

Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej UMK

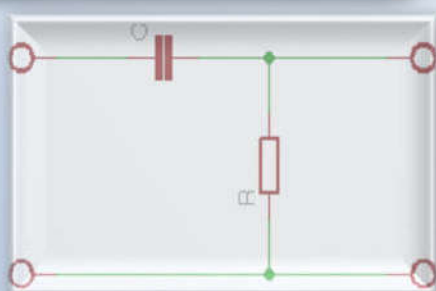
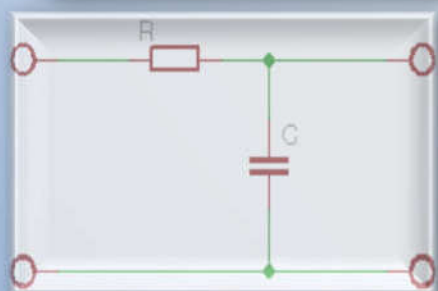
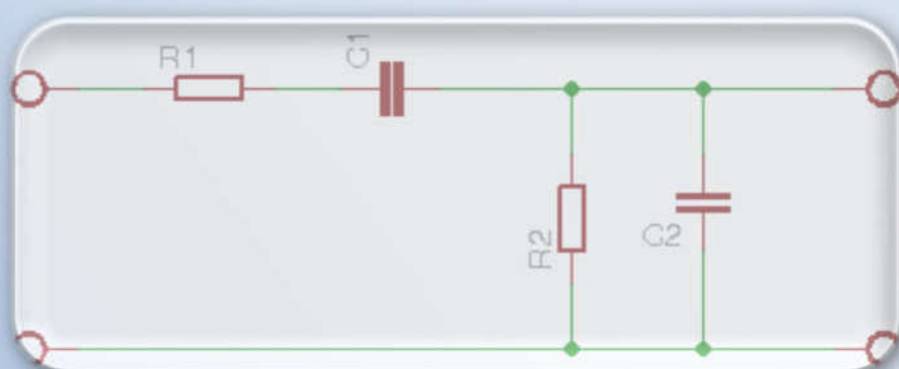
Pracownia Elektroniczna

ZESTAW 1

BADANIE CZWÓRNIKÓW

Z ELEMENTÓW

BIERNYCH



I. WSTĘP TEORETYCZNY

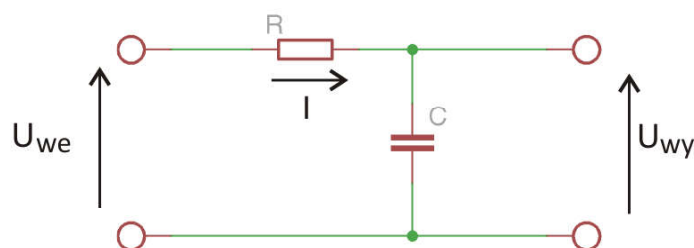
Filtry elektryczne są układami, których działanie jest zależne od częstotliwości sygnału wejściowego. Mają one zakres częstotliwości, dla których przepuszczają sygnał wejściowy - jest to tak zwane pasmo przepuszczania, oraz zakres częstotliwości, dla których nie przepuszczają sygnałów - pasmo zaporowe.

W zależności od konstrukcji filtry mogą być:

- dolnoprzepustowe,
- górnoprzepustowe,
- pasmowoprzepustowe,
- pasmowozaporowe.

1. FILTR DOLNOPRZEPUSTOWY RC

Na rysunku 1 przedstawiono najprostszy układ filtru dolnoprzepustowego, będącego dzielnikiem napięcia zbudowanym z opornika R oraz kondensatora C .



Rys. 1. Filtr dolnoprzepustowy RC.

