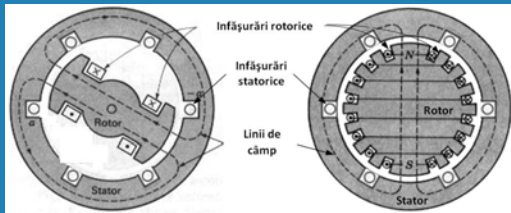


STABILITATEA SI CONTROLUL SISTEMELOR ELECTROENERGETICE

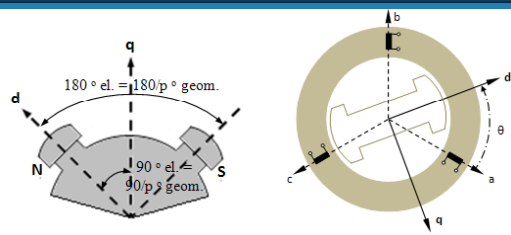
Modelarea generatorului sincron

Aspecte constructive



Numarul de perechi de poli: $n = 60 * f / p$

Aspecte constructive



Legatura intre unghiul electric si cel mecanic:

$$\theta_{el} = p * \theta_{mec}$$

Modelul electromecanic al generatorului sincron

Ecuția mecanică de mișcare a rotorului (1/3)

Viteza mecanică de rotație și pulsația electrică:

$$\omega = p \cdot \Omega \quad \omega_s = p \cdot \Omega_s$$

și abaterilor lor față de valorile de sincronism în unități absolute:

$$\Delta \Omega = \Omega - \Omega_s \quad \Delta \omega = \omega - \omega_s$$

și în unități relative:

$$\Delta \Omega^* = \Delta \Omega / \Omega_s = \Omega^* - 1 \quad \Delta \omega^* = \Delta \omega / \omega_s = \omega^* - 1$$

Variația pulsației $\Delta \omega$: $\Delta \omega = d\delta / dt$

Modelul electromecanic al generatorului sincron

Ecuția mecanică de mișcare a rotorului (2/3)

$$J \cdot \frac{d\Omega}{dt} = \Delta C_{a/f} = C_{tb} - C_{am} - C_e$$

(ecuația diferențială care descrie mișcarea rotorului)

J – momentul de inerție al rotorului în mișcare [kg/m²];

$d\Omega/dt$ – accelerația unghiulară a rotorului [rad mecanici/s²];

C_{tb} – cuplul mecanic activ la arborele turbinei [N·m];

C_{am} – cuplul de amortizare asociat pierderilor mecanice în mișcarea de rotație [N·m];

C_e – cuplul electromagnetic rezistent [N·m];

$\Delta C_{a/f}$ – cuplul de accelerare/frânare [N·m].

Modelul electromecanic al generatorului sincron

Ecuția mecanică de mișcare a rotorului (3/3)

$$\Omega = \Omega_s + \Delta \Omega = \Omega_s + \frac{d\theta_{mec}}{dt} \quad (\text{variația vitezei de rotație cu unghiul mecanic})$$

$$M_{mec} \cdot \frac{d^2 \theta_{mec}}{dt^2} + D_{mec} \cdot \frac{d\theta_{mec}}{dt} = P_m - P_e$$

ECUAȚIA MECANICĂ DE MIȘCARE A ROTORULUI

$M_{mec} = J \cdot \Omega_s$ – momentul mecanic unghiular [kg/(m²·s)];

$D_{mec} = D_{am} \cdot \Omega_s$ – coeficientul de amortizare mecanică [N m];

P_m – puterea mecanică la arborele generatorului [W];

P_e – puterea electromagnetică transferată statorului [W].

Modelul electromecanic al generatorului sincron

Modelul electromecanic (1/6)

Se introduc notatiile:

$$T_J = 2 \cdot H = \frac{J \cdot \Omega_s^2}{S_n} \quad \text{- timpul de lansare a agregatului (sec.)}$$

$$M = \frac{2 \cdot H \cdot S_n}{\omega_s} = \frac{T_J \cdot S_n}{\omega_s} \quad \text{- coeficientul de inerție}$$

... si se trece de la marimile mecanice la cele electrice:

$$\delta = p \cdot \theta_{mec} \quad \omega = p \cdot \Omega \quad D = \frac{D_{mec}}{p}$$

Modelul electromecanic al generatorului sincron

Modelul electromecanic (2/6)

