



**POLITECHNIKA
GDAŃSKA**

**WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI I AUTOMATYKI
Katedra Inżynierii Systemów Sterowania**

PODSTAWY AUTOMATYKI

**MATLAB - instrukcje i funkcje zewnętrzne.
Grafika w Matlabie. Wprowadzenie do biblioteki
*Control System Toolbox.***

***Materiały pomocnicze do ćwiczeń laboratoryjnych -
część II - termin T2***

Opracowanie:

Kazimierz Duzinkiewicz, dr hab. inż.

Michał Grochowski, dr inż.

Robert Piotrowski, dr inż.

Tomasz Rutkowski, dr inż.

Rafał Łangowski, dr inż.

Gdańsk

1. Wstęp

Control System Toolbox zapewnia wyspecjalizowane narzędzia modelowania, projektowania i analizy systemów ze sprzężeniami, obejmując zarówno klasyczne jak i nowoczesne metody projektowe, mianowicie:

- LTI Viewer - interaktywny graficzny interfejs użytkownika (GUI) do analizy i porównywania liniowych systemów niezmiennych w czasie (LTI systems).
- Wykresy w dziedzinie czasu odpowiedzi: na skok jednostkowy, impulsowej i zero-biegunowej oraz odpowiedzi w dziedzinie częstotliwości (np. Bode, Nyquist).
- Narzędzie projektowania systemów z pojedynczym wejściem i pojedynczym wyjściem (SISO).
- Obsługa systemów wielowejsściowych i wielowyjściowych (MIMO), systemów czasu ciągłego i próbkowanych danych oraz systemów z opóźnieniami czasowymi.
- Obsługa różnorodnych metod przekształceń dyskretnych na ciągłe.
- Narzędzia nowoczesnych technik kontroli projektowania (np. umieszczanie biegunów, regulacje LQR-LQG, projektowanie filtrów Kalmana, wyznaczanie obserwowalności i sterowalności oraz rozwiązania równań Riccatiego i Lapunowa).

2. Podstawowe polecenia Control System Toolbox

2.1 Definiowanie modelu obiektu, łączenie obiektów: *tf, ss, zpk, series, parallel, feedback*

tf - funkcja służąca do tworzenia modelu obiektu w postaci transmitancji.

$$\text{sys} = \text{tf}(\text{Num}, \text{Den})$$

Funkcja służąca do tworzenia modelu obiektu ciągłego w postaci transmitancji, gdzie Num i Den to macierze współczynników odpowiednio licznika i mianownika transmitancji: $G(s) = \frac{\text{Num}(s)}{\text{Den}(s)}$, uporządkowane według malejących potęg s .

Przykład 1

Zapis: $H = \text{tf}(\{-3 ; [2 -8 3]\}, \{[2 -1] ; [1 3 0]\})$:

$$\text{oznacza wektor transmitancji: } H(s) = \begin{bmatrix} \frac{-3}{2s-1} \\ \frac{2s^2-8s+3}{s^2+3s} \end{bmatrix}$$

$$\text{sys} = \text{tf}(\text{Numd}, \text{Dend}, \text{Ts})$$

Funkcja służąca do tworzenia modelu obiektu dyskretnego w postaci transmitancji, gdzie Numd i Dend to macierze współczynników odpowiednio licznika i mianownika transmitancji: $G(z) = \frac{\text{Numd}(z)}{\text{Dend}(z)}$, uporządkowane według malejących potęg z . Ts jest okresem próbkowania (domyślnie Ts = -1).

ss - funkcja służąca do tworzenia modelu obiektu w postaci zmiennych stanu.

$$\text{sys} = \text{ss}(\mathbf{A}, \mathbf{B}, \mathbf{C}, \mathbf{D})$$

Funkcja służąca do tworzenia modelu obiektu ciągłego w postaci zmiennych stanu (układ równań różniczkowych zwyczajnych), gdzie **A**, **B**, **C**, i **D** to odpowiednie macierze równań stanu i wyjścia (wymiary tych macierzy zależą od liczby współrzędnych stanu, sterowań i wyjść):

$$\begin{aligned}\dot{\mathbf{x}}(t) &= \mathbf{A}\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}\mathbf{u}(t) \\ \mathbf{y}(t) &= \mathbf{C}\mathbf{x}(t) + \mathbf{D}\mathbf{u}(t)\end{aligned}$$

gdzie: $\mathbf{x} \in R^n$, $\mathbf{y} \in R^m$, $\mathbf{u} \in R^p$.

$$\text{sys} = \text{ss}(\mathbf{A}_d, \mathbf{B}_d, \mathbf{C}_d, \mathbf{D}_d, \text{Ts})$$

Funkcja służąca do tworzenia modelu obiektu dyskretnego w postaci zmiennych stanu (układ równań różnicowych), gdzie **Ad**, **Bd**, **Cd**, i **Dd** to odpowiednie macierze równań stanu i wyjścia (wymiary tych macierzy zależą od liczby współrzędnych stanu, sterowań i wyjść):

$$\begin{aligned}\mathbf{x}[k+1] &= \mathbf{A}_d\mathbf{x}[k] + \mathbf{B}_d\mathbf{u}[k] \\ \mathbf{y}[k] &= \mathbf{C}_d\mathbf{x}[k] + \mathbf{D}_d\mathbf{u}[k]\end{aligned}$$

gdzie: $\mathbf{x} \in R^n$, $\mathbf{y} \in R^m$, $\mathbf{u} \in R^p$, Ts jest okresem próbkowania (domyślnie TS = -1).

zpk - funkcja służąca do tworzenia modelu obiektu w postaci transmitancji (w formie zer, biegunów i wzmacnień).

$$\text{sys} = \text{zpk}(\mathbf{Z}, \mathbf{P}, \mathbf{K})$$

Funkcja służąca do tworzenia modelu obiektu ciągłego w postaci transmitancji (w formie zer Z, biegunów P i wzmacnień K):

$$G(s) = K \cdot \frac{(s - z_1) \cdot (s - z_2) \cdot \dots \cdot (s - z_m)}{(s - p_1) \cdot (s - p_2) \cdot \dots \cdot (s - p_n)}$$

Zerem Z (ang. *zero*) transmitancji jest każdy z pierwiastków (zer) wielomianu znajdującego się w liczniku transmitancji. Biegunem P (ang. *pole*) (biegunem czyli wartością własną) transmitancji jest każdy z pierwiastków wielomianu znajdującego się w mianowniku transmitancji.

