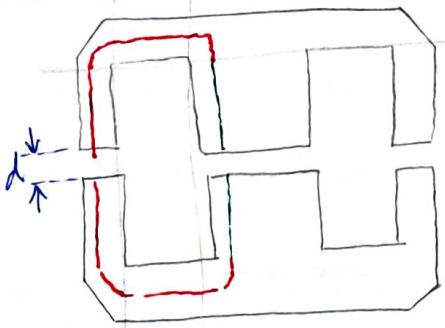
$N = 2200$

$\mu_r = 1000$

$d = 0 \div 4\,mm$



a) $d = 4$

Izračunati želimo induktivnost navitja s pomočjo reluktančnega voza. Pri izračunu moramo upoštevati robni pojav pri zračni reži.

Reluktanco računamo ločeno za zračno režo in za jedro.

RELUKTANCA JEDRA:

$$R_{Fe} = \frac{1}{\mu_0 \mu_r} \frac{l_{Fe}}{A_{Fe}}$$

Izračunamo dolžino poti magnetenja v železu: Ločimo na 3 dele na 1., 2. in 3 steber. Na sliki sta označeni z rdečo pot 1. stebra, z zeleno pot 2. stebra. Upoštevamo tudi, da sta poti 1. in 3. stebra enaka.

POTI MAGNETENJA V ŽELEZU (ovinki)

$$l_{Fe1} = 12 + 12 + 11 + 11 + 2\pi\frac{6}{2} = 64{,}85\,mm$$

$$l_{Fe2} = 12 + 12 = 24\,mm$$

$$l_{Fe3} = l_{Fe1} = 64{,}85\,mm$$

POVRŠINA JEDRA:

$$A_{Fe1} = 6\,mm \cdot 15\,mm = 90\,mm^2 = 9 \cdot 10^{-5}\,m^2$$

$$A_{Fe2} = 12\,mm \cdot 15\,mm = 180\,mm^2 = 1{,}8 \cdot 10^{-4}\,m^2$$

$$A_{Fe3} = A_{Fe1} = 90\,mm^2 \cdot 9 \cdot 10^{-5}\,m^2$$

Reluktanca 1. stebra

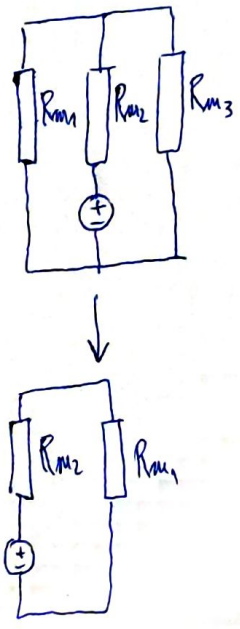
$$R_{Fe1} = \frac{1}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1000} \cdot \frac{0{,}06485}{9 \cdot 10^{-5}}$$

$$R_{Fe1} = 573400\ A/Vs$$

$$R_{Fe2} = \frac{1}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1000} \frac{0{,}024}{1{,}8 \cdot 10^{-4}}$$

$$R_{Fe2} = 106\,103\ A/Vs$$

$$R_{Fe3} = R_{Fe1} = 573400\ A/Vs$$



Reluktance se da šteti podobno kot upornosti. Prvo potrebujemo skupne reluktance po stebrih in zračni reži. Zato potrebujemo še reluktance v zr. reži. Za izračun teh moramo upoštevati robni pojav.

$$A_{d1} = A_{j1} \cdot f_d$$ ... upoštevanje robnega pojava v zr. reži

$$f_d = 1 + 20\frac{d}{A_j^{0{,}45}}$$

Ker pride do stresanja polja ~~nas~~ v zr. reži, moramo navidezno "povečati" površino jedra reže na območju kjer nas zanima. V našem primeru na stebru 1, 2 in 3. Stebra 1 in 3 sta ponavno enaka.

