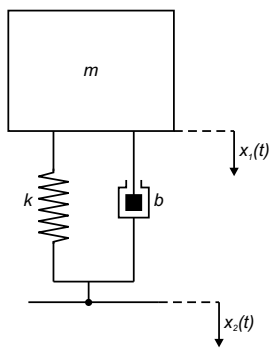


Obiekt 3

Amortyzator samochodowy bez ogumienia

Założenia : układ liniowy, czasowo-inwariantny.



m – masa nadwozia [kg]
 k – sztywność [N/m] lub [Ns]
 b – tłumienie [kg/s]
 $x_2(t)$ – zmiana odległości wynikająca z nierówności podłoża [m]
 $x_1(t)$ – przesunięcie masy względem podłoża [m]

Wielkością wejściową jest zmiana odległości wynikająca z nierówności podłoża $x_2(t)$, a wielkością wyjściową położenie $x_1(t)$. W zamaskowanym modelu mają występować 3 parametry: k , b , m . Należy zbadać jak zmiany poszczególnych parametrów wpływają na przebieg wielkości $x_1(t)$.

Równanie ruchu ma postać:

$$m \cdot \ddot{x}_1(t) + b \cdot (\dot{x}_1(t) - \dot{x}_2(t)) + k \cdot (x_1(t) - x_2(t)) = 0$$

Stąd po zastosowaniu twierdzenia o różniczkowaniu oraz odpowiednim przekształceniu równania uzyskujemy transmitancję operatorową :

$$G(s) = \frac{X_1(s)}{X_2(s)} = \frac{b \cdot s + k}{m \cdot s^2 + b \cdot s + k} \begin{bmatrix} m \\ m \end{bmatrix}$$

Zadanie 1. Analiza w Control System Toolbox (CST)

- Przeprowadzić analizę, opierając się na przykładowym m-skrypcie z zadania 1 instrukcji.
- Zbadać własności obiektu, zmieniając parametry b i/lub k (np. pętla for $k = 100:100:500$ end lub sterowanie z użyciem suwaka w oknie graficznym) – umieścić w tabeli: wartości współczynników transmitancji, pulsacje załamań i/lub rezonansu (porównać z wartością wyliczoną), wartości zer i biegunów dla kilku wybranych wartości parametrów b i k ;
- Zarejestrować przebieg sygnału wyjściowego z układu pod wpływem następującego pobudzenia (polecenie `lsim`, wektor czasu z krokiem 0.1 [s]):

$$x_2(t) = \begin{cases} 0.05 & t \in \langle 0 : 10 \rangle \\ 0 & t \in \langle 10 : 20 \rangle \text{ [s]} \\ -0.05 & t \in \langle 20 : 30 \rangle \end{cases}$$

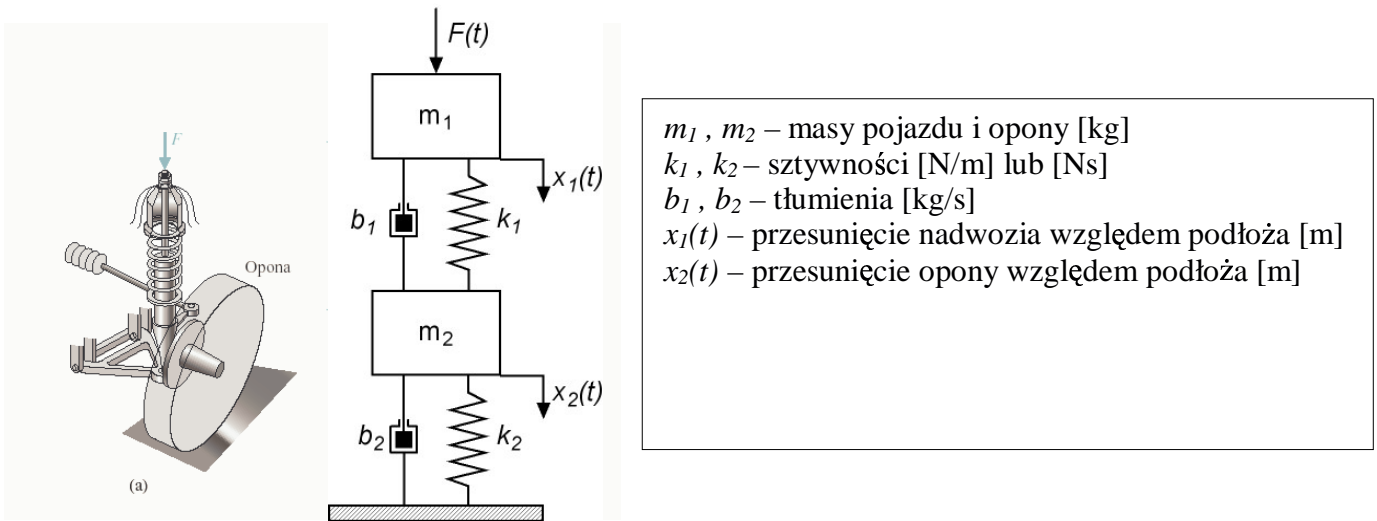
- Wyprowadzić analitycznie formuły matematyczne, umożliwiające wygenerowanie charakterystyk częstotliwościowych (wykres Nyquist'a i wykresy Bode'go), a następnie napisać m-funkcję w MatLabie.¹

