

Ćwiczenie 1

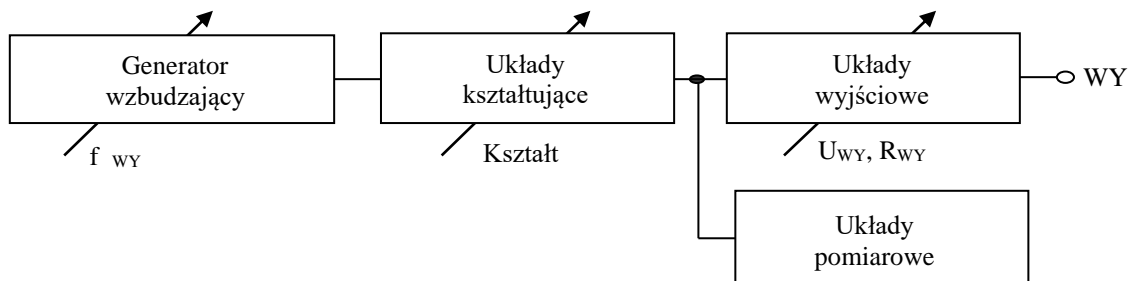
Generatory pomiarowe

1.1. Wstęp

Generatory pomiarowe są to źródła sygnałów elektrycznych o różnych (najczęściej regulowanych i kalibrowanych) częstotliwościach, kształtach i napięciach (lub mocach) wyjściowych. Parametry sygnału wyjściowego generatora pomiarowego muszą spełniać określone wymagania, zależne od rodzaju generatora i jego przeznaczenia. W miernictwie elektronicznym generatory pomiarowe stosowane są jako źródła elektrycznych sygnałów pomiarowych przy pomiarach czynnych oraz jako źródła sygnałów wzorcowych przy pomiarach porównawczych (np. przy pomiarze częstotliwości).

1.2. Ogólna budowa generatorów pomiarowych

Ogólny schemat funkcjonalny analogowego generatora pomiarowego przedstawiony jest na rysunku 1.1. Regulacja parametrów poszczególnych stopni może odbywać się ręcznie lub automatycznie, regulowany parametr może być zmieniany płynnie lub skokowo.



Rys. 1.1. Ogólny schemat funkcjonalny generatora pomiarowego

Generator wzbudzający – blok, którego zadaniem jest generacja sygnału napięcia zmiennego o znanej i odpowiedniej częstotliwości. Generowany sygnał powinien cechować się wysoką stabilnością zarówno wartości częstotliwości, jak i poziomu napięcia. W przypadku generatorów przebiegów sinusoidalnych (harmonicznych) generatorem wzbudzającym są oscylatory – układy samowzbudne, najczęściej pracujące ze sprzężeniem zwrotnym, w przypadku generatorów przebiegów nieharmonicznych generatory relaksacyjne, które mogą pracować jako samowzbudne lub wyzwalane.

Układy kształtujące – zbiór przetworników pomiarowych, których zadaniem jest odpowiednie ukształtowanie napięcia wyjściowego przyrządu, na podstawie przebiegu z generatora wzbudzającego. Możliwe jest uzyskanie przebiegów wyjściowych różnych kształtów z jednego

podstawowego sygnału generacji. W zależności od rodzaju generatora pomiarowego stosuje się różne układy kształtujące: wzmacniacze szerokopasmowe i selektywne, wtórники napięcia, modulatory, układy kształtujące impulsy (np. przerzutniki mono i bistabilne) i inne.

Układy wyjściowe – zespół elementów, które zapewniają uzyskanie odpowiedniego poziomu napięcia wyjściowego (lub mocy) oraz określonej rezystancji wyjściowej przyrządu. Jako układy wyjściowe stosuje się wzmacniacze mocy, transformatory dopasowujące, skompensowane częstotliwościowo dzielniki i tłumiki napięcia.

Układy pomiarowe – zespół elementów, które umożliwiają kontrolę ustawienia poszczególnych parametrów sygnału wyjściowego. Stosuje się woltomierze elektroniczne, częstotliwościomierze cyfrowe, mierniki współczynnika głębokości modulacji m i dewiacji częstotliwości Δf , w zależności od potrzeb i typu generatora.

1.3. Klasyfikacja generatorów pomiarowych

Generatory pomiarowe ze względu na mnogość parametrów i funkcji można klasyfikować według różnych kryteriów.

1) Według kształtu generowanych przebiegów:

- a) generatory pomiarowe napięć harmoniczných (sinusoidalne),
- b) generatory pomiarowe napięć nieharmoniczných np. generatory impulsów prostokątných, generatory szumów.

2) Według częstotliwości generowanych napięć:

- a) generatory pomiarowe m.cz. (małej częstotliwości) - zakres częstotliwości: od mHz do setek kHz
- b) generatory pomiarowe w.cz. (wysokiej częstotliwości) - zakres częstotliwości: od kilkudziesięciu kHz do setek MHz
- c) generatory pomiarowe b.w.cz. (bardzo wysokiej częstotliwości) - zakres częstotliwości: od kilkudziesięciu MHz do kilkudziesięciu GHz

3) Według mocy wyjściowej:

- a) generatory pomiarowe małej mocy: $P_{wy} \leq 0,1 \text{ W}$
- b) generatory pomiarowe średniej mocy: $0,1 \text{ W} < P_{wy} \leq 10 \text{ W}$
- c) generatory pomiarowe dużej mocy: $P_{wy} > 10 \text{ W}$

4) Według metody wytwarzania sygnału wyjściowego:

- a) generatory analogowe,
- b) generatory cyfrowe.

1.4. Parametry generatorów

Wymagania eksploatacyjne stawiane generatorom pomiarowym dotyczą: zakresu, dokładności ustawienia i stałości (stabilności) parametrów sygnału wyjściowego tzn. częstotliwości i napięcia (lub mocy), parametrów charakteryzujących kształt sygnału, rezystancji wyjściowej generatora.

1) Parametry częstotliwościowe:

- a) zakres i sposób regulacji,
- b) dokładność ustawienia (dokładność skalowania, dokładność wzorca),
- c) stabilność częstotliwości.

Stabilność częstotliwości jest to zmiana częstotliwości w czasie pod wpływem zmian warunków pracy (np. temperatury, ciśnienia). Rozróżnia się stabilność krótkoterminową np. 15 min. i długoterminową np. 24 h.

$$\delta_f = \frac{|f_{t=0} - f_{t=15\min}|}{f_{t=0}} \cdot 100\% \quad (1.1)$$

2) Parametry napięciowe:

- a) zakres napięcia i sposób regulacji,
- b) dokładność napięcia wyjściowego,
- c) stałość napięcia przy zmianie częstotliwości:

$$\delta_U = \frac{U_{f_{odn.}} - U_f}{U_{f_{odn.}}} \quad (1.2)$$

$U_{f_{odn.}}$ – napięcie o częstotliwości odniesienia np. 1 kHz dla generatorów m.cz.,

U_f – napięcie o dowolnej częstotliwości.