$A_{j1} = A_{Fe1}$

$A_{j2} = A_{Fe2}$

$A_{j3} = A_{j1} = A_{Fe1}$

$$f_{d1} = 1 + 20\frac{d}{A_{j1}^{0,45}} = 1 + 20 \cdot \frac{0,004}{(9\cdot 10^{-5})^{0,45}} = 6,29$$

$$A_{d1} = A_{j1} \cdot f_{d1} = 9\cdot 10^{-5}\,m^2 \cdot 6,29 = 56,61\cdot 10^{-5}\,m^2$$

$$f_{d2} = 1 + 20\cdot\frac{d}{A_{j2}} = 1 + 20\cdot\frac{0,004}{(18\cdot 10^{-5})^{0,45}} = 4,87$$

$$A_{d2} = A_{j2}\cdot f_{d2} = 18\cdot 10^{-4}\cdot 4,87 = 87,66\cdot 10^{-5}\,m^2$$

$$R_{d1} = \frac{1}{\mu_0}\cdot\frac{d}{A_{d1}} = \frac{1}{4\pi\cdot 10^{-7}}\,\frac{0,004}{56,66\cdot 10^{-5}} = \frac{7,06}{4\cdot\pi\cdot 10^{-7}} = 5618169\,H^{-1}$$

$$R_{d2} = \frac{1}{\mu_0}\cdot\frac{d}{A_{d2}} = \frac{1}{4\pi\cdot 10^{-7}}\cdot\frac{0,004}{87,66\cdot 10^{-5}} = \frac{4,56}{4\pi\cdot 10^{-7}} = 3628733\,H^{-1}$$

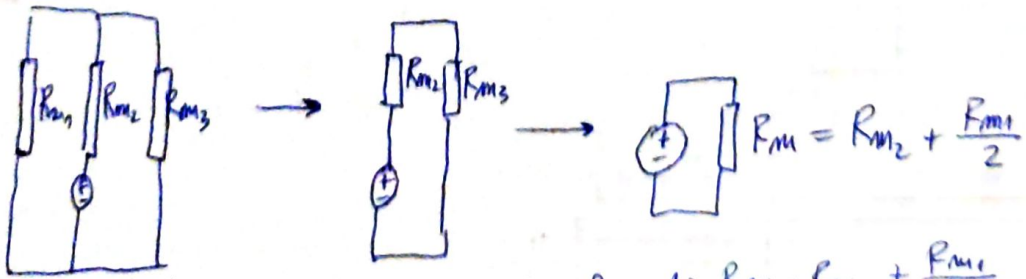
~~$R_{m1} = R_{Fe1} + R_{d1}$~~

Skupno reluktanco izračunamo tako, da ~~najprej~~ najprej izračunamo skupno reluktanco po stebrih v reži in železu.

$$R_{m1} = R_{d1} + R_{Fe1} = 5618169 + 573400 = 6191569\ A/Vs$$

$$R_{m2} = R_{d2} + R_{Fe2} = 3628733 + 106103 = 3734832\ A/Vs$$

$$R_{m3} = R_{m1} = 6191569\ A/Vs$$



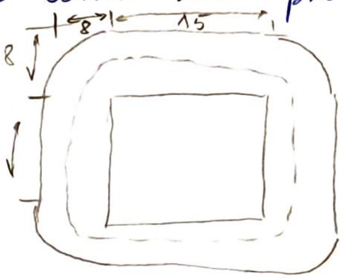
Skupno reluktanco zracimo po formuli $R_m = R_{m2} + \frac{R_{m1}}{2}$

$$R_m = R_{m2} + \frac{R_{m1}}{2} = 3734832 + \frac{6191569}{2} = 6830616,5\ A/Vs$$

In induktivnost po enačbi:

② $$L = \frac{N^2}{R_m} = 0,71\ H$$

ⓑ Izračunati želimo upornost tuljave izdelane iz bakrene žice pri $T = 45°C$, polnilni faktor bakra je 10%



$A_{ok} = 8 \cdot 21 = 168\,mm^2 \cdot 1{,}68 \cdot 10^{-4}\,m^2$

(← Polnilni faktor bakra)

