

Laboratorium Techniki Obliczeniowej i Symulacyjnej

Ćwiczenie 8. Symulacja obiektów dynamicznych w środowisku SIMULINK.

Opracował: dr inż. Sebastian Dudzik

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z nakładką SIMULINK oraz zdobycie praktycznych umiejętności tworzenia i symulowania modeli z wykorzystaniem tej nakładki.

2. Wprowadzenie

Biblioteka Simulink dołączana do pakietu Matlab jest graficznie zorientowanym środowiskiem projektowym wyposażonym w funkcje:

- Konstrukcji modeli dynamicznych
- Analizy działania modeli dynamicznych przy różnych wymuszeniach
- Prezentacji wyników symulacji

W pełni interaktywne środowisko pracy Simulink umożliwia budowę modeli dynamicznych na bazie predefiniowanych bloków funkcjonalnych dołączanych wraz z pakietem. Funkcje edycyjne ułatwiają szybkie tworzenie modeli oraz ich modyfikację. W celu umożliwienia symulacji nakładkę Simulink wyposażono w zestaw bloków modelujących sygnały wejściowe. Podstawowe to: *step*, *const*, *ramp*. Możliwa jest też symulacja dla bardziej złożonych wymuszeń, w tym zdefiniowanych przez użytkownika. Symulacji układów sterowania można dokonywać dla różnych metod całkowania, zadanych parametrów (krok, rząd metody, czas symulacji, solver i in.). Prezentacja wyników symulacji w nakładce Simulink jest możliwa dzięki bogatej bibliotece bloków wyjściowych. Najprostsze z nich to: *display*, *scope*, *to workspace* i in.). Dzięki temu wyniki symulacji mogą być przesłane np. do przestrzeni roboczej programu MATLAB i tam poddane dalszemu przetwarzaniu. Możliwości nakładki Simulink mogą zostać rozszerzone przez dodatkowe biblioteki bloków funkcjonalnych (ang. *blocksets*). Przykładowe biblioteki to: Nonlinear Control Design Blockset — wspomaganie projektowania nieliniowych układów sterowania, Power System Blockset — wspomaganie projektowania układów sterowania systemami maszyn i napędów dużych mocy. DSP Blockset — wspomaganie projektowania systemów wykorzystujących cyfrowe przetwarzanie sygnałów.

3. Program ćwiczenia

1. Uruchomienie programu MATLAB.

W ćwiczeniu wykorzystano program MATLAB w wersji 5.3 (R11.1). Uruchomienie programu następuje poprzez skrót na pulpicie (Matlab5.3) lub bezpośrednio z katalogu $C:\backslash\text{MatlabR11}\backslash\text{bin}\backslash$.

2. Uruchomienie programu Wordpad.exe.

Program można uruchomić poprzez wywołanie: $\text{Start}\backslash\text{Programy}\backslash\text{Akcesoria}\backslash\text{Wordpad}$ lub poprzez skrót na pulpicie.

3. Przejście do katalogu roboczego dla grupy laboratoryjnej.

Domyślnym katalogiem startowym (roboczym) programu MATLAB jest $C:\backslash\text{MatlabR11}\backslash\text{work}\backslash$. Zadanie polega na przejściu do podkatalogu katalogu work . Podkatalog (utworzony na pierwszych zajęciach laboratoryjnych) nazwany jest wybranymi 2 nazwiskami studentów, wchodzących w skład grupy laboratoryjnej.

(a) Wprowadzić:

```
>>pwd
```

W programie MATLAB każde wprowadzone polecenie zatwierdza się klawiszem <ENTER>. Zwrócić uwagę na ścieżkę dostępu do katalogu bieżącego.

(b) Wprowadzić:

```
>>cd nazwa_podkatalogu
```

Parametr $\text{nazwa_pod-katalogu}$ powinien składać się z nazwisk 2 wybranych studentów grupy laboratoryjnej (np. $\text{>>cd KowalskiNowak}$).

