

POMIARY REZYSTANCJI I IMPEDANCJI

ĆWICZENIE 4

I. CEL ĆWICZENIA

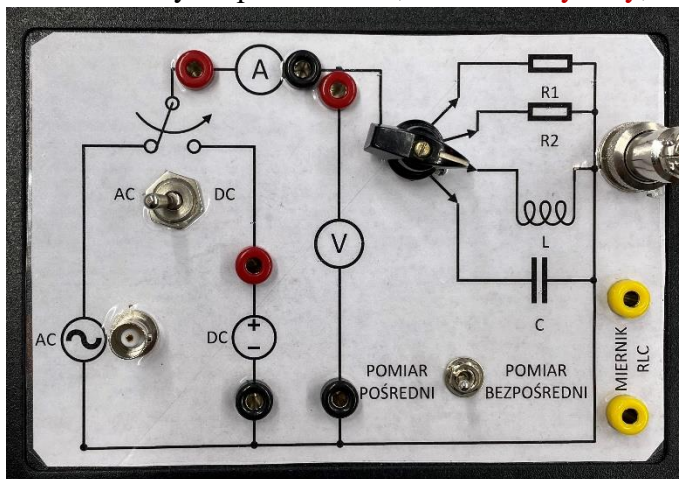
Poznanie zasad pomiarów pośrednich i bezpośrednich rezystancji i impedancji.
Pomiar impedancji elementów RLC – z zastosowaniem napięcia i prądu zmiennego AC.
Pomiary specjalizowanym miernikiem RLC.

II. ZAGADNIENIA DO PRZYGOTOWANIA

- Podstawy pomiaru prądu i napięcia AC / DC
- Układy pomiarowe
- Mierniki prądu DC i AC
- Dzielniki rezystancyjne prądowe i napięciowe – metody obliczania
- Twierdzenie Thevenina i Nortona
- Impedancja elementów skupionych RLC
(składowe impedancji: rezystancja, indukcyjność, pojemność)
- Zapoznanie się z zasadami pomiaru rezystancji i impedancji
- Zasady obsługi multimetrów - Instrukcje obsługi mierników i przyrządów dostępne w laboratorium i na wyposażeniu stanowiska e-portal.pwr.edu.pl

III. WYPOSAŻENIE POMIAROWE:

- Regulowane zasilacze DC (napięcia stałego)
- Generator funkcyjny (napięcia AC sinus, trójkąt, prostokąt)
- Mierniki prądu i napięcia VC8045 i VC8145
- Miernik RLC Hantek 1830C (*wyciąg z instrukcji i parametry do obliczania niepewności na końcu niniejszej instrukcji*)
- Moduły układów pomiarowych
- Elementy do pomiarów **R**, **L** i **C** – **Rezystory**, **Cewki** i **Kondensatory**



Moduł-makieta do pomiarów RLC.
Do wejścia AC podłączyć generator funkcyjny,
Do wejścia DC – zasilacz regulowany
DO wejścia Miernik RLC – mostek Hantek 1830C
Przełącznik obrotowy – wybór elementu mierzonego

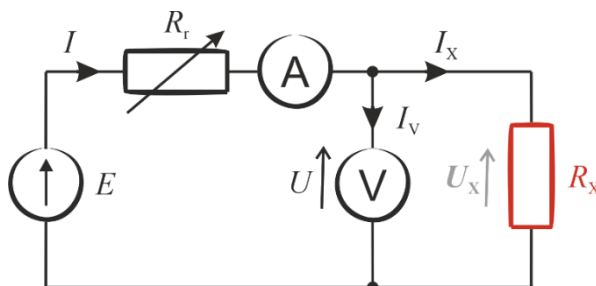
IV. PROGRAM ĆWICZENIA

ZADANIE 1 - POMIAR IMPEDANCJI – METODA POŚREDNIA, TECHNICZNA

W metodzie pośredniej – nazywanej też metodą techniczną impedancję wyznacza się pośrednio z pomiaru napięcia i prądu. W zależności od sposobu połączenia przyrządów rozróżnia się dwa układy pomiarowe: PPP (Poprawny Pomiar Prądu) i PPN (Poprawny Pomiar Napięcia) – układ pomiarowy dobiera się analizując wpływ impedancji mierników na błąd pomiaru. W większości przypadków mniejszy błąd występuje w układzie PPN i taki będzie stosowany w ćwiczeniu. Jako sygnał pomiarowy w metodzie technicznej można stosować napięcie stałe DC albo napięcie przemienne sinusoidalne AC.

