

Sprawozdanie z ćw 53 – PRAWO OHMA DLA PRĄDU PRZEMIENNEGO

Michał Puchyr, Dawid Chudzicki

17 kwietnia 2023

1 Cel ćwiczenia

- Wyznaczenie wartości indukcyjności cewki i pojemności kondensatora przy zastosowaniu prawa Ohma dla prądu przemiennego,
- Sprawdzenie prawa Ohma dla prądu przemiennego dla szeregowego układu złożonego z opornika, cewki indukcyjnej i kondensatora.

2 Wstęp teoretyczny

Prąd przemienny (AC) – charakterystyczny przypadek prądu elektrycznego okresowo zmiennego, w którym wartości chwilowe podlegają zmianom w powtarzalny, okresowy sposób, z określoną częstotliwością. Wartości chwilowe natężenia prądu przemiennego przyjmują naprzemiennie wartości dodatnie i ujemne.

Największe znaczenie praktyczne mają prąd i napięcie o przebiegu sinusoidalnym. W żargonie technicznym nazwa prąd przemienny często oznacza po prostu **prąd sinusoidalny**.

Kondensator – element elektroniczny bierny zbudowany z dwóch przewodników – inaczej okładek lub elektrod – rozdzielonych dielektrykiem; przechowuje on energię w postaci pola elektrycznego.

Pojemność kondensatora mierzy zdolność kondensatora do magazynowania ładunku elektrycznego.

Jednostką pojemności jest farad (F).

Kondensatory są wykorzystywane w elektronice do różnych celów, na przykład do filtrowania sygnałów, magazynowania energii, stabilizacji napięcia, generowania sygnałów i wielu innych zastosowań.

Cewka indukcyjna to element elektryczny składający się z przewijanej spirali z drutu lub taśmy ferromagnetycznej, który wykorzystuje zjawisko elektromagnetycznej indukcji do magazynowania energii w postaci pola magnetycznego.

Indukcyjność jest podstawowym parametrem elektrycznym opisującym cewkę. Prąd płynący w obwodzie wytwarza skojarzony z nim strumień magnetyczny.

Jednostką indukcyjności jest henr [H].

Indukcyjność definiuje się jako stosunek tego strumienia i prądu, który go wytworzył:

$$L = k \frac{\Phi}{i}$$

Współczynnik k zależy od geometrii układu, a więc między innymi od kształtu cewki, liczby zwojów, grubości użytego drutu. Indukcyjność cewki zależy również od przenikalności magnetycznej rdzenia.

Wykaz przyrządów :

- Generator AG 1012F
- Woltomierz napięcia przemiennego
- Miliamperomierz prądu przemiennego
- Zestaw składający się z oporników, cewek indukcyjnych i kondensatorów

Oporność badanego opornika : $R = (157 \pm 3)\Omega$

Oporność cewki indukcyjnej : $R_{L2} = (0,60 \pm 0,05)\Omega$

Przedział częstotliwości pomiarowej dla pojemności C_3 : od 50 Hz do 200Hz

3 Przykładowe obliczenia

3.1 Niepewności mierników

Niepewność woltomierza

Dla zakresu:

- 4V : $\pm 0,8\% \text{ rdg} + 3\text{dgt}$ $\text{dgt} = 1\text{mV}$
- 40V : $\pm 2,5\% \text{ rdg} + 5\text{dgt}$ $\text{dgt} = 10\text{mV}$

Np.

$$u_b(U) = \frac{0,008 \cdot 1,016 + 3 \cdot 0,001}{\sqrt{3}} = 0,00642 \approx 0,0065[V]$$

Niepewność amperomierza (dla prądu zmiennego)

Dla zakresu:

- 40 mA : $\pm 1,5\% \text{ rdg} + 3\text{dgt}$ $\text{dgt} = 10\mu\text{A}$
- 400 mA : $\pm 1,5\% \text{ rdg} + 3\text{dgt}$ $\text{dgt} = 100\mu\text{A}$

Np.

$$u_b(I) = \frac{0,015 \cdot 2,090 + 3 \cdot 0,00001}{\sqrt{3}} = 0,01811 \approx 0,019[\text{mA}]$$

Niepewność ustalenia częstotliwości generatora:

- $\pm 1\% \text{ rdg} \pm 1\text{Hz}$

Np.

$$u_b(f) = \frac{0,01 \cdot 125 + 1}{\sqrt{3}} = 1,29903 \approx 1,3[\text{Hz}]$$

3.2 Wyznaczenie pojemności kondensatora

Obliczenie pojemności kondensatora:

$$C = \frac{1}{2\pi f \sqrt{Z_C^2 - R^2}} = \frac{1}{2\pi \cdot 125 \sqrt{470^2 - 157^2}} = 2,874115253^{-6} \approx 2,874116^{-6} [F]$$

Wyznaczenie niepewności złożonej pojemności kondensatora:

$$\begin{aligned} u_c(C) &= \sqrt{\left(\frac{\partial C}{\partial f}\right)^2 \cdot u(f)^2 + \left(\frac{\partial C}{\partial Z_C}\right)^2 \cdot u(Z_C)^2 + \left(\frac{\partial C}{\partial R}\right)^2 \cdot u(R)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{-1}{2\pi f^2 \sqrt{Z_C^2 - R^2}}\right)^2 \cdot u(f)^2 + \left(\frac{-Z_C}{2\pi f (Z_C^2 - R^2)^{\frac{3}{2}}}\right)^2 \cdot u(Z_C)^2 + \left(\frac{R}{2\pi f (Z_C^2 - R^2)^{\frac{3}{2}}}\right)^2 \cdot u(R)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{-1}{2\pi \cdot 125^2 \sqrt{470^2 - 157^2}}\right)^2 \cdot 1,3^2 + \left(\frac{-470}{2\pi \cdot 125 (470^2 - 157^2)^{\frac{3}{2}}}\right)^2 \cdot 2^2 + \left(\frac{157}{2\pi \cdot 125 (470^2 - 157^2)^{\frac{3}{2}}}\right)^2 \cdot 3^2} \\ &= 3,3624^{-8} [F] \end{aligned}$$

3.3 Wyznaczenie indukcyjności cewki

Obliczenie indukcyjności cewki:

$$L = \frac{\sqrt{Z_L^2 - (R + R_L)^2}}{2\pi f} = \frac{\sqrt{164,64^2 - (157 + 0,60)^2}}{2\pi \cdot 125} = 0,060644 \approx 0,061 [H]$$

Wyznaczenie niepewności złożonej indukcyjności cewki

$$\begin{aligned} u_c(L) &= \sqrt{\left(\frac{\partial L}{\partial Z_L}\right)^2 \cdot u(Z_L)^2 + \left(\frac{\partial L}{\partial R}\right)^2 \cdot u(R)^2 + \left(\frac{\partial L}{\partial R_L}\right)^2 \cdot u(R_L)^2 + \left(\frac{\partial L}{\partial f}\right)^2 \cdot u(f)^2} \\ &= u_c(L) = \sqrt{\left(\frac{Z_L}{2\pi f \sqrt{Z_L^2 - (R + R_L)^2}}\right)^2 \cdot u(Z_L)^2 + \left(\frac{-(R + R_L)}{2\pi f \sqrt{Z_L^2 - (R + R_L)^2}}\right)^2 \cdot u(R)^2} \\ &\quad + \sqrt{\left(\frac{-(R + R_L)}{2\pi f \sqrt{Z_L^2 - (R + R_L)^2}}\right)^2 \cdot u(R_L)^2 + \left(\frac{-\sqrt{Z_L^2 - (R + R_L)^2}}{2\pi f^2}\right)^2 \cdot u(f)^2} \\ &= 0,0131514 \approx 0,014 [H] \end{aligned}$$

3.4 Sprawdzenie słuszności prawa Ohma dla prądu przemiennego

Wyznaczenie zawady nr 2 dla układu szeregowego RLC:

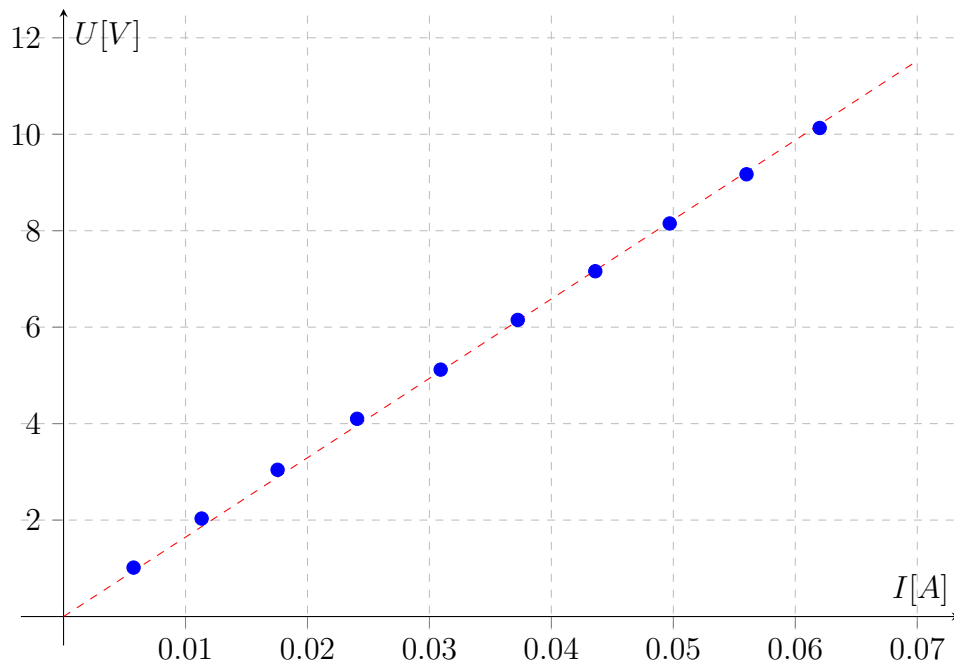
$$Z_2 = \sqrt{(R + R_L)^2 + \left(2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}\right)^2} = 425,625862$$

Wyznaczenie niepewności złożonej dla zawady nr 2:

$$u(Z_2) = \sqrt{\left(\frac{R + R_L}{\sqrt{(R + R_L)^2 + \left(2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}\right)^2}}\right)^2 \cdot u(R)^2 + \left(\frac{R + R_L}{\sqrt{(R + R_L)^2 + \left(2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}\right)^2}}\right)^2 \cdot u(R_L)^2 + \left(\frac{\left(2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}\right) \cdot 2\pi f}{\sqrt{(R + R_L)^2 + \left(2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}\right)^2}}\right)^2 \cdot u(L)^2 + \left(\frac{\left(2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}\right) \cdot \left(2\pi L + \frac{1}{2\pi f^2 C}\right)}{\sqrt{(R + R_L)^2 + \left(2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}\right)^2}}\right)^2 \cdot u(f)^2 + \left(\frac{\left(2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}\right) \cdot \frac{1}{2\pi C^2 f}}{\sqrt{(R + R_L)^2 + \left(2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}\right)^2}}\right)^2 \cdot u(C)^2} = 11,7873$$

Lp	U[V]	u(U)[V]	I[mA]	u(I)[mA]	Z _c	u(Z _c)	f[Hz]	u(f)[Hz]	C[F]	u(C)[F]
1	1,0160	0,0065	2,090	0,019	470	2	125,0	1,3	2,874116 ⁻⁶	3,3624 ⁻⁸
2	2,034	0,012	4,130	0,036						
3	3,046	0,016	6,420	0,056						
4	4,100	0,089	8,600	0,075						
5	5,12	0,11	10,900	0,095						
6	6,15	0,12	13,11	0,12						
7	7,17	0,14	14,87	0,13						
8	8,16	0,15	17,48	0,16						
9	9,18	0,17	19,75	0,18						
10	10,15	0,18	21,75	0,19						

