

**Politechnika Gdańska**  
**Wydział Elektrotechniki i Automatyki**  
**Katedra Inżynierii Systemów Sterowania**

**Teoria sterowania**

MATLAB – wprowadzenie do biblioteki Control System Toolbox

*Materiały pomocnicze do ćwiczeń laboratoryjnych 2*

Opracowanie:

Kazimierz Duzinkiewicz, dr hab. inż.

Michał Grochowski, dr inż.

Robert Piotrowski, dr inż.

Gdańsk

## 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.
- Obsługa systemów wielowejsciowych 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 i rozwiązania równań Riccatiego i Lapunowa).

W dalszej części opracowania przedstawiono podstawowe polecenia Control System Toolbox dla obiektów ciągłych i dyskretnych.

## Podstawowe polecenia Control System Toolbox

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

### **tf**

Funkcja służąca do tworzenia modelu obiektu w postaci transmitancji.

### **SYS = TF(NUM, DEN)**

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

### **Przykład 1**

Zapis:

$$H = TF( \{-3 ; [2 \ -8 \ 3]\} , \{[2 \ -1] ; [1 \ 3 \ 0]\})$$

oznacza wektor transmitancji:

$$H(s) = \left[ \begin{array}{c} \frac{-3}{2s-1} \\ \frac{2s^2-8s+3}{s^2+3s} \end{array} \right]$$

**SYS = TF(NUM, DEN, TS)**

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

**ss**

Funkcja służąca do tworzenia modelu obiektu w postaci zmiennych stanu.

**SYS = SS(A, B, C, 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 (wymiar tych macierzy zależy od liczby współrzędnych stanu, sterowań i wyjść):

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

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

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

**SYS = SS(A, B, C, D, TS)**

Funkcja służąca do tworzenia modelu obiektu dyskretnego w postaci zmiennych stanu (układ równań różnicowych zwyczajnych), gdzie A, B, C, i D to odpowiednie macierze równań stanu i wyjścia (wymiar tych macierzy zależy od liczby współrzędnych stanu, sterowań i wyjść):

$$\mathbf{x}[k+1] = \mathbf{A}\mathbf{x}[k] + \mathbf{B}\mathbf{u}[k]$$

$$\mathbf{y}[k] = \mathbf{C}\mathbf{x}[k] + \mathbf{D}\mathbf{u}[k]$$

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

TS jest okresem próbkowania (domyślnie TS = -1).

**zpk**

Funkcja służąca do tworzenia modelu obiektu w postaci transmitancji (w formie zer, biegunów i wzmocnień).

**SYS = ZPK(Z, P, K)**

Funkcja służąca do tworzenia modelu obiektu ciągłego w postaci transmitancji (w formie zer Z, biegunów P i wzmocnień 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 (z ang. zero) transmitancji jest każdy z pierwiastków (zer) wielomianu znajdującego się w liczniku transmitancji.

Biegunem P (z ang. pole) (biegunem czyli wartością własną) transmitancji jest każdy z pierwiastków wielomianu znajdującego się w mianowniku transmitancji.

## Przykład 2

Zapis:

$$H = \text{ZPK}(\{[]; [-3 \ 5]\}, \{2; [0 \ -4]\}, [-2; 2])$$

oznacza wektor transmitancji:

$$H(s) = \left[ \frac{\frac{-2}{s-2}}{2 \cdot \frac{(s+3) \cdot (s-5)}{s \cdot (s+4)}} \right]$$

### **SYS = ZPK(Z, P, K, TS)**

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

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

TS jest okresem próbkowania (domyślnie TS = -1).

### **series**

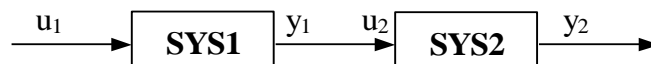
Funkcja służąca do szeregowego połączenia modeli dwóch obiektów.

