

Adam KEMPSKI¹
Robert SMOLEŃSKI¹

ROZPŁYW ZABURZEŃ GENEROWANYCH PRZEZ CZTEROKWADRANTOWE PRZEMIENNIKI CZĘSTOTLIWOŚCI W SIECIACH LOKALNYCH NISKICH NAPIĘĆ

W pracy przedstawiono wyniki badań głębokości wnikania zaburzeń elektromagnetycznych przewodzonych generowanych przez czterokwadrantowy przemiennik częstotliwości. Badania zaburzeń przewodzonych w odległych punktach pomiarowych sieci lokalnej oraz badania impedancji toru zaburzeń wspólnych kabla energetycznego pokazały, że zaburzenia wspólne mogą rozprzestrzeniać się w rozległych obwodach bez znacznego ograniczenia poziomów.

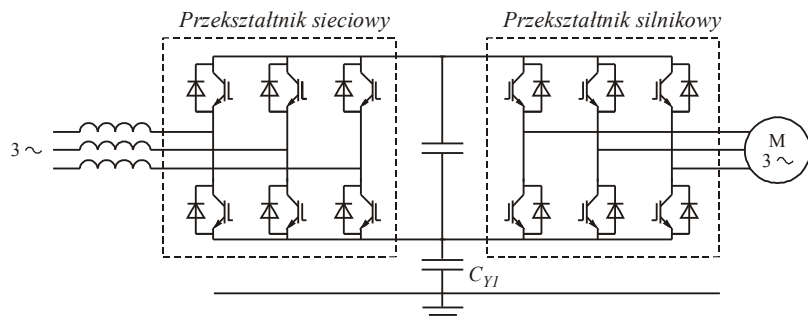
1 ZABURZENIA PRZEWODZONE CZTEROKWADRANTOWEGO PRZEMIENNIKA CZĘSTOTLIWOŚCI

Czterokwadrantowy przemiennik częstotliwości, stosowany jest obecnie w nowoczesnych napędach asynchronicznych oraz rozproszonych systemach przesyłu i wytwarzania energii elektrycznej wykorzystujących maszyny asynchroniczne [2].

Przekształtnik ten stanowi przykład urządzenia generującego bardzo wysoki poziom zaburzeń elektromagnetycznych [1], szczególnie w paśmie zaburzeń przewodzonych. Wynika to ze sposobu przetwarzania energii elektrycznej przez dwa trójfazowe mostki tranzystorowe, które mogą w tym paśmie, niekorzystnie, oddziaływać zarówno na stronę sieci, jak i obciążenia [3,4]. W pracy przedstawiono wyniki badań komercyjnie dostępnego, czterokwadrantowego przemiennika częstotliwości o mocy 25 kW zasilającego silnik klatkowy (10 kW, 2 pary biegunów).

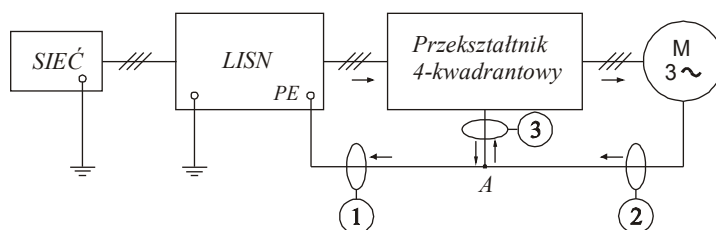
Na rys.1 pokazano schemat czterokwadrantowego przemiennika częstotliwości PWM z zaznaczonymi elementami obwodu zaburzeń wspólnych po stronie sieci w skład którego wchodzi kondensatory C_{Y1} i dławiki sieciowe na wejściu prostownika.

¹ Instytut Inżynierii Elektrycznej, Uniwersytet Zielonogórski, ul. Podgórna 50, 65-246 Zielona Góra, tel.: +48 068 3282377, e-mail: A.Kempski@iee.uz.zgora.pl, R.Smolenski@iee.uz.zgora.pl



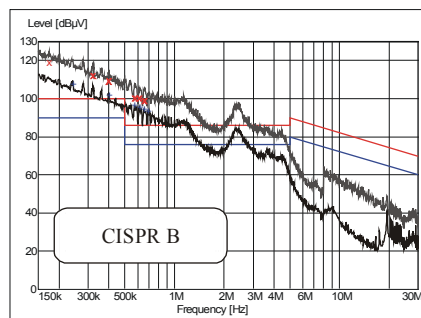
Rys.1. Schemat układu napędowego z czterokwadrantowym przemiennikiem częstotliwości PWM.

