

# **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

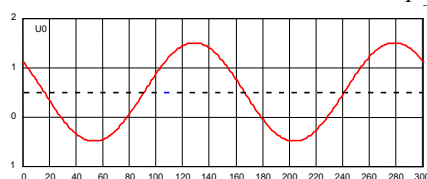
$$X_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x^2(t) dt}$$

3

## 1. Parametry sygnałów przemiennych

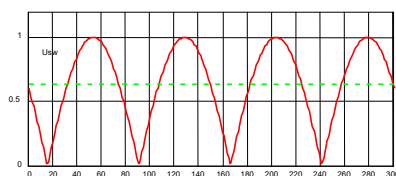
wartość składowej stałej – wartość średnia

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



– wartość średnia wyprostowana (wartość średnia modułu sygnału)

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

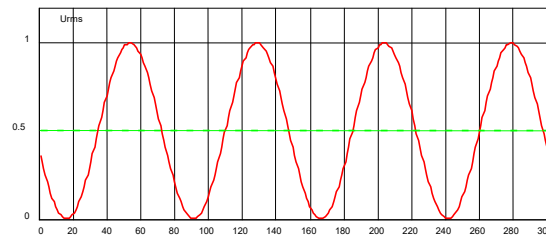


4

# 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)  $U_p$

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

- 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)

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

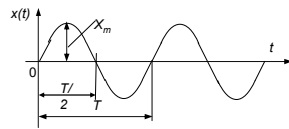
- Zawartość harmoniczných

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

- Inne.

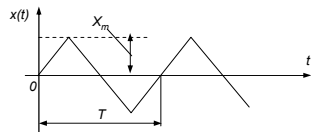
6

## 2. Parametry sygnałów przemiennych przykłady



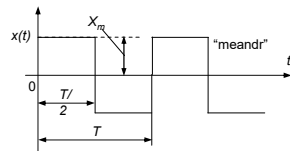
$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \quad k_A = \sqrt{2} \approx 1.4142$$

$$U_{sw} = \frac{2U_m}{\pi} \quad k_{k_{sz}} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \approx 1.111$$



$$U = \frac{U_m}{\sqrt{3}} \quad k_A = \sqrt{3} \approx 1.7321$$

$$U_{sw} = \frac{U_m}{2} \quad k_{k_{sz}} = \frac{2}{\sqrt{3}} \approx 1.1547$$



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

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

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**

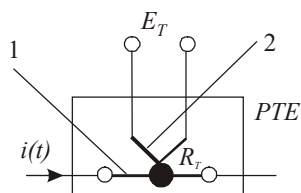
**Mierniki z przetwornikiem elektromagnetycznym**

**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

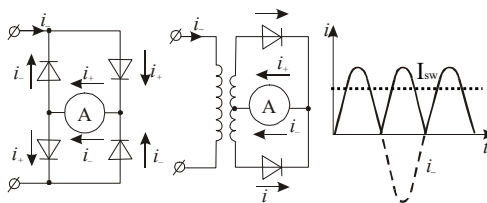
## 2.2. Amperomierze i woltomierze AC z prostownikami i przetwornikiem ME



$I_{sw}$  – średnio-wyprostowana wartość prądu

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

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

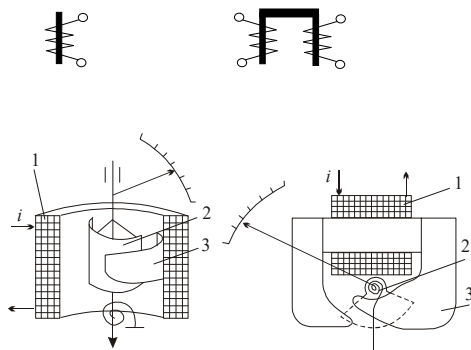


$$I_{RMS} = I = I_{sw} k_{k,s} \quad k_{k,s} = \frac{I_{RMS}}{I_{sw}} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \approx 1.111$$

$k_{k,s}$  - 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  
 $10\text{ mA} - 30\text{ A}$ ,

**Woltomierze** – na napięcia :  $1,5 - 600\text{ V}$  .

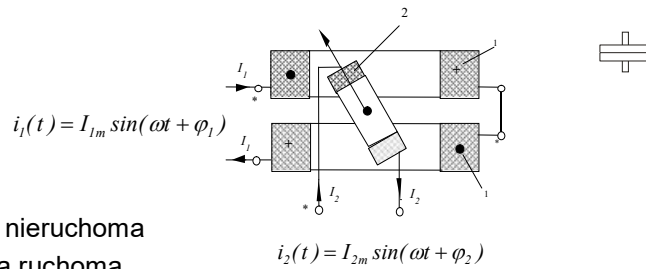
Nominalny prąd woltomierza:  $30 \dots 100\text{ mA}$

Zakres częstotliwości  $45 \dots 1500\text{ Hz}$  ( $5000\text{ Hz}$ ).

