

Piotr Mysiak
Marek Adamowicz
Akademia Morska w Gdyni

PRZEKSZTAŁNIK 18-PULSOWY O MOCY 20 KW Z SZEREGOWYM FILTREM AKTYWNYM – WYNIKI BADAŃ SYMULACYJNYCH I LABORATORYJNYCH

W artykule przedstawiono zasadę działania oraz wyniki wybranych badań symulacyjnych i laboratoryjnych układu przekształtnika 18-pulsowego o wyjściu stałonapięciowym, współpracującego z szeregowym filtrem aktywnym małej mocy (APF). Prezentowany system pozwala znacznie zredukować, szczególnie w przypadku autonomicznej sieci zasilającej, niepożądane wyższe harmoniczne w przebiegu prądu sieciowego. Osiemnastopulsową pracę przekształtnika osiąga się dzięki zastosowaniu zestawu sieciowych trójfazowych dławików sprzężonych (WPP i TDS). Jednoczesne użycie dławików magnetycznie sprzężonych i szeregowego filtra aktywnego małej mocy pozwala na osiągnięcie – niewielkim kosztem – zmniejszenia współczynnika THD prądu zasilającego do wartości odpowiadającej warunkom CPC (Clean Power Converters).

1. WSTĘP

Rozpatrywany przekształtnik o wyjściu stałonapięciowym przeznaczony jest zasadniczo do współpracy z niskonapięciową autonomiczną siecią zasilającą. Prezentowany układ pozwala znacznie zredukować w przebiegu prądu sieciowego niepożądane wyższe harmoniczne, głównie rzędu 11, 13, 17, i 19. Osiemnastopulsową pracę przekształtnika osiąga się dzięki zastosowaniu sprzężonego trójfazowego dławika wstępnego podziału prądu (WPP) oraz zestawu sieciowych dławików sprzężonych (TDS λ). Efekt działania, oprócz redukcji do około 7% zawartości wyższych harmonicznych w przebiegu prądu zasilającego, przejawia się także w postaci uzyskania wartości współczynnika mocy na poziomie zbliżonym do jedności. Na uwagę zasługuje również niewielka moc pozorna i rozmiary obwodu magnetycznego. W artykule przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych układu o mocy 20 kVA. Zaprezentowano również wyniki badań symulacyjnych możliwości współpracy takiego przekształtnika z szeregowym filtrem aktywnym (APF), w celu istotnej poprawy kształtu przebiegu wartości chwilowej prądu linii zasilającej.

2. PROBLEM EMISJI WYŻSZYCH HARMONICZNYCH PRĄDU DO SIECI ZASILAJĄCEJ W URZĄDZENIACH ENERGOELEKTRONICZNYCH

Prądy linii zasilającej prostowniki p -pulsowe zawierają oprócz harmonicznej podstawowej trudne do odfiltrowania wyższe harmoniczne rzędów $n = kp \pm 1$, $k = 1, 2, 3$. Przemienne tego typu pobierają z sieci prąd, którego przebieg wartości chwilowej jest silnie odkształcony, a zawartość harmonicznych sięga nawet 40%. Składowe harmoniczne powodują nie tylko odkształcenia napięcia sieci zasilającej, ale także występowanie mocy deformacji, obniżającej wartość współczynnika mocy urządzenia, zawierającego przemiennik. Odkształcenie wartości chwilowej napięcia i prądu, wywołane poborem prądu niesinusoidalnego, jest przyczyną zakłóceń w pracy istniejącej sieci zasilającej (wzrost strat, konieczność zwiększenia przekroju linii) oraz innych urządzeń zasilanych przez tę sieć.

3. METODY MINIMALIZACJI NEGATYWNYCH SKUTKÓW ODDZIAŁYWANIA PRZEKSZTAŁTNIKÓW ENERGOELEKTRONICZNYCH NA SIEĆ ZASILAJĄCĄ

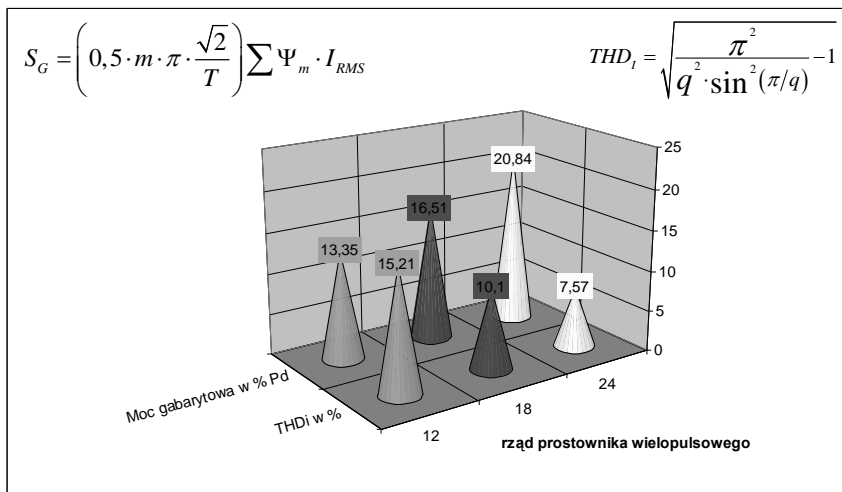
Wśród metod minimalizacji negatywnych skutków oddziaływania przekształtników energoelektronicznych na sieć zasilającą można wyróżnić:

- stosowanie klasycznych układów wielopulsowych przekształtników sieciowych, współpracujących z transformatorami pośredniczącymi (znaczna wymagana moc pozorna) o skomplikowanych systemach uzwojeń wtórnych, w celu utworzenia dwóch lub większej liczby, przesuniętych względem siebie o określony kąt, trójfazowych napięć zasilających i uzyskania w efekcie systemu o liczbie faz większej od trzech,
- **stosowanie filtrów aktywnych** i pasywnych na wejściach i wyjściach układów przekształtnikowych,
- **specjalne układy dławików** współpracujących z przekształtnikami,
- budowa impulsowych układów przekształtnikowych, realizowanych przy użyciu elementów półprzewodnikowych w pełni sterowalnych (GTO, IGBT), pracujących przy podwyższonej częstotliwości łączeń i sterowanych przy użyciu metod modulacji szerokości impulsów.

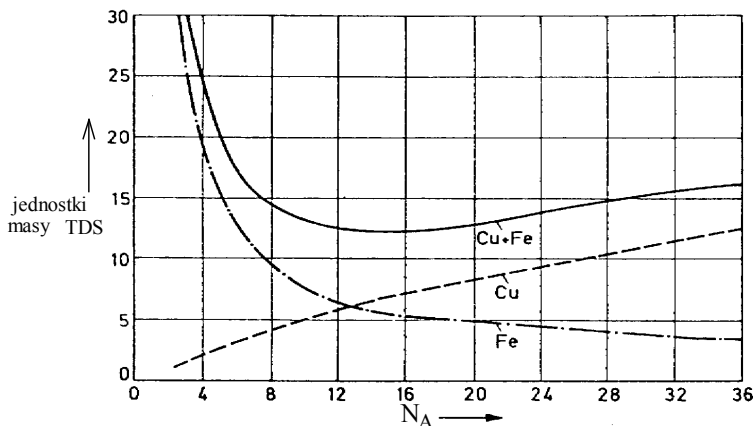
4. ZASADA DZIAŁANIA PROSTOWNIKA 18-PULSOWEGO

Na podstawie rysunku 1, na którym pokazano zależności między rzędem prostownika wielopulsowego i jego mocą gabarytową S_G a teoretycznym współ-

czynnikiem THD_I , oraz rysunku 2, obrazującego zależność masy $TDS\lambda$ od wybranej liczby zwojów NA przy założonej mocy układu i napięciu zasilania, do dalszej analizy i praktycznej realizacji wybrano przekształtnik o liczbie pulsów 18.



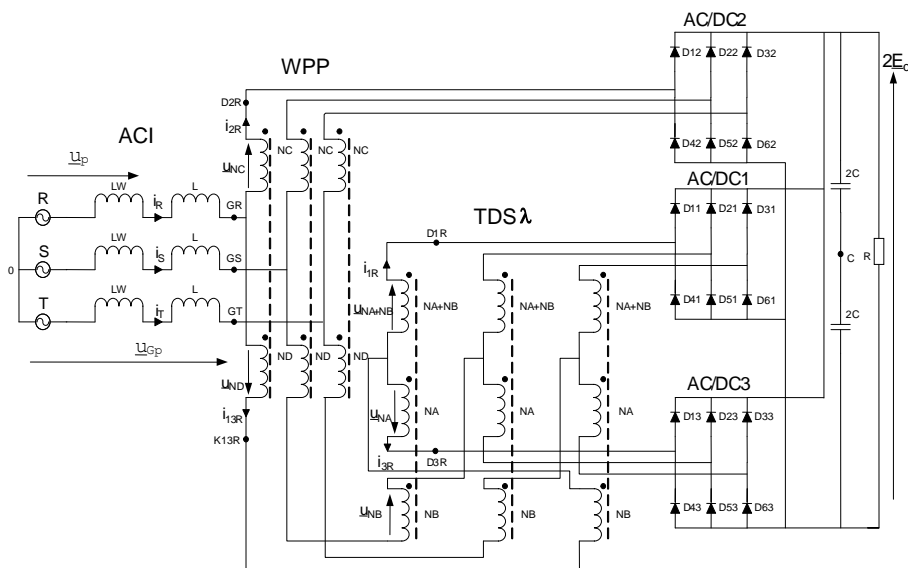
Rys. 1. Zależności między rzędem prostownika wielopulsowego i jego mocą gabarytową a teoretycznym współczynnikiem THD_I



Rys. 2. Zależność masy $TDS\lambda$ od wybranej liczby zwojów NA przy założonej mocy układu i napięciu zasilania [7]