Ecuatie diferentiala de ordin II (in unitati absolute):

$$M \cdot \frac{d^2 \delta}{dt^2} + D \cdot \frac{d\delta}{dt} = P_m - P_e$$

Sistem de ecuatii diferentiale de ordin I (in unitati absolute):

$$\begin{cases} M \cdot \frac{d\Delta\omega}{dt} + D \cdot \Delta\omega = P_m - P_e \\ \frac{d\delta}{dt} = \Delta\omega \end{cases}$$

Modelul electromecanic al generatorului sincron

Modelul electromecanic (3/6)

Ecuatie diferentiala de ordin II (in unitati relative):

$$T_J \cdot \frac{d^2 \delta}{dt^{*2}} + D^* \cdot \frac{d\delta}{dt^*} = P_m^* - P_e^*$$

Sistem de ecuatii diferentiale de ordin I (in unitati relative):

$$\begin{cases} T_J \cdot \frac{d\Delta\omega^*}{dt} + D^* \cdot \Delta\omega^* = P_m^* - P_e^* \\ \frac{d\delta}{dt^*} = \Delta\omega^* \end{cases}$$

Modelul electromecanic al generatorului sincron

Modelul electromecanic (4/6)

Mărimile în unități relative folosite în modelul electromecanic al GS au următoarele expresii:

$$P_m^* = \frac{P_m}{S_n} \quad P_e^* = \frac{P_e}{S_n}$$

$$t^* = \omega_S \cdot t$$

$$\omega^* = \frac{\omega}{\omega_S} \quad \Delta\omega^* = \frac{\Delta\omega}{\omega_S}$$

Modelul electromecanic al generatorului sincron

Modelul electromecanic – convenții (5/6)

(i) Se renunță la notația * pentru mărimile relative, dar se specifică de fiecare dată dacă se utilizează unități absolute sau unități relative.

(ii) Pentru abaterea sau variația vitezei rotorului se renunță la folosirea simbolului Δ , notația $\Delta\omega$ fiind înlocuită prin ω . Se menține însă semnificația fizică a mărimii respective.

Modelul electromecanic al generatorului sincron

Modelul electromecanic (6/6)

Unități absolute

$$M \cdot \frac{d^2\delta}{dt^2} + D \cdot \frac{d\delta}{dt} = P_m - P_e$$

$$M \cdot \frac{d\omega}{dt} + D \cdot \omega = P_m - P_e$$

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega$$

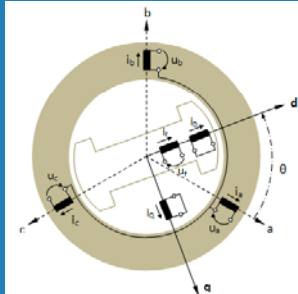
Unități relative

$$T_J \cdot \frac{d^2\delta}{dt^2} + D \cdot \frac{d\delta}{dt} = P_m - P_e$$

$$T_J \cdot \frac{d\omega}{dt} + D \cdot \omega = P_m - P_e$$

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega$$

Modelul **electromagnetic** al generatorului sincron



Reprezentarea infasurarilor GS

Modelul **electromagnetic** al generatorului sincron

Ipoteze de calcul

- se consideră că cele trei înfășurări statorice se realizează în construcție simetrică și sunt dispuse simetric;
- se neglijează caracterul uniform distribuit al înfășurărilor statorice și rotorice, care se reprezintă prin scheme echivalente cu parametri concentrați;
- se neglijează efectul de histerezis și al curenților turbionari;
- se neglijează fenomenul de saturație, astfel încât circuitele magnetice pot fi considerate liniare;
- se consideră că variația în timp a inductivităților proprii și mutuale statorice și a celor mutuale între stator și rotor are caracter sinusoidal.

Modelul **electromagnetic** al generatorului sincron

Ecuțiile de funcționare ale GS în mărimi instantanee (1/4) – **ecuațiile de tensiuni**

Înfășurările statorice

$$-\frac{d\Phi_a}{dt} = u_a + R \cdot i_a$$

$$-\frac{d\Phi_b}{dt} = u_b + R \cdot i_b$$

$$-\frac{d\Phi_c}{dt} = u_c + R \cdot i_c$$

Înfășurările rotorice

$$-\frac{d\Phi_f}{dt} = -u_f + R_f \cdot i_f$$

$$-\frac{d\Phi_D}{dt} = R_D \cdot i_D$$

$$-\frac{d\Phi_Q}{dt} = R_Q \cdot i_Q$$

Modelul electromagnetic al generatorului sincron

Ecuțiile de funcționare ale GS în mărimi instantanee (2/4) – ecuațiile fluxurilor magnetice

