



POMIARY SYGNAŁÓW ELEKTRYCZNYCH

Plan:

- Sygnał analogowy.
- Sygnały okresowe.
- Wartość średnia sygnału okresowego.
- Wartość skuteczna sygnału okresowego.
- Współczynnik szczytu i współczynnik kształtu.
- Pomiar napięcia i prądu stałego.
- Pomiar wartości skutecznej napięcia.
- Pomiary przesunięcia fazowego.



Metrologia

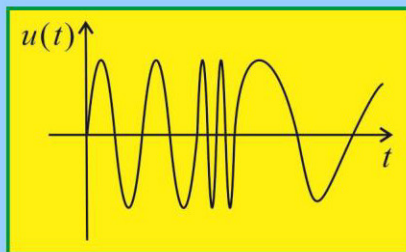


POMIARY SYGNAŁÓW ELEKTRYCZNYCH



Sygnały elektryczne.

Sygnał napięciowy.



Zależność napięcia elektrycznego w funkcji czasu.

Sygnał analogowy ciągły - wartości zmiennej zależnej są znane dla każdej wartości zmiennej niezależnej.



Metrologia





POMIARY SYGNAŁÓW ELEKTRYCZNYCH



Sygnały okresowe.

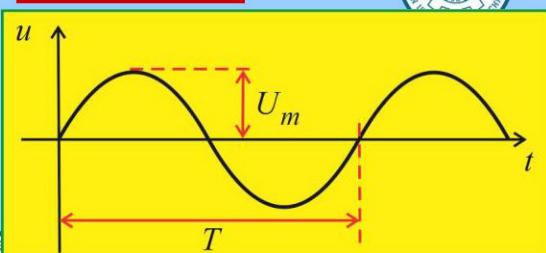
Sygnał okresowy – wartości chwilowe sygnału okresowego powtarzają się po okresie T .

$$u(t) = u(t + n \cdot T) \quad \text{gdzie: } n - \text{liczba naturalna, } T - \text{okres sygnału (jednostka: s)}$$

Dla sygnałów okresowych definiujemy częstotliwość.

$$f = \frac{1}{T} \quad (\text{jednostka: Hz})$$

Sygnał sinusoidalny.



$$u(t) = U_m \cdot \sin(\omega \cdot t) \quad \text{gdzie:}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f \quad - \text{ pulsacja,}$$

U_m – amplituda – wartość maksymalna sygnału,

Metrologia



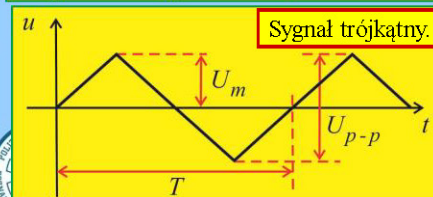
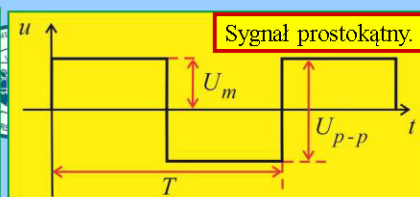
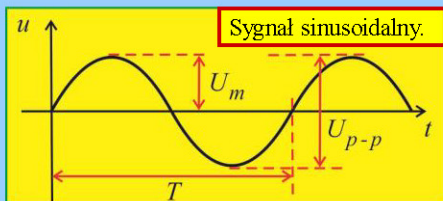
POMIARY SYGNAŁÓW ELEKTRYCZNYCH



Sygnały okresowe.

Sygnał okresowy – wartości chwilowe sygnału okresowego powtarzają się po okresie T .

$$u(t) = u(t + n \cdot T) \quad \text{gdzie: } n - \text{liczba naturalna, } T - \text{okres sygnału (jednostka: s)}$$



U_m – amplituda,

U_{p-p} – wartość międzyszczytowa,

T – okres,

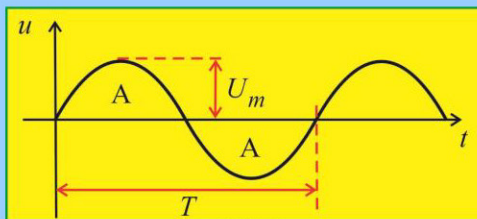
$$f = \frac{1}{T} \quad - \text{ częstotliwość.}$$

trologia



**Wartość średnia sygnału okresowego (ang. mean (average) value).**

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



$$u(t) = U_m \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

Interpretacja graficzna dla sygnału sinusoidalnego:

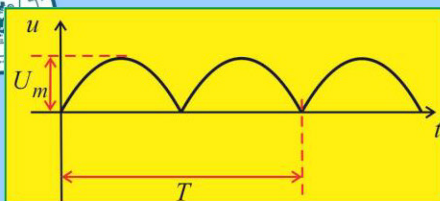
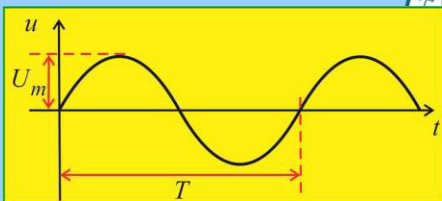
$$U_{sr} = \frac{A - A}{T} = 0$$

Dla sygnałów: sinusoidalnego, trójkątnego i prostokątnego bez składowej stałej wartość średnia sygnału jest równa zero.

**Wartość średnia modułu sygnału okresowego (ang. average (mean) rectified value).**

Dla sygnału sinusoidalnego.

$$U_{srm} = \frac{1}{T} \int_0^T |u(t)| dt$$

Sygnał: $u(t) = U_m \cdot \sin(\omega \cdot t)$ Sygnał wyprostowany (moduł): $|u(t)| = |U_m \cdot \sin(\omega \cdot t)|$ 

Wartość średnia modułu:

$$U_{srm} = \frac{1}{T} \int_0^T |u(t)| dt = \frac{1}{T} \int_0^T U_m \cdot \sin(\omega \cdot t) dt = \frac{2}{\pi} U_m$$



**Wartość skuteczna sygnału okresowego (ang. RMS value – root mean square value).**value: $u(t)$

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

square value: $u^2(t)$ mean square value: $\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt$

root mean square value:

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

Dla sygnału sinusoidalnego:

$$U_{sk} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} = \sqrt{\frac{U_m^2}{T} \int_0^T \sin^2(\omega \cdot t) dt} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

Metrologia

**Współczynnik szczytu i kształtu sygnału okresowego (ang. peak factor and form factor).**

$$\text{współczynnik szczytu} = \frac{\text{wartość maksymalna}}{\text{wartość skuteczna}} = \frac{U_m}{U_{sk}}$$

$$\text{współczynnik kształtu} = \frac{\text{wartość skuteczna}}{\text{wartość średnia modułu}} = \frac{U_{sk}}{U_{sm}}$$

Dla sygnału sinusoidalnego.

$$U_{sk} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \quad \text{oraz} \quad U_{sm} = \frac{2}{\pi} U_m$$

$$\text{współczynnik szczytu} = \frac{U_m}{U_{sk}} = \frac{U_m}{U_m / \sqrt{2}} = \sqrt{2}$$

$$\text{współczynnik kształtu} = \frac{U_{sk}}{U_{sm}} = \frac{U_m / \sqrt{2}}{2 \cdot U_m / \pi} = \frac{\pi}{2 \cdot \sqrt{2}}$$

Metrologia

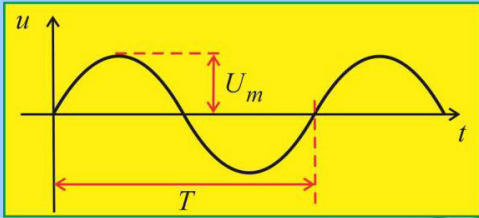




POMIARY SYGNAŁÓW ELEKTRYCZNYCH



Przykład 4.1. Obliczyć współczynnik szczytu dla sygnału sinusoidalnego napięciowego o okresie T i amplitudzie U_m .



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

② $u(t) = U_m \cdot \sin(\omega \cdot t)$

③ Podstawiamy równanie 2 do 1 i obliczamy U_{sk} :

Wskazówka: przy obliczaniu całki można skorzystać z zależności: $\cos(2\alpha) = 1 - 2\sin^2(\alpha)$

$$U_{sk} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T U_m^2 \cdot \sin^2(\omega \cdot t) \cdot dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T U_m^2 \cdot \left[\frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos(2\omega \cdot t) \right] \cdot dt} =$$

$$= U_m \cdot \sqrt{\frac{1}{T} \left[\frac{1}{2} t - \frac{1}{4\omega} \cdot \sin(2\omega \cdot t) \right]_0^T} = U_m \cdot \sqrt{\frac{1}{T} \left(\frac{1}{2} T - \frac{1}{4\omega} \cdot \sin(4\pi) + \frac{1}{4\omega} \sin(0) \right)} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

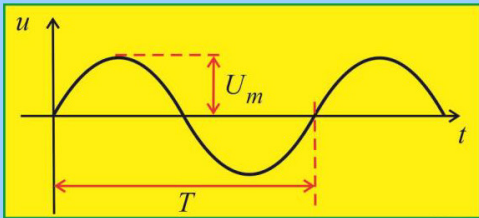
Metrologia



POMIARY SYGNAŁÓW ELEKTRYCZNYCH



Przykład 4.1. Obliczyć współczynnik szczytu dla sygnału sinusoidalnego napięciowego o okresie T i amplitudzie U_m .



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

② $u(t) = U_m \cdot \sin(\omega \cdot t)$

③ Podstawiamy równanie 2 do 1 i obliczamy U_{sk} :

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

④ Wyznaczamy współczynnik szczytu $= U_m / U_{sk}$:

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

Metrologia

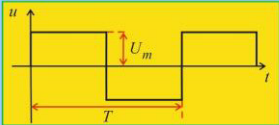
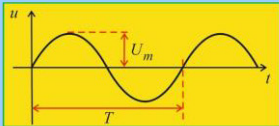
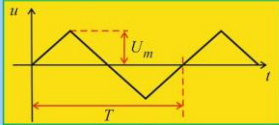




POMIARY SYGNAŁÓW ELEKTRYCZNYCH



Wartości współczynników szczytu i kształtu dla podstawowych sygnałów okresowych.

Sygnał	Wsp. szczytu	Wsp. kształtu
	1	1
	$\sqrt{2}$	$\frac{\pi}{2 \cdot \sqrt{2}}$
	$\sqrt{3}$	$\frac{2}{\sqrt{3}}$



POMIARY SYGNAŁÓW ELEKTRYCZNYCH



Multimetr cyfrowy Metex M-3270D

Wybór trybu pracy.

- OFF** Power off
- V** Woltomierz
- Ω** Omomierz
- $\rightarrow$** Tester diód
- FREQ** Częstościomierz
- hFE** Tester tranzystorów
- CAP** Pojemnościomierz
- μA** Mikroamperomierz
- mA** Miliamperomierz
- A** Amperomierz





POMIARY SYGNAŁÓW ELEKTRYCZNYCH



Multimetr cyfrowy Metex M-3270D

DC/AC - przycisk wyboru mierzonego parametru sygnału.

Naciśnięcie tego przycisku powoduje zmianę mierzonego parametru sygnału dla pracy multimetru w trybie woltomierza lub amperomierza.

Ustawienie DC – pomiar napięcia lub prądu stałego.

