

Nome:

RA:

Obs.: Resolva as questões e justifique as respostas nas folhas de papel almaço, copiando o resultado no espaço apropriado das folhas de questões.

1ª Questão: Determine a sequência $x[n]$ cuja transformada Z é dada por

$$X(z) = \frac{-z^2}{(z+1)(z+2)}, \quad 1 < |z| < 2$$

1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	

2ª Questão: Determine o valor inicial $x[0]$ e o valor final $\lim_{n \rightarrow +\infty} x[n]$ da sequência cuja transformada Z é dada por

$$X(z) = \frac{56z^3 - 58z^2 + 17z}{(z-1)(2z-1)(4z-1)}, \quad |z| > 1$$

3ª Questão: Determine, para a distribuição de probabilidade da variável aleatória discreta \mathbb{X} , cuja transformada Z é

$$\mathcal{E}\{z^{\mathbb{X}}\} = \sum_k z^k \Pr\{\mathbb{X} = k\} = \frac{-7}{z-8}, \quad |z| < 8$$

a) $\Pr\{\mathbb{X} = 0\}$ b) $\Pr\{\mathbb{X} = 1\}$ c) $\mathcal{E}\{\mathbb{X}\} = \sum_k k \Pr\{\mathbb{X} = k\}$

4ª Questão: a) Determine $Y(z)$, isto é, a transformada Z da solução causal $y[n]$ da equação a diferenças abaixo em termos de $y[0]$ e $y[1]$

$$y[n+2] + 7y[n+1] + 12y[n] = 0$$

b) Determine a solução $y[n] = \mathcal{Z}^{-1}\{Y(z)\}$ para $y[0] = 1, y[1] = 1$

5ª Questão: Determine uma equação a diferenças homogênea e as condições iniciais que produzem como solução a sequência

$$y[n] = (1 + 2^n)^2$$

6ª Questão: a) Determine os pontos de equilíbrio do sistema abaixo para $x = 1$

$$\dot{v} = v(v^2 - x), \quad v \in \mathbb{R}$$

b) Para cada ponto de equilíbrio, determine o jacobiano, isto é, o sistema linearizado (A e b) tais que em torno dos pontos de equilíbrio tenha-se

$$\dot{v} = Av + bx$$

caracterizando o comportamento como instável ou assintoticamente estável em cada ponto

7ª Questão: Determine uma realização (A, b, c, d) para o sistema linear invariante no tempo descrito pela equação diferencial

$$\ddot{y} - 6\dot{y} - 4y = 3\ddot{x} - 8\dot{x} - 7\dot{x} + 7x$$

8ª Questão: Determine a resposta ao impulso (condições iniciais nulas) para o sistema linear

$$\dot{v} = \begin{bmatrix} -2 & 1 \\ -2 & 0 \end{bmatrix} v + \begin{bmatrix} 5 \\ 2 \end{bmatrix} x, \quad y = [1 \quad 0] v$$

9ª Questão: Determine um sistema linear autônomo (homogêneo), com matrizes reais, na forma de equação de estados dado por

$$\dot{\bar{v}} = \bar{A}\bar{v}, \quad \bar{v}(0) = \bar{v}_0, \quad y = \bar{c}\bar{v}$$

que produza como saída a função
 $y(t) = \exp(5t)(1 + 2t + 4t^2)$



10ª Questão: Determine a forma de Jordan da matriz

$$A = \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ 0 & 3 & 1 \\ 0 & -1 & 1 \end{bmatrix}, \quad \Delta(\lambda) = \det(\lambda I - A) = (\lambda - 2)^3$$



Transformada Z: $\mathcal{Z}\{a^n u[n]\} = \frac{z}{z-a}, |z| > |a|$, $\mathcal{Z}\{-a^n u[-n-1]\} = \frac{z}{z-a}, |z| < |a|$

$\mathcal{Z}\{na^{n-1}u[n]\} = \frac{z}{(z-a)^2}, |z| > |a|$, $\mathcal{Z}\{-na^{n-1}u[-n]\} = \frac{z}{(z-a)^2}, |z| < |a|$

$\mathcal{Z}\{x[n]\} = X(z), z \in \Omega_x \Leftrightarrow \mathcal{Z}\{x[-n]\} = X(z^{-1}), z^{-1} \in \Omega_x$, $\mathcal{Z}\{x_1[n] * x_2[n]\} = \mathcal{Z}\{x_1[n]\}\mathcal{Z}\{x_2[n]\}$

