

LEZIONE DEL 14/03/2007

42

MODELLO DELLA MACCHINA SINCRONA IN TRASFORMATTA DI PARK, CON VARIABILI OPERATORIALI IN PERUNITA'.

COME VISTO, L'EQUILIBRIO ELETTRICO E MAGNETICO DELLA MACCHINA SINCRONA, PER MEZZO DELLA TRASFORMATTA DI PARK, CON USO DI VARIABILI OPERATORIALI, SI ESPRIME COME:

$$\begin{aligned} \text{ASSE DIRETTO} \quad & \begin{cases} V_d = -R I_d + p \psi_d - s_L \psi_q \\ \psi_d = A(p) V_f - L_d(p) I_d \\ I_f = B(p) V_f + p A(p) I_d \end{cases} \\ \text{ASSE QUADRATURA} \quad & \begin{cases} V_q = -R I_q + p \psi_q + s_L \psi_d \\ \psi_q = -L_q(p) I_q \end{cases} \end{aligned}$$

VOGLIAMO ESPRIMERE LE GRANDEZZE DEL SOTTO SCRITTO SISTEMA IN PERUNITA'.

PER UNA SCELTA OPPORTUNA DELLE GRANDEZZE DI BASE, E' DUPO RICORDARE CHE STIAMO TRATTANDO UN SISTEMA IN FORMA TRASFORMATTA. CIO' IMPLICA LA NECESSITA' DI OTTENERE UN SISTEMA COERENTE IN GRANDEZZE TRASFORMATE. IN PRATICA, DATO CHE:

$$\bar{A}_2(t) = \sqrt{3} \bar{A}_a e^{j\theta_{r0}} \quad (\text{DOVE } \bar{A}_a = A e^{j\varphi_a})$$

SCELTO UN V_b PER LA BASE REALE, OTTENIAMO UN $V_{mp} = \sqrt{3} V_b$ PER LA BASE DI PARK.

PERTANTO IN SEGUITO SI FARA' USO DEL FATTORE $\sqrt{3}$ (43) COME RISULTATO DELLA TRASFORMAZIONE. E' IMPORTANTE TENERE PRESENTE CHE CIO' NON HA NULLA A CHE VEDERE CON IL RAPPORTO TRA GRANDEZZE DI LINEA E GRANDEZZE DI FASE. (SI FARA' RIFERIMENTO SOLTANTO A GRANDEZZE DI FASE.

DETTO CIO', LE GRANDEZZE DI BASE SONO:

$$V_{mp} = \sqrt{3} V_{mff} = V_m$$

$$I_{mp} = \sqrt{3} I_m$$

$$S_{lm}$$

$$\psi_{mp} = \frac{V_{mp}}{S_{lm}}$$

$$A_{mp} = V_{mp} I_{mp} = \sqrt{3} V_{mff} \sqrt{3} I_m = \sqrt{3} V_m I_m = A_m$$

$$Z_{mp} = \frac{V_{mp}}{I_{mp}} = \frac{V_m}{\sqrt{3} I_m} = \frac{V_m^2}{A_m}$$

$$L_{mp} = \frac{Z_{mp}}{S_{lm}} = \frac{V_m^2}{A_m S_{lm}}$$

$$C_m = \frac{A_m}{S_{lm}}$$

CONVENZIONI:

PEDICE P $\Rightarrow$ GRANDEZZA DI PARRA

PEDICE ff $\Rightarrow$ GRANDEZZA DI FASE

PEDICE m $\Rightarrow$ GRANDEZZA DI LINEA

ADOPTEREMO, DI SEGUITO, QUESTE GRANDEZZE COME BASE PER ESPRIMERE IL MODELLO DELLA MACCHINA IN VARIABILI TRASFORMATE OPERATORIALI.

