

Ryszard PORADA*

ENERGOELEKTRONICZNE ŹRÓDŁO PRĄDU W UKŁADACH AKTYWNEJ KOMPENSACJI RÓWNOLEGŁEJ

Kompensacja oddziaływania odbiorników energii elektrycznej na źródła energii jest realizowana najczęściej za pomocą układów pasywnych (wykorzystujących tylko elementy bierne LC). Obecnie coraz częściej proponowane są aktywne układy kompensacji równoległej. W pracy przedstawiono analizę pracy takiego układu, jego właściwości energetyczne oraz wybrane wyniki badań symulacyjnych.

SŁOWA KLUCZOWE: energoelektronika, falowniki, aktywna kompensacja równoległa.

1. WPROWADZENIE

Kompensacja oddziaływania odbiorników nieliniowych, szczególnie przekształtników energoelektronicznych, na sieć elektroenergetyczną jest jednym z aktualnych zagadnień elektrotechniki. Ranga zagadnienia szybko wzrasta wraz ze zwiększaniem liczby i mocy jednostkowej instalowanych przekształtników. Ograniczenia wymaga zazwyczaj zarówno pobierana moc bierna jak i odkształcenie prądu oraz napięcia sieci.

Klasycznymi, często stosowanymi układami kompensującymi są kompensatory pojemnościowe lub filtry rezonansowe LC kompensujące wybrane wyższe harmoniczne prądu [3, 9, 11]. Odpowiedni dobór elementów LC w tzw. układach kompensująco-filtrujących pozwala uzyskać efekt jednoczesnej kompensacji mocy biernej i filtracji harmonicznym prądu sieci. Układy takie mają wiele zalet technicznych [3, 9], wykazują jednak istotne wady, jak m.in. niedostateczna skuteczność filtracji czy też silne uzależnienie charakterystyk filtracyjnych od impedancji źródła zasilania.

Wielu wad rezonansowych układów kompensująco-filtrujących LC nie posiadają filtry bierne LC (nieresonansowe) o strukturach i parametrach dobieranych metodami optymalizacyjnymi [4, 10], umożliwiającymi wyznaczenie tzw. optymalnego (ze względu na normę i kształt) prądu aktywnego. Prąd ten jest podstawą do określenia susceptancji układu filtrującego i jego syntezy. Efektem

* Politechnika Poznańska

zastosowania takich filtrów jest uzyskanie przebiegu prądu źródła o minimalnej wartości skutecznej (ze względu na pobieraną przez odbiornik moc czynną) i jednocześnie znaczna redukcja zawartości wyższych harmonicznych.

Skuteczność filtrów biernych LC (zależna także od zmiany wartości parametrów sieci i odbiornika oraz dobroci elementów reaktancyjnych) może być niewystarczająca w warunkach coraz większego odkształcenia przebiegów napięć i prądów sieci. Wiąże się to także z brakiem możliwości dynamicznej adaptacji parametrów filtru do szybkich zmian parametrów systemu. Powoduje to, że w ostatnich latach intensywnie rozwijane są układy kompensacji aktywnej. W układach tych głównym elementem kompensatora jest sterowane źródło prądu [3, 6, 7, 11]. Przez odpowiednie sterowanie tego źródła można uzyskać stan, w którym praktycznie kompensowane są wszystkie niepożądane składowe prądu sieci. Istotnym problemem technicznym jest budowa układów filtrów aktywnych dla odbiorników dużej mocy, ponieważ na ich zaciskach głównych występuje pełne napięcie sieci i przepływa przez nie całkowity prąd kompensujący, co zwiększa wymaganą moc całkowitą takich układów. Ogranicza to ich zastosowanie obecnie do układów małych i ewentualnie średnich mocy.

Obecne tendencje rozwoju metod kompensacji oddziaływania odbiorników na sieć mają na celu opracowanie kompensatorów realizujących kompensację dynamiczną (w czasie rzeczywistym), a jednocześnie odporniejszych na zakłócenia zarówno ze strony sieci, jak i odbiornika. Obejmują one również optymalizację energetycznych warunków pracy źródeł energii (sieci zasilającej).

