

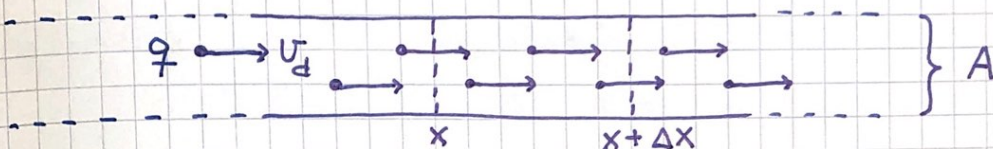
Elektrisk strøm

[052 9, 10]

(67)

Strøm. Strømtetthet [052 9.1, 9.2]

Ser på leder/metall med tverrsnitt A og n frie ladninger q pr volumenhet med midlere driftshastighet v_d langs lederen:



strøm $\stackrel{\text{def}}{=}$ ladning som passerer et tverrsnitt av lederen pr tidsenhet

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \xrightarrow{\Delta t \rightarrow 0} \frac{dQ}{dt} ; [I] = \frac{C}{s} = A \text{ (ampere)}$$

$v_d = \Delta x / \Delta t \Rightarrow$ i løpet av $\Delta t = \Delta x / v_d$ passerer all fri ladning $q \cdot n \cdot A \cdot \Delta x$ i volumet $A \cdot \Delta x$ tverrsnittet ved $x + \Delta x$

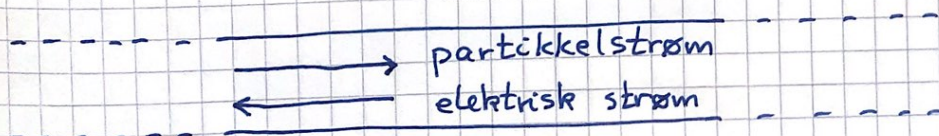
$$\Rightarrow I = qnA\Delta x / (\Delta x / v_d) = nqv_d A$$

strømtetthet $\stackrel{\text{def}}{=}$ strøm pr flateenhet

$$j = I/A = nqv_d, \text{ dvs } \vec{j} = nq\vec{v_d} ; [j] = \frac{A}{m^2}$$

I et metall er frie ladninger elektroner, med $q = -e$, slik at

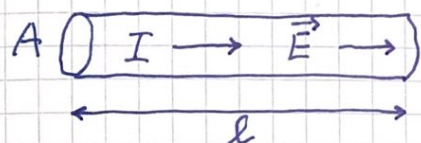
$$\vec{j} = -ne\vec{v_d}$$



Ohms Lov [052 9.2-9.4]

(68)

Anta spenning V over leder med lengde l og tverrsnitt A :



$$V = E \cdot l \quad I = j \cdot A$$

N2 for frie elektroner i lederen: $\vec{F} = m_e \vec{a}$, med $\vec{F} = -e\vec{E}$

Pga kollisjoner får elektronene en midlere driftshastighet

$$\vec{v}_d = \vec{a} \cdot \tau \quad ; \quad \tau = \text{midlere tid mellom kollisjoner}$$

Dermed:

$$j = -ne\vec{v}_d = -ne \cdot \left(-\frac{e\vec{E}}{m_e}\right) \cdot \tau = \sigma \cdot \vec{E}$$

der $\sigma = ne^2\tau/m_e$ er materialets elektriske ledningsevne (evt. konduktivitet). Dette er Paul Drudes modell fra ca 1900 for Ohms lov på mikroskopisk form.

På makroskopisk form:

$$V = E \cdot l = (j/\sigma) \cdot l = I \cdot \left(\frac{l}{\sigma \cdot A}\right) = R \cdot I$$

Lederens motstand (resistans):

$$R = \frac{l}{\sigma A} \quad ; \quad [R] = \frac{V}{A} = \Omega \text{ (ohm)}$$

Lederens konduktans: $G = R^{-1}$; $[G] = \Omega^{-1} = S$ (siemens)

Materialets resistivitet: $\rho = \sigma^{-1}$; $[\rho] = \Omega m$; $[\sigma] = S/m$

Kretssymbol:



(evt.)

Eks 1: Kobber (Cu) har molar masse 63 g/mol og (69)
masse tetthet ca 9 g/cm³. Anta ca 1 fritt elektron pr atom
og bestem antall frie elektroner pr volumenhet.

Løsn 1: $n \approx \frac{9 \text{ g/cm}^3}{63 \text{ g/mol}} = \frac{1}{7} \text{ mol/cm}^3 \approx 10^{23} / \text{cm}^3 = \underline{\underline{10^{29} / \text{m}^3}}$

Eks 2: Anta at de frie elektronene har fart $v = |\vec{v}| = 10^5 \text{ m/s}$
og reiser en lengde $d = 2 \text{ nm}$ mellom to kollisjoner. Beregn σ .

Løsn 2: $\tau = d/v = 2 \cdot 10^{-9} \text{ m} / 10^5 \text{ m/s} = 2 \cdot 10^{-14} \text{ s}$

$$e^2/m_e = (1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C})^2 / 9.11 \cdot 10^{-31} \text{ kg} = 2.8 \cdot 10^{-8} \text{ C}^2/\text{kg}$$

$$n = 10^{29} \text{ m}^{-3} \text{ (fra eks. 1)}$$

$$\Rightarrow \sigma = ne^2\tau/m_e = \underline{\underline{5.6 \cdot 10^7 \text{ S/m}}}$$

(som er ca exp. verdi for Cu ved romtemperatur)

Eks 3: Anta en strømstyrke på 1 A i en Cu-ledning
med tverrsnitt 2.5 mm². Hva er elektronenes midlere
driftshastighet?