1A - POMIAR REZYSTANCJI PRZY NAPIĘCIU STAŁYM DC

- 1a.1. Podłączyć do modułu pomiarowego wybrany zestaw elementów RLC
- 1a.2. Zestawić układ pomiarowy zgodnie z rysunkiem 1, gdzie R_x jest rezystorem mierzonym – na makiecie ustawić przełącznik AC/DC na DC, POMIAR POŚREDNI, Przełącznikiem obrotowym wybrać R1/R2
- 1a.3. Przełączyć amperomierz i woltomierz w tryb pracy DC.

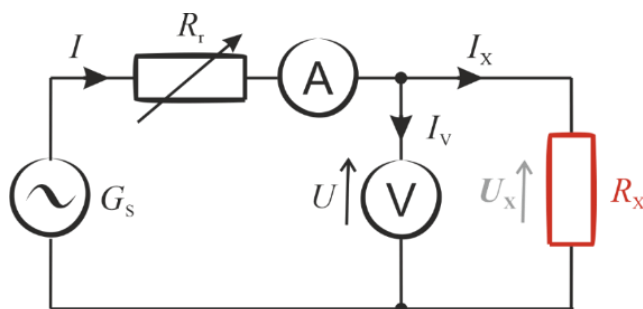


Rys.1 Układ pomiaru rezystancji metodą techniczną.

- 1a.4. Pomiary wykonać dla co najmniej trzech różnych napięć zasilacza z zakresu między 1V a 15V.
- 1a.5. Po ustawieniu wybranego napięcia – odczytać i zapisać prąd i napięcie.
- 1a.6. Pomiary powtórzyć dla drugiego rezystora w układzie.
- 1a.7. Włączyć cewkę jako element badany (Przełącznik obrotowy w pozycję **L**).
- 1a.8. Pomiary wykonać analogicznie jak dla rezystorów.
Jest to pomiar rezystancji szeregowej cewki – wartość niezbędna do późniejszego wyznaczenia indukcyjności cewki.

1B - POMIAR IMPEDANCJI PRZY NAPIĘCIU PRZEMIENNYM AC

- 1b.1. Zestawić układ pomiarowy zgodnie z rysunkiem 2, gdzie GS jest generatorem funkcyjnym, a R_x jest przykładowym elementem mierzonym
- 1b.2. Na makiecie AC/DC – AC, POMIAR POŚREDNI,.



Rys.2 Układ pomiaru impedancji metodą techniczną (G_s - generator sygnałowy).

- 1b.3. Amperomierz i woltomierz przełączyć w tryb pracy AC.
- 1b.4. Pomiary wykonać dla częstotliwości między 10Hz a 30kHz co dekadę (np. 20Hz, 200Hz, 2kHz, 20kHz) dla częstotliwości zadanych przez prowadzącego.
Uwaga: Częstotliwości zmienia się skokowo się przyciskami góra-dół **RANG** i płynnie pokrętle **FREQ**
- 1b.5. Do układu podłączyć rezystor R1
- 1b.6. Wykonać pomiary dla wszystkich częstotliwości z podpunktu **1b.3**.
- 1b.7. Analogicznie powtórzyć pomiary dla pozostałych elementów: **R2, L i C**.

Uwagi do sprawozdania:

- Wyliczyć rezystancję rezystorów R1 i R2 oraz oszacować niepewność dla każdego pomiaru – zarówno dla pomiarów dla napięć stałych DC jak i dla napięć przemiennych AC. Porównać i przeanalizować uzyskane wyniki. Wyciągnąć wnioski.
- Na podstawie informacji zawartych w Dodatku informacyjnym na końcu sprawozdania wyznaczyć **pojemność kondensatora C** i **indukcyjność cewki L** – oszacować niepewność. Obliczenia przeprowadzić dla każdej częstotliwości pomiarowej. Porównać i przeanalizować uzyskane wyniki. Wyciągnąć wnioski.
- Wyznaczyć **moduł impedancji** kondensatora C i cewki L (z uwzględnieniem rezystancji szeregowej cewki) w funkcji częstotliwości.
- Wyznaczoną wartość porównać z obliczeniami teoretycznymi na podstawie zależności z dodatku informacyjnego na końcu instrukcji

Uwaga : dla każdej metody pomiarowej w sprawozdaniu należy podać przykład obliczeń wartości wyznaczanej i niepewności

ZADANIE 2 - POMIAR IMPEDANCJI – METODA BEZPOŚREDNIA – MIERNIK RLC

W metodzie bezpośredniej pomiaru impedancji wykorzystuje się układy mierników RLC. Są to układy o różnym skomplikowaniu i możliwościach pomiarowych. Uproszczone rozwiązania stosuje się jako jedną z funkcji multimetrów uniwersalnych. W ćwiczeniu wykorzystany zostanie specjalizowany miernik RLC Hantek 1830C.