$$\begin{cases} \Phi_a = L_{aa} \cdot i_a + L_{ab} \cdot i_b + L_{ac} \cdot i_c + L_{af} \cdot i_f + L_{ad} \cdot i_D + L_{aQ} \cdot i_Q \\ \Phi_b = L_{ba} \cdot i_a + L_{bb} \cdot i_b + L_{bc} \cdot i_c + L_{bf} \cdot i_f + L_{bD} \cdot i_D + L_{bQ} \cdot i_Q \\ \Phi_c = L_{ca} \cdot i_a + L_{cb} \cdot i_b + L_{cc} \cdot i_c + L_{cf} \cdot i_f + L_{cD} \cdot i_D + L_{cQ} \cdot i_Q \\ \Phi_f = L_{fa} \cdot i_a + L_{fb} \cdot i_b + L_{fc} \cdot i_c + L_{ff} \cdot i_f + L_{fD} \cdot i_D + L_{fQ} \cdot i_Q \\ \Phi_D = L_{Da} \cdot i_a + L_{Db} \cdot i_b + L_{Dc} \cdot i_c + L_{Df} \cdot i_f + L_{DD} \cdot i_D + L_{DQ} \cdot i_Q \\ \Phi_Q = L_{Qa} \cdot i_a + L_{Qb} \cdot i_b + L_{Qc} \cdot i_c + L_{Qf} \cdot i_f + L_{QD} \cdot i_D + L_{QQ} \cdot i_Q \end{cases}$$

Modelul electromagnetic al generatorului sincron

Ecuțiile de funcționare ale GS în mărimi instantanee (3/4) – forma matriceala

$$\begin{cases} - \frac{d[\Phi_S]}{dt} = [u_S] + [R_S] \cdot [i_S] \\ - \frac{d[\Phi_R]}{dt} = [u_R] + [R_R] \cdot [i_R] \end{cases}$$

$$\begin{bmatrix} \Phi_S \\ \Phi_R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{SS} & M_{SR} \\ M_{RS} & L_{RR} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_S \\ i_R \end{bmatrix}$$

Modelul electromagnetic al generatorului sincron

Ecuțiile de funcționare ale GS în mărimi instantanee (4/4) – notatii

$$\begin{cases} [\Phi_S] = [\Phi_a \ \Phi_b \ \Phi_c]^T & [u_S] = [u_a \ u_b \ u_c]^T & [i_S] = [i_a \ i_b \ i_c]^T \\ [\Phi_R] = [\Phi_f \ \Phi_D \ \Phi_Q]^T & [u_R] = [-u_f \ 0 \ 0]^T & [i_R] = [i_f \ i_D \ i_Q]^T \end{cases}$$

$$[R_S] = \begin{bmatrix} R & 0 & 0 \\ 0 & R & 0 \\ 0 & 0 & R \end{bmatrix} \quad [R_R] = \begin{bmatrix} R_f & 0 & 0 \\ 0 & R_D & 0 \\ 0 & 0 & R_Q \end{bmatrix}$$

$[L_{SS}]$, $[L_{RR}]$, $[M_{SR}]$ și $[M_{RS}]$ - submatrice de inductivități proprii și mutuale între înfășurările GS.

Modelul electromagnetic al generatorului sincron

Transformata Park (1/4)

$$\Phi_f = L_{ff} \cdot i_f + M_{Df} \cdot i_D + M_{Df} \left[i_a \cdot \cos \theta + i_b \cdot \cos \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right) + i_c \cdot \cos \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) \right]$$

$$\Phi_D = M_{Df} \cdot i_f + L_{DD} \cdot i_D + M_{Df} \left[i_a \cdot \cos \theta + i_b \cdot \cos \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right) + i_c \cdot \cos \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) \right]$$

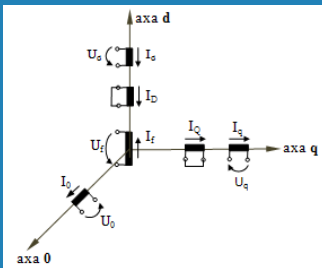
$$\Phi_Q = L_{QQ} \cdot i_Q + M_{Qf} \left[i_a \cdot \sin \theta + i_b \cdot \sin \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right) + i_c \cdot \sin \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) \right]$$

$$I_d = k_d \cdot \left[i_a \cdot \cos \theta + i_b \cdot \cos \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right) + i_c \cdot \cos \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) \right]$$

$$I_q = k_q \cdot \left[i_a \cdot \sin \theta + i_b \cdot \sin \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right) + i_c \cdot \sin \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) \right]$$

