

Pomiary parametrów napięć i prądów przemiennych (AC)

1

Cel: Zapoznać się z podstawowymi metodami pomiaru parametrów napięć i prądów AC

- 1. Wstęp. Parametry sygnałów AC**
- 2. Analogowe elektromechaniczne mierniki napięć i prądów przemiennych**
- 3. Cyfrowe mierniki napięć i prądów przemiennych**
- 4. Podstawowe parametry cyfrowych mierników napięć i prądów przemiennych**
- 5. Problemy pomiaru wartości skutecznej AC**

2

1. Parametry sygnałów przemiennych

wartość składowej stałej – wartość średnia

$$X_0 = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t) dt$$

– wartość średnia wyprostowana (wartość średnia modułu sygnału)

$$X_{sw} = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} |x(t)| dt$$

– wartość średnio kwadratowa - wartość skuteczna sygnału

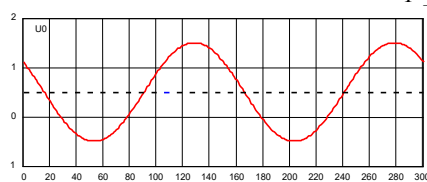
$$X_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x^2(t) dt}$$

3

1. Parametry sygnałów przemiennych

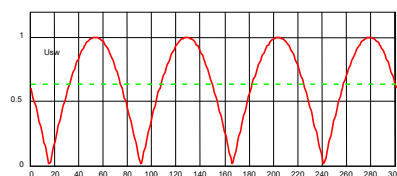
wartość składowej stałej – wartość średnia

$$X_0 = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t) dt$$



– wartość średnia wyprostowana (wartość średnia modułu sygnału)

$$X_{sw} = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} |x(t)| dt$$

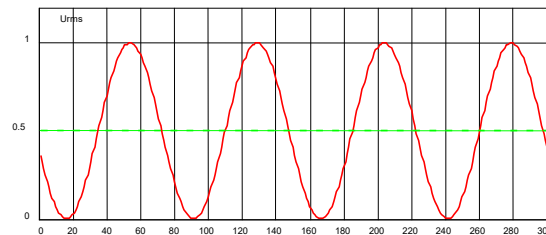


4

1. Parametry sygnałów przemiennych

– wartość średnio kwadratowa - wartość skuteczna sygnału

$$X_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x^2(t) dt}$$



5

1. Parametry sygnałów przemiennych

- Współczynnik kształtu

$$k_{ksz} = \frac{U_{TrueRMS}}{U_{mod}} = \frac{U}{U_{SW}}$$

- Wartość szczytowa (ang. peak) U_p

$$U_p = U_m = \max\{u(t)\} \quad \text{lub} \quad U_p = U_m = \max\{|u(t)|\}$$

- Wartość pomiędzy szczytowa (ang. peak-to-peak) U_{p-p}

$$U_{p-p} = \max\{u(t)\} - \min\{u(t)\}$$

- Współczynnik szczytu, amplitudy (ang. Crest-factor)

$$k_A = \frac{U_p}{U_{TrueRMS}} = \frac{U_m}{U}$$

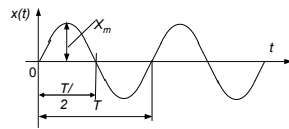
- Zawartość harmonicznnych

$$THD = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{U_{2-n}}{U} = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}}{U} = \sqrt{1 - \frac{U_1^2}{U^2}}$$

- Inne.

