



ROTEIRO DE LABORATÓRIO

1. Número da Experiência: 1

2. Título: Análise de sistemas dinâmicos utilizando computador analógico

3. Objetivos: Esta prática tem como objetivos:

- A compreensão do conceito e da importância da simulação analógica;
- A capacitação em implementar esquemas de simulação em computadores analógicos;
- A conceituação de sistemas dinâmicos e sua classificação;
- A revisão de conceitos ligados a resposta (transitória e em regime) de sistemas dinâmicos;
- A compreensão dos efeitos de não-linearidades na resposta de sistemas dinâmicos; e;
- A familiarização com os equipamentos do laboratório de controle por computador.

4. Equipamento Utilizado: São necessários para realização desta experiência:

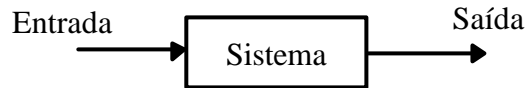
- Um computador analógico COMDYNA, modelo GP-6, com kit de cabos e “jumpers” para programação (ou configuração).
- Um microcomputador PC;
- Uma placa de aquisição de dados da Quanser;
- Um circuito atenuador para proteção da placa de aquisição.

5. Introdução:

5.1. Os Sistemas Dinâmicos e as Equações Diferenciais

Katsuhiko Ogata, em seu livro Engenharia de Controle Moderno (2ª Edição, 1993), afirma que: “A dinâmica de muitos sistemas, sejam eles, elétricos, mecânicos, biológicos etc., pode ser descrita em termos de equações diferenciais. Tais equações diferenciais podem ser obtidas utilizando-se as leis físicas que governam um sistema particular, por exemplo, as leis de Newton dos sistemas mecânicos e as leis de Kirchhoff dos sistemas elétricos. A resposta de um sistema dinâmico a uma entrada (ou função de excitação) pode ser obtida se as equações envolvidas forem resolvidas”

Richard C. Dorf e Robert H. Bishop, em seu livro; Sistemas de Controle Moderno (8ª Edição, 1998), afirmam que: “A engenharia diz respeito ao conhecimento e ao controle de materiais e forças da natureza para o benefício da humanidade”. Eles afirmam ainda que: “Dizem respeito aos engenheiros de sistemas de controle o conhecimento e o controle de segmentos à sua volta, chamados com frequência de **sistemas**, com a finalidade de dotar a sociedade de produtos úteis e econômicos”. Assim sendo, podemos definir um sistema como sendo uma disposição, conjunto ou coleção de partes conectadas ou relacionadas de tal maneira a formarem um todo.



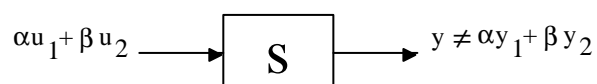
Os sistemas podem ser classificados de diversas formas:

- Contínuos ou Discretos;
- Variantes no Tempo ou Invariantes no Tempo;
- Lineares ou Não-Lineares;
- Monovariáveis ou Multivariáveis;
- Determinísticos ou Estocásticos
- Parâmetros Concentrados ou Parâmetros Distribuídos;
- Com Memória ou Sem Memória; etc...

Com relação a linearidade ou não dos sistemas, um sistema inicialmente em repouso é dito **linear** se e somente se apresenta as seguintes propriedades:

a) Aditividade	$\begin{array}{c} u_1 \longrightarrow \boxed{S} \longrightarrow y_1 \\ u_2 \longrightarrow \boxed{S} \longrightarrow y_2 \end{array}$	\Rightarrow	$u_1 + u_2 \longrightarrow \boxed{S} \longrightarrow y_1 + y_2$ <p style="text-align: center;"><i>(Princípio da superposição)</i></p>
b) Homogeneidade	$u \longrightarrow \boxed{S} \longrightarrow y$	\Rightarrow	$\alpha u \longrightarrow \boxed{S} \longrightarrow \alpha y \quad \forall \alpha \in \mathfrak{R}$
Combinando a) e b) :			
$\alpha u_1 + \beta u_2 \longrightarrow \boxed{S} \longrightarrow \alpha y_1 + \beta y_2 \quad \forall \alpha, \beta \in \mathfrak{R}$			

No caso dos sistemas não-lineares, estes princípios não são observados:



5.2. Análise de Desempenho Transitório e em Regime Estacionário

A resposta temporal de um sistema consiste de duas partes: a resposta transitória e a resposta em regime permanente (estacionária).

