

ĆWICZENIE 9.

PODSTAWOWE POMIARY PRĄDU PRZEMIENNEGO. BADANIE TRANSFORMATORA.

Cel ćwiczenia: Celem ćwiczenia jest poznanie metod pomiaru częstotliwości i napięcia skutecznego przy użyciu oscyloskopu. Badanie transformatora. Wyznaczenie przekładni transformatora.

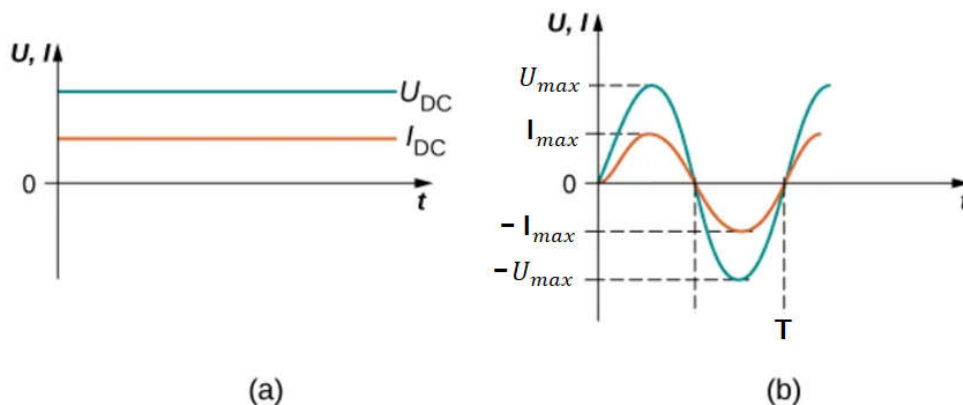
Część teoretyczna: Prąd przemienny, napięcie maksymalne i skuteczne, częstotliwość prądu, zasada działania oscyloskopu, prawo indukcji elektromagnetycznej Faradaya, zasada działania transformatora.

Aparatura: Generatory funkcyjne, oscyloskop, miernik uniwersalny, transformator, rezystor suwakowy.

Wstęp.

Prąd zmienny (ang. alternating current, AC) to przepływ ładunku elektrycznego, którego natężenie i kierunek są periodycznie zmienne w czasie. Prąd zmienny wytwarzany jest jako konsekwencja działania zmiennej w czasie siły elektromotorycznej SEM (zazwyczaj sinusoidalnie zmiennej).

Wartości napięcia i częstotliwości prądu zmiennego używanego powszechnie różnią się w poszczególnych krajach. W typowym gospodarstwie domowym różnica potencjałów pomiędzy dwoma wtykami w gniazdku elektrycznym oscyluje sinusoidalnie z częstotliwością 50Hz lub 60Hz i amplitudą wynoszącą od 156V do 325V, w zależności od miejsca zamieszkania. Najbardziej znanymi wartościami są jednak 220V albo 230V przy 50Hz w Europie lub 120V przy 60Hz w USA. Wartości te, nie są wartościami szczytowymi (amplitudami), lecz skutecznymi (średnimi względem przenoszonej mocy), obserwowanymi w naszych gniazdkach po podłączeniu typowego woltomierza. Ilustracja poniżej przedstawia wykresy wartości napięcia i natężenia prądu względem czasu dla prądu stałego (a) i prądu zmiennego (b).



