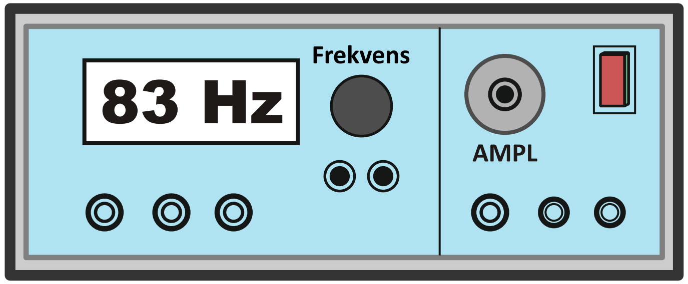
Rene og sammensatte toner

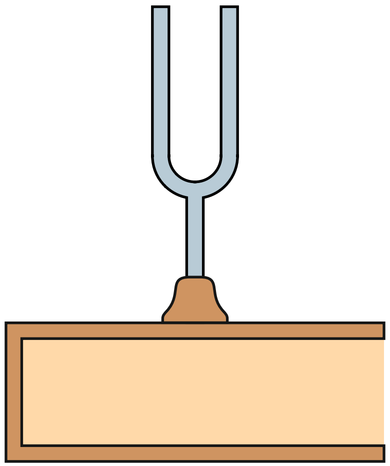
- Rene toner
- Sammensatte toner
- Matematisk repræsentation
- Toners tidskurve og frekvensspektrum
- Grundtone og overtoner
- Appen Phyphox

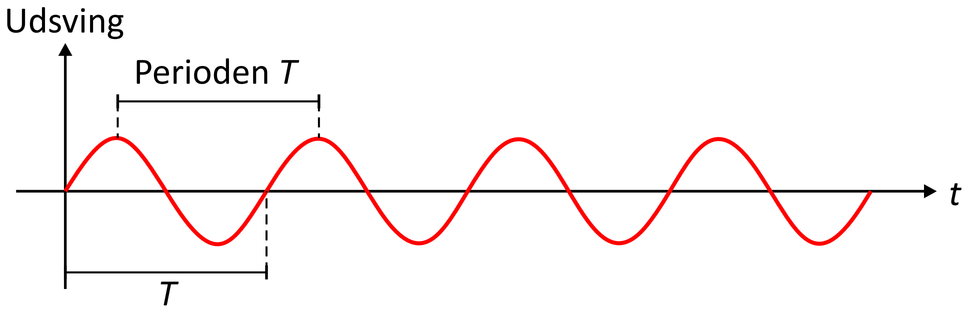
Rene toner

Tonegenerator



Stemmegaffel





En *ren tone* er en *sinustone*. Den indeholder kun én frekvens. Matematisk kan den repræsenteres ved en *sinus*-funktion. Principielt kan den kun frembringes fysisk ved teknologi, for eksempel ved hjælp af en *tonegenerator* eller en *synthesizer.*

En *stemmegaffel* er dog meget tæt på at give en ren tone. Overtoner er yderst svage. I praksis fader overtonerne hurtigt ud efter stemmegaflen er anslået.