Resposta Transitória ? Parte da resposta que vai do estado inicial até o estado final.

Resposta Estacionária ? Maneira com a saída se comporta quando o tempo (t) tende a infinito.

A resposta transitória de um sistema de segunda ordem, sem zeros, (ou de ordem superior, mas, que se comporte, predominantemente como um sistema da segunda ordem) pode ser caracterizada por alguns valores específicos:

a) Tempo de Subida, t_r : É o tempo necessário para que a saída atinja pela primeira vez o seu valor final

$$t_r = \frac{p - b}{w_d}; \text{ onde: } b = tg^{-1} \frac{\sqrt{1-x^2}}{x}$$

b) Tempo de Pico, t_p : É o instante de tempo em que a resposta atinge o primeiro pico do sobre-sinal.

$$t_p = \frac{p}{w_d}$$

c) Sobre-Sinal Máximo (Overshoot), M_p : É o valor máximo de pico da curva de resposta medido a partir do valor final.

$$M_p (\%) = \frac{c(t_p) - c(\infty)}{c(\infty)} \times 100\% ; \text{ onde: } c(t_p) = 1 + e^{-\left(\frac{xp}{\sqrt{1-x^2}}\right)} \Rightarrow M_p (\%) = 100e^{-\left(\frac{xp}{\sqrt{1-x^2}}\right)}$$

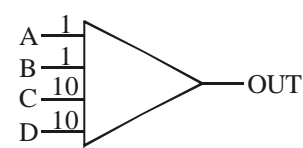
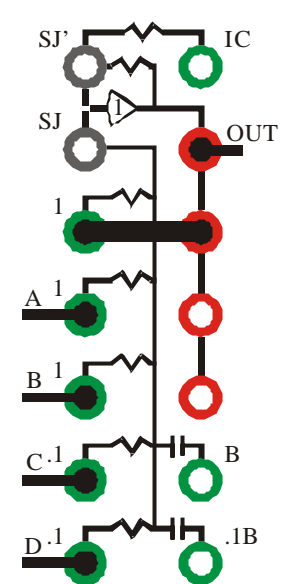

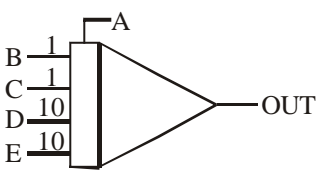
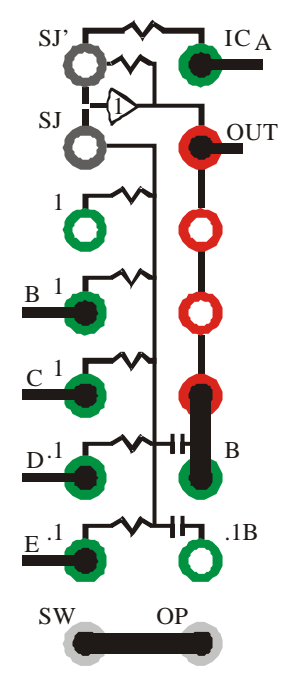

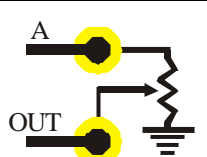
d) Tempo de Acomodação (estabilização), t_s : É o tempo necessário para que a resposta alcance e permaneça dentro de uma faixa em torno do valor final. Esta faixa é especificada por uma porcentagem absoluta do valor final (2% ou 5%).


