



**Katedra
Nanometrologii**

LABORATORIUM:
METROLOGIA ELEKTRONICZNA

5. REJESTRACJA I WYZNACZANIE PARAMETRÓW SYGNAŁÓW OKRESOWO ZMIENNYCH

W12IEA-SI0009L

[wzn.pwr.edu.pl/materiały-dydaktyczne/
metrologia-elektroniczna](http://wzn.pwr.edu.pl/materiały-dydaktyczne/metrologia-elektroniczna)

I. Zagadnienia do przygotowania na kartkówkę:

1. Zdefiniuj wielkości: amplituda, częstotliwość, okres, faza początkowa. Podaj jednostki w jakich je wyrażamy.
2. Zdefiniuj wielkości: pulsacja, przesunięcie fazowe. Podaj jednostki w jakich je wyrażamy. Opisz w skrócie sposób pomiaru przesunięcia fazowego dwóch sygnałów.
3. Zdefiniuj wielkości: wartość średnia, wartość średnia wyprostowana, wartość skuteczna.
4. Narysuj schemat blokowy typowego częstotliwościomierza cyfrowego i opisz zasadę jego działania.
5. Wskaż i opisz trzy najważniejsze źródła błędów w częstotliwościomierzach cyfrowych.
6. Jakie parametry mierzą poszczególne rodzaje woltomierzy napięcia zmiennego? Czym charakteryzuje się woltomierz oznaczony symbolem True RMS?

II. Literatura:

1. A. Chwaleba, M. Poniński, A. Siedlecki, Metrologia elektryczna, WNT, Warszawa 1998.

1.1 Wstęp - definicje

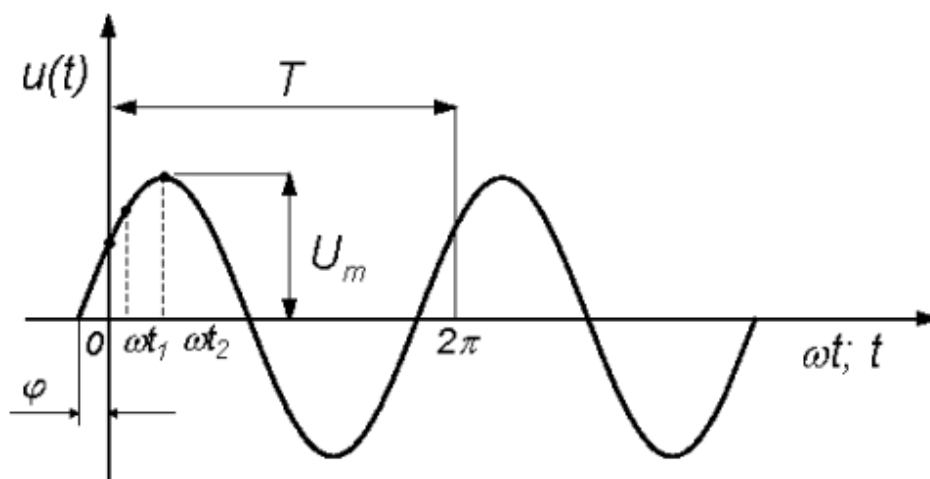
Sygnałem elektrycznym okresowo zmiennym nazywamy sygnał, którego wartość zmienia się w czasie w sposób powtarzalny – innymi słowy istnieje liczba T , dla której dla dowolnej chwili czasu t zachodzi:

$$y(t) = y(t \pm T).$$

W elektryczności bardzo często mamy do czynienia z sygnałami sinusoidalnymi. Równanie ogólne definiujące wartość chwilową sygnału sinusoidalnego możemy zapisać w następujący sposób:

$$u(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi).$$

Ilustruje to poniższy rysunek:



Najbardziej podstawowymi parametrami opisującymi przebiegi zmienne okresowe są:

- **wartość chwilowa $u(t)$** – określająca wartość sygnału w konkretnym wskazanym punkcie. Dla sygnałów napięciowych jednostką wartości chwilowej jest *wolt*.
- **amplituda U_m** określająca maksymalną wartość sygnału. Dla sygnałów napięciowych jednostką amplitudy jest *wolt*.
- **okres T** – minimalny odcinek czasu spełniający równanie $\forall t y(t) = y(t \pm T)$. Jednostką okresu jest *sekunda*.
- **częstotliwość f** równa liczbie okresów na sekundę $f=1/T$. Jednostką częstotliwości jest *herc*. ($1 \text{ Hz} = 1/\text{s}$).
- **częstość kątowna (tzw. pulsacja)**. Możemy przyjąć, że jeden okres trwania sygnału jest jednym jego obiegiem funkcji sinus i jako miarę czasu ustalić kąt. W związku z tym przez jeden okres sygnał przebędzie 360° (czyli 2π radianów). Pulsacją nazywamy kąt jaki przebędzie sygnał w czasie jednej sekundy: $\omega = 2\pi/T = 2\pi f$. Jednostką pulsacji jest *radian na sekundę*.
- **faza początkowa** - odległość pomiędzy początkiem sygnału a początkiem obserwacji czasu ($t=0$). Jednostką fazy jest *stopień lub radian*.

Dodatkowo, aby lepiej opisać sygnał zmienny i jego właściwości stosuje się również parametry:

- **wartość maksymalna i minimalna** $U_{\max}$, $U_{\min}$,
- **wartość międzyszczytowa** U_{p-p} – różnica pomiędzy wartością minimalną a wartością maksymalną sygnału,
- **wartość średnia:**

$$U_{av} = \frac{1}{T} \int_0^T U(t) dt,$$

Dla sygnału zmiennego bez składowej stałej wartość średnia jest równa 0.

- **wartość średnia wyprostowana:**

$$U_{sr} = \frac{1}{T} \int_0^T |U(t)| dt,$$

Dla sygnału sinusoidalnego wartość średnia wyprostowana wynosi $0,637 \cdot U_m$.

- **wartość skuteczna** (tzw. **RMS** – Root Mean Square):

$$U_{sk} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T U^2(t) dt}.$$

Wartość skuteczna określa parametry energetyczne sygnału. Wartość skuteczna prądu przemiennego jest to taka wartości prądu stałego, który w czasie trwania pojedynczego okresu przebiegu zmiennego spowoduje identyczny efekt cieplny (ciepło Joule'a) co prąd przemienny. Dla sygnału sinusoidalnego wartość skuteczna napięcia jest równa:

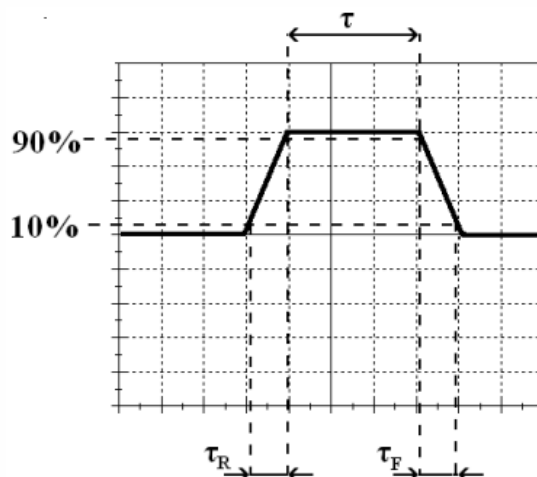
$$U_{sk} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0,707 \cdot U_m.$$

- **współczynnik kształtu:**

$$k = \frac{U_{sk}}{U_{sr}}.$$

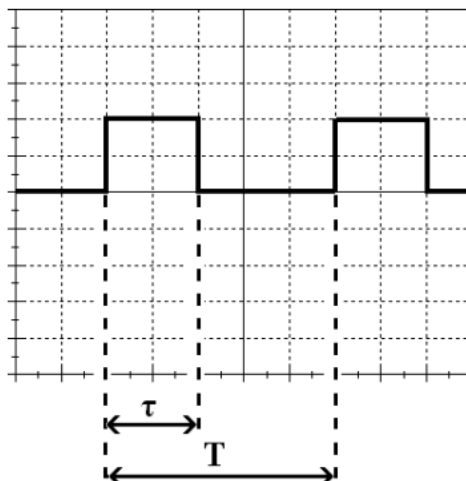
Współczynnik kształtu sygnału sinusoidalnego wynosi około 1,11.