Tym samym napięcie prądu zmiennego może być dane wzorem:

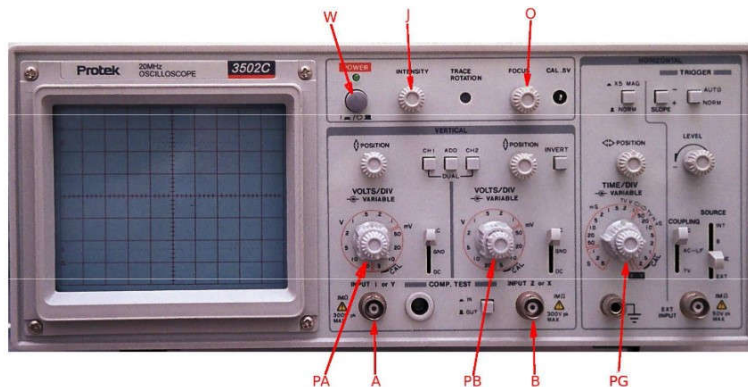
$$U(t) = U_{max} \sin(2\pi ft)$$

gdzie $U(t)$ to napięcie prądu w chwili t , U_{max} to amplituda a f częstotliwość prądu.

Dla napięcia sinusoidalnego symetrycznego o wartości maksymalnej U_{max} napięcie skuteczne wynosi:

$$U_{sk} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}}$$

Oscyloskop jest uniwersalnym przyrządem pomiarowym, który umożliwia obserwację oraz pomiar parametrów przebiegów elektrycznych. Podstawową częścią klasycznego oscyloskopu jest tzw. lampa oscyloskopowa, w której strumień elektronów odchylany jest w płaszczyźnie pionowej przez pole (elektryczne bądź magnetyczne) proporcjonalne do badanego sygnału, natomiast w płaszczyźnie poziomej odchylenie jest proporcjonalne do cyklicznego sygnału wytwarzanego przez tzw. generator podstawy czasu. Powstająca na ekranie pokrytym luminoforem świecąca krzywa przedstawia zmiany badanego sygnału w czasie.

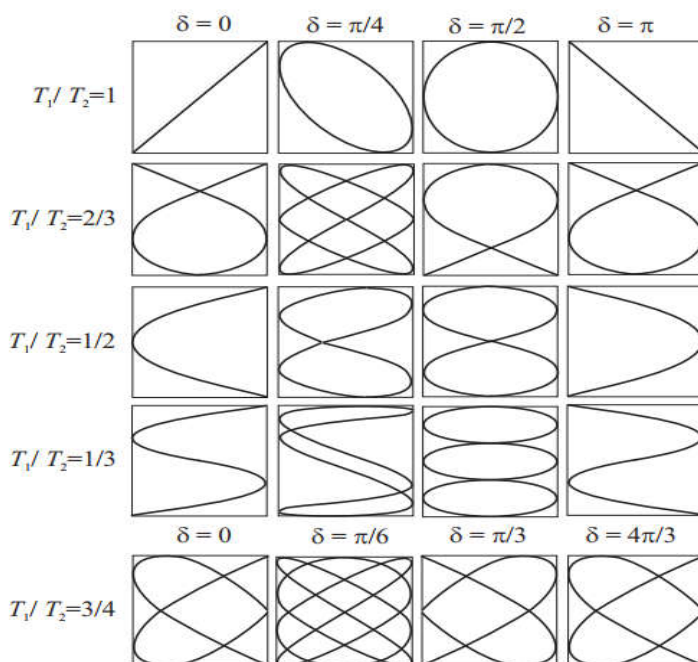
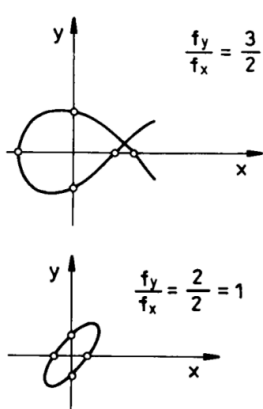
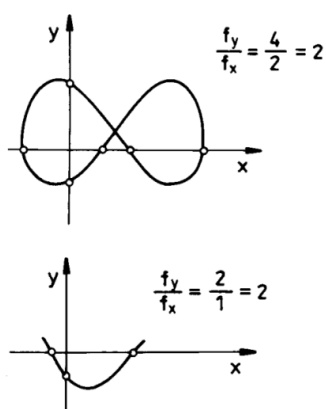


Rys. - Płyta czołowa oscyloskopu. W - włącznik sieciowy, J - jasność obrazu, O - ostrość obrazu, PA- przełącznik czułości wzmacniacza kanału A, PB- przełącznik czułości wzmacniacza kanału B, A- wejście(gniazdo)A, B- wejście (gniazdo)B, PG- przełącznik generatora podstawy czasu.

