**Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych**

**Politechnika Warszawska**

**Sterowanie procesami**

**Sprawozdanie z projektu pierwszego**

**Zadanie 5**

**Konrad Winnicki**

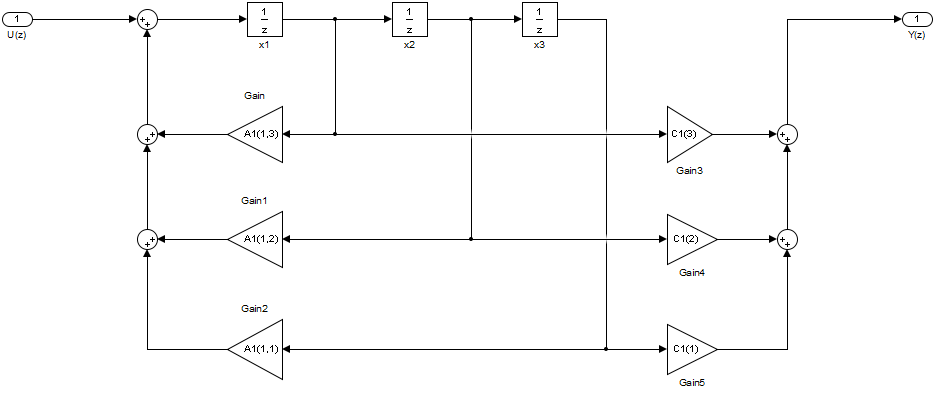
Warszawa, 27 kwietnia 2018

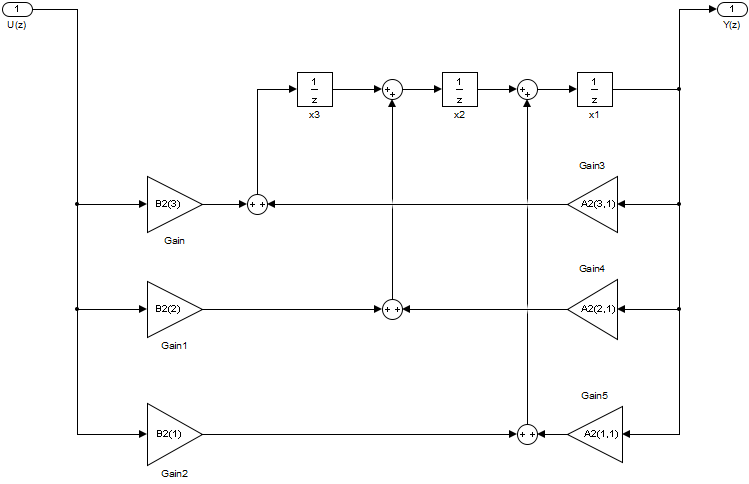
**Proces dynamiczny opisany jest transmitancją ciągłą:**

1. **Wyznaczenie transmitancji dyskretnej, zer i biegunów transmitancji ciągłej oraz dyskretnej:**
   * Wykorzystując polecenie c2dm dostępne w Matlabie wyznaczam transmitancję dyskretną na podstawie ciągłej przy wykorzystaniu ekstrapolatora zerowego rzędu i okresie próbkowania równym 0.25s
     + W pierwszym kroku wymagane jest uzyskanie dwóch wektorów współczynników licznika i mianownika, które to otrzymałem wymnażając licznik i mianownik sprowadzając transmitancję ciągłą do postaci:
     + Wyznaczone wektory licznika num\_s i mianownika den\_s:
     + Wektory licznika i mianownika transmitancji dyskretnej uzyskane funkcją c2dm:
   * Wyznaczona transmitancja dyskretna przyjmuje postać:
   * Zera i bieguny transmitancji:
     + Wyznaczane przy pomocy funkcji roots(vect), np. :
     + Zera:
     + Bieguny:
2. **Reprezentacja modelu dyskretnego w przestrzeni stanu stosując oba warianty metody bezpośredniej:** 
   * Zapis wektorowo macierzowy modelu w przestrzeni stanu wg wariantu pierwszego:

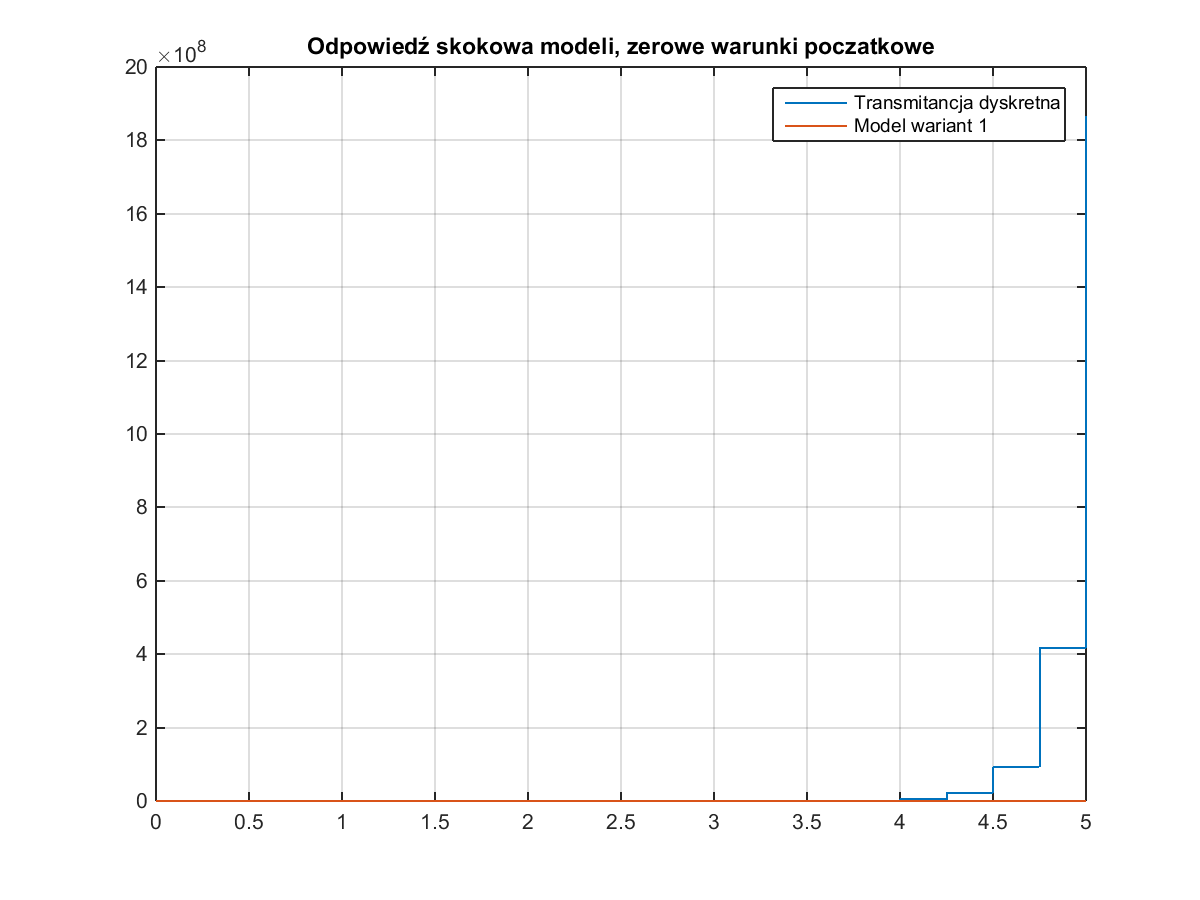
* + Zapis modelu wg wariantu pierwszego w postaci równań przestrzeni stanu:
  + Zapis wektorowo macierzowy modelu w przestrzeni stanu wg wariantu drugiego:

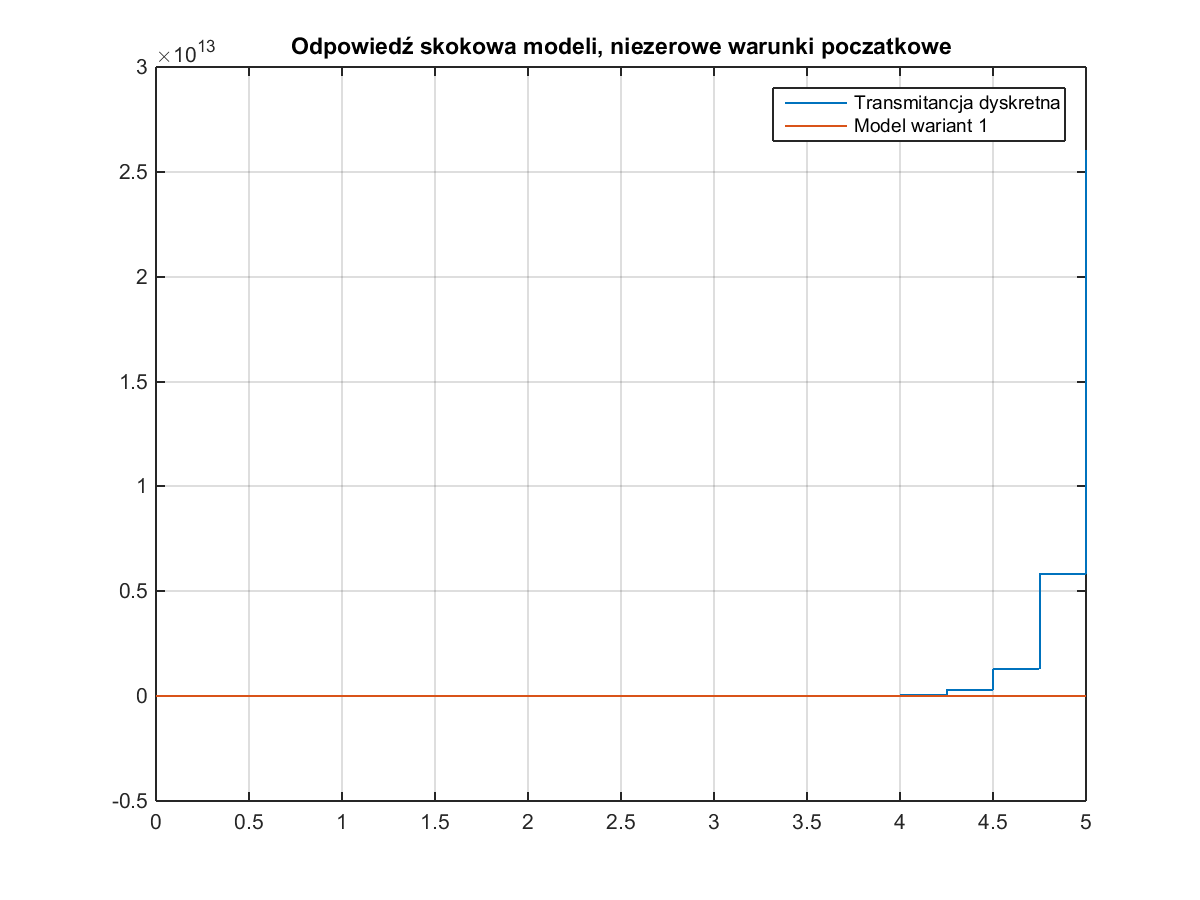
* + Zapis modelu wg wariantu drugiego w postaci równań przestrzeni stanu:
  + Szczegółowa struktura modeli w obu wariantach:

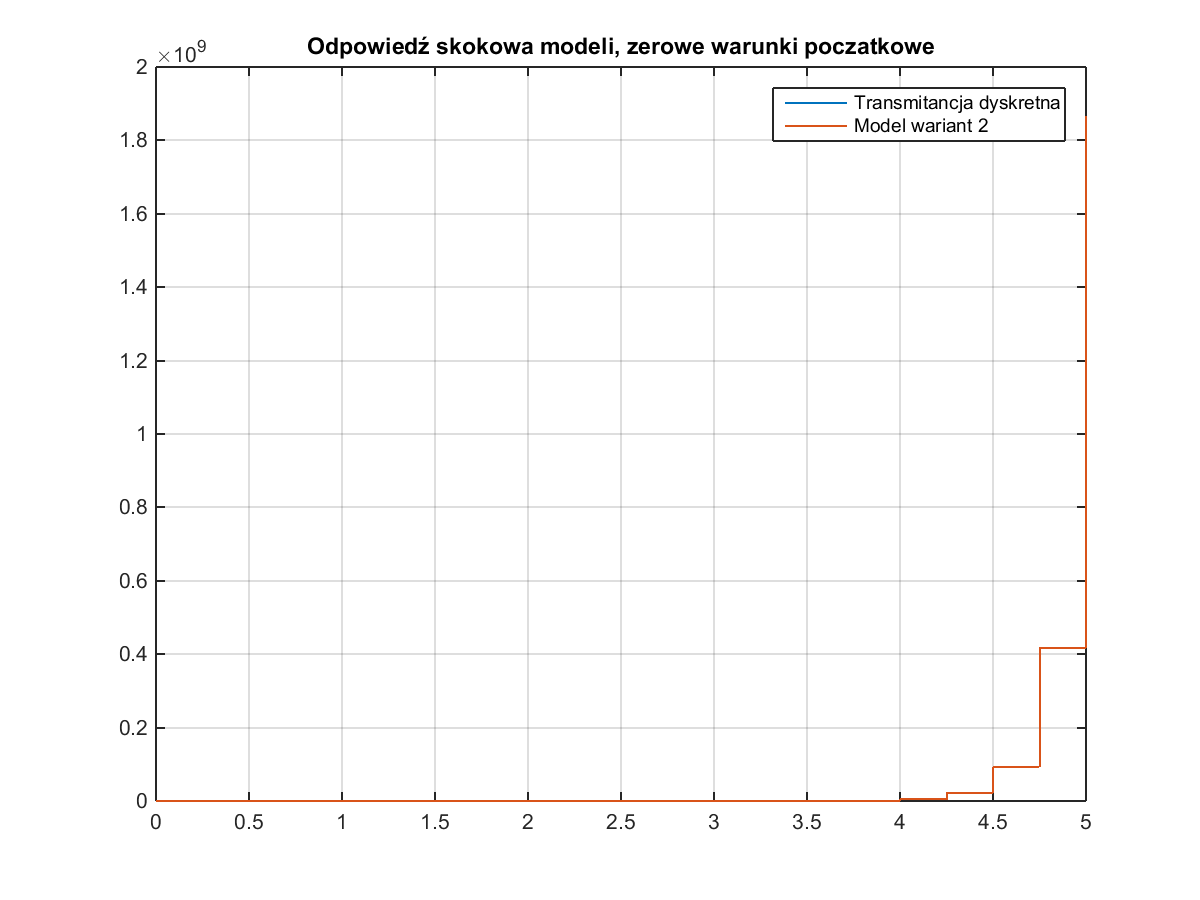
Rys. 1 – Struktura modelu wg. wariantu pierwszego