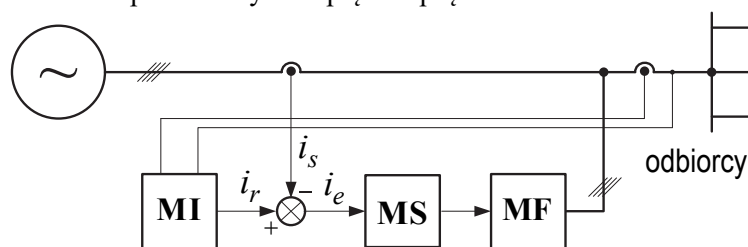
W pracy przedstawiono wyniki badań symulacyjnych trójfazowych równoległych kompensatorów aktywnych, mogących spełnić postulowane kryteria kompensacji, szczególnie w czteroprzewodowych sieciach przesyłowo-rozdziałczych n/n , z energoelektronicznym źródłem prądu przedstawionym w pracach [5, 6, 7]. Kompensatory te mogą być instalowane np. na przyłączach budynków mieszkalnych lub zaciskach n/n lokalnych transformatorów, powodując zmniejszenie strat przesyłu energii, symetryzację obciążenia w sieci trójfazowej, odciążenie sieci od przesyłu mocy biernej czy minimalizację zawartości wyższych harmonicznych prądu.

2. UKŁAD AKTYWNEJ KOMPENSACJI RÓWNOLEGŁEJ

Założonym celem pracy układu aktywnej kompensacji równoległej jest dynamiczna (możliwie w czasie rzeczywistym) kompensacja prądu będącego różnicą między aktualnym prądem odbiornika $i_L(t)$ i prądem wzorcowym $i_{ref}(t)$ (optymalnym prądem aktywnym). Strukturę blokową układu pokazano na rysunku 1.

Układ kompensacji aktywnej, pracujący jako układ zamknięty, składa się z trzech podstawowych bloków:

- identyfikacji (MI), realizującego identyfikację częstotliwości ω_{ref} , fazy ϕ_{ref} oraz amplitudy A_{ref} prądu wzorcowego,
- sterowania (MS), realizującego wymagane sterowanie kompensatora,
- wykonawczego (MF) w postaci energoelektronicznego źródła prądowego,
- przetworników pomiarowych napięcia i prądu.



Rys. 1. Schemat ideowo-blokowy układu aktywnej kompensacji równoległej

Proces sterowania kompensatorem zachodzi w dwóch fazach:

- wyznaczenia przebiegu prądu wzorcowego $i_{ref}(t)$,
- dynamicznego kształtowania przez układ wykonawczy wymaganego prądu kompensującego w postaci $i_k(t) = i_{ref}(t) - i_L(t)$.

Jakość i właściwości dynamiczne procesu kompensacji zależą przede wszystkim od przyjętej metody wyznaczenia wielkości wzorcowej, a także od możliwości zastosowania jej w praktyce. Realizacja optymalnego sterowania kompensatorem ma na celu optymalizację pracy układu źródło energii-odbiornik przez minimalizację wartości skutecznej prądu źródła oraz jego odkształceń (od przebiegu sinusoidalnego).

W zastosowaniach do kompensacji równoległej w sieciach elektroenergetycznych, wzorcowy przebieg prądu, uwzględniający bieżący stan procesu w układzie sieć-odbiornik, powinien się charakteryzować następującymi cechami:

- kształt prądu wzorcowego, a tym samym kształt prądu pobieranego z sieci, powinien być sinusoidalny w każdym okresie podstawowym napięcia (z ewentualnym założonym przesunięciem prądu ϕ_i względem napięcia). Uwzględnienie szybkich zmian prądu odbiorników energii może spowodować uzależnienie amplitudy tego prądu od czasu w ramach okresu napięcia źródła – w takich stanach prąd wzorcowy będzie odbiegał kształtem od sinusoidy.
- wartość skuteczna prądu wzorcowego (optymalnego aktywnego) powinna odpowiadać aktualnie zapotrzebowanej przez odbiornik mocy czynnej z uwzględnieniem wpływu parametrów sieci.

Prąd aktywny minimalizujący wartość skuteczną prądu źródła energii i jego odkształcenie (od przebiegu sinusoidalnego) może być określany różnymi metodami [1, 2, 8, 10]. Dla przyjętego prostego modelu zastępczego źródła energii oraz linii transmisyjnej w formie dwójnika szeregowego RL [5] określa go następująca postać analityczna:

$$i_{ref}(\tau) = \underset{opt}{k}(t) \underset{e}{G}(t) e_s(\tau) = A_{ref}(t) e_s(\tau) \quad (1)$$

gdzie $A_{ref}(t)$ jest zmienną w czasie amplitudą prądu wzorcowego.