Przykład 2

Zapis: H = zpk({[]; [-3 5]}, {2; [0 -4]}, [-2; 2])

oznacza wektor transmitancji: $H(s) = \left[\begin{array}{c} \frac{-2}{s-2} \\ \frac{2 \cdot (s+3) \cdot (s-5)}{s \cdot (s+4)} \end{array} \right]$

$$\text{sys} = \text{zpk}(\mathbf{Z}, \mathbf{P}, \mathbf{K}, \text{Ts})$$

Funkcja służąca do tworzenia modelu obiektu dyskretnego w postaci transmitancji (w formie zer Z, biegunów P i wzmacnień K):

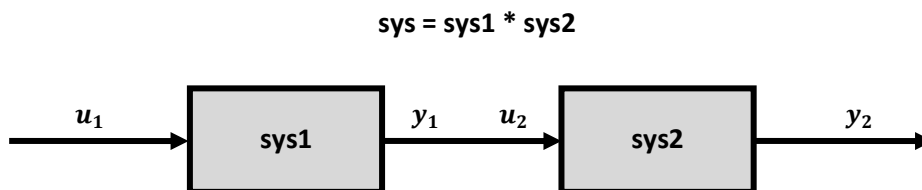
$$G(z) = K \cdot \frac{(z - z_1) \cdot (z - z_2) \cdot \dots \cdot (z - z_m)}{(z - p_1) \cdot (z - p_2) \cdot \dots \cdot (z - p_n)}$$

gdzie: Ts jest okresem próbkowania (domyślnie TS = -1).

series - funkcja służąca do szeregowego połączenia modeli dwóch obiektów.

$$\text{sys} = \text{series}(\text{sys1}, \text{sys 2}, \text{outputs1}, \text{inputs2})$$

Funkcja służąca do tworzenia modelu obiektu będącego szeregowym połączeniem modeli dwóch obiektów: sys1 i sys2, w ten sposób, że wyjścia z sys1 (opisane przez outputs1) są połączone z wejściami z sys2 (opisane przez inputs2). W przypadku, gdy nie zdefiniujemy outputs1 i inputs2 następuje połączenie postaci pokazanej na rysunku 1:



Rys. 1. Schemat pomocniczy do polecenia series

Przykład 3

$[A, B, C, D] = series(A1, B1, C1, D1, A2, B2, C2, D2)$

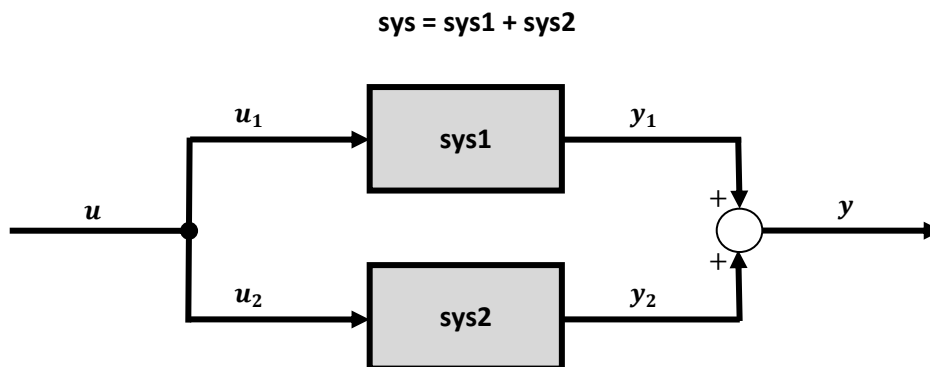
$[A, B, C, D] = series(A1, B1, C1, D1, A2, B2, C2, D2, outputs1, inputs2)$

$[Num, Den] = series(Num1, Den1, Num2, Den2)$

parallel - funkcja służąca do równoległego połączenia modeli dwóch obiektów.

$sys = parallel(sys1, sys2, in1, in2, out1, out2)$

Funkcja służąca do tworzenia modelu obiektu będącego równoległym połączeniem modeli dwóch obiektów: sys1 i sys2, w ten sposób, że wejścia z sys1 (opisane przez in1) są połączone z wejściami z sys2 (opisane przez in2) oraz wyjścia z sys1 (opisane przez out1) są sumowane z wyjściami z sys2 (opisane przez out2). W przypadku, gdy nie zdefiniujemy in1, in2, out1 i out2 następuje połączenie postaci pokazanej na rysunku 2:



Rys. 2. Schemat pomocniczy do polecenia parallel

Przykład 4

$[A, B, C, D] = parallel(A1, B1, C1, D1, A2, B2, C2, D2)$

$[A, B, C, D] = parallel(A1, B1, C1, D1, A2, B2, C2, D2, in1, in2, out1, out2)$

$[Num, Den] = parallel(Num1, Den1, Num2, Den2)$

feedback - funkcja służąca do tworzenia modelu układu ze sprzężeniem zwrotnym z kompensatorem w obwodzie (pętli) sprzężenia zwrotnego.

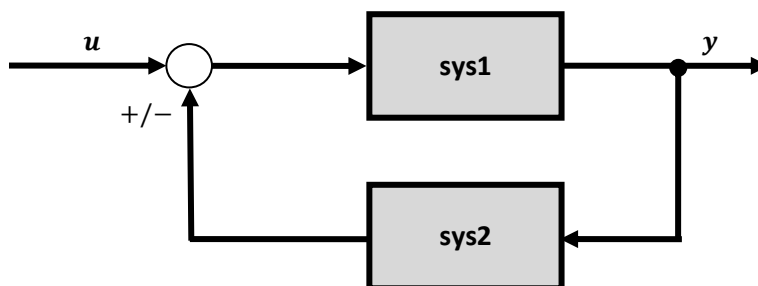
$sys = feedback(sys1, sys2)$

Funkcja służąca do tworzenia modelu układu ze sprzężeniem zwrotnym z kompensatorem w obwodzie sprzężenia (pętli) zwrotnego. Domyślnie przyjmowane jest ujemne sprzężenie zwrotne. W przypadku, gdy chcemy zdefiniować dodatnie sprzężenie zwrotne należy użyć polecenia:

$$\text{sys} = \text{feedback}(\text{sys1}, \text{sys2}, +1)$$

W przypadku, gdy chcemy więcej wejść i wyjść modelu obiektu połączyć ze sprzężeniem zwrotnym należy użyć polecenia:

$$\text{sys} = \text{feedback}(\text{sys1}, \text{sys2}, \text{feedin}, \text{feedout}, \text{sign})$$



Rys. 3. Schemat pomocniczy do polecenia feedback

Feedin określa, które wejścia u są połączone ze sprzężeniem zwrotnym, zaś feedout określa, które wyjścia y są połączone ze sprzężeniem zwrotnym. Jeśli $sign = 1$ to używane jest dodatnie sprzężenie zwrotne. Jeśli $sign = -1$ lub $sign$ jest pominięty, używane jest ujemnie sprzężenie zwrotne.

Przykład 5

$$[A, B, C, D] = \text{feedback}(A1, B1, C1, D1, A2, B2, C2, D2, \text{sign})$$

$$[A, B, C, D] = \text{feedback}(A1, B1, C1, D1, A2, B2, C2, D2, \text{feedin}, \text{feedout}, \text{sign})$$

$$[\text{Num}, \text{Den}] = \text{feedback}(\text{Num1}, \text{Den1}, \text{Num2}, \text{Den2}, \text{sign})$$

2.2 Zmiana postaci modelu obiektu: ss2tf, tf2ss, ss2zp, zp2ss, tf2zp, zp2tf

ss2tf - funkcja służąca do zamiany modelu obiektu w postaci równań stanu na transmitancję.

$$[\text{Num}, \text{Den}] = \text{ss2tf}(\mathbf{A}, \mathbf{B}, \mathbf{C}, \mathbf{D}, \text{lu})$$

Nazwa funkcji **ss2tf** pochodzi z języka angielskiego: „State - Space to Transfer Function”. Funkcja ta służy do zamiany modelu obiektu w postaci równań stanu na transmitancję liczoną względem wejścia (sterowania) o numerze lu:

$$G(s) = \frac{\text{Num}(s)}{\text{Den}(s)} = \mathbf{C} \cdot (s \cdot \mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \cdot \mathbf{B} + \mathbf{D}$$

gdzie, model obiektu w postaci równań stanu jest postaci:

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{x}}(t) &= \mathbf{A}\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}\mathbf{u}(t) \\ \mathbf{y}(t) &= \mathbf{C}\mathbf{x}(t) + \mathbf{D}\mathbf{u}(t) \end{aligned}$$

gdzie: $\mathbf{x} \in R^n$, $\mathbf{y} \in R^m$, $\mathbf{u} \in R^p$.

