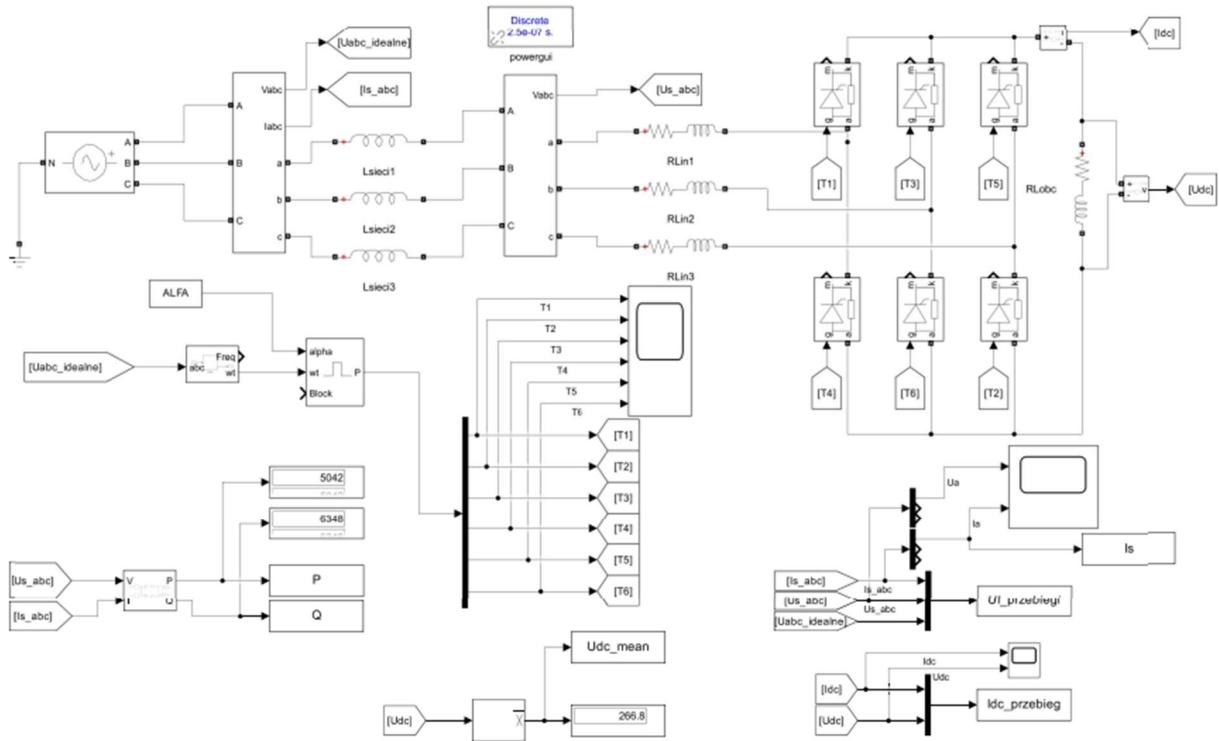


 Wydział: EAIIB	Imię i nazwisko: Damian Krakowiecki Michał Pich	Rok: III Blok: B
Data wykonania: 20.11.23	ĆWICZENIA PROJEKTOWE Z ENERGOELEKTRONIKI Trójfazowy mostek tyristorowy	
Zaliczenie:	Podpis prowadzącego:	Uwagi:

1. Wstęp

Naszym zadaniem było zbudowanie układu trójfazowego mostka tyristorowego w programie matlab simulink i przeprowadzenie symulacji w celu zbadania wpływu określonych parametrów na działanie mostka.

a) Schemat układu



Rysunek 1.1 Schemat trójfazowego mostka tyristorowego

b) Parametry elementów

Tabela 1 Zestawienie parametrów obwodu

Sieć zasilająca	$U_{RMS} = 400V; f=50Hz; L_{SIECI} = 50\mu H$
Impedancja wejściowa	$R_{in} = \frac{1}{30}\omega L_{in}; L_{in}=1mH$
Impedancja obciążenia	$Robc = 6\Omega; L_{obc} = 100\mu H$
Tyrystor	$R_{diode} = 1m\Omega; V_{diode} = 1,5V$

c) Opis działania układu

Mostek tyristorowy trójfazowy reprezentuje zaawansowaną formę prostownika elektronicznego, cechującą się sześciopulsowym układem. To rozwiązanie umożliwia kontrolowaną konwersję energii zmiennoprądowej (AC) na stałoprądową (DC), co jest kluczowe w wielu aplikacjach przemysłowych.

Sześciopulsowy charakter mostka wynika z faktu, że w każdym okresie napięcia zasilającego generowane są sześć impulsów napięcia na wyjściu układu. Ten zaawansowany prostownik sterowalny oferuje możliwość precyzyjnej regulacji średniej wartości napięcia na wyjściu poprzez kontrolę kąta zapłonu tyristorów.

Sterowanie mostkiem tyristorowym opiera się na precyzyjnym ustawieniu kąta zapłonu tyristorów, co determinuje moment, w którym rozpoczyna się przewodzenie tych elementów układu. To umożliwia dostosowanie mocy dostarczanej do obciążenia, co jest kluczowe w systemach wymagających dynamicznej regulacji mocy, takich jak silniki elektryczne.

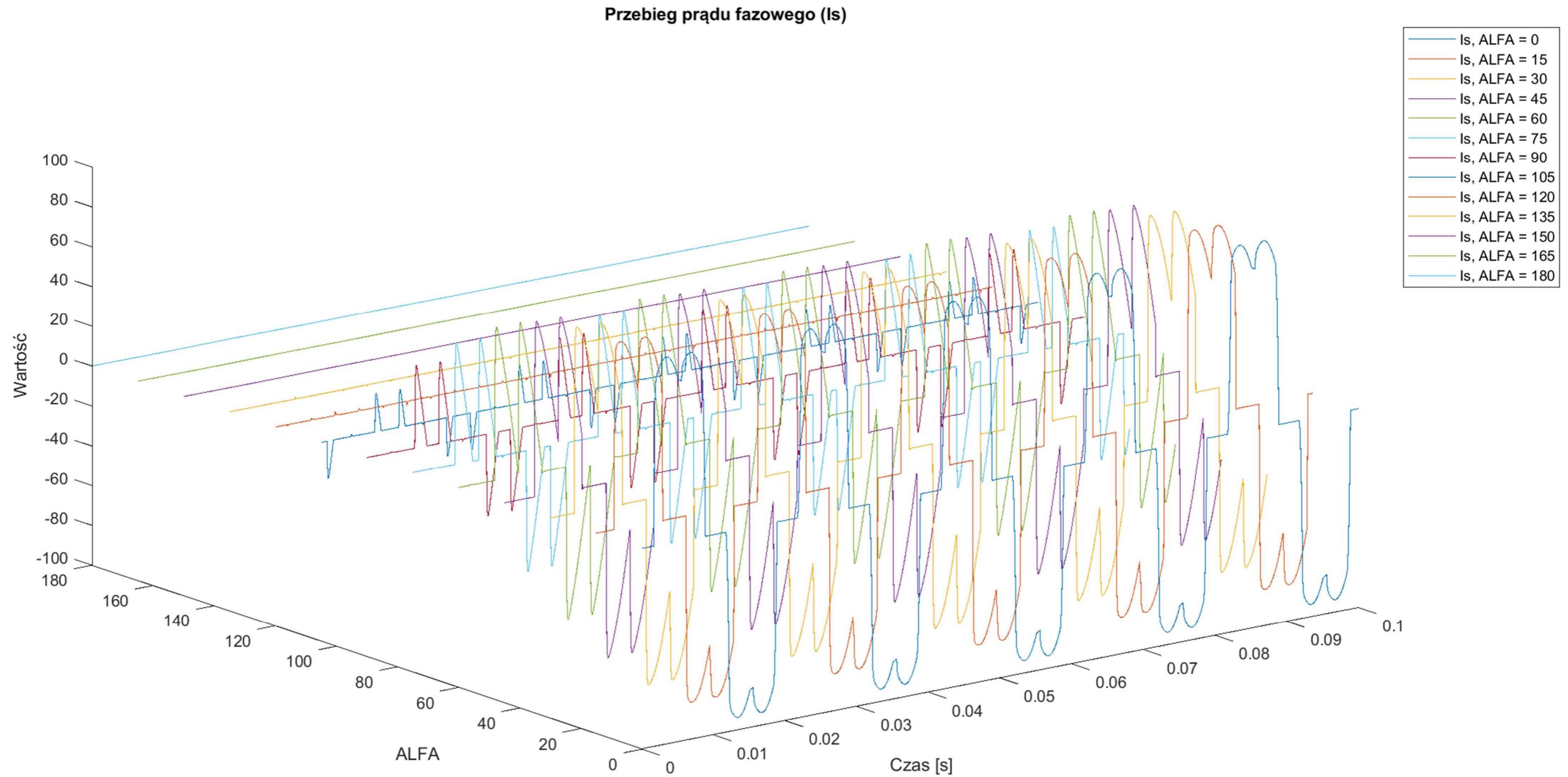
Wartość napięcia na wyjściu mostka jest ściśle związana z kontrolą kąta zapłonu tyristorów. Precyzyjne dostosowanie tego parametru pozwala na skutecną regulację średniej wartości napięcia, co ma kluczowe znaczenie w zastosowaniach, gdzie wymagana jest płynna i precyzyjna kontrola mocy elektrycznej.

Kąt komutacji odnosi się do momentu wygaszania przewodzenia tyristorów, wpływając na efektywność i stabilność pracy mostka tyristorowego. To zaawansowane rozwiązanie ma zastosowanie w szerokim spektrum dziedzin, obejmując m.in. regulację prędkości silników elektrycznych czy inteligentne systemy zasilania.

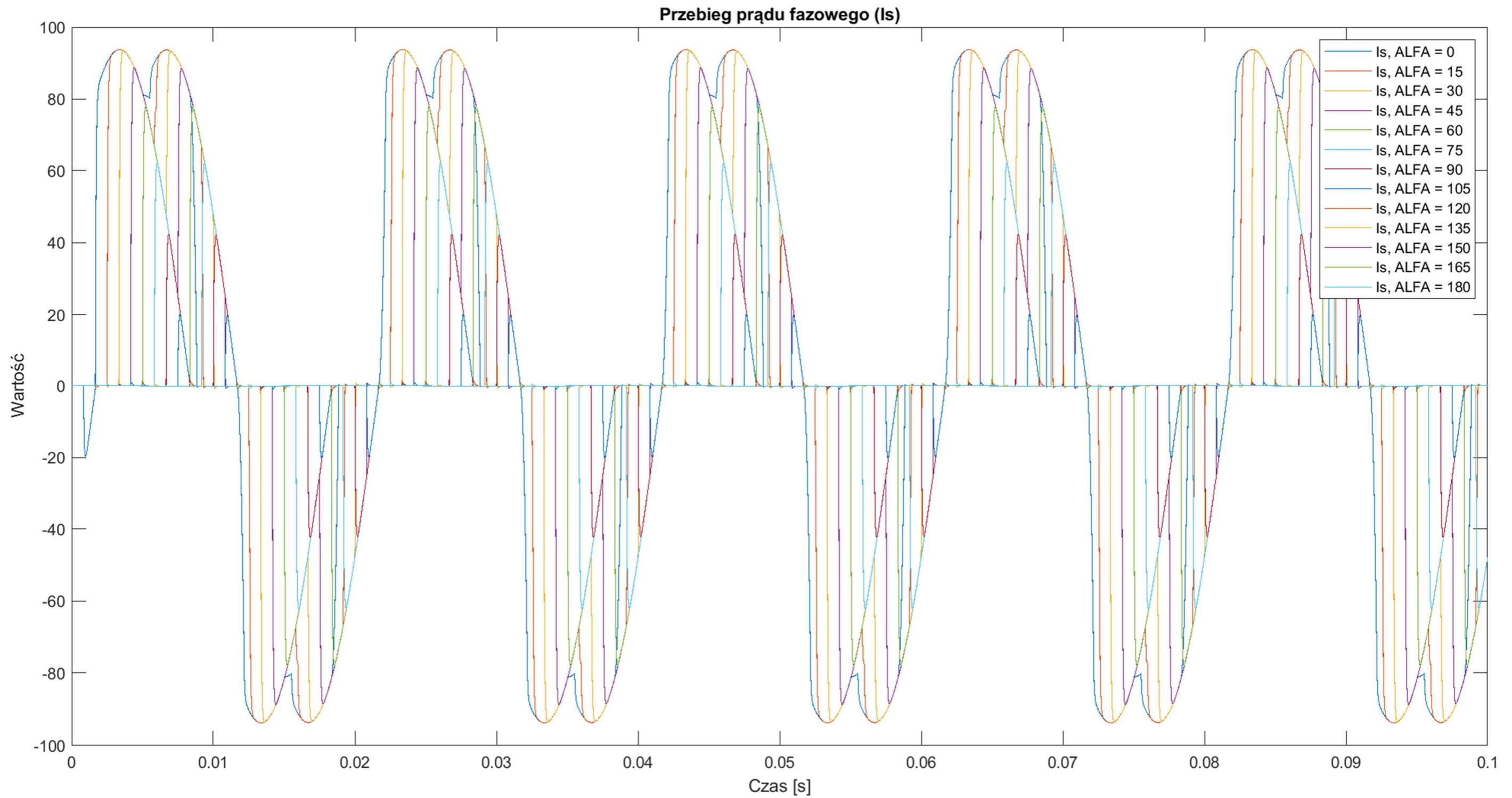
2. Wyniki symulacji – wpływ zmiany kąta alfa na przebiegi prądu fazowego.

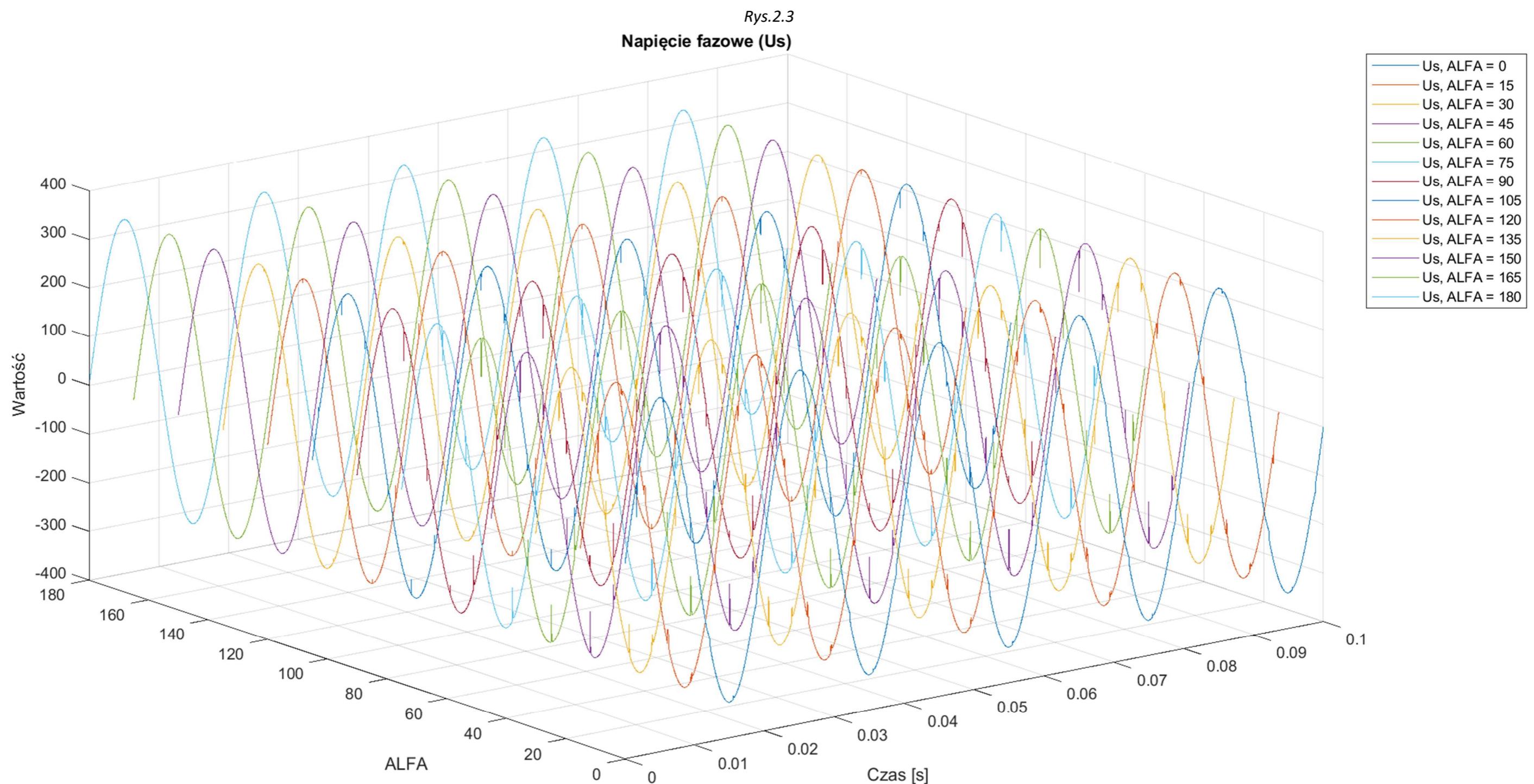
- dla obciążenia rezystancyjnego $R=6\Omega$, $L=10\mu\text{H}$;

Rys.2.1

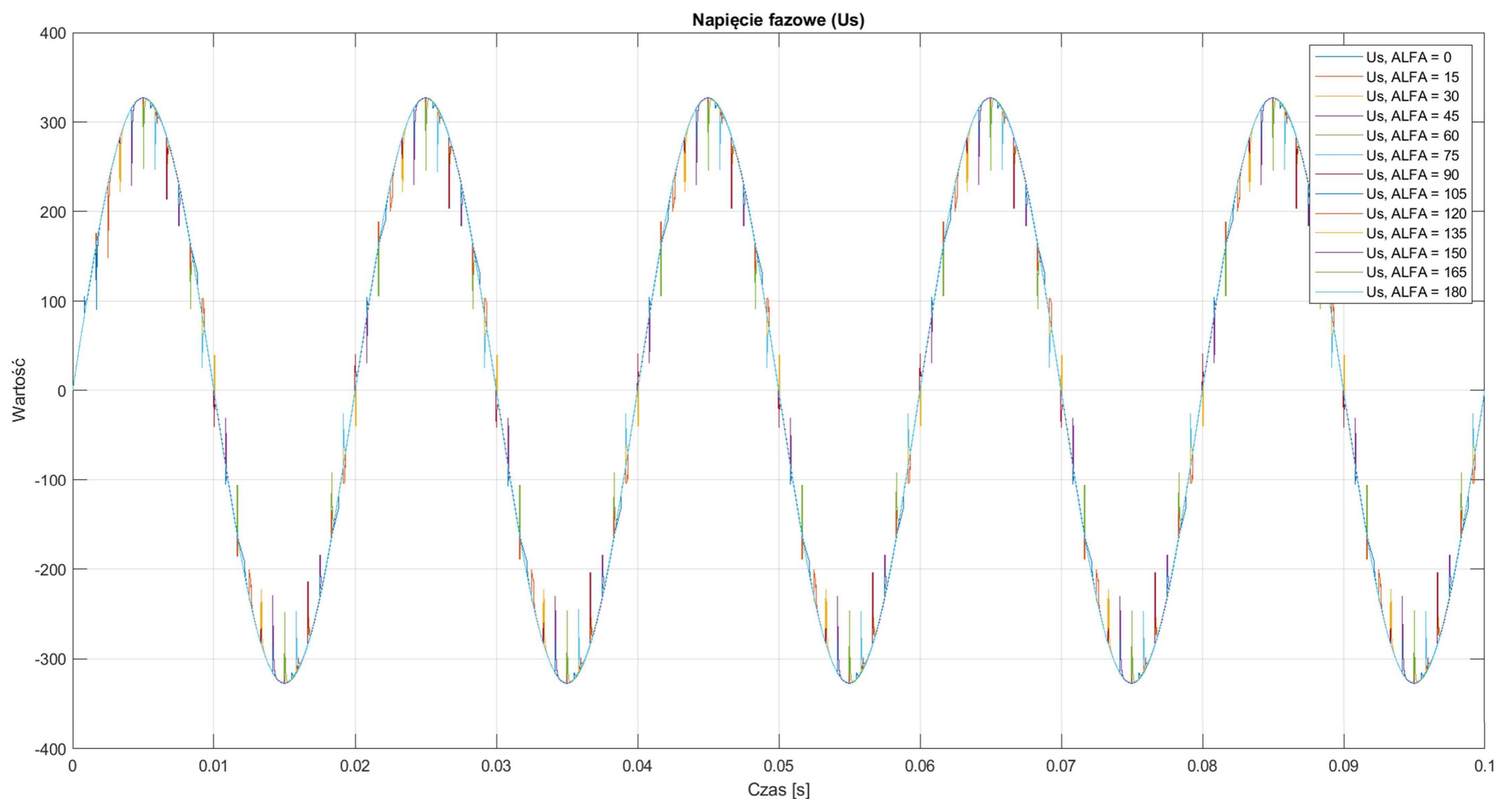


Rys.2.2



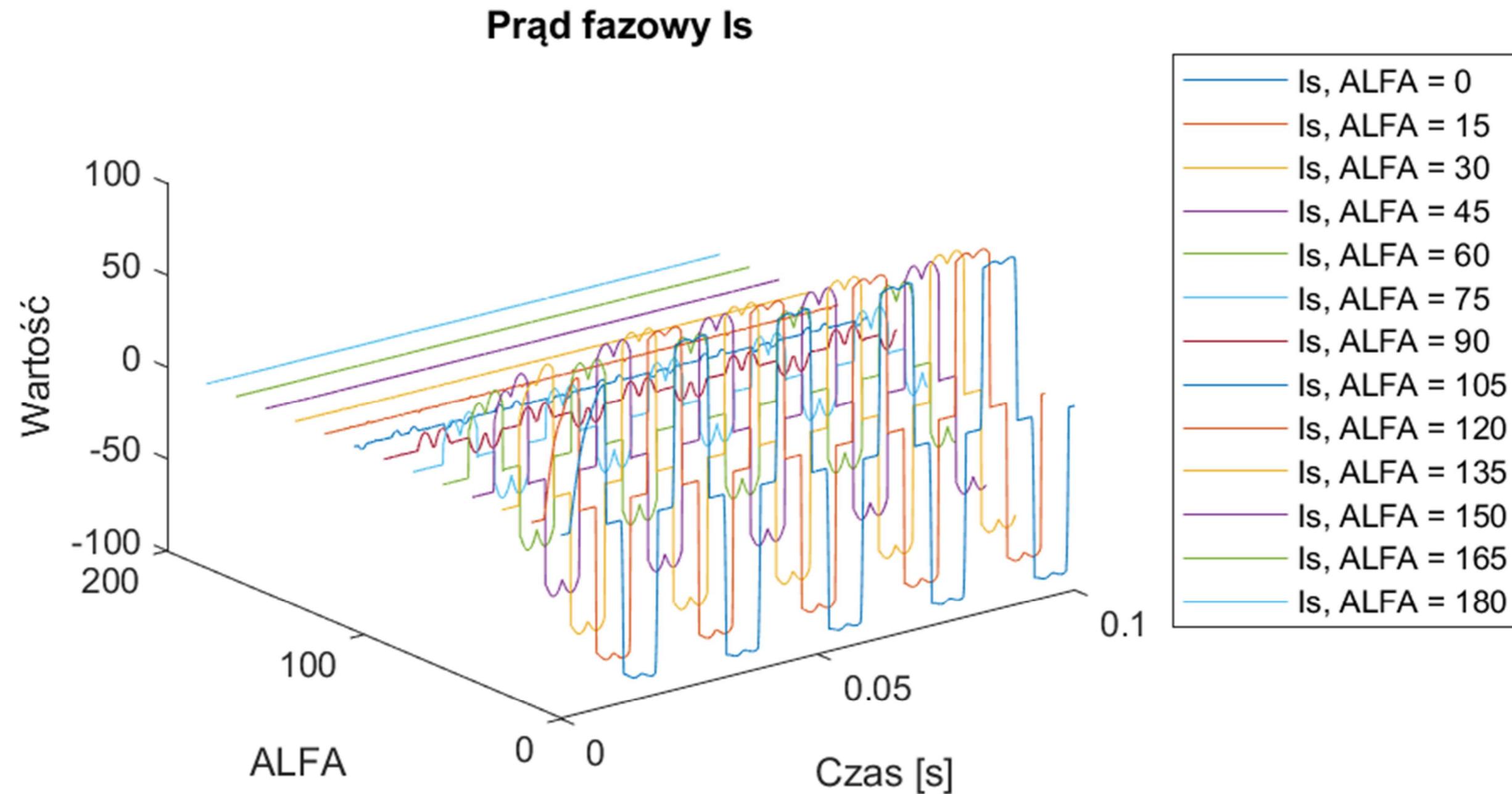


Rys.2.4

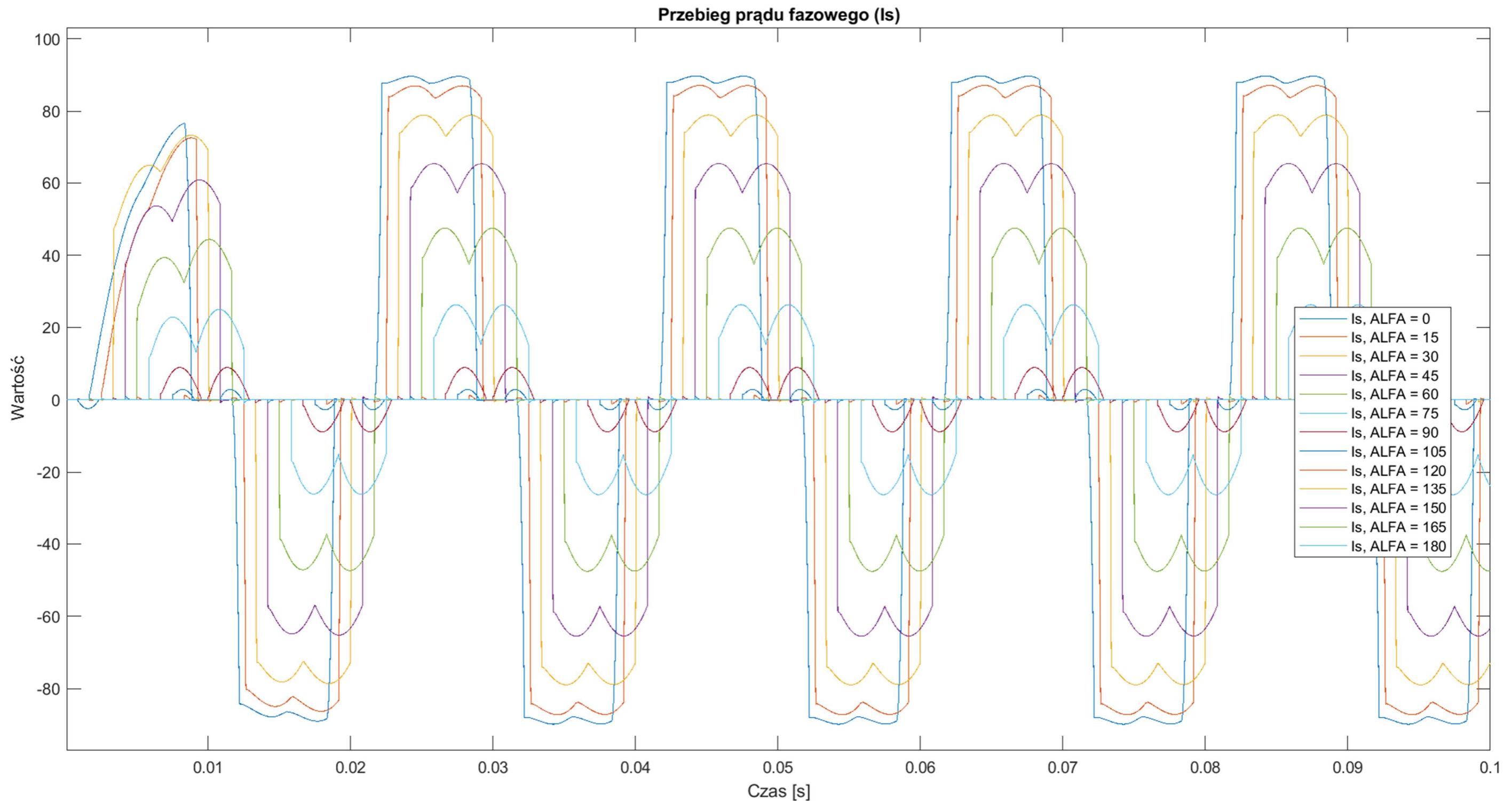


- dla obciążenia rezystancyjno-indukcyjnego $R=6\Omega$, $L=20mH$;

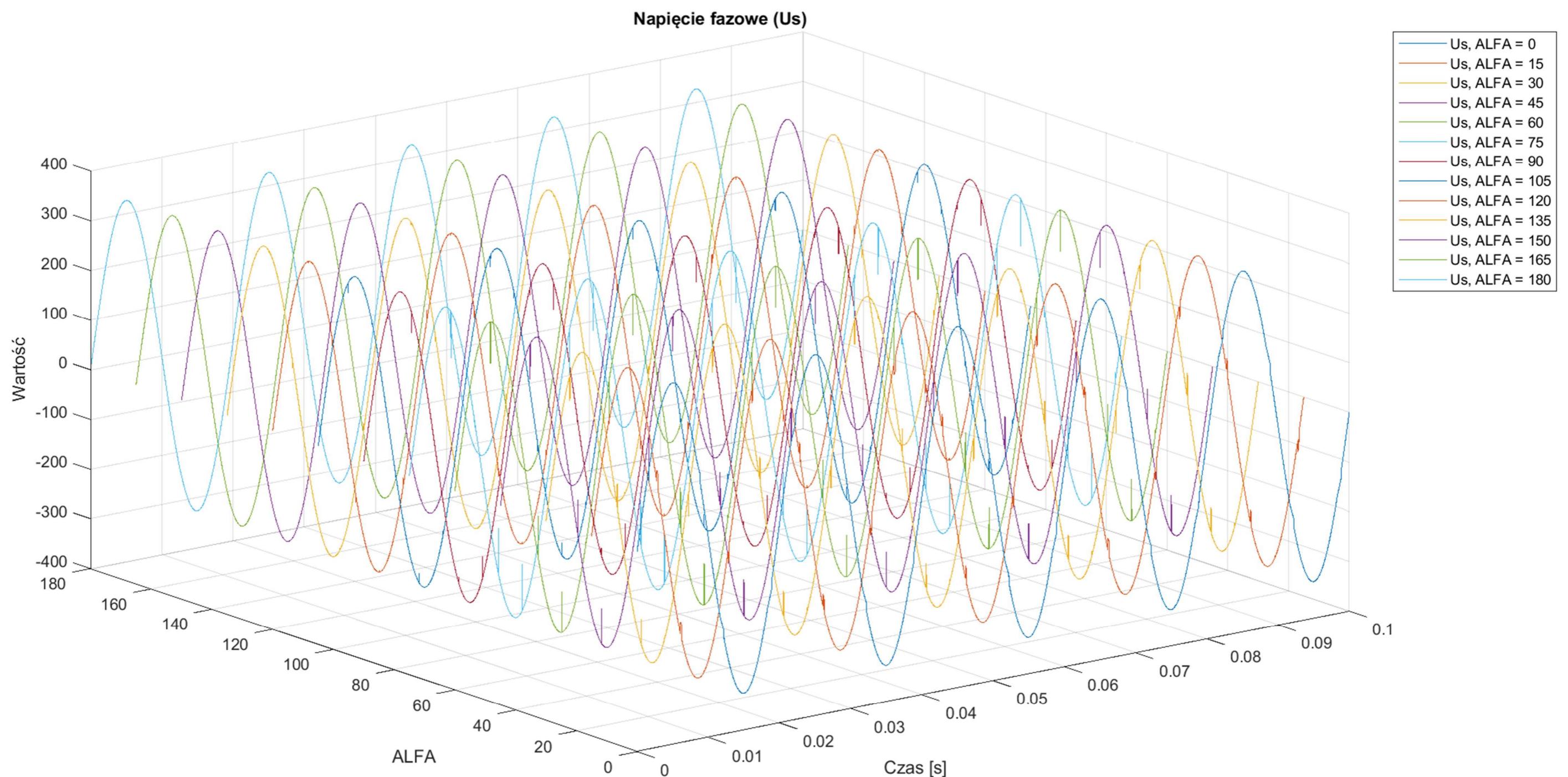
Rys.2.5



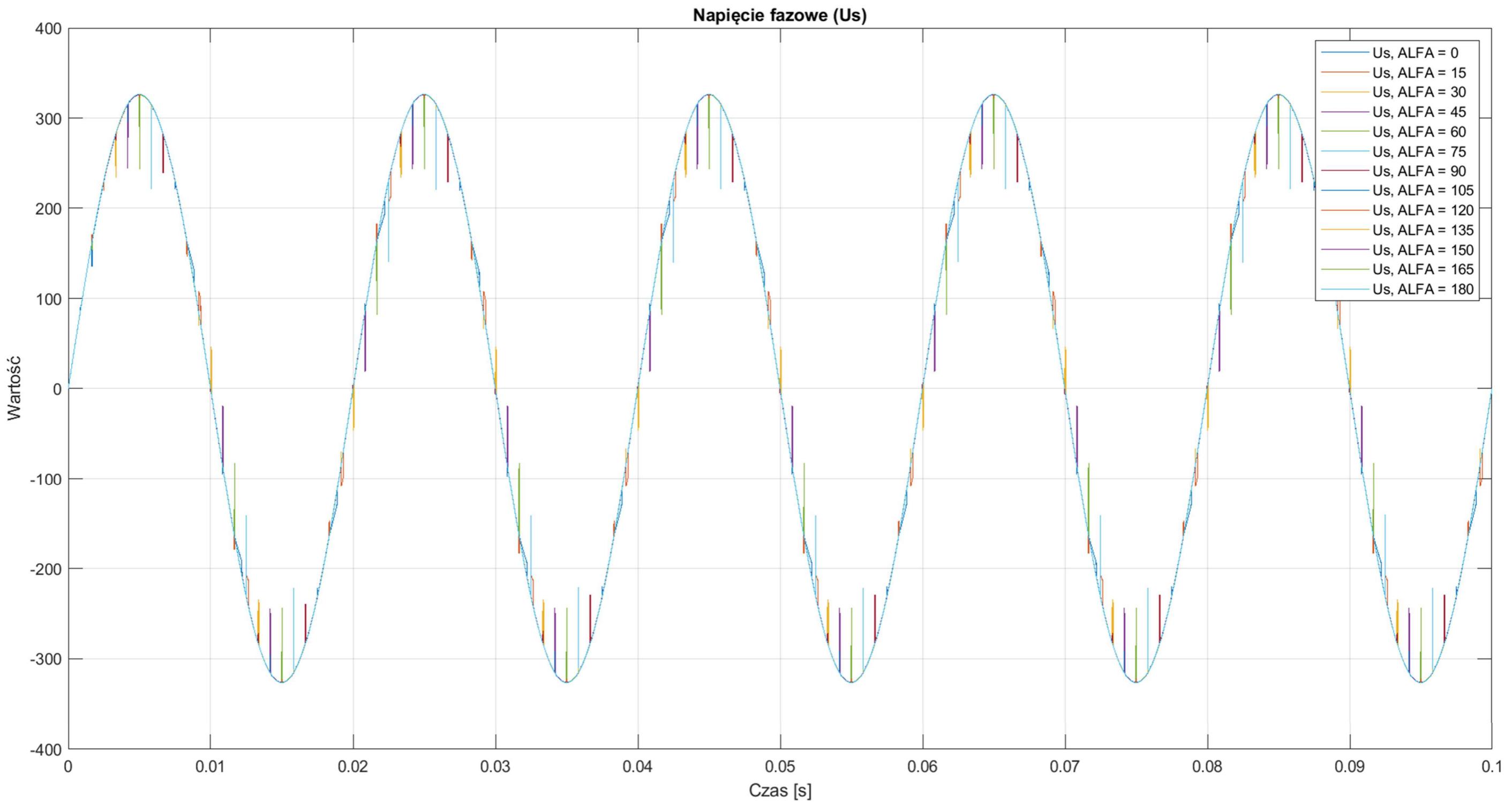
Rys.2.6



Rys.2.7



Rys.2.8



Wyniki symulacji – wpływ zmiany kąta alfa na wartości średnie i przebiegi napięcia U_dc.

- dla obciążenia rezystancyjnego $R=6\Omega$, $L=10\mu H$;

```

ALFA = 0
Udc_mean = 533.170803

ALFA = 15
Udc_mean = 515.402160

ALFA = 30
Udc_mean = 462.322541

ALFA = 45
Udc_mean = 377.535087

ALFA = 60
Udc_mean = 266.816959

ALFA = 75
Udc_mean = 155.780651

ALFA = 90
Udc_mean = 70.772118

ALFA = 105
Udc_mean = 17.648358

ALFA = 120
Udc_mean = 0.335657

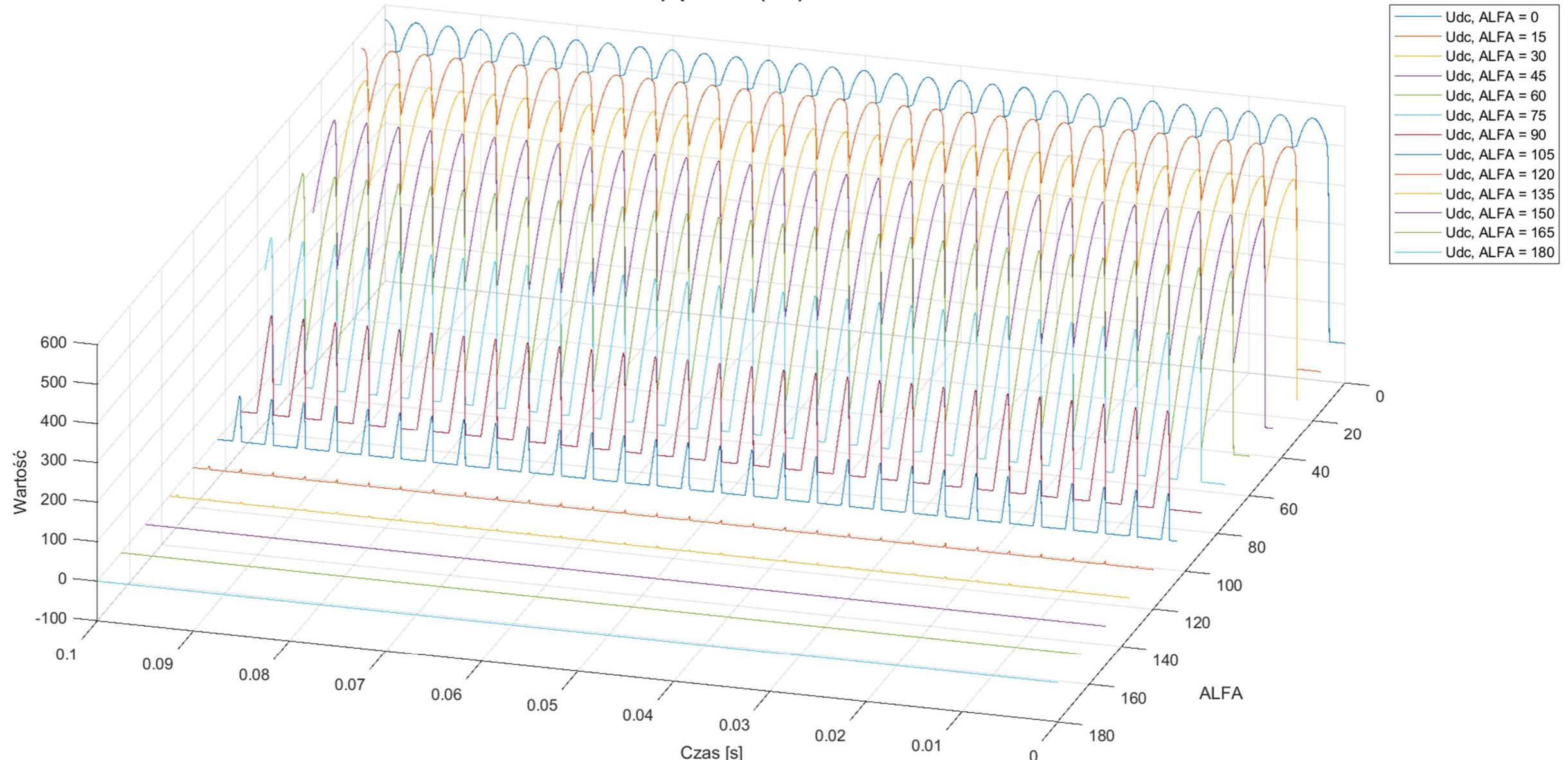
ALFA = 135
Udc_mean = 0.140342

ALFA = 150
Udc_mean = 0.000000

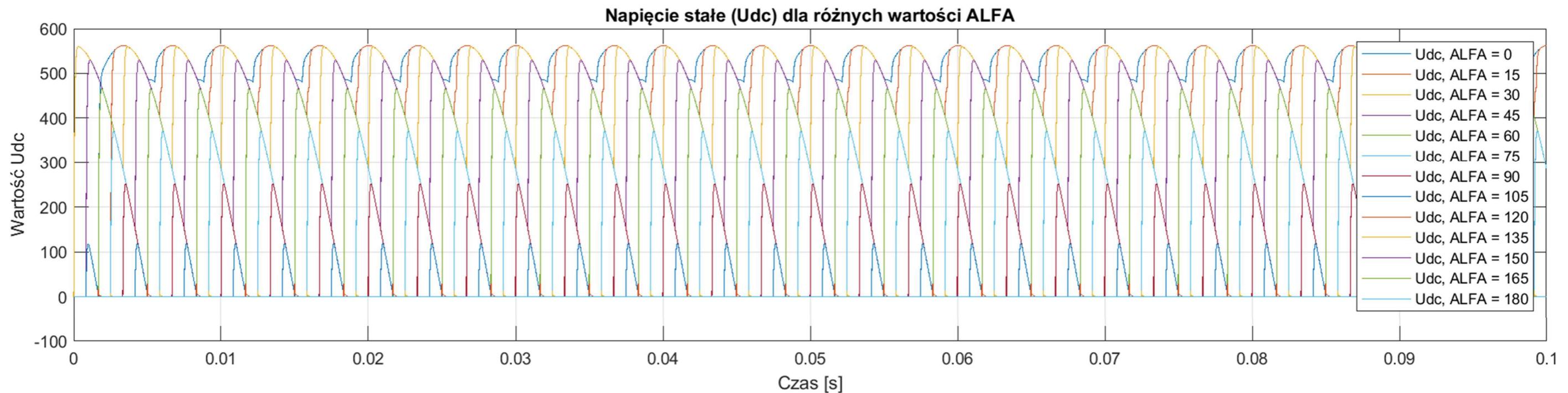
ALFA = 165
Udc_mean = 0.000000

ALFA = 180
Udc_mean = 0.000000
  
```

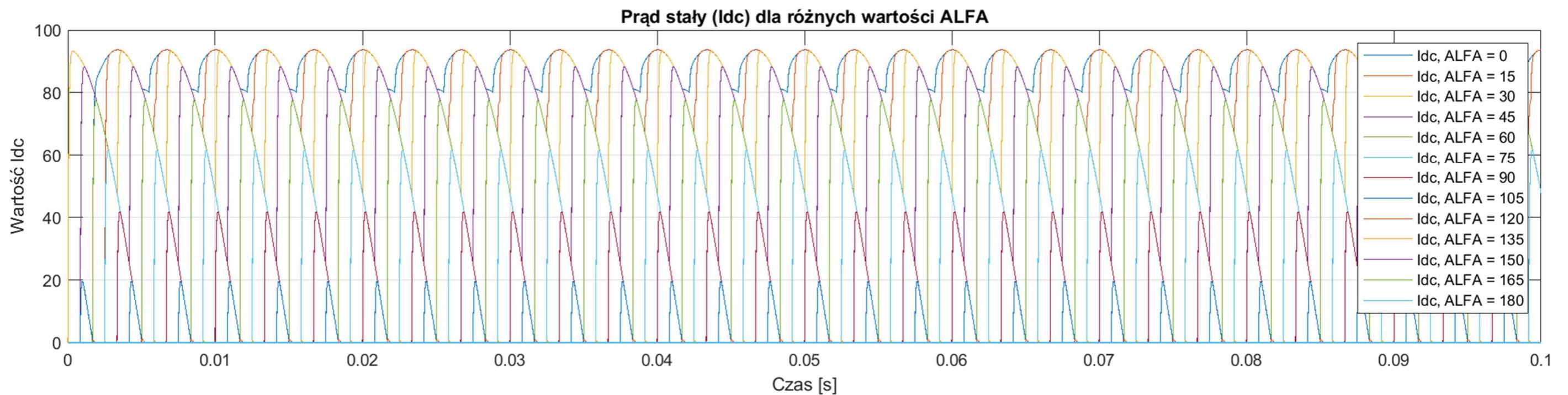
Rys.2.9
Napięcie stałe (Udc)



Rys.2.10



Rys.2.11



- dla obciążenia rezystancyjno-indukcyjnego $R=6\Omega$, $L=20mH$;