Zadanie 2. Analiza w programie Simulink

- Zamodelować obiekt w oparciu o przykład z instrukcji – zadanie 2.
- Sprawdzić działanie układu przy niezerowych warunkach początkowych (napięcie początkowe sprężyny) – niezerowa wartość początkowa w bloku integratora;
- Sprawdzić własności filtrujące elementu – podać na wejście elementu pobudzenie harmoniczne (np. sinusoida) – (**Signal Generator** lub **SinWave -> Sources**) - porównać z charakterystyką Bodego (przesuwanie kąta fazowego i zmiany modułu dla różnych pulsacji).
- Umożliwić zapis wyników symulacji (wszystkie zmienne stanu, pobudzenie oraz podstawa czasu (**Sources->Clock**)) do przestrzeni roboczej a następnie napisać m-skrypt umożliwiający :
 - wygenerowanie wykresów wszystkich zmiennych (wyjściowych i stanu) w osobnych oknach graficznych;

¹ Oprzeć się na wyprowadzeniu przedstawionym w instrukcji dla obiektu inercyjnego I-go rzędu.

-
- przeprowadzenie symulacji modelu w Simulinku przy zmieniającym się parametrze b lub k (wykorzystać funkcję *sim()* oraz instrukcję *for end.*)

Obiekt 4**Amortyzator samochodowy z ogumieniem** – wersja uproszczona do ruchów w jednej osi geometrycznej

Założenia : układ liniowy, czasowo-inwariantny.

Wielkością wejściową jest siła $F(t)$, a wielkością wyjściową położenie $x_1(t)$. W zamaskowanym modelu ma występować 6 parametrów : $m_1, m_2, k_1, k_2, b_1, b_2$ ². Należy zbadać jak zmiany poszczególnych parametrów wpływają na przebieg wielkości $x_1(t)$.

Równanie ruchu ma postać:

$$\begin{cases} F(t) = m_1 \cdot \ddot{x}_1(t) + b_1 \cdot (\dot{x}_1(t) - \dot{x}_2(t)) + k_1 \cdot (x_1(t) - x_2(t)) \\ b_1 \cdot (\dot{x}_1(t) - \dot{x}_2(t)) + k_1 \cdot (x_1(t) - x_2(t)) = m_2 \cdot \ddot{x}_2(t) + b_2 \cdot \dot{x}_2(t) + k_2 \cdot x_2(t) \end{cases}$$

Stąd po zastosowaniu twierdzenia o różniczkowaniu oraz odpowiednim przekształceniu równania uzyskujemy transmitancję operatorową :

$$G(s) = \frac{X_1(s)}{F(s)} = \frac{s^2 \cdot m_1 + s \cdot (b_1 + b_2) + k_1 + k_2}{s^4 \cdot m_1 \cdot m_2 + s^3 \cdot (b_1 \cdot m_2 + m_1 \cdot (b_1 + b_2)) + s^2 \cdot (k_1 \cdot m_2 + m_1 \cdot (k_1 + k_2) + b_1 \cdot b_2) + s \cdot (k_1 \cdot (b_1 + b_2)) + k_1^2}$$

Zadanie 1. Analiza w Control System Toolbox (CST)

- Przeprowadzić analizę, opierając się na przykładowym m-skrypcie z zadania 1 instrukcji.
- Zbadać własności obiektu, zmieniając parametry b_i i/lub k_i ³ (np. pętla for $k = 100:100:500$ end lub sterowanie z użyciem suwaka w oknie graficznym) – umieścić w tabeli: wartości współczynników transmitancji, pulsacje załamań i/lub rezonansu (porównać z wartością wyliczoną), wartości zer i biegunów dla kilku wybranych wartości parametrów b_i i k_i ;
- Zarejestrować przebieg sygnału wyjściowego z układu pod wpływem następującego pobudzenia (polecenie *lsim*, wektor czasu z krokiem 0.1 [s]):

² Rzeczywiste wartości parametrów dla autobusu : $m_1=2500$ kg – masa ¼ pojazdu, $m_2= 320$ kg – masa zawieszenia, $k_1 = 80000$ N/m – stała sprężystości zawieszenia, $k_2 = 500000$ N/m – stała sprężystości kół i opon, $b_1 = 350$ Ns/m – współczynnik tłumienia zawieszenia, $b_2 = 15020$ Ns/m – współczynnik tłumienia kół i opon

³ Wybrać jeden lub więcej parametrów ($i = 1,2$).