Pomiar częstotliwości przy pomocy figur Lissajous. Na kanał CH1 i CH2 podaje się dwa przebiegi sinusoidalnie zmienne o różnych, bądź takich samych amplitudach i różnych częstotliwościach. W wyniku złożenia tych drgań elektrycznych na ekranie oscyloskopu obserwuje się tzw. figury Lissajous. Jeśli częstotliwość f_x jednego z tych przebiegów jest znana to częstotliwość drugiego f_y obliczyć można korzystając z następującego wzoru:

$$\frac{f_y}{f_x} = \frac{m}{n}$$

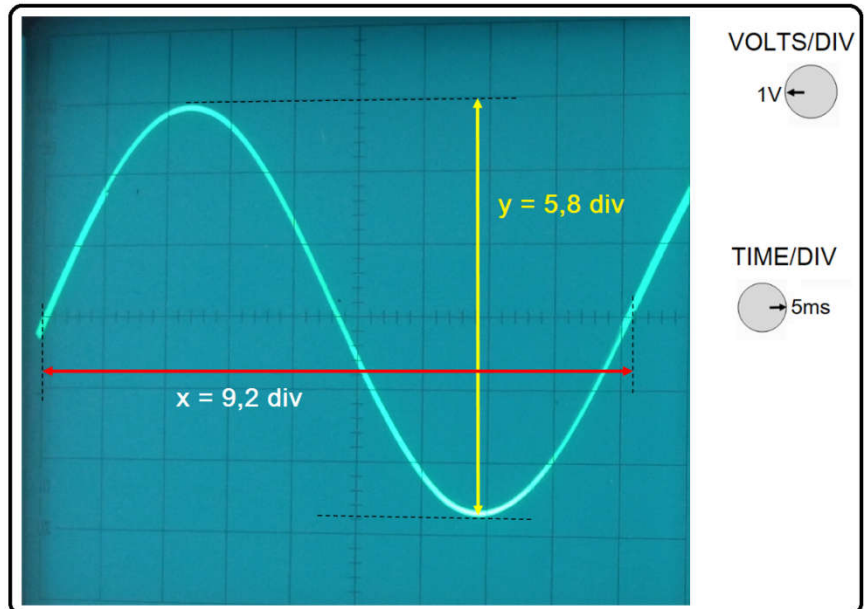
Gdzie m i n to liczba przecięć obserwowanej na ekranie oscyloskopu figury Lissajous odpowiednio z sieczną poziomą X i pionową Y (patrz poniżej). Żadna ze siecznych nie może przechodzić przez punkty węzłowe krzywej.



Przykład wyznaczania wartości międzyszczytowej napięcia sygnału sinusoidalnego oraz okresu sygnału sinusoidalnego (w oparciu o fotografię pomiaru).

a) Pomiar napięcia:

Aby uzyskać wartość zmierzonego międzyszczytowego napięcia U należy pomnożyć wartość napięcia wyrażoną w ilości działek przez współczynnik wzmocnienia odchyłania pionowego:



$$U = D \cdot y$$

gdzie D to współczynnik odchyłania pionowego, VOLTS/DIV

$$U = 1 \frac{V}{div} \cdot 5,8 div = 5,8V$$

$$U_{max} = \frac{5,8V}{2} = 2,9V$$

$$U_{sk} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}} = 2,05V$$

Błąd pomiaru napięcia

$$\delta U = \delta D + \delta y$$

δD - błąd względny wzmacniacza kanału wejściowego (z instrukcji oscyloskopu przyjmij 3%)

