

5.1 GENERELL MAGNETISME - MAGNETFELT

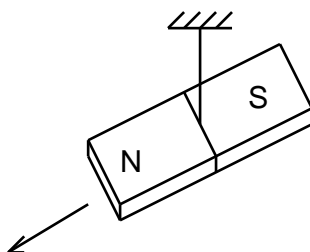
Det skilles mellom to typer magnetisme:

Permanentmagneter - av stål med konstant magnetisme.

Elektromagneter- består av en spole som må tilkoples en spenning for å bli magnetiske.

En permanentmagnet som er fritt opphengt vil alltid rette seg inn etter jordens magnetiske nordpol. Nordpol og sydpol markeres henholdsvis med en N og en S.

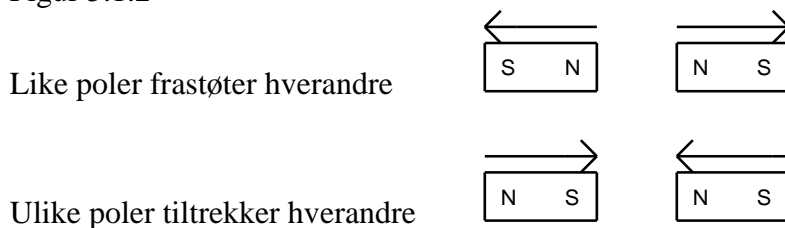
Figur 5.1.1



Retning mot
den magnetiske
Nordpolen

Ved to magneter ved siden av hverandre:

Figur 5.1.2



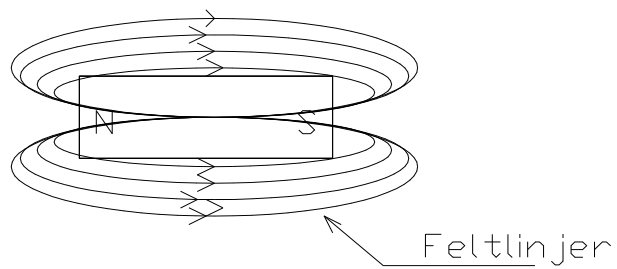
FELTLINJER

Et magnetfelt mellom nordpol og sydpol til en permanentmagnet kan illustreres ved hjelp av feltlinjer. Feltlinjene går alltid fra nordpol til sydpol.

Hvis vi har en permanentmagnet og legger en tynn isolerende plate over som vi strør jernspon på vil jernsponene rette seg inn etter nord- og sydpol. Jernsponet vil tangere feltlinjene mellom nord- og sydpol.

Feltlinjene går alltid fra nord mot sydpol.

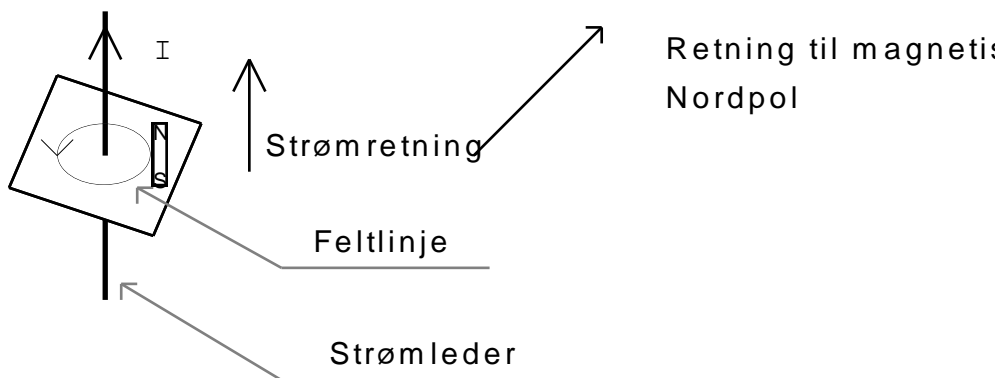
Figur 5.1.3



ELEKTRISKE LEDERE

En elektrisk leder som det går strøm gjennom vil ha feltlinjer rundt lederen. Dette kan undersøkes ved å plassere en fritt opphengt permanentmagnet ved siden av strømlederen. Permanentmagneten vil da rette seg inn etter feltlinjene rundt lederen når det går en strøm i lederen. Når strømmen brytes i lederen retter permanentmagneten seg inn etter magnetisk nordpol.

Figur 5.1.4



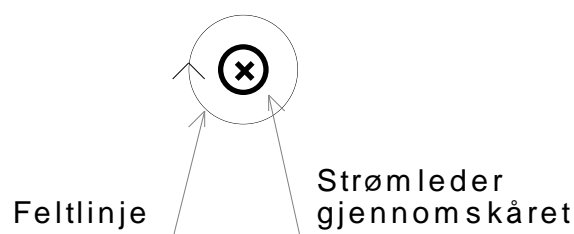
For å finne feltlinjeretningen rundt en strømførende leder kan det benyttes korketrekkerregelen.

Korketrekker reglen:

Hvis vi skrur en korketrekker innover i strømmens retning, markerer vi feltlinjeretningen med den veien vi vrir korketrekkeren.

Strømretning i en leder og feltlinjene rundt lederen markeres vanligvis på denne måten:

Figur 5.1.5



Strømmen går fra oss
(Ser bakenden av en pil)

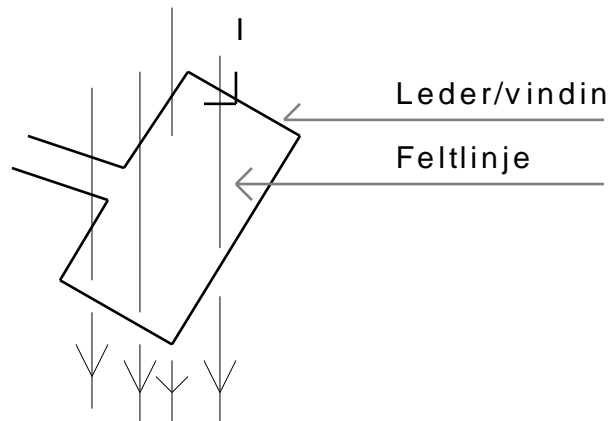
Strømmen kommer mot oss
(Ser pilsspissen komme mot oss)

MAGNETISK FLUKS

Magnetisk fluks er summen av alle feltlinjer gjennom en vikling.

Φ magnetisk fluks (Wb) (Weber) (Vs)

Figur 5.1.6



SPENNINGSSTØT

Spenningsstøt eller spenningsimpuls er lik den midlere kildepenningen ganger tiden i det en spole blir tilført spenning.

Spenningsstøt=spenningsimpuls=magnetisk fluks

$$\Phi = E_{mid} \cdot t$$

5.1.1

E midlere kildepenning (V)
 t tiden (s)

Det genereres magnetisk fluks i et lite øyeblikk etter at en vinding har blitt tilført en spenning eller like etter at den har mistet spenningen. Ved vekselspenning vil vi hele tiden ha en magnetisk fluks pga vekselfeltet.

