E2. BADANIE OBWODÓW PRĄDU PRZEMIENNEGO

tekst opracowały: *Jadwiga Szydłowska i Bożena Janowska-Dmoch*

Badać będziemy charakterystyki obwodów zawierających różne układy elementów takich jak: opornik, cewka i kondensator, połączonych ze sobą szeregowo a zasilanych napięciem zmiennym sinusoidalnie. W obwodach zasilanych zmienną sinusoidalnie siłą elektromotoryczną zawierających tylko oporniki omowe natężenie prądu jest, zgodnie z prawem Ohma, wprost proporcjonalne do przyłożonego napięcia. Obecność w obwodzie dodatkowo oporu pojemnościowego, lub indukcyjnego, lub obu na raz powoduje, że prąd jest przesunięty w fazie względem przyłożonego napięcia, a jego amplituda zmienia się wraz ze zmianą częstotliwości.

Cel

Celem ćwiczenia jest:

- wyznaczenie przesunięć fazowych między prądem i napięciem w obwodach RL, RC i RLC zasilanych napięciem zmiennym sinusoidalnie w funkcji częstości;
- zbadanie własności filtrujących obwodów RL i RC zasilanych napięciem zmiennym sinusoidalnie.

Wymagania

Prąd elektryczny zmienny sinusoidalnie: siła elektromotoryczna, potencjał, napięcie, natężenie, opór omowy, indukcyjny i pojemnościowy, zawada. Prawo Ohma i prawa Kirchhoffa. Prawo indukcji Faradaya, SEM indukcji. Szeregowe obwody RL, RC i RLC zasilane napięciem zmiennym sinusoidalnie. Przesunięcia fazowe w obwodach RL, RC i RLC. Zjawisko rezonansu. Filtry RL i RC.

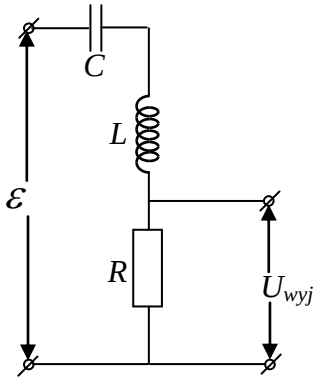
Literatura

D. Halliday, R. Resnick, Fizyka, tom II, PWN
E.M. Purcell, Elektryczność i magnetyzm, Kurs berkelejowski tom II,PWN.
D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, Podstawy fizyki, tom III, PWN
K. Zboiński, Laboratorium z fizyki, Liber.

Opis układu – część teoretyczna

Obwód RLC zasilany napięciem zmiennym sinusoidalnie.

Na Rysunku 1 przedstawiono schemat obwodu RLC, gdzie oznaczenia: R –opornik (opornik dekadowy), L – indukcyjność cewki, C – pojemność kondensatora, $\mathcal{E}$ – zmienne sinusoidalnie napięcie zasilania, U_{wyj} – napięcie podawane na oscyloskop. Zgodnie z II prawem Kirchhoffa napięcie podane na cały układ rozkłada się na poszczególne elementy tak, że:



Rysunek 1

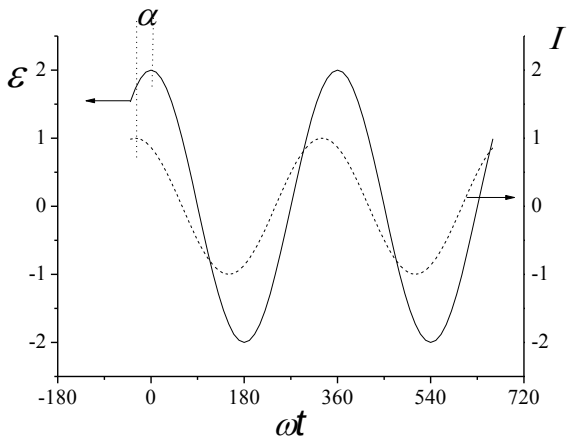
$$U_R + U_L + U_C = \mathcal{E}$$
$$U_R = IR, U_L = L\frac{dI}{dt}, U_C = \frac{Q}{C} \qquad (1)$$

gdzie: U_R, U_L i U_C są napięciami na oporniku, cewce i kondensatorze, I – natężeniem prądu w obwodzie, Q – ładunkiem zgromadzonym na kondensatorze. Podstawiając odpowiednie spadki napięć otrzymuje się:

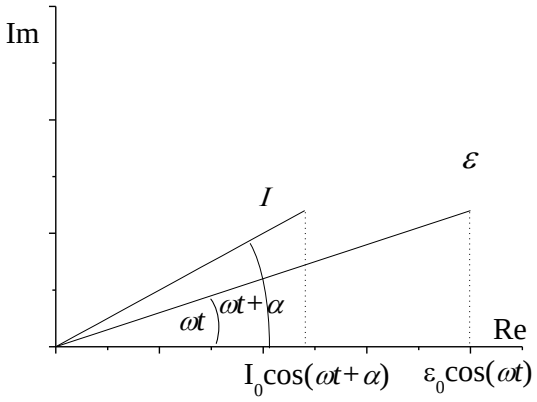
$$RI + L\frac{dI}{dt} + \frac{Q}{C} = \mathcal{E} \qquad (2)$$

Napięcie zasilania ma postać sinusoidalną i wyraża się wzorem $\mathcal{E} = \mathcal{E}_0 \cos \omega t$, (Rysunek 2),co można (dla ułatwienia obliczeń) zapisać jako liczbę zespoloną (Rysunek 3):

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_0 e^{i\omega t} = \mathcal{E}_0(\cos\omega t + i\sin\omega t)$$



Rysunek 2. Przedstawienie zależności napięcia $\mathcal{E}$ oraz prądu I jako funkcji sinusoidalnej. Jeśli α>0, prąd wyprzedza napięcie.



Rysunek 3. Przedstawienie zależności napięcia $\mathcal{E}$ oraz prądu I jako funkcji zespolonej.

Przedstawia się ją jako punkt na płaszczyźnie zespolonej, Re-Im i jej część rzeczywista jest wartością (w tym przypadku) napięcia (Rysunek 3)
W równaniu (2) poszukujemy wartości prądu I. Zakładamy, że prąd zmienia się z ta samą częstością ω co napięcie zasilania, ale jest przesunięty w fazie o kąt α, a wiec
$I = I_0 \cos(\omega t + \alpha)$. Można go również zapisać jako liczbę zespoloną:

$$I = I_0 e^{i(\omega t+\alpha)} = I_0(\cos(\omega t+\alpha) + i\sin(\omega t+\alpha)) = I_0 e^{i\alpha} e^{i\omega t} = \hat{I}_0 e^{i\omega t}$$
$$\text{gdzie } \hat{I}_0 = I_0 e^{i\alpha}$$

Dla założonej wartości prądu I otrzymuje się: $\frac{dI}{dt} = \hat{I}_0 i e^{i\omega t}$ oraz

$Q = \int I dt = \frac{\hat{I}_0 e^{i\omega t}}{i\omega} = -\frac{i}{\omega}\hat{I}_0 e^{i\omega t}$. Podstawienie powyższego do wzoru (2) daje:

$$R\hat{I}_0 e^{i\omega t} + Li\omega\hat{I}_0 e^{i\omega t} - \frac{i}{\omega C}\hat{I}_0 e^{i\omega t} = \mathcal{E}_0 e^{i\omega t}$$

Dzieląc stronami przez $e^{i\omega t}$ otrzymujemy:

$$\left(R + i\left(L\omega - \frac{1}{\omega C}\right)\right)\hat{I}_0 = \mathcal{E}_0 \tag{3}$$

