



ΑΣΚΗΣΗ 2

Μέτρηση ηχητικής στάθμης πίεσης 2^ο

ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ

Στη συγκεκριμένη άσκηση θα ασχοληθούμε με την εξέταση των διαφορών ανάμεσα στις σταθερές ολοκλήρωσης του ηχομέτρου, με τους στατιστικούς δείκτες για τη μέτρηση του θορύβου και τέλος με τη μέτρηση της συνολικής ηχητικής στάθμης δύο πηγών που ηχούν ταυτόχρονα



1. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΘΕΩΡΙΑΣ

Στην προηγούμενη εργαστηριακή άσκηση ασχοληθήκαμε με τη στάθμη ηχητικής πίεσης που προέρχεται από μία μεμονωμένη ηχητική πηγή (στην πραγματικότητα με την παρουσία του θορύβου βάθους). Για το σκοπό αυτό κατά την εργαστηριακή άσκηση χρησιμοποιήσαμε ένα μόνο ηχείο.

Στο συγκεκριμένο εργαστήριο θα ασχοληθούμε με τη συνολική στάθμη ηχητικής πίεσης που προέρχεται από περισσότερες από μία πηγές, που είναι και το πιο σύνθετος.

Όταν δύο πηγές εκπέμπουν ταυτόχρονα ηχητική ενέργεια, συμβάλλουν και οι δύο στη συνολική στάθμη ηχητικής πίεσης σε κάποιο σημείο του χώρου.

Υπάρχουν δύο περιπτώσεις, οι οποίες διαφοροποιούν το τελικό αποτέλεσμα του υπολογισμού της συνολικής ηχητικής στάθμης, όταν γνωρίζουμε τις επιμέρους στάθμες των πηγών που δημιουργούνται στο συγκεκριμένο σημείο του χώρου.

(I) Συνδυασμός στάθμεων ηχητικής πίεσης

(I.1) Ηχητικές πηγές με φασική εξάρτηση

Πρόκειται για την περίπτωση κατά την οποία οι πηγές σχετίζονται φασικά μεταξύ τους. Η έννοια της στατιστικής εξάρτησης για δύο ομάδες δεδομένων χρησιμοποιείται όταν σε κάθε χρονική στιγμή τα στοιχεία της μίας ομάδας μπορούν να συσχετιστούν, συνήθως με γραμμικό τρόπο, με τα στοιχεία της άλλης. Στην περίπτωση που μας ενδιαφέρει σημαίνει ότι ο ήχος προέρχεται από δύο πηγές, οι οποίες εκπέμπουν ηχητικά κύματα με τα ίδια χαρακτηριστικά (δηλαδή ίδια κυματομορφή, ίδιο πλάτος και συχνότητα περιεχόμενο ανά χρονική στιγμή), σε φάση ή με κάποια σταθερή διαφορά φάσης μεταξύ τους.

Οι πλέον συνήθεις περιπτώσεις που απαντώνται στην πράξη είναι οι ακόλουθες:

(α) Αν χρησιμοποιούμε ένα ή παραπάνω ηχεία, τα οποία τροφοδοτούνται με το ίδιο (μονοφωνικό) σήμα από **κοινή ηλεκτρική πηγή**. Σε αυτή την περίπτωση, επειδή τα ηχεία είναι τοποθετημένα σε διάφορα σημεία του χώρου και εκπέμπουν ταυτόχρονα το ίδιο σήμα, λειτουργούν ως σύμφωνες πηγές.

(β) Αν έχουμε το συνδυασμό του σήματος μιας πηγής με μια **απλή ανάκλαση** σε κοντινή επιφάνεια του χώρου. Στην περίπτωση αυτή είναι σαν να έχουμε δύο πηγές, την αρχική και ένα είδωλό της. Αν η διαφορά χρόνου (λόγω δρόμου) με την οποία συμβάλλουν τα κύματα αυτών των δύο πηγών είναι μικρή, τότε ο ήχος που προήλθε από ανάκλαση θα είναι όμοιος με τον αρχικό. Αυτό μπορεί σε ορισμένες περιπτώσεις να δημιουργήσει προβλήματα κατά την ηχογράφηση ή την ενίσχυση του σήματος από ένα μικρόφωνο, όταν αυτό λαμβάνει ταυτόχρονα τον απευθείας ήχο και τον ανακλώμενο, οπότε εμφανίζονται φαινόμενα συμβολής.

Στην περίπτωση των σύμφωνων πηγών εμφανίζονται **φαινόμενα συμβολής**. Έτσι η συνολική πίεση, άρα και η συνολική στάθμη ηχητικής πίεσης, εξαρτάται από τον τρόπο με τον οποίο συμβάλλουν μεταξύ τους τα ηχητικά κύματα των δύο αυτών πηγών. Το αν θα έχουμε πλήρως καταστρεπτική (αποσβεστική) ή πλήρως εποικοδομητική (ενισχυτική) συμβολή ή κάτι ενδιάμεσο εξαρτάται από τη σχετική διαφορά φάσης με την οποία συμβάλλουν στο υπό παρατήρηση σημείο. Αυτή με τη σειρά της εξαρτάται από τη διαφορά φάσης με την οποία εκπέμπονται τα δύο κύματα (ή και αυτή που εισάγεται στην περίπτωση των ανακλάσεων λόγω διαφοράς διαδρομών), από τη σχετική θέση των πηγών και τη θέση του σημείου παρατήρησης ως προς αυτές και από τη συχνότητά τους. Αυτό δείχνει ότι *το είδος της συμβολής αλλάζει έντονα καθώς κινούμαστε στο χώρο*.

Στην περίπτωση των σύμφωνων ηχητικών πηγών, λόγω της αρχής της επαλληλίας που ισχύει για τα κύματα, προσθέτουμε τις στιγμιαίες τιμές ηχητικής πίεσης από τις διάφορες πηγές:

$$p_{\text{ολ-uncorrelated}}(t) = p_1(t) + p_2(t) + \dots + p_N(t) \quad (I.1) \quad \text{όπου } p_N(t) = A_N \cdot \sin(\omega t + \phi_N)$$

και το αποτέλεσμα εξαρτάται από τον τρόπο συμβολής.

Έστω η γενική περίπτωση δύο σύμφωνων πηγών, τα οποία φτάνουν στο σημείο παρατήρησης με μια διαφορά φάσης $\Delta\phi$ μεταξύ τους και με πλάτη A_1 και A_2 αντίστοιχα. Τότε για τη συνολική πίεση στο σημείο αυτό θα έχουμε: $p_{\text{ολ-uncorrelated}}(t) = A_1 \sin(\omega t + \phi_1) + A_2 \sin(\omega t + \phi_2)$



Ενισχυτική συμβολή:

Έστω η περίπτωση δύο σύμφωνων πηγών που δημιουργούν κύματα που έχουν ίδια πλάτη και βρίσκονται σε ίδια απόσταση από το σημείο παρατήρησης. Αυτό σημαίνει ότι θα έχουν διαφορά φάσης μηδενική ή πολλαπλάσιο του μήκους κύματος, δηλαδή θα είναι σε φάση μεταξύ τους. Οπότε έχουμε:

$$A_1 = A_2 = A \text{ και } \Delta\phi = 0 \text{ ή γενικά } \Delta\phi = 2k \cdot \pi, \text{ όπου } k = 0, 1, 2, 3, \dots \Rightarrow$$

$$P_{\text{ολ-}correlated}(t) = A \cdot \sin(\omega t) + A \cdot \sin(\omega t) = 2A \cdot \sin(\omega t)$$

Επομένως το πλάτος της πίεσης σε αυτή την περίπτωση θα είναι $2A$, δηλαδή διπλάσιο της μίας πηγής. Αυτή είναι και η **μέγιστη** τιμή.

