Ocena jakości regulacji

- kryteria dla standardowego sygnału zewnętrznego
  - bezpośrednie parametry odpowiedzi skokowej
    - uchyb ustalony
    - czas regulacji
    - przeregulowanie (max uchyb dynamiczny)
    - oscylacyjność
  - całkowe wskaźniki odpowiedzi skokowej
    - IE, ISE, ISEG, IAE, ITAE (z uchybu)
- kryteria uniwersalne
  - położenie pierwiastków (np. min.odległość od osi Im)
  - parametry ch.częstotliwościowych
    - układu otwartego (zapas stabilności – wzmocenienia i fazy)
    - układu zamkniętego (pasmo przenoszenia, szczyt rezonansowy)

Metody projektowania

PK

projektowanie klasyczne classical control designv

- na podstawie opisu układu zamkniętego
  - położenie biegunów transmitancji u.z.
  - charakterystyki częstotliwościowe u.z.
- na podstawie opisu układu otwartego
  - charakterystyki częstotliwościowe u.o.

PPS

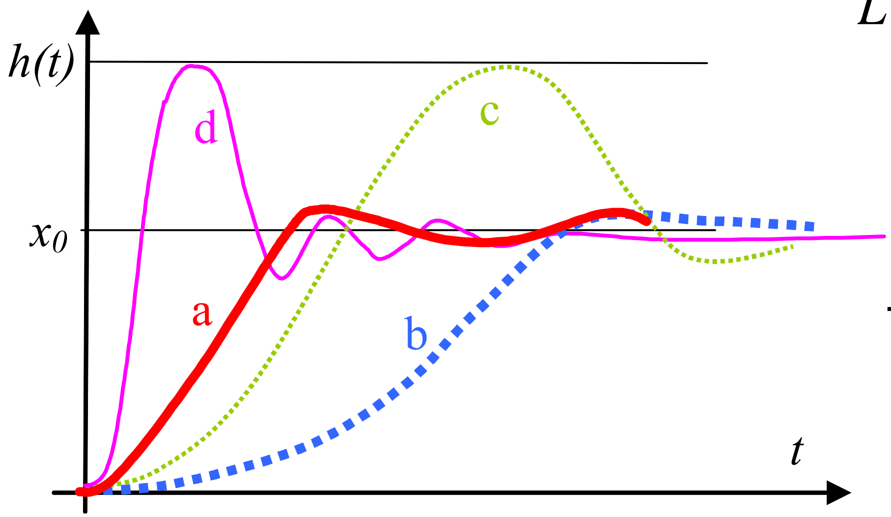
projektowanie w przestrzeni stanów state-space control design
modern control design

