

Jakub PEKSIŃSKI*, Grzegorz MIKOŁAJCZAK*, Paweł KARDAŚ*

BUDOWA ODBIORNIKA RADIOWEGO FM Z WYKORZYSTANIEM GNU RADIO NA UKŁADZIE RTL283U+R820T SDR

Technologia radia programowalnego umożliwia wykonanie urządzeń pracujących w różnego rodzaju analogowych i cyfrowych systemach łączności radiowej. Ta praca przedstawia problemy dotyczące implementacji radia programowalnego. Opisano w sposób funkcjonalny platformę sprzętową i programową takiego rozwiązania. Zaprezentowano również środowisko graficzne GNU Radio Companion, które ułatwia projektowanie SDR. Przykład aplikacji odbiornika z wykorzystaniem oprogramowania GNU Radio, pokazuje łatwość, z jaką można tworzyć urządzenia nadawczo-odbiorcze w technologii SDR. Aplikacja ta została uruchomiona i pracowała na platformie sprzętowej opartej na układzie scalonym RTL2832U. Technologia radia programowalnego umożliwia szybką zmianę właściwości sprzętu i dostosowanie go do aktualnych zastosowań. Technologia ta umożliwia wykorzystanie tego samego sprzętu, z odpowiednim oprogramowaniem w różnorodnych zastosowaniach.

SŁOWA KLUCZOWE: radio programowalne, SDR, odbiornik FM.

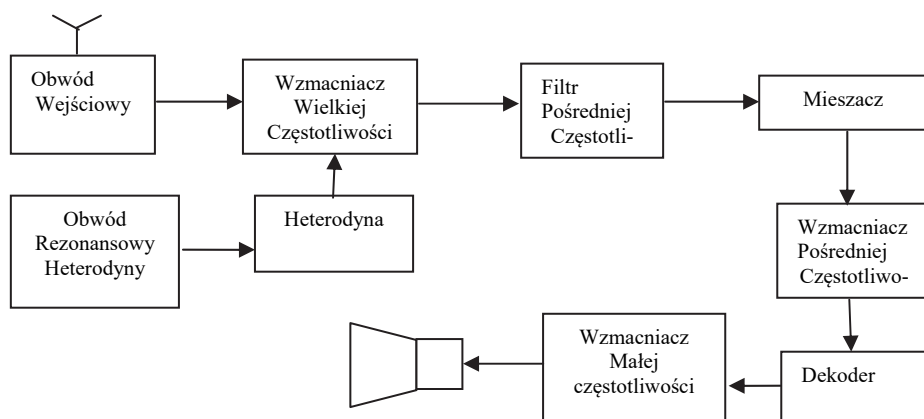
1. BUDOWA ANALOGOWEGO ODBIORNIKA RADIOWEGO FM

Podstawowym zadaniem odbiornika radiowego jest odbiór fali elektromagnetycznej następnie jej wzmocnienie oraz odtworzenie informacji zawartych w fali nośnej o określonej częstotliwości F_n . Klasyczny analogowy odbiornik radiowy ma już 100 lat jest to odbiornik superheterodynowy z tzw. przemianą częstotliwości [1, 2]. Schemat klasycznego odbiornika superheterodynowego przedstawiono na rys. 1. Zadaniem obwodu wejściowego jest wybranie żądanej fali o określonej częstotliwości f_n z całego zakresu fal, które dochodzą do anteny z różnych stacji nadawczych. Proces ten przebiega podczas przełączania obwodów wejściowych i dostrajania generatora (heterodyny).

Przełączanie może być ręczne lub automatyczne z użyciem układu syntezy częstotliwości tzw. pętli synchronizacji fazowej PLL. Zadaniem wzmacniacza wielkiej częstotliwości jest wzmacnianie słabych sygnałów dostarczonych

* Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

z obwodu wejściowego. Sygnały te po wzmacnieniu mieszane są w mieszaczu z częstotliwością heterodyny.



Rys. 1 Odbiornik superheterodynowy

Częstotliwość heterodyny jest większa od największej częstotliwości drgań w.cz o wartość równą częstotliwości pośredniej f_p . W wyniku mieszania zostaje utworzony sygnał fm, który jest nałożony na dwie częstotliwości:

- sumacyjną $f_s = f_h + f_n$,
- różnicową $f_r = f_h - f_n$.

Zadaniem wzmacniacza pośredniej częstotliwości jest wielokrotne zwiększenie amplitudy sygnału o częstotliwość pośrednią f_p (która jest częstotliwością f_r). Dla modulacji FM najczęściej spotykaną częstotliwością pośrednią f_p jest częstotliwość 10,7 MHz. Zadaniem detektora jest demodulacja sygnału i wyodrębnienie z niego informacji niesionych przez falę odbieraną.

Zadaniem wzmacniacza m.cz jest wzmocnienie sygnału i przekazanie go na głośnik. Ogólnie można powiedzieć, że cechą charakterystyczną przedstawionego odbiornika jest zastosowanie przemiany częstotliwości odbieranego sygnału z częstotliwości wejściowej (wysokiej) na częstotliwość pośrednią różną od wejściowej. Na częstotliwości pośredniej sygnał jest filtrowany i wzmacniany, a następnie poddawany demodulacji.

Przemiana częstotliwości odbywa się za pomocą mieszacza, do którego doprowadzony jest sygnał z generatora lokalnego (heterodyny). W układzie mamy więc dwie przemiany częstotliwości pierwszą w mieszaczu a drugą w demodulatorze.

2. RADIO PROGRAMOWALNE SDR I OPROGRAMOWANIE GNU RADIO

Radio programowalne SDR ma za zadanie przesunąć punkt cyfrowej obróbki sygnału w taki sposób aby znajdował się on możliwie blisko anteny odbiorczej [3] – cały problem sprzętowego odbioru sygnału radiowego sprowadza się więc tutaj do problemu ściśle programistycznego. W radiu SDR cały tor przetwarzania sygnału radiowego nie jest realizowany sprzętowo lecz wyłącznie za pomocą dedykowanego do tego celu oprogramowania.

SDR jest system komunikacji radiowej, który umożliwia dostrojenie się do dowolnego pasma częstotliwości oraz pozwala na tworzenie różne typy modulacji i demodulacji za pomocą odpowiedniego programowalnego modułu z wykorzystaniem oprogramowania SDR, które jest odpowiedzialne za przetwarzanie sygnałów [4].

Dzięki zastosowaniu SDR uzyskujemy możliwość stosunkowo prostej implementacji dowolnego toru radiowego z wykorzystaniem pakietu narzędzi GNU Radio.

2.1. Oprogramowanie GNU Radio

GNU Radio jest to darmowy pakiet oprogramowania wydany w oparciu o licencję „General Public Licence”. Umożliwia on użytkownikowi projektowanie oraz implementację odbiornika radiowego, bez konieczności używania specjalistycznych sprzętów takich jak: modulatory, demodulatory, mieszacze itp.

Oprogramowanie to posiada graficzny interfejs opracowany przez John'a Blumana z Uniwersytetu Hopkinsa. Całe oprogramowanie jest bardzo intuicyjne i zawiera w sobie kilkadziesiąt specjalistycznych bloków i komponentów podzielonych na kilkadziesiąt kategorii. Poszczególne bloki mogą się różnić między sobą stopniem skomplikowania oraz ilością oferowanych funkcji. Najprostsze z nich realizują tylko np. podstawowe operacje matematyczne czy logiczne, te bardziej zaawansowane realizują funkcje specjalistycznych układów radiokomunikacyjnych umożliwiających np. odbiór stacji radiowych czy telewizji DVBT.

Podstawowe komponenty to:

1. Flow Graph: służące do tworzenia wykresów przepływu sygnałów (signal flow graphs). Pokazuje sposób przetwarzania sygnałów przez GNU Radio. Na diagramie umieszcza się wybrane bloki i łącząc je wskazuje kolejność przetwarzania danych. Większość z nich ma zdefiniowane parametry, jednak można je zmieniać, dopasowując do aktualnych potrzeb. Dzięki graficznej wizualizacji sygnału można kontrolować pracę urządzenia na każdym etapie. Po połączeniu

wszystkich bloków możliwe jest wygenerowanie kodu źródłowego w języku Python. W tym celu należy uruchomić funkcję `Generate the flow graph`, której wynikiem będzie pożądaný kod.

2. Signal Blocks: Blokiem sygnału może być filtr, sumator, źródło sygnału czyli blok pozwalający na utworzenie źródła sygnału o wybranych parametrach, w którym definiujemy częstotliwości próbkowania, kształt naszego sygnału i inne parametry takie jak amplitudę oraz offset. Każdy blok ma etykietę wskazującą nazwę bloku i listę parametrów, które należy zadeklarować.

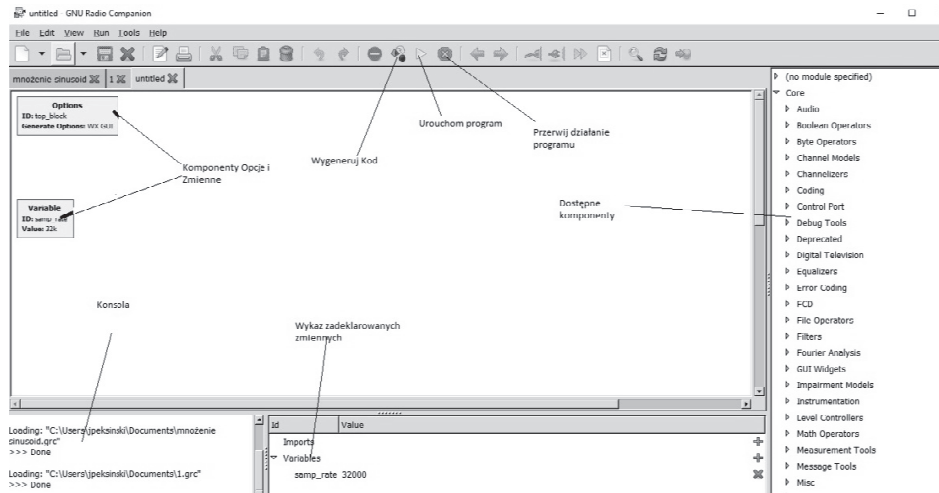
3. Parameters: Parametry wpływają na funkcję i działanie bloku sygnałowego. Na przykład parametrem może być częstotliwość próbkowania lub wzmocnienie. Większość parametrów bloku sygnału jest wyświetlana pod jego etykietą rys.4.

4. Sockets: Gniazda są wejściami i wyjściami bloków sygnałowych. Każdy blok sygnału ma określone gniazda z nim powiązane. Na przykład sumator ma dwa gniazda wejściowe i jedno gniazdo wyjściowe. GRC reprezentuje gniazdo jako mały prostokąt dołączony do bloku sygnałowego. Gniazdo ma etykietę wskazującą jego funkcję. Etykiety są zwykle nazywane "in" lub "out". Niektóre etykiety mają nazwę "vin" lub "vout", aby wskazać dane przetwarzane jako wektor. Gniazda są również kolorowane, aby wskazać ich typ danych: niebieski dla złożonych, czerwony dla float, Zielony dla całkowitych, itp.

5. Connections: Są to linie, które reprezentują połączenia poszczególnych gniazd wejściowych i wyjściowych użytych bloków i komponentów. Połączenia muszą należeć do pasujących typów danych, w tym do wielkości wektorowych.

6. Variables: Zmienna zawiera liczbę, która jest dostępna dla wszystkich elementów na wykresie przepływu. Umieszcza się je w osobnym bloku, który nie jest połączony z innymi blokami. Typowym parametrem jest częstotliwość próbkowania (`samp_rate`). Podobne znaczenie ma **Options** – gdzie umieszcza się główne parametry programu. Możemy w nim ustawić ID naszego projektu, autora, tytuł itp.

Okno startowe programu GNU radio pokazano na rys. 2.



Rys. 2. Okno startowe programu GNU Radio

2.2. Budowa odbiornika FM w oparciu o GNU

Do budowy odbiornika radiowego w oparciu o GNU Radio Companion wykorzystano układ RTL2832U pokazany na rys. 3



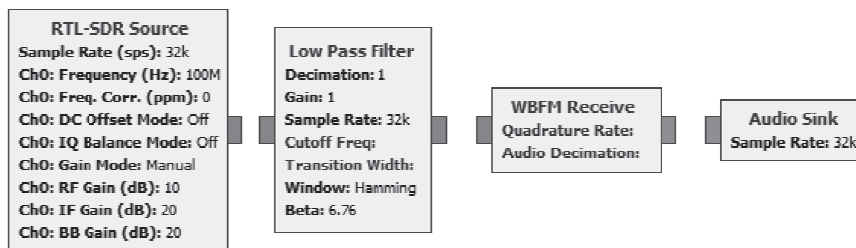
Rys. 3. RTL2832U

Do budowy prostego odbiornika radiowego FM zostaną wykorzystane komponenty oprogramowania takie jak:

- źródło sygnału – RTL SDR,

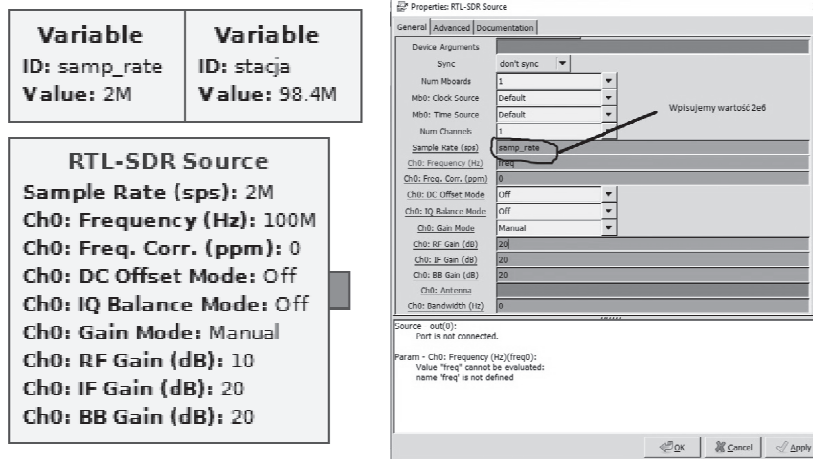
- filtr pasmowo przepustowy,
- WBFM demodulator,
- wyjście audio.

Pokazane na rysunku 4.



Rys. 4. Wykaz komponentów niezbędnych do budowy odbiornika FM zawartych w pakiecie GNU

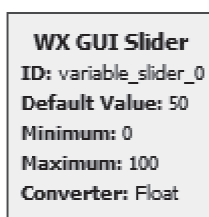
W pierwszym kroku skonfigurujemy RTL SDR source – Po podwójnym kliknięciu w blok źródła sygnału, wyświetli się okno dialogowe służące modyfikowaniu parametrów tego bloku. Możemy w tym oknie ustawić ID bloku. Za częstotliwość próbkowania przetwornika analogowo-cyfrowego odpowiada zmienna `samp_rate` o wartości 2Mhz. Przetwornik analogowo -cyfrowy próbkuje odebrany sygnał analogowy z prędkością 2 milionów próbek na sekundę (sps - samples per second). Za podstawową częstotliwość, na którą jest nastawiony odbiornik odpowiada zmienna „stacja” ustawiona na częstotliwość 98.4Mhz. Ustawione zostało wzmocnienie (gain) sygnału na 37.2dB. Pozostałe parametry pozostawiamy tak jak pokazano na rysunku 5.



Rys. 5. Konfiguracja RTL SDR Source

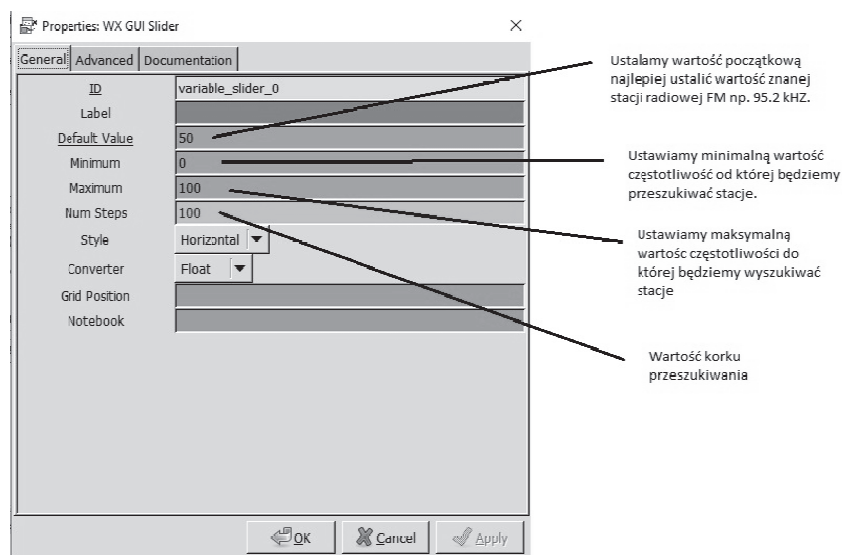
W GRC mamy możliwość deklarowania zmiennych. Zmienne pozwalają na jednorazową deklarację wartości np. częstotliwości próbkowania, a następnie odwołaniu się do nich w innych blokach diagramu za pomocą ich ID.

Kolejnym krokiem będzie dodanie możliwości wyboru zakresu częstotliwości stacji radiowych FM. Do tego celu posłużymy się elementem WX GUI Slider (suwak) przedstawionym na rys. 6.

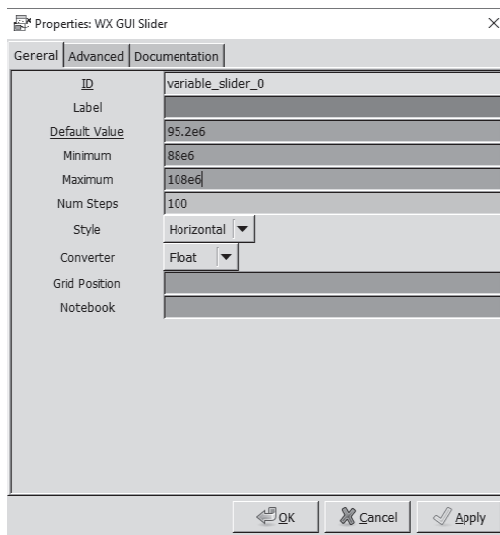


Rys. 6. WX GUI Slider

Konfiguracja WX GUI Slidera przedstawiona jest na rys. 7. W Default Value wpisujemy częstotliwość stacji radiowej, która zostanie odebrana po włączeniu. Wartość Minimum i Maximum ograniczono do zakresu częstotliwości stacji radiowych FM nadawanych w Polsce czyli zakres od około 88 do 108 MHz. Skonfigurowany WX GUI Slider pokazany jest na rys. 8.

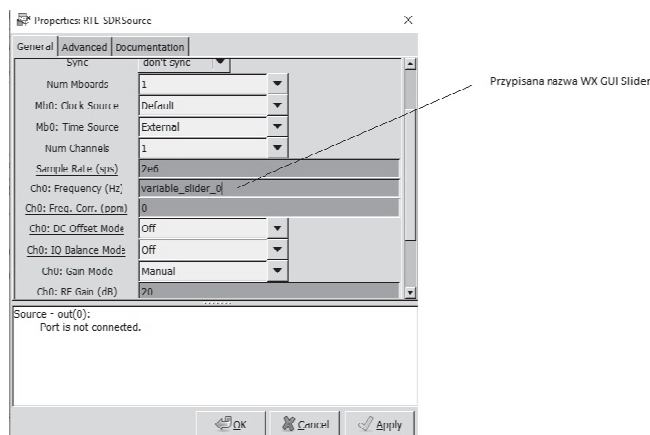


Rys. 7. Konfiguracja WX GUI Slidera



Rys. 8. Skonfigurowany WX GUI Slider

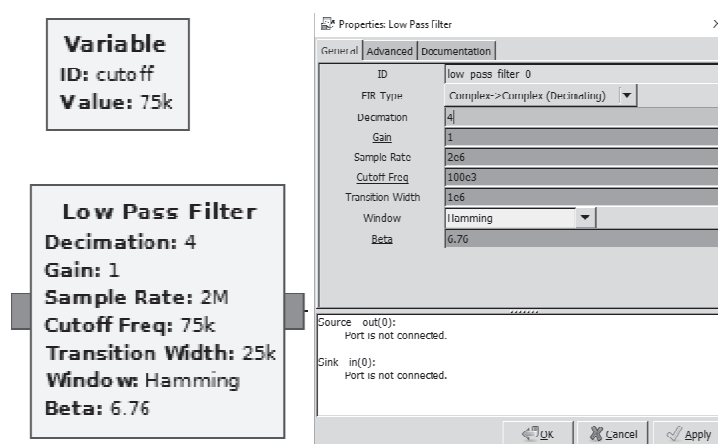
Kolejnym krokiem jest przypisanie naszego WX GUI Slidera do RTL SDR Source co pozwoli na wybór odpowiedniej częstotliwości z zdefiniowanego zakresu w celu znalezienia stacji radiowych. W tym celu otwieramy parametry RTL SDR Source i w zaznaczonym wpisujemy do niego nazwę WX GUI Slidera tak jak przedstawiono na rys. 9.



Rys. 9. Przypisanie WX GUI slidera do RTL SDR Source w celu wyboru zakresu częstotliwości

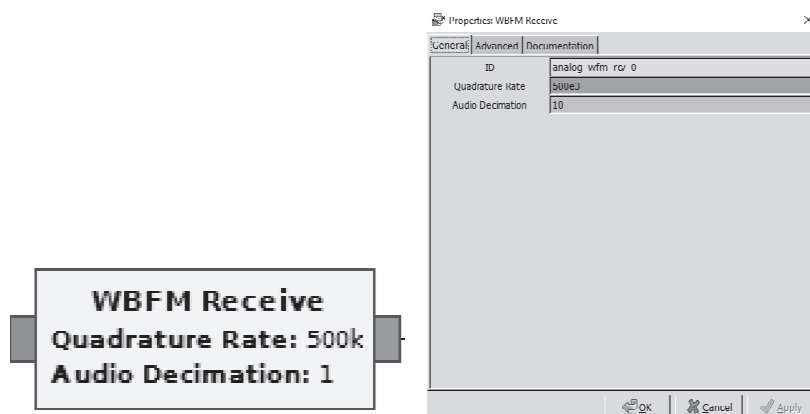
Kolejnym krokiem będzie ustawienie parametrów filtra dolnoprzepustowego. Sygnał po przejściu przez blok źródła sygnału trafia na wejście filtra. Częstotli-

wość graniczna filtru wynosi 100 kHz. W filtrze zastosowano okno Hamminga. Następuje również przepróbkowanie (decymacja – obniżenie liczby próbek sygnału) sygnału czterokrotnie, aby nie przetwarzać zbyt wielu próbek. Zwiększenie parametru gain wzmacni sygnał. W tym celu parametr Cutoff Freq (częstotliwość odcięcia) ustawiamy na 100 kHz, a pozostałe parametry ustawiamy tak jak pokazano na rys. 10.



Rys. 10. Konfiguracja filtru dolnoprzepustowego

Kolejnym krokiem jest ustawienie parametrów naszego WBFM receive (demodulatora FM). Wartość Quadrature Rate ustawiamy na 500 kHz rys. 11. Przy demodulacji sygnału nie jest dokonywana ponowna decymacja sygnału.



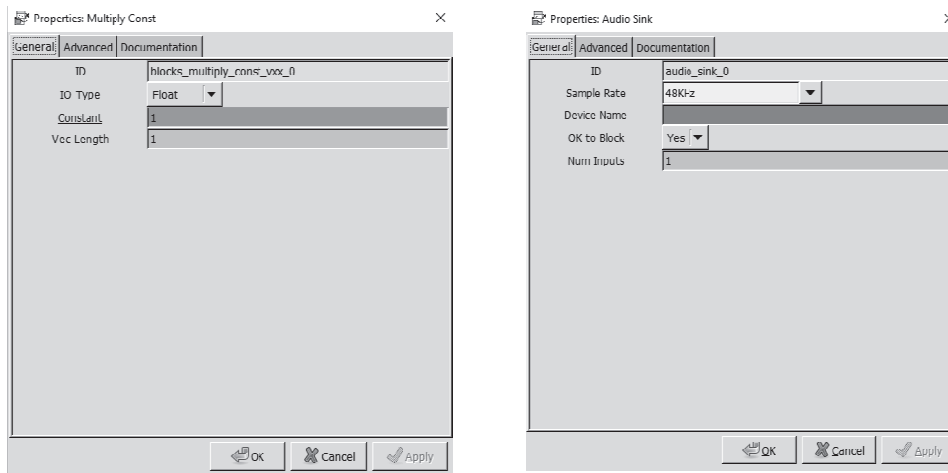
Rys. 11. Konfiguracja demodulatora FM

Ostatnim elementem naszego odbiornika radiowego jest wyprowadzenie sygnału na głośnik komputera. W tym celu zostanie wykorzystane bloki Audio Sink oraz Multiply const, pokazane na rys. 12. Audio Sink jest blokiem, który odpowiada za odtworzenie sygnały przez kartę dźwiękową i wyprowadzenie go na głośniki. Parametr sample rate ustawiamy na 48kHz.



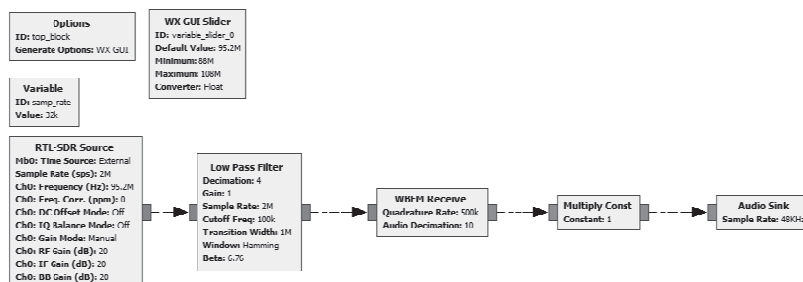
Rys. 12. Bloki Multiply Const i Audio Sink

Skonfigurowane bloki pokazano na rys. 13



Rys. 13. Skonfigurowane Bloki Multiply Const i Audio Sink

Cały odbiornik FM w postaci diagramu pokazano na rys. 14.



Rys. 14. Schemat odbiornika FM

Diagram jest gotowy i można rozpocząć jego wykonywanie. Aby rozpocząć wykonywanie należy kliknąć ikonę „Run” znajdującą się na górnym pasku GRC, rys. 15.



Rys. 15. Przycisk uruchomienia programu.

3. PODSUMOWANIE

Oczywiście przedstawiony w artykule odbiornik FM jest stosunkowo prostym odbiornikiem a możliwości jakie posiada oprogramowanie są bardzo duże. Zaproponowane rozwiązanie może jednak stanowić podstawę do nauki oraz daje duże możliwości rozbudowywania i dodawania do niego coraz to nowych funkcji zarówno użytkowych jak i wizualnych.

LITERATURA

- [1] Marusak A., Urządzenia Elektroniczne, CZ. II WSiP Warszawa 2000.
- [2] Tietze U., Schenk Ch., Układy Półprzewodnikowe, WNT 2009.
- [3] Kaczorek P., Waraska M., Wdrożenie Radia Programowalnego z Wykorzystaniem GNU Radio Oraz USRP2920, Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni, nr 90, grudzień 2015.
- [4] Manicka N., GNU Radio Testbed, Springer 2007.

CONSTRUCTION OF FM RADIO RECEIVER USING GNU RADIO ON RTL283U + R820T SDR

Software Defined Radio technology enable the realization of devices in various types of analog and digital radio communication systems. This paper presents the issues concerning the implementation of the SDR. It describes the software and hardware platform for such a solution. It also presents a GNU Radio Companion graphical environment, which facilitates the design of the SDR. Example of the receiver applications implemented using the GNU Radio software, shows how easily you can create transceivers in SDR technology. This application has been launched and worked on the SDR hardware platform based on chip RTL2832U. SDR technology allows you to quickly change the properties of hardware and adapting it to the current uses. This technology allows you to use the same hardware equipment, which appropriate software in diverse applications.

(Received: 31.01.2018, revised: 10.03.2018)

