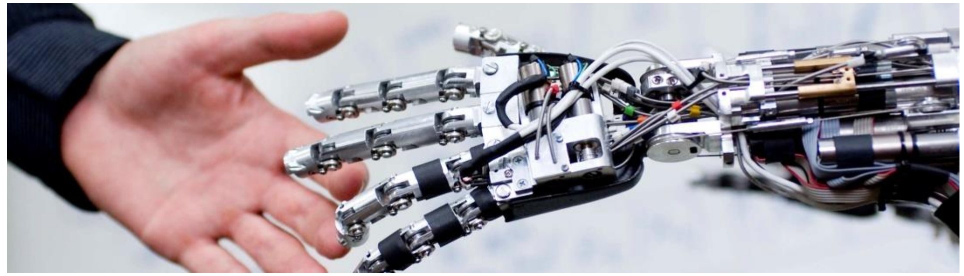
UiO : Institutt for informatikk
Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet



Forelesning nr.5 analog elektronikk
IN 1080 Mekatronikk

Analyse av RC-kretser
Induksjon

Dagens temaer

- Analyse av RC-kretser i tidsplanet
- Frekvens vs tid
- Filtre
- Induksjon
  - Induktorer
  - Elektromotorer

Oppsummering puls- og naturlig respons

- Hva er viktig å kunne/huske:
  - **Oppladning** og **utladning** skjer ikke momentant
  - Opp- og utladningskurvene er **eksponensielle**, og ikke lineære
  - **Naturlig respons** er oppførselen ETTER at spenningskilden er kortsluttet (ingen påvirkning fra eksterne kilder)
  - **Pulsrespons** er oppførselen når
    1. spenningskilden går fra max spenning til 0 (tilsvarer naturlig respons)
    2. spenningskilden går fra 0 til max spenning
- **Tidskonstanten** τ=RC sier hvor raskt utladningen eller oppladningen skjer
- Ligningen for **utladning** er $v_C = V_F e^{-\frac{t}{\tau}}$
- Ligningen for **oppladning** er $v_C = V_F(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$
- Etter $\boldsymbol{t = \tau 5}$ er kondensatoren nesten helt oppladet eller helt utladet
- Vi må **regne ut RC** for å finne opp/utladningstiden for en konkret RC-krets

Fouriers teorem

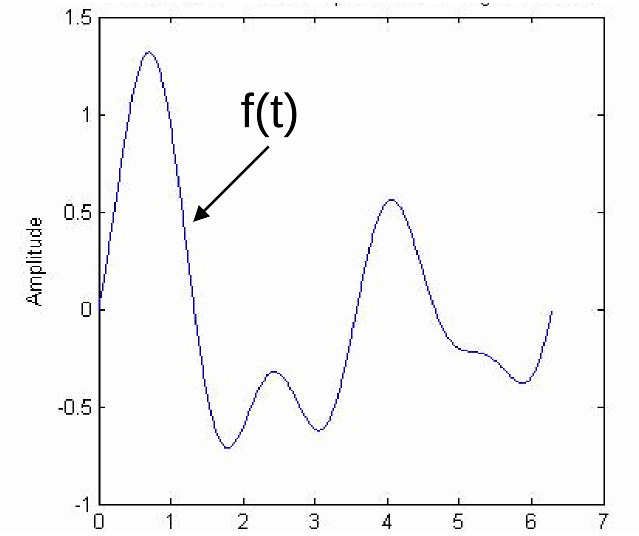
- Et periodisk signal kan skrives som en sum av sinus- og cosinussignaler vha Fourier-transform
  - Vi skal ikke bevise dette; kun se på et eksempel og bruke resultatet
- *Fourier-serien* beskriver hvordan et periodisk signal *f(t)* kan skrives som en funksjon *g(t)* som er en (uendelig) sum av sinus- og cosinusledd
- *Fourier-transform* er prosessen med å finne Fourier-serien
- Vi antar derfor at ethvert periodisk inputsignal kan skrives på denne formen:
  - Det kan også vises at vi strengt tatt kun trenger bare sinus eller bare cosinus

$$g(t) = a_0 + \sum_{m=1}^{\infty} a_m \cos\left(\frac{2\pi mt}{T}\right) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin\left(\frac{2\pi nt}{T}\right)$$

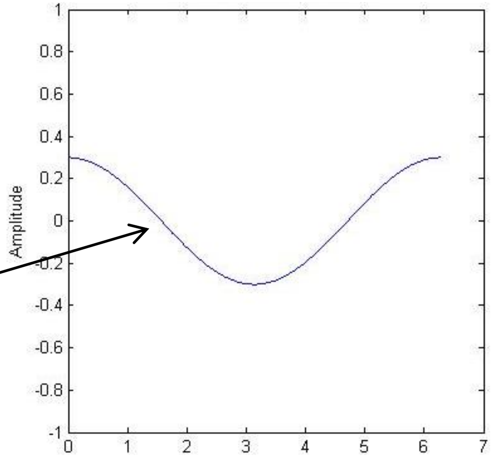
$$= \sum_{m=0}^{\infty} a_m \cos\left(\frac{2\pi mt}{T}\right) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin\left(\frac{2\pi nt}{T}\right)$$

