

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA

WYDZIAŁ ELEKTRONIKI

NIEZAWODNOŚĆ I DIAGNOSTYKA UKŁADÓW CYFROWYCH

Analiza metod modulacji PSK i APSK

Skład zespołu

Maja BOJARSKA

Wojciech SADLIK

Wojciech ŚLIWA

Prowadzący

mgr inż. Szymon DATKO

27 maja 2019

1 Wstęp

Celem projektu było zbadanie skuteczności metod modulacji PSK oraz APSK. Stworzony został model systemu komunikacyjnego, zawierający takie elementy składowe jak modulator i demodulator oraz kanał transmisyjny z zakłóceniami o zmiennym poziomie. Efektywność danej metody modulacji jest określona za pomocą wartości BER i SNR w zależności od natężenia szumu oraz typu modulacji.

Zostały przeprowadzone następujące testy:

1. Wartości SNR i BER dla QPSK w funkcji wariancji rozkładu normalnego; szum gaussowski; wariancja z przedziału od 0,1 do 2,0.
2. Wartości SNR i BER dla 64-PSK w funkcji wariancji rozkładu normalnego; szum gaussowski; wariancja z przedziału od 0,01 do 1,0.
3. Wartości SNR i BER dla QPSK w funkcji amplitudy szumu; szum o rozkładzie równomiernym; amplituda z przedziału od 0,1 do 2,0.
4. Wartości SNR i BER dla 64-PSK w funkcji amplitudy szumu; szum o rozkładzie równomiernym; amplituda z przedziału od 0,01 do 1,0.
5. Wartości SNR i BER dla QAPSK w funkcji wariancji rozkładu normalnego; szumu gaussowski; wariancja z przedziału od 0,1 do 2,0.
6. Porównanie skuteczności modulacji QPSK i QAPSK; szumu gaussowski; wariancja z przedziału od 0,1 do 2,0.
7. Porównanie skuteczności BPSK, QPSK, 8-PSK, 16-PSK, 32-PSK, 64-PSK, 128-PSK, 256-PSK, 512-PSK, 1024-PSK; szum gaussowski, wariancja rozkładu normalnego równa 0,5.

2 Wprowadzenie

2.1 Modulacja cyfrowa

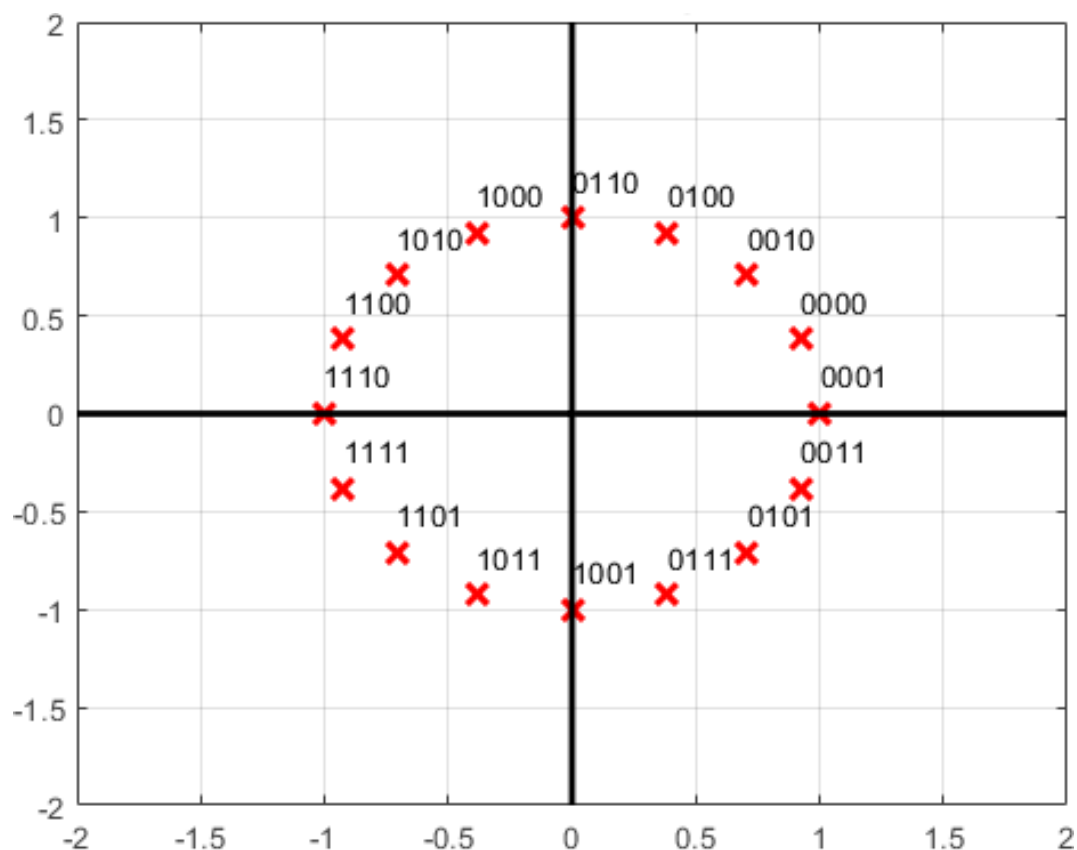
Modulacja to proces dopasowywanie transmitowanego sygnału do fali nośnej, poprzez zmianę jego parametrów. Tak przetworzony sygnał może być natępnie przesłany kanałem transmisyjnym. Celem modulacji jest m.in. zwiększenie efektywności przesyłu danych. Odpowiednio przetworzony sygnał umożliwia przesłanie kilku bitów informacji w jednym okresie fali nośnej. Oczywiście długość symbolu wpływa na odporność transmisji na zakłócenia.

2.2 Kluczowanie fazy

Kluczowanie fazy, PSK (ang. *Phase-Shift keying*) — to rodzaj modulacji cyfrowej, polegający na dyskretnych zmianach fazy sygnału. Każdy z podrodzajów PSK posiada skończoną liczbę faz, którym przypisany jest unikalny ciąg binarny. Najczęściej wszystkie symbole są identycznej długości 2^n , gdzie $n > 0$. PSK można podzielić na:

- BPSK (ang. *Binary PSK*) — występują dwa przesunięcia fazy, a słowo ma długość jednego bitu,
- QPSK (ang. *Quadrature PSK*) — występują cztery przesunięcia fazy, a słowo ma długość dwóch bitów,
- n-PSK – występuje n przesunięć fazy, a słowo ma długość $\log_2 n$ bitów.

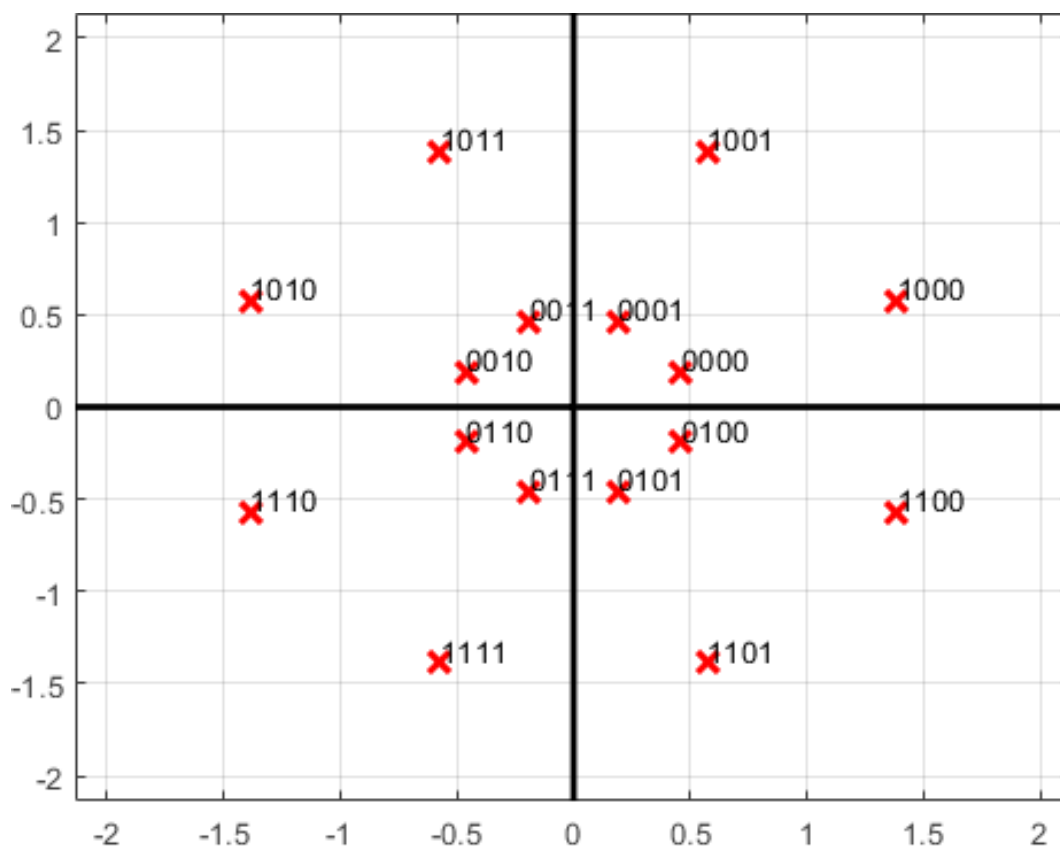
Działanie modulacji PSK można w jasny sposób przedstawić za pomocą diagramu konstelacji. Poszczególne fazy, wraz z odpowiadającymi im ciągami dwójkowymi, umieszczone są na płaszczyźnie zespolonej.



Rysunek 1: Diagram konstelacji 16-PSK

2.3 Jednoczesne kluczowanie fazy i amplitudy

Kluczowanie fazy i amplitudy, APSK (ang. *Amplitude and Phase-Shift Keying*) — to rodzaj modulacji cyfrowej, polegający na dyskretnych zmianach zarówno fazy fali nośnej, jak i amplitudy. Innymi słowy jest to połączenie modulacji ASK i PSK w celu zwiększenia liczby symboli. Działanie modulacji APSK można w jasny sposób przedstawić za pomocą diagramu konstelacji. Poszczególne fazy, wraz z odpowiadającymi im ciągami dwójkowymi, umieszczone są na płaszczyźnie zespolonej.



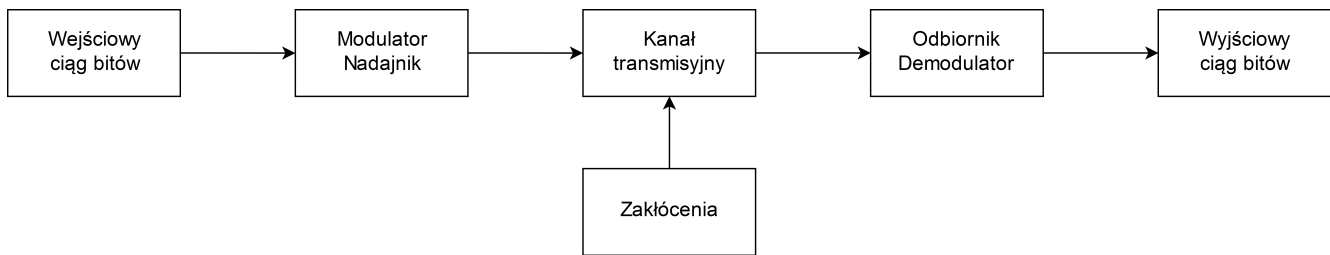
Rysunek 2: Diagram konstelacji 16-APSK

2.4 Współczynniki efektywności

- Długość słowa — określa liczbę bitów ciągu wejściowego, która może zostać przesłana w jednym okresie fali nośnej.
- BER (ang. *Bit Error Rate*), współczynnik błędnych bitów — to wskaźnik określający prawdopodobieństwo wystąpienia przekłamania bitu informacji w strumieniu przesyłanych danych.
- SNR (ang. *Signal-to-Noise Ratio*), stosunek sygnału do szumu — to miara porównujące poziom sygnału przenoszącego informację do poziomu szumu.

3 Opis zastosowanego modelu

- Transmitowanymi danymi są losowe ciągi bitów o określonej długości.
- Modulacja polega na podzieleniu ciągu wejściowego na segmenty, których długość jest zależna od metody modulacji. Na przykład dla 16-PSK będą to 4 bity na segment. Następnie segmenty są zamieniane na odpowiadające im wartości fazy – punkty na płaszczyźnie zespolonej.
- Do wektora zmodulowanego sygnału dodawany jest szum. Ta operacja symuluje przysył danych przez medium transmisyjne. Model uwzględnia szum o rozkładzie normalnym, równomiernym oraz von Misesa. Parametry zakłóceń mogą być regulowane.
- Demodulacja polega na odtworzeniu z wektora zaszumionego sygnału ciągu bitów wyjściowych.



Rysunek 3: Schemat blokowy modelu systemu komunikacyjnego

4 Opis eksperymentu

Na potrzeby eksperymentu została stworzona aplikacja w języku Python. Udostępnia ona szereg funkcji umożliwiających sprawne przeprowadzanie testów. Pojedynczą sesję badawczą można streszczyć w następującej liście kroków:

1. Wybranie długości ciągu transmitowanych danych.
2. Wybranie rozkładu szumu oraz parametrów. Zaimplementowane rozkłady to: jednostajny (parametrem jest amplituda), normalny (parametrami są wartość oczekiwana i wariancja), von Misesa (parametrem jest dyspersja).
3. Określenie typu modulacji PSK lub APSK.
4. Ustawienie liczby różnych symulacji.

Program po wykonaniu obliczeń umożliwia przeglądanie wyników dla poszczególnych symulacji. Zaszumiony zmodulowany wykres jest wyświetlany w formie wykresu wskazowego. Rezultaty badań można następnie zapisać do pliku z rozszerzeniem csv.

Dla wszystkich pomiarów z sekcji **Wyniki badań** przyjęto następujące założenia: długość ciągu wejściowego dla każdego pomiaru wynosi 4096 bitów; każdą symulację transmisji wykonano 100 razy, a otrzymane wyniki zostały uśrednione przed naniesieniem na wykres; wartość oczekiwana w rozkładzie normalnym jest zawsze równa 0.

5 Implementacja

Funkcje programu realizujące modulację i demodulację pochodzą z zewnętrznego modułu o nazwie *Komm*.

Zaszumianie polega na wylosowaniu wektora liczb zespolonych, której długość jest równa długości listy zawierającej sygnał zmodulowany. Następnie oba ciągi są sumowane.

Za obliczenie BER odpowiada poniższa funkcja:

```

1 def bit_error_rate(bits1, bits2, precision=4):
2     ber = 0
3     if len(bits1) != 0:
4         counter = 0
5         for i in range(len(bits1)):
6             if bits1[i] != bits2[i]:
7                 counter += 1
8         ber = round(counter / len(bits1), precision)
9     return ber

```

Argumentami wywołania są ciągi przed i po transmisji. Działanie polega na wyliczeniu stosunku liczby przekłamanych bitów do całkowitej długości sygnału.

