

περιβάλλει. Αυτά τα επονομαζόμενα *ακουστικά δυναμικά* (*acoustic potentials*), που είναι αναλογικά, λαμβάνονται και ενισχύονται, αναπαράγοντας τον ήχο που πέφτει στο αυτί, το οποίο λειτουργεί σαν βιολογικό μικρόφωνο. Τα δυναμικά αυτά είναι ανάλογα με την πίεση ήχου, και έχουν γραμμική απόκριση σε μια περιοχή μέχρι 80 dB. Αν και είναι ενδιαφέρον, αυτό το μικροφωνικό δυναμικό δεν πρέπει να μπερδεύεται με τα *δυναμικά δράσης* (*action potentials*) του ακουστικού νεύρου, τα οποία μεταφέρουν πληροφορίες στον εγκέφαλο.

Η κάμψη των στερεοβλεφαρίδων σκανδαλίζει τις νευρικές διεγέρσεις που μεταφέρονται με το ακουστικό νεύρο στον εγκέφαλο. Ενώ τα μικροφωνικά σήματα είναι αναλογικά, οι διεγέρσεις που στέλλονται στον ακουστικό φλοιό είναι διεγέρσεις που παράγονται από εκκενώσεις νευρώνων. Μία απλή ίνα νεύρου είτε διεγείρεται είτε δεν διεγείρεται (δυναμική!). Όταν διεγείρεται, προκαλεί την διέγερση της διπλανής της, κ.ο.κ. Οι φυσιολόγοι παρομοιάζουν την διαδικασία με το άναμμα του φυτίλιού της πυρίτιδας. Η ταχύτητα μετακίνησης δεν έχει καμμία σχέση με τον τρόπο που ανάβει το φυτίλι. Υποθέτουμε ότι η ηχηρότητα του ήχου έχει σχέση με το πλήθος των ινών νεύρων που έχουν διεγερθεί και τις ταχύτητες επανάληψης μιας τέτοιας διέγερσης. Όταν διεγείρονται όλες οι ίνες νεύρων (περίπου 15.000), έχουμε την μέγιστη ηχηρότητα που μπορούμε να αντιληφθούμε. Η ευαισθησία κατωφλίου μπορεί να παρασταθεί με την διέγερση μιας μόνο ίνας. Ακόμη και σήμερα δεν έχει προταθεί μια συνολική αποδεκτή θεωρία του τρόπου με τον οποίο πραγματικά λειτουργούν το έσω αυτί και ο εγκέφαλος^{3,4,5,6}.

Τα παραπάνω αποτελούν μια εξαιρετικά απλουστευμένη παρουσίαση ενός πολύ πολύπλοκου μηχανισμού στον οποίο έχει αφιερωθεί μεγάλη ποσότητα πρόσφατης έρευνας. Μερικοί από τους αριθμούς που έχουν χρησιμοποιηθεί και μερικές από τις θεωρίες που έχουν εξεταστεί δεν είναι γενικά αποδεκτά. Η εκλαϊκευση ενός αντικειμένου όπως το αυτί είναι δουλειά δλαδερή για την υγεία, αλλά αυτοί που ασχολούνται με τον ήχο σίγουρα είναι θαυμαστές του ευαίσθητου και αποτελεσματικού τρόπου με τον οποίο λειτουργεί το ανθρώπινο αυτί. Ελπίζουμε ότι θα υπάρξει συνειδητοποίηση και σεβασμός προς αυτόν τον ευαίσθητο οργανισμό, και ότι θα αποφευχθούν καταστροφικές στάθμες ήχου.