Analizę rozptyłu zaburzeń wspólnych (CM) wykonano w układzie przedstawionym na rys.2. Wyniki badań takiego układu zamieszczono w pracach [3,4].



Rys.2. Schemat układu pomiarowego.

Na rys.3 przedstawiono widmo zaburzeń wprowadzanych do sieci, zmierzone zgodnie z normą PN-EN 61800-3 za pomocą sztucznej sieci stabilizującej impedancję (LISN).

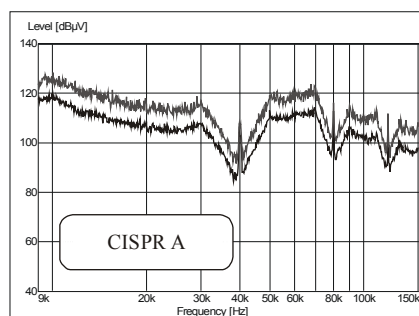


Rys.3. Widmo zaburzeń przewodzonych napędu z czterokwadrantowym przemiennikiem częstotliwości wg PN-EN 61800-3.

Poziom zaburzeń wprowadzanych do sieci znacznie przekracza wartości dopuszczalne, szczególnie w niższym zakresie częstotliwości pasma CISPR B. W części pasma CISPR B powyżej 1 MHz można zaobserwować obwiednie widma zaburzeń

odpowiadające oscylacyjnym przebiegom tłumionym o częstotliwościach 1,2 MHz, 2,5 MHz i 3,8 MHz.

Pomiary w zakresie pasma CISPR B nie pozwalają na zidentyfikowanie charakteru zaburzeń, które stały się przyczyną przekroczenia wartości granicznych w zakresie poniżej 1 MHz. Wykonano zatem dodatkowe pomiary w paśmie CISPR A, nie są przewidywane wymaganiami normy. Obwiednia przedstawionych na rys.4 wyników pomiarów w paśmie CISPR A pokazuje, że za przekroczenia poziomów w paśmie CISPR B odpowiedzialne są zaburzenia oscylacyjne tłumione o częstotliwości ok. 70 kHz.

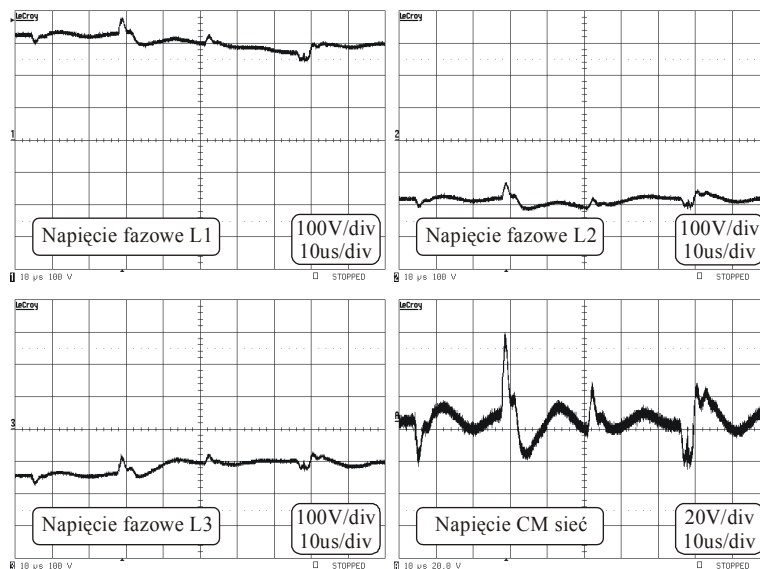


Rys.4. Widmo zaburzeń przewodzonych napędu z czterokwadrantowym przemiennikiem częstotliwości w paśmie CISPR A.

W niskoczęstotliwościowej części widma zaburzeń (CISPR A) zaobserwowano powtarzające się piki przy częstotliwościach będących wielokrotnością częstotliwości 40 kHz. Zmiany te związane są z częstotliwością sygnału synchronizującego przełączenia tranzystorów oraz tłumieniem wejściowego filtra rezonansowego.

