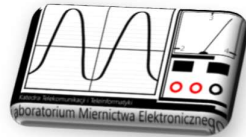


Termin zajęć DZIEŃ – TYDZIEŃ – GODZ. PON-P-17:05		Miernictwo II 	
<ul style="list-style-type: none"> • Osoby wykonujące ćwiczenie: • Miłosz Halicki (272874) • Dawid Jabłoński (272970) 		<ul style="list-style-type: none"> • Grupa nr: 4 	
<ul style="list-style-type: none"> • Tytuł ćwiczenia: Pomiary rezystancji i impedancji 		<ul style="list-style-type: none"> • Ćwiczenie nr: 4 	
<ul style="list-style-type: none"> • Data wykonania ćwiczenia 	<ul style="list-style-type: none"> • 20.03.2023 r. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ocena: 	
<ul style="list-style-type: none"> • Data oddania sprawozdania 	<ul style="list-style-type: none"> • 03.04.2023 r. 		

Oświadczam, że zapoznałem/łam się z niniejszym sprawozdaniem i uważam je za poprawnie wykonane:

.....

.....

Oświadczam/y iż poniższe sprawozdanie zostało wykonane przeze mnie/nas samodzielnie:





.....

Spis treści

1. Cel ćwiczenia	2
2. Spis przyrządów pomiarowych	2
3. Wykorzystane wzory i stałe	3
4. Zadanie 1, część A	4
a. Opis zadania	4
b. Wyniki	4
c. Przykładowe obliczenia	5
d. Wnioski	5
5. Zadanie 1, część B	6
a. Opis zadania	6
b. Wyniki	7
c. Przykładowe obliczenia	8-9
d. Wnioski	9
6. Zadanie 2	10
a. Opis zadania	10
b. Wyniki	11
c. Przykładowe obliczenia	12
d. Wnioski	12

1) Cel ćwiczenia

a) Cel ćwiczenia

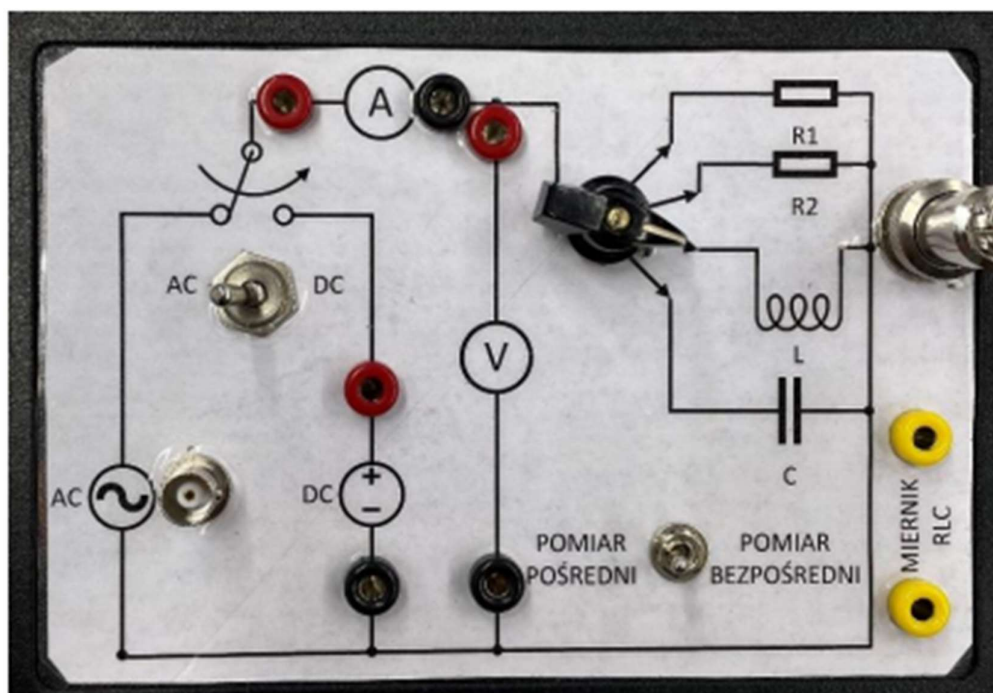
Celem ćwiczenia jest poznanie metod i zasad pomiarów pośrednich i bezpośrednich rezystancji i impedancji. W pomiarach impedancji elementów RLC zastosowany został prąd zmienny AC oraz prąd stały DC, w metodzie bezpośredniej pomiary były wykonywane specjalizowanym miernikiem RLC. W metodzie pośredniej napięcie i natężenie prądu było mierzone miernikami prądu i napięcia VC8045 i VC8145

b) Zagadnienia wykorzystane podczas ćwiczenia

- Twierdzenie Thevenina i twierdzenie Nortona
- Impedancja elementów skupionych RLC
- Zasady pomiaru rezystancji i impedancji
- Zasady obsługi multimetrów
- Dzielniki rezystancyjne prądowe i napięciowe