Αποσβεστική συμβολή:

Έστω η περίπτωση δύο σύμφωνων πηγών που δημιουργούν κύματα που έχουν ίδια πλάτη και διαφορά φάσης π ή περιττό πολλαπλάσιο αυτού, δηλαδή είναι εκτός φάσης. Δηλαδή:

$$A_1 = A_2 = A \text{ και } \Delta\phi = \pi \text{ ή γενικά } \Delta\phi = (2k + 1) \cdot \pi, \text{ όπου } k = 0, 1, 2, 3, \dots \Rightarrow$$

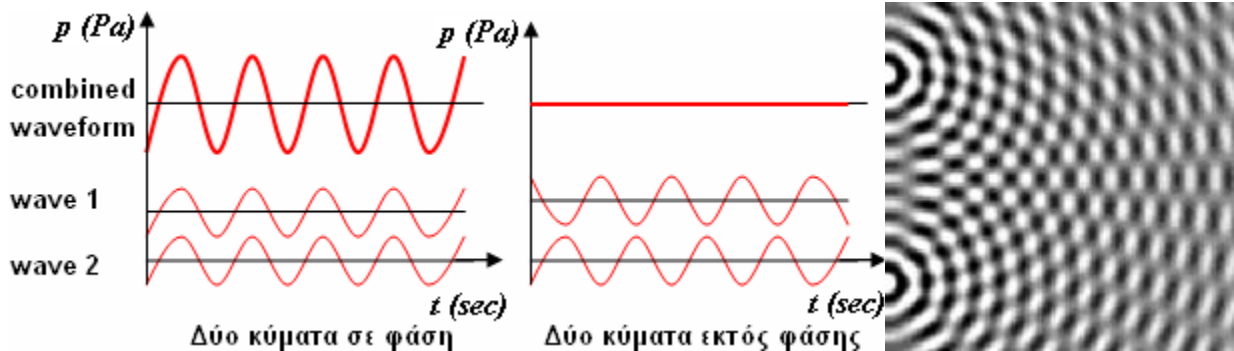
$$P_{\text{ολ-}correlated}(t) = A \cdot \sin(\omega t) + A \cdot \sin(\omega t + 2\pi) = A \cdot \sin(\omega t) - A \cdot \sin(\omega t) = 0$$

Αυτή είναι και η **ελάχιστη** τιμή.

Εφόσον η ένταση είναι ανάλογη του τετραγώνου της πίεσης, βλέπουμε ότι στην περίπτωση που δύο κύματα έχουν ίδια πλάτη (πράγμα που μπορεί πχ. να γίνει με δύο ηχεία που τροφοδοτούνται από την ίδια πηγή) έχουμε τα εξής:

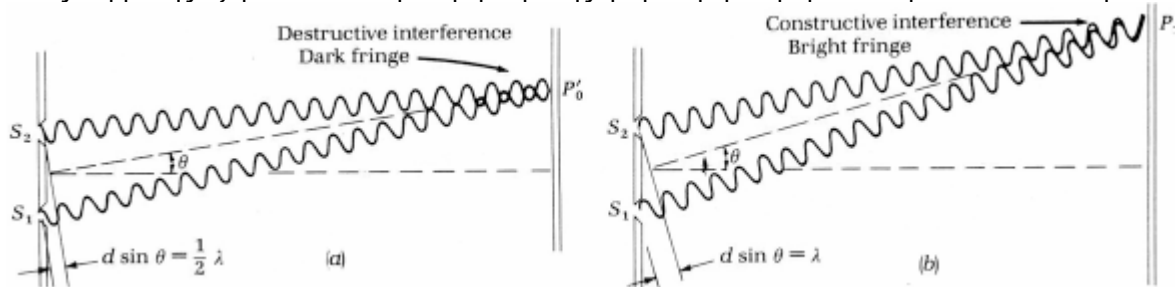
$$\begin{aligned} 0 < P_{\text{ολ-}correlated} < 2A \\ 0 < I_{\text{ολ-}correlated} < 4A^2 \end{aligned} \quad (1.2)$$

, ανάλογα με τον τρόπο συμβολής.



Σχήμα 1. (α) Ενισχυτική & αποσβεστική συμβολή, (β) Κροσσοί συμβολής

Ο τρόπος συμβολής εξαρτάται από τη διαφορά φάσης ή τη διαφορά δρόμων ανάμεσα στα δύο κύματα.



Σχήμα 2. (α) Καταστρεπτική και (β) Ενισχυτική συμβολή για ακραίες διαφορές φάσης/δρόμου [1]

Η διαφορά φάσης ή δρόμων μπορεί επίσης να εκφραστεί και σε πολλαπλάσια του μήκους κύματος ως εξής:

Εν γένει δύο σύμφωνες πηγές:

- συμβάλλουν **ενισχυτικά** όταν $\Delta\phi = k \cdot \lambda$, $k = 0, 1, 2, 3, \dots$
, δηλαδή η διαφορά φάσης τους είναι ίση με ακέραιο πολλαπλάσιο του μήκους κύματος και
- συμβάλλουν **αποσβεστικά** όταν $\Delta\phi = (2k + 1) \cdot \frac{\lambda}{2}$, $k = 0, 1, 2, 3, \dots$
, δηλαδή η διαφορά φάσης τους είναι ίση με περιττό ακέραιο πολλαπλάσιο του μισού μήκους κύματος.



ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ: Η υπόθεση ημιτονοειδούς μεταβολής της πίεσης έγινε αποκλειστικά και μόνο για την απλοποίηση των υπολογισμών και υπό καμία έννοια δεν υπονοείται ότι το παραπάνω φαινόμενο παρατηρείται μόνο για ημιτονοειδώς μεταβαλλόμενες πηγές.

Πρόσθεση στάθμεων ηχητικής πίεσης

Έστω δύο σύμφωνες ηχητικές πηγές με **ίδια πλάτη** ηχητικής πίεσης.

- **Ενισχυτική συμβολή.** Έχουμε διπλασιασμό της πίεσης σε σχέση με τη μία πηγή ($A_{ολ-correlated} = 2A$)

$$\Rightarrow (L_{p-ολ})_{correlated}^{max} = 20 \cdot \log \frac{P_{max}}{P_{ref}} = 20 \cdot \log \frac{2P_1}{P_{ref}} = 20 \cdot \log \frac{P_1}{P_{ref}} + 20 \cdot \log 2 = L_{p-1} + 6dB$$

- **Αποσβεστική συμβολή.** Έχουμε μηδενική ηχητική πίεση

$$\Rightarrow (L_{p-ολ})_{correlated}^{min} = 0dB$$

Η γενική σχέση που δίνει τη συνολική στάθμη ηχητικής πίεσης σε ένα σημείο παρατήρησης, όταν γνωρίζουμε τη στάθμη της κάθε μίας πηγής ξεχωριστά και τη σχετική τους φάση στο ίδιο σημείο είναι:

$$(L_{p-ολ})_{correlated} = 20 \cdot \log \sqrt{(10^{L_{p-1}/20})^2 + (10^{L_{p-2}/20})^2 + \dots + 2(10^{L_{p-2}/20} \cdot 10^{L_{p-2}/20}) \cdot \cos(\phi_1 - \phi_2)}$$

(1.3)

Από αυτήν μπορούμε να καταλήξουμε στα προηγούμενα αποτελέσματα ως εξής:

Για τις ακραίες περιπτώσεις διαφοράς φάσης έχουμε:

$$(α) \Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = 0 \Rightarrow$$

$$L_{p-ολ} = 20 \cdot \log \sqrt{(10^{L_{p-1}/20})^2 + (10^{L_{p-2}/20})^2 + 2(10^{L_{p-2}/20} \cdot 10^{L_{p-2}/20})}$$

$$= 20 \cdot \log \sqrt{(10^{L_{p-1}/20} + 10^{L_{p-2}/20})^2}$$

$$\Leftrightarrow (L_{p-ολ})_{correlated}^{max} = 20 \cdot \log(10^{L_{p-1}/20} + 10^{L_{p-2}/20}), \text{ που είναι η } \underline{\text{μέγιστη}} \text{ δυνατή τιμή, και}$$

$$(β) \Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = \pi \Rightarrow$$

$$L_{p-ολ} = 20 \cdot \log \sqrt{(10^{L_{p-1}/20})^2 + (10^{L_{p-2}/20})^2 + 2(10^{L_{p-2}/20} \cdot 10^{L_{p-2}/20}) \cdot \cos(\pi)}$$

$$= 20 \cdot \log \sqrt{(10^{L_{p-1}/20})^2 + (10^{L_{p-2}/20})^2 + 2(10^{L_{p-2}/20} \cdot 10^{L_{p-2}/20}) \cdot (-1)}$$

$$= 20 \cdot \log \sqrt{(10^{L_{p-1}/20})^2 + (10^{L_{p-2}/20})^2 - 2(10^{L_{p-2}/20} \cdot 10^{L_{p-2}/20})}$$

$$= 20 \cdot \log \sqrt{(10^{L_{p-1}/20} - 10^{L_{p-2}/20})^2}$$

$$\Leftrightarrow (L_{p-ολ})_{correlated}^{min} = 20 \cdot \log(10^{L_{p-1}/20} - 10^{L_{p-2}/20}), \text{ που είναι η } \underline{\text{ελάχιστη}} \text{ δυνατή τιμή.}$$

