

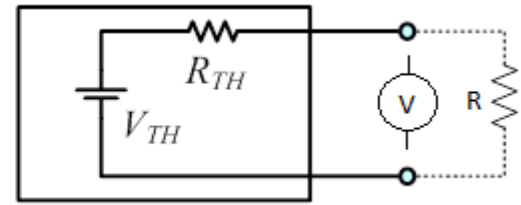
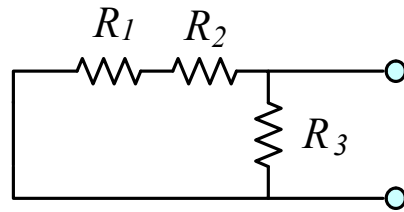
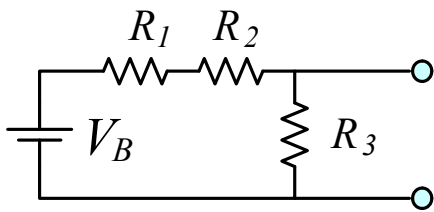
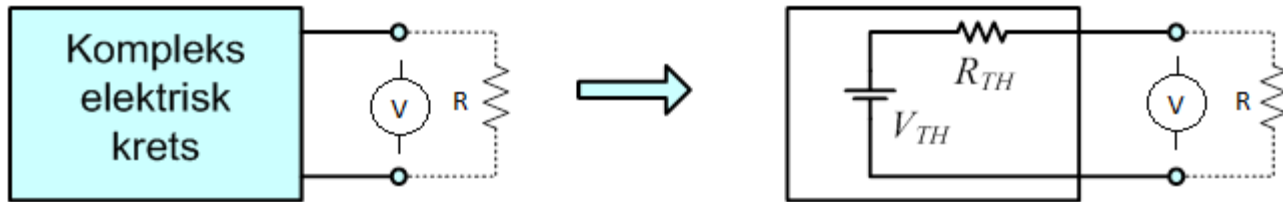
UKE 4

- Thevenin
- Spenningskilde og effektoverføring
- Fysikalsk elektronikk
- Ledere, isolatorer og halvledere, doping
- Litt om AC

Thévenin's teorem

Helmholtz 1853 – Léon Charles Thévenin 1883

Ethvert lineært, topolet nettverk virker utad som om det bestod av en spenningsgenerator med en elektromotorisk spenning lik tomgangsspenningen over nettverkets klemmer, - og med en indremotstand lik den vi ser inn i nettverket (fra klemmene) når alle indre spenningskilder i nettverket er kortsluttet og alle indre strømkilder er brutt.



$$V_{TH} = \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \cdot V_B$$

$$R_{TH} = (R_1 + R_2) \parallel R_3 = \frac{(R_1 + R_2) \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

Edward Lawry Norton - «Nortons teorem» - 1926 er en utvidelse av Thévenins teorem – strømkilde || motstand

Spenningskilder - batterier

Ideell spenningskilde – eller perfekt spenningskilde.

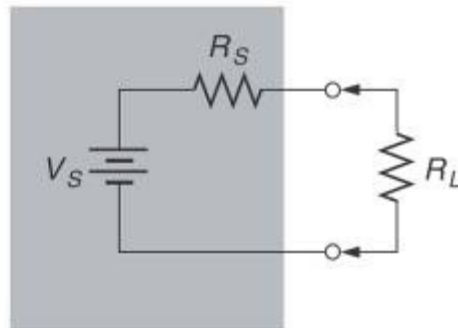
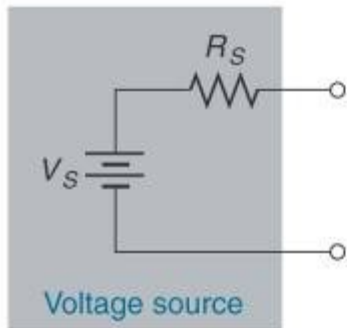
Leverer en utgangspenning som er konstant – uansett hvor mye strøm den leverer..

Reell spenningskilde – utgangspenningen vil variere med strømmen.

Alle spenningskilder har en indre motstand R_S

(Batterier, antenner, signalgeneratorer og nerveceller

– alle har en indre motstand som vil påvirke strømmen ut fra kilden)



Ny batteriteknologi LiFePO4
 $R_i \approx 0,008 \Omega$ (nanoteknologi)
ca. 3000W/Kg -120A 10 sek.
Brukt i CubeSTAR satellitten

Lommelyktbatteri – $R_i \approx 1 - 10 \Omega$

Bilbatteri – $R_i \approx 0,01 - 0,004$

Effektoverføring

Maksimal effektoverføring

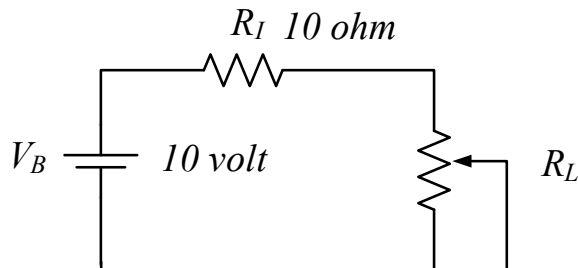
Lastmotstanden må tilpasses signalkildens indre motstand. Vi får maksimal effektoverføring når lastmotstanden $R_L =$ kildens indre motstand R_I

Dette har stor betydning når vi skal overføre signaler f.eks fra en TV-antenne til et fjernsynsapparat (dekoderboks) – kabel – 50, 60 ev. 240 ohm

$$P = \frac{U^2}{R}$$

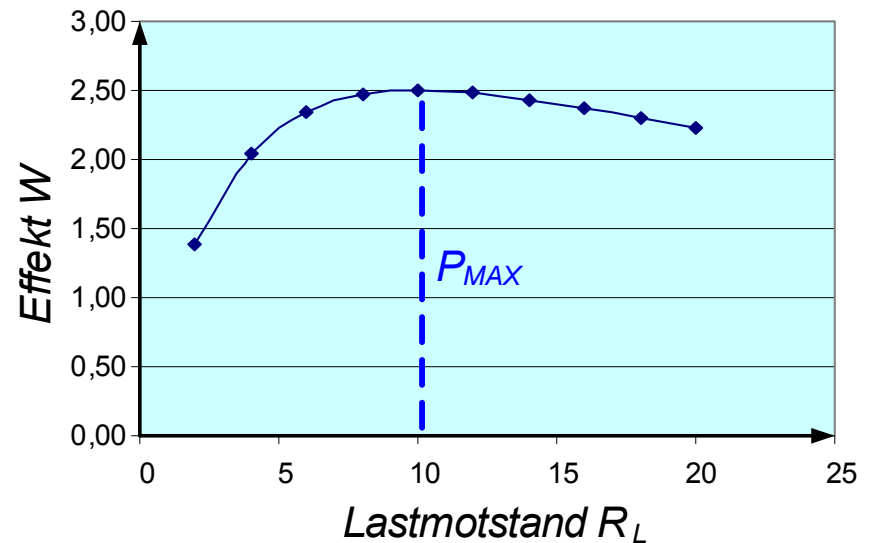
Vi har et 10 volt batteri med indre motstand $R_I = 10$ ohm – finn verdien til R_L som gir maksimal effektoverføring