Spełnienie warunków jednoczesnego przenoszenia przez optymalny prąd aktywny zadanej mocy czynnej oraz zachowania kształtu napięcia źródła w stanie dynamicznym układu nie jest możliwe. Wymagałoby to wygenerowania sygnału prądu przed uzyskaniem informacji o chwilowych wartościach mocy czynnej i napięcia skutecznego odbiornika, odpowiednich dla czasu t .

Możliwe jest jednak generowanie z zadaną dokładnością sygnału prądu wzorcowego przy kompromisowym kryterium nadążania za aktualnie zapotrzebowaną mocą czynną przy jednoczesnym zachowaniu odpowiedniego kształtu (określonego np. stopniem odkształcenia przebiegu od kształtu sinusoidalnego). Wymaga to zastosowania adaptacyjnych metod wyznaczania parametrów tego sygnału [5]. W stanach ustalonych (lub bliskich ustalonym) wystarcza zastosowanie wprost wzoru (1) do wyznaczania prądu optymalnego.

Zgodnie z tymi założeniami do określenia parametrów prądu wzorcowego niezbędna jest znajomość amplitudy, fazy i częstotliwości napięcia źródła energii (generatora synchronicznego). Jednak pomiarowo dostępne jest jedynie napięcie w punkcie kompensacji, które może być odkształcone i może również ulegać stochastycznym wahaniom na skutek wpływu innych odbiorców energii. Stąd w takim przypadku za wielkość odniesienia może być przyjęta jedynie podstawowa harmoniczna tego napięcia. Z tego względu można przyjąć, że prąd wzorcowy $i_{ref}(t)$ będzie miał przebieg sinusoidalny o częstotliwości i fazie zgodnej z odpowiednimi wielkościami podstawowej harmonicznej napięcia sieci w punkcie kompensacji. Wielkości te są wyznaczane w bloku identyfikacji parametrów prądu wzorcowego MI z wykorzystaniem opracowanej metody identyfikacji tych wielkości [5] i przy założeniu (z uwagi na wymaganą dynamikę kompensacji), że czas identyfikacji, związany ze zmianami parametrów i napięć sieci zasilającej lub obciążenia, nie przekracza jednego okresu napięcia sieci.

Skuteczna realizacja zadań układów aktywnej kompensacji jest związana z dokładnością sterowania, szybkością reakcji oraz odpornością na zakłócenia, a także z dynamiką i dobrym odwzorowaniem (w określonym paśmie częstotliwości) sterujących sygnałów zadanych na wyjściu energetycznym układów. Do realizacji tych zadań mogą być wykorzystane układy energoelektronicznych sterowanych szerokopasmowych źródeł prądu przedstawione w pracach [6, 7], pracujące jako układy zamknięte, sterowane w systemie MSI.

Sterowane energoelektroniczne źródło prądu najczęściej jest falownikiem napięcia [3, 11] z wyjściem prądowym, co wymaga zastosowania odpowiedniego pasywnego demodulatora wyjściowego umożliwiającego pracę tego układu jako źródła prądu. Dobór struktury i parametrów pasywnego demodulatora ma zasadniczy wpływ na zdolność układu do kształtowania odpowiedzi oraz na powtarzalność przebiegu wyjściowego w stosunku do sygnału wzorcowego, a tym samym na redukcję niepożądanych składowych widma.

W najprostszym przypadku takim pasywnym demodulatorem może być dławik o określonej indukcyjności L_K . Jego minimalną wartość można szacunkowo określić przyjmując dopuszczalną wartość pulsacji prądu ΔI z równania:

$$L_K = \frac{U_{DC}}{2 \cdot f_N \cdot \Delta I} \quad (2)$$

gdzie: U_{DC} – napięcie zasilające falownik, f_N – częstotliwość nośna modulacji MSI.