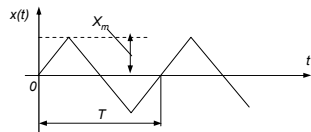
6

2. Parametry sygnałów przemiennych przykłady



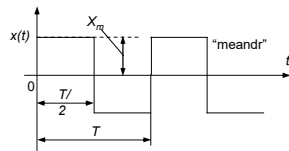
$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \quad k_A = \sqrt{2}$$

$$U_{sw} = \frac{2U_m}{\pi} \quad k_{ksz} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}}$$



$$U = \frac{U_m}{\sqrt{3}} \quad k_A = \sqrt{3}$$

$$U_{sw} = \frac{U_m}{2} \quad k_{ksz} = \frac{2}{\sqrt{3}}$$



$$U = U_m \quad k_A = 1$$

$$U_{sw} = U_m \quad k_{ksz} = 1$$

7

2. Analogowe amperomierze i woltomierze

Z pośród mierników analogowych do pomiaru napięć i prądów przemiennych najczęściej wykorzystują się:

Mierniki ME napięcia (prądu) AC z przetwornikiem termoelektrycznym

Mierniki ME napięcia (prądu) AC z prostownikiem

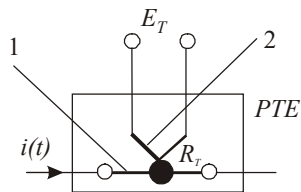
Mierniki z przetwornikiem elektromagnetycznym

Mierniki z przetwornikiem elektro- i ferro-dynamicznym

Mierniki z przetwornikiem elektrostatycznym

8

2.1. Amperomierz i woltomierz AC z przetwornikiem termoelektrycznym oraz ME



1- element grzewczy
2- termopara
 R_T – rezystancja elementu grzewczego

E_T - siła elektromotoryczna (SEM) na wyjściu przetwornika termoelektrycznego (PTE)

$$E_T = k_T \frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt = k_T I^2$$

k_T - współczynnik przetwarzania PTE

$$I = I_m / \sqrt{2} \quad \text{wartość skuteczna prądu}$$

Poprawne wskazanie wartości skutecznej TrueRMS

9

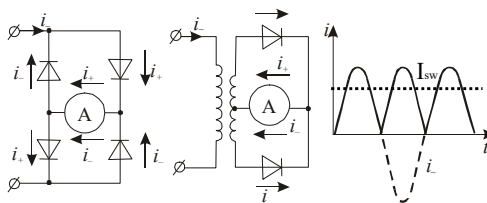
2.2. Amperomierze i woltomierze AC z prostownikami i przetwornikiem ME



I_{sw} – średnio-wyprostowana wartość prądu

$$I_{sw} = \frac{1}{T} \int_0^T |i(t)| dt$$

$$\alpha = \frac{BSm}{W} I_{sw} = S_I I_{sw}$$

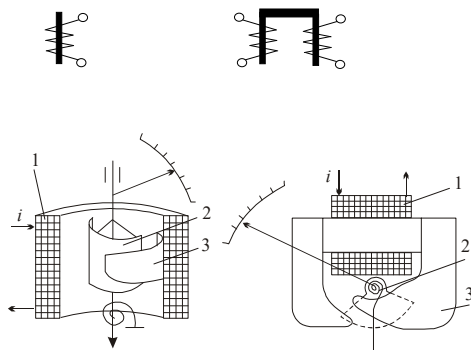


$$I_{RMS} = I = I_{sw} k_{k,s} \quad k_{k,s} = \frac{I_{RMS}}{I_{sw}} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \approx 1,11$$

$k_{k,s}$ - współczynnik kształtu sinusoidy

10

2.3. Amperomierze i woltomierze AC z przetwornikiem elektromagnetycznym (EM)



- 1 – nieruchoma cewka przetwornika
- 2- ruchomy element ferromagnetyczny
- 3 – rdzeń ferromagnetyczny

11

2.3. Mierniki elektromagnetyczne

Amperomierze elektromagnetyczne na prądy
10 mA- 30 A ,

Woltomierze – na napięcia : *1,5- 600 V .*

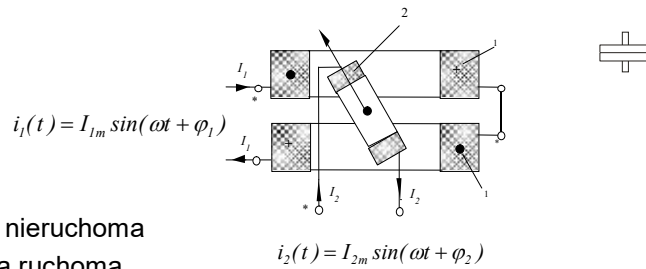
Nominalny prąd woltomierza: *30...100 mA*

