

E107. Bezpromieniste sprzężenie obwodów RLC

Cel doświadczenia: *Pomiar amplitudy sygnału w rezonatorze w zależności od wzajemnej odległości d cewek generatora i rezonatora. Badanie wpływu oporu na tłumienie w obwodzie rezonatora i wyznaczenie jego dobroci Q .*

Przyrządy: *Komputer PC, zestaw ćwiczeniowy (rezonator i generator), program LabVIEW 8.2, program do opracowywania danych.*

Zagadnienia: *Wytwarzanie fal elektromagnetycznych za pomocą układów RLC, rezonans obwodów RLC, rodzaje sprzężeń między układami RLC, charakterystyka krzywych rezonansowych.*

Literatura:

- [1] J. Antoniewicz, Z. Majewski, *Podstawy Radiotechniki – Teoria obwodów*, WK, Warszawa 1957,
- [2] S. Szczęniowski, *Elektryczność i magnetyzm*, PWN Warszawa 1980,
- [3] B.M. Jaworski, A.A. Dietłaf, *Fizyka poradnik encyklopedyczny*, WN PWN,
- [4] H. Szydłowski, *Pracownia fizyczna I*, PWN Warszawa 1994
- [5] *Fizyczne laboratorium mikrokomputerowe*, UAM Poznań 1994

1. Wprowadzenie

Zjawisko rezonansu polega na pobudzaniu układu drgającego do drgań, których amplituda może być niewspółmiernie duża w stosunku do mocy czynnika wymuszającego. Rezonans elektryczny, czyli gwałtowny wzrost natężenia prądu w obwodzie drgającym zachodzi wówczas gdy częstotliwość układu drgającego jest bliska bądź równa częstotliwości czynnika wymuszającego drgania.

Obwód drgań elektrycznych składa się zasadniczo z kondensatora, cewki i stowarzyszonego z nią oporu omowego. Opór omowy pochłania energię drgań elektromagnetycznych w związku, z czym drgania są tłumione i zanikające. Aby drgania nie ulegały zanikowi należy doprowadzić do obwodu energię, która pokrywałaby straty na ciepło i promieniowanie. Drgania w obwodzie wiążą się z powstawaniem i zanikaniem pola elektrycznego w kondensatorze oraz pola magnetycznego w cewce. Obwód drgający jest źródłem zaburzeń elektrycznych i magnetycznych, które rozchodzą się w przestrzeni jako fala elektromagnetyczna.

Najprostszy sposób zasilania obwodu drgającego (rezonatora) w energię polega na sprzężeniu go z innym obwodem, generatorem.

Często stosuje się sprzężenia indukcyjne z wykorzystaniem indukcji wzajemnej dwóch cewek. Współczynnik sprzężenia k takiego układu zależy od indukcyjności cewek generatora L_1 i rezonatora L_2 :

$$k = \frac{L_{12}}{I_1 L_2}, \quad (1)$$

L_{12} oznacza indukcyjność wzajemną cewek L_1 i L_2 . W obwodach powstaną jednocześnie drgania o dwóch częstościach ω_1, ω_2 :

$$\omega_1 = \frac{\omega_0}{\sqrt{1+k}}, \quad (2)$$

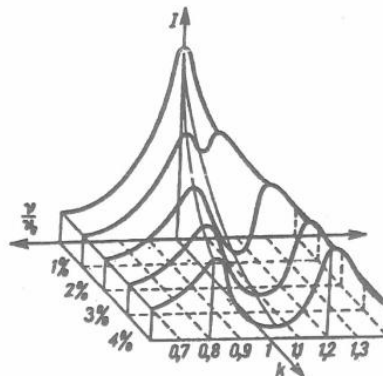
gdzie ω_0 to częstość własna drgań układu definiowana zależnością $\omega_0 = \sqrt{\omega_r^2 + (2\beta)^2}$, 2β - współczynnik tłumienia $2\beta = \frac{R_w}{L}$, oraz

$$\omega_2 = \frac{\omega_0}{\sqrt{1-k}}. \quad (3)$$

W wyniku jednoczesnego istnienia tych dwóch częstotliwości powstaje dudnienie o częstości ω_d :

$$\omega_d = \omega_2 - \omega_1. \quad (4)$$

Jeżeli sprzężenie jest słabe to obie częstotliwości są prawie równe i okres dudnienia jest długi. Obserwuje się wówczas jedno maksimum na krzywej rezonansowej (rysunek 1).



Rysunek.1 Charakterystyki częstotliwościowe dwóch obwodów sprzężonych.

Amplituda drgań wymuszonych zależy od wzajemnej relacji częstości drgań układów. Maksimum amplitudy drgań uzyskuje się w rezonansie tj. gdy częstość czynnika wymuszającego drgania równa się częstości własnej układu ω_0 .

