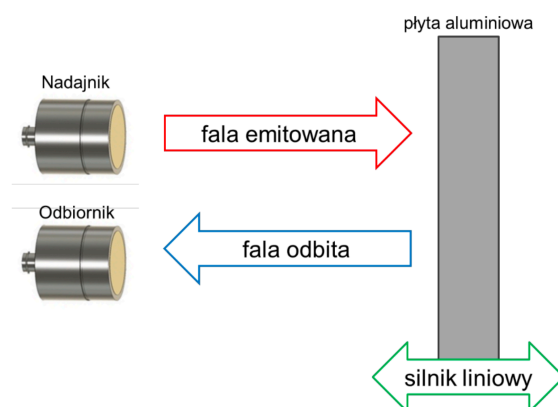


	<p>Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki</p> <p>Katedra Robotyki i Mechatroniki</p>	
<p>Identyfikacja Układów Mechatronicznych</p> <p>Sprawozdanie</p>		
<p>Laboratorium 11: Pomiar odległości na podstawie fazy chwilowej</p>		
<p>Imię i Nazwisko: Jakub Nowak, Maciej Mazurkiewicz</p>		
<p>Nr grupy: 2</p>		

Zadanie 1 – Opis eksperymentu

Zadanie 1.1 – Przedstawienie tematu laboratoriów

Eksperyment polegał na emisji a następnie pomiarze odbitej od płyty fali dźwiękowej. Poniżej przedstawiono schemat eksperymentu:



Rysunek 1.1.1 - Schemat eksperymentu [Źródło: Instrukcja Lab11. Dr inż. J. Spytek]

Mierzono sygnał nadawany oraz odbity, aby następnie móc wyznaczać przesunięcia fazowe na dwa sposoby. Zmierzone sygnały będą posiadać przesunięcie w fazie, które pozwoli oceniać względną odległość pomiędzy zestawem nadajnika i odbiornika, a płytą aluminiową.

Zadanie 2 – Pomiar przesunięcia fazowego

W tym zadaniu praca odbywała się na pomiarach rejestrowanych dla płyty znajdującej się w pewnej nieznanej odległości od nadajnika i odbiornika. Następnie wykonano serię szesnastu pomiarów, zmieniając odległość płyty od nadajnika i odbiornika za każdym razem o **0.2 mm**. Mierzono sygnał odbity zapisywany w wektorach o oznaczeniu **A** i sygnał nadany zapisywany w wektorach **B**.

Zadanie 2.1 – Przesunięcie fazowe mierzone za pomocą fazy chwilowej

Za pomocą sygnału analitycznego otrzymywanego poprzez transformatę Hilberta, obliczano przesunięcia fazowe pomiędzy:

- Sygnałem **A** mierzonym w kolejnych punktach, a sygnałem **A** mierzonym w punkcie **0**,
- Sygnałem **A**, a sygnałem **B** mierzonych w każdym punkcie.

Skorzystano w tym celu ze wzoru znanego z poprzednich laboratoriów:

$$\Delta\phi_i = -\arg\left(\frac{\sum y_{ai}(t)\overline{y_{ar}(t)}}{|y_{ar}(t)|^2}\right)$$

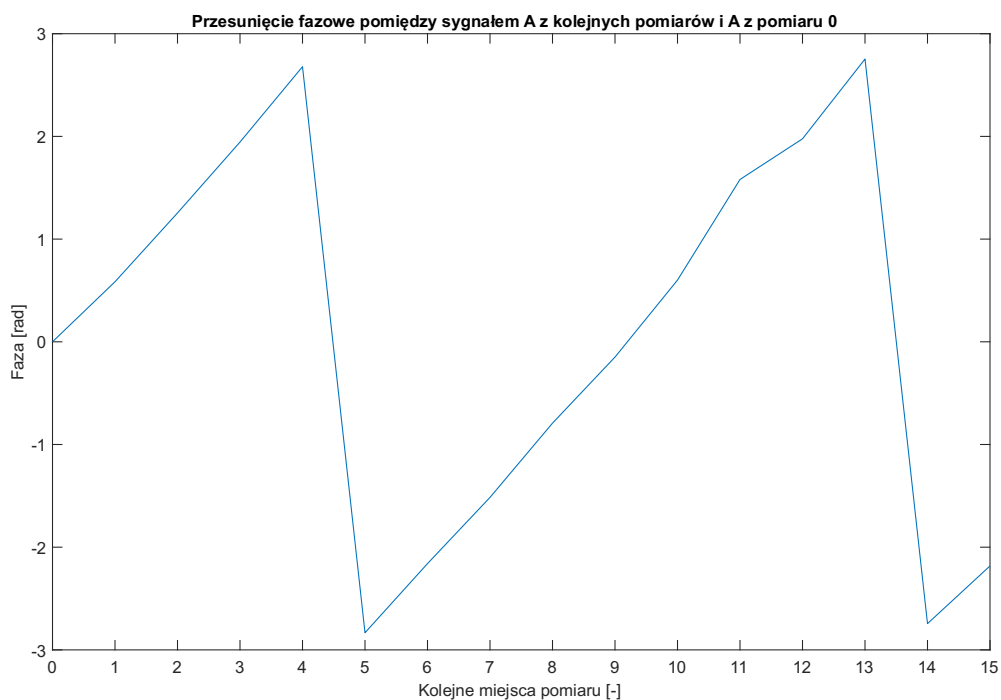
gdzie $y_{ai}(t)$ jest sygnałem analitycznym z sygnału odbitego w punkcie i , a sygnałem analitycznym z sygnału referencyjnego $y_{ar}(t)$ (różnego w zależności od wybranego podejścia).

Implementacja wzoru w kodzie jest następująca:

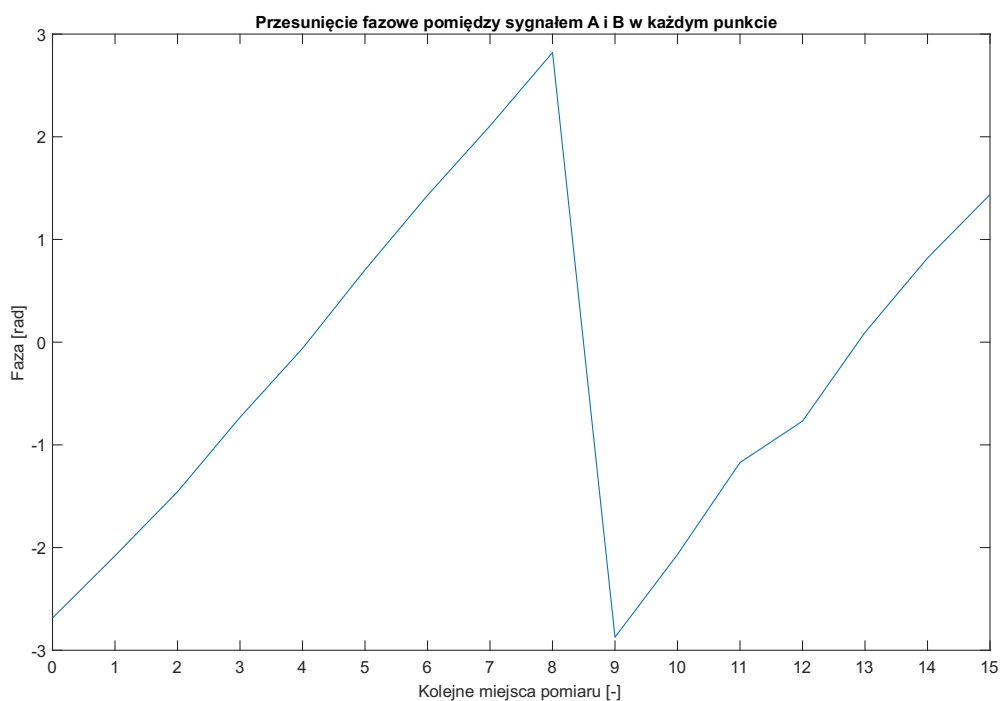
```
load("0.mat")
AH0 = hilbert(A);
for d=0:15
    name = sprintf("%d.mat",d);
    load(name)
    fs = 1/Tinterval;
    t = 0:Tinterval:(Length-1)/fs;

    AH = hilbert(A);
    Pz = 0;
    for i=1:Length
        Pz = Pz + (AH(i) * conj(AH0(i)))/((abs(AH0(i)))^2);
    end
    Pz = -(angle(Pz));
    Mz(d+1) = Pz;
end
```

Wyniki operacji przedstawiono na **Rysunkach 2.1.1** – przesunięcia fazowe pomiędzy sygnałami mierzonymi A, a sygnałem mierzonym podczas pierwszego pomiaru, czyli w punkcie 0 oraz na **Rysunku 2.1.2** – przesunięcia fazowe pomiędzy sygnałami mierzonymi A i nadawanymi B w każdym punkcie.



Rysunek 2.1.1 - Przesunięcie fazowe pomiędzy sygnałem A z kolejnych pomiarów i A z pomiaru 0



Rysunek 2.1.2 - Przesunięcie fazowe pomiędzy sygnałem A i B w każdym punkcie

W obu przypadkach widoczne jest, że wartość fazy powtarza się dla dwóch lub trzech miejsc pomiaru. Jest to spowodowane tym, że kąt fazowy obliczany za pomocą funkcji `angle()` posiada wartość w przedziale $[-\pi, \pi]$. Jeżeli wartości fazy wychodzą poza te limity, to występuje zawijanie fazy.

Zadanie 2.2 – Relatywne przemieszczenia pomiędzy płytą a przetwornikami

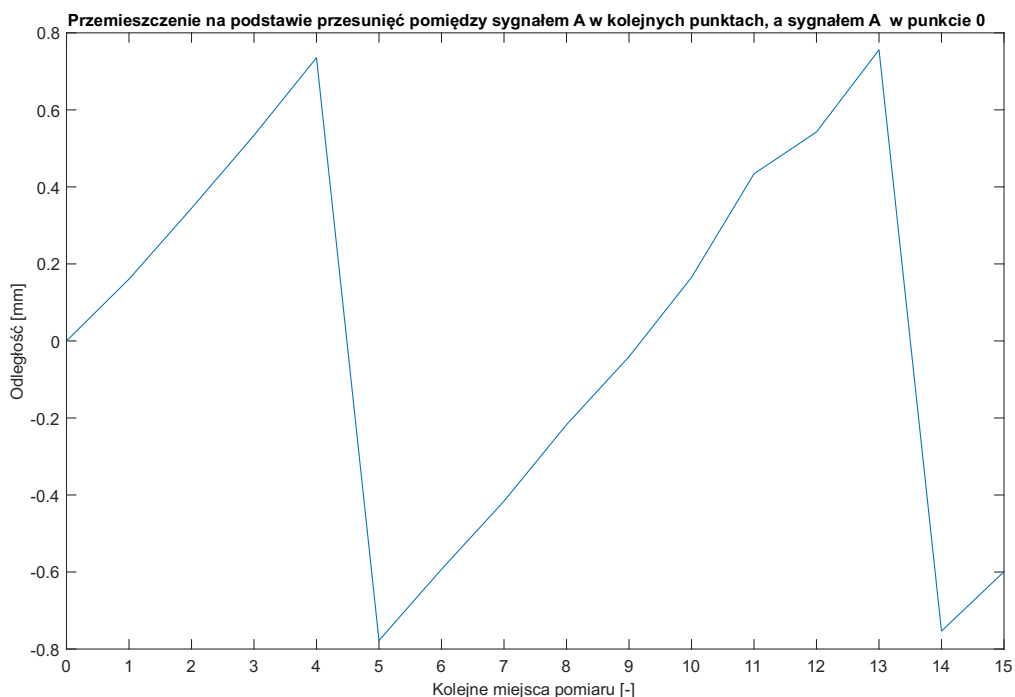
W tym zadaniu wykorzystano wyznaczone wyżej przesunięcia fazowe pomiędzy sygnałami, aby obliczyć relatywne przemieszczenia pomiędzy płytą, a przetwornikami. Relatywne przemieszczenia wynikają z faktu braku znajomości początkowej odległości pomiędzy płytą, a przetwornikami. Obliczone tutaj wartości będą więc jedynie **zmianą odległości pomiędzy pozycją bazową, a kolejnymi pomiarami**.

W celu wyznaczenia tych odległości skorzystano ze wzoru:

$$d = \frac{\Delta\phi\lambda}{2\pi 2}$$

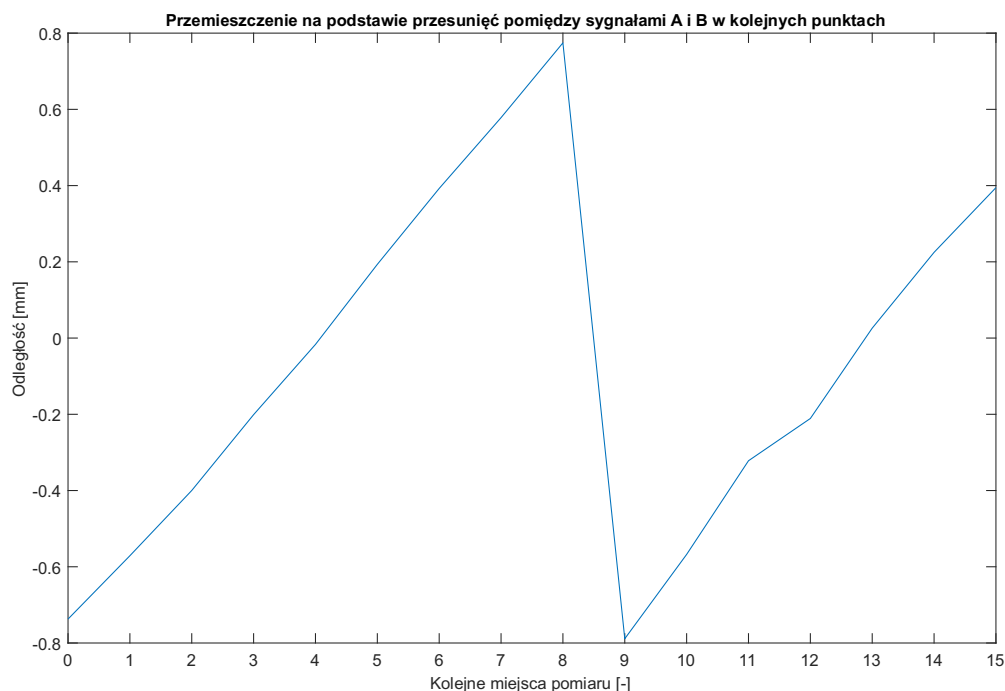
gdzie $\Delta\phi$ jest przesunięciem fazowym pomiędzy dwoma punktami, a λ oznacza długość fali, którą można obliczyć ze wzoru: $\lambda = \frac{c_p}{f_c}$. c_p to prędkość fali w ośrodku, czyli powietrzu (która została założona jako 346 m/s), a f_c to częstotliwość fali. Dzielenie przez 2 wynika z faktu przebycia szukanej odległości podwójnie przez falę dźwiękową.

Na **Rysunku 2.2.1** – poniżej, przedstawiono obliczone z powyższego wzoru przemieszczenia na podstawie przesunięć pomiędzy sygnałem mierzonym A w kolejnych punktach, a sygnałem mierzonym A w punkcie 0.



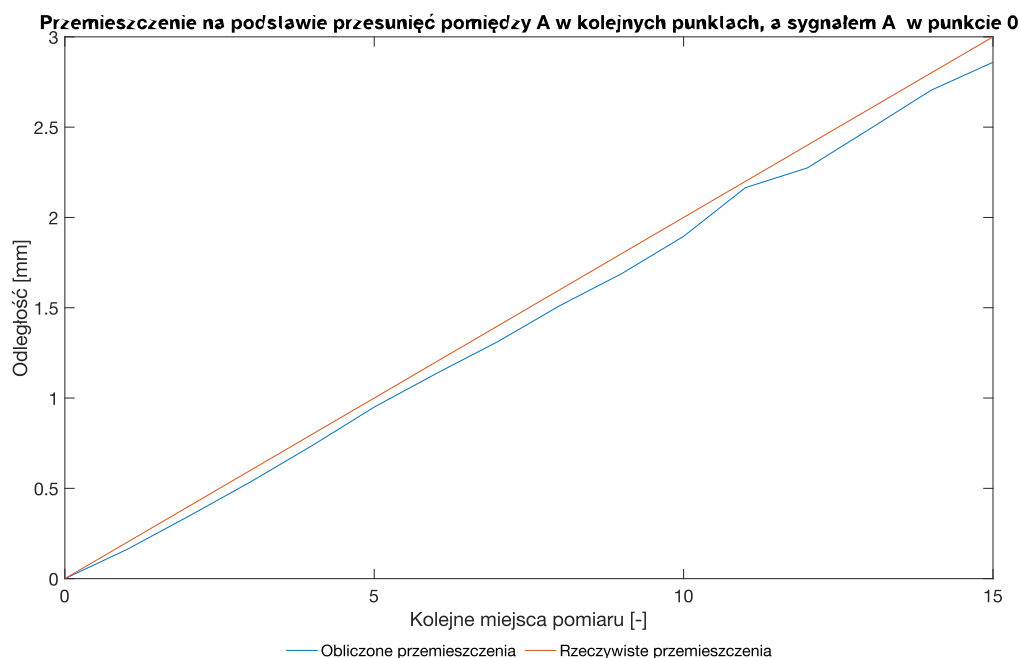
Rysunek 2.2.1 - Przemieszczenie na podstawie przesunięć fazowych pomiędzy sygnałem A w kolejnych punktach, a sygnałem A w punkcie 0

Na **Rysunku 2.2.2** – następna strona, przedstawiono obliczone ze wzoru przemieszczenia na podstawie przesunięć pomiędzy sygnałem mierzonym A, a sygnałem nadawanym B w kolejnych punktach.

