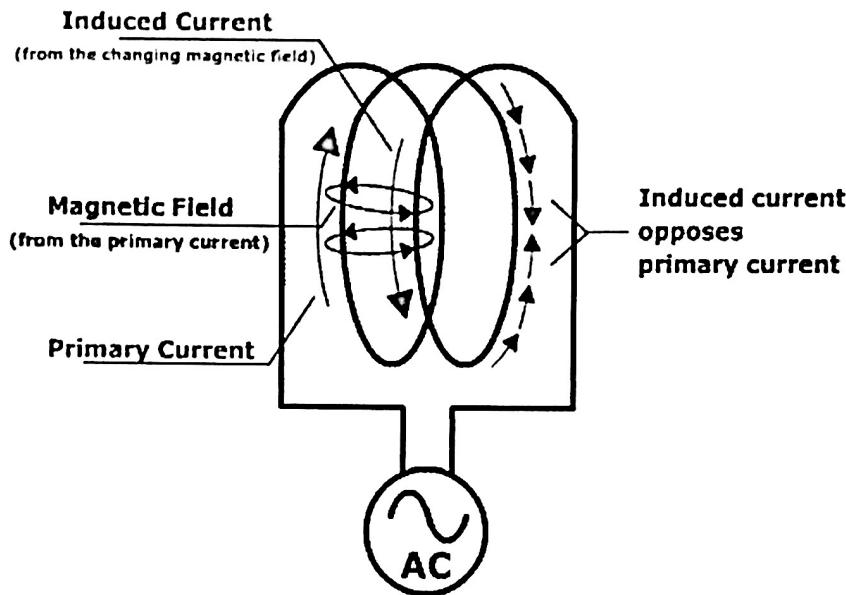


Induktanse er en spoles evne til å etablere en indusert spenning, som et resultat av forandring av strømmen. Denne spenningen blir laget for å motsette seg forandring i strøm



En spole, L, har benevnelsen Henry [H]. Størrelsen kan f.eks være  $L = 10 [\mu\text{H}]$  (mikro Henry). Størrelsen bestemmes av:

$$L = \frac{N^2 \cdot \mu \cdot A}{l} \quad \text{Her er } N \text{ antall viklinger, } A \text{ er arealet, } l \text{ er lengden og } \mu \text{ er permeabiliteten.}$$

Dette uttrykket er blitt utledet av Faradays lov, eller induksjonsloven (som den også kalles):

Når magnetfeltet forandres i en spole, induseres det en spenning i spolen. Denne spenningen er lik antall viklinger i spolen ganger med hastighetsforandringen av den magnetiske fluks.

Altså:

$$U_{\text{ind}} = \text{Emf} = -N \cdot \frac{d\phi}{dt} = -N \cdot A \cdot \frac{dB}{dt}$$

$$\text{Nå er } B = \mu \cdot \frac{N \cdot I}{l} \quad \text{Det gir } \text{Emf} = -\frac{\mu \cdot N^2 \cdot A}{l} \cdot \frac{dI}{dt} = -L \cdot \frac{dI}{dt}$$

Når strømmen I forandres seg langs tidsaksen, er det mer vanlig å bruke liten i. Minustegnet forteller polariteten på denne spenningen. Størrelsen er gitt av:  $U_L = L \frac{di}{dt}$

## Impedansen i en spole

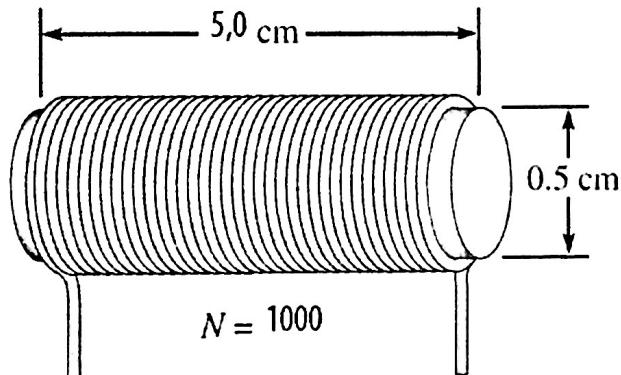
På samme måte som vi utledet impedansen i en kondensator, kan vi utlede impedansen i en spole:

Vi går ut fra at strømmen  $i(t) = a \cdot \sin(2\pi f \cdot t)$

$$u_L = L \cdot \frac{di}{dt} = L \cdot \frac{d(a \cdot \sin(2\pi f \cdot t))}{dt} = L \cdot a \cdot 2\pi f \cdot \cos(2\pi f \cdot t)$$

Da blir impedansen i spolen,  $Z_L$ :

$$Z_L = \frac{u}{i} = \frac{L \cdot a \cdot 2\pi f \cdot \cos(2\pi f \cdot t)}{a \cdot \sin(2\pi f \cdot t)} = \frac{L \cdot 2\pi f \cdot j \cdot \sin(2\pi f \cdot t)}{\sin(2\pi f \cdot t)} = j \cdot 2\pi f \cdot L$$



Størrelsen på denne spolen er gitt av:

$$L = \frac{N^2 \cdot \mu \cdot A}{l}$$

N er antall viklinger,

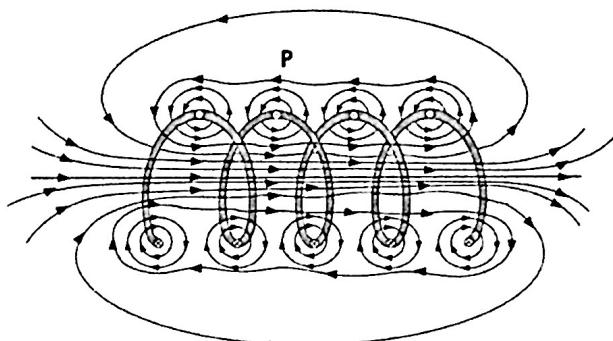
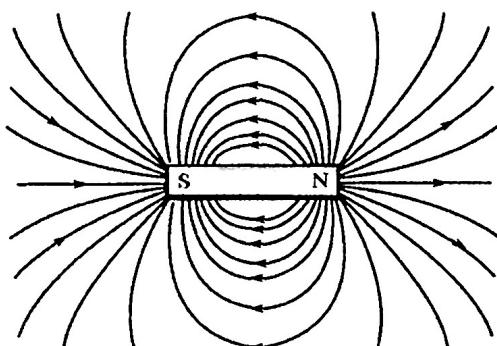
A er arealet av spolen. Arealet av en sirkel er  $\pi \cdot r^2$

L er lengden av spolen.

$\mu$  er permeabiliteten av materialet i kjernen.

Time 21 februar 2020

## Magnetisme



Det finnes to hovedtyper magneter; Stavmagnet og elektromagnet. En stavmagnet er magnetisk av natur, mens en elektromagnet blir magnetisk når det går elektrisk strøm i en ledning som er formet som en spole.

En magnet består av to poler: En nordpol (N) og en sydpol (S). Det er magnetiske feltlinjer mellom N og S. Retningen på det magnetiskefeltet rundt en magnet, er definert å gå fra N til S. Hvis to magneter settes mot hverandre, hvor N på den ene peker mot S på den andre, vil magnetfeltet gå fra N på den ene magneten, til S på den andre.

Ulike magnetiske poler tiltrekker hverandre, og like magnetiske poler frastøter hverandre.

Den magnetiske fluksen angir styrken av (hele) magnetfeltet (alle feltlinjene). Benevnelsen til den magnetiske fluksen,  $\phi$ , kalles Weber [Wb]. F.eks kan  $\phi = 10$  [Wb].

