

# **Projekt 2 TMiPA 2025/2026**

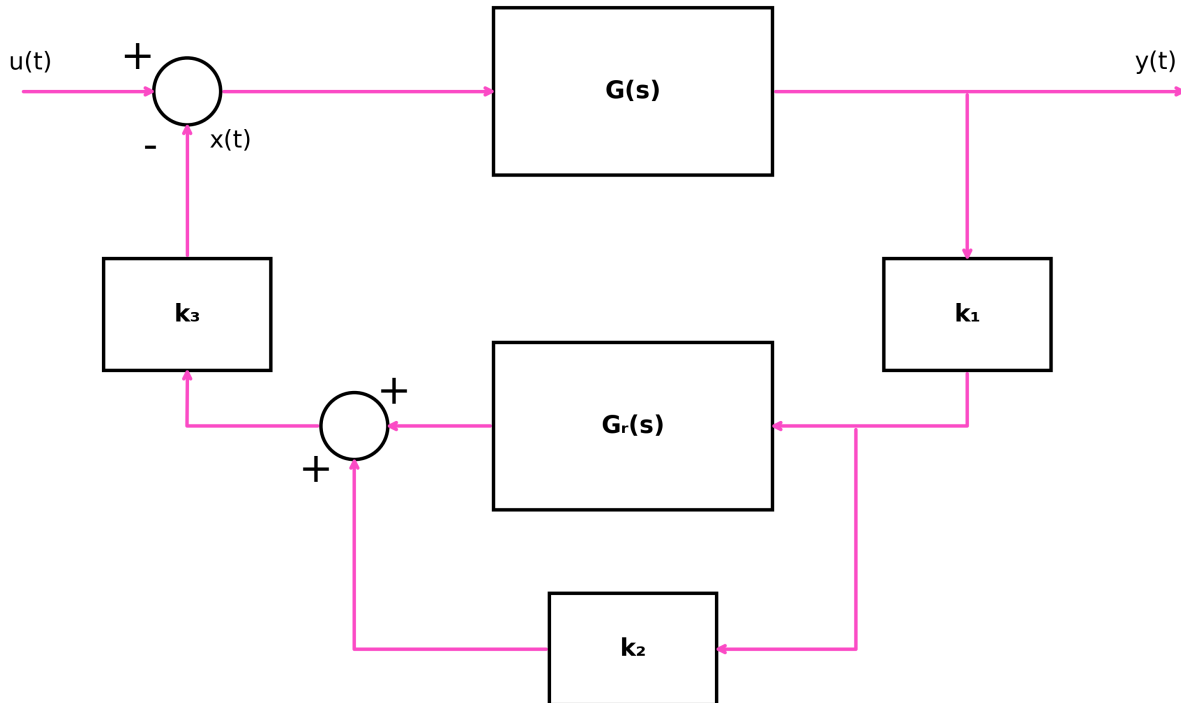
## ***Analiza liniowego układu automatyki***

**Łukasz Błaszczuk, 339513**

*Zrobione w Pythonie, kod na Github:*

[https://github.com/LukeMech/STUDIA\\_TMiPA\\_Projects/tree/main/R2S1\\_P2](https://github.com/LukeMech/STUDIA_TMiPA_Projects/tree/main/R2S1_P2)

## Założenia



$$G(s) = \frac{1}{4s + 1}$$

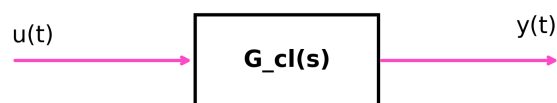
$$G_r(s) = \frac{1}{s}$$

$$k_1 = 0.2$$

$$k_2 = 0.7$$

$$k_3 = 1.8$$

### a) Transmitancja zastępcza (redukcja układu do 1 bloku)



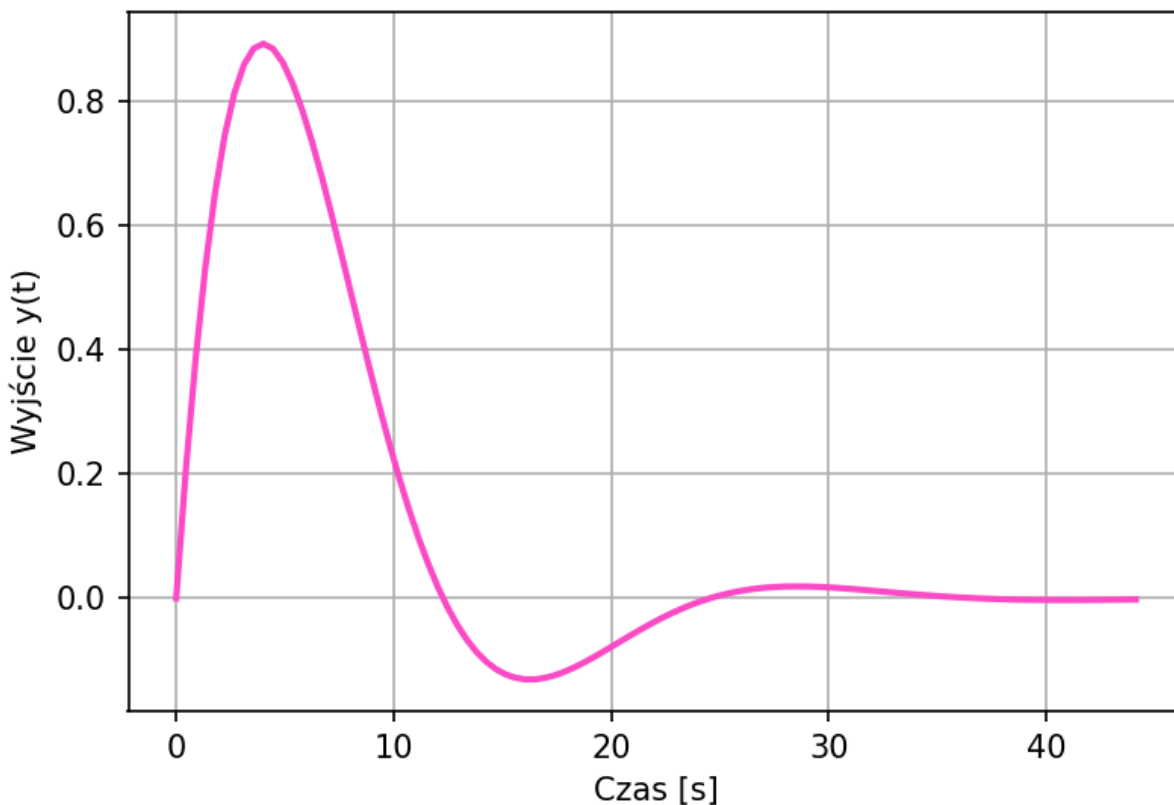
$$H_{wew}(s) = k_1(G_r(s) + k_2) = 0.14 + \frac{0.2}{s}$$

$$H(s) = k_3 H_{wew}(s) = 0.252 + \frac{0.36}{s}$$

$$G_{cl}(s) = \frac{G(s)}{1 + G(s)H(s)} = \frac{s}{4s^2 + 1.252s + 0.36}$$

### b) Analiza wymuszenia skokowego $u_0(t) = 2 \cdot 1(t)$

Wykres odpowiedzi skokowej dla wymuszenia  $u_0(t) = 2 \cdot 1(t)$  pokazuje, jak układ reaguje na skokową zmianę sygnału wejściowego z wartości 0 do 2 w chwili  $t = 0$ . Na początku, układ znajduje się w stanie ustalonym, a wartość odpowiedzi wynosi 0. W momencie  $t = 0$ , gdy sygnał skacze do 2, układ zaczyna reagować na tę zmianę. Odpowiedź układu zaczyna się zmieniać od tej chwili, dążąc do nowego stanu ustalonego, który jest proporcjonalny do wartości wymuszenia (w tym przypadku do wartości 2). Na wykresie widać, że odpowiedź układu początkowo szybko rośnie, następnie stopniowo zbliża się asymptotycznie do wartości końcowej, co może zależeć od charakterystyki układu (np. stałych czasowych). Jeśli układ jest układem liniowym, odpowiedź będzie miała charakter monotoniczny lub oscylacyjny, w zależności od parametrów. Na wykresie wynikowa krzywa pokazuje przejście układu od stanu początkowego do stanu końcowego, zachowując kształt typowy dla odpowiedzi skokowej.



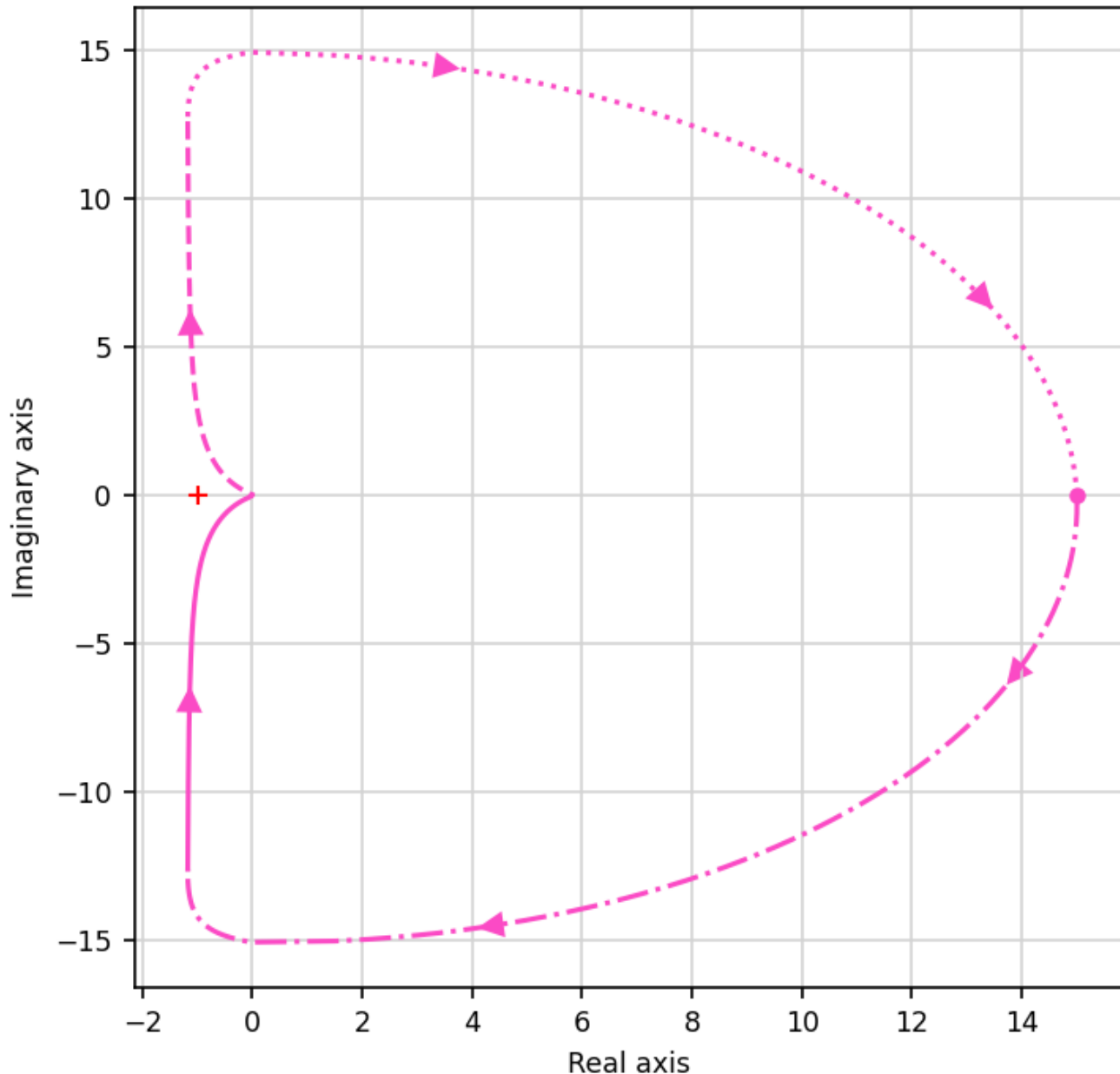
### c) Wykres Nyquista

Wykres Nyquista przedstawia odpowiedź częstotliwościową układu w dziedzinie liczb zespolonych, pokazując zależność między częścią rzeczywistą (Re) a urojoną (Im) transmitancji układu  $L(j\omega)$ , gdzie  $\omega$  jest częstotliwością. Wykres jest parametryzowany poprzez zmianę częstotliwości  $\omega$ , tworząc krzywą na płaszczyźnie zespolonej. Ukazuje zachowanie układu w całym zakresie częstotliwości, co pozwala na analizę stabilności i właściwości dynamicznych systemu bez konieczności rozwiązywania równań różniczkowych.

$$\operatorname{Re}[L(j\omega)] = -\frac{1.188}{16\omega^2 + 1}$$

$$\operatorname{Im}[L(j\omega)] = \frac{-16.128\omega^4 - 6.768\omega^2 - 0.36}{\omega(256.0\omega^4 + 32.0\omega^2 + 1.0)}$$

$$s = j\omega \rightarrow L(j\omega) = \frac{0.252\omega - 0.36i}{\omega(4.0i\omega + 1.0)}$$



#### d) Redukcja transmitancji operatorowej sprzężenia

$$H(s) = k_3 H_{wew}(s) = 0.252 + \frac{0.36}{s}$$

#### e) Analiza stabilności (Hurwitz i Nyquist)

##### Hurwitz: Układ jest stabilny

Analiza Hurwitza została przeprowadzona na podstawie równania charakterystycznego układu. Stabilność została określona poprzez sprawdzenie kryterium Hurwitza, które wymaga, aby wszystkie główne minory macierzy Hurwitza

były dodatnie. Dodatkowo, współczynniki równania charakterystycznego muszą być dodatnie i spełniać warunki określone przez kryterium Hurwita. Na podstawie tych warunków stwierdzono, że układ jest stabilny.

Wyznaczniki Hurwita:

$$D_1 = 1.252$$

$$D_2 = 0.4507$$

Macierz Hurwita:

$$H = \begin{bmatrix} 1.252 & 0.0 \\ 4.0 & 0.36 \end{bmatrix}$$

**Nyquist: Punkt (-1, 0) jest poza wykresem. Układ jest stabilny**

Analiza Nyquista pozwala ocenić stabilność układu zamkniętego na podstawie wykresu charakterystyki Nyquista układu otwartego. Jeśli punkt (-1, 0) znajduje się poza wykresem charakterystyki Nyquista, oznacza to, że układ zamknięty jest stabilny. Oznacza to również, że wykres Nyquista nie otacza punktu (-1, 0), co zgodnie z kryterium Nyquista wskazuje na brak niestabilności w układzie zamkniętym. Innymi słowy, system jest stabilny, ponieważ nie występują bieguny układu zamkniętego w prawej półpłaszczyźnie płaszczyzny zespolonej.