Zadanie nr 3 - Splot, filtracja i korelacja sygnałów

Cyfrowe Przetwarzanie Sygnałów

Aneta Wiśniewska, 204029 Hanna Paluszkiewicz, 203962

14.05.2018

1 Cel zadania

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się w praktyce z procesami splotu, filtracji i korelacji sygnałów.

2 Wstęp teoretyczny

2.1 Teoria

Splot to jedno z najważniejszych działań podczas filtracji sygnałów dyskretnych. Jest operacją przetwarzania dwóch sygnałów, w wyniku której otrzymujemy pojedyńczy sygnał dyskretny. W ogólnym przypadku splot jest zdefiniowany wzorem: W praktyce stosuje się sygna-

$$(h * x)(n) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} h(k)x(n\text{-}k)$$

ły o skończonych ilosciach próbek rozmieszczonych równomiernie w dowolnych miejscach osi czasu. Zwykle przyjmuje się konwencję indeksacyjną, gdzie oba sygnały zaczynają się na osi czasu od próbki zero. Poza granicami przedziału oba sygnały są zerowe.
Wzór dla tej konwencji przyjmuje postać:

$$(h * x)(n) = \sum_{k=0}^{M\text{-}1} h(k)x(n\text{-}k)$$

Filtracja sygnałów - należy do podstawowych operacji CPS. W ramach filtracji widmo sygnału ulega modyfikacji. Zostały odfiltrowane składowe części sygnału o częstotliwosciach należących do pasma zaporowego. Reszta widma leżąca w pamie przepustowym, nie uległa zmianie lub podlega niewielkiemu tłumieniu.
Filtry ze względu na umiejscowienie pasma przepustowego i zaporowego dzielimy na:

Filtry dolnoprzepustowe - ich pasma przepustowe są okrelone przedziałem częstotliwosci od 0 do f0 (f0 - częstotliwość odcięcia filtru)

Filtry górnoprzepustowe - ich pasma przepustowe są okrelone przedziałem częstotliwosci od f0 do fp/2 (fp - częstotliwość próbkowania sygnału)

Filtry srodkowoprzepustowe - ich pasma przepustowe są okrelone przedziałem częstotliwosci od fd do fp/4

f0 = fp/K gdzie f0 to częstotliwość odcięcia

fp to częstotliwość

W zadaniu są stosowane filtry SOI - o skończonej odpowiedzi impulsowej. Zaletą tych filtrów jest łatwość implementacji (w oparciu o splot) i projektowania postaci filtru.
Przy obliczaniu próbki sygnału wyjsciowego (y(n)) jest brane pod uwagę M przeszłych próbek sygnału wejsciowego (x(n)). Wartosci y(n) obliczamy jako sumy ważone x(n) z uwzględnieniem współczynników filtru h(n).
Opisuje to wzór:

$$h(n)=\begin{cases} \frac{2}{K} & \text{dla } n=0, \\ \frac{\sin\left(\frac{2\pi n}{K}\right)}{\pi n} & \text{w pozostałych przypadkach} \end{cases}$$

Gdzie:

M - rząd filtru

h(k) - odpowiedź impulsowa

Jeżeli ciąg próbek sygnału wejsciowego będzie ciągiem wartosci zerowych, filtr SOI będzie generował na wyjsciu skończony ciąg niezerowych wartosci.

Powyższy wzór jest stosowany dla filtru dolnoprzepustowego. Na jego podstawie można obliczyć także działanie innych filtrów. W tym celu stosuje się wzory:

dla filtru srodkowoprzepustowego:

$$s(n)=2\sin(\pi n/2)$$

dla filtru górnoprzepustowego:

$$s(n) = (-1)^n$$

Do projektowania filtrów SOI została zastosowana metoda okna.

W praktyce często stosuje się okna:

Hamminga

$$w(n)=0.53836-0.46164\cdot\cos\left(\frac{2\pi n}{M}\right)$$

Hanninga

$$w(n)=0.5-0.5\cdot\cos\left(\frac{2\pi n}{M}\right),$$

Blackmana

$$w(n)=0.42-0.5\cdot\cos\left(\frac{2\pi n}{M}\right)+0.08\cdot\cos\left(\frac{4\pi n}{M}\right).$$

Korelacja - jest ważną częscią przetwarzania sygnałów. Jest stosowana, gdy trzeba porównać sygnał z innym, zwłaszcza z przesuniętą na osi czasu swoją kopią. Polega na przetwarzaniu dwóch sygnałów dyskretnych, w czego wyniku otrzymujemy pojedynczy sygnał dyskretny. Korelacja w ogólnym przypadku jest opisywana wzorem:

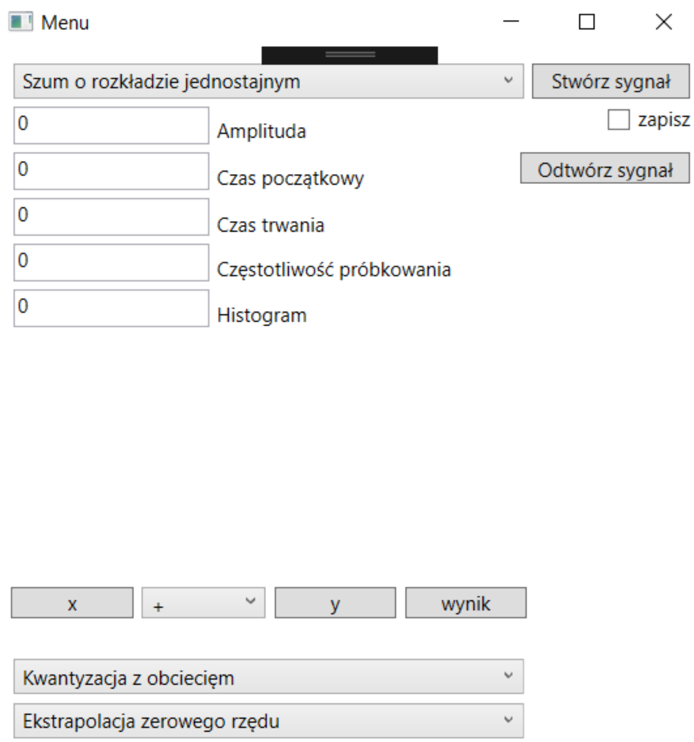
$$R_{hx} = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} h(k)x(k-n)$$

Podobnie jak w operacji splotu w praktyce stosuje się sygnały o skończonych ilosciach próbek rozmieszczonych równomiernie w dowolnych miejscach osi czasu i zakres zmiennosci próbek dla każdego n zakresy sumowań zmieniają się zgodnie zumiejscowieniem na osi czasu i liczbami próbek każdego z dyskretnych sygnałów wejsciowych h oraz x. Zwykle przyjmuje się konwencję indeksacyjną, gdzie oba sygnały zaczynają się na osi czasu od próbki zero. Poza granicami przedziału oba sygnały są zerowe.
Wzór dla tej konwencji przyjmuje postać:

$$R_{hx} = \sum_{k=0}^{M-1} h(k)x(n-k)$$

2.2 Instrukcja obsługi aplikacji

Aplikacja do generacji szumów zawiera interfejs graficzny, który służy do obsługi przez użytkownika. Wygląd został przedstawiony na poniższym rysunku.



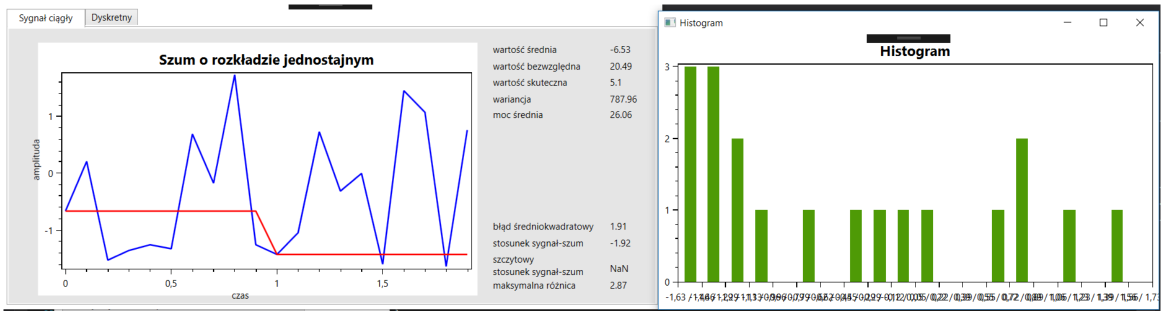
Rysunek 1: Widok główny aplikacji

Na górze okienka znajduje się wysuwana lista możliwych do generacji sygnałów. Obok znajduje się chceckbox, po zaznaczeniu którego sygnał zostanie zapisany do pliku. Niżej jest przycisk do generacji sygnałów oraz lista parametrów wykresu. Tutaj wpisuje się dane wpływające na sygnał. Pola umożliwiają ustawienie charakterystycznych parametrów sygnału. Na ich podstawie program wylicza wartości amplitudy sygnału w określonym czasie oraz wyświetla graficzną reprezentację sygnału w postaci wykresu funkcji amplitudy od czasu i histogramu.

Na dole okienka znajdują się przyciski: do odtwarzania sygnału z pliku, oraz do operacji na dwóch sygnałach. Po kliknięciu w x i y wybieramy odpowiednio pierwszy i dugi składnik działania. Między nimi można wybrać jedno z czterech działań. Po wcisnięciu przycisku "wynik" program liczy wynik działania i wywietla jego graficzną reprezentację.

2.2.1 Generowanie sygnału

Aby wygenerować sygnał użytkownik musi kliknąć w generuj sygnał.
Po wygenerowaniu sygnału pojawiają się dwa dodatkowe okienka aplikacji.



Rysunek 2: Okna po generacji sygnału

Jedno wyświetla histogram sygnału
Drugie przedstawia wykres funkcji amplitudy od czasu oraz obliczone wartości: wartość średnią, wartość średnią bezwzględną, wartość skuteczną, wariancję oraz moc średnią.

2.2.2 Odczyt sygnału z pliku

Oprócz generacji i zapisu do pliku, program umożliwia odczyt z pliku sygnału będącego wynikiem dyskretyzacji (bez kwantyzacji) wygenerowanego sygnału ciągłego oraz sygnału będącego wynikiem operacji na dwóch sygnałach dyskretnych.
Tak jak w przypadku generacji, sygnał jest reprezentowany graficznie w postaci histogramu i wykresu funkcji.

