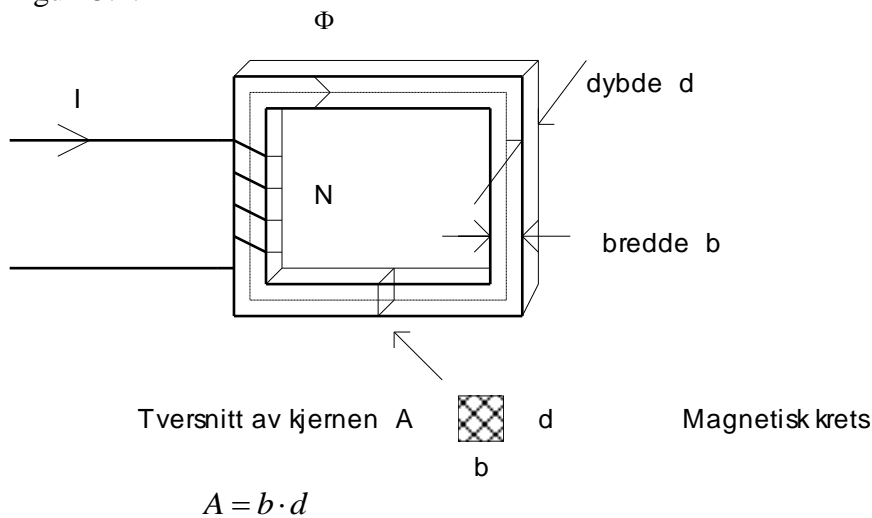


## 5.4 MAGNETISKE KRETSE

### HOPKINSONS LOV

Figuren 5.4.1 kan betraktes som en elektrisk krets. Hvor vi benytter den magnetiske kildepenningen, reluktansen og den magnetiske fluksen og sammenlikner dem med spenningen resistansen og strømmen i en elektrisk krets. Hopkinsons lov blir også kalt Ohms`lov for en magnetisk krets.

Figur 5.4.1



For å finne Hopkinsons`lov må vi benytte formelen:

$$\text{I} \quad B = \mu \cdot H = \mu \cdot \frac{I \cdot N}{l}$$

Og formelen:

$$\text{II} \quad \Phi = B \cdot A$$

Setter vi formel I inn i formel II får vi uttrykket:

$$\text{I+II} \quad \Phi = \mu \cdot \frac{I \cdot N}{l} \cdot A$$

Formel I+II kan vi ordne på formen:

$$\text{III} \quad \Phi = \frac{I \cdot N}{\frac{l}{\mu \cdot A}}$$

Formel III over kan sammenliknes med Ohm`s lov for en elektrisk krets.

$F_m = I \cdot N$  kalles magnetisk kildepenning eller ampervindingstallet (U-i elektrisk krets)

$R_m = \frac{l}{\mu \cdot A}$  kalles reluktansen (R-i elektrisk krets)

$\Phi$  fluksen (I-i elektrisk krets).

Hopkinsons lov - "ohms lov" for en magnetisk krets:

$$\Phi = \frac{F_m}{R_m}$$

5.4.1

$\Phi$  magnetisk fluks (Wb)  
 $F_m$  magnetisk kildepenning - ampervindingstall (A)  
 $R_m$  reluktans ( $H^{-1}$ )

**"Ohms lov" for en magnetisk krets:**

**Den magnetiske fluksen  $\Phi$  representerer strømmen i en magnetisk krets.**

**Ampervindingstallet  $F_m$  representerer spenningen i en magnetisk krets.**

**Reluktansen  $R_m$  representerer resistansen i en magnetisk krets.**

Reluktansen som tilsvare resistansen i en elektrisk krets:

$$R_m = \frac{l}{\mu \cdot A}$$

5.4.2

Ampervindingstallet:

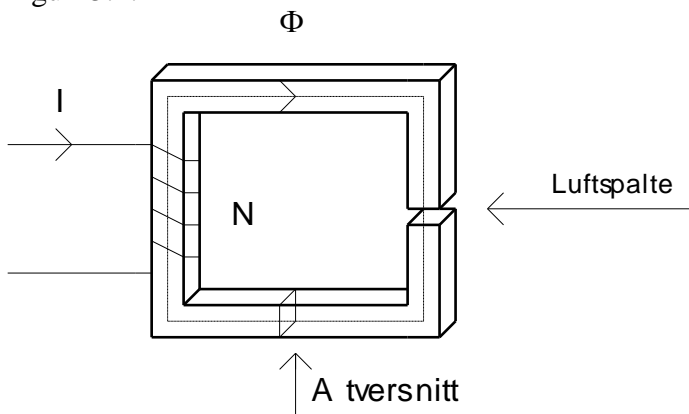
$$F_m = I \cdot N$$

5.4.3

$\mu$  permeabiliteten for kjernen (H/m)  
 $A$  arealet av kjernen ( $m^2$ )  
 $I$  strømmen i spolen (A)  
 $N$  antall vindinger