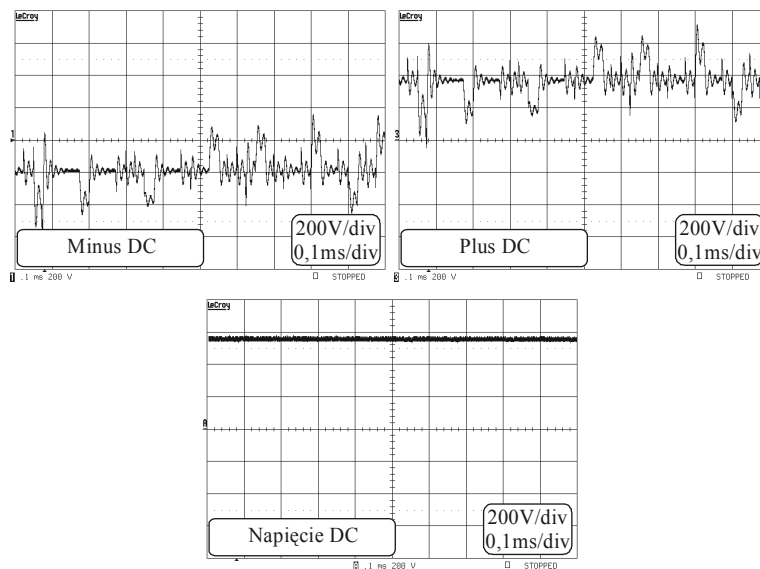
Przedstawione we wcześniejszych pracach wyniki badań [3,4], zarówno w dziedzinie częstotliwości jak i w dziedzinie czasu, wskazują, że w systemie obecne są dwa źródła zaburzeń, jedno po stronie sieciowej przekształtnika, a drugie po stronie silnikowej.

Na rys.5 przedstawiono przebiegi napięć fazowych oraz napięcie zaburzeń wspólnych na zaciskach sieciowych w czasie pracy przekształtnika. Jednakowy kształt zaburzeń wysokiej częstotliwości we wszystkich napięciach fazowych i odpowiadający im kształt napięcia zaburzeń wspólnych sugerują, że są one wynikiem spadku napięcia wywołwanego przez prąd zaburzeń wspólnych, przepływający przez przewód PE - od strony obwodu pośredniczącego prądu stałego - do sieci, i z powrotem do przekształtnika. Oznacza to, że prąd zaburzeń wspólnych po stronie sieci tworzony jest w wyniku skokowych zmian napięcia szyn DC względem ziemi, wywołanych przełączeniami tranzystorów prostownika wejściowego (Rys.6).



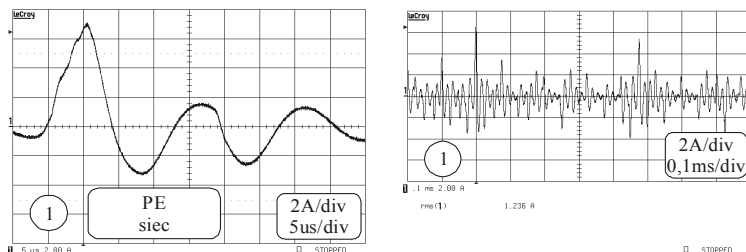
Rys.5. Powstawanie napięcia zaburzeń wspólnych na zaciskach sieciowych przekształtnika.

Na rys.6 przedstawiono przebiegi napięć dodatniego i ujemnego bieguna obwodu pośredniczącego DC względem ziemi, czyli napięcia na pojemnościach pomiędzy obwodem DC a uziemionym radiatorem, oraz różnicę tych napięć - napięcie DC obwodu pośredniczącego.



Rys.6. Przebiegi napięć biegunów dodatniego i ujemnego obwodu pośredniczącego prądu stałego oraz napięcie DC.

Prąd zaburzeń wspólnych po stronie sieci przy dwóch podstawach czasu, przedstawiono na rys.7.



