

**Zadanie nr 2 - Próbkowanie i
kwantyzacja**
Cyfrowe Przetwarzanie Sygnałów

Julia Szymańska, 224441 Przemysław Zdrzałik, 224466

21.04.2021r.

1 Cel zadania

Celem ćwiczenia jest budowa programu umożliwiającego wykonanie procesu konwersji analogowo-cyfrowej (A/C) i cyfrowo-analogowej (C/A) sygnałów. W programie dostępna jest:

- Konwersja A/C - próbkowanie równomierne
- Konwersja A/C - kwantyzacja:
 - Kwantyzacja równomierna z obcięciem
 - Kwantyzacja równomierna z zaokrągleniem
- Konwersja C/A - rekonstrukcja sygnału:
 - Ekstrapolacja zerowego rzędu
 - Interpolacja pierwszego rzędu
 - Rekonstrukcja w oparciu o funkcję sinc

W programie możliwe jest również porównanie sygnału zrekonstruowanego z sygnałem oryginalnym, w tym celu obliczane są cztery miary:

- Błąd średniokwadratowy - MSE
- Stosunek sygnał - szum - SNR
- Szczytowy stosunek sygnał - szum - PSNR
- Maksymalna różnica - MD

2 Wstęp teoretyczny

W programie konwersje oraz miary do porównania sygnałów są obliczane na podstawie wzorów znajdujących się w instrukcji do zadania drugeigo na platformie Wikamp [1].

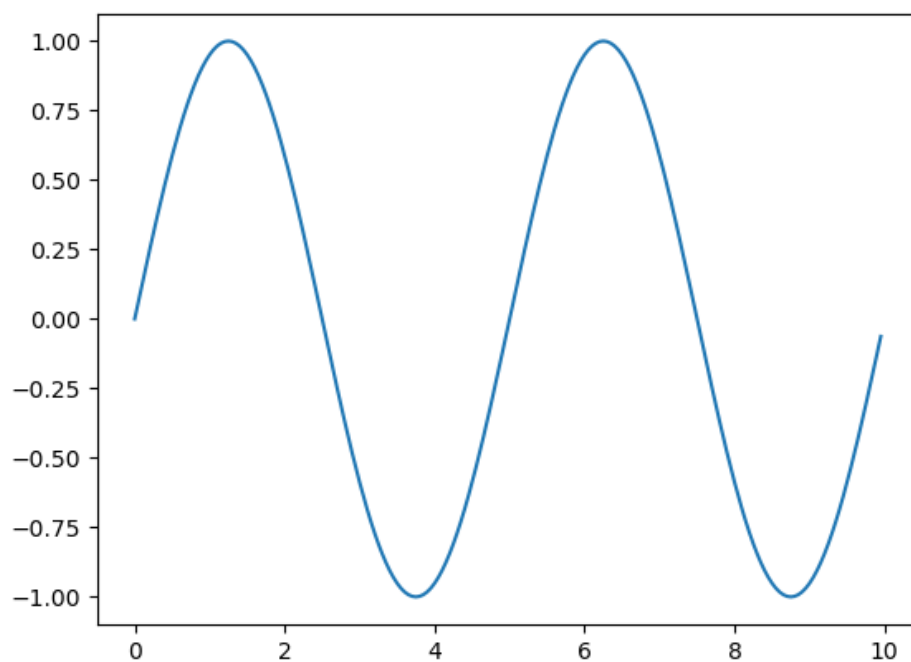
3 Eksperymenty i wyniki

3.1 Eksperyment nr 1 - Sygnał Sinusoidalny

W pierwszym eksperymencie analizujemy sygnał sinusoidalny. Wykonaliśmy próbkowanie na wygenerowanym sygnale, a następnie dokonaliśmy rekonstrukcji sygnału każdą z metod.

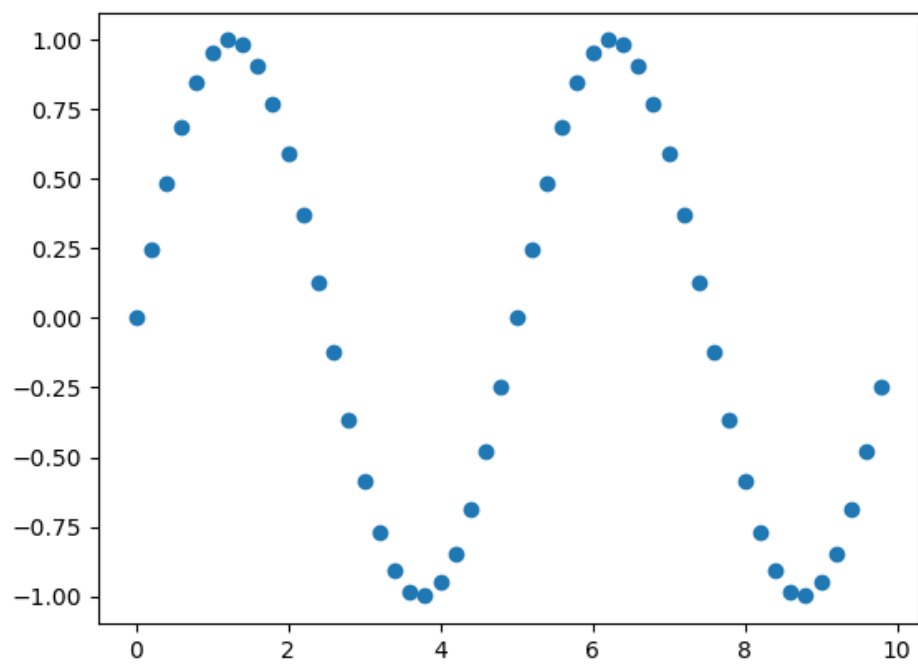
Tabela 1: Parametry wejściowe dla pierwszej wstępnej klasyfikacji.

Czas Początkowy	Czas Trwania	Amplituda	Okres	Częstotliwość	Próbkowania
0	10	1	5		5

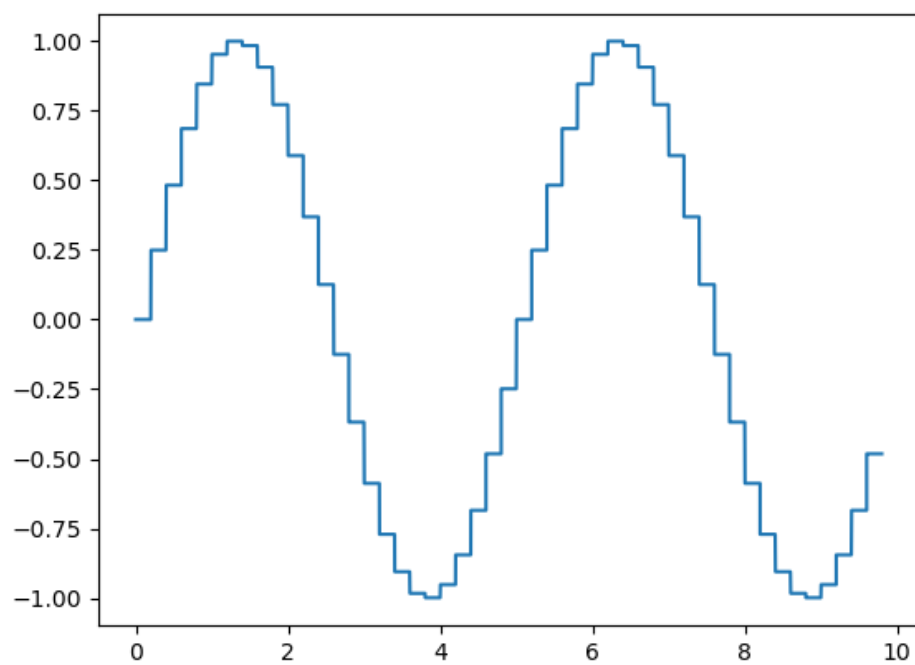


Rysunek 1: Oryginalny wygenerowany sygnał

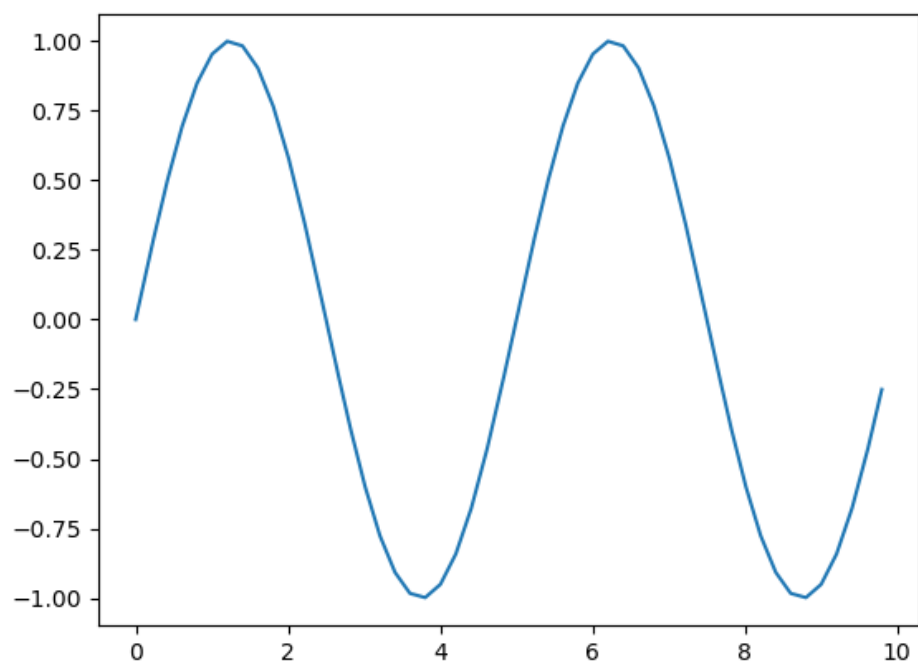
3.1.1 Probkowanie



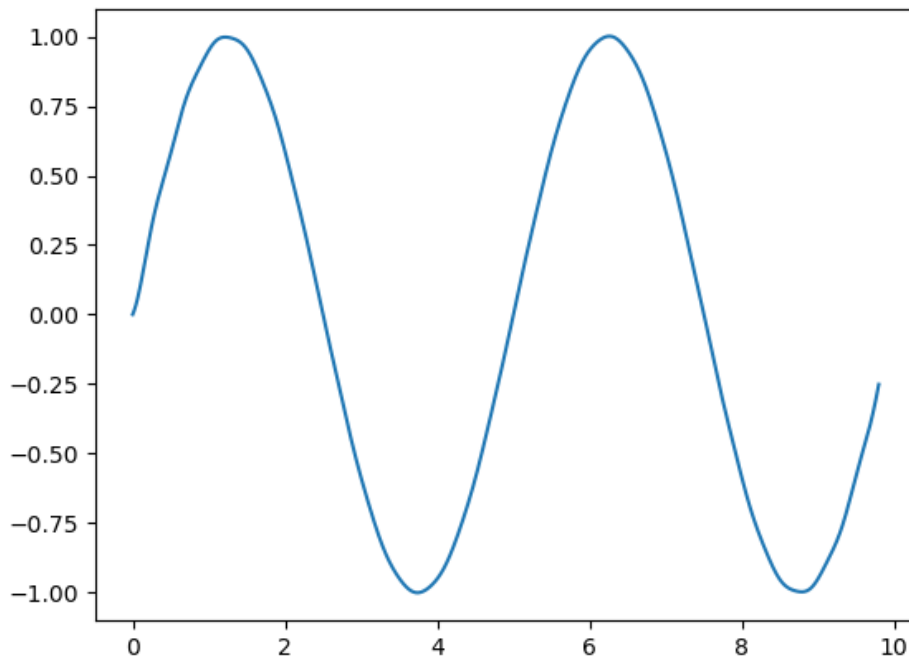
Rysunek 2: Wykres sygnału po wykonaniu próbkowania



Rysunek 3: Wykres sygnału funkcji sinusoidalnej po próbkowaniu i następnym zrekonstruowaniu metodą ekstrapolacji zerowego rzędu.



Rysunek 4: Wykres sygnału funkcji sinusoidalnej po próbkowaniu i następnym zrekonstruowaniu metodą interpolacją pierwszego rzędu.



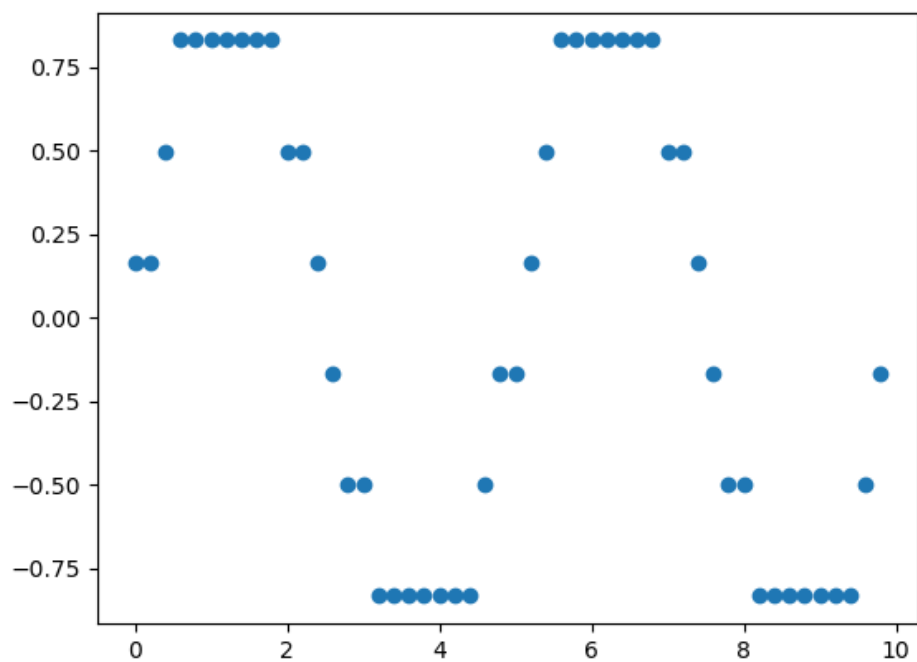
Rysunek 5: Wykres sygnału funkcji sinusoidalnej po próbkowaniu i następnym zrekonstruowaniu metodą Rekonstrukcji w oparciu o funkcję sinc.

Tabela 2: Wyniki obliczonych miar podobieństwa sygnałów dla rekonstrukcji spróbkowanego sygnału funkcji sinusoidalnej

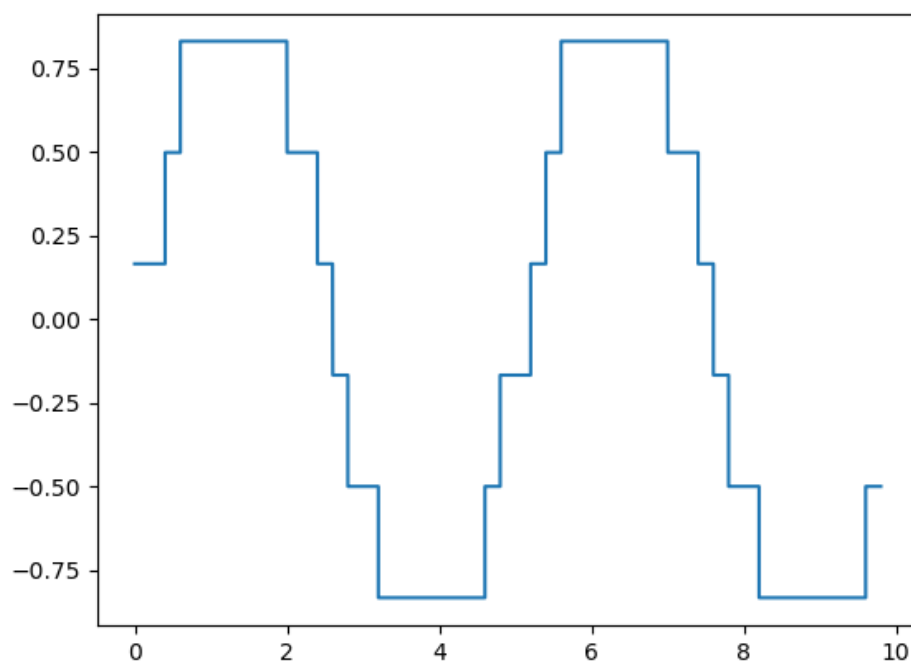
Metoda Rekonstrukcji	MSE	SNR	PSNR	MD	ENOB
Ekstrapolacja zerowego rzędu	0,009	17,506	20,517	0,203	2,616
Interpolacja pierwszego rzędu	0,000	44,178	47,189	0,008	7,047
Rekonstrukcja w oparciu o funkcję sinc	0,000	42,840	45,851	0,023	6,824

Po analizie wykresów oraz tabeli z obliczonymi miarami podobieństwa stwierdziliśmy, że dla rekonstrukcji spróbkowanego sygnału sinusoidalnego najlepiej wypadającą rekonstrukcją jest interpolacja pierwszego rzędu oraz rekonstrukcja w oparciu o funkcję sinc. Według naszych przewidywań najlepszą metodą rekonstrukcji funkcji sinusoidalnej powinna być rekonstrukcja w oparciu o funkcję sinc, która w tym eksperymencie mogła nie zdobyć znaczącej przewagi ze względu na dużą liczbę punktów podczas próbkowania.

