Calculul parametrilor înfăşurărilor

Calculul rezistențelor

Calculul inductivităților

Calculul rezistențelor

- Înfăşurări concentrate,
- Înfăşurări repartizate deschise,
- Înfăşurări repartizate inchise,

Calculul rezistențelor

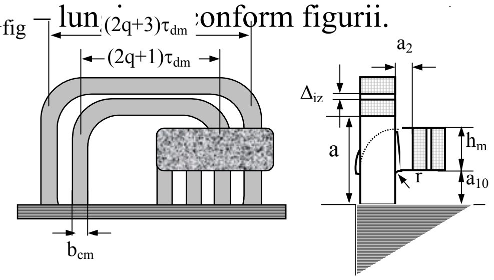
- **Infăşurare într-un strat cu capete de bobine aşezate în două etaje**

  l_{fm} – lungimea frontală medie a grupului de bobine,

  l_f – lungimea frontală a unei bobine din interiorul grupului de bobine

  l_{af} – lungimea axială a capetelor de bobină,

  l_{fig} – lun… conform figurii.



$$\tau_{dm} = \frac{\pi \cdot (D \pm h_{cr})}{N_{cr}}$$

Calculul rezistențelor

D = diametrul conductorului, sau
- lăşimea conductorului profilat,sau
- lățimea mănunchiului de bobină.

$$r = (2 \div 4) \cdot d''$$

$$a_{10} = (1.5 \div 2.5) \cdot r + 3 \cdot 10^{-3} \cdot U_N$$

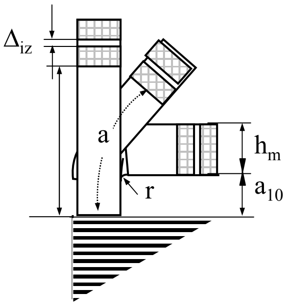
$$a_{12} = d'' + 2 \cdot 10^{-3} \cdot U_N$$

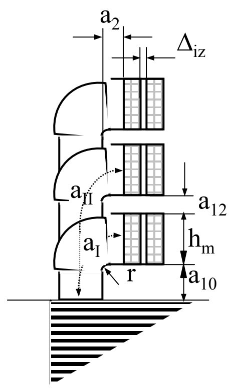
$$\Delta_{iz} = (0 \div 0.5) + d'' \cdot U_N \cdot 10^{-4}$$

Lungimea frontală rezultă : $l_f = l_{fig}$

Calculul rezistențelor

Infăşurări într-un strat cu capetele de bobină aşezate în trei etaje

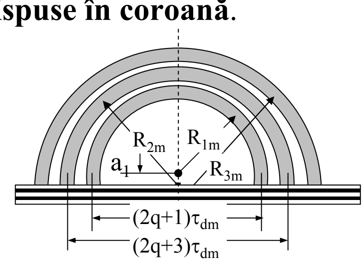




Distanta “a” este aceeasi

Calculul rezistențelor

Infăşurare într-un strat cu capete de bobine de aceeasi formă, dispuse în coroană.



Raza medie a grupului de bobină

$$R_m = \frac{\tau_{dm}}{2}\sum_{k=0}^{q}\left[(2q+k)+1\right]$$

Lungimea medie frontală

$$l_{fm} = \pi \cdot R_m + a_{10} + a_3$$

Distanța de calcul a_3 ține seama de curbarea capetelor de bobină

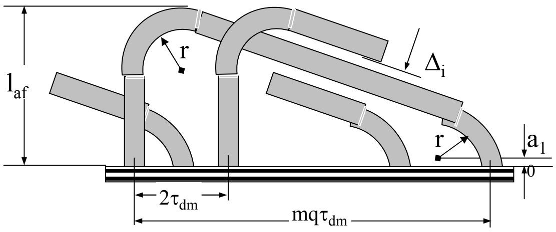
$$a_3 = (p-2)\cdot \tau_{dm}$$

Infăşurări cu bobine egale sau înfăşurări în lanț

$$l_f = l_{fig} + (2 \div 2{,}5)\cdot h_m$$

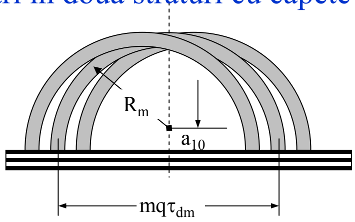
Calculul rezistențelor

Infăşurări într-un strat cu bobine egale trapeziodale sau înfăşurări în lanț



$$l_f = l_{fig} + (2 \div 2{,}5)\cdot h_m$$

Infăşurări în două straturi cu capete de bobină rotunde.



