



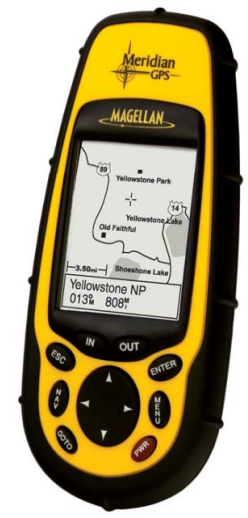
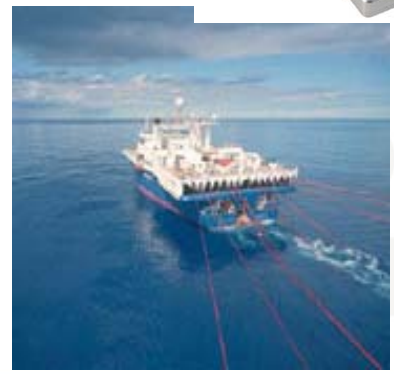
inf

INF3470/4470 Digital signalbehandling  
Introduksjon  
Sverre Holm



UNIVERSITETET  
I OSLO

# Signal Processing inside



# Hvordan virker ...

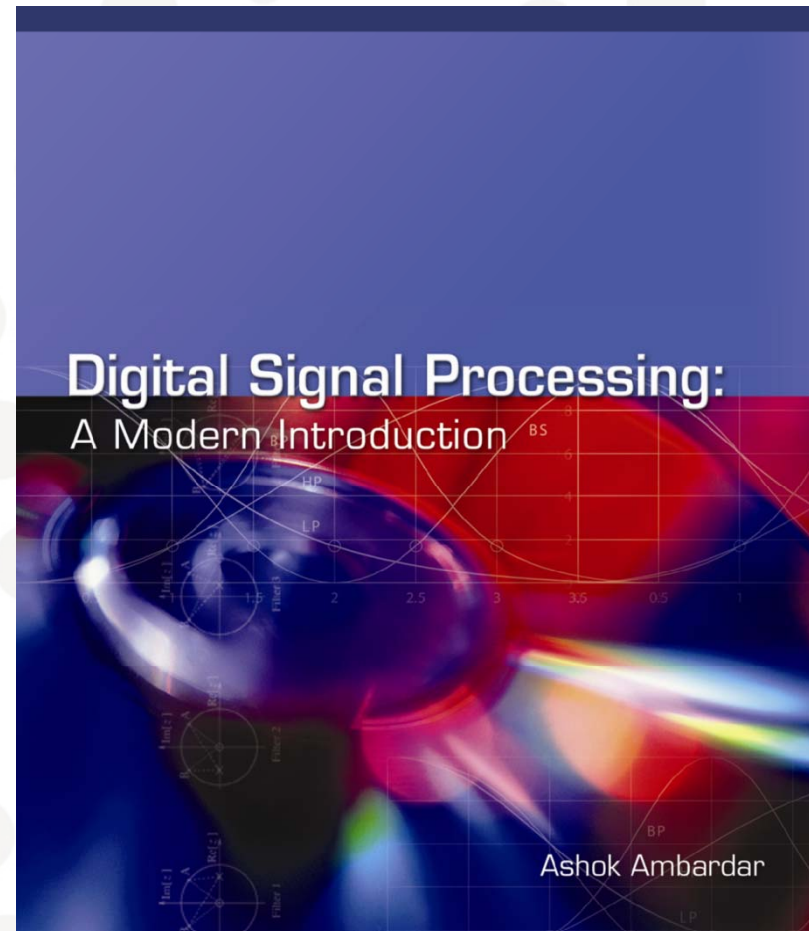
- CD og lydkoding (mp3 ~1:12)
  - Lyd-filtrering og -effekter
  - GPS
  - ...
- 
- Se kap 7.6 - 7.10 for andre anvendelser

# INF3470/4470 - Digital signalbehandling

- Et teoretisk og praktisk fag!
  - 3 - 4t forelesning (tirsdag 14.15-16 og onsdag 14.15-15/16)
  - 2t regneverksted (fredag 12.15-14)
  - 2t obligatorisk gruppe (torsdag 10.15-12)
- 1. Forelesning
  - ukas pensum går gjennom og man forventes å forsøke seg på oppgavene
- 2. Regneverksted
  - studentene får hjelp/tips til å løse de oppgavene de ikke har fått til
- 3. Øvelse
  - studentene leverer løsninger av oppgavene som blir gjennomgått og rettet.
- Krav til å få gå opp til eksamen er at studentene har fått godkjent 40/60% av alle oppgavene som er gitt i kurset (dvs innlevert på øvelsestimen i tillegg til å være korrekt nok).

# Praktisk info

- Se webside for kurset:
- <http://www.uio.no/studier/emner/matnat/ifi/INF3470/>
- Følger boka
- Bruker en god del andre oppgaver



20. august 2013

5

# Oversikt over pensum

- I kapittel 2 lærer dere om signaler, som er den mest grunnleggende størrelsen i faget
- I kapittel 3 lærer dere om systemer eller filtre som først og fremst brukes til å manipulere signaler.
- I kapittel 4 lærer dere om z-transformasjonen, som brukes til å analysere og designe filtre.
- I kapittel 5 lærer dere om Fourier-transformasjonen, som brukes til å analysere både signaler og systemer med hensyn til frekvensinnhold.
- I kapittel 6 lærer dere om hvordan man tolker systemer ved hjelp av Fourier-transformasjoner.
- I kapittel 7 lærer dere om effekten av å behandle analoge signaler med digitale teknikker, og hvilke kriterier som må oppfylles.
- I kapittel 8 lærer dere om en spesiell Fourier-transformasjon (DFT) som kan brukes på de signaler som er periodiske eller har endelig lengde.
- I kapittel 9 og 10 lærer dere hvordan dere skal designe filter fra de to hovedtypene dere lærer om i dette kurset: IIR og FIR.

# Contents

- Chapter 1 Overview
- Chapter 2 Discrete Signals
- Chapter 3 Time-Domain Analysis
- Chapter 4 z-Transform Analysis
- Chapter 5 Frequency Domain Analysis
- Chapter 6 Filter Concepts
- Chapter 7 Digital Processing of Analog Signals
- Chapter 8 The Discrete Fourier Transform and Its Applications (kursorisk 8.11-8.12)
- Chapter 9 Design of IIR Filters (kursorisk 9.3-9.5 og 9.7)
- Chapter 10 Design of FIR Filters (kursorisk 10.9-10.10)
- Appendix A Useful Concepts from Analog Theory

# Pensum

- Etter å ha fullført kurset vil dere ha kjennskap til de fleste begreper innen digital signalbehandling.
- Dere vil i tillegg ha fått god trening i å utføre de mest sentrale operasjonene.
- Forelesere:
  - Kapittel 2-3, 6-7, 9: Sverre Holm
  - Kapittel 4-5, 8,10: Jo Inge Buskenes
- Ukeoppgavene er valgt for å gi
  - økt forståelse av pensum
  - direkte trening til eksamen.
- Erfaringsmessig må dere gjøre flere oppgaver enn de vi gir for å få tilstrekkelig trening med teknikkene.