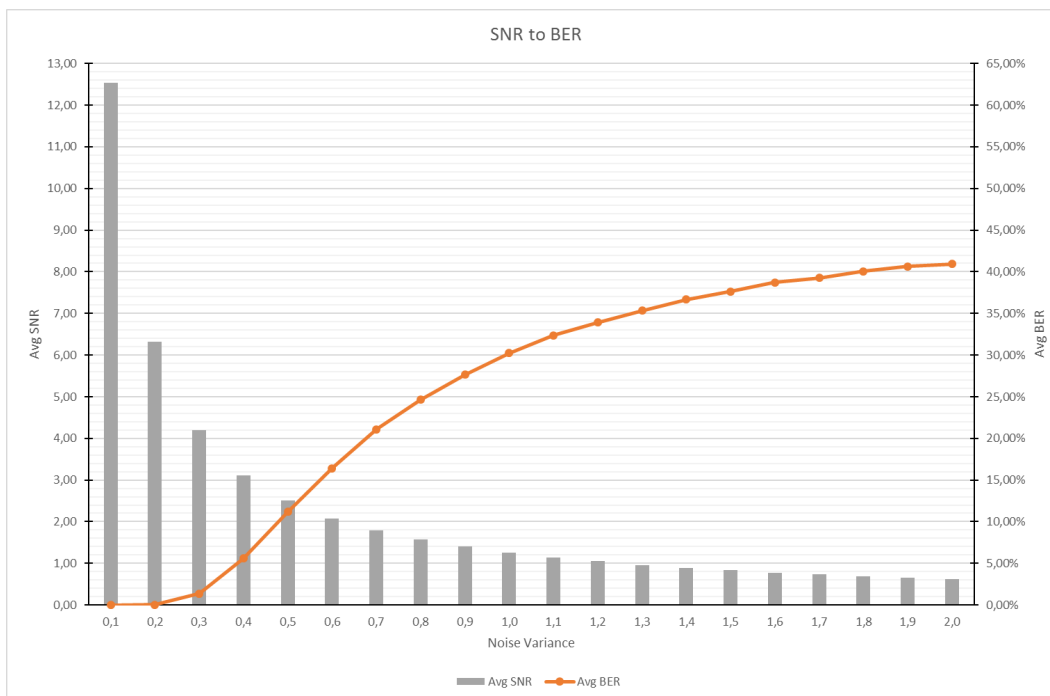
Za obliczenie SNR odpowiada następująca funkcja:

```
1 def signal_noise_ratio(signal_clear, noise):
2     snr_sum = 0
3     if len(signal_clear) != 0:
4         for i in range(len(signal_clear)):
5             snr_sum += abs(signal_clear[i] / noise[i])
6         snr = snr_sum / len(signal_clear)
7     return snr
8
```

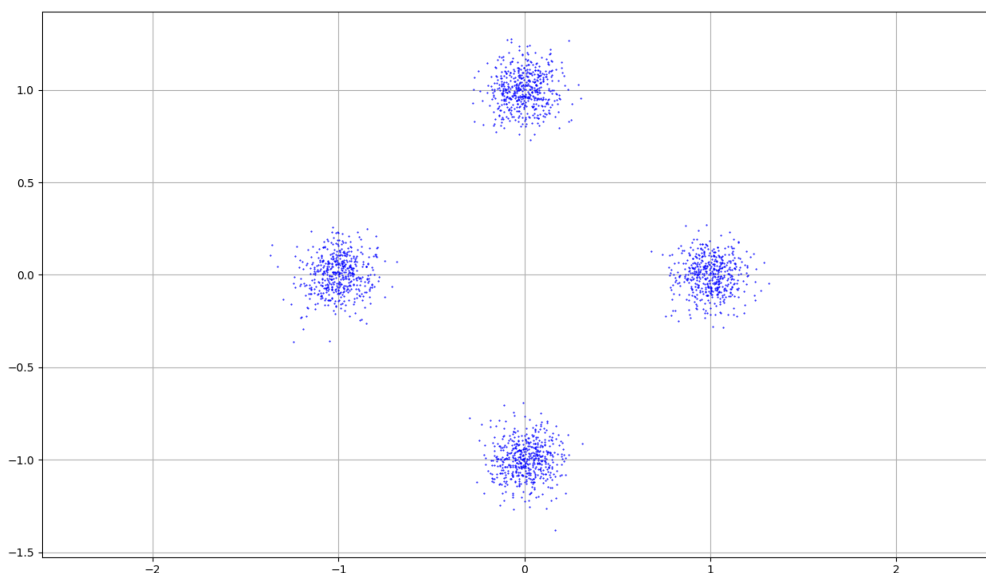
Argumentami wywołanie są: ciąg zmodulowanego sygnału oraz wektor szumu.