Zakres częstotliwości *45...1500 Hz (5000 Hz).*

Klasa dokładności: *0,5; 1,0; 1,5; 2,5*

12

2.4. Amperomierze i woltomierze AC z przetwornikiem elektrodynamicznym (ED) i ferrodynamicznym (FD)

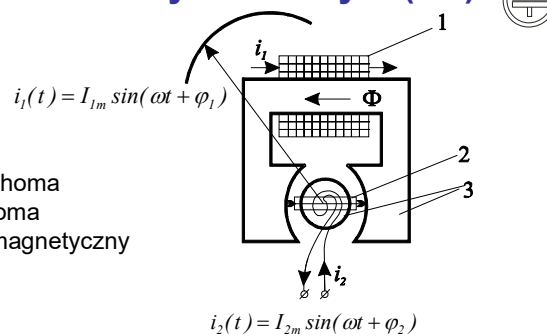


- 1- cewka nieruchoma
- 2 – cewka ruchoma

$$E = \frac{L_1 I_1^2 + L_2 I_2^2 + M_{1,2} \cdot I_1 I_2}{2} \quad M_{ob} = I_1 I_2 \frac{dM_{1,2}}{d\alpha} \quad \alpha = \frac{1}{k_{zwr}} \frac{dM_{1,2}}{d\alpha} I_1 I_2 \cos \varphi$$

13

2.4. Amperomierze i woltomierze AC z przetwornikiem elektrodynamicznym (ED) i ferrodynamicznym (FD)

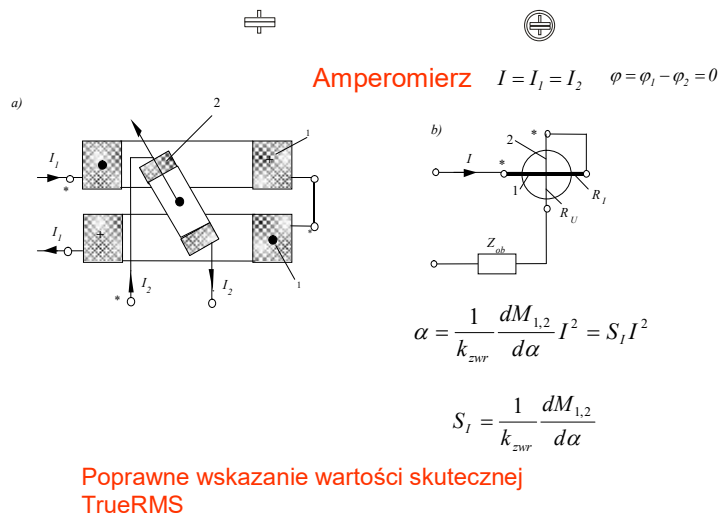


- 1- cewka nieruchoma
- 2 – cewka ruchoma
- 3 – rdzeń ferromagnetyczny

$$E = \frac{L_1 I_1^2 + L_2 I_2^2 + M_{1,2} \cdot I_1 I_2}{2} \quad M_{ob} = I_1 I_2 \frac{dM_{1,2}}{d\alpha} \quad \alpha = \frac{1}{k_{zwr}} \frac{dM_{1,2}}{d\alpha} I_1 I_2 \cos \varphi$$

