

# Bătăi acustice – un studiu asupra interferenței a două oscilații armonice apropiate în frecvență

(Timbus Maria Alexandra)

(163)

(FMI)

11 noiembrie 2025

## Rezumat

Lucrarea prezintă fenomenul de *bătăi acustice* ce apare la superpoziția a două oscilații armonice cu frecvențe apropiate. Sunt discutate modelul teoretic, metodologia numerică, rezultatele (forme de undă, anvelopă și spectru) și relevanța fenomenului pentru acordajul instrumentelor și analiza vibrațiilor.

## 1 Introducere

În regim liniar, principiul superpoziției permite ca două oscilații armonice să se adune. Când frecvențele sunt foarte apropiate, semnalul rezultat prezintă o modulație lentă a amplitudinii, percepută auditiv ca *bătăi*.

## 2 Model teoretic

Considerăm două semnale sinusoidale  $x_1(t) = A \cos(2\pi f_1 t + \varphi_1)$  și  $x_2(t) = A \cos(2\pi f_2 t + \varphi_2)$ . Prin identitatea  $\cos a + \cos b = 2 \cos \frac{a-b}{2} \cos \frac{a+b}{2}$ , pentru  $x(t) = x_1(t) + x_2(t)$  rezultă  $x(t) = 2A \cos(\pi \Delta f t + \frac{\Delta \varphi}{2}) \cos(2\pi \bar{f} t + \bar{\varphi})$ . Amplitudinea este modulată de  $A_{\text{env}}(t) = 2A |\cos(\pi \Delta f t + \frac{\Delta \varphi}{2})|$ , iar frecvența bătailor este  $f_b = |f_2 - f_1|$ .

## 3 Metodologie

Am generat numeric două tonuri pure cu  $f_1 = 440$  Hz și  $f_2 = 444$  Hz, rata  $f_s = 44\,100$  Hz, durată  $T = 6$  s. Analiza: ferestre în timp și FFT ( $N = 2^{16}$ ). Export: WAV și GIF.

## 4 Rezultate

## 5 Concluzii

Exemplul numeric reproduce fidel teoria:  $f_b = |f_2 - f_1|$ , iar anvelopa variază lent peste purtătoare.

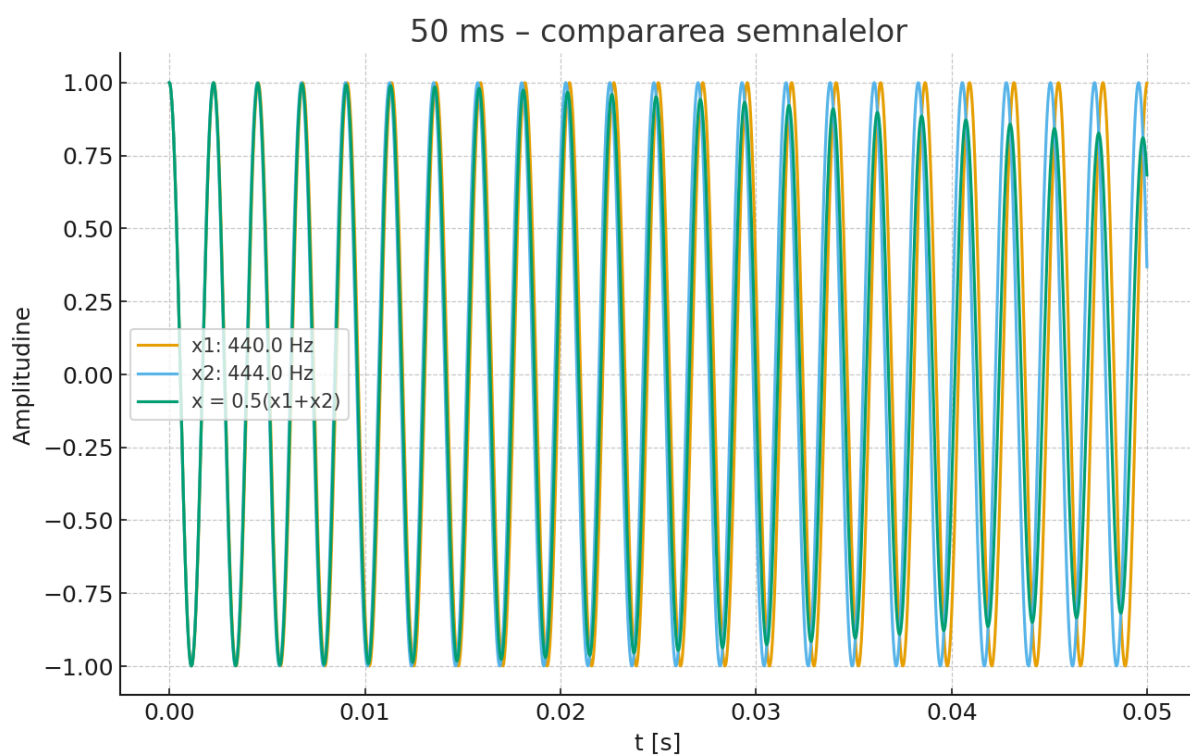


Figura 1: Fereastră scurtă (50 ms) – semnalele și suma.

