

POMIARY CZĘSTOTLIWOŚCI I PRZESUNIĘCIA FAZOWEGO SYGNAŁÓW OKRESOWYCH

Cel ćwiczenia

Poznanie podstawowych metod pomiaru częstotliwości i przesunięcia fazowego między sygnałami, ze szczególnym zwróceniem uwagi na warunki pomiaru częstotliwości metodą zliczania w cyfrowych miernikach częstotliwości, okresu i odcinka czasu.

Program ćwiczenia

1. Pomiar częstotliwość i okresu sygnału prostokątnego o amplitudzie $\pm 5V$.

Do pomiarów użyć częstociomierza typu C-570, pracującego w trybie $FREQ^*$ przy pomiarze częstotliwości, lub w trybie PER podczas pomiaru okresu.

1.1 Pomiary częstotliwości wykonać dla następujących czasów bramkowania 0,01s; 0,1s; 1s.

1.2 Pomiary okresu wykonać korzystając z następujących częstotliwości generatora wzorcowego 10MHz, 1MHz, 0,1MHz (pomiar okresu).

UWAGA

Pomiary należy wykonać dla pięciu różnych częstotliwości zmienianych dekadowo za pomocą przełącznika wyboru podzakresu częstotliwości (NIE ZMIENIAĆ POŁOŻENIA POKRĘTŁA PŁYNNIEJ REGULACJI CZĘSTOTLIWOŚCI). Najmniejsza mierzona częstotliwość winna się mieścić w przedziale 100Hz - 200Hz. Sygnał mierzony nie powinien zawierać składowej stałej.

2. Pomiar częstotliwość i okresu sygnałów mierzonych w punkcie 1, przy użyciu oscyloskopu cyfrowego.

2.1 Zmierzyć okres oraz częstotliwość sygnału korzystając ze skalowanej podstawy czasu.

2.2 Zmierzyć okres oraz częstotliwość sygnału korzystając z kursorów .

2.3 Zmierzyć okres oraz częstotliwość sygnału w trybie automatycznym (Measure-QuickMeas)

Porównać otrzymane wyniki pomiarów z wynikami z pkt1. Jakimi czynnikami wpływają , w sposób istotny, na dokładność pomiaru? Określić dokładność pomiarów

3. Pomiar częstotliwość i okresu sygnału sinusoidalnego dla kilku wartości amplitudy.

3.1. Zbadać rozrzut wyników pomiaru częstotliwości i okresu sygnału sinusoidalnego o amplitudach: 0,1V; 0,2V; 0,5V; 1V; 2V; 5V. Pomiary wykonać dla częstotliwości około 1000Hz, rejestrując dla każdej amplitudy minimum 10 wyników. Wyjaśnić prawdopodobne przyczyny rozrzutu wyników pomiaru .

3.2. Zbadać rozrzut wyników pomiarów okresu sygnałów z pkt 3.1 jeżeli do pomiaru okresu zastosuje się tryb pracy PERAVG. Porównać wyniki z wynikami pomiarów w pkt 3.1, wyjaśnić przyczyny różnic.

4. Pomiar czasu trwania stanu niskiego i wysokiego oraz okres sygnału prostokątnego o amplitudzie większej od 2V.

Pomiary wykonać korzystając z cyfrowego miernika typu C570 oraz oscyloskopu.

5. Pomiar przesunięcia fazowego pomiędzy dwoma sygnałami sinusoidalnymi używając dwukanałowego oscyloskopu oraz miernika C-570.

Pomiary wykonać dla trzech częstotliwościach, leżących w paśmie 5kHz – 50kHz i kilku nastaw przesuwnika fazowego. Porównać wyniki pomiarów otrzymane różnymi metodami, oszacować błędy pomiarów.

6. Ocena stabilności częstotliwości generatora.

Wyznaczyć zależność częstotliwości generowanego sygnału od czasu jaki upływa od chwili włączenia generatora do sieci. Pomiary wykonać przy ustawieniu sygnału prostokątnego o częstotliwości około 1MHz i amplitudzie większej niż 2V. Częstotliwość sygnału należy śledzić przez 10 minut, rejestrując co 30 sekund wskazania częstościomierza.