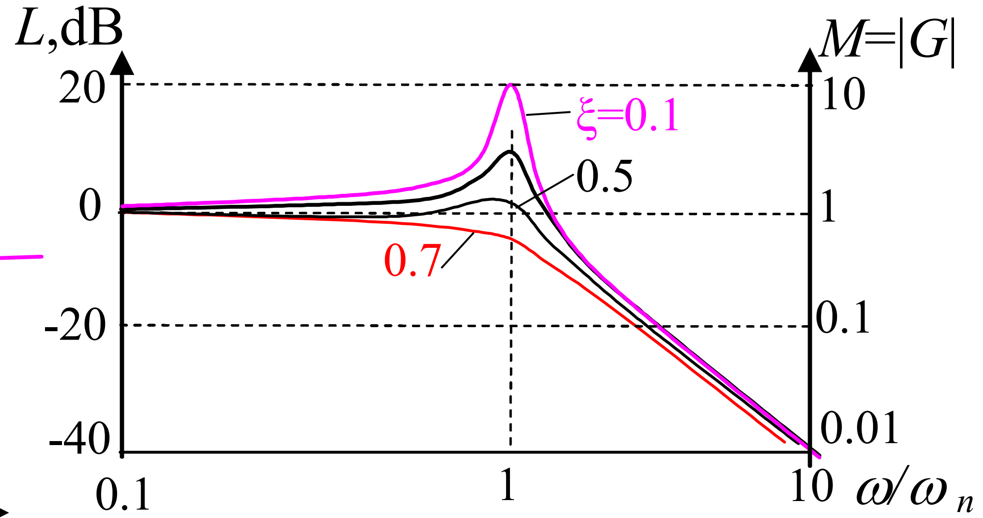
PO

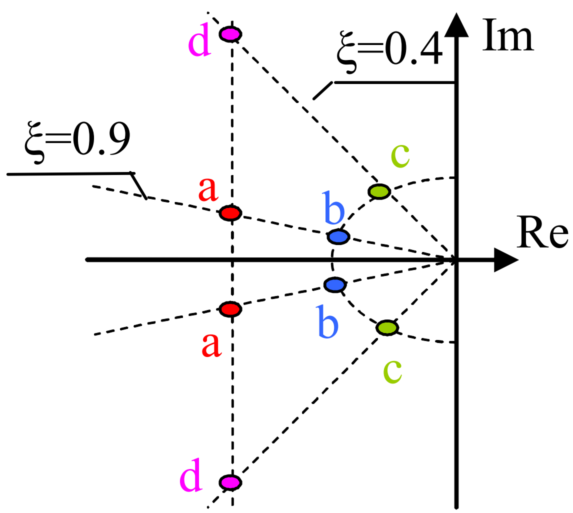
projektowanie optymalizacyjne

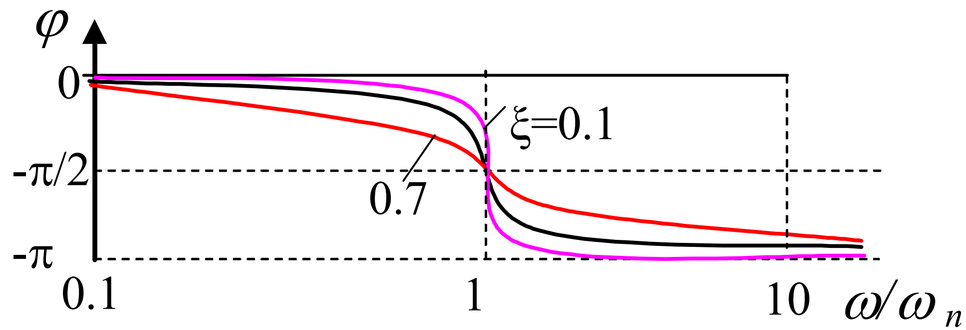
... na podstawie opisu układu zamkniętego

