

Cursul 3.3 Acustica: Timbrul sunetelor

Sunetele uzuale nu sunt, decât cu puține excepții, armonice pure. Ele sunt de cele mai multe ori rezultatul suprapunerii mai multă armonici. Descompunerea unui semnal sonor în armonicile din care este alcătuit este posibilă pe baza analizei Fourier a oricărui semnal periodic. Astfel dacă sunetul poate să fie considerat ca fiind:

$$S(t) = A_0 + A_1 \sin(2\pi\nu_1 t) + A_2 \sin(2\pi\nu_2 t) + A_3 \sin(2\pi\nu_3 t) + \dots, \quad (1)$$

care poate să fie scris într-un mod compact sub forma:

$$S(t) = \sum_{n=1}^N A_n \sin(2\pi n\nu_1 t), \quad (2)$$

unde s-a folosit relația dintre frecvența sunetului fundamental ν_1 și armonicile superioare: $\nu_n = n\nu_1$ (cu $n = 2, 3, 4, \dots$).

*Definiție: **Timbrul** reprezintă calitatea prin care se pot distinge sunete de aceeași frecvență și intensitate emise de două sunete diferite.*

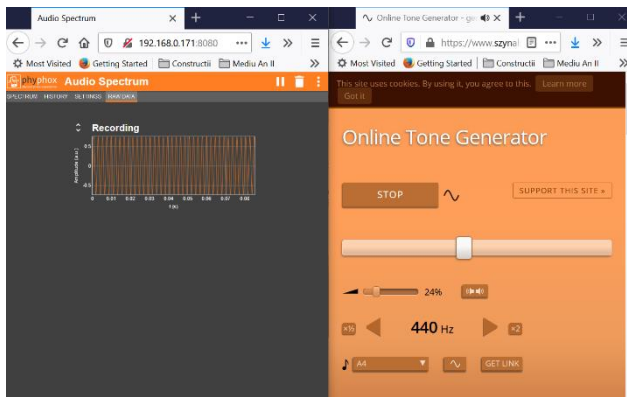


Fig. 1 Sunetul în timp produs de un generator de tonuri.

Această diferență este dată de componența spectrală a sunetelor sau cu alte cuvinte de către colecția de amplitudini A_n . Spectrul sunetelor poate să fie obținut din punct de vedere practic prin folosirea Transformatei Fourier aplicată asupra sunetului înregistrat:

$$A(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} S(t) e^{i\omega t} dt, \quad (3)$$

care este forma integrală și unde pulsația $\omega = 2\pi\nu$ este legată de frecvența sunetelor iar, i este numărul imaginar. Transformata Fourier poate să fie realizată de către

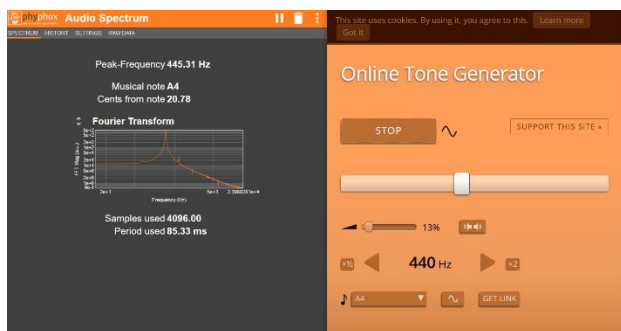


Fig. 2 Componenta spectrală a notei muzicale produsă de un generator de tonuri. Se observă și mici zgomote.

dispozitive electronice sau numeric folosind programe software, asupra sunetelor înregistrate analog și transformate digital. Acest lucru are loc întotdeauna asupra unui eșantion, și astfel forma integrală se transformă într-o sumă:

$$A(v_l) = \sum_{k=1}^N S(t_k) e^{i2\pi v_l t_k} dt, \quad (4)$$

Există algoritmi de Transformare Fourier Rapidă (FFT – fast Fourier transform) care pot să precezeze rapid eșantioane ale semnalelor digitale corespunzătoare sunetelor înregistrate. Singura condiție este ca aceste semnale să aibă un număr de puncte de tipul 2^N , unde N este un număr întreg. Astfel, un convertor analog către digital (ADC – analog to digital converter) pe 10 biți este caracterizat de $N = 10$ și avem un număr de 1024 de puncte. Pentru a surprinde întreg domeniul de frecvențe ale sunetelor între [16 Hz și 20 kHz] este necesar să se țină seama de teorema lui Nyquist care cere ca numărul minim de puncte pentru fiecare oscilație să fie suficient pentru a defini fără echivoc o oscilație completă. O frecvență de 20 kHz corespunde unei perioade de 50 μ s, deci este nevoie ca înregistrarea sunetului să se realizeze cu un interval de eșantionare de minim 10 μ s.

Când același sunet muzical de exemplu nota La (440 Hz) este cântată la instrumente muzicale diferite (diapazon - ton pur, vioară, clarinet, pian) atunci pentru ureche se aud de fapt sunete de calități diferite (cu diferite componente spectrale), corespunzând la diferite combinații de armonice, având diferite amplitudini și rezultând în sunete specifice fiecărui instrument muzical.

