



Akademia Górniczo-Hutnicza  
im. Stanisława Staszica

**Sprawozdanie**

Techniki Pomiarowe

*Laboratorium 4*

*Ćwiczenie 10+16*

**Borsuk Piotr**

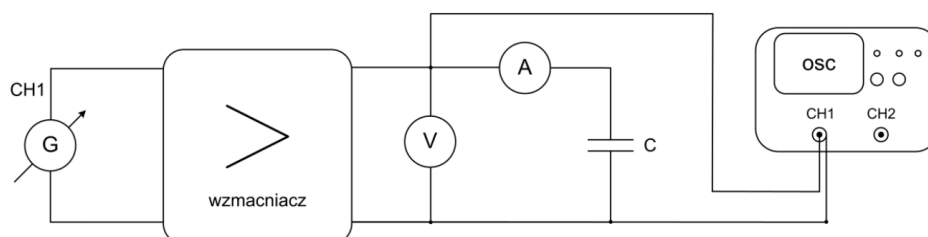
**Wilczyński Gabriel**

**Technologie Przemysłu 4.0**

**Rok 2, Semestr 4, Grupa nr. 1**

**Rok akademicki 2023/2024**

## Pomiar pojemności kondensatora metodą techniczną



Rysunek 1 schemat pomiarowy

### Wykaz przyrządów:

- Generator Rigol
- Wzmacniacz-universalny moduł laboratoryjny
- 2x Multimetr APPA 205
- Oscyloskop

Tabela 1. pomiary wykonane na zajęciach oraz uzupełnione dane obliczeniowe

Nr C <sub>x</sub>	U [V]	ΔU [V]	δ <sub>U</sub> [%]	I [mA]	ΔI [mA]	δ <sub>I</sub> [%]	f [Hz]	Δf [Hz]	δ <sub>f</sub> [%]
2	3,41	0,4	4	9,4	0,8	8,16	1020	10	1
	U [V]	I [mA]	f [Hz]	C <sub>x</sub> [nF]	ΔC <sub>x</sub> [nF]	δ <sub>C<sub>x</sub></sub> [%]			
	3,41	9,41	1020	430,12	17,59	4,09			

### Użyte wzory:

obliczono wartość pojemności nieznanego kondensatora

$$C_x = \frac{I}{2\pi f U} = \frac{9,4 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot \pi \cdot 1020 \cdot 3,41} = \sim 1,4667 \cdot 10^{-7} [F] = 430,12 [nF]$$

obliczono wartość błędu pomiaru

$$\Delta C_x = \sqrt{\left(\frac{\Delta I}{2\pi f U}\right)^2 + \left(\frac{-I \Delta U}{2\pi f U^2}\right)^2 + \left(\frac{-I \Delta f}{2\pi f^2 U}\right)^2} =$$

$$= 17,59 [nF]$$

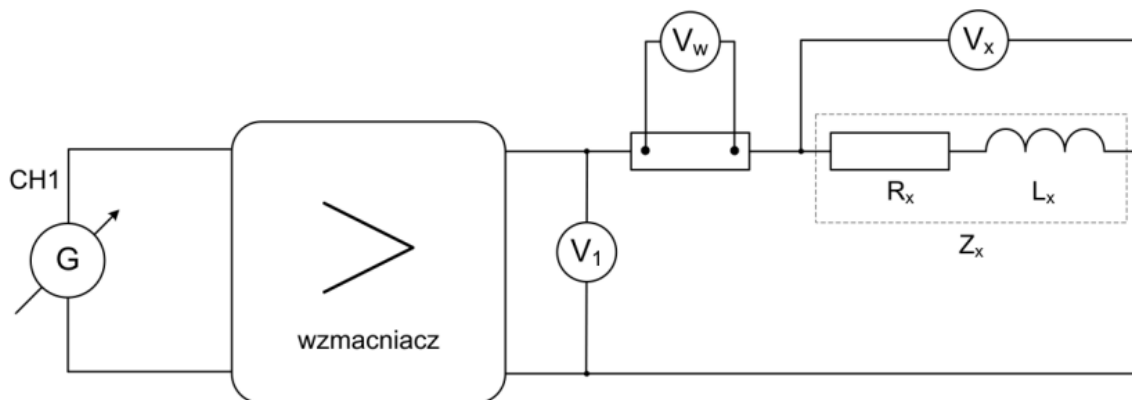
Obliczono wartość błędu względnego

$$\delta_{c_x} = \frac{\Delta C_x}{C_x} \cdot 100\% = \frac{17,59}{430,12} \cdot 100\% = 4,09\%$$

