
Politechnika Świętokrzyska
Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki
Katedra Elektrotechniki Przemysłowej i Automatyki
Zakład Urządzeń i Systemów Automatyki

Komputerowa symulacja układów dynamicznych

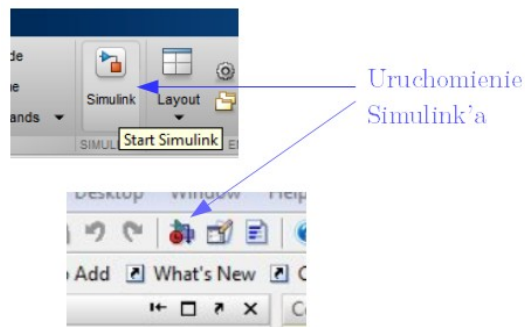
Wprowadzenie do Simulink'a.
Metoda ogólna.

Instrukcja laboratoryjna
(wersja robocza)

2017

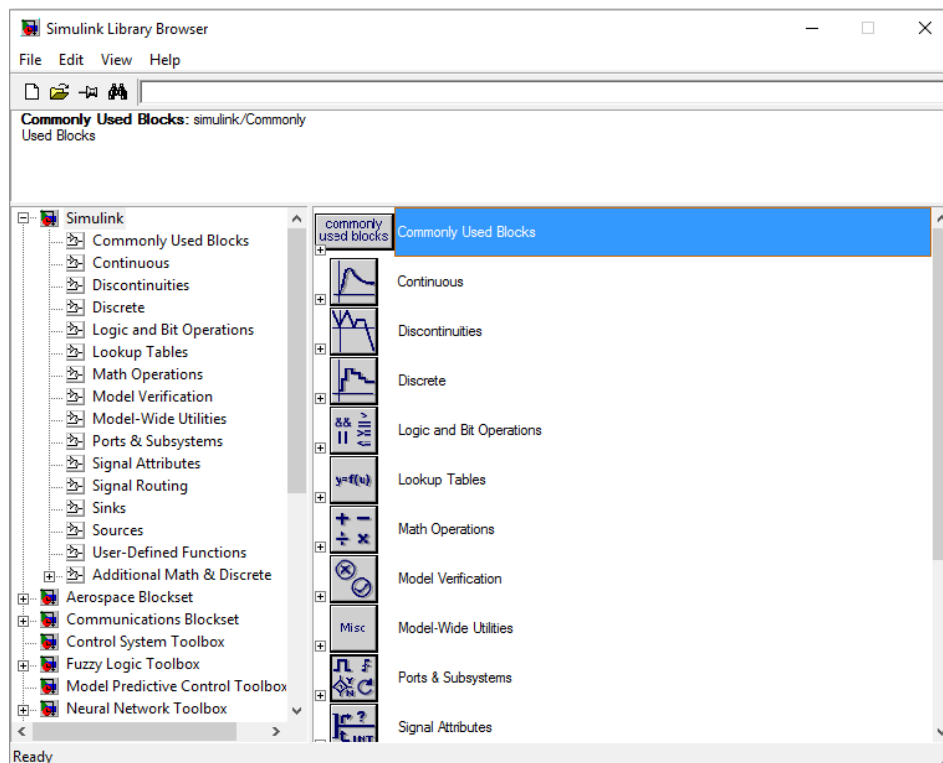
1. Tworzenie schematów w Simulink'u

Simulink stanowi rozszerzenie pakietu Matlab i służy do graficznego modelowania i symulacji układów dynamicznych w postaci schematów blokowych. Aby uruchomić Simulink'a, należy kliknąć odpowiednią ikonę w pasku narzędzi program Matlab lub w oknie komend wpisać polecenie: `simulink`.



