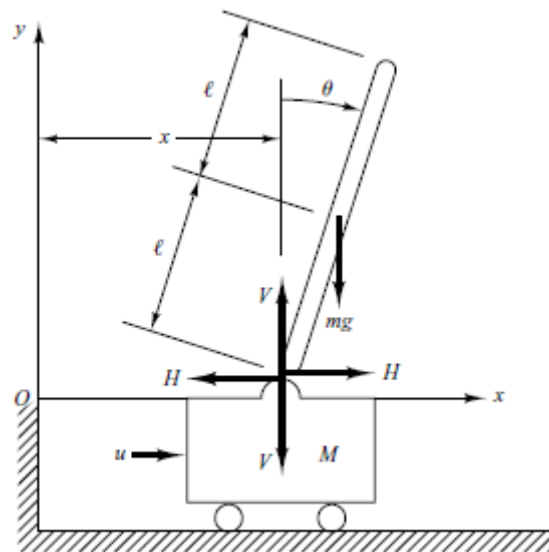


Spis treści

1. Opis teoretyczny	1
2. Model matematyczny	3
3. Opis działania aplikacji	7
4. Uruchomienie aplikacji	13
5. Korzystanie z aplikacji	15
6. Bibliografia	19

1. Opis teoretyczny

Przedmiotem badań jest problem sterowania napędzanego silnikiem wózka z zamocowanym na nim odwróconym wahadłem tak, aby po upływie jak najkrótszej chwili, wahadło ustawiło się w pozycji pionowej, a wózek nie poruszał się. Jako że będziemy rozpatrywać proces sterowania w warunkach idealnych (przy braku tarcia i innych oporów ruchu), zmienne stanu oczywiście nigdy nie będą dokładnie równe 0, lecz będą wokół niego oscylować. Dodatkowo, wprowadzamy założenie, że wahadło porusza się tylko w jednej płaszczyźnie.



Rys. 1: Schemat poglądowy odwróconego wahadła na poruszającym się wózku

W docelowym układzie, dla którego poszukujemy rozwiązań, wahadło będzie nieważkie z punktową masą na jego końcu. Dla lepszego rozpatrzenia problemu, zaczniemy rozważać wahadło z materiału o stałej gęstości ze środkiem ciężkości w środku geometrycznym, aby w odpowiednim momencie przejść do docelowego układu. Ponadto zakładamy małe odchylenia wahadła od pionu podczas procesu sterowania ($-5^\circ < \theta < 5^\circ$), co pozwoli na znaczne uproszczenie obliczeń.

Krótkie wyjaśnienie symboli:

- M - masa wózka (np. 2kg)
- m - masa wahadła, $m < M$ (np. 0.2kg)
- l - długość wahadła, (np. 0.5m)
- $g = 9.81 \frac{m}{s^2}$ - przyspieszenie ziemskie

2. Model matematyczny

Metodą sprzężenia zwrotnego od zmiennych stanu wyznaczmy sterowanie siłą u , aby wahadło znajdowało się w położeniu pionowym ($\theta \cong 0$)

Dla $-5^\circ < \theta(t) < 5^\circ$ i małych $\dot{\theta}(t)$ można przyjąć, że:

$$\begin{cases} \sin \theta \cong \theta \\ \cos \theta \cong 1 \\ \theta \dot{\theta} \cong 0 \end{cases} \quad (2.1)$$

Współrzędne środka ciężkości drążka (wahadła):

$$\begin{cases} x_G = x + l \sin \theta \\ y_G = l \cos \theta \end{cases} \quad (2.2)$$