δy - błąd względny odczytu odcinka y (należy obliczyć)

$$\delta y = \frac{\Delta_{odczytu}}{y} = \frac{0,1 div}{5,8 div} \cdot 100\% = 1,7\%$$

$$\delta U \approx 4,7\%$$

$$U = (5,8 \pm 0,3)V$$

b) Pomiar okresu i częstotliwości

$$T = L \cdot x$$

gdzie L - współczynnik podstawy czasu (odchyłania poziomego), TIME/DIV

$$T = 5 \frac{ms}{div} \cdot 9,2 div = 46ms = 0,046s$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,046s} = 21,7Hz$$

$$\delta T = \delta L + \delta x$$

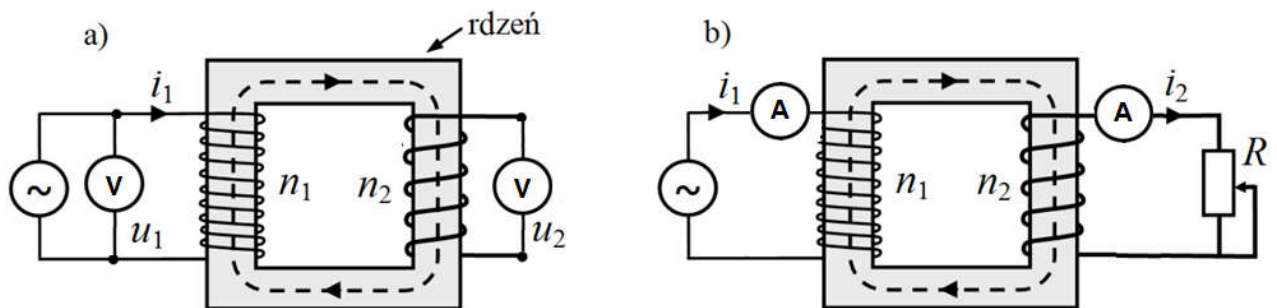
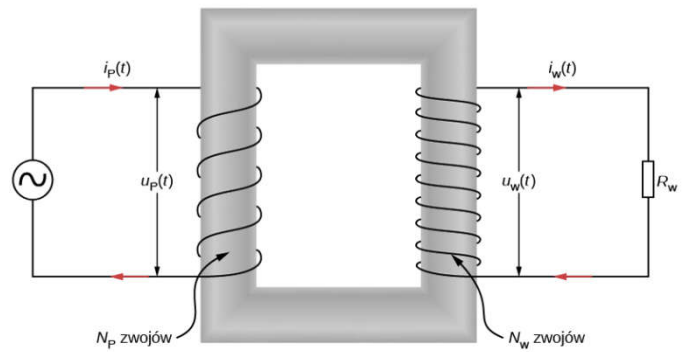
δL - błąd względny wzmacniacza kanału wejściowego (z instrukcji oscyloskopu przyjmij 3%)

$$\delta x = \frac{\Delta_{odczytu}}{x} = \frac{0,1 div}{9,2 div} \cdot 100\% = 1,1\%$$