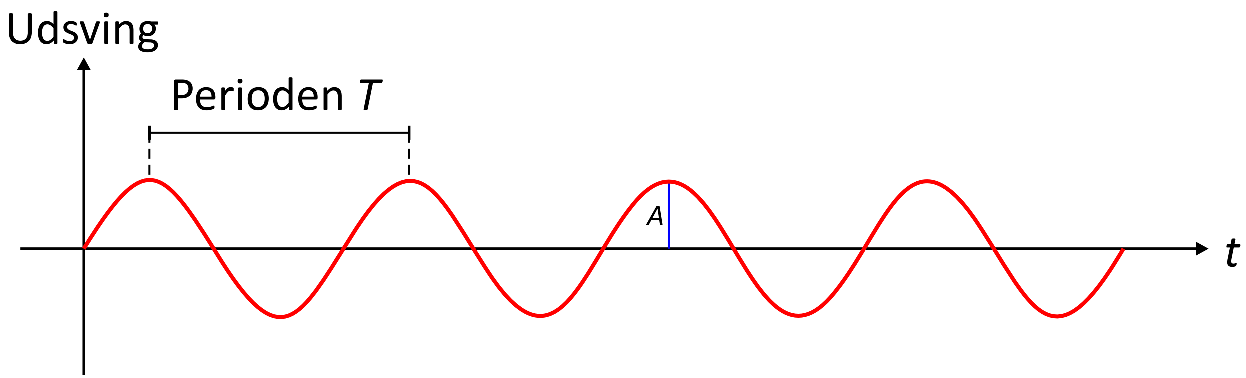
Sammensatte toner

Musikinstrumenter udsender i mere eller mindre udpræget grad *sammensatte toner*.

Det betyder, at instrumenterne har en række *overtoner*. Det er overtonerne som giver instrumentet dets karakteristiske lyd, også kaldets dets *klang*.

Matematisk repræsentation

Tidskurven for en ren tone



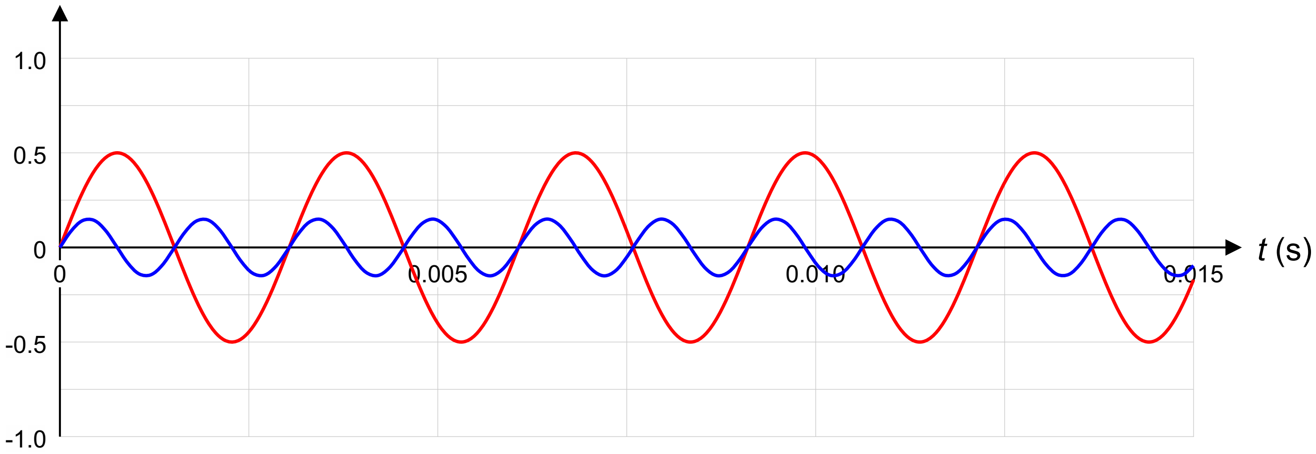
$$y(t) = A_1 \cdot \sin(2\pi \cdot f_1 \cdot t)$$

