

Symulacja komputerowa systemów

Dokumentacja wykonanego projektu

Temat projektu:

**Sygnal z sinusoidalna dwuwstęgowa
modulacja amplitudy DSB**

Łukasz Obiedziński

143087

lucasz.obiedzinski@gmail.com

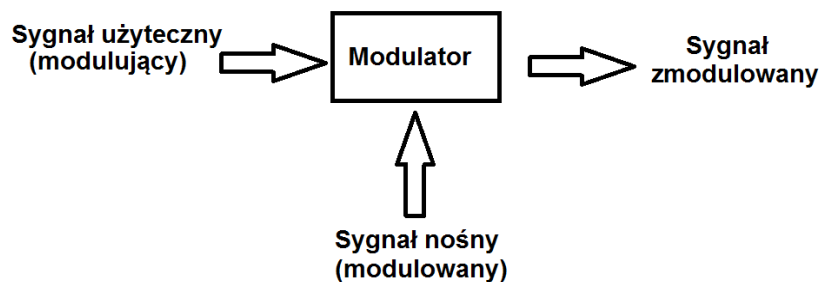
1. Cel projektu.

Celem projektu było napisanie programu w języku programowania Python za pośrednictwem programu PyCharm. Tematem projektu był sygnał z sinusoidalną dwuwstęgową modulacją amplitudy. Projekt został zrealizowany dzięki dwóm wersjom Pythona – 2.7 na tablecie oraz 3.4.3 znajdującym się na komputerze stacjonarnym. Dodatkowo skorzystano z biblioteki Matplotlib, która oferuje kompleksowe funkcje umożliwiające prezentacje graficzne w postaci wykresów.

2. Założenia projektowe

Podstawowym założeniem projektowym jest zrealizowanie tematu projektu przy pomocy języka programowania Python.

Modulacja AM polega na zmianie amplitudy sygnału modulującego. Sygnał modulujący (informacyjny) łączy się z sygnałem nośnym o niezmienniej amplitudzie, dzięki czemu na wyjściu modulatora uzyskuje się sygnał zmodulowany amplitudowo. Poniższy schemat przedstawia modulację AM.



Rys.1. Ogólny schemat układu do modulacji.

Modulacja jest szeroko stosowana ze względu na następujące czynniki:

1. Umożliwia przesyłanie sygnałów użytecznych o niskich częstotliwościach na duże odległości,
2. Zmniejsza wrażliwość przesyłanego sygnału na zakłócenia,
3. Skuteczne przesyłanie oraz prosta demodulacja.

Z matematycznego punktu widzenia, schemat modulacji AM przedstawia się następująco:

$f_c(t) = A_c \cos(\omega_c t + \theta)$ – sinusoidalny przebieg sygnału nośnego

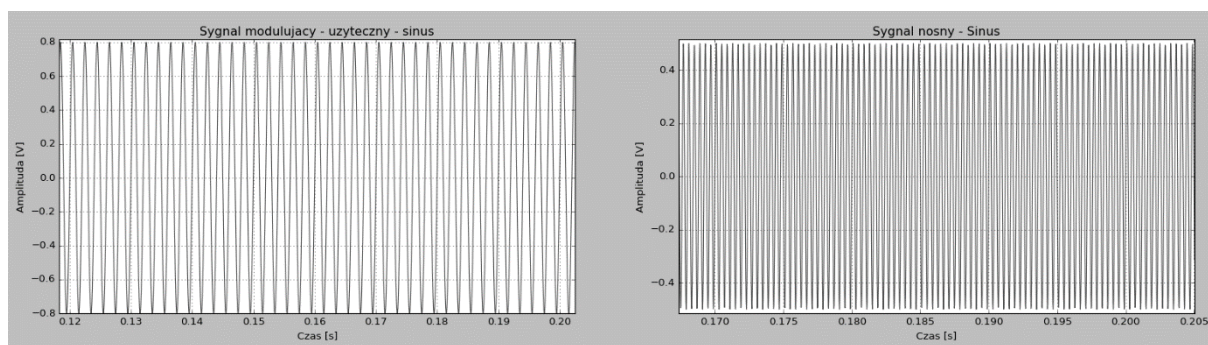
$f_m(t) = x(t)$ – sygnał modulujący

Sygnał zmodulowany amplitudowo będzie to mnożenie sygnału nośnego z sygnałem modulującym. W projekcie blok ten został zrealizowany za pomocą poniższego kodu:

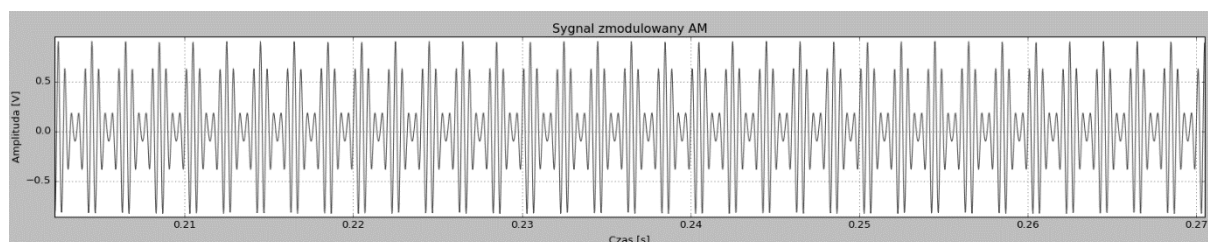
```
# - modulacja AM
```

```
Sygnal_nosny = amp_mod*sinus_sygnal(0, czestotliwosc_nosna, 0, czas_w)
Sygnal_modulujacy = sygnal_mod/np.max(sygnal_mod)*zmienna
Sygnal_zmodulowany = Sygnal_nosny*(Sygnal_modulujacy+1)
```

Poniżej umieszczono wykresy przedstawiające sygnał zmodulowany amplitudowo.



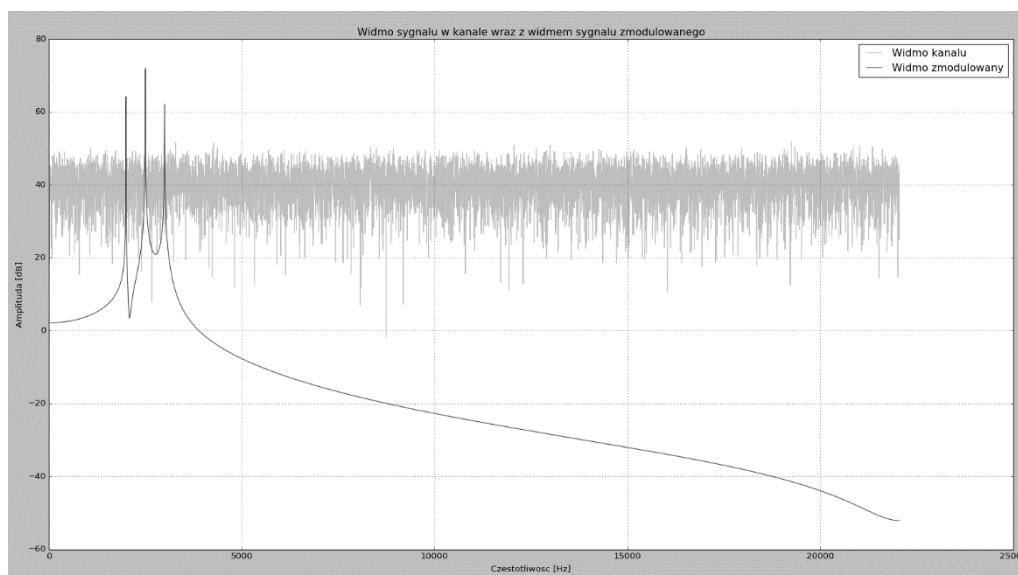
Rys.2. Sygnał modulujący użyteczny wraz z sygnałem nośnym.



Rys.3. Sygnał zmodulowany amplitudowo - obwiednia w czasie 0,07 sekund.

Rysunki 2 oraz 3 przedstawiają prawidłowe działanie modulacji AM dla sygnału modulującego. Powyższe rysunki zostały zrealizowane za pomocą przedstawionych niżej parametrów:

- Częstotliwość sygnału nośnego – 2,5 kHz
- Częstotliwość sygnału modulującego – 500 Hz
- Amplituda sygnału nośnego – 0,5 V
- Amplituda sygnału modulującego – 0,8 V.



Rys.4. Widmo sygnału zmodulowanego wraz z sygnałem występującym w kanale telekomunikacyjnym

W celu sprawdzenia wpływu amplitudy sygnału modulującego na cały sygnał zmodulowany należy skorzystać z wyliczenia współczynnika głębokości modulacji. Został on przedstawiony na poniższym wzorze:

$$m = \frac{A_m}{A_c} 100\%$$

gdzie:

A_m – amplituda sygnału modulującego

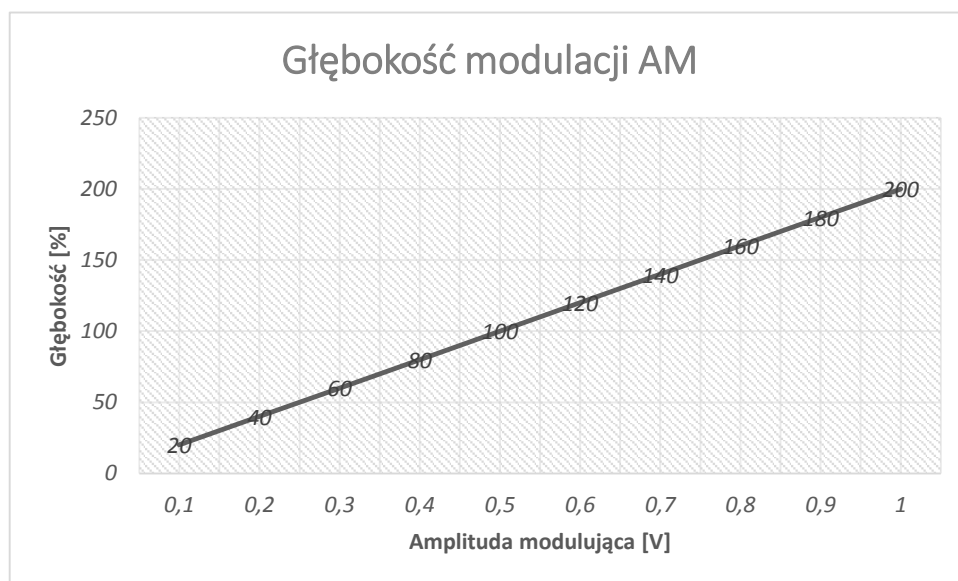
A_c – amplituda sygnału nośnego

m – współczynnik głębokości modulacji

Tabela.1. Głębokość modulacji.

L.p	Częstotliwość modulująca [kHz]	Częstotliwość nośna [kHz]	Amp nos [V]	Amp mod [V]	Głębokość modulacji [%]
1	0,5	2,5	0,5	0,1	20
2	0,5	2,5	0,5	0,2	40
3	0,5	2,5	0,5	0,3	60
4	0,5	2,5	0,5	0,4	80
5	0,5	2,5	0,5	0,5	100
6	0,5	2,5	0,5	0,6	120
7	0,5	2,5	0,5	0,7	140
8	0,5	2,5	0,5	0,8	160
9	0,5	2,5	0,5	0,9	180
10	0,5	2,5	0,5	1	200

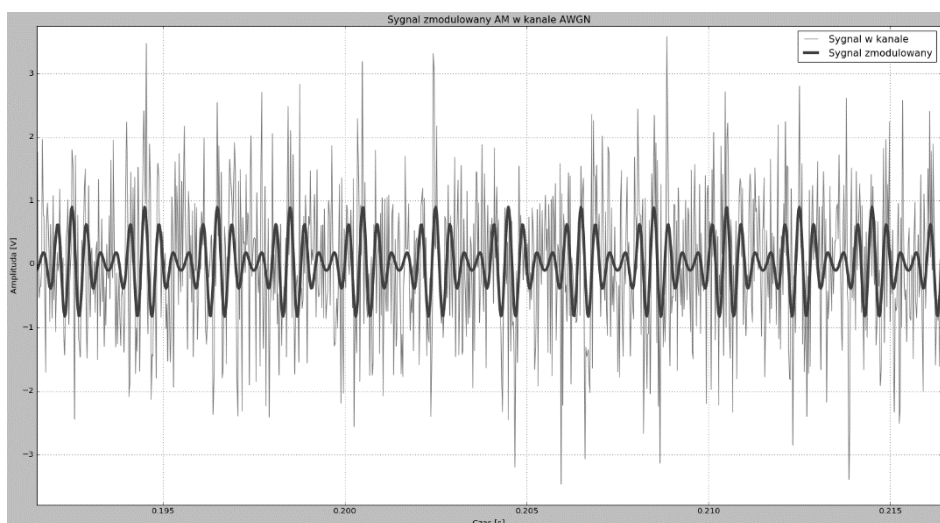
Powyższa tabela pokazuje wpływ amplitudy modulującej na stosunek sygnału zmodulowanego do szumu, który występuje w kanale telekomunikacyjnym.



Rys.5. Wpływ amplitudy modulującej na głębokość modulacji.

Można zaobserwować wpływ amplitudy sygnału modulującego na głębokość modulacji. Wraz ze wzrostem amplitudy, wzrasta głębokość modulacji. Gdy głębokość modulacji osiąga poziom powyżej 1 (>100%), mówi się o zjawisku przemodulowania, które jest niepożądanym efektem występującym w modulacji AM. W celu zapobiegania wyżej wymienionemu zjawisku należy zadbać o prawidłową wartość amplitudy sygnału modulującego. Z rysunku 6 można przyjąć, że odpowiednia amplituda sygnału modulującego powinna się mieścić z przedziału $0 < x \leq 0,5$.

Następnym etapem jest wprowadzenie sygnału zmodulowanego do kanału telekomunikacyjnego. Kanał telekomunikacyjny cechuje się wprowadzeniem zniekształceń do sygnału zmodulowanego w postaci szumów, tłumień, odbić oraz wpływu atmosferycznego na sygnał. Zjawisko wprowadzania zniekształceń można zaobserwować na rysunku 6.



Rys.6. Sygnał zmodulowany AM w kanale AWGN

Powyższy wykres został zrealizowany za pomocą następującego kodu programu:

```
noise = np.random.normal(0, 1, 22050)
sygnał_kanal = Sygnał_zmodulowany + noise
plt.figure(3)
plt.grid()
kanal_plot, = plt.plot(czas_w, sygnał_kanal, label='Sygnał w kanale',
color='0.45')
zmodulowany_plot, = plt.plot(czas_w, Sygnał_zmodulowany, label="Sygnał
zmodulowany",linewidth=4, color='0.25')
plt.legend(handles=[kanal_plot, zmodulowany_plot, ])
plt.title('Sygnał zmodulowany AM w kanale AWGN')
plt.xlabel('Czas [s]')
plt.ylabel('Amplituda [V]')
```

W celu prawidłowego wyliczenia SNR należy skorzystać z poniższego wzoru:

$$\text{SNR} = \frac{P_{\text{signal}}}{P_{\text{noise}}}$$

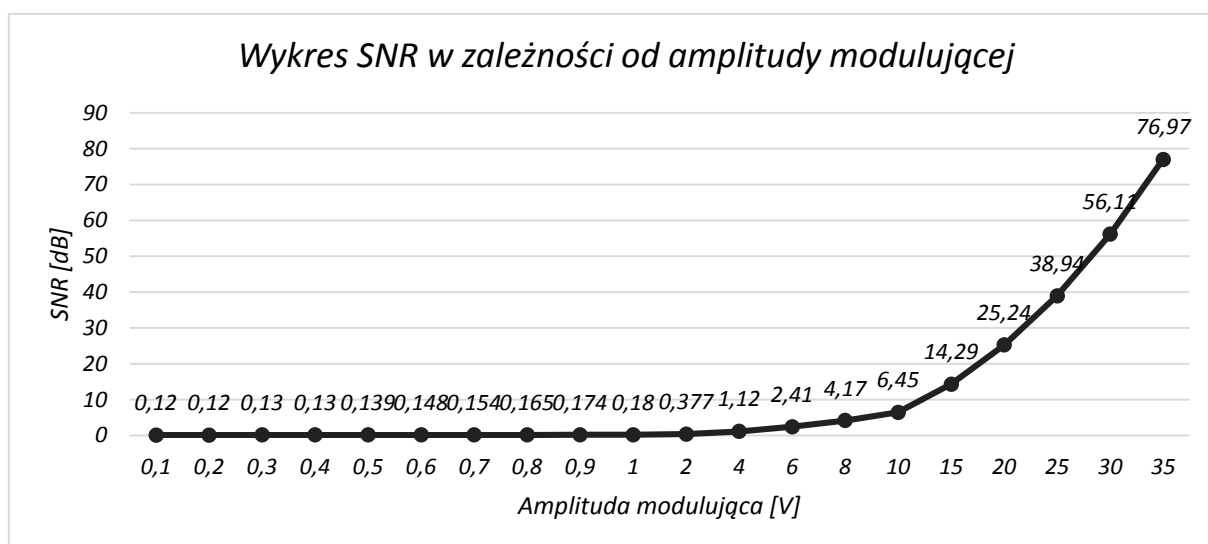
Gdzie:

P_{signal} – moc sygnału zmodulowanego

P_{noise} – moc sygnału szumu występującego w kanale telekomunikacyjnym

Tabela.2. Wyliczenie stosunku sygnału zmodulowanego do sygnału szumu w zależności od amplitudy sygnału modulującego.

L.p	Fn [kHz]	Fm [kHz]	Amp mod [V]	P_{signal} [dB]	P_{noise} [dB]	SNR [dB]
1	2,5	0,5	0,1	0,12	0,99	0,12
2	2,5	0,5	0,2	0,12	0,99	0,12
3	2,5	0,5	0,3	0,13	0,99	0,13
4	2,5	0,5	0,4	0,13	0,99	0,13
5	2,5	0,5	0,5	0,14	0,99	0,139
6	2,5	0,5	0,6	0,147	0,99	0,148
7	2,5	0,5	0,7	0,155	0,99	0,154
8	2,5	0,5	0,8	0,164	0,99	0,165
9	2,5	0,5	0,9	0,175	0,99	0,174
10	2,5	0,5	1	0,187	0,99	0,18
11	2,5	0,5	2	0,374	0,99	0,377
12	2,5	0,5	4	1,12	0,99	1,12
13	2,5	0,5	6	2,37	0,99	2,41
14	2,5	0,5	8	4,12	0,99	4,17
15	2,5	0,5	10	6,37	0,99	6,45
16	2,5	0,5	15	14,18	0,99	14,29
17	2,5	0,5	20	25,12	0,99	25,24
18	2,5	0,5	25	39,18	0,99	38,94
19	2,5	0,5	30	56,37	0,99	56,11
20	2,5	0,5	35	76,68	0,99	76,97



Rys.7. Wykres SNR w zależności od głębokości modulacji.

Zgodnie z wnioskami znajdującymi się pod rysunkiem 5, można zaobserwować wpływ głębokości modulacji na stosunek sygnału zmodulowanego do szumu występującego w kanale telekomunikacyjnym. Prawidłowy zakres SNR w funkcji amplitudy modulującej

znajduje się $0 < x \leq 0,5$, gdyż w tym przedziale nie występuje zjawisko przemodulowania sygnału. Należy tutaj uwzględnić fakt, w którym moc pomierzonego szumu jest stała.

Kolejnym etapem jest odbiór sygnału. Sygnał w postaci dyskretnej przed dotarciem do demodulatora powinien zostać przefiltrowany. W projekcie został użyty filtr pasmowo-przepustowy, który przedstawia się w postaci kodu:

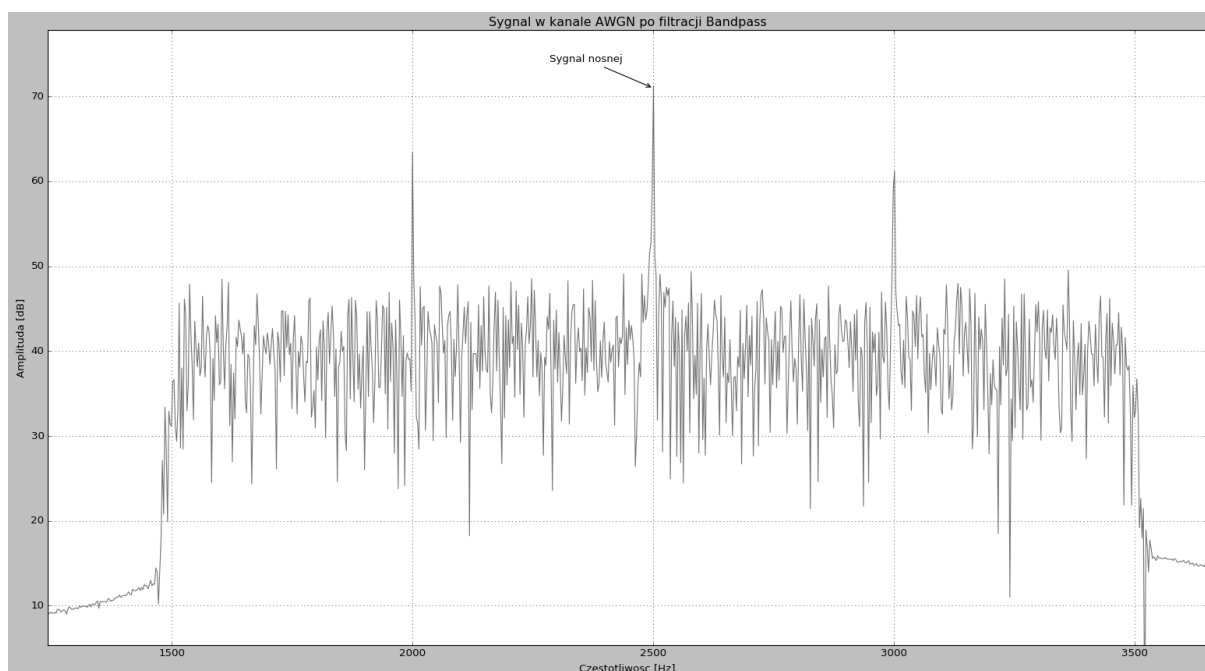
```
band_pass = signal.firwin(dlugosc_filtru, [czest_1, czest_2] , nyq=f_s /2,
pass_zero = False)
splot_zmodulowany_szum = np.convolve(band_pass, sygnal_kanal)
splot_zmodulowany_szum_fft = np.fft.fft(splot_zmodulowany_szum, Dlugosc)
splot_zmodulowany_szum_filtr =
np.abs(splot_zmodulowany_szum_fft[0:Dlugosc/2])
```

Wykorzystano do tego celu bibliotekę SciPy, dzięki której zrealizowano budowę filtra pasmowo-przepustowego przy użyciu filtra FIR. W celu zrealizowania filtracji pasmowo-przepustowej, w projekcie należało użyć iloczynu splotowego, także nazywanego splotem. Funkcję splotu wykonano dzięki funkcji NumPy – Convolve, która dokonuje splotu sygnału zmodulowanego z szumem kanału telekomunikacyjnego wraz z filtrem pasmowo-przepustowym.

Realizacją tej operacji jest następujący kod oraz wykres:

```
splot_zmodulowany_szum = np.convolve(band_pass, sygnal_kanal)
splot_zmodulowany_szum_fft = np.fft.fft(splot_zmodulowany_szum, Dlugosc)
splot_zmodulowany_szum_filtr =
np.abs(splot_zmodulowany_szum_fft[0:Dlugosc/2])
```

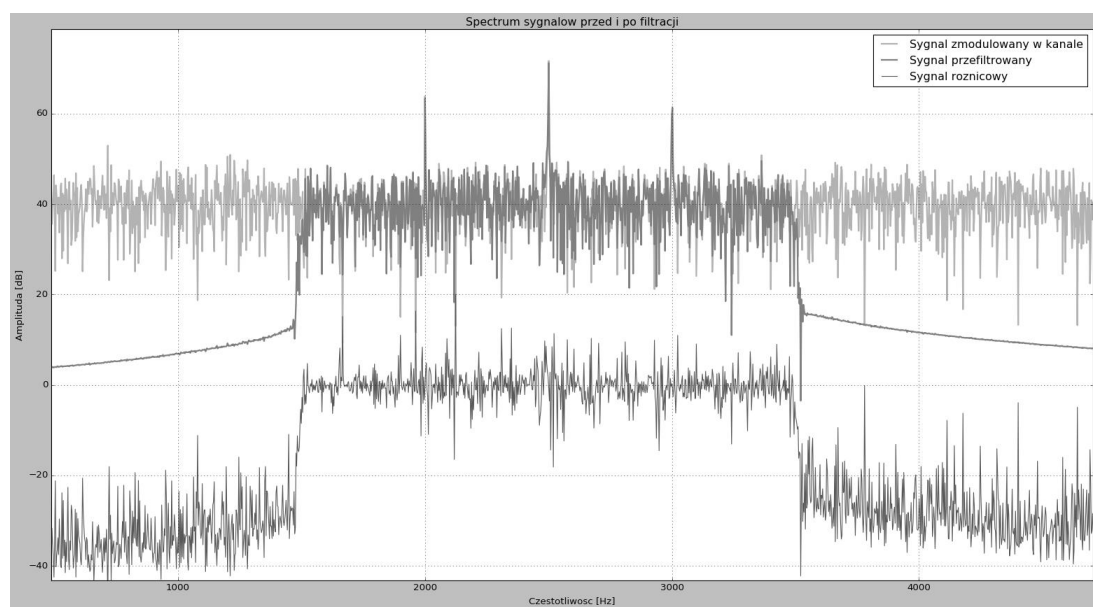
```
plt.figure(4)
plt.grid()
plt.title('Sygnał w kanale AWGN po filtracji Bandpass')
plt.plot(freq_x, 20*np.log10(splot_zmodulowany_szum_filtr))
plt.xlabel('Czestotliwosc [Hz]')
plt.ylabel('Amplituda [dB]')
```



Rys.8. Sygnał w kanale AWGN po filtracji Bandpass

Rysunek 8 obrazuje główną nośną sygnału zmodulowanego, która jest równa 2,5 kHz. Cały szum, który znajdował się w sygnale zmodulowanym, został odfiltrowany poniżej 1,5 kHz oraz powyżej 3,5 kHz.

Celem sprawdzenia poprawnego działania filtra pasmowo-przepustowego, zrealizowano dodatkowe działanie w postaci zestawienia sygnałów znajdujących się w kanale telekomunikacyjnym.



Rys.9. Sygnał zmodulowany w kanale, sygnał przefiltrowany oraz sygnał różnicowy.

Prawidłowe wyliczenie stosunku sygnału znajdującego się w kanale do sygnału przefiltrowanego z kanału przedstawia się w następujący sposób:

```
var_sygnal_kanal = np.var(sygnal_kanal)
var_sygnal_filtrowany = np.var(splot_zmodulowany_szum_filtr)
SNR2 = var_sygnal_kanal/var_sygnal_filtrowany
SNR3 = 10*np.log10(SNR2)
print ('Moc sygnału w kanale = ', var_sygnal_kanal)
print ('Moc sygnału po filtrze BP = ', var_sygnal_filtrowany)
print ('Stosunek sygnału w kanale do sygnału po filtracji = ', SNR3, ' dB')
Otrzymano następujące wyniki:
```

Moc sygnału w kanale = 0.70 dB

Moc sygnału po filtrze BP = 35.75 dB

Stosunek sygnału w kanale do sygnału po filtracji pasmowo-przepustowej = -35.05 dB

Stosunek mocy sygnału w kanale telekomunikacyjnym, w którym występuje zjawisko zniekształcenia sygnału do tego samego sygnału występującego po filtracji pasmowo-przepustowej wynosi **-35.05 dB**.

Częstotliwość modulująca = **800 Hz**

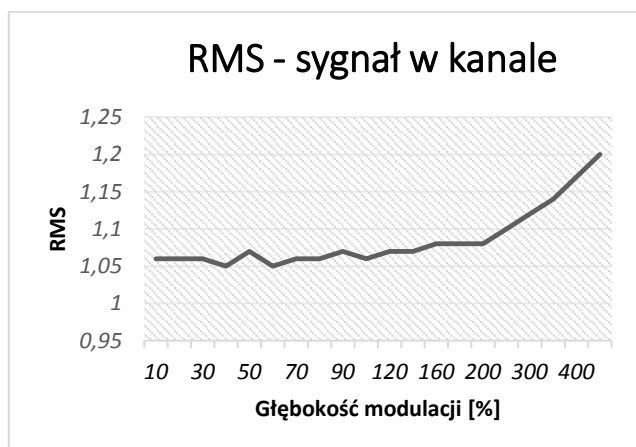
Częstotliwość nośna = **2500 Hz**

Symulacja polegała także na dokładnym zbadaniu średniej kwadratowej sygnału przed filtracją, po filtracji oraz po demodulacji. Wszystkie badania zostały zrealizowane przy użyciu różnych głębokości modulacji, celem sprawdzenia wpływu głębokości modulacji do średnio kwadratowej różnicy sygnału.

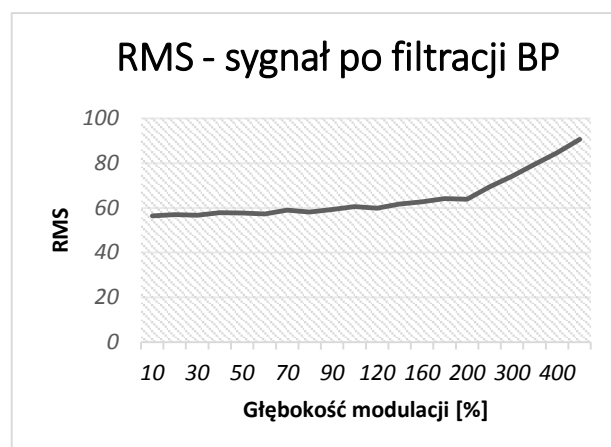
Tabela.3. Błąd średnio kwadratowy w zależności od głębokości modulacji.

L.p	Głębokość modulacji [%]	RMS sygnał kanał	RMS filtr BP	RMS demodulacji
1	10	1,06	56,49	3,96
2	20	1,06	57,03	5,55
3	30	1,06	56,77	5,17
4	40	1,05	57,85	11,76
5	50	1,07	57,81	12,71
6	60	1,05	57,33	9,44
7	70	1,06	59,03	5,02
8	80	1,06	58,22	5,6
9	90	1,07	59,28	2,44
10	100	1,06	60,58	16,27
11	120	1,07	59,83	0,78
12	140	1,07	61,68	0,42
13	160	1,08	62,8	4,29
14	180	1,08	64,17	13,69
15	200	1,08	63,9	7,02
16	250	1,1	69,52	7,59
17	300	1,12	74,19	11,61
18	350	1,14	79,47	35,44
19	400	1,17	84,6	30,8
20	450	1,2	90,66	35,1

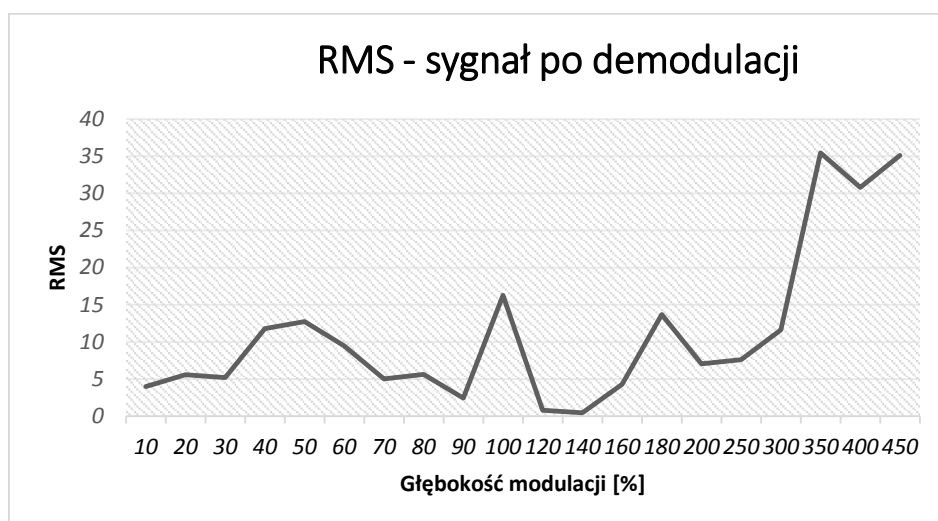
a)



b)



c)



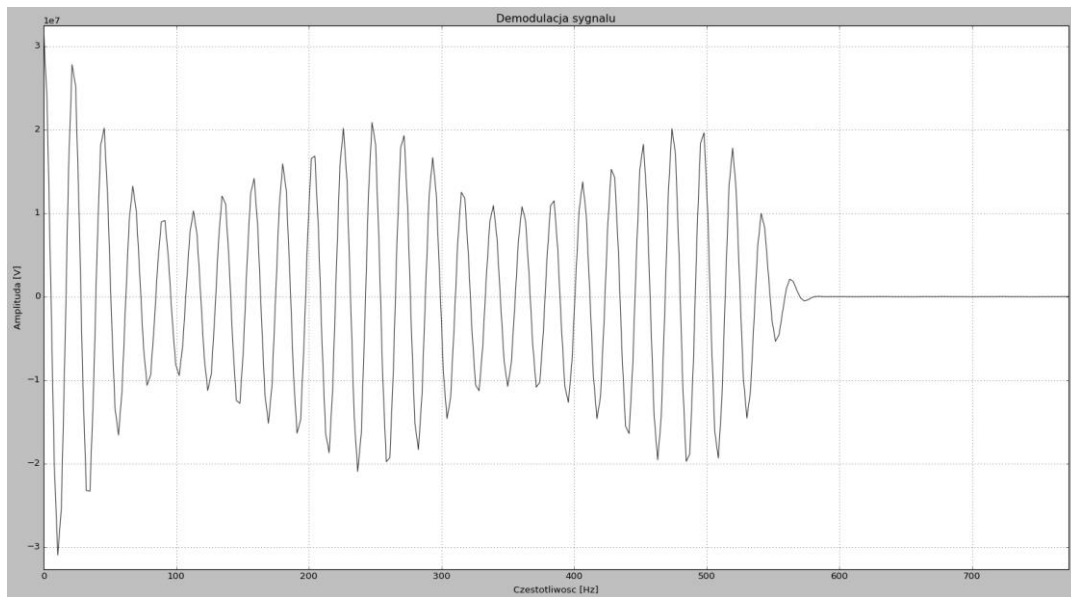
Rys.10. Wykresy średniej kwadratowej: a) RMS dla sygnału w kanale telekomunikacyjnym; b) RMS dla sygnału po filtracji pasmowo-przepustowej; c) RMS dla sygnału po demodulacji.

Przedstawiony powyżej wykres w przykładzie c) ukazuje negatywny wpływ wzrostu głębokości modulacji dla sygnałów po demodulacji. Im głębokość modulacji jest mniejsza, tym występuje mniejsza rozbieżność wyników średniej kwadratowej.

W celu wyznaczenia całkowitego wyjściowego stosunku sygnału do szumu należy porównać SNR w kanale do SNR wyjściowego. Z obliczeń wykonanych w projekcie powstały następujące wyniki:

SNR wejściowy = **-7.82 dB**

SNR wyjściowy = **87.97 dB**



Rys.11. Demodulacja sygnału po filtracji filtrem dolno przepustowym.

Demodulacja sygnału przebiegła w nieoczekiwany sposób. Na rysunku 11 można ewidentnie zobaczyć sygnał zmodulowany/wejściowy, jednakże nie można w jednoznaczny sposób określić jego dokładnych informacji.

Wnioski:

Projekt został zrealizowany za pomocą języka programowania Python. Zrealizowano następujące zadania:

- Czytelne kody,
- Sprawdzanie zakresu parametrów,
- Symulacja w kanale przy AWGN,
- Wariancja oraz SNR,
- Filtracja filtrem pasmowo-przepustowym,
- Demodulacja,
- Wyznaczanie widm, wykresów oraz przebiegów funkcji projektowych.