- dla przebiegów impulsowych definiuje się **czas narastania** τ_R , **opadania** τ_F i **czas trwania impulsu** τ ,



- dla przebiegów prostokątnych definiuje się **współczynnik wypełnienia**. Jest on definiowany jako stosunek czasu trwania stanu wysokiego do okresu sygnału:

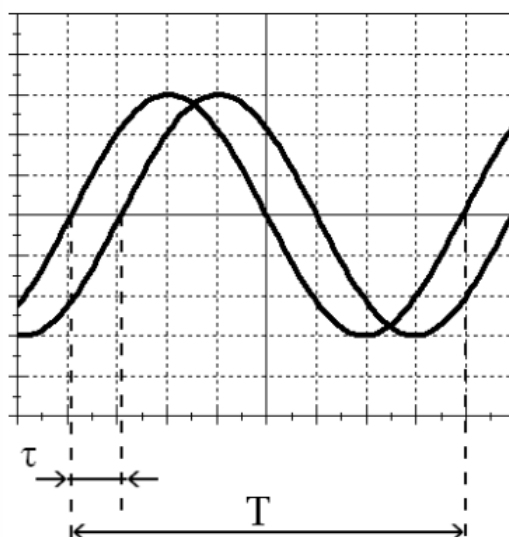
$$w = \frac{\tau}{T} \cdot 100\%$$



Współczynnik wypełnienia jest parametrem bardzo istotnym w impulsowych regulatorach mocy. Istnieją łatwe sposoby elektronicznej kontroli współczynnika wypełnienia. Na skutek zwiększenia jego wartości zwiększa się moc dostarcza do układu odbiorczego (np. grzałki). Wynika to z faktu, iż prąd w obwodzie płynie przez dłuższy czas w pojedynczym okresie.

Dla dwóch sygnałów elektrycznych o takiej samej częstotliwości i tym samym kształcie możemy zdefiniować również **przesunięcie fazowe**. Przesunięciem fazowym nazywamy różnicę w czasie pomiędzy punktami, w których sygnały są w tym samym momencie swojego okresu. Przesunięcie fazowe podajemy jako kąt w stopniach lub radianach i definiujemy następująco:

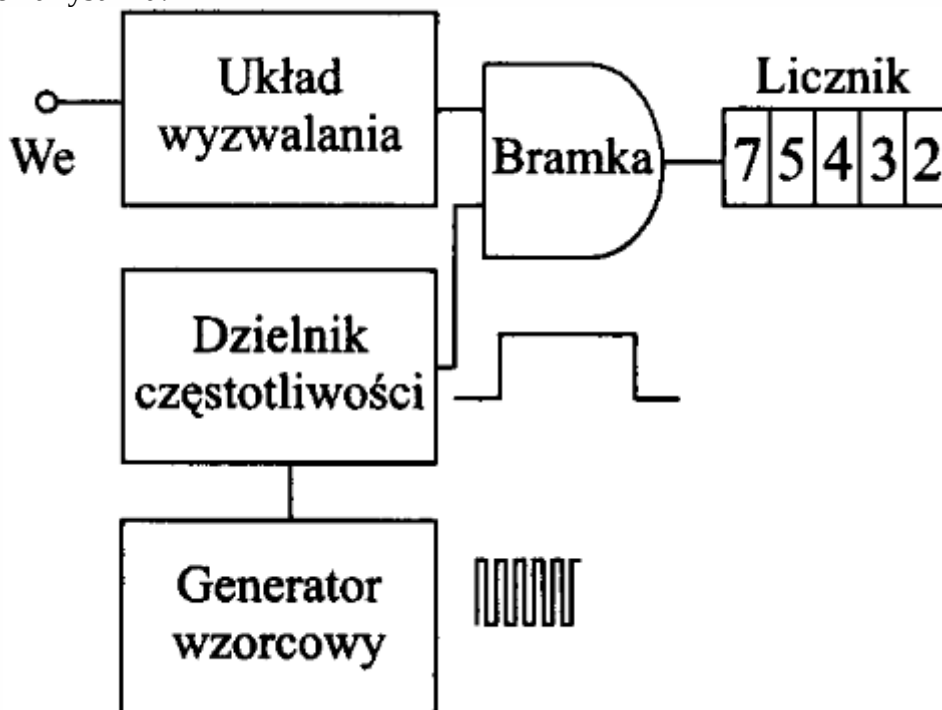
$$\varphi = 360^\circ \frac{\tau}{T} = 2\pi \frac{\tau}{T}$$



