

Politechnika Rzeszowska
Katedra Mechaniki Stosowanej i Robotyki

PODSTAWY MECHATRONIKI
Laboratorium

Temat 1:
Wprowadzenie do Simscape

Autor: dr inż. Paweł Penar

Rzeszów 2025

1. Cel laboratorium

Celem laboratorium jest zapoznanie się z modelowaniem fizycznym za pomocą Simscape.

2. Wprowadzenie

Simscape to moduł Simulinka, który umożliwia szybkie tworzenie modeli systemów fizycznych (w szczególności mechatronicznych) w środowisku Matlab/Simulink. Umożliwia tworzenie modeli komponentów opartych na fizycznych połączeniach, które integrują się ze schematami blokowymi. W ten sposób można modelować silniki elektryczne, mostki prostownicze, siłowniki hydrauliczne i systemy chłodnicze poprzez łączenie podstawowych komponentów w schemat.

Sisale pomagają rozwijać sterowanie i testować wydajność tworzonych komponentów na poziomie symulacji. Modele można parametryzować za pomocą zmiennych i wyrażeń MATLAB oraz projektować systemy sterowania dla systemu w Simulink. Co więcej, możliwe jest wdrożenie modeli symulacyjnych do innych środowisk czy systemów typu pętla sprzętowa, gdyż Sisale obsługuje generowanie kodu C. [1]

3. Przykład

W dokumentacji Simscape [2] podano kilka etapów tworzenia i symulacji modelu fizycznego:

1. Stworzenie nowego modelu z użyciem *ssc_new*
2. Utworzenie sieci fizycznej
3. Dostosowanie parametrów bloków
4. Dodawanie źródeł
5. Dodawanie sensorów
6. Połączenie z klasycznym modelem Simulink za pomocą bloków interfejsu
7. Symulacja
8. Prezentacja wyników

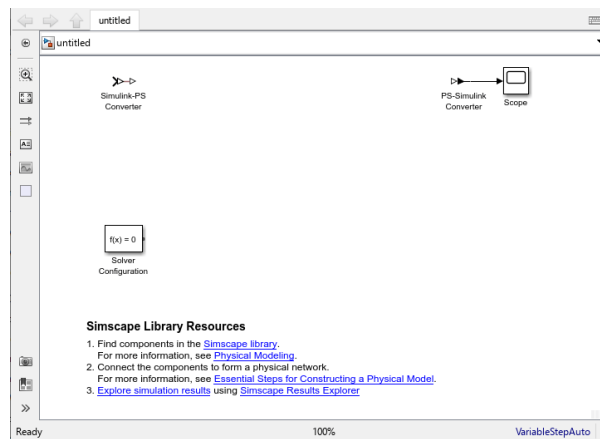
Rozwinięcie każdego z punktów podano w kolejnych krokach. Ich wykonanie prowadzi do utworzenia przekładowego modelu fizycznego (w tym przykładzie modelu układu masa-tłumik-sprężyna) w środowisku Simulink z dodatkiem Simscape.

Krok 1: Stwórz nowy model za pomocą polecenia *ssc_new*

Wykonanie polecenia *ssc_new* to najlepszy sposób na rozpoczęcie tworzenia modeli Simscape. Polecenie zapewnia, że używanie zalecanych ustawień domyślnych dla swojego modelu i automatycznie:

- tworzy nowy model Simscape,
- wybiera zalecane ustawienia solvera,
- łączy rejestrowanie danych dla całego modelu.

Polecenie *ssc_new* wykonuje się w linii komend Matlaba a jego wynikiem jest model, który pokazano na rys. 1.

