

## 22. CYFROWE POMIARY CZĘSTOTLIWOŚCI, OKRESU CZASU I PRZESUNIĘCIA KĄTOWEGO

Opracował: S. Moskowicz

Na format elektroniczny przetworzył: A. Wollek

Niniejszy rozdział stanowi część skryptu:

*Materiały pomocnicze do laboratorium z Metrologii elektrycznej i elektronicznej*, Politechnika Szczecińska, Szczecin 1984 i 1987 chronionego prawami autorskimi. Wszelkie przetwarzanie, kopiowanie i rozpowszechnianie jest możliwe tylko za zgodą autorów

Cyfrowe pomiary częstotliwości, okresu, czasu oraz przesunięcia fazowego wykonuje się przyrządami przystosowanymi do pomiaru jednej z wymienionych wielkości lub też przystosowanymi do pomiarów kilku z nich. Budowa przyrządów uniwersalnych, tzw. częstościomierzy-czasomierzy cyfrowych jest ułatwiona ze względu na to, że pomiary wszystkich tych wielkości realizowane są na zasadzie bezpośredniego zliczania impulsów elektrycznych unormowanych (w odpowiednich układach formujących) z wielkości mierzonej lub wzorcowej. Z tego też względu schematy blokowe przyrządów służących do pomiarów poszczególnych wielkości niewiele różnią się między sobą.

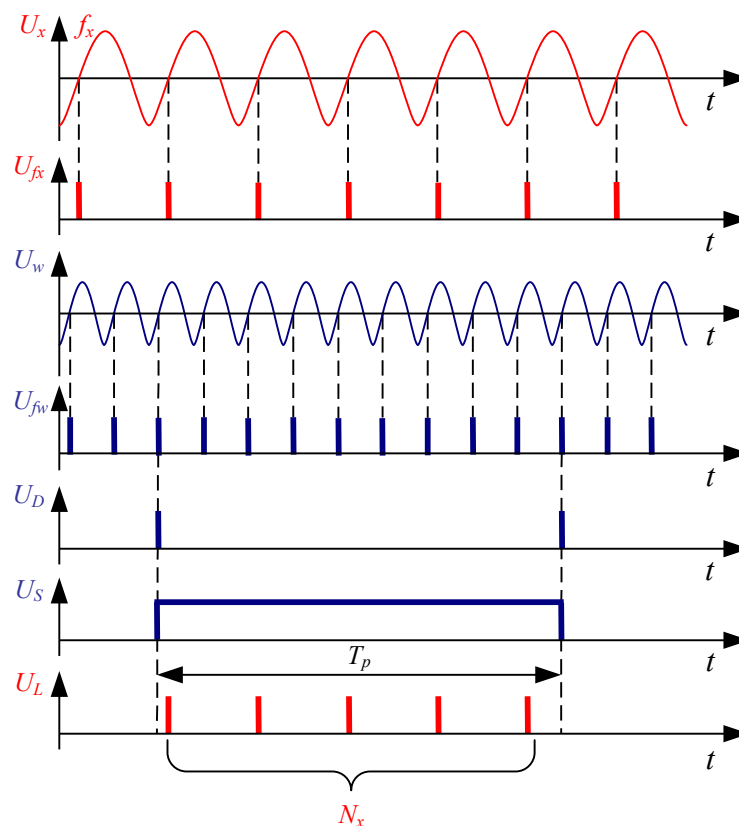
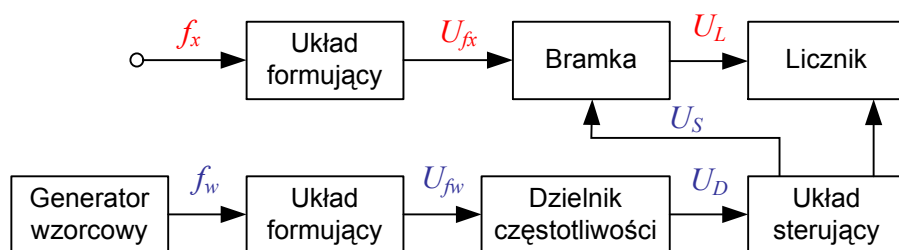
### 22.1. Cyfrowe pomiary częstotliwości