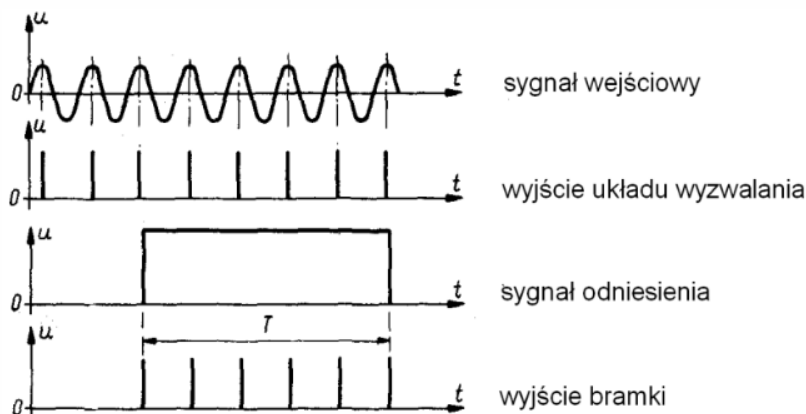
W praktycznych zastosowaniach odcinek τ określa się jako odległość między punktami, w których sygnały przechodzą przez zero od wartości ujemnych do wartości dodatnich.

2. Pomiar parametrów sygnałów elektrycznych okresowo zmiennych

Do pomiaru częstotliwości lub okresu sygnałów elektrycznych zmiennych stosujemy **częstościomierz**. Uproszczony schemat blokowy typowego częstościomierza cyfrowego przedstawiono na rysunku:



Sygnał wejściowy formowany jest przez układ wyzwalania do postaci impulsów o tej samej częstotliwości i podawany na jedno z wejść bramki. Na drugie z wejść bramki podany jest natomiast sygnał z generatora wzorcowego. Bramka wystawia na wyjściu stan wysoki jeżeli na obu wejściach panuje stan wysoki. Jest to więc bramka typu AND. Licznik zlicza impulsy podane na jego wejście. Sygnał z generatora częstotliwości (zwany sygnałem odniesienia) ma znacznie dłuższy okres niż sygnał wejściowy. Podczas trwania stanu wysokiego sygnału odniesienia bramka wyśle tyle impulsów ile razy sygnał wejściowy będzie w stanie wysokim. Gdy sygnał odniesienia uzyska stan niski licznik przestanie zliczać gdyż bramka nie będzie się otwierać. Licznik jest skonstruowany w ten sposób, iż jeśli przez ustalony okres czasu nie będzie miał sygnału wejściowego zeruje swój stan i zaczyna zliczać od początku. Znając częstotliwość generatora wzorcowego i stan licznika możemy wyznaczyć częstotliwość i okres sygnału wejściowego. Przebieg poszczególnych sygnałów wewnątrz częstościomierza wygląda następująco:



1.3 Metody pomiaru rezystancji

• dla przebiegów prostokątnych definiuje się **współczynnik wypełnienia**. Jest on definiowany jako stosunek czasu trwania stanu wysokiego do okresu sygnału:

Błąd pomiaru częstotliwości związany jest najczęściej z trzema czynnikami:

- układ wyzwalania niezbyt dokładnie wyznacza moment początku okresu sygnału w związku ze słabą rozdzielczością pomiaru napięcia chwilowego,
- generator wzorcowy jest niestabilny i zmienia swoją częstotliwość,
- licznik w każdym okresie zlicza liczbę impulsów różniącą się o ± 1 w związku z różnym początkiem sygnału odniesienia względem sygnału wejściowego. Z błędem tym można walczyć wybierając jak najdłuższy czas trwania stanu wysokiego sygnału odniesienia ażeby była zliczona jak największa liczba impulsów. Wybiera się w tym celu najniższy możliwy zakres pomiarowy (najmniejszą częstotliwość maksymalną).

Do pomiaru przesunięcia fazowego pomiędzy dwoma sygnałami o tym samym kształcie i częstotliwości służy **fazomierz**. Zasada działania cyfrowego fazomierza opiera się na układzie wyzwalania działającym na identycznej zasadzie jak w przypadku częstotliczomierza cyfrowego. Dwa sygnały wejściowe są przekształcane do postaci impulsów a następnie dokonywany jest pomiar odległości pomiędzy impulsami pochodzącymi od dwóch różnych sygnałów.

Woltomierze napięcia zmiennego służą do pomiaru parametrów napięciowych sygnałów zmiennych i mogą wskazywać następujące wartości:

- woltomierze analogowe oparte na ustroju magnetoelektrycznych wskazują wartość średnią wyprostowaną,
- woltomierze cyfrowe wskazują najczęściej wartość skuteczną RMS.

Podział ten obowiązuje również dla amperomierzy prądu zmiennego.

Popularne woltomierze cyfrowe napięcia zmiennego działają przeważnie przy założeniu, że sygnał wejściowy jest sinusoidalny. Mierzona jest wtedy wartość maksymalna a wartość skuteczna jest obliczana z podzielenia wyniku przez (patrz rozdział 1.1). W przypadku sygnałów innych niż sinusoidalne wskazanie jest więc całkowicie błędne. Woltomierze laboratoryjne wysokiej klasy wyznaczające poprawnie wartość skuteczną dla dowolnego sygnału bezpośrednio z pełnej definicjioznaczane są jako True RMS.

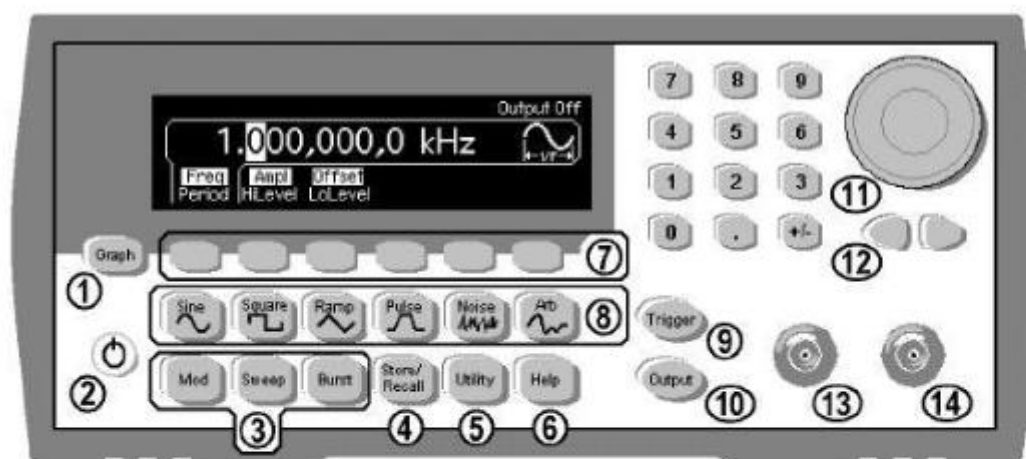
Do pomiaru pozostałych, bardziej złożonych parametrów sygnałów okresowo zmiennych oraz do wyznaczenia ich kształtu używa się najczęściej oscyloskopu.