$$l_{fm} = \pi \cdot R_m + a_{10} + a_3$$

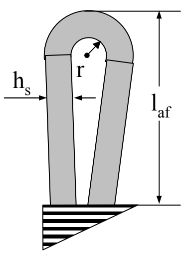
$$a_3 = (p-2)\cdot \tau_{dm}$$

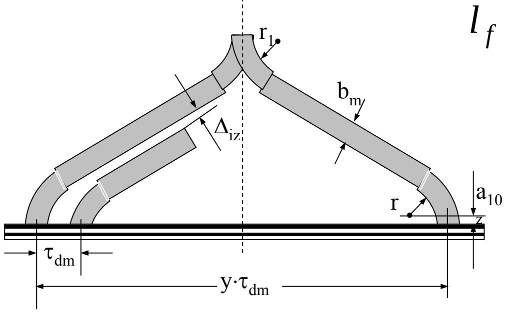
Calculul rezistențelor

Infăşurări în două straturi cu bobine trapezoidale

Infăşurări în două straturi cu bobine din bare

$$l_f = l_{fig}$$





Lungimea medie a unei jumătăți de spire.

$$l_{sp} = l_g + l_{fm}$$

Calculul rezistențelor

Lungimea totală a conductoarelor unei faze şi a unei căi de curent în paralel.

$$L_{cd} = 2 \cdot N_{sp} \cdot l_{sp}$$

Rezistența pe fază:

$$R = \rho_{\upsilon} \cdot \frac{L_{cd}}{s_{cd} \cdot a} k_r$$

ρ_{υ} - rezistivitatea materialului conductorului la temperatura de funcționare,
k_r – coeficient medie de creştere a rezistenței în curent alternativ, datorită refulării curentului.

Calculul rezistențelor

Infăşurări concentrice

Lungimea medie a sprirei

$$L_{sp} = \pi \cdot D_m \qquad L_{sp} = 2 \cdot \left(l_p + b_p + a_b\right)$$

Unde:
- D_m diametrul mediu,
- l_p, b_p lungimea şi lățimea polului
- a_b grosimea bobinei

Rezistența bobinei

$$R = \rho_{\upsilon} \cdot \frac{L_{sp} \cdot N_{sp}}{s_{cd} \cdot a} k_r$$

Calculul inductivităților

Calculul inductivităților

Inductivitatea principală sau de magnetizare

$$L_h = \Lambda \cdot \left(N_{sp} \cdot K_b\right)^2$$

Λ - permeanta circuitului magnetic principal

Pentru transformatoare:
$$\Lambda = \frac{S_{cFe}}{\sum \frac{l_i}{\mu_i}} = \frac{S_{cFe} \cdot \mu_0}{\delta_c + \delta_j \beta + \frac{\ell_c}{\mu_c} + \frac{\ell_j}{\mu_j}\beta}$$

S_{cFe} - suprafața secțiunii fierului coloanei
δ - lungimea totală a întrefierurilor,
β - raportul dintre secțiunea jugului şi coloanei,
l - lungimea porțiunii de fier,
μ - permeabilitate relativă, respectiv a vidului μ_0

Calculul inductivităților

Valoarea reactanței de magnetizare se poate determina şi din curentul de magnetizare reactiv

$$X_\mu = k_E \cdot \frac{U_{1f}}{I_\mu}$$

k_E - coeficient subunitar, ține seama de căderea de tensiune,

Pentru masini electrice rotative

$$\Lambda = \frac{4 \cdot \mu_0}{\pi^2} \cdot \frac{\tau \cdot L_i}{p \cdot \delta_c}$$

Intrefierul de calcul

$$\delta_c = k_s \cdot k_c \cdot \delta$$

k_s - factor de saturatie,
k_c - factorul lui Carter

Calculul inductivităților

Inductivități de dispersie

Metode: - din energia magnetică a câmpului de dispersie
- câmpul de dispersie.

$$L_\sigma = 2\frac{W_m}{i^2}$$

Ipoteze: - câmpul real se inlocuieşte cu un câmp de calcul,
- liniile câmpului de calcul sunt drepte, arce de cerc,
- se consideră permeabilitatea fierului infinită,