$P_{RL \text{ MAX}}$



$$P_{RL} = \frac{(U_{RL})^2}{R_L} \quad U_{RL} = \frac{R_L}{R_L + R_I} \cdot V_B$$

Avgitt effekt over lastmotstand en R_L

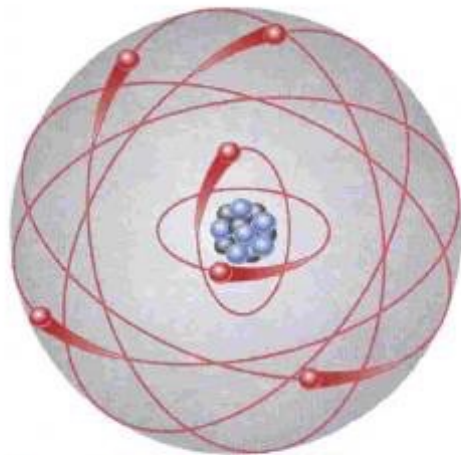




Buckeye Bullet Electric Streamliner using A123 batteries sets world land speed record of 307.66 MPH

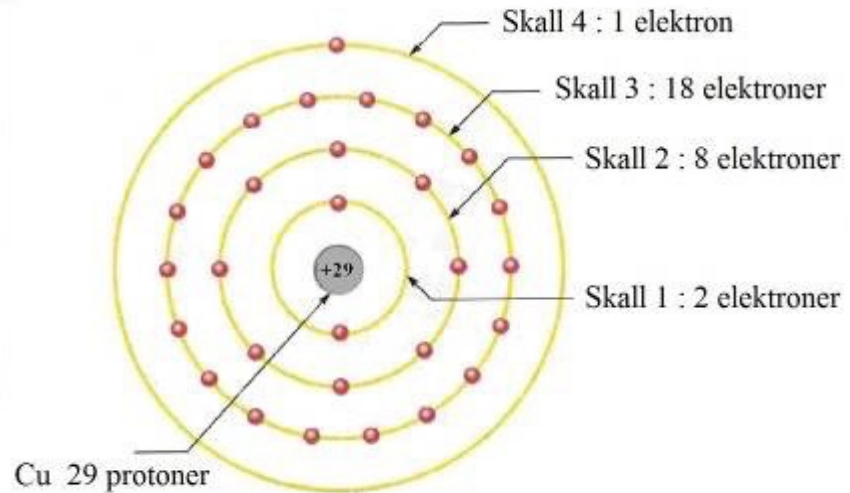
Fysikalsk elektronikk

- elektriske ledere – halvledere – isolatorer



● Elektron ● Proton ● Nøytron

Niels Bohrs klassiske atommodell fra 1913.



Kobberelektronene legger seg i "energi-skall"

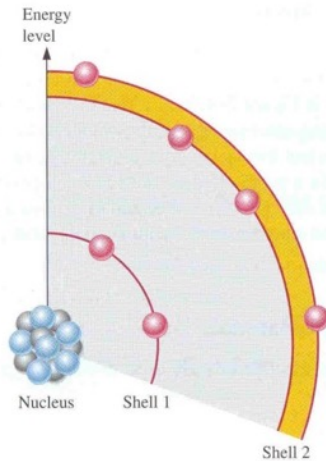
Det enslige elektronet i ytterste "skall" er svakt bunnet til kjernen.
Ved "normal" temperatur finner vi ca 1 fritt elektron pr. atom

10^{23} elektroner / cm^3

Fysikalsk elektronikk

- elektriske ledere – halvledere – isolatorer

Elektriske ledere - metaller

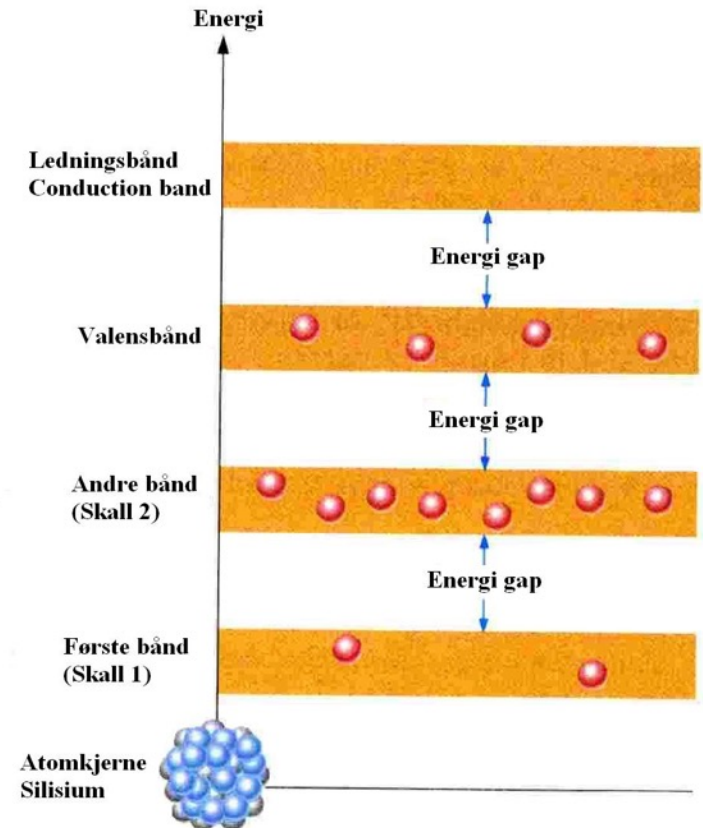


I metallene er "energi-gapet" mellom valensbåndet og ledningsbåndet minimalt.