$A_{cu} = A_{ok} \cdot k_{cu} = 1{,}68 \cdot 10^{-4}\,m^2 \cdot 0{,}1 = \underline{\underline{1{,}68 \cdot 10^{-5}\,m^2}} = 16{,}8\,mm^2$

(← OVINKI)

$l_{sr} = 2 \cdot 18 + 2 \cdot 15 + 2\pi \frac{8}{2} = 91{,}13\,mm = \underline{\underline{0{,}091\,m}}$

$l_ž = N \cdot l_{sr} = 2200 \cdot 0{,}091 = \underline{\underline{200{,}2\,m}}$

$A_ž = \frac{A_{cu}}{N} = \frac{1{,}68 \cdot 10^{-5}\,m^2}{2200} = 7{,}64 \cdot 10^{-9}\,m^2 = \underline{\underline{7{,}64 \cdot 10^{-3}\,mm^2}}$

Za izračun upornosti si pomagamo s tabelo standardnih presekov žic. Izberemo žico, ki je po preseku najbližja izračunani. To je žica s površino $0{,}00785\,mm^2$ → iz tabele dobimo tudi podatek o upornosti/m, vzamemo nominalno vrednost. $2{,}176\,\Omega/m$ pri $20°C$

Dolžina naše žice je 200,2 m, tako da upornost celotnega navitja izračunamo

$R_{ž\,20°C} = 200{,}2\,m \cdot 2{,}176\,\Omega/m = 435{,}6\,\Omega.$

Ker nas zanima upornost pri 45°C izračunamo upornost po spodnji formuli:

$\alpha = 0{,}00386$ … za baker

$R_{ž\,45°C} = R_{20°C}\left(1 + \alpha\left(T - T_{ref}\right)\right) = 435{,}6\,\Omega\left(1 + 0{,}00386\left(45°C - 25°C\right)\right)$

$\underline{\underline{R_{ž\,45°C} = 469{,}23\,\Omega}}$

Za naš primer žice, lahko upornost zračunamo s specifično prevodnostjo bakra.

$\rho_{BAKER} = 1{,}68 \cdot 10^{-8}\,\Omega m$ pri $20°C$ $\qquad \alpha = 0{,}00386$

$R_{20°C} = \rho_{20°C} \frac{l_ž}{A_ž} = 1{,}68 \cdot 10^{-8} \frac{200{,}2\,m}{7{,}64 \cdot 10^{-9}\,m^2} = 440\,\Omega$

$R_{45°} = R_{20°C}\left(1 + \alpha\left(T_{45°} - T_{20°C}\right)\right) = 440 \cdot \left(1 + 0{,}00386 \cdot (45 - 25)\right) = \underline{482{,}96\,\Omega}$

c) $U = 230V$

$f = 50Hz$

Izbral sem uporost 482,46 Ω za nadaljnje računanje.

Ker gre za izmenično napetost moramo izračunati impedanco tuljave

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{(482,46\,\Omega)^2 + (2\pi \cdot 50 \cdot 0,71)^2} = 531,5\,\Omega$$

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{230V}{531,5\,\Omega} = 0,433\,A$$

$$P = I^2 \cdot R = 0,433^2 \cdot 482,46 = 90\,W$$

d) V FEMM-u

$$J_z = \frac{I}{A_z} = \frac{0,433\,A}{7,64 \cdot 10^{-3}\,mm^2} = 56,7\,A/mm^2$$

$1,68 \cdot 10^{-5}$

$W_m = 2,2\,J$

$$W_m = \frac{L \cdot I^2}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow L = \frac{2 \cdot W_m}{I^2} = \frac{2,2\,J \cdot 2}{0,433^2\,A} = 23,47\,H$$

→ Iz FEMM-a dobim podatek o energiji po celi površini obolice in jedra. Iz podatka o W_m, nato računam induktivnost L.

$L = 0,71\,H$

$I = 0,433A$

$$\rightarrow W_m = \frac{0,71^2 \cdot 0,433^2}{2} = 0,0665$$ Bi morali dobiti iz FEEM