Num i Den to macierze współczynników odpowiednio licznika i mianownika transmitancji:
 $G(s) = \frac{Num(s)}{Den(s)}$, uporządkowane według malejących potęg s .

tf2ss - funkcja służąca do zamiany modelu obiektu w postaci transmitancji na równania stanu.

$$[A, B, C, D] = \text{tf2ss}(\text{Num}, \text{Den})$$

Nazwa funkcji tf2ss pochodzi z języka angielskiego: „*Transfer Function to State - Space*”. Funkcja ta służy do zamiany modelu obiektu w postaci transmitancji na równania stanu. Jest to funkcja odwrotna do funkcji ss2tf.

ss2zp - funkcja służąca do zamiany modelu obiektu w postaci równań stanu na transmitancję w postaci zer, biegunów i wzmacnień.

$$[Z, P, K] = \text{ss2zp}(A, B, C, D, lu)$$

Nazwa funkcji ss2zp pochodzi z języka angielskiego: „*State - Space to Zero - Pole*”. Funkcja ta służy do zamiany modelu obiektu w postaci równań stanu na transmitancję liczoną względem wejścia (sterowania) o numerze lu i przedstawienia jej w postaci zer Z , biegunów P i wzmacnień K :

$$G(s) = C \cdot (s \cdot I - A)^{-1} \cdot B + D = K \cdot \frac{(s - z_1) \cdot (s - z_2) \cdot \dots \cdot (s - z_m)}{(s - p_1) \cdot (s - p_2) \cdot \dots \cdot (s - p_n)}$$

Kolejne parametry wyjściowe zawierają macierz zer Z (w kolumnach, zera odpowiadają poszczególnym wyjściom) oraz kolumnowy wektor biegunów P i wzmacnień K (elementy określają statyczne wzmacnienia dla kolejnych wyjść układu).

zp2ss - funkcja służąca do zamiany modelu obiektu w postaci transmitancji (w formie zer, biegunów i wzmacnień) na równania stanu.

$$[A, B, C, D] = \text{zp2ss}(Z, P, K)$$

Nazwa funkcji zp2ss pochodzi z języka angielskiego: „*Zero - Pole to State - Space*”. Funkcja ta służy do zamiany modelu obiektu w postaci transmitancji (w formie zer Z , biegunów P i wzmacnień K) na równania stanu. Jest to funkcja odwrotna do funkcji ss2zp.

tf2zp - funkcja znajduje zera, bieguny i wzmacnienia dla modelu obiektu w postaci transmitancji.

$$[Z, P, K] = \text{tf2zp}(\text{Num}, \text{Den})$$

Nazwa funkcji tf2zp pochodzi z języka angielskiego: „*Transfer Function to Zero - Pole*”. Funkcja ta znajduje zera Z , bieguny P i wzmacnienia K dla modelu obiektu w postaci transmitancji:

$$G(s) = \frac{Num(s)}{Den(s)} = K \cdot \frac{(s - z_1) \cdot (s - z_2) \cdot \dots \cdot (s - z_m)}{(s - p_1) \cdot (s - p_2) \cdot \dots \cdot (s - p_n)}$$

Funkcja stosowana dla układu SIMO (jedno wejście, wiele wyjść). Kolejne parametry wyjściowe zawierają macierz zer Z (w kolumnach, zera odpowiadają poszczególnym wyjściom) oraz kolumnowy wektor biegunów P i wzmacnień K (elementy określają statyczne wzmacnienia dla kolejnych wyjść układu).

zp2tf - funkcja znajduje transmitancję modelu obiektu na podstawie zer, biegunów i wzmacnień.

$$[\text{Num}, \text{Den}] = \text{zp2tf}(\text{Z}, \text{P}, \text{K})$$

Nazwa funkcji zp2tf pochodzi z języka angielskiego: „Zero - Pole to Transfer Function”. Funkcja znajduje transmitancję modelu obiektu na podstawie zer Z, biegunów P i wzmocnień K. Jest to funkcja odwrotna do funkcji tf2zp. Funkcja stosowana dla układu SIMO (jedno wejście, wiele wyjść).

2.3 Badanie parametrów układu liniowego: *pole*, *zero*, *pzmap*

pole - funkcja służąca do znajdowania biegunów modelu obiektu.

$$\text{P} = \text{pole}(\text{sys})$$

Funkcja służąca do znajdowania biegunów modelu liniowego obiektu sys. P jest wektorem kolumnowym.

zero - funkcja służąca do znajdowania zer modelu obiektu.

$$\text{Z} = \text{zero}(\text{sys})$$

Funkcja służąca do znajdowania zer modelu liniowego obiektu sys.

$$[\text{Z}, \text{GAIN}] = \text{zero}(\text{sys})$$

Funkcja służąca do znajdowania zer modelu liniowego obiektu sys i wzmocnienia dla układu SISO.

pzmap - funkcja służąca do znajdowania zer i biegunów modelu obiektu i rysowania ich na wykresie.

$$\text{pzmap}(\text{sys})$$

Funkcja służąca do znajdowania zer i biegunów modelu liniowego obiektu sys i rysowania ich na wykresie. Zera są oznaczane okręgami, zaś bieguny są oznaczane krzyżykami.

$$\text{pzmap}(\text{sys1}, \text{sys2}, \dots)$$

Funkcja służąca do znajdowania zer i biegunów modeli obiektów sys1, sys2, ... i rysowania ich na jednym wykresie. Możliwe jest określenie koloru (zer i biegunów) dla każdego z modeli.

Przykład 6

`pzmap(sys1, 'r', sys2, 'y', sys3, 'g')`

$$[\text{P}, \text{Z}] = \text{pzmap}(\text{sys})$$

Funkcja służąca do znajdowania zer Z i biegunów P modelu obiektu sys. Nie jest kreślony wykres. Zera Z i bieguny P zwracane są w postaci wektora.

2.4 Badanie charakterystyk czasowych układu liniowego: *step*, *impulse*, *gensig*, *initial*, *lsim*

step - funkcja służąca do wykreślania odpowiedzi modelu układu ciągłego na skok jednostkowy.

$$\text{step}(\text{sys})$$

Funkcja służąca do wykreślania odpowiedzi modelu układu ciągłego sys na skok jednostkowy.

step(sys, Tfinal)

Funkcja służąca do wykreślania odpowiedzi modelu układu ciągłego sys na skok jednostkowy od chwili $t = 0$ do chwili $t = T_{final}$. Dla modelu układu dyskretnego T_{final} jest rozumiany jako liczba próbek.

step(sys, T)

Funkcja służąca do wykreślania odpowiedzi modelu układu ciągłego sys na skok jednostkowy, gdzie T jest wektorem czasu symulacji. Dla modelu układu ciągłego T powinno mieć postać: $T_i: dt: T_f$, gdzie: dt jest czasem dyskretyzacji modelu układu ciągłego. Dla modelu układu dyskretnego T powinno mieć postać: $T_i: T_s: T_f$, gdzie T_s jest czasem próbkowania.

step(sys1, sys2, ... ,T)

Funkcja służąca do wykreślania odpowiedzi modeli układów ciągłych sys1, sys2, ... na skok jednostkowy, na jednym wykresie. T jest parametrem opcjonalnym. Możliwe jest określenie koloru, stylu i grubości linii dla każdego z modeli.

