MAGNETNA VEZJA (10)

Ponovitev:

Spoznali smo obliko Amperovega zakona izraženo z jakostjo magnetnega polja H: $\oint_L \vec{H} \cdot d\vec{l} = NI$.

Ugotovili smo, da je ta oblika zapisa posebno primerna za obravnavo polja v snoveh z izraženimi magnetnimi lastnostmi (npr. feromagnetiki). Zveza med gostoto magnetnega pretoka in jakostjo polja pa je $\vec{B} = \mu_0 \left(\vec{H} + \vec{M} \right) = \mu_r \mu_0 H = \mu \vec{H}$. Gostota magnetnega pretoka se ob uporabi feromagnetika izrazito poveča, kar s pridom izkoristimo v vrsto namenov. Tuljave tako pogosto navijemo okoli feromagnetnih jeder. Za analizo takih sestavov nam služi ravno Amperov zakon, ki pa ga moramo nekoliko poenostaviti. Namesto v integralni obliki ga zapišemo kot vsoto posameznih padcev magnetne napetosti. Tako dobimo obliko

$$\sum_{i=1}^{N} H_i \cdot l_i = \Theta . \tag{10.1}$$

Desna stran enačbe predstavlja tokovno vzbujanje (lahko je več takih vzbujanj), leva stran enačbe pa so padci magnetne napetosti na posameznih odsekih po zaključeni magnetni poti. Pri tem smo morali narediti določeno poenostavitev in sicer, da je po preseku jedra polje homogeno in da računamo razdalje l_i po srednji dolžini gostotnice (po sredini jedra).

Poleg zgornjega zapisa, ki spominja na Kirchofov zakon o vsoti napetosti po zaključeni poti, potrebujemo še povezavo med gostotami pretoka v sosednjih odsekih poti. To zvezo dobimo iz zakona o brezizvornosti magnetnega polja (), ki ga zopet zapišemo v diskretni obliki

$$\sum_{i=1}^{N} \Phi_i = 0 , \tag{10.2}$$

kjer je *N* število odcepov.

Magnetna upornost. Že doslej smo govorili o magnetni napetosti, o viru magnetne napetosti Θ in o padcih magnetne napetosti *H l*. Ali lahko govorimo tudi o »magnetnem toku« in »magnetni upornosti«? Lahko, le enačbo $\sum_{i=1}^{N} H_i \cdot l_i = \Theta$ bomo v ta namen nekoliko preoblikovali. Ker smo predpostavili homogenost polja v preseku jedra, lahko za fluks pišemo

$$\Phi = B \cdot A = \mu H \cdot A \tag{10.3}$$

in nadomestimo H s fluksom:

$$\boxed{\sum_{i=1}^{N} \Phi_i \cdot \frac{l_i}{\mu_i A_i} = \Theta} \tag{10.4}$$

V enačbi (10.4) prepoznamo podobnost električni upornosti ravnega vodnika, ki smo jo zapisali v obliki $R_e = \frac{l}{\gamma A}$, kjer je γ specifična električna prevodnost snovi. Očitno lahko analogno izrazimo magnetno upornost kot

$$\boxed{R_m = \frac{l}{\mu A}}, \tag{10.5}$$

kjer je μ permeabilnost, lahko bi rekli tudi specifična magnetna prevodnost. Večja kot je permeabilnost, bolj je material "magnetno prevoden". Enota magnetne upornosti seveda ni Ohm, pač pa $\left[\frac{\mathrm{m}}{\frac{\mathrm{Vs}}{\mathrm{Am}}\cdot \mathrm{m}^2}\right] = \left[\frac{\mathrm{A}}{\mathrm{Vs}}\right] = \left[\frac{1}{\Omega \mathrm{s}}\right]$.

Enačba (10.4) bo torej z upoštevanjem magnetne upornosti enaka

$$\boxed{\sum_{i=1}^{N} \Phi_i \cdot R_{m_i} = \Theta}. \tag{10.6}$$

Primerjalno z Ohmovim zakonom in Kirchofovimi zakoni za električno vezje, lahko tvorimo t.i. magnetna vezja, kjer fluks zamenja vlogo toka, vlogo virov prevzame magnetna napetost z amperskimi ovoji, namesto električne pa nastopa magnetna upornost. Tako lahko obravnavamo poljubno magnetno vezje, kjer pa je potrebno upoštevati, da mora biti relativna permeabilnost konstantna. Omejeni smo torej na tiste primere, kjer je magnetilna krivulja podana v obliki premice.

Primer 3: Določimo polje v jedru magneta iz naloge 2 še z uporabo magnetnega upora.

