

## Ćwiczenie - 7

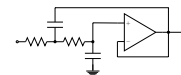
### Filtry

#### Spis treści

<b>1</b>	<b>Cel ćwiczenia</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Podstawy teoretyczne</b>	<b>2</b>
2.1	Transmitancja filtru dolnoprzepustowego drugiego rzędu . . . . .	2
2.2	Aktywny filtr dolnoprzepustowy drugiego rzędu z pojedynczym dodatnim sprzężeniem zwrotnym (układ Sallena-Keya) . . . . .	2
2.3	filtr Butterwortha IV rzędu . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Przebieg ćwiczenia</b>	<b>4</b>
3.1	Wyznaczenie charakterystyk częstotliwościowych . . . . .	4
3.2	Wyznaczenie odpowiedzi filtrów na skok napięcia . . . . .	5
<b>4</b>	<b>Sprawozdanie</b>	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>Niezbędne wyposażenie</b>	<b>6</b>
	<b>Protokół</b>	<b>7</b>
	Charakterystyki . . . . .	9

## 1 Cel ćwiczenia

- Zbadanie charakterystyk częstotliwościowych aktywnych, dolnoprzepustowych filtrów RC:
  - II rzędu o tłumieniu krytycznym,
  - Butterwortha IV rzędu.
- Wyznaczenie odpowiedzi filtrów na skok napięcia.

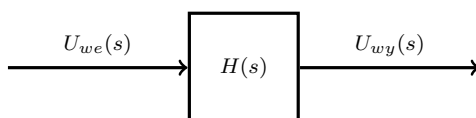


## 2 Podstawy teoretyczne

### 2.1 Transmitancja filtra dolnoprzepustowego drugiego rzędu

Ogólna postać transmitancji filtra dolnoprzepustowego drugiego rzędu:

$$H(s) = \frac{U_{wy}(s)}{U_{we}(s)} = \frac{K\omega_0^2}{s^2 + 2\xi\omega_0s + \omega_0^2} = \frac{K\omega_0^2}{s^2 + \frac{1}{Q}\omega_0s + \omega_0^2}. \quad (1)$$



Gdzie:

$U_{we}(s) = \mathcal{L}(u_{we}(t))$  transformata Laplace'a sygnału wejściowego,

$U_{wy}(s) = \mathcal{L}(u_{wy}(t))$  transformata Laplace'a sygnału wyjściowego,

$\omega_0 = 2\pi f_0$  - częstotliwość graniczna,

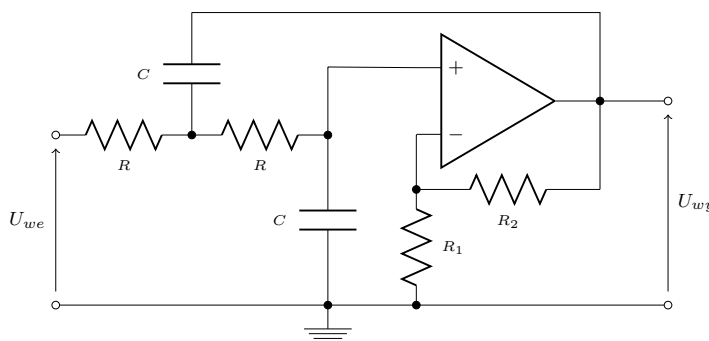
$\xi$  - tłumienie,

$Q$  - dobroć filtra,

$K$  - wzmacnienie składowej stałej,

$\xi = \frac{1}{2Q}$ .

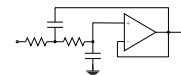
### 2.2 Aktywny filtr dolnoprzepustowy drugiego rzędu z pojedynczym dodatnim sprzężeniem zwrotnym (układ Sallena-Keya)



Rysunek 1: Aktywny filtr dolnoprzepustowy II rzędu z pojedynczym dodatnim sprzężeniem zwrotnym (układ Sallena-Keya)

Transmitancja powyższego filtra:

$$H(s) = \frac{U_{wy}(s)}{U_{we}(s)} = \frac{\frac{K}{R^2C^2}}{s^2 + \frac{3-K}{RC}s + \frac{1}{R^2C^2}}. \quad (2)$$



Parametr  $K$  jest wzmocnieniem wzmacniacza nieodwracającego:

$$K = 1 + \frac{R_2}{R_1}. \quad (3)$$

Porównując transmitancję filtra Sallena-Keya z ogólną postacią transmitancji filtra otrzymujemy:

$$\frac{U_{wy}}{U_{we}} = \frac{\frac{K}{R^2 C^2}}{s^2 + \frac{3-K}{RC}s + \frac{1}{R^2 C^2}} = \frac{K \omega_0^2}{s^2 + 2\xi \omega_0 s + \omega_0^2} \quad (4)$$

Z powyższego wynika:

- **częstotliwość graniczna filtra:**  $f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi RC}$ ,
- **tłumienie filtra:**  $\xi = \frac{3-K}{2}$ ,
- **wzmocnienie składowej stałej:**  $K = 1 + \frac{R_2}{R_1}$ .