- 2.1. Na makiecie – przełączyć na POMIAR BEZPOŚREDNI
- 2.2. Przełącznikiem obrotowym wybrać właściwy element badany R1, R2, L i C dla którego będzie prowadzony pomiar.
- 2.3. Włączyć miernik RLC – Hantek1800C.

- 2.4. Do każdego pomiaru dobrać właściwy zakres pomiarowy miernika RLC na podstawie instrukcji obsługi miernika.
- 2.5. Określić jakie parametry badanego elementu zostały zmierzone.
Odpowiednie tryby pracy i zakresy pomiarowe ustawia się na klawiaturze miernika

Setting: Main: Auto – Automatyczny dobór trybu pracy (nie zalecane)

R – pomiar rezystancji (do pomiaru rezystancji i rezystancji szeregowej cewki)

L – pomiar indukcyjności

C – pomiar pojemności

Z – pomiar modułu impedancji

Slave – proponuje się X – składowa urojona impedancji (tylko informacyjnie)

Parameter – Freq - Częstotliwość sygnału pomiarowego między 100Hz a 40kHz

Range – zakres pomiarowy ustawić na **Auto**

S/P – ustawić **SER**

- 2.6. Pomiary przeprowadzić dla minimum 4 wybranych częstotliwości pomiarowych – wybór z menu miernika RLC, parametr **Freq**

Dla rezystorów – pomiar **R** i **Z**

Dla cewki – pomiar **L** i **Z**

Dla kondensatora – pomiar **C** i **Z**

Uwaga: w sprawozdaniu przedstawić wyniki pomiarów w powiązaniu z nastawami/zakresami miernika RLC, oszacować niepewność pomiaru i porównać wyniki uzyskane w Zadaniu 2 z wynikami z Zadania 1. Przeanalizować wyniki i wyciągnąć wnioski.

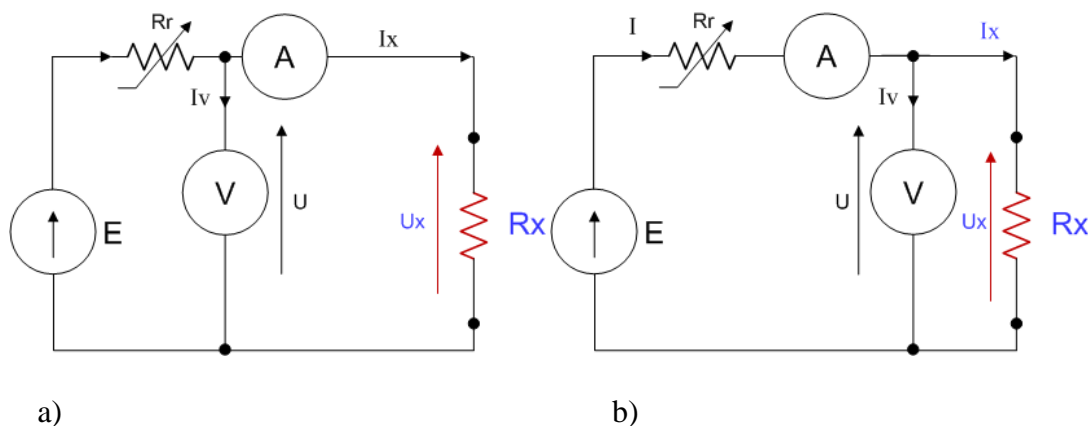
Da każdej metody pomiarowej w sprawozdaniu należy podać przykład obliczeń wartości wyznaczanej i niepewności

DODATEK INFORMACYJNY – OPRACOWANIE DR INŻ. MAREK ZARADNY

ZADANIE 1.1 POMIARY REZYSTANCJI – METODA POŚREDNIA, TECHNICZNA

W metodzie pośredniej – nazywanej też metodą techniczną rezystancję wyznacza się pośrednio z pomiaru napięcia i prądu. W zależności od sposobu połączenia przyrządów rozróżnia się dwa układy pomiarowe: PPP (Poprawny Pomiar Prądu) i PPN (Poprawny Pomiar Napięcia), odpowiednio rysunek 1a) i 1b). W trakcie pośredniego pomiaru rezystancji, w sensie metrologicznym, nie jest możliwy jednoczesny dokładny pomiar prądu I_x płynącego przez R_x i dokładny napięcia U_x panującego na nim. Mają na to wpływ niezerowa rezystancja amperomierza i skończona rezystancja woltomierza [3]. Stąd też istnieją dwie metody opisane na rysunkach 1a) i 1b).

