

Przydatność metod symulacyjnych w badaniach oddziaływania przekształtników mocy na sieć zasilającą

W artykule omówiono przydatność symulacji komputerowej na przykładzie oddziaływania przekształtników mocy na sieć zasilającą. Przedstawiono wyniki badań symulacyjnych dla idealnego i rzeczywistego źródła zasilania przy zmiennym kącie wysterowania mostka tyrystorowego dla obciążenia rezystancyjnego i impedancyjnego i sformułowano odpowiednie wnioski praktyczne.

1. WSTĘP

W tradycyjnym procesie tworzenia nowych konstrukcji istotną rolę odgrywała wiedza i doświadczenie projektanta oraz badania laboratoryjne wykonane modelu fizycznego urządzenia. Dążenie jednak do tworzenia coraz doskonalszych urządzeń, wywierana presja na obniżanie kosztów prac projektowych i badawczych oraz konieczność szybkiej realizacji tych prac są powodem, dla którego dużego znaczenia nabierają zagadnienia modelowania matematycznego procesów i prowadzenie badań oraz analiz.

Symulacja jako narzędzie badawcze pozwala na przeanalizowanie funkcjonowania urządzenia i określenie, w przybliżeniu, korzyści z jego realizacji w warunkach różnych parametrów tego urządzenia i różnych warunków środowiska jego pracy.

Dla celów technicznych symulację komputerową można określić jako tworzenie modelu symulowanego obiektu w postaci matematyczno-logicznego zapisu komputerowego i przedstawienie w tym programie wybranych zależności opisujących symulowany obiekt rzeczywisty oraz jego otoczenie w taki sposób, że zależności te można badać poprzez zmiany wartości sygnałów wejściowych i parametrów modelu [1]. W artykule przedstawiono możliwości i praktyczne aspekty wykorzystania symulacji

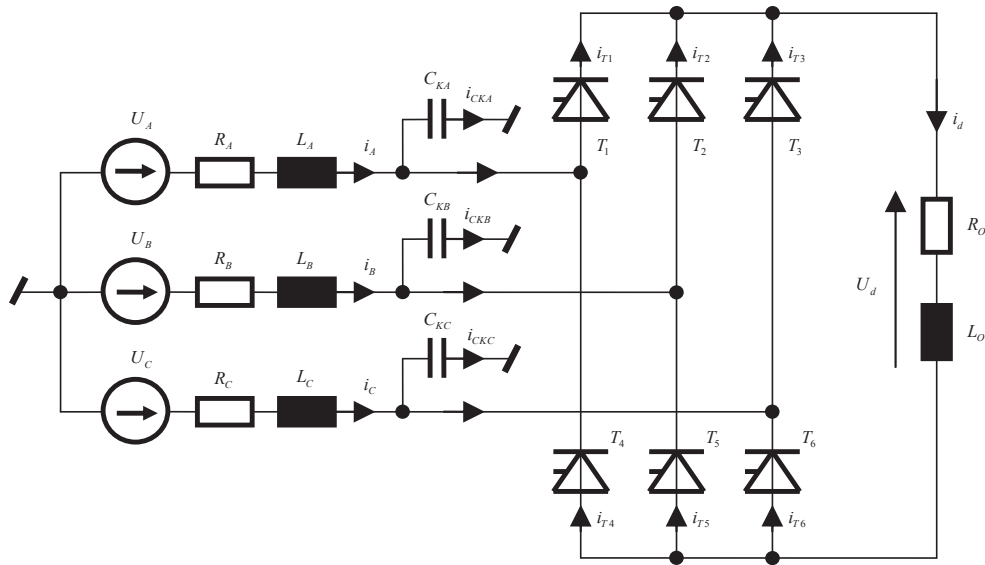
komputerowej do analizy oddziaływania przekładników mocy na sieć.

2. CHARAKTERYSTYKA PROBLEMU

W elektrotechnice istotnym problemem jest znajdowanie odpowiedzi układu elektrycznego na zadane wymuszenie. Problem ten staje się jednak złożony w przypadku obwodów nieliniowych. Do kategorii takich obwodów należą przekształtniki mocy, których obwody wejściowe zawierają układy prostowników tyrystorowych. W zależności bowiem od rodzaju charakteru źródła i charakteru odbioru, przebiegi napięć i prądów mogą przyjmować postać przebiegów odkształconych (w różnym stopniu) w porównaniu do przebiegu sinusoidalnego. Uzyskanie informacji o tych przebiegach było zatem celem przeprowadzonych badań symulacyjnych.

3. MODEL MATEMATYCZNY PRZEKSZTAŁTNIKA PRĄDU STAŁEGO

Model matematyczny przekształtnika prądu stałego (tyrystorowego trójfazowego mostka 6-pulsowego) zbudowano w oparciu o schemat pokazany na rys. 1 przy założeniu, iż zastosowane w przekształtniku półprzewodnikowe zawory są bezstratne.



Rys. 1 Schemat ideowy modelu przekształtnika prądu stałego (tyrystorowego mostka prostowniczego „6-pulsowego”), w którym przyjęto następujące oznaczenia:

U_A - napięcie źródła w obwodzie fazy A (wartość chwilowa) [V];

U_B - napięcie źródła w obwodzie fazy B (wartość chwilowa) [V];

U_C - napięcie źródła w obwodzie fazy C (wartość chwilowa) [V];

R_A - rezystancja wewnętrzna źródła w obwodzie fazy A [Ω];

R_B - rezystancja wewnętrzna źródła w obwodzie fazy B [Ω];

R_C - rezystancja wewnętrzna źródła w obwodzie fazy C [Ω];

L_A - indukcyjność wewnętrzna źródła w obwodzie fazy A [H];

L_B - indukcyjność wewnętrzna źródła w obwodzie fazy B [H];

L_C - indukcyjność wewnętrzna źródła w obwodzie fazy C [H];

i_A - prąd w gałęzi fazy A (wartość chwilowa) [A];

i_B - prąd w gałęzi fazy B (wartość chwilowa) [A];

i_C - prąd w gałęzi fazy C (wartość chwilowa) [A];

C_{KA} - pojemność kondensatora kompensacyjnego w obwodzie fazy A [F];

C_{KB} - pojemność kondensatora kompensacyjnego w obwodzie fazy B [F];

C_{KC} - pojemność kondensatora kompensacyjnego w obwodzie fazy C [F];

i_{CKA} - prąd w gałęzi kondensatora C_{KA} ;

i_{CKB} - prąd w gałęzi kondensatora C_{KB} ;

i_{CKC} - prąd w gałęzi kondensatora C_{KC} ;

i_{T1} - prąd anodowy w gałęzi tyrystora T1 (wartość chwilowa) [A];

i_{T2} - prąd anodowy w gałęzi tyrystora T2 (wartość chwilowa) [A];

i_{T3} - prąd anodowy w gałęzi tyrystora T3 (wartość chwilowa) [A];

i_{T4} - prąd anodowy w gałęzi tyrystora T4 (wartość chwilowa) [A];

i_{T5} - prąd anodowy w gałęzi tyrystora T5 (wartość chwilowa) [A];

i_{T6} - prąd anodowy w gałęzi tyrystora T6 (wartość chwilowa) [A];

i_d - prąd w gałęzi obciążenia mostka (wartość chwilowa) [A];

R_O - rezystancja obciążenia mostka [Ω];

L_O - indukcyjność obciążenia mostka [H];

U_d - napięcie na wyjściu obciążenia mostka (wartość średnia) [V];

