

# PROGRAMOWANY GENERATOR FUNKCYJNY

## 1. CEL ĆWICZENIA:

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z obsługą i możliwościami programowanego generatora funkcyjnego

## 2. WPROWADZENIE

W wielu dziedzinach nauki i techniki występuje potrzeba wytwarzania, w warunkach laboratoryjnych lub warsztatowych, sygnałów elektrycznych o określonych właściwościach. Do tego celu wykorzystywane są generatory elektrycznych sygnałów pomiarowych. Ich wielkością wyjściową jest z reguły napięcie o wartości międzyszczytowej nie przekraczającej z reguły kilkudziesięciu V. Zakres częstotliwości sygnałów elektrycznych wytwarzanych przez różnego rodzaju generatory zawiera się przedziale od 0 do kilkuset GHz.

Generatory wytwarzające niemodulowany lub modulowany przebieg sinusoidalny są nazywane sygnałowymi. Częstotliwość generowanego przez nie sygnału zawiera się w przedziale od kilku kHz do kilkuset GHz. Są one wykorzystywane między innymi w laboratoriach radio- i telekomunikacyjnych.

W technice cyfrowej stosowane są generatory impulsowe, które wytwarzają przebiegi cyfrowe o nastawianej przez użytkownika częstotliwości, amplitudzie, współczynniku wypełnienia, a w bardziej zaawansowanych przyrządach także czasu narastania i opadania zboczy sygnału.

Generatory, których sygnał wyjściowy charakteryzuje się dużą dokładnością i stabilnością częstotliwości, a ponadto dużą rozdzielczością jej nastawy, są nazywane syntezerami częstotliwości.

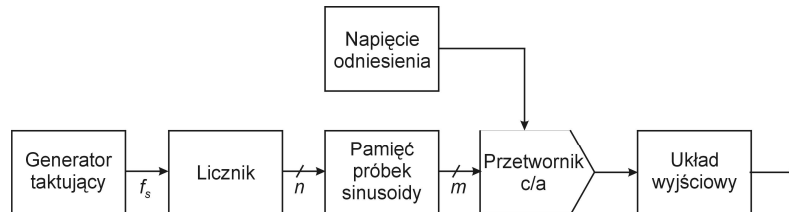
Najbardziej rozpowszechnionymi w technice są generatory funkcyjne, które wytwarzają napięcie elektryczne o określonym kształcie. Niemal wszystkie generatory funkcyjne wytwarzają napięcie o kształcie sinusoidalnym, trójkątnym (piłokształtnym) oraz prostokątnym [1].

Generatory funkcyjne mogą być klasyfikowane na kilka sposobów. Na przykład, biorąc pod uwagę kryterium technologiczno-konstrukcyjne, można je podzielić na generatory analogowe oraz generatory z syntezą cyfrową.

Aktualnie większość tańszych generatorów funkcyjnych jest zrealizowana w technice analogowej. Z reguły wykorzystuje się w nich wyspecjalizowany układ scalony jak np. MAX038 [2]. Gdy wymagana jest wyjątkowo duża czystość widmowa wytwarzanego sygnału

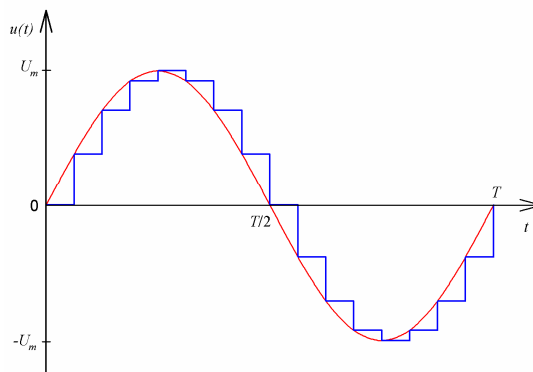
sinusoidalnego, to w miejsce generatora funkcyjnego stosowany jest generator analogowy z filtrem Wiena [1].

Generatory analogowe charakteryzują się przeciętną stabilnością częstotliwości i amplitudy generowanego sygnału. Znacznie większą stabilnością częstotliwości i amplitudy charakteryzują się generatory z cyfrową syntezą przebiegu. Zasadę działania takiego przyrządu, na przykładzie cyfrowego generatora sinusoidy, przedstawiono na rys. 1.