SPENNINGSSTØTET FOR EN VINDING I EN SPOLE

Hvis formel 5.1.1 ganges med antall vindinger finner en den samlede fluksen for en spole.

$$N \cdot \Phi = E_{mid} \cdot t$$

Eller for å finne den magnetiske fluksen pr vinding i en spole, kan vi snu formelen over med hensyn på fluksen:

$$\Phi = \frac{E_{mid} \cdot t}{N}$$

5.1.2

N antall vindinger i en spole

Eksempel 5.1.1

En spole med 500 vindinger har en fluks på 0,5 mWb. Fluksen endres til null 5 ms etter at strømmen til spolen har blitt slått av.

- Finne den midlere induerte spenningen i spolen.
- Hva blir fluksendringen til spolen når den midlere induerte spenningen er 100 V og fluksen på 0,5 mWb endres til null i løpet av 5 ms etter at strømmen til spolen har blitt slått av.

Løsning:

- Midlere induerte spenning:

$$N \cdot \Phi = E_{mid} \cdot t$$

$$E_{mid} = \frac{N \cdot \Phi}{t} = \frac{500 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ Wb}}{5 \cdot 10^{-3} \text{ s}} = \underline{\underline{50,0 \text{ V}}}$$

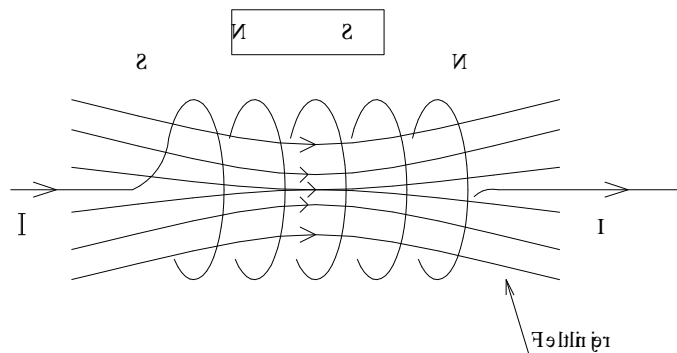
- Fluksendringen:

$$\Phi = \frac{E_{mid} \cdot t}{N} = \frac{100 \text{ V} \cdot 5 \cdot 10^{-3} \text{ s}}{500} = \underline{\underline{1,0 \cdot 10^{-3} \text{ Wb}}} = \underline{\underline{1,0 \text{ mwb}}}$$

MAGNETISK FELTSTYRKE

Magnetisk feltstyrke er kraften som virker på feltet rundt en magnet eller inne i eller ved en spole.

Figur 5.1.7



En permanentmagnet som ligger inn til en spole vil rette seg inn etter polariteten til spolen når det går en strøm gjennom spolen. Det må derfor virke en kraft fra spolen på magneten. Når strømmen brytes i spolen vil permanentmagneten rette seg inn etter magnetisk nordpol. Det virker da en kraft fra magnetisk nordpol på permanentmagneten.

$$H = \frac{F}{\Phi}$$

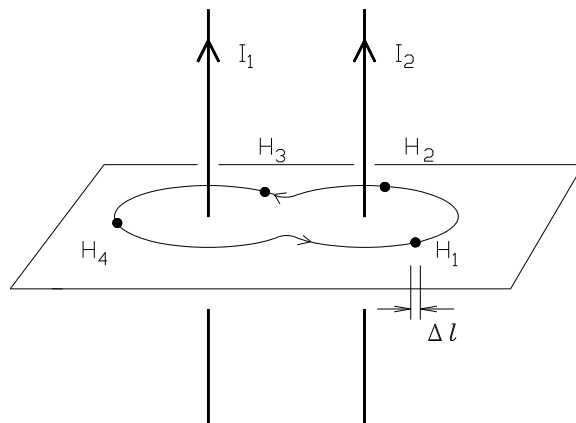
5.1.3

H	magnetisk feltstyrke (A/m)
F	kraften (N)
Φ	Magnetisk fluks (Wb)

MAXWELLS LOV

Når f.eks to strømførende ledere har samme strømrøtning vil det dannes feltlinjer rundt lederne som vist på figur 5.1.8, figur nedenfor.

Figur 5.1.8



Feltstyrken H vil i alle punkt langs feltlinjen være forskjellig, dette kalles heterogent felt. De svarte punktene representerer feltstyrken i et punkt langs feltlinjen og hvor langt det er til neste feltpunkt måling. Summerer vi alle feltstyrkene rundt lederne langs en feltlinje og alle de små avstandene H (feltstyrkene) representerer får vi summen av feltstyrkene og lengden til den aktuelle feltlinjen.

Hvis punktet hvor feltstyrken måles blir smalere er det plass til flere feltstyrkemålinger langs en feltlinje og summen av feltstyrken og feltlinjelengden blir mer nøyaktig.

Multipliseres (ganger) summen av alle de målte feltstyrkene rundt lederne og alle lengdene til målpunktene Δl får vi strømmene i lederne.

$$H_1 \cdot \Delta l_1 + H_2 \cdot \Delta l_2 + H_3 \cdot \Delta l_3 + \dots + H_N \cdot \Delta l_N = \sum (H \cdot l)$$

$$\boxed{\sum (H \cdot \Delta l) = \sum I}$$

5.1.3.A

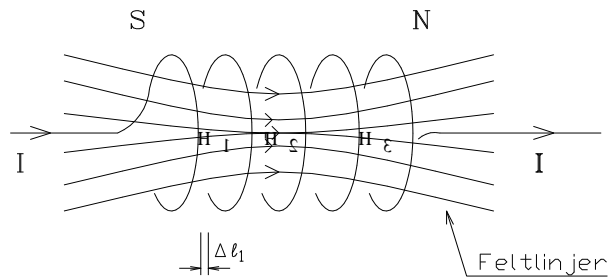
FELTSTYRKE I LUFTSPOLE

For å finne nordpol og sydpol i en spole kan det benyttes høyre håndsregelen.

Høyrehåndsregelen:

Legg høyre hånd over spolen med fingrene i strømretningen. Tommelen peker da mot nordpolen på spolen.

Figur 5.1.9



Inne i en luftspole er det et homogent felt. Feltstyrken blir derfor lik i hele luftspolen. Utenfor luftspolen blir feltstyrken liten slik at en kan se bort fra denne. En luftspole er derfor nesten homogen og kan regnes som homogen da lekkfeltet er lite.