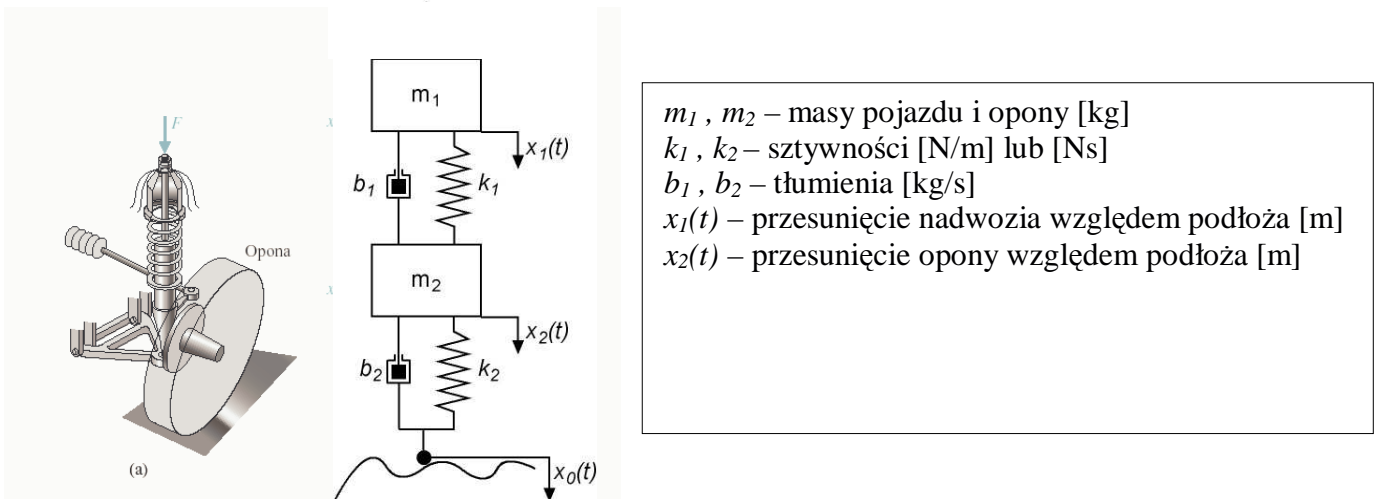
$$F(t) = \begin{cases} 12 & t \in \langle 0 : 10 \rangle \\ 0 & t \in \langle 10 : 20 \rangle \text{ [s]} \\ -12 & t \in \langle 20 : 30 \rangle \end{cases}$$

4. Wyprowadzić analitycznie formuły matematyczne, umożliwiające wygenerowanie charakterystyk częstotliwościowych (wykres Nyquist'a i wykresy Bode'go), a następnie napisać m-funkcję w MatLabie.⁴

Zadanie 2. Analiza w programie Simulink

1. Zamodelować obiekt w oparciu o przykład z instrukcji – zadanie 2.
2. Sprawdzić własności filtrujące elementu – podać na wejście elementu pobudzenie harmoniczne (np. sinusoida) – (**Signal Generator** lub **SinWave** ->**Sources**) - porównać z charakterystyką Bodego (przesuwanie kąta fazowego i zmiany modułu dla różnych pulsacji).
3. Umożliwić zapis wyników symulacji (wszystkie zmienne stanu, pobudzenie oraz podstawa czasu (**Sources**->**Clock**)) do przestrzeni roboczej a następnie napisać m-skrypt umożliwiający :
 - wygenerowanie wykresów wszystkich zmiennych (wyjściowych i stanu) w osobnych oknach graficznych;
 - przeprowadzenie symulacji modelu w Simulinku przy zmieniającym się parametrze b_i lub k_i (wykorzystać funkcję *sim()* oraz instrukcję *for end.*)

⁴ Oprzeć się na wyprowadzeniu przedstawionym w instrukcji dla obiektu inercyjnego I –go rzędu.

Obiekt 5**Amortyzator samochodowy z ogumieniem** – wersja uproszczona do ruchów w jednej osi geometrycznej

Założenia : układ liniowy, czasowo-inwariantny.

Wielkością wejściową jest zmiana odległości $x_0(t)$, a wielkością wyjściową zmiana położenia nadwozia $x_1(t)$. W zamaskowanym modelu ma występować 6 parametrów : $m_1, m_2, k_1, k_2, b_1, b_2$ ⁵. Należy zbadać jak zmiany poszczególnych parametrów wpływają na przebieg wielkości $x_1(t)$.

Równanie ruchu ma postać:

$$\begin{cases} m_1 \cdot \ddot{x}_1(t) - b_1 \cdot (\dot{x}_1(t) - \dot{x}_2(t)) - k_1 \cdot (x_1(t) - x_2(t)) = 0 \\ b_1 \cdot (\dot{x}_1(t) - \dot{x}_2(t)) + k_1 \cdot (x_1(t) - x_2(t)) = m_2 \cdot \ddot{x}_2(t) + b_2 \cdot (\dot{x}_2(t) - \dot{x}_0(t)) + k_2 \cdot (x_2(t) - x_0(t)) \end{cases}$$

Stąd po zastosowaniu twierdzenia o różniczkowaniu oraz odpowiednim przekształceniu równania uzyskujemy transmitancję operatorową :

$$G(s) = \frac{X_1(s)}{X_0(s)} = \frac{s^2 \cdot m_1 + s \cdot (b_1 \cdot k_2 + b_2 \cdot k_2) + k_1 \cdot k_2}{s^4 \cdot m_1 \cdot m_2 + s^3 \cdot (b_1 \cdot m_2 + m_1 \cdot (b_1 + b_2)) + s^2 \cdot (k_1 \cdot m_2 + m_1 \cdot (k_1 + k_2) + b_1 \cdot b_2) + s \cdot (k_1 \cdot (b_1 + b_2)) + k_1 \cdot k_2}$$

Zadanie 1. Analiza w Control System Toolbox (CST)