Filtr o **tłumieniu krytycznym** otrzymujemy gdy w układzie z rysunku 1 wzmacniacz nieodwracający zastąpimy wtórnikami napięcia. Wtedy wzmocnienie  $K = 1$  oraz tłumienie wynosi  $\xi = \frac{3-K}{2} = \frac{3-1}{2} = 1$ .

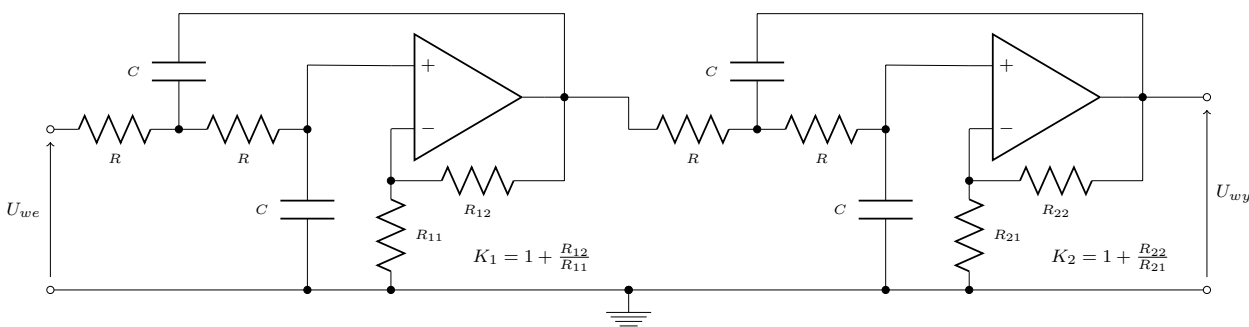
## 2.3 filtr Butterwortha IV rzędu

Transmitancja filtra Butterwortha IV rzędu, dla znormalizowanej częstotliwości granicznej  $\omega_0 = 1 \frac{rad}{s}$ , przyjmuje postać:

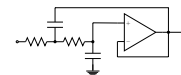
$$\frac{1}{(1 + 0.765s + s^2)(1 + 1.848s + s^2)}. \quad (5)$$

W celu zrealizowania filtra Butterwortha IV rzędu można zastosować dwie sekcje połączone szeregowo. Przy czym każda sekcja zrealizowana jako filtr II rzędu w układzie Sallena-Keya. Wzmocnienia wewnętrzne sekcji należy przyjąć jako:

$K_1 = 3 - 0,765 = 2,235$  i  $K_2 = 3 - 1,848 = 1,152$ .



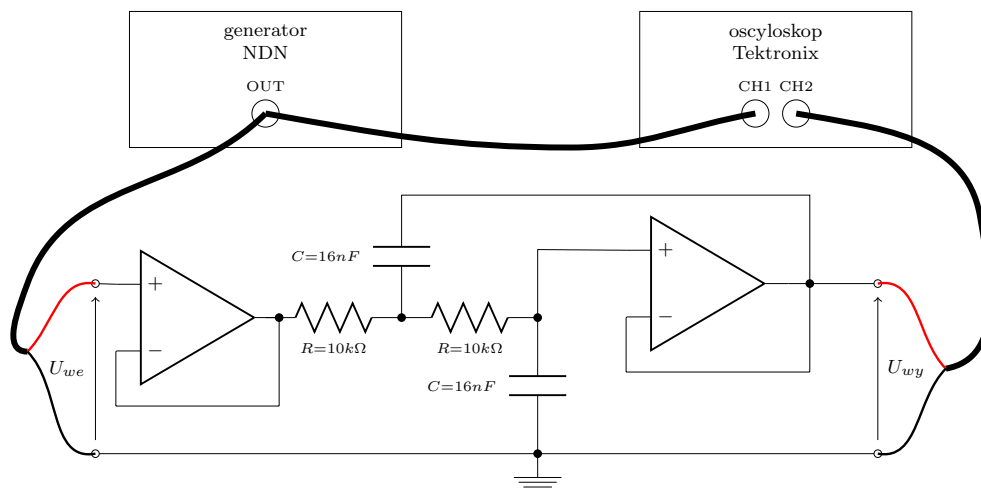
Rysunek 2: Aktywny filtr Butterwortha IV rzędu



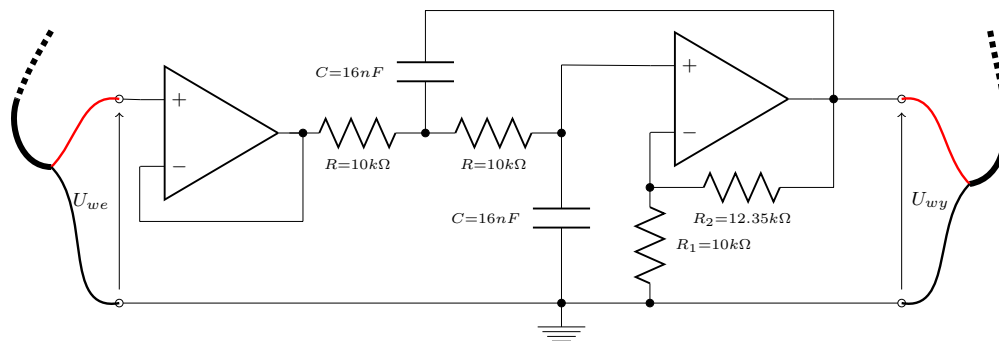
### 3 Przebieg ćwiczenia

#### 3.1 Wyznaczenie charakterystyk częstotliwościowych

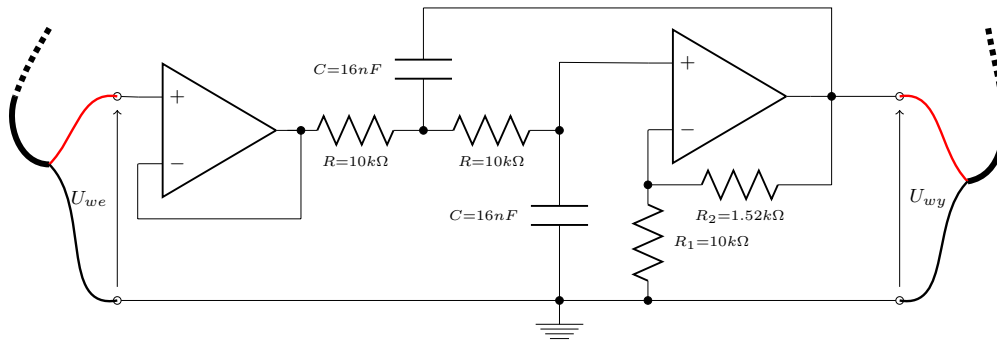
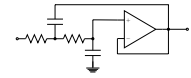
Wyznaczyć charakterystyki częstotliwościowe filtrów z rysunku 3, 4, 5 i 6. W celu wykonania pomiarów na wejście poszczególnych filtrów podać **przebieg sinusoidalny** o amplitudzie  $U_{we} \approx 5V$ . Zmierzyć  $U_{pp}^{we}$ ,  $U_{pp}^{wy}$  i  $\Delta t$ , pomiary wykonać dla częstotliwości sygnału w zakresie **od 30Hz do 100kHz**. Obliczyć  $K_U$ ,  $K_{UdB}$  i  $\varphi$ . Wyniki pomiarów i obliczeń zapisać odpowiednio w tabeli 1, 2, 3 i 4 oraz zaznaczyć na rysunku 7 i 8.