3. Generator funkcyjny Agilent 33220A

Na stanowisku pomiarowym dostępny jest generator funkcyjny firmy Agilent model 33220A. Do cech tego generatora należą:

- wbudowany przetwornik 14 bitowy 50 MSa/s,
- częstotliwość graniczna 20 MHz dla przebiegów sinusoidalnych i prostokątnych, 200kHz dla przebiegów piłokształtnych, 5 MHz dla przebiegów impulsowych,
- amplituda przebiegów od 10 mVp-p do 10 Vp-p,
- 10 wbudowanych funkcji oraz możliwość modulacji przebiegów FM, AM, PSK, FSK,
- możliwość synchronizacji z przebiegiem zewnętrznym,
- możliwość regulacji czasu narostu impulsu,
- wbudowane interfejsy LAN, GPIB, USB.

Na rysunku objaśniono funkcje klawiszy na panelu głównym:



1. Tryb graficzny

2. Wł./Wyl.

3. Modulacja/przemiatanie/tryb burst

4. Zapis ustawień

5. Narzędzia

6. Pomoc

7. Menu wyboru

8. Wybór przebiegu

9. Manualne wyzwalanie

10. Wł./Wyl. wyjścia

11. Pokrętko zadawania wartości

12. Wybór pozycji wprowadzania wartości

13. Wejście synchronizacyjne

14. Wyjście generatora

Aby ustawić na generatorze przebieg sinusoidalny o amplitudzie 2 Vp-p i częstotliwości 10kHz należy:

1. Włączyć generator, odczekać 3 s, wcisnąć przycisk **Graph**,
2. Z klawiatury numerycznej wpisać żądaną częstotliwość(10 kHz),
3. Z **Menu wyboru** wcisnąć **Ampl** wpisać żądaną wartość amplitudy sygnału,
4. Załączyć wyjście generatora (przycisk **Output** powinien być podświetlony na zielono).

W przypadku konieczności wygenerowania innego niż sinusoidalny przebiegu, należy wybrać jego rodzaj z menu **Wybór przebiegu**.

4. Przebieg ćwiczenia

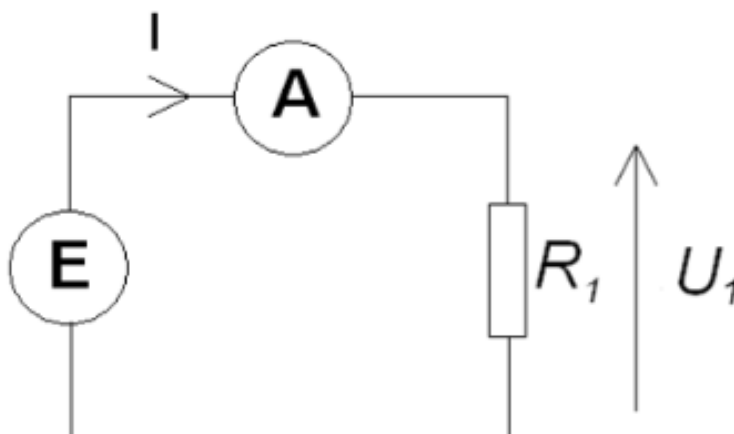
Po KAŻDYM włączeniu generatora wcisnąć klawisz „Utility”, następnie wybrać „Output Setup” i podświetlić opcję „High Z”. Wcisnąć klawisz „Done”. Po tej operacji w prawym górnym rogu wyświetlacza ukaże się napis „High Z Load”.