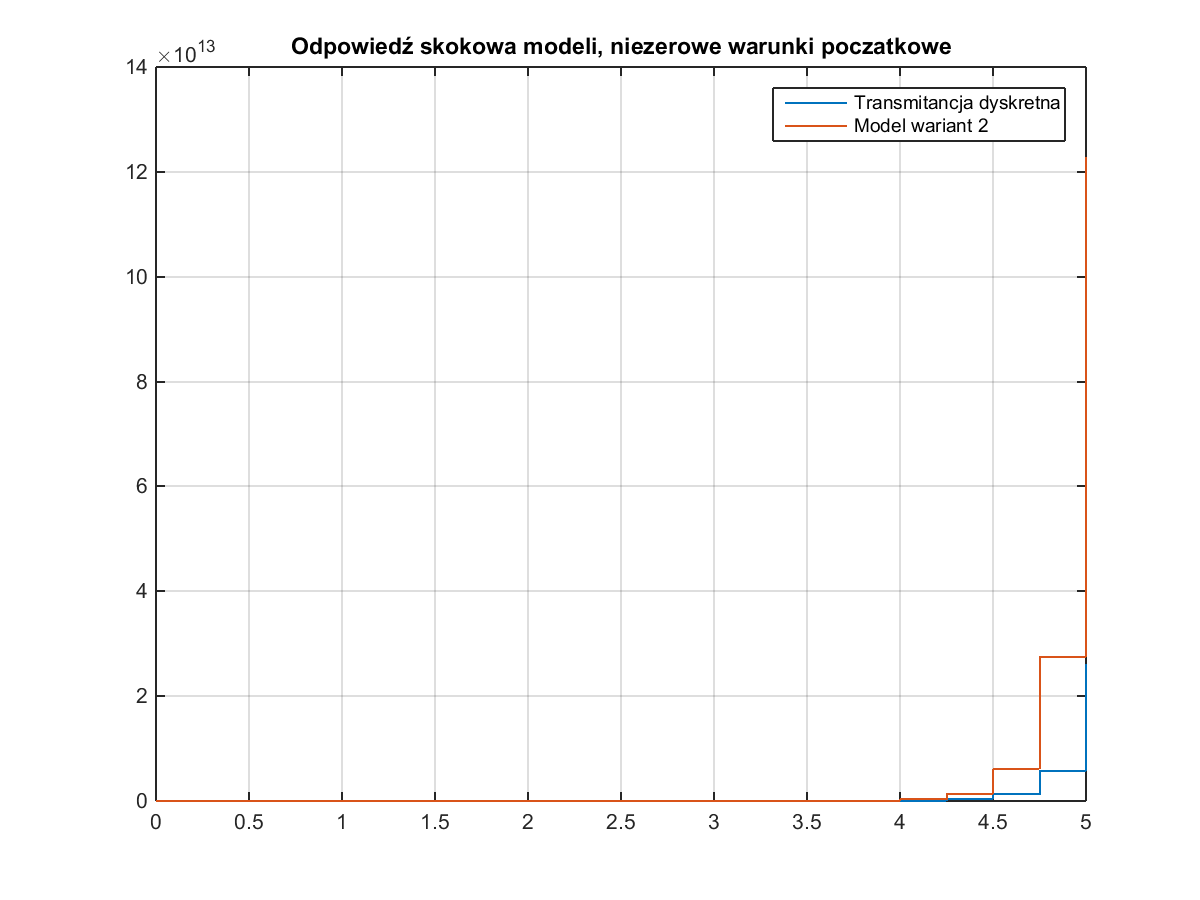
 Rys. 2 – Struktura modelu wg. wariantu drugiego

1. **Symboliczne wyznaczenie i porównanie transmitancji   
   modeli w przestrzeni stanu:**
   * W ogólności transmitancję na podstawie macierzy stanu modelu wyznacza się ze wzoru poniżej:
   * Aby wyznaczyć transmitancję wg tego wzoru wymagane jest zadeklarowanie symbolu z w workspace Matlaba. Uzyskałem tą metodą identyczne postacie transmitancji dla obydwu modeli, jednakże ich postać była bardzo rozwlekła – zapis transmitancji był stosunkowo długi, więc postanowiłem użyć innej metody wyznaczającej transmitancję i jednocześnie zapewniającej stosowną postać wyniku. Finalnie użyłem zestawu funkcji przekształcających macierze stanu kolejno do postaci klasy modelu w przestrzeni stanu( ss() ), a następnie do postaci transmitancji dyskretnej( tf() )
   * Otrzymane tą metodą transmitancje dla obydwu modeli okazały się jednakowe, a ponadto jest ona zgodna z transmitancją dyskretną pierwotną G(z):
2. Porównanie odpowiedzi skokowych transmitancji dyskretnej oraz modeli w przestrzeni stanu:

Rys. 3 – Odpowiedź skokowa transmitancji dyskretnej i modelu wg 1 wariantu

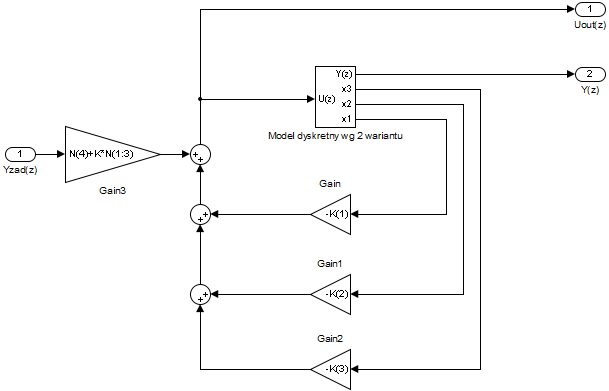
 Rys. 4 – Odpowiedź skokowa transmitancji dyskretnej i modelu wg 1 wariantu

 Rys. 5 – Odpowiedź skokowa transmitancji dyskretnej i modelu wg 2 wariantu

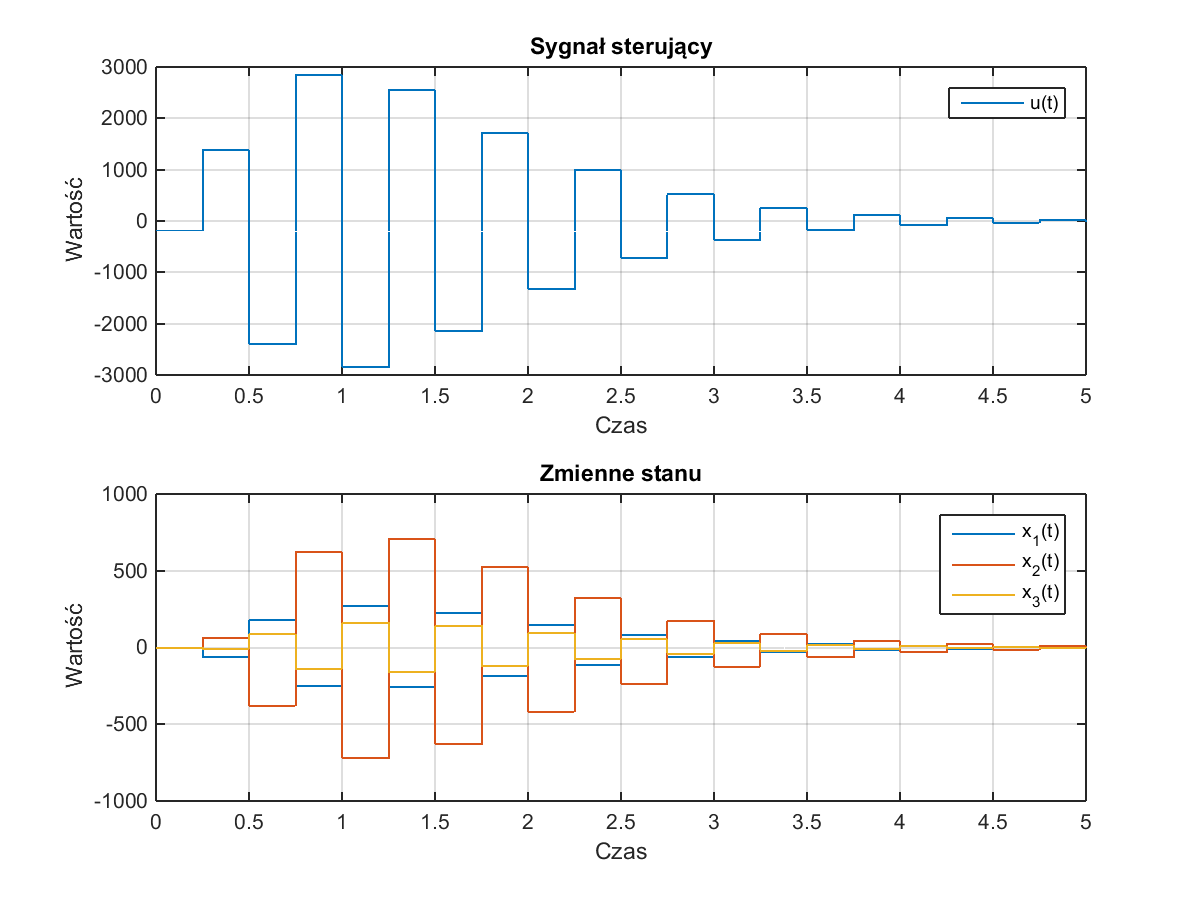
 Rys. 6 – Odpowiedź skokowa transmitancji dyskretnej i modelu wg 2 wariantu

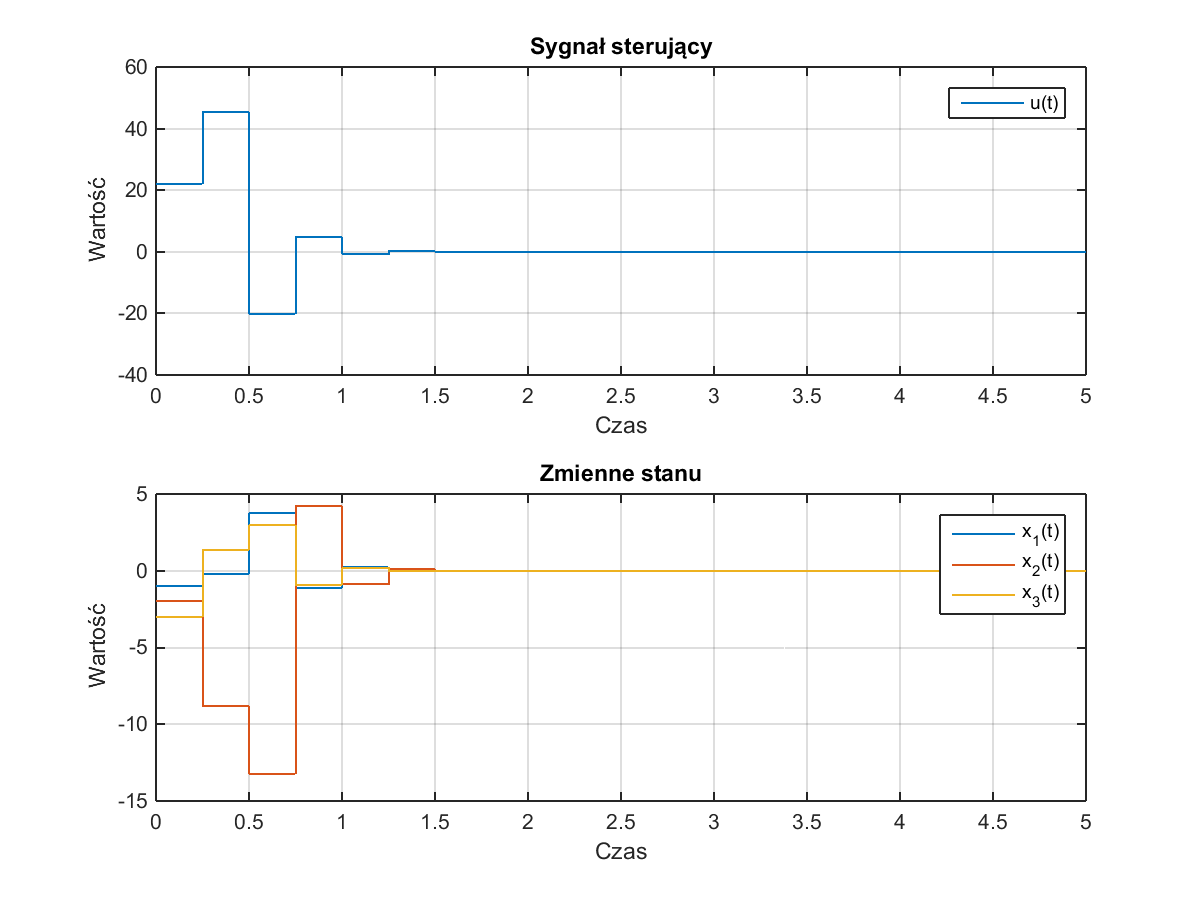
* + Przedstawione odpowiedzi skokowe dążą do nieskończoności co jest skutkiem:
    - W przypadku modeli dyskretnych:
      * występowania biegunów spoza koła jednostkowego(moduł zera mianownika transmitancji dyskretnej większy od jedności),
    - A w przypadku transmitancji ciągłej:
      * Występowanie zer mianownika(biegunów) na prawej półpłaszczyźnie(dodatnie bieguny)
  + Dążenie do nieskończoności odpowiedzi skokowych świadczy o niestabilności modeli.

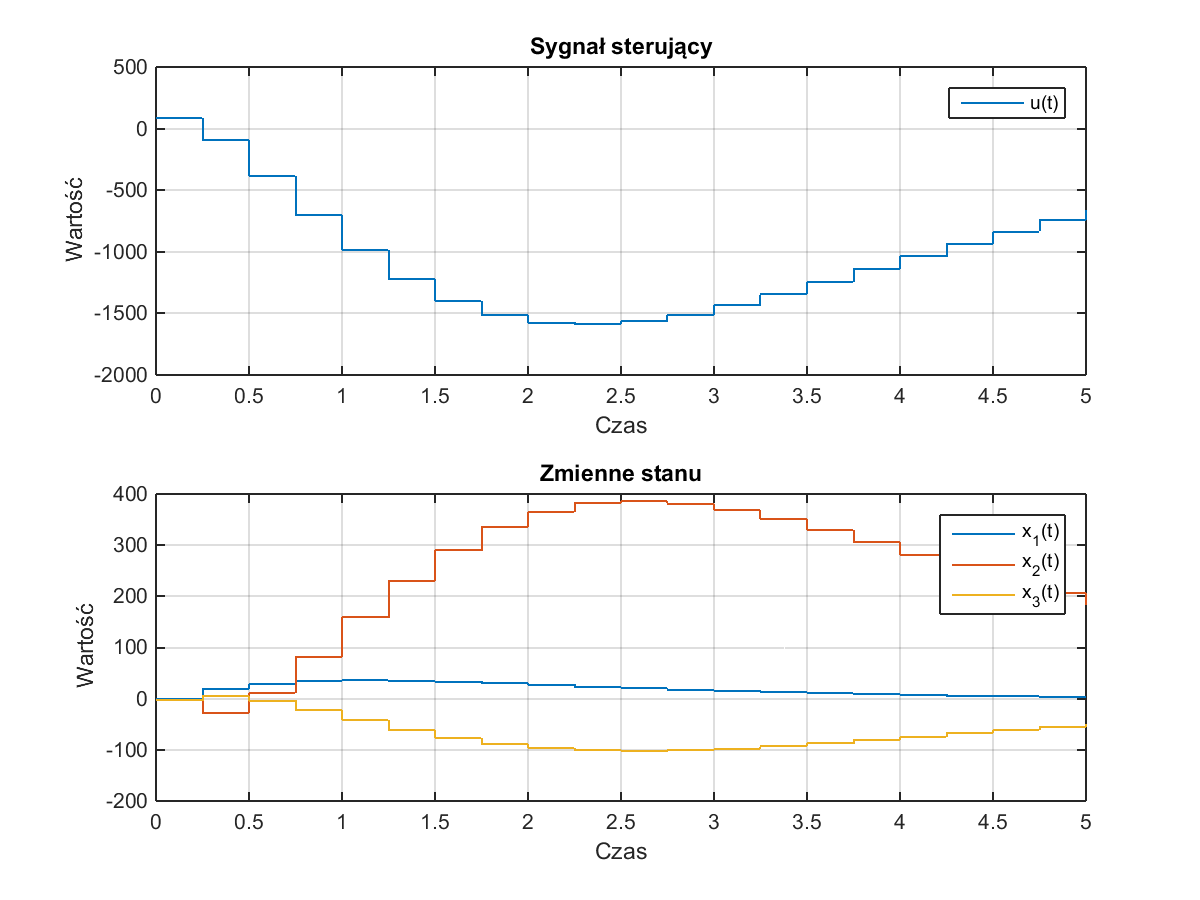
1. **Sterowalność i obserwowalność modelu wg drugiego wariantu:**
   * Sprawdzenie sterowalności sprowadza się do sprawdzenia czy kwadratowa macierz sterowalności S jest pełnego rzędu, co sprawdza się obliczając wyznacznik macierzy S:
   * Wyznacznik macierzy S ma stosunkowo małą, ale różną od zera wartość, oznacza to, że model jest sterowalny jednakże jest on słabo sterowalny.
   * Sprawdzenie obserwowalności sprowadza się do sprawdzenia czy kwadratowa macierz obserwowalności O jest pełnego rzędu, co sprawdza się obliczając wyznacznik macierzy O:
   * Wyznacznik macierzy O jest różny od zera, oznacza to, że model jest obserwowalny
2. **Regulator ze sprzężeniem od stanu:**
   * Po podaniu sygnału sprzężenia zwrotnego na wejście modelu   
     sygnał u[k] przyjmuje postać:
   * W konsekwencji równanie kolejnych wartości zmiennych stanu:
   * Gdzie poszeczególne nowe wektory:
     + Nu i Nx pełnią rolę przy zerowaniu uchybu ustalonego:
     + K jest wektorem sprzężeń od stanu, ważnymi parametrami przy wyznaczaniu jego wartości są pożądane bieguny z:
   * Równanie charakterystyczne układu przyjmuje postać:
   * Taka postać równania zależna od K pozwala lokować bieguny modelu, co w naszym przypadku może pomóc ustabilizować obiekt

