

POZNAJEMY PRZYRZĄDY POMIAROWE

W poprzednich odcinkach tego cyklu omówiliśmy multimetry cyfrowe i częstotściomierze. W niniejszym artykule chcielibyśmy zaznajomić Czytelników ze źródłami sygnałów.

Źródła sygnałów czyli generatory dzieli się w zależności od zakresu częstotliwości sygnałów przez nie wytwarzanych na generatory małej i wielkiej częstotliwości (tzw. generatory sygnałowe). Wśród generatorów m.cz. wyróżnia się generatory wytwarzające sygnały o częstotliwościach akustycznych (audio) oraz generatory funkcyjne. Zakres częstotliwości, kształt oraz amplituda sygnałów wytwarzanych przez generator ma ścisły związek z ich wykorzystaniem. Generatory m.cz. znajdują zastosowanie przy konstrukcji i serwisie sprzętu audio, generatory funkcyjne są bodaj najbardziej uniwersalne - służą zarówno do badania układów analogowych jak i cyfrowych, generatory sygnałowe są pomocne przy testowaniu i serwisie urządzeń radiofonicznych.

Zasada działania generatora

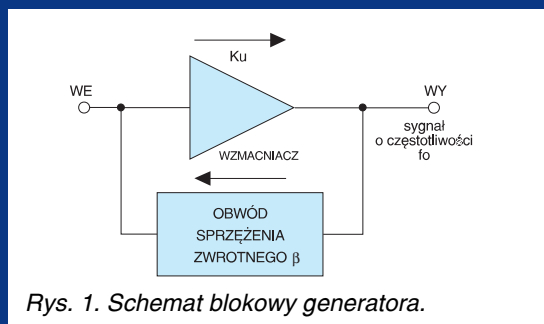
Na **rysunku 1** przedstawiono uproszczony schemat blokowy typowego generatora. W generatorze, podobnie jak w każdym wzmacniaczu elektronicznym, część energii z wyjścia jest przekazywana do wejścia. Jest to tzw. sprzężenie zwrotne, które m.in. jest stosowane we wzmacniaczach dla poprawy ich parametrów. Jednak w pewnych sytuacjach, wzmacniacz staje się niestabilny i przekształca się w źródło drgań czyli generator. Wytworzenie, a następnie podtrzymanie drgań o określonej częstotliwości f_0 , wymaga spełnienia specjalnych warunków, tj. właściwej fazy oraz amplitudy sygnału doprowadzanego z wyjścia na wejście. Warunek generacji drgań formułuje się zwykle za pomocą prostego wzoru:

$$k_u \beta = 1$$

w którym:

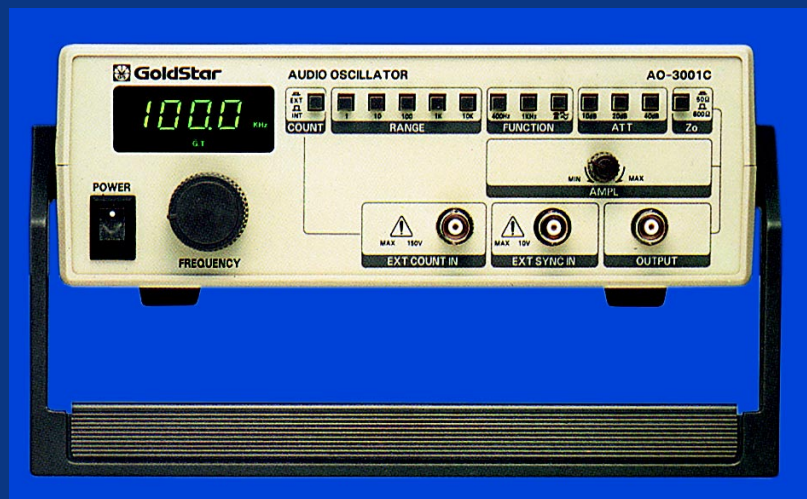
k_u - wzmocnienie napięciowe wzmacniacza, β - współczynnik sprzężenia zwrotnego generatora.

Wzmocnienie napięciowe wzmacniacza jest stosunkiem napięcia na wyjściu do napięcia na jego wejściu, zaś współczynnik sprzężenia zwrotnego określa jaką część energii z wyjścia jest przenoszona do jego wejścia. W skrócie można powiedzieć, że do wytworzenia drgań o określonej czę-



Rys. 1. Schemat blokowy generatora.

otliwości f_0 , po pierwsze całkowite przesunięcie fazowe wprowadzane przez wzmacniacz oraz układ sprzężenia zwrotnego musi być równy zero, a po drugie, wzmocnienie wzmacniacza musi być wystarczające do skompensowania strat spowodowanych przez ten układ. W praktyce iloczyn $k_u \beta$ jest nieco większy od jedności, zwykle o ok. 5%. Pozwala to uniezależnić pracę generatora od przypadkowych czynników, związanych ze zmianą parametrów wzmacniacza oraz układu sprzężenia zwrotnego, mogących spowodować zanik drgań lub zmianę wartości wytwarzanej częstotliwości.



Rys. 2. Współczesny, stacjonarny generator typu audio

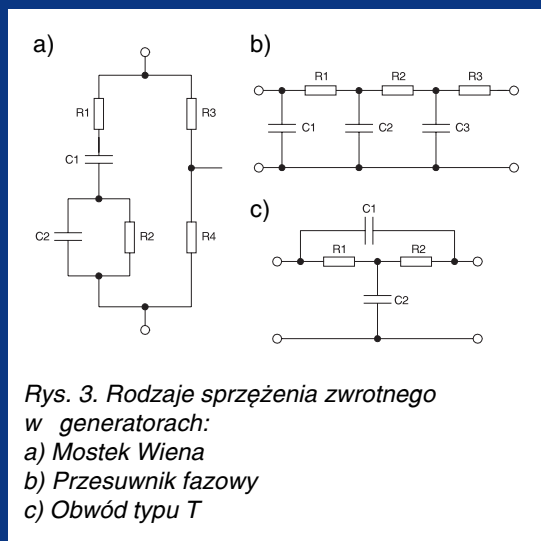
Generatory małej częstotliwości typu audio

Generatory małej częstotliwości typu audio są wykorzystywane do prac projektowych oraz przy produkcji i serwisie sprzętu audio. Generatory te wytwarzają sygnał o kształcie sinusoidalnym. Wiadomo, że zakres fal akustycznych jakie jest w stanie usłyszeć człowiek obejmuje przedział nie większy niż 20Hz do 20kHz. Dlatego też wszystkie urządzenia odtwarzające i nagrywające dźwięk wykorzystują sygnały o częstotliwościach z tego zakresu. Mimo to współczesne generatory audio (**rys. 2**) wytwarzają sygnały należące do znacznie szerszego zakresu, typowo od pojedynczych herców do 1MHz i wyżej. Również kształt sygnałów przez nie wytwarzanych jest nie tylko sinusoidalny lecz także prostokątny.

Jak już wspomniano, bardzo ważną rolę w generacji drgań odgrywa układ sprzężenia zwrotnego. Zwykle jest to obwód złożony z elementów RLC. W zależności od typu obwodu rozróżnia się generatory LC, w których wytwarzana częstotliwość zależy od częstotliwości rezonansowej obwodu zło-

CZĘŚĆ 4

Generatory



Rys. 3. Rodzaje sprzężenia zwrotnego

w generatorach:

- a) Mostek Wien
 b) Przesuwnik fazowy
 c) Obwód typu T

zonego z kondensatora i cewki; generatory RC, w których obwód ten jest złożony z rezystorów i kondensatorów oraz generatory dudnieniowe, w których sygnał o danej częstotliwości jest otrzymywany w wyniku zmieszania dwóch sygnałów o różnych częstotliwościach. Tak są zbudowane generatory wytwarzające sygnał o jednej ustalonej częstotliwości. Generatory małej częstotliwości, w których zadaniem jest wytwarzanie sygnałów o różnych częstotliwościach są bardziej skomplikowane. W takich urządzeniach są stosowane trzy rodzaje obwodów sprzężenia zwrotnego (rys. 3), złożonych jedynie z rezystancji i pojemności: mostek Wien, przesuwnik fazowy i obwód typu T.

