

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10) **PL 247330 B1**

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **444168**

(22) Data zgłoszenia: **2023.03.22**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2024.09.23 BUP 39/2024**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2025.06.16 WUP 24/2025**

(51) MKP:

H02J 3/01 (2006.01)

H02J 3/06 (2006.01)

H02J 3/18 (2006.01)

H02J 3/26 (2006.01)

H02J 3/38 (2006.01)

H02M 1/00 (2006.01)

H02M 7/72 (2006.01)

H02M 1/42 (2007.01)

(73) Uprawniony z patentu:
POLITECHNIKA ŁÓDZKA, Łódź, PL

(72) Twórca(-y) wynalazku:
PAWEŁ KELM, Ługi, PL
ROZMYŚŁAW MIENSKI, Łódź, PL
IRENA WASIAK, Tuszynek Majoracki, PL

(74) Pełnomocnik:
rzecz. pat. Bartosz Baclawski, Łódź, PL

(54) Tytuł:

Układ sterowania trójfazowym czteroprzewodowym przekształtnikiem AC/DC do zastosowań w instalacji prosumenckiej

PL 247330 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest prądowy sposób sterowania pracą zaworów trójfazowego czteroprzewodowego przekształtnika AC/DC pracującego w instalacjach prosumenckich i służących do integracji zasobników lub źródeł DC, wykorzystujących energię odnawialne, z elektroenergetyczną siecią zasilającą AC w celu kompensacji asymetrii wartości napięć trójfazowych, zniekształceń przebiegów chwilowych napięcia w węzłach sieci i mocy biernej.

Przekształtniki będące przedmiotem wynalazku zbudowane są z elementów całkowicie sterowanych takich jak tyrystory GTO czy tranzystory IGBT. Sterowane są prądowo za pomocą algorytmu.

Przedmiotowy wynalazek rozwiązuje problem asymetrii wartości napięć trójfazowych i zniekształcenia przebiegów chwilowych napięcia w węzłach sieci, do których przyłączone są instalacje prosumenckie, wykorzystując do tego celu sterowany prądowo trójfazowy czteroprzewodowy przekształtnik AC/DC źródła fotowoltaicznego (PV) lub zasobnika (ESS). W sieciach elektroenergetycznych niskiego napięcia dominują obecnie odbiorniki i źródła jednofazowe, często nieliniowe, zlokalizowane w instalacjach prosumenckich. Efektem ich pracy są zaburzenia, tj. asymetria i odkształcenie prądów, a w konsekwencji asymetria i odkształcenie napięć w sieci zasilającej, których wartości przekraczają poziomy dopuszczalny. W takim przypadku urządzenia prosumentów są wyłączane przez zabezpieczenia lub ulegają uszkodzeniu. Powoduje to brak możliwości wykorzystania energii odnawialnej i znaczące niekiedy straty finansowe, które ponosi prosument. Ponadto, wymienione zaburzenia mają negatywny wpływ na pracę sieci elektroenergetycznej i stanowią istotny problem dla operatora, który ponosi odpowiedzialność za utrzymanie właściwej jakości energii elektrycznej.

Nie są obecnie znane układy z przekształtnikiem AC/DC trójfazowym czteroprzewodowym, sterowanym prądowo za pomocą algorytmu, które współpracują z modułami fotowoltaicznymi lub zasobnikiem energii i zapewniają jednocześnie kompensację asymetrii oraz wyższych harmonicznych w sieci niskiego napięcia, spowodowanych pracą odbiorników oraz źródeł w instalacji prosumenta. Dotyczy to zarówno źródeł i odbiorników jednofazowych jak trójfazowych.

Znane są układy trójfazowych czteroprzewodowych przekształtników AC/DC, ale ich układy sterowania realizują inne niż prezentowane w niniejszym wniosku cele. Znana jest koncepcja wykorzystania falowników PV umożliwiających wprowadzanie mocy czynnej i biernej w przyłączach sieci niskiego napięcia. Rozwiązanie może być wykorzystane do zmniejszania asymetrii obciążeń wywołanych przez liniowe oraz nieliniowe odbiorniki, w tym zmniejszanie zawartości wyższych harmonicznych, jednak wymaga znacznego przewymiarowania przekształtnika oraz zastosowania dodatkowego transformatora.