# Andre kurs relatert til signalbehandling

## Våre kurs:

- INF-GEO4310 - Avbildning (høst)
- INF4480 - Digital signalbehandling II (vår)
- INF5410 - Signalbehandling i rom og tid (vår)

## Blogg:

- [Signalbehandling: litt matematikk, litt fysikk og litt informatikk](#)


## Andre kurs:

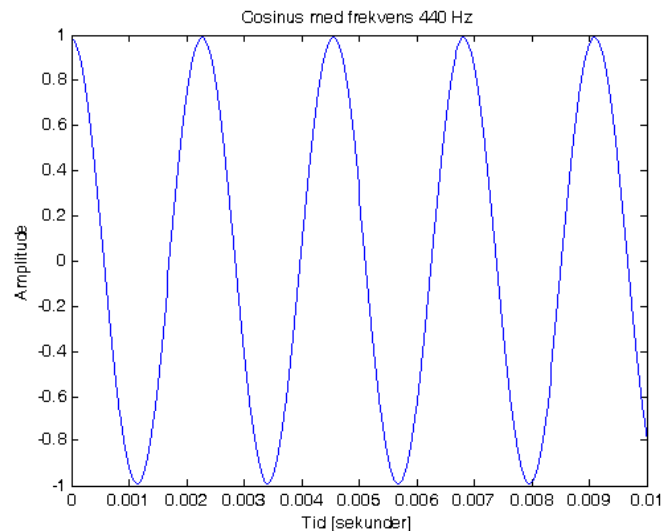
- FYS3240 - PC-basert instrumentering og mikrokontrollere (vår)
- GEO4280 - Seismisk signalbehandling (vår)
- MUS4800 - Lydteori 1 (høst)
- UNIK4170 - Digital kommunikasjon, del 1 (høst)

# Signaler: Sinus i tid og frekvens

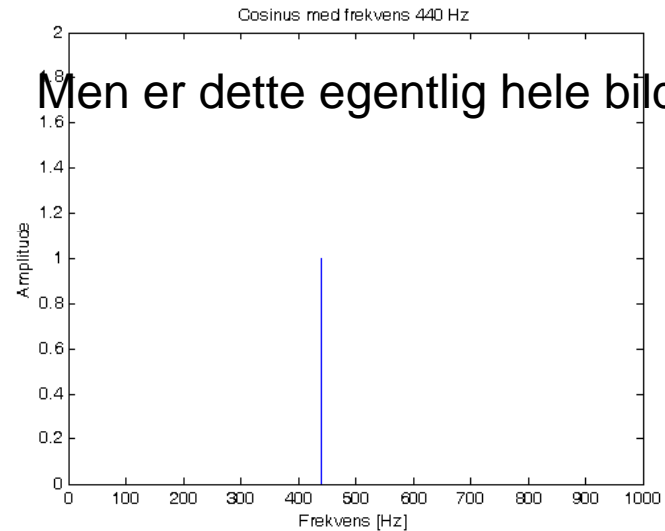
- Cosinus med frekvens  $f$ , vinkelfrekvens  $\omega$ :

$$\cos(2\pi f \cdot t) = \cos(\omega \cdot t)$$

- Enstrøken a:  $f=440$  Hz 
- Tidsdomenet:



Frekvensdomenet:

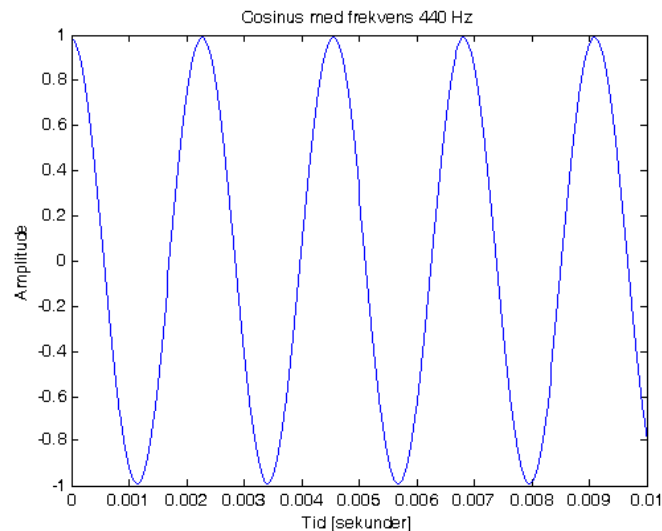


# Sinus i tids- og frekvensdomenet

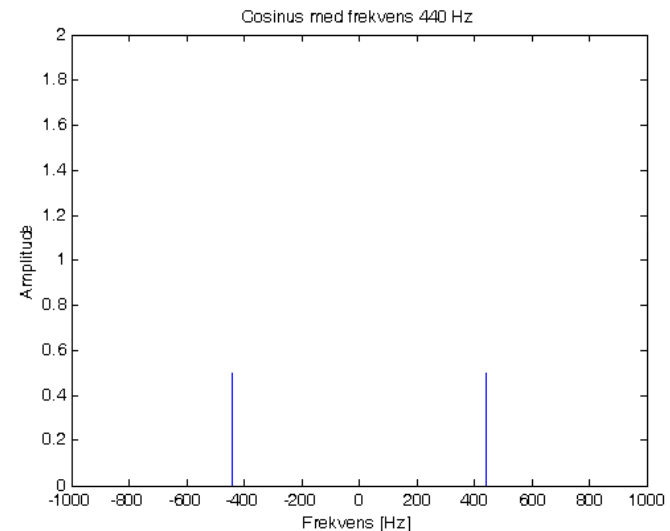
- Kompleks notasjon

$$\cos(2\pi f \cdot t) = \cos(\omega \cdot t) = \frac{1}{2}(e^{j\omega t} + e^{-j\omega t})$$

- Også negative frekvenser
- Tidsdomenet:



- Frekvensdomenet:

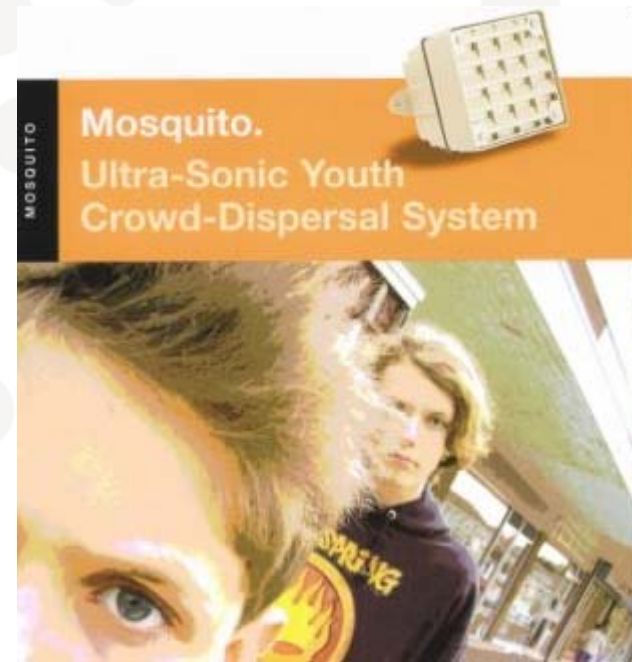


20. august 2013

11

# Kan du h re tonen?

- Mosquito
  - A pulsed, near ultrasonic tone at around **16kHz**
  - The sound, though not painful in any way, becomes highly annoying after 5 min or so
  - Most under 20s leave the immediate area
  - The majority of those over the age of 30 either just hear, or are totally unaware of any noise.
  - Natural age-related hearing loss
  - <http://www.mosquito-ni.com/>
- Kan du h re den?
  - Toner (Adobe Audition) eller Audacity (freeware)
  - Toner i området 12-20 kHz



# Frekvensinnhold i tale og musikk

- Utgangspunkt: 800 Hz
  - Adobe Audition, filtre
- Bedre og bedre gjengivelse:
  - $\pm 1$  oktav: 400-1600
  - $\pm 2$  oktaver: 200-3200
  - $\pm 3$  oktaver: 100-6400
  - $\pm 4$  oktaver: 50-12800
  - $\pm 5$  oktaver: 25-25600



GSM: ~300-3400 Hz



AM: ~50-4000 Hz



Kodet lyd: 20-12...20 kHz



CD: 20-~20000 Hz



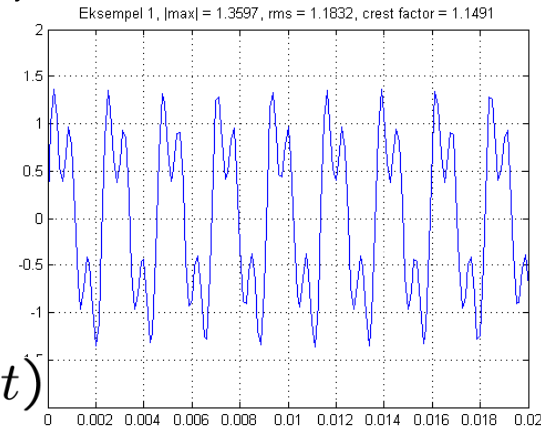
Traktgrammofon:  
~300-3000 Hz

[http://www.recordedsound.no/documents/sandnes\\_no.htm](http://www.recordedsound.no/documents/sandnes_no.htm)