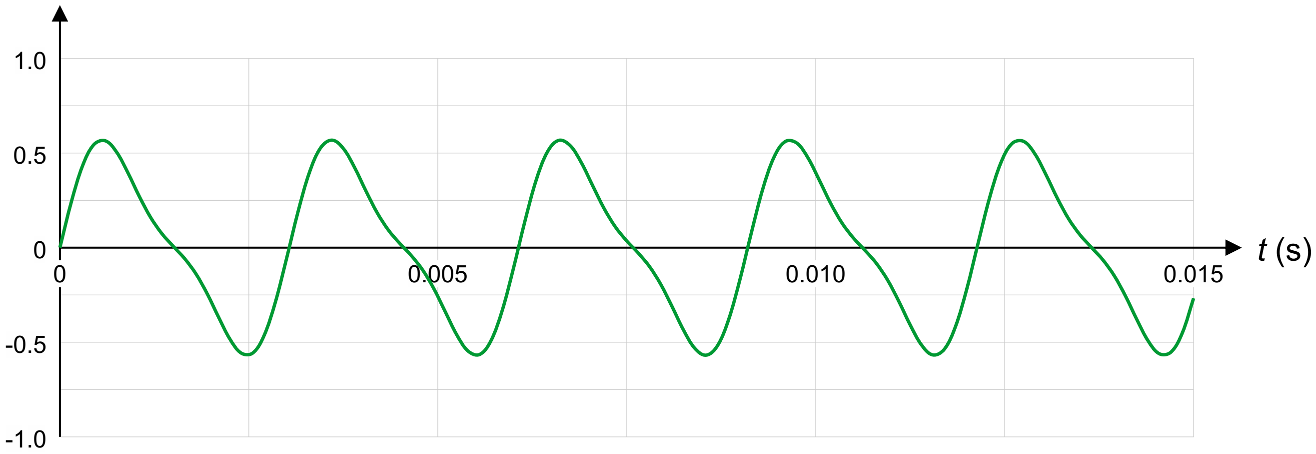
En ren tone indeholder kun lydbølger med én frekvens, her f_1. Amplituden A_1 er sinus-bølgens største udsving og er relateret til lydstyrken: Jo højere lydstyrke, jo større amplitude. $y(t)$ angiver udsvinget til tiden t og det vises på y-aksen.

Tidskurven for en sammensat tone

$$y(t) = A_1 \cdot \sin(2\pi \cdot f_1 \cdot t) + A_2 \cdot \sin(2\pi \cdot 2f_1 \cdot t)$$

$$y(t) = 0.5 \cdot \sin(2\pi \cdot 329.63 \cdot t) + 0.15 \cdot \sin(2\pi \cdot 659.26 \cdot t)$$





En *sammensat tone* består af mindst to toner med forskellige frekvenser og eventuelt forskellige amplituder. Til venstre ses et eksempel, med en sammensat tone bestående af en ren tone med frekvensen 329,63 Hz (E_4) og amplitude 0,5 og en ren tone med den dobbelte frekvens på 659,26 Hz og amplitude 0,15.

Svingningerne er vist hver for sig samt sammenlagt nederst. Superpositionsprincippet er anvendt, dvs. udsvingene til hvert tidspunkt *t* er blevet lagt sammen.