Wyrażeni to ma strukturę podobną do prawa Ohma, gdy zapiszemy:

$$\hat{Z}\hat{I}_0 = \mathcal{E}_0 \quad \text{i gdy}$$

$$\hat{Z} = R + i\left(L\omega - \frac{1}{\omega C}\right) = \sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{\omega C}\right)^2}\, e^{i\beta} = \left|\hat{Z}\right| e^{i\beta} \tag{4}$$

$$\left|\hat{Z}\right| = \sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \quad \text{oraz} \quad tg\beta = \frac{\operatorname{Im}\hat{Z}}{\operatorname{Re}\hat{Z}} = \frac{L\omega - \frac{1}{\omega C}}{R}$$

$\hat{Z}$ nazywa się zawadą zespoloną i jest ona sumą części rzeczywistej tj. oporu omowego R i części urojonej będącej oporem urojonym cewki $X_L = i\omega L$ i kondensatora $X_C = -i/\omega C$.
Równanie (3) można przepisać jako:

$$I_0 e^{i\alpha}\left|\hat{Z}\right| e^{i\beta} = \mathcal{E}_0$$

Ponieważ po prawej stronie mamy tylko liczbę rzeczywistą, lewa strona musi tez być rzeczywista, wiec $\beta = -\alpha$, czyli: $tg\alpha = \dfrac{\frac{1}{\omega C} - L\omega}{R}$, a amplituda prądu I_0 (bez części fazowej) wynosi:

$$I_0 = \frac{\mathcal{E}_0}{\left|\hat{Z}\right|} = \frac{\mathcal{E}_0}{\sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \text{ oraz } I = \frac{\mathcal{E}_0 e^{i\alpha} e^{i\omega t}}{\sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \text{ lub } I = \frac{\mathcal{E}_0 \cos(\omega t + \alpha)}{\sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \tag{5}$$

Prąd I w obwodzie RLC jest proporcjonalny do napięcia U_{wyj} na oporze R, które jest podane na jeden z kanałów oscyloskopu.

$$U_{wyj} = RI = \frac{R\mathcal{E}_0 \cos(\omega t + \alpha)}{\sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} = U_{wyj0}\cos(\omega t + \alpha) \tag{6}$$

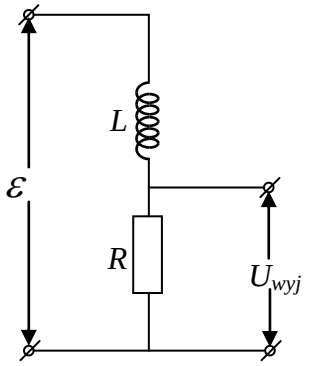
Przebieg tego napięcia (a więc i prądu I) jest wykreślony na ekranie oscyloskopu w postaci sinusoidy podobnej do tej z Rysunku 1 z jednoczesnym wykreśleniem sinusoidalnego napięcia zasilającego $\mathcal{E}$. Oba wykresy są przesunięte względem siebie o kąt α (Rysunek 1) i

możemy zmierzyć jego wielkość. Jeżeli 1/ωC > ωL, prąd wyprzedza napięcie. Stosunek amplitudy napięcia mierzonego do amplitudy napięcia zasilającego wynosi

$$\frac{U_{wyj0}}{\mathcal{E}_0} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \tag{7}$$

Maksimum zależności (7) osiąga się, gdy mianownik staje się minimalny, a więc gdy częstość $\omega^2 = 1/LC$. Jest to punkt rezonansowy. Wówczas zawada jest minimalna, $\hat{Z} = R$, brak jest przesunięcia między prądem i napięciem, $\alpha = 0$, oraz amplituda prądu jest maksymalna, $I_0 = \frac{\mathcal{E}_0}{R}$

Obwód RL zasilany napięciem zmiennym sinusoidalnie.