# Fase ved 440 Hz

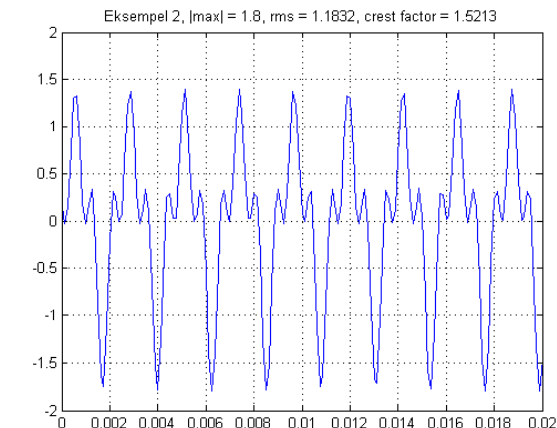
$$\sin(2\pi f_0 t) + 0.2 \sin(2\pi 2f_0 t) + 0.6 \sin(2\pi 3f_0 t)$$

- Rms = 1.1832
- Max = 1.3597
- Crest factor = max/rms=1.1491



$$\sin(2\pi f_0 t) + 0.2 \cos(2\pi 2f_0 t) - 0.6 \sin(2\pi 3f_0 t)$$

- Rms = 1.1832
- Max = 1.8
- Crest factor = 1.5213
- 2.4 dB høyere maks-verdi
- Fase er ikke så viktig for hørsel
- Fase og crest factor: Viktig for RF sendere, maks nivå CD



# desiBel - dB

Definisjon:

$$\text{dB} = 10 \log_{10} (P_1/P_2)$$

- der  $P_1$  og  $P_2$  er effekter

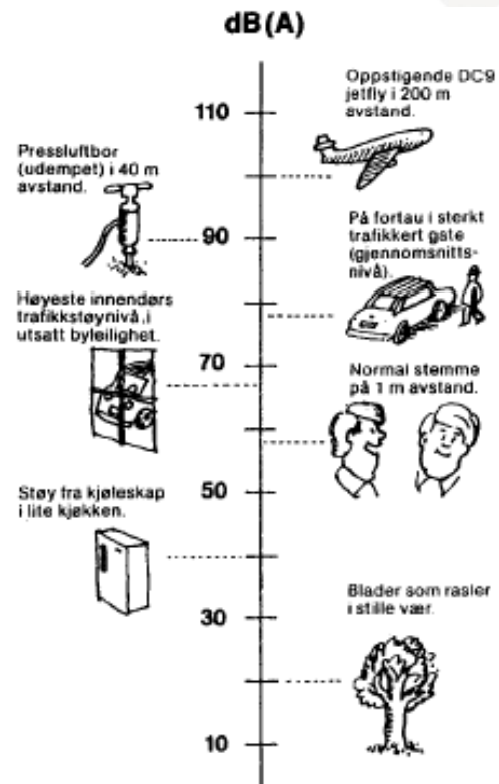
Da  $P = U^2/R$ ,

- der  $U$  er spenning og  $R$  er motstand
- La  $R_1 = R_2$ :

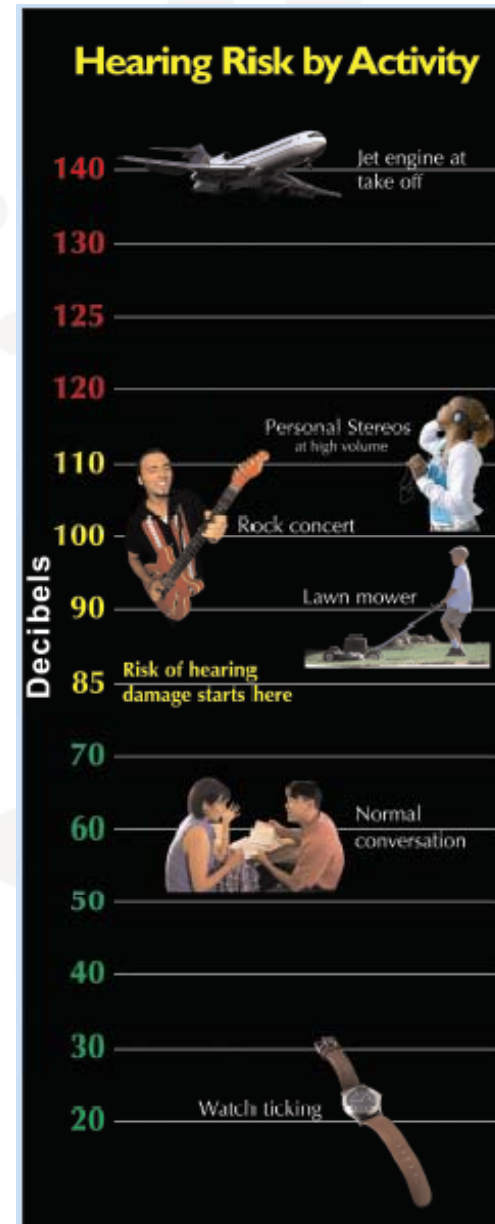
$$\text{dB} = 10 \log_{10} (P_1/P_2) = 20 \log_{10} (U_1/U_2)$$

dB	Spenning	Effekt
0	1	1
1	1.12	1.26
3	1.41	2
6	2	4
10	3.16	10
20	10	100
-3	0.71	0.5
-6	0.5	0.25
-10	0.32	0.1
10m	$10^{m/2}$	$10^m$
6m	$2^m$	$4^m$

# dB er ikke bare lydnivåer!

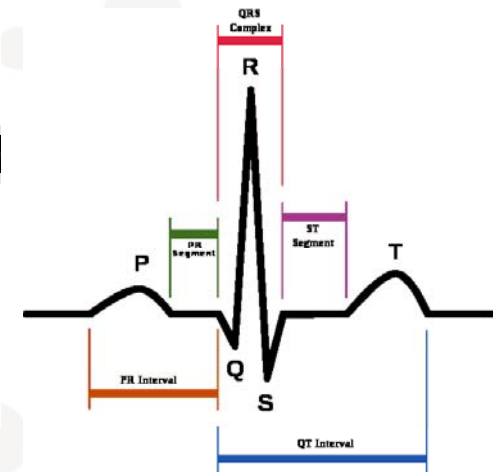
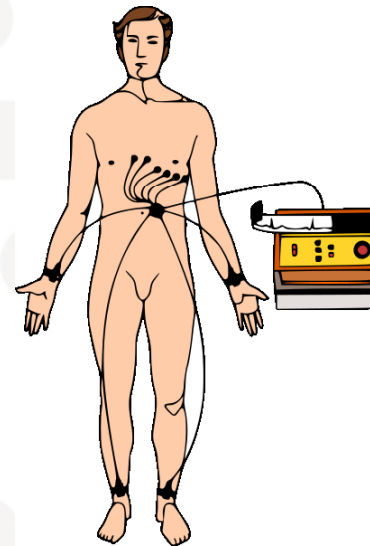
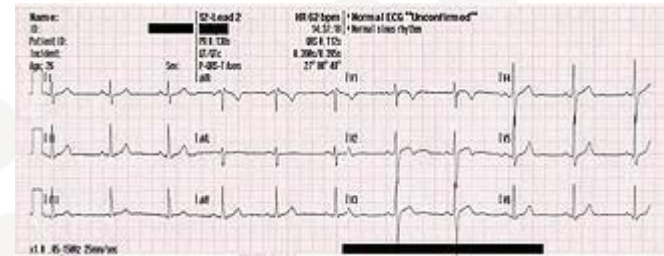
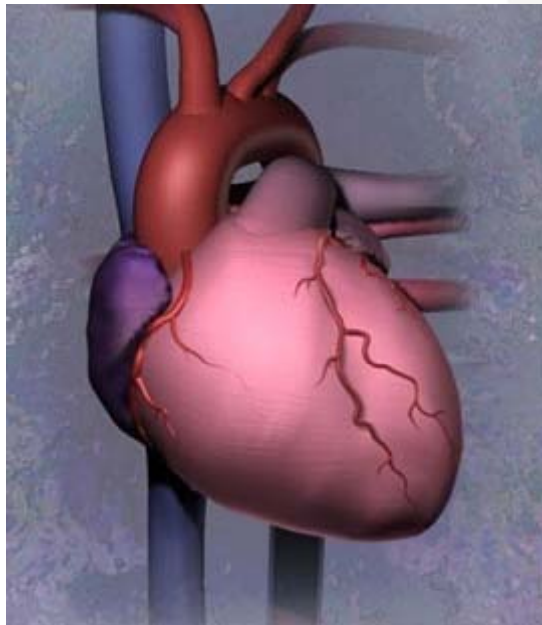


