

## A-2. Filtry biernie

wersja 03'2022

### 1. Zakres ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zrozumienie propagacji sygnałów zmiennych w czasie przez układy filtracji oparte na elementach rezystancyjno-pojemnościowych. Wyznaczenie doświadczalne amplitudowych charakterystyk częstotliwościowych oraz obserwacja odpowiedzi układów RC na sygnał napięciowego skoku jednostkowego.

### 2. Wstęp

#### *Filtry biernie RC*

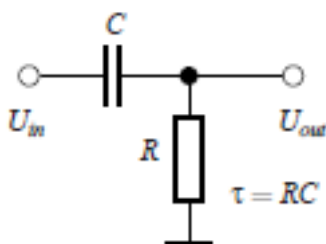
Filtry biernie RC to układy liniowe zbudowane w postaci czwórników wyłącznie z elementów biernych: rezystorów i kondensatorów. Pełny opis takich układów zawarty jest w funkcji transmitancji operatorowej  $K(s)$ . Z niej wyprowadzamy dla wymuszenia sygnałem sinusoidalnym zespoloną transmitancję widmową  $K(j\omega)$  a następnie amplitudową  $|K(j\omega)|$  oraz fazową  $\angle(K(j\omega))$  charakterystykę częstotliwościową. Posługując się transmitancją operatorową oraz znając postać transformaty Laplace'a funkcji skoku jednostkowego  $1(t)$  o poziomie  $U_M$  czyli  $U_M \cdot 1(t)$  podawanej na wejście filtru, można wyznaczyć analitycznie kształt odpowiedzi układu w dziedzinie czasu.

Zależnie od sposobu połączenia elementów R i C w czwórniku, uzyskujemy układy filtrów dolnoprzepustowych albo układy filtrów górnoprzepustowych.

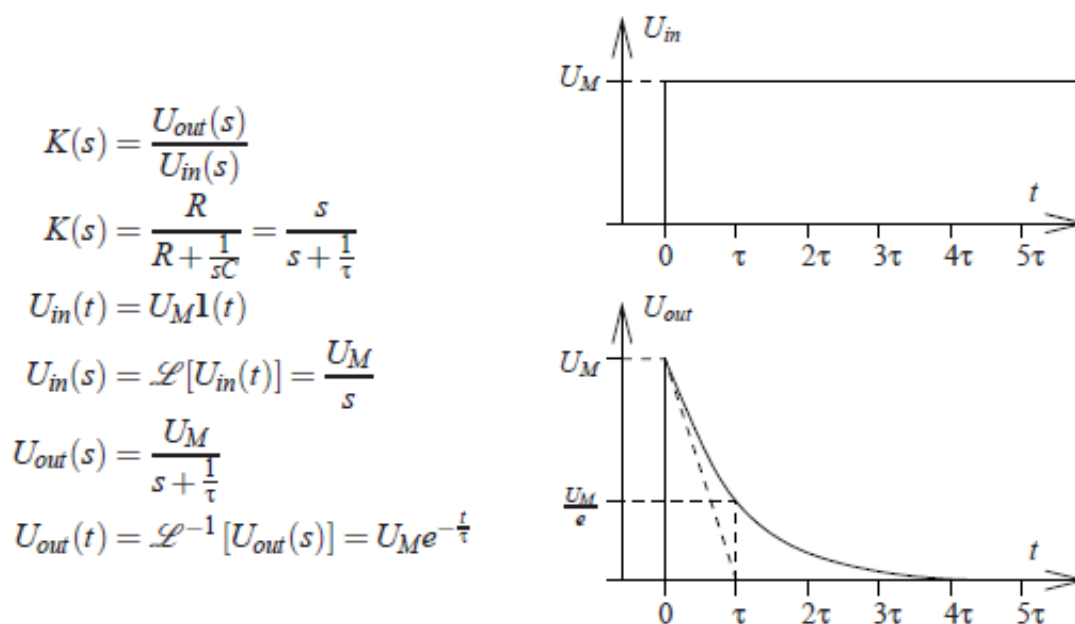
Kaskadowe połączenie filtrów tego samego typu zwiększa stromość ich charakterystyk amplitudowo-częstotliwościowych natomiast kaskadowe łączenie filtrów dolno- i górnoprzepustowych o odpowiednio dobranych częstotliwościach granicznych umożliwia realizację filtrów pasmowoprzepustowych lub pasmowozaporowych.