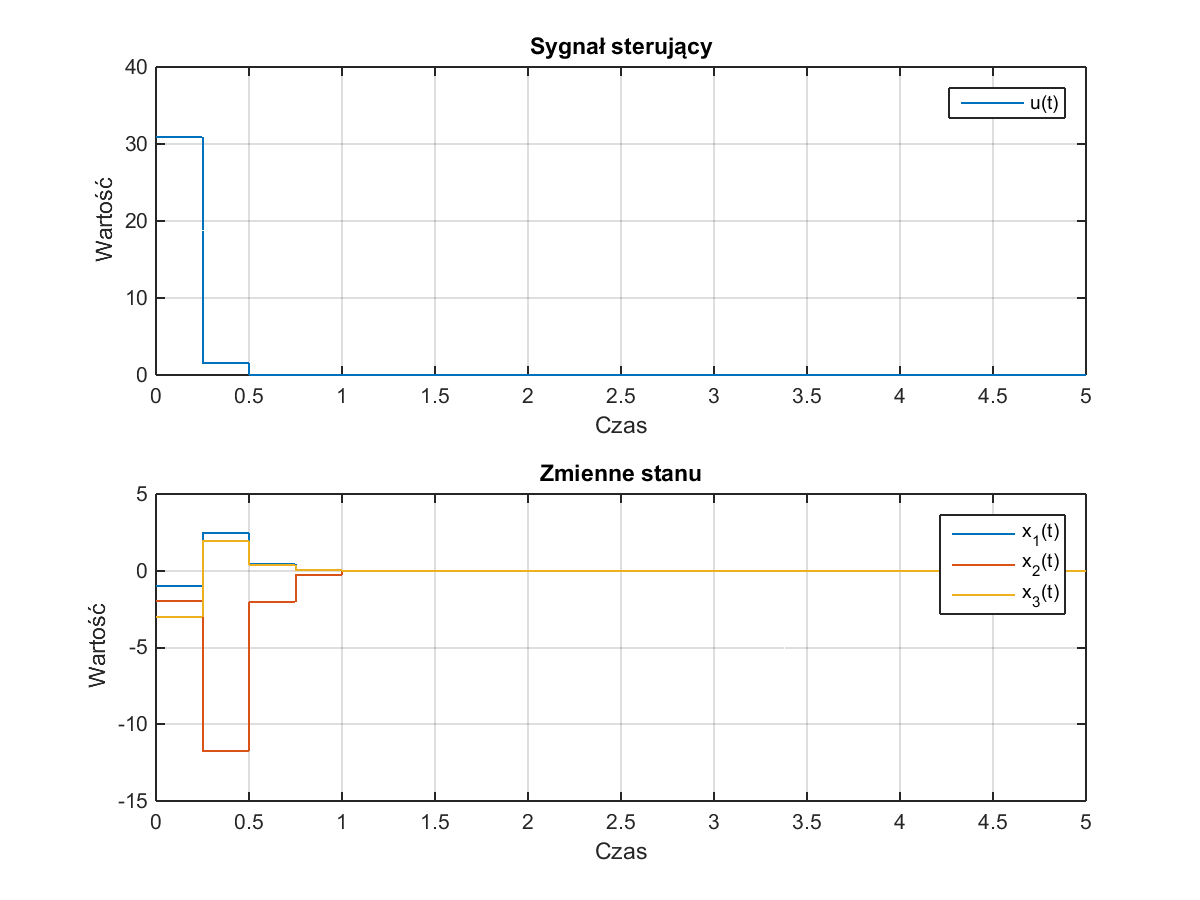
Rys. 7 – Struktura układu regulacji ze sprzężeniem od stanu

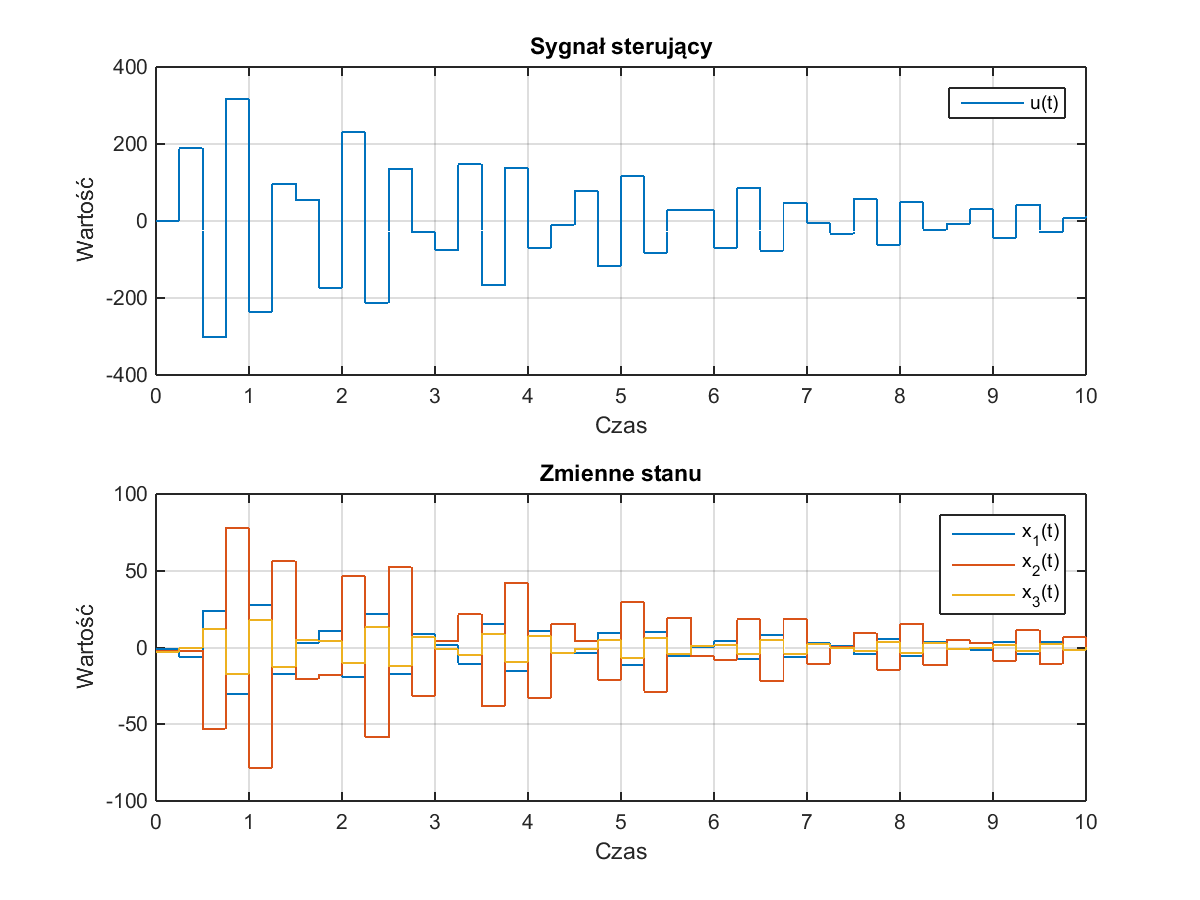
* + Symulacja modelu dla trzech takich samych biegunów rzeczywistych:

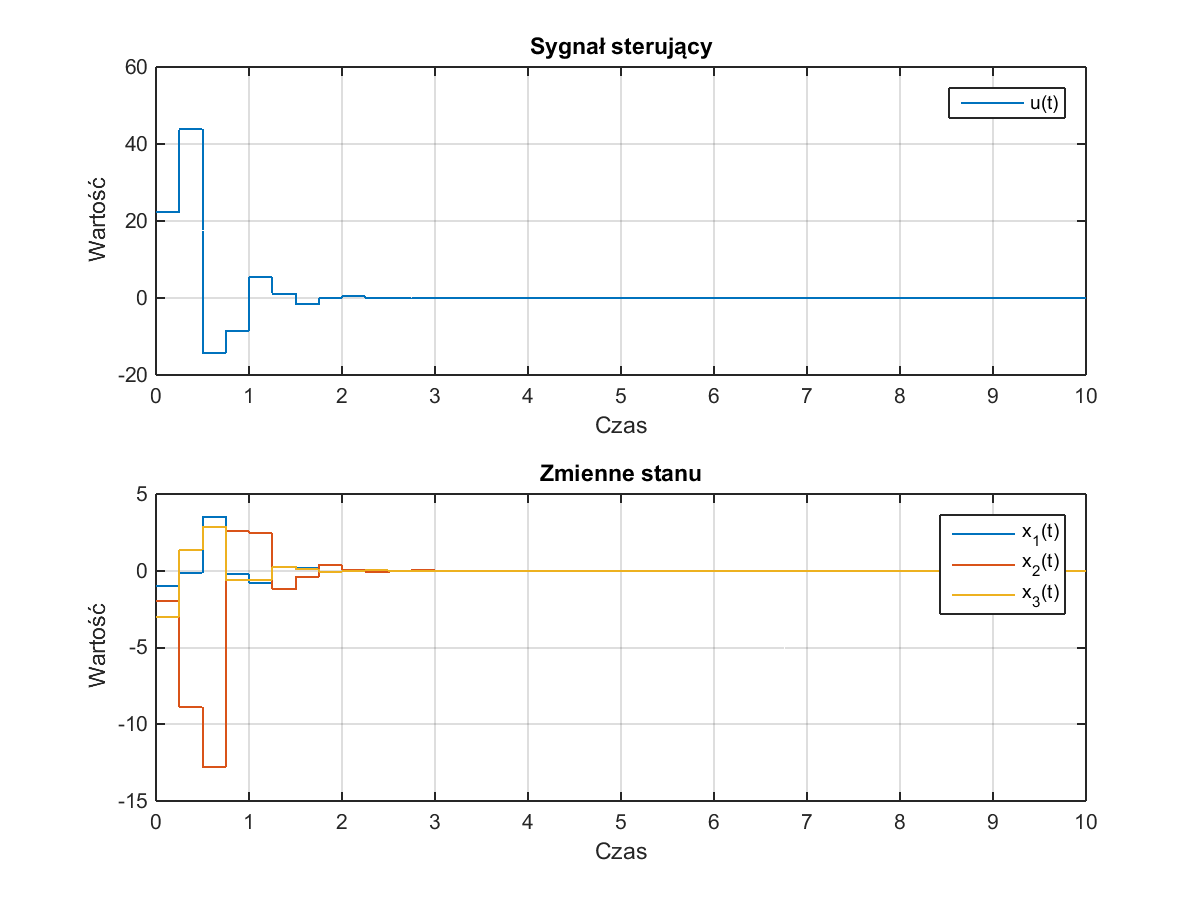
Rys. 8 – Symulacja regulatora, ujemne bieguny rzeczywiste, zb=-0.6

 Rys. 9 – Symulacja regulatora, ujemne bieguny rzeczywiste, zb=-0.1

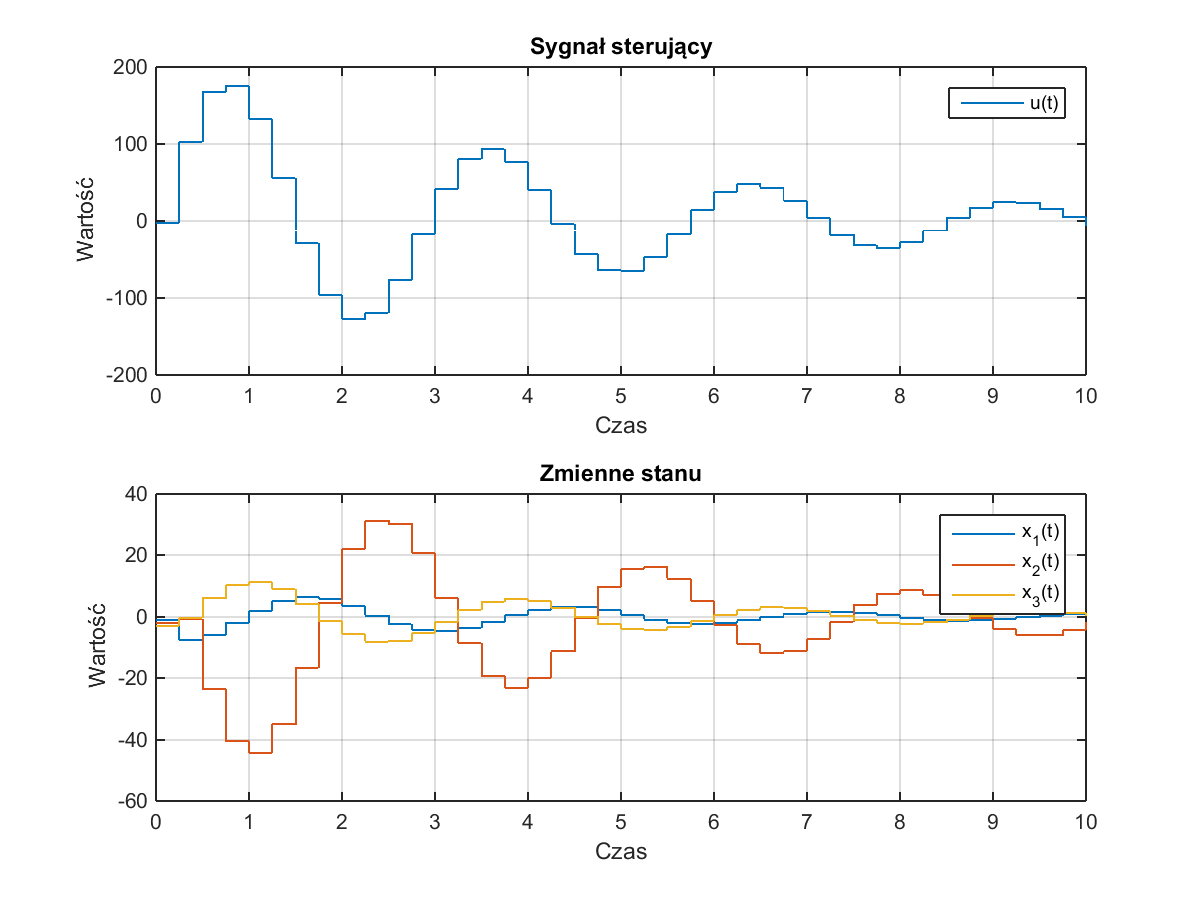
 Rys. 10 – Symulacja regulatora, dodatnie bieguny rzeczywiste, zb=0.8

