

PROTOKÓŁ IDENTYFIKACJI SYSTEMU

POJEDYNCZA SEKCJA SYSTEMU HILSys
ZESTAW 7.

Piórkowska Agnieszka 144548
Gajewski Miłosz 144550
Grupa dziekańska A - 2
Grupa laboratoryjna L - 3



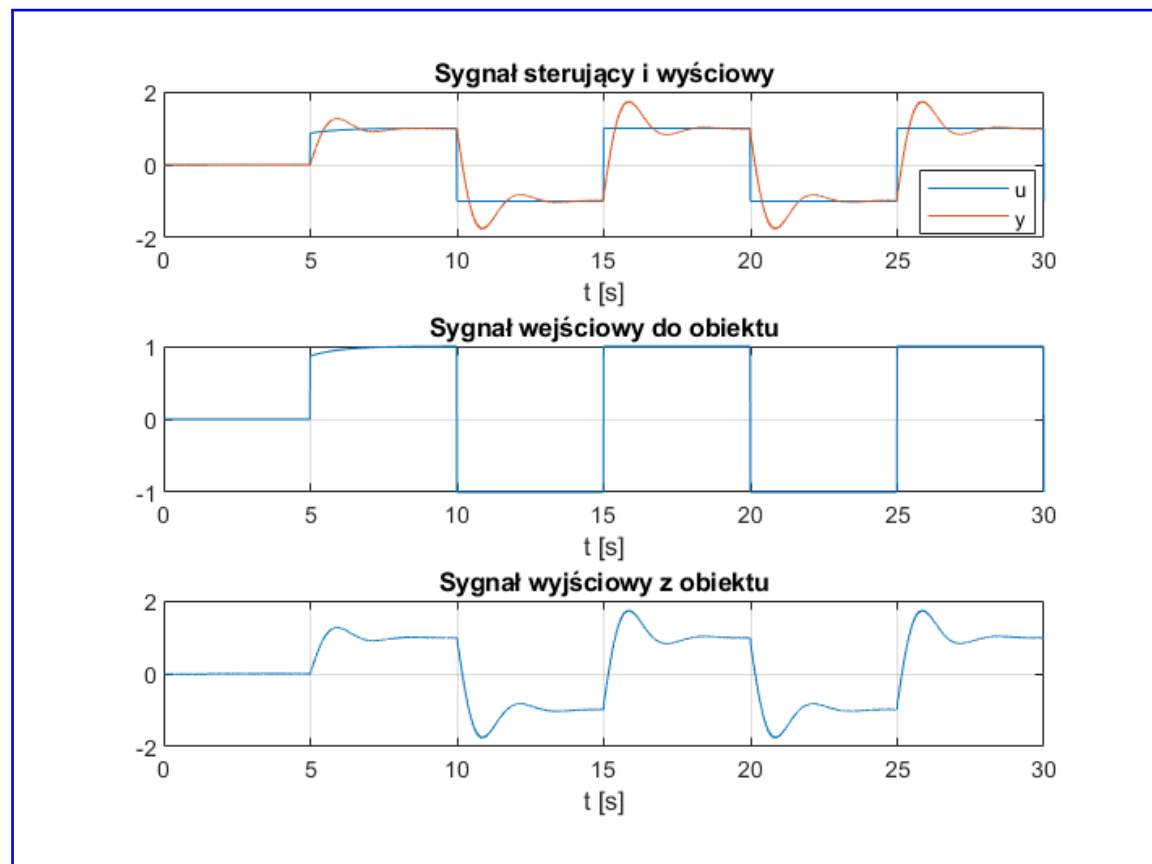
Politechnika Poznańska
Wydział Automatyki Robotyki i Elektrotechniki
Automatyka i Robotyka

Spis treści

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | <u>Zebrane dane pomiarowe</u> | 2 |
| 1.1 | Analiza pojedynczej odpowiedzi skokowej | 3 |
| 2 | <u>Pozyskanie wiedzy wstępnej o obiekcie</u> | 5 |
| 2.1 | Analiza korelacyjna | 5 |
| 2.2 | Analiza widmowa | 6 |
| 2.3 | Źródła dodatkowe | 8 |
| 3 | <u>Klasa i struktura obiektu</u> | 9 |
| 4 | <u>Estymacja parametryczna</u> | 9 |
| 4.1 | Identyfikacja pośrednia | 9 |
| 4.2 | Identyfikacja bezpośrednia | 11 |
| 4.2.1 | Metoda najmniejszych kwadratów LS | 11 |
| 4.2.2 | Metoda zmiennych instrumentalnych IV | 12 |
| 4.3 | System Identification Toolbox - MatLab | 14 |
| 5 | <u>Wnioski</u> | 16 |

1 Zebrane dane pomiarowe

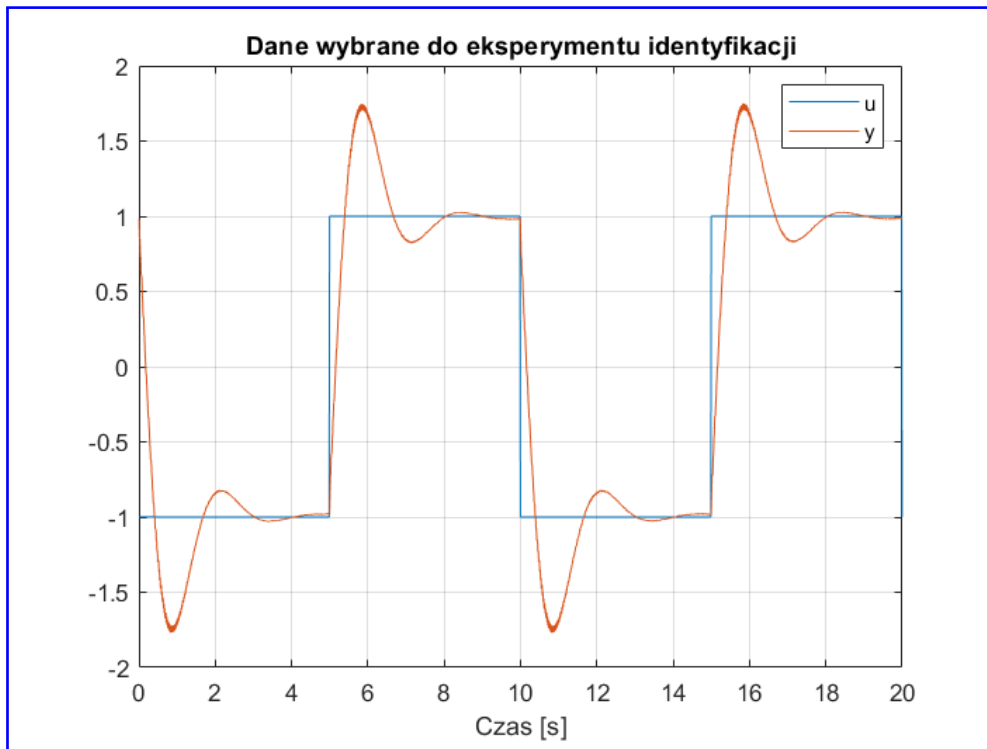
Proces zadania identyfikacji systemu rozpoczynamy od wyświetlenia dostarczonych danych pomiarowych w celu wizualnego sprawdzenia, czy nie zawierają one błędów grubych (ang. outliers), czy też braków danych w pewnych odcinkach. Istotnym etapem każdego eksperymentu identyfikacji jest wybór danych informatywnych z całościowego zbioru danych z eksperymentu, na podstawie których przeprowadzona zostanie identyfikacja parametryczna. Dostarczone dane mają postać:



Rysunek 1: Zebrane dane pomiarowe.