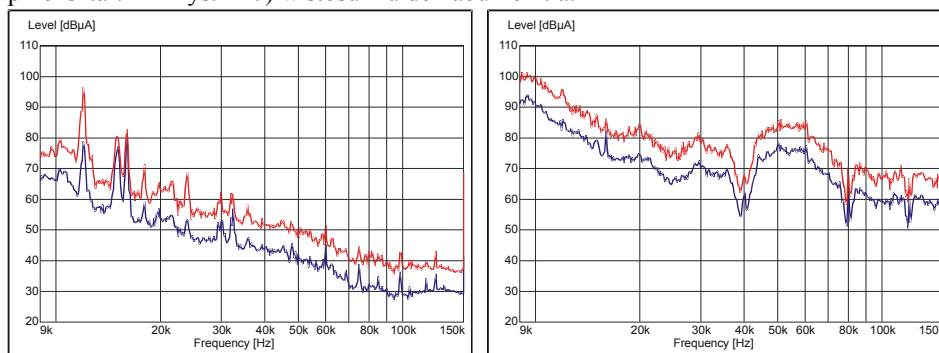
Rys.7. Prąd zaburzeń wspólnych po stronie sieci.

Prąd zaburzeń wspólnych po stronie sieci ma w przybliżeniu kształt tłumionych oscylacji o amplitudzie sięgającej 10 A i częstotliwości ok. 70 kHz. Wartość skuteczna tego prądu przekracza 1 A (1,236 A na rys.7)

2 ROZPŁYW ZABURZEŃ GENEROWANYCH PRZEZ PRZEKSZTAŁTNIK W SIECI LOKALNEJ

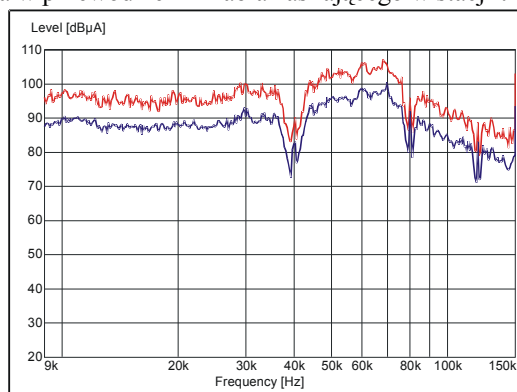
Relatywnie duże poziomy generowanych zaburzeń w paśmie CISPR A oraz zaobserwowane zakłócenia pracy odbiorników elektronicznych wywołwane przez przekształtnik, w stosunkowo odległych obwodach, skłoniły autorów do wykonania badań głębokości wnikania zaburzeń w sieć lokalną.

Na rys.8 przedstawiono widmo prądu zaburzeń w przewodzie PE kabla energetycznego zasilającego halę laboratoryjną. Pomiar wykonywany był w stacji transformatorowej w punkcie przyłączenia kabla do szyny zbiorczej oddalonym ponad 200 m od źródła zaburzeń przy wyłączonym i włączonym przekształtniku. Podczas pracy przekształtnika zarejestrowano niemal stukrotny (40dB) wzrost zaburzeń przy częstotliwości 60 kHz (główny częstotliwościowy mod oscylacyjny generowany przez przekształtnik - rys.4 i 7) w stosunku do zaburzeń tła.



Rys.8. Widmo prądu w przewodzie PE kabla energetycznego dla wyłączzonego i włączonego przekształtnika.

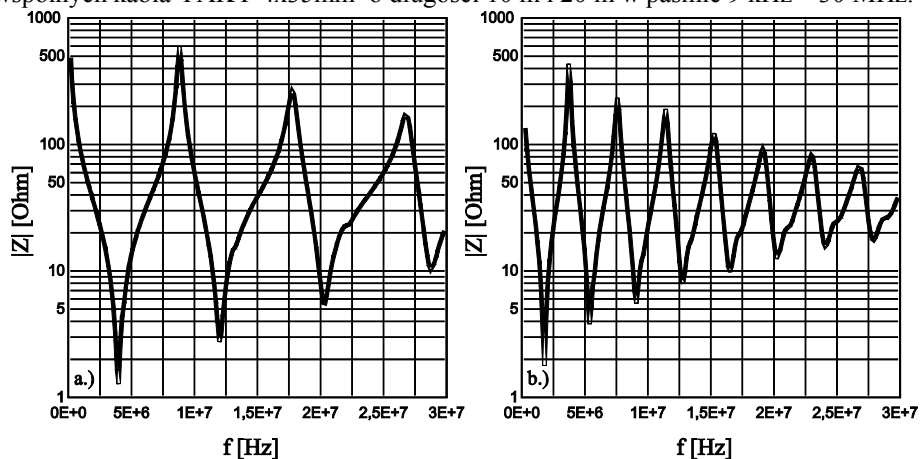
Na rys.9 przedstawiono widmo prądu CM w przewodzie PE przemiennika częstotliwości przy bezpośrednim przyłączeniu do sieci, z pominięciem impedancji LISN. Pomiar ten wykonano aby umożliwić oszacowanie jaka część generowanego prądu CM jest obecna w przewodzie PE kabla zasilającego w stacji transformatorowej.