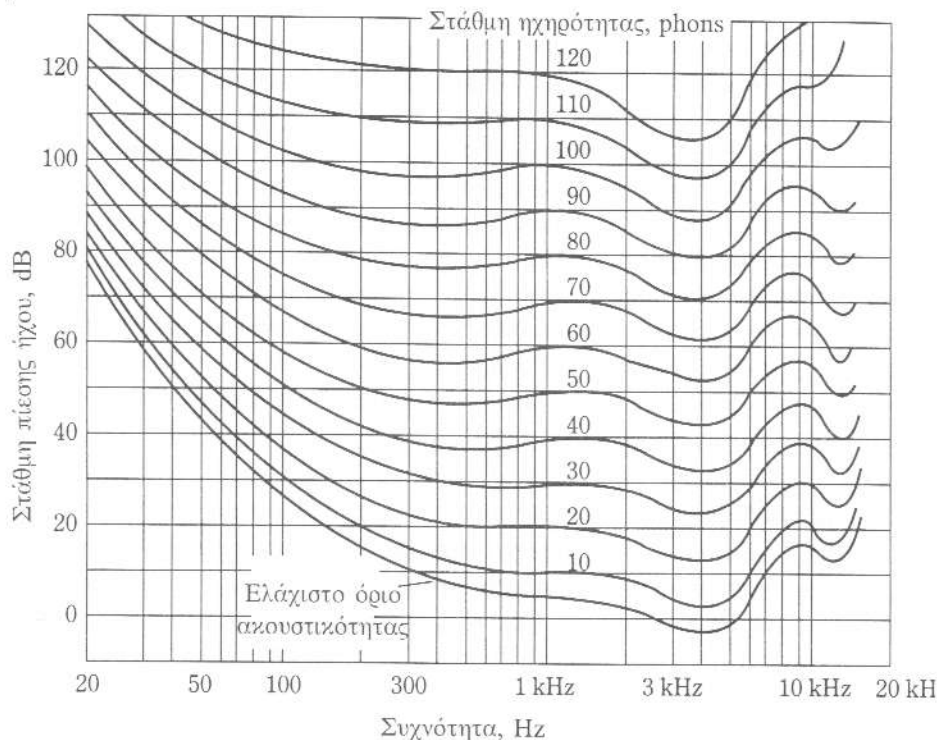
Σύγκριση ηχηρότητας σε σχέση με την συχνότητα

Η πρωτογενής εργασία για την ηχηρότητα πραγματοποιήθηκε στα Εργαστήρια Bell από τους Fletcher και Munson και δημοσιεύτηκε το 1933⁷. Από τότε έχουν προστεθεί πολλές βελτιώσεις από άλλους. Οι καμπύλες των περιγραμμάτων ίσης ηχηρότητας στο Σχ. 3-6, που είναι εργασία των Robinson και Dadson⁸ έχει υιοθετηθεί σαν διεθνές πρότυπο (ISO 226).

Κάθε περίγραμμα ίσης ηχηρότητας αναγνωρίζεται από την τιμή του στα 1.000 Hz, και με τον τρόπο αυτό ορίζεται ο όρος *στάθμη ηχηρότητας* σε phon. Για παράδειγμα, το περίγραμμα ίσης ηχηρότητας που περνά από την στάθμη πίεσης ήχου 40 dB στα 1.000 Hz ονομάζεται περίγραμμα 40 phon. Η ηχηρότητα είναι υποκειμενικός όρος. Η στάθμη πίεσης ήχου είναι αυστηρά φυσικός όρος. Η στάθμη ηχηρότητας είναι και αυτή φυσικός όρος που είναι χρήσιμος για τον υπολογισμό της ηχηρότητας ενός ήχου

(με μονάδα το sone) από μετρήσεις στάθμης ήχου. Τα σχήματα των περιγραμμάτων ίσης ηχηρότητας περιέχουν υποκειμενικές πληροφορίες επειδή ελήφθησαν με υποκειμενική σύγκριση της ηχηρότητας ενός τόνου με την ηχηρότητά του στα 1.000 Hz.

Αυτό που κάνει εντύπωση στις καμπύλες του Σχ. 3-6 είναι το ότι αποκαλύπτουν ότι η αντιληπτή ηχηρότητα έχει μεγάλη μεταβολή με την συχνότητα και με την στάθμη πίεσης ήχου. Για παράδειγμα, μια στάθμη πίεσης ήχου 30 dB δίνει στάθμη ηχηρότητας 30 phon στα 1.000 Hz, αλλά χρειάζεται στάθμη πίεσης ήχου επιπλέον 58 dB για να ακούγεται εξίσου ηχηρή στα 20 Hz, όπως φαίνεται στο Σχ. 3-7. Οι καμπύλες έχουν την τάση να γίνονται επίπεδες σε μεγαλύτερες στάθμες ήχου. Η καμπύλη 90 phon υψώνεται μόνο κατά 32 dB μεταξύ 1.000 και 20 Hz. Παρατηρούμε ότι αν οι καμπύλες στο Σχ. 3-7 αντιστραφούν έχουμε την απόκριση συχνότητας του αυτιού σε σχέση με την στάθμη ηχηρότητας. Το αντί, σε χαμηλές στάθμες, είναι λιγότερο ευαίσθητο σε χαμηλές (μπάσσες) νότες απ' ότι σε μέσες νότες. Υπάρχουν διακυμάνσεις στην απόκριση του αυτιού σε υψηλή συχνότητα που παρατηρούνται σχετικά λιγότερο. Αυτό το πρόβλημα του αυτιού με τις χαμηλές νότες σημαίνει ότι η ποιότητα της αναπαραγόμενης μουσικής εξαρτάται από την ρύθμιση του