- Przeprowadzić analizę, opierając się na przykładowym m-skrypcie z zadania 1 instrukcji.
- Zbadać własności obiektu, zmieniając parametry b_i i/lub k_i ⁶ (np. pętla for $k = 100:100:500$ end lub sterowanie z użyciem suwaka w oknie graficznym) – umieścić w tabeli: wartości współczynników transmitancji, pulsacje załamań i/lub rezonansu (porównać z wartością wyliczoną), wartości zer i biegunów dla kilku wybranych wartości parametrów b_i i k_i ;
- Zarejestrować przebieg sygnału wyjściowego z układu pod wpływem następującego pobudzenia (polecenie *lsim*, wektor czasu z krokiem 0.1 [s]):

⁵ Rzeczywiste wartości parametrów dla autobusu : $m_1=2500$ kg – masa ¼ pojazdu, $m_2= 320$ kg – masa zawieszenia, $k_1 = 80000$ N/m – stała sprężystości zawieszenia, $k_2 = 500000$ N/m – stała sprężystości kół i opon, $b_1 = 350$ Ns/m – współczynnik tłumienia zawieszenia, $b_2 = 15020$ Ns/m – współczynnik tłumienia kół i opon

⁶ Wybrać jeden lub więcej parametrów ($i = 1,2$).

$$x_o(t) = \begin{cases} 0.05 & t \in \langle 0 : 10 \rangle \\ 0 & t \in \langle 10 : 20 \rangle \text{ [s]} \\ -0.05 & t \in \langle 20 : 30 \rangle \end{cases}$$

4. Wyprowadzić analitycznie formuły matematyczne, umożliwiające wygenerowanie charakterystyk częstotliwościowych (wykres Nyquist'a i wykresy Bode'go), a następnie napisać m-funkcję w MatLabie.⁷

Zadanie 2. Analiza w programie Simulink

1. Zamodelować obiekt w oparciu o przykład z instrukcji – zadanie 2.
2. Sprawdzić własności filtrujące elementu – podać na wejście elementu pobudzenie harmoniczne (np. sinusoida) – (**Generator** lub **SinWave** ->**Sources**) – porównać z charakterystyką Bodego (przesuwanie kąta fazowego i zmiany modułu dla różnych pulsacji).
3. Umożliwić zapis wyników symulacji (wszystkie zmienne stanu, pobudzenie oraz podstawa czasu (**Sources**->**Clock**)) do przestrzeni roboczej a następnie napisać m-skrypt umożliwiający :
 - wygenerowanie wykresów wszystkich zmiennych (wyjściowych i stanu) w osobnych oknach graficznych;
 - przeprowadzenie symulacji modelu w Simulinku przy zmieniającym się parametrze b_i lub k_i (wykorzystać funkcję *sim()* oraz instrukcję *for end.*)

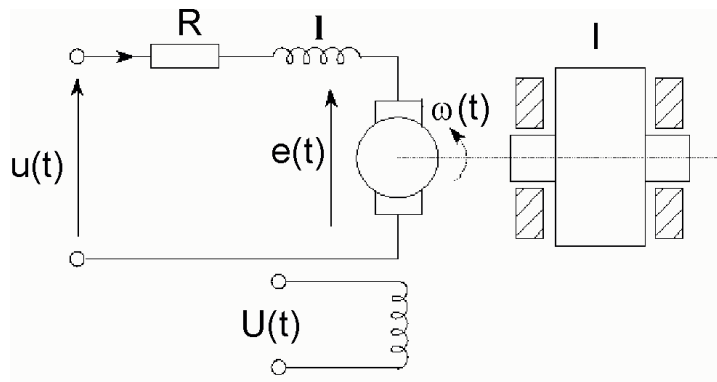
⁷ Oprzeć się na wyprowadzeniu przedstawionym w instrukcji dla obiektu inercyjnego I –go rzędu.

Obiekty 1, 7

Silnik prądu stałego

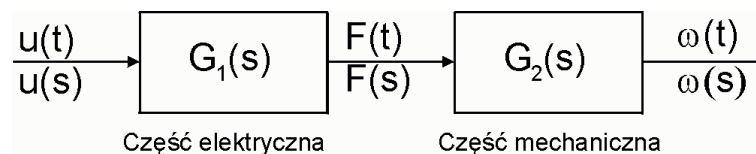
Silnik elektryczny jest to maszyna elektryczna przetwarzająca energię elektryczną prądu na energię mechaniczną. Moment obrotowy silnika elektrycznego powstaje wskutek dynamicznego oddziaływania pola magnetycznego na przewód z prądem umieszczony w tym polu. Pole magnetyczne jest wytworzone przez jedną lub kilka par biegunów elektromagnesów w umieszczonych zwykle w części nieruchomej silnika elektrycznego zwanej magniesnicą lub stojanem. Uzwojenie, w którym płyną prądy znajduje się najczęściej w części wirującej zwanej twornikiem lub wirnikiem. Silnik prądu stałego można traktować jako połączenie kaskadowe dwóch części – części elektrycznej i części mechanicznej.

Uproszczony schemat silnika:



Rys. Poglądowy schemat silnika prądu stałego.

Uproszczony model silnika:



Rys. Sposób przetwarzania sygnałów w silniku prądu stałego.