## RELUKTANSEN VED LUFTSPALTE

Figur 5.4.2



Reluktansen i kjernen (jernet):

$$R_{m_{Fe}} = \frac{l_{Fe}}{\mu_{Fe} \cdot A_{Fe}} \quad 5.4.4$$

Reluktansen i luftspalte:

$$R_{m_0} = \frac{l_0}{\mu_0 \cdot A_0} \quad 5.4.5$$

Reluktansen i kretsen:

$$R_m = R_{m_{Fe}} + R_{m_0} \quad 5.4.6$$

Ampervindingstallet:

$$F_m = I \cdot N = \Phi \cdot R_m \quad 5.4.7$$

Strømmen i viklingen:

$$I = \frac{F_m}{N} \quad 5.4.8$$

**FELTENERGIEN I ET VOLUM**

Feltenergi i et volum er den energi som blir dannet for å få et magnetfelt i f.eks et luftgap. For å finne feltenergien for et volum må vi ta utgangspunkt i den magnetiske feltenergien:

$$\text{I} \quad W = \frac{L \cdot I^2}{2}$$

Feltenergi i et volum eller feltenergi pr kubikkmeter gir oss formelen:

$$\text{II} \quad W_V = \frac{W}{V}$$

Setter vi formel I inn i formel II får vi:

$$\text{I+II} \quad W_V = \frac{\frac{L \cdot I^2}{2}}{V}$$

Bruker vi formelen for å finne selvinduktansen:

$$\text{III} \quad L = \frac{N \cdot \Phi}{I}$$

Kombinerer vi de tre formlene I, II og III får vi:

$$\text{I+II+III} \quad W_V = \frac{\frac{N \cdot \Phi}{I} \cdot I}{2 \cdot V}$$

Vi kan også benytte formelen for flukstetthet:

$$\text{IV} \quad \Phi = B \cdot A$$

Kombinerer vi de fire formlene I, II, III og IV får vi:

$$\text{I+II+III+IV} \quad W_V = \frac{N \cdot B \cdot A \cdot I}{2 \cdot V}$$

Henter vi fram en femte formel, formelen for feltstyrke får vi:

$$V \quad H \cdot l = N \cdot I$$

Kombinerer vi formlene I, II, III, IV og V får vi:

I+II+III+IV+V

$$W_V = \frac{B \cdot A \cdot H \cdot l}{2 \cdot V}$$

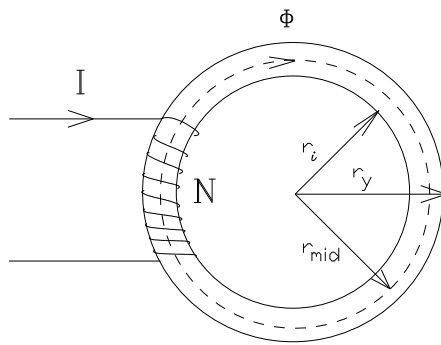
Da arealet multiplisert med midlere feltlinjeveg er lik volumet kan disse verdier forkortes bort og vi får uttrykket for magnetisk feltenergi for et volum:

$$\boxed{W_v = \frac{1}{2} \cdot B \cdot H}$$

5.4.9

$W_v$  feltenergi pr  $m^3$  ( $J/m^3$ )  
 $B$  flukstetthet (T)  
 $H$  magnetisk feltstyrke (A/m)

## Eksempel 5.4.1



En kvadratisk kjerne av bløttstål er formet som en ring med en ytre radius på 11,0 cm og en indre radius på 9,0 cm. Spolen har 500 viklinger og en strømgjennomgang på 2,765 A.

- Hva blir feltstyrken?
- Finn flukstettheten og permeabiliteten.
- Beregn magnetisk fluks.
- Hva blir reluktansen?
- Finn magnetisk kildepenning.

Løsning:

- a) Feltstyrken:

$$H = \frac{I \cdot N}{l} = \frac{2,765 \text{ A} \cdot 500}{0,628 \text{ m}} = \underline{\underline{2200 \text{ A/m}}}$$

- b) Flukstettheten og permeabiliteten fra tabell:

$$B = \underline{\underline{1,5 \text{ T}}} \quad \mu_r = \underline{\underline{542}}$$

$$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m} \cdot 542 = \underline{\underline{681,1 \cdot 10^{-6} \text{ H/m}}}$$

c) Magnetisk fluks:

$$\Phi = \frac{F_m}{R_m} = \frac{I \cdot N}{\frac{l}{\mu \cdot A}} = \frac{2,765 A \cdot 500}{\frac{0,628 m}{681,1 \cdot 10^{-6} H/m \cdot 0,02 m \cdot 0,02 m}} = 0,60 \cdot 10^{-3} Wb = \underline{\underline{0,60 mWb}}$$

d) Reluktansen:

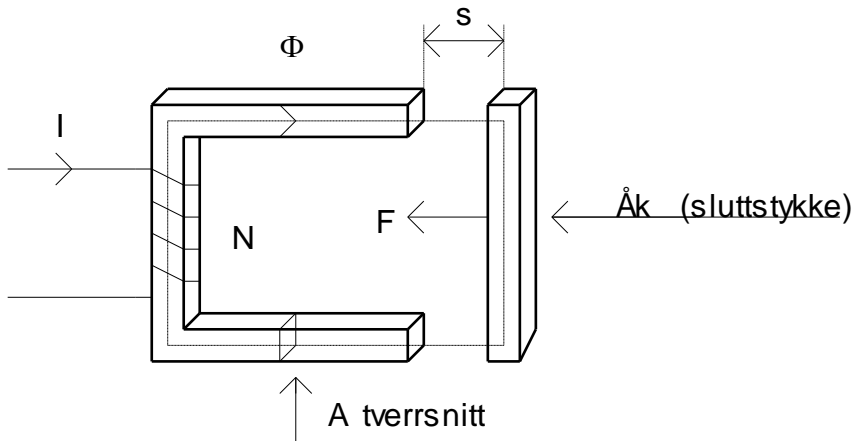
$$R_m = \frac{l}{\mu \cdot A} = \frac{0,628 m}{681,1 \cdot 10^{-6} H/m \cdot 0,02 m \cdot 0,02 m} = \underline{\underline{2,31 \cdot 10^6 H^{-1}}}$$

e) Magnetisk kildepenning:

$$F_m = I \cdot N = 2,765 A \cdot 500 = \underline{\underline{1383 A}}$$

## TREKKRAFTEN TIL MAGNETER

Hesteskomagnet:



Når det går en strøm i spolen vil det oppstå feltlinjer i hesteskoen. Feltlinjene går gjennom luftgapet og åket. Når hesteskomagneten blir en magnet vil den trekke til seg åket.

Flytter vi åket i avstanden  $s$  utføres arbeidet:

$$\text{I} \quad W = F \cdot s$$

Hvis avstanden  $s$  er liten blir spreddefeltet i luftgapet også begrenset. Volumet av de to luftgapene blir:

$$\text{II} \quad V = A \cdot s \cdot 2$$

Feltenergien til kretsen øker med luftgapet derfor multipliserer vi formel II med formel 5.4.9.

$$\text{III} \quad W_{VH} = \frac{1}{2} \cdot B \cdot H \cdot (A \cdot s \cdot 2)$$

Arbeidet med å flytte åket er lik feltenergien for hesteskomagneten  $W = W_{VH}$  dette gir:

$$\text{I+III} \quad F \cdot s = \frac{1}{2} \cdot B \cdot H \cdot A \cdot s \cdot 2$$

Når vi rydder opp i uttrykket over får vi et uttrykk for trekkraften til hesteskoen på formen:

$$\text{IV} \quad F = B \cdot H \cdot A \quad 5.4.10.A$$



For å få et enklere uttrykk kan vi kombinere formlene IV og 5.1.8:

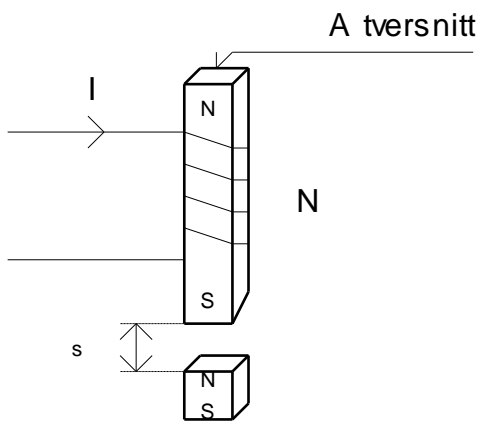
$$\mathbf{F} = \mathbf{B} \cdot \frac{\mathbf{B}}{\mu} \cdot \mathbf{A}$$

Rydder vi opp i uttrykket over får vi formelen for trekraften til en hestekomagnet:

$$F = \frac{B^2 \cdot A}{\mu_0}$$

5.4.10

Stavmagnet:



Trekraften til en stavmagnet kan utledes på formen over, men her er det bare et luftgap. Formelen for trekraften til en stavmagnet må derfor divideres på 2.

$$F = \frac{B^2 \cdot A}{2 \cdot \mu_0}$$

5.4.11

- F    trekraften til åket (N)
- B    magnetisk flukstetthet (T)
- A    arealet av luftgapet (m<sup>2</sup>)
- μ<sub>0</sub>    permeabiliteten for luftrommet mellom åket og magneten (H/m)

## Eksempel 5.4.2

En hestekomagnet med et fjærbelastet åk har en flukstetthet på 1,8 T når spolen påtrykkes en strøm. Arealet til hesteskoen og åket er kvadratisk og  $4,0 \text{ cm}^2$ . I luftgapet oppstår det et spredefelt på  $6,0 \text{ cm}^2$ . Mellom hesteskoen og åket er det luft. Hva blir trekraften til hesteskoen?

Løsning:

Hestekomagnetens trekraft:

$$F = \frac{B^2 \cdot A}{\mu_0} = \frac{(1,8\text{T})^2 \cdot 6,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}} = \underline{\underline{1547 \text{ N}}}$$