



POLITECHNIKA OPOLSKA
KATEDRA MECHANIKI I PODSTAW KONSTRUKCJI MASZYN

Symulacja systemów mechatronicznych

Instrukcja do ćwiczeń laboratoryjnych

Pętla symulacyjna Rozwiązywanie równań różniczkowych

Opracował: Dr hab. inż. Roland Pawliczek

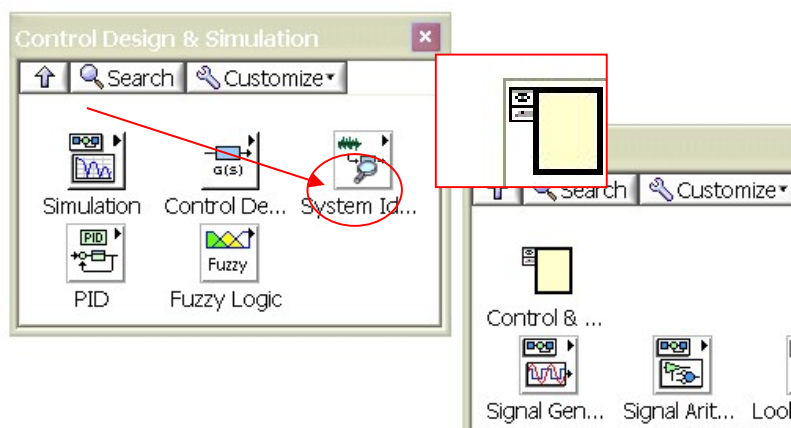
Opole 2022

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z interfejsem użytkownika środowiska LabVIEW i modułu Control Design and Simulation oraz jego wykorzystaniem jako narzędzia do rozwiązywania równań różniczkowych.

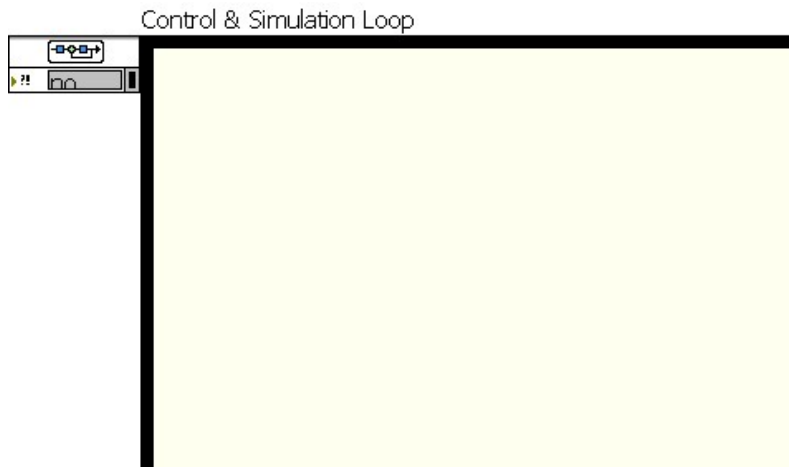
2. Moduł symulacyjny LabVIEW: Control Design and Simulation

Moduł symulacyjny jest dostępny w oknie Block Diagram w zestawie funkcji *Control Design and Simulation* (Rys. 1).



Rys. 1. Moduł symulacyjny

Podstawową strukturą modułu jest pętla symulacyjna *Control & Simulation Loop* (Rys. 1). Po wybraniu opcji należy zaznaczyć dwa narożniki określające obszar objęty pętlą symulacyjną (Rys. 2).

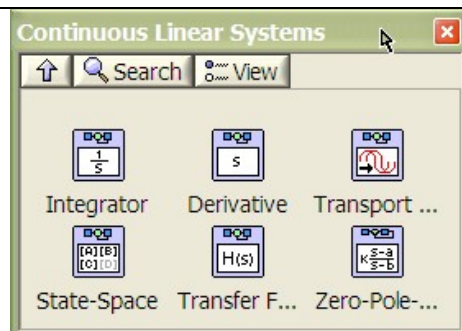


Rys. 2. Pętla symulacyjna

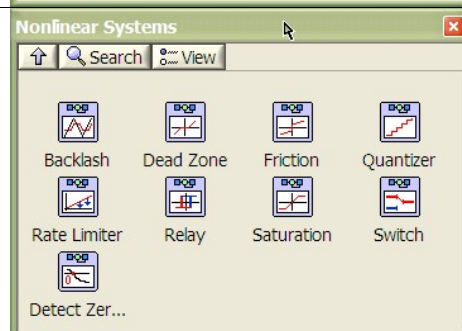
Uwaga: Wszystkie elementy dotyczące symulacji muszą się znajdować wewnątrz pętli. Niektóre funkcje z innych palet nie mogą być używane w pętli symulacyjnej.

