

# UKE 4

- Spenningskilder, batteri, effektoverføring. Kap. 2, s. 60-65
- AC. Kap 9, s.247-279
- Fysikalsk elektronikk, Kap 1, s.28-31
- Ledere, isolatorer og halvledere, doping

# Spenningskilder - batterier

**Ideell spenningskilde** – eller perfekt spenningskilde.

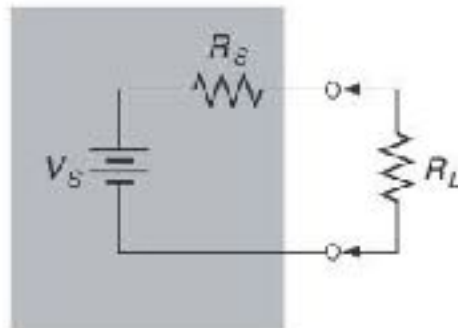
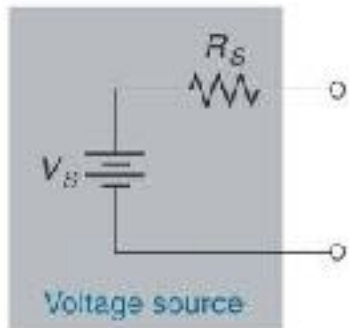
Leverer en utgangspenning som er konstant – uansett hvor mye strøm den leverer..

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

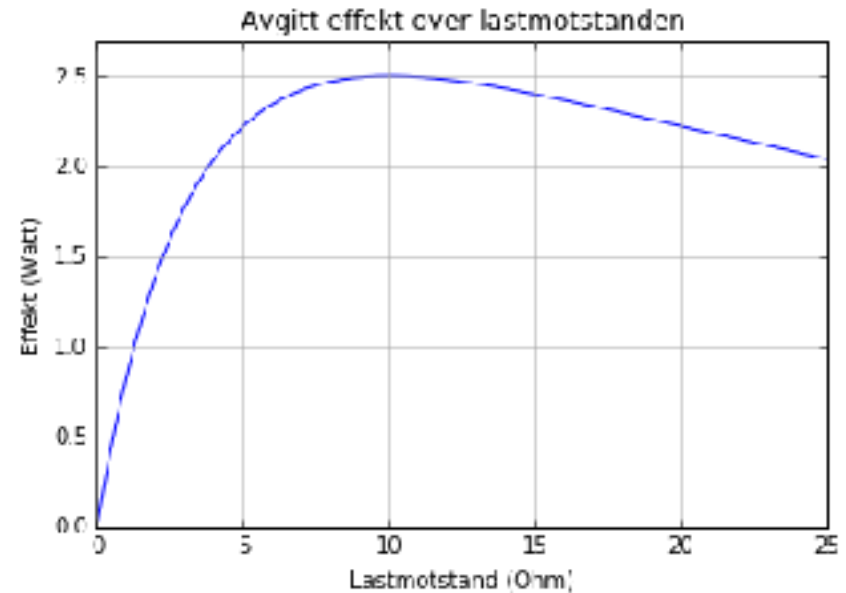
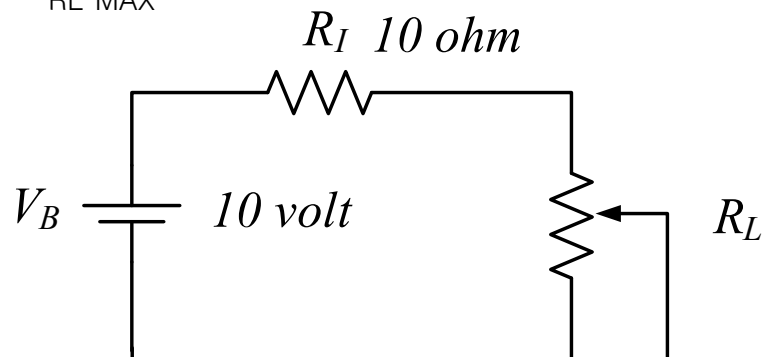
Lastmotstanden må tilpasses signalkildens indre motstand. Vi får maksimal effektoverføring når lastmotstanden  $R_L =$  kildens indre motstand  $R_I$

Dette har stor betydning når vi skal overføre signaler f.eks fra en TV-antenne til et fjernsynsapparat (dekoderboks)

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

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

$P_{RL \text{ MAX}}$



$$P = \frac{U_{RL}^2}{R_L}$$

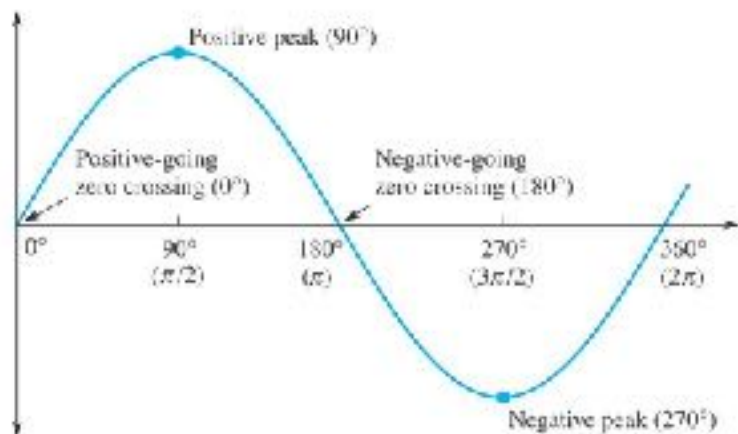
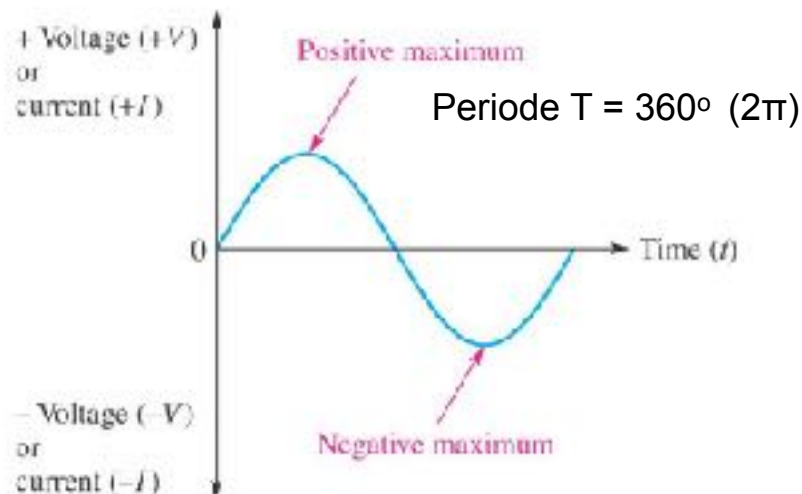
$$U_{RL} = \frac{R_L}{R_L + R_I} V_{Batt}$$