## Podsumowanie:

Impedancja układu składa się praktycznie w całości z reaktancji kondensatora, dlatego nie uwzględniamy rezystancji w pomiarach

### Pomiar parametrów R, L cewki metodą trzech woltomierzy



Rysunek 2 schemat pomiarowy

### Wykaz przyrządów:

- Generator Rigol
- Wzmacniacz-universalny moduł laboratoryjny
- 3x Multimetr APPA 205
- Oscyloskop

Tabela 2 pomiary wykonane na zajęciach oraz uzupełnione dane obliczeniowe

Nr L <sub>x</sub>	U <sub>1</sub> [V]	Δ U <sub>1</sub> [V]	δ <sub>U1</sub> [%]	U <sub>w</sub> [V]	Δ U <sub>w</sub> [V]	δ <sub>Uw</sub> [%]	U <sub>x</sub> [V]	Δ U <sub>x</sub> [V]	δ <sub>Ux</sub> [%]
	3,41	0,01	0,29	0,66	0,01	1,52	3,34	0,01	0,3
	U <sub>1</sub> [V]	U <sub>w</sub> [V]	U <sub>x</sub> [V]	L <sub>x</sub> [H]	Δ L <sub>x</sub> [H]	δ <sub>Lx</sub> [%]	R <sub>x</sub> [Ω]	Δ R <sub>x</sub> [Ω]	δ <sub>Rx</sub> [%]
	3,41	0,66	3,34	0,32			6,88	0,1915	2,78

### Użyte wzory:

Obliczono wartość impedancji

$$Z_x = \frac{U_x}{U_w} * R_w = \frac{3,34}{0,66} * 200 = 1012$$

Obliczono wartość przesunięcia

$$\cos \varphi = \frac{U_1^2 - U_w^2 - U_x^2}{2U_w U_x} = \frac{11,63 - 0,44 - 11,16}{4,41} = 0,0068$$

Obliczono wartość oporu cewki

$$R_x = Z_x \cos \varphi = 1012 * 0,068 = 6,88$$

Obliczono wartość indukcyjności cewki

$$X_x = \sqrt{Z_x^2 - R_x^2} = \sqrt{1\,024\,144 - 47,33} = 1011,97$$

$$L_x = \frac{x_x}{2\pi f} = \frac{1011,97}{2 * \pi * 500} = 0,32 [H]$$

Obliczono wartości błędów

$$\Delta R_x = \sqrt{\left(\frac{1}{4} \left[ \left( \frac{U_1}{U_w} \right)^2 - \left( \frac{U_x}{U_w} \right)^2 - 1 \right] * \Delta R_w \right)^2 + \left[ \frac{R_w * U_1}{U_w^2} * \Delta U_1 \right]^2 + \left[ \left( \frac{-R_w * U_1^2}{U_w^3} + \frac{R_w * U_x^2}{U_w^3} \right) * \Delta U_w \right]^2 + \left[ \frac{R_w * U_1}{U_w^2} * \Delta U_x \right]^2} = 0,1915[\Omega]$$