Feltstyrken inne i en luftspole blir:

$$H = H_1 = H_2 = H_3 = \dots = H_N$$

I likhet med Maxwells lov blir summen av alle feltstyrkene multiplisert med alle lengdene av målepunktene til feltstyrkene:

$$I = \sum (H \cdot l) = H_1 \cdot \Delta l_1 + H_2 \cdot \Delta l_2 + H_3 \cdot \Delta l_3 + \dots + H_N \cdot \Delta l_N$$

eller på formen:

$$I = H \cdot l$$

For å finne feltstyrken til en spole må vi multiplisere med antall vindinger:

$$\boxed{H = \frac{I \cdot N}{l}} \quad 5.1.4$$

H	magnetisk feltstyrke (A/m)
I	strømmen i spolen (A)
N	antall vindinger
l	lengden av spolen (m)

Eksempel 5.1.2

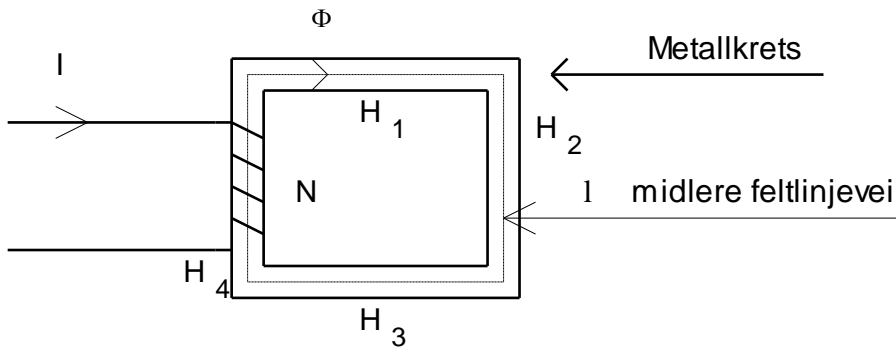
En 20 cm lang luftspole har 1000 vindinger. Finn feltstyrken i luftspolen når det går en strøm på 2,0 A gjennom spolen.

Løsning:

$$H = \frac{I \cdot N}{l} = \frac{2,0\text{A} \cdot 1000}{0,20\text{m}} = \underline{10000\text{A/m}} = \underline{\underline{10\text{kA/m}}}$$

FELTSTYRKE I SPOLE MED METALL KRETS

Figur 5.1.10



Der spolen er plassert på metallkretsen vil det oppstå et lite lekkfelt. Feltet er så lite at en vanligvis kan se bort fra lekkfeltet og regne kretsen som homogen.

Den magnetiske feltstyrken vil fordele seg likt inne i metallkretsen. Midlere feltlinjevei blir da den stiplede linjen som går midt inne i metallet.

Feltstyrken inne i en metallkrets blir:

$$H = H_1 = H_2 = H_3 = \dots = H_N$$

I likhet med Maxwells lov blir summen av alle feltstyrkene multiplisert med alle lengdene av målepunktene til feltstyrkene:

$$I = \sum (H \cdot l) = H_1 \cdot \Delta l_1 + H_2 \cdot \Delta l_2 + H_3 \cdot \Delta l_3 + \dots + H_N \cdot \Delta l_N$$

eller på formen:

$$I = H \cdot l$$

For å finne feltstyrken til en spole må vi multiplisere med antall vindinger:

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

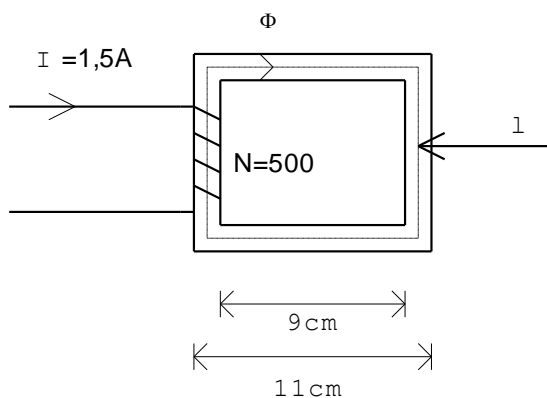
5.1.5

H	magnetisk feltstyrke (A/m)
I	strømmen i spolen (A)
N	antall vindinger
l	lengden av metall kretsen (m)

Eksempel 5.1.3

En spole med 500 vindinger er viklet rundt en magnetisk krets. Den magnetiske kretsen er kvadratisk og ytre lengde langs det ene benet er 11 cm langt og indre lengde 9 cm. Alle de fire benene er like lange. Finn feltstyrken når det går en strøm i spolen på 1,5 A

Løsning:



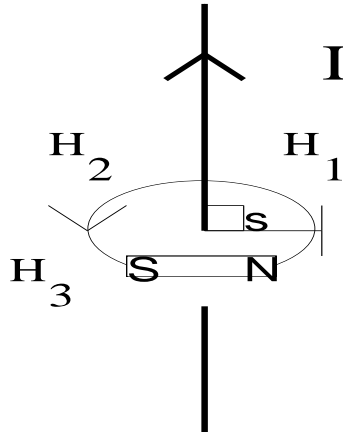
Feltstyrken:

$$H = \frac{I \cdot N}{l} = \frac{1,5A \cdot 500}{0,40m} = \underline{\underline{1875A/m}}$$

FELTSTYRKE RUNDT EN LEDER

Når det går en strøm gjennom en leder virker det en kraft rundt lederen. En permanentmagnet vil rette seg inn etter feltlinjene rundt lederen. Når strømmen brytes i lederen vil permanentmagneten rette seg inn etter magnetisk nordpol.

Figur 5.1.12



En feltlinje rundt en rett leder har lik avstand fra lederen i alle punkter. Alle punkter langs en feltlinje får derfor samme feltstyrke.

Feltstyrken rundt en rett leder:

$$H = H_1 = H_2 = H_3 = \dots = H_N$$

I likhet med Maxwells lov blir summen av alle feltstyrkene multiplisert med alle lengdene av målepunktene til feltstyrkene:

$$I = \sum (H \cdot l) = H_1 \cdot \Delta l_1 + H_2 \cdot \Delta l_2 + H_3 \cdot \Delta l_3 + \dots + H_N \cdot \Delta l_N$$

eller på formen:

$$I = H \cdot l$$

Lengden av en feltlinje er lik omkretsen av en sirkel med radiusen som avstanden fra lederen.

Sirkelomkretsen:

$$\text{II} \quad O = 2 \cdot \pi \cdot r$$

Settes formel II inn i formel I får vi formelen for feltstyrken rundt en leder:

$$\boxed{H = \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot r}} \quad 5.1.6$$

- H magnetisk feltstyrke (A/m)
 I strømmen i lederen (A)
 r avstanden fra lederen til punktet utenfor lederen hvor feltstyrken skal beregnes (m)

