

Filtry aktywne – filtr dolnoprzepustowy

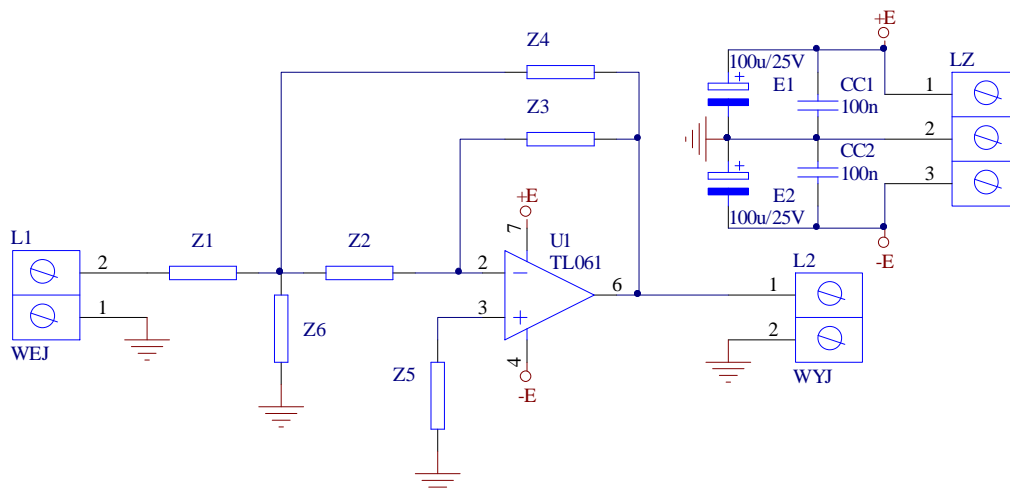
1. Cel ćwiczenia.

Celem ćwiczenia jest praktyczne poznanie właściwości filtrów aktywnych, metod ich projektowania oraz pomiaru podstawowych parametrów filtru.

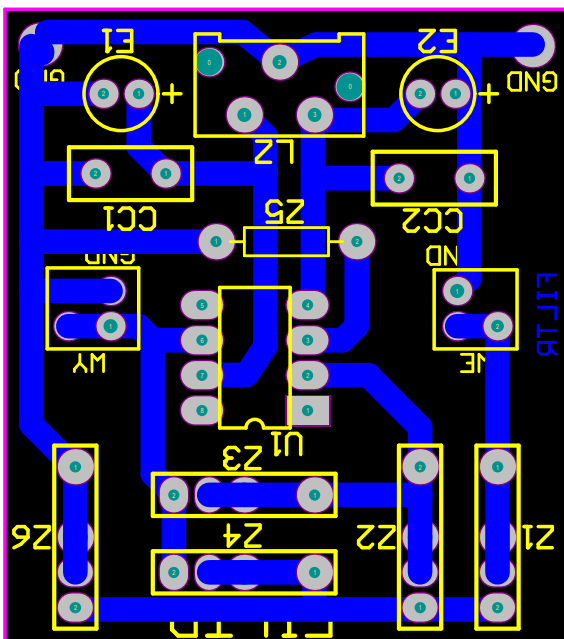
2. Budowa układu.

Na rys.1a przedstawiono schemat układu z wielokrotną pętlą sprzężenia zwrotnego, w którym możliwa jest realizacja aktywnego filtra dolno-, górno- lub środkowo przepustowego. Rys.1b przedstawia widok płytki drukowanej według schematu z rys.1a.

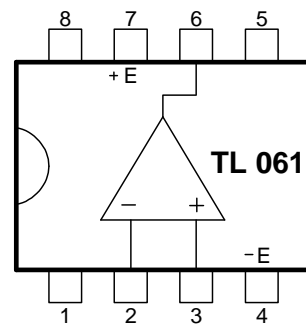
a)



b)



c)



- 1 – regulacja offsetu 1
- 2 – wejście odwracające
- 3 – wejście nieodwracające
- 4 – -E
- 5 – regulacja offsetu 2
- 6 – wyjście
- 7 – +E
- 8 – N.C.

