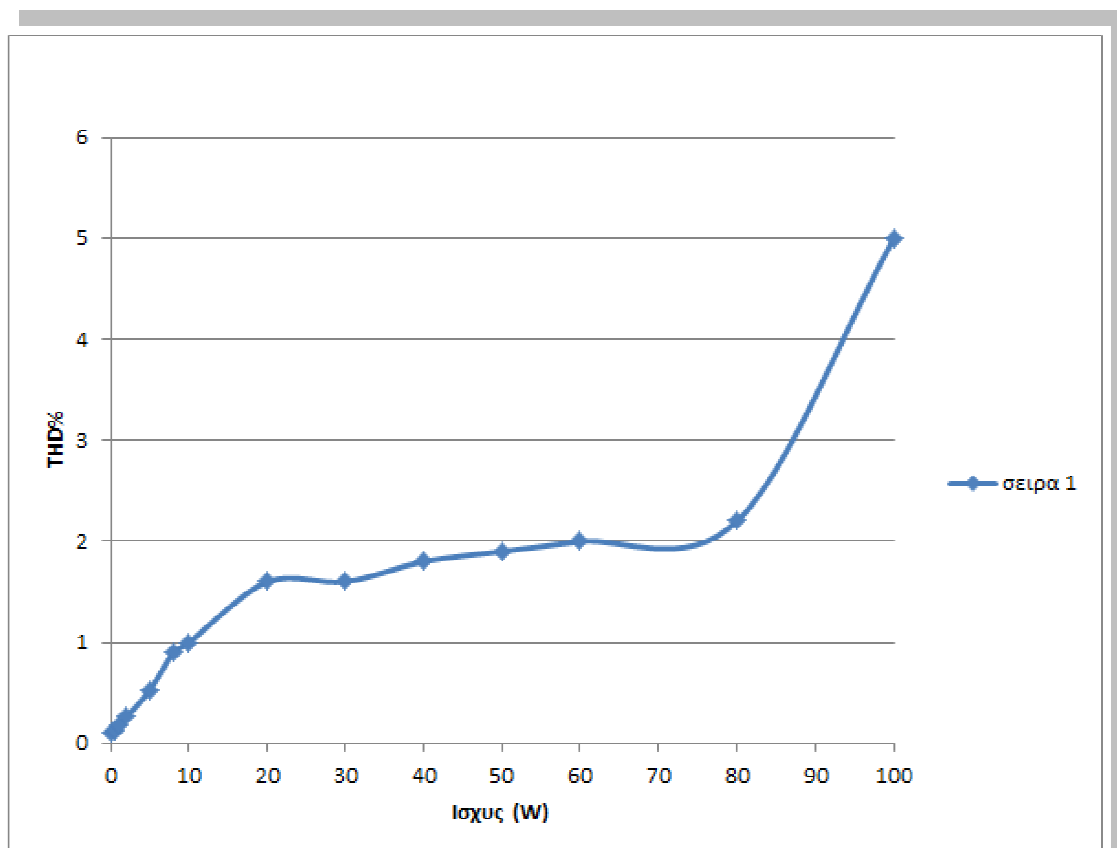
HZ	THD%
20	1.50
40	0.70
100	0.30
200	0.20
400	0.19
800	0.19
1000	0.19
2000	0.22
4000	0.30
8000	0.50
10000	0.6
12000	1.00



Εικόνα 13:Γραφική παράσταση παραμόρφωσης ως προς τη συχνότητα

Πίνακας 4: Παραμόρφωση εξόδου ως προς την ισχύ

Ισχύς (W)	THD%
0.1	0.10
0.5	0.12
1.0	0.18
2.0	0.26
5.0	0.53
8.0	0.90
10.0	1.00
20.0	1.60
30.0	1.60
40.0	1.80
50.0	1.90
60.0	2.00
80.0	2.20
100.0	5.00