Analizując działanie układów elektronicznych w obwodach prądu przemiennego wygodnie jest skorzystać z notacji zespolonej. Napięcie przemiennie $U(t)$, o sinusoidalnej zależności od czasu, opisane równaniem:

$$U(t) = U_M \sin(\omega t + \varphi)$$

gdzie:

$U(t)$ - wartość napięcia w chwili t ,

U_M - amplituda napięcia,

ω - częstość kołowa, powiązana z częstotliwością f , i okresem T , zależnością: $\omega = 2\pi f = 2\pi/T$,

φ - faza początkowa,

można przedstawić jako część urojoną wyrażenia zespolonego:

$$U(t) = \text{Im}\{U_M \exp[i(\omega t + \varphi)]\}$$

W analizie pracy układów elektronicznych stosowane jest pojęcie wzmocnienia zespolonego – K_U , zdefiniowanego jako stosunek napięcia wyjściowego z układu – U_{wy} do napięcia wejściowego – U_{we}

$$K_U = \frac{U_{wy}}{U_{we}} = \frac{U_{Mwy} \exp[i(\omega t + \varphi_{wy})]}{U_{Mwe} \exp[i(\omega t + \varphi_{we})]} \\ = \left[\frac{U_{Mwy}}{U_{Mwe}} \right] \exp[i(\varphi_{wy} - \varphi_{we})] = |K_U| \exp[i\varphi] = k_U \exp[i\varphi]$$

gdzie k_U - jest charakterystyką częstotliwościową amplitudową, natomiast $\varphi = \varphi_{wy} - \varphi_{we}$ jest przesunięciem fazowym między napięciem wyjściowym, a napięciem wejściowym.

Analizując układ przedstawiony na rysunku 1, stosując równanie opisujące dzielnik napięcia

$$K_U = \frac{U_{wy}}{U_{we}} = \frac{[1/i\omega C]}{[R + 1/(i\omega C)]}$$

otrzymujemy charakterystykę częstotliwościową:

- amplitudową

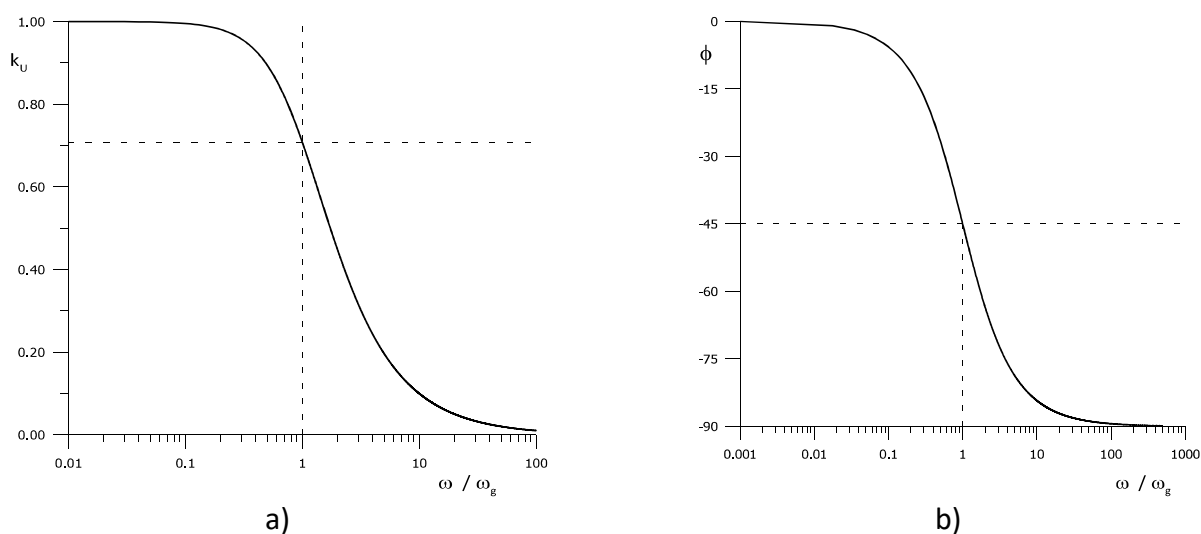
$$k_U = \frac{1}{\sqrt{[1 + (\omega RC)^2]}}$$

oraz

- fazową

$$\varphi = -\arctg(\omega RC)$$

przedstawione na rysunku 2a i 2b.



Rys. 2. Charakterystyka częstotliwościowa filtra dolnoprzepustowego: a) - amplitudowa, b) - fazowa

Jak widać z powyższych rysunków, w zakresie niskich częstotliwości, filtr dolnoprzepustowy przenosi sygnały wejściowe bez zmiany ich amplitudy i przesunięcia fazy. W zakresie wyższych częstotliwości filtr powoduje zmniejszanie amplitudy (tłumienie) sygnału wejściowego oraz opóźnienie jego fazy.

