

Notat 2: Magnetiske materialer og magnetisering

Viktige begrep i forbindelse med magnetiske materialer defineres i læreboka (Young & Friedman, Ed. 11 = Y&F) i kapittel 28.8, men flere mangler. Størrelser som magnetisering \vec{M} og magnetisk feltstyrke \vec{H} bør alle som studerer elektromagnetisme kjenne til, derfor foreleses dette. Kapittel 26.1-26-5 i den norske læreboka Lillestøl, Hunderi og Lien går omtrent så langt som i forelesningene. Og labteksten til laboppgave 3 inneholder et sammendrag med mer tekst. Regneoppgaver finnes i øving 10, 11 og 12.

I følgende oppsummering merk analogien med dielektriske media (Notat 1 og 4)!

A.Mikkelsen 4. mars 2011.

Oppsummering av definisjoner og noen likninger:

\vec{M} = magnetisering, også kalt magnetisk dipoltetthet fordi den kan defineres: $\vec{M} = \frac{N\vec{\mu}}{V}$, der N er antall magnetisk dipolmoment $\vec{\mu}$ i volumet V . De magnetiske dipoler kan enten være permanente eller induserte av et "ytre" H -felt (H -feltet er definert nedenfor) Enhet: $[M] = \text{A/m}$

χ_m = magnetisk susceptibilitet. Definert ved $\vec{M} = \chi_m \vec{H}$ (\vec{M} øker proporsjonalt med magnetisk feltstyrke \vec{H} , definert nedenfor). Enhet: $[\chi_m] = 1$ (dimensjonsløs, dvs. et tall).

μ = (magnetisk) permeabilitet. Definert ved $\mu = (1 + \chi_m)\mu_0$, der μ_0 er tomromspermeabiliteten ($\chi_m = 0$ i tomrom). Enhet: $[\mu] = \text{H/m} = \text{Vs}/(\text{Am}) = \text{Tm}/\text{A}$.

μ_r = relativ permeabilitet, definert $\mu_r = \mu/\mu_0 = 1 + \chi_m$. I Y&F brukes symbol K_m . Enhet: $[\mu_r] = 1$ (dimensjonsløs).

\vec{H} = magnetisk feltstyrke (også kalt magnetisk intensitet). Dette er egentlig "rotstørrelsen" i magnetismen idet strøm i leder, i spole osv. produserer en viss H ifølge Biot-Savarts lov, som f.eks. H -feltet i avstand r fra en rett leder som fører strøm I : $H(r) = \frac{I}{2\pi r}$. Ved symmetriske strømfordelinger brukes Amperes lov isf. Biot-Savarts lov.

\vec{B} = magnetisk flukstetthet (ofte kalt det magnetiske feltet, men ikke kall det feltstyrke, som er navnet på H). I et rom med en viss feltstyrke H vil det bli en magnetisk flukstetthet avhengig av hvor mye magnetisering det er, ifølge: $\vec{B} = \mu_0 \vec{H} + \mu_0 \vec{M}$, og det er mange alternative uttrykk:

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} + \mu_0 \vec{M} = \mu_0 \vec{H} + \mu_0 \chi_m \vec{H} = \mu_0 (1 + \chi_m) \vec{H} = \mu_0 \mu_r \vec{H} = \mu \vec{H}.$$

Gauss' lov for \vec{B}

$$\text{Integralform: } \oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0 \quad \text{differensialform: } \text{div } \vec{B} = 0 \quad (1)$$

som er et uttrykk for at det ikke finnes magnetisk kilde eller sluk, dvs. ikke magnetiske monopoler. Da er alle magnetiske feltlinjer lukkede kurver. Samme lov gjelder for \vec{H} .

Amperes lov for \vec{H} i magnetostatikken

$$\text{Integralform: } \oint_{\Gamma} \vec{H} \cdot d\vec{s} = I_{\text{incl}} \quad \text{differensialform: } \text{curl } \vec{H} = \vec{J} \quad (2)$$

der I_{incl} er netto strøm gjennom flata innenfor den lukkede kurva Γ og \vec{J} er strømtettheten i et punkt. Dersom vi har tidsvarierende felt får vi fra Faradays lov et tillegg på høyre side, se Notat 4: Maxwells likninger.

Amperes lov for \vec{B} i magnetostatikken

Ved å putte inn sammenhengen $\vec{B} = \mu \vec{H}$ i Amperes lov for \vec{H} får vi Amperes lov for \vec{B} . Vi må bruke verdi for μ i det aktuelle materialet. I de aller fleste materialer kan vi bruke $\mu = \mu_0$, eneste unntaket er ferromagnetiske materialer der $\mu = \mu_r \mu_0$ har stor verdi.

Men vær forsiktig i ferromagnetiske materialer fordi sammenhengen ikke er lineær: (1) Magnetiseringen M går i metning typisk rundt $M_s = 1,5 \cdot 10^6 \text{ A/m}$ og (2) vi har hysteres, dvs. ulike forløp for B om vi er på stigende H -felt eller avtakende H -felt. I praksis betyr dette altså: $\vec{B} = \mu_r(t, H) \mu_0 \cdot \vec{H}$, der t er tida.

Permanentmagneter består av ferromagnetisk materiale med magnetisering \vec{M} selv uten "ytre" H -felt. Dvs. $\vec{B} = \mu_0 \vec{H} + \mu_0 \vec{M} = 0 + \mu_0 \vec{M}$. Men fortsatt er strømsløyfer kilden til magnetismen ved at de atomære elektronbanene danner små strømsløyfer ("bundne" strømmer) med magnetiske moment μ og totalt er $M = \frac{N\vec{\mu}}{V}$.