2) Spis przyrządów pomiarowych użytych w zadaniu

- Regulowany zasilacz DC (napięcia stałego)
- Generator funkcyjny (napięcie AC sinus, trójkąt, prostokąt)
- Mierniki prądu i napięcia VC8045 i VC8145
- Miernik RLC Hatnek 1830C
- Moduły układów pomiarowych
- Elementy RLC do pomiarów (rezystory, cewka i kondensator)



3) Wykorzystane stałe i wzory fizyczne

Niepewność graniczna bezwzględna – w zależności od miernika

Niepewność graniczna względna

$$\delta I = \frac{\Delta I}{I_x} \cdot 100\%$$

Niepewność standardowe typu B

$$u_B(x) = \sqrt{\frac{(\Delta_{px})^2}{3} + \frac{(\Delta_{ex})^2}{3} + \dots}$$

Niepewność rozszerzona

$$U(x) = k \cdot u(x)$$

Rezystancja w układzie Poprawnego Pomiaru Napięcia

$$R_X = \frac{U}{I - \frac{U}{R_v}}$$

Indukcja

$$L_x = \frac{1}{2\pi f} \sqrt{|Z_{LX}(f)|^2 - R_X^2}$$

Błąd pomiaru indukcji

$$\delta L_x = \left[\frac{|Z_{LX}(f)|}{\sqrt{|Z_{LX}(f)|^2 - R_X^2}} \right]^2 * \delta Z_{LX} + \left[\frac{R_X}{\sqrt{|Z_{LX}(f)|^2 - R_X^2}} \right]^2 * \delta R_X + \frac{\delta \omega}{2\pi}$$

Pojemność

$$C_X = \frac{1}{|Z_{CX}(f)| * 2\pi * f}$$

Błąd pomiaru pojemności

$$\delta C_x = \left[\frac{1}{\sqrt{1 - |Z_{LX}(f)|^2 G_X^2}} \right]^2 * \delta Z_{CX} + \left[\frac{R_X}{\sqrt{1 - |Z_{LX}(f)|^2 G_X^2}} \right]^2 * \delta G_X + \frac{\delta \omega}{2\pi}$$

4) Zadanie 1, część A

a) Opis zadania

W tej części zadania wykonaliśmy pomiar rezystancji przy pomocy napięcia stałego DC. Wykorzystaliśmy regulowany zasilacz DC (napięcia stałego), który podłączyliśmy do modułu-makiety, następnie zmierzaliśmy napięcie oraz natężenie prądu dla każdego komponentu (dwóch rezystorów, cewki i kondensatora) wybierając go według pokrętła na makiecie, odczytaliśmy natężenie i napięcie z mierników i zapisaliśmy je. Wykonaliśmy 5 pomiarów, dla napięć z zakresu 1-15 V.