Obrotowy ruch drążka wokół środka ciężkości:

$$I * \ddot{\theta} = V * l * \sin \theta - H * l * \cos \theta \quad (2.3)$$

Ruch środka ciężkości drążka w poziomie:

$$H = m \frac{d}{dt^2} (x + l \sin \theta) \quad (2.4)$$

Ruch środka ciężkości drążka w pionie:

$$V - mg = m \frac{d}{dt^2} (l \cos \theta) \quad (2.5)$$

Ruch wózka w poziomie:

$$u - H = M \frac{d^2 x}{dt^2} \quad (2.6)$$

Mając małe $\theta(t)$, $\dot{\theta}(t)$ możemy dokonać linearyzacji równań (2.3), (2.4), (2.5):

$$I \ddot{\theta} = V l \theta - H l \quad (2.7)$$

$$m(\ddot{x} + l\ddot{\theta}) = H \quad (2.8)$$

$$0 = V - mg \quad (2.9)$$

Z równań (2.6) i (2.8) otrzymujemy:

$$(M + m)\ddot{x} + ml\ddot{\theta} = u \quad (2.10)$$

Przekształcając równania (2.7), (2.8), (2.9) otrzymujemy:

$$\begin{aligned} I\ddot{\theta} &= mgl\theta - Hl = mgl\theta - l(m\ddot{x} + ml\ddot{\theta}) \\ (I + ml^2)\ddot{\theta} + ml\ddot{x} &= mgl\theta \end{aligned} \quad (2.11)$$

Równania (2.10) i (2.11) składają się na właściwy model matematyczny układu z Rys. 1.

Powróćmy do rozważania wahadła z masą skoncentrowaną w kulce zamocowanej na jego końcu. Załóżmy, że moment bezwładności względem osi przechodzącej przez jego środek masy jest pomijalnie mały, więc przyjmujemy $I = 0$. Skorygujmy więc model matematyczny otrzymany z równań [(2.10) i (2.11)]

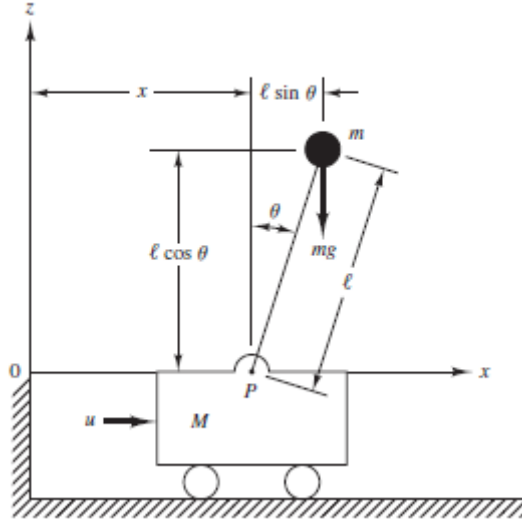
$$(M + m)\ddot{x} + ml\ddot{\theta} = u \quad (2.12)$$

$$ml^2\ddot{\theta} + ml\ddot{x} = mgl\theta \quad (2.13)$$

Może on być zmodyfikowany do postaci:

$$Ml\ddot{\theta} = (M + m)g\theta - u \quad (2.14)$$

$$M\ddot{x} = u - mg\theta \quad (2.15)$$



Rys. 2: Schemat poglądowy rozpatrywanego wahadła o masie skupionej w kulce na poruszającym się wózku

Z (2.14) i (2.15):

$$\ddot{x} = g\theta - l\ddot{\theta} \quad (2.16)$$

Wstawiając \ddot{x} do (2.16):

$$(M + m)(g\theta - l\ddot{\theta}) + ml\ddot{\theta} = u \quad (2.17)$$

$$Mg\theta - Ml\ddot{\theta} + mg\theta - ml\ddot{\theta} + ml\ddot{\theta} = u$$

$$Ml\ddot{\theta} = (M + m)g\theta - u \quad (2.18)$$

Po przekształceniu (2.15) i (2.18) przygotujemy się do otrzymania równań stanu:

$$\begin{cases} \ddot{x} = \frac{-mg}{M} \theta + \frac{1}{M} u \\ \ddot{\theta} = \frac{M+m}{Ml} g\theta - \frac{1}{Ml} u \end{cases} \quad (2.19)$$

$$\begin{cases} x_1 = \theta \\ x_2 = \dot{\theta} \\ x_3 = x \\ x_4 = \dot{x} \end{cases} \quad (2.20)$$

