

Uporaba feromagnetikov in ferimagnetikov v praksi

Efektivna permeabilnost in faktor induktivnosti.

Enačbo, ki smo jo izpeljali za polje v feromagnetiku z zračno režo se v praksi pogosto zasledi v katalogih proizvajalcev feromagnetnih in feritnih jeder zapisano v smislu efektivne relativne permeabilnosti. Z dodatkom zračne reže v jedro se namreč polje zmanjša in lahko pišemo

$$B_m = \frac{\mu_0 NI}{\frac{l_m}{\mu_{rm}} + l_{zr}} = \frac{\mu_{rm} \mu_0 NI}{l_m + \mu_{rm} l_{zr}} = \frac{\mu_{rm} \mu_0 NI}{l_m \left(1 + \mu_{rm} \frac{l_{zr}}{l_m} \right)} = \frac{\mu_{r,ef} \mu_0 NI}{l_m},$$

kjer je efektivna relativna permeabilnost določena kot $\mu_{r,ef} = \frac{\mu_{rm}}{1 + \mu_{rm} \frac{l_{zr}}{l_m}}$.

Zapis z efektivno relativno permeabilnostjo je posebno pogost pri zapisu induktivnosti feromagnetnega jedra z zračno režo, kjer dobimo induktivnost kot

$$L = \frac{\Psi}{I} = \frac{N\Phi}{I} = \frac{\mu_{ref} \mu_0 N^2 A}{l_m}. \text{ Pogosto je za jedra podan t.i. faktor induktivnosti } A_L, \text{ ki je}$$

določen kot $A_L = \frac{L}{N^2}$. To popolnoma poenostavi izračun potrebne induktivnosti, saj jo dobimo kar z množenjem faktorja induktivnosti s kvadratom števila ovojev.



RM cores
(Fig. 2, Fig. 3, Fig. 4)

	Dimensions							A _L [nH]			Fig
	a	c	d2	d3	2h1	2h2	2h3	15G	45G	35G	
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	+30/-20%	+30/-20%	+30/-20%	
RM 4 P	10,4-11,0	9,4-9,8	7,95-8,35	3,7-3,9	10,3-10,5	7,0-7,4	8,75-9,25	1000	1100	1100	2
RM 5 P	14,0-14,6	11,8-12,3	10,2-10,6	4,7-4,9	10,3-10,5	6,3-6,7	8,75-9,25	1800	2000	2000	2

SLIKA: Izsek prospekta podjetja Iskra FERITI (skupina Kolektor), ki kaže primere uporabe feritnih jeder, ki jih izdeluje podjetje. Prospekti so na voljo na spletnih straneh podjetja, žal le v angleškem jeziku: www.iskra-feriti.si. Na sliki je prikazan primer RM jedra z izmerami in pomembnim podatkom A_L, iz katerega določimo potrebno induktivnost z množenjem s kvadratom ovojev.

Application survey

APPLICATION	PROPERTIES	MATERIALS	AVAILABLE SHAPES
Common mode chokes	Very high μ , low losses	19G, 22G, 22GN 12G, 32G, 45G	toroids, U, E
Filter inductors	High Q, high temperature & time stability	10G, 16G, 26G	RM, pot
Power inductors	low power losses, high saturation	15G, 25G, 35G 45G, 55G, 75G	toroids, E, ETD, ER, U, RM, RMLPL, PQ, Eplanar
Power transformers	low power losses, high saturation	15G, 25G, 35G 45G, 55G, 75G	E, ETD, EFD, ER, RM, RMLP, pot, PQ, toroids, Eplanar
xDSL transformers	Very high μ , low THD	12G	EP, EPX, RM, ER, pot
Wideband transformers	Very high μ	19G, 22G, 12G, 32G	RM, pot, E, EFD, ETD, EP, toroids
Proximity switches	High Q and high temperature stability	10G, 16G, 19G	pot, custom design shapes
Radiofrequency transformers	low losses, high frequency range	2E, 1F, 2C	toroids, double aperture cores
Inductors in resonant circuit and open filters	low losses, high frequency range	1F, 2C, 10G	rods, tubes, screws, custom design shapes

SLIKA: Aplikacije in primeri jeder, ki so predlagani za te aplikacije. Vir: Iskra Feriti.

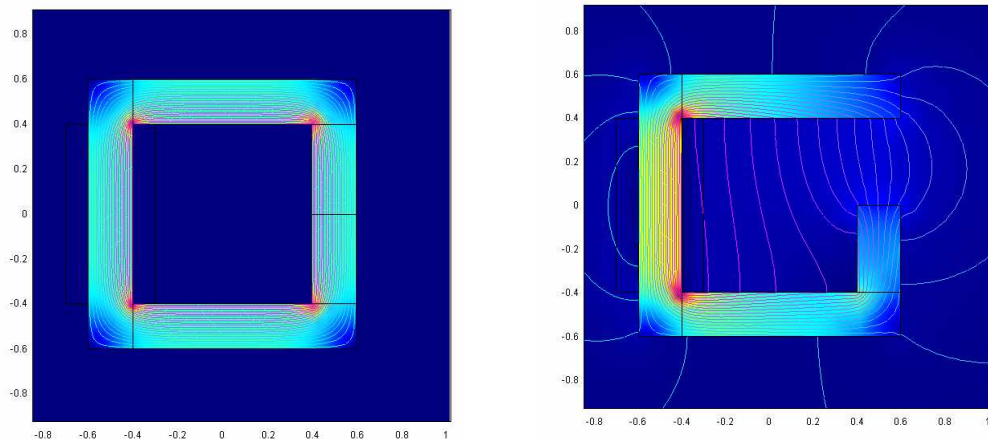
Upoštevanje stresanja fluksa v zračni reži.

V dosedanjih primerih smo predpostavili, da je polje homogeno tudi v zračni reži. To je dober približek le v primeru, ko je zračna reža ozka v primerjavi z dolžino preseka jedra. Če to ne velja, je potrebno upoštevati, da se gostotna cevka v zračni reži razširi, oziroma, da je polje stresano v okolici zračne reže. To lahko upoštevamo kot povečano (efektivno) površino preseka zračne reže ali pa kot efektivno podaljšano širino zračne reže. To podaljšanje upoštevamo s t.i. *Carterjevimi faktorjem*, ki je odvisen od širine zračne reže in dolžina preseka jedra d : $\delta_c = C \cdot \delta$:

d/δ	3 - 6	10 - 20	30 - 100
C	0,67 - 0,76	0,80 - 0,87	0,90 - 0,96

Uporaba programov za numerično simulacijo magnetnih struktur.

Pri dimenzioniranju magnetnih jeder si pogosto pomagamo tudi z numerično simulacijo. Ta je zelo primerna tudi za lažje razumevanje porazdelitve polja v feromagnetih, omogoča pa tudi izračune jeder bolj kompleksnih oblik, stresanje polja, oblike navitja, itd. En od programov, ki je brezplačen za uporabo je Maxwell SV (Student version). Naložite si ga iz interneta in ga preiskusite.



SLIKA: Prikaz numeričnega izračuna polja v jedru brez in z zračno režo. Numeričen izračun upošteva realno geometrijo jedra in s tem tudi prikaže efekt stresanje polja v zračni reži kot tudi vse druge nehomogenosti, ki so posledica geometrijskih danosti. Ugotovimo lahko, da je polje v jedru precej homogeno, v zračni reži pa se razširi po okolici. Če primerjamo še velikosti polja pri enakem vzburjanju v obeh primerih, ugotovimo precejšnje zmanjšanje polja v primeru uporabe zračne reže.

Trajni magneti.

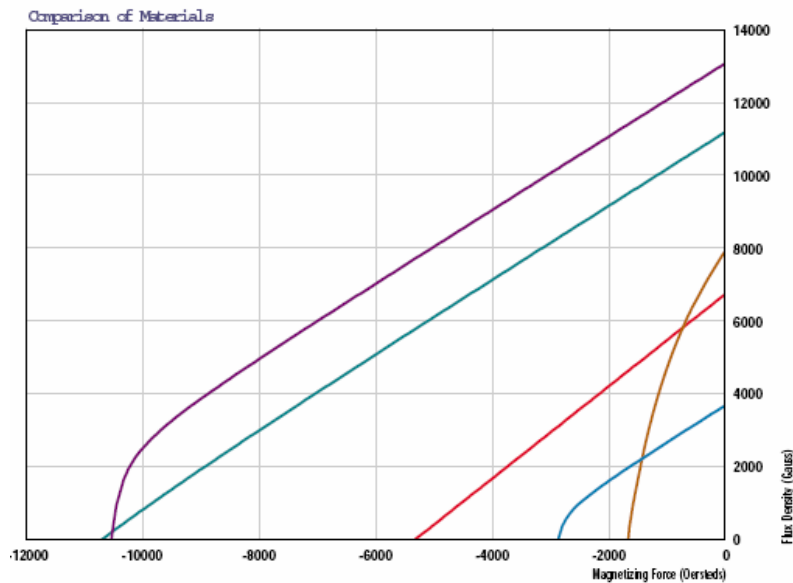
V poglavju 9 smo že ugotovili, da je delovna točka trajnih magnetov v drugem kvadrantu. Za te (trdomagnetne) materiale so torej ponavadi prikazuje le ta del histerezne zanke, ki ga imenujemo tudi demagnetilna ali razmagnetilna karakteristika. Za te materiale se podaja predvsem koercitivna jakost polja H_c in remanenčna gostota pretoka B_r , pogosto pa tudi maksimalni produkt B_j in H_j , ki predstavlja največjo možno gostoto energije magnetna. Spodnja slika kaže tipične razmagnetilne krivulje za materiale Neodij-železo-bor (NeFeB), Samarij-kobalt (SmCo), Aluminij-nikelj-kobalt (AlNiCo). Tipično je tudi, da pogosto proizvajalci vztrajajo pri uporabi starih enot (Oerstead za jakost polja (namesto A/m) in Gauss za gostoto magnetnega pretoka (namesto T)), kar je pač potrebno vedeti in upoštevati pretvorbo.