Ved normal temperatur vil det være overlapp mellom ledningsbånd og valensbånd

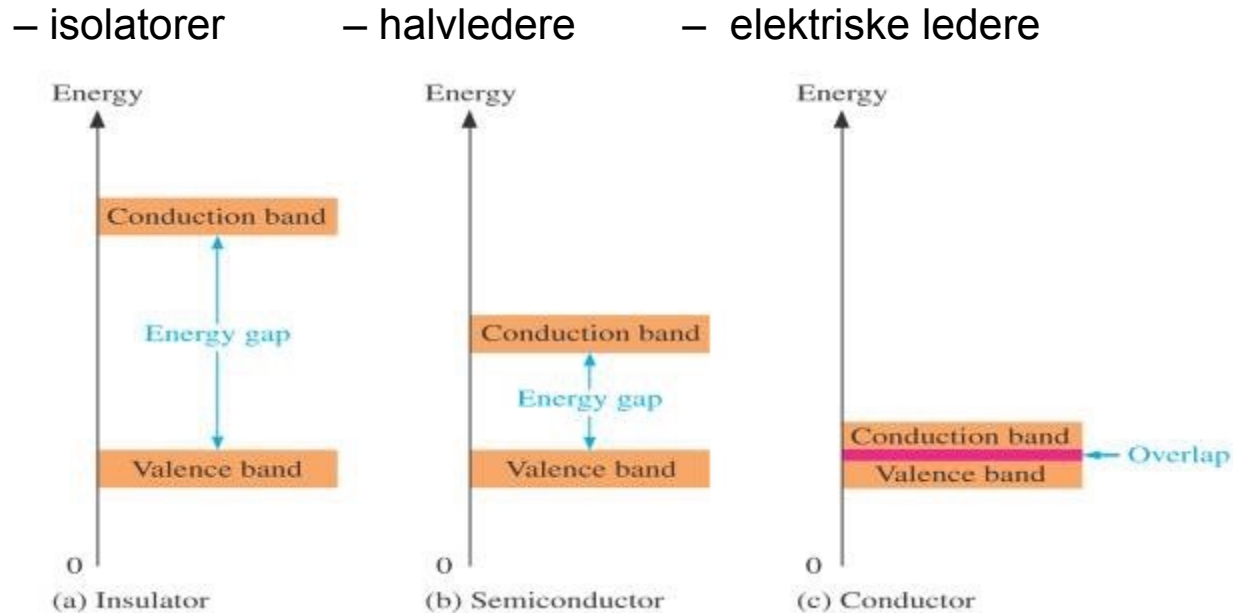
Båndene er tegnet med tykke linjer – det er gjort for å markere at elektronet kan ha flere mindre diskrete energitilstander innenfor hver bånd – mer om dette i FYS 2140 kvantefysikk

Elektronene legger seg i "energi-skall"



Fysikalsk elektronikk

- elektriske ledere – halvledere – isolatorer



Antall "frie" elektroner i ledningsbåndet

Elektrisk leder (metall)	: ca 10^{23} elektroner / cm^3
Halvleder	: ca $10^8 - 10^{14}$ elektroner / cm^3
Isolatorer	: ca 10 elektroner / cm^3

Antall elektroner i ledningsbåndet varierer med temperaturen.

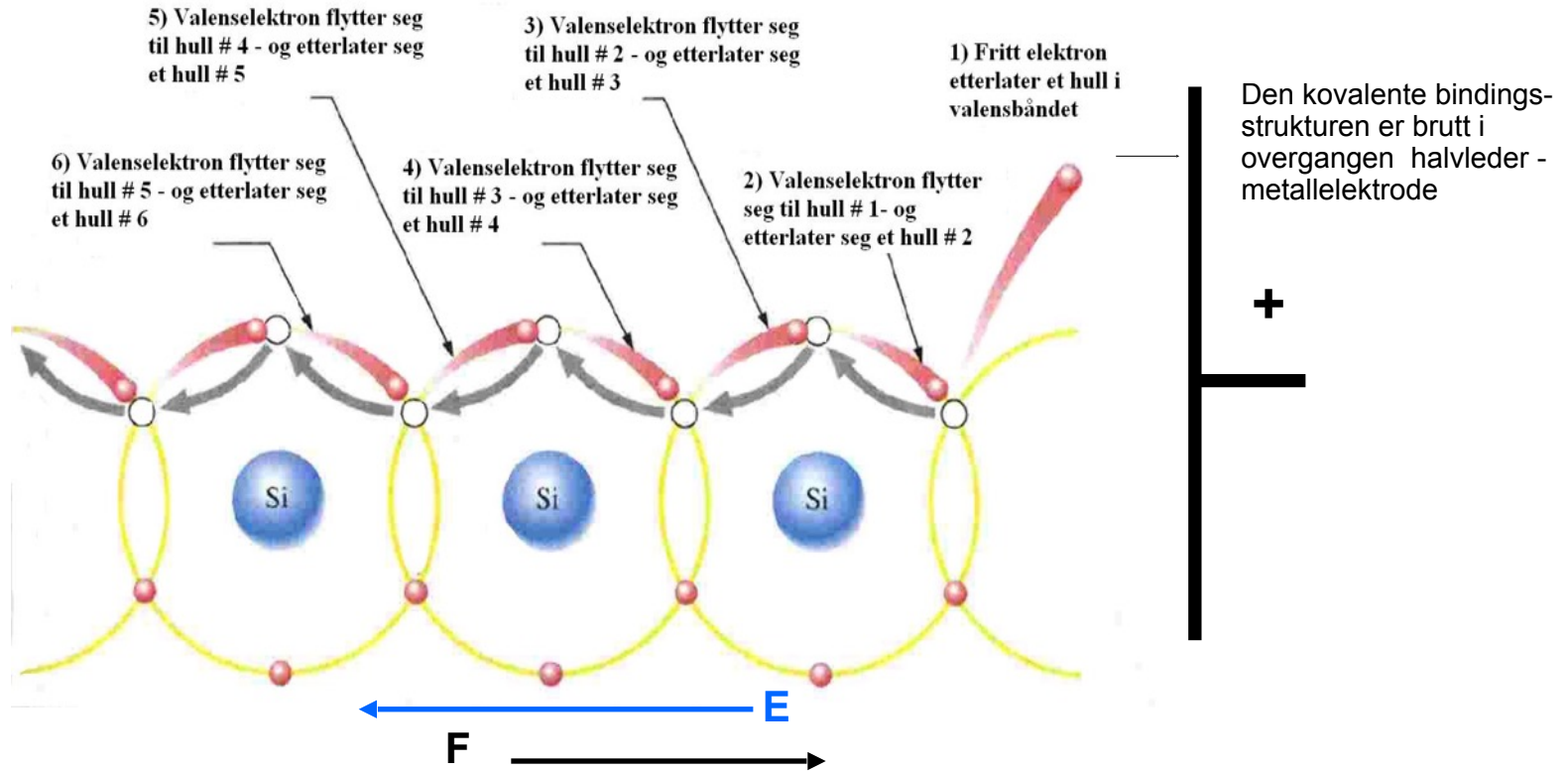
For Silisium (Si) $25^\circ\text{C} = 2 \cdot 10^{10}$ elektr. / cm^3 ved $100^\circ\text{C} = 2 \cdot 10^{12}$ elektr. / cm^3

Husk : 1 Ampere = $6,28 \cdot 10^{18}$ elektroner pr. sekund

Fysikalsk elektronikk

- elektriske ledere – halvledere – isolatorer

Transport av ladning – elektronstrøm – ”hullstrøm” (?)