Na rysunku 3 przedstawiono schemat ideowy 18-pulsowego prostownika diodowego o pracy równoległej trzech przekształtników trójfazowych mostkowych, pracującego przy obciążeniu pojemnościowym. W szereg ze źródłem zasilającym (L_w – indukcyjność źródła) są włączone dławiki o indukcyjności L , których zadaniem jest zmniejszenie amplitudy wyższych harmonicznych prądów,

pobieranych z sieci przez 18-pulsowy prostownik. Równoległą pracę trzech trójfazowych prostowników mostkowych, których napięcia wejściowe są wzajemnie przesunięte w fazie o kąt 20° , realizuje się poprzez zastosowanie dwóch trójfazowych dławików sprzężonych: dzielnika prądu *WPP* i układu *TDSλ*, tworzącego przesunięcie fazowe wynoszące 40° dla dwóch trójfazowych systemów napięciowych. Podstawowym założeniem przyjętej koncepcji układowej przekształtnika jest utworzenie trzech wektorów przestrzennych napięć trójfazowych, przesuniętych wzajemnie o kąt 20° , o sinusoidalnym przebiegu przy pracy jałowej i 18-schodkowym przebiegu przy znamionowym obciążeniu (napięcia \bar{u}_{Gp}). Napięcia \bar{u}_{Gp} mierzone między zaciskami G_p i punktem neutralnym 0 można interpretować jako wielkości powstałe w wyniku cyklicznego załączania poprzez diody trzech mostków, napięcia stałego $2E_d$.

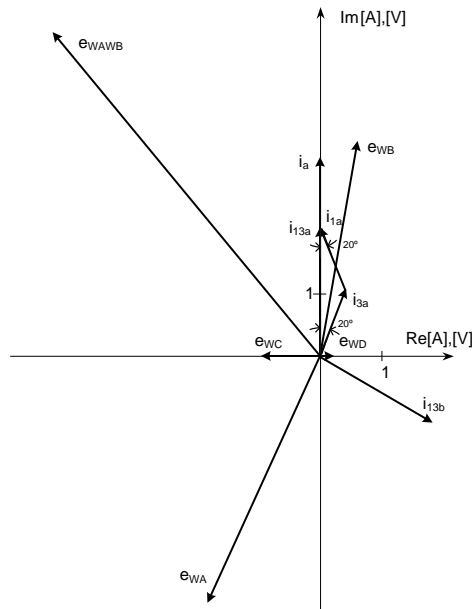


Rys. 3. Schemat ideowy 18-pulsowego prostownika niesterowanego z układem *WPP* i *TDSλ*

Osiemnastopulsowy przebieg czasowy napięć \bar{u}_{Gp} uzyskuje się tylko wtedy, gdy kąt przewodzenia diod w poszczególnych prostownikach jest równy π oraz gdy przedziały przewodzenia (18 przedziałów) są symetrycznie rozłożone w okresie napięcia zasilania. W tym wypadku każdy z trójfazowych prostowników mostkowych generuje na zaciskach prądu przemiennego system napięciowy o przebiegu sześciostopniowym. Napięcia fazowe, mierzone na zaciskach D_1 (względem punktu neutralnego 0), wyprzedzają o 20° odpowiednie napięcia fazowe, mierzone na zaciskach D_2 . Z kolei napięcia fazowe mierzone na zaciskach D_3 są opóźnione w fazie o 20° względem odpowiednich napięć fazowych, mierzonych na zaciskach D_2 . Zatem układ *TDSλ* realizuje 40-stopniowe

przesunięcie fazowe pomiędzy dwoma systemami przypisanych mu napięć wyjściowych.

Układy elektromagnetyczne *WPP* i *TDSλ* umożliwiają uzyskanie wymaganego podziału prądu pobieranego ze źródła zasilania na poszczególne prostowniki mostkowe. Trzy systemy prądów trójfazowych, które zasilają poszczególne prostowniki, charakteryzuje jednakowa wartość skuteczna prądów fazowych i w przybliżeniu sinusoidalny przebieg tych prądów. Podobnie jak w przypadku napięć prądy systemu AC/DC1 (i_{1p}) wyprzedzają o 20° prądy systemu AC/DC2 (i_{2p}), natomiast prądy systemu AC/DC3 (i_{3p}) są w fazie opóźnione o kąt 20° względem systemu AC/DC2 (rys. 4). Efektem działania trójfazowych dławików sprzężonych jest przekształcenie trójfazowego napięcia źródła zasilania w napięcie dziewięciofazowe. Dławiki składają się z trzech oddzielnych rdzeni magnetycznych, na których nawinięte są odpowiednie uzwojenia. Dobór liczby zwojów i ich połączeń wynika z wymaganego przesunięcia fazowego napięć (układ *TDSλ*) i wymaganego wstępnego podziału prądu (układ *WPP*).



Rys. 4. Wykres wektorów przestrzennych napięć prostownika 18-pulsowego z układem *WPP* i *TDSλ*

5. WYNIKI BADAŃ LABORATORYJNYCH

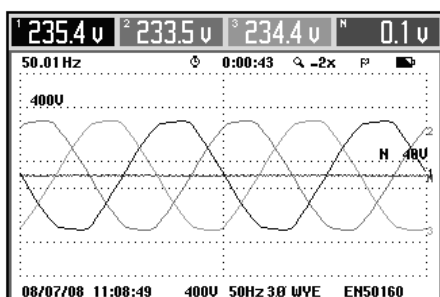
Przeprowadzono badania laboratoryjne układu w wersji przedstawionej na rysunku 3, przyjmując dane zestawione w tabeli 1.