Podstawa





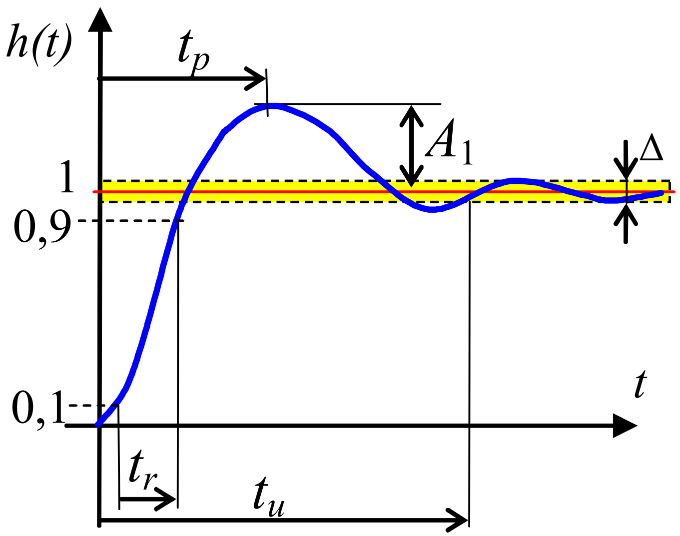


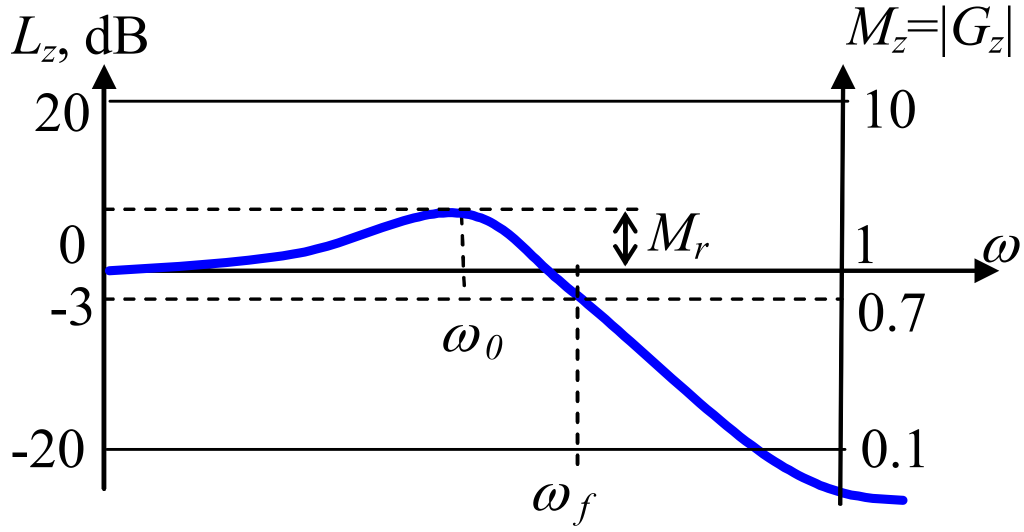


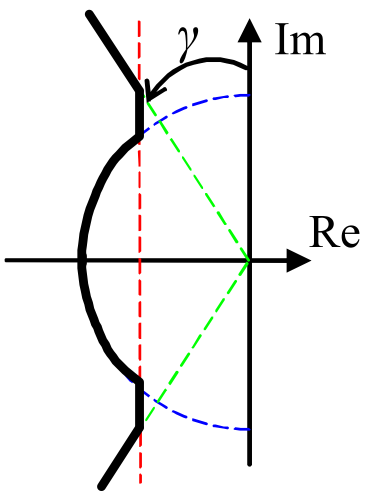
$$\ddot{x}(t) + 2\xi\,\omega_n\,\dot{x}(t) + \omega_n^2 x(t) = \omega_n^2 u(t)$$

... na podstawie opisu układu zamkniętego

Wskaźniki





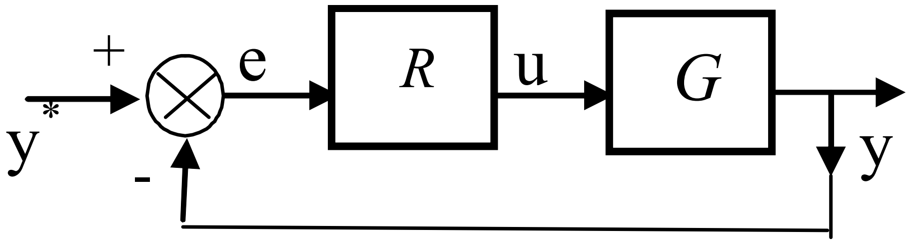


