



KATEDRA MECHANIKI STOSOWANEJ
Wydział Mechaniczny
POLITECHNIKA LUBELSKA

INSTRUKCJA DO ĆWICZENIA NR 4

PRZEDMIOT	Modelowanie w biomechanice
TEMAT	<i>Modelowanie numeryczne układu biomechanicznego o jednym stopniu swobody.</i>

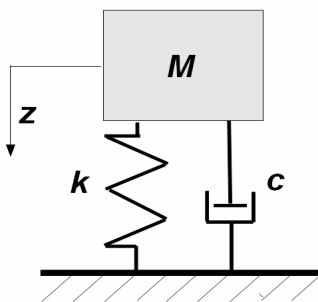
CEL ĆWICZENIA

Celem ćwiczenia jest wykonanie modelu numerycznego układu o jednym stopniu swobody w środowisku MATLAB oraz określenie stopnia przeciążenia układu.

PODSTAWY TEORETYCZNE

Model matematyczny układu biomechanicznego o jednym stopniu swobody może zostać przedstawiony w formie równania różniczkowego:

$$M\ddot{z} + kz + c\dot{z} - Mg = 0 \quad (1)$$



Rys.1. Model o jednym stopniu swobody układu biomechanicznego.

Przedstawione równanie opisuje model liniowy, dla którego możliwe jest wyznaczenie rozwiązania ścisłego na drodze obliczeń analitycznych. W przypadku modeli nieliniowych wyznaczenie rozwiązania analitycznego może być utrudnione lub nawet niemożliwe. Dlatego alternatywną metodą poszukiwań rozwiązań dla układów liniowych i nieliniowych są obliczenia numeryczne. W wykonywanym ćwiczeniu do utworzenia modelu numerycznego zostanie wykorzystane oprogramowanie Matlab/Simulink. W programie tym należy równanie różniczkowe przedstawić w postaci schematu blokowego. Studenci zapoznają się z podstawowymi „blokami” oraz zasadą tworzenia schematów.

Do utworzenia modelu numerycznego układu o jednym stopniu swobody zostaną wykorzystane następujące bloki:



Integrator

Blok całkujący służący do scałkowania sygnału wejściowego. Umożliwia on wprowadzenie warunku początkowego symulacji. Znajduje się w grupie bloków „Continuous”.



Gain

Blok wzmocnienia służący do przemnożenia sygnału wejściowego przez stałą. W opcjach bloku istnieje możliwość zdefiniowania wartości stałej. Znajduje się w grupie bloków „Math Operations”.



Sum

Blok sumowania sygnałów. W opcjach istnieje możliwość zdefiniowania ilości sygnałów wejściowych oraz informacja czy sygnały muszą być dodane lub odjęte od siebie. Blok znajduje się w grupie bloków „Math Operations”.



Scope

Blok oscyloskop służy do wizualizacji wybranego sygnału. Może zostać wykorzystany do zapisu przebiegów czasowych. Blok znajduje się w grupie bloków „Sinks”.



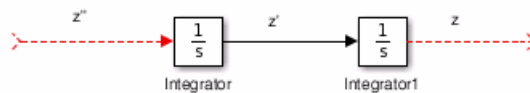
Constant

Blok stałej. W schemacie blokowym służy do wprowadzania np. obciążeń niezmiennych w czasie. Blok znajduje się w grupie bloków „Sources”.

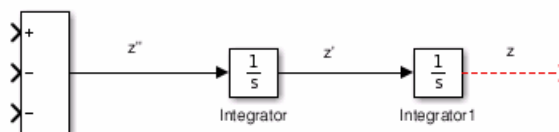
Przed przystąpieniem do utworzenia schematu blokowego równanie różniczkowe należy przekształcić do postaci, gdzie po jednej ze stron występuje tylko przyspieszenie:

$$\ddot{z} = -\frac{k}{M}z - \frac{c}{M}\dot{z} + g \quad (2)$$

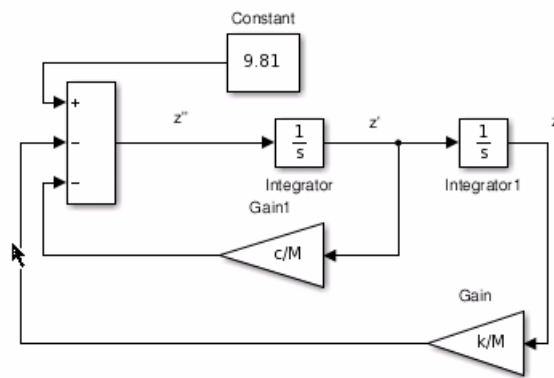
W programie Matlab/Simulink łączymy w szereg bloki **Integrator**, które umożliwią wyliczenie z przyspieszenie sygnałów prędkości i przemieszczenia. W opcjach bloku **Integrator** (bez 1) należy sparametryzować warunek początkowy za pomocą wprowadzenia parametru **v** zamiast **0**.



Po lewej stronie przedstawionego łańcucha znajduje się sygnał \ddot{z} , który w schemacie musi być obliczony z równania (2). Przyspieszenie będzie liczone z sumy trzech sygnałów. W opcjach bloku **Sum** należy zmienić kształt bloku z **round** na **rectangular** oraz listę znaków na **+--**.