Równania opisujące pracę analizowanego modelu mają następującą postać:

$$U_A = i_A \cdot R_A + L_A \cdot \frac{di_A}{dt} + i_{T1} \cdot R_{T1} + i_d \cdot R_O + L_O \cdot \frac{di_d}{dt} + i_{T6} \cdot R_{T6} - i_C \cdot R_C - L_C \cdot \frac{di_C}{dt} + U_C \quad (1)$$

$$U_A = i_A \cdot R_A + L_A \cdot \frac{di_A}{dt} + i_{T1} \cdot R_{T1} + i_d \cdot R_O + L_O \cdot \frac{di_d}{dt} + i_{T5} \cdot R_{T5} - i_B \cdot R_B - L_B \cdot \frac{di_B}{dt} + U_B \quad (2)$$

$$U_B = i_B \cdot R_B + L_B \cdot \frac{di_B}{dt} + i_{T2} \cdot R_{T2} + i_d \cdot R_O + L_O \cdot \frac{di_d}{dt} + i_{T6} \cdot R_{T6} - i_C \cdot R_C - L_C \cdot \frac{di_C}{dt} + U_C \quad (3)$$

$$U_B = i_B \cdot R_B + L_B \cdot \frac{di_B}{dt} + i_{T2} \cdot R_{T2} + i_d \cdot R_O + L_O \cdot \frac{di_d}{dt} + i_{T4} \cdot R_{T4} - i_A \cdot R_A - L_A \cdot \frac{di_A}{dt} + U_A \quad (4)$$

$$U_C = i_C \cdot R_C + L_C \cdot \frac{di_C}{dt} + i_{T3} \cdot R_{T3} + i_d \cdot R_O + L_O \cdot \frac{di_d}{dt} + i_{T5} \cdot R_{T5} - i_B \cdot R_B - L_B \cdot \frac{di_B}{dt} + U_B \quad (5)$$

$$U_C = i_C \cdot R_C + L_C \cdot \frac{di_C}{dt} + i_{T3} \cdot R_{T3} + i_d \cdot R_O + L_O \cdot \frac{di_d}{dt} + i_{T4} \cdot R_{T4} - i_A \cdot R_A - L_A \cdot \frac{di_A}{dt} + U_A \quad (6)$$

$$i_A = i_{CKA} + i_{T1} - i_{T4} \quad (7)$$

$$i_B = i_{CKB} + i_{T2} - i_{T5} \quad (8)$$

$$i_C = i_{CKC} + i_{T3} - i_{T6} \quad (9)$$

$$i_d = i_{T1} + i_{T2} + i_{T3} \quad (10)$$

$$i_d = i_{T4} + i_{T5} + i_{T6} \quad (11)$$

$$i_{CKA} = C_{KA} \cdot \frac{d\left(U_A - i_A \cdot R_A - L_A \cdot \frac{di_A}{dt}\right)}{dt} \quad (12)$$

$$i_{CKB} = C_{KB} \cdot \frac{d\left(U_B - i_B \cdot R_B - L_B \cdot \frac{di_B}{dt}\right)}{dt} \quad (13)$$

$$i_{CKC} = C_{KC} \cdot \frac{d\left(U_C - i_C \cdot R_C - L_C \cdot \frac{di_C}{dt}\right)}{dt} \quad (14)$$

$R_{T1}, R_{T2}, R_{T3}, R_{T4}, R_{T5}, R_{T6}$ – rezystancje złącza katoda-anoda odpowiednio tyrystorów $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6$;

Ponadto:

$$R_{T1} = 0 \quad \text{gdy} \quad U_{T1} > 0 \cap i_{GT1} > 0 \quad (15)$$

$$R_{T1} = \infty \quad \text{gdy} \quad U_{T1} < 0 \cap (i_{GT1} > 0 \cup i_{GT1} = 0) \quad \text{oraz} \quad U_{T1} > 0 \cap i_{GT1} = 0 \quad (16)$$

$$R_{T2} = 0 \quad \text{gdy} \quad U_{T2} > 0 \cap i_{GT2} > 0 \quad (17)$$

$$R_{T2} = \infty \quad \text{gdy} \quad U_{T2} < 0 \cap (i_{GT2} > 0 \cup i_{GT2} = 0) \quad \text{oraz} \quad U_{T2} > 0 \cap i_{GT2} = 0 \quad (18)$$

$$R_{T_3} = 0 \quad \text{gdy} \quad U_{T_3} > 0 \cap i_{GT_3} > 0 \quad (19)$$

$$R_{T_3} = \infty \quad \text{gdy} \quad U_{T_3} < 0 \cap (i_{GT_3} > 0 \cup i_{GT_3} = 0) \quad \text{oraz} \quad U_{T_3} > 0 \cap i_{GT_3} = 0 \quad (20)$$

$$R_{T_4} = 0 \quad \text{gdy} \quad U_{T_4} > 0 \cap i_{GT_4} > 0 \quad (21)$$

$$R_{T_4} = \infty \quad \text{gdy} \quad U_{T_4} < 0 \cap (i_{GT_4} > 0 \cup i_{GT_4} = 0) \quad \text{oraz} \quad U_{T_4} > 0 \cap i_{GT_4} = 0 \quad (22)$$

$$R_{T_5} = 0 \quad \text{gdy} \quad U_{T_5} > 0 \cap i_{GT_5} > 0 \quad (23)$$

$$R_{T_5} = \infty \quad \text{gdy} \quad U_{T_5} < 0 \cap (i_{GT_5} > 0 \cup i_{GT_5} = 0) \quad \text{oraz} \quad U_{T_5} > 0 \cap i_{GT_5} = 0 \quad (24)$$

$$R_{T_6} = 0 \quad \text{gdy} \quad U_{T_6} > 0 \cap i_{GT_6} > 0 \quad (25)$$

$$R_{T_6} = \infty \quad \text{gdy} \quad U_{T_6} < 0 \cap (i_{GT_6} > 0 \cup i_{GT_6} = 0) \quad \text{oraz} \quad U_{T_6} > 0 \cap i_{GT_6} = 0 \quad (26)$$

przy czym:

$i_{GT_1}, i_{GT_2}, i_{GT_3}, i_{GT_4}, i_{GT_5}, i_{GT_6}$ oznaczają prądy bramkowe kolejno tyrystorów: $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6$;

oraz:

$$U_A = \|U_A\| \cdot \sqrt{2} \cdot \sin \omega \cdot t \quad (27)$$

$$U_B = \|U_B\| \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega \cdot t - 2/3 \cdot \pi) \quad (28)$$

$$U_C = \|U_C\| \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega \cdot t + 2/3 \cdot \pi) \quad (29)$$

gdzie:

$\|U_A\|, \|U_B\|, \|U_C\|$ – wartości skuteczne napięć fazowych źródła zasilania [V];

Przy założeniu, że rozpatrywany przekształtnik prądu stałego (tyrystorowy trójfazowy mostek prostowniczy – 6-pulsowy) jest odbiornikiem symetrycznym, w modelu symulacyjnym przeanalizowano przebiegi mocy czynnej, biernej i pozornej w oparciu o sformułowane w sensie klasycznym następujące równania (opisujące moc czynną, bierną, pozorną i współczynnik mocy układu):

$$P = 3 \cdot \frac{1}{T} \cdot \int_0^T U_A \cdot i_A \cdot dt \quad (30)$$

$$Q = 3 \cdot \frac{1}{T} \cdot \int_0^T U_A \cdot i_A \left(t - \frac{T}{4} \right) \cdot dt \quad (31)$$

$$S = 3 \cdot \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T U_A^2 \cdot dt} \cdot \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T i_A^2 \cdot dt} \quad (32)$$

$$\cos \varphi = \lambda = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \quad (33)$$

Wyższe harmoniczne napięcia i prądu w procesie symulacji, zostały określone w oparciu o algorytm szybkiej transformacji Fourier'a (FFT).

Narzędziem wykorzystanym do budowy poszczególnych części składowych przekształtnika prądu stałego był pakiet SIMULINK, wchodzący w skład programu MATLAB, pracującego w środowisku WINDOWS. W procesie modelowania wykorzystano blok narzędziowy „Power System Blockset”, wchodzący w skład narzędzi SIMULINK'a zwanego „Blocksets & Toolboxes”. Do analizy harmonicznego prądu i napięcia zastosowano podzespoły wchodzące w skład bloku zwanego „DSP Blockset”. Poszczególne układy sterowania zbudowano z elementów statycznych i dynamicznych pochodzących z wbudowanych bibliotek SIMULINK'a. Skorzystano również z możliwości definiowania własnych bloków, poprzez łączenie i grupowanie elementów już istniejących (tzw. tworzenie podsystemów).