3) Parametry charakteryzujące wyjście:

- a) rezystancja wyjściowa R_{wy} ,
- b) rodzaje wyjść (symetryczne, niesymetryczne).

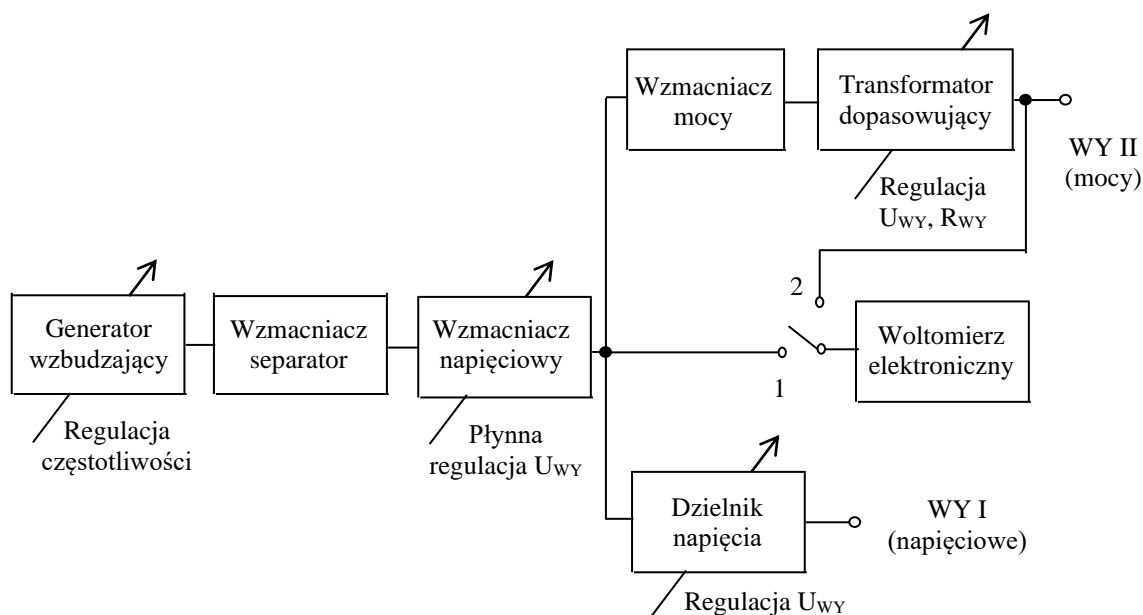
4) Parametry specyficzne, zależne od rodzaju generatora pomiarowego:

- a) współczynnik zawartości harmoniczych (w gen. sinusoidalnych),
- b) rodzaje i zakres zmiany parametrów modulacji (w gen. sygnałowych),
- c) parametry impulsów (w gen. impulsowych),
- d) inne, odpowiednio do rodzaju i funkcji generatora.

1.5. Generatory analogowe

1.5.1. Generator napięć harmoniczych

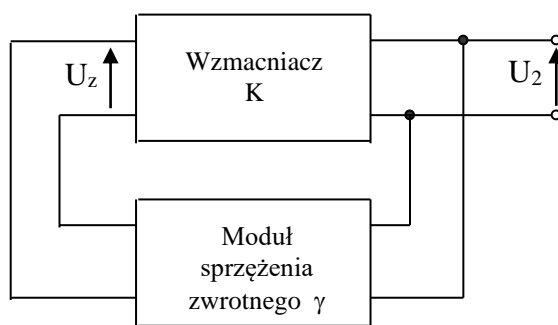
Schemat blokowy generatora napięć harmoniczych przedstawia rysunek 1.2.



Rys. 1.2. Schemat funkcjonalny generatora pomiarowego m.cz.

Podstawowym modulem przyrządu jest generator wzbudzający, który realizowany jest najczęściej w postaci wzmacniacza objętego pętlą selektywnego sprzężenia zwrotnego.

Strukturę takiego układu przedstawia rysunek 1.3.



Rys. 1.3. Podstawowa struktura generatora wzbudzającego ze sprzężeniem zwrotnym

Występowanie sprzężenia zwrotnego w dowolnym układzie oznacza podanie części sygnału wyjściowego powrotnie na wejście układu. Zarówno wzmacniacz, jak i moduł sprzężenia zwrotnego stanowią czwórnik, czyli układ, w którym wyróżnić można 4 zaciski tworzące parę zacisków wejściowych i parę zacisków wyjściowych.

Transmitancja napięciowa K_s (stosunek napięcia wyjściowego do wejściowego) układu ze sprzężeniem zwrotnym wyrażona jest równaniem:

$$K_s = \frac{K}{1 - \gamma \cdot K} \quad (1.3)$$

gdzie: K – transmitancja wzmacniacza w otwartej pętli

γ – transmitancja czwórnika sprzężenia zwrotnego

W zależności od wartości $|1 - \gamma K|$ rozróżnia się następujące przypadki:

1° $|1 - \gamma \cdot K| > 1$ - to $K_s < K$ – sprzężenie zwrotne ujemne (redukcja wzmocnienia);

2° $|1 - \gamma \cdot K| < 1$ - to $K_s > K$ – sprzężenie zwrotne dodatnie (wzrost wzmocnienia);

3° $|1 - \gamma \cdot K| = 0$ - to $K_s \rightarrow \infty$ – następuje wzbudzenie układu, mamy generator;

Jak widać, warunkiem generacji jest spełnienie zależności

$$K\gamma = 1 \text{ - wzmocnienie układu w pętli zamkniętej musi być równe 1}$$

Wówczas uzyskujemy generację napięcia harmonicznego o stałej wartości U_2 :

$$U_2 = K \cdot U_z = K\gamma \cdot U_2 \quad (1.4)$$

W ogólnym przypadku transmitancje K i γ są liczbami zespolonymi:

$$\begin{cases} K = |K| \cdot e^{j\varphi} \\ \gamma = |\gamma| \cdot e^{j\psi} \end{cases} \quad (1.5)$$

Warunek generacji przyjmuje postać:

$$\begin{cases} |K| \cdot |\gamma| = 1 & \text{- warunek amplitudy} \\ \varphi + \psi = 0 + 2\pi \cdot k & \text{- warunek fazy} \end{cases} \quad (1.6)$$

gdzie:

$|K|$ – moduł transmitancji wzmacniacza;

$|\gamma|$ – moduł transmitancji czwórnika sprzężenia zwrotnego;

φ – przesunięcie fazy wprowadzane przez wzmacniacz;

ψ – przesunięcie fazy wprowadzane przez czwórnik sprzężenia zwrotnego.

Warunek amplitudy – warunek ten oznacza, że wzmacniacz musi kompensować straty powstałe w czwórniku sprzężenia zwrotnego. Niespełnienie tego warunku spowoduje wzrost lub spadek amplitudy generowanego napięcia.