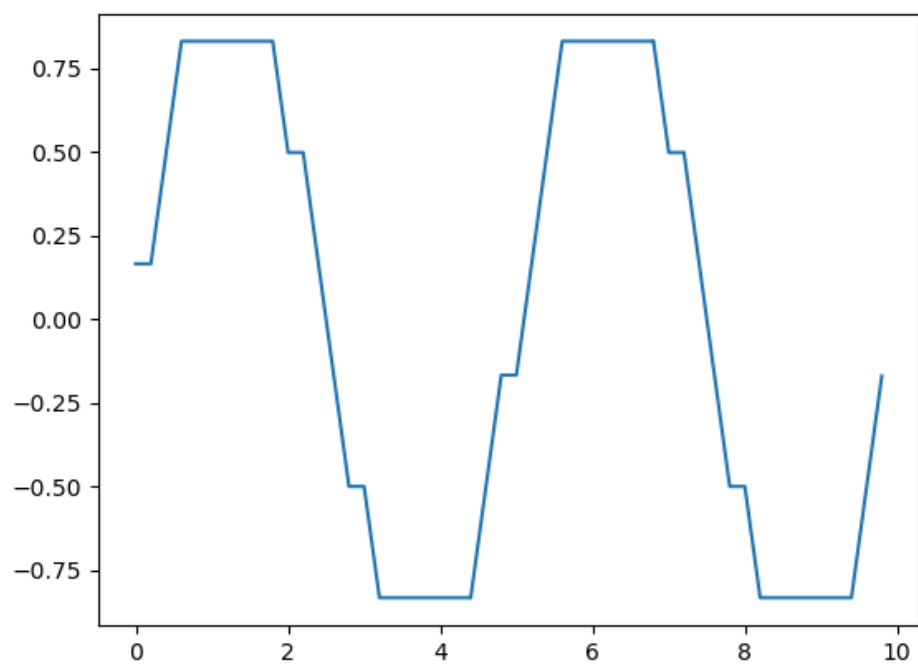
3.1.2 Kwantowanie



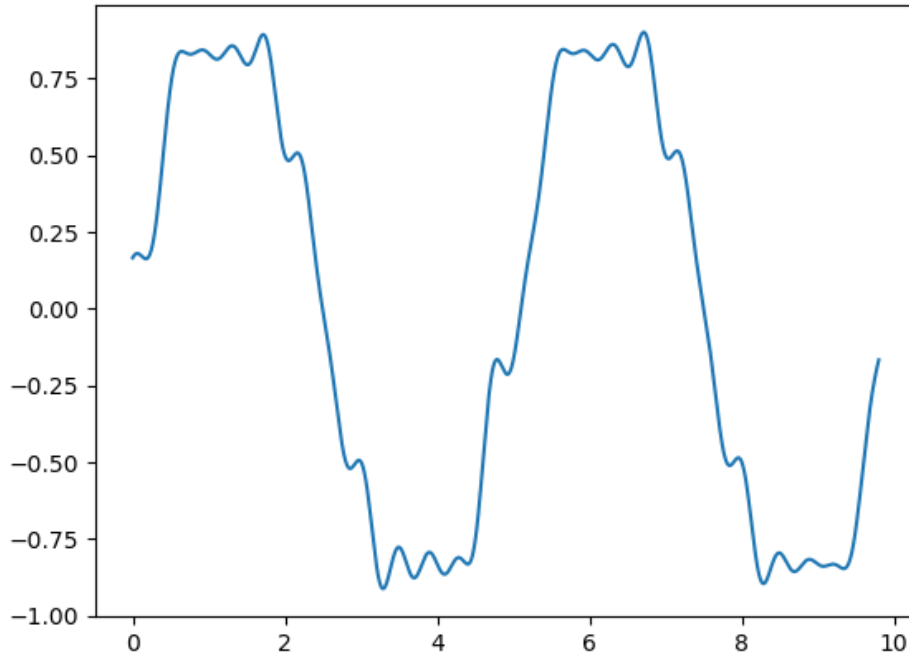
Rysunek 6: Wykres sygnału po wykonaniu kwantyzacja równomierna z obcięciem.



Rysunek 7: Wykres sygnału funkcji sinusoidalnej po kwantyzacji równomiernej z obcięciem i następnym zrekonstruowaniu metodą ekstrapolacji zerowego rzędu.



Rysunek 8: Wykres sygnału funkcji sinusoidalnej po kwantyzacji równomiernej z obcięciem i następnym zrekonstruowaniu metodą interpolacją pierwszego rzędu.



Rysunek 9: Wykres sygnału funkcji sinusoidalnej po kwantyzacji równomiernej z obcięciem i następnym zrekonstruowaniu metodą Rekonstrukcji w oparciu o funkcję sinc.

Tabela 3: Wyniki obliczonych miar podobieństwa sygnałów dla rekonstrukcji skwantyzowanego sygnału funkcji sinusoidalnej

Metoda Rekonstrukcji	MSE	SNR	PSNR	MD	ENOB
Ekstrapolacja zerowego rzędu	0.023	13,458	16,468	0,415	1, 943
Interpolacja pierwszego rzędu	0,012	16,354	19,364	0,168	2,424
Rekonstrukcja w oparciu o funkcję sinc	0,013	15,750	18,760	0,185	2,324

Po analizie wykresów oraz tabeli z obliczonymi miarami podobieństwa stwierdziliśmy, że dla rekonstrukcji skwantyzowanego sygnału sinusoidalnego najlepiej wypadającą rekonstrukcją jest interpolacja pierwszego rzędu oraz rekonstrukcja w oparciu o funkcję sinc. Według naszych przewidywań najlepszą metodą rekonstrukcji funkcji sinusoidalnej powinna być rekonstrukcja w oparciu o funkcję sinc, która w tym eksperymencie mogła nie zdobyć znaczącej przewagi ze względu na dużą liczbę punktów podczas próbkowania. Zgodnie z przewidywaniami

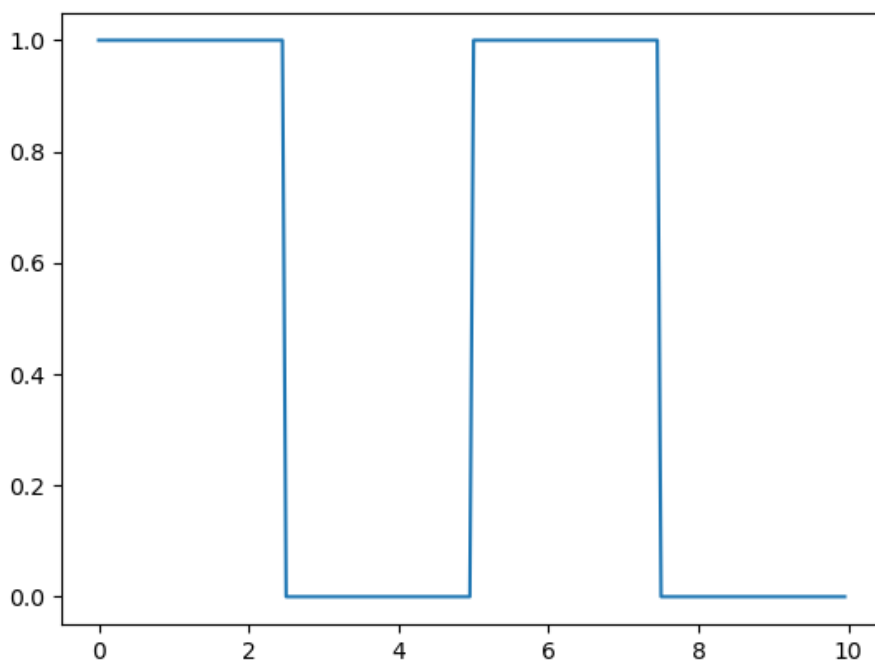
rekonstrukcja sygnału skwantyzowanego w porównaniu do rekonstrukcji sygnału próbkowanego wypadła gorzej, ze względu na małą ilość poziomów kwantyzacji, które spowodowały zmniejszenie dokładności odwzorowania oryginalnego sygnału.

3.2 Eksperyment nr 2 - Sygnał Prostokątny

W pierwszym eksperymencie analizujemy sygnał sinusoidalny. Wykonaliśmy próbkowanie na wygenerowanym sygnale, a następnie dokonaliśmy rekonstrukcji sygnału każdą z metod.

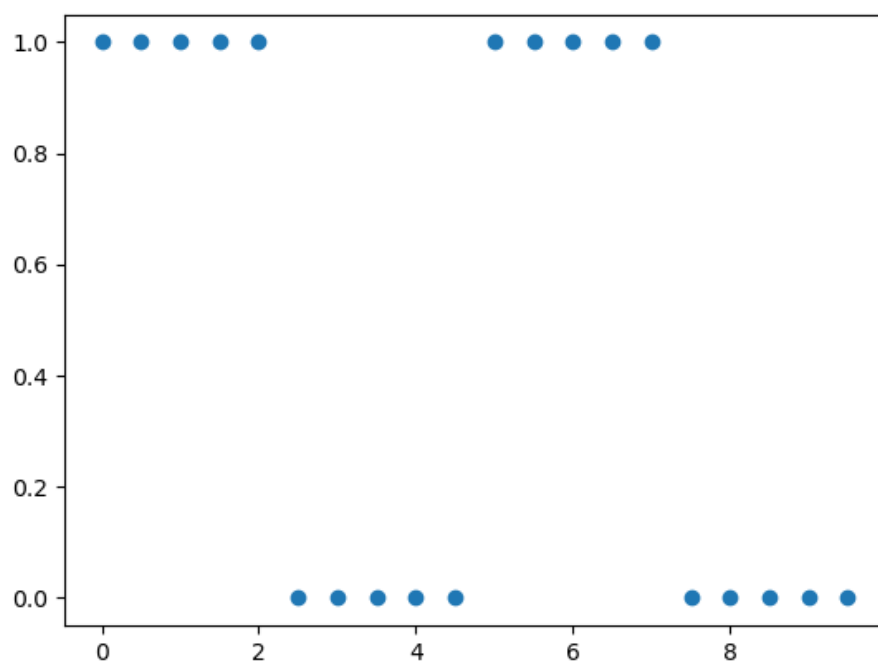
Tabela 4: Parametry wejściowe dla pierwszej wstępnej klasyfikacji.

Czas Początkowy	Czas Trwania	Amplituda	Okres	Częstotliwość	Próbkowania
0	10	1	5		5