Aby opisać powyższy model należy przyjąć pewne założenia i uproszczenia. Jeśli chodzi o część elektryczną, należy pamiętać, że cewka rzeczywista posiada pewną oporność, więc należy ją analizować, jako układ złożony z cewki idealnej i opornika, należy także uwzględnić energię przekazywaną na wirnik:

Opis układu stanowią następujące równania:

1. Układ elektryczny:

$$U(t) = L \frac{di(t)}{dt} + Ri(t) + e(t)$$

gdzie $e(t)$ - siła elektromotoryczna silnika ($e(t) = k_E \omega(t)$)

k_E - współczynnik określający zależność siły elektromotorycznej indukowanej w wirniku od prędkości obrotowej.

2. Układ mechaniczny:

$$k_M i(t) = I \frac{d\omega(t)}{dt} + b\omega(t)$$

gdzie: k_M - współczynnik określający zależność momentu napędowego działającego na wirnik od strumienia i prądu w uzwojeniu (strumień pola jest stały – ponieważ źródłem pola magnetycznego są magnesy stałe).

Korzystając z przekształcenia Laplace'a uzyskujemy:

$$U(s) = Lsi(s) + Ri(s) + k_E \omega(s)$$

$$k_M i(s) = I\omega(s) + b\omega(s)$$

Po przekształceniu (wyznaczeniu $i(s)$ z drugiego równania i podstawienia go do pierwszego równania) uzyskujemy:

$$G_1(s) = \frac{\omega(s)}{U(s)} = \frac{k_M}{(Ls + R)(sI + b) + k_E}$$

W postaci rozwiniętej i uporządkowanej ze względu na zmienną „s”:

$$G_1(s) = \frac{\omega(s)}{U(s)} = \frac{k_M}{s^2(IL) + s(bL + RI) + Rb + k_E}$$
 jako obiekt sterowania prędkością obrotową wału silnika

W przypadku przyjęcia za wielkość wyjściową kąta obrotu wirnika $\alpha(s)$ uzyskujemy :

$$G_2(s) = \frac{\alpha(s)}{U(s)} = \frac{k_M}{s^3(IL) + s^2(bL + RI) + (Rb + k_E)s}$$
 jako obiekt sterowania kątem obrotu wału silnika

Oto przykładowe parametry silnika:

R	1	[Ω]
L	0.1	[H]
k_E	10	[Vs/rad]
k_M	10	[Nm/A]
I	0.1	[Vs ² /rad]
b	0.3	[Nm]
u	100	[V]

Zadanie 1. Analiza w Control System Toolbox (CST)

- Przeprowadzić analizę, opierając się na przykładowym m-skrypcie z zadania 1 instrukcji.
- Zbadać własności obiektu, zmieniając parametry L i/lub k_E ⁸ (np. pętla for $k_E = 100:100:500$ end lub sterowanie z użyciem suwaka w oknie graficznym) – umieścić w tabeli: wartości współczynników transmitancji, pulsacje załamań i/lub rezonansu (porównać z wartością wyliczoną), wartości zer i biegunów dla kilku wybranych wartości parametrów L i/lub k_E ;
- Zarejestrować przebieg sygnału wyjściowego z układu pod wpływem następującego pobudzenia (polecenie *lsim*, wektor czasu z krokiem 0.1 [s]):

$$U(t) = \begin{cases} 12 & t \in < 0:10 > \\ 0 & t \in (10:20) [s] \\ -12 & t \in (20:30) \end{cases}$$

- Wyprowadzić analitycznie formuły matematyczne, umożliwiające wygenerowanie charakterystyk częstotliwościowych (wykres Nyquist'a i wykresy Bode'go), a następnie napisać m-funkcję w MatLabie.⁹

Zadanie 2. Analiza w programie Simulink

- Zamodelować obiekt w oparciu o przykład z instrukcji – zadanie 2.
- Sprawdzić własności filtrujące elementu – podać na wejście elementu pobudzenie harmoniczne (np. sinusoida) – (**Generator** lub **SinWave ->Sources**) – porównać z charakterystyką Bodego (przesuwanie kąta fazowego i zmiany modułu dla różnych pulsacji).
- Umożliwić zapis wyników symulacji (wszystkie zmienne stanu, pobudzenie oraz podstawa czasu (**Sources->Clock**)) do przestrzeni roboczej a następnie napisać m-skrypt umożliwiający :
 - wygenerowanie wykresów wszystkich zmiennych (wyjściowych i stanu) w osobnych oknach graficznych;

⁸ Wybrać jeden lub więcej parametrów ($i = 1, 2$).

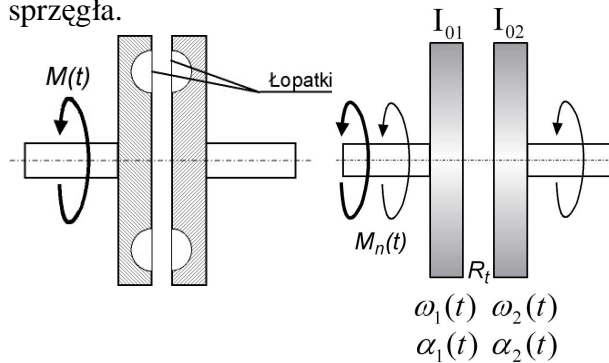
⁹ Oprzeć się na wprowadzeniu przedstawionym w instrukcji dla obiektu inercyjnego I – go rzędu.

-
- przeprowadzenie symulacji modelu w Simulinku przy zmieniającym się parametrze L lub k_E (wykorzystać funkcję *sim()* oraz instrukcję *for end.*)

Obiekt 5**Sprzęgło hydrauliczne**

Założenia :

układ liniowy, czasowo-inwariantny, pomijalne tarcie w łożyskach, idealne tarcie lepkie między tarczami sprzęgła.