Warunek fazy – warunek ten oznacza, że wzmacniacz i czwórnik sprzężenia zwrotnego rozpatrywane razem nie mogą wnosić przesunięcia fazowego, tzn. sygnał po przejściu przez nie musi mieć taką samą fazę jak na wejściu.

Aby układ generował napięcie sinusoidalne (o jednej częstotliwości), to warunek generacji powinien być spełniony właśnie dla tej jednej częstotliwości generacji i odległy dla pozostałych. Realizuje się to w ten sposób, że jeden z czwórników (najczęściej sprzężenia zwrotnego) jest

układem selektywnym - o bardzo wąskim paśmie częstotliwości, obejmującym częstotliwość generowaną.

W zależności od zastosowanego czwórnika γ (układu selektywnego) rozróżnia się następujące generatory wzbudzające drgań harmonicznym:

- generatory LC - czwórnik γ jest obwodem rezonansowym

- częstotliwość drgań:

$$f_g = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}} \quad (1.7)$$

strojenie generatora, czyli zmianę częstotliwości uzyskuje się poprzez skokową zmianę indukcyjności L i płynną zmianę pojemności C

- zakres częstotliwości generacji: $\sim 50 \text{ kHz} \div \sim 300 \text{ MHz}$
(generatory w.cz. częstotliwości radiowych z modulacją AM, FM)
- nie stosuje się dla niższych częstotliwości, ze względu na konieczność stosowania bardzo dużych cewek

- generatory RC - czwórnik γ jest selektywnym filtrem RC

- częstotliwość drgań:

$$f_g = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{R \cdot C}} \quad (1.8)$$

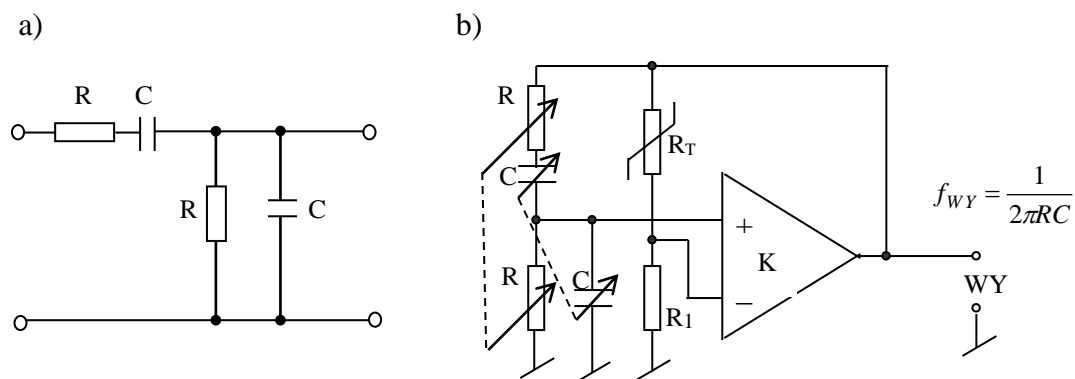
strojenie generatora, czyli zmianę częstotliwości uzyskuje się poprzez skokową zmianę rezystancji R i płynną zmianę pojemności C

- zakres częstotliwości generacji: $\sim 10 \text{ Hz} \div \sim 200 \text{ kHz}$
(generatory m.cz. częstotliwości akustycznych)

- generatory kwarcowe - czwórnik γ jest filtrem kwarcowym

- generacja jednej częstotliwości określonej przez częstotliwość rezonansową kwarcu.

Do najczęściej stosowanych rozwiązań należą układy generatorów RC z tzw. czwórnikiem Wiena. Strukturę samego czwórnika Wiena oraz pełnego układu generatora przedstawiono na rysunku 1.4. Czwórnik Wiena jest układem selektywnym zapewniającym selektywność i stabilizację generowanej częstotliwości. W układzie zastosowano dodatkową pętlę sprzężenia zwrotnego z elementem nieliniowym, w postaci termistora R_T . Poprawia to stabilność napięcia wyjściowego z generatora. Regulacja częstotliwości odbywa się przez jednoczesną zmianę R lub C (zaznaczone na rysunku). W sposób płynny można regulować częstotliwość w zakresie jednej dekady (np. $1 \div 10 \text{ kHz}$; $20 \div 200 \text{ Hz}$). Stabilność częstotliwości generatora jest na poziomie $< 10^{-4}$.



Rys. 1.4. a) czwórnik Wiena, b) generator RC z czwórnikiem Wiena

W układzie generatora napięć harmoniczných m.cz. (rys.1.2.) oprócz generatora wzbudającego występuje wzmacniacz separator, dla odizolowania stopnia generacji od wpływu kolejnych stopni i zapewnienia jego stabilnych warunków pracy, dalej wzmacniacz z płynną regulacją napięcia wyjściowego. Sygnał z wyjścia tego wzmacniacza przez dodatkowy dzielnik napięcia podany jest na wyjście niskonapięciowe generatora m.cz. Z drugiej strony, ten sam sygnał poprzez wzmacniacz mocy i transformator dopasowujący podany jest na wyjście mocy.

1.5.2. Syntezy (syntetyzery) częstotliwości (generatory siatki częstotliwości)

Generatory te pracują na zasadzie *syntezy częstotliwości* – otrzymywania napięcia o żądanej częstotliwości poprzez składanie szeregu sygnałów harmoniczných, wytworzonych z sygnału o częstotliwości wzorcowej.

Rozróżnia się dwa rodzaje syntezy częstotliwości:

- 1) Synteza bezpośrednia - polega na wykonywaniu prostych operacji arytmetycznych na częstotliwościach składowych:
 - a) sumowaniu i odejmowaniu dwóch częstotliwości
 - b) mnożeniu i dzieleniu częstotliwości przez stałą
- 2) Synteza pośrednia - wykorzystuje właściwości pętli synchronizacji fazowej do sterowania pomocniczego generatora analogowego.

Rysunek 1.5. przedstawia uproszczoną wersję syntezer częstotliwości pracujących w oparciu o metodę syntezy bezpośredniej.

Generator kwarcowy generuje sygnał napięciowy o częstotliwości f_{kw} , sterujący pracą syntezer częstotliwości. Generator harmoniczných jest powielaczem częstotliwości, składa się z układu przetwarzającego napięcie sygnału o częstotliwości f_{kw} na napięcie o szerokim widmie częstotliwości oraz z zestawu filtrów nastrojonych na kolejne harmoniczne (np. od f_{kw} do $9 \cdot f_{kw}$).