$\Delta L_x =$  niestety nie umiem, przepraszam

$$\delta U_1 = \frac{\Delta U_1}{U_1} * 100\% = 0,29\%$$

$$\delta U_w = \frac{\Delta U_w}{U_w} * 100\% = 1,52\%$$

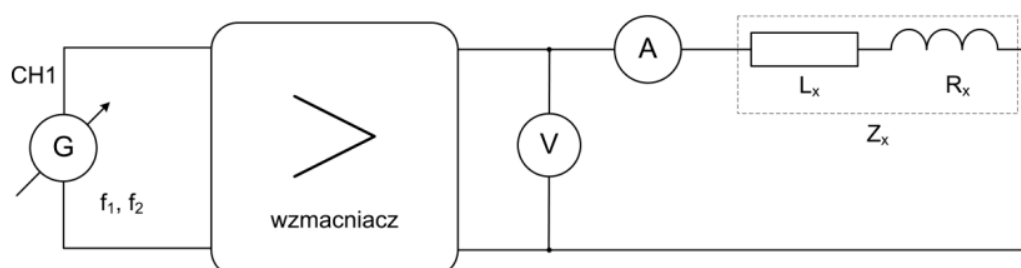
$$\delta U_x = \frac{\Delta U_x}{U_x} * 100\% = 0,3\%$$

$$\delta R_x = \frac{\Delta R_x}{R_x} * 100\% = 2,78\%$$

### Podsumowanie:

Metoda trzech woltomierzy jest przydatnym narzędziem do jednoczesnego pomiaru wielu parametrów dwójników w trakcie ich pracy.

### Pomiar parametrów R i L cewki metodą techniczną dla dwóch częstotliwości



Rysunek 3 schemat pomiarowy

## Wykaz przyrządów:

- Generator Rigol
- Wzmacniacz-universalny moduł laboratoryjny
- 3x Multimetr APPA 205
- Oscyloskop

Tabela 3 pomiary wykonane na zajęciach oraz uzupełnione dane obliczeniowe

Nr L <sub>x</sub>	U <sub>1</sub> [V]	Δ U <sub>1</sub> [V]	δ <sub>U1</sub> [%]	I <sub>1</sub> [mA]	Δ I <sub>1</sub> [mA]	δ <sub>I1</sub> [%]	f <sub>1</sub> [Hz]	Δ f <sub>1</sub> [Hz]	Δ <sub>f1</sub> [%]
	5,44	0,0272	0,5	25,4	0,254	1	1000	1	0,1
	U <sub>2</sub> [V]	Δ U <sub>2</sub> [V]	δ <sub>U2</sub> [%]	I <sub>2</sub> [mA]	Δ I <sub>2</sub> [mA]	δ <sub>I2</sub> [%]	F <sub>2</sub> [Hz]	Δ f <sub>2</sub> [Hz]	Δ <sub>f2</sub> [%]
	5,44	0,0272	0,5	17,1	0,171	1	1500	1,5	0,1
	L <sub>X</sub> [H]	Δ L <sub>X</sub> [H]	δ L <sub>X</sub> [%]	R <sub>X</sub> [Ω]	Δ R <sub>X</sub> [Ω]	δ R <sub>X</sub> [%]			
	0,4	0,0020280	0,6	208,22	2,52	1,21			

## Użyte wzory:

Obliczono indukcyjność nieznanej cewki

$$L_x = \frac{U}{2\pi I_2 I_1} * \sqrt{\frac{I_1^2 - I_2^2}{f_2^2 - f_1^2}} = \frac{5,44}{2 * \pi * 0,0254 * 0,0171} * \sqrt{\frac{0,0254^2 - 0,0171^2}{1500^2 - 1000^2}} = 0,4 [H]$$

Obliczono jaki opór ma cewka

$$R_x = \sqrt{\left(\frac{U}{I_1}\right)^2 - 2\pi f_1 L_x} = \sqrt{\left(\frac{5,44}{0,0254}\right)^2 - 2 * \pi * 1000 * 0,4} = 208,22 [\Omega]$$