Elektronstrøm – strøm av frie elektroner i ”ledningsbåndet”

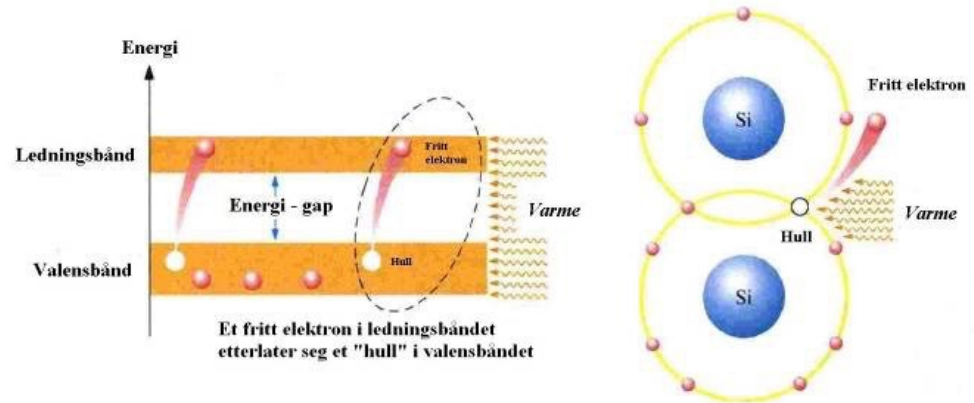
Hullstrøm – ”elektronhopp” mellom atomer i valensbåndet

Fysikalsk elektronikk

- elektriske ledere – halvledere – isolatorer

Halvledere - Silisium (Si)

Båndgap Si = 1,1 eV



Ladningstransport i en ren (intrinsic) halvleder forårsakes av "termisk" eksiterte elektroner til ledningsbåndet. - Hva skjer hvis vi eksponerer Si for lys ?

$$\text{Planck } w = h \cdot f \quad h = 4,14 \cdot 10^{-15} \text{ eVs} = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

$$w_g(\text{Si}) = 1,1 \text{ eV} \quad h \cdot f > w_g \quad f = c/\lambda$$

$$\lambda < \frac{h \cdot c}{w_g} \quad \lambda < 1100 \text{ nm} \quad (\text{synlig lys} \cong 380 - 740 \text{ nm})$$

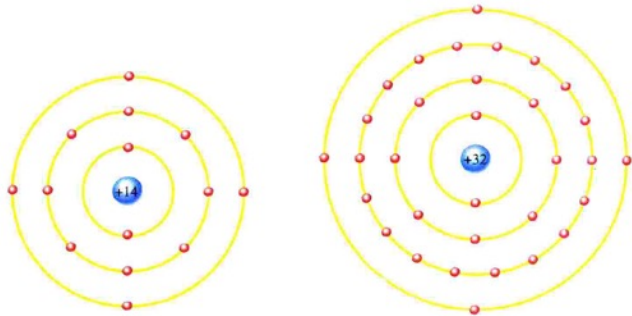
Lys vil rive løs elektroner i silisiumkrystallen – løfte elektroner opp i ledningsbåndet. Denne effekten brukes i solceller, fotodetektorer, digitale kamera osv.

I krystaller av materialer med høyre båndgap - f.eks ZnO (3,5 eV) vil lys ikke klare å eksitere elektroner – det betyr at krystallen er gjennomsiktig for lys (som glass) – Kan P-dopes og brukes som elektriske ledere på solceller.

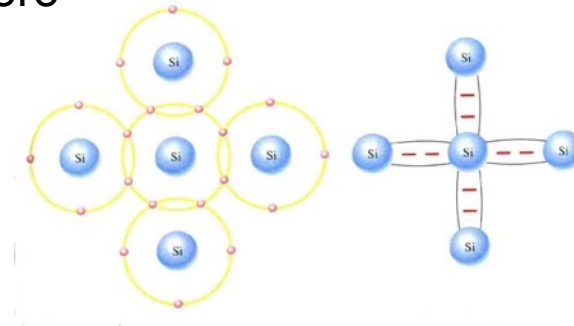
Fysikalsk elektronikk

- elektriske ledere – halvledere – isolatorer

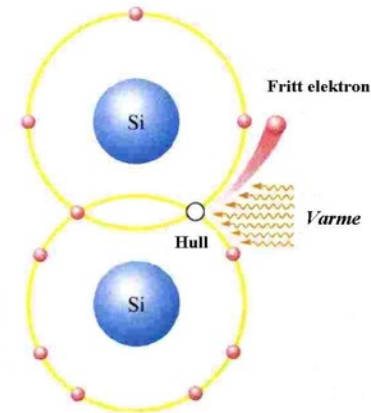
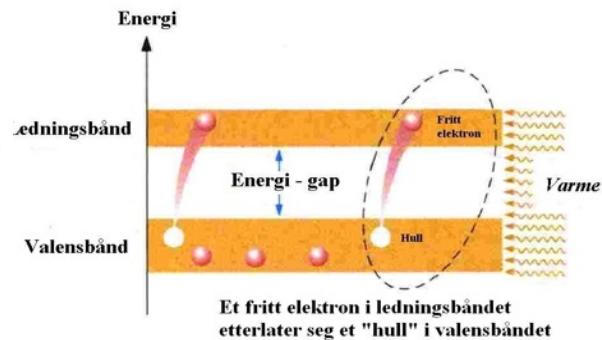
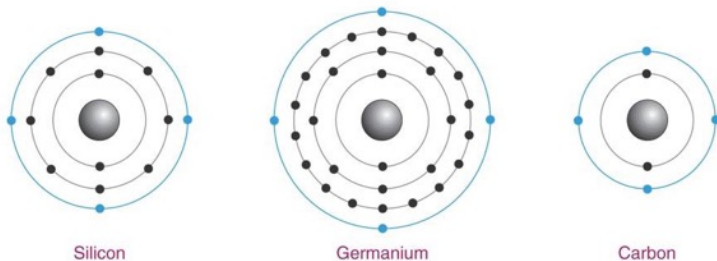
Silisium (Si) og Germanium (Ge) er halvledere



Valenselektronene til Ge ligger i fjerde skall. For Si ligger de i tredje skall.



Kovalent binding – diamantstruktur
Hvert atom utveksler elektroner med 4 naboatomer
Konfigurasjon med 8 elektroner i ytre skall.