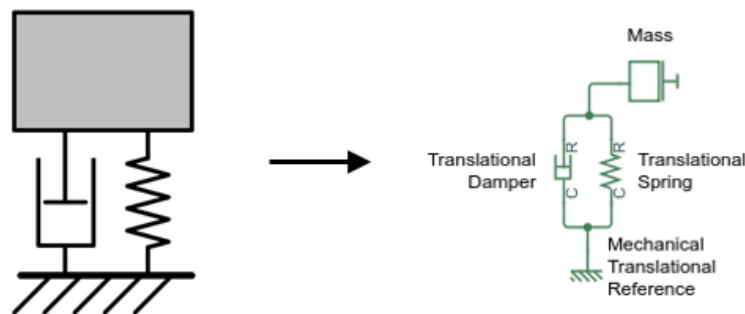


Rysunek 1. Pusty model Simscape.

Nowy model zawiera solver ustawiony na *VariableStepAuto*, blok *Solver Configuration*, blok *Simulink-PS Converter* i blok *PS-Simulink Converter* połączony z blokiem *Scope*.

Krok 2: Utworzenie sieci fizycznej

Aby zamodelować układ mechatroniczny, należy dodać bloki z bibliotek Simscape do modelu, a następnie połączyć je w sieć fizyczną. Linie łączące bloki w utworzonym schemacie reprezentują fizyczne połączenia istniejące między komponentami w układzie rzeczywistym (rys. 2). Innymi słowy, schematy Simscape naśladują fizyczny układ systemu.



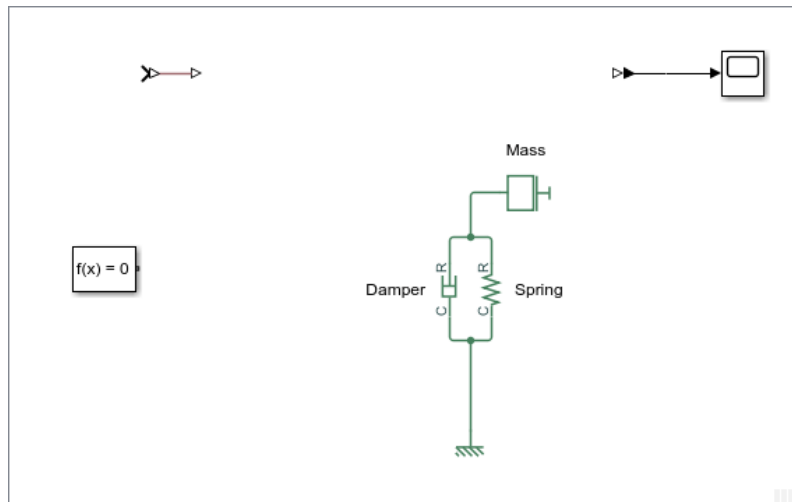
Rysunek 2. Układ masa-tłumik-sprężyna i jego reprezentacja w Simscape.

Podczas konstruowania sieci fizycznej ważne jest, aby uwzględnić bloki referencyjne specyficzne dla domeny, takie jak odniesienie elektryczne, odniesienie mechaniczne itd. W zależności od domeny, bloki te reprezentują połączenie z uziemieniem, ramą lub atmosferą.

Instrukcja szczegółowa

1. Otwórz bibliotekę **Simscape > Foundation Library > Mechanical > Translational Elements**.
2. Przeciągnij bloki *Mass*, *Translational Spring*, *Translational Damper* i *Mechanical Translational Reference* do okna modelu.
3. Połącz bloki *Translational Spring*, *Translational Damper* i *Mass* z blokiem *Mechanical Translational Reference*, jak pokazano na rys. 3. Aby obrócić blok, zaznacz go i naciśnij **CTRL+R**. Aby dostosować wizualną prezentację modelu, skróć nazwy bloków *Spring* i *Damper*, jak pokazano na rys. 3. Aby nazwa bloku *Mass* pojawiła się wraz z blokami *Spring* i *Damper*, kliknij

prawym przyciskiem myszy blok *Mass* i z menu kontekstowego wybierz **Format > Show Block Name > On**.



Rysunek 3. Bloki układu masa-tłumik-sprężyna

Krok 3: Dostosowanie parametrów bloków

Bloki Simscape reprezentują ogólne komponenty, które mają domyślne wartości początkowe dla parametrów. Możesz dostosować te wartości, aby pasowały do aplikacji lub były zgodne z arkuszem danych producenta.