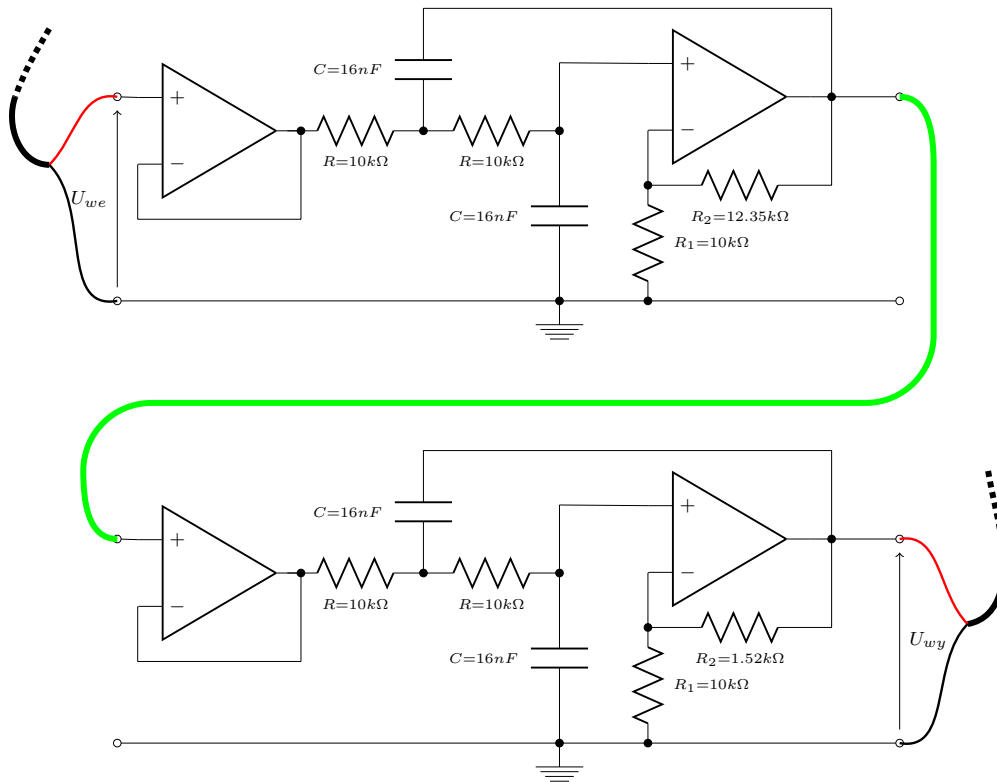
Rysunek 3: Aktywny filtr II rzędu o tłumieniu krytycznym



Rysunek 4: Aktywny filtr II rzędu,  $K=2.235$



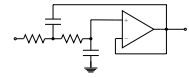
Rysunek 5: Aktywny filtr II rzędu,  $K=1.152$



Rysunek 6: Aktywny filtr Butterwortha IV rzędu

### 3.2 Wyznaczenie odpowiedzi filtrów na skok napięcia

Dla układów z poprzedniego punktu wyznaczyć odpowiedzi skokowe. Na wejście filtrów podać przebieg prostokątny o częstotliwości mniejszej od częstotliwości granicznej. Zmierzyć czas narastania oraz przeregulowanie. Zarejestrować przebiegi z oscyloskopu.



## 4 Sprawozdanie

### 4.1 Charakterystyki częstotliwościowe badanych filtrów

Wykreślić, zinterpretować i porównać charakterystyki częstotliwościowe badanych filtrów. Określić stromość charakterystyki, częstotliwość graniczną oraz pasmo przenoszenia dla poszczególnych filtrów.

### 4.2 Odpowiedzi skokowe

Zinterpretować odpowiedzi skokowe. Wyznaczyć czas narastania oraz przeregulowanie dla badanych filtrów.

### 4.3 Wnioski

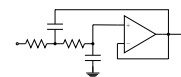
## 5 Niezbędne wyposażenie

- kalkulator naukowy
- pendrive do 1GB lub aparat fotograficzny do rejestracji przebiegów z oscyloskopu
- protokół