ALFA = 0
Udc_mean = 532.852020

ALFA = 15
Udc_mean = 514.651727

ALFA = 30
Udc_mean = 461.190693

ALFA = 45
Udc_mean = 376.099225

ALFA = 60
Udc_mean = 265.175004

ALFA = 75
Udc_mean = 135.977065

ALFA = 90
Udc_mean = 31.061892

ALFA = 105
Udc_mean = 5.614952

ALFA = 120
Udc_mean = 0.485494

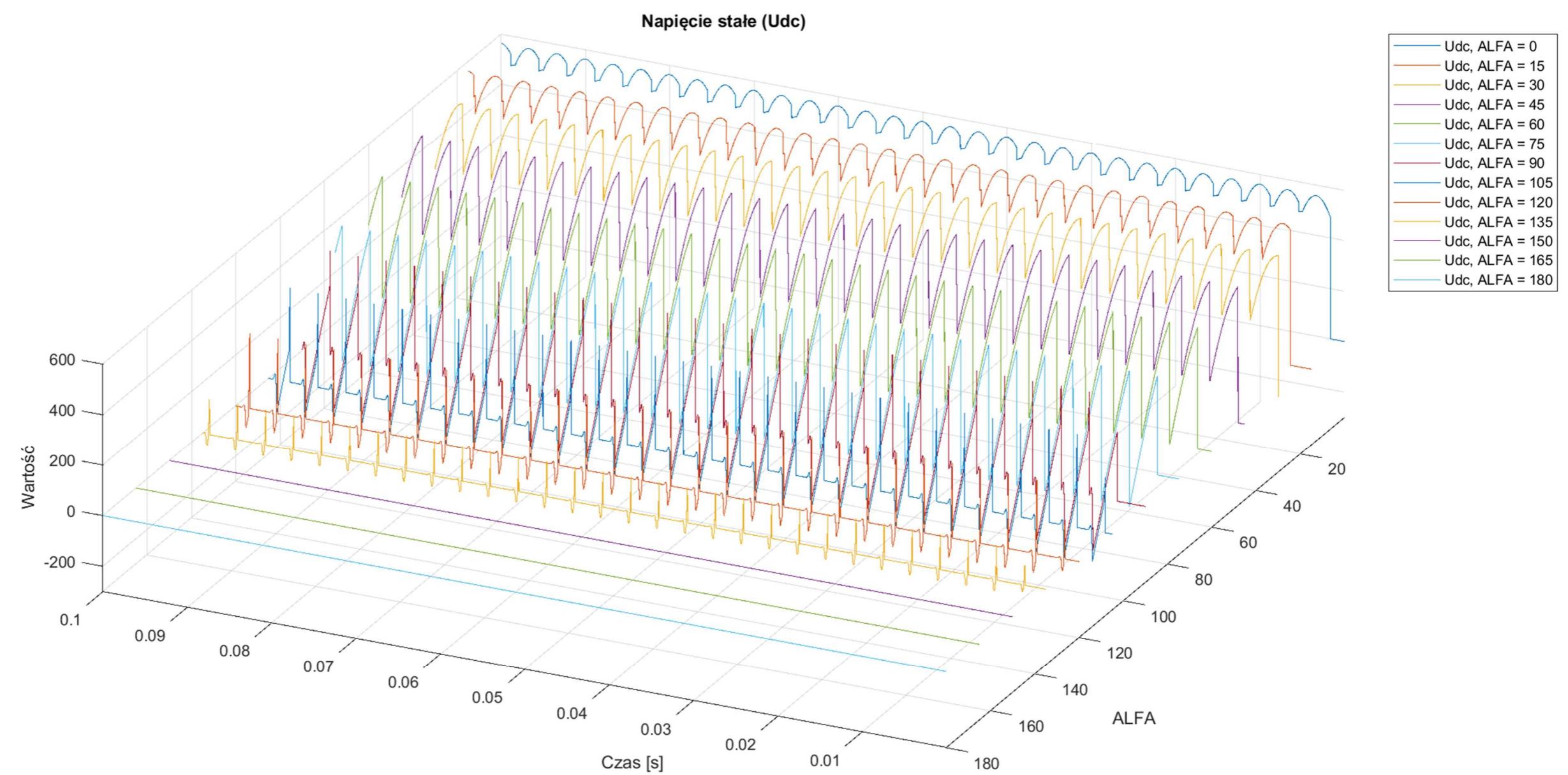
ALFA = 135
Udc_mean = 0.171813

ALFA = 150
Udc_mean = -0.000000

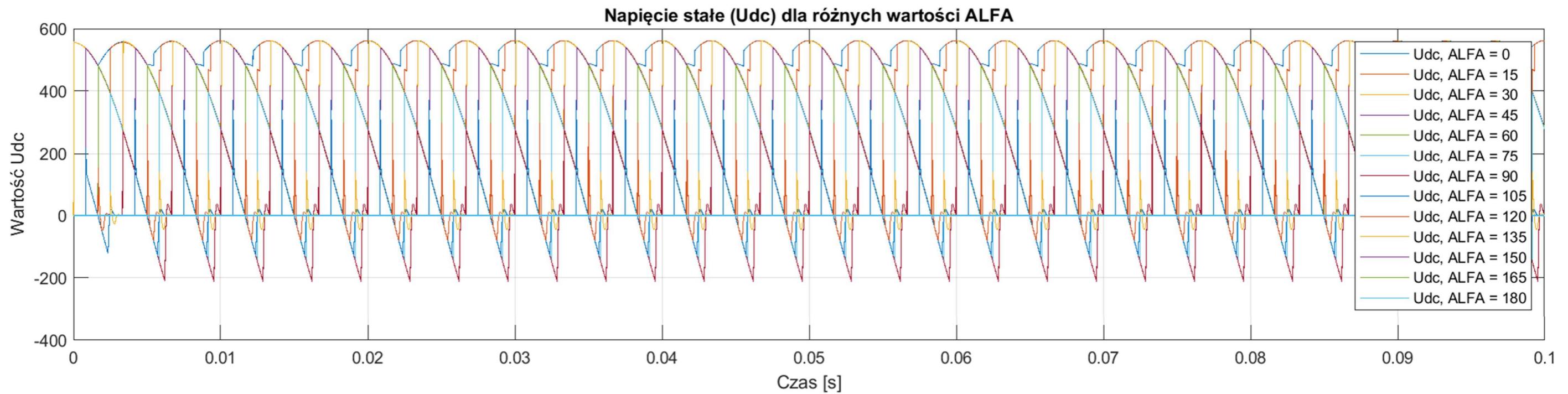
ALFA = 165
Udc_mean = -0.000000

ALFA = 180
Udc_mean = -0.000000

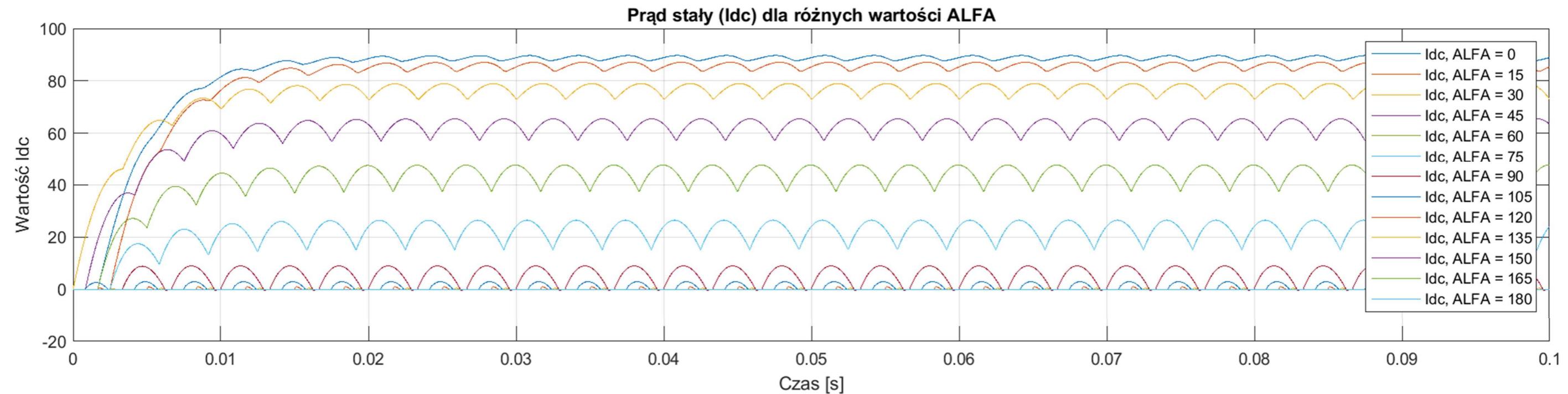
Rys.2.12



Rys.2.13

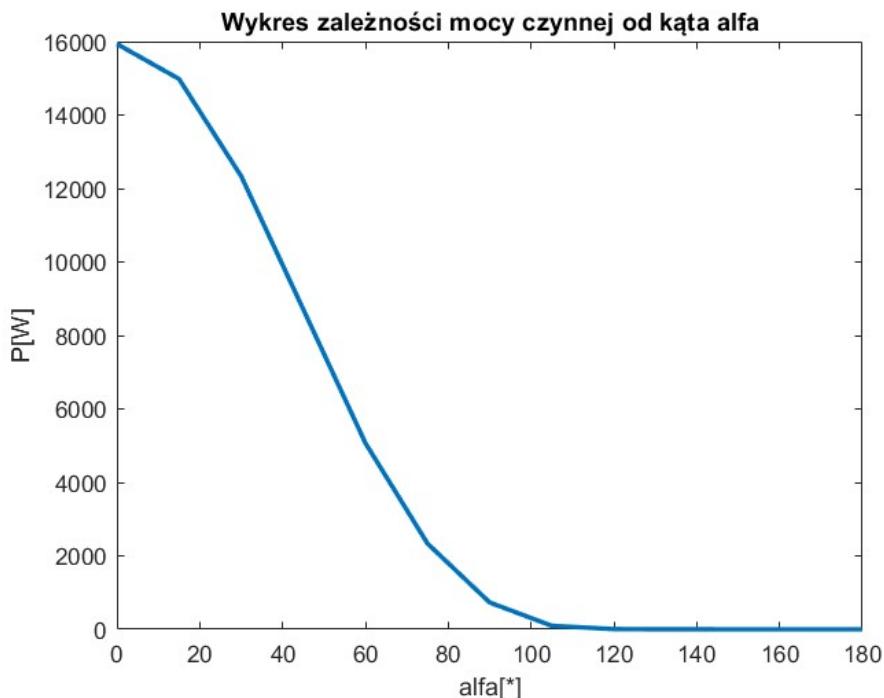


Rys.2.14

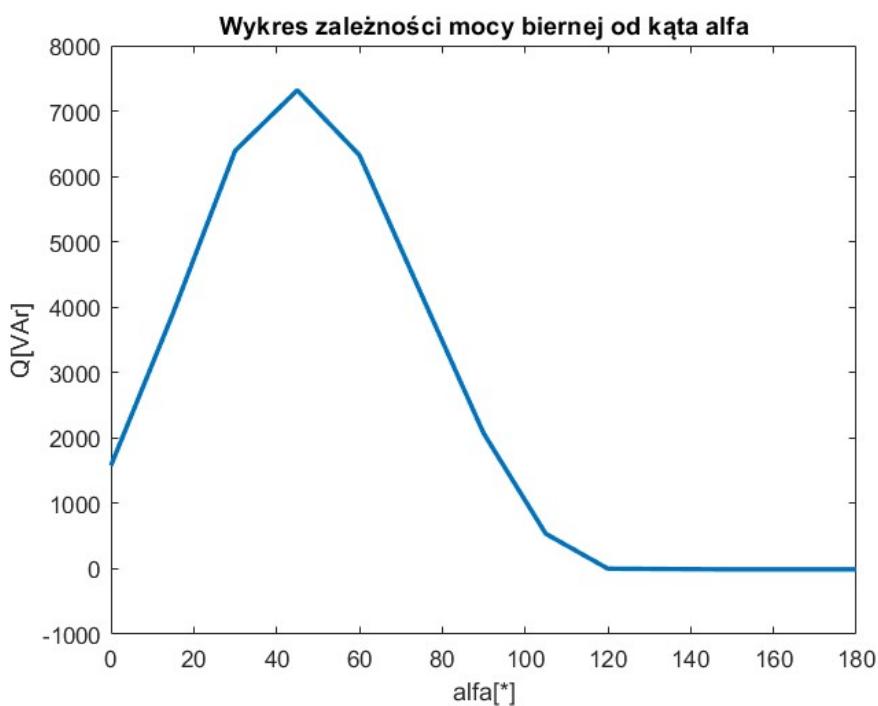


b) Moc czynna, bierna i pozorna

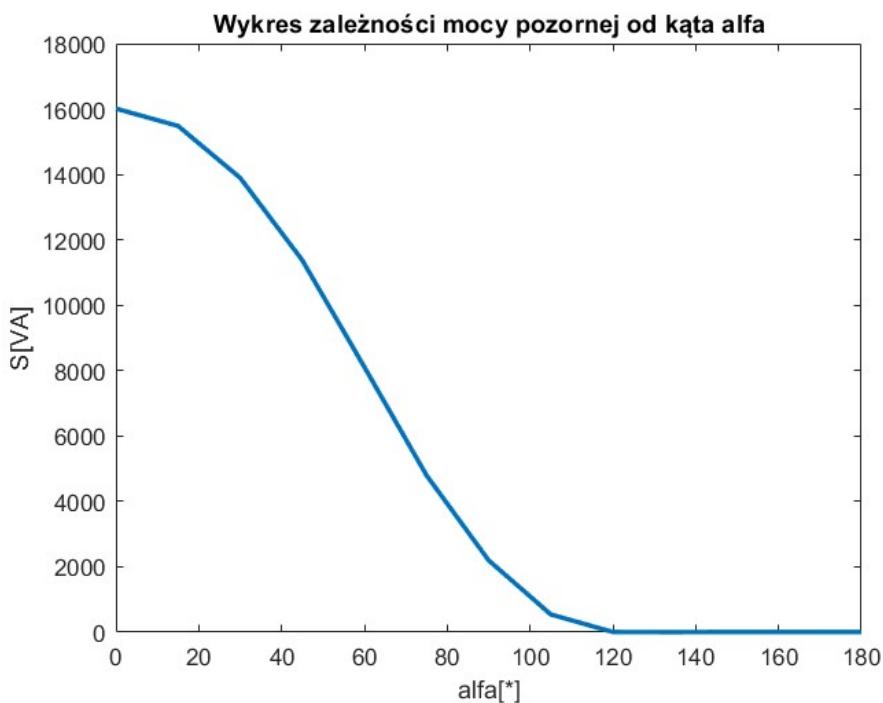
- dla obciążenia rezystancyjnego $R=6\Omega$, $L=10\mu H$;



Rys.2.15 Wykres zależności mocy czynnej od kąta alfa dla obciążenia rezystancyjnego

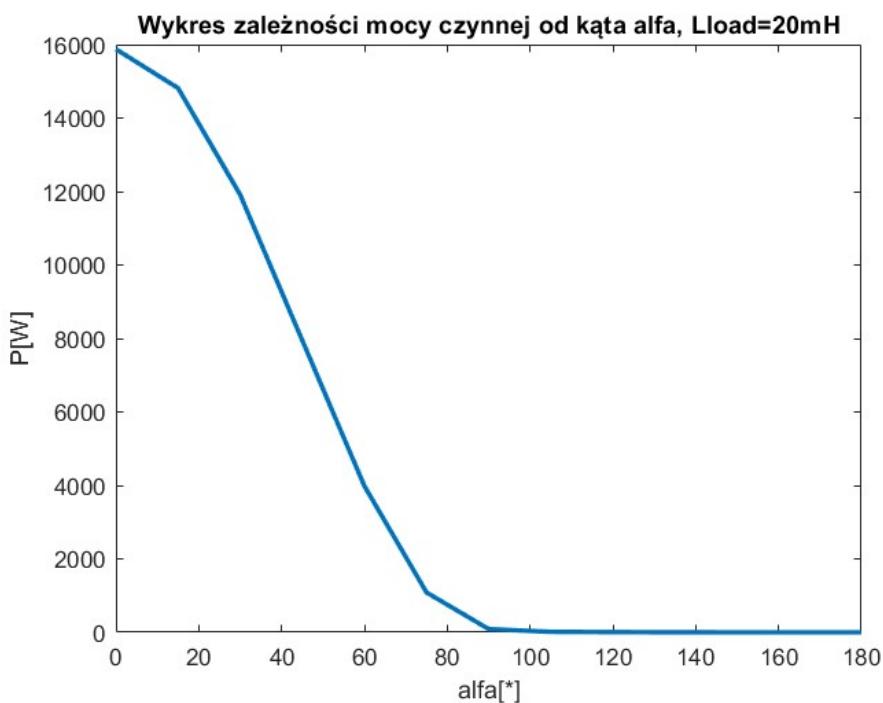


Rys.2.16 Wykres zależności mocy biernej od kąta alfa dla obciążenia rezystancyjnego

