

Leszek WOLSKI

WIELOPOZIOMOWY FALOWNIK PRĄDU

STRESZCZENIE *W pracy przedstawiono koncepcję budowy i pracy wielopoziomowego falownika prądu i rozwiązanie techniczne realizujące tę koncepcję. Koncepcja sterowania proponowanego układu falownika została przebadana przy zastosowaniu metod symulacyjnych. Zademonstrowane wyniki wstępnych badań eksperymentalnych potwierdziły poprawność przyjętych założeń dotyczących budowy i sterowania wielopoziomowego falownika prądu.*

Słowa kluczowe: falowniki wielopoziomowe, PWM

1. WSTĘP

W zależności od typu źródła zasilania lub odbioru stosowane się różne konstrukcje przetworników energii. Wraz ze wzrostem ilości tego typu urządzeń wzrastają problemy z jakością generowanych przebiegów wyjściowych oraz emisją zakłóceń elektromagnetycznych. Energoelektroniczne przekształtniki energii elektrycznej przeszły w tym czasie swoistą ewolucję jakościową przystosowując się do nowych uwarunkowań normatywnych, począwszy od typowych trójgałęziowych falowników, aż po wielopoziomowe multitransystorowe struktury przekształtników – od prostego sterowania modulacją szerokości impulsów PWM (Pulse Width Modulation), aż po sterowanie wektorowe [4]. Wraz z rozwojem alternatywnych źródeł energii o charakterze prądowym [źródła fotowoltaiczne, ogniwa paliwowe] [5] wzrósł udział w rynku przetwornic prądowych. W pracy przedstawiono rozwiązanie wielopoziomowego falownika prądu wykorzystującego możliwość równoległego galwanicznego łączenia kolejnych stopni falowników prądu w jedną wielopoziomową strukturę falownikową.

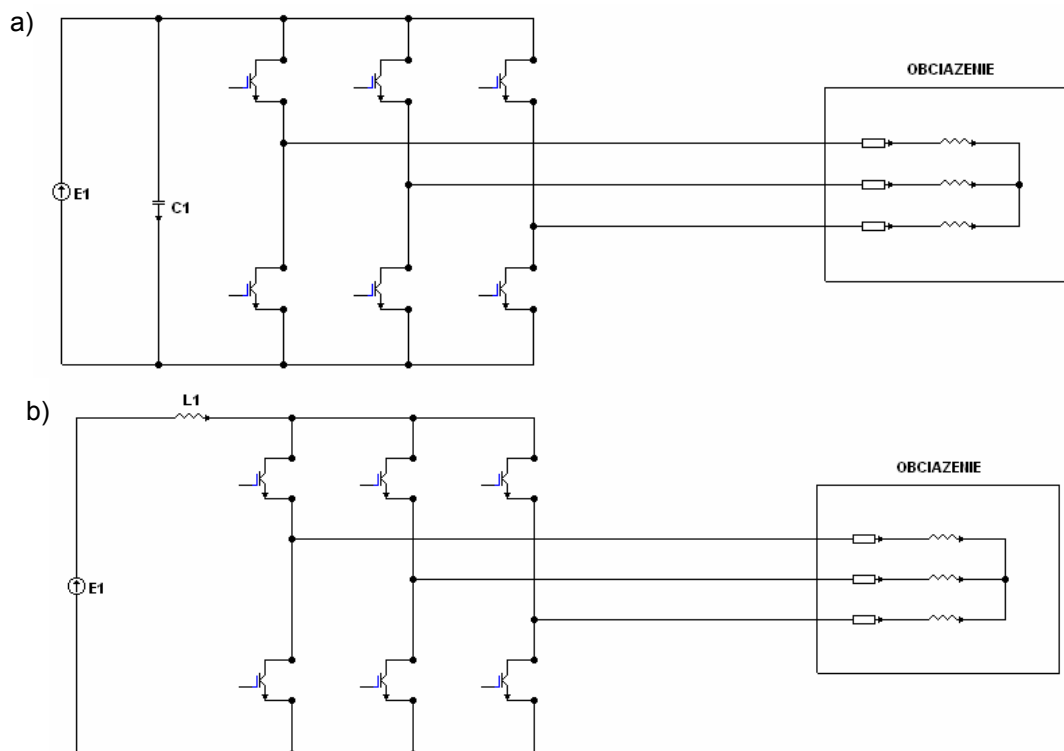
mgr inż. Leszek WOLSKI
leszek.wolski@iel.gda.pl
Instytut Elektrotechniki, Oddział w Gdańsku

Proponowane sterowanie ma za zadanie maksymalnie ograniczyć liczbę przełączeń tranzystorów przy jednoczesnej minimalizacji zawartości harmonicznych przebiegu wyjściowego.

2. STRUKTURA FALOWNIKA

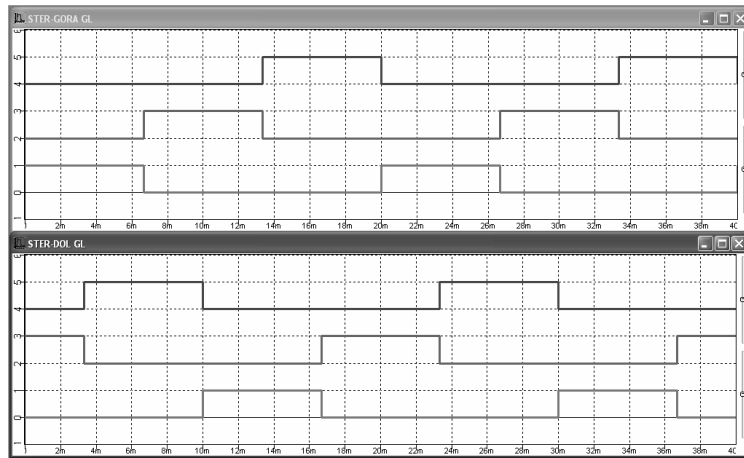
2.1. Pojedynczy falownik prądu

Podstawową zastosowaną strukturą przekształtnikową jest trójgałęziowy sześciotranzystorowy falownik prądu. Jego struktura jest zbliżona do struktury falownika napięcia z zastąpienia równoległego pojemnościowego układu pośredniczącego, szeregowym indukcyjnym. Podstawowym wymaganiem dla sterowania takim układem jest zapewnienie ciągłości prądu w indukcyjności obwodu pośredniczącego. Każdy tranzystor pozostaje w stanie przewodzenia przez 1/3 okresu. Strukturę falownika napięciowego i prądowego przedstawiono na rysunku 1.



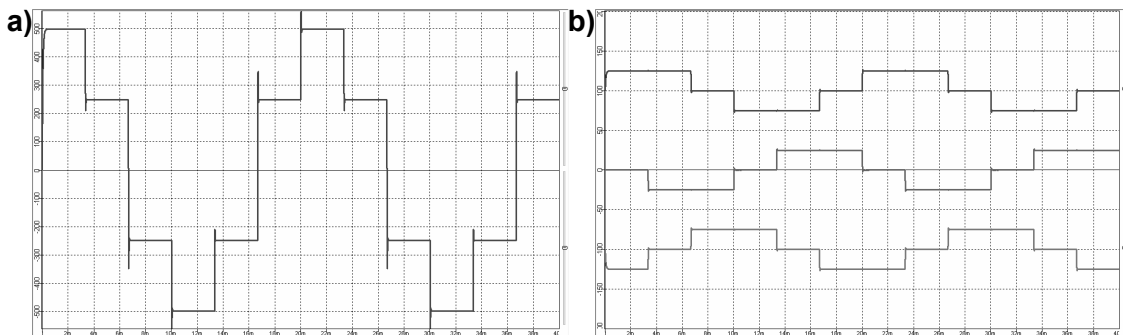
Rys. 1. Struktura falownika: a) napięcia b) prądu

Przy sterowaniu tranzystorów zgodnie z koncepcją rysunku 2. uzyskujemy przebiegi prądów wyjściowych o współczynniku zawartości harmonicznych w granicach 30%.