# Vekselstrøm/spenning

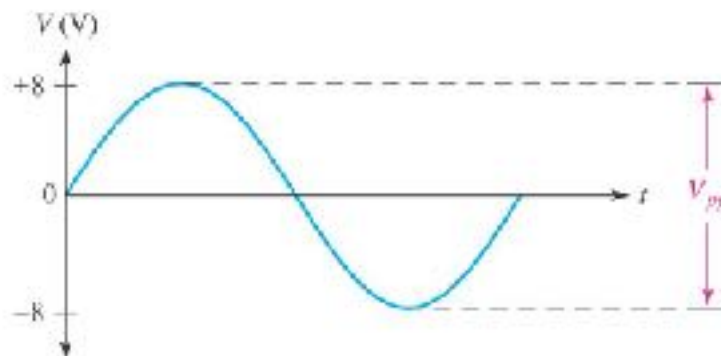
AC = Alternating Current



Symbol på signalkilde som sender ut AC



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

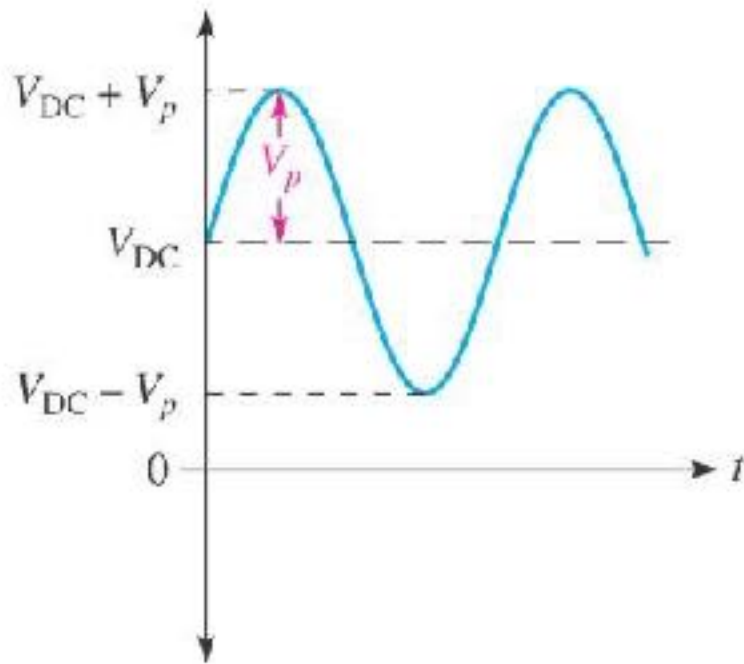


$V_p = V \text{ peak}$

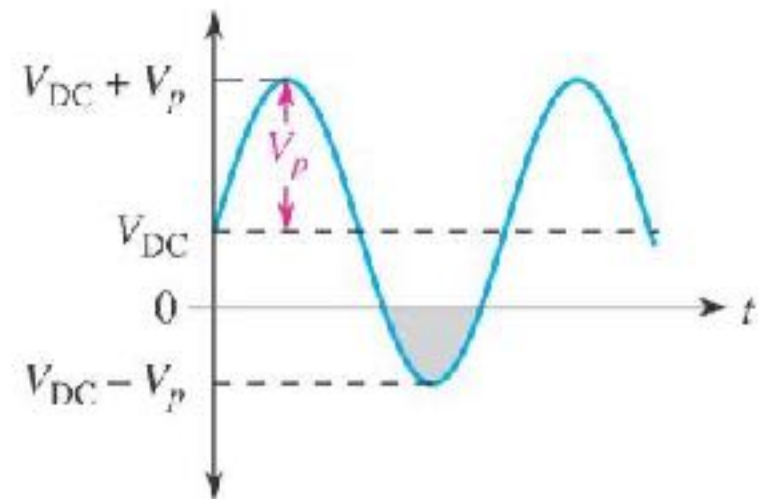
$V_{pp} = V \text{ peak to peak}$

# 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.

# AC og Effekt

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

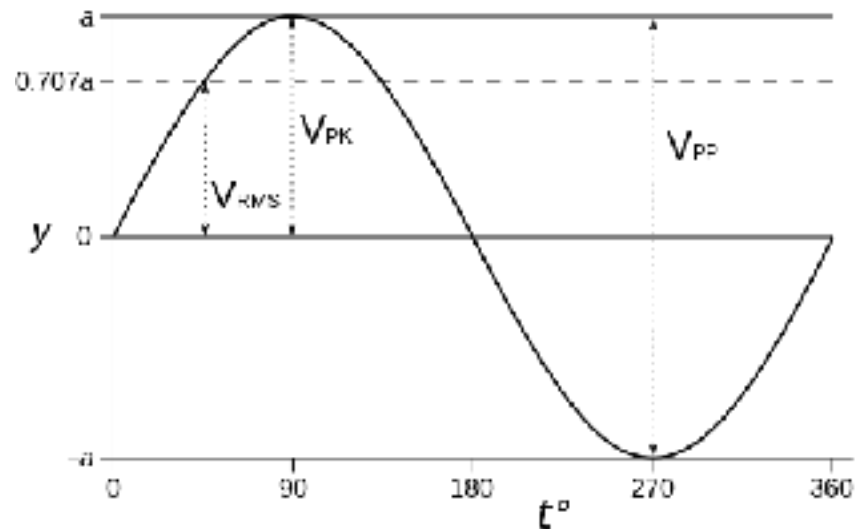
( - Hvor stor DC-spenning vil gi samme varmeeffekt i en panelovn )

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  $V_{\text{pk}}$   
på 339 volt.