Ioniseringsenergi

C = 11 eV
Si = 1,1 eV
Ge = 0,7 eV

Smeltepunkt

Karbon 3500 °C
Silisium 1414 °C
Germanium 938 °C

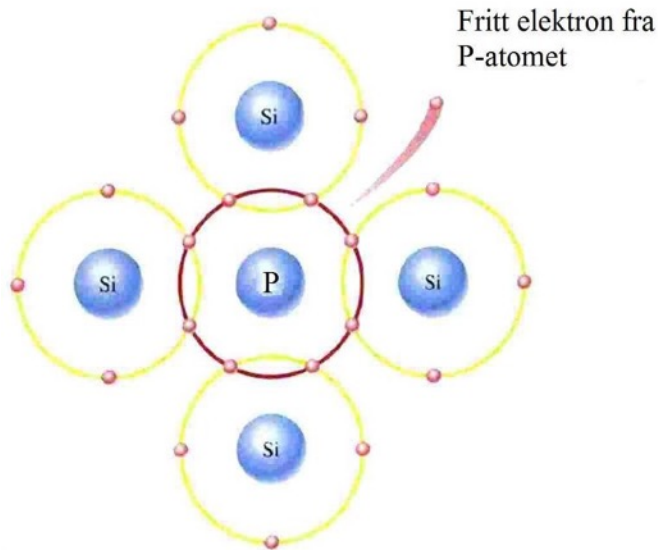
Fysikalsk elektronikk

- elektriske ledere – halvledere – isolatorer

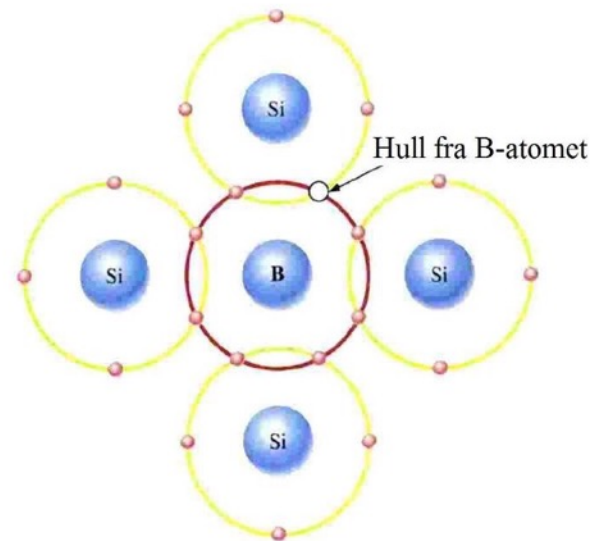
Doping = tilførsel av ”fremmedelementer”

Antall doping-atomer er lav. ca. 1 pr. 10^6 Si atomer

N-dopet med donor-atom
5 elektroner i valensbåndet –
Fosfor (P) Arsenikk (As) Antimon (Sb)



P-dopet med akseptor-atom
3 elektroner i valensbåndet
Aluminium (Al) Gallium (Ga) Bor (B)



Ioniseringsenergien ca. 0,05 eV for det ekstra ”frie” elektronet fra donor-atomet

Motstand og temperatur

Positiv temperaturkoeffisient

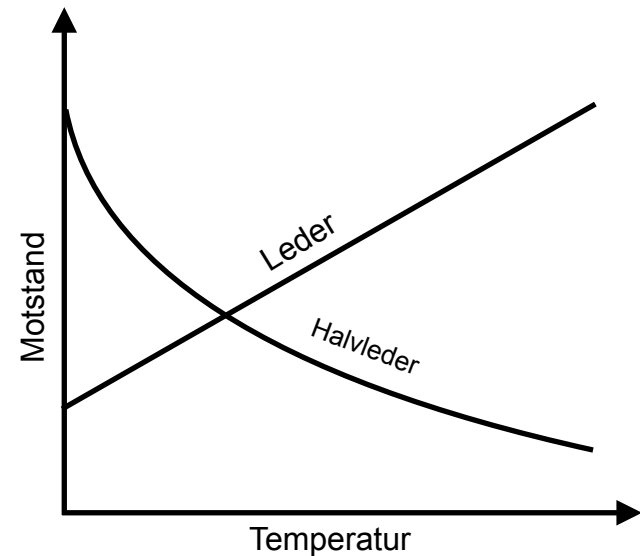
Motstanden øker fordi elektronene kolliderer.

- Resistansen øker med temperaturen
- Eksempel: De fleste ledere - metaller

Negativ temperaturkoeffisient

Motstanden synker fordi flere elektroner kommer opp fra valensbåndet til ledningsbåndet.

- Resistansen avtar med temperaturen
- Eksempel: De fleste halvledere og isolatorer

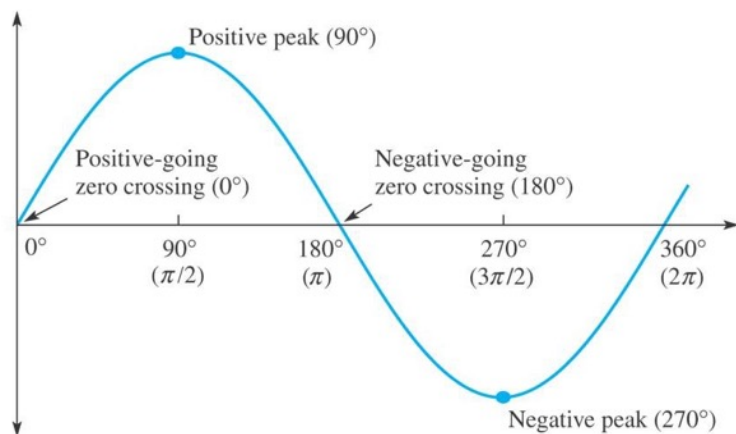
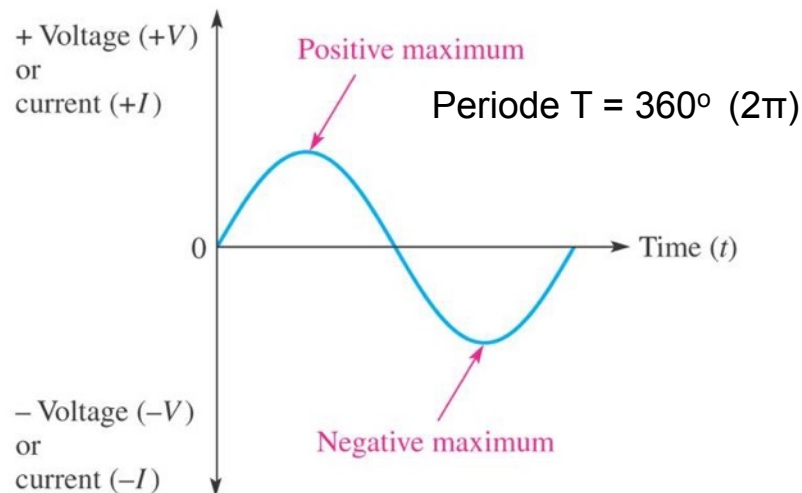


