

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

2º Trabalho de SEL0417 (Prof. Rodrigo Ramos)
Fundamentos de Controle

Data limite para entrega: 19/07/2020

Enunciado

O conjunto de equações de (1) a (4) descreve um sistema elétrico composto por um gerador síncrono (representados por um modelo simplificado) fornecendo potência a um sistema de grande porte. As equações (3) e (4) descrevem o sistema de controle necessário para a alteração da potência no gerador (num processo conhecido como redespacho de potência).

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

$$\dot{\omega} = \frac{1}{2H} \left(P_m - \frac{V_1 V_2}{x'_d + x_{ex}} \sin \delta - D \omega \right) \quad (2)$$

$$\dot{P}_v = \frac{1}{T_g} \left[P_{ref} - P_v - \frac{1}{R} \omega \right] \quad (3)$$

$$\dot{P}_m = \frac{1}{T_{ch}} [P_v - P_m] \quad (4)$$

A condição nominal deste sistema é caracterizada pelos parâmetros $V_1 = V_2 = 1$ p.u.; $H = 11$ s; $x'_d = 0,3$ p.u.; $x_{ex} = 0,4$ p.u.; $D = 0,1$; $T_g = 0,1$ s e $T_{ch} = 1$ s. Considere ainda que, nessa condição nominal de operação, $P_{ref} = 1$ p.u. é o valor de equilíbrio da entrada do sistema de controle, e que a saída do mesmo é o desvio de velocidade ω (o qual representa a variação da velocidade angular absoluta com relação à referência síncrona de 377 rad/s).

Com base nas informações fornecidas, execute as tarefas solicitadas a seguir (e descreva tal execução de forma detalhada num relatório do trabalho). Os itens de a) a c) devem ser resolvidos de forma literal (sem substituição dos valores dos parâmetros) ou, alternativamente, com o valor do parâmetro H dado pela equação (1).

- a) Calcule os valores de equilíbrio para as variáveis de estado do conjunto de equações de (1) a (4).
- b) Linearize as equações de (1) a (4) de forma independente utilizando expansão em série de Taylor, em torno dos valores de equilíbrio calculados no item a), truncada no termo de primeira ordem, apresentando as equações linearizadas resultantes.

- c) Apresente as equações linearizadas obtidas no item b) na forma de diagrama de blocos.

A equação (3) apresenta um laço de realimentação com controle proporcional dado pelo termo $-\frac{1}{R}\omega$. Isso sugere que um diagrama de lugar de raízes pode ser usado para ajustar a constante R de forma a atender ao requisito de estabilidade na operação em malha fechada do sistema. Esse procedimento de ajuste de R é conhecido na área de sistemas elétricos de potência como ajuste do estatismo (ou *droop*, denominação comum na literatura) do gerador.

Utilizando os três últimos dígitos de seu número USP (identificados por xyz), aplique uma variação dada pela expressão

$$H = 11 - (xyz/100). \quad (1)$$

Considerando a modificação dada pela expressão acima, execute as tarefas solicitadas a seguir (e descreva tal execução de forma detalhada num relatório do trabalho).

- d) Construa no MATLAB as funções de transferência correspondentes a cada um dos blocos do diagrama obtido no item c).
- e) Realizando a abertura da malha no ponto de saída do bloco referente ao termo $\frac{1}{R}\Delta\omega$, construa a função de transferência de malha aberta que tem como entrada o sinal fornecido pelo bloco ΔP_{ref} e como saída o sinal fornecido pelo bloco $\frac{1}{R}\Delta\omega$ a partir das funções de transferência obtidas no item d).
- f) Construa o diagrama de lugar de raízes correspondente à função de transferência de malha aberta obtida no item e).
- g) Utilizando o diagrama de lugar de raízes obtido no item f), ajuste o parâmetro R de forma que todos os polos da função de transferência de malha fechada tenham parte real negativa, caracterizando estabilidade da operação do sistema, sendo que os polos complexos conjugados devem apresentar o maior fator de amortecimento possível.
- h) Com o valor de R ajustado no item g), considere que o valor de P_{ref} deve aumentar sua amplitude, a partir da aplicação de um sinal do tipo degrau, em 0,01 p.u. Faça a simulação da resposta a essa variação na entrada a partir do modelo linearizado construído para o sistema e apresente os gráficos de resposta da saída ω .

Por fim, apresente uma conclusão geral sobre o trabalho e comente sobre as principais dificuldades encontradas ao longo da realização do mesmo.

O trabalho deverá ser entregue em formato PDF preferencialmente através da plataforma e-Disciplinas da USP ou, alternativamente, através do e-mail fundamentosdecontrole@gmail.com, até a data limite estipulada.