Cyfrowe pomiary podstawowej wielkości elektrycznej jaką jest częstotliwość oparte są na definicji częstotliwości przebiegu periodycznego jako liczby okresów przebiegu przypadających na jednostkę czasu. Schemat blokowy oraz przebiegi czasowe cyfrowego miernika częstotliwości zostały przedstawione na rys. 22.1. Badany przebieg o częstotliwości  $f_x$  zostaje w układzie formującym przekształcony w ciąg impulsów o tej samej częstotliwości co mierzona. Impulsy te doprowadzone są przez bramkę do licznika. Czas zliczania impulsów (czas otwarcia bramki)  $T_p$  jest wyznaczony przez podział częstotliwości generatora wzorcowego, którego odpowiednio uformowane impulsy wytwarzają w układzie sterującym impulsy otwierające i zamykające bramkę. Liczba impulsów  $N_x$  o częstotliwości  $f_x$  zliczonych w czasie  $T_p$  wynosi:

$$N_x = T_p \cdot f_x$$

Dobierając czas pomiaru  $T_p = 10^k$  s ( $k$  – liczba całkowita) otrzymuje się wskazania licznika równe mierzonej częstotliwości. Proces pomiaru powtarza się cyklicznie po czasie wyznaczonym przez układ sterujący. Dokładność pomiaru jest zależna od dokładności wyznaczenia wzorcowego odcinka czasu oraz liczby zliczonych impulsów. Względny błąd pomiaru częstotliwości można zapisać w postaci:

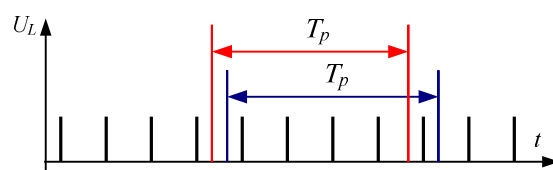
$$\frac{\Delta f_x}{f_x} = \frac{1}{N_x} + \frac{\Delta T_p}{T_p} = \frac{1}{f_x \cdot T_p} + \frac{\Delta f_w}{f_w}$$



Rys. 22.1

Pierwszy składnik jest błędem metody pomiaru częstotliwości wynikającym z błędu kwantowania oraz przypadkowego nałożenia się impulsów otwierających bramkę z ciągiem impulsów zliczanych. Wyjaśnia to rys. 22.2. Jest on tym mniejszy, im dłuższy jest czas pomiaru  $T_p$  oraz im wyższa jest częstotliwość mierzona  $f_x$  (czasy pomiaru  $T_p$  od 1 ms do 100 s). Stosowanie zbyt długich czasów pomiaru w przypadku zmian częstotliwości prowadzi do pomiaru wartości średniej. Dla częstotliwości niskich dokładność tej metody pomiaru częstotliwości jest niewystarczająca; pomiary wykonuje się poprzez pomiar okresu  $T_x$  i obliczanie zgodnie ze wzorem  $f_x = \frac{1}{T_x}$ . Drugi składnik błędu na wartość stałą zależną od dokładności wzorca częstotliwości

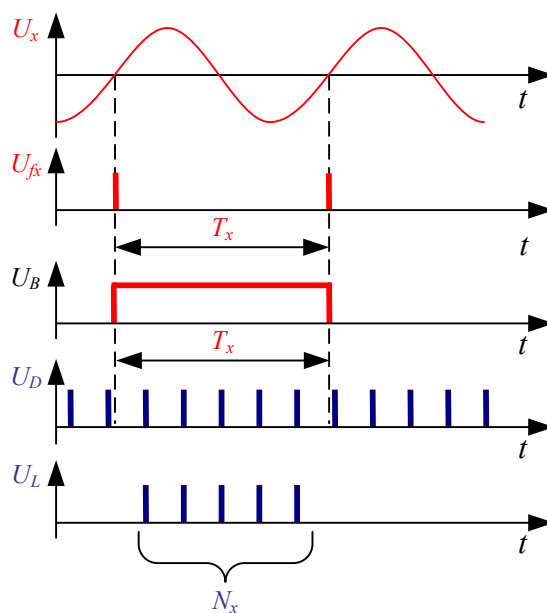
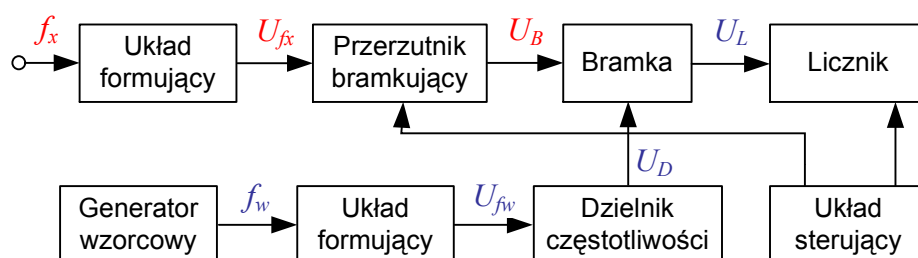
$(\frac{\Delta f_w}{f_w}$  jest rzędu  $10^{-7} \div 10^{-8}$ ).



