

Laboratorium
Symulacja i przetwarzania danych

Instrukcja ćwiczenia

Ćwiczenie nr	1
Temat :	Badanie symulacyjne modelu ruchu suwaka ze sprężyną.
Stanowisko laboratoryjne	1
Opracował :	

Obowiązuje w roku akademicki

Rok akademicki	Zatwierdził	Data	Podpis

Instrukcja nr.1

1. Temat ćwiczenia:

Badanie symulacyjne modelu ruchu suwaka ze sprężyną.

2. Cel ćwiczenia:

celem ćwiczenia jest zapoznanie się z elementami i zasadą modelowania i symulacji komputerowej procesów dynamicznych.

3. Zakres wymaganych wiadomości:

mechanika ogólna, podstawy programowania w Matlab'ie, podstawy automatyki.

4. Pomoce i urządzenia:

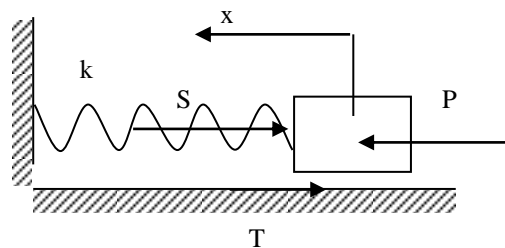
zestaw komputerowy z pakietem Simulink oprogramowania Matlab

1. Cel ćwiczenia:

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z elementami i zasadą modelowania i symulacji komputerowej procesów dynamicznych.

2. Wprowadzenie:

Przeprowadzić symulację procesu ruchu suwaka w poziomych prowadnicach (rys. 1). Przez $x = x(t)$ oznaczamy przesunięcie suwaka względem nieruchomej prowadnicy w kierunku zgodnym z kierunkiem siły wymuszającej P .



Rys.1. Suwak na prowadnicy ze sprężyną.

Suwak o masie m jest połączony do obudowy za pomocą ściskanej sprężyny o sztywności k , który wywiera na suwak siłę $S(x)$ i jest pobudzany znaną siłą poosiową $P(t)$. Sprężynę przyjmujemy jako idealną (nieważką i bez histerezy). Przyjmujemy, że występuje tarcie suche między stykającymi się powierzchniami oraz współczynnik tarcia suchego μ ma inną wartość w spoczynku (statyczne) i inną w ruchu (kinetyczne). Założymy ponadto, że siła oporu powietrza jest proporcjonalna do kwadratu prędkości.

W stanach nieustalonych, tzn. przy zmiennej prędkości, na suwak działają następujące siły w kierunku ruchu:

- siła bezwładności, $A = -m\ddot{x}$
- siły zewnętrzne (wymuszenie P i siła sprężyny S), których wypadkową jest siła $P-S$,
- siła tarcia suchego T ,
- siła oporu powietrza O .

Do utworzenia modelu matematycznego wykorzystamy drugą zasadę dynamiki Newtona, mówiącą że suma powyższych sił musi być równa zero:

$$-m\ddot{x} + P(t) - S(t) - T(t) - O(t) = 0 \quad /1/$$

zatem

$$-m\ddot{x} + P(t) - k \cdot x(t) - T(t) - c(\dot{x})^2 \cdot \text{sign}[\dot{x}(t)] = 0 \quad /2/$$

Siłę tarcia suchego musimy rozdzielić na tarcie kinetyczne i spoczynkowe odpowiednio dla przypadku ruchu i bezruchu suwaka:

$$T(t) = \begin{cases} T_{sp} & \text{dla } \dot{x} = 0 \\ T_k & \text{dla } \dot{x} \neq 0 \end{cases} \quad /3/$$

Siła tarcia kinetycznego jest proporcjonalna do siły nacisku suwaka na podłoże oraz współczynnika tarcia kinetycznego. Natomiast w przypadku tarcia spoczynkowego, siła ta występuje w celu unieruchomienia suwaka kompensując z pozostałymi siłami. Osiąga ona największą wartość równą iloczynowi siły nacisku z współczynnikiem tarcia spoczynkowego, po czym zamienia się w tarcie kinetyczne gdy siły zewnętrzne ją przewyższają i wprawiają w ruch suwak.

$$T_{sp} = P(t) - S(t), \text{ dla } |P(t) - S(t)| \leq \mu_{sp} mg \quad /4/$$

Ponieważ siła tarcia kinetycznego zmienia swój zwrot w zależności od kierunku ruchu suwaka, musimy uwzględnić znak tej siły w równaniu ruchu suwaka, czyli:

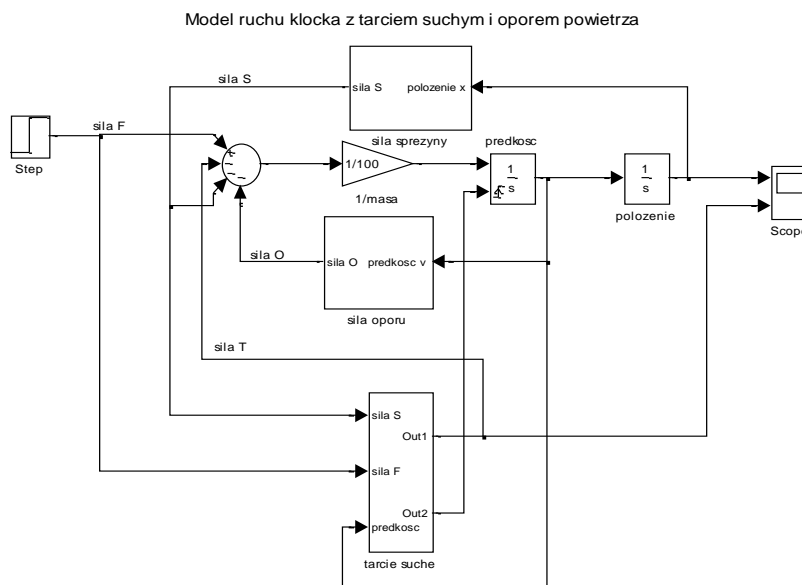
$$T_k = \mu_k mg \cdot \text{sign}(\dot{x}) \quad /5/$$

3. Model komputerowy:

Równanie ruchu suwaka możemy napisać w postaci funkcji rozwikłanej względem najwyższej pochodnej zmiennej $x(t)$:

$$\ddot{x} = \frac{1}{m} [P(t) - S(t) - T(t) - O(t)] \quad /6/$$

Model komputerowy tego równania można zbudować w następującej postaci :



Rys. 2. Model komputerowy ruchu suwaka ze sprężyną

W tym modelu poszczególne bloki (podsystemy) przedstawiają obliczenie siły sprężyny, siły oporu powietrza i tarcia suchego.

Przejście z tarcia kinetycznego na spoczynkowe wykorzystuje się także do wyzerowania elementu całkującego prędkość suwaka. W ten sposób unika się pętlę obliczenia ze zmiennym krokiem przy wartościach bliskich 0. Żeby skrócić czas obliczenia można stosować blok „*Deadzone*” do zerowania prędkości przy wartościach bliskich 0.

Do modelowania siły tarcia spoczynkowego stosuje się blok „*Saturation*” podając górną i dolną wartość do ograniczenia jej wartości zgodnie z nierównością /4/.

4. Przebieg ćwiczenia

1. Zbudować model symulacyjny układu przedstawionego na rysunku /2/.
2. Przeprowadzić badanie modelu pod względem wpływu parametrów układu na jego dynamikę. Funkcje i zakres zmian tych parametrów podaje prowadzący ćwiczenie.
3. Wyniki należy przedstawić w postaci wykresu pokazującego różnicę przebiegu badanych zmiennych przed i po zmianie parametrów układu. Należy przeprowadzić analizę wyników i podać wnioski na temat wpływu tych parametrów na dynamikę układu.
4. Przeprowadzić badanie modelu pod względem wpływu otoczenia na jego dynamikę. Funkcje i zakres zmian tych parametrów podaje prowadzący ćwiczenie.
5. Wyniki należy przedstawić w postaci wykresu pokazującego różnicę przebiegu badanych zmiennych przed i po zmianie wymuszenia na układ. Należy przeprowadzić analizę wyników i podać wnioski na temat wpływu wymuszenia na dynamikę układu.
6. Przeprowadzić badanie modelu pod względem wpływu warunków początkowych układu na jego dynamikę. Funkcje i zakres zmian tych warunków podaje prowadzący ćwiczenie.
7. Wyniki należy przedstawić w postaci wykresu pokazującego różnicę przebiegu badanych zmiennych przed i po zmianie warunków początkowych układu. Należy przeprowadzić analizę wyników i podać wnioski na temat wpływu warunków początkowych na dynamikę układu.

5. Sprawozdanie z ćwiczenia

W sprawozdaniu należy podać:

1. Część tytułowa: Wykonawcy, daty, tytuł opracowania
2. Opis badanego obiektu i charakterystyka procesów w obiekcie
3. Zakres modelowanego obiektu
4. Cel symulacji
5. Wielkości wejściowe i wyjściowe:

- tablica zmiennych i stałych (parametrów) z następującymi kolumnami: nazwa zmiennej, zastosowany symbol w modelu matematycznym, nazwa symboliczna w modelu komputerowym, jednostka miary, wartość lub zakres wartości,
 - lista wymuszeń i ich charakterystyka,
 - lista zakłóceń i ich charakterystyka,
 - lista wielkości wyjściowych.
6. Model fizyczny (nominalny): Opis procesów elementarnych w obiekcie, założenia i uproszczenia
 7. Model matematyczny
 8. Weryfikacja modelu symulacyjnego
 9. Opis eksperymentów symulacyjnych
 10. Syntetyczne wyniki symulacji
 - Zestawienie wyników
 - Ocena wiarygodności i dokładności wyników
 - Uwagi co do wpływu uproszczeń,
 - Wykryte własności obiektu i procesu
 11. Podsumowanie:
 - wnioski
 - dyskusja uproszczeń, języka symulacji,
 - ocena czy zrealizowano cele symulacji,
 - sugestie dalszych badań.

Instrukcja ćwiczenia

Ćwiczenie nr	2
Temat :	Badanie symulacyjne modelu ruchu układu złożonego.
Stanowisko laboratoryjne	2
Opracował :	

Obowiązuje w roku akademicki

Rok akademicki	Zatwierdził	Data	Podpis

Instrukcja nr.2

1. Temat ćwiczenia:

Badanie symulacyjne modelu ruchu układu złożonego.

2. Cel ćwiczenia:

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z elementami i zasadą modelowania i symulacji komputerowej procesów dynamicznych.

3. Zakres wymaganych wiadomości:

Mechanika ogólna, podstawy programowania w Matlab'ie, podstawy automatyki.

4. Pomoce i urządzenia:

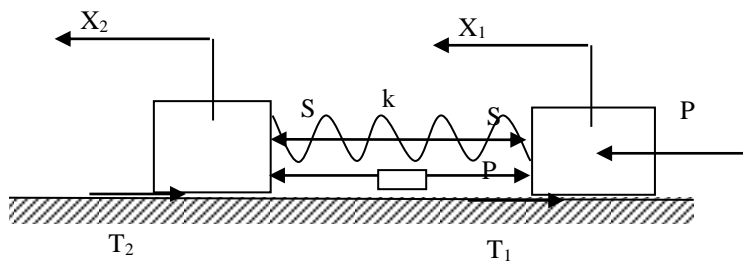
Zestaw komputerowy z pakietem Simulink oprogramowania Matlab

1. Cel ćwiczenia:

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z elementami i zasadą modelowania i symulacji komputerowej procesów dynamicznych.

2. Wprowadzenie:

Przeprowadzić symulację procesu ruchu układu 2 suwaków o masie m_1 i m_2 , połączonych za pomocą sprężyny o sztywności K i amortyzatora o współczynniku tłumienia B , w poziomych prowadnicach (rys. 1). Przez x_1 i x_2 oznaczamy odpowiednio przesunięcie suwaka m_1 i m_2 względem nieruchomej prowadnicy w kierunku zgodnym z kierunkiem siły wymuszającej P .



Rys.1. Układ dwóch suwaków połączonych sprężyną i amortyzatorem.

Sprężynę przyjmujemy jako idealną (nieważką i bez histerezy). Przyjmujemy, że występuje tarcie suche między stykającymi się powierzchniami oraz współczynnik tarcia suchego μ ma inną wartość w spoczynku (statyczne) i inną w ruchu (kinetyczne). Założymy ponadto, że siła tłumienia jest proporcjonalna do prędkości ruchu tłoka względem cylindra tłumika oraz siła oporu powietrza jest proporcjonalna do kwadratu prędkości.

W stanach nieustalonych, tzn. przy zmiennej prędkości, na każdy suwak działają następujące siły w kierunku ruchu:

- siła bezwładności, $A = -m\ddot{x}$
- siła sprężyny S ,
- siła tłumienia V ,
- siła tarcia suchego T ,

oraz na suwak 1 dodatkowo działa siła wymuszenia P .

W tak przyjętym założeniu, układ posiada 2 stopnie swobody. Wykorzystamy drugą zasadę dynamiki Newtona do napisania równania ruchu dla każdego z tych suwaków:

$$m_1 \ddot{x}_1 = P(t) - S(t) - T_1(t) - V(t) \quad /1/$$

$$m_2 \ddot{x}_2 = S(t) - T_2(t) + V(t) \quad /2/$$

Sprężyna oddziałuje na oba suwaki w przeciwnych kierunkach tą samą siłą, zależną od odległości między suwakami:

$$S(t) = k[x_1(t) - x_2(t)] \quad /3/$$

Podobnie jak w przypadku tłumika, lecz jego siła oddziaływania zależy od prędkości zmiany odległości między suwakami:

$$V(t) = B[\dot{x}_1(t) - \dot{x}_2(t)] \quad /4/$$

-Dla suwaka 1:

Siłę tarcia suchego musimy rozdzielić na tarcie kinetyczne i spoczynkowe odpowiednio dla przypadku ruchu i bezruchu:

$$T_1(t) = \begin{cases} T_{sp1} & \text{dla } \dot{x}_1 = 0 \\ T_{k1} & \text{dla } \dot{x}_1 \neq 0 \end{cases} \quad /5/$$

Siła tarcia kinetycznego jest proporcjonalna do siły nacisku suwaka na podłoże oraz współczynnika tarcia kinetycznego. Natomiast w przypadku tarcia spoczynkowego, siła ta występuje w celu unieruchomienia suwaka kompensując z pozostałymi siłami. Osiąga ona największą wartość równą iloczynowi siły nacisku z współczynnikiem tarcia spoczynkowego, po czym zamienia się w tarcie kinetyczne gdy siły zewnętrzne ją przewyższają i wprawiają w ruch suwak.

$$T_{sp1} = P(t) - S(t) - V(t), \text{ dla } |P(t) - S(t) - V(t)| \leq \mu_{sp} m_1 g \quad /6/$$

Ponieważ siła tarcia kinetycznego zmienia swój zwrot w zależności od kierunku ruchu suwaka, musimy uwzględnić znak tej siły w równaniu ruchu suwaka, czyli:

$$T_{k1} = \mu_k m_1 g \cdot \text{sign}(\dot{x}_1) \quad /7/$$

-Dla suwaka 2:

$$T_2(t) = \begin{cases} T_{sp2} & \text{dla } \dot{x}_2 = 0 \\ T_{k2} & \text{dla } \dot{x}_2 \neq 0 \end{cases} \quad /8/$$

$$T_{sp2} = S(t) + V(t), \text{ dla } |S(t) + V(t)| \leq \mu_{sp} m_2 g \quad /9/$$

$$T_{k2} = \mu_k m_2 g \cdot \text{sign}(\dot{x}_2) \quad /10/$$

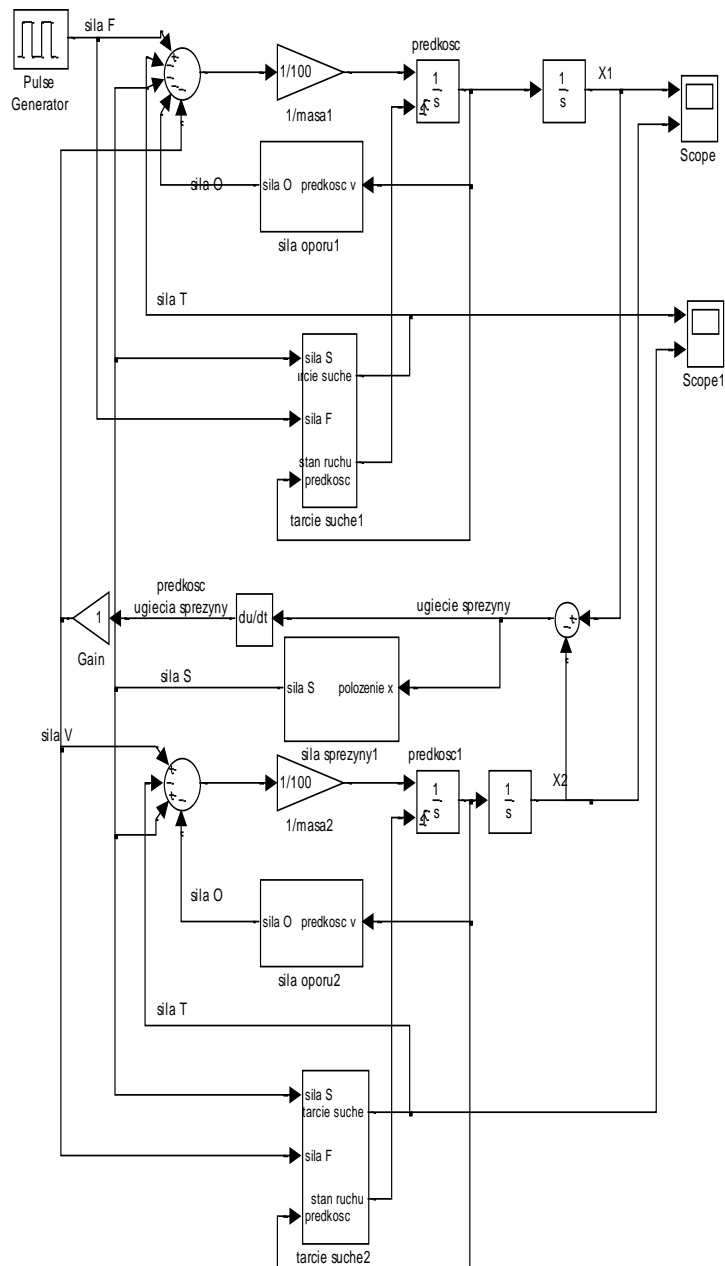
3. Model komputerowy:

Równania ruchu suwaków możemy napisać w postaci funkcji rozwikłanej względem najwyższej pochodnej zmiennej $x_1(t)$ i $x_2(t)$:

$$\ddot{x}_1 = \frac{1}{m_1} [P(t) - S(t) - T_1(t) - V(t) - O_1(t)] \quad /11/$$

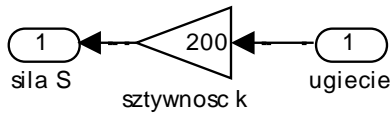
$$\ddot{x}_2 = \frac{1}{m_2} [S(t) - T_2(t) + V(t) - O_2(t)] \quad /12/$$

Model komputerowy tego układu równań można zbudować w następującej postaci :

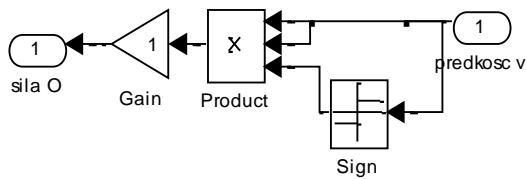


Rys. 2. Model komputerowy ruchu dwóch suwaków połączonych sprężyną i tłumikiem.

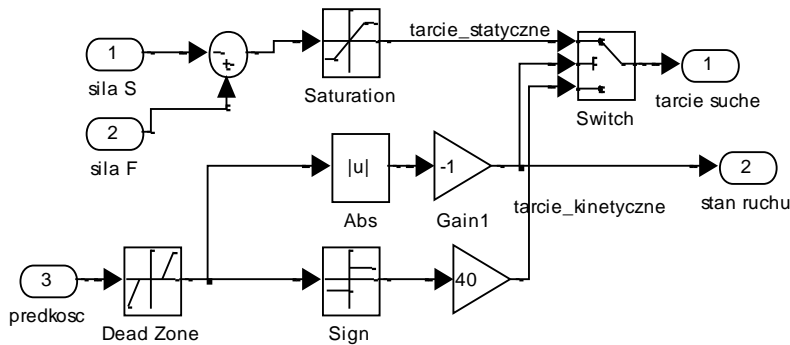
W tym modelu siła sprężyny i tłumika zostały skierowane do modelu ruchu suwaka 1 i 2 z odpowiednim znakiem zgodnie z równaniami /11/ i /12/. Poszczególne bloki (podsystemy) przedstawiają obliczenie siły sprężyny, siły oporu powietrza i tarcia suchego.



Rys. 3. Model komputerowy siły sprężyny



Rys. 4. Model komputerowy siły oporu powietrza.



Rys. 5. Model komputerowy siły tarcia suchego.

W tym ostatnim stosuje się blok „Switch” do modelowania tarcia suchego, gdzie ustawia się parametr „Threshold” równy 0 jako wartość progową dla wejścia warunku u_2 . Jako warunek przejścia przez blok, podaje się wartość $u_2 = -|\dot{x}|$, która spełnia nierówności:

$$u_2 \geq 0 \text{ dla } \dot{x} = 0$$

$$u_2 < 0 \text{ dla } \dot{x} \neq 0$$

Czyli:

$$y = \begin{cases} u_1 = \text{tarcie statyczne, dla } u_2 \geq 0 \\ u_3 = \text{tarcie kinetyczne, dla } u_2 < 0 \end{cases}$$

Przejście z tarcia kinetycznego na spoczynkowe wykorzystuje się także do wyzerowania elementu całkującego prędkość suwaka. W ten sposób unika się pętlę obliczenia ze zmiennym krokiem przy wartościach bliskich 0. Żeby skrócić czas obliczenia można stosować blok „Deadzone” do zerowania prędkości przy wartościach bliskich 0.

Do modelowania siły tarcia spoczynkowego stosuje się blok „Saturation” podając górną i dolną wartość do ograniczenia jej wartości zgodnie z nierównością /4/.

4. Przebieg ćwiczenia

1. Zbudować model symulacyjny układu przedstawionego na rysunku /2/.
2. Przeprowadzić badanie modelu pod względem wpływu parametrów układu na jego dynamikę. Funkcje i zakres zmian tych parametrów podaje prowadzący ćwiczenie.
3. Wyniki należy przedstawić w postaci wykresu pokazującego różnicę przebiegu badanych zmiennych przed i po zmianie parametrów układu. Należy przeprowadzić analizę wyników i podać wnioski na temat wpływu tych parametrów na dynamikę układu.
4. Przeprowadzić badanie modelu pod względem wpływu otoczenia na jego dynamikę. Funkcje i zakres zmian tych parametrów podaje prowadzący ćwiczenie.
5. Wyniki należy przedstawić w postaci wykresu pokazującego różnicę przebiegu badanych zmiennych przed i po zmianie wymuszenia na układ. Należy przeprowadzić analizę wyników i podać wnioski na temat wpływu wymuszenia na dynamikę układu.
6. Przeprowadzić badanie modelu pod względem wpływu warunków początkowych układu na jego dynamikę. Funkcje i zakres zmian tych warunków podaje prowadzący ćwiczenie.
7. Wyniki należy przedstawić w postaci wykresu pokazującego różnicę przebiegu badanych zmiennych przed i po zmianie warunków początkowych układu. Należy przeprowadzić analizę wyników i podać wnioski na temat wpływu warunków początkowych na dynamikę układu.