PER L'EQUILIBRIO ELETTICO DI ASSE DIRETTO :

(44)

$$\frac{V_d}{V_m} = - \frac{R I_d}{V_m} + \frac{P \Psi_d}{V_m} - \frac{\Omega \Psi_q}{V_m}$$

$$\Rightarrow \frac{V_d}{V_m} = - \frac{P I_d A_m}{V_m^2} \left(\frac{V_m}{A_m} \right) + \frac{P \Psi_d \Omega_m}{V_m \Omega_m} - \frac{\Omega \Psi_q \Omega_m}{\Omega_m V_m}$$

PERTANTO L'ESPRESSIONE DI ASSE DIRETTO, IN PERUNITA', È:

$$v_d = -x i_d + \frac{p}{\Omega_m} \psi_d - \frac{\Omega}{\Omega_m} \psi_q$$

ANALOGAMENTE PER L'ASSE QUADRATURA:

$$v_q = -x i_q + \frac{p}{\Omega_m} \psi_q + \frac{\Omega}{\Omega_m} \psi_d$$

SI NOTI LA DIFFERENZA TRA IL SIMBOLO Ψ E IL SIMBOLO ψ , STANTI A INDICARE, RISPETTIVAMENTE, IL FLUSSO IN BASE REALE E IL FLUSSO IN PERUNITA'.

PARIMENTI PER L'EQUILIBRIO MAGNETICO DI ASSE QUADRATURA:

$$\Psi_q = -L_q(P) I_q \Rightarrow \frac{\Psi_q}{\Psi_{mp}} = - \frac{L_q(P) I_q \Omega_m A_m V_m}{(V_m \cdot V_m) A_m}$$

(45)

$$\Rightarrow \Psi_g = -l_g(p) \dot{i}_g$$

DOVE :

$$l_g(p) = x_g \cdot \frac{1 + p T''_g}{1 + p T''_{g0}}$$

x_g E' LA REATTANZA SINCRONA CHE IN PERUNITA' COINCIDE CON L'INDUTTANZA, IN QUANTO:

$$x_g = \Omega L_g \Rightarrow x_g = l_g$$

ALLORA INTUIAMO DI POTER USARE INDIFFERENTEMENTE L'INDUTTANZA O LA REATTANZA QUANDO OPERIAMO IN PERUNITA'.
L'EQUILIBRIO MAGNETICO DI ASSE DIRETTO, IN PERUNITA':

$$\frac{\Psi_d}{\Psi_{mp}} = A(p) \frac{V_f}{\Psi_{mp}} - \underbrace{l_d \cdot i_d}_{\text{PER QUANTO GIA' VISTO}}$$

$$A(p) = \frac{M_d}{\hat{R}_f} \cdot \frac{1 + p T_{AA}}{(1 + p T'_{d0})(1 + p T''_{d0})} = \frac{M_d}{\hat{R}_f} \cdot \alpha(p)$$

$$\Rightarrow \Psi_d = \frac{M_d}{\hat{R}_f} \cdot \alpha(p) \cdot \frac{\hat{V}_f}{V_m} \Omega_m - l_d(p) i_d =$$

$$= \frac{M_d}{R_f N_f^2} \cdot \frac{\alpha(p) V_f N_f}{V_m} \Omega_m - l_d(p) i_d$$

FACCIAMO L'IPOTESI CHE LA MACCHINA FUNZIONI A VUOTO (46)
E CHE LAVORI A TENSIONE NOMINALE E CHE SIA A REGIME:

$$\Rightarrow i_d = 0, \quad P = 0$$

$$\Rightarrow \begin{cases} V_d = -\Omega \psi_q \\ \psi_d = \frac{M_d}{R_f} V_f = \frac{M_d}{R_f N_f} \cdot V_f \end{cases}$$

RICORDIAMO CHE

$$B_p = \frac{1}{\hat{R}_f} \cdot \frac{1 + P T_A}{(1 + P T'_{d0})(1 + P T''_{d0})}$$

A REGIME $\Rightarrow B_p = \frac{1}{R_f}$

$$\Rightarrow \hat{I}_f = \frac{1}{\hat{R}_f} \cdot \hat{V}_f \Rightarrow I_f = \frac{V_f}{R_f}$$

SEMPRE A VUOTO SI AVRA' PARIMENTI:

$$V_q = \Omega \psi_d$$

$$\left. \begin{matrix} \psi_q = 0 \\ i_d = 0 \end{matrix} \right\} \Rightarrow V_d = -\Omega \psi_q = 0$$

DA CIO' SI CAPISCE CHE, A VUOTO, TUTTA
LA TENSIONE E' SULL'ASSE QUADRATURA.