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = \frac{(M+m)g}{Ml}x_1 - \frac{1}{Ml}u \\ \dot{x}_3 = x_4 \\ \dot{x}_4 = -\frac{mg}{M}x_1 + \frac{1}{M}u \end{cases} \quad (2.21)$$

Co możemy zapisać macierzowo:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ \frac{(M+m)g}{Ml} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ -\frac{mg}{M} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{-1}{Ml} \\ 0 \\ \frac{1}{M} \end{bmatrix} * u \quad (2.22)$$

Wyjścia naszego układu to kąt odchylenia wahadła od pionu θ i przemieszczenie poziome wózka x , czyli zapisując macierzowo:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} \quad (2.23)$$

Reasumując, z równań (2.22) i (2.23) otrzymujemy macierze A, B, C, D:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ \frac{(M+m)g}{Ml} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ -\frac{mg}{M} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.24)$$

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{-1}{Ml} \\ 0 \\ \frac{1}{M} \end{bmatrix} \quad (2.25)$$

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.26)$$

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.27)$$

3. Opis działania aplikacji

Aplikacja została wykonana w języku MATLABa przy pomocy AppDesignera (wewnętrznego GUI MATLABa) w wersji 2018b.

Główne zadania aplikacji to graficzne przedstawienie przebiegów zmiennych stanu w zależności od czasu, obliczenie macierzy wzmocnienia K , dla której w układzie następuje brak przeregulowania i minimalny czas regulacji. Obliczana jest również macierz wzmocnienia obserwatora K_e , przy której obserwator działa dokładnie tak jak model naszego układu. Ponadto, z charakterystyk graficznych zmiennych stanu, aplikacja odczytuje i wyświetla ich wartości szczytowe i czasy ustalania.

Użytkownik wprowadza do programu wartości początkowe M , m , l , stan początkowy układu jako wektor x_0 oraz definiuje czas działania układu (chwilą początkową jest $t = 0$). Krok czasowy jest stały, ustalony przez programistę i wynosi $\Delta t = 0.01s$. Użytkownik definiuje także wartości czterech biegunów pętli sprzężenia zamkniętego (dwóch dominujących i dwóch oddalonych), niezbędnych do obliczenia macierzy K oraz wartości czterech biegunów obserwatora (dwóch dominujących i dwóch oddalonych), niezbędnych do policzenia macierzy K_e . Program oblicza elementy tych macierzy metodą przemieszczenia biegunów. W aplikacji zaprojektowano wiele opcji wprowadzania danych tych biegunów, możliwość wyświetlenia charakterystyk zmiennych stanu w oknie "Figures", a także możliwość zapisania danych do arkusza Excel.

Wyznaczone zostały macierze A , B , C , D układu równań

zmiennych stanu.

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}u \\ \mathbf{y} = \mathbf{C}\mathbf{x} + \mathbf{D}u \end{cases} \quad (3.1)$$

Sporządza się macierz sterowalności \mathbf{M} według wzoru:

$$\mathbf{M} = [\mathbf{B} \mid \mathbf{A}\mathbf{B} \mid \mathbf{A}^2\mathbf{B} \mid \mathbf{A}^3\mathbf{B}] \quad (3.2)$$

I sprawdza się sterowalność układu, mając na uwadze, że układ jest sterowalny wtedy i tylko wtedy, gdy $\text{rank}(\mathbf{M}) = n$, gdzie $n = 4$ to liczba wierszy macierzy \mathbf{A} .

Jeśli ustaliliśmy, że układ jest sterowalny, można napisać równanie charakterystyczne macierzy \mathbf{A} :

$$\det(s\mathbf{I} - \mathbf{A}) = s^4 + a_1s^3 + a_2s^2 + a_3s + a_4 \quad (3.3)$$

I korzystając z niego, stworzyć macierz współczynników równania charakterystycznego \mathbf{W} :

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} a_3 & a_2 & a_1 & 1 \\ a_2 & a_1 & 1 & 0 \\ a_1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

Następnie program sprawdza początkową stabilność układu poprzez ustalenie, w której półpłaszczyźnie płaszczyzny zespolonej znajdują się pierwiastki naszego wielomianu charakterystycznego (3.3).

