

Politechnika Rzeszowska  
im. Ignacego Łukasiewicza



Instrukcja do laboratorium 6

*POMIARY RLC - POMIARY INDUKCYJNOŚCI*



## ZAWARTOŚĆ

---

Wprowadzenie .....	4
Techniczna metoda pomiaru indukcyjności.....	8
Elementy składowe modułu pc-L .....	11
Przebieg ćwiczenia.....	12
Zadanie 1 .....	12
Zadanie 2 .....	12
Zadanie 3 .....	13
Zadanie 4 .....	14
Opracowanie wyników pomiarowych.....	15

## WPROWADZENIE

---

Reaktancja - opór bierny to wielkość charakteryzująca obwód elektryczny zawierający element o charakterze pojemnościowym lub indukcyjnym. Jest urojoną częścią impedancji. Jednostką reaktancji jest  $\Omega$ . Reaktancję oznacza się na ogół symbolem  $X$ .

Aby wyznaczyć **reaktancję kondensatora**  $X_C$ , należy posłużyć się zależnością:

$$X_C = -\frac{1}{\omega C} \quad (1)$$

gdzie:

$\omega = 2\pi f$  – pulsacja prądu,

$C$  – pojemność kondensatora.

**Reaktancja cewki**  $X_L$  obliczana jest ze wzoru:

$$X_L = \omega L \quad (2)$$

gdzie:

$\omega$  – pulsacja prądu,

$L$  – indukcyjność cewki.

**Indukcyjność** (ang. *inductance*) – wielkość opisująca zdolność elementu lub obwodu elektrycznego do wytwarzania strumienia pola magnetycznego będącego wynikiem przepływu przez układ prądu. Jednostką indukcyjności jest henr (H) i oznacza się ją symbolem  $L$ .

Powyższe stwierdzenie sprowadzić można do następującego równania:

$$\Phi_m = LI \quad (3)$$

gdzie:

$\Phi_m$  – strumień pola magnetycznego,

$I$  – natężenie prądu elektrycznego,

$L$  – indukcyjność cewki.

Wartość indukcyjności danego elementu oszacować można na podstawie jego parametrów geometrycznych. Dla przykładu, aby obliczyć przybliżoną indukcyjność  $L$  odcinka przewodu, można skorzystać ze wzoru:

$$L = 0,002 \left( \ln \left( \frac{4l}{d} \right) - x \right) l \quad (4)$$

gdzie:

$l$  – długość przewodu,

$d$  – średnica przewodu,

$x$  – współczynnik zależny od częstotliwości zmian prądu oraz kształtu przewodu (np.  $x = 1$  dla wysokich częstotliwości i prostego przewodu,  $x = 2,2$  dla niskich częstotliwości i przewodu w kształcie kręgu jednowojowego itp.).

Indukcyjność cewki  $L$  może zostać wyrażona za pomocą zależności:

$$L = S\mu \frac{n^2}{l} \quad (5)$$

gdzie:

- $\mu$  – przenikalność magnetyczna rdzenia cewki,
- $n$  – liczba zwojów,
- $l$  – długość cewki,
- $S$  – pole powierzchni pojedynczego zwoju.

**Przenikalność magnetyczna** (ang. *magnetic permeability*) – parametr opisujący, w jakim stopniu zmieni się indukcja magnetyczna danego materiału przy zmianie natężenia pola magnetycznego. Jednostką przenikalności magnetycznej jest henr na metr (H/m) i oznacza się ją symbolem  $\mu$ .

W pomiarach elektrycznych często wykorzystuje się tzw. **względna przenikalność magnetyczną**  $\mu_r$ , którą stanowi stosunek bezwzględnej przenikalności magnetycznej danego materiału do przenikalności magnetycznej próżni  $\mu_0$ .

Na podstawie przenikalności magnetycznej  $\mu$  oraz natężenia pola magnetycznego  $H$ , możliwe jest wyznaczenie gęstości strumienia pola magnetycznego, czyli tzw. **indukcji magnetycznej**  $B$ , której wartość wyraża się w teslach (T) i jest dana poniższą zależnością:

$$B = \mu H = \mu_0 \mu_r H \quad (6)$$

gdzie:

- $B$  – indukcja magnetyczna,
- $\mu$  – przenikalność magnetyczna,
- $H$  – natężenie pola magnetycznego,
- $\mu_0$  – przenikalność magnetyczna próżni,
- $\mu_r$  – względna przenikalność magnetyczna.

**Dobroć cewki** (ang. *quality*) – oznaczana symbolem  $Q$ , określa ile razy amplituda sygnału o częstotliwości rezonansowej układu jest większa od amplitudy sygnału o innej, nierezonansowej, częstotliwości. Dobroć wyrażana jest, jako stosunek reaktancji  $X_L$  cewki do jej rezystancji szeregowej  $R_s$  (rezystancji uzwojenia):

$$Q = \frac{X_L}{R_s} = \frac{\omega L}{R_s} \quad (7)$$

gdzie:

- $Q$  – dobroć cewki,
- $X_L$  – reaktancja cewki,
- $\omega$  – pulsacja,
- $L$  – indukcyjność cewki,
- $R_s$  – rezystancja szeregową cewki.

**Krzywa histerezy magnetycznej** (ang. *magnetic hysteresis*) – funkcja  $B = f(H)$ , określająca zależność indukcji magnetycznej  $B$  ośrodka od natężenia pola magnetycznego  $H$ . W ogólności, zjawisko histerezy opisuje opóźnienie reakcji układu na zmianę czynnika zewnętrznego. Najbardziej znanym przykładem histerezy jest materiał ferromagnetyczny, który zostaje namagnesowany dopiero po pewnym wzroście zewnętrznego pola magnetycznego. Wykres histerezy najczęściej przybiera postać pętli (rys. 1).

Aby wyjaśnić wyżej opisane zjawisko, należy zauważyć, że w stanie spoczynku domeny materiału ferromagnetycznego ułożone są przypadkowo i równomiernie we wszystkich kierunkach. Pod wpływem zewnętrznego pola magnetycznego, domeny magnetyczne zmieniają swój kierunek na zgodny z kierunkiem strumienia magnetycznego. Należy zaznaczyć, że im większe jest natężenie pola magnetycznego  $H$ , tym więcej domen magnetycznych zmieni swój kierunek. Dla pewnej wartości natężenia pola magnetycznego zostanie osiągnięty stan nasycenia materiału, ponieważ wszystkie domeny zostaną ukierunkowane zgodnie z kierunkiem strumienia magnetycznego.

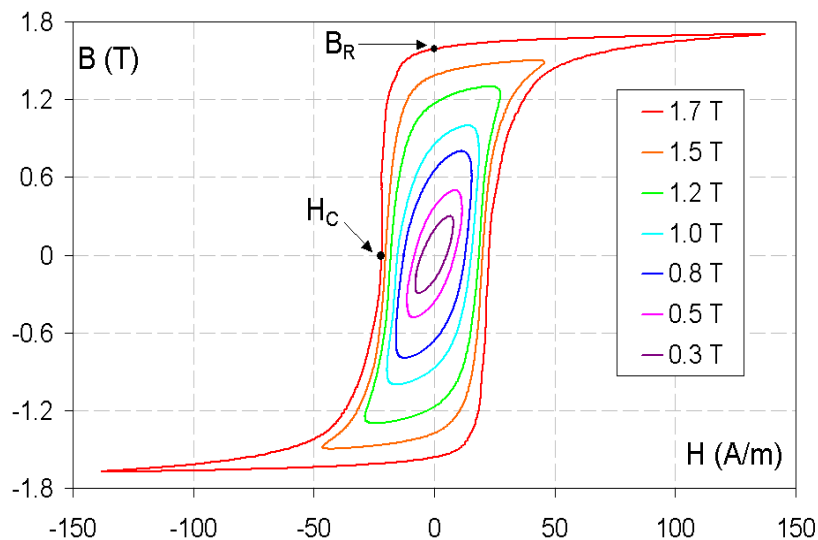
Jeżeli natężenie pola magnetycznego zostanie następnie zmniejszone do zera, część domen magnetycznych nie wróci do położenia początkowego, w związku z czym w materiale wciąż istnieje pewien niezerowy strumień magnetyczny o gęstości  $B_R$ , czyli tzw. **remanencja magnetyczna**. Aby wyzerować wartość indukcji magnetycznej  $B$  materiału, należy przyłożyć zewnętrzne pole magnetyczne o zwrocie przeciwnym do pierwotnego i natężeniu  $H_C$ , zwanym **natężeniem koercji** (Rys. 1).

