

INF1040 - Digital representasjon

24.09.2008: Introduksjon til lyd



Foreleser:

- Fritz Albrechtsen
- Kontakt: fritz@ifi.uio.no, 911 63 005

Det blir en del stoff per forelesning

- Er det matematikk eller praktisk regning?

Gå på terminalstuegruppene

- Gjør hederlige forsøk på å løse ukeoppgavene

Gå på plenumsgruppene og få

- Alternativ gjennomgang av teori, eksempler, gjennomgang av løsningsforslag etc

Still spørsmål! Spør gruppelærerne om hjelp!



fritz@ifi.uio.no

Introduksjon til lyd

Temaer i dag:

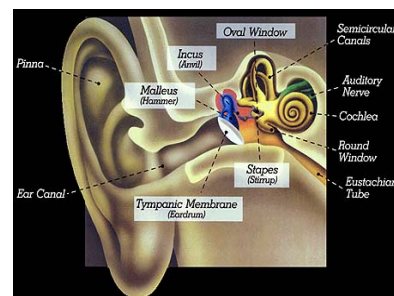
- Hvordan kan vi høre lyd?
- Lyd og lydbølger
- Begrepene amplitude, frekvens, periode og bølgelengde
- Hvordan representerer vi lydsignaler matematisk?
- Hvordan illustrerer vi lydsignaler grafisk?

Tilhørende tekst fra læreboka "Digital representasjon":

- Kapittel 9: Hørselen – hvordan virker den?
- Kapittel 10: Lydbølger – hvordan ser de ut?

Fra lydbølger til nerveimpulser

- Lydbølger detekteres av øret, omformes til nerveimpulser, og disse sendes til høresenteret i hjernen.



Trykkbølgene omdannes til nervesignaler.

Øret har tre deler:

- Det ytre øret
- Mellomøret
- Det indre øre

Mer på f.eks. <http://www.glenbrook.k12.il.us/gbssci/phys/mmedia/waves/edl.html>

Det ytre øret

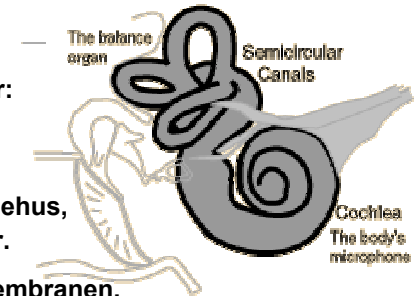
- Det ytre øret fanger opp lydbølger og sender dem innover i ørekanalen, der de får trommehinna til å vibrere.
- Det ytre øret øker lyd-sensitiviteten med en faktor 2 – 3.
- Resonans i øregangen øker følsomheten for lyder ved 3 000 – 4 000 Hz.
 - Dette er viktig for oppfattelse av tale.

Mellomøret

- ❑ Trommehinna er en membran som beskytter hørselssystemet, men som vibrerer i takt med lydbølgene som treffer øret.
- ❑ Lyden forplanter seg videre gjennom mellomøret via hammeren, ambolten og stigbøylen.
- ❑ Stigbøylen er festet til "det ovale vindu", som danner overgangen til det indre øre.
- ❑ Trommehinna er ca 15 ganger større enn det ovale vindu => 15 ganger forsterkning.
- ❑ Hammeren, ambolten og stigbøylen fungerer som vektstenger som forsterker svingningene med opptil en faktor 3.
- ❑ Vektstangsystemet er adaptivt: Demper altfor sterke svingninger.

Det indre øret

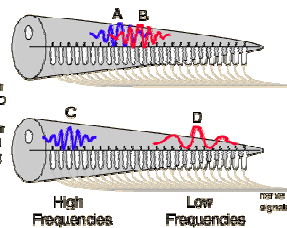
- ❑ I det indre øre finnes to organer: balanseorganet og cochlea, som er kroppens mikrofon.
- ❑ Cochlea er formet som et sneglehus, og er delt i tre parallelle kanaler.
- ❑ I den midterste ligger basilmembranen.
- ❑ Her sitter 16 000 – 20 000 hårceller som registrerer lyd med forskjellige frekvenser. Hver hårcelle har flere hår.
- ❑ Vibrasjonene fra trykkbølger bøyer hårene, ionekanaler i bunnen av cellene åpnes, og en liten strømpuls sendes langs en nervefiber.



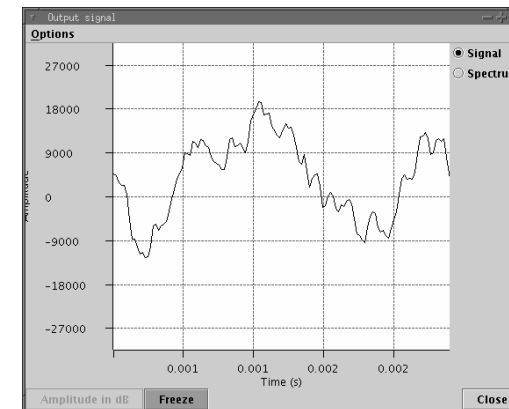
Hårceller

- ❑ Hårceller på forskjellige steder langs membranen reagerer på lyd med forskjellig frekvens.
 - Høyfrekvente lyder registreres langt ute i sneglehuset.
 - Bass-lyder registreres lenger inne i sneglehuset.
- ❑ To toner som er nesten like vil konkurrere om de samme hårcellene.
- ❑ De vil ikke høres like sterke ut som hvis de lå lenger fra hverandre.
- ❑ Dette utnyttes i kompakt lagring av lyd (for eksempel mp3).
- ❑ Hvis hårceller for en gitt frekvens knekker (pga for høy lyd) er hørselen på denne frekvensen svekket eller tapt for alltid.
Se f.eks. <http://facstaff.uww.edu/bradleys/radio/hlsimulation/>

If sounds A, B, C, D are adjusted to have identical loudnesses when sounded alone, then the combination C+D would be expected to sound louder than A+B because C and D are not competing for the same nerve endings in the inner ear.



