

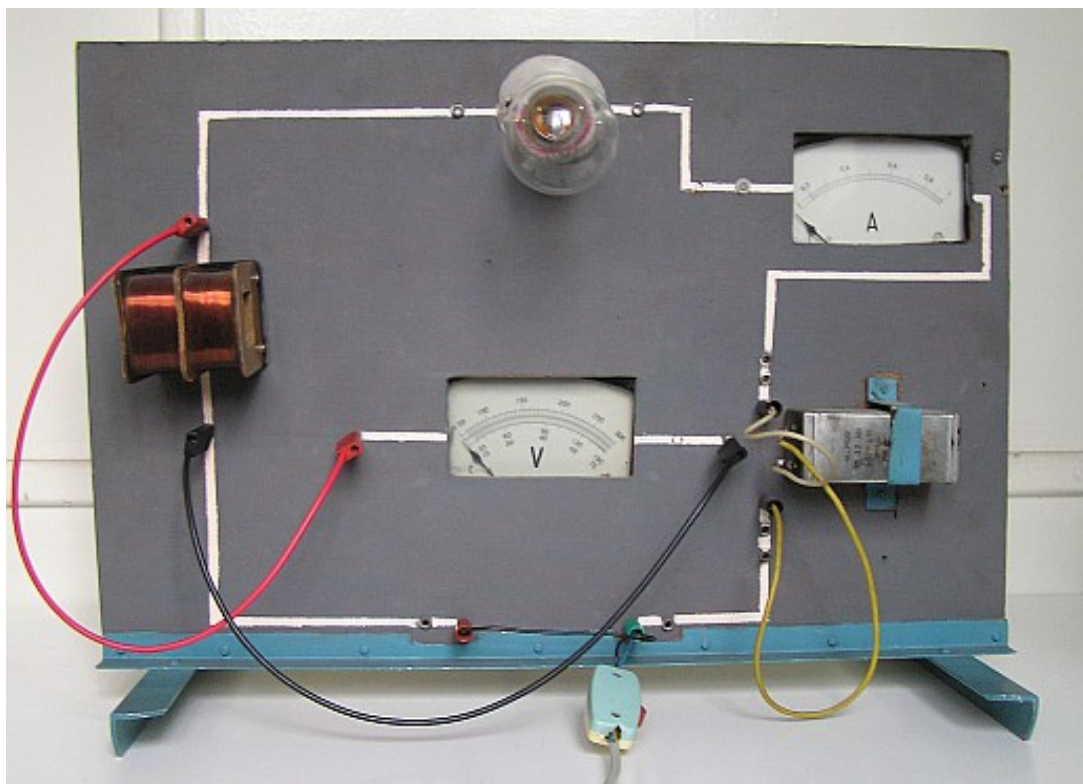
Poglądowy sposób przedstawienia rezonansu napięć oraz roli elementów R, L, C w obwodzie prądu stałego i zmiennego

Andrzej Kuczkowski, Jarosław Nowakowski, Andrzej Kozłowski, Leszek Wicikowski

Wydział Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej
Politechnika Gdańska

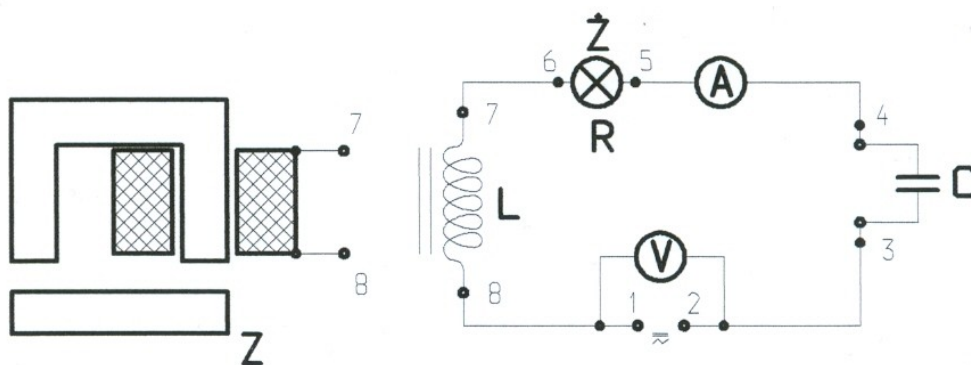
Streszczenie

Korzystając z przedstawionego na zdjęciu układu można pokazać szereg specyficznych własności które charakteryzuje szeregowe połączenie elementów R, L, C w obwodach prądu stałego i zmiennego.



Zdj. 1. Układ składa się z pionowej tablicy zamocowanej do podstawy. W obwodzie znajdują się: indukcyjność L w postaci solenoidu o 3600 zwojach z wysuwającym rdzeniem żelaznym, pojemność C (kondensator o pojemności $3,7 \mu\text{F}$), opór omowy R , równy sumie oporności żarówki \tilde{Z} i oporu omowego solenoidu, amperomierz A i woltomierz V . Przy pomocy tego woltomierza będą mierzone napięcia kolejno na pojemności C , indukcyjności L i oporze żarówki, przez kolejne przełączenie przewodów wychodzących od woltomierza do punktów: 3 i 4, 7 i 8 oraz 5 i 6.

Schemat tego układu przedstawiony jest na poniższym rysunku



Rys. 1. Schemat układu RLC. Z lewej strony pokazany jest solenoid wraz z jarzmem i zworą przy pomocy których można zmieniać indukcyjność układu. (Zaczerpnięto z: dr inż. J. Liwo, inż. B. Porala: *Materiały pomocnicze z fizyki*. Politechnika Gdańska, Wydział Fizyki. Materiały wewnętrzne.)

Podłączenie układu do obwodu prądu stałego

Gdy do punktów 1 i 2 podłączymy zasilacz prądu stałego przez układ nie będzie płynął prąd elektryczny, poza chwilowym prądem ładowania kondensatora. Po zwarceniu zacisków 3 i 4 (wylimitowaniu pojemności), przez układ który teraz składa się z oporności i indukcyjności popłynie prąd. Wartość jego zależy od wartości oporu żarówki i oporu omowego solenoidu.

Podłączenie układu do obwodu prądu zmiennego

Układ RL w obwodzie prądu zmiennego – najpierw zwieramy zaciski 3 i 4.

W otrzymanym obwodzie RL do punktów 1 i 2 podłączamy autotransformator zasilany napięciem sieciowym 230 V. Żarówka świeci się jasno. Gdy zwiększamy indukcyjność obwodu przez powolne wkładanie rdzenia do solenoidu, żarówka przygasa, a po zamknięciu zwory Z całkowicie gaśnie.

Rezonans napięć w szeregowym układzie RLC

Do obwodu RLC dołączamy transformator ustawiony na napięciu 120 V. Jeżeli w solenoidzie nie ma rdzenia żarówka słabo się żarzy. Gdy przez włożenie rdzenia do solenoidu zwiększamy indukcyjność – żarówka świeci się coraz jaśniej, a prąd wzrasta do wartości około 0,6 A. Przy całkowitym wsunięciu rdzenia występuje rezonans napięć. Napięcie na indukcyjności jest równe napięciu na pojemności, lecz napięcia te są przesunięte w fazie o około 180° dlatego się kompensują. Wartość prądu osiąga maksimum i określona jest przez wartość oporu równą oporności żarówki i oporu czynnego solenoidu. Przy dalszym zwiększaniu indukcyjności realizowanym przez dołożenie i zamknięcie zwory Z solenoidu, żarówka prawie całkowicie przygasa.

Przy wartości indukcyjności mniejszej, równej i większej od wartości rezonansowej mierzymy spadki napięć na indukcyjności, pojemności, oporności i wartość napięcia wejściowego. W rezonansie napięcie na indukcyjności jest w przybliżeniu równe napięciu na pojemności. Napięcia te osiągają wartość około 360 V. Wartość tego napięcia jest znacznie większa od wartości napięcia zasilającego równego 130 V. Mówimy że w rezonansie występuje zjawisko przepięcia. Gdy wartość indukcyjności jest mniejsza od wartości rezonansowej, napięcie na indukcyjności jest mniejsze od wartości napięcia na pojemności.

W przeciwnym przypadku, gdy wartość indukcyjności jest większa od wartości rezonansowej, napięcie na indukcyjności jest większe od wartości napięcia na pojemności.

Wykres fazowy i kąt przesunięcia fazowego między napięciem i natężeniem prądu w układzie RLC

Przy połączeniu szeregowym układu RLC przez wszystkie elementy przepływa ten sam prąd elektryczny I . Wykorzystując prawo Ohma możemy policzyć wartości skuteczne napięć na oporniku, cewce i kondensatorze. $U_R = I \cdot R$

$$U_L = I \cdot X_L$$

$$U_C = I \cdot X_C$$

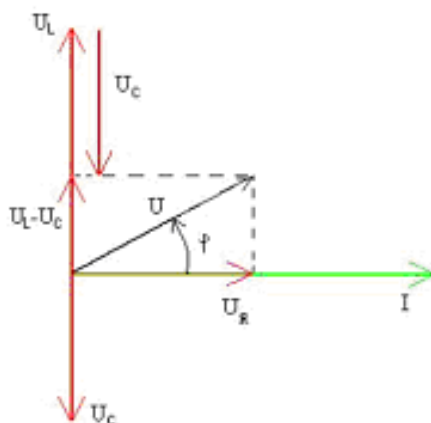
gdzie:

R – rezystancja układu,

$X_L = \omega L = 2\pi f L$ – reaktancja indukcyjna,

$X_C = \frac{1}{\omega C}$ – reaktancja pojemnościowa.

Napięcia dodajemy wektorowo pamiętając, że napięcie na oporniku jest w fazie z prądem, napięcie na cewce wyprzedza prąd o 90° , na kondensatorze opóźnia się o 90° .



Rys. 2. Wykres fazowy napięć w układzie RLC.

Z wykresu fazowego możemy wyznaczyć wartość napięcia wypadkowego U oraz kąt przesunięcia fazowego φ między napięciem całkowitym a prądem.

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2} = I \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{U_L - U_C}{U_R} = \frac{X_L - X_C}{R} = \frac{X}{R}$$

Natężenie prądu osiąga wartość maksymalną gdy $X_L = X_C$, co zachodzi przy częstotliwości rezonansowej $f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$.

W rezonansie napięcia U_L i U_C są sobie równe i przeciwnie skierowane, dlatego przez układ płynie maksymalny prąd równy

$$I = \frac{U}{R}$$

Gdy $R < X_L$ wtedy napięcia na indukcyjności $U_L = I \cdot X_L$ i pojemności $U_C = I \cdot X_C$ znacznie przewyższają napięcie zasilania U .

Współczynnik przepięcia, zwany też dobrocią układu Q równa się stosunkowi napięcia na indukcyjności do napięcia zasilacza:

$$Q = \frac{U_L}{U} = \frac{\omega_r L}{R} = \frac{1}{\sqrt{LC}} \frac{L}{R} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$