

## L4 - Zastosowanie Simulinka do rozwiązywania stanów niestabilnych

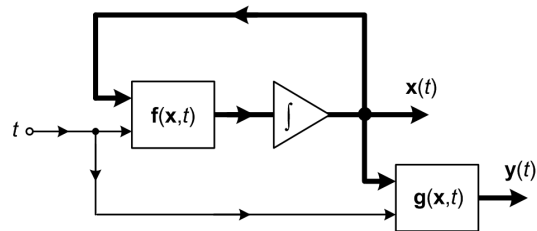
1. **Opis programu Simulink** (biblioteki, tworzenie modelu, uruchamianie programu)

2. **Schemat ogólny rozwiązania**

Opis obwodu nieliniowego w postaci ogólnej

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x}, t)$$

$$\mathbf{y} = \mathbf{g}(\mathbf{x}, t)$$



Rys. 1 Ogólny schemat blokowy nieliniowego układu dynamicznego w Simulinku

3. **Transformacja do postaci zmiennych stanu**

$$\frac{d^n x}{dt^n} = f\left(\frac{d^{n-1}x}{dt^{n-1}}, \frac{d^{n-2}x}{dt^{n-2}}, \dots, \frac{dx}{dt}, x, t\right)$$

Nowe zmienne:  $x_1 = x$ ,  $x_2 = \dot{x}_1$ ,  $x_3 = \dot{x}_2 = d^2x/dt^2$ , ...,  $x_n = \dot{x}_{n-1} = d^{n-1}x/dt^{n-1}$

Postać normalna

$$\dot{x}_1 = x_2$$

$$\dot{x}_2 = x_3$$

...

$$\dot{x}_{n-1} = x_n$$

$$\dot{x}_n = f(x_n, x_{n-1}, \dots, x_1, t)$$

4. **Przykład równania Duffinga**

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + a \frac{dx}{dt} + b_1 x + b_k x^k = 0$$

w której zmienna  $x$  odpowiada strumieniowi elektrycznemu cewki nieliniowej. Przyjmując  $x_1 = x$ ,  $x_2 = \dot{x}_1$ ,

$\dot{x}_2 = d^2x/dt^2$  równanie Duffinga można zapisać jako nieliniowe równanie stanu drugiego rzędu

$$\dot{x}_1 = x_2$$

$$\dot{x}_2 = -[ax_2 + b_1x_1 + b_kx_1^k]$$

W badaniach przyjmując:  $a=10$ ,  $b_1=1000$ ,  $k=5$ ,  $b_5=10000$

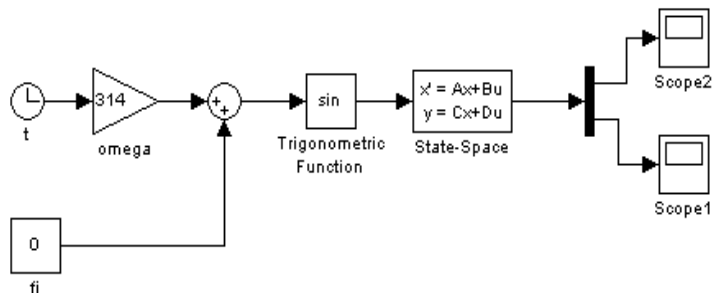


### Równania stanu

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R}{L} & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} e$$

$$\mathbf{y} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} e$$

### Model obwodu w Simulinku



Rys. 5 Schemat blokowy do symulacji stanu nieustalonego w obwodzie szeregowym RLC

Wymuszenie  $e(t) = \sin(\omega_s t)$ , gdzie  $\omega_s = 314$ ,  $\omega_w = \sqrt{1/LC - (R/2L)^2}$

$L=1\text{H}$ ;  $C=10.14\mu\text{F}$  (pulsacja drgań własnych obwodu  $\omega_w = \omega_s$ ,

$L=1\text{H}$ ,  $C=8.1139\mu\text{F}$  (pulsacja rezonansowa  $\omega_r$  bliska ale różna od  $\omega_s$ ),

$L=1\text{H}$ ,  $C=1.014\mu\text{F}$  (pulsacja drgań własnych  $\omega_w = 0.1\omega_s$ ),

$L=1\text{H}$ ;  $C=1000\mu\text{F}$  (pulsacja drgań własnych  $\omega_w = 10$ ).

Wartości rezystancji R: zerowa,  $0.1R_{kr}$ .

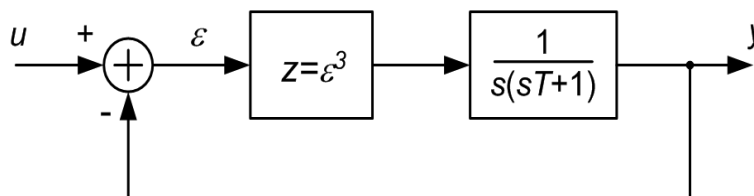
**Uwaga:**

**Macierze stanu zapisać w postaci symbolicznej a wartości R, L i C zadać w przestrzeni roboczej Matlaba.**

## 7. Zadania i problemy

### Zadanie 1

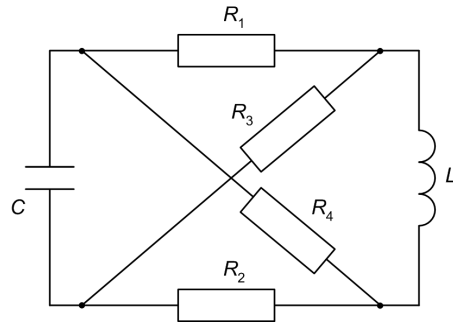
Zamodelować w Simulinku schemat blokowy przedstawiony na rys. Z1. Przyjąć charakterystykę elementu nieliniowego równą  $z = \varepsilon^3$ .



Rys. Z1 Schemat blokowy do zadania 1

### Zadanie 2

Wyznaczyć równanie stanu dla obwodu z rys. Z2. Zakładając niezerowe warunki początkowe rozwiązać je przy użyciu Simulinka. Dobrać wartości elementów w taki sposób, aby stan nieustalony w obwodzie miał charakter oscylacyjny.



Rys. Z2 Schemat obwodu do zad. 2

### Zadanie 3

Wyznaczyć opis stanowy obwodu elektrycznego na podstawie jego opisu równaniem różniczkowym czwartego rzędu

$$\frac{d^4 x}{dt^4} + 1,3 \frac{d^3 x}{dt^3} + 1,3 \frac{d^2 x}{dt^2} + 1,1 \frac{dx}{dt} + 0,1x = 0$$

Wyznaczyć rozwiązanie równania różniczkowego i odpowiadającego mu równania stanu w dziedzinie czasu korzystając z Simulinka.

### Zadanie 4

Zamodelować układ równań sztywnych

$$dx_1 / dt = -2x_1 + x_2 + 100$$

$$dx_2 / dt = 10^6 x_1 - 10^6 x_2 + 50$$

przy użyciu programu Simulink. Sprawdzić czas rozwiązania równania przy użyciu różnych algorytmów całkowania numerycznego. Zastosować krok stały i zmienny.

### Zadanie 5

Zamodelować równanie różniczkowe

$$dx / dt = -100(x - t) + e^t + 1 - e^x$$

przy użyciu programu Simulink. Sprawdzić wpływ wyboru warunków początkowych na stabilność globalną rozwiązania równania nieliniowego.