Na wyjściu otrzymywany jest sygnał napięciowy o częstotliwości:

gdzie: n – numer harmoniczej, m – liczba dekad wykorzystanych do syntezy

$$f_{wy} = \frac{5 \cdot f_{kw}}{10^{3-1}} + \frac{7 \cdot f_{kw}}{10^{3-2}} + \frac{3 \cdot f_{kw}}{10^{3-3}} = \left(\frac{5}{100} + \frac{7}{10} + \frac{3}{1} \right) \cdot f_{kw} =$$

$$= \frac{5 + 70 + 300}{100} \cdot f_{kw} = 3,75 \cdot f_{kw} = 3,75 MHz \quad (1.10)$$

```

graph LR
    GK[Generator kwarcowy] -- f_kw --> DF[Detektor fazy]
    DF -- U_st --> GS[Generator sterowany napięciowo]
    GS -- f_0 --> FM[f / m]
    FM -- f_0 --> FN[f / n]
    FN -- f_1 --> DF
    FM -- WY --> fwy((f_wy))
  
```

Rys. 1.6. Metoda pośrednia syntezy częstotliwości

Generator sterowany napięciowo generuje przebieg o częstotliwości f_0 , która jest zależna od napięcia sterującego U_{st} . Częstotliwość sygnału f_0 po podzieleniu przez n jest porównywana na detektorze fazy z częstotliwością wzorcową generatora kwarcowego f_{kw} . Detektor fazy daje na wyjściu sygnał o składowej stałej proporcjonalnej do różnicy faz obu sygnałów, która wynika z różnicy częstotliwości. Wyodrębniona za pomocą filtru dolnoprzepustowego składowa stała steruje generatorem VCO.

Jeżeli $f_1 = f_0/n = f_{kw}$ to $U_{st} = 0$ i częstotliwość generatora sterowanego napięciowo nie zmienia się. W innym przypadku $U_{st} \neq 0$ i częstotliwość generatora zostaje zmieniona.

Zastosowanie w pętli sprzężenia zwrotnego dzielnika częstotliwości przez n powoduje, że stanem ustalonym jest sytuacja, kiedy sygnał wyjściowy generatora przestrajanego napięciem ma częstotliwość n razy większą niż częstotliwość sygnału wzorca. Sygnał o częstotliwości f_0 dzielony jest z programowanym współczynnikiem podziału m , w wyniku czego uzyskujemy ostatecznie sygnał wyjściowy z syntezy o częstotliwości:

$$f_{wy} = \frac{f_0}{m} = \frac{n \cdot f_1}{m} = \frac{n}{m} \cdot f_{kw} \quad (1.11)$$

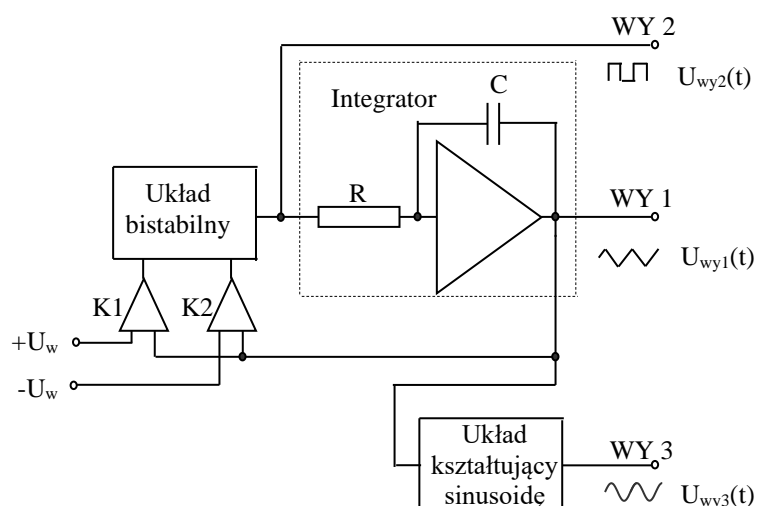
1.5.3. Generator funkcji (generator funkcyjny)

Generator funkcji jest generatorem relaksacyjnym. Może generować napięcia o różnym kształcie, z tego względu nazywany jest także generatorem uniwersalnym. Podstawowym sygnałem generowanym jest napięcie „trójkątne”. Zasada pracy generatora polega na cyklicznym ładowaniu i rozładowaniu kondensatora. Z teorii obwodów wiadomo, że napięcie na kondensatorze ładowanym ze źródła napięcia stałego zmienia się wykładniczo (jest więc nieliniowe). W generatorach funkcji napięcie linearyzuje się wykorzystując integratory lub źródła prądowe o stałej wydajności.

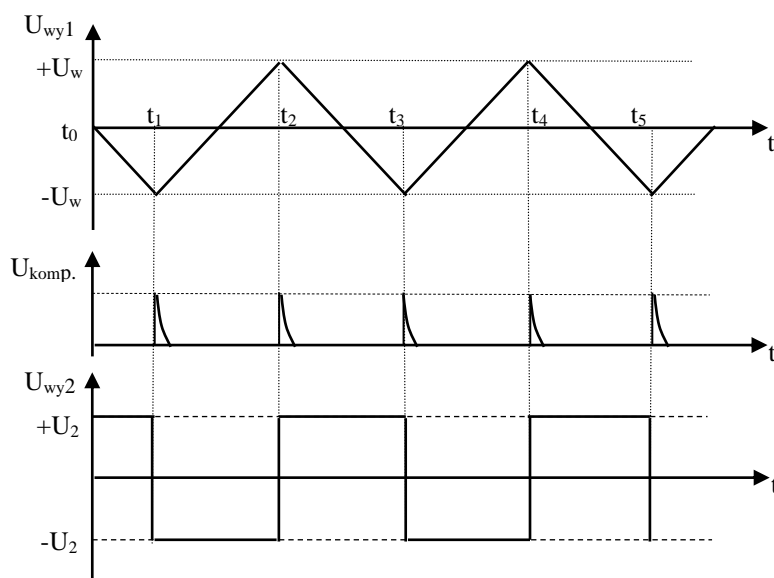
Charakterystyka generatorów funkcyjnych:

- a) generacja przebiegów o min. 3 kształtach: sinusoidalnym, trójkątnym, prostokątnym,
- b) zakres częstotliwości: 1 mHz ÷ 10 MHz,
- c) możliwość sterowania napięciowego częstotliwością generowaną,
- d) wprowadzenie składowej stałej do przebiegu wyjściowego,
- e) możliwość modulacji amplitudy AM i modulacji częstotliwości FM.

Na rysunku 1.7 przedstawiono uproszczony schemat funkcjonalny generatora funkcji z integratorem, a na rysunku 1.8 przebiegi czasowe w różnych punktach układu. Integrator jest układem realizującym operację całkowania sygnału, wykonanym najczęściej w postaci wzmacniacza operacyjnego, który w pętli sprzężenia posiada kondensator.