Tabela 1

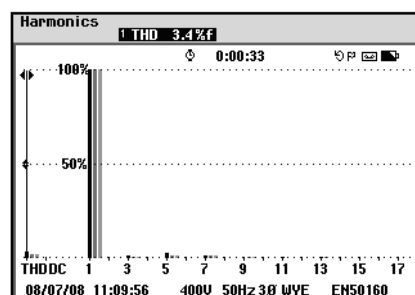
Parametry laboratoryjnego modelu przekształtnika 18-pulsowego

Moc prądu stałego P_d	20 kW
Znamionowe skuteczne napięcie międzyprzewodowe U_p	400 V
Procentowe napięcie zwarcia dławika sieciowego u_z	10%
Maksymalna wartość indukcji w rdzeniach magnetycznych B_m	1,5 T
Liczby zwojów NA, NB, NC, ND	87, 47, 84, 46
Indukcyjność dławika sieciowego L	2,2 mH
Pojemność kondensatora C	10 mF
Rezystancja obciążenia R_d	10,2 Ω

Wybrane wyniki badań laboratoryjnych przedstawiono na rysunkach 5–12. Badania przeprowadzono w Laboratorium Energoelektroniki Akademii Morskiej w Gdyni. Niestety, źródło zasilania charakteryzowały częste zakłócenia, które prowadziły do chwilowych odkształceń napięcia sieci zasilającej (rys. 5, 6).



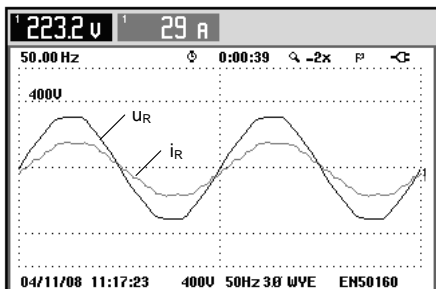
Rys. 5. Oscylogramy napięć fazowych sieci zasilającej w laboratorium



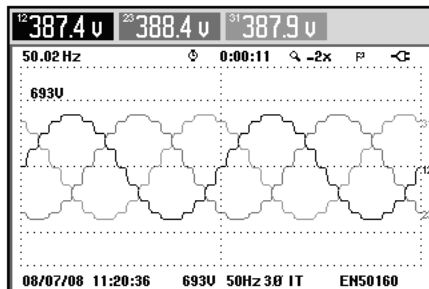
Rys. 6. Analiza spektralna napięć fazowych sieci zasilającej w laboratorium

Przebiegi czasowe napięć i prądów, podane na rysunkach 7–12, są zgodne z przyjętymi powyżej oraz w [6] założeniami i przebiegami pokazanymi również w [6], a uzyskanymi w wyniku symulacji. Prąd pobierany ze źródła zasilania ma przebieg czasowy odbiegający tylko nieznacznie od przebiegu sinusoidalnego (rys. 7). Przyjęte 10-procentowe napięcie zwarcia powoduje, że przebieg czasowy prądu jest przesunięty w fazie względem napięcia źródłowego, o około 8° ($\cos\varphi_1 = 0,99$). Napięcie na zaciskach wyjściowych układu *WPP*, mierzone względem punktu neutralnego sieci zasilającej, ma przebieg 18-schodkowy (rys. 8, 9). Prądy dopływające do prostowników AC/DC1, AC/DC2 i AC/DC3, są wzajemnie przesunięte w fazie o kąt 20° – prąd i_{1R} wyprzedza w fazie prąd i_{3R}

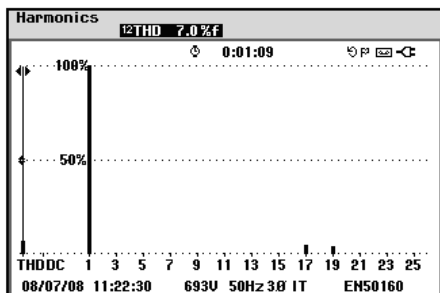
o 40° i prąd i_{2R} o 20° (rys. 10). Kąty przewodzenia diod w prostownikach są zbliżone do 180° (rys. 11).



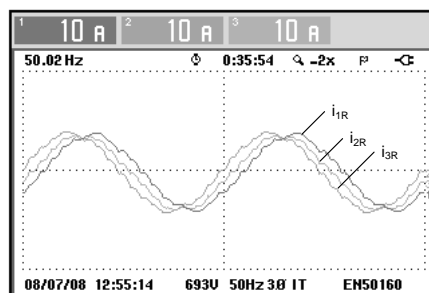
Rys. 7. Oscylogramy napięcia sieci zasilającej U_R oraz prądu sieci i_R z widocznym niewielkim wzajemnym przesunięciem fazowym



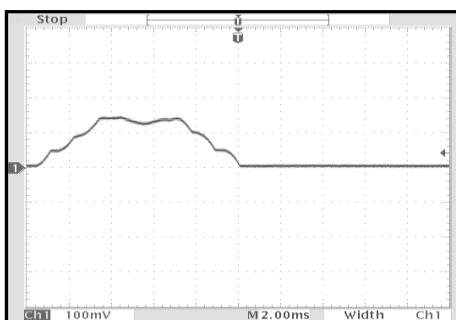
Rys. 8. Oscylogramy międzyfazowych napięć 18-schodkowych U_{Gp}



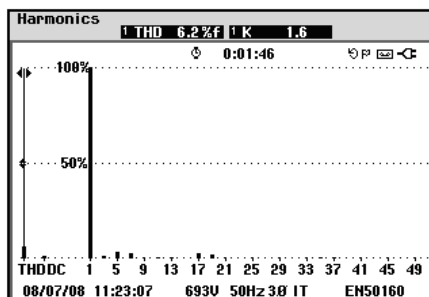
Rys. 9. Analiza spektralna napięcia 18-schodkowego fazy R



Rys. 10. Oscylogramy prądów i_{1R} , i_{2R} , i_{3R} zasilających składowe prostowniki diodowe z widocznym wzajemnym przesunięciem fazowym



Rys. 11. Oscylogram prądu diody D12 przekształtnika AC/DC2, z widocznym kątem przewodzenia zbliżonym do 180°



Rys. 12. Analiza spektralna prądu linii zasilającej rozpatrywany przekształtnik 18-pulsowy

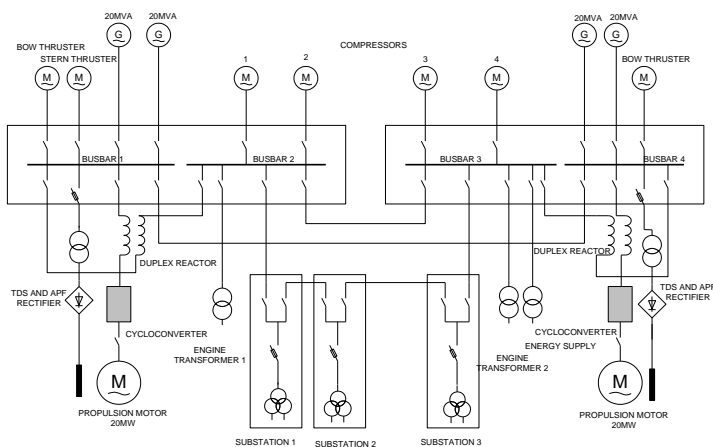
W przebiegu czasowym prądu pobieranego ze źródła zasilania praktycznie nie występują harmoniczne 11 i 13, a harmoniczne 17 i 19 są silnie tłumione (rys. 12). Współczynnik *THD* jest równy w przybliżeniu 6,2%.

Wyniki badań eksperymentalnych upoważniają do stwierdzenia, że układ działa poprawnie, a uzyskane przebiegi czasowe są w dostatecznym stopniu zbliżone do wyników teoretycznych [6].

6. PODSUMOWANIE – PODSTAWOWE WŁAŚCIWOŚCI PRZEKSZTAŁNIKA Z DŁAWIKAMI MAGNETYCZNIE SPRZĘŻONYMI

Dotychczasowe własne wyniki badań pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

- Analiza przebiegów charakterystycznych napięć i prądów badanego przekształtnika z systemem *TDSλ* potwierdza prawidłowość jego działania i zasad projektowania.
- Oddziaływanie układów na sieć zasilającą w zakresie generowania harmonicznych rzędu 11, 13, 17, 19 jest bardzo zredukowane.
- Układ charakteryzuje się wysoką sprawnością i zbliżonym do jedności współczynnikiem mocy.
- Koszt budowy prototypu jest niewielki ze względu na ułamkowe moce elementów magnetycznych.
- Na uwagę zasługuje prostota i wysoka niezawodność systemu *TDSλ*.
- Zakres zastosowań wiąże się z coraz częściej wykorzystywanymi napędami przekształtnikowymi, wymagającymi coraz doskonalszych źródeł zasilających, w szczególności pracujących w sieciach autonomicznych (rys. 13), w warunkach zasilania napięciem o podwyższonej częstotliwości.



Rys. 13. Przykładowy schemat struktury zasilania statku

7. KIERUNKI DALSZYCH BADAŃ

Dalsze badania mają na celu:

- znaczącą poprawę współczynnika mocy w układzie przekształtnika wielopulsowego z $TDS\lambda$,
- istotne zmniejszenie zawartości wyższych harmonicznych w przebiegu prądu zasilającego,
- wprowadzenie uproszczeń w układzie przekształtnika,
- minimalizację kosztów realizacji powyższych zadań.

8. WYBÓR ROZWIĄZANIA

Przyjęto jednoczesne zastosowanie szeregowego filtra aktywnego małej mocy oraz systemu sieciowych trójfazowych dławików sprzężonych, jako metod pozwalających uzyskać warunki pracy przekształtnika wielopulsowego zbliżone do CPC (*Clean Power Converters*).

9. ENERGETYCZNE FILTRY AKTYWNE

Energetyczne filtry aktywne są to układy energoelektroniczne, pełniące funkcje źródeł dodatkowych napięciowych lub prądowych, przeznaczonych do kompensacji odchylenia wartości chwilowych napięć i prądów linii zasilających od przebiegów założonych [1]. Dla sieci zasilających założonym przebiegiem jest **przebieg sinusoidalnie zmienny**. Rozróżnia się dwa podstawowe sposoby przyłączenia układów APF do linii zasilającej: **równolegle** lub **szeregowo**.

10. PRZEKSZTAŁTNIKI WIELOPULSOWE ZE WSPOMAGAJĄCYMI SZEREGOWYMI FILTRAMI AKTYWNYMI – TENDENCJE ROZWOJOWE

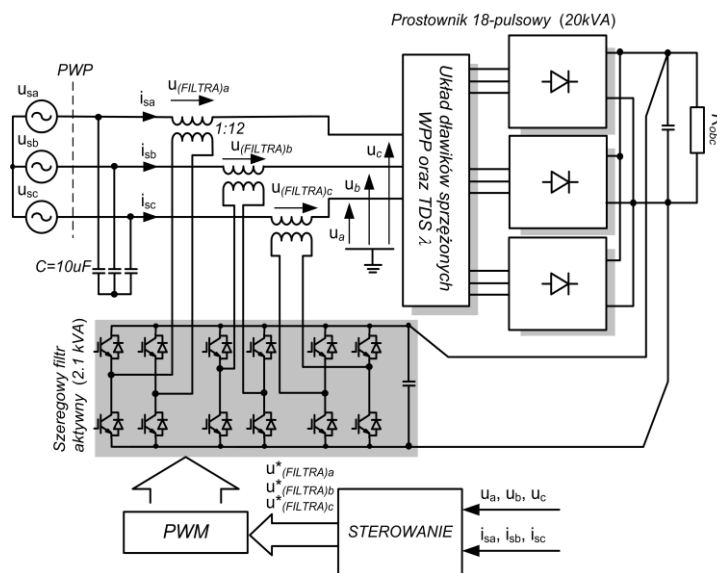
Można wyróżnić dwa kierunki rozwojowych prac naukowo-badawczych dotyczących przekształtników wielopulsowych ze wspomagającymi szeregowymi filtrami aktywnymi:

- projekty układów hybrydowych w postaci dominującego prostownika wielopulsowego dużej mocy ze wspomagającym układem aktywnym o niewielkiej mocy po stronie sieci,

- projekty układów hybrydowych w postaci dominującego prostownika wielopulsowego dużej mocy ze wspomagającym układem aktywnym niewielkiej mocy po stronie napięcia stałego.

11. PRZEKŁAŃNIKI WIELOPULSOWE ZE WSPOMAGAJĄCYMI SZEREGOWYMI FILTRAMI AKTYWNYMI PO STRONIE SIECI

Na rysunku 14 przedstawiono analizowany układ przekształtnika 18-pulsowego ze wspomagającym szeregowym filtrem aktywnym małej mocy. Dotychczas w literaturze proponowano podobne układy dla przekształtników 12-pulsowych.



Rys. 14. Wspomagający szeregowy filtr aktywny projektowany na moc rzędu 10-30% mocy obciążenia, dający jednocześnie możliwość eliminacji wygładzających dławików sieciowych, projektowanych na pełną moc obciążenia

12. PROBLEMY I ZAGADNIENIA PROJEKTOWE SZEREGOWEGO FILTRA AKTYWNEGO

Dobór strategii sterowania szeregowego filtra aktywnego powinien uwzględniać:

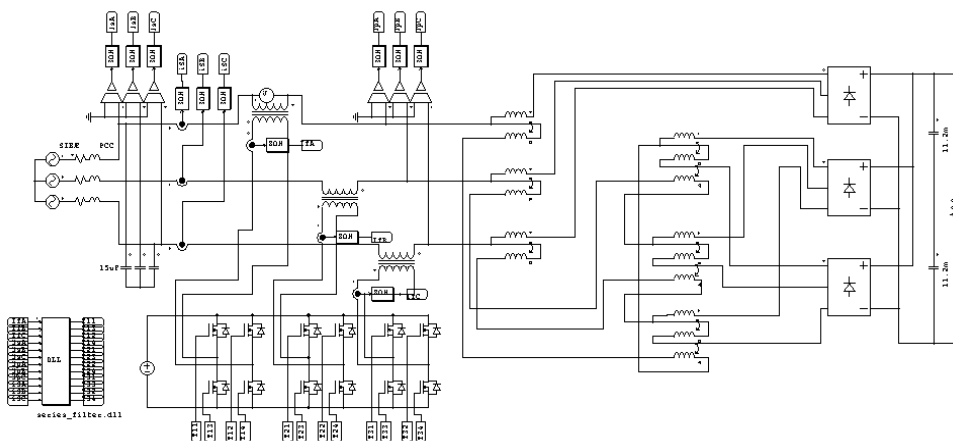
- zapewnienie sinusoidalnych prądów i napięć po stronie sieci przy zmianach obciążenia w szerokim zakresie,
- kompensację wpływu stanów awaryjnych przekształtnika wielopulsowego na sieć,
- kompensację wpływu niezrównoważenia napięcia sieci oraz zmian amplitudy napięcia sieci na obciążenie.