Obliczono wartość błędu pomiarowego cewki

$$\Delta L_x = \sqrt{\left(L_x * \frac{\Delta U}{U}\right)^2 + \left(\frac{U * I_2}{2\pi * I_1^2} * \frac{\Delta I_1}{\sqrt{(I_1^2 - I_2^2) * (f_2^2 - f_1^2)}}\right)^2 + \left(\frac{U * I_1}{2\pi * I_2^2} * \frac{\Delta I_2}{\sqrt{(I_1^2 - I_2^2) * (f_2^2 - f_1^2)}}\right)^2 + \left(L_x * \frac{\Delta f_1 * f_1}{f_2^2 - f_1^2}\right)^2 + \left(L_x * \frac{\Delta f_2 * -f_1}{f_2^2 - f_1^2}\right)^2}$$

$$= \sqrt{\left(0,4 * \frac{0,0272}{5,44}\right)^2 + \left(\frac{5,44 * 0,0171}{2\pi * 0,0254^2} * \frac{0,0000254}{\sqrt{(0,0254^2 - 0,0171^2) * (1500^2 - 1000^2)}}\right)^2 + \left(\frac{5,44 * 0,0254}{2\pi * 0,0171^2} * \frac{0,0000254}{\sqrt{(0,0254^2 - 0,0171^2) * (1500^2 - 1000^2)}}\right)^2 + \left(0,4 * \frac{1 * 1000}{1500^2 - 1000^2}\right)^2 + \left(0,4 * \frac{1,5 * -1000}{1500^2 - 1000^2}\right)^2} =$$

$$= \sqrt{4 * 10^{-6} + 7,7 * 10^{-10} + 1,87 * 10^{-11} + 1,1 * 10^{-7} + 2,3 * 10^{-7}} = 0,002028 [H]$$

$$\Delta R_x = \sqrt{(F * \Delta U)^2 + (G * \Delta I_1)^2 + (H * \Delta I_2)^2 + (K * \Delta f_1)^2 + (L * \Delta f_2)^2}$$

$$F = \frac{1}{I_1^2} - \frac{f_2^2}{f_2^2 - f_1} * \frac{(I_1^2 - I_2^2)}{(I_1^2 * I_2^2)} = -0,0018$$

$$G = \frac{U}{I_1^3 * F} * \frac{-f_2^2}{f_2^2 - f_1} = 6722,58$$

$$H = \frac{U}{I_2^3 * F} * \frac{f_1^2}{f_2^2 - f_1} = -10\,083,87$$

$$K = \frac{U}{F} * \frac{-f_1 f_2^2}{f_2^2 - f_1} * \frac{(I_1^2 - I_2^2)}{(I_1^2 * I_2^2)} = 0,4793$$

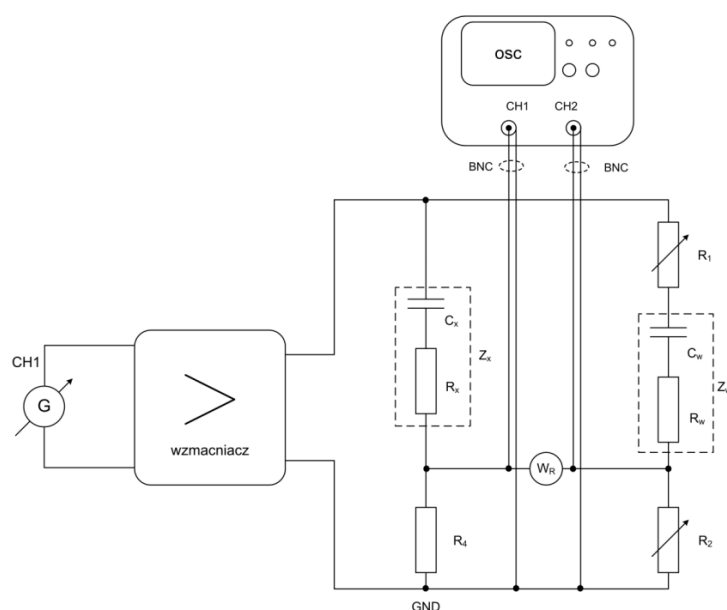
$$L = \frac{U}{F} * \frac{f_2 f_1^2}{f_2^2 - f_1} * \frac{(I_1^2 - I_2^2)}{(I_1^2 * I_2^2)} = -0,3291$$