Σε περίπτωση που: $L_{p-1} = L_{p-2} = L_p \Rightarrow$

$$(α) (L_{p-ολ})_{correlated}^{max} = 20 \cdot \log(10^{L_p/20} + 10^{L_p/20}) = 20 \cdot \log(2 \cdot 10^{L_p/20})$$

$$= 20 \cdot \log(10^{L_p/20}) + 20 \cdot \log 2 = 20 \cdot \frac{L_p}{20} \log 10 + 20 \cdot \log 2 = L_p + 20 \cdot 0,3$$

$$\Leftrightarrow (L_{p-ολ})_{correlated}^{max} = L_p + 6dB \text{ η } \underline{\text{μέγιστη}} \text{ τιμή και}$$

$$(β) (L_{p-ολ})_{correlated}^{min} = 20 \cdot \log(10^{L_p/20} - 10^{L_p/20}) = 20 \cdot \log 0$$

$$\Leftrightarrow (L_{p-ολ})_{correlated}^{min} = 0dB \text{ η } \underline{\text{ελάχιστη}} \text{ τιμή}$$

Επομένως:

Στην περίπτωση **2 σύμφωνων** πηγών η συνολική στάθμη ηχητικής πίεσης κυμαίνεται μεταξύ δύο τιμών **min-max** που δίνονται από τη σχέση:

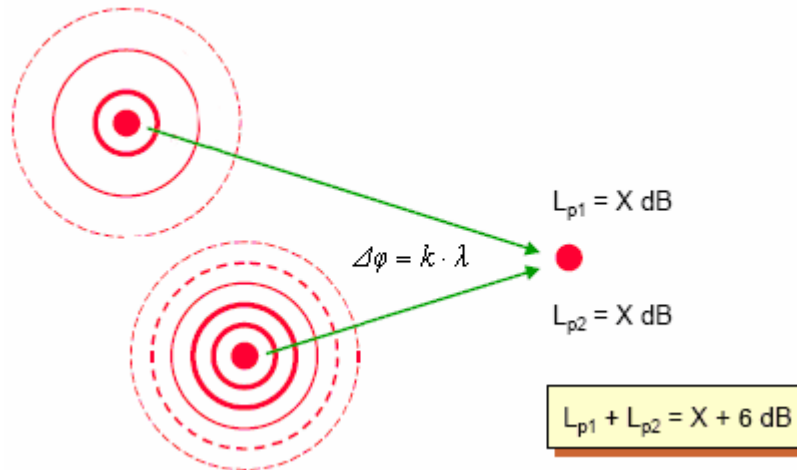
$$(L_{p-ολ})_{correlated}^{min} = 20 \cdot \log(10^{L_{p-1}/20} - 10^{L_{p-2}/20}) \quad (1.4.1)$$

$$(L_{p-ολ})_{correlated}^{max} = 20 \cdot \log(10^{L_{p-1}/20} + 10^{L_{p-2}/20}) \quad (1.4.2)$$

Στην περίπτωση που έχουμε **ίδιο πλάτος** ηχητικής πίεσης ($\Rightarrow L_{p-1} = L_{p-2} = L_p$) οι τιμές της συνολικής ηχητικής στάθμης κυμαίνονται μεταξύ:

$$(L_{p-ολ})_{correlated}^{min} = 0dB$$

$$(L_{p-ολ})_{correlated}^{max} = L_p + 6dB \quad (1.5)$$



Σχήμα 3. Πρόσθεση δύο φασικά εξαρτημένων πηγών, με ίδια ηχητική στάθμη & μηδενική διαφορά φάσης [6]

Με βάση τη γενική σχέση (1.3) καταλήγουμε στις τιμές του παρακάτω πίνακα για τις διάφορες περιπτώσεις:

Signal 1 Amplitude, L_p (dB)	Signal 1 Phase (degree)	Signal 2 Amplitude, L_p (dB)	Signal 2 Phase (degree)	Combined Signal Amp, L_p (dB)
90	0	+90	0	96.02
90	0	+90	10	95.99
90	0	+90	20	95.89
90	0	+90	30	95.72
90	0	+90	40	95.48
90	0	+90	50	95.17
90	0	+90	60	94.77
90	0	+90	70	94.29
90	0	+90	80	93.71
90	0	+90	90	93.01
90	0	+90	100	92.18
90	0	+90	110	91.19
90	0	+90	120	90.00
90	0	+90	130	88.54
90	0	+90	140	86.70
90	0	+90	150	84.28
90	0	+90	160	80.81
90	0	+90	170	74.83
90	0	+90	180	0.00

Πίνακας 1. Συνολική στάθμη συσχετισμένων πηγών για ποικίλες διαφορές φάσης [3]

Σε όλα τα παραπάνω είχαμε λάβει υπόψη μας την περίπτωση μιας *καθαρής συχνότητας*. Στη φύση παρ' όλα αυτά οι πηγές είναι συνήθως *σύνθετες*, δηλαδή περιέχουν περισσότερες συχνότητες. Στην περίπτωση δύο πηγών θορύβου, για παράδειγμα, το κύμα διαθέτει μια ευρεία ζώνη συχνοτήτων, με αποτέλεσμα το φαινόμενο της ενισχυτικής και αποσβεστικής συμβολής να μην είναι τόσο έντονο. Εφόσον τα παραπάνω φαινόμενα δεν αναμένονται, μπορούμε να προσθέσουμε απλώς την ενέργεια που διέρχεται από μια επιφάνεια ή αλλιώς την ένταση που προέρχεται από κάθε πηγή, όπως ακριβώς κάνουμε και με τις ανεξάρτητες πηγές.



(I.2) Ασυσχετίστες πηγές

Είναι η πιο γενική περίπτωση, στην οποία πρόκειται για δύο ή παραπάνω πηγές που ηχούν ταυτόχρονα, αλλά ανεξάρτητα η μία από την άλλη.

Αυτό μπορεί να ισχύει στην περίπτωση τελείως διαφορετικών πηγών (πχ. δύο μουσικά όργανα) που ηχούν ταυτόχρονα ή στην περίπτωση μίας κοινής πηγής και των ανακλάσεων της σε μακρινές επιφάνειες (μεγάλη χρονική υστέρηση).

Στην πρώτη περίπτωση έχουμε δύο διαφορετικές κυματομορφές με διαφορετικό συχνοτικό περιεχόμενο, ακόμα κι αν οι δύο πηγές παίζουν ταυτόχρονα την ίδια μουσική φράση.

Στη δεύτερη περίπτωση, αν και πρόκειται για κοινή πηγή, λόγω της μεγάλης χρονικής υστέρησης η πρωτογενής πηγή θα έχει αλλάξει τελείως χαρακτηριστικά (συχνότητα, πλάτος, κυματομορφή), έτσι ώστε να μην εμφανίζεται κάποια συσχέτιση με τις ανακλάσεις της.

Εφαρμόζοντας τη γενική αρχή της επαλληλίας για τα κύματα, έχουμε:

$$p_{\text{ολ-uncorrelated}}(t) = p_1(t) + p_2(t) + \dots + p_N(t), \text{ όπου } p_N(t) = A_N \cdot \sin(\omega t + \phi_N)$$

Ειδικά για την περίπτωση των ασυσχετίστων πηγών, η συνολική (ενεργός) πίεση προκύπτει από τις επιμέρους πηγές βάσει του παρακάτω στατιστικού τύπου:

$$(p_{\text{ολ-uncorrelated}})_{\text{rms}} = \sqrt{p_{\text{rms},1}^2 + p_{\text{rms},2}^2 + \dots + p_{\text{rms},N}^2} \quad (2.1)$$

$$(p_{\text{ολ-uncorrelated}})_{\text{rms}}^2 = p_{\text{rms},1}^2 + p_{\text{rms},2}^2 + \dots + p_{\text{rms},N}^2, \text{ όπου } p_{\text{rms},N}^2 = \frac{A_N^2}{2} \Leftrightarrow p_{\text{rms},N} = \frac{A_N}{\sqrt{2}}$$

Εφόσον η ένταση I είναι ανάλογη του τετραγώνου της ενεργού πίεσεως (εργαστηριακή άσκηση I) και η ένταση με τη σειρά της είναι ανάλογη της ηχητικής ισχύος την οποία εκπέμπει η πηγή, η παραπάνω σχέση εκφράζει το άθροισμα της ενέργειας που προέρχεται από τις επιμέρους πηγές, δηλαδή:

$$I_{\text{ολ-uncorrelated}} = I_1 + I_2 + \dots + I_N \text{ και } W_{\text{ολ-uncorrelated}} = W_1 + W_2 + \dots + W_N$$

Πρόσθεση στάθμεων ηχητικής πίεσης

Για τη στάθμη ηχητικής πίεσης ισχύει:

$$\begin{aligned} (L_{p\text{-ολ}})_{\text{uncorrelated}} &= 10 \cdot \log \frac{p_{\text{ολ}}^2}{p_{\text{ref}}^2} = 10 \cdot \log \frac{p_{\text{rms},1}^2 + p_{\text{rms},2}^2 + \dots + p_{\text{rms},N}^2}{p_{\text{ref}}^2} \\ &= 10 \cdot \log \left(\frac{p_{\text{rms},1}^2}{p_{\text{ref}}^2} + \frac{p_{\text{rms},2}^2}{p_{\text{ref}}^2} + \dots + \frac{p_{\text{rms},N}^2}{p_{\text{ref}}^2} \right) \end{aligned}$$

Από τη σχέση της στάθμης ηχητικής πίεσης:

$$L_{p-i} = 10 \cdot \log \frac{p_{\text{rms},i}^2}{p_{\text{ref}}^2} \Leftrightarrow \frac{L_{p-i}}{10} = \log \frac{p_{\text{rms},i}^2}{p_{\text{ref}}^2} \Leftrightarrow 10^{L_{p-i}/10} = \frac{p_{\text{rms},i}^2}{p_{\text{ref}}^2} \Rightarrow$$

$$\text{έχουμε για } N \text{ πηγές: } (L_{p\text{-ολ}})_{\text{uncorrelated}} = 10 \cdot \log(10^{L_{p-1}/10} + 10^{L_{p-2}/10} + \dots + 10^{L_{p-N}/10}) \quad (2.2)$$

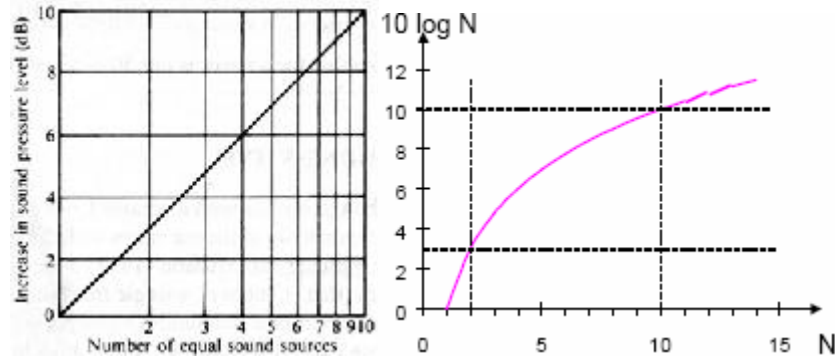


Στην ειδική περίπτωση όπου $L_{p-1} = L_{p-2} = \dots = L_{p-N} = L_p \Rightarrow$

$$(L_{p-ολ})_{uncorrelated} = 10 \cdot \log(10^{L_p/10} + 10^{L_p/10} + \dots + 10^{L_p/10}) = 10 \cdot \log(N \cdot 10^{L_p/10}) \Leftrightarrow$$

$$(L_{p-ολ})_{uncorrelated} = 10 \cdot \log(10^{L_p/10}) + 10 \cdot \log N = 10 \cdot \frac{L_p}{10} \log 10 + 10 \cdot \log N \Leftrightarrow$$

$$(L_{p-ολ})_{uncorrelated} = L_p + 10 \cdot \log N \quad (2.3)$$



Σχήμα 4. Αύξηση στάθμης με προσθήκη όμοιων πηγών [2]

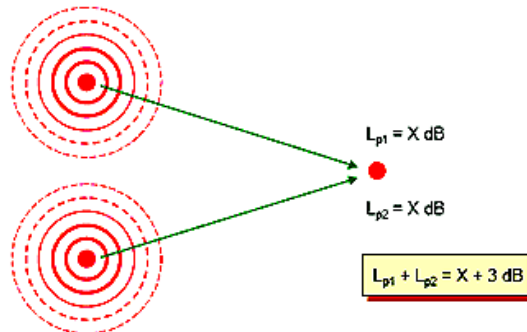
\Rightarrow Για **δύο πηγές** έχουμε: $(L_{p-ολ})_{uncorrelated} = 10 \cdot \log(10^{L_{p-1}/10} + 10^{L_{p-2}/10})$

Στην ειδική περίπτωση όπου $L_{p-1} = L_{p-2} = L_p$

$$\Leftrightarrow 10 \cdot \log \frac{P_{rms,1}^2}{P_{ref}^2} = 10 \cdot \log \frac{P_{rms,2}^2}{P_{ref}^2} \Leftrightarrow 10 \log \frac{P_{rms,1}^2}{P_{ref}^2} = 10 \log \frac{P_{rms,2}^2}{P_{ref}^2} \Leftrightarrow \frac{P_{rms,1}^2}{P_{ref}^2} = \frac{P_{rms,2}^2}{P_{ref}^2} \Leftrightarrow P_{rms,1}^2 = P_{rms,2}^2$$

$$\Leftrightarrow (P_{ολ-uncorrelated})_{rms}^2 = P_{rms,1}^2 + P_{rms,2}^2 = 2 \cdot P_{rms}^2 \Leftrightarrow (P_{ολ-uncorrelated})_{rms} = \sqrt{2} \cdot P_{rms}$$

\Rightarrow έχουμε: $(L_{p-ολ})_{uncorrelated} = L_p + 10 \cdot \log 2 = L_p + 3dB$



Σχήμα 5. Άθροισμα δύο ανεξάρτητων πηγών με ίδια στάθμη [6]

Στην περίπτωση **2 ασυσχέτιστων** πηγών η συνολική στάθμη ηχητικής πίεσης έχει τιμή που δίνεται από τη σχέση:

$$(L_{p-ολ})_{uncorrelated} = 10 \cdot \log(10^{L_{p-1}/10} + 10^{L_{p-2}/10}) \quad (2.4)$$

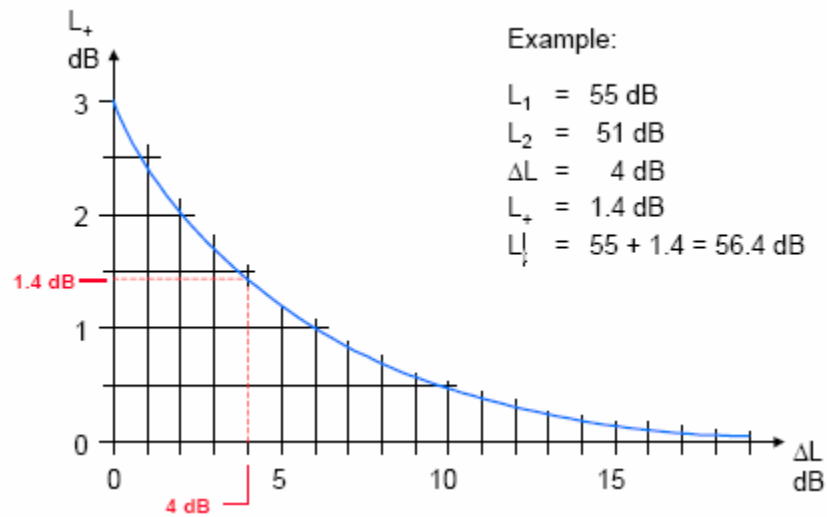
Στην περίπτωση που έχουμε **ίδιο πλάτος** ηχητικής πίεσης ($\Rightarrow L_{p-1} = L_{p-2} = L_p$)

η συνολική στάθμη παίρνει την τιμή:

$$(L_{p-ολ})_{uncorrelated} = L_p + 3dB \quad (2.5)$$



Αν οι στάθμες δύο διαφορετικών πηγών έχουν μετρηθεί ξεχωριστά και θέλουμε να υπολογίσουμε τη συνολική στάθμη που θα προκύψει, αν λειτουργήσουν ταυτόχρονα, μπορούμε είτε να υπολογίσουμε επακριβώς την τιμή από τη (2.4) είτε να χρησιμοποιήσουμε την επόμενη γραφική παράσταση ή τον πίνακα, για έναν γρήγορο υπολογισμό.



Σχήμα 6. Διορθωτικός παράγοντας άθροισης για ασυσχέτιστες πηγές [6]

Διαφορά μεταξύ των δύο στάθμων [dBA]	Προσθετικός διορθωτικός παράγοντας στην υψηλότερη στάθμη [dBA]
0	3.0
1	2.5
2	2.0
3	1.8
4	1.4
5	1.2
6	1.0
7	0.8
8	0.7
9	0.6
>10	0.5

Πίνακας 2. Προσθετικός διορθωτικός παράγοντας για ασυσχέτιστες πηγές

Δηλαδή, βρίσκουμε πρώτα τη διαφορά των στάθμων των δύο πηγών και στη συνέχεια προσθέτουμε στη μεγαλύτερη στάθμη από τις δύο τον διορθωτικό παράγοντα του πίνακα που αντιστοιχεί σε αυτή τη διαφορά.

Αφαίρεση στάθμων ηχητικής πίεσης

Κατά αντιστοιχία της πρόσθεσης γίνεται και η αφαίρεση στάθμων. Η πιο συνήθης εφαρμογή της βρίσκεται στην αφαίρεση του θορύβου βάθους, όταν θέλουμε να μετρήσουμε την εκπεμπόμενη ηχητική στάθμη πίεσης από μια πηγή που μας ενδιαφέρει, η οποία όμως λειτουργεί σε ένα θορυβώδες περιβάλλον.

Έτσι έχουμε για δύο ασυσχέτιστες πηγές (την πηγή ενδιαφέροντος και το θόρυβο βάθους):

$$(L_{p-\text{ολ}})_{\text{uncorr}} = 10 \cdot \log(10^{L_{p-\pi}/10} + 10^{L_{p-\theta\beta}/10})$$

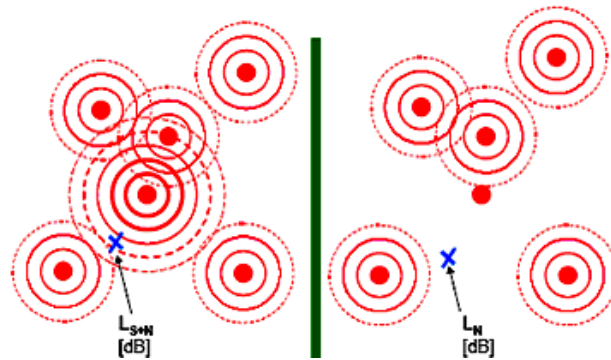
Λύνοντας ως προς τη στάθμη της πηγής $L_{p-\pi}$ έχουμε:

$$\frac{L_{p-\text{ολ-uncorr}}}{10} = \log(10^{L_{p-\pi}/10} + 10^{L_{p-\theta\beta}/10}) \Leftrightarrow 10^{L_{p-\text{ολ-uncorr}}/10} = 10^{\log(10^{L_{p-\pi}/10} + 10^{L_{p-\theta\beta}/10})}$$

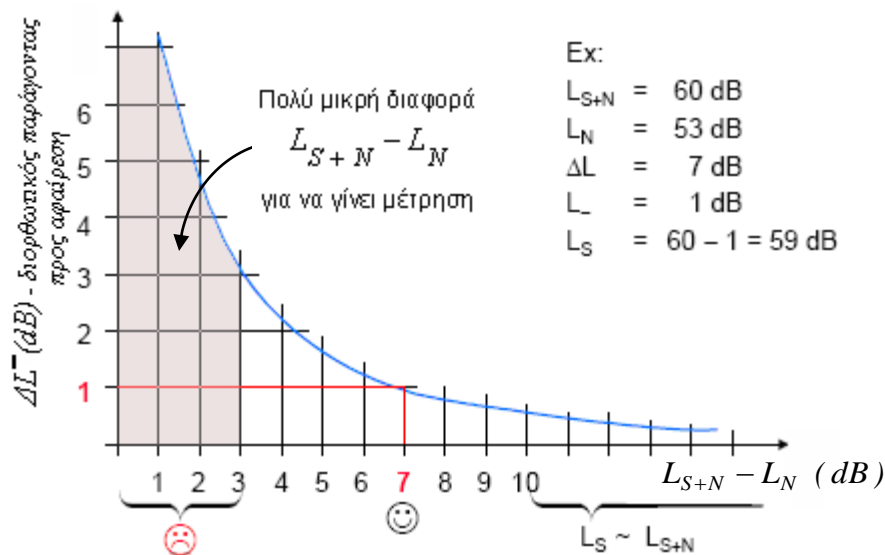
$$\Leftrightarrow 10^{L_{p-\text{ολ-uncorr}}/10} = 10^{L_{p-\pi}/10} + 10^{L_{p-\theta\beta}/10} \Leftrightarrow 10^{L_{p-\pi}/10} = 10^{L_{p-\text{ολ-uncorr}}/10} - 10^{L_{p-\theta\beta}/10}$$

$$\Leftrightarrow \log 10^{L_{p-\pi}/10} = \log(10^{L_{p-\text{ολ-uncorr}}/10} - 10^{L_{p-\theta\beta}/10}) \Leftrightarrow$$

$$\frac{L_{p-\pi}}{10} = \log(10^{L_{p-\text{ολ-uncorr}}/10} - 10^{L_{p-\theta\beta}/10}) \Leftrightarrow L_{p-\pi} = 10 \cdot \log(10^{L_{p-\text{ολ-uncorr}}/10} - 10^{L_{p-\theta\beta}/10}) \quad (2.6)$$



Σχήμα 7. Αφαίρεση θορύβου βάθους [6]



Σχήμα 8. Διόρθωση για θόρυβο βάθους (L_{S+N} συνολικός θόρυβος, L_N θόρυβος βάθους) [6]

Για τον γρήγορο υπολογισμό της στάθμης μιας πηγής που λειτουργεί μέσα σε θορυβώδες περιβάλλον, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το παραπάνω διάγραμμα. Από τις δύο μετρήσεις, τη συνολική στάθμη L_{S+N} & τη στάθμη θορύβου βάθους L_N , υπολογίζουμε τη διαφορά. Από το διάγραμμα βρίσκουμε τον αντίστοιχο διορθωτικό παράγοντα, τον οποίο αφαιρούμε από τη συνολική L_{S+N} . (με την προϋπόθεση ότι έχουν μια διαφορά τουλάχιστον 3 dB, αλλιώς δεν έχει νόημα η μέτρηση).



(1.3) Συμπεράσματα

Από τις παραπάνω σχέσεις διαπιστώνουμε ότι η άθροιση περισσότερων *ασυσχέτιστων* πηγών παρουσιάζει μεγάλες διαφορές ως προς την άθροιση *σύμφωνων* πηγών.

(α) Η άθροιση σύμφωνων πηγών δεν εξαρτάται μόνο από την τιμή των στάθμεων από τις διάφορες πηγές, αλλά και από τη θέση τους στο χώρο, δηλαδή τη διαφορά διαδρομής ως προς το σημείο παρατήρησης.

Αντίθετα, στην περίπτωση των σύμφωνων πηγών το άθροισμα δίνεται απλώς από το άθροισμα των ισχύων (κατά συνέπεια τετραγωνικών πιέσεων) ανεξάρτητα από διαφορά φάσης και θέση στο χώρο.

Αυτό σημαίνει ότι η προσθήκη ασυσχέτιστων ηχητικών πηγών πάντα προκαλεί αύξηση της συνολικής στάθμης, σε αντίθεση με την περίπτωση των σύμφωνων πηγών, όπου μπορούμε να έχουμε μέχρι και μηδενισμό της πίεσης.

(β) Πάντως, από τις σχέσεις (2.5) και (1.5) φαίνεται ότι η αύξηση της στάθμης στην περίπτωση των ασυσχέτιστων πηγών είναι πάντοτε μικρότερη από την αντίστοιχη των σύμφωνων πηγών.

(1.4) Προσοχή!