PER L'IPOTESI FATTA $V = V_m$ SI HA:

(47)

$$V_m = \Omega_m \Psi_d \Rightarrow \Psi_d = \frac{V_m}{\Omega_m}$$

OVVERO, SOSTITUENDO:

$$\frac{V_m}{\Omega_m} = \frac{M_d}{R_f N_f} V_f$$

$$V_{fm} = V_{f0} = \frac{V_m}{\Omega_m} \cdot \frac{R_f N_f}{M_d} \rightarrow \text{CIRCUITO DI ECCITAZIONE: EQUILIBRIO A VUOTO.}$$

PER CONFRONTO CON L'ESPRESSIONE DI Ψ_d :

$$\Psi_d = \frac{M_d}{R_f N_f^2} \cdot \frac{\alpha(P) V_f N_f}{V_m} \cdot \Omega_m = \frac{\alpha(P) V_f N_f}{V_{fm}}$$

LA VALIDITA' DI QUESTA ESPRESSIONE E' LIMITATA DALLA SCELTA DI V_f , CHE A VUOTO DEVE ESSERE UGUALE A QUELLA SCELTA COME BASE.

$$\Psi_d = \alpha(P) V_f - l_d(P) i_d$$

INFINE, PER LA CORRENTE DI ECCITAZIONE SI HA:

$$i_f = b(P) v_f + P \alpha(P) \cdot \frac{I_d}{I_m} \cdot \frac{A_m}{V_m} \cdot \frac{M_d^2 \Omega_m^2}{V_m N_f^2 R_f \Omega_m}$$

$\rightarrow \frac{1}{V_{f0} I_{f0}} = \frac{1}{P_{f0}}$

(48)

$$i_f = b(p) v_f + \frac{P}{\Omega_m} \cdot \frac{A_m}{P_{f0}} \cdot i_o \cdot a(p)$$

→ PONIAMO, PER DEFINIZIONE

$$T_{if} = \frac{A_m}{\Omega_m P_{f0}}$$

INFATTI HA LE DIMENSIONI DI UN TEMPO

IL VALORE DI T_{if} SI AGGIUSTA, GENERALMENTE ATTORNO A 10 SECONDI. ESSO È PROPORZIONALE ALLA POTENZA NOMINALE DELLA MACCHINA.

METTENDO ASSIEME I RISULTATI OTTENUTI SI HA:

$$\begin{cases} v_o = -\lambda i_o + \frac{P}{\Omega_m} \psi_o - \frac{\Omega}{\Omega_m} \psi_q \\ \psi_o = a(p) v_f - l_d(p) i_o \\ i_f = b(p) v_f + P T_{if} a(p) i_o \\ v_q = -\lambda i_q + \frac{P}{\Omega_m} \psi_q + \frac{\Omega}{\Omega_m} \psi_o \\ \psi_q = -l_q(p) i_q \end{cases}$$