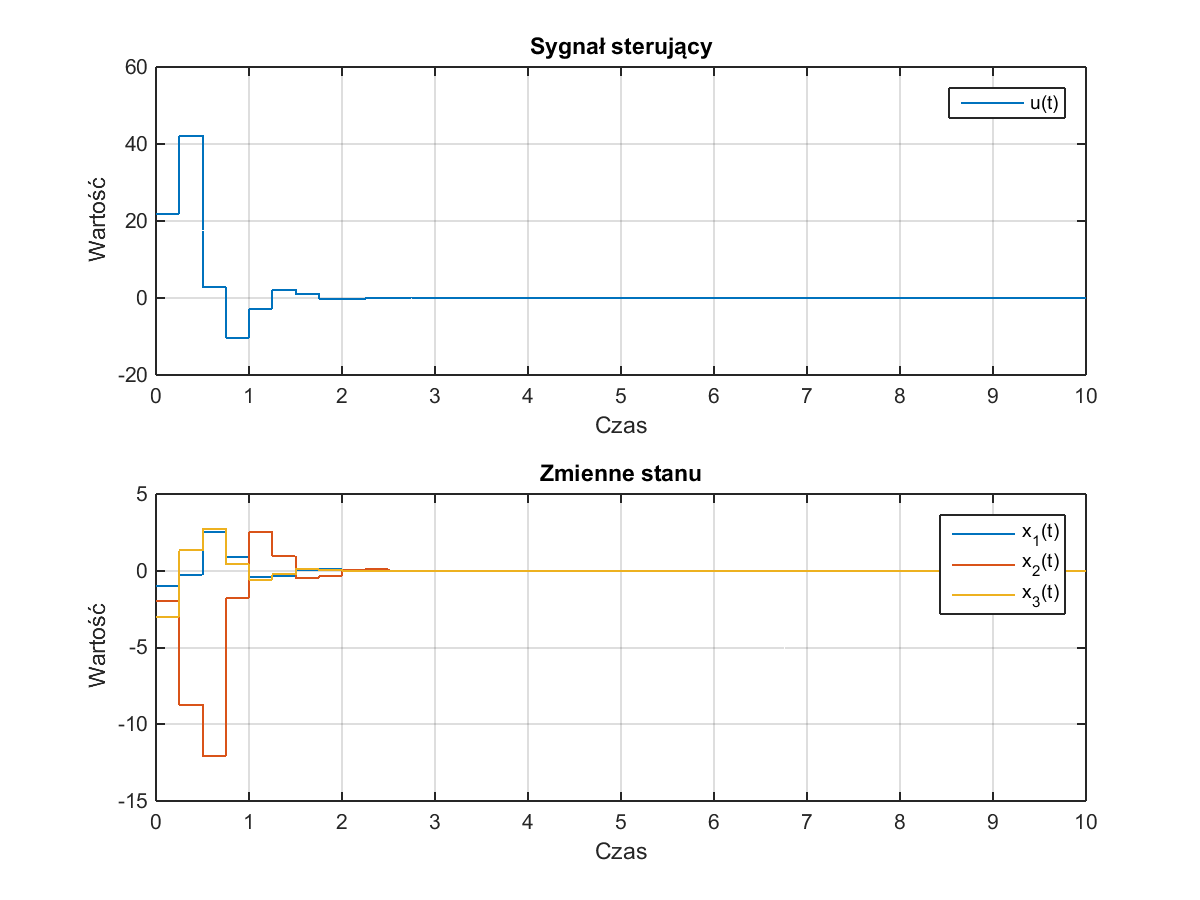
 Rys. 11 – Symulacja regulatora, dodatnie bieguny rzeczywiste, zb=0.1

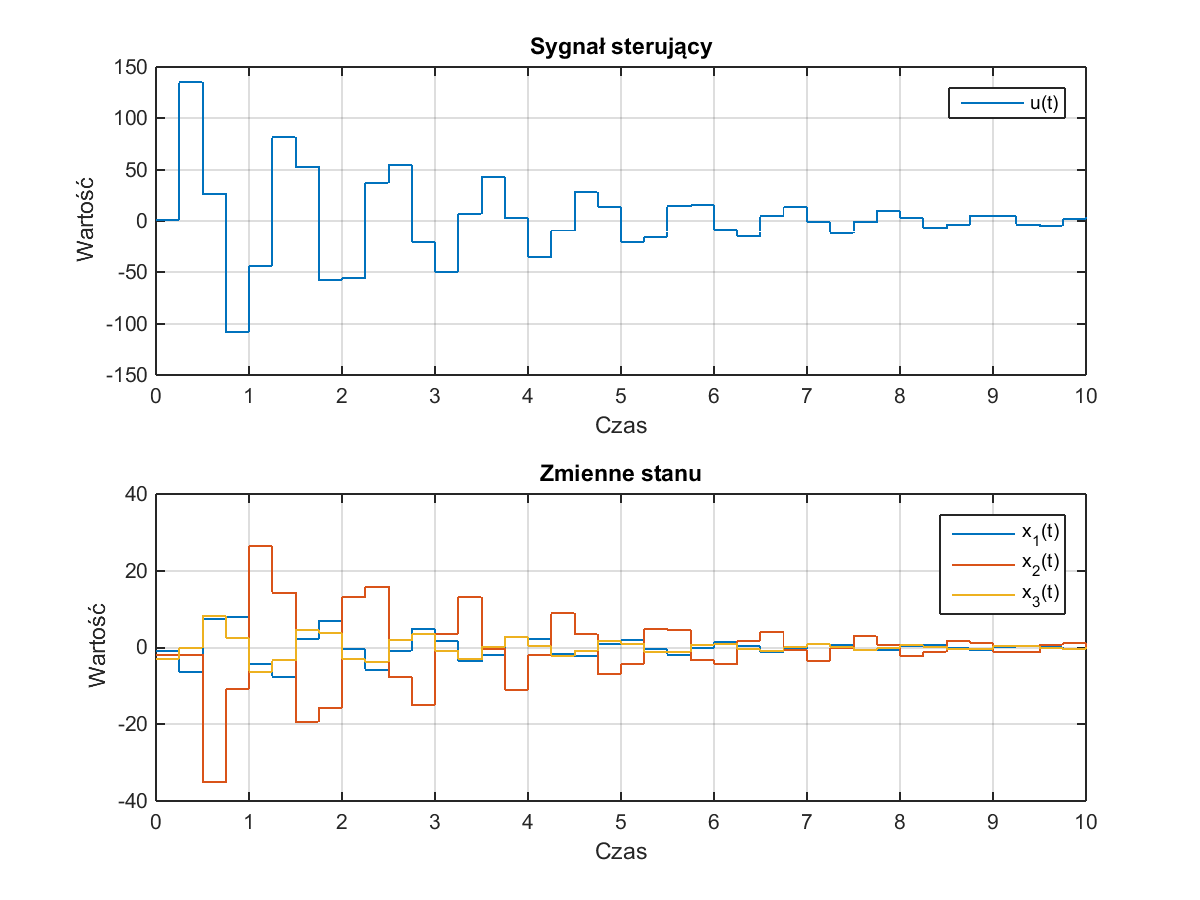
* + Symulacje wykazały niestabilność lub wartości ponad ustaloną granicę(wartości ponad 103 dla zmiennych stanu i 106 dla sygnału sterujacego) dla biegunów mniejszych od -0.6 i większych od 0.8
  + Tkonc dobrany doświadczalnie – czas 5 sekund
  + Ujemne bieguny wraz ze wzrostem wartości ich modułu skutkują coraz wolniej gasnącymi szybkozmiennymi oscylacjami o większej amplitudzie – wzrost przeregulowania oraz czasu regulacji, dodatkowo dla wzrastających wartości modułu biegunów obserwuję wzrastające wartości sygnału sterującego i zmiennych stanu
    - Pogorszenie jakości regulacji dla rosnących wartości modułów biegunów
  + Dodatnie bieguny wraz ze wzrostem ich wartości skutkują coraz dłużej trwającym zbieganiem do stanu ustalonego, nie występują oscylacje, dodatkowo obserwuję wzrost wartości sygnału sterującego i zmiennych stanu przy narastających wartościach biegunów
  + Symulacje wykazały, że można przyjąć bieguny zerowe, regulator przy biegunach zerowych jest stabilny i był wręcz kandydatem na najlepszy regulator wariantu pierwszego.
  + Symulacja modelu dla jednego bieguna rzeczywistego i dwóch biegunów sprzężonych:

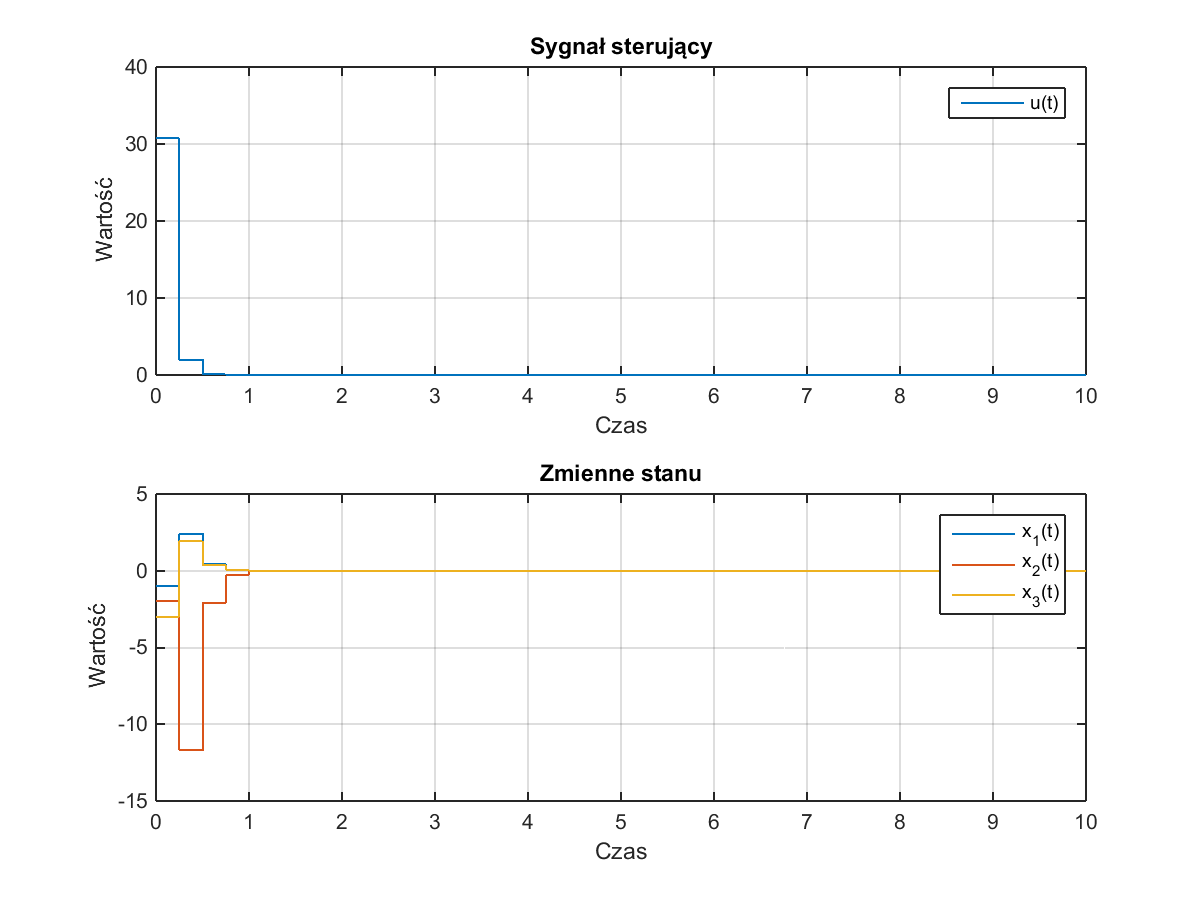
 Rys. 12 – Symulacja regulatora, duża ujemna cześć rzeczywista

Rys. 13 – Symulacja regulatora, mała ujemna część rzeczywista

 Rys. 14 – Symulacja regulatora, duża dodatnia część rzeczywista

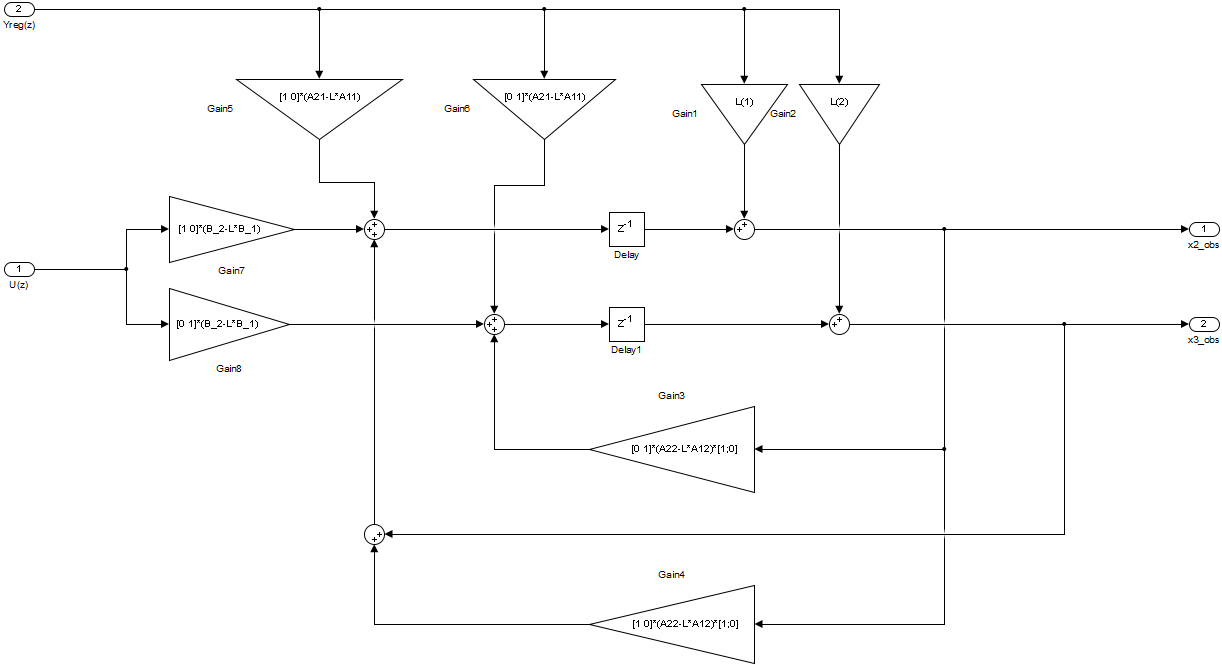
 Rys. 15 – Symulacja regulatora, mała dodatnia część rzeczywista