Energia magnetica

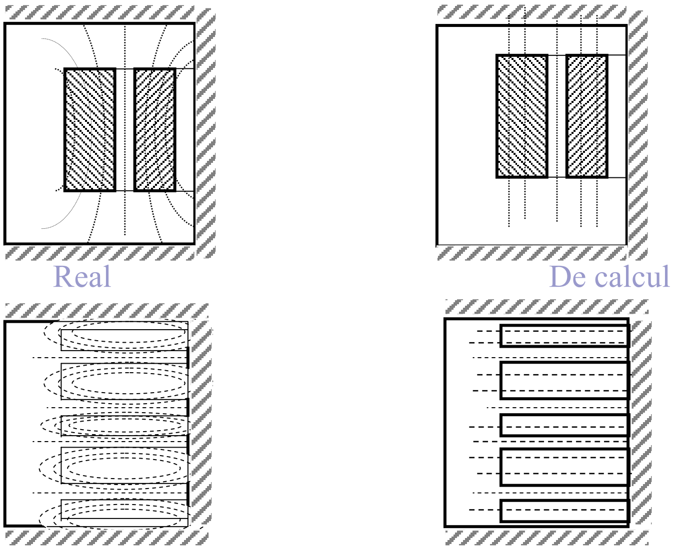
$$W_m = \frac{1}{2}\mu_0 \int_v H^2 dv$$

Inductivități de dispersie

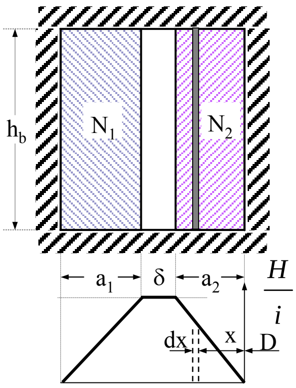
$$L_\sigma = \mu_0 \cdot \int_v \left(\frac{H}{i}\right)^2 dv$$

Calculul inductivităţilor

Liniile câmpului de scăpări din fereastra transformatorului



Calculul inductivităţilor



Bobinaj cilindric

Volumul elementar un cilindru având diametrul:

$$d_x = (D_i + x)$$

Grosimea dx şi volumul :

$$dV = \pi \cdot (D_i + 2 \cdot x) \cdot h_b \cdot dx$$

Valoarea maximă a raportului H/i

$$\frac{H}{i} = \frac{\theta}{h_b \cdot i} = \frac{N}{h_b}$$

pe grosimea a_2 variază liniar după legea:

$$\frac{H}{i}(x) = \frac{N}{h_b} \cdot \frac{x}{a_2}$$

Calculul inductivităților

Considerând originea sistemului de axe pe suprafața interioară a bobinajului exterior rezultă pe grosimea a_1:

$$\frac{H}{i}(x) = \frac{N}{h_b} \cdot \frac{a_1 - x}{a_1}$$

Expresia inductivității de scăpări a celor două înfăşurări rezultă:

$$L_\sigma = \pi\mu_0\left[\int_0^{a_2}(D_i + 2x)\left(\frac{x}{a_2}\right)^2 dx + \int_0^{\delta_v}(D_i + 2a_1 + 2x) + \int_0^{a_1}(D_i + 2a_1 + 2\delta + 2x)\left(\frac{a_1 - x}{a_1}\right)^2 dx\right]\frac{N^2}{h_b}$$

Pentru simplificarea calculelor se consideră un diametru mediu, care nu coincide cu diametrul mediu fizic al înfăşurării.
Pentru bobinajul cilindric acest diametru mediu de calcul este:

$$D_m = D_i + \delta_v + \frac{a_1 + 3a_2}{2}$$

Calculul inductivităților

Pentru a ține seama de faptul că nu toate spirele au acelaşi diametru se introduce un coeficient de corecție k_R , numit şi coeficientul lui Rogowski

$$k_R = 1 - \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \chi} \qquad \chi = \frac{h_b}{2(\delta_v + a_1 + a_2)}$$