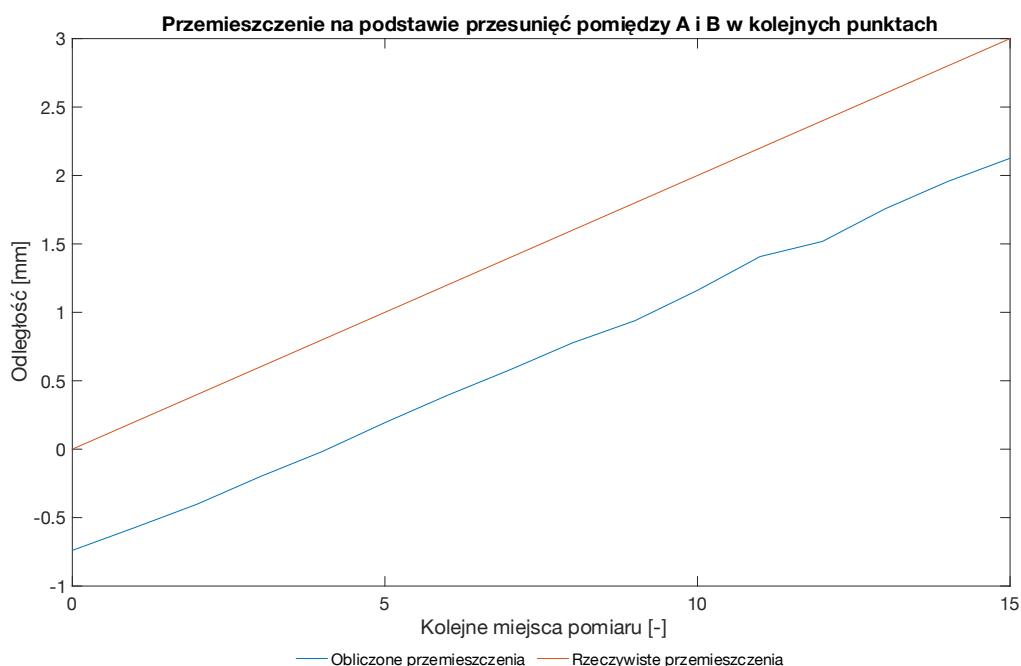


Rysunek 2.2.2 - Przesunięcie na podstawie przesunięć pomiędzy sygnałami A i B w kolejnych punktach

Jak można zauważyć, samo mnożenie wartości przesunięcia fazowego jest niewystarczające, ponieważ występuje zawinięcie fazy, to samo dzieje się z obliczonym przesunięciem. Skutkuje to powtarzającymi się wartościami co kilka miejsc pomiaru. Aby ten problem nie wystąpił należy rozwinąć fazę za pomocą funkcji *unwrap*, i ponowić obliczenia. Wykresy po użyciu tej funkcji zostały przedstawione na **Rysunkach 2.2.3 i 2.2.4**.



Rysunek 2.2.3 - Przesunięcie na podstawie przesunięć fazowych pomiędzy sygnałem A w kolejnych punktach, a sygnałem A w punkcie 0, rozwinięte

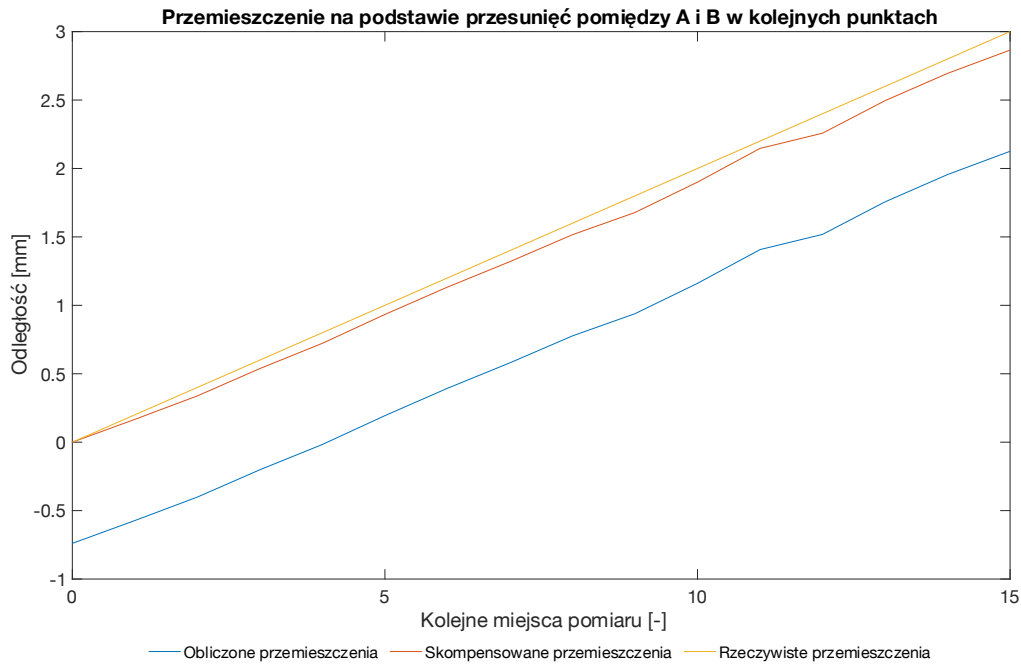


Rysunek 2.2.4 - Przemieszczenie na podstawie przesunięć fazowych pomiędzy sygnałami A i B w kolejnych punktach, rozwinięte

Porównując otrzymane wyniki do rzeczywistego przemieszczenia płytki widoczne jest, że w przypadku obliczenia przesunięcia fazy między sygnałami A w punkcie 0 i w kolejnych punktach otrzymane zostały wyniki zbliżone do rzeczywistych.

W przypadku przemieszczenia wyznaczonego na podstawie sygnałów A i B w kolejnych punktach uzyskana prosta posiada podobne nachylenie, lecz jest przesunięta w dół względem rzeczywistych wartości. Wynika to z tego, że faza liczona między sygnałami A i B ma ujemną wartość na początku sygnału – wynika to z faktu, że w przypadku pomiaru przesunięć fazowych pomiędzy sygnałami mierzonymi w punkcie bazowym liczone było przesunięcie pomiędzy dwoma identycznymi sygnałami i dlatego wynosi ono 0 radianów, a w tym przypadku ze względu na wspomnianą wcześniej nieznaną odległość płyty od przetworników istnieje różnica w fazie pomiędzy sygnałem nadawanym i odebrany. Korzystając z tej metody nie jesteśmy w stanie jej wyznaczyć – możemy tylko ją skompensować – poprzez wyskalowanie pomiarów do wartości 0 w punkcie bazowym. Jest to duże ograniczenie metody, które wynika właśnie z zawijania fazy możemy tylko szacować **relatywne** przesunięcia od danego momentu, kiedy pomiar się rozpoczął, zakładając **co najmniej kilka pomiarów na okres nadawanej fali**, aby przy rozwijaniu fazy nie wprowadzać błędów – gdyby pomiary były zbyt rzadko moglibyśmy pominąć cały okres i przy rozwijaniu wprowadzać błędy – zaniżając rzeczywisty wynik.

Podsumowując, jeżeli do wartości fazy dodamy tę ujemną wartość, efekt zostanie skompensowany i wynik pokryje się z tym uzyskanym na podstawie obliczeń przesunięć fazowych na podstawie sygnałów A. Wynik tej operacji pokazano na **Rysunku 2.2.5** – następna strona.



Rysunek 2.2.5 Przemieszczenie na podstawie przesunięć fazowych pomiędzy sygnałem A i B w kolejnych punktach, rozwinięte

Powyższa metoda pomiaru przemieszczenia skutkuje dość dokładnymi wynikami. Posiada jednak wadę wynikającą z zawijania fazy. Jest to widoczne na **Rysunkach 2.2.1** i **2.2.2**. Te same wartości przemieszczeń zachodzą dla różnych miejsc pomiaru i dopiero po rozwinięciu fazy uzyskane są prawidłowe wyniki. Oznacza to, że metoda ta jest nieprawidłowa w przypadku pomiaru przemieszczenia w jednym punkcie. W takim przypadku możliwe jest obliczenie przesunięcia fazy tylko w zakresie $[-\pi, \pi]$, który niekoniecznie jest prawidłowy. Tak więc metoda ta nadaje się tylko do obliczenia przemieszczenia ciągłego przy założeniu dobrej częstotliwości pomiarów.

Drobne różnice pomiędzy wartościami rzeczywistymi, a obliczonymi mogą wynikać z faktu montażu przetworników nieprostopadle do płyty przez co droga przebywana przez dźwięk jest większa niż rzeczywista. Dodatkowo niedokładność przetworników może również wprowadzać błędy.

Wykorzystany kod do podpunktów 2.1 oraz 2.2:

```
clear all
close all

M = zeros(1,16);
load("0.mat")
AH0 = hilbert(A);

%% Zadanie 2.1
%% Przesunięcie fazowe pomiędzy sygnałem A z kolejnych pomiarów i A z pomiaru 0
for d=0:15
    name = sprintf("%d.mat",d);
    load(name)
    fs = 1/Tinterval;
    t = 0:Tinterval:(Length-1)/fs;

    AH = hilbert(A);
    Pz = 0;
    for i=1:Length
        Pz = Pz + (AH(i) * conj(AH0(i)))/((abs(AH0(i)))^2);
    end
end
```

```

    end
    Pz = -(angle(Pz));
    Mz(d+1) = Pz;
end
figure(1)
plot(0:15,Mz)
xticks(0:1:15)
title('Przesunięcie fazowe pomiędzy sygnałem A z kolejnych pomiarów i A z pomiaru 0')
xlabel('Kolejne miejsca pomiaru [-]')
ylabel('Faza [rad]')

%% Przesunięcie fazowe pomiędzy sygnałem A i B w każdym punkcie
for d=0:15
    name = sprintf("%d.mat",d);
    load(name)
    fs = 1/Tinterval;
    t = 0:Tinterval:(Length-1)/fs;
    AH = hilbert(A);
    BH = hilbert(B);

    P = 0;
    for i=1:Length
        P = P + (AH(i) * conj(BH(i)))/((abs(BH(i)))^2);
    end
    P = -(angle(P));
    M(d+1) = P;
    P = 0;
end
figure(2)
plot(0:15,M)
xticks(0:1:15)
title('Przesunięcie fazowe pomiędzy sygnałem A i B w każdym punkcie')
xlabel('Kolejne miejsca pomiaru [-]')
ylabel('Faza [rad]')

%% Zadanie 2.2
lambda = 346/100000;

%% Przesunięcie na podstawie przesunięć pomiędzy sygnałem A w kolejnych punktach, a
sygnałem A w punkcie 0
Dz = Mz .* lambda / 2 / 2 / pi;
figure(3)
plot(0:15,1000*Dz)
xticks(0:1:15)
title('Przesunięcie na podstawie przesunięć pomiędzy sygnałem A w kolejnych punktach,
a sygnałem A w punkcie 0')
xlabel('Kolejne miejsca pomiaru [-]')
ylabel('Odległość [mm]')

%% Przesunięcie na podstawie przesunięć pomiędzy sygnałem A w kolejnych punktach, a
sygnałem A w punkcie 0, rozwinięte
Dz = unwrap(Mz);
Dz = Dz .* lambda / 2 / 2 / pi;
figure(4)
plot(0:15,1000*unwrap(Dz))
xticks(0:1:15)
title('Przesunięcie na podstawie przesunięć pomiędzy sygnałem A w kolejnych punktach,
a sygnałem A w punkcie 0')
xlabel('Kolejne miejsca pomiaru [-]')
ylabel('Odległość [mm]')
hold on
p = line([0 15],[0 15*0.2]);
p.Color = 'r';
legend("Obliczone przesunięcie", "Rzeczywiste przesunięcie")

%% Przesunięcie na podstawie przesunięć pomiędzy sygnałami A i B w kolejnych punktach

```



```

D = M .* lambda / 2 / 2 / pi;
figure(5)
plot(0:15,1000*D)
xticks(0:1:15)
title('Przemieszczenie na podstawie przesunięć pomiędzy sygnałami A i B w kolejnych
punktach')
xlabel('Kolejne miejsca pomiaru [-]')
ylabel('Odległość [mm]')

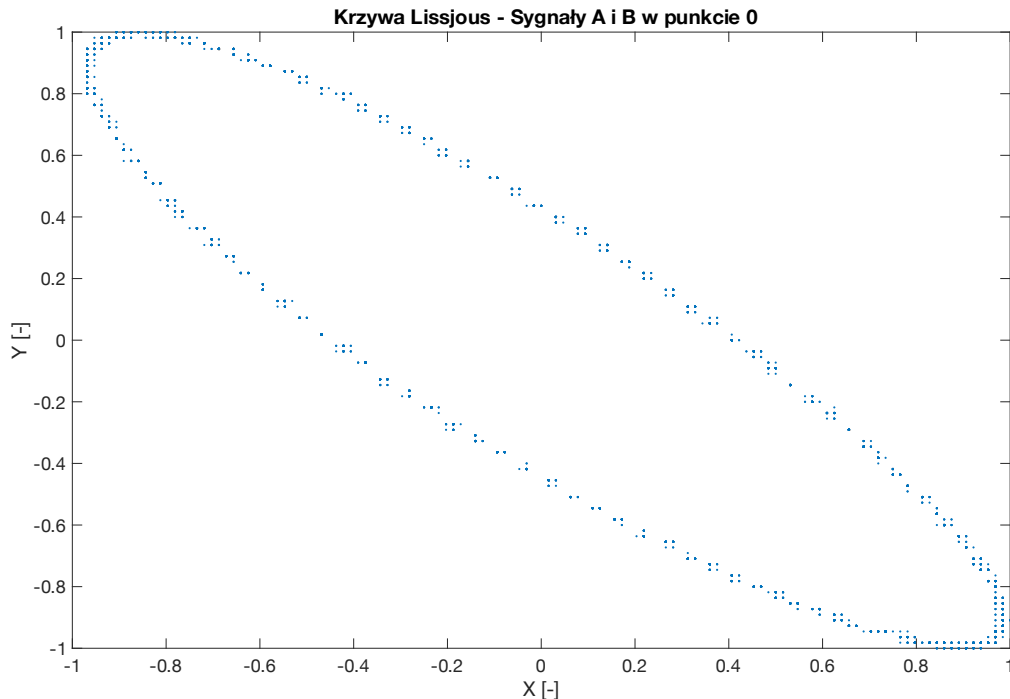
%% Przemieszczenie na podstawie przesunięć pomiędzy sygnałami A i B w kolejnych punktach,
rozwinęte
D = unwrap(M);
D = D .* lambda / 2 / 2 / pi;
figure(6)
plot(0:15,1000*unwrap(D))
xticks(0:1:15)
title('Przemieszczenie na podstawie przesunięć pomiędzy sygnałami A i B w kolejnych
punktach, rozwinęte')
xlabel('Kolejne miejsca pomiaru [-]')
ylabel('Odległość [mm]')
hold on
p = line([0 15],[0 15*0.2]);
p.Color = 'r';
legend("Obliczone przemieszczenie", "Rzeczywiste przemieszczenie")

figure(7)
plot(0:15,1000*(unwrap(D) + abs(min(D))))
xticks(0:1:15)
title('Przemieszczenie na podstawie przesunięć pomiędzy sygnałami A i B w kolejnych
punktach, rozwinęte')
xlabel('Kolejne miejsca pomiaru [-]')
ylabel('Odległość [mm]')
hold on
p = line([0 15],[0 15*0.2]);
p.Color = 'r';
plot(0:15,1000*unwrap(D))
legend("Skompensowane przemieszczenie", "Rzeczywiste przemieszczenie płytki", "Obliczone
przemieszczenie")

```

Zadanie 2.3 – Krzywa Lissajous

Krzywa Lissajous wykorzystywana jest w oscyloskopach od pomiaru fazy pomiędzy sygnałami. W ramach tego zadania zostanie obliczone przesunięcie fazowe pomiędzy sygnałem mierzonym **A** i nadawanym **B**. Obliczone wartości zostaną porównane do otrzymanych w *Zadaniu 2.1*. Poniżej na *Rysunku 2.3.1* przedstawiono krzywą Lissajous dla pomiarów w punkcie bazowym **0**.