W skład modułu symulacyjnego wchodzi między innymi zestawy funkcji:

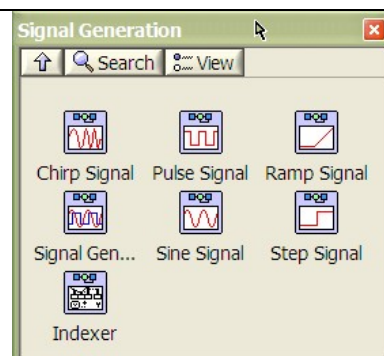
Reprezentacja układów liniowych opisanych za pomocą równań różniczkowych: funkcje całkowania, różniczkowania, opisu za pomocą modelu transmitancyjnego lub wektora stanów.



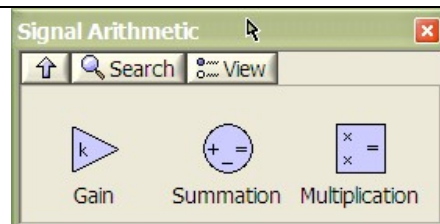
Możliwość wprowadzenia nieliniowości do systemu.



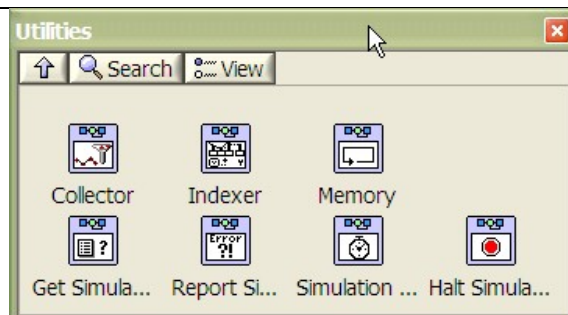
Generator typowych sygnałów wejściowych, takich jak: skok jednostkowy, wymuszenie sinusoidalne, prostokątne itp.



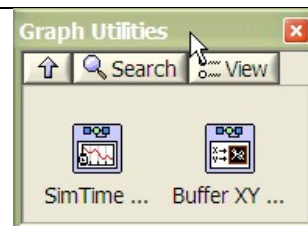
Operacje matematyczne na sygnałach: wzmacnienie, węzły sumacyjne.



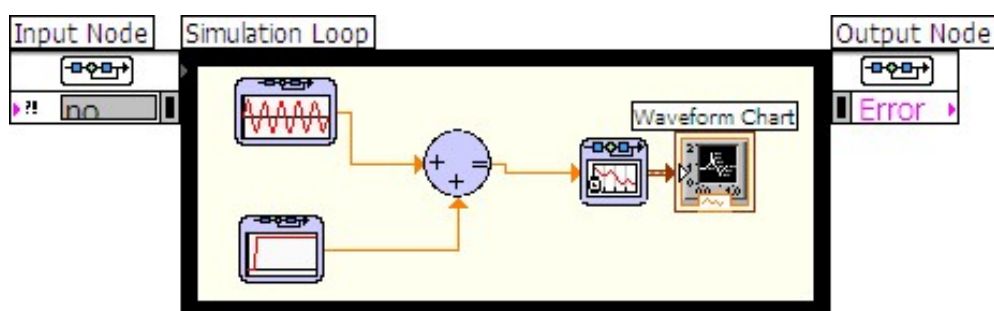
Funkcje umożliwiające gromadzenie danych z symulacji, indeksowanie względem czasu symulacji, przechowywanie danych w pamięci i przekazywanie do kolejnej pętli symulacji, zatrzymywanie symulacji.