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

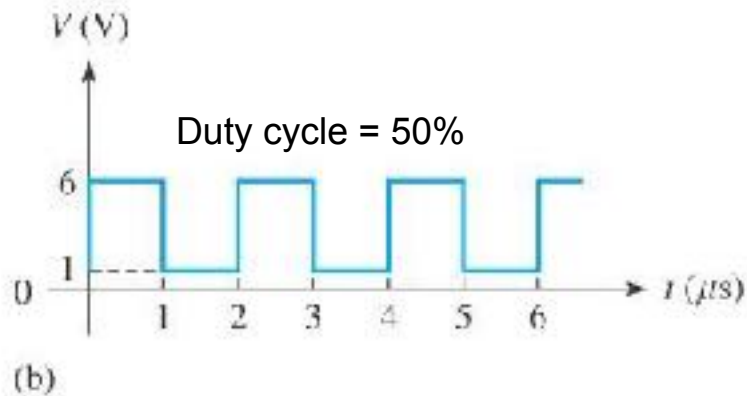
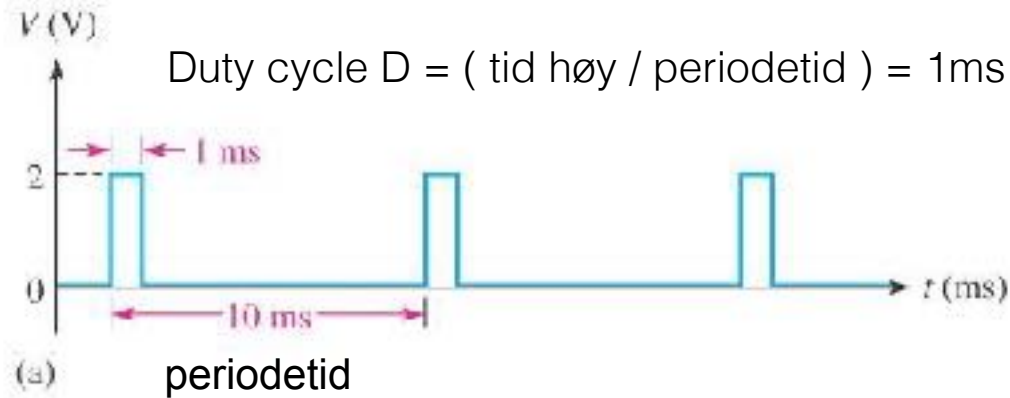


# Vekselstrøm/spenning

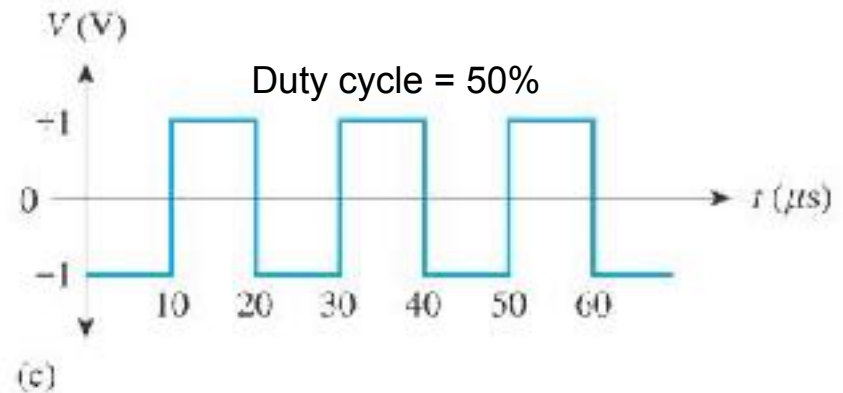
## Pulser og pulstog

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

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



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



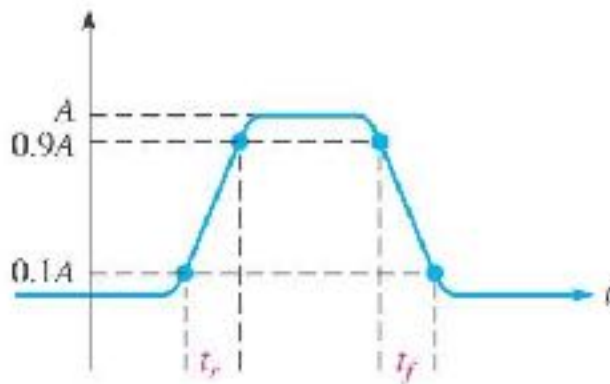
Frekvens =  $1/T = 1 / 20 \cdot 10^{-6} = 50 \text{ kHz}$

# Vekselstrøm/spenning

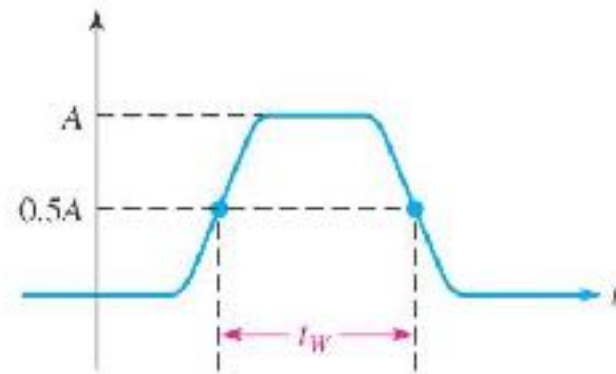
## Pulser og pulstog - noen ord og uttrykk

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

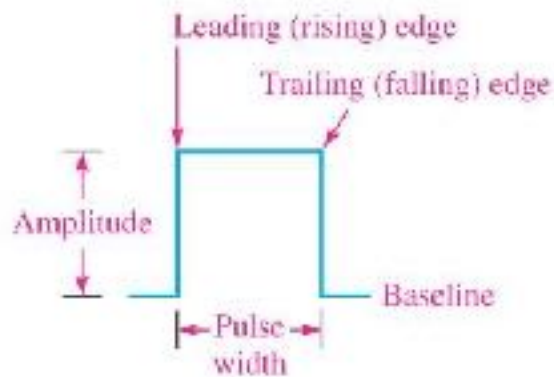
Fall time ( $t_f$ ) = tiden det tar for signalet å falle fra 90% til 10% av full verdi



