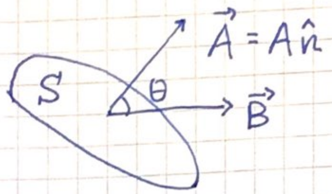
Elektrodynamikk [OS2 13–15; YF 29–31; LHL 24, 25, 27]

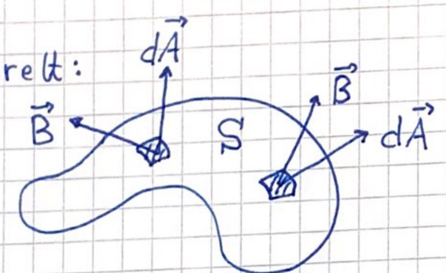
Magnetisk fluks [OS2 13.1; YF 27.3; LHL 23.7]



Fluks gjennom flaten S:

$$\phi = \vec{B}\cdot\vec{A} = B\cdot A\cdot\cos\theta$$

Generelt:

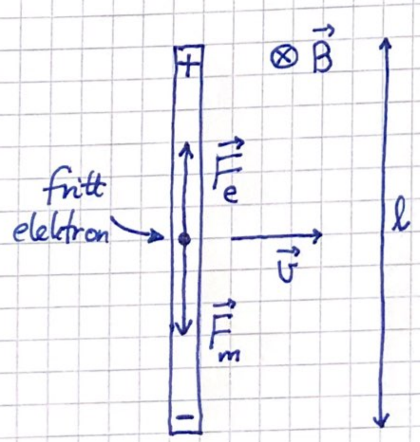


$$\phi = \int_S d\phi = \int_S \vec{B}\cdot d\vec{A}$$

$$[\phi] = T\cdot m^2 = Wb \quad \text{(weber)}$$

Faradays induksjonslov [OS2 13.1; YF 29.1–4; LHL 24.1]

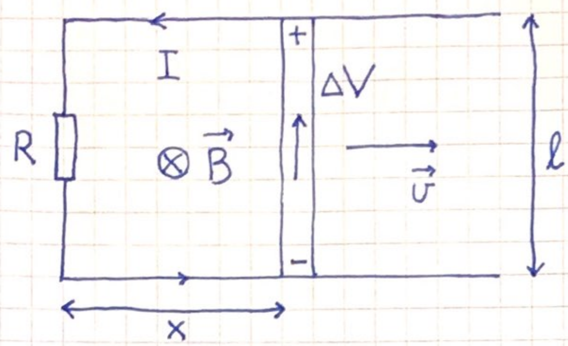
En leder med lengde ℓ trekkes med fart $\vec{v}$ gjennom et uniformt magnetfelt $\vec{B}$, med $\vec{v} \perp \vec{B}$:



- $\vec{F}_m = -e\,\vec{v}\times\vec{B}$ gir overskudd av elektroner nederst, og underskudd øverst.
- Får et indusert elektrisk felt $\vec{E}$ i lederen, rettet nedover, og dermed en <u>indusert spenning</u> $\Delta V = E\cdot\ell$ i lederen.

- Dynamisk likevekt når $\vec{F}_m + \vec{F}_e = 0 \Rightarrow eE = evB \Rightarrow \Delta V = vB\ell$

Når lederen kobles til en motstand R :



$$I = \frac{\Delta V}{R} = \frac{vB\ell}{R}$$

$$\underline{\Delta V} = vB\ell = \frac{dx}{dt}\cdot B\cdot \ell = \frac{d}{dt}(B\ell x)$$

$$= \frac{d}{dt}(B\cdot A) = \frac{d}{dt}(\vec{B}\cdot\vec{A}) = \underline{\frac{d\phi}{dt}} \qquad (\Rightarrow [\phi] = V\cdot s)$$

Faradays induksjonslov: Indusert spenning i ei sløyfe er lik endringen i omsluttet magn. fluks pr tidsenhet

Gjelder <u>generelt</u> : Her er det $|\vec{A}|$ som endrer seg. Får indusert spenning også hvis retningen på $\vec{A}$ eller $\vec{B}$, eller $|\vec{B}|$, varierer med tiden t.