Do najczęściej stosowanych należy generator z mostkiem Wien (rys. 3a). Regulację częstotliwości sygnału wyjściowego w takim generatorze można uzyskać przez ciągłą lub skokową zmianę pojemności obu kondensatorów C1, C2 lub rezystancji obu rezystorów R1, R2.

Generator z przesuwnikiem fazowym (rys. 3b) znajduje zastosowanie przy mniejszych częstotliwościach. Wzmacniacz generatora przesuwają fazę o 180°. O taką samą wartość przesuwają fazę obwód sprzężenia zwrotnego. Obwód ten składa się przynajmniej z trzech sekcji złożonych z rezystora i kondensatora. W takim przypadku każda z sekcji przesuwają fazę o 60°. Regulację częstotliwości sygnału generatora z przesuwnikiem fazowym realizuje się przez jednoczesne zmiany wszystkich elementów przesuwnika.

Generator z obwodem sprzężenia zwrotnego typu T przedstawiono na rys. 3c. Często stosuje się dwa tego typu obwody - tzw. podwójne T.

Generator przedstawiony na rys. 2 to niedrogi; typowy, stacjonarny generator m. cz., wytwarzający sygnał zarówno o kształcie sinusoidalnym jak i prostokątnym. Umożliwia on regulację częstotliwości w zakresie od 10Hz do 1MHz, w sposób skokowy, w pięciu zachodzących na siebie zakresach (dekadach). Amplitudę napięcia wyjściowego otrzymywanego z generatora reguluje się płynnie pokrętkiem w zakresie od 0 do 23V_{p-p}. Ustawioną częstotliwość można jednocześnie odczytać na wyświetlaczu (o długości czterech cyfr) połączonym z wewnętrznym częstotściomierzem. Częstościomierz ten może również służyć do pomiaru

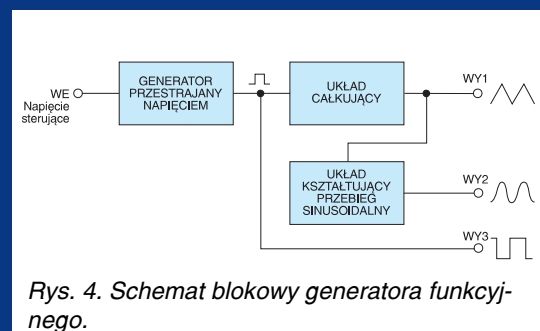
częstotliwości sygnału doprowadzonego z zewnątrz.

Bardzo ważnym parametrem charakteryzującym generator są zniekształcenia wytwarzanego sygnału sinusoidalnego. W omawianym urządzeniu są one na poziomie 0,5% w pasmie częstotliwości od 50Hz do 500kHz. W praktyce spotyka się generatory o zniekształceniach nawet rzędu 0,001%.

W konstrukcji generatorów trwa nieustający postęp prowadzący nie tylko do uzyskania coraz lepszych parametrów lecz również coraz większej ich miniaturyzacji. Nieskomplikowane generatory, wytwarzające sygnał prostokątny o kilku częstotliwościach, można obecnie spotkać nawet w niedrogich multimetrach cyfrowych. Stało się to w wyniku opracowania specjalizowanych układów scalonych. Układy takie znalazły zastosowanie w konstrukcji jeszcze innego typu generatorów małej częstotliwości, w generatorach funkcyjnych.

Generatory funkcyjne

Generatory funkcyjne, będące odmianą generatorów małej częstotliwości, należą, ze względu na swoją uniwersalność, do najczęściej wykorzystywanych generatorów. Wytwarzają one sygnały o różnym kształcie oraz regulowanej częstotliwości i amplitudzie. Podstawowym elementem typowego generatora funkcyjnego (rys. 4) jest wewnętrzny generator sterowany napięciem, wytwarzający sygnał o kształcie prostokątnym. Częstotliwość tego sygnału zmienia się w funkcji napięcia doprowadzanego do generatora. Sygnał z jego wyjścia jest doprowadzany bezpośrednio do wyjścia generatora funkcyjnego. Sygnał o kształcie trójkątnym jest wytwarzany z sygnału prostokątnego w układzie całkującym. Poddanie go dalszej obróbce w układzie kształtującym umożliwia uzyskanie sygnału o kształcie sinusoidy. Jak widać do wytworzenia sygnału sinusoidalnego potrzeba najwięcej stopni przetwarzających sygnał. Dlatego też zniekształcenia takiego sygnału w porównaniu z typowym generatorem akustycznym są stosunkowo duże i wynoszą w przypadku tanich konstrukcji około 1%. Wewnętrzny generator, sterowany napięciem oraz układ całkujący współdziałają ze sobą. Znajduje to swój wyraz przy wyborze zakresu wytwarzanych częstotliwości. Dokonuje się tego bowiem przez zmianę wartości kondensatora w układzie całkującym. Jak już wspomniano, generatory funkcyjne wytwarzają zwykle trzy rodzaje sygnałów o różnym kształcie, tj. o kształcie prostokąta, trójkąta i sinusoidy. Nieco droższe modele takich generatorów umożliwiają ponadto otrzymanie sygnału piłokształtnego oraz różnych przebiegów impulsowych.



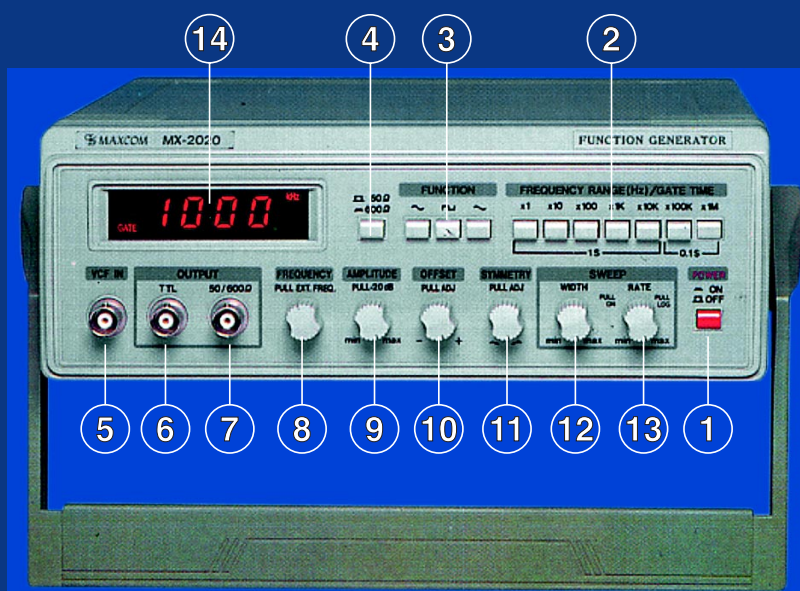
Rys. 4. Schemat blokowy generatora funkcyjnego.

Na rysunku 5 przedstawiono widok płyty czołowej typowego generatora funkcyjnego. Przyciski (3) służą do wyboru kształtu przebiegu jaki może pojawić się na wyjściu (7). Zakres częstotliwości, do którego ma należeć ten przebieg można wybrać za pomocą przełącznika (2). Do dokładnego ustawienia potrzebnej częstotliwości służy natomiast pokrętko (8). Grupa trzech pokręteł (9), (10) i (11) jest przeznaczona do ustawienia odpowiednio amplitudy, offsetu i symetrii sygnału. Regulacja offsetu polega na dodaniu do przebiegu zmiennego tzw. składowej stałej czyli przebiegu o napięciu stałym, regulowanym np. w granicach od -10V do +10V. Za pomocą pokrętki regulacji symetrii możemy zmieniać względną szerokość impulsu czyli tzw. współczynnik wypełnienia impulsu np. w zakresie od 1:10 do 10:1. Współczynnik ten, wyrażony w procentach, jest równy stosunkowi czasu trwania impulsu do czasu dzielącego początki i końca kolejnych impulsów przebiegu. Zmieniając współczynnik wypełnienia przebiegu trójkątnego można uzyskać przebieg w przybliżeniu piłokształtny a z przebiegu prostokątnego przebieg impulsowy.

Ważną funkcję spełniają dwa dalsze pokrętki (12) i (13) oznaczone sweep (przemiatanie). Przemiatanie częstotliwości polega na płynnej zmianie częstotliwości w ustalonym zakresie częstotliwości z wybraną prędkością przemiatania. Pierwsze pokrętko służy do regulacji szerokości pasma przemiatania sweep width, a drugie - ustawiania prędkości przemiatania sweep rate, czyli również czasu przemiatania np. od 20ms do 2s. Dodatkowo można wybrać jeden z dwóch typów przemiatania liniowy lub logarytmiczny. Przemiatanie liniowe ma miejsce wtedy, gdy częstotliwość zmienia się (rośnie lub maleje) proporcjonalnie do czasu. Przemiatanie logarytmiczne polega na zmianie częstotliwości zgodnie z funkcją logarytmiczną. Do realizacji tej funkcji generatora wykorzystuje się oddzielny generator wewnętrzny sterowany napięciem.

Częstotliwość wytwarzanego sygnału jest wyświetlana na wyświetlaczu cyfrowym, zwykle typu LED (14). W zasadzie każdy współczesny generator ma wewnętrzny częstościomierz. Służy on nie tylko do pomiaru częstotliwości sygnału wytwarzanego przez generator, lecz także do pomiaru częstotliwości sygnału doprowadzonego z zewnątrz. Gniazdo do dołączenia takiego sygnału jest bardzo często umieszczane z tyłu generatora. Przełącznik zmiany zakresu częstotliwości (2) służy w takim przypadku także do ustawienia czasu bramkowania. Maksymalna, mierzona częstotliwość sygnału doprowadzonego z zewnątrz jest zazwyczaj dużo większa niż maksymalna częstotliwość sygnału wytwarzanego przez generator. Na przykład generator funkcyjny o maksymalnej częstotliwości wytwarzanego przebiegu 3MHz, może mieć częstościomierz mierzący częstotliwość sygnałów aż do 200MHz, przy jednocześnie automatycznej zmianie zakresu.

Częstotliwość sygnału otrzymywanego na wyjściu generatora można zmieniać nie tylko za pomocą ww. przełącznika (2) i pokrętki (8), lecz także można ją regulować napięciem doprowadzonym z zewnątrz. Służy do tego celu specjalne gniazdo (5) oznaczane zwykle symbolem VCF IN. Na zakończenie omawiania wyglądu płyty czołowej typowego generatora funkcyjnego parę słów o jego



