

**Podstawy Metrologii 2022**  
**Przykładowe zadania do kolokwium 2**

**1) Pomiar napięcia i prądu DC**

1A) W obwodzie elektrycznym, utworzonym szeregowym połączeniem dwóch rezystorów o rezystancji  $R_1=15M\Omega$  oraz  $R_2=5M\Omega$  (rezystancyjnym dzielnikiem napięcia), zasilanych od źródła o wartości napięcia  $U_{zas}=15V$  (rezystancja wyjściowa zasilacza znikoma  $R_{zas}\approx 0$ ), (Rys. 1, a), na rezystorze  $R_1$  mierzone jest napięcie. W tym celu wykorzystany woltomierz (Rys. 1, b) o rezystancji wejściowej  $R_V=10M\Omega$  1) Oszacować mierzone napięcie  $U_x$  (do włączenia woltmierz), 2) wskazać woltmierz  $U_V$  oraz wartość 3) systematycznego błędu bezwzględnego  $\Delta_{RV}$  i 4) systematycznego błędu względnego  $\delta_{RV}$  spowodowanych ograniczoną wartością rezystancji wejściowej woltmierz.

*Rozwiązanie*

1) Do włączenia woltmierz (Rys. 1, a) napięcie wyjściowe (na rezystorze  $R_1$ ):

$$U_x = U_1 = U_{zas} \frac{R_1}{R_1 + R_2} = 15V \frac{15M\Omega}{15M\Omega + 5M\Omega} = 11.25V$$

2a) Po dołączeniu woltmierz z rezystancją wejściową  $R_V$  równolegle do rezystora  $R_1$  (Rys. 1, b) wypadkowa rezystancja jest równa:

$$R_{1-V} = \frac{R_1 R_V}{R_1 + R_V} = \frac{15M\Omega \cdot 10M\Omega}{15M\Omega + 10M\Omega} = 6M\Omega$$

2b) Dlatego po włączeniu woltmierz jego wskazanie zmniejszy się:

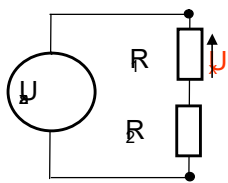
$$U_V = U_{1-V} = U_{zas} \frac{R_{1-V}}{R_{1-V} + R_2} = 15V \frac{6M\Omega}{6M\Omega + 5M\Omega} = 8.1818V$$

3) Błąd bezwzględny systematyczny wskazania woltmierz, spowodowany ograniczoną wartością jego rezystancji wejściowej:

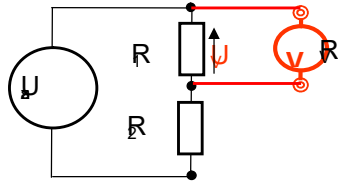
$$\Delta U_{RV} = U_V - U_x = 8.1818V - 11.25V = -3.068V$$

4) Błąd względny systematyczny wskazania woltmierz:

$$\delta_{RV} = \frac{\Delta U_{RV}}{U_x} 100\% = \frac{-3.068V}{11.25V} 100\% \approx -27.3\%$$



Rys. 1, a



Rys. 1, b

1. B) W obwodzie elektrycznym, utworzonym rezystancyjnym szeregowym połączeniem dwóch rezystorów o nieznanych wartościach rezystancji  $R_1$  oraz  $R_2$ , zasilanych od źródła o nieznanej wartości napięcia  $U_{zas}$  (rezystancja wyjściowa zasilacza znikoma  $R_{zas}\approx 0$ ), na rezystorze  $R_1$  (lub  $R_2$ ) mierzone jest napięcie. W tym celu wykorzystany woltmierz (Rys. 2, a) o rezystancji wejściowej  $R_V=1M\Omega$ , którego wskazanie  $U_V=6.420V$ . W celu korekcji systematycznego błędu wyniku pomiaru spowodowanego wpływem ograniczonej wartości rezystancji woltmierz, równolegle do niego został podłączony drugi woltmierz (Rys. 2, b) o rezystancji  $R_{V2}=2M\Omega$  (lub dodatkowy rezystor o rezystancji  $R_3=2M\Omega$ ). Po podłączeniu drugiego woltmierz wskazanie

pierwszego woltmierz zmniejszyło się i wynosi  $U_{V12}=5.825V$  1) Oszacować skorygowaną wartość wyniku pomiaru napięcia DC w obwodzie elektrycznym, 2) wartość systematycznego błędu bezwzględnego pierwszego wskazania  $\Delta_{V1}$  i 3) wartość systematycznego względnego błędu  $\delta_{V1}$ .