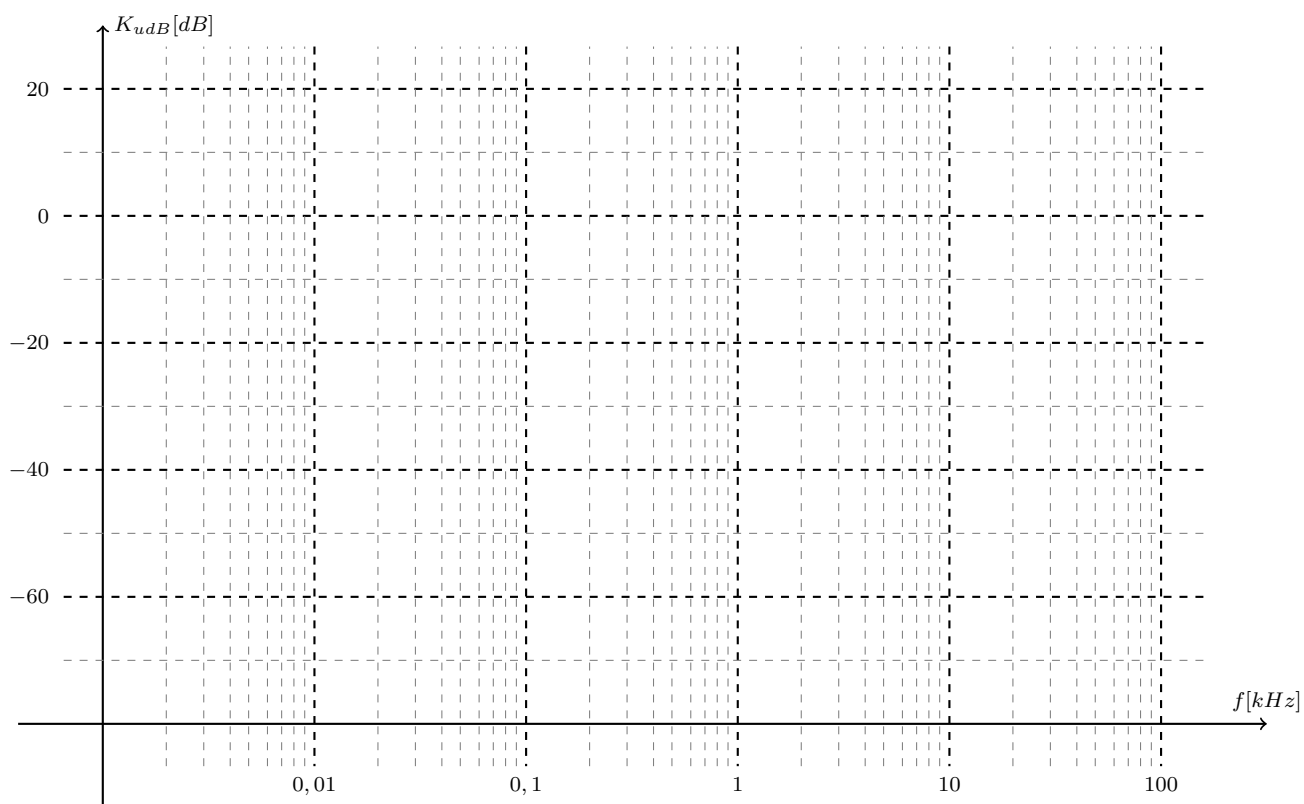




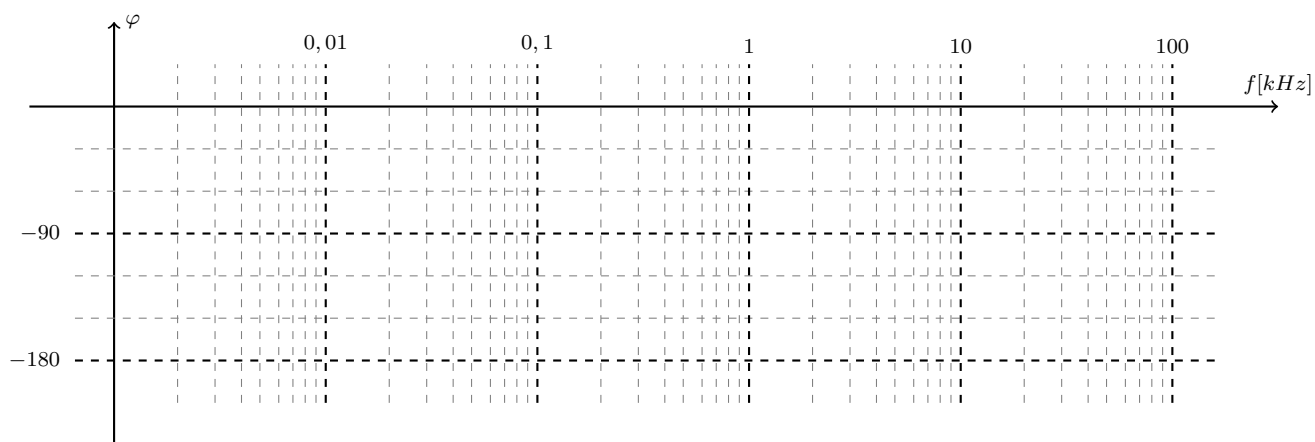




# Charakterystyki



Rysunek 7: Charakterystyka amplitudowa



Rysunek 8: Charakterystyka fazowa