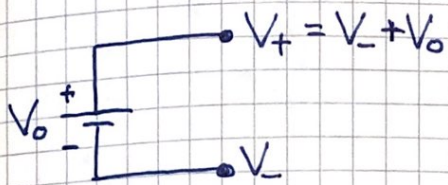


DC-kretser [OS2 10 (9); YF 26 (25); LHL 22]

(79)

DC = direct current = likestrøm

Likespenningskilde:



Sørger for konstant spenning

$V_0 = V_+ - V_-$ mellom polene.

Eks: Kjemisk batteri. Solcelle.

Kirchhoffs regler [OS2 10.3; YF 26.2; LHL 22.3]

- K1: Ladningsbevarelse \Rightarrow netto strøm inn mot og ut av et knutepunkt like store; $\sum_j I_j = 0$ (med f.eks. $I_j > 0$ inn og $I_j < 0$ ut)
- K2: Energibevarelse \Rightarrow potensialendringer summerer seg til null rundt alle lukkede sløyfer; $\sum_j V_j = 0$ (med f.eks. $V_j < 0$ for spenningsfall)

Elektrisk effekt [OS2 9.5; YF 25.5; LHL 22.2]



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

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

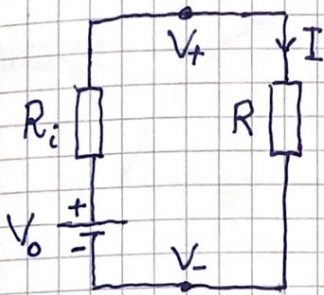
$$\text{Effekttap i lederbiten: } P = P_{\text{inn}} - P_{\text{ut}} = (V_+ - V_-) \cdot I = V \cdot I$$

Dersom ohmsk motstand: $V = R \cdot I$

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

Eksempler

Eks 1: Reell vs ideell spenningskilde



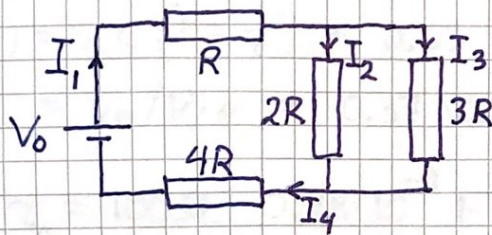
$$K2: V_0 - R_i I - R I = 0$$

$$\Rightarrow I = \frac{V_0}{R_i + R}$$

Polspenning:

$$V_+ - V_- = V_0 - R_i I < V_0 \text{ n\u00e5r } R_i > 0$$

Eks 2:



$$V_0 = 30 \text{ V}, R = 10 \Omega$$

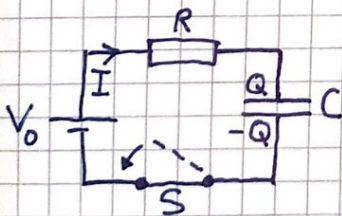
Bestem I_1, I_2, I_3 og I_4

L\u00f8sn: $R_{\text{TOT}} = R + \left(\frac{1}{2R} + \frac{1}{3R}\right)^{-1} + 4R = 6.2 R = 62 \Omega$

$$\Rightarrow I_1 = I_4 = \frac{30}{62} \text{ A} = \underline{0.48 \text{ A}}$$

$$I_2 / I_3 = 3/2 \Rightarrow I_2 = \frac{3}{5} I_1 = \underline{0.29 \text{ A}}; I_3 = \frac{2}{5} I_1 = \underline{0.19 \text{ A}}$$

Eks 3: RC-krets [OS2 10.5; YF 26.4; LHL 22.4]



$Q(t=0) = 0$; bryter S lukkes ved $t=0$

Bestem $Q(t)$ og $I(t)$.