V Sloveniji je med večjimi proizvajalci predvsem podjetje Magneti Ljubljana d.d. (nekoč Iskra Magneti), med prodajalci magnetov in aplikacij pa tudi podjetje Magsis.



Characteristic	Designation	Unit	Typical	Minimum
Remanence	B_r	T	0,800	0,700
Coercivity	H_{cB}	kA/m	64	56

Material	Maximum Operating Temperature	Maximum Magnetic Energy	Relative Cost	Resistance to Demagnetization
NdFeB	150°C	48 MGOe	High	High
SmCo	300°C	32 MGOe	Very High	Very High
NeoForm™ Bonded NdFeB	150°C	10 MGOe	High	High
Alnico	550°C	7.5 MGOe	Moderate	Low
Ceramic Ferrite	300°C	4 MGOe	Very Low	Moderate



SLIKA: Primer grafa iz prospekta podjetja Dexter, ki prikazuje demagnetizacijske krivulje najpogosteje uporabljenih materialov za trajne magnete. Opazimo lahko tudi vztrajanje proizvajalcev pri starih (nedovoljenih) enotah za gostoto magnetnega pretoka in magnetno poljsko jakost, kar pa običajno podajo v dodatni preglednici, glej naslednjo sliko. Pogosto odločitev o uporabi določenega materiala za trajni magnet ne temelji na kakovosti magneta pač pa na ceni: izberemo tak material, ki še zadovoljuje naše potrebe in je cenen.

	CGS unit	SI unit	Conversion Factors
Permeability of Free Space	Unity	$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{WbA}^{-1}\text{m}^{-1}$	
Induction in Free Space (Field)	B gauss (G)	B_0 Tesla (T)	1G = 10^{-4} T
Magnetic Field Strength	H Oersted (Oe)	H (Am^{-1})	1Oe = 79.58Am^{-1}
Induction in Free Space	$B = H$	$B_0 = \mu_0 H$	1G = 10^{-4} T
Induction in Medium	$B = H + 4\pi M$	$B = B_0 + \mu_0 M = \mu_0 (H + M)$	1G = 10^{-4} T
Magnetization per Unit Volume	$M (\text{erg Oe}^{-1}\text{cm}^3) (\text{emu cm}^3)$	$M (\text{kJT}^{-1}\text{m}^{-3})$	1emu $\text{cm}^3 = 1\text{kJT}^{-1}\text{m}^3$
Maximum Energy Product	$(BH)_{\text{max}} (\text{MGOe})$	$(BH)_{\text{max}} (\text{kJm}^{-3})$	1MGOe = 7.958kJm^{-3}

SLIKA: Preglednica, ki se uporablja za pretvorbo med starimi (žal še vedno v praksi uporabljanimi) CGS enotami in mednarodno sprejetim sistemom SI enot (iz kataloga podjetja Dexter: www.dextermag.com).

Eksperimenti:

S pomočjo magnetov si je mogoče zamisliti mnogo najrazličnejših eksperimentov. Poglejte si spletno stran <http://www.coolmagnetman.com/magindex.htm>. Npr: lebdeči vlak ali izstrelitvena ploščad. Na isti strani so opisani tudi eksperimenti z elektromagneti in pa eksperimenti, ki razlagajo oz. uporabljajo princip elektromagnetne indukcije. Privoščite si kakšnega!



Poleg omenjene strani, lahko raziščete bogato morje drugih spletnih naslovov, ki opisujejo to področje in so zbrani na strani <http://www.coolmagnetman.com/maglinks.htm>

Poleg te bi veljalo pregledati še povezave na strani <http://www.magnet.fsu.edu/education/tutorials/webresources.html>