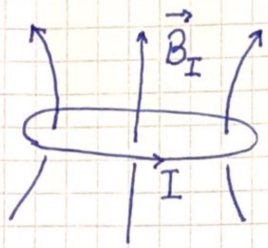
<u>Lenz' lov</u> [OS2 13.2; YF 29.3; LHL 24.1]

Indusert strøm I skaper magnetfelt $\vec{B}_I$ og fluks $\phi_I = \vec{B}_I\cdot\vec{A}$ som <u>motvirker</u> den påtvungne fluksendringen $\Delta\phi$ (som skapte spenningen ΔV).

I eksemplet over påtvinges økt omsluttet fluks <u>inn</u> i planet (arealet A øker). Da går I mot klokka, slik at tilhørende magnetfelt $\vec{B}_I$ peker <u>ut</u> av planet inni sløyfa.

Induktans og induksjon [OS2 14.1-2 ; YF 30.2 ; LHL 25.1]

Selvinduktans:



B_I er proporsjonal med I

$\Rightarrow$ omsluttet fluks $\phi = \int \vec{B}_I \cdot d\vec{A}$ er prop. med I

$\Rightarrow$ Vi kan skrive $\boxed{\phi = L \cdot I}$; L = sløyfas (selv-) induktans

$$[L] = T \cdot m^2/A \quad (= V \cdot s/A = Wb/A) \quad = \quad H \quad \text{(henry)}$$

Eks: Hva er L for en (ideell) spole med 1600 viklinger over en lengde 8 cm og omsluttet areal $4\,cm^2$, samt jernkjerne med relativ permeabilitet 20 ?

Løsning: Overalt inni en ideell spole er $B = \mu n I$, med $\mu = \mu_r \cdot \mu_0$ og $n = N/\ell$. De N viklingene omslutter da en fluks

$$\phi = NBA = N \cdot \mu_r \mu_0 \cdot \frac{N}{\ell} \cdot I \cdot A = L \cdot I$$

dvs

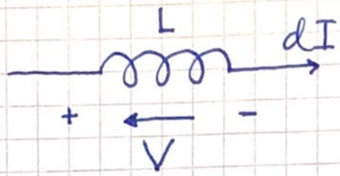
$$L = N^2 \mu_r \mu_0 A/\ell = 1600^2 \cdot 20 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 4 \cdot 10^{-4}/0.08 \ H$$

$$\approx \underline{\underline{0.32\ H}}$$

(Selv-) Induksjon: Hvis strømmen i (f.eks.) en spole endres, dvs $dI/dt \neq 0$, induseres det en motspenning i spolen,

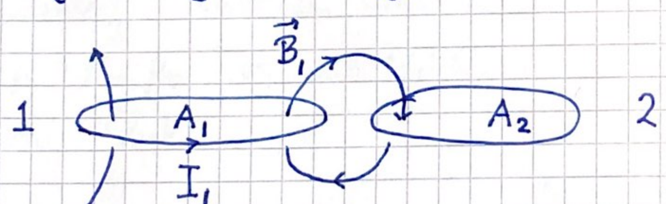
$$V = -\frac{d\phi}{dt} = -L\frac{dI}{dt}$$

med retning bestemt av Lenz' lov:



Eks: Hvis I økes lineært med tiden, med 0.5 A/s, i spolen med $L = 0.32$ H, blir indusert spenning $V = 0.32\,\text{H} \cdot 0.5\,\text{A/s} = \underline{0.16\,\text{V}}$.