Sammenlign (a) $R=100 \Omega, C=0.28 \text{ nF}$

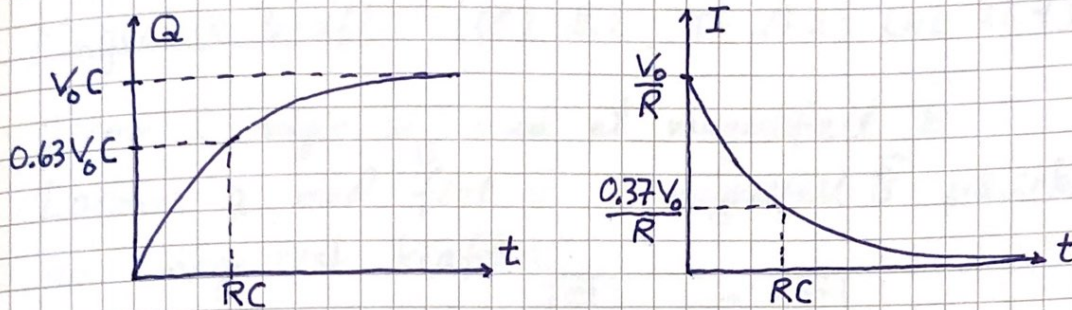
og (b) $R=100 \text{ M}\Omega, C=0.25 \mu\text{F}$

L\u00f8sn: $K2 \Rightarrow V_0 - R I - Q/C = 0$; $I = dQ/dt$

$$\Rightarrow -RC \frac{dQ}{dt} = Q - V_0 C$$

$$\Rightarrow \int_0^Q \frac{dQ}{Q - V_0 C} = - \int_0^t \frac{dt}{RC} \Rightarrow \ln \frac{Q - V_0 C}{-V_0 C} = - \frac{t}{RC}$$

$$\Rightarrow Q(t) = V_0 C \{1 - e^{-t/RC}\} ; I(t) = \frac{dQ}{dt} = \frac{V_0}{R} e^{-t/RC} \quad (81)$$



$\tau = R \cdot C =$ kretsens tidskonstant = tidsskala for oplading (og udlading) av kondensatoren

$$Q(\tau) = V_0 C \left(1 - \frac{1}{e}\right) \approx 0.63 V_0 C ; Q(3\tau) \approx 0.95 V_0 C$$

$$I(\tau) = \frac{V_0}{R} \cdot e^{-1} \approx 0.37 \frac{V_0}{R} ; I(3\tau) \approx 0.05 \frac{V_0}{R}$$

$$(a) \tau_a = 100 \Omega \cdot 0.28 \cdot 10^{-9} \text{ F} = 28 \text{ ns}$$

$$(b) \tau_b = 10^8 \Omega \cdot 0.25 \cdot 10^{-6} \text{ F} = 25 \text{ s}$$

Anvendelser : Blinklys, kupélys

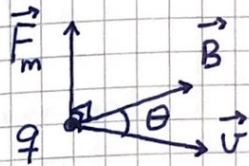
Magnetostatikk [OS2 11,12; YF 27,28; LHL 23]

Magnetisk kraft [OS2 11.2; YF 27.2; LHL 23.4]

Strøm I omgir seg med et magnetfelt \vec{B} .

Ladning q med fart \vec{v} i magnetfelt \vec{B} påvirkes av magnetisk kraft:

$$\vec{F}_m = q \vec{v} \times \vec{B}$$

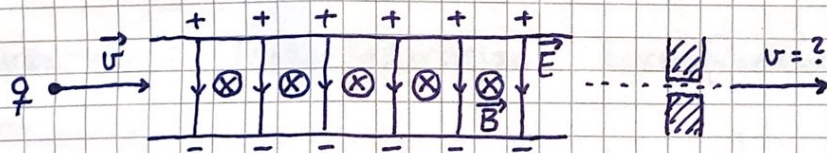


$$F_m = q v B \sin \theta$$

$$\vec{F}_m \perp \vec{v} \text{ og } \vec{B}$$

Enhet: $[B] = N/C \cdot m/s = N/Am = T$ (tesla)

Eks: Krysset \vec{E} - og \vec{B} -felt



Notasjon:

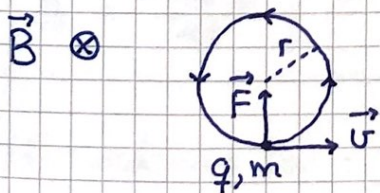
- \otimes inn i planet
- \odot ut av -"-

$$\vec{F} = \vec{F}_e + \vec{F}_m = q \vec{E} + q \vec{v} \times \vec{B} = \text{Lorentzkraften}$$