6 Wyniki badań

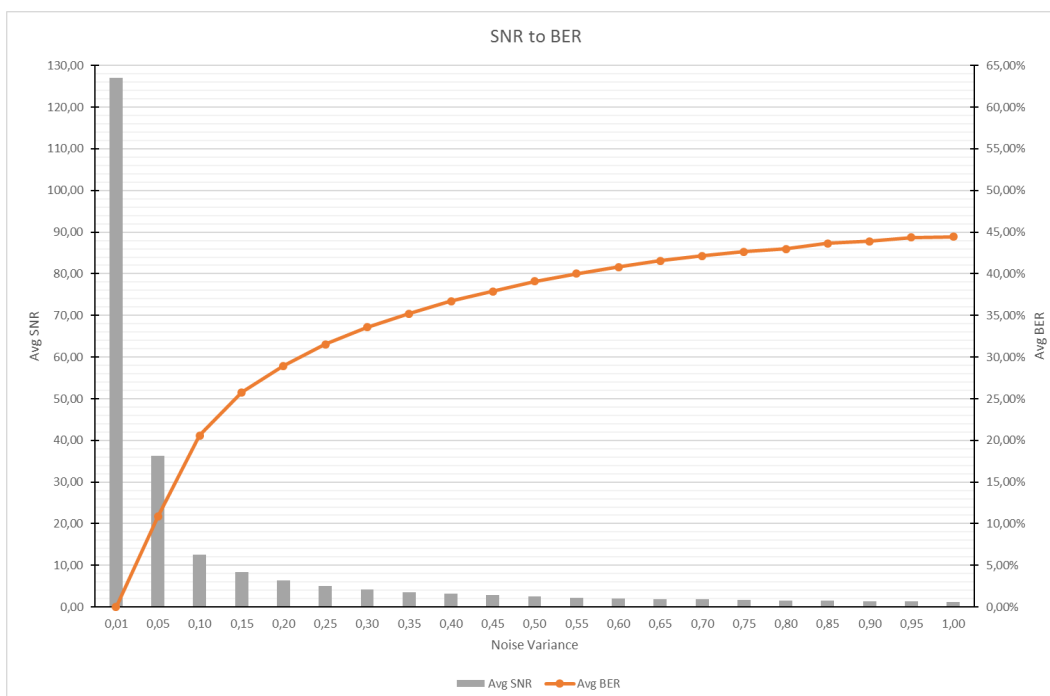
6.1 Modulacja PSK, szum zgodny z rozkładem normalnym