Rys.1. Uproszczony schemat blokowy generatora sinusoidy z cyfrową syntezą przebiegu

W układzie tym generator taktujący inkrementuje licznik, którego  $n$ -bitowe wyjście jest połączone z szyną adresową pamięci, zawierającej słowa cyfrowe reprezentujące próbki sinusoidy. Zapisane w pamięci próbki, odpowiadające kolejnym adresom pamięci, są przetwarzane na napięcie za pomocą  $m$ -bitowego przetwornika cyfrowo-analogowego [4], współpracującego ze źródłem napięcia odniesienia oraz odpowiednim układem wyjściowym. Na wyjściu tego układu uzyskuje się charakterystyczną „schodkową” replikę sinusoidy, przedstawioną na rys.2. Im liczba schodków jest większa, tym lepiej przebieg przedstawiony na rys. 2 aproksymuje sinusoidę i tym mniejsze są zniekształcenia generowanego przebiegu.

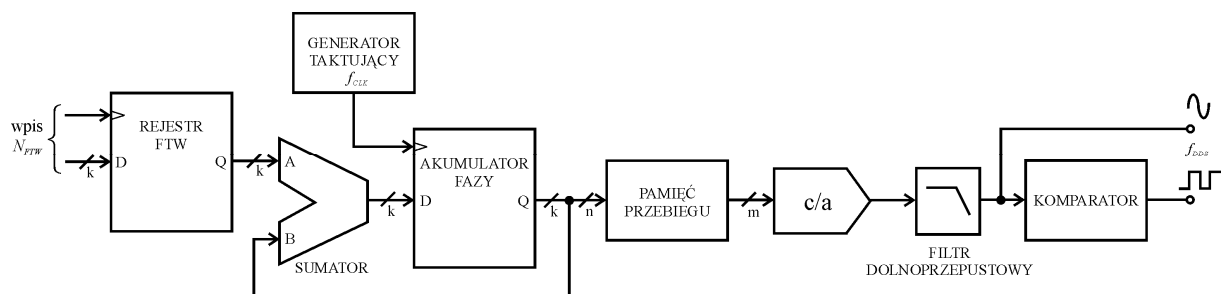


Rys.2. Schodkowy przebieg uzyskiwany na wyjściu generatora sinusoidy z cyfrową syntezą przebiegu oraz przebieg aproksymowany (sinusoida)

Kształt sygnału wytwarzanego przez generator z cyfrową syntezą przebiegu jest zdeterminowany zawartością pamięci przebiegu. W układzie pamięci może być zapisanych kilka przebiegów o różnym kształcie, np. o kształcie trójkątnym czy prostokątnym. Wybór kształtu przebiegu sprowadza się do wyboru obszaru pamięci. Jest to realizowane przez jej odpowiednie zaadresowanie.

Jeśli generator umożliwi wytworzenie sygnału o niemal dowolnym kształcie, zadeklarowanym przez użytkownika, to nazywany jest programowanym lub arbitralnym. Wytworzenie sygnału o „arbitralnym” kształcie jest proste w przypadku generatora z cyfrową syntezą przebiegu, przedstawionego na rys.1. Wystarczy zapewnić użytkownikowi możliwość modyfikowania zawartości pamięci przebiegu. Jest to realizowane ręcznie, za pomocą klawiatury przyrządu, lub przy wykorzystaniu komputera - przez odpowiedni interfejs.

Rozdzielczość nastawy częstotliwości generatorów z cyfrową syntezą przebiegu jest zdeterminowana rozdzielczością nastawy częstotliwości generatora taktującego. Rozdzielczość tę można zwiększyć przez zastosowanie generatora taktującego w postaci syntezera częstotliwości z bezpośrednią cyfrową syntezą częstotliwości (ang. Direct Digital Synthesis, DDS). Uproszczony schemat blokowy takiego syntezeru przedstawiono na rys.3.