b) Wyniki

Ćwiczenie 1 - Część 1								
Komponent	Napięcie zasilacza	Prąd	Napięcie	Niepełność Voltomierza	Niepełność Amperomierza	Rezystancja zmierzona	Niepełność Standardowa	Niepełność Rozszerzona dla $k=2$
R1	1 V	21,48 mA	1,06 V	0,63 mV	0,18 mA	49,35 Ω	0,26 Ω	0,52 Ω
R1	2 V	40,74 mA	2,02 V	2,01 mV	0,24 mA	49,46 Ω	0,17 Ω	0,345 Ω
R1	3 V	61,90 mA	3,07 V	2,53 mV	0,32 mA	49,53 Ω	0,15 Ω	0,297 Ω
R1	4 V	82,10 mA	4,06 V	3,03 mV	0,39 mA	49,44 Ω	0,14 Ω	0,27 Ω
R1	5 V	101,50 mA	5,01 V	3,50 mV	0,46 mA	49,32 Ω	0,13 Ω	0,26 Ω
R2	3 V	0,17 mA	3,01 V	2,50 mV	10,59 μ A	17,82 k Ω	645,01 Ω	1290,03 Ω
R2	5 V	0,28 mA	5,04 V	3,52 mV	10,99 μ A	17,79 k Ω	397,56 Ω	795,12 Ω
R2	7,5 V	0,42 mA	7,53 V	4,76 mV	11,48 μ A	17,79 k Ω	278,21 Ω	556,42 Ω
R2	10 V	0,57 mA	10,09 V	6,05 mV	11,99 μ A	17,80 k Ω	217,02 Ω	434,04 Ω
R2	15 V	0,85 mA	15,04 V	8,52 mV	12,96 μ A	17,81 k Ω	157,67 Ω	315,34 Ω
L	1 V	9,91 mA	1,028 V	0,62 mV	44,69 μ A	103,74 Ω	0,27 Ω	0,55 Ω
L	2 V	19,38 mA	2,01 V	2,01 mV	77,83 μ A	103,92 Ω	0,25 Ω	0,50 Ω
L	3 V	28,84 mA	3,03 V	2,51 mV	200,94 μ A	104,99 Ω	0,43 Ω	0,85 Ω
L	4 V	38,56 mA	4,05 V	3,03 mV	234,96 μ A	105,03 Ω	0,37 Ω	0,75 Ω
L	5 V	47,16 mA	4,98 V	3,49 mV	265,06 μ A	105,60 Ω	0,35 Ω	0,70 Ω

c) Przykładowe obliczenia

Dla R1 pierwszy pomiar

$$U = 1,06 \text{ V}$$

$$I = 21,48 \text{ mA}$$

- Niepewności pomiarów miernika:

$$\delta U = \pm(0,05\% + 1c) = \pm(0,0005 * 1,06 \text{ V} + 0,0001 \text{ V}) = \pm 0,00063 \text{ V} = \pm 0,63 \text{ mV}$$

$$\delta I = \pm(0,35\% + 10c) = \pm(0,0035 * 0,02148 \text{ A} + 10 * 0,00001) = \pm 0,00017518 \text{ A} \\ = \pm 0,18 \text{ mA}$$

- Rezystancja zmierzona

$$\text{Opór miernika} = R_V = 10000000 \Omega$$

$$R_x = \frac{U}{I - \left(\frac{U}{R_V}\right)} = \frac{1,06 \text{ V}}{0,02148 \text{ A} - \left(\frac{1,06 \text{ V}}{10000000 \Omega}\right)} = 49,35 \Omega$$

- Niepewność standardowa i rozszerzona

$$U_U = \frac{\delta U}{\sqrt{3}} = \frac{0,63 \text{ mV}}{\sqrt{3}} = 0,36 \text{ mV}$$

$$U_I = \frac{\delta I}{\sqrt{3}} = \frac{0,18 \text{ mA}}{\sqrt{3}} = 0,11 \text{ mA}$$

$$U_{rU} = \frac{U_U}{U} * 100\% = \frac{0,00036 \text{ V}}{1,06 \text{ V}} * 100\% = 0,04\%$$

$$U_{rI} = \frac{U_I}{I} * 100\% = \frac{0,11 \text{ mA}}{21,48 \text{ mA}} * 100\% = 0,52\%$$

$$U_{rR} = \sqrt{U_{rI}^2 + U_{rU}^2} = \sqrt{(0,04\%)^2 + (0,52\%)^2} = 0,53\%$$

$$u = U_{rR} * R_x = 0,0053 * 49,35 \Omega = \pm 0,26 \Omega$$

$$\text{dla } k = 2 \quad U = k * u = 2 * \pm 0,26 \Omega = \pm 0,52 \Omega$$

d) Wnioski

W oparciu o wyniki naszych pomiarów możemy wywnioskować, że wyniki pomiarów pośrednich są zgodne z wynikami pomiarów bezpośrednich. Przeprowadzone przez nas pomiary bezpośrednie i pośrednie dały bardzo podobne wyniki, co wskazuje na to, że używane przez nas metody pomiarowe są dokładne i nie wprowadzają w pomiary znaczącego błędu. Dlatego, w przypadku gdy nie możemy wykonać pomiaru bezpośredniego możemy skorzystać z pomiaru pośredniego, który da nam wystarczającą dokładność pomiarów. Mimo wszystko jeżeli jednak, jest możliwe wykonanie pomiaru bezpośredniego, powinniśmy go wykonać, ponieważ daje on precyzyjniejsze wyniki.