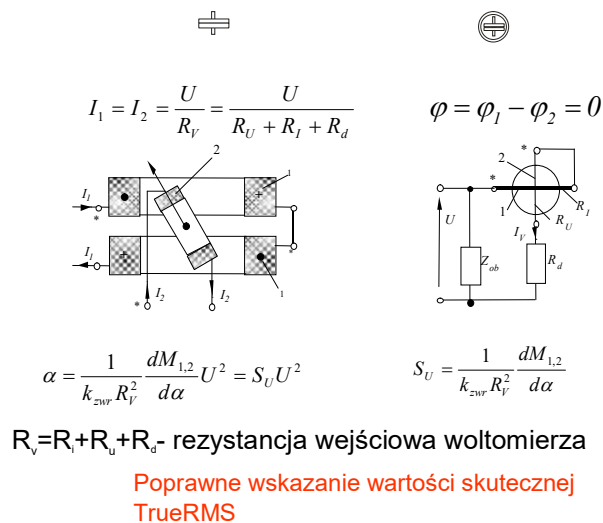
14

2.4. Amperomierz elektrodynamiczny (ED)



15

2.4. Woltomierz elektrodynamiczny (ED)



16

2.4. Mierniki elektrodynamiczne

Amperomierze elektrodynamiczne na prądy

10; 20; 25; 50; 100 mA; 0,2; 0,25; 0,5; 1; 2; 2,5; 5; 10 A ,

Woltomierze – na napięcia : 30; 75; 150; 300; 450; 600 V .

Nominalny zakres częstotliwości 45...65 Hz,

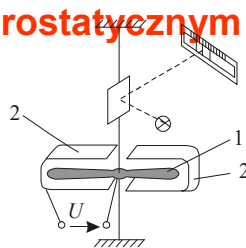
roboczy – do 500...10000 Hz.

Klasa dokładności: 0,1; 0,2; 0,5; 1,0

17

2.5. Woltomierze AC z przetwornikiem elektrostatycznym (ES)

$$E = \frac{1}{2} CU^2$$



$$\alpha = \frac{1}{2k_{zwr}} \frac{dC}{d\alpha} U^2 = S_U U^2$$

C – pojemność przetwornika – pojemność pomiędzy ruchomym (1) i nieruchomymi (2) elektrodami

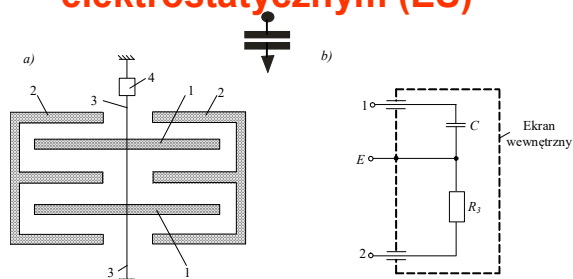
U – wartość napięcia pomiędzy tymi elektrodami

α – kąt pomiędzy ruchomym i nieruchomymi elektrodami (odchylenie ruchomej części)

Moment obrotowy $M_{ob} = \frac{dE}{d\alpha} = \frac{1}{2} U^2 \frac{dC}{d\alpha}$

kąt odchylenia ruchomej części $\alpha = \frac{1}{2k_{zwr}} \frac{dC}{d\alpha} U^2 = S_U U^2$ $S_U = \frac{1}{2k_{zwr}} \frac{dC}{d\alpha}$

2.5. Woltomierze AC z przetwornikiem elektrostatycznym (ES)



- 1 - ruchome elektrody
- 2 - nieruchome elektrody
- 3 – zawierzenie (sprężyste – moment zwrotny)
- 4- lusterko
- R_3 –dodatkowy rezystor

Poprawne wskazanie wartości skutecznej
TrueRMS

19

2.5. Woltomierze elektrostatyczne

Woltomierze – na napięcia : 30 V - 300 kV .

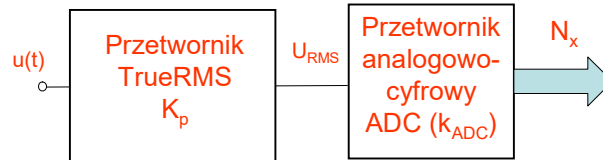
Impedancja wejściowa $10^{10} \dots 10^{14}$ Ohm

Zakres częstotliwości 20Hz...35 MHz.