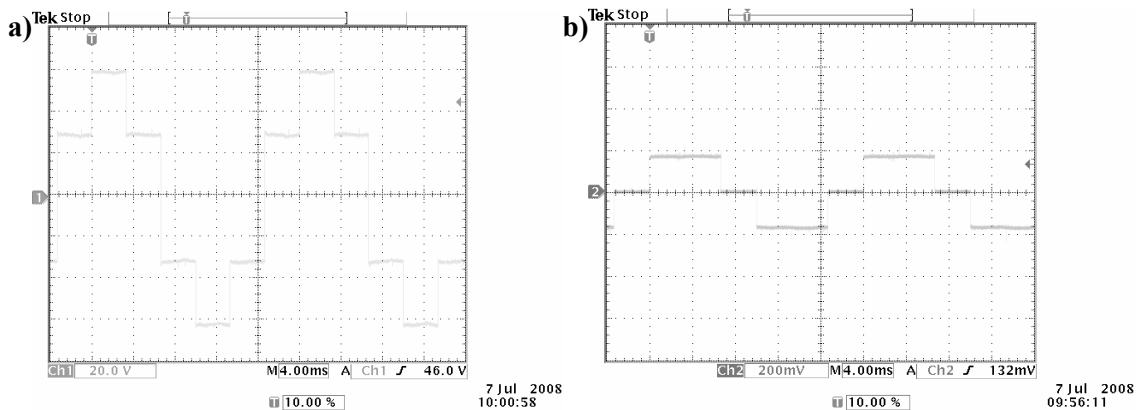


Rys. 2. Przebiegi impulsów sterujących górnymi i dolnymi tranzystorów

Na rysunku 3 przedstawiono przebiegi wyjściowe tak sterowanego falownika uzyskane w wyniku symulacji, natomiast na rysunku 4 wyniki eksperymentalne.



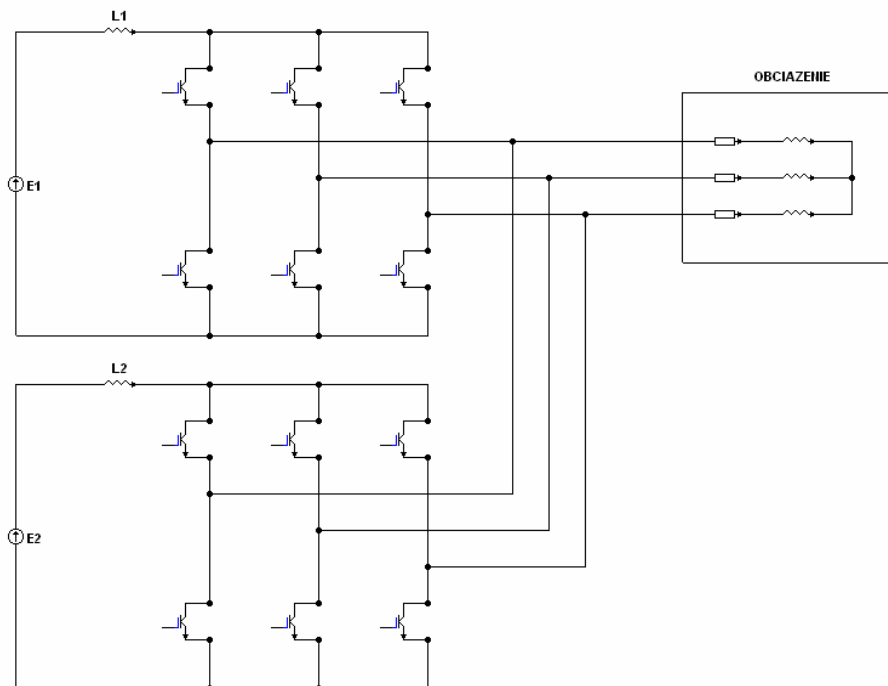
Rys. 3. Symulacyjne przebiegi wyjściowe falownika prądu: a) napięcie wyjściowe, b) prąd wyjściowy



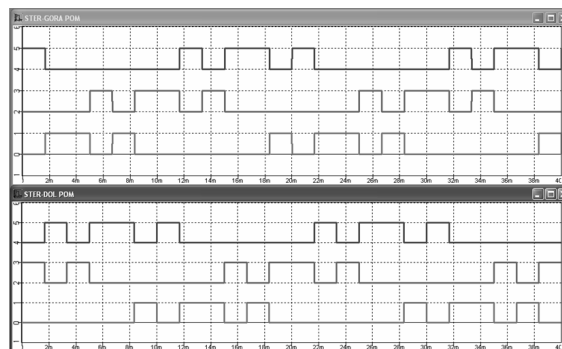
Rys. 4. Eksperymentalne przebiegi wyjściowe falownika prądu: a) napięcie wyjściowe, b) prąd wyjściowy