Rys. 1.7. Schemat blokowy generatora funkcji z integratorem



Rys. 1.8. Wykresy czasowe ilustrujące zasadę pracy generatora z rys. 1.7

Na wejście integratora podawane jest napięcie o przebiegu prostokątnym ($\pm U_2$) z wyjścia układu bistabilnego. Napięcie to podawane jest również na wyjście 2 generatora funkcji (U_{wy2}). Integrator pracuje w układzie wzmacniacza odwracającego – napięcie wyjściowe ma przeciwny charakter zmian niż napięcie wejściowe. Na wyjściu integratora napięcie zmienia się liniowo, zgodnie z wyrażeniem:

$$u_1(t) = -\frac{1}{RC} \cdot \int_0^t U_2 dt = -\frac{U_2}{RC} \cdot t = U_{wy1}(t) \quad (1.12)$$

Napięcie $u_1(t)$, o charakterze przebiegu trójkątnego, podawane jest na wyjście 1 generatora funkcji (U_{wy1}) oraz na wejścia komparatorów K1 i K2, gdzie jest porównywane z napięciem wzorcowym $\pm U_w$. W chwili zrównania $u_1(t)$ z U_w następuje przełączenie przerzutnika bistabilnego

w stan przeciwny (skokowa zmiana wartości U_2). Od tej chwili napięcie na wyjściu integratora zmienia się liniowo z przeciwnym znakiem. Dla chwili czasu $t = t_1$:

$$u_1(t_1) = -\frac{U_2}{RC} \cdot t_1 ; \quad t_1 = -\frac{u_1(t_1)}{U_2} \cdot RC ; \quad u_1(t_1) = -U_w ; \quad t_1 = \frac{U_w}{U_2} \cdot RC \quad (1.13, 1.14, 1.15, 1.16)$$

Okres i częstotliwość generowanego napięcia:

$$T = 4 \cdot t_1 = 4 \cdot RC \cdot \frac{U_w}{U_2} ; \quad f = \frac{1}{T} = \frac{U_2}{U_w} \cdot \frac{1}{4 \cdot RC} \quad (1.17, 1.18)$$

Regulacja częstotliwości odbywa się przez zmianę wartości R i C. Można również zmieniać f_{wy} przez regulację napięć U_2 i U_w .

Na rysunku 1.9 przedstawiony jest uproszczony schemat blokowy generatora funkcji pracującego wg drugiej metody (ładowanie i rozładowanie kondensatora prądem stałym $I = \text{const.}$). Klucz przełączający źródła prądowe sterowany jest napięciem z układu bistabilnego. Kondensator C ładowany jest prądem i_L a rozładowywany prądem i_R . Ponieważ $I_1 = \text{const.}$ oraz $I_2 = \text{const.}$ (źródła prądowe o stałych wydajnościach), to napięcie na kondensatorze (u_C) zmienia się liniowo:

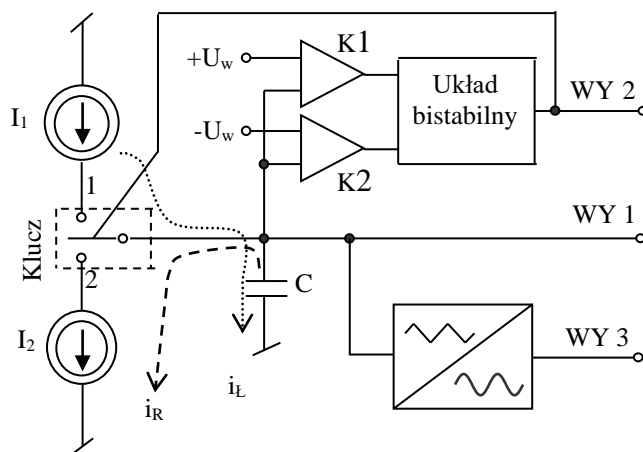
$$u_{CL}(t) = \frac{1}{C} \cdot \int I_1 dt = \frac{I_1}{C} \cdot t ; \quad u_{CR}(t) = -\frac{1}{C} \cdot \int I_2 dt = -\frac{I_2}{C} \cdot t \quad (1.19, 1.20)$$

dla $t = t_1$:

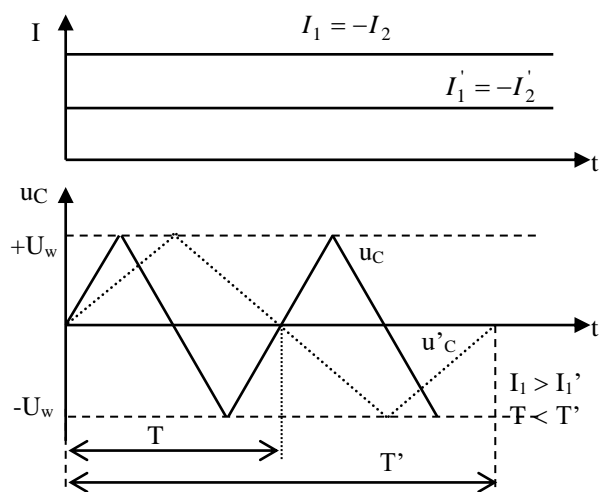
$$u_C(t_1) = \frac{I_1}{C} \cdot t_1 = U_w ; \quad t_1 = \frac{U_w \cdot C}{I_1} \quad (1.21, 1.22)$$

$$T = 4t_1 = 4 \cdot \frac{U_w \cdot C}{I_1} , \quad f = \frac{1}{T} = \frac{I_1}{4U_w \cdot C} \quad (1.23, 1.24)$$

Częstotliwość generowanego przebiegu można regulować zmieniając prąd ładowania i rozładowania kondensatora – rysunek 1.10. Im większy prąd ze źródła, tym większa częstotliwość generowanego sygnału. W tym celu stosowane są źródła prądowe o regulowanej wydajności. Z reguły $I_1 = -I_2$, prądy ładowania i rozładowania mają tę samą wartość, dzięki temu nachylenie zbocza narastającego i opadającego w generowanym sygnale jest jednakowe.

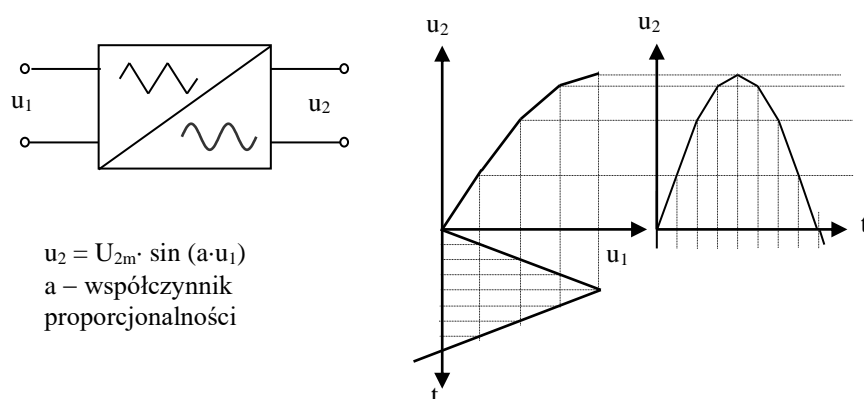


Rys. 1.9. Generator funkcji ze źródłami prądowymi



Rys. 1.10. Regulacja częstotliwości przez zmianę natężenia prądu

Napięcie sinusoidalne na wyjściu generatora funkcji otrzymywane jest z przetwornika przebiegu trójkątnego na sinusoidalny. Jest to przetwornik o nieliniowej charakterystyce przetwarzania. Do kształtowania charakterystyki przetwarzania często stosuje się sieć funkcyjną aproksymującą żadaną charakterystykę odcinkami linii prostej - rysunek 1.11.