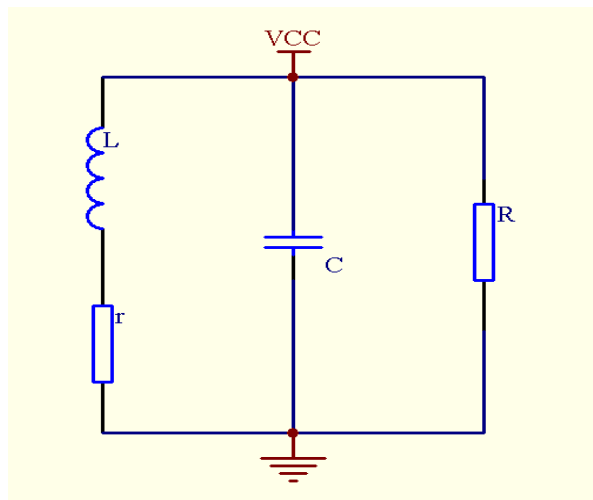
Ze wzoru wiążącego częstość drgań własnych z parametrami obwodu, dla rezonansu zachodzi relacja.

$$L_1 C_1 = L_2 C_2. \quad (5)$$

Parametrem charakteryzującym straty mocy układu jest dobroć Q obwodu określająca stosunek energii drgań układu w dowolnej chwili do strat tej energii traconej w jednym okresie. Dla układu równoległego RLC wynosi ona:

$$Q = \frac{R_w}{\omega_0 L}, \quad (6)$$

gdzie R_w jest opornością wypadkową układu pokazanego na (rys.2),



Rysunek 2. Równoległy obwód RLC.

$$R_w = \frac{r * R}{R + r}, \quad (7)$$

gdzie r – wewnętrzny opór omowy cewki L , R – opór równoległe dołączony do obwodu. Wartość Q wyznaczają także parametry krzywej rezonansowej:

$$Q = \frac{\omega_0}{2(\Delta\omega)}, \quad (8)$$

$\omega_0 = 2\pi * f_0$; f_0 – częstotliwość własna układu zatem:

$$Q = \frac{f_0}{f_2 - f_1} \quad (9)$$

gdzie:

$$f_0 = \frac{\sqrt{\frac{1}{LC} + \left(\frac{R_w}{L}\right)^2}}{2\pi}, \quad (10)$$

Celem uproszczenia dalszych rozważań przyjmiemy, że tłumienie wnosi bardzo mały przyczynek do końcowej wartości f_0 i jest ona w efekcie równa $f_0 = 1/(2\pi\sqrt{LC})$.

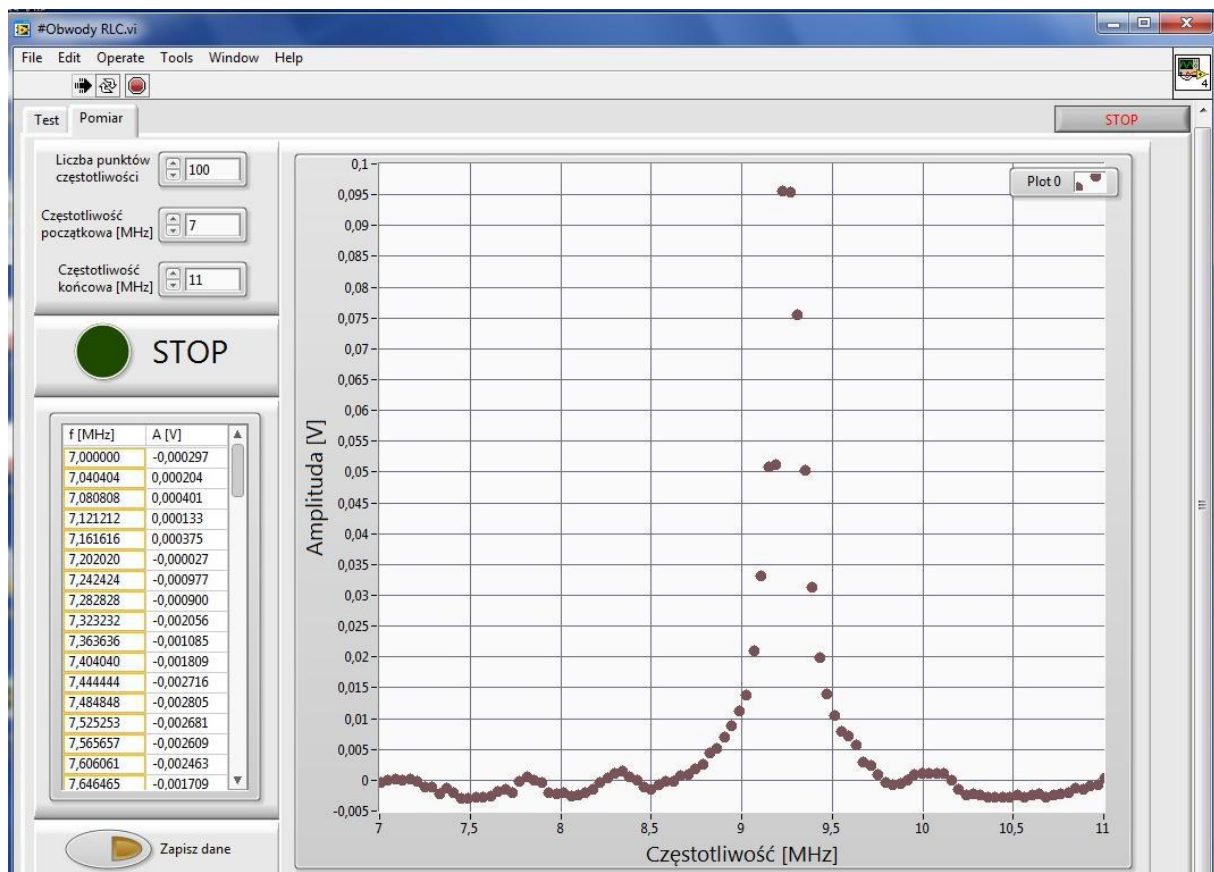
Cewka generatora jest dipolem magnetycznym. Pole przez nią wytwarzane maleje z odległością według zależności $\frac{1}{d^3}$ dla małych sprzężeń k obwodów.