4. Modelowanie zależności statycznych

Zamodelować zależność umożliwiającą zamianę wartości temperatur wyrażonych w stopniach Celsjusza na wartości wyrażone w stopniach Fahrenheita:

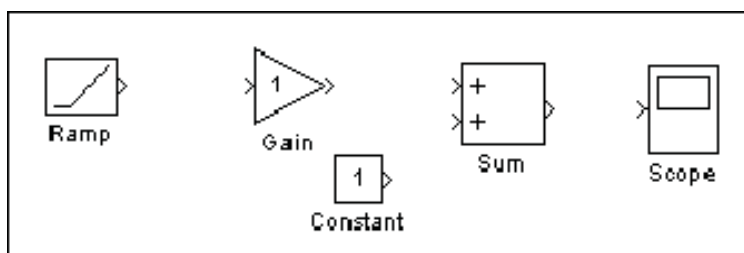
$$T_F = \frac{9}{5}(T_C) + 32, \quad (1)$$

gdzie: T_F — temperatura wyrażona w stopniach Fahrenheita; T_C — temperatura wyrażona w stopniach Celsjusza.

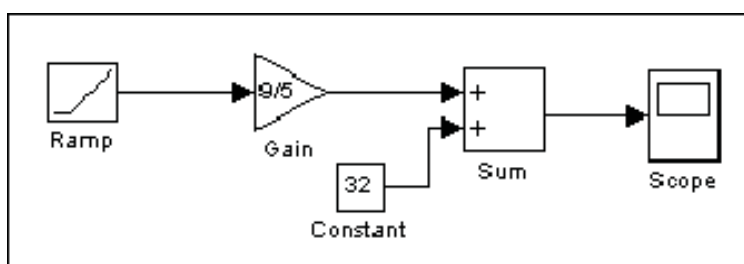
(a) W linii poleceń programu MATLAB wprowadzić: **simulink**. Zgodnie ze wskazówkami prowadzącego utworzyć nowy projekt. Elementy niezbędne do budowy modelu to:

- Blok *ramp* (wymuszenie prędkościowe) z biblioteki *Sources* (wejście).
- Blok *const* (wartość stała) z biblioteki *sources*, (wartość stała równa 32).
- Blok *gain* (wzmocnienie) z biblioteki *math*, (mnożenie).
- Blok *sum* (sumator) z biblioteki *math*, (dodawanie).
- Blok *scope* (oscylloskop) z biblioteki *sinks*, (wyniki symulacji).

(b) Przeciągnąć wymienione elementy (bloki) do okna modelu:

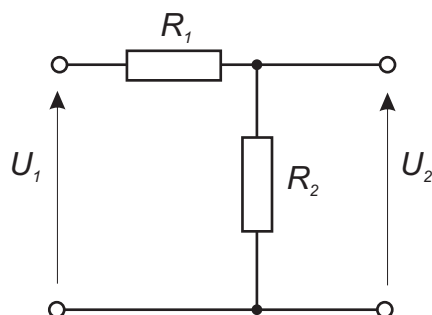


Rys. 1. Elementy modelu zależności statycznej



Rys. 2. Elementy modelu zależności statycznej

- (c) Przypisać wartości parametrom bloków. Dwukrotne kliknięcie - edycja wartości parametrów, wprowadzenie wartości, przycisk Close - zamknięcie okna edycji. Wartości parametrów:
- *ramp* — pole: Initial Output = 0.
 - *gain*: $9/5$.
 - *constant*: 32.
- (d) Połączyć bloki zgodnie z kierunkiem przepływu sygnału jak na rys. 2:
- (e) Zapoznać się z opcjami symulacji nakładki Simulink (menu Simulation/Parameters).
- (f) Zasymulować działanie modelu (polecenie Start z menu Simulation) dla czasu symulacji 10s.
- (g) Zasymulować działanie modelu (polecenie Start z menu Simulation) dla czasu symulacji 50s.
- (h) Zapisać model w pliku C2F.mdl.
- (i) Utworzyć model zależności odwrotnej do (1).
- (j) Zasymulować działanie modelu (polecenie Start z menu Simulation) dla czasu symulacji 50s.
- (k) Zapisać model w pliku F2C.mdl.
- (l) Zamodelować w programie SIMULINK zależność opisującą dzielnik napięcia przedstawiony na rys. 3. Przeprowadzić symulację. Zapisać model w pliku dzielnik.mdl.