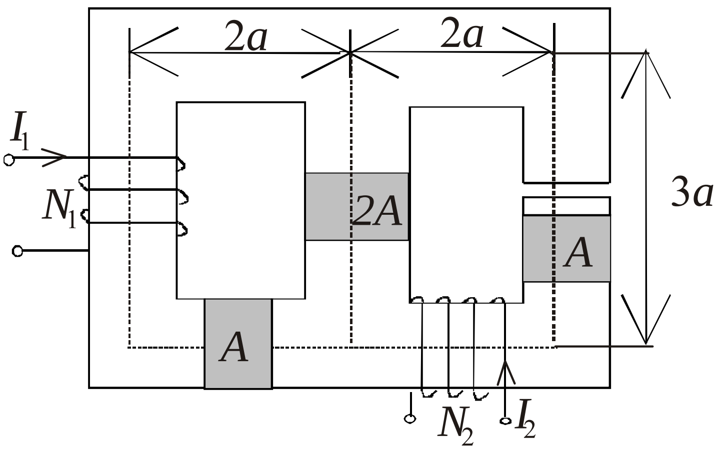
Izračun: Ker je fluks skozi jedro in zračno režo le en, magnetna upora pa dva, pišemo:

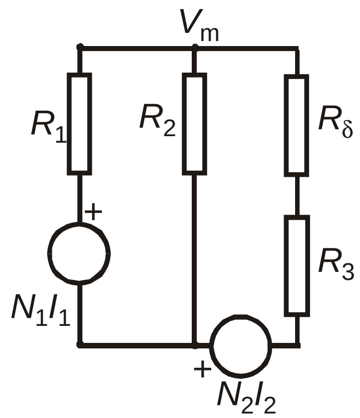
$$\Phi \cdot R_m + \Phi \cdot R_\delta = NI$$
$$\Phi \cdot \left(R_m + R_\delta\right) = NI$$
$$\Phi = \frac{NI}{R_m + R_\delta} = \frac{NI}{\dfrac{l_m}{\mu_{rm}\mu_0 A} + \dfrac{l_\delta}{\mu_0 A}} = \frac{\mu_0 NIA}{\dfrac{l_m}{\mu_{rm}} + l_\delta}$$
$$B = \frac{\Phi}{A} = \frac{\mu_0 NI}{\dfrac{l_m}{\mu_{rm}} + l_\delta}$$

, enako kot pri drugem primeru.

Za analizo magnetnih vezij lahko uporabimo vse metode za analizo električnih vezij, ki smo jih spoznali pri predmetu Osnove elektrotehnike I, kot npr. zančna metoda, metoda superpozicije, metoda spojiščnih potencialov pa tudi Theveninov in Nortonov teorem.

Primer 4: Določite fluks v zračni reži dolžine 1 mm, če so $I_1 = 1$ A, $N_1 = 100$,$I_2 = 0{,}5$ A, $N_2 = 400$, a=2 cm, A=1 cm^2, $\mu_{rz} = 100$?





Izračun: Najprej narišemo magnetno vezje z magnetnimi upornostmi in viri magnetne napetosti. V našem primeru imamo tri stebre, kar v vezju predstavimo s tremi vejami vezja. Leva in srednja veja imata eno po magnetno upornost, v desni veji imamo dve magnetni upornosti, eno zaradi magnetne upornosti feromagnetika, drugo pa zaradi magnetne upornosti zračne reže. Vire moramo pravilno označiti. Potrebno je preveriti, kako je jedro navito in v katero smer teče tok. Smer toka, ki jo na viru označuje znak "+" mora ustrezati smeri fluksa v jedru, ki ga poganja vir.

Način reševanja je lahko poljuben. V konkretnem primeru bomo uporabili metodo spojiščnih potencialov, saj je v tem primeru potrebno zapisati le eno enačbo. (Ponovi metode reševanja vezij). Vsota vseh fluksov v zgornje spojišče mora biti enak nič: $\Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3 = 0$. Flukse izrazimo z magnetnim potencialom (spodnje spojišče ozemljimo, potencial zgornjega označimo z V_m, napetost med spojiščema je torej V_m.):

$$\frac{V_m - N_1 I_1}{R_1} + \frac{V_m}{R_2} + \frac{V_m + N_2 I_2}{R_\delta + R_3} = 0$$

Magnetne upornosti so:

$$R_1 = \frac{7a}{100\mu_0 A}$$

$$R_2 = \frac{3a}{100\mu_0 2A}$$

$$R_3 = \frac{7a-\delta}{100\mu_0 A}$$

$$R_\delta = \frac{\delta}{\mu_0 A}$$

Po ustavitvi v zgornjo enačbo in preurejanju dobimo

$$\frac{V_m - N_1 I_1}{7a} + \frac{V_m}{3a/2} + \frac{V_m + N_2 I_2}{7a + 100\delta} = 0\,.$$

Sedaj vstavimo vrednosti in dobimo $\frac{V_m - 100\,\mathrm{A}}{14\,\mathrm{cm}} + \frac{V_m}{3\,\mathrm{cm}} + \frac{V_m + 200\,\mathrm{A}}{24\,\mathrm{cm}} = 0$. Rešitev je $V_m = -1,24\,\mathrm{A}$.

Očitno se vpliv virov med sabo odšteva, rezultat je ta, da fluks v desnem stebru povzroča skoraj izključno magnetna napetost navitja na tem stebru.Fluks skozi zračno režo bo

$$\Phi_3 = \frac{V_m + N_2 I_2}{R_\delta + R_3} = 10,5\,\mu\mathrm{Wb}\,.$$

Naloge:

Magnetna vezja:

izpit, 23. januar 2007
1. kolokvij , 17.4.2002
izpit, 14. junij 2006
Izpit, 10. marec 2006