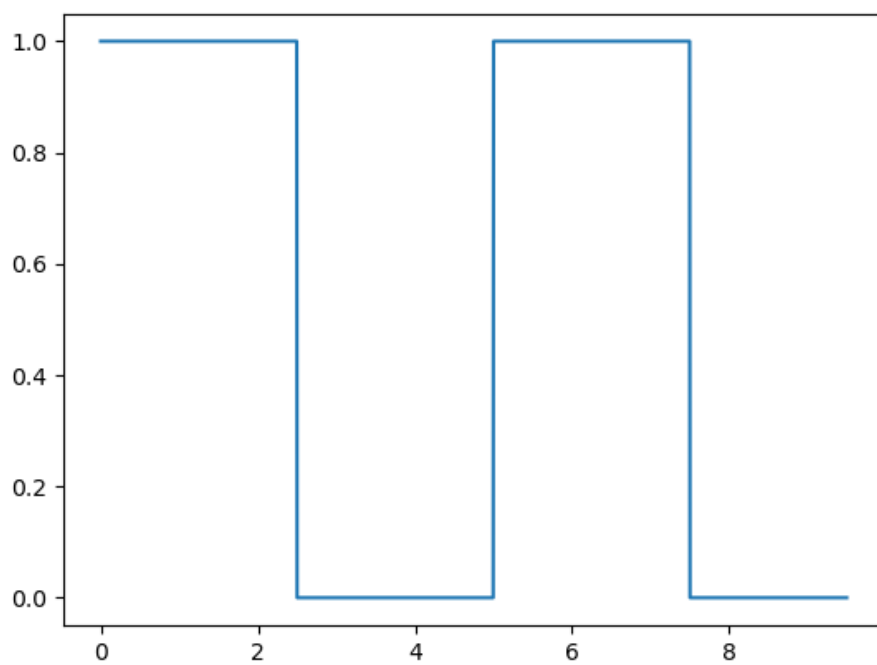


Rysunek 10: Oryginalny wygenerowany sygnał

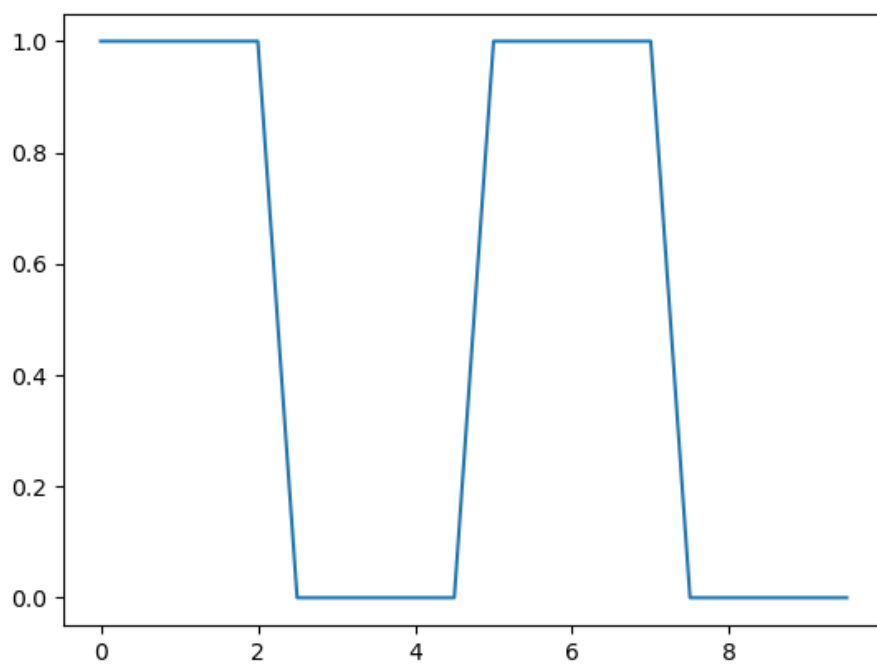
3.2.1 Probkowanie



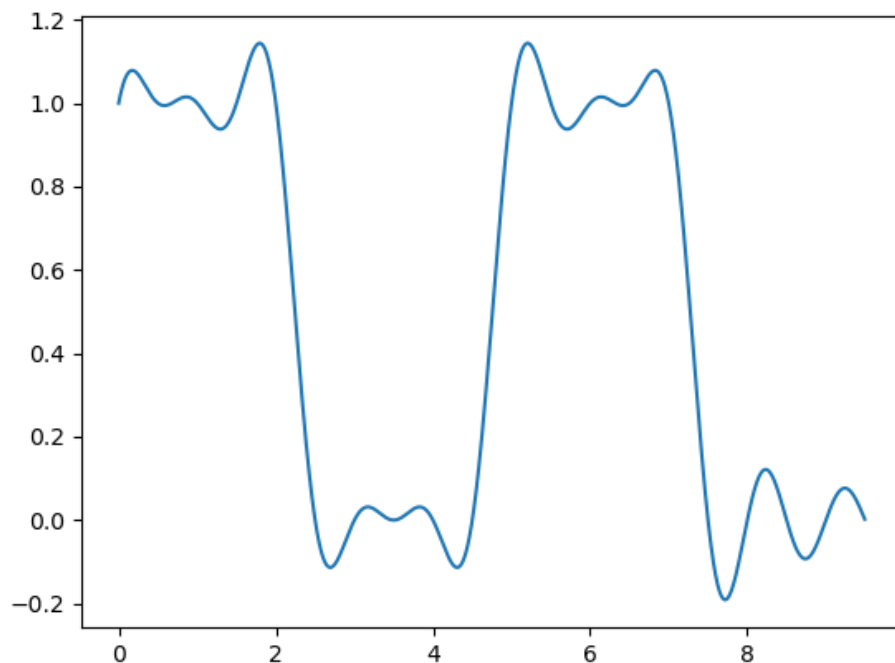
Rysunek 11: Wykres sygnału po wykonaniu próbkowania



Rysunek 12: Wykres sygnału prostokątnego po próbkowaniu i następnym zrekonstruowaniu metodą ekstrapolacji zerowego rzędu.



Rysunek 13: Wykres sygnału prostokątnego po próbkowaniu i następnym zrekonstruowaniu metodą interpolacją pierwszego rzędu.



Rysunek 14: Wykres sygnału prostokątnego po próbkowaniu i następnym zrekonstruowaniu metodą Rekonstrukcji w oparciu o funkcję sinc.

Tabela 5: Wyniki obliczonych miar podobieństwa sygnałów dla rekonstrukcji spróbkowanego sygnału funkcji prostokątnej

Metoda Rekonstrukcji	MSE	SNR	PSNR	MD	ENOB
Ekstrapolacja zerowego rzędu	0.004	21.249	24.260	0.000	3.237
Interpolacja pierwszego rzędu	0.043	10.612	13.622	0.910	1.470
Rekonstrukcja w oparciu o funkcję sinc	0.086	7.667	10.677	0.937	0.981

Po analizie wykresów oraz tabeli z obliczonymi miarami podobieństwa stwierdziliśmy, że dla rekonstrukcji spróbkowanego sygnału prostokątnego najlepiej wypadającą rekonstrukcją jest ekstrapolacja zerowego rzędu. Jest to zgodne z naszymi przewidywaniami, ponieważ wynikiem ekstrapolacji zerowego rzędu jest zawsze wykres o kształcie prostokątnym. Sygnał prostokątny przyjmuje tylko dwie wartości, więc dopóki poziomów kwantyzacji jest więcej niż 1, to wyniki rekonstrukcji skwantyzowanego sygnału prostokątnego dają identyczne wyniki jak wyniki rekonstrukcji spróbkowanego sygnału prostokątnego, z

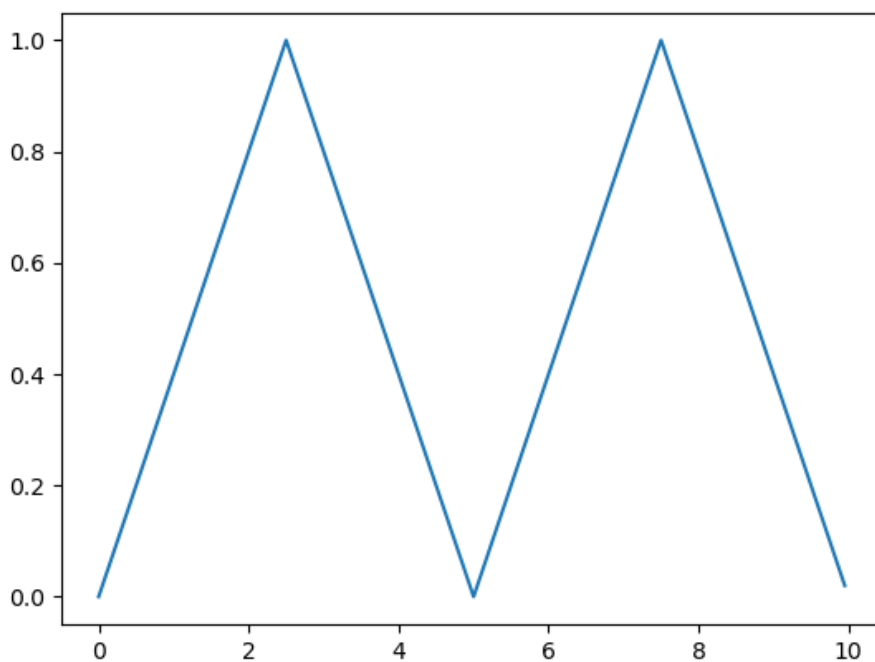
tego powodu w tym eksperymencie nie została przeprowadzona rekonstrukcja sygnału prostokątnego.

3.3 Eksperyment nr 3 - Sygnał Trójkątny

W trzecim eksperymencie analizujemy sygnał trójkątny. Wykonaliśmy próbkowanie na wygenerowanym sygnale, a następnie dokonaliśmy rekonstrukcji sygnału każdą z metod.

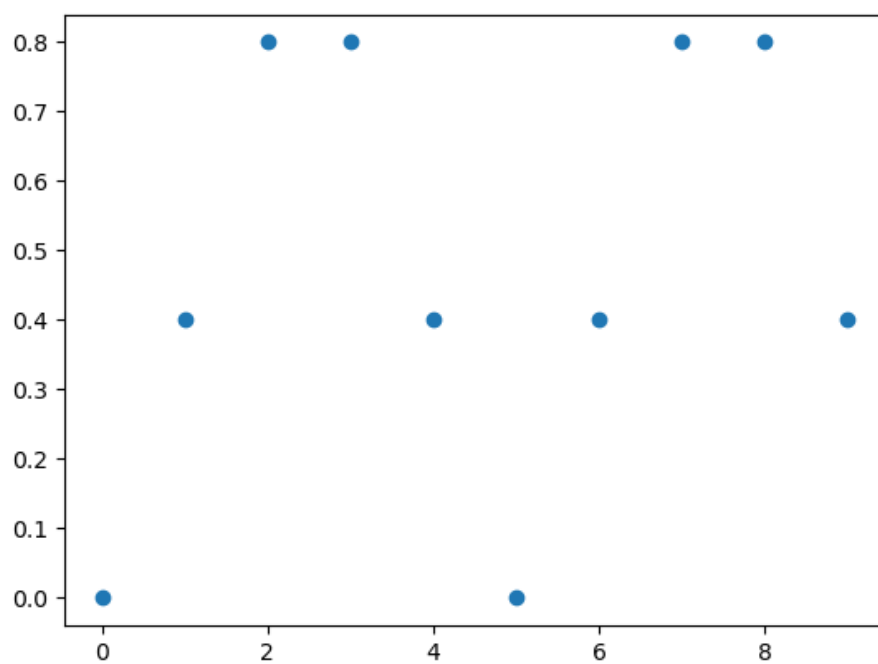
Tabela 6: Parametry wejściowe dla sygnału trójkątnego.

