

STABILITATEA SI CONTROLUL SISTEMELOR ELECTROENERGETICE

Modelarea generatorului sincron (continuare)

Modelul general al regimului dinamic al GS

Modelul general al regimului dinamic al GS

Ipoteze de lucru (1/2):

- cele trei înfășurări statorice sunt considerate simetrice ca material și construcție;
- se neglijează tensiunile electromotoare de transformare, determinate de variația în timp a fluxului magnetic ($d\Psi_d / dt \approx 0$, $d\Psi_q / dt \approx 0$);
- circuitele magnetice se consideră liniare, prin neglijarea fenomenului de saturație magnetică;

Modelul general al regimului dinamic al GS

Ipozeze de lucru (2/2):

- în regimurile tranzitoriu și supratranzitoriu, deoarece abaterile vitezei unghiulare sunt foarte mici, se consideră viteza rotorică aproximativ egală cu viteza de sincronism ($\omega \approx \omega_s$);
- se neglijează pierderile prin histerezis în miezul rotorului, însă influența curenților turbionari induși în masa rotorului în regimul tranzitoriu poate fi luată în considerare prin modelarea unei înfășurări de amortizare virtuale, suplimentare în axa transversală.

Modelul general al regimului dinamic al GS

Modelul general – ecuațiile de tensiuni

Infășurări statorice:

$$\begin{aligned} -\omega \cdot \Psi_q &= U_d + R_s \cdot I_d \\ \omega \cdot \Psi_d &= U_q + R_s \cdot I_q \end{aligned}$$

Infășurări rotorice:

$$\begin{aligned} -\frac{d\Psi_f}{dt} &= -U_f + R'_f \cdot I_f & (a) \\ -\frac{d\Psi_D}{dt} &= R'_D \cdot I_D & (b) \\ -\frac{d\Psi_Q}{dt} &= R'_Q \cdot I_Q & (c) \end{aligned}$$

Modelul general al regimului dinamic al GS

Modelul general – ecuațiile de flux

Infășurări statorice:

$$\begin{aligned} \omega \cdot \Psi_d &= X_d \cdot I_d + X_{ad} \cdot I_f + X_{ad} \cdot I_D & (a) \\ \omega \cdot \Psi_f &= X_{ad} \cdot I_d + X_f \cdot I_f + X_{ad} \cdot I_D & (b) \\ \omega \cdot \Psi_D &= X_{ad} \cdot I_d + X_{ad} \cdot I_f + X_D \cdot I_D & (c) \end{aligned}$$

Infășurări rotorice:

$$\begin{aligned} \omega \cdot \Psi_q &= X_q \cdot I_q + X_{aq} \cdot I_Q & (a) \\ \omega \cdot \Psi_Q &= X_{aq} \cdot I_q + X_Q \cdot I_Q & (b) \end{aligned}$$

Modelul general al regimului dinamic al GS

Trei tipuri de modele

- Modelul generatorului sincron în regim permanent;
- Modelul generatorului sincron în regim tranzitoriu;
- Modelul generatorului sincron în regim supratranzitoriu;

Modelul GS în regim permanent

Particularizări ale modelului general:

- mărimile de stare sunt constante în timp și, ca urmare, derivatele tuturor fluxurilor magnetice sunt nule ($d\Psi_f/dt = 0$, $d\Psi_D/dt = 0$, $d\Psi_Q/dt = 0$);
- deoarece rotorul se mișcă sincron cu câmpul magnetic statoric învârtitor, în înfășurările de amortizare D și Q nu se induc tensiuni electromotoare, iar aceste înfășurări nu sunt parcurse de curenți ($I_D = I_Q = 0$).

Modelul GS în regim permanent

Ecuațiile de tensiuni și de flux:

$$-\omega \cdot \Psi_q = U_d + R_s \cdot I_d \quad (a)$$

$$\omega \cdot \Psi_d = U_q + R_s \cdot I_q \quad (b)$$

$$0 = -U_f + R'_f \cdot I_f \quad (c)$$

$$\omega \cdot \Psi_d = X_d \cdot I_d + X_{ad} \cdot I_f \quad (a)$$

$$\omega \cdot \Psi_q = X_q \cdot I_q \quad (b)$$

$$\omega \cdot \Psi_f = X_{ad} \cdot I_d + X_f \cdot I_f \quad (c)$$

Modelul GS in regim permanent

Notatii auxiliare:

Tensiunea electromotoare sincronă indusă de curentul de excitație I_f în înfășurarea statorică, la mersul în gol:

$$E_f = X_{ad} \cdot I_f$$

Tensiunea electromotoare în sarcină:

$$E_q = E_f - (X_d - X_q) \cdot I_d$$

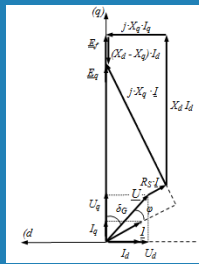
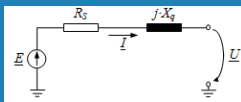
Modelul GS in regim permanent