Eksempel 5.1.4

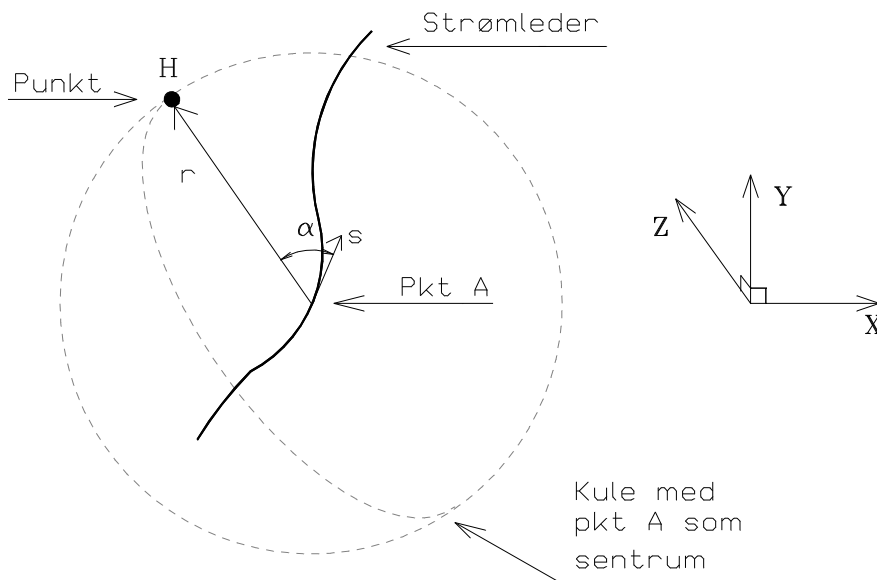
Hva blir feltstyrken 0,5 cm fra en rett leder med en strøm på 2,0 A.

Løsning:

$$H = \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot r} = \frac{2,0 \text{ A}}{2 \cdot \pi \cdot 5 \cdot 10^{-3} \text{ m}} = \underline{\underline{63,7 \text{ A/m}}}$$

BIOT-SVARTS LOV, FELTSTYRKEN VED EN IKKE RETT LEDER

Figur 5.1.13



Når en skal finne feltstyrken i et punkt ved en ikke rett leder må en konstruere en kule til det punkt på lederen som ligger 90° i f.eks **Z**-planet til det punktet hvor feltstyrken skal beregnes. Strømlederen som ikke er rett ligger hovedsakelig i **Y**-planet. Vektoren Δs tangerer lederen i punkt A og representerer en liten lengde langs strømlederen. Punkt A refererer seg til punktet hvor feltstyrken skal finnes.

Det kan benyttes formel 5.1.6 feltstyrken ved en leder som grunnlag for å finne feltstyrken ved en ikke rett leder.

Feltstyrken ved en rett leder er:

$$H = \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot r}$$

5.1.6

Når lederen ikke er rett må vi sette punktet hvor feltstyrken skal måles langs overflaten til en kule med sentrum i et punkt på den strømførende lederen. Avstanden mellom feltstyrkepunktet og punktet på lederen må ha en rett vinkel til en av aksene i det tredimensjonale planet. Vinkelen mellom de to andre aksene i det tredimensjonale planet blir vinkelen α .

Beregningsmetoden som benyttes for å finne feltstyrken ved en ikke rett leder kalles Biot-Svarts lov.

Biot-Svarts lov:

$$\Delta H = \frac{I \cdot \Delta S}{4 \cdot \pi \cdot r^2} \cdot \sin \alpha \quad 5.1.6.A$$

Dette gir oss også formelen for feltstyrken til en ladning i en bevegelse:

$$H = \frac{Q \cdot v}{4 \cdot \pi \cdot r^2} \cdot \sin \alpha \quad 5.1.6.B$$

H	magnetisk feltstyrke (A/m)
I	strømmen i lederen (A)
r	avstanden fra lederen til punktet utenfor lederen hvor feltstyrken skal beregnes (m)
s	en liten strekning langs lederen (m)
α	Vinkelen mellom radiusen og strekningen langs lederen (m)
Q	Ladning (C)
v	Ladningens hastighet (m/s)

Eksempel 5.1.5

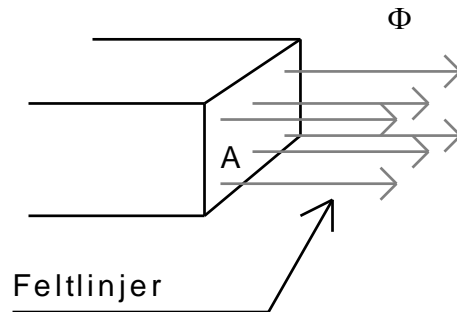
Hva blir feltstyrken i et lite punkt 0,25 cm fra en ikke rett leder med en strøm på 10,0 A. Lengden av det lille stykket langs lederen som tangerer lederen, er på 0,01 mm. Vinkelen mellom radiusen mellom punktene og den lille lengden som tangerer lederen er 75°.

Løsning:

$$H = \frac{I \cdot S}{4 \cdot \pi \cdot r^2} \cdot \sin \alpha = \frac{10A \cdot 0,01 \cdot 10^{-3} m}{4 \cdot \pi \cdot (2,5 \cdot 10^{-3} m)^2} \cdot \sin 75^\circ = \underline{\underline{1,23A / m}}$$

FLUKSTETTHET

Figur 5.1.14

*Figuren viser en gjennomskåret magnet*

Inne i f.eks en permanentmagnet vil feltlinjene fordele seg likt og det er da et homogent felt. Flukstettheten er den magnetiske fluksen pr kvadratmeter av permanentmagneten.

Definisjon av flukstettheten:

Flukstettheten er antall feltlinjer pr kvadratmeter eller magnetisk fluks pr kvadratmeter.

$$B = \frac{\Phi}{A}$$

5.1.7

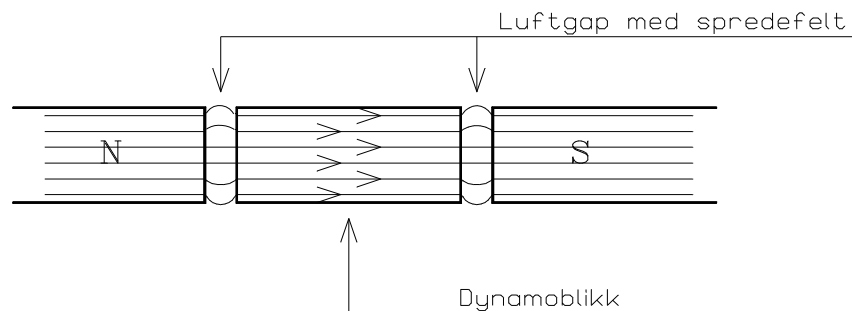
- B flukstetthet (T) (Tesla)
 Φ magnetisk fluks (Wb)
 A arealet feltlinjene krysser (m²)

PERMEABILITETEN FOR MAGNETISKE METALLER

De forskjellige magnetiske metaller leder fluksen forskjellig. Permeabiliteten er et mål på hvor godt et metall eller stoff leder. Bløttstål og dynamoblikk er stål med forskjellig silisiumsinnhold. Disse ståltypene leder fluksen bedre enn luft eller vakuum. Det er derfor viktig at luftgapet i en elektrisk motor er minst mulig.

Figur 5.1.15 viser feltlinjene fra nordpol til sydpol gjennom 2 luftspalter og en kjerne av bløttstål. Feltlinjene vil spre seg på et noe større areal i luftgapet, dette kalles spredefelt.