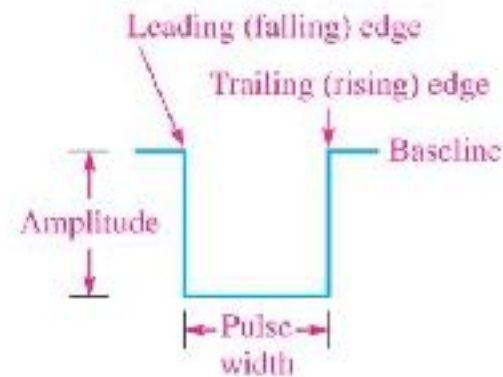
(a) Rise and fall times



(b) Pulse width



(a) Positive-going pulse



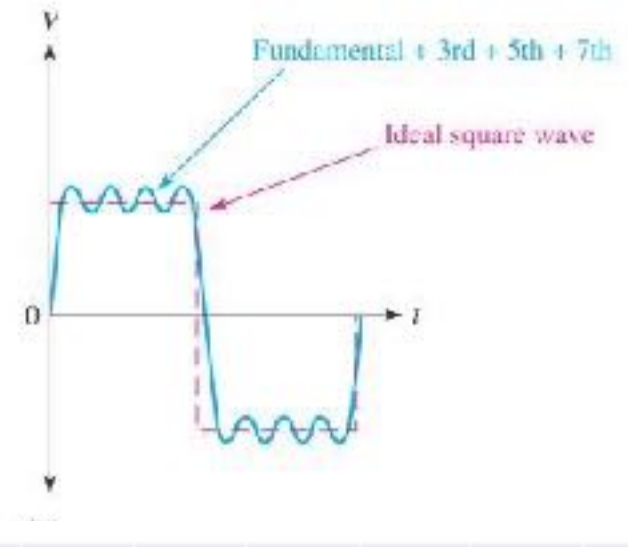
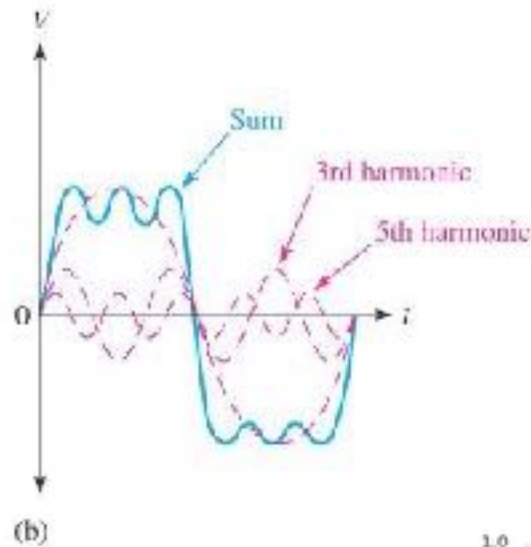
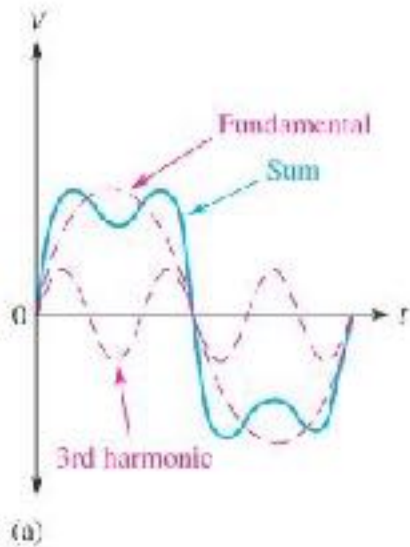
(b) Negative-going pulse



# Vekselstrøm/spenning

## Pulser og pulstog

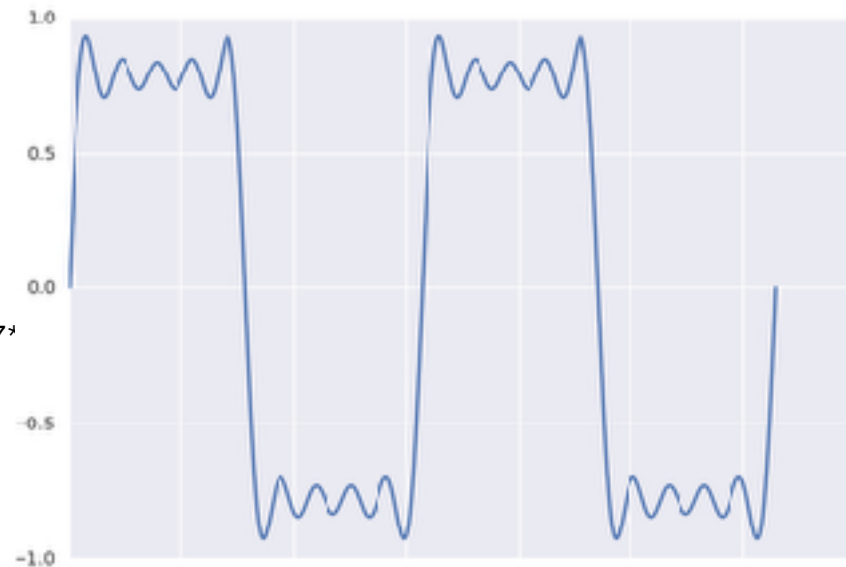
Odde harmoniske sinuskurver summeres til firkantpulser