Analiza: Jak łatwo można zauważyć, pierwsze 5 sekund pomiarów to dane nieinformatywne, gdyż mają one wartość 0, zarówno na wejściu jak i wyjściu obiektu. Na podstawie dostarczonych informacji z wiedzy a priori wiadomo również, że pierwsze 150 próbek pomiarowych pozbawione jest składowej stałej, można to zauważyć na sygnałach zarówno wejściowych jak i wyjściowych zaczynając od 5 sekundy pomiarów, dane te również nie są informatywne i zostaną

wycięte. Sygnał pobudzający dla obiektu to sygnał prostokątny przypominający sygnał PWM o wypełnieniu 50% i okresie 10 sekund, na tym etapie można również zauważyć fakt, że sygnał wyjściowy stanowi odpowiedzi na wymuszenia skokowe o amplitudzie ± 1 , co znacząco ułatwia pozyskanie wiedzy wstępnej o obiekcie. Analiza pojedynczej odpowiedzi skokowej zostanie przeprowadzona w dalszej części. Na potrzeby eksperymentu identyfikacyjnego zostanie więc pobrany odcinek danych pomiarowych od 10 sekundy do 30 sekundy, wówczas dane będą miały postać:

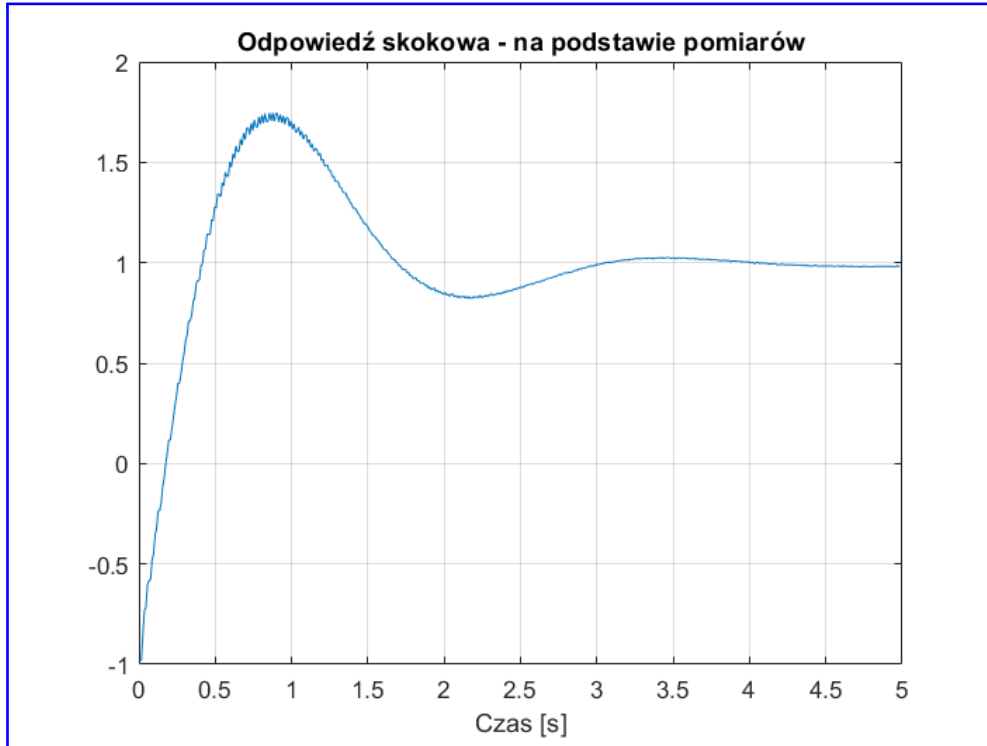


Rysunek 2: Dane wybrane do eksperymentu identyfikacji.

1.1 Analiza pojedynczej odpowiedzi skokowej

Na podstawie wyciętego fragmentu danych wejściowych oraz wyjściowych możliwe jest przeprowadzenie analizy odpowiedzi skokowej obiektu, gdyż sygnał zadany ma charakter skoku do wartości 1. Niestety rozważania te będą jedynie przybliżone ze względu na fakt, że pojedyncza odpowiedź skokowa trwa jedynie 5 sekund, a nie do teoretycznej chwili w nieskończoności, jak również sygnał zaczyna się na wartości -1 i dąży do wartości 1, a nie jak ma to miejsce w ogólnej odpowiedzi skokowej obiektu, gdzie sygnał zadany zmienia skokowo wartość z 0 do 1. Na tym etapie jednak nie stanowi to dla nas większych problemów, gdyż rozważania

te prowadzimy jedynie do uzyskania wiedzy wstępnej o systemie, by uzyskać informacje takie jak znak wzmocnienia statycznego, nieminimalnofazowość, czy też występowanie modów oscylacyjnych.



Rysunek 3: Odpowiedź skokowa systemu.

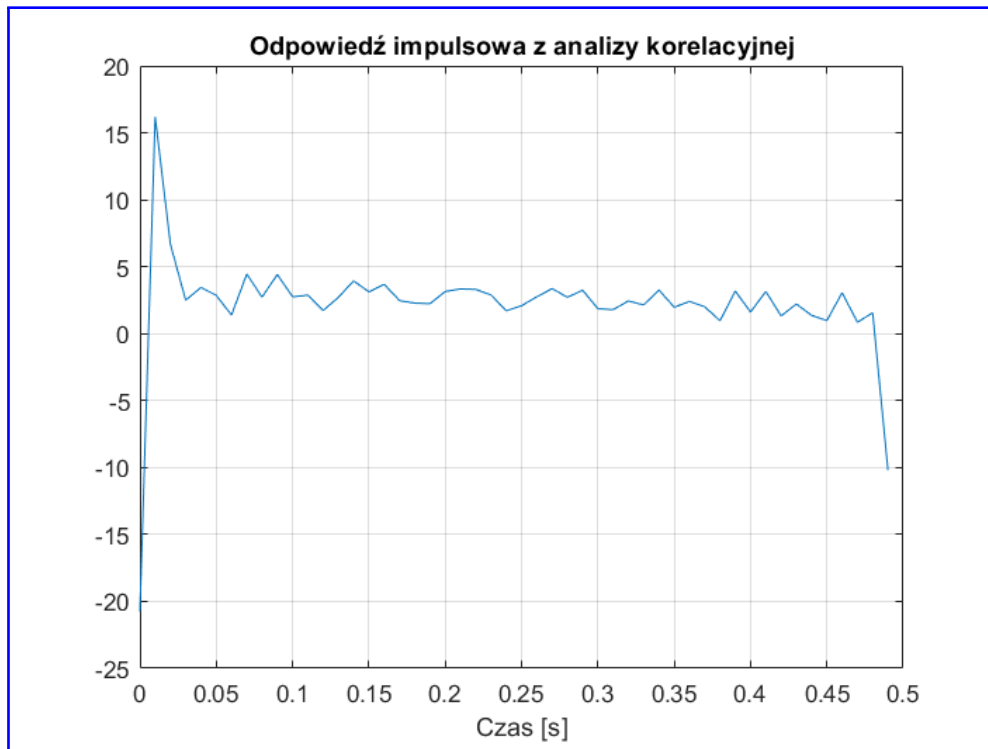
Analiza: Na podstawie posiadanej wiedzy wstępnej możemy określić, że system to najprawdopodobniej dynamika II rzędu z modami oscylacyjnymi (dwa bieguny zespolone, sprzężone), nie posiada opóźnienia transportowego, oraz nieminimalnofazowości (zer w prawej półpłaszczyźnie). System cechuje się także dodatnim wzmocnieniem statycznym, które prawdopodobnie wynosi 1 ($K = y_{end}/A_u$), na tym etapie pod koniec występują jeszcze niewielkie procesy przejściowe, stąd sygnał się nie ustalił, jednak obliczone wzmocnienie wynosi 0.989, co jest na tyle bliskie wartości 1, że można sądzić, iż gdyby sygnał pobudzający był dłuższy, to wartość odpowiedzi ustaliłaby się na wartości 1, co jest równoważne ze wzmocnieniem statycznym o wartości 1. Przy takim przybliżeniu pomiarów można również wstępnie ocenić wariancję zakłóceń pomiarów, która dla rozważanego przykładu jest na tyle niewielka, iż można łatwo ocenić kształt i przebieg wyjścia systemu.