dB relativt til  $20 \mu\text{Pa}$





# Elektrokardiogram (EKG)



- <http://www.atenmedicalart.com/anim/heart.htm>

- Wikipedia

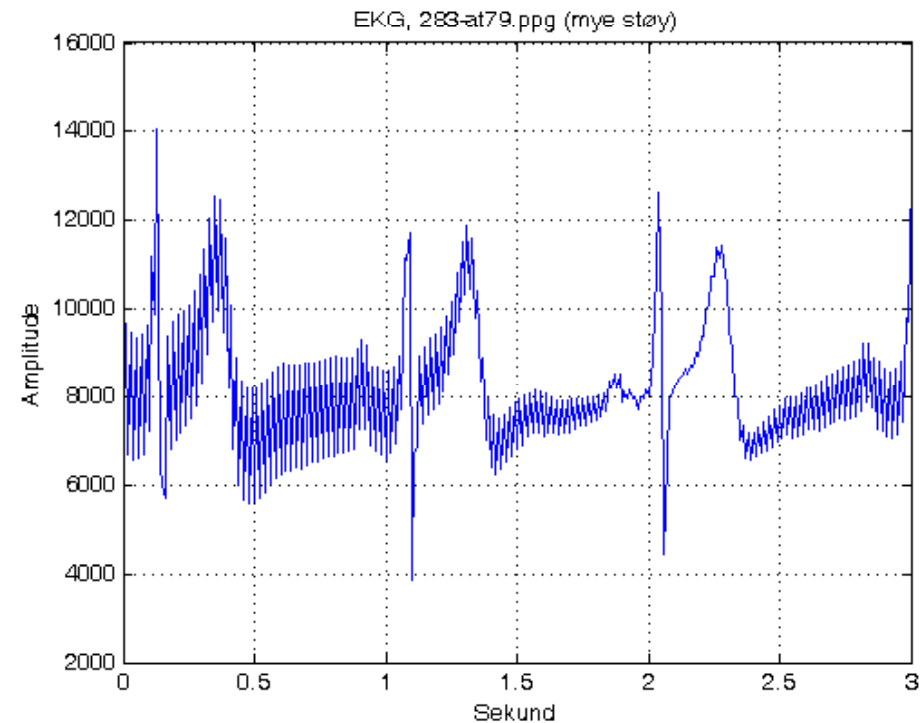
20. august 2013

17

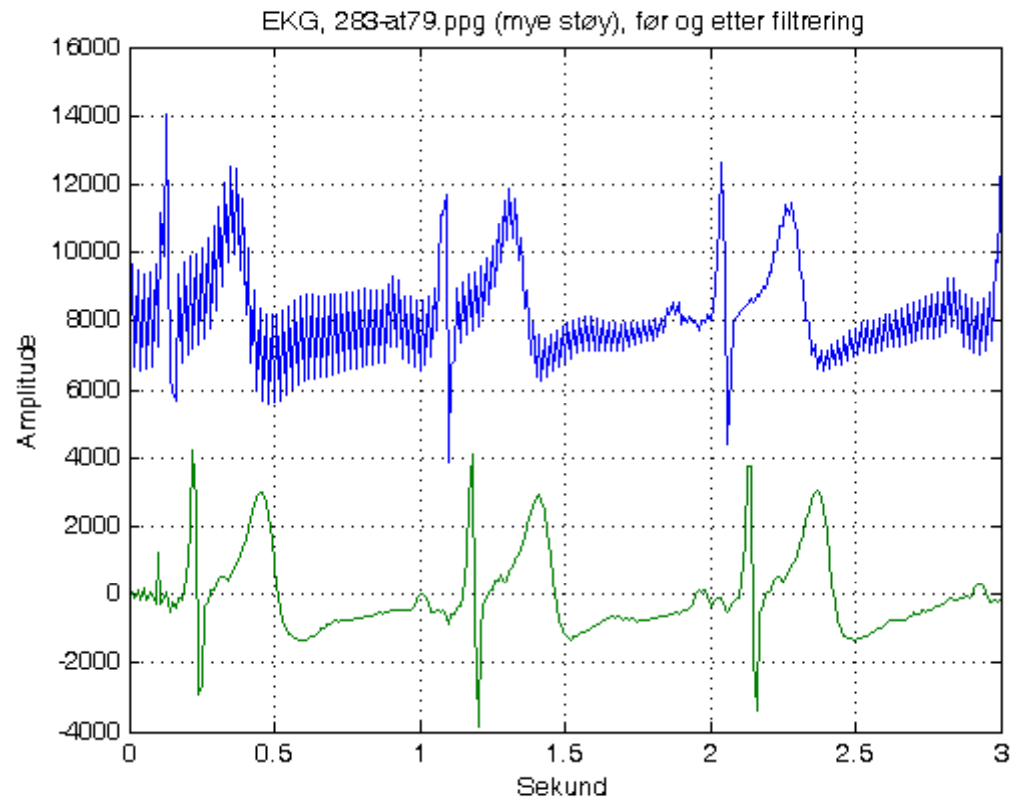
# Støyfiltrering på EKG-signal

- Matlab: [Aase.m](#) - Filtrere bort 50 Hz fra EKG-signal

- Data fra Ottar Aase, Kardiologi, Ullevål Universitetssykehus



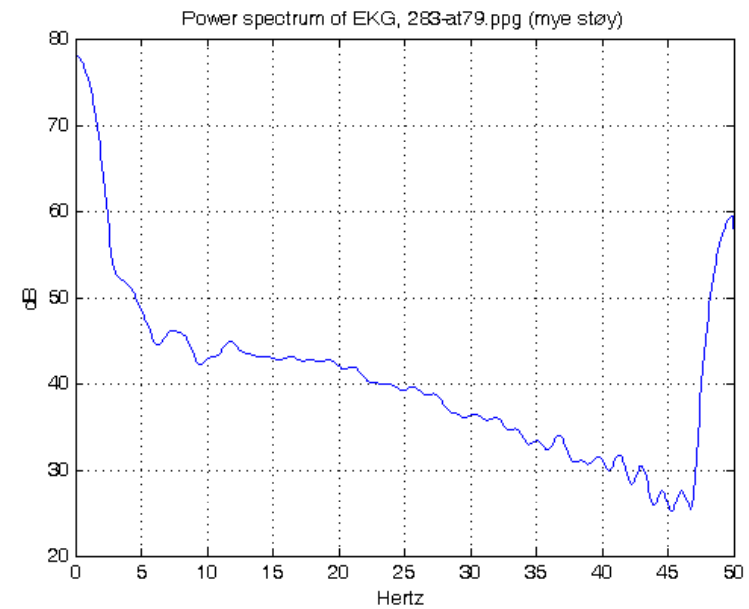
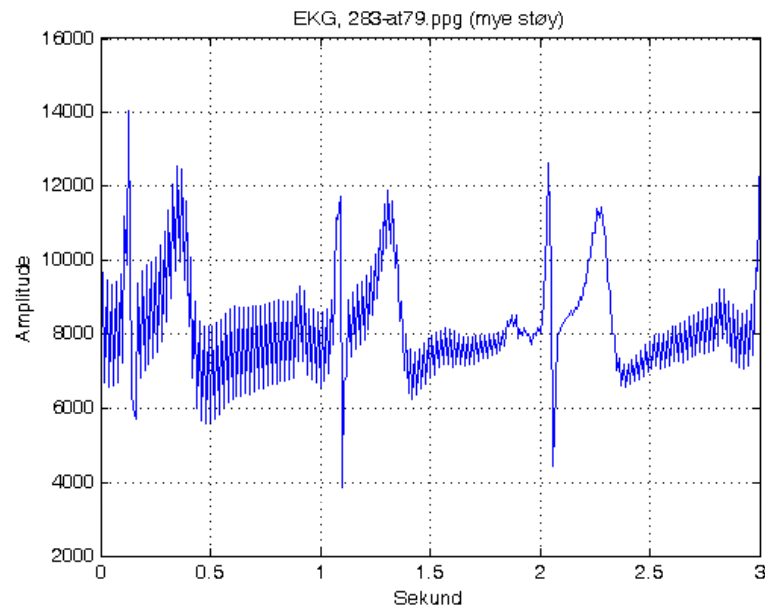
# EKG: Før og etter filtrering