5) Zadanie 1, część B

a) Opis zadania

W tej części zadania wykonaliśmy pomiar impedancji przy użyciu napięcia przemiennego AC. Do pomiarów wykorzystaliśmy generator sygnałowy oraz przykładowe elementy mierzone – dwa rezystory, cewkę i kondensator.

Przełączyliśmy amperomierz i woltomierz w tryb pracy AC, zmierzaliśmy napięcie i natężenie dla różnych częstotliwości (co dekadę). Jeden z pomiarów jest obarczony błędem grubym dla częstotliwości równej 1.004 Hz.

b) Wyniki

Ćwiczenie 1 - Część 2									
Komponent	Napięcie zasilacza Peak-to-peak	Częstotliwość	Prąd	Napięcie	Niepewność Voltomierza	Niepewność Amperomierza	Impedancja zmierzona	Niepewność Standardowa	Niepewność Rozszerzona dla k=2
R1	10 Vpp	1,01 Hz	16,69 mA	0,72 V	6,57 mV	0,94 mA	43,25 Ω	1,42 Ω	2,84 Ω
R1	10 Vpp	10,05 Hz	36,74 mA	1,85 V	15,32 mV	1,094 mA	49,40 Ω	0,88 Ω	1,76 Ω
R1	10 Vpp	99,92 Hz	37,57 mA	1,89 V	23,13 mV	1,11 mA	50,31 Ω	0,96 Ω	1,92 Ω
R1	10 Vpp	1,02 kHz	37,89 mA	1,87 V	22,99 mV	1,10 mA	49,44 Ω	0,90 Ω	1,80 Ω
R1	10 Vpp	9,52 kHz	37,78 mA	1,87 V	22,98 mV	1,10 mA	49,55 Ω	0,91 Ω	1,82 Ω
R2	10 Vpp	1,01 Hz	0,30 mA	1,50 V	19,99 mV	0,80 mA	4,99 kΩ	7,72 kΩ	15,44 kΩ
R2	10 Vpp	10,05 Hz	0,37 mA	3,53 V	108,26 mV	0,80 mA	9,56 kΩ	11,98 kΩ	23,96 kΩ
R2	10 Vpp	99,92 Hz	0,45 mA	3,63 V	109,03 mV	0,80 mA	8,07 kΩ	8,32 kΩ	16,64 kΩ
R2	10 Vpp	1,02 kHz	0,34 mA	3,65 V	109,19 mV	0,80 mA	10,74 kΩ	14,65 kΩ	29,30 kΩ
R2	10 Vpp	9,52 kHz	0,23 mA	3,63 V	109,02 mV	0,80 mA	15,80 kΩ	31,81 kΩ	63,62 kΩ
							Reaktancja Indukcyjna zmierzona		
L	10 Vpp	1,01 Hz	10,83 mA	1,01 V	16,043 mV	0,89 mA			
L	10 Vpp	10,05 Hz	23,55 mA	2,46 V	99,70 mV	0,99 mA	180,17 mH	20,72 H	41,44 H
L	10 Vpp	99,92 Hz	24,09 mA	2,54 V	100,31 mV	0,99 mA	27,98 mH	8,69 H	17,39 H
L	10 Vpp	1,02 kHz	22,28 mA	2,76 V	102,05 mV	0,98 mA	10,45 mH	595,76 mH	1,19 H
L	10 Vpp	9,52 kHz	5,34 mA	3,58 V	108,65 mV	0,84 mA	11,08 mH	6,19 mH	12,38 mH
							Reaktancja Pojemnościowa zmierzona		
C	10 Vpp	1,01 Hz	0,46 mA	1,48 V	19,85 mV	0,80 mA	49,22 μF	0,81 mF	1,62 mF
C	10 Vpp	10,05 Hz	0,34 mA	3,54 V	108,31 mV	0,81 mA	1,52 μF	1,10 mF	2,20 mF
C	10 Vpp	99,92 Hz	1,13 mA	3,64 V	109,11 mV	0,81 mA	494,61 nF	0,33 mF	0,66 mF
C	10 Vpp	1,02 kHz	10 mA	3,63 V	109,01 mV	0,88 mA	429,44 nF	47,25 μF	94,50 μF
C	10 Vpp	9,52 kHz	59 mA	2,33 V	98,63 mV	1,27 mA	423,69 nF	34,90 μF	69,80 μF

