



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

PME3403 - Laboratório de Vibrações e Controle

Prof. Dr. Francisco E. Baccaro Nigro
Prof. Dr. Roberto Spinola Barbosa
Prof. Dr. Walter Ponge-Ferreira

PR - Prova de Recuperação
29 de dezembro de 2024

1 Questão - Análise de Sinais

(3,0 pontos)

O sinal $y(t)$ mostrado na Figura 1, corresponde a vibração periódica medida na estrutura de uma máquina. Sabendo que os coeficientes da série de Fourier de um sinal periódico $y(t)$ são obtidos por:

$$\begin{aligned}a_0 &= \frac{1}{T} \int_0^T y(t) dt \\a_n &= \frac{2}{T} \int_0^T y(t) \cos(n \omega_0 t) dt \\b_n &= \frac{2}{T} \int_0^T y(t) \sin(n \omega_0 t) dt\end{aligned}$$

- Determine o período T e frequência natural ω_0 do sinal.
- Determine os coeficientes a_0 , a_n e b_n da série de Fourier deste sinal.
- Esboce o espectro de amplitudes deste sinal.

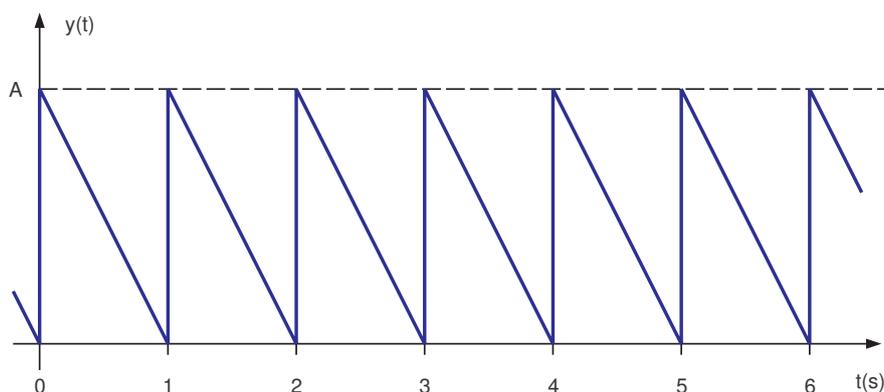


Figura 1: Sinal de Vibração Periódica

2 Questão -Balanceamento

(3,5 pontos)

O rotor representado na Figura 2, que deve ser balanceado na rotação de operação, é constituído essencialmente de um disco de aço de massa $M = 7$ kg e raio $R = 100$ mm montado com interferência em um eixo maciço de alumínio, de diâmetro $d = 26$ mm e comprimento $L = 400$ mm. Para se aproximar das condições de operação, o balanceamento está sendo feito em uma máquina de balancear de mancais “rígidos” na rotação de operação e deve atingir uma classe *ISO G 2.5*. Sabe-se que: o módulo de elasticidade do alumínio é $E = 7,5 \cdot 10^{10}$ Pa e sua massa específica $\rho = 2,7 \cdot 10^3$ kg/m³; o momento de inércia de uma seção circular de diâmetro d em relação a um eixo diametral é $J = \pi d^4/64$; e a flecha no centro do vão de uma viga bi-apoiada de comprimento L e módulo de rigidez EJ submetida a uma força F no centro do vão é $\delta = \frac{1}{48} \frac{FL^3}{EJ}$.

As forças horizontais medidas nos mancais A e B da balanceadora em função do tempo para o rotor na condição original, bem como o sinal de referência da foto-célula, são apresentadas no gráfico da Figura 3. Considerando a proximidade entre rotação de operação e rotação crítica e a possível dissipação de energia nos mancais, utilizou-se o seguinte procedimento para o balanceamento:

Adicionou-se uma massa de teste de 0,8 g na periferia do rotor na posição 300° (correspondente ao sentido oposto ao de medição da força máxima com o rotor original) e obteve-se um novo registro, também indicado no gráfico da Figura 3. Com base nessa variação determinou-se a massa a ser retirada do rotor, assim como sua posição angular.