Rys. 22.2

## 22.2. Pomiar okresu

Schemat blokowy oraz przebiegi czasowe przyrządu do pomiaru okresu przedstawiono na rys. 22.3.



Rys. 22.3

W układzie przedstawionym na rys. 22.3 nastąpiła zamiana funkcji generatora wzorcowego z przebiegiem badanym w stosunku do układu z rys. 22.1. Impulsy z generatora wzorcowego o częstotliwości  $f_w$  są zliczane w czasie równym okresowi przebiegu badanego  $T_x$ . Okres przebiegu badanego  $T_x$  jest równy:

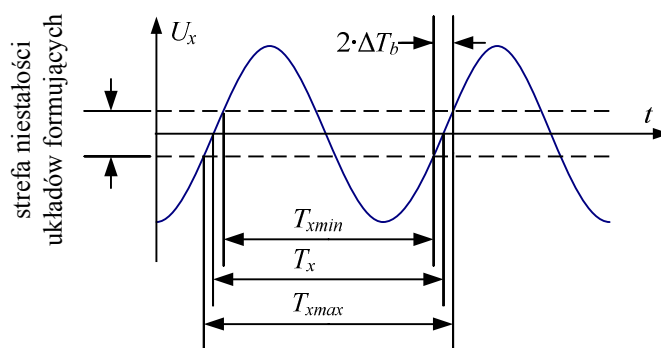
$$T_x = N_x \cdot \frac{1}{f_w}$$

gdzie  $N_x$  jest liczbą impulsów o częstotliwości  $f_w$  zliczoną w czasie  $T_x$ . Względny błąd pomiaru okresu wyraża się wzorem:

$$\frac{\Delta T_x}{T_x} = \pm \frac{1}{N_x} \pm \frac{\Delta f_w}{f_w} \pm \frac{\Delta T_b}{T_b} = \pm \frac{f_x}{f_w} \pm \frac{\Delta f_w}{f_w} \pm \frac{\Delta T_b}{T_b}$$

Pierwszy składnik błędu, podobnie jak przy pomiarze częstotliwości, jest sumą błędu kwantyzacji oraz braku synchronizacji między impulsami bramkującymi i bramkowanymi. Rośnie on w tym przypadku wraz ze wzrostem mierzonej częstotliwości. Drugi składnik jest błędem bramkowania wywołanym strefą niestabilności oraz nieczułości układu formującego. Zadaniem układów formujących jest generacja impulsów w momencie osiągnięcia przez sygnał wejściowy określonego poziomu – najczęściej zera.

Czas bramkowania, jak to pokazano na rys. 22.4, nie jest równy  $T_x$ , zawiera się on w granicach od  $T_{min}$  do  $T_{max}$ . Wartość błędu bramkowania może osiągnąć znaczne wartości (rzędu 1%) szczególnie przy przebiegach o małej szybkości narastania napięcia. Wartość błędu bramkowania ogranicza się poprzez pomiar czasu trwania kilku okresów przebiegu badanego (błąd bramkowania występuje na początku i końcu mierzonego okresu, wartość bezwzględna błędu jest więc stała, względna przy pomiarze kilku okresów maleje) oraz przez zwiększanie szybkości narastania przebiegów wejściowych (np. przez duże wzmocnienie). Pomiar wielokrotności okresu jest jednak pomiarem wartości średniej.