Metody pośrednie stosuje się głównie do pomiaru rezystancji elementów oporowych pasywnych, liniowych, skupionych i stacjonarnych. W przypadku oporników liniowych wyznacza się rezystancję statyczną ($R_x = U_x / I_x$), a dynamiczna ($dU/dI = \text{const}$) jest stała.



Rys.1. Układy do pomiaru rezystancji metodą techniczną, a) PPP –poprawny pomiar prądu, b) PPN – poprawny pomiar napięcia. R_r - rezystancja wewnętrzna „źródła”

Zgodnie z oznaczeniami przyjętymi na rys.1, rezystancję R_x wyznacza się na podstawie prawa Ohma: $R_x = U_x / I_x$

W układzie PPN

$$R_x = \frac{U}{I - I_v} = \frac{U}{I - \frac{U}{R_v}} \quad (1.1.1)$$

w którym R_v – rezystancja wewnętrzna woltomierza.

W układzie PPP

$$R_x = \frac{U - I_x R_A}{I_x} \quad (1.1.2)$$

w którym R_A – rezystancja wewnętrzna amperomierza.

Rezystancja wyznaczona bezpośrednio ze wskazań przyrządu pomiarowego

$$R_x' = \frac{U}{I} \quad (1.1.3)$$

różni się od rezystancji R_x - dla obu przypadków. Różnicę tę nazywa się poprawką i oznacza symbolem „p”. Gdzie $p = R_x - R_x'$, natomiast $R_x = p + R_x'$

W układzie PPN, poprawka p wynosi

$$p_{PPN} = \frac{U^2}{I^2 R_v - UI} \quad (1.1.4)$$

Natomiast w układzie PPP

$$p_{PPP} = \frac{U_x - U}{I} = -R_A \quad (1.1.5)$$

Do pomiaru rezystancji metodą techniczną należy zawsze dobierać ten układ pomiarowy, dla którego poprawka jest najmniejsza. Zwykle układ PPN stosuje się do pomiaru małych rezystancji i średnich, a układ PPP do pomiaru dużych i średnich wartości rezystancji. Oba układy zarówno PPP jak i PPN dają wynik obarczony tym samym błędem wówczas, gdy,

$$R_x = \sqrt{R_A R_v} \quad (1.1.6)$$

Błędy względne w układach wynoszą,
z PPN:

$$\delta_{pN} = \frac{R_X' - R_X}{R_X} = \frac{-1}{1 + \frac{R_V}{R_X}}$$

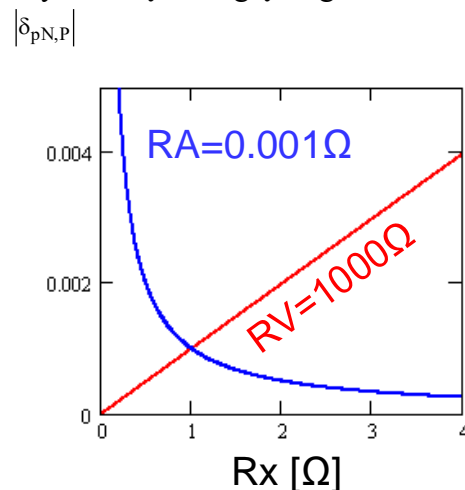
$$\delta_{pN RV \gg RX} = -\frac{R_X}{R_V}$$

z PPP:

$$\delta_{pP} = \frac{R_X' - R_X}{R_X} = \frac{1}{\frac{R_X}{R_A} - 1}$$

$$\delta_{pP RA \ll RX} = \frac{R_A}{R_X}$$

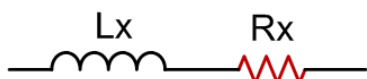
Wykres błędu względnego



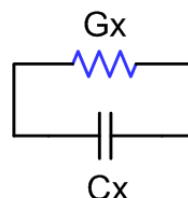
ZADANIE 1.2 POMIARY IMPEDANCJI RLC – METODA POŚREDNIA, TECHNICZNA

Pomiary impedancji są istotne ze względu na wyznaczanie wartości elementów skupionych L i C – inercyjnych, czyli tworzących obwody zależne od częstotliwości. Pomiar wykonujemy **metodą pośrednią – techniczną** w zakresie m.cz.