Lyd som en funksjon av tid



lyd1.wav

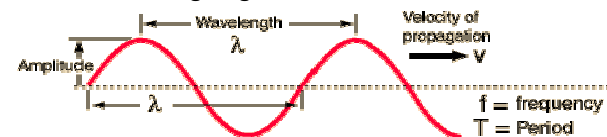
Her ser vi hvordan lydstyrken eller amplituden endrer seg med tiden
Legg merke til hvor raskt signalet endrer seg (millisekunder)

Lydens svingninger - frekvens

- Hvordan lyden høres ut, avhenger av hvor raske svingninger den inneholder.
- Antall svingninger per sekund er **frekvensen** til en tone.
 - Frekvensen til en tone måles i Hz ($\equiv \text{s}^{-1}$)
- Vi hører lydbølger
 - som svinger mellom 20 ganger per sekund og 20 000 ganger per sekund
 - høreterskelen er bare 2/10 000 000 000 av standard atmosfærisk trykk
 - Smerteterskelen svarer til en lydintensitet som er 10 000 000 000 000 = 10^{13} ganger høreterskelen.
- Hørselen svekkes med alderen.
 - Svekkelsen er ikke lik for alle frekvenser.
 - De ca 30 000 endepunktene for hørenervene slites / knekker.
- De fleste lyder består av flere rene toner med ulike frekvenser.
- Øret er veldig følsomt for forandringer i frekvens (0.3% endring).

Bølgelengde og lyd hastighet

- Bølgelengden λ er den fysiske lengde mellom to punkter på samme sted i svingningen.



- Hastigheten til en bølge er lik produktet av bølgelengde og frekvens

$$v = f \lambda$$

(gjelder generelt, både for lydbølger og elektromagnetiske bølger)

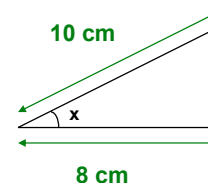
- Bølgelengden for hørbare lydbølger
 - går fra $\lambda = 17 \text{ m}$ for $f = 20 \text{ Hz}$ til $\lambda = 1,7 \text{ cm}$ for $f = 20\,000 \text{ Hz}$.
- En A på $f = 440 \text{ Hz}$ har en bølgelengde på $\lambda = 75 \text{ cm}$, mens en A som er en oktav lavere ($f = 220 \text{ Hz}$) har $\lambda = 1,5 \text{ m}$.

Lyd som sinusoider

- Sinusoider er et felles navn på funksjonene $\cos(x)$ og $\sin(x)$.
- Periodisk signal: et periodisk signal gjentar seg etter en viss tid.
- Sinus og cosinus-funksjoner beskriver periodiske signaler.
- De brukes til å forklare hva slags informasjon et lydsignal inneholder.
- Vi trenger å lære litt om sinusoider for å skjønne hvordan lyd signaler lagres.

Funksjonen $\cos(x)$

- $\cos(x)$ er kjent fra geometrien for å måle sidene i en trekant. Da er x en vinkel som måles i radianer (0 til 2π) eller grader (0 - 360°).

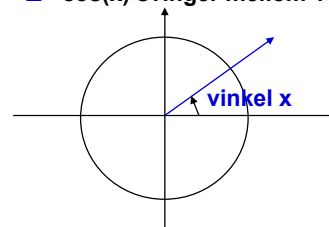


Vinkel x finnes ved at

$$\cos(x) = 8/10$$

$$\text{Da blir } x = \cos^{-1}(8/10) = 36.8^\circ$$

- $\cos(x)$ svinger mellom 1 og -1 når x varierer mellom 0 og 2π i radianer.

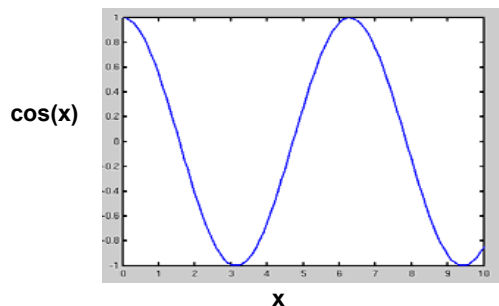


$x = 0$	(0°)	$\cos(x) = 1$
$x = \pi/2$	(90°)	$\cos(x) = 0$
$x = \pi$	(180°)	$\cos(x) = -1$
$x = 3\pi/2$	(270°)	$\cos(x) = 0$
$x = 2\pi$	(360°)	$\cos(x) = 1$

Dette gjentar seg når x roterer en gang til.