Inaczej niż w autonomicznym źródle prądu, przy jego wykorzystaniu w układzie kompensacji aktywnej należy określić także wartość maksymalną tej indukcyjności. Jest ona związana z właściwościami dynamicznymi, w szczególności dokładnością śledzenia zmian prądu kompensującego i_K generowanego przez źródło prądu. Najszybsze zmiany tego prądu wiążą się z maksymalną wartością pochodnej $di_K/dt|_{(max)}$. Prąd kompensujący i_K musi narastać szybciej, gdyż w przeciwnym przypadku nie nadążałby za wymaganymi zmianami prądu wzorcowego. Dlatego też wartość indukcyjności dławika L_K powinna być wyznaczana również przy uwzględnieniu zależności:

$$\left| \frac{di_K}{dt} \right| = \frac{(\pm U_{DC} - e_s)}{L_K} \quad (3)$$

Na podstawie zależności (2) i (3) można wyznaczyć granice dopuszczalnych wartości indukcyjności dławika L_K , opisane nierównością:

$$\frac{U_{DC}}{2 \cdot f_N \cdot \Delta I} \leq L_K \leq \frac{(U_{DC} - E_{sm})}{di_K/dt|_{(max)}} \quad (4)$$

gdzie: E_{sm} – amplituda napięcia sieci.

Kolejna różnica w stosunku do autonomicznego źródła prądu jest związana ze źródłem zasilania falownika. W układzie aktywnej kompensacji źródłem energii jest kondensator. Tym samym dobór i kontrola napięcia tego kondensatora są bardzo ważnymi czynnikami wpływającymi na poprawność działania układu. Kondensator ten uczestniczy w procesie kształtowania prądu kompensującego i_K , w czasie którego przyjmuje lub oddaje energię, gdy chwilowa moc czyn-

na pobieraną przez odbiornik różni się od mocy czynnej pobieranej z sieci zasilającej. Największy jest wpływ niskoczęstotliwościowych zmian uśrednionej mocy czynnej odbiornika, a następnie pulsacji chwilowej mocy czynnej wywołanej wyższymi harmonicznymi prądu. Pulsacje związane z przełączaniem łączników falownika wchodzącego w skład kompensatora nie mają istotnego znaczenia ze względu na dużą częstotliwość.

Zakładając w uproszczeniu, że pulsacje mocy czynnej wywołane są przebiegiem sinusoidalnym o amplitudzie P_m (odpowiadającej mocy czynnej odbiornika) [9], można wyznaczyć najmniejszą wymaganą susceptancję kondensatora C_d według wzoru:

$$\omega C_d = \frac{P_m}{\varepsilon U_{DC}^2(0)} \quad (5)$$

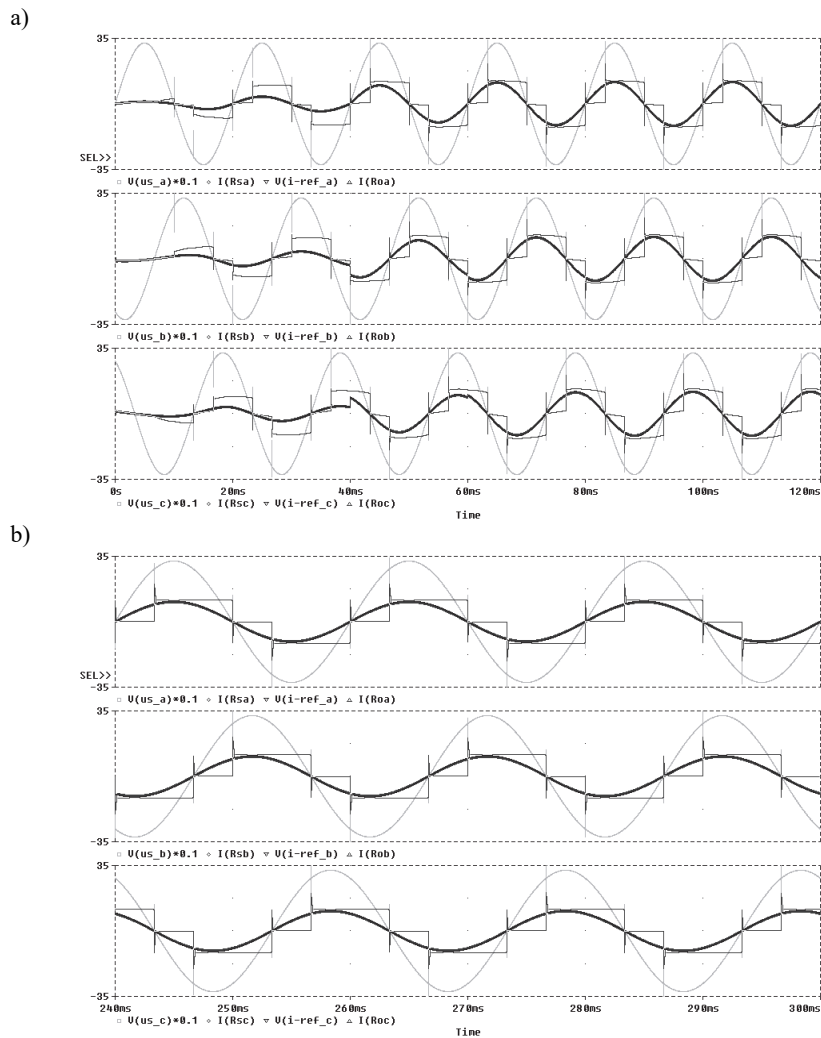
gdzie ε jest przyjętym dopuszczalnym (ze względu na dokładność generowania prądu wzorcowego) współczynnikiem wahań napięcia kondensatora. Najogólniej rzecz biorąc napięcie kondensatora powinno być tak dobrane, aby chwilowa wartość napięcia fazowego falownika była większa od chwilowej wartości napięcia fazowego źródła.