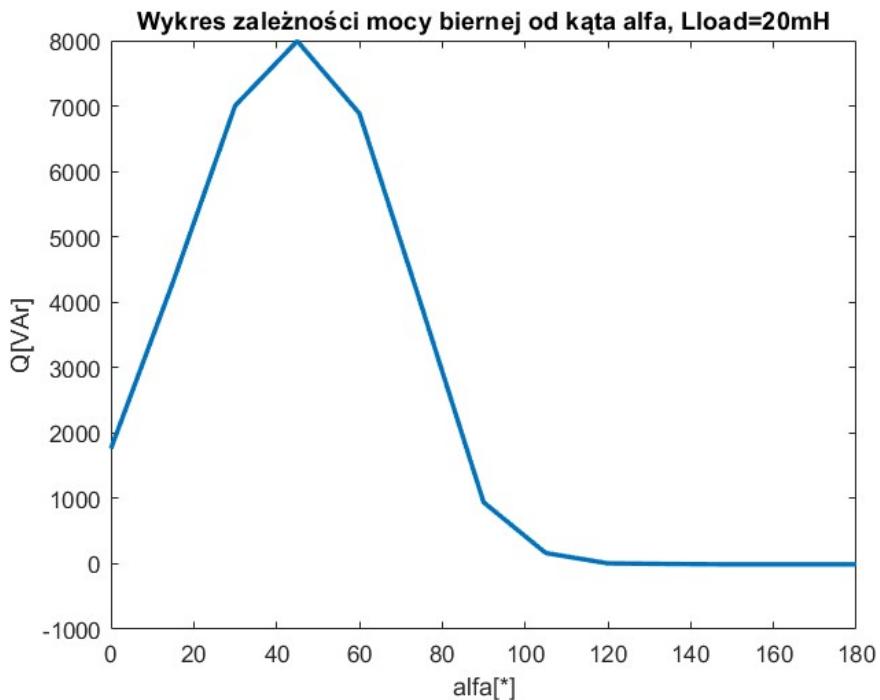


Rys.2.17 Wykres zależności mocy pozornej od kąta alfa dla obciążenia rezystancyjnego

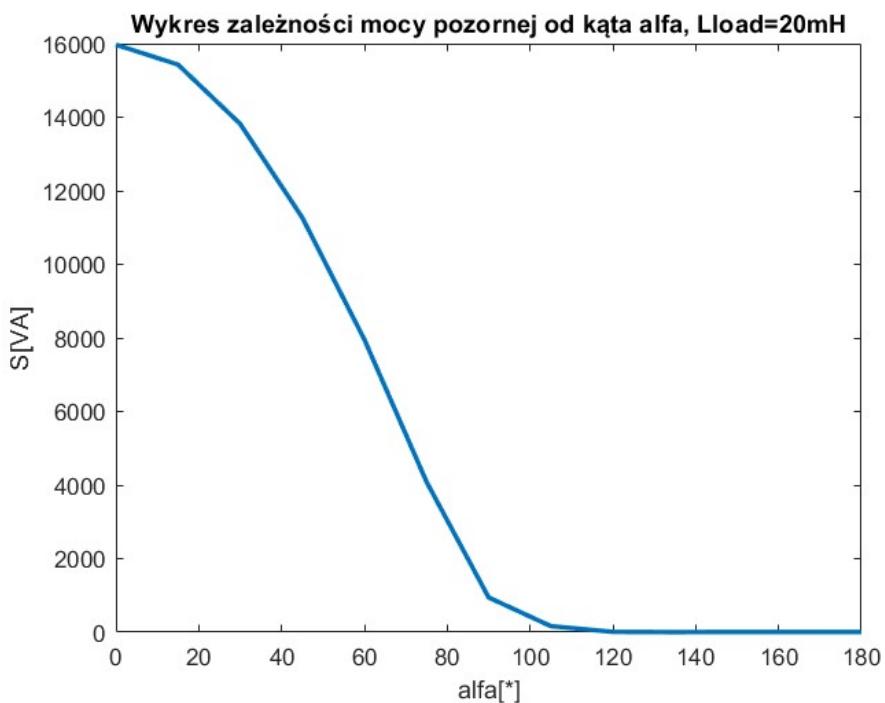
- dla obciążenia rezystancyjno-indukcyjnego $R=6\Omega$, $L=20mH$;



Rys.2.18 Wykres zależności mocy czynnej od kąta alfa dla obciążenia rezystancyjno-indukcyjnego



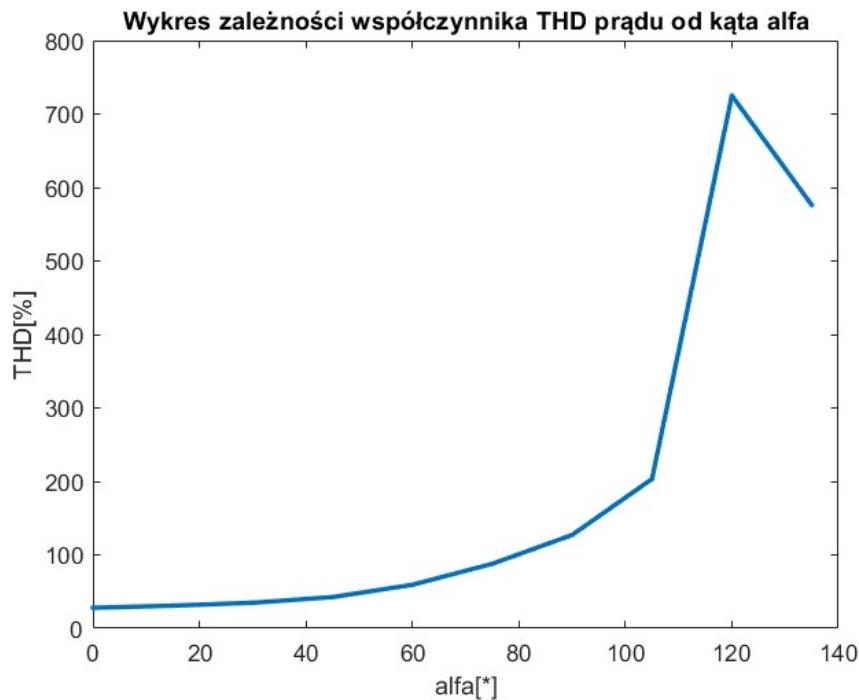
Rys.2.19 Wykres zależności mocy biernej od kąta alfa dla obciążenia rezystancyjno-indukcyjnego



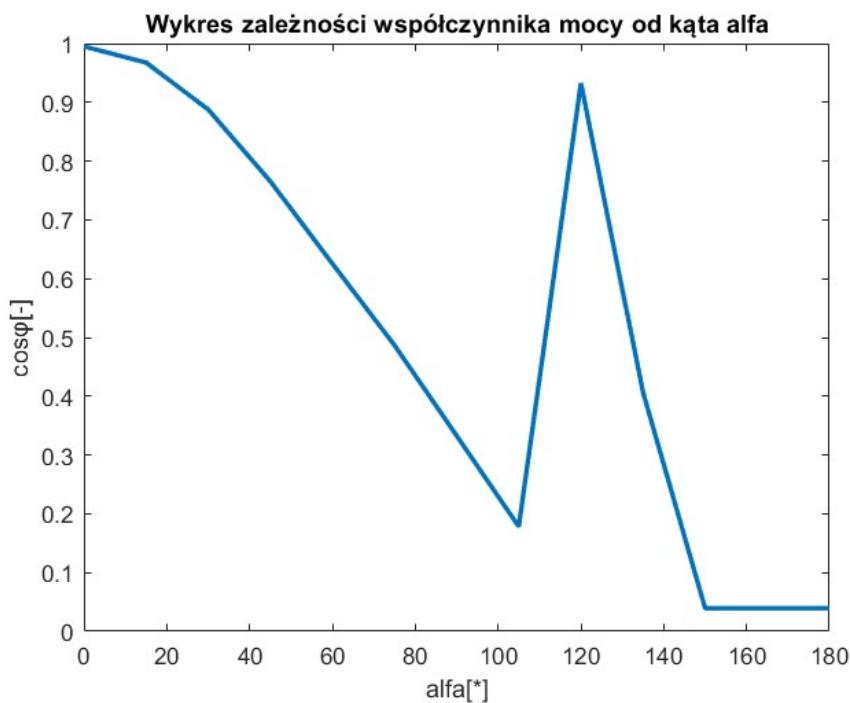
Rys.2.20 Wykres zależności mocy pozornej od kąta alfa dla obciążenia rezystancyjno-indukcyjnego

c) Parametry jakości energii elektrycznej (THD_i, cos_φ, I₅/I₁, I₇/I₁)

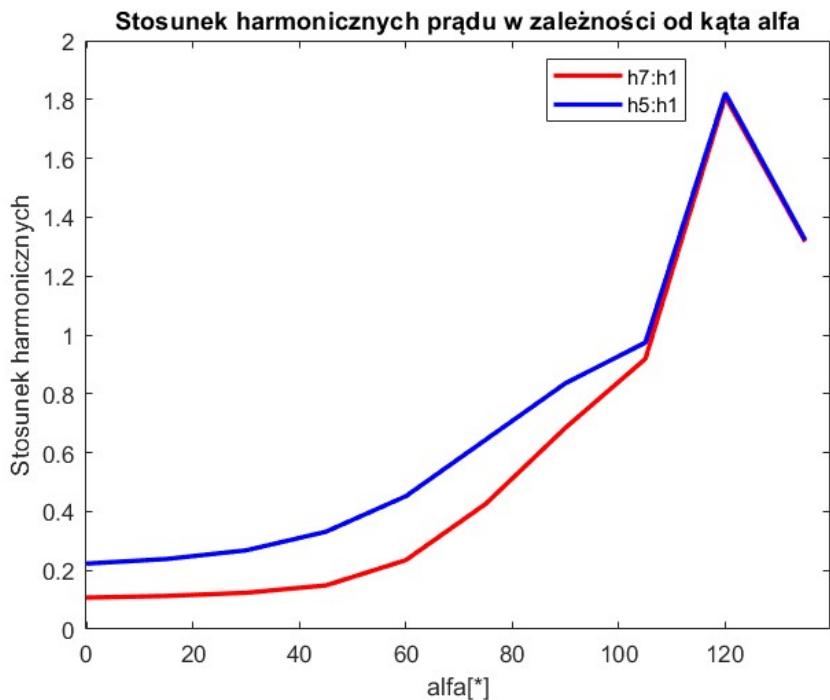
- dla obciążenia rezystancyjnego $R=6\Omega$, $L=10\mu H$;



Rys.2.21 Zależność współczynnika THD prądu sieci od kąta alfa, dla obciążenia rezystancyjnego

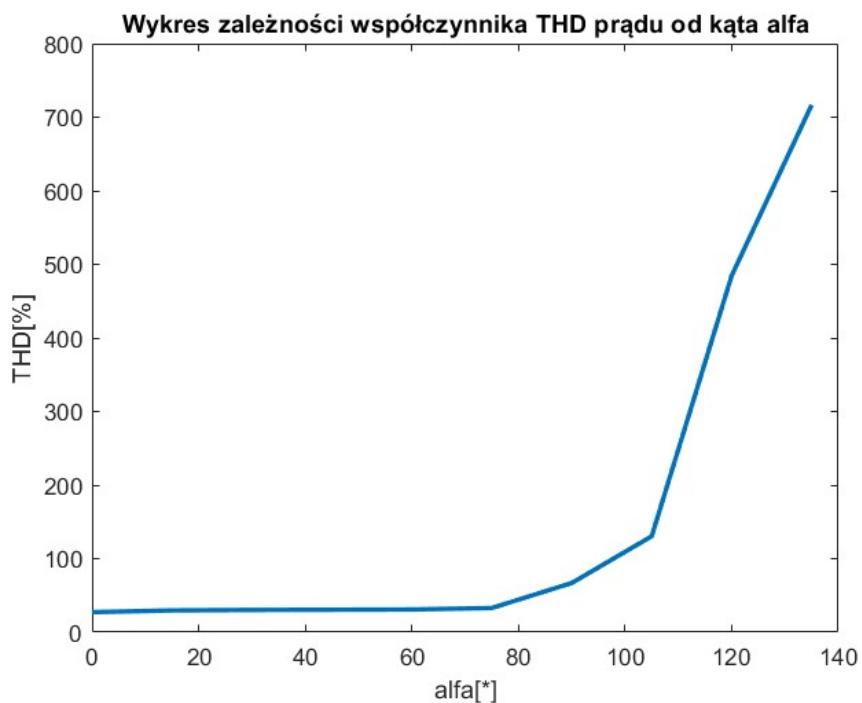


Rys.2.22 Zależność współczynnika mocy pobieranej z sieci od kąta alfa, dla obciążenia rezystancyjnego

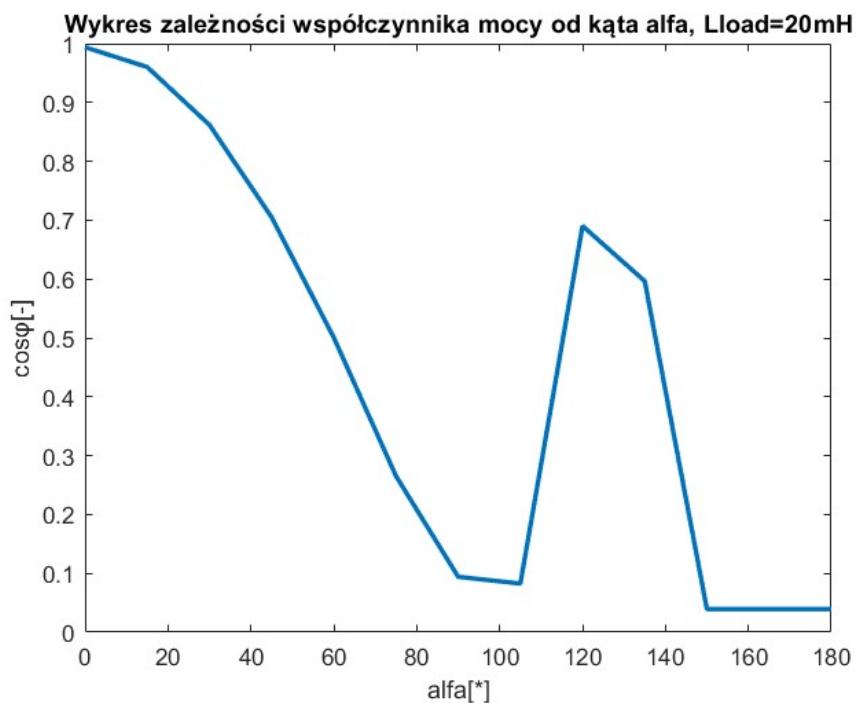


Rys.2.23 Piąta i siódma harmoniczna w stosunku do pierwszej harmonicznej prądu sieci, w zależności od kąta alfa, dla obciążenia rezystancyjnego