Znane są rozwiązania, w których wykorzystano przekształtniki czteroprzewodowe do kompensacji mocy biernej, asymetrii i wyższych harmonicznych. Istotna różnica polega na tym, że nie służą one do integracji źródeł lub zasobników energii w instalacji prosumenckiej. Znane algorytmy sterowania tego typu przekształtnikami są znacząco różne od rozwiązania proponowanego, ponieważ wykorzystują transformację sygnałów fazowych abc do układu współrzędnych dq0 lub alfa beta zero. W znanych rozwiązaniach układów zasobników lub źródeł wykorzystanie przekształtnika ogranicza się do sterowania go symetrycznymi i sinusoidalnymi sygnałami referencyjnymi w fazie z napięciem zasilającym. Przekształtnik pracuje wtedy w sieci AC jako element symetryczny i liniowy wykorzystywany tylko w procesie przesyłu mocy czynnej.

Zaletą wynalazku jest to, że rozszerza funkcjonalność przekształtnika AC/DC o: kompensację mocy biernej, kompensację asymetrii i wyższych harmonicznych prądów. Zastosowanie go do sterowania przekształtników AC/DC w instalacjach prosumenckich powoduje, że każda z tych instalacji staje się „prosumentem idealnym”, który obciąża elektroenergetyczną sieć zasilającą prądami sinusoidalnymi, symetrycznymi w fazie albo w przeciwfazie z przebiegami napięć sieci. Pozwala to na uzyskanie skutków technicznych w postaci: sinusoidalnych, symetrycznych i mieszczących się w wymaganych granicach wartości napięć zasilających na zaciskach przyłączeniowych instalacji prosumenckich; minimalnych strat mocy czynnej w przewodach sieci zasilającej powodowanych przepływami prądów prosumentów; możliwości przyłączenia w istniejącej sieci nowych odbiorników i źródeł bez przeciążenia elementów sieci i przekroczenia dopuszczalnych parametrów jakości energii, bez konieczności instalowania dodatkowych urządzeń energoelektronicznych, a jedynie przez modyfikację układu sterowania przekształtników pracujących w instalacjach prosumenckich.

Istota sposobu sterowania trójfazowym czteroprzewodowym przekształtnikiem AC/DC (1) składającego się z trzech przetworników napięciowych (2), trzech przetworników prądowych (3), mikrokon-

trolera z wielokanałowym przetwornikiem analogowo cyfrowym (A/D) sygnałów z przetworników napięciowych i prądowych i z zaimplementowanym algorytmem, połączonych z trójfazową siecią przosumencką AC oraz źródłem lub zasobnikiem energii DC polega na tym, że dla uzyskania zadanego przebiegu wartości chwilowych prądów fazowych przekształtnika pobiera się z przetworników napięciowych i prądowych jako sygnały analogowe chwilowe wartości u_a, u_b, u_c napięć fazowych oraz wartości chwilowe i_a, i_b, i_c sumarycznych prądów fazowych odbiorów i pozostałych źródeł przosumenta i po ich przetworzenie na sygnały cyfrowe za pomocą przetwornika A/D mikrokontrolera, za pomocą procesora mikrokontrolera wyznacza się sygnały zadanego wartości chwilowych fazowych prądów przekształtnika $i_{aref} = I * \sin \omega t - i_a, i_{bref} = I * \sin (\omega t + 120^\circ) - i_b, i_{cref} = I * \sin (\omega t + 240^\circ) - i_c$, gdzie I jest amplitudą trzech sygnałów sinusoidalnych zsynchronizowanych z przebiegami napięć fazowych, która może być obliczana na podstawie bilansu mocy czynnych na zaciskach stron AC i DC przekształtnika z równania:

$$\sqrt{3}U_{nsieci} * \frac{1}{\sqrt{2}} - \frac{1}{T} \int_0^T (u_a * i_a + u_b * i_b + u_c * i_c + P_z) dt = 0$$
, w którym P_z oznacza wartość mocy przesyłanej za pośrednictwem przekształtnika z sieci AC do zasobnika DC, przy czym pomnożone przez (-1) prądy i_a, i_b, i_c występujące jako składowe prądów referencyjnych $i_{aref}, i_{bref}, i_{cref}$ powodują, że przekształtnik kompensuje całkowicie prądy odbiorów i źródeł niesterowanych.

Sposób według wynalazku został zobrazowany na rysunkach, gdzie fig. 1 przedstawia algorytm obliczania wartości chwilowych prądów fazowych przekształtnika $i_{aref}, i_{bref}, i_{cref}$, fig. 2 przedstawia schemat sieci z urządzeniami przosumenta biorącymi udział w procesie sterowania, fig. 3 przedstawia trzy wykresy z przebiegami wartości chwilowych prądów fazowych: 1. prądów odbiorów nieliniowych i niesymetrycznych przosumenta, 2. prądów przekształtnika sterowanego algorytmem oraz 3. prądów przosumenta dopływających z sieci zasilającej w wyniku działania algorytmu.

Przykład wykonania sposobu kompensacji asymetrii i odkształceń prądów oraz kompensacji mocy biernej w instalacjach przosumenckich za pomocą trójfazowego czteroprzewodowego przekształtnika AC/DC, połączonych z trójfazową siecią przosumencką AC oraz zasobnikiem energii DC zbudowanym z dwu połączonych szeregowo kondensatorów, sterowanego prądem referencyjnym obliczanym przez procesor połączonych z przekształtnikiem obwodami sterowania mikrokontrolera Texas Instruments TMS320F2837xD Delfino Dual-Core MCUs działający zgodnie z zaimplementowanym w pamięci mikrokontrolera algorytmem kompensacji asymetrii i odkształceń prądów oraz mocy biernej w instalacjach przosumenckich przy czym przetworniki A/D mikrokontrolera sygnały wejściowe analogowe, odpowiadające mierzonym napięciom fazowym zasilającym instalację przosumenta oraz sumarycznym prądom fazowym jego odbiorów i źródeł niesterowalnych (o ile znajdują się w instalacji), przetwarzają na sygnały cyfrowe (Blok A i B na rys. 1), przy częstotliwości próbkowania większej niż 20 kS/sec zapewniającej uzyskanie cyfrowej informacji o przebiegach wartości chwilowych mierzonych napięć u_a, u_b, u_c i prądów i_a, i_b, i_c , które wraz z wartością mocy czynnej P_z jaka wynika z pracy zasobnika DC (Blok G na rys. 1) są wielkościami wejściowymi algorytmu (Blok C i D na rys. 1).

Dla obliczenia wielkości wyjściowych algorytmu zadających jako prądy referencyjne $i_{aref}, i_{bref}, i_{cref}$ (Blok F na rys. 1) przebiegi wartości chwilowych prądów fazowych przekształtnika algorytm przetwarza wartości wielkości wejściowych u_a, u_b, u_c oraz i_a, i_b, i_c zgodnie z zależnościami $i_{aref} = I * \sin \omega t - i_a, i_{bref} = I * \sin (\omega t + 120^\circ) - i_b, i_{cref} = I * \sin (\omega t + 240^\circ) - i_c$, gdzie I jest amplitudą trzech sygnałów sinusoidalnych zsynchronizowanych z przebiegami napięć fazowych, którą procesor mikrokontrolera oblicza na podstawie bilansu mocy czynnych na zaciskach stron AC i DC przekształtnika z równania:

$$\sqrt{3}U_{nsieci} * \frac{1}{\sqrt{2}} - \frac{1}{T} \int_0^T (u_a * i_a + u_b * i_b + u_c * i_c + P_z) dt = 0$$

Pomnożone przez (-1) prądy i_a, i_b, i_c występujące jako składowe prądów referencyjnych $i_{aref}, i_{bref}, i_{cref}$ powodują, że przekształtnik kompensuje całkowicie prądy odbiorów i źródeł niesterowanych co niweluje negatywne zjawiska spowodowane asymetrią oraz nieliniowością odbiorów i źródeł przosumenta w sieci zasilającej. Wymaga to pasma częstotliwości transduktorów pośredniczących w pomiarze prądów i napięć co najmniej od DC do 20 kHz, częstotliwości próbkowania przetworników A/D i iteracji obliczeń numerycznych 20 kS/sec. Generacja przez przekształtnik prądów kompensujących prądy i_a, i_b, i_c odbiorów i źródeł przosumenta powoduje pobór mocy chwilowej $p = u_a * i_a + u_b * i_b + u_c * i_c$ z zasobnika DC kosztem energii w nim zgromadzonej. Ażeby zachować bilans energii w zasobniku tę samą ilość energii przetwornik pobiera jednocześnie z sieci AC. W efekcie kompensacji odbywa się to przy symetrycznych i sinusoidalnych prądach płynących z sieci AC określonych przez składowe sinusoidalne

prądów referencyjnych, a więc nie powoduje negatywnych zjawisk. Amplituda tych składowych prądów referencyjnych zapewnia również przesył mocy P_z zadanej przez prosumencki algorytm ładowania i rozładowania zasobnika DC.