Fouriers teorem: eksempel 1

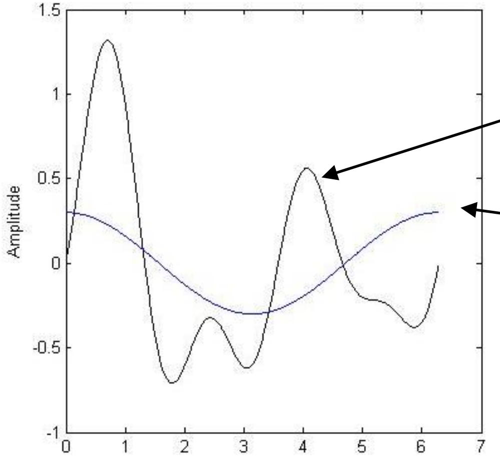
- Ønsker å finne hvilke sinuskomponenter som trengs for å beskrive f(t) som g(t), dvs Fourierserien til f(t)
- For å vise prosessen skal vi gradvis prøve med flere og flere ledd i g(t) og så se om g(t) er en god tilnærming til f(t)
- Starter med g(t) med ett enkelt ledd
- $a_i = 0.3$, $T=2\pi$ og $\theta=1/2\pi$



1. iterasjon



$a_1$sinus(Θ)



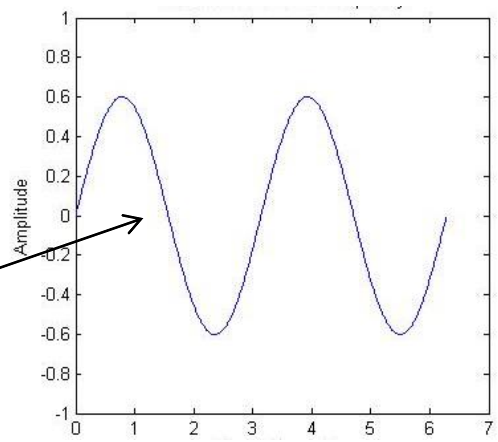
f(t)

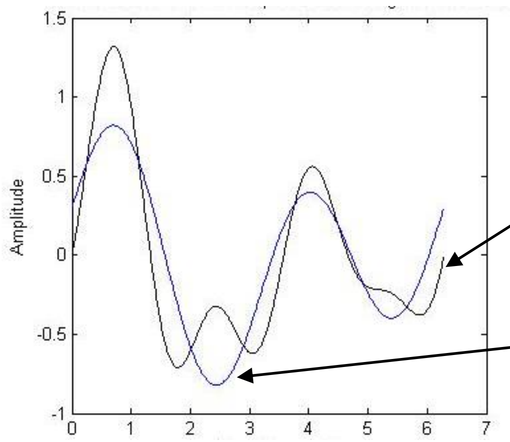
g(t)=$a_1$sinus(Θ)

Fouriers teorem: eksempel 1 (forts)

2. iterasjon

$a_3$sinus(3Θ)



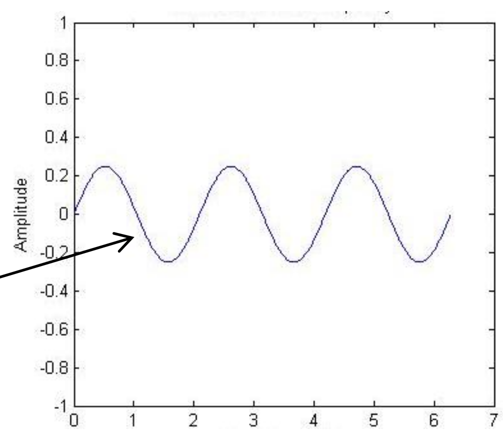


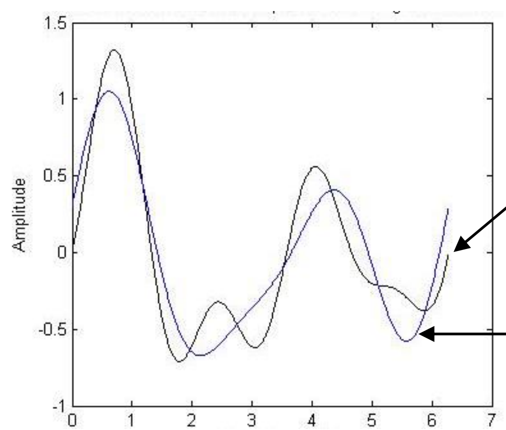
f(t)

g(t)= $a_1$sinus(Θ) + $a_3$sinus(3Θ)

3. iterasjon

$a_5$sinus(5Θ)