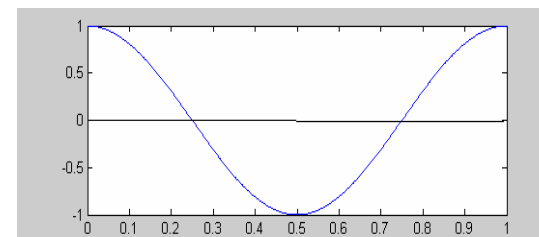
Funksjonen $\cos(x)$

- $\cos(x)$ svinger mellom 1 og -1 når x varierer mellom 0 og 2π , og den svinger på samme måte når x varierer mellom 2π og 4π .
- Hvis x måles i radianer, og x ligger mellom 0 og 10 ser funksjonen $\cos(x)$ slik ut:



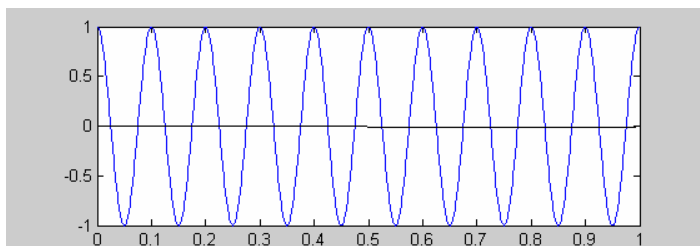
$\cos(t)$ for tidssignaler

- Ser på signaler som varierer med tiden t .
- Vi er interessert i antall svingninger pr. sekund.
 - Dette forteller oss frekvensen til signalet.
- Et triks vi bruker er å se på funksjonen $y(t) = \cos(2\pi t)$.
 - Dette gir oss noe som svinger fra 1 til -1 og tilbake til 1 i løpet av 1 sekund.



$\cos(2\pi ft)$

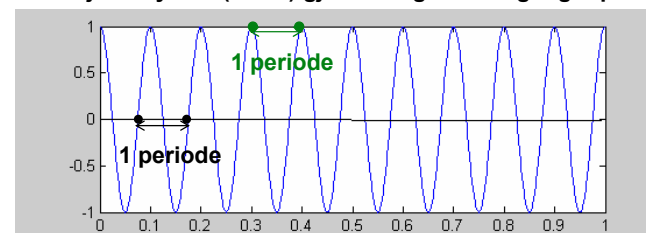
- Ser vi på $y = \cos(2\pi ft)$ der f er et heltall (f.eks. 10), får vi noe som svinger f ganger (10 ganger) pr. sekund:



- f er antall svingninger pr. sekund og kalles frekvens.
- Frekvensen f måles i hertz (Hz).
(1 kHz er 1000 svingninger i sekundet).

Periode

- Funksjonen $y = \cos(2\pi 10t)$ gjentar seg selv 10 ganger pr. sekund.

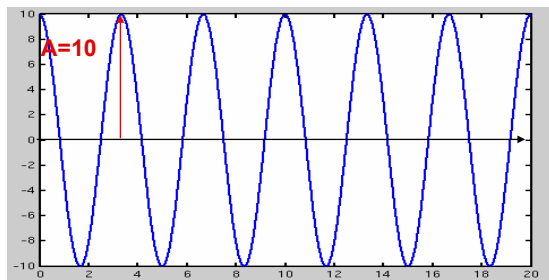


- Perioden kaller vi for T .
- Vi kan regne ut frekvensen som $f = 1/T$, eller $T = 1/f$.
- For å finne perioden ser vi på avstanden i sekunder mellom to punkter på samme sted i svingningen, for eksempel der funksjonen går fra negative til positive verdier (krysser null).
- Her kan vi måle at avstanden, dvs. perioden er 0.1 sekund.

Amplitude

Amplituden forteller hvor stort det maksimale trykk-utslaget er.

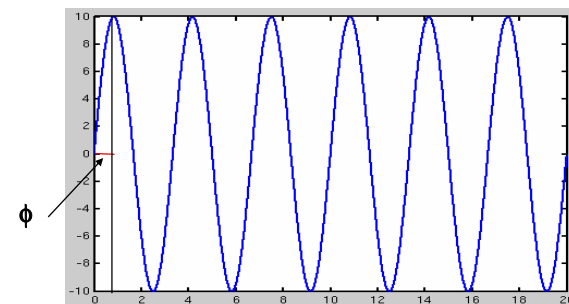
$$y(t) = A \cos(2\pi f_0 t)$$



Amplituden A til en cosinus-funksjon er maksimumsverdien funksjonen kan ha.

Faseforskyvning (bare for de viderekomne)

Vi ser på funksjonen $y(t) = A \cos(2\pi f_0 t + \phi)$



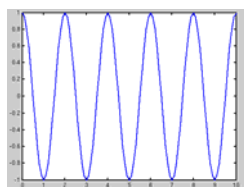
Sammenligner med funksjonen $y(t) = A \cos(2\pi f_0 t)$
Ser at vi har fått en forskyvning med et beløp ϕ (startpunktet er forskjellig fra 0)

ϕ kalles "faseforskyvning"

Frekvens til cosinussignaler

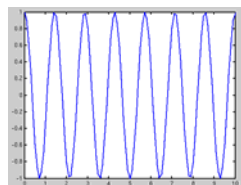
Vi ser på $y(t) = A \cos(2\pi f_0 t)$

- t er tiden
- f_0 er frekvensen:



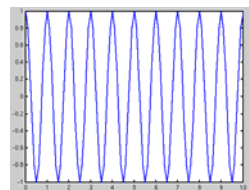
$$\cos(2\pi \cdot 0.5 \cdot t)$$

$$f_0 = 0.5$$



$$\cos(2\pi \cdot 0.7 \cdot t)$$

$$f_0 = 0.7$$



$$\cos(2\pi t)$$

$$f_0 = 1$$

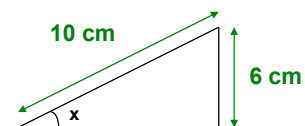
Høy frekvens: signalet varierer fort

Lav frekvens: signalet varierer langsomt



Funksjonen $\sin(x)$

- $\sin(x)$ er kjent fra geometrien for å måle sidene i en trekant. Da er x en vinkel som måles i radianer (0 til 2π) eller grader (0-360°).

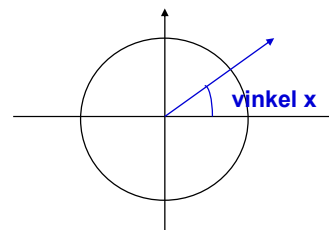


Vinkel x finnes ved at

$$\sin(x) = 6/10$$

$$\text{Da blir } x = \sin^{-1}(6/10) = 36.8^\circ$$

- $\sin(x)$ svinger fra 0 til 1 til 0 til -1 til 0 når x varierer mellom 0 og 2π i radianer.

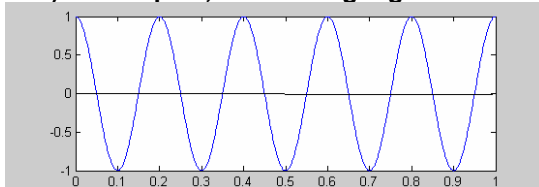


$x = 0$ (0°)	$\sin(x) = 0$
$x = \pi/2$ (90°)	$\sin(x) = 1$
$x = \pi$ (180°)	$\sin(x) = 0$
$x = 3\pi/2$ (270°)	$\sin(x) = -1$
$x = 2\pi$ (360°)	$\sin(x) = 0$

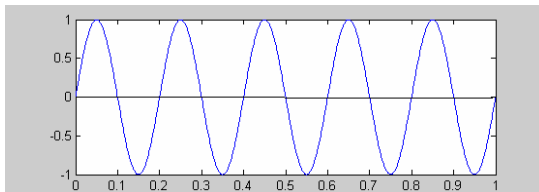
Dette gjentar seg når x roterer en gang til.

Hva er forskjellen på $\sin(2\pi ft)$ og $\cos(2\pi ft)$?

- $\cos(2\pi 5t)$ starter på 1, varierer 5 ganger i sekundet.



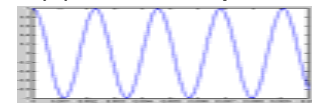
- $\sin(2\pi 5t)$ starter på 0, varierer 5 ganger i sekundet.



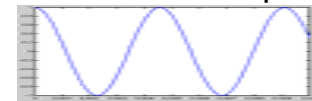
Bare startpunktet, dvs. faseforskyvningen, er forskjellig.

Lyd fra cosinuser

- En kammertone (A) har frekvens på 440 Hz:



- En A som er en oktav lavere har halvparten så høy frekvens: 220 Hz



- I den tempererte tolvtoneskalaen:

- Det er et konstant frekvensforhold mellom nabotoner
- Vi får neste halvtone ved å multiplisere frekvensen med $k = 2^{(1/12)}$
- Frekvensen for en vilkårlig note N er gitt ved
 - $f = 440 * (2^{1/12})^{(N-49)}$ der N er tonenr. fra keyboard (49 for kammertonen)
 - A-dur skala lages ved $N = 37, 39, 41, 42, 44, 46, 48, 49$



Sound (OLE2)

Toner og frekvenser

- Tonens lydstyrke bestemmes av dens amplitude.
- Øret vårt hører godt forskjeller i frekvens (hvor hurtig en tone med samme styrke svinger), og vi hører lett forskjell på ulike toner (og om to instrumenter ikke er stemt høres det surt ut).
- En A på piano og klarinett høres likevel helt forskjellig ut:
 - Tonen har samme frekvens, 440Hz, dvs. de har en bølgeform som gjentar seg 440 ganger i sekundet.
 - Innen hver periode har lyden fra et piano og lyden fra en klarinett ulik kurve.
 - Tonen fra et piano består ikke bare av en ren sinus, men er satt sammen av mange sinuser med ulik frekvens og periode.
 - Ulike instrumenter har også ulik ansats, romklang, etterklang etc.



Forløpet av en tone





- Det er flere ting som bestemmer forløpet av en tone.
 - Hvilket instrument det er
 - Hvordan man spiller på det
- Lydstyrken er ikke konstant over tid.
- Ved syntetisering av lyd har man flere parametre:

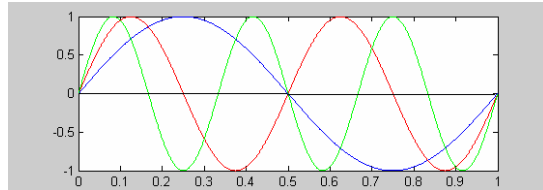


Toner og overtoner

□ En tone i musikken består av:

- en grunntone (fundamental frekvens)
- overtoner - harmonisk relaterte frekvenser (høyere frekvenser satt sammen som $k \cdot$ fundamental frekvens)

- Grunnfrekvens 1 Hz ($\sin(2\pi t)$)  lyd11.wav
- 1. harmoniske komponent 2 Hz ($\sin(2\pi 2t)$)  lyd12.wav
- 2. harmoniske komponent 3 Hz ($\sin(2\pi 3t)$)  lyd13.wav
-  lyd14.wav



Hva om vi summerer cosinuser?

- Vi hørte at $\cos(2\pi \cdot 300 \cdot t) + \cos(2\pi \cdot 500 \cdot t)$ ga oss to toner samtidig.

lyd15.wav



A-dur treklang
 $\cos(2\pi 220t) + \cos(2\pi 292t) + \cos(2\pi 330t)$

- Hvis vi lager et signal

lyd16.wav



$$f(t) = \sum_{i=1}^N A_i \cos(2\pi f_i t)$$

Alle tonene i en skala samtidig

lyd17.wav



- A_i er amplituden/styrken til komponent i
- f_i er frekvensen til komponent i

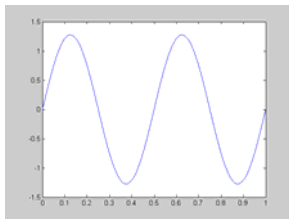
En tone pluss støy
 (hvit støy - et jevnt sus av støy på mange frekvenser)

så kan vi lage mange lyder hvis N er stor.

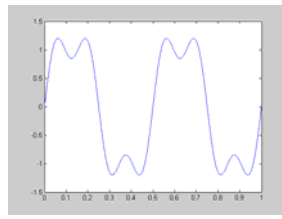
lyd18.wav



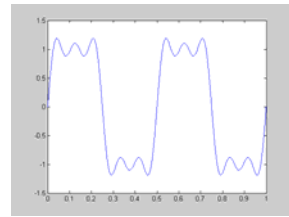
Sum av harmoniske sinus-komponenter



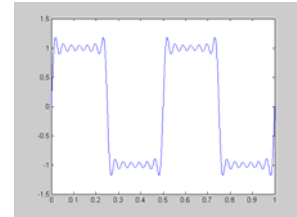
$4/\pi \sin(2\pi f t)$, $f=2$



$4/\pi(\sin(2\pi f t) + 1/3 \sin(2\pi 3f t))$



$4/\pi(\sin(2\pi f t) + 1/3 \sin(2\pi 3f t) + 1/5 \sin(2\pi 5f t))$
 Sum av 3 harmoniske sinuser



$4/\pi(\sin(2\pi f t) + 1/3 \sin(2\pi 3f t) + \dots + 1/13 \sin(2\pi 13f t))$
 Sum av 7 harmoniske sinuser

Hvordan kan vi se hvilke frekvenser en lyd inneholder?

- Vi trenger et verktøy for å se hvilke frekvenskomponenter en lyd inneholder.
- Til dette bruker vi **frekvensspekteret**.
- Frekvensspekteret er basert på å ta Fourier-transformen til lydsignalet
 - Fourier-transformen dekomponerer lydsignalet i ulike basis sinus- og cosinuskomponenter med ulik frekvens og finner hvor sterkt bidrag hver komponent har.

Generelle lydsignaler

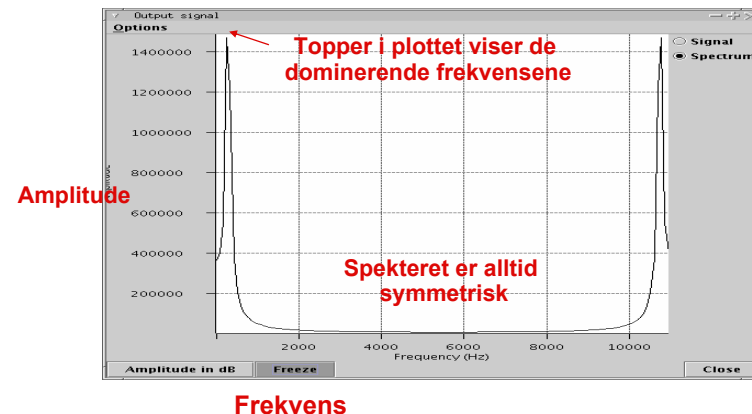
- Vi kan uttrykke et vilkårlig periodisk signal $y(t)$ som en sum av N sinusoider med hver sin amplitude A , frekvens f og fase ϕ .

- Vi kan skrive dette som

$$y(t) = A_0 + \sum_{k=1}^N A_k \cos(2\pi f_k t + \phi_k)$$

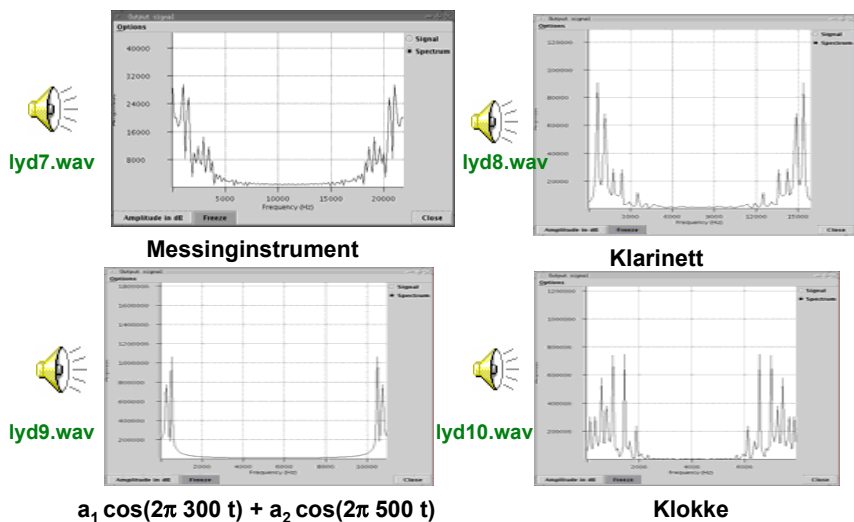
- Matematikken er ikke viktig her – det viktige er konseptet!
- Ved å plote frekvensspekteret til signalet, kan vi se hvilke frekvenser signalet inneholder
- Du lærer mer om dette i kurs i Digital Signalbehandling
 - Se på <http://www.ifi.uio.no/dsb>

Hvordan ser frekvensspekteret ut?