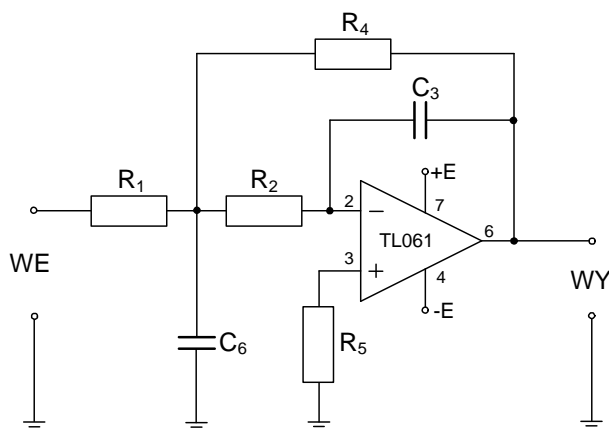
Rys.1. Układ z wielokrotną pętlą sprzężenia: a) schemat zastępczy układu, b) widok płytki z rozmieszczeniem elementów, c) wzmacniacz operacyjny TL061 – wprowadzenie pinów.

Tab.1. Podstawowe parametry wzmacniacza operacyjnego TL 061

Symbol	Parametr	Warunki pomiaru	Wartości			Jedn.
			Min	Typ	Max	
$\pm E$	Napięcie zasilania			± 18		V
V_I	Maksymalne napięcie wejściowe			± 15		V
P_{max}	Maksymalna moc			680		mW
V_{IO}	Wejściowe napięcie niezrównoważenia	$U_O = 0V$		3	15	mV
I_{IO}	Wejściowy prąd niezrównoważenia			5	100	pA
K_{UR}	Różnicowe wzmocnienie napięciowe	$R_L = 2k\Omega$, $f = 10Hz$		10^5		V/V
GB	Pole wzmocnienia (<i>gain bandwidth</i>)	$R_L = 10k\Omega$		1		MHz
R_i	Rezystancja wejściowa			10^{12}		Ω
R_o	Rezystancja wyjściowa			60		Ω
CMRR	współczynnik tłumienia sygnału wspólnego		80	86		dB
SR	szybkość zmian napięcia wyjściowego	$V_I = 10mV$, $R_L = 10k\Omega$, $K_u = 1$	1.5	3,5		V/ μs

2.1. Filtr dolnoprzepustowy

Na rys.2 przedstawiono układ filtru aktywnego dolnoprzepustowego realizowanego w strukturze układu z rys.1.



Rys.2. Filtr aktywny dolnoprzepustowy

Transmitancja filtru dolnoprzepustowego II rzędu z rys.2 ma postać:

$$H_D = \frac{U_{WY}(s)}{U_{WE}(s)} = \frac{\frac{K_U}{R_2 R_4 C_3 C_6}}{s^2 + \frac{s}{C_6} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_2} \right) + \frac{1}{R_2 R_4 C_3 C_6}}, \quad (1)$$

gdzie: $K_u = -\frac{R_4}{R_1}$ – wzmocnienie.

Wyznaczenie parametrów filtru dolnoprzepustowego dla zadanych: α , f_{gran} , C_6 , C_3 , ($C_6 > C_3$):

$$|K_U| = \frac{C_6 \alpha^2}{4C_3} - 1 \quad , \quad (2)$$

$$R_4 = \frac{\alpha}{4\pi f_{char} C_3} \quad , \quad (3)$$

$$R_1 = \frac{R_4}{|K_U|} \quad , \quad (4)$$

$$R_2 = \frac{\alpha}{4\pi f_{char} C_3 (|K_U| + 1)} \quad , \quad (5)$$

$$R_5 = R_2 + \frac{R_1 R_4}{R_1 + R_4} \quad , \quad (6)$$

$$f_{char} = \frac{1}{2\pi \sqrt{R_2 R_4 C_3 C_6}} \quad , \quad (7)$$

gdzie: α – współczynnik tłumienia filtru (tabela 1),
 f_{gran} – częstotliwość graniczna tj. częstotliwość przy 3dB spadku wzmacnienia,
 f_{char} – częstotliwość charakterystyczna filtru tj. częstotliwość przy której przesunięcie fazy równe jest 90^0 ,
 R_5 – rezystor stosowany w celu zminimalizowania błędu niezrównoważenia.

Częstotliwość graniczna jedynie dla filtru Butterwortha pokrywa się z częstotliwością charakterystyczną. Podczas projektowania pozostałych typów filtrów zachodzi konieczność pomnożenia częstotliwości charakterystycznej przez odpowiedni współczynnik korekcyjny k_p .

$$f_{gran} = f_{char} k_p \quad . \quad (8)$$

Wartości współczynników dla danych typów filtrów umieszczono w tabeli 1.

