

Sprawozdanie

Modelowanie Systemów Dynamicznych

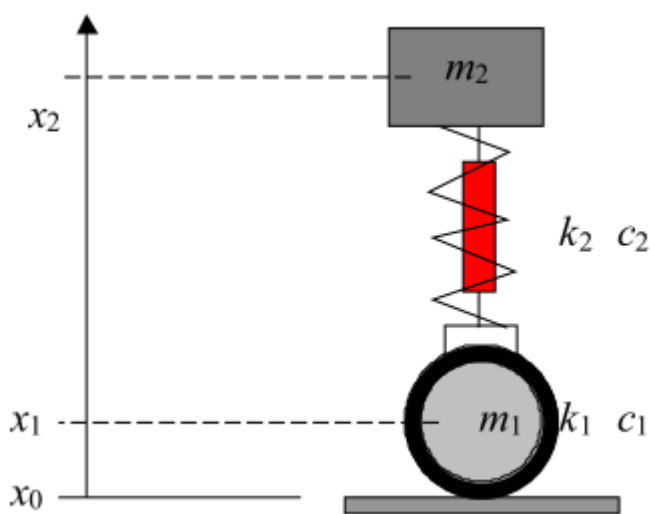
Zajęcia 3-4(19,26 X 2009)

Prowadzący zajęcia: dr inż. Adam Piłat

Autorzy sprawozdania: Jakub Tutro, Krzysztof Wesołowski

Modelowanie ¼ układu zawieszenia samochodu.

Przedmiotem badań był fragment zawieszenia pojazdu. Dostarczony model obejmował jedno koło wraz z amortyzatorem i karoserią. Schemat układu przedstawiono poniżej:



Parametr	Wartość
m_1	90 kg
k_1	370 kN/m
c_1	100 Ns/m
m_2	600kg
k_2	35 kN/m
c_2	2000 Ns/m

Tab. 1 - Parametry modelu

Model opisany jest następującymi równaniami dynamicznymi (parametry podano w Tab. 1):

$$\begin{cases} m_2 \ddot{x}_2 + c_2 \dot{x}_2 + k_2(x_2 - x_{20}) - c_2 \dot{x}_1 - k_2(x_1 - x_{10}) = 0 \\ m_1 \ddot{x}_1 + (c_1 + c_2) \dot{x}_1 + (k_1 + k_2)(x_1 - x_{10}) - c_2 \dot{x}_2 - k_2(x_2 - x_{20}) = c_1 \dot{x}_0 + k_1 x_0 \end{cases}$$

Aby uprościć układ i pozbyć się początkowych położenia koła i karoserii x_{10} i x_{20} wprowadzamy nowe zmienne:

$$\begin{cases} y_1 = x_1 - x_{10} \\ y_2 = x_2 - x_{20} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \dot{y}_1 = \dot{x}_1 \\ \dot{y}_2 = \dot{x}_2 \end{cases}$$

Aby sprowadzić układ do układu równań pierwszego rzędu podstawiamy nowe zmienne :