Det er mer vanlig å bruke flukstettheten. Det er styrketettheten av magnetfeltet. Benevnelsen til den magnetiske flukstettheten, B, kalles Tesla [T]. F.eks kan  $B = 10$  [nT] (nano Tesla)

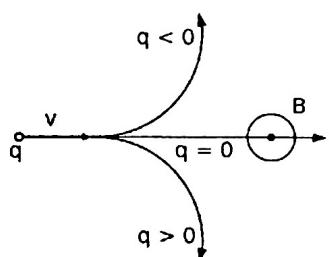
Andre benevnelser som er blitt brukt på B feltet, er gamma og Gaus [G].

1 gamma = 1 nT og 10000 G = 1 T. Dvs 0,01 G = 1 nT = 1 gamma

Det er Tesla som brukes nå.

$$B = \frac{\Phi}{A} \quad \text{Benevnelse: } T = \frac{\text{Wb}}{\text{m}^2}$$

## Lorentz kraft

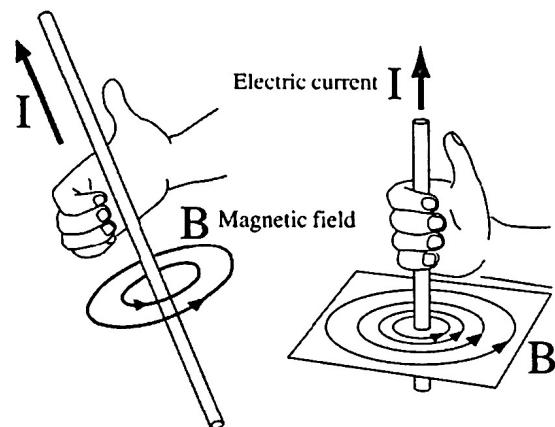


Når en ladning q beveger seg med farten v, i et magnetfelt B, vil ladningen bøyes av, slik som vist i figuren til venstre. I denne figuren er retningen på B-feltet rett opp av arket. Hvis ladningen q beveger seg fra venstre mot høyre (slik som vist i figuren), og hvis den er negativ ( $q < 0$ ), f.eks et elektron, vil den bøyes av oppover. Hvis ladningen er positiv ( $q > 0$ ) vil den bøyes av nedover. Denne kraften, F, som bøyer av bevegelsen til ladningen, kalles Lorentz kraft. Den er gitt av:

$$F = q \cdot (\vec{v} \cdot \vec{B}) + q \cdot \vec{E}$$

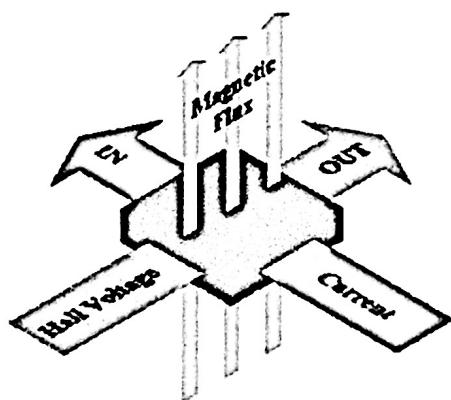
Denne Lorentz kraften,  $F$ , er summen av bidraget fra bevegelsen ( $v$ ) i et magnetfelt ( $B$ ), og eventuelt et elektrisk felt som måtte finne seg der. Vi vet jo at positiv og negativ ladning tiltrekker hverandre. Hvis det bare er et magnetfelt, så kan man se bort fra det siste ledet i uttrykket. Da er

$F = q \cdot (\vec{v} \cdot \vec{B})$  Legg merke til at både  $v$  og  $B$  er vektorer. Kraften er størst når  $v$  og  $B$  står normalt inn på hverandre.