Aby wyświetlić i zmodyfikować wartości parametrów bloku, kliknij dwukrotnie blok, aby otworzyć jego okno dialogowe. Użyj zakładki *Settings*.

Aby wyświetlić opis bloku, kliknij zakładkę *Description* w oknie dialogowym bloku. Zakładka ta zawiera również łącze *Source code*. Kliknij to łącze, aby otworzyć plik źródłowy Simscape dla tego bloku w edytorze MATLAB.

Jeśli blok nie ma parametrów lub zmiennych docelowych, które można ustawić, wówczas okno dialogowe bloku nie ma zakładki *Settings*, a jedynie zakładkę *Description*.

Aby wyświetlić dokumentację bloku, kliknij przycisk znaku zapytania w prawym górnym rogu okna dialogowego bloku.

Instrukcja szczegółowa

1. Kliknij dwukrotnie blok *Spring*. Usuń zaznaczenie pola wyboru *Auto Apply*. Ustaw wartość *Spring rate* na 400 N/m i kliknij przycisk **Apply**.
2. Kliknij dwukrotnie blok *Damper*. Ustaw współczynnik tłumienia na 100 N/(m/s).
3. Kliknij dwukrotnie blok *Mass*. Ustaw wartość *Mass* na 3,6 kg.
4. Aby określić żadaną wartość początkową prędkości dla masy, w sekcji *Initial Targets* rozwiń **Velocity**. Zmienna ma już ustawiony priorytet jako *High*, co oznacza, że solver będzie próbował dokładnie spełnić tę wartość początkową podczas obliczania warunków początkowych. Zaznacz pole wyboru **Velocity**. W polu Value wpisz wartość 10, a następnie kliknij przycisk **Apply**.

Krok 4: Dodawanie źródeł

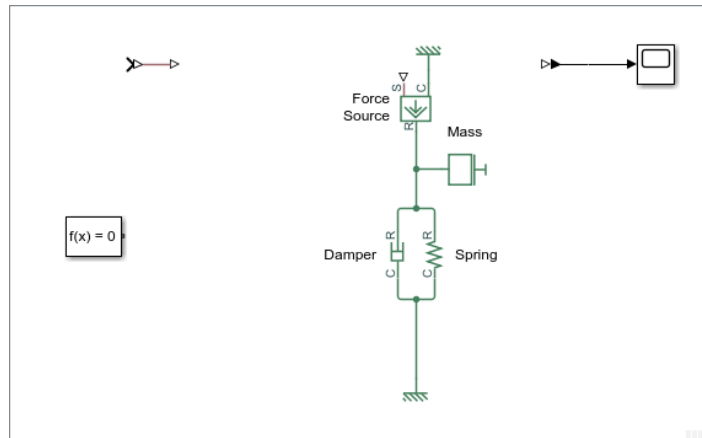
Modele Simscape można sterować za pomocą sygnałów wejściowych, co pozwala na reprezentowanie efektów fizycznych, takich jak siły, napięcia lub ciśnienia, które działają na system. Można również określić inne wielkości, które przepływają przez system, takie jak prąd, masowe natężenie przepływu i strumień ciepła. Połączenia wejściowe sygnałów są dodawane do sieci fizycznej za pomocą *Simscape source blocks*.

Instrukcja szczegółowa

Aby dodać reprezentację siły działającej na masę, użyj bloku *Ideal Force Source*.

1. Otwórz bibliotekę *Simscape > Foundation Library > Mechanical > Mechanical Sources*.
2. Dodaj blok *Ideal Force Source* do modelu. Skróć nazwę bloku, jak pokazano na rys. 4.
3. Aby odzwierciedlić prawidłowy kierunek siły, odwróć orientację bloku. W tym celu po zaznaczeniu bloku Force Source, na karcie **Format** paska narzędzi, w sekcji **Arrange**, kliknij przycisk **Flip up-down**.
4. Skopiuj blok Mechanical Translational Reference, klikając go prawym przyciskiem myszy i przeciągając do w pobliże bloku *Ideal Force Source*. Następnie odwróć jego orientację.
5. Podłącz port **C** bloku *Force Source* do bloku *Mechanical Translational Reference*, a port **R** do bloku *Mass*, jak pokazano na rys. 4.