Schemat zastępczy cewki indukcyjnej (rys.2a) w zakresie m.cz., przedstawia się w postaci dwójnika RL, czyli o impedancji $Z_{LX} = R_x + j\omega L_x$ (gdzie $\omega = 2\pi \cdot f$), która reprezentuje główne straty oporowe DNE – drutu nawojowego. Wartość rezystancji R_x może być, zatem zmierzona prądem stałym DC.



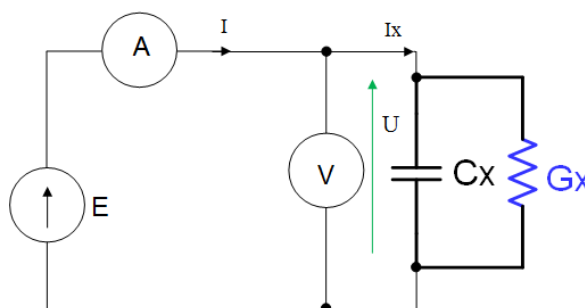
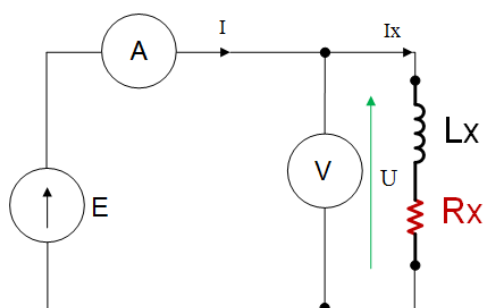
a)



b)

Rys. 2. Schemat obwodu zastępczego: a) cewki i b) kondensatora w zakresie m.cz.

Rezystancję R_x możemy wyznaczyć mierząc prąd poprzez napięcie na rezystorze wzorcowym R_w , i napięcie na impedancji Z_{LX} przy prądzie stałym ($\omega=0$). Zatem, zgodnie z rys. 3, $R_x = U/I_x$



a)

b)

Rys. 3. Układ do pomiar parametrów a) cewki indukcyjnej – powietrznej i b) kondensatora. Obwody pomiarowe w zakresie m.cz.

Zasilając napięciem zmiennym sinusoidalnym „E” - układ z rys. 3a), impedancja wzrasta ze wzrostem $\omega > 0$. Wówczas przy danej pulsacji $\omega = 2\pi f$ wyznaczmy moduł $|Z_{LX}(\omega)| = U(\omega)/I(\omega) \approx U(\omega)/I_X(\omega)$. Skoro,

$$|Z_{LX}(\omega)| = \sqrt{R_X^2 + \omega^2 L_X^2} \quad (1.2.1)$$

to L_X można obliczyć ze wzoru:

$$L_X = \frac{1}{\omega} \sqrt{|Z_{LX}(\omega)|^2 - R_X^2} = \frac{1}{2\pi \cdot f} \sqrt{|Z_{LX}(f)|^2 - R_X^2} \quad (1.2.2)$$

Błąd pomiaru indukcyjności wyznacza się z relacji,

$$\delta L_X = \left[\frac{|Z_{LX}(\omega)|}{\sqrt{|Z_{LX}(\omega)|^2 - R_X^2}} \right]^2 \delta Z_{LX} + \left[\frac{R_X}{\sqrt{|Z_{LX}(\omega)|^2 - R_X^2}} \right]^2 \delta R_X + \frac{\delta \omega}{2\pi} \quad (1.2.3)$$

W dokładniejszych pomiarach należy uwzględnić poprawki na ΔU_V i ΔI_A .

Podobnie jak w przypadku pomiarów cewek, dokonujemy pomiarów kondensatorów. Z tą jednak różnicą, że impedancja Z_{CX} na zaciskach pomiarowych kondensatora jest największa przy prądzie stałym ($\omega=0$). **Admitancja kondensatora wyraża się wzorem $Y_{CX} = G_X + j\omega C_X$** - (rys. 2b) i jest ona odwrotnością impedancji Z_{CX} , czyli $Z_{CX} = 1/Y_{CX}$. **Gwoli przypomnienia konduktancja G_X jest odwrotnością rezystancji, zatem $G_X = 1/R_X$.** Z reguły straty związane z rezystancją doprowadzeń, okładzin i upływnością dielektryka są na tyle małe, że G_X jest bliskie „zeru”, czyli rezystancja równoległa strat $R_X = 1/G_X$ jest bardzo wielka. Moduł impedancji przy $\omega > 0$ jest, dany wzorem

