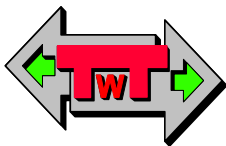
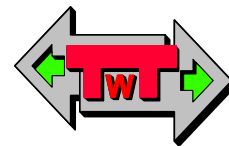


**ZESPÓŁ LABORATORIÓW TELEMATYKI TRANSPORTU**  
**ZAKŁAD TELEKOMUNIKACJI W TRANSPORCIE**



WYDZIAŁ TRANSPORTU  
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ



**LABORATORIUM ELEKTRONIKI**

INSTRUKCJA DO ĆWICZENIA NR 12

## **OBWODY REZONANSOWE**

DO UŻYTKU WEWNĘTRZNEGO

WARSZAWA 2021

## A. Cel ćwiczenia

- Pomiar charakterystycznych parametrów szeregowego obwodu rezonansowego
- Wyznaczenie krzywej rezonansowej szeregowego obwodu rezonansowego
- Pomiar charakterystycznych parametrów równoległego obwodu rezonansowego
- Wyznaczenie krzywej rezonansowej równoległego obwodu rezonansowego

## B. Wprowadzenie

Rozważmy szeregowy obwód RLC przedstawiony na rys. 1. Impedancje tego obwodu można opisać zależnością:

$$Z_T = R + j(X_L - X_C) \quad (1)$$

Dla pewnej wartości częstotliwości  $f_r$ , składowa reaktancji jest równa zero i impedancja ma charakter czysto rezystywny. Przypadek ten znany jest jako rezonans szeregowy, a częstotliwość  $f_r$  zwana jest częstotliwością rezonansową obwodu szeregowego. Wartość  $f_r$  można wyznaczyć z zależności (1) przyrównując składową reaktancyjną do zera.

$$\begin{aligned} X_L - X_C &= 0 \\ X_L &= X_C \\ 2\pi fL &= \frac{1}{2\pi fC} \\ f &= f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \end{aligned} \quad (2)$$

Dla częstotliwości rezonansowej  $f_r$ , obwód charakteryzuje się maksymalną impedancją  $Z_T=R$ , przepływający przez niego prąd ma wartość maksymalną i jest w fazie z przyłożonym napięciem.

$$I = I_R = \frac{E \angle 0^\circ}{R \angle 0^\circ} = \left(\frac{E}{R}\right) \angle 0^\circ \quad (3)$$

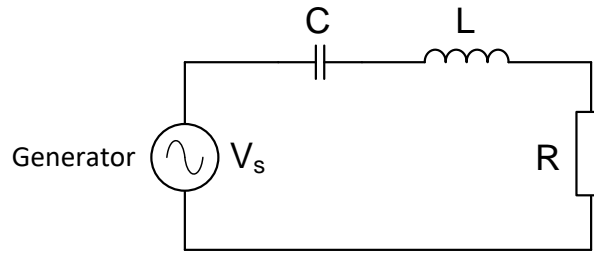
Prąd  $I_R$  jest w fazie z przyłożonym napięciem  $E$ . Spadki napięć na  $L$  i  $C$  można opisać zależnościami:

$$\begin{aligned} U_L &= I \cdot X_L \angle 90^\circ \\ U_C &= I \cdot X_C \angle -90^\circ \end{aligned} \quad (4)$$

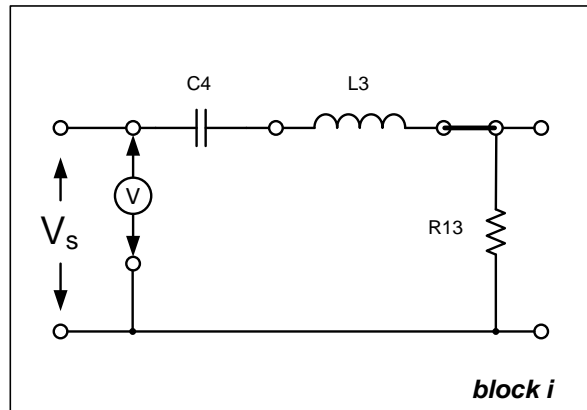
Można więc zauważyć, że  $U_L$  i  $U_C$  są równe co do wielkości amplitudy, lecz o przeciwnej polaryzacji.

## C. Część eksperymentalna

1. Umieścić moduł KL-13001 na płycie głównej stanowiska KL-21001. Znajdź schemat „i”. Połącz obwód zgodnie z rys. 1 i rys. 2.



Rys. 1. Schemat układu szeregowego układu rezonansowego



Rys. 2. Schemat układu szeregowego układu rezonansowego na module laboratoryjnym

- Włącz zakres generatora funkcyjnego w pozycji 10 kHz i wybierz funkcję sinus selektora funkcyjnego. Ustaw amplitudę napięcia wyjściowego generatora na wartość 5 V wskazywaną przez cyfrowy woltomierz AC i zanotuj tę wartość jako  $E_{in}$  ( $U_{we}$ ) (przy częstotliwości generatora = 5 kHz).

$$E_{in} = U_{we} = \dots\dots\dots[V]_{AC} = \text{const.}$$

- Zmierz spadek napięcia na rezystorze  $R_{13}$ ; zmieniając wartość częstotliwości generatora zanotuj maksymalną wartość napięcia na  $R_{13}$ .

$$U_{R13} = \dots\dots\dots[V]_{AC}$$

Czy badany obwód szeregowy zachowuje się teraz jak przy częstotliwości rezonansowej?

- Tak                       Nie

- Pomierz częstotliwość wyjściową generatora funkcyjnego i zanotuj ją jako częstotliwość rezonansową obwodu szeregowego  $f_r$

$$f_r = \dots\dots\dots\text{Hz}$$

- Oblicz częstotliwość rezonansową  $f_r$  dla zastosowanych w obwodzie wartości  $L_3=10$  [mH],  $C_4=100$  [nF],  $R_{13}=330$  [ $\Omega$ ].

$$f_r = \dots\dots\dots\text{Hz}$$

Czy jest zgodność pomiędzy pomierzoną i obliczoną wartością  $f_r$ ?

Tak

Nie

6. Używając woltomierza AC zmierz spadek napięcia na indukcyjności L3; ustaw regulator częstotliwości w skrajnym położeniu obracając go przeciwnie do ruchu wskazówek zegara, a następnie obracając go zgodnie z ruchem wskazówek zegara zanotuj maksymalną wartość napięcia  $E_L$  oraz wartość częstotliwości przy której ona występuje.

$$E_L = \dots\dots\dots[V]_{AC}$$

$$f_{rL} = \dots\dots\dots\text{Hz}$$

Czy wartość  $E_L$  jest większa od wartości  $E_{in}$  ( $U_{we}$ ) z pkt. 2?

Tak

Nie

7. Używając woltomierza AC zmierz spadek napięcia na kondensatorze C4; ustaw regulator częstotliwości w skrajnym położeniu obracając go przeciwnie do ruchu wskazówek zegara, a następnie obracając go zgodnie z ruchem wskazówek zegara zanotuj maksymalną wartość napięcia  $E_C$  oraz wartość częstotliwości przy której ona występuje.

$$E_C = \dots\dots\dots[V]_{AC}$$

$$f_{rC} = \dots\dots\dots\text{Hz}$$

Czy wartość  $E_C$  jest równa wartości  $E_L$  z pkt. 6?

Tak

Nie

8. Podłącz woltomierz AC między punktami A i B z rys. 1. Pomierz spadek napięcia na elementach L3 – C4; obracając regulatorem częstotliwości generatora ze skrajnego lewego położenia w prawo, zanotuj minimalną wartość napięcia  $E_{LC}$  oraz wartość częstotliwości przy której ona występuje.

$$E_{LC} = \dots\dots\dots[V]_{AC}$$

$$f_{rLC} = \dots\dots\dots\text{Hz}$$

9. Wykorzystując zależność

$$Q = \frac{E_L}{E_{in}} \quad (5)$$

oblicz dobroć szeregowego obwodu rezonansowego  $Q = \dots\dots\dots$

10. Wykorzystując zależności

$$X_L = 2\pi fL$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$
(6)

wyznacz wartości impedancji  $X_L$  oraz  $X_C$  dla częstotliwości rezonansowej  $f_r$  z pkt. 5.

$$X_L = \dots\dots\dots\Omega$$

$$X_C = \dots\dots\dots\Omega$$

Czy  $X_L$  równa się  $X_C$ ?

Tak

Nie

11. Wykorzystując zależność na szerokość pasma przenoszenia szeregowego obwodu rezonansowego

$$\Delta f = \frac{f_r}{Q}$$
(7)

wyznaczyć  $\Delta f$

$$\Delta f = \dots\dots\dots \text{Hz}$$

12. Podłącz woltomierz AC równolegle do  $R_{13}$ . Wykorzystując regulator częstotliwości znajdź maksymalną wartość napięcia na  $R_{13}$ .

$$U_{R13\max} = \dots\dots\dots[V]_{AC}$$

13. Mnożąc  $U_{R13\max}$  przez  $\frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707$  określ napięcie  $U_{R13gr}$  dla częstotliwości granicznych  $f_{rd}$  i  $f_{rg}$  (odpowiadających połowie mocy).

$$U_{R13gr} = U_{R13\max} \times 0,707 = \dots\dots\dots[V]_{AC}$$

14. Wolno obracając regulator częstotliwości w lewo ustaw obliczoną wartość  $U_{R13gr}=U_{R13d}$ . Odczytaj dolną częstotliwość graniczną  $f_{rd}$  (- 3 dB).

$$f_{rd} = \dots\dots\dots \text{Hz}$$

15. Wolno obracając regulator częstotliwości w prawo ustaw obliczoną wartość  $U_{R13gr}=U_{R13g}$ . Odczytaj górną częstotliwość graniczną  $f_{rg}$ .

$$f_{rg} = \dots\dots\dots \text{Hz}$$

16. Dokonaj pomiaru napięć  $U_{R13}$  na rezystancji  $R_{13}$  dla częstotliwości podanych w tabeli 1.

Tabela 1

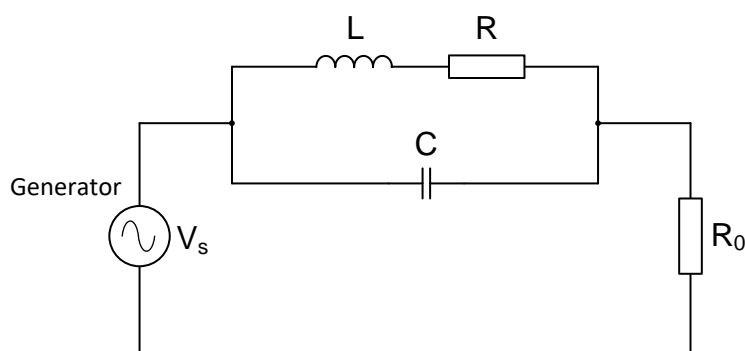
f	[kHz]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U_{R13}$	[V <sub>AC</sub> ]											

17. Narysuj krzywą rezonansową szeregowego obwodu rezonansowego na skali logarytmicznej. Wyznacz graficznie częstotliwości graniczne  $f_{rd}$  i  $f_{rg}$ . Wyznacz szerokość pasma przenoszenia. Sprawdź, czy jest ona zgodna z wartością wyznaczoną w pkt. 11.

18. Wyciągnij wnioski z dokonanych pomiarów, obliczeń i ich porównania.

## B1. Wprowadzenie

Rozważmy równoległy obwód RLC przedstawiony na rys. 3.



Rys. 3. Schemat układu równoległego układu rezonansowego

Podobnie jak w przypadku szeregowego obwodu rezonansowego, przy częstotliwości rezonansowej  $f_r$ , składowa reaktancyjna jest równa zero i impedancja ma charakter czysto rezystywny.

Admitancję równoległego obwodu rezonansowego można opisać zależnością:

$$G = \frac{1}{-jX_C} + \frac{1}{R + jX_L} \quad (8)$$

Dla częstotliwości rezonansowej susceptancja indukcyjna  $B_L = \frac{1}{\omega L}$  równa się susceptancji pojemnościowej  $B_C = \omega C$  oraz impedancja ma charakter czysto rezystywny, zatem:

$$\begin{aligned} X_C X_L &= R^2 + X_L^2 \\ X_L^2 &= X_C X_L - R^2 \\ X_C X_L &= \frac{1}{\omega C} \cdot \omega L = \frac{L}{C} \\ X_L^2 &= \frac{L}{C} - R^2 \end{aligned} \quad (9)$$

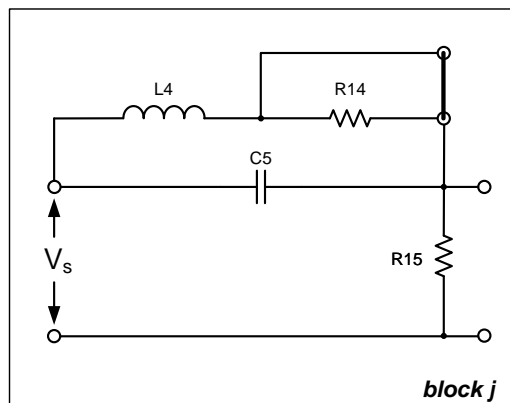
więc zależność na częstotliwość rezonansową ma postać:

$$f_r = \frac{1}{2\pi L} \cdot X_C = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \cdot \sqrt{1 - \frac{R^2 C}{L}} \quad (10)$$

Należy zauważyć, iż częstotliwość rezonansowa jest zależna od wartości gałęzi  $R_{14}$ .

### C1. Część eksperymentalna

- Umieścić moduł KL-13001 na płycie głównej stanowiska KL-21001 i zlokalizuj schemat „j”.
- Połączyć obwód zgodnie z rys. 4, usuwając zworę zaznaczoną na rysunku.



Rys. 4. Schemat układu równoległego układu rezonansowego na module laboratoryjnym ( $L_4=10$  [mH],  $C_5=100$  [nF],  $R_{14}=10$  [ $\Omega$ ],  $R_{15}=330$  [ $\Omega$ ])

- Oblicz częstotliwość rezonansową wykorzystując wartości elementów z rys. 4.

$$f_r = \dots\dots\dots\text{Hz}$$

- Usuń zworę. Włącz zakres generatora funkcyjnego w pozycji 10 kHz i wybierz funkcję sinus selektora funkcyjnego. Ustaw amplitudę napięcia wejściowego generatora na wartość 5 V, wskazywaną przez woltmierz cyfrowy AC (przy częstotliwości generatora = 5 kHz).

Podłącz cyfrowy woltmierz AC równoległe do  $R_{15}$ . Wykorzystując regulator częstotliwości generatora ustaw minimalne napięcie na  $R_{15}$ .

Pomierz częstotliwość wyjściową generatora i zanotuj ją jako częstotliwość rezonansową obwodu równoległego  $f_r$ .

$$f_r = \dots\dots\dots\text{Hz}$$

Czy jest zgodność pomiędzy obliczoną i pomierzoną wartością  $f_r$ ?

Tak

Nie

- Pomierz i zanotuj spadki napięć na rezystorach  $R_{14}$  i  $R_{15}$ .

$$U_{R14} = \dots\dots\dots[V]_{AC}$$

$$U_{R15} = \dots\dots\dots[V]_{AC}$$

Które napięcie jest większe?

6. Podłącz zworę. Pomierz i zanotuj spadek napięcia na rezystorze  $R_{15}$ .

$$U_{R15} = \dots\dots\dots[V]_{AC}$$

Porównaj wartość  $U_{R15}$  z wartością  $U_{R15}$  z pkt. 5 i zanotuj swoje spostrzeżenia.

7. Ponownie usuń zworę. Dokonaj pomiaru napięć  $U_{R15}$  na rezystorze  $R_{15}$  dla częstotliwości podanych w tabeli 2.

Tabela 2

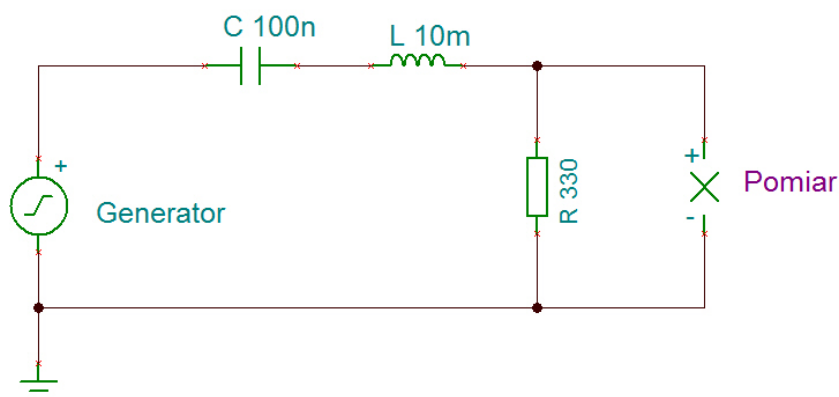
f	[kHz]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U_{R15}$	[V <sub>AC</sub> ]											

8. Narysuj krzywą rezonansową równoległego obwodu rezonansowego na skali logarytmicznej. Wyznacz graficznie częstotliwości graniczne  $f_{rd}$  i  $f_{rg}$ .
9. Wyciągnij wnioski z dokonanych pomiarów, obliczeń i ich porównania.
10. Podaj podstawowe zbieżności i różnice między szeregowym i równoległym obwodem rezonansowym.

## D. Symulacyjna komputerowa

### - szeregowy obwód rezonansowy

Używając programu komputerowego podanego przez prowadzącego należy wykonać układ przedstawiony na rys. 5.



Rys. 5. Układ do badania szeregowego obwodu rezonansowego



Generator ustawić według punktu C.2, a następnie przeprowadzić pomiary napięcia na rezystancji R dla częstotliwości podanych w tabeli 3.

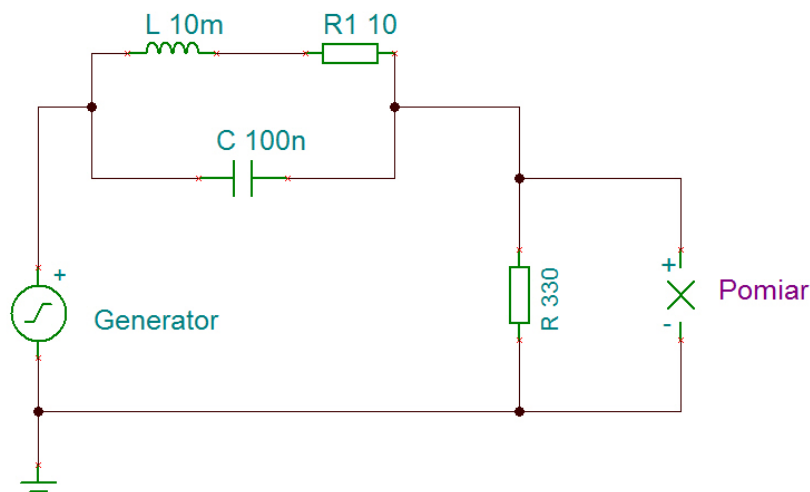
Tabela 3

f	[kHz]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U_R$	[V <sub>AC</sub> ]											

Narysuj krzywą rezonansową szeregowego obwodu rezonansowego na skali logarytmicznej. Wyznacz graficznie częstotliwości graniczne  $f_{rd}$  i  $f_{rg}$ . Wyznacz szerokość pasma przenoszenia. Sprawdź, czy jest ona zgodna z wartością wyznaczoną w pkt. C.17.

- równoległy obwód rezonansowy

Używając programu komputerowego podanego przez prowadzącego należy wykonać układ przedstawiony na rys. 6.



Rys. 6. Układ do badania równoległego obwodu rezonansowego

Generator ustawić według punktu C1.4, a następnie przeprowadzić pomiary napięcia na rezystancji R dla częstotliwości podanych w tabeli 2.

Tabela 2

f	[kHz]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U_R$	[V <sub>AC</sub> ]											

Narysuj krzywą rezonansową równoległego obwodu rezonansowego na skali logarytmicznej. Wyznacz graficznie częstotliwości graniczne  $f_{rd}$  i  $f_{rg}$ . Sprawdź, czy jest ona zgodna z wartością wyznaczoną w pkt. C1.8.

**E. Wyposażenie**

Elementy układu:

Stanowisko laboratoryjne KL-21001 ..... szt. 1

Moduł laboratoryjny KL-13001 ..... szt. 1

Sprzęt pomiarowy:

Cyfrowy miernik uniwersalny ..... szt. 2

## F. Zagadnienia do opracowania

1. Szeregowy obwód rezonansowy RLC:
  - schemat,
  - impedancja,
  - częstotliwość rezonansowa.
2. Równoległy obwód rezonansowy RLC:
  - schemat,
  - admitancja,
  - częstotliwość rezonansowa.

## G. Literatura

1. Dobrowolski A., Jachna Z., Majda E., Wierzbowski M.: „Elektronika -ależ to bardzo proste!”. Wydawnictwo BTC, 2013.
2. Horowitz P., Hill W.: „Sztuka elektroniki. Tom I i II”. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2013.
3. Kaźmierkowski M., Matysik J.: „Wprowadzenie do elektroniki i energoelektroniki”. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005.
4. Rosiński A., Dudek E., Krzykowska K., Kasprzyk Z., Stawowy M., Szmigiel A.: Podstawy elektroniki. Laboratorium, 2019, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, ISBN 978-83-7814-991-0, 155 s.
5. Rosiński A., Dudek E., Krzykowska K., Kasprzyk Z., Stawowy M., Szmigiel A.: Elektronika. Laboratorium, 2019, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, ISBN 978-83-7814-992-7, 181 s.
6. Tietze U., Schenk C: „Układy półprzewodnikowe”. Wydawnictwa Naukowo Techniczne, 2009.
7. Wawrzyński W.: „Podstawy współczesnej elektroniki”. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2003.