$$\delta T \approx 4,1\%$$

$$T = (46,0 \pm 1,9)ms$$

Transformator jest urządzeniem powszechnie wykorzystywanym w energetyce, elektrotechnice, elektronice, itd. Służy do zamiany napięcia i natężenia prądu przemiennego na inne napięcie i natężenie prądu bez zmiany częstotliwości prądu. Jak przedstawiono na rysunku, transformator w praktyce składa się z dwóch oddzielnych cewek nawiniętych na wspólny rdzeń ferromagnetyczny. Uzwojenie pierwotne posiada N_P zwojów i podłączone jest do źródła napięcia zmiennego $U(t)$. Uzwojenie wtórne ma N_W zwojów i podłączone jest do obciążenia o rezystancji R_W . Główna zasada jest taka, że zmienny w czasie strumień pola magnetycznego generuje zmienne w czasie pole elektryczne, które jest widoczne w postaci zmiennego w czasie napięcia elektrycznego. Wykorzystujemy prawo indukcji elektromagnetycznej Faradaya, znane od 1831 roku. W naszych rozważaniach zakładamy idealny przypadek transformatora, w którym wszystkie linie pola magnetycznego, czyli cały strumień, są zawarte w rdzeniu (ten sam strumień pola magnetycznego przepływa przez każdą z pętli uzwojenia wtórnego i pierwotnego). Pomijamy również straty z powodu histerezy magnetycznej, związanej z każdorazowym przemagnesowywaniem ferromagnetycznego rdzenia w cyklu, gdy SEM (siła elektromotoryczna) zmienia znak, a także ciepło wydzielane z powodu oporu w uzwojeniach i ciepło wydzielane z powodu prądów wirowych indukowanych w rdzeniu. Dobrze zaprojektowany transformator może mieć straty na poziomie 1% przesyłanej energii. Nie jest to więc bezpodstawne założenie.



O stanie jałowym transformatora mówimy w sytuacji, gdy uzwojenie pierwotne podłączone jest do źródła prądu przemiennego, natomiast uzwojenie wtórne jest rozwarne (rys. a)

O stanie zwarcia transformatora (stanie maksymalnego obciążenia) mówimy w przypadku, gdy uzwojenie pierwotne jest połączone ze źródłem prądu przemiennego, a uzwojenie wtórne jest zwarte. Odpowiada to sytuacji na rys. b, gdy regulowany rezystor (odbiornik) jest ustawiony w położeniu $R \rightarrow 0$.

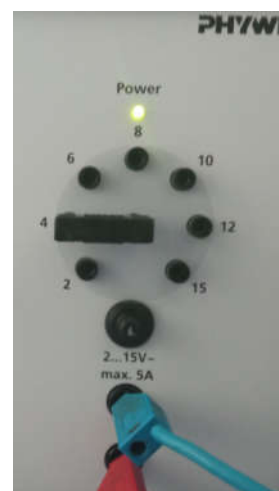
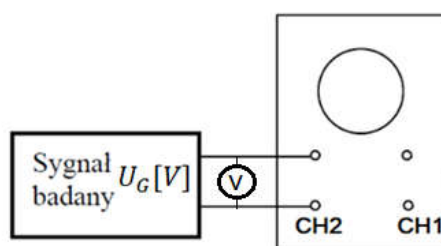
Równanie transformatora:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{u_1}{u_2} = \frac{i_2}{i_1}$$

Część praktyczna:

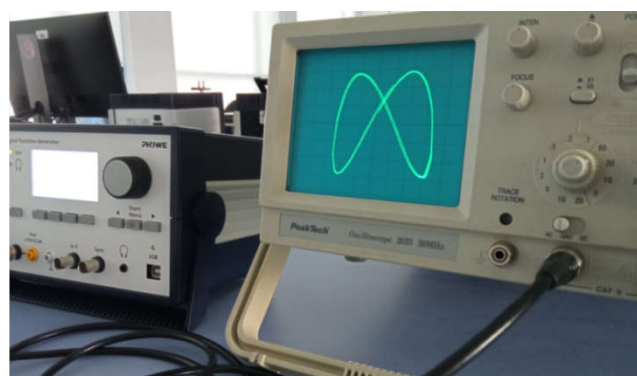
Część I. Podstawowe pomiary dla prądu przemiennego.

1. Podaj sygnał napięcia $\sim 2V$ tylko na drugie z wejść oscyloskopu (CH2). Za pomocą elementów regulacyjnych uzyskaj stabilny obraz sygnału. Dobierz wzmocnienie oraz podstawę czasu tak, aby uzyskać możliwie dużą dokładność odczytu amplitudy. Pomiary powtórz dla napięć z tabeli.

