

DECYBELE CZYLI JAK MIERZYMY DŹWIĘK

W artykule zawarto podstawowe informacje o logarytmicznych miarach poziomu natężenia dźwięku, a także stosunku mocy lub napięć.

Fala dźwiękowa rozchodząc się w ośrodku, na przykład w powietrzu, wywołuje w nim zmiany ciśnienia atmosferycznego. Te niewielkie zmiany są nazywane ciśnieniem akustycznym. Ciśnienie akustyczne mierzone w danym punkcie ośrodka jest wielkością zmienną w czasie, przy czym charakter tych zmian zależy od charakteru drgań źródła dźwięku. Zmiana ciśnienia akustycznego jest odbierana przez ucho jako dźwięk (wrażenie słuchowe).

Obiektywną miarą siły dźwięku jest jego natężenie I , mierzone w watach/m² (W/m²). W obszarze słyszalności, stosunek natężenia dźwięku wywołującego ból (przyjmując dla uproszczenia 1 W/m²) do najmniejszego natężenia (10⁻¹² W/m²) wynosi 1:1000000000000, czyli jeden do biliona. Operowanie stosunkami tak dużych liczb jest niewygodne. Ze względu na sposób reagowania ucha na dźwięki (prawo Webera-Fechnera), który jest w przybliżeniu logarytmiczny pod względem percepcji zarówno poziomu, jak i częstotliwości, wykorzystuje się w praktyce wielkość zwaną poziomem natężenia dźwięku. Poziom ten uzyskuje się przez porównanie natężenia dźwięku I z natężeniem dźwięku I_0 przyjętym jako odniesienie, który odpowiada progowi słyszalności przy częstotliwości 1000 Hz ($I_0 = 10^{-12}$ W/m²) i wyraża logarytmem dziesiętnym stosunku natężeń w decybelach (dB) jako $10 \log I/I_0$. Decybel jest równy 1/10 bela – jednostki praktycznie nie stosowanej. Natężenie odniesienia I_0 odpowiada poziomowi natężenia dźwięku równemu 0 dB, natomiast wspomniany, słyszalny poziom natężenia dźwięku sprawiający ból wynosi ok. 130 dB. Należy zaznaczyć, że podana wartość odpowiadająca granicy bólu (ucho nie ulega jeszcze uszkodzeniu) – jest wartością przybliżoną, zależną od częstotliwości dźwięku, czasu jego trwania, itd. Zakres od 0 do 130 dB definiuje więc dynamikę ucha ludzkiego.

Decybele nie tylko umożliwiają skrócony do maksimum 3 cyfr zapis bardzo dużych lub bardzo małych wartości liczbowych, różniących się o kilka lub nawet kilkanaście rzędów wielkości bez względu na to, czy jednostkami pomiarowymi są wolty, ampery, waty, itd. Upraszczają też procedury obliczeniowe, gdyż zastępują mnożenie i dzielenie liczb wielocyfrowych dodawaniem lub odejmowaniem

Ciśnienie dźwięku [Pa]	Natężenie dźwięku [W/m ²]	Poziom SPL [bel]	Poziom SPL [dB]
20	1	12	120
2	10 ⁻²	10	100
2x10 ⁻¹	10 ⁻⁴	8	80
2x10 ⁻²	10 ⁻⁶	6	60
2x10 ⁻³	10 ⁻⁸	4	40
2x10 ⁻⁴	10 ⁻¹⁰	2	20
2x10 ⁻⁵	10 ⁻¹²	0	0

ich decybelowych równoważników.

Poziom ciśnienia dźwięku, poziom sygnału i jego zmiany są w technice fonicznej mierzone w decybelach. Najmniejsza zmiana poziomu, jaką większość słuchaczy może zauważyć (usłyszeć), czyli tzw. różnica za-

ważalna, wynosi od ok. 1 dB (w specyficznych warunkach może to być 0,1 dB) do około 5 dB i jej konkretna wartość zależy od pasma, częstotliwości, rodzaju materiału dźwiękowego oraz indywidualnych możliwości percepcyjnych. Ogólnie jednak przyjęto, że najmniejsza wykrywalna zmiana poziomu wynosi 1 dB. Zmiana o 3 dB jest dobrze słyszalna, natomiast wzrost poziomu od ok. 6 do 10 dB jest subiektywnie oceniany przez większość słuchaczy jako podwojenie głośności (subiektywnej cechy dźwięku).

Poziom ciśnienia akustycznego SPL

SPL (*sound pressure level*) jest poziomem ciśnienia akustycznego definiowanym następująco:

$$SPL = 20 \log \frac{p}{p_0} \text{ [dB]}$$

gdzie: p jest ciśnieniem akustycznym w paskalach (Pa), p_0 jest ciśnieniem odniesienia wynoszącym $20 \cdot 10^{-6}$ Pa = 20 μ Pa (próg słyszalności).