$$\Delta R_x = \sqrt{(-0,0018 * 0,0272)^2 + (6722,58 * 0,000254)^2 + (10\,083,87 * 0,000171)^2 + (-0,4793 * 1)^2 + (0,3291 * 1,5)^2} = 2,52 [\Omega]$$

$$\delta L_x = \frac{\Delta L_x}{L_x} * 100\% = 0,507\%$$

$$\delta R_x = \frac{\Delta R_x}{R_x} * 100\% = 1,2103\%$$

## Pomiar pojemności, rezystancji i kąta stratności kondensatorów mostkiem Wiена



Rysunek 4 schemat pomiarowy

### Wykaz przyrządów:

- Wskaźnik równowagi (wbudowany w moduł 'Mostek ++')
- Generator Rigol
- Wzmacniacz-universalny moduł laboratoryjny
- Oscyloskop Rigol DS1052E

Tabela 4 pomiary wykonane na zajęciach oraz uzupełnione dane obliczeniowe

Nr $C_x$	$R_1$ [ $\Omega$ ]	$\delta_{R1}$ [%]	$\Delta_r R_1$ [ $\Omega$ ]	$\delta_{r1}$ [%]	$\Delta_N R_1$ [ $\Omega$ ]	$\delta_{NR}$ [%]
2	3,05	0,05	0,01	0,0023	1	0,0023
	$R_2$ [ $\Omega$ ]	$\delta_{R2}$ [%]	$\Delta_r R_2$ [ $\Omega$ ]	$\delta_{r2}$ [%]	$\Delta_N R_2$ [ $\Omega$ ]	$\delta_{NC}$ [%]
	999	0,05	1	0,001	4	0,001
	$R_4$ [ $\Omega$ ]	$\delta_{R4}$ [%]	$C_w$ [ $\mu F$ ]	$\delta_{Cw}$ [%]	$R_w$ [ $\Omega$ ]	$\delta_{Rw}$ [%]
	1200	0,1	0,5	0,1	0,02	0,1
	$C_x$ [nF]	$\Delta C_x$ [nF]	$\delta_{C_x}$ [%]	$R_x$ [ $\Omega$ ]	$\Delta R_x$ [ $\Omega$ ]	$\delta_{R_x}$ [%]
	416,21	1,049	0,252	3,69	0,0112	0,3046
	$tg \delta_x$ [°]	$\Delta tg \delta_x$ [°]	$\delta_{tg \delta_x}$ [%]			
	0,0096	0,00034	0,3546			

**Użyte wzory:**

Obliczono wartości

$$C_x = C_w \frac{R_2}{R_4} = 416,21 * 10^{-9} [F] = 416,21 [nF]$$

$$R_x = R_4 \frac{R_1 + R_w}{R_2} = 3,69 [\Omega]$$

$$tg \delta_x = \omega R_x C_x = 2\pi f (R_1 + R_w) C_w = 0,0096$$

$$\delta_{c_x} = |\delta_{c_\omega}| + |\delta_{R_2}| + |\delta_{R_4}| + |\delta_{NC}| + |\delta_{r_2}| = 0,252\%$$

$$\delta_{R_x} = |\delta_{R_\omega}| + |\delta_{R_1}| + |\delta_{R_2}| + |\delta_{NR}| + |\delta_{r_1}| = 0,3046\%$$

$$\delta_{tg \delta_x} = |\delta_f| + |\delta_{c_\omega}| + |\delta_{R_w}| + |\delta_{R_1}| + |\delta_{NR}| + |\delta_{r_1}| = 0,3546\%$$

$$\Delta C_x = C_x * \frac{\delta_{c_x}}{100\%} = 1,049 [nF]$$

$$\Delta R_x = R_x * \frac{\delta_{R_x}}{100\%} = 0,112 [\Omega]$$

$$\Delta tg \delta_x = R_x * \frac{\delta_{R_x}}{100\%} = 0,000034$$

**Podsumowanie:**

Metoda jest bardzo dokładna, można zwiększyć dokładność stosując jeszcze mniejsze wartości rezystancji podczas równoważenia mostka.