**Cewka powietrzna** – cewka nieposiadająca rdzenia ferrytowego, składająca się z pewnej liczby zwojów przewodnika. Jej przybliżoną indukcyjność  $L$  można wyznaczyć z zależności:

$$L = \frac{[0,08(dn)^2]}{3d + 9l + 10a} \quad (8)$$

gdzie:

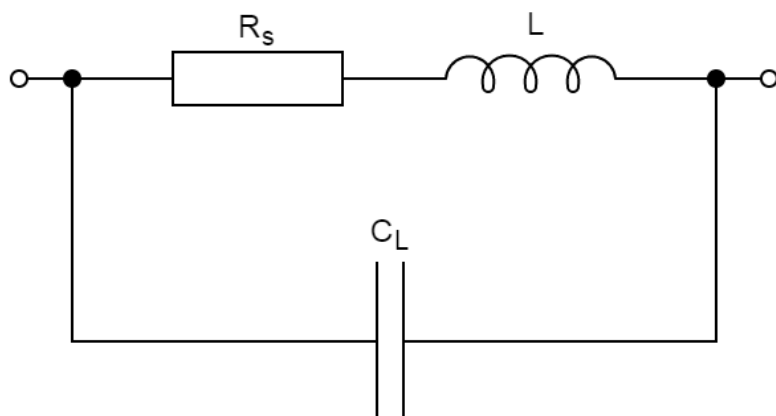
- $L$  – indukcyjność cewki,
- $d$  – średnica cewki,
- $n$  – liczba zwojów,
- $l$  – długość cewki,
- $a$  – grubość uzwojenia wzdłuż promienia.



**RYСУNEK 1** RODZINA PĘTLI HISTEREZY  $B = f(H)$  DLA ORIENTOWANEJ BLACHY ELEKTROTECHNICZNEJ. NA WYKRESIE ZAZNACZONO REMANENCJĘ  $B_R$  ORAZ NATĘŻENIE KOERCJI  $H_C$ .  
 ŹRÓDŁO: [HTTPS://PL.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/HISTEREZA](https://pl.wikipedia.org/wiki/Hister_eza).

Najpopularniejszym przykładem cewki powietrznej jest solenoid. Należy zaznaczyć, że wewnątrz cewki powietrznej indukowane pole magnetyczne jest względnie duże, natomiast na zewnątrz – małe.

Każdą cewkę rzeczywistą, poza indukcyjnością i reaktancją indukcyjną, cechuje również pojemność własna (pasożytnicza)  $C_L$  oraz rezystancja szeregową (rezystancja przewodnika)  $R_s$ . Model zastępczy cewki rzeczywistej przedstawiono na Rys. 2.



**RYСУNEK 2** MODEL CEWKI RZECZYWISTEJ:  $R_s$  – REZYSTANCJA SZEREGOWA,  $C_L$  – POJEMNOŚĆ WŁASNA,  $L$  – INDUKCYJNOŚĆ CEWKI

**Cewka z rdzeniem** – w celu zwiększenia indukcyjności cewki powietrznej, wewnątrz lub na zewnątrz niej można umieścić rdzeń ferromagnetyczny, magnetyczny lub diamagnetyczny. W ten sposób możliwa jest regulacja indukcyjności cewki zgodnie z zależnością:

$$L_m = \mu_e L_p \quad (9)$$

gdzie:

- $L_m$  – indukcyjność cewki z rdzeniem,
- $\mu_e$  – przenikalność magnetyczna względna rdzenia,
- $L_p$  – indukcyjność cewki powietrznej.

**Dławik** (ang. *choke*) – cewka indukcyjna, której zadaniem w układzie elektrycznym jest filtracja zakłóceń. Dla przykładu, dławik może zapobiegać nagłym zmianom natężenia prądu elektrycznego lub, współpracując z kondensatorem, może służyć jako filtr dolnoprzepustowy. Dławik stanowi „przeszkodę” dla prądu zmiennego, podobnie jak rezystor stanowi „przeszkodę” dla prądu stałego.

Uwaga: Warto pamiętać, że niekiedy określenia „dławik” i „cewka” używane są zamiennie.

Cewki najczęściej wykorzystywane są jako element tzw. filtrów strojonych, nazywanych inaczej obwodami rezonansowymi, których zadaniem jest tłumienie pewnych częstotliwości sygnału. Ponadto cewki stosuje się jako filtry prądu stałego lub magazyny energii.

**Magazynowanie energii** – każda cewka posiada zdolność do magazynowania energii w polu magnetycznym. Wzór na energię cewki  $E_L$  można wyprowadzić ze wzoru na pracę (energię) rozumianą jako całkę z mocy chwilowej  $p(t)$  w czasie  $t$ , tj.  $E_L = \int p(t)dt$ . Moc chwilowa  $p(t)$  jest iloczynem prądu chwilowego i napięcia chwilowego, które z kolei wyrazić można jako iloczyn indukcyjności cewki oraz pochodnej prądu chwilowego po czasie:

$$E_L = \int p(t)dt = \int u(t)i(t)dt = \int L \frac{di(t)}{dt} i(t)dt = \int L i di \quad (10)$$

gdzie:

$E_L$  – energia cewki zgromadzona w polu magnetycznym,

$p(t)$  – moc chwilowa,

$u(t)$  – napięcie chwilowe,

$i(t)$  – prąd chwilowy.

Wartość indukcyjności cewki  $L$  jest wartością niezależną od czasu lub natężenia, zatem może zostać wyciągnięta przed znak całki. Ostatecznie wzór na energię cewki przybiera następującą postać:

$$E_L = L \int i di = \frac{Li^2}{2} \quad (11)$$

gdzie:

$E_L$  – energia cewki zgromadzona w polu magnetycznym,

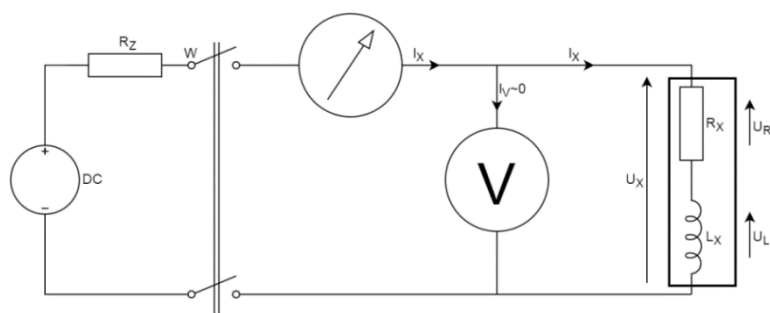
$i(t)$  – prąd chwilowy.

## TECHNICZNA METODA POMIARU INDUKCYJNOŚCI

**Metoda woltomierza i amperomierza** jest jedną z metod wyznaczenia indukcyjności cewki. Warto zaznaczyć, iż pomiarowe metody techniczne charakteryzują się zwykle mniejszą złożonością niż metody laboratoryjne, przez co przeprowadzenie pomiaru staje się szybsze i łatwiejsze. Należy jednak pamiętać, że otrzymane w ten sposób wyniki najczęściej cechuje mniejsza dokładność.

Techniczna metoda pomiaru indukcyjności przy użyciu woltomierza i amperomierza pozwala na wyznaczenie wartości rezystancji szeregowej  $R_X$  oraz indukcyjności  $L_X$  cewki powietrznej.

W tym celu należy przeprowadzić dwa pomiary: pierwszy z nich (Rys. 3) umożliwia pomiar rezystancji  $R_X$ , gdyż układ pomiarowy zasilany jest prądem stałym, co oznacza, że cewka w takim układzie stanowi zwarcie o pewnej rezystancji (zatem jej reaktancja  $X_L$  zeruje się).