4. ZAKRES BADAŃ SYMULACYJNYCH

W procesie przeprowadzonej symulacji analizowano i rejestrowano przebiegi czasowe następujących wielkości fizycznych:

- Napięć fazowych źródła zasilania przekształtnika U_A, U_B, U_C (wartości chwilowe);

- Prądów fazowych źródła zasilania i_A, i_B, i_C (wartości chwilowe);
- Prądów w gałęziach kondensatorów kompensacyjnych $i_{CKA}, i_{CKB}, i_{CKC}$ (wartości chwilowe);
- Napięcia wyprostowanego w gałęzi obciążenia przekształtnika u_d (wartość chwilowa);
- Prądu wyprostowanego w gałęzi obciążenia przekształtnika i_d (wartość chwilowa);
- Mocy czynnej pobieranej z sieci zasilającej P ;
- Mocy biernej pobieranej z sieci zasilającej Q ;
- Współczynnika mocy $\cos \varphi$;
- Wyższych harmonicznych zawartych w napięciu źródła fazy A;
- Wyższych harmonicznych zawartych w prądzie gałęzi fazy A;

Zakres badań symulacyjnych obejmował następujące przypadki:

1. Źródło zasilania idealne ($L_z=0, R_z=0, |U_A|=|U_B|=|U_C|=400 V$). Obciążenie mostka rezystancyjne ($R_o=1 \Omega$), kąt wysterowania $\alpha=0, 30, 60, 90^\circ$;
2. Źródło zasilania idealne ($L_z=0, R_z=0, |U_A|=|U_B|=|U_C|=400 V$). Obciążenie mostka impedancyjne ($R_o=1 \Omega, L_o=10 \times 10^{-3} H$), kąt wysterowania $\alpha=0, 30, 60, 90^\circ$;
3. Źródło zasilania idealne ($L_z=0, R_z=0, |U_A|=|U_B|=|U_C|=400 V$). Obciążenie mostka rezystancyjne ($R_o=1 \Omega$), kąt wysterowania $\alpha=60^\circ$. Kompensacja mocy biernej przez równoległe dołączenie kondensatorów ($CKA=CKB=CKC=2 \times 10^{-3} F$);
4. Źródło zasilania idealne ($L_z=0, R_z=0, |U_A|=|U_B|=|U_C|=400 V$). Obciążenie mostka impedancyjne ($R_o=1 \Omega, L_o=10 \times 10^{-3} H$), kąt wysterowania $\alpha=60^\circ$. Kompensacja mocy biernej przez równoległe dołączenie kondensatorów ($CKA=CKB=CKC=2,5 \times 10^{-3} F$);
5. Źródło zasilania rzeczywiste ($R_A=R_B=R_C=0,01 \Omega, L_A=L_B=L_C=1 \times 10^{-4} H$). Obciążenie mostka rezystancyjne ($R_o=1 \Omega$), kąt wysterowania $\alpha=0, 30, 60, 90^\circ$;
6. Źródło zasilania rzeczywiste ($R_A=R_B=R_C=0,01 \Omega, L_A=L_B=L_C=1 \times 10^{-4} H$). Obciążenie mostka impedancyjne ($R_o=1 \Omega, L_o=10 \times 10^{-3} H$), kąt wysterowania $\alpha=0, 30, 60, 90^\circ$;
7. Źródło zasilania rzeczywiste ($R_A=R_B=R_C=0,01 \Omega, L_A=L_B=L_C=1 \times 10^{-4} H$). Obciążenie mostka rezystancyjne ($R_o=1 \Omega$), kąt wysterowania $\alpha=60^\circ$. Kompensacja mocy biernej przez równoległe dołączenie kondensatorów ($CKA=CKB=CKC=2 \times 10^{-3} F$);

8. Źródło zasilania rzeczywiste ($R_A=R_B=R_C=0,01 \Omega, L_A=L_B=L_C=1 \times 10^{-4} H$). Obciążenie mostka impedancyjne ($R_o=1 \Omega, L_o=10 \times 10^{-3} H$), kąt wysterowania $\alpha=60^\circ$. Kompensacja mocy biernej przez równoległe dołączenie kondensatorów ($CKA=CKB=CKC=2,5 \times 10^{-3} F$).

5. PRZYKŁADOWE WYNIKI BADAŃ SYMULACYJNYCH

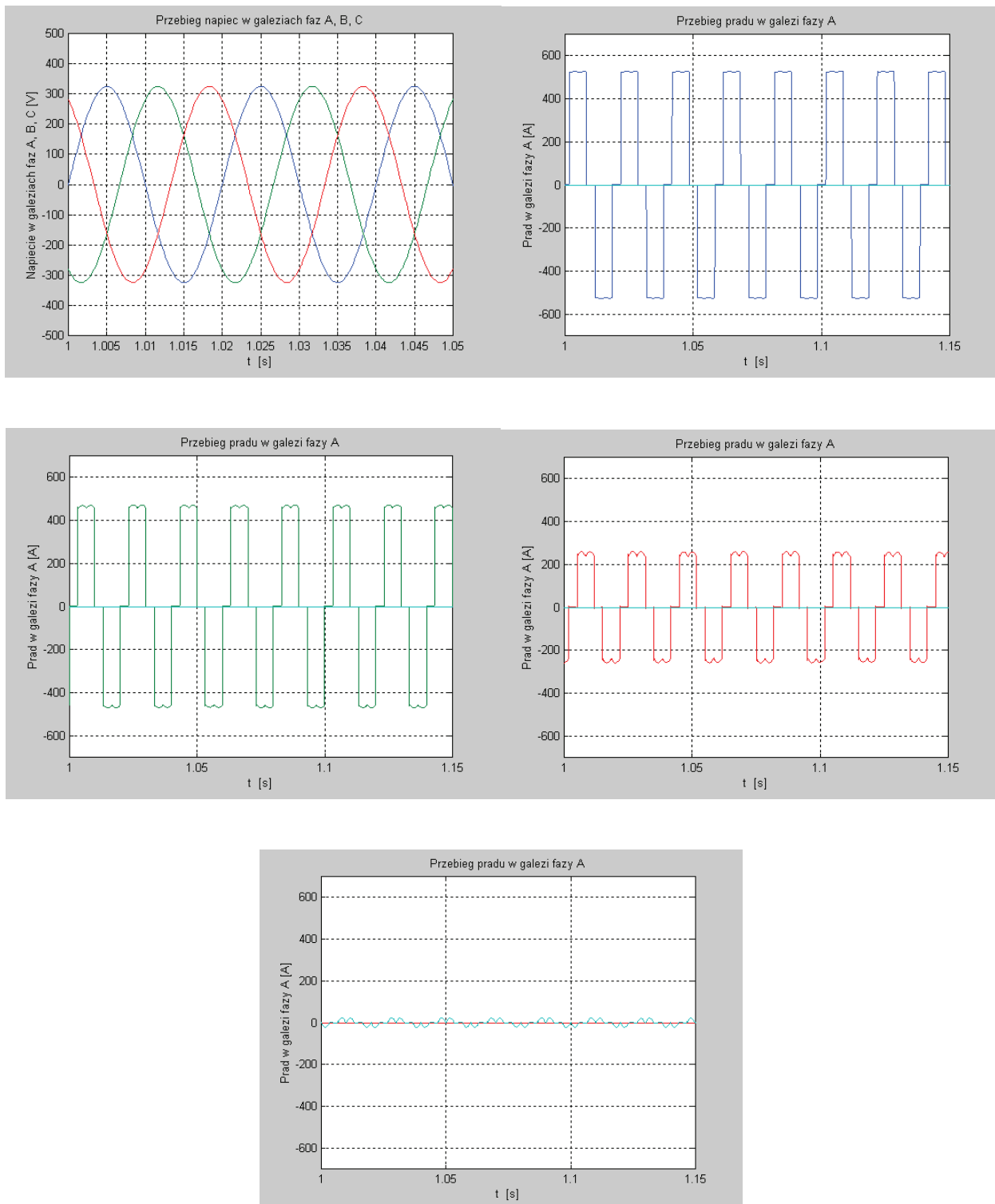
Poniżej przedstawiono dla przykładu wybrane przebiegi analizowanych wielkości fizycznych dla przypadków: 2 i 4 oraz 6 i 8 określonych w podrozdziale 4.