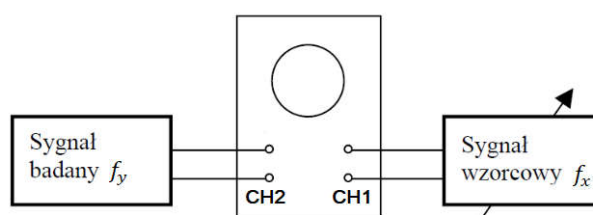


pomiar	napięcie generatora $U_G [V]$	wskazanie woltomierza $U_w [V]$	liczba działek DIV	współczynnik odchyłania pionowego VOLTS/DIV	wyznaczone napięcie międzyszczytowe $U [V]$	napięcie maksymalne $U_{max} [V]$	napięcie skuteczne $U_{sk} [V]$	błąd pomiaru napięcia $\delta U [\%]$
1	2V							
2	4V							
3	6V							
4	8V							

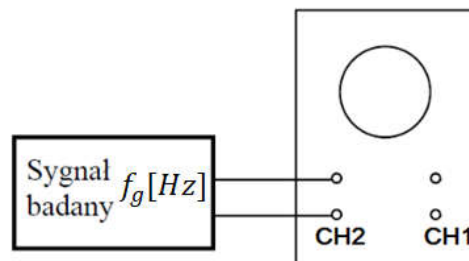
2. Podaj sygnał sinusoidalny z generatora częstotliwości nr 1 na wejście CH1 oraz z generatora nr 2 na wejście CH2 oscyloskopu. Za pomocą elementów regulacyjnych uzyskaj stabilny obraz sygnałów. Przełącz oscyloskop w tryb pracy XY. Regulując częstotliwość na jednym z generatorów, uzyskaj stabilny obraz krzywej Lissajous i przerysuj kształt zaobserwowanej krzywej.



Powtórz pomiary dla czterech innych stosunków częstotliwości sygnałów wejściowych opisanych w części teoretycznej.



3. Podaj sygnał sinusoidalny na drugie z wejść oscyloskopu (CH2).
Za pomocą elementów regulacyjnych uzyskaj stabilny obraz sygnału. Dobierz wzmacnienie oraz podstawę czasu tak, aby uzyskać możliwie dużą dokładność odczytu okresu. Pomiar powtórz dla wybranych częstotliwości z podanych zakresów.

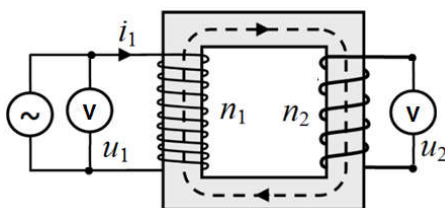


pomiar	zakres wyboru częstotliwości prądu	częstotliwość prądu generatora $f_g [Hz]$	liczba działek DIV	współczynnik odchyłania poziomego TIME/DIV	okres $T[s]$	częstotliwość prądu zmierzona $f_z [Hz]$	błąd pomiaru okresu $\delta T[\%]$
1	od 40Hz do 60Hz	50Hz					
2	od 60Hz do 90Hz	80Hz					
3	od 110Hz do 140Hz						
4	od 550Hz do 590Hz						
5	od 1180Hz do 1240Hz						
6	od 5200Hz do 5300Hz						
7	od 12,0kHz do 12,2kHz						
8	od 23,0kHz do 23,1kHz						

Część II. Badanie transformatora.

Badania transformatora w stanie jałowym.

1. UWAGA! W obwodzie istnieje możliwość powstawania silnych impulsów prądowych w trakcie podłączania i wyłączania uzwojeń transformatora. W związku z tym zmiana ilości uzwojeń transformatora oraz włączanie i wyłączanie zasilania obwodu powinno odbywać się przy minimalnym napięciu na źródle zasilania (do 1V).
2. Połącz układ zgodnie ze schematem wybierając liczbę zwojów $n_1 = 300$ i $n_2 = 600$.