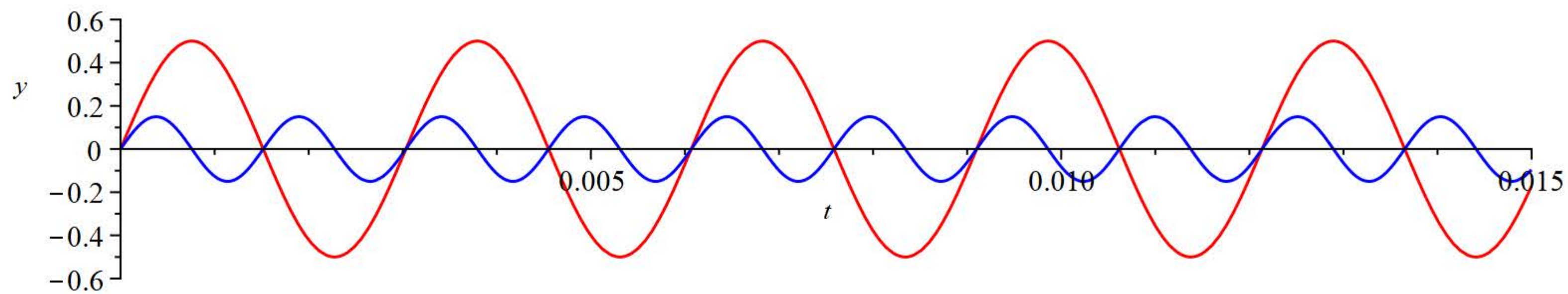
Repræsentation af lydbølger

restart

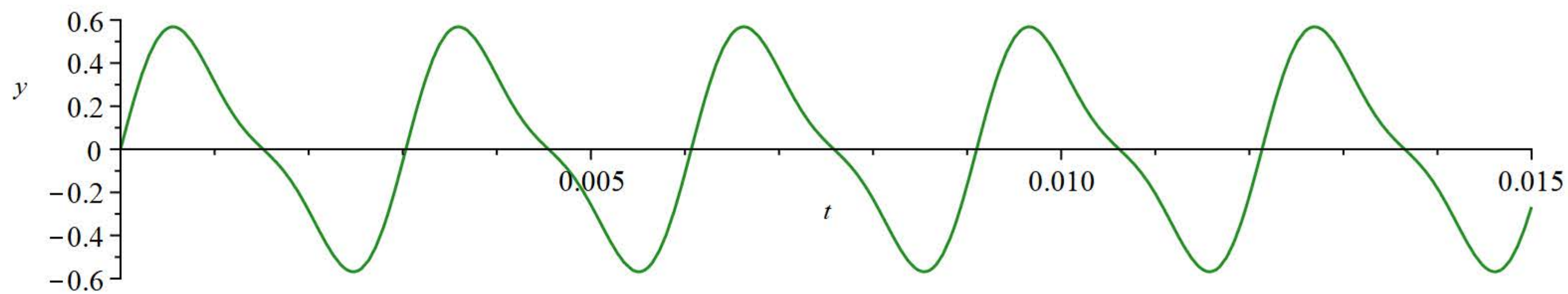
$f_1 := 329.63 : \quad f_2 := 2 f_1 = 659.26$

$A_1 := 0.5 : \quad A_2 := 0.15 : \quad y_1(t) := A_1 \cdot \sin(2\pi \cdot f_1 \cdot t) : \quad y_2(t) := A_2 \cdot \sin(2\pi \cdot f_2 \cdot t) :$

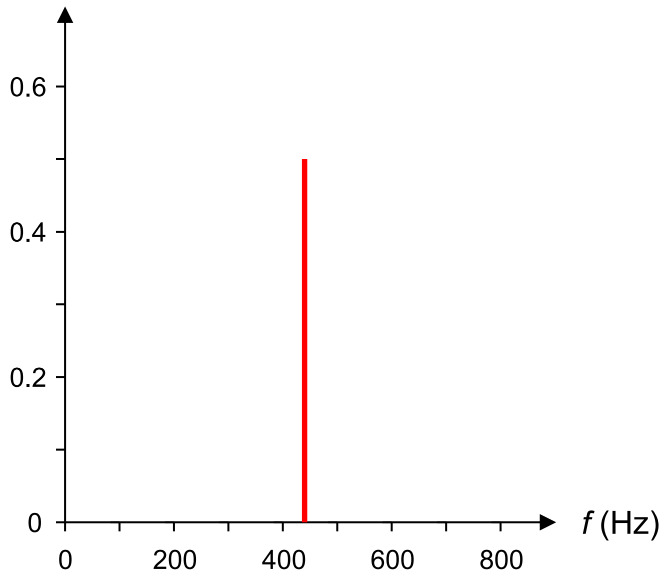
$plot([y_1(t), y_2(t)], t = 0 ..0.015, y = -0.6 ..0.6, size = [800, 160], color = [red, blue])$

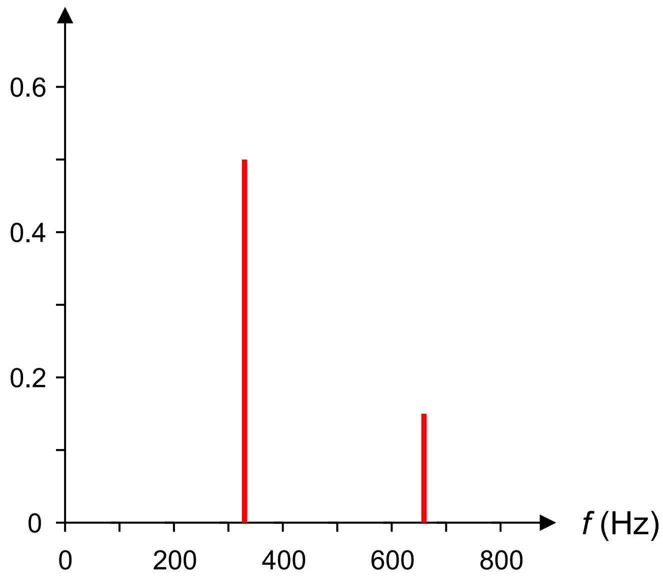


$plot(y_1(t) + y_2(t), t = 0 ..0.015, y = -0.6 ..0.6, size = [800, 160], color = \text{"ForestGreen"})$



Frekvensspektrum

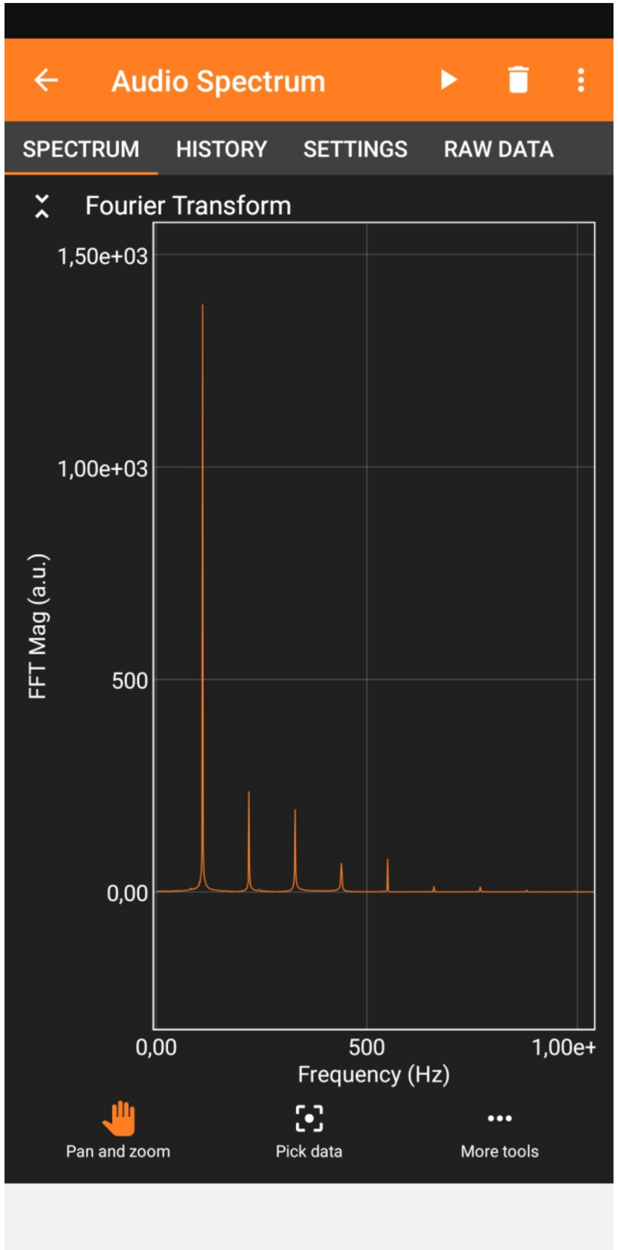




Vi har set, at vi kan lægge rene toner sammen og få en sammensat tone ud af det. Men kan man også gå den anden vej, altså splitte en sammensat tone op i rene toner? Svaret er, at det kan man ofte godt. Hvis signalet opfylder visse betingelser, kan man anvende den såkaldte Fourier-transformationen, som er en kompliceret matematisk operation. I praksis anvendes *FFT* (Fast Fourier Transform), da man har at gøre med diskret data. Vi skal ikke nærmere ind på det her. Ved hjælp af transformationen kan man få grafer som vist til venstre.

Den øverste graf er frekvensspektret for en ren tone med frekvensen 440 Hz (A_4) og amplitude 0,5. Den nederste graf er frekvensspektret for den sammensatte tone, som vi betragtede på forrige side, altså den, som består af en grundtone på 329,63 Hz (E_4) med amplitude 0,5 og en overtone med den dobbelte frekvens på 659,26 Hz (E_5) en oktav højere oppe. Sidstnævnte har amplitude 0,15.

Appen Phyphox



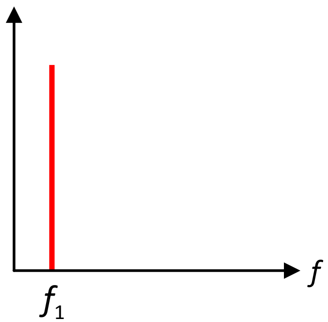
Phyphox er en genial mobilapp til anvendelse i fysik. Navnet er en sammentrækning af «physical phone experiments». Den indeholder blandt andet adskillige delapps, som kan bruges til lydeksperimenter. I skrivende stund finder jeg især følgende tre velegnede:

Audio Scope (Kan give tidskurven for en lyd)
Audio Spectrum (Kan give frekvensspektrum)
Tone generator (Kan generere en ren tone eller endda to rene toner indenfor et rimeligt frekvensinterval)

Til venstre er *Audio Spectrum* benyttet til at bestemme frekvensspektret fra A_2-strengen på en guitar. Man ser en ret kraftig grundtone på 110 Hz og en række svagere overtoner på 220 Hz, 330 Hz, 440 Hz, etc.

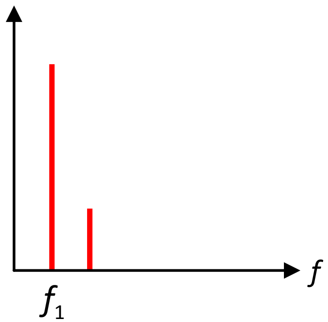
Tre toner med samme grundtone

I den tilhørende video demonstreres tre toner med den samme grundtone på f_1 = 329.63 Hz svarende til E_4-strengen på en guitar. De første to toner skabes syntetisk via *Tone generator* delappen i *Phyphox*, den sidste skabes på en guitar. Man kan downloade den fremragende app til sin mobiltelefon. Hjemmeside for Phyphox: https://phyphox.org.



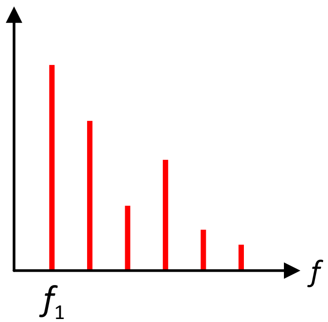
Tone 1

En ren tone med frekvensen 329,63 Hz (E_4) med amplitude 0,5.



Tone 2

En sammensat tone bestående af frekvensen 329,63 Hz (E_4) med amplitude 0,5 og den dobbelte frekvens på 659,26 Hz (E_5) med amplitude 0,15. Altså lyden, der har den grønne tidskurve, som er vist tidligere.



Tone 3

Tonen som E-strengen på en guitar afgiver (strengen med den lyseste lyd).

Konklusion: Tone 1 er monoton, Tone 2 er knap så monoton, mens Tone 3 er mere spændende med dens adskillige overtoner.