Wprowadzenie

Sygnały okresowe

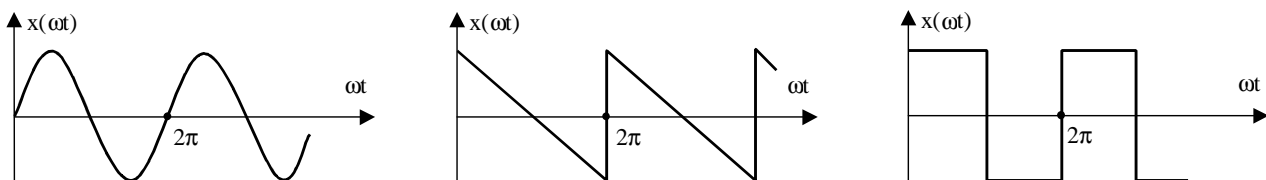
Pomiary częstotliwości przesunięć fazowych dotyczą sygnałów okresowych. Sygnał elektryczny $x(t)$, zmienny w czasie, jest nazywany okresowym, jeśli istnieje liczba T spełniająca równanie $x(t) = x(t+T)$ dla dowolnego czasu t . Najmniejsza liczba T spełniająca ten warunek nazywana jest okresem, a jej odwrotność $1/T$ częstotliwością f sygnału okresowego. Najczęściej spotykane kształty to:

- sygnał sinusoidalny (rys. 1.a) opisany zależnością:

$$x(t) = X_k \sin(\omega t + \varphi) \quad (1)$$

gdzie: - $\omega = 2\pi f = 2\pi/T$

- sygnał piłokształtny (rys. 1.b)
- sygnał prostokątny (rys. 1.c)



Rys.1. Sygnały okresowe: a- sinusoidalny, b- piłokształtny, c- prostokątny

Sygnał okresowy $x(t)$ można rozłożyć na przeliczalną sumę składowych harmonicznym zgodnie ze wzorem:

$$x(t) = X_0 + \sum_{k=1}^{\infty} X_k \sin(k \cdot \omega \cdot t + \varphi_k) \quad (2)$$

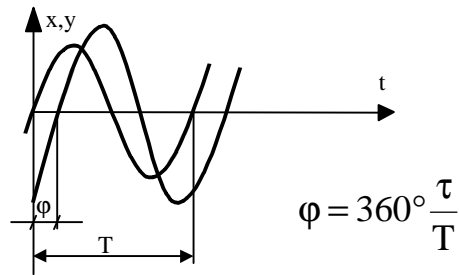
W którym:

- X_0 - składowa stała sygnału,
- X_k - amplituda k -tej harmonicznej.
- φ_k - faza k -tej harmonicznej.

Przesunięcie fazowe

Jeśli dwa sygnały okresowe $x(t)$ i $y(t)$ o tym samym okresie T spełniają dla dowolnego czasu t i pewnego τ ($0 \leq \tau < T$) równość:

$$x(t) = ky(t + \tau) \quad (3)$$



Rys.2. Sposób określenia przesunięcia fazowego.

W której k jest współczynnikiem liczbowym, to liczbę:

$$\varphi = a \frac{\tau}{T} \quad (4)$$

nazywamy przesunięciami fazowymi i wyrażamy w radianach ($a=2\pi$) lub w stopniach ($a=360^0$). Mówimy, że dwa sygnały okresowe mają ten sam kształt jeśli spełniają równość (2) dla pewnych k i τ . Definicja przesunięcia fazowego dotyczy więc sygnałów o tym samym kształcie. Spotykane w praktyce sygnały są zniekształcone i dwa sygnały o dokładnie takim samym kształcie nie występują. Stosowane w technice pomiarowej generatory sygnału sinusoidalnego wytwarzają przebiegi elektryczne odbiegające nieco od sygnału opisanego wzorem(1), co wyraża się tym, że w rozwinięciu w szereg (wzór2) pojawiają się wyższe harmoniczne. Miarą zniekształceń sygnału sinusoidalnego jest tzw. współczynnik zniekształceń określony zależnością:

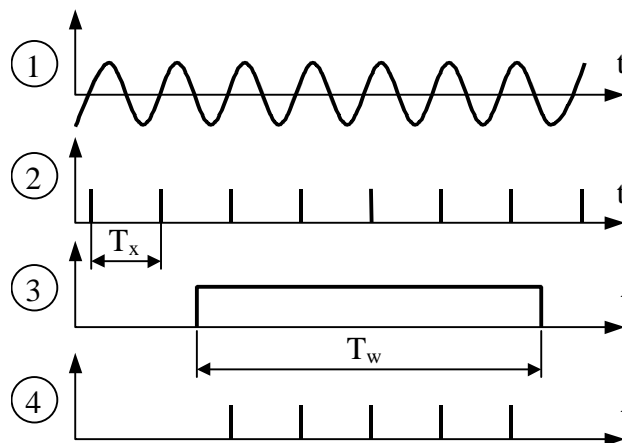
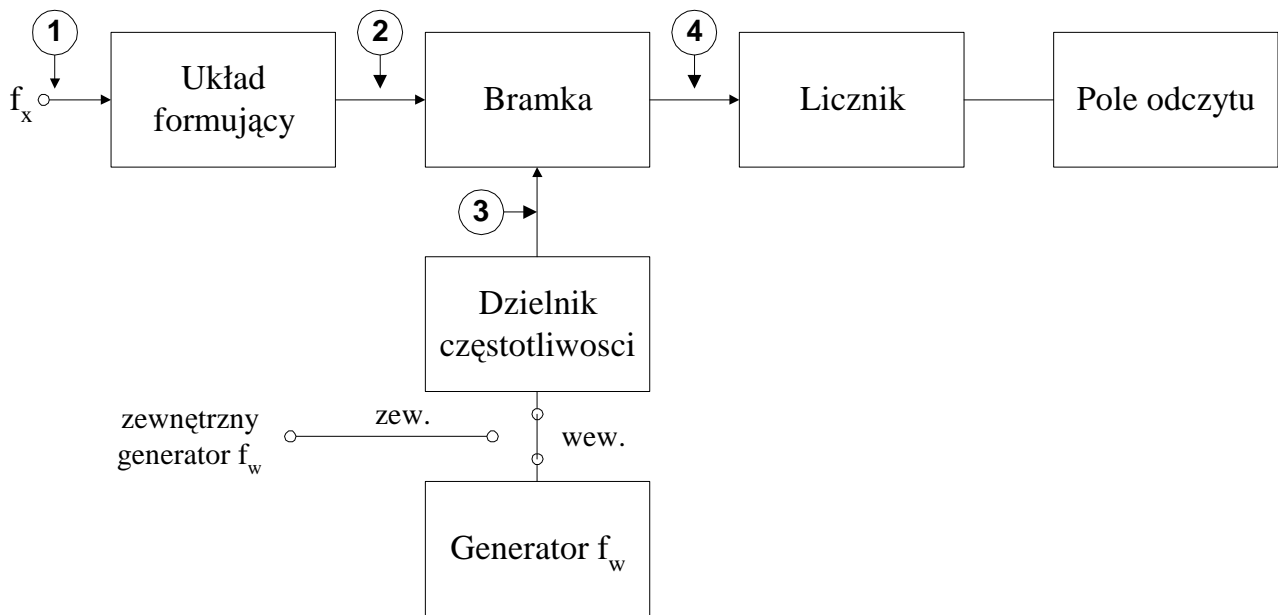
$$h = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} X_k}}{\sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} X_k}} \quad (5)$$

W praktyce inżynierskiej sygnał nazywany jest sinusoidalnym, jeśli jego przebieg obserwowany na oscyloskopie nie uwidacznia odstępstw od „idealnej” sinusoidy . oznacza to, że współczynnik zniekształceń h nie przekracza wartości 5-10%.