Wyświetlanie wyników symulacji za pomocą wykresów.

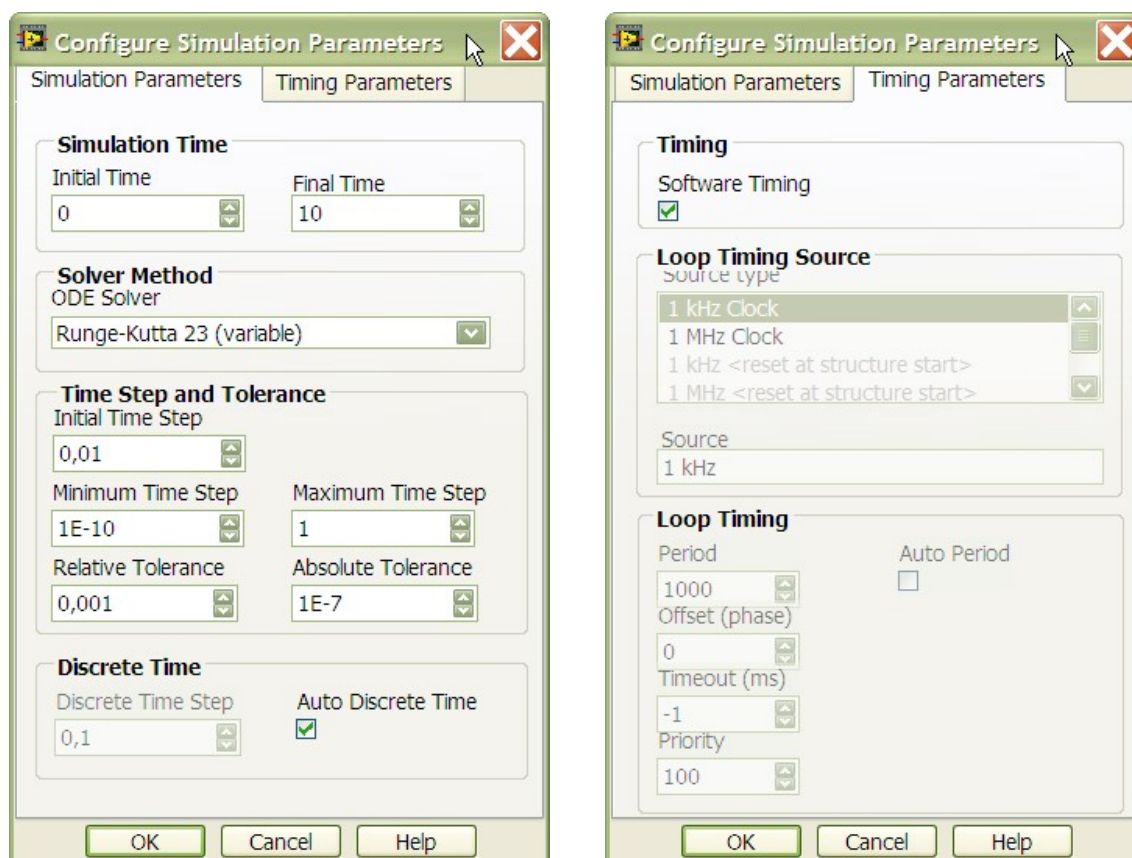


Pętla symulacyjna posiada węzły wejściowy oraz wyjściowy, przy czym węzeł wyjściowy zawiera informację o kodzie błędu, który się ewentualnie pojawia przy obliczeniach.



Rys. 3. Węzły wejściowy (Input) i wyjściowy (Output)

Konfiguracja węzła wejściowego może odbywać się za pomocą okna dialogowego, do którego dostęp uzyskuje się, poprzez dwukrotne kliknięcie klawiszem myszki w chwili, gdy kursor jest ustawiony na węźle.