Rys.3. Podstawowy układ bezpośredniego cyfrowego syntezeru częstotliwości DDS

Układ ten składa się z następujących elementów:

- akumulatora fazy w postaci  $k$ -bitowego przerzutnika typu D;
- rejestru słowa przestrajającego częstotliwość (ang. Frequency Tuning Word, FTW) w postaci  $k$ -bitowego przerzutnika typu D;
- $k$ -bitowego sumatora cyfrowego;
- generatora sygnału taktującego o częstotliwości  $f_{CLK}$  ;
- stałej pamięci przebiegu, zawierającej próbki sinusoidy;
- $m$ -bitowego przetwornika cyfrowo-analogowego;
- filtru dolnoprzepustowego.

Układ działa w sposób następujący: każdy impuls z generatora taktującego powoduje wpisanie do akumulatora fazy nowego słowa o wartości będącej sumą wartości poprzedniego słowa przechowywanego w akumulatorze oraz wartości słowa przechowywanego w rejestrze FTW. Wartość akumulatora jest więc z każdym taktem inkrementowana o wartość  $N_{FTW}$  aż do przepełnienia akumulatora. Słowo przechowywane w akumulatorze reprezentuje fazę wytwarzanego przez generator DDS przebiegu. Kilkaście najstarszych bitów akumulatora jest doprowadzonych do wejścia pamięci przebiegu, zawierającej wartości próbek sinusoidy.

Cyfrowe wartości tych próbek podawane są na wejście przetwornika cyfrowo-analogowego, który przetwarza cyfrowe wartości próbek sinusoidy na napięcie o charakterystycznym schodkowym kształcie przedstawionym na rys.2. Po odfiltrowaniu wyższych harmonicznych na wyjściu generatora DDS uzyskuje się sygnał zbliżony do sinusoidy. Sygnał ten może być zamieniony na sygnał cyfrowy za pomocą odpowiedniego komparatora. Częstotliwość  $f_{DDS}$  tego sygnału jest równa

$$f_{DDS} = \frac{N_{FTW}}{2^k} f_{CLK} \quad (1)$$

Minimalna częstotliwość  $f_{DDS,min}$ , jaką może wytwarzać generator jest równa

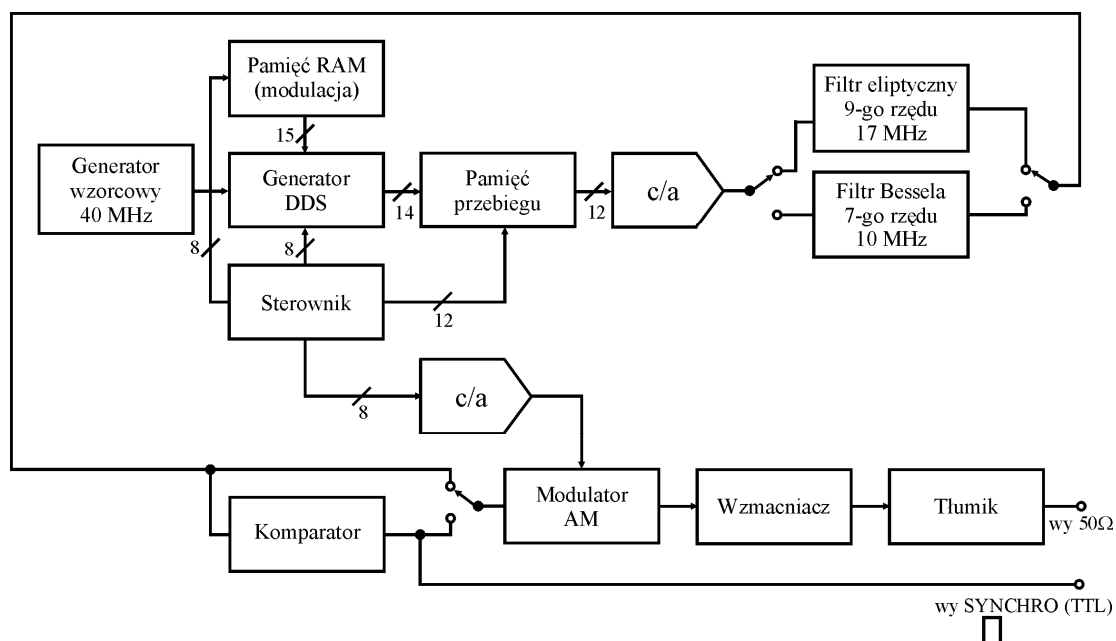
$$f_{DDS,min} = \frac{1}{2^k} f_{CLK}, \quad (2)$$