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

12

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

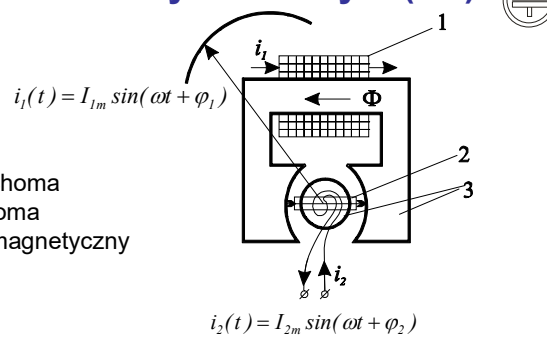


- 1- cewka nieruchoma
- 2 – cewka ruchoma

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

13

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

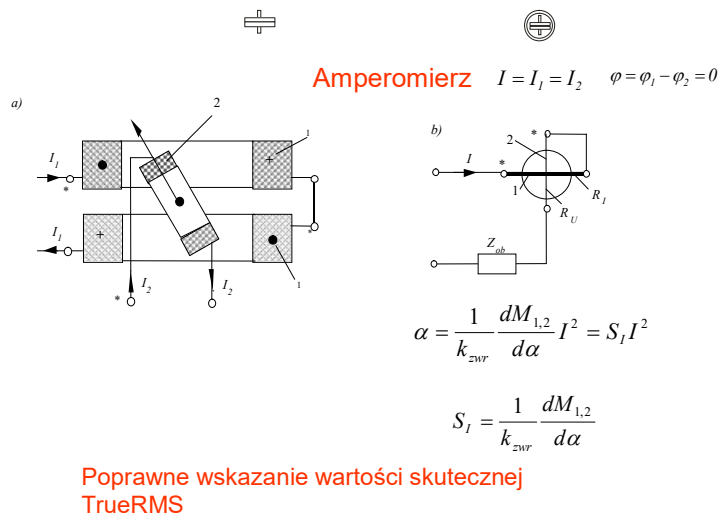


- 1- cewka nieruchoma
- 2 – cewka ruchoma
- 3 – rdzeń ferromagnetyczny

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

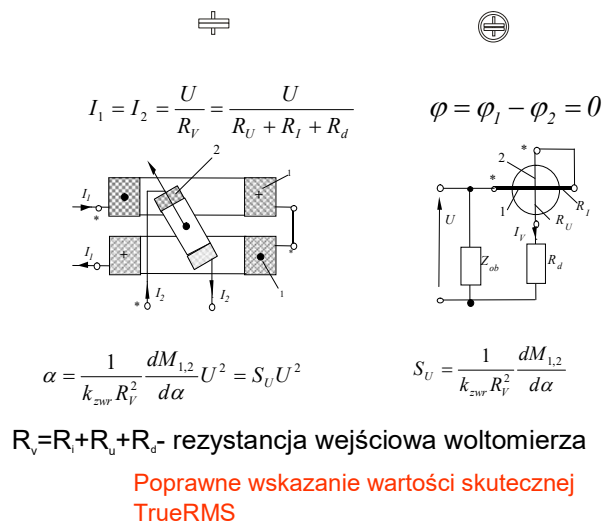
14

## 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,

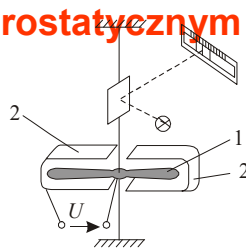
roboczy – do 500...10000 Hz.

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

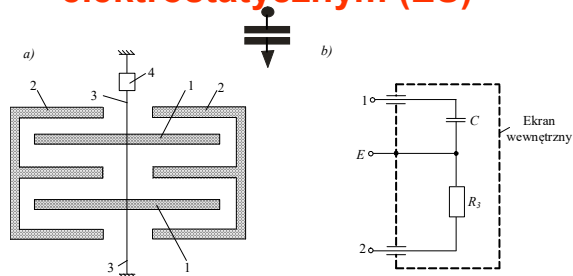
**U** – wartość napięcia pomiędzy tymi elektrodami

**$\alpha$**  – 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 .

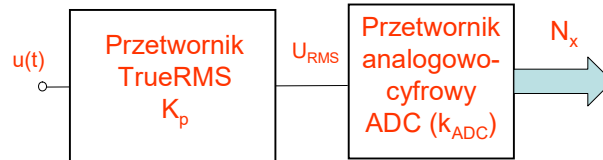
Impedancja wejściowa  $10^{10} \dots 10^{14}$  Ohm

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

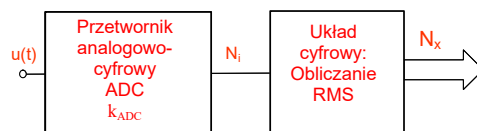
2- metoda cyfrowa – wartości chwilowe  $u(t_i)$  sygnału wejściowego są przetwarzane w wartości cyfrowe  $N_i$

( $t_i$  – 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.