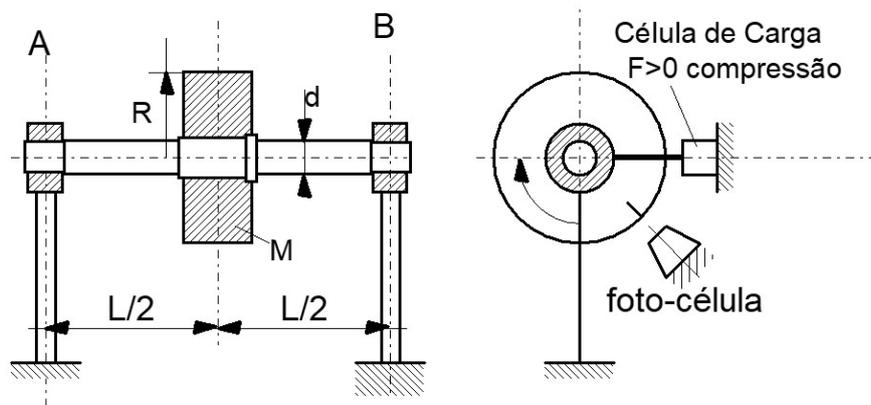


Figura 2: Rotor em balanceadora de mancais "rígidos"

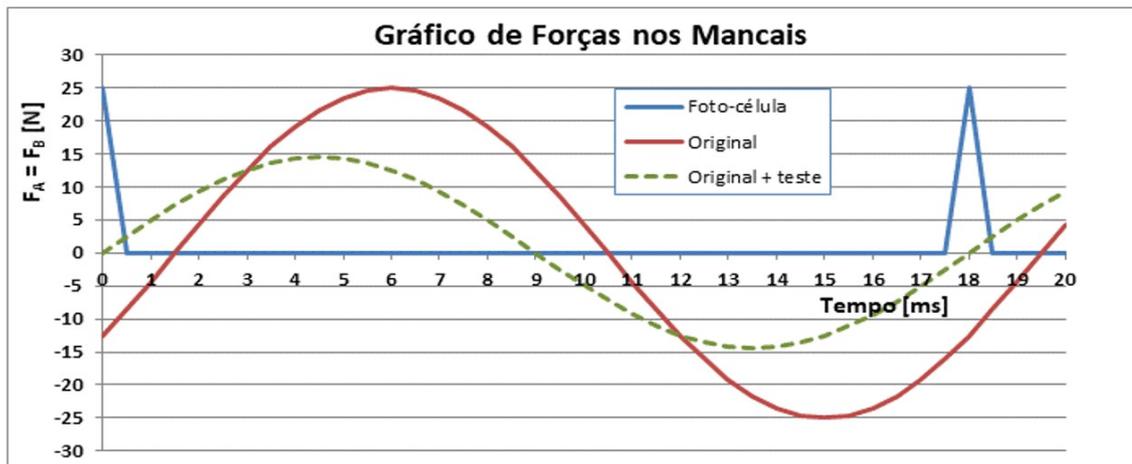


Figura 3: Resposta ao desbalanceamento

Pede-se:

- Determinar o desbalanceamento residual admissível para que o rotor satisfaça a classe *ISO G 2.5*, e a tolerância da massa final a ser retirada para o balanceamento.
- Estimar a primeira velocidade crítica à flexão do rotor;
- Admitindo-se que os mancais são completamente rígidos e que a dissipação de energia é desprezível, e sem considerar o procedimento de balanceamento explicitado, calcular a massa a ser retirada na periferia do disco de aço, bem como sua posição angular, para balancear o rotor;

- d) Considerando-se o procedimento de balanceamento adotado, calcular a massa a ser retirada na periferia do disco de aço, bem como sua posição angular, para balancear o rotor;
- e) Comparar os resultados dos quesitos c) e d) e explicar o motivo da diferença.