Tabela 1. Typy filtrów drugiego rzędu i ich współczynniki

Typ filtru	Współczynnik tłumienia α	Współczynnik korekcyjny k_p
Bessela	1,732	0,786
Butterwortha	1,414	1
Czebyszewa 0,5dB	1,158	1,158
Czebyszewa 1dB	1,054	1,240
Czebyszewa 2dB	0,886	1,333
Czebyszewa 3dB	0,766	1,389

3. Przygotowanie do zajęć.

3.1. Materiały źródłowe

- [1] Materiały Laboratorium i Wykładów Zespołu Układów Elektronicznych.
- [2] U. Tietze, Ch. Schenk, Układy półprzewodnikowe, WNT, Warszawa, 2009, s. 843-862, 867-868.
- [3] P. Horowitz, W. Hill, Sztuka elektroniki, WKiŁ, Warszawa, 2003, s. 278-296.
- [4] S. Kuta, Elementy i układy elektroniczne, cz.1, AGH, Kraków, 2000, s. 284-296.

3.2. Pytania kontrolne

1. Podstawowe różnice między filtrami aktywnymi a biernymi.
2. Klasyfikacja filtrów aktywnych.
3. Podstawowe parametry filtrów aktywnych.
4. Właściwości i podstawowe parametry wzmacniaczy operacyjnych.
5. Omówić filtry o charakterystykach:
 - amplitudowej maksymalnie płaskiej,
 - amplitudowej równomiernej falistej,
 - fazowej maksymalnie liniowej.
6. Różnica pomiędzy częstotliwością graniczną a charakterystyczną.

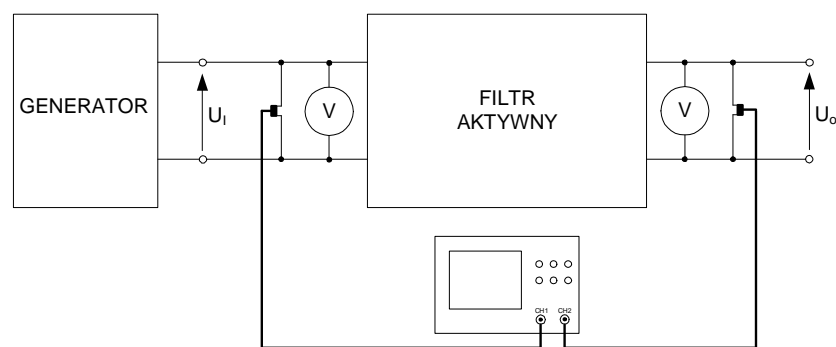
3.3. Zadanie projektowe

Dla zadanych przez prowadzącego parametrów filtra dolnoprzepustowego:

1. obliczyć i dobrać elementy filtra (wartości rezystorów z szeregu E24, kondensatorów z wartości dostępnych w laboratorium: 1n, 1n5, 3n3, 4n7, 6n8, 10n, 15n, 22n, 100nF),
2. sporządzić wykres z charakterystykami częstotliwościowymi filtra (np. PSpice). Wykres przygotować w skali, która umożliwi naniesienie również rzeczywistych charakterystyk mierzonych w laboratorium.
3. sporządzić wykres z odpowiedzią układu na pobudzenie skokiem jednostkowym (PSpice).

4. Przebieg ćwiczenia.

1. Złożyć układ filtra dolnoprzepustowego zgodnie z rys.2.
2. Zasilić wzmacniacz operacyjny napięciem ± 15 V.
3. Do WE podłączyć generator przebiegu sinusoidalnego. Równoległe do wejścia i wyjścia układu podłączyć woltomierze oraz sondy oscyloskopu (rys.3).