### **SYS = SERIES(SYS1, SYS2, OUTPUTS1, 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:

$$\text{SYS} = \text{SYS1} * \text{SYS2}$$



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**

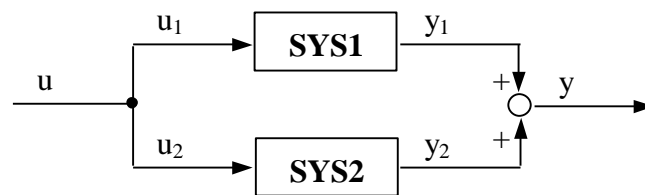
Funkcja służąca do równoległego połączenia modeli dwóch obiektów.

### **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:

$$\text{SYS} = \text{SYS1} + \text{SYS2}$$



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 sprzężenia zwrotnego.

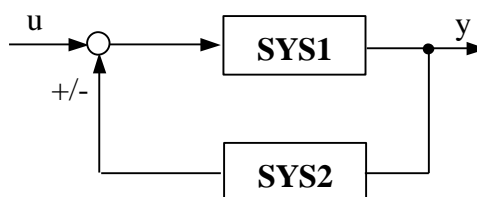
#### **SYS = FEEDBACK(SYS1, SYS2)**

Funkcja służąca do tworzenia modelu układu ze sprzężeniem zwrotnym z kompensatorem w obwodzie sprzężenia 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 ujemne sprzężenie zwrotne.

#### Przykład 5

`[A, B, C, D] = FEEDBACK(A1, B1, C1, D1, A2, B2, C2, D2, SIGN)`

`[A, B, C, D] = FEEDBACK(A1, B1, C1, D1, A2, B2, C2, D2, FEEDIN, FEEDOUT, SIGN)`

`[NUM, DEN] = FEEDBACK(NUM1, DEN1, NUM2, DEN2, SIGN)`

zmiana postaci modelu obiektu: **ss2tf**, **tf2ss**, **ss2zp**, **zp2ss**, **tf2zp**, **zp2tf**

### **ss2tf**

Funkcja służąca do zamiany modelu obiektu w postaci równań stanu na transmitancję.

**[NUM, DEN] = SS2TF(A, B, C, D, IU)**

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

$$G(s) = \frac{NUM(s)}{DEN(s)} = C \cdot (s \cdot I - A)^{-1} \cdot B + D$$

gdzie, model obiektu w postaci równań stanu jest postaci:

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

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

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

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] = TF2SS(NUM, DEN)**

Nazwa funkcji **tf2ss** pochodzi z języka angielskiego: „Transfer Function to State – Space”. Funkcja służąca 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 wzmocnień.

**[Z, P, K] = SS2ZP(A, B, C, D, IU)**

Nazwa funkcji **ss2zp** pochodzi z języka angielskiego: „State – Space to Zero – Pole”. Funkcja służąca do zamiany modelu obiektu w postaci równań stanu na transmitancję liczoną względem wejścia (sterowania) o numerze IU i przedstawia ją w postaci zer Z, biegunów P i wzmocnień 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 wzmocnień K (elementy określają statyczne wzmocnienia dla kolejnych wyjść układu).

### **zp2ss**

Funkcja służąca do zamiany modelu obiektu w postaci transmitancji (w formie zer, biegunów i wzmocnień) na równania stanu.

### **[A, B, C, D] = ZP2SS(Z, P, K)**

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

### **tf2zp**

Funkcja znajduje zera, bieguny i wzmocnienia dla modelu obiektu w postaci transmitancji.

### **[Z, P, K] = TF2ZP(NUM, DEN)**

Nazwa funkcji **tf2zp** pochodzi z języka angielskiego: „Transfer Function to Zero – Pole”. Funkcja znajduje zera Z, bieguny P i wzmocnienia 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 wzmocnień K (elementy określają statyczne wzmocnienia dla kolejnych wyjść układu).

### **zp2tf**

Funkcja znajduje transmitancję modelu obiektu na podstawie zer, biegunów i wzmocnień.