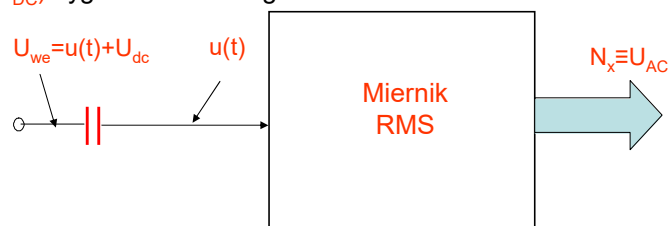
Istnieje kilku problemów podczas pomiarów wartości skutecznej napięcia przemiennego.

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

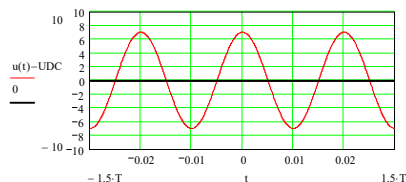
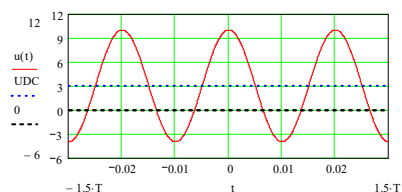
$$U_{RMS,AC+DC} = \sqrt{U_{DC}^2 + U_{AC}^2} = \sqrt{U_{DC}^2 + \frac{U_m^2}{2}}$$

Natomiast w takim mierniku stała składowa jest eliminowana

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

24

## 5.1. Problem „odcinania” składowej stałej



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

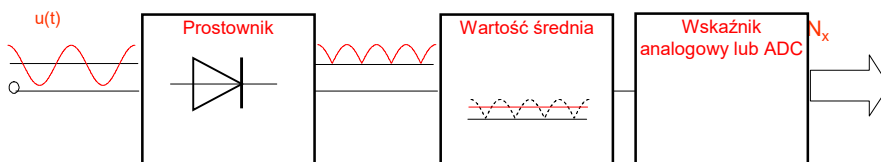
$$U_{RMS, wsk} = U_{AC}$$

25

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

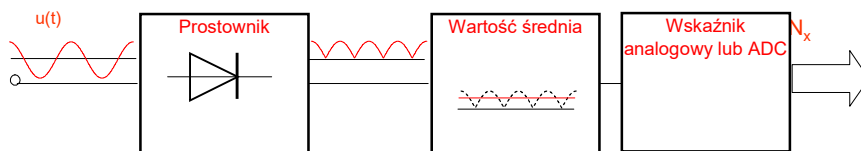
W niektórych woltmierzach AC, zwłaszcza tańszych oraz starszej generacji, **niej jest wykorzystywany kwadrator sygnału**, ponieważ jest to element stosunkowo złożony, a dokładny jest stosunkowo drogi. W takich miernikach wykorzystuje się **uproszczoną metodę pomiaru wartości skutecznej**:

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.



Wskaźnik takiego miernika równa się wartości średniej wyprostowanej

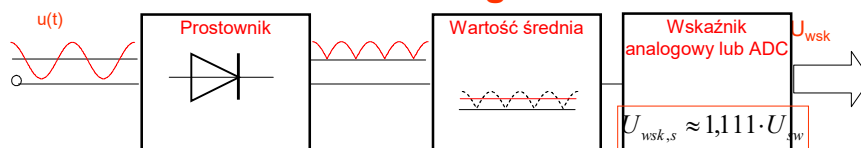
$$U_{sw} = \frac{1}{T} \int_0^T |u(t)| dt = \frac{1}{T} \int_0^T U_m \cos\left(2\pi \frac{t}{T}\right) dt = \frac{2 \cdot U_m}{\pi}$$

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

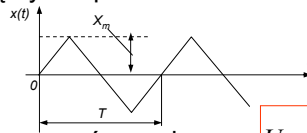
$$k_{ksz,s} = \frac{U_{RMS,s}}{U_{sw,s}} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \approx 1,111$$

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 trójkątny: amplituda  $U_m$



$$U_{wsk,s} \approx U_{sw} \cdot 1.111 = \frac{U_m}{2} \cdot 1.111$$

wartość skuteczna równa się

$$U_{RMS,T} = \frac{U_m}{\sqrt{3}} \approx 0.5774 \cdot U_m$$

wartość średnia wyprostowana równa się połowie amplitudzie

$$U_{sw,T} = \frac{U_m}{2}$$

Dlatego wskazanie miernika z układem prostowniczym równa się

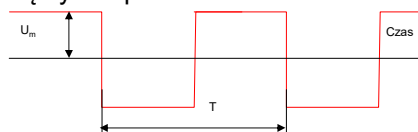
$$U_{wsk,T} = 1,111 \cdot U_{sw,T} = 1,111 \cdot \frac{U_m}{2} = 0,5554 \cdot U_m \approx 0,9619 \cdot U_{RMS}$$

ono jest o  $1-0,962=0,038 \cdot U_{RMS}$  (-3.8%) mniejsze od wartości rzeczywistej

29

## 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

30