20 - AUTOMAÇÃO E CONTROLE

Você é integrante de uma equipe de engenheiros em uma empresa prestadora de serviços para o setor de energia elétrica. Sua equipe está encarregada do projeto de um sistema de controle de velocidade (freqüência) de uma unidade geradora termoelétrica, que supre energia para um sistema de potência isolado. A Figura 1 representa o diagrama de blocos deste sistema de controle.

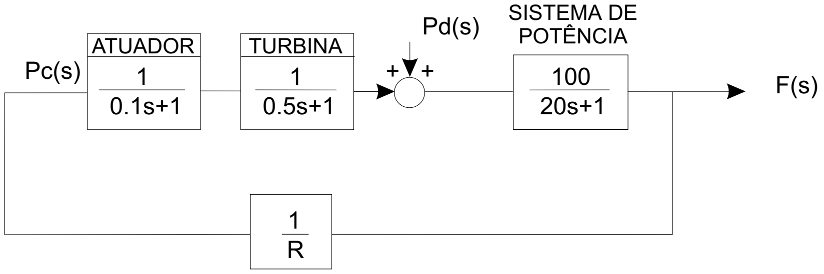


Figura 1

a) Ocorrendo uma variação de carga representada por um degrau do tipo $\Delta P_d(s) = \frac{P_d}{s}$, mostre que o emprego de valores pequenos de R (R << 100) ocasiona um desvio de freqüência em regime permanente, do tipo:

$$\Delta F \simeq R\, P_d$$

(valor: 4,0 pontos)

b) Supondo um ganho K de realimentação de malha $\left(K = \frac{1}{R}\right)$, variando entre $\left[0 \text{ e } +\infty\right]$ obtém-se o diagrama do Lugar das Raízes da Figura 2.

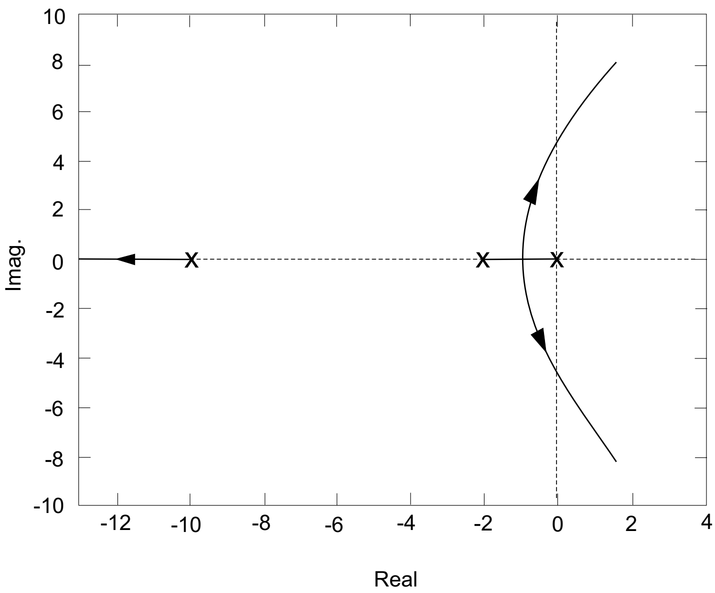


Figura 2

Na tabela a seguir estão apresentados os valores aproximados dos pólos em malha fechada para três ajustes de R, sendo que R=2 corresponde ao valor nominal empregado na planta.

R	Pólo real	Pólos complexos
0.5	-11.75	-0,15 + j4,13 ; -0,15 + j4,13
2	-10.55	-0,75 + j2,07 ; -0,15 + j2,07
4	-10.33	-0,88 + j1,32 ; -0,88 + j1,32

A Figura 3 mostra, para o valor R=2, a resposta temporal correspondente à perturbação de 1% da carga nominal $\left(\Delta P_d(s) = -\frac{0,01}{s}\right)$.

