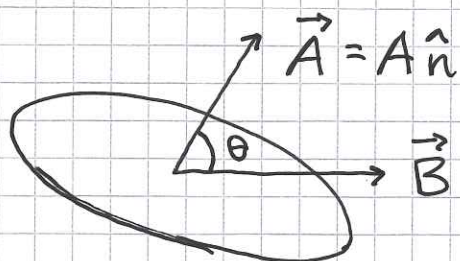


Elektrodynamikk

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

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

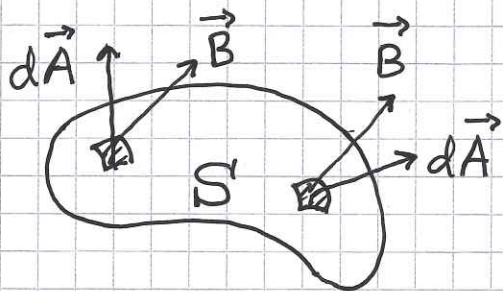


Magn. fluks gjennom flaten A er

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

når \vec{B} er uniformt og flaten er plan.

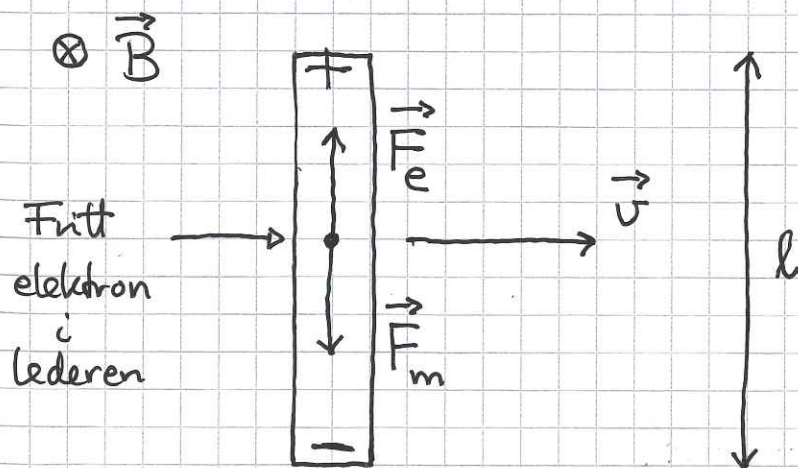
Generelt:



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

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

Trekk en leder med lengde l med fart \vec{v} gjennom et uniformt magnetfelt \vec{B} ; $\vec{v} \perp \vec{B}$:



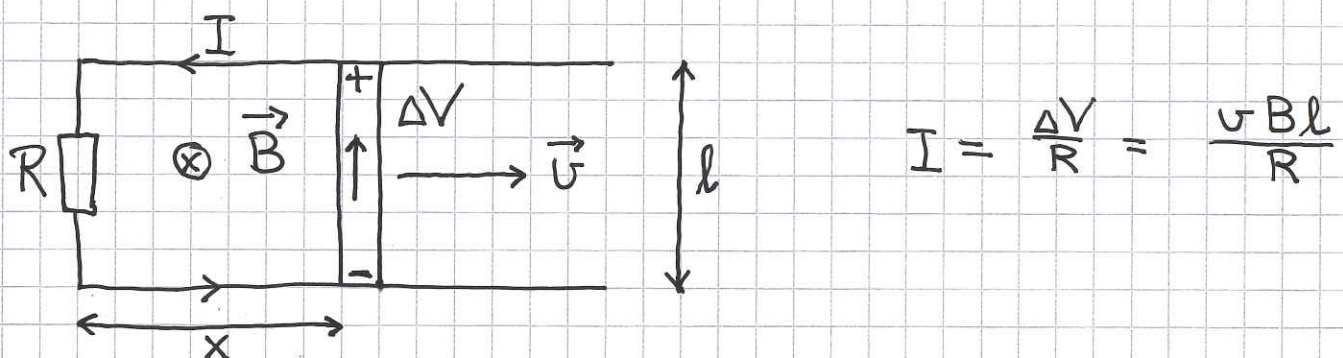
(61)