I_{01}, I_{02} – momenty bezwładności [kgm ²] R_t – współczynnik tarcia lepkiego [] $M_n(t)$ – moment napędowy [Nm] $\alpha_1(t), \alpha_2(t)$ – przesunięcia kątowe [rad], [deg] $\omega_1(t), \omega_2(t)$ – prędkości kątowe [rad/s], [deg/s]

Wielkością wejściową jest moment napędowy $M_n(t)$, a wielkościami wyjściowymi przesunięcia kątowe $\alpha_1(t)$, $\alpha_2(t)$ lub prędkości kątowe $\omega_1(t)$, $\omega_2(t)$. W zamaskowanym modelu mają występować 3 parametry: I_{01}, I_{02} oraz R_t . Należy zbadać jak zmiany poszczególnych parametrów wpływają na przebieg wielkości $\alpha_1(t)$, $\alpha_2(t)$ oraz $\omega_1(t)$, $\omega_2(t)$.

Równania ruchu :

$$\begin{cases} M_n(t) = M_{m1}(t) + M_t(t) & \Rightarrow & M_n(t) = I_{01} \cdot \ddot{\alpha}_1(t) + R_t (\dot{\alpha}_1(t) - \dot{\alpha}_2(t)) \\ M_t(t) = M_{m2}(t) & \Rightarrow & R_t (\dot{\alpha}_1(t) - \dot{\alpha}_2(t)) = I_{02} \cdot \ddot{\alpha}_2(t) \end{cases}$$

Stąd po zastosowaniu twierdzenia o różniczkowaniu oraz odpowiednim przekształceniu równania uzyskujemy transmitancję operatorową :

$$G_1(s) = \frac{\alpha_2(s)}{M_n(s)} = \frac{R_t}{I_{01} \cdot I_{02} \cdot s^3 + (I_{01} + I_{02}) \cdot R_t \cdot s^2} \text{ jako model obiektu sterowania przesunięciem kątowym}$$

$\alpha_2(t)$
oraz

$$G_2(s) = \frac{\omega_2(s)}{M_n(s)} = \frac{R_t}{I_{01} \cdot I_{02} \cdot s^2 + (I_{01} + I_{02}) \cdot R_t \cdot s} \text{ jako model obiektu sterowania prędkością kątową } \omega_2(t)$$

Zadanie 1. Analiza w Control System Toolbox (CST)

- Przeprowadzić analizę, opierając się na przykładowym m-skrypcie z zadania 1 instrukcji.
- Zbadać własności obiektu, zmieniając parametry I_l i/lub R_t (np. pętla for $R_t = 100:100:500$ end lub sterowanie z użyciem suwaka w oknie graficznym) – umieścić w tabeli: wartości współczynników transmitancji, pulsacje załamań i/lub rezonansu (porównać z wartością wyliczoną), wartości zer i biegunów dla kilku wybranych wartości parametrów I_l i/lub R_t ;
- Zarejestrować przebieg sygnału wyjściowego z układu pod wpływem następującego pobudzenia (polecenie *lsim*, wektor czasu z krokiem 0.1 [s]):

$$M_n(t) = \begin{cases} 5 & t \in (0:10) \\ 0 & t \in (10:20) \text{ [s]} \\ -5 & t \in (20:30) \end{cases}$$

- Wywodzić analitycznie formuły matematyczne, umożliwiające wygenerowanie charakterystyk częstotliwościowych (wykres Nyquist'a i wykresy Bode'go), a następnie napisać m-funkcję w MatLabie.¹⁰

Zadanie 2. Analiza w programie Simulink

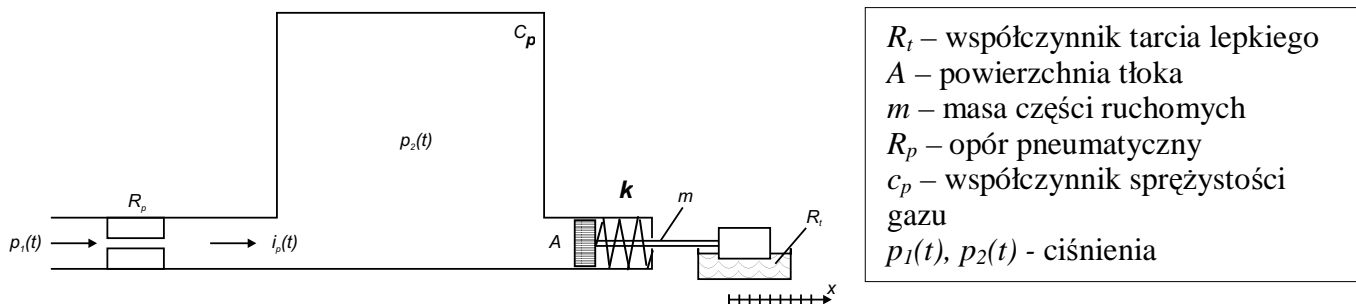
- Zamodelować obiekt w oparciu o przykład z instrukcji – zadanie 2.

¹⁰ Oprzeć się na wyprowadzeniu przedstawionym w instrukcji dla obiektu inercyjnego I – go rzędu.