Hvis (f.eks.) $q > 0$: \vec{F}_e ned, \vec{F}_m opp

\Rightarrow Ingen avbøying når $v = E/B$

Ladning i uniformt \vec{B} -felt [OS2 11.3; YF 27.4; LHL 23.1, 23.4]



Anta $\vec{v} \perp \vec{B}$ (bare v_{\perp} påvirkes av \vec{B})
 $\Rightarrow F = qvB$

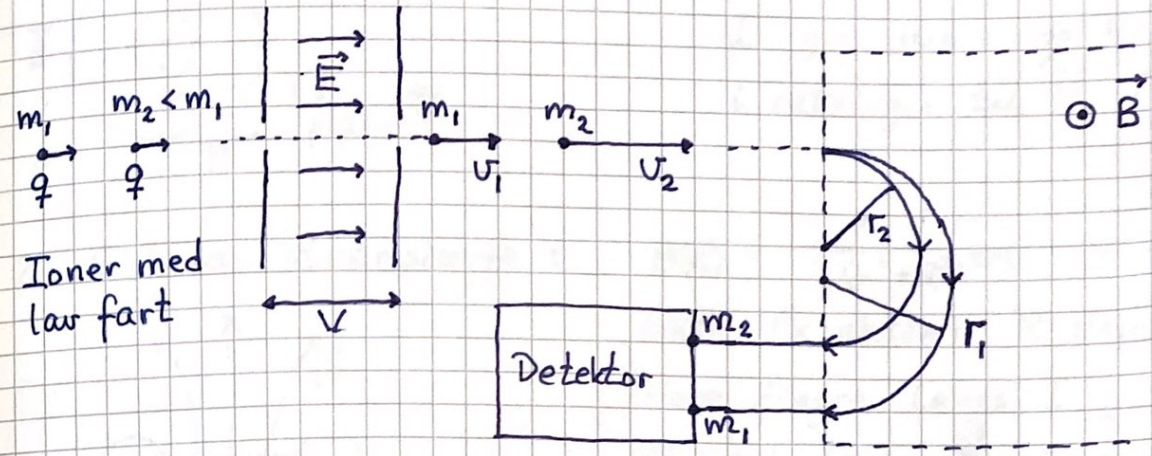
Tilført effekt: $P = \vec{F} \cdot \vec{v} = 0$; magn.kraft gjør aldri arbeid!

\Rightarrow Uniform sirkelberegelse med konstant $K = \frac{1}{2}mv^2$

$N2 \Rightarrow qvB = mv^2/r \Rightarrow r = mv/qB$

Syklotronfrekvensen : $\omega_c = v/r = qB/m$

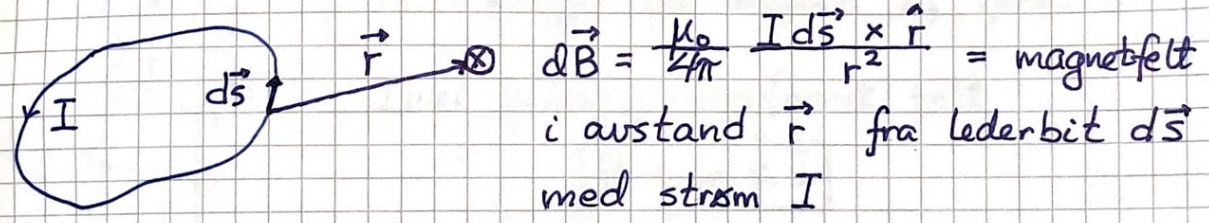
Eks: Massespektrometer [OS2 11.7; YF 27.5; Øring 12]



$\frac{1}{2}mv^2 = qV$ og $r = mv/qB \Rightarrow r \sim \sqrt{m}$

Anvendelser: Isotopseparasjon. Identifisering av ioner.