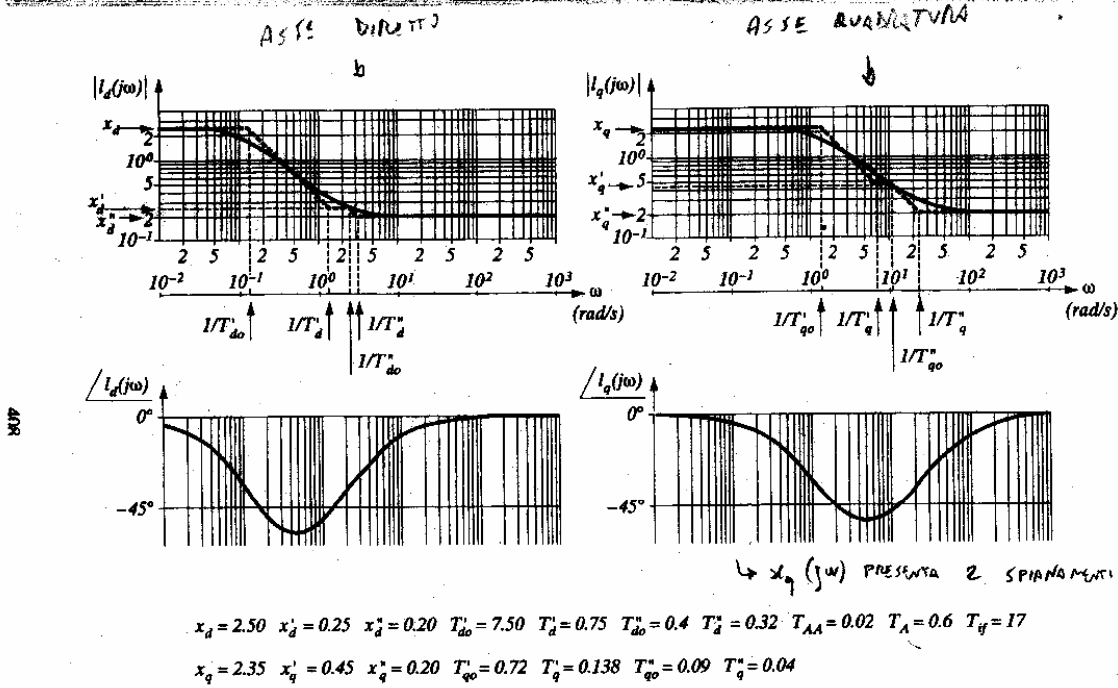


Figure 7.9-6 700 MVA massive-rotor turbo-generator (nuclear generating unit): Bode plots of $I_d(p)$ and $I_q(p)$, and values of electrical parameters (machine reactances in pu, time constants in s).

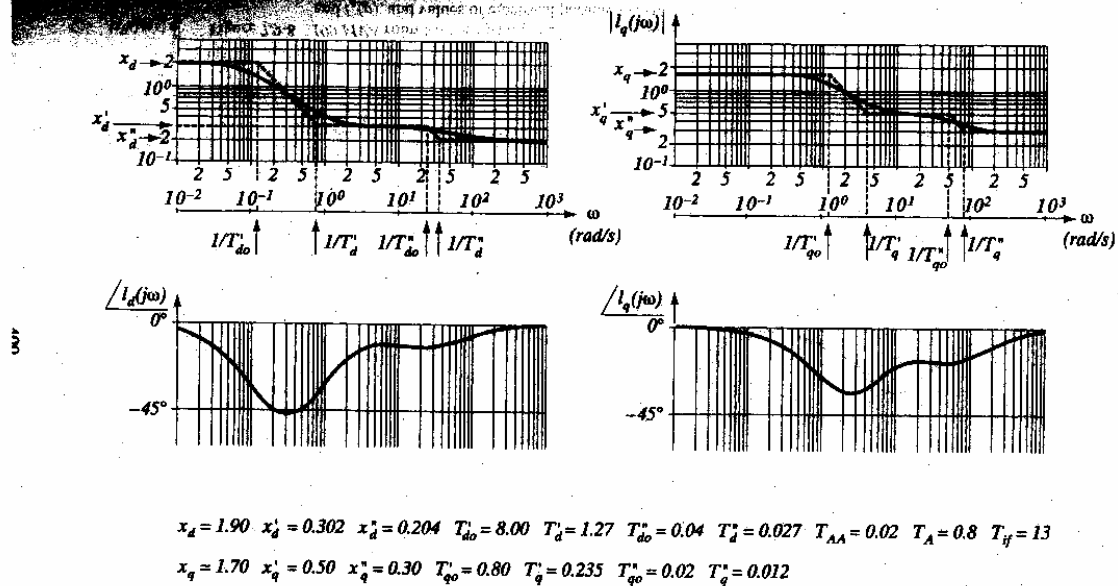


Figure 7.9-7 370 MVA massive-rotor turbo-generator (conventional thermal generating unit): Bode plots of $I_d(p)$ and $I_q(p)$, and values of electrical parameters (machine reactances in pu, time constants in s).