### **[NUM, DEN] = ZP2TF(Z, P, 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).

badanie parametrów układu liniowego: **pole, zero, pzmap**

### **pole**

Funkcja służąca do znajdowania biegunów modelu obiektu.

### **P = POLE(SYS)**

Funkcja służąca do znajdowania biegunów modelu obiektu SYS.

P jest wektorem kolumnowym.

**zero**

Funkcja służąca do znajdowania zer modelu obiektu.

**Z = ZERO(SYS)**

Funkcja służąca do znajdowania zer modelu obiektu SYS.

**[Z, GAIN] = ZERO(SYS)**

Funkcja służąca do znajdowania zer modelu obiektu SYS i wzmocnienia dla układu SISO (jedno wejście, jedno wyjście).

**pzmap**

Funkcja służąca do znajdowania zer i biegunów modelu obiektu i rysowania ich na wykresie.

**PZMAP(SYS)**

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

**PZMAP(SYS1, SYS2,...)**

Funkcja służąca do znajdowania zer i biegunów modeli obiektów SYS1, SYS2, ... i rysowania ich na jednym wykresie.

Możliwe jest określenie koloru dla każdego z modeli.

**Przykład 6**

PZMAP(SYS1, 'r', SYS2, 'y', SYS3, 'g')

**[P, Z] = PZMAP(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.

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

**step**

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

**STEP(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  $t = TFINAL$ .



Dla modelu układu dyskretnego TFINAL 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 i 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 jednostkowy (impuls Diraca) (analogiczną funkcją dla modeli układu dyskretnego jest **dimpulse**).

### **IMPULSE(SYS)**

Funkcja służąca do wykreślania odpowiedzi modelu układu ciągłego SYS na impuls jednostkowy (impuls Diraca).

### **IMPULSE(SYS, TFINAL)**

Funkcja służąca do wykreślania odpowiedzi modelu układu ciągłego SYS na impuls jednostkowy od chwili  $t = 0$  do chwili  $t = TFINAL$ .

Dla modelu układu dyskretnego TFINAL jest rozumiany jako liczba próbek.

### **IMPULSE(SYS, T)**

Funkcja służąca do wykreślania odpowiedzi modelu układu ciągłego SYS na impuls 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.

### **IMPULSE(SYS1, SYS2, ... ,T)**

Funkcja służąca do wykreślania odpowiedzi modeli układów ciągłych SYS1, SYS2, ... na impuls jednostkowy, 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 jednostkowy  $Y$  i wektora czasu symulacji  $T$ .

Nie jest kreślony wykres.

### **[Y, T, X] = IMPULSE(SYS)**

Funkcja służąca do znajdowania odpowiedzi modelu układu ciągłego SYS na impuls jednostkowy  $Y$ , 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 i okresie TAU.

Parametr TYPE może przyjmować jedną z następujących wartości:

TYPE = 'sin' – sygnał sinusoidalny

TYPE = 'square' – sygnał w postaci kwadratu

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 i okresie 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  $X_0$ .

Dla modelu układu ciągłego mamy:

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

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

$$\mathbf{x}(0) = \mathbf{X0}$$

Dla modelu układu dyskretnego mamy:

$$\mathbf{x}[k+1] = \mathbf{A}\mathbf{x}[k] + \mathbf{B}\mathbf{u}[k]$$

$$\mathbf{y}[k] = \mathbf{C}\mathbf{x}[k] + \mathbf{D}\mathbf{u}[k]$$

$$\mathbf{x}[0] = \mathbf{X0}$$

Czas symulacji i wektor czasu symulacji jest określany automatycznie.

### **INITIAL(SYS, X0, TFINAL)**

Funkcja służąca do wykreślania odpowiedzi modelu układu SYS opisanego równaniami stanu na warunek początkowy X0 od chwili  $t = 0$  do chwili  $t = \text{TFINAL}$ .

Dla modelu układu dyskretnego TFINAL jest rozumiany jako liczba próbek.