Przykład 7

step(sys1, 'r', sys2, 'y', sys3, 'g')

[Y, T] = step(sys)

Funkcja służąca do znajdowania odpowiedzi modelu układu ciągłego sys na skok jednostkowy Y oraz wektora czasu symulacji T. Nie jest kreślony wykres.

[Y, T, X] = step(sys)

Funkcja służąca do znajdowania odpowiedzi modelu układu ciągłego sys na skok jednostkowy Y, wektora czasu symulacji T i wektora stanu X dla modelu obiektu sys opisanego równaniami stanu.

impulse - funkcja służąca do wykreślania odpowiedzi modelu układu ciągłego na impuls Diraca (delta Diraca).

impulse(sys)

Funkcja służąca do wykreślania odpowiedzi modelu układu ciągłego sys na impuls Diraca.

impulse(sys, Tfinal)

Funkcja służąca do wykreślania odpowiedzi modelu układu ciągłego sys na impuls Diraca od chwili $t = 0$ do chwili $t = T_{final}$. Dla modelu układu dyskretnego T_{final} jest rozumiany jako liczba próbek.

impulse(sys, T)

Funkcja służąca do wykreślania odpowiedzi modelu układu ciągłego sys na impuls Diraca, gdzie T jest wektorem czasu symulacji. Dla modelu układu ciągłego T powinno mieć postać: $T_i: dt: T_f$, gdzie: dt jest czasem dyskretyzacji modelu układu ciągłego. Dla modelu układu dyskretnego T powinno mieć postać: $T_i: T_s: T_f$, gdzie T_s jest czasem próbkowania.

impulse(sys1, sys2, ... ,T)

Funkcja służąca do wykreślania odpowiedzi modeli układów ciągłych sys1, sys2, ... na impuls Diraca, na jednym wykresie. T jest parametrem opcjonalnym. Możliwe jest określenie koloru, stylu i grubości linii dla każdego z modeli.

Przykład 8

`impulse(sys1, 'r', sys2, 'y', sys3, 'g')`

`[Y, T] = impulse(sys)`

Funkcja służąca do znajdowania odpowiedzi modelu układu ciągłego sys na impuls Diraca Y oraz wektora czasu symulacji T. Nie jest kreślony wykres.

`[Y, T, X] = impulse(sys)`

Funkcja służąca do znajdowania odpowiedzi modelu układu ciągłego sys na impuls Diraca Y, wektora czasu symulacji T i wektora stanu X dla modelu obiektu sys opisanego równaniami stanu.

gensig - funkcja służąca do generowania sygnału okresowego.

`[U, T] = gensig(Type, Tau)`

Funkcja służąca do generowania sygnału okresowego klasy Type z okresem Tau. Parametr Type może przyjmować jedną z następujących wartości:

Type = 'sin' - sygnał sinusoidalny,

Type = 'square' - sygnał w postaci kwadratów,

Type = 'pulse' - sygnał impulsowy

Funkcja zwraca wektor czasu T i wektor zawierający odpowiadające danym chwilom wartości sygnału Y. Generowane sygnały mają amplitudę jednostkową.

`[U, T] = gensig(Type, Tau, Tf, Ts)`

Funkcja służąca do generowania sygnału okresowego klasy Type z okresem Tau. Tf jest czasem przerwy, zaś Ts jest czasem próbkowania.

initial - funkcja służąca do wykreślania odpowiedzi modelu układu opisanego równaniami stanu na warunek początkowy.

`initial(sys, x0)`

Funkcja służąca do wykreślania odpowiedzi modelu układu sys opisanego równaniami stanu na warunek początkowy x0. Dla modelu układu ciągłego mamy:

$$\dot{x}(t) = \mathbf{A}x(t) + \mathbf{B}u(t)$$

$$y(t) = \mathbf{C}x(t) + \mathbf{D}u(t)$$

$$x(0) = x_0$$

Czas symulacji lub wektor czasu symulacji jest określany automatycznie.

`initial(sys, x0, Tfinal)`

Funkcja służąca do wykreślania odpowiedzi modelu układu sys opisanego równaniami stanu na warunek początkowy x_0 od chwili $t = 0$ do chwili $t = T_{final}$. Dla modelu układu dyskretnego T_{final} jest rozumiany jako liczba próbek.

initial(sys, x0, T)

Funkcja służąca do wykreślania odpowiedzi modelu układu sys opisanego równaniami stanu na warunek początkowy x_0 , gdzie T jest wektorem czasu symulacji. Dla modelu układu ciągłego T powinno mieć postać: $T_i:dt:T_f$, gdzie: dt jest czasem dyskretyzacji modelu układu ciągłego. Dla modelu układu dyskretnego T powinno mieć postać: $T_i:T_s:T_f$, gdzie T_s jest czasem próbkowania.

initial(sys1, sys2, ... ,x0, T)

Funkcja służąca do wykreślania odpowiedzi modeli układów sys1, sys2, ... opisywanych równaniami stanu na warunek początkowy x_0 , na jednym wykresie. T jest parametrem opcjonalnym. Możliwe jest określenie koloru, stylu i grubości linii dla każdego z modeli.

Przykład 9

```
initial(sys1, 'r', sys2, 'y--', sys3, 'gx', x0)
```

[Y, T, X] = initial(sys, x0)

Funkcja służąca do znajdowania odpowiedzi modelu układu ciągłego sys opisanego równaniami stanu na warunek początkowy x_0 , gdzie T jest wektorem czasu symulacji, a X jest wektorem stanu. Nie jest kreślony wykres.

lsim - funkcja służąca do wykreślania odpowiedzi modelu układu ciągłego na wymuszenie.

lsim(sys, U, T)

Funkcja służąca do wykreślania odpowiedzi modelu układu ciągłego sys na wymuszenie U określone w chwilach T.

Przykład 10

```
T = 0:0.02:6;  
U = sin(t);  
lsim(sys, U, T);
```

oznacza symulację odpowiedzi modelu układu ciągłego sys o jednym wejściu na wymuszenie $u(t) \sin(t)$ dla $t \in [0,6]$.

lsim(sys, U, T, x0)

Funkcja służąca do wykreślania odpowiedzi modelu układu ciągłego sys na wymuszenie U określone w chwilach T przy warunkach początkowych x_0 . Domyślnie: $x_0 = 0$.

lsim(sys1, sys2, ..., U, T, x0)

Funkcja służąca do wykreślania odpowiedzi modeli układów ciągłych sys1, sys2, ... na wymuszenie U określone w chwilach T i warunki początkowe x_0 . x_0 jest parametrem opcjonalnym. Możliwe jest określenie koloru, stylu i grubości linii dla każdego z modeli.

Przykład 11

`lsim(sys1, 'r', sys2, 'y--', sys3, 'gx', u, t)`

$$Y = \text{lsim}(\text{sys}, U, T)$$

Funkcja służąca do znajdowania odpowiedzi modelu układu ciągłego `sys` na wymuszenie `U` określone w chwilach `T`. Nie jest kreślony wykres.

$$[Y, T, X] = \text{lsim}(\text{sys}, U, T, x0)$$

Funkcja służąca do znajdowania odpowiedzi modelu układu ciągłego `sys` na wymuszenie `U` określone w chwilach `T`, gdzie `T` jest wektorem czasu symulacji, a `X` jest wektorem stanu. Nie jest kreślony wykres.

$$\text{lsim}(\text{sys}, U, T, x0, \text{'ZOH'}) \text{ lub } \text{lsim}(\text{sys}, U, T, x0, \text{'FOH'})$$

Funkcja służąca do wykreślenia odpowiedzi modelu układu ciągłego `sys` na wymuszenie `U` określone w chwilach `T` i warunki początkowe `x0`. `x0` jest parametrem opcjonalnym. Parametr domyślny `ZOH` lub `FOH` oznacza jak ma być interpolowany sygnał wejściowy pomiędzy czasem próbkowania (`ZOH`: zero-order hold, `FOH`: linear interpolation).