Σχήμα 3-6 Περιγράμματα ίσης ηχηρότητας του ανθρώπινου αυτιού. Αυτά τα περιγράμματα αποκαλύπτουν την σχετική έλλειψη ευαισθησίας του αυτιού σε χαμηλούς τόνους, ιδιαίτερα σε μικρότερες στάθμες ήχου. Η αναστροφή αυτών των καμπύλων δίνει την απόκριση συχνότητας του αυτιού σαν συνάρτηση της στάθμης ηχηρότητας. (Robinson και Dadson⁸.)

ποτενιόμε
στάθμες χε
τερες στάθ

Έλεγχος

As υποθέσ
έτσι ώστε
στα σαν υ
phon). Επε
τητας περι
πρίμα της
την στάθμη
χρειάζεται

Το κομβ
ηλεκτρικά
συχνότητας

Στάθμη πίεσης ήχου, dB

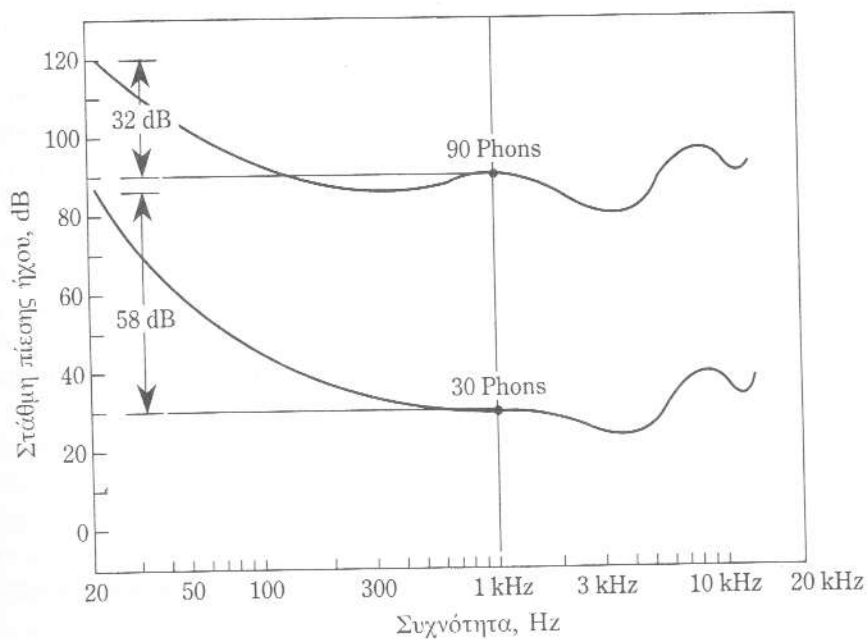
Σχήμα 3-7
ηχηρότητας
κατά 58 dB
90 phon, χ
τερο επίπεδ
δίημα για τ

ποτενιοόμετρον της έντασης ήχου. Η ακρόαση μουσικής υποβάθρου σε χαμηλές στάθμες χρειάζεται διαφορετική απόκριση συχνότητας από την ακρόαση σε υψηλότερες στάθμες.