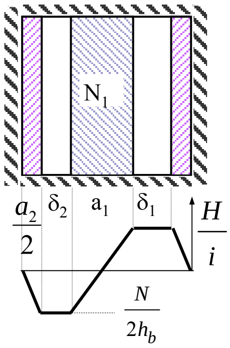
Grosimea echivalentă a bobinajului

$$a = \delta_v + \frac{a_1 + a_2}{3}$$

Expresia inductivității de scăpări a bobinajului devine:

$$\boxed{L_\sigma = \frac{\pi}{2} \cdot \mu_0 \cdot \frac{D_m}{h_b} \cdot a \cdot k_R \cdot N^2}$$

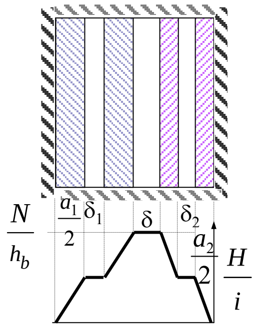
Calculul inductivităților



Bobinaj biconcentric

$$D_m = D_i + \delta_1 + \delta_2 + a_2 + a_1$$

$$a = \frac{1}{2}\left(\delta_1 + \delta_2 + \frac{a_1 + a_2}{3}\right)$$



Bobinaj cu canale de răcire

$$\begin{cases} D_m = D_i + \delta_v + \dfrac{(a_1 + \delta_1) + 3(a_2 + \delta_2)}{2} \\ a = \delta_v + \dfrac{\delta_1 + \delta_2}{2} + 2\dfrac{a_1 + a_2}{3} \end{cases}$$

Calculul inductivităților

Infăşurări cu galeți alternați

Numărul de spire al înfăşurării se împarte in “q” galeți

După forma solenației specifice pe înălțimea coloanei se disting:
- simetrice,
- nesimetrice

La înfăşurările cu galeți alternați se consideră:

$$D_m = D_i + b$$

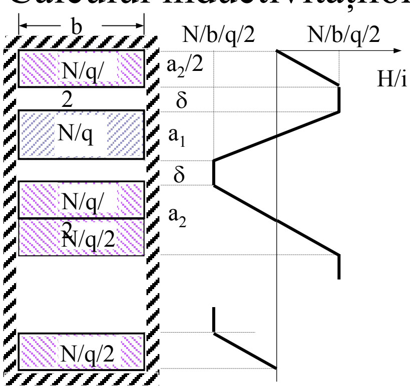
$$h_b = q \cdot b$$

b - lățimea galeților

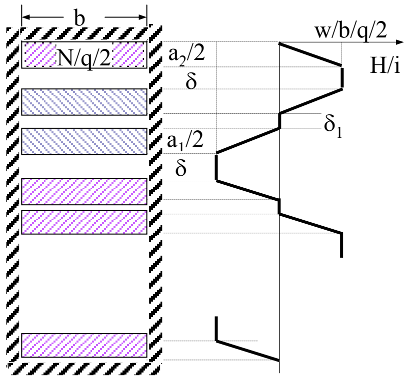
$$\chi = \frac{b}{2\delta + a_1 + a_2}$$

Grosimea echivalentă este dependentă de modul de aşezare a galeților şi numărul lor.

Calculul inductivităților



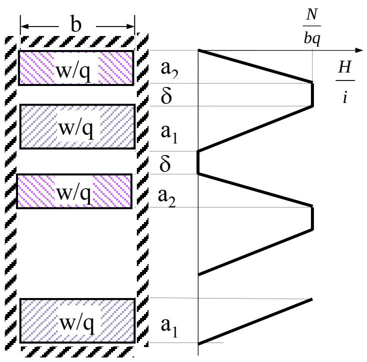
Bobinaj cu q galeți alternați simetric.



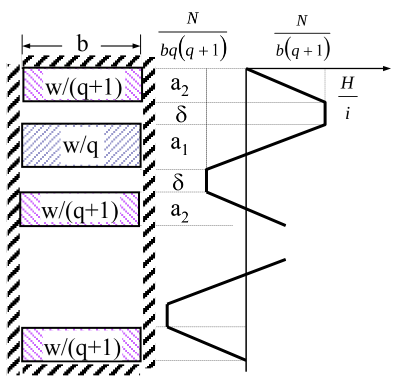
Bobinaj cu q galeți alternați simetric cu canale de răcire între semibobine.

$$a = \frac{1}{2}\left(\delta + \frac{a_1 + a_2}{6}\right) \qquad a = \frac{1}{2}\left(\delta + \frac{a_1 + a_2}{6}\right) \qquad q \Rightarrow 2 \cdot q$$

Calculul inductivităților



Bobinaj cu q galeți alternați nesimetric



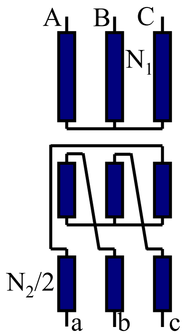
Bobinaj cu galeți alternați nesimetric cu q respectiv q+1 galeți pe înfășurare.