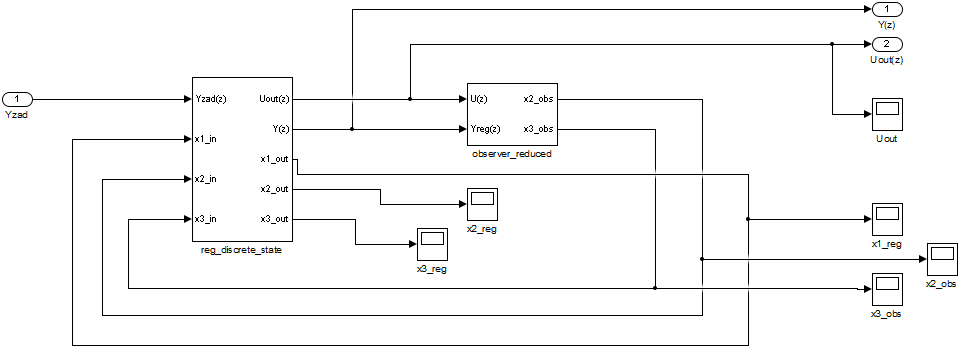
 Rys. 16 – Symulacja regulatora, duża część urojona

 Rys. 17 – Symulacja regulatora, mała część urojona

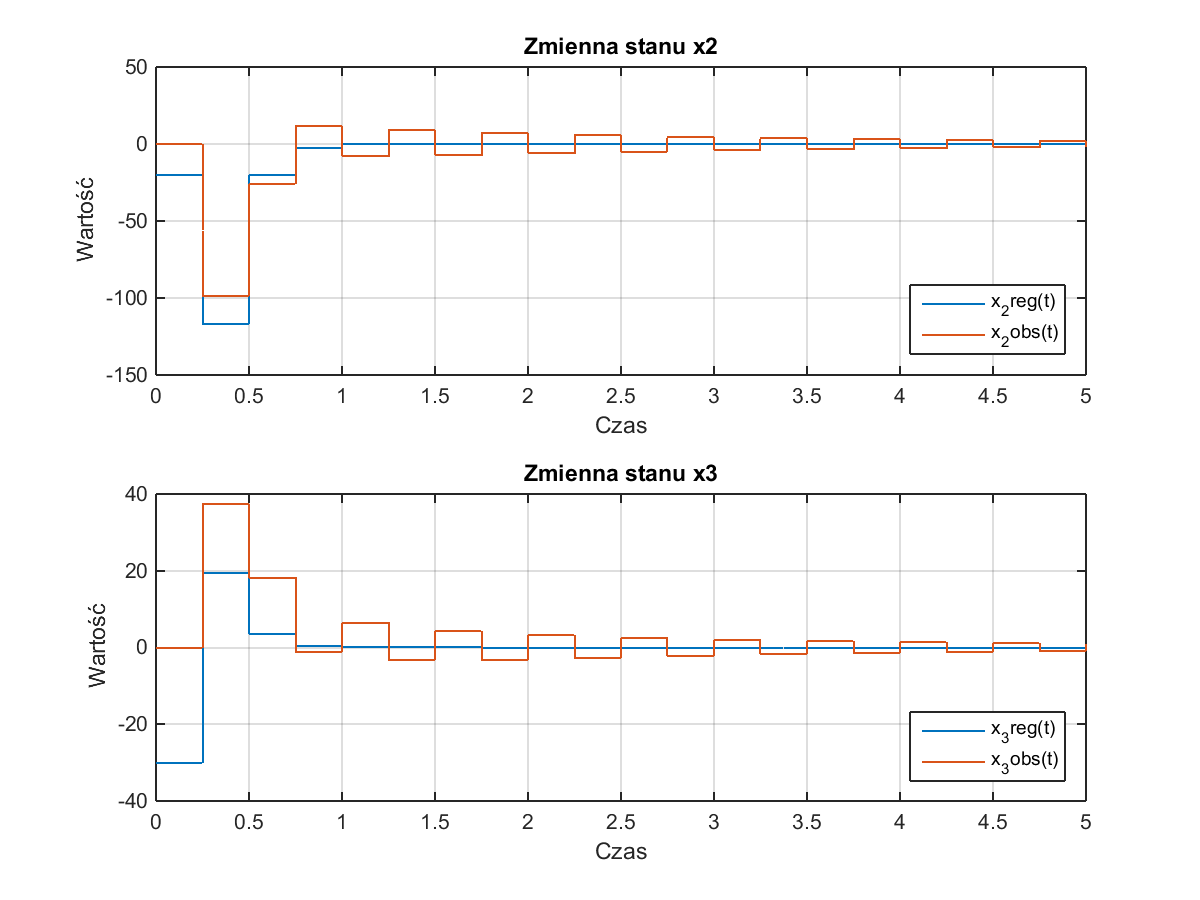
* + Symulacje wykazały niestabilność obiektu dla modułów biegunów większych od jedności – bieguny spoza koła jednostkowego
  + Ujemna część rzeczywista biegunu wprowadza szybkozmienne gasnące oscylacje sygnałów obserwowanych
    - Wzrost czasu regulacji oraz przeregulowania przy wzroście wartości modułu cześci rzeczywistej biegunów
    - Dodatkowo zaobserwowałem wzrost wartości sygnałów obserwowanych przy wyżej wymienionej zmianie bieguna
  + Dodatnia część rzeczywista bieguna wprowadza wolnozmienne oscylacje sygnałów obserwowanych
    - Wzrost czasu regulacji oraz wartości sygnałów przy wyżej wzroście wartosci części rzeczywistej bieguna
  + Składową urojoną badałem w zakresie „od zera w górę”, ujęcie wartości ujemnych nie miałoby sensu ze względu na występowanie pary sprzężonych biegunów.
  + Narastająca część urojona wprowadza dość nieregularne oscylacje, oraz wydłuża czas regulacji, oraz jednocześnie zaobserwowałem wzrost wartości sygnałów

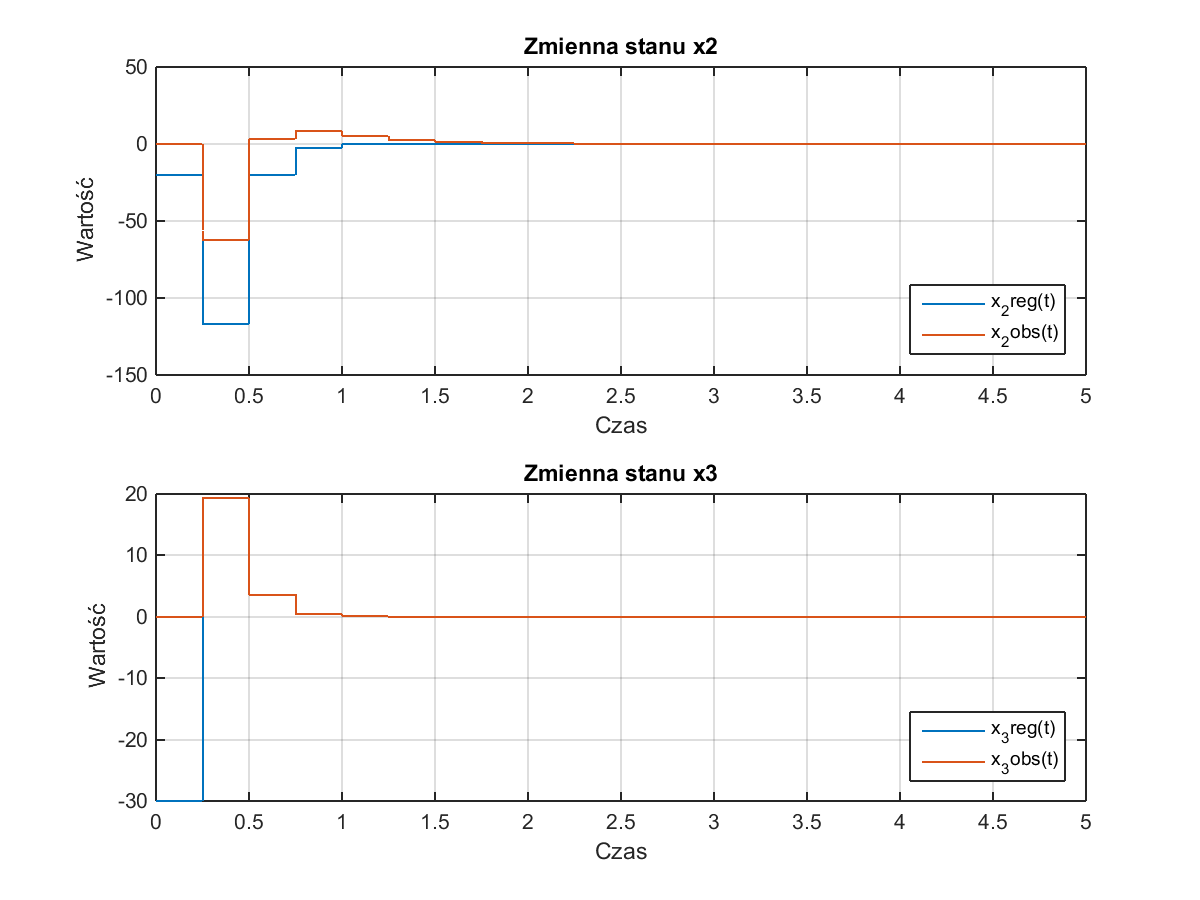
1. **Wybór najlepszego regulatora:** 
   * Na podstawie analizy symulacji wybrałem jako najlepsze wersje regulatorów:
     + Dla wariantu pierwszego: bieguny o wartościach 0.1
     + Dla wariantu drugiego: wartości a=0.1 i b=0.2
   * Analiza symulacji polegała na ocenie wartości przeregulowania, czasu regulacji, wartościach zmiennych stanu i sygnału sterującego.
   * Posłużyłem się przy okazji wskaźnikiem jakości zawartym w skrypcie jako suma wagowa sugnału sterującego i zmiennych stanu
     + Regulator minimalizujący dany wskaćnik jakości można wyznaczyć za pomocą wywołania funkcji Matlaba:
     + Gdzie poszczególne argumenty to:
       - Q, R i N to macierze wagowe
       - A i B to macierze danego modelu
2. **Obserwator zredukowanego zrzędu o dwóch biegunach rzeczywistych, brak pomiaru zmiennych stanu x2 i x3:**
   * Zmienne stanu odtwarzane przez obserwator zapisywane są „z daszkiem”
   * Wektor zmiennych stanu przyjmuje postać:
   * Dotychczasowo uzywane równanie stanu układu przyjmuje postać:
   * Gdzie poszczególne macierze to:
   * Równanie charakterystyczne:
   * Wekor L wyznaczany jest m.in. z parametrów będącymi biegunami obserwatora:

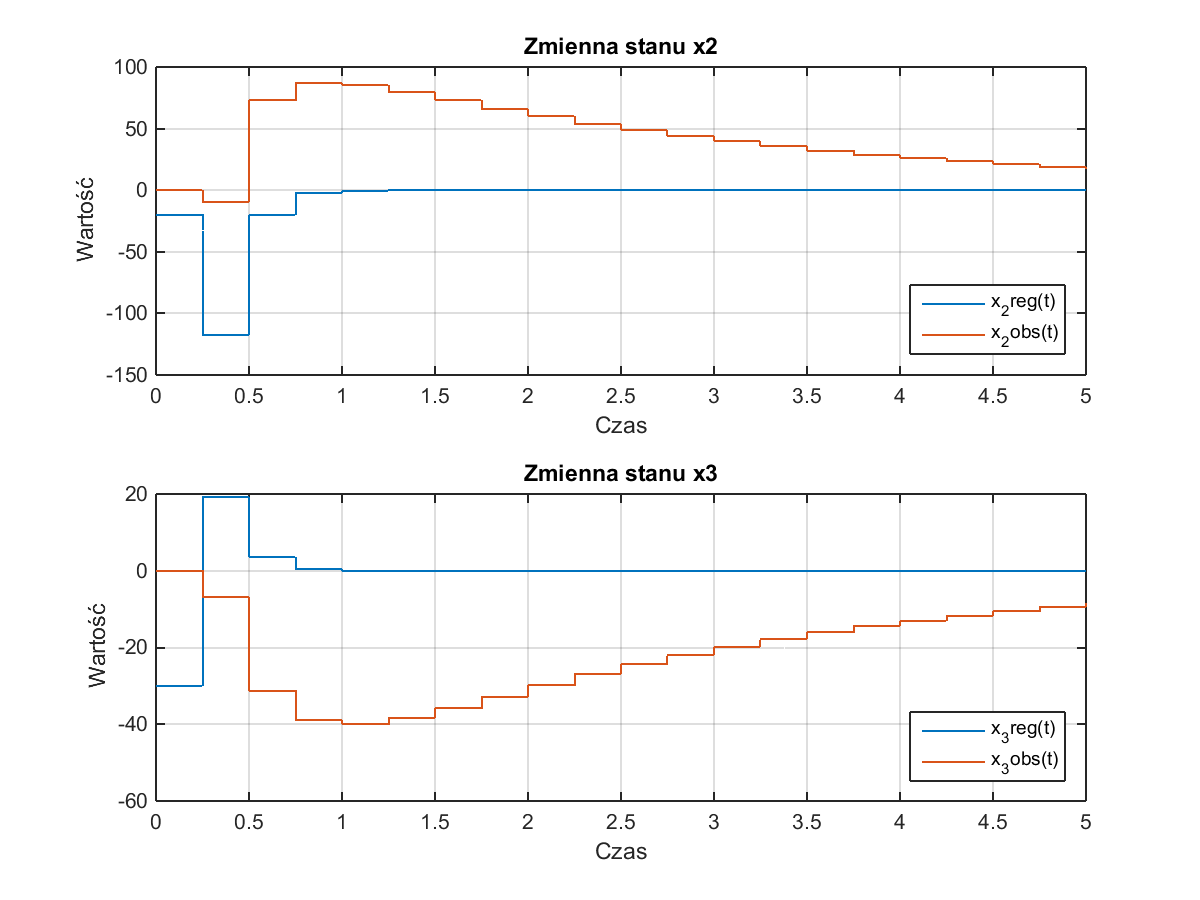
Rys. 18 – Szczegółowa struktura obserwatora zredukowanego rzędu