Έλεγχος ηχηρότητας

Ας υποθέσουμε ότι ο φανατικός του hi-fi ρυθμίζει την ένταση στον ενισχυτή του έτσι ώστε η στάθμη της ηχογραφημένης συμφωνικής μουσικής να ακούγεται ευχάριστα σαν υπόβαθρο στη διάρκεια συζήτησης (που θεωρείται ότι είναι περίπου 60 phon). Επειδή το κομμάτι έχει εκτελεστεί στην αίθουσα συναυλιών σε στάθμη ηχηρότητας περίπου 80 phon, πρέπει να γίνει κάτι που θα δώσει στα μπάσσα και στα πρίμα της μουσικής την κατάλληλη ισορροπία στην στάθμη που είναι μικρότερη από την στάθμη της αίθουσας συναυλιών. Ο φίλος μας βρίσκει ότι για καλή ισορροπία χρειάζεται να αυξηθούν και τα μπάσσα και τα πρίμα.

Το κομμάτι ρύθμισης ηχηρότητας που βρίσκουμε σε πολλούς ενισχυτές ρυθμίζει τα ηλεκτρικά δικτυώματα έτσι ώστε να αντισταθμίζουν την αλλαγή της απόκρισης συχνότητας του αυτιού για διαφορετικές στάθμες ηχηρότητας. Αλλά η καμπύλη που



Σχήμα 3-7 Σύγκριση της απόκρισης του αυτιού στα 20Hz σε σχέση με τα 1.000Hz. Σε στάθμη ηχηρότητας 30 phon, η στάθμη πίεσης ήχου ενός τόνου 20 Hz πρέπει να είναι μεγαλύτερη κατά 58 dB απ' ό τι στα 1.000 Hz για να έχουμε την ίδια ηχηρότητα. Σε στάθμη ηχηρότητας 90 phon, χρειάζεται αύξηση μόνο κατά 32 dB. Η απόκριση του αυτιού είναι κάπως περισσότερο επίπεδη σε μεγάλες στάθμες ηχηρότητας. Η στάθμη ηχηρότητας είναι μόνο ένα ενδιάμεσο μέγεθος για την πραγματική υποκειμενική ηχηρότητα, όπως εξηγείται στο κείμενο.

αντιστοιχεί σε μια δεδομένη ρύθμιση του κομδίου ηχηρότητας ισχύει μόνο για μια συγκεκριμένη στάθμη ηχηρότητας αναπαραγόμενου ήχου. Ο έλεγχος ηχηρότητας δεν αποτελεί πλήρη λύση του προβλήματος. Ας δούμε όλα τα πράγματα που επηρεάζουν την ρύθμιση της έντασης σε μια συγκεκριμένη περίπτωση. Τα μεγάφωνα έχουν διαφορετική ακουστική έξοδο για δεδομένη ισχύ εισόδου. Η απολαβή των προενισχυτών, ενισχυτών ισχύος, tuner, και κεφαλών pickup διαφέρει από μάρκα σε μάρκα και από κύκλωμα σε κύκλωμα. Η συνθήκες στον χώρο ακρόασης είναι διαφορετικές από ουδέτερες μέχρι πλήρους αντήχησης. Με όλες αυτές τις μεταβλητές, δεν είναι δυνατό ο κατασκευαστής να σχεδιάσει ένα κύκλωμα ελέγχου ηχηρότητας που να είναι προσαρμοσμένο ακριβώς στην στάθμη πίεσης ήχου στο αυτί του ακροατή x με τις συγκεκριμένες μεταβλητές του εξοπλισμού του x και του περιβάλλοντος ακοής του. Για να λειτουργεί σωστά το κύκλωμα ελέγχου ηχηρότητας, πρέπει να ρυθμιστεί το σύστημα του x , και σ' αυτό να τοποθετηθεί το κύκλωμα ελέγχου ηχηρότητας⁹.

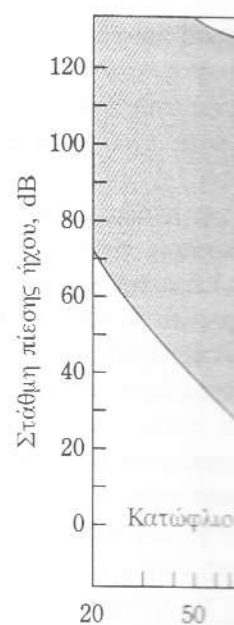
Περιοχή ακουστότητας

Οι καμπύλες A και B στο Σχ. 3-8 πάρθηκαν από ομάδες εκπαιδευμένων ακροατών. Στην περίπτωσή μας, οι ακροατές κοιτούν προς την πηγή ήχου και κρίνουν αν ένας τόνος δεδομένης συχνότητας είναι μόλις ακουστός (καμπύλη A) ή αρχίζει να προξενεί πόνο (καμπύλη B). Αυτές οι δύο καμπύλες παριστάνουν τα άκρα της αντίληψής μας για την ηχηρότητα.