Gjensidig induktans:



Strøm I_1 i sløyfe 1 gir fluks $\Phi_2 = \int_{A_2} \vec{B}_1 \cdot d\vec{A}_2$

omsluttet av sløyfe 2. B_1 er prop. med I_1 slik at Φ_2 blir prop. med I_1. Vi kan da skrive

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

Omvendt: I_2 i sløyfe 2 $\Rightarrow$ fluks $\Phi_1 = \int_{A_1} \vec{B}_2 \cdot d\vec{A}_1$

omsluttet av sløyfe 1 $\Rightarrow$ $\Phi_1 = M_{12} \cdot I_2$

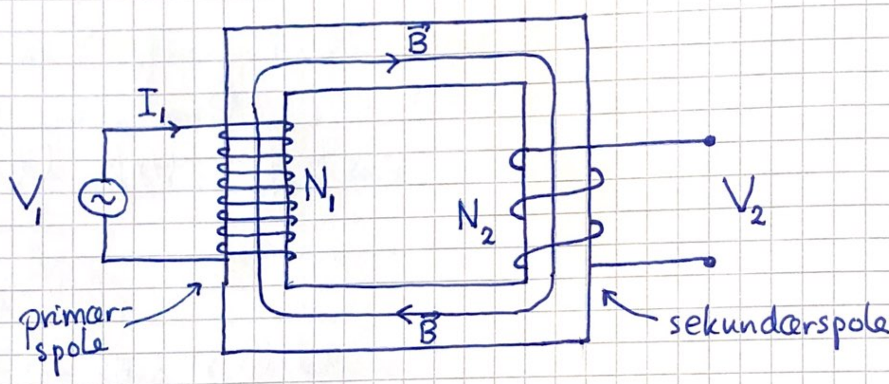
Sløyfenes gjensidige induktans: $M_{21} = M_{12} = M$; $[M] = H$

Gjensidig induksjon:

$\dot{I}_1 \neq 0 \Rightarrow V_2 = -\dot{\Phi}_2 = -M\dot{I}_1$

$\dot{I}_2 \neq 0 \Rightarrow V_1 = -\dot{\Phi}_1 = -M\dot{I}_2$

Utnyttes i en <u>transformator</u>:



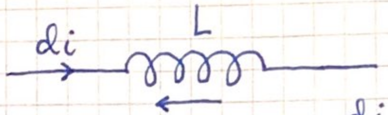
Magnetisering av jernkjernen sørger for at feltlinjene for $\vec{B}$ i hovedsak holder seg inne i jernet $\Rightarrow$ omtrent samme feltstyrke B i begge spolene. Omsluttet fluks:

$\Phi_1 = N_1 AB$, $\Phi_2 = N_2 AB$

$$\Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{\dot{\Phi}_1}{\dot{\Phi}_2} = \frac{N_1}{N_2} \Rightarrow \boxed{V_2 = \frac{N_2}{N_1} \cdot V_1}$$

Energi i $\vec{B}$-felt [OS2 14.3 ; YF 30.3 ; LHL 25.3]

Et arbeid må gjøres for å øke strømmen i en spole fra $i = 0$ til $i = I$. Tilført energi lagres i $\vec{B}$-feltet.



$$v = -L\,\frac{di}{dt}$$

Påkrevd energi for å øke strømmen fra i til $i + di$:

$$dU = P \cdot dt = -v \cdot i \cdot dt = L\,\frac{di}{dt} \cdot i\,dt = L \cdot i \cdot di$$

For økning fra $i = 0$ til $i = I$:

$$U = \int dU = \int_0^I L\,i\,di = \frac{1}{2} L I^2$$

Antar ideell spole:

$$B = \mu_0 (N/\ell) I \quad \Rightarrow \quad I^2 = \frac{B^2 \ell^2}{\mu_0^2 N^2}$$

$$L = \Phi / I = NBA / I = N \mu_0 (N/\ell) I\, A / I = \mu_0 N^2 A / \ell$$

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

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

$\Rightarrow$ $u_B = \frac{1}{2\mu_0} B^2$ = energi pr volumenhet i magnetfeltet

Fra før: $u_E = \frac{1}{2} \varepsilon_0 E^2$ = energi pr volumenhet i elektrisk felt

$\Rightarrow$ Total energitetthet i et elektromagnetisk felt:

$$\boxed{u = u_E + u_B = \frac{1}{2} \varepsilon_0 E^2 + \frac{1}{2\mu_0} B^2}$$