**RYСУNEK 3** SCHEMAT UKŁADU POMIAROWEGO UMOŻLIWIAJĄCEGO WYZNACZENIE REZYSTANCJI CEWKI: DC – ŹRÓDŁO PRĄDU STAŁEGO,  $R_Z$  – OPORNIK SUWAKOWY, W – WYŁĄCZNIK DWUBIEGUNOWY,  $R_X$ ,  $L_X$  – PARAMETRY CEWKI

Drugi pomiar (rys. 4) – z wykorzystaniem generatora prądu zmiennego – służy do wyznaczenia impedancji cewki, której moduł dany jest zależnością:



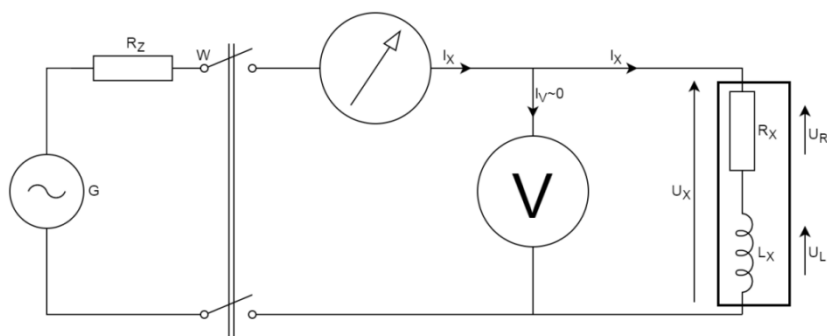
$$|Z| = \sqrt{R_X^2 + X_L^2} \quad (12)$$

gdzie:

$|Z|$  – moduł impedancji cewki,

$R_L$  – rezystancja cewki,

$X_L$  – reaktancja cewki.



**RYSUNEK 4** SCHEMAT UKŁADU POMIAROWEGO UMOŻLIWIAJĄCEGO WYZNACZENIE IMPEDANCJI CEWKI:  
*G* – GENERATOR PRZEBIEGU SINUSOIDALNEGO, *R<sub>z</sub>* – OPORNIK SUWAKOWY, *W* – WYŁĄCZNIK DWUBIEGUNOWY, *R<sub>x</sub>*, *L<sub>x</sub>* – PARAMETRY CEWKI

Na podstawie pierwszego pomiaru oraz prawa Ohma możliwe jest wyznaczenie rezystancji cewki:

$$R_X = \frac{U_X}{I_X} \quad (13)$$

gdzie:

$R_X$  – rezystancja cewki,

$U_X$  – wartość napięcia na cewce,

$I_X$  – wartość natężenia prądu płynącego przez cewkę.

W analogiczny sposób można wyznaczyć impedancję  $Z_X$  cewki poprzez drugi pomiar (z użyciem generatora prądu zmiennego):

$$|Z_X| = \frac{U_X}{I_X} \quad (14)$$

Po przekształceniu zależności (12) do postaci:

$$X_L = \sqrt{Z_X^2 - R_X^2} \quad (15)$$

można obliczyć – wykorzystując zależność (2) – impedancję  $L$  cewki:

$$L = \frac{X_L}{\omega} = \frac{X_L}{2\pi f} \quad (16)$$

Należy pamiętać, że z każdym pomiarem wiąże się niepewność. Ponieważ techniczna metoda pomiaru indukcyjności jest metodą pośrednią, tzn. poszukiwana wartość obliczana jest w oparciu o wartości innych pomiarów, niepewność pomiaru, wyznaczona z wykorzystaniem **prawa propagacji niepewności**, zależy od niepewności cząstkowych:

$$(L_X) = \sqrt{\left(\frac{\partial L_X}{\partial U_X}\right)^2 u^2(U_X) + \left(\frac{\partial L_X}{\partial I_X}\right)^2 u^2(I_X) + \left(\frac{\partial L_X}{\partial R_X}\right)^2 u^2(R_X)} \quad (17)$$

Pochodne cząstkowe w zależności (17) nazywane są **współczynnikami wrażliwości** i wynoszą odpowiednio:

$$\frac{\partial L_X}{\partial U_X} = \frac{1}{\omega^2 L_X} \frac{U_X}{I_X^2} \quad (18)$$

$$\frac{\partial L_X}{\partial I_X} = \frac{1}{\omega^2 L_X} \frac{-U_X^2}{I_X^3} \quad (19)$$

$$\frac{\partial L_X}{\partial R_X} = \frac{1}{\omega^2 L_X} (-R_X) \quad (20)$$

Względna niepewność pomiaru wynosi:

$$\delta L_X = \frac{u(L_X)}{L_X} \cdot 100\% \quad (21)$$

Warto zaznaczyć, że włączone do układu narzędzia pomiarowe nie są idealne i posiadają pewną rezystancję wewnętrzną, która wpływa na mierzone wartości. Pomiar impedancji obarczony jest pewnym **błędem systematycznym** (inaczej zwanym błędem metody). W ogólności, bezwzględny błąd metody oznacza różnicę  $\Delta x$  między wartością zmierzoną  $x$  a wartością rzeczywistą  $x_0$ :

$$\Delta x = x - x_0 \quad (22)$$

## ELEMENTY SKŁADOWE MODUŁU PC-L

W skład modułu do pomiarów indukcyjności *PC-L* (rys. 5) wchodzi:

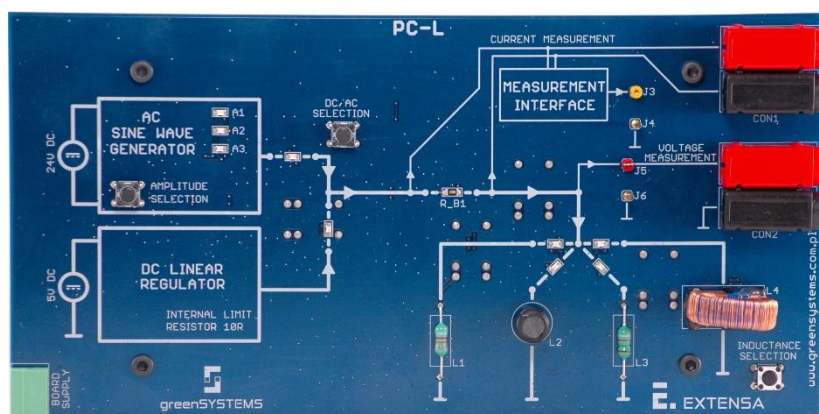
**Generator napięcia sinusoidalnego** o częstotliwości znamionowej równej 5 kHz. Amplitudę sygnału wyjściowego generatora zmieniać można – przy pomocy przycisku *Amplitude Selection* – pomiędzy trzema wartościami: 0,5 V, 1 V oraz 1,5 V.

**Zasilacz stabilizowany** o napięciu wyjściowym w stanie jałowym wynoszącym 1,25 V. Zasilacz ten ma na wyjściu dołączony rezystor szeregowy o wartości rezystancji 10  $\Omega$ , który ogranicza maksymalny prąd płynący w układzie. Wyboru źródła napięcia dokonuje się za pomocą przycisku *DC/AC Selection*.

**Bocznik pomiarowy** o rezystancji 1  $\Omega$  służący do pomiaru prądu. Napięcie na boczniku można mierzyć z wykorzystaniem złącza CON1.

**Interfejs do pomiaru napięcia wyjściowego** – maksymalna wartość napięcia na złączu wynosi  $\pm 15$  V.

**Cztery indukcyjności** – wyboru konkretnej indukcyjności dokonuje się przy pomocy przełącznika *Inductance Selection*.



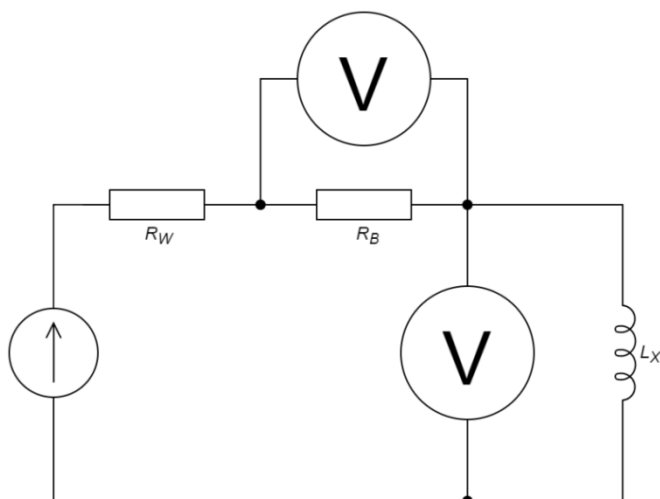
RYSUNEK 5 MODUŁ PC-L

## PRZEBIEG ĆWICZENIA

### ZADANIE 1

#### Pomiar rezystancji stałoprądowej cewek indukcyjnych z wykorzystaniem dwóch woltomierzy.

Zestawić układ pomiarowy zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 6 i wykonać pomiar napięcia wyjściowego i napięcia na boczniku dla każdej z cewek. Wyniki zanotować w tabeli 1 wraz z informacją o dokładności pomiaru i rozdzielczości wykorzystanych przyrządów pomiarowych.



**RYСУNEK 6** POMIAR REZYSTANCJI STAŁOPRĄDOWEJ CEWEK INDUKCYJNYCH Z WYKORZYSTANIEM DWÓCH WOLTOMIERZY – SCHEMAT UKŁADU POMIAROWEGO.

Wartości obliczonych prądów, rezystancji i niepewności wyznaczenia rezystancji  $R$  zapisać w Tabeli 1.

**TABELA 1** POMIAR REZYSTANCJI STAŁOPRĄDOWEJ CEWEK INDUKCYJNYCH Z WYKORZYSTANIEM DWÓCH WOLTOMIERZY LUB OSCYLOSKOPU.

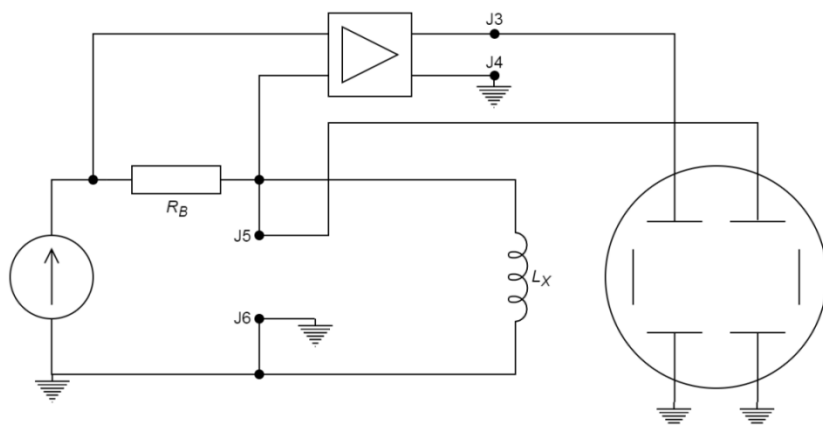
$L_X$	$U_{L_X}$ [V]	$\Delta U_{L_X}$ [V]	$U_{R_B}$ [V]	$\Delta U_{R_B}$ [V]	$I$ [A]	$u(I)$ [A]	$u(U_{L_X})$ [V]	$R$ [ $\Omega$ ]	$u(R)$ [ $\Omega$ ]
L1									
L2									
L3									
L4									

### ZADANIE 2

#### Pomiar rezystancji stałoprądowej cewek indukcyjnych z wykorzystaniem oscyloskopu.

Zestawić układ pomiarowy zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 7. Dokonać pomiaru napięcia wyjściowego i napięcia na boczniku dla każdej z cewek. Dokonać odczytu bezpośrednio z ekranu oscyloskopu. Uruchomić funkcję MEASURE i zweryfikować pomiary. Wyniki zanotować w tabeli

według wzoru z zadania 1. W tabeli zapisać wartości obliczonych prądów, rezystancji i niepewności wyznaczenia rezystancji  $R$

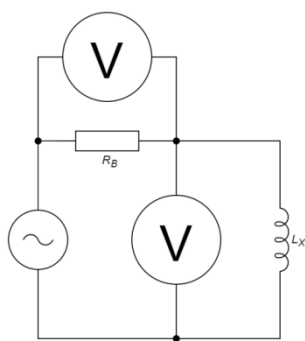


**RYСУNEK 7** POMIAR REZYSTANCJI STAŁOPRĄDOWEJ CEWEK INDUKCYJNYCH Z WYKORZYSTANIEM OSCYLOSKOPU – SCHEMAT UKŁADU POMIAROWEGO

### ZADANIE 3

**Pomiar reaktancji cewek z wykorzystaniem woltomierzy z funkcją *TrueRMS* o pasmie pomiarowym wynoszącym przynajmniej 5 kHz**

Zestawić układ pomiarowy zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 8. Od prowadzącego uzyskać informację który z mierników posiada wymagany zakres częstotliwości. Wykonać pomiar napięcia wyjściowego i napięcia na boczniku dla każdej z cewek oraz dla każdej wartości amplitudy sygnału generatora. Wyniki zanotować w Tabeli 2 wraz z informacją o dokładności pomiaru i rozdzielczości wykorzystanych przyrządów pomiarowych. W tabeli zapisać wartości obliczonych prądów, rezystancji i niepewności wyznaczenia reaktancji  $X_L$  i indukcyjności  $L_X$ .