2 Pozyskanie wiedzy wstępnej o obiekcie

2.1 Analiza korelacyjna

Analiza korelacyjna prowadzi do oszacowania skończonej sekwencji próbek odpowiedzi impulsowej badanego systemu, wykorzystując badanie korelacji własnej i wzajemnej sygnałów na wejściu i wyjściu systemu. W rozważanym przypadku odpowiedź impulsową można uzyskać na dwa sposoby, z analizy korelacyjnej, jak również wykorzystując fakt, że odpowiedź impulsowa jest pochodną odpowiedzi skokowej. W sygnale wyjściowym występują jednak zakłócenia, stąd uzyskana metodą różnic skończonych odpowiedź impulsowa z pomiarów będzie dosyć mocno zaszumiona.

Odpowiedź impulsowa na podstawie analizy korelacyjnej:

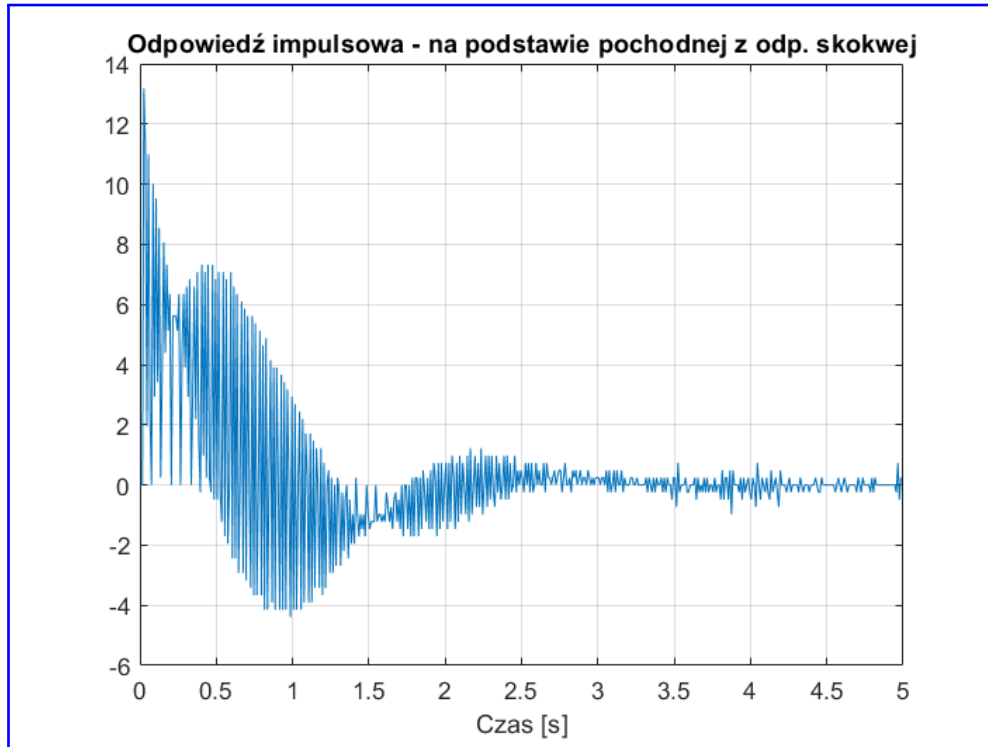


Rysunek 4: Odpowiedź impulsowa systemu - analiza korelacyjna.

Analiza: Wyniki uzyskane z analizy korelacyjnej nie dają jasnych i klarownych informacji na temat struktury i zachowania się systemu. Główną przyczyną takiego zjawiska jest fakt, że metoda analizy korelacyjnej daje najlepsze wyniki, gdy sygnał pobudzający system ma dużą liczbę składowych częstotliwościowych, stąd najlepszym wyborem jest szum biały. W rozważanym przypadku sygnał

pobudzający to zwykły sygnał prostokątny, stąd niesie on ze sobą zbyt mało informacji, stąd uzyskane wyniki nie dają jasnych i klarownych wniosków.

Odpowiedź impulsowa na podstawie pochodnej skoku jednostkowego:



Rysunek 5: Odpowiedź impulsowa systemu - pochodna odp. skokowej.

Analiza: Odpowiedź impulsowa uzyskana na podstawie pochodnej odpowiedzi skokowej jest znacznie bardziej informatywna w rozważanym przypadku. Pomimo występujących zakłóceń zachowany jest ogólny kształt odpowiedzi, który potwierdza wcześniejsze przypuszczenia o II rzędzie obiektu, ponadto można stwierdzić, że obiekt jest asymptotycznie stabilny. Kształt odpowiedzi potwierdza obecność oscylacji, a więc w obiekcie występują mody zespolone sprzężone. Zastanawia jednak charakterystyczne "zawrócenie" sygnału na samym początku wykresu, które charakterystyczne jest dla obiektów posiadających zero w transmitancji, jednak na tym etapie wynik jest zbyt mocno zaszumiony, a co za tym idzie niejednoznaczny.

