

Ευαισθησία (dB) VS Απόδοση (ακουστική ευαισθησία) (%)



Στις παρακάτω γραμμές θα προσπαθήσουμε να αναλύσουμε τη σχέση μεταξύ ευαισθησίας και βαθμού απόδοσης ενός ηχείου.

Η ευαισθησία και ο βαθμός απόδοσης είναι δύο μεγέθη συναφή, που ουσιαστικά εκφράζουν το ίδιο πράγμα για ένα ηχείο. Εκφράζουν δηλαδή πόση από την ηλεκτρική ισχύ που δέχεται το ηχείο στην είσοδο του, μετατρέπεται σε ακουστική (το υπόλοιπο μέρος της ηλεκτρικής ισχύος, όπως είναι γνωστό καταναλώνεται με τη μορφή θερμικών απωλειών).

Ως **βαθμός απόδοσης** ορίζεται το ποσοστό (%) εκείνο της ηλεκτρικής ισχύος που μετατρέπεται μέσω τού ηχείου σε ακουστική.

Αντίστοιχα, σαν **ευαισθησία** ορίζεται η ηχητική στάθμη σε (dB) που παράγεται από ένα ηχείο σε μία προκαθορισμένη απόσταση πάνω στον κύριο άξονα εκπομπής όταν το ηχείο τροφοδοτείται με ένα σήμα προκαθορισμένης ισχύος ή τάσης RMS.

Το σήμα είναι συνήθως ημιτονικό ή ροζ θόρυβος και οι μετρήσεις ευαισθησίας γίνονται σε ανηχοϊκό περιβάλλον, όπου οι ανακλάσεις είναι πρακτικά μηδενικές (ανηχοϊκός θάλαμος, υπερυψωμένη διάταξη μέτρησης στην ύπαιθρο κλπ.). Το πρόβλημα εδώ έγκειται στο ότι οι τιμές της απόστασης και της ισχύος ή τάσης, αλλά και η μορφή τού σήματος δοκιμής, δεν είναι διεθνώς τυποποιημένες.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1:

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΥΟ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΩΝ

Ας υποθέσουμε ότι θέλουμε να συγκρίνουμε ως προς την ευαισθησία τους δύο ηχεία με τις ακόλουθες προδιαγραφές ευαισθησίας:

- **Ηχείο A:** 114dB στα 4 πόδια (4ft) πάνω στον κύριο άξονα για είσοδο 50 watt.
- **Ηχείο B:** 90dB στο 1 μέτρο (1m) πάνω στον κύριο άξονα για είσοδο 2.1 vRMS.

Στη μορφή που δίνονται οι ευαισθησίες, κάθε άμεση σύγκριση είναι προφανώς αδύνατη. Για να είναι μία σύγκριση εφικτή, θα πρέπει να φέρουμε τη μία ευαισθησία σε μία μορφή ισοδύναμη με την άλλη. Θα πρέπει για παράδειγμα, να βρούμε τι ηχητική στάθμη σε dB δίνει το ηχείο A στο 1m για είσοδο 2.1 vRMS, ξεκινώντας από την προδιαγραφή που έχει δοθεί. Η πορεία που ακολουθούμε είναι η εξής: Υπολογίζουμε τη διαφορά σε dB από την αρχική τιμή ευαισθησίας, που προκύπτει από την αλλαγή της απόστασης, βάσει τού τύπου:

$$\Delta\text{ΣΗΠ} = 20 * \log_{10} \frac{D_1}{D_2} \quad (1)$$

Όπου:

$\Delta\Sigma\text{ΗΠ}$: η Διαφορά Στάθμης Ηχητικής Πίεσης σε dB.

D_1 : η αρχική απόσταση όπως δίνεται στις προδιαγραφές.

D_2 : η νέα απόσταση στην οποία θέλουμε να υπολογίσουμε την ευαισθησία.

Οι μονάδες των **D_1** , **D_2** μπορεί να είναι μέτρα ή πόδια, αρκεί να είναι κοινές και για τις δύο αποστάσεις. Στο παράδειγμά μας συνεπώς έχουμε $D_1=4\text{ft}=4\times 0.3048\text{ m}=1,22\text{m}$ και $D_2=1\text{m}$

$$\Delta\Sigma\text{ΗΠ} = 20 * \log_{10} \frac{1,22}{1} = 1,73\text{ dB} \quad (2)$$

Στη συνέχεια, υπολογίζουμε την τάση (RMS) που αντιστοιχεί στην ισχύ των 50 watt του ηχείου A. Η ισχύς εισόδου στο ηχείο, δίνεται από τον τύπο:

$$P = \frac{V^2}{R} \quad (3)$$

Όπου:

V η RMS τιμή της τάσης στην είσοδο του ηχείου σε volt.

R το πραγματικό μέρος της σύνθετης αντίστασης του ηχείου, σε Ωμ, και

P η ισχύς σε watt.

Σε περίπτωση έλλειψης της **P** από τον κατασκευαστή, στη θέση της χρησιμοποιούμε προσεγγιστικά την τιμή της ονομαστικής αντίστασης που δίνεται κατά κανόνα. Ας υποθέσουμε, λοιπόν εδώ ότι και τα δύο ηχεία έχουν ονομαστική αντίσταση 8Ωμ. Έτσι, επιλύοντας την (3) ως προς **V** , βρίσκουμε:

$$V = \sqrt{P * R} = \sqrt{50 * 8} = 20\text{ vRMS} \quad (4)$$

Η διαφορά σε dB από την αρχική τιμή ευαισθησίας που προκύπτει από την αλλαγή της τάσης εισόδου, δίνεται από τον διορθωτικό τύπο:

$$\Delta\Sigma\text{ΗΠ} = 20 * \log_{10} \frac{V_1}{V_2} \quad (5)$$

Όπου:

$\Delta\Sigma\text{ΗΠ}$ η Διαφορά Στάθμης Ηχητικής Πίεσης σε dB.

V_1 η αρχική τάση εισόδου σε volt.

V_2 η νέα τάση εισόδου για την οποία θέλουμε να υπολογίσουμε την ηχητική στάθμη.

Στο παράδειγμά μας συνεπώς έχουμε $V_1=20\text{ volt}$ και $V_2=2,1\text{ volt}$ και επομένως:

$$\Delta\Sigma\text{ΗΠ} = 20 * \log_{10} \frac{2,1}{20} = -19,58\text{ dB} \quad (6)$$

Έτσι η ευαισθησία για το ηχείο A, λόγω των (2) και (6) είναι:

$$114+1,73-19,58=96,15 \text{ dB στο } 1\text{m για είσοδο } 2,1 \text{ vRMS.}$$

Στη νέα μορφή της η ευαισθησία για το ηχείο A είναι άμεσα συγκρίσιμη με την ευαισθησία που δίνεται για το ηχείο B. Συμπερασματικά, το ηχείο A είναι πιο ευαίσθητο από το B κατά 6dB. Από τη σκοπιά της ακουστικής το ηχείο A «ακούγεται» μισή φορά «δυνατότερα» από το B για την ίδια ισχύ εισόδου και όχι δύο φορές δυνατότερα όπως κακώς μπορεί να πιστευτεί! Αυτό γιατί η υποκειμενική αίσθηση της ακουστικής έντασης διπλασιάζεται για κάθε αύξηση της ηχητικής στάθμης κατά 10dB. Από τη σκοπιά του ενισχυτή, το ηχείο χρειάζεται έναν ενισχυτή τετραπλάσιας (!!) ισχύος από τον ενισχυτή που οδηγεί το ηχείο A για να δώσει την ίδια ηχητική στάθμη, τηρουμένων βέβαια των αναλογιών και με την προϋπόθεση ότι οι ενισχυτές είναι ίδιας σχεδίασης, και ποιότητας.

Αν ακολουθήσουμε την αντίστροφη πορεία, προσπαθώντας να φέρουμε την ευαισθησία του ηχείου B στη μορφή που δίνεται η ευαισθησία του ηχείου A, τα συμπεράσματα της σύγκρισης θα πρέπει προφανώς να είναι ίδια. Σ' αυτή την περίπτωση, με αφετηρία την προδιαγραφή που έχει δοθεί θα πρέπει να βρούμε τι ηχητική στάθμη σε dB δίνει το ηχείο B σε απόσταση 4 ποδιών (4ft) πάνω στον κύριο άξονα για είσοδο 50 watt. Ο διορθωτικός τύπος λόγω αλλαγής απόστασης που δίνεται από την (1) εξακολουθεί να ισχύει, όμως αυτή τη φορά η απόσταση που δίνεται είναι $D_1 = 1\text{m} = 1 \times 3,28 = 3,28\text{ft}$ και η νέα απόσταση $D_2 = 4\text{ft}$. Επομένως:

$$\Delta\text{ΣΗΠ} = 20 * \log_{10} \frac{3,28}{4} = -1,73 \text{ dB (7)}$$

Στη συνέχεια υπολογίζουμε την ισχύ που αντιστοιχεί στα 2,1 vRMS από τον τύπο της ισχύος :

$$P = \frac{V^2}{R} = \frac{(2,1)^2}{8} = 0,55 \text{ watt (8)}$$

Η διαφορά της ευαισθησίας που προκύπτει από την αλλαγή της ισχύος εισόδου από $P_2 = 0,55 \text{ watt}$ σε $P_1 = 50 \text{ watt}$, δίνεται από τον διορθωτικό τύπο

$$\Delta\text{ΣΗΠ} = 10 * \log_{10} \frac{P_2}{P_1} = 10 * \log_{10} \frac{50}{0,55} = 19,59 \text{ dB (8)}$$

Έτσι η ευαισθησία για το ηχείο B, λόγω των (7) και (8) είναι:

$$90-1,73+19,59=107,86 \text{ dB στα } 4\text{ft για είσοδο } 50 \text{ watt.}$$

Συγκρίνοντας αυτή την ευαισθησία με την ευαισθησία που δίνεται για το ηχείο A συμπεραίνουμε και πάλι ότι το A είναι κατά 6dB πιο ευαίσθητο από το B.

Παρενθετικά αναφέρουμε ότι οι παραπάνω μετατροπές είναι προσεγγιστικές, εφόσον ο διορθωτικός τύπος (1) προϋποθέτει πανκατευθυντική εκπομπή από τα ηχεία (πράγμα που δεν ισχύει για όλες τις συχνότητες και όλα τα ηχεία) και στον υπολογισμό της ισχύος εισόδου ελλείψει άλλων στοιχείων χρησιμοποιήσαμε προσεγγιστικά την τιμή της ονομαστικής αντίστασης, αντί για την πραγματική τιμή.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2:

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΕΝΟΣ ΗΧΕΙΟΥ ΜΕ ΤΟ ΒΑΘΜΟ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΕΝΟΣ ΑΛΛΟΥ

Ας υποθέσουμε τώρα ότι θέλουμε να συγκρίνουμε τις παρακάτω προδιαγραφές που αναφέρονται σε δύο διαφορετικά ηχεία:

- **Ηχείο A:** Ευαισθησία 90dB στο 1 m πάνω στον κύριο άξονα εκπομπής για είσοδο 1 watt
- **Ηχείο B:** Βαθμός απόδοσης $n=40\%$

Για να γίνει η σύγκριση εφικτή, θα πρέπει ή να βρούμε το βαθμό απόδοσης που αντιστοιχεί στην ευαισθησία του ηχείου A ή την ευαισθησία που αντιστοιχεί στο βαθμό απόδοσης του B. Για το παράδειγμα αυτό θα ακολουθήσουμε την πρώτη μέθοδο.

Με την προϋπόθεση ότι το ηχείο A είναι πολυκατευθυντικό μπορούμε να υπολογίσουμε την ακουστική ισχύ του ηχείου με τον προσεγγιστικό τύπο:

$$P_a = \frac{0,01332 * 10^{\frac{\Sigma\text{ΗΠ}}{10}}}{10^9} * D^2 \quad (9)$$

Όπου:

P_a είναι η ακουστική ισχύς σε watt που παράγεται από το ηχείο, όταν στον κύριο άξονα και σε απόσταση **D** μέτρα έχουμε στάθμη ηχητικής πίεσης **$\Sigma\text{ΗΠ}$** (dB). Συγκεκριμένα, στο παράδειγμά μας $D=1\text{m}$ και $\Sigma\text{ΗΠ}=90\text{dB}$, επομένως

$$P_a = \frac{0,01332 * 10^{\frac{90}{10}}}{10^9} * 1^2 = 0,01332 \text{ watt}$$

Από τον ορισμό που δώσαμε στο βαθμό απόδοσης, έχουμε:

$$n(\%) = \frac{P_a}{P_e} * 100 \quad (10)$$

Όπου:

n ο βαθμός απόδοσης (ακουστική ευαισθησία),

P_a η ακουστική ισχύς που παράγεται από το ηχείο όταν δέχεται ηλεκτρική ισχύ **P_e** .

Η **P_e** στο παράδειγμά μας είναι 1 watt. Από την εξίσωση (10) $n=1,33\%$. Συγκρίνοντας τώρα το βαθμό απόδοσης που βρήκαμε με τον αντίστοιχο του ηχείου B (40%), συμπεραίνουμε ότι το B είναι πολύ πιο αποδοτικό από το A. Η διαφορά της ηχητικής στάθμης μεταξύ των δύο ηχείων μπορεί να βρεθεί χρησιμοποιώντας τη σχέση,

$$\Delta\Sigma\text{ΗΠ} = 10 * \log_{10} \frac{40}{1,33} = 14,8 \text{ dB}$$

Από την σκοπιά της ακουστικής το ηχείο B «ακούγεται» μιάμιση φορές περίπου «δυνατότερα» από το A, όταν και τα δύο δέχονται στην είσοδο τους την ίδια ηλεκτρική ισχύ. Από τη σκοπιά του ενισχυτή, το ηχείο A χρειάζεται έναν ενισχυτή με

ισχύ 30 φορές μεγαλύτερη από εκείνη τού ενισχυτή πού οδηγεί το ηχείο B, για να δώσει την ίδια ηχητική στάθμη, τηρουμένων των αναλογιών.

Σημειώστε ότι η ευαισθησία είναι πιο συνηθισμένη προδιαγραφή από το βαθμό απόδοσης, ο οποίος χρησιμοποιείται σπανιότερα και κυρίως σαν προδιαγραφή σε ειδικούς τύπους ηχείων (όπως για παράδειγμα τα ηχεία τύπου χοάνης τα οποία έχουν υψηλό βαθμό απόδοσης 30-40% σε σχέση με οποιονδήποτε άλλο τύπο ηχείου).

Τέλος, παραθέτουμε έναν τυπικό πίνακα πού εικονίζει τη σχέση μεταξύ ισχύος εξόδου τού ενισχυτή, και της ηχητικής στάθμης πού παράγεται από ένα τυπικό ζευγάρι ηχεία με ευαισθησία 90dB στο 1m για ισχύ 1 watt. Οι τιμές της ηχητικής στάθμης αναφέρονται σε απόσταση 1m πάνω στον κύριο άξονα εκπομπής τού ηχείου.

Η σχέση των δύο μεγεθών είναι λογαριθμική. Έτσι, ένας τριπλασιασμός της ισχύος τού ενισχυτή αυξάνει την ηχητική στάθμη κατά 4,8dB, ενώ δεκαπλασιάζοντας την ισχύ πετυχαίνουμε μία αύξηση της ηχητικής στάθμης μόνο κατά 10dB, πού ακουστικά ερμηνεύεται σαν διπλασιασμός της υποκειμενικής ακουστικής έντασης.

Εύκολα έτσι γίνεται κατανοητό ότι ένας ενισχυτής ισχύος 70 watt (της ίδιας σχεδίασης) με έναν ενισχυτή 50 watt έχει μικρή διαφορά ως προς την ηχητική στάθμη πού δημιουργούν όταν οδηγούν τα ίδια ηχεία. Η διαφορά αυτή είναι μόλις 1,5dB.

Επίσης, αξίζει εδώ να σημειωθεί, ότι ακόμη και ένα ηχείο με πάνω από μέση ευαισθησία (όπως αυτό τού πίνακα), χρειάζεται τεράστια αποθέματα ισχύος για να μπορέσει να αποδώσει ρεαλιστικά τα πολύ δυνατά περάσματα της μουσικής. Συγκεκριμένα, ρίξτε μια ματιά στην σκανδαλώδη αυτή ισχύ των 1000 watt (τού πίνακα) πού απαιτούνται για μία εκκωφαντική βέβαια ηχητική στάθμη των 120dB.

Watts	dB (rel to 1 watt)
1	90,0
2	93,0
3	94,8
10	100,0
30	104,8
50	107,0
70	108,5
100	110,0
200	113,0
300	114,8
500	117,0
700	118,5
1000	120,0