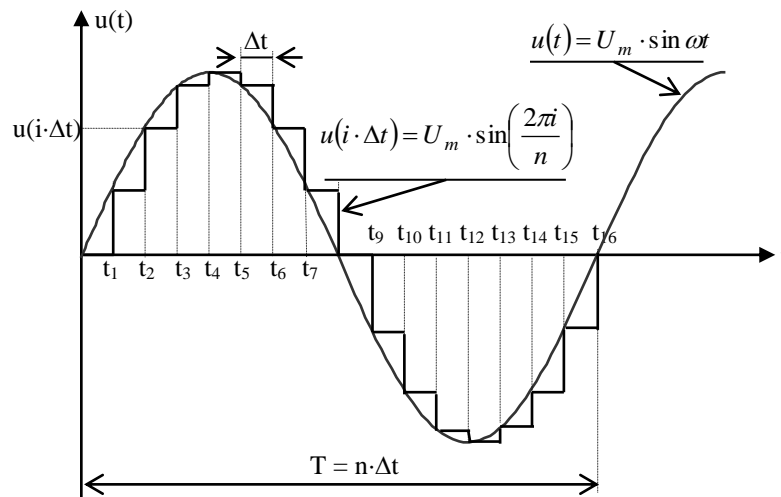


Rys. 1.11. Sposób otrzymywania napięcia sinusoidalnego

1.6. Generatory cyfrowe

Generatory cyfrowe to z reguły generatory przebiegów o różnych kształtach, wyposażone w opcje klasycznych generatorów funkcyjnych. Zasada pracy generatorów cyfrowych polega na przekształceniu kodu cyfrowego, zapisanego w pamięci generatora, w sygnał analogowy. Sygnał analogowy (np. sinusoidalny) aproksymowany jest funkcją otrzymaną z przetwornika C/A.

Na rysunku 1.12 podano przykład aproksymacji napięcia sinusoidalnego napięciem schodkowym.



Rys. 1.12. Aproxymacja napięcia sinusoidalnego napięciem schodkowym

Napięcie sinusoidalne $u(t) = U_m \cdot \sin \omega \cdot t$ zostało aproksymowane napięciem schodkowym

$$u(i \cdot \Delta T) = U_m \cdot \sin \frac{2\pi \cdot i}{n} \quad (1.25)$$

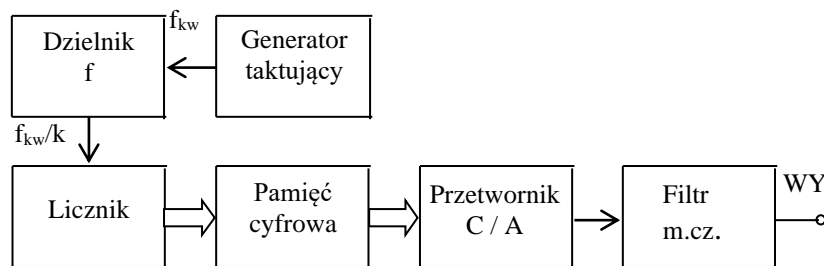
gdzie:

$\Delta T = T_s = t_i - t_{i-1}$ – okres próbkowania,

n – liczba stopni przypadająca na jeden okres formowanego napięcia,

$T = n \cdot \Delta T = n \cdot T_s$

Na rysunku 1.13 przedstawiono uproszczony schemat funkcjonalny generatora cyfrowego.



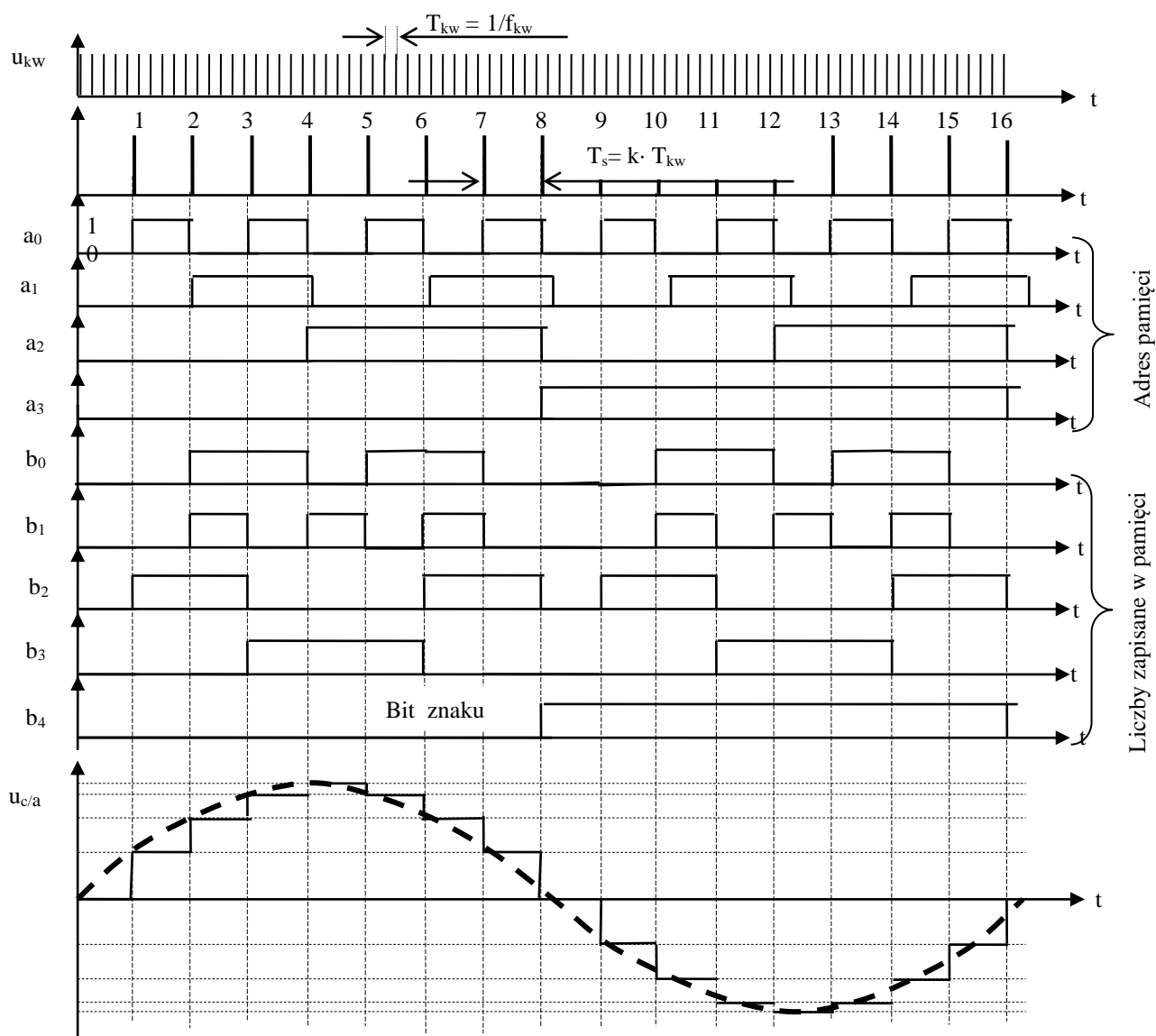
Rys. 1.13. Uproszczony schemat funkcjonalny generatora cyfrowego