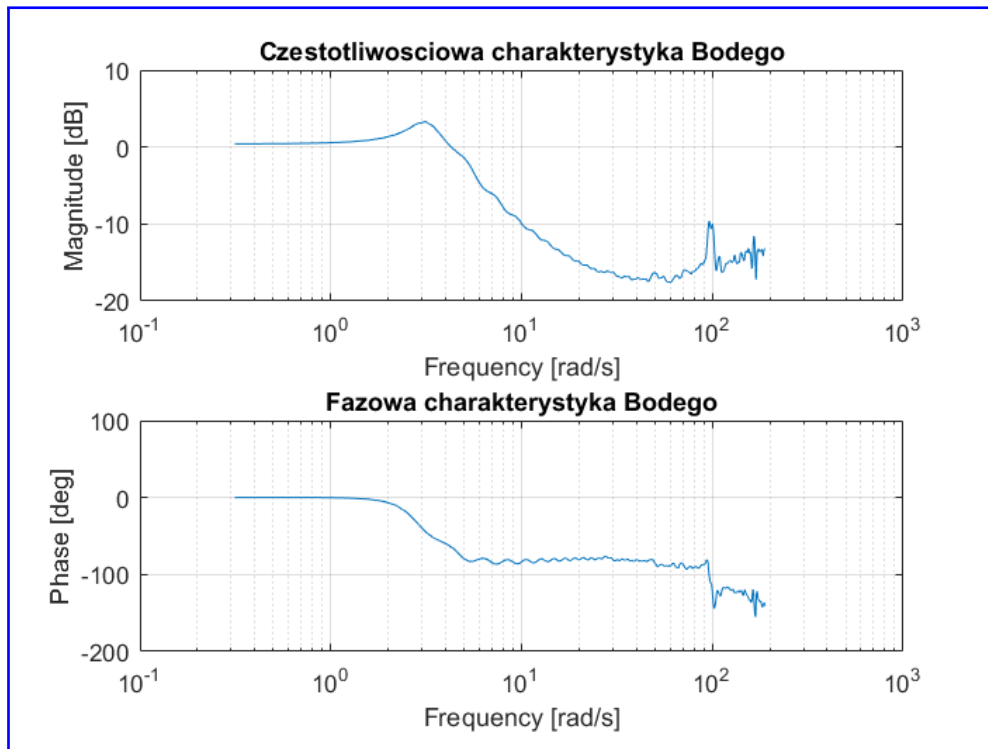
2.2 Analiza widmowa

Analiza widmowa jest nieparametryczną metodą identyfikacji. Prowadzi ona do oszacowania charakterystyk częstotliwościowych rozważanego systemu

dynamicznego, głównie sprowadza się do wyznaczenia zbioru punktów charakterystyk Bodego.

Właściwości częstotliwościowe dla otrzymanego zbioru danych zostały określone na podstawie estymatora transmitancji, który wyznaczony został poprzez iloraz gęstości widmowych mocy. Gęstości widmowe mocy wykorzystywane przy wyznaczaniu estymatora transmitancji zostały obliczone w oparciu o wzory uwzględniające okno przesunięciowe Hanninga. Taki zabieg prowadzi zarówno do zmniejszenia wariancji estymatorów gęstości widmowych mocy, co jest pożądanym efektem, jak i do zniekształcenia przebiegu estymaty, co jest wadą implementacji gęstości widmowych mocy z uwzględnieniem okien przesunięciowych. Metodą eksperymentalną została dobrana szerokość okna przesunięciowego M_w (z uwzględnieniem $M_w < N - 1$), by uzyskać kompromis pomiędzy zaletami a wadami takiego rozwiązania.

Dzięki przeprowadzonej analizie widmowej uzyskano przebiegi - częstotliwościowej charakterystyki Bodego oraz fazowej charakterystyki Bodego.



Rysunek 6: Charakterystyki częstotliwościowa i fazowa Bodego.

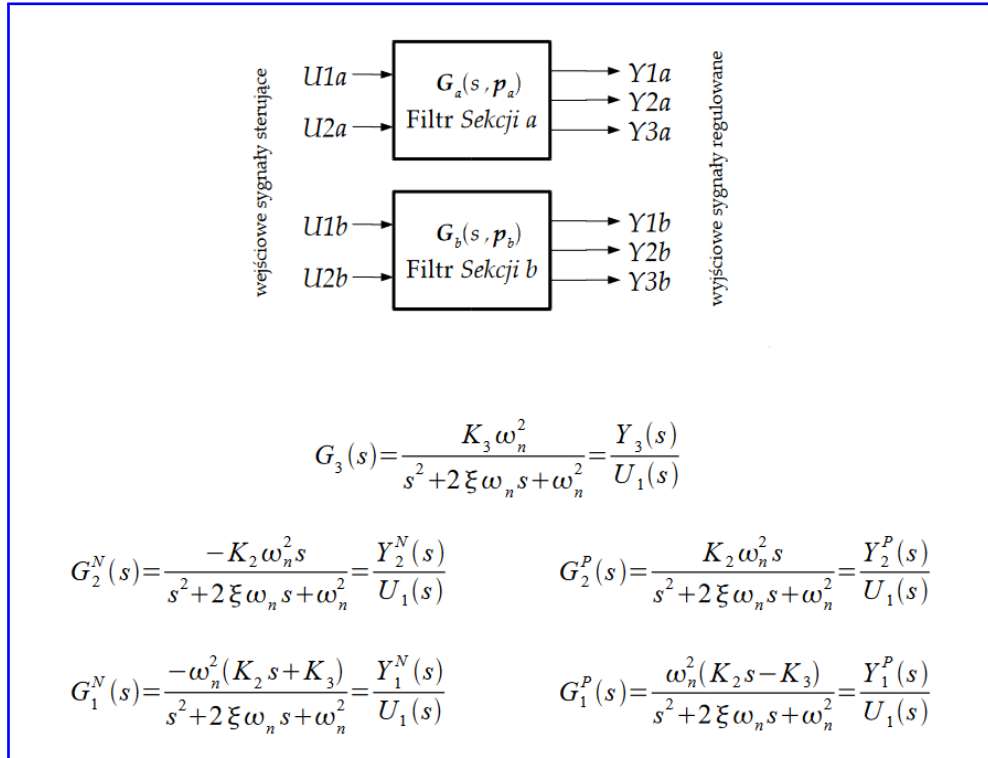
Analiza: Na podstawie uzyskanego przebiegu częstotliwościowej charakterystyki Bodego, można wywnioskować, iż badany obiekt zawiera mody zespolone sprzężone, o czym świadczy widniejący na charakterystyce pik

rezonansowy. Transmitancja badanego obiektu jest II rzędu, jednak z uwagi na występowanie zera w liczniku transmitancji, szybkość opadania charakterystyki określona jest na $-20dB/dekade$ a nie $-40dB/dekade$. Największe nachylenie fazowej charakterystyki Bodego jest w okolicach pulsacji rezonansowej.

Analiza widmowa doprowadziła do oszacowania własności systemu dzięki analizie w dziedzinie częstotliwości. Przeprowadzenie nieparametrycznej identyfikacji, oprócz oszacowania własności obiektu, może zostać w przyszłości wykorzystane do weryfikacji wyników parametrycznej identyfikacji.

2.3 Źródła dodatkowe

Na podstawie posiadanej wiedzy a priori skąd zostały zebrane dane pomiarowe przeprowadzone zostały badania na temat systemu. W dokumentacji systemu znaleźć można informacje o torach sygnałowych obecnych w badanym urządzeniu:



Rysunek 7: Wycinek dokumentacji systemu.