Σε κάθε περίπτωση λόγω του γεγονότος ότι οι στάθμες αντιπροσωπεύονται από λογαρίθμους, **ΟΙ ΣΤΑΘΜΕΣ ΠΟΤΕ ΔΕΝ ΠΡΟΣΤΙΘΕΝΤΑΙ / ΑΦΑΙΡΟΥΝΤΑΙ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ!**

Γι' αυτό και συχνά την πρόσθεση και την αφαίρεση δύο στάθμεων τις συμβολίζουμε ως εξής:

$$(L_{p-\text{ολ}}) = L_1 \oplus L_2$$

$$(L_{p-\text{ολ}}) = L_1 \ominus L_2$$

Για παράδειγμα:

$$L_1 \oplus L_2 = 10 \cdot \log \left(10^{\frac{80}{10}} + 10^{\frac{80}{10}} \right) = 10 \cdot \log (2 \cdot 10^8) = 10 \cdot \log 10^8 + 10 \cdot \log 2 = 8 \cdot 10 \cdot \log 10 + 10 \cdot \log 2$$

$$\Leftrightarrow L_1 \oplus L_2 = 80 + 10 \cdot \log 2 = 80 + 10 \cdot 0,3 = 80 + 3 = 83 \text{dB}$$



(II) Σταθερές ολοκλήρωσης του ηχομέτρου

Όπως γνωρίζουμε, το φυσικό μέγεθος που μετρά ένα ηχώμετρο είναι η πίεση. Επειδή συνήθως η ένταση του ήχου μεταβάλλεται συνεχώς με το χρόνο, το ίδιο ισχύει και για την πίεση.

Αν και θα θέλαμε να μετρήσουμε τις τιμές της πίεσης όσο το δυνατόν με μεγαλύτερη ακρίβεια, θα ήταν δύσκολη έως αδύνατη η ανάγνωση των τιμών, με τόσο γρήγορες διακυμάνσεις. Γι' αυτό και θα πρέπει να κάνουμε μια ολοκλήρωση στο χρόνο και να πάρουμε μια τιμή, η οποία θα αντιπροσωπεύει μια μέση τιμή για το αντίστοιχο χρονικό διάστημα.

Έτσι στην πράξη το ηχώμετρο δε μας δίνει εν γένει μετρήσεις για τις στιγμιαίες τιμές της πίεσης, $p(t)$, αλλά για τις ενεργές τιμές πίεσης, p_{rms} . Οι ενεργές τιμές της πίεσης υπολογίζονται από την ολοκλήρωση του τετραγώνου των στιγμιαίων πιέσεων σε κάποιο χρονικό διάστημα, οπότε έχουμε:

$$p_{rms}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T p(t)^2 dt \quad (3.1)$$

Από αυτές το ηχώμετρο υπολογίζει τις αντίστοιχες στάθμες, οι οποίες αντιπροσωπεύουν μια μέση τιμή της ηχητικής στάθμης πίεσης στο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, και μας δίνει το αποτέλεσμα στο τέλος του αντίστοιχου χρονικού διαστήματος ολοκλήρωσης. Η τιμή αυτή εξαρτάται βεβαίως από το χρονικό διάστημα της ολοκλήρωσης.

Γι' αυτό τα ηχώμετρα είναι εφοδιασμένα με διάφορες σταθερές χρόνου ολοκλήρωσης, τις οποίες ο χρήστης μπορεί να αλλάξει ανάλογα με την περίπτωση. Έτσι έχουμε:

- 'S' - 'Slow': $T = 1 \text{ sec}$

- 'F' - 'Fast': $T = \frac{1}{8} \text{ sec} = 125 \text{ msec}$

Κάποια ηχώμετρα διαθέτουν και τις παρακάτω επιπλέον ρυθμίσεις:

- 'I' - 'Impulse': $T = 35 \text{ msec}$

- 'P' - 'Peak': $T = 50 \mu \text{ sec}$

Οι παραπάνω σταθερές καθορίζουν το χρόνο αντίδρασης του ηχομέτρου, δηλαδή ποιο θα είναι το χρονικό διάστημα της ολοκλήρωσης και πόσο συχνά θα μας δίνει νέα ένδειξη το ηχώμετρο για τη μέση τιμή της SPL, σύμφωνα με τις στιγμιαίες διακυμάνσεις του ήχου. Όσο μεγαλύτερη είναι η σταθερά ολοκλήρωσης, τόσο πιο αργά αντιδρά το ηχώμετρο και τόσο πιο εύκολα αγνοεί πολύ σύντομα γεγονότα.

Η επιλογή της κατάλληλης σταθεράς ολοκλήρωσης εξαρτάται από το είδος του υπό μέτρηση ήχου / θορύβου και το σκοπό των μετρήσεων, ενώ πολλές φορές υπαγορεύεται από τα χρησιμοποιούμενα πρότυπα, στα οποία θα βασιστεί η μελέτη.

Η ρύθμιση 'slow' καθιστά το ηχώμετρο λιγότερο ευαίσθητο στις γρήγορες διακυμάνσεις της ηχητικής στάθμης και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ήχους που εμφανίζουν αργές μεταβολές. Στην περίπτωση αυτή οι ενδείξεις αντιπροσωπεύουν μια πιο χονδροειδή μέση τιμή των στιγμιαίων τιμών πίεσης, ενώ παράλληλα μειώνουν τις διακυμάνσεις των ενδείξεων, τόσο ως προς το χρόνο μεταβολής όσο και ως προς τις τιμές τους. Χρησιμοποιείται περισσότερο στη μέτρηση περιβαλλοντικού θορύβου και θορύβου στο εργασιακό περιβάλλον.

Η ρύθμιση 'fast' αντιστοιχεί σε πιο γρήγορη αντίδραση του ηχομέτρου, η οποία επιτρέπει την παρακολούθηση πιο γρήγορων διακυμάνσεων στις τιμές της πίεσης. Λαμβάνει περισσότερες μετρήσεις από ότι η 'slow' στο αντίστοιχο χρονικό διάστημα για τον υπολογισμό της (μέσης) ηχητικής στάθμης, με αποτέλεσμα να είναι πιο κατάλληλη για τέτοιου ήχους με γρήγορες διακυμάνσεις. Αρχικά, μάλιστα, η ρύθμιση 'fast' εισήχθη, γιατί θεωρείται ότι προσεγγίζει καλύτερα το χρόνο ολοκλήρωσης που χρησιμοποιεί το σύστημα της ανθρώπινης ακοής.

Σε περίπτωση που ένας ήχος παρουσιάζει σχετικά γρήγορες διακυμάνσεις και γίνει χρήση της ρύθμισης 'slow', σύντομες μεταβολές (που αντιπροσωπεύονται από μια στενή κορυφή στην κυματομορφή) δε θα γίνουν αντιληπτές από το ηχώμετρο κι έτσι η (μέση) τιμή της στάθμης θα είναι χαμηλότερη από ότι αν χρησιμοποιούσαμε τη ρύθμιση 'fast'. Στις περισσότερες περιπτώσεις βιομηχανικού θορύβου οι ενδείξεις του ηχώμετρου με τη 'slow' ρύθμιση μεταβάλλονται πολύ λιγότερο από ότι με τη 'fast'.



Στην περίπτωση σταθερών θορύβων / ήχων ο χρόνος ολοκλήρωσης δεν παίζει προφανώς ιδιαίτερο ρόλο, εφόσον αυτός είναι πολύ μεγαλύτερος από το χρόνο των διακυμάνσεων.

Αν τώρα ο υπό μέτρηση θόρυβος αποτελείται από έναν μεμονωμένο ή μια ριπή από παλμούς, τότε ούτε η ρύθμιση 'fast' είναι επαρκής, οπότε χρησιμοποιούμε τη ρύθμιση 'I' (impulse). Τα 35msec αυτής της ρύθμισης (τέσσερις φορές πιο γρήγορη από ότι η 'fast') είναι ικανά να εντοπίσουν transient σήματα θορύβου. Επομένως οι ενδείξεις σε αυτή τη ρύθμιση θα είναι αντιπροσωπευτικές της ακουστότητας και της ενόχλησης ενός πολύ σύντομου (παλμικού) ήχου.