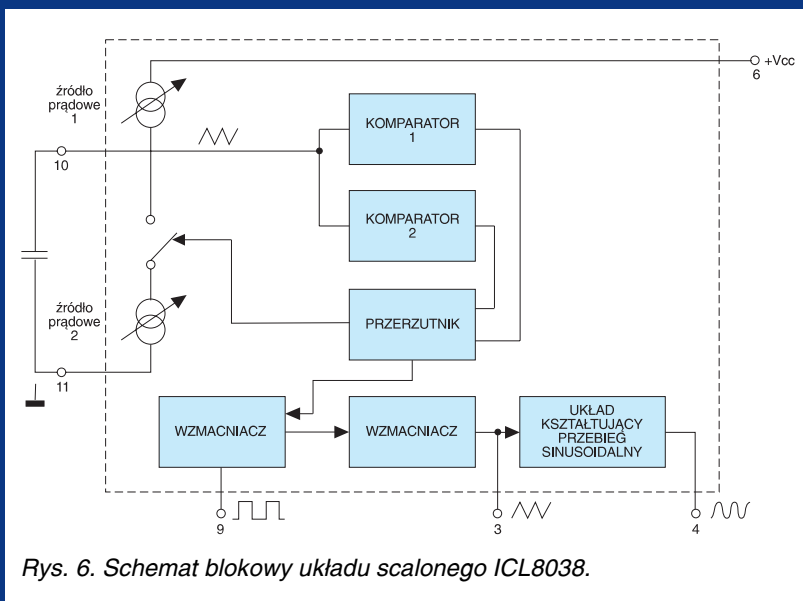
Rys. 5. Widok płyty czołowej typowego generatora funkcyjnego.

gniazdach wyjściowych. Gniazdo oznaczone symbolem 50/600W służy do uzyskiwania sygnałów o różnym kształcie i amplitudzie. Impedancję wyjściową generatora równą 50W lub 600W (przydatną do pomiarów akustycznych) można wybrać przyciskiem (4). Drugie gniazdo jest przeznaczone do sterowania układami cyfrowymi typu TTL. Stan wysoki np. bramek TTL wynosi w przybliżeniu 3,6V, a stan niski ok. 0,2V. W takim zakresie powinien zmieniać się sygnał pojawiający się na tym gnieździe.

Do podstawowych parametrów jakie powinny charakteryzować sygnały wytwarzane przez generatory funkcyjne należy w przypadku sygnału prostokątnego i typu TTL czas narastania i opadania impulsu. Aby kształt sygnału był jak najbardziej zbliżony do kształtu prostokąta, czas narastania i opadania powinien być jak najmniejszy. W typowym, niedrogim generatorze funkcyjnym jest on rzędu 20ns (sygnał TTL, częstotliwość 1kHz) lub np. 100ns (sygnał prostokątny, częstotliwość 1kHz). W przypadku sygnału o kształcie trójkątnym ważna jest liniowość wynosząca zwykle kilka procent. W przypadku przebiegu sinusoidalnego są istotne zniekształcenia (ok. 1% przy częstotliwości 100kHz), czyli obecność tzw. harmonicznych, podawanych w decybelach dla pewnego pasma częstotliwości (np. poniżej 25dB w pasmie od 100kHz do 500kHz).

Punktem zwrotnym w rozwoju generatorów funkcyjnych było opracowanie i wypuszczenie na rynek specjalizowanych układów scalonych realizujących ich funkcje. Umożliwiły one konstrukcję takich generatorów funkcyjnych o parametrach spotykanych dotąd w drogich urządzeniach profesjonalnych. Do najczęściej spotykanych układów scalonych tego typu należą ICL8038 produkowany przez firmę Intersil (rys. 6) oraz XR2206 produkcji firmy Exar. Przy odpowiednim doborze elementów zewnętrznych, tj. kilku kondensatorów, układy te mogą wytwarzać sygnały sinusoidalne, prostokątne (w tym TTL) i trójkątne o częstotliwościach mieszczących się w zakresie od 0,001Hz do 0,3MHz. Umożliwiają one też realizację (odpowiednie wy-