Analiza: Wszystkie przedstawione transmitancje są II rzędu, co potwierdza prowadzone w poprzednich podrozdziałach rozważania, analizując jednak podane

struktury, można już wykreślić z rozważań trzy pierwsze z nich, gdyż obiekt musi posiadać niezerowe dodatnie wzmocnienie statyczne oraz jedno zero, a takie wymagania spełniają jedynie dwie dolne transmitancje - $G_1^P(s)$ oraz $G_1^N(s)$. Na tym etapie nie ma jednak znaczenia którą z nich obierzemy za prawdziwą, gdyż są one praktycznie równoważne, jeśli odpowiednie wzmocnienia będą ujemne.

3 Klasa i struktura obiektu

Na podstawie przeprowadzonych testów wstępnych w celu uzyskania wiedzy a priori oraz porównania wyników z dostępnymi transmitancjami z dokumentacji obiektu możliwe było wyznaczenie struktury identyfikowanego systemu w postaci:

$$G(s) = \frac{b_1 s + b_2}{s^2 + a_1 s + a_2} \quad (1)$$

4 Estymacja parametryczna

4.1 Identyfikacja pośrednia

Na potrzeby estymacji parametrycznej w zadaniu identyfikacji pośredniej konieczne jest dokonanie dyskretyzacji transmitancji w postaci ciągłej. Dyskretyzację przeprowadzono przy pomocy przekształcenia Eulera w przód.

$$G(z) = G(s) \Big|_{s=\frac{1-z^{-1}}{z^{-1}Tp}} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} G(z) &= \frac{b_1 \cdot \frac{1-z^{-1}}{z^{-1}Tp} + b_2}{\left(\frac{1-z^{-1}}{z^{-1}Tp}\right)^2 + a_1 \cdot \frac{1-z^{-1}}{z^{-1}Tp} + a_2} = \frac{\frac{b_1 - b_1 z^{-1} + b_2 z^{-1} Tp}{z^{-1}Tp}}{\frac{1-2z^{-1}+z^{-2}}{z^{-2}Tp^2} + \frac{a_1 - a_1 z^{-1}}{z^{-1}Tp} + a_2} = \\ &= \frac{\frac{b_1 - b_1 z^{-1} + b_2 z^{-1} Tp}{z^{-1}Tp}}{\frac{1-2z^{-1}+z^{-2} + (z^{-1}Tp)(a_1 - a_1 z^{-1}) + a_2 z^{-2} Tp^2}{z^{-2}Tp^2}} = \frac{b_2 Tp^2 z^{-2} - b_1 Tp z^{-2} + b_1 Tp z^{-1}}{(1 - a_1 Tp + a_2 Tp^2) z^{-2} + (a_1 Tp - 2) z^{-1} + 1} = \\ &= \frac{(b_2 Tp^2 - b_1 Tp) z^{-2} + b_1 Tp z^{-1}}{(1 - a_1 Tp + a_2 Tp^2) z^{-2} + (a_1 Tp - 2) z^{-1} + 1} = \frac{Y(z)}{U(z)} \end{aligned}$$

$$y(n) + (a_1 Tp - 2)y(n-1) + (1 - a_1 Tp + a_2 Tp^2)y(n-2) = b_1 Tp u(n-1) + (b_2 Tp^2 - b_1 Tp)u(n-2)$$

Na tej podstawie wyznaczono wektor regresji:

$$\varphi^T(n) = \begin{bmatrix} -y(n-1) & -y(n-2) & u(n-1) & u(n-2) \end{bmatrix}$$

Wobec tego:

$$y(n) = \begin{bmatrix} -y(n-1) & -y(n-2) & u(n-1) & u(n-2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 T p - 2 \\ 1 - a_1 T p + a_2 T p^2 \\ b_1 T p \\ b_2 T p^2 - b_1 T p \end{bmatrix}$$

Identyfikacji parametrycznej metodą pośrednią LS dokonano w programie MATLAB i uzyskano następujące wyniki w estymatorze parametrów:

$$\hat{p}_{LS}^N = \begin{bmatrix} -0.8834 \\ -0.0897 \\ 0.0563 \\ -0.0249 \end{bmatrix}$$

Na tej podstawie wyznaczone zostały parametry identyfikowanego systemu czasu ciągłego:

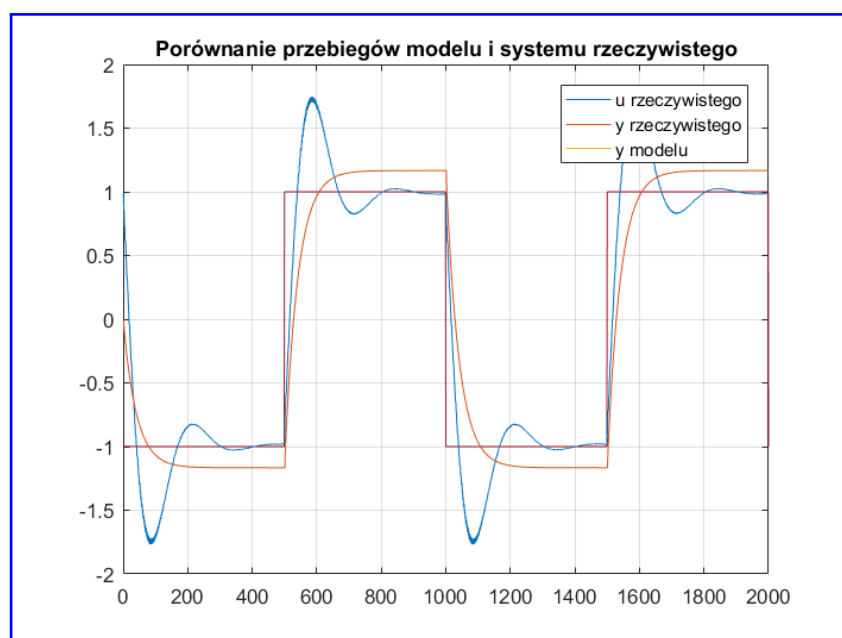
$$a_1 = 111.66$$

$$a_2 = 268.51$$

$$b_1 = 5.63$$

$$b_2 = 313.22$$

Porównano przebiegi modelu i systemu rzeczywistego:



Rysunek 8: Porównanie przebiegów modelu i systemu rzeczywistego.

W celu sprawdzenia jakości modelu zastosowano weryfikację krzyżową - zaimplementowano wskaźnik miary dopasowania modelu i dokonano oceny ilościowej.

$$J_{FIT}^N(M) = 62.14\%$$

Analizując uzyskane przebiegi wykreślone na podstawie systemu rzeczywistego oraz modelu utworzonego z parametrów estymowanych metodą identyfikacji pośredniej LS można zauważyć, iż przy wyznaczonych parametrach nie uzyskano symulatora wyjaśniającego odpowiedź systemu na poziomie $J_{FIT} > 95\%$

Po uzyskaniu niezadowalających rezultatów, podjęto próby dyskretyzacji transmitancji inną metodą - przekształcenia Eulera wstecz, która także nie doprowadziła do osiągnięcia pożądaných wyników. Wobec powyższych zdecydowano się na podjęcie kroków identyfikacji bezpośredniej metodami najmniejszych kwadratów oraz zmiennych instrumentalnych IV, a osiągnięte wyniki opisano poniżej.