$$\xi\downarrow,\ \gamma\downarrow,\ A_1\uparrow,\ M_r\uparrow$$

PK

... na podstawie opisu układu zamkniętego

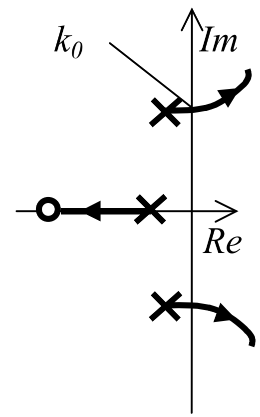
Metoda linii pierwiastkowych



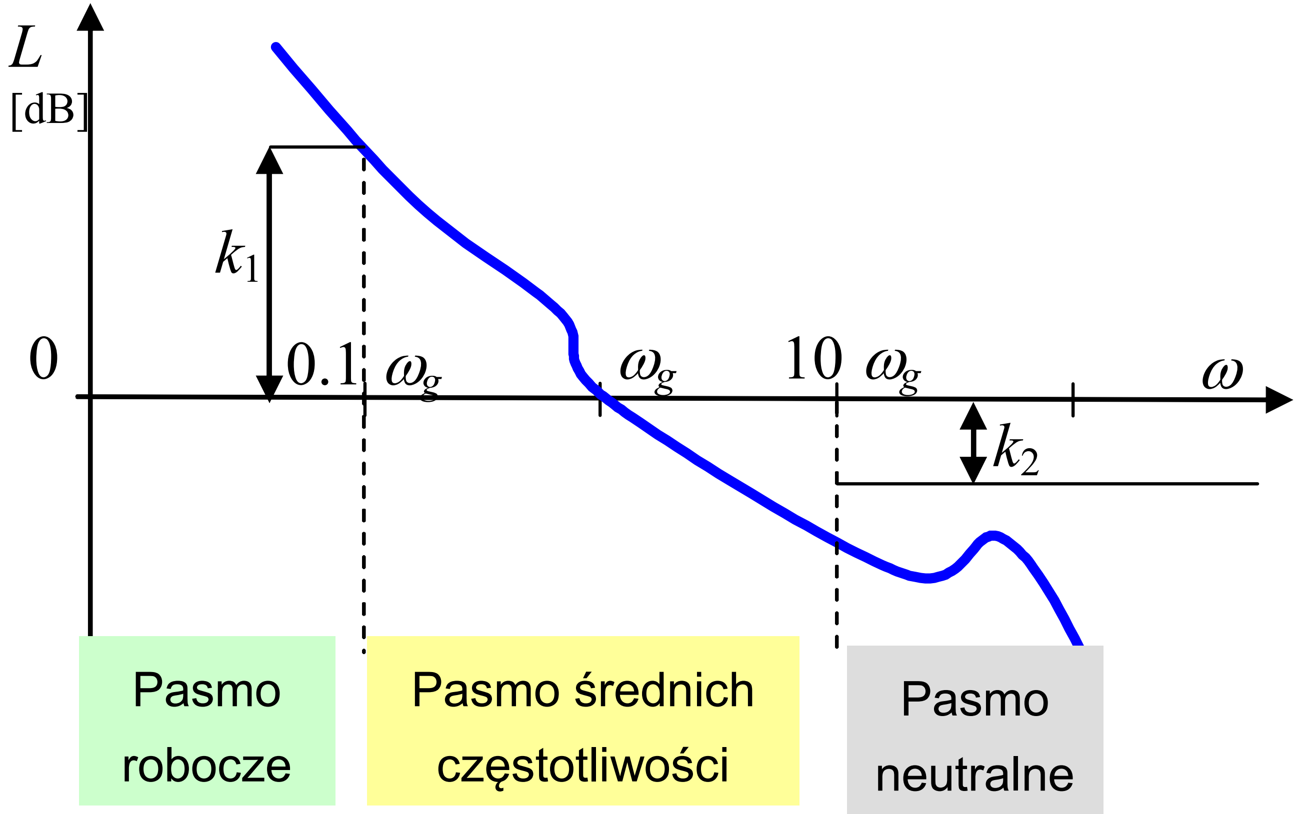
$$R = k \qquad G = \frac{L_o}{M_o} = \frac{(s+z_1)(s+z_2)\ldots(s+z_m)}{(s+b_1)(s+b_2)\ldots(s+b_n)} = \frac{Z(s)}{P(s)}$$

