

Enačbe - Transformatorji

$$\xi_v = \frac{P_{\text{cizl}}}{P_{\text{vst}}} \quad \text{Nazivno razmerje izgub}$$

$$P_{\text{Fe}} = P_{\text{g}} \quad \text{Izgube v praznem toku}$$

$$P_{\text{Fe}} + P_{\text{Cu}} = P_{\text{izgl}} \quad \text{Nazivno delovanje / nazivne izgube}$$

$$P_{\text{Cu}} = I^2 \cdot R_{\text{Cu}} \quad \text{Kratak stik}$$

$$\frac{Q_{\text{izgl}}}{Q_{\text{vst}}} = \frac{P_{\text{Fe}}}{P_{\text{vst}}}$$

Izgube v železu so konstantne, odvisne le od napajalne napetosti in frekvence. Izgube v bakru se spreminjajo glede na tok.

$$\frac{\Theta_{\text{Fe}}}{\Theta_{\text{vst}}} = \frac{P_{\text{Fe}} + x^2 P_{\text{Cu}}}{P_{\text{Fe}} + P_{\text{vst}}} = \frac{1 + x^2 \xi_{\text{Cu}}}{1 + \xi_{\text{Fe}}}$$

Nadtemperatura pri preobremenitvi / Nazivna temperatura ... Zaradi preobremenitve (večji tok)

$$\frac{\Theta_{\text{Fe}}}{\Theta_{\text{vst}}} = \frac{P_{\text{Fe}} + P_{\text{Cu}}}{P_{\text{Fe}} + P_{\text{vst}}}$$

Nadtemperatura pri preobremenitvi zaradi povišanja napajalne napetosti in spremembe frekvence (dobimo nove izgube v železu)

$$x = x' = \frac{I'}{I_N}$$

Stopnja obremenitve. V praznem toku je $x=0$, pri nazivnem obratovanju pa $x=1$.

Temperatura v odvisnosti od časa.

m ... masa,

cc ... spec. topl.

S ... površina telesa,

α ... ??

$$\frac{P_{\text{Fe}}}{P_{\text{vst}}} = \frac{f' \left(\frac{B_{\text{Fe}}}{B_{\text{vst}}} \right)^2}{f' \left(\frac{B_{\text{Fe}}}{B_{\text{vst}}} \right)} = \frac{U_1^2 \cdot f'}{U_1^2 \cdot f'}$$

Sprememba izgub v praznem toku, pri spreminjanju napetosti na primarnju in frekvence.

$$\frac{B_{\text{Fe}}}{B_{\text{vst}}} = \frac{U_1 \cdot f'}{U_1 \cdot f'}$$

$T_N = 6570$ za TOKA V NAJTO, PRI NAJVIŠJI OBRATOVANJU

$m_{\text{Cu}} \approx 1154$ BAKRA

Magnetni krogi

$$V_m = N \cdot i = \oint_C H dl = H \cdot l = \oint_A J dA$$

... Magnetna napetost H ... Magnetna poljska jakost J ... Gostota el. Toka

$$V_m = \Phi R_{\text{mFe}} + \Phi R_{\text{mvd}} \quad R_m = \frac{V_m}{\Phi}$$

$$B_{\text{Fe}} = \frac{\Phi}{A_{\text{Fe}}} \quad B_{\text{vd}} = \frac{\Phi}{A_{\text{vd}}}$$

A_{vd} ... Površina zračne reže

$$B = \mu_0 \mu_r H$$

$$R_{\text{mFe}} = \frac{l_{\text{Fe}}}{\mu_0 \mu_r A_{\text{Fe}}} \quad R_{\text{vd}} = \frac{l_{\text{vd}}}{\mu_0 A_{\text{vd}}}$$

Magn. upornost - reluktanca; jedra in zrač. reže

$$i_{\text{m}} = \frac{V_m}{N} = \frac{l_{\text{Fe}} H_{\text{Fe}}}{N}$$

Magnetilni tok

$$L = \frac{\Psi}{i} = \frac{N \Phi}{i} = \frac{N^2}{R_m}$$

e je inducirana napetost

$$e = N \frac{d\Phi}{dt} = L \frac{di}{dt}$$

$$e(t) = N \frac{d\Phi(t)}{dt} = N \cdot \omega \cdot \Phi_{\text{max}} \cdot \cos(\omega t) = E_{\text{max}} \cos(\omega t)$$

$$p = i \cdot e = i \frac{d\Psi}{dt}$$

Moč (delovna)

$$\Delta W = \int_1^2 p dt = \int_1^2 i d\Psi \quad (\text{sprememba}) \text{ energije}$$

$$W = \frac{1}{2L} \Psi^2 = \frac{L}{2} i^2 \quad ; \Psi_1 = 0, \quad \Psi_2 = \Psi$$

$$U_{\text{sr}} = \frac{1}{T} \int_0^T u(\omega t) d(\omega t)$$

Srednja vrednost

$$U_{\text{ef}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(\omega t) d(\omega t)}$$

Efektivna vrednost

$$f_0 = \frac{\text{efektivna vred.}}{\text{srednja vred.}} = \frac{U_{\text{ef}}}{U_{\text{sr}}} \quad f_0 \dots \text{faktor oblike}$$

$$f_0(\sin) = 1,11 \quad ; f_0(\text{pulz}) = 1 \quad ; f_0(\text{trikot}) = 1,1547$$

$$\varphi(t) = \Phi_{\text{max}} \sin(\omega t) = A_{\text{Fe}} B_{\text{max}} \sin(\omega t) \quad \text{Magnetni pretok v odv. od časa}$$

$$m_{\text{Fe}} = A_{\text{Fe}} \cdot l_{\text{Fe}} \cdot \rho_{\text{Fe}} \quad \text{Masa železa}$$

Enačbe - Transformatorji

$$\xi_N = \frac{P_{\text{žel}}}{P_{\text{pri}}} \text{ Nazivno razmerje izgub}$$

$P_n = P_i$ izgube v praznem teku

$P_n + P_{\text{žel}} = P_{\text{av}}$ Nazivno delovanje / nazivne izgube

$P_{\text{žel}} = I_n^2 \cdot R_{\text{žel}}$ Kratak stik

$\frac{P_{\text{žel}}}{P_n} = \frac{P_n'}{P_n}$

$P_n = k \cdot \frac{1}{S} \cdot I_n^2 \cdot \mu_n$ Izgube v železu so konstantne, odvisne le od napajalne napetosti in frekvence. Izgube v bakru se spreminjajo glede na tok.

$\frac{\Theta_{\text{žel}}}{\Theta_{\text{av}}} = \frac{P_{\text{žel}} + x^2 P_{\text{žel}}}{P_{\text{av}} + P_{\text{žel}}} = \frac{1 + x^2 \xi_N}{1 + \xi_N}$ Nadtemperatura pri preobremenitvi / Nazivna temperatura ... Zaradi preobremenitve (večji tok)

$\frac{\Theta_{\text{žel}}}{\Theta_{\text{av}}} = \frac{P_{\text{žel}} + P_n' \cdot \frac{P_n'}{P_n}}{P_{\text{av}} + P_{\text{žel}}}$ Nadtemperatura pri preobremenitvi zaradi povišanja napajalne napetosti in spremembe frekvence (dobimo nove izgube v železu)

$x = x' = \frac{I'}{I_n}$ Stopnja obremenitve. V praznem teku je $x=0$, pri nazivnem obratovanju pa $x=1$.

$\Theta(t) = \Theta_{\text{av}} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$ Temperatura v odvisnosti od časa.

$\tau = \frac{m \cdot c}{S \cdot \alpha}$ m ... masa, c ... spec. topl., S ... površina telesa, α ... ??

$$\frac{P_{\text{žel}}'}{P_n} = \frac{f' \left(\frac{B_n'}{B_n} \right)^2}{f \left(\frac{B_n}{B_n} \right)} = \frac{U_1' \cdot f'}{U_1 \cdot f}$$

Sprememba izgub v praznem teku, pri spreminjanju napetosti na primarju in frekvence.

$$\frac{B_n'}{B_n} = \frac{U_1' \cdot f'}{U_1 \cdot f}$$

FAKTOR POZNITVE FORMULI 1'

ASINHR. SPR

INDUCIRANA NAPETOST

$$E = 4 f_0 \cdot f \cdot N \cdot \Phi_m \cdot f_{\text{Fe}}$$

FAKTOR OBLIKE

FREKVENCA

$$e(t) = -N \frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d\Psi}{dt}$$

$$\eta = \frac{P_{\text{izH}}}{P_{\text{vH}}} = \frac{P_{\text{vH}} - \Sigma P_{\text{izS}}}{P_{\text{vH}}}$$

$$P_{\text{izS}} = P_{\text{Fe}} + P_{\text{cu}} = S - \eta S = (1 - \eta) S$$

3 faze:

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} U}$$

$$\frac{P_{\text{cu}}}{P_{\text{cu}}} = \left(\frac{I'}{I_n} \right)^2$$

$$\frac{I}{m \cdot d} =$$

ŠT. UTOROV $\checkmark$

UTOROVA DELITEV = POLOVA DELITEV

ŠTEVILO UTOROV NA EN POL $\rightarrow \gamma_p = \frac{N}{2p}$

ŠTEVILO POLOVIN PARN (1 ST. SEVER, 1 JUG)

GEOMETRIZMI KOT MED DVEMA UTOROMA $\rightarrow \alpha_g = \frac{360^\circ}{N}$

ELEKTRIČNI KOT IND. NAP. SOSEDNJIM UTOROV $\rightarrow \alpha_e = p \cdot \alpha_g$

ŠTEVILO UTOROV NA POL IN FAZO $\rightarrow q = \frac{\gamma_p}{m} = \frac{N}{2p \cdot m}$

ŠT. FAZ

$n_s = \frac{60 \cdot f}{p}$ FREKVENCA OMEJEJA

$\rightarrow p \in \text{ŠT. POLOVNIH PAROV}$

VRTILNA HITROST V VRTILNIH NA MINUTO

FAKTOR NAVIJA PASOVNI FAKTOR NAVIJA

OSNOVNE HARMONISKE KOMPONENTE NAVIJE $\rightarrow f_{n1} = f_{pn} \cdot f_{sa} \leftarrow$ FAKTOR SKRAJŠAVEGA KOTANJA (TETIVLJENJA)

$f_{pd} = \frac{\sin(q \cdot \gamma \cdot \frac{\alpha_e}{2})}{q \cdot \sin \frac{\gamma \cdot \alpha_e}{2}}$

$\gamma = \text{ŠT. VIŠJEHARMONISKE KOMPONENTE}$

$U_{MF} = \sqrt{3} \cdot U_f$ FAZNA NAPETOST

MEĐFAZNA NAPETOST ZA VERTIKO ZVEZDA

$U_f = (2 \cdot p \cdot q) \cdot Z \cdot \frac{E_{amax}}{\sqrt{2}} \cdot f_{n1}$ FAZNA NAPETOST ENOPOLASTNEGA NAVIJA

$Z \dots$ ŠT. OVOJEV V TULJAVI

$(2pq) \dots$ ŠT. VSEH TULJAV KI SO DELUJEJO PRI INDUCIRANJU NAPETOSTI PRI ENOPOLASTNEM NAVIJU

$E_{amax} \dots$ TEORETIŠKA VRED. IND. NAP. V ENI STRANICI OVOJA

$U_f = Z \cdot (2pq) \cdot Z \cdot \frac{E_{amax}}{\sqrt{2}} \cdot f_{n1}$ FAZNA NAPETOST DVOPLASTNEGA NAVIJA

SINHRONSKI GENERATOR

$X_{SR} \dots$ RELATIV. SINHRONSKA RELUKTANCA

$U_{ZNR} \dots$ RELATIVNA NAZIVNA NAPETOST

$I_{ZNR} \dots$ RELATIVNI NAZIVNI TOK

$Z_{NR} \dots$ RELATIVNA NAZIVNA IMPEDANCA

$E_{or} = \sqrt{(U_{ZNR} + I_{ZNR} \cdot X_{SR} \cdot \sin \varphi_{2N})^2 + (I_{ZNR} \cdot X_{SR} \cdot \cos \varphi_{2N})^2}$

$Z_{NR} = \frac{U_{ZNR}}{I_{ZNR}}$ $X_{SR} = \frac{X_S}{Z_N}$ $E_{or} = \frac{E_o}{U_{2N}}$

$P = m \cdot U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2$

SINHRONSKI STROJI

$p \equiv$ ŠTEVILO STEBROV

$N \equiv$ ŠTEVILO UTOROV NA JARMU

$S \equiv$ SKRAJŠAVA, TETIVLJENJE, ŠIRINA TULJAVICE, ŠTEVILO UTOROVNIH DELITEV

$\gamma_p \equiv$ ŠTEVILO UTOROV NA POL (1 STEBER = 2 POLA) [UTOROVNIH DELITEV]

$\alpha_g \equiv$ KOT MED SOSEDNJIMA UTOROMA

$\alpha_e \equiv$ ELEKTRIČNI KOT INDUCIRANIH NAPETOSTI

$m \equiv$ ŠTEVILO FAZ

$q = \frac{\gamma_p}{m} = \frac{N}{2p \cdot m}$

$\gamma_p = \frac{N}{2p}$ [UTOROV. DEL.]

$\alpha_g = \frac{360}{N} [^\circ]$

$\alpha_e = p \cdot \alpha_g [^\circ]$

$q = \frac{\gamma_p}{m} = \frac{N}{2p \cdot m}$

SINHRONSKI STROJI!

ASINHRONSKI STROJI

1-stator (primar)

2-rotor (sekundar)

INDUC. NAP. NA NAVITJIH

$$E_1 = 4.44 \cdot f_1 \cdot N_1 \cdot \phi \cdot k_{n1}$$

$$E_2 = 4.44 \cdot f_2 \cdot N_2 \cdot \phi \cdot k_{n2}$$

FREKVENCA VRTENJA

$$f_2 = s \cdot f_1 \quad (\text{ROTORSKA FREKVENCA})$$

SLIP

$$s = \frac{\omega_s - \omega_{meh}}{\omega_s} = \frac{n_s - n_{meh}}{n_s} = \frac{f_{meh}}{f_{smbt.}}$$

$$E_2 = E_{20}$$

KLOSOVA ENAČBA

$$\frac{M_{rel}}{M_{om}} = \frac{2}{\frac{s_{rel}}{s_{om}} + \frac{s_{om}}{s_{rel}}}$$

ENERGIJSKA BILANCA

$$P_{1el} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

$$P_{Cu1} = I_1^2 \cdot R_1$$

$$P_{Fe}$$

$$P_{dod}$$

$$P_{vp}$$

$$P_{vv2} = P_{2el} = s \cdot P_{vp}$$

$$P_{vp}(1-s)$$

$$P_{tr,vent}$$

$$P_n$$

IZKORISTEK

$$\eta = \frac{P_{cel}}{P_{sp}} = \frac{P_{meh}}{P_{el}}$$

V PRAZNEM TEKU

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_{rel}}{\sqrt{3} \cdot U_{1n} \cdot I_{10}}$$

$$X_0 = \frac{U_{1n}}{\sqrt{3} \cdot I_{10} \cdot \sin \varphi_0}$$

$$R_0 = \frac{U_{1n}}{\sqrt{3} \cdot I_{10} \cdot \cos \varphi_0}$$

V KRATKEM STIKU

$$\sqrt{3} \cdot I_{1n} \cdot (X_1 + X_2') = U_{1n} \cdot \sin \varphi_k$$

$$\sqrt{3} \cdot I_{1k} \cdot (R_1 + R_2') = U_{1k} \cdot \cos \varphi_k$$

DODATNE ENAČBE

$$P_b = M_b \cdot \omega_b = M_b \cdot \frac{2\pi \cdot n_n}{60}$$

$$s_b = \frac{n_s - n_b}{n_s}$$

$$P_{vp} = \frac{P_b}{1-s}$$

$$P_{2el} = P_{vp} - P_b$$

$$P_{2el} = P_{vp} \cdot s_b$$

$$P_{1el} = P_{vp} + P_{Cu1} + P_{Fe} + P_{tr,vent}$$

$$\eta = \frac{P_b}{P_{1el}}$$

$$M = k \cdot U_1^2$$

$$\frac{M_Y}{M_\Delta} = \left(\frac{U_{fY}}{U_{f\Delta}} \right) = \left(\frac{\frac{U_1}{\sqrt{3}}}{U_1} \right)^2 = \frac{1}{3}$$

$$I_{zagY} = \frac{I_{zag\Delta}}{3}$$

$$\Delta : M_n = \frac{P_n}{\omega_n} \quad Y : M_{zagY} = \frac{M_{zag\Delta}}{3}$$

$$U_{Ymin} = U_Y \cdot \sqrt{\frac{M_{zagYmin}}{M_{zagY}}}$$

$$\frac{U_Y}{U_{Ymin}} = \frac{I_{zagY}}{I_{zagYmin}}$$

$$\frac{M_{om}'}{M_{om}} = \left(\frac{U'}{U_n} \right)^2$$

$$M_n = \frac{P_n \cdot 60}{2\pi \cdot n}$$

$$\frac{M'}{M_n} = \frac{s'}{s_n} = \frac{I_2'}{I_{2n}}$$

F SARI ZA PODROČE
BLIZU S=0

OPORNOST (ELOTNA) ROTORSKEGA NAVIJA

$$R_2 = \frac{s_n \cdot E_{20}}{\sqrt{3} \cdot I_{2n}}$$

KOMUTATORSKI STROJI

Serijski motor - nezasičen

$$\Phi_{gl} = k_{\Phi} I_v = k_{\Phi} I$$

$$I_v = I_l = I$$

$$E = k_e n \Phi_{gl}$$

$$k_z = \frac{p}{a} \frac{z}{60}$$

p...št. polovih parov

z...št. vodn. v induktu

a...št. pararal. vej

$$E = k_e k_{\Phi} n I$$

$$M_m = k_e k_{\Phi} I = k_e k_{\Phi} I^2$$

$$k_m = \frac{p}{2\pi} \frac{z}{a}$$

$$U = E + I R_c + \Delta U_{sc}$$

$$R_c = R_l + R_j + R_d$$

$$n = f_{(1)} = \frac{U - I R_c - \Delta U_{sc}}{k_e k_{\Phi} I} = \frac{U}{k_e k_{\Phi} I} - \frac{I R_c + \Delta U_{sc}}{k_e k_{\Phi} I}$$

$$n = f_{(M_m)} = \frac{U}{k_e k_{\Phi} \sqrt{\frac{M_m}{k_m k_{\Phi}}}} - \frac{\sqrt{\frac{M_m}{k_m k_{\Phi}}} R_c + \Delta U_{sc}}{k_e k_{\Phi} \sqrt{\frac{M_m}{k_m k_{\Phi}}}}$$

$$\text{če } \Delta U_{sc} \approx 0; \quad n = \frac{U}{\frac{k_e k_{\Phi}}{\sqrt{k_m k_{\Phi}}} \sqrt{M_m}} - \frac{R_c}{k_e k_{\Phi}}$$

Popolnoma zasičen serijski motor

$$\Phi_{gl} = \Phi_z = \text{konst.} \neq f_{(1)}$$

$$E = k_e n \Phi_z$$

$$M_m = k_m \Phi_z I$$

$$U = E + I R_c + \Delta U_{sc}$$

$$n = \frac{U - I R_c - \Delta U_{sc}}{k_e \Phi_z} = \frac{U - I R_c - \Delta U_{sc}}{c_e}$$

Motor z tujim vzbujanjem

$$E = k_e n \Phi_{gl} = c_e n$$

$$\Phi_{gl} = \text{konst.}$$

$$U = E + I_l R_c + \Delta U_{sc}$$

$$R_{lc} = R_l + R_d$$

$$n = \frac{U - I_l R_c - \Delta U_{sc}}{c_e}$$

Motor s parnim vzbujanjem

$$E = k_e n \Phi_{gl}$$

$$M_m = k_m \Phi_{gl} I_l$$

$$n = \frac{U - I_l R_c - \Delta U_{sc}}{k_e \Phi_{gl}}$$

$$I = I_l + I_v$$