2.3 Opis implementacji

Aplikacja została napisana w wysokopoziomowym języku programowania - C#. Do rysowania wykresów została wykorzystana zewnątrzna biblioteka OxyPlot. Program został napisany przy pomocy metodyki obiektowej i stosuje metody numeryczne.

3 Eksperymenty i wyniki

Poniżej znajdują się wszystkie przeprowadzone eksperymenty - możliwe do uzyskania w aplikacji sygnaly i wyniki.

3.1 Eksperyment nr 1

Eksperyment nr 1 - Splot

3.1.1 Założenia

Operacja splotu jest przeprowadzana dla dwóch dowolnych sygnałów dyskretnych o wczeniej podanych (niekonieczcnie jednakowych) ilosciach próbek. W tym celu jest wykorzystany wzór 2.1.

3.1.2 Przebieg

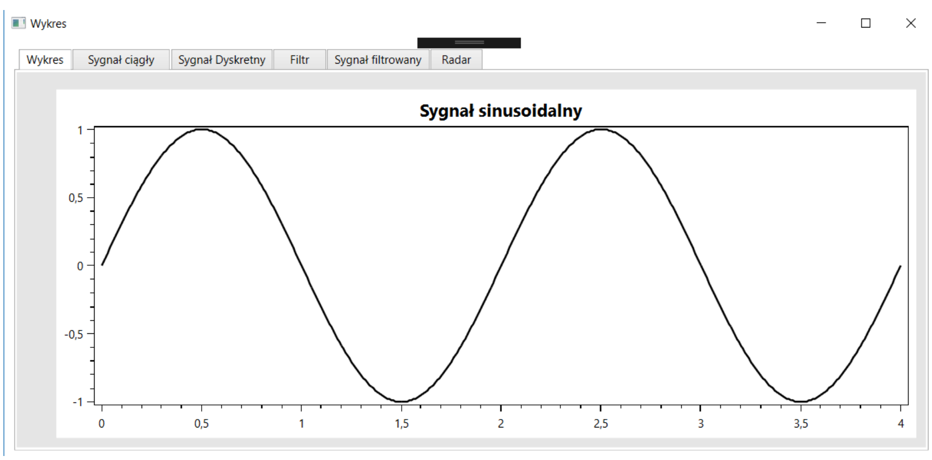
Do generacji synału zostały podane parametry:

Sygnał 1: [Amplituda (A):] 1

[Czas trwania (t1):] 5 s

[Częstotliwość próbkowania (d):] 10 Hz

[Okres podstawowy :] 2 s

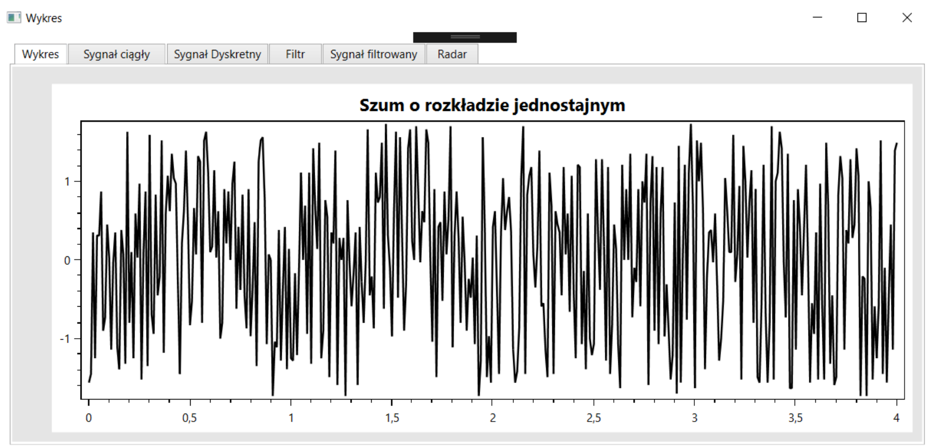


Rysunek 3: Wykres sygnału sinusoidalnego

Sygnał 2: [Amplituda (A):] 1

[Czas trwania (t1):] 5 s

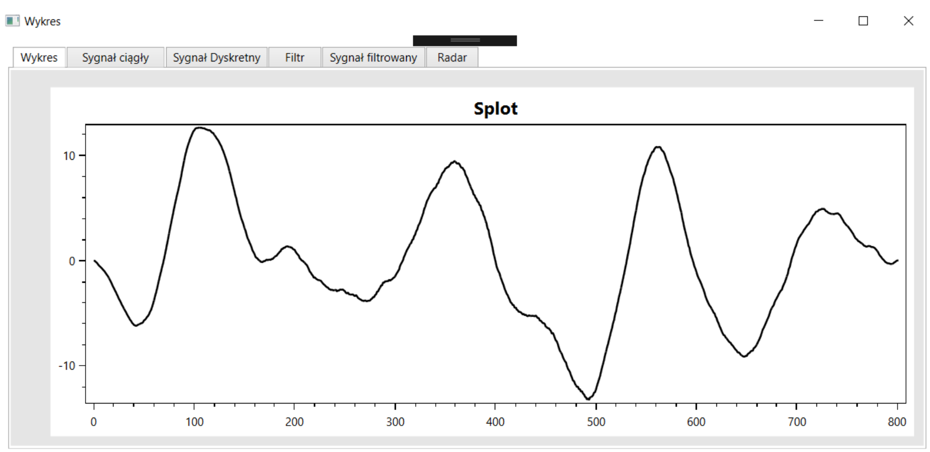
[Częstotliwość próbkowania (d):] 10 Hz



Rysunek 4: Wykres szumu gausowskiego

3.1.3 Rezultat

Rezultat przedstawia zamieszczony poniżej zrzut ekranu z programu. Wartości liczbowe oraz wykres funkcji amplitudy od czasu przedstawia 35.



Rysunek 5: Wykres splotu sygnałów 1 i 2

3.2 Eksperyment nr 2

10 20 Eksperyment nr 2 - Filtracja z filtrem dolnoprzepustowym

3.2.1 Założenia

Filtr dolnoprzepustowy opisuje wzór, na podstawie odwrotnego przekształcenia Fouriera:

$$h(n)=\begin{cases} \frac{2}{K} & \text{dla } n=0, \\ \frac{\sin\left(\frac{2\pi n}{K}\right)}{\pi n} & \text{w pozostałych przypadkach} \end{cases}$$

gdzie:

n - liczba całkowita,

częstotliwość odcięcia filtru - f0 = fp/K

Zakładamy, że filtr jest idealny - w pasmie przepustowym nie zmienia się widmo sygnału wejsciowego - transmitancja jest równa 1. W pasmie zaporowym skłądowe czętotliwosciowe zostaną kompletnie wytłumione (transmitancja równa 0).

Ze względu na nieskończoną liczbę współczynników h(n) nie stosuje się tego wzoru w praktyce.

Wzór na odpowiedź impulsową filtru o M współczynników z przesunięciem (w celu uzyskania nieujemnych indeksów):

$$h(n)=\begin{cases} \frac{2}{K} & \text{dla } n=(M\text{-}1)/2, \\ \frac{\sin\left(\frac{2\pi(n-(M-1)/2)}{K}\right)}{\pi(n-(M-1)/2)} & \text{w pozostałych przypadkach} \end{cases}$$

gdzie:

n = 0,1, ... , M-1

częstotliwość odcięcia filtru - f0 = fp/K

3.2.2 Przebieg

1:

Do generacji synału prostokątnego zostały podane parametry:

Amplituda (A): 1

Czas trwania (t1): 100 s

Częstotliwość próbkowania (d): 1 Hz

Okres podstawowy : 100 s

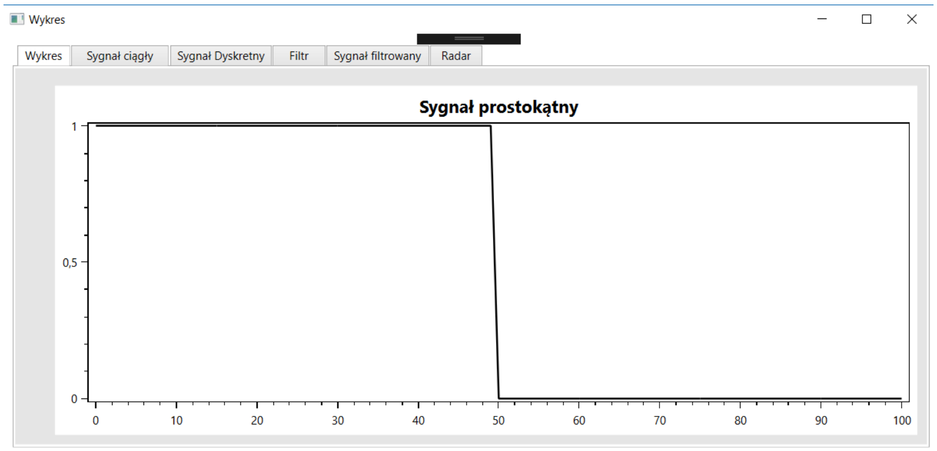
Współczynnik wypełnienia: 0,5

Wykres sygnału przedstawia poniższy obrazek:

Parametry filtracji:

K: 10

M: 20



2: (drugi przykład filtru dolnoprzepustowego i okna prostokątnego) Do generacji synału prostokątnego zostały podane parametry:

Amplituda (A): 1

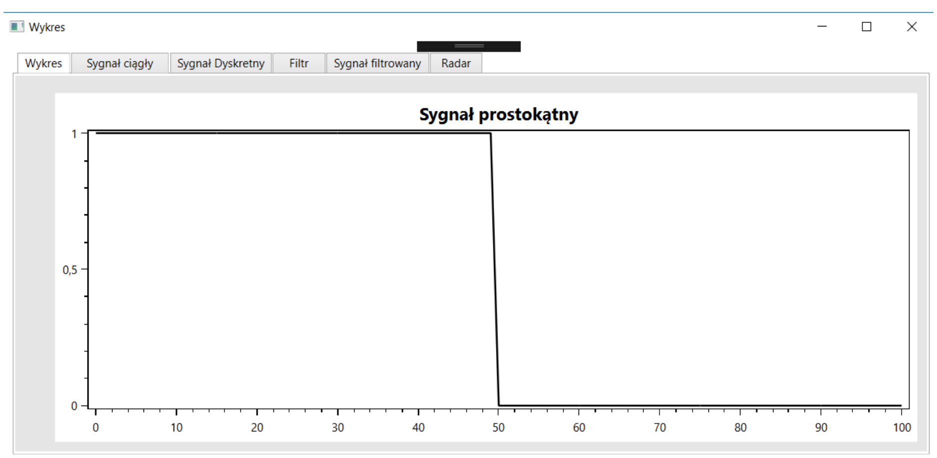
Czas trwania (t1): 100 s

Częstotliwość próbkowania (d): 1 Hz

Okres podstawowy : 100 s

Współczynnik wypełnienia: 0,5

Wykres sygnału przedstawia poniższy obrazek:



Parametry filtracji:

K: 10

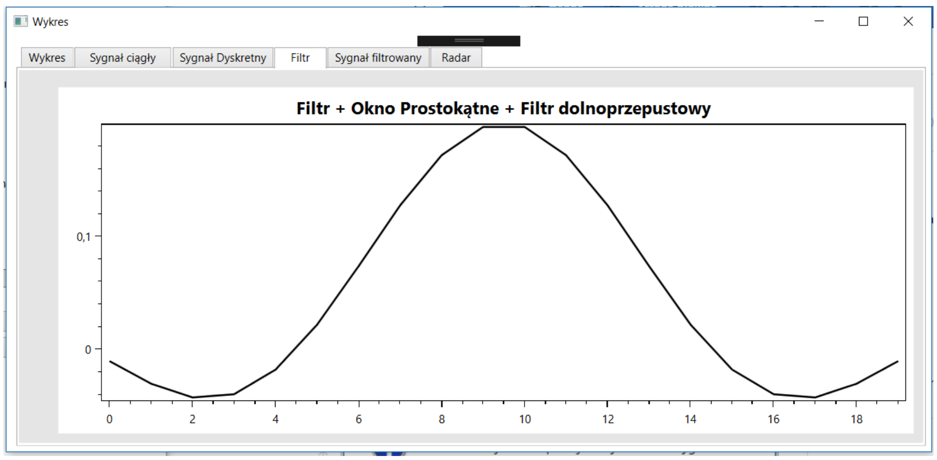
M: 100

3.2.3 Rezultat

Rezultaty przedstawiają zamieszczone poniżej zrzuty ekranu z programu.

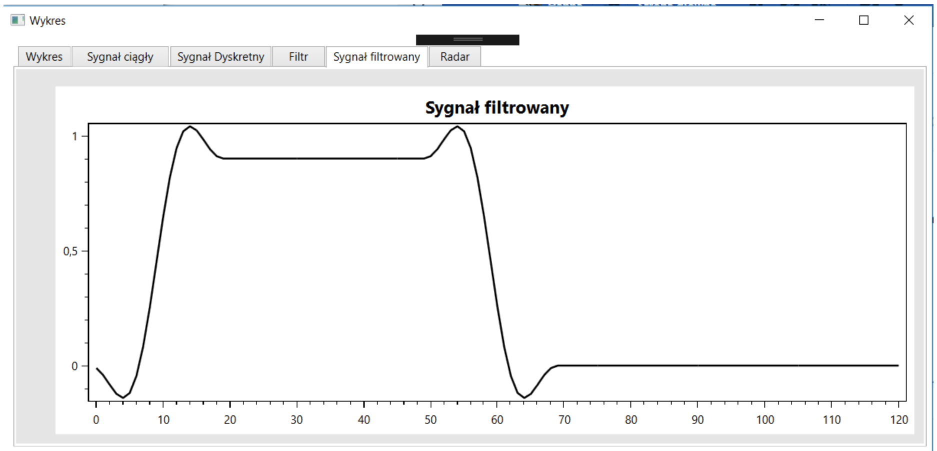
Okno prostokątne

1:

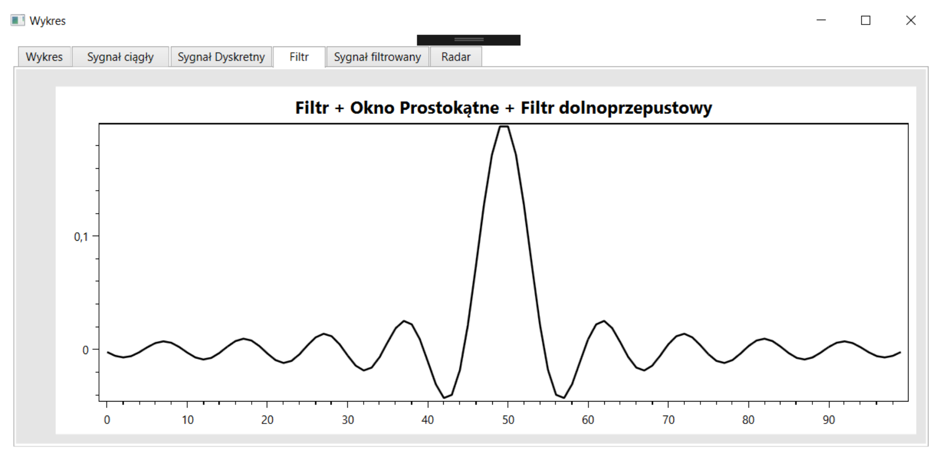


Rysunek 6: Filtracja dolnoprzepustowa z oknem prostokątnym

Rys. **??** przedstawia histogram sygnału z opisanymi powyżej parametrami. 2:

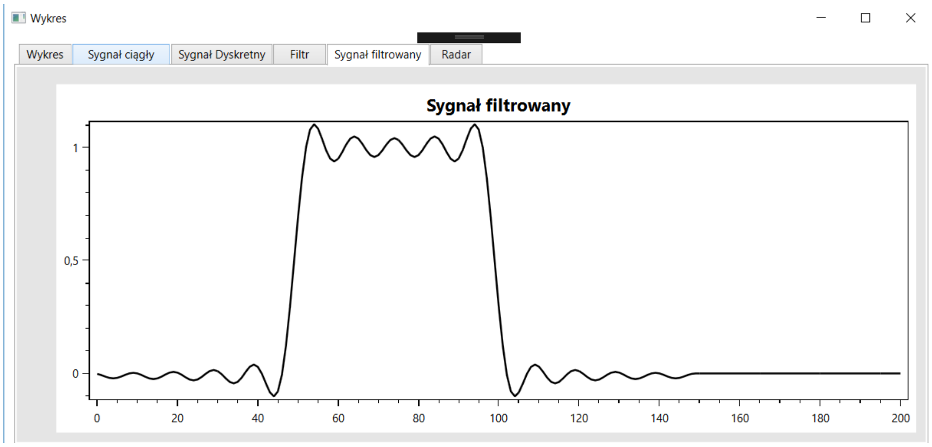


Rysunek 7: Sygnał filtracja dolnoprzepustowej z oknem prostokątnym



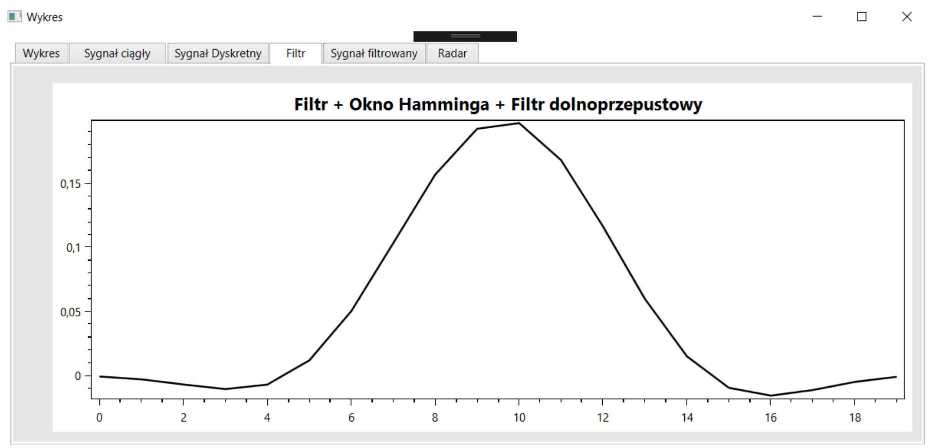
Rysunek 8: Filtracja dolnoprzepustowa z oknem prostokątnym

Rys. **??** przedstawia histogram sygnału z opisanymi powyżej parametrami.



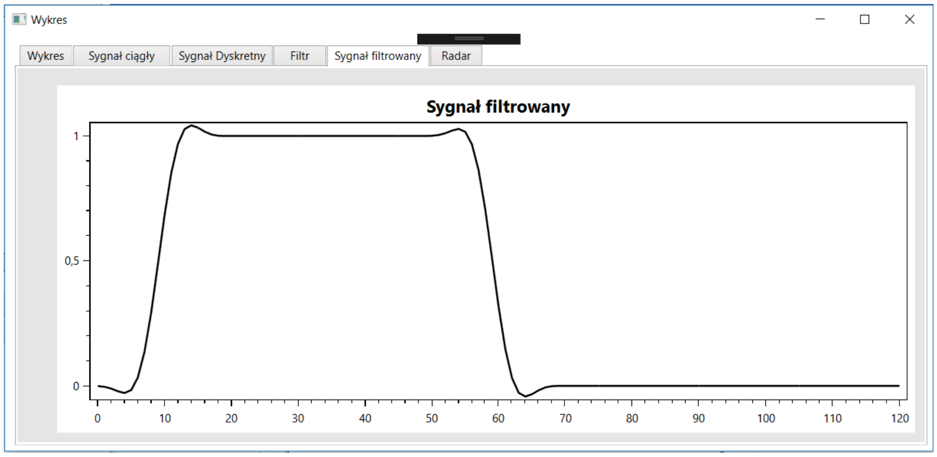
Rysunek 9: Sygnał filtracja dolnoprzepustowej z oknem prostokątnym

Okno Hamminga



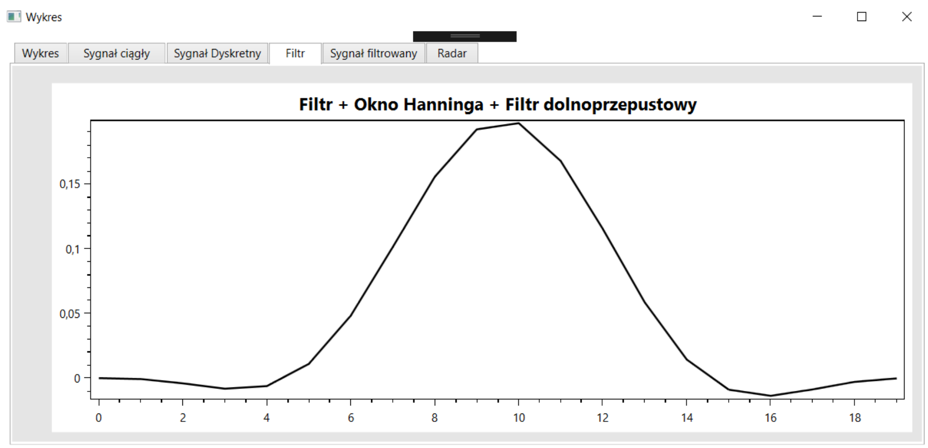
Rysunek 10: Filtracja dolnoprzepustowa z oknem Hamminga

Rys. ?? przedstawia histogram sygnału z opisanymi powyżej parametrami.



