

1 Wstęp

W obwodach RLC, czyli składających się z rezystorów, cewek oraz kondensatorów zasilanych prądem zmiennym może wystąpić zjawisko rezonansu elektromagnetycznego. Prąd w obwodzie gwałtownie osiąga wtedy maksimum. Ma to miejsce, gdy $X_L + X_C = 0$, gdzie $X_L = \omega L$ - reaktancja cewki, a $X_C = -\frac{1}{\omega C}$ - reaktancja kondensatora. Z tej równości można wyznaczyć:

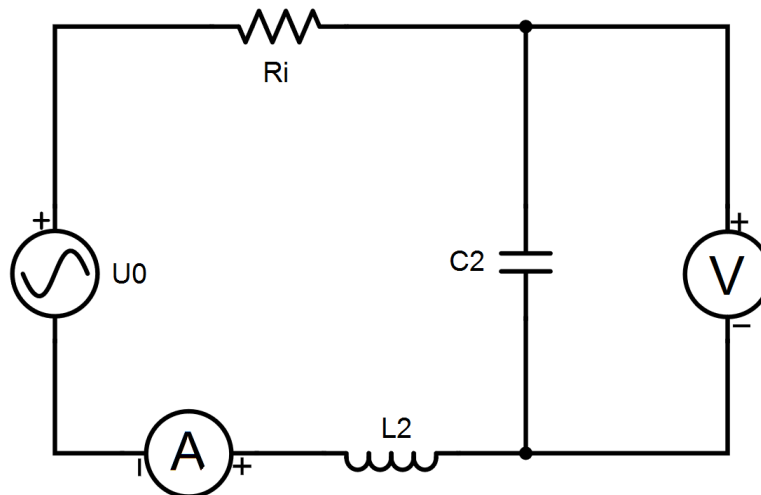
$$f_{\text{rezonansowa}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}. \quad (1)$$

Dla $f_{\text{rezonansowa}}$ amplituda prądu osiąga maksymalną wartość:

$$I = \frac{U_0}{Z} = \frac{U_0}{R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{U_0}{R}. \quad (2)$$

Wynika to z prawa Ohma oraz faktu, że impedancja dla częstotliwości rezonansowej zależy jedynie od części rzeczywistej, czyli rezystancji. Łatwo więc zauważyć, że krzywa rezonansowa powinna osiągać większą amplitudę wraz ze spadkiem rezystancji.

Rysunek 1: Schemat wykorzystanego układu pomiarowego



Dobroć układu - stosunek wymuszonych drgań rezonansowych do analogicznej amplitudy w obszarze częstotliwości:

$$Q = \frac{f_{\text{rezonansowa}}}{\Delta f}, \quad (3)$$

gdzie Δf jest szerokością krzywej rezonansowej w połowie jej wysokości.

2 Wykorzystane wzory

Niepewność napięcia źródła

$$u(U_0) = 3\% \text{ } rdg \quad (4)$$

Niepewność pomiaru rezystancji

$$u(R_i) = 0.5\% \text{ } rdg + 1 \text{ } dgt \quad (5)$$

Niepewność pomiaru pojemności

$$u(C) = 5\% \text{ } rdg + 10 \text{ } dgt \quad (6)$$

Niepewność pomiaru częstotliwości

$$u(f) = 1\% \text{ } rdg + 1 \text{ } dgt \quad (7)$$

Niepewność pomiaru prądu

$$u(I) = 2.5\% \text{ } rdg + 3 \text{ } dgt \quad (8)$$

Niepewność pomiaru napięcia

$$u(U) = 0.8\% \text{ } rdg + 1 \text{ } dgt \quad (9)$$

3 Przykładowe obliczenia

Niepewność napięcia źródła

$$u(3) = 0.8\% \cdot 3 = 0.09 \text{ } [V]$$

Niepewność pomiaru rezystancji

$$u(55.7) = 0.5\% \cdot 55.5 + 0.1 = 0.38 \text{ } [\Omega]$$

Niepewność pomiaru pojemności

$$u(100) = 5\% \cdot +10 = 15 \text{ } [nF]$$

Niepewność pomiaru częstotliwości

$$u(1000) = 1\% \cdot 1000 + 1 = 11 \text{ } [Hz]$$

Niepewność pomiaru prądu

$$u(0.190) = 2.5\% \cdot 0.190 + 0.003 = 0.035$$

Niepewność pomiaru napięcia

$$u(3.053) = 0.8\% \cdot 3.053 + 0.001 = 0.026$$

4 Opracowanie pomiarów

Tablica 1: Zmierzone bezpośrednio parametry obwodu RLC

| i | 1 | 2 | 3 |
|-------------------|-----------------|--------|-------|
| $R_i [\Omega]$ | 55.70 | 111.50 | 275.9 |
| $u(R_i) [\Omega]$ | 0.38 | 0.66 | 1.5 |
| $C_2 [nF]$ | 100 ± 15 | | |
| $L_2 [nF]$ | 33.0 ± 3.3 | | |
| $U_0 [V]$ | 3.00 ± 0.09 | | |

Tablica 2: Wyniki pomiarów dla obwodu z opornikiem R_1

| $f [Hz]$ | $u(f) [Hz]$ | $I [mA]$ | $u(I) [mA]$ | $U [V]$ | $u(U) [V]$ |
|----------|-------------|----------|-------------|---------|------------|
| 100 | 2 | 0.190 | 0.035 | 3.053 | 0.026 |
| 500 | 6 | 1.040 | 0.056 | 3.108 | 0.026 |
| 1000 | 11 | 2.220 | 0.086 | 3.279 | 0.028 |
| 1500 | 16 | 3.72 | 0.13 | 3.630 | 0.031 |
| 2000 | 21 | 5.97 | 0.18 | 4.360 | 0.036 |
| 2500 | 26 | 10.15 | 0.29 | 5.780 | 0.048 |
| 2600 | 27 | 11.49 | 0.32 | 6.230 | 0.051 |
| 2700 | 28 | 13.09 | 0.36 | 6.790 | 0.056 |
| 2800 | 29 | 15.05 | 0.41 | 7.470 | 0.061 |
| 2900 | 30 | 17.46 | 0.47 | 8.280 | 0.068 |
| 3000 | 31 | 20.36 | 0.54 | 9.240 | 0.075 |
| 3100 | 32 | 23.62 | 0.63 | 10.290 | 0.084 |
| 3200 | 33 | 26.88 | 0.71 | 11.260 | 0.092 |
| 3300 | 34 | 29.44 | 0.77 | 11.920 | 0.097 |
| 3400 | 35 | 30.6 | 0.8 | 12.030 | 0.098 |
| 3500 | 36 | 30.23 | 0.79 | 11.580 | 0.094 |
| 3600 | 37 | 28.70 | 0.75 | 10.750 | 0.087 |
| 3700 | 38 | 26.6 | 0.7 | 9.77 | 0.08 |
| 3800 | 39 | 24.40 | 0.64 | 8.800 | 0.072 |
| 3900 | 40 | 22.29 | 0.59 | 7.920 | 0.065 |
| 4000 | 41 | 20.39 | 0.54 | 7.130 | 0.059 |
| 4100 | 42 | 18.7 | 0.5 | 6.430 | 0.053 |
| 4200 | 43 | 17.16 | 0.46 | 5.830 | 0.048 |
| 4300 | 44 | 15.82 | 0.43 | 5.300 | 0.044 |
| 4400 | 45 | 14.7 | 0.4 | 4.84 | 0.04 |
| 4500 | 46 | 13.62 | 0.38 | 4.440 | 0.037 |
| 5000 | 51 | 9.95 | 0.28 | 3.001 | 0.026 |
| 5500 | 56 | 7.74 | 0.23 | 2.203 | 0.019 |
| 6000 | 61 | 6.29 | 0.19 | 1.701 | 0.015 |
| 6500 | 66 | 5.26 | 0.17 | 1.364 | 0.012 |

Tablica 3: Wyniki pomiarów dla obwodu z opornikiem R_2

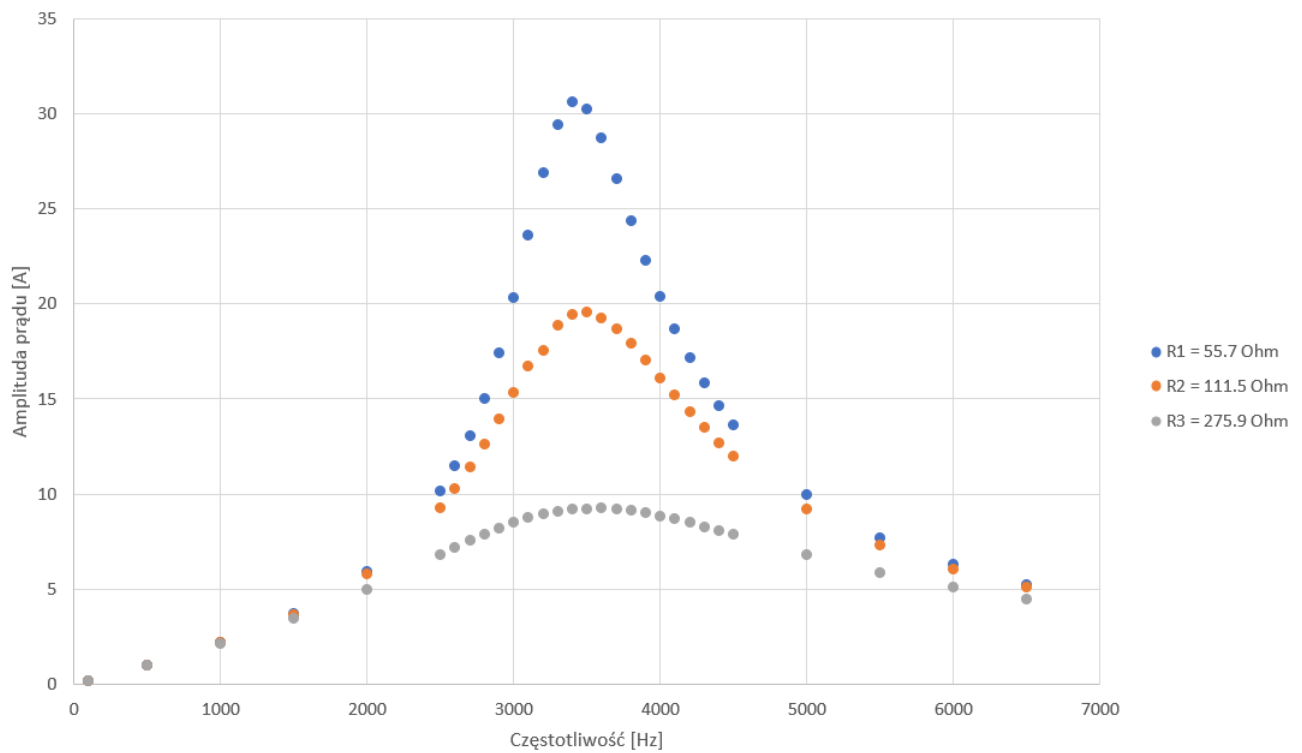
| f [Hz] | $u(f)$ [Hz] | I [mA] | $u(I)$ [mA] | U [V] | $u(U)$ [V] |
|----------|-------------|----------|-------------|---------|------------|
| 100 | 2 | 0.190 | 0.035 | 3.053 | 0.026 |
| 500 | 6 | 1.040 | 0.056 | 3.105 | 0.026 |
| 1000 | 11 | 2.210 | 0.086 | 3.265 | 0.028 |
| 1500 | 16 | 3.68 | 0.13 | 3.6 | 0.03 |
| 2000 | 21 | 5.79 | 0.18 | 4.240 | 0.035 |
| 2500 | 26 | 9.31 | 0.27 | 5.340 | 0.044 |
| 2600 | 27 | 10.30 | 0.29 | 5.650 | 0.047 |
| 2700 | 28 | 11.41 | 0.32 | 5.990 | 0.049 |
| 2800 | 29 | 12.64 | 0.35 | 6.360 | 0.052 |
| 2900 | 30 | 13.98 | 0.38 | 6.760 | 0.056 |
| 3000 | 31 | 15.37 | 0.42 | 7.150 | 0.059 |
| 3100 | 32 | 16.74 | 0.45 | 7.500 | 0.061 |
| 3200 | 33 | 17.56 | 0.47 | 7.770 | 0.064 |
| 3300 | 34 | 18.90 | 0.51 | 7.920 | 0.065 |
| 3400 | 35 | 19.44 | 0.52 | 7.910 | 0.065 |
| 3500 | 36 | 19.55 | 0.52 | 7.740 | 0.063 |
| 3600 | 37 | 19.27 | 0.52 | 7.450 | 0.061 |
| 3700 | 38 | 18.7 | 0.5 | 7.070 | 0.058 |
| 3800 | 39 | 17.92 | 0.48 | 6.630 | 0.055 |
| 3900 | 40 | 17.05 | 0.46 | 6.190 | 0.051 |
| 4000 | 41 | 16.13 | 0.44 | 5.760 | 0.048 |
| 4100 | 42 | 15.22 | 0.42 | 5.340 | 0.044 |
| 4200 | 43 | 14.35 | 0.39 | 4.950 | 0.041 |
| 4300 | 44 | 13.52 | 0.37 | 4.590 | 0.038 |
| 4400 | 45 | 12.71 | 0.35 | 4.250 | 0.035 |
| 4500 | 46 | 11.99 | 0.33 | 3.950 | 0.033 |
| 5000 | 51 | 9.21 | 0.27 | 2.793 | 0.024 |
| 5500 | 56 | 7.34 | 0.22 | 2.101 | 0.018 |
| 6000 | 61 | 6.06 | 0.19 | 1.645 | 0.015 |
| 6500 | 66 | 5.11 | 0.16 | 1.328 | 0.012 |

Tablica 4: Wyniki pomiarów dla obwodu z opornikiem R_3

| f [Hz] | $u(f)$ [Hz] | I [mA] | $u(I)$ [mA] | U [V] | $u(U)$ [V] |
|----------|-------------|----------|-------------|---------|------------|
| 100 | 2 | 0.19 | 0.035 | 3.052 | 0.026 |
| 500 | 6 | 1.03 | 0.056 | 3.086 | 0.026 |
| 1000 | 11 | 2.16 | 0.084 | 3.190 | 0.027 |
| 1500 | 16 | 3.45 | 0.12 | 3.383 | 0.029 |
| 2000 | 21 | 5.01 | 0.16 | 3.663 | 0.031 |
| 2500 | 26 | 6.83 | 0.21 | 3.960 | 0.033 |
| 2600 | 27 | 7.21 | 0.22 | 3.998 | 0.033 |
| 2700 | 28 | 7.57 | 0.22 | 4.120 | 0.034 |
| 2800 | 29 | 7.91 | 0.23 | 4.150 | 0.035 |
| 2900 | 30 | 8.23 | 0.24 | 4.170 | 0.035 |
| 3000 | 31 | 8.51 | 0.25 | 4.170 | 0.035 |
| 3100 | 32 | 8.76 | 0.25 | 4.150 | 0.035 |
| 3200 | 33 | 8.97 | 0.26 | 4.120 | 0.034 |
| 3300 | 34 | 9.11 | 0.26 | 4.070 | 0.034 |
| 3400 | 35 | 9.21 | 0.27 | 4.000 | 0.033 |
| 3500 | 36 | 9.25 | 0.27 | 3.920 | 0.033 |
| 3600 | 37 | 9.26 | 0.27 | 3.820 | 0.032 |
| 3700 | 38 | 9.21 | 0.27 | 3.710 | 0.031 |
| 3800 | 39 | 9.13 | 0.26 | 3.5 | 0.03 |
| 3900 | 40 | 9.01 | 0.26 | 3.417 | 0.029 |
| 4000 | 41 | 8.86 | 0.26 | 3.291 | 0.028 |
| 4100 | 42 | 8.69 | 0.25 | 3.163 | 0.027 |
| 4200 | 43 | 8.5 | 0.25 | 3.036 | 0.026 |
| 4300 | 44 | 8.3 | 0.24 | 2.910 | 0.025 |
| 4400 | 45 | 8.09 | 0.24 | 2.786 | 0.024 |
| 4500 | 46 | 7.88 | 0.23 | 2.667 | 0.023 |
| 5000 | 51 | 6.83 | 0.21 | 2.138 | 0.019 |
| 5500 | 56 | 5.89 | 0.18 | 1.728 | 0.015 |
| 6000 | 61 | 5.11 | 0.16 | 1.418 | 0.013 |
| 6500 | 66 | 4.46 | 0.15 | 1.182 | 0.011 |

Rysunek 2: Wykres zależności amplitudy prądu w funkcji częstotliwości dla układu z kondensatorem C_2 i cewką L_2 przy wyborze różnych wartości oporu

Wykres zależności amplitudy prądu w funkcji częstotliwości dla układu z kondensatorem C_2 i cewką L_2 przy wyborze różnych wartości oporu



5 Wnioski