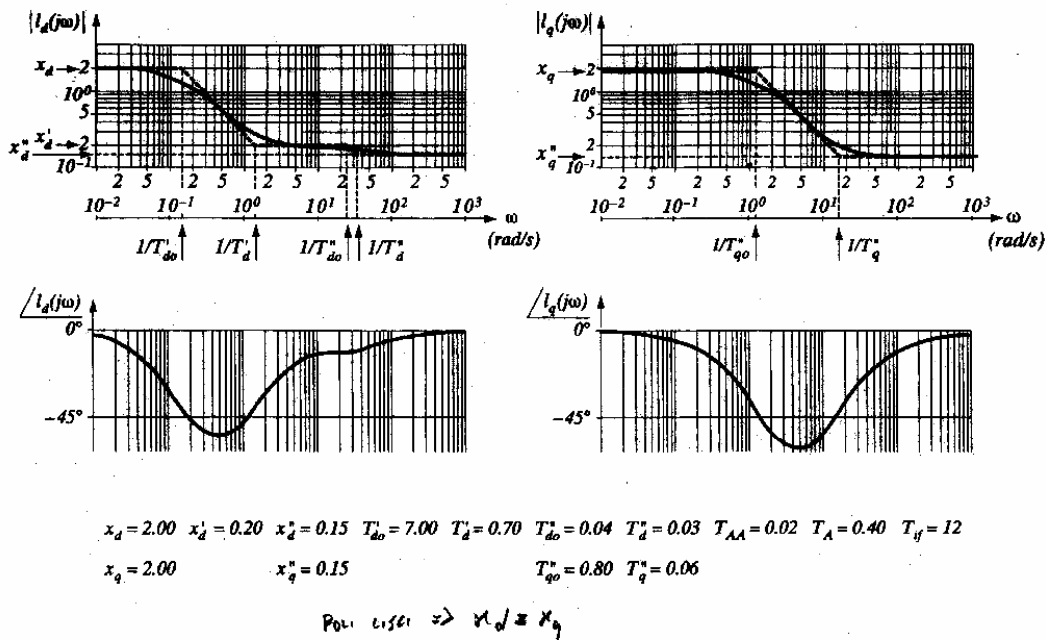


Figure 7.9-8 190 MVA round-rotor turbo-generator (conventional thermal generating unit): Bode plots of $I_d(p)$ and $I_q(p)$, and values of electrical parameters (machine reactances in pu, time constants in s).

ALTERNATIVE A POLI SALIENTI

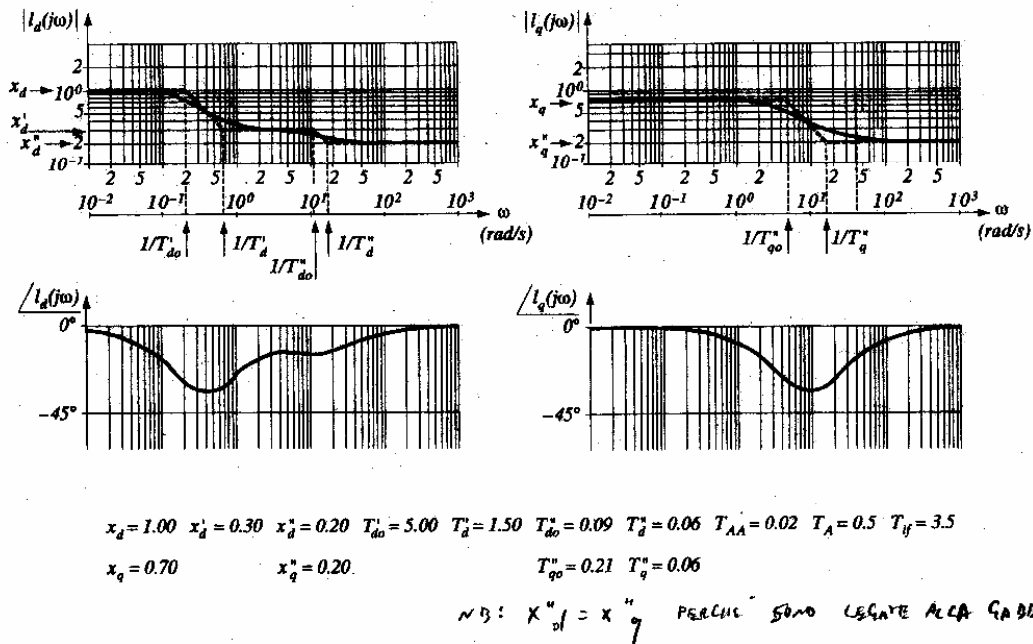


Figure 7.9-9 125 MVA salient-pole alternator (hydro generating unit): Bode plots of $I_d(p)$ and $I_q(p)$, and values of electrical parameters (machine reactances in pu, time constants in s).