

Grundläggande ljud- och musikteori

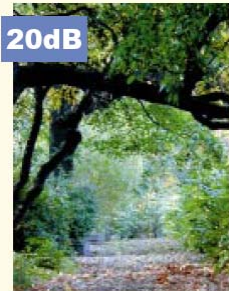


Jan Thim
Magnus Eriksson

Lektionens syfte

- Syftet med denna lektion är
 - att ge förståelse för decibelbegreppet, spektrum, digitalisering och olika distorsionstyper.
 - att ge förståelse för varför vissa ljud låter harmoniskt, och andra disharmoniskt.
 - att ge en uppfattning om hur ett visst antal decibel, en visst antal Hertz, osv, låter.
 - att ge exempel på hur olika former av distorsion kan låta.
- De ljudexempel som ges under lektionen finns tyvärr inte med i denna powerpoint-presentation.

Exempel på ljudnivå mätt i decibel



Lövsus: 20 dB
ljudnivå, dvs 100
gångar så stark effekt
som hörseltröskeln

	Antal gånger	decibel(dB)
Hörseltröskeln	1	0
Lövsus	100	20
Ventilation	10 000	40
Skådesp. (3 meter)	10 000 000	70
Symfoniorkester (toppar 120)	10 000 000 000	100
Rockkonsert	10 000 000 000 00	120
Smärtgränsen	10 000 000 000 000	130

Decibelmåttet är logaritmiskt. Detta
stämmer med hur örat uppfattar
ljudstyrkeförändringar.

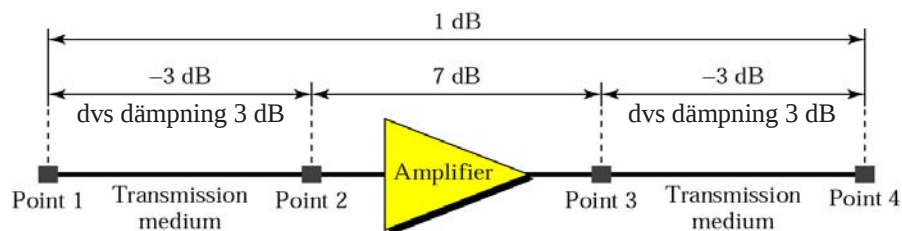
Förstärkning mätt i decibel (dB)

1 gång effektförstärkning = 0 dB.
2 ggr effektförstärkning = 3 dB.
10 ggr effektförstärkning = 10 dB.
100 ggr effektförstärkning = 20 dB.
1000 ggr effektförstärkning = 30 dB.
Osv.

Dämpning mätt i decibel

- Dämpning 100 ggr = Dämpning 20 dB
= förstärkning 0.01 ggr = förstärkning med -20 dB.
- Dämpning 1000 ggr = 30 dB dämpning = -30dB förstärkning.
- En halvering av signalen = dämpning med 3dB = förstärkning med -3dB.

Förstärkning i decibel kan adderas!



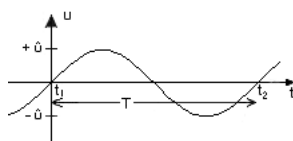
Total förstärkning:

$$-3 + 7 - 3 = +1 \text{ dB}$$

Signal-brus-förhållande

- Ett **signal-brus-förhållande** på 100 dB innebär att den starkaste signalen (musiken) är 100 dB starkare än bruset.
- Ljud som är svagare än bruset hörs inte utan dränks i bruset.
- Musikens **dynamik** är skillnaden mellan det starkaste och svagaste ljudet som man kan höra, och är vanligen ungefär detsamma som signal-brus-förhållandet.

Sinusvågor – eller tonen från en flöjt



Periodtid $T = t_2 - t_1$. Enhet: s.