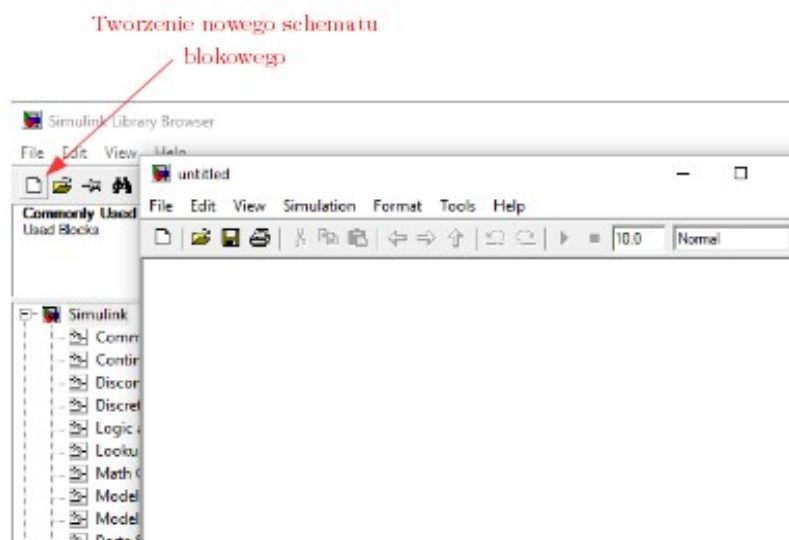
Rysunek 1.1. Uruchomienie pakietu Simulink

Po uruchomieniu Simulink'a widoczne jest okno przeglądarki bibliotek bloków pakietu Simulink.



Rysunek 1.2. Przeglądarka bibliotek bloków pakietu Simulink

Zawarte w niej bloki można bezpośrednio umieszczać na schemacie metodą przeciągnij i upuść. Aby utworzyć nowy schemat należy wybrać opcję **File/New/Model** lub kliknąć ikonę przedstawioną na rysunku poniżej.



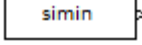
Rysunek 1.3. Tworzenie nowego schematu blokowego

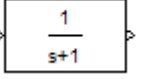
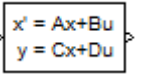
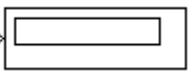
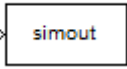
W celu zbudowania modelu należy przeciągnąć odpowiednie bloki do okna tworzenia nowego modelu a następnie połączyć je ze sobą przy pomocy lewego przycisku myszy. Biblioteki w Simulink'u podzielone są na różne kategorie. Do podstawowych z nich należą:

- Commonly Used Blocks – często używane bloki,
- Sources - źródła sygnałów wymuszających,
- Sinks - rejestratory pozwalające wizualizować i zapisywać wyniki obliczeń,
- Continuous - bloki pozwalające symulować układy ciągłe,
- Discrete - bloki pozwalające symulować układy dyskretne,
- Discontinuities - bloki zawierające elementy pozwalające symulować nieciągłości,
- Math operations - bloki obliczeniowe,
- Signal routing - bloki do tworzenia połączeń i zmian linii sygnałowych,
- Ports&Subsystems - bloki pozwalające tworzyć schematy hierarchiczne.

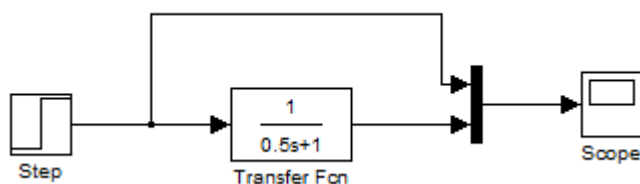
W tabeli 1.1 przedstawiono wybrane bloki z biblioteki Simulink'a. Poza standardowymi blokami zawartymi w palecie Simulink w przeglądarce bibliotek Simulink'a znaleźć można szereg *Toolbox'ów* zawierających specjalizowane bloki ułatwiające symulowanie obiektów z różnych dziedzin m.in. cyfrowego przetwarzania obrazów, systemów sterowania, elektrycznych systemów mocy itp.