Εικόνα 14: Γραφική παράσταση παραμόρφωσης ως προς την ισχύ

Από τις παραπάνω μετρήσεις καταλαβαίνουμε ότι πρόκειται για ένα αρκετά καλοσχεδιασμένο ενισχυτή αφού οι τιμές της παραμόρφωσης στο ακουστικό φάσμα είναι πάρα πολύ χαμηλές. Συμπεραίνουμε επίσης ότι σε ένα τέτοιο ενισχυτή η παραμόρφωση αυξάνεται όσο μειώνεται η αντίσταση του συνδεδεμένου φορτίου.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σκοπιμότητα της παρούσας πτυχιακής ήταν η μελέτη των σημαντικότερων παραμέτρων ενός ενισχυτή και η αξιολόγησή του. Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων συμπεραίνουμε πως ο υπό μελέτη ενισχυτής, ήταν ένας πολύ καλής ποιότητας ενισχυτής, με καλή απόδοση σε όλο το συχνοτικό εύρος, ομαλή συμπεριφορά κοντά στο όριο ισχύος και χαμηλά ποσοστά θορύβου στην έξοδό του.

Εν κατακλείδι, μου δόθηκε η ευκαιρία να κατανοήσω το λόγο για τον οποίο ο ενισχυτής λυχνιών, παρά το γεγονός ότι έχει σχεδόν εκλείψει από τη σύγχρονη τεχνολογία, συνεχίζει να έχει πολλούς υποστηρικτές, ιδιαίτερα στον κύκλο των μουσικών.

Γιατί, παρά το γεγονός της μεγάλης κατανάλωσης ισχύος, της ευθραυστότητας, του μεγάλου όγκου και του ανεπαίσθητου αλλά «επιθυμητού» θορύβου που εισάγει στον ήχο προσδίδει μία ζεστασιά που απουσιάζει από τα στερεά στοιχεία.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΝΙΣΧΥΤΩΝ- ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

1) *JJ 322 Stereo single - ended tube amplifier*
(*Dual monoblock pure class A.300B parallel*)



Τεχνικά χαρακτηριστικά:

- Ισχύς εξόδου: 20 W + 20 W
- Αντίσταση φορτίου: 4,8 Ohm
- Αντίσταση εισόδου: 50 kOhm
- Ευαισθησία εισόδου: 350 mV στα 20 W
- Εύρος ζώνης Ισχύς: 18 Hz - 25 000 Hz (-1 dB)
- Διαχωρισμός καναλιών: 72 dB / 1 kHz
- Global negative feedback: 0 dB
- Στάθμη θορύβου: λιγότερο από 1 mVolt
- Μετασχηματιστές εξόδου: Διπλό "C.cores"
- Εναλλασσόμενο ρεύμα: 230 V (120 V, 100 V) 50/60 Hz
- Nom κατανάλωση: 240 W
- Λυχνίες: 4 x JJ 300B, 2 x JJ E88CC,
2 x JJ ECC83, 2 x JJ EM84
- Διαστάσεις: 570 x 380 x 255 χιλιοστά
- Βάρος: 42 kg

2) JJ 828 Integrated power tube stereo amplifier



- Τύπος κυκλώματος: Push-Pull Ultra Linear AB με CFB
- Ισχύς εξόδου: 70 W RMS κάθε κανάλι
- Αντίσταση φορτίου: 4? 8 Ohm
- Ευαισθησία εισόδου: 0,775 V για την πλήρη έξοδο
- Αντίσταση εισόδου: 25 000 Ohm
- Εύρος ζώνης Ισχύς: 20 Hz - 25 000 Hz (-1 dB)
- Θόρυβος & βουητό: - 88 dB παρακάτω πλήρη έξοδο
- Είσοδοι: 5 x line (unbalanced)
- Tape out: Για tape εγγραφή
- Εναλλασσόμενο ρεύμα: 230 V (120 V, 100 V) AC 50/60 Hz
- Κατανάλωση: 400 W max.
- Λυχνίες: 8 x JJ KT88, 2 x JJ ECC99,
4 x JJ ECC82
- Διαστάσεις: 480 x 350 x 180 mm
- Βάρος: 35 Kg