Można wyróżnić sterowanie szeregowego filtra aktywnego z regulacją prądową przy użyciu regulatorów histerezowych oraz sterowanie z regulacją napięciową.

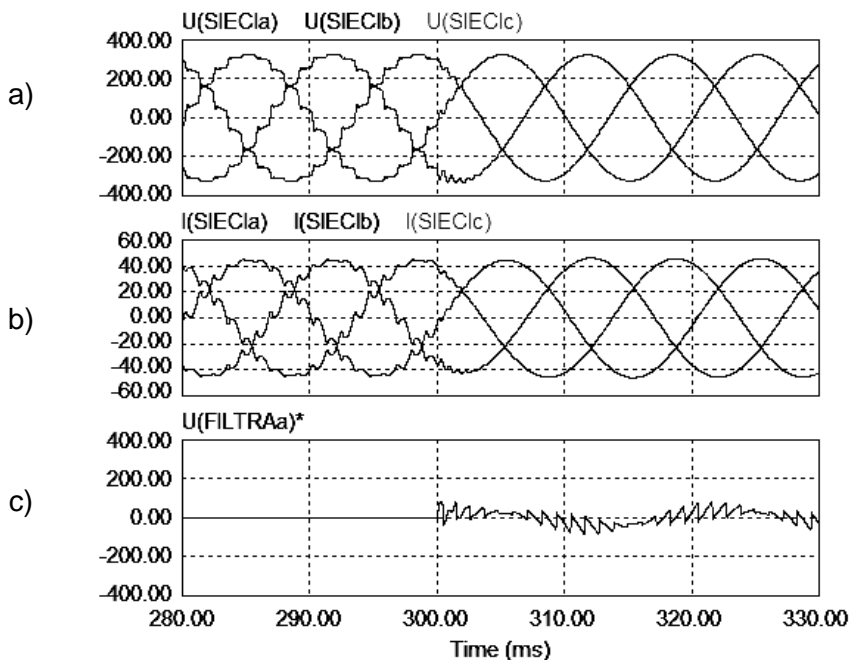
Do problemów związanych z projektowaniem szeregowego filtra aktywnego należy również dobór przekładni oraz parametrów energetycznych transformatorów filtra.

13. WYNIKI SYMULACJI UKŁADU Z AKTYWNYM FILTREM SZEREGOWYM PO STRONIE SIECI

Na rysunku 15 pokazano schemat badanego układu przekształtnika 18-pulsowego z szeregowym filtrem aktywnym po stronie sieci, utworzony w programie symulacyjnym PSIM.



Rys. 15. Schemat badanego układu przekształtnika 18-pulsowego z szeregowym filtrem aktywnym po stronie sieci, zrealizowany w programie symulacyjnym PSIM



Rys. 16. Przebiegi wybranych sygnałów w badanym układzie przed i po załączeniu szeregowego filtra aktywnego: a) napięcie sieci w punkcie przyłączenia przekształtnika wielopulsowego, b) prądy pobierane z sieci, c) zadane napięcie dodatkowe filtra

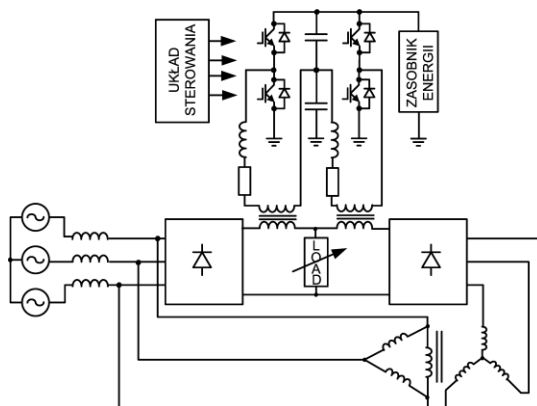
Na potrzeby symulacji zastosowano uproszczoną metodę sterowania [1] oraz transformatory o przekładni 1:12. Na rysunku 16 pokazano przebiegi napięcia sieci i prądu pobieranego z sieci w punkcie wspólnego przyłączenia przekształtnika wielopulsowego oraz przebieg napięcia dodatkowego fazy A na uzwojeniu transformatora szeregowego filtra aktywnego po stronie sieci.

Podczas włączenia filtra mogą występować oscylacje wysokoczęstotliwościowe w przebiegach zarówno prądu sieci, jak i napięcia sieci. Eliminacja tych oscylacji wymaga opracowania zaawansowanych metod sterowania. Dobór optymalnej przekładni transformatora może zapewnić zmniejszenie napięć bądź prądów filtra w zależności od aplikacji.

14. PRZEKSZTAŁTNIKI WIELOPULSOWE ZE WSPOMAGAJĄCYMI SZEREGOWYMI FILTRAMI AKTYWNYMI PO STRONIE OBCIĄŻENIA

Wspomagający szeregowy filtr aktywny o ułamkowej mocy obciążenia może być również zastosowany po stronie napięcia stałego przekształtnika. Może on

wówczas pełnić rolę statycznego kompensatora obciążenia, tzw. *Load STATCOM* [9]. Przykład dla przekształtnika 12-pulsowego z wejściowymi transformatorami przesuwanymi fazę pokazano na rysunku 17.