Løsn 3: $j = nev_d$ og $j = I/A$ gir

$$v_d = \frac{I}{neA} = \frac{1 \text{ A}}{10^{29} \text{ m}^{-3} \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 2.5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2} = \underline{\underline{25 \mu\text{m/s}}}$$

Motstand og temperatur [OS2 9.3]

(70)

Metaller: Større temp. T gir større elektronfart v , og dermed kortere tid τ mellom kollisjoner. Antall frie elektroner n endrer seg ikke. Dermed: σ øktar; g øker.

Empirisk:

$$g(T) = g_0 [1 + \alpha \cdot (T - T_0)]$$

med $\alpha \approx 0.004 \text{ K}^{-1}$ for flere vanlige metaller.

$g_0 = g(T_0)$ = referanseverdi ved (f.eks.) $T_0 = 293 \text{ K}$ ($= 20^\circ\text{C}$)

Halvledere: Si, Ge, GaAs, AlN, ...

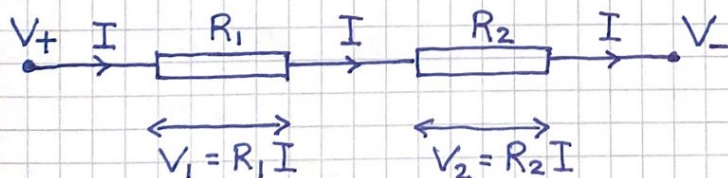
Er isolatorer med $n \approx 0$ ved svært lave temp. T .

Når T øker, frigjøres stadig flere elektroner, slik at σ øker og g øktar med økende T .

Anvendelser: Diode, transistor, solceller, lasere osv.

Kobling av motstander [OS2 10.2]

Seriekobling:



Lik strøm I gjennom motstander i serie.

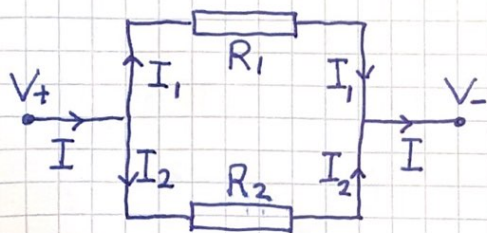
Total spenning: $V = V_+ - V_- = V_1 + V_2 = (R_1 + R_2) \cdot I$

$\Rightarrow$ Total motstand: $R = \frac{V}{I} = R_1 + R_2$

Med N koblet i serie: $R = \sum_{j=1}^N R_j$

Parallellkobling:

(71)



Lik spenning over R_1 og R_2 :

$$V = V_+ - V_- = R_1 I_1 = R_2 I_2$$

Total strøm:

$$I = I_1 + I_2 = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2}$$

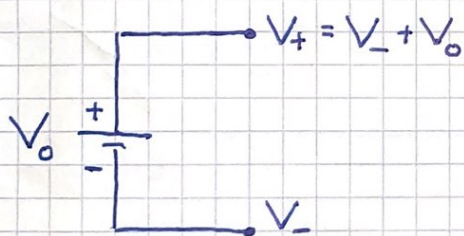
Total motstand: $R = V/I \Rightarrow \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$

Med N koblet i parallell: $R^{-1} = \sum_{j=1}^N R_j^{-1} \quad [\Rightarrow G = \sum_{j=1}^N G_j]$

DC-kretser [052 10 (9)]

DC = direct current = likestrøm

Likespenningskilde:



Sørger for konstant spenning

$$V_+ - V_- = V_0$$

mellom de to polene.

Eks: Kjemisk batteri

Solcelle

Mobillader

Kirchhoffs regler [OS2 10.3]

(72)

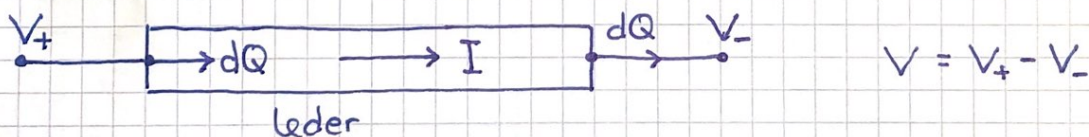
- K1: Pga ladningsbevarelse er netto strøm inn mot og ut fra et knutepunkt like store. Med (f.eks) $I_j > 0$ inn og $I_j < 0$ ut blir dermed

$$\sum_j I_j = 0 \quad \text{i alle knutepunkt}$$

- K2: Pga energibevarelse er summen av alle potensialendringer (spenninger) rundt en lukket sløyfe lik null. Med (f.eks) $V_j > 0$ for potensialøkning og $V_j < 0$ for pot. reduksjon (spenningsfall) er

$$\sum_j V_j = 0 \quad \text{rundt alle sløyfer}$$

Elektrisk effekt [OS2 9.5]



$$\text{Effekt inn: } P_{\text{inn}} = \frac{dU_{\text{inn}}}{dt} = \frac{V_+ dQ}{dt} = V_+ I$$

$$\text{Effekt ut: } P_{\text{ut}} = \frac{dU_{\text{ut}}}{dt} = \frac{V_- dQ}{dt} = V_- I$$

$$\text{Effekttap i ledere: } \underline{P} = P_{\text{inn}} - P_{\text{ut}} = (V_+ - V_-) \cdot I = \underline{V \cdot I}$$

Hvis ledere oppfyller Ohms lov (dvs en ohmsk motstand):

$$V = R \cdot I \Rightarrow P = V \cdot I = R I^2 = \frac{V^2}{R}$$

(men $P = V \cdot I$ gjelder generelt)