Bład Gruby

c) Przykładowe obliczenia

Dla R1 trzeci pomiar

$$f = 99,92 \text{ Hz}$$

$$I = 37,57 \text{ mA}$$

$$U = 1,89 \text{ V}$$

- Niepewność miernika

$$\delta U = U * 0,8\% + 80 * 0,1 \text{ mV} = 1,89 \text{ V} * 0,008 + 80 * 0,0001 \text{ V} = \pm 0,02312 \text{ V} = \pm 23,13 \text{ mV}$$

$$\delta I = I * 0,8\% + 80 * 0,01 \text{ mA} = 37,57 \text{ mA} * 0,008 + 80 * 0,01 \text{ mA} = \pm 1,11 \text{ mA}$$

- Rezystancja zmierzona

$$\text{Opór miernika} = R_V = 100000000 \Omega$$

$$R_x = \frac{U}{I - \left(\frac{U}{R_V}\right)} = \frac{1,89 \text{ V}}{0,03757 \text{ A} - \left(\frac{1,89 \text{ V}}{100000000 \Omega}\right)} = 50,31 \Omega$$

- Niepewność standardowa i rozszerzona

$$U_U = \frac{\delta U}{\sqrt{3}} = \frac{23,13 \text{ mV}}{\sqrt{3}} = 13,35 \text{ mV}$$

$$U_I = \frac{\delta I}{\sqrt{3}} = \frac{1,11 \text{ mA}}{\sqrt{3}} = 0,65 \text{ mA}$$

$$U_{rU} = \frac{U_U}{U} * 100\% = \frac{0,01335 \text{ V}}{1,89 \text{ V}} * 100\% = 0,71\%$$

$$U_{rI} = \frac{U_I}{I} * 100\% = \frac{0,65 \text{ mA}}{37,57 \text{ mA}} * 100\% = 1,73\%$$

$$U_{rR} = \sqrt{U_{rI}^2 + U_{rU}^2} = \sqrt{(0,71\%)^2 + (1,73\%)^2} = 1,87\%$$

$$u = U_{rR} * R_x = 0,0187 * 50,31 \Omega = \pm 0,96 \Omega$$

$$\text{dla } k = 2 \quad U = k * u = 2 * \pm 0,96 \Omega = 1,92 \Omega$$

Dla L piąty pomiar

$$f = 9,52 \text{ kHz}$$

$$I = 5,34 \text{ mA}$$

$$U = 3,58 \text{ V}$$

$$R = 103,92 \Omega = \text{Pomiar 2 Zadanie 1A}$$

$$\delta R_x = \pm 0,25 \Omega = \text{Pomiar 2 Zadanie 1A}$$

- Reaktancja Indukcyjna Zmierzona

$$|Z_{LX}(f)| = \frac{U}{I} = \frac{3,58 \text{ V}}{0,00534 \text{ A}} = 670,41 \Omega$$

$$L_x = \frac{1}{2\pi f} \sqrt{|Z_{LX}(f)|^2 - R_x^2} = \frac{1}{2\pi * 9520 \text{ Hz}} \sqrt{(670,41 \Omega)^2 - (103,92 \Omega)^2} = 11,08 \text{ mH}$$

- Niepewność miernika – obliczona jak wyżej

$$\delta U = \pm 108,65 \text{ mV}$$

$$\delta I = \pm 0,84 \text{ mA}$$

- Niepewność standardowa $|Z|$ - Obliczona jak niepewność standardowa R_x wyżej

$$\delta Z_{LX} = \pm 78,18 \mu\Omega$$

$$\delta L_x = \left[\frac{|Z_{LX}(f)|}{\sqrt{|Z_{LX}(f)|^2 - R_X^2}} \right]^2 * \delta Z_{LX} + \left[\frac{R_X}{\sqrt{|Z_{LX}(f)|^2 - R_X^2}} \right]^2 * \delta R_X + \frac{\delta \omega}{2\pi}$$