*Rozwiązanie*

Skorygowana wartość wyniku pomiaru napięcia

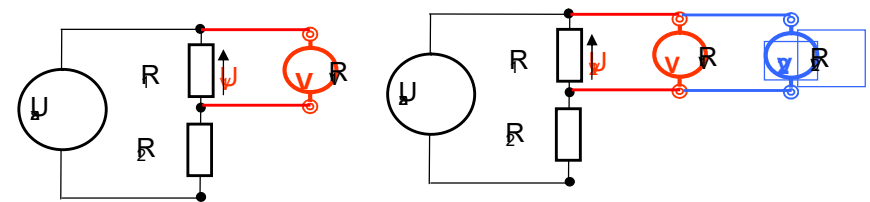
$$U_{x, kor} = U_{V1} \frac{R_{V1}/R_{V2}}{1 + R_{V1}/R_{V2} - U_{V1}/U_{V12}}$$

1a) Według zadania stosunek rezystancji obydwu woltmierz:  $R_{V1}/R_{V2} = 1M\Omega/2M\Omega = 0.5$

1b) Według obydwu wskazań woltmierz, stosunek napięć:  $U_{V1}/U_{V12} = 6.420V/5.825V = 1.1021$

1c) Skorygowana wartość wyniku pomiaru napięcia

$$U_{x, kor} = 6.420V \frac{0.5}{1 + 0.5 - 1.1021} = 8.0674V$$



Rys. 2, a

Rys. 2, b

2) Błąd bezwzględny systematyczny pierwszego wskazania woltmierz

$$\Delta U_{V1} = U_{V1} - U_{kor} = 6.420V - 8.0674V = -1.6474V$$

3) Błąd względny systematyczny wskazania woltmierz

$$\delta_{U_V} = \frac{\Delta U_{V1}}{U_{kor}} 100\% = \frac{-1.6474V}{8.0674V} 100\% \approx -20.4\%$$

1. C) W obwodzie elektrycznym, utworzonym podłączeniem do zasilacza o napięciu zasilania  $U_{zas}=1.5V$  (rezystancja wyjściowa zasilacza znikoma  $R_{zas}\approx 0$ ) rezystora o wartości rezystancji  $R_1=1\Omega$ , mierzone jest prąd mierzonego rezystancji wejściowej  $R_A=1\Omega$ . 1) Wyznaczyć wartość prądu  $I_x$  (do włączenia mierzonego rezystora), 2) wskazanie mierzonego prądu  $I_A$  oraz wartość systematycznego błędu 3) bezwzględnego  $\Delta_{RA}$  i 4) względnego błędu  $\delta_{RA}$  spowodowanego ograniczoną wartością rezystancji wejściowej mierzonego rezystora.

*Rozwiązanie*

1) Do włączenia mierzonego prądu w obwodzie:

$$I_x = \frac{U_{zas}}{R_1} = \frac{1.5V}{30\Omega} = 0.05A = 50mA$$

2a) Po dołączeniu szeregowo mierzonego rezystora z rezystancją wejściową  $R_A$  rezystancja obwodu powiększy się o wartość jego rezystancji, tj. systematyczna rezystancja obwodu jest równa:

$$R_{1-A} = R_1 + R_A = 30\Omega + 1\Omega = 31\Omega$$

2b) Dlatego po włączeniu mierzonego rezystora jego wskazanie zmniejszy się i wynosi:

$$I_A = \frac{U_{zas}}{R_{1-A}} = \frac{1.5V}{31\Omega} = 0.04839A = 48.39mA$$

3) Błąd bezwzględny systematyczny wskazania mierzonego prądu spowodowanego ograniczoną wartością jego rezystancji wejściowej:

$$\Delta I_{RA} = I_A - I_x = 48.39 \text{ mA} - 50 \text{ mA} = -1.61 \text{ mA}$$