$$G_e = \frac{1}{1+RG} = \frac{M(s)}{M(s)+kL(s)}$$

$$G_e = \frac{(s+b_1)(s+b_2)\ldots(s+b_n)}{\underbrace{(s+b_1)(s+b_2)\ldots(s+b_n)}_{\substack{k=0 \\ P(s)=0}} + k\underbrace{(s+z_1)(s+z_2)\ldots(s+z_m)}_{\substack{k=\infty \\ Z(s)=0}}}$$

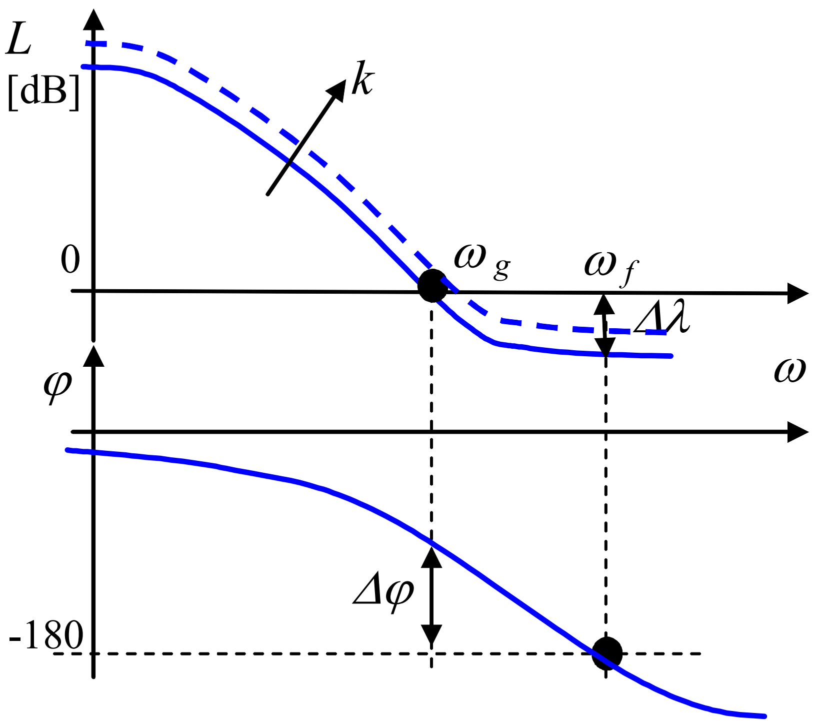


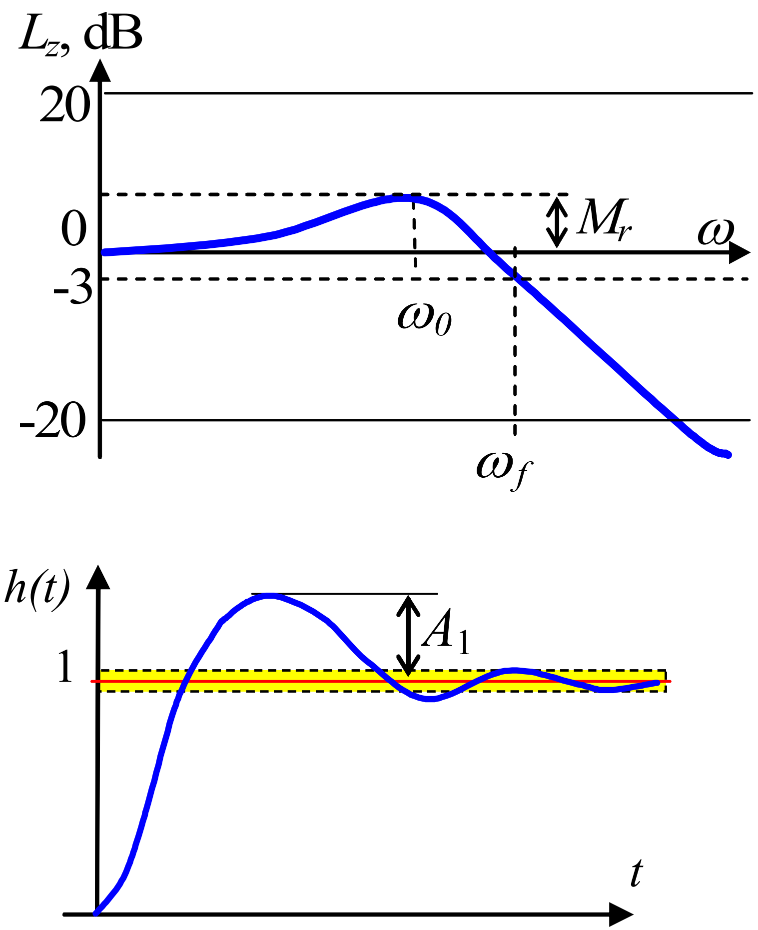
... na podstawie charakterystyk układu otwartego



Charakterystyki układu

otwartego	zamkniętego



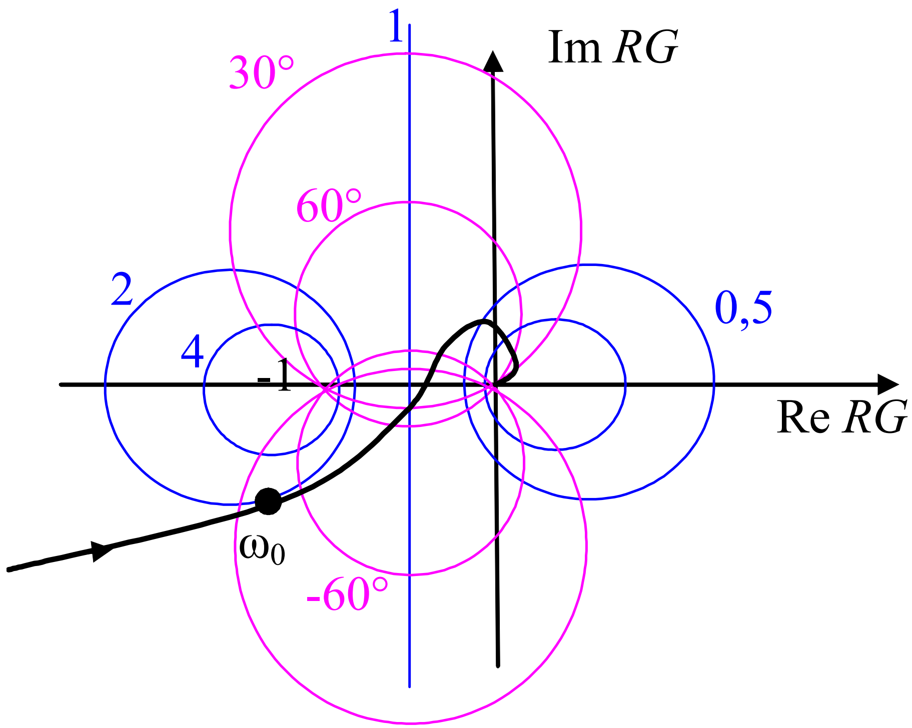


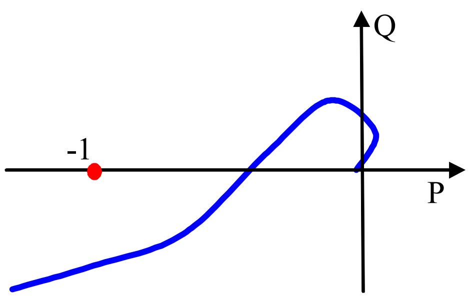
$k\uparrow$, $\Delta\lambda\downarrow$, $\omega_f\uparrow$, PK

Charakterystyki układu

otwartego	zamkniętego

wykres Nicholsa

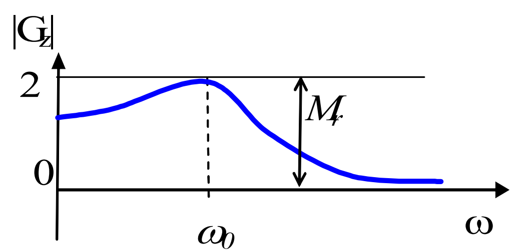




$$G_z = \frac{RG}{1 + RG}$$

$|G_z|$ =const

φ_z=const



Metody projektowania

PK

projektowanie klasyczne classical control designv

- na podstawie opisu układu zamkniętego
  - położenie biegunów transmitancji u.z.
  - charakterystyki częstotliwościowe u.z.
- na podstawie opisu układu otwartego
  - charakterystyki częstotliwościowe u.o.