Czwórniki RC są stosowane również w elektronice impulsowej jako układy formowania impulsów. Zależnie od konfiguracji elementów R i C aproksymowane mogą być operacje różniczkowania bądź całkowania, dość poprawnie w pewnych przedziałach stosunku czasu trwania impulsu wejściowego do stałej czasowej  $\tau$  obwodu. Dlatego filtry górnoprzepustowe nazywane są także układami różniczkującymi, a dolnoprzepustowe układami całkującymi.

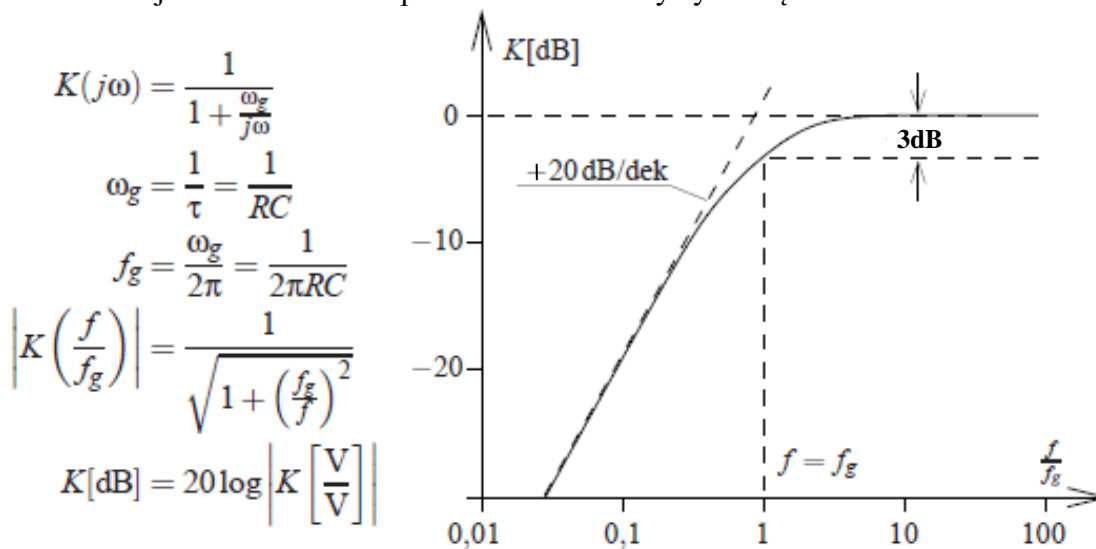
#### Filtr górnoprzepustowy I rzędu (układ różniczkujący jednobiegunowy)



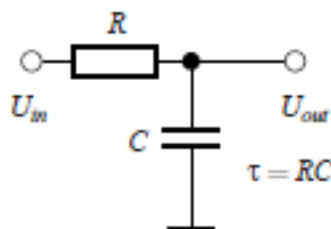
1) Transmitancja operatorowa i odpowiedź układu na skok napięcia:



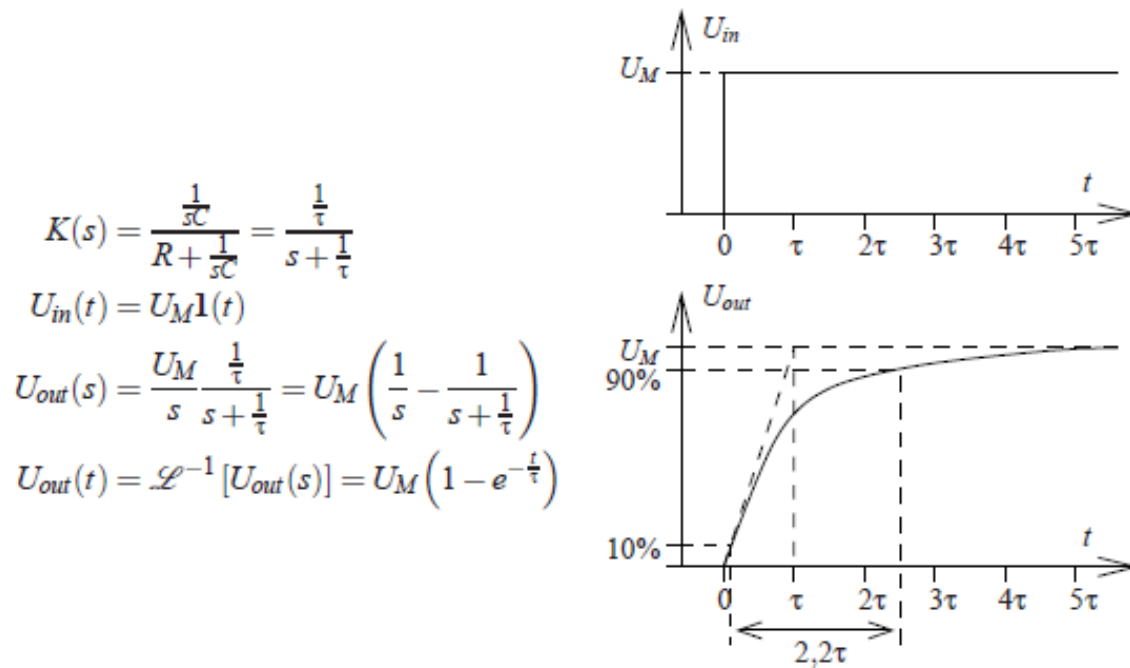
2) Transmitancja widmowa — amplitudowa charakterystyka częstotliwościowa:



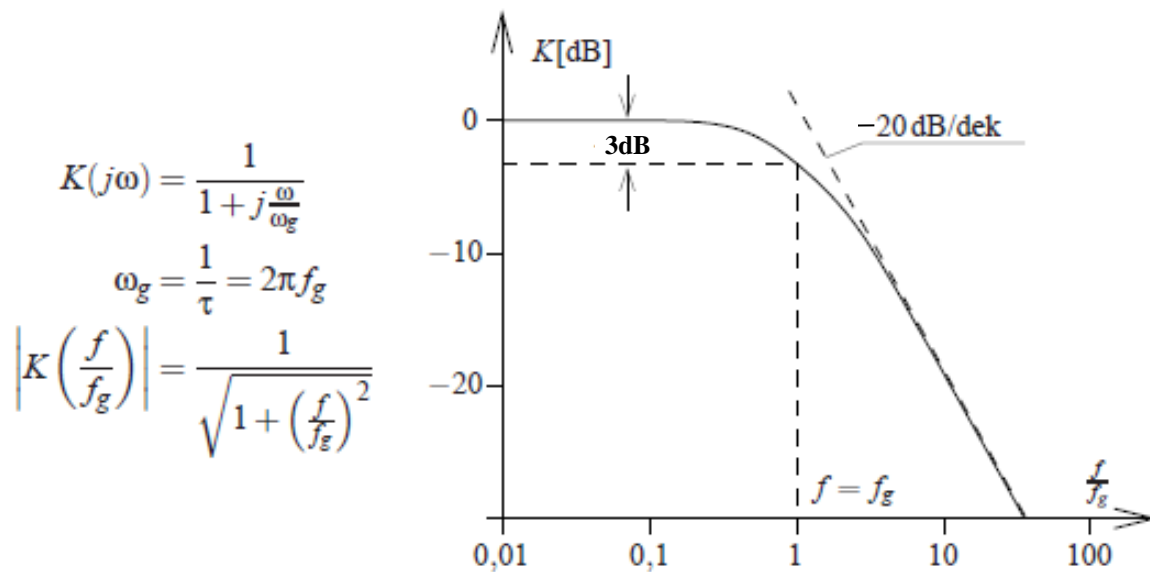
**Filtr dolnoprzepustowy I rzędu (układ całkujący jednobiegunowy)**



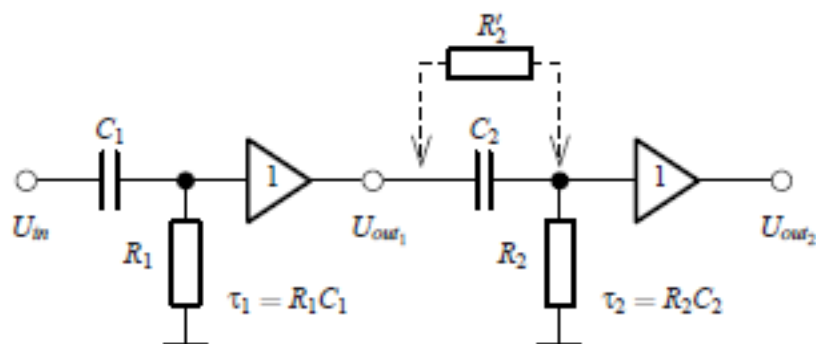
1) Transmitancja operatorowa i odpowiedź układu na skok napięcia:



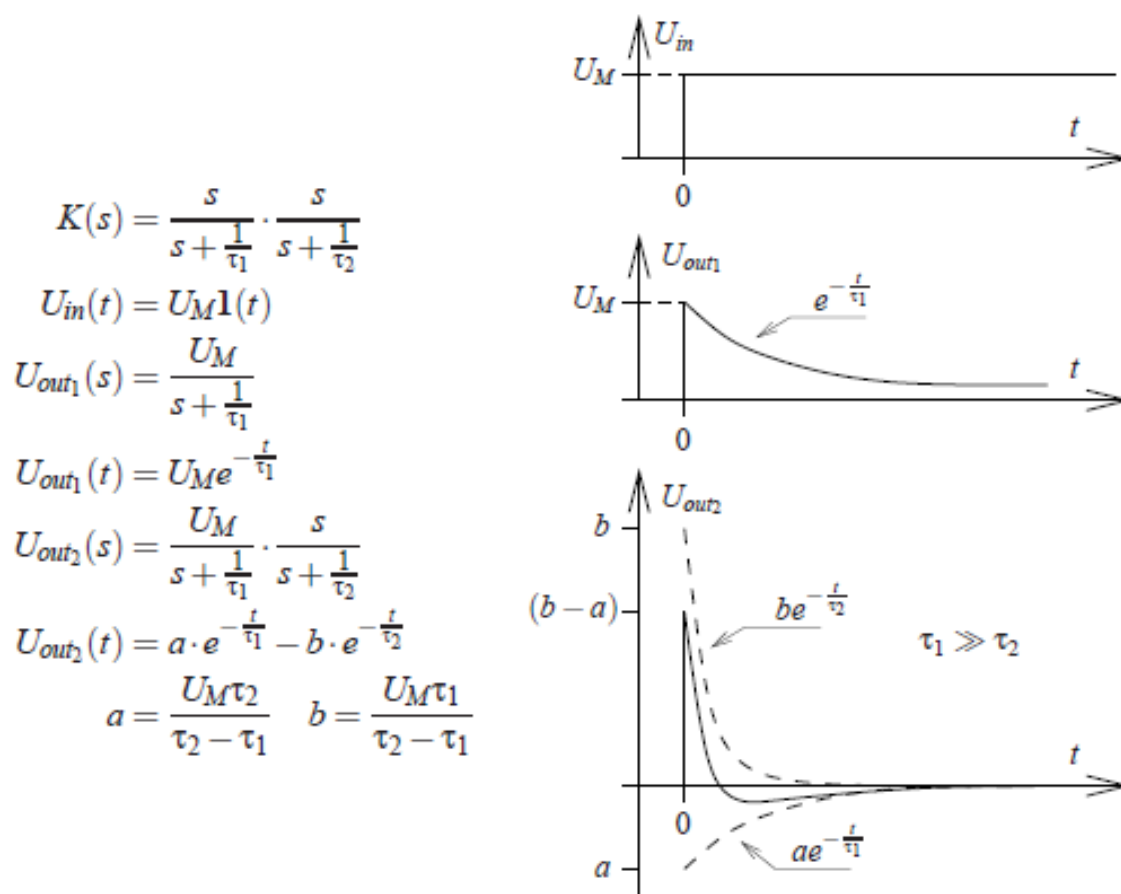
2) Transmitancja widmowa — amplitudowa charakterystyka częstotliwościowa:



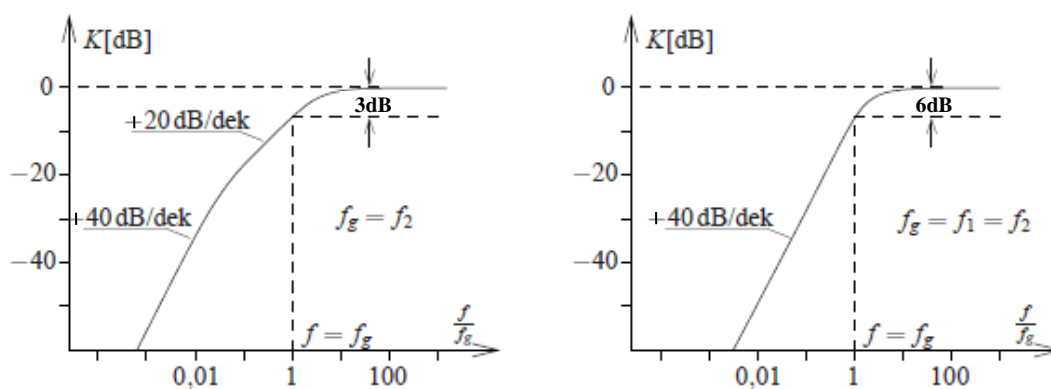
## Filtr górnoprzepustowy rzędu II



1) Transmitancja operatorowa i odpowiedź układu na skok napięcia:



2) Transmitancja widmowa — amplitudowa charakterystyka częstotliwościowa:



### 3) Kompensacja przerzutu impulsu w układach rzędu II

Odpowiedź dwustopniowego układu różniczkującego na impuls napięcia jest dla pewnego zakresu czasu  $t$  ujemna, tę część odpowiedzi nazywamy przerzutem. Przerzut jest możliwy do zniwelowania. W tym celu modyfikujemy drugi stopień różniczkujący tak aby jego transmitancja operatorowa  $K'_2(s)$  posiadała zero<sup>1</sup> funkcji o wartości równej wartości bieguna<sup>2</sup> funkcji układu pierwszego  $K_1(s)$ . Taką zamianę uzyskujemy przez dołączenie oporu kompensującego  $R'_2$  równolegle do pojemności w układzie różniczkującym drugiego stopnia. W ten sposób sprowadzamy transmitancję dwubiegunową całego układu o wartościach biegunów zależnych od  $\tau_1$  i  $\tau$  do postaci jednobiegunowej o wypadkowej stałej czasowej  $\tau$ , dającą asymptotyczne rozwiązanie w dziedzinie czasu.

$$K_1(s) = \frac{s}{s + \frac{1}{\tau_1}}$$

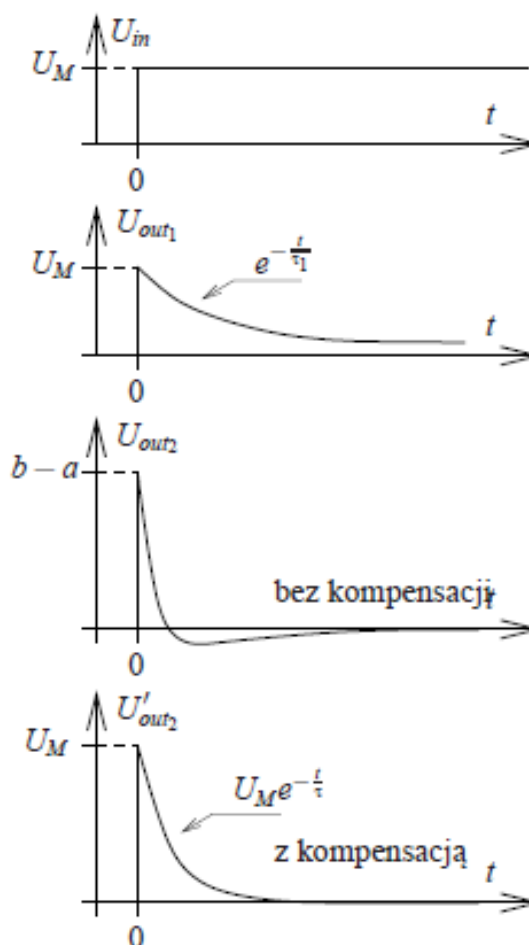
$$K'_2(s) = \frac{s + \frac{1}{\tau_1}}{s + \frac{1}{\tau}}$$

$$\tau_1 = R_1 C_1 = R'_2 C_2$$

$$\tau = (R'_2 \parallel R_2) C_2$$

$$U'_{out2}(s) = \frac{U_M}{s + \frac{1}{\tau_1}} \cdot \frac{s + \frac{1}{\tau_1}}{s + \frac{1}{\tau}} = \frac{U_M}{s + \frac{1}{\tau}}$$