20. august 2013

19

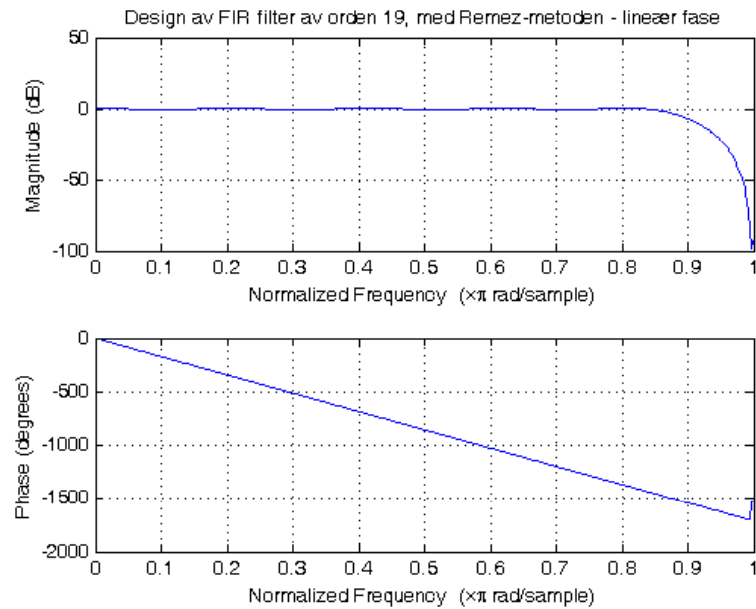
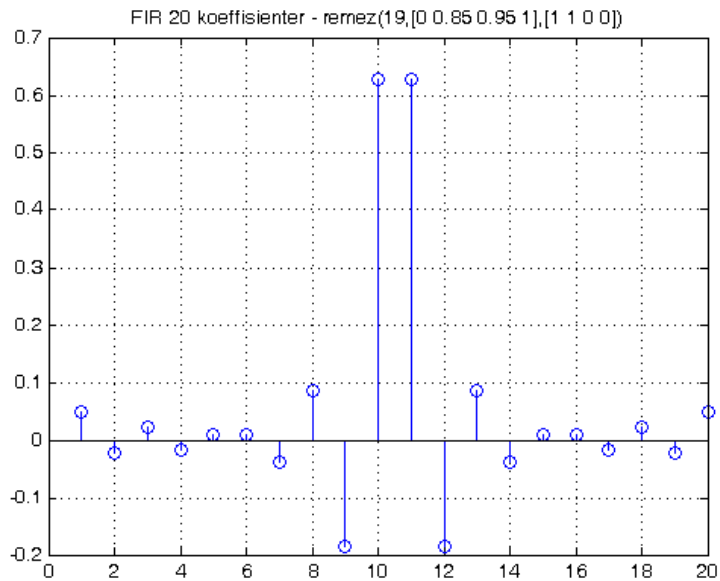
# Tids- og frekvensanalyse



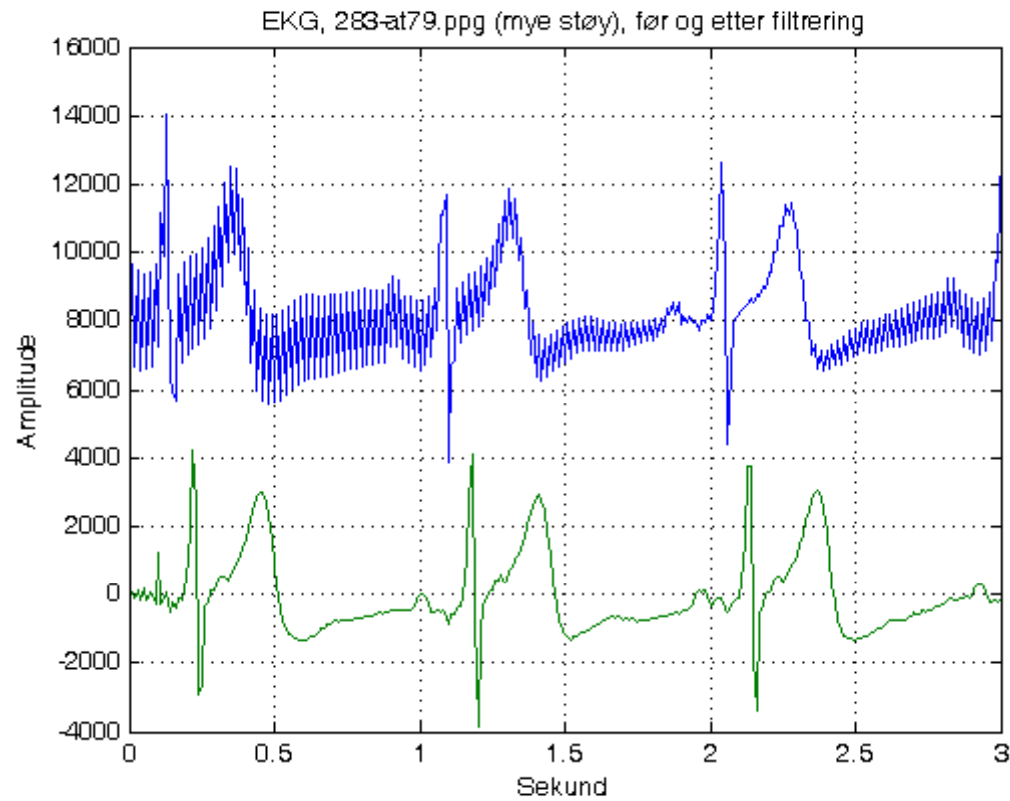
20. august 2013

20

# EKG: Filter for støyfiltrering



# EKG: Før og etter filtrering

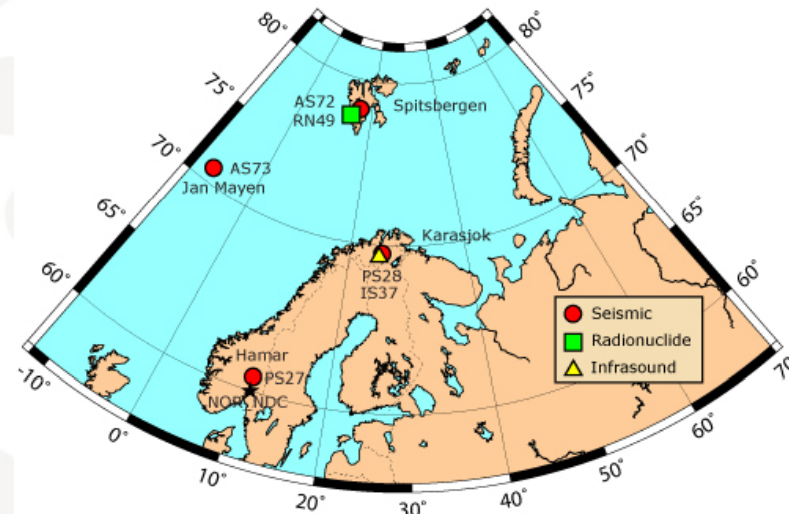
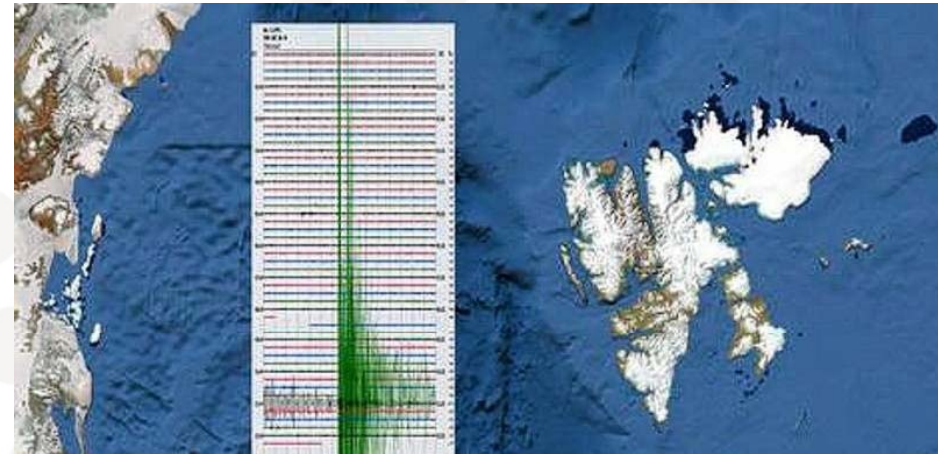


20. august 2013

22

# Seismologi: Jordskjelv rystet Svalbard

- ”Et jordskjelv med en styrke på 6,5 inntraff utenfor Svalbard fredag formiddag. Dette er det sterkeste som noen gang er målt i vår del av verden.”
  - Aftenposten 06.03.2009
  - <http://www.aftenposten.no/nyheter/iriks/article2964253.ece>
- Norge har 6 stasjoner (av 50) i the International Monitoring System (IMS)
  - <http://www.norsar.no/c-71-Station-Network.aspx>



# Teknisk aksjeanalyse



- Stock chart showing levels of support (4, 5, 6, 7, and 8) and resistance (1, 2, and 3); levels of resistance tend to become levels of support and vice versa.