natomiast częstotliwość maksymalna  $f_{DDS,max}$  jest w przybliżeniu równa

$$f_{DDS,max} \approx \frac{f_{CLK}}{3}. \quad (3)$$

Na przykład dla  $f_{CLK} = 400$  MHz oraz  $k=48$  uzyskuje się  $f_{DDS,min} \approx 1,42$  nHz,  $f_{DDS,max} \approx 133$  MHz. Maksymalną względną rozdzielczość nastawy częstotliwości uzyskuje się dla  $f_{DDS,max}$ . Sięga ona 14 dziesiętnych cyfr znaczących (!).

Metodę DDS można wykorzystać w układach generatorów funkcyjnych oraz do syntezy przebiegu o kształcie programowanym przez użytkownika. Uproszczony schemat blokowy programowanego generatora funkcyjnego, wykorzystującego generator DDS, przedstawiono na rys.4.



Rys.4. Uproszczony schemat blokowy programowanego generatora funkcyjnego Agilent 33120A

Zasada działania jest podobna jak typowego syntezeru DDS. Różnica polega na zastosowaniu pamięci przebiegu, której zawartość może być modyfikowana przez użytkownika. Sygnał sinusoidalny oraz prostokątny są syntetyzowane w identyczny sposób, jak w układzie przedstawionym na rys.3. Pamięć przebiegu jest wówczas zapełniona próbkami sinusoidy, a sygnał analogowy na wyjściu przetwornika cyfrowo-analogowego jest filtrowany za pomocą eliptycznego filtra dolnoprzepustowego 9. rzędu. Przebiegi o innych kształtach, w tym programowane przez użytkownika, są zapisywane w pamięci przebiegu, a na wyjściu przetwornika cyfrowo-analogowego znajduje się dolnoprzepustowy filtr Bessela 7. rzędu.

Częstotliwość  $f_{CLK}$ , z którą uaktualniana jest zawartość akumulatora fazy, determinuje jeden z najważniejszych parametrów charakteryzujących tego rodzaju generatory. Parametrem tym jest szybkość odtwarzania próbek przebiegu, wyrażona liczbą próbek odtwarzanych w jednostce czasu (ang. MegaSamples per Second, MSa/s lub GigaSamples per Second, GSa/s). Drugim ważnym parametrem jest rozdzielczość przetwornika cyfrowo-analogowego, wyrażona liczbą bitów jego słowa wejściowego. Trzecim parametrem jest pojemność pamięci przebiegu, wyrażona w punktach. Każdy punkt reprezentuje jedną próbkę przebiegu. Z reguły producent podaje na płycie czołowej maksymalną częstotliwość przebiegu sinusoidalnego, jaki może wytwarzać generator. Częstotliwości przebiegów o innych kształtach są z reguły niższe.

Impedancja wyjściowa generatorów funkcyjnych jest zazwyczaj równa  $50 \Omega$ . W celu uniknięcia zniekształceń przebiegów, spowodowanych niedopasowaniem impedancji, kabel łączący wyjście generatora z obciążeniem powinien mieć impedancję charakterystyczną równą  $50 \Omega$ . Podobnie obciążenie powinno się charakteryzować impedancją równą  $50 \Omega$ . Ten ostatni warunek w praktyce bywa rzadko spełniony. Z tego powodu producenci generatorów umożliwiają zadeklarowanie rzeczywistej impedancji obciążenia. Algorytm nastawy napięcia wyjściowego uwzględnia tę zadeklarowaną impedancję obciążenia, a wartość napięcia wyświetlana na wyświetlaczu generatora jest w przybliżeniu równa rzeczywistemu napięciu na obciążeniu.

**UWAGA:** zazwyczaj domyślna wartość impedancji obciążenia jest równa  $50 \Omega$ . Wówczas na nieobciążonym wyjściu generatora występuje napięcie dwukrotnie wyższe od wyświetlanego (czyli nastawionego)!