Rys. 4. Okno konfiguracji węzła wejściowego

Zakładka *Simulation Parameters* pozwala zdefiniować:

Initial Time – chwila początkowa, zwykle 0,

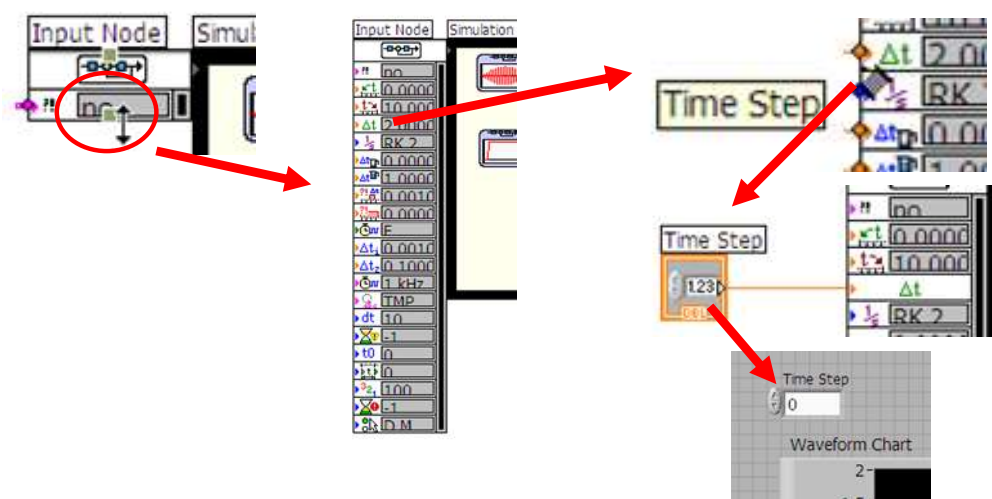
Final Time – czas zakończenia symulacji, możliwe jest wprowadzenie parametru *Inf*. W tym przypadku pętla będzie wykonywana do momentu jej zatrzymania przez użytkownika, np. za pomocą funkcji HALT.

Solver Method – określa procedurę numeryczną, którą system będzie używać przy wykonywaniu obliczeń, może to być np. metoda Eulera (stały krok czasowy), Rungego-Kutty (zmienny krok czasowy) i inne.

Initial Time Step – jest rozdzielczością (krokiem) czasu dla wykonywanych obliczeń. Im mniejszy krok czasowy, tym większa dokładność, ale i czas obliczeń rośnie. Można przyjąć pewien krok czasowy i zmniejszać go obserwując zmiany wyników obliczeń. W pewnym momencie zmniejszanie kroku nie poprawia już wyników obliczeń. Można przyjąć wartość tego czasu jako $T_i=0,1T$, gdzie T jest najmniejszą stałą czasową dla obiektu z symulowanego układu. W najbardziej ogólnym przypadku przyjęcie wartości $T_i=0.05$ pozwala uzyskać stosunkowo gładkie przebiegi analizowanych zagadnień.

Możliwe jest także zdefiniowanie zakresu kroku czasowego dla obliczeń ze zmiennym krokiem oraz określenie tolerancji przy poszukiwaniu rozwiązania. Parametr *Discrete Time* określa krok czasowy dla obliczeń wykonywanych dla obiektów opisywanych modelami dyskretnymi. Zakładka *Timing Parameters* pozwala zsynchronizować symulację z zewnętrznymi układami taktującymi lub zaobserwować rzeczywisty czas pracy symulowanego układu. Domyślnie symulacja jest wykonywana „najszybciej jak się da”.

Parametry z okna konfiguracyjne mogą być także zmieniane programowo z *Panelu Czołowego*. Należy wówczas przygotować odpowiednie kontrolki i połączyć je z terminalami węzła wejściowego (Rys. 5).



Rys. 5. Obsługa węzła wejściowego z Panelu Czołowego

Powyższy opis zawiera podstawowe informacje nt. pętli symulacyjnej. Szczegółowe informacje dostępne są w systemie pomocy LabVIEW.

3. Przykład

Należy przeprowadzić symulację pracy układu opisanego równaniem

$$\frac{dy}{dt} + 3y = u, \quad \text{gdzie } y=y(t) \text{ oraz } u=u(t).$$

Symulację wykonać dla wymuszenia $u(t)=1$ (skok jednostkowy).

