

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

2º Trabalho de SEL0357 (Prof. Rodrigo Ramos)
Dinâmica e Controle de Sistemas de Energia Elétrica

Data limite para entrega: 16/11/2020

Enunciado

Conforme apresentado em sala de aula, as seguintes equações algébrico-diferenciais descrevem a resposta dinâmica de um modelo de sistema elétrico do tipo Máquina X Barra Infinita (SMIB).

$$\dot{\delta} = \omega_s \omega - \omega_s \quad (1)$$

$$\dot{\omega} = \frac{1}{2H} (P_m - E'_q I_q) \quad (2)$$

$$\dot{E}'_q = \frac{1}{\tau'_{do}} [E_{FD} - E'_q + (x_d - x'_d) I_d] \quad (3)$$

$$\dot{E}_{FD} = \frac{1}{T_e} [K_e (V_{ref} - V_t + V_s) - E_{FD}] \quad (4)$$

$$I_q = (V_\infty \sin \delta) (x'_d + x_e)^{-1} \quad (5)$$

$$I_d = (V_\infty \cos \delta - E'_q) (x'_d + x_e)^{-1} \quad (6)$$

$$V_q = E'_q + x'_d I_d \quad (7)$$

$$V_d = -x'_d I_q \quad (8)$$

$$V_t = \sqrt{V_q^2 + V_d^2} \quad (9)$$

Para este trabalho, considerando as equações (1)-(9), o caso base é caracterizado pelos seguintes parâmetros: $\omega_s = 377$ rad/s; $H = 5,0$ s; $P_m = 1,0$ p.u.; $x_d = 1,6$ p.u.; $x'_d = 0,32$ p.u.; $\tau'_{do} = 6,0$ s; $K_e = 5,0$ p.u./p.u.; $T_e = 0,01$ s; $V_{ref} = 1,15$ p.u.; $V_\infty = 1,05$ p.u.; e $x_e = 0,4$ p.u. Considere a variável de entrada V_s como sendo nula nesse trabalho.

Com base nas informações fornecidas, execute as seguintes tarefas (e descreva tal execução de forma detalhada num relatório do trabalho):

- a) Calcule valores de equilíbrio com significado físico para as variáveis de estado e para as variáveis algébricas do conjunto de equações (1)-(9), observando que esse cálculo exige a solução do conjunto de equações algébrico-diferenciais por um método do tipo Newton-Raphson e que tais métodos requerem uma boa estimativa inicial de modo que consigam convergir para a solução desejada;

- b) Linearize o conjunto (1)-(9) e incorpore as restrições algébricas ao conjunto de equações diferenciais, apresentando as equações linearizadas resultantes;
- c) Calcule o conjunto de autovalores (e seus respectivos autovetores) da matriz de estados do modelo obtido no item b);
- d) Identifique os autovalores associados ao modo eletromecânico do sistema e apresente uma justificativa para a identificação realizada;
- e) Avalie se o sistema é ou não estável do ponto de vista de pequenas perturbações e apresente o valor de frequência de oscilação do sistema em Hz;
- f) Dobre o valor do ganho do regulador de tensão K_e e repita os itens a), b), c), d), e e) (não é necessário refazer todos os cálculos, podendo apenas as modificações referentes à alteração em K_e serem destacadas);
- g) Retorne o valor do ganho K_e para o valor do caso base e faça as seguintes modificações nos parâmetros V_∞ e x_e :
 - h.1) Se o número de seu grupo (representado por n) for menor do que 6, diminua V_∞ em $2(6-n)\%$ com relação ao seu valor nominal, aumente x_e em $2(6-n)\%$ com relação ao seu valor nominal e, por fim, aumente P_m em $(6-n)\%$ com relação ao seu valor nominal;
 - h.2) Se o número de seu grupo (representado por n) for maior do que 5, aumente V_∞ em $2(n-5)\%$ com relação ao seu valor nominal, diminua x_e em $2(n-5)\%$ com relação ao seu valor nominal e, por fim, aumente P_m em $(n-5)\%$ com relação ao seu valor nominal;
- h) Com os parâmetros definidos no item h), repita os itens a), b), c), d), e e);
- i) Com os parâmetros definidos no item h), dobre o valor do ganho K_e e repita os itens a), b), c), d), e e);
- j) Apresente uma conclusão geral detalhada a respeito de todas as atividades desenvolvidas e relatadas.