Modelul de regim permanent

$$\underline{U} + (R_s + j \cdot X_q) \cdot \underline{I} = E_q$$

Notatii: $\underline{E} = E_q \cdot e^{j \cdot \delta}$ $\delta = \theta + \delta_G$

$$\underline{U} + (R_s + j \cdot X_q) \cdot \underline{I} = \underline{E}$$



Modelul GS in regim permanent

Puterile la bornele GS :

Expresiile puterilor activa si reactiva in coordonate Park:

$$P = U_d \cdot E_f \cdot \frac{1}{X_d} + U_d \cdot U_q \cdot \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right)$$

$$Q = U_q \cdot E_f \cdot \frac{1}{X_d} - U_d^2 \cdot \frac{1}{X_q} - U_q^2 \cdot \frac{1}{X_d}$$

Expresiile puterilor activa si reactiva in coordonate de faza:

Modelul GS in regim permanent

Puterile la bornele GS :

Expresiile puterilor activa si reactiva in coordonate de faza:

$$P = \frac{U \cdot E_f}{X_d} \cdot \sin \delta_G + \frac{U^2}{2} \cdot \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \cdot \sin 2 \cdot \delta_G \quad (\text{GS cu poli aparenti})$$

$$Q = \frac{U \cdot E_f}{X_d} \cdot \cos \delta_G - \frac{U^2}{X_q} \cdot \sin^2 \delta_G - \frac{U^2}{X_d} \cdot \cos^2 \delta_G$$

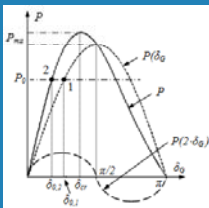
$$P = \frac{U \cdot E_f}{X_s} \cdot \sin \delta_G$$

(GS cu poli inecati)

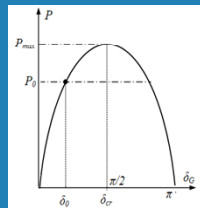
$$Q = \frac{U \cdot E_f}{X_s} \cdot \cos \delta_G - \frac{U^2}{X_s}$$

Modelul GS in regim permanent

Caracteristica de putere activa a GS:



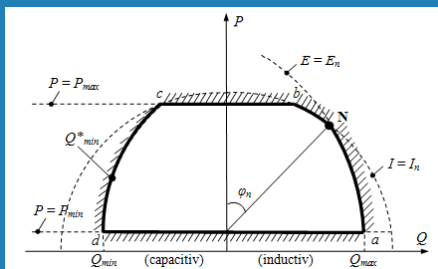
(GS cu poli aparenti)



(GS cu poli inecati)

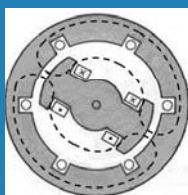
Modelul GS in regim permanent

Diagrama de performanta a GS:



Modelul generatorului sincron in regim tranzitoriu

Modelul generatorului sincron in regim tranzitoriu



In regim tranzitoriu fluxul de reacție al indusului pătrunde în înfășurările de amortizare, iar curenții prin aceste înfășurări scad până la valori suficient de mici,

astfel încât prezența înfășurărilor de amortizare în cadrul procesului dinamic poate fi neglijată.

Modelul generatorului sincron in regim tranzitoriu

Ecuțiile de tensiuni:

- statorice:

$$-\omega \cdot \Psi_q = U_d + R_s \cdot I_d \quad (a)$$

$$\omega \cdot \Psi_d = U_q + R_s \cdot I_q \quad (b)$$

- rotorice:

$$-\frac{d\Psi_f}{dt} = -U_f + R'_f \cdot I_f$$

Ecuțiile de fluxuri:

- statorice:

$$\omega \cdot \Psi_d = X_d \cdot I_d + X_{ad} \cdot I_f \quad (a)$$

$$\omega \cdot \Psi_f = X_{ad} \cdot I_d + X_f \cdot I_f \quad (b)$$

- rotorice:

$$\omega \cdot \Psi_q = X_q \cdot I_q$$

Modelul generatorului sincron in regim tranzitoriu

Ecuatiile de funcționare după axa q (1/2)

NOTAȚII:

$$E'_q = \omega \cdot \frac{X_{ad}}{X_f} \cdot \Psi_f \quad - \text{tensiunea electromotoare tranzitorie după axa transversală } q.$$

$$E_f = \frac{X_{ad}}{R'_f} \cdot U_f \quad - \text{tensiunea electromotoare echivalentă tensiunii de excitație } U_f \text{ raportată la înfășurarea statorică.}$$

Modelul generatorului sincron in regim tranzitoriu

Ecuatiile de funcționare după axa q (2/2)

- ecuația diferențială ce descrie variația în timp a tensiunii electromotoare tranzitorii după axa transversală q , în funcție de curentul statoric I_d :

$$T'_{d0} \cdot \frac{dE'_q}{dt} = E_f - E'_q + (X_d - X'_d) \cdot I_d$$

- ecuația diferențială ce descrie variația în timp a tensiunii electromotoare tranzitorii după axa transversală q , în funcție de tensiunea statorică U_q :

$$T'_{d0} \cdot \frac{dE'_q}{dt} = E_f - \frac{X_d}{X'_d} E'_q + \left(\frac{X_d}{X'_d} - 1\right) \cdot U_q$$

