

**Przykłady zadań do kolokwium N1 (2021) wraz z ich rozwiązaniem z
Cyfrowe przyrządy pomiarowe**

1. Napięcie przemiennie o nominalnej częstotliwości $f_{\text{nom}}=1$ kHz ma składowe harmoniczne o maksymalnym numerze $n_h=9$. Wyznaczyć częstotliwość próbkowania sygnału w celu następnego jego odtworzenia po opracowaniu według twierdzenia Kotelnikowa-Shannona.

Rozwiązanie: 1) Maksymalna (graniczna) częstotliwość sygnału $f_m = 9 \cdot 1 \text{ kHz} = 9 \text{ kHz}$;

- 2) częstotliwość próbkowania ma być co najmniej 2 razy większą od maksymalnej, tj.: $f_p = 2 \cdot 9 \text{ kHz} = 18 \text{ kHz}$.

2. Napięcie przemiennie o nominalnej częstotliwości $f_{\text{nom}}=500$ Hz ma składowe harmoniczne o maksymalnym numerze $n_h=7$. Wyznaczyć częstotliwość próbkowania sygnału w celu następnego jego wizualizacji na ekranie komputera z interpolacją próbek funkcję $\sin(x)/x$ (lub funkcja liniową, lub schodkową).

Rozwiązanie: 1) Maksymalna (graniczna) częstotliwość sygnału $f_m = 7 \cdot 500 \text{ Hz} = 3.5 \text{ kHz}$; 2) przy takim sposobie odtwarzania przyjmuje się że częstotliwość próbkowania ma być co najmniej 2.5 razy większą od maksymalnej, tj. $f_p = 2,5 \cdot 3.5 \text{ kHz} = 8.75 \text{ kHz}$. Dla interpolacji liniowej przyjmuje się że częstotliwość próbkowania ma być co najmniej 10 razy większą od maksymalnej, tj. $f_p = 10 \cdot 3.5 \text{ kHz} = 35 \text{ kHz}$, a dla ekstrapolacji schodkowej przyjmuje się że częstotliwość próbkowania ma być co najmniej 25 razy większą od maksymalnej, tj. $f_p = 25 \cdot 3.5 \text{ kHz} = 87.5 \text{ kHz}$.

3. Napięcie stałe ze składową przemienną o nominalnej częstotliwości $f_{\text{nom}}=50$ Hz ma składowe harmoniczne o maksymalnym numerze $n_h=19$. Wyznaczyć częstotliwość próbkowania sygnału w celu pomiaru wartości stałej sygnału na drodze uśredniania zapewniającego tłumienie wszystkich harmonicznych.

Rozwiązanie: 1) Maksymalny numer składowej harmonicznej $k=19$. Dlatego w celu tłumienia wszystkich harmonicznych potrzebne jest $n=19+1=20$ próbek na okres, tj. częstotliwość próbkowania: $f_p = n \cdot f_{\text{nom}} = 20 \cdot 50 \text{ Hz} = 1.0 \text{ kHz}$.

4. Częstotliwość próbkowania sygnału $f_p=1$ kHz, w sygnale oprócz składowych korzystnych są składowe zakłócające. Wyznaczyć pasmo sygnału korzystnego oraz częstotliwość, na której po próbkowaniu będzie odbierane zakłócenie o częstotliwości 1.75 kHz.

Rozwiązanie: 1) Pasma sygnału ma być ograniczone częstotliwością równa połowie częstotliwości próbkowania: $f_m = f_p/2 = 1 \text{ kHz}/2 = 500 \text{ Hz}$. 2) częstotliwość, na której po próbkowaniu będzie odbierane zakłócenie, jest równa modułu różnicy pomiędzy najbliższą wielokrotnością częstotliwości próbkowania i daną częstotliwością. Najbliższą do 1.75 kHz wielokrotnością częstotliwości próbkowania jest $2 \cdot f_p = 2 \text{ kHz}$, tj. po próbkowaniu harmoniczna o częstotliwości 1.75 kHz będzie odbierana jako harmoniczna o częstotliwości $2 \text{ kHz} - 1.75 \text{ kHz} = 250 \text{ Hz}$.

5. Częstotliwość próbkowania sygnału $f_p=10$ kHz, w sygnale oprócz składowych korzystnych mogą być składowe zakłócające. Wyznaczyć pasmo zaporowe dla analogowego filtru antyaliasingowego.

Rozwiązanie: 1) Pasma zaporowe zaczyna się od częstotliwości równej połowie częstotliwości próbkowania, tj. $10 \text{ kHz}/2=5\text{kHz}$.

6. Przetwornik A/C ma zakres $+4.096 \text{ V}$ (lub $\pm 4.098 \text{ V}$), rozdzielczość $n = 10$ bitów. Wyznaczyć liczbę kwantów N_{kw} oraz wartość jednego kwantu q .

Rozwiązanie: 1) Liczba kwantów $N_{kw} = 2^{10} = 1024$. 2) wartość kwantu: $q = \text{zakres}/\text{liczba kwantów} = 4.096\text{V}/1024 = 4 \text{ mV}$. Dla przetwornika z obydwojma polaryzacjami wartość kwantu jest dwukrotnie większą, tj. 8 mV .