Generator taktujący (zbudowany na kwarcu) generuje napięcie impulsowe o okresie T_{kw} . Sygnał ten podawany jest na dzielnik częstotliwości o regulowanym współczynniku podziału k . Na wyjściu dzielnika częstotliwości występuje napięcie impulsowe o okresie $k \cdot T_{kw} = \Delta T = T_s$ (odpowiada to okresowi próbkowania sygnału wyjściowego). Sygnał ten podawany jest na licznik o pojemności n . Na wyjściu licznika otrzymuje się kod liczbowy – liczba i zliczonych impulsów. Liczba i zmienia się od 0 do n , co jeden. Kod liczbowy z wyjścia licznika adresuje pamięć cyfrową, w której zapisane są wartości funkcji (np. sinusoidy) odpowiadające danej liczbie i . Z wyjścia pamięci, wartość zapisana w danej komórce o adresie i , podawana jest na przetwornik C/A.

Na wyjściu przetwornika C/A otrzymywane jest napięcie odpowiadające liczbie i (np. dla napięcia sinusoidalnego:

$$u(i \cdot \Delta T) = U_m \cdot \sin \frac{2\pi \cdot i}{n} \quad (1.26)$$

Napięcie to utrzymuje się przez czas ΔT do przyjscia na wejście pamięci następnego kodu liczbowego (liczby $i + 1$). Po zliczeniu n -tego impulsu następuje przepełnienie licznika i jego stan wraca do zera. Nowy cykl pracy rozpoczyna przyjscie impulsu $n + 1$. Napięcie schodkowe z wyjścia przetwornika C/A podawane jest na filtr dolnoprzepustowy m.cz. wygładzający uzyskany przebieg. Na rysunku 1.14 przedstawiono ideę działania generatora – zmianę napięcia wyjściowego w kolejnych taktach zegara.



Rys. 1.14. Wykresy ilustrujące ideę działania generatora cyfrowego

Przyjęto następujące oznaczenia:

- $a_0 \div a_3$ – bity wyjściowe licznika adresujące pamięć cyfrową, liczba n zapisana w naturalnym kodzie binarnym,
- $b_0 \div b_4$ – m -bitowe ($m=4$) słowo binarne w zapisie moduł-znak, reprezentujące wartość generowanej funkcji zapisaną w adresowanej komórce pamięci cyfrowej, najstarszy bit (w przykładzie b_4) jest bitem znaku (przy czym, $b_4=0$ – wartość dodatnia; $b_4=1$ – wartość ujemna).

Generatory cyfrowe zastępują (a nawet przewyższają) pod względem wymagań użytkowych i metrologicznych generatory pomiarowe m.cz., funkcji oraz częściowo generatory pomiarowe w.cz. i impulsów prostokątnych.

1.7. Badania laboratoryjne

Cel ćwiczenia:

- poznanie typów i rodzajów generatorów pomiarowych,
- poznanie parametrów i funkcji generatorów pomiarowych,
- zapoznanie z obsługą generatorów pomiarowych.

Wykaz przyrządów na stanowisku pomiarowym

Lp.	Nazwa przyrządu
1	Generator funkcyjny
2	Generator cyfrowy
3	Częstościomierz
4	Oscyloskop
5	Woltomierz cyfrowy

Przebieg ćwiczenia:

1. Badanie generatora funkcyjnego

A) Charakterystyka ogólna badanego generatora

Na podstawie obserwacji płyty czołowej sporządzić wykaz podstawowych parametrów generatora. Uzupełnić tabelę z parametrami badanego przyrządu.

B) Analiza jakościowa kształtów generowanych przebiegów

Połączyć układ pomiarowy zgodnie ze schematem zamieszczonym na rysunku 1.15.

Ustawić w generatorze kolejno sygnały o zadanych parametrach. Dokonać obserwacji sygnałów.

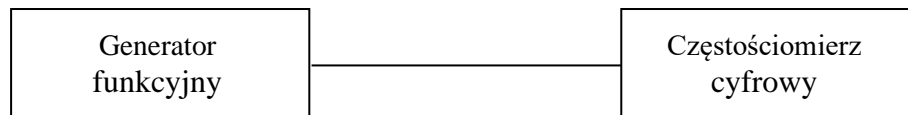
Naszkicować oscylogramy.



Rys. 1.15. Układ do obserwacji sygnałów z generatora badanego

C) Sprawdzenie zakresu i dokładności skalowania regulatorów częstotliwości

W układzie pomiarowym jak rysunku 1.16, dokonać pomiaru zadanych częstotliwości sygnału wyjściowego z generatora.



Rys. 1.16. Układ do pomiaru częstotliwości generatora badanego

Wyznaczyć względny błąd nastawy częstotliwości generatora badanego δ_f korzystając ze wzoru:

$$\delta_f = \frac{|f_x - f_w|}{f_x} \cdot 100\% \quad (1.27)$$

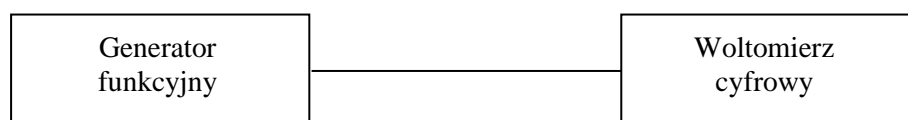
gdzie: f_x – częstotliwość ustawiona na skali generatora badanego

f_w – częstotliwość odczytana z częstościomierza

Wyniki pomiarów i obliczeń zamieścić w tabeli. Sporządzić wykres błędu w funkcji częstotliwości.

D) Sprawdzenie wpływu regulacji częstotliwości na wartość napięcia wyjściowego

W układzie pomiarowym jak na rysunku 1.17, ustawić zadaną wartość napięcia wyjściowego z generatora U_{1kHz} dla ustalonej częstotliwości sygnału $f = 1$ kHz. Dokonać pomiaru napięcia wyjściowego przy zmianie częstotliwości sygnału z generatora.