Sygnał wejściowy dla bloku siły będzie dostarczany przez port **S**, po podłączeniu sieci fizycznej do klasycznego modelu Simulink (patrz Krok 6). Sygnał dodatni na porcie **S** określi siłę działającą od portu **C** do portu **R**.



Rysunek 4. Model z blokiem Force Source.

Krok 5: Dodawanie sensorów

Wielkości w sieci fizycznej można mierzyć i używać ich w innych miejscach modelu. Typowe zastosowania tych wielkości obejmują sprzężenie zwrotne dla algorytmu sterowania, modelowanie komponentów fizycznych, których zachowanie zależy od innych wielkości fizycznych (takich jak rezystor zależny od temperatury) lub po prostu przeglądanie wyników podczas symulacji.

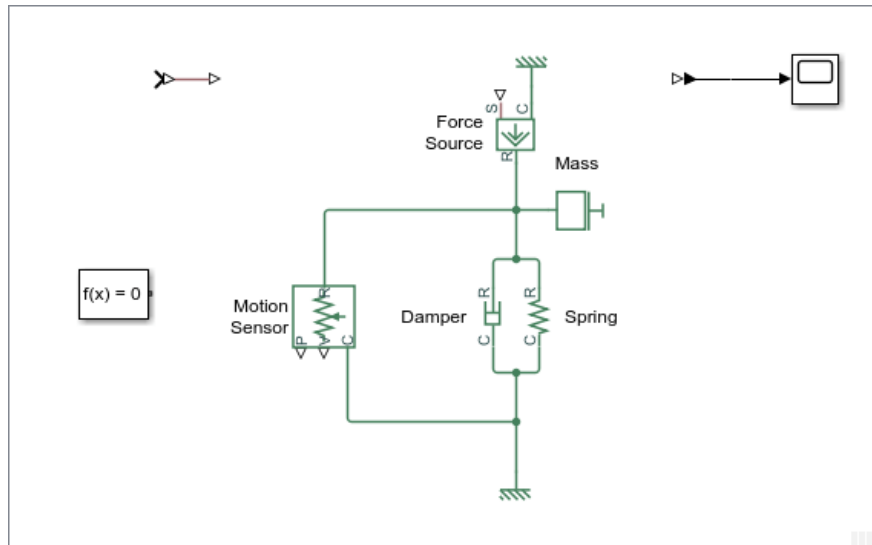
Wielkości mierzy się za pomocą *sensor blocks*, które podłączono szeregowo lub równolegle w zależności od mierzonej wartości. Aby zmierzyć wielkość zdefiniowaną przez zmienną typu *Through*

(taką jak prąd, natężenie przepływu, siła), podłącz czujnik szeregowo. Aby zmierzyć wielkość zdefiniowaną jako *Across* (np. napięcie, ciśnienie, prędkość), podłącz czujnik równolegle.

Instrukcja szczegółowa

Aby zmierzyć odkształcenie sprężyny, podłącz blok *Ideal Translational Motion Sensor* równolegle do sprężyny.

1. Otwórz bibliotekę *Simscape > Foundation Library > Mechanical > Mechanical Sensors*.
2. Dodaj blok *Ideal Translational Motion Sensor* do modelu.
3. Aby obrócić blok, zaznacz go i naciśnij **Ctrl+R**.
4. Połącz blok w sposób pokazany na rys. 5. Skróć nazwę bloku, jak pokazano na rys. 5.



Rysunek 5. Dodanie sensora siły.