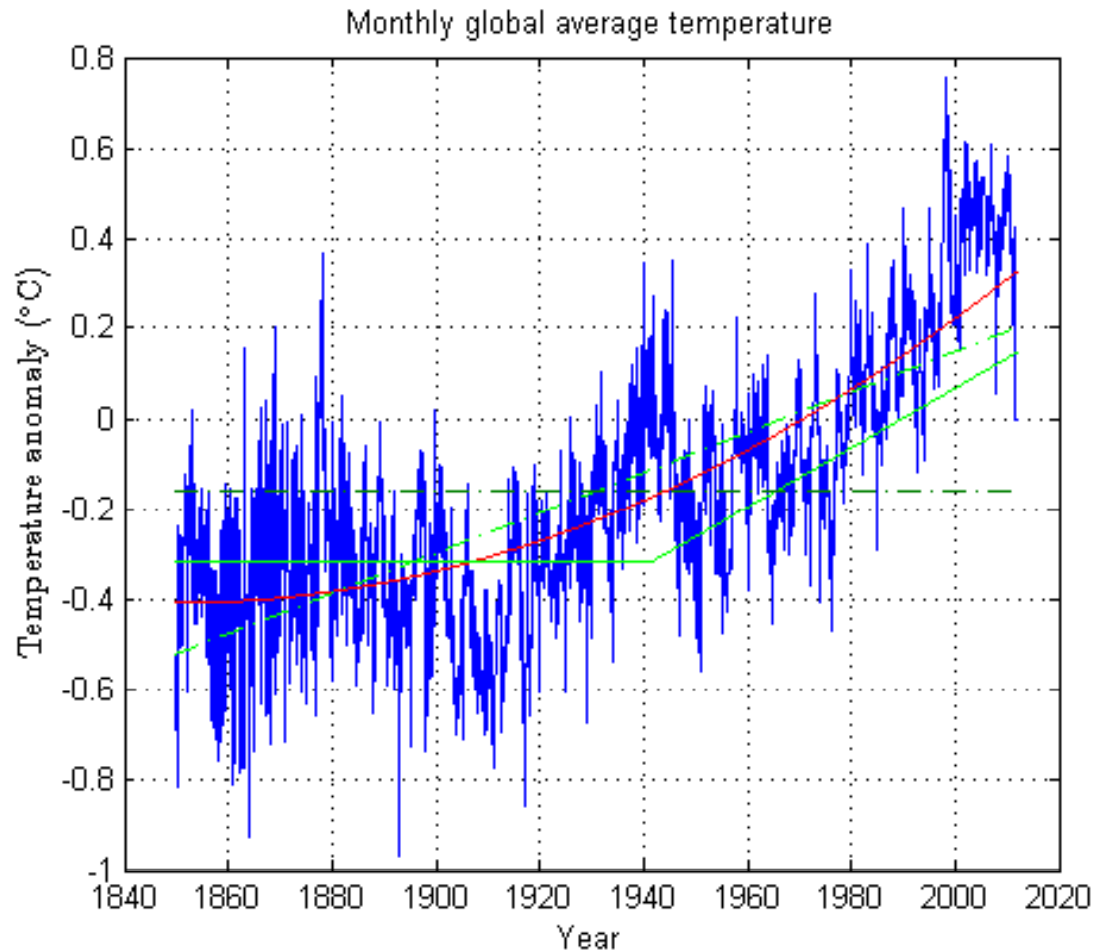
- Wikipedia

20. august 2013

24



# Midlere globalt temperaturavvik



- Middelverdi
- Lineær trend
- Stykkevis lineær
- Parabel

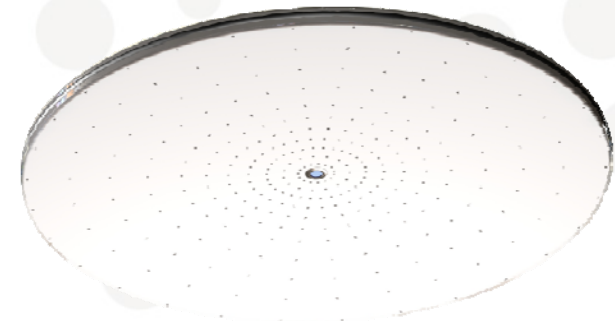
20. august 2013

25

# Mikrofonarray for konferanserom og sport



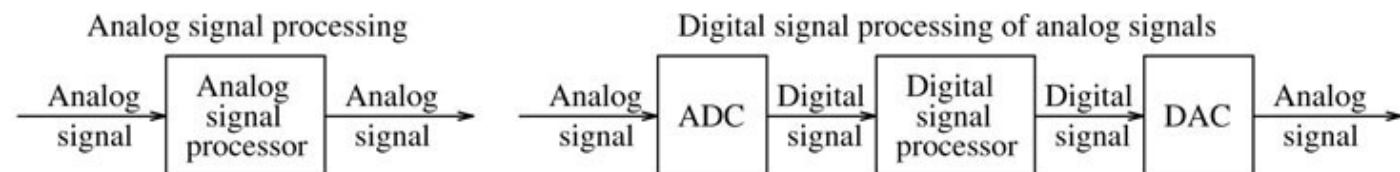
- 300 mikrofoner
- Kamera
- Squarehead Technology, Nydalen
- [www.sqhead.com](http://www.sqhead.com)
- Staples Center, Los Angeles
- Simula auditorium



# Analoge og digitale signaler

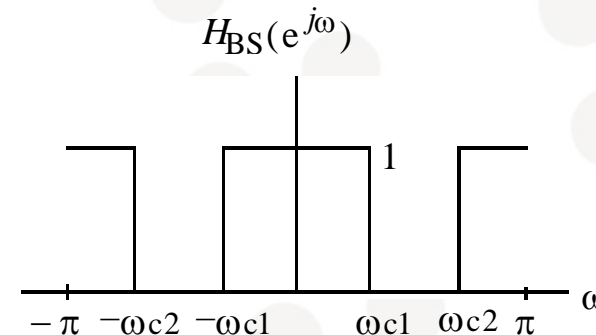
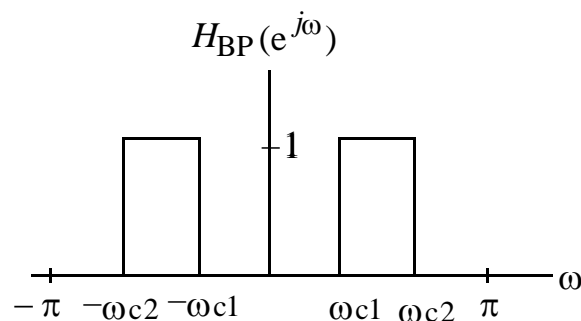
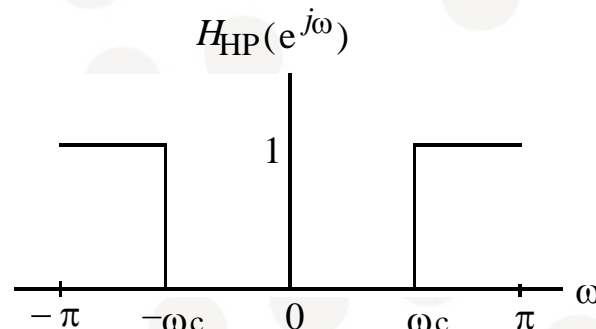
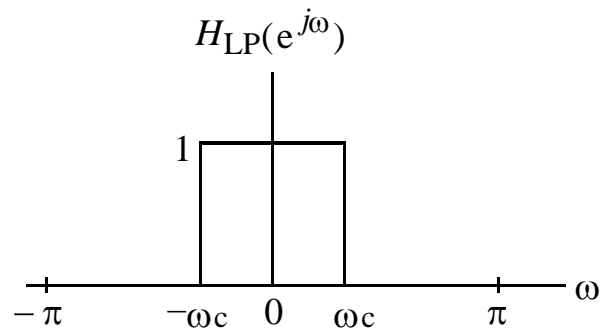
- Analoge signaler:
  - EKG
  - Musikk og tale
  - Seismologiske data
- Samplingsteoremet:
  - Sample på minst to ganger høyeste frekvens
- Anti-aliasing filter:
  - Analogt filter som fjerner høyeste frekvenser slik at samplingsteoremet blir oppfylt