Jeśli układ przed zamknięciem pętli sprzężenia zwrotnego jest stabilny lub na granicy stabilności program wyświetli stosowne ostrzeżenie. Dalsze działania w tym wypadku mogą nie przynieść oczekiwanych rezultatów.

W dalszej kolejności oblicza się macierz transformacji \mathbf{T} :

$$\mathbf{T} = \mathbf{M} * \mathbf{W} \quad (3.5)$$

Gdy użytkownik wprowadzi już wartości 2 biegunów dominujących (p_{dom1}, p_{dom2}) i 2 biegunów oddalonych (p_{rem1}, p_{rem2}) pętli sprzężenia zamkniętego, można policzyć współczynniki $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ równania układu docelowego. W ogólności wartości tych biegunów są liczbami zespolonymi, ale należy tak je dobrać, by współczynniki α były liczbami rzeczywistymi, gdyż w przeciwnym przypadku działanie układu sterowania pozbawione jest sensu. Przy projektowaniu układu, zalecaną praktyką jest dobranie sprzężonych biegunów dominujących i rzeczywistych biegunów oddalonych po lewej stronie płaszczyzny zespolonej, choć oczywiście można testować inne możliwości:

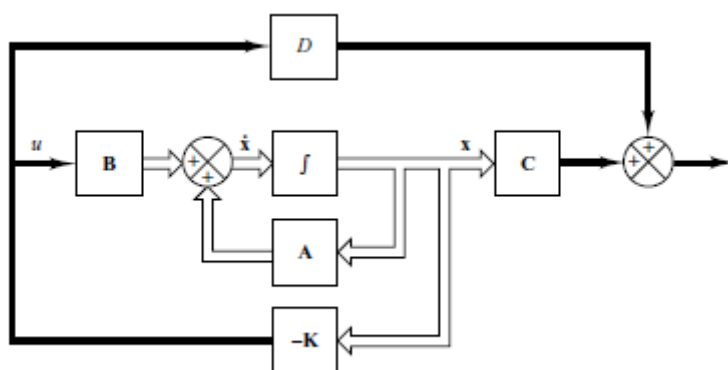
$$(s - p_{dom1})(s - p_{dom2})(s - p_{rem1})(s - p_{rem2}) = 0 \quad (3.6)$$

$$s^4 + \alpha_1 s^3 + \alpha_2 s^2 + \alpha_3 s + \alpha_4 = 0 \quad (3.7)$$

Następnie, stosując metodę klasyczną, liczona jest macierz wzmocnienia \mathbf{K} wymiaru 1x4 :

$$\mathbf{K} = [\alpha_4 - a_4, \alpha_3 - a_3, \alpha_2 - a_2, \alpha_1 - a_1] * \mathbf{T}^{-1} \quad (3.8)$$

Do odwracania wszystkich macierzy o rozmiarze 4x4 stosowany jest dokładny wzór. W przypadku osobliwości, stosowana jest procedura *pinv()*, a program wyświetla użytkownikowi stosowne ostrzeżenie.



Rys. 3: Schemat blokowy układu z regulatorem

Z powyższego schematu wynika, iż wektor wejściowy przy zamkniętej pętli sprzężenia zwrotnego wynosi

$$u = -\mathbf{K}\mathbf{x} \quad (3.9)$$

W interpretacji fizycznej u to siła zewnętrzna, którą sterujemy wózkiem.

Równania stanu układu (3.1) zostają więc zmodyfikowane do postaci:

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{x}} = (\mathbf{A} - \mathbf{BK})\mathbf{x} = \tilde{\mathbf{A}}\mathbf{x} \\ \mathbf{y} = (\mathbf{C} - \mathbf{DK})\mathbf{x} = \mathbf{C}\mathbf{x} \end{cases} \quad (3.10)$$

Rozwiązaniem równania różniczkowego z (3.10) jest:

$$\mathbf{x}(t) = \mathbf{x}_0 * e^{(\mathbf{A}-\mathbf{BK})t} \quad (3.11)$$

Wektor wyjść z układu to po prostu:

$$\mathbf{y}(t) = \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_3(t) \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

Wykresy $\mathbf{x}(t)$ są wyświetlane w aplikacji po lewej stronie pierwszej karty.