Η καμπύλη A στο Σχ. 3-8, το κατώφλιο ακοής, μας λέει ότι τα ανθρώπινα αυτιά είναι περισσότερο ευαίσθητα στα 3 kHz. Ένας άλλος τρόπος διατύπωσης είναι ότι γύρω στα 3 kHz ένας ήχος χαμηλής στάθμης προκαλεί απόκριση κατωφλίου η οποία δεν προκαλείται από μεγαλύτερες ή μικρότερες συχνότητες. Σ' αυτή την πολύ ευαίσθητη περιοχή, μια στάθμη πίεσης ήχου 0 dB μόλις μπορεί να ακουστεί από ένα άτομο μέσης ακουστικής οξύτητας. Είναι μήπως συμπτωματικό ότι αυτό το κατώφλιο βρίσκεται σε μια ευχάριστη στάθμη γύρω στα 0 dB; Η απάντηση είναι όχι, η στάθμη αναφοράς πίεσης των 20 μPa επιλέγηκε για τον λόγο αυτό. Είναι και διδακτικό και καθησυχαστικό να γνωρίζουμε ότι μια στάθμη ήχου 60 dB αποδεικνύεται ότι είναι περίπου 60 dB πάνω από το κατώφλιο της ακοής μας.

Η καμπύλη B στο Σχ. 3-8 παριστάνει την στάθμη σε κάθε συχνότητα στην οποία γίνεται αισθητό ένα γαργάλημα στα αυτιά. Αυτό συμβαίνει σε στάθμη πίεσης ήχου περίπου 120 ή 130 dB. Επιπλέον αύξηση της στάθμης έχει αποτέλεσμα αύξηση του αισθήματος μέχρι να παραχθεί μια αίσθηση πόνου. Το πρώτο γαργάλημα είναι μια προειδοποίηση ότι ο ήχος γίνεται επικίνδυνα ηχηρός και ότι επικείμενη βλάβη στο αυτί ή ότι ήδη έχει γίνει.

Μεταξύ κατωφλίου ακοής (καμπύλη A στο Σχ. 3-8) και κατωφλίου αίσθησης (καμπύλη B) είναι η περιοχή ακουστότητας. Αυτή είναι μια περιοχή δύο διαστάσεων: της κατακόρυφης διάστασης της στάθμης πίεσης ήχου και της οριζόντιας περιοχής συχνοτήτων που μπορεί να αντιληφθεί το αυτί. Όλοι οι ήχοι που αντιλαμβάνονται οι άνθρωποι πρέπει να έχουν τέτοια συχνότητα και στάθμη ώστε να πέφτουν μέσα στην περιοχή ακουστότητας. Στο Κεφάλαιο 5 δίνεται με λεπτομέρειες ο ειδικότερος τρόπος με τον οποίο χρησιμοποιείται μεγάλο μέρος της περιοχής για συνηθισμένους