Przyjmując, że pasmo przenoszenia takiego filtra rozciąga się od zera do wartości granicznej częstotliwości kołowej ω_g , odpowiadającej trzydecybelowemu tłumieniu sygnału wejściowego (wtedy $k_U = 1/\sqrt{2}$) otrzymujemy

$$\omega_g = 1/RC$$

Dla filtra dolnoprzepustowego, dla granicznej częstości kołowej, opóźnienie fazy sygnału wyjściowego względem sygnału wejściowego wynosi $\varphi = -45^\circ$.

Filtr dolnoprzepustowy jako układ całkujący

Analizując przedstawiony na rysunku 1 układ filtra dolnoprzepustowego widzimy, że napięcie wyjściowe układu jest napięciem na kondensatorze C. Wartość tego napięcia zależy od wartości ładunku elektrycznego Q zgromadzonego w tym kondensatorze.

$$U_{wy} = Q/C = (1/C) \int I dt$$

gdzie I jest zależnym od czasu natężeniem prądu ładującego kondensator, równym

$$I = \frac{(U_{we} - U_{wy})}{R}$$

otrzymujemy wtedy

$$U_{wy} = (1/RC) \int (U_{we} - U_{wy}) dt$$

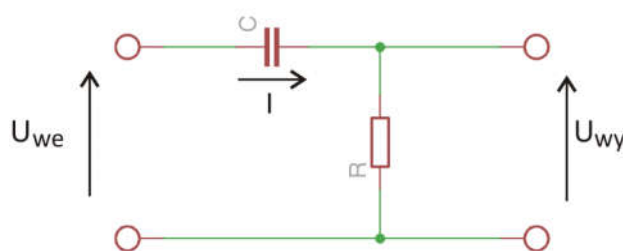
Dla częstości kołowych $\omega \gg \omega_g$ napięcie wyjściowe $U_{wy} \ll U_{we}$ i wtedy

$$U_{wy} = (1/RC) \int U_{we} dt$$

Napięcie wyjściowe jest więc proporcjonalne do całki po czasie z napięcia wejściowego.

2. FILTR GÓRNOPRZEPUSTOWY RC

Na rysunku 3 przedstawiono najprostszy układ filtra górnoprzepustowego, będącego dzielnikiem napięcia zbudowanym z opornika R oraz kondensatora C. Jak widać z porównania rysunków 1 i 3, opornik i kondensator zostały tu zamienione miejscami.



Rys. 3. Filtr górnoprzepustowy RC.

Dokonując analizy analogicznej jak dla filtra dolnoprzepustowego otrzymujemy

$$K_U = \frac{U_{wy}}{U_{we}} = \frac{R}{[R + 1/(i\omega C)]}$$

oraz charakterystykę częstotliwościową:

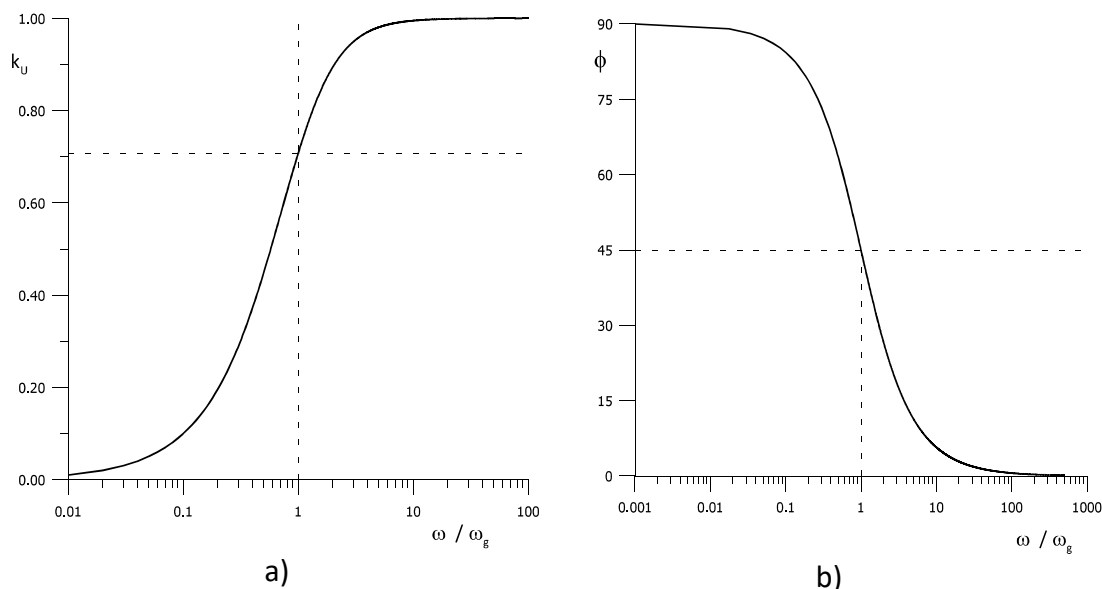
- amplitudową

$$k_U = \frac{\omega RC}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}}$$

oraz fazową

$$\varphi = \arctg(1/\omega RC)$$

przedstawione na rysunku 4a i 4b.



Rys. 4. Charakterystyka częstotliwościowa filtra górnoprzepustowego: a) - amplitudowa, b) - fazowa

Jak widać z powyższych rysunków, filtr górnoprzepustowy nie zmienia amplitudy i fazy sygnałów w zakresie wyższych częstotliwości. W zakresie niższych częstotliwości filtr powoduje zmniejszenie amplitudy (tłumienie) sygnału wejściowego oraz powoduje wyprzedzenie jego fazy.

Graniczna częstość kołowa ω_g , dla filtra górnoprzepustowego wynosi

$$\omega_g = 1/RC$$

a pasmo przenoszenia tego filtra rozciąga się od ω_g do nieskończoności.

Dla filtra górnoprzepustowego, dla granicznej częstości kołowej, wyprzedzenie fazy sygnału wyjściowego względem sygnału wejściowego wynosi $\varphi = 45^\circ$.

Filtr górnoprzepustowy jako układ różniczkujący

Analizując przedstawiony na rysunku 3 układ filtra górnoprzepustowego widzimy, że napięcie wyjściowe układu jest równe spadkowi napięcia na oporniku R

$$U_{wy} = IR$$

gdzie I jest prądem płynącym przez kondensator, opisanym zależnością

$$I = \frac{dQ}{dt} = \frac{d}{dt}[C(U_{we} - U_{wy})]$$

otrzymujemy wtedy

$$U_{wy} = RC \frac{d}{dt}(U_{we} - U_{wy})$$

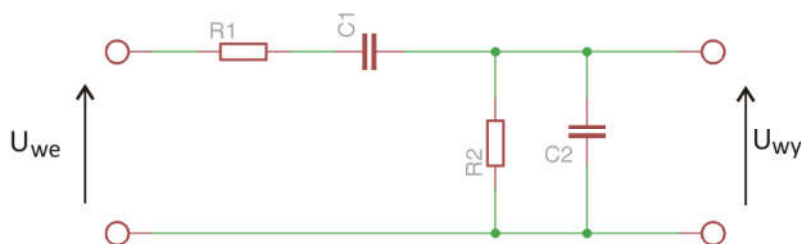
Dla częstości kołowych $\omega \ll \omega_g$ napięcie wyjściowe $U_{wy} \ll U_{we}$ i wtedy

$$U_{wy} = RC \frac{d}{dt}(U_{we})$$

Napięcie wyjściowe jest więc proporcjonalne do pochodnej po czasie napięcia wejściowego.

3. FILTR PASMOWOPRZEPUSTOWY RC (FILTR WIENA)

Łącząc filtry dolno- i górnoprzepustowy (patrz rys. 5) możemy zbudować filtr o charakterystyce pasmowoprzepustowej.



Rys. 5. Filtr pasmowoprzepustowy RC (filtr Wienera).

Analizując powyższy układ jako dzielnik napięcia zbudowany z elementów o impedancjach Z_1 oraz Z_2 otrzymujemy:

$$K_U = \frac{U_{wy}}{U_{we}} = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

gdzie

$Z_1 = R_1 + 1/i\omega C_1$ - jest impedancją opornika R_1 i kondensatora C_1 połączonych szeregowo, a

$Z_2 = \frac{1}{1/R_2 + i\omega C_2}$ - jest impedancją opornika R_2 i kondensatora C_2 połączonych równolegle.

W praktyce najczęściej stosowana jest konfiguracja $R_1 = R_2 = R$, oraz $C_1 = C_2 = C$.