2.2. Podwójny falownik prądu

Struktura podwójnego falownika prądu składa się z dwóch standardowych falowników prądu połączonych galwanicznie wyjściami, pracujących na wspólne obciążenie. Struktura takiego układu została zaprezentowana na rysunku 5. Dołączenie dodatkowego falownika prądu i jego sterowanie ma za zadanie uzyskanie niższego współczynnika zawartości harmonicznych oraz zapewnienie ciągłości prądu w indukcyjnym obwodzie pośredniczącym. Sterowanie falownika głównego pozostaje bez zmian. Przebiegi sygnałów sterujących dołączonego falownika prądu przedstawiono na rysunku 6.

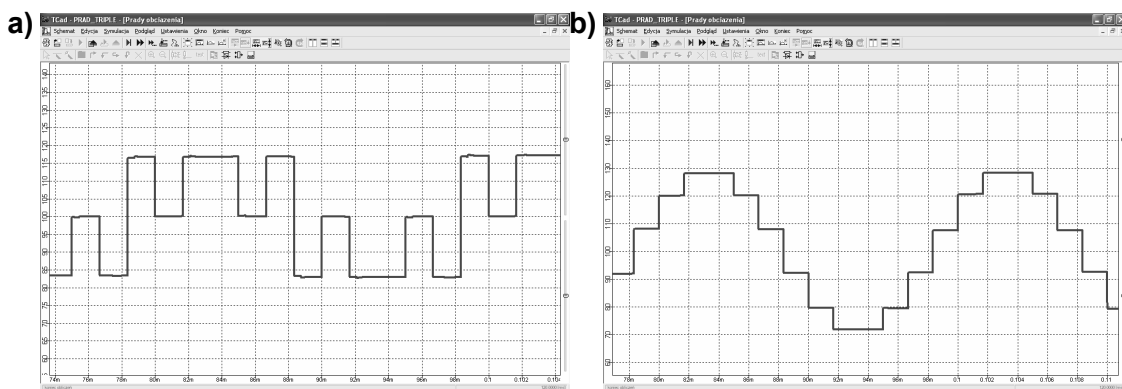


Rys. 5. Struktura podwójnego falownika prądu

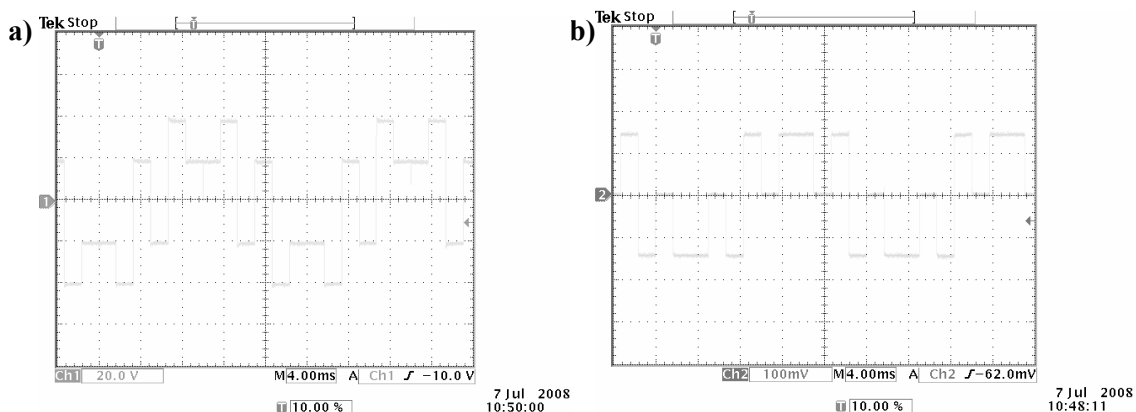


Rys. 6. Przebiegi impulsów sterujących górnymi i dolnymi tranzystorami falownika pomocniczego