Rozwiązanie analityczne:

Wykorzystując przekształcenie Laplace'a można wyznaczyć transmitancję $G(s)$ układu:

$$L\left(\frac{dy}{dt} + 3y\right) = L(u)$$

$$L\left(\frac{dy}{dt}\right) + 3L(y) = L(u)$$

$$s \cdot y(s) + 3y(s) = u(s)$$

$$y(s) \cdot (s + 3) = u(s)$$

$$\frac{y(s)}{u(s)} = G(s) = \frac{1}{s + 3}$$

Wykorzystując transmitancję oraz wiedząc, że transformata dla $u(t)=1$ jest

$$L(u) = L(1) = \frac{1}{s}$$

można wyznaczyć transformatę (obraz) $y(s)$ jako

$$L\left(\frac{dy}{dt} + 3y\right) = L(u)$$

$$L\left(\frac{dy}{dt}\right) + 3L(y) = L(u)$$

$$s \cdot y(s) + 3y(s) = u(s)$$

$$y(s) = G(s) \cdot u(s) = \frac{1}{s + 3} \cdot \frac{1}{s} = \frac{1}{s(s + 3)}$$

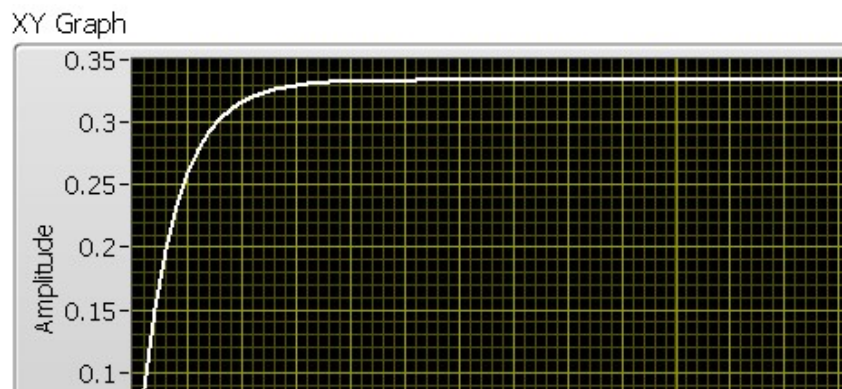
Wykorzystując twierdzenie odwrotne oraz tabele transformat uzyskuje się

$$\text{z tablic: } F(s) = \frac{a}{s(s + a)} \rightarrow f(t) = 1 - e^{-at}$$

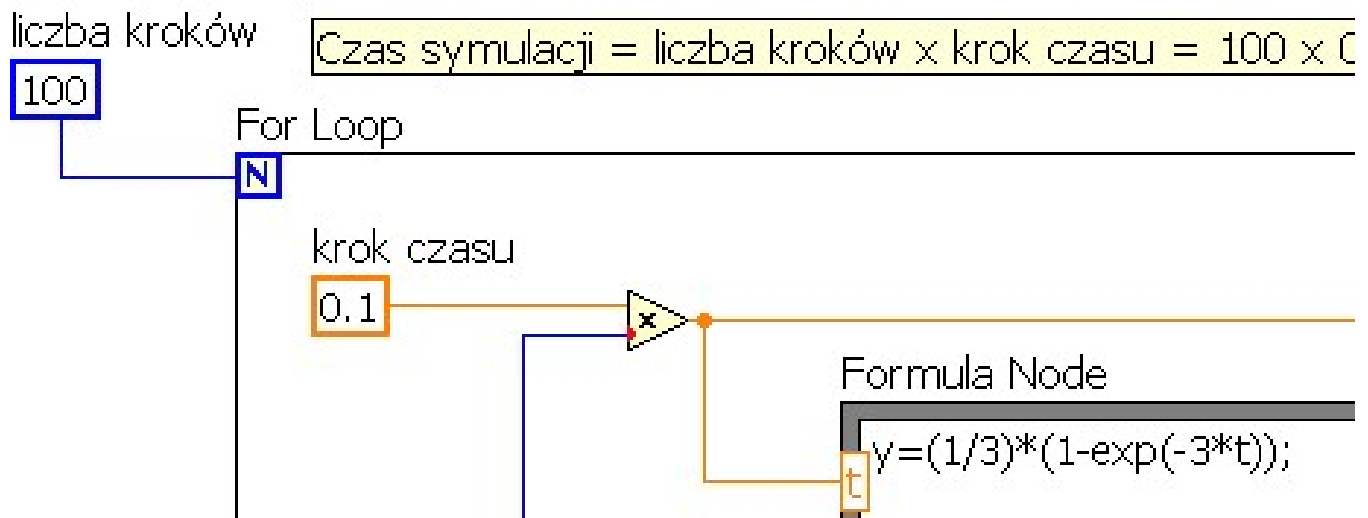
$$y(s) = \frac{1}{s(s + 3)} = \frac{1}{3} \cdot \frac{3}{s(s + 3)} \rightarrow \text{stąd } a = 3$$