3) JJ 239 triode single ended tube monoblock



- Ισχύς εξόδου: 10 W
- Αντίσταση φορτίου: 4? 8 Ohm
- Αντίσταση εισόδου: 50 kOhm
- Ευαισθησία εισόδου: 0,775 V στα 10 W
- Εύρος ζώνης Ισχύς: 20 Hz - 20 000 Hz (-1 dB)
- Στάθμη θορύβου: λιγότερο από 0,8 mV
- Μετασχηματιστές εξόδου: Διπλό "C.cores"
- Παράγοντας ντάμπινγκ: 3,5
- Εναλλασσόμενου ρεύματος: 230 V (120 V, 100 V) 50/60 Hz
- Nom. κατανάλωση: 80 W
- Λυχνίες: 1 x JJ ECC99, 1 x JJ 2A3
(300B)
- Διαστάσεις: 340 x 380 x 255 χιλιοστά
- Βάρος: 23 kg

4) JJ 243 stereo tube preamplifier with phono



- Οι είσοδοι (RCA)
 - 3 x line 3,15 Vmax. 50 kOhm
 - 1 x Phono 0, 5 - 10 mV 10 Ohm 2200 Ohm / MC ή
47 kOhm / 100 pF 520 pF / MM
RIAA passive network
- Έξοδοι (RCA)
 - 1 x ρυθμιζόμενη απολαβή = 10 dB 8 Vmax. Rload > 5 kOhm
 - 1 x ρυθμίζονται κέρδος = 0 dB Rload > 50 kOhm
 - 1 x ανεξέλεγκτη κέρδος = 0 dB Rload > 50 kOhm
- S / N: καλύτερη από 68 dB (MM, MC)
- Τροφοδοσία: πλήρης ρύθμιση
- Εναλλασσόμενο ρεύμα: 230 V (120 V, 100 V) AC 50/60 Hz
- Κατανάλωση: 60 W
- Λυχνίες: Phono: 4 x JJ E88CC
Outamp: 2 x JJ ECC82, 2 x JJ E88CC
- Διαστάσεις: 340 x 380 x 180 mm
- Βάρος: 10 Kg

5) ALESIS RA-150 Τελικός Ενισχυτής



- Τύπος: Τελικός ενισχυτής, 2x45W RMS
- Ισχύς: 4 ohms: 75 watts, 8 ohms: 45 watts, 8 ohms: 150 watts RMS, bridged mode
- Απόκριση Συχνότητας: 10Hz - 70kHz +0, -3dB
- Είσοδοι: 2x Jack In
- Έξοδοι: 2 x binding post
- Συνολική Αρμονική Παραμόρφωση (THD): < 0.02%
- Ειδικά Στοιχεία: -
- Διαστάσεις (Π x Υ x Β): 480 x 99 x 260mm
- Rack Mount: 2U
- Βάρος: 6.8Kg

6) PHONIC MAX-2500 PLUS



- Τύπος: Τελικός ενισχυτής, 2x750W@4Ω
- Ισχύς: 2x500W@8Ω, 2x750W@4Ω, 1x1500W bridge @8Ω
- Απόκριση Συχνότητας: 20Hz-20KHz
- Είσοδοι: 2x XLR, 2xTRS
- Έξοδοι: 2xSpeakon, 2xbinding post
- Συνολική Αρμονική Παραμόρφωση (THD): <0.02%
- Ειδικά Στοιχεία: -
- Διαστάσεις (Π x Υ x Β): 482x88x415mm
- Rack Mount: 2U
- Βάρος: 18Kg

