

Laboratório de Controle de Sistemas

Profa. Grace S. Deaecto

Faculdade de Engenharia Mecânica / UNICAMP
13083-860, Campinas, SP, Brasil.
grace@fem.unicamp.br

Primeiro Semestre de 2023

1 Experimento 2

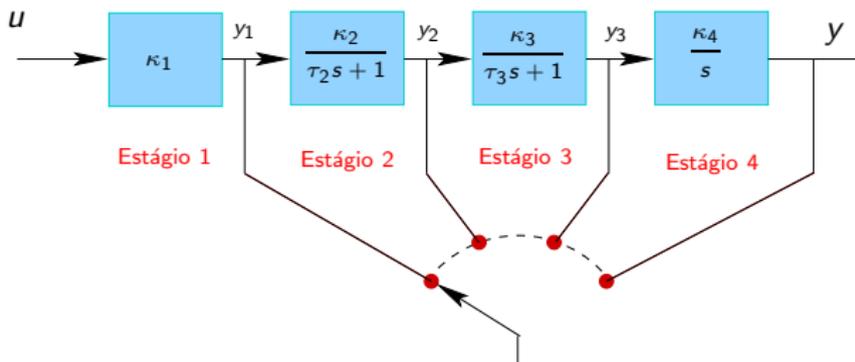
- Objetivo
- Conceitos fundamentais
- Pré-roteiro
- Roteiro

Experimento 2

Método de identificação de plantas eletrônicas

Objetivo

O objetivo deste experimento é identificar a função de transferência de um sistema eletrônico de terceira ordem composto por quatro estágios. A identificação dos parâmetros $\kappa_i > 0$, $i = 1, \dots, 4$, $\tau_2 > 0$ e $\tau_3 > 0$ deve ser feita sequencialmente, a cada estágio, levando em conta que em u é aplicado um sinal de onda quadrada de frequência 0.25 [Hz], com amplitude variando de 0 a 1 [volt], representando degraus unitários repetidos.



Conceitos fundamentais

A identificação de κ_1 e κ_4 é direta. Note que κ_1 é o ganho estático de tensão entre r e a saída y_1 . No quarto estágio, κ_4 é um múltiplo constante da integral da saída y_3 . Uma maneira de determinar κ_4 é realizando, no intervalo de tempo em que y é uma reta, a razão entre a sua inclinação e o valor constante de y_3 . Para a determinação dos demais parâmetros seguem alguns conceitos importantes.

- **Identificação de sistemas de primeira ordem** : Considere um sistema com a seguinte função de transferência

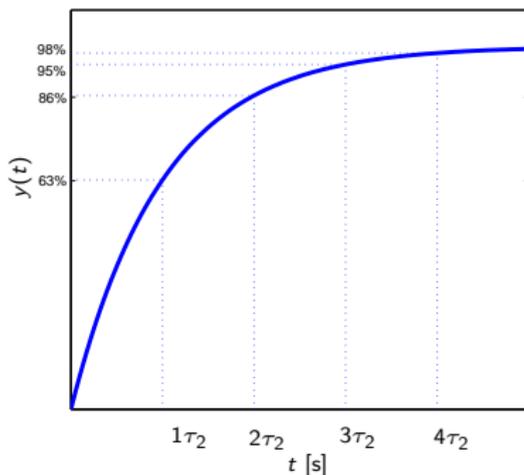
$$F(s) = \frac{\kappa}{\tau_2 s + 1}$$

Sua resposta a uma entrada degrau é dada por $y(t) = \kappa(1 - e^{-t/\tau_2})$. Em regime permanente, temos que

$$\lim_{t \rightarrow \infty} y(t) = \kappa$$

Conceitos fundamentais

A figura a seguir apresenta a saída $y(t)$ de um sistema de primeira ordem. A ordenada apresenta a porcentagem em relação ao valor de regime de $y(t)$. Note que após $t = 4\tau_2$ [s] o valor de $y(t)$ atinge 98% do seu valor de regime. Utilizando este instante é possível determinar o valor de τ_2 .



Conceitos fundamentais

- **Identificação de sistemas de segunda ordem** : Considere um sistema com dois polos reais e função de transferência

$$F(s) = \frac{\kappa}{(\tau_2 s + 1)(\tau_3 s + 1)}$$

Assuma que o parâmetro τ_2 já foi identificado no estágio anterior. A resposta $\hat{y}(s)$ a uma entrada degrau fornece

$$\hat{y}(s) = \kappa \left(\frac{1}{s} + \frac{\alpha}{s + 1/\tau_2} + \frac{\beta}{s + 1/\tau_3} \right), \text{ sendo}$$

$$\alpha = \frac{\tau_2}{\tau_3 - \tau_2}, \quad \beta = \frac{\tau_3}{\tau_2 - \tau_3}$$

Sua resposta temporal é

$$y(t) = \kappa \left(1 + \alpha e^{-t/\tau_2} + \beta e^{-t/\tau_3} \right), \quad t \geq 0$$

Conceitos fundamentais

Uma vez que $\kappa = \lim_{t \rightarrow \infty} y(t)$ a identificação de τ_3 , conhecido τ_2 , pode ser feita utilizando dois valores da saída em instantes diferentes, por exemplo, em $t_1 = \tau_2$ e $t_2 = 2\tau_2$. Considerando que

$$\frac{\tau_3}{\tau_2 - \tau_3} = \frac{\tau_2}{\tau_2 - \tau_3} - 1$$

e $x = e^{-\tau_2/\tau_3}$ temos

$$\frac{y(\tau_2)}{\kappa} = 1 - \frac{\tau_2}{\tau_2 - \tau_3} e^{-1} + \left(\frac{\tau_2}{\tau_2 - \tau_3} - 1 \right) x$$

$$\frac{y(2\tau_2)}{\kappa} = 1 - \frac{\tau_2}{\tau_2 - \tau_3} e^{-2} + \left(\frac{\tau_2}{\tau_2 - \tau_3} - 1 \right) x^2$$

Conceitos fundamentais

Fazendo $a = y(\tau_2)/\kappa$, $b = y(2\tau_2)/\kappa$, isolando $\tau_2/(\tau_2 - \tau_3)$ em ambas equações e igualando os resultados, temos

$$\frac{a - 1 + x}{x - e^{-1}} = \frac{b - 1 + x^2}{x^2 - e^{-2}}$$

Organizando a identidade acima, encontramos a seguinte equação do segundo grau

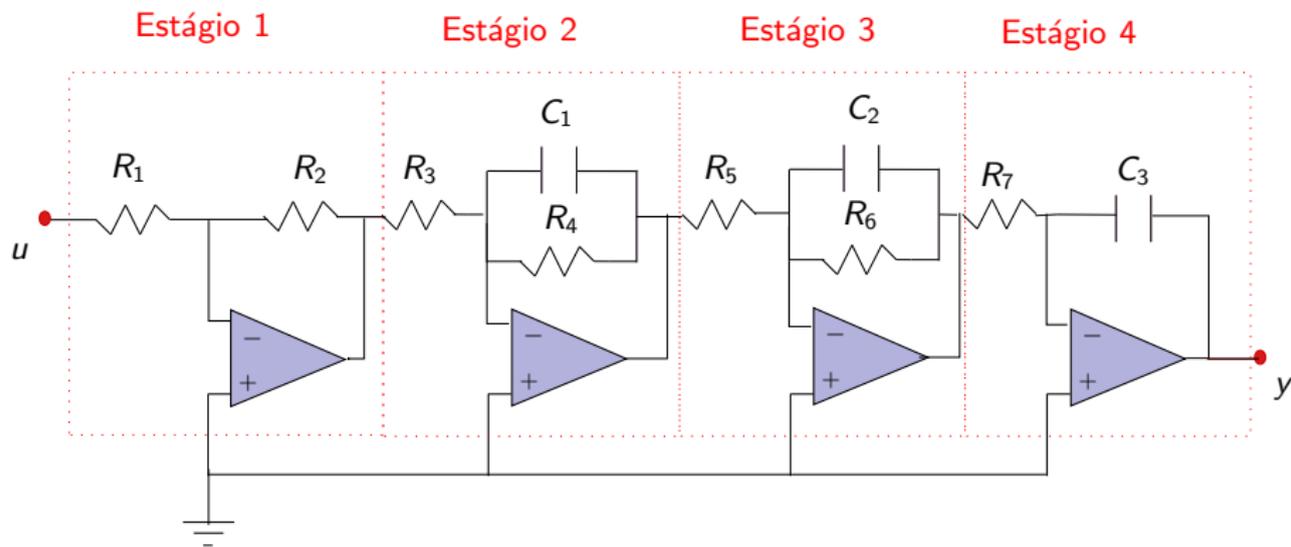
$$x^2 - \frac{1 - b - e^{-2}}{1 - a - e^{-1}}x + \frac{(1 - b)e^{-1} - (1 - a)e^{-2}}{1 - a - e^{-1}} = 0$$

Note que uma das soluções será sempre $x = e^{-1}$, utilizando a outra raiz, temos

$$\tau_3 = -\frac{\tau_2}{\ln(x)}$$

Pré-roteiro

O sistema de terceira ordem em consideração consiste do seguinte circuito eletrônico



Pré-roteiro

- Os valores dos componentes estão apresentados na tabela a seguir

Componente	Valor
R_1	100 [k Ω]
R_2	10 [k Ω]
R_3	100 [k Ω]
R_4	220 [k Ω]
R_5	100 [k Ω]
R_6	470 [k Ω]
R_7	1 [M Ω]
C_1	0,1 [μF]
C_2	0,1 [μF]
C_3	0,1 [μF]

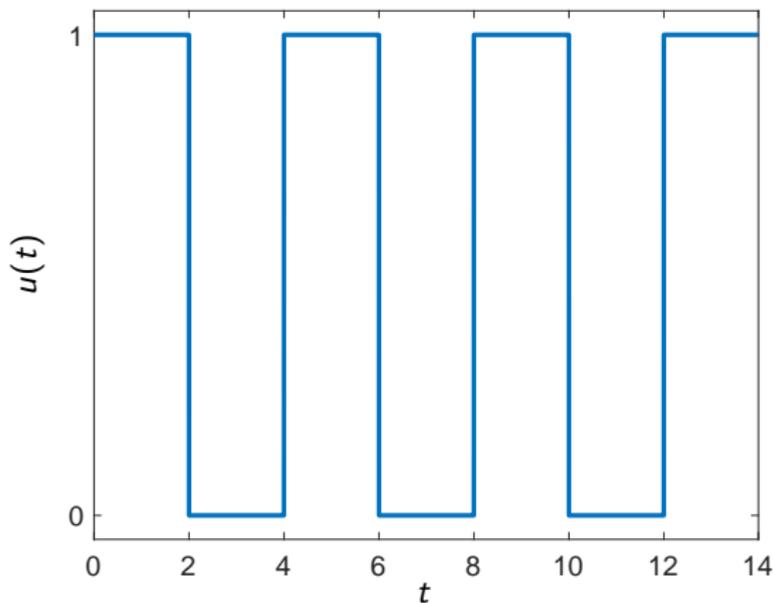
Pré-roteiro

Considerando o circuito apresentado determine :

- 1 A função de transferência $G_i(s)$, $i = 1, \dots, 4$, de cada estágio isolado
- 2 A função de transferência $G(s)$ entre a entrada u e a saída y
- 3 O diagrama de Bode de $G(s)$ e as margens de fase e de ganho do sistema
- 4 A resposta y_i , $i = 1, \dots, 4$, na saída de cada estágio (veja a figura da pag 4/21) a uma onda quadrada de 0.5 [Hz] e de amplitude variando de 0 a 1 [volt] aplicada em $u(t)$. Utilize o comando “square” do Matlab para gerar o sinal $u(t)$ que será apresentado a seguir.