2. Aparatura i pomiary

Układ pomiarowy składa się z generatora oraz rezonatora (dwóch równoległych obwodów RLC), w którym odległość D pomiędzy dwoma cewkami L_1 i L_2 może być zmieniana. Zwiększenie odległości sprawia, że sprzężenie między cewkami słabnie. Cyfrowy generator funkcji (po włączeniu należy przywołać w nim zapisane ustawienia SET01) jest wykorzystywany do modulacji częstości w obwodzie RLC generatora i do polaryzacji (napięcie stałe) obwodu rezonatora, tak by dostroić częstotliwość rezonansową zmieniając pojemność. W rezonatorze opór omowy R może być zmieniany. Scałkowane napięcie jest mierzone za pomocą oscyloskopu cyfrowego (na kanale 1).

Eksperyment jest prowadzony za pomocą programu „Obwody RLC” (Rysunek 3). Po ustawieniu początkowych i końcowych częstotliwości w MHz (*Częstotliwość początkowa*, *Częstotliwość końcowa*), jak również liczby punktów pomiarowych (*Liczba punktów częstości*), należy nacisnąć zielony przycisk by rozpocząć pomiar. Gdy krzywa rezonansowa (amplituda w woltach versus *Częstotliwość* w MHz, patrz rysunek 3) zostanie zmierzona, powinna zostać zapisana w pliku tekstowym poprzez naciśnięcie przycisku

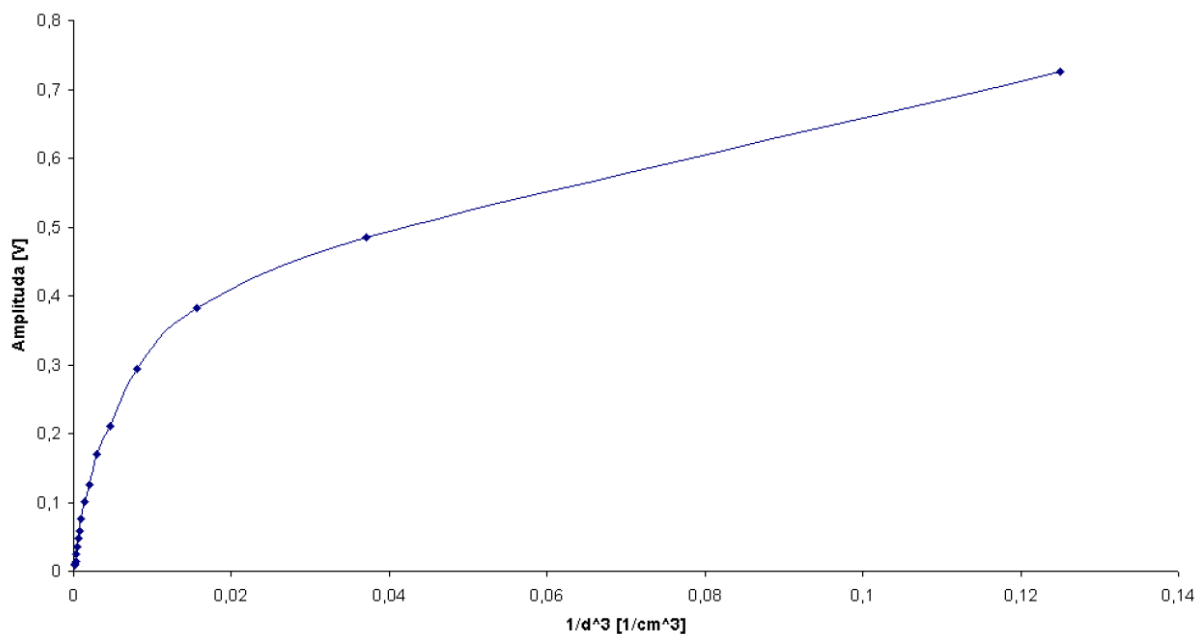
Zapisz dane. Następnie, dane mogą zostać zanalizowane w programie zewnętrznym (np. Excel lub Origin), tak by wyznaczyć następujące parametry: częstotliwość rezonansową (w MHz), maksymalną amplitudę drgań (w woltach) i współczynnik dobroci Q (z równania (5) i po podniesieniu amplitudy sygnału do kwadratu celem uzyskania zależności mocy sygnału od jego częstotliwości).



