

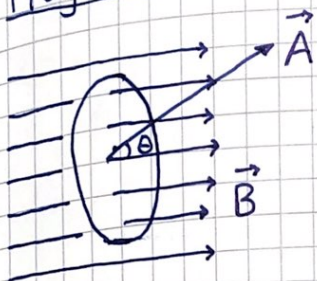
Elektrodynamikk

[OS2 13-15]

(84)

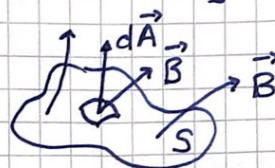
Magnetisk fluks

[OS2 13.1]



$\Phi = \vec{B} \cdot \vec{A} = B \cdot A \cdot \cos \theta =$ magnetisk fluks gjennom flate med areal A og vinkel θ mellom $\vec{B}$ og $\vec{A}$

Generelt: $\Phi = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{A}$

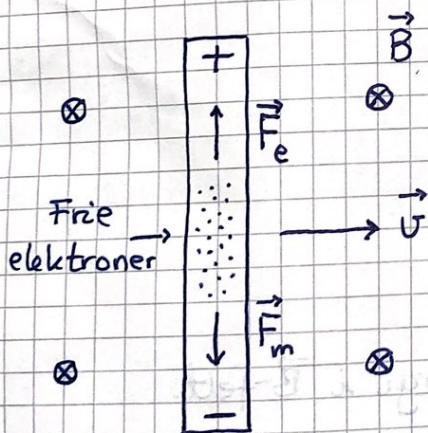


Enhet: $[\Phi] = T \cdot m^2 = Wb$ (weber)

Faradays induksjonslov

[OS2 13.1]

La oss se på en leder med lengde l som trekkes med fart $\vec{v}$ gjennom et uniformt magnetfelt $\vec{B}$:

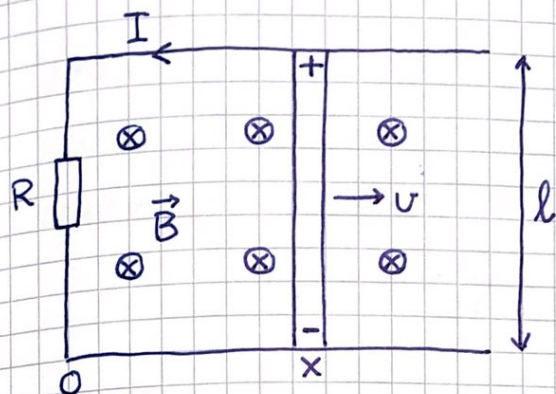


$\vec{F}_m = -e\vec{v} \times \vec{B}$ på frie elektroner i lederen $\Rightarrow$ netto negativ ladning nederst og netto positiv ladning øverst. Da er det induisert et elektrisk felt $\vec{E}$ i lederen, og en tilhørende induisert elektromotorisk spenning $\Delta V = E \cdot l$ over lederen.

I likevekt er $F_e = F_m \Rightarrow e \cdot E = evB \Rightarrow E = vB$

$$\Rightarrow \Delta V = vBl$$

Denne spenningen kan nå drive en strøm i en lukket krets.



$$\Delta V = vBl = \frac{dx}{dt} Bl$$

$$= \frac{d}{dt} (xBl) = \frac{d}{dt} (B \cdot A)$$

$$= \frac{d}{dt} (\vec{B} \cdot \vec{A}) = \frac{d\Phi}{dt}$$

Faradays induksjonslov:

$$\Delta V = - \frac{d\Phi}{dt}$$

Endringen i omsluttet magn. fluks pr tidsenhet tilsvarer induert spenning i lukket sløyfe.

Lenz' lov [OS2 13.2]

Indusert strøm I skaper felt $\vec{B}_I$ og omsluttet fluks $\Phi_I = \int \vec{B}_I \cdot d\vec{A}$ som motvirker påtvinget fluksendring $\Delta\Phi$.