PPS

projektowanie w przestrzeni stanów state-space control design

- dostępne wszystkie zmienne stanu
- dostępna część zmiennych stanu

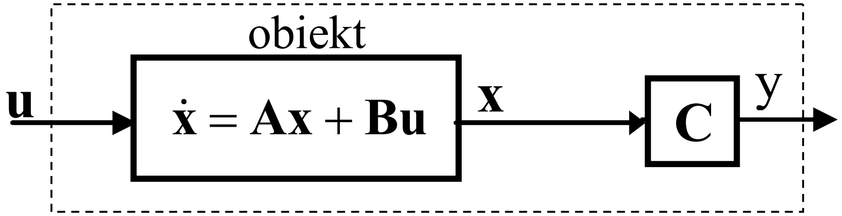
PO

projektowanie optymalizacyjne

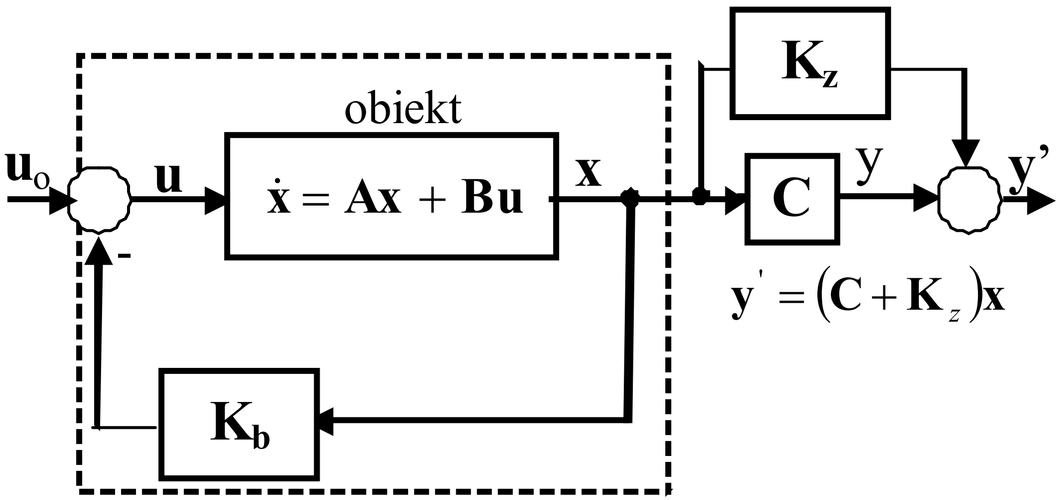
PPS

dostępne wszystkie zmienne stanu

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}\mathbf{u} \\ \mathbf{y} = \mathbf{C}\mathbf{x} \end{cases}$$



1° Dostępne wszystkie zmienne stanu x obiektu



$$\mathbf{y}' = (\mathbf{C} + \mathbf{K}_z)\mathbf{x}$$

układ skorygowany: $\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}_1\mathbf{x} + \mathbf{B}\mathbf{u}_o$

bieguny układu zamkniętego

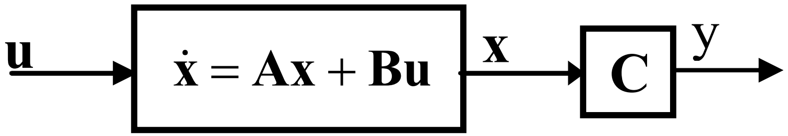
$$\begin{cases} \dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}\mathbf{u} \\ \mathbf{u} = \mathbf{u}_o - \mathbf{K}_b\mathbf{x} \end{cases}$$

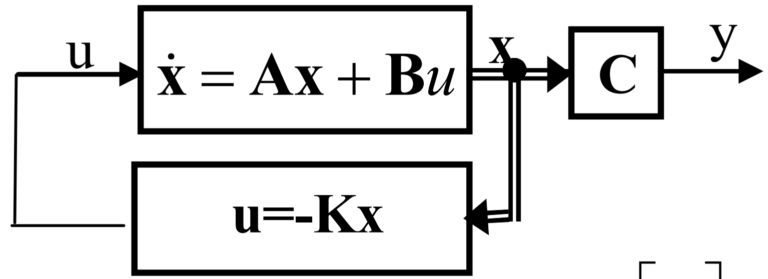
$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}(\mathbf{u}_o - \mathbf{K}_b\mathbf{x})$$

$$\dot{\mathbf{x}} = (\mathbf{A} - \mathbf{B}\mathbf{K}_b)\mathbf{x} + \mathbf{B}\mathbf{u}_o$$