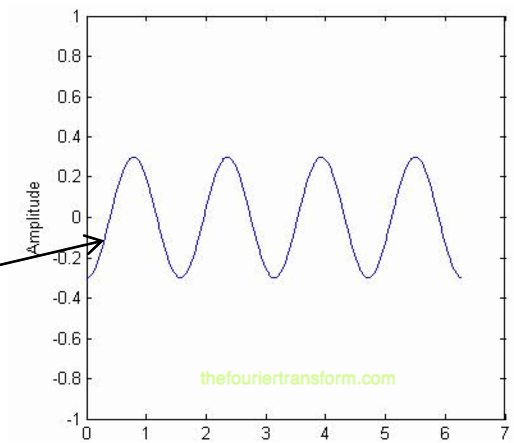


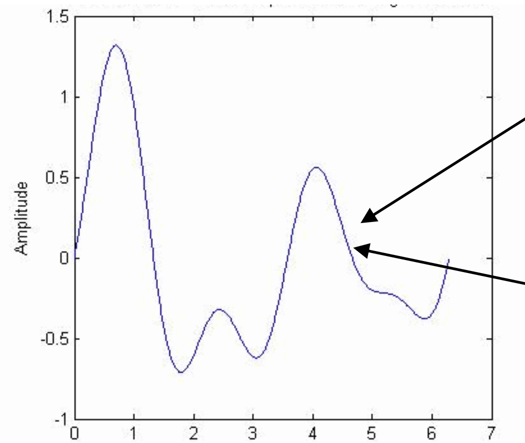
f(t)

g(t)= $a_1$sinus(Θ) + $a_3$sinus(3Θ) + $a_5$sinus(5Θ)

Fouriers teorem: eksempel 1 (forts)

4. iterasjon





$a_7$sinus(7Θ)

f(t)

g(t)= $a_1$sinus(Θ) +
$a_3$sinus(3Θ) +
$a_5$sinus(5Θ) +
$a_7$sinus(7Θ)

- For at g(t) ≈ f(t) trengte vi fire sinusledd med fire ulike frekvenser som er et helt antall ganger grunnfrekvensen θ (3θ, 5θ osv)
- Hvor mange ledd vi trenger avhenger bla av hvor nøyaktig vi trenger å være
- Legg merke til at vi ikke har vist hvordan man går frem for å finne g(t) generelt.

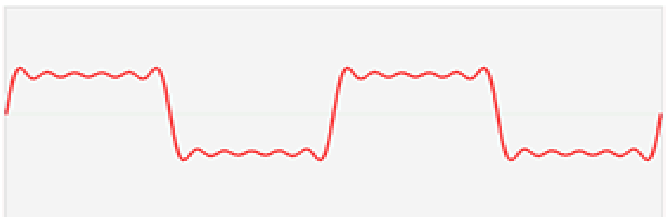
Fouriers teorem: eksempel 2

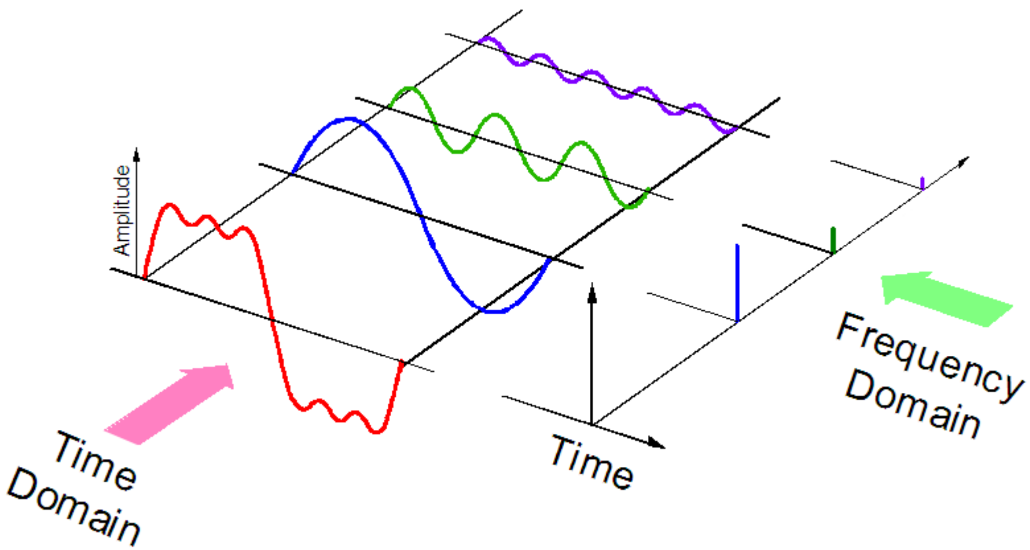
Tilnærming til firkantbølge og sagtannbølge som sum av fire grunnfrekvenser

Vi kan defor beskrive digitale signaler som en fourier-serie

Sammenheng mellom frekvens og tid

- Når vi beskriver et ac-signal er det noen ganger som funksjon av tid, andre ganger som funksjon av frekvens
- Signalets amplitude er den samme i begge tilfeller





Filtre (1)

- Et *filter* er en innretning som slipper gjennom bestemte ting og blokkerer andre
- F.eks en tesil: Slipper gjennom vann (veldig små molekyler), men blokkerer teblader (store objekter sammenlignet med vannmolekyler)

- Utesteder med aldersgrense har også en type filter:
  - Yngre 20 år: Ingen adgang
  - 20 år eller eldre: Adgang

Filtre (2)

- I elektronikk trenger vi også ulike typer filtre for å slippe gjennom det vi ønsker og sperre det vi ikke ønsker:
  - Stoppe uønskede høyspenninger i bolighus (ved lynnedslag): Overspenningsvern
  - Forhindre at det går for mye strøm gjennom ledninger (overbelstning): Automatsikring
- <u>Hvordan</u> og <u>hva</u> man stopper varierer fra en anvendelse til en annen, men formålet er uansett å stoppe det vi ikke ønsker og slippe gjennom det vi ønsker