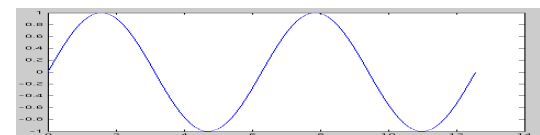
Frekvensspekteret til et rent cosinus-signal med frekvens 300 Hz

Noen lyder og frekvensspektere

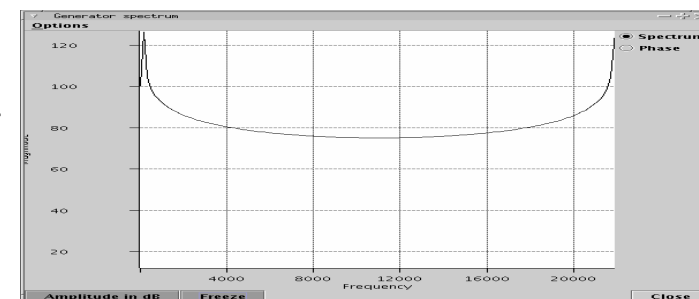


Kan vi bruke andre bølgeformer enn sinus og cosinus?

Sinus

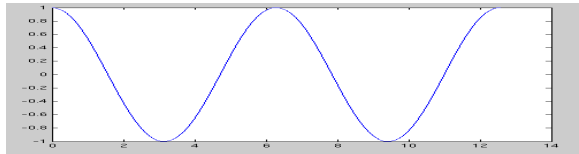


Frekvensspekteret



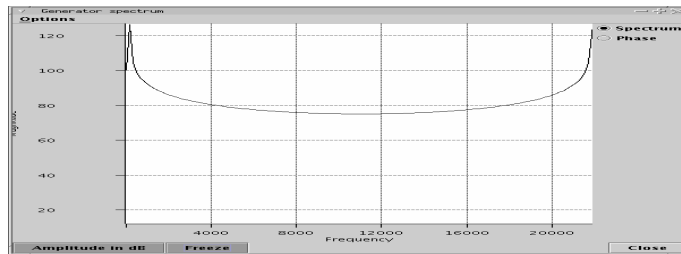
Lyd fra cosinus

cos()



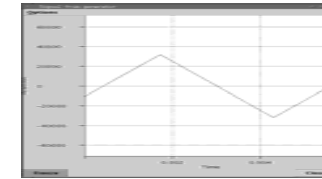
lyd20.wav

Spekteret



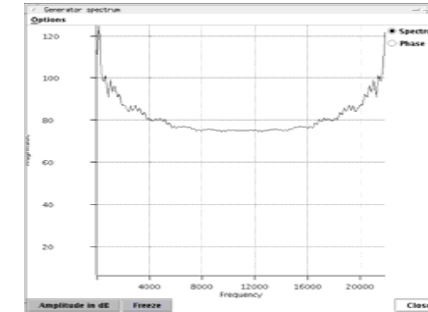
Lyd fra trekantpuls

Trekantpuls



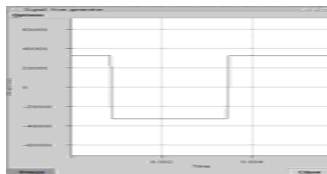
lyd22.wav

Spekteret
til trekantpuls



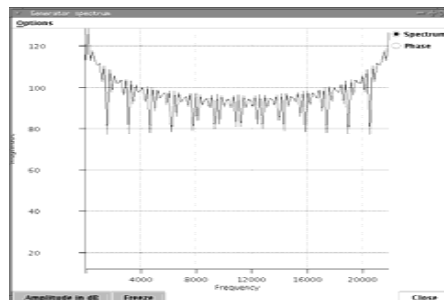
Lyd fra firkantpuls

Firkantpuls



lyd21.wav

Spekteret til
firkantpuls



Andre lyder

- En kompleks lyd som øret ikke oppfatter som en bestemt tone består av mange ulike frekvenskomponenter, og frekvensene er ikke harmonisk relaterte.
- En skarp lyd som f.eks. et dunk inneholder mange frekvenskomponenter
 - Vi trenger mange komponenter for å beskrive noe som endrer seg fort, f.eks. lyden av at en gjenstand faller i gulvet.
- Tale inneholder vanligvis færre frekvenser enn musikk (mindre båndbredde).

Frekvensinnhold og båndbredde

- ❑ Alle ydsignaler inneholder et endelig sett av ulike frekvenser.
- ❑ Begrepet båndbredde beskriver hvor mange frekvenser som finnes.
- ❑ Skal spille signaler opp til 20 000 Hz, må vi ha en båndbredde på 20 kHz.
- ❑ Dette må vi ta hensyn til når vi skal lagre lyd f.eks. på en CD.

- ❑ Ulike lydsignaler inneholder ulike bånd av frekvensspekteret:
 - Musikk setter store krav til båndbredde (20 000 Hz).
 - Tale ligger på max. 3 kHz. Øret mest følsomt mellom 1 og 4 kHz.
 - Dette brukes i telefonoverføringer (max 4 000 Hz).

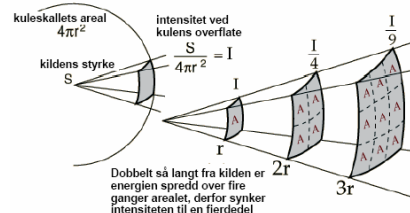
- ❑ Kutter vi i båndbredden kan det gå ut over kvaliteten.
- ❑ Det mest sentrale er den **maksimale frekvensen** vi ønsker å representere.