Klasa dokładności: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5

20

3. Mierniki cyfrowe sygnałów AC



Schemat układu cyfrowego pomiaru TrueRMS
metoda 2 stopniowa: analogowa i cyfrowa

21

3. Mierniki cyfrowe sygnałów AC

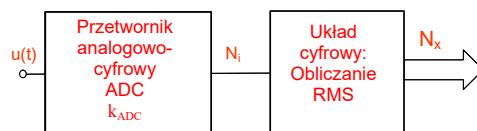
2- metoda cyfrowa – wartości chwilowe $u(t_i)$ sygnału wejściowego są przetwarzane w wartości cyfrowe N_i

(t_i – momenty czasowe pobierania próbek sygnału),

$$N_i = k_{ADC} u(t_i)$$

a następnie jest obliczana wartość skuteczna

$$N_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_i^2} = k_{ADC} U_{RMS}$$



Schemat układu cyfrowego pomiaru TrueRMS
metoda cyfrowa

22

5. Praktyczne problemy pomiaru wartości skutecznej miernikami dokładnymi.

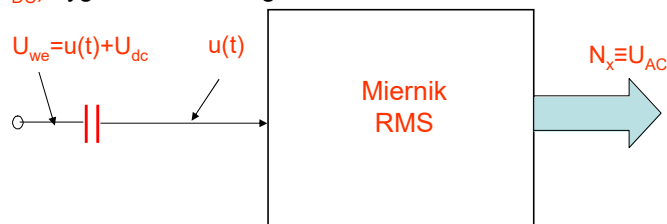
Istnieje kilku problemów podczas pomiarów wartości skutecznej napięcia przemiennego.

1. Problem „odcinania” składowej stałej.
2. Problem związany z przetwornikiem wartości skutecznej – wykorzystanie prostownika liniowego
3. Problem związany z kształtem i pasmem częstotliwościowym.

23

5.1. Problem „odcinania” składowej stałej.

Wielu mierników mierze wartość skuteczną **tylko składowej przemiennnej** (U_{AC}) ponieważ układy wejściowe miernika „odcinają” składową stałą (U_{DC}) sygnału mierzonego.



Wiadomo jest, że wartość skuteczna całego sygnału równa się

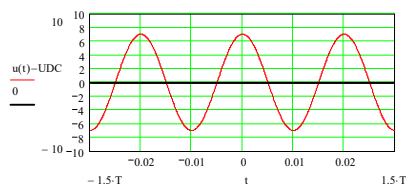
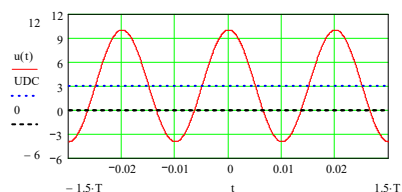
$$U_{RMS,AC+DC} = \sqrt{U_{DC}^2 + U_{AC}^2} = \sqrt{U_{DC}^2 + \frac{U_m^2}{2}}$$

Natomiast w takim mierniku stała składowa jest eliminowana

$$U_{RMS,wsk} = U_{AC}$$

24

5.1. Problem „odcinania” składowej stałej



$$U_{RMS, AC+DC} = \sqrt{U_{DC}^2 + U_{AC}^2} = \sqrt{U_{DC}^2 + \frac{U_m^2}{2}}$$