Jeśli elementy macierzy \mathbf{K} są zespolone, program wyświetli stosowne ostrzeżenie. Najczęściej wtedy elementy wektora \mathbf{x}

również będą zespolone (co też będzie potwierdzone ostrzeżeniem), a na wykresach $x(t)$ będą pokazane ich moduły. Świadczy to o źle wybranych biegunach układu i konieczności zmiany ich wartości.

Aby użytkownik mógł określić jakość dynamiczną regulacji układu, program oblicza dla każdego elementu wektora $x(t)$:

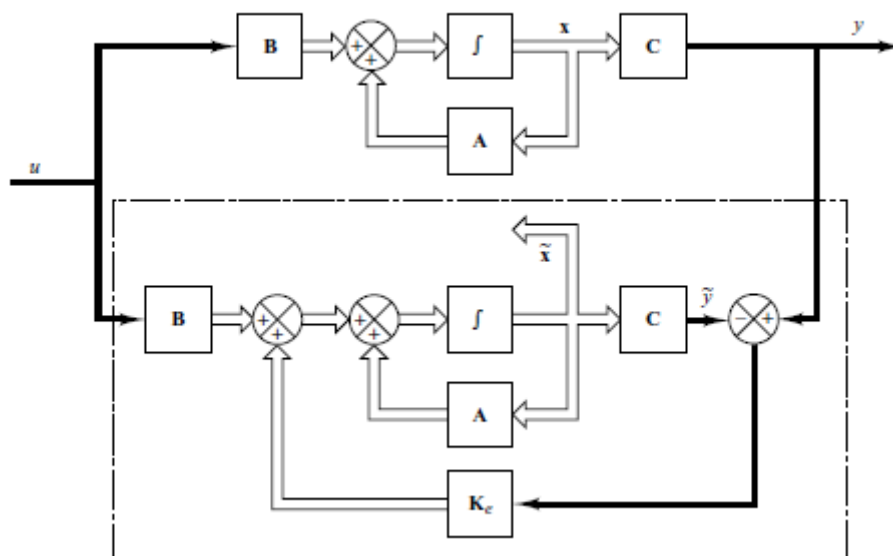
- Wartość szczytową (*peak_value*) zdefiniowaną jako bezwzględnie najwyższą wartość chwilową amplitudy tego przebiegu czasowego $x_i(t)$
- Czas regulacji (*settling_time*) zdefiniowany jako czas, po upływie którego wartość $x_i(t)$ wynosi mniej niż 2% szczytowej wartości. Jeżeli wartość danej odpowiedzi nie wpada w danym czasie t w 2% pasmo, wyświetlane są kody błędu (*settling_time*=-1; *settling_value*=-2), a także użytkownik widzi ostrzeżenie.
- Wartość elementu $x_i(t)$ w chwili 'czasu regulacji'. (*settling_value*). Jeśli deklarowany na początku obliczeń przedział czasowy t jest niewielki, wartość ta może się widocznie różnić od 2% swojej wartości ustalonej.

Szczególnie interesujące będą dla użytkownika powyższe parametry wyznaczone dla $x_1(t)$ i $x_3(t)$, gdyż składają się one na odpowiedź układu.

Program przechodzi teraz do zagadnień związanych z obserwowalnością układu. Obliczana jest macierz obserwowalności N :

$$N = [C^T \mid A^T * C^T \mid (A^T)^2 * C^T \mid (A^T)^3 * C^T] \quad (3.13)$$

Macierz obserwowalności N jest rozmiaru 4x8, a układ ma dwa wyjścia. Układ jest obserwowalny wtedy i tylko wtedy, gdy $rank(N) = n$.



Rys. 4: Schemat blokowy układu z obserwatorem stanu

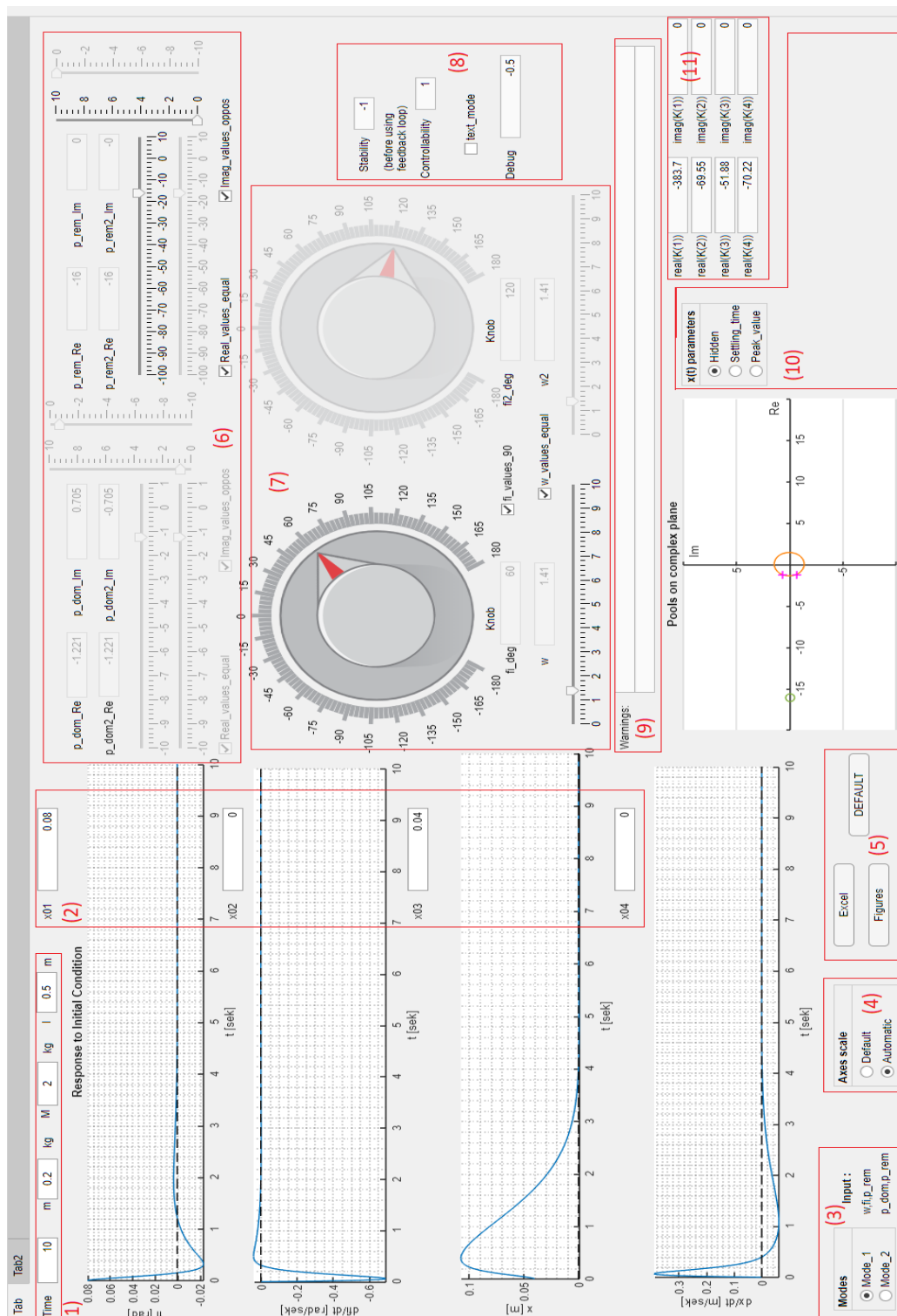
Jeśli warunek obserwowalności jest spełniony, program znajduje macierz wzmocnienia obserwatora K_e o wymiarze 4×1 za pomocą komendy $Ke=place(A',C',p);$, gdzie p to wektor 4×1 biegunów obserwatora. Komenda ta ma jednak ograniczenie takie, że bieguny obserwatora nie mogą być jednakowe. Aby obejść tę restrykcję, do każdego pierwiastka dodano różniące się od siebie małe liczby rzędu 10^{-5} . Można więc bezpiecznie założyć, że program podaje elementy K_e z dokładnością rzędu 10^{-4} .

4. Uruchomienie aplikacji

Aplikację w AppDesignerze można uruchomić na 2 sposoby:

- Za pomocą komendy *appdesigner* wpisanej w interpreter MATLABa, po czym kliknąć *Open* i nawigować do docelowego pliku o rozszerzeniu *.mlapp*, a następnie kliknąć *Run*. Tym sposobem, mamy możliwość zajrzenia do kodu i dokonania ewentualnych zmian (CodeView/DesignView),
- Nawigując wyświetlaną w menu MATLABa po lewej stronie ścieżką, kliknąć dwukrotnie docelowy plik *.mlapp*.

Po uruchomieniu, aby wyświetliły się wykresy i zostały obliczone żądane wartości, należy poruszyć dowolnym pokrętkiem/suwakiem.



Rys. 5: Okno aplikacji - tab1

5. Korzystanie z aplikacji

Na Rys. 5 ponumerowano kolejne opcje aplikacji:

- (1) Modyfikacja wielkości fizycznych modelu oraz chwili końcowej obliczeń *Time*. Wszelkie zmiany wprowadzone przez użytkownika są natychmiast uwzględniane.
- (2) Modyfikacja wektora \mathbf{x}_0 warunków początkowych:
 $\theta_0, \dot{\theta}_0, x_0, \dot{x}_0$
- (3) Sposoby wprowadzania biegunów dominujących pętli sprzężenia zamkniętego:
 - Mode_1 - definiujemy w nich ω (moduł) i φ (kąt odchylenia od osi zespolonej) każdego z biegunów
 - Mode_2 - definiujemy w nich część rzeczywistą i część urojoną każdego z biegunów
- (4) Zmiana zakresu osi na wykresach $\mathbf{x}(t)$ z automatycznego na stały (*Default*), zdefiniowany przez programistę. Stały zakres można zmienić tylko w kodzie w liniach 328-334.
- (5)
 - Wciśnięcie przycisku 'Excel' powoduje export danych i wyników do pliku *Results1.xlsx*. Wielokrotne wciskanie powoduje, że kolejne wyniki są wypisywane na kolejnych kartach tego pliku (*Sheet*). WAŻNE: Arkusz jest kasowany przy każdym uruchomieniu aplikacji, więc stare wyniki należy skopiować przed ponownym uruchomieniem aplikacji,
 - Wciśnięcie przycisku 'Figures' otwiera znane z podstawowego MATLABa okno z wykresami wektora zmiennych stanu $\mathbf{x}(t)$, z których można

odczytać np. wartość jednej ze składowych wektora dla wybranej chwili czasowej,

- Wciśnięcie przycisku 'DEFAULT' przywraca program do ustawień początkowych.

- (6) Jest to obszar, w którym definiujemy części rzeczywiste i urojone biegunów oddalonych (p_{rem}) pętli sprzężenia zwrotnego oraz, jeśli włączony jest Mode_2, części rzeczywiste i urojone biegunów dominujących (p_{dom}). Główny sposób wprowadzania biegunów to suwaki (aby uzyskać dokładną wartość, należy kliknąć na kreskę lub liczbę pod suwakiem), ale przewidziano także tryb wprowadzania tekstowego z klawiatury. W tym celu trzeba zaznaczyć widoczną w (8) opcję `text_mode`. Zaznaczone pole `Real_values_equal` sprawia, że wystarczy wprowadzić tylko jedną część rzeczywistą dla pierwszego z danej pary biegunów, a $Re(p_{dom2})$ będzie automatycznie jej równa. Zaznaczone pole `Imag_values_oppos` działa podobnie, z zaznaczeniem, że części urojone są sobie przeciwne. Kombinacja tych dwóch zaznaczeń definiuje parę biegunów jako sprzężoną.
- (7) Tylko dla Mode_1. Za pomocą pokrętła definiuje się ω , a za pomocą suwaka φ biegunów dominujących. Zaznaczenie pola `fi_values_90` sprawia, że bieguny dominujące są symetryczne względem osi Re . Zaznaczenie pola `w_values_equal` powoduje równość modułów obu biegunów dominujących, podobnie jak wspomniane wcześniej `Re_values_equal`. Kombinacja tych dwóch zaznaczeń definiuje parę biegunów dominujących jako sprzężoną.
- (8) • Pole `Stability` wyświetla stabilność układu przed

zamknięciem pętli sprzężenia zwrotnego. Wartość ta powinna być zawsze $= -1$ (układ niestabilny), gdyż w innym wypadku (0 - układ na granicy stabilności, 1 - układ stabilny asymptotycznie) nasze dalsze działania nie miałyby sensu. Wyświetliłoby się w takim wypadku ostrzeżenie.

- Pole *Controllability* mówi o sterowalności układu wyznaczonej na podstawie rzędu macierzy *M*. Aby nasze dalsze działania miały sens, wartość ta powinna być równa 1 (układ sterowalny). Jeśli w polu tym wyświetliłoby się 0, w polu *Warnings* zostanie wyświetlone ostrzeżenie.
- Zaznaczenie pola *text_mode* powoduje przejście w tryb tekstowego wprowadzania danych
- W polu *Debug* powinno być zawsze wyświetlane -0.5 , każdy inny kod jest kodem błędu świadczącym np. o wycieku pamięci lub innych problemach ze stosem.

(9) W polu *Warnings* wyświetlane mogą być następujące ostrzeżenia:

- *Uncontrollable*, - wyświetlane jest w przypadku, gdy układ nie jest sterowalny
- *Stable, / Marginal stability*, - wyświetlane jest, gdy układ przed zamknięciem pętli sprzężenia zwrotnego nie jest niestabilny
- *Some or all elements of X matrix are complex!* - aby zapobiec, należy zmienić wartości biegunów pętli sprzężenia zwrotnego
- *Some or all elements of K matrix are complex!* - aby zapobiec, należy zmienić wartości biegunów pętli sprzężenia zwrotnego

- *Settling time not reached in given time period for $X_i(t)$* - aby otrzymać ten parametr, należy zapobiec niestabilności układu zmieniając bieguny pętli sprzężenia zwrotnego lub, jeśli ona nie występuje, zwiększyć przedział czasowy
- *Unobservable*, - wyświetlane jest, gdy układ przed zamknięciem pętli sprzężenia zwrotnego nie jest obserwowalny. Cecha obserwowalności układu jest powiązana z jego sterowalnością.
- *Some or all elements of K_e matrix are complex!* - aby zapobiec, należy zmienić wartości biegunów obserwatora

(10) To menu ma 3 przyciski opcji:

- *Hidden* - nie wyświetla parametrów *peak_value*, *settling_time*, *settling_value*, żeby nie zaciemniać aplikacji
- *Settling_time* - wyświetla parametry *Settling_value* i *Settling_time* dla każdej ze składowych wektora $x(t)$
- *Peak_value* - wyświetla parametr *Peak_value* dla każdej ze składowych wektora $x(t)$

(11) Wyświetla części rzeczywiste macierzy wzmocnienia K , a także części urojone, jeśli takie by się pojawiły

Aplikacja zawiera 2 karty, *Tab1* i *Tab2*, przy czym działanie pierwszej z nich właśnie zostało omówione. Na drugiej karcie znajduje się część poświęcona wyznaczaniu macierzy wzmocnienia obserwatora K_e . Bieguny obserwatora użytkownik wprowadza analogicznie do biegunów pętli sprzężenia zwrotnego.

6. Bibliografia

- Modern Control Engineering, 5th Edition - Katsuhiko Ogata

Data wykonania pracy przejściowej: 24.05.2019r.