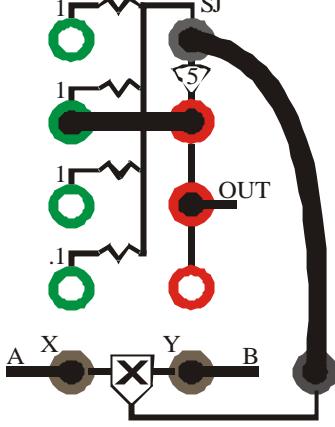

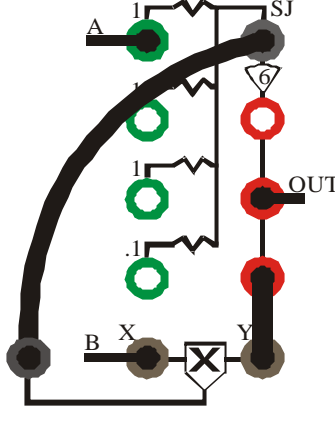
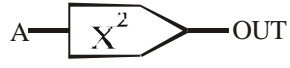
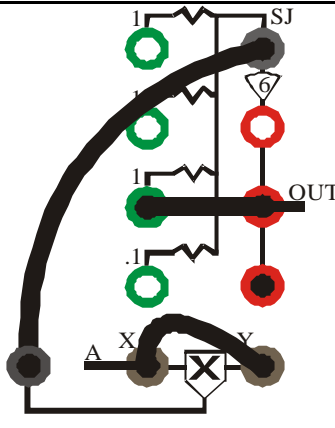
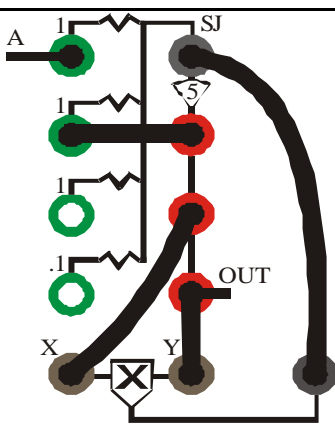
$$t_s = \frac{4}{\mathbf{x}w_n} \text{ (critério de 2\%), e } t_s = \frac{3}{\mathbf{x}w_n} \text{ (critério de 5\%)}$$

Por sua vez, a análise do desempenho em regime permanente (ou estacionário) consiste no estudo do comportamento da resposta do sistema quando o tempo tende a infinito, sendo caracterizada basicamente pelo erro de regime estacionário (e_{ss}).

5.3. Programação do COMDYNA GP-6

Para resolver equações diferenciais utilizando o computador analógico Comdyna GP-6 é necessário conhecer os princípios de programação para implementação das operações básicas.

Operação	Representação	Programação (configuração)
Soma	 $OUT = -(A + B + 10C + 10D)$	
Inversão	$OUT = -A$	
Integração	 $OUT = -\int (B + C + 10D + 10E)dt - A$	
Atenuação	 $OUT = K \cdot A$	

<p>Multiplicação</p>	 <p>$OUT = - (A * B)$</p>	
<p>Divisão</p>	 <p>$OUT = - (A / B); B > 0$</p>	
<p>Quadrado (Potenciação)</p>	 <p>$OUT = - A^2$</p>	
<p>Raiz quadrada (Radiciação)</p>	<p>$OUT = - A^{1/2}; A < 0$</p>	

6. Desenvolvimento:

1º. Elabore um programa para enviar (escrever na DA) e receber (Ler da AD) dados da placa de aquisição. O programa deve:

- a) Apresentar uma interface amigável, utilizando gráficos, contendo menus auto explicativos e apresentando informações importantes sobre as principais variáveis envolvidas;
- b) Possibilitar a seleção do tipo de sinal (onda quadrada, senoide, dente de serra ou aleatório) a ser enviado para uma das portas do conversor DA (de 0 a 7). Além disso, o usuário deverá ter a possibilidade de ajustar parâmetros do sinal, tais como: amplitude e frequência (ou período), e escolher se o este sinal será traçado na tela ou não.
- c) Possibilitar a seleção do(s) canal(is) de entrada (de 0 a 7) a serem lidos (e traçados); e,
- d) Possibilitar a determinação automática de distâncias verticais e horizontais entre dois pontos do gráfico.

2º. Considere que dois sistemas dinâmicos, um linear e outro não-linear, são descritos pelas equações (1) e (2), respectivamente:

$$2\ddot{Y} + \dot{Y} + 2Y = U \quad (1)$$

$$2\ddot{Y} + \dot{Y}Y + 2Y^2 = U \quad (2)$$

- a) Esboce o esquema de solução de cada equação.
- b) Programe o computador analógico Comdyna GP-6 para fornecer a resposta da equação (1).
- c) Obtenha a resposta ao degrau, para degraus com amplitude variando de 3 à 7v, com intervalos de 1v.
- d) Determine o valor de regime ($Y(\infty)$) da resposta ao degrau, para degraus com amplitude variando de 3 à 7v, com intervalos de 1v.
- e) Repita os passos b) c) e d) para a equação (2).
- f) Teste também outros tipos de sinal de entrada, com diferentes amplitudes, e outras equações.
- g) Com base na razão $\left(\frac{Y(\infty)}{U(\infty)} \right)$, para cada equação, que conclusões podem ser tiradas sobre sistemas lineares e sistemas não-lineares?