1. Pomiar napięć zmiennych

- Włączyć oscyloskop. Będzie on służył do monitorowania wyjścia generatora.
- Ustawić na generatorze sygnał sinusoidalny o napięciu międzyszczytowym 20 V oraz częstotliwości 5 Hz. J
- Wcisnąć przycisk „Autoscale” w oscyloskopie.
- Dokonać pomiaru napięcia zmiennego kolejno wszystkimi typami multimetrów dostępnymi na stanowisku. Pomiarów dokonać na najbardziej optymalnym zakresie **oraz na zakresie o jeden wyższym**.
- Powtórzyć punkty a-d dla częstotliwości 10 Hz, 100 Hz, 1 kHz, 100 kHz, 500 kHz.
- Ustawić na generatorze sygnał trójkątny $U_{p-p} = 20$ V oraz częstotliwości 1 kHz. Wcisnąć przycisk „Autoscale” w oscyloskopie. Dokonać pomiaru napięcia zmiennego kolejno wszystkimi typami multimetrów dostępnymi na stanowisku. Pomiarów dokonać na najbardziej optymalnym zakresie **oraz na zakresie o jeden wyższym**.
- Ustawić na generatorze sygnał prostokątny $U_{p-p} = 20$ V oraz częstotliwości 1 kHz. Wcisnąć przycisk „Autoscale” w oscyloskopie. Dokonać pomiaru napięcia zmiennego kolejno wszystkimi typami multimetrów dostępnymi na stanowisku. Pomiarów dokonać na najbardziej optymalnym zakresie **oraz na zakresie o jeden wyższym**.

2. Obwody prądu zmiennego

- Zestawić układ jak na rysunku:



Jako wolotmierz użyć multimetru Agilent 34401A a jako amperomierza Axio Ax-588.
Wartość rezystora: 100 Ω

- Ustawić na generatorze sygnał sinusoidalny $U_{p-p} = 10$ V oraz częstotliwości 1 kHz.
- Dokonać pomiaru prądów i napięć w obwodzie kolejno z rezystorami: 100 Ω , 1 k Ω .
- Czy dla prądów i napięć zmiennych zachodzi Prawo Ohma?
- Powtórzyć pomiary dla sygnału trójkątnego i prostokątnego.

3. Pomiar częstotliwości i okresu

- Ustawić na generatorze sygnał sinusoidalny o napięciu międzyszczytowym 5 V oraz częstotliwości 1 Hz. Dokonać pomiaru częstotliwości kolejno multimetrami AX-588 oraz Agilent 34401A.
- Dokonać pomiaru okresu multimetrem Agilent 34401A.
- Pomiary powtórzyć dla częstotliwości 5 Hz, 10 Hz, 50 Hz, 100 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 10 kHz, 50 kHz, 100 kHz, 500 kHz..
Obliczyć niepewności pomiarów.

4. Pomiar przesunięcia fazowego

- Podłączyć generator do wejścia układu opóźniającego. Jedno z wyjść układu podłączyć do kanału 1 a drugie z wyjść do kanału 2.
- Ustawić na generatorze sygnał sinus o napięciu międzyszczytowym 1 V oraz częstotliwości 1 kHz.
- Za pomocą oscyloskopu dokonać pomiaru przesunięcia fazowego pomiędzy sygnałami. Wynik podać zarówno w stopniach jak i w radianach.

WZORY TABEL POMIAROWYCH

Tabela 1 (pomiar napięć zmiennych).

Generator Agilent 33220A, Sygnał zmienny $V_{pp} = 20$ V.		
Multimetr:		
Częstotliwość [Hz]	V_{opt} [V]	V_{opt+1} [V]
Sinus 1 Hz 5 Hz ... 500 kHz		
Trójkąt 1 kHz		
Prostokąt 1 kHz		

Tabela 2 (obwody prądu zmiennego).

Generator Agilent 33220A, Sygnał zmienny $V_{pp} = 10$ V, $f = 1$ kHz.			
Multimetr Agilent 34401A			
Rezystancja [Ω]	U [V]	I [mA]	U/I [Ω]
sinus 100 Ω 1 k Ω			
trójkąt 100 Ω 1 k Ω			
prostokąt 100 Ω 1 k Ω			

Tabela 3 (pomiar częstotliwości i okresu).

Generator Agilent 33220A, Sygnał zmienny sinusoidalny $V_{pp} = 1$ V.						
Częstotliwość generatora [Hz]	AX-588		Agilent 34401A			
	Częstotliwość [Hz]	Δf [Hz]	Częstotliwość [Hz]	Δf [Hz]	Okres [ms]	ΔT [ms]
1 Hz 5 Hz ... 500 kHz						