$$y(t) = \frac{1}{3} (1 - e^{-3t})$$

Funkcja $y(t) = \frac{1}{3} (1 - e^{-3t})$ jest rozwiązaniem zadania: opisuje dynamikę układu przy wymuszeniu skokiem jednostkowym. Rysunek poniżej przedstawia pierwsze 10 s przebiegu.

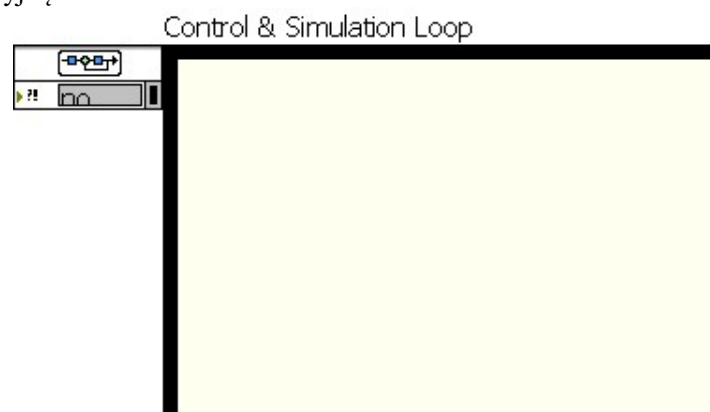


Poniższy kod graficzny LabVIEW umożliwia generację wykresu z wynikami:



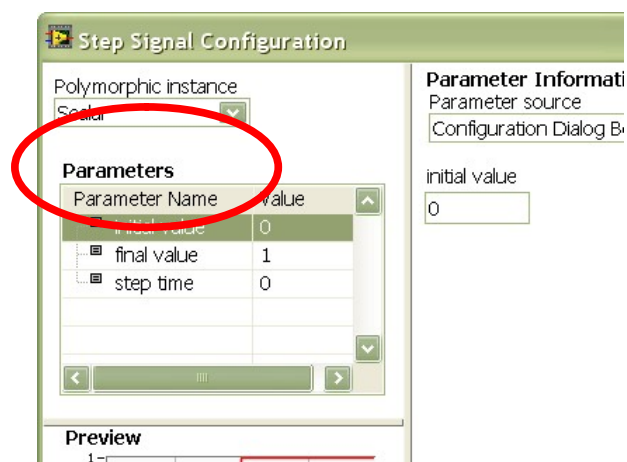
Rozwiązanie z zastosowaniem pętli symulacyjnej:

1. Przygotować pętlę symulacyjną:

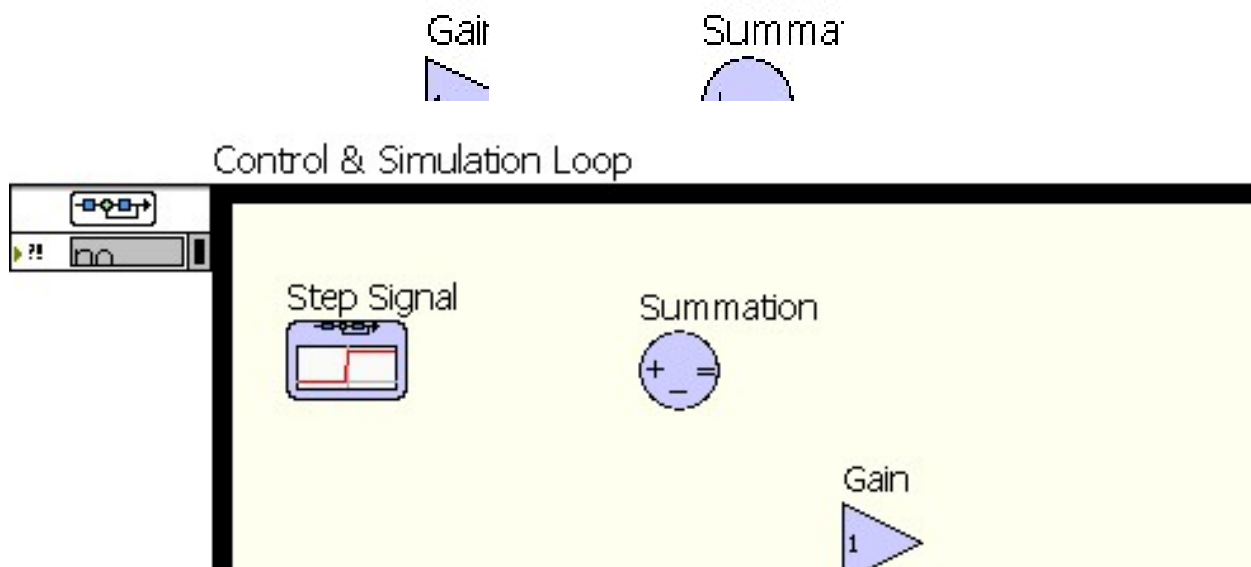


2. Z palety funkcji *Signal Generation* wybrać funkcję *Step Signal* i dokonać edycji parametrów:

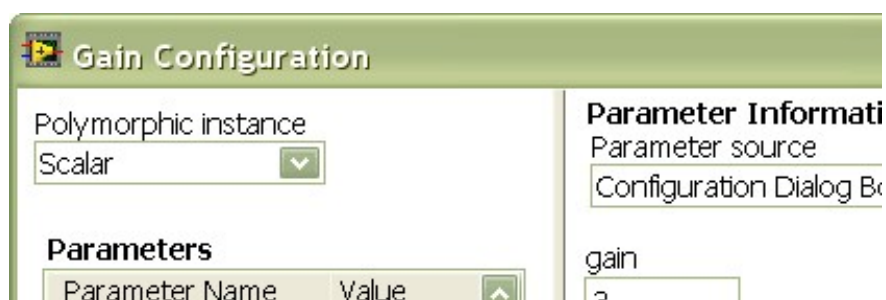
Step Signal



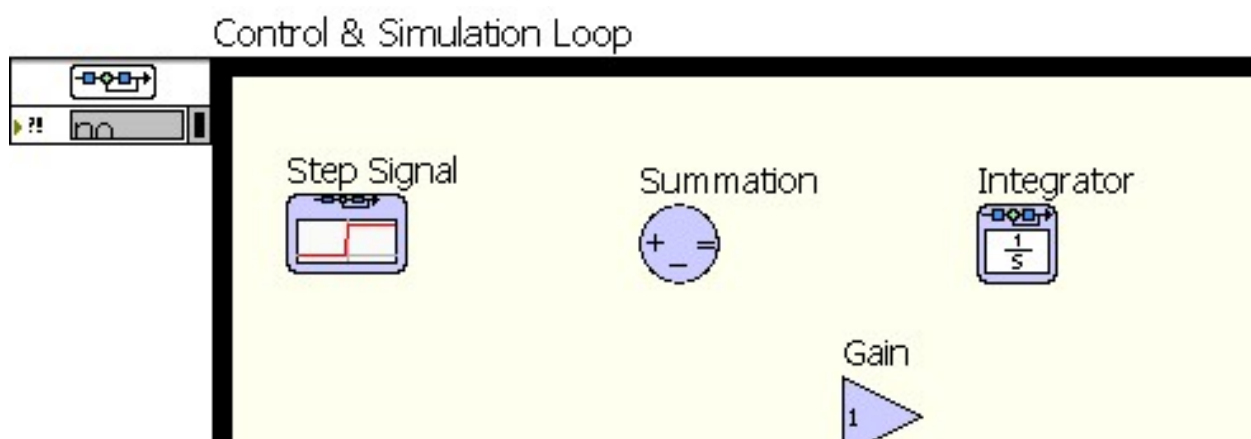
3. Z palety funkcji *Signal Arithmetic* wybrać funkcję *Summation* oraz *Gain*:



Dokonać edycji funkcji *Gain* i wprowadzić wzmocnienie $\text{gain}=3$.



4. Z palety funkcji *Continuous Linear Systems* wybrać funkcję *Integrator*

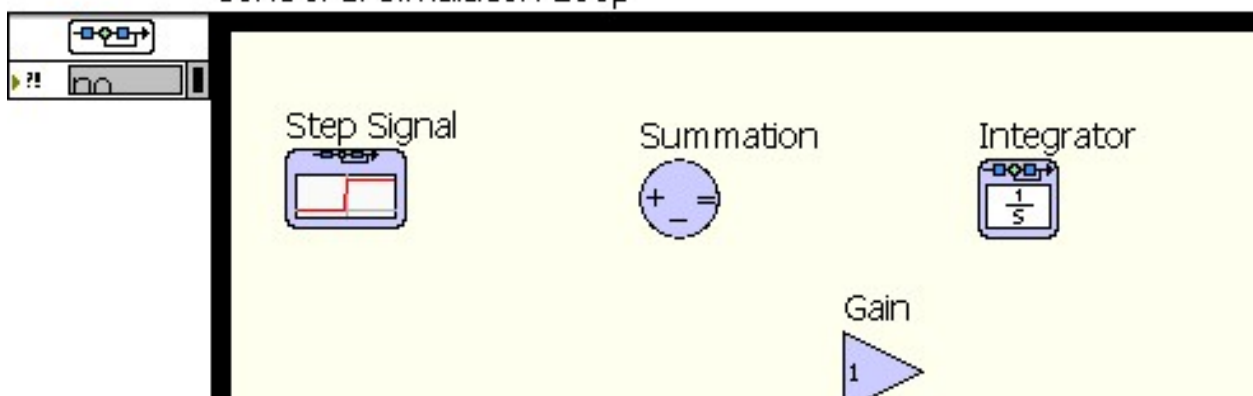


5. Z palety funkcji *Graph Utility* wybrać funkcję *Simulation Time Waveform*, wykres powinien zostać wygenerowany automatycznie.

Simulation Time Waveform

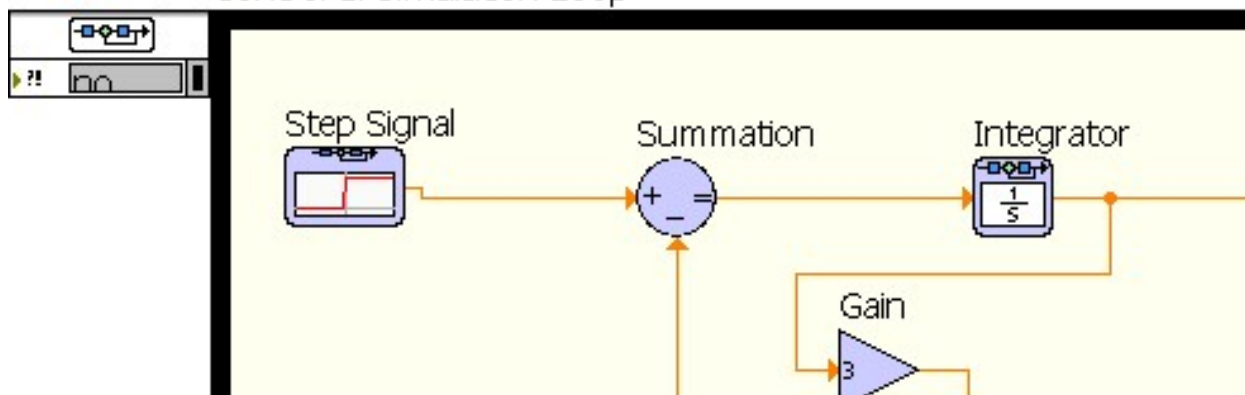


Control & Simulation Loop



6. Wykonać niezbędne połączenia i uruchomić program symulacyjny

Control & Simulation Loop



Waveform Chart



Poniższy kod programu pozwala na porównanie wyników obliczonych analitycznie z uzyskanymi na drodze symulacji.