Biot-Savarts lov [OS2 12.1; YF 28.2; LHL 23.5]



Totalt \vec{B} -felt fra strømsløyfe :

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \oint \frac{d\vec{s} \times \hat{r}}{r^2}$$

Biot-Savarts lov (1820)

Jf. Coulombs lov : $\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{dq \hat{r}}{r^2}$

Vakuump permeabiliteten : $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T}\cdot\text{m/A}$

— " — permittiviteten : $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$

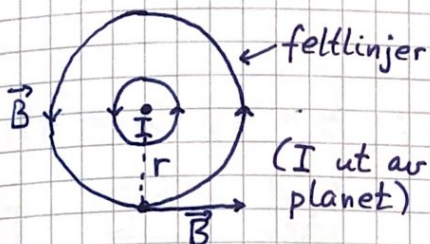
Farten til E.M. bølger i vakuum : $c = 1/\sqrt{\epsilon_0\mu_0} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

Tre sentrale eksempler (se notat for utledninger)

(84)

[OS2 12.2+4+6; YF 28.3+5+7; LHL 23.5+6]

1. Lang rett strømførende leder: $\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \hat{\phi}$; dvs tangent

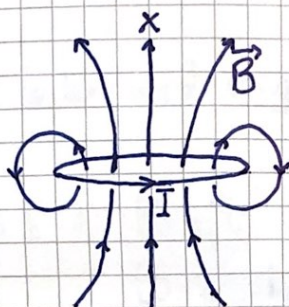


til sirkel; tommel langs

I gir fire øvrige fingre i retningen til \vec{B} ("HRR")

2. Sirkular strømsløyfe:

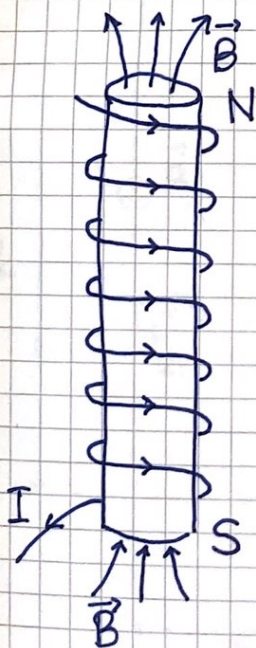
$B(x) = \frac{\mu_0 I R^2}{2(x^2 + R^2)^{3/2}}$ på sløyfas



akse (x-aksen); R = sløyfas radius
Fire fingre langs I gir tommel langs \vec{B} på sløyfas akse

3. Spole:

Anta lang og tettviklet spole med N viklinger på lengden l ; spolestrøm I .



Inni spolen: Uniformt felt

$$\boxed{B = \mu_0 n I}$$

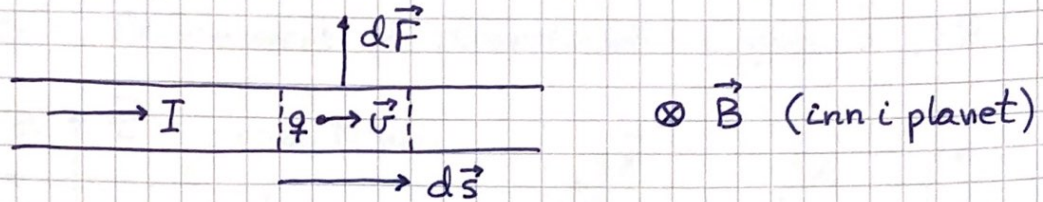
$n = N/l$ = antall viklinger pr lengdeenhet

Utenfor spolen: $B \approx 0$

(unntatt ved endene, dvs de to polene N (nord) og S (sør).)

Vi har en elektromagnet.