$$|Z_{CX}(\omega)| = \frac{1}{\sqrt{G_X^2 + \omega^2 C_X^2}} = \frac{R_X}{\sqrt{1 + \omega^2 R_X^2 C_X^2}}, \quad (1.2.4)$$

zatem

$$C_X = \frac{\sqrt{1 - G_X^2 |Z_{CX}(\omega)|^2}}{|Z_{CX}(\omega)| \omega} \quad (1.2.5)$$

Jeśli **konduktancja** $G_X \ll 1$, przy pomiarze prądem stałym DC lub jako część rzeczywista $\text{Re}(Z_{CX})$, czyli około 10^{-6} , lub mniej, a fakt, że stoi w kwadracie może być nieuwzględniana, wówczas C_X jest wprost dana wzorem

$$C_X = \frac{1}{|Z_{CX}(\omega)| \omega} = \frac{1}{|Z_{CX}(f)| 2\pi \cdot f} \quad (1.2.6)$$

Błąd pomiaru C wyznacza się z relacji różniczki zupełnej dla δC_X podobnie jak dla δL_X , wg wzoru (1.2.3)

$$\delta C_X = \left[\frac{1}{\sqrt{1 - |Z_{CX}(\omega)|^2 G_X^2}} \right]^2 \delta Z_{CX} + \left[\frac{G_X |Z_{CX}(\omega)|}{\sqrt{1 - |Z_{CX}(\omega)|^2 G_X^2}} \right]^2 \delta G_X + \frac{\delta \omega}{2\pi} \quad (1.2.7)$$

W dokładniejszych pomiarach, należy uwzględnić poprawki na ΔU_V i ΔI_A .

Uzasadnienie pomiaru uproszczonego C_x wg wzoru (1.2.6):

Przykładowo kondensator typu X2 o pojemności 22nF/275VAC, zmierzony mostkiem RLC o klasie 0.1, ma następujące parametry $C_x = 21.5\text{nF} + 0.1\text{nF}$ - w zakresie od 50Hz do 100kHz, $\text{Re}Z_{CX}(50\text{Hz}, 1\text{kHz}, 100\text{kHz}) = 48\text{M}\Omega, 10\text{M}\Omega, 45\text{k}\Omega$. a DCR jest $> 100\text{M}\Omega$ z błędem 10%. Zatem C_x , w obliczu $G_x = 1/\text{Re}Z_{CX}$, np. dla 100kHz ($G_x = 1/45\text{k}\Omega$) wynosi 21.499997nF - zakładając że mierzymy C_x przy b. niskiej częstotliwości i wynik był równy 21.5nF – zatem $G_x \approx 0$ – jest wówczas prawie zerowe. Zatem akceptowalny jest błąd w zakresie wartości zmierzonej $C_x + \Delta C_x$ w całym zakresie m.cz., który nie przekracza, dokładnych wyników pomiarów uzyskanych za pomocą cyfrowego mostka RLC w szerokim zakresie częstotliwości – lub inaczej, błąd pomiaru uzyskany metodą uproszczoną w węższym zakresie częstotliwości, mieści się w błędzie pomiaru dokładnego wykonanego w szerszym zakresie częstotliwości.

BIBLIOGRAFIA

1. Instrukcje laboratoryjne. Laboratorium Miernictwa. Raport Katedry Telekomunikacji i Teleinformatyki Politechniki Wrocławskiej - praca zbiorowa – Paweł Bieńkowski, **Marek Zaradny**, Ewa Frączek, Raport Ser. PRE nr 58, 50 s., Wrocław 2019
2. Ćwiczenia – Miernictwo Elektroniczne i elektryczne, praca zbiorowa pod red. **Ireny Frankiewicz**, Wydawnictwo PWr., Wrocław 1992
3. Ćwiczenia Laboratoryjne z Miernictwa Elektronicznego, **op. Andrzej Jellonek**, B. Kasprzak, A. Lesisz, P. Ruszel, Z. Szreter, Wydawnictwo PWr., Wrocław 1974

WYCIĄG Z INSTRUKCJI MIERNIKA RLC – HANTEK1 1830C

1. **Display:** 2.8 inch TFT LCD screen, which display all functions of the instrument.
2. **R-X shortcut key:** Select the main parameter as R and the secondary parameter as X directly.
3. **C-D shortcut key:** Select the main parameter as C and the secondary parameter as D directly.
4. **L-Q shortcut key:** Select the main parameter as L and the secondary parameter as Q directly.
5. **Data holding recording key:** Turn on or off the data holding function.
6. **Frequency key:** Switch to fixed frequency quickly.
7. **Range key:** Switch to the required range quickly. You can select Auto, 10Ω, 100Ω, 1kΩ, 10kΩ and 100kΩ in turn. Auto is the automatic range, LCR will automatically select the appropriate hardware range according to the current tested component, and the other ranges are the fixed gear position.