Krok 6: Połączenie z klasycznym modelem Simulink za pomocą bloków interfejsu

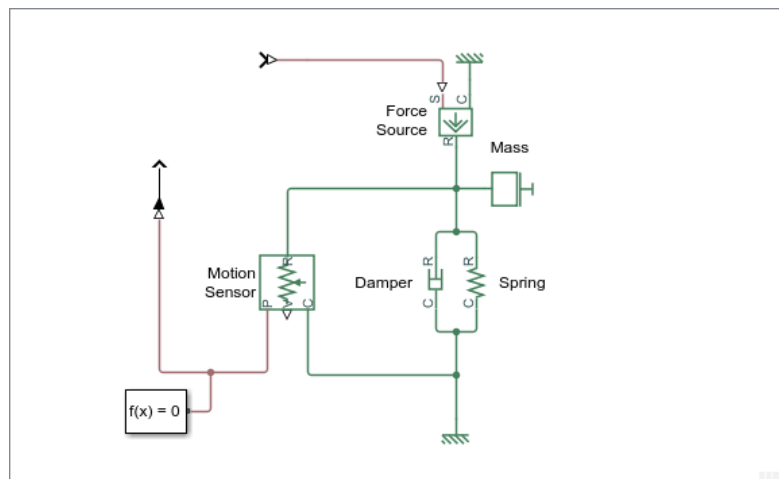
Bloki interfejsu, takie jak *Simulink-PS Converter* i *PS-Simulink Converter*, obsługują granicę między klasycznym Simulinkiem a Simscape. Za każdym razem, gdy blok Simulink łączy się z siecią fizyczną Simscape, należy użyć odpowiedniego bloku konwertera.

Instrukcja szczegółowa

Podłącz sieć fizyczną do kontrolera zbudowanego z klasycznych bloków Simulink. Najpierw przygotuj sieć fizyczną do podłączenia do sygnałów Simulink:

1. Usuń blok Scope. Choć można używać tego bloku do przeglądania wyników symulacji, ich dodawanie powoduje bałagan w schemacie. Bardziej efektywnym sposobem przeglądania i analizowania wyników symulacji jest użycie *Simscape Results Explorer*, co opisano w kroku 8.
2. Podłącz port wyjściowy sygnału fizycznego bloku *Simulink-PS Converter* do portu **S** bloku *Force Source*.
3. Podłącz port wyjściowy **P** bloku *Motion Sensor* do portu wejściowego sygnału fizycznego bloku *PS-Simulink Converter*.
4. Podłącz blok *Solver Configuration* do obwodu i ukryj nazwy bloków *Simulink-PS Converter* i *PS-Simulink Converter*.

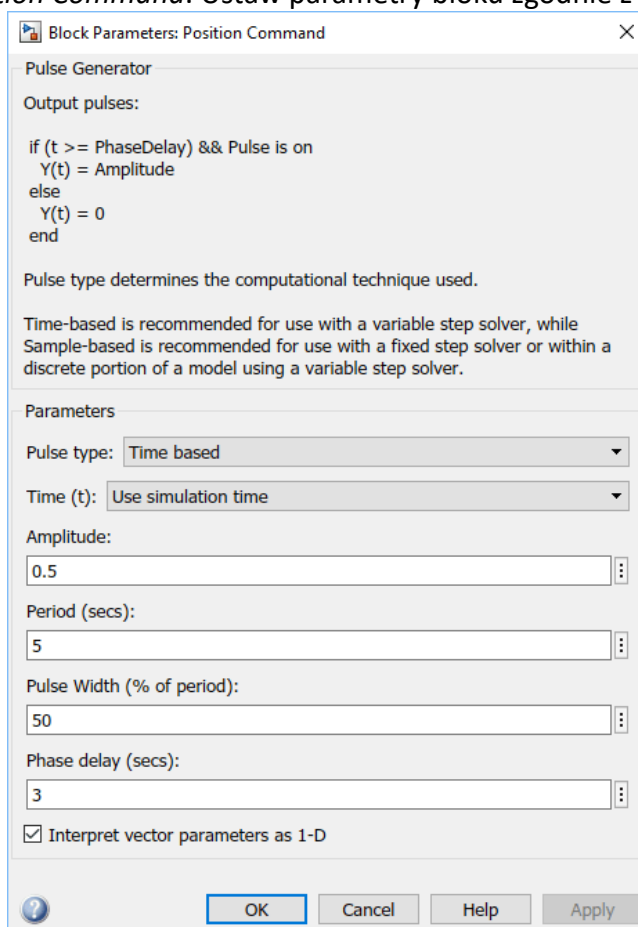
Po wykonaniu tych kroków, schemat powinien być taki, jak na rys. 6.