Tabela 1.1. Podstawowe bloki w Simulinku

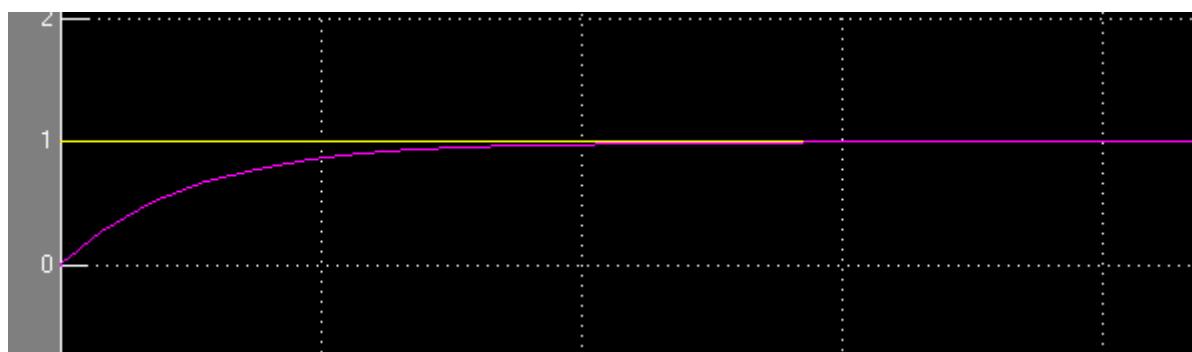
Symbol	Blok	Kategoria	Opis
	Gain	Math Operations	Wzmocnienie sygnału podanego na wejście
	Product		Skalarne mnożenie sygnałów
	Add		Dodawanie sygnałów
	Subtract		Odejmowanie sygnałów
	Mux	Signal Routing	Multiplekser – tworzy sygnały wektorowe
	Demux		Demultiplekser – przekształca sygnały wektorowe na skalarne
	Constant	Sources	Wprowadzenie stałego sygnału do układu
	Step		Wymuszenie skokowe
	Ramp		Wymuszenie liniowo narastające
	Sine Wave		Sygnał sinusoidalny
	Pulse Generator		Sygnał prostokątny
	Clock		Aktualny czas symulacji
	From Workspace		Pobranie sygnału z przestrzeni roboczej

	Integrator	Continuous	Blok całkujący
	Derivative		Pochodna sygnału
	Transfer Function		Układ opisany transmitancją
	State-Space		Układ opisany równaniem stanu
	Transport Delay		Blok opóźniający
	Scope	Sinks	Blok oscyloskopu – Wyświetla przebieg sygnału w funkcji czasu
	Display		Wyświetla aktualną wartość
	XY-Graph		Wyświetla wartość sygnału w funkcji innego sygnału
	Subsystem		Blok organizując część modelu w postaci podsystemu
	To Workspace		Zapis sygnału do przestrzeni roboczej

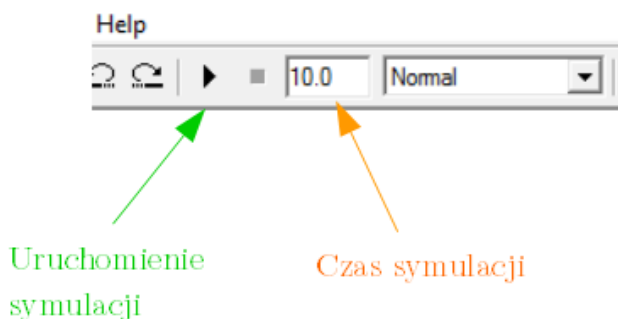
Przykładowe schematy w Simulink'u przedstawiono na rysunkach 1.4. Aby uruchomić symulację należy nacisnąć odpowiednią ikonę w oknie tworzenia modelu – rysunek 1.6. Po kliknięciu na oscyloskop (Scope) można oglądać wynik symulacji – rysunek 1.5.