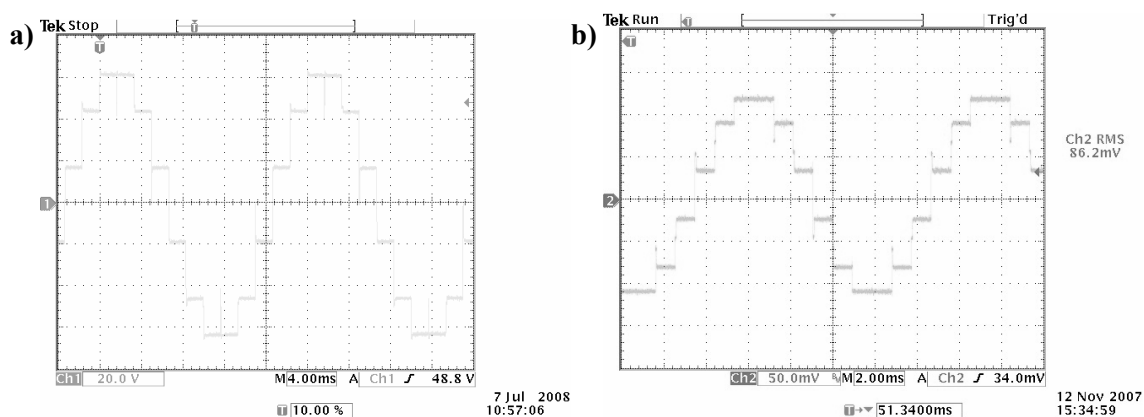
Przy sterowaniu tranzystorów zgodnie z rysunkiem 6 uzyskujemy przebiegi prądów wyjściowych o zawartości harmonicznych w granicach 17%. Symulacyjne przebiegi wyjściowe prądów falownika z przedstawiono na rysunku 7 a przebiegi eksperymentalne na rysunkach 8 i 9.



Rys. 7. Symulacyjne przebiegi wyjściowe falownika prądu : a) prąd wyjściowy falownika pomocniczego, b) prąd wyjściowy podwójnego falownika prądu



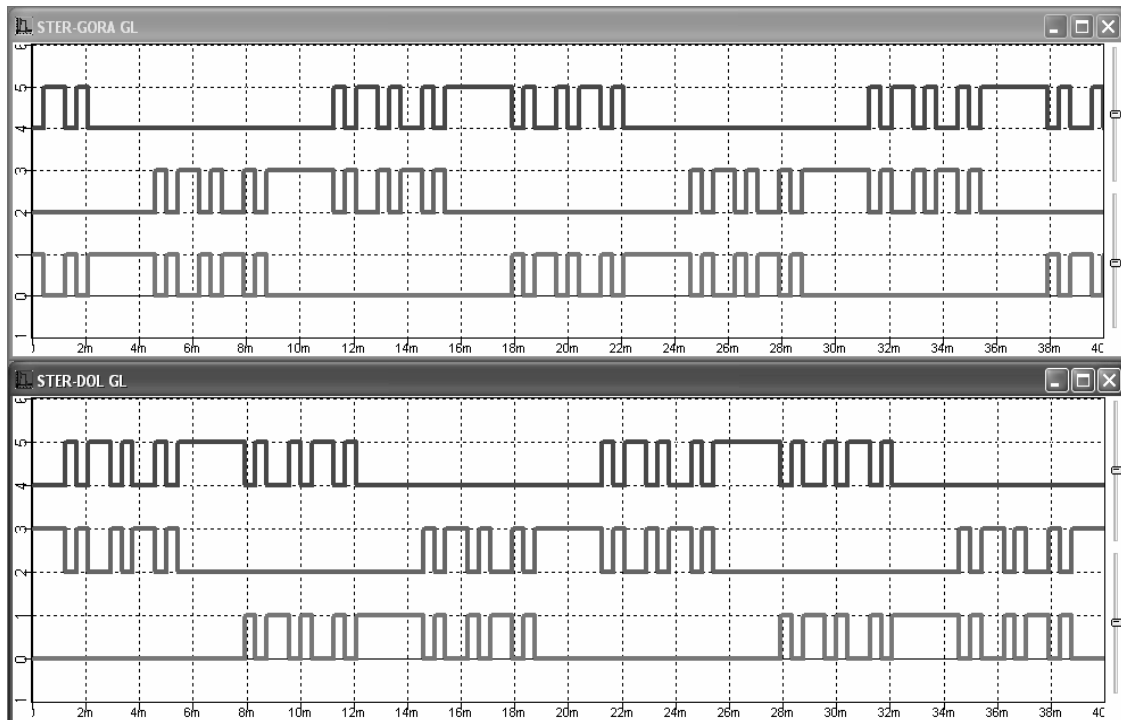
Rys. 8. Eksperymentalne przebiegi wyjściowe pomocniczego falownika prądu: a) napięcie wyjściowe, b) prąd wyjściowy