Rysunek 6. Model/schemat uzupełniony o bloki Simulink-PS Converter i PS-Simulink Converter

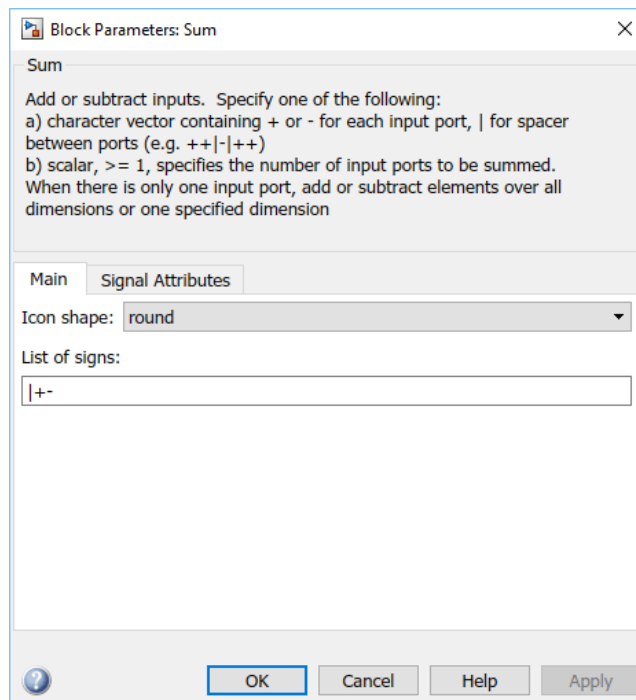
Następnie podłącz sterowanie:

1. Otwórz bibliotekę *Simulink* > *Sources* i przeciągnij blok *Pulse Generator* do modelu. Zmień nazwę bloku na *Position Command*. Ustaw parametry bloku zgodnie z rys. 7.



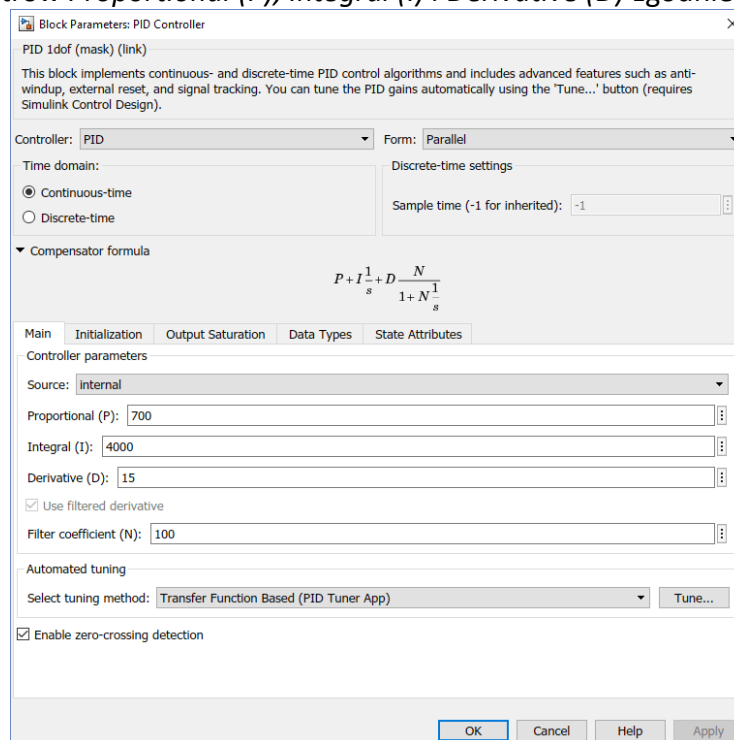
Rysunek 7. Ustawienia bloku *Pulse Generator*.

2. Otwórz bibliotekę *Simulink* > *Math Operations* i przeciągnij blok *Sum* do modelu. Na liście znaków zastąp drugi znak plus znakiem minus, jak pokazano na rys. 8.



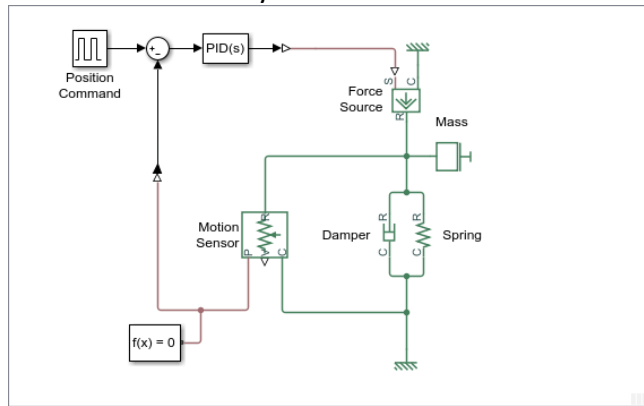
Rysunek 8. Ustawienia bloku Sum.

- Otwórz bibliotekę *Simulink* > *Continuous* i przeciągnij blok *PID Controller* do modelu. Ustaw wartości parametrów *Proportional (P)*, *Integral (I)* i *Derivative (D)* zgodnie rys. 9.



Rysunek 9. Ustawienia regulatora PID.

4. Podłącz bloki zgodnie z schematem z rys. 10.



Rysunek 10. Model z regulatorem PID.

Sygnal sterujący Simulink trafia do portu wejściowego bloku *Simulink-PS Converter*, gdzie jest konwertowany na sygnał fizyczny sterujący siłą reprezentowaną przez blok *Ideal Force Source*.

Port wyjściowy *P* bloku *Ideal Translational Motion Sensor*, który mierzy odkształcenie sprężyny, łączy się z blokiem *PS-Simulink Converter*. Blok ten konwertuje sygnał fizyczny na sygnał sprzężenia zwrotnego, który jest wykorzystywany przez regulator PID.

Aby porównać sygnał wejściowy i mierzony przez sensor siły, należy podłączyć je do przeglądarki sygnałów:

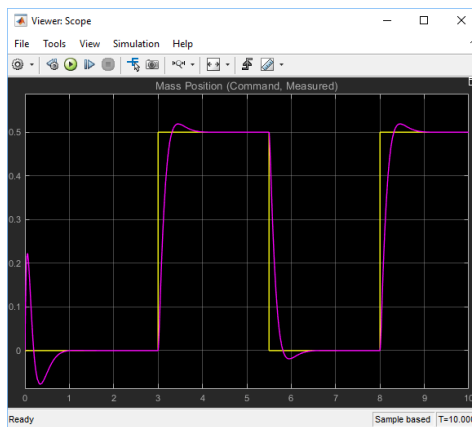
1. Prawym przyciskiem myszy wybierz sygnał Simulink, który przechodzi z bloku *Pulse Generator* do bloku *Sum*. Z menu kontekstowego wybierz **Create & Connect Viewer > Simulink > Scope**.
2. Następnie prawym przyciskiem myszy wybierz sygnał Simulink, który przechodzi z bloku *PS-Simulink Converter* do bloku *Sum*. Z menu kontekstowego wybierz polecenie **Connect To Viewer > Scope**.

Krok 7: Symulacja modelu

Symulację uruchamia się, poprzez wybranie przycisku Run **na** pasku narzędzi Simulink (na górze okna modelu). Solver Simscape ocenia model, oblicza warunki początkowe i uruchamia symulację.

Instrukcja szczegółowa

Scope Viewer wyświetla zadaną i zmierzoną pozycję masy (rys. 11)



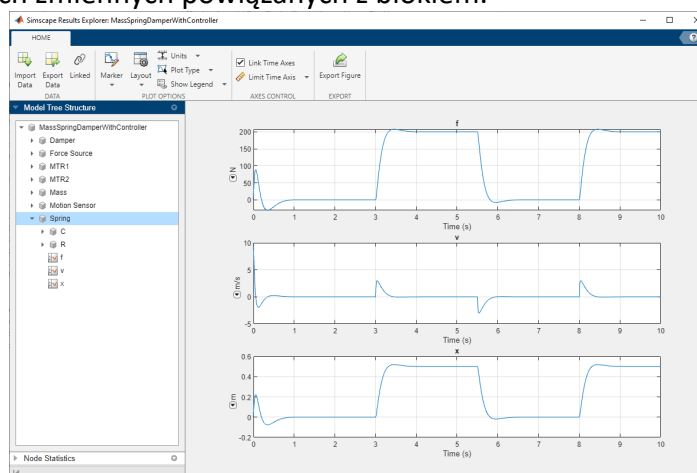
Rysunek 11. Zadana i zmierzona pozycja masy.

Krok 8: Prezentacja wyników

Eksplorator wyników Simscape umożliwia przeglądanie i analizowanie danych symulacji za pomocą funkcji rejestrowania danych. W ten sposób można porównać dwie symulacje, aby przeanalizować, jak zmiana masy wpływa na odkształcenie sprężyny.

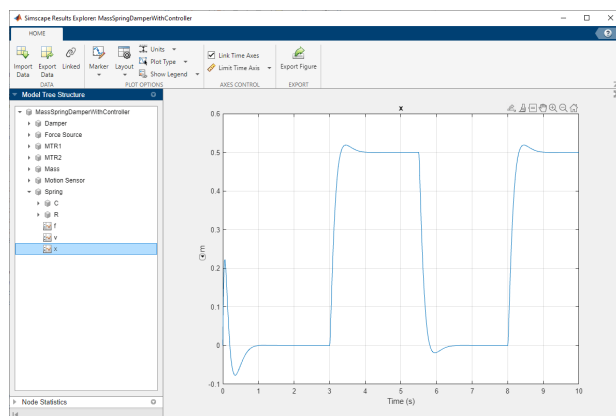
Instrukcja szczegółowa

1. Prawym przyciskiem myszy wybierz blok *Spring*.
2. Z menu kontekstowego wybierz **Simscape > View simulation data > simlog**. Zostanie otwarte okno *Simscape Results Explorer* z węzłem odpowiadającym blokowi *Spring* podświetlonym w lewym panelu (rys. 12). W prawym panelu wyświetlane są wykresy danych symulacji dla trzech zmiennych powiązanych z blokiem.



Rysunek 12. danych symulacji dla trzech zmiennych powiązanych z blokiem *Spring*.

3. Wybierz węzeł *x*. W prawym panelu zostanie wyświetlone odkształcenie sprężyny wykreślone w czasie (rys. 13).



Rysunek 13. Odkształcenie sprężyny.

4. Kliknij dwukrotnie blok Masa. Ustaw jego masę na 7,2 kg.
5. Ponownie uruchom symulację.
6. Aby ponownie załadować zarejestrowane dane, wybierz przycisk Import Data znajdujący się na pasku narzędzi okna *Simscape Results Explorer*. W wyskakującym oknie dialogowym wybierz przycisk OK.

4. Zadanie do wykonania

1. Wykorzystując pakiet Matlab/Simulink z dodatkiem Simscape wykonaj symulację układu masa - tłumik-sprężyna, którą opisano w punkcie 3.

Bibliografia

- [1] [Simscape](#)
- [2] [Essential steps for constructing a physical model](#)