4.2 Identyfikacja bezpośrednia

4.2.1 Metoda najmniejszych kwadratów LS

Przeprowadzona identyfikacja pośrednia nie doprowadziła do zadowalających rezultatów, stąd podjęta została decyzja o przeprowadzeniu identyfikacji bezpośredniej. Zadanie identyfikacji bezpośredniej nie wymaga użycia modelu czasu dyskretnego, problemem w tym podejściu staje się estymacja pochodnych sygnałów, do uzyskania których stosuje się filtrację filtrami SVF. Rozważany model na podstawie transmitancji (1) można zapisać w postaci:

$$\ddot{y}(t) = \begin{bmatrix} -\dot{y}(t) & -y(t) & \dot{u}(t) & u(t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} + v^*(t) \quad (3)$$

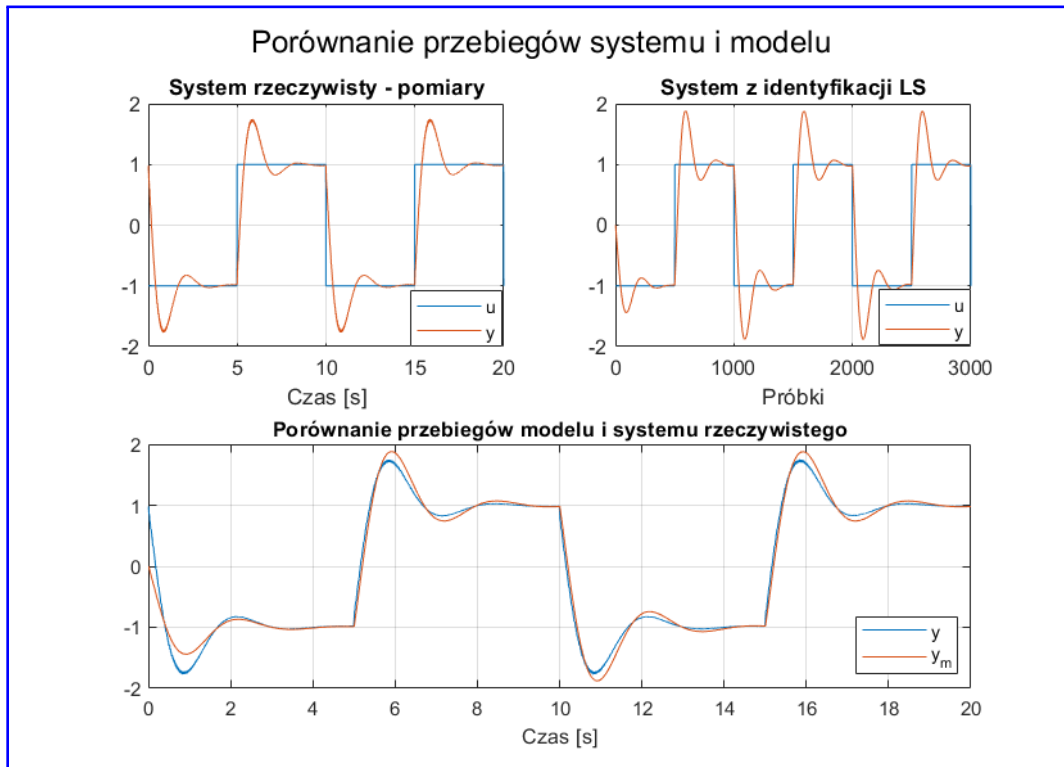
Na podstawie tego modelu przeprowadzona została estymacja wsadowa LS, dzięki

której uzyskano estymaty parametrów w postaci: $p_{LS}^N = \begin{bmatrix} 1.9459 \\ 6.9874 \\ 2.4031 \\ 6.9655 \end{bmatrix}$ Transmitancja

systemu ma wówczas postać:

$$G(s) = \frac{2.4031s + 6.9655}{s^2 + 1.9459s + 6.9874} \quad (4)$$

Estymaty te pozwoliły na stworzenie modelu, którego odpowiedź w porównaniu do systemu rzeczywistego ma postać:



Rysunek 9: Wyniki estymacji bezpośredniej LS.

Na tym etapie możliwe było również przeprowadzenie oceny ilościowej uzyskanych wyników, do tego celu posłużyły dwa wskaźniki jakości: skumulowany kwadrat błędów odpowiedzi modelu oraz wskaźnik określający procent zmiany wyjścia systemu, która jest wyjaśniana przez model. Wskaźniki te mają odpowiednio wartości: $J^N(M) = 0.0086$ oraz $J_{FIT}^N(M) = 99.7682\%$

Analiza: Uzyskane estymaty parametrów wyjaśniają dane pomiarowe w bardzo wysokim stopniu, a skumulowany błąd odpowiedzi modelu jest niezwykle niski, jednak przyglądając się z bliska danym uzyskanym z symulatora i tym dostępnym z pomiarów zauważyć można pewne różnice w przebiegu sygnału wyjściowego. Rozbieżności mogą być spowodowane zarówno faktem występowania zakłóceń kolorowych, które znacząco pogarszają jakość estymat w metodzie LS (obciążenie estymat), czy też obecności błędów numerycznych.

4.2.2 Metoda zmiennych instrumentalnych IV

W celu dalszej poprawy jakości estymat i uodpornienia ich na jakość zakłóceń wykonana została estymacja metodą zmiennych instrumentalnych IV. Zmienne instrumentalne zostały wyznaczone na podstawie modelu, którego

parametry stanowiły obciążone estymaty LS, stąd procedura identyfikacji IV była dwuetapowa.

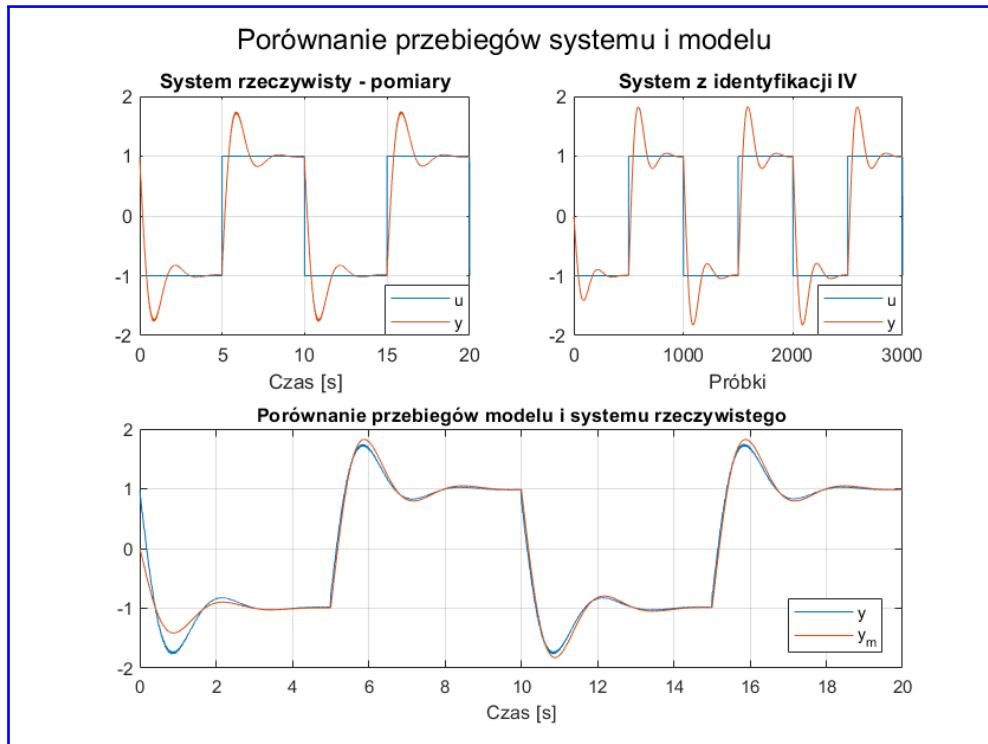
Na podstawie identyfikacji uzyskano estymaty parametrów w postaci:

$$p_{LS}^N = \begin{bmatrix} 2.1800 \\ 7.1345 \\ 2.6512 \\ 7.1236 \end{bmatrix}$$

Transmitancja systemu ma wówczas postać:

$$G(s) = \frac{2.1800s + 7.1345}{s^2 + 2.6512s + 7.1236} \quad (5)$$

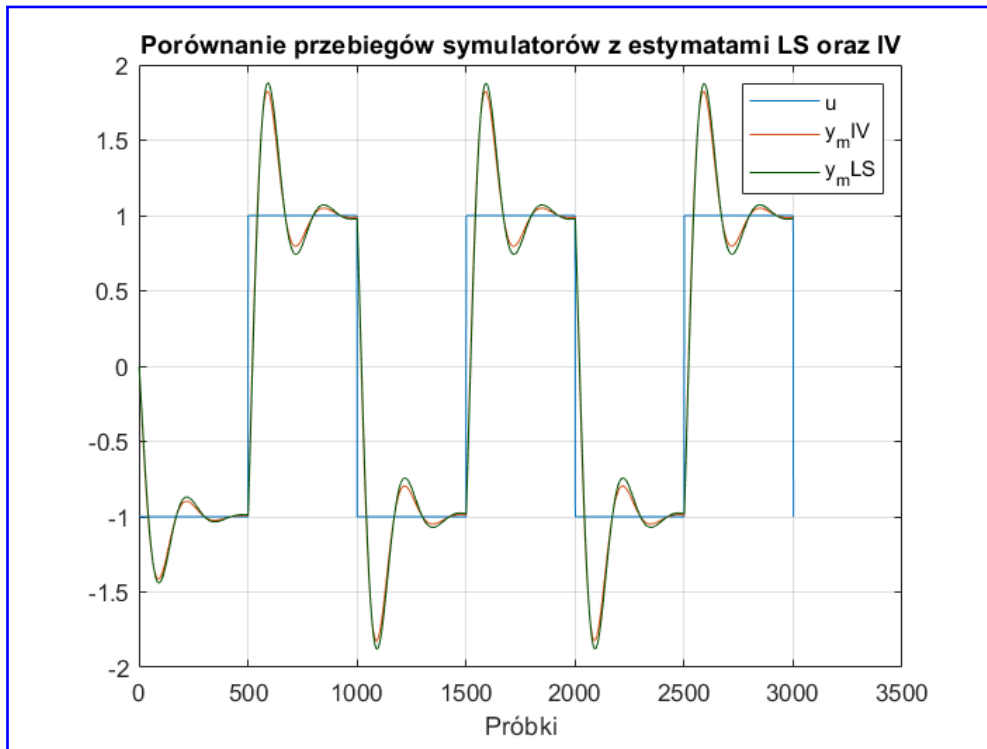
Estymaty te pozwoliły na stworzenie modelu, którego odpowiedź w porównaniu do systemu rzeczywistego ma postać:



Rysunek 10: Wyniki estymacji bezpośredniej IV.

Uzyskane tą metodą wskaźniki jakości mają wartości: $J^N(M) = 0.0038$ oraz $J_{FIT}^N(M) = 99.8455\%$.

Porównanie przebiegów modeli z parametrami z obu estymacji:



Rysunek 11: Porównanie wyników estymacji.

Analiza: Wartości uzyskane z estymacji metodą zmiennych instrumentalnych odwzorowują dane pomiarowe z lepszym skutkiem, a wartości wskaźników poprawiły się względem poprzedniej estymacji. Takie rozwiązanie jednak zawsze jest dwuetapowe i wymaga wstępnej estymacji obciążonych estymat do zastosowania modelu i wyznaczenia zmiennych instrumentalnych. Wysoka wartość wskaźnika określającego procent zmiany wyjścia systemu, która jest wyjaśniana przez model świadczy o poprawnym doborze struktury modelu systemu, a co za tym idzie poprawnych rozważaniach na temat pozyskania wiedzy wstępnej. Warto również pamiętać, że w metodzie bezpośredniej używa się przybliżone wartości pochodnych sygnałów i jakość estymacji w głównej mierze zależy od jakości dobranych parametrów do filtrów SVF.

4.3 System Identification Toolbox - MatLab

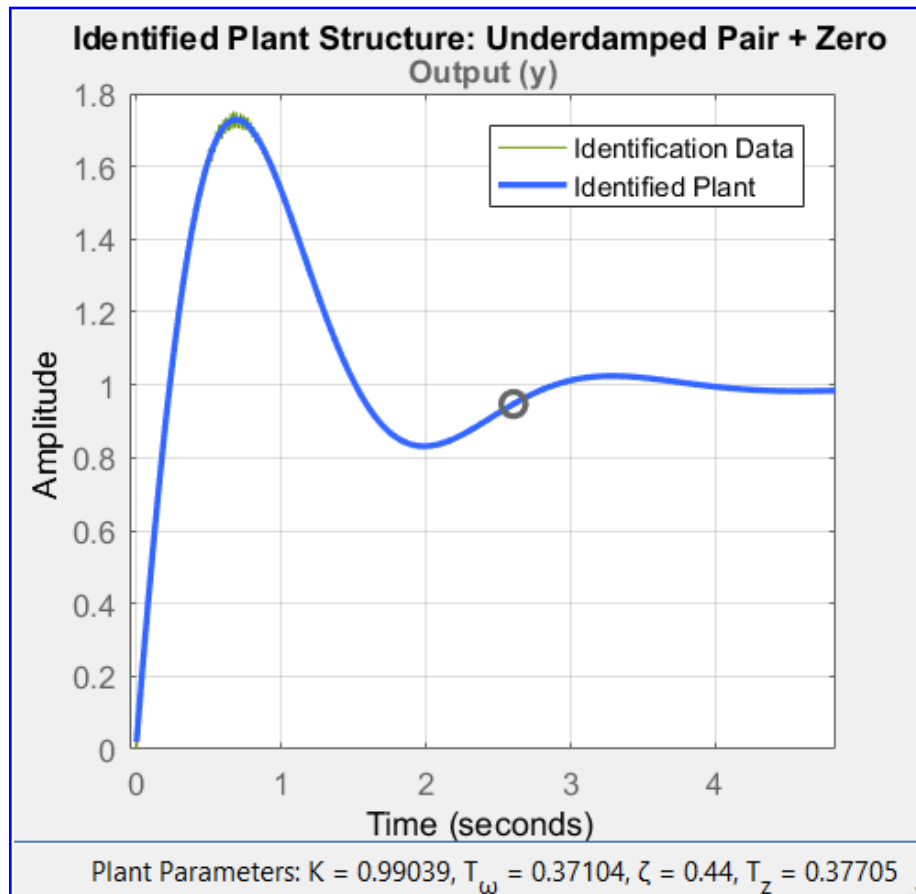
W celu dodatkowej weryfikacji obranej struktury modelu, posłużono się narzędziem programu MATLAB, które umożliwia identyfikację struktury i jej parametrów na podstawie wprowadzonych sygnałów oraz wstępnych informacji