**RYСУNEK 8** POMIAR REAKTANCJI CEWEK INDUKCYJNYCH Z WYKORZYSTANIEM WOLTOMIERZY Z FUNKCJĄ *TRUERMS* – SCHEMAT UKŁADU POMIAROWEGO

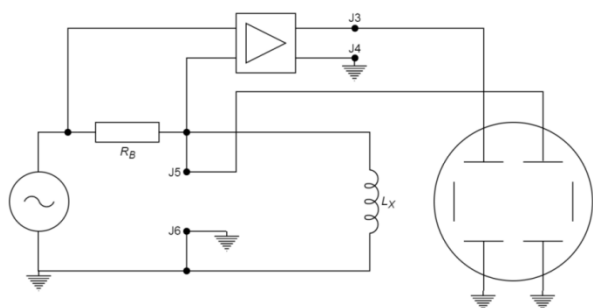
**TABELA 2** POMIAR REAKTANCJI CEWEK INDUKCYJNYCH Z WYKORZYSTANIEM WOLTOMIERZY Z FUNKCJĄ TRUERMS LUB OSCYLOSKOPU.

A	$L_X$	$U_{L_X}$ [V]	$\Delta U_{L_X}$ [V]	$U_{RB}$ [V]	$\Delta U_{RB}$ [V]	I [A]	$u(I)$ [A]	$u(U_{L_X})$ [V]	$X_L$ [ $\Omega$ ]	$u(X_L)$ [ $\Omega$ ]	$L_X$ [H]	$u(L_X)$ [H]
A1	L1											
	L2											
	L3											
	L4											
A2	L1											
	L2											
	L3											
	L4											
A3	L1											
	L2											
	L3											
	L4											

## ZADANIE 4

**Pomiar reaktancji cewek z wykorzystaniem oscyloskopu**

Zestawić układ pomiarowy zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 9. Wykonać przy pomocy oscyloskopu pomiar napięcia wyjściowego i napięcia na boczniku dla każdej z cewek oraz dla każdej wartości amplitudy sygnału generatora. Wyniki zanotować według wzoru tabeli z zadania 3. W tabeli zapisać wartości obliczonych prądów, rezystancji i niepewności wyznaczenia reaktancji  $X_L$  i indukcyjności  $L_X$ .

**RYСУNEK 9** POMIAR REAKTANCJI CEWEK INDUKCYJNYCH Z WYKORZYSTANIEM OSCYLOSKOPU – SCHEMAT UKŁADU POMIAROWEGO

## OPRACOWANIE WYNIKÓW POMIAROWYCH

---

**Każda osoba z zespołu przygotowuje własne sprawozdanie zawierające:**

- stronę tytułową (według wzoru z zajęć wprowadzających),
- wstęp teoretyczny zawierających najistotniejsze według osoby przygotowującej sprawozdanie informacje i wzory wykorzystywane w obliczeniach,
- tabele pomiarowo/obliczeniowe,
- pod tabelami obowiązkowo przykładowe obliczenia wyznaczanych parametrów i ich niepewności,
- wnioski i uwagi.

Do teczki zespołu laboratoryjnego należy dołączyć 1 egz. podpisanych przez prowadzącego tabel pomiarowych.

**Szczegółowy zakres czynności:**

1. Na podstawie uzyskanych danych pomiarowych wyliczyć rezystancję i reaktancję badanych cewek.
2. Z otrzymanych wyników wyliczyć indukcyjność badanych elementów.
3. Porównać wyniki uzyskane z pomiarów opisanych w zadaniach 1 i 2 oraz 3 i 4.
4. Oszacować niepewności pomiarowe dla każdej z metod.
5. Obliczyć impedancję zespoloną cewek L1, L2, L3, L4.
6. Zapisać wnioski, opisać wady i zalety metody technicznej wykorzystanej do pomiaru indukcyjności.