Rys. 3. Dzielnik napięcia

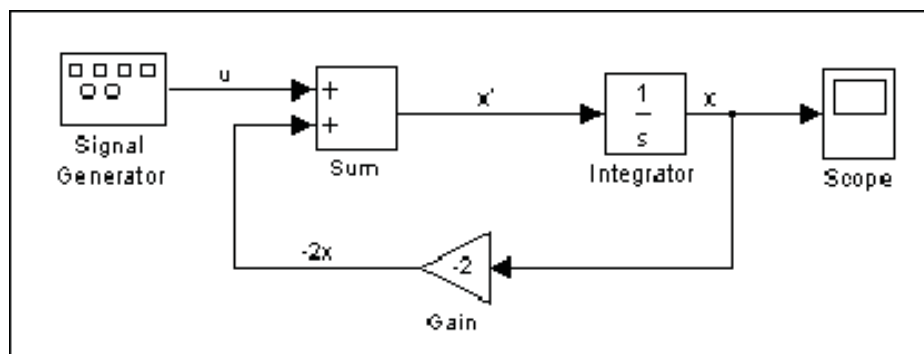
5. Rozwiązywanie równań różniczkowych.

- (a) Zamodelować równanie różniczkowe postaci:

$$x'(t) = -2x(t) + u(t), \quad (2)$$

gdzie: $x(t)$ — rozwiązanie; $u(t)$ — wymuszenie w postaci fali prostokątnej o amplitudzie równej 1 i częstotliwości równej 1 rad/sec.

W modelu równania do wyznaczenia $x(t)$ na podstawie $x'(t)$ wykorzystano blok integratora. Inne niezbędne bloki to *gain* (mnożenie) oraz *sum* (sumator). Dodatkowo zastosowano blok *Signal Generator* (biblioteka *sources*) do wygenerowania zadanego przebiegu funkcji $u(t)$. Przeciągnąć bloki do okna modelu. Połączyć bloki zgodnie ze schematem: Węzeł zaczepowy tworzy się przez prze-



Rys. 4. Model równania różniczkowego (2)

ciąganie linii z wciśniętym prawym przyciskiem myszy. W celu odwrócenia bloku *gain* należy wywołać menu kontekstowe (klikając prawym przyciskiem myszy na bloku) i wykonać polecenie *Flip Block*. Zapoznać się z opcjami menu kontekstowego.

- (b) Dodać element *to workspace* z biblioteki *sinks*, tak aby możliwe było wyeksportowanie wyników symulacji do przestrzeni roboczej programu MATLAB.

- (c) Przeprowadzić symulację działania stworzonego modelu dla dwóch różnych metod całkowania (metody zmienia się w menu Simulations/Parameters) oraz trzech wartości *gain*: $-2, -10, 2$ (łącznie sześć symulacji). Wykreślić przebiegi sygnałów zarejestrowanych podczas symulacji, zgodnie ze wskazówkami prowadzącego. Skopiować wykresy do programu Wordpad.
- (d) Zamodelować równanie różniczkowe postaci:

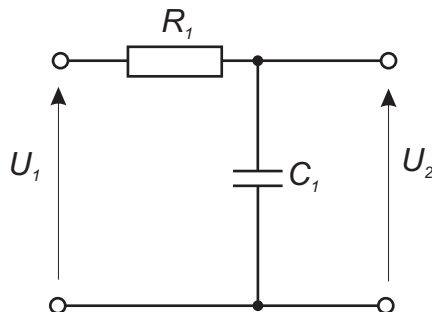
$$a_2 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + a_1 \frac{dy(t)}{dt} + a_0 y(t) = k_1 \frac{du(t)}{dt} + k_0 u(t) \quad (3)$$