Po przekształceniach, oznaczając $\Omega = \omega RC$ otrzymujemy

$$K_U = \frac{U_{wy}}{U_{we}} = \frac{i\Omega}{1 + 3i\Omega - \Omega^2}$$

i wynikające z tego, charakterystyki częstotliwościowe:

- amplitudową

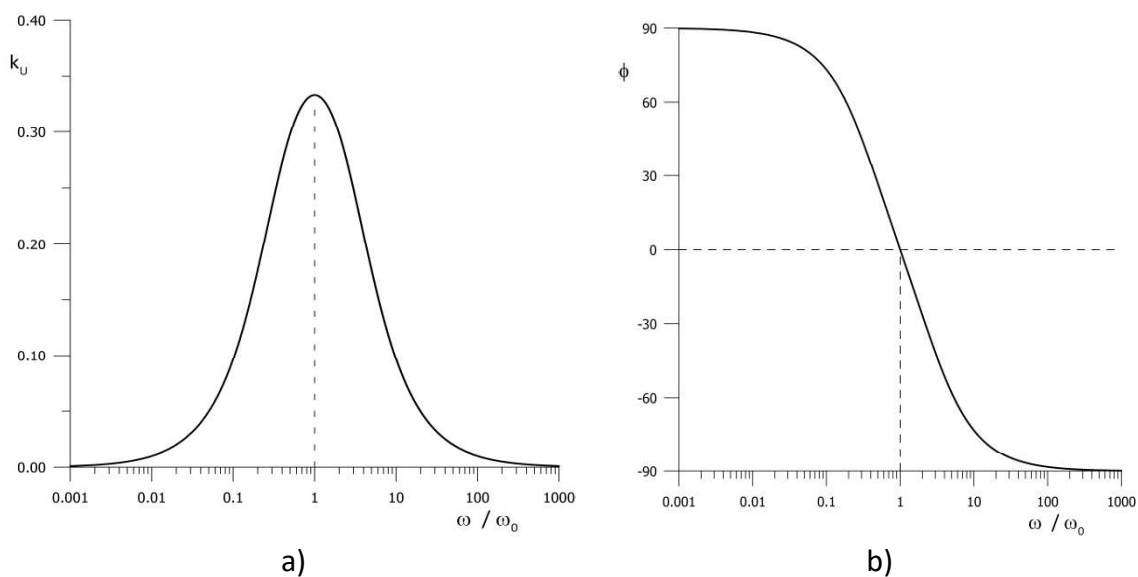
$$k_U = \frac{1}{\sqrt{((1/\Omega) - \Omega)^2 + 9}}$$

oraz

- fazową

$$\varphi = \text{arctg}\left(\frac{1 - \Omega^2}{3\Omega}\right)$$

przedstawione na rysunku 6a i 6b.



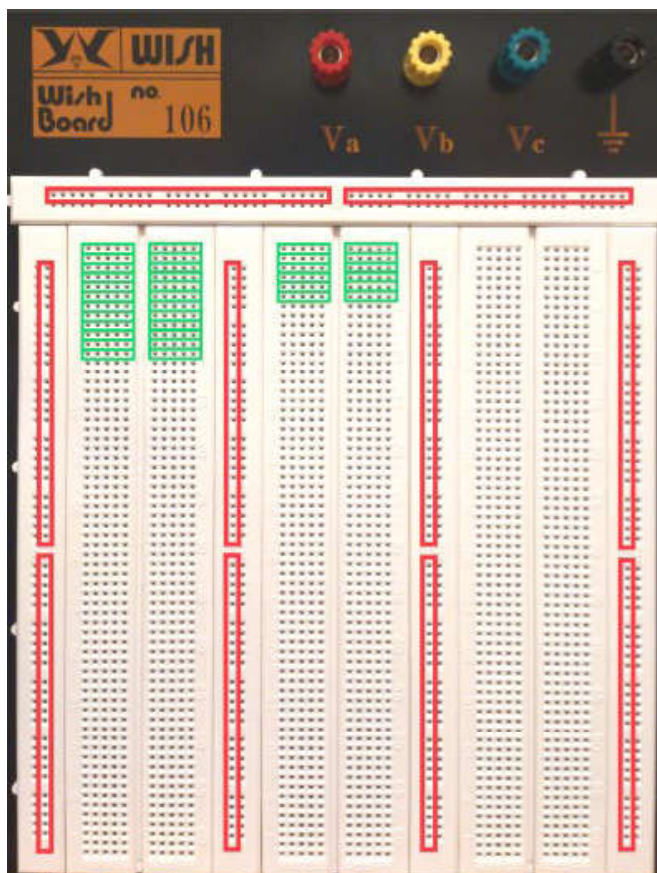
Rys. 6. Charakterystyka częstotliwościowa filtru Wienera: a) - amplitudowa, b) - fazowa