2.4 Badanie charakterystyk częstotliwościowych układu liniowego: *bode*, *bodemag*, *margin*, *nyquist*

bode - funkcja służąca do wykreślenia charakterystyk logarytmicznych (charakterystyk Bode'a).

$$\text{bode}(\text{sys})$$

Funkcja służąca do wykreślenia charakterystyk logarytmicznych (charakterystyk Bode'a) modelu układu ciągłego `sys`. Zakres częstotliwości jak i liczba punktów jest dobierana automatycznie.

$$\text{bode}(\text{sys}, \{W_{\min}, W_{\max}\})$$

Funkcja służąca do wykreślenia charakterystyk logarytmicznych (charakterystyk Bode'a) modelu układu ciągłego `sys`. Zakres częstotliwości znajduje się pomiędzy `Wmin` i `Wmax` (w rad/s).

$$\text{bode}(\text{sys}, W)$$

Funkcja służąca do wykreślenia charakterystyk logarytmicznych (charakterystyk Bode'a) modelu układu ciągłego `sys`. Zakres częstotliwości jest określany i podaje się go w wektorze `W` (w rad/s). Do generowania wektora `W` można wykorzystać polecenie **logspace**.

$$\text{bode}(\text{sys1}, \text{sys2}, \dots, W)$$

Funkcja służąca do wykreślenia charakterystyk logarytmicznych (charakterystyk Bode'a) modeli układów ciągłych `sys1`, `sys2`, `W` jest parametrem opcjonalnym. Możliwe jest określenie koloru, stylu i grubości linii dla każdego z modeli.

Przykład 12

`bode(sys1, 'r', sys2, 'y--', sys3, 'gx')`

$$[\text{MAG}, \text{PHASE}] = \text{bode}(\text{sys}, W) \text{ lub } [\text{MAG}, \text{PHASE}, W] = \text{bode}(\text{sys})$$

Funkcja służąca do znajdowania modułu i fazy. Nie jest kreślony wykres. Obliczone punkty charakterystyki zostają umieszczone w odpowiednich wektorach: wektory MAG i PHASE zawierają wzmacnienie i fazę układu odpowiadającą częstotliwościom określonym odpowiednimi elementami wyjściowego wektora W.

bodemag - funkcja służąca do wykreślania charakterystyk logarytmicznych modułu.

bodemag(sys)

Funkcja służąca do wykreślania charakterystyk logarytmicznych modułu modelu układu ciągłego sys. Zakres częstotliwości jak i liczba punktów jest dobierana automatycznie.

bodemag(sys, {Wmin, Wmax})

Funkcja służąca do wykreślania charakterystyk logarytmicznych modułu modelu układu ciągłego sys. Zakres częstotliwości znajduje się pomiędzy Wmin i Wmax (w rad/s).

bodemag(sys, W)

Funkcja służąca do wykreślania charakterystyk logarytmicznych modułu modelu układu ciągłego sys. Zakres częstotliwości jest określany i podaje się go w wektorze W (w rad/s). Do generowania wektora W można wykorzystać polecenie **logspace**.

bodemag(sys1, sys2, ... , W)

Funkcja służąca do wykreślania charakterystyk logarytmicznych modułu modeli układów ciągłych sys1, sys2, W jest parametrem opcjonalnym. Możliwe jest określenie koloru, stylu i grubości linii dla każdego z modeli.

Przykład 13

`bodemag(sys1, 'r', sys2, 'y--', sys3, 'gx')`

margin - funkcja służąca do wykreślania charakterystyk logarytmicznych (charakterystyk Bode'a) oraz obliczania wartości zapasu modułu i fazy.

margin(sys)

Funkcja służąca do wykreślania charakterystyk logarytmicznych (charakterystyk Bode'a) oraz wykreślania wartości zapasu modułu i fazy ciągłego modelu układu otwartego sys typu SISO.

[Gm, Pm, Wcg, Wcp] = margin(sys)

Funkcja służąca do obliczania wartości zapasu modułu Gm i fazy Pm (w stopniach), dla odpowiednich częstotliwości Wcg (dla Gm) i Wcp (dla Pm) ciągłego modelu układu otwartego sys typu SISO.

[Gm, Pm, Wcg, Wcp] = margin(MAG, PHASE, W)

Funkcja służąca do obliczania wartości zapasu modułu Gm i fazy Pm (w stopniach), dla odpowiednich częstotliwości Wcg (dla Gm) i Wcp (dla Pm) ciągłego modelu układu otwartego typu SISO.

nyquist - funkcja służąca do wykreślania charakterystyki amplitudowo-fazowej (charakterystyki Nyquist'a).

nyquist(sys)

Funkcja służąca do wykreślenia charakterystyki amplitudowo-fazowej (charakterystyki Nyquist'a) modelu układu ciągłego sys. Zakres częstotliwości jak i liczba punktów jest dobierana automatycznie.

nyquist(sys, {Wmin, Wmax})

Funkcja służąca do wykreślenia charakterystyki amplitudowo-fazowej (charakterystyki Nyquist'a) modelu układu ciągłego sys. Zakres częstotliwości znajduje się pomiędzy Wmin i Wmax (w rad/s).

nyquist(sys, W)

Funkcja służąca do wykreślenia charakterystyki amplitudowo-fazowej (charakterystyki Nyquist'a) modelu układu ciągłego sys. Zakres częstotliwości jest określany i podaje się go w wektorze W (w rad/s). Do generowania wektora W można wykorzystać polecenie **logspace**.

nyquist(sys1, sys2, ... , W)

Funkcja służąca do wykreślenia charakterystyk amplitudowo-fazowych (charakterystyk Nyquist'a) modeli układów ciągłych sys1, sys2, W jest parametrem opcjonalnym. Możliwe jest określenie koloru, stylu i grubości linii dla każdego z modeli.

Przykład 14

```
nyquist(sys1, 'r', sys2, 'y--', sys3, 'gx')
```

[RE, IM] = nyquist(sys, W) lub **[RE, IM, W] = nyquist(sys)**

Funkcja służąca do znajdowania części rzeczywistej i urojonej. Nie jest kreślony wykres. Obliczone punkty charakterystyki zostają umieszczone w odpowiednich wektorach; wektory RE i IM zawierają części rzeczywiste i urojone liczb opisujących transmitancję widmową dla odpowiednich częstotliwości określonych odpowiednimi elementami wyjściowego wektora W.