Το πόσο δυνατά αντιλαμβανόμαστε έναν ήχο εξαρτάται και από τη διάρκειά του. Έτσι έχει αποδειχτεί ότι η ακουστότητα ενός πολύ σύντομου παλμού είναι μικρότερη από ότι ενός αντίστοιχου σταθερού ήχου της ίδιας έντασης (I) που διαρκεί περισσότερο. Παρ' όλα αυτά, ο κίνδυνος ακουστικής βλάβης δε μειώνεται απαραίτητα. Πρόσφατα έχει αποδειχτεί ότι οι μέσες τιμές των ηχητικών στάθμων δεν είναι επαρκής ένδειξη του κινδύνου αυτού. Γι' αυτό το λόγο κάποια ηχόμετρα έχουν τη δυνατότητα να μετρούν το πραγματικό μέγιστο / την κορυφή της στιγμιαίας πίεσης (peak) στο διάστημα ολοκλήρωσης (50 msec!), το οποίο είναι πιο ενδεικτικό του κινδύνου ακουστικής βλάβης (αν και δεν υπάρχει ακόμα ένα παγκοσμίως αποδεκτό κριτήριο γι' αυτό).

Έτσι, κάποια ηχόμετρα με ψηφιακή οθόνη διαθέτουν και ένα κύκλωμα συγκράτησης, το οποίο έχει τη δυνατότητα να αποθηκεύει είτε τη μέγιστη τιμή της στιγμιαίας πίεσης είτε τη μέγιστη τιμή της RMS πίεσης που μετρήθηκε κατά τη διάρκεια του τελευταίου 1 sec, πράγμα το οποίο δίνει μια λύση στο πρόβλημα της έντονης και γρήγορης διακύμανσης των ενδείξεων.



(III) Στατιστικοί δείκτες

Όπως έχουμε δει, ένας τρόπος για να παρουσιάσουμε τα επίπεδα ενός μεταβαλλόμενου θορύβου κατά τη διάρκεια ενός μεγάλου χρονικού διαστήματος είναι η ισοδύναμη στάθμη συνεχούς θορύβου, L_{eq} .

Ένας άλλος τρόπος περιγραφής ενός μεταβαλλόμενου θορύβου είναι οι στατιστικοί δείκτες, L_N , όπου το N παίρνει τιμές από 1 έως 99. Οι στατιστικοί δείκτες εκφράζουν την ηχητική εκείνη στάθμη που ξεπερνιέται για κάποιο ποσοστό του συνολικού χρόνου παρατήρησης. Συγκεκριμένα, L_N είναι η κατώτατη εκείνη στάθμη θορύβου που ισχύει για $N\%$ του συνολικού χρόνου μέτρησης.

Στην πράξη, οι πλέον χρησιμοποιούμενοι δείκτες είναι οι: $L_1, L_{10}, L_{50}, L_{90}$ και L_{99}

Αν και η χρήση των στατιστικών δεικτών προέρχεται από αδυναμία της παλαιότερης τεχνολογίας, οι L_N έχουν πλέον καθιερωθεί και χρησιμοποιούνται ακόμα και τώρα (ιδιαίτερα στις Αγγλοσαξωνικές χώρες), ειδικά ως μια γρήγορη ένδειξη των διακυμάνσεων στη στάθμη του μετρούμενου θορύβου.

Για το σκοπό αυτό χωρίζουμε το συνολικό χρονικό διάστημα της μέτρησης σε πολλά μικρότερα ανάλογα με τη σταθερά χρόνου ολοκλήρωσης που χρησιμοποιούμε. Σε κάθε διάστημα αντιστοιχεί μια τιμή στάθμης ηχητικής πίεσης και από τη στατιστική ανάλυση αυτών των τιμών μπορούμε να καταλήξουμε σε τιμές στάθμης που ίσχυαν για διάφορα ποσοστά του συνολικού χρόνου μέτρησης.

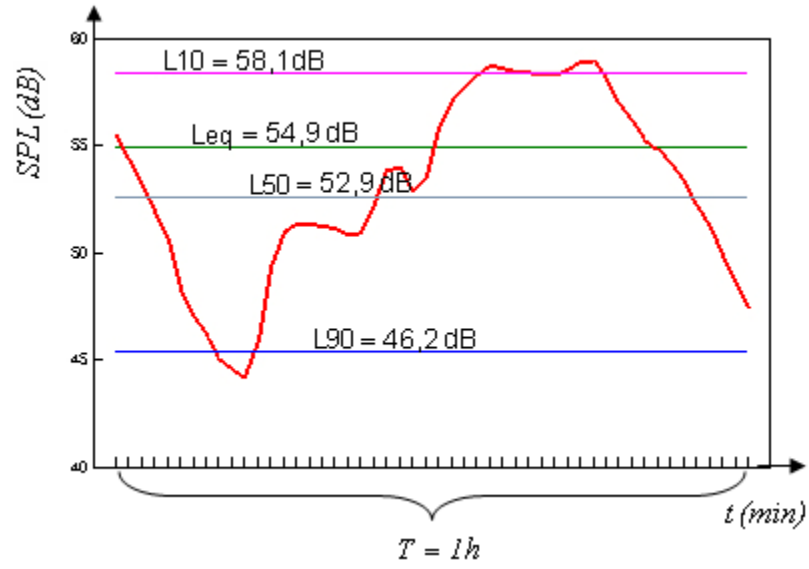
Έτσι:

- Εφόσον L_1 είναι η κατώτατη στάθμη που ισχύει για μόλις το 1% του χρόνου, δηλαδή ξεπερνιέται μόνο κατά τη διάρκεια ενός πολύ μικρού μέρους του συνολικού χρόνου, θα εκφράζει την περιοχή των μέγιστων τιμών ηχητικής στάθμης κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.
- Το L_{10} χρησιμοποιείται για μετρήσεις κυκλοφοριακού θορύβου.
- Το L_{50} κατά αντιστοιχία εκφράζει την κατώτατη στάθμη που ισχύει για το μισό χρονικό διάστημα των μετρήσεων (50%).
- Το L_{90} χρησιμοποιείται συνήθως ως μια ένδειξη του θορύβου βάθους της περιοχής.
- Εφόσον L_{99} είναι η κατώτατη στάθμη που ισχύει για το 99% του χρόνου, δηλαδή ξεπερνιέται κατά το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου μέτρησης, χρησιμοποιείται ως ένδειξη της ελάχιστης στάθμης του θορύβου βάθους κατά το χρόνο μέτρησης.

Η διαφορά μεταξύ $L_1 - L_{99}$ ή $L_{10} - L_{90}$ είναι ενδεικτική του εύρους διακύμανσης στην ηχητική στάθμη του θορύβου.

Όταν παρουσιάζουμε τιμές στατιστικών δεικτών θα πρέπει να παρουσιάζουμε ταυτόχρονα και τη συνολική χρονική διάρκεια των μετρήσεων και τη σταθερά χρόνου που χρησιμοποιήθηκε.

Στο παρακάτω διάγραμμα παρατηρούμε τις τιμές των στατιστικών δεικτών, καθώς και του L_{eq} . Η στάθμη που αντιστοιχεί στο L_{90} βρίσκεται χαμηλά (θορύβος βάθους), λίγο πιο ψηλά βρίσκεται ο L_{50} και κοντά στην κορυφή βρίσκεται ο L_{10} . Επίσης παρατηρούμε εδώ ότι το L_{eq} βρίσκεται λίγο πιο ψηλά από τον L_{50} σε αυτό το διάγραμμα $t - L_p$ (dB). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το L_{eq} αντιπροσωπεύει ενέργεια, που δεν είναι λογαριθμικό μέγεθος, γι' αυτό το λόγο τείνει περισσότερο προς τις υψηλές στάθμες.