7. Przetwornik A/C ma zakres $+10.24 \text{ V}$ (lub $\pm 10.24 \text{ V}$), wyznaczyć minimalną rozdzielczość (w bitach) przetwornika, jeśli wymagana jest wartość kwantu $q=5 \text{ mV}$.

Rozwiązanie: 1) Minimalna liczba kwantów: $N_{kw} = \text{zakres}/\text{wartość kwantu} = 10.24\text{V}/5\text{mV} = 2048$. 2) Rozdzielczość $n = \log(N_{kw}) = \log(2048) = 11$. Dla przetwornika z obydwojma polaryzacjami rozdzielczość jest o jeden bit większa, tj. 12 bitów.

8. Przetwornik A/C $5\frac{1}{2}$ cyfrowego woltomierza ma zakres 20 V wyznaczyć wartość cyfry najmniej znaczącej miernika na tym zakresie.

Rozwiązanie: 1) Dla $5\frac{1}{2}$ na wyświetlaczu zakresowi 20 V odpowiada wskazanie: 20.0000 V , tj. wartość cyfry najmniej znaczącej $WCNZ=0.0001\text{V}=0.1 \text{ mV}$

9. Przetwornik A/C $4\frac{1}{2}$ cyfrowego omomierza ma zakres $400 \text{ k}\Omega$ wyznaczyć wartość cyfry najmniej znaczącej miernika na tym zakresie.

Rozwiązanie: 1) Dla $4\frac{1}{2}$ na wyświetlaczu zakresowi $400 \text{ k}\Omega$ odpowiada wskazanie: $400.00 \text{ k}\Omega$, tj. wartość cyfry najmniej znaczącej $WCNZ=0.01\text{k}\Omega=10 \Omega$.

10. Uniwersalny czasowo-częstotłociomierz charakteryzuje się maksymalnym czasem otwarcia bramki przy pomiarze częstotłoci $T=0.1 \text{ s}$ Wyznaczyć względną wartość graniczną błędu zliczania (kwantowania) podczas pomiaru częstotłoci sygnału około $f_x \approx 12.5 \text{ kHz}$.

Rozwiązanie: 1) Liczba zliczonych impulsów: $N_x = T \cdot f_x = 0.1\text{s} \cdot 12.5 \text{ kHz} = 1250 \text{ imp}$. 2) względną wartość graniczną błędu zliczania: $\delta_{zl,gr} = \pm 100\% / N_x = \pm 100\% / 1250 = \pm 0.08\%$.

11. Uniwersalny czasowo-częstotłociomierz charakteryzuje się maksymalną częstotłocią generatora wzorcowego (przy pomiarze interwału czasowego) $f_{gen} = 10 \text{ MHz}$. wartość graniczną względną błędu zliczania (kwantowania) podczas pomiaru okresu sygnału częstotłoci około $f_x \approx 500 \text{ Hz}$.

Rozwiązanie: 1) Liczba zliczonych impulsów: $N_x = T_x \cdot f_w = f_w / f_x = 10 \text{ MHz} / 500 \text{ Hz} = 20000 \text{ imp}$. 2) względną wartość graniczną błędu zliczania: $\delta_{zl,gr} = \pm 100\% / N_x = \pm 100\% / 20000 = \pm 0.005\%$.

12. Jaki minimalny czas pomiaru potrzebny jest do pomiaru stosunku częstotłoci dwóch sygnałůw około $f_1/f_2 \approx 10$ jeśli $f_2 \approx 50 \text{ Hz}$, a maksymalny błąd zliczania nie powinny przekroczyć 0.1% .

Rozwiązanie: 1) Minimalna liczba impulsów $N_{imp} = 100\% / \delta_{zl,gr} = 100\% / 0.1\% = 1000$. 2) czas pomiaru $T_{pom} = N_{imp} \cdot f_1 = 1000 / (f_2 \cdot 10) = 1000 / (50 \text{ Hz} \cdot 2) = 2 \text{ s}$.

13. Jaka ma być częstotliwość (f_w) impulsów zliczania podczas pomiaru przesunięcia fazowego w granicach $0-90^\circ$ dwóch sygnałów o częstotliwości $f=50$ Hz, jeśli wynik pomiaru ma być przedstawiony z rozdzielczością 1 minuta kątowna ($1'$)

Rozwiązanie: 1) Przy rozdzielczości 1minuta= $1/60$ stopnia kątownego maksymalne wskazanie w minutach wynosi: $N_{x,\max} = 90^\circ \cdot 60 = 5400$ impulsów uzyskanych w czasie $T_{x\max} = 1/4$ okresu $T = 1/4f$ (90 stopni odpowiada $1/4$ okresu sygnałów). 2) Częstotliwość (f_w) impulsów zliczania: $f_w = N_{x,\max} / T_{x\max} = N_{x,\max} f \cdot 4 = 5400 \cdot 50 \text{ Hz} \cdot 4 = 108 \text{ kHz}$.