Zastrzeżenie patentowe

1. Sposób sterowania trójfazowym czteroprzewodowym przekształtnikiem AC/DC (1) składający się z trzech przetworników napięciowych (2), trzech przetworników prądowych (3), mikrokontrolera z wielokanałowym przetwornikiem analogowo cyfrowym (A/D) sygnałów z przetworników napięciowych i prądowych z zaimplementowanym algorytmem połączonych z trójfazową siecią prosumencką AC oraz zasobnikiem energii DC **znamienny tym**, że dla uzyskania zadanego przebiegu wartości chwilowych prądów fazowych przekształtnika pobiera się z przetworników napięciowych i prądowych jako sygnały analogowe chwilowe wartości u_a , u_b , u_c napięć fazowych oraz wartości chwilowe i_a , i_b , i_c sumarycznych prądów fazowych odbiorów i pozostałych źródeł prosumenta i po ich przetworzeniu na sygnały cyfrowe za pomocą przetwornika A/D mikrokontrolera, za pomocą procesora mikrokontrolera wyznacza się sygnały zadanych wartości chwilowych fazowych prądów przekształtnika $i_{aref} = I * \sin\omega t - i_a$, $i_{bref} = I * \sin(\omega t + 120^\circ) - i_b$, $i_{cref} = I * \sin(\omega t + 240^\circ) - i_c$ gdzie I jest amplitudą trzech sygnałów sinusoidalnych zsynchronizowanych z przebiegami napięć fazowych, która może być obliczana na podstawie bilansu mocy czynnych na zaciskach stron AC i DC przekształtnika z równania:

$$\sqrt{3}U_{nsieci} * \frac{I}{\sqrt{2}} - \frac{1}{T} \int_0^T (u_a * i_a + u_b * i_b + u_c * i_c + P_z) dt = 0$$

w którym P_z oznacza wartość mocy przesyłanej za pośrednictwem przekształtnika z sieci AC do zasobnika DC, przy czym pomnożone przez (-1) prądy i_a , i_b , i_c występujące jako składowe prądów referencyjnych i_{aref} , i_{bref} , i_{cref} powodują, że przekształtnik kompensuje całkowicie prądy odbiorów i źródeł niesterowanych.

Rysunki

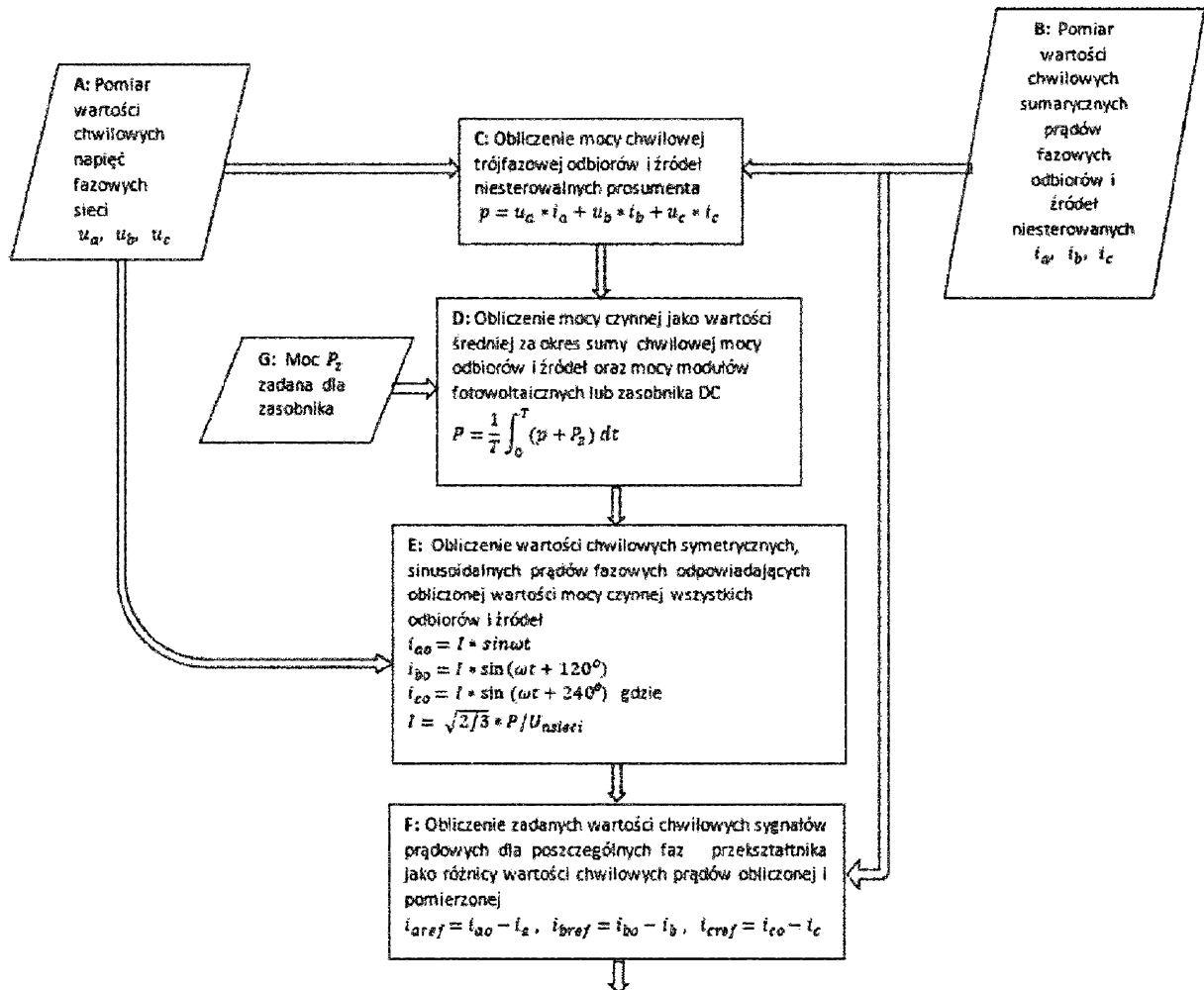


Fig. 1