Modelul electromagnetic al generatorului sincron

Transformata Park (2/4)



Componenta după axa 0:
 $I_0 = k_0 \cdot (i_a + i_b + i_c)$

Transformata Park normala:

$$k_d = k_q = \sqrt{2/3}$$

$$k_0 = 1/\sqrt{3}$$

Modelul electromagnetic al generatorului sincron

Transformata Park (3/4) directa

$$\begin{bmatrix} I_d \\ I_q \\ I_0 \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right) & \cos \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) \\ \sin \theta & \sin \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right) & \sin \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) \\ 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix}$$

Modelul **electromagnetic** al generatorului sincron

Transformata Park (4/4) inversa

$$\begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 1/\sqrt{2} \\ \cos \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right) & \sin \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right) & 1/\sqrt{2} \\ \cos \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) & \sin \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) & 1/\sqrt{2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_d \\ I_q \\ I_0 \end{bmatrix}$$

Modelul **electromagnetic** al generatorului sincron

Ecuatiile de functionare ale GS in coordonate Park (1/3) - notatii

Vectorii curentilor, tensiunilor si fluxurilor magnetice in coordonate de faza:

$$[i_S] = [i_a, i_b, i_c]^T; [u_S] = [u_a, u_b, u_c]^T; [\Phi_S] = [\Phi_a, \Phi_b, \Phi_c]^T$$

Vectorii curentilor, tensiunilor si fluxurilor magnetice in coordonate Park:

$$[i_S] = [I_d, I_q, I_0]^T; [u_S] = [U_d, U_q, U_0]^T; [\Psi_S] = [\Psi_d, \Psi_q, \Psi_0]^T$$

Modelul **electromagnetic** al generatorului sincron

Ecuatiile de functionare ale GS in coordonate Park (2/3)

$$-\frac{d[\Psi_S]}{dt} - [Q] \cdot [\Psi_S] = [U_S] + [R_S] \cdot [I_S]$$

$$-\frac{d[\Phi_R]}{dt} = [u_R] + [R_S] \cdot [i_R]$$

$$[\Psi_S] = [L'_{SS}] \cdot [I_S] + [M'_{SR}] \cdot [i_R]$$

$$[\Phi_R] = [M'_{RS}] \cdot [I_S] + [L_{RR}] \cdot [i_R]$$

Modelul electromagnetic al generatorului sincron

Ecuatiile de functionare ale GS in coordonate Park (3/3) - notatii

$$[L'_{SS}] = \begin{matrix} d & \begin{matrix} L_d & 0 & 0 \\ 0 & L_q & 0 \\ 0 & 0 & L_0 \end{matrix} \\ q & \\ 0 & \end{matrix} \quad [M'_{SR}] = [M'_{RS}]^T = \begin{matrix} d & \begin{matrix} M_{df} & M_{dD} & 0 \\ 0 & 0 & M_{dq} \end{matrix} \\ q & \\ 0 & \end{matrix}$$

$$[L_{RR}] = \begin{matrix} f & \begin{matrix} L_{ff} & M_{fD} & 0 \\ M_{Df} & L_{DD} & 0 \\ 0 & 0 & L_{QQ} \end{matrix} \\ D & \\ Q & \end{matrix} \quad [Q] = \begin{matrix} 0 & \omega & 0 \\ -\omega & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{matrix}$$

Modelul electromagnetic al generatorului sincron

Ecuatiile de functionare ale GS in marimi raportate(1/6)

Utilizarea ecuatiilor de functionare in coordonate Park necesita cunoasterea a 10 inductivitati ($L_d, L_q, L_0, M_{df}, M_{dD}, M_{dq}, L_{ff}, L_{DD}, L_{QQ}$ și $M_{Df} = M_{Dd}$), care se pot determina prin măsurători la bornele accesibile ale GS (bonele înfășurării statorice a, b, c și de excitație f) și prin calcul.

Pentru reducerea efortului de calcul se aplica o transformare suplimentara care defineste circuite echivalente astfel încât toate inductivitățile mutuale între înfășurările din axa d , respectiv din axa q , să fie respectiv egale.

Se realizeaza de fapt raportarea înfășurării rotorice (f, D și Q) la înfășurările statorice fictive Park (d și q).