Rysunek 1.4. Przykładowy schemat w Simulink'u

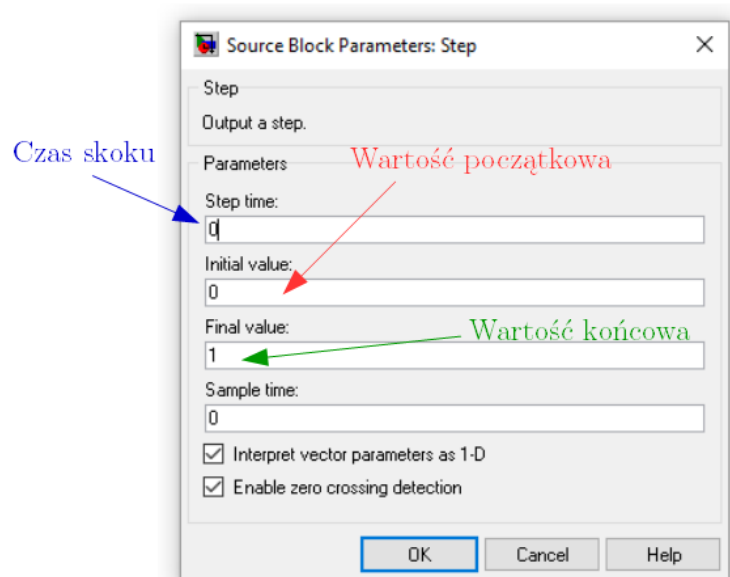


Rysunek 1.5. Wynik działania symulacji

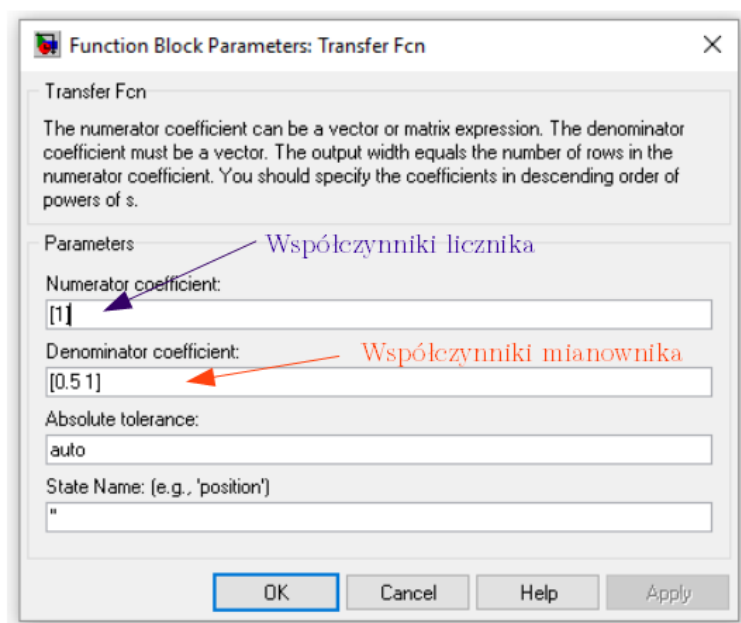


Rysunek 1.6. Uruchamianie symulacji

Wykorzystując takie bloki jak Step czy Transfer Function należy pamiętać o ich konfiguracji. Można to zrobić poprzez dwukrotne kliknięcie na odpowiednim bloku. Na rysunkach poniżej przedstawiono konfigurację poszczególnych bloków. W przypadku wymuszenia należy określić takie parametry jak: początkowa wartość sygnału, końcowa wartość sygnału oraz czas po jakim ma nastąpić skok. W przypadku konfiguracji bloku Transfer Function należy określić współczynniki licznika i mianownika funkcji wymiernej będącej transmitancją modelowanego układu.