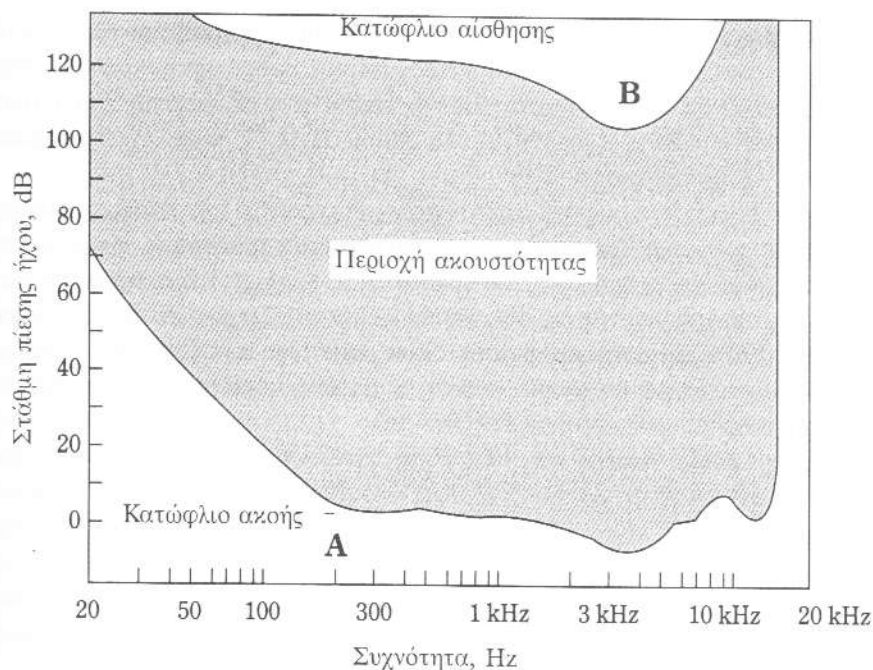
Σχήμα 3-8 Η περιοχή ακουστότητας του ανθρώπινου αυτιού. Η καμπύλη A (κατώφλιο ακοής) μπορεί να ανιχνεύσει ακουστικές εμπειρίες με

ήχους μουσικής και

Η περιοχή ακουστότητας για πλάτος ήχου που βρίσκονται πολύ πάνω από το κατώφλιο των σκύλων εκτείνεται στην περιοχή που έχει χρησιμοποιηθεί για υπερηχητική περιοχή με την φυσική έννοια

Σύγκριση ηχηρότητας

Όπως είδαμε στα Σχ. 3-7 και 3-8, η στάθμη πίεσης ήχου στα 1.000 Hz είναι ένα πράγμα για την ακρόαση. Κάποια μορφή υποκειμενικότητας τοποιοήθηκαν με εκατό τοις εκατό για να αυξηθεί η αναφορά ότι η ηχηρότητα σε dB, η υποκειμενική



Σχήμα 3-8 Η περιοχή ακουστότητας του ανθρώπινου αυτιού περιορίζεται από δύο καμπύλες κατωφλίου, (A) το κατώφλιο ακοής, που περιορίζει τους ήχους της χαμηλότερης στάθμης που μπορεί να ανιχνεύσει το αυτί, και (B) το κατώφλιο αίσθησης, στο άνω άκρο. Όλες οι ακουστικές εμπειρίες μας συμβαίνουν μέσα στην περιοχή αυτή.

ήχους μουσικής και ομιλίας.

Η περιοχή ακουστότητας για τους ανθρώπους διαφέρει αρκετά από την περιοχή ακουστότητας για πολλά ζώα. Η νυχτερίδα αντιλαμβάνεται ακουστικές κραυγές που βρίσκονται πολύ πάνω από το ανώτερο όριο συχνότητας των αυτιών μας. Η ακοή των σκύλων εκτείνεται ψηλότερα από την δική μας, και απ' αυτό φαίνεται η χρησιμότητα που έχουν οι υπερηχητικές σφουρίχτρες. Η ήχος στις υποηχητική και υπερηχητική περιοχές, σε σχέση με την ακοή των ανθρώπων, είναι πραγματικός ήχος με την φυσική έννοια, αλλά δεν υποπίπτει στην ανθρώπινη αντίληψη.

Σύγκριση ηχηρότητας σε σχέση με την στάθμη πίεσης ήχου

Όπως είδαμε στα Σχ. 3-6, 3-7, και 3-8, το phon είναι η μονάδα στάθμης ηχηρότητας στα 1.000 Hz. Μέχρι ένα σημείο αυτό είναι χρήσιμο, αλλά μας λείπει λίγα πράγματα για την ανθρώπινη αντίδραση στην ηχηρότητα του ήχου. Χρειαζόμαστε κάποια μορφή υποκειμενικής μονάδας ηχηρότητας. Πολλά πειράματα που πραγματοποιήθηκαν με εκατοντάδες άτομα και πολλά είδη ήχου έδωσαν κατά κοινή ομολογία ότι για αύξηση της στάθμης πίεσης ήχου κατά 10 dB, ο μέσος άνθρωπος αναφέρει ότι η ηχηρότητα διπλασιάζεται. Για ελάττωση της στάθμης ήχου κατά 10 dB, η υποκειμενική ηχηρότητα κόβεται στο μισό. Ο ένας ερευνητής λέει ότι αυτό

ηχούς είναι βαθμιαία και, κατά συνέπεια, κάπως απροσδιόριστη. Μερικοί χαράσσουν την διαχωριστική γραμμή σε μια βολική τιμή sec (62 msec), άλλοι στα 80 msec, και άλλοι στα 100 msec πέρα από τα οποία δεν υπάρχει αμφισβήτηση για την διάκριση του ήχου. Στο διδύλιο αυτό θεωρούμε τα πρώτα 30 msec όπως στο Σχ. 3-19, σαν την περιοχή της σίγουρης ολοκλήρωσης.