Ustawienie AC – pomiar wartości skutecznej sygnału.

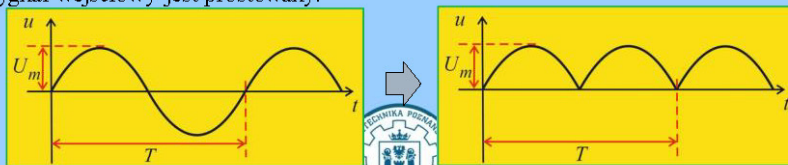


POMIARY SYGNAŁÓW ELEKTRYCZNYCH



Jak działa miernik wartości skutecznej?

- 1) Sygnał wejściowy jest prostowany:



- 2) Następnie jest wyznaczana wartość średnią sygnału wyprostowanego (średnia modułu – U_{srm} sygnału wejściowego).
- 3) Wynik pomiaru wyświetlany na wyświetlaczu miernika wynika z pomnożenia wartości średniej sygnału wyprostowanego (średniej modułu) przez współczynnik kształtu dla sinusoidy.

$$U_{sk} = \frac{\pi}{2 \cdot \sqrt{2}} U_{srm} = 1,1107 \cdot U_{srm}$$

Miernik wartości skutecznej jest przeznaczony do pomiaru wartości skutecznej sygnału sinusoidalnego bez składowej stałej.



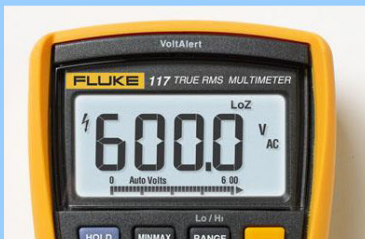


POMIARY SYGNAŁÓW ELEKTRYCZNYCH



Co to jest miernik True RMS?

Miernik True RMS mierzy bezpośrednio wartość skuteczną sygnału.



Miernik taki można wykorzystać do pomiaru wartości skutecznej sygnału o dowolnym kształcie.



Metrologia



POMIARY SYGNAŁÓW ELEKTRYCZNYCH



Przykład 4.2.

Za pomocą multimetru True RMS zmierzono wartość skuteczną $U_{sk} = 600,0$ V sygnału sinusoidalnego bez składowej stałej. Obliczyć amplitudę zmierzonego sygnału. Jaki będzie odczyt multimetru jeżeli kształt sygnału podłączonego do multimetru zmieni się na trójkątny? Przyjąć, że amplituda sygnału sinusoidalnego (przed zmianą) jest równa amplitudzie sygnału trójkątnego (po zmianie).



Dla sygnału sinusoidalnego (przed zmianą):

$$\text{współczynnik szczytu} = \frac{U_{m_s}}{U_{sk_s}} = \sqrt{2}$$

stąd amplituda sygnału sinusoidalnego:

$$U_{m_s} = U_{sk_s} \cdot \sqrt{2} = 600,0 \cdot \sqrt{2} \approx 848,5 \text{ V}$$



Metrologia





POMIARY SYGNAŁÓW ELEKTRYCZNYCH



Przykład 4.2.

Za pomocą multimetru True RMS zmierzono wartość skuteczną $U_{sk} = 600,0 \text{ V}$ sygnału sinusoidalnego bez składowej stałej. Obliczyć amplitudę zmierzonego sygnału. Jaki będzie odczyt multimetru jeżeli kształt sygnału podłączonego do multimetru zmieni się na trójkątny? Przyjąć, że amplituda sygnału sinusoidalnego (przed zmianą) jest równa amplitudzie sygnału trójkątnego (po zmianie).



Dla sygnału trójkątnego (po zmianie):

$$U_{m_t} = U_{m_s} = 848,5 \text{ V}$$

$$\text{współczynnik szczytu} = \frac{U_{m_t}}{U_{sk_t}} = \sqrt{3}$$

stąd wartość odczytana z multimetru po zmianie kształtu sygnału:

$$U_{sk_t} = U_{m_t} / \sqrt{3} = 848,5 / \sqrt{3} \approx 489,9 \text{ V}$$

Metrologia



POMIARY SYGNAŁÓW ELEKTRYCZNYCH



Czy miernik True RMS mierzy wartość skuteczną sygnału uwzględniając składową stałą?

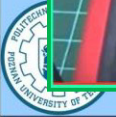
W większości mierników True RMS przy pomiarze wartości skutecznej sygnału składowa stała nie jest uwzględniana.

W obwodzie wejściowym miernika znajduje się kondensator, który odcina składową stałą.

Do pomiaru wartości skutecznej sygnału o dowolnym kształcie ze składową stałą służą mierniki oznaczone jako **AC+DC True RMS**, lub posiadające tryb pracy **AC+DC**.



ogia



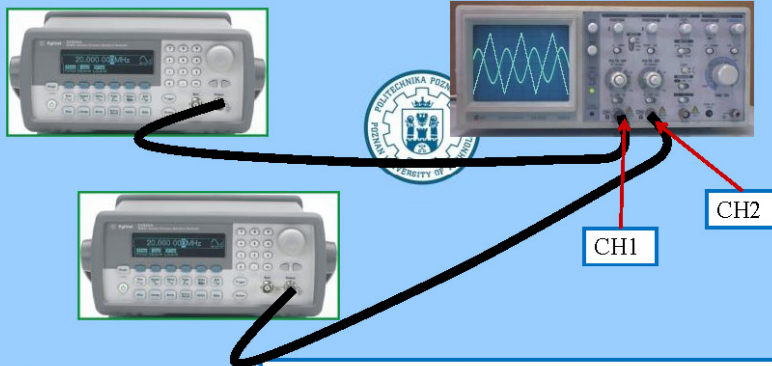


POMIARY SYGNAŁÓW ELEKTRYCZNYCH



Pomiary przesunięcia fazowego za pomocą oscyloskopu dwukanałowego.