4) Błąd względny systemu atycznego wskazańa mierzona

$$\delta_{RA} = \frac{\Delta I_{RA}}{I_x} 100\% = \frac{-1.61 \text{ mA}}{50 \text{ mA}} 100\% \approx -3.23\%$$

1. D) W obwodzie elektrycznym, utworzonym podłączeniem do zasilacza o nieznannej wartości napięcia zasilania  $U_{zas}$  (rezystancja wyjściowa zasilacza znikoma  $R_{zas} \approx 0$ ) rezystora o nieznannej wartości rezystancji  $R_x$ , mierzony jest prąd mierzony o rezystancji wejściowej  $R_A = 0.5 \Omega$ , którego wskazanie  $I_{A1} = 22.43 \text{ mA}$  celu korekcji systematycznego błędu wyniki pomiaru spowodowanego wpływem ograniczonej wartości rezystancji mierzona, szeregowo do niego został podłączony drugi mierzony rezystancji  $R_{A2} = 0.75 \Omega$  (lub dodatkowy rezystor o rezystancji  $R_0 = 0.75 \Omega$ ) Po podłączeniu dodatkowego mierzona (rezystora) jego wskazanie zmniejszyło się i wynosi  $I_{A12} = 19.75 \text{ mA}$  szacować skorygowaną wartość wyniku pomiaru prądu, oraz 2) wartość systemu atycznego błędu bez względnego pier wszego  $\Delta_{A1}$  i 3) wartość systemu atycznego względnego błędu  $\delta_{A1}$  wskazańa mierzona.

Rozwiązanie:

Skorygowana wartość wyniku pomiaru prądu:

$$I_{x, kor} = I_{A1} \frac{R_{A1}/R_{A2}}{1 + R_{A1}/R_{A2} - I_{A1}/I_{A12}}$$

1a) Według zadania a stosunek rezystancji obydwu mierzona:  $R_{A1}/R_{A2} = 0.5\Omega/0.75\Omega = \frac{2}{3}$

1b) Według obydwu wskazań mierzona, stosunek prądów  $I_{A1}/I_{A12} = 22.43 \text{ mA}/19.75 \text{ mA} = 1.1361$

1c) Skorygowana wartość wyniku pomiaru prądu

$$I_{x, kor} = 22.43 \text{ mA} \frac{2/3}{1 + 2/3 - 1.1361} = 25.532 \text{ mA}$$

2) Błąd bez względnego systemu atycznego pier wszego wskazańa mierzona:

$$\Delta I_{A1} = I_{A1} - U_{x, kor} = 22.43 \text{ mA} - 25.532 \text{ mA} = -3.102 \text{ mA}$$

3) Błąd względny systemu atycznego wskazańa mierzona:

$$\delta_{I_{A1}} = \frac{\Delta I_{A1}}{I_{x, kor}} 100\% = \frac{-3.102 \text{ mA}}{25.532 \text{ mA}} 100\% \approx -12.15\%$$

## 2) Pomiar rezystancji na prądzie stałym

2. A) Rezystancja około  $R_x \approx 2.5 \Omega$  mierzona jestm metodą techniczną: prąd mierzony i wskazańa mierzona  $I_A = 78.25 \text{ mA}$  Rezystancja mierzona  $R_A = 0.1 \Omega$ , a napięcie - woltmierz: wskazańa  $U_V = 197.5 \text{ mV}$  Rezystancja  $R_V = 1 \text{ M}\Omega$ .