2.5 Zmiana postaci obiektu: c2d, d2c, c2dm, d2cm, d2d

c2d - funkcja służąca do konwersji dynamicznego liniowego modelu obiektu ciągłego na model dyskretny.

sysD = c2d(sysC, Ts, 'Metoda')

Funkcja służąca do konwersji dynamicznego liniowego modelu obiektu ciągłego sysC na model dyskretny sysD. Okres próbkowania wynosi Ts. Parametr Metoda służy do wyboru metody dyskretyzacji (parametr opcjonalny):

- ZOH - (ang. *Zero Order Hold*) aproksymacja przebiegów ciągłych metodą prostokątów,
- FOH - (ang. *First Order Hold*) aproksymacja przebiegów ciągłych metodą trójkątów,
- IMP - (ang. *Impulse Invariant Discretization*) aproksymacja przebiegów ciągłych mająca na celu jak najlepsze przybliżenie przebiegów ciągłych w odpowiedzi na impuls Diraca,
- TUSTIN - aproksymacja przebiegów ciągłych metodą trapezów (aproksymacja bilingowa Tustina). Wartości w chwilach próbkowania są równe wartościom w przebiegu ciągłym.
- PREWARP - w wyniku dyskretyzacji przebiegu ciągłego następuje zmiana skali pulsacji (tzw. efekt *warping*). Metoda ta dokonuje aproksymacji, która eliminuje zmianę skali dla zadanej pulsacji WC. Pulsacja WC jest dodatkowym parametrem:

$$\text{sysD} = \text{c2d}(\text{sysC}, \text{Ts}, \text{'PREWARP'}, \text{WC})$$

- MATCHED - metoda biegunów i zer (tylko dla układów typu SISO).

Domyślną metodą dyskretyzacji jest ZOH. Dla modelu obiektu ciągłego sysC opisanego w przestrzeni stanu dwie z metod dyskretyzacji (ZOH i FOH) zwracają macierz **G**, która przypisuje ciągłe warunki początkowe dyskretnym warunkom początkowym. W przypadku, gdy x_0 i u_0 są odpowiednio warunkami początkowymi dla zmiennych stanu i wejścia modelu obiektu ciągłego to warunki początkowe dla modelu dyskretnego sysD wynoszą:

$$x_{d0} = \mathbf{G} \cdot [x_0 \quad u_0]; \quad u_{d0} = u_0$$

zatem należy użyć polecenia o następującej składni:

$$[\text{SYS D}, \mathbf{G}] = \text{c2d}(\text{sysC}, \text{Ts}, \text{'Metoda'})$$

d2c - funkcja służąca do konwersji dynamicznego liniowego modelu obiektu dyskretnego na model ciągły.

$$\text{sysC} = \text{d2c}(\text{sysD}, \text{'Metoda'})$$

Funkcja służąca do konwersji dynamicznego liniowego modelu obiektu dyskretnego sysD na model ciągły sysC. Parametr Metoda służy do wyboru metody dyskretyzacji (parametr opcjonalny) (ZOH, TUSTIN, PREWARP, MATCHED). Domyślną metodą dyskretyzacji jest ZOH.

Ograniczenia związane z poleceniem d2c:

- Nie działa, gdy model dyskretny posiada bieguny zerowe (dla metody dyskretyzacji ZOH).
- Ujemne bieguny rzeczywiste w dziedzinie zmiennej z są przypisywane do par biegunów zespolonych w dziedzinie zmiennej s . Powoduje to powstanie modeli ciągłych o wyższej dynamice.

c2dm - funkcja służąca do konwersji dynamicznego liniowego modelu obiektu ciągłego opisanego w przestrzeni stanu lub transmitancją na model dyskretny.

$$[\mathbf{Ad}, \mathbf{Bd}, \mathbf{Cd}, \mathbf{Dd}] = \text{c2dm}(\mathbf{A}, \mathbf{B}, \mathbf{C}, \mathbf{D}, \text{Ts}, \text{'Metoda'})$$

Funkcja służąca do konwersji dynamicznego liniowego modelu obiektu ciągłego opisanego macierzami **A**, **B**, **C** i **D** na model dyskretny opisany macierzami **Ad**, **Bd**, **Cd** i **Dd**. Okres próbkowania wynosi Ts. Parametr Metoda służy do wyboru metody dyskretyzacji (parametr opcjonalny) (ZOH, FOH, TUSTIN, PREWARP, MATCHED). Domyślną metodą dyskretyzacji jest ZOH.

$$[\mathbf{Numd}, \mathbf{Dend}] = \text{c2dm}(\mathbf{Num}, \mathbf{Den}, \text{Ts}, \text{'Metoda'})$$

Funkcja służąca do konwersji dynamicznego liniowego modelu obiektu ciągłego opisanego transmitancją ciągłą (Num i Den to macierze współczynników odpowiednio licznika i mianownika transmitancji: $G(s) = \frac{\text{Num}(s)}{\text{Den}(s)}$, uporządkowane według malejących potęg s) na model dyskretny opisany transmitancją dyskretną (Numd i Dend to macierze współczynników odpowiednio licznika i mianownika transmitancji: $G(z) = \frac{\text{Numd}(z)}{\text{Dend}(z)}$, uporządkowane według malejących potęg z). Okres próbkowania wynosi Ts. Parametr Metoda służy do wyboru metody dyskretyzacji (parametr opcjonalny) (ZOH, FOH, TUSTIN, PREWARP, MATCHED). Domyślną metodą dyskretyzacji jest ZOH.

d2cm - funkcja służąca do konwersji dynamicznego liniowego modelu obiektu dyskretnego opisanego w przestrzeni stanu lub transmitancją na model ciągły.

[A, B, C, D] = d2cm(Ad, Bd, Cd, Dd, Ts, 'Metoda')

Funkcja służąca do konwersji dynamicznego liniowego modelu obiektu dyskretnego opisanego macierzami **Ad, Bd, Cd** i **Dd** na model ciągły opisany macierzami **A, B, C** i **D**. Okres próbkowania wynosi T_s . Parametr *Metoda* służy do wyboru metody dyskretyzacji (parametr opcjonalny) (ZOH, FOH, TUSTIN, PREWARP, MATCHED). Domyślną metodą dyskretyzacji jest ZOH.

[Num, Den] = d2cm(Numd, Dend, Ts, 'Metoda')

Funkcja służąca do konwersji dynamicznego liniowego modelu obiektu dyskretnego opisanego transmitancją dyskretną ($Numd$ i $Dend$ to macierze współczynników odpowiednio licznika i mianownika transmitancji: $G(z) = \frac{Numd(z)}{Dend(z)}$, uporządkowane według malejących potęg z) na model ciągły opisany transmitancją ciągłą (Num i Den to macierze współczynników odpowiednio licznika i mianownika transmitancji: $G(s) = \frac{Num(s)}{Den(s)}$, uporządkowane według malejących potęg s). Okres próbkowania wynosi T_s . Parametr *Metoda* służy do wyboru metody dyskretyzacji (parametr opcjonalny) (ZOH, FOH, TUSTIN, PREWARP, MATCHED). Domyślną metodą dyskretyzacji jest ZOH.

d2d - funkcja służąca do konwersji dynamicznego liniowego modelu obiektu dyskretnego do modelu obiektu dyskretnego z innym okresem próbkowania.

sys = d2d(sys, Ts)

Funkcja służąca do konwersji dynamicznego liniowego modelu obiektu dyskretnego *sys* do modelu obiektu dyskretnego z innym okresem próbkowania T_s .