### **INITIAL(SYS, X0, T)**

Funkcja służąca do wykreślania odpowiedzi modelu układu SYS opisanego równaniami stanu na warunek początkowy X0, 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, ... opisanych równaniami stanu na warunek początkowy X0, 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 X0, 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 i warunki początkowe X0.

Domyślnie  $X0 = 0$ .

### **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 X0.

X0 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 = LSIM(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] = LSIM(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.

### **LSIM(SYS, U, T, X0, 'zoh') lub LSIM(SYS, U, T, X0, 'foh')**

Funkcja służąca do wykreślania 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).

## badanie charakterystyk częstotliwościowych układu liniowego: bode, bodemag, margin, nyquist

### **bode**

Funkcja służąca do wykreślania charakterystyk logarytmicznych (charakterystyk Bode'a).

### **BODE(SYS)**

Funkcja służąca do wykreślania charakterystyk logarytmicznych (charakterystyk Bode'a) modelu układu ciągłego SYS. Zakres częstotliwości jest i liczba punktów jest dobierana automatycznie.

### **BODE(SYS, {WMIN, WMAX})**

Funkcja służąca do wykreślania charakterystyk logarytmicznych (charakterystyk Bode'a) modelu układu ciągłego SYS. Zakres częstotliwości znajduje się pomiędzy WMIN i WMAX (w rad/s).

### **BODE(SYS, W)**

Funkcja służąca do wykreślania charakterystyk logarytmicznych (charakterystyk Bode'a) modelu układu ciągłego SYS. Zakres częstotliwości jest określany i podaje się ją w wektorze W (w rad/s). Do generowania wektora W można wykorzystać polecenie LOGSPACE.