Należy podkreślić, iż brak bądź też zbyt wolna stabilizacja napięcia U_{DC} może prowadzić do zawyżonych wartości pojemności C_d lub znacznych błędów ε napięcia U_{DC} względem wartości zadanej $U_{DC}(0)$. Dlatego też funkcja stabilizacji napięcia U_{DC} powinna być zawsze uwzględniana w systemach sterowania układów aktywnej kompensacji równoległej.

3. BADANIA SYMULACYJNE

Badania symulacyjne układu aktywnej kompensacji równoległej przeprowadzono w programie OrCAD, dla trójfazowej czteroprzewodowej sieci przesyłowo-rozdzielczej, reprezentowanej gałęzią szeregową o parametrach $R_s = 0,005 \Omega$, $L_s = 55 \mu\text{H}$, uzyskanych po sprowadzeniu na stronę n/n parametrów transformatora o mocy 1 MVA i napięciu 15/0,4 kV, dołączonego do linii 15 kV o mocy zwarciowej $S_{zw} = 24 \text{ MVA}$. Odbiorców energii elektrycznej czerpiących energię elektryczną z przyłącza np. budynku wielorodzinnego o założonej mocy $S_{zw} = 46 \text{ kVA}$ reprezentuje trójfazowy układ z przewodem zerowym o parametrach gałęzi szeregowej: $R_o = 2,75 \Omega$, $L_o = 4500 \mu\text{H}$ dla każdej fazy. Zastosowano typowy falownik trójfazowy z dzielonym źródłem [3, 11] (ze względu na konieczność generowania niesymetrycznych prądów fazowych), z modulacją MSI i częstotliwością nośną $f_{MSI} = 12,5 \text{ kHz}$, sterowany zgodnie z zasadami przedstawionymi w pracach [5, 6].

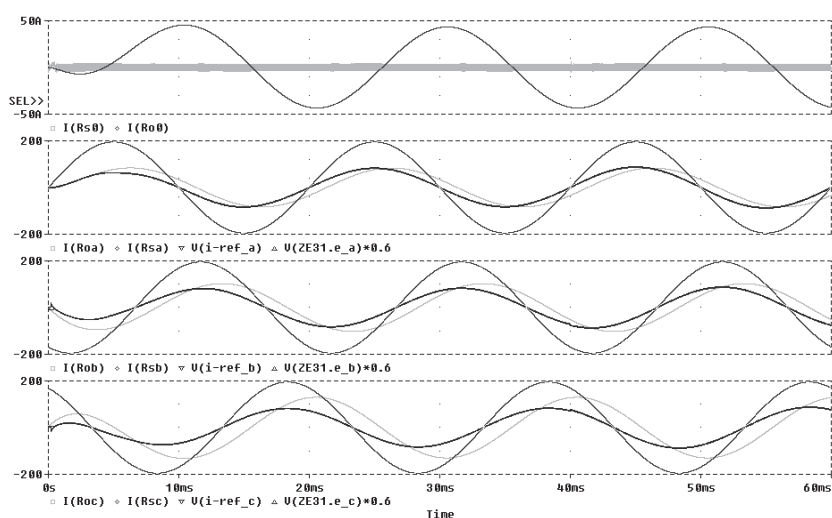
W pierwszej kolejności przetestowano działanie układu aktywnej kompensacji równoległej. Źródłem odkształconego prądu jest trójfazowy mostek tyrystorowy. Jest to szczególnie niekorzystny przypadek odbiornika nieliniowego generującego jednocześnie: silnie odkształcone prądy o dużej stromości oraz tzw. moc bierną (dla kąta załączenia $\alpha_z \neq 0$). Przy takim obciążeniu możliwe jest przetestowanie źródła prądu ze względu na jego możliwości dynamiczne. Na rysunku 2 przedstawiono (w odpowiednich skalach) przebiegi napięcia zasilającego u_s oraz prądów odbiornika i_L , sieci i_s i sygnału wzorcowego i_{ref} , dla wszystkich trzech faz.