Z rozważań wynika, że definicja przesunięcia fazowego określona wzorem (3) , nie może być ściśle stosowana, ponieważ sygnały w praktyce nie mają tego samego kształtu i dlatego stosuje się modyfikacje definicji przesunięcia fazowego. Na przykład dla sygnałów klasyfikowanych jako sinusoidalne liczbę τ , występującą w definicji przesunięcia fazowego (wzór 3), określa się na podstawie przejścia sygnału przez zero od ujemnych do dodatnich wartości (rys.2). Dla takich sygnałów przesunięcie fazowe wyznacza się ze wzoru: $\varphi = 360^0 \tau / T$. Zgodnie z tą definicją pracują również fazomierze.

Pomiary częstotliwości

Częstotliwość sygnału okresowego mierzy się najczęściej częstotliciomierzami cyfrowymi. Uproszczony sygnał blokowy ilustrujący zasadę pomiaru, wraz z sygnałami na wyjściu poszczególnych bloków, przedstawiono na rys.3.



Rys.3. Częstościomierz cyfrowy- schemat blokowy i sygnały w charakterystycznych punktach.

Sygnal, którego częstotliwość jest mierzona, przetwarzany jest na ciąg impulsów lub sygnał prostokątny, w układzie formera. W układzie tym wytworzony jest jeden impuls w czasie jednego okresu; zwykle w momencie przejścia sygnału przez zero od ujemnej do dodatniej wartości. Bramka „przepuszcza” te impulsy przez czas T_w – zwany czasem bramkowania. Źródłem sygnału określającego czas T_w jest generator częstotliwości wzorcowej (wbudowany w miernik lub zewnętrzny). Impulsy pojawiające się na wyjściu bramki są zliczane, a wynik zliczania N_x przedstawiony na polu odczytowym. Czas otwarcia bramki T_w odpowiada czasowi trwania N_x impulsów pojawiających się co okres T_x .

$$T_w = N_x \cdot T_x \qquad f_x = \frac{N_x}{T_w} \qquad (4)$$

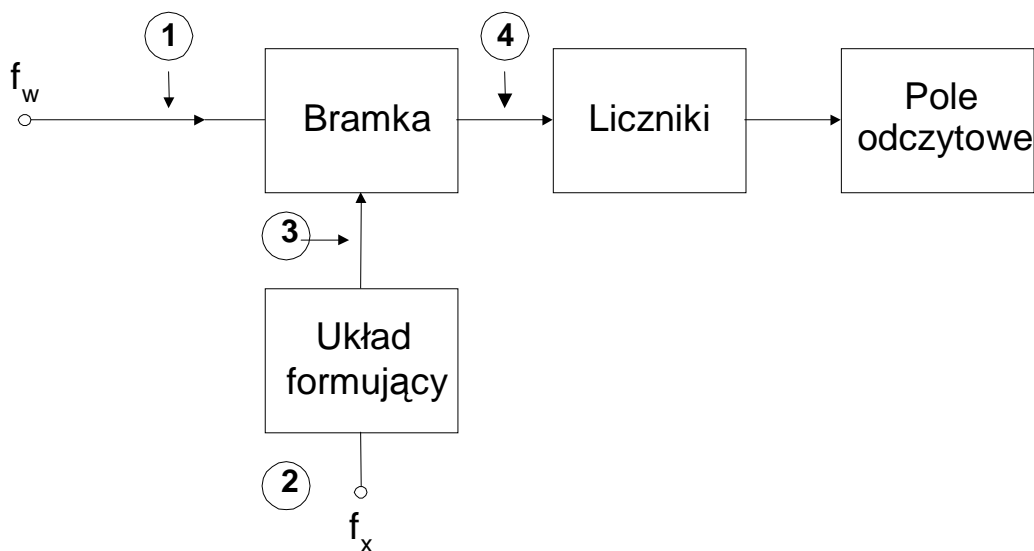
Czas pomiaru (czas otwarcia bramki) ma zwykle wartości 0,01s; 0,1s; 1s; 10s co umożliwia wyświetlenie wyniku pomiaru bezpośrednio w Hz, kHz lub MHz. Z wyborem czasu brankowania sprzężony jest opis pola odczytowego.