Modelul generatorului sincron in regim tranzitoriu

Ecuatiile de funcționare după axa d (ipoteza rotorului masiv) (1/2)

Curenții turbionari induși în masa rotorului, fac ca acesta din urmă să se comporte ca o înfășurare de amortizare suplimentară după axa q , reprezentând totodată sursa unei tensiuni electromotoare tranzitorii după axa longitudinală, E'_d .

$$E'_d = -\omega \cdot \frac{X_{aq}}{X_T} \cdot \Psi_T$$

În plus, reactanța X'_q diferă de reactanța sincronă după axa transversală X_q :

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

Modelul generatorului sincron in regim tranzitoriu

Ecuatiile de funcționare după axa d (ipoteza rotorului masiv) (1/2)

- ecuația diferențială ce descrie variația în timp a tensiunii electromotoare tranzitorii după axa d , în funcție de curentul statoric I_q :

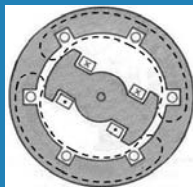
$$T'_{q0} \cdot \frac{dE'_d}{dt} = -E'_d - (X_q - X'_q) \cdot I_q$$

- ecuația diferențială ce descrie variația în timp a tensiunii electromotoare tranzitorii după axa d , în funcție de tensiunea statorică U_d :

$$T'_{q0} \cdot \frac{dE'_d}{dt} = -\frac{X_q}{X'_q} E'_d + \left(\frac{X_q}{X'_q} - 1\right) \cdot U_d$$

Modelul generatorului sincron in regim supratranzitoriu

Modelul generatorului sincron in regim supratranzitoriu



În faza supratranzitorie, se consideră că fluxul magnetic al înfășurării de excitație rămâne constant și ca înfășurările rotorice sunt ecranate în raport cu câmpul de reacție al indusului.

Fluxurile înfășurărilor de amortizare și curenții acestora scad în timp, pe măsură ce GS se apropie de faza tranzitorie.

Modelul generatorului sincron in regim supratranzitoriu

Ecuatiile de funcționare după axa q (1/2)

NOTATIE:

$$E''_q = k_f \cdot \omega \cdot \Psi_f + k_D \cdot \omega \cdot \Psi_D$$

... tensiunea electromotoare supratranzitorie după axa transversală q .

Modelul generatorului sincron in regim supratranzitoriu

Ecuatiile de funcționare după axa q (2/2)

- ecuația diferențială ce descrie variația în timp a tensiunii electromotoare supratranzitorii după axa transversală q , în funcție de curentul statoric I_d :

$$T''_{d0} \cdot \frac{dE''_q}{dt} = E'_q - E''_q + (X'_d - X''_d) \cdot I_d$$

- ecuația diferențială ce descrie variația în timp a tensiunii electromotoare supratranzitorii după axa transversală q , în funcție de tensiunea statorică U_q :

$$T''_{d0} \cdot \frac{dE''_q}{dt} = E'_q - \frac{X'_d}{X''_d} \cdot E''_q + \left(\frac{X'_d}{X''_d} - 1 \right) U_q$$

Modelul generatorului sincron in regim supratranzitoriu

Ecuatiile de funcționare după axa d (1/3)

NOTATIE:

$$E''_d = -\frac{X_{aq}}{X_Q} \cdot \omega \cdot \Psi_Q$$

... tensiunea electromotoare supratranzitorie după axa longitudinală d .

Modelul generatorului sincron in regim supratranzitoriu

Ecuatiile de funcționare după axa q (rotor lamelar) (2/3)

- ecuația diferențială ce descrie variația în timp a tensiunii electromotoare supratranzitorii după axa d , în funcție de curentul statoric I_d :

$$T''_{q0} \cdot \frac{dE''_d}{dt} = -E''_d - (X'_q - X''_q) \cdot I_q$$

- ecuația diferențială ce descrie variația în timp a tensiunii electromotoare supratranzitorii după axa d , în funcție de tensiunea statorică U_d :

$$T''_{q0} \cdot \frac{dE''_d}{dt} = -\frac{X'_q}{X''_q} E''_d + \left(\frac{X'_q}{X''_q} - 1 \right) \cdot U_d$$

Modelul generatorului sincron in regim supratranzitoriu

Ecuatiile de funcționare după axa q (rotor masiv) (3/3)

- ecuația diferențială ce descrie variația în timp a tensiunii electromotoare supratranzitorii după axa d , în funcție de curentul statoric I_d :

$$T''_{q0} \cdot \frac{dE''_d}{dt} = E'_d - E''_d - (X'_q - X''_q) \cdot I_q$$

- ecuația diferențială ce descrie variația în timp a tensiunii electromotoare supratranzitorii după axa d , în funcție de tensiunea statorică U_d :

$$T''_{q0} \cdot \frac{dE''_d}{dt} = E'_d - \frac{X'_q}{X''_q} E''_d + \left(\frac{X'_q}{X''_q} - 1 \right) \cdot U_d$$

... urmeaza ...

MODELE DINAMICE DE BAZA ALE GENERATORULUI SINCRON