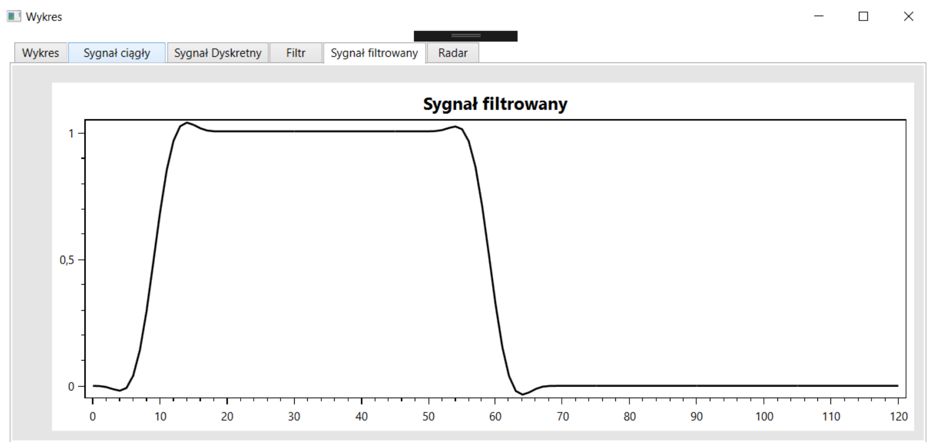
Rysunek 11: Sygnał filtracja dolnoprzepustowej z oknem Hamminga

Okno Hanninga



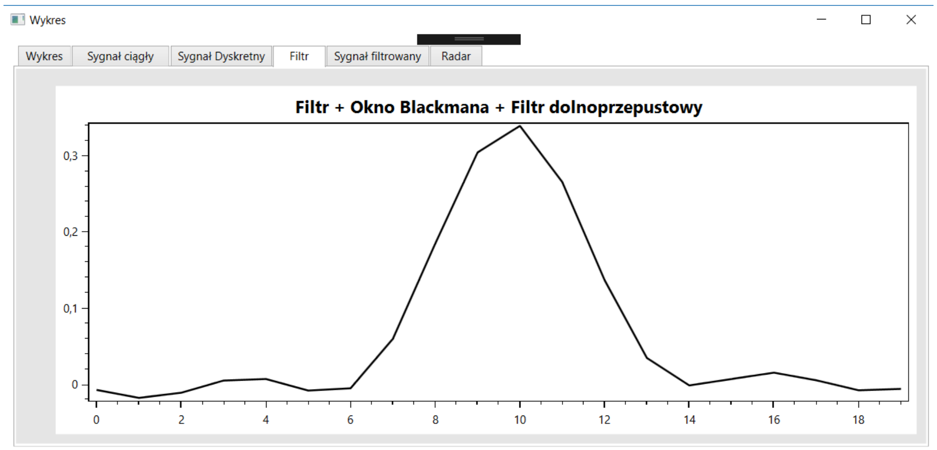
Rysunek 12: Filtracja dolnoprzepustowa z oknem Hanninga

Rys. **??** przedstawia histogram sygnału z opisanymi powyżej parametrami.



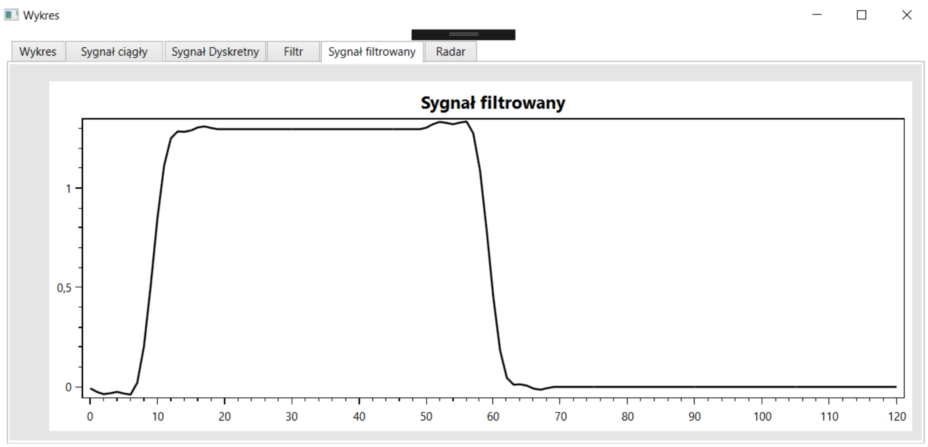
Rysunek 13: Sygnał filtracji dolnoprzepustowej z oknem Hanninga

Okno Blackmana



Rysunek 14: Filtracja dolnoprzepustowa z oknem Blackmana

Rys. ?? przedstawia histogram sygnału z opisanymi powyżej parametrami.



Rysunek 15: Sygnał filtracji dolnoprzepustowej z oknem Blackmana

3.3 Eksperyment nr 3

Eksperyment nr 3 - Filtracja z filtrem srodkowoprzepustowym

3.3.1 Założenia

Z wykorzystaniem twierdzenia o modulacji przekształcamy odpowiedź impulsową filtru dolnoprzepustowego do odpowiedzi filtru srodkowoprzepustowego: współczynniki h(n) są mnożone przez sygnał sinusoidalny o częstotliwosci f = fp/4

Wtedy fd = fp/4-f0 i fg = fp/4 + f0.

3.3.2 Przebieg

Do generacji synału prostokątnego zostały podane parametry:

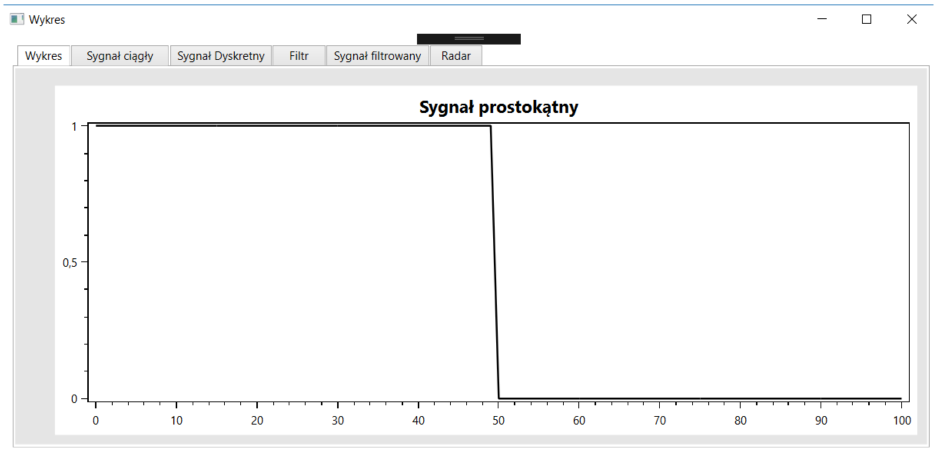
Amplituda (A): 1

Czas trwania (t1): 100 s

Częstotliwość próbkowania (d): 1 Hz

Okres podstawowy : 100 s

Współczynnik wypełnienia: 0,5



Wykres sygnału przedstawia poniższy obrazek:
Parametry filtracji:

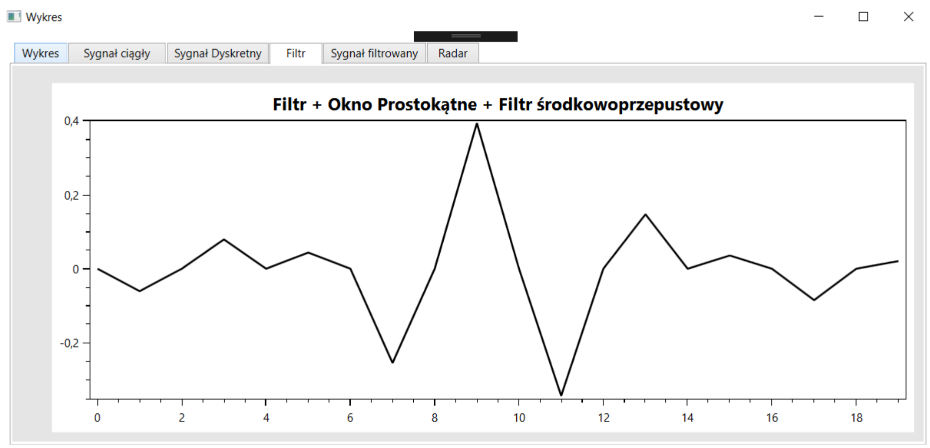
K:] 10

M: 20 s

3.3.3 Rezultat

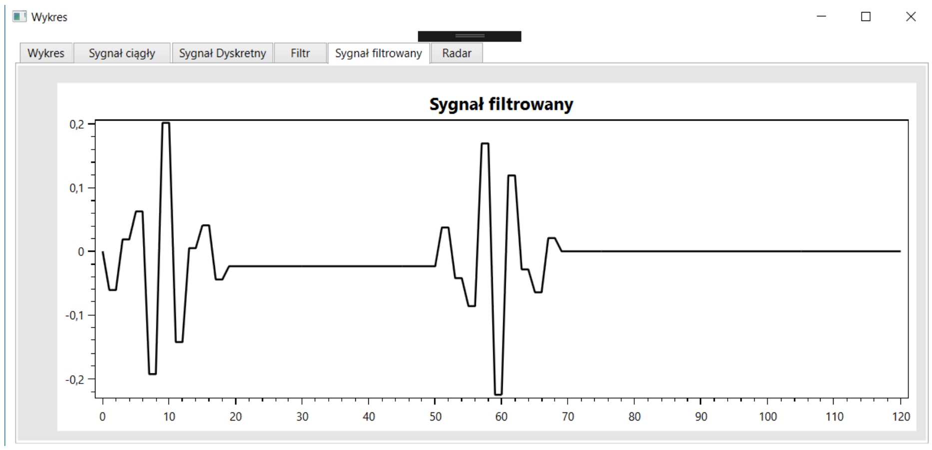
Rezultaty przedstawiają zamieszczone poniżej zrzuty ekranu z programu.