Filtre (3)

- Vi skal se nærmere på filtre som stopper visse frekvenser samtidig som de slipper gjennom andre frekvenser
- Filtre har ulike egenskaper og parametre; en av de viktigste er hvilke frekvenser som stoppes og hvilke som slipper gjennom :
  - *Høypassfiltre* stopper lave frekvenser og slipper gjennom høye
  - *Lavpassfiltre* slipper gjennom lave frekvenser og stopper høye
  - *Båndpassfiltre* slipper igjennom frekvenser i et bestemt område og stopper frekvenser utenfor dette området
  - *Båndstoppfiltre* stopper frekvenser innenfor et bestemt område og slipper gjennom frekvenser utenfor dette området

Filteregenskaper og gain (1)

- Egenskapene og oppførselen til et filter kalles *filterkarakteristikken*
- En viktig egenskap er *gain* (forsterkning) og er forholdet mellom utsignalet og innsignalet
- Den enkleste varianten er se på forholdet mellom utgang og inngang for samme signaltype: $G_v = A_v = \frac{v_{out}}{v_{in}}$ $\quad G_i = A_i = \frac{i_{out}}{i_{in}}$

- *A* = “Amplification” ≈ “Gain” og måles ofte i decibel (dB)

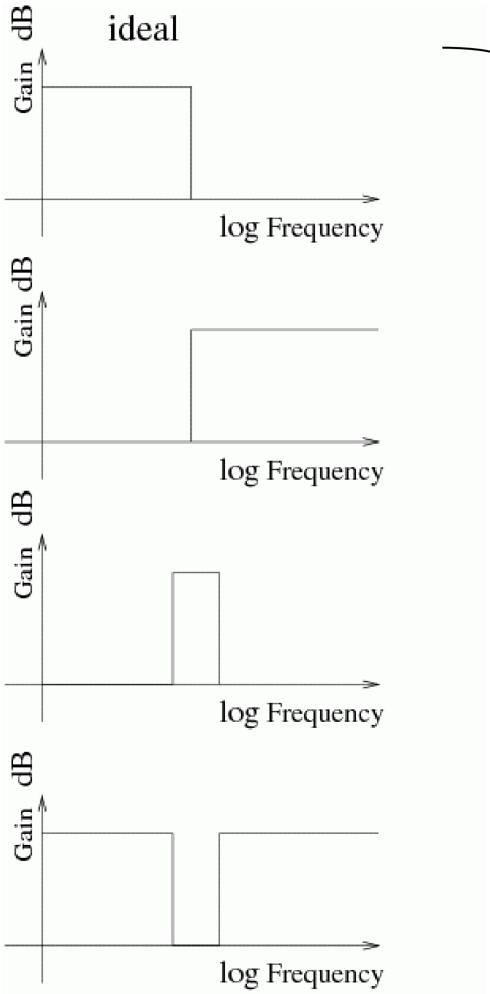
$$\underbrace{G_{dB} = 10 * \log(A_v)}_{\text{dB for spenningsgain}} \qquad \underbrace{G_{dB} = 10 * \log(A_i)}_{\text{dB for strømgain}}$$

Filteregenskaper og gain (2)

- Sammenheng mellom noen dB-verdier og Gain
  - 0 dB tilsvarer $V_{out}=V_{in}$ og $A_v = 1$, dvs ingen forsterkning
  - ~6 dB tilsvarer $V_{out} = 2*V_{in}$
  - 20 dB tilsvarer $V_{out} = 10*V_i$ og $A_v = 10$
  - -20 dB tilsvarer $V_{out} = 0.1*V_i$ og $A_v = 0.1$
  - 30 dB tilsvarer $V_{out} = 1000*V_i$ og $A_v = 1000$
- decibel-skalaen er svært utbredt innen bla akustikk, antennemålinger, audio-elektronikk, energi, feltstyrke, osv. MEN (liten advarsel):
  - Både formlene for å regne ut og navnene varier, f.eks dBV, dBA, dB Q, dBsm, dBJ
  - For eksempel: Forholdet mellom effekt ut og effekt in er $A_p=A_v*A_i$ og i desibel:

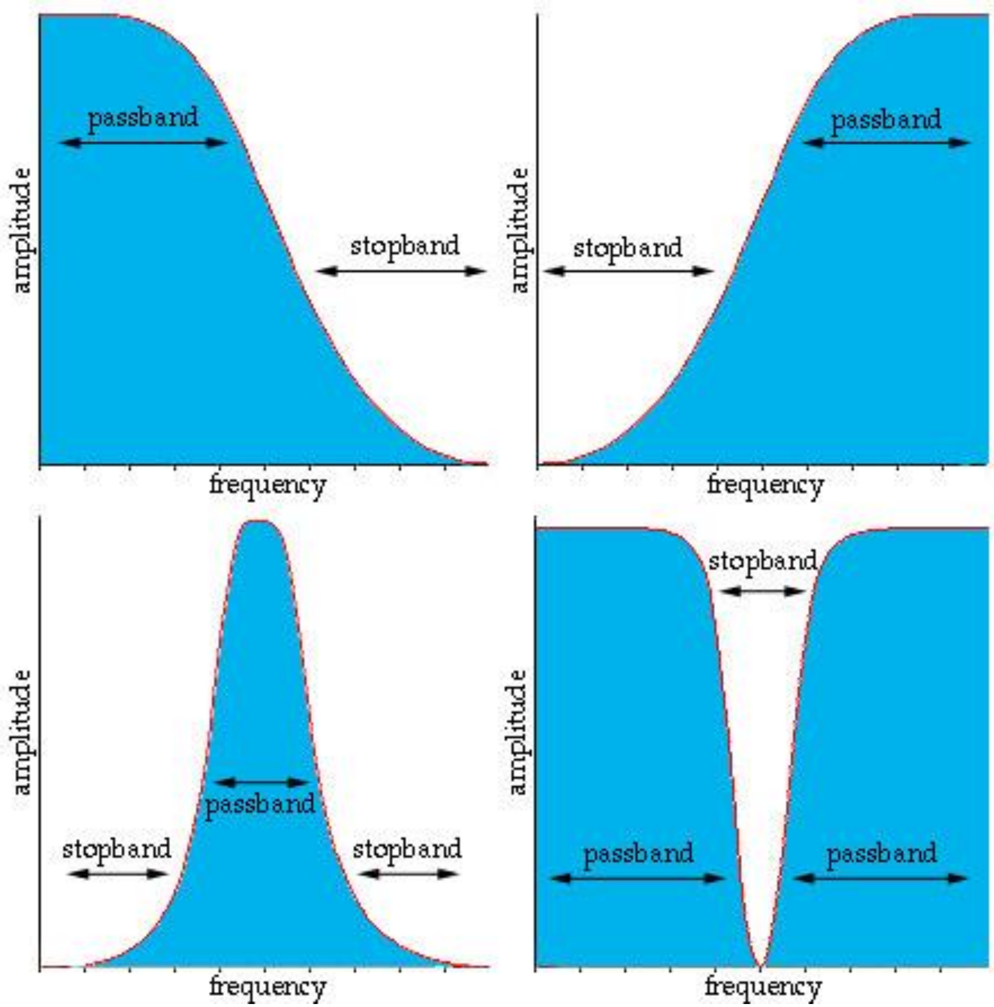
$$G_{dB} = 10 * \log(A_p)$$

Ideelle versus fysiske filtre



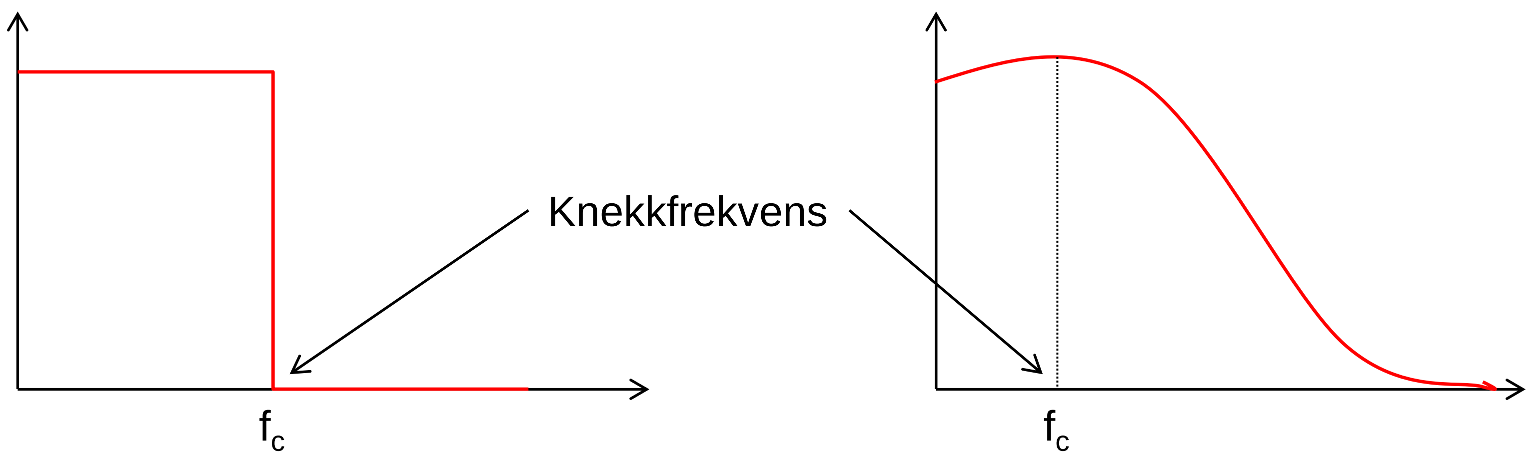
Ideelle filtre

Fysiske filtre



Knekkfrekvens

- Knekkfrekvensen («cutoff») er frekvensen hvor filteret begynner å slippe igjennom (eller stoppe) signaler
- **Ideelle filtre** slipper gjennom signaler i passområdet *uten dempning*, og *stopper fullstendig* signaler utenfor
- **I praksis** dempes signaler i passområdet, og stoppes ikke helt i stoppområdet
- Båndbredden er frekvensområdet som slipper igjennom filteret