Αντίληψη του ήχου από ανάκλαση

Στό προηγούμενο Τμήμα του Κεφαλαίου, ο “ανακλώμενος” ήχος εξετάστηκε μάλλον με περιορισμένο τρόπο. Στο Τμήμα αυτό παίρνουμε μια γενικότερη προσέγγιση. Είναι ενδιαφέρον το ότι η διάταξη των μεγαφώνων που χρησιμοποίησε ο Haas χρησιμοποιήθηκε και από δεκάδες άλλους ερευνητές και ουσιαστικά πρόκειται για την γνωστή διάταξη στέρεο, δηλαδή δύο ξεχωριστά μεγάφωνα με τον ακροατή σε συμμετρική θέση μεταξύ των δύο μεγαφώνων. Ο ήχος από το ένα μεγάφωνο ονομάζεται *άμεσος* ήχος, και ο ήχος από το άλλο *καθυστερημένος ήχος* (η *ανάκλαση*). Η καθυστέρηση που εισάγεται μεταξύ των δύο σημάτων και οι σχετικές τους στάθμες είναι ρυθμιζόμενα. Σαν σήμα χρησιμοποιείται ομιλία²².

Με τον ήχο του άμεσου μεγαφώνου σε άνετη στάθμη, και με καθυστέρηση, έστω 10 msec, αυξάνεται αργά από μια πολύ χαμηλή τιμή η στάθμη του ανακλώμενου, ή καθυστερημένου, μεγαφώνου. Η στάθμη ήχου της ανάκλασης στην οποία ο ακροατής πρώτα ανιχνεύει μια διαφορά στον ήχο είναι το κατώφλιο ανίχνευσης της ανάκλασης. Για στάθμες μικρότερες από αυτήν, η ανάκλαση δεν είναι ακουστή, ενώ για στάθμες μεγαλύτερες από αυτήν, η ανάκλαση ακούγεται καθαρά.

Καθώς αυξάνεται βαθμιαία η στάθμη ανάκλασης πάνω από την τιμή κατωφλίου, στο άθροισμα του ήχου παρέχεται μια αίσθηση χώρου. Αυτή η αίσθηση χώρου επικρατεί, παρ' όλο που το πείραμα εκτελείται μέσα σε ανηχοϊκό χώρο. Καθώς η στάθμη ανάκλασης αυξάνει περίπου κατά 10 dB πάνω από την τιμή κατωφλίου, στον ήχο παρατηρείται μια άλλη αλλαγή. Στην αυξανόμενη αίσθηση χώρου προστίθεται τώρα μια διεύρυνση της εικόνας του ήχου και πιθανόν μια μετατόπιση της εικόνας προς το άμεσο μεγάφωνο. Καθώς η στάθμη ανάκλασης αυξάνει κατά άλλα 10 dB, ή περίπου τόσο, πάνω από το κατώφλιο διεύρυνσης της εικόνας του ήχου, παρατηρείται μια άλλη μεταβολή: ακούγονται *διάκριτες αντηχήσεις*.