Okno prostokątne



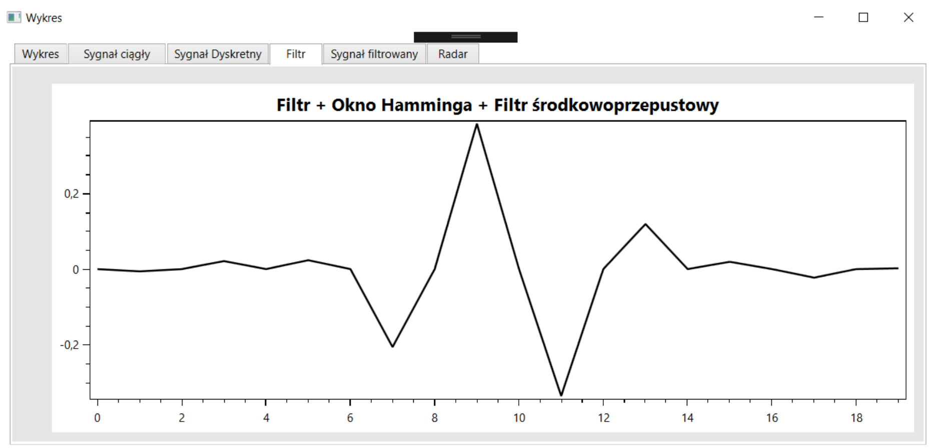
Rysunek 16: Filtracja srodkowoprzepustowa z oknem prostokątnym

Rys. **??** przedstawia histogram sygnału z opisanymi powyżej parametrami.



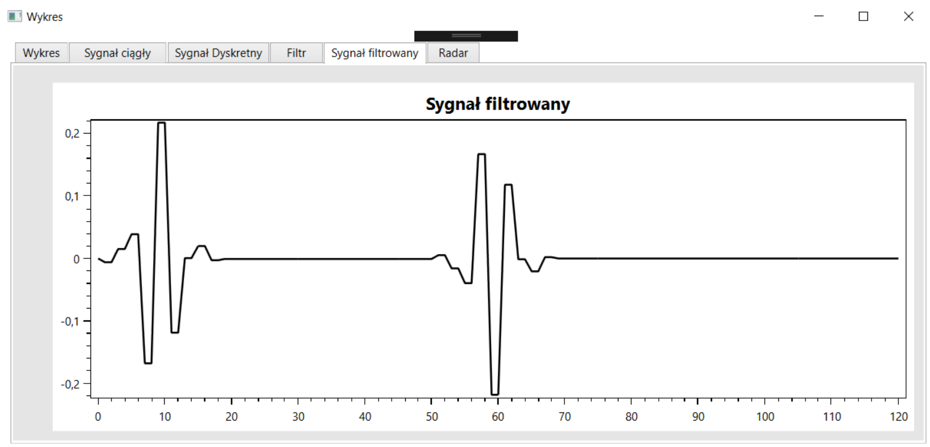
Rysunek 17: Sygnał filtracji srodkowoprzepustowej z oknem prostokątnym

Okno Hamminga



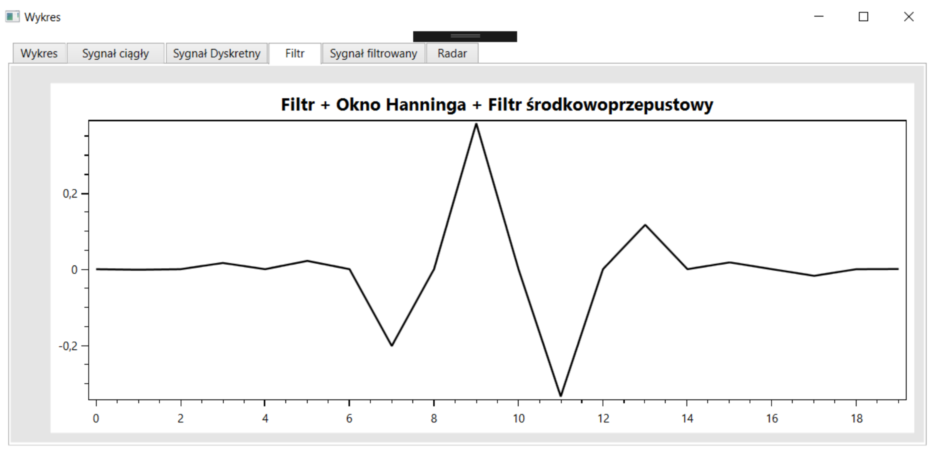
Rysunek 18: Filtracja srodkowoprzepustowa z oknem Hamminga

Rys. ?? przedstawia histogram sygnału z opisanymi powyżej parametrami.



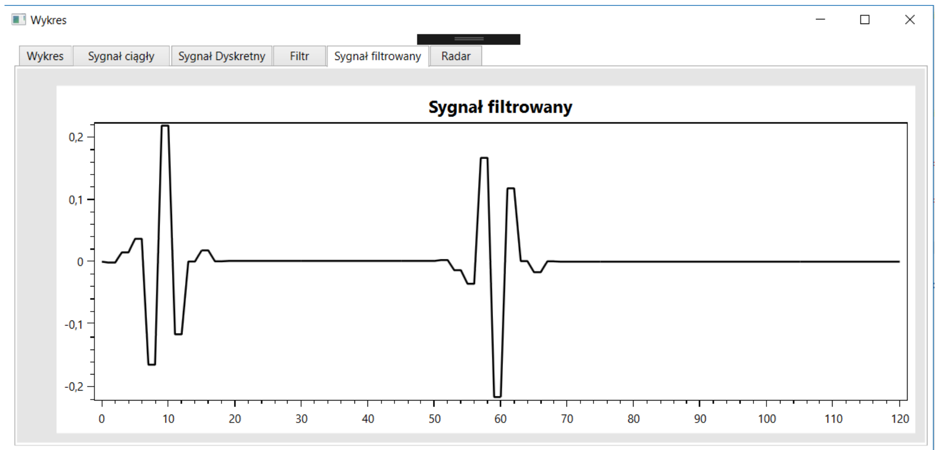
Rysunek 19: Sygnał filtracji srodkowoprzepustowej z oknem Hamminga

Okno Hanninga



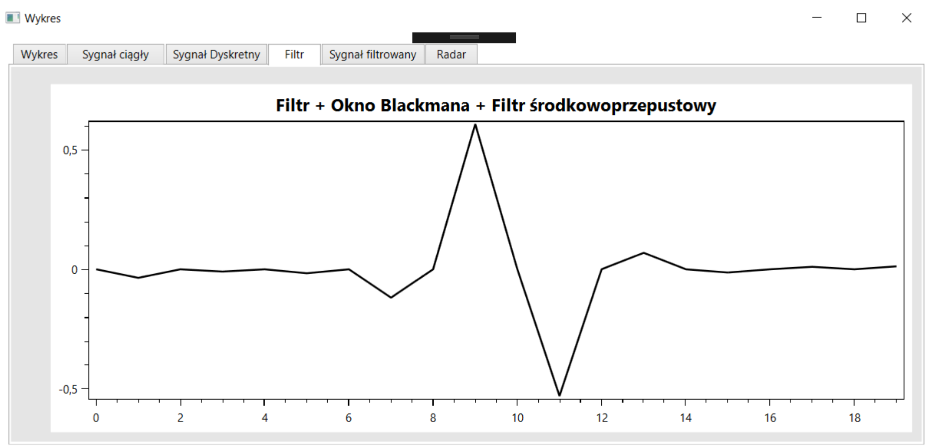
Rysunek 20: Filtracja srodkowoprzepustowa z oknem prostokątnym

Rys. **??** przedstawia histogram sygnału z opisanymi powyżej parametrami.



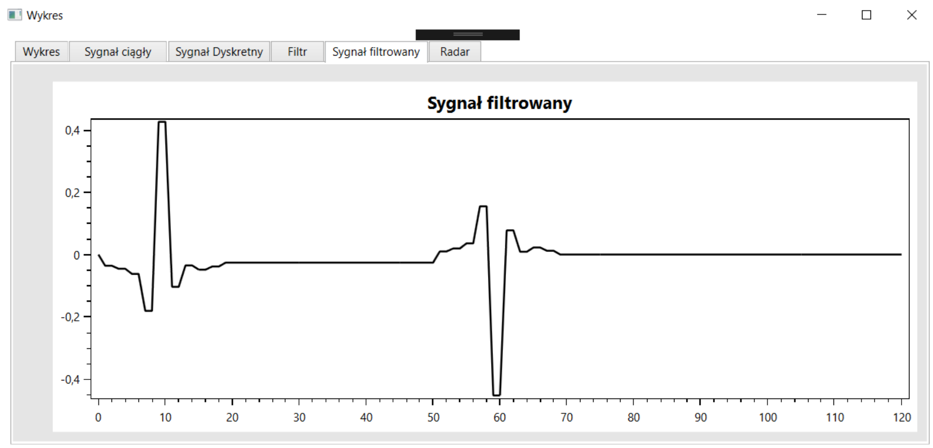
Rysunek 21: Sygnał filtracji srodkowoprzepustowej z oknem Hamminga

Okno Blackmana



Rysunek 22: Filtracja srodkowoprzepustowa z oknem prostokątnym

Rys. ?? przedstawia histogram sygnału z opisanymi powyżej parametrami.



Rysunek 23: Sygnał filtracji srodkowoprzepustowej z oknem Hamminga

3.4 Eksperyment nr 4

Eksperyment nr 4 - Filtracja z filtrem górnoprzepustowym

3.4.1 Założenia

Z wykorzystaniem twierdzenia o modulacji przekształcamy odpowiedź impulsową filtru dolnoprzepustowego do odpowiedzi filtru górnoprzepustowego: współczynniki h(n) są mnożone przez sygnał sinusoidalny o częstotliwosci f = fp/2. Wtedy f0 = fp/2-f0 (f0 - nowa częstotliwość odcięcia).