### **BODE(SYS1, SYS2, ... , W)**

Funkcja służąca do wykreślania 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')
```

### **[MAG, PHASE] = BODE(SYS, W) lub [MAG, PHASE, W] = BODE(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 wzmocnienie 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 jest 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 ją 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) i obliczania wartości zapasu modułu i fazy.

**MARGIN(SYS)**

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

**nyquist**

Funkcja służąca do wykreślania charakterystyki amplitudowo – fazowej (charakterystyki Nyquist'a).

**NYQUIST(SYS)**

Funkcja służąca do wykreślania charakterystyki amplitudowo – fazowej (charakterystyki Nyquist'a) modelu układu ciągłego SYS. Zakres częstotliwości jest i liczba punktów jest dobierana automatycznie.

**NYQUIST(SYS, {WMIN, WMAX})**

Funkcja służąca do wykreślania 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 wykreślania charakterystyki amplitudowo – fazowej (charakterystyki Nyquist'a) modelu układu ciągłego SYS. Zakres częstotliwości jest określany i podaje się ją w wektorze W (w rad/s). Do generowania wektora W można wykorzystać polecenie LOGSPACE.

**NYQUIST(SYS1, SYS2, ... , W)**

Funkcja służąca do wykreślania 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.

**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 jednostkowy.

- ✓ 'TUSTIN' – aproksymacja przebiegów ciągłych metodą trapezów (aproksymacja bilingowa Tustina). Wartości w chwilach próbkowania są równe wartościom na 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:  

$$\mathbf{SYSD} = \mathbf{C2D}(\mathbf{SYSC}, \mathbf{TS}, \text{'PREWARP'}, \mathbf{WC})$$
- ✓ '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:

$$\mathbf{x}_{d0} = \mathbf{G}^*[\mathbf{x}_0; \mathbf{u}_0] \quad \mathbf{u}_{d0} = \mathbf{u}_0$$

zatem należy użyć polecenia o następującej składni:

$$[\mathbf{SYSD}, \mathbf{G}] = \mathbf{C2D}(\mathbf{SYSC}, \mathbf{TS}, \text{'METODA'})$$

#### d2c

Funkcja służąca do konwersji dynamicznego liniowego modelu obiektu dyskretnego na model ciągły.

$$\mathbf{SYSC} = \mathbf{D2C}(\mathbf{SYSD}, \text{'METODA'})$$

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.

$$[\mathbf{Ad}, \mathbf{Bd}, \mathbf{Cd}, \mathbf{Dd}] = \mathbf{C2DM}(\mathbf{A}, \mathbf{B}, \mathbf{C}, \mathbf{D}, \mathbf{TS}, \text{'METODA'})$$

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'.



**[NUMd, DEND] = C2DM(NUM, DEN, TS, 'METODA')**

Funkcja służąca do konwersji dynamicznego liniowego modelu obiektu ciągłego opisanego transmitancją ciągłą (NUM i DEN to macierze współczynników odpowiednio licznika i mianownika transmitancji:  $G(s) = \frac{NUM(s)}{DEN(s)}$ , uporządkowane według malejących potęg  $s$ ) na model dyskretny opisany transmitancją dyskretną (NUMd i DEND to macierze współczynników odpowiednio licznika i mianownika transmitancji:  $G(z) = \frac{NUMd(z)}{DEND(z)}$ , 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.

**[Ac, Bc, Cc, Dc] = D2CM(A, B, C, D, TS, 'METODA')**

Funkcja służąca do konwersji dynamicznego liniowego modelu obiektu dyskretnego opisanego macierzami A, B, C i D na model ciągły opisany macierzami Ac, Bc, Cc i Dc. Okres próbkowania wynosi TS. Parametr METODA służy do wyboru metody dyskretyzacji (parametr opcjonalny) ('ZOH', 'TUSTIN', 'PREWARP', 'MATCHED'). Domyślną metodą dyskretyzacji jest 'ZOH'.

**[NUMc, DENC] = D2CM(NUM, DEN, TS, 'METODA')**

Funkcja służąca do konwersji dynamicznego liniowego modelu obiektu dyskretnego opisanego transmitancją dyskretną (NUM i DEN to macierze współczynników odpowiednio licznika i mianownika transmitancji:  $G(z) = \frac{NUM(z)}{DEN(z)}$ , uporządkowane według malejących potęg  $z$ ) na model ciągły opisany transmitancją ciągłą (NUMc i DENC to macierze współczynników odpowiednio licznika i mianownika transmitancji:  $G(s) = \frac{NUMc(s)}{DENC(s)}$ , uporządkowane według malejących potęg  $s$ ). Okres próbkowania wynosi TS. Parametr METODA służy do wyboru metody dyskretyzacji (parametr opcjonalny) ('ZOH', '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 TS.