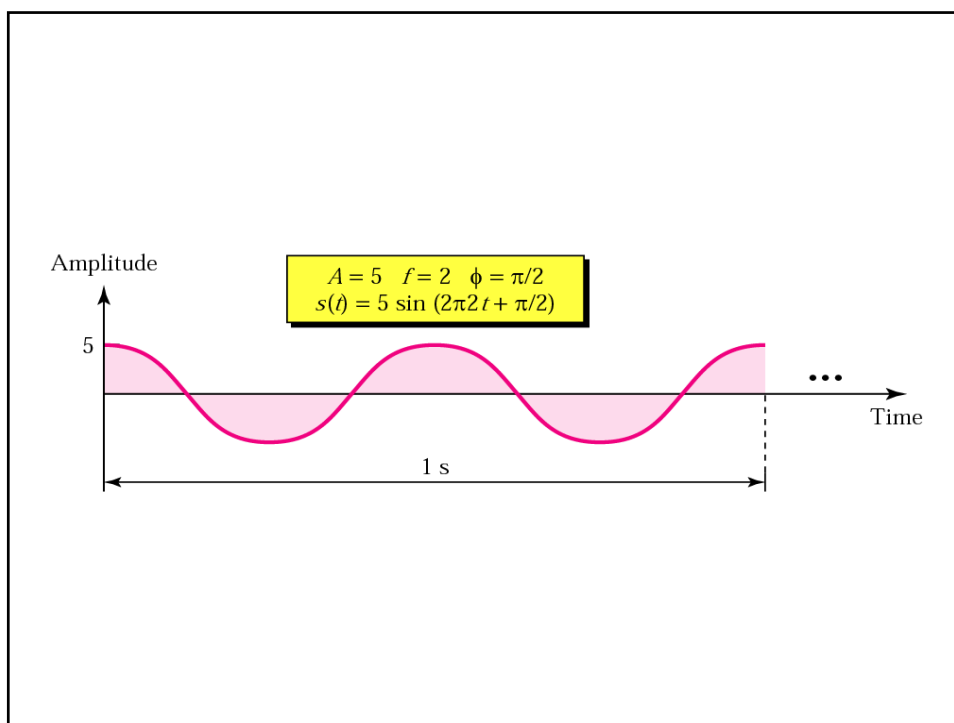
Frekvens $f = 1/T$. Enhet: 1/s=Hz.

$T = 1/f$.

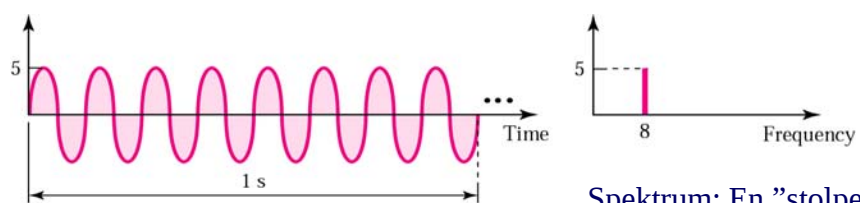
Amplitud eller toppvärde $\hat{U}$. Enhet: Volt.

Fasläge: $\theta = 0$ i ovanstående exempel. Enhet: Grader eller radianer. Påverkar enbart stereobilden!

Momentan spänning: $u(t) = \hat{U} \sin(2\pi ft + \theta)$



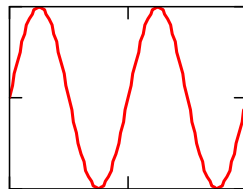
Örat hör ljudets spektrum



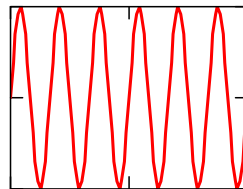
b. A signal with frequency 8

Spektrum: En "stolpe" för varje samtidig sinuston.