Σχήμα 9. Παράδειγμα στατιστικών δεικτών [8]



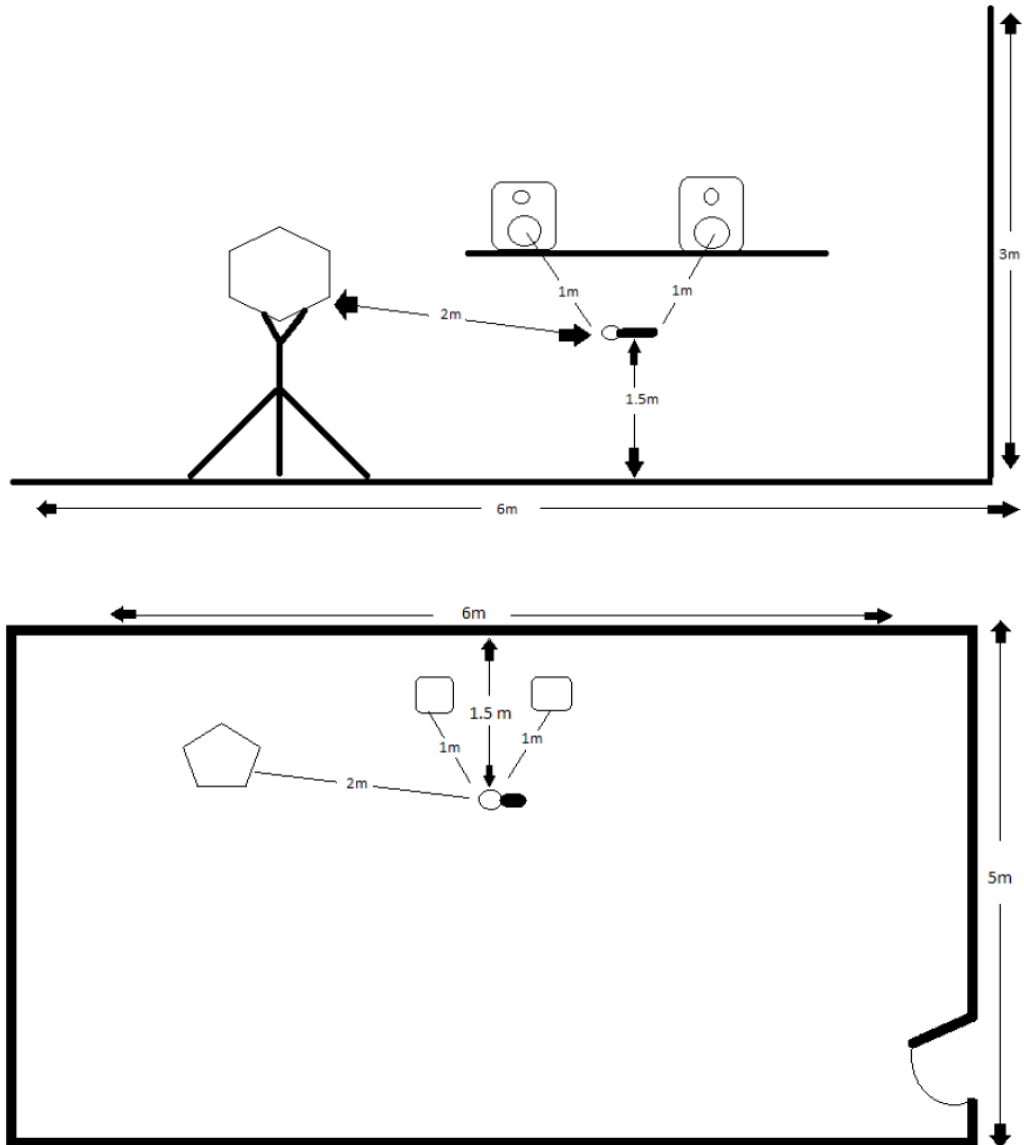
2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Gettys E., Keller F., Skove M. (1992). "PHYSICS Classical and Modern"
- [2] Davis D., Davis C. (1997), "Sound system engineering"
- [3] Σκαρλάτος Δ. (2003), "Εφαρμοσμένη ακουστική"
- [4] Howard D., Angus J. (1996), "Acoustics and Psychoacoustics"
- [5] Κουτσοδημάκης Χ., Σηφάκης Μ., "Εργαστηριακό Φυλλάδιο Μηχανικής Ήχου Ι"
- [6] Brüel & Kjær. (1998), "Basic concepts of sound". At: <http://www.bksv.com/3975.asp>
- [7] Brüel & Kjær. (1998), "Environmental Noise". At: <http://www.bksv.com/3975.asp>
- [8] PDA Acoustics Consultans. (2005). At: <http://www.pdaltd.com/Pages/leq.htm>

3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Πειραματική διάταξη

- Χρησιμοποιούμενες συσκευές: Η/Υ + [1],[2],[3],[5],[6]
- Σχήμα / κάτοψη χώρου (να γίνει κατά τη διάρκεια του εργαστηρίου)



[από παλιότερη εργασία φοιτητή για μετρήσεις 5 και 6]



Πειραματική διαδικασία

1. Να γίνει βαθμονόμηση του ηχομέτρου (calibration στα 94dB – 1kHz).
2. Να μετρηθεί η στάθμη θορύβου βάθους B της αίθουσας σε L_{eq} για 1 min με τρεις τρόπους: γραμμικά, με φίλτρο A και με φίλτρο C.

L_{eq} (lin)	L_{eq} (A)	L_{eq} (C)

3. Για πηγή ήχου λευκό θόρυβο (ηχείο {3}) να γίνουν μετρήσεις L_{eq} (A), L_{eq-max} (A) διάρκειας 30sec με δύο σταθερές ολοκλήρωσης: 'Fast' (0,125sec) και 'SLOW' (1sec). Να αναγραφούν τα αποτελέσματα.

Σταθερά ολοκλήρωσης	Λευκός θόρυβος	
	L_{eq} (A)	L_{eq-max} (A)
'FAST' (0,125 sec)		
'SLOW' (1 sec)		

4. Για πηγή ήχου ροζ θόρυβο (ηχείο {3}) να γίνουν μετρήσεις διάρκειας 1min των L_{eq} (A), L_1 (A), L_{10} (A), L_{50} (A), L_{90} (A) και L_{99} (A) με σταθερά ολοκλήρωσης Fast. Να επαναληφθεί η μέτρηση, αλλά με την προσθήκη ενός δυνατού ήχου μικρής διάρκειας (πχ. ένα παλαμάκι) κατά τη διάρκεια του 1 min.

1	L_{eq} (A)	L_1 (A)	L_{10} (A)	L_{50} (A)	L_{90} (A)	L_{99} (A)
2	L_{eq} (A)	L_1 (A)	L_{10} (A)	L_{50} (A)	L_{90} (A)	L_{99} (A)

5. Να τοποθετηθεί το δωδεκάεδρο ηχείο {3} σε συγκεκριμένο σημείο της αίθουσας, να τροφοδοτηθεί με σήμα λευκού θορύβου από την πρότυπη ηχητική πηγή και να πραγματοποιηθεί μέτρηση της στάθμης ηχητικής πίεσης (σε L_{eq} για 1 min). Το ίδιο να επαναληφθεί για λευκό θόρυβο από το ένα ηχείο του φορητού συστήματος {6} τοποθετημένο σε άλλο σημείο του χώρου. Τέλος να ληφθεί μέτρηση της στάθμης ηχητικής πίεσης (σε L_{eq} για 1 min) για συνήχηση των δύο πηγών.

	SPL ₁ - Πηγή 1	SPL ₂ - Πηγή 2	SPL _{1&2} - Πηγές 1 & 2
Λευκός θόρυβος			

6. Να τοποθετηθούν τα δύο ηχεία {6} του φορητού συστήματος σε συγκεκριμένα σημεία, έτσι ώστε οι στάθμες όταν λειτουργούν η κάθε μια ξεχωριστά να είναι σχεδόν ίδιες. Να τροφοδοτηθούν με καθαρό τόνο συχνότητας 1 kHz από τον υπολογιστή. Στη συνέχεια να ληφθούν μετρήσεις ηχητικής πίεσης (σε L_{eq} για 1 min) στις εξής περιπτώσεις:

	SPL ₁ - Ηχείο 1	SPL ₂ - Ηχείο 2	SPL _{1&2} - Ηχεία 1 & 2
Καθαρός τόνος 1 kHz			



Επεξεργασία μετρήσεων

1. Να σχολιαστούν τα αποτελέσματα της μέτρησης 3.
2. Να συγκριθούν οι τιμές των επιμέρους δεικτών για τη μέτρηση 4 και να σχολιαστούν. Συμφωνούν με τη αναμενόμενη τιμή σύμφωνα με τη θεωρία;
3. Να υπολογιστεί θεωρητικά το άθροισμα των στάθμεων πίεσης των δύο πηγών για τη μέτρηση 5. Συμφωνεί η πειραματική τιμή με αυτό; Πού πιστεύετε ότι θα μπορούσαν να φανούν χρήσιμες ανάλογες μετρήσεις στην πράξη (αν πχ. γνωρίζαμε τις τιμές στάθμης πίεσης για τη μία πηγή και τη συνήχηση των δύο πηγών);
4. Να σχολιαστούν τα αποτελέσματα της μέτρησης 6. Ποιά/ές θα ήταν η/οι αναμενόμενη/ες τιμή/ές της στάθμης πίεσης για τη συνήχηση των δύο αυτών πηγών θεωρητικά;