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}_1\mathbf{x} + \mathbf{B}\mathbf{u}_o$$

dostępne wszystkie zmienne stanu





obiekt $\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{Ax} - \mathbf{B}u$ i sterowanie $u = -\mathbf{Kx} = \begin{bmatrix} K_1 & \dots & K_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ \dots \\ x_n \end{bmatrix}$

układ zamknięty $\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{Ax} - \mathbf{BKx}$

r.charakterystyczne $\det\left(s\mathbf{I} - (\mathbf{A} - \mathbf{BK})\right) = 0$

- obiekt n-tego rzędu (n biegunów)

- wszystkie elementy **x** są dostępne (mierzone)
- układ zamknięty n-tego rzędu (n biegunów)

1a) Określ położenie biegunów, które zapewnią zakładane własności układu zamkniętego

Załóżmy bieguny: $s=s_1, \dots, s=s_n$ $\rightarrow$ r.charakterystyczne: $(s-s_1)\dots(s-s_n)=0$

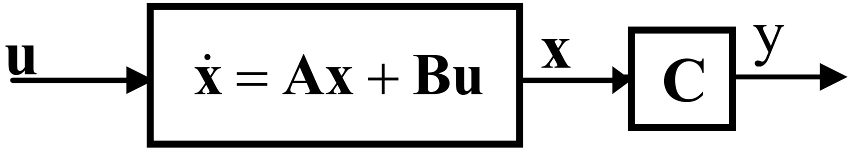
1b) Opracuj zasadę sterowania (macierz sprzężeń)

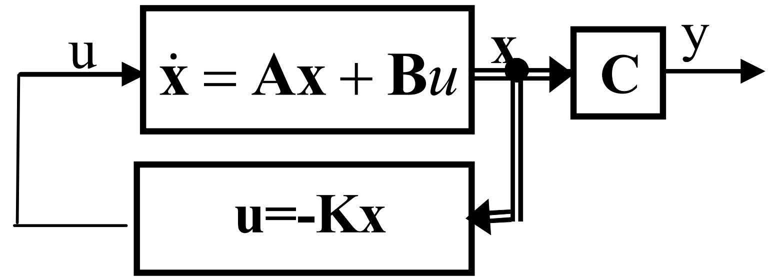
Wyznacz elementy macierzy **K** tak aby oba równania charakterystyczne były takie same

$$\det\left(s\mathbf{I} - (\mathbf{A} - \mathbf{BK})\right) = 0 \qquad (s-s_1)\dots(s-s_n)=0$$

[Franklin/461]

dostępne wszystkie zmienne stanu





wahadło
o częstotliwości ω_0 i tłumieniu ξ=0

$$\ddot{x}(t) + \omega_0^2 x(t) = u$$

$$x = x_1 \qquad = x$$

$$\dot{x}_1 = x_2 \qquad = \dot{x}$$

$$\dot{x}_2 \qquad = \ddot{x}$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\omega_0^2 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} u$$

układ zamknięty $\quad \dot{\mathbf{x}} = \mathbf{Ax} - \mathbf{BKx}$

r.charakterystyczne $\quad \det(s\mathbf{I} - (\mathbf{A} - \mathbf{BK})) = 0$

$$\det\left\{ \begin{bmatrix} s & 0 \\ 0 & s \end{bmatrix} - \left(\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\omega_0^2 & 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} K_1 & K_2 \end{bmatrix} \right) \right\}$$

$$s^2 + K_2 s + \omega_0^2 + K_1 = 0$$

1a) Bieguny układu zamkniętego - podwójny biegun -2*ω0*

r.charakterystyczne: $(s + 2\omega_0)^2 = 0$

$$s^2 + 4\omega_0 s + 4\omega_0^2 = 0$$

1b) Zasada sterowania (macierz sprzężeń)

$$K_2 = 4\omega_0$$

$$\omega_0^2 + K_1 = 4\omega_0^2$$

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} K_1 & K_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3\omega_0^2 & 4\omega_0 \end{bmatrix}$$

[Franklin/463]