Modelul electromagnetic al generatorului sincron

Ecuatiile de functionare ale GS in marimi raportate(2/6)

$$-\frac{d[\Psi_S]}{dt} - [Q] \cdot [\Psi_S] = [U_S] + [R_S] \cdot [I_S]$$

$$-\frac{d[\Psi_R]}{dt} = [U_R] + [R'_R] \cdot [I_R]$$

$$[\Psi_S] = [L'_{SS}] \cdot [I_S] + [M'_{SR}] \cdot [I_R]$$

$$[\Psi_R] = [M'_{RS}] \cdot [I_S] + [L'_{RR}] \cdot [I_R]$$

Modelul electromagnetic al generatorului sincron

Ecuatiile de functionare ale GS in marimi raportate(3/6) - notatii

Vectorii curenților, tensiunilor și fluxurilor magnetice în coordonate Park:

$$\begin{aligned}
 [I_S] &= [I_d, I_q, I_0]^T; [I_R] = [I_f, I_D, I_Q]^T \\
 [U_S] &= [U_d, U_q, U_0]^T; [U_R] = [-U_f, 0, 0]^T; \\
 [\Psi_S] &= [\Psi_d, \Psi_q, \Psi_0]^T; [\Psi_R] = [\Psi_f, \Psi_D, \Psi_Q]^T
 \end{aligned}$$

Modelul electromagnetic al generatorului sincron

Ecuatiile de functionare ale GS in marimi raportate(4/6) - notatii

$$[L'_{SS}] = \begin{matrix} d & \begin{matrix} L_d & 0 & 0 \\ 0 & L_q & 0 \\ 0 & 0 & L_0 \end{matrix} \\ q & \\ 0 & \end{matrix} \quad \begin{matrix} d & \begin{matrix} L_f & M_{ad} & 0 \\ M_{ad} & L_D & 0 \\ 0 & 0 & L_Q \end{matrix} \\ f & \\ D & \\ Q & \end{matrix} \\
 [M'_{SR}] = [M'_{RS}]^T = \begin{matrix} d & \begin{matrix} M_{ad} & M_{ad} & 0 \\ 0 & 0 & M_{aq} \\ 0 & 0 & 0 \end{matrix} \\ f & \\ D & \\ Q & \end{matrix}$$

Modelul electromagnetic al generatorului sincron

Ecuatiile de functionare ale GS in marimi raportate(5/6) - notatii

$$[R'_{R}] = \begin{matrix} d & \begin{matrix} R'_f & 0 & 0 \\ 0 & R'_D & 0 \\ 0 & 0 & R'_Q \end{matrix} \\ q & \\ 0 & \end{matrix} \quad \begin{matrix} d & \\ q & \\ 0 & \end{matrix}$$

unde: $R'_f = k_{df}^2 \cdot R_f$, $R'_D = k_{dD}^2 \cdot R_D$ și $R'_Q = k_{dQ}^2 \cdot R_Q$, iar vectorul $[U_R]$ conține tensiunea $U_f = k_{df} \cdot u_f$.

Modelul **electromagnetic** al generatorului sincron

Ecuatiile de functionare ale GS in marimi raportate(6/6) - notatii

Inductivitati de calcul:

$$M_{ad} = M_{df} \cdot \frac{M_{dD}}{M_{fD}} \quad M_{aq} = M_{qQ}$$

Coefficienti de raportare:

$$k_{df} = \frac{M_{ad}}{M_{df}} = \frac{M_{dD}}{M_{fD}} \quad k_{dD} = \frac{M_{ad}}{M_{dD}} = \frac{M_{df}}{M_{fD}} \quad k_{qQ} = \frac{M_{aq}}{M_{qQ}} \equiv 1$$

Parametrii generatorului sincron

Parametrii generatorului sincron

Regimuri specifice de functionare (1/6)

Funcționarea generatorului sincron este considerată prin trei tipuri de regimuri, care se deosebesc cu prioritate prin modul în care **câmpul magnetic de reacție al statorului** influențează procesele care au loc în înfășurările rotorice:

- Regim permanent
- Regim supratranzitoriu
- Regim tranzitoriu

Parametrii generatorului sincron

Regimuri specifice de functionare (2/6)

Regimul permanent

Distribuția uniformă a câmpului magnetic de reacție al statorului, care se închide prin masa rotorului, înlănțuind toate înfășurările acestuia – înfășurarea de excitație și înfășurările de amortizare.

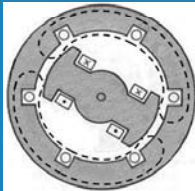


Parametrii generatorului sincron

Regimuri specifice de functionare (3/6)

Regimul supratranzitoriu

Pentru menținerea constantă a fluxului magnetic ce înlănțuie înfășurările rotorice, câmpul magnetic de reacție a indusului este refulat și nu se mai închide prin nici una din înfășurările rotorice (fenomen de ecranare a înfășurărilor de excitație și de amortizare).