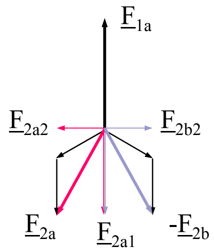
$$a = \delta + \frac{a_1 + a_2}{3}$$

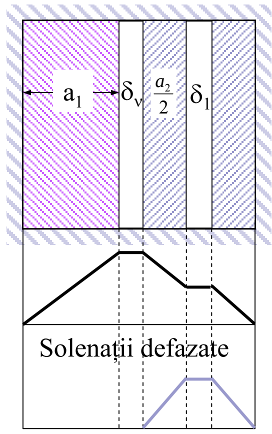
$$a = \frac{q^2 + 1}{(q+1)^2}\left[\delta + \frac{(2q^2+1)a_2 + 2(q^2 - q + 1)a_1}{6(q+1)}\right]$$

Calculul inductivităților

Conexiunea zig-zag. Raportul de transformare este $k = \dfrac{2 \cdot N_1}{\sqrt{3} \cdot N_2}$







Se calculează separat inductivitățile pentru primar şi secundar

Calculul inductivităților

$$L_{\sigma 1} = \frac{\pi}{2} \cdot \mu_0 \cdot \frac{D_m}{h_b} \cdot a_{e1} \cdot k_R \cdot N_1^2 \qquad L_{\sigma 2} = \frac{\pi}{2} \cdot \mu_0 \cdot \frac{D_m}{h_b} \cdot a_{e2} \cdot k_R \cdot N_2^2$$

Pentru solenații în opoziție

$$D_m = D_i + \delta_v + \delta_1 + \frac{a_1 + 3 \cdot a_2}{2}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} a_{e1} = \dfrac{\delta_v}{2} + \dfrac{a_1}{3} \\ a_{e2} = \dfrac{\delta_v}{2} + \dfrac{\delta_1}{4} + \dfrac{a_2}{3} \end{array} \right.$$

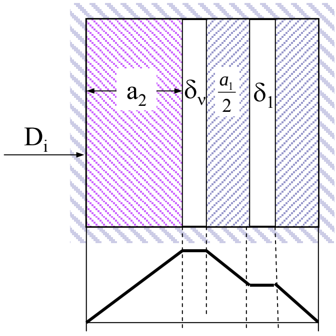
Pentru solenații defazate

$$D_m = D_i + \delta_v + 2 \cdot a_1 + a_2$$

$$\left\{ \begin{array}{l} a_{e2} = \dfrac{\delta_v}{2} + \dfrac{\delta_1}{4} + \dfrac{a_2}{3} \\ a_{e2} = \dfrac{\delta_1}{2} + \dfrac{a_2}{6} \end{array} \right.$$

şi $\qquad N_2 \Rightarrow \dfrac{N_2}{2}$

Exemplu de calcul al inductivității de scăpări



$D_i = 0.15 \quad a_2 = 0.024 \quad a_1 = 0.032$

$H_b = 0.451 \quad N_1 = 1054 \quad N_2 = 70$

$\delta_v = 0.030 \quad \delta_1 = 0.01 \quad \delta_2 = 0$

$$\begin{cases} D_m = D_i + \delta_v + \dfrac{(a_1+\delta_1)+3(a_2+\delta_2)}{2} = 0.237 \quad m \\ a = \delta_v + \dfrac{\delta_1+\delta_2}{2} + 2\dfrac{a_1+a_2}{3} = 0.078 \quad m \end{cases}$$

$$k_R = 1 - \frac{1}{2\cdot\pi\cdot\chi} = 0.939 \qquad \chi = \frac{h_b}{2(\delta_v + a_1 + a_2)} = 2.622$$

$$L_\sigma = \frac{\pi}{2}\cdot\mu_0\cdot\frac{D_m}{h_b}\cdot a\cdot k_R\cdot N^2 = 0.084 \quad H$$

$$X_\sigma = 2\cdot\pi\cdot f\cdot L_\sigma = 26.41 \quad \Omega$$