$\mathcal{Z}\{n^m x[n]\} = \left(-z \frac{d}{dz}\right)^m X(z)$, $\sum_{k=-\infty}^{+\infty} k^m x[k] = \mathcal{Z}\{n^m x[n]\} \Big|_{z=1}$, $1 \in \Omega_x$, $m \in \mathbb{N}$

$\mathcal{Z}\{y[n] = x[n-m]u[n-m]\} = z^{-m} \mathcal{Z}\{x[n]u[n]\}$, $m \in \mathbb{Z}_+$, $\Omega_y = \Omega_x$

$\mathcal{Z}\{x[n+m]u[n]\} = z^m \left(\mathcal{Z}\{x[n]u[n]\} - \sum_{k=0}^{m-1} x[k]z^{-k} \right)$, $m \in \mathbb{Z}_+$

$\mathcal{Z}\left\{\binom{n}{m} a^{n-m} u[n]\right\} = \frac{z}{(z-a)^{m+1}}, |z| > |a|, m \in \mathbb{N}$, $\mathcal{Z}\{na^n u[n]\} = \frac{az}{(z-a)^2}, |z| > |a|$

$\mathcal{Z}\left\{\binom{n+m}{m} a^n u[n]\right\} = (1-az^{-1})^{-(m+1)} = \frac{z^{m+1}}{(z-a)^{m+1}}, m \in \mathbb{N}, |z| > |a|$

$x[0] = \lim_{|z| \rightarrow +\infty} X(z)$, Ω_x exterior de um círculo, $x[+\infty] = \lim_{z \rightarrow 1} (z-1)X(z)$, $|z| > \rho, 0 < \rho \leq 1$

$G_{\mathbb{X}}(z) = \mathcal{E}\{z^{\mathbb{X}}\} = \mathcal{Z}\{p[n]\} = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} p[k]z^k = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \Pr\{\mathbb{X} = k\}z^k$, $G_{\mathbb{X}}(z) = \sum_{n=0}^{+\infty} \frac{1}{n!} \frac{d^n}{dz^n} G_{\mathbb{X}}(z) \Big|_{z=0} z^n$

$\mathcal{E}\{\mathbb{X}\} = \sum_k kp[k]$, $\sigma_{\mathbb{X}}^2 = \mathcal{E}\{\mathbb{X}^2\} - \mathcal{E}\{\mathbb{X}\}^2$, $\mathcal{E}\{\mathbb{X}^m\} = \left(\frac{zd}{dz}\right)^m \mathcal{Z}\{p[n]\} \Big|_{z=1}$

\mathbb{X}, \mathbb{Y} var. aleatórias independentes $\Rightarrow \mathcal{E}\{z^{(\mathbb{X}+\mathbb{Y})}\} = \mathcal{E}\{z^{\mathbb{X}}\}\mathcal{E}\{z^{\mathbb{Y}}\}$

Laplace (funções causais): $\mathcal{L}\left\{\frac{t^m}{m!} \exp(-at)u(t)\right\} = \frac{1}{(s+a)^{m+1}}$

$$\mathcal{L}\{\cos(\beta t) \exp(-at)u(t)\} = \frac{s+a}{(s+a)^2 + \beta^2}, \quad \mathcal{L}\{\sin(\beta t) \exp(-at)u(t)\} = \frac{\beta}{(s+a)^2 + \beta^2}$$

Variáveis de estado: $\dot{v}(t) = f(v(t), x(t), t)$, $y(t) = g(v(t), x(t), t)$

Pontos de equilíbrio: \bar{v} tais que $f(\bar{v}, \bar{x}) = 0$, $\bar{x} = \text{cte}$. Sistema linear (em torno dos pontos de equilíbrio)

$$A = \left[\frac{\partial f_i}{\partial v_j} \right] \Big|_{\bar{v}, \bar{x}}, \quad B = \left[\frac{\partial f_i}{\partial x_j} \right] \Big|_{\bar{v}, \bar{x}}, \quad C = \left[\frac{\partial g_i}{\partial v_j} \right] \Big|_{\bar{v}, \bar{x}}, \quad D = \left[\frac{\partial g_i}{\partial x_j} \right] \Big|_{\bar{v}, \bar{x}}$$