Generatory funkcyjne są wyposażone w tzw. wyjście synchronizacji. Na wyjściu tym z reguły występuje sygnał cyfrowy standardu TTL, który jest synchroniczny z sygnałem wytwarzanym na wyjściu głównym. Sygnał ten może służyć np. jako sygnał toru wyzwania oscyloskopu. Umożliwia to w wielu przypadkach uzyskanie stabilnego obrazu na ekranie oscyloskopu, np. w przypadku gdy główny sygnał wyjściowy generatora jest zmodulowany amplitudowo.

Generatory z bezpośrednią cyfrową syntezą częstotliwości pozwalają na łatwe modulowanie wytwarzanych sygnałów [3]. Modulacja częstotliwości (ang. Frequency Modulation, FM),

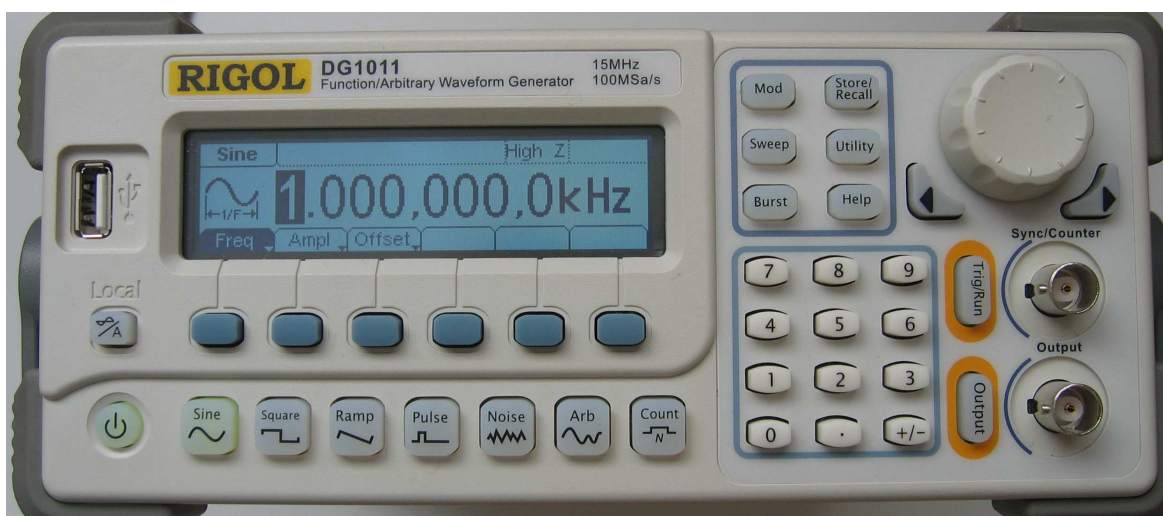
fazy (ang. Phase Modulation, PM) oraz kluczowanie częstotliwości (ang. Frequency Shift Keying, FSK) jest realizowana przez dynamiczne modyfikowanie zawartości rejestru FTW. W praktyce rejestr ten ma postać pamięci SRAM, której zawartość zależy od rodzaju modulacji. Modulacja amplitudy (ang. Amplitude Modulation, AM) jest realizowana za pomocą analogowego układu mnożącego, który mnoży napięcie wyjściowe uzyskiwane z generatora DDS przez napięcie modulujące, uzyskiwane za pomocą pomocniczego generatora modulującego.

Kolejną zaletą generatorów z DDS jest łatwość wobulacji (przemiatania, ang. SWEEP) ich częstotliwości. Wobulacja polega na modyfikacji częstotliwości sygnału przebiegiem czasowym opisanym funkcją liniową lub logarytmiczną. Użytkownik ma możliwość wyboru częstotliwości początkowej i końcowej oraz czasu, w trakcie którego częstotliwość zmienia się od wartości minimalnej do maksymalnej. Funkcja wobulacji jest przydatna szczególnie w przypadku badania charakterystyk częstotliwościowych obiektów, np. filtrów, wzmacniaczy itp.

Generatory pozwalają także na wytworzenie określonej przez użytkownika liczby (serii, ang. BURST) okresów sygnału. Użytkownik określa liczbę generowanych w serii okresów, okres, fazę, źródło sygnału wyzwalającego serię oraz opóźnienie serii względem sygnału wyzwalającego.