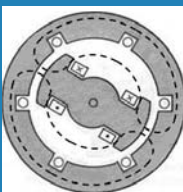


Parametrii generatorului sincron

Regimuri specifice de functionare (4/6)

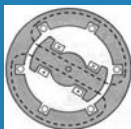
Regimul tranzitoriu

Pe durata perioadei supratranzitorii, fluxului magnetic propriu al rotorului scade. Pentru menținerea constantă a acestui flux, la începutul perioadei tranzitorii, o parte a fluxului magnetic al câmpului de reacție al indusului pătrunde în rotor, mai întâi în zona înfășurării de amortizare, în care curenții scad mai repede.

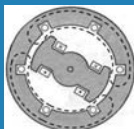


Parametrii generatorului sincron

Regimuri specifice de functionare (5/6)



Regim permanent - liniile de câmp se închid preponderent prin masa statorului și rotorului mai puțin prin aer. Reluctanța magnetică este redusă, deci reactanța sincronă X_d este cea mai mare dintre reactanțele longitudinale asociate generatorului sincron.



Regim supratranzitoriu - cea mai mare parte a fluxului magnetic se închide prin aer. Reluctanța magnetică este importantă, deci reactanța supratranzitorie X''_d este cea mai mică dintre reactanțele longitudinale ale generatorului sincron.

Parametrii generatorului sincron

Regimuri specifice de functionare (6/6)

Variația reactanței echivalente a generatorului sincron în cele trei procese specifice face dificilă și ineficientă din punct de vedere numeric utilizarea unui **model dinamic unic** al generatorului sincron, caracterizat de valori variabile în timp ale reactanței și tensiunii electromotoare.

În practică, se preferă utilizarea a **trei modele distincte** pentru fiecare dintre regimurile specifice de functionare, caracterizate de valori constante ale reactanței și t.e.m. (X_d , X'_d și X''_d , respectiv E , E' și E'').

Parametrii generatorului sincron

Parametri caracteristici – reactante (1/4)

Reactante sincrone (infășurările X și F deschise):

$$X_d$$

$$X_q$$

Reactanta tranzitorie longitudinală (infășurarea X deschisă, infășurarea F în scurtcircuit):

$$X'_d = \frac{T'_{d0}}{T'_{d0}} \cdot X_d$$

$$-----$$

Reactantele supratranzitorii (infășurările X și F în scurtcircuit):

$$X''_d = \frac{T''_{d0}}{T''_{d0}} \cdot X'_d$$

$$X''_q = \frac{T''_{q0}}{T''_{q0}} \cdot X'_q$$

Parametrii generatorului sincron

Parametri caracteristici – constante de timp (2/4)

T'_{d0} – constanta de timp a înfășurării de excitație, cu restul înfășurărilor deschise.
 T''_{d0} – constanta de timp a înfășurării de amortizare din axa longitudinală, cu indusul deschis și înfășurarea de excitație în scurtcircuit;
 T''_{q0} – constanta de timp a înfășurării de amortizare din axa transversală, cu indusul deschis;

Parametrii generatorului sincron

Parametri caracteristici – constante de timp (3/4)

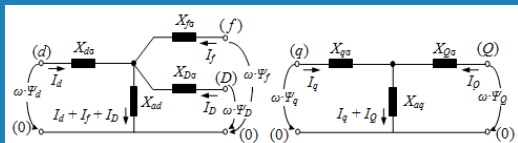
T'_d – constanta de timp a înfășurării de excitație, cu indusul în scurtcircuit și înfășurarea de amortizare deschisă;
 T''_d – constanta de timp a înfășurării de amortizare din axa longitudinală, cu indusul și înfășurarea de excitație în scurtcircuit;
 T''_q – constanta de timp a înfășurării de amortizare din axa transversală, cu indusul în scurtcircuit.

Parametrii generatorului sincron

Scheme echivalente (4/4)

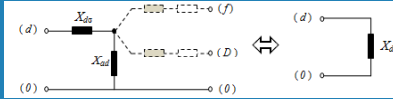
Dupa axa longitudinala d

Dupa axa transversala q

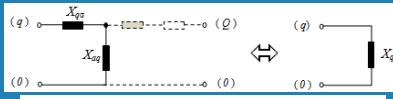


Parametrii generatorului sincron

Reactante sincrone (1/5)