Eksempel på ulike båndbredder

- lyd30.wav 🗣️ Odd Børretzen med full CD-kvalitet
- lyd31.wav 🎧 Odd Børretzen - kun frekvenser opp til 22 050 Hz
- lyd32.wav 🗣️ Odd Børretzen - kun frekvenser opp til 11 025 Hz
- lyd33.wav 🗣️ Odd Børretzen - kun frekvenser opp til 8 000 Hz
- lyd34.wav 🗣️ Odd Børretzen - kun frekvenser opp til 4 000 Hz
- lyd35.wav 🗣️ Odd Børretzen - kun frekvenser opp til 1 000 Hz

Lydintensitet

- ❑ Intensiteten er den mengde energi som passerer gjennom en flate pr tidsenhet, og vi måler dette i W/m^2 .
- ❑ Lyd fra en punktkilde brer seg i alle retninger i rommet
 - Dobler vi radien i en kule, fordeles energien over en fire ganger så stor flate.
 - Tre ganger så stor radius gir ni ganger så stor flate.
 - Hvis vi skal sammenligne lydintensitetene i avstand a og 10 a fra en lydkilde, spiller det da noen rolle
 - ... hva avstanden a er?
 - ... hva lydintensiteten i avstand a er?

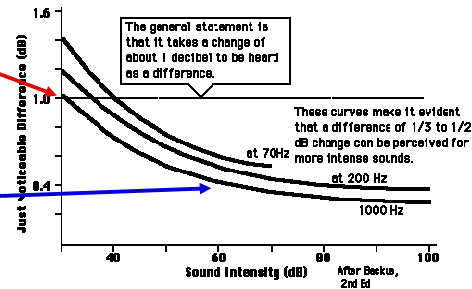


Lydintensitet

- ❑ Vi kan høre lyder over et stort omfang av intensiteter:
 - fra $I_0 = 10^{-12} W/m^2$, **Høreterskelen** til $10 W/m^2$, **Smerteterskelen**
- ❑ Oftest angir vi ikke absolutt lydintensitet i W/m^2
 - Vi angir intensiteten i forhold til høreterskelen I_0
 - Vi bruker en logaritmisk skala, **decibelskalaen**, forkortet dB
$$\beta(dB) = 10 \log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right)$$
 - Logaritmen med basis 10 til et tall x, er den potensen vi må opphøye basistallet 10 i for å få tallet x.
 - Eksempel 1: $\log_{10}(100) = 2$ fordi $100 = 10 \cdot 10 = 10^2$
 - Eksempel 2: $\log_{10}(1\ 000\ 000) = 6$ fordi $1\ 000\ 000 = 10^6$

Mer om lydintensitet

- Decibel måler intensiteten til en lyd i forhold til den svakeste lyden vi kan høre.
- En økning på 10 dB svarer til at lydintensiteten er økt med en faktor 10.**
- Hvis en lyd har intensitet 40 dB og en annen 60 dB (økning = 20 dB) så har den andre lyden $10^2 = 100$ ganger høyere intensitet.
- Den minste hørbare endring i lydintensitet er ca 1 dB for en 1 000 Hz tone ved 30 dB.
- Vi kan høre mindre endringer ved høyere lydintensitet, og ved høyere frekvenser.



Noen eksempler på lydintensitet

Kilde	Intensitet (W/m ²)	Intensitet i dB	#ganger sterkere enn TH
Terskel for hørsel ved 1 kHz (TH)	$1 \cdot 10^{-12}$	0 dB	
Blader som rasler i vinden	$1 \cdot 10^{-11}$	10 dB	10
Hvissing	$1 \cdot 10^{-10}$	20 dB	$100 = 10^2$
Normal tale	$1 \cdot 10^{-6}$	60 dB	$1\ 000\ 000 = 10^6$
Rushtrafikk	$1 \cdot 10^{-5}$	70 dB	10^7
Støvsuger	$1 \cdot 10^{-4}$	80 dB	10^8
Symfoniorkester	$1 \cdot 10^{-3}$	98 dB	$10^{9.8}$
Walkman på max., hørselskader over lengre tid	$1 \cdot 10^{-2}$	100 dB	10^{10}
Rockekonserter (ved scenen)	$1 \cdot 10^{-1}$	110 dB	10^{11}
Smerteterskel	$1 \cdot 10^1$	130 dB	10^{13}
Jagerfly (takeoff)	$1 \cdot 10^2$	140 dB	10^{14}
Trommehinnen sprekker	$1 \cdot 10^4$	160 dB	10^{16}

Lydtrykk

- Hørbar lyd er trykkbølger, eller tetthetsbølger.
- Både atmosfæretrykket og trykk-amplitude

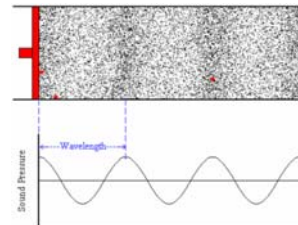
P måles i Pascal (Pa=N/m²).