przewodzenia) regulacji współczynnika wypełnienia i przemiatania częstotliwości, charakteryzując się małymi zniekształceniami wytwarzanego sygnału (np. 1% dla sygnału sinusoidalnego) oraz dużą jego liniowością (np. ok. 0,1% dla sygnału trójkątnego). Pojawienie się mikroprocesorów umożliwiło z kolei konstrukcję zupełnie nowej generacji generatorów funkcyjnych. W tańszych konstrukcjach rola mikroprocesora ogranicza się do ułatwienia obsługi generatora (rys. 7). Do ustawiania częstotliwości czy amplitudy wytwarzanego sygnału stosuje się odpowiednie przyciski, a nie jak dotąd pokrętki. Dodatkowo obsługę ułatwia specjalne menu pojawiające się na specjalnym, dwurzędowym wyświetlaczu graficznym (np. typu dot matrix). Na wyświetlaczu tym są wyświetlane różne komunikaty informujące użytkownika o stanie urządzenia, tzn. o wybranych nastawach (częstotliwość, amplituda, kształt sygnału) a także komunikaty ostrzegawcze informujące o wystąpieniu np. błędów obsługi.



Rys. 6. Schemat blokowy układu scalonego ICL8038.



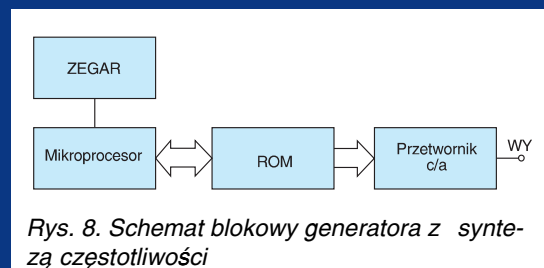
Rys. 7. Mikroprocesorowy generator funkcyjny

W najbardziej zaawansowanych technicznie generatorach funkcyjnych stosuje się tzw. syntezę częstotliwości (rys. 8). Polega ona na wytworzeniu przebiegu o żądanej częstotliwości na podstawie danych cyfrowych zgromadzonych w pamięci ROM. W procesie sterowanym przez mikroprocesor, przebieg o żądanym kształcie i częstotliwości jest odtwarzany krok po kroku w procesie nazywanym próbkowaniem. W kolejnym cyklu zegara próbki są pobierane z pamięci ROM i przesyłane do przetwornika cyfrowo-analogowego. Przetwornik przetwarza informację uzyskaną z pamięci w sygnał analogowy i doprowadza go do wyjścia

urządzenia. W ten sposób można uzyskać sygnał o dowolnym kształcie i częstotliwości, o ile został on wcześniej (tj. w fabryce) zapisany w pamięci ROM.

Generatory funkcyjne wykorzystujące do wytworzenia sygnału wyjściowego technikę syntezy częstotliwości, charakteryzują się bardzo wysoką dokładnością wytwarzanej częstotliwości - rzędu 50 ppm, dużą stabilnością amplitudy sygnału oraz różnymi funkcjami przemiatania sygnału, możliwością zewnętrznej modulacji oraz programowania za pomocą interfejsu komputerowego. Wadą tego typu generatorów są stosunkowo duże zniekształcenia wytwarzanego sygnału rzędu 1% związane z procesem przetwarzania cyfrowo-analogowego (przy wytwarzaniu sygnału wyjściowego).

Do przemiatania częstotliwości w generatorach "z syntezą" wykorzystuje się regulację częstotliwości zegara za pomocą napięcia. Ustawianie częstotliwości startu, stopu oraz częstotliwości środkowej zakresu przemiatania może być realizowane nie tylko "z płyty czołowej" generatora, lecz także programowo za pomocą interfejsu szeregowego typu RS-232C. Jeszcze większe możliwości wykorzystania generatora funkcyjnego, przez włączenie go wraz z innymi urządzeniami takimi jak stacjonarny multimetr, oscyloskop czy zasilacz, w system pomiarowy sterowany komputerem, stwarza złącze interfejsu typu GPIB.



Rys. 8. Schemat blokowy generatora z syntezą częstotliwości

W następnym artykule z tego cyklu omówimy generatory sygnałowe, tj. urządzenia wytwarzające sygnały odpowiadające parametrami sygnałom emitowanym przez stacje radiowe.

Leszek Halicki