Magnetisk kraft på strøm [OS2 11.4; YF 27.6; LHL 23.2] (85)



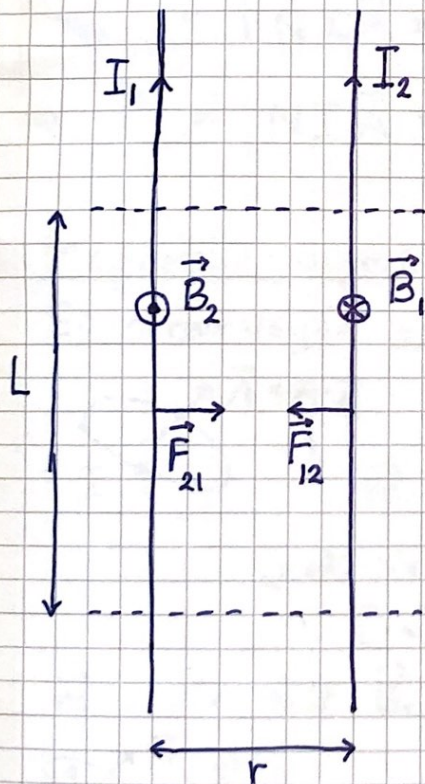
$$d\vec{F} = N \cdot q \vec{v} \times \vec{B} ; N = \# \text{ frie ldn. } q \text{ p\aa lengden } ds$$

$$I = \frac{dQ}{dt} = \frac{N \cdot q}{ds/v} \Rightarrow Nq\vec{v} = I d\vec{s} \Rightarrow d\vec{F} = I d\vec{s} \times \vec{B}$$

Kraft p\aa hele lederen:
$$\vec{F} = I \int_{\text{leder}} d\vec{s} \times \vec{B}$$

Ret leder med lengde L i uniformt \vec{B} -felt: $F = BIL$

Eks 1: Kraft mellom parallelle str\ommener
[OS2 11.4; YF 28.4; LHL 23.5]



$$B_{1,2} = \frac{\mu_0 I_{1,2}}{2\pi r} = \text{feltstyrke i avstand } r \text{ fra leder 1, 2}$$

Innbyrdes kraft p\aa lengde L :

$$F_{12} = F_{21} = F = \frac{\mu_0 I_1 I_2 L}{2\pi r}$$

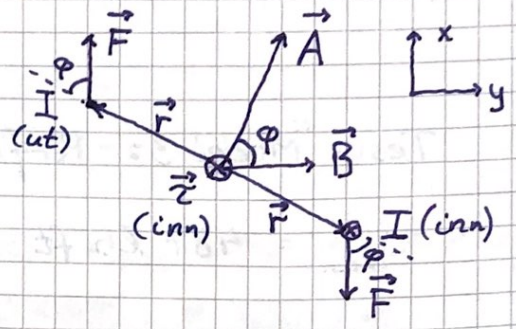
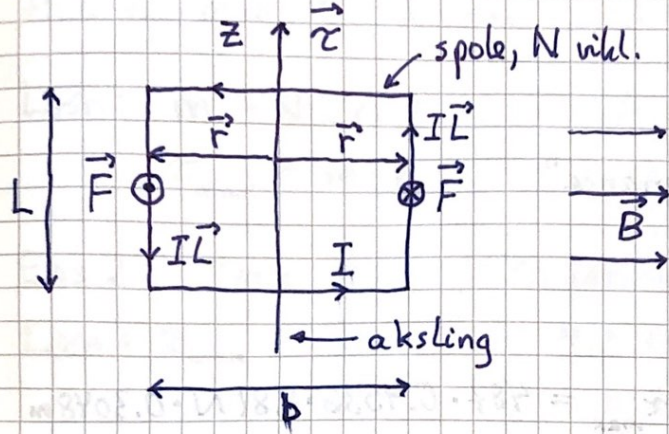
Pr lengdeenhet:

$$f = F/L = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi r}$$

I_1 og I_2 motsatt vei gir frast\otning.