Rys.3. Układ do pomiaru właściwości filtra aktywnego

4. Obserwując stosunek napięć na wyjściu i wejściu układu określić częstotliwość graniczną oraz stopień zafalowania charakterystyki amplitudowej filtra. Wyjaśnić ewentualne różnice pomiarami a założeniami projektowymi. W razie konieczności skorygować dobór elementów w układzie.
5. Pomiar charakterystyk częstotliwościowych filtra. Przy stałej amplitudzie sygnału z generatora, dobranej tak by filtr pracował liniowo, zmieniać częstotliwość generowanego sygnału w zakresie od 10 Hz do 1MHz.
 - odczytywać stosunek napięcia wyjściowego do wejściowego (ch-ka amplitudowa). Wyniki pomiarów nanosić na przygotowany wykres z charakterystyką symulacyjną.
 - odczytywać wartość przesunięcia fazowego pomiędzy napięciami wejściowym a wyjściowym (ch-ka fazowa). Pomiary przesunięcia fazowego wykonywać metodą oscyloskopową opisaną

w Dodatku A. Wyniki pomiarów nanosić na przygotowany wykres z charakterystyką symulacyjną.

6. Pomiar odpowiedzi impulsowej filtru.

- na wejście filtru podać falę prostokątną o częstotliwości powtarzania kilkakrotnie niższej od częstotliwości granicznej filtru,
- na przygotowany wykres, nanieść przebiegi napięcia wejściowego i wyjściowego,
- wyznaczyć następujące parametry przebiegów: czas narastania, opadania i ustalania.

4. Wnioski.

1. Porównać otrzymane parametry filtru z założeniami projektowymi (wskazać i uzasadnić różnice wyników teoretycznych i rzeczywistych).
2. Określić zakres pasma przepustowego badanego filtru.
3. Opisać parametry odpowiedzi impulsowej filtru. Co opisuje odpowiedź impulsowa filtru i jakie parametry filtru mają na nią wpływ.

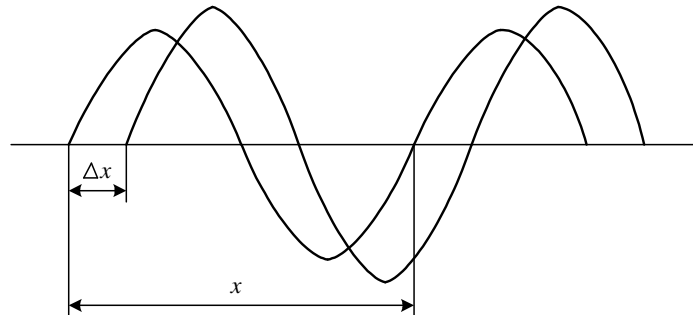
DODATEK A

Pomiar przesunięcia fazowego metoda oscyloskopową

Pomiar przesunięcia fazowego pomiędzy dwoma sygnałami najprościej wykonać na ekranie oscyloskopu. Podczas pomiaru należy pamiętać, że osie zerowe obu przebiegów muszą się pokrywać jak pokazano na rys.A.1. Wówczas przesunięcie pomiędzy przebiegami obliczamy:

$$\varphi = 360^\circ \frac{\Delta x}{x} , \quad (\text{A.1})$$

gdzie: Δx , x - odstępów odczytywane z ekranu oscyloskopu rys.A.1

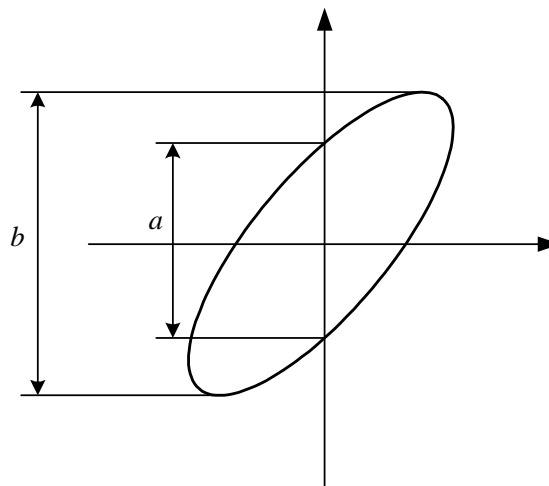


Rys.A.1. Idea pomiaru przesunięcia fazowego w trybie pracy dwukanałowej oscyloskopu

Przesunięcie to można również zmierzyć przy wykorzystaniu krzywej Lissajous uzyskanej na ekranie oscyloskopu pracującego w trybie X-Y (rys.A.2). Przesunięcie fazowe pomiędzy przebiegami obliczamy ze wzoru:

$$\varphi = \arcsin \frac{a}{b} , \quad (\text{A.2})$$

gdzie: a , b - odstępów odczytywane z ekranu oscyloskopu rys.A.2



Rys.A.2. Idea pomiaru przesunięcia fazowego w trybie pracy X-Y oscyloskopu