Oscyloskop dwukanałowy.



Obserwujemy sygnały z dwóch różnych źródeł jednocześnie.

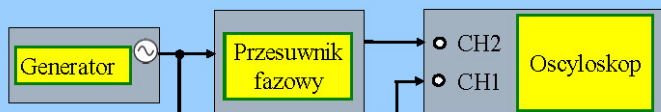
Metrologia



POMIARY SYGNAŁÓW ELEKTRYCZNYCH



Pomiary przesunięcia fazowego za pomocą oscyloskopu dwukanałowego.

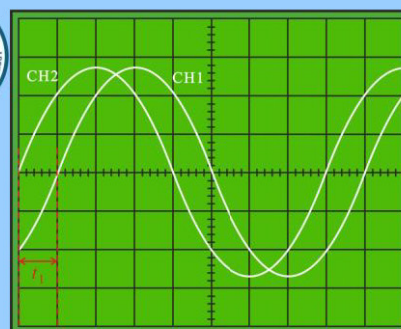


Badany układ wprowadza przesunięcie fazowe sygnału.

t_1 — przesunięcie fazowe [DIV]

Jak obliczyć przesunięcie fazowe w stopniach?

Jak określić znak przesunięcia (+ lub -)?



Metrologia

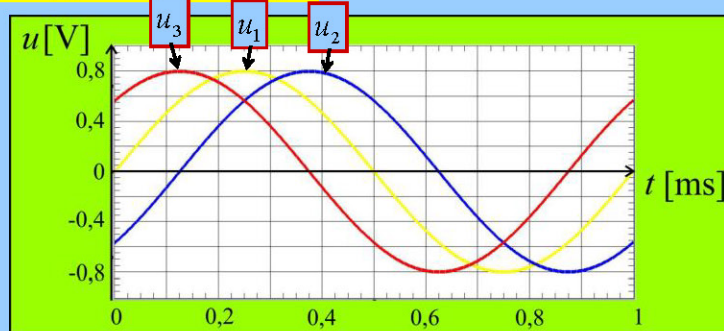




POMIARY SYGNAŁÓW ELEKTRYCZNYCH



Pomiary przesunięcia fazowego.



$$u_1 = U_m \cdot \sin(\omega \cdot t) \text{ - sygnał odniesienia}$$

$$u_3 = U_m \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi)$$

$$u_2 = U_m \cdot \sin(\omega \cdot t - \varphi)$$

Przesunięcia dodatnie $+\varphi$

Przesunięcia ujemne $-\varphi$



Metrologia



POMIARY SYGNAŁÓW ELEKTRYCZNYCH



Przykład 4.3.

Na rysunku poniżej przedstawiono ekran oscyloskopu analogowego. Oblicz przesunięcie fazowe (w stopniach) pomiędzy sygnałami podłączonymi do kanału 1 (CH1) i kanału 2 (CH2) oscyloskopu.

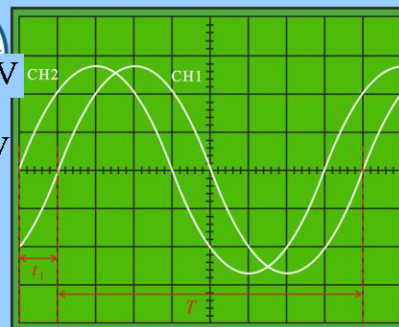
Pomiar przesunięcia fazowego.

- 1 Odczytujemy okres T w działkach. $T = 8 \text{ DIV}$
- 2 Odczytujemy przesunięcie fazowe t_1 w działkach. $t_1 = 1 \text{ DIV}$
- 3 Obliczamy przesunięcie fazowe w stopniach.

$$\text{Z proporcji: } \frac{\varphi}{360^\circ} = \frac{t_1}{T}$$

Mamv:

$$\varphi = \frac{t_1}{T} \cdot 360^\circ = \frac{1}{8} \cdot 360^\circ = 45^\circ$$



Metrologia

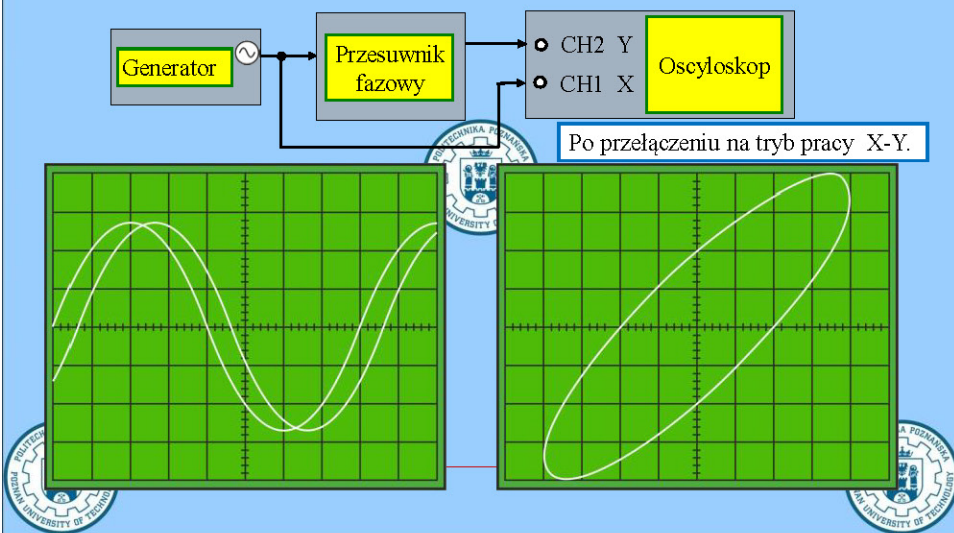




POMIARY SYGNAŁÓW ELEKTRYCZNYCH



Pomiary przesunięcia fazowego metodą figur Lissajous.