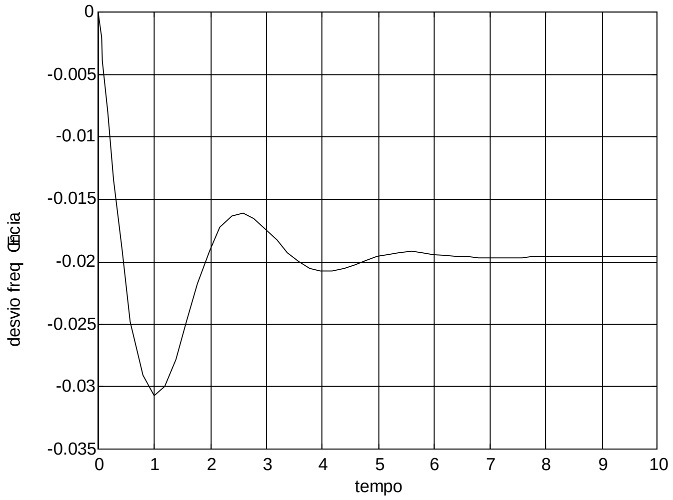


Figura 3

Compare, considerando o valor de regime permanente e o tempo de acomodação com tolerância de 5%, o comportamento do desvio de freqüência da Figura 3 com os desvios que seriam obtidos empregando-se os dois outros valores tabelados de R.

(valor: 6,0 pontos)

Dados / Informações Técnicas

Teorema do Valor Final:

$$\lim_{t \to \infty} y(t) = \lim_{s \to 0} sY(s)$$

Tempo de acomodação (expressão válida para sistemas de 2ª ordem):

$$t_{5\%} \approx \frac{3}{\xi\omega_n} = \frac{3}{R_e(p\ \ los)}$$

ΔPc(s) é o sinal de variação de potência de controle na entrada do atuador.

ΔPd(s) é o sinal de tolerância de carga demandada pelo sistema.

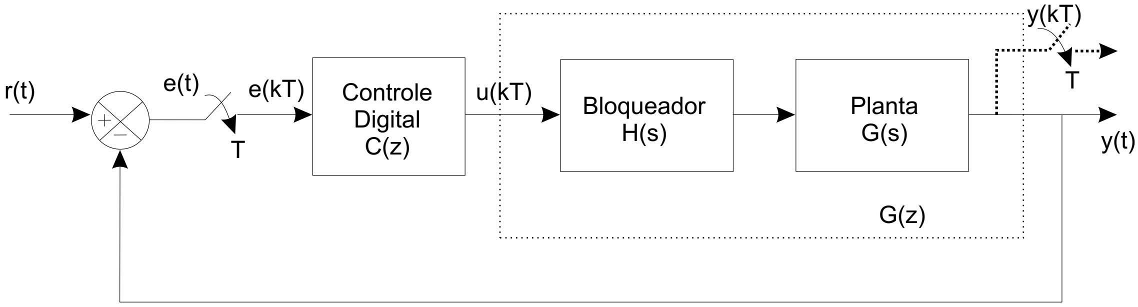
ΔF(s) é o sinal de variação de sistema de potência.

R é o "estatismo" de regime permanente.

Pd é a amplitude da variação de carga.

21 - AUTOMAÇÃO E CONTROLE

Controladores digitais são largamente empregados em controle de processos, pois permitem aumentar a flexibilidade e a modularidade de implementação do projeto. Você, como engenheiro especialista em Controle e Automação, foi incumbido de projetar um sistema de controle digital para uma planta de primeira ordem, cuja configuração está representada abaixo.



T é o período de amostragem em segundos.
kT representa os instantes de amostragem para k = 0,1,2,...
z é a variável complexa definida por $z = e^{Ts}$

Os principais elementos do sistema de controle são apresentados a seguir.

- Planta: sistema contínuo representado pela função de transferência $G(s) = \dfrac{1}{s+1}$
- Bloqueador: representado pela função de transferência $H(s) = \dfrac{1-e^{-Ts}}{s}$
- Controlador digital: representado pela função de transferência discreta $C(z) = \dfrac{u(z)}{e(z)}$

a) Em função do período de amostragem T, obtenha a expressão geral da função de transferência discreta.

$$G(z) = \mathbb{Z}\left\{\frac{1-e^{-Ts}}{s}G(s)\right\} = (1-z^{-1})\,\mathbb{Z}\left\{\frac{G(s)}{s}\right\}$$

(valor: 4,0 pontos)

onde $\mathbb{Z}\ \{.\}$ representa a Transformada Z.

b) Para T = 0,5 s, a função de transferência G(z) é: $G(z) = \dfrac{0{,}3935}{z-0{,}6065}$