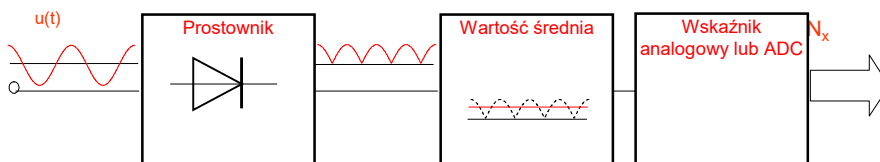
$$U_{RMS, wsk} = U_{AC}$$

25

5.2. Problem związany z przetwornikiem wartości skutecznej – wykorzystanie prostownika liniowego.

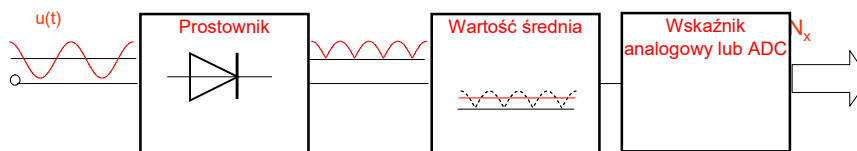
W niektórych woltmierzach AC, zwłaszcza tańszych oraz starszej generacji, **niej jest wykorzystywany kwadrator sygnału**, ponieważ jest to element stosunkowo złożony, a dokładny jest stosunkowo drogi. W takich miernikach wykorzystuje się **uproszczoną metodę pomiaru wartości skutecznej**:

Napięcie mierzone jest poprzednio wyprostowane i następnie mierzona jest wartość średnia tego wyprostowanego napięcia



26

2. Problem związany z przetwornikiem wartości skutecznej – wykorzystanie prostownika liniowego.



Wskaźanie takiego miernika równa się wartości średniej wyprostowanej

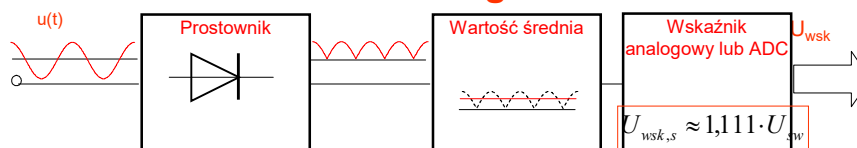
$$U_{sw} = \frac{1}{T} \int_0^T |u(t)| dt = \frac{1}{T} \int_0^T U_m \cos\left(2\pi \frac{t}{T}\right) dt = \frac{2 \cdot U_m}{\pi}$$

żeby miernik wskazywał wartość skuteczną zamiast wartości średniej wyprostowanej

$$U_{wsk,s} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} U_{sw} \approx 1,111 \cdot U_{sw} = U_{RMS,s}$$

27

2. Problem związany z przetwornikiem wartości skutecznej – wykorzystanie prostownika liniowego.



Współczynnik, którego wartość równa się 1,111, nazywa się współczynnikiem kształtu sinusoidy, i jego wartość wyznaczana jest jako stosunek wartości skutecznej do wartości średniej wyprostowanej napięcia

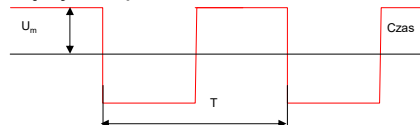
$$k_{ksz,s} = \frac{U_{RMS,s}}{U_{sw,s}} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \approx 1,111$$

Jeśli jest mierzona wartość skuteczna napięcia, którego **kształt odbiega od kształtu sinusoidy**, wtedy wskazanie takiego miernika będzie się różnić od wartości skutecznej sygnału

28

2. Problem związany z przetwornikiem wartości skutecznej – wykorzystanie prostownika liniowego.

Sygnal prostokątny: amplituda U_m



$$U_{wsk,s} \approx 1,111 \cdot U_{sw}$$

wartość skuteczna równa się wartości amplitudy

$$U_{RMS,p} = U_m$$

wartość średnia wyprostowana też równa się amplitudzie

$$U_{sw,p} = U_m$$

Dlatego wskazanie miernika z układem prostowniczym równa się

$$U_{wsk,p} = 1,111 \cdot U_{sw,p} = 1,111 \cdot U_m = 1,111 \cdot U_{RMS,p}$$

ono jest o $0,111 \cdot U_{RMS}$ (11%) większe od wartości rzeczywistej