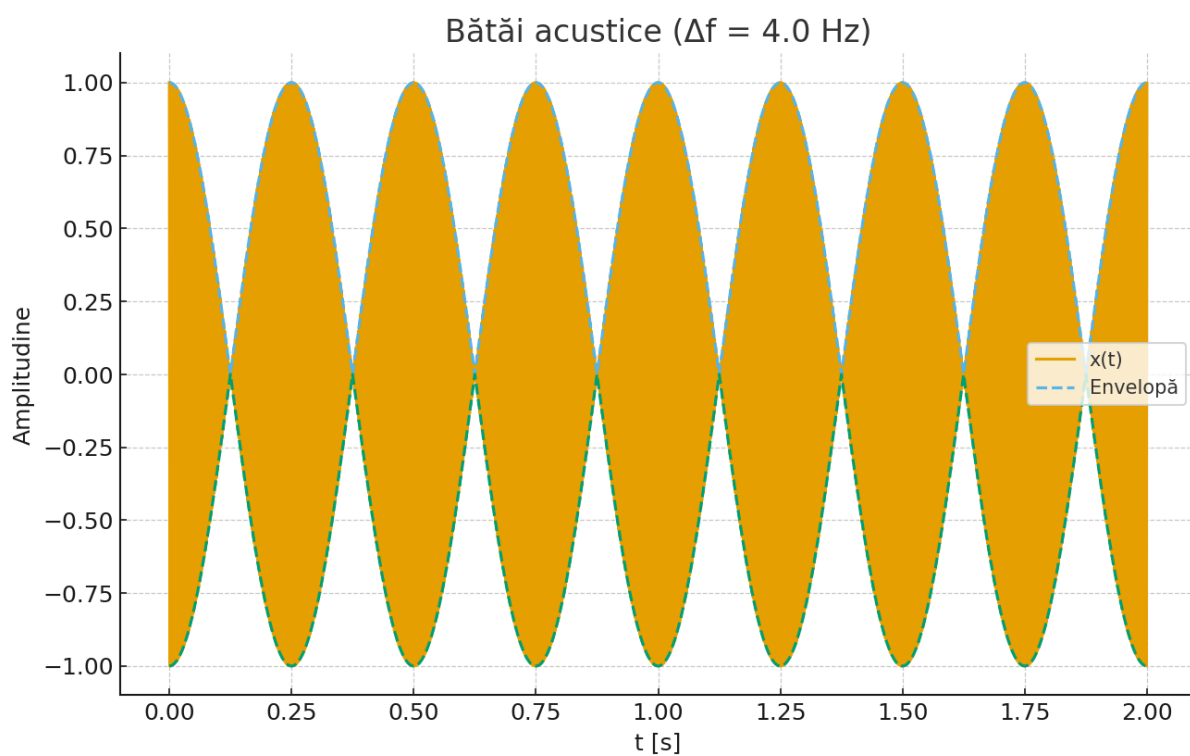


Figura 2: Bătăile și anvelopa teoretică  $|\cos(\pi \Delta f t)|$ .

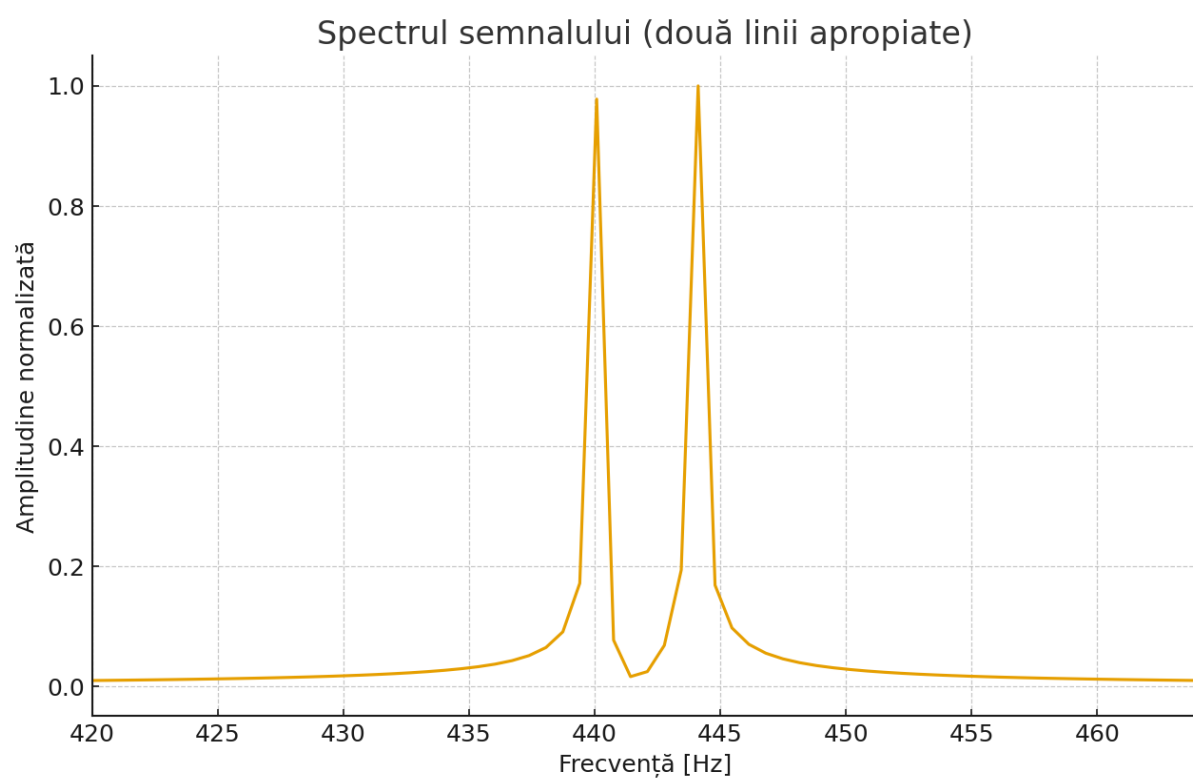


Figura 3: Spectru: două linii la  $f_1$  și  $f_2$ .