Generowanie przebiegów wobulowanych (SWEEP) oraz ich serii (BURST) może być inicjowane automatycznie lub określonym zdarzeniem, np. naciśnięciem określonego przycisku. Sposób inicjowania (wyzwalania) jest określony przez użytkownika.

Na rys.5 przedstawiono płytę czołową programowanego generatora funkcyjnego DDS firmy Rigol typu DG1011. Generator ten posiada cechy generatora funkcyjnego, programowanego oraz impulsowego.



Rys.5. Płyta czołowa programowanego generatora funkcyjnego Rigol DG1011

Wyposażony jest w dwa interfejsy USB (typu Host i Device). Umożliwiają one, między innymi, sterowanie przyrządem za pomocą komputera, programowanie kształtu przebiegu oraz zapamiętanie ustawień przyrządu.

Generator ten może być wykorzystany w charakterze źródła napięcia stałego z przedziału od -10 do +10 V. Impedancja wyjściowa generatora jest w tym trybie pracy także równa 50  $\Omega$ .

Dodatkowo przyrząd może być wykorzystany w charakterze czasomierza-częstotściomierza cyfrowego.

### 3. PROGRAM ĆWICZENIA

1. Zapoznać się z instrukcją obsługi generatora [5], a przede wszystkim z zasadami bezpieczeństwa obsługi przyrządu, podanymi we wstępie instrukcji.
2. Zaznajomić się z płytą czołową generatora.
3. Po uzyskaniu zgody prowadzącego włączyć generator i zapoznać się z funkcjami poszczególnych przycisków i pokręteł, wykorzystując do tego celu instrukcję obsługi oraz funkcję pomocy kontekstowej przyrządu (HELP).
4. Za pomocą kabla koncentrycznego z wtykami BNC na obu końcach połączyć wejście kanału pierwszego oscyloskopu z wyjściem generatora funkcyjnego. Po uzyskaniu zgody prowadzącego włączyć oscyloskop.
5. Zapoznać się z możliwościami nastawy parametrów podstawowych przebiegów wytwarzanych przez generator: sinusoidalnego, prostokątnego oraz trójkątnego.
6. Sprawdzić kształt przebiegów zaimplementowanych przez producenta przyrządu
7. Zapoznać się z funkcją nastawy impedancji obciążenia.
8. Zaprogramować przebieg o kształcie podanym przez prowadzącego.
9. Zapoznać się ze sposobami modulacji oferowanymi przez przyrząd. Zapisać zmodulowane przebiegi w pamięci zewnętrznej USB. W domu je wydrukować i nanieść na wydruku parametry modulacji, które można modyfikować.
10. Zapoznać się ze sposobami wobulacji, oferowanymi przez przyrząd.
11. Zapoznać się ze sposobami generowania serii impulsów oferowanymi przez przyrząd.

### 4. PYTANIA KONTROLNE

1. Wymienić rodzaje generatorów elektrycznych sygnałów pomiarowych i podać ich zastosowanie.

2. Podać ważniejsze różnice między generatorami funkcyjnymi analogowymi i generatorami z cyfrową syntezą przebiegu.
3. Narysować i omówić schemat blokowy generatora funkcyjnego DDS.
4. Wymienić i krótko opisać sposoby modulowania sygnału sinusoidalnego, spotykane w generatorach funkcyjnych.

## 5. LITERATURA

- [1] Tietze U., Schenk Ch., „Układy półprzewodnikowe”, WNT, Warszawa 1996
- [2] MAX038, High-Frequency Waveform Generator, nota katalogowa, Rev. 7/07, Maxim Inc.
- [3] Knoch L., Ekiert T., „Modulacja i detekcja”, WKiŁ, Warszawa 1977
- [4] Plassche R., „Scalone przetworniki analogowo-cyfrowe i cyfrowo-analogowe”, WKiŁ, Warszawa 1997
- [5] Rigol, „Generatory przebiegów funkcyjnych i arbitralnych serii DG1000. Instrukcja obsługi”, Rigol Technologies Inc. 2007, NDN/wrzesień 2008

Opracował: dr inż. Marian Kampie

v.1 / 5 X 2008