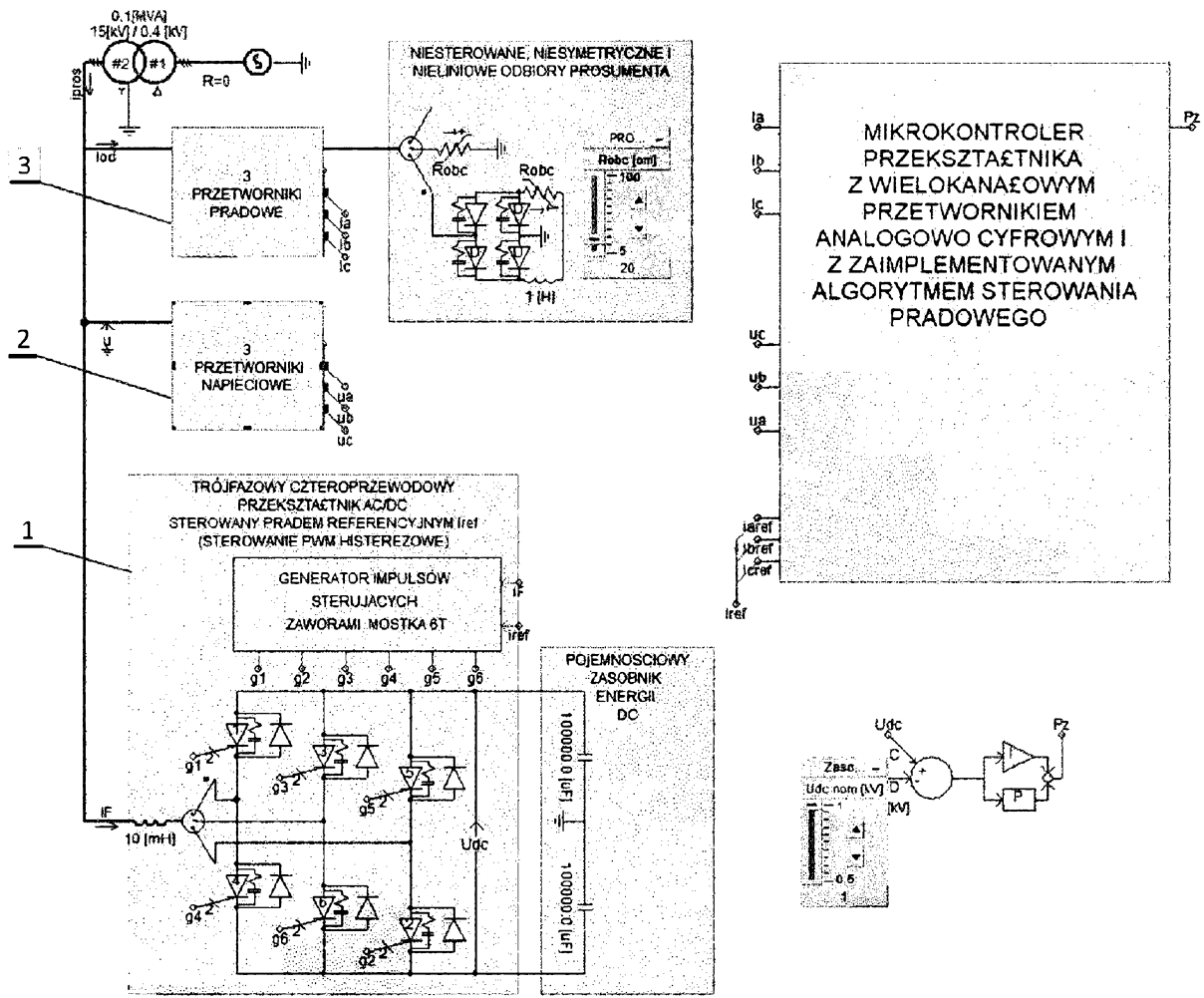


Fig. 2

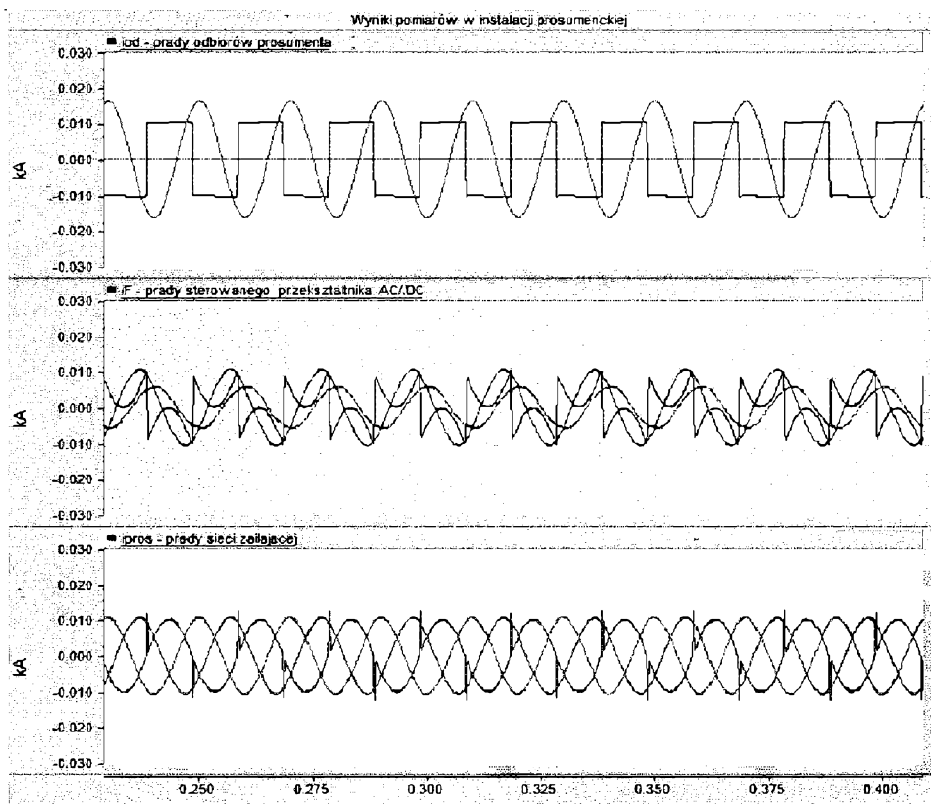


Fig. 3