- 1) Dla zadanych wskazań mierzona i pier wszego rezystancji  $R_x$
- 2) Dobrac metodę pomiaru: (a) poprawnego pomiaru prądu lub (b) napięcia, która zapewni najmniejszy błąd systemu atycznego wyniku pomiaru rezystancji.
- 3) Oszacować nieskorygowany względny błąd mierzona i pier wszego rezystancji spowodowany rezystancjami wejściowymi mierzona i pier wszego w obwodzie.

Rozwiązanie:

1) Dla zadanych wskazań mierzona i pier wszego rezystancji:

$$R_{pom} = R_{meas} = \frac{U_V}{I_A} = \frac{197.5 \text{ mV}}{78.25 \text{ mA}} = 2.524 \Omega$$

2) Dla danych wartości rezystancji mierzona i pier wszego przybliżona wartość graniczna rezystancji

$$R_{gr} \approx \sqrt{R_V \cdot R_A} = \sqrt{1 \cdot 10^6 \Omega \cdot 0.1 \Omega} = 316 \Omega$$

Ponieważ  $R_{pom} \approx 2.524 \Omega < 316 \Omega = R_{gr}$ , dlatego mierzona rezystancja jest „mała” i należy wykorzystać metodę poprawnego pomiaru napięcia.

3a) W metodzie poprawnego pomiaru prądu wynik pomiaru  $R_{pom} = R_x + R_A$ , dlatego względny błąd mierzona i pier wszego rezystancji spowodowany rezystancjami mierzona i pier wszego jest równy:

$$\delta_{mA} = \frac{R_A}{R_x} 100\% \approx \frac{0.1 \Omega}{2.534 \Omega} 100\% \approx 3.96\%$$

3b) W metodzie poprawnego pomiaru napięcia mierzona rezystancję równoległego połączenia rezystancji, tj. wynik pomiaru  $R_{pom} = \frac{R_x R_V}{R_x + R_V}$ , dlatego względny błąd mierzona i pier wszego rezultatu pomiaru

rezystancji spowodowany rezystancjami mierzona i pier wszego jest równy:

$$\delta_{mV} = \frac{R_{pom} - R_x}{R_x} 100\% = \frac{-R_x}{R_x + R_V} 100\% \approx -\frac{2.534 \Omega}{1 \cdot 10^6 \Omega + 2.534 \Omega} 100\% \approx -0.00025\%$$

## 2. B) Rezystancja mierzona jestm metodą techniczną (mierzona i woltmierz)

Wskazańa mierzona i pier wszego  $I_A = 16.2 \text{ mA}$  Zakres  $I_n = 20 \text{ mA}$  Maksymalny błąd dopuszczalny wskazańa mierzona i pier wszego wyznaczane są jako:  $a = 0.5\%$  od wskazańa mierzona i pier wszego  $+0.25\%$  od zakresu Wskazańa woltmierz  $U_V = 8.64 \text{ V}$  zakres  $U_n = 10 \text{ V}$  Maksymalny błąd dopuszczalny wskazańa woltmierz wyznaczany jest jako:  $a = 0.4\%$  od wskazańa woltmierz  $+0.4\%$  od zakresu

- 1) Dla zadanych wskazań mierzona i pier wszego wyznaczyć wartość rezystancji  $R_x$
- 2) Oszacować względne standardowe niepewności wyniku pomiaru prądu i napięcia
- 3) Oszacować względną standardową niepewność wyniku pomiaru rezystancji.
- 4) Oszacować bezwzględną standardową niepewność wyniku pomiaru rezystancji.

Rozwiązanie:

1) Dla zadanych wskazań mierzona i pier wszego mierzona wartość rezystancji:

$$R_{pom} = R_{meas} = \frac{U_V}{I_A} = \frac{8.64 \text{ V}}{16.2 \text{ mA}} = 533.33 \Omega$$

2a) Względna standardowa niepewność wyniku pomiaru prądu

$$u_{B, rel}(I) = \frac{a_A \cdot I_A + b_A \cdot I_n}{\sqrt{3} \cdot I_A} = \frac{0.5\% \cdot 16.2 \text{ mA} + 0.25\% \cdot 20 \text{ mA}}{\sqrt{3} \cdot 16.2 \text{ mA}} = 0.467\%$$