### Python kode

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
```

```
t = np.arange(0,4*np.pi,0.001)
y_tot = np.sin(t) + np.sin(3*t)/3 + np.sin(5*t)/5 + np.sin(7*
7 + np.sin(9*t)/9
plt.plot(t,y_tot)
```

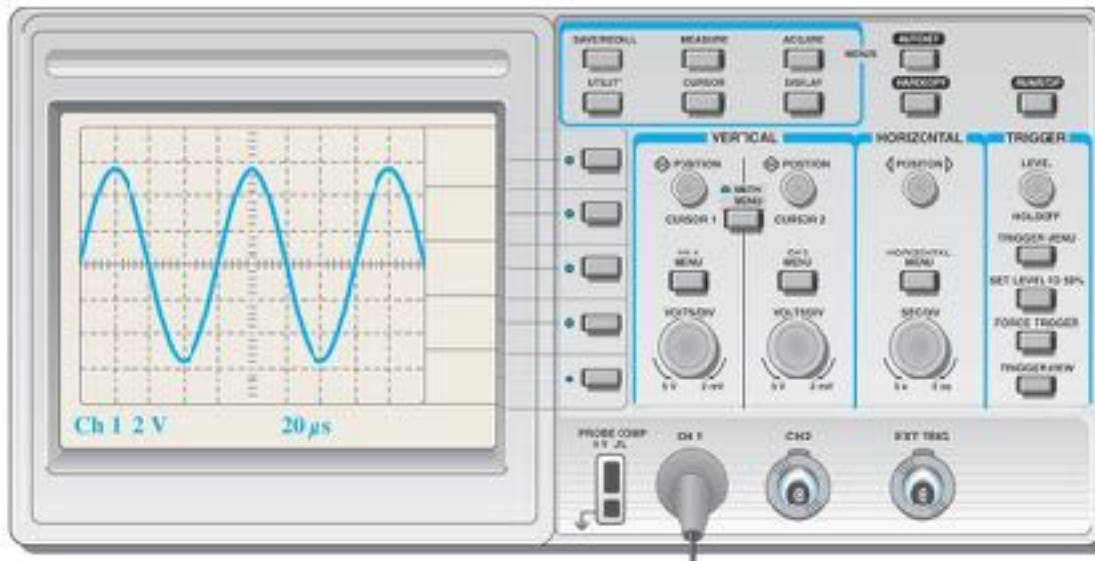


# Vekselstrøm/spenning

Oscilloskop – måleinstrument for AC-signaler



Eksempel på  
analogt oscilloskop



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

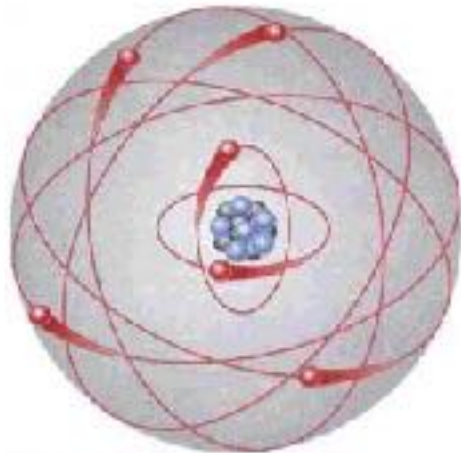
END



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

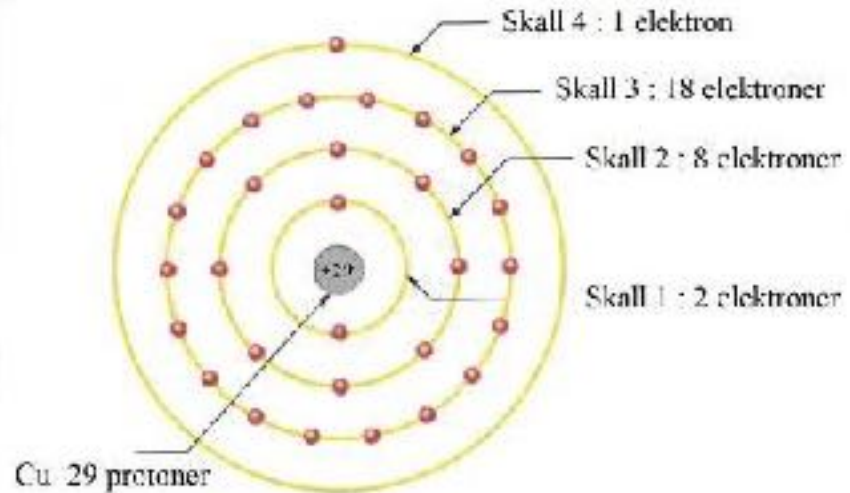
# Fysikalsk elektronikk

- elektriske ledere – halvledere – isolatorer



● Proton ● Neutron ● Elektron

Niels Bohrs klassiske atommodell fra 1913.



Kobberelektronene legger seg i "energi-skall"

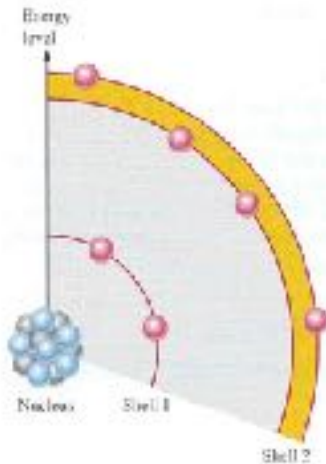
Det enlige elektronet i ytterste "skall" er svakt bunnet til kjernen.  
Ved "normal" temperatur finner vi ca 1 fritt elektron pr. atom

$10^{23}$  elektroner /  $\text{cm}^3$

# Fysikalsk elektronikk

- elektriske ledere – halvledere – isolatorer

## Elektriske ledere - metaller

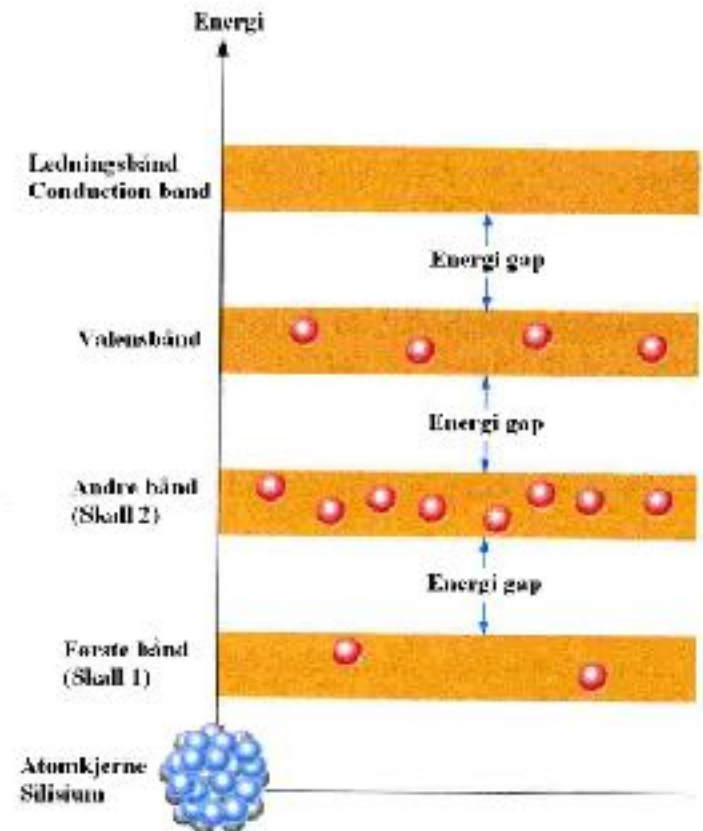


I metallene er "energi-gapet" mellom valensbåndet og ledningsbåndet minimalt.

Ved normal temperatur vil det være overlapp mellom ledningsbånd og valensbånd

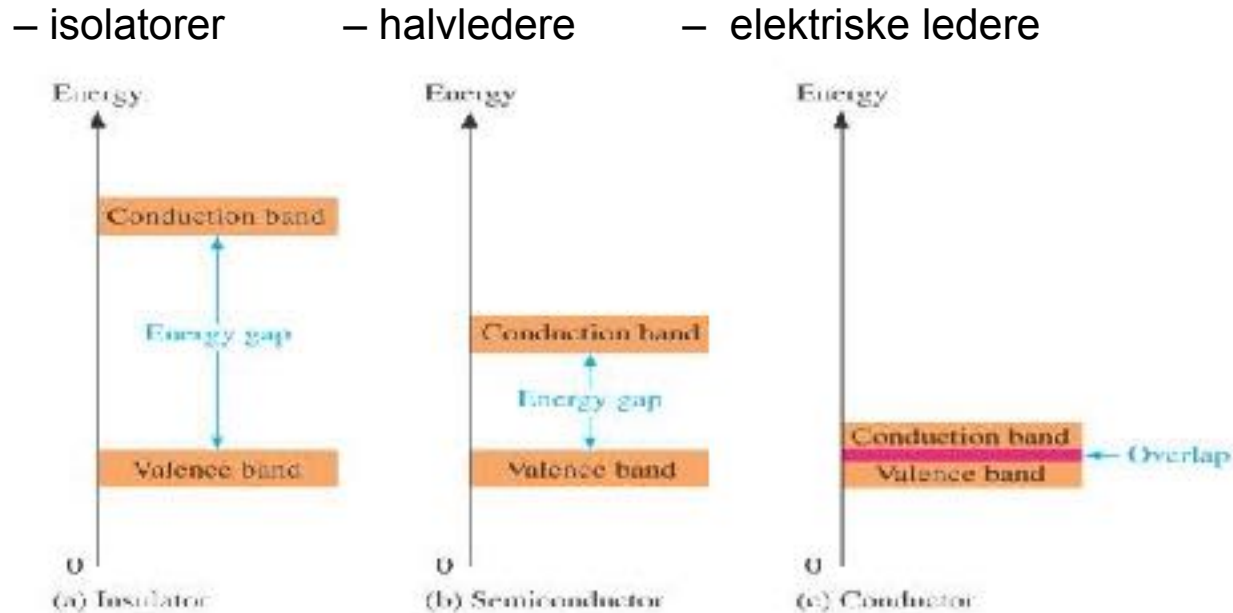
