

Nelinearni magnetni materijali

U praksi se magnetna kola gotovo nikada ne rade od linearnih sredina! Ona se grade gotovo uvijek od feromagnetnih sredina iz prostog razloga što je za takve sredine μ_r veoma veliko (te je magnetni otpor veoma mali)!

Feromagnetici su, u magnetnom pogledu nelinearne sredine, što će reći da je $\mu \neq const$, i to je jedna vrlo složena funkcija od polja \vec{H} , tj

$$\mu = \mu(H) \quad (1)$$

Razumije se da ovo jako otežava proračun magnetnih kola, jer, da bi direktnom primjermom Kap-Hopkinsovih zakona odredili H (a time i B), moramo prethodno poznavati otpor svakog dijela magnetnog kola, a magnetni otpor ne možemo izračunati bez poznavanja permeabilnost μ . Međutim, kako je μ u funkciji od H (a H je nepoznato) proizilazi da direktna primjena Kap-Hopkinsovih zakona ne omogućava rješavanje stvarnih a to znači nelinearnih magnetnih kola (čak ni prostih, a kamoli složenih)!

U magnetnom pogledu sve supstance u prirodi se dijele u 3 klase:

- **Dijamagnetici** - to su supstance kod kojih je μ_r nešto manje od jedinice (negdje oko 0,999); tu spadaju: voda, aluminijum, itd.
- **Paramagnetici** – supstance čiji je μ_r nešto veći od jedinice, tu spada i bakar.

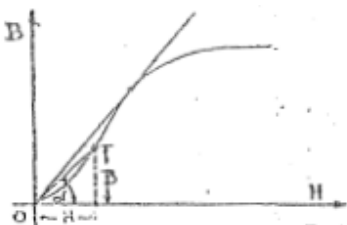
Većinu supstanci u prirodi, u magnetnom pogledu, čine dijamagnetici i paramagnetici. One se ponašaju, u magnetnom pogledu, kao i vazduh.

- **Feromagnetici** – supstance čije je $\mu_r \gg 1$; tu spadaju: gvožđe, kobalt, niki i njihove legure. U ovoj klasi μ_r može da ima vrijednost 1000, 10 000, 100 000, 1 000 000, dakle, njihov magnetni otpor $R_m \rightarrow$ vrlo malim vrijednostima.

Vratimo se ponovo na problem rješavanja nelinearnih magnetnih kola i još jedanput istaknimo da problem njihovog rješavanja potiče od nelinearnosti funkcije

$$\mu = \mu(H) \quad (2)$$

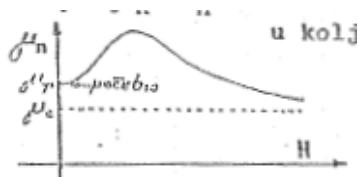
Što je svojstveno samo feromagneticima. tako, na primjer, kriva magnećenja ovih



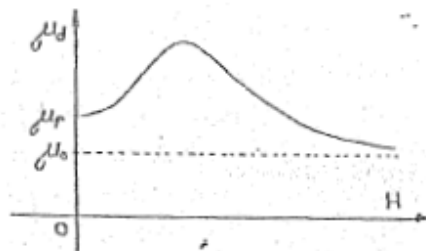
supstanci je nelinearna i izgleda kao na slici. Za tipične feromagnetike indukcija zasićenja iznosi negdje oko 2T.

Permeabilnost ovih supstanci, kao složena funkcija, može se odrediti sa krive magnećenja. Razlikujemo dvije vrste permeabilnosti: normalnu i diferencijalnu. Evo kako se one definišu:

1. $\mu = \mu_n = \frac{B}{H} = \text{tg } \alpha$. Najveće μ_n je na početku zasićenja, tj u koljenu karakteristike.



2. $\mu_d = \frac{dB}{dH}$. Najveći ugao α , te otuda i najveće μ_d je na linearnom dijelu karakteristike.



Oblik krive diferencijalne permeabilnosti sličan je obliku krive normalne permeabilnosti, samo što su im maksimumi pomjereni.

Kada ćemo koristiti jednu a kada drugu permeabilnost?

μ_n se koristi kao karakteristika kod nepromjenljivih polja;

μ_d se koristi kada imamo stalnu promjenu polja (naizmjenična)

Kao što smo na samom početku istakli, problem rješavanja nelinearnih magnetnih kola sastoji se u tome što nemamo analitički izraz za krivu magnećenja. Naime, Fizika, ni do današnjeg dana, nije uspjela da utvrdi analitički izraz za krivu magnećenja na osnovu tretiranja fizičkih procesa u feromagnetima. Jer, kada bi imali ovaj analitički izraz problem rješavanja nelinearnih kola bio bi moguć direktno analitički.

Postoji, međutim, mogućnost da se ova kriva aproksimira nekim analitičkim izrazom. U literaturi postoji dosta takvih izraza. Jedan od boljih je i takozvana Frojlih-ova kriva, koja ima ovakav izraz:

$$\left. \begin{aligned} B &= \frac{H}{a+bH}, & H > 0 \\ B &= \frac{H}{a+b|H|}, & H < 0 \end{aligned} \right\} \text{a,b – parametri krive} \quad (3)$$

Ova kriva vrši aproksimiranje na osnovu samo dva podatka i to: indukcije zasićenja B_s i početne vrijednosti μ_p diferencijalne permeabilnosti. Koeficijente a i b izračunavamo ovako:

- Kad $H \rightarrow \infty$ slijedi $B = \frac{1}{b} = B_s$, a odavde

$$b = \frac{1}{B_s} \quad (4)$$

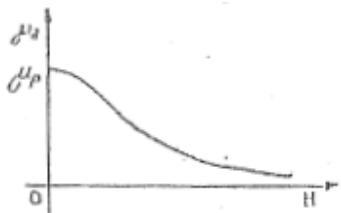
- Kad $H \rightarrow 0$ iz

$$\mu_d = \frac{dB}{dH} = \frac{a+bH-bH}{(a+bH)^2} = \frac{a}{(a+bH)^2}, \text{ slijedi} \quad (5)$$

$$\mu_d = \frac{1}{a} = \mu_p, \text{ te je} \quad (6)$$

$$a = \frac{1}{\mu_p} \quad (7)$$

Ova kriva sasvim dobro aproksimira krivu magnećenja, što se ne može reći i za permeabilnost (vidi krivu za μ_d).



U literaturi postoje i druge krive, osim Frojlihove, koje na osnovu više podataka (a ne samo dva) aproksimiraju dobro i krivu magnećenja i krivu permeabilnosti.