2b) Względna standardowa niepewność wyniku pomiaru napięcia

$$u_{B, rel}(U) = \frac{a_V \cdot U_V + b_V \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot U_V} = \frac{0.4\% \cdot 8.64 \text{ V} + 0.4\% \cdot 10 \text{ V}}{\sqrt{3} \cdot 8.64 \text{ V}} = 0.498\%$$

3) Względna standardowa niepewność wyniku pomiaru rezystancji

$$u_{B, rel}(R) = \sqrt{u_{B, rel}(I)^2 + u_{B, rel}(U)^2} = \sqrt{(0.467\%)^2 + (0.498\%)^2} = 0.683\%$$

4) Bezwzględna standardowa niepewność wyniku pomiaru rezystancji

$$u_{B, rel}(R) = \frac{u_{B, rel}(R) \cdot R_{pom}}{100\%} = \frac{0.683\% \cdot 533.33 \Omega}{100\%} = 3.64 \Omega$$

## 3) Pomiar parametrów napięcia AC

3. A) Mierzona jest napięcie sinusoidalne (trójkątne, prostokątne) o amplitudzie  $U_m = 7.5 \text{ V}$  z słabością stałą  $U_{DC} = 5.0 \text{ V}$  Wyznaczyć:

1) Wskazańa  $U_{AC}$  mierzona i pier wszego skutecznej z wejściem zmierzona i pier wszego (pomiar sygnału bez słabości stałej);

2) W skłazaniem  $U_{AC+DC}$  ierri ka wartości skutecznej z wejściem  $U_m$  iary sygnału ze składową stałą).

Rozwiązanie:

1) W skłazaniem ierri ka wartości skutecznej z wejściem  $U_m$  iary sygnału bez składowej stałej)

$$U_{AC, \sin} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = \frac{7.5 V}{\sqrt{2}} \approx 5.303 V, U_{AC, \text{trójk}} = \frac{U_m}{\sqrt{3}} = \frac{7.5 V}{\sqrt{3}} \approx 4.330 V, U_{AC, \text{prost}} = U_m = 7.5 V$$

2) W skłazaniem  $U_{AC+DC}$  ierri ka wartości skutecznej podczas pomiaru sygnału ze składową stałą

$$U_{AC+DC, \sin} = \sqrt{\frac{U_m^2}{2} + U_{DC}^2} = \sqrt{\frac{7.5^2}{2} + 5^2} \approx 7.829 V, U_{AC+DC, \text{trójk}} = \sqrt{\frac{U_m^2}{2} + U_{DC}^2} = \sqrt{\frac{7.5^2}{2} + 5^2} \approx 6.614 V,$$

$$U_{AC+DC, \text{prost}} = \sqrt{U_m^2 + U_{DC}^2} = \sqrt{7.5^2 + 5^2} \approx 9.014 V.$$

3) Błąd mierzone jest napięcie o przebiegu sinusoidalnym (trójkątym, prostokątnym)  $U_{AC}$  z prędkością  $f = 2.5 V$ . Wyznaczyć:

1) W skłazaniem ierri ka  $U_{AC}$  z przetworzonym  $T_{pom}$   $S$   
 2) W skłazaniem ierri ka  $U_{AC}$  z prostokątnym liniowym (wyskalowanym) napięciem  $U_{AC}$  z sinusoidalnego.

3) Błąd mierzony spowodowany kształtem sygnału przy pomiarze ierri ka  $U_{AC}$  z prostokątnym liniowym (wyskalowanym) napięciem  $U_{AC}$  z sinusoidalnego.