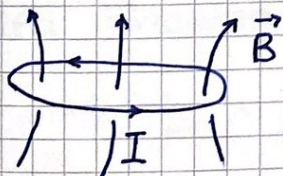
Eks: I figuren ovenfor påtvinges en fluksøkning inn i planet. Da går strømmen I mot klokka slik at tilhørende omsluttet fluks Φ_I er positiv ut av planet.

Induktans og induksjon [OS2 14.1, 14.2]

Selvinduktans: Biot-Savarts lov $\Rightarrow \vec{B}$ prop. med I

$\Rightarrow$ Omsluttet fluks Φ prop. med I

$\Rightarrow$ Vi kan skrive: $\Phi = L \cdot I$



L = systemets (selv-)induktans

$[L] = \text{Wb/A} = \text{H (henry)}$

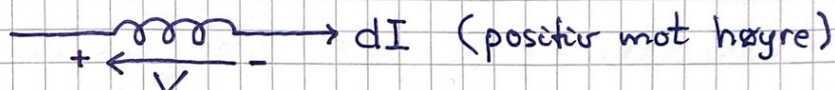
Selvinduksjon: Hvis I endrer seg med tiden, endres Φ også med tiden. Da induseres det en spenning i systemet/sløyfa/kretselementet,

$$V = - \frac{d\Phi}{dt} = -L \frac{dI}{dt}$$

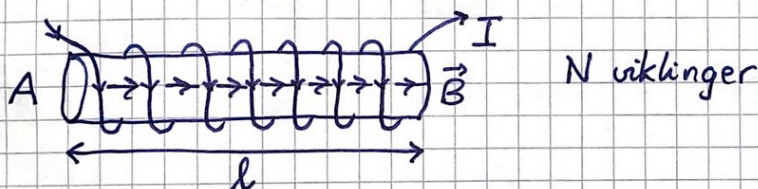
Induktans (typisk en spole) som kretselement:



Retningen (fortegnet) på induert spenning V er slik at strømindringen motvirkes (Lenz' lov):



Eks: Ideell spole



$$B = \mu_0 n I = \mu_0 (N/l) I$$

$$\Phi = NBA = (\mu_0 N^2 A / l) \cdot I$$

$$\Rightarrow L = \Phi / I = \mu_0 N^2 A / l$$

Med ferromagnetisk kjerne: $\mu_0 \rightarrow \mu = \mu_r \mu_0$

$$\Rightarrow L = \mu_r \mu_0 N^2 A / l$$

TFY4125 21/5 -24

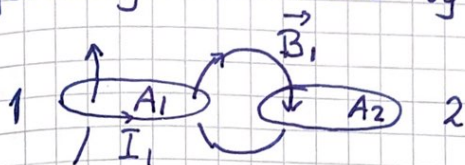
(35) $N = 3200$, $I = 65 \text{ mA}$, $\mu_r = 1350$. I_m pr vikling? $I_m \approx \mu_r I_0 = \underline{88 \text{ A}}$
(se s. 83)

(36) $l = 20 \text{ cm}$, $A = 4.0 \text{ cm}^2$. $L = ?$

$$L = \mu_r \mu_0 N^2 A / l = \underline{35 \text{ H}}$$

Gjensidig induktans og induksjon:

(87)



I_1 skaper felt $\vec{B}_1$, og dermed fluks Φ_2 omsluttet av sløyfe 2.
Og omvendt!

Siden $\vec{B}_1$ er prop. med I_1 , blir Φ_2 også prop. med I_1 :

$$\Phi_2 = M_{21} I_1$$

Og omvendt, med strøm I_2 i sløyfe 2: $\Phi_1 = M_{12} I_2$

Det følger av Biot-Savarts lov at $M_{12} = M_{21} = M$ som er sløyfenes gjensidige induktans.