Capacitance C and dissipation D

■ 100Hz/120Hz/400Hz

Range	Range of display	Accuracy Ce	Accuracy De	Equivalent mode recommended
20mF	4.000mF~20.000mF	8.00%+5 digits	0.0800	Series
4mF	400.0μF~3.9999mF	2.00%+3 digits	0.0200	Series
400μF	40.00μF~399.99μF	0.60%+2 digits	0.0060	Series
40μF	4.000μF~39.999μF	0.40%+2 digits	0.0040	Series
4μF	400.0nF~3.9999μF	0.40%+2 digits	0.0040	-----
400nF	40.00nF~399.99nF	0.4%+2 digits	0.0040	Parallel
40nF	4.000nF~39.999nF	0.5%+3 digits	0.0050	Parallel
4nF	0pF~3.999nF	1.5%+5 digits	-----	Parallel

■ 1kHz/4KHz

Range	Range of display	Accuracy Ce	Accuracy De	Equivalent mode recommended
1000uF	400.0uF~999.9uF	3.00%+5 digits	0.0300	Series
400μF	40.00μF~399.99μF	1.50%+3 digits	0.0150	Series
40μF	4.000μF~39.999μF	0.60%+2 digits	0.0060	Series
4μF	400.0nF~3.9999μF	0.40%+2 digits	0.0040	----
400nF	40.00nF~399.99nF	0.4%+2 digits	0.0040	Parallel
40nF	4.000nF~39.999nF	0.6%+3 digits	0.0060	Parallel
4nF	400.0pF~3.9999nF	0.6%+3 digits	0.0060	Parallel
400pF	0.0pF~399.9pF	3%+5 digits	-----	Parallel

■ 10kHz

Range	Range of display	Accuracy Ce	Accuracy De	Equivalent mode recommended
100μF	40.00μF~100.00μF	4.00%+5 digits	0.0400	Series
40μF	4.000μF~39.999μF	2.0%+3 digits	0.0200	Series
4μF	400.0nF~3.9999μF	0.60%+2 digits	0.0060	Series
400nF	40.00nF~399.99nF	0.4%+2 digits	0.0040	Series
40nF	4.000nF~39.999nF	0.4%+2 digits	0.0040	-----
4nF	400.0pF~3.9999nF	0.4%+2 digits	0.0040	Parallel
400pF	40.00pF~399.99pF	0.6%+3 digits	0.0060	Parallel
40pF	0.00pF~39.99pF	2.5%+5 digits	-----	Parallel

■ 40kHz/50KHz

Range	Range of display	Accuracy Ce	Accuracy De	Equivalent mode recommended
100μF	40.00μF~100.00μF	6.00%+5 digits	0.0600	Series
40μF	4.000μF~39.999μF	4.0%+3 digits	0.0400	Series
4μF	400.0nF~3.9999μF	1.0%+2 digits	0.0100	Series
400nF	40.00nF~399.99nF	0.6%+2 digits	0.0060	Series

Inductance L and quality factor

■ 100Hz/120Hz/400Hz

Range	Range of display	Accuracy Le	Accuracy De*	Equivalent mode recommended
1000H	400.0H~999.9H	2.00%+3 digits	0.0200	Parallel
400H	40.00H~399.99H	0.60%+2 digits	0.0060	Parallel
40H	4.000H~39.999H	0.40%+2 digits	0.0040	Parallel
4H	400.0mH~3.9999H	0.40%+2 digits	0.0040	----
400mH	40.00mH~399.99mH	0.4%+2 digits	0.0040	Series
40mH	4.000mH~39.999mH	0.6%+3 digits	0.0060	Series
4mH	0uH~3.999mH	3.0%+5 digits	-----	Series