2.6 Badanie charakterystyk czasowych dyskretnego układu liniowego: *dstep, dimpulse, dinitial, dlsim*

dstep - funkcja służąca do wykreślenia odpowiedzi jednowymiarowego modelu układu dyskretnego na skok jednostkowy.

dstep(Ad, Bd, Cd, Dd, lu)

Funkcja służąca do wykreślenia odpowiedzi jednowymiarowego modelu układu dyskretnego opisanego macierzami **Ad, Bd, Cd** i **Dd** na skok jednostkowy, liczonej względem wejścia (sterowania) o numerze lu . Parametr lu jest ustalany automatycznie.

dstep(Numd, Dend)

Funkcja służąca do wykreślenia odpowiedzi jednowymiarowego modelu układu dyskretnego opisanego transmitancją dyskretną na skok jednostkowy ($Numd$ i $Dend$ to macierze współczynników odpowiednio licznika i mianownika transmitancji: $G(z) = \frac{Numd(z)}{Dend(z)}$, uporządkowane według malejących potęg z).

dstep(Ad, Bd, Cd, Dd, lu, N)

Funkcja służąca do wykreślenia odpowiedzi jednowymiarowego modelu układu dyskretnego opisanego macierzami **Ad, Bd, Cd** i **Dd** na skok jednostkowy, liczonej względem wejścia (sterowania) o numerze lu . Parametr N oznacza zadeklarowaną liczbę punktów.

dstep(Numd, Dend, N)

Funkcja służąca do wykreślenia odpowiedzi jednowymiarowego modelu układu dyskretnego opisanego transmitancją dyskretną na skok jednostkowy. Parametr N oznacza zadeklarowaną liczbę punktów.

$$[Y, X] = \text{dstep}(Ad, Bd, Cd, Dd, \dots)$$

Funkcja służąca do znajdowania odpowiedzi jednowymiarowego modelu układu dyskretnego opisanego macierzami **Ad**, **Bd**, **Cd** i **Dd** na skok jednostkowy, liczonej względem wejścia (sterowania) o numerze *lu*. Wyniki przedstawiane są w postaci macierzy wyjścia *Y* i stanu *X*. Nie jest kreślony wykres.

$$[Y, X] = \text{dstep}(\text{Numd}, \text{Dend}, \dots)$$

Funkcja służąca do wykreślania odpowiedzi jednowymiarowego modelu układu dyskretnego opisanego transmitancją dyskretną na skok jednostkowy. Wyniki przedstawiane są w postaci macierzy wyjścia *Y* i stanu *X*. Nie jest kreślony wykres.

dimpulse - funkcja służąca do wykreślania odpowiedzi modelu układu dyskretnego na impuls jednostkowy (delta Kroneckera).

$$\text{dimpulse}(Ad, Bd, Cd, Dd, lu)$$

Funkcja służąca do wykreślania odpowiedzi jednowymiarowego modelu układu dyskretnego opisanego macierzami **Ad**, **Bd**, **Cd** i **Dd** na impuls jednostkowy, liczonej względem wejścia (sterowania) o numerze *lu*. Parametr *lu* jest ustalany automatycznie.

$$\text{dimpulse}(\text{Numd}, \text{Dend})$$

Funkcja służąca do wykreślania odpowiedzi jednowymiarowego modelu układu dyskretnego opisanego transmitancją dyskretną na impuls jednostkowy (*Numd* i *Dend* to macierze współczynników odpowiednio licznika i mianownika transmitancji: $G(z) = \frac{\text{Numd}(z)}{\text{Dend}(z)}$, uporządkowane według malejących potęg *z*).

$$\text{dimpulse}(Ad, Bd, Cd, Dd, lu, N)$$

Funkcja służąca do wykreślania odpowiedzi jednowymiarowego modelu układu dyskretnego opisanego macierzami **Ad**, **Bd**, **Cd** i **Dd** na impuls jednostkowy, liczonej względem wejścia (sterowania) o numerze *lu*. Parametr *N* oznacza zadeklarowaną liczbę punktów (próbek).

$$\text{dimpulse}(\text{Numd}, \text{Dend}, N)$$

Funkcja służąca do wykreślania odpowiedzi jednowymiarowego modelu układu dyskretnego opisanego transmitancją dyskretną na impuls jednostkowy. Parametr *N* oznacza zadeklarowaną liczbę punktów (próbek).

$$[Y, X] = \text{dimpulse}(Ad, Bd, Cd, Dd, \dots)$$

Funkcja służąca do znajdowania odpowiedzi jednowymiarowego modelu układu dyskretnego opisanego macierzami **Ad**, **Bd**, **Cd** i **Dd** na impuls jednostkowy, liczonej względem wejścia (sterowania) o numerze *lu*. Wyniki przedstawiane są w postaci macierzy wyjścia *Y* i stanu *X*. Nie jest kreślony wykres.

$$[Y, X] = \text{dimpulse}(\text{Numd}, \text{Dend}, \dots)$$

Funkcja służąca do wykreślania odpowiedzi jednowymiarowego modelu układu dyskretnego opisanego transmitancją dyskretną na impuls jednostkowy. Wyniki przedstawiane są w postaci macierzy wyjścia *Y* i stanu *X*. Nie jest kreślony wykres.

dinitial - funkcja służąca do wykreślenia odpowiedzi modelu układu dyskretnego opisanego równaniami stanu na warunek początkowy.

dinitial(Ad, Bd, Cd, Dd, x0)

Funkcja służąca do wykreślenia odpowiedzi modelu układu dyskretnego opisanego macierzami **Ad**, **Bd**, **Cd** i **Dd** na warunek początkowy x_0 . Dla modelu układu dyskretnego mamy:

$$\begin{aligned}x[k + 1] &= \mathbf{A}_d x[k] + \mathbf{B}_d u[k] \\ y[k] &= \mathbf{C}_d x[k] + \mathbf{D}_d u[k] \\ x[0] &= x_0\end{aligned}$$

Liczba próbek k jest określana automatycznie.

dinitial(Ad, Bd, Cd, Dd, x0, N)

Funkcja służąca do wykreślenia odpowiedzi modelu układu dyskretnego opisanego macierzami **Ad**, **Bd**, **Cd** i **Dd** na warunek początkowy x_0 . Parametr N oznacza zadeklarowaną liczbę punktów (próbek).

[Y, X, N] = dinitial(Ad, Bd, Cd, Dd, x0, . . .)

Funkcja służąca do znajdowania odpowiedzi modelu układu dyskretnego opisanego macierzami **Ad**, **Bd**, **Cd** i **Dd** na warunek początkowy x_0 . Wyniki przedstawiane są w postaci macierzy wyjścia Y , macierzy stanu X i liczby punktów (próbek). Nie jest kreślony wykres.

dlsim - funkcja służąca do wykreślenia odpowiedzi modelu układu dyskretnego na wymuszenie.

dlsim(Ad, Bd, Cd, Dd, U)

Funkcja służąca do wykreślenia odpowiedzi modelu układu dyskretnego opisanego macierzami **Ad**, **Bd**, **Cd** i **Dd** na wymuszenie U .

dlsim(Ad, Bd, Cd, Dd, U, x0)

Funkcja służąca do wykreślenia odpowiedzi modelu układu dyskretnego opisanego macierzami **Ad**, **Bd**, **Cd** i **Dd** na wymuszenie U i warunki początkowe x_0 .

dlsim(Numd, Dend, U)

Funkcja służąca do wykreślenia odpowiedzi modelu układu dyskretnego opisanego transmitancją dyskretną (Numd i Dend to macierze współczynników odpowiednio licznika i mianownika transmitancji: $G(z) = \frac{\text{Numd}(z)}{\text{Dend}(z)}$, uporządkowane według malejących potęg z) na wymuszenie U .

[Y, X] = dlsim(Ad, Bd, Cd, Dd, U)

Funkcja służąca do znajdowania odpowiedzi modelu układu dyskretnego opisanego macierzami **Ad**, **Bd**, **Cd** i **Dd** na wymuszenie U . Wyniki przedstawiane są w postaci macierzy wyjścia Y i stanu X . Nie jest kreślony wykres.