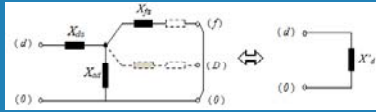
$$X_d = X_{d\sigma} + X_{ad} = X_d - X_{ad} + X_{ad} = X_d$$



$$X_q = X_{q\sigma} + X_{aq} = X_q - X_{aq} + X_{aq} = X_q$$

Parametrii generatorului sincron

Reactanta tranzitorie longitudinala (2/5)



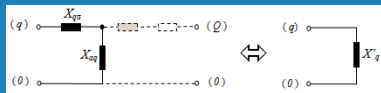
$$X'_d = X_{d\sigma} + (X_{f\sigma} \parallel X_{ad}) = X_d - X_{ad} + \frac{(X_f - X_{ad}) \cdot X_{ad}}{X_f - X_{ad} + X_{ad}} =$$

$$= X_d - X_{ad} + X_{ad} - \frac{X_{ad}^2}{X_f} = X_d - \frac{X_{ad}^2}{X_f}$$

$$X'_d = X_d - \frac{X_{ad}^2}{X_f}$$

Parametrii generatorului sincron

Reactanta tranzitorie transversala (3/5)

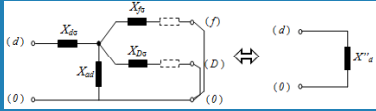


$$X'_q = X_{q\sigma} + X_{aq} = X_q - X_{aq} + X_{aq} = X_q$$

$$X'_q = X_q$$

Parametrii generatorului sincron

Reactanta supratranzitorie longitudinala (4/5)

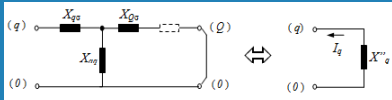


$$X''_d = X_{d\sigma} + (X_{f\sigma} \parallel X_{D\sigma} \parallel X_{ad})$$

$$X''_d = X_d - \frac{X_{ad}^2 \cdot (X_f + X_D - 2 \cdot X_{ad})}{X_f \cdot X_D - X_{ad}^2}$$

Parametrii generatorului sincron

Reactanta supratranzitorie transversala (5/5)



$$X''_q = X_{q\sigma} + (X_{Q\sigma} \parallel X_{aq})$$

$$X''_q = X_q - \frac{X_{aq}^2}{X_Q}$$

Constantele de timp ale generatorului sincron

Constantele de timp ale generatorului sincron

Constantele de timp se definesc numai pentru regimul **tranzitoriu** și cel **supratranzitoriu**.

În funcție de modul de considerare a înfășurării statorice:

- constante de timp definite în ipoteza înfășurărilor statorice deschise (indicele „0”);
- constante de timp definite în ipoteza înfășurărilor statorice în scurtcircuit.

Constantele de timp ale generatorului sincron

Pentru generatorul sincron se definesc 6 constante de timp:

- două constante de timp asociate înfășurării de excitație (T'_{d0} și T'_{d});
- două constante de timp asociate înfășurării de amortizare după axa longitudinală (T''_{d0} și T''_{d}) și
- două constante de timp asociate înfășurării de amortizare după axa transversală (T''_{q0} și T''_{q}).

Constantele de timp ale generatorului sincron

Reactanta supratranzitorie transversala (5/5)

Pentru generatorul sincron se definesc 6 constante de timp:

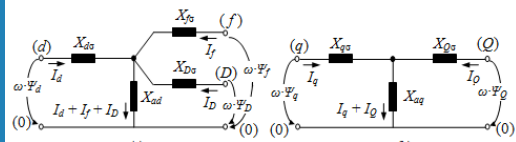
- două constante de timp asociate înfășurării de excitație (T'_{d0} și T'_{d});
- două constante de timp asociate înfășurării de amortizare după axa longitudinală (T''_{d0} și T''_{d}) și
- două constante de timp asociate înfășurării de amortizare după axa transversală (T''_{q0} și T''_{q}).

Constantele de timp ale generatorului sincron

Schemele echivalente ale GS

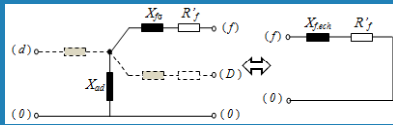
Dupa axa longitudinala d

Dupa axa transversala q



Constantele de timp ale generatorului sincron

Constanta de timp T'_{d0}

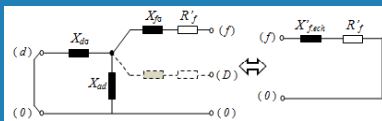


$$X_{f,ech} = \omega \cdot L_{f,ech} = X_{ad} + X_{f\sigma} = X_{ad} + X_f - X_{ad} = X_f$$

$$T'_{d0} = \frac{L_{f,ech}}{R'_f} = \frac{L_f}{R'_f} = \frac{X_f}{\omega \cdot R'_f}$$