Napięcie wyjściowe osiąga wartość maksymalną dla $\Omega = 1$, co odpowiada wartości centralnej częstotliwości kołowej

$$\omega_0 = 1/RC$$

Współczynnik przenoszenia napięciowego wynosi wtedy $k_U = 1/3$, a przesunięcie fazowe jest zerowe. Istotną cechą tego filtru jest zmiana znaku przesunięcia fazy, zależnie od kierunku odstrojenia częstotliwości sygnału wejściowego względem ω_0 .

II. POMIARY I ICH OPRACOWANIE



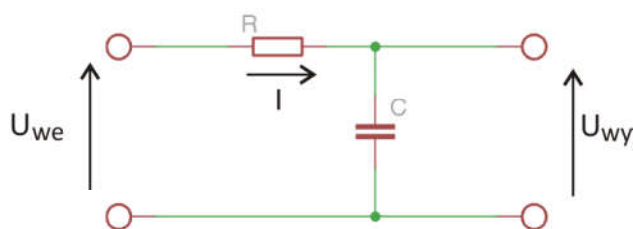
Stykowa płytki prototypowa posiada pod plastikową obudową miedziane paski tworzące ścieżki połączeń umożliwiające połączenia z innymi elementami układu.

Na rysunku obok zaznaczono sposób poprowadzenia ścieżek.

Połączenie kolumnowe (oznaczone na czerwono) często stosuje się do prowadzenia zasilania i masy układu.

1. FILTR DOLNOPRZEPUSTOWY RC.

- 1) Korzystając z zestawu elementów elektronicznych oraz płytki prototypowej zbudować układ przedstawiony na rysunku poniżej:



Wykaz elementów biernych:

$$R = 1.5 \text{ k}\Omega$$

$$C = 10 \text{ nF}$$

- 2) Badanie charakterystyki filtra dolnoprzepustowego.
Do wejścia filtra doprowadzić z generatora sygnał sinusoidalny o częstotliwości 10 kHz i napięciu (międzyszczytowym) $U_{we} = 6 \text{ V}$. Do wejść oscyloskopu doprowadzić sygnał wejściowy i sygnał z wyjścia filtra. Zarejestrować (dokonać zrzutu z oscyloskopu) sygnał wejściowy i wyjściowy filtra, zwracając uwagę na zależności fazowe między sygnałami. Zmierzyć wartość

napięcia wyjściowego U_{wy} (napięcie międzyszczytowe) i wyznaczyć współczynnik przenoszenia napięciowego k_U .

- 3) Postępując analogicznie jak w punkcie 2 wykonać pomiary współczynnika przenoszenia napięciowego k_U , dla częstotliwości sygnału wejściowego kolejno:
 100 Hz, 316 Hz, 1 kHz, 3.16 kHz, 10 kHz, 31.6 kHz, 100 kHz, 316 kHz, 1 MHz, 3.16 MHz
 Wyniki pomiarów przedstawić w postaci tabeli (Tabela 1) oraz wykresu (częstotliwość odkładać w skali logarytmicznej).
 Dla każdej wyznaczonej wartości współczynnika przenoszenia napięciowego k_U oszacować jej błąd Δk_U i przedstawić ją w tabeli oraz zaznaczyć na wykresie.