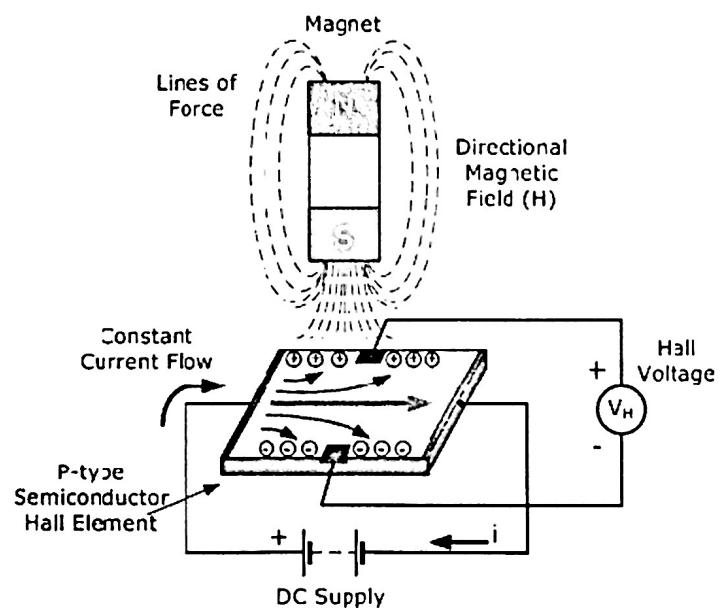


Når det går strøm i en elektrisk ledning, vil det settes opp et  $B$ -felt rundt ledningen, slik figuren til venstre viser.

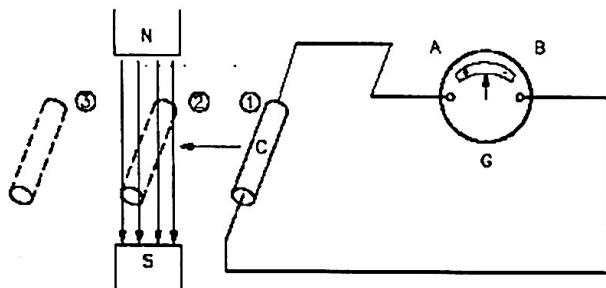
### Hall-effekt sensor



En Hall-effekt sensor kan brukes til å måle styrken på magnet-feltet  $B$ . Den baserer seg på Lorentz kraften. Når strømmen beveger seg igjennom Hall-effekt sensoren, slik som den grønne pila i figuren til venstre, og den befinner seg i et magnetisk felt ( $B$ -felt), vil ladningene (i strømmen) bøyes av. De negative ladningene bøyes av i en retning, og de positive bøyes av i den andre retningen. Da vil det bli et overskudd av negativ ladning på den ene siden, og positiv ladning på den andre siden. Jo større  $B$ -feltet er, jo større blir Lorentz kraften  $F$ , og jo mer ladning vil det bli. Mer ladning tilsvarer høyere spenning.



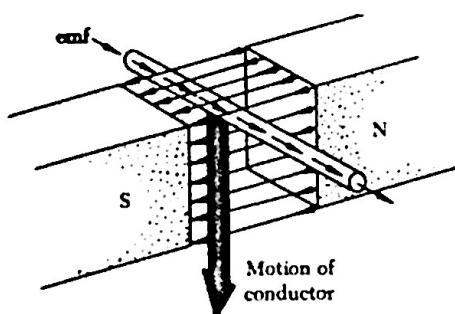
## Indusert spenning



Når en elektrisk ledning beveger seg gjennom et magnetfelt, vil det gå en strøm i ledningen, og dermed bli indusert en spenning.

Hvis retningen på ledningen, og retningen på bevegelsen er normal på magnetfeltet B, vil den induserte spenningen bli:

$$U_{\text{ind}} = B \cdot l \cdot v$$



Her er l lengden av ledningen som er i B-feltet og v er farten på ledningen.

Hvis f.eks  $B=0,5 \text{ [T]}$ ,  $l=0,10 \text{ [m]}$  og  $v=2,0 \text{ [m/s]}$ , bli

$$U_{\text{ind}} = 0,5 \cdot 0,10 \cdot 2,0 = 0,1 \text{ [V]}$$

Retningen på strømmen i ledningen er slik at den vil motvirke «fortetningen» av B-feltlinjer på ledningens ene side, pga bevegelsen.