Rys. 1.17. Układ do pomiaru napięcia generatora badanego

Wyznaczyć stabilność napięcia wyjściowego generatora U_{dB} w funkcji częstotliwości ze wzoru:

$$U_{dB} = 20 \log \frac{U}{U_{1kHz}} \quad (1.28)$$

gdzie: U – bieżąca wartość napięcia wyjściowego dla zadanej częstotliwości generatora

U_{1kHz} – wartość napięcia wyjściowego dla częstotliwości 1 kHz

Wyniki pomiarów i obliczeń zamieścić w tabeli. Sporządzić wykres stabilności napięcia w funkcji częstotliwości.

E) Sprawdzenie współczynnika podziału tłumika sygnału wyjściowego

Układ pomiarowy jak na rysunku 1.17. Wybrać współczynnik podziału tłumika sygnału $k_x = 0$ dB. Ustawić zadaną wartość napięcia wyjściowego z generatora U_{0dB} dla ustalonej częstotliwości sygnału $f = 1$ kHz. Dokonać pomiaru napięcia wyjściowego przy zmianie współczynnika podziału tłumika k_x . Obliczyć współczynniki podziału tłumika sygnału km_{dB} , ze wzoru:

$$km_{dB} = 20 \log \frac{U}{U_{0dB}} \quad (1.29)$$

gdzie: U – wartość napięcia wyjściowego dla zadanego współczynnika podziału tłumika k_x

U_{0dB} – wartość napięcia wyjściowego dla współczynnika podziału 0 dB

Wyniki pomiarów i obliczeń zamieścić w tabeli. Porównać obliczone i zadane wartości współczynnika podziału tłumika.

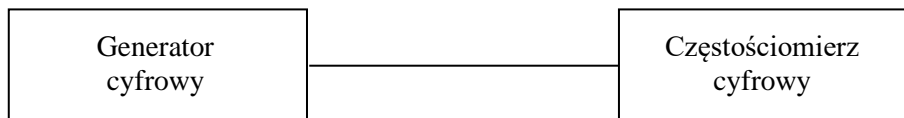
2. Badanie generatora cyfrowego

A) Charakterystyka ogólna badanego generatora

Zapoznać się z płytą czołową przyrządu i sposobami ustawiania i regulacji parametrów sygnału. Sporządzić wymagane notatki.

B) Sprawdzenie zakresu częstotliwości generatora.

Połączyć układ pomiarowy zgodnie ze schematem zamieszczonym na rysunku 1.18.



Rys. 1.18. Układ do pomiaru częstotliwości generatora badanego

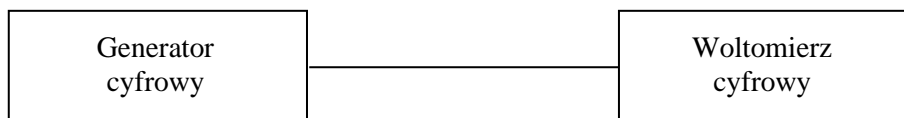
Dla czterech kształtów przebiegów: sinusoidalnego, trójkątnego, piłokształtnego, prostokątnego sprawdzić minimalną i maksymalną wartość częstotliwości sygnału możliwą do ustawienia na generatorze. Wyniki zanotować w tabeli.

C) Sprawdzenie dokładności ustawienia częstotliwości generatora.

W układzie pomiarowym jak na rysunku 1.18, dokonać pomiaru zadanych częstotliwości sygnału wyjściowego z generatora, ustawianych różnymi metodami. Wyniki pomiarów zamieścić w tabeli. Porównać wartości zadane i zmierzone.

D) Badanie parametrów napięciowych

W układzie pomiarowym jak na rysunku 1.19, dokonać pomiaru kolejno zadanych wartości napięcia wyjściowego generatora dla dwóch rodzajów impedancji obciążenia: $50\ \Omega$ i HIGH Z, ustawianych w *Menu* generatora.



Rys. 1.19. Układ do pomiaru napięcia generatora badanego

Wyznaczyć względny błąd nastawy napięcia generatora badanego δ_U korzystając ze wzoru:

$$\delta_U = \frac{|U_x - U_w|}{U_x} \cdot 100\% \quad (1.27)$$

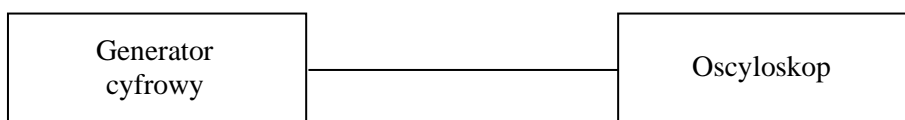
gdzie: U_x – wartość skuteczna napięcia ustawiona na generatorze

U_w – wartość skuteczna napięcia odczytana z woltomierza

Wyniki pomiarów i obliczeń zamieścić w tabeli.

E) Zobrazowanie sygnałów różnych kształtów z generatora

W układzie pomiarowym jak na rysunku 1.20, naszkicować oscylogramy przebiegów o różnych kształtach, zadanych sygnałów z pamięci generatora.



Rys. 1.20. Układ do obserwacji sygnałów generatora badanego

F) Generacja sygnałów arbitralnych

W układzie pomiarowym jak poprzednio, posługując się instrukcją generatora wygenerować własny zdefiniowany przebieg.

Opracowanie sprawozdania:

1. Wykonać odpowiednie obliczenia. Ich wyniki zamieścić w odpowiednich tabelach.
Przedstawić przykłady przeprowadzonych obliczeń.
2. Zamieścić wymagane wykresy błędów (odpowiednio opisane).
3. Zamieścić wymagane szkice oscylogramów.
4. Sformułować wnioski oraz spostrzeżenia wynikające z przeprowadzonych pomiarów i obserwacji.

Przykładowe pytania kontrolne:

1. Generator pomiarowy: definicja, parametry użytkowe, klasyfikacja.

2. Generator pomiarowy m.cz. budowa (schemat blokowy), podstawowe parametry użytkowe, zadania poszczególnych bloków..
3. Generator wzбудzający RC: schemat blokowy, zasada pracy (warunki generacji).
4. Generator funkcji: schemat blokowy, zasada pracy, parametry użytkowe.
5. Generator cyfrowy: zasada aproksymacji napięcia sinusoidalnego napięciem schodkowym.
6. Generator cyfrowy: schemat blokowy, zasada pracy, parametry użytkowe.
7. Syntetyzery częstotliwości: metoda syntezy bezpośredniej, schemat blokowy, działanie..
8. Syntetyzery częstotliwości: metoda syntezy pośredniej, schemat blokowy, działanie.
9. Sposoby regulacji częstotliwości w generatorach funkcji.
10. Porównanie parametrów użytkowych generatorów pomiarowych RC i funkcji.

1.8. Literatura

1. A. Chwaleba, M. Poniński, A. Siedlecki: *Metrologia elektryczna*, Wyd. 10, WNT, **Warszawa** 2010.
2. L. Grabowski: *Pracownia elektroniczna. Układy elektroniczne*, WSiP, 1997.
3. J. Parchański: *Miernictwo elektryczne i elektroniczne*, WSiP, 1998.
4. J. Dyszyński, R. Hagel: *Miernictwo elektryczne*, WSiP, 1985.