3.4.2 Przebieg

Do generacji synału prostokątnego zostały podane parametry:

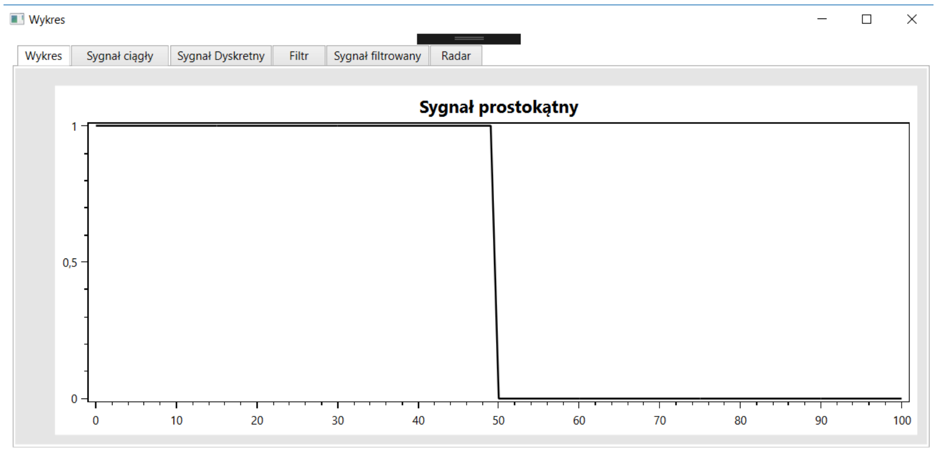
Amplituda (A): 1

Czas trwania (t1): 100 s

Częstotliwość próbkowania (d): 1 Hz

Okres podstawowy : 100 s

Współczynnik wypełnienia: 0,5



Wykres sygnału przedstawia poniższy obrazek:
Parametry filtracji:

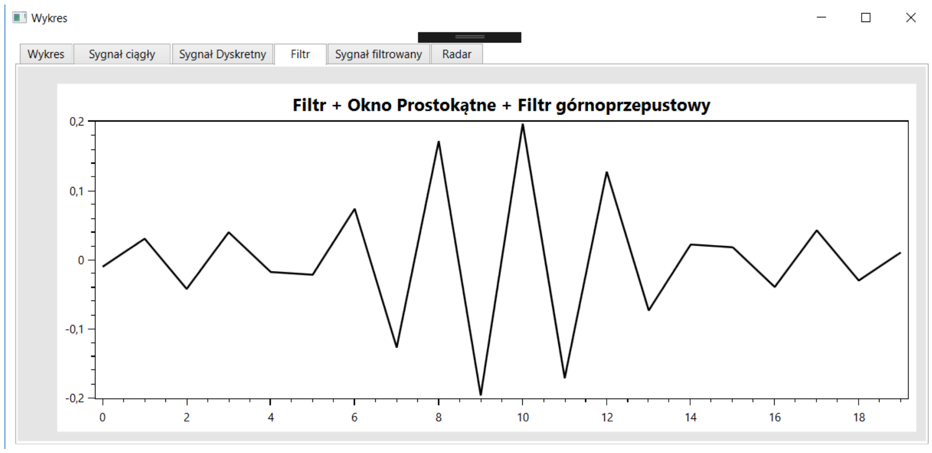
K:] 10

M: 20 s

3.4.3 Rezultat

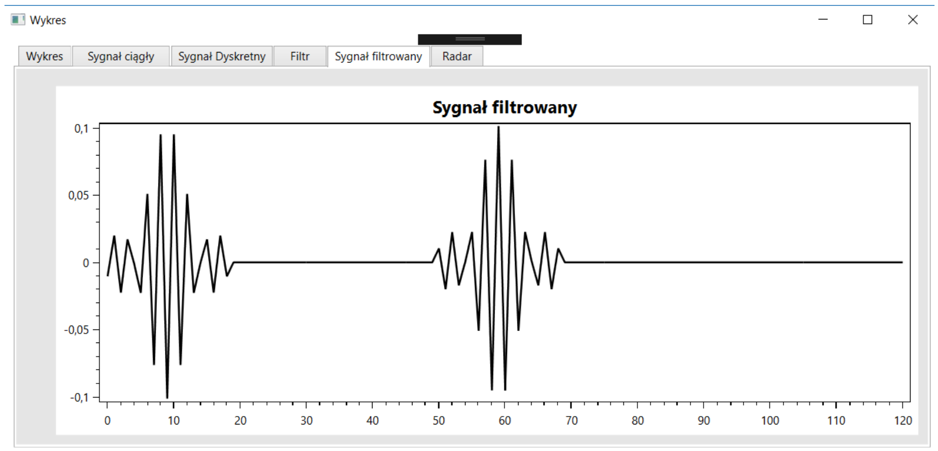
Rezultaty przedstawiają zamieszczone poniżej zrzuty ekranu z programu.

Okno prostokątne



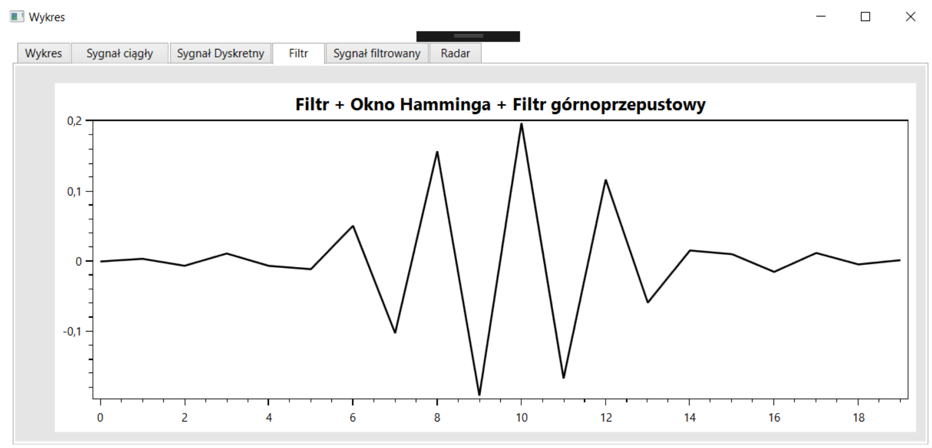
Rysunek 24: Filtracja górnoprzepustowa z oknem prostokątnym

Rys. ?? przedstawia histogram sygnału z opisanymi powyżej parametrami.



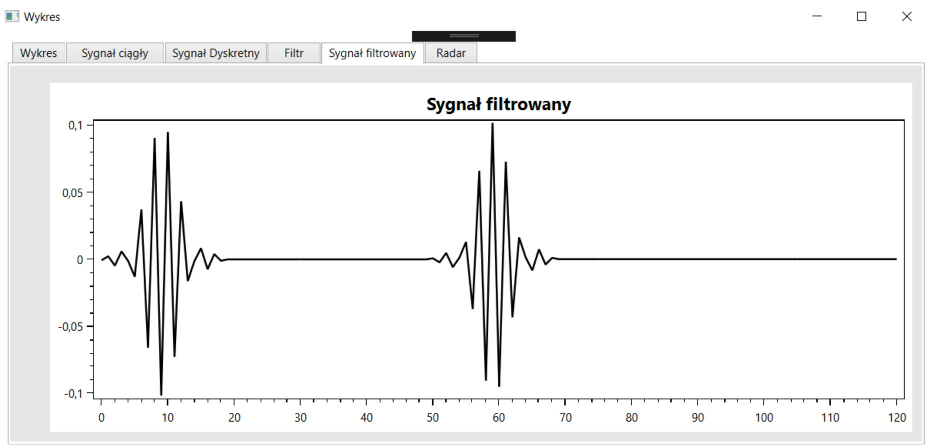
Rysunek 25: Sygnał filtracji górnoprzepustowej z oknem prostokątnym

Okno Hamminga



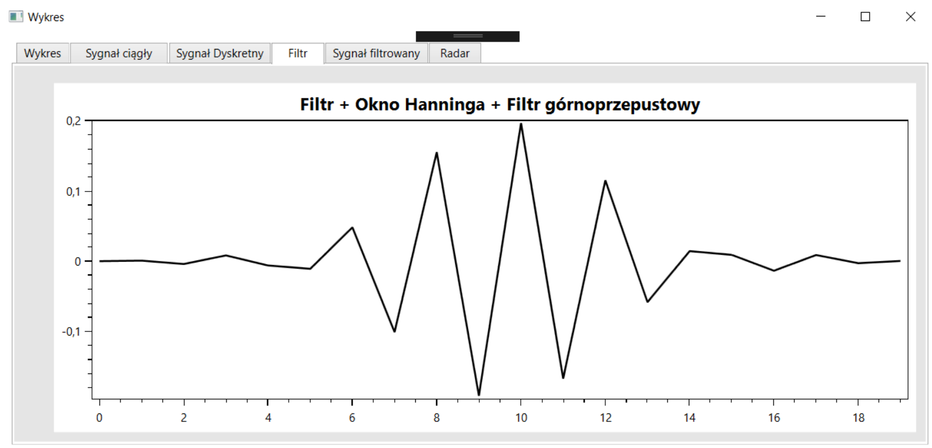
Rysunek 26: Filtracja górnoprzepustowa z oknem Hamminga

Rys. **??** przedstawia histogram sygnału z opisanymi powyżej parametrami.