Eks 2: Likestrømsmotor [OS2 11.5; YF 27.8; LHL 26.3]

Virkemåte: Dreiemoment på strømsløyfe(r) i ytre \vec{B} -felt



$$\vec{F} = I\vec{L} \times \vec{B} \quad ; \quad \vec{\tau} = \sum \vec{r} \times \vec{F}$$

$$F = ILB \quad ; \quad r = b/2 \quad ; \quad A = b \cdot L$$

$$\Rightarrow \tau = N \cdot 2 \cdot \frac{b}{2} \cdot ILB \cdot \sin\phi$$

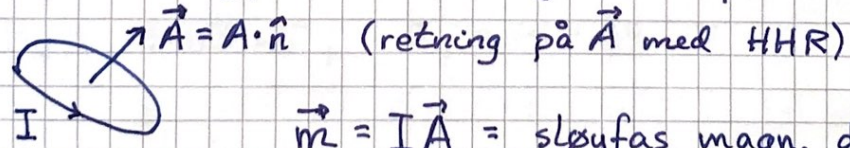
$$= N \cdot IA \cdot B \cdot \sin\phi$$

$$= |NIA\vec{A} \times \vec{B}|$$

$$\Rightarrow \vec{\tau} = NIA\vec{A} \times \vec{B} = \text{dreiemoment på spole, N vikl.}$$

Magnetisk dipolmoment [OS2 11.5; YF 27.7; LHL 23.3, 26.2]

Ei strømsløyfe er en magnetisk dipol.

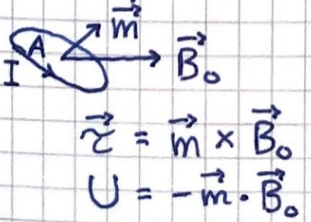


$$\vec{m} = I\vec{A} = \text{sløyfas magn. dipolmoment}$$

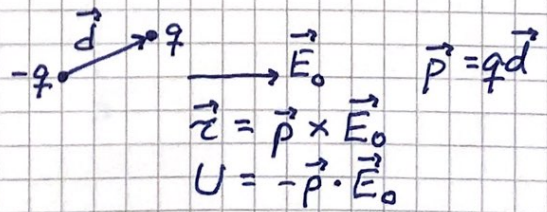
(evt. $NIA\vec{A}$ for spole med N viklinger)

$$[m] = A \cdot m^2$$

\vec{m} i ytre felt \vec{B}_0 :



jf. \vec{p} i ytre felt \vec{E}_0 :



Eks 1: Hva er m for spole med 800 vikl. rundt tverrsnitt 4.0 cm^2 når spolestrømmen er 3.2 A ?

Hva er τ på denne spolen i ytre felt med feltstyrke 6.0 T ?

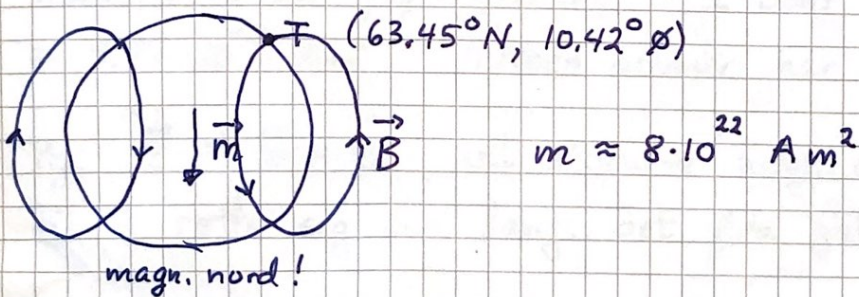
Løsn: $m = NIA = 800 \cdot 3.2 \text{ A} \cdot 4.0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = \underline{1.0 \text{ Am}^2}$

$\tau_{\text{max}} = m \cdot B_0 = \underline{6.1 \text{ Nm}}$

Eks 2: Tesla Model 3 Performance, $\tau_{\text{max}} = 487 \text{ lb ft} = ??$

Løsn: $\tau_{\text{max}} = 487 \cdot 0.4536 \cdot 9.81 \text{ N} \cdot 0.3048 \text{ m} = \underline{661 \text{ Nm}}$

Eks 3: \vec{B} i Trondheim



Trondheim mars 2023 (World Magnetic Model)

$B = |\vec{B}| = 51.97 \mu\text{T}$; $dB/dt = 33.5 \text{ nT/år}$

$B_{\perp} = 50.13 \mu\text{T}$, $B_{\parallel} = 13.70 \mu\text{T}$,

$B_N = 13.63 \mu\text{T}$, $B_{\text{Ø}} = (-) 1.39 \mu\text{T}$