Båndene er tegnet med tykke linjer – det er gjort for å markere at elektronet kan ha flere mindre diskrete energitilstander innenfor hver bånd – mer om dette i FYS 2140 kvantefysikk

## Elektronene legger seg i "energi-skall"



# Fysikalsk elektronikk

- elektriske ledere – halvledere – isolatorer



Antall "frie" elektroner i ledningsbåndet

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

Antall elektroner i ledningsbåndet varierer med temperaturen.

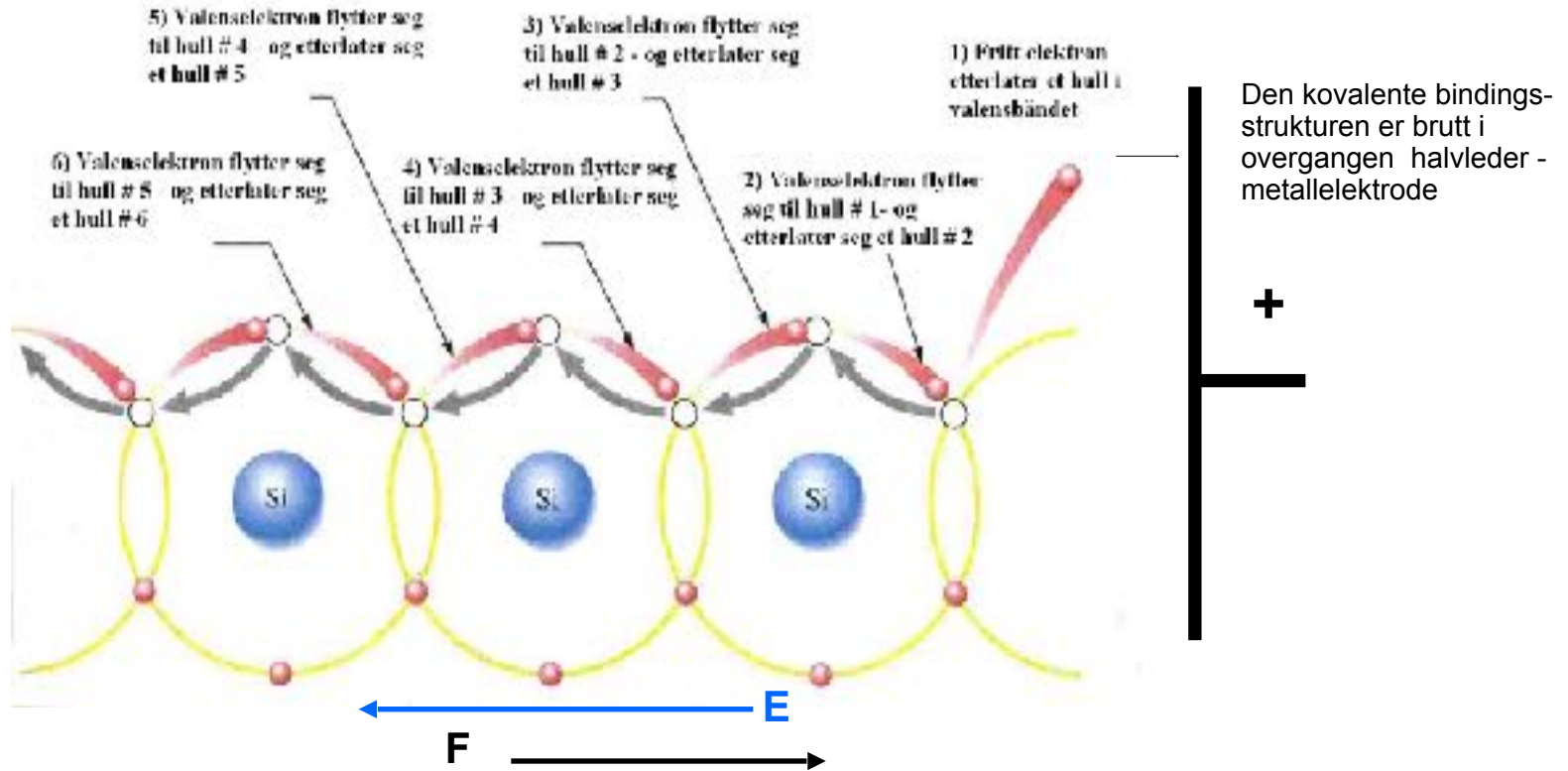
For Silisium (Si)  $25^\circ\text{C} = 2 \cdot 10^{10}$  elektr. /  $\text{cm}^3$  ved  $100^\circ\text{C} = 2 \cdot 10^{12}$  elektr. /  $\text{cm}^3$

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”

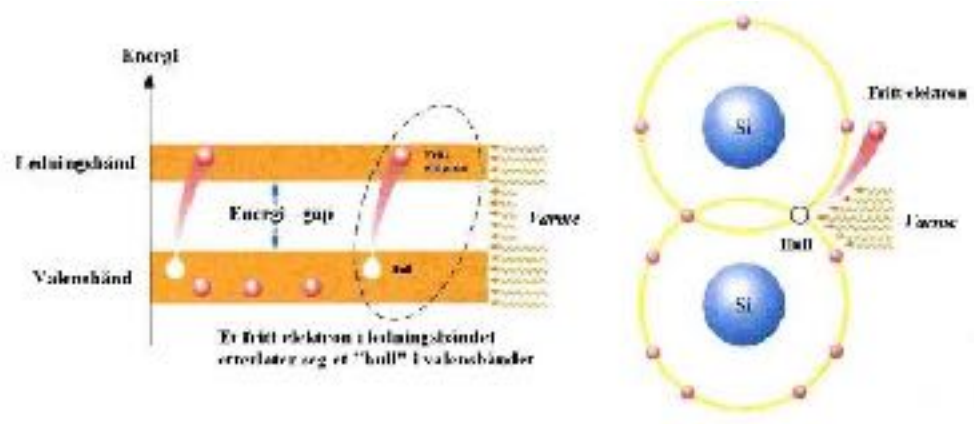
**Hullstrøm** – ”elektronhopp” mellom atomer i valensbåndet

# 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 silisiumkristallen – løfte elektroner opp i ledningsbåndet. Denne effekten brukes i solceller, fotodetektorer, digitale kamera osv.

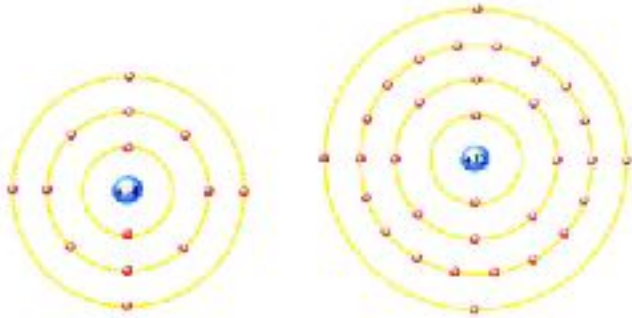
I krystaller av materialer med høyre båndgap - f.eks ZnO ( 3,5 eV ) vil lys ikke klare å eksitere elektroner – det betyr at krystallen er gjennomsiktig for lys (som glass) – Kan P-dopes og brukes som elektriske ledere på solceller.



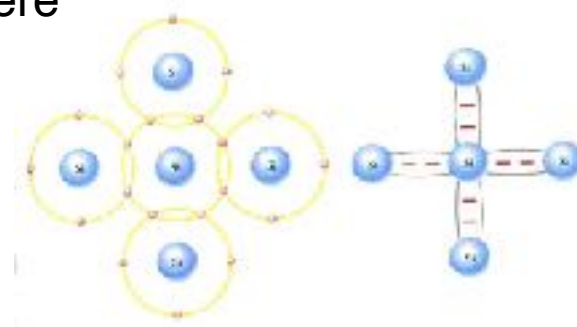