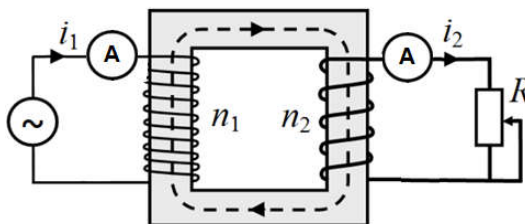
3. Zmieniaj napięcie zasilania co 1V w zakresie 1V - 8V każdorazowo zapisując napięcia U_1 i U_2 w tabeli.

	$n_1 =$		$n_2 =$			
nr pomiaru	1	2	3	4	5	6
$U_1 [V]$						
$U_2 [V]$						

4. Powtórz pomiary dla liczby zwojów wtórnych $n_2 = 150$. Po pomiarach napięcie ustaw w pozycji 1V.
5. Wykreśl na wspólnym układzie współrzędnych zależności napięcia wtórnego od napięcia pierwotnego $U_2 = f(U_1)$. Korzystając z uzyskanych wyników pomiarowych wyznacz badane przekładnie transformatora i ich niepewności pomiarowe. Porównaj wyniki doświadczalne z teoretycznymi.

Badania transformatora w stanie zwarcia.

1. Połącz układ zgodnie ze schematem wybierając liczbę zwojów $n_1 = 300$ i $n_2 = 600$.



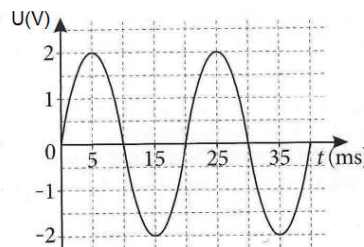
2. Napięcie zasilania ustaw na 1V, suwak rezystora ustaw w położeniu 0Ω .
3. Wykonaj pomiary natężeń prądów i_1 i i_2 analogicznie do badań wykonanych wcześniej. Wyniki zapisz w tabeli.

	$n_1 =$		$n_2 =$			
nr pomiaru	1	2	3	4	5	6
$i_1[A]$						
$i_2[A]$						

4. Powtórz pomiary dla innej kombinacji zwojów.
5. Wykreśl na wspólnym układzie współrzędnych zależności natężenia prądu wtórnego od natężenia prądu pierwotnego $i_2 = f(i_1)$. Korzystając z uzyskanych wyników wyznacz badane przekładnie transformatora i ich niepewności pomiarowe. Porównaj wyniki doświadczalne z teoretycznymi.

Przykładowe zadania na kolokwium.

1. Napisz wyrażenie na napięcie wyjściowe źródła napięcia zmiennego, które wytwarza napięcie skuteczne 12V i okresie 5ms.
2. W USA zamiast napięcia 230V o częstotliwości 50Hz stosuje się napięcie 120V o częstotliwości 60Hz. Narysuj z zaznaczeniem skali zależność napięcia od czasu w gniazdku w Stanach Zjednoczonych.
3. Transformator obniża napięcie ze 110V do 9V tak, że prąd o natężeniu 0,5A dostarczany jest do dzwonka do drzwi. Oblicz przekładnię transformatora, natężenie prądu w uzwojeniu pierwotnym oraz ile wynosi obciążenie 110-woltowego źródła?
4. Transformator używany jest do obniżenia napięcia ze 110V do 9V, do zasilania radia. Jeśli uzwojenie pierwotne ma 500 zwojów, ile zwojów posiada uzwojenie wtórne? Jeśli obwody radia pracują przy natężeniu prądu równym 500mA, jakie jest natężenie prądu płynącego przez uzwojenie pierwotne?
5. W oparciu o wykres obok określ napięcie skuteczne i częstotliwość prądu.



Bibliografia:

Podręcznik online- Fizyka dla szkół wyższych. <https://cnx.org/>

Henryk Szydłowski, Pracownia fizyczna, PWN, Warszawa 2003

David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker, Podstawy fizyki, t. 1-5, PWN, Warszawa 2003.