

Politechnika Rzeszowska
im. Ignacego Łukasiewicza



Instrukcja do laboratorium 4

POMIARY W OBWODACH PRĄDU PRZEMIENNEGO

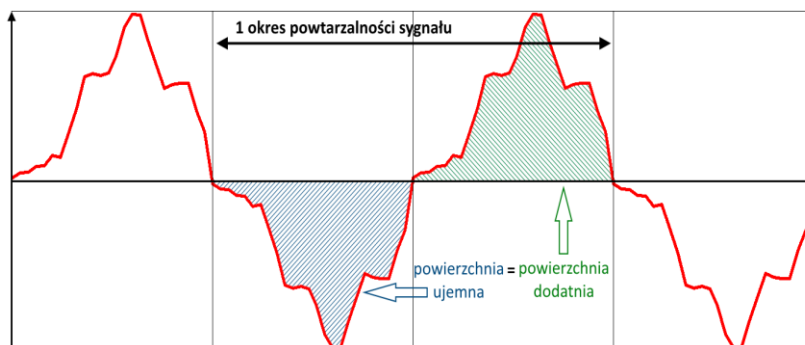
ZAWARTOŚĆ

Wprowadzenie	3
Prąd przemienny	3
Moc w obwodach prądu przemiennego	4
Pomiary przesunięcia fazowego z wykorzystaniem oscyloskopu	6
Metoda przekształcenia w przedział czasowy:	6
Metoda kompensacyjna	Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.
Metoda elipsy	Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.
Elementy składowe modułu AC-BM	7
Przebieg ćwiczenia.....	8
Zadanie 1	8
Zadanie 2	9
Zadanie 3	10
Zadanie 4	10
Zadanie 5	11
Opracowanie wyników pomiarowych:.....	13

WPROWADZENIE

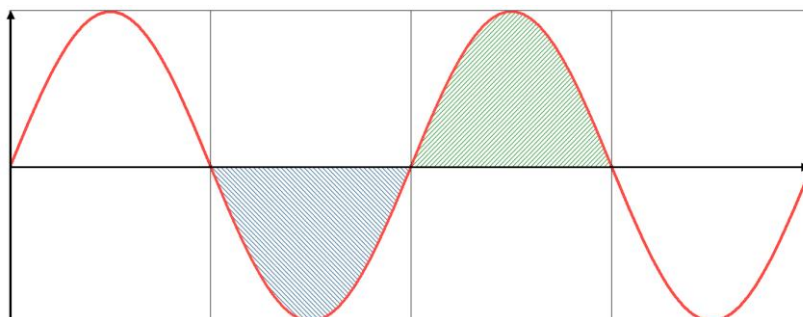
PRĄD PRZEMIENNY

Prąd przemienny (ang. *alternating current*, AC) – przypadek prądu elektrycznego okresowo zmiennego, w którym wartości chwilowe ulegają powtarzalnym zmianom z ustaloną częstotliwością. Wartość składowej stałej prądu przemiennego (wartość średnia) najczęściej wynosi zero. Przykładowy przebieg prądu przemiennego przedstawiony jest na rys. 1.



RYСУNEK 1 PRZYKŁADOWY PRZEBIEG PRĄDU PRZEMIENNEGO

Ze uwagi na fakt, iż najczęściej spotykanym i stosowanym kształtem przebiegu prądu przemiennego jest przebieg sinusoidalny, w żargonie technicznym i w codziennym użyciu określenie *prąd przemienny* stosowane jest do właśnie takiego kształtu (rys. 2).



RYСУNEK 2 PRZEBIEG PRĄDU PRZEMIENNEGO SINUSOIDALNIE ZMIENNEGO

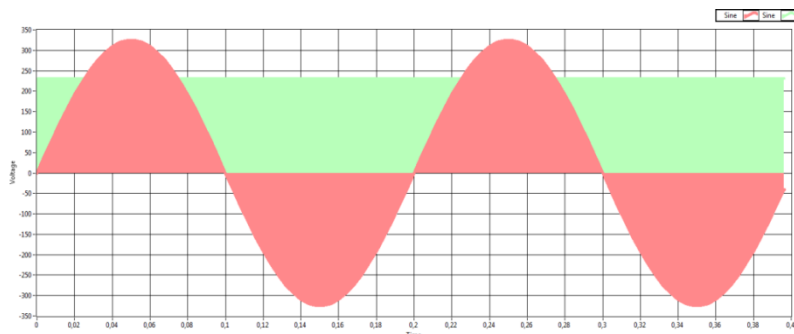
Jeżeli kształt przebiegu sinusoidalnego zostanie zniekształcony przez zakłócenia lub nieliniowość, przebieg taki nazywamy *przebiegiem odkształconym* (rys. 1).

Moc w układach prądu przemiennego jest zagadnieniem bardziej złożonym niż w obwodach prądu stałego. Podstawowymi wielkościami związanymi z mocą są napięcie skuteczne i natężenie skuteczne prądu, określone wzorami (1) oraz (2).

Moc dostarczona przez prąd przemienny o napięciu skutecznym $U_{sk} = x$ oraz prąd stały o napięciu $U = x$ będzie taka sama, co pokazano na rysunku 3.

$$U_{sk} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}} \quad (1)$$

$$I_{sk} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} \quad (2)$$



RYSUNEK 3 PRZYKŁAD PRZEBIEGÓW NAPIĘCIA PRZEMIENNEGO (CZERWONY) I JEGO NAPIĘCIA SKUTECZNEGO (ZIELONY) Z ZAZNACZONYMI POLAMI POD WYKRESEM.

MOC W OBWODACH PRĄDU PRZEMIENNEGO

Moc czynna (P) – (ang. *active/real power*) w układach prądu przemiennego jest to część mocy, którą odbiornik pobiera ze źródła i zamienia na pracę lub ciepło. Jednostką mocy czynnej jest wat [W]. Moc czynna jest wartością średnią, co dla przebiegu okresowego prądu i napięcia wyrażane jest całką Riemanna (3).

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) i(t) dt \quad (3)$$

gdzie:

- P – moc czynna,
- t – czas,
- T – okres,
- u – napięcie chwilowe,
- i – natężenie prądu chwilowe

W układach prądu stałego cała moc jest mocą czynną.

Graficzną interpretacją wzoru (3) jest pole pod wykresem.

Średnia moc czynna (P) jest iloczynem wartości skutecznych napięcia U , natężenia prądu I oraz cosinusa przesunięcia fazowego φ pomiędzy napięciem i natężeniem prądu, co określa wzór (4).

$$P = U I \cos \varphi \quad (4)$$

Jeżeli odbiornik jest czystą rezystancją, co oznacza, że nie zawiera żadnej reaktancji, to $\varphi = 0 \rightarrow \cos \varphi = 1$, a wówczas wzór upraszcza się:

$$P = U \cdot I = RI^2 = \frac{U^2}{R} \quad (5)$$

Gdy odbiornik nie zawiera żadnej rezystancji, co oznacza, że jest czystą reaktancją indukcyjną lub pojemnościową, to

$\varphi = \pm \frac{\pi}{2} \rightarrow \cos \varphi = 0$, a wtedy moc czynna jest równa 0.

Moc bierna (Q) (ang. *reactive power*) w obwodach prądu zmiennego jest wielkością opisującą pulsowanie energii elektrycznej między elementami obwodu elektrycznego. Ta oscylująca energia nie jest zamieniana na użyteczną pracę lub ciepło, jest jednak konieczna do poprawnego funkcjonowania maszyn elektrycznych (np. uzwojeń silników) oraz transferu energii w sieci elektrycznej. Energia jest pobierana w części okresu przebiegu zmiennego, magazynowana w postaci energii pola elektrycznego lub magnetycznego w odbiorniku i oddawana do źródła w innej części okresu przemiennego kosztem energii zgromadzonej w polach w odbiorniku.

Dla przebiegów sinusoidalnie zmiennych moc bierna jest definiowana jako iloczyn wartości skutecznych napięcia i prądu, oraz sinusa kąta przesunięcia fazowego między napięciem a prądem, co przedstawiono na we wzorze (6).

$$Q = U I \sin \varphi = X I^2 \quad (6)$$

gdzie:

U, I - wartości skuteczne napięcia i natężenia prądu,
 φ - przesunięcie fazowe pomiędzy prądem a napięciem,
 X - reaktancja

W zależności od przesunięcia fazowego φ , mówi się o mocy biernej pojemnościowej (Q_C) lub indukcyjnej (Q_L)

Jednostką mocy biernej jest **war** (z ang. *var* - *Volt Ampere Reactive*). Jednak w elektroenergetyce najczęściej operuje się jednostką $\text{Mvar} = 10^6 \text{ var}$. Dla przebiegów niesinusoidalnych (odkształconych) nie ustalono jednej powszechnie obowiązującej jednostki mocy biernej.

Występowanie mocy biernej zwiększa natężenie prądu, co powoduje dodatkowe straty energii elektrycznej w urządzeniach przetwarzających energię elektryczną prądu przemiennego, takich jak linie przesyłowe i transformatorowe.

Moc pozorna (S) – (ang. *complex power*) wielkość fizyczna określana dla obwodów prądu przemiennego. Wyrażana jest jako iloczyn wartości skutecznej napięcia i natężenia prądu stałego (7),

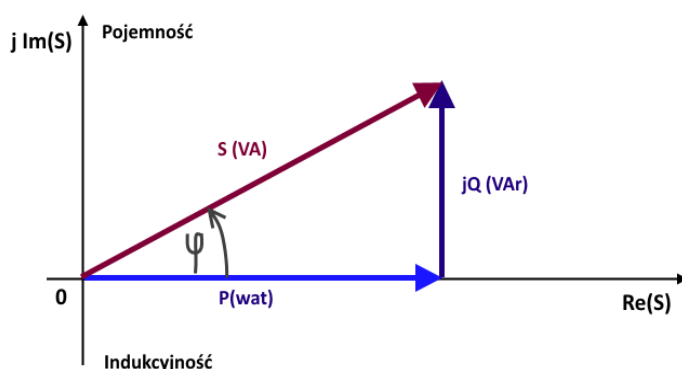
$$S = U_{sk} \cdot I_{sk} \quad (7)$$

Lub połowa iloczynu wartości szczytowej napięcia i natężenia prądu dla przebiegu sinusoidalnego (8).

$$S = \frac{1}{2} U_{max} I_{max} \quad (8)$$

Moc pozorna związana jest z mocą czynną i bierną prądu elektrycznego sposób pokazany przez wzór (9).

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (9)$$



RYСУNEK 4 SUMA WEKTOROWA MOCY CZYNNEJ I BIERNEJ

Wartość bezwzględna mocy pozornej nazywamy **mocą widoczną ($|S|$)** (ang. *apparent power*).

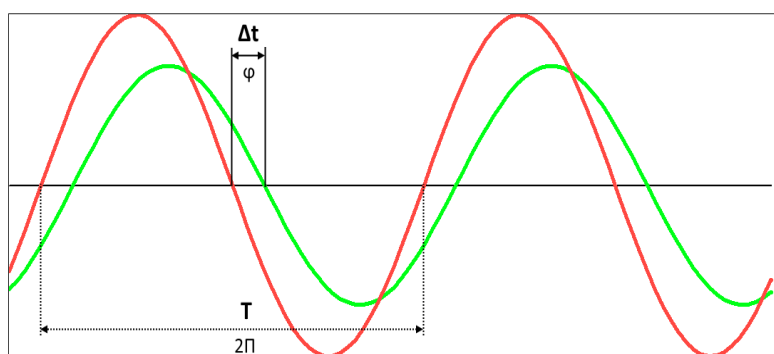
POMIARY PRZESUNIĘCIA FAZOWEGO Z WYKORZYSTANIEM OSCYLOSKOPU

Istnieją trzy podstawowe metody pomiaru przesunięcia fazowego pomiędzy sygnałami z wykorzystaniem oscyloskopu:

1. metoda przekształcenia w przedział czasowy,
2. metoda kompensacyjna,
3. metoda elipsy.

METODA PRZEKSZTAŁCENIA W PRZEDZIAŁ CZASOWY:

Metoda polega na znalezieniu w obu sygnałach punktu o określonej wartości, najczęściej zero. Kąt przesunięcia fazowego ϕ oblicza się określając odległość pomiędzy charakterystycznymi wartościami sygnału.



RYSUNEK 5 POMIAR KĄTA PRZESUNIĘCIA FAZOWEGO METODĄ PRZEKSZTAŁCENIA W PRZEDZIAŁ CZASOWY

Kąt przesunięcia fazowego obliczany jest ze wzoru:

$$\phi = 2\pi \frac{\Delta t}{T} \quad (10)$$

ELEMENTY SKŁADOWE MODUŁU AC-BM

W skład modułu AC-BM do pomiarów napięcia, natężenia prądu, mocy i przesunięcia fazowego w obwodach prądu zmiennego wchodzi:

Dwa niestabilizowane źródła napięcia o wartościach wynoszących odpowiednio 12V i 24V. Wyboru wartości napięcia dokonujemy przy pomocy przycisku *Voltage Selection*. Napięcia te pochodzą bezpośrednio z zacisków transformatora, dlatego ich tolerancja wartości napięcia wynosi $\pm 20\%$.

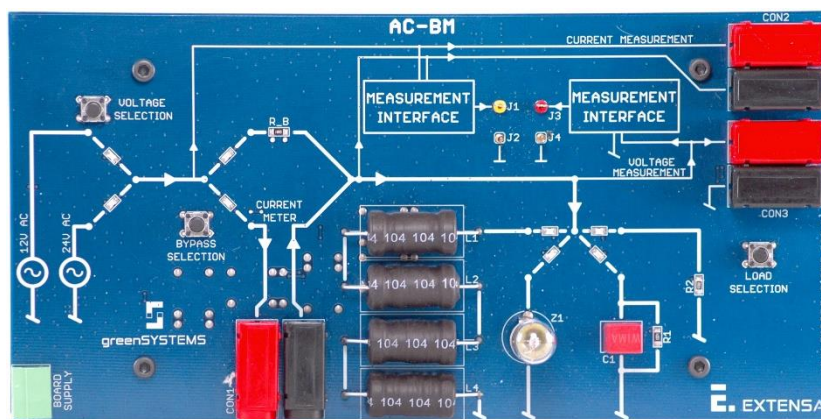
Bocznik do pomiaru prądu (rezystor R_B o wartości $1\ \Omega$), który współpracuje z różnicowym wzmacniaczem pomiarowym o wzmacnieniu wynoszącym $24\ \text{V/V}$ i wyjściu typu single-ended o maksymalnym napięciu wyjściowym wynoszącym $\pm 8\ \text{V}$ (zaciski J1 i J2).

Pomiaru napięcia na boczniku można dokonać także wykorzystując zewnętrzny woltomierz dołączony do zacisków CON2. Bocznik ten może być zastąpiony zewnętrznym amperomierzem dołączonym do zacisków CON1. Zmiany elementu służącego do pomiaru prądu dokonuje się przy pomocy przycisku *Bypass Selection*.

Interfejs do pomiaru napięcia na obciążeniu z uwzględnieniem spadku napięcia na boczniku do pomiaru prądu z wyjściem typu single-ended (zaciski J3 i J4). Wzmocnienie tego modułu wynosi $1\ \text{V/V}$ a maksymalne napięcie wyjściowe $\pm 30\ \text{V}$. Jednocześnie możliwy jest pomiar napięcia z wykorzystaniem zewnętrznego woltomierza dołączonego do zacisków CON3.

Cztery obciążenia, których zmiany dokonuje się przy pomocy przełącznika *Load Selection*. W torze pomiarowym, jako obciążenie mogą zostać wykorzystane:

- cztery cewki L1-L4 połączone szeregowo,
- żarówka Z1,
- dwójnik RC złożony z równoległego połączenia C1 i R1,
- rezystor R2 służącego do określenia przesunięcia fazowego wzmacniaczy pomiarowych.



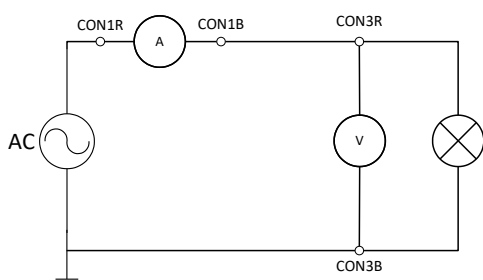
RYSUNEK 6 MODUŁ AC-BM

PRZEBIEG ĆWICZENIA

ZADANIE 1

Pomiary natężenia, napięcia oraz mocy dla obciążenia o charakterze rezystancyjnym z wykorzystaniem wolto-mierza i amperomierza.

Zestawić układ pomiarowy zgodnie ze schematem przedstawionym na rys. 7. Wykonać pomiar napięcia i natężenia dla każdego z napięć wejściowych. Wyniki zanotować w tabeli 1 wraz z informacją o rozdzielczości wykorzystanych przyrządów pomiarowych.



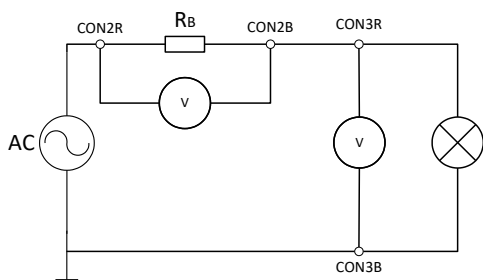
RYSUNEK 7 SCHEMAT ZADANEGO OBWODU

TABELA 1 WYNIKI POMIARÓW PRĄDU I NAPIĘCIA

U_{we} [V]	U [V]	ΔU [V]	I [A]	ΔI [A]	$U(U)$ [V]	$U(I)$ [A]	P [W]	$U(P)$ [W]
12								
24								

U_{we} – nastawiona wartość napięcia zasilającego, U – mierzone napięcie na odbiorniku, ΔU – rozdzielczość woltomierza, I – zmierzony prąd odbiornika, ΔI – rozdzielczość amperomierza, $U(U)$ – wyliczona niepewność pomiaru napięcia, $U(I)$ – wyliczona niepewność pomiaru prądu, P – wyliczona moc pobierana przez obciążenie, $U(P)$ – wyliczona niepewność pomiaru mocy.

Dodatkowo wykonać pomiaru napięcia i prądu z wykorzystaniem wbudowanego bocznika i dwóch woltomierzy, podłączonych jak pokazano na rys. 8. Wyniki zanotować w tabeli 2.



RYSUNEK 8 SCHEMAT ZADANEGO OBWODU

TABELA 2 WYNIKI POMIARÓW PRĄDU I NAPIĘCIA

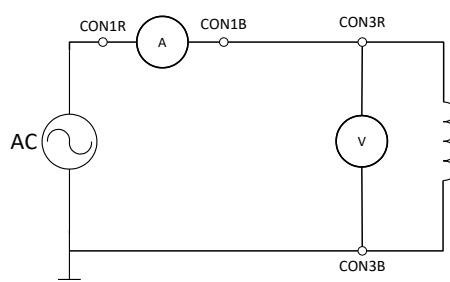
U_{we} [V]	U [V]	ΔU [V]	U_B [V]	ΔU_B [V]	I [A]	$U(U)$ [V]	$U(I)$ [A]	P [W]	$U(P)$ [W]
12									
24									

U_{we} – nastawiona wartość napięcia zasilającego, U – mierzone napięcie na odbiorniku, ΔU – rozdzielczość woltomierza, U_B – napięcie mierzone na boczniku prądowym, ΔU_B – rozdzielczość woltomierza, I – wyliczony prąd odbiornika, $U(U)$ – wyliczona niepewność pomiaru napięcia, $U(I)$ – wyliczona niepewność pomiaru prądu, P – wyliczona moc pobierana przez odbiornik, $U(P)$ – wyliczona niepewność pomiaru mocy.

ZADANIE 2

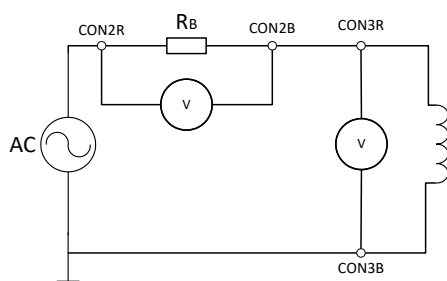
Pomiary natężenia, napięcia oraz mocy dla obciążenia o charakterze indukcyjnym z wykorzystaniem woltomierza i amperomierza.

Zestawić układ pomiarowy zgodnie ze schematem przedstawionym na rys. 9. Dokonać pomiaru napięcia i natężenia dla każdego z napięć wejściowych. Wyniki zanotować w tabeli 1 wraz z informacją o rozdzielczości wykorzystanych przyrządów pomiarowych.



RYSUNEK 9 SCHEMAT ZADANEGO OBWODU

Dodatkowo dokonać pomiaru napięcia i natężenia z wykorzystaniem wbudowanego bocznika i dwóch woltomierzy, jak pokazano na rys. 10. Wyniki pomiarów i obliczenia zapisać w tabeli 2.

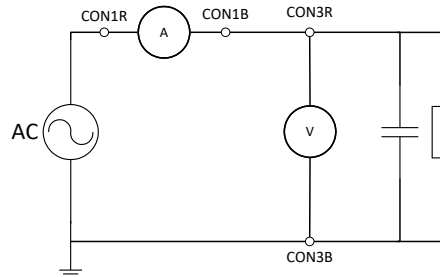


RYSUNEK 10 SCHEMAT ZADANEGO OBWODU

ZADANIE 3

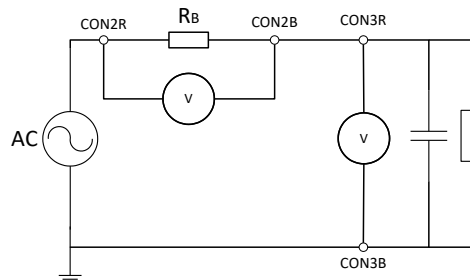
Pomiary natężenia prądu, napięcia oraz mocy z obciążeniem o charakterze pojemnościowym z wykorzystaniem woltomierza, amperomierza i watomierza.

Zestawić układ pomiarowy zgodnie ze schematem przedstawionym na rys. 11. Dokonać pomiaru napięcia i natężenia dla każdego z napięć wejściowych. Wyniki zanotować w tabeli wraz z informacją o rozdzielczości wykorzystanych przyrządów pomiarowych. Wyniki zapisać w tabeli 1.



RYSUNEK 11 SCHEMAT ZADANEGO OBWODU

Dodatkowo dokonać pomiaru napięcia i natężenia z wykorzystaniem wbudowanego bocznika i dwóch woltomierzy (rys. 12). Wyniki zapisać w tabeli 3.

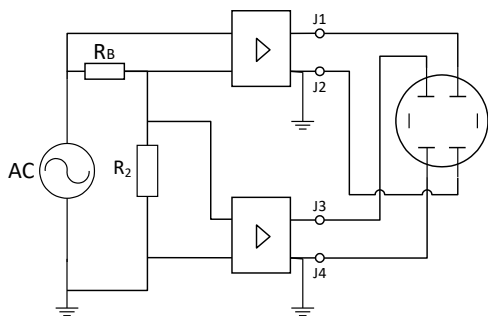


RYSUNEK 12 SCHEMAT ZADANEGO OBWODU

ZADANIE 4

Kalibracja oscyloskopu – oznaczenie przesunięcia fazowego toru pomiarowego.

Sprawdzenie występowania przesunięcia fazowego pomiędzy natężeniem i napięciem sygnału generowanego przez tor pomiarowy. W idealnych warunkach powinno być ono równe zero. Jeśli obserwowane jest przesunięcie fazowe na tyle duże, że możliwe jest określenie jego wartości, to należy ten fakt odnotować i uwzględnić w kolejnych pomiarach. W celu przeprowadzenia kalibracji należy zestawić układ pomiarowy z rezystorem wzorcowym zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 13 i odczytać wartość przesunięcia fazowego. Wykorzystać funkcję PHASE oscyloskopu.

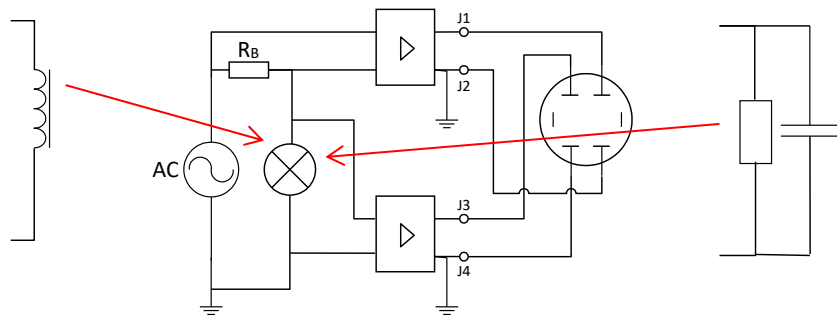


RYSUNEK 13 SCHEMAT KALIBRACJI UKŁADU POMIAROWEGO

ZADANIE 5

Pomiary napięcia, natężenia prądu i mocy z obciążeniem RLC z wykorzystaniem dwukanałowego oscyloskopu w trybie X-T.

Zestawić układ pomiarowy zgodnie ze schematem przedstawionym na rys. 14.



RYSUNEK 14 SCHEMAT ZADANEGO OBWODU

Dokonać pomiaru napięcia i prądu, z wykorzystaniem dedykowanych interfejsów i funkcji MEASUREMENT oscyloskopu. Odczytać przesunięcie fazowe pomiędzy przebiegami prądu i napięciadla każdego z obciążeń. Pomiaru dokonać korzystając z funkcji PHASE oscyloskopu. Przy wyliczaniu wartości prądu uwzględnić wzmacnienie wzmacniacza oraz wartości rezystancji boczników pomiarowych. Wyniki pomiarów zanotować w tabelach 4-6. Pomiary przeprowadzić dla wszystkich kombinacji mikro-switchy *Voltage selection* i *Load selection*.

TABELA 4 - WYNIKI POMIARÓW OSCYLOSKOPOWYCH (R)

U_{we} [V]	U [V]	ΔU [V]	U_B [V]	ΔU_B [V]	ϕ [°]	I [A]	P [W]	Q [VAr]	S [VA]	$U(S)$ [VA]
12										
24										

TABELA 5 - WYNIKI POMIARÓW OSCYLOSKOPOWYCH (L)

U_{we} [V]	U [V]	ΔU [V]	U_B [V]	ΔU_B [V]	ϕ [°]	I [A]	P [W]	Q [VAr]	S [VA]	$U(S)$ [VA]
12										
24										

TABELA 6 - WYNIKI POMIARÓW OSCYLOSKOPOWYCH (RC)

U_{we} [V]	U [V]	ΔU [V]	U_B [V]	ΔU_B [V]	ϕ [°]	I [A]	P [W]	Q [Var]	S [VA]	$U(S)$ [VA]
12										
24										

Uwaga: Przebieg obserwowany na obciążeniu pojemnościowym zawiera wyższe harmoniczne, co może utrudniać pomiar przesunięcia fazowego. Zawartość wyższych harmonicznych można dokładnie ocenić uruchamiając opcję FFT i obserwując przebieg prądu na kondensatorze w dziedzinie częstotliwości. W celu wyeliminowania wyższych harmonicznych można uruchomić na drugim kanale filtr dolnoprzepustowy i ustawić szerokość pasma przenoszenia filtru na 100Hz. Uwaga ta dotyczy wszystkich punktów gdzie dokonywany jest pomiar na elementach pojemnościowych.

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. Określić przesunięcie fazowe dla każdego z obciążeń.
2. Dla zadań 1-3, na podstawie pomiarów napięcia, prądu oraz kąta przesunięcia fazowego i oszacowanych niepewności pomiarowych, wyliczyć moc czynną, bierną i pozorną odbiornika. Wyniki obliczeń wpisać do tabel.
3. Przedyskutować negatywne skutki występowania dużych wartości mocy biernej.
4. Sformułować i zapisać wnioski.