# Fysikalsk elektronikk

- elektriske ledere – halvledere – isolatorer

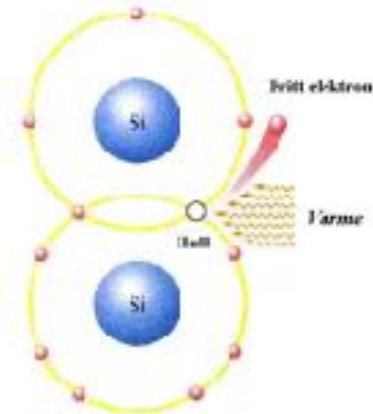
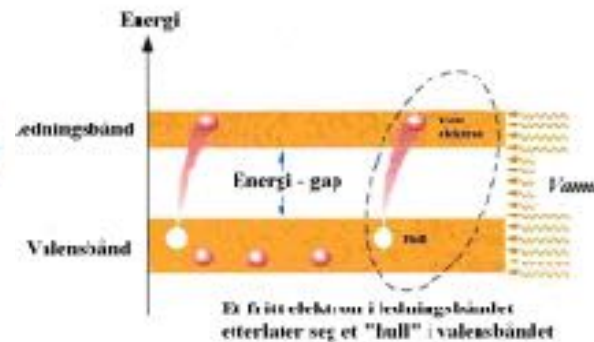
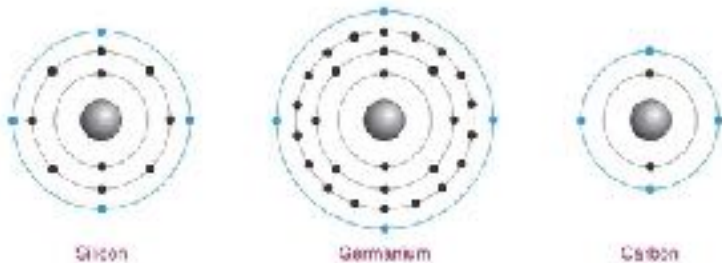
Silisium (Si) og Germanium (Ge) er halvledere



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

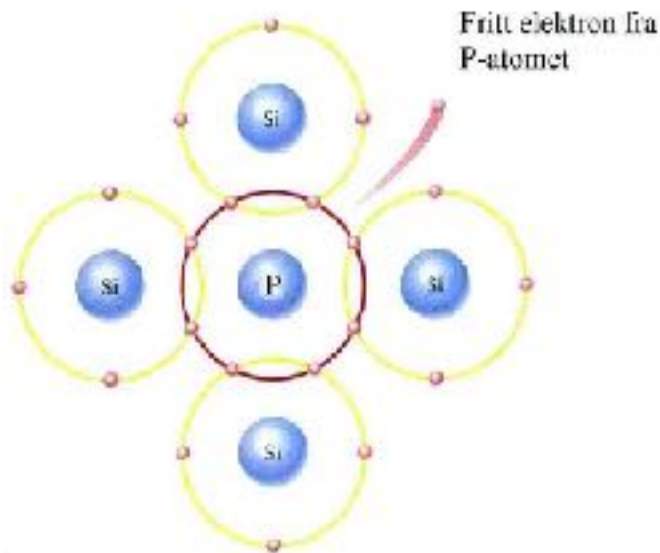
# Fysikalsk elektronikk

- elektriske ledere – halvledere – isolatorer

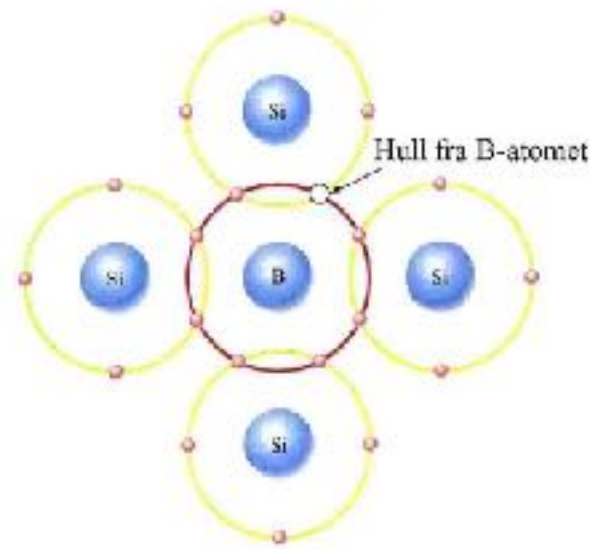
Doping = tilførsel av ”fremmedelementer”

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

# Fysikalsk elektronikk

## Strømtetthet og drifhastighet for elektroner

1 Ampere går gjennom en aluminiumsledning med diameter 1,0 mm. Hva blir drifhastigheten til elektronene?

Aluminium - elektrontetthet  $n_e = 6,0 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}$

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



$$J = \text{Strømtetthet} = \frac{I}{A} = n_e e \cdot v_d \quad n_e e = \text{antall elektroner} \quad v_d = \text{drifhastigheten}$$

$$J = \frac{I}{A} = \frac{I}{\pi \cdot r^2} = \frac{1.0 \text{ Amp}}{\pi \cdot (0,0005 \text{ m})^2} = 1,3 \cdot 10^6 \text{ A} / \text{m}^2$$

$$v_d = \frac{J}{n_e e} = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ m} / \text{s} = 1,3 \text{ mm} / \text{s}$$

Elektronene har en drifhastighet på 1,3 mm / s