Rysunek 4: QPSK, BER i SNR w funkcji wariancji szumu

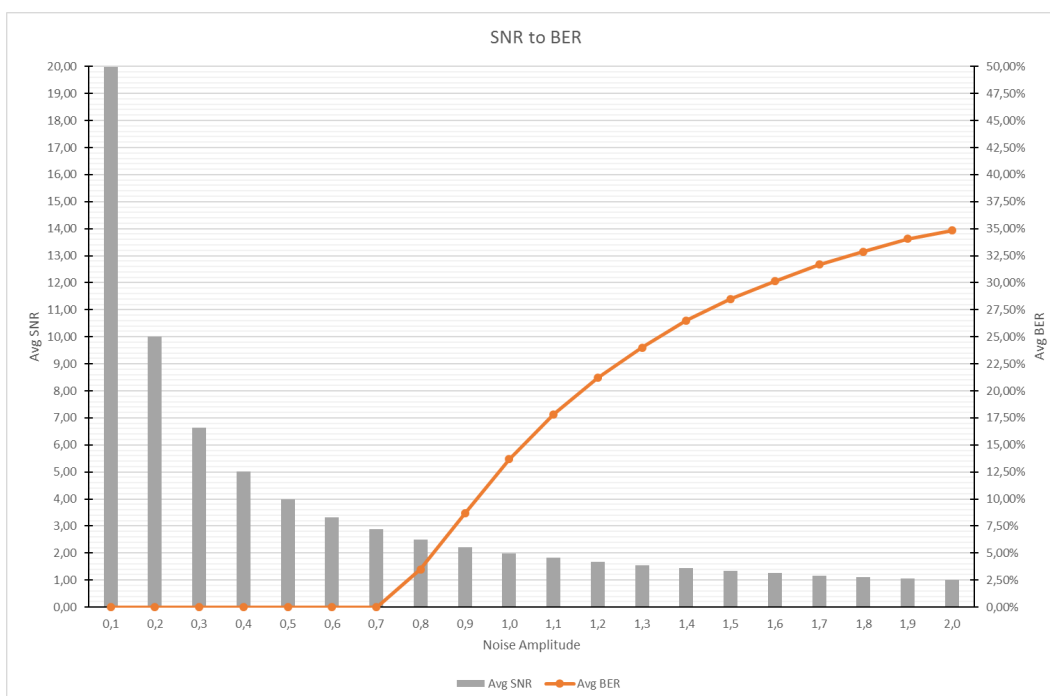


Rysunek 5: QPSK, przykładowy wykres wskazowy, wariancja szumu równa 0,1

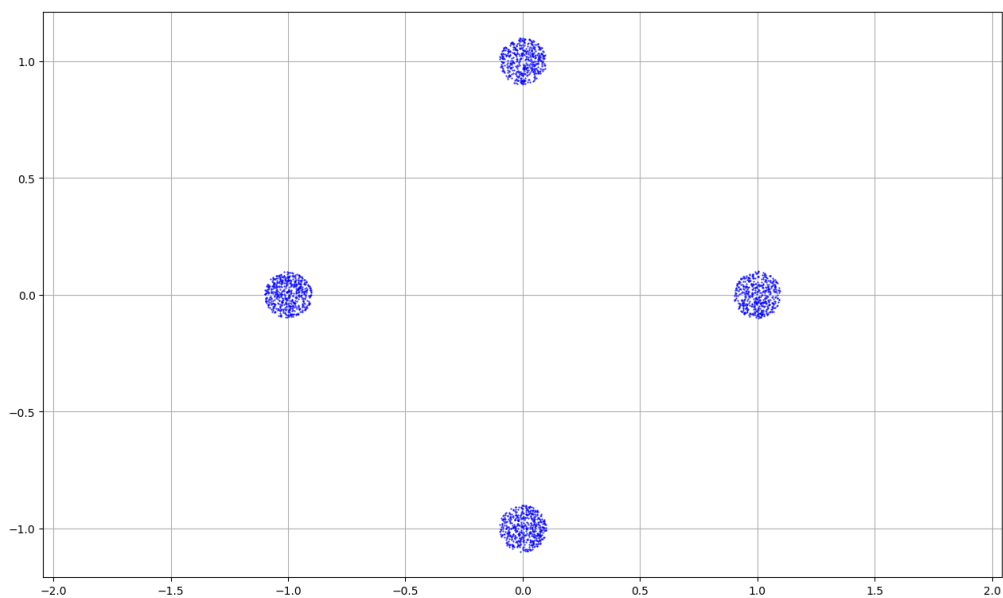


Rysunek 6: 64-PSK, BER i SNR w funkcji wariancji szumu

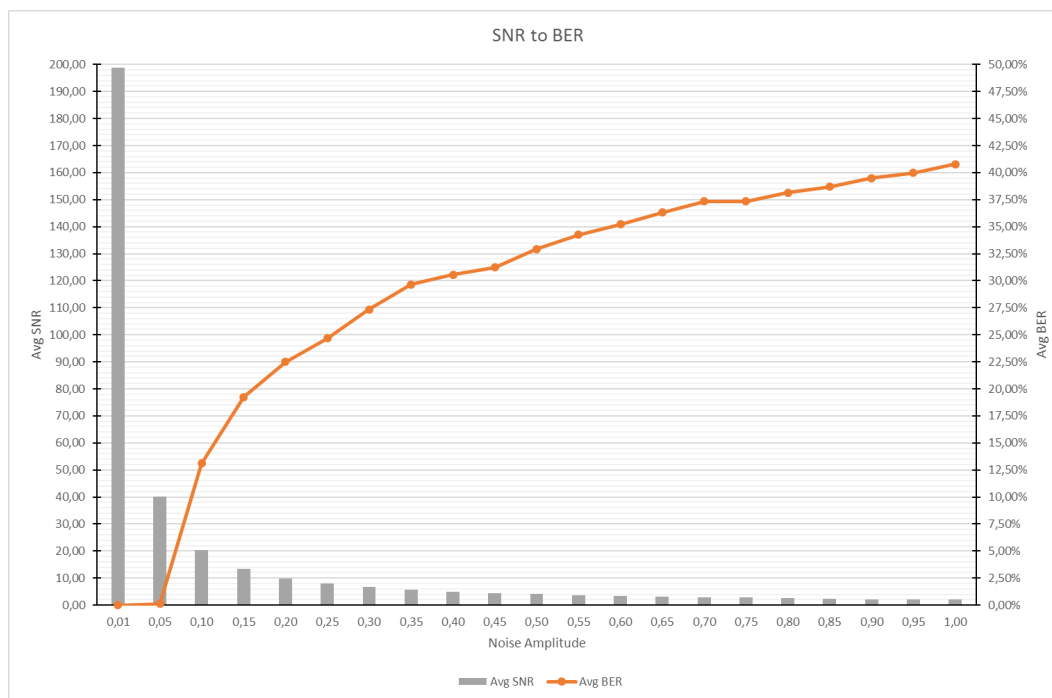
6.2 Modulacja PSK, szum zgodny z rozkładem równomiernym



Rysunek 7: QPSK, BER i SNR w funkcji amplitudy szumu

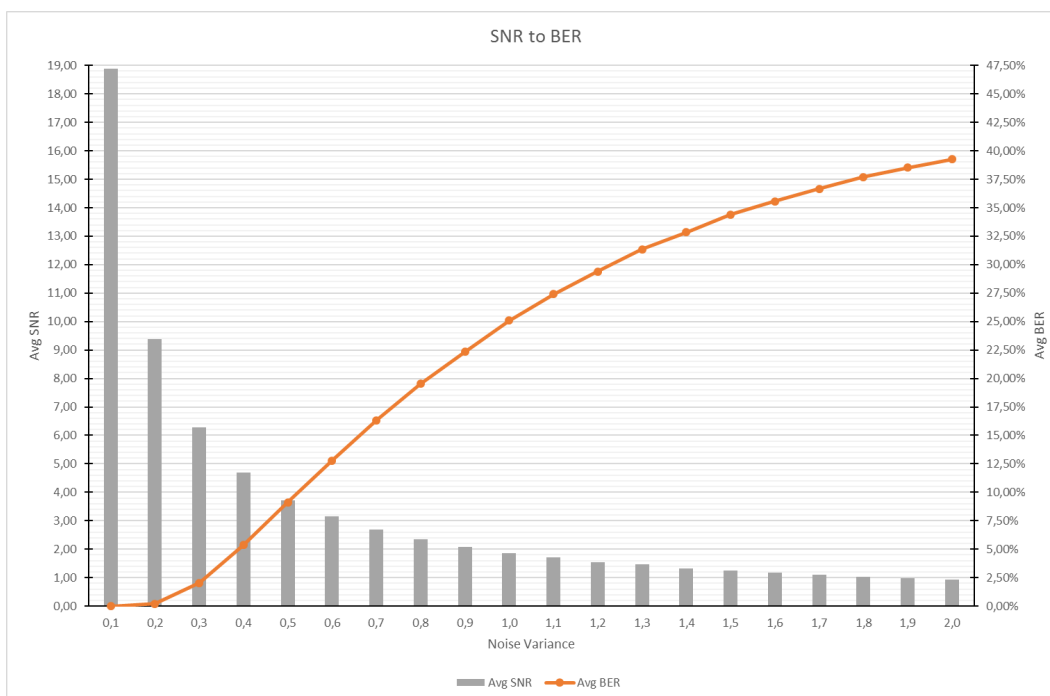


Rysunek 8: QPSK, przykładowy wykres wskazowy, amplituda szumu równa 0,1

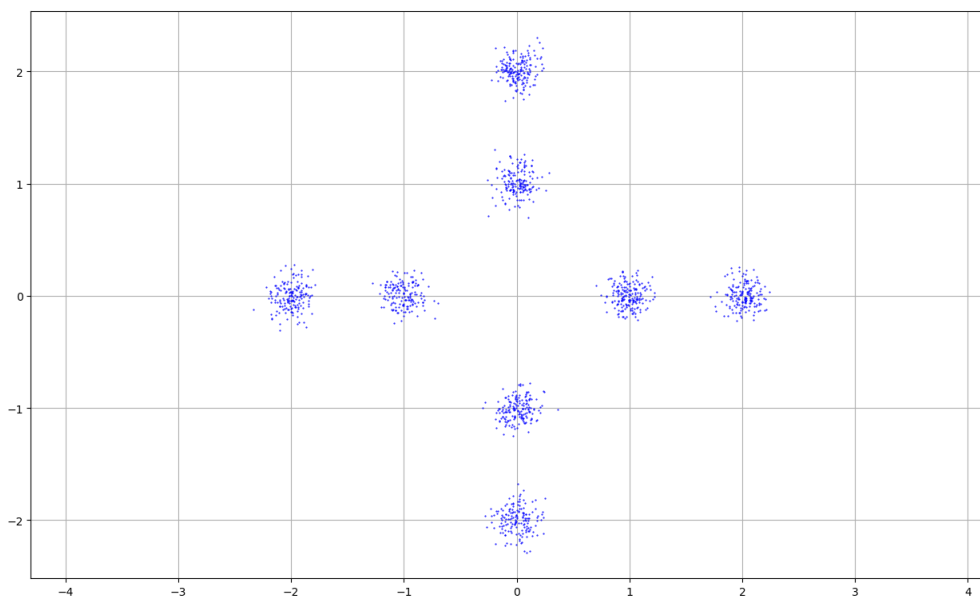


Rysunek 9: 64-PSK, BER i SNR w funkcji amplitudy szumu

6.3 Modulacja QAPSK, szum zgodny z rozkładem normalnym

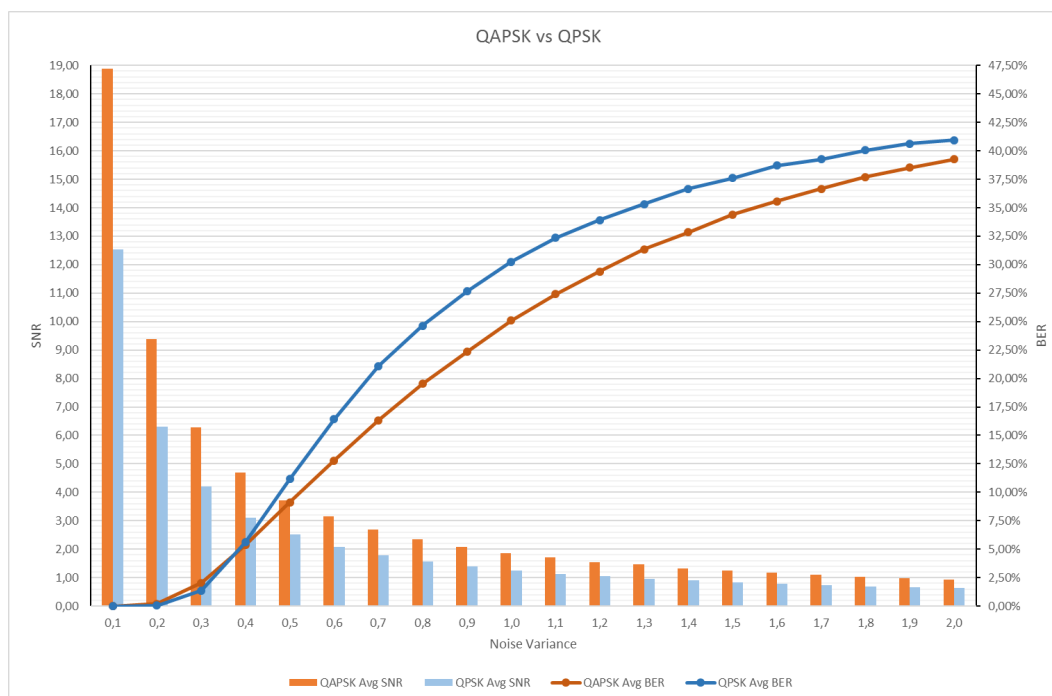


Rysunek 10: QAPSK, BER i SNR w funkcji amplitudy szumu



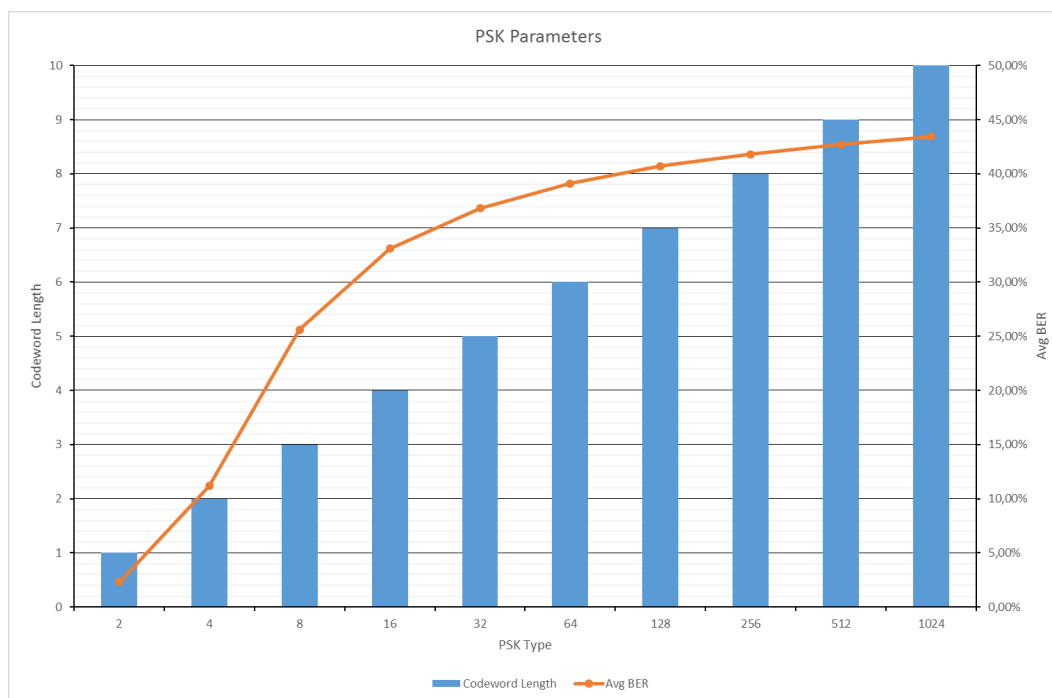
Rysunek 11: QAPSK, przykładowy wykres wskazowy, wariancja szumu równa 0,1

6.4 Porównanie modulacji QPSK i QAPSK



Rysunek 12: QPSK i QAPSK, BER i SNR w funkcji amplitudy szumu

6.5 Porównanie wariantów modulacji PSK



Rysunek 13: BER dla różnych wariantów modulacji, wariancja szumu równa 0,5

7 Wnioski