14. Jaka ma być częstotliwość (f_w) impulsów zliczania podczas pomiaru przesunięcia fazowego w granicach $0-\pi^\circ$ dwóch sygnałów o częstotliwości 400 Hz, jeśli wynik pomiaru ma być przedstawiony z rozdzielczością 0.001 radiana.

Rozwiązanie: 1) Przy rozdzielczości 0.001 radiana maksymalne wskazanie wynosi: $N_{x,\max} = \pi / 0.001 = 3142$ impulsów uzyskanych w czasie $T_{x\max} = 1/2$ okresu $T = 1/2f$ (π odpowiada $1/2$ okresu sygnałów). 2) Częstotliwość (f_w) impulsów zliczania: $f_w = N_{x,\max} / T_{x\max} = N_{x,\max} f \cdot 2 = 3142 \cdot 400 \text{ Hz} \cdot 2 = 2.5136 \text{ MHz}$.

15. Podczas pomiaru wirtualnym miernikiem częstotliwości metodą z zadaniem czasem pomiaru $T_{\text{pom}} = 0.1$ s wykorzystany generator o wzorcowej częstotliwości $f_w = 1$ MHz. W czasie najbliższym do T_{pom} zliczono $m = 453$ okresów sygnału mierzonego oraz $N_x = 98732$ impulsów o wzorcowej częstotliwości. Wyznaczyć częstotliwość sygnału mierzonego oraz wartość względnego maksymalnego błędu zliczania podczas pomiaru tej częstotliwości.

Rozwiązanie: Z podstawowego równania tej metody: jednakowych wartości interwałów czasowych: $mT_x = N_x \cdot T_w = N_x / f_w$ wyznaczamy częstotliwość

$f_x = 1/T_x = m f_w / N_x = 453 \cdot 1 \cdot 10^6 \text{ Hz} / 98732 = 4.588178 \text{ kHz}$. Wartość względnego

maksymalnego błędu zliczania $\delta_{z.l.\max} = \pm \frac{100\%}{N_x} = 0.00101\%$.

16. Podczas pomiaru wirtualnym miernikiem częstotliwości metodą koincydencji zliczono $N_x = 15$ okresów sygnału mierzonego oraz $N_w = 27$ okresów sygnału wzorcowego o częstotliwości 2 kHz. Wyznaczyć częstotliwość i okres sygnału mierzonego.

Rozwiązanie: Ponieważ $N_x \cdot T_x = N_w \cdot T_w$, dlatego wartość częstotliwości

$f_x = 1/T_x = N_x f_w / N_w = 15 \cdot 2 \cdot 10^3 \text{ Hz} / 27 = 1.111111 \text{ kHz}$

17. Częstotliwość należy zmierzyć z dopuszczalną wartością błędu zliczania $\delta_{kw,dop} = 0,01\%$. W wirtualnym mierniku wykorzystuje się generator impulsów wzorcowych o częstotliwości $f_w = 1$ MHz. Podczas pomiaru wykorzystuje się 2 liczniki. Licznik podstawowy po zliczeniu minimalnie potrzebnej liczby impulsów $N_{x,\min}$ w interwale czasu t_{gotowy} i t_{koniec} dodatkowo zliczył $N_{x\Delta} = 58$ impulsów. W całym interwale czasowym dodatkowo licznik obliczył $m = 246$ okresów T_x sygnału mierzonego. Wyznaczyć wartość częstotliwości f_x sygnału mierzonego oraz czas pomiaru.

Rozwiązanie: W tej metodzie też dwa interwały czasowe są równe $(N_{x,\min} + N_{x\Delta})T_w = m \cdot T_x$ dlatego wartość częstotliwości $f_x = 1/T_x = m f_w / (N_{x,\min} + N_{x\Delta})$. Z warunku dopuszczalnego błędu zliczania: $N_{x,\min} = 100 / \delta_{kw,dop} = 100\% / 0.01\% = 10000$. Stąd

$f_x = 246 \cdot 1 \cdot 10^6 / (10000 + 58) = 24.45814 \text{ kHz}$. Czas pomiaru:

$$T_{pom} = (N_{x_{\min}} + N_{x_{\Delta}}) T_w = (N_{x_{\min}} + N_{x_{\Delta}}) / f_w = (10000 + 58) / 10^6 \text{ Hz} = 0.010058 \text{ s} = 10.058 \text{ ms}$$

18. Przy zastosowaniu trójkątnej (może być parabolicznej) funkcji wagowej do pomiaru wirtualnym mierniku częstotliwości zliczono $N_x=257$ impulsów. Wyznaczyć wartość teoretyczną maksymalnego względnego błędu zliczania podczas pomiaru częstotliwości.

Rozwiązanie: przy zastosowaniu trójkątnej funkcji wagowej wartość teoretyczną maksymalnego względnego błędu zliczania $\delta_{kw, \max} = \pm \frac{100\%}{(N_x/2)^2} = \pm \frac{100\%}{(257/2)^2} = \pm 0.00606\%$.