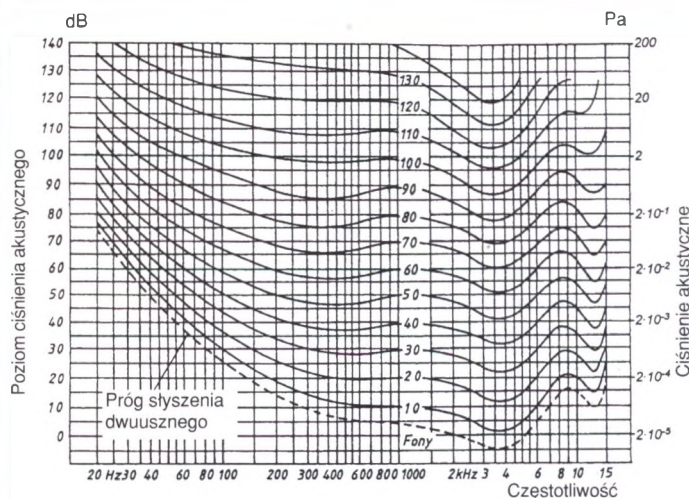
Miernik poziomu dźwięku mierzy w istocie wartość skuteczną ciśnienia akustycznego. Natężenie dźwięku, które jest związane z mocą akustyczną źródła jest w przybliżeniu proporcjonalne do kwadratu



Przykład miernika poziomu dźwięku – przyrząd 2238 Mediator firmy Brüel & Kjaer

Obszar słyszalności

Obszar słyszalności jest opisany za pomocą krzywych jednakowego poziomu głośności. Przedstawiają one zależność poziomu ciśnienia akustycznego tonu od częstotliwości (rys. 1), przy parametrycznie zmiennym poziomie głośności wyrażonym w fonach. Próg słyszenia (dolna granica słyszalności zero fonów) jest to najmniejszy poziom ciśnienia akustycznego tonu wywołujący wrażenie słuchowe, określony w funkcji częstotliwości tonu. Dźwięki bardzo silne sprawiają ból a nawet mogą powodować uszkodzenie ucha. Odpowiadające im wartości ciśnienia określają granicę bólu. Dolna granica słyszalności i granica bólu wyznaczają obszar (powierzchnię) słyszalności. Zakres percypowanych częstotliwości wynosi średnio od 16 do 20000 Hz, zaś poziomów ciśnienia od -5 (3000 Hz) do ok. 130 dB.



Rys. 1. Krzywe jednakowego poziomu głośności (izofony)

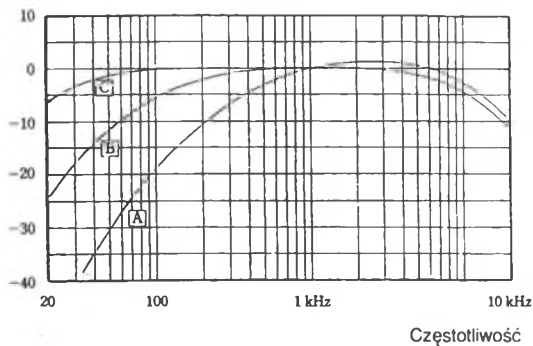
Krzywe korekcji

Miernik poziomu dźwięku jest tak zaprojektowany, aby uzyskać odczyty poziomu ciśnienia dźwięku (SPL) skorygowane przez charakterystykę ucha. Cały zakres krzywych jednakowego poziomu głośności dzieli się na trzy obszary w zależności od poziomu ciśnienia akustycznego (niski, średni, wysoki). W ten sposób każdy z tych obszarów reprezentuje wypośrodkowaną krzywą, którą się odwraca i wprowadza do miernika jako krzywą korekcji. Poziomym dźwiękiem nazywa się poziom ciśnienia akustycznego skorygowany zgodnie z typowymi krzywymi korekcji A, B i C, aproksymującymi krzywe jednakowego poziomu głośności. Charakterystyki częstotliwościowe odpowiednich filtrów korekcyjnych są przedstawione na rys. 2. Filtry dobiera się w zależności od poziomów ciśnienia (niskich, średnich i wysokich):

- dla poziomów w zakresie 20-55 dB stosuje się filtr A,
- dla poziomów w zakresie 55-85 dB stosuje się filtr B,
- dla poziomów w zakresie 85-140 dB stosuje się filtr C.

Odczytywane wartości decybeli SPL zapisuje się jako dB(A), dB(B) lub dB(C). Do specjalnych pomiarów, np. hałasu samolotów, są stosowane filtry D i E. Na rynku są dostępne cyfrowe mierniki poziomu dźwięku o różnych klasach dokładności.