Czas Początkowy	Czas Trwania	Amplituda	Okres	Częstotliwość	Próbkowania
0	10	1	5		1

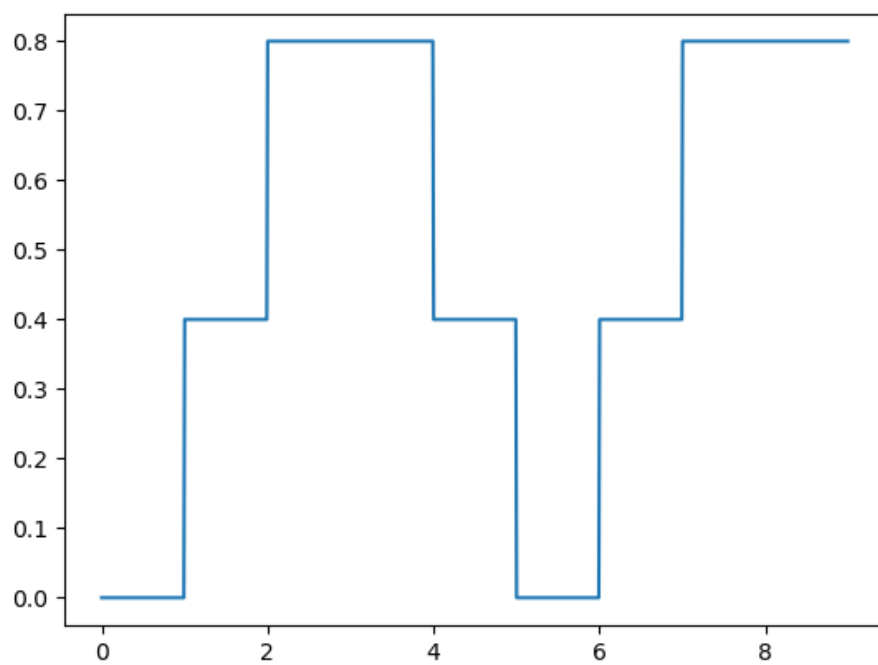


Rysunek 15: Oryginalny wygenerowany sygnał

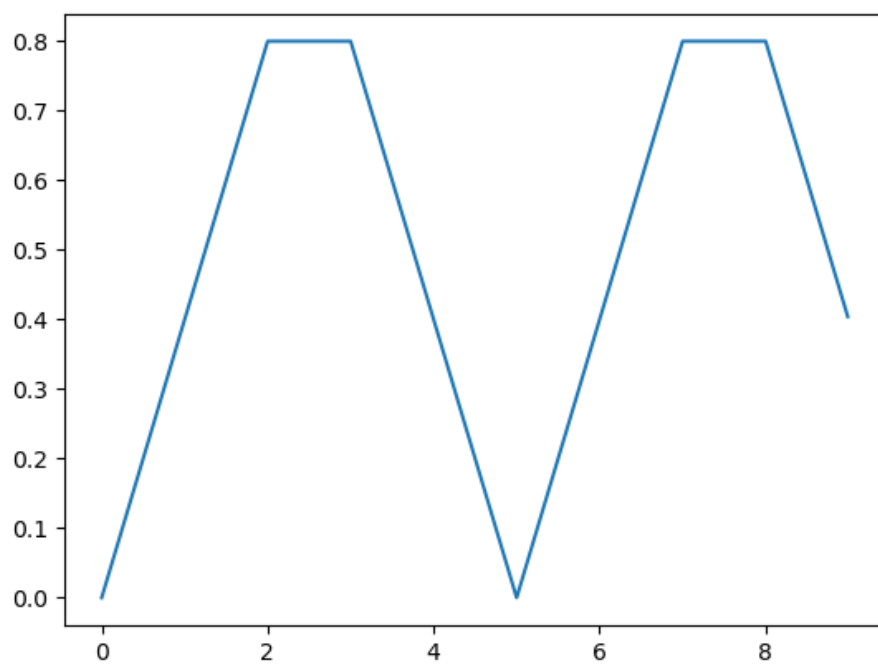
3.3.1 Probkowanie



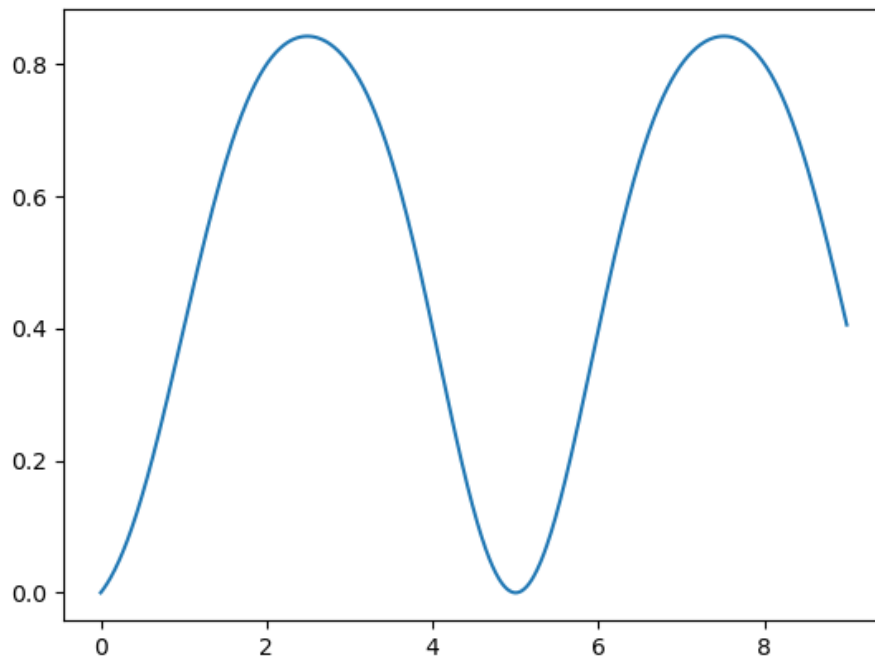
Rysunek 16: Wykres sygnału po wykonaniu próbkowania



Rysunek 17: Wykres sygnału trójkątnego po próbkowaniu i następnym zrekonstruowaniu metodą ekstrapolacji zerowego rzędu.



Rysunek 18: Wykres sygnału trójkątnego po próbkowaniu i następnym zrekonstruowaniu metodą interpolacją pierwszego rzędu.



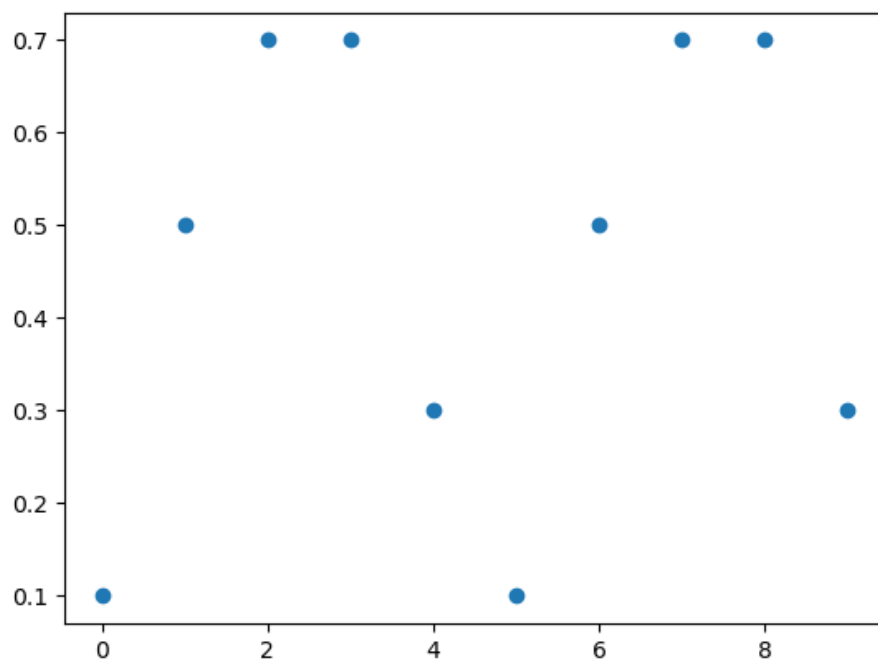
Rysunek 19: Wykres sygnału trójkątnego po próbkowaniu i następnym zrekonstruowaniu metodą Rekonstrukcji w oparciu o funkcję sinc.

Tabela 7: Wyniki obliczonych miar podobieństwa sygnałów dla rekonstrukcji spróbkowanego sygnału funkcji trójkątnej

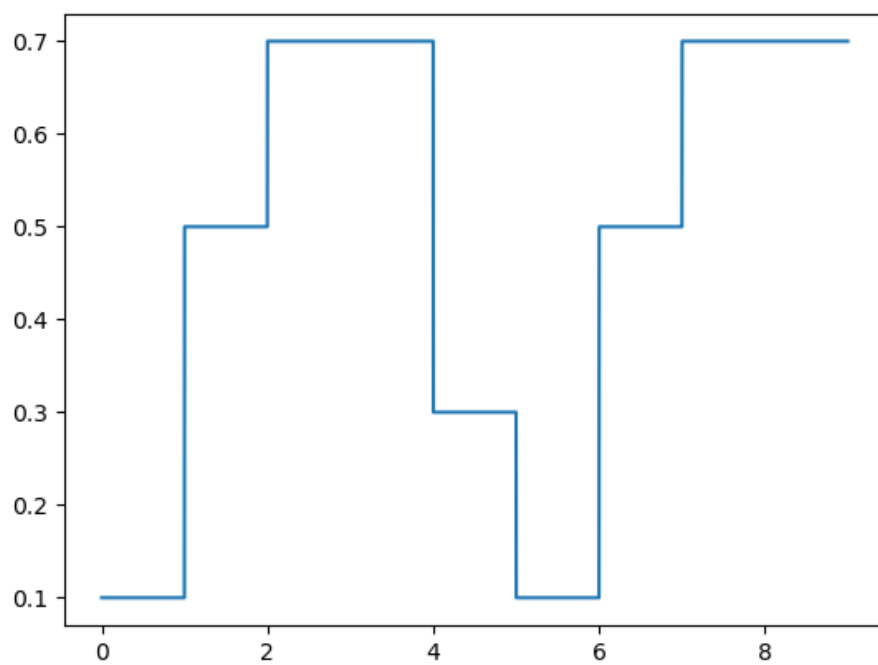
Metoda Rekonstrukcji	MSE	SNR	PSNR	MD	ENOB
Ekstrapolacja zerowego rzędu	0.043	8.945	13.716	0.380	1.194
Interpolacja pierwszego rzędu	0.003	20.943	25.713	0.200	3.187
Rekonstrukcja w oparciu o funkcję sinc	0.005	18.112	22.882	0.158	2.716

Po analizie wykresów oraz tabeli z obliczonymi miarami podobieństwa stwierdziliśmy, że dla rekonstrukcji spróbkowanego sygnału trójkątnego najlepiej wypadającą rekonstrukcją jest interpolacja pierwszego rzędu. Jest to zgodne z naszymi przewidywaniami, ponieważ interpolacja pierwszego rzędu łączy kolejne punkty linią prostą, co dla sygnału trójkątnego zazwyczaj się pokryje.