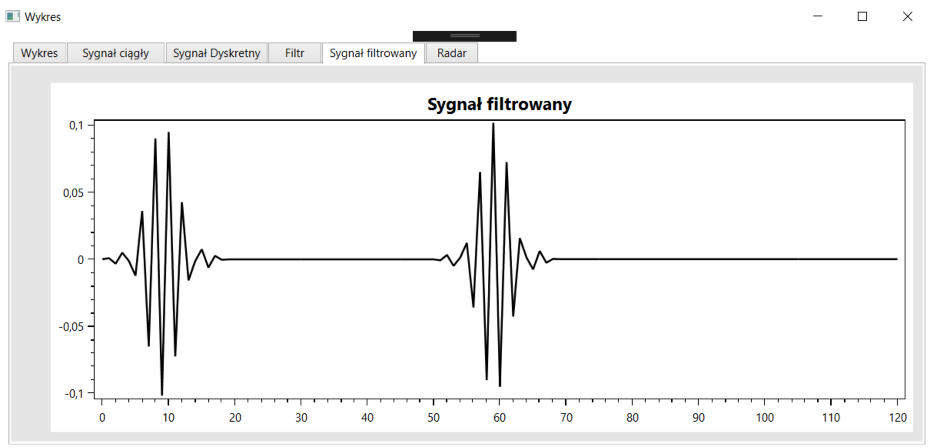
Rysunek 27: Sygnał filtracji górnoprzepustowej z oknem Hamminga

Okno Hanninga



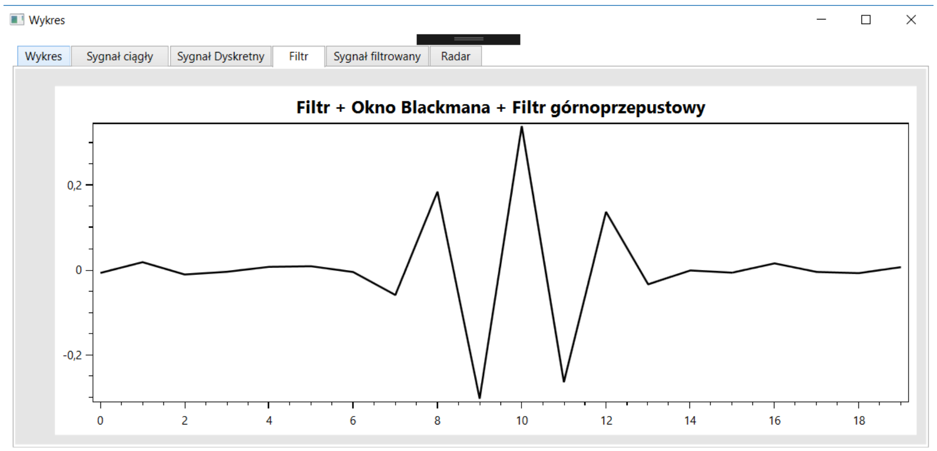
Rysunek 28: Filtracja górnoprzepustowa z oknem Hanninga

Rys. ?? przedstawia histogram sygnału z opisanymi powyżej parametrami.



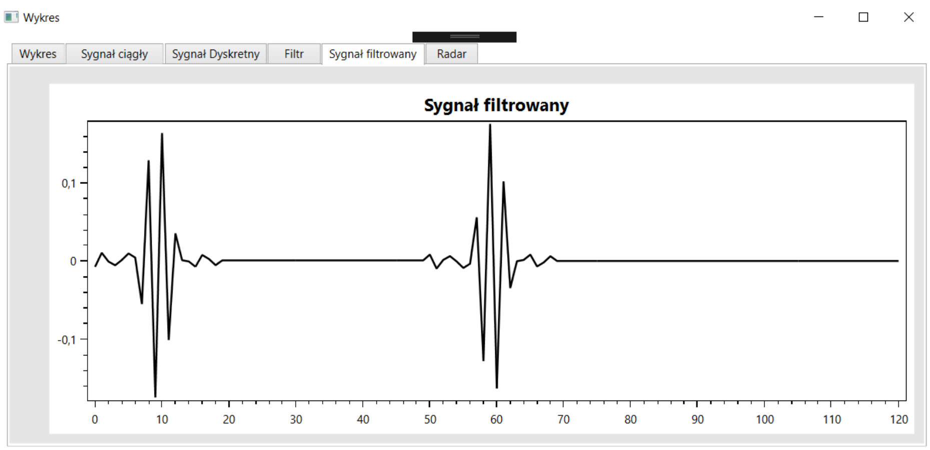
Rysunek 29: Sygnał filtracji górnoprzepustowej z oknem Hanninga

Okno Blackmana



Rysunek 30: Filtracja górnoprzepustowa z oknem Blackmana

Rys. ?? przedstawia histogram sygnału z opisanymi powyżej parametrami.



Rysunek 31: Sygnał filtracji górnoprzepustowa z oknem Blackmana

3.5 Eksperyment nr 5

Eksperyment nr 5 - Korelacja

3.5.1 Założenia

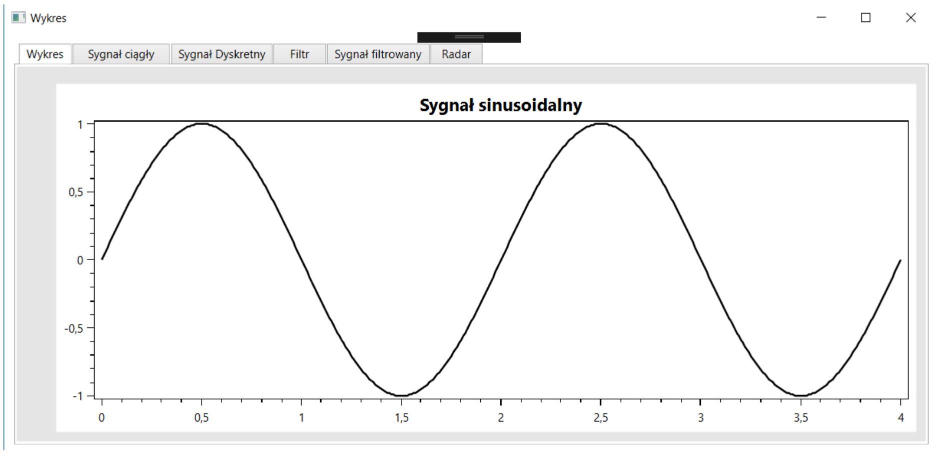
Eksperyment jest przeprowadzany na dwa sposoby: implementację bezporednią i implementację z użyciem splotu.
W pierwszysm przypadku stosujemy do operacji korelacji wzór bezposredni 2.1. W drugim do obliczenia korelacji jest wykorzystywany wzór na splot 2.1.

3.5.2 Przebieg

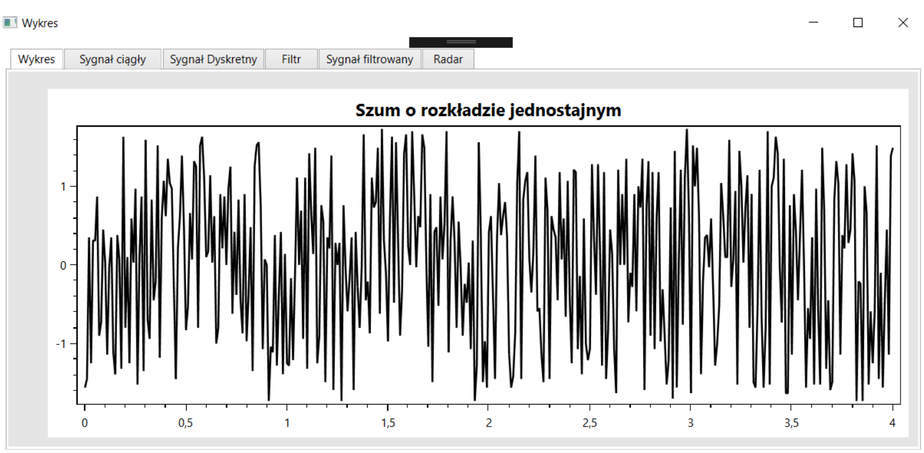
Do generacji synału zostały podane parametry:

Sygnał 1: [Amplituda (A):] 1
[Czas trwania (t1):] 5 s
[Częstotliwość próbkowania (d):] 10 Hz
[Okres podstawowy :] 2 s

Sygnał 2: [Amplituda (A):] 1
[Czas trwania (t1):] 5 s
[Częstotliwość próbkowania (d):] 10 Hz



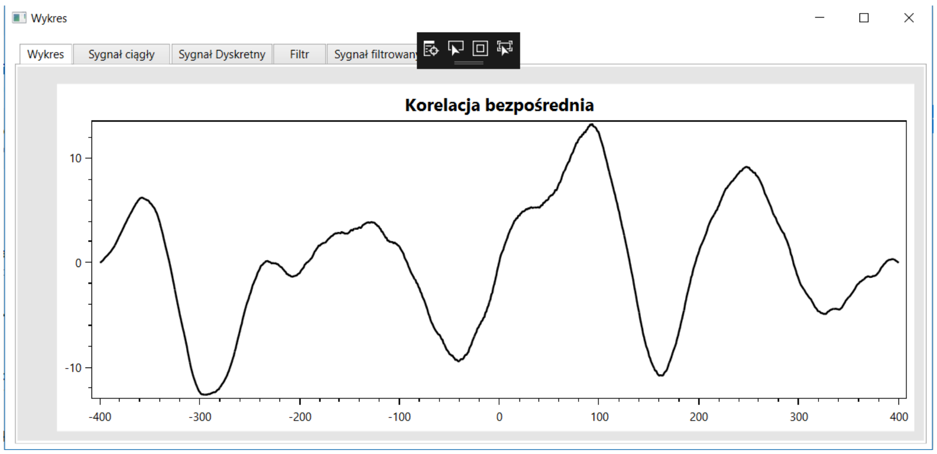
Rysunek 32: Wykres sygnału sinusoidalnego



Rysunek 33: Wykres szumu gausowskiego

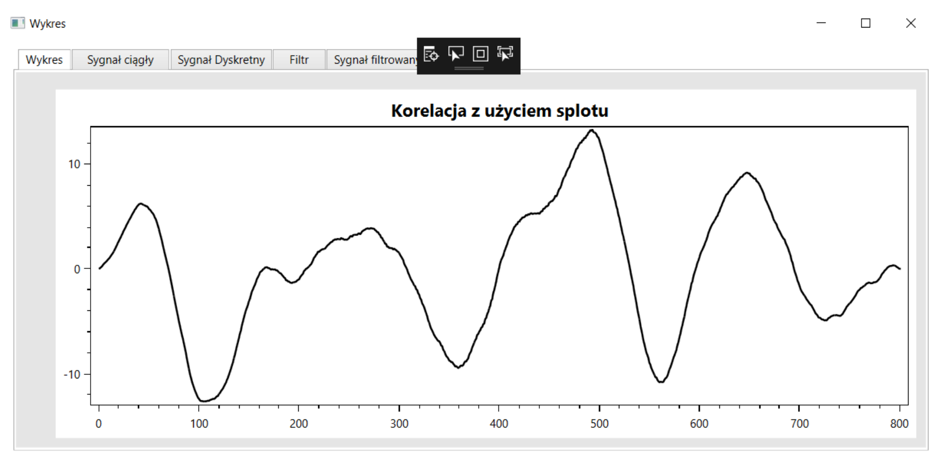
3.5.3 Rezultat

Korelacja bezposrednia:
Rezultat przedstawia zamieszczony poniżej zrzut ekranu z programu. Został zastosowany wzór2.1.



Rysunek 34: Wykres korelacji bezporedniej

Korelacja z wykorzystaniem splotu:
Rezultat przedstawia zamieszczony poniżej zrzut ekranu z programu. Został zastosowany wzór2.1.



Rysunek 35: Wykres korelacji z wykorzystaniem splotu

3.6 Eksperyment nr 6

Eksperyment nr 6 - Radar

3.6.1 Założenia

Analiza korelacyjna (porównywanie sygnałów) jest stosowana do pomiaru odległosci sygnałów przesuniętych w czasie od celu. Stosuje się do tego radar. Wysyła on sygnał sondujący, który w okrelonych przypadkach (gdy sygnał jest odpowiednio zmodulowany) może być sygnałem okresowym. Sygnał po odbiciu się od celu wraca do nadajnika.
Pomiar odległosci dokonuje się na bazie pomiaru opóźnienia przy użyciu analizy korelacyjnej sygnału wysłanego i powracającego. Gdy częstotliwosć próbkowania obu sygnałów jest jednakowa i odpowiednio duża, można w wyznaczonych odstępach dokonywać analizy korelacyjnej, która jest spróbkowaana i zbuforowana, dwóch sygnałów - sondującego i zwrotnego. Osiąga się to dzięki obliczeniu wzajemnej korelacji pary odpowaiadających sobie sygnałów, w celu uaktualnienia odczytu odległosci od celu.

Korelacja przyjmuje największą wartosć, gdy nakładane na siebie sygnały pokrywają się w jak największym stopniu. Wzór 2.1 umożliwia nałożenie obydwu sygnałów dla każdego odstępu czasowego próbkowania, z odpowiednim przesunięciem sygnałów sondującego i zwrotnego względem siebie. Także pozwala nam na obliczenie pojedyńczej wartosci korelacji dla każdego z odstępów. Możemy znaleźć maksimum funkcji korelacji. 2.1.

3.6.2 Przebieg

Została zaimplementowana symulacja działania korelacyjnego czujnika odległosci.

Do generacji synału prostokątnego zostały podane parametry:

Amplituda (A): 1

Czas trwania (t1): 100 s

Częstotliwość próbkowania (d): 1 Hz

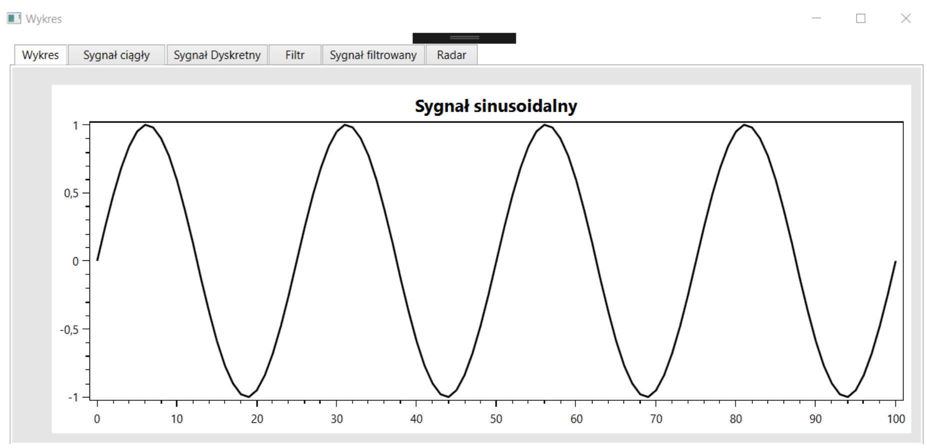
Okres podstawowy : 25 s

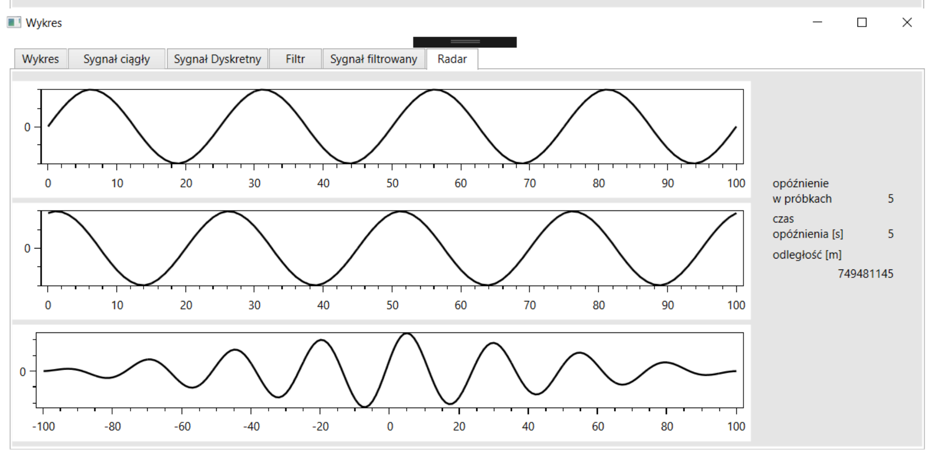
Wykres sygnału przedstawia poniższy obrazek:

3.6.3 Rezultat

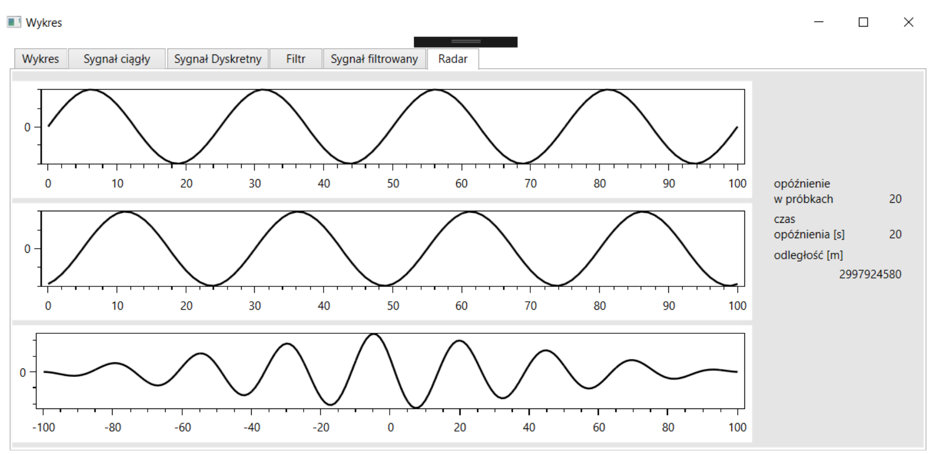
Opóźnienie = 5:
Rezultat przedstawia zamieszczony poniżej zrzut ekranu z programu. Wartości liczbowe oraz wykres funkcji amplitudy od czasu przedstawia 35.

Opóźnienie = 20:
Rezultat przedstawia zamieszczony poniżej zrzut ekranu z programu. Wartości liczbowe oraz wykres funkcji amplitudy od czasu przedstawia 35.





Rysunek 36: Radar sygnaűłu sinusoidalnego z opóźnieniem 5



Rysunek 37: Radar sygnału sinusoidalnego z opóźnieniem 20

4 Wnioski

4.1 Splot

W wyniku operacji splotu sygnały zostały nałożone na siebie i w wyniku zastosowania odpowiednich wzorów sygnał wyjsciowy ma cechy obu sygnałów.

4.2 Filtracja

Przeprowadzone eksperymenty pokazują, że istnieją bardzo duże różnice między zastosowanymi rodzajami filtrów i okien. Filtr dolnoprzepustowy w połączeniu z oknem Hamminga przyjmuje bardzo zbliżoną postać do tegosamego filtru z oknem Hanninga. Okno prostokątnezapewnia podobne filtrowanie do opisanych zestawów. Na drugim przykładzie filtru dolnoprzepustowego i okna prostokątnego widać jak zmienia się M. Filtr dolnoprzepustowy z oknem Blackmana, który przyjmuje postać o najbardziej nieregularnym kształcie daje najlepsze wyniki - sygnał filtrowany jest najbardziej zbliżony do sygnału wejsciowego. Większe zaszzumienie daje okno prostokątne.
Sygnał przefiltrowany przez filtr srodkowoprzepustowy dużo mniej przypomina sygnał wejsciowy niż sygnał wychodzący z dolnoprzepustowego. Różnice między zastosowaniem okien są analogiczne, co w przypadku filtru dolnoprzepustowego.
Sygnał przefiltrowany przez filtr górnoprzepustowy jeszcze mniej przypomina sygnał wejsciowy niż sygnał wychodzący z dolnoprzepustowego. Różnice między zastosowaniem okien są analogiczne, co w przypadku dwóch poprzednich filtrów.

4.3 Korelacja

Z eksperymentów wynika, że korelacja bezporednia i z wykorzystaniem splotu dają bardzo zbliżone efekty.

4.4 Radar

Przeprowadzone eksperymenty dowodzą, że Interpolacja pierwszego rzędu jest bardziej dokładna niż ekstrapolacja rzędu zerowego. Dzieje się tak ponieważ między próbkami sygnał się zmienia zatem interpolowanie między kolejnymi próbkami daje lepsze odwzorowanie, niż przepisywanie tej samej wartości do czasu napotkania następnej próbki. Aby uzyskać wyniki ekstrapolacji zbliżone do wyników ekstrapolacji należy przyjąć bardzo dużą częstotliwość próbkowania. Są znaczące różnice w błędach odtworzenia sygnałów przez interpolację i ekstrapolację. Interpolacja jest dużo bardziej dokładna - błąd sredniokwadratowy o ok 0,2, stosunek sygnał-szum i szczytowy stosunek sygnał-szum różnią się nawet o 10 jednostek. Co ciekawe maksymalna różnica między sygnałem analogowym, a odtwarzanym sygnałem jest minimalnie większa dla interpolacji. W przypadku kwantyzacji dużo lepiej sprawdza się kwantyzacja z zaokrągleniem. W przypadku kwantyzacji z obcięciem jeżeli próbkowaniem nie trafimy w szczyt amplitudy to maksymalna jej wartość po kwantowaniu będzie mniejsza niż ta w oryginale. Przy kwantyzacji z zaokrągleniem unikamy takiej sytuacji. Podczas próbkowania trzeba bardzo uważać przy podawaniu częstotliwości. Jeśli podamy ją zbyt mała sygnał nie zostanie odtworzony, a czasem wręcz możemy uzyskać inny sygnał.

Literatura

[1] FTIMS Politechnika Łódzka. *Przetwarzanie sygnałów, pojęcia podstawowe Plik*, Wikamp.

[2] FTIMS Politechnika Łódzka. *Zadanie 2 Generacja sygnału i szumu*, Wikamp.