Figur 5.1.15



Definisjonen på permeabiliteten er:

Permeabiliteten er flukstetthet dividert på magnetisk feltstyrke.

$$\mu = \frac{B}{H}$$

5.1.8

μ	permeabiliteten (H/m)
B	flukstettheten (T)
H	magnetisk feltstyrke (A/m)

PERMEABILITETEN FOR VAKUUM

En spole med en vinding og et tverrsnitt på 1 m^2 samt en lengde 1 m i vakuum gir permeabiliteten:

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m} = 1,257 \cdot 10^{-6} \text{ H/m}$$

Permeabiliteten for vakuum er utgangspunktet for å finne permeabiliteten for andre stoff. Dessuten er permeabiliteten for vakuum tilnærmet permeabiliteten for luft.

DEN RELATIVE PERMEABILITETEN

Den relative permeabiliteten er et forholdstall mellom permeabiliteten i vakuum og permeabiliteten til det enkelte stoff. Denne permeabiliteten er kommet fram via forsøk med de enkelte legeringer.

Den relative permeabiliteten er et ubenevnt tall.

$$\mu = \mu_r \cdot \mu_0$$

5.1.9

μ	permeabiliteten (H/m)
μ_r	relativ permeabilitet
μ_0	permeabiliteten for vakuum (H/m)

Den relative permeabiliteten finnes i tabell bak i boka. Fra tabellen går det fram at den relative permeabiliteten varierer med flukstettheten og feltstyrken. Når den relative permeabiliteten varierer må også permeabiliteten variere.

SELVINDUKTANSEN

Definisjonen til selvinduktansen:

Selvinduktansen er spenningsstøt dividert med strømendring i spolen.

For å få selvinduktansen 1 H må det induseres en spenning på 1 V på et sekund med en strømgjennomgang på 1 A i spolen.

$$L = \frac{E_{mid} \cdot t}{I}$$

5.1.10

NB!

SELVINDUKTANSEN ER EN KONSTANT VERDI FOR EN SPOLE.

Selvinduktansen er en verdi som er påstemplet en spole. Det er denne verdien som benyttes for å finne ut hvor stor spole vi skal ha i en krets.

Formel 5.1.2 gir:

$$N \cdot \Phi = E_{mid} \cdot t$$

5.1.2

Kombinerer vi denne formelen med formel 5.1.10 får vi en ny formel for selvinduktansen:

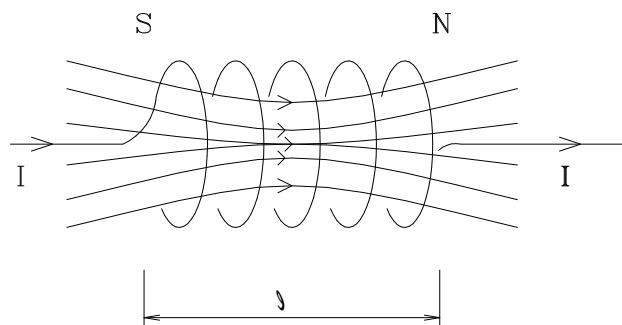
$$L = \frac{E_{mid} \cdot t}{I} = \frac{N \cdot \Phi}{I}$$

5.1.10.A

L	selvinduktansen (H) (Henry)
E_{mid}	midlere induert spenning (V)
t	tiden strømendringen er i spolen (s)
I	strømendring i spolen (A)
N	antall vindinger
Φ	fluksen (Wb)

SELVINDUKTANSEN FOR EN LUFTSPOLE

Figur 5.1.16



Formlene 5.1.10 og 5.1.10.A inneholder verdier som er vanskelig å måle eller lage en spole etter. Ved å kombinere formelene med noen andre kjente formler fra magnetismen får vi et uttrykk som er lettere å beregne selvinduktansen til en spole.

Formelen for magnetisk feltstyrke for en luftspole er:

$$\text{I} \quad H = \frac{I \cdot N}{l} \quad 5.1.4$$

Formelen for permeabiliteten er:

$$\mu = \frac{B}{H} \quad 5.1.8$$

Formel 5.1.8 med henblikk på den magnetiske flukstettheten:

$$\text{II} \quad B = \mu \cdot H$$

Kombineres formelene I og II får vi:

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

Formelen over kan kombineres med en annen formel for magnetisk flukstetthet:

$$B = \frac{\Phi}{A} \quad 5.1.7$$

Formel 5.1.7 med henblikk på den magnetiske fluksen, kombinert med formel I+II:

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

For å få venstre side av likhetstegnet lik selvinduktansen L kan vi multiplisere hele likningen med antall vindinger og dividere med strømmen.

$$\Phi = B \cdot A = \mu \cdot \frac{I \cdot N}{l} \cdot A \quad \left| \cdot \left(\frac{N}{I} \right) \right.$$

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

Venstre side i formelen over er nå lik formel 5.1.10.A. Dette gir oss de kombinerte formlene:

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

Dette gir oss en praktisk formel for å finne selvinduktansen til en luftspole:

$$\boxed{L = \frac{\mu \cdot N^2 \cdot A}{l}} \quad 5.1.11$$

- L selvinduktansen i spolen (H)
- μ permeabiliteten (H/m) - permeabiliteten for vakuum ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m)
- N antall vindinger
- A arealet av spolen (m^2)
- l lengden av spolen (m)

Eksempel 5.1.6

En luftspole med 1000 vindinger og en lengde på 20 cm har en strømgjennomgang på 2,0 A. Arealet er $4,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$.

- Finn spolens selvinduktans.
- Hva blir spolens spenningsstøt?
- Beregn spolens feltstyrke.
- Finn spolens flukstetthet.
- Hva blir spolens fluks?

Løsning:

- a) Spolens selvinduktans:

$$L = \frac{\mu_o \cdot N^2 \cdot A}{l} = \frac{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m} \cdot 1000^2 \cdot 4,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}{20 \cdot 10^{-2} \text{ m}} = \underline{2,51 \cdot 10^{-3} \text{ H}} = \underline{2,51 \text{ mH}}$$

- b) Spenningsstøtet:

$$L = \frac{E_{mid} \cdot t}{I}$$

$$E_{mid} \cdot t = I \cdot L = 2,0 \text{ A} \cdot 2,51 \cdot 10^{-3} \text{ H} = \underline{5,03 \cdot 10^{-3} \text{ Vs}} = \underline{5,03 \text{ mVs}}$$

- c) Feltstyrken:

$$H = \frac{I \cdot N}{l} = \frac{2,0 \text{ A} \cdot 1000}{20 \cdot 10^{-2} \text{ m}} = \underline{10000 \text{ A/m}} = \underline{10,0 \cdot 10^3 \text{ A/m}}$$

- d) Flukstettheten:

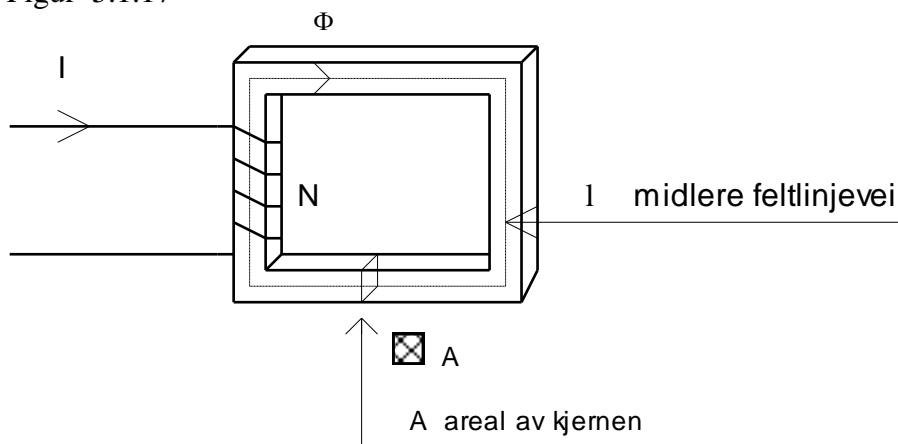
$$B = \mu \cdot H = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m} \cdot 10,0 \cdot 10^3 \text{ A/m} = \underline{12,57 \cdot 10^{-3} \text{ T}} = \underline{12,6 \text{ mT}}$$

- e) Magnetiske fluksen:

$$\Phi = B \cdot A = 12,6 \cdot 10^{-3} \cdot 4,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = \underline{5,04 \cdot 10^{-6} \text{ Wb}} = \underline{5,04 \mu\text{Wb}}$$

SELVINDUKTANSEN FOR EN SPOLE MED METALL KRETS

Figur 5.1.17



Når en spole blir viklet rundt en metallkrets av f.eks bløttstål vil feltlinjene følge bløttstålet. Feltlinjene vil fordele seg likt i metallkretsen. Ved å finne gjennomsnittet av alle feltlinjene kan denne benyttes i videre beregning av kretsen. Den feltlinjen som går midt inne i bløttstålet må bli den midlere feltlinjeveien (gjennomsnittet av alle feltlinjene).

Der hvor spolen slutter å omslutte bløttstålet vil det være et lite lekkfelt som egentlig gjør kretsen heterogen. Fordi dette feltet er så lite i forhold til feltet i bløttstålet kan vi regne kretsen som homogen.

For å finn retningen til flukstettheten må høyre håndsregelen benyttes. Høyere håndsreglen lyder:

Legg høyre hånd over spolen med fingrene i strømretningen. Tommelen peker da mot nordpol.

Feltlinjene og fluksen går alltid ut fra nordpol og mot sydpol.

Utledningen av formel 5.1.12 er lik formel 5.1.11.

$$L = \frac{\mu \cdot N^2 \cdot A}{l} \quad 5.1.12$$

L	selvinduktansen i spolen (H)
μ	permeabiliteten (H/m)
N	antall vindinger
A	arealet av metallkjernen (m^2)
l	midlere feltlinjevei i magnetkretsen (m)

Permeabiliteten for en magnetisk krets:

$$\mu = \mu_o \cdot \mu_r \quad 5.1.9$$

MAGNETISERING AV EN METALLKRETS

Permeabiliteten i en metallkrets er lik permeabiliteten for vakuum multiplisert med den relative permeabiliteten. Den relative permeabiliteten μ_r sier hvor godt en metallkrets leder magnetisk fluks.

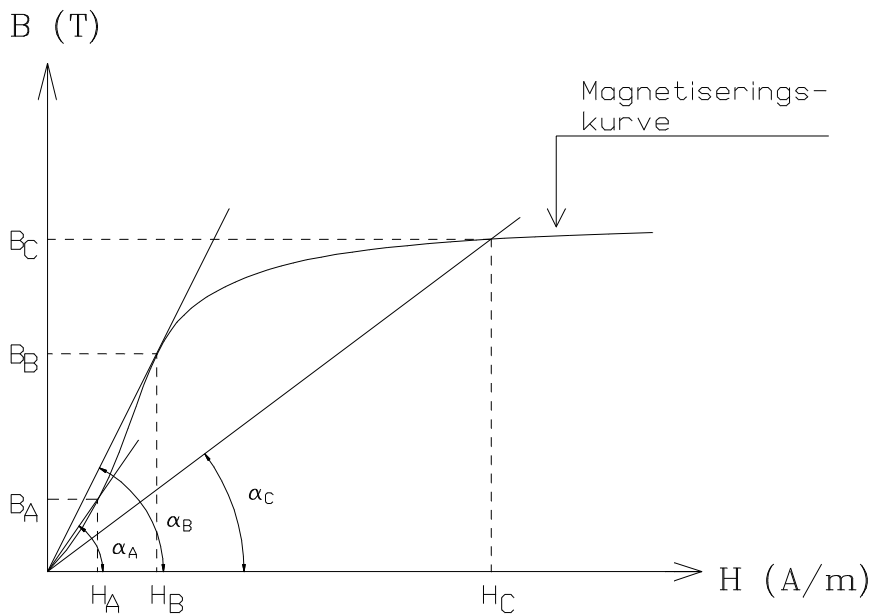
En spole med et bestemt antall vindinger rundt en metallkjerne vil ha forskjellig permeabilitet ettersom strømmen i spolen endres. Økes strømmen i spolen øker også feltstyrken, flukstettheten og fluksen samt den relative permeabiliteten og permeabiliteten. Dette kommer fram av formlene:

$$H = \frac{I \cdot N}{l} \quad 5.1.4 \quad \text{og} \quad B = \mu \cdot H \quad 5.1.8 \quad \text{samt} \quad \Phi = B \cdot A \quad 5.1.7$$

Permeabiliteten for en metallkrets vil til en viss grad øke med økende strøm. Metallkretsen vil gå i "metning" når strømmen øker mye og den relative permeabiliteten μ_r vil gå mot null. Se figur 5.1.18 og 5.1.19.

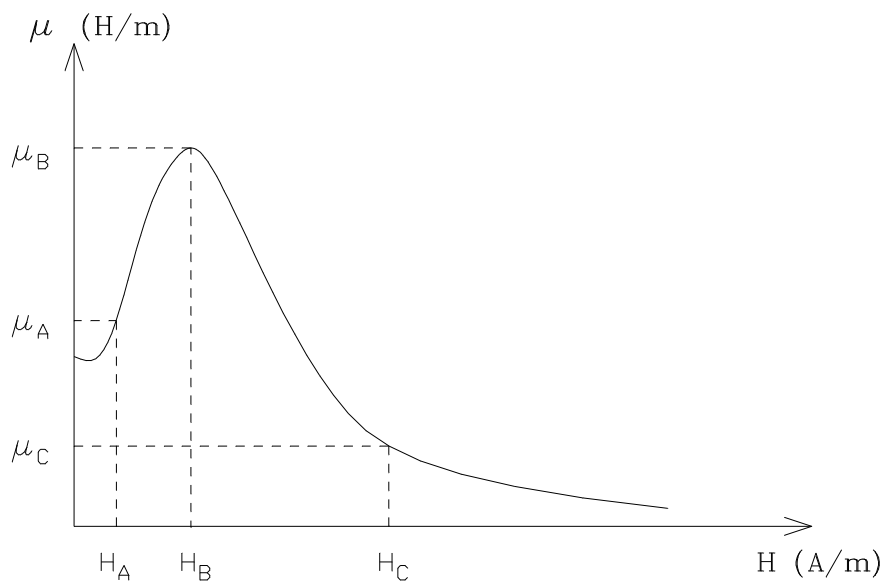
Når en metallkrets går i metning vil det si at feltstyrken \mathbf{H} øker mens flukstettheten \mathbf{B} nesten ikke øker. Se figur 5.1.18.