badanie charakterystyk czasowych dyskretnego układu liniowego: dstep, dimpulse, dinitial, dlsim

### **dstep**

Funkcja służąca do wykreślania odpowiedzi jednowymiarowego modelu układu dyskretnego na skok jednostkowy.

### **DSTEP(A, B, C, D, IU)**

Funkcja służąca do wykreślania odpowiedzi jednowymiarowego modelu układu dyskretnego opisanego macierzami A, B, C i D na skok jednostkowy, liczonej względem wejścia (sterowania) o numerze IU. Parametr IU jest ustalany automatycznie.

### **DSTEP(NUM, DEN)**

Funkcja służąca do wykreślania odpowiedzi jednowymiarowego modelu układu dyskretnego opisanego transmitancją dyskretną na skok jednostkowy (NUM i DEN to macierze współczynników odpowiednio licznika i mianownika transmitancji:

$$G(z) = \frac{NUM(z)}{DEN(z)}, \text{ uporządkowane według malejących potęg } z).$$

### **DSTEP(A, B, C, D, IU, N)**

Funkcja służąca do wykreślania odpowiedzi jednowymiarowego modelu układu dyskretnego opisanego macierzami A, B, C i D na skok jednostkowy, liczonej względem wejścia (sterowania) o numerze IU. Parametr N oznacza zadeklarowaną liczbę punktów.

### **DSTEP(NUM, DEN, N)**

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

### **[Y, X] = DSTEP(A, B, C, D, ...)**

Funkcja służąca do znajdowania odpowiedzi jednowymiarowego modelu układu dyskretnego opisanego macierzami A, B, C i D na skok jednostkowy, liczonej względem wejścia (sterowania) o numerze IU. Wyniki przedstawiane są w postaci macierzy wyjścia Y i stanu X. Nie jest kreślony wykres.

### **[Y, X] = DSTEP(NUM, DEN, ...)**

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).

### **DIMPULSE(A, B, C, D, IU)**

Funkcja służąca do wykreślania odpowiedzi jednowymiarowego modelu układu dyskretnego opisanego macierzami A, B, C i D na impuls jednostkowy, liczonej względem wejścia (sterowania) o numerze IU. Parametr IU jest ustalany automatycznie.

**DIMPULSE(NUM, DEN)**

Funkcja służąca do wykreślania odpowiedzi jednowymiarowego modelu układu dyskretnego opisanego transmitancją dyskretną na impuls jednostkowy (NUM i DEN to macierze współczynników odpowiednio licznika i mianownika transmitancji:

$$G(z) = \frac{NUM(z)}{DEN(z)}, \text{ uporządkowane według malejących potęg } z).$$

**DIMPULSE(A, B, C, D, IU, N)**

Funkcja służąca do wykreślania odpowiedzi jednowymiarowego modelu układu dyskretnego opisanego macierzami A, B, C i D na impuls jednostkowy, liczonej względem wejścia (sterowania) o numerze IU. Parametr N oznacza zadeklarowaną liczbę punktów (próbek).

**DIMPULSE(NUM, DEN, 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] = DIMPULSE(A, B, C, D, . . .)**

Funkcja służąca do znajdowania odpowiedzi jednowymiarowego modelu układu dyskretnego opisanego macierzami A, B, C i D na impuls jednostkowy, liczonej względem wejścia (sterowania) o numerze IU. Wyniki przedstawiane są w postaci macierzy wyjścia Y i stanu X. Nie jest kreślony wykres.

**[Y, X] = DIMPULSE(NUM, DEN, . . .)**

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 wykreślania odpowiedzi modelu układu dyskretnego opisanego równaniami stanu na warunek początkowy.

**DINITIAL(A, B, C, D, X0)**

Funkcja służąca do wykreślania odpowiedzi modelu układu dyskretnego opisanego macierzami A, B, C i D na warunek początkowy X0.

Dla modelu układu dyskretnego mamy:

$$\mathbf{x}[k+1] = \mathbf{Ax}[k] + \mathbf{Bu}[k]$$

$$\mathbf{y}[k] = \mathbf{Cx}[k] + \mathbf{Du}[k]$$

$$\mathbf{x}[0] = \mathbf{X0}$$

Liczba próbek k jest określana automatycznie.

**DINITIAL(A, B, C, D, X0, N)**

Funkcja służąca do wykreślania odpowiedzi modelu układu dyskretnego opisanego macierzami A, B, C i D na warunek początkowy X0. Parametr N oznacza zadeklarowaną liczbę punktów (próbek).

**[Y, X, N] = DINITIAL(A, B, C, D, X0, . . .)**

Funkcja służąca do znajdowania odpowiedzi modelu układu dyskretnego opisanego macierzami A, B, C i D na warunek początkowy X0. Wyniki przedstawiane są w postaci macierzy wyjścia Y, stanu X i liczby punktów (próbek). Nie jest kreślony wykres.

**dlsim**

Funkcja służąca do wykreślania odpowiedzi modelu układu dyskretnego na wymuszenie.