# Motstand og temperatur

## Positiv temperaturkoeffisient

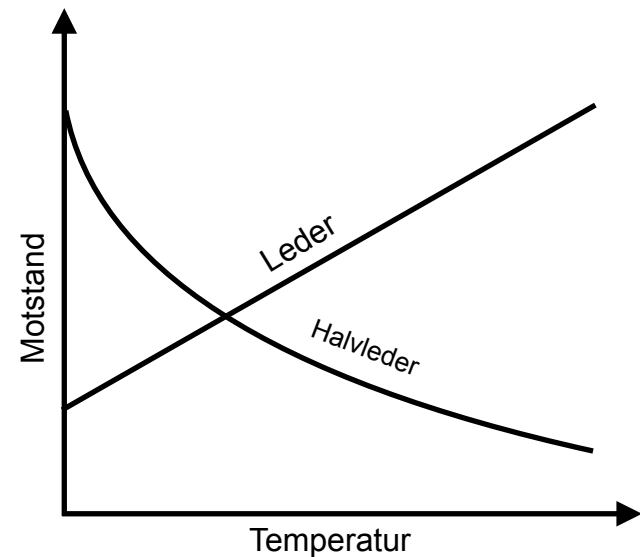
Motstanden øker fordi elektronene kolliderer.

- 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



# Lab

- Laben er på rom FV203
- Husk HMS kurs, f.eks HMS0505 - EI-sikkerhet

# Krav for godkjenning av laboratoriekurset

## **Studentene skal:**

- Være registrert hos undervisningsleder og ha tegnet seg på påmeldingslisten på laboratoriet.
- Informere veileder hvis han/hun ikke kan møte til avtalt tid eller avslutter kurset.
- Rydde etter endt lab-dag og legge komponenter tilbake på riktig sted.
- Alle notebooks skal være godkjent av veileder.

# Oppgaver

1. Introduksjonslab, lær arbeidsmåte og nødvendige teknikker i Jupyter. Regn på enkle kretser og bli kjent med Micro-Bit.
2. Simuleringer ved hjelp av PSpice
3. AC og filtre
4. Dioder og diode kretser.
5. Transistorer
6. Logiske kretser
7. Operasjonsforsterkere.
8. Data konvertering, AD kretser.
9. Sensorer og I2C

# Journaler

- Hver student skal levere sin notatbok. Besvarelsen skal inneholde svar på spørsmål, utregninger der det kreves, nødvendig plott av resultater og en oppsummering med konklusjon til slutt.
- Når du er ferdig med laboppgaven tilkaller du veileder som vil evaluere notatboken din og godkjenne den.
- Oppgaven levers i devilery etter den er godkjent av labveileder.