

## PRÁTICA DE LABORATÓRIO 05 – Introdução a sistemas não lineares

**Objetivo:** Analisar componentes não lineares básicos, verificando que o princípio da superposição não é válido para tais elementos. Para sinais de excitação senoidal, verificar a deformação do sinal de saída, com o aparecimento de componentes harmônicas na saída de elementos não lineares.

**Parte 1.** No Simulink®, na biblioteca *Simulink*→*Discontinuities*, identificar os elementos não lineares listados abaixo na Fig. 1: (a) atrito de Coulomb, (b) zona morta, (c) liga-desliga com histerese e (d) saturação.

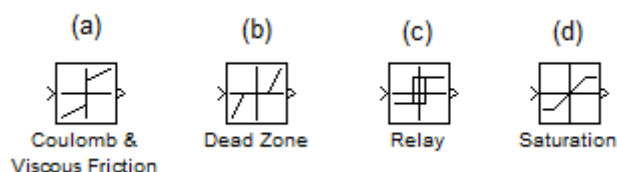


Fig 1. Elementos não lineares comuns

Os dados de simulação estão na Tabela I abaixo:

**TABELA I**

ELEMENTO	PARÂMETROS	VALOR
<b>Coulomb &amp; Viscous Friction</b>	Coulomb friction value	0.1
	Coefficient of viscous friction	1
<b>Dead Zone</b>	Start of dead zone	-0.1
	End of dead zone	0.1
<b>Relay</b>	Switch on Point	0.1
	Switch off Point	-0.1
	Output when on	0.6
	Output when off	-0.6
<b>Saturation</b>	Upper limit	0.1
	Lower limit	-0.1

Descrever o comportamento da saída do elemento não linear à medida que a amplitude da entrada senoidal (frequência de 1 Hz) é variada:

1. Gerar um gráfico com as curvas de entrada e saída para as amplitudes  $X=\{0.01;0.51;1.01\}$  e comentar o comportamento da saída à medida que  $X$  cresce. Ou seja, gerar em um único gráfico (um por elemento), as curvas de saída para cada amplitude  $X$  do sinal senoidal de entrada.
2. Discorra sobre a deformação do sinal de saída de forma qualitativa relacionando-a com o aumento ou diminuição de  $X$ . (Entenda por deformação o “desvio” de um sinal com referência a um sinal senoidal puro).

**Parte 2.** No Simulink®, simular os elementos não lineares zona-morta e saturação, com os parâmetros especificados na Tabela II, no intervalo de tempo em segundos  $[0;0.1)$  com intervalo de amostragem  $\Delta t=1e-4$ .

**TABELA II**

ELEMENTO	PARÂMETROS	VALOR
Dead Zone	Start of dead zone	-0.05
	End of dead zone	0.05
Saturation	Upper limit	0.1
	Lower limit	-0.1

- SINAL ANALISADO Nº 1:** é constituído de duas componentes senoidais, de frequências 10 e 30 Hz, com amplitudes de 0,09 e 0,03, respectivamente. Ou seja, componente  $s_1=0,09 \cdot \sin(20\pi t)$  e componente  $s_2=0,03 \cdot \sin(60\pi t+0^\circ)$ .
  - Gerar, em um único gráfico, as entradas e respostas individuais dos elementos aos dois sinais de entrada. Comente os resultados quanto à deformação da saída em relação às entradas.
  - Gerar, em um único gráfico, a soma das respostas individuais do item anterior e também as respostas dos elementos não lineares para o sinal de entrada  $s_1+s_2$ , ou seja, utilize o teorema da superposição quanto a classificação de sistemas não lineares.
- SINAL ANALISADO Nº 2:** é constituído de duas componentes senoidais, de frequências 10 e 30 Hz, com amplitudes de 0,09 e 0,03, respectivamente. Ou seja, componente  $s_1=0,09 \cdot \sin(20\pi t)$  e componente  $s_2=0,03 \cdot \sin(60\pi t+180^\circ)$ .
  - Gerar, em um único gráfico, as entradas e resposta individual dos elementos aos dois sinais de entrada. Comente os resultados quanto à deformação da saída em relação às entradas.
  - Gerar, em um único gráfico, a soma das respostas individuais do item anterior e também as respostas dos elementos não lineares para o sinal de entrada  $s_1+s_2$ , ou seja, utilize o teorema da superposição quanto a classificação de sistemas não lineares.
- SINAL ANALISADO Nº 3:** é constituído de duas componentes senoidais, de frequências 10 e 30 Hz, com amplitudes de 0.33 e 0.11, respectivamente. Ou seja, componente  $s_1=0,33 \cdot \sin(20\pi t)$  e componente  $s_2=0,11 \cdot \sin(60\pi t+0^\circ)$ .
  - Gerar, em um único gráfico, as entradas e resposta individual dos elementos aos dois sinais de entrada. Comente os resultados quanto à deformação da saída em relação às entradas.
  - Gerar, em um único gráfico, a soma das respostas individuais do item anterior e também as respostas dos elementos não lineares para o sinal de entrada  $s_1+s_2$ , ou seja, utilize o teorema da superposição quanto a classificação de sistemas não lineares.

**Considerações Finais:** Discorra sobre as conclusões que a atividade prática 2 proporcionou quanto aos aspectos de deformação harmônica, dependência de resposta com amplitude do sinal de entrada, princípio da superposição, etc..