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

Dynamisk likevekt når $\vec{F}_m + \vec{F}_e = 0$

$$\Rightarrow eE = evB \Rightarrow E = vB \Rightarrow \Delta V = vBl$$

Kobler lederen til motstand R :



$$\begin{aligned} \Delta V &= vBl = \frac{dx}{dt} Bl = \frac{d}{dt} (Blx) \\ &= \frac{d}{dt} (\vec{B} \cdot \vec{A}) = \frac{d\Phi}{dt} \end{aligned}$$

som er Faradays induksjonslov:

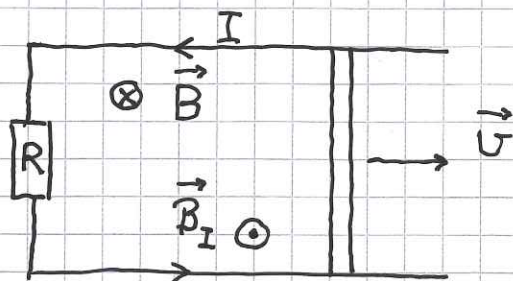
Indusert spenning i ei sløyfe er lik endringen i omskuttet magnetisk flukes pr tidsenhet.

Gjelder generelt, enten det er $|\vec{A}|$, retningen på \vec{A} , $|\vec{B}|$ eller retningen på \vec{B} som varierer med tiden t .

Lenz' lov [OS2 13.2; YF 29.3; LHL 24.1] (62)

Indusert strøm I går den veien som gir tilhørende magnetfelt \vec{B}_I og fluks $\Phi_I = \vec{B}_I \cdot \vec{A}$ som motvirker påtvunget fluksendring $\Delta\Phi$.

Ekst:



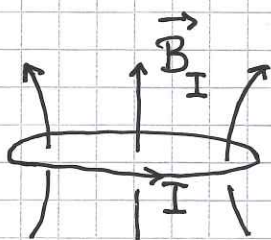
Økt omsluttet fluks inn i planet (pga økt areal)

\Rightarrow indusert I mot klokka \Rightarrow indusert omsluttet fluks

$\Phi_I = \int \vec{B}_I \cdot d\vec{A}$ ut av planet, som motvirker endringen.

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

Selvinduktans:



Siden \vec{B}_I er prop. med I , er også omsluttet fluks

$$\Phi = \int \vec{B}_I \cdot d\vec{A}$$

prop. med I :

$$\boxed{\Phi = L \cdot I}$$

L = sløyfas (selv-) induktans

$$[L] = [\Phi/I] = \text{T} \cdot \text{m}^2 / \text{A} = \text{H (henry)}$$

Eks: Bestem L for ^(ideell) spole med N viklinger på lengde l , kjerne med relativ perm. μ_r , omsluttet areal A .

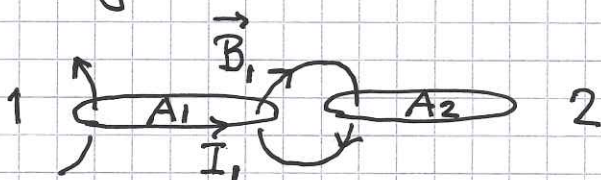
Løsn: $B = \mu n I = \mu_r \mu_0 \frac{N}{l} I$ overalt inni kjernen, og N viklinger omslutter arealet A

$$\Rightarrow \Phi = NBA = (N^2 \mu_r \mu_0 A / l) \cdot I \Rightarrow \underline{\underline{L = N^2 \mu_r \mu_0 A / l}}$$

Merk: L øker med N^2 og med μ_r

Vi ser at $[\mu] = H/m$ (Jf. $[\epsilon] = F/m$)

Gjensidig induktans:



I_1 i sløyfe 1 \Rightarrow fluks $\Phi_2 = \int_{A_2} \vec{B}_1 \cdot d\vec{A}_2$ omsluttet av sløyfe 2

Siden B_1 er prop. med I_1 , er Φ_2 prop. med I_1 :

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

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, prop. med I_2 :

$$\Phi_1 = M_{12} \cdot I_2$$

$M_{21} = M_{12} = M =$ sløyfenes gjensidige induktans

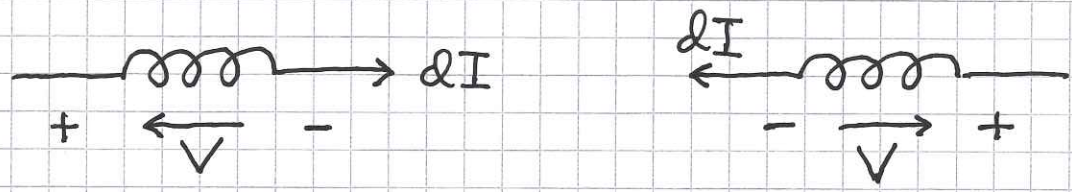
$[M] = H$ (henry)

(Selv-) Induksjon: Hvis $dI/dt \neq 0$ i (f.eks.) en spole, er også $d\phi/dt \neq 0$, dvs det enduseres en (mot-)spenning $V = -d\phi/dt = -L dI/dt$ i spolen, med retning bestemt av Lenz' lov.

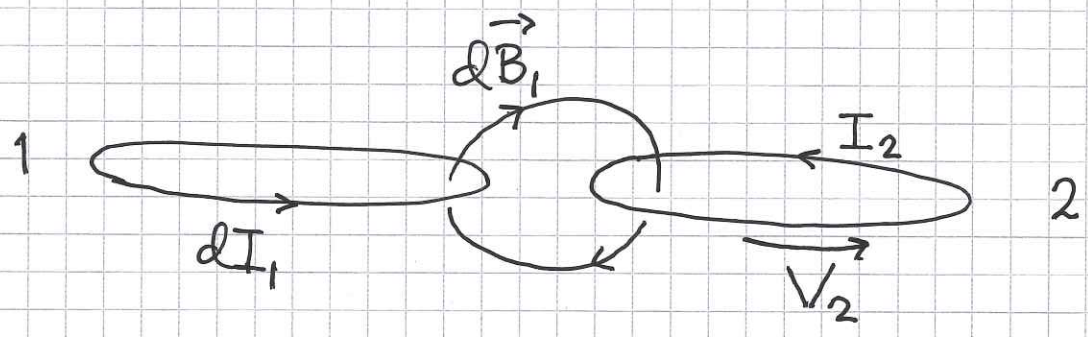
Spole som kretselement:



Retning på V :



Gjensidig induksjon:

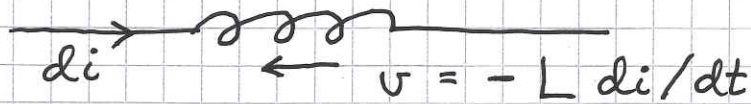


$$\dot{I}_1 \neq 0 \Rightarrow V_2 = -\dot{\phi}_2 = -M \dot{I}_1$$

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

Energi i \vec{B} -feltet [OS2 14.3; YF 30.3; LHL 25.3] (65)

Energi lagret i \vec{B} -feltet inni en spole ($B = \mu_0 n I$) tilsvarer arbeidet som må gjøres mot den induerte spenningen når strømstyrken økes fra $i = 0$ til $i = I$:



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

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

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

$$B = \mu_0 (N/l) I \Rightarrow I^2 = B^2 l^2 / \mu_0^2 N^2$$

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

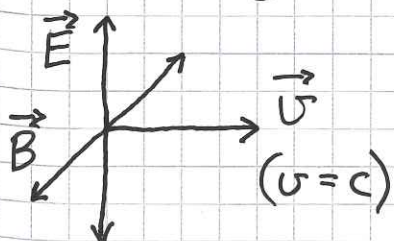
$$\Rightarrow U = \frac{1}{2} (\mu_0 N^2 A / l) (B^2 l^2 / \mu_0^2 N^2) = \frac{B^2}{2\mu_0} \cdot \underbrace{(A \cdot l)}_{\substack{\text{volumet i spolen,} \\ \text{der } B \neq 0}}$$

$$\Rightarrow u_B = B^2 / 2\mu_0 = \text{energi pr volumenet i magnetfelt}$$

\Rightarrow Energitetthet i et elektromagnetisk (EM) felt:

$$u = u_E + u_B = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 + \frac{1}{2\mu_0} B^2$$

Eks: EM-bølger (lys etc) er forplantning av \vec{E} - og \vec{B} -felt; både \vec{E} og $\vec{B} \perp$ bølgens forplantningsretning, og $\vec{E} \perp \vec{B}$.



$$B = E/c \Rightarrow u_B = \frac{E^2/c^2}{2\mu_0} = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 = u_E$$

(siden $c^2 = 1/\epsilon_0 \mu_0$)

$$\Rightarrow \underline{u} = u_E + u_B = 2u_E = \underline{\epsilon_0 E^2}$$