dostępne wszystkie zmienne stanu

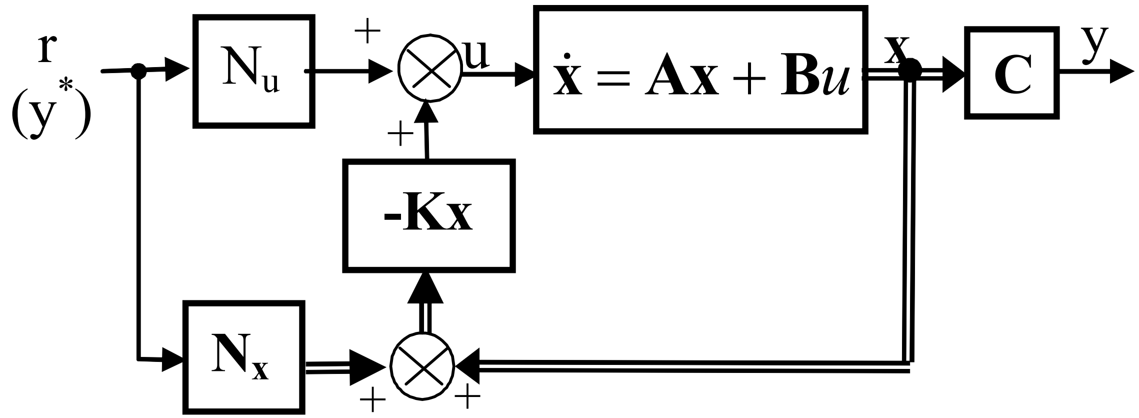
1a) Bieguny układu zamkniętego

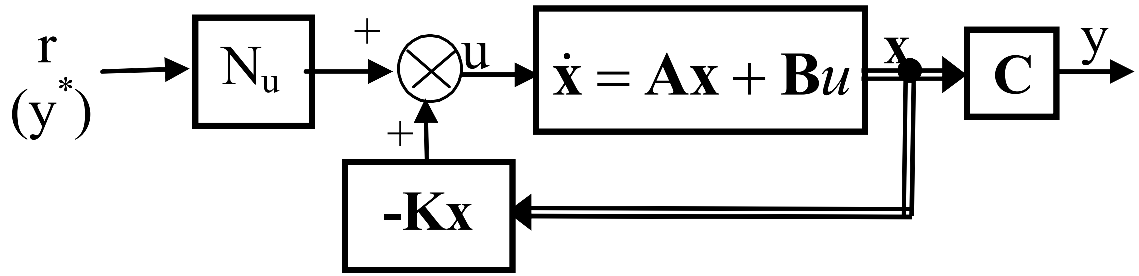
1b) Zasada sterowania

2) Wprowadzenie wejścia odniesienia (wartość zadaną)

$u = -\mathbf{K}\mathbf{x} + r$ niezerowy uchyb regulacji

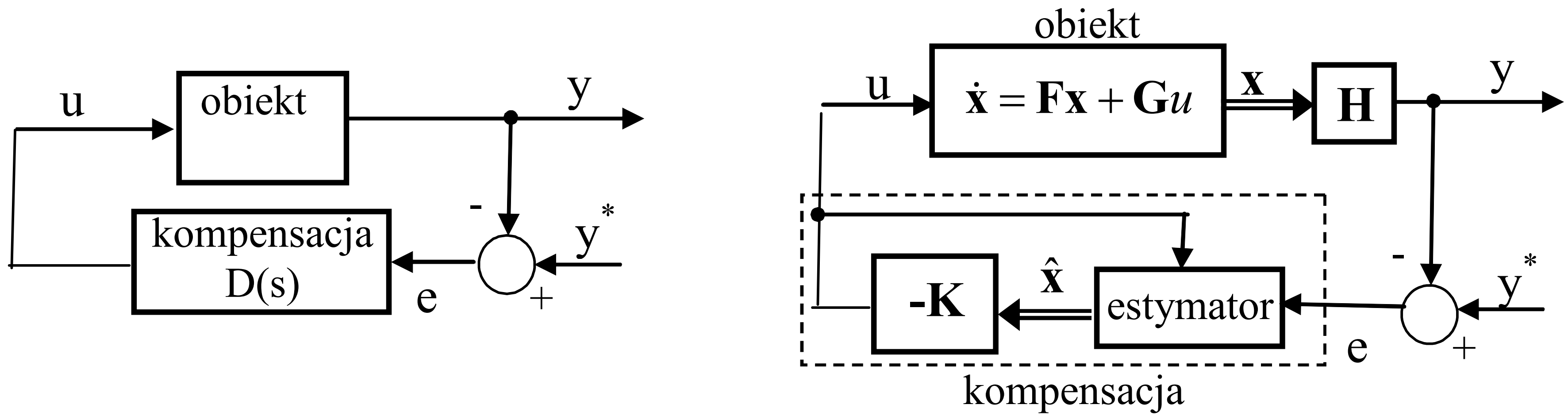
$u = u_{ss} - \mathbf{K}(\mathbf{x} - \mathbf{x}_{ss})$ zerowy uchyb x=x_{ss} dla u=u_{ss}





[Franklin/469]

dostępna część zmiennych stanu



Cztery niezależne etapy:

- Określ położenie biegunów i opracuj zasadę sterowania, które zapewnią zakładane własności układu zamkniętego
- Opracuj estymator (gdy nie wszystkie *x* są dostępne)
- Połącz zasadę sterowania i estymator
- Wprowadź wejście odniesienia