**DLSIM(A, B, C, D, U)**

Funkcja służąca do wykreślania odpowiedzi modelu układu dyskretnego opisanego macierzami A, B, C i D na wymuszenie U.

**DLSIM(A, B, C, D, U, X0)**

Funkcja służąca do wykreślania odpowiedzi modelu układu dyskretnego opisanego macierzami A, B, C i D na wymuszenie U i warunki początkowe X0.

**DLSIM(NUM, DEN, U)**

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

**[Y, X] = DLSIM(A, B, C, D, U)**

Funkcja służąca do znajdowania odpowiedzi modelu układu dyskretnego opisanego macierzami A, B, C i D na wymuszenie U. Wyniki przedstawiane są w postaci macierzy wyjścia Y i stanu X. Nie jest kreślony wykres.

**[Y, X] = DLSIM(NUM, DEN, 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.

badanie charakterystyk częstotliwościowych dyskretnego układu liniowego: dbode, dnyquist

**dbode**

Funkcja służąca do wykreślania charakterystyk logarytmicznych (charakterystyk Bode'a) jednowymiarowego modelu układu dyskretnego.

**DBODE(A, B, C, D, TS, IU)**

Funkcja służąca do wykreślania charakterystyk logarytmicznych (charakterystyk Bode'a) modelu układu dyskretnego opisanego macierzami A, B, C i D, liczonych względem wejścia (sterowania) o numerze IU. Okres próbkowania wynosi TS. Zakres częstotliwości jest i liczba punktów próbek) jest dobierana automatycznie.

**DBODE(NUM, DEN, TS)**

Funkcja służąca do wykreślania charakterystyk logarytmicznych (charakterystyk Bode'a) modelu układu dyskretnego opisanego transmitancją dyskretną (NUM i DEN to macierze współczynników odpowiednio licznika i mianownika transmitancji:

$$G(z) = \frac{NUM(z)}{DEN(z)}, \text{ uporządkowane według malejących potęg } z).$$

**DBODE(A, B, C, D, TS, IU, W)**

Funkcja służąca do wykreślania charakterystyk logarytmicznych (charakterystyk Bode'a) modelu układu dyskretnego opisanego macierzami A, B, C i D, liczonych względem wejścia (sterowania) o numerze IU. 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(NUM, DEN, 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(A, B, C, D, TS, . . .)**

Funkcja służąca do znajdowania charakterystyk logarytmicznych (charakterystyk Bode'a) modelu układu dyskretnego opisanego macierzami A, B, C i D. Nie jest kreślony wykres. Obliczone punkty charakterystyki zostają umieszczone w wektorach – wektory MAG i PHASE zawierają wzmocnienie i fazę układu odpowiadającą częstotliwościom określonym odpowiednimi elementami wyjściowego wektora W.

**[MAG, PHASE, W] = DBODE(NUM, DEN, 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 wektorach – wektory MAG i PHASE zawierają wzmocnienie 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(A, B, C, D, TS, IU)**

Funkcja służąca do wykreślania charakterystyk amplitudowo – fazowych (charakterystyk Nyquista) modelu układu dyskretnego opisanego macierzami A, B, C i D, liczonych względem wejścia (sterowania) o numerze IU. Okres próbkowania wynosi TS. Zakres częstotliwości jest i liczba punktów próbek) jest dobierana automatycznie.

**DNYQUIST(NUM, DEN, TS)**

Funkcja służąca do wykreślania charakterystyk amplitudowo – fazowych (charakterystyk Nyquista) modelu układu dyskretnego opisanego transmitancją dyskretną (NUM i DEN to macierze współczynników odpowiednio licznika i mianownika

transmitancji:  $G(z) = \frac{NUM(z)}{DEN(z)}$ , uporządkowane według malejących potęg z).

**DNYQUIST(A, B, C, D, TS, IU, W)**

Funkcja służąca do wykreślania charakterystyk amplitudowo – fazowych (charakterystyk Nyquista) modelu układu dyskretnego opisanego macierzami A, B, C i D, liczonych względem wejścia (sterowania) o numerze IU. 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(NUM, DEN, 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(A, B, C, D, TS, . . .)**

Funkcja służąca do znajdowania charakterystyk amplitudowo – fazowych (charakterystyk Nyquista) modelu układu dyskretnego opisanego macierzami A, B, C i D. 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(NUM, DEN, 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.

**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.
- The Mathworks. *Control System Toolbox for use with Matlab*. Natick, 2001.
- Zalewski A., Cegiela R. *Matlab – obliczenia numeryczne i ich zastosowania*. Wydawnictwo NAKOM, 1996.