o obiekcie, takich jak zawartość zer transmitancji, czy ilość biegunów. Jako sygnały wejściowy i wyjściowy, na podstawie których miała odbywać się identyfikacja, potraktowano skok jednostkowy oraz odpowiedź skokową obiektu dla odpowiednio wyodrębnionych danych. Z pozyskanej wiedzy wstępnej wiadomo było, iż obiekt może posiadać zero transmitancji, zawiera mody oscylacyjne i jest najprawdopodobniej drugiego rzędu. Te wstępne informacje uwzględniono w narzędziu automatycznej identyfikacji systemu.

Transmitancja identyfikowanego obiektu określona poprzez narzędzie programu MATLAB:

$$K \frac{T_z s + 1}{(T_\omega^2 s^2 + 2\zeta T_\omega s + 1)}$$

Automatyczna estymacja parametrów na podstawie dopasowania przebiegu do wprowadzonych do narzędzia MATLABa sygnałów, określiła parametry transmitancji następująco:



Rysunek 12: Automatyczna identyfikacja systemu.

Dzięki przyrównaniu wyznaczonych parametrów do modelu transmitancji określonego na podstawie doświadczeń z pozyskiwania wiedzy wstępnej o obiekcie, możliwe było przybliżone określenie ile powinny wynosić parametry a_1, a_2, b_1, b_2 .

Mając zidentyfikowaną przez narzędzie transmitancję

$$K \frac{T_z s + 1}{(T_\omega^2 s^2 + 2\zeta T_\omega s + 1)}$$

można przekształcić ją do postaci wyznaczonej transmitancji obiektu metodami analityczno - doświadczalnymi:

$$\frac{\frac{KT_z}{T_\omega^2} s + \frac{K}{T_\omega^2}}{(s^2 + \frac{2\zeta T_\omega}{T_\omega^2} s + \frac{1}{T_\omega^2})}$$

I uwzględniając wartości poszczególnych parametrów dokonać obliczeń:

$$a_1 = \frac{2\zeta T_\omega}{T_\omega^2} = \frac{2 \cdot 0.44}{0.37104} = 2.372$$

$$a_2 = \frac{1}{T_\omega^2} = \frac{1}{0.37104 \cdot 0.37104} = 7.264$$

$$b_1 = \frac{KT_z}{T_\omega^2} = \frac{0.99039 \cdot 0.37705}{0.37104 \cdot 0.37104} = 2.712$$

$$b_2 = \frac{K}{T_\omega^2} = \frac{0.99038}{0.37104 \cdot 0.37104} = 7.194$$

Bardzo zbliżone wyniki otrzymano poprzez przeprowadzenie bezpośredniej identyfikacji systemu metodą zmiennych instrumentalnych, co może służyć za potwierdzenie poprawnie przeprowadzonej identyfikacji systemu.

5 Wnioski

Przeprowadzenie identyfikacji systemu w ramach realizowanego projektu umożliwiło poszerzenie wiedzy z zakresu poprawnego wyodrębniania informatywnych danych, pozyskiwania wiedzy wstępnej o obiekcie na podstawie analizy korelacyjnej oraz analizy widmowej, estymacji parametrycznej metodą pośrednią oraz estymacji parametrycznej metodą bezpośrednią.

Na każdym z poszczególnych etapów identyfikacji możliwe było wyciągnięcie odpowiednich wniosków. W początkowej fazie identyfikacji konieczne było wycięcie nieinformatywnych danych - 5 pierwszych sekund sygnału o wartości 0 oraz

150 próbek pozbawionych składowej stałej. Analiza pojedynczej odpowiedzi skokowej nakreśliła prawdopodobną dynamikę - II rząd, występowanie modów oscylacyjnych, brak opóźnienia transportowego oraz brak nieminimalnofazowości. Na podstawie pojedynczej odpowiedzi skokowej oszacowano także wzmocnienie statyczne w przybliżeniu równe 1. Analiza korelacyjna nie zaowocowała klarownymi danymi z uwagi na zbyt małą liczbę składowych częstotliwościowych w sygnale pobudzającym (sygnał pobudzający to sygnał prostokątny, a najlepsze wnioski z analizy korelacyjnej można wyciągnąć przy pobudzeniu szumem białym). Natomiast bardziej informatywna okazała się odpowiedź impulsowa wyznaczona z odpowiedzi skokowej, która potwierdziła dynamikę II rzędu identyfikowanego obiektu oraz pozwoliła określić obiekt jako asymptotycznie stabilny. Dodatkowo, pomimo zaszumienia, dostrzeżone zostało charakterystyczne zawrócenie sygnału na początku przebiegu odpowiedzi impulsowej, które wskazywałoby na występowanie zera transmitancji. Analiza widmowa i częstotliwościowe charakterystyki Bodego wykreślone na jej podstawie potwierdziły występowanie zera transmitancji oraz II rząd obiektu. Na podstawie przeprowadzonych testów wstępnych oraz porównując zdobyte informacje z dokumentacją systemu (znajomość systemu została zaczerpnięta z wiedzy a priori), możliwe było ostateczne określenie struktury identyfikowanego obiektu w postaci:

$$G(s) = \frac{b_1 s + b_2}{s^2 + a_1 s + a_2} \quad (6)$$

W celu wyznaczenia parametrów skorzystano początkowo z identyfikacji pośredniej, która w rezultacie nie dała satysfakcjonującego wskaźnika miary dopasowania modelu. W związku z tym przeprowadzono identyfikację bezpośrednią - z początku metodą najmniejszych kwadratów, a następnie metodą zmiennych instrumentalnych. Metoda najmniejszych kwadratów LS doprowadziła do uzyskania zadowalającego wskaźnika jakości, jednak z uwagi na występujące kolorowe zakłócenia, zauważalne były różnice między przebiegami sygnału wyjściowego modelu oraz systemu rzeczywistego. W celu poprawy jakości estymat i uodpornienia ich na jakość zakłóceń dokonano wspomnianej identyfikacji metodą zmiennych instrumentalnych IV. Uzyskane tą metodą wskaźniki jakości przyjęły wartości: $J^N(M) = 0.0038$ oraz $J_{FIT}^N(M) = 99.8455\%$.

Założenia projektowe zostały spełnione, system został poprawnie zidentyfikowany oraz uzyskano symulator wyjaśniający odpowiedź systemu na poziomie $J_{FIT}^N(M) > 95\%$.