5. Sprawozdanie z ćwiczenia

W sprawozdaniu należy podać:

1. Część tytułowa: Wykonawcy, daty, tytuł opracowania
2. Opis badanego obiektu i charakterystyka procesów w obiekcie
3. Zakres modelowanego obiektu
4. Cel symulacji
5. Wielkości wejściowe i wyjściowe:
 - tablica zmiennych i stałych (parametrów) z następującymi kolumnami:
nazwa zmiennej, zastosowany symbol w modelu matematycznym, nazwa

- symboliczna w modelu komputerowym, jednostka miary, wartość lub zakres wartości,
- lista wymuszeń i ich charakterystyka,
 - lista zakłóceń i ich charakterystyka,
 - lista wielkości wyjściowych.
6. Model fizyczny (nominalny): Opis procesów elementarnych w obiekcie, założenia i uproszczenia
 7. Model matematyczny
 8. Weryfikacja modelu symulacyjnego
 9. Opis eksperymentów symulacyjnych
 10. Syntetyczne wyniki symulacji
 - Zestawienie wyników
 - Ocena wiarygodności i dokładności wyników
 - Uwagi co do wpływu uproszczeń,
 - Wykryte własności obiektu i procesu
 11. Podsumowanie:
 - wnioski
 - dyskusja uproszczeń, języka symulacji,
 - ocena czy zrealizowano cele symulacji,
 - sugestie dalszych badań.

Laboratorium
Symulacja i przetwarzania danych

Instrukcja ćwiczenia

Ćwiczenie nr	3
Temat :	Badanie symulacyjne modelu tarcia tocznego.
Stanowisko laboratoryjne	3
Opracował :	

Obowiązuje w roku akademicki

Rok akademicki	Zatwierdził	Data	Podpis

Instrukcja nr.3

1. Temat ćwiczenia:

Badanie symulacyjne modelu tarcia tocznego.

2. Cel ćwiczenia:

celem ćwiczenia jest zapoznanie się z elementami i zasadą modelowania i symulacji komputerowej procesów dynamicznych.

3. Zakres wymaganych wiadomości:

mechanika ogólna, podstawy programowania w Matlab'ie, podstawy automatyki.

4. Pomoce i urządzenia:

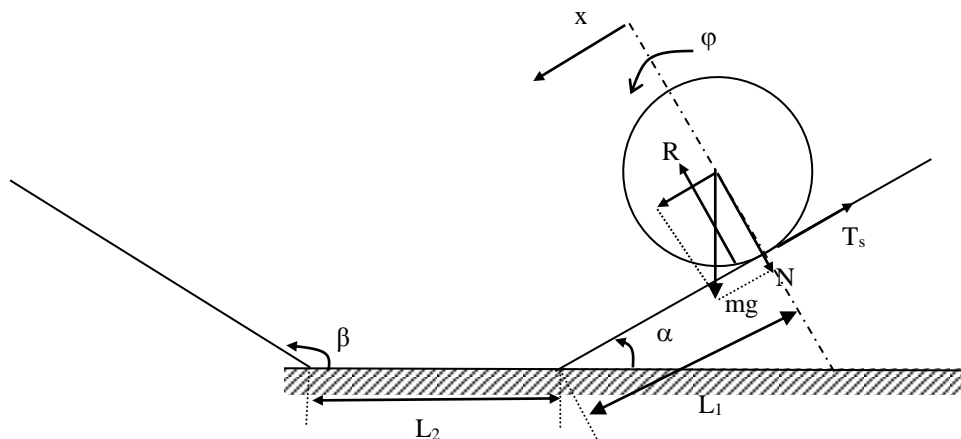
zestaw komputerowy z pakietem Simulink oprogramowania Matlab

1. Cel ćwiczenia:

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z elementami i zasadą modelowania i symulacji komputerowej procesów dynamicznych.

2. Wprowadzenie:

Przeprowadzić symulację procesu ruchu walca o masie m , średnicy D , długości L i momencie bezwładności I , starczającego się po równi pochyłej o kąt α względem poziomu (rys. 1). Przez φ i x oznaczamy odpowiednio kierunek obrotu walca wokół osi symetrii i przesunięcie środka walca wzdłuż równi pochyłej.



Rys.1. Model ruchu walca z tarciem tocznym po równi pochyłej.

W tym modelu występują równocześnie ruch obrotowy wokół osi symetrii walca oraz ruch postępowy walca wzdłuż równi pochyłej. W ruchu obrotowym przyjmuje się następujący model tarcia tocznego: w wyniku mikro-poślizgu występującego między powierzchniami w ruchu obrotowym, siła reakcji podłoża R jest przesunięta o odcinek f od siły nacisku N w kierunku obrotu. Para sił R - N działająca na ramieniu f tworzy moment oporowy od tarcia tocznego podczas toczenia walca po równi. Odcinek f nazywamy współczynnikiem tarcia tocznego i ma wymiar długości. Natomiast moment napędowy ruchu obrotowego stanowi siła tarcia suchego działająca na promieniu walca.

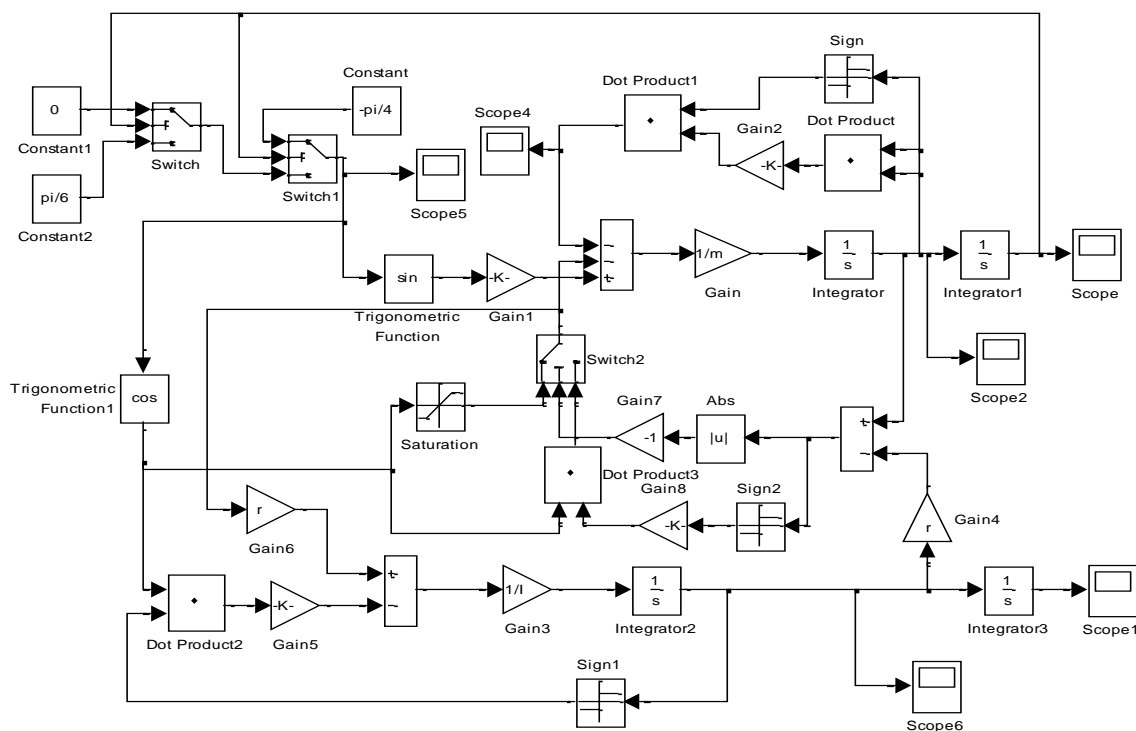
Przyjmujemy, że występuje tarcie suche poślizgu między stykającymi się powierzchniami oraz współczynnik tarcia suchego μ ma inną wartość w poślizgu (kinetyczne) i inną w przypadku bez poślizgu (statyczne). Miarą poślizgu jest różnica prędkości obwodowej i prędkości liniowej walca:

$$s = \dot{x} - r\dot{\varphi}$$

Założymy ponadto, że siła oporu powietrza jest proporcjonalna do kwadratu prędkości.

W tak przyjętym założeniu, układ posiada 2 stopnie swobody, czyli 2 niezależne równania ruchu:

równanie ruchu postępowego osi symetrii walca:



Rys. 3. Model komputerowy ruchu walca.

4. Przebieg ćwiczenia

1. Zbudować model symulacyjny układu przedstawionego na rysunku /2/.
2. Przeprowadzić badanie modelu pod względem wpływu parametrów układu na jego dynamikę. Funkcje i zakres zmian tych parametrów podaje prowadzący ćwiczenie.
3. Wyniki należy przedstawić w postaci wykresu pokazującego różnicę przebiegu badanych zmiennych przed i po zmianie parametrów układu. Należy przeprowadzić analizę wyników i podać wnioski na temat wpływu tych parametrów na dynamikę układu.
4. Przeprowadzić badanie modelu pod względem wpływu otoczenia na jego dynamikę. Funkcje i zakres zmian tych parametrów podaje prowadzący ćwiczenie.
5. Wyniki należy przedstawić w postaci wykresu pokazującego różnicę przebiegu badanych zmiennych przed i po zmianie wymuszenia na układ. Należy przeprowadzić analizę wyników i podać wnioski na temat wpływu wymuszenia na dynamikę układu.
6. Przeprowadzić badanie modelu pod względem wpływu warunków początkowych układu na jego dynamikę. Funkcje i zakres zmian tych warunków podaje prowadzący ćwiczenie.

7. Wyniki należy przedstawić w postaci wykresu pokazującego różnicę przebiegu badanych zmiennych przed i po zmianie warunków początkowych układu. Należy przeprowadzić analizę wyników i podać wnioski na temat wpływu warunków początkowych na dynamikę układu.

5. Sprawozdanie z ćwiczenia

W sprawozdaniu należy podać:

1. Część tytułowa: Wykonawcy, daty, tytuł opracowania
2. Opis badanego obiektu i charakterystyka procesów w obiekcie
3. Zakres modelowanego obiektu
4. Cel symulacji
5. Wielkości wejściowe i wyjściowe:
 - tablica zmiennych i stałych (parametrów) z następującymi kolumnami: nazwa zmiennej, zastosowany symbol w modelu matematycznym, nazwa symboliczna w modelu komputerowym, jednostka miary, wartość lub zakres wartości,
 - lista wymuszeń i ich charakterystyka,
 - lista zakłóceń i ich charakterystyka,
 - lista wielkości wyjściowych.
6. Model fizyczny (nominalny): Opis procesów elementarnych w obiekcie, założenia i uproszczenia
7. Model matematyczny
8. Weryfikacja modelu symulacyjnego
9. Opis eksperymentów symulacyjnych
10. Syntetyczne wyniki symulacji
 - Zestawienie wyników
 - Ocena wiarygodności i dokładności wyników
 - Uwagi co do wpływu uproszczeń,
 - Wykryte własności obiektu i procesu
11. Podsumowanie:
 - wnioski
 - dyskusja uproszczeń, języka symulacji,
 - ocena czy zrealizowano cele symulacji,
 - sugestie dalszych badań.

Instrukcja ćwiczenia

Ćwiczenie nr	4
Temat :	Badanie symulacyjne modelu układu antypoślizgowego (ABS).
Stanowisko laboratoryjne	4
Opracował :	

Obowiązuje w roku akademicki

Rok akademicki	Zatwierdził	Data	Podpis

Instrukcja nr.4

1. Temat ćwiczenia:

Badanie układu antypoślizgowego z wykorzystaniem symulacyjnego modelu tarcia tocznego.