**FIGURE 1.1** Analog and digital signal processing



# Systemer: filtre

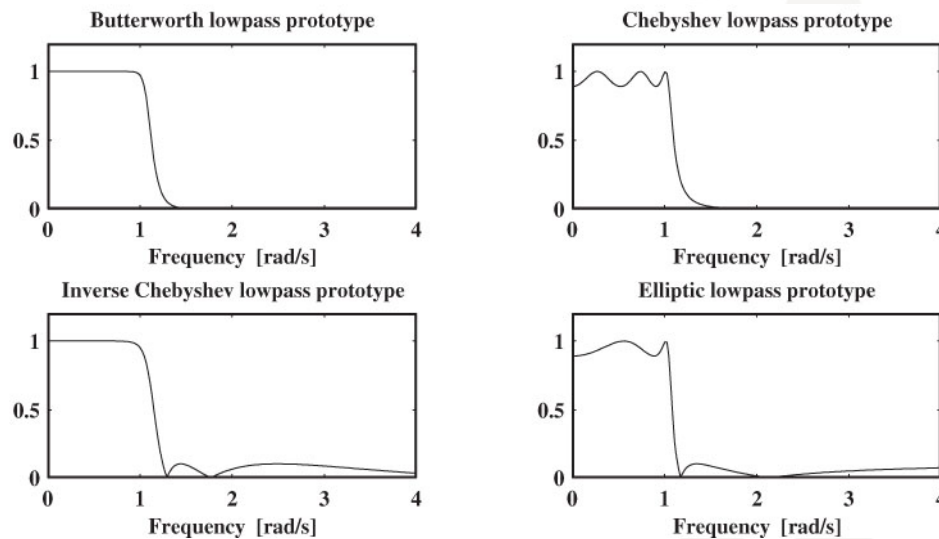
- Ideelle filtre:
  - Lavpass, høypass, båndpass, båndstopp



# Systemer: filtre

- Filterspesifikasjon
  - Passbånd, stoppbånd
  - Maksimalt flatt passbånd/stoppbånd
  - Ekviripple i passbånd/stoppbånd

FIGURE A.15  
Classical analog  
lowpass prototypes

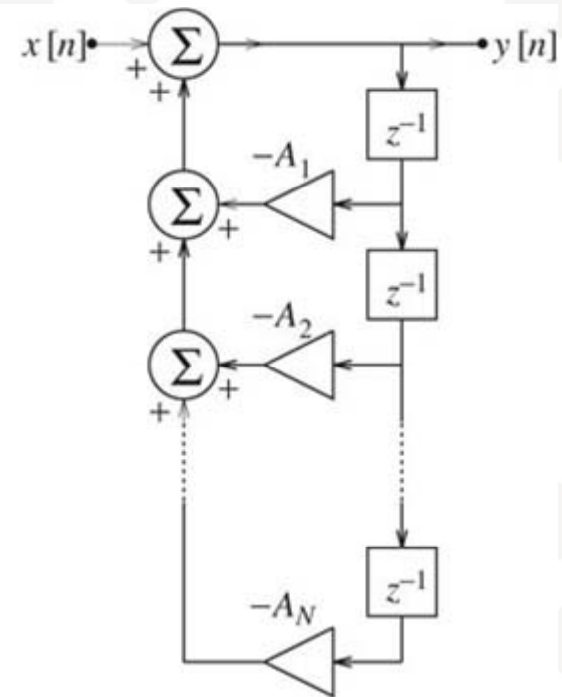


20. august 2013

29

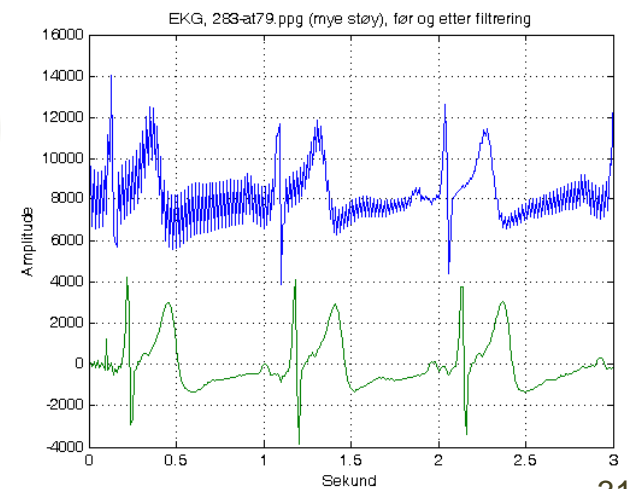
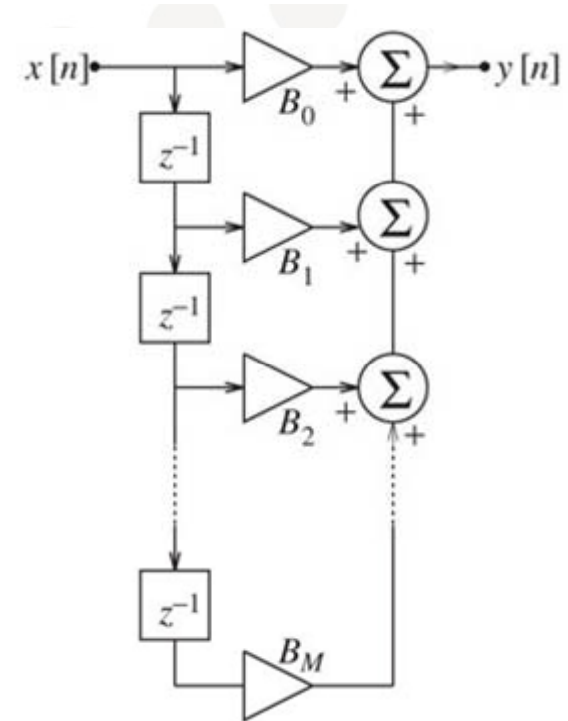
# Systemer: IIR Filtre

- IIR – Infinite Impulse Response
  - Transformerer klassiske analoge filtre
- Et IIR filter er rekursivt – har tilbakekopling
  - (Fra fig 3.2)



# Systemer: FIR filtre

- FIR – Finite Impulse Response
  - Bare foroverkopling
  - Som regel mer beregninger enn IIR
- Kan lages med *lineær fase*
  - $\Leftrightarrow$  Gruppeforsinkelsen er konstant med frekvens
  - Alle frekvenser forsinkes like mye
  - Viktig for analyse i tidsdomenet, eks EKG
  - Gjør også rekonstruksjonsfilterbanker enklere, eks mp3



20. august 2013

31

# Spektralanalyse

- Tid - frekvens beskrivelse
- Noter har vært brukt i omtrent denne form siden 1000-tallet
- **Frekvens** er helt sentral for vår oppfatning av lyd

**Bouree** J.S. Bach

Registered Members of Sheet Music Online may download this piece by clicking on either the IBM or Macintosh version!