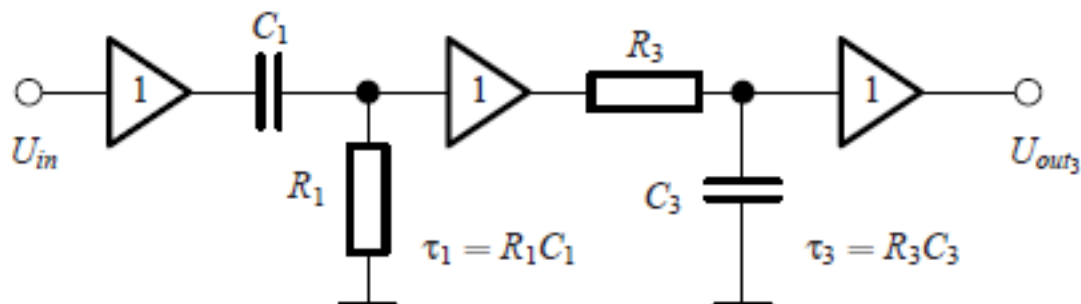
$$U'_{out2}(t) = U_M e^{-\frac{t}{\tau}}$$



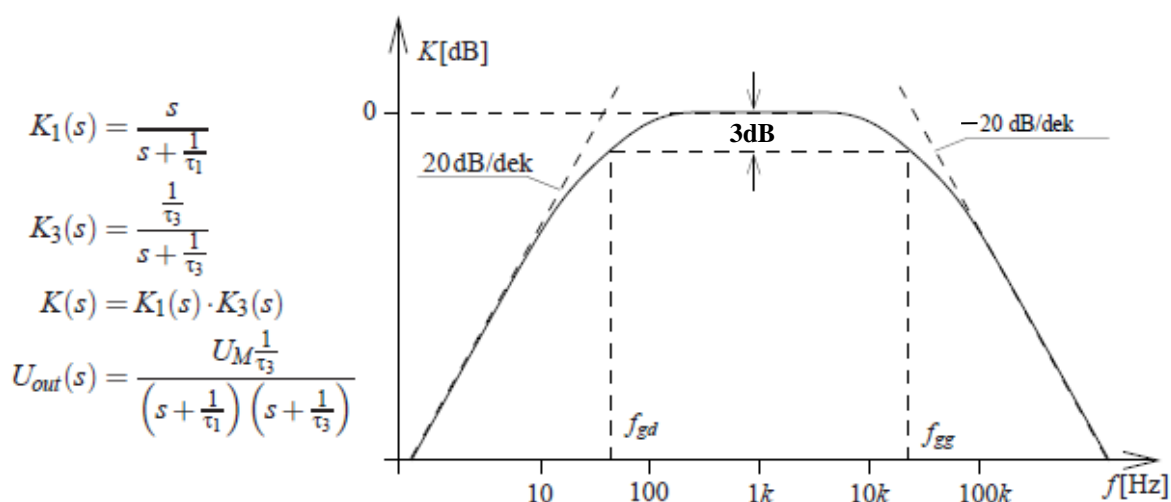
<sup>1</sup> Zero funkcji wymiernej, to pierwiastek licznika.

<sup>2</sup> Biegun funkcji wymiernej, to pierwiastek mianownika.

## Filtr pasmowoprzepustowy



Filtr pasmowoprzepustowy otrzymujemy łącząc kaskadowo filtr górnoprzepustowy z filtrem dolnoprzepustowym. Częstotliwość graniczna filtra dolnoprzepustowego powinna być większa od częstotliwości granicznej filtra górnoprzepustowego. Szerokość pasma przenoszenia jest wtedy równa różnicy częstotliwości granicznych poszczególnych filtrów. Stromość zboczy charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowej jest uwarunkowana rzędem filtrów składowych.