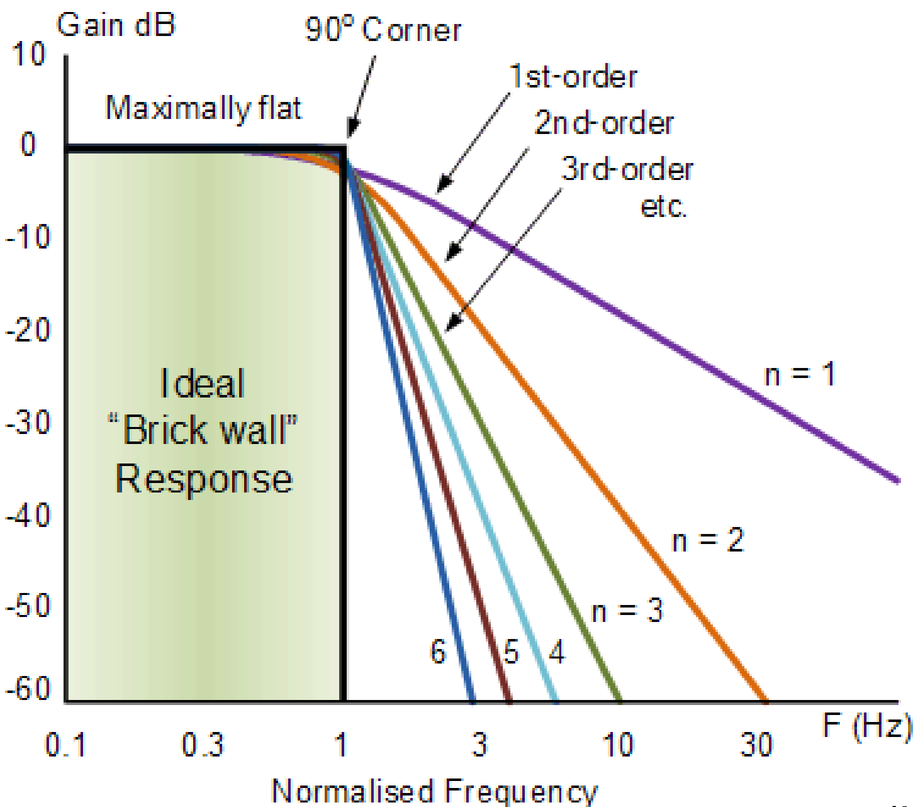


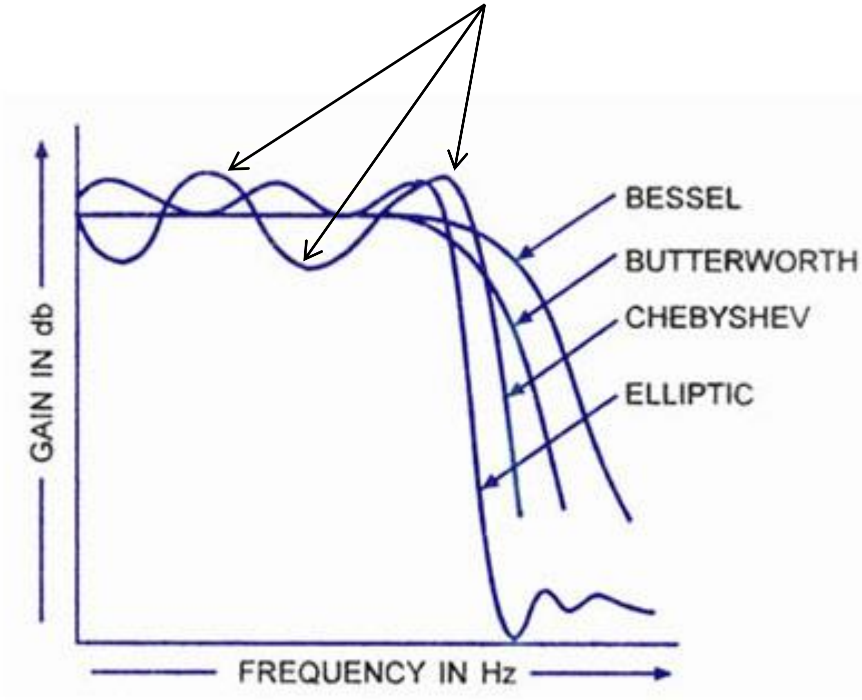
Ideel filterrespons

Praktisk filterrespons

Ulike filtre og filterkarakteristikker

- Filtre finnes i mange typer med ulike navn
  - Filterets orden angir hvor raskt filteret demper
  - Jo brattere kurve desto bedre, men det straffer seg i passområdet