$$\frac{N(p)}{D(p)} = \frac{\beta_2 p^2 + \beta_1 p + \beta_0}{p^3 + \alpha_2 p^2 + \alpha_1 p + \alpha_0} + \beta_3, \quad A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -\alpha_0 & -\alpha_1 & -\alpha_2 \end{bmatrix}, \quad b = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad c = [\beta_0 \quad \beta_1 \quad \beta_2], \quad d = [\beta_3]$$

$$\dot{v} = Av + bx, \quad y = cv + dx, \quad \frac{N(p)}{D(p)} = c(pI - A)^{-1}b + d = b'(pI - A')^{-1}c' + d, \quad p = \frac{d}{dt}$$

$$v = T\hat{v} \Rightarrow \hat{A} = T^{-1}AT, \quad \hat{b} = T^{-1}b, \quad \hat{c} = cT, \quad T \text{ não singular}$$

$$y(t) = c \exp(At)v_0 + c(\exp(At)u(t)) * (bx(t)) + dx(t), \quad Y(s) = c(sI - A)^{-1}v_0 + (c(sI - A)^{-1}b + d)X(s)$$

$$\text{Cayley-Hamilton: } \Delta(\lambda) = \det(sI - A) = 0 \Rightarrow \Delta(A) = 0$$

$$f(\lambda) = \sum_{i=0}^{n-1} \rho_i \lambda^i, \quad \Delta(\lambda) = 0 \Rightarrow f(A) = \sum_{i=0}^{n-1} \rho_i A^i, \quad f(\text{diag}(A_1, \dots, A_N)) = \text{diag}(f(A_1), \dots, f(A_N))$$

$$\text{Bloco de Jordan: } J_k(\sigma) = \begin{bmatrix} \sigma & 1 & \cdots & 0 \\ 0 & \sigma & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \sigma \end{bmatrix}, \quad f(J_k(\sigma)) = \begin{bmatrix} f(\lambda) & \dot{f}(\lambda) & \cdots & f^{(k-1)}(\lambda)/(k-1)! \\ 0 & f(\lambda) & \cdots & f^{(k-2)}(\lambda)/(k-2)! \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & f(\lambda) \end{bmatrix}_{\lambda=\sigma}$$

$$\text{Forma modal: } M = \begin{bmatrix} \sigma & -\omega \\ \omega & \sigma \end{bmatrix}, \quad \Delta(\lambda) = (\lambda - \sigma)^2 + \omega^2,$$

$$\exp(Mt) = \exp(\sigma t) \begin{bmatrix} \cos(\omega t) & -\sin(\omega t) \\ \sin(\omega t) & \cos(\omega t) \end{bmatrix}, \quad \text{Forma modal de Jordan: } \begin{bmatrix} M & I & \cdots & 0 \\ 0 & M & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & M \end{bmatrix}$$

Forma de Jordan de $A \in \mathbb{R}^{n \times n}$, $\nu(M_\lambda) = n - \text{rank}(M_\lambda)$ (dimensão do espaço nulo de $M_\lambda = A - \lambda I$):

1) Para cada λ (multiplicidade algébrica n_λ), compute $M_\lambda = (A - \lambda I)$ e a dimensão r_λ do espaço nulo de M_λ . O número de blocos de Jordan associados a λ é igual a r_λ e a soma dos tamanhos de cada um dos blocos é igual a n_λ . Note que r_λ é a multiplicidade geométrica de λ , ou seja, o número de autovetores linearmente independentes associados a λ , $1 \leq r_\lambda \leq n_\lambda$.

$$\dot{v} = Av + bx, \quad y = cv + dx, \quad v(0) = \bar{v}, \quad \text{para } x \text{ solução de } x = \bar{c}\bar{v}, \quad \dot{\bar{v}} = \bar{A}\bar{v}, \quad \bar{v}(0)$$

$$\Rightarrow \text{Sistema autônomo aumentado: } \begin{bmatrix} \dot{v} \\ \dot{\bar{v}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & b\bar{c} \\ 0 & \bar{A} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \bar{v} \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} v(0) \\ \bar{v}(0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_0 \\ \bar{v}_0 \end{bmatrix}, \quad y = [c \quad d\bar{c}] \begin{bmatrix} v \\ \bar{v} \end{bmatrix}$$