Wyniki badań pokrywają się z przewidywaniami. Wzrost długości symbolu, zwiększa podatność sygnału na błędy spowodowane zakłóceniami. Wybór najlepszej metody modulacji nie jest prostym zadaniem i zależy od wielu czynników: jakości medium transmisyjnego, zakłóceń zewnętrznych oraz potrzeb użytkowników systemu.

Spis treści

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Wstęp | 1 |
| 2 | Wprowadzenie | 1 |
| 2.1 | Modulacja cyfrowa | 1 |
| 2.2 | Kluczowanie fazy | 1 |
| 2.3 | Jednoczesne kluczowanie fazy i amplitudy | 2 |
| 2.4 | Współczynniki efektywności | 3 |
| 3 | Opis zastosowanego modelu | 3 |
| 4 | Opis eksperymentu | 4 |
| 5 | Implementacja | 4 |
| 6 | Wyniki badań | 6 |
| 6.1 | Modulacja PSK, szum zgodny z rozkładem normalnym | 6 |
| 6.2 | Modulacja PSK, szum zgodny z rozkładem równomiernym | 7 |
| 6.3 | Modulacja QAPSK, szum zgodny z rozkładem normalnym | 9 |
| 6.4 | Porównanie modulacji QPSK i QAPSK | 10 |
| 6.5 | Porównanie wariantów modulacji PSK | 10 |
| 7 | Wnioski | 11 |