$$\delta L_x = \left[\frac{670,41 \Omega}{\sqrt{(670,41 \Omega)^2 - 103,92 \Omega^2}} \right]^2 * 78,18 \mu\Omega + \left[\frac{103,92 \Omega}{\sqrt{(670,41 \Omega)^2 - 103,92 \Omega^2}} \right]^2 * 0,25 \Omega$$

$$= \pm 0,00619 H = \pm 6,19 mH$$

dla $k = 2 \quad U = k * u = 2 * \pm 6,19 mH = 12,38 mH$

Dla C trzeci pomiar

$$f = 99,92 Hz$$

$$I = 1,13 mA$$

$$U = 3,64 V$$

$$G = 0$$

Przyjmujemy, że $G = 0$, ponieważ jest ona odwrotnością R , a ze względu na to, że R jest bardzo duże, to G będzie miało bardzo małą wartość, dodatkowo we wzorach używany jest G^2 , więc liczba ta jest jeszcze bliższa 0.

- Reaktancja Pojemnościowa Zmierzona

$$|Z_{LX}(f)| = \frac{U}{I} = \frac{3,64 V}{0,00113 A} = 3220,35 \Omega$$

$$C_X = \frac{1}{|Z_{CX}(f)| * 2\pi * f} = \frac{1}{3220,35 \Omega * 2\pi * 99,92 Hz} = 0,000000494612 F = 494,61 nF$$

- Niepewność miernika – obliczona jak wyżej

$$\delta U = \pm 109,11 mV$$

$$\delta I = \pm 0,81 mA$$

- Niepewność standardowa $|Z|$ - Obliczona jak niepewność standardowa R_X wyżej

$$\delta Z_{CX} = \pm 0,33 m\Omega$$

$$\delta C_x = \left[\frac{1}{\sqrt{1 - |Z_{LX}(f)|^2 G_X^2}} \right]^2 * \delta Z_{CX} + \left[\frac{R_X}{\sqrt{1 - |Z_{LX}(f)|^2 G_X^2}} \right]^2 * \delta G_X + \frac{\delta \omega}{2\pi}$$

$$\delta C_x = \left[\frac{1}{\sqrt{1 - (3220,35 \Omega)^2 * 0}} \right]^2 * 0,33 m\Omega + \left[\frac{R_X}{\sqrt{1 - (3220,35 \Omega)^2 * 0}} \right]^2 * 0 = \pm 0,00033 F = \pm 0,33 mF$$

$$dla k = 2 \quad U = k * u = 2 * \pm 0,33 mF = \pm 0,66 mF$$

d) Wnioski

Z przeprowadzonych pomiarów możemy dojść do wniosków, że mierzenie rezystancji oporników przy użyciu prądu zmiennego jest mniej dokładne niż przy użyciu prądu stałego. Mimo wszystko, dzięki użyciu prądu przemiennego możemy zmierzyć wartości indukcyjności cewki i pojemności kondensatora, które są niedostępne do zmierzenia przy użyciu prądu stałego. Podsumowując, prąd stały jest lepszy do pomiarów rezystancji, ale jeśli chcemy zmierzyć pojemność kondensatora lub indukcyjność cewki, to powinniśmy użyć prądu przemiennego.

6) Zadanie 2

a) Opis zadania

W zadaniu wykonaliśmy bezpośredni pomiar impedancji, użyliśmy miernika RLC Hantek 1830C. Na początku wpięliśmy miernik w układ, po czym wybraliśmy badany element, czyli np. cewkę, rezystor lub kondensator i wybraliśmy właściwy zakres pomiarowy miernika. Następnie przeprowadziliśmy pomiary dla 5 wybranych częstotliwości pomiarowych z zakresu miernika. Dla rezystorów zmierzaliśmy wartość rezystancji oraz moduł impedancji, dla cewki wartość indukcyjności i moduł impedancji, a dla kondensatora wartość pojemności i moduł impedancji.

