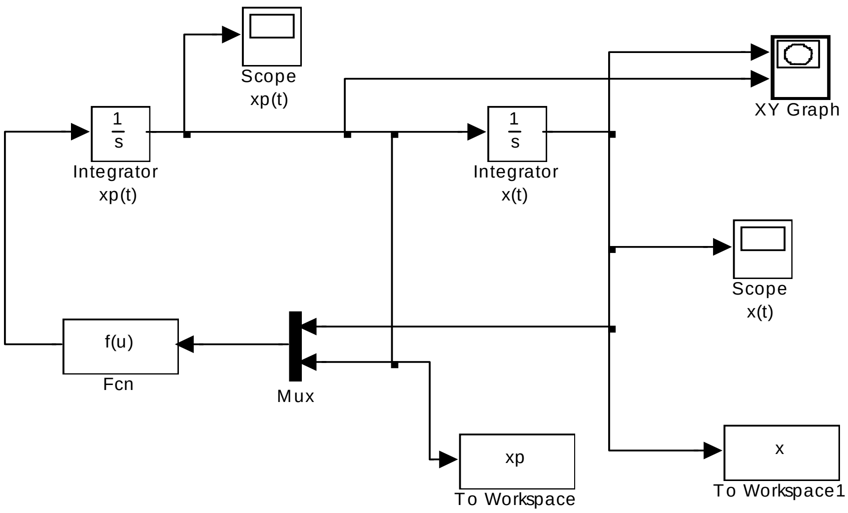
METODA PŁASZCZYZNY FAZOWEJ

1. WPROWADZENIE DO SIMULINKA

Zamodeluj równanie różniczkowe (1) zgodnie z rys. (1) i wykreśl trajektorię fazową dla niezerowych warunków początkowych.

$$a\ddot{x} + b\dot{x} + x = 0 \qquad (1)$$



Rysunek 1. Schemat blokowy równania (1).

- W bloku *Fcn* wyrażenie opcji *Fcn Parameters* powinno być postaci
  `-1/a*(u[1]+b*u[2])`.
  Wartości parametrów `a` i `b` można wprowadzić z linii poleceń Matlaba
  `>> a=2;b=4;`
  lub wprost w wyrażeniu
  `-1/2*(u[1]+4*u[2])`.
- W bloku *Integrator* należy wprowadzić warunek początkowy (opcja *Integrator Parameters*).
- W parametrach bloku *To Workspace* należy podać nazwę zmiennej (`xp` i `x`) dostępnej w przestrzeni roboczej Matlaba oraz jej typ *(Save format: Array).*

Aby wykreślić trajektorię fazową oraz przebiegi czasowe zamodelowanego układu należy przeprowadzić symulację z odpowiednio ustawionymi parametrami w *Simulation/Configuration Parameters/*:

– w zakładce *Solver*:
- *Stop time* – horyzont symulacji,
- wybrać ustalony[1] krok całkowania ***Fixed step size*** (np. 0.001),
- wybrać odpowiednią metodę całkowania numerycznego (np. ***ode4***),

– w zakładce *Data Import/Export*:
- Wyłączyć opcję ***Limit data points to last,***

Dodatkowo należy wyłączyć opcję ***Limit data points to last*** w parametrach elementu *Scope.*
Następnie można wykreślić trajektorię fazową wprowadzając komendę z linii poleceń Matlaba:

```
>> plot(x,xp);grid.
```

[1] Można także zostawić zmienny krok całkowania (*Variable-step*). Należy jednak wówczas ustawić *Max step size* – maksymalny krok całkowania (np.: 0.001)

2. PRZEBIEG ĆWICZENIA

2.1 Narysować schemat blokowy oraz zamodelować równanie Van der Pol'a

$$\ddot{x} + a(1 - bx^2)\dot{x} + cx = 0 .$$

Każda sekcja dobiera własny bazowy zestaw parametrów $a > 0$, $b > 0$, $c > 0$.

2.2 Wykreślić portret fazowy dla bazowego zestawu parametrów *a*, *b*, *c* przedstawiający przybliżony kształt obszaru stabilności.

Dla przykładowych warunków początkowych wykreślić przebiegi czasowe $x(t)$ oraz $\dot{x}(t)$.

2.3 Zbadać wpływ wartości parametrów *a*, *b*, *c* na kształt trajektorii dla jednego warunku początkowego (możliwie bliskiego granicy stabilności). Uwzględnić przynajmniej trzy zmiany wartości każdego bazowego parametru przy stałych dwóch pozostałych parametrach.

Tabela 1

Zmiana parametru *a*	$a, a_2, a_3, \ldots$	b	c
Zmiana parametru *b*	a	$b, b_2, b_3, \ldots$	c
Zmiana parametru *c*	a	b	$c, c_2, c_3, \ldots$

2.4 Dla bazowego zestawu parametrów *a*, *b*, *c* wyznaczyć dokładny obszar stabilności metodą „odwróconego czasu". Zadać warunki początkowe wewnątrz i na zewnątrz obszaru stabilności. Porównać otrzymany wynik z obszarem uzyskanym w punkcie 2.2.

2.5 Zbadać wpływ parametrów równania Van der Pol'a na kształt i wielkość dokładnego obszaru stabilności (patrz Tabela 1).

2.6 Dla parametrów *a*, *b*, *c* wyznaczyć analitycznie przybliżony obszar stabilności metodą Lapunowa oraz wykorzystując podstawienie Lienarda i wykreślić na jednym rysunku z obszarem dokładnym (punkt 2.4). Porównać otrzymane wyniki.

3. SPRAWOZDANIE

W sprawozdaniu należy zamieścić schemat blokowy z opisem wartości parametrów *a*, *b*, *c*, opisane wykresy uzyskane w trakcie ćwiczenia, obliczenia analityczne oraz omówić otrzymane wyniki.

UWAGI

Wskazówki do modelowania „odwróconego czasu":

$$\tau = -t$$

$$x(\tau) = x(t)$$

$$\dot{x}(\tau) = -\dot{x}(t)$$

$$\ddot{x}(\tau) = \ddot{x}(t)$$