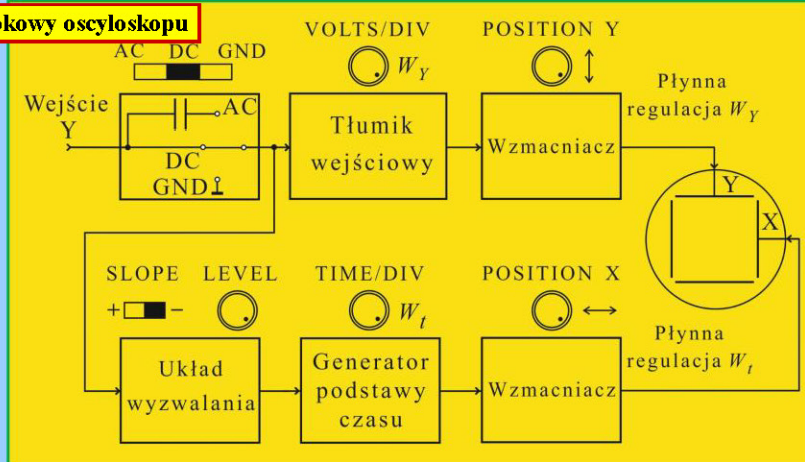


POMIARY SYGNAŁÓW ELEKTRYCZNYCH



Pomiary przesunięcia fazowego metodą figur Lissajous.

Schemat blokowy oscyloskopu



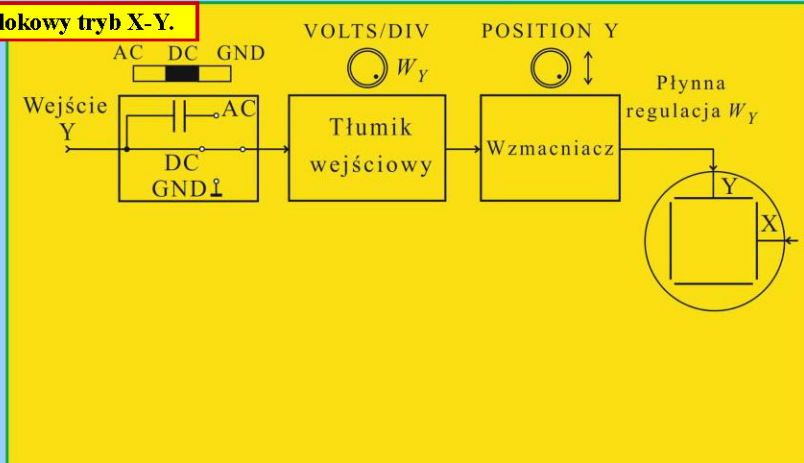


POMIARY SYGNAŁÓW ELEKTRYCZNYCH



Pomiary przesunięcia fazowego metodą figur Lissajous.

Schemat blokowy tryb X-Y.



Metrologia

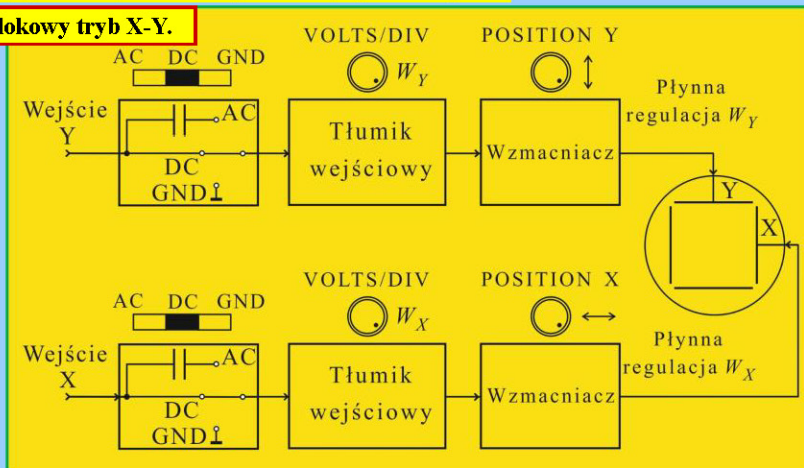


POMIARY SYGNAŁÓW ELEKTRYCZNYCH



Pomiary przesunięcia fazowego metodą figur Lissajous.

Schemat blokowy tryb X-Y.



Metrologia



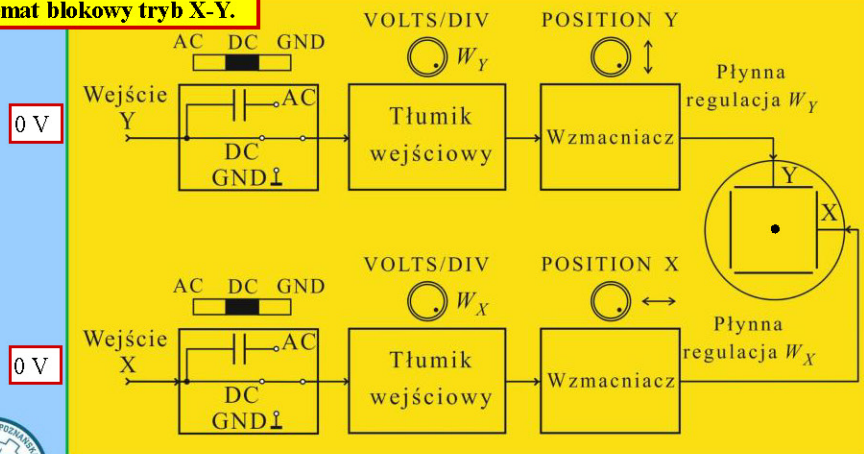


POMIARY SYGNAŁÓW ELEKTRYCZNYCH



Pomiary przesunięcia fazowego metodą figur Lissajous.