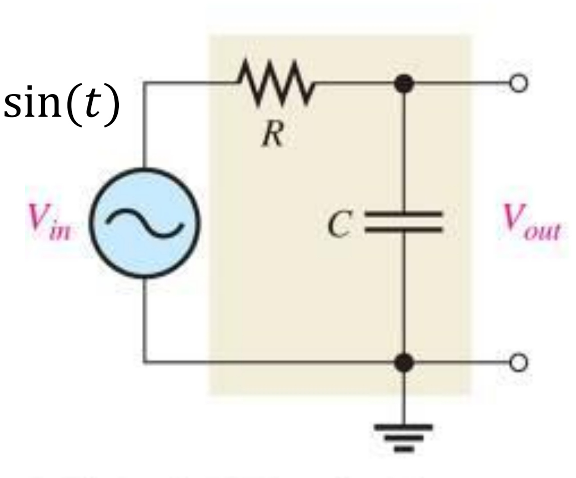


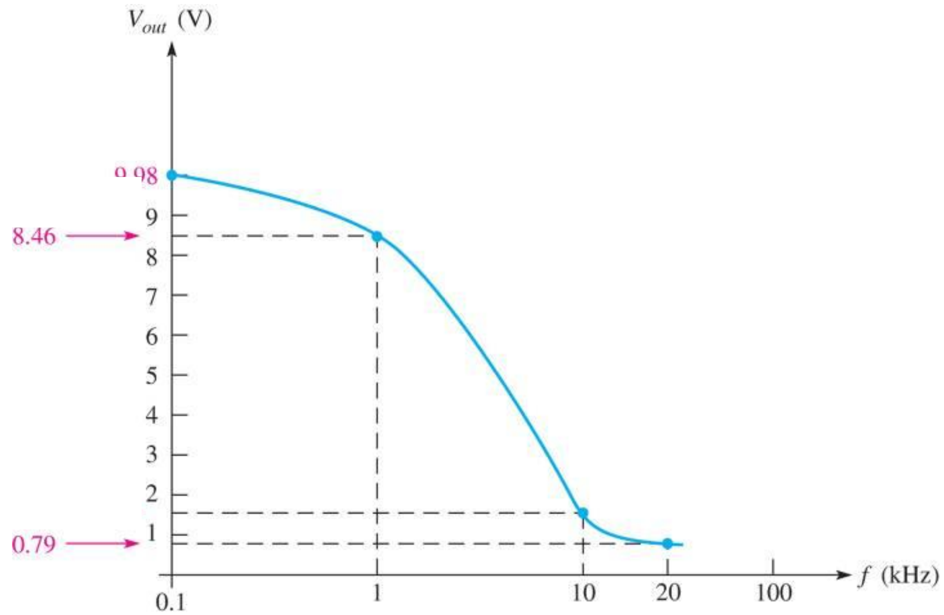
Frequency Response Curve

RC-krets som lavpassfilter

- RC krets kan benyttes som et lavpassfilter

$V_{in} = 10 * \sin(t)$

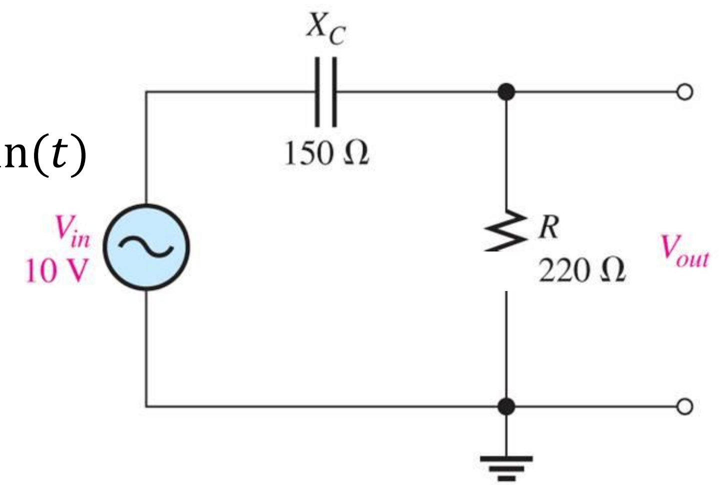


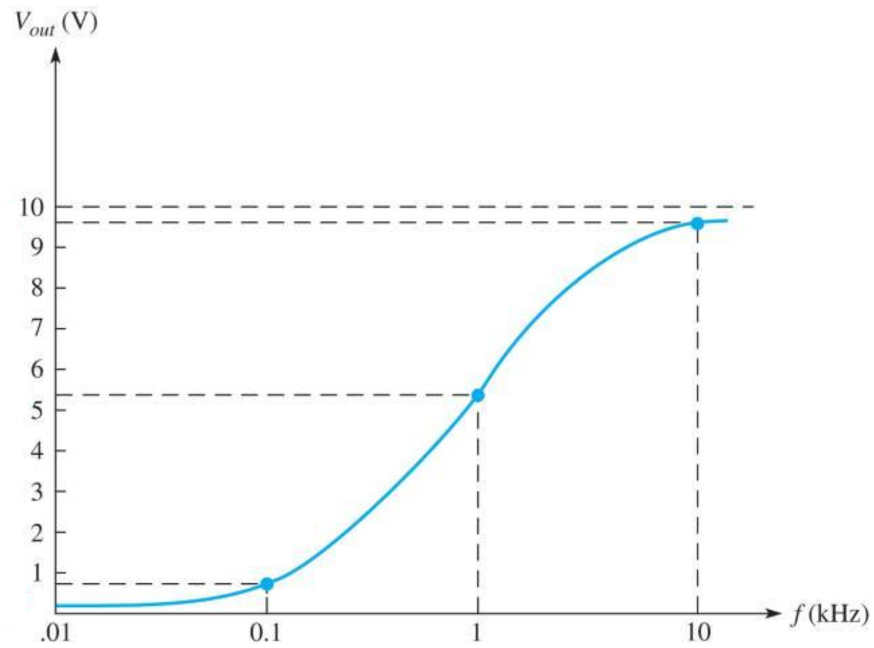


RC-krets som høypassfilter

- RC-krets som høypassfilter

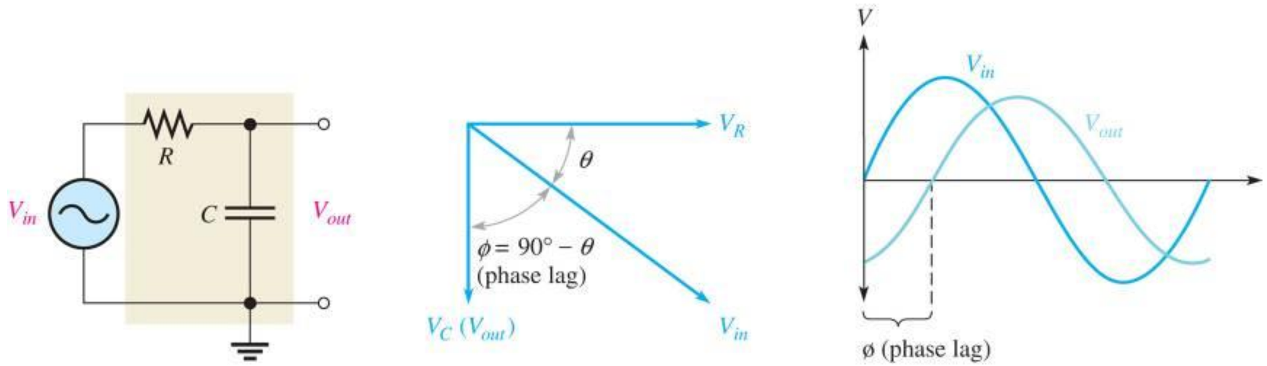
$$V_{in} = 10 * \sin(t)$$





RC lead/lag kretser

- RC «lead»- og «lag»-kretser er faseskiftkretser
- I en RC «lag»-krets er utspenningen V_{out} forskjøvet φ grader i forhold til V_{in}



(a) A basic *RC* lag circuit

(b) Phasor voltage diagram showing the phase lag between V_{in} and V_{out}

(c) Input and output voltage waveforms