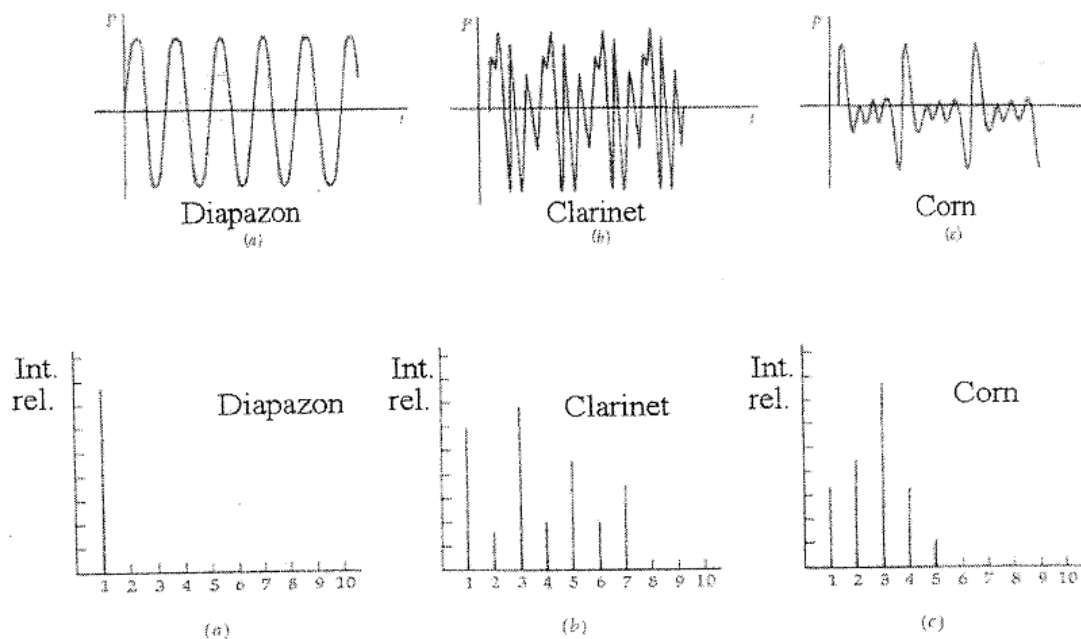


Fig. 3 Simularea sunetelor “inregistrate” în timp (sus) pentru diapazon (sunetul pur armonic), clarinet și corn și spectrele transformate Fourier corespunzătoare (jos).

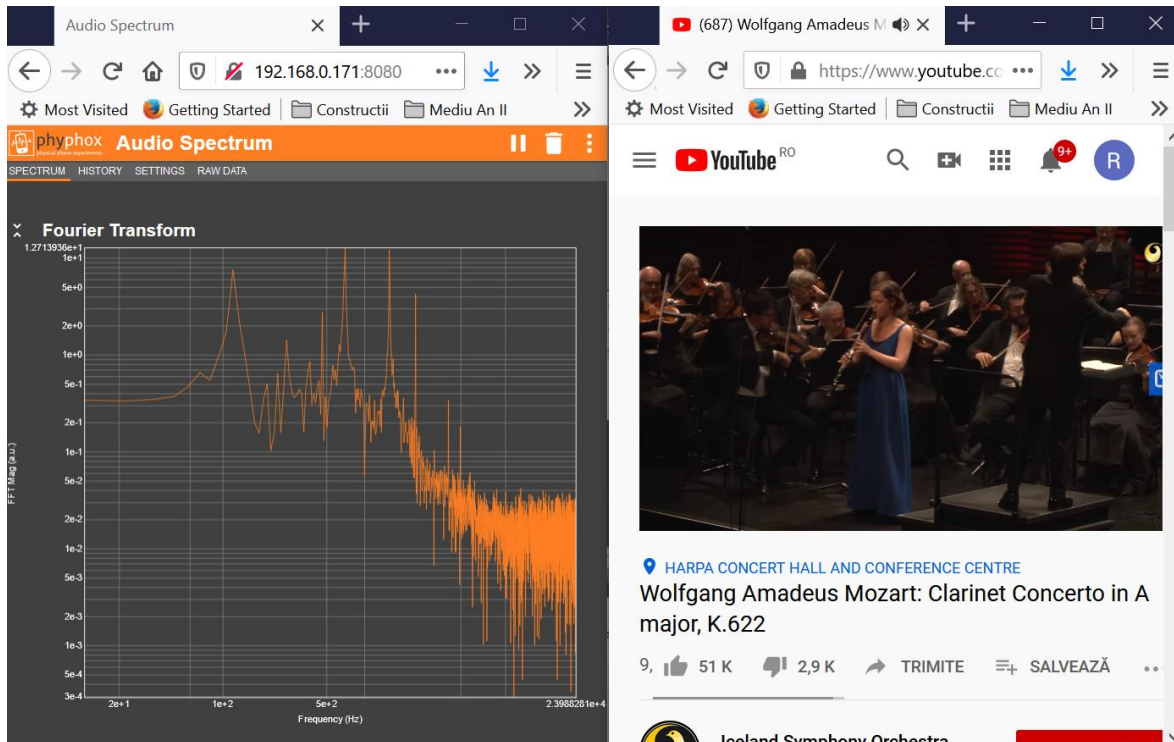


Fig. 4 Stop cadru pentru componentele spectrale (timbrul) sunetului produs de un clarinet, in timpul concertului in A major de Wolfgang Amadeus Mozart.