 Rys. 19 – Ogólna struktura układu regulacji z obserwatorem

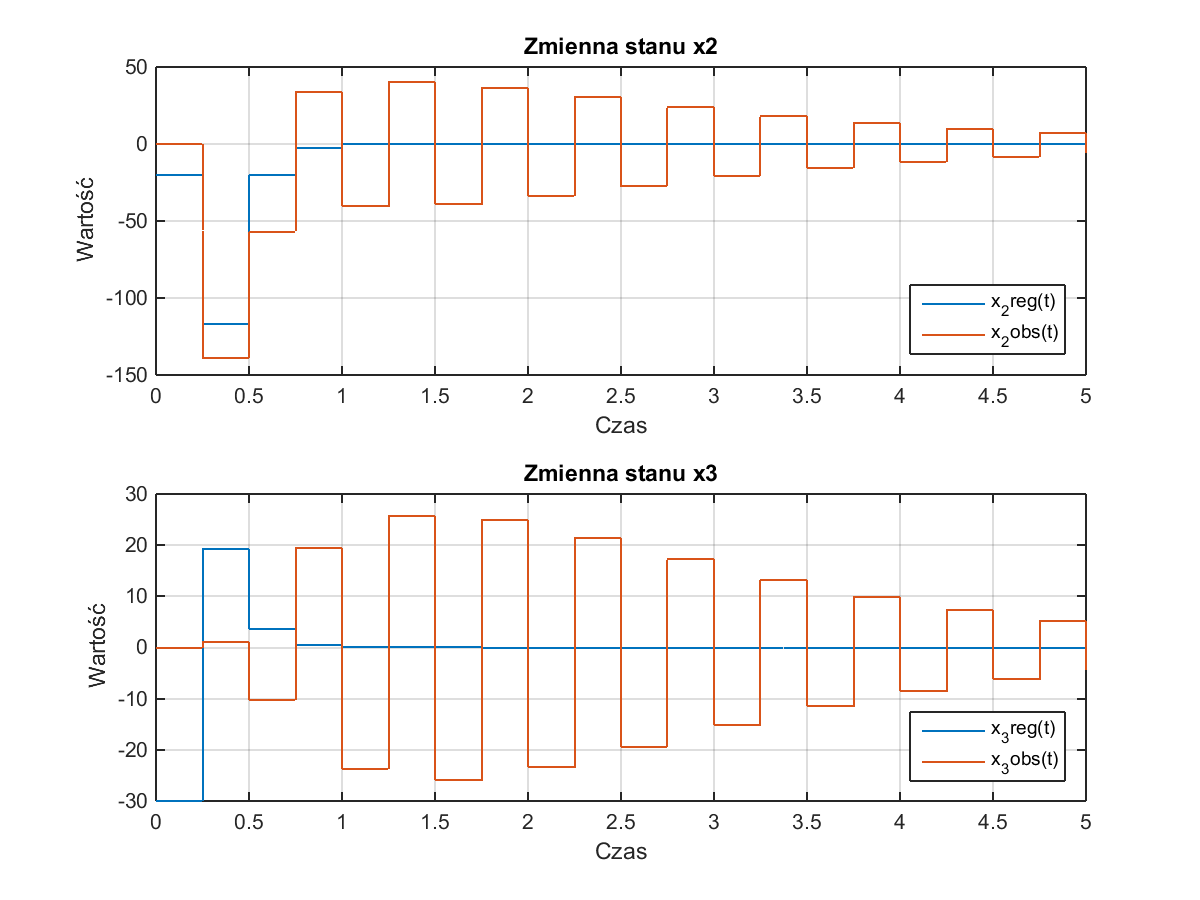
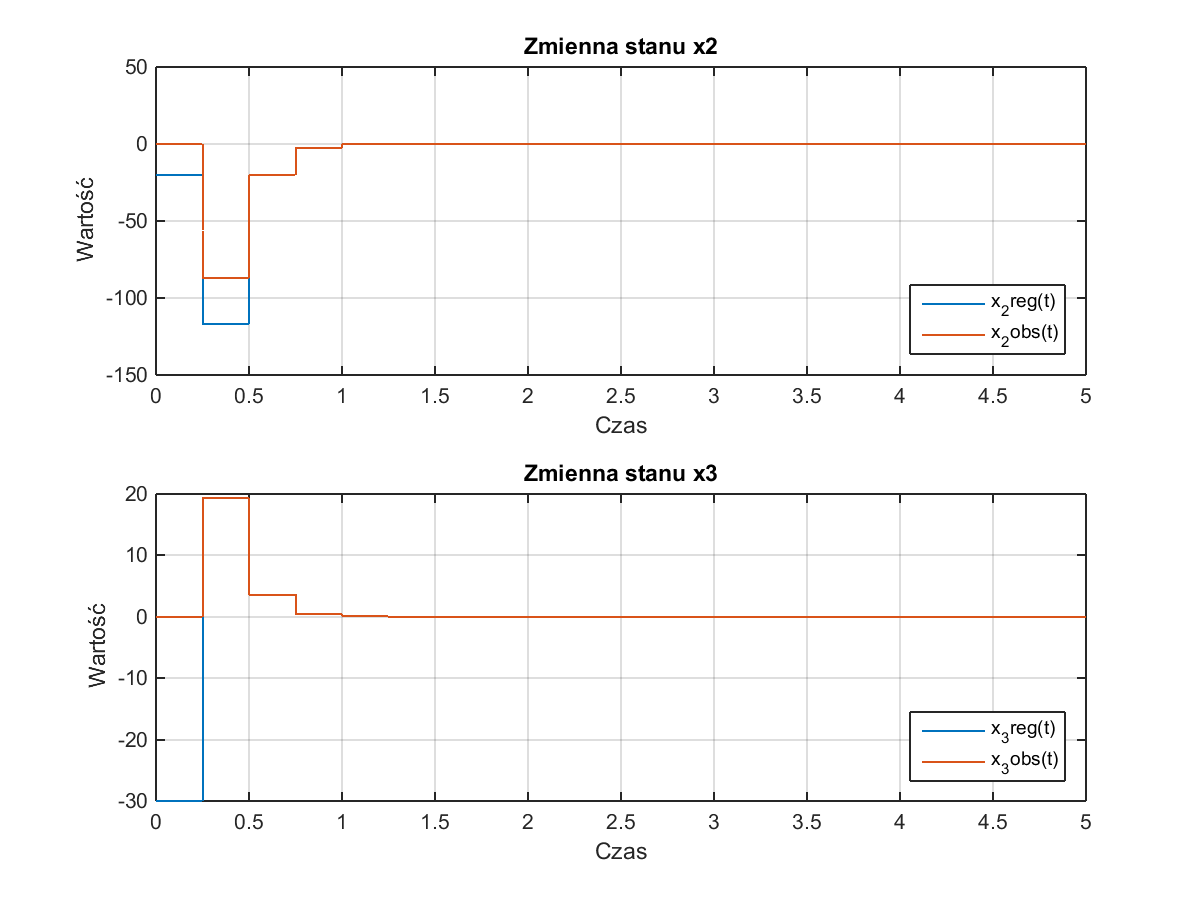
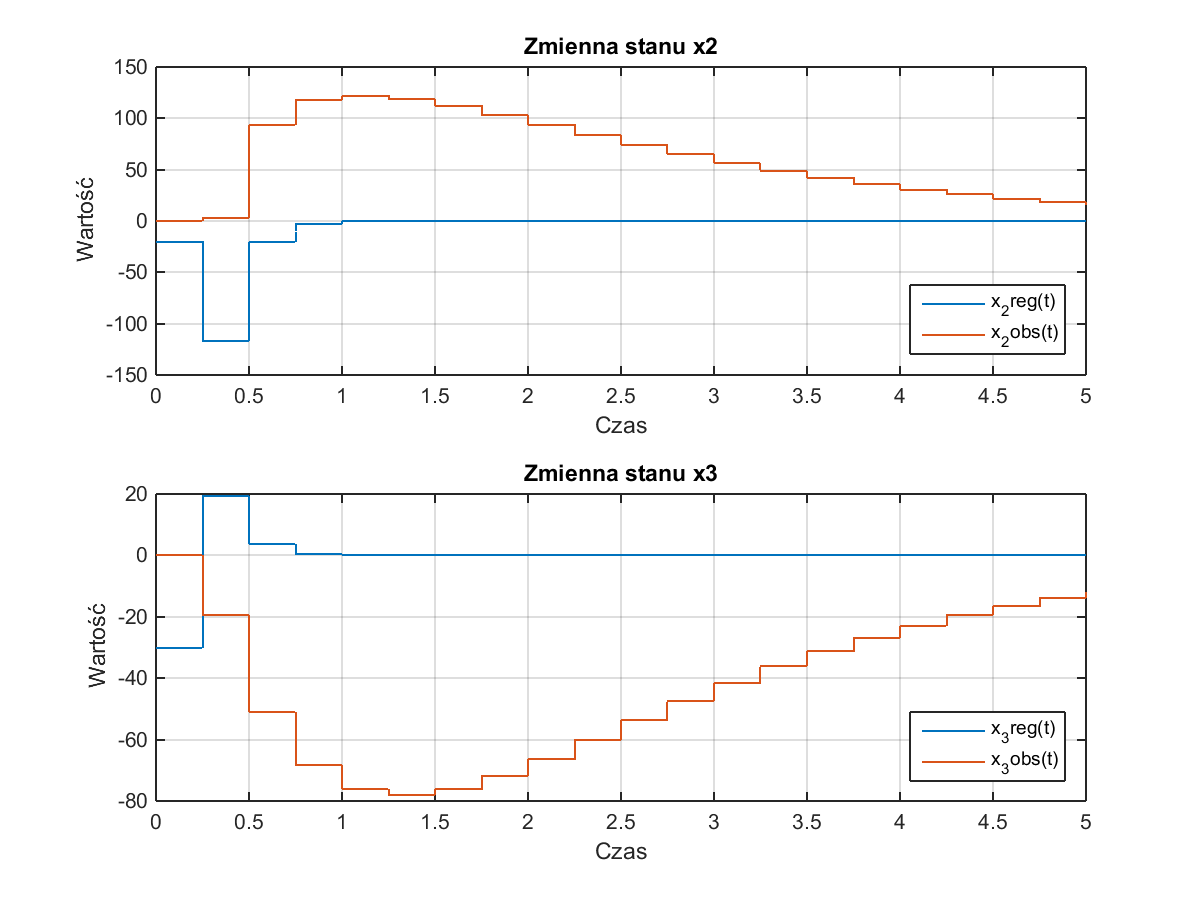
1. **Porównanie zmiennych stanu odtwarzanych i rzeczywistych:**
   * Testy działania obserwatora przy regulatorze o biegunach rzeczywistych  
     zmiana jednego z biegunów:

Rys. 20 – Odpowiedź obserwatora wolnego, wariant 1, z2=-0.9, z3=0.5

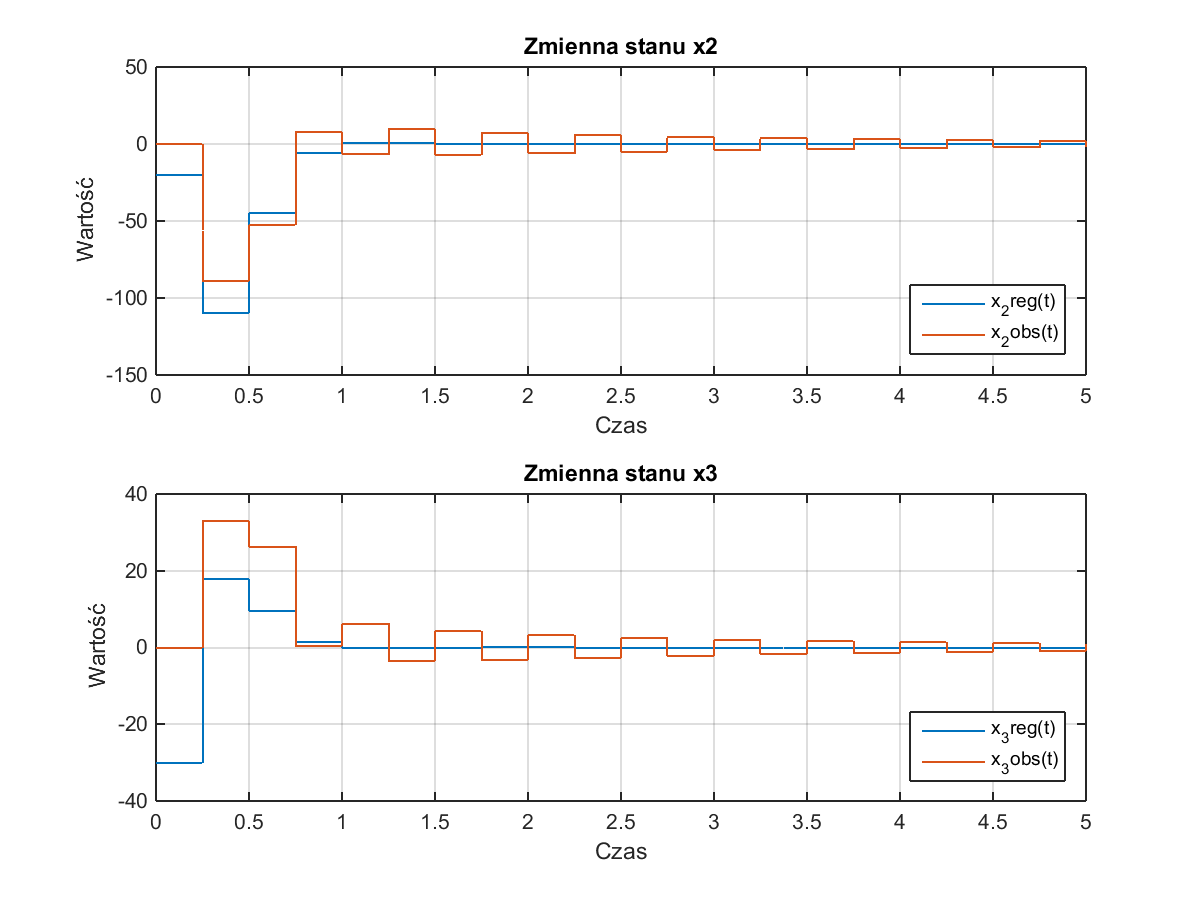
Rys. 21 – Odpowiedź obserwatora szybkiego, wariant 1, z2=0.0, z3=0.5

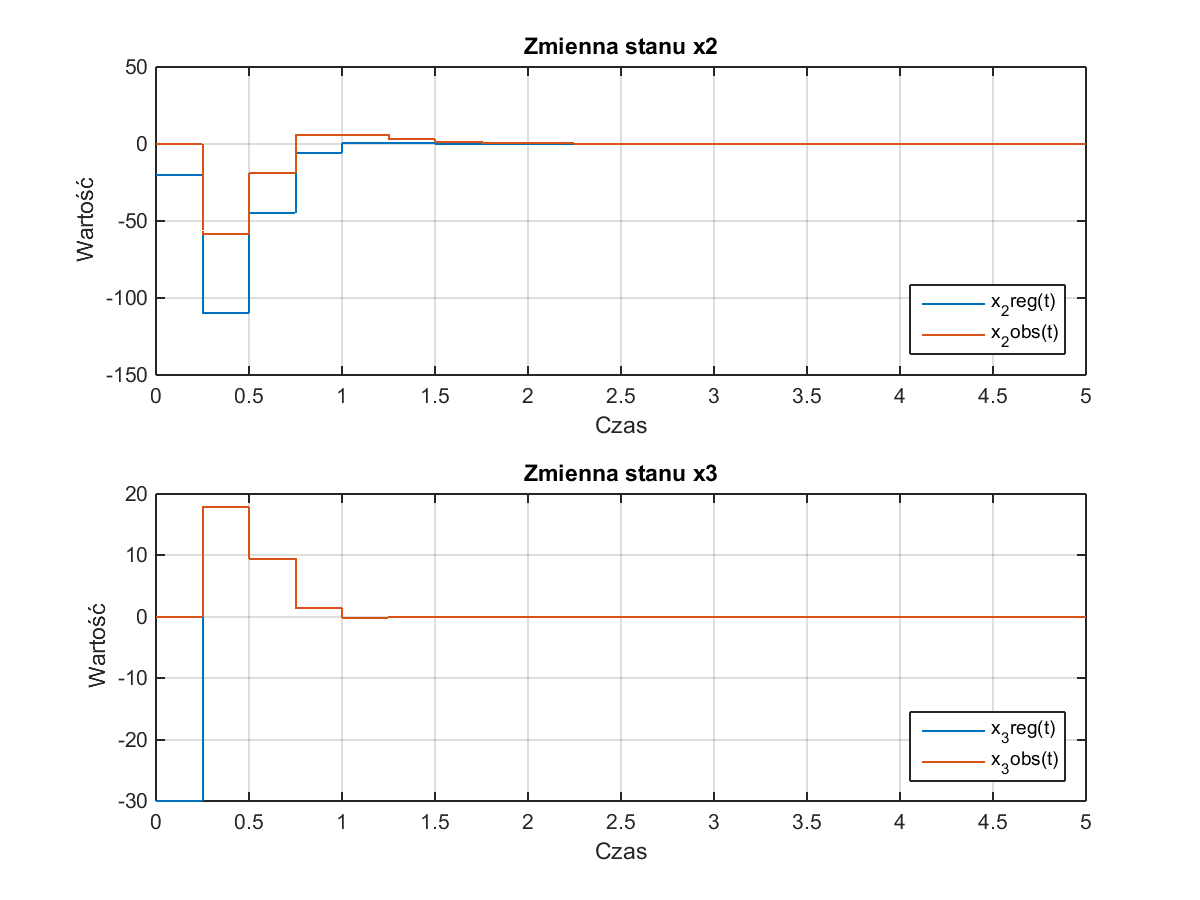
Rys. 22 – Odpowiedź obserwatora wolnego, wariant 1, z2=0.9, z3=0.5