■ 1kHz/4KHz

Range	Range of display	Accuracy Le	Accuracy De*	Equivalent mode recommended
1H	400.0mH~999.9mH	1.50%+3 digits	0.0150	Parallel
400mH	40.00mH~399.99mH	0.4%+2 digits	0.0040	Parallel
40mH	4.000mH~39.999mH	0.4%+2 digits	0.0040	-----
4mH	400.0uH~3.9999mH	0.4%+2 digits	0.0040	Series
400uH	40.00uH~399.99uH	0.8%+3 digits	0.0080	Series
40uH	0.0uH~39.9uH	3.0%+5 digits	-----	Series

■ 10kHz/40KHz

Range	Range of display	Accuracy Le	Accuracy De*	Equivalent mode recommended
100H	40.00H~100.00H	2.0%+3 digits	0.0200	Parallel
40H	4.000H~39.999H	0.60%+2 digits	0.0060	Parallel
4H	400.0mH~3.9999H	0.40%+2 digits	0.0040	Parallel

400mH	40.00mH~399.99mH	0.4%+2 digits	0.0040	-----
40mH	4.000mH~39.999mH	0.4%+2 digits	0.0040	Series
4mH	400.0uH~3.9999mH	1%+3 digits	0.0100	Series
400uH	0.00uH~399.99uH	3.0%+5 digits	-----	Series

■ 40kHz/50KHz

Range	Range of display	Accuracy Le	Accuracy De*	Equivalent mode recommended
1H	400.0mH~999.9mH	2.0%+4 digits	0.0200	Parallel
400mH	40.00mH~399.99mH	0.8%+2 digits	0.0080	Parallel
40mH	4.000mH~39.999mH	0.8%+2 digits	0.0080	-----
4mH	400.0uH~3.9999mH	0.8%+2 digits	0.0080	Series
400uH	40.00uH~399.99uH	1.5%+3 digits	0.0150	Series
40uH	0.000uH~39.999uH	4.0%+5 digits	-----	Series

40nF	4.000nF~39.999nF	0.6%+2 digits	0.0060	-----
4nF	400.0pF~3.9999nF	0.6%+2 digits	0.0060	Parallel
400pF	40.00pF~399.99pF	1%+3 digits	0.0100	Parallel
40pF	0.000pF~39.999pF	3%+5 digits	-----	Parallel

Resistance: 0.25%

Impedance Z and phase angle θ **■ 100Hz/120Hz/400Hz/1kHz/4KHz/10kHz**

Range	Range of display	Accuracy Z_e	Accuracy θ_e	Equivalent mode recommended
20M Ω	4.000M Ω ~20.000M Ω	3.0%+10 digits	3.4°	Parallel
4M Ω	400.0k Ω ~3.9999M Ω	1.2%+3 digits	0.7°	Parallel
400k Ω	40.00k Ω ~399.99k Ω	0.3%+3 digits	0.2°	Parallel
40k Ω	4.000k Ω ~39.999k Ω	0.25%+2 digits	0.1°	-----
4k Ω	400.0 Ω ~3.9999k Ω	0.25%+2 digits	0.1°	Series
400 Ω	40.00 Ω ~399.99 Ω	0.25%+2 digits	0.1°	Series
40 Ω	4.000 Ω ~39.999 Ω	0.5%+3 digits	0.3°	Series
4 Ω	0.4000 Ω ~3.9999 Ω	2.0%+3 digits	1.1°	Series
0.4 Ω	0.0000 Ω ~0.3999 Ω	4.0%+3 digits	-----	Series

■ 40kHz/50KHz

Range	Range of display	Accuracy Z_e	Accuracy θ_e	Equivalent mode recommended
20M Ω	4.000M Ω ~20.000M Ω	7.0%+41 digits	4.0°	Parallel
4M Ω	400.0k Ω ~3.9999M Ω	2.5%+3 digits	1.4°	Parallel
400k Ω	40.00k Ω ~399.99k Ω	1.0%+4 digits	0.6°	Parallel
40k Ω	4.000k Ω ~39.999k Ω	1.0%+4 digits	0.6°	-----
4k Ω	400.0 Ω ~3.9999k Ω	0.5%+3 digits	0.3°	Series
400 Ω	40.00 Ω ~399.99 Ω	0.5%+3 digits	0.3°	Series
40 Ω	4.000 Ω ~39.999 Ω	0.7%+4 digits	0.4°	Series
4 Ω	0.4000 Ω ~3.9999 Ω	2.0%+6 digits	1.1°	Series
0.4 Ω	0.0000 Ω ~0.3999 Ω	5.0%+10 digits	-----	Series