[Y, X] = dlsim(Numd, Dend, U)

Funkcja służąca do znajdowania odpowiedzi modelu układu dyskretnego opisanego transmitancją dyskretną na wymuszenie U. Wyniki przedstawiane są w postaci macierzy wyjścia Y i stanu X. Nie jest kreślony wykres.

2.7 Badanie charakterystyk częstotliwościowych dyskretnego układu liniowego: *dbode, dnyquist*

dbode - funkcja służąca do wykreślania charakterystyk logarytmicznych (charakterystyk Bode'a) jednowymiarowego modelu układu dyskretnego.

dbode(Ad, Bd, Cd, Dd, Ts, lu)

Funkcja służąca do wykreślania charakterystyk logarytmicznych (charakterystyk Bode'a) modelu układu dyskretnego opisanego macierzami **Ad**, **Bd**, **Cd** i **Dd**, liczonych względem wejścia (sterowania) o numerze lu. Okres próbkowania wynosi Ts. Zakres częstotliwości jak i liczba punktów (próbek) jest dobierana automatycznie.

dbode(Numd, Dend, Ts)

Funkcja służąca do wykreślania charakterystyk logarytmicznych (charakterystyk Bode'a) modelu układu dyskretnego opisanego transmitancją dyskretną (Numd i Dend to macierze współczynników odpowiednio licznika i mianownika transmitancji: $G(z) = \frac{Numd(z)}{Dend(z)}$, uporządkowane według malejących potęg z).

dbode(Ad, Bd, Cd, Dd, Ts, lu, W)

Funkcja służąca do wykreślania charakterystyk logarytmicznych (charakterystyk Bode'a) modelu układu dyskretnego opisanego macierzami **Ad**, **Bd**, **Cd** i **Dd**, liczonych względem wejścia (sterowania) o numerze lu. Okres próbkowania wynosi Ts. Zakres częstotliwości jest określany i podaje się go w wektorze W (w rad/s). Do generowania wektora W można wykorzystać polecenie **logspace**.

dbode(Numd, Dend, Ts, W)

Funkcja służąca do wykreślania charakterystyk logarytmicznych (charakterystyk Bode'a) modelu układu dyskretnego opisanego transmitancją dyskretną. Zakres częstotliwości jest określany i podaje się go w wektorze W (w rad/s).

[MAG, PHASE, W] = dbode(Ad, Bd, Cd, Dd, Ts, ...)

Funkcja służąca do znajdowania charakterystyk logarytmicznych (charakterystyk Bode'a) modelu układu dyskretnego opisanego macierzami **Ad**, **Bd**, **Cd** i **Dd**. Nie jest kreślony wykres. Obliczone punkty charakterystyki zostają umieszczone w odpowiednich wektorach; wektory: MAG i PHASE zawierają wzmacnienie i fazę układu odpowiadającą częstotliwościom określonym odpowiednimi elementami wyjściowego wektora W.

[MAG, PHASE, W] = dbode(Numd, Dend, Ts, ...)

Funkcja służąca do znajdowania charakterystyk logarytmicznych (charakterystyk Bode'a) modelu układu dyskretnego opisanego transmitancją dyskretną. Nie jest kreślony wykres. Obliczone punkty charakterystyki zostają umieszczone w odpowiednich wektorach; wektory: MAG i PHASE zawierają wzmacnienie i fazę układu odpowiadającą częstotliwościom określonym odpowiednimi elementami wyjściowego wektora W.

dnyquist - funkcja służąca do wykreślania charakterystyk amplitudowo-fazowych (charakterystyk Nyquista) jednowymiarowego modelu układu dyskretnego.

dnyquist(Ad, Bd, Cd, Dd, Ts, lu)

Funkcja służąca do wykreślania charakterystyk amplitudowo-fazowych (charakterystyk Nyquista) modelu układu dyskretnego opisanego macierzami **Ad**, **Bd**, **Cd** i **Dd**, liczonych względem wejścia (sterowania) o numerze lu. Okres próbkowania wynosi Ts. Zakres częstotliwości jak i liczba punktów (próbek) jest dobierana automatycznie.

dnyquist(Numd, Dend, Ts)

Funkcja służąca do wykreślania charakterystyk amplitudowo-fazowych (charakterystyk Nyquista) modelu układu dyskretnego opisanego transmitancją dyskretną (Numd i Dend to macierze współczynników odpowiednio licznika i mianownika transmitancji: $G(z) = \frac{Numd(z)}{Dend(z)}$, uporządkowane według malejących potęg z).

dnyquist(Ad, Bd, Cd, Dd, Ts, lu, W)

Funkcja służąca do wykreślania charakterystyk amplitudowo-fazowych (charakterystyk Nyquista) modelu układu dyskretnego opisanego macierzami **Ad**, **Bd**, **Cd** i **Dd**, liczonych względem wejścia (sterowania) o numerze lu. Okres próbkowania wynosi Ts. Zakres częstotliwości jest określany i podaje się go w wektorze W (w rad/s). Do generowania wektora W można wykorzystać polecenie **logspace**.

dnyquist(Numd, Dend, Ts, W)

Funkcja służąca do wykreślania charakterystyk amplitudowo-fazowych (charakterystyk Nyquista) modelu układu dyskretnego opisanego transmitancją dyskretną. Zakres częstotliwości jest określany i podaje się go w wektorze W (w rad/s).

[RE, IM, W] = dnyquist(Ad, Bd, Cd, Dd, Ts, ...)

Funkcja służąca do znajdowania charakterystyk amplitudowo-fazowych (charakterystyk Nyquista) modelu układu dyskretnego opisanego macierzami **Ad**, **Bd**, **Cd** i **Dd**. Nie jest kreślony wykres. Obliczone punkty charakterystyki zostają umieszczone w odpowiednich wektorach; wektory: RE i IM zawierają części rzeczywiste i urojone liczb opisujących transmitancję widmową dla odpowiednich częstotliwości określonych odpowiednimi elementami wyjściowego wektora W.

[RE, IM, W] = dnyquist(Numd, Dend, Ts, ...)

Funkcja służąca do znajdowania amplitudowo-fazowych (charakterystyk Nyquista) modelu układu dyskretnego opisanego transmitancją dyskretną. Nie jest kreślony wykres. Obliczone punkty charakterystyki zostają umieszczone w odpowiednich wektorach; wektory: RE i IM zawierają części rzeczywiste i urojone liczb opisujących transmitancję widmową dla odpowiednich częstotliwości określonych odpowiednimi elementami wyjściowego wektora W.

3. Bibliografia

- Brzózka J. *Ćwiczenia z automatyki w Matlabie i Simulinku*. Wydawnictwo MIKOM, 1997.
 Brzózka J., Dorobczyński L. *Matlab - środowisko obliczeń naukowo-technicznych*. Wydawnictwo MIKOM, 2005.
 Mrozek B., Mrozek Z. *Matlab i Simulink. Poradnik użytkownika. Wydanie II*. Wydawnictwo HELION, 2004.
 Pratap R. *Matlab 7 dla naukowców i inżynierów*. Wydawnictwo HELION, 2010.

Sradomski W. *Matlab. Praktyczny poradnik modelowania*. Wydawnictwo HELION, 2015.

The Mathworks. *Control System Toolbox for use with Matlab*. Natick, 2001.

Zalewski A., Cegięła R. *Matlab - obliczenia numeryczne i ich zastosowania*. Wydawnictwo NAKOM, 1996.