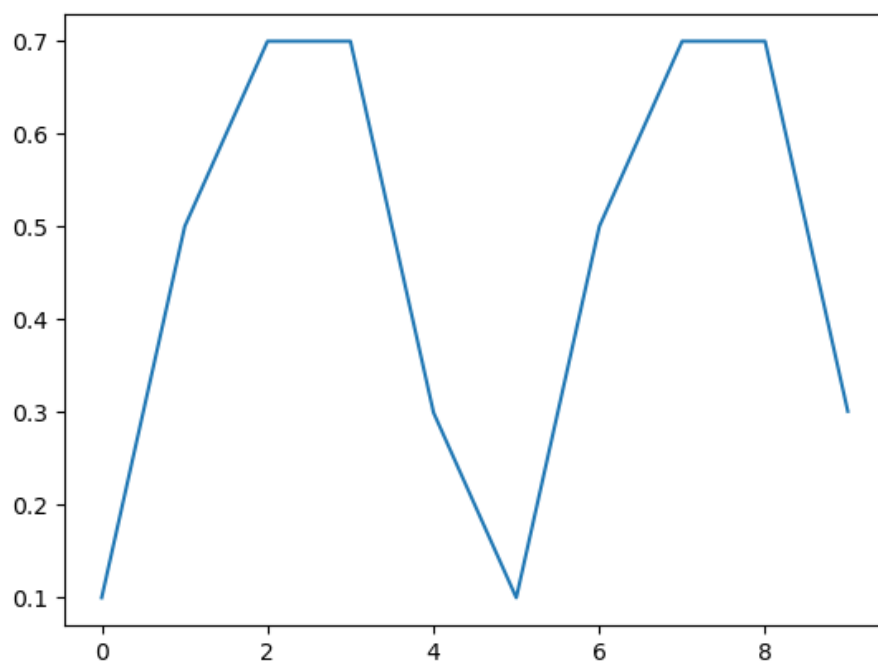
3.3.2 Kwantowanie



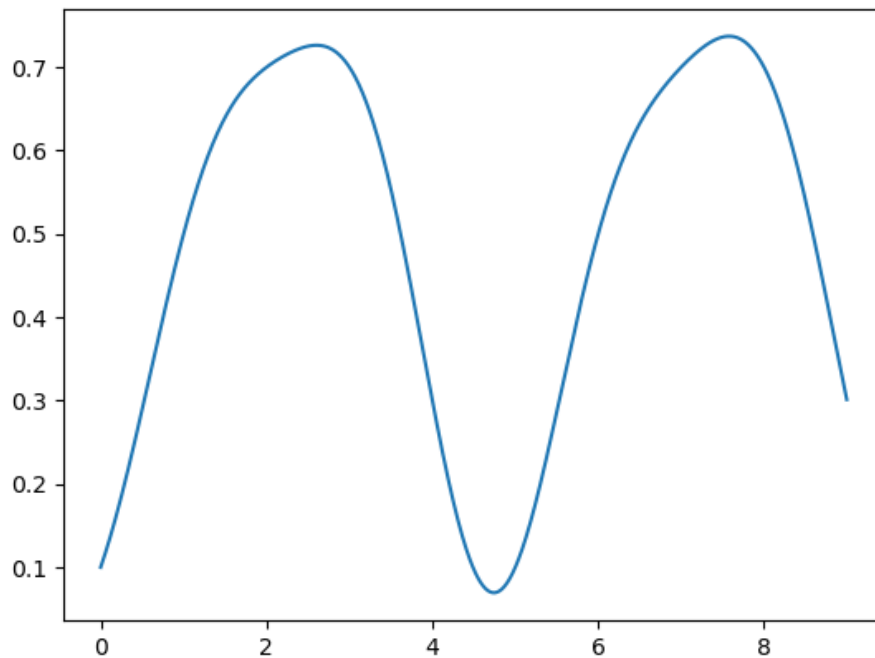
Rysunek 20: Wykres sygnału po wykonaniu kwantyzacja równomierna z obcięciem.



Rysunek 21: Wykres sygnału funkcji sinusoidalnej po kwantyzacji równomiernej z obcięciem i następnym zrekonstruowaniu metodą ekstrapolacji zerowego rzędu.



Rysunek 22: Wykres sygnału funkcji sinusoidalnej po kwantyzacji równomiernej z obcięciem i następnym zrekonstruowaniu metodą interpolacją pierwszego rzędu.



Rysunek 23: Wykres sygnału funkcji sinusoidalnej po kwantyzacji równomiernej z obcięciem i następnym zrekonstruowaniu metodą Rekonstrukcji w oparciu o funkcję sinc.

Tabela 8: Wyniki obliczonych miar podobieństwa sygnałów dla rekonstrukcji skwantyzowanego sygnału funkcji trójkątnej

Metoda Rekonstrukcji	MSE	SNR	PSNR	MD	ENOB
Ekstrapolacja zerowego rzędu	0.026	11.046	15.816	0.300	1.543
Interpolacja pierwszego rzędu	0.015	13.513	18.283	0.300	1.952
Rekonstrukcja w oparciu o funkcję sinc	0.021	12.088	16.858	0.275	1.716

Po analizie wykresów oraz tabeli z obliczonymi miarami podobieństwa stwierdziliśmy, że dla rekonstrukcji skwantyzowanego sygnału trójkątnego najlepiej wypadającą rekonstrukcją jest interpolacja pierwszego rzędu. Jest to zgodne z naszymi przewidywaniami, ponieważ interpolacja pierwszego rzędu łączy kolejne punkty linią prostą, co dla sygnału trójkątnego zazwyczaj się pokryje. Zgodnie z przewidywaniami rekonstrukcja sygnału skwantyzowanego w porównaniu do rekonstrukcji sygnału spróbkowanego wypadła gorzej, ze

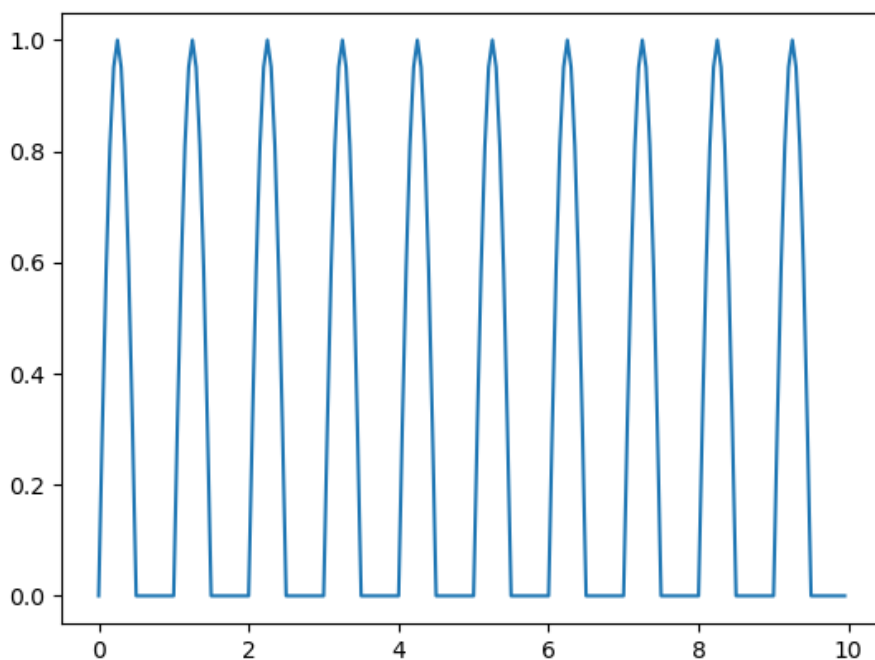
względu na małą ilość poziomów kwantyzacji, które spowodowały zmniejszenie dokładności odwzorowania oryginalnego sygnału.

3.4 Eksperyment nr 4 - Sygnał sinusoidalny wyprostowany jednopółwkowo

W czwartym eksperymencie analizujemy sygnał sinusoidalny wyprostowany jednopółwkowo. Wykonaliśmy próbkowanie na wygenerowanym sygnale, a następnie dokonaliśmy rekonstrukcji sygnału każdą z metod.