Rys.17. Schemat przekształtnika wielopulsowego ze wspomagającymi szeregowymi filtrami aktywnymi po stronie obciążenia

Układ zapewnia kompensację wpływu zapadów i podbić napięcia sieci na obciążeniu. Odpowiednie sterowanie układem filtracji aktywnej wymagane jest dla uzyskania właściwego kształtu i amplitudy prądu wprowadzanego poprzez dławik międzyfazowy do obwodu napięcia stałego prostownika międzyfazowego. Wysokoczęstotliwościowy prąd kompensujący uzyskuje się w wyniku wysterowania dwóch jednofazowych falowników PWM małej mocy. Napięcie obwodu pośredniczącego falowników może być dostarczane z oddzielnego zasobnika energii bądź z obwodu napięcia stałego prostownika 12-pulsowego poprzez układ obniżający DC-DC. Przystosowanie układu z rysunku 17 do układu przekształtnika 18-pulsowego jest przedmiotem badań prowadzonych obecnie przez autorów.

15. WNIOSKI KOŃCOWE

Aplikacja przekształtnika wielopulsowego z systemem dławików sprzężonych współpracującego z szeregowym filtrem aktywnym małej mocy wydaje się być atrakcyjnym rozwiązaniem ze względu na:

- stosunkowo niewielką wartość mocy gabarytowej obydwu układów, decydującą o ich niewielkich kosztach,
- istotne zmniejszenie poziomu zawartości wyższych harmonicznych w przebiegu prądu zasilającego przy niewielkich potencjalnych zakłóceniach promieniowanych,

- uproszczenie układu przekształtnika związane z możliwością eliminacji dławika sieciowego,
- poprawę współczynnika mocy całego systemu i niewrażliwość na asymetrię zasilania,
- możliwość konstrukcji niskokosztowych systemów zasilających o dużej niezawodności, istotnej szczególnie w trudnych warunkach środowiskowych.

LITERATURA

1. Akagi H., *Instantaneous Power Theory and Applications to Power Conditioning*, IEEE Press, Wiley 2007.
2. Humphrey A. J., Mokrytzki B., *Inverter paralleling reactors*, International Power Conference, Baltimore, Mai 1972, IEEE New York 1972, s. 244–246.
3. Miyairi S., *New method for reducing harmonics involved in input and output of rectifier with interphase transformer*, IEEE Trans. on Ind. Applic. 1986.
4. Mysiak P., *A multi-pulse diode rectifier with a coupled three-phase reactor – the design method and results of the simulation and laboratory tests*, Proc. of the IXth International Conference Problems of Present-day Electrotechnics 2006, Institute of Electrodynamics of Ukrainian National Academy of Science, Kijów 2006.
5. Mysiak P., *A 24-pulse diode rectifier with coupled three-phase reactor*. Journal of the Chinese Institute of Engineers, 2007, vol. 30, no. 7, s. 1189–1204.
6. Mysiak P., *Eighteen-pulse diode rectifier with three-phase coupled reactors*, Archives of Electrical Engineering, 2001, vol. L, no 1, Warsaw.
7. Mysiak P., *Przekształtnik wielopulsowy o wyjściu stałoprądowym w warunkach zasilania z sieci autonomicznej*, rozprawa doktorska, Politechnika Warszawska, Warszawa 1996.
8. Mysiak P., *System trójfazowych dławików sprzężonych zasilający przekształtnik wielopulsowy o wyjściu stałoprądowym – algorytm projektowania oraz wyniki badań symulacyjnych*, V Krajowa Konferencja Naukowa Sterowanie w Energoelektronice i Napędzie Elektrycznym, Łódź SENE 2001.
9. Peterson M., *Analysis and Design of Power Electronics Systems for Energy Conversion*, PhD dissertation, Tulane University, New Orleans 2007.
10. Tunia H., Barlik R., Mysiak P., *Połączenie równolegle dwóch trójfazowych prostowników diodowych w układzie z trójfazowym dławikiem sprzężonym*, Jakość i Użytkowanie Energii Elektrycznej, 1998, t. V, z. II, AGH Kraków.
11. Tunia H., Barlik R., Mysiak P., *Dławiki sprzężone do redukcji zawartości wyższych harmonicznych prądów w odbiornikach trójfazowych zasilanych z falowników napięcia*, Jakość i Użytkowanie Energii Elektrycznej, 1998, t. IV, z. I, AGH Kraków.

20 kW 18-PULSE CONVERTER WITH SERIAL ACTIVE POWER FILTER (APF) – SIMULATION AND LABORATORY TESTS RESULTS

Summary

The article presents the principle of operation and selected results of simulation and laboratory tests of the 18-pulse converter system with direct voltage output, cooperating with a small series active power filter (APF). The presented system makes it possible to reduce, especially in autonomous supply networks, undesired higher harmonics in the network current. The 18-pulse nature of operation of the converter is reached using a set of coupled three-phase network reactors (WPP and TDS). Simultaneous use of the magnetically coupled reactors and the small active power filter provides opportunities for easy and cheap reduction of the supply current THD coefficient, down to the values acceptable by clean power converters (CPC) conditions.