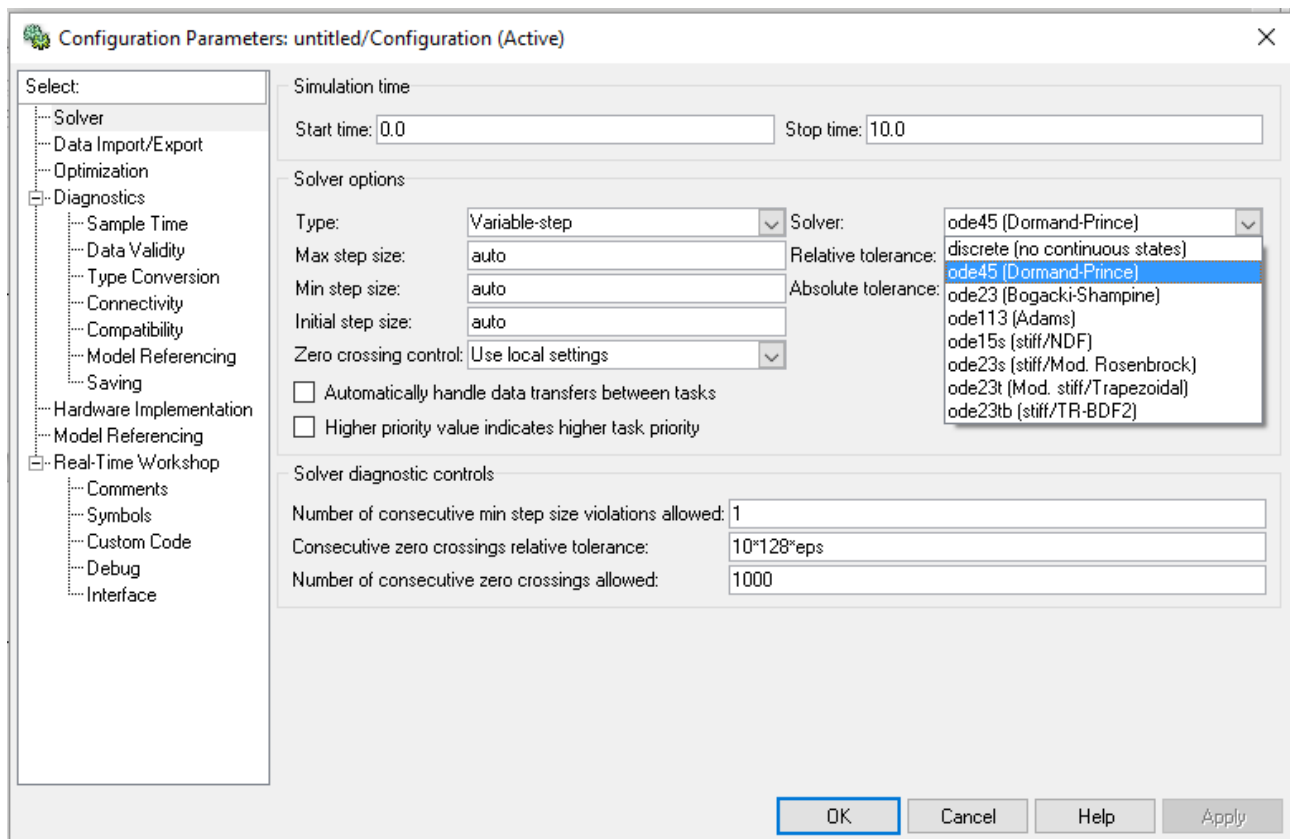


Rysunek 1.6. Konfiguracja bloku Step



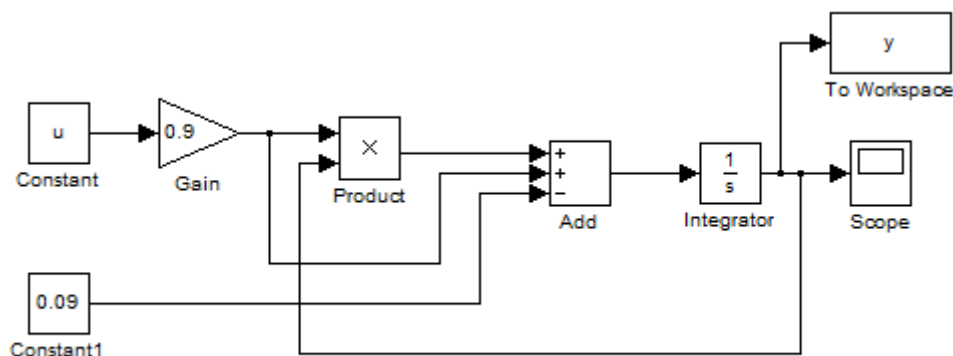
Rysunek 1.7. Konfiguracja bloku Transfer Function

Dokonując symulacji w Simulink'u należy pamiętać, że użytkownik może dokonać konfiguracji parametrów modułu obliczeniowego – w tym doboru metody rozwiązania. Aby dokonać konfiguracji należy wybrać opcję **Simulation/Configuration Parameters** – rysunek 1.8.



Rysunek 1.8. Konfiguracja parametrów symulacji.