Vekselstrøm/spenning

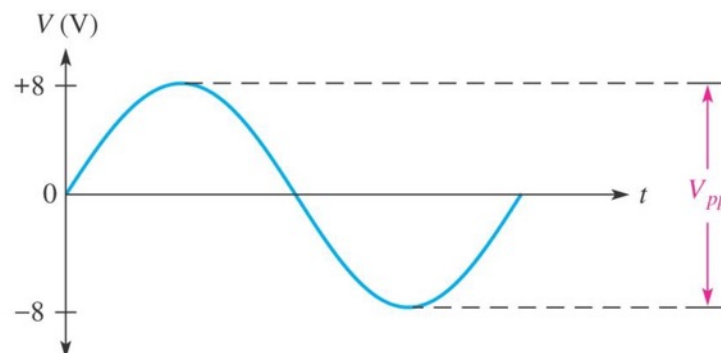
AC = Alternating Current



Symbol på signalkilde som sender ut AC



Periode $T = 360^\circ (2\pi)$



$V_p = V$ peak

$V_{pp} = V$ peak to peak

AC og Effekt

RMS-verdien eller effektivverdien til en AC-spenning ($y = a \sin(\omega t)$)

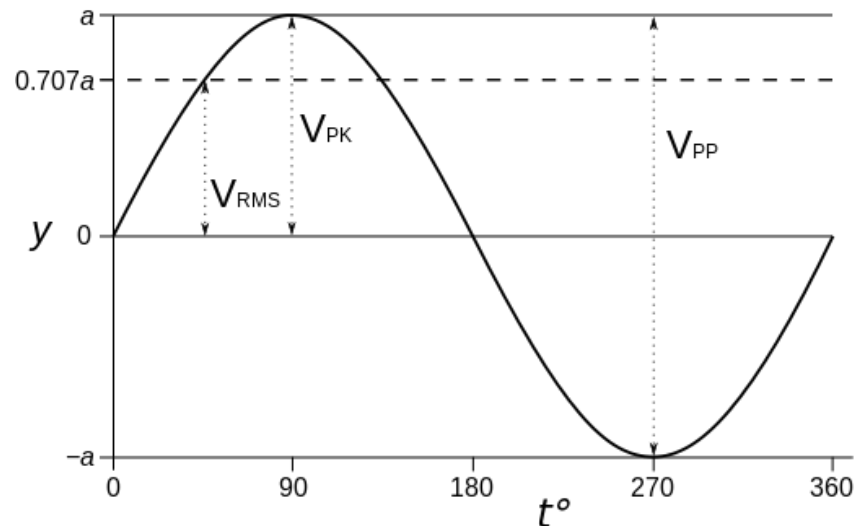
(- Hvor stor DC-spenning vil gi samme varmeeffekt i en panelovn)

For en sinus vil effektivverdien være gitt av $V_{\text{RMS}} = \frac{V_{\text{P}}}{\sqrt{2}}$.

Vi har 240 volt RMS
på våre stikk-kontakter

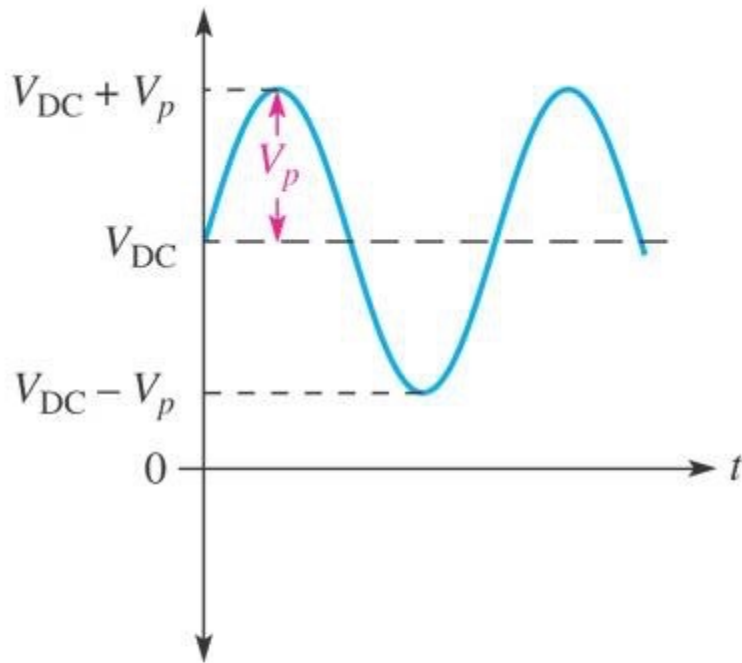
Dvs. en toppverdi V_{pk}
på 339 volt.

$V_{\text{pp}} \approx 679$ volt

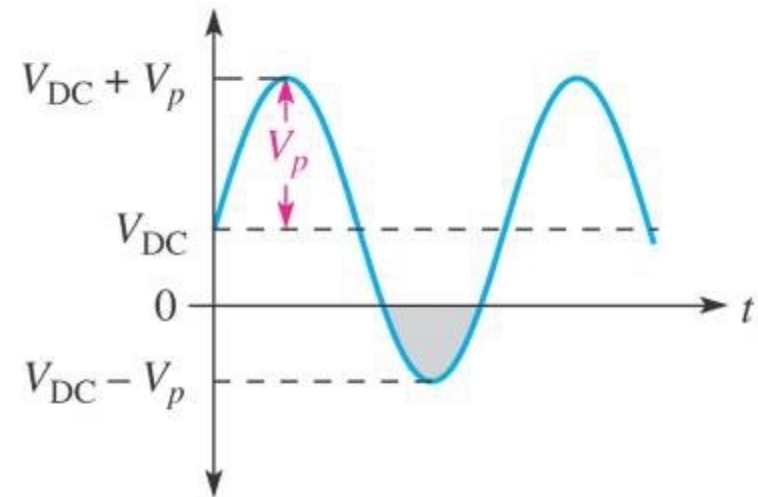


Vekselstrøm/spenning

Vekselspenning (Signalspenning) og en overlagret DC-spenning



(a) $V_{DC} > V_p$. The sine wave never goes negative.



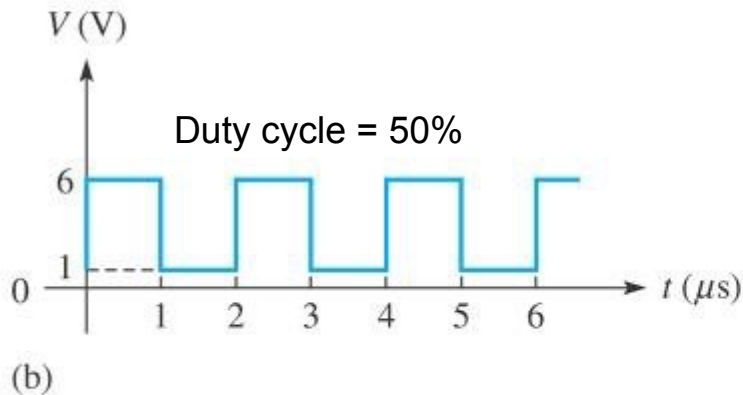
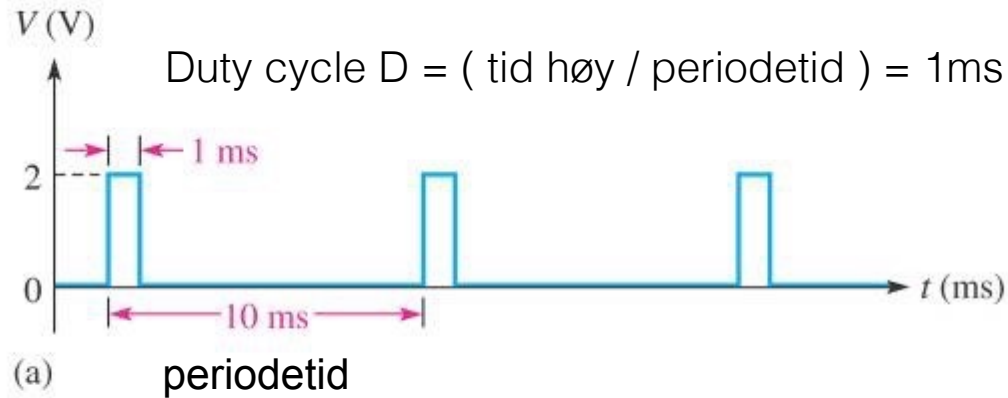
(b) $V_{DC} < V_p$. The sine wave reverses polarity during a portion of its cycle.