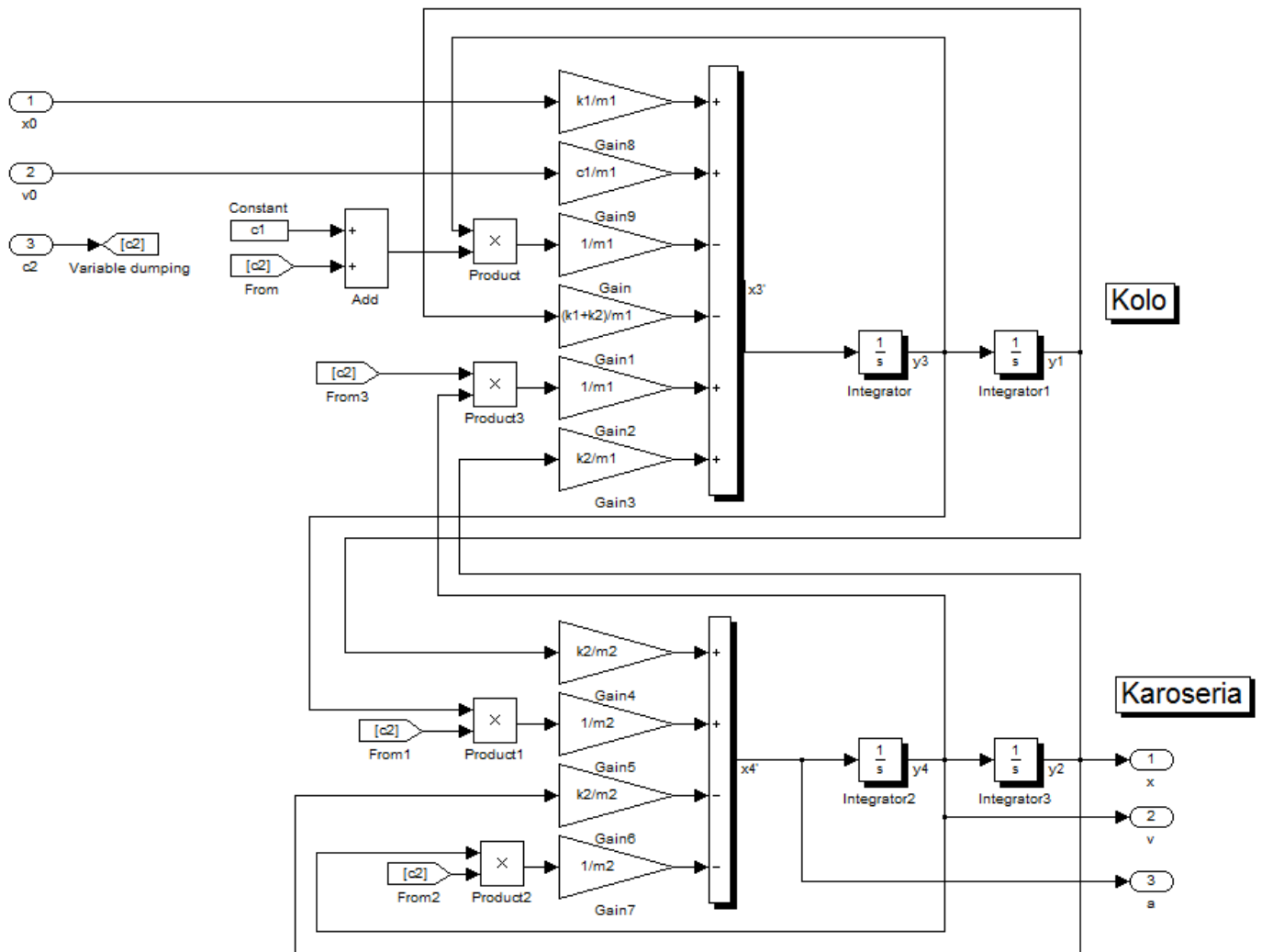
$$y_3 = \dot{x}_1, \text{ oraz } y_4 = \dot{x}_2$$

(zmienne te odpowiadają prędkościom, więc intuicyjnie można byłoby je nazwać v_1 i v_2 , jednak powyższy zapis ułatwi nam przedstawienie układu w formie macierzowej)

Po uwzględnieniu ich w układzie równań i odpowiednich przekształceniach otrzymujemy:

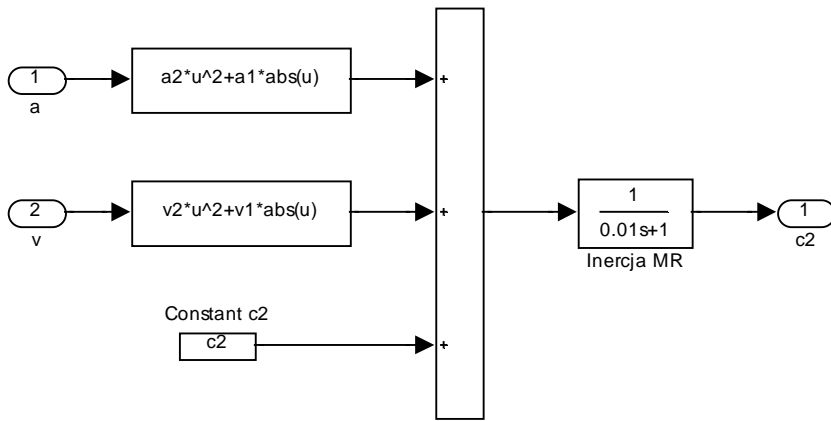
$$\begin{bmatrix} \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \\ \dot{y}_3 \\ \dot{y}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ -\frac{k_1+k_2}{m_1} & \frac{k_2}{m_1} & -\frac{c_1+c_2}{m_1} & \frac{c_2}{m_1} \\ \frac{k_2}{m_2} & -\frac{k_2}{m_2} & \frac{c_2}{m_2} & -\frac{c_2}{m_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{c_1}{m_1} \\ 0 \\ -\frac{c_1+c_2}{m_1} \frac{c_1}{m_1} + \frac{k_1}{m_1} \\ \frac{c_2}{m_2} \frac{c_1}{m_1} \end{bmatrix} x_0$$

Powyższy układ ma swoją realizację w postaci schematu blokowego przedstawionego poniżej:



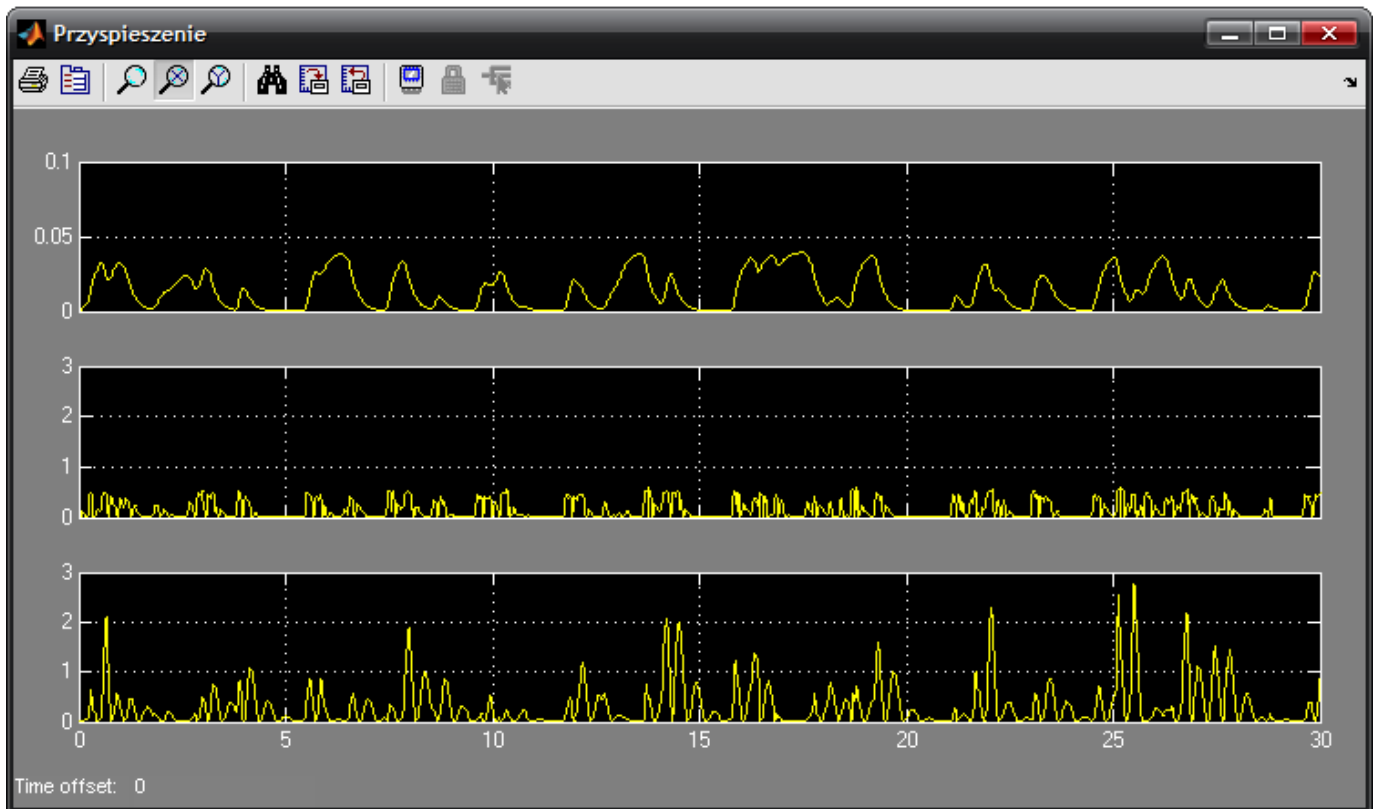
W związku z brakiem danych na temat technicznych możliwości osiągnięcia wysokich współczynników tłumienia przyjęliśmy że możliwe jest zmienianie współczynnika tłumienia w zakresie 1-20 kNs/m. Dla takich granic za pomocą pakietu Simulink Design Optimization dobraliśmy nastawy, mające na celu zarówno minimalizację maksymalnych przeciążeń jak i wartości całki z kwadratu przyspieszenia. Za drogę testową przyjęliśmy losowa trasę, trwająca 30sekund, o nierównościach poniżej 4cm (Przy większych nierównościach każdy nie terenowy samochód nie zapewnia komfortu jazdy, a ignorowanie nierówności jeśli nie zabija kierowcy niszczy zawieszenie).