Uzyskane wyniki analiz symulacyjnych wykazały wystarczającą, z praktycznego punktu widzenia, zgodność z wynikami pomiarów przeprowadzonych przez autorów w warunkach rzeczywistych.

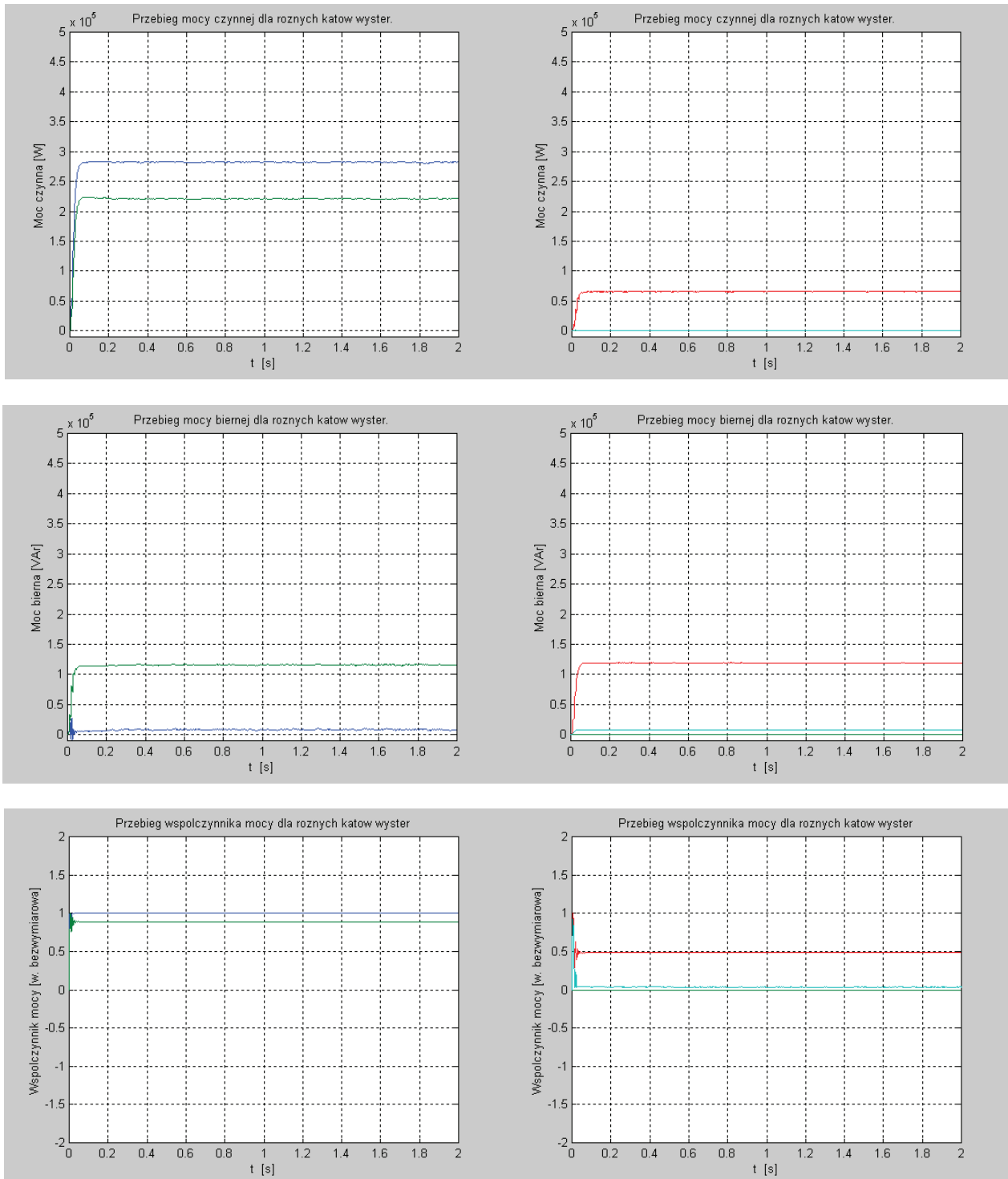
6. PODSUMOWANIE

Na podstawie uzyskanych wyników przeprowadzonych badań symulacyjnych przekształtnika prądu stałego (trójfazowego mostka tyrystorowego prostowniczego – 6-pulsowego), można sformułować następujące wnioski praktyczne:

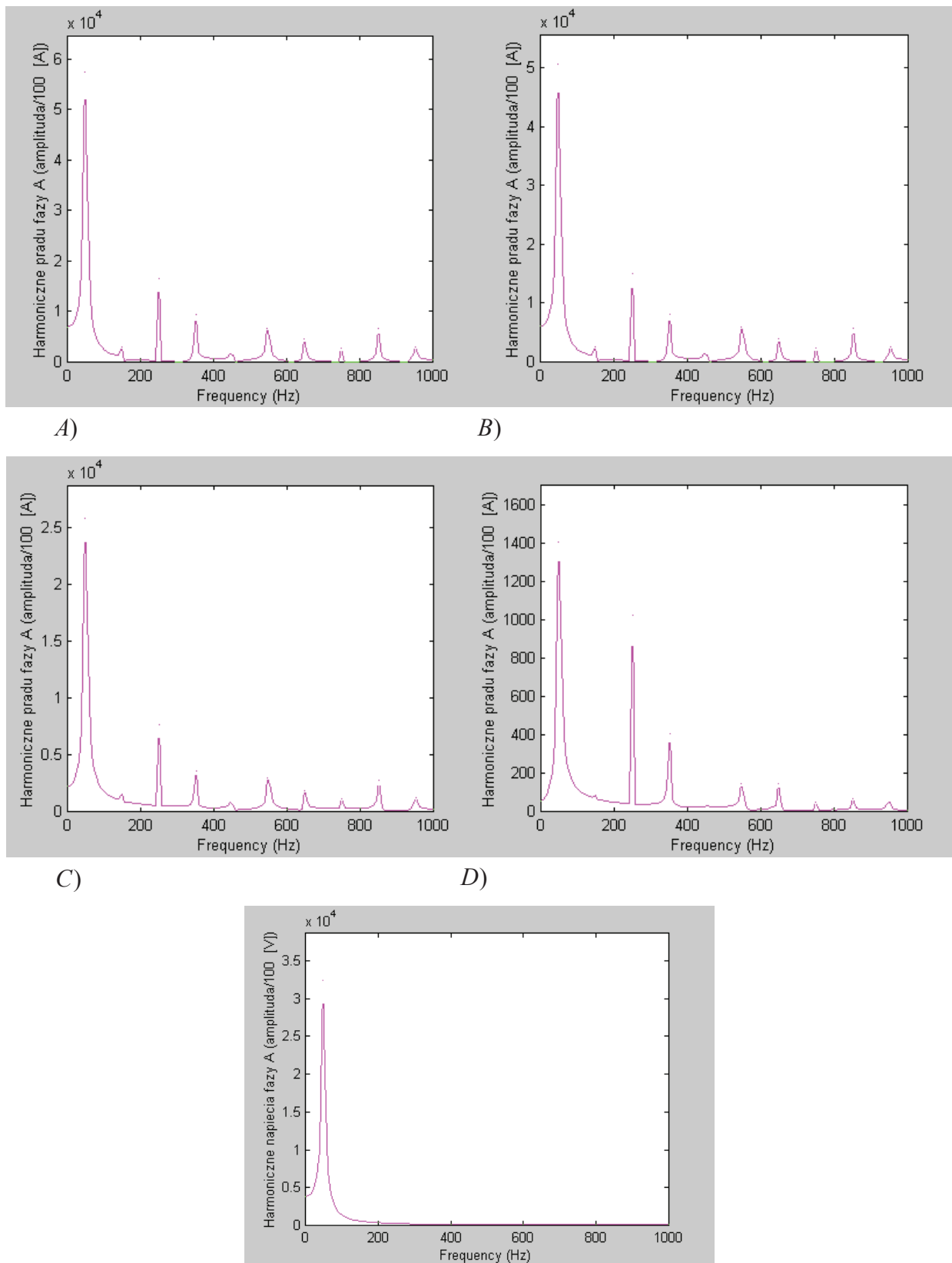
- Dla przypadku idealnego źródła zasilania, przy obciążeniu rezystancyjnym mostka prostowniczego, następuje relatywny wzrost amplitudy wyższych harmonicznych prądu w obwodzie fazy A (5, 7, 11 i wyższe harmoniczne) w stosunku do amplitudy podstawowej harmonicznej prądu w funkcji wartości kąta wysterowania mostka;
- Dla przypadku idealnego źródła zasilania, przy obciążeniu impedancyjnym, zachowany zostaje kształt prądu fazowego, niezależnie od wartości kąta wysterowania mostka. Innymi słowy – stosunek amplitudy wyższych harmonicznych prądu fazowego (5, 7, 11 i wyższe harmoniczne) do amplitudy podstawowej harmonicznej prądu fazowego pozostaje prawie stały, niezależnie od wartości kąta wysterowania mostka;
- Dla przypadku rzeczywistego źródła zasilania, przy obciążeniu rezystancyjnym mostka prostowniczego, występuje relatywny wzrost amplitudy wyższych harmonicznych prądu w obwodzie fazy A w stosunku do amplitudy podstawowej harmonicznej prądu w funkcji wartości kąta wysterowania mostka;