Na rysunku obok przedstawiono schemat obwodu RL stosowanego do pomiarów przesunięć fazowych. Oznaczenia na schemacie: R – opór (opornik dekadowy), L – indukcyjność cewki, $\mathcal{E}$ – zmienne sinusoidalnie napięcie zasilania, U_{wyj} – napięcie podawane na oscyloskop.
W tym przypadku prąd I i kąt przesunięcia (tgα) oblicza się ze wzoru (5) podstawiając $C \to \infty$, czyli

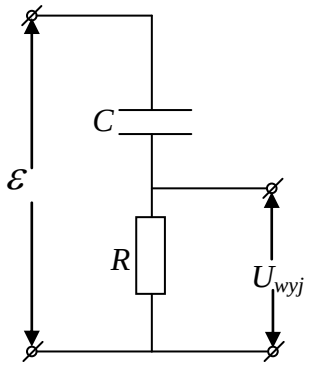
$$I = \frac{\mathcal{E}_0 \cos(\omega t + \alpha)}{\sqrt{R^2 + (L\omega)^2}}, \qquad tg\,\alpha = \frac{-L\omega}{R} \tag{8}$$

Stosunek amplitudy napięcia mierzonego do amplitudy napięcia zasilającego oblicza się z zależności (6):

$$\frac{U_{wyj0}}{\mathcal{E}_0} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \tag{9}$$

Dla malejących częstości $\omega \to 0$, $\frac{U_{wyj0}}{\mathcal{E}_0} \to 1$. Przy dużych częstościach $\omega \to \infty$, $\frac{U_{wyj0}}{\mathcal{E}_0} \to 0$
Możemy bezpośrednio na ekranie oscyloskopu mierzyć wartości napięć i przesunięć fazowych między sygnałami wejściowym i wyjściowym.

<u>Obwód RC zasilany napięciem zmiennym sinusoidalnie.</u>



Na rysunku przedstawiono obok schemat obwodu RC stosowanego do pomiarów przesunięć fazowych. Oznaczenia na schemacie: R – opór (opornik dekadowy), C – pojemność (kondensator dekadowy), $\mathcal{E}$ – zmienne sinusoidalnie napięcie zasilania, U_{wyj} – napięcie podawane na oscyloskop. W tym

przypadku prąd I i kąt przesunięcia (tgα) oblicza się ze wzoru (5) podstawiając $L \to 0$, czyli

$$I = \frac{\mathcal{E}_0 \cos(\omega t + \alpha)}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}}, \qquad tg\,\alpha = \frac{1}{R\omega C} \tag{10}$$

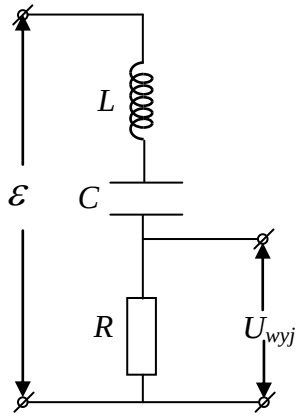
Stosunek amplitudy napięcia mierzonego do amplitudy napięcia zasilającego oblicza się z zależności (6):

$$\frac{U_{wyj0}}{\mathcal{E}_0} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}} \tag{11}$$

Dla malejących częstości $\omega \to 0$, $\frac{U_{wyj0}}{\mathcal{E}_0} \to 0$. Przy dużych częstościach $\omega \to \infty$, $\frac{U_{wyj0}}{\mathcal{E}_0} \to 1$

Możemy bezpośrednio na ekranie oscyloskopu mierzyć wartości napięć i przesunięć fazowych między sygnałami wejściowym i wyjściowym.

Obwód RLC zasilany napięciem zmiennym sinusoidalnie.



Na rysunku obok przedstawiono schemat obwodu RLC stosowanego do pomiarów przesunięć fazowych. Oznaczenia na schemacie: R – opór (opornik dekadowy), L - indukcyjność cewki, C – pojemność (kondensator dekadowy), $\mathcal{E}$ – zmienne sinusoidalnie napięcie zasilania, U_{wyj} – napięcie podawane na oscyloskop.

Prąd I i kąt przesunięcia (tgα) opisany jest wzorem (5):

$$I = \frac{U_0}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \cos(\omega t + \varphi) \tag{5}$$

gdzie przesunięcie fazowe jest : $\text{tg}\alpha = \dfrac{\frac{1}{\omega C} - \omega L}{R}$

Możemy bezpośrednio na ekranie oscyloskopu mierzyć wartości przesunięcia fazowego między sygnałami wejściowym (żółty) i wyjściowym (zielony).

Wykonanie ćwiczenia

Wyniki wszystkich pomiarów muszą być zapisane w sprawozdaniu, opatrzone odpowiednimi jednostkami i podpisane przez asystenta.

Układ pomiarowy.

Układ pomiarowy składa się z następujących przyrządów: generatora sygnału sinusoidalnego z regulacją częstotliwości, kondensatora dekadowego, opornika dekadowego, 2 cewek indukcyjnych, płytki montażowej oraz oscyloskopu cyfrowego DSO3062A. Napięcie z generatora jest podane na kanał 1 oscyloskopu i jednocześnie jest podane na płytkę montażową. Sygnał wyjściowy z płytki montażowej jest podany na kanał 2 oscyloskopu.

Obwód RL zasilany napięciem zmiennym sinusoidalnie.

Wyznaczanie przesunięć fazowych:

a) Wybieramy jedną z dostępnych cewek. Na płytce montażowej łączymy obwód RL. Na oporniku dekadowym ustawiamy opór R = 5 kΩ.
b) Po sprawdzeniu obwodu przez asystenta i włączeniu zasilania na ekranie oscyloskopu powinny być widoczne sygnały z generatora i opornika w postaci pełnych przebiegów sinusoidalnych (co najmniej jedna sinusoida). Zmniejszenie lub powiększenie sygnału regulujemy pokrętłami wzmocnienia obu kanałów, a szerokość wykresów pokrętłem podstawy czasu. Z **Menu** oscyloskopu wybieramy funkcje potrzebne przy wykonywaniu pomiarów.
   1. *Pomiar częstotliwości* ν: Naciskamy przycisk **Measure**, z menu wybieramy source **CH1**, a następnie **Time1/3** i klawisz **Freq**. Częstotliwość sygnału wyświetla się na dole ekranu.
   2. *Przesunięcie fazowe – pomiar przesunięcia czasowgo sygnałów* ΔX: Opóźnienie między sygnałami mierzyć będziemy automatycznie i ręcznie.
      Pomiar automatyczny: naciskamy klawisz **Measure**, na ekranie pojawia się menu, naciskamy klawisz **Time** w pozycji **Time1/3**, menu zmienia się w **Time2/3**, po ponownym naciśnięciu menu zmienia się w **Time3/3** i wybieramy **Delay 1→2**. Na dole ekranu wyświetla się na różowo rezultat pomiaru opóźnienia ΔX jednego sygnału względem drugiego.
      Pomiar ręczny: naciskamy klawisz **Cursors**, z nowego menu, wybieramy mod **Manual** , source **CH2**, type **Time**. Na ekranie pojawiają się dwie niebieskie, pionowe linie. Są to tzw. kursory. Wciśnięcie klawisza **CurA** pozwala zmieniać położenie jednej z linii przez obrót pokrętła ↻Ustawiamy kursor A w maksimum sygnału np. żółtego. Po wciśnięciu klawisza **CurB** obrót pokrętła ↻zmienia położenie drugiej linii, co pozwala ustawić kursor B w maksimum drugiego sygnału. W prawym górnym rogu ekranu oscyloskopu wyświetla się informacja o położeniu obu kursorów w skali czasu i o różnicy ich położeń ΔX. Przy pomiarze ręcznym musimy zwrócić uwagę czy sygnał wyjściowy (zielony) opóźnia się, a wtedy ΔX<0, czy wyprzedza sygnał wejściowy, a wtedy ΔX>0.
   3. Mierzymy opóźnienia miedzy sygnałami dla częstotliwości 50 Hz , 100Hz, dalej co 100 Hz do 700 Hz, 1000Hz i 1500 Hz.

Propozycja zapisu wyników:

Typ obwodu:.....
R = ... , ΔR = ... Cewka: np. ”lewa”

Częstotliwość [*jednostka*] Δν = ...	Autom. ΔX [*jednostka*] Δ(ΔX) = ...	Ręcznie ΔX [*jednostka*] Δ(ΔX) = ...

gdzie Δν i Δ(ΔX) są niepewnościami pomiarowymi wynikającymi z rozrzutu wyświetlanych wyników.

Własności filtrujące obwodu RL

a) Wartość oporu na oporniku dekadowym zmieniamy na **500Ω.**
b) Z menu **Measure** wybieramy **Clear** i ponownie source **CH1** i w pozycji **Time** przyciskamy klawisz **Freq**, a w pozycji **Voltage** – wybieramy **Vrms**. Na dole ekranu wyświetli się częstotliwość ν i wartość skuteczna napięcia sygnału wejściowego U_{wej}. Analogicznie wybieramy dla sygnału wyjściowego U_{wyj} na kanale 2 – **Measure →** source **CH2 → Voltage→ Vrms.**
c) Mierzymy napięcia obu sygnałów dla częstotliwości 50 Hz , 100Hz, dalej co 100 Hz do 700 Hz, 1000Hz i 1500 Hz.

Propozycja zapisu wyników:

Typ obwodu:.....
R = ... , Δ*R* = ... Cewka: np. ”lewa”

Częstotliwość [*jednostka*] Δν = ...	Napięcie U_{wej} [*jednostka*] Δ*U* = ...	Napięcie U_{wyj} [*jednostka*] Δ*U* = ...

gdzie Δν i Δ*U* są niepewnościami pomiarowymi wynikającymi z rozrzutu wyświetlanych wyników.

Obwód RC zasilany napięciem zmiennym sinusoidalnie.

Wyznaczanie przesunięć fazowych:

a) Na płytce montażowej łączymy obwód RC. Na oporniku dekadowym ustawiamy opór np. ***R* = 500 Ω**, a na kondensatorze dekadowym pojemność np. ***C* = 1 μF**.
b) Po sprawdzeniu obwodu przez asystenta i włączeniu zasilania ustawiamy pomiar częstotliwości ν sygnału i automatycznego opóźnienia czasowego sygnałów ΔX.
c) Mierzymy przesunięcia fazowe obu sygnałów dla częstotliwości 50, 100, 200, 300, 500, 700, 1000, 1200 i 1500 Hz.

Propozycja zapisu wyników:

Typ obwodu:.....
R = ... , Δ*R* = ... C = ... , Δ*C* = ...

Częstotliwość [*jednostka*] Δν = ...	Autom. ΔX [*jednostka*] Δ(ΔX) = ...	Ręcznie ΔX [*jednostka*] Δ(ΔX) = ...

gdzie $\Delta\nu$ i $\Delta(\Delta X)$ są niepewnościami pomiarowymi wynikającymi z rozrzutu wyświetlanych wyników.

Własności filtrujące obwodu RC

a) Podobnie jak wcześniej dla filtru RL ustawiamy na oscyloskopie funkcję pomiaru napięcia na obu kanałach.
b) Na oporniku dekadowym ustawiamy opór np. $\boldsymbol{R = 300\ \Omega}$, a na kondensatorze dekadowym pojemność np. $\boldsymbol{C = 1\ \mu F}$.
c) Mierzymy napięcia skuteczne obu sygnałów dla częstotliwości 50 Hz, 100Hz, 200 Hz, 300 Hz, 500 Hz, 700 Hz, 1000Hz, 1200Hz, i 1500 Hz.

Propozycja zapisu wyników:

Typ obwodu:.....
R = ... , ΔR = ... C = ..., ΔC = ...

Częstotliwość [*jednostka*] $\Delta\nu$ = ...	Napięcie U_{wej} [*jednostka*] ΔU = ...	Napięcie U_{wyj} [*jednostka*] ΔU = ...

gdzie $\Delta\nu$ i ΔU są niepewnościami pomiarowymi wynikającymi z rozrzutu wyświetlanych wyników.

Obwód RLC zasilany napięciem zmiennym sinusoidalnie.

a) Łączymy obwód RLC. Wybieramy tę samą cewkę, którą badaliśmy w obwodzie RL. Gdy wybieramy cewkę po lewej stronie, to na oporniku dekadowym ustawiamy opór np. R = 4 kΩ, a na kondensatorze dekadowym pojemność C = 4 μF. Dla prawej cewki na oporniku dekadowym ustawiamy np. opór R = 5 kΩ, a na kondensatorze dekadowym pojemność C = 0,7 μF.
b) Mierzymy opóźnienie czasowe sygnałów ΔX dla lewej cewki co 10 Hz aż do 100 Hz, a dalej co 50 Hz do 250 Hz, albo dla prawej cewki od 10 Hz co 50 Hz do 300 Hz i co 100 Hz do 1000 Hz.
c) Wyznaczanie częstotliwości rezonansowej ν obwodu RLC: wciskamy przycisk Main/Delayed i pojawia się menu. Klawiszem TimeBase zmieniamy tryb Y-T na XY, czyli taki, w którym sygnał wejściowy jest podany na okładki odchylania poziomego oscyloskopu, a sygnał wyjściowy na okładki odchylania pionowego. Zmieniamy częstotliwość sygnału wejściowego i obserwujemy zmiany krzywej na ekranie. Gdy częstotliwość jest równa częstotliwości rezonansowej obwodu na ekranie obserwujemy odcinek linii prostej.

Propozycja zapisu wyników:

Typ obwodu:..... Cewka: ..... ω_{rez} = ...
R = ... , ΔR = ... C = ... , ΔC = ...

Częstotliwość [*jednostka*] $\Delta\nu$ = ...	Autom. ΔX [*jednostka*] $\Delta(\Delta X)$ = ...	Ręcznie ΔX [*jednostka*] $\Delta(\Delta X)$ = ...

gdzie $\Delta\nu$ i $\Delta(\Delta X)$ są niepewnościami pomiarowymi wynikającymi z rozrzutu wyświetlanych wyników.

Opracowanie wyników

Obwód RL zasilany napięciem zmiennym sinusoidalnie.

Wyznaczanie przesunięć fazowych:

a) Dla każdej różnicy położeń kursorów ΔX obliczamy przesunięcie fazowe prądu względem przyłożonego napięcia według wzoru: $\alpha = 2\pi\nu \cdot \Delta X$ oraz $\mathrm{tg}\alpha$.
b) Błąd $\Delta\alpha$ wyznaczamy metodą propagacji niepewności pomiarowych.
c) Wyznaczamy błąd $\Delta(\mathrm{tg}\alpha)$ metodą propagacji niepewności pomiarowych.
d) Na papierze milimetrowym sporządzamy wykres $\mathrm{tg}\alpha$ w funkcji częstości $\omega = 2\pi\nu$, zaznaczając błędy pomiarowe. Wykres można sporządzić wykorzystując programy komputerowe. Zgodnie ze wzorem (8) będzie to linia prosta ze współczynnikami A = – L/R i B = 0
e) Metodą najmniejszych kwadratów (regresji liniowej) wyznaczamy współczynnik A prostej najlepiej dopasowanej do punktów pomiarowych. Nanosimy tę prostą na wykres. Wyznaczamy również błąd ΔA.
f) Z nachylenia prostej wyznaczamy indukcyjność cewki L i błąd ΔL.

Własności filtrujące obwodu RL

a) Na papierze milimetrowym sporządzamy wykres ilorazu zmierzonych napięć $U_{wyj}/\ \mathcal{E}_0$ w funkcji częstości $\omega = 2\pi\nu$, zaznaczając błędy pomiarowe. Wykres można sporządzić wykorzystując programy komputerowe.
b) Korzystając z wyznaczonej indukcyjności cewki obliczamy wartości $U_{wyj}/\ \mathcal{E}_0$ ze wzoru (9): $\frac{U_{wyj}}{\mathcal{E}_0} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}}$, dla mierzonych częstości ω i nanosimy na ten sam wykres.