Model w Simulinku może być wywoływany z poziomu skryptu w Matlab'ie. Możliwe jest zarówno przekazywanie parametrów z przestrzeni roboczej do symulacji jak i zwracanie wyników symulacji. Poniżej przedstawiono przykładowy model w Simulink'u oraz wywołujący go skrypt w języku MATLAB.



Rysunek 1.9. Model układu w Simulink'u

Listing 1.1. Program dokonujący symulacji modelu przedstawionego na rysunku 1.9

```
t = 10; %Czas symulacji
x = 4; %Wymuszenie skokowe
sim('model',t);
figure(1); hold on; grid on;
title('Odpowiedź członu dynamicznego opisanego równaniem y''=0.9xy+0.9x+0.09 na
wymuszenie skokowe');
xlabel('x'); ylabel('y');
plot(y.Time,y.Data);
```

2. Metody rozwiązywania równań różniczkowych

Układy dynamiczne opisane są za pomocą równań różniczkowych zwyczajnych. Można je badać za pomocą dwóch sposobów. Pierwszy z nich polega na analitycznym rozwiązaniu. Drugi natomiast polega wykorzystaniu symulacji komputerowych.

Za pomocą pierwszej metody można uzyskać rozwiązanie tylko dla układów liniowych co najwyżej trzeciego rzędu, bądź układów nieliniowych pierwszego rzędu. Badanie układów wyższych rzędów metodami analitycznymi staje się bardzo trudne a czasami wręcz niemożliwe do wykonania. Jedynym sposobem rozwiązania tak postawionego problemu jest zastosowanie komputerowych metod symulacyjnych. Jedyną wadą stosowania metod symulacyjnych jest fakt, iż każde uzyskane tą drogą rozwiązanie równań różniczkowych nosi cechy rozwiązania szczególnego, określonego dla zadanych parametrów i warunków początkowych.

Istnieje wiele sposobów na stworzenie schematu operatorowego dla danego równania różniczkowego. W niniejszej instrukcji zostanie omówiona metoda ogólna. Na następnych zajęciach przedstawiona zostanie metoda zmiennej pomocniczej oraz metoda kanoniczna.

Metoda ogólna

Metoda ogólna umożliwia rozwiązanie równania różniczkowego o postaci:

$$y^{(n)} + F(y^{(n-1)}, y^{(n-2)} + \dots + y^n, y, x, t) = 0 \quad (1)$$

dla niezerowych warunków początkowych,

$$\text{gdzie: } y^{(n)} = \frac{d^n y}{dt^n}$$

UWAGA !!!

Za pomocą metody ogólnej nie można rozwiązywać równań różniczkowych, dla których istnieje funkcja wymuszająca w postaci zmiennej $x(t)$ i jej pochodnych.

Przykład 1

Korzystając z metody ogólnej, wyznaczyć odpowiedź na wymuszenie skokowe obiektu inercyjnego I rzędu.

Transmitancję układu:

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

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{k}{1 + sT} \quad (3)$$

$$Y(s)(1 + sT) = kU(s) \quad (4)$$

$$Y(s) + T \cdot sY(s) = kU(s) \quad (5)$$

Przekształcono do postaci:

$$sY(s) = \frac{kU(s) - Y(s)}{T} \quad (6)$$

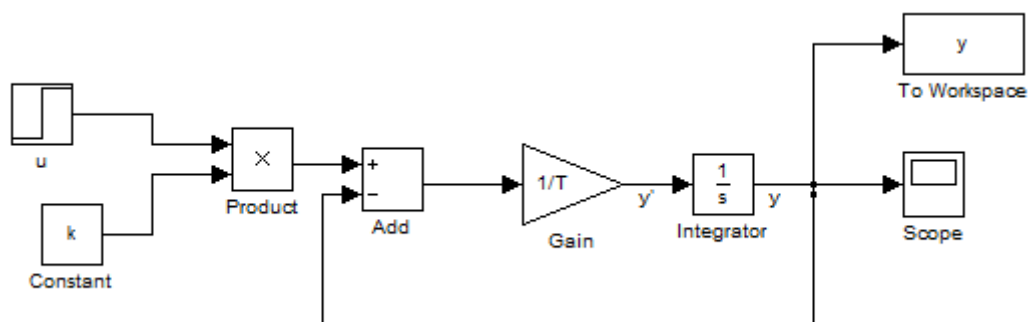
A następnie poddano operacji obustronnego odwrotnego przekształcenia Laplace'a

$$\mathcal{L}^{-1} [sY(s)] = \mathcal{L}^{-1} \left[\frac{kU(s) - Y(s)}{T} \right] \quad (7)$$

Otrzymując w rezultacie równanie różniczkowe:

$$y'' = \frac{ku - y}{T} \quad (8)$$

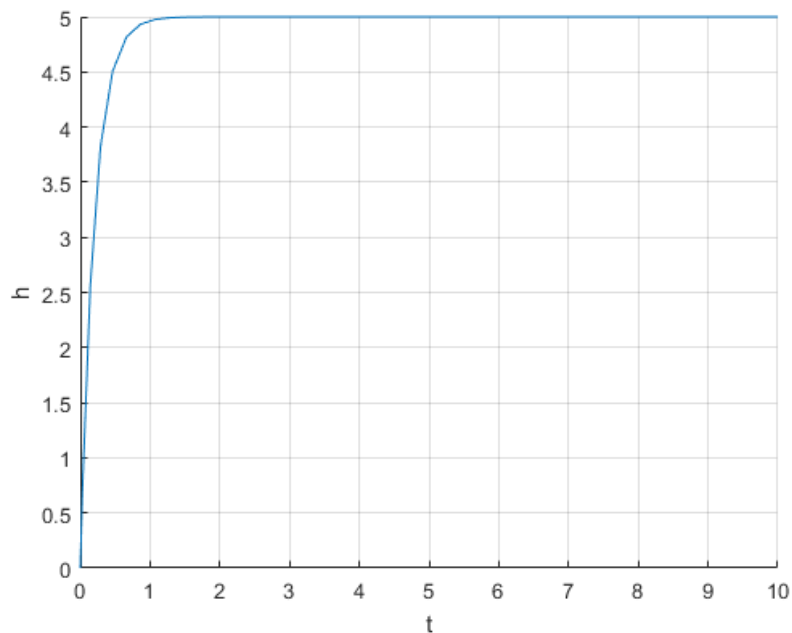
Na jego podstawie sporządzono schemat przedstawiony na rysunku 2.1



Rysunek 2.1. Schemat układu w Simulink'u – przykład 1

Listing 1.2. Skrypt rozwiązujący zadanie z przykładu 1

```
time = 10; %Czas symulacji
u = 5 %Wymuszenie skokowe
k = 1; %Wzmocnienie statyczne
T = 0.2 %Stała czasowa
opt = simset('Solver','ode45'); %Parametry symulacji
sim('ex1',time, opt); %Uruchomienie symulacji - ex1.mdl
figure(1); hold on; grid on; ylabel('h'); xlabel('t');
plot(y.Time,y.Data);
```



Rysunek 2.1. Wynik rozwiązania zadania z przykładu 1

Zadania do wykonania

Zadanie 1

Zapoznać się ze strukturą bibliotek Simulink'a. Utworzyć i uruchomić schematy wykorzystujące bloki służące do zadawania i rejestracji wymuszeń.

Zadanie 2

Korzystając z metody ogólnej, wyznaczyć odpowiedź na wymuszenie skokowe obiektu inercyjnego II-tego rzędu o transmitancji:

$$G(s) = \frac{k}{(1 + sT_1)(1 + sT_2)}$$

Przyjąć:

$$k = 2, T_1 = 0,3, T_2 = 0,5$$

Zadanie 3

Wykorzystując metodę ogólną wyznaczyć odpowiedź na wymuszenie skokowe obiektu inercyjnego pierwszego rzędu z opóźnieniem transportowym o transmitancji:

$$G(s) = \frac{k \cdot e^{-sL}}{1 + sT}$$

Przyjąć:

$$k = 1, T = 2, L = 0,4$$

Zadanie 4

Zbadać odpowiedź układów z zadań 2 i 3 na wymuszenia skokowe wykorzystując blok Transfer Fcn.