

# Laboratório de Controle de Sistemas

**Profa. Grace S. Deaecto**

Faculdade de Engenharia Mecânica / UNICAMP

13083-860, Campinas, SP, Brasil.

[grace@fem.unicamp.br](mailto:grace@fem.unicamp.br)

Primeiro Semestre de 2016

## 1 Experimento 2

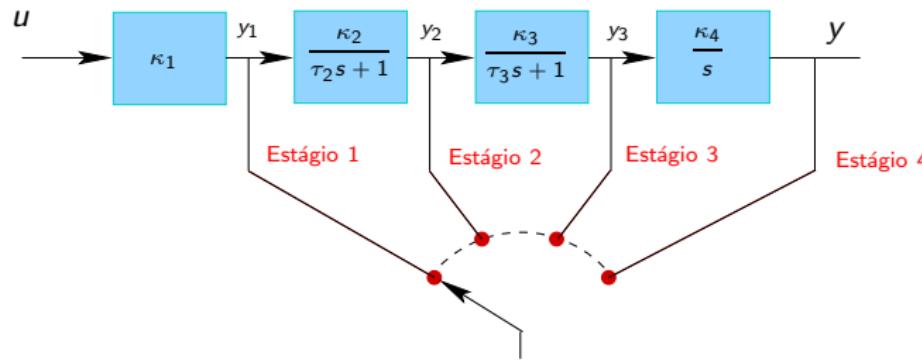
- Objetivo
  - Conceitos fundamentais
  - Pré-roteiro
  - Roteiro

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 1 [Hz] e amplitude 1 [volt]. A frequência é baixa o suficiente de modo a simular a repetição de degraus na entrada.



## Conceitos fundamentais

A identificação de  $\kappa_1$  e  $\kappa_4$  é direta. Note que  $\kappa_1$  é o ganho estático de tensão entre  $r$  e a saída  $y_1$ . No quarto estágio,  $\kappa_4$  é um múltiplo constante da integral da saída  $y_3$ . Uma maneira de determinar  $\kappa_4$  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

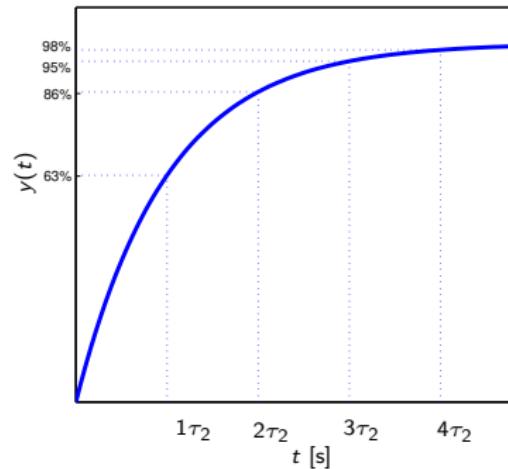
$$F(s) = \frac{\kappa}{\tau_2 s + 1}$$

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

$$\lim_{t \rightarrow \infty} y(t) = \textcolor{blue}{y_\infty}$$

# 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  $\tau_2$ .



## 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  $\tau_2$  já foi identificado no estágio anterior. A resposta  $\hat{y}(s)$  a uma entrada degrau fornece

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

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

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  $\tau_3$ , conhecido  $\tau_2$ , 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