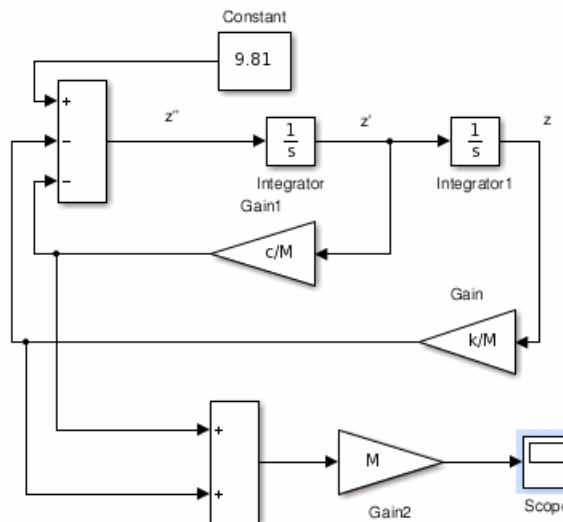


Następnie zamykamy schemat blokowy. W blokach **Gain** wpisujemy wzmacnienia k/M oraz c/M . Natomiast w bloku **Constant** podajemy wartość stałej **9.81**.

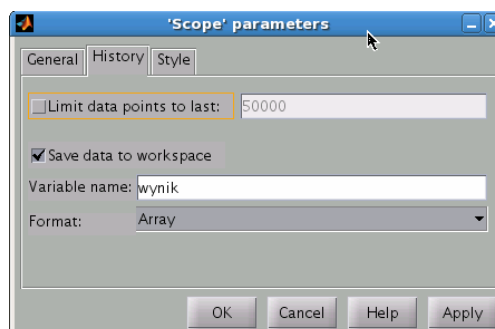


Tak utworzony schemat blokowy należy jeszcze uzupełnić o procedurę określenia siły w mięśniach:

$$F(t) = kz(t) + c\dot{z}(t) \quad (3)$$



W opcjach bloku **Scope** należy zmienić ustawienia, tak jak przedstawiono to poniżej. Pozwoli to na zapisanie przebiegu czasowego siły w postaci zmiennej **wynik**.



Wykonany model należy zapisać pod nazwą **model**. W zależności od wersji oprogramowania Simulink plik zapisze się z rozszerzeniem **.mdl** lub **.slx**. Utworzony model zostanie wykorzystany do obliczeń numerycznych. Natomiast do sterowania obliczeniami posłużą tzw. skrypty. W skrypcie możliwe jest

zapisywanie komend, natomiast po znaku % występują komentarze. W wykonywanym ćwiczeniu zostanie wykorzystany następujący skrypt:

```

1 - M=80;           % masa człowieka
2 - k=9600;        % współczynnik sztywności
3 - c=600;        % współczynnik tłumienia
4 - h=0.25;       % wysokość przeszkody
5 - v=sqrt(2*9.81*h); % warunek początkowy
6 - T=[0,2];      % definicja czasu startu i końca symulacji
7 - options=simset('AbsTol',1e-6, 'RelTol', 1e-6, 'Maxstep', 0.001); % określenie opcji
8 - sim('model',T, options) % uruchomienie symulacji w Simulink
9 - sila=max(wynik(:,2)) % określenie maksymalnej siły
10 - plot(wynik(:,1),wynik(:,2)) % wykreszenie F(t)
11
12 - saveas(gcf, 'rysunek1.tif') % zapisujemy rysunek

```

Skrypt uruchomiony za pomocą strzałki **Run** spowoduje wykonanie procedury obliczeniowej. W rezultacie w programie Matlab wyświetli się wartość maksymalnej siły oraz pojawi się nowe okno, w którym będzie widoczny wykres $F(t)$.

Na podstawie maksymalnej wartości siły $F(t)$ możliwe jest określenie przeciążenia, na jakie narażone są kończyny dolne po zeskoku z przeszkody o wysokości h . W sytuacji, kiedy człowiek stoi nieruchomo mięśnie przenoszą obciążenie wynikające jedynie z jego ciężaru Mg . Możemy wprowadzić współczynnik przeciążenia, który byłby zdefiniowany w postaci:

$$\gamma = \frac{F_{\max}}{Mg} \quad (3)$$

OPRACOWANIE WYNIKÓW

Po przeprowadzeniu symulacji należy zapisać w tabeli pomiarowej wartości maksymalnej siły obciążenia kończyn dolnych oraz określić wartości współczynnika przeciążenia.

Nr próby	h (m)	$F_{\max, \text{MATLAB}}$ (N) z symulacji	γ (-)
1			
2			
3			
4			

SPRAWOZDANIE

Sprawozdanie z ćwiczenia powinno zawierać:

1. Tabelkę identyfikacyjną.
2. Cel ćwiczenia.
3. Schemat blokowy modelu układu w programie Matlab.
4. Tabelę pomiarów i wyników.
5. Obliczenia i wykresy $F(t)$.
6. Wnioski.

Uwaga.

Studenci przystępujący do odrobienia ćwiczenia laboratoryjnego powinni posiadać odręcznie przygotowany protokół, który musi zawierać tabelę pomiarów i wyników.

MATERIAŁY CHRONIONE PRAWEM AUTORSKIM