

# Modulacja i kodowanie – laboratorium

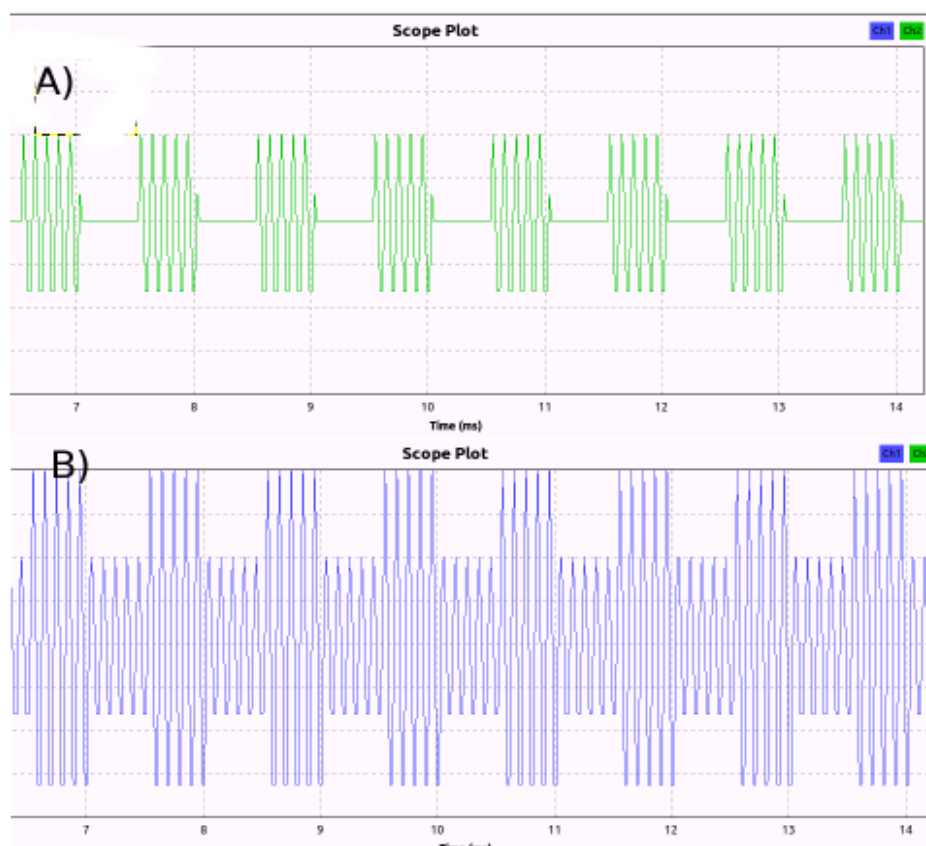
## Modulacje Cyfrowe:

### Kluczowanie Amplitudy (ASK)

Celem ćwiczenia jest opracowanie algorytmu modulacji i dekodowania dla metody kluczowania amplitudy – *Amplitude Shift Keying (ASK)*. Pierwsza część ćwiczenia polegać będzie na zbudowaniu prostego modulatora i dekodera ASK. Druga część ćwiczenia polegać będzie analogicznie na zbudowaniu prostego toru komunikacyjnego (przesyłanie pliku tekstowego) przy wykorzystaniu modułów SDR.

#### 1. Modulacja ASK

Wyróżniamy dwa rodzaje modulacji polegającej na kluczowaniu amplitudy: On Off Keying (OOK) oraz Amplitude Shift Keying (ASK) (Rys 1).

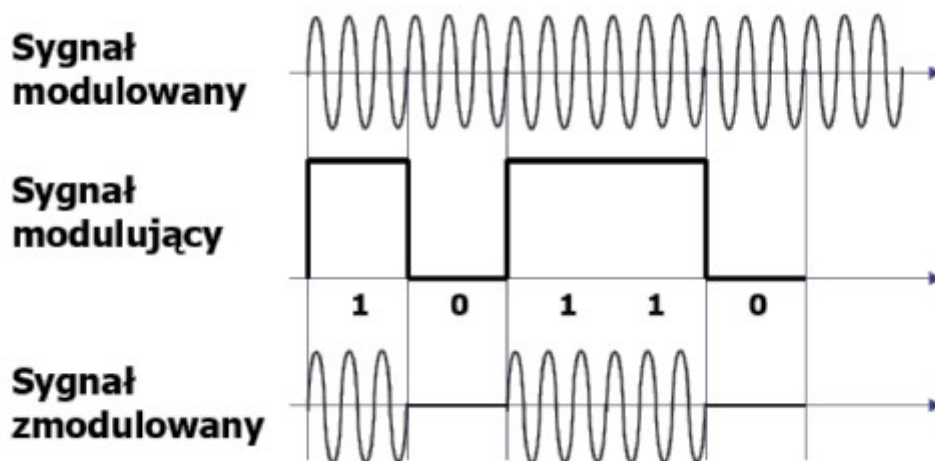


Rys. 1 Przykłady sygnałów modulowanych cyfrowo: (A) modulacja OOK (*On-Off Keying*), (B) modulacja ASK (*Amplitude Shift Keying*)

Rysunek 1 prezentuje sygnał prostokątny ( $f_m=1\text{KHz}$ ), zmodulowany za pomocą metody OOK (rys. 1a) oraz ASK (rys. 1b). Sygnał nośny to sygnał sinusoidalny o częstotliwości  $f_c = 10\text{KHz}$ . Jak łatwo zauważyć, zasadniczą różnicą pomiędzy modulacją OOK a ASK jest występowanie sygnału w czasie trwania obu symboli (0 i 1) (ASK), podczas gdy w przypadku modulacji OOK sygnał jest generowany tylko w czasie trwania jednego symbolu (zazwyczaj 1), a w czasie trwania drugiego symbolu sygnał nie jest nadawany.

### 1.1 Modulator OOK/ASK

Modulacja OOK/ASK Sprowadza się do mnożenia sygnału modulującego z sygnałem nośnym. Jest zatem analogiczna do zwykłej modulacji amplitudy AM. Zasadnicza różnica kryje się w postaci sygnału modulującego oraz sposobie dekodowania (w przypadku sygnałów modulowanych cyfrowo mówimy o modulacji i dekodowaniu).



Rys. 2: Modulacja kluczowania amplitudy

W przypadku modulacji cyfrowych sygnał modulujący jest sygnałem cyfrowym. Może on przyjmować wartości 0 i 1 lub -1 i 1. W przypadku modulatorów  $M$ -wartościowych alfabet wejściowy może być większy i zawierać właśnie  $m$  wartości. Rysunek 2 przedstawia sposób modulowania sygnału binarnego o wartościach 0 i 1. Jak widać jest to modulacja OOK, ponieważ na czas trwania symbolu 0 sygnał nie jest nadawany.

W środowisku *GnuRadio Companion* modulator OOK / ASK wygląda więc dokładnie tak samo jak modulator amplitudy.

- Utwórz źródło sygnału nośnego: sygnał sinusoidalny o regulowanej częstotliwości (10KHz...100KHz).
- Utwórz źródło sygnału modulującego: sygnał prostokątny o regulowanej częstotliwości (10...1000Hz).

- Zmoduluj sygnał metodą OOK. Z wizualizuj przebieg sygnału wyjściowego (zmodulowanego).
- Zmoduluj sygnał metodą ASK (w tym celu zmodyfikuj źródło sygnału tak aby posiadał dwie amplitudy, np. symbol „0” → amplituda = 1, symbol „1” - > amplituda = 2). Z wizualizuj przebieg sygnału wyjściowego (zmodulowanego).

## 1.2 Model kanału transmisyjnego

Model kanału transmisyjnego służy do najwierniejszego odtworzenia zachowania się sygnału podczas jego przesyłania w postaci fali elektromagnetycznej. Zazwyczaj do celu wykorzystuje się model AWGN (Additive White Gaussian Noise). Jest to model kanału w którym szum ma stałą i widmową gęstość mocy (W/Hz) oraz gaussowski rozkład amplitudy. Model ten reprezentowany jest przez komponent „*Channel Model*”. Parametr pozwalający na regulację natężenia szumu nosi nazwę „*Noise voltage*”. Powinien być regulowany za pomocą GUI w zakresie 0...1V (najlepiej co jeden *mV*), wartość domyślna powinna wynosić 0V.

## 1.3 Dekodowanie OOK / ASK.

Tym razem celem jest odzyskanie (zdekodowanie) symboli 0 i 1. Sygnał wyjściowy powinien mieć dokładnie taką samą postać jak sygnał wejściowy (choć może być przesunięty w czasie). Przykładowy dekodery OOK/ASK może wyglądać następująco:

- W celu odfiltrowania wszystkich innych sygnałów wykorzystaj filtr *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, fc, 25000, firdes.WIN\_HAMMING, 6.76)*

(porównaj nazwy parametrów z typowymi parametrami filtru, np. filtru dolnoprzepustowego, *fc* to częstotliwość nośna sygnału).

- Następnie obliczamy kwadrat modułu wektora utworzonego z części rzeczywistej i urojonej sygnału za pomocą komponentu „*Complex to Mag^2*”.
- Kolejny krok to zdekodowanie symbolu. Każdy symbol ma stały czas trwania, wynoszący  $T_k$ . W naszym przypadku będzie on równy podwojonej częstotliwości sygnału modulującego (w jednym okresie mieszają się dwa symbole 0 i 1). Do dekodowania symboli wykorzystaj komponent „*Clock Recovery MM*”. Parametr „*Omega*”, czyli współczynnik

ilości próbek na symbol ustaw na 1 (prędkość bitowa równa się prędkości symbolowej).

- Z wizualizuj odzyskany sygnał. Porównaj go z sygnałem wysłanym.
- Sprawdź jak zachowuje się sygnał, gdy rośnie poziom zakłóceń.
- W celu poprawy dekodowania można wykorzystać filtr dolnoprzepustowy do odfiltrowania szumu. Umieść go pomiędzy „Complex to Mag<sup>2</sup>”, a „Clock Recovery MM”. Dobierz parametry filtru aby uzyskać jak najlepsze efekty.

### 1.3 M-ASK.

Modulacje kluczowania fazy (OOK, ASK) z poprzedniej części dopuszczały istnienie dwóch poziomów amplitudy: jeden poziom reprezentował pierwszy symbol z alfabetu, a drugi – drugi symbol alfabetu. Nic jednak nie stoi na przeszkodzie, aby istniało  $m$  wartości amplitudy reprezentującej  $m$  symboli. W ten sposób, w ramach jednego symbolu można przesłać większą ilość informacji. Na przykład dysponując czterema wartościami amplitudy można przenieść 2 bity, czyli wartości 0,1,2,3.

Istnieją dwa parametry determinują pojemność kanału (ilość informacji, jaką można przesłać za pomocą takiego kanału, w danym czasie) : **Szybkość Symbolowa** (*Symbol Rate*) oraz **Szybkość Bitowa** (*Bit Rate*). *Szybkość symbolowa* definiuje ile razy sygnał zmienił swój stan (np. swoją amplitudę) w zadanym czasie – najczęściej jednej sekundzie. Mierzona jest w Baud/s. Natomiast *szybkość bitowa* definiuje ile bitów w zadanym czasie (np. w ciągu jednej sekundy) można przesłać kanale. *Szybkość bitową* można obliczyć w następujący sposób:

$$K = V * \log_2(n)$$

gdzie:

$V$  – szybkość symbolowa (baud/s).

$n$  – liczba dopuszczalnych stanów sygnału (np. różnych amplitud czy częstotliwości) (binary - 2, octal - 8, etc.).

Przykład:

Jeśli szybkość symbolowa = 1000 bauds, oraz mamy dwa dozwolone stany = 2 (sygnał binarny), wtedy szybkość bitowa = 1000 bit/s.

Jeśli szybkość symbolowa = 1000 bauds, oraz mamy dwa dozwolone stany = 4 (sygnał czwórkowy), wtedy szybkość bitowa = 2000 bit/s.

Aby zbudować modulator M-ASK wystarczy tak zmodyfikować źródło aby wysyłało sygnał prostokątny o  $m$ -wartościach amplitudy (można np. dodać do siebie  $m$ -sygnałów kwadratowych o różnych częstotliwościach i amplitudach).

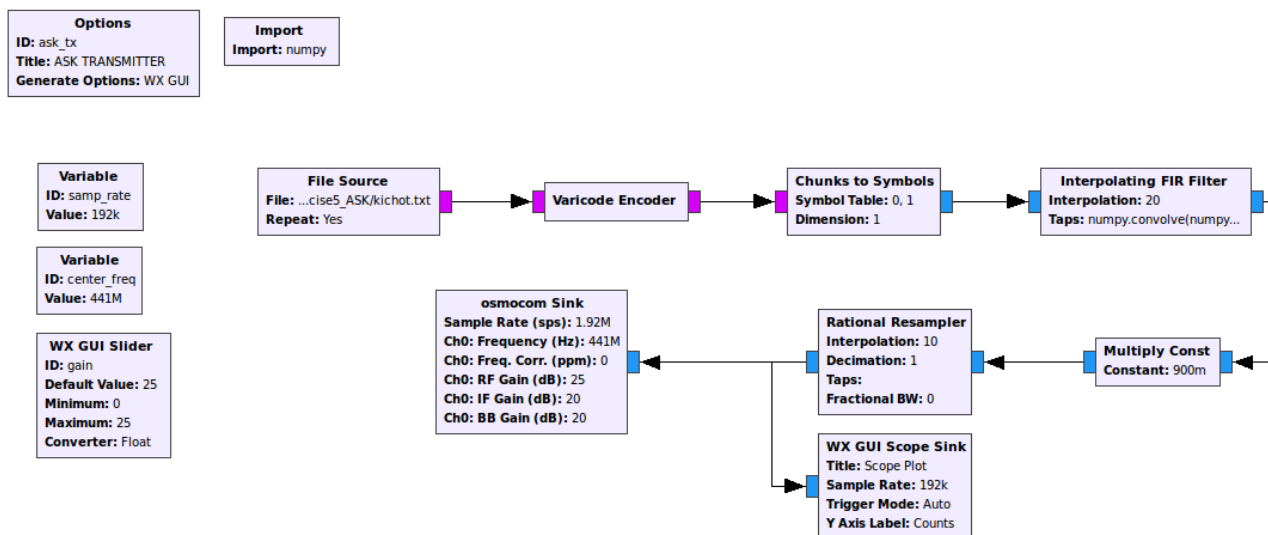
- Zbuduj modulator M-ASK, gdzie  $m=4$ .
- Zaprezentuj sygnał wysłany i odebrany.
- Czy taki sygnał jest bardziej podatny na szum? (Do oceny można także wykorzystać diagram konstelacyjny - „Constellation diagram / sink”).

## 2. Transmisja strumienia danych modulowanych metodą ASK, za pomocą modułów SDR.

Ćwiczenie wymaga dwóch stanowisk komputerowych: na pierwszych zbudowany zostanie nadajnik, a na drugim odbiornik. Częstotliwości pracy powinna zawierać się w przedziale od 433,05 MHz do 434,79 MHz - jest to jeden z przedziałów pasma **ISM** (ang. *Industrial, Scientific, Medical* – "przemysłowe, naukowe, medyczne").

### 2.1 Nadajnik.

- Przygotuj plik tekstowy.
- Zbuduj diagram według poniższego schematu:



Rysunek 2: Schemat blokowy nadajnika ASK.

- *Varicode encoder* – koder / dekodek tekstu. Dokonuje konwersji strumienia bajtów na strumień bitów [0 and 1]. Ponadto dokonuje kompresji bezstratnej strumienia (obniżenie stopnia redundancji)

- *Chunks to symbol* – konwertuje strumień do wartości [0,1], zmienia sygnał wejściowy na postać zespoloną.
- *Interpolatig FIR Filter* – Filtr konwolucyjny. W tym przypadku będzie pracował jako filtr Gaussa. Do określenie charakterystyki tego filtra należy wprowadzić poniższe polecenie (w polu “Taps”):

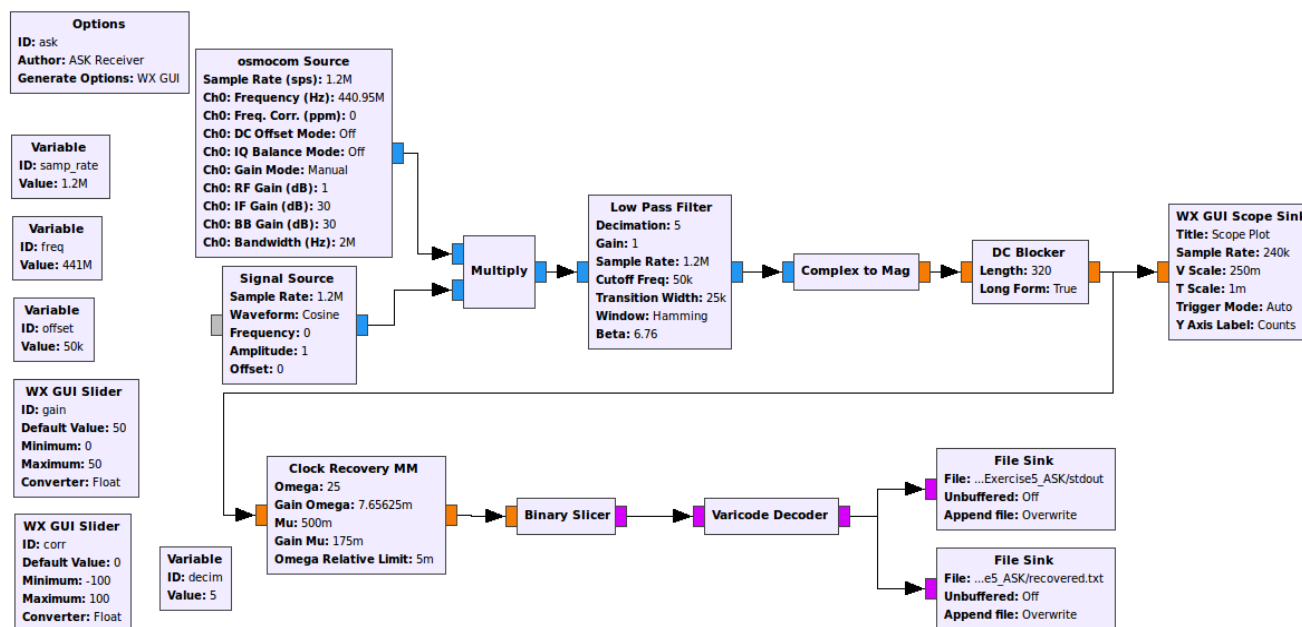
To set a filter characteristic you must type (in field “Taps”):

```
numpy.convolve(numpy.array(filter.firdes.gaussian(1, 20, 1.0, 4*20)),numpy.array((1,) * 20))
```

- *Rational Resampler* – blok zmieniający częstotliwość próbkowania (w “górną” lub w “dół”)
- Właściwa modulacja odbywa się wewnątrz urządzenia SDR (sygnał wejściowy jest mnożony z sinusoidalnym sygnałem nośnym o częstotliwości określonej w polu “*CH0 Frequency*” w *OsmocomSink*)

## 2.2 Odbiornik:

Zbuduj odbiornik według poniższego diagramu:



Rys. 3: schemat budowy odbiornika ASK.

- *DC Blocker* – usuwana składową stałą z sygnału.
- *Clock Recovery* – blok służący do “odzyskiwania” symboli. (musi znać czas trwania pojedynczego symbolu):

- w polu “*Omega*” wpisz (*samp\_rate/5/9600*)
- Pozostałe pola zostaw niezmienione
- *Binary Slice* – Zmienia sygnał na postać binarną
- *Varicode decoder* – dekoduje strumień bitów na tekst (ASCII code)
- Zdefiniuj plik wyjściowy (poniższe ustawienie pozwoli wyświetlać odebrany tekst bezpośrednio na konsoli programu GnuRadio)  
*/dev/stdout*

2.3 Dokonaj transmisji pliku. Na jaką odległość można przesłać dane ?