Figur 5.1.18



Punkt B på magnetiseringskurven er det punktet som tangerer kurven når tangeringslinjen har sitt utgangspunkt i origo. I dette punkt er permeabiliteten maksimal for en metallkrets. I pkt B er også vinkelen α maksimal. I punkt A er vinkelen mindre enn i punkt B og flukstettheten og feltstyrken liten. For punktet C er vinkelen minst og metallkretsen er i ferd med å gå i metning. Økes feltstyrken mer enn i punkt C øker ikke flukstettheten nevneverdig og permeabiliteten representert av vinkelen α minsker.

Figur 5.1.19



Forholdet mellom flukstettheten B og feltstyrken H forandrer seg i hvert punkt langs magnetiseringskurven. Forholdet kan også skrives på formelen:

$$\text{I} \quad \tan \alpha_A = \frac{B_A}{H_A}$$

Likning I er lik likning II når $\tan \alpha_A$ fra figur 5.1.18 byttes ut med μ_A fra figur 5.1.19. Dette tilfellet viser formlene i pkt A .

$$\text{II} \quad \mu_A = \frac{B_A}{H_A} \quad 5.1.8$$

STOFFENES MAGNETISKE EVNE

Alle stoffers evne til å lede magnetisme deles inn i tre gruppe. De tre gruppene er:

- A Diamagnetiske stoffer
- B Paramagnetiske stoffer
- C Ferromagnetiske stoffer

A Diamagnetiske stoffer er stoffer som har litt mindre relativ permeabilitet enn vakuum.

Dvs $\mu_r < 1$. Eksempel på disse stoffene er:

kopper og luft.

Det som kjenner tegner diamagnetiske stoffer er at elektronene roterer hver sin veg og det er like mange elektroner som roterer hver sin veg. Elektronene roterer også rundt sin egen akse, dette kalles *spinn*.

Stoffene som tilhører gruppen til diamagnetiske stoffer endrer ikke egenskap selv om de blir påvirket av et magnetisk felt. Dette kalles nøytrale stoffer eller at den magnetiske polarisasjonen er nøytral. Disse stoffene egner seg ikke til å lede magnetisk fluks.

B Paramagnetiske stoffer er stoffer som har litt større relativ permeabilitet enn vakuum.

Dvs $\mu_r > 1$. Eksempel på disse stoffer er:

aluminium og silisium.

I paramagnetiske stoffer er det noen elektroner som retter seg inn etter det magnetiske feltet de blir påvirket av. Det blir da noen flere elektroner som beveger seg den ene veien enn den andre. Disse stoffene egner seg dårlig til å lede magnetisk fluks.

C Ferromagnetiske stoffer er stoffer som har mye større relativ permeabilitet enn vakuum.

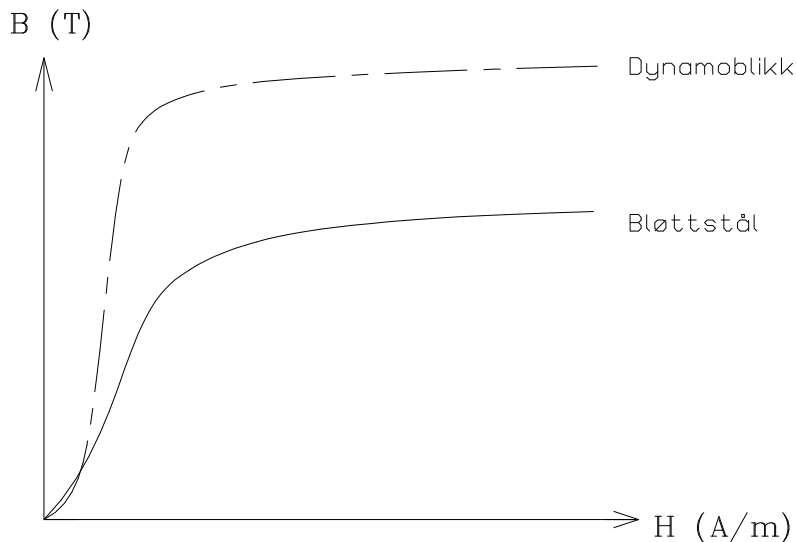
Dvs $\mu_r \gg 1$. Eksempler på disse stoffene er:

bløttstål og dynamoblikk

I ferromagnetiske stoffer er det mange elektroner som retter seg inn og roterer i samme retning når stoffet blir påvirket av et magnetisk felt. Avstanden mellom elektronene er større enn for de paramagnetiske stoffene, noe som gjør at elektronene har liten innvirkning på hverandre. Disse stoffene egner seg bra til å lede magnetisk fluks.

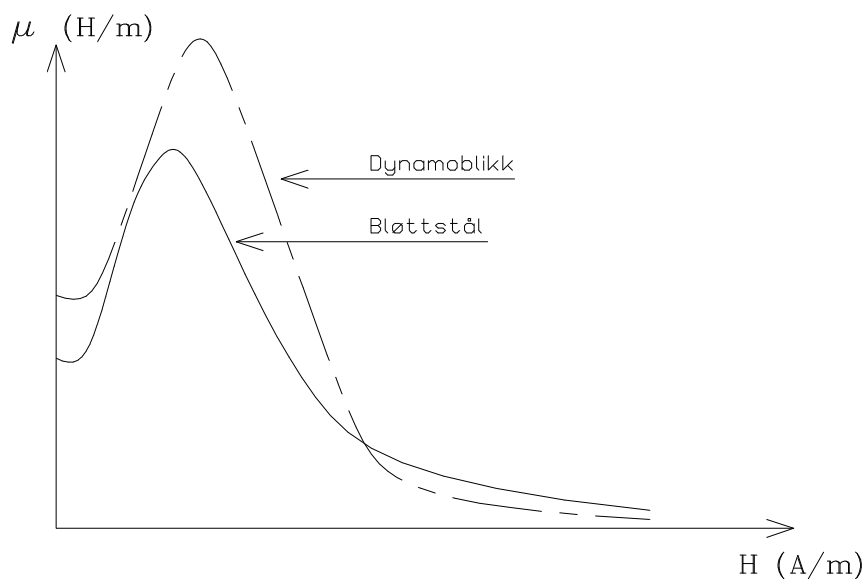
Det er de ferromagnetiske stoffene som benyttes som magnetisk krets til en spole. De forskjellige ferromagnetiske stoffene har forskjellige magnetiseringskurver, hvor noen stoffer når metning ved lavere flukstetthet B enn andre stoffer. Figur 5.1.20 viser magnetiseringskurvene for to ferromagnetiske stoffer.