Rys. 9. Eksperymentalne przebiegi wyjściowe podwójnego falownika prądu: a) napięcie wyjściowe, b) prąd wyjściowy

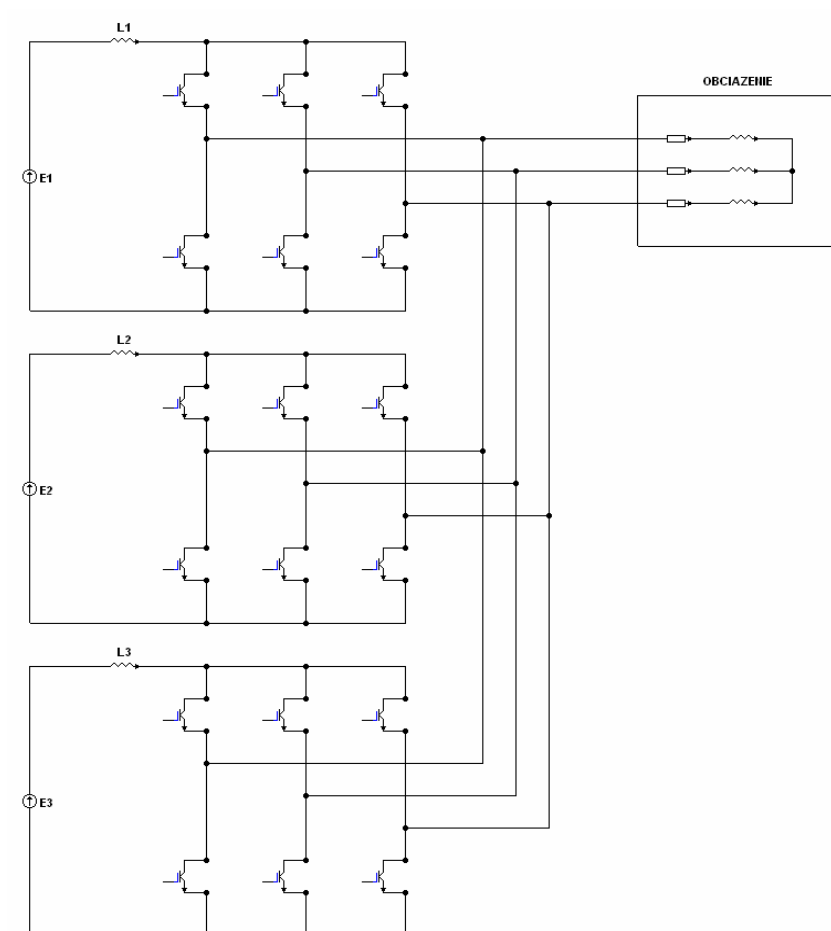
2.3. Potrójny falownik prądu

Struktura potrójnego falownika prądu, zgodnie z przyjętą zasadą, zawiera trzy standardowe falowniki prądu połączone galwanicznie wyjściami i pracujące na wspólne obciążenie. Schemat takiego układu został przedstawiony na rysunku 11. Odpowiednie sterowanie trzeciego falownika prądu, podobnie jak w przypadku podwójnego falownika ma zapewnić ciągłość prądu w indukcyjności obwodu pośredniczącego oraz zmniejszenie zawartości harmonicznych falownika potrójnego. Sterowanie falownika prądu oraz drugiego falownika pozostaje bez zmian. Przebiegi sygnałów sterujących trzeciego falownika prądu przedstawiono na rysunku 10.