- (e) Dodać element *to workspace* z biblioteki *sinks*, tak aby możliwe było wyeksportowanie wyników symulacji do przestrzeni roboczej programu MATLAB.
- (f) Przeprowadzić symulację działania stworzonego modelu dla następujących wartości parametrów:
- i. `sys_2rz_1_trans` — $k_0 = 5, k_1 = 6, a_0 = 1, a_1 = 4, a_2 = 8$
 - ii. `sys_2rz_2_trans` — $k_0 = 5, k_1 = 3, a_0 = 2, a_1 = 2, a_2 = 1$
 - iii. `sys_2rz_3_trans` — $k_0 = 5, k_1 = 10, a_0 = 7, a_1 = 3, a_2 = 3$

Wykreślić przebiegi sygnałów zarejestrowanych podczas symulacji, zgodnie ze wskazówkami prowadzącego. Skopiować wykresy do programu Wordpad.

6. Analiza stanów przejściowych.

- (a) Przeprowadzić analizę stanów przejściowych w obwodzie RC (filtr dolnoprzepustowy), przedstawionym na rys. 5



Rys. 5. Model obwodu RC (filtr dolnoprzepustowy)

W pierwszej kolejności należy ułożyć równanie różniczkowe analizowanego obwodu:

$$u_1(t) = u_R(t) + u_2(t). \quad (4)$$

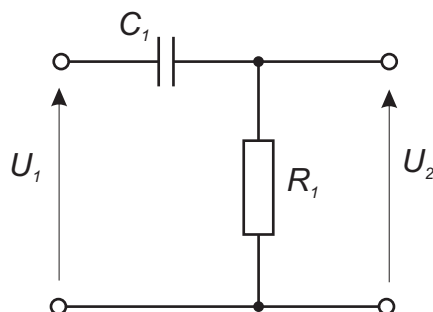
Biorąc pod uwagę, że: $u_R(t) = i(t)R_1$, $i(t) = i_c(t) = C_1 \frac{du_c(t)}{dt}$ oraz, że: $u_c(t) = u_2(t)$, mamy:

$$u_1(t) = R_1 C_1 \frac{du_2(t)}{dt} + u_2(t). \quad (5)$$

- (b) Zamodelować równanie (5).
- (c) Dodać element *to workspace* z biblioteki *sinks*, tak aby możliwe było wyeksportowanie wyników symulacji do przestrzeni roboczej programu MATLAB.
- (d) Przeprowadzić symulację działania stworzonego modelu, dla dwóch metod całkowania i następujących wartości parametrów RC :
 - i. $R_1 = 1k\Omega$, $C_1 = 1\mu F$
 - ii. $R_1 = 20K\Omega$, $C_1 = 5nF$
 - iii. $R_1 = 1\Omega$, $C_1 = 2\mu F$

Wykreślić przebiegi sygnałów zarejestrowanych podczas symulacji, zgodnie ze wskazówkami prowadzącego. Skopiować wykresy do programu Wordpad.

- (e) Przeprowadzić analizę stanów przejściowych w obwodzie RC (filtr górnoprzepustowy), przedstawionym na rys. 6 Podobnie jak w p. 6a zbudować model



Rys. 6. Model obwodu RC (filtr górnoprzepustowy)

równania różniczkowego opisującego analizowany obwód RC .

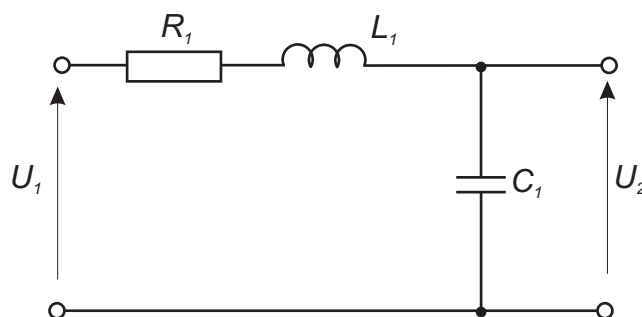
- (f) Dodać element *to workspace* z biblioteki *sinks*, tak aby możliwe było wyeksportowanie wyników symulacji do przestrzeni roboczej programu MATLAB.
- (g) Przeprowadzić symulację działania stworzonego modelu, dla dwóch metod całkowania i następujących wartości parametrów RC :
 - i. $R_1 = 1k\Omega$, $C_1 = 1\mu F$
 - ii. $R_1 = 20K\Omega$, $C_1 = 5nF$
 - iii. $R_1 = 1\Omega$, $C_1 = 2\mu F$

Wykreślić przebiegi sygnałów zarejestrowanych podczas symulacji, zgodnie ze wskazówkami prowadzącego. Skopiować wykresy do programu Wordpad.

