



ĆWICZENIA:  
PODSTAWY METROLOGII

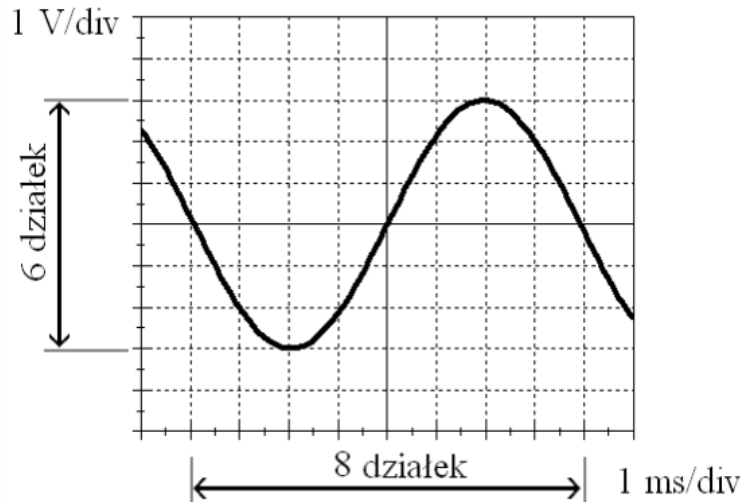
**5. POMIARY SYGNAŁÓW  
OKRESOWO ZMIENNYCH**

W12IEA-SI0003C

[wzn.pwr.edu.pl/materialy-  
dydaktyczne/podstawy-metrologii](http://wzn.pwr.edu.pl/materialy-dydaktyczne/podstawy-metrologii)

## 1. Wstęp

Podstawowymi parametrami sygnału, które możemy bezpośrednio wyznaczyć przy wykorzystaniu oscyloskopu, są częstotliwość i amplituda. Na rys. 1 przedstawiono ekran oscyloskopu z wyskalowanymi osiami, tj. podaną czułością napięciową w V/div (woltach na działkę) oraz podstawą czasu w ms/div.



Rysunek 1. Przykładowy przebieg na ekranie oscyloskopu.

Aby obliczyć napięcie międzyszczytowe przebiegu, należy odczytać z ekranu oscyloskopu liczbę działek, którą zajmuje badany przebieg na osi Y. W przykładzie z rys. 1 jest to 6 działek. Wartość napięcia międzyszczytowego obliczamy z następującego wzoru:

$$U_{p-p} = k \cdot \delta,$$

gdzie:

$U_{p-p}$  – napięcie międzyszczytowe (peak-to-peak),

$k$  – liczba działek na osi rzędnych zajmowana przez przebieg,

$\delta$  – czułość napięciowa kanału pomiarowego w woltach na działkę (V/div).

W podanym przypadku napięcie  $U_{p-p}$  równe jest:

$$U_{p-p} = 6 \text{ div} \cdot 1 \frac{\text{V}}{\text{div}} = 6 \text{ V}.$$

Amplituda sygnału (czyli połowa napięcia międzyszczytowego) równa jest więc 3 V. Analogicznie obliczamy okres badanego przebiegu. Na rys. 10 pełen okres przebiegu zawiera się w 8 działkach oscyloskopu, mamy więc ( $\gamma$  – podstawa czasu w ms/div):

$$T = 8 \text{ div} \cdot 1 \frac{\text{ms}}{\text{div}} = 8 \text{ ms}.$$

Znając okres przebiegu możemy obliczyć częstotliwość:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{8 \text{ ms}} = 125 \text{ Hz}.$$