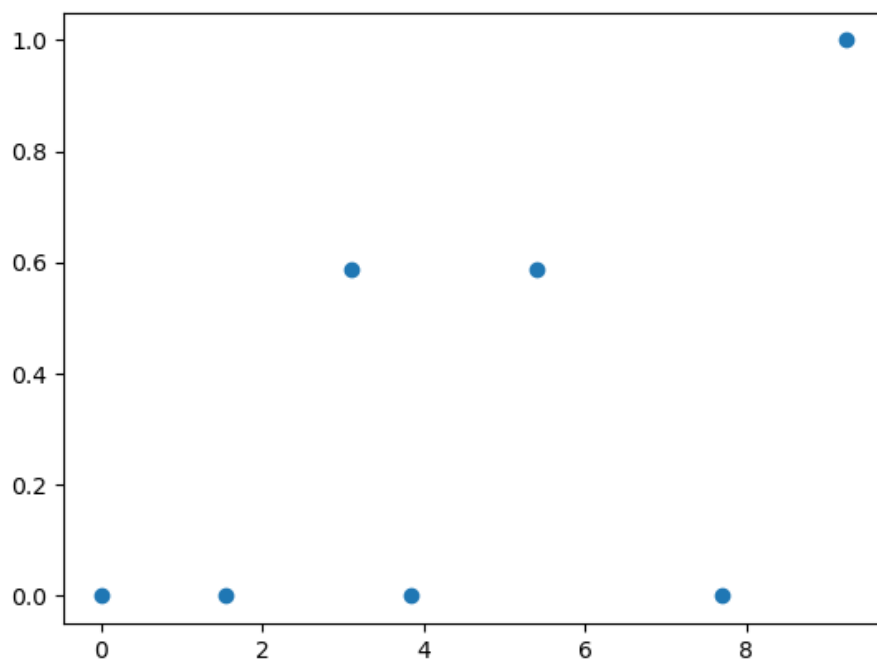
Tabela 9: Parametry wejściowe dla sygnału sinusoidalny wyprostowany jednopółwkowo.

Czas Początkowy	Czas Trwania	Amplituda	Okres	Częstotliwość Próbkowania
0	10	1	1	1.3

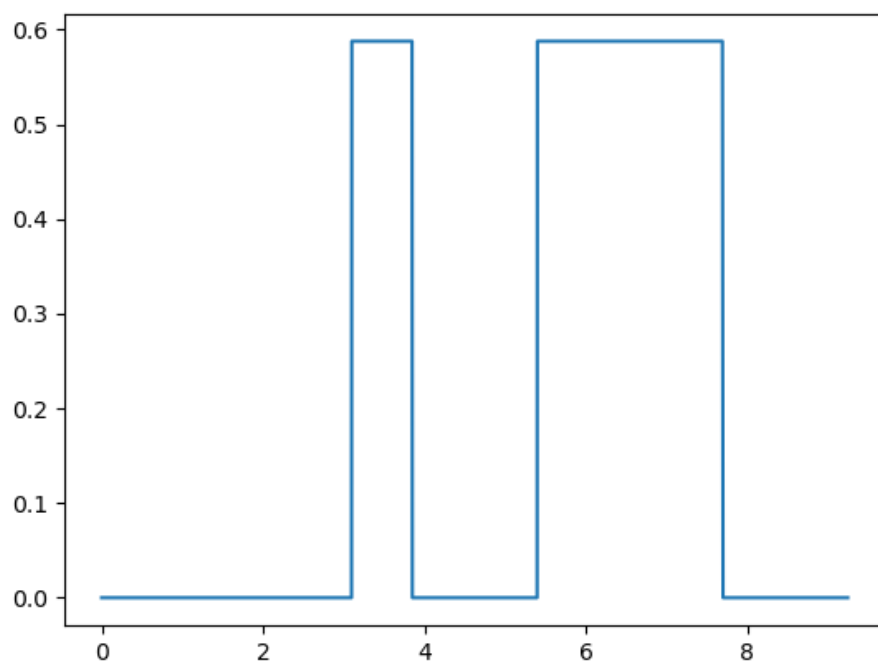


Rysunek 24: Oryginalny wygenerowany sygnał sinusoidalny wyprostowany jednopółwkowo

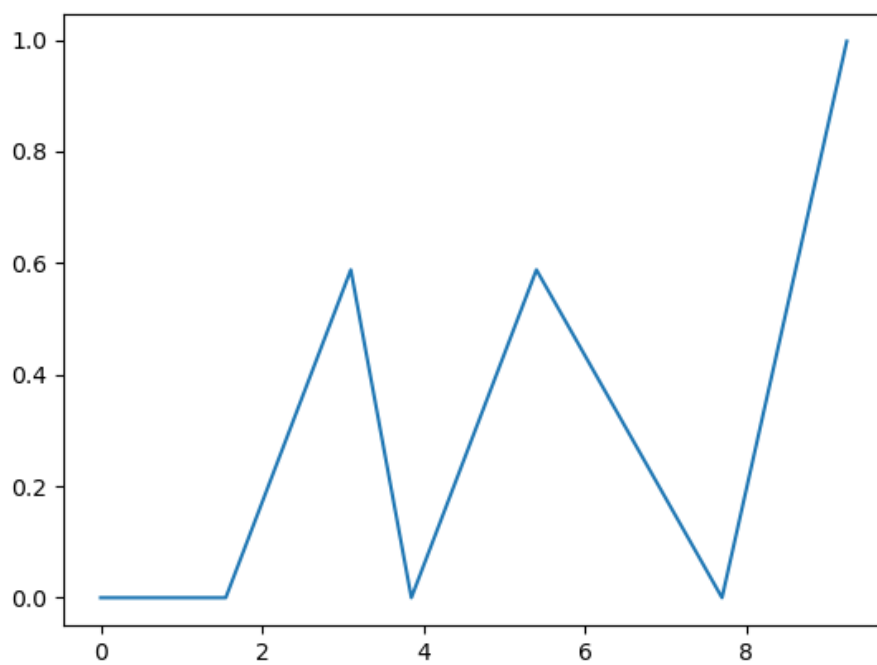
3.4.1 Probkowanie



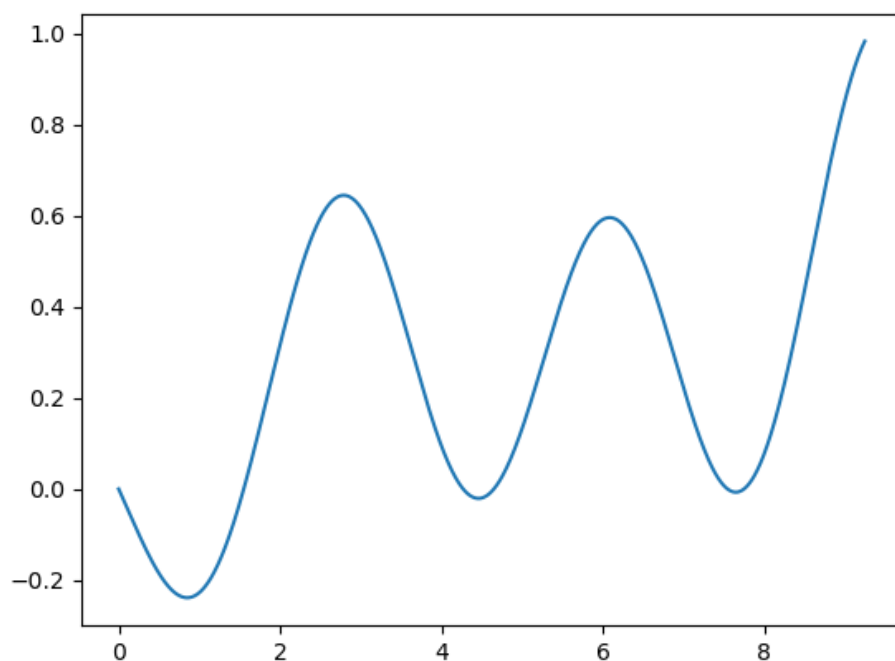
Rysunek 25: Wykres sygnału sinusoidalnego wyprostowanego jednopółwkowo po wykonaniu próbkowania



Rysunek 26: Wykres sygnału sinusoidalnego wyprostowanego jednopółwkowo po próbkowaniu i następnym zrekonstruowaniu metodą ekstrapolacji zerowego rzędu.



Rysunek 27: Wykres sygnału sinusoidalnego wyprostowanego jednopółwkowo po próbkowaniu i następnym zrekonstruowaniu metodą interpolacją pierwszego rzędu.



Rysunek 28: Wykres sygnału sinusoidalnego wyprostowanego jednopółkowo po próbkowaniu i następnym zrekonstruowaniu metodą Rekonstrukcji w oparciu o funkcję sinc.

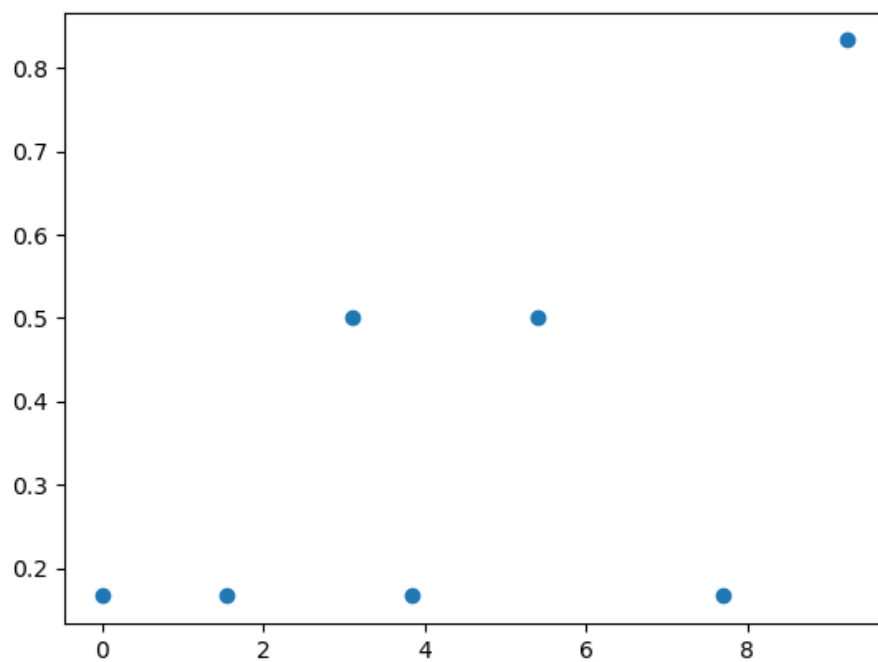
Tabela 10: Wyniki obliczonych miar podobieństwa sygnałów dla rekonstrukcji spróbkowanego sygnału sinusoidalnego wyprostowanego jednopółkowo

Metoda Rekonstrukcji	MSE	SNR	PSNR	MD	ENOB
Ekstrapolacja zerowego rzędu	0.229	0.380	6.401	1.000	-0.229
Interpolacja pierwszego rzędu	0.190	1.200	7.221	1.000	-0.093
Rekonstrukcja w oparciu o funkcję sinc	0.257	-0.127	5.893	1.156	-0.314

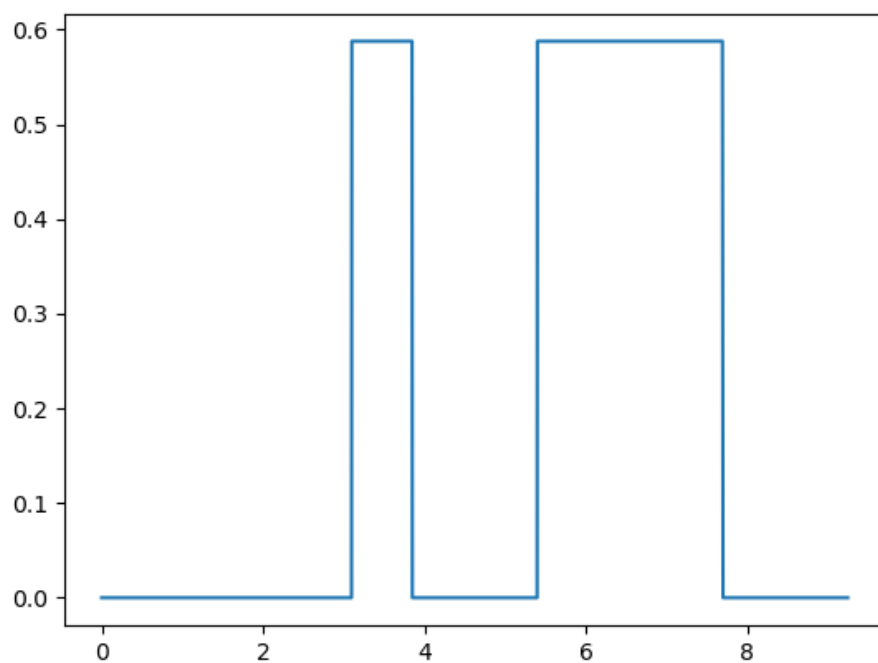
Po analizie wykresów oraz tabeli z obliczonymi miarami podobieństwa stwierdziliśmy, że dla rekonstrukcji spróbkowanego sygnału sinusoidalnego wyprostowanego jednopółkowo najlepiej wypadającą rekonstrukcją jest interpolacja pierwszego rzędu. Jednakże różnice pomiędzy wynikami miar podobieństwa sygnałów dla wszystkich rekonstrukcji wyszły zbliżone. Każdy z wykresów rekonstrukcji dla badanego sygnału przypomina inny sygnał. Rysunek 26. p jest podobny do sygnału prostokątnego, Rysunek 27 jest podobny

do sygnału trójkątnego, natomiast Rysunek 28 jest podobny do sygnały sinusoidalnego.

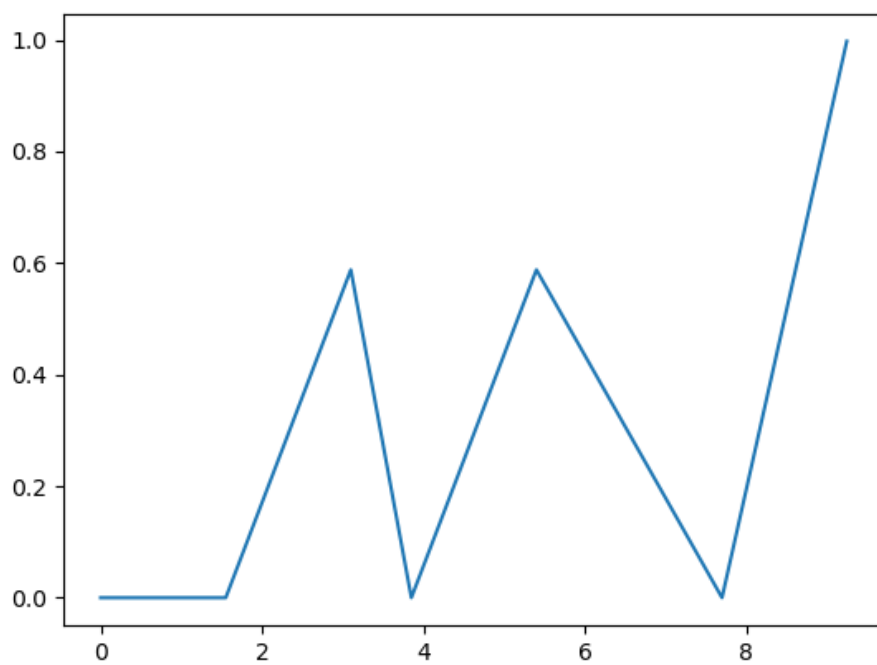
3.4.2 Kwantowanie



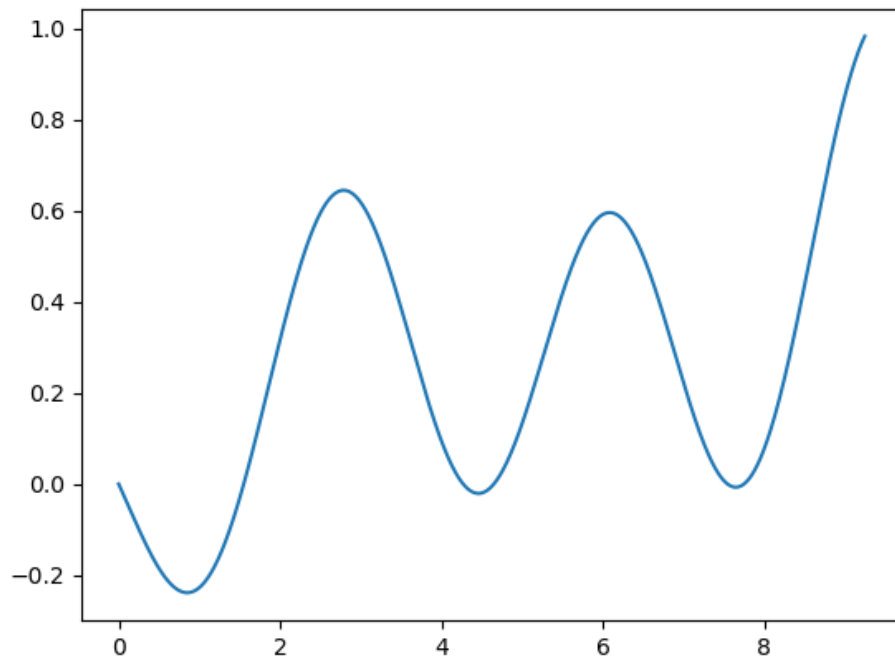
Rysunek 29: Wykres sygnału po wykonaniu kwantyzacji równomiernej z obcięciem.



Rysunek 30: Wykres sygnału sinusoidalnego wyprostowanego jednopółwkowo po kwantyzacji równomiernej z obcięciem i następnym zrekonstruowaniu metodą ekstrapolacji zerowego rzędu.



Rysunek 31: Wykres sygnału sinusoidalnego wyprostowanego jednopółwkowo po kwantyzacji równomiernej z obcięciem i następnym zrekonstruowaniu metodą interpolacją pierwszego rzędu.



Rysunek 32: Wykres sygnału sinusoidalnego wyprostowanego jednopółwkowo po kwantyzacji równomiernej z obcięciem i następnym zrekonstruowaniu metodą Rekonstrukcji w oparciu o funkcję sinc.

Tabela 11: Wyniki obliczonych miar podobieństwa sygnałów dla rekonstrukcji skwantyzowanego sygnału sinusoidalnego wyprostowanego jednopółwkowo

Metoda Rekonstrukcji	MSE	SNR	PSNR	MD	ENOB
Ekstrapolacja zerowego rzędu	0.229	0.380	6.401	1.000	-0.229
Interpolacja pierwszego rzędu	0.190	1.200	7.221	1.000	-0.093
Rekonstrukcja w oparciu o funkcję sinc	0.257	-0.127	5.893	1.156	-0.314

Wyniki kwantyzacji oraz rekonstrukcji skwantyzowanego sygnału dają identyczne wyniki jak wyniki rekonstrukcji próbkowanego sygnału, z tego powodu wnioski do rekonstrukcji sygnału skwantyzowanego pokrywają się z wnioskami sygnału próbkowanego. Inne niż w pozostałych eksperymentach wyniki mogą być spowodowane zbyt małą częstotliwością próbkowania.

4 Wnioski

Zbudowany program umożliwia wykonanie procesu konwersji analogowo-cyfrowej (A/C) i cyfrowo-analogowej (C/A) sygnałów oraz porównanie dwóch sygnałów z wyliczeniem miar jakości rekonstrukcji. Konwersja sygnałów zgadza się z przewidywanymi wynikami.

- Do rekonstrukcji sygnału sinusoidalnego najlepiej sprawdziła się interpolacja pierwszego rzędu oraz rekonstrukcja w operacji o funkcję sinc.
- Do rekonstrukcji sygnału prostokątnego najlepiej sprawdziła się ekstrapolacja zerowego rzędu.
- Do rekonstrukcji sygnału trójkątnego najlepiej sprawdziła się interpolacja pierwszego rzędu.
- Lepsze wyniki rekonstrukcji zostały uzyskane dla próbkowanych sygnałów.
- W celu porównania jakości rekonstrukcji należy wziąć pod uwagę wszystkie miary podobieństwa sygnałów.
- Im większa liczba poziomów kwantyzacji tym lepsze wyniki jakości rekonstrukcji sygnału.
- Im większa częstotliwość próbkowania tym lepsze wyniki jakości rekonstrukcji sygnału.

Program działa poprawnie, cel zadania został osiągnięty.

Literatura

- [1] Wikamp, Instrukcja do zadania pierwszego, Dostępny w: https://ftims.edu.p.lodz.pl/pluginfile.php/13449/mod_resource/content/0/zadanie2.pdf