- (h) Przeprowadzić analizę stanów przejściowych w obwodzie RLC , przedstawionym na rys. 7

Analizowany obwód RLC , może być opisany następującym układem równań różniczkowych:

$$\begin{cases} L \frac{di}{dt} + Ri + \frac{1}{C} \int idt = u_1 \\ \frac{1}{C} \int idt = u_2 \end{cases} \quad (6)$$



Rys. 7. Model obwodu RLC

Podobnie jak w p. 6a zbudować model równania różniczkowego opisującego analizowany obwód RC.

- (i) Dodać element *to workspace* z biblioteki *sinks*, tak aby możliwe było wyeksportowanie wyników symulacji do przestrzeni roboczej programu MATLAB.
- (j) Przeprowadzić symulację działania stworzonego modelu, dla dwóch metod całkowania i następujących wartości parametrów *RLC*:
 - i. $R_1 = 1k\Omega$, $L_1 = 5mH$, $C_1 = 1\mu F$
 - ii. $R_1 = 20K\Omega$, $L_1 = 5mH$, $C_1 = 5nF$
 - iii. $R_1 = 1\Omega$, $L_1 = 5mH$, $C_1 = 2\mu F$

Wykreślić przebiegi sygnałów zarejestrowanych podczas symulacji, zgodnie ze wskazówkami prowadzącego. Skopiować wykresy do programu Wordpad.

7. Modelowanie transmitancji operatorowej

- (a) Zamodelować zależność (2), w postaci transmitancji operatorowej (przy zerowych warunkach początkowych).

Zakładając zerowe warunki początkowe, do równania (2) stosuje się obustronne przekształcenie Laplace'a, co prowadzi do równania:

$$sX(s) = -2X(s) + U(s) \quad (7)$$

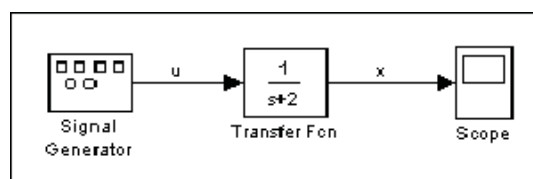
Traktując $U(s)$ jako transformatę wymuszenia, oraz $X(s)$ jako transformatę odpowiedzi, po prostych przekształceniach uzyskuje się następującą transmitancję modelu:

$$G(s) = \frac{1}{s + 2} \quad (8)$$

Przeciagnąć do okna modelu bloki: *Signal Generator* (biblioteka *sources*), *Transfer Fcn*, (biblioteka *continuous*).

Połączyć bloki zgodnie ze schematem

Ustawić parametry bloku *Signal generator*: Wave form: square; Amplitude: 1; Frequency: 1; Units: rad/sec.



Rys. 8. Model w postaci transmitancji

- (b) Dodać element *to workspace* z biblioteki *sinks*, tak aby możliwe było wyeksportowanie wyników symulacji do przestrzeni roboczej programu MATLAB.
- (c) Przeprowadzić symulację działania stworzonego modelu dla dwóch różnych metod całkowania dla czasów symulacji: 50s i 5s. Wykreślić przebiegi sygnałów zarejestrowanych podczas symulacji, zgodnie ze wskazówkami prowadzącego. Skopiować wykresy do programu Wordpad.
- (d) Zapisać model w pliku trans.mdl.
- (e) Zamodelować zależność (3), w postaci transmitancji operatorowej (przy zerowych warunkach początkowych).
- (f) Dodać element *to workspace* z biblioteki *sinks*, tak aby możliwe było wyeksportowanie wyników symulacji do przestrzeni roboczej programu MATLAB.
- (g) Przeprowadzić symulację działania stworzonego modelu dla następujących wartości parametrów i wybranej metody całkowania, dla wymuszenia skokowego (blok Step z biblioteki *sources*):