b) Wyniki

Ćwiczenie 2							
Komponent	Częstotliwość	Opór	Moduł impedancji	X	Z+X	Niepewność graniczna rezystancji	Niepewność graniczna modułu impedancji
R1	100 Hz	48,57 Ω	48,57 Ω	-0,31 Ω	48,26 Ω	0,13 Ω	0,15 Ω
R1	400 Hz	49,06 Ω	49,06 Ω	-0,13 Ω	48,93 Ω	0,13 Ω	0,14 Ω
R1	1000 Hz	49,29 Ω	49,29 Ω	-0,16 Ω	49,13 Ω	0,13 Ω	0,14 Ω
R1	4 kHz	49,48 Ω	49,48 Ω	0,039 Ω	49,52 Ω	0,13 Ω	0,14 Ω
R1	10 kHz	49,50 Ω	49,50 Ω	0,10 Ω	49,60 Ω	0,13 Ω	0,14 Ω
R2	100 Hz	17,79 k Ω	17,78 k Ω	-13,22 Ω	17,77 k Ω	44,46 Ω	46,46 Ω
R2	400 Hz	17,78 k Ω	17,78 k Ω	-55,17 Ω	17,73 k Ω	44,46 Ω	46,46 Ω
R2	1000 Hz	17,78 k Ω	17,78 k Ω	-134,89 Ω	17,64 k Ω	44,44 Ω	46,44 Ω
R2	4 kHz	17,75 k Ω	17,75 k Ω	-506,80 Ω	17,25 k Ω	44,36 Ω	46,38 Ω
R2	10 kHz	17,66 k Ω	17,69 k Ω	-1,22 k Ω	16,47 k Ω	44,14 Ω	46,23 Ω
		Indukcyjność				Niepewność graniczna indukcyjności	
L	100 Hz	10,31 mH	103,50 Ω	6,48 Ω	109,98 Ω	64,87 μ H	0,28 Ω
L	400 Hz	10,30 mH	106,51 Ω	25,88 Ω	132,39 Ω	64,78 μ H	0,29 Ω
L	1 kHz	10,30 mH	121,94 Ω	64,73 Ω	186,67 Ω	43,20 μ H	0,32 Ω
L	4 kHz	10,31 mH	278,97 Ω	259,02 Ω	537,99 Ω	43,22 μ H	0,72 Ω
L	10 kHz	10,35 mH	658,80 Ω	650,30 Ω	1309,10 Ω	43,40 μ H	1,85 Ω
		Pojemność				Niepewność graniczna pojemności	
C	100 Hz	425,1 nF	3,7431 k Ω	-3,7431 k Ω	0 Ω	1,91 nF	9,56 Ω
C	400 Hz	424,2 nF	937,9 Ω	-937,9 Ω	0 Ω	1,90 nF	2,55 Ω
C	1 kHz	423,3 nF	375,96 Ω	-375,96 Ω	0 Ω	1,89 nF	0,96 Ω
C	4 kHz	421,8 nF	94,33 Ω	-94,33 Ω	0 Ω	1,89 nF	0,26 Ω
C	10 kHz	420,4 nF	37,861 Ω	-37,861 Ω	0 Ω	2,72 nF	0,19 Ω

c) Przykładowe obliczenia

Dla R1 pierwszy pomiar

$$\begin{aligned}R_x &= 48,57 \, \Omega \\|Z| &= 48,57 \, \Omega \\f &= 400 \text{ Hz}\end{aligned}$$

- Niepewność graniczna rezystancji

$$\delta R = R_x * 0,25\% = 48,57 \, \Omega * 0,0025 = \pm 0,13 \, \Omega$$

- Niepewność graniczna modułu impedancji

$$\delta|Z| = 0,25\% * |Z| + 2 * 0,01 = 0,0025 * 48,57 \, \Omega + 2 * 0,01 = \pm 0,15 \, \Omega$$

Dla L pierwszy pomiar

$$\begin{aligned}L &= 10,31 \, \text{mH} \\f &= 400 \text{ Hz}\end{aligned}$$

- Niepewność graniczna indukcji

$$\delta L = L * 0,6\% + 3 * 1 \, \mu\text{H} = 10,31 \, \text{mH} * 0,006 + 3 * 0,001 \, \text{mH} = 0,06487 \, \text{mH} = 64,87 \, \mu\text{H}$$

Dla C pierwszy pomiar

$$\begin{aligned}C_x &= 425,1 \, \text{nF} \\f &= 400 \text{ Hz}\end{aligned}$$

- Niepewność graniczna pojemności

$$\delta C = 0,4\% * C_x + 0,1 \, \text{nF} * 2 = 0,004 * 425,1 \, \text{nF} + 0,1 \, \text{nF} * 2 = 1,91 \, \text{nF}$$

d) Wnioski

Ta metoda jest najdokładniejsza, ponieważ mierzymy parametry nas interesujące bezpośrednio przez specjalistyczny miernik.