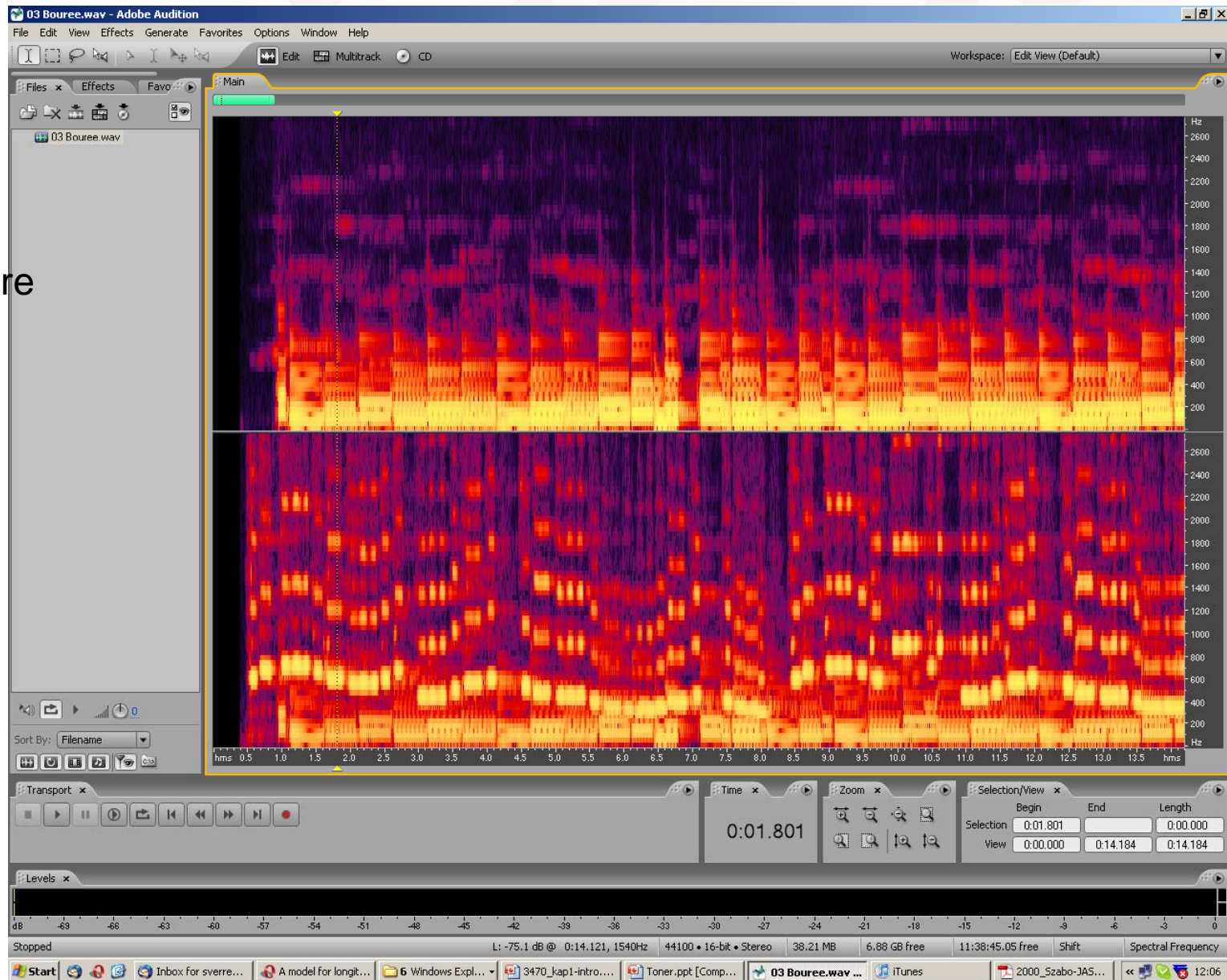
© 1996 <http://sheetmusic.cenomet.com>



Bass, venstre

Fløyte, høyre

Bouree  
Jethro Tull



20. august 2013

33

# Historie

- Før 50-tallet: Bare tidskontinuerlig analog signalbehandling (elektroniske kretser)
- 1928: Nyquist; 1949: Shannon-samplingteoremet
- Digital signalbehandling på 50- og 60-tallet:
  - Behov for prosessering i seismikk
  - Simulere analoge systemer på datamaskin (fleksibilitet)
- Viktige faktorer som bidro til dagens digitale implementering av systemer:
  - Fast Fourier transform (FFT) 1965: Cooley & Tukey
  - Utvikling i mikroelektronikk

# An Algorithm for the Machine Calculation of Complex Fourier Series

By James W. Cooley and John W. Tukey

An efficient method for the calculation of the interactions of a  $2^m$  factorial experiment was introduced by Yates and is widely known by his name. The generalization to  $3^m$  was given by Box et al. [1]. Good [2] generalized these methods and gave elegant algorithms for which one class of applications is the calculation of Fourier series. In their full generality, Good's methods are applicable to certain problems in which one must multiply an  $N$ -vector by an  $N \times N$  matrix which can be factored into  $m$  sparse matrices, where  $m$  is proportional to  $\log N$ . This results in a procedure requiring a number of operations proportional to  $N \log N$  rather than  $N^2$ . These methods are applied here to the calculation of complex Fourier series. They are useful in situations where the number of data points is, or can be chosen to be, a highly composite number. The algorithm is here derived and presented in a rather different form. Attention is given to the choice of  $N$ . It is also shown how special advantage can be obtained in the use of a binary computer with  $N = 2^m$  and how the entire calculation can be performed within the array of  $N$  data storage locations used for the given Fourier coefficients.

Mathematics of computation, pp. 297-301, 1965, American Mathematical Society

20. august 2013

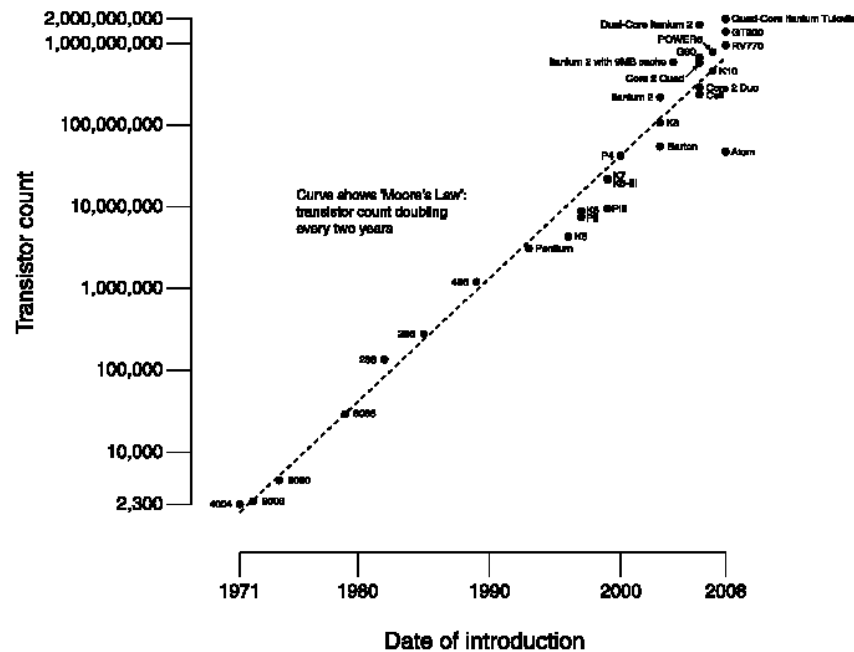
35



UNIVERSITETET  
I OSLO

# Moore's lov: Dobling hvert annet år

CPU Transistor Counts 1971-2008 & Moore's Law



Microprocessor	Year of Introduction	Transistors
4004	1971	2,300
8008	1972	2,500
8080	1974	4,500
8086	1978	29,000
Intel286	1982	134,000
Intel386™ processor	1985	275,000
Intel486™ processor	1989	1,200,000
Intel® Pentium® processor	1993	3,100,000
Intel® Pentium® II processor	1997	7,500,000
Intel® Pentium® III processor	1999	9,500,000
Intel® Pentium® 4 processor	2000	42,000,000
Intel® Itanium® processor	2001	25,000,000
Intel® Itanium® 2 processor	2003	220,000,000
Intel® Itanium® 2 processor (9MB cache)	2004	592,000,000

<http://www.intel.com/technology/mooreslaw/>

Wikipedia Commons:  
Transistor Count and Moore's Law - 2008.svg

Intel i7 - 1,17 milliarder transistorer.  
NVIDIA skjermkort 3 milliarder transistorer.

20. august 2013

36

# FFT vs Moores lov

- Direkte DFT vs FFT:  $N^2 / N \log_2 N = N / \log_2 N$
- Moores lov: Ytelse  $\propto$  antall transistorer dobler seg hvert annet år
- Ekvivalent antall år med hardware-utvikling som spares inn ved å bruke FFT:
  - $N=128: \approx 18 \approx 2^4 \Leftrightarrow 4 \cdot 2 = 8$  år
  - $N=1024: \approx 100 \approx 2^7 \Leftrightarrow 7 \cdot 2 = 14$  år
  - $N=8192: \approx 630 \approx 2^9 \Leftrightarrow 9 \cdot 2 = 18$  år