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

## 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

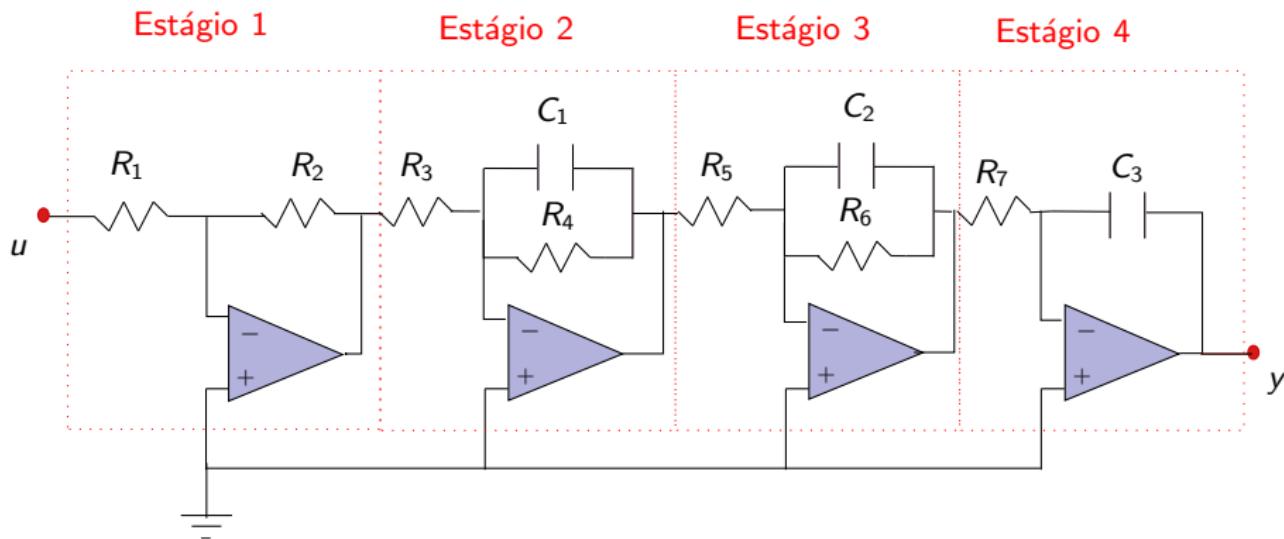
$$x^2 - \frac{1-b-e^{-2}}{1-a-e^{-1}}x + \frac{(1-b)e^{-1}-(1-a)e^{-2}}{1-a-e^{-1}} = 0$$

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 [ $k\Omega$ ]
$R_2$	10 [ $k\Omega$ ]
$R_3$	100 [ $k\Omega$ ]
$R_4$	220 [ $k\Omega$ ]
$R_5$	100 [ $k\Omega$ ]
$R_6$	470 [ $k\Omega$ ]
$R_7$	1 [ $M\Omega$ ]
$C_1$	0,1 [ $\mu F$ ]
$C_2$	0,1 [ $\mu F$ ]
$C_3$	0,1 [ $\mu F$ ]

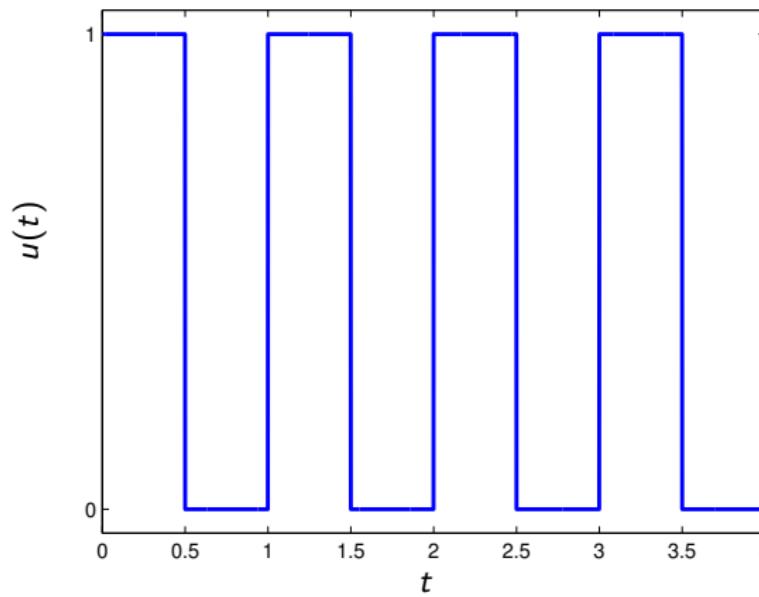
# Pré-roteiro

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 1 [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.