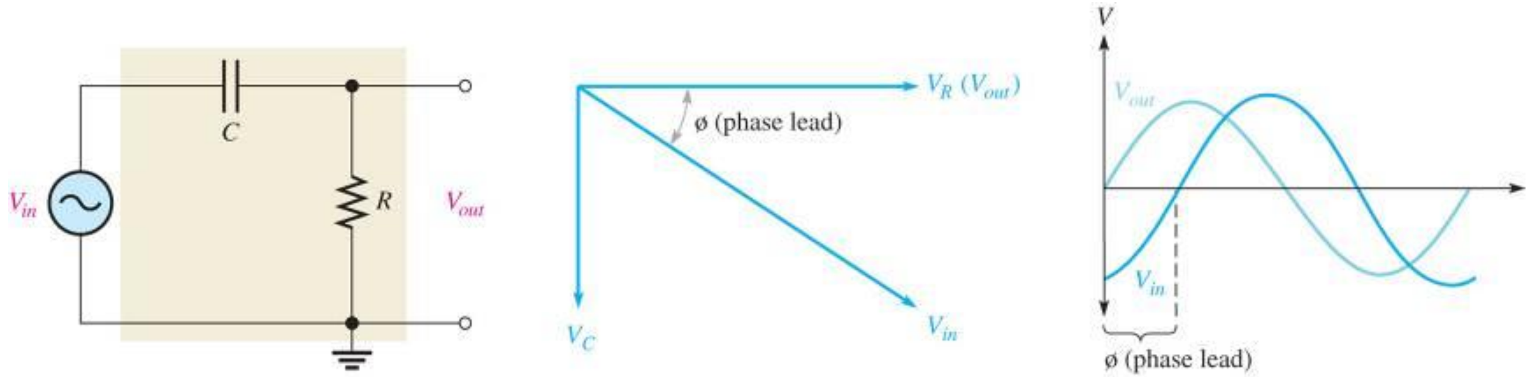
- V_{out} er lik V_c, V_{in} lik V_s og φ=90°-θ
- Kretsen kan også ses på som en spenningsdeler hvor

$$\varphi = 90^o - \tan^{-1}\left(\frac{X_C}{R}\right)$$

$$V_{out} = \left(\frac{X_C}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}\right) V_{in}$$

RC lead/lag kretser (forts)

- Ved å bytte om R og C får man en RC-«lead»-krets



(a) A basic *RC* lead circuit

(b) Phasor voltage diagram showing the phase lead between V_{in} and V_{out}

(c) Input and output voltage waveforms

- Utspenningen tas over resistoren og φ og V_{out} er her gitt av ***R*** og $\boldsymbol{X_C}$

$$\varphi = \tan^{-1}\left(\frac{X_C}{R}\right)$$

$$V_{out} = \left(\frac{R}{\sqrt{R^2 + X_C^R}} \right) V_{in}$$