- 1 atm = 101,325 kPa = 1013,25 hPa (1hPa = 1 millibar, brukt i meteorologi)
- Høreterskelen er $P_0 = 2 \times 10^{-5}$ Pa
- Lydtrykket i dB beregnes fra trykk-amplituden P :

$$L_p = 10 \log_{10} \left(\frac{P}{P_0} \right)^2 = 20 \log_{10} \left(\frac{P}{P_0} \right)$$

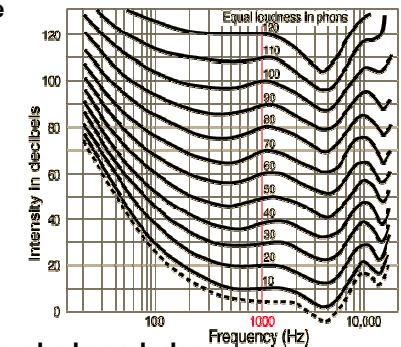
- Faktoren 20 kommer av at 10-er logaritmen til kvadratet av et tall er 2 ganger logaritmen til tallet.

Effekten i en trykkbølge er proporsjonal med kvadratet av trykkamplituden.



Lydstyrke angitt i "phon"

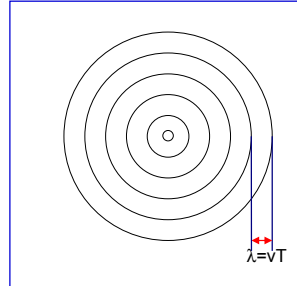
- Subjektiv lydstyrke er ikke det samme som objektiv lydintensitet.
- Vi må ta hensyn til ørets følsomhet for lyd på ulike frekvenser.
- Med 1 000 Hz som referanse kan vi plote
 - den intensitet som skal til for at vi skal oppfatte den samme lydstyrke på andre frekvenser.
- Dette er basis for lydstyrke i "phon".
 - Hvis en lyd på en gitt frekvens er like sterk som en 60 dB lyd på 1000 Hz, så har den en styrke på 60 phon.



- Den subjektive lydstyrken dobles for hver 10 phon.
- Vi ser at: Øret er mindre følsomt for svake bass-lyder.
- Vi ser at: Øret er spesielt følsomt ved 3 000 – 4 000 Hz

Bølgemønster fra en lydkilde i ro

- Antar at lydquellen er i ro.
- Frekvensen til lydquellen er $f = 1/T$
- Lydhastigheten i mediet er v
- Bølgelengden er gitt ved
 - $\lambda = v/f = v T$
 - $\lambda = \text{lydhastighet} \times \text{periode}$

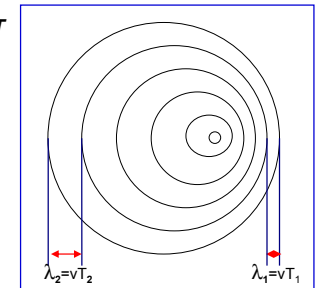


- Vi tegner en ring for hvert maksimum i trykkamplituden til lydbølgen
 - Bølgelengden – og dermed også frekvensen til lyden er den samme i alle retninger

Lydkilde i bevegelse – Doppler-effekt

- Anta at lydquellen kommer mot deg med en hastighet v_s
- Frekvensen til lydquellen og lydhastigheten i mediet er uforandret.

- I perioden T har en bølge beveget seg en lengde vT
- Lydquellen har i mellomtiden beveget seg $v_s T$
- Neste bølge ligger derfor bare $\lambda_1 = (v - v_s) T$ bak



- Resultat: Du opplever en mindre periode
 - $T_1 = \lambda_1 / v$
- Dermed hører du en høyere frekvens
 - $f_1 = 1 / T_1 = v / \lambda_1 = f v / (v - v_s)$
 - fordi flere lydbølger passerer per tidsenhet enn om lydquellen hadde stått i ro.
- En lydkilde som fjerner seg gir tilsvarende en lyd med lavere frekvens:
 - $f_2 = f v / (v + v_s)$

Dagens korte oppsummering - I

- Antall svingninger per sekund er **frekvensen** til en tone.
 - Frekvensen måles i Hz ($\equiv \text{s}^{-1}$), og vi hører svingninger fra 20 Hz til 20 kHz.
- Produktet av bølgelengde og frekvens gir hastigheten til bølgen
 - $v = f \lambda \Rightarrow \lambda = v/f$
 - f.eks $\lambda = 330/440 = 0.75 \text{ m}$ for $v = 330 \text{ m/s}$ og $f = 440 \text{ Hz}$.
- Det enkleste periodisk varierende signal $y(t)$ er en sinusoid med amplitude A , frekvens f og fase ϕ .
 - $y(t) = A \cos(2\pi f t + \phi)$
- Et vilkårlig periodisk signal kan uttrykkes som en sum av N slike sinusoider med hver sin amplitude A , frekvens f og fase ϕ .

$$y(t) = A_0 + \sum_{k=1}^N A_k \cos(2\pi f_k t + \phi_k)$$

Dagens korte oppsummering - II

- Lydintensitet er lik energi transportert pr tidsenhet gjennom et enhetsareal.
- Lydintensiteten angis på en logaritmisk decibel-skala ved

$$\beta(\text{dB}) = 10 \log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right)$$

- der $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$ er "høreterskelen".
- En økning av intensiteten med 10 dB betyr en faktor 10 økning i intensiteten.
- Vi kan høre intensitetsendringer mindre enn 1 dB.
- Den opplevde lydstyrken er ikke det samme som objektiv lydintensitet.
 - Subjektiv lydstyrke angis i "phon"
 - Hvis en lyd på en gitt frekvens er like sterk som en 60 dB lyd på 1000 Hz, så har den en styrke på 60 phon.
- Nye begreper i neste forelesning:

- Analog til digital konvertering
- Sampling og kvantisering