Enhet: $[M] = [L] = H$ (henry)

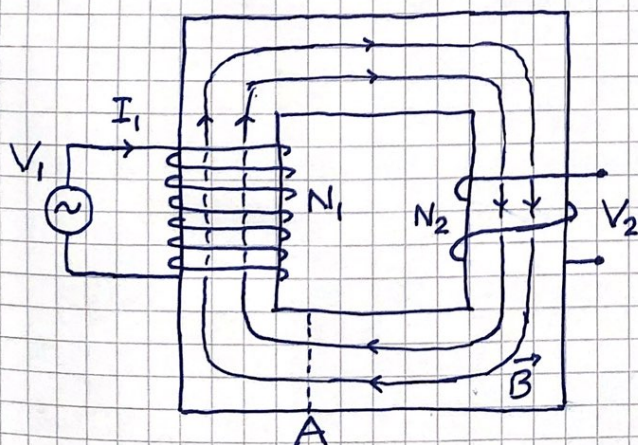
Gjensidig induksjon: Hvis I_1 varierer med tiden t , blir Φ_2 også tidsavhengig. Da induseres en spenning i sløyfe 2:

$$V_2 = -d\Phi_2/dt = -M dI_1/dt$$

Og omvendt:

$$V_1 = -d\Phi_1/dt = -M dI_2/dt$$

Eks: Transformator



$I_1(t)$ skaper $\vec{B}(t)$ inni den ferromagnetiske "ringformede" kjernen.

$$\Phi_1(t) = N_1 B(t) A$$

$$\Phi_2(t) = N_2 B(t) A$$

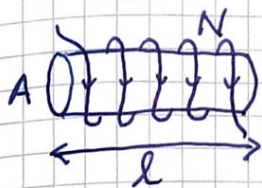
$$V_1(t) = \dot{\Phi}_1 = N_1 A \dot{B}$$

$$V_2(t) = \dot{\Phi}_2 = N_2 A \dot{B}$$

$\Rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1}$; amplituden på $V_1(t)$ kan transformeres ned ($N_2 < N_1$) eller opp ($N_2 > N_1$)

Energi i $\vec{B}$ -felt [os2 14.3]

(88)



Å øke strømmen i en spole fra $i=0$ til $i=I$ krever at det gjøres et arbeid, for å overvinne den induserte motspenningen $v = L \cdot di/dt$.

$$dU = P \cdot dt = v \cdot i \cdot dt = L \cdot (di/dt) \cdot i \cdot dt = L \cdot i \cdot di$$

er tilført energi når strømmen økes fra i til $i+di$

$$\Rightarrow U = \int_0^I L i di = \frac{1}{2} L I^2 = \text{total tilført energi}$$

Antar ideell spole: $L = N^2 \mu_0 A / l$; $I = \frac{B}{\mu_0 N / l}$

$$\Rightarrow U = \frac{1}{2} \cdot \frac{N^2 \mu_0 A}{l} \cdot \frac{B^2 l^2}{\mu_0^2 N^2} = \frac{1}{2 \mu_0} B^2 \cdot (A \cdot l)$$

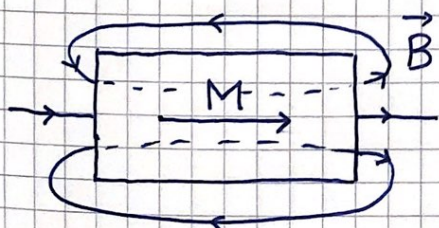
Her er $A \cdot l$ volumet inni spolen, der $B \neq 0$. ($B=0$ utenfor)

Dermed: $u_B = \frac{B^2}{2 \mu_0} = \text{energi pr volumenhet i } \vec{B}\text{-felt}$

Med både $\vec{E}$ og $\vec{B}$ i et område, f.eks. EM-bølge:

$$u = u_E + u_B = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 + \frac{1}{2 \mu_0} B^2 = \text{energi pr volumenhet i et elektromagnetisk felt}$$

Permanentmagnet vs umagnetisk ferromagnet:



$B=0$

Større magn. feltenergi for permanentmagneten, men lavere vekselvirkningsenergi pga samtlige parallelle $\vec{m}$.
 $\Rightarrow$ "Konkurransen" mellom de to energibidragene.