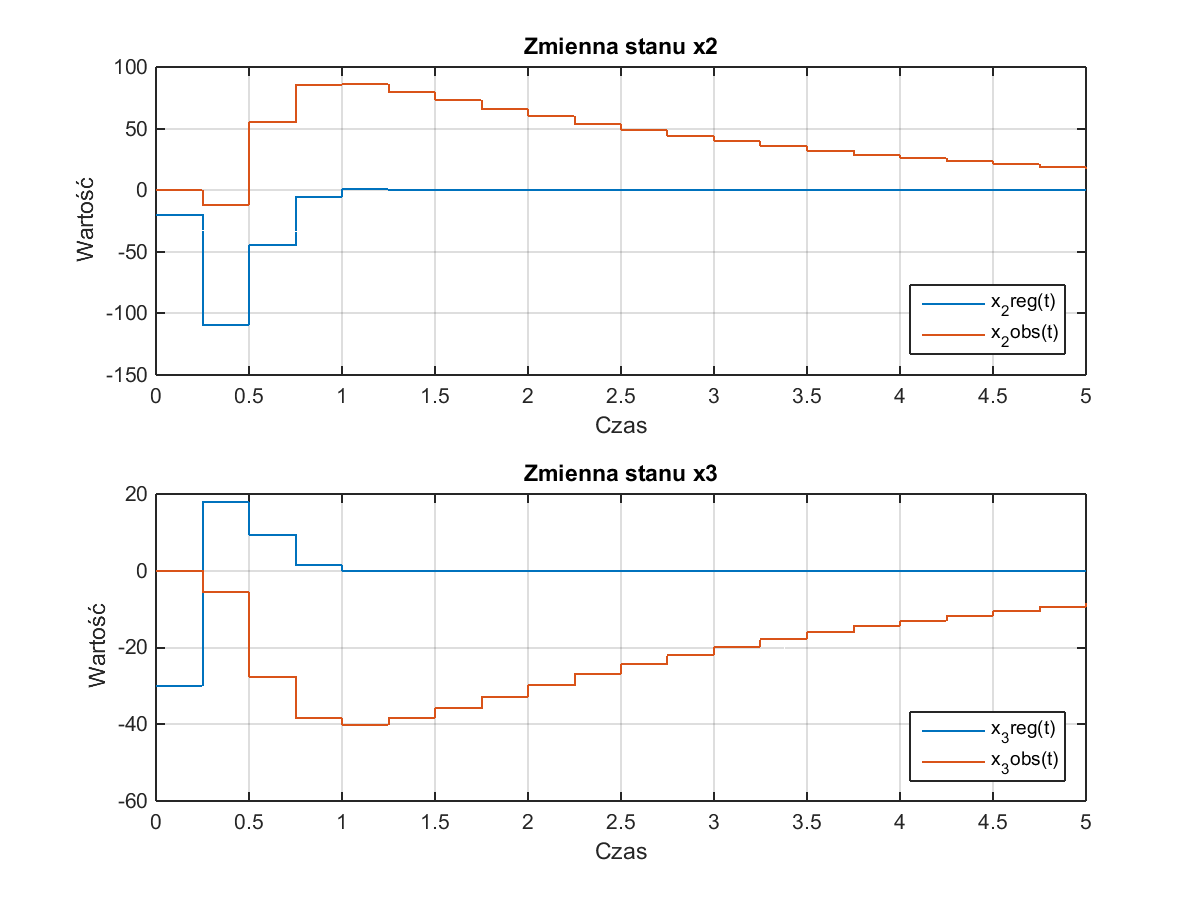
* + Testy działania obserwatora przy regulatorze o biegunach rzeczywistych  
    zmieniane obydwa bieguny na raz:

 Rys. 23 – Odpowiedź obserwatora wolnego, wariant 1, z2=-0.8, z3=-0.8 Rys. 24 – Odpowiedź obserwatora szybkiego, wariant 1, z2=0.0, z3=0.0 Rys. 25 – Odpowiedź obserwatora wolnego, wariant 1, z2=0.8, z3=0.8

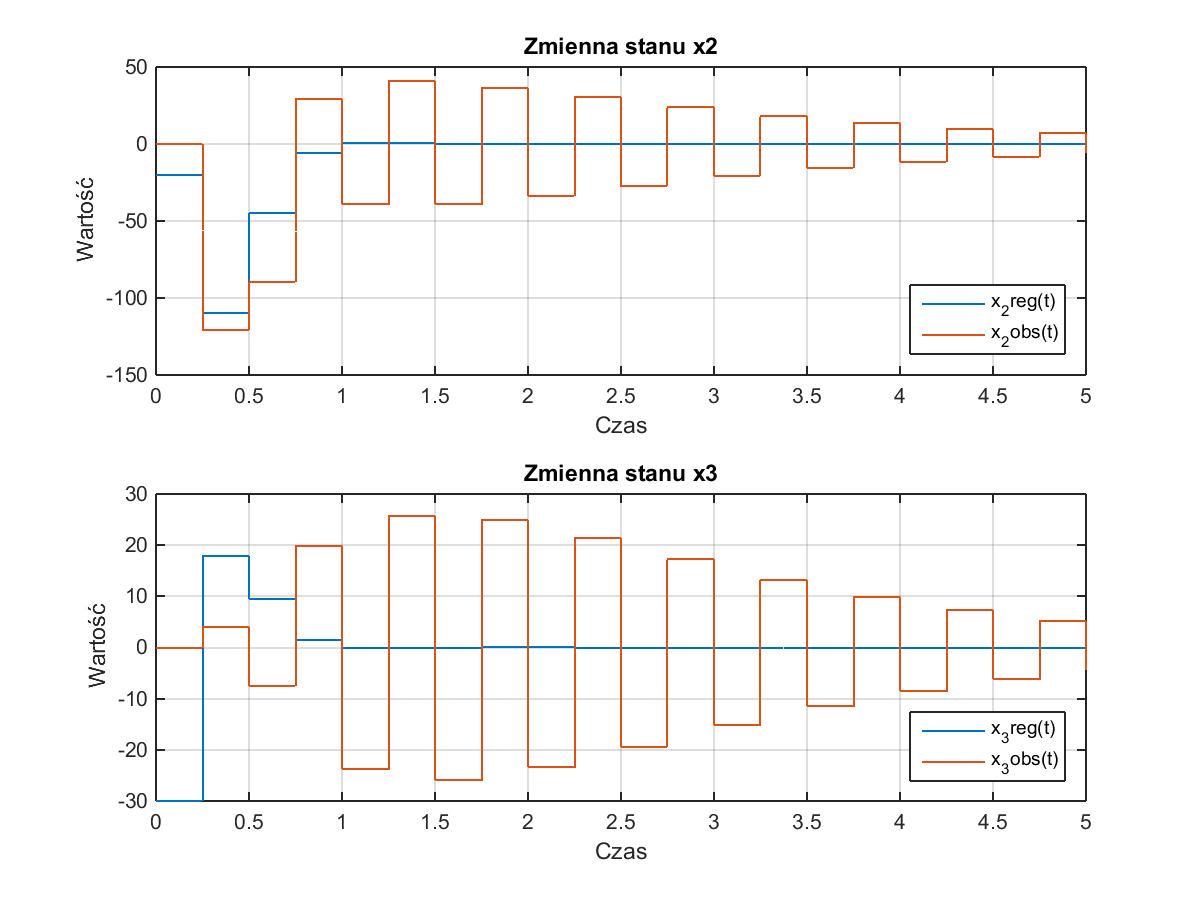
* + Testy działania obserwatora przy regulatorze o biegunach zespolonych  
    zmieniany jeden biegun na raz:

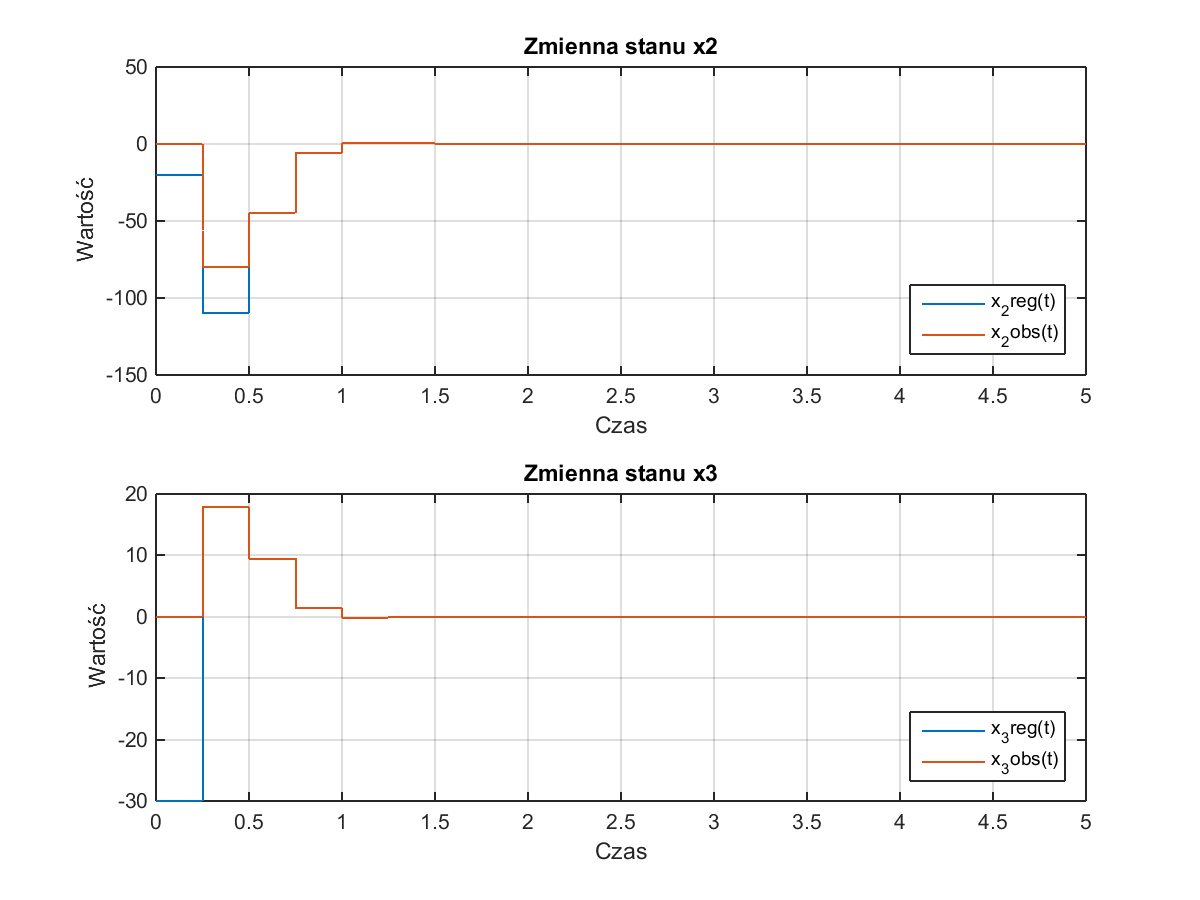
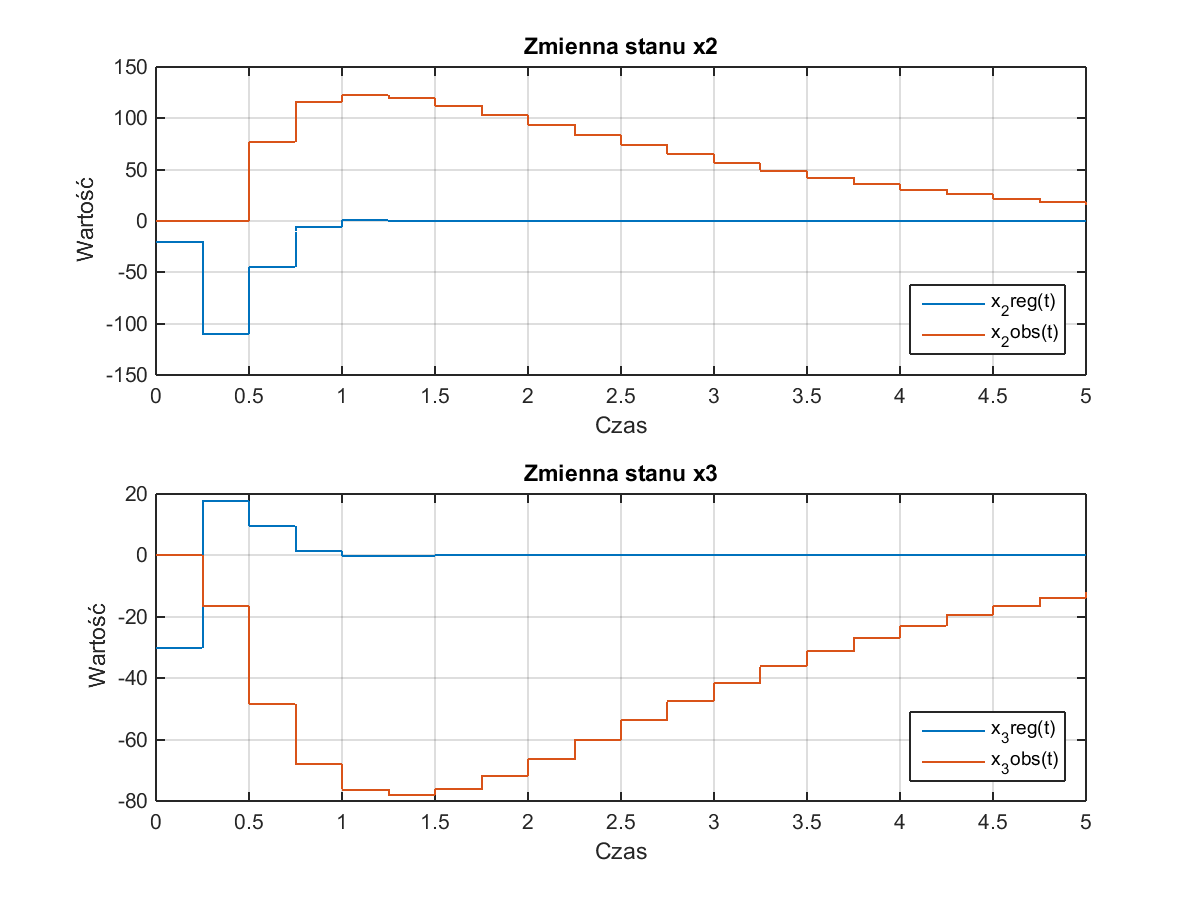
 Rys. 26 – Odpowiedź obserwatora wolnego, wariant 2, z2=-0.9, z3=0.5