Rys. 2. Przebiegi napięć i prądów układu kompensacji aktywnej;
a) stan niestabilny; b) stan ustalony

Rysunek 2a przedstawia stan nieustalony układu. W pierwszym okresie widoczny jest dynamiczny (zgodnie z zależnością (1)) sposób wyznaczania prądu wzorcowego i_{ref} . Na końcu każdego okresu wyznaczana jest nowa wartość amplitudy prądu wzorcowego, która jest utrzymywana przez okres napięcia. Tym samym, w każdym okresie prąd ma praktycznie kształt sinusoidalny. Na rysunku 2b pokazano stan ustalony układu. Zawartość ok. 28% wyższych harmonicznych w prądzie odbiornika została zredukowana od ok. 2,6% w prądzie sieci (w paśmie 2 kHz). Widoczna jest także dobra dynamika źródła prądu przy skokach prądu pobieranego z sieci przez prostownik tyrystorowy (proces komutacji prostej).

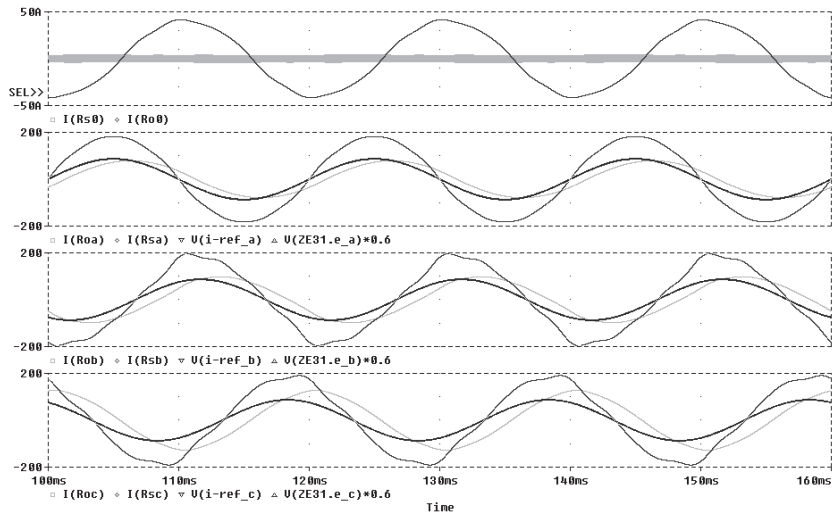
Na kolejnych rysunkach przedstawiono wyniki badań symulacyjnych aktywnego kompensatora podłączonego do przyłącza zasilającego typowych odbiorców energii elektrycznej (dla przypadku obciążenia niesymetrycznego). Na każdym rysunku pokazano (w odpowiednich skalach) przebiegi napięcia zasilającego u_s oraz prądów odbiornika i_L , sieci i_s i sygnału wzorcowego i_{ref} , dla wszystkich trzech faz. Przedstawiono także przebiegi prądów w przewodzie zerowym odbiornika oraz sieci zasilającej – po kompensacji.