W regulatorze do podstawowej wartości tłumienia dodajemy współczynniki związane z przyspieszeniem i prędkością. Sposób działania regulatora ilustruje poniższy schemat:



Nastawy dobrane przez SDO	
c2	2.0501e+004
a2	-2.6637e+004
a1	-7.5144e+003
v2	702.0085
v1	206.1639

Poniżej przebiegi ilustrujące przyrost jakości sterowania:



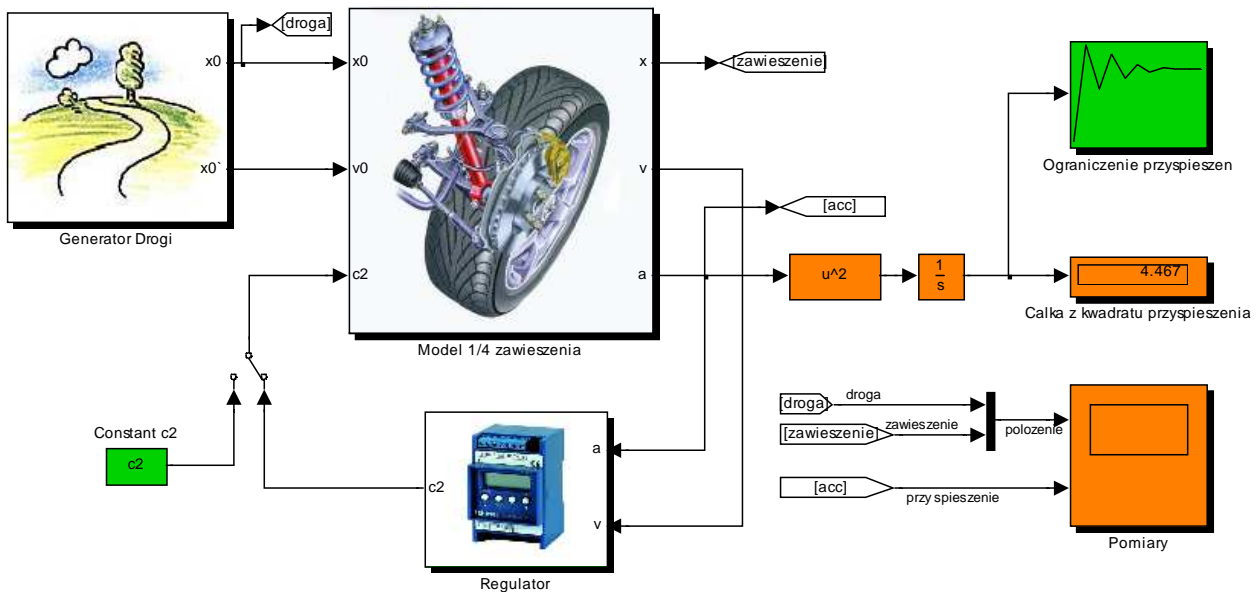
Pierwszy wykres przedstawia losowy 30 sekundowy odcinek drogi. Kolejne dwa prezentują przebieg kwadratów przyspieszeń odpowiednio dla jazdy z włączonym regulatorem jak i bez włączonego regulatora (dla domyślnego c2).