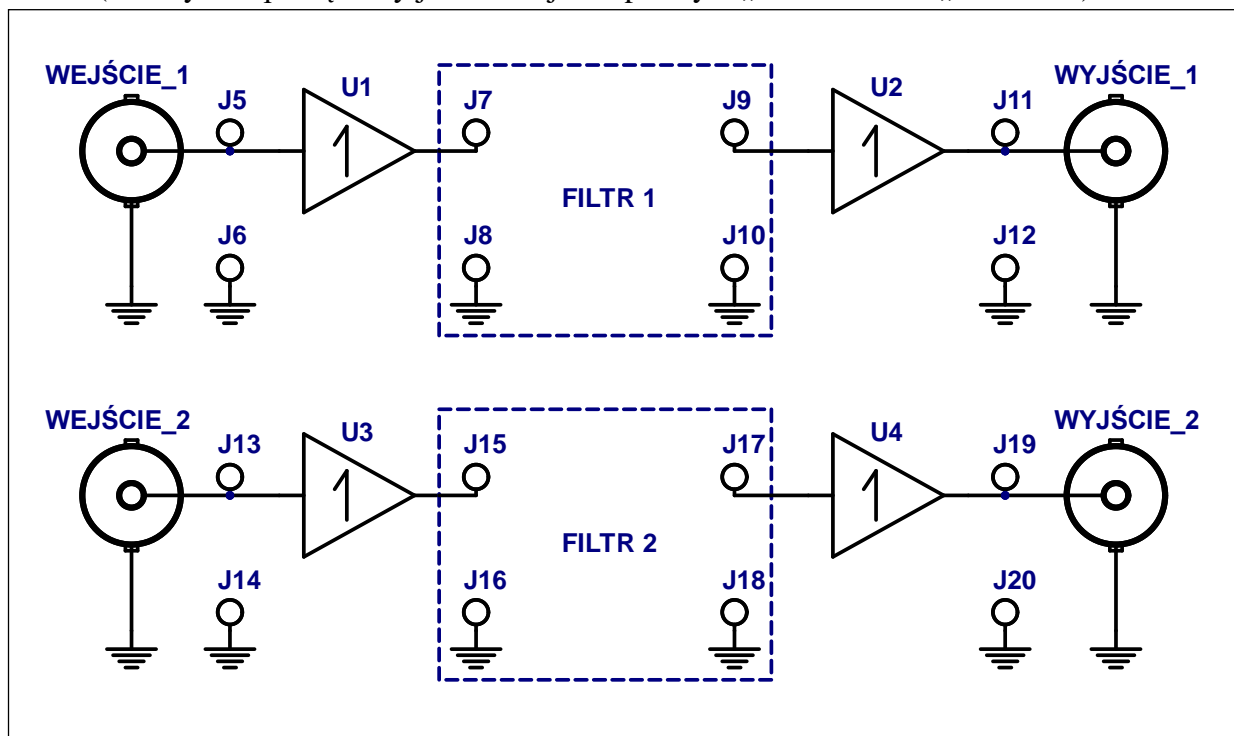
## 3. Program ćwiczenia

Program ćwiczenia i sposób opracowania sprawozdań zgodnie z wytycznymi prowadzącego.

## 4. Schemat zestawu do ćwiczenia

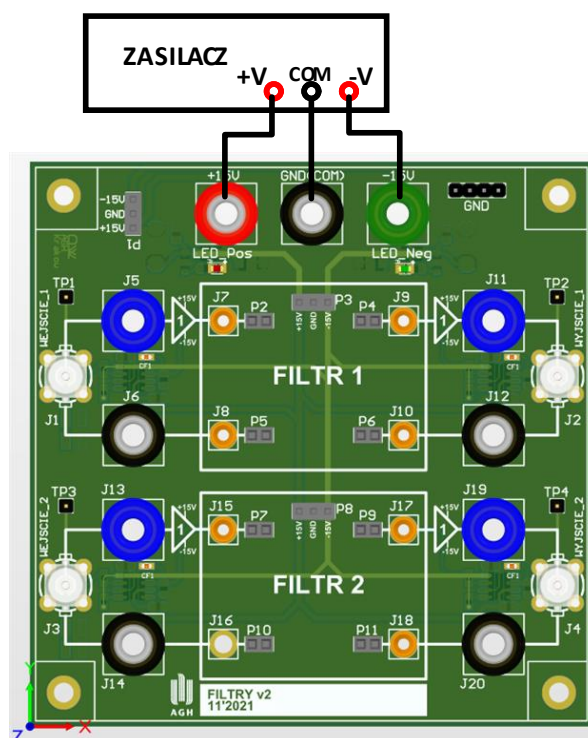
(płytki PCB: wersja FILTRY v2, 11'2021)