2. Sprawdzić własności filtrujące elementu– podać na wejście elementu pobudzenie harmoniczne (np. sinusoida) – (**Generator** lub **SinWave ->Sources**) – porównać z charakterystyką Bodego (przesuwanie kąta fazowego i zmiany modułu dla różnych pulsacji).
3. Umożliwić zapis wyników symulacji (wszystkie zmienne stanu, pobudzenie oraz podstawa czasu (**Sources->Clock**)) do przestrzeni roboczej a następnie napisać m-skrypt umożliwiający :
 - wygenerowanie wykresów wszystkich zmiennych (wyjściowych i stanu) w osobnych oknach graficznych;
 - przeprowadzenie symulacji modelu w Simulinku przy zmieniającym się parametrze I_l lub R_l (wykorzystać funkcję *sim()* oraz instrukcję *for end.*)

Obiekt 8**Układ pneumatyczny zbiornik-siłownik tłokowy**

Założenia : układ liniowy, czasowo-inwariantny.



Wielkością wejściową jest ciśnienie zasilające $p_1(t)$, a wielkością wyjściową przesunięcie tłoka $x(t)$. W modelu ma występować 6 parametrów fizycznych: R_p , c , m , A . Należy zbadać jak zmiany poszczególnych parametrów wpływają na przebieg wielkości $x(t)$.

Część pneumatyczną opisuje następujące równanie:

$$p_1(t) = p_R(t) + p_2(t) \quad \text{gdzie} \quad p_2(t) = \frac{1}{c_p} \cdot \int_0^t i_p(t) dt$$

natomiast część mechaniczną równanie :

$$p_2(t) \cdot A = m \cdot \ddot{x}(t) + R_t \cdot \dot{x}(t) + k \cdot x(t)$$

Stąd po zastosowaniu twierdzenia o różniczkowaniu oraz odpowiednim przekształceniu równania uzyskujemy transmitancję operatorową :

$$G(s) = \frac{x(s)}{p_1(s)} = \frac{A}{(m \cdot s^2 + R_t \cdot s + k) \cdot (c_p R_p \cdot s + 1)}$$

Po wymnożeniu i uporządkowaniu względem zmiennej s uzyskujemy następującą postać transmitancji :

$$G(s) = \frac{x(s)}{p_1(s)} = \frac{A}{c_p R_p m \cdot s^3 + (R_t c_p R_p + m) \cdot s^2 + (k \cdot c_p R_p + R_t) \cdot s + k}$$

Zadanie 1. Analiza w Control System Toolbox (CST)

- Przeprowadzić analizę, opierając się na przykładowym m-skrypcie z zadania 1 instrukcji.
- Zbadać własności obiektu, zmieniając parametry R_p i/lub k i/lub A (np. pętla for $k=100:100:500$ end lub sterowanie z użyciem suwaka w oknie graficznym) – umieścić w tabeli : wartości współczynników transmitancji, pulsacje załamań i/lub rezonansu (porównać z wartością wyliczoną), wartości zer i biegunów dla kilku wybranych wartości parametrów R_p , k i A ;
- Zarejestrować przebieg sygnału wyjściowego z układu pod wpływem następującego pobudzenia (polecenie `lsim`, wektor czasu z krokiem 0.1 [s]):

$$p_1(t) = \begin{cases} 0.5 & t \in (0:10) \\ 0 & t \in (10:20) \\ -0.5 & t \in (20:30) \end{cases} [s]$$

- Wyrowadzić analitycznie formuły matematyczne, umożliwiające wygenerowanie charakterystyk częstotliwościowych (wykres Nyquist'a i wykresy Bode'go), a następnie napisać m-funkcję w MatLabie.¹¹

Zadanie 2. Analiza w programie Simulink

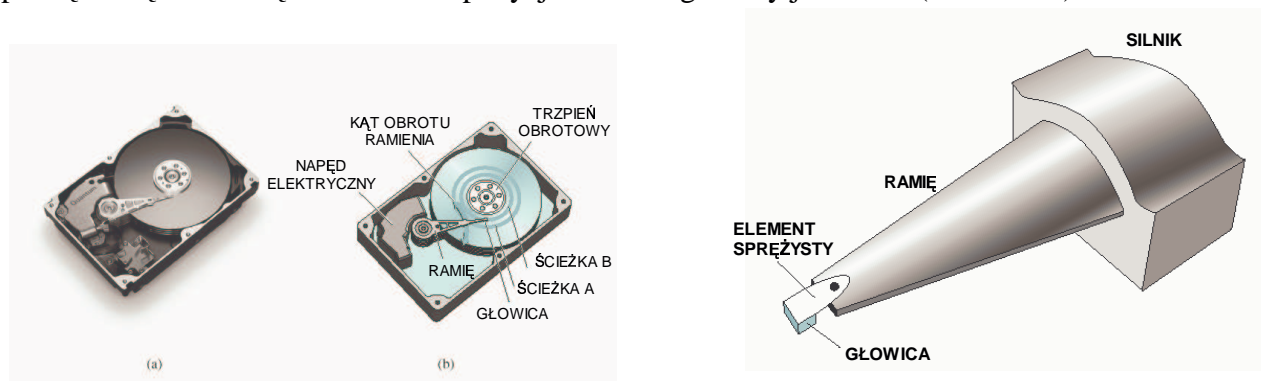
- Zamodelować obiekt w oparciu o przykład z instrukcji – zadanie 2.

