

Jan SZYMENDERSKI*

ODBIORNIK RADIOWY STEROWANY KOMPUTEROWO

W pracy omówiono układ fizyczny odbiornika radiowego, którego zadaniem jest dopasowanie częstotliwości radiowych z zakresu od 0 do 30 MHz do możliwości przetworzenia ich na sygnał dyskretny przez przetwornik analogowo-cyfrowy będący standardowym wyposażeniem każdej karty dźwiękowej komputera klasy PC lub laptop. Przekształcenie częstotliwości pozwala na odbiór sygnałów radiowych modulowanych w różnych standardach przy pomocy komputera oraz odpowiedniej aplikacji przetwarzającej sygnały radiowe.

SŁOWA KLUCZOWE: radio definiowane programowo, mikrokontrolery, programowanie, projektowanie układów elektronicznych

1. WPROWADZENIE

Wymagania stawiane obecnie przed systemami radiowymi wymuszają tworzenie coraz nowszych rozwiązań technicznych, które będą w stanie w pełni realizować oczekiwania konstruktorów. Wprowadzany obecnie na szeroką skalę system cyfrowej transmisji obrazu i dźwięku wymusił powstanie nowych konstrukcji urządzeń odbiorczych zdolnych do pracy z tego typu sygnałami. Pewną odmianą tych systemów jest radio definiowane programowo SDR (ang. Software Defined Radio) [4, 6]. Ma ono zapewnić pracę możliwie z jak największą liczbą systemów przy stosunkowo niskim nakładzie finansowym. Na system SDR składają się dwa podstawowe elementy. Układ odbiorczo-przekształcający oraz aplikacja komputerowa pracująca z odbieranymi sygnałami. Niniejsza praca przedstawia część odbiorczą systemu przystosowaną do pracy w zakresie od 0 do 30 MHz. Zakres ten ciekawy jest ze względu na możliwości łączności na bardzo duże odległości przy stosunkowo niewielkich mocach sygnału [3]. Zaproponowany układ jest w pełni sterowany cyfrowo z poziomu zewnętrznej aplikacji komputerowej.

2. UKŁAD ODBIORCZY

2.1. Właściwości układu

Analizując dostępne na rynku urządzenia radiowe podjęto się opracowania projektu odbiornika pracującego w zakresach fal długich, średnich i krótkich umożliwiającego przekształcenie sygnału radiowego do możliwości przetwarzania standardowego przetwornika analogowo-cyfrowego karty dźwiękowej, co

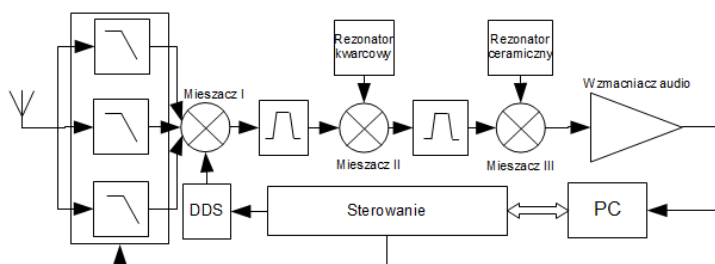
* Politechnika Poznańska.

umożliwi przetwarzanie sygnału przy pomocy dedykowanych do tego celu programów komputerowych.

Opracowany odbiornik posiada następujące cechy:

- odbiór sygnałów radiowych w zakresie od 0 do 30 MHz,
- dostosowanie sygnału do wejścia line-in karty dźwiękowej PC (szerokość pasma, częstotliwość, poziom sygnału),
- pełne sterowanie układem przy pomocy mikrokontrolera (płynna regulacja częstotliwości, sterowanie urządzeniami składowymi oraz komunikacja z komputerem klasy PC poprzez układ emulujący port szeregowy RS-232),
- osiągnięcie wysokich parametrów przetwarzania (czułość na poziomie $2 \mu\text{V}$, selektywność nie przekraczającą 12 kHz, niski poziom szumów do 6 dB) poprzez wybór odpowiedniego rodzaju układów,
- wykorzystanie gotowego modułu programowalnego cyfrowej syntezy częstotliwości jako przestrajanego generatora VFO o wysokiej stabilności i płynnej regulacji wartości częstotliwości,
- mobilność układu.

Parametry te uzyskano stosując typ odbiornika superheterodynowego z potrójną przemianą częstotliwości [2]. W celu wy tłumienia sygnałów lustrzanych na wejściu odbiornika zastosowano filtry dolnoprzepustowe oraz wybrano wartość pierwszej częstotliwości pośredniej na poziomie 5,5 MHz. Kolejne stopnie przemiany pozwalają na odpowiednią filtrację sygnału i dopasowanie go do częstotliwości pracy przetwornika analogowo-cyfrowego karty dźwiękowej komputera. Rysunek 1 przedstawia schemat blokowy zaprojektowanego odbiornika.

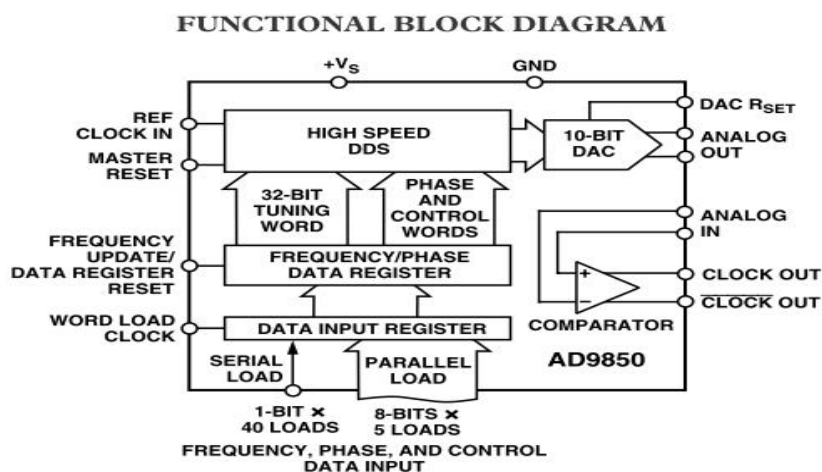


Rys. 1. Schemat blokowy zaprojektowanego odbiornika

Do opracowania schematu połączeń elektrycznych oraz projektu płytki drukowanej wykorzystano darmowe środowisko KiCad dostępne na licencji OpenSource. Aplikacja umożliwia stworzenie pełnowartościowego zestawu plików, łącznie z dokumentacją techniczną oraz plikami umożliwiającymi uruchomienie produkcji masowej z wykorzystaniem cyfrowych maszyn do tworzenia obwodów drukowanych.

2.2. Generator lokalny o regulowanej wartości częstotliwości

Projektowanie i budowa analogowych generatorów częstotliwości o szerokim zakresie pracy i stabilnych parametrach jest trudna. Elementy składowe takich układów w postaci pojemności oraz indukcyjności zmieniają swoje właściwości w zależności od temperatury, naprężeń mechanicznych oraz różnego typu innych anomalii. Generowana częstotliwość zmienia się i trudno jest zsynchronizować odbiornik z modulacją cyfrową wymagającą stabilnych parametrów [5]. Konieczne staje się, więc użycie innego generatora zapewniającego szerokie pasmo pracy i wysoką stabilność. Aby spełnić te wymagania w przedstawionym projekcie zastosowano układ cyfrowej syntezy częstotliwości DDS (ang. Direct Digital Synthesis) AD9850 firmy Analog Devices. Rysunek 2 przedstawia strukturę wewnętrzną bloków funkcyjnych układu AD9850.



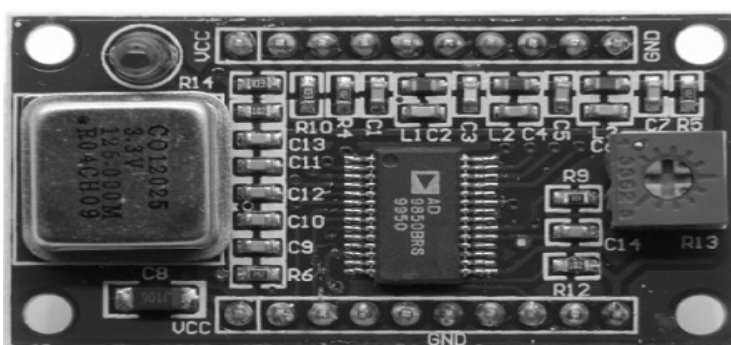
Rys. 2. Bloki funkcyjne układu AD9850 [1]

Wybrany układ posiada następujące parametry [1]:

- maksymalna częstotliwość sygnału generatora wzorcowego 125 MHz,
- maksymalna częstotliwość wyjściowa 62,5 MHz dla sygnału sinusoidalnego i 1 MHz dla prostokątnego,
- poziom sygnału wyjściowego około 1 V_{pp} (napięcie międzyszczytowe),
- napięcie zasilania od 3,3 do 5 V,
- pobór mocy od 155 do 380 mW,
- sterowanie wartością częstotliwości poprzez 40 bitowe słowo (32-bity dotyczą wartości częstotliwości co daje rozdzielczość na poziomie 0,03 Hz dla wartości zegara odniesienia 125 MHz, 8 bitów odpowiedzialne jest za fazę i konfigurację),

- możliwość regulacji fazy sygnału wyjściowego,
- możliwość programowania z wykorzystaniem jednego wejścia szeregowego lub ośmiu wejść równoległych.

Wykorzystanie układu, jako generatora lokalnego w sprzęcie radiokomunikacyjnym możliwe jest po przystosowaniu jego sygnału wyjściowego do możliwości prawidłowego przetwarzania przez układ mieszający. Wymagania te spełnia gotowy moduł HC-SR08 przedstawiony na rys. 3.

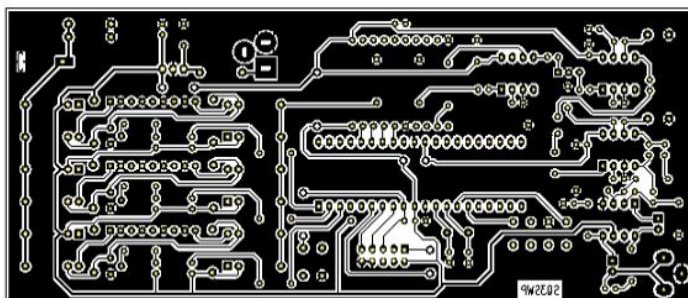


Rys. 3. Moduł generatora HC-SR08

Moduł posiada zintegrowany generator 125 MHz oraz wbudowany filtr dolnoprzepustowy ograniczający częstotliwość sinusoidalnego sygnału wyjściowego do 40 MHz. Dodatkową zaletą jest wyprowadzenie pinów modułu, co znacznie ułatwia montaż w płytce drukowanej. Zasilanie sygnalizowane jest poprzez świecenie diody LED. W układzie zastosowano połączenie na wcisk, co w przyszłości daje również możliwość użycia generatora w innych urządzeniach. Wyjściowy sygnał sinusoidalny doprowadzony jest do wejścia nr 6 mieszacza NE612. Częstotliwość sygnału wyjściowego ustawiana jest przez mikrokontroler, który na podstawie informacji od komputera PC generuje odpowiednie słowo bitowe ustalające częstotliwość pracy generatora cyfrowego.

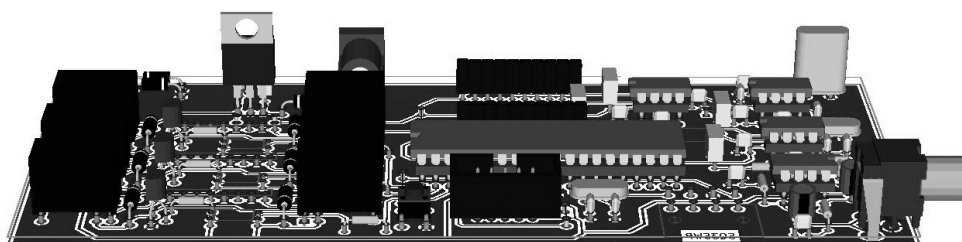
2.3. Projekt płytki drukowanej

Zaprojektowana płytka ma kształt prostokąta o wymiarach 17 na 7 centymetrów oraz grubość 1,4 mm. Szerokość ścieżek sygnałowych wynosi 0,3 mm natomiast zasilających od 0,38 mm do 0,5 mm. Wielkość otworów zależna jest od zastosowanego elementu. W miejscach niewykorzystanych pozostawiono warstwę przewodzącą połączoną z masą. Rzut układu połączeń przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Widok połączeń płytki drukowanej

Oprogramowanie KiCad po zainstalowaniu dodatkowej wtyczki umożliwia podgląd widoku trójwymiarowego modelu projektowanego układu. Dzięki tej funkcji możliwe jest przedstawienie rzeczywistego wyglądu przyszłego układu. Na rys. 5 przedstawiono model trójwymiarowy odbiornika radia programowalnego.



Rys. 5. Trójwymiarowy model odbiornika

2.4. Oprogramowanie mikrokontrolera

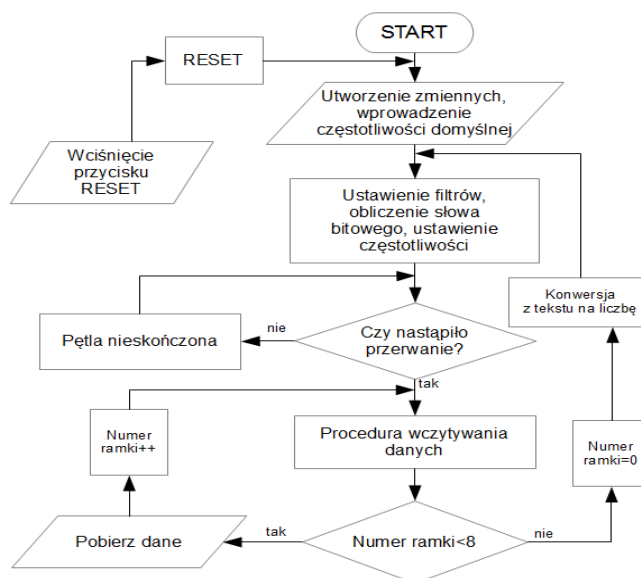
Mikrokontrolery dają bardzo szerokie możliwości konfiguracji oraz są w stanie realizować złożone funkcje. Osiągnięcie żądanego efektu wymaga stworzenia programu na podstawie, którego układ będzie realizował następujące zadania:

- podczas uruchomienia ustawić zadaną częstotliwość startową, co jest również funkcją kontrolującą poprawność działania generatora częstotliwości,
- utworzenie i obliczenie zmiennych dla zadanych parametrów częstotliwości pracy szeregowego interfejsu komunikacyjnego UART oraz jego inicjacja, a także uruchomienie funkcji przerwania głównej pętli programu w momencie, gdy należy odebrać dane,
- podczas wystąpienia przerwania odbieranie odpowiedniej ilości danych,
- konwersja danych z postaci odebranych znaków ASCII na format liczbowy,

- ustawienie bitów portu odpowiedzialnego za sterowanie obwodami filtrów, uruchomienie metod obliczających słowo bitowe wymagane do ustawienia częstotliwości generatora, wysłanie informacji do modułu generatora,
- możliwość przywrócenia wszystkich zmiennych do stanu początkowego i ponowne uruchomienie programu od pierwszego kroku, wykorzystanie do tego celu zewnętrznego przycisku resetującego.

Algorytm wykonywania poszczególnych zadań przedstawiono na rys. 6.

Program pracuje w pętli. Jeżeli w układzie rejestru odbioru danych pojawi się informacja o rozpoczęciu transmisji następuje przerwanie pętli i przejście programu do funkcji realizującej wczytywanie danych do pamięci programu. Gdy bufor zostanie całkowicie wypełniony następuje konwersja odbieranych danych z formatu ASCII na format liczb całkowitych, który wymagany jest do obliczenia słowa bitowego sterującego częstotliwością oraz wysterowania odpowiedniego obwodu wejściowego wysokiej częstotliwości. Następnie na podstawie dostępnych danych następuje generacja ciągu bitów wysyłanych szeregowo do modułu generatora.



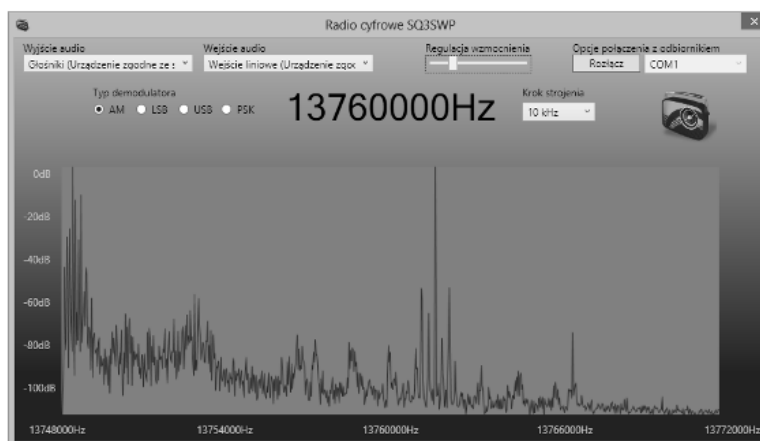
Rys. 6. Algorytm działania oprogramowania mikrokontrolera sterującego układem filtrów oraz generatorem częstotliwości

Po wykonaniu tych operacji mikrokontroler przechodzi do pętli nieskończonej i oczekuje na kolejne przerwanie od odbiornika portu UART. W przypadku błędnego działania programu możliwe jest ustawienie wszystkich zmiennych i wyjść do wartości początkowej poprzez wciśnięcie przycisku resetującego.

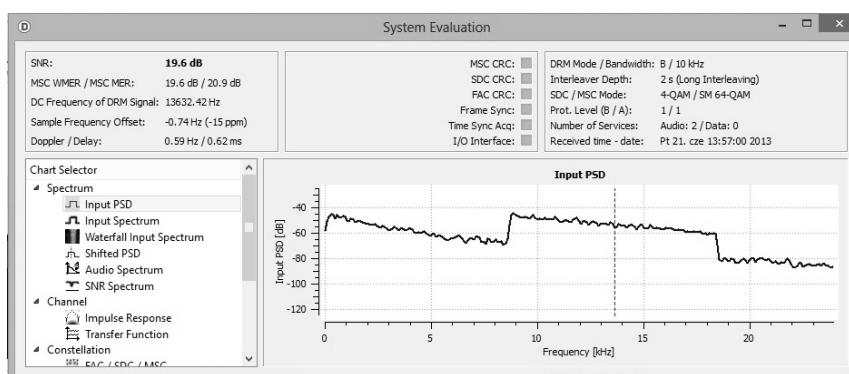
3. PRZYKŁAD ODBIORU SYGNAŁU

W celu oceny działania modułu odbiorczego dokonano prób odbioru sygnałów radiowych. Rysunek 7 przedstawia sygnał silnej stacji północno-koreańskiej pracującej w systemie modulacji amplitudy, nadającej z miejscowości Kujang odległej o około 7600 km od odbiornika.

Przeprowadzono również próbę odbioru sygnału stacji komercyjnych nadających w cyfrowym standardzie DRM. Do dekodowania strumienia danych wykorzystano program Dream. Osiągnięto znakomite rezultaty odbierając sygnał cyfrowy w paśmie fal krótkich o doskonałej jakości (SNR na poziomie 19,6 dB) z odległości około 1500 km. Rysunek 8 przedstawia okno programu Dream podczas odbioru omawianego sygnału.



Rys. 7. Sygnał stacji Voice of Korea



Rys. 8. Okno programu Dream podczas odbioru stacji nadającej w systemie DRM

4. UWAGI KOŃCOWE

Przedstawiony w niniejszej pracy odbiornik jest uniwersalnym urządzeniem radiowym. Przy jego wykorzystaniu dokonano czytelnego odbioru stacji radiowych z odległości ponad 10000 km. Stabilny generator lokalny umożliwił również synchronizację z sygnałami cyfrowymi, co trudne jest do osiągnięcia w przypadku zastosowania generatorów analogowych. Sterowanie cyfrowe przy pomocy komputera znacząco ułatwia pracę z urządzeniem, co zwiększa komfort użytkownika. Obecna konstrukcja umożliwia również poszerzenie możliwości urządzenia np. poprzez zwiększenie zakresu odbiorczego do maksymalnie 500 MHz. Możliwe jest również przekształcenie układu w taki sposób, aby spełniał on również funkcję nadajnika. Zalety te dostępne są dzięki przeniesieniu funkcji modulacji i demodulacji do aplikacji komputerowej.

LITERATURA

- [1] AD9850, nota katalogowa, [Dostęp: 28.04.2013], Dostępny w World Wide Web: <http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD9850.pdf>
- [2] Bogucki Z., Odbiorniki superheterodynowe, Wydawnictwo komunikacyjne, Warszawa 1958.
- [3] Haykin S., Systemy Telekomunikacyjne Tom I i II, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1998.
- [4] Hosking R. H., Software Defined Radio Handbook Eight Edition, Wydawnictwo Pentek, Inc. 2010.
- [5] Pawłowski J., Podstawowe układy elektroniczne - wzmacniacze i generatory, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1980
- [6] Youngblood G., A Software Defined Radio for the Masses, Part 1, [Dostęp: 17.03.2013], Dostępny w World Wide Web: <<http://www.flex-radio.com/Data/Doc/qex1.pdf>>

COMPUTER CONTROLLED RADIO RECEIVER

The paper discusses the physical system radio receiver, whose task is to adjust radio frequencies range from 0 to 30 MHz for the possibility of processing them into discrete signal by the analog-digital converter which is standard equipment on every sound card of a PC or laptop. The transformation frequency allows the reception of radio signals modulated in various standards using a computer and the appropriate application processing radio signals.