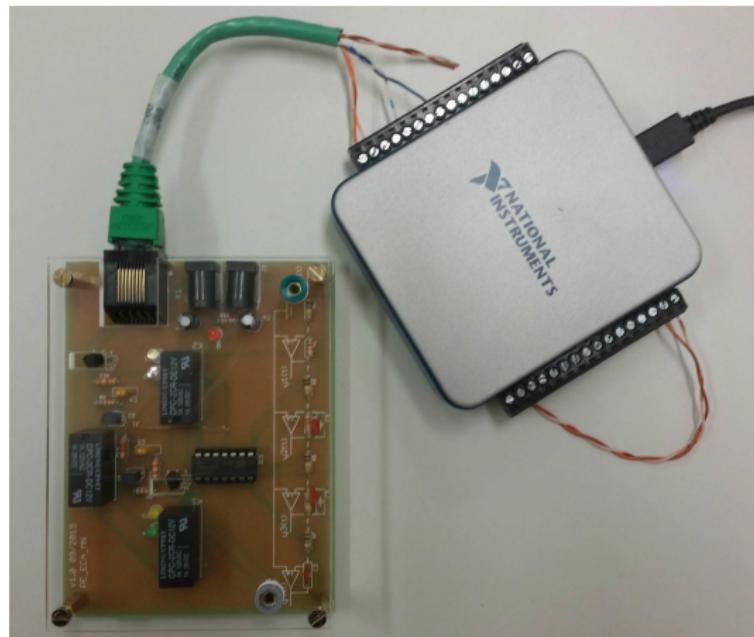
## Pré-roteiro

- Onda quadrada aplicada na entrada do sistema



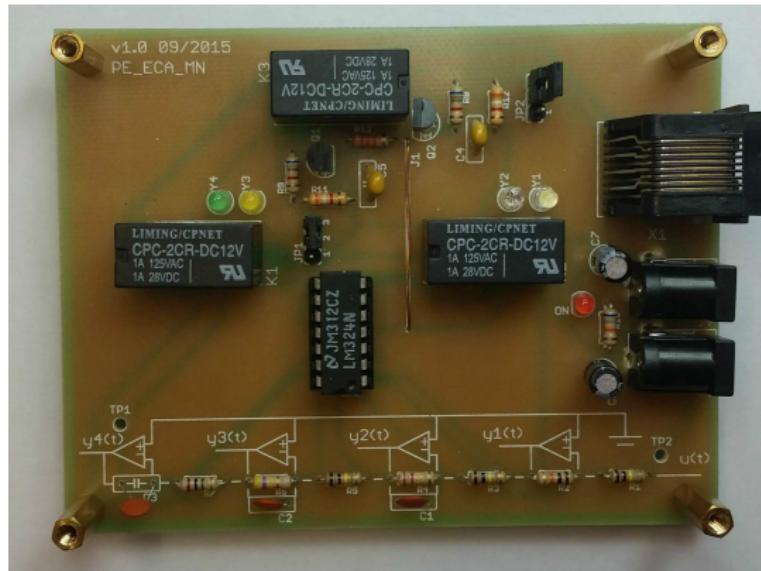
# Roteiro

- A figura apresenta o esquema a ser montado no laboratório.



# Roteiro

- A figura apresenta a planta eletrônica a ser utilizada.



# Roteiro

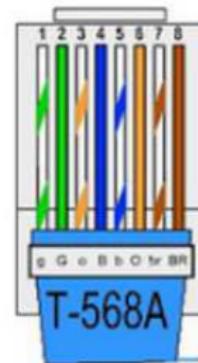
## Materiais :

- 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	Ligaçāo
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 dos conectores  $J_3$  e  $J_4$  da planta (ao lado do cabo de rede) ou 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 a evitar saturação, altere o sinal de entrada para uma onda quadrada de amplitude  $\pm 1$  e offset nulo. 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