2. Cel ćwiczenia:

celem ćwiczenia jest zapoznanie się z elementami i zasadą modelowania układu regulacji w symulacji komputerowej procesów dynamicznych.

3. Zakres wymaganych wiadomości:

mechanika ogólna, podstawy programowania w Matlab'ie, podstawy automatyki.

4. Pomoce i urządzenia:

zestaw komputerowy z pakietem Simulink oprogramowania Matlab

1. Cel ćwiczenia:

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z elementami i zasadą modelowania układu regulacji w symulacji komputerowej procesów dynamicznych.

2. Wprowadzenie:

ABS (Anti-Lock Braking System) to układ stosowany w pojazdach mechanicznych w celu zapobiegania blokowaniu się kół podczas hamowania, jako element układu hamulcowego. ABS zapobiega zjawiskom występującym po zablokowaniu kół, takim jak ściąganie samochodu w bok, wirowanie samochodu, utrata kontroli nad kierowaniem samochodem.

Zasada działania

Utrata sterowności samochodu podczas hamowania następuje, gdy koła z co najmniej jednej osi samochodu przestają się obracać. Wówczas różnice sił hamowania na poszczególnych kołach wprawiają samochód w ruch obrotowy wokół osi pionowej. By zapobiec temu zjawisku, wprowadzono system zapobiegający blokowaniu (zatrzymywaniu) kół podczas hamowania. System naśladuje hamowanie impulsowe ale robi to znacznie dokładniej niż kierowca, gdyż pozwala na utrzymanie współczynnika poślizgu koła na poziomie 10-30%. W tych warunkach sterowność pojazdu zachowana jest na satysfakcjonującym poziomie (koła wciąż mogą przenosić stosunkowo wysokie siły poprzeczne odpowiedzialne za sterowność), a jednocześnie współczynnik przyczepności jest zbliżony do wartości współczynnika przyczepności przyłgowej (najwyższej osiągalnej dla danej nawierzchni), co pozwala na skrócenie drogi hamowania.

System kontroluje obroty kół podczas hamowania i jeżeli jedno z kół obraca się wolniej niż pozostałe, to system ABS zmniejsza na chwile siłę hamowania obwodu, w którym jest to koło lub tylko tego koła (w nowszych układach); jeżeli koło ponownie zacznie się obracać, siła hamowania jest ponownie zwiększana. Cykle redukcji siły hamowania są bardzo szybkie.

Budowa

Typowy system ABS zbudowany jest z układów kontrolujących prędkość obrotową każdego z kół oraz zaworów (układów) zmniejszających ciśnienie oddzielnie w każdym obwodzie hamowania, a w rozbudowanych układach indywidualnie na każdym kole. Działanie zaworów jest sterowane przez system komputerowy na podstawie obrotów kół.

Podstawowe elementy układu ABS (czterooobwodowego)

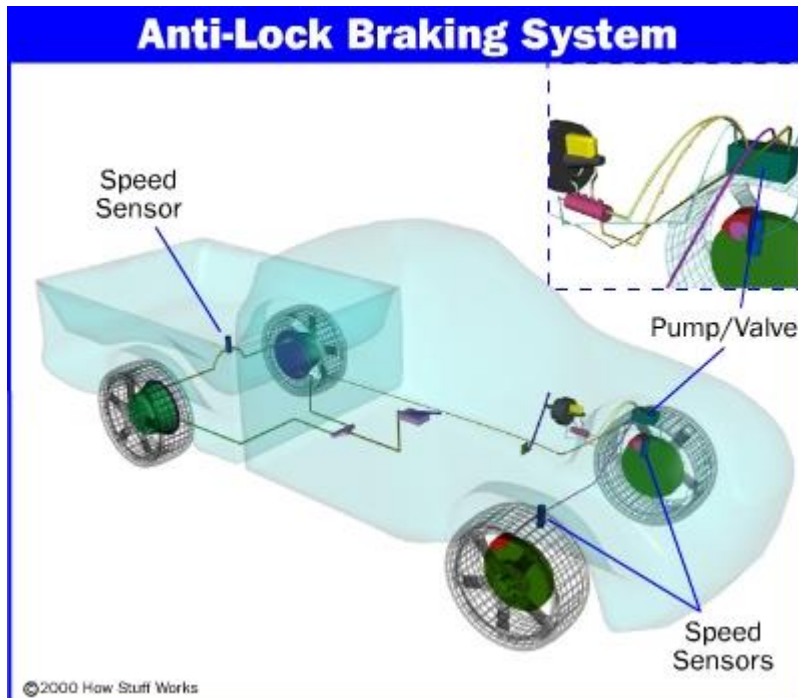
1. Czujniki prędkości obrotowej kół jezdnych (działające na zasadzie indukcji magnetycznej, bez zużywających się elementów mechanicznych)

2. Elektrozawory regulujące ciśnienie w obwodzie każdego koła
(elektrozawory z wyłączonym zasilaniem nie wpływają na pracę układu hamulcowego)
3. Centrala sterująca

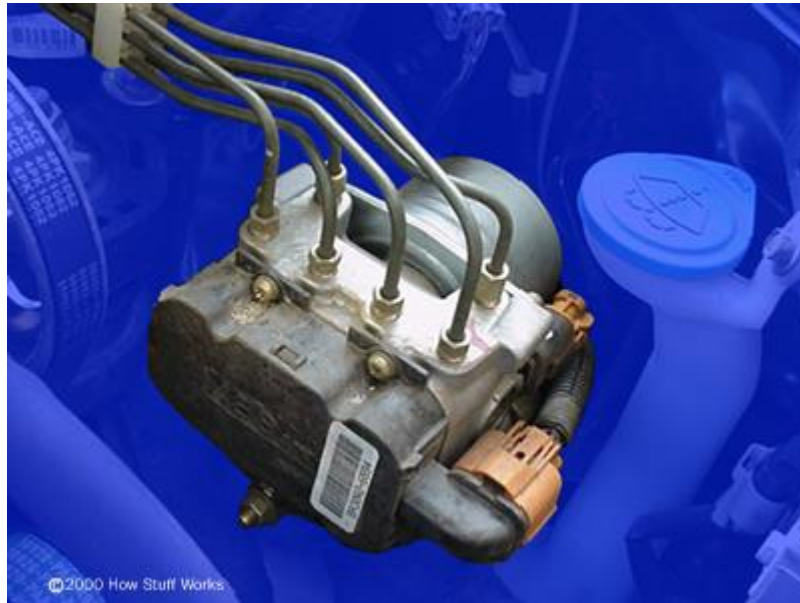
Algorytm działania układu ABS

ABS mierzy prędkość obrotową wszystkich kół i nie ingeruje w działanie układu hamulcowego dopóki nie zostanie sygnał, że hamulec został uruchomiony przez kierowcę. W fazie pracy hamulca ABS wykrywa poślizg dowolnego koła (lub kilku kół) i elektrozaworami moduluje ciśnienie w obwodzie tego koła, zmniejszając ciśnienie w obwodzie koła tak długo, aż koło nie odzyska prawidłowej prędkości. Siła hamowania tego koła ulega zmniejszeniu, ale koło cały czas jest hamowane (tylko słabiej). Po odzyskaniu obrotów przez koło, ABS przywraca ciśnienie w jego obwodzie. Ciśnienie to jest zależne od siły nacisku na pedał hamulca.

W momencie wyhamowania pojazdu do prędkości ok. 5-6 km/h ABS przestaje zmniejszać ciśnienie w obwodzie hamulcowym pozwalając na całkowite zatrzymanie pojazdu.



Rys.1. Schemat systemu antypoślizgowego hamowania pojazdu.



Anti-lock brake pump and valves

Rys.2. Schemat pompy i elektrozaworów.

3. Model fizyczny:

Przeprowadzimy symulację procesu poślizgu kontrolowanego podczas hamowania ruchu walca o masie m , średnicy D , długości L i momencie bezwładności I , starczającego się po płaskiej równi o początkowej prędkości kątowej $\dot{\varphi}$ względem osi symetrii, poziomą (rys. 1). Przez φ i x oznaczamy odpowiednio kierunek obrotu walca wokół osi symetrii i przesunięcie środka walca wzdłuż równi. Walec jest wyposażony w tzn. system antypoślizgowy składający się z czujnika prędkości kątowej i postępowej koła, regulatora dwupołożeniowego i zaworu elektromagnetycznego upustu oleju układu hamującego.

Przyjmujemy, że występuje tarcie suche między stykającymi się powierzchniami oraz współczynnik tarcia suchego μ ma inną wartość w poślizgu (kinetyczne) i inną w przypadku bez poślizgu (statyczne). Miarą poślizgu jest różnica prędkości obwodowej i prędkości liniowej koła:

$$s = \dot{x} - r\dot{\varphi}$$

Założymy ponadto, że siła oporu powietrza jest proporcjonalna do kwadratu prędkości. Założymy także moment hamowania M_h jest funkcją tarcia suchego występującego podczas docisku klocków hamulcowych na tarczę i promienia działania tej siły względem osi koła. Siła docisku z kolei jest iloczynem ciśnienia oleju hamulcowego w układzie hamulcowym i pola powierzchni tłoczka hamulcowego.

Układ ABS ma za zadanie przełączyć zawory w drugie położenie, które obniża ciśnienie w przewodach hamulcowych przez wypuszczenie oleju w momencie wykrycia przez czujników poślizgu kół. W chwili uzyskania przyczepności kół, tzn. bez poślizgu, układ ABS znów przełącza zawory w położenie otwarcia w celu doprowadzenia oleju hamulcowego pod ciśnieniem do

hamulców. Taki układ możemy zasymulować za pomocą regulatora dwupołożeniowego z małą histerezą, gdzie wejście jest poślizg obliczony na podstawie czujników prędkości a wyjście jest stan otwarcia elektrozaworu, który z kolei wpływa na ciśnienie w obwodzie. Wartość zadaną poślizgu względnego ($s_w = \frac{s}{\dot{x}}$) dla regulatora możemy ustalić na poziomie 10-30%.

W tak przyjętym założeniu, układ posiada 2 stopnie swobody, czyli 2 niezależne równania ruchu:

- równanie ruchu postępowego osi symetrii koła:

$$m\ddot{x} = P(t) - P_a(t) - T(t) \quad /1/$$

- i równanie ruchu obrotowego wokół osi symetrii koła:

$$I\ddot{\varphi}_2 = \frac{D}{2}T(t) - f \cdot N(t) \cdot \text{sign}(\dot{\varphi}) - M_h(t) \quad /2/$$

gdzie siła $P(t)$ jest składową siły ciężkości koła w kierunku x , a siła nacisku $N(t)$ składową siły ciężkości walca w kierunku normalnym prostopadłym do równi pochyłej:

$$P(t) = mg \sin \alpha \quad /3/$$

$$N(t) = mg \cos \alpha \quad /4/$$

Moment tarcia tocznego zmienia swój kierunek wraz z kierunkiem obrotu koła, stąd uwzględniony jest znak $\text{sign}(\dot{\varphi})$. Siłę tarcia suchego musimy rozdzielić na tarcie kinetyczne i spoczynkowe odpowiednio dla przypadku poślizgu i bez niego:

$$T(t) = \begin{cases} \text{dla } s = 0; T_{sp} = P(t) \text{ dla } |P(t)| \leq \mu_{sp} N(t) \\ \text{dla } s \neq 0; T_k = \mu_k N(t) \cdot \text{sign}(s) \end{cases} \quad /5/$$

gdzie $s = \dot{x} - r\dot{\varphi}$ /6/

Ponieważ siła tarcia kinetycznego zmienia swój zwrot w zależności od kierunku poślizgu walca, stąd uwzględniony jest znak tej siły w równaniu ruchu koła.

Moment hamujący $M_k(t)$ jest funkcją ciśnienia oleju hamulcowego w obwodzie, średnicy tłoczka hamującego, promienia względem osi koła, na którym tłoczek dociska klocki na tarczę i rodzaju powierzchni tarcia.

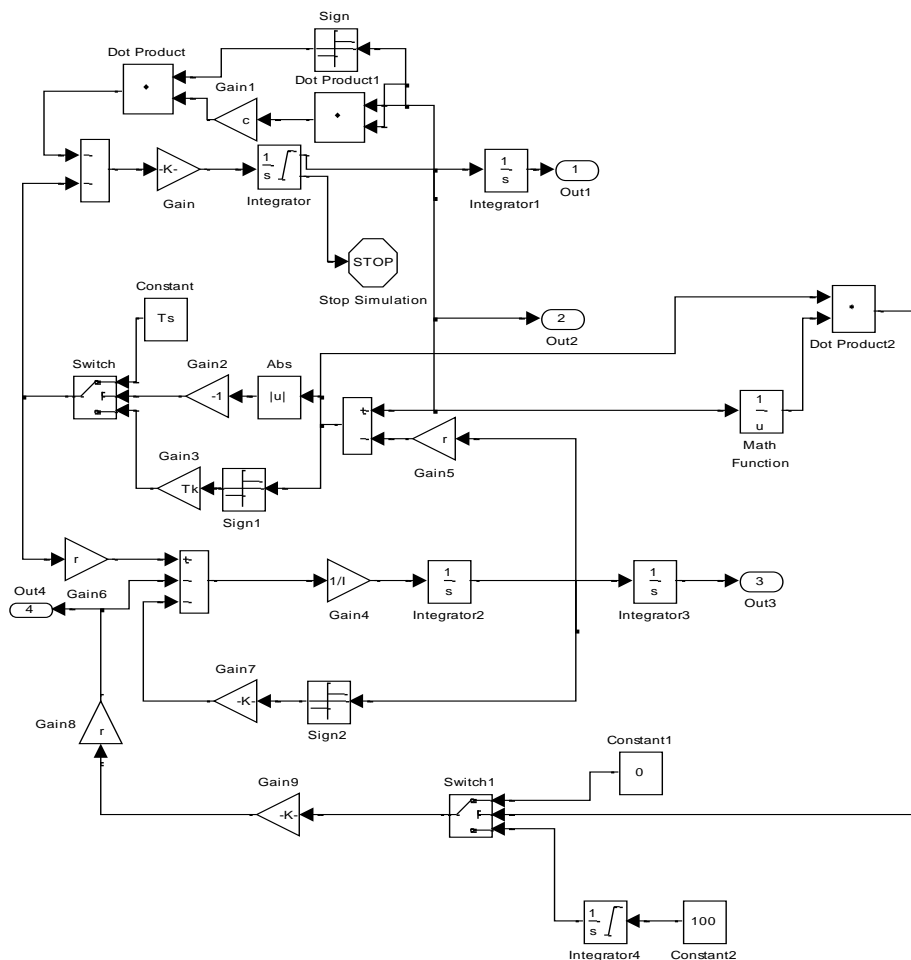
4. Model komputerowy:

Równania ruchu koła możemy napisać w postaci funkcji rozwikłanej względem najwyższej pochodnej zmiennej $x(t)$ i $\varphi(t)$:

$$\ddot{x} = \frac{1}{m} [P(t) - P_a(t) - T(t)] \quad /7/$$

$$\ddot{\varphi} = \frac{1}{I} \left[\frac{D}{2}T(t) - f \cdot N(t) \cdot \text{sign}(\dot{\varphi}) - M_h(t) \right] \quad /8/$$

Model komputerowy tego układu równań można zbudować w następującej postaci:



Rys.3. Schemat modelu komputerowego układu antypoślizgowego.

5. Przebieg ćwiczenia

1. Zbudować model symulacyjny układu przedstawionego na rysunku /2/.
2. Przeprowadzić badanie modelu pod względem wpływu parametrów układu na jego dynamikę. Funkcje i zakres zmian tych parametrów podaje prowadzący ćwiczenie.
3. Wyniki należy przedstawić w postaci wykresu pokazującego różnicę przebiegu badanych zmiennych przed i po zmianie parametrów układu. Należy przeprowadzić analizę wyników i podać wnioski na temat wpływu tych parametrów na dynamikę układu.
4. Przeprowadzić badanie modelu pod względem wpływu otoczenia na jego dynamikę. Funkcje i zakres zmian tych parametrów podaje prowadzący ćwiczenie.
5. Wyniki należy przedstawić w postaci wykresu pokazującego różnicę przebiegu badanych zmiennych przed i po zmianie wymuszenia na układ. Należy przeprowadzić analizę wyników i podać wnioski na temat wpływu wymuszenia na dynamikę układu.

6. Przeprowadzić badanie modelu pod względem wpływu warunków początkowych układu na jego dynamikę. Funkcje i zakres zmian tych warunków podaje prowadzący ćwiczenie.
7. Wyniki należy przedstawić w postaci wykresu pokazującego różnicę przebiegu badanych zmiennych przed i po zmianie warunków początkowych układu. Należy przeprowadzić analizę wyników i podać wnioski na temat wpływu warunków początkowych na dynamikę układu.

5. Sprawozdanie z ćwiczenia

W sprawozdaniu należy podać:

1. Część tytułowa: Wykonawcy, daty, tytuł opracowania
2. Opis badanego obiektu i charakterystyka procesów w obiekcie
3. Zakres modelowanego obiektu
4. Cel symulacji
5. Wielkości wejściowe i wyjściowe:
 - tablica zmiennych i stałych (parametrów) z następującymi kolumnami: nazwa zmiennej, zastosowany symbol w modelu matematycznym, nazwa symboliczna w modelu komputerowym, jednostka miary, wartość lub zakres wartości,
 - lista wymuszeń i ich charakterystyka,
 - lista zakłóceń i ich charakterystyka,
 - lista wielkości wyjściowych.
6. Model fizyczny (nominalny): Opis procesów elementarnych w obiekcie, założenia i uproszczenia
7. Model matematyczny
8. Weryfikacja modelu symulacyjnego
9. Opis eksperymentów symulacyjnych
10. Syntetyczne wyniki symulacji
 - Zestawienie wyników
 - Ocena wiarygodności i dokładności wyników
 - Uwagi co do wpływu uproszczeń,
 - Wykryte własności obiektu i procesu
11. Podsumowanie:
 - wnioski
 - dyskusja uproszczeń, języka symulacji,
 - ocena czy zrealizowano cele symulacji,
 - sugestie dalszych badań.

Laboratorium
Symulacja i przetwarzania danych

Instrukcja ćwiczenia

Ćwiczenie nr	5
Temat :	Badanie symulacyjne modelu przepływu cieczy w hydroforze.
Stanowisko laboratoryjne	5
Opracował :	

Obowiązuje w roku akademicki

Rok akademicki	Zatwierdził	Data	Podpis

Instrukcja nr.5

1. Temat ćwiczenia:

Badanie symulacyjne modelu przepływu cieczy w hydroforze.

2. Cel ćwiczenia:

celem ćwiczenia jest zapoznanie się z elementami i zasadą modelowania i symulacji komputerowej procesów dynamicznych.

3. Zakres wymaganych wiadomości:

mechanika ogólna, termodynamika, podstawy programowania w Matlab'ie, podstawy automatyki.

4. Pomoce i urządzenia:

zestaw komputerowy z pakietem Simulink oprogramowania Matlab

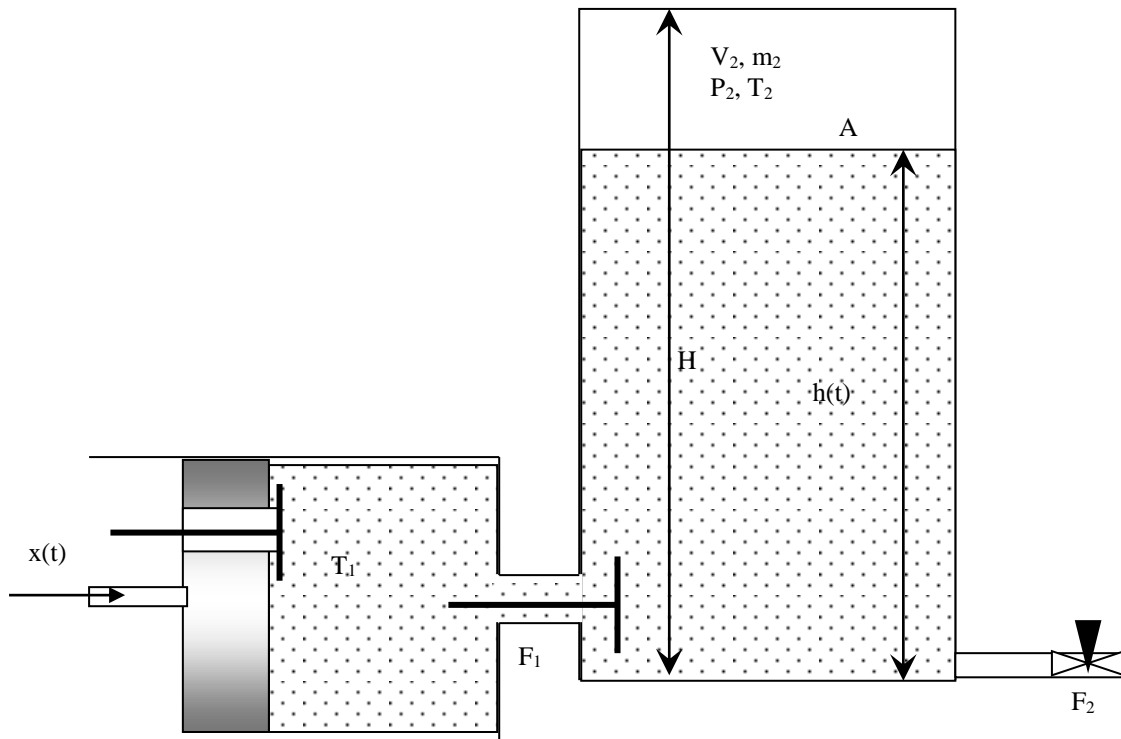
1. Cel ćwiczenia:

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z elementami i zasadą modelowania i symulacji komputerowej procesów dynamicznych.

2. Wprowadzenie:

Obiektem symulacji jest proces regulacji poziomu wody w hydroforze o polu powierzchni przekroju A i wysokości H , który jest napełniany za pomocą pompy tłokowej o ruchu zwrotno- posuwistym o średnicy D i skoku S . Pompa jest wyposażona w zawory zwrotne umożliwiające tłoczenie wody do zbiornika gdy ciśnienie w pompie jest wyższe od ciśnienia w zbiorniku, oraz ssanie wody ze zasilania. Ciśnienie P_2 poduszki powietrznej w hydroforze jest regulowane za pomocą regulatora dwupołożeniowego (presostatu) z nastawianą histerezą, który steruje pracą pompy w zależności od uchybu ciśnienia poduszki powietrza w hydroforze od zadanego. Zużycie wody z hydroforu jest zasymulowane za pomocą zaworu wylotowego o zmiennym polu przekroju przepływu F_2 .

Dana jest prędkość kątowna tłoka ω , pole przekroju przepływu wylotowego $F_2(t)$, ciśnienia otoczenia p_{oto} . Wyznamy poziom wody $h(t)$ oraz ciśnienie $p_2(t)$ w hydroforze.



Rys.1. Model procesu napełniania zbiornika wodą za pomocą pompy tłokowej.

3. Model fizyczny

Przyjmujemy następujące założenia:

- woda jest nieściśliwa o stałej temperaturze T_1
- ponieważ zwężka jest krótka, pomijamy inertancję wody w zwężce i w zbiorniku,
- przemiana w poduszce powietrznej jest izotermiczna ($T_2=T_1$) o objętości początkowej $V_0=A \cdot H$.

4. Model matematyczny

Równanie ruchu tłoka: $x(t) = \frac{S}{2} \sin \omega t$ (1)

Równanie ciągłości strugi:

$$A \frac{dh(t)}{dt} = \dot{q}_d - \dot{q}_w \quad (2)$$

gdzie objętościowe strumienie przepływu:

$$\text{- dolotowego } \dot{q}_d = \begin{cases} \pi \frac{D^2}{4} \frac{S}{2} \omega \cos \omega t; \text{ dla } \dot{x} > 0 \\ 0 \text{ dla } \dot{x} \leq 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$\text{- wylotowego } \dot{q}_w = \begin{cases} \mu F_2 \sqrt{\frac{2}{\rho} \sqrt{p_2(t) + \rho g h(t)} - p_{oto}} \text{ dla } (p_2 > p_{oto}) \\ 0 \text{ dla } (p_2 \leq p_{oto}) \end{cases} \quad (4)$$

Z przemiany izotermicznej gazu:

$$p_2 V_2 = p_{oto} V_0 \quad (5)$$

i zmiany objętości powietrza w zbiorniku:

$$V_2 = V_0 - h(t) \cdot A \quad (6)$$

otrzymujemy ciśnienie poduszki powietrznej:

$$p_2 = \frac{V_0}{V_0 - h(t) \cdot A} p_{oto} = \frac{H}{H - h(t)} p_{oto} \quad (7)$$

gdzie V_0 jest objętością zbiornika.

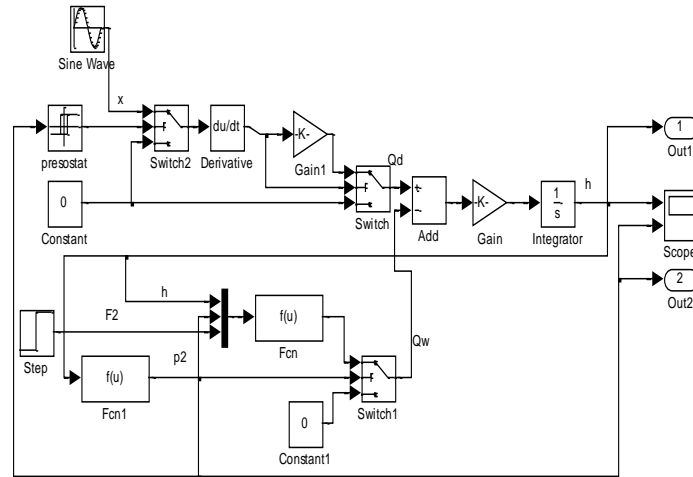
Równanie charakterystyki statycznej presostatu:

$$y(t) = \begin{cases} 0 \text{ dla } p_2 \geq \text{gora} \\ 1 \text{ dla } p_2 \leq \text{dol} \\ y(t^{-1}) \text{ dla } \text{dol} < p_2 < \text{gora} \end{cases} \quad (8)$$

gdzie: *gora*- górna wartość zadana, *dol*- dolna wartość zadana ustawiona na presostacie, 0- presostat wyłącza pompę, 1- presostat załącza pompę, $y(t^{-1})$ - zapamiętany stan sygnału wyjściowego w chwili poprzedniej .

5. Model komputerowy

Model komputerowy tego układu równań można zbudować w następującej postaci :



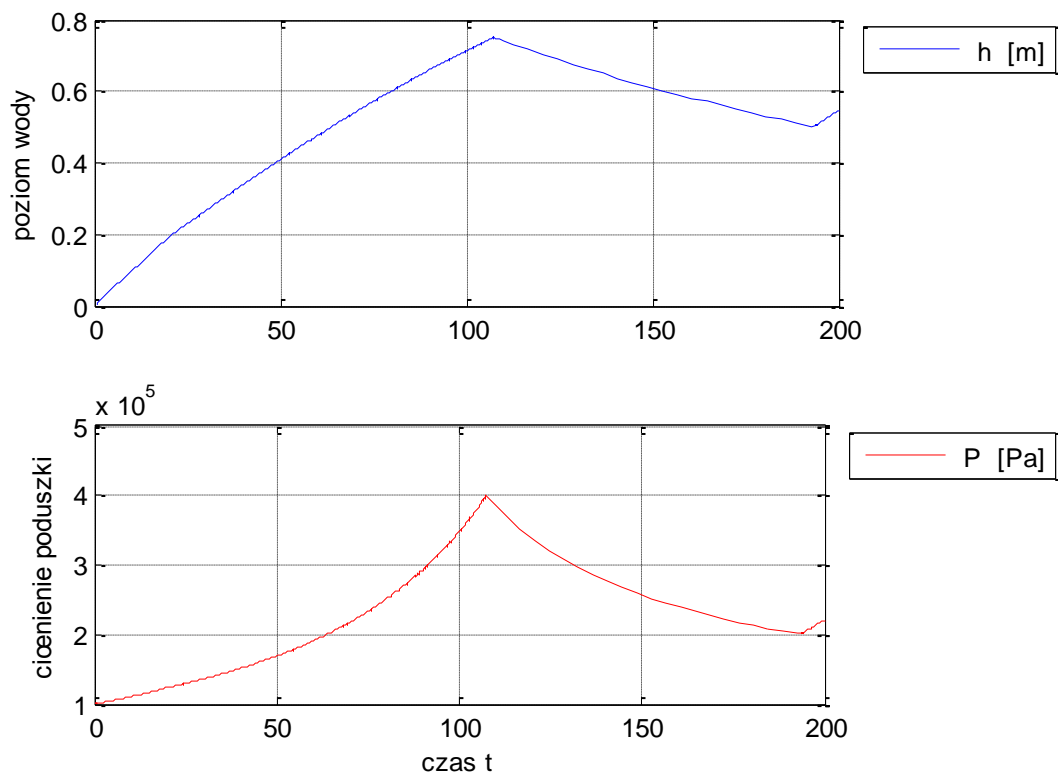
Rys.2. Model komputerowy procesu napełniania zbiornika wodą za pomocą pompy tłokowej.

Można stosować plik tekstowy uruchomieniowy (Script), w którym zadeklaruje się wartości parametrów oraz sformułuje polecenia wyprowadzenia wyników jak poniżej.

```
g=9.81; %przyspieszenie ziemskie[m/s^2]
ro=1000; %gęstość wody [kg/m^3]
A=1; %pole przekroju zbiornika [m^2]
H=1; %wysokość zbiornika[m]
D=0.05; %średnica tłoka pompy [m]
S=1; %skok tłoka [m]
mi=0.5; %współ. zaworu wylot.
D2=0.02; %średnica zaworu wylot.[m]
F2=3.1416*D2*D2/4; %pole przekroju zaworu wylot.[m^2]
poto=100000; %ciśnienie atmosferyczne [Pa]
n=300; %obroty pompy [1/min]
w=2*3.14*n/60; %prędkość kątowna pompy [rad/s]
```

```
[t,z,y]=sim('hydrofor',[0 200]);
subplot(2,1,1)
plot(t,y(:,1))
grid on
ylabel('poziom wody')
legend(' h [m]',-1)
subplot(2,1,2)
plot(t,y(:,2),'r')
grid on
ylabel('ciśnienie poduszki')
```

```
legend(' P [Pa]',-1)
xlabel('czas t');
```



Rys.3. Przykładowe wyniki symulacji procesu regulacji poziomu wody w hydroforze.

4. Przebieg ćwiczenia

1. Zbudować model symulacyjny układu przedstawionego na rysunku /1/.
2. Przeprowadzić badanie modelu pod względem *wpływu parametrów* układu na jego dynamikę. Funkcje i zakres zmian tych parametrów podaje prowadzący ćwiczenie.
3. Wyniki należy przedstawić w postaci wykresu pokazującego różnicę przebiegu badanych zmiennych *przed i po zmianie parametrów układu*. Należy przeprowadzić analizę wyników i podać wnioski na temat wpływu tych parametrów na dynamikę układu.
4. Przeprowadzić badanie modelu pod względem *wpływu otoczenia* na jego dynamikę. Funkcje i zakres zmian tych parametrów podaje prowadzący ćwiczenie.
5. Wyniki należy przedstawić w postaci wykresu pokazującego różnicę przebiegu badanych zmiennych *przed i po zmianie wymuszenia* na układ. Należy przeprowadzić analizę wyników i podać wnioski na temat wpływu wymuszenia na dynamikę układu.

6. Przeprowadzić badanie modelu pod względem *wplywu warunków początkowych układu* na jego dynamikę. Funkcje i zakres zmian tych warunków podaje prowadzący ćwiczenie.
7. Wyniki należy przedstawić w postaci wykresu pokazującego różnicę przebiegu badanych zmiennych *przed i po zmianie warunków początkowych* układu. Należy przeprowadzić analizę wyników i podać wnioski na temat wpływu warunków początkowych na dynamikę układu.

5. Sprawozdanie z ćwiczenia

W sprawozdaniu należy podać:

1. Część tytułowa: Wykonawcy, daty, tytuł opracowania
2. Opis badanego obiektu i charakterystyka procesów w obiekcie
3. Zakres modelowanego obiektu
4. Cel symulacji
5. Wielkości wejściowe i wyjściowe:
 - tablica zmiennych i stałych (parametrów) z następującymi kolumnami: nazwa zmiennej, zastosowany symbol w modelu matematycznym, nazwa symboliczna w modelu komputerowym, jednostka miary, wartość lub zakres wartości,
 - lista wymuszeń i ich charakterystyka,
 - lista zakłóceń i ich charakterystyka,
 - lista wielkości wyjściowych.
6. Model fizyczny (nominalny): Opis procesów elementarnych w obiekcie, założenia i uproszczenia
7. Model matematyczny
8. Weryfikacja modelu symulacyjnego
9. Opis eksperymentów symulacyjnych
10. Syntetyczne wyniki symulacji
 - Zestawienie wyników
 - Ocena wiarygodności i dokładności wyników
 - Uwagi co do wpływu uproszczeń,
 - Wykryte własności obiektu i procesu
11. Podsumowanie:
 - wnioski
 - dyskusja uproszczeń, języka symulacji,
 - ocena czy zrealizowano cele symulacji,
 - sugestie dalszych badań.

Instrukcja ćwiczenia

Ćwiczenie nr	6
Temat :	Badanie symulacyjne modelu przepływu gazów.
Stanowisko laboratoryjne	6
Opracował :	

Obowiązuje w roku akademicki

Rok akademicki	Zatwierdził	Data	Podpis

Instrukcja nr.6

1. Temat ćwiczenia:

Badanie symulacyjne modelu przepływu gazów.

2. Cel ćwiczenia:

celem ćwiczenia jest zapoznanie się z elementami i zasadą modelowania i symulacji komputerowej procesów dynamicznych.

3. Zakres wymaganych wiadomości:

mechanika ogólna, podstawy programowania w Matlab'ie, podstawy automatyki.

4. Pomoce i urządzenia:

zestaw komputerowy z pakietem Simulink oprogramowania Matlab

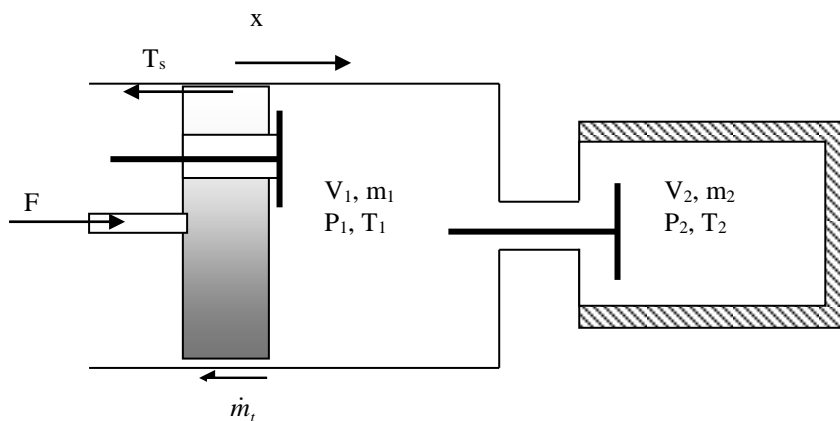
1. Cel ćwiczenia:

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z elementami i zasadą modelowania i symulacji komputerowej procesów dynamicznych.

2. Wprowadzenie:

Obiektem symulacji jest proces napełniania zbiornika powietrzem dożądanego ciśnienia przez krótką zwężkę za pomocą pompy tłokowej. Pompa jest wyposażona w zawory zwrotne umożliwiające tłoczenie powietrza do zbiornika gdy ciśnienie w pompie jest wyższe od ciśnienia w zbiorniku, oraz ssanie powietrza z otoczenia.

Dana jest siła wymuszająca na tłok $F(t)=F\sin(\omega t)$, wszystkie wymiary tłoka i zbiornika, ciśnienia otoczenia p_{oto} i stała gazu R . Wyznamy przesunięcie $x(t)$, prędkości tłoka oraz ciśnienie $p_2(t)$ uśrednione po objętości V .



Rys.1. Model procesu napełniania zbiornika powietrzem za pomocą pompy tłokowej.

3. Model fizyczny

Przyjmujemy następujące założenia:

- ponieważ zwężka jest krótka, pomijamy inertancję i ściśliwość gazu w kanale
- mała prędkość gazu w zbiorniku i można pominąć inertancję gazu w zbiorniku,
- przemiana w tłoku i zbiorniku jest politropowa o współczynniku politropy n
- uwzględnimy strumień nieszczelności \dot{m}_l przez tłok i tarcie między tłokiem a cylindrem.

4. Model matematyczny

Równanie bilansu masy:

$$\frac{dm_1}{dt} = m_d - \dot{m}_w - \dot{m}_t \quad (1)$$

gdzie strumienie masowe przepływu przez zawór:

$$\text{- tłoczący } \dot{m}_w = \begin{cases} R_H(p_1 - p_2); & \text{dla } p_1 > p_2 \\ 0 & \text{dla } p_1 \leq p_2 \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{- ssący } \dot{m}_d = \begin{cases} R_H(p_{oto} - p_1) & \text{dla } (p_{oto} > p_1) \\ 0 & \text{dla } (p_{oto} \leq p_1) \end{cases} \quad (3)$$

$$\text{- przez nieszczelność tłoka: } \dot{m}_t = R_{Ht}(p_1 - p_{oto}) \quad (4)$$

$$\frac{dm_2}{dt} = \dot{m}_w \quad (5)$$

Z równania stanu gazu:

$$\frac{dm_1}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{p_1 V_1}{nRT} \right) \quad (6)$$

$$\frac{dm_2}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{p_2 V_2}{nRT} \right) \quad (7)$$

Zmiana objętości gazu w pompie:

$$V_1 = V_{10} - w(t) \cdot A \quad (8)$$

i zbiornika pod wpływem zmiany ciśnienia:

$$V_2 = V_{20} + \frac{1}{K}(p_2 - p_{oto}) \quad (9)$$

Równanie ruchu tłoka:

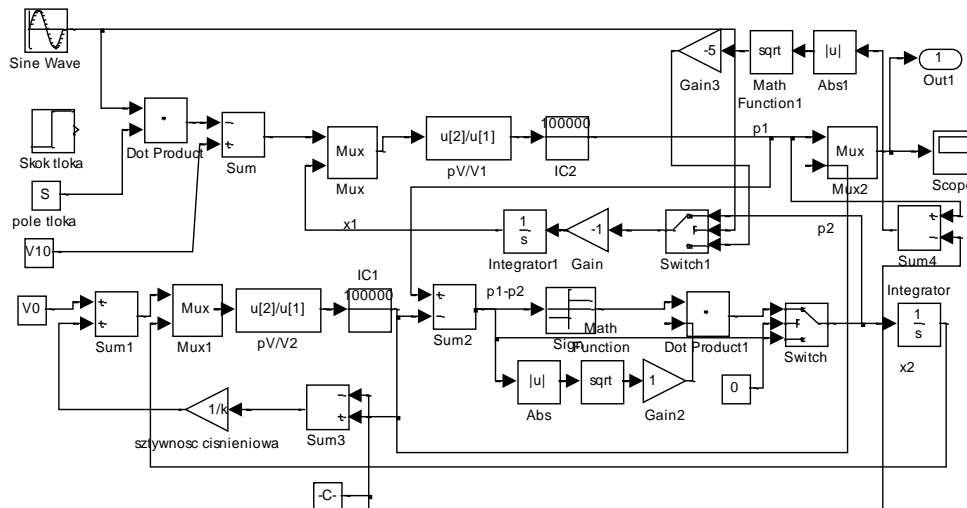
$$\ddot{x}(t) = \frac{1}{M_t} [F(t) - T_s - (p_1 - p_{oto}) \cdot A] \quad (10)$$

gdzie:

- A jest polem powierzchni tłoka,
- M_t masą tłoka,
- R_H opornością hydrauliczną zaworów,
- R_{Ht} opornością szczeliny między tłokiem a cylindrem,
- V_{10} objętością cylindra przy $x = 0$,
- V_{20} objętością zbiornika przy $p_1 = p_{oto}$,
- T_s siłą tarcia suchego,
- K współczynnikiem sztywności zbiornika,
- p_{oto} ciśnieniem powietrza otoczenia.

5. Model komputerowy

Model komputerowy tego układu równań można zbudować w następującej postaci :



Rys.2. Model komputerowy procesu napełniania zbiornika powietrzem.

6. Przebieg ćwiczenia

1. Zbudować model symulacyjny układu przedstawionego na rysunku /1/.
2. Przeprowadzić badanie modelu pod względem wpływu parametrów układu na jego dynamikę. Funkcje i zakres zmian tych parametrów podaje prowadzący ćwiczenie.
3. Wyniki należy przedstawić w postaci wykresu pokazującego różnicę przebiegu badanych zmiennych przed i po zmianie parametrów układu. Należy przeprowadzić analizę wyników i podać wnioski na temat wpływu tych parametrów na dynamikę układu.
4. Przeprowadzić badanie modelu pod względem wpływu otoczenia na jego dynamikę. Funkcje i zakres zmian tych parametrów podaje prowadzący ćwiczenie.

5. Wyniki należy przedstawić w postaci wykresu pokazującego różnicę przebiegu badanych zmiennych przed i po zmianie wymuszenia na układ. Należy przeprowadzić analizę wyników i podać wnioski na temat wpływu wymuszenia na dynamikę układu.
6. Przeprowadzić badanie modelu pod względem wpływu warunków początkowych układu na jego dynamikę. Funkcje i zakres zmian tych warunków podaje prowadzący ćwiczenie.
7. Wyniki należy przedstawić w postaci wykresu pokazującego różnicę przebiegu badanych zmiennych przed i po zmianie warunków początkowych układu. Należy przeprowadzić analizę wyników i podać wnioski na temat wpływu warunków początkowych na dynamikę układu.

7. Sprawozdanie z ćwiczenia

W sprawozdaniu należy podać:

1. Część tytułowa: Wykonawcy, daty, tytuł opracowania
2. Opis badanego obiektu i charakterystyka procesów w obiekcie
3. Zakres modelowanego obiektu
4. Cel symulacji
5. Wielkości wejściowe i wyjściowe:
 - tablica zmiennych i stałych (parametrów) z następującymi kolumnami: nazwa zmiennej, zastosowany symbol w modelu matematycznym, nazwa symboliczna w modelu komputerowym, jednostka miary, wartość lub zakres wartości,
 - lista wymuszeń i ich charakterystyka,
 - lista zakłóceń i ich charakterystyka,
 - lista wielkości wyjściowych.
6. Model fizyczny (nominalny): Opis procesów elementarnych w obiekcie, założenia i uproszczenia
7. Model matematyczny
8. Weryfikacja modelu symulacyjnego
9. Opis eksperymentów symulacyjnych
10. Syntetyczne wyniki symulacji
 - Zestawienie wyników
 - Ocena wiarygodności i dokładności wyników
 - Uwagi co do wpływu uproszczeń,
 - Wykryte własności obiektu i procesu
11. Podsumowanie:
 - wnioski
 - dyskusja uproszczeń, języka symulacji,
 - ocena czy zrealizowano cele symulacji,
 - sugestie dalszych badań.

Instrukcja ćwiczenia

Ćwiczenie nr	7
Temat :	Badanie symulacyjne modelu przepływu ciepła.
Stanowisko laboratoryjne	7
Opracował :	

Obowiązuje w roku akademicki

Rok akademicki	Zatwierdził	Data	Podpis

Instrukcja nr.7

1. Temat ćwiczenia:

Badanie symulacyjne modelu przepływu ciepła.

2. Cel ćwiczenia:

celem ćwiczenia jest zapoznanie się z elementami i zasadą modelowania i symulacji komputerowej procesów dynamicznych.

3. Zakres wymaganych wiadomości:

mechanika ogólna, podstawy programowania w Matlab'ie, podstawy automatyki.

4. Pomoce i urządzenia:

zestaw komputerowy z pakietem Simulink oprogramowania Matlab

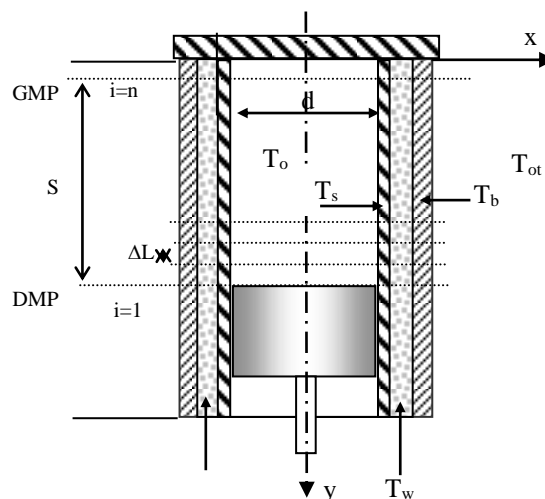
1. Cel ćwiczenia:

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z elementami i zasadą modelowania i symulacji komputerowej procesów dynamicznych.

2. Wprowadzenie:

Obiektem symulacji jest proces przepływu ciepła przez tuleję cylindrową w silniku spalinowym. Ciepło wydzielane w wyniku spalania dostarczonej do cylindra dawki paliwa jest odbierane częściowo przez ścianki tulei, głowicy i tłoka i przekazane dalej wodzie chłodzącej. Jest to złożony i silnie nieliniowy proces przenikania ciepła przez ścianki wynikający z charakteru pracy tłoka: zmienne w czasie są zarówno powierzchnia wymiany ciepła jak i prędkość, temperatura i ciśnienie czynnika roboczego. Te są z kolei funkcjami zależnymi od warunków prac silnika jak: obciążenie, dawka paliwa, współczynnik nadmiaru powietrza, zapłon itd...

W symulacji przyjmujemy uproszczony model przepływu ciepła w wybranym segmencie tulei (Rys. 1) z ustalonym przebiegiem indykatorowym (okresowa funkcja temperatury).



Rys.1. Podział cylindra na elementy skończone:

Oznaczenia: d - średnica tłoka, T_b , T_o , T_{ot} , T_s , T_w - odpowiednio temperatura bloku cylindrowego, czynnika roboczego, otoczenia, ścianki cylindrowej i wody chłodzącej na wlocie do cylindra, S - skok tłoka, i - numer kolejny elementu skończonego, ΔL - długość elementu skończonego.