4.2 Wyznaczenie indukcyjności cewki



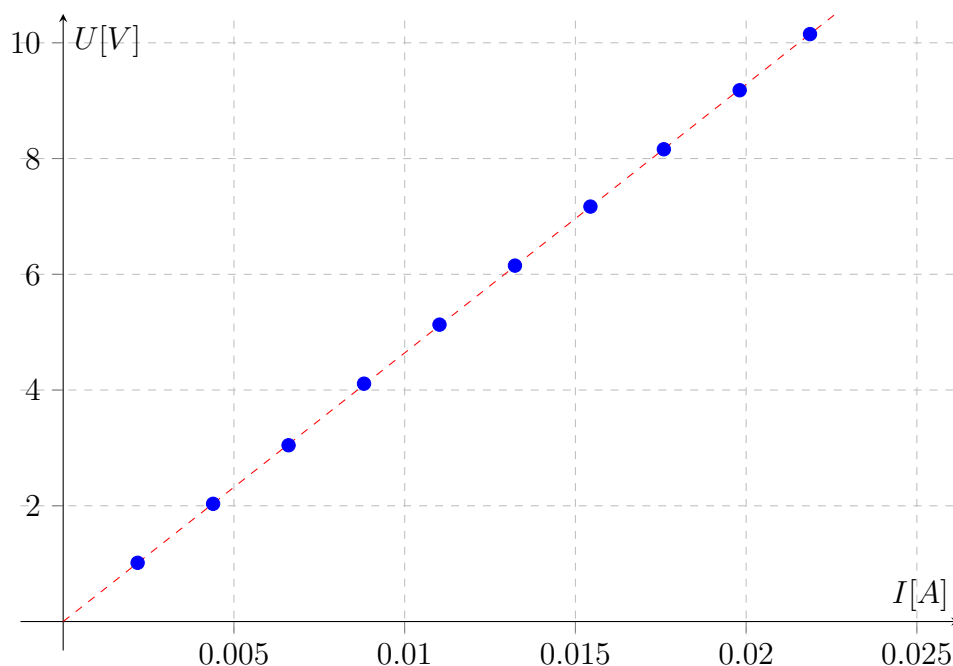
--- Regresja liniowa: $y = 164,63x$

Wykres zależności napięcia od natężenia

Tabela 2: Wyniki pomiarów i obliczeń dla wyznaczenia indukcyjności cewki

Lp	U[V]	u(U)[V]	I[mA]	u(I)[mA]	Z _L	U(Z _L)	f[Hz]	u(f)[Hz]	L[H]	u(L)[Hz]
1	1,0150	0,0065	5,74	0,05	164,64	0,81	125,0	1,3	0,061	0,014
2	2,032	0,012	11,320	0,099						
3	3,043	0,016	17,55	0,16						
4	4,100	0,089	24,07	0,21						
5	5,12	0,11	30,92	0,27						
6	6,15	0,12	37,24	0,33						
7	7,16	0,14	43,6	0,38						
8	8,15	0,15	49,7	0,44						
9	9,17	0,17	56	0,49						
10	10,13	0,18	62	0,54						

4.3 Sprawdzenie słuszności prawa Ohma dla prądu przemiennego



-- Regresja liniowa: $y = 464,16x$

Wykres zależności napięcia od natężenia

Tabela 3: Wyniki pomiarów i obliczeń dla wyznaczenia zawady układu

Lp	U[V]	u(U)[V]	I[mA]	u(I)[mA]	$Z_1[\Omega]$	$u(Z_1)[\Omega]$	$f[\text{Hz}]$	$u(f)[\text{Hz}]$	$Z_2[\Omega]$	$u(Z_2)[\Omega]$
1	1,015	0,0065	2,18	0,019	464,16	0,29	125,0	1,3	425,6258	11,7873
2	2,034	0,012	4,39	0,039						
3	3,046	0,016	6,6	0,058						
4	4,11	0,089	8,81	0,077						
5	5,13	0,11	11,02	0,096						
6	6,15	0,12	13,23	0,12						
7	7,17	0,14	15,44	0,14						
8	8,16	0,15	17,59	0,16						
9	9,18	0,17	19,81	0,18						
10	10,15	0,18	21,87	0,19						

5 Wnioski

W eksperymencie udało się wyznaczyć pojemność kondensatora, która wynosi około $2,874116^6 \pm 3,3624^{-8}\text{F}$ oraz indukcyjność cewki, która wynosi około $0,061 \pm 0,014\text{H}$.

Zostało też udowodnione spełnianie prawa Ohma dla układu z prądem przemiennym. Wskazuje na to zależność liniowa pomiarów napięcia od natężenia.