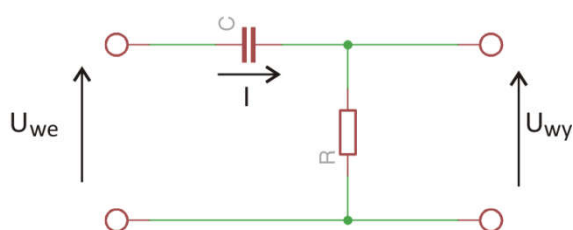
Tabela 1. Wartości napięcia wyjściowego – U_{wy} i współczynnika przenoszenia napięciowego filtra - k_U w funkcji częstotliwości sygnału wejściowego - f .

f [kHz]	0.1	0.316	1.0	3.16	10.0	31.6	100.0	316.0	1000.0	3160.0
U_{wy} [V]										
$k_U = U_{wy} / U_{we}$										
Δk_U										

- 4) Badanie całkowania sygnału przez filtr dolnoprzepustowy
 Do wejścia filtra doprowadzić z generatora sygnał prostokątny o częstotliwości 10 kHz i napięciu (międzyszczytowym) $U_{we} = 6$ V.
 Zaobserwować całkowanie sygnału prostokątnego dla częstotliwości sygnału wejściowego 100 Hz, 1 kHz, 10 kHz, 100 kHz, 1 MHz.
 Spośród tych częstotliwości zarejestrować (dokonać zrzutu z oscyloskopu) sygnał wejściowy i wyjściowy filtra, dla przypadku najlepiej przedstawiającego całkowanie sygnału prostokątnego.

2. FILTR GÓRNOPRZEPUSTOWY RC.

- 1) Korzystając z zestawu elementów elektronicznych oraz płytki prototypowej zbudować układ przedstawiony na rysunku poniżej:



Wykaz elementów biernych:

$$R = 1.5 \text{ k}\Omega$$

$$C = 10 \text{ nF}$$

- 2) Badanie charakterystyki filtra górnoprzepustowego.
 Do wejścia filtra doprowadzić z generatora sygnał sinusoidalny o częstotliwości 10 kHz i napięciu (międzyszczytowym) $U_{we} = 6$ V. Do wejść oscyloskopu doprowadzić sygnał wejściowy i sygnał z wyjścia filtra. Zarejestrować (dokonać zrzutu z oscyloskopu) sygnał wejściowy i

wyjściowy filtra, zwracając uwagę na zależności fazowe między sygnałami. Zmierzyć wartość napięcia wyjściowego U_{wy} (napięcie międzyszczytowe) i wyznaczyć współczynnik przenoszenia napięciowego k_U .

- 3) Postępując analogicznie jak w punkcie 2 wykonać pomiary współczynnika przenoszenia napięciowego k_U , dla częstotliwości sygnału wejściowego kolejno:
 100 Hz, 316 Hz, 1 kHz, 3.16 kHz, 10 kHz, 31.6 kHz, 100 kHz, 316 kHz, 1 MHz, 3.16 MHz
 Wyniki pomiarów przedstawić w postaci tabeli (Tabela 2) oraz wykresu (częstotliwość odkładać w skali logarytmicznej).
 Dla każdej wyznaczonej wartości współczynnika przenoszenia napięciowego k_U oszacować jej błąd Δk_U i przedstawić ją w tabeli oraz zaznaczyć ją na wykresie.

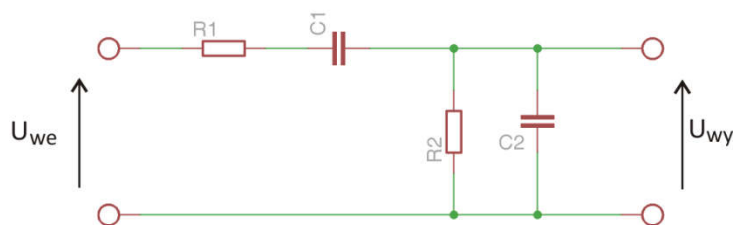
Tabela 2. Wartości napięcia wyjściowego – U_{wy} i współczynnika przenoszenia napięciowego filtra - k_U w funkcji częstotliwości sygnału wejściowego - f .

f [kHz]	0.1	0.316	1.0	3.16	10.0	31.6	100.0	316.0	1000.0	3160.0
U_{wy} [V]										
$k_U = U_{wy} / U_{we}$										
Δk_U										

- 4) Badanie różniczkowania sygnału przez filtr górnoprzepustowy
 Do wejścia filtra doprowadzić z generatora sygnał prostokątny o częstotliwości 10 kHz i napięciu (międzyszczytowym) $U_{we} = 6$ V.
 Zaobserwować różniczkowanie sygnału prostokątnego dla częstotliwości sygnału wejściowego 100 Hz, 1 kHz, 10 kHz, 100 kHz, 1 MHz.
 Spośród tych częstotliwości zarejestrować (dokonać zrzutu z oscyloskopu) sygnał wejściowy i wyjściowy filtra, dla przypadku najlepiej przedstawiającego różniczkowanie sygnału prostokątnego.