3. Model fizyczny

Przyjmujemy następujące założenia:

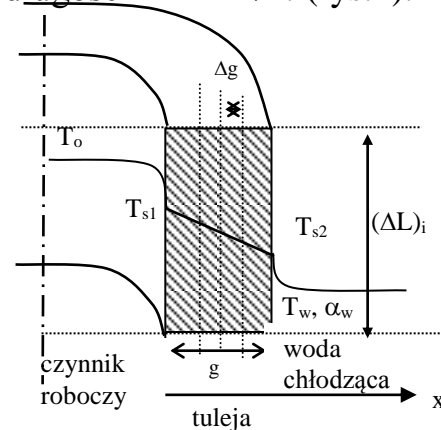
- Temperatura, ciśnienie i stała gazowa czynnika w danej chwili przyjmują wartości jednakowe w każdym punkcie przestrzeni nad tłokiem.

- Przyjmuje się stałą, średnią grubość ścianek tulei cylindrowej i bloku cylindrowego, oraz stałe pole przekroju poprzecznego przepływu wody chłodzącej.
- Przepływ ciepła następuje tylko w kierunku prostopadłym do poszczególnych powierzchni.
- Tuleja cylindrowa stanowi płaską płytę a parametry materiałowe ścianek cylindra nie zależą od temperatury, czasu i współrzędnych.
- Znane są warunki początkowe układu (rozkład temperatury czynnika roboczego, w ścianie tulei i wody chłodzącej w chwili $t = 0$) oraz warunki brzegowe (przebiegi temperatury czynnika roboczego i wody chłodzącej na wejściu do cylindra). Szukamy rozkładu temperatury w ścianie tulei $T(t,y,x)$ i wody chłodzącej $T_w(t,y)$.

4. Model matematyczny

Tuleja cylindrowa w zakresie od DMP do górnej krawędzi została podzielona (w kierunku y) na n segmentów skończonych o długości $\Delta L = L/n$ (rys.2).

Rys.2. Schemat modelu przepływu ciepła przez tuleję cylindrową:
Oznaczenia: T_{s1} , T_{s2} -odpowiednio temperatura ścianki wewnętrznej i zewnętrznej tulei cylindrowej, g - grubość ścianki tulei, Δg - grubość elementu skończonego.



W każdym segmencie, ściankę tulei o grubości g podzielimy na m pierścieni o grubości $\Delta g = g/m$ każde.

Dla każdego i -tego segmentu możemy napisać następujące równania:

1. Dla ścianki:

Rozkład temperatury wzdłuż grubości ścianki wyznaczamy jako temperatury skupione w m pierścieniach tej ścianki. Dla każdego j -tego pierścienia w ścianie tulei napiszemy równanie różniczkowe jego skupionej temperatury. Otrzymujemy $(m-2)$ równań różniczkowych w postaci:

$$\frac{dT_{i,j}}{dt} = \frac{\lambda}{\rho c} \frac{T_{i,j+1} - 2T_{i,j} + T_{i,j-1}}{\Delta g^2} \quad (\text{dla } j = 2, 3, \dots, m-1), \quad (1)$$

z warunkami brzegowymi III rodzaju:

$$\alpha_o(T_{o,i} - T_{s1,i}) = \frac{\lambda}{\frac{\Delta g}{2}} (T_{s1,i} - T_{i,1}) \quad \text{dla elementu I-go} \quad (2)$$

$$\text{oraz } \alpha_w (T_{s2;i} - T_{w;i}) = \frac{\lambda}{\frac{\Delta g}{2}} (T_{i;m} - T_{s2;i}) \text{ dla elementu } m\text{-tego,} \quad (3)$$

oraz warunkami początkowymi: $T(t = 0, i; j) = T_0(i; j)$.

Dodatkowo z bilansu energii otrzymujemy:

$$\frac{\lambda}{\frac{\Delta L}{2}} (T_{s1} - T_{i;1}) = \Delta g \cdot \rho \cdot c \frac{dT_{i;1}}{dt} + \frac{\lambda}{\Delta g} (T_{i;1} - T_{i;2}), \quad (4)$$

$$\frac{\lambda}{\Delta g} (T_{i;n-1} - T_{i;n}) = \frac{\lambda}{\frac{\Delta g}{2}} (T_{i;n} - T_{s2;i}) + \Delta g \cdot \rho \cdot c \frac{dT_{i;n}}{dt}. \quad (5)$$

Zatem mamy m równań różniczkowych i 2 równania algebraiczne z $(m+2)$ niewiadomymi.

2. Dla wody chłodzącej "w":

Równanie bilansu energii:

$$f_w \cdot \alpha_w \cdot (T_{s2;i} - T_{w;i}) = F_w \cdot \rho_w \cdot c_w \cdot \frac{dT_{w;i}}{dt} + F_w \cdot \rho_w \cdot c_w \cdot v_w \cdot \frac{dT_{w;i}}{dy} \quad (6)$$

Pochodną temperatury względem długości tulei obliczymy jako:

$$\frac{dT_{w;i}}{dy} = \frac{\Delta T_{w;i}}{\Delta L} = \frac{T_{w;i} - T_{w;i-1}}{\Delta L}$$

Równanie przyjmuje postać:

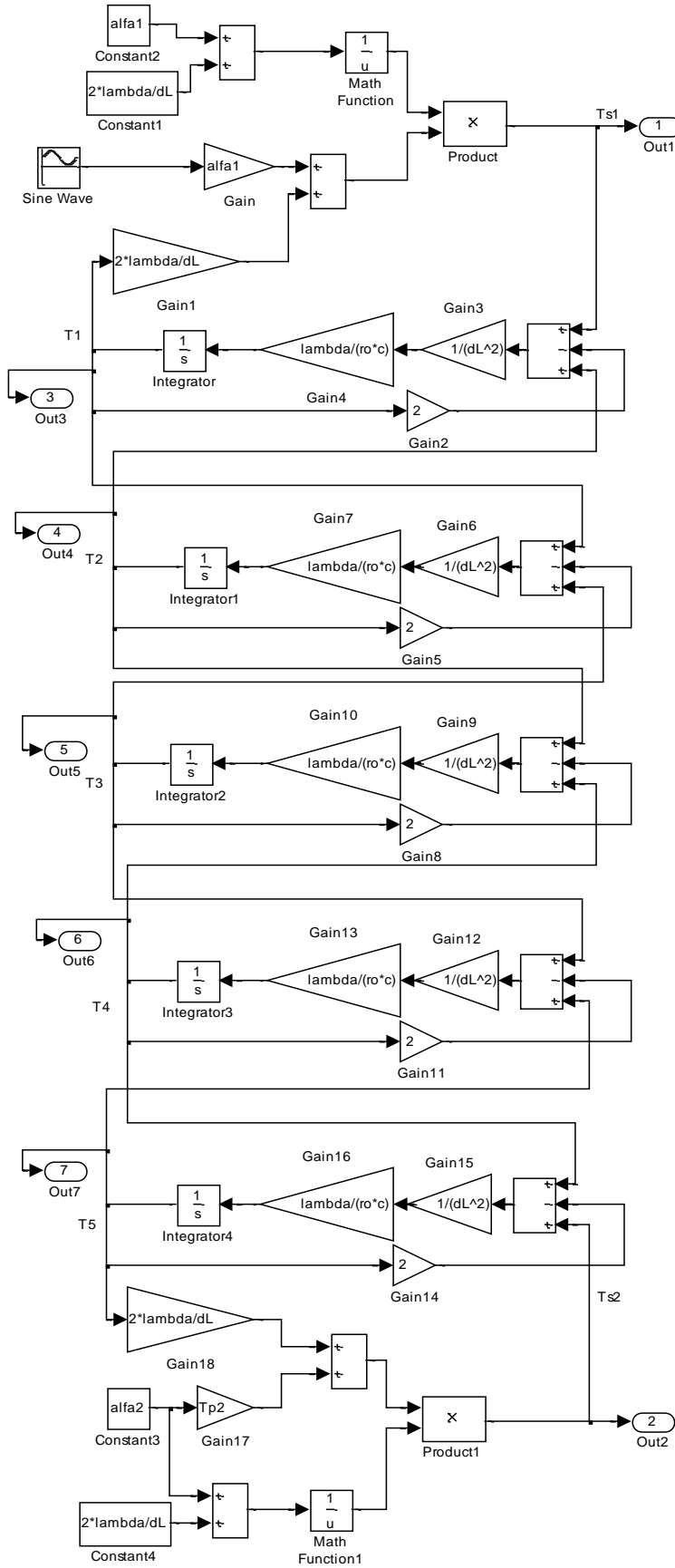
$$\left(\frac{dT_{w;i}}{dt} \right) = \frac{f_w \cdot \alpha_w}{F_w \cdot \rho_w \cdot c_w} (T_{s2;i} - T_{w;i}) - v_w \frac{T_{w;i} - T_{w;i-1}}{\Delta L} \quad (7)$$

Przy czym, dla I-go segmentu $T_{w;0} = T_{wp}$ i ostatniego n-tego $T_{w;n} = T_{wk}$.

Zatem, dla każdego segmentu skończonego mamy $(m+1)$ równań różniczkowych i 2 równania algebraiczne z $(m+3)$ -cioma niewiadomymi oraz warunkami początkowymi.

5. Model komputerowy

Model komputerowy tego układu równań można zbudować w następującej postaci :



Rys.3. Model komputerowy procesu przepływu ciepła przez tuleję cylindrową:

6. Przebieg ćwiczenia

1. Zbudować model symulacyjny układu przedstawionego na rysunku /1/.
2. Przeprowadzić badanie modelu pod względem wpływu parametrów układu na jego dynamikę. Funkcje i zakres zmian parametrów podaje prowadzący ćwiczenie.
3. Wyniki należy przedstawić w postaci wykresu pokazującego różnicę przebiegu badanych zmiennych przed i po zmianie parametrów układu. Należy przeprowadzić analizę wyników i podać wnioski na temat wpływu tych parametrów na dynamikę układu.
4. Przeprowadzić badanie modelu pod względem wpływu otoczenia na jego dynamikę. Funkcje i zakres zmian tych parametrów podaje prowadzący ćwiczenie.
5. Wyniki należy przedstawić w postaci wykresu pokazującego różnicę przebiegu badanych zmiennych przed i po zmianie wymuszenia na układ. Należy przeprowadzić analizę wyników i podać wnioski na temat wpływu wymuszenia na dynamikę układu.
6. Przeprowadzić badanie modelu pod względem wpływu warunków początkowych układu na jego dynamikę. Funkcje i zakres zmian tych warunków podaje prowadzący ćwiczenie.
7. Wyniki należy przedstawić w postaci wykresu pokazującego różnicę przebiegu badanych zmiennych przed i po zmianie warunków początkowych układu. Należy przeprowadzić analizę wyników i podać wnioski na temat wpływu warunków początkowych na dynamikę układu.

7. Sprawozdanie z ćwiczenia

W sprawozdaniu należy podać:

1. Część tytułowa: Wykonawcy, daty, tytuł opracowania
2. Opis badanego obiektu i charakterystyka procesów w obiekcie
3. Cel symulacji
4. Wielkości wejściowe i wyjściowe:
5. Model fizyczny (nominalny): Opis procesów elementarnych w obiekcie, założenia i uproszczenia
6. Model matematyczny
7. Weryfikacja modelu symulacyjnego
8. Opis eksperymentów symulacyjnych
9. Syntetyczne wyniki symulacji
 - Zestawienie wyników
 - Ocena wiarygodności i dokładności wyników
 - Uwagi co do wpływu uproszczeń,
 - Wykryte własności obiektu i procesu
10. Podsumowanie:
 - wnioski, ocena i sugestie dalszych badań.