Schemat blokowy tryb X-Y.



Metrologia

27.03.2023

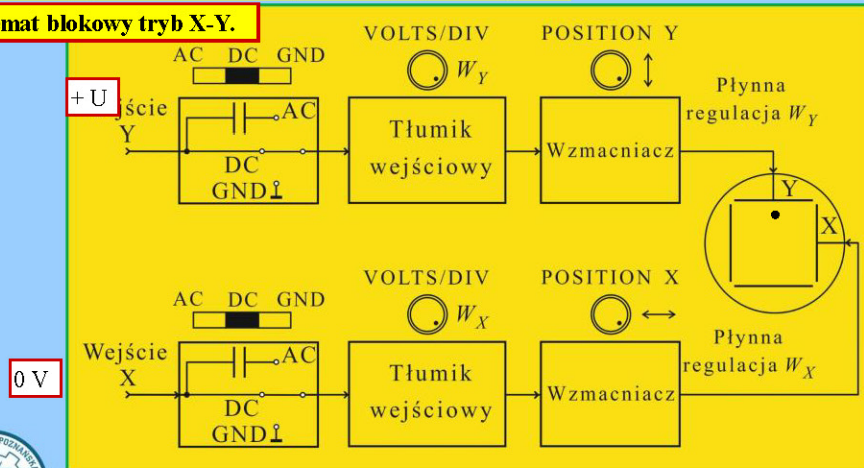


POMIARY SYGNAŁÓW ELEKTRYCZNYCH



Pomiary przesunięcia fazowego metodą figur Lissajous.

Schemat blokowy tryb X-Y.



Metrologia

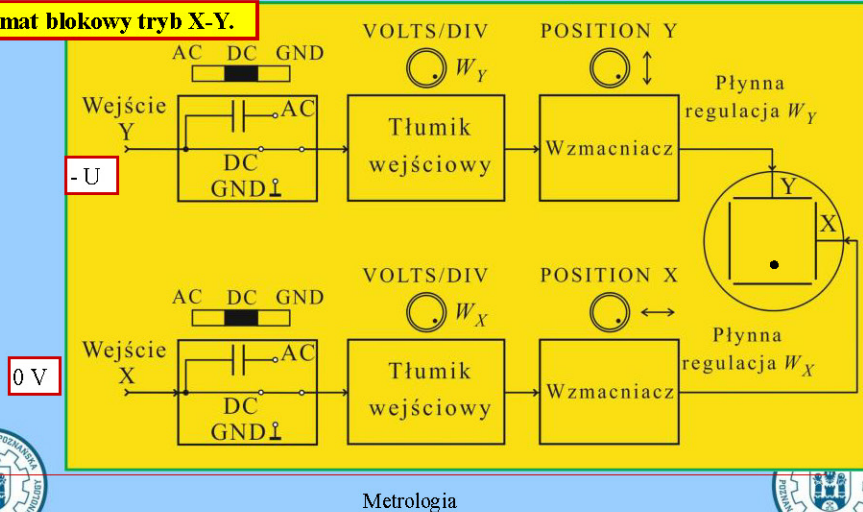


POMIARY SYGNAŁÓW ELEKTRYCZNYCH



Pomiary przesunięcia fazowego metodą figur Lissajous.

Schemat blokowy tryb X-Y.

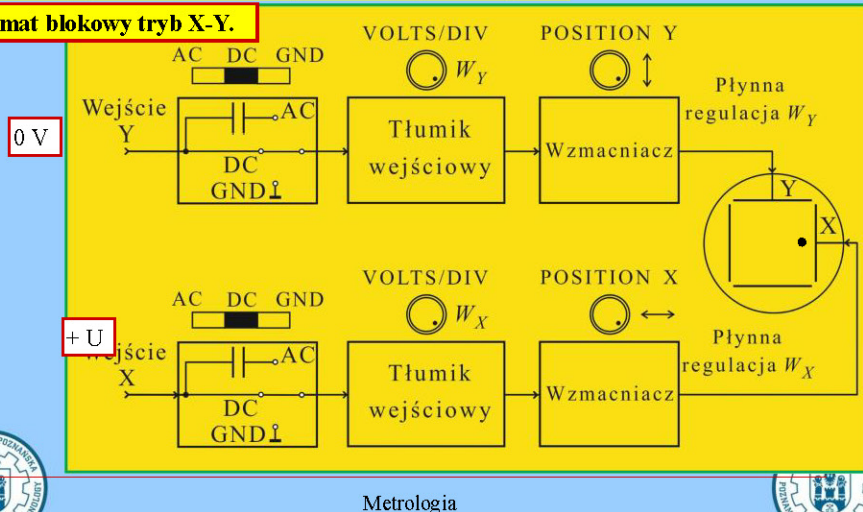


POMIARY SYGNAŁÓW ELEKTRYCZNYCH



Pomiary przesunięcia fazowego metodą figur Lissajous.

Schemat blokowy tryb X-Y.



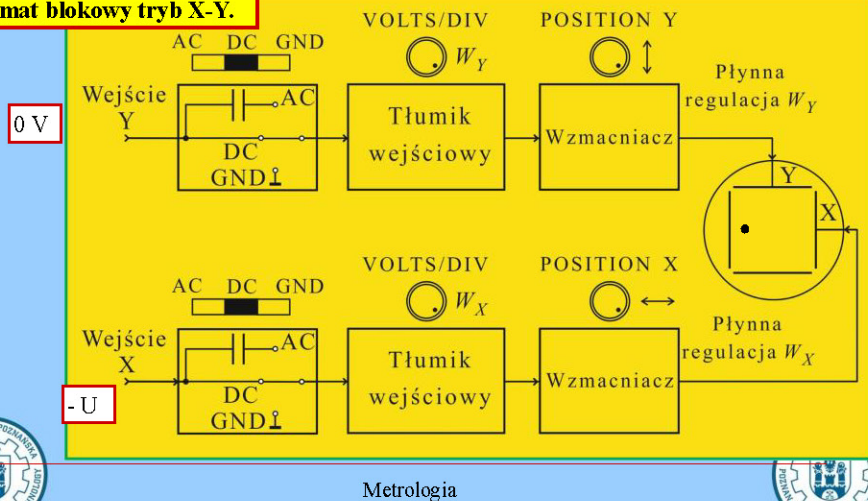


POMIARY SYGNAŁÓW ELEKTRYCZNYCH



Pomiary przesunięcia fazowego metodą figur Lissajous.

Schemat blokowy tryb X-Y.

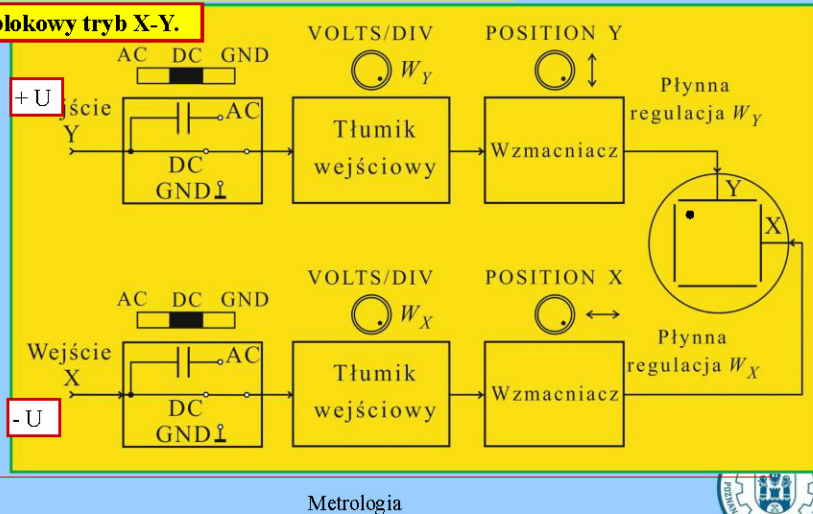


POMIARY SYGNAŁÓW ELEKTRYCZNYCH



Pomiary przesunięcia fazowego metodą figur Lissajous.

Schemat blokowy tryb X-Y.



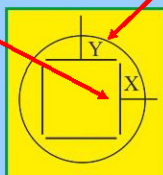


POMIARY SYGNAŁÓW ELEKTRYCZNYCH



X-Y mode

U_X – wejście X (CH1) – do płytek X



U_Y – wejście Y (CH2) – do płytek Y

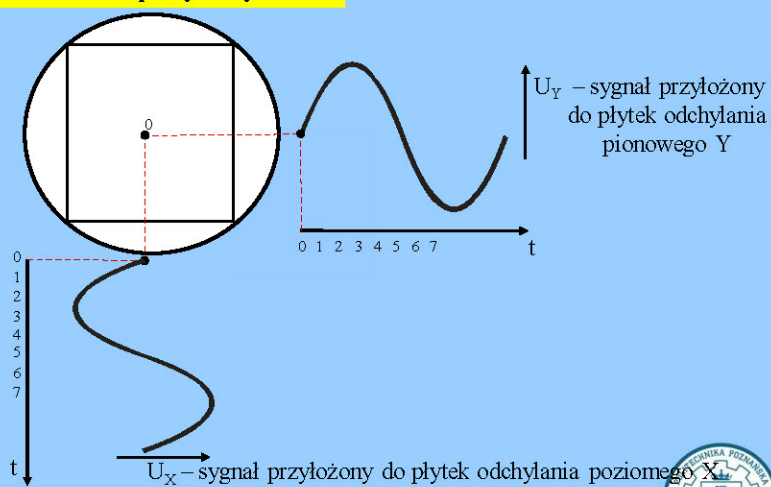
Metrologia



POMIARY SYGNAŁÓW ELEKTRYCZNYCH



Powstawanie obrazu dla pracy w trybie X-Y



Metrologia

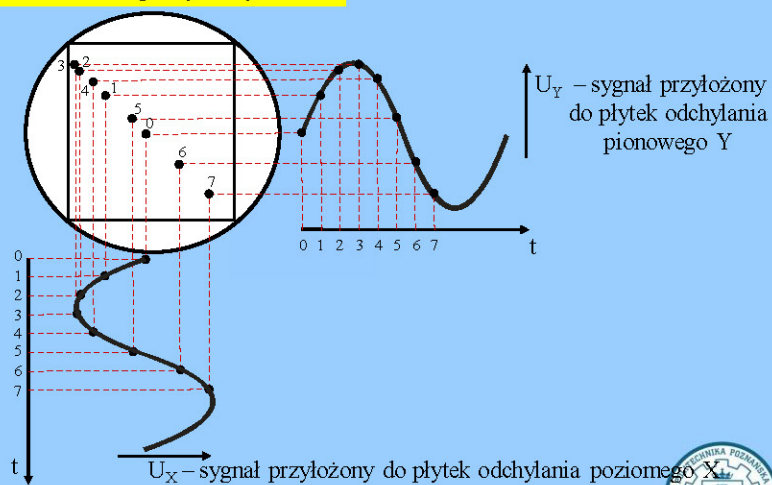




POMIARY SYGNAŁÓW ELEKTRYCZNYCH



Powstawanie obrazu dla pracy w trybie X-Y



Metrologia

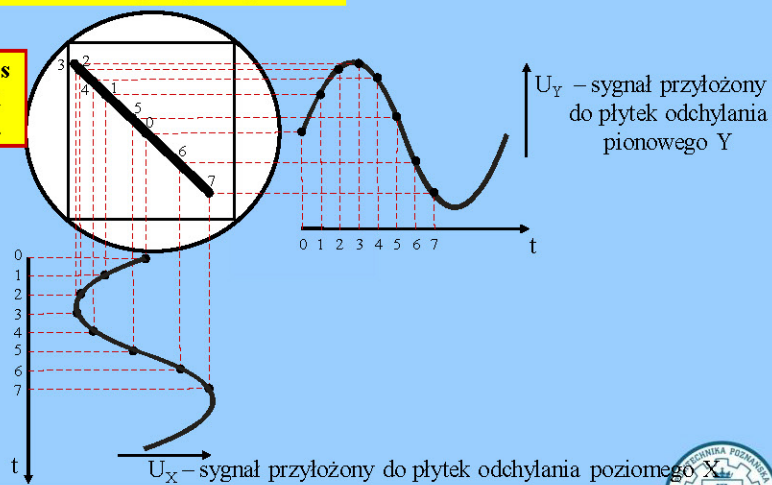


POMIARY SYGNAŁÓW ELEKTRYCZNYCH



Powstawanie obrazu dla pracy w trybie X-Y

Figura Lissajous dla przesunięcia fazowego 180° .



Metrologia





Przykład 4.4.

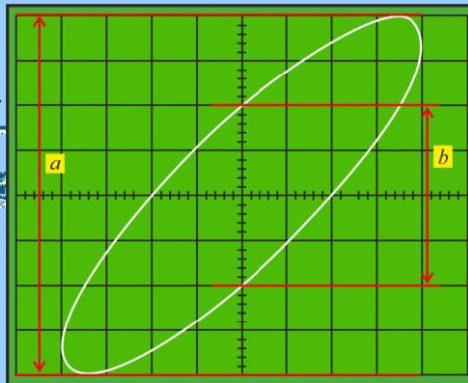
POMIARY SYGNAŁÓW ELEKTRYCZNYCH



Pomiary przesunięcia fazowego metodą figur Lissajous.

- 1) Przelączniki AC/DC dla CH1 i CH2 ustawiamy w pozycji AC.
- 2) Zmieniamy tryb pracy oscyloskopu na X-Y.
- 3) Odczytujemy długość odcinka a w działkach.
 $a = 8 \text{ DIV}$
- 4) Odczytujemy długość odcinka b w działkach.
 $b = 4 \text{ DIV}$
- 5) Obliczamy przesunięcie fazowe φ .

$$\varphi = \arcsin\left(\frac{b}{a}\right) = \arcsin\left(\frac{4}{8}\right) = 30^\circ$$



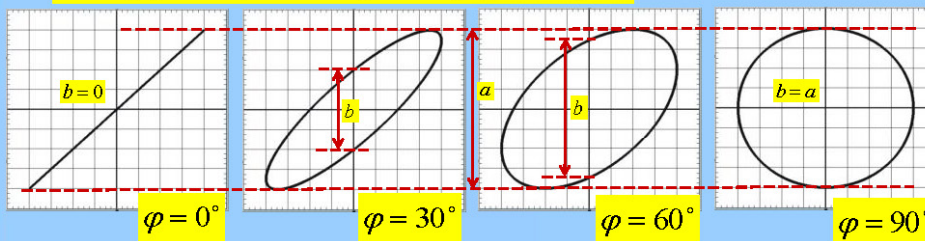
Metrologia



POMIARY SYGNAŁÓW ELEKTRYCZNYCH



Pomiary przesunięcia fazowego metodą figur Lissajous.



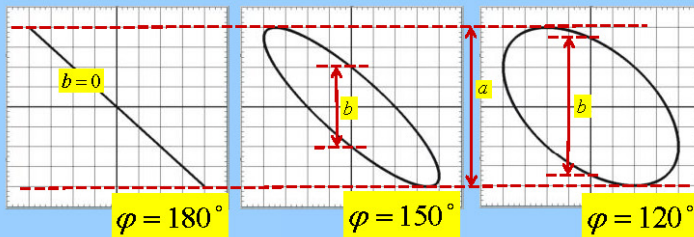
Oś duża elipsy przechodzi przez I i III ćwiartkę układu współrzędnych.

$$\varphi = \arcsin\left(\frac{b}{a}\right)$$



Metrologia



**Pomiary przesunięcia fazowego metodą figur Lissajous.**

Oś duża elipsy przechodzi przez II i IV ćwiartkę układu współrzędnych.

$$\varphi = 180^\circ - \arcsin\left(\frac{b}{a}\right)$$

**Przykład 4.5.****Pomiary przesunięcia fazowego metodą figur Lissajous.**

- 1) Przelączniki AC/DC dla CH1 i CH2 ustawiamy w pozycji AC.
- 2) Zmieniamy tryb pracy oscyloskopu na X-Y.
- 3) Odczytujemy długość odcinka a w działkach.
 $a = 8 \text{ DIV}$
- 4) Odczytujemy długość odcinka b w działkach.
 $b = 2 \text{ DIV}$
- 5) Obliczamy przesunięcie fazowe φ .

Ponieważ oś duża elipsy przechodzi przez II i IV ćwiartkę układu współrzędnych korzystamy ze wzoru:

$$\varphi = 180^\circ - \arcsin\left(\frac{b}{a}\right) = 180^\circ - \arcsin\left(\frac{2}{8}\right) = 165,52^\circ$$