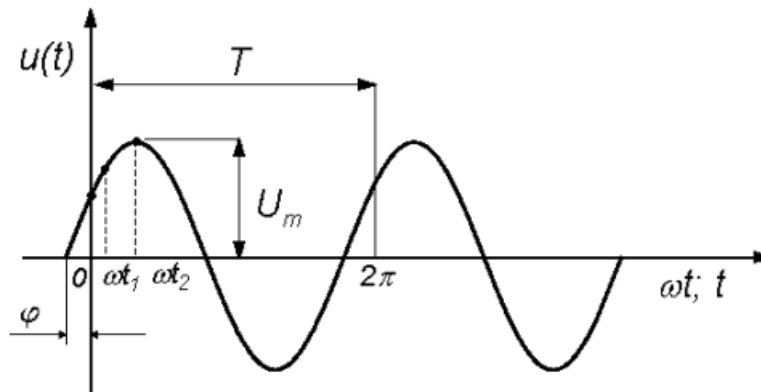
Sygnałem elektrycznym okresowo zmiennym nazywamy sygnał, którego wartość zmienia się w czasie w sposób powtarzalny – innymi słowy istnieje liczba  $T$ , dla której dla dowolnej chwili czasu  $t$  zachodzi:

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

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:



Jeśli sygnał wejściowy będzie sumą napięcia zmiennego i napięcia stałego (a więc jego składowa stała będzie niezerowa), przebieg na ekranie będzie odpowiednio przesunięty w osi Y. W trybie pracy AC składowa stała jest odfiltrowywana – średni poziom sygnału będzie się znajdował w połowie wysokości ekranu (czyli na środku).

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 Hz= 1/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  $360^\circ$  (czyli  $2\pi$  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):

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

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:

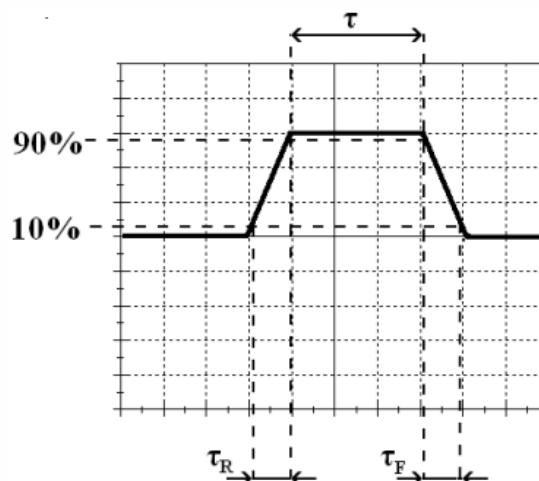
$$U_{sk} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0,707 \cdot U_m.$$

- **współczynnik kształtu:**

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

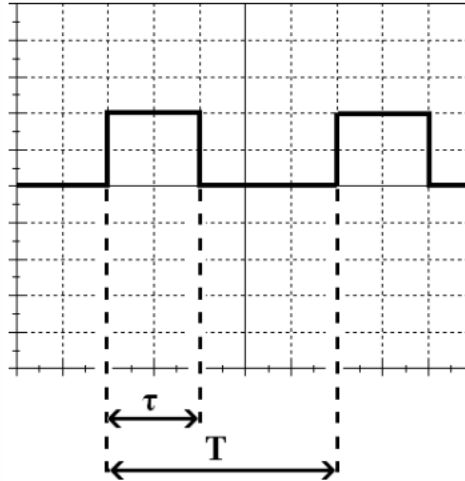
Współczynnik kształtu sygnału sinusoidalnego wynosi około 1,11.

- dla przebiegów impulsowych definiuje się **czas narastania**  $\tau_R$ , **opadania**  $\tau_F$  i **czas trwania impulsu**  $\tau$ ,



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

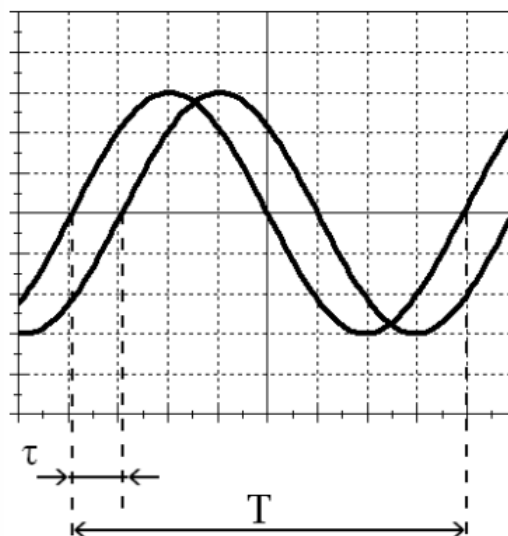
$$w = \frac{\tau}{T} \cdot 100\%$$



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:

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

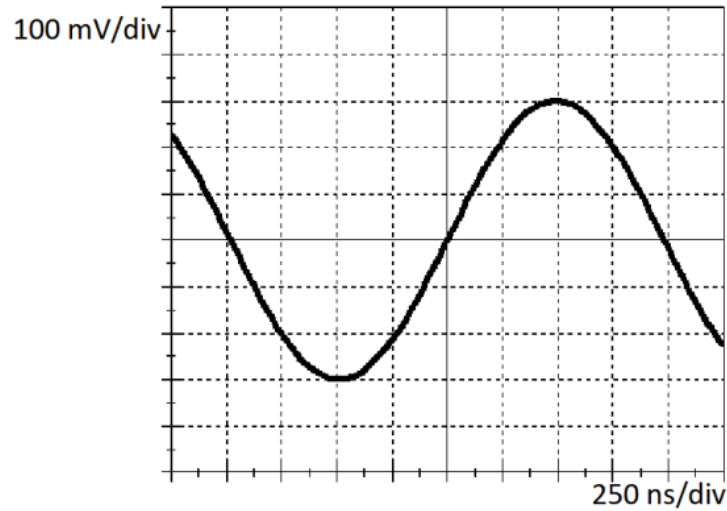


W praktycznych zastosowaniach odcinek  $\tau$  określa się jako odległość między punktami, w których sygnały przechodzą przez zero od wartości ujemnych do wartości dodatnich.

## 2. Przykładowe zadania

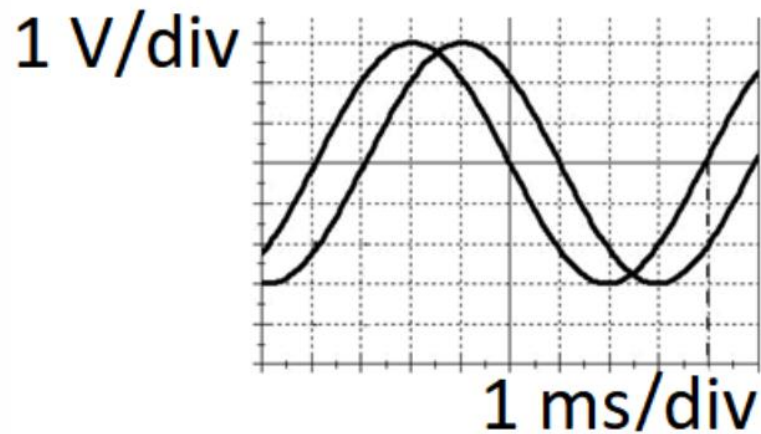
### Zadanie 1

Określ podstawowe parametry sygnału:



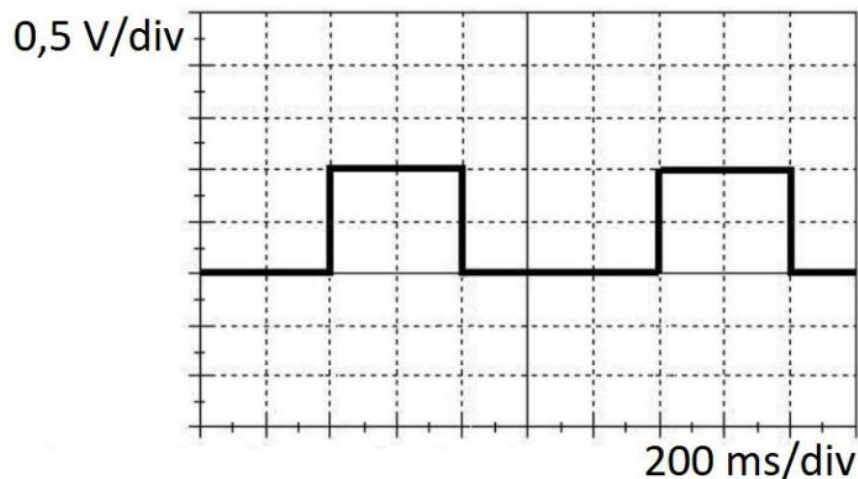
### Zadanie 2

Oblicz przesunięcie fazowe między przebiegami z wykresu:



### Zadanie 3

Wyznacz współczynnik wypełnienia sygnału:



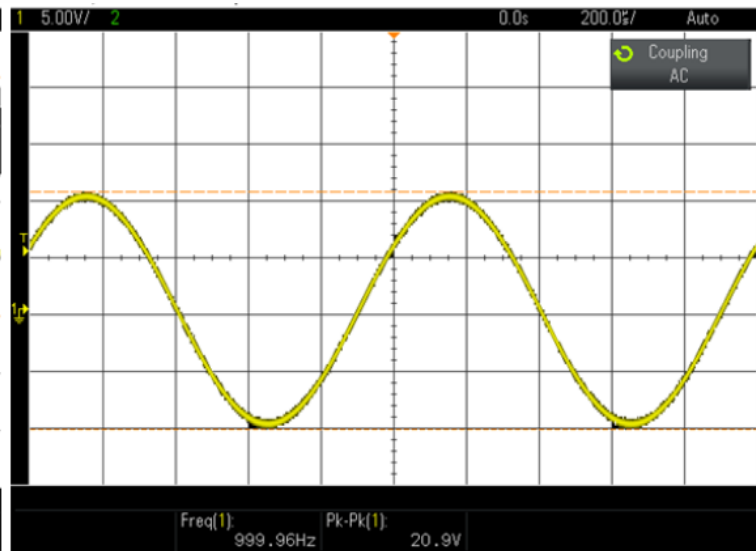
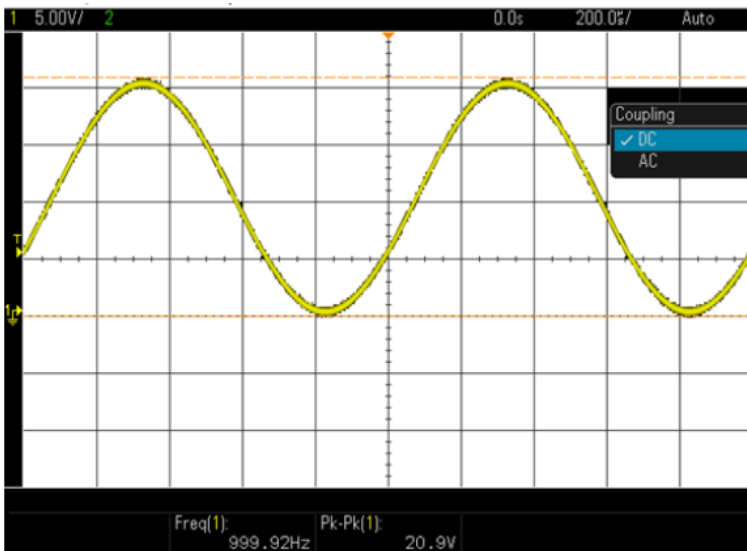
## Zadanie 4

Na oscyloskopie widoczny jest przebieg sygnału o następujących parametrach:

- 1) Sygnał: Trójkąt  
Amplituda: 0,1V  
Częstotliwość = 1 kHz  
Składowa stała = 0,3V  
Czułość = 50 mV/div  
Podstawa czasu = 0,5 ms/div
  - a) Ile działek zajmuje obraz sygnału w pionie?
  - b) Ile okresów zobaczymy na ekranie, jeśli ekran ma 10 działek?
  
- 2) Sygnał: Sinus  
Podstawa czasu: 0,1m/s  
Liczba działek na oscyloskopie = 10  
częstotliwość sygnału = 5 kHz
  - a) Ile okresów zobaczymy?

## Zadanie 5

Oblicz składową stałą dla następującego sygnału:



### Zadanie 6

Oblicz czas narastania, czas opadania oraz czas trwania impulsu.