Vekselstrøm/spenning

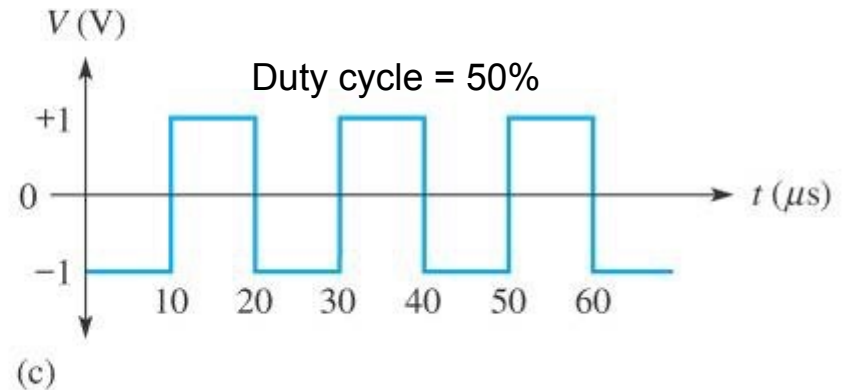
Pulser og pulstog

Periodetiden T (10ms) - frekvens $f = 1/T = 1/10 \cdot 10^{-3} = 100$ Hz

Duty cycle $D = (\text{tid høy} / \text{periodetid}) = 1\text{ms} / 10\text{ms} = 0,1 = 10\%$



Frekvens = $1/T = 1 / 2 \cdot 10^{-6} = 500$ kHz



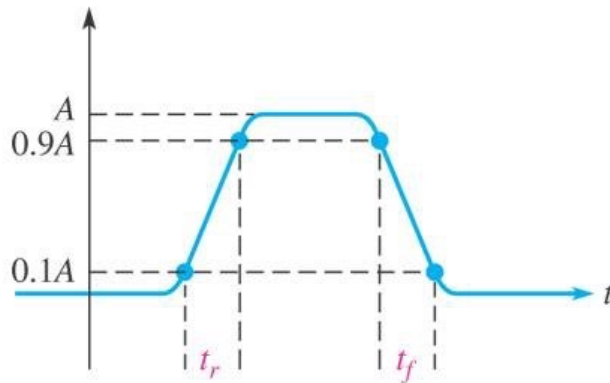
Frekvens = $1/T = 1 / 20 \cdot 10^{-6} = 50$ kHz

Vekselstrøm/spenning

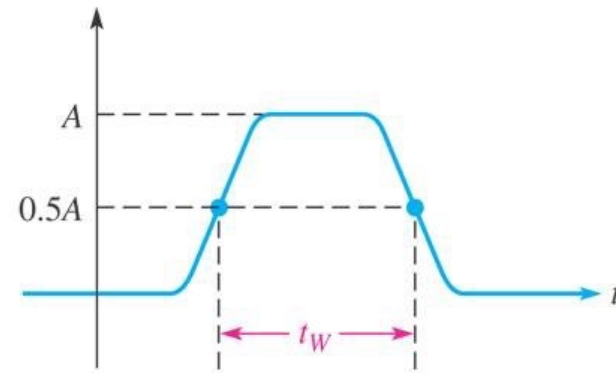
Pulser og pulstog - noen ord og uttrykk

Rise time (t_r) = tiden det tar for signalet å stige fra 10% til 90% av full verdi

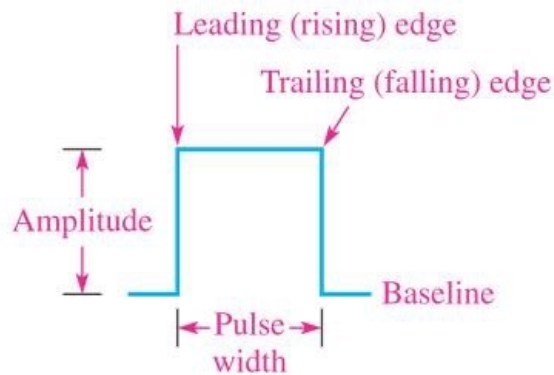
Fall time (t_f) = tiden det tar for signalet å falle fra 90% til 10% av full verdi