Det at det går en elektrisk strøm i en ledning som beveger seg i et magnetfelt, er bakgrunnen for generatorer, som lager den elektriske strømmen, og spenningen vi har i alle hus.

### *Lenz lov:*

Når strømmen gjennom en spole forandres, dannes en spenning som motsetter seg forandringen i strømmen

## Elektrisk motor

Hvis man sender en strøm gjennom en ledning som er i et B-felt, vil det utøves en kraft på ledningen, slik at den beveger seg. Strømmen setter opp et B-felt rundt ledningen. Når ledningen er i et annet B-felt, vil summen av de to B-feltene gjøre at det bli mer B-felt på den ene siden av ledningen. Dette medfører at det utøves en kraft på ledningen.

## Permeabilitet

Permeabiliteten til et materiale er dets evne til å danne et magnetfelt inne i selve materialet, når det blir påvirket av et ytre magnetfelt. Permeabiliteten til et materiale angis med  $\mu$ . Den deles ofte opp i to deler,  $\mu_0$ , som angir permeabiliteten i vakuum, og  $\mu_r$  som er relativ permeabilitet. Permeabiliteten i vakuum er:

$$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \left[ \frac{\text{Wb}}{\text{At} \cdot \text{m}} \right] \quad \text{Permeabiliteten for et materiale er: } \mu = \mu_0 \cdot \mu_r$$

## Reluktans

Reluktans,  $\mathfrak{R}_m$ , eller magnetisk motstand til et materiale, sier noe om et materialets evne til å lede magnetfelt. Man kan sammenligne det med elektrisk motstand, som forteller noe om materialets evne til å lede elektrisk strøm.

$$\mathfrak{R}_m = \frac{\mathcal{L}}{\mu \cdot A} \left[ \frac{\text{At}}{\text{Wb}} \right]$$

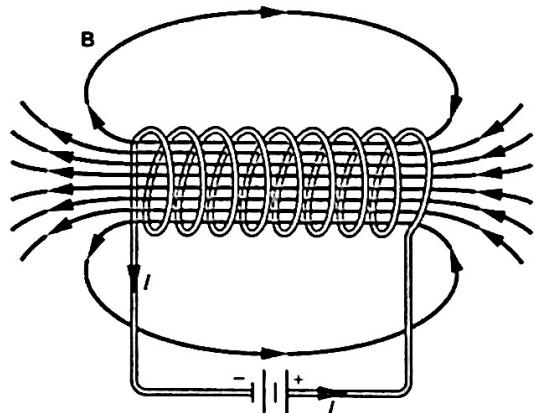
Her er  $\mathcal{L}$  lengden av materialet,  $A$  er arealet og  $\mu$  er permeabiliteten.

## Magnetomotorisk spenning

Magnetomotorisk spenning ble tidligere kalt magnetomotorisk kraft (mmf).

Når det sendes strøm i en ledning, som er formet som en spole, vil det settes opp et magnetfelt. Den totale magnetiske fluksen,  $\phi$ , er gitt av den magnetomotoriske spenningen,  $F_m$ , dividert på reluktansen:

$$\phi = \frac{F_m}{\mathfrak{R}_m} = \frac{N \cdot I}{\mathfrak{R}_m}$$



Benevnelsen for  $F_m$  er Ampeturn (At). Hvis f.eks du har en spole, med 9 viklinger, som i spolen til høyre, og du sender strømstyrken  $I = 1,0[\text{A}]$  i denne spolen, blir den magnetomotoriske spenningen  $F_m = N \cdot I = 9 \cdot 1,0 = 9,0 [\text{At}]$

## Magnetisk feltstyrke

Den magnetiske feltstyrken  $H$  er lik den magnetomotoriske spenningen  $F_m$  delt på lengden av materialet,  $l$ .

$$H = \frac{F_m}{l} = \frac{N \cdot I}{l}$$

$$B = \mu \cdot H$$