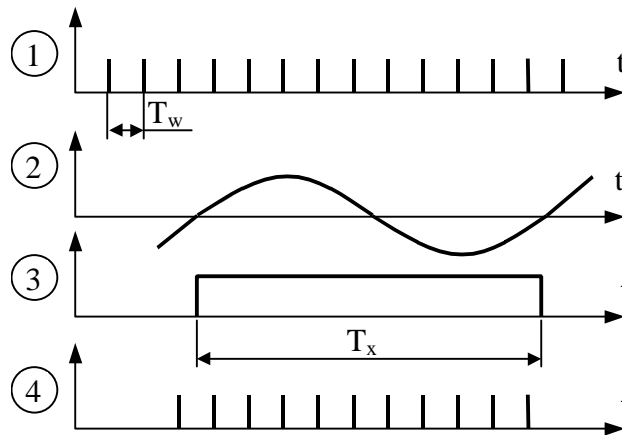
Względna niepewność wyniku pomiaru częstotliwości f_x zależy od błędu granicznego określenia wzorcowego odcinka czasu T_w i od liczby N_x zliczonych impulsów. Dla tej samej częstotliwości f_x bramka może „przepuścić” w zadanym czasie T_w liczby impulsów różniące się o ± 1 w zależności od relacji czasowej między momentem otwarcia bramki, a pojawieniem się pierwszego impulsu. Z równania (4) można określić błąd względny pomiaru częstotliwości f_x następująco:

$$\delta T_x = \delta f_x = \pm(\delta T_w + \delta N_x), \quad \delta N_x = \pm \frac{1}{N_x} \quad (5)$$

Składowa δT_w zależy przede wszystkim od dwóch czynników: błędu generatora wzorcowego f_w (błędu tzw. zegara, podstawy czasu) i błędu przetwarzania częstotliwości wzorcowej na odcinek czasu T_w . Pierwsza składowa błędu dla typowych częstotliwościomierzy ma wartość rzędu 0,0001%, druga jest pomijalnie mała.

Względny błąd dyskretyzacji (zliczania) $\pm 1/N_x$ rośnie, gdy mierzona częstotliwość maleje. Można go zmniejszać wydłużając czas pomiaru (czas otwarcia bramki). Oczekiwanie na wynik pomiaru ponad 1sekundę jest niewygodne i dlatego małe częstotliwości (poniżej kilkuset Hz) mierzy się najczęściej poprzez pomiar okresu, zmieniając rolami sygnał mierzony i wzorcowy (bramka otwierana jest przez sygnał mierzony). Uproszczony schemat blokowy okresomierza wraz z odpowiednimi sygnałami przedstawiono na rysunku 4.





Rys.4. Okresomierz cyfrowy: schemat blokowy i sygnały w charakterystycznych punktach.

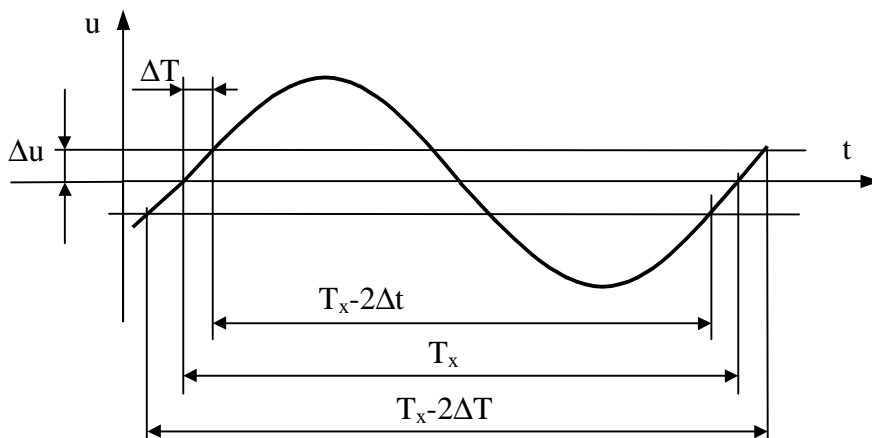
Czas otwarcia bramki T_X porównywany jest czasem trwania N_X impulsów pojawiających się co okres T_W .

$$T_x = N_X T_W \quad (6)$$

Błąd określenia okresu (częstotliwości)

$$\delta T_X = \delta f_X = \pm (\delta T_W + \delta N_X) \quad \delta N_X = \pm \frac{1}{N_X} \quad (7)$$

pod warunkiem, że czas otwarcia bramki jest równy mierzonemu okresowi T_X z pomijalnie małym błędem. Impuls czasu otwarcia bramki jest formowany w układzie formującym (w układzie wyzwalania, tzw. trygerze). Błąd ten często ma istotne znaczenie, zależy od parametrów sygnału mierzonego i jest tym mniejszy im stromszy jest narost napięcia. Ilustrację przyczyn powstawania błędu w układzie wyzwalania impulsu bramkującego ilustruje rysunek 5.



Rys. 5. Ilustracja źródła powstawania błędu wyzwalania sygnału bramkującego.

Innym powszechnie dostępnym sposobem pomiaru częstotliwości, ale znacznie mniej dokładnym jest pomiar częstotliwości za pomocą oscyloskopu z kalibrowaną podstawą czasu. Oscyloskop można także zastosować do pomiaru częstotliwości metodą tzw. krzywych Lissajous.

Pomiar przesunięcia fazowego.

Cyfrowe mierniki częstotliwości mogą być zastosowane do pomiaru przesunięcia fazowego, jeżeli pozwalają na pomiar odstępu czasu między sygnałami podanymi na dwa wejścia przyrządu. Sygnały przesunięte w fazie dołącza się odpowiednio do dwu wejść miernika. Z pomiaru odstępu czasu między przejściem przez zero obu sygnałów i z pomiaru okresu można wyznaczyć przesunięcie fazowe między sygnałami:

$$\varphi_x = \frac{N_{X\varphi}}{N_{XT}} \cdot 360^\circ \quad (8)$$

gdzie: - $N_{X\varphi}$ liczba zliczonych impulsów odzwierciedlająca czas τ (rys.2),
- N_{XT} liczba zliczonych impulsów w pomiarze okresu badanych sygnałów

Na dokładność pomiaru ma wpływ błąd zliczania $N_{X\varphi}$, N_{XT} oraz błąd wprowadzany przez układy formujące sygnał otwierania bramki (układy wejściowe).

Przesunięcie fazowe można także zmierzyć zgodnie, z definicją za pomocą oscyloskopu dwukanałowego. Sygnały między którymi mierzymy przesunięcie fazowe dołączane są odpowiednio na zaciski wejściowe dwu kanałów; na ekranie oscyloskopu pojawia się obraz jak na rys.2.

Zadania i pytania kontrolne.

1. Częstościomierz cyfrowy jest wyposażony w wewnętrzny generator wzorcowy o częstotliwości $f_w = 10 \text{ MHz} \pm 0.001\%$. Obliczyć częstotliwości graniczne (częstotliwości ,dla których błąd zliczania będzie taki sam w pomiarze częstotliwości jak w pomiarze okresu) dla czasów 0,01s; 0,1s; 1s.
2. Obliczyć całkowity błąd pomiaru częstotliwości $f_x \sim 100\text{kHz}$ częstościomierzem z zadania 1, przy różnych czasach pomiaru i różnych sposobach pomiarów: pomiary bezpośrednie i pośrednie.
3. Częstościomierzem z zadania 1 należy zmierzyć możliwie najdokładniej częstotliwość generatora generującego sygnał prostokątny o wartości $f_x \sim 20\text{kHz}$. Dobrać sposób pomiaru i określić błąd całkowity.
4. Jaki charakter ma błąd układu formującego sygnał czasu otwarcia bramki?
5. Czy błąd układu formującego z sygnału mierzonego sygnał impulsowy (zero, jedynkę) ma taki sam wpływ na dokładność pomiaru częstotliwości i okresu? Uzasadnić odpowiedź.