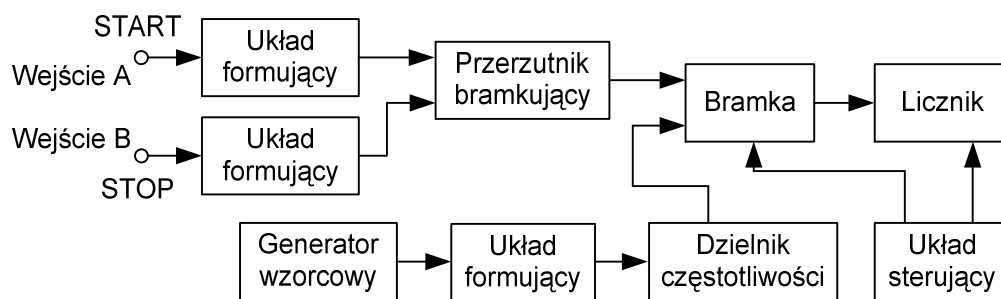
Rys. 22.4

Pomiar częstotliwości poprzez pomiar okresu wydłuża czas pomiaru oraz go komplikuje w przypadku, gdy należy przeliczać wartość okresu na częstotliwość (gdy przeliczanie nie jest wykonywane przez przyrząd). Dla pomiarów niskich częstotliwości opracowano specjalne metody, takie jak:

- przetwarzanie częstotliwości  $f_x$  na napięcie, a następnie cyfrowy pomiar tego napięcia,
- powielanie częstotliwości mierzonej i pomiar częstotliwości powielonej.

### 22.3. Pomiary czasu

Cyfrowy pomiar czasu można zrealizować w układzie blokowym przedstawionym na rys. 22.5.

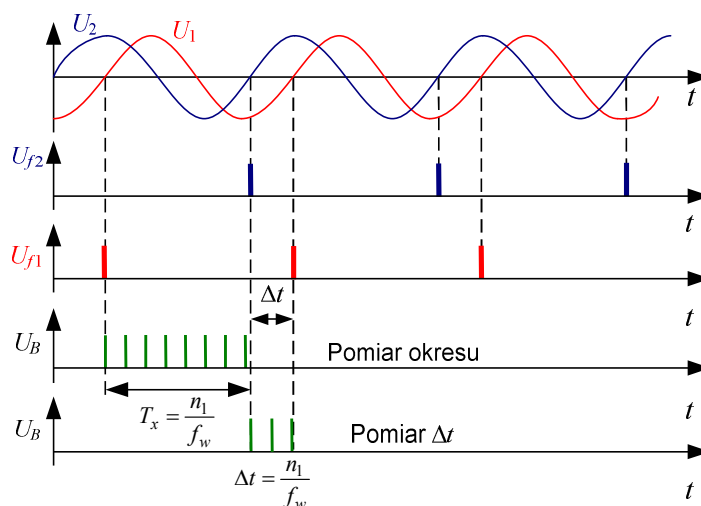
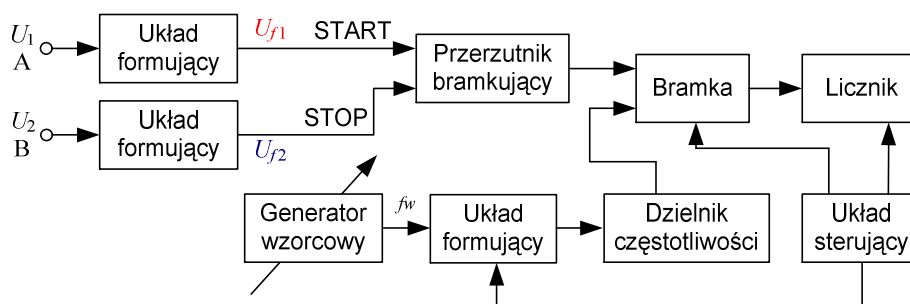


Rys. 22.5

Zasada pomiaru jest taka sama jak przy pomiarze okresu. Układ cyfrowego miernika okresu z rys. 22.3 uzupełniony został drugim układem wejściowym. Impulsy początku zliczania wprowadza się na wejście B. Przyrząd mierzy odstęp czasu między impulsami podanymi na wejścia A i B. Źródła błędów pomiaru czasu są takie same jak przy pomiarze okresu.