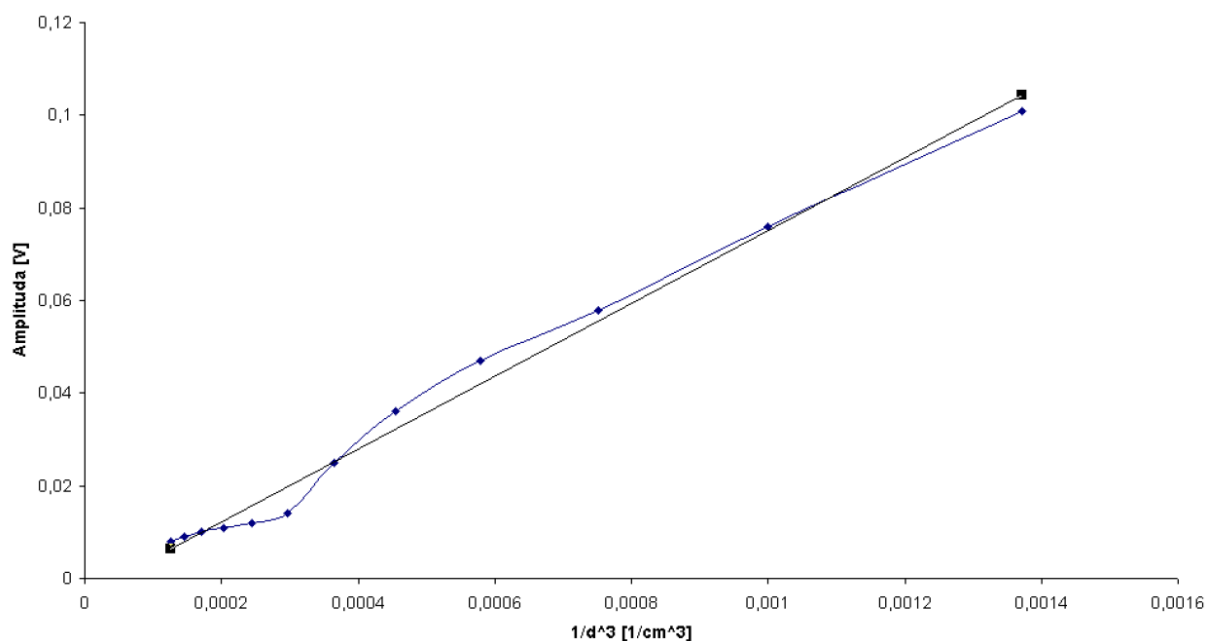
Rysunek 3. Ekran aplikacji pomiarowej.

Należy sporządzić wykres zależności amplitudy sygnału od $1/D^3$ (rysunek 4). Dla dostatecznie dużej odległości zależność powinna być liniowa (rysunek 5), co oznacza, że przybliżenie dipolem magnetycznym (tj. założenie o słabym sprzężeniu) jest poprawne. Odległość, dla której pojawia się zależność liniowa może być określona i porównana ze średnicą zwojów cewki.

Następnie, należy przeprowadzić badanie zależności amplitudy i dobroci Q od oporu R rezonatora i omówić je nawiązując do wyrażenia (6).



Rysunek 4. Przykładowa zależność amplitudy mierzonego sygnału od odwrotności sześcianu odległości między cewkami.



Rysunek 5. Przykład liniowej zależności amplitudy sygnału rezonansowego od wartości $1 / D^3$ dla dużych odległości D pomiędzy cewkami. Celem potwierdzenia liniowości tej zależności można użyć regresji liniowej w zewnętrznym programie (np. Excel lub Origin).