W perspektywie tej 30 sekundowej trasy łączna całość kwadratu przyspieszenia została zmniejszona z poziomu 9.199 do poziomu 4.467. Aby być jednak uczciwym należy zauważyć że dla naszej drogi optymalnym stałym tłumieniem jest wartość 4371 (a nie domyślne 2000), co nakazuje za rzeczywisty punkt odniesienia przyjąć właśnie to tłumienie i uzyskaną dla niego całość równą 6.735. Wciąż widać znaczną poprawę naszego algorytmu w stosunku do tradycyjnego zawieszenia.

Jest to zdecydowana różnica, zwłaszcza biorąc również pod uwagę maksymalne wartości (do obejrzenia na wykresie dla stałego c=2000), również dla zoptymalizowanego dla naszej trasy stałego współczynnika c=4371 nie spadły poniżej 2.

Poniżej zamieszczamy model służący do dopracowywania parametrów regulatora. Na zielono bloki bezpośrednio związane z Simulink Design Optimization, zaś na pomarańczowo Scope

Model 1/4 zawieszenia samochodu



Autorzy: Jakub Tutro, Krzysztof Wesolowski

Wnioski końcowe.

W trakcie laboratoriów zaprojektowaliśmy model $\frac{1}{4}$ zawieszenia. Zbadaliśmy jego zachowanie i zaproponowaliśmy budowę regulatora którego zadaniem jest poprawianie komfortu jazdy. Jako podstawowy wskaźnik jakości przyjęliśmy całkę z kwadratu przyspieszenia, intuicyjnie uznając, że najbardziej uciążliwe są duże bądź długotrwałe przyspieszenia. Ponadto zwracaliśmy również uwagę na maksymalne wartości przyspieszeń, uwzględniając ich znaczenia dla bezpieczeństwa kierowcy jak i sprawności całego samochodu.

Badania modelu przeprowadzaliśmy na losowo generowanej drodze. Amplituda nierówności to około 4 cm, co odpowiada naturalnym nierównością polskich dróg asfaltowych, nie rozważaliśmy przypadków dróg osiągalnych tylko dla samochodów terenowych (jak np. Budryka). Jako punkty odniesienia przy doborze nastaw regulatora wybraliśmy stale wartości współczynnika tłumienia:

- $C_2=2000$ Ns/m – domyślna wartość podana w instrukcji
- $C_2=4371$ Ns/m – wartość optymalna dla naszej drogi (z SDO)

Wybraliśmy najczęściej spotykany sposób regulacji – zawieszenie semi-active, zmieniające współczynnik tłumienia. Nasz regulator modyfikuje współczynnik tłumienia korzystając z bieżącej prędkości i przyspieszenia kabiny. Dobieranie 4 współczynników a_2, a_1, v_2, v_1 i podstawowego tłumienia c_2 powierzyliśmy pakietowi do optymalizacji – Simulink Design Optimization. Umożliwiało nam to szybkie znalezienie kombinacji parametrów których uzyskanie „ręcznie” byłoby praktycznie niemożliwe.

Istotne jest tutaj założenie iż możemy zmieniać wartość tłumienia w tak szerokim zakresie – jej ograniczenie od góry, np. do wartości tylko 6000 Ns/m zaciera różnice pomiędzy zawieszeniem semi-active a zwykłym zawieszeniem.

Podsumowując, stosowanie tego typu regulatorów ma sens tylko gdy możemy zmieniać współczynnik tłumienia w dużym zakresie z i dużą dynamiką. Dlatego istotniejsze wydają się nam techniczne sposoby realizacji regulacji tłumienia (np. ciecze MR).