Obwód RC zasilany napięciem zmiennym sinusoidalnie.

Wyznaczanie przesunięć fazowych:

a) Dla każdej różnicy położeń kursorów ΔX obliczamy przesunięcie fazowe prądu względem przyłożonego napięcia według wzoru: $\alpha = 2\pi\nu \cdot \Delta X$ oraz $\mathrm{tg}\alpha$.
b) Błąd $\Delta\alpha$ wyznaczamy metodą propagacji niepewności pomiarowych.
c) Wyznaczamy błąd $\Delta(\mathrm{tg}\alpha)$ metodą propagacji niepewności pomiarowych.

g) Na papierze milimetrowym sporządzamy wykres $\mathrm{tg}\alpha$ w funkcji odwrotności częstości $1/\omega = 1/2\pi\nu$, zaznaczając błędy pomiarowe. Wykres można sporządzić wykorzystując programy komputerowe. Zgodnie ze wzorem (10) będzie to linia prosta ze współczynnikami A = –L/R i B = 0

d) Metodą najmniejszych kwadratów (regresji liniowej) wyznaczamy współczynnik A (B = 0) prostej najlepiej dopasowanej do punktów pomiarowych. Nanosimy tę prostą na wykres. Wyznaczamy również błąd ΔA.
e) Z nachylenia prostej wyznaczamy pojemność kondensatora i porównujemy ją z nastawioną wartością *C*. Wyznaczamy błąd ΔC zmierzonej pojemności.

Własności filtrujące obwodu RC

a) Na papierze milimetrowym sporządzamy wykres ilorazu zmierzonych napięć $U_{wyj}/\ \mathcal{E}_0$ w funkcji częstości $\omega = 2\pi\nu$, zaznaczając błędy pomiarowe. Wykres można sporządzić wykorzystując programy komputerowe.
b) Obliczamy wartości $U_{wyj}/\ \mathcal{E}_0$ ze wzoru (11): $\frac{U_{wyj}}{\mathcal{E}_0} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}}$ dla mierzonych częstości ω i nanosimy na ten sam wykres.

Obwód RLC zasilany napięciem zmiennym sinusoidalnie.

Wyznaczanie przesunięć fazowych:

a) Dla każdej różnicy położeń kursorów ΔX obliczamy przesunięcie fazowe prądu względem przyłożonego napięcia według wzoru: $\alpha = 2\pi\nu\cdot\Delta X$ oraz $\mathrm{tg}\alpha$.
b) Błąd $\Delta\alpha$ wyznaczamy metodą propagacji niepewności pomiarowych.
c) Wyznaczamy błąd $\Delta(\mathrm{tg}\alpha)$ metodą propagacji niepewności pomiarowych.
d) Na papierze milimetrowym sporządzamy wykres $\mathrm{tg}\varphi$ w funkcji częstości $\omega = 2\pi\nu$, zaznaczając błędy pomiarowe. Wykres można sporządzić wykorzystując programy komputerowe.
e) Obliczamy wartości $\mathrm{tg}\alpha$ ze wzoru (5) $\mathrm{tg}\alpha = \left(\frac{\frac{1}{\omega C} - \omega L}{R} \right)$ dla zastosowanych L, C i R nanosimy je na wykres.

Wnioski.

Próbujemy ocenić:
- czy w granicach błędów doświadczalnych zmierzone przebiegi funkcji $\mathrm{tg}\varphi(\omega)$ są zgodne z przebiegami teoretycznymi.
- który z filtrów jest filtrem górnoprzepustowym i wskazać charakterystyczne zakresy częstości (a także częstotliwości).
- który z filtrów jest filtrem dolnoprzepustowym i wskazać charakterystyczne zakresy częstości (a także częstotliwości).