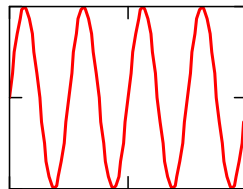
Periodiska vågformer har grundton och övertoner



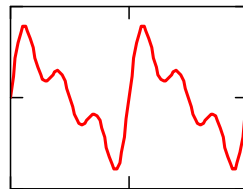
Grundton 440Hz



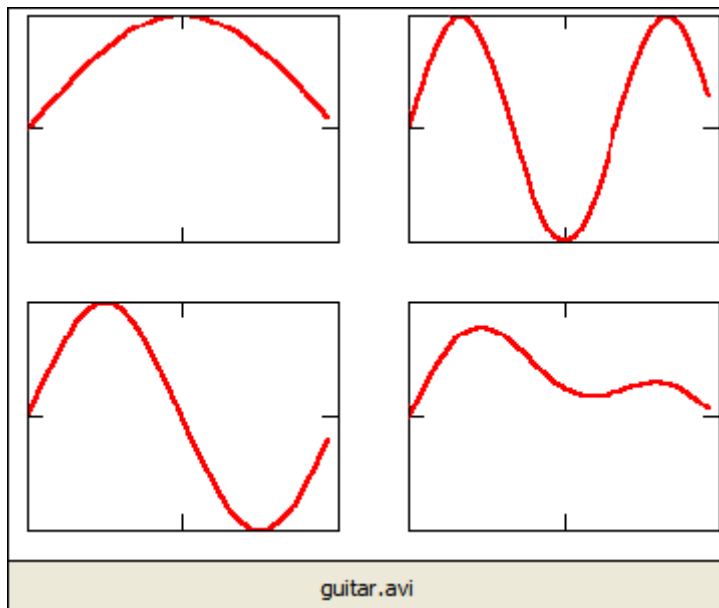
Andra överton 1320Hz



Första överton 880Hz

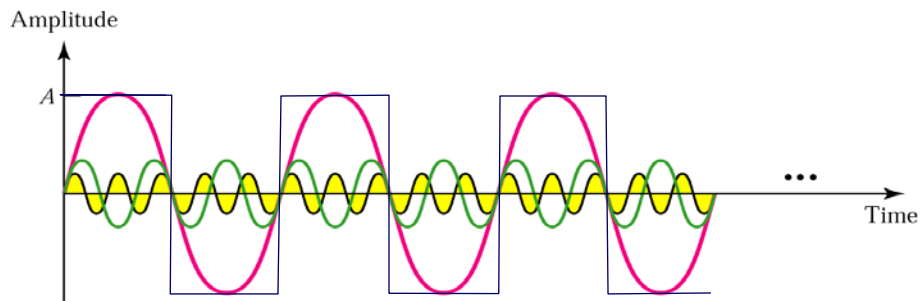


Tillsammans 440Hz

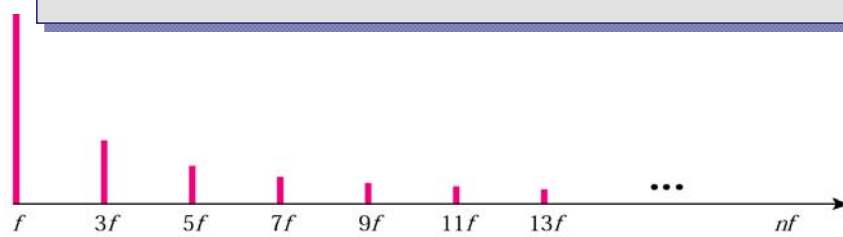


Animering av gitarsträngens grundton och övertoner (s.k. flöjtonerna) samt summan av dem.

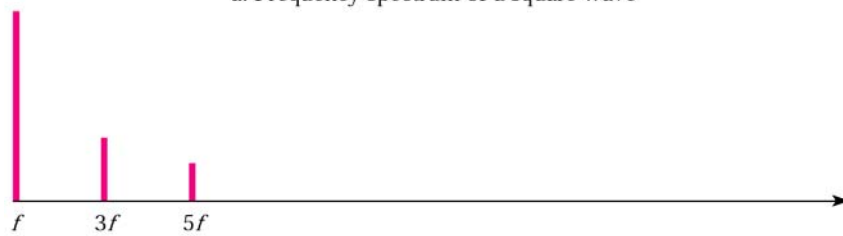
Fyrkantvågen – eller tonen från en klarinett



Fyrkantvågens spektrum

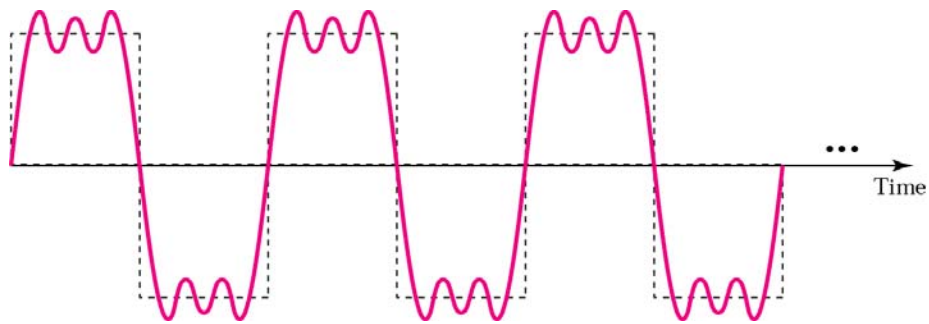


a. Frequency spectrum of a square wave



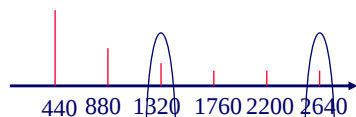
b. Frequency spectrum of an approximation with only three harmonics

Summan av fyrkantvågens tre första deltoner

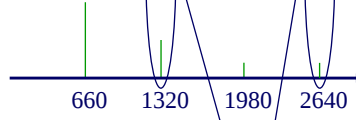


Varför låter vissa klanger harmoniskt?

Tonen A:



Tonen E:



Flera övertoner har samma frekvens.
Då låter det harmoniskt!

Frekvensen för A: 440Hz

Frekvensen för E: 660Hz

Frekvensförhållande mellan E och A:

$$\frac{660\text{Hz}}{440\text{Hz}} = \frac{3}{2}$$

Frekvensförhållandet är ett enkelt rationellt bråk. Då låter det harmoniskt!

Varför låter vissa klanger disharmoniskt?

Exempel:

Frekvensen för Ess: 622Hz

Förhållande mellan Ess och A:

$$\frac{622\text{Hz}}{440\text{Hz}} = 1.414 = \sqrt{2}$$

Frekvensförhållandet är ett irrationellt tal,
dvs det kan inte skrivas som ett enkelt bråktal.
Då finns det inga gemensamma övertoner.
Därmed låter klangen disharmoniskt.

Musikaliska intervall (Överkurs)

Klangen av två toner som spelas samtidigt beror av deras intervall, dvs tonavstånd.
Följande lista är de harmoniska intervallen först och de disharmoniska sist.

	Tonavstånd i halvtoner	Frekvensförhållande	Första sammanfallande delton
Prim (två instrument tar samma ton)	0	0%	Grundtonen
Oktav	12	100%	1:a övertonen
Kvint (Används ofta för att stämma instrument)	7	50%	2:a övertonen
Kvart (Ingår i durackord)	5	33,33%	3:e övertonen
Durters (Ingår i durackord)	4	25%	4:e övertonen
Mollters (Ingår i mollackord)	3	20%	5:e övertonen
Liten septima (Disharmoniskt)	10	77,77%	9:e övertonen
Liten sekund (Mycket disharmoniskt)	1	1.059%	Ingen!

Den tempererade 12-tonsskalan

Ovanstående siffror gäller den rena 12-tonsskalan. Sedan 1700-talet används emellertid den tempererade tolvtonsskalan i västvärlden, för att en melodi ska klinga lika i alla tonarter. Där är frekvenskillnaden mellan varje halvton 5.9%. Exempel:

Frekvensen för tonen ett - strukna A: 440Hz

Tonen B ligger en halvton ovanför A.

Frekvensen för B: $440\text{Hz} \cdot x$

där $x = 1,059$.

Tonen H ligger två halvtoner ovanför A.

Frekvensen för H: $440\text{Hz} \cdot x^2$.

Varför just 5.9% ? (Överkurs)

Orsak till att $x = 1,059$:

Frekvensen för tvåstrukna A är $2 \cdot 440\text{Hz} = 880\text{Hz}$

Tvåstrukna A ligger 12 halvtoner ovanför ettstrukna A.

Alltså är $2 \cdot 440\text{Hz} = 440 \cdot x^{12}$

$$2 = x^{12}$$

$$x = 2^{1/12}$$

$$x = \sqrt[12]{2}$$

Skillnad mellan skalorna

Exempel:

Tonen A och E är ett exempel på en kvint.

En kvint är ett tonavstånd på 7 halvtoner (5 heltoner, därav namnet).

I den tempererade skalan blir frekvensförhållandet $1,059^7 = 1,498$

I den rena (icke tempererade) skalan är frekvensförhållandet exakt 1,5

i kvinter som innehåller heltoner, men andra förhållanden för andra kvinter.

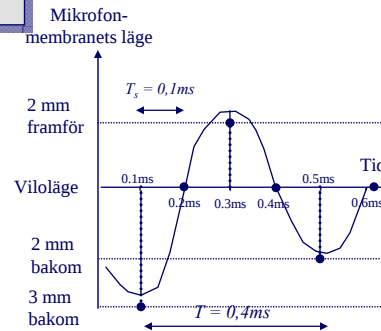
Klangen blir olika i olika tonarter.

Exempel på distorsionsformer

- **Dämpning.**
- **Icke-rak frekvensgång.**
- **Fasdistorsion.** Påverkar endast stereobilden.
- **Harmonisk distorsion.** Extra övertoner pga olinjära förstärkare.
- **Intermodulationsprodukter.** Inträffar om flera toner spelas i samma olinjära förstärkare. Om tonerna f_1 och f_2 spelas så hörs en tredje ton med frekvensen $f_1 - f_2$.
- **Brus och störningar.** T.ex.
 - Vitt brus, som innehåller alla frekvenser,
 - Rosa brus, som innehåller främst låga frekvenser.
 - Nätbrumm, som innehåller 50Hz med övertoner.

Att digitalisera ljud

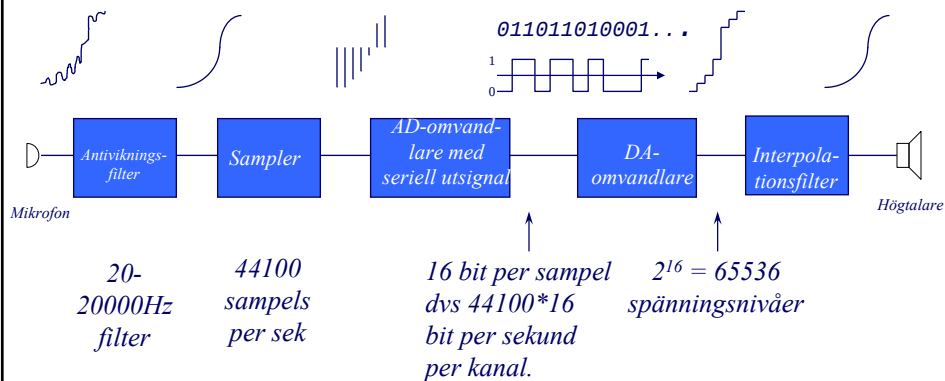
Membranets Position	Spänning	Bitföljd
4 mm bakom	-0.04 Volt	100
3 mm bakom	-0.03 Volt	101
2 mm bakom	-0.02 Volt	110
1 mm bakom	-0.01 Volt	111
Viloläge	0 Volt	000
1 mm framför	0.01 Volt	001
2 mm framför	0.02 Volt	010
3 mm framför	0.03 Volt	011



Nästan sinusformat ljud med periodtid $T = 0.4\text{ms}$ och frekvens $f = 1/T = 2500\text{ Hz} = 2.5\text{kHz}$.
 Samplingsperiod $T_s = 0.1\text{ms}$, dvs samplingsfrekvens $f_s = 1/T_s = 10000\text{ samples/sek} = 10\text{kHz}$.
 Kvantisering (=avrundning) till 8 värden.
 Digitalisering ger 3 bit per värde: 101 000 010 110 000.

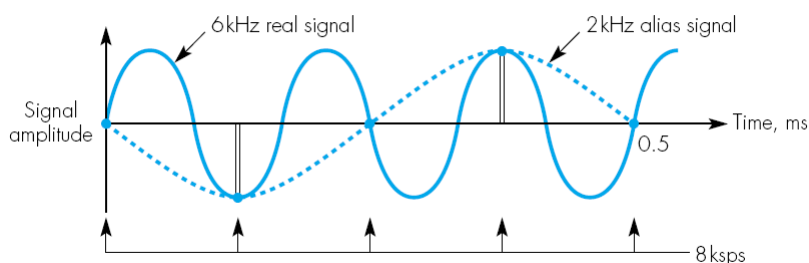
PCM = Pulse Code Modulation = Digitalisering av analoga signaler

Sifferexempel från CD-spelaren



Vikningsdistorsion (aliasing)

Exempel: Samplingsfrekvens 4000 sampels/sekund.



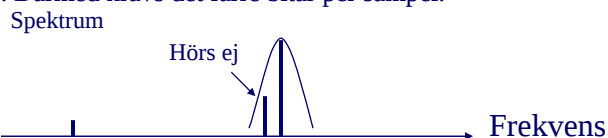
Vi hör fel frekvens! Detta inträffar om man inte filtrerar bort frekvenser som är högre än halva samplingsfrekvensen. Jämför med film av hjul med ekrar som tycks snurra för långsamt, eller baklänges.

Komprimering av ljud

En CD-spelare kräver 16 bit per sampel x 44100 sampels per sekund x 2 kanaler = **1,4Mbps** (miljoner bit per sekund).

I bl.a. MPEG layer 2 (används på DVD-skivor, digital-TV och digitalradio) komprimeras datamängden till **mellan 32Kbps och 384kbps** (tusen bit per sekund) **per ljudkanal**.

Man utnyttjar då örats **maskeringseffekt**, som gör att starka ljud dränker svaga ljud på närliggande frekvenser. S.k. delbandskodning används. En filterbank delar upp signalen i flera olika frekvensband. I delband där ljudet är starkt kan man ha högt kvantiseringsbrus utan att det hörs. Därmed krävs det färre bitar per sampel.



Distorsion till följd av digitalisering

- **Kvantiseringsdistorsion (kvantiseringsbrus)**

- Avrundningsfelet låter ofta som ett brus.
- Varje extra bit upplösning ger dubbelt så många spänningsnivåer, vilket ger en minskning av kvantiseringsdistorsionen med 6 dB. 16 bit upplösning ger ett signal-brus-förhållande på ca $16 \cdot 6 = 96$ dB (beroende på hur man mäter detta förhållande.)
- Svaga ljud avrundas bort, eller dränks i kvantiseringsbruset.

- **Vikningsdistorsion**

- Inträffar om man inte filtrerar bort frekvenser som är högre än halva samplingsfrekvensen.

- **Distorsion till följd av för hård komprimering**

- Svaga övertoner avrundas bort, och ljudet blir ”dovt”.