#### 22.4. Cyfrowy pomiar przesunięcia fazowego

Cyfrowy pomiar wartości chwilowej przesunięcia fazowego sprowadza się do cyfrowego pomiaru odinków czasu. Schemat blokowy oraz przebiegi czasowe przedstawiono na rys. 22.6.



Rys. 22.6

Napięcia, między którymi należy zmierzyć przesunięcie fazowe, zostają podane na wejścia A i B. Na wyjściu układów formujących otrzymuje się dwa ciągi impulsów przesunięte względem siebie o czas  $\Delta t$  proporcjonalny do różnicy faz przebiegów wejściowych. Impuls z toru A powoduje otwarcie bramki, z toru B jej zamknięcie. W czasie otwarcia bramki do licznika przedostają się impulsy z generatora częstotliwości wzorcowej. Przed pomiarem przesunięcia fazowego wykonuje się pomiar okresu  $T_x$  przebiegów wejściowych:

$$T_x = n_1 \cdot \frac{1}{f_w}$$

Czas proporcjonalny do przesunięcia fazowego:

$$\Delta t = n_2 \cdot \frac{1}{f_w}$$

Przesunięcie fazowe jest równe:

$$\varphi_x = \frac{\Delta t}{T_x} \cdot 360^\circ = \frac{n_2}{n_1} \cdot 360^\circ$$

Jeżeli częstotliwość wzorcowa zostanie dobrana tak, aby był spełniony warunek:

$$f_w = 3,6 \cdot 10^k \cdot f_x$$

to uzyskuje się:

$$\varphi_x = n_2 \cdot 10^{2-k} \text{ (w stopniach)}$$

przy czym:

$k$  – liczba naturalna,

$f_x$  – częstotliwość przebiegów badanych.

Przesunięcie fazowe w ( $^\circ$ ) dla  $k = 2$  jest równe wskazaniu licznika. Rozdzielczość wynosi w tym przypadku  $1^\circ$ . Wymaga to doprowadzenia do licznika impulsów o częstotliwości 360 razy większej niż częstotliwość sygnału mierzonego. Uzyskanie większej rozdzielczości wymaga zwiększenia częstotliwości wzorcowej, np. dla  $k = 3$ , (rozdzielczość  $0,1^\circ$ )  $f_w = 3600 \cdot f_x$ .

Dokładność pomiaru przesunięcia fazowego jest zależna od:

- stałości częstotliwości mierzonej,
- dodatkowych przesunięć fazowych wprowadzonych przez układy formujące,
- poziomu zadziałania układów wejściowych (otwarcie i zamknięcie bramki powinno następować przy tych samych wartościach chwilowych napięć obu przebiegów),

- amplitud napięć wejściowych (powinny niewiele różnić się od siebie – różnica amplitud napięć wejściowych przy dokładnych pomiarach nie może przekraczać kilku procent).

Zwiększenie dokładności pomiaru oraz zakresu częstotliwościowego fazomierzy można uzyskać mierząc wartość średnią przesunięcia fazowego.

### **22.5. Częstościomierze, czasomierze cyfrowe**

Pomiary częstotliwości, czasu, okresu wykonuje się często typowymi częstościomierzami – czasomierzami cyfrowymi różnych typów, jak np. PFL-16, PFL-21, PFL-22, C-570, C-571. Poniżej przedstawiono przykładowo podstawowe parametry częstościomierza - czasomierza typu PFL-22.

Pomiar częstotliwości w zakresie: do 100 MHz.

Czas otwarcia bramki: od 1  $\mu$ s do 10 s.

Maksymalne napięcie wejściowe: do 30 V<sub>pp</sub>.

Impedancja wejściowa:  $\geq 100$  k $\Omega$ ;  $\leq 40$  pF.

Pomiar okresu: 0,1  $\mu$ s  $\div 10^8$  s.

Błąd wyzwiania przy pomiarze okresu: 0,3%.

Błąd generatora wzorcowego:  $2 \cdot 10^{-8}$ .

Pomiar czasu w zakresie: 0,1 s  $\div 10^8$  s.

Częstotliwość generatora wzorcowego: 5 MHz.