Korekcja dB



Rys. 2. Charakterystyki częstotliwościowe filtrów A, B i C stosowanych w miernikach poziomu dźwięku

ciśnienia dźwięku. Jeśli ciśnienie dźwięku zwiększy się dwukrotnie, to moc akustyczna wzrośnie czterokrotnie. Podwojenie mocy daje 3 dB wzrost poziomu, zaś przy dalszym dwukrotnym zwiększeniu mocy należy dodać kolejne 3 dB, czyli razem uzyskuje się 6 dB wzrost poziomu ciśnienia dźwięku.

Poziom sygnał

Jak wspomniano, poziom sygnału jest również mierzony w decybelach (dB). Poziom w decybelach dla stosunku wartości mocy oblicza się następująco:

$$L_p = 10 \log \frac{N}{N_0} \text{ [dB]}$$

gdzie: N jest zmierzoną mocą w watach (W),
N₀ jest mocą odniesienia w watach (W).

Dla stosunku wartości napięć poziom także wyznacza się w decybelach jako:

$$L_U = 20 \log \frac{U}{U_0} \text{ [dB]}$$

gdzie: U jest zmierzonym napięciem w woltach (V),
U₀ jest napięciem odniesienia w woltach (V).

To ostatnie wyrażenie jest równoważne ze wzorem na stosunek mocy, ponieważ

$$10 \log \frac{N_1}{N_2} = 10 \log \frac{U_1^2 R}{U_2^2 R} = 20 \log \frac{U_1}{U_2}$$

dla takich samych wartości rezystancji R (lub impedancji) w obydwu pomiarach.

Poziom sygnał w decybelach może być wyrażony różnie w zależności od jednostek pomiarowych, np.:

- dBm – decybele odniesione do 1 miliwata (1 mW),
- dBu – decybele odniesione do 0,775 V na 600 Ω (standardowa wartość impedancji dla połączeń w sprzęcie fonicznym),
- dBV – decybele odniesione do 1 wolta (1 V).

Od dB do stosunku wartości

Dla obliczeń odwrotnych, tj. od dB do stosunku wartości mocy stosuje się wyrażenie

$$\text{stosunek mocy} = 10^{(L_p/10)}$$

natomiast od dB do stosunku wartości amplitud

$$\text{stosunek amplitud} = 10^{(L_U/20)}$$

gdzie amplitudy mogą dotyczyć ciśnień dźwięku, napięć lub prądów, zaś L oznacza odpowiedni ich poziom.

Decybele są także wykorzystywane do wyznaczania zmiany mocy lub napięcia na ustalonej rezystancji. Odpowiednie zależności mają postać:

$$L_p = 10 \log \frac{N_1}{N_2} \quad \text{lub} \quad L_U = 20 \log \frac{U_1}{U_2}$$

gdzie: N1 i N2 są odpowiednio nową i poprzednią wartością mocy,

U1 i U2 – nową i poprzednią wartością napięcia.

Czułość mikrofonu

Decybele odgrywają również istotną rolę przy rozważaniu czułości mikrofonu. Jak wiadomo, na wyjściu mikrofonu o dużej czułości uzyskuje się większy sygnał napięciowy niż na wyjściu mikrofonu o małej czułości przy takim samym poziomie ciśnienia dźwięku (SPL).

Czułość mikrofonu jest parametrem, który informuje, jakie napięcie jest wytwarzane na wyjściu mikrofonu przy określonym poziomie SPL na wejściu. Standardowo czułość jest wyrażona w miliwoltach na paskal, gdzie ciśnienie 1 paskala (Pa) odpowiada 94 dB SPL. Typowe wartości czułości w "układzie rozwartym" wynoszą 5,5 mV/Pa – dla mikrofonu pojemnościowego i 1,8 mV/Pa – dla mikrofonu dynamicznego. Określenie "układ rozwarto" oznacza, że mikrofon pracuje bez obciążenia lub jest połączony z przedwzmacniaczem o bardzo dużej impedancji wejściowej. Na przykład, jeśli czułość jest równa 5,5 mV/Pa i poziom SPL jest równy 94 dB, to poziom napięcia na wyjściu mikrofonu wynosi 5,5 mV.

Mikrofon umieszczony w głośniejszym o 20 dB polu dźwiękowym wytwarza większy o 20 dB wyjściowy sygnał napięciowy. Przykładowo, jeśli przy 74 dB SPL jest wytwarzane napięcie 0,18 mV (-75 dBV), to przy 94 dB SPL jego wartość zwiększa się do 1,8 mV (-55 dBV). Przy wzroście poziomu wejściowego do 150 dB SPL – jaki może wystąpić w przypadku nagrywania głośnych źródeł lub instrumentów perkusyjnych – napięcie wyjściowe osiąga dużą wartość 1,1 V (+1 dBV), która jest prawie poziomem liniowym. (z) ■



Kieszonkowy analizator/miernik poziomu dźwięku SVAN 945A polskiej firmy SVANTEK