Constantele de timp ale generatorului sincron

Constanta de timp T'_d

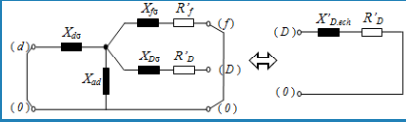


$$X'_{f,ech} = X_{f\sigma} + (X_{D\sigma} \parallel X_{Dd}) = X_f - \frac{X_{ad}^2}{X_d}$$

$$T'_d = \frac{L'_{f,ech}}{R'_f} = \frac{1}{R'_f} \left(L_f - \frac{L_{ad}^2}{L_d} \right) = \frac{1}{\omega \cdot R'_f} \left(X_f - \frac{X_{ad}^2}{X_d} \right)$$

Constantele de timp ale generatorului sincron

Constanta de timp T''_{d0}

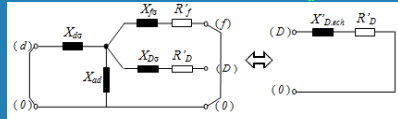


$$X_{D,ech} = X_{D\sigma} + (X_{f\sigma} \parallel X_{ad}) = X_D - \frac{X_{ad}^2}{X_f}$$

$$T''_{d0} = \frac{L_{D,ech}}{R'_D} = \frac{1}{R'_D} \left(L_D - \frac{L_{ad}^2}{L_f} \right) = \frac{1}{\omega \cdot R'_D} \left(X_D - \frac{X_{ad}^2}{X_f} \right)$$

Constantele de timp ale generatorului sincron

Constanta de timp T''_d

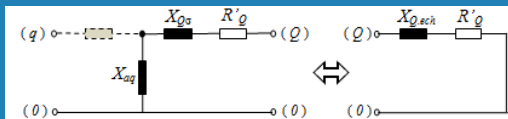


$$X'_{D,ech} = X_{D\sigma} + (X_{d\sigma} \parallel X_{f\sigma} \parallel X_{ad}) = X_D - X_{ad}^2 \cdot \frac{X_d + X_f - 2 \cdot X_{ad}}{X_d \cdot X_f - X_{ad}^2}$$

$$T''_d = \frac{L'_{D,ech}}{R'_D} = \frac{1}{\omega \cdot R'_D} \left(X_D - X_{ad}^2 \cdot \frac{X_f + X_d - 2 \cdot X_{ad}}{X_d \cdot X_f - X_{ad}^2} \right)$$

Constantele de timp ale generatorului sincron

Constanta de timp T''_{q0}

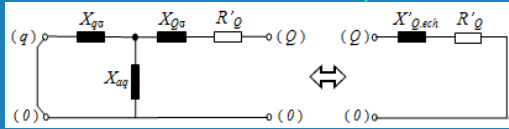


$$X_{Q,ech} = \omega \cdot L_{Q,ech} = X_{Q\sigma} + X_{aq} = X_Q - X_{aq} + X_{aq} = X_Q$$

$$T''_{q0} = \frac{L_{Q,ech}}{R'_Q} = \frac{L_Q}{R'_Q} = \frac{X_Q}{\omega \cdot R'_Q}$$

Constantele de timp ale generatorului sincron

Constanta de timp T''_q



$$X'_{q,ech} = \omega \cdot L'_{q,ech} = X_{q\sigma} + (X_{q\sigma} \parallel X_{aq}) = X_{q\sigma} - \frac{X_{aq}^2}{X_q}$$

$$T''_q = \frac{L'_{q,ech}}{R'_q} = \frac{1}{R'_q} \left(L_{q\sigma} - \frac{L_{aq}^2}{L_q} \right) = \frac{1}{\omega \cdot R'_q} \left(X_{q\sigma} - \frac{X_{aq}^2}{X_q} \right)$$

Constantele de timp ale generatorului sincron

Corelarea constantelor de timp

Între constantele de timp ale diferitelor înfășurări, calculate în cele două ipoteze complementare – cea a indusului deschis și cea a indusului în scurtcircuit – există legături de forma:

$$T'_{d0} = T'_{d0} \cdot \frac{X'_d}{X_d}$$

$$T''_{d0} = T''_{d0} \cdot \frac{X''_d}{X'_d}$$

$$T''_{q0} = T''_{q0} \cdot \frac{X''_q}{X'_q}$$

... urmeaza ...

MODELAREA GENERALA AL REGIMULUI DINAMIC AL GENERATORULUI SINCRON