Όλα αυτά είναι πολύ ενδιαφέροντα, αλλά έχουν πρακτική σημασία; Ας δούμε ένα συγκεκριμένο παράδειγμα: ένα δωμάτιο ακρόασης όπου θα παιχτεί ηχογραφημένη μουσική. Το Σχ. 3-20 περιέχει απαντήσεις για την επίδραση του ήχου που ανακλάται από το πάτωμα, από την οροφή, και από τους τοίχους και προστίθεται στον άμεσο ήχο από τα μεγάφωνα. Οι ανακλάσεις κάτω από το κατώφλιο αντίληψης δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Επίσης δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι ανακλάσεις που γίνονται αντιληπτές σαν αντηχήσεις. Η χρήσιμη περιοχή είναι η περιοχή χωρίς σκίαση μεταξύ των δύο καμπύλων κατωφλίου, της A και της C. Απλοί υπολογισμοί μπορούν να δώσουν εκτιμήσεις για την στάθμη και για την καθυστέρηση οποιασδήποτε συγκεκριμένης ανάκλασης, εφ' όσον γνωρίζουμε την ταχύτητα του ήχου, την απόσταση που διανύθηκε, και εφαρμόσουμε τον νόμο του αντίστροφου τετραγώνου.

Το Σχ.
στην προ
Για να
ρούμε να

Κα

με την π

Σ

με την π

Σχήμα
προσομ
πλευρο
της από
Toole²³
και Lo

Το Σχ. 3-20 δίνει τις υποκειμενικές αντιδράσεις που πιθανόν θα έχει ο ακροατής στην πρόσθεση οποιασδήποτε ανάκλασης και του άμεσου ήχου.

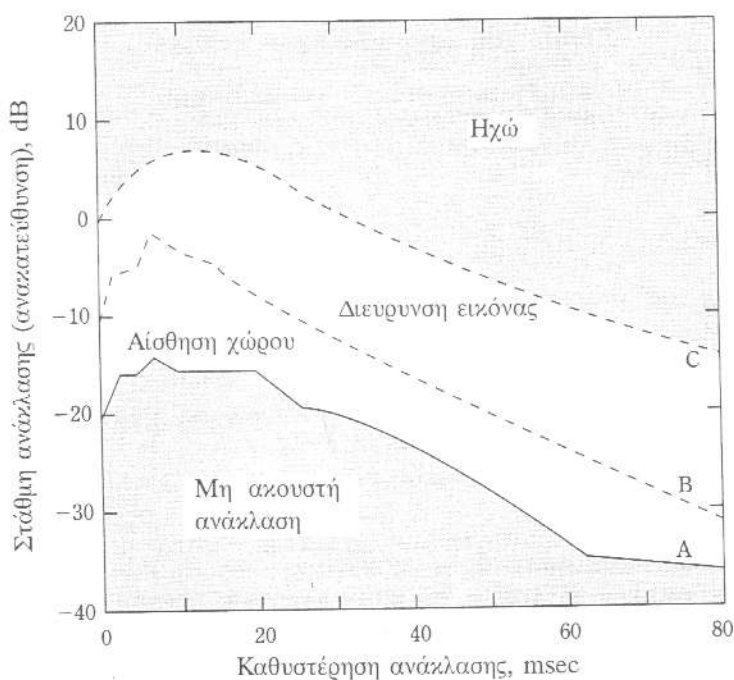
Για να βοηθηθούμε με τους "απλούς" υπολογισμούς που αναφέραμε παραπάνω, μπορούμε να εφαρμόσουμε τις παρακάτω εξισώσεις:

$$\text{Καθυστέρηση ανάκλασης} = \frac{\text{απόσταση ανάκλασης} - \text{άμεση απόσταση}}{\text{ταχύτητα του ήχου}}$$

με την προϋπόθεση ανάκλασης κατά 100% στην ανακλώσα επιφάνεια.

$$\text{Στάθμη ανάκλασης στην θέση ακρόασης} = 20 \log \frac{\text{άμεση απόσταση}}{\text{απόσταση ανάκλασης}}$$

με την προϋπόθεση διάδοσης κατά το αντίστροφο τετράγωνο.



Σχήμα 3-20 Οι επιδράσεις των πλευρικών ανακλάσεων στην αντίληψη του άμεσου ήχου σε προσομοίωση διάταξης στέρεο. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε ανηχοϊκές συνθήκες, πλευρικές γωνίες 45-90 μοιρών, με ομιλία σαν σήμα. (A) Απόλυτο κατώφλιο ακουστότητας της ανάκλασης. (B) Μετατόπιση εικόνας/διεύρυνση κατωφλίου (A & B, Oliver & Toole²², και Toole²³.) (C) Πλευρική ανάκλαση που γίνεται αντιληπτή σαν διάκριτη ηχώ. (Meyer & Schodder²⁵, και Lochner & Burger²⁴.)