Figur 5.1.20



Figur 5.1.21 viser forholdet permeabiliteten og feltstyrken for de ferromagnetiske stoffene bløttstål og dynamoblikk.

Figur 5.1.21



Verdiene for bløttstål og dynamoblikk som er vist i figurene 5.1.20 og 5.1.21 er samlet i tabell 5.1.1.

Tabell 5.1.1

		Bløttstål med 1 % silisium	Dynamoblikk med 4 % silisium	
I	II	III	IV	V
B	H	μr	H	μr
(T)	(A/m)		(A/m)	
0,4	105	3032	80	3979
0,5	125	3183	90	4421
0,6	160	2984	120	3979
0,7	190	2932	145	3842
0,8	225	2830	170	3745
0,9	270	2652	210	3411
1,0	350	2274	280	2842
1,1	480	1824	410	2135
1,2	640	1492	670	1425
1,3	880	1175	1030	1004
1,4	1270	877	1770	629
1,5	2200	542	3300	362
1,6	3770	337	6100	208
1,7	6720	201	12300	110
1,8	11400	126	16250	88,3
1,9	17900	84,4	27200	55,6
2,0	27500	57,9	48500	32,8

Det er vanlig å bruke verdiene i tabellen ved beregning av verdier i en magnetisk krets. Tegnes det en kurve lik figur 5.1.20 og 5.1.21 for det ferromagnetiske stoffet hvor det skal finnes verdier, kan en lese av figurenes verdier som ligger mellom de som er angitt i tabell 5.1.1.

Det kan også benyttes en beregningsmetode for verdier mellom de angitte i tabellen over. Denne beregningsmetode kalles interpolering og bygger på forholdsregning. Interpolering er en metode som kan benyttes på alle typer tabeller men er ikke 100 % nøyaktig da den benytter forholdsregning. Nøyaktigheten er allikevel så stor at den kan benyttes når det er så liten avstand mellom målepunktene i en tabell som for tabell 5.1.1.

INTERPOLERING

Interpolering er en beregningsmetode for å finne en ukjent verdi mellom to kjente verdier i en tabell..

Se tabell for Bløttstål og Dynamoblikk.

$$\frac{\text{UTREGNET VERDI}_A - \text{VERDI OVER}_A}{\text{VERDI OVER}_A - \text{VERDI UNDER}_A} = \frac{\text{UKJENT VERDI}_B - \text{VERDI OVER}_B}{\text{VERDI OVER}_B - \text{VERDI UNDER}_B}$$

Indeks A tilhører f.eks kolonne II i tabellen - feltstyrken H .

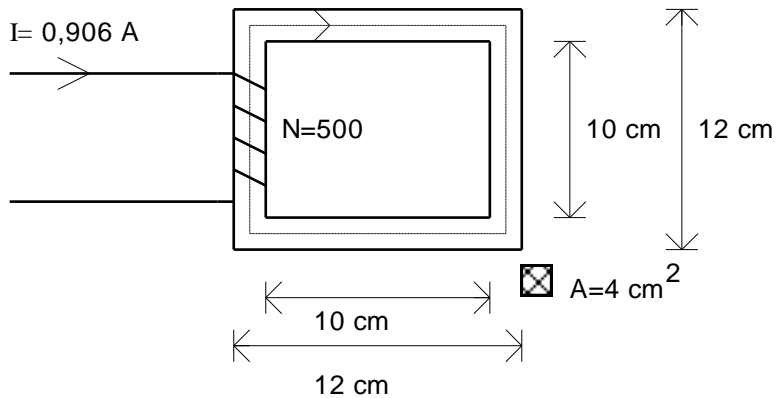
Indeks B tilhører f.eks kolonne III i tabellen - permeabiliteten μ .

NB!

Utreget verdi ligger mellom to verdier i tabellen. Verdi over er den verdien som ligger **høyere** opp i tabellen enn utregnet verdi. Verdi under er den verdi som ligger **nedenfor** utregnet verdi i tabellen.

Eksempel 5.1.7

En spole på 500 vindinger er viklet rundt en metallkrets av dynamoblikk med 4 % silisium. Strømmen som går i spolen er 0,906 A og alle bena i metallkretsen er like lange. Metallkretsens areal er kvadratisk og 4 cm^2 .



- Hva blir feltstyrken?
- Finn spolens selvinduktans.
- Hva blir flukstettheten i dynamoblikket?
- Beregn spolens feltstyrke når strømmen endres til 1,2 A.
- Finn flukstettheten i dynamoblikket når strømmen er 1,2 A. Bruk interpolering.

Løsning:

Midlere feltlinjevei i dynamoblikket:

$$l = 0,11\text{m} \cdot 4 = \underline{0,44\text{m}}$$

- Feltstyrken:

$$H = \frac{I \cdot N}{l} = \frac{0,906\text{A} \cdot 500}{0,44\text{m}} = \underline{\underline{1030\text{A/m}}}$$

- b) Fra tabell 5.1.1 i boka finnes den relative permeabiliteten for dynamoblikk ved en feltstyrke $H=1030 \text{ A/m}$.

Spolen selvinduktans:

$$L = \frac{\mu_r \cdot \mu_o \cdot N^2 \cdot A}{l} = \frac{1004 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m} \cdot 500^2 \cdot 4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}{0,44 \text{ m}} = \underline{0,287 \text{ H}} = \underline{287 \text{ mH}}$$

- c) Flukstettheten fra tabell 5.1.1:

$$B = \underline{1,3 \text{ T}}$$

- d) Ny feltstyrke ved 1,2 A i spolen:

$$H = \frac{I \cdot N}{l} = \frac{1,2 \text{ A} \cdot 500}{0,44 \text{ m}} = \underline{1364 \text{ A/m}}$$

- e) Ny flukstetthet ved strømmen 1,2 A, finnes ved hjelp av interpolering:

$$\frac{B_{\text{ukjent}} - B_{\text{over i tab}}}{B_{\text{over i tab}} - B_{\text{under i tab}}} = \frac{H_{\text{beregnet}} - H_{\text{over i tab}}}{H_{\text{over i tab}} - H_{\text{under i tab}}}$$

$$\frac{B_{\text{ukjent}} - 1,3 \text{ T}}{1,3 \text{ T} - 1,4 \text{ T}} = \frac{1364 \text{ A/m} - 1030 \text{ A/m}}{1030 \text{ A/m} - 1770 \text{ A/m}}$$

$$B_{\text{ukjent}} = \frac{(1364 - 1030) \text{ A/m} \cdot (1,3 - 1,4) \text{ T}}{(1030 - 1770) \text{ A/m}} + 1,3 \text{ T} = \underline{1,345 \text{ T}} = \underline{1,35 \text{ T}}$$