O controle digital empregado é do tipo integrador, representado por:

$$C(z) = \frac{K}{(1-z^{-1})} = \frac{K\,z}{z-1}$$

Determine o intervalo de valores de K que garante a estabilidade do sistema em malha fechada, e faça um esboço do Lugar das Raízes correspondente à equação característica:

$1 + C(z)G(z) = 0;$ para $K > 0$

(valor: 6,0 pontos)

Dados / Informações Técnicas

- Transformada $\mathbb{Z}$ de uma seqüência de sinais x(kT), para k = 0,1,2,...,:

$$X(z) = \mathbb{Z}[x(kT)] = \sum_{k=0}^{k=\infty} x(kT)z^{-k}$$

Tabela de transformadas de alguns sinais elementares

$x(t)$, $t > 0$	$X(s)$	$x(kT)$, $k = 0,1,2,\ldots$	$X(z)$
Degrau unitário	$\frac{1}{s}$	$1(k)$	$\frac{1}{1-z^{-1}}$
Rampa unitária	$\frac{1}{s^2}$	kT	$\frac{Tz^{-1}}{\left(1-z^{-1}\right)^2}$
e^{-at}	$\frac{1}{(s+a)}$	e^{-akT}	$\frac{1}{\left(1-e^{-aT}z^{-1}\right)}$

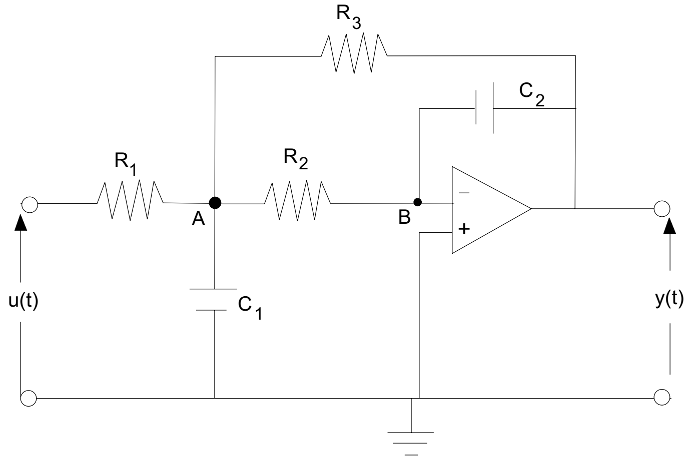
- Propriedade de polinômios (Teste de Estabilidade de Jury para polinômios de 2ª ordem)

Dado $P(z) = z^2 + bz + cz$, então $| z_i | < 1$ para os valores de z_i que satisfazem $P(z_i)=0$, se e somente se:

$$| c | < 1 \quad , \quad P(z = 1) > 0 \quad \text{e} \quad P(z = -1) > 0$$

22 - AUTOMAÇÃO E CONTROLE

Considere o circuito eletrônico que emprega um amplificador operacional ideal, representado no diagrama a seguir.



Aplicando a Lei dos Nós de Kirchhoff, obtém-se o conjunto de equações abaixo, que modelam matematicamente o comportamento dinâmico deste sistema.

Nó A : $$\frac{u(t)-v_A(t)}{R_1}=\frac{v_A(t)-y(t)}{R_3}+C_1\frac{dv_A(t)}{dt}+\frac{v_A(t)}{R_2}$$

Nó B : $$\frac{v_A(t)}{R_2}=-C_2\frac{dy(t)}{dt}$$

a) Escolhendo adequadamente as variáveis do vetor de estados, obtenha uma representação do modelo do circuito em espaço de estado, explicitando a matriz A e os vetores b e c da equação:

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= A\,x(t)+b\,u(t)\\ y(t) &= c\,x(t)\end{aligned}\qquad \begin{cases}A\in R^{nxn}\\ b\in R^{n}\\ c^{T}\in R^{n}\end{cases}$$

(valor: 5,0 pontos)

b) Obtenha a função de transferência:

$$G(s)=\frac{Y(s)}{U(s)}$$

(valor: 5,0 pontos)

Dados / Informações Técnicas

u(t) é a tensão de entrada.

$v_A(t)$ e $v_B(t)$ são as tensões sobre os nós.

y(t) é a tensão de saída.

Fórmula para a inversão de matrizes: $M^{-1}=\dfrac{adj(M)}{det(M)}$