¹¹ Oprzeć się na wyprowadzeniu przedstawionym w instrukcji dla obiektu inercyjnego I-go rzędu.

2. Sprawdzić własności filtrujące elementu– podać na wejście elementu pobudzenie harmoniczne (np. sinusoida) –(**Generator** lub **SinWave** ->**Sources**) - porównać z charakterystyką Bodego (przesuwanie kąta fazowego i zmiany modułu dla różnych pulsacji).
3. Umożliwić zapis wyników symulacji (wszystkie zmienne stanu, pobudzenie oraz podstawa czasu (**Sources**->**Clock**)) do przestrzeni roboczej a następnie napisać m-skrypt umożliwiający :
 - wygenerowanie wykresów wszystkich zmiennych (wyjściowych i stanu) w osobnych oknach graficznych;
 - przeprowadzenie symulacji modelu w Simulinku przy zmieniającym się parametrze R_p lub k (wykorzystać funkcję *sim()* oraz instrukcję *for end.*)

Obiekt 9**Napęd dysku twardego HDD**

Dyski magnetyczne służą do łatwego i efektywnego gromadzenia informacji. Napędy dysków o różnych pojemnościach są używane we wszystkich typach komputerów, od notebooków do wielkich komputerów. Zadaniem części odczytującej napędu dyskowego jest pozycjonowanie głowicy odczytującej (reader head) w taki sposób, aby móc odczytywać dane zapisane na ścieżce dysku. Zmienną ściśle odpowiedzialną za tą czynność jest pozycja głowicy czytającej (zamontowanej na stałe n ruchomym ramieniu), czyli de facto pozycja tego ramienia. Dysk obraca się z prędkością pomiędzy 1800 a 7200 obrotów na minutę, a głowica przesuwa się nad nim w odległości mniejszej niż 100 nm. Wartością początkową wartością dokładności pozycjonowania głowicy jest 1 um (mikrometr).



Rys. Widok napędu HDD oraz głowicy HDD

Poniżej przedstawiono model matematyczny napędu HDD wraz z przykładowymi wartościami parametrów fizycznych.

$$G(s) = \frac{x(s)}{U(s)} = \frac{k_m}{s \cdot (I \cdot s + b) \cdot (L \cdot s + R)}$$

W postaci rozwiniętej i uporządkowanej ze względu na zmienną „s”:

$$G(s) = \frac{x(s)}{U(s)} = \frac{k_m}{s^3 IL + s^2 (Lb + IR) + sbR}$$

Parametr	Symbol	Wartość typowa
Moment bezwładności ramienia i głowicy czytającej	I	1 N*m*s ² /rad
Współczynnik tarcia	b	20 kg/m/s
Oporność napędu elektrycznego	R	1 Ohm
Stała silnika	K_m	5 N*m/A
Induktancja napędu elektrycznego	L	0.001 H

Tab. Typowe parametry układu odczytu napędu dyskowego

Zadanie 1. Analiza w Control System Toolbox (CST)

- Przeprowadzić analizę, opierając się na przykładowym m-skrypcie z zadania 1 instrukcji.
- Zbadać własności obiektu, zmieniając parametry b i/lub I (np. pętla for $b = 100:100:500$ end lub sterowanie z użyciem suwaka w oknie graficznym) – umieścić w tabeli: wartości współczynników transmitancji, pulsacje załamania i/lub rezonansu (porównać z wartością wyliczoną), wartości zer i biegunów dla kilku wybranych wartości parametrów b i I ;
- Zarejestrować przebieg sygnału wyjściowego z układu pod wpływem następującego pobudzenia (polecenie `lsim`, wektor czasu z krokiem 0.1 [s]):

$$U(t) = \begin{cases} 12 & t \in \langle 0:10 \rangle \\ 0 & t \in \langle 10:20 \rangle \text{ [s]} \\ -12 & t \in \langle 20:30 \rangle \end{cases}$$

4. Wyprowadzić analitycznie formuły matematyczne, umożliwiające wygenerowanie charakterystyk częstotliwościowych (wykres Nyquist'a i wykresy Bode'go), a następnie napisać m-funkcję w MatLabie.¹²

Zadanie 2. Analiza w programie Simulink

1. Zamodelować obiekt w oparciu o przykład z instrukcji – zadanie 2.
2. Sprawdzić własności filtrujące elementu – podać na wejście elementu pobudzenie harmoniczne (np. sinusoida) – (**Generator** lub **SinWave** ->**Sources**) - porównać z charakterystyką Bodego (przesuwanie kąta fazowego i zmiany modułu dla różnych pulsacji).
3. Umożliwić zapis wyników symulacji (wszystkie zmienne stanu, pobudzenie oraz podstawa czasu (**Sources**->**Clock**)) do przestrzeni roboczej a następnie napisać m-skrypt umożliwiający :
 - wygenerowanie wykresów wszystkich zmiennych (wyjściowych i stanu) w osobnych oknach graficznych;
 - przeprowadzenie symulacji modelu w Simulinku przy zmieniającym się parametrze I lub b (wykorzystać funkcję $sim()$ oraz instrukcję *for end.*)

¹² Oprzeć się na wyprowadzeniu przedstawionym w instrukcji dla obiektu inercyjnego I –go rzędu.