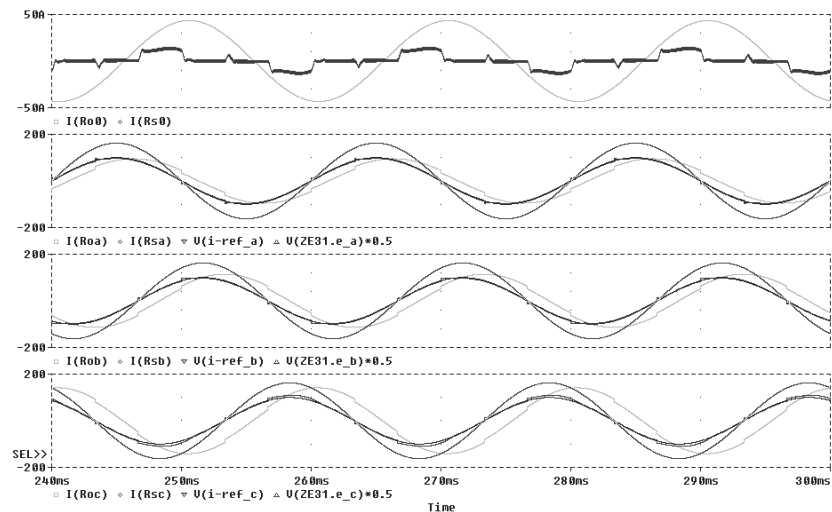
Rys. 3. Przebiegi napięć i prądów układu kompensacji aktywnej;
a) stan nieustalony; b) stan ustalony

Rysunek 3 przedstawia stan nieustalony (ustalający się już w trzecim okresie) odbiornika niesymetrycznego. Podobnie jak dla obciążenia mostkiem prostownikowym, realizowany jest proces dynamicznego wyznaczania prądu wzorcowego i_{ref} i generowania przez źródło prądu odpowiadającego mu prądu sieciowego. Asymetria odbiornika została skompensowana, łącznie z mocą bierną.

Ponadto uzyskano ok. 20-krotne zmniejszenie obciążenia sieciowego przewodu zerowego. Na rysunku 4 pokazano ten sam odbiornik przy znacząco odkształconym napięciu zasilającym. Uzyskano redukcję zawartości wyższych harmonicznych prądu odbiornika z ok. 5,8% do ok. 0,8% w prądzie sieci (w paśmie 2 kHz).



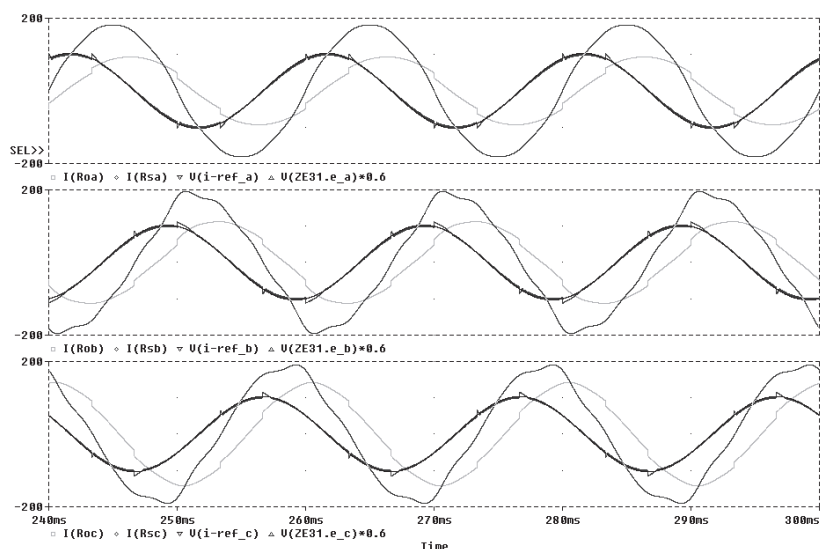
Rys. 4. Przebiegi napięć i prądów układu kompensacji aktywnej;
a) stan nieustalony; b) stan ustalony



Rys. 5. Przebiegi napięć i prądów układu kompensacji aktywnej;
a) stan nieustalony; b) stan ustalony

Na rysunku 5 pokazano przypadek podłączenia do przyłącza odbiornika nieliniowego (mostek prostownikowy) o mocy ok. 1/3 mocy odbiornika trójfazo-

wego przy odkształconym napięciu zasilającym. Również w tym przypadku uzyskano redukcję zawartości wyższych harmonicznych prądu odbiornika z ok. 8,5% do ok. 1,9% w prądzie sieci (w paśmie 2 kHz), całkowitą kompensację mocy biernej oraz symetryzację obciążenia.



Rys. 6. Przebiegi napięć i prądów układu kompensacji aktywnej;
a) stan nieustalony; b) stan ustalony

Na rysunku 6 pokazano także możliwość pracy kompensatora aktywnego jako źródła mocy biernej o charakterze pojemnościowym (niesymetrycznej fazowo), co może być wykorzystane dodatkowo do kompensacji mocy biernej innych odbiorników.

4. PODSUMOWANIE

Układ aktywnej kompensacji poprzez prawidłowe działanie energoelektronicznego źródła prądu, zapewnił bardzo dobre odwzorowanie sygnału wzorcowego wyznaczonego w module identyfikacji (MI). Prąd sieci jest zgodny w fazie z przebiegiem napięcia sieci (kompensacja tzw. mocy biernej) oraz ma znacznie zredukowane wartości wyższych harmonicznych (kompensacja odkształceń prądu odbiornika). Przedstawiony układ kompensacji aktywnej zapewnia krótki czas wyznaczania parametrów prądu wzorcowego (nieprzekraczający jednego okresu napięcia sieci) przy niewielkiej wartości współczynnika zniekształceń nieliniowych w różnych warunkach obciążenia i zasilania.

Zastosowanie równoległych kompensatorów aktywnych, instalowanych np. na przyłączach budynków mieszkalnych lub zaciskach n/n lokalnych transformatorów może znacząco zmniejszyć czynne straty przesyłu energii, symetryzację obciążenia w sieci trójfazowej (odciążenie przewodów neutralnych), odciążenie sieci od przesyłu mocy biernej (lepsza gospodarka mocą bierną), minimalizację zawartości wyższych harmoniczných prądu (szczególnie niskich rzędów), a przez to poprawę jakości napięcia u odbiorców energii elektrycznej. Prowadzi to do korzystnego zmniejszania zużycia energii elektrycznej oraz zakłóceń EMC i wpływa korzystnie na ochronę środowiska naturalnego.

LITERATURA

- [1] Czarnecki L.S.: Interpretacja, identyfikacja i modyfikacja własności energetycznych obwodów jednofazowych z przebiegami odkształconymi, Monografia, ZN Pol. Śl., Elektryka, Z. 91, Gliwice 1984.
- [2] Fryze S.: Moc rzeczywista, urojona i pozorna w obwodach o przebiegach odkształconych prądu i napięcia", Przegląd Elektrotechniczny, 1931, No. 7, ss. 193-203.
- [3] Mohan N., Undeland T.M., Robbins W.P., Power Electronics: Converters, Application and Design. John Wiley&Sons, New York 2001.
- [4] Pasko M.: Dobór kompensatorów optymalizujących warunki pracy źródeł napięć jednofazowych i wielofazowych z przebiegami okresowymi odkształconymi. Monografia, ZN Politechniki Śląskiej, Elektryka, Gliwice, 135, 1994.
- [5] Porada R.: Właściwości energetyczne procesów w układach elektrycznych. Rozprawy, Nr 369, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2002
- [6] Porada R.: Autonomiczne energoelektroniczne źródła napięcia i prądu. Mat. XVI Konf. „Zastosowanie Komputerów w Elektrotechnice”, Academic Journal, Electrical Engineering, Poznań 2017, 91, pp. 43-53.
- [7] Porada R., Gulczyński A.: Zmodyfikowane sterowanie dyskretne energoelektronicznym źródłem prądu. Poznan University of Technology, Academic Journals. Electrical Engineering, 2016, 87, pp. 225-233.
- [8] Siwczyński M.: Metody optymalizacyjne w teorii mocy obwodów elektrycznych, Inżynieria Elektryczna, Nr 183, Kraków 1995
- [9] Supronowicz H.: Metody zmniejszania zawartości wyższych harmoniczných w prądach pobieranych przez odbiorniki nieliniowe z sieci zasilającej. Monografia, ZN Pol. Warsz., Elektryka, 98, Warszawa 1995.
- [10] Walczak J.: Optymalizacja energetyczno-jakościowych własności obwodów elektrycznych w przestrzeni Hilberta, Monografia, ZN. Pol. Śl., Elektryka, Z. 125, Gliwice 1992.
- [11] Tunia H., Smirnow A., Nowak M., Barlik R.: Układy energoelektroniczne. Obliczanie, Modelowanie, projektowanie. WNT, Warszawa 1998.

**THE POWER ELECTRONICS CURRENT SOURCE
OF ACTIVE SHUNT COMPENSATION SYSTEMS**

The compensation of influences of receivers of the electrical energy on energy sources is realized most often by means of passive systems (using only passive elements LC). Currently more often are proposed active shunt compensation systems. The paper presents analysis of such system and its energy properties. Selected simulation results of the system are also included.

(Received: 16.02.2018, revised: 10.03.2018)