Rysunek 2.3.1 - Krzywa Lissajous dla pomiaru w punkcie 0

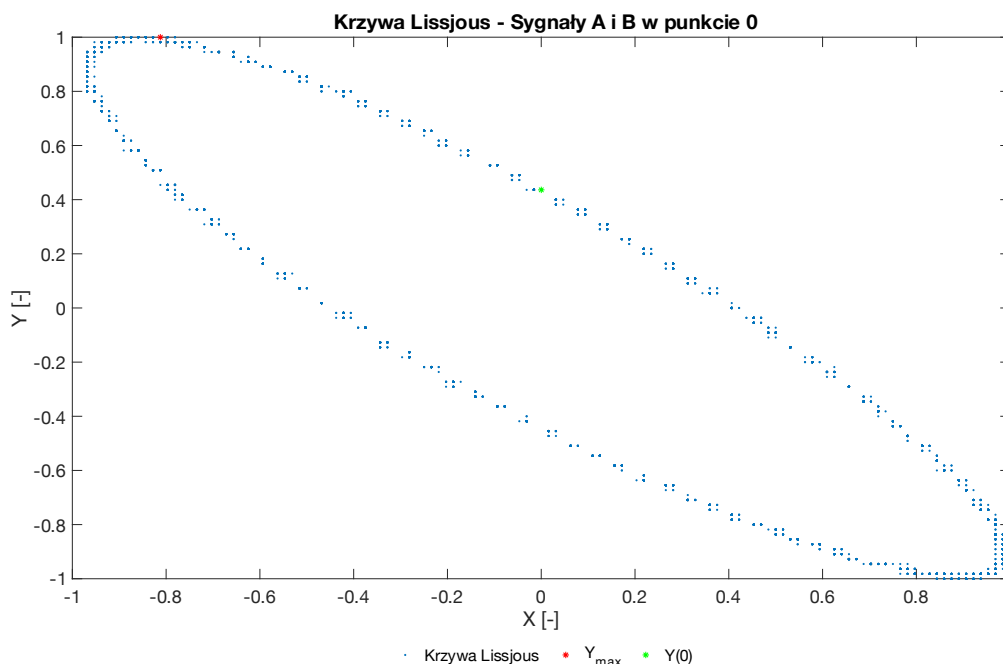
Rozpoczęto od stworzenia kodu realizującego algorytm obliczania przesunięcia fazowego:

- Wyznaczenie maksymalnej wartości Y – Y_{max}
- Wyznaczenie wartości dodatniej Y dla $X = 0$ – $Y(0)$
- Jeśli Y_{max} występuje dla $X > 0$ – $\phi = \text{asin}\left(\frac{Y(0)}{Y_{max}}\right)$
- Jeśli Y_{max} występuje dla $X < 0$ – $\phi = \pi - \text{asin}\left(\frac{Y(0)}{Y_{max}}\right)$
- Wyznaczenie znaku zgodnie z przesunięciem sygnałów względem siebie

Stworzony kod przedstawiono poniżej:

```
% 1. Maksymalna wartość Y
[Ymax, indx_Ymax] = max(B);
Xmax = A(indx_Ymax(1));
% 2. Wartość Y>0, dla X = 0
location = knnsearch(A,0,'K',3); %Znajduje 3 najbliższych sąsiadów metodą knn
if(B(location(1))>0)
    Y0 = B(location(1)); X0 = A(location(1));
elseif(B(location(2))>0)
    Y0 = B(location(2)); X0 = A(location(2));
elseif(B(location(3))>0)
    Y0 = B(location(3)); X0 = A(location(3));
end
% 3. Jesli max(Y) jest dla X>0
if(Xmax > 0)
    fi = asin(Y0/Ymax);
else
    fi = pi - asin(Y0/Ymax);
end
```

Poniżej na **Rysunku 2.3.2** przedstawiono krzywą Lissajous dla punktu bazowego. Naniesiono na nią wartości wykorzystywane w algorytmie.

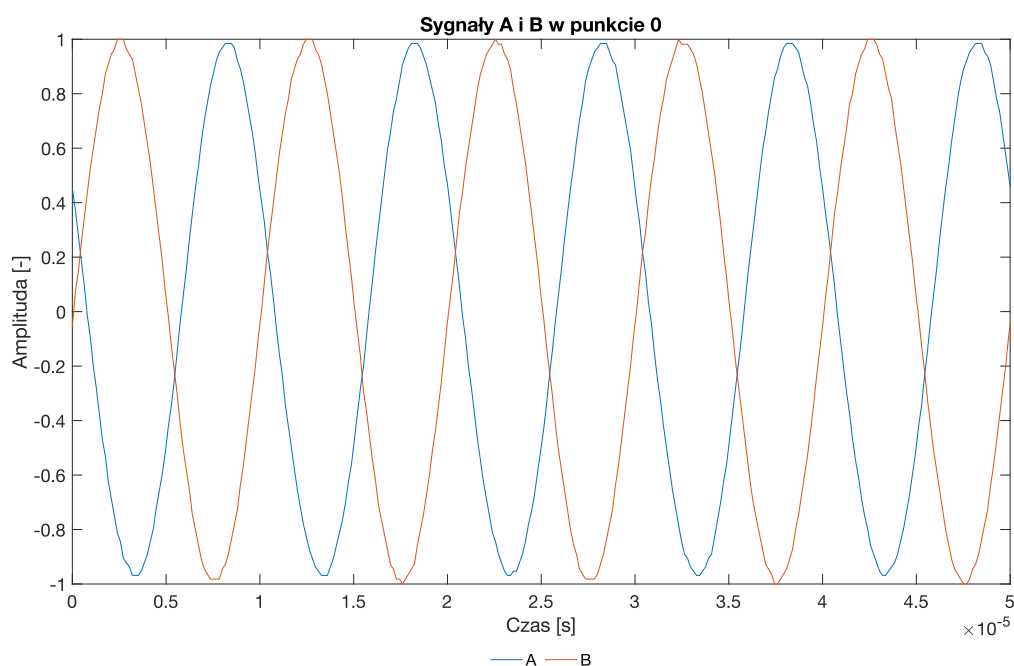


Rysunek 2.3.2 - Krzywa Lissajous z naniesionymi punktami wykorzystywanymi w algorytmie

Można zauważyć zgodność naniesionych punktów z warunkami przedstawionymi na poprzedniej stronie. Ze wzoru obliczono przesunięcie fazowe pomiędzy sygnałami równe:

$$\phi = 2.6901 \text{ [rad]}$$

Poniżej na **Rysunku 2.3.3** przedstawiono na jednym wykresie sygnały **A** i **B** w celu oceny znaku przesunięcia fazowego.



Rysunek 2.3.3 - Sygnały A i B w dziedzinie czasu

Można zauważyć, że sygnał B jest opóźniony względem A, a więc występuje ujemne przesunięcie fazowe. Po zmianie znaku można ostatecznie wyznaczyć przesunięcie fazowe jako:

$$\phi = -2.6901 \text{ [rad]}$$

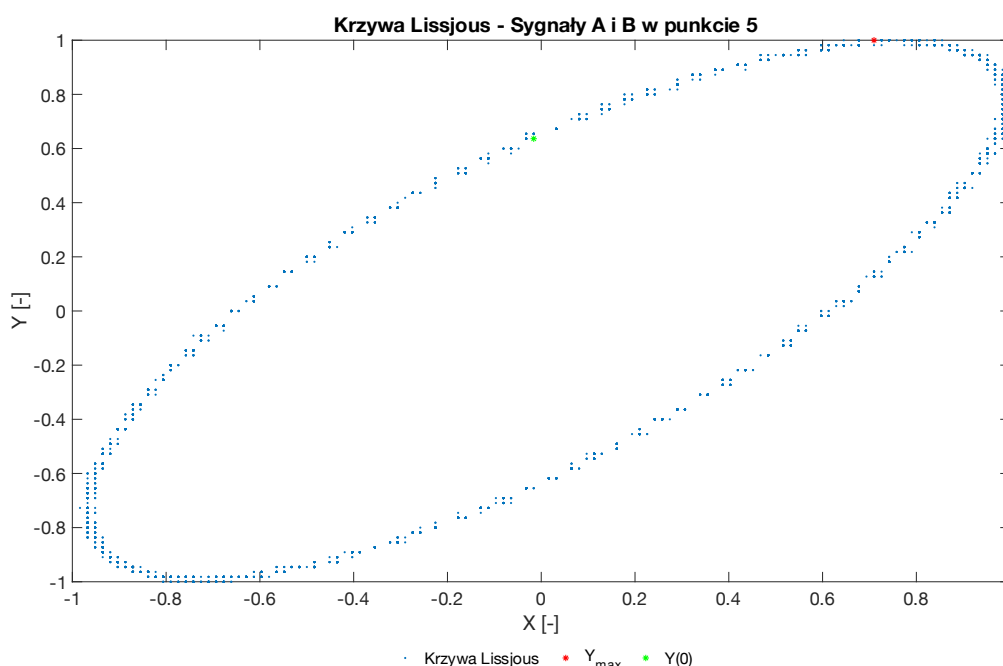
Dla porównania obliczone w *Zadaniu 2.1* przesunięcie fazowe widoczne również na **Rysunku 2.1.2** to:

$$\phi = -2.6853 \text{ [rad]}$$

Można stwierdzić, że oba pomiary dały w przybliżeniu tę samą wartość – różnica na poziomie 0.01 rad. Analogiczne obliczenia przeprowadzono dla punktów 5 oraz 12. Poniżej przedstawiono krzywe Lissajous dla sygnałów w tych punktach oraz obliczone w tych miejscach przesunięcia fazowe z uwzględnieniem poprawnego znaku.

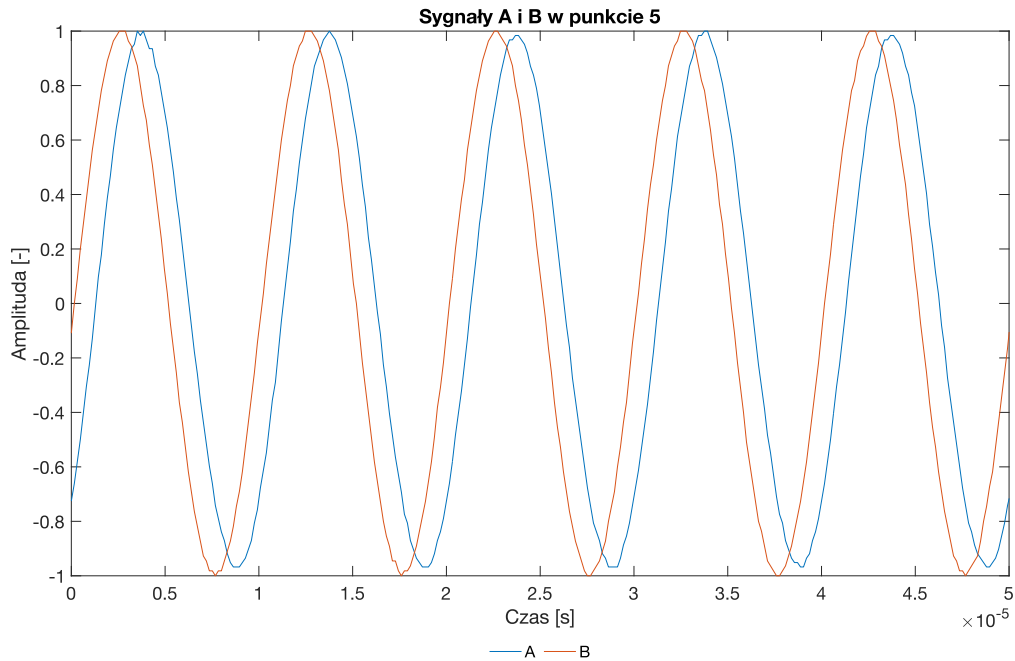
Pomiar dla punktu 5

Na **Rysunku 2.3.4** przedstawiono krzywą Lissajous, a poniżej obliczone przesunięcie fazowe:



Rysunek 2.3.4 - Krzywa Lissajous dla sygnałów w punkcie 5

Można zauważyć, że ze względu na inną lokalizację maximum zastosowana została inna wersja wzoru do obliczania przesunięcia. Na następnej stronie na **Rysunku 2.3.5** przedstawiono sygnały A i B w dziedzinie czasu.



Rysunek 2.3.5 - Sygnały A i B dla pomiaru wykonanego w punkcie 5

Można zauważyć, że sygnał B wyprzedza sygnał A. Sytuacja przedstawia więc dodatnie przesunięcie fazowe

$$\phi = 0.6897[\text{rad}]$$

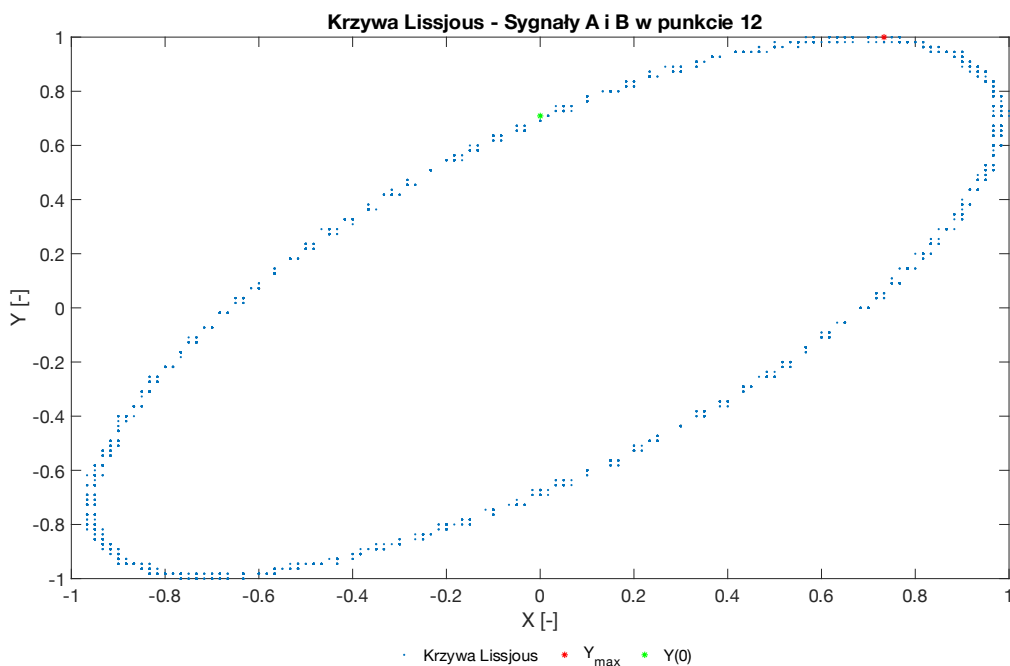
Dla porównania obliczone w **Zadaniu 2.1** przesunięcie fazowe widoczne również na **Rysunku 2.1.2** to:

$$\phi = 0.7043[\text{rad}]$$

Ponownie można zauważyć, że wyznaczony błąd nie jest duży.

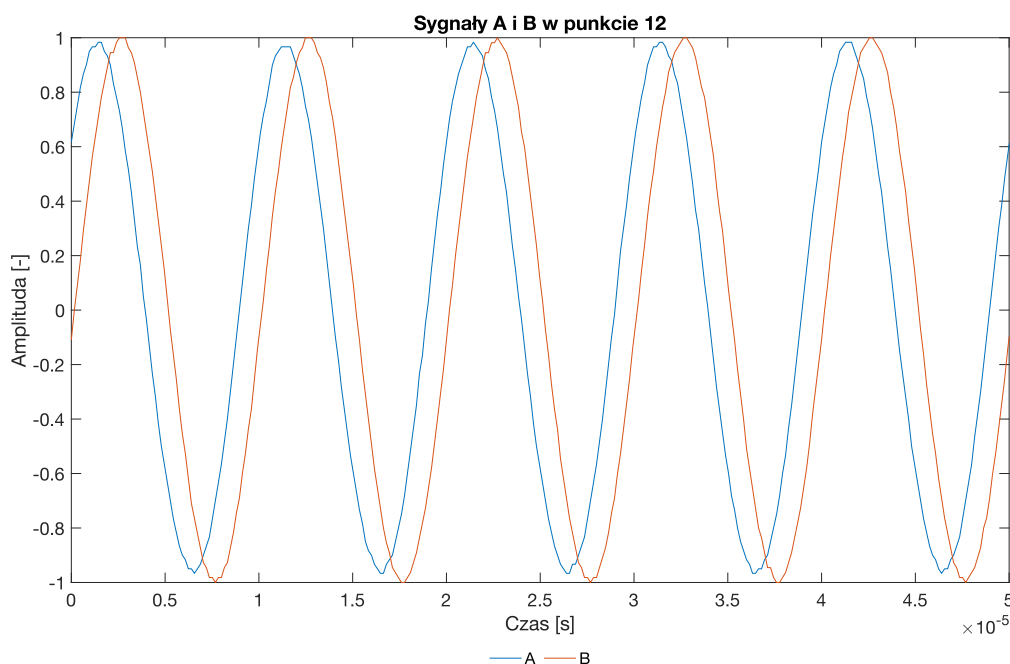
Pomiar dla punktu 12

Na **Rysunku 2.3.6** przedstawiono krzywą Lissajous, a poniżej obliczone przesunięcie fazowe:



Rysunek 2.3.6 - Krzywa Lissajous dla sygnałów A i B w punkcie 12

Na **Rysunku 2.3.7** przedstawiono sygnały A i B w punkcie 12 w dziedzinie czasu w celu oszacowania znaku przesunięcia fazowego:



Rysunek 2.3.7 - Sygnały A i B w punkcie 12

Można zauważyć, że sygnał B jest opóźniony względem A, a więc przesunięcie fazowe będzie ujemne. Przyjmując więc ono ostatecznie wartość:

$$\phi = -0.7882[\text{rad}]$$

Wartość obliczona w Zadaniu 2.1 wynosi:

$$\phi = -0.7684[\text{rad}]$$

Ponownie błąd jest niewielki. Istnienie różnic może wynikać z wielu czynników jednak najbardziej prawdopodobnym zdaniem autorów może być błąd otrzymywany przy obliczaniu częstotliwości chwilowej w Zadaniu 2.1 – obliczenia wykonywane były na danych eksperymentalnych, a więc możliwe jest istnienie szumu w sygnałach, który jak wiadomo po poprzednim laboratorium ma bardzo negatywny wpływ na obliczanie częstotliwości chwilowej. Dodatkowo podczas obliczania przesunięcia metodą krzywych Lissajous, podczas obliczania wartości Y dla miejsca, gdzie X jest równy 0 ze względu na brak dokładnie takiego punktu korzystamy z metody k-najbliższych sąsiadów. Takie podejście spowodowane jest ograniczeniem wynikającym z częstotliwości próbkowania i fakt estymacji wartości branej do obliczeń wprowadza błąd – inny algorytm mógłby wybierać inne wartości.

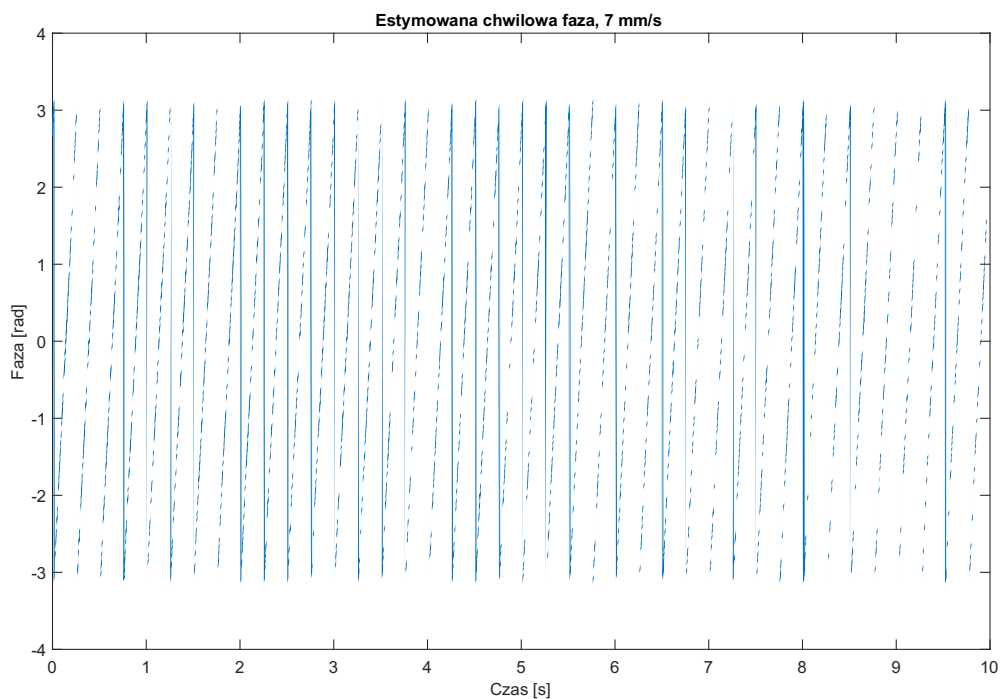
Zadanie 3 – Pomiar fazy chwilowej dla ruchomej płytki

W tym zadaniu płytka była przesuwana za pomocą siłownika liniowego. Rejestrowane sygnały były analogiczne do tych z poprzedniego eksperymentu. Przeprowadzono go dla różnych prędkości liniowych płytki.

Zadanie 3.1 – Prędkość $7 \frac{\text{mm}}{\text{s}}$

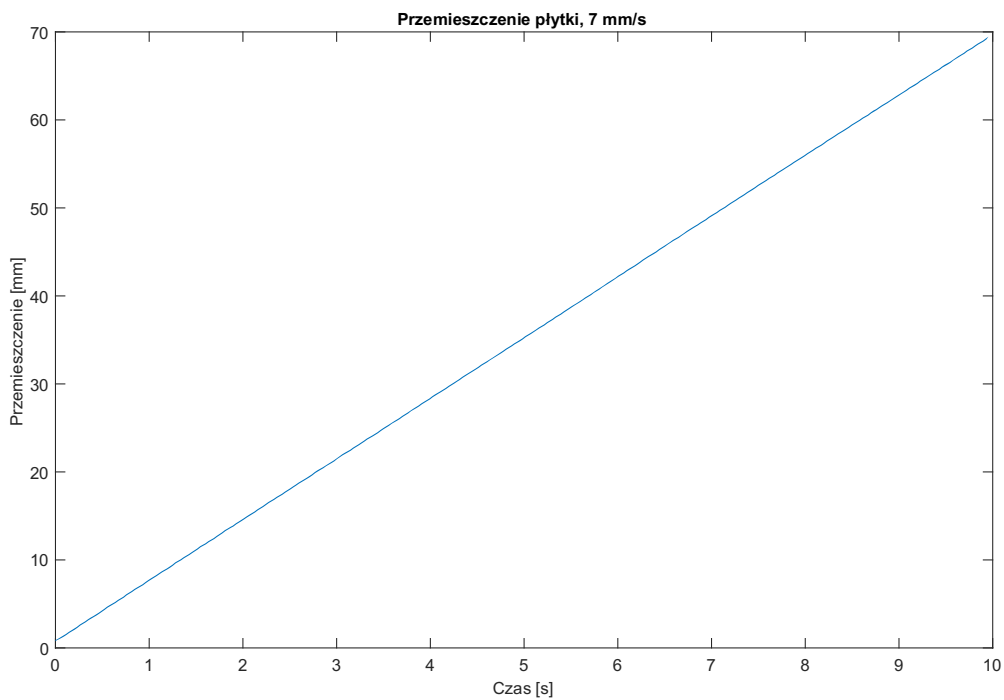
Powyższe zadanie polega na wyznaczeniu prędkości płytki. W tym celu zostanie wyznaczone przemieszczenie płytki na podstawie sygnałów A i B, w ten sam sposób co w Zadaniu 2. Następnie z uzyskanej prostej zostanie odczytany jej współczynnik kierunkowy a , który odpowiada pochodnej przebiegu zmiany odległości w czasie. W ten sposób zostanie uzyskana prędkość płytki.

Dla płytki poruszającej się z prędkością 7 mm/s wykres estymowanej chwilowej fazy przedstawiono na **Rysunku 3.1.1** poniżej:



Rysunek 3.1.1 - Estymowana faza dla prędkości 7 mm/s

Na jego podstawie zostało wyznaczone przemieszczenie płytki analogicznie jak w **Zadaniu 2 – Rysunek 3.1.2** poniżej:

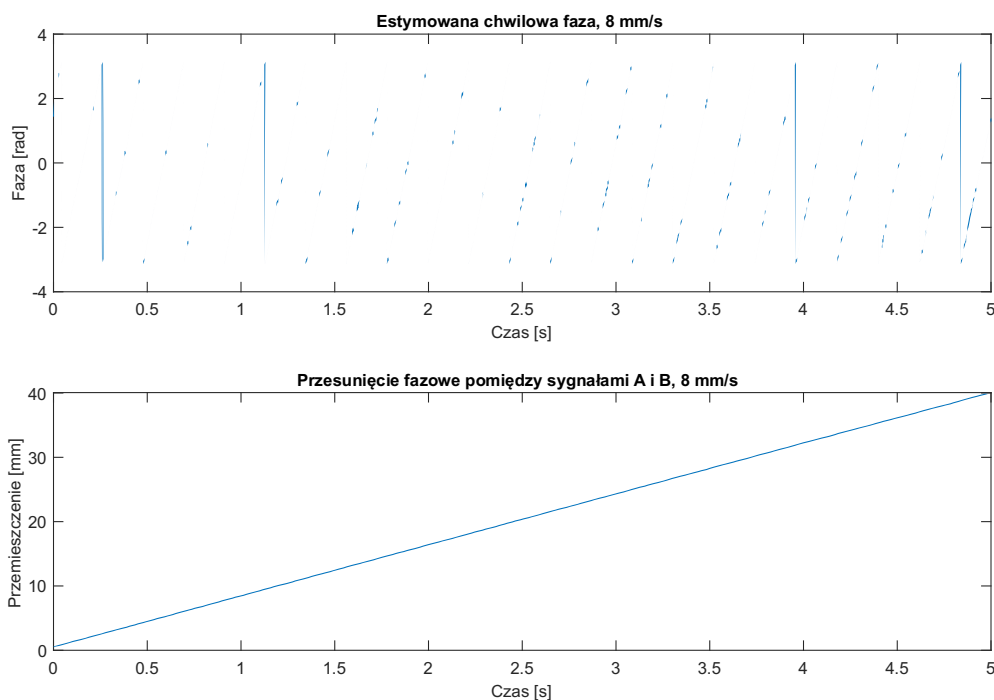


Rysunek 3.1.2 - Przemieszczenie płytki dla prędkości 7 mm/s

W kolejnym kroku została zastosowana funkcja *polyfit*, która dopasowuje funkcję danego stopnia do wykresu i zwraca współczynniki. Została ona wykorzystana do dopasowania funkcji liniowej, aby wyznaczyć współczynnik kierunkowy prostej, który jest jej pochodną, czyli interpretując to fizycznie – prędkością płytki. Otrzymana wartość wynosi **6,896 mm/s**, a zatem błąd pomiaru wynosi zaledwie 0,1 mm/s względem rzeczywistej prędkości.

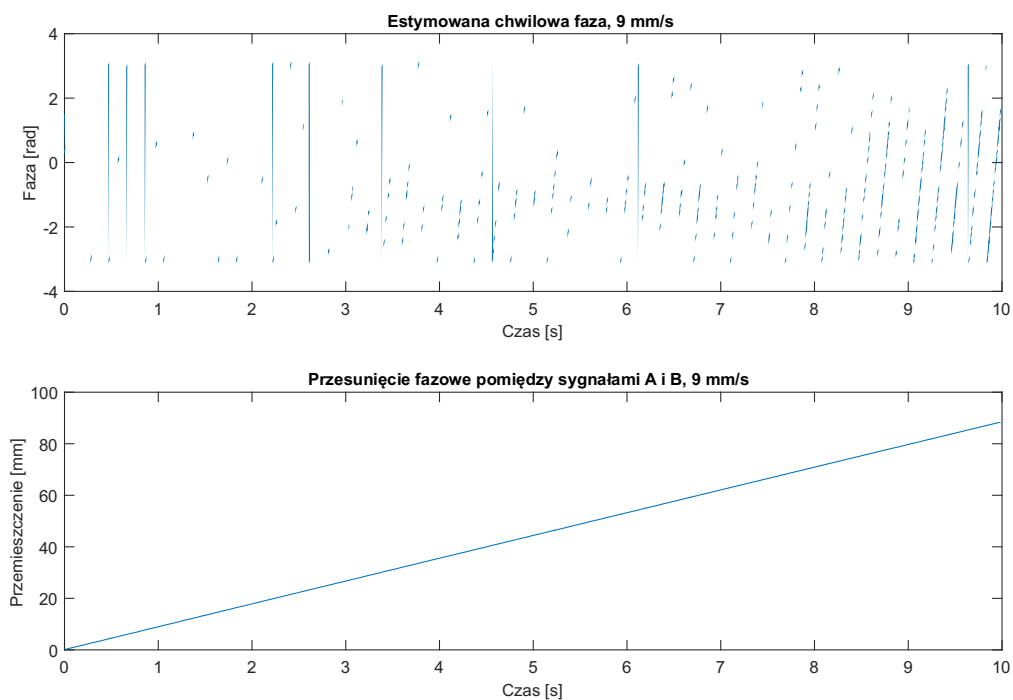
Zadanie 3.2 – Pozostałe prędkości

W kolejnej części zadania wykorzystano podejście z poprzedniego podpunktu do obliczenia prędkości dla 8 mm/s, 9 mm/s oraz 11 mm/s. Otrzymane wyniki przedstawiono na **Rysunkach 3.2.1 – 3.2.3**.



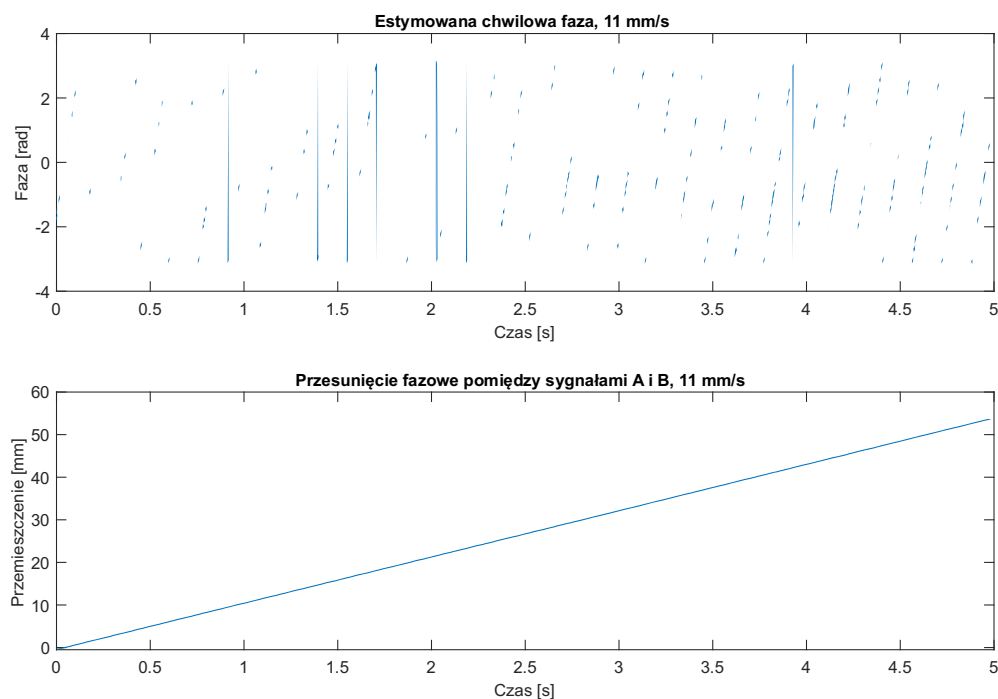
Rysunek 3.2.1 - Estymowana faza i przesunięcie dla prędkości 8 mm/s

Obliczona wartość prędkości wynosi: 7,914 mm/s. Ponownie zatem jest to wynik bardzo zbliżony do zadanej wartości na siłowniku liniowym.



Rysunek 3.2.2 - Estymowana faza i przemieszczenie dla prędkości

Obliczona wartość prędkości wynosi: 8,842 mm/s. Ponownie zatem jest to wynik bardzo zbliżony do zadanej wartości na siłowniku liniowym.



Rysunek 3.2.3 - Estymowana faza i przemieszczenie dla prędkości 11 mm/s

Obliczona wartość prędkości wynosi: 10,870 mm/s. Na następnej stronie przedstawiono zestawienie otrzymanych prędkości w tabeli.

Rzeczywista prędkość	Obliczona prędkość
8 mm/s	7,914 mm/s
9 mm/s	8,842 mm/s
11 mm/s	10,870 mm/s

Obliczone prędkości są bliskie wartościom rzeczywistym. Niedokładność może powodować fakt nieprostopadłego pomiaru opisany w *Zadaniu 2*, lub drgania wywołane przez ruch i pracę napędu. Powodują one niewielką zmianę odległości płytki od przetwornika, która może wpłynąć na pomiary.

Wykorzystany kod:

```
clear all
close all

%% zadanie 3.1
load("7mms.mat")
fs = 1/Tinterval;

AH = hilbert(A);
BH = hilbert(B);

fs = 1/Tinterval;
t = 0:Tinterval:(Length-1)/fs;

Pz = 0;
for i=1:Length
    Pz(i) = (AH(i) * conj(BH(i)))/((abs(BH(i)))^2);
end
Pz = (angle(Pz));
Pzu = unwrap(Pz);

figure(1)
plot(t,Pz)
title("Estymowana chwilowa faza, 7 mm/s")
xlabel("Czas [s]")
ylabel("Faza [rad]")

figure(2)
lambda = 345/100000;
Dz = Pzu .* lambda / 2 / 2 / pi;
plot(t,1000*Dz)
title("Przemieszczenie płytki, 7 mm/s")
xlabel("Czas [s]")
ylabel("Przemieszczenie [mm]")

[P,S] = polyfit(t,Dz,1);
sprintf("Prędkość płytki to: %.3f mm/s",1000*P(1))

V = [8 9 11];
i = 0;
for i=1:3
    name = sprintf("%dmms.mat",V(i));
    load(name)
    AH = hilbert(A);
    BH = hilbert(B);
```

```

fs = 1/Tinterval;
t = 0:Tinterval:(Length-1)/fs;

Pz = 0;
for k=1:Length
    Pz(k) = (AH(k) * conj(BH(k)))/((abs(BH(k)))^2);
end
Pz = (angle(Pz));
Pzu = unwrap(Pz);

figure(2+i)
subplot(2,1,1)
plot(t,Pz)
title(sprintf("Estymowana chwilowa faza, %d mm/s",V(i)))
xlabel("Czas [s]")
ylabel("Faza [rad]")

subplot(2,1,2)
lambda = 345/100000;
Dz = Pzu .* lambda / 2 / 2 / pi;
plot(t,1000*Dz)
title(sprintf("Przesunięcie fazowe pomiędzy sygnałami A i B, %d mm/s",V(i)))
xlabel("Czas [s]")
ylabel("Przemieszczenie [mm]")

[P,S] = polyfit(t,Dz,1);
sprintf("Prędkość płytki to: %.3f mm/s",1000*P(1))
%      P to współczynnik a czyli prędkość
end

```