7)YAMAHA PC-9501N



- Τύπος: Τελικός ενισχυτής, 2x1650W@4Ω
- Ισχύς: 2x1050W@8Ω, 2x1650W@4Ω, 1x3300W bridge @8Ω
- Απόκριση Συχνότητας: 20Hz-20KHz
- Είσοδοι: 2xXLR, 2xEuroblock
- Έξοδοι: 2xSpeakon, 2xbinding post
- Συνολική Αρμονική Παραμόρφωση (THD): Less than 0.1% (20Hz-20kHz; Halfpower)
- Ειδικά Στοιχεία: Data port για έλεγχο λειτουργίας με μονάδα ACD1 / ACU16C
- Διαστάσεις (Π x Υ x Β): 480x88x456mm
- Rack Mount: 2U
- Βάρος: 13Kg

8) CERWIN WEGA CV-5000



- Τύπος: Τελικός ενισχυτής, 2x1800W@4Ω
- Ισχύς: 2x1100W@8Ω 2x1800W@4Ω
2x2500W@2Ω
- Απόκριση Συχνότητας: 20Hz-20KHz
- Είσοδοι: 2x XLR/Jack In, 2xXLR out
- Έξοδοι: 2xSpeakon, 2xbinding post
- Συνολική Αρμονική Παραμόρφωση (THD): 0.05%
- Ειδικά Στοιχεία: -
- Διαστάσεις (Π x Y x Β): 482x133x420mm
- Rack Mount: 3U
- Βάρος: 37.2Kg

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές μου, κύριο Χρήστου και κύριο Πιοτογιαννάκη για την δυνατότητα που μου έδωσαν μέσω αυτής της πτυχιακής να διευρυνθούν οι γνώσεις μου, την οικογένειά μου για την στήριξη που μου προσέφερε όλο αυτό το διάστημα. Τον κύριο Τσακίριδη που μου παραχώρησε τον ενισχυτή και τα μηχανήματα με τα οποία πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις, καθώς επίσης και τις επίσημες εργαστηριακές μετρήσεις του ενισχυτή που μου επέτρεψε να χρησιμοποιήσω στην εργασία μου. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Σπύρο, για την σημαντική βοήθεια που είχα από μέρους του στο πειραματικό μέρος της εργασίας μου.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Διαδικτυακές πηγές

- http://danaos.cslab.ntua.gr/~ekall/Science/personal_docs/ixos.htm
- <http://users.uoa.gr/~hspyridis/prolegomenafma.pdf>
- <http://www.pedia.gr/corner/acousticsg.html>
- <http://www.learnabout-electronics.org/Amplifiers/amplifiers13.php>
- <http://stereos.about.com/od/faqs/f/thd.htm>
- http://en.wikipedia.org/wiki/Total_harmonic_distortion
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Intermodulation>
- <http://sygxronitexnologia.wordpress.com/2013/03/20/>
- <http://www.hlektronika.gr/index.php?page=theory?powersupplies>
- <http://electronicslab.eu/el/analogika-hlektronika-2/310-trofodotikes-diatakseis.html>
- <http://electronicslab.eu/el/analogika-hlektronika-2/307-polosi-tou-jfet.html>
- www.analog.com/static/.../MT-053.pdf
- http://www.jj-electronic.com/index.php?option=com_frontpage&Itemid=1
- <http://www.nakas.gr/ecomnakas/nakas2006/Default.asp?Static=370>
- <http://www.analog.com/en/index.html>
- <http://www.learningaboutelectronics.com>
- <http://www.expertglossary.com/telecom/definition/phase-distortion>
- <http://www.hi-fiworld.co.uk/amplifiers/75-amp-tests/150-sensitivity.html>

Οι πηγές ελέγχθηκαν στις 24/07/2014

Βιβλιογραφικές πηγές

- Slone C.Randy, “High-Power Audio Amplifier Construction Manual”. “The McGraw-Hill Companies” 1999 1st edition (ISBN-10: 0071341196)
- Self, Douglas, “Audio Power Amplifier Design Handbook”. “Newnes” 2002 1st edition (ISBN 10: 075064527X)
- Μουρτζόπουλος Ιωάννης, «Ηλεκτροακουστική Ι» σημειώσεις του τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Τεχνολογίας Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Πατρών 2009