- i. `sys_2rz_1_trans` — $k_0 = 5, k_1 = 6, a_0 = 1, a_1 = 4, a_2 = 8$
- ii. `sys_2rz_2_trans` — $k_0 = 5, k_1 = 3, a_0 = 2, a_1 = 2, a_2 = 1$
- iii. `sys_2rz_3_trans` — $k_0 = 5, k_1 = 10, a_0 = 7, a_1 = 3, a_2 = 3$

Wykreślić przebiegi sygnałów zarejestrowanych podczas symulacji, zgodnie ze wskazówkami prowadzącego. Skopiować wykresy do programu Wordpad.

- (h) Zamodelować zależność (5) (filtr dolnoprzepustowy), w postaci transmitancji operatorowej (przy zerowych warunkach początkowych).
- (i) Dodać element *to workspace* z biblioteki *sinks*, tak aby możliwe było wyeksportowanie wyników symulacji do przestrzeni roboczej programu MATLAB.
- (j) Przeprowadzić symulację działania stworzonego modelu, dla wybranej metody całkowania, wymuszenia skokowego (blok Step z biblioteki *sources* i następujących wartości parametrów *RC*):

 - i. $R_1 = 1k\Omega, C_1 = 1\mu F$
 - ii. $R_1 = 20K\Omega, C_1 = 5nF$
 - iii. $R_1 = 1\Omega, C_1 = 2\mu F$

Wykreślić przebiegi sygnałów zarejestrowanych podczas symulacji, zgodnie ze wskazówkami prowadzącego. Skopiować wykresy do programu Wordpad.

- (k) Zamodelować transmitancję filtru górnoprzepustowego (rys. 6).
- (l) Dodać element *to workspace* z biblioteki *sinks*, tak aby możliwe było wyeksportowanie wyników symulacji do przestrzeni roboczej programu MATLAB.
- (m) Przeprowadzić symulację działania stworzonego modelu, dla wybranej metody całkowania, wymuszenia skokowego (blok Step z biblioteki *sources* i następujących wartości parametrów *RC*):
- i. $R_1 = 1k\Omega$, $C_1 = 1\mu F$
 - ii. $R_1 = 20K\Omega$, $C_1 = 5nF$
 - iii. $R_1 = 1\Omega$, $C_1 = 2\mu F$

Wykreślić przebiegi sygnałów zarejestrowanych podczas symulacji, zgodnie ze wskazówkami prowadzącego. Skopiować wykresy do programu Wordpad.

- (n) Zamodelować transmitancję obwodu *RLC* (rys. 6), równanie 6.
- (o) Dodać element *to workspace* z biblioteki *sinks*, tak aby możliwe było wyeksportowanie wyników symulacji do przestrzeni roboczej programu MATLAB.
- (p) Przeprowadzić symulację działania stworzonego modelu, dla wybranej metody całkowania, wymuszenia skokowego (blok Step z biblioteki *sources* i następujących wartości parametrów *RC*):
- i. $R_1 = 1k\Omega$, $L_1 = 5mH$, $C_1 = 1\mu F$
 - ii. $R_1 = 20K\Omega$, $L_1 = 5mH$, $C_1 = 5nF$
 - iii. $R_1 = 1\Omega$, $L_1 = 5mH$, $C_1 = 2\mu F$

Wykreślić przebiegi sygnałów zarejestrowanych podczas symulacji, zgodnie ze wskazówkami prowadzącego. Skopiować wykresy do programu Wordpad.

4. Opracowanie sprawozdania

W sprawozdaniu należy umieścić polecenia oraz wyniki ich działania skopiowane w trakcie ćwiczenia z okna środowiska MATLAB. Do każdej linii kodu oraz do każdego wyniku, należy dodać komentarz objaśniający.

Przykład.

... `2+round(6/9+3*2)/2-3` — obliczenie wartości wyrażenia. Funkcja `round(6/9+3*2)` zaokrągliła wynik działania `6/9+3*2` do najbliższej liczby całkowitej...