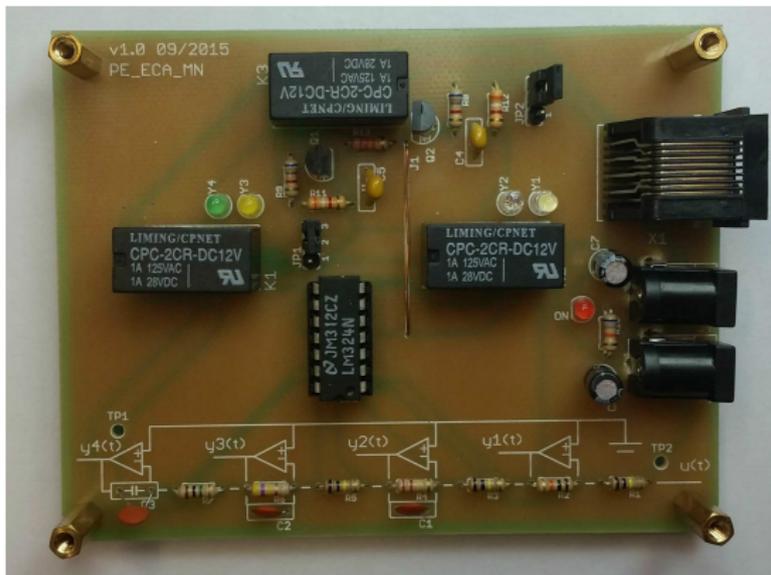
Pré-roteiro

- Onda quadrada aplicada na entrada do sistema



Roteiro

- A figura apresenta a planta eletrônica a ser utilizada.



Roteiro

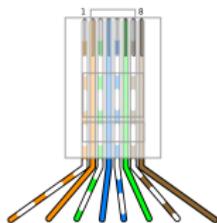
Materiais :

- Planta eletrônica.
- Placa DAQ NI-USB 6001.
- Cabo de rede customizado.

Procedimento :

- Conecte o cabo de rede customizado à placa de aquisição e à planta levando em conta os dados apresentados na tabela a seguir.

Roteiro



- Descrição das conexões do cabo

Fios	Ligação
1. Branco Verde	NC
2. Verde	NC
3. Branco Laranja	$u(t)$
4. Azul	NC
5. Branco Azul	$y(t)$
6. Laranja	GND
7. Branco Marrom	A
8. Marrom	B

Roteiro

- Os sinais A e B são sinais lógicos que selecionam cada um dos estágios da planta eletrônica de acordo com a tabela abaixo.

A	B	Saída
1	1	$y_1(t)$
1	0	$y_2(t)$
0	1	$y_3(t)$
0	0	$y_4(t)$

- Os fios com a menção “NC” (Not Connected) não serão utilizados neste experimento.
- A alimentação do sistema é realizada diretamente através do conector acoplado.

Roteiro

- Utilizando o LabVIEW aplique uma onda quadrada na entrada do circuito (reproduza o sinal de entrada do pré-roteiro).
- Monte um diagrama com dois canais de medição de modo a medir o sinal de entrada $u(t)$ e a saída de cada um dos estágios $y_i(t)$. Utilize os sinais A e B da planta para realizar as mudanças de estágio.

Procedimento para criação do sinal A, B

- Configure o canal realizando o procedimento do experimento anterior, mas indicando uma saída digital com dois bits.
- Em “DAQmx Create Channel.vi” conecte um “String Constant” na entrada “lines” do bloco escrevendo o seguinte endereço : “Devx/port0/line0:1”, sendo x o número da placa.
- Em “DAQmx Write.vi” faça a seguinte configuração : Digital → Single Channel → Single Sample → 1D Boolean (N lines).

- Em “DAQmx Write.vi” crie um sinal de controle na entrada “data” para selecionar a saída do estágio desejado.
- Armazene em arquivos o sinal de entrada $u(t)$ e as saídas y_i , $i = 1, \dots, 3$.
- Para a obtenção do y_4 , de maneira e evitar saturação, altere o sinal de entrada para uma onda quadrada de amplitude ± 1 e offset nulo.
- Comece a aquisição com a fonte desligada e, após alguns segundos, ligue a fonte. Desta maneira, será possível determinar a inclinação da reta. Obtenha quatro valores de inclinação e tire a média para uma melhor precisão no resultado.
- Identifique o ganho estático $\kappa_i > 0$ e/ou as constantes de tempo $\tau_i > 0$ das funções de transferência $G_i(s)$, $i = 1, \dots, 4$.
- Obtenha a função $G(s) = \hat{y}(s)/\hat{u}(s)$
- Compare e justifique os resultados obtidos no laboratório com os obtidos no pré-laboratório.

Programa LabView utilizado