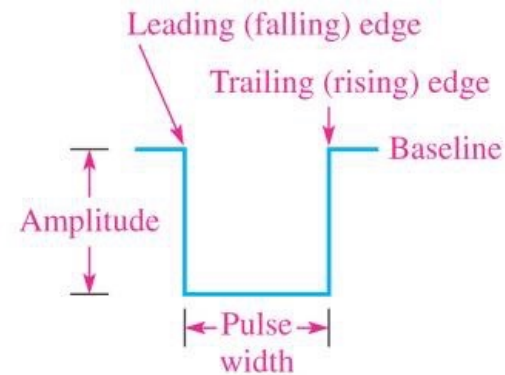
(a) Rise and fall times



(b) Pulse width



(a) Positive-going pulse

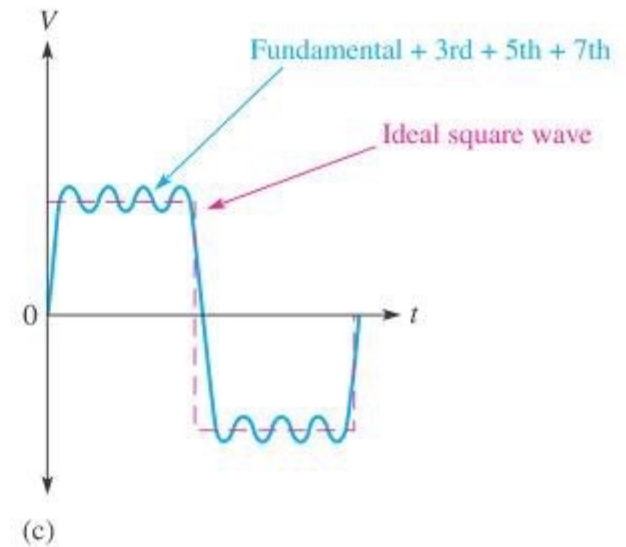
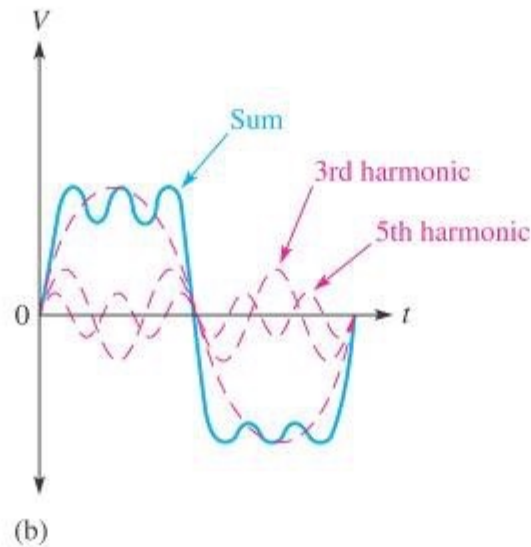
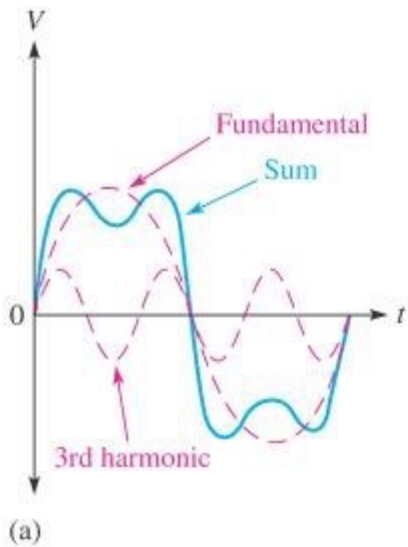


(b) Negative-going pulse

Vekselstrøm/spenning

Pulser og pulstog

Odde harmoniske sinuskurver summeres til firkantpulser



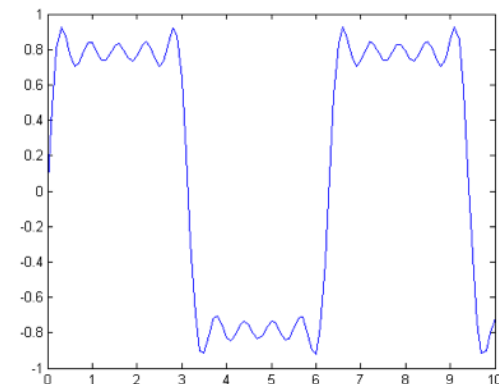
MATLAB – Firkantpulser generert av sinuskurver

```
t = 0:1:10;
```

```
y = sin(t) + sin(3*t)/3 + sin(5*t)/5 + sin(7*t)/7 + sin(9*t)/9;
```

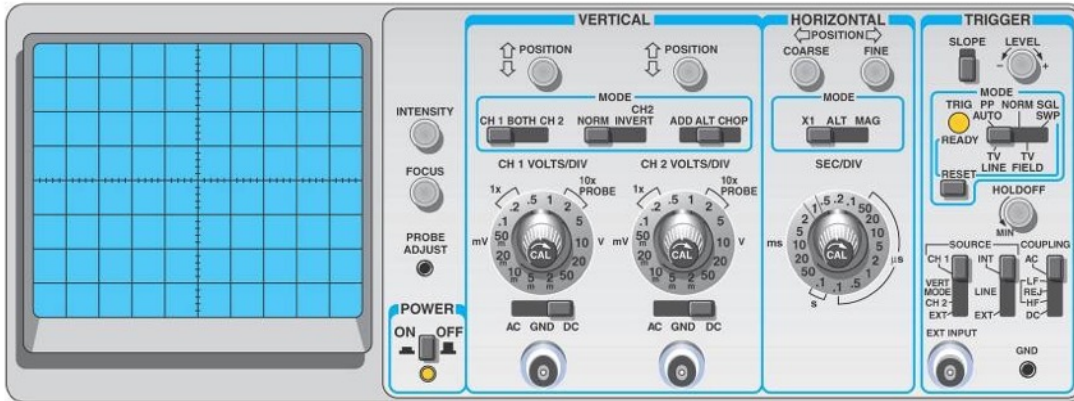
```
plot(t,y);
```

Fouriertransformasjon – overgang fra "tidsrommet" til "frekvensrommet"

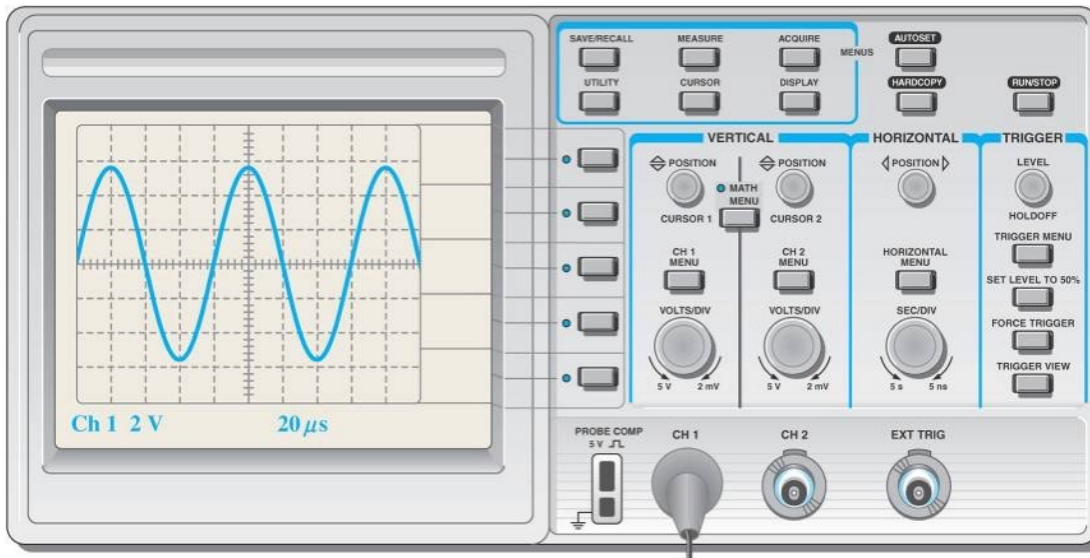


Vekselstrøm/spenning

Oscilloskop – måleinstrument for AC-signaler



Eksempel på
analogt oscilloskop



Digitalt oscilloskop
Tektronix TDS 1002
brukes på FYS1210
60MHz 1GS/s

END