3 Questão - Controle de Sistema Hidráulico

(3,5 pontos)

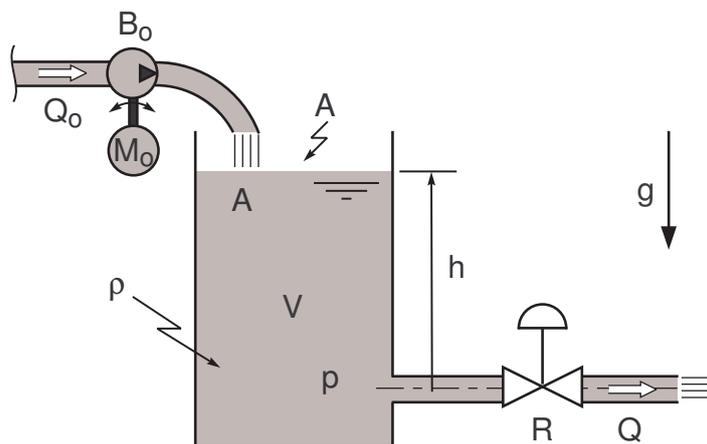


Figura 4: Reservatório de água

O sistema mostrado na Figura 4 com um reservatório de água (massa específica da água $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$) é composto por um tanque de área transversal $A = 0,0225 \text{ m}^2$, altura do nível de água $h(t)$ em relação à saída, uma válvula de resistência (perda de carga) R , alimentado com um vazão externa constante $Q_0(t) = 0,1 \text{ L/s}$. O nível encontrava-se inicialmente a uma altura $H = 600 \text{ mm}$.

Equação da continuidade:

$$A \frac{dh}{dt} = Q_0 - Q$$

Perda de carga na saída modelada pela expressão:

$$p = RQ^2$$

onde p é a pressão relativa à atmosférica no fundo do reservatório dada por:

$$p = \rho g h$$

onde g é a aceleração da gravidade local ($g_{SP} = 9,78 \text{ m/s}^2$).

O volume útil do reservatório é dado por:

$$V = A h$$

Um ensaio de esvaziamento do reservatório foi realizado para determinar o parâmetro de resistência por perda de carga R da válvula. Nesse ensaio o tanque não foi abastecido, i.e., $Q_0(t) = 0$ L/s. Os resultados do ensaio são mostrados nas curvas da Figura 5.

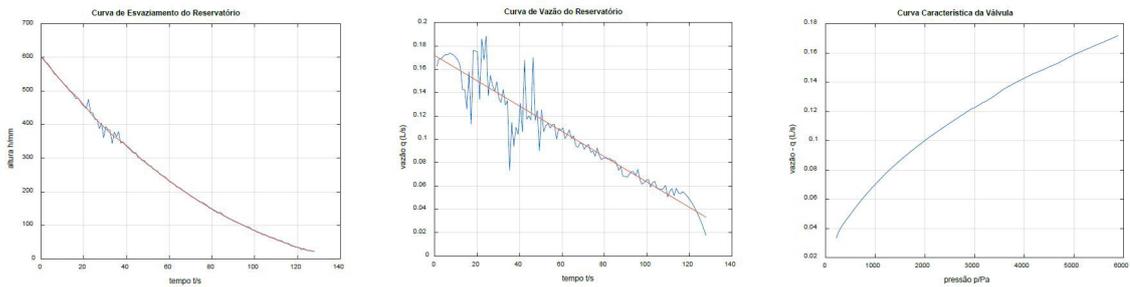


Figura 5: Resultados do ensaio de esvaziamento do reservatório

Pede-se:

- Escrever a equação diferencial não-linear que descreve o comportamento dinâmico do sistema em termos da variável $q(t)$.
- Linearizar a equação diferencial para condição de regime permanente para vazão de abastecimento dada, i.e., $Q_0(t) = 0, 1$ L/s.
- Com base nos resultados do ensaio, estimar o valor da resistência por perda de carga R .
- Estimar em qual altura o nível d'água do reservatório h_0 se mantém na condição de regime permanente para essa vazão de abastecimento dada.
- Propor um controlador do nível do tanque que mede a pressão p no fundo do reservatório e atua sobre a abertura da válvula de abastecimento.
- Determinar a resposta do sistema em malha aberta e em malha fechada quando a vazão aumenta subitamente de 20% em relação a vazão de abastecimento Q_0 partindo da condição de regime permanente.