

# Laboratorium Teorii i Techniki Sterowania

## Ćwiczenie 1b - Sterowanie przy zadanym stanie w układzie otwartym

Projektowanie i badanie właściwości filtrów o niekończonej odpowiedzi impulsowej

### I. Cel ćwiczenia

1. Poznanie metod projektowania filtrów cyfrowych o nieskończonej odpowiedzi impulsowej.
2. Synteza oraz implementacji filtru cyfrowego o zadanych właściwościach.
3. Analiza właściwości zaprojektowanego filtra.

### II. Ramowy program ćwiczeń

1. Wyznaczyć transmitancję cyfrowego filtra rekursywnego w następującej postaci:

$$G(z) = \frac{\sum_{k=0}^{N-1} a(k)z^{-k}}{1 + \sum_{k=1}^M b(k)z^{-k}}$$

- w procesie projektowania wykorzystać metodę polegającą na dyskretyzacji prototypu analogowego poprzez przekształcenie bilingowe.
- zaprojektowany filtr powinien być filtrem:
  - grupy nieparzyste – dolnoprzepustowym (DP, FP=1),
  - grupy parzyste – górnoprzepustowym (GP, FP=2).
- częstotliwość graniczna projektowanego filtra cyfrowego  $f_{gc}=(200+(\text{'nr grupy'})*50)$  Hz.
- jako prototyp wykorzystać transmitancję 'nr grupy' (patrz rozdział III).
- przyjąć częstotliwość próbkowania równą  $f_p=(900*FP +(\text{'nr grupy'})*100)$  Hz.

**Uwaga!** Przyjąć że częstotliwość graniczna, to taka częstotliwość, przy której wzmocnieni filtra spada do wartości -3dB.

2. Wykorzystując środowisko Matlab/Simulink:
  - zdjęć charakterystykę częstotliwościową otrzymanego filtra (ocenić czy uzyskany filtr odpowiada powyższym założeniom projektowym),
  - zbadać odpowiedzi czasowe filtra dla różnych sygnałów wejściowych (przeprowadzić analizę widmową sygnałów przed filtracją oraz po filtracji). Przy wyborze częstotliwości sygnałów wejściowych uwzględnić kształt uzyskanej charakterystyki częstotliwościowej otrzymanego filtra.
3. Przeprowadzić syntezę oraz analizę filtra cyfrowego - tak jak opisano to w dwóch powyższych punktach - gdy prototyp analogowy będzie filtrem wyższego rzędu (np. trzeciego). Porównać właściwości z filtrem niższego rzędu.

### III Dodatkowe informacje

Projektując filtr należy wykorzystać poniższe przekształcenia:

$$DP: \quad G(z) = G(s) \Big|_{s \rightarrow A \frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}}}, \quad A = \omega_{ga} \operatorname{ctg}(\omega_{gc} T_p / 2)$$

$$GP: \quad G(z) = G(s) \Big|_{s \rightarrow B \frac{1+z^{-1}}{1-z^{-1}}}, \quad B = \omega_{ga} \operatorname{tg}(\omega_{gc} T_p / 2)$$

$$PP: \quad G(z) = G(s) \Big|_{s \rightarrow B \frac{1-2Az^{-1}+z^{-2}}{1-z^{-2}}} \quad A = \frac{\cos[0,5(\omega_{dg} + \omega_{dd})T_p]}{\cos[0,5(\omega_{dg} - \omega_{dd})T_p]} \quad B = \omega_{ga} \operatorname{ctg} \left( \frac{(\omega_{dg} - \omega_{dd})T_p}{2} \right)$$

$$PP: \quad G(z) = G(s) \Big|_{s \rightarrow B \frac{1-z^{-2}}{1-2Az^{-1}+z^{-2}}} \quad A = \frac{\cos[0,5(\omega_{dg} + \omega_{dd})T_p]}{\cos[0,5(\omega_{dg} - \omega_{dd})T_p]} \quad B = \omega_{ga} \operatorname{tg} \left( \frac{(\omega_{dg} - \omega_{dd})T_p}{2} \right)$$

gdzie:

$G(z)$  – transmitancja poszukiwanego filtra cyfrowego NOI,

$G(s)$  – transmitancja prototypu analogowego,

$\omega_{ga}$  – pulsacja graniczna filtra  $G(s)$ ,

$\omega_{gc}$  – pulsacja graniczna projektowanego filtra cyfrowego  $G(z)$ ,

$\omega_{dg}$  – górna pulsacja graniczna projektowanego filtra cyfrowego  $G(z)$ ,

$\omega_{dd}$  – dolna pulsacja graniczna projektowanego filtra cyfrowego  $G(z)$ ,

*Transmitancje filtrów wzorcowych:*

1. Butterworth 2-rzędu	$G(s) = \frac{1}{s^2 + \sqrt{2}s + 1}$
2. Bessel 2-rzędu	$G(s) = \frac{1}{s^2 + 1.73s + 1}$
3. Tschebyshev I, 2-rzędu	$G(s) = \frac{1.43}{s^2 + 1.4256s + 1.5162}$
4. Butterworth 2-rzędu	$G(s) = \frac{1}{s^2 + \sqrt{2}s + 1}$
5. Bessel 2-rzędu	$G(s) = \frac{1}{s^2 + 1.73s + 1}$
6. Tschebyshev I, 2-rzędu	$G(s) = \frac{1.43}{s^2 + 1.4256s + 1.5162}$
7. Butterworth 2-rzędu	$G(s) = \frac{1}{s^2 + \sqrt{2}s + 1}$
8. Bessel 2-rzędu	$G(s) = \frac{1}{s^2 + 1.73s + 1}$
9. Tschebyshev I, 2-rzędu	$G(s) = \frac{1.43}{s^2 + 1.4256s + 1.5162}$

$$\text{Butterworth 3-rzędu} \quad G(s) = \frac{1}{s^3 + 2s^2 + 2s + 1}$$

$$\text{Bessel 3-rzędu} \quad G(s) = \frac{1}{s^3 + 2,43s^2 + 2,47s + 1}$$

$$\text{Tschebyshev I, 3-rzędu} \quad G(s) = \frac{0,7157}{s^3 + 1,253s^2 + 1,535s + 0,7157}$$