3. FILTR PASMOWOPRZEPUSTOWY RC (FILTR WIENA).

- 1) Korzystając z zestawu elementów elektronicznych oraz płytki prototypowej zbudować układ przedstawiony na rysunku poniżej:



Wykaz elementów biernych:

$$R_1 = 1.5 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 1.5 \text{ k}\Omega$$

$$C_1 = 10 \text{ nF}$$

$$C_2 = 10 \text{ nF}$$

- 2) Badanie charakterystyki filtra pasmowo przepustowego.
 Do wejścia filtra doprowadzić z generatora sygnał sinusoidalny o częstotliwości 10 kHz i napięciu (międzyszczytowym) $U_{we} = 6$ V. Do wejść oscyloskopu doprowadzić sygnał wejściowy

i sygnał z wyjścia filtru. Zarejestrować (dokonać zrzutu z oscyloskopu) sygnał wejściowy i wyjściowy filtru, zwracając uwagę na zależności fazowe między sygnałami. Zmierzyć wartość napięcia wyjściowego U_{wy} (napięcie międzyszczytowe) i wyznaczyć współczynnik przenoszenia napięciowego k_U .

- 3) Postępując analogicznie jak w punkcie 2 wykonać pomiary współczynnika przenoszenia napięciowego k_U , dla częstotliwości sygnału wejściowego kolejno:
 100 Hz, 316 Hz, 1 kHz, 3.16 kHz, 10 kHz, 31.6 kHz, 100 kHz, 316 kHz, 1 MHz, 3.16 MHz, 10 MHz
 Wyniki pomiarów przedstawić w postaci tabeli (Tabela 3) oraz wykresu (częstotliwość odkładać w skali logarytmicznej).
 Dla każdej wyznaczonej wartości współczynnika przenoszenia napięciowego k_U oszacować jej błąd Δk_U i przedstawić ją w tabeli oraz zaznaczyć ją na wykresie.

Tabela 3 Wartości napięcia wyjściowego – U_{wy} i współczynnika przenoszenia napięciowego filtru - k_U w funkcji częstotliwości sygnału wejściowego - f .

f [kHz]	0.1	0.316	1.0	3.16	10.0	31.6	100.0	316.0	1000.0	3160.0
U_{wy} [V]										
$k_U = U_{wy} / U_{we}$										
Δk_U										

4. WYZNACZENIE CZĘSTOTLIWOŚĆ GRANICZNYCH I CENTRALNEJ FILTRÓW.

- 1) Korzystając z wykonanych wykresów współczynnika przenoszenia napięciowego - k_U w funkcji częstotliwości sygnału wejściowego - f , wyznaczyć metodą graficzną:
- częstotliwość graniczną filtru dolnoprzepustowego - f_g ,
 - częstotliwość graniczną filtru górnoprzepustowego - f_g ,
 - częstotliwość centralna filtru pasmowoprzepustowego (filtru Wiena) - f_0 .

i porównać je z wartością obliczoną z zależności $f_{g/0} = \frac{1}{2\pi RC}$ przyjmując:

$R = 1.5 \text{ k}\Omega$, $C = 10 \text{ nF}$ oraz tolerancję elementów 10%

Tolerancja - określa maksymalne dopuszczalne odchyłki, wyrażone w procentach wartości znamionowej.

LITERATURA

1. P. Horowitz, W. Hill "Sztuka elektroniki" Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 2006
2. U. Tietze, C. Schenk " Układy półprzewodnikowe" Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 2009
3. R. Śledziwski "Elektronika dla fizyków" Państwowe Wydawnictwo Naukowe, 1984
4. T. Stacewicz, A. Kotlicki "Elektronika w laboratorium naukowym" Państwowe Wydawnictwo Naukowe, 1994
5. Ch. Platt "Elektronika - Od praktyki do teorii" Wydawnictwo Helion, 2013
6. A. Bielski, R. Ciuryło "Podstawy metod opracowania pomiarów" Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, 2001