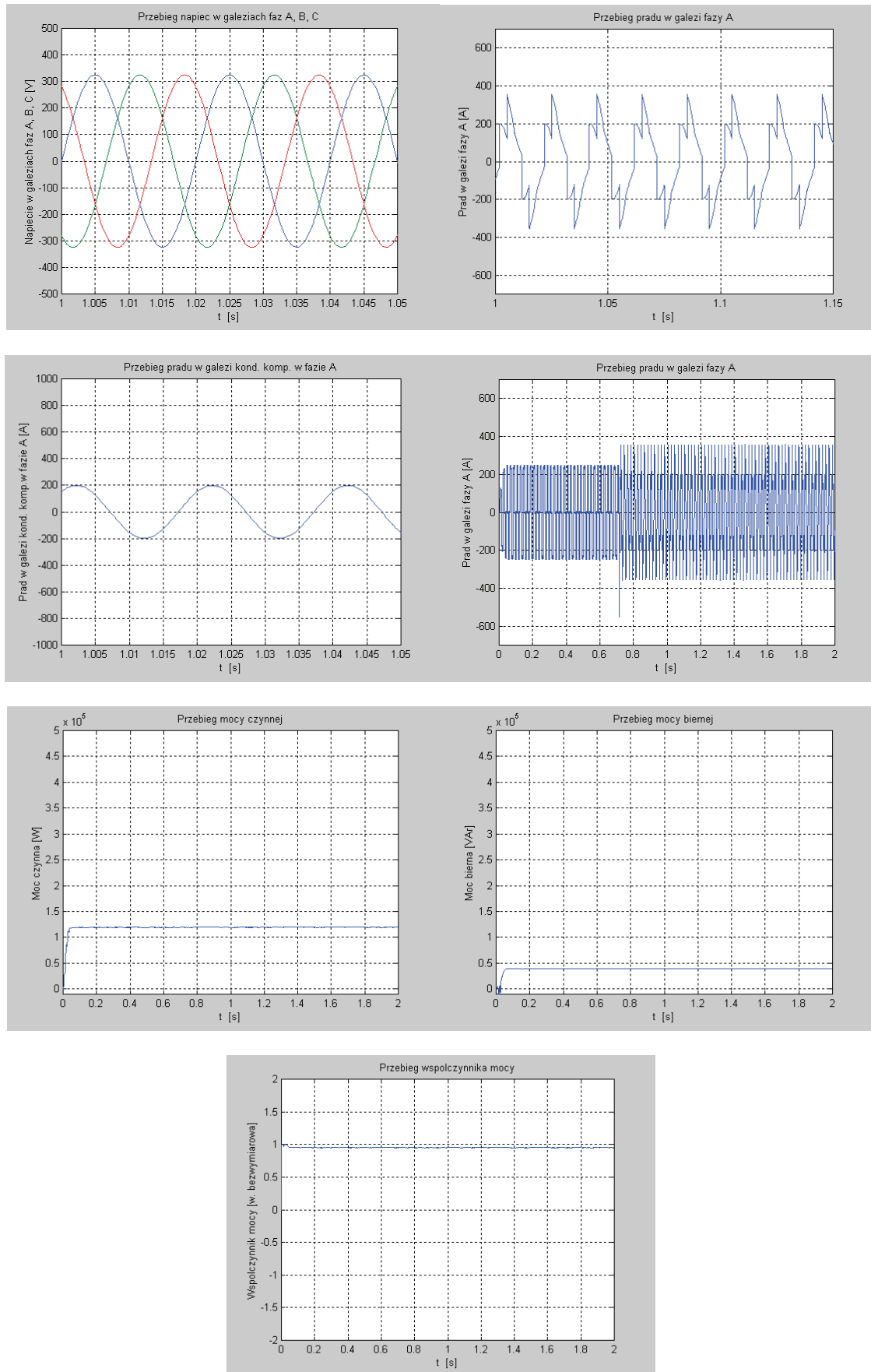
Rys. 2. (Przypadek 2) Przebiegi czasowe napięć w gałęziach faz A, B, C oraz prądu w gałęzi fazy A dla różnych kątów wysterowania mostka ($\alpha=0^\circ$ – kolor niebieski, $\alpha=30^\circ$ – kolor zielony, $\alpha=60^\circ$ – kolor czerwony, $\alpha=90^\circ$ – kolor amarantowy)



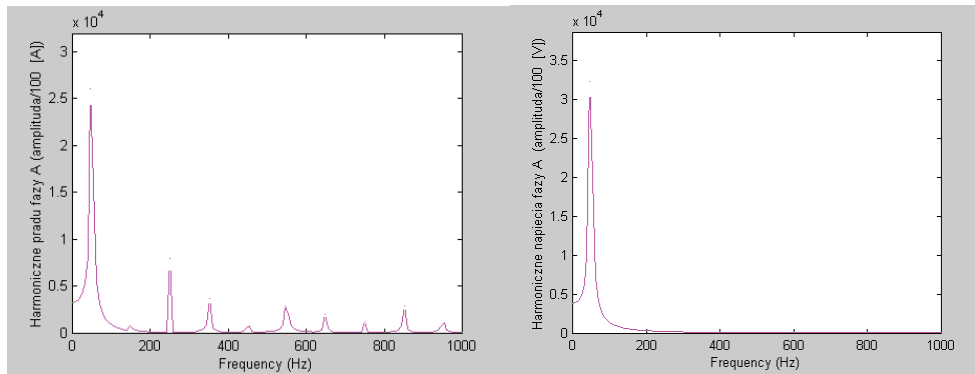
Rys. 3. (Przypadek 2) Przebiegi czasowe mocy czynnej, biernej i współczynnika mocy dla różnych kątów wysterowania mostka ($\alpha=0^\circ$ – kolor niebieski, $\alpha=30^\circ$ – kolor zielony, $\alpha=60^\circ$ – kolor czerwony, $\alpha=90^\circ$ – kolor amarantowy)



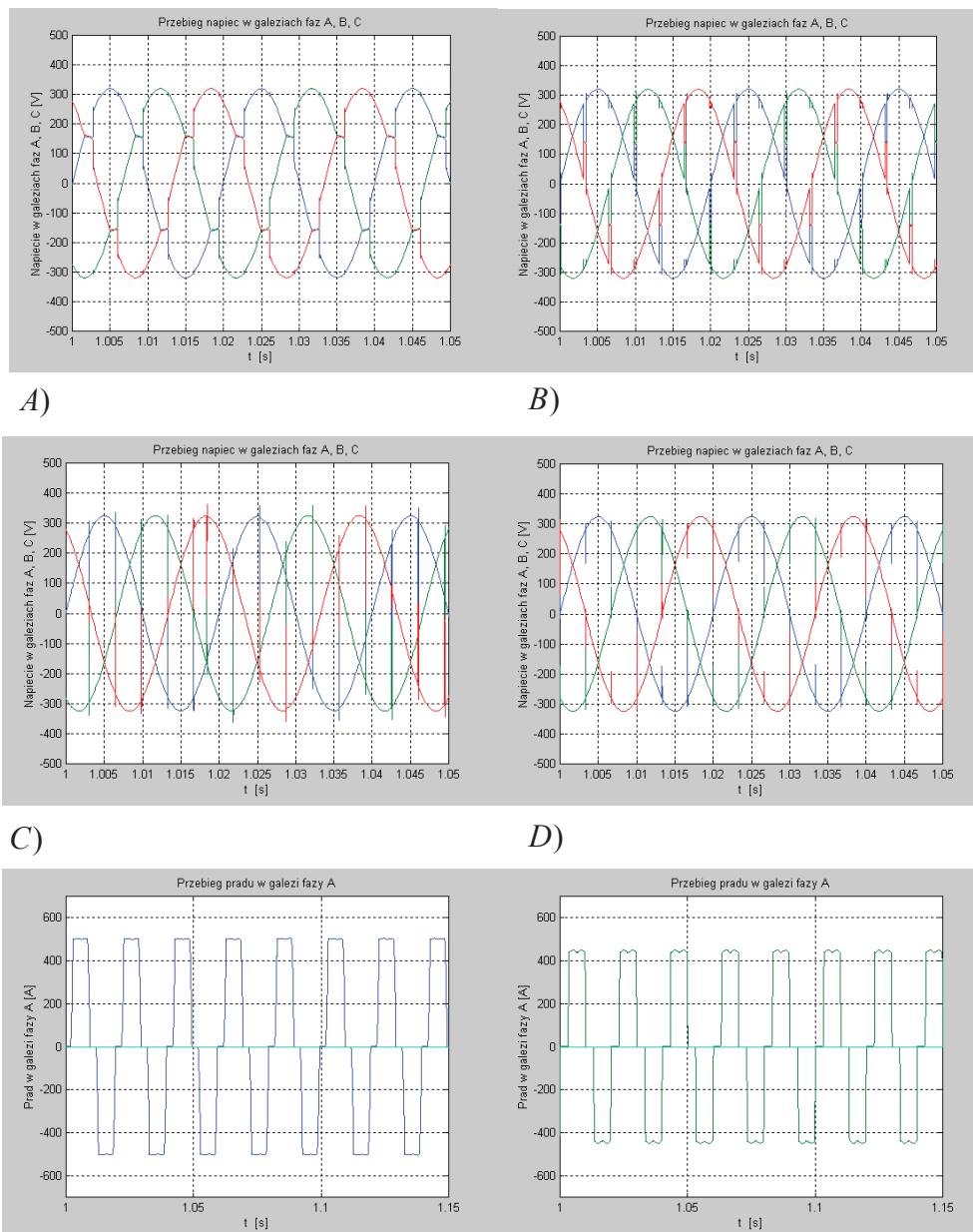
Rys. 4. (Przypadek 2) Harmoniczne prądu w gałęzi fazy A przy różnych kątach wysterowania mostka (A~ $\alpha=0^\circ$, B~ $\alpha=30^\circ$, C~ $\alpha=60^\circ$, D~ $\alpha=90^\circ$) oraz harmoniczne napięcia w tej samej gałęzi



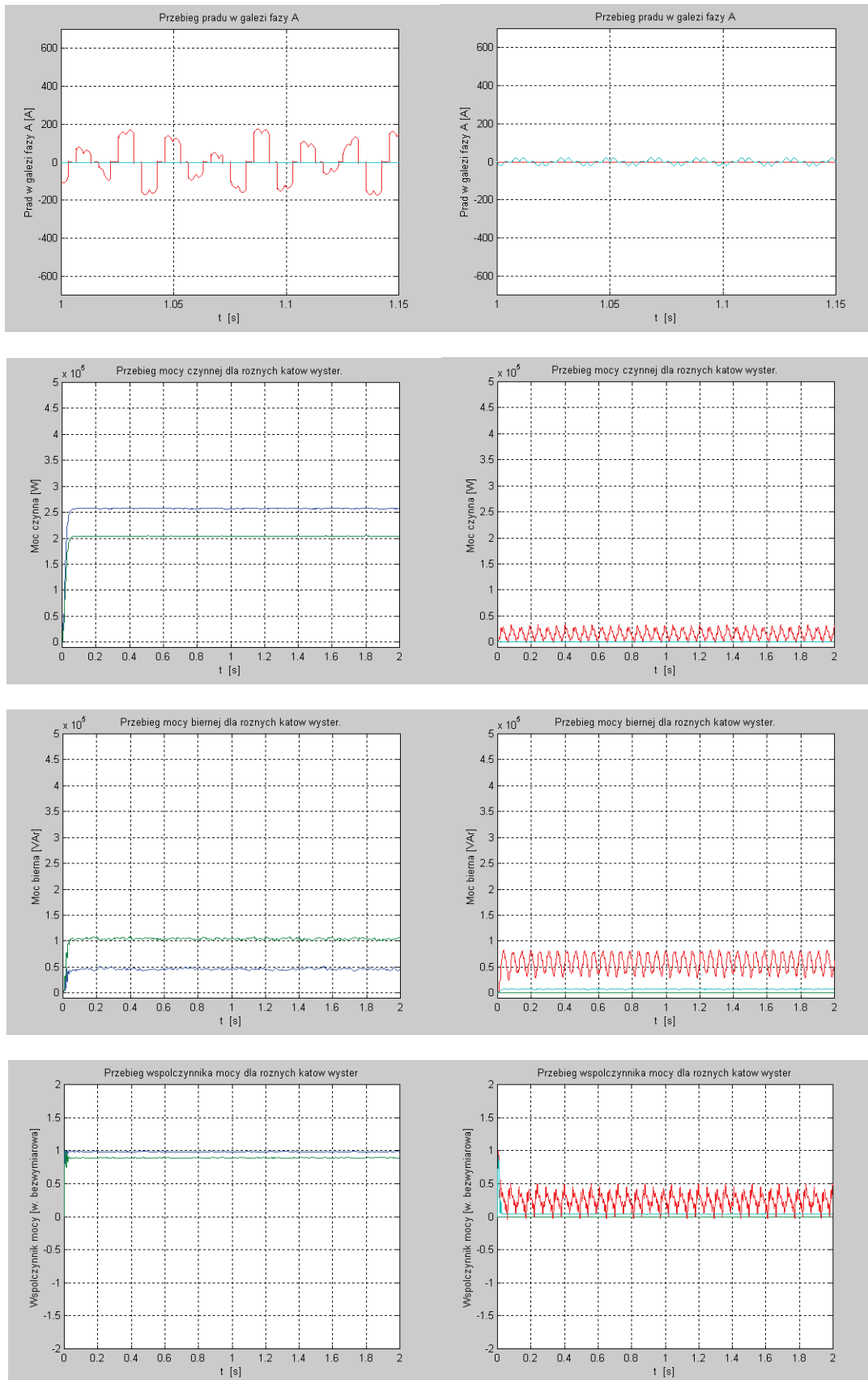
Rys. 5. (Przypadek 4) Przebiegi czasowe napięć w obwodzie faz A, B, C i prądu w gałęzi fazy A oraz w gałęzi kondensatora kompensacyjnego obwodzie fazy A, a także mocy czynnej, biernej i współczynnika mocy



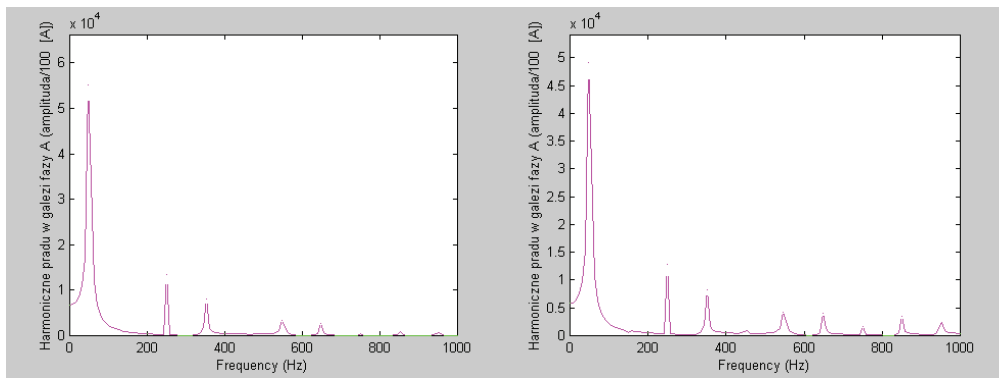
Rys. 6. (Przypadek 4) Harmoniczne prądu w gałęzi fazy A oraz harmoniczne napięcia w tej samej gałęzi



Rys. 7. (Przypadek 6) Przebiegi czasowe napięć w gałęziach faz A, B, C dla różnych kątów wysterowania mostka ($A \sim \alpha=0^\circ$, $B \sim \alpha=30^\circ$, $C \sim \alpha=60^\circ$, $D \sim \alpha=90^\circ$) oraz prądu w gałęzi fazy A także dla różnych kątów wysterowania mostka ($\alpha=0^\circ$ – kolor niebieski, $\alpha=30^\circ$ – kolor zielony)

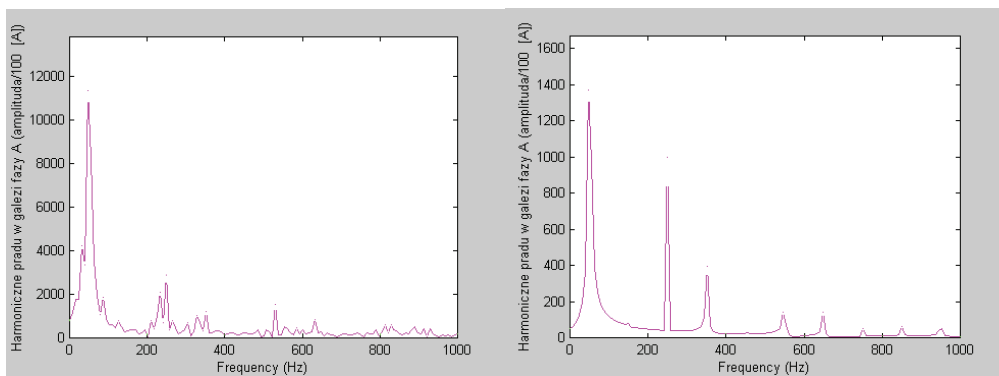


Rys. 8. (Przypadek 6) Przebiegi czasowe prądu w gałęzi fazy A oraz mocy czynnej, biernej i współczynnika mocy dla różnych kątów wysterowania mostka ($\alpha=0^\circ$ – kolor niebieski, $\alpha=30^\circ$ – kolor zielony, $\alpha=60^\circ$ – kolor czerwony, $\alpha=90^\circ$ – kolor amarantowy)



A)

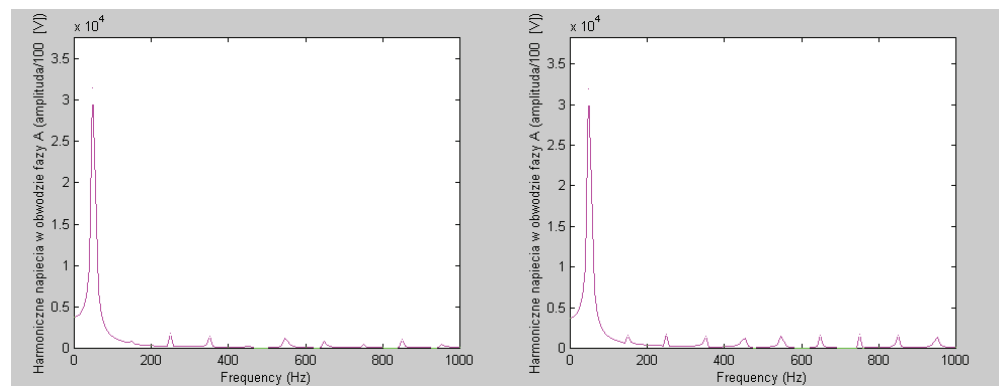
B)



C)

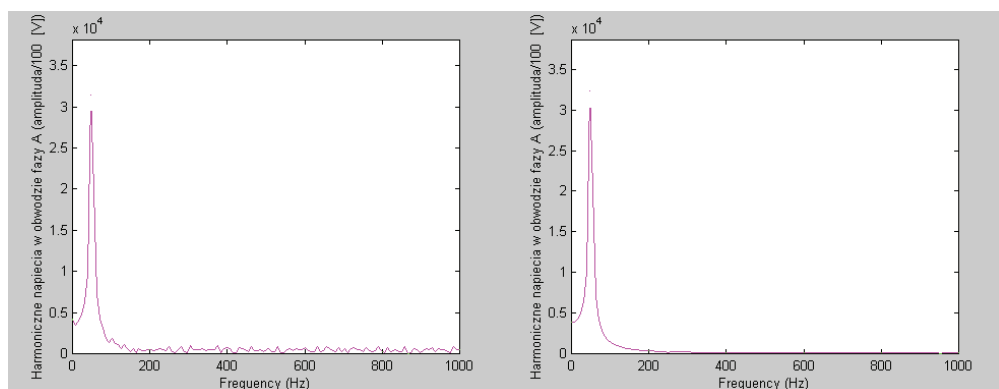
D)

Rys. 9. (Przypadek 6) Harmoniczne prądu w gałęzi fazy A ($A \sim \alpha=0^\circ$, $B \sim \alpha=30^\circ$, $C \sim \alpha=60^\circ$, $D \sim \alpha=90^\circ$)



A)

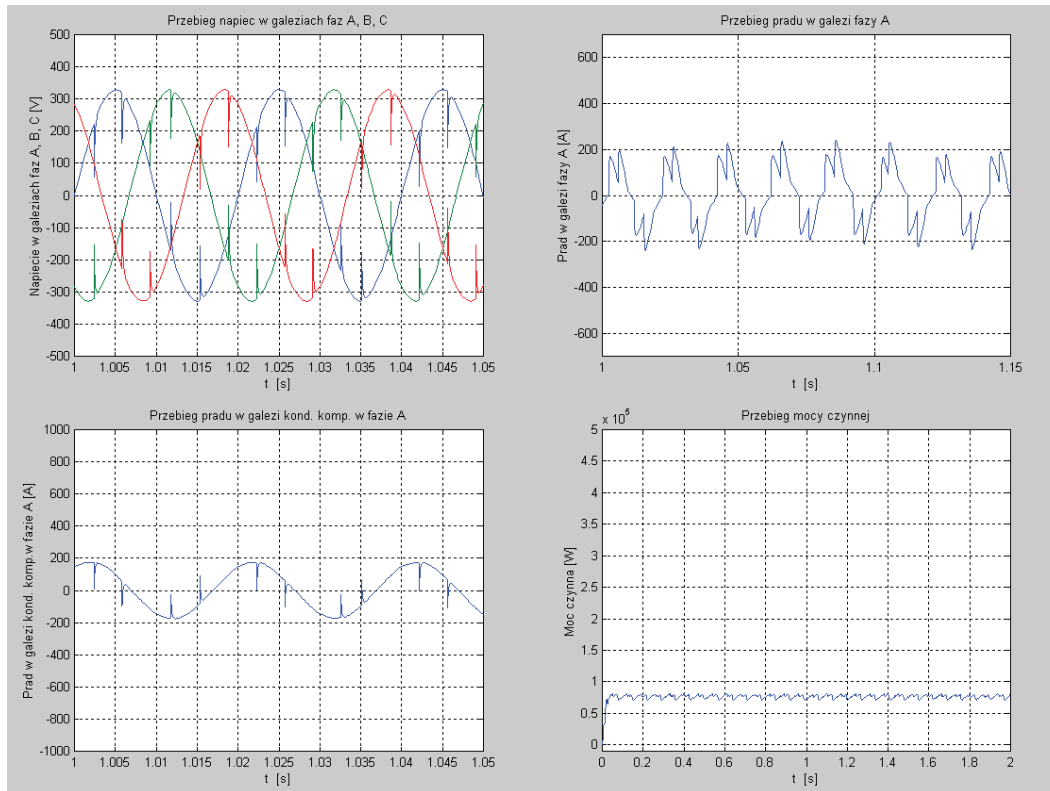
B)



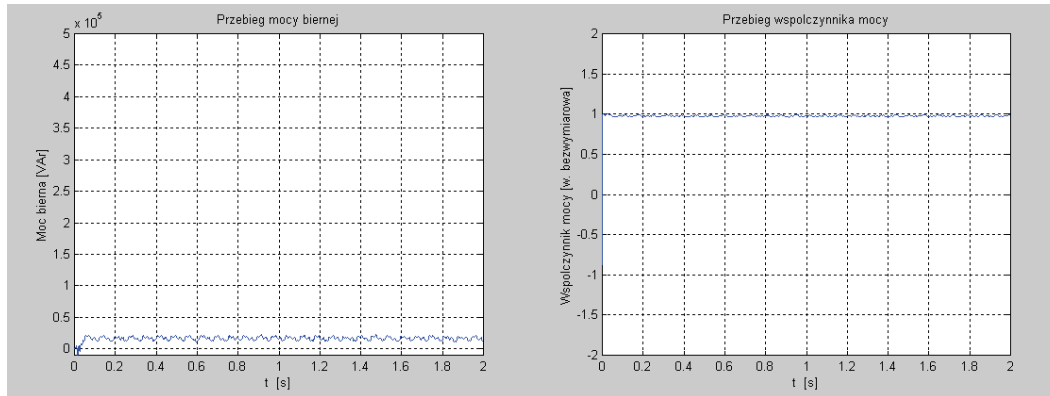
C)

D)

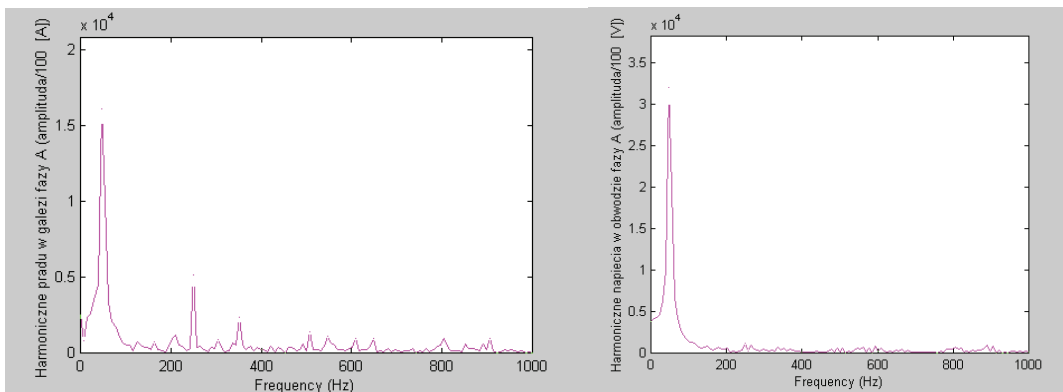
Rys. 10. (Przypadek 6) Harmoniczne napięcia w gałęzi fazy A ($A \sim \alpha=0^\circ$, $B \sim \alpha=30^\circ$, $C \sim \alpha=60^\circ$, $D \sim \alpha=90^\circ$)



Rys. 11. (Przypadek 8) Przebiegi czasowe napięć fazowych źródła i prądu w galezi fazy A oraz w galezi kondensatora kompensacyjnego w obwodzie fazy A, a także mocy czynnej



Rys. 12. (Przypadek 8) Przebiegi czasowe mocy biernej i współczynnika mocy



Rys. 13. (Przypadek 8) Harmoniczne prądu i napięcia w obwodzie fazy A

- Dla przypadku rzeczywistego źródła zasilania, przy obciążeniu impedancyjnym, zostaje zachowany kształt prądu fazowego, niezależnie od wartości kąta wysterowania mostka, z tą jednak różnicą, iż w otoczeniu kąta wysterowania rzędu 60° w prądzie fazowym oprócz tradycyjnych wyższych harmonicznych (5, 7, 11 i wyższe), pojawiają się subharmoniczne prądu fazowego;
- W przypadku zastosowania kondensatorowej kompensacji mocy biernej, niezależnie od rodzaju obciążenia, następuje wzrost wartości skutecznej prądu fazowego, a w widmie harmonicznych dodatkowo pojawiła się 3 i 9 harmoniczna prądu fazowego;
- Dla przypadku rzeczywistego źródła zasilania, niezależnie od rodzaju obciążenia, w napięciach fazowych źródła pojawiają się wyższe harmoniczne napięcia (5, 7, 11 i wyższe), o małej wartości amplitudy;
- Symulacja komputerowa jest wystarczająco dobrym narzędziem do oceny właściwości modelu funkcjonującego w zmiennych warunkach otoczenia. Daje ona szerokie i łatwe możliwości zmiany

parametrów samego modelu jak i otoczenia, najczęściej niedostępne w badaniach obiektu rzeczywistego. Przez kolejne symulacje można zbadać właściwości modelu i uzyskać wnioski dla poprawy konstrukcji obiektu rzeczywistego zbliżonego do optymalnego;

- Możliwości pakietu SIMULINK i bloku narzędziowego POWER SYSTEM BLOCKSET są wystarczające z praktycznego punktu widzenia do przeprowadzania symulacji przekształtnika prądu stałego (trójfazowego mostka tyrystorowego 6-pulsowego) i podobnego typu urządzeń energoelektronicznych.

Literatura

1. *Stawowiak M., Czaplicki J.*: Kilka uwag o symulacji i jej zastosowania w górnictwie Materiały Szkoleniowe Mechanizacji Górnictwa. Ustroń 2010.
2. *Tunia H., Barlik R.*: Teoria przekształtników. Oficyna wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa 2003.
3. *Osowski S., Cichoński A., Siwek K.*: Matlab w zastosowaniach do obliczeń obwodowych i przetwarzania sygnałów. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa 2006.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Bogdan Miedziński

SIMULATION METHODS AND THEIR APPLICATION IN TESTING THE IMPACT OF POWER CONVERTERS ON A POWER SUPPLY NETWORK

The article features practical application of computer simulation on the basis of power converters impact on a power supply network. The results of simulation tests were presented for an ideal and a real power supply source at a changing angle of a thyristor bridge set-up, for resistance load and inductive load. Finally, practical conclusions were formulated.

ПРИГОДНОСТЬ СИМУЛЯЦИОННЫХ МЕТОДОВ В ИССЛЕДОВАНИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ НА ПИТАЮЩУЮ СЕТЬ

В статье обсуждена пригодность компьютерной симуляции на примере воздействия преобразователей мощности на питающую сеть. Представлены результаты симуляционных исследований для идеального и действительного источника питания при переменном угле направления тиристорного моста для нагрузки электрического сопротивления и импеданса, сформулированы соответствующие практические выводы.