Rozwiązanie:

1) W skłazaniem ierri ka z przetworzonym  $T_{pom}$   $S$ , stałej)

$$U_{RMS, \sin} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = \frac{12.5 V}{\sqrt{2}} \approx 8.839 V, U_{RMS, \text{trójk}} = \frac{U_m}{\sqrt{3}} = \frac{12.5 V}{\sqrt{3}} \approx 7.217 V, U_{RMS, \text{prost}} = U_m = 12.5 V$$

2) W skłazaniem ierri ka  $U_{AC}$  z prostokątnym liniowym (wyskalowanym) napięciem  $U_{AC}$  z sinusoidalnego)

Poniżej współczynnik kształtu  $k_{ksz, \sin} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \approx 1.111$ , a wartość średnia wyprostowana

sinusoidalnego  $U_{sw, \sin} = \frac{2U_m}{\pi}$ , dlatego wskazaniem ierri ka z prostokątnym liniowym:

$$U_{AC, \text{lin}, \sin} = 1.111 \cdot U_{sw, \sin} = 1.111 \cdot \frac{2 \cdot U_m}{\pi} = \frac{12.5 V}{\sqrt{2}} \approx 8.839 V$$

Trójkątny sygnał:  $U_{sw, \text{trójk}} = \frac{U_m}{2} = \frac{12.5 V}{2} = 6.25 V$ , dlatego wskazaniem ierri ka z prostokątnym liniowym:

$$U_{AC, \text{lin}, \text{trójk}} = 1.111 \cdot U_{sw, \text{trójk}} = 1.111 \cdot 6.25 V \approx 6.944 V$$

Prostokątny sygnał:  $U_{sw, \text{prost}} = U_m = 12.5 V$ , dlatego wskazaniem ierri ka z prostokątnym liniowym:

$$U_{AC, \text{lin}, \text{prost}} = 1.111 \cdot U_{sw, \text{prost}} = 1.111 \cdot 12.5 V \approx 13.877 V.$$

3) Błąd mierzony spowodowany kształtem sygnału przy pomiarze ierri ka  $U_{AC}$  z prostokątnym liniowym (wyskalowanym) napięciem  $U_{AC}$  z sinusoidalnego)

$$\delta_{\text{met}, \text{ksz}} = \frac{U_{AC, \text{lin}} - U_{RMS}}{U_{RMS}} 100\%$$

$$\text{Dla sygnału sinusoidalnego } \delta_{\text{met}, \text{ksz}} = \frac{U_{AC, \text{lin}, \sin} - U_{RMS, \sin}}{U_{RMS, \sin}} 100\% = \frac{8.839 V - 8.839 V}{8.839 V} 100\% = 0\%.$$

$$\text{Dla sygnału trójkątnego } \delta_{\text{met}, \text{ksz}, \text{trójk}} = \frac{U_{AC, \text{lin}, \text{trójk}} - U_{RMS, \text{trójk}}}{U_{RMS, \text{trójk}}} 100\% = \frac{6.944 V - 7.217 V}{7.217 V} 100\% \approx -3.8\%$$

Dla sygnału prostokątnego

$$\delta_{\text{met}, \text{ksz}, \text{prost}} = \frac{U_{AC, \text{lin}, \text{prost}} - U_{RMS, \text{prost}}}{U_{RMS, \text{prost}}} 100\% = \frac{13.877 V - 12.5 V}{12.5 V} 100\% \approx +11.1\%$$

#### 4) Pomiar częstotliwości sygnałów okresowych

4. A). Do pomiaru częstotliwości sygnału okresowego może być wykorzystany ierri ka o  $T_{pom} = 1 s$  oraz  $f_w = 10 MHz$  z licznymi generatora przy pomiarze okresie  $f_w = 10 MHz$  z

1) Oszacować liczbę zliczonych impulsów podczas bezpośredniego pomiaru częstotliwości około 400 Hz z

2) Oszacować liczbę zliczonych impulsów podczas pośredniego pomiaru częstotliwości około 400 Hz z

3) Oszacować względny graniczny błąd zliczania impulsów podczas bezpośredniego pomiaru zadanej częstotliwości.

4) Oszacować względny graniczny błąd zliczania impulsów podczas pośredniego pomiaru zadanej częstotliwości.