Schemat blokowy płytki bazowej z buforami separującymi do badania różnych konfiguracji filtrów (badany filtr podłączany jest w miejscu opisanym „FILTR 1” lub „FILTR 2”):

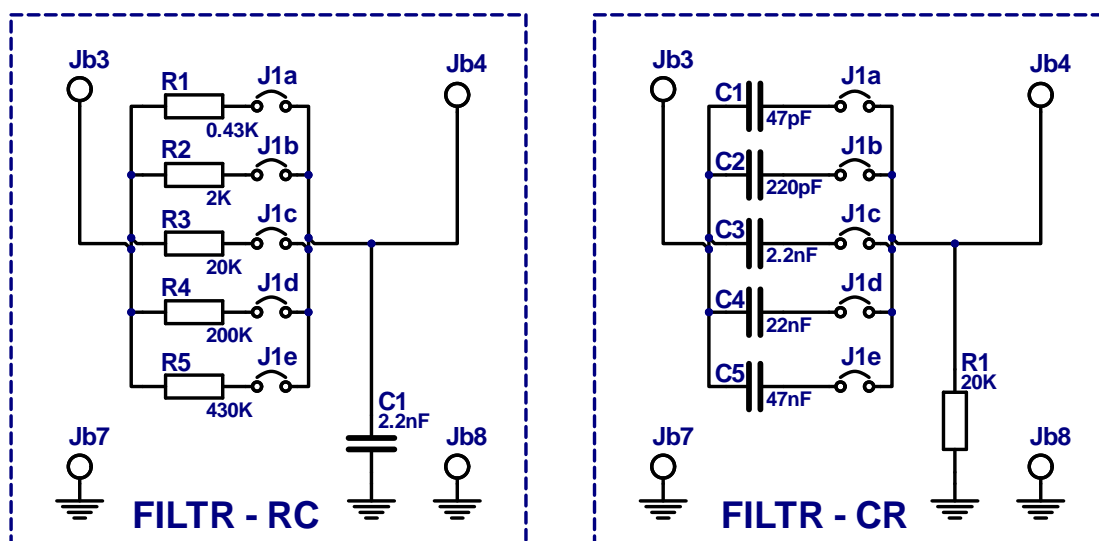


Sposób podłączenia napięcia zasilającego do buforów separujących:

**UWAGA: MAKSYMALNA WARTOŚĆ NAPIĘCIA ZASILAJĄCEGO:  $\pm V \equiv \pm 15V$**



Schematy poglądowe modułów ćwiczeniowych z różnymi konfiguracjami filtrów biernych:



Uwaga: wartość stałe czasowej badanego filtru definiowana jest poprzez zwarcie odpowiednich pinów złącza J1

Zestawienie elementów dla filtru dolnoprzepustowego:

Symbol	Wartość elementu	Stała czasowa $\tau$ @ $C_1=2.2 \text{ nF}$	Częstotliwość graniczna (wartość przybliżona) @ $C_1=2.2 \text{ nF}$
$R_1$	$430\Omega$	$0.94 \mu\text{s}$	170 kHz
$R_2$	$2\text{k}\Omega$	$4.4 \mu\text{s}$	36 kHz
$R_3$	$20\text{k}\Omega$	$44 \mu\text{s}$	3.6 kHz
$R_4$	$200\text{k}\Omega$	$440 \mu\text{s}$	360 Hz
$R_5$	$430\text{k}\Omega$	$940 \mu\text{s}$	170 Hz

Zestawienie elementów dla filtru górnoprzepustowego:

Symbol	Wartość elementu	Stała czasowa $\tau$ @ $R_1=20 \text{ k}\Omega$	Częstotliwość graniczna (wartość przybliżona) @ $R_1=20 \text{ k}\Omega$
$C_1$	47pF	$0.94 \mu\text{s}$	170 kHz
$C_2$	220pF	$4.4 \mu\text{s}$	36 kHz
$C_3$	2.2nF	$44 \mu\text{s}$	3.6 kHz
$C_4$	22nF	$440 \mu\text{s}$	360 Hz
$C_5$	47nF	$940 \mu\text{s}$	170 Hz



Poniżej schemat modułu filtra CR z konfiguracją kompensacji:

