

Ćwiczenie - 1

**OBSŁUGA GENERATORA I OSCYLOSKOPU.
WYZNACZANIE CHARAKTERYSTYKI
AMPLITUDOWEJ I FAZOWEJ NA PRZYKŁADZIE
FILTRU RC.**

Spis treści

1	Cel ćwiczenia	2
2	Podstawy teoretyczne	2
2.1	Charakterystyki częstotliwościowe	2
2.2	Eksperymentalne wyznaczenie charakterystyki amplitudowej i fazowej	4
2.3	Dolnoprzepustowy filtr RC I rzędu	5
3	Przebieg ćwiczenia	6
3.1	Zapoznanie z obsługą oscyloskopu i generatora	6
3.2	Wyznaczenie charakterystyki amplitudowej i fazowej	6
3.3	Rejestracja przebiegów z oscyloskopu	6
4	Sprawozdanie	7
5	Niezbędne wyposażenie	7
	Protokół	8
	Wyniki pomiarów i obliczeń	8
	Charakterystyki	9
	Przykładowe obliczenia	9

1 Cel ćwiczenia

- Zapoznanie z podstawowymi funkcjami generatora i oscyloskopu.
- Utrwalenie sposobu wyznaczania charakterystyk amplitudowych i fazowych dwoma metodami.

2 Podstawy teoretyczne

2.1 Charakterystyki częstotliwościowe

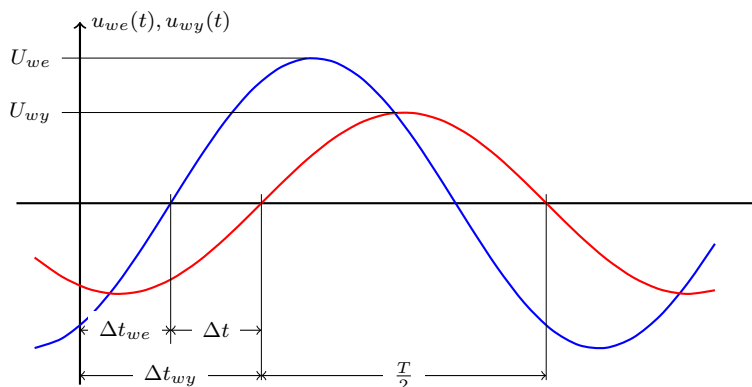
Podstawową metodą określania właściwości układów liniowych jest wyznaczanie charakterystyk Bodego czyli charakterystyk częstotliwościowych. Charakterystyka częstotliwościowa opisuje odpowiedź układu na wymuszenie sinusoidalne o częstotliwości zmieniającej się w określonym zakresie.

Niech sygnał wejściowy będzie określony w następujący sposób

$$u_{we}(t) = U_{we} \sin(2\pi ft - \varphi_{we}), \quad (1)$$

wtedy odpowiedź układu liniowego w stanie ustalonym, możemy opisać jako

$$u_{wy}(t) = U_{wy} \sin(2\pi ft - \varphi_{wy}). \quad (2)$$

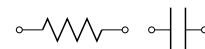


Rysunek 1: Przebieg sygnału wejściowego oraz odpowiedzi układu

Odpowiedź układu jest sygnałem sinusoidalnym o tej samej częstotliwości, ale w ogólnym przypadku o innej amplitudzie i fazie. Przy czym zmiana amplitudy i fazy sygnału po przejściu przez układ zależy od częstotliwości f .

Charakterystyka amplitudowa $K_u = K_u(f)$ jest to stosunek amplitudy sygnału wyjściowego do amplitudy sygnału wejściowego w funkcji częstotliwości:

$$K_u(f) = \frac{U_{wy}(f)}{U_{we}(f)} \quad (3)$$



W elektronice podaje się często logarytmiczną miarę $K_{u[dB]}$ stosunku amplitud $K_u = \frac{U_{wy}}{U_{we}}$. Logarytmiczną miarę której jednostką jest decybel, określamy w następujący sposób:

$$K_{u[dB]} = 20 \log_{10} K_u = 20 \log_{10} \frac{U_{wy}}{U_{we}} [dB].$$

Charakterystyka fazowa $\varphi = \varphi(f)$ jest to przesunięcie fazowe sygnału wyjściowego względem wejściowego w funkcji częstotliwości:

$$\varphi(f) = \varphi_{we}(f) - \varphi_{wy}(f), \quad (4)$$

gdzie:

- faza sygnału wejściowego

$$\varphi_{we}(f) = \frac{\Delta t_{we}}{T} 360 = \Delta t_{we} f 360, \quad (5)$$

- faza sygnału wyjściowego

$$\varphi_{wy}(f) = \frac{\Delta t_{wy}}{T} 360 = \Delta t_{wy} f 360, \quad (6)$$

- przesunięcie fazowe sygnału wyjściowego względem wejściowego

$$\varphi = \frac{\Delta t_{we} - \Delta t_{wy}}{T} 360 = \frac{-\Delta t}{T} 360 = -\Delta t f 360.$$

Gdy przesunięcie jest ujemne oznacza to że sygnał wyjściowy jest opóźniony w stosunku do sygnału wejściowego.

Charakterystyka amplitudowa pokazuje jak układ wzmacnia lub tłumi określone składowe widmowe sygnału w zależności od ich częstotliwości. Charakterystyka fazowa pokazuje jak układ opóźnia sygnał wyjściowy względem wejściowego dla różnych częstotliwości sygnału wejściowego.

Oś częstotliwości (pozioma) wykresu charakterystyki amplitudowej i fazowej może być wyskalowana w hercach lub radianach na sekundę, zarówno w sposób liniowy jak i logarytmiczny. Oś amplitudy (pionowa) jest niemianowana, lecz może być wyskalowana w decybelach. Oś przesunięcia fazowego (pionowa) może być wyskalowana w stopniach lub radianach.

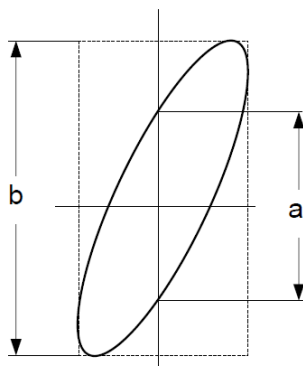
Do opisu układu oraz jego charakterystyki amplitudowej służą takie pojęcia jak:

- **3 dB pasmo przenoszenia** - zakres częstotliwości dla której układ wnosi tłumienie nie większe niż $3dB$, czyli sygnał na wyjściu maleje nie więcej $\sqrt{2}$ - krotnie,
- **częstotliwość graniczna** - wartość graniczna częstotliwości dla której kończy się pasmo przenoszenia układu, czyli jest to częstotliwość dla której tłumienie wynosi $3dB$, czyli $K_u = \frac{U_{wy}}{U_{we}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$
- **nachylenie charakterystyki** - jest to szybkość opadania lub narastania charakterystyki amplitudowej, mierzona w decybelach na dekadę (czyli zmiana wzmocnienia liczona w decybelach przypadająca na 10-krotną zmianę częstotliwości) lub decybelach na oktawę (czyli zmiana wzmocnienia liczona w decybelach przypadająca na 2-krotną zmianę częstotliwości)

2.2 Eksperymentalne wyznaczenie charakterystyki amplitudowej i fazowej

Eksperymentalne wyznaczenie charakterystyki amplitudowej układu polega na podaniu na jego wejście sygnału sinusoidalnego o stałej amplitudzie, dokonaniu pomiaru amplitudy sygnału obserwowanego na wyjściu układu. Iloraz amplitudy sygnału na wyjściu do amplitudy sygnału na wejściu stanowi pionową współrzędną pojedynczego punktu wykresu charakterystyki amplitudowej, gdzie poziomą współrzędną jest częstotliwość sygnału.

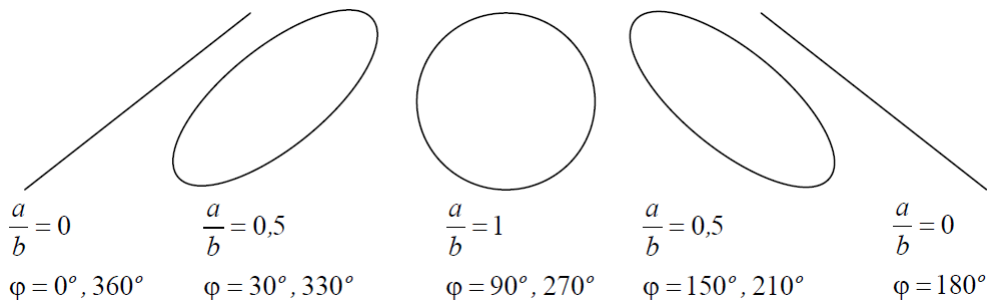
Eksperymentalne wyznaczenie charakterystyki fazowej polega na pomiarze przesunięcia pomiędzy sygnałem wejściowym i wyjściowym. Przesunięcie fazowe można zmierzyć dwoma metodami: metodą klasyczną oraz metodą figur Lissajous. Metoda klasyczna polega na pomiarze przesunięcia fazowego jako kąt odpowiadający przedziałowi czasu opóźnienia między sygnałem wyjściowym i wejściowym. Metoda figur Lissajous polega na wyznaczeniu kąta na podstawie elipsy uzyskanej dla danej częstotliwości.



Rysunek 2: Pomiar przesunięcia za pomocą elipsy Lissajous

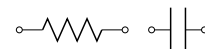
Znając parametry a i b elipsy Lissajous, przesunięcie wyznaczamy jako

$$\varphi = \arcsin \frac{a}{b} \quad (7)$$

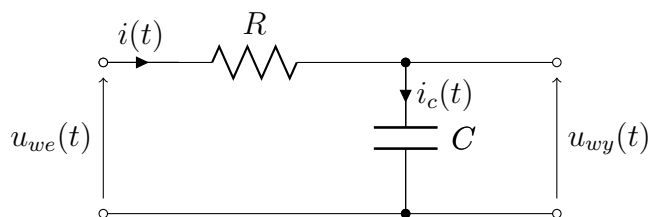


Rysunek 3: Przykładowe elipsy Lissajous

Precyzyjne wykreślenie charakterystyk wymaga wielokrotnego powtórzenia takiego pomiaru dla szerokiego przedziału częstotliwości i połączenie punktów linią ciągłą.



2.3 Dolnoprzepustowy filtr RC I rzędu



Rysunek 4: Dolnoprzepustowy filtr RC I rzędu

Dla powyższego układu można zapisać następujące równania oraz wynikające z nich równanie różniczkowe:

$$\left. \begin{aligned} u_{we}(t) &= u_{wy}(t) + Ri(t) \\ i(t) &= i_c(t) = C \frac{du_{wy}(t)}{dt} \end{aligned} \right\} \Rightarrow u_{we}(t) = u_{wy}(t) + RC \frac{du_{wy}(t)}{dt}$$

Stosując transformację Laplace'a do powyższego równania otrzymujemy **transmitancję operatorową filtra RC I rzędu**:

$$H(s) = \frac{U_{wy}(s)}{U_{we}(s)} = \frac{1}{RCs+1}$$

Podstawiając $s = j\omega$ otrzymujemy zależność opisująca charakterystykę amplitudową:

$$K_u(\omega) = |H(s = j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + (RC\omega)^2}} \quad (8)$$

Zależność opisująca charakterystykę fazową:

$$\varphi(\omega) = \arg(H(s = j\omega)) = \arctan(-RC\omega) \quad (9)$$

Znając zależność opisującą charakterystykę amplitudową, częstotliwość graniczną ω_g dolnoprzepustowego filtra RC pierwszego rzędu można wyznaczyć z następującego równania:

$$-3dB = 20 \log_{10} K_u(\omega_g) \quad (10)$$

Uwzględniając własności logarytmu, zależność 8 oraz $\omega_g = 2\pi f_g$ z 10 otrzymujemy wzór na **częstotliwość graniczną filtra RC I rzędu**:

$$f_g = \frac{1}{2\pi RC}$$

3 Przebieg ćwiczenia

3.1 Zapoznanie z obsługą oscyloskopu i generatora

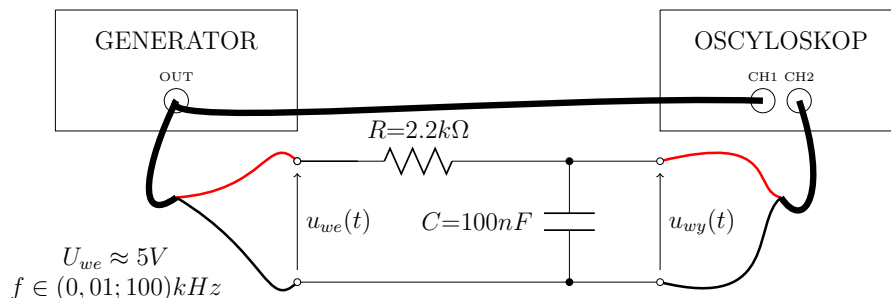
Zadania do zrealizowania:

- oscyloskop, generator - omówienie - połączenie oscyloskopu z generatorem,
- włączenie i wyłączenie kanału, pozycjonowanie w osi czasu i amplitudy, wzmocnienia w osi czasu i amplitudy, wyzwalanie, sprzężenie AC i DC, tryb XT, tryb XY
- pomiary parametrów sygnałów, kursory, pomiary przesunięć, zapisywanie przebiegów (pen-drive do 1GB)

3.2 Wyznaczenie charakterystyki amplitudowej i fazowej

Zadania do zrealizowania:

- wykonanie pomiarów dwoma metodami:
 - metoda klasyczna - oscyloskop w trybie XT,
 - metoda figur Lissajous - oscyloskop w trybie XY.
- wykonanie obliczeń oraz wykreślenie charakterystyki amplitudowej i fazowej

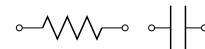


Rysunek 5: Schemat układu pomiarowego

Połączyć układ jak na rysunku 5. Na kanale pierwszym i drugim oscyloskopu ustawić sprzężenie AC. Na wejście układu podać przebieg sinusoidalny. Dokonać pomiaru napięcia międzyszczytowego U_{pp}^{we} na wejściu oraz U_{pp}^{wy} na wyjściu. Zmierzyć częstotliwość sygnału wejściowego oraz przesunięcie pomiędzy sygnałem wejściowym i wyjściowym dwoma metodami. Pomiary wykonać dla sygnałów o częstotliwości z zakresu od $10Hz$ do $100kHz$. Wykonać obliczenia K_u , $K_{u[dB]}$ i φ . Wyniki pomiarów zapisać w tabeli 1 i ???. Na rysunku 7 i 8 wykreślić charakterystykę amplitudową i fazową.

3.3 Rejestracja przebiegów z oscyloskopu

Zaobserwować przebiegi napięci na wejściu filtra RC dla różnych częstotliwości i dla następujących kształtów sygnału wejściowego: sinusoidalny, prostokątny i trójkątny.



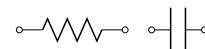
4 Sprawozdanie

Sprawozdanie powinno zawierać:

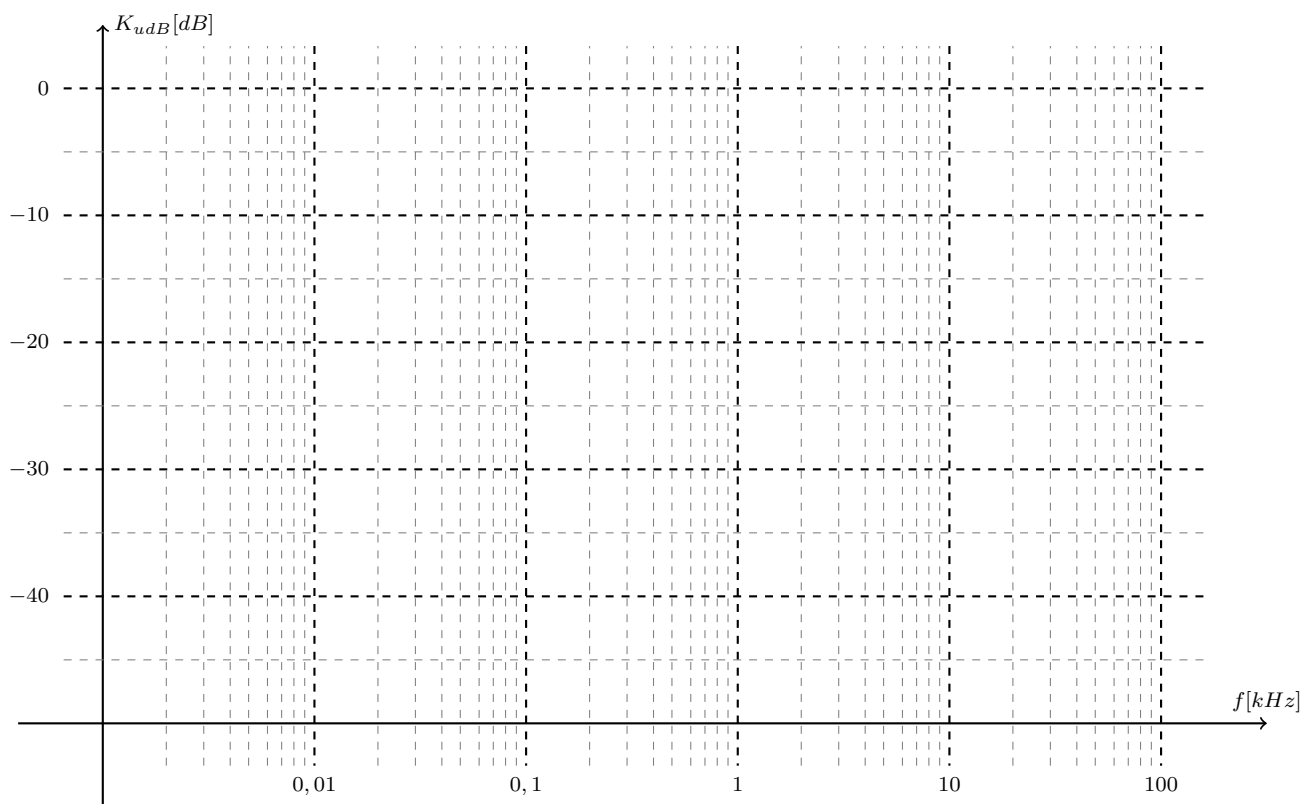
- wyniki pomiarów i obliczeń
- przykładowe obliczenia
- przykładowe przebiegi zaobserwowane na oscyloskopie z zaznaczeniem wielkości niezbędnych do wyznaczenia charakterystyk częstotliwościowych
- charakterystyki częstotliwościowe filtra RC uzyskane na podstawie pomiarów oraz porównanie ich z charakterystykami teoretycznymi
- interpretacja charakterystyk z uwzględnieniem, pasma przenoszenia, częstotliwości granicznej oraz stromości charakterystyki

5 Niezbędne wyposażenie

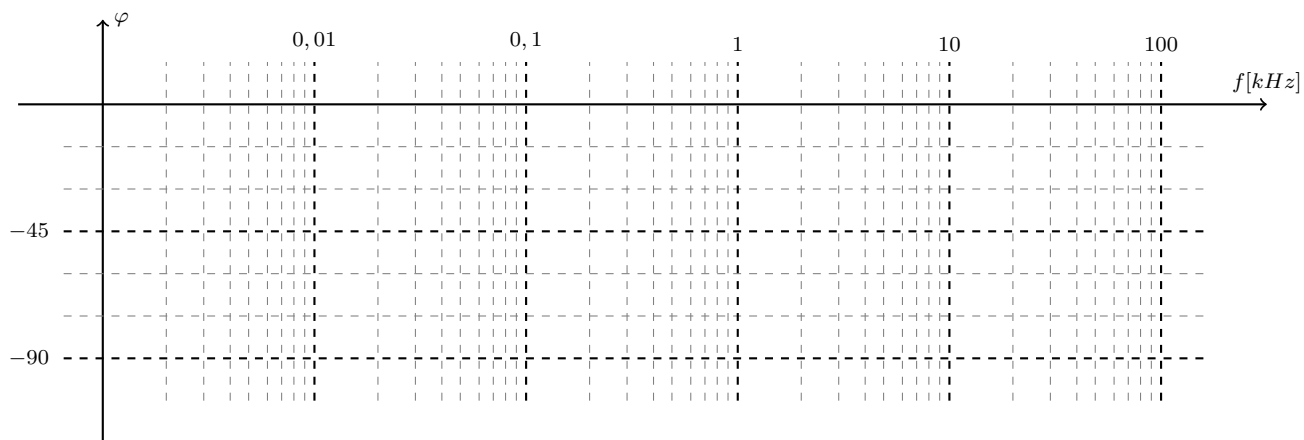
- kalkulator naukowy
- pendrive do 1GB lub aparat fotograficzny do rejestracji przebiegów z oscyloskopu
- protokół



Charakterystyki



Rysunek 7: Charakterystyka amplitudowa



Rysunek 8: Charakterystyka fazowa

Przykładowe obliczenia: