

Systemy i Sieci Telekomunikacyjne – laboratorium

Modulacja częstotliwości

1. Cel ćwiczenia:

Celem części podstawowej ćwiczenia jest zbudowanie w środowisku GnuRadio Companion kompletnego, funkcjonalnego odbiornika FM. Źródłem sygnału będzie urządzenie SDR (*Software Defined Radio*) w postaci modułu *HackRF One* lub *RTL Dougle*. Efektem końcowy ćwiczenia jest działający odbiornik radiowy – istnieje możliwość odsłuchania kilkusekundowego fragmentu audycji radiowej (lub zapisania jej do pliku *.wav).

Celem części rozszerzonej (czyli dla chętnych) jest zbudowanie systemu, który umożliwia zarówno zmodulowanie sygnału, przesłanie go przez wirtualny kanał komunikacyjny (lub za pomocą dwóch urządzeń SDR), oraz jego odbiór, demodulację i odsłuch.

2. Demodulacja sygnału zmodulowanego częstotliwościowo – odbiornik stacji FM.

- Najpierw należy zdefiniować źródło sygnału. W tym przypadku będzie to moduł *HackRF One* / *RTL*. Środowisko GnuRadio Companion obecnie pozwala na obsługę kilku typów urządzeń typu SDR, za pomocą kilku różnych modułów. W przypadku *HackRF One* / *RTL* jest to komponent *OsmoSource*. Wybierz ten komponent i następnie połącz go z dowolnym komponentem mogących wizualizować sygnał. Diagram powinien wyglądać podobnie do poniższego (rys.1):
- Ustaw częstotliwość próbkowania na 480KHz (dla *HackFR One*) lub 2,4MHz (dla *RTL*).

Sprawdzamy, czy moduł SDR działa poprawnie:

(Cześć instrukcji dotyczy urządzenia *Hack RF One*)

- Podłącz moduł *HackRF One* za pomocą kabla USB do wolnego portu komputera. Powinny zaświecić się diody oznaczone „3V3”, „1V8”, „RF” oraz „USB”. Uruchom konsolę (*crtl + alt + T*), następnie wprowadź następujące polecenia:

```
lsusb | grep openMoko
```

rezultat powinien być podobny do poniższego:

```
Bus 002 Device 008: ID 1d50:6089 OpenMoko, Inc.
```

Jeżeli poprzednie polecenie się powiodło, co oznacza, że system operacyjny widzi urządzenie SDR na porcie USB to możemy sprawdzić, czy sterownik dla urządzenia *HackRF One* został zainstalowany poprawnie wydając komendę:

hackrf_info

Rezultat powinien wyglądać podobnie do poniższego:

Found HackRF board 0:

USB descriptor string: 0000000000000000909864c8374919cf

Board ID Number: 2 (HackRF One)

Firmware Version: 2015.07.2

Part ID Number: 0xa000cb3c 0x00584757

Serial Number: 0x00000000 0x00000000 0x909864c8 0x374919cf

Jeśli istotnie tak jest, to oznacza, że możemy korzystać z urządzenia *HackRF One* w środowisku *GnuRadio Companion*.

(Część instrukcji dotyczy urządzenia RTL)

Podłącz moduł *RTL* za pomocą kabla USB (lub bezpośrednio do gniazda USB komputera).

Uruchom konsolę (*ctrl + alt + T*), następnie wprowadź następujące polecenia:

lsusb | grep RTL

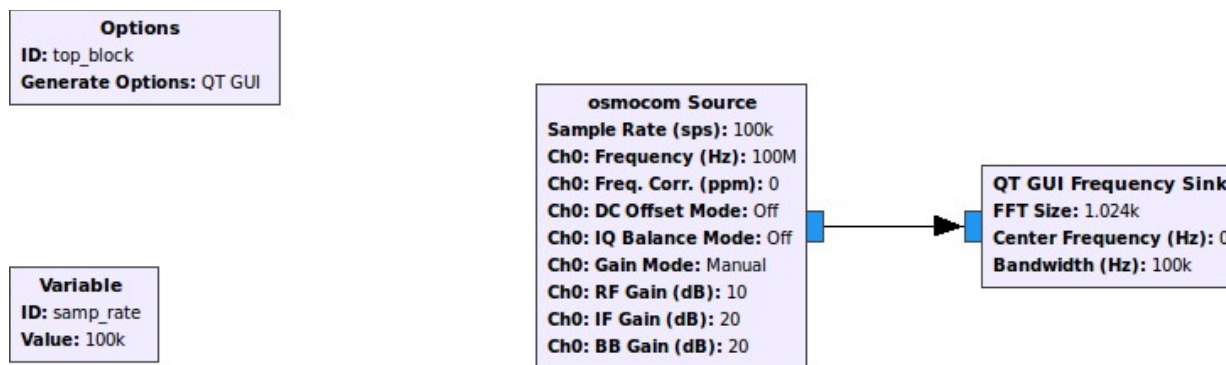
rezultat powinien być podobny do poniższego:

Realtek Semiconductor Corp. RTL2838 DVB-T

Jeśli tak jest, wykonaj kolejne polecenie:

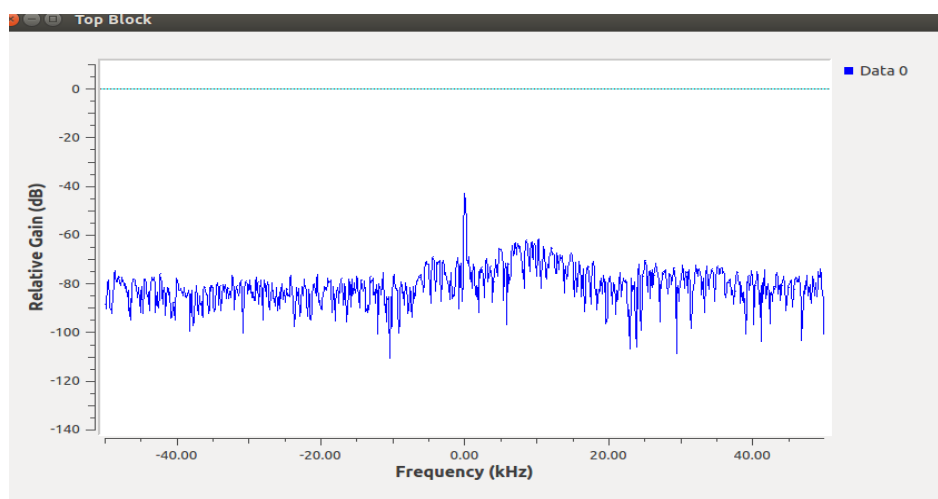
rtl_test

W rezultacie wykonania tego polecenia powinien wystartować test urządzenia. Uwaga, test może potrwać nawet kilka minut, więc można go przerwać kombinacją klawiszy „Ctrl+C”. Moduł może zostać uruchomiony w środowisku *GnuRadio Companion*.



Rys. 1. HackRF One jako źródło sygnału. Wizualizacja za pomocą QT GUI Frequency.

- Uruchom projekt. Żółta dioda oznaczona jako „RX” (odbiór) powinna się zaświecić (moduł *HackRF One*). Natomiast rezultat działania schematu może wyglądać tak:



Rys. 2 Przykładowy sygnał odebrany przez moduł *HackRF One*.

Jak widać, podobnie jak w poprzednim ćwiczeniu (modulacja AM) sygnał na diagramie widma częstotliwości reprezentowany jest jako częstotliwość 0Hz (rzeczywista częstotliwość to ustawiona domyślnie 100MHz – parametr Frequency (Hz) komponentu *OsmoSource*).

- Kolejny krok to dolnoprzepustowa filtracja sygnału. Jej celem jest usunięcie zbędnych sygnałów, czyli takich, których częstotliwość różni się więcej niż wynosi może szerokość pasma pojedynczego kanału transmisyjnego. W tym celu można skorzystać z komponentu o nazwie *Frequency Xlating FIR Filter*. Wymaga on podania parametrów filtru w postaci ciągu parametrów (pole *taps*). Utwórz zmienną pod nazwą *filter_taps*, której wartość będzie następująca:

```
firdes.low_pass(1, samp_rate, 75000, 25000, firdes.WIN_HAMMING, 6.76)
```

(porównaj nazwy parametrów z typowymi parametrami filtru, np. filtru dolnoprzepustowego)

- Parametr „Center frequency” powinien być sterowalny z poziomu interfejsu użytkownika

(będzie wtedy służyć do dostrajania się do wybranej stacji radiowej).

- Aby móc odbierać różne stacje radiowe należy zmieniać częstotliwość pracy urządzenia SRD. Można to uczynić zmieniając wartość parametru „Frequency” komponentu „*Osmo Source*”. Skorzystać z suwaka (*QT_RANGE* lub *WX_SLIDER*) aby zmieniać odbierając częstotliwość w trakcie działania programu.
- UWAGA: W przypadku modułów *RTL* należy dodać dodatkowy komponent, który zmieni częstotliwość próbkowania sygnału z 2,4MHz na 480KHz. Należy go umieścić przed filtrem dolnoprzepustowym.
- Następny krok to demodulacja sygnału. Ponieważ jest to sygnał zmodulowany częstotliwościowo możemy posłużyć się do tego trzema komponentami:
 - *WBFM* (Wide Band Frequency Modulation) – szerokopasmowa modulacja FM (komponent oznaczony „*Received*”)
 - *NBFM* (Narrow Band Frequency Modulation) – wąskopasmowa modulacja FM (komponent oznaczony „*Received*”)
 - *FM Demod* – podstawowy demodulator FM (podstawowy demodulator FM z demmfażą i opcjonalną filtracją sygnału audio)

Podział modulacji częstotliwości na modulację wąsko- i szeroko- pasmową związany jest z zakresem częstotliwości wykorzystywanych w procesie kształtowania sygnału (czyli modulacji właśnie).

Podstawowym parametrem sygnału zmodulowanego jest dewiacja częstotliwości $\Delta(f)$, oraz indeks modulacji β

$$\beta = \frac{\Delta(f)}{f_m} = \frac{|f(U_{FM}(t))|_{max}}{f_m}$$

gdzie:

$f(U_{FM}(t))$ - wartość sygnału nośnego w chwili t .

f_m - maksymalna częstotliwość zawarta w sygnale modulującym.

Jeżeli $\beta \ll 1$ wtedy mamy do czynienia z modulacją wąskopasmową (NBFM), a gdy $\beta \gg 1$ wtedy jest to modulacja szerokopasmowa (WSFM).

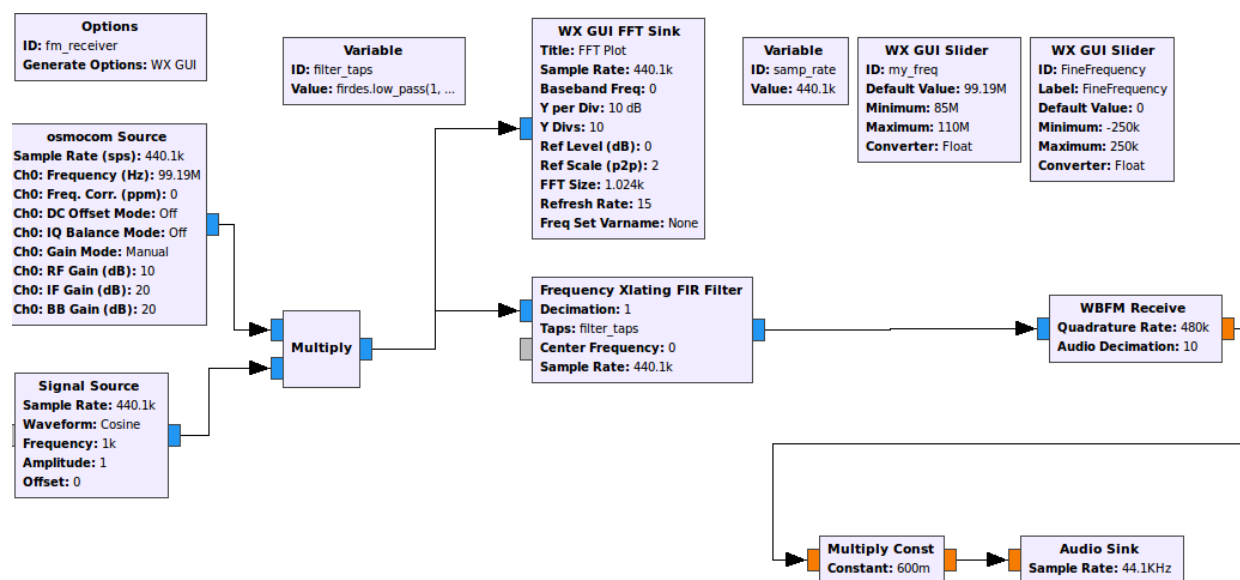
W przypadku wąskopasmowej modulacji częstotliwościowej komponent *NBFM* posiada cztery parametry: stała czasowa *tau* (domyślnie ustawiona wartość to $75 \cdot 10^{-6}$) oraz dewiacja częstotliwości (domyślnie ustawiona wartość to 5KHz). Pozostałe to *Quadrature rate* oraz *audio rate*. Pierwszy parametr powinien mieć zgodną wartość z częstotliwością próbkowanego sygnału. Natomiast drugi pozwala na decymację sygnału audio (ponieważ zazwyczaj częstotliwość

próbkowania sygnału poddawanego demodulacji jest większa niż typowa częstotliwość sygnału audio, czyli $\sim 11.5 \sim 48\text{kHz}$).

W przypadku szerokopasmowej modulacji częstotliwościowej komponent *WBFM* posiada tylko dwa parametry: *Quadrature rate* oraz *audio rate*. Pierwszy parametr powinien mieć zgodną wartość z częstotliwością próbkowanego sygnału. Natomiast drugi pozwala na decymację sygnału audio (ponieważ zazwyczaj częstotliwość próbkowania sygnału poddawanego demodulacji jest większa niż typowa częstotliwość sygnału audio, czyli $\sim 11.5 \sim 48\text{kHz}$).

Użyj wybranej metody demodulacji.

- Dopasuj częstotliwość próbkowania sygnału do standardu komponentu *Audio Sink* (komponent *Rational Resample*).
- Dodaj możliwość regulacji głośności odbieraj stacji (podpowiedź: wartość sygnału audio zmieniać poprzez pomnożenie go przez wartość stałą).
- Dodaj zapis sygnału audio do pliku.



Rys. 3: Schemat blokowy odbiornika FM

3. Tor transmisyjny modulowany częstotliwościowo i poprawa jakości odbioru – część rozszerzona

- W celu eliminacji części sygnałów nieporządných można wymnożyć sygnał uzyskany z SDR z sygnałem z lokalnego generatora (sygnał cosinuoidalny, $f = 1000\text{Hz}$).
- Zbuduj tor transmisyjny w oparciu o któryś z komponentów służących do modulacji częstotliwościowej, komponentu „*Osmo Sink*” oraz odbiornika FM zbudowanego w poprzedniej części laboratorium. Jako źródła sygnału wykorzystaj plik dźwiękowy. Częstotliwość nośną ustaw w okolicy 440MHz lub 1.4 GHz (wyższa częstotliwość będzie korzystniejsza z powodu

specyfikacji anten, z jakich korzystają moduły SDR dostępne w laboratorium).

UWAGA: Moduł *SDR HackRF One* może pracować zarówno jako nadajnik jak i odbiornik. Natomiast moduł *SDR RTL* tylko jako odbiornik.

- Prześlij sygnał, potwierdź jego odbiór (zadanie najlepiej wykonać w grupie. Ponieważ urządzenia *HackRF One* pracują w trybie *halfDuplex* więc jedno może być nadajnikiem, a drugie odbiornikiem. Jedno stanowisko staje się stanowiskiem nadawczym, a drugie stanowiskiem odbiorczym).

Instrukcja instalacji sterownika RTL:

- Uruchamiamy konsolę (np. poprzez kombinację klawiszy *Ctrl+Atl+T*)
- ściągamy paczkę (źródła) ze sterownikiem RTL :
git clone git://git.osmocom.org/rtl-sdr.git
- wchodzimy do katalogu *rtl-sdr* i tworzymy katalog 'build'
mkdir build
- wchodzimy do niego i wywołujemy polecenie:
cmake ../ -DINSTALL_UDEV_RULES=ON -DDETACH_KERNEL_DRIVER=ON
- następnie wykonujemy polecenie 'make'
make
- I jeśli kompilacja odbyła się bez problemów to wykonujemy polecenie:
sudo make install
(hasło:)
- Testujemy, czy wszystko jest w porządku:
rtl_test t
(Test może chwilę potrwać dlatego można go przerwać kombinacją klawiszy *Ctrl+C*)