 Rys. 27 – Odpowiedź obserwatora szybkiego, wariant 2, z2=0.0, z3=0.5

 Rys. 28 – Odpowiedź obserwatora wolnego, wariant 2, z2=0.9, z3=0.5

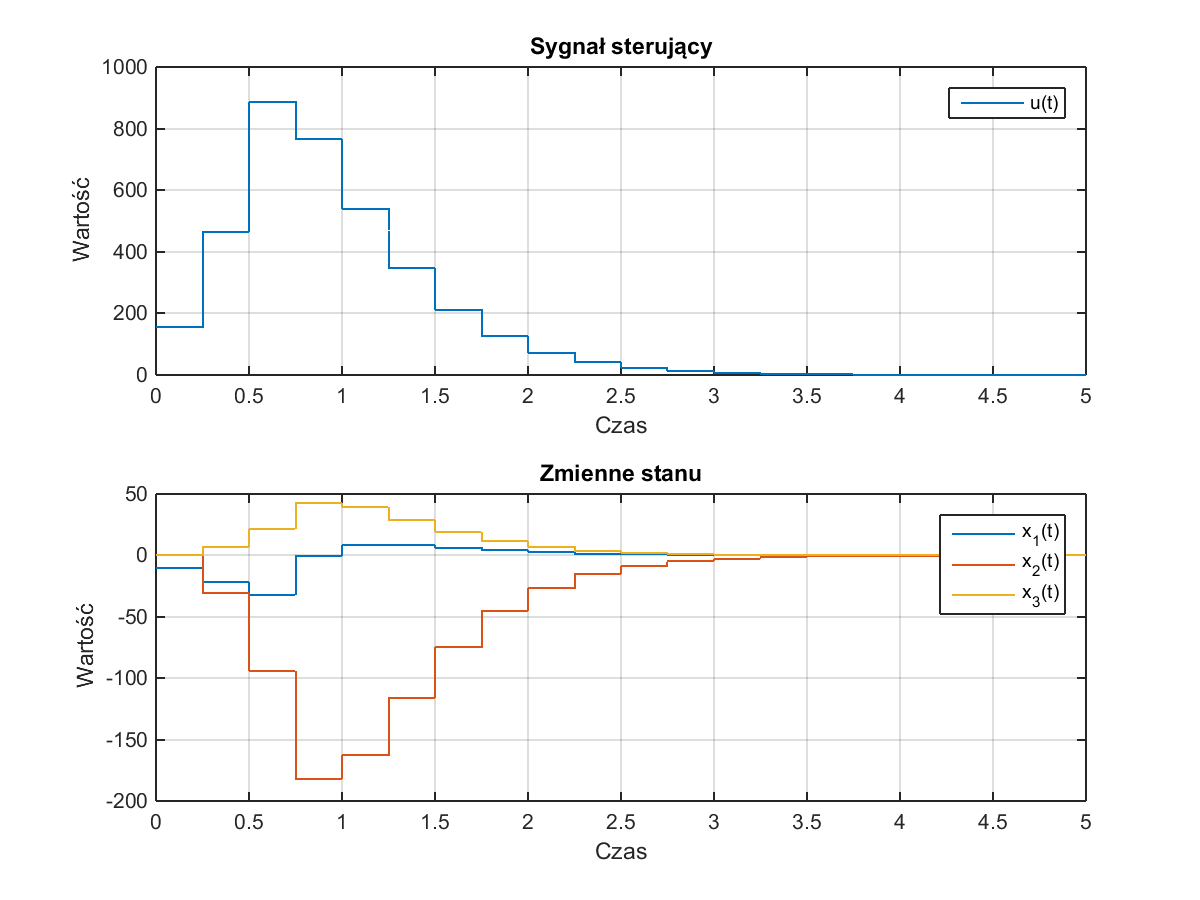
* + Testy działania obserwatora przy regulatorze o biegunach zespolonych  
    zmieniane oba bieguny na raz:

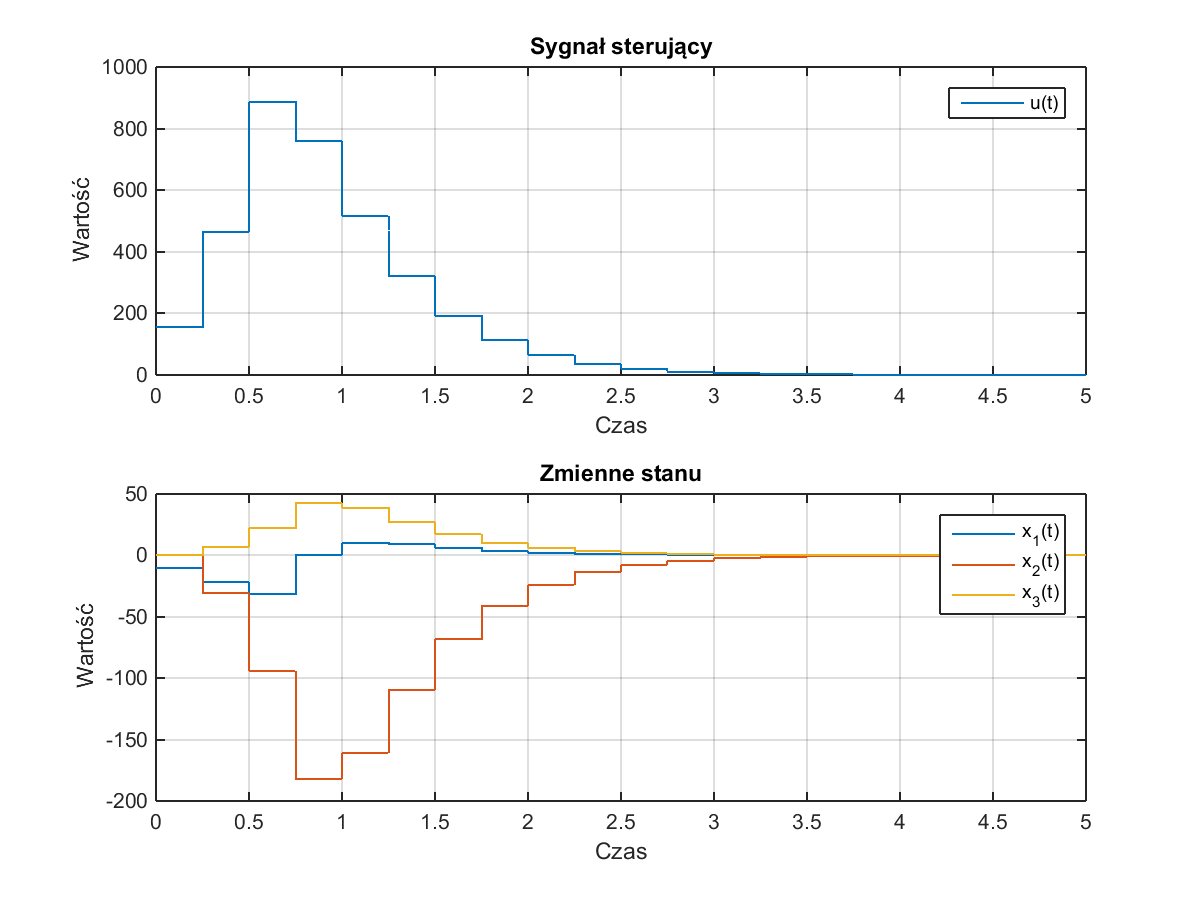
 Rys. 29 – Odpowiedź obserwatora wolnego, wariant 2, z2=-0.9, z3=-0.9

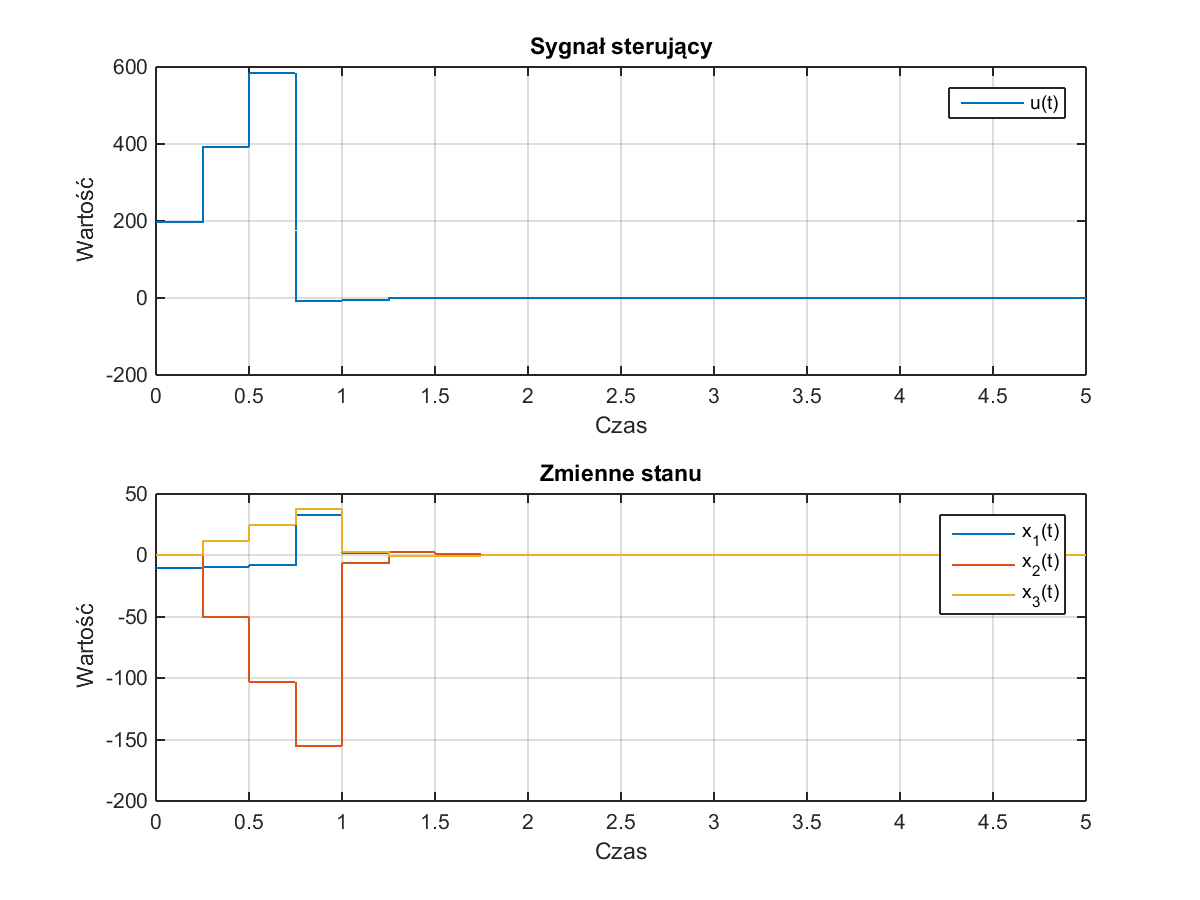
Rys. 30 – Odpowiedź obserwatora szybkiego, wariant 2, z2=0.0, z3=0.0Rys. 31 – Odpowiedź obserwatora wolnego, wariant 2, z2=0.8, z3=0.8

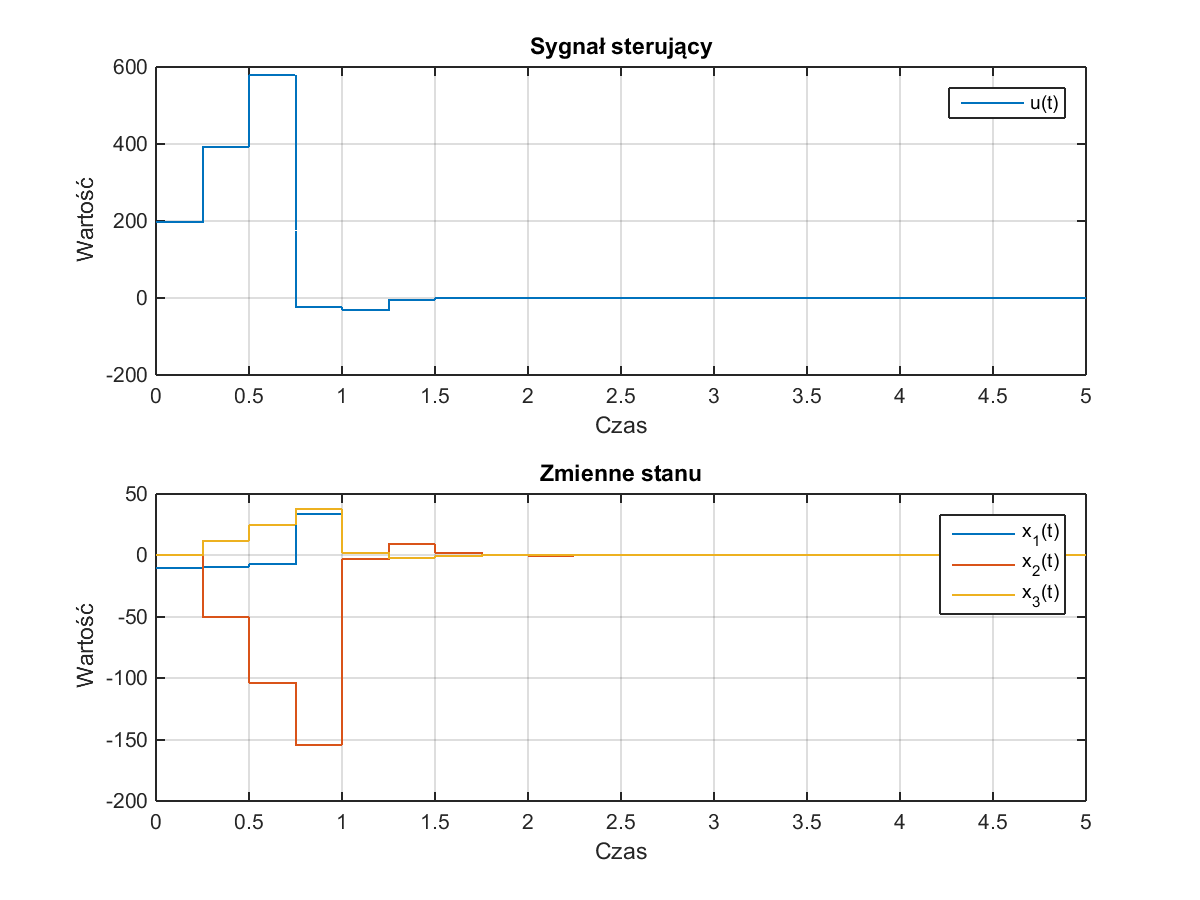
* + Zaobserwowana podczas symulacji zbieżność stanu obserwatora do stanu rzeczywistego dla biegunów obserwatora z obszaru koła jednostkowego.
  + Podobnie jak w przypadku dobierania regulatora obserwujemy gasnace szybkozmienne oscylacje dla ujemnych biegunów i zbieżność w zróżnicowanym tempie dla dodatnich biegunów obserwatora
  + Jako najlepszy osberwator szybki wybrałem ten o biegunach ulokowanych w zerze co jednocześnie odpowiada twierdząco na pytanie o możliwość ulokowania biegunów obserwatora z zerze
    - Bieguny obserwatora szybkiego: 0.0 i 0.0
  + Jako obserwator wolny wybrałem ten którego bieguny dawały jako skutek czas regulacji w okolicach połowy założonego początkowo czasu tkonc – około 2.5 sekundy
  + Bieguny obserwatora wolnego: 0.5 i 0.5

1. **Testy najlepszych regulator ze sprzężeniem od stanu wykorzystującymi zmienne stanu odtwarzane przez obserwator zredukowanego rzędu:**

 Rys. 32 – Regulator z biegunami rzeczywistymi przy obserwatorze wolnym

 Rys. 33 – Regulator z biegunami zespolonymi przy obserwatorze wolnym

 Rys. 34 – Regulator z biegunami rzeczywistymi przy obserwatorze szybkim

 Rys. 35 – Regulator z biegunami zespolonymi przy obserwatorze szybkim

* + Regulacja przebiega szybko i skutecznie w przypadku regulatora z obserwatorem szybkim w porównaniu do regulatora korzystającego z wartośći rzeczywistych
  + W przypadku regulatora przy obserwatorze wolnym regulacja trwa dłużej, jednakże nadal jest skuteczna, obserwuję iż czas regulacji jest zblizony do czasu zbiegania obserwatora do stanu rzwczywistego.