Rozwiązanie:

1) Podczas bezpośredniego pomiaru częstotliwości liczbę zliczonych impulsów  $N_{x, bp} = T_{pom} \cdot f_x = 1 s \cdot 400 Hz = 400$  impulsów

2) Podczas pośredniego pomiaru częstotliwości liczbę zliczonych impulsów  $N_{x, p} = f_w / f_x = 10 \cdot 10^6 Hz / 400 Hz = 25000$  impulsów

3) Względny graniczny błąd zliczania impulsów podczas bezpośredniego pomiaru tej częstotliwości.

$$\delta_{z, \text{gr}, bp} = \pm \frac{100\%}{N_{x, bp}} = \pm \frac{100\%}{400} = \pm 2.5\%$$

4) Względny graniczny błąd zliczania impulsów podczas pośredniego pomiaru tej częstotliwości.

$$\delta_{z, \text{gr}, p} = \pm \frac{100\%}{N_{x, p}} = \pm \frac{100\%}{25000} = \pm 0.004\%$$

4. B). Do pomiaru częstotliwości około  $f_x \approx 4 kHz$  sygnału okresowego może być wykorzystany ierri ka o  $T_{pom} = 10 s$  oraz  $f_w = 1 MHz$  z licznymi generatora przy pomiarze okresie  $f_w = 1 MHz$  z

1) Liczyć częstotliwość graniczną ( $f_{gr}$ ) tego ierri ka

2) Wyznaczyć dokładny pomiar częstotliwości (bezpśrednią, pośrednią), która zapewni mniejszy błąd zliczania podczas pomiaru częstotliwości.

3) Oszacować liczbę impulsów podczas pomiaru zadanej częstotliwości wybraną metodą

4) Oszacować względny graniczny błąd zliczania impulsów podczas pomiaru zadanej częstotliwości wybraną metodą

Rozwiązanie:

1) Częstotliwość graniczną ( $f_{gr}$ ) tego ierri ka

$$f_{gr} = \sqrt{\frac{f_w}{T_{pom}}} = \sqrt{\frac{1 \cdot 10^6 Hz}{10 s}} = 316 Hz$$

2) Poniżej  $f_x = 4 kHz = 4000 Hz > f_{gr} \approx 316 Hz$  dlatego jest to „duża” częstotliwość i dlatego metoda pomiaru bezpośrednia

3) Liczba impulsów podczas pomiaru częstotłości metodą bezpośrednią

$$N_{x, bp} = T_{pom} \cdot f_x = 10 s \cdot 4000 Hz = 40000 \text{ impulsów}$$

4) Względny graniczny błąd zliczania impulsów podczas bezpośredniego pomiaru tej częstotliwości.

$$\delta_{zl,gr,bp} = \pm \frac{100\%}{N_{x,bp}} = \pm \frac{100\%}{40\,000} = \pm 0.0025\%$$

**4. C** Podczas pomiaru pośredniego częstotliwości sygnału okresowego uzyskano  $N_x = 24893$  impulsów w czasie 1-go okresu przy częstotliwości generatora impulsów wzorcowych  $f_w = 10\text{M Hz}$

1) Wyznaczyć częstotliwość sygnału

2) Obliczyć względny graniczny błąd zliczania podczas pomiaru tej częstotliwości

3) Obliczyć bezwzględny graniczny błąd zliczania podczas pomiaru tej częstotliwości

Rozwiązanie.

1) Częstotliwość sygnału

$$f_x = 1/T_x = f_w/N_x = 10 \cdot 10^6 \text{ Hz} / 24893 = 401.719 \text{ Hz}$$

2) Względny graniczny błąd zliczania impulsów podczas pośredniego pomiaru tej częstotliwości.

$$\delta_{zl,gr} = \pm \frac{100\%}{N_x} = \pm \frac{100\%}{24893} = \pm 0.0040\%$$

3) Bezwzględny graniczny błąd zliczania podczas pomiaru tej częstotliwości

$$\Delta_{zl,gr} = \pm \frac{\delta_{zl,gr} \cdot f_x}{100\%} = \pm \frac{0.0040\% \cdot 401.719 \text{ Hz}}{100\%} = \pm 0.0161 \text{ Hz}$$