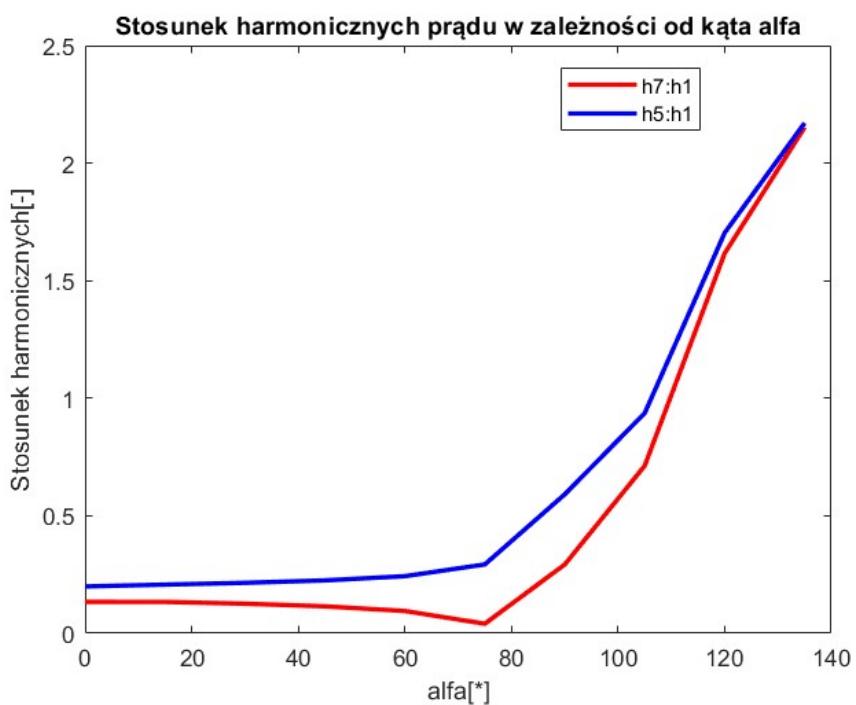
- dla obciążenia rezystancyjno-indukcyjnego $R=6\Omega$, $L=20mH$;



Rys.2.24 Zależność współczynnika THD prądu sieci od kąta alfa, dla obciążenia rezystancyjnego



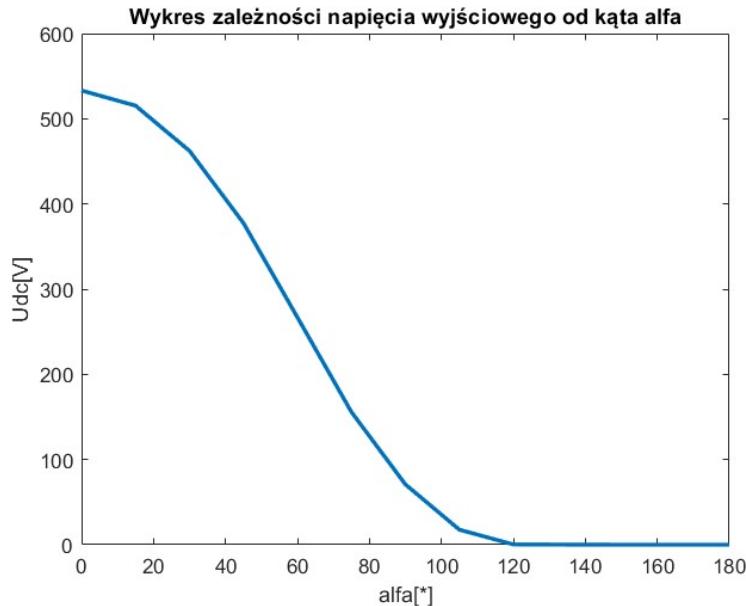
Rys.2.25 Zależność współczynnika mocy pobieranej z sieci od kąta alfa, dla obciążenia rezystancyjnego



Rys.2.26 Piąta i siódma harmoniczna w stosunku do pierwszej harmonicznej prądu sieci, w zależności od kąta alfa, dla obciążenia rezystancyjno-indukcyjnego

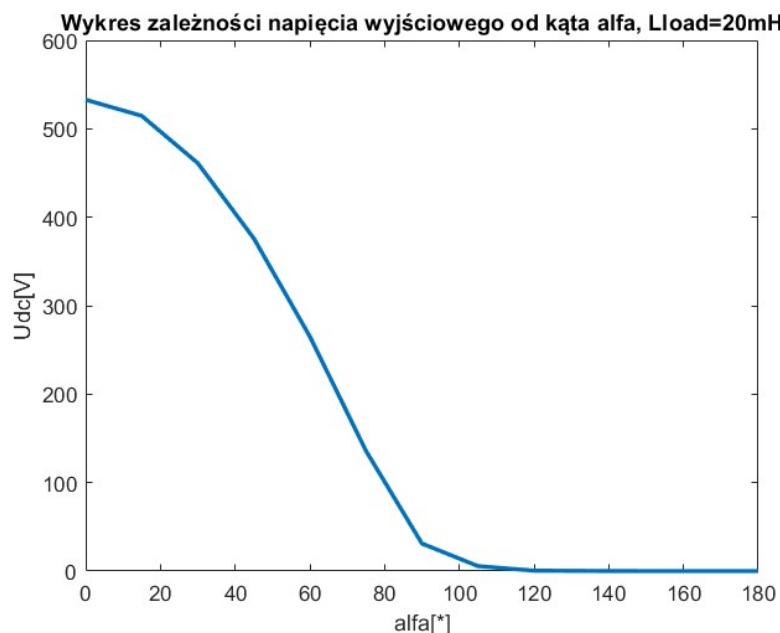
d) Wartość średnią napięcia wyjściowego

- dla obciążenia rezystancyjnego $R=6\Omega$, $L=10\mu H$



Rys.2.27 Wykres wartości średniej napięcia obciążenia w zależności od kąta alfa, dla obciążenia rezystancyjnego.

- dla obciążenia rezystancyjno-indukcyjnego $R=6\Omega$, $L=20mH$;

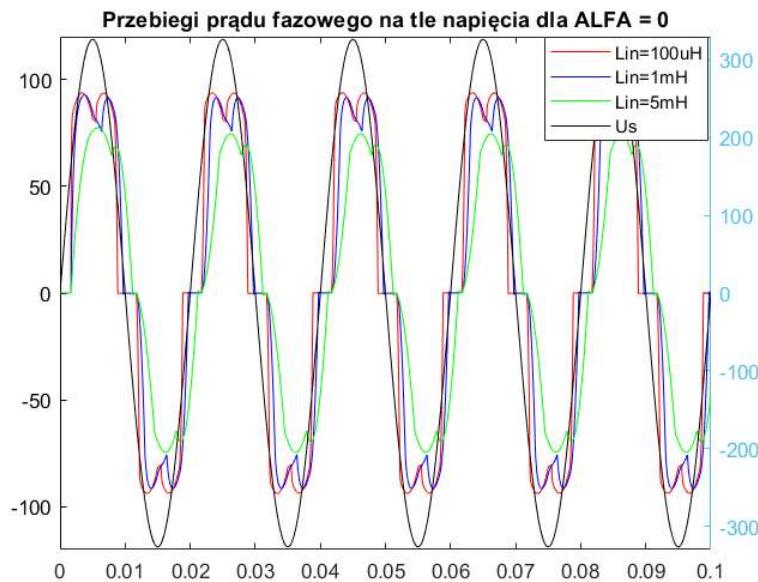


Rys.2.28 Wykres wartości średniej napięcia obciążenia w zależności od kąta alfa, dla obciążenia rezystancyjno-indukcyjnego.

3. Wyniki symulacji – wpływ zmiany indukcyjności wejściowej na:

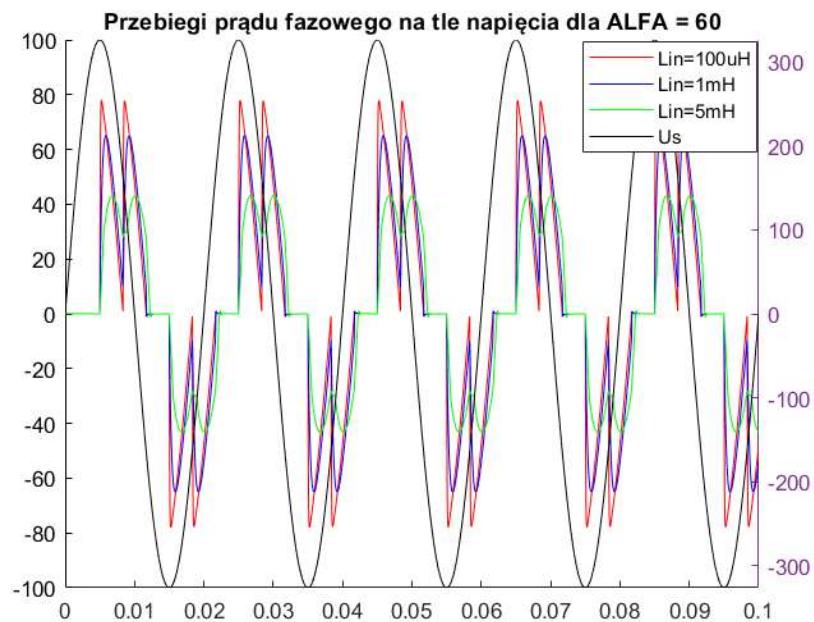
a) kształt przebiegu prądu wejściowego na tle napięcia

- Dla kąta $\alpha=0^\circ$



Rys.3.1 Przebiegi prądu wejściowego na tle napięcia sieci, dla różnych wartości indukcyjności wejściowej i kąta alfa = 0°

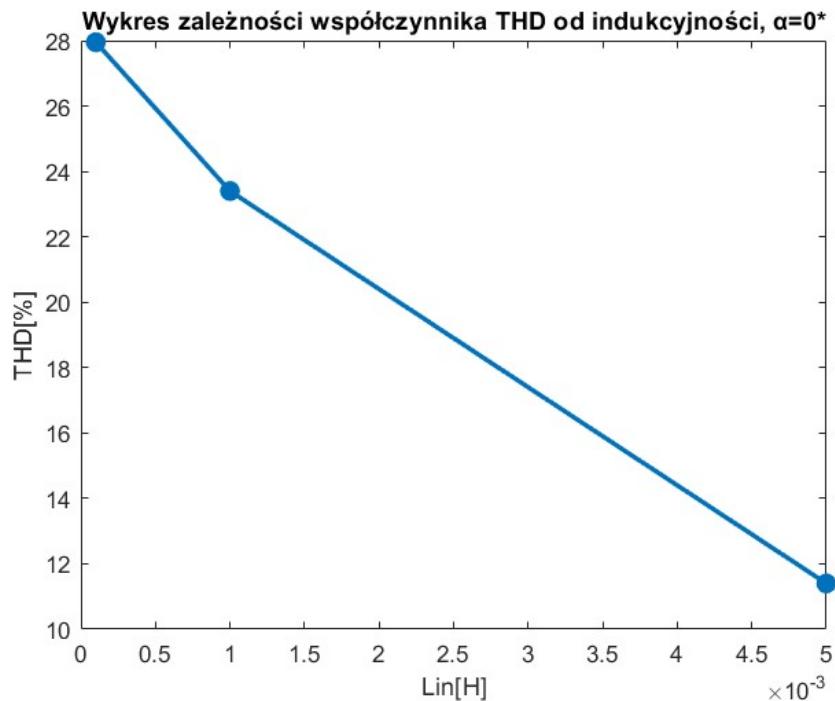
- Dla kąta $\alpha=60^\circ$



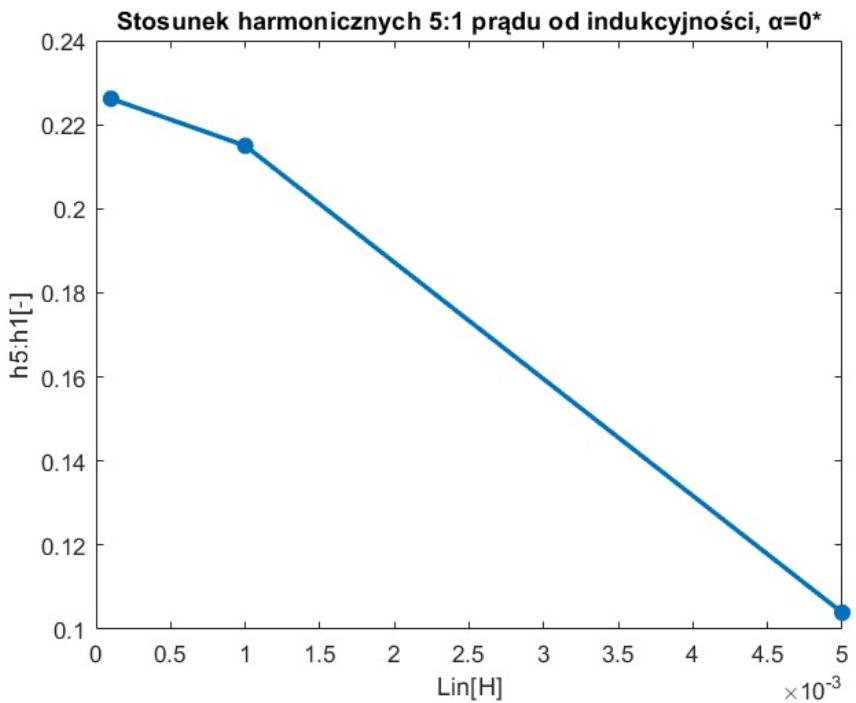
Rys.3.2 Przebiegi prądu wejściowego na tle napięcia sieci, dla różnych wartości indukcyjności wejściowej i kąta alfa = 60°

b) Zawartość harmonicznych

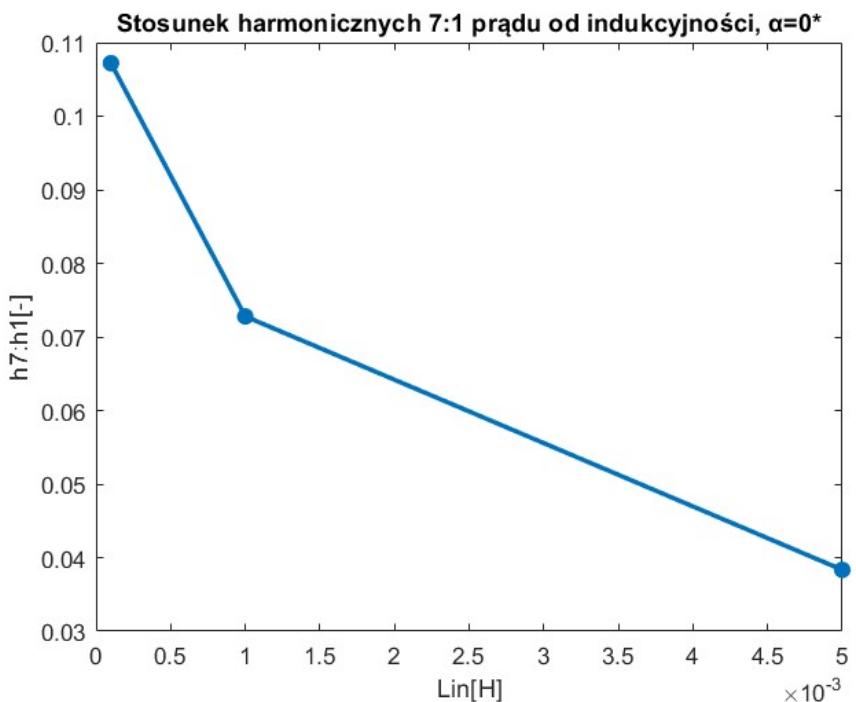
➤ Dla kąta $\alpha=0^\circ$



Rys. 3.3 Wykres zależności współczynnika THD prądu sieci dla różnych indukcyjności wejściowych i kąta alfa=0°

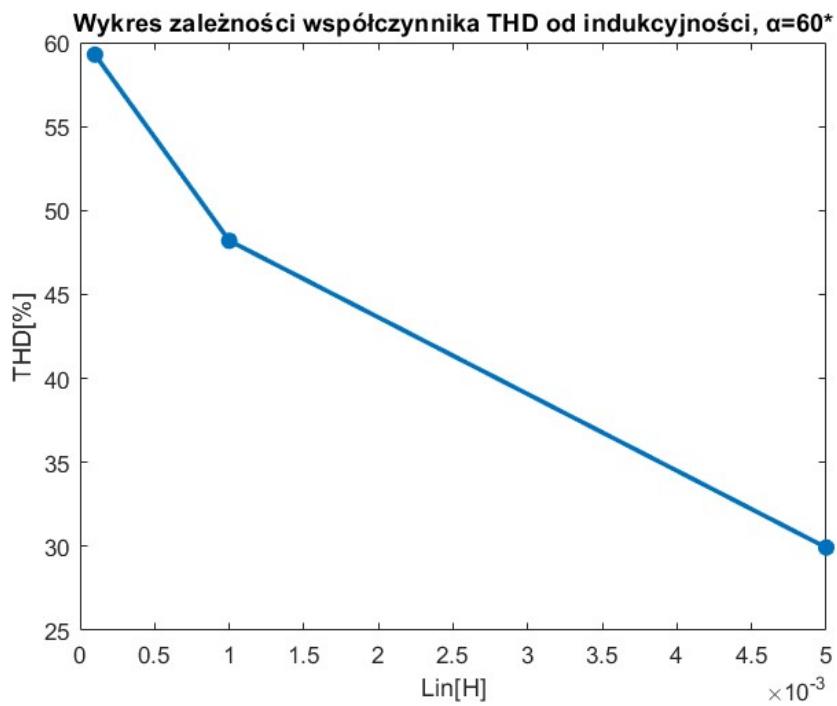


Rys.3.4 Stosunek piątej do pierwszej harmonicznej prądu sieci dla różnych indukcyjności wejściowych i kąta alfa= 0°

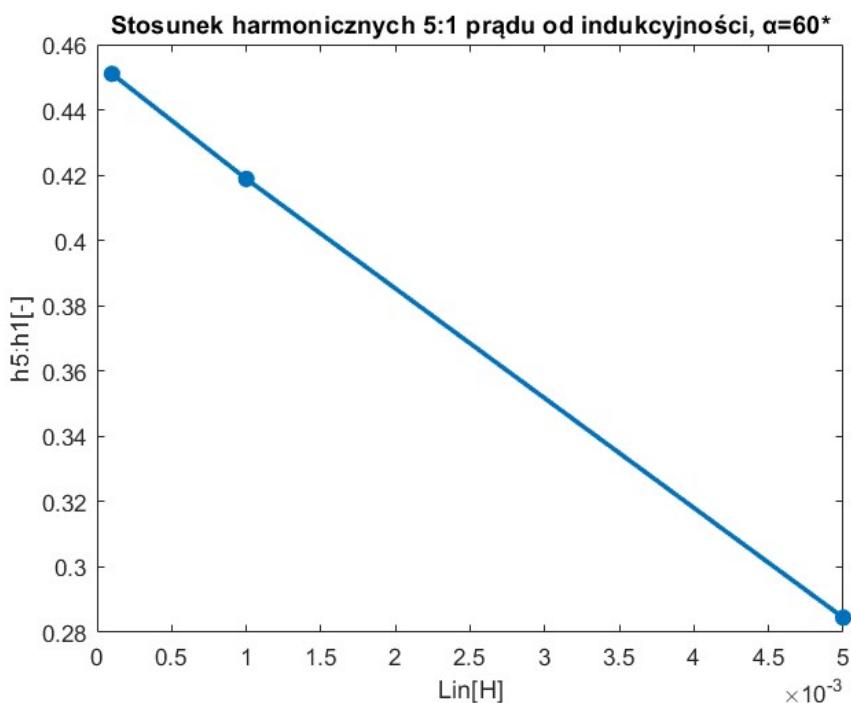


Rys.3.5 Stosunek siódmej do pierwszej harmonicznej prądu sieci dla różnych indukcyjności wejściowych i kąta alfa= 0°

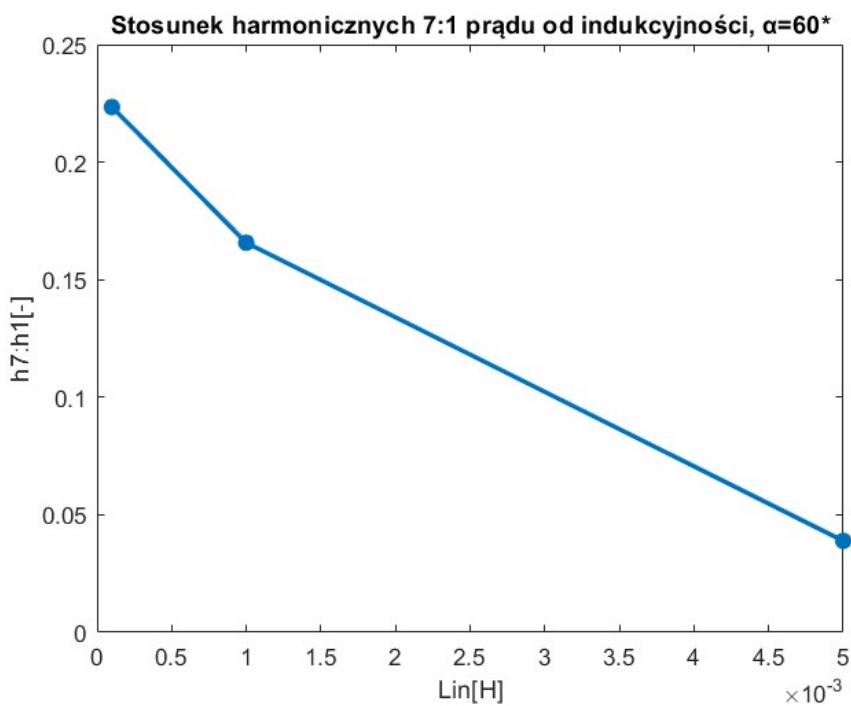
- Dla kąta $\alpha=60^\circ$



Rys.3.6 Wykres zależności współczynnika THD prądu sieci dla różnych indukcyjności wejściowych i kąta alfa=60°



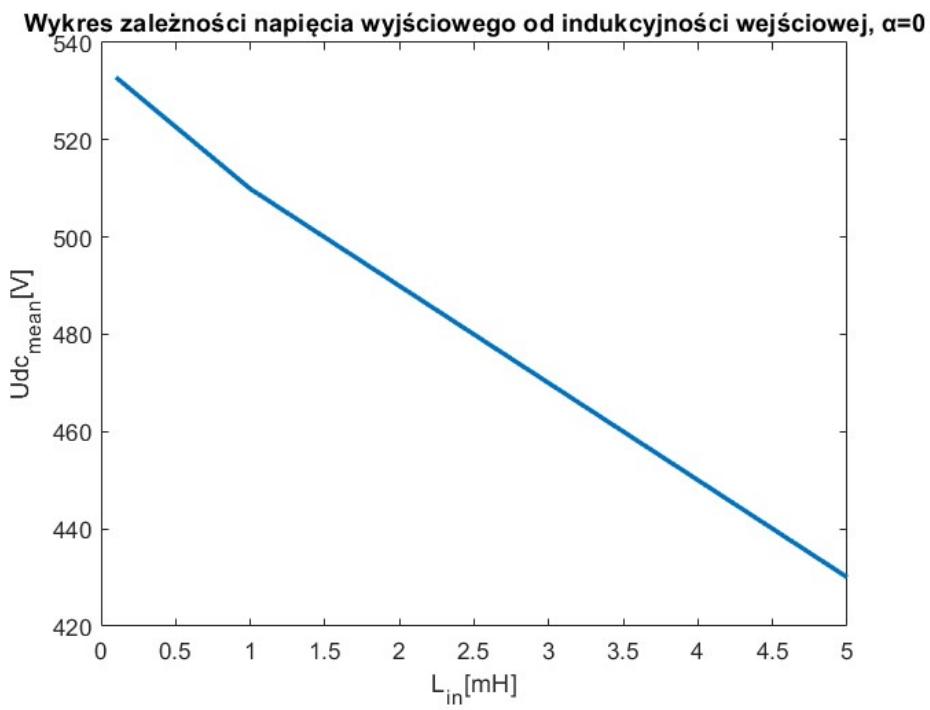
Rys.3.7 Stosunek piątej do pierwszej harmonicznej prądu sieci dla różnych indukcyjności wejściowych i kąta alfa= 60°



Rys.3.8 Stosunek siódmej do pierwszej harmonicznej prądu sieci dla różnych indukcyjności wejściowych i kąta alfa= 60°

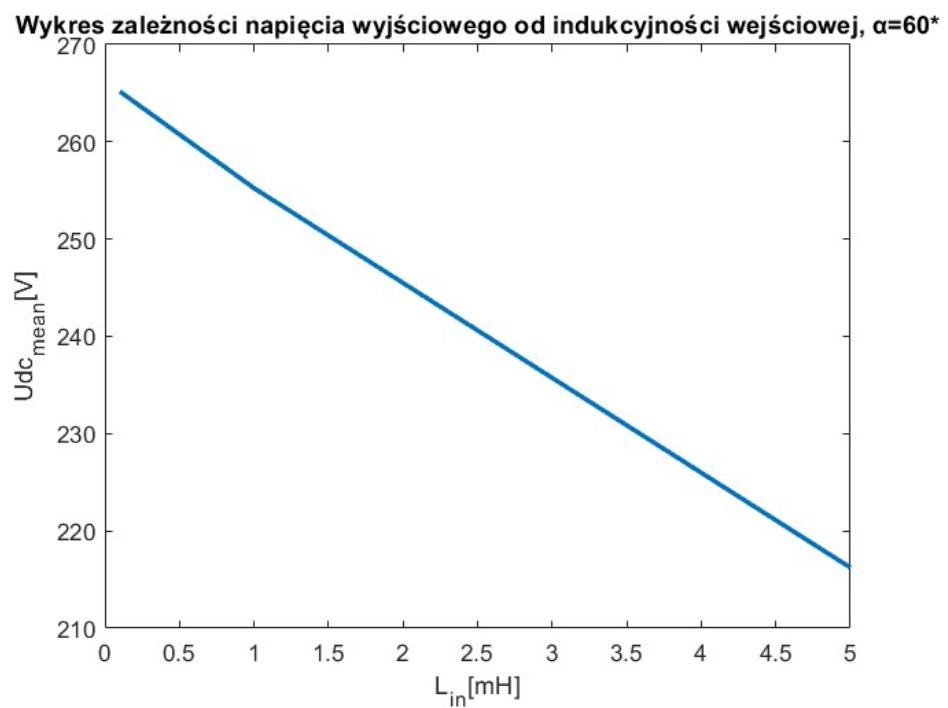
c) Wartość średnią napięcia

➤ Dla kąta $\alpha=0^\circ$



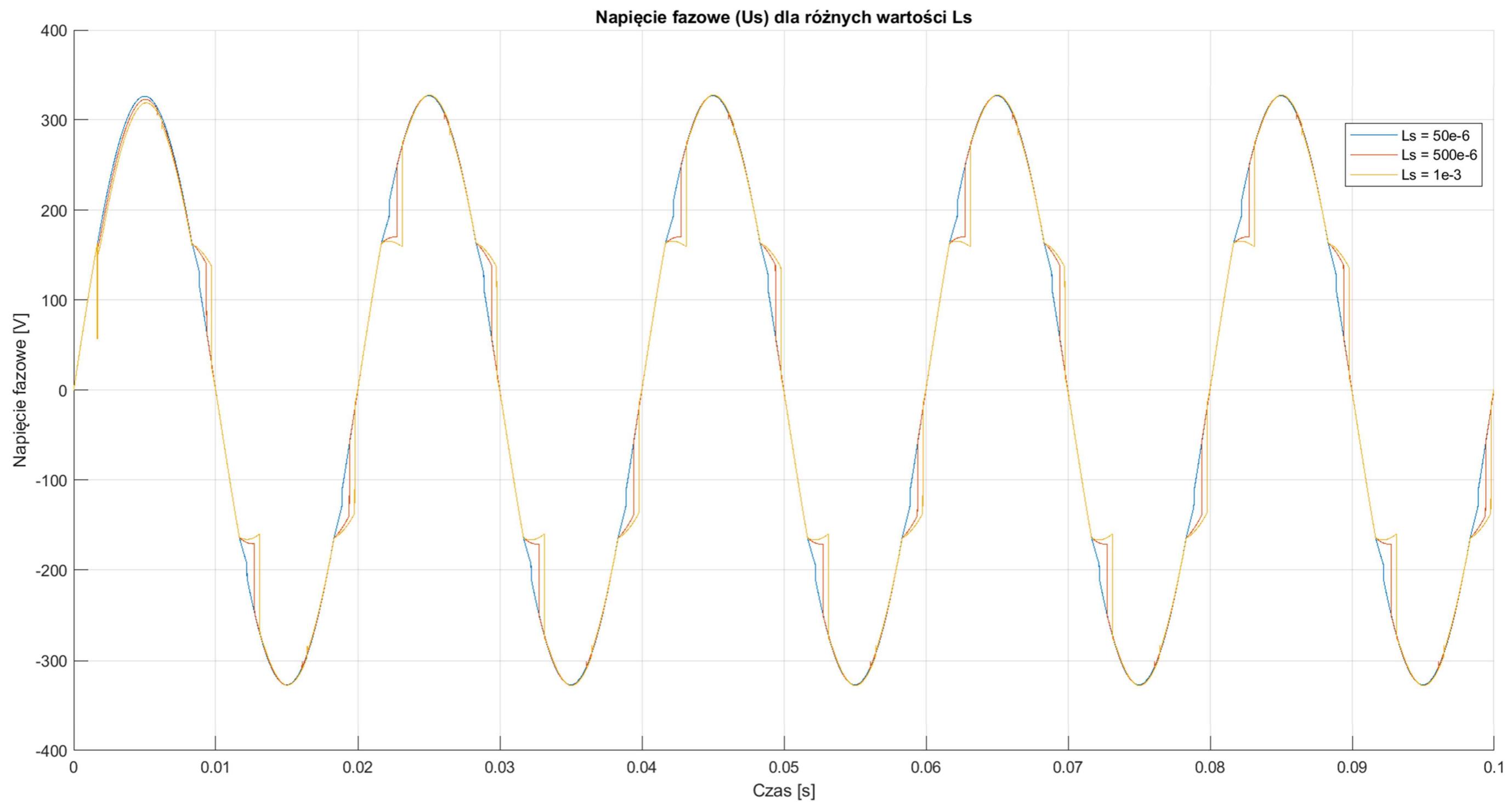
Rys.3.9 Wykres zależności wartości średniej napięcia wyjściowego dla różnych indukcyjności wejściowych i kąta alfa= 0°

- Dla kąta $\alpha=60^\circ$

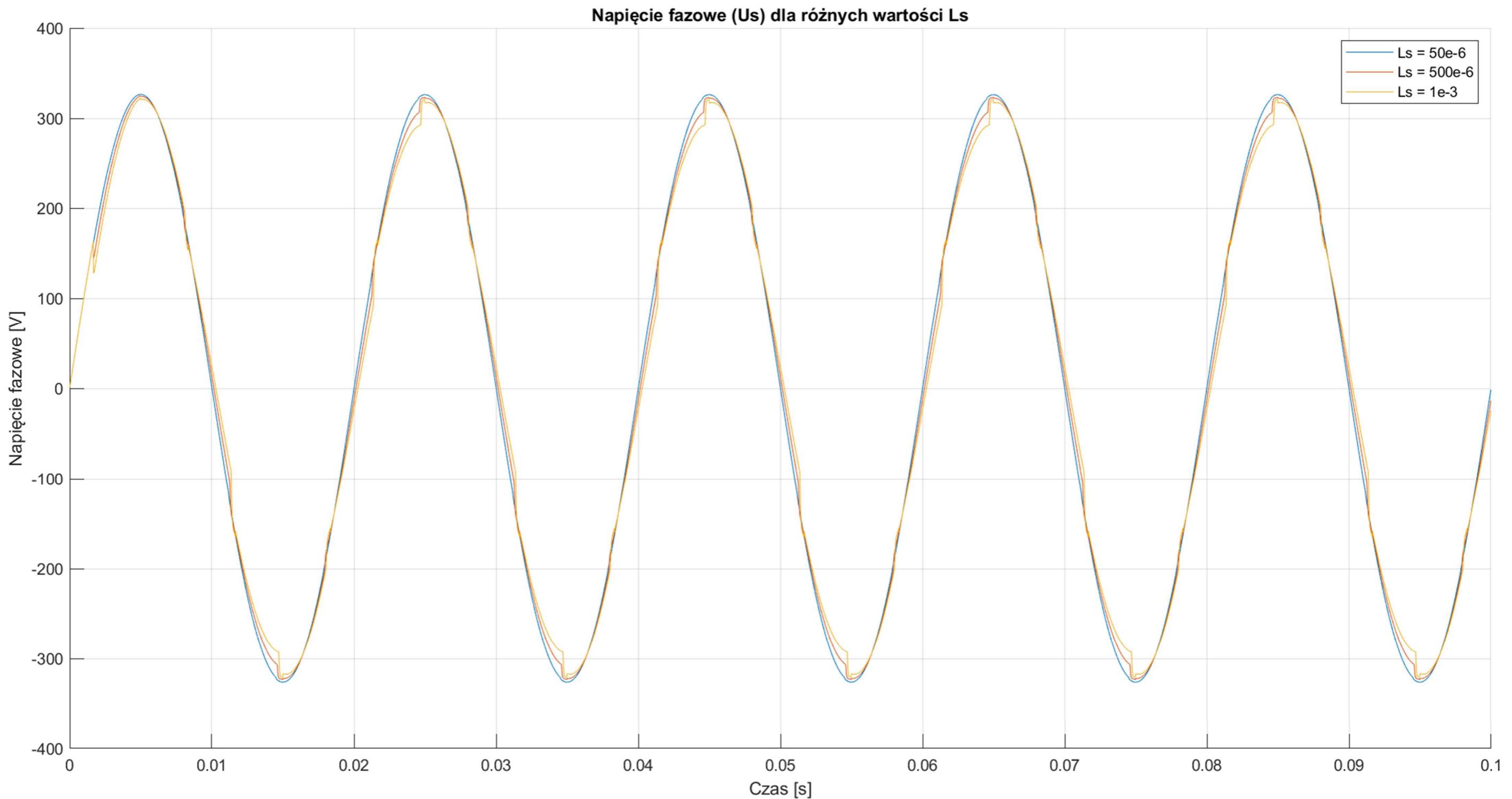


Rys.3.10 Wykres zależności wartości średniej napięcia wyjściowego dla różnych indukcyjności wejściowych i kąta alfa=60°

4. Wyniki symulacji – wpływ zmiany indukcyjności zastępczej sieci na kształt napięcia wejściowego



Rys. 4.1 Wartość parametru $L_{in} = 100e-6$.



Rys. 4.2 Wartość parametru $L_{in} = 5e-3$.

5. Wnioski

a) Wpływ zmiany kąta alfa

Zwiększenie kąta alfa sprawia, że maleje wartość średnia napięcia wyjściowego – dla obciążenia rezystancyjno-indukcyjnego napięcie spada szybciej.

Wykres zależności mocy czynnej i pozornej od kąta zapłonu jest zbliżona do wykresu napięcia wyjściowego – czym wyższe napięcie, tym większa moc pobierana.

Moc bierna natomiast przyjmuje maksymalną wartość dla $\alpha=45^\circ$ (Rys. 2.16 i 2.19). Dzieje się tak, ponieważ opóźnianie zapłonu tyristorów skutkuje zmniejszeniem współczynnika mocy (Rys. 2.22 i 2.25).

Zawartość harmonicznych w pobieranym prądzie również pogarsza się wraz ze wzrostem kąta α .

Zarówno na wykresach przedstawiających harmoniczne, jak i współczynnik mocy zauważyc można zmianę trendu w punktach pomiarowych dla kątów $\alpha \geq 120^\circ$. To dlatego, że przy kącie 120° tyristory zostają wysterowane, gdy napięcie osiąga 0V i prądy jakie wtedy płyną również są bliskie zeru. Pomiary i obliczenia w tych punktach są z tego powodu niemiarodajne.

b) Wpływ indukcyjności wejściowej mostka

Zwiększenie indukcyjności wejściowej powoduje zmniejszenie wartości maksymalnej prądu pobieranego z sieci, oraz wygładzenie kształtu jego przebiegu (Rys. 3.1-3.2, s.22)

Od indukcyjności wejściowej zależy również zawartość wyższych harmonicznych w przebiegu prądu – czym większa indukcyjność tym lepsza jakość pobieranej energii. Wartość współczynnika THD spadła 2,4-krotnie dla $\alpha=0^\circ$, i 2-krotnie dla $\alpha=60^\circ$, przy zmianie indukcyjności z $100\mu\text{H}$ na 5mH (Rys. 3.3-3.8, s.24-27).

Wartość średnia napięcia wyjściowego znacząco spada wraz ze wzrostem indukcyjności wejściowej – o około 20% przy zmianie indukcyjności z $100\mu\text{H}$ na 5mH (Rys. 3.9-3.10, s.28-29).

c) Wpływ reaktancji zastępczej sieci

Indukcyjność wejściowa mostka stanowi istotny czynnik wpływający na charakter przebiegu prądu, który osiąga tyristory. Wartość tej indukcyjności ma bezpośrednią relację z deformacją kształtu przebiegu prądu, co wyraźnie ilustruje rys. 4.1 i 4.2. Zjawisko to wynika z faktu, że wzrost indukcyjności na wejściu skutkuje spowolnieniem tempa zmian prądu, spowodowanego działaniem wstecznej siły elektromotorycznej generowanej w cewkach indukcyjnych.

Zgodnie z zasadami prawa indukcji elektromagnetycznej Faradaya, indukowane napięcie skutkuje oporem względem zmiany prądu. Ten spadek napięcia, związany z indukcyjnością, przyczynia się do stopniowego wzrostu prądu, wprowadzając jednocześnie przesunięcie

fazowe pomiędzy przebiegami napięcia i prądu. Z perspektywy funkcjonowania układu, takie zjawisko jest niekorzystne.

Optymalny dobór wartości indukcyjności wejściowej mostka jest kluczowy, aby minimalizować wpływ na przebieg prądu. W praktyce oznacza to, że wartość indukcyjności powinna być dostatecznie niska, aby uniknąć zniekształceń w przebiegu prądu, jednocześnie zachowując stabilność i efektywność układu. Odpowiedni dobór tej charakterystyki indukcyjnej stanowi istotny aspekt optymalizacji działania systemu.

6. Wykorzystany kod

Zapis napięcia średniego, mocy czynnej, biernej i pozornej, oraz współczynnika mocy.

```
% Zakres wartości alfa
alfa_values = 0:15:180;

% Przygotowanie pliku tekstowego do zapisu
fileID = fopen('moc_P_G_S_cosfiR.txt', 'w');

% Pętla po wartościach alfa
for ALFA = alfa_values
    % Zmiana wartości parametru przed symulacją
    assignin('base', 'ALFA', ALFA);

    % Symulacja modelu
    sim('Model');

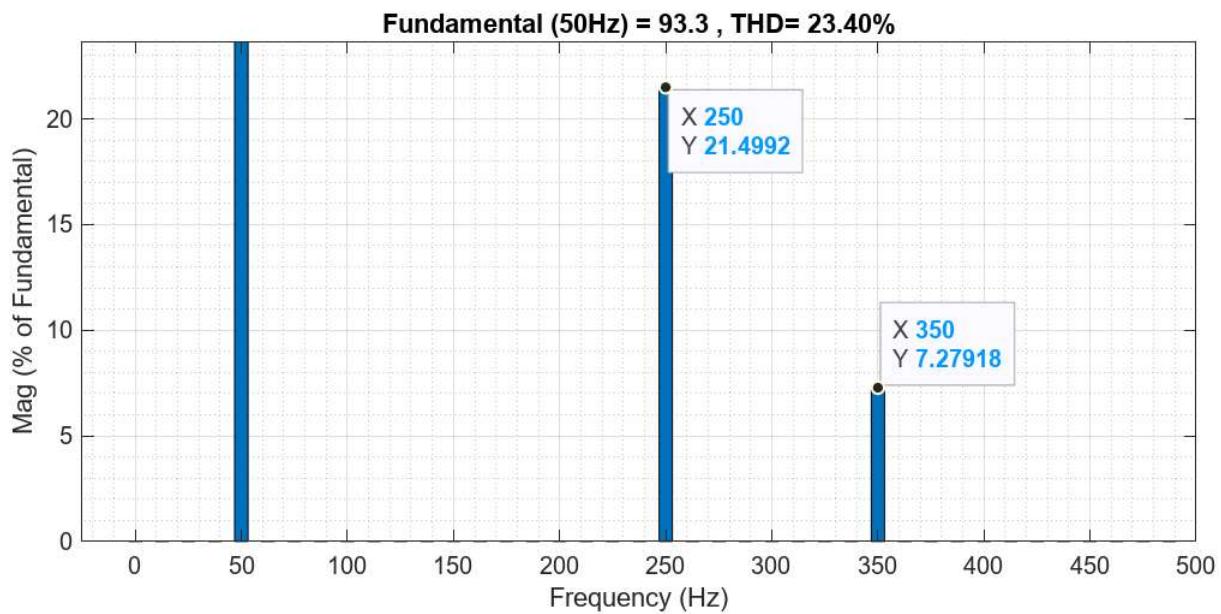
    % Obliczenie średnich wartości
    Udc_mean_value = Udc_mean(end);
    P_value = P(end);
    Q_value = Q(end);

    % Obliczenie cos fi i mocy pozornej dla średnich wartości
    cos_fi = cos(acos(P_value / sqrt(P_value^2 + Q_value^2)));
    S = sqrt(P_value^2 + Q_value^2);

    % Zapisanie wartości średnich do pliku tekstowego
    fprintf(fileID, 'ALFA = %d\n', ALFA);
    fprintf(fileID, 'Udc_mean = %f\n', Udc_mean_value);
    fprintf(fileID, 'P = %f\n', P_value);
    fprintf(fileID, 'Q = %f\n', Q_value);
    fprintf(fileID, 'Cos_fi = %f\n', cos_fi);
    fprintf(fileID, 'S = %f\n\n', S);
end

% Zamknięcie pliku tekstowego
fclose(fileID);
```

Przykładowy wynik analizy FFT w bloku powergui



Przykład z generowaniem wykresu U_s (rys. 2.7)

```
clear;
close all;
clc;

f = 50;
w = 2 * pi * f;

% Parametry obwodu
Ts = 1e-3;
Ls = 50e-6;
Lin = 100e-6;
R_Lin = 1/30 * w * Lin;
R_load = 6;
L_load = 20e-3;
Rdiode = 1e-3;
Vdiode = 1.5;

% Zakres wartości alfa
alfa_values = 0:15:180;

% Wspólny czas dla wszystkich przebiegów
common_time = [];

figure;

% Pętla po wartościach alfa
for ALFA = alfa_values
```

```

% Zmiana wartości parametru przed symulacją
assignin('base', 'ALFA', ALFA);

% Symulacja modelu
sim('Model');

% Ustalamy wspólny czas
if isempty(common_time)
    common_time = UI_przebiegi.time(1:10:end); % Przykład: co 10 punktów
end

% Wykres napięcia dla UI_przebiegi
plot3(common_time, ALFA * ones(size(common_time)),
UI_przebiegi.signals.values(1:10:end,4), 'DisplayName', ['Us, ALFA = ',
num2str(ALFA)]);
hold on;

end

% Ustawienia dla wykresu
title('Napięcie fazowe (Us)');
xlabel('Czas [s]');
ylabel('ALFA');
zlabel('Wartość');
legend;
grid on;

hold off;

```

Przykład z generowaniem przebiegu U_s (plot – rys. 2.8)

```

clear;
close all;
clc;

f = 50;
w = 2 * pi * f;

% Parametry obwodu
Ts = 1e-3;
Ls = 50e-6;
Lin = 100e-6;
R_Lin = 1/30 * w * Lin;
R_load = 6;
L_load = 20e-3;
Rdiode = 1e-3;
Vdiode = 1.5;

% Zakres wartości alfa
alfa_values = 0:15:180;

% Wspólny czas dla wszystkich przebiegów
common_time = [];

figure;

```

```

% Pętla po wartościach alfa
for ALFA = alfa_values
    % Zmiana wartości parametru przed symulacją
    assignin('base', 'ALFA', ALFA);

    % Symulacja modelu
    sim('Model');

    % Ustalamy wspólny czas
    if isempty(common_time)
        common_time = UI_przebiegi.time(1:10:end); % Przykład: co 10 punktów
    end

    % Wykres napięcia dla UI_przebiegi
    plot(common_time, UI_przebiegi.signals.values(1:10:end, 4), 'DisplayName',
    ['Us, ALFA = ', num2str(ALFA)]);
    hold on;
end

% Ustawienia dla wykresu
title('Napięcie fazowe (Us)');
xlabel('Czas [s]');
ylabel('Wartość');
legend;
grid on;

hold off; % Zatrzymaj dodawanie do tego samego wykresu

```

Przykład z generowaniem przebiegów U_s do pkt.4

```

clear ;
close all;
clc;

f = 50;
w = 2 * pi * f;

% Wartości parametru Ls
Ls_values = [50e-6, 500e-6, 1e-3];

% Wspólne ustawienia dla obwodu
Ts = 1e-3;
Lin = 5e-3;
R_Lin = 1/30 * w * Lin;
R_load = 6;
L_load = 100e-6;
Rdiode = 1e-3;
Vdiode = 1.5;

figure;

% Pętla po wartościach parametru Ls
for i = 1:length(Ls_values)
    Ls = Ls_values(i);

    % Symulacja modelu

```

```

sim('Model');

% Rysowanie wykresu w jednym oknie
hold on;
plot(UI_przebiegi.time, UI_przebiegi.signals.values(:,4), 'DisplayName', ['Ls
= ', num2str(Ls)]);
end

% Dodatkowe ustawienia dla wykresu
title('Napięcie fazowe (Us) dla różnych wartości Ls');
xlabel('Czas [s]');
ylabel('Napięcie fazowe [V]');
legend;
grid on;
hold off;

```