Rys.9. Widmo prądu CM w przewodzie PE przemiennika częstotliwości.

Poziom zaburzeń o częstotliwości 60 kHz jest zmniejszony jedynie o 20dB w stosunku do zaburzeń zmierzonych przy samym przekształtniku, pomimo istnienia licznych alternatywnych dróg dla rozplywu zaburzeń w sieci hali laboratoryjnej oraz pomimo znacznych sprzężeń pojemnościowych w samym kablu.

Na rys.10 przedstawiono wynik pomiaru modułu impedancji toru zaburzeń wspólnych kabla YAKY 4x35mm² o długości 10 m i 20 m w paśmie 9 kHz – 30 MHz.



Rys.10. Charakterystyka modułu impedancji toru zaburzeń CM kabla YAKY 4x35mm² o długości: a.) 10m, b.) 20m.

Przedstawiony wynik pomiaru pokazuje, że zaburzenia wspólne szczególnie te o małych częstotliwościach mogą być słabo tłumione przez długie kable zasilające. Możliwe jest więc rozprzestrzenianie się zaburzeń wspólnych w rozległych obwodach przy niewielkim ograniczeniu ich poziomu.

3 WNIOSKI

W pracy przedstawiono wyniki badań głębokości wnikania zaburzeń generowanych przez czterokwadrantowy przemiennik częstotliwości. Uzyskane wyniki pokazują, że przełączenia tranzystorów mostka tranzystorowego po stronie sieci, w przypadku braku dodatkowych filtrów zaburzeń, mogą powodować wprowadzanie do sieci energetycznej zaburzeń elektromagnetycznych o znacznych poziomach.

Zaburzenia przewodzone, a w szczególności zaburzenia o częstotliwościach lokujących się w paśmie CISPR A, mogą rozprzestrzeniać się w rozległych obwodach bez znacznego obniżenia poziomów. Sprzęgane poprzez wspólną impedancję zaburzenia mogą powodować zakłócenia pracy urządzeń przyłączonych do zaburzonej sieci nawet w bardzo odległych obwodach.

4 LITERATURA

1. Akagi H., Tamura, S.: *A Passive EMI Filter for Eliminating Both Bearing Current and Ground Leakage Current From an Inverter-Driven Motor*, IEEE Transactions on Power Electronics, vol.21, no:5, pp. 1459 – 1469, 2006.
2. Benysek G.: *Improvement in the quality of delivery of electrical energy using power electronics systems*, Springer-Verlag, 2007.
3. Kempski A., Strzelecki R., Smoleński R., Benysek G.: *Suppression of conducted EMI in four-quadrant AC drive system*, PESC '03, Acapulco, 2003, pp. 1121 - 1126.
4. Smoleński R., Kempski A.: *Kompatybilność elektromagnetyczna czterokwadrantowego napędu przekształtnikowego w zakresie emisji zaburzeń przewodzonych*, Przegląd Elektrotechniczny, nr 9, str. 79 - 81, 2007.

FLOW OF INTERFERENCES GENERATED BY FOUR- QUADRANT FREQUENCY CONVERTER IN LOCAL LOW VOLTAGE GRID

The results of investigations concerning the deepness of the penetration of the interferences generated by the four-quadrant frequency converter into the local low voltage electric grid have been presented in this paper. The measurements have shown that four-quadrant frequency converters without special EMI filters may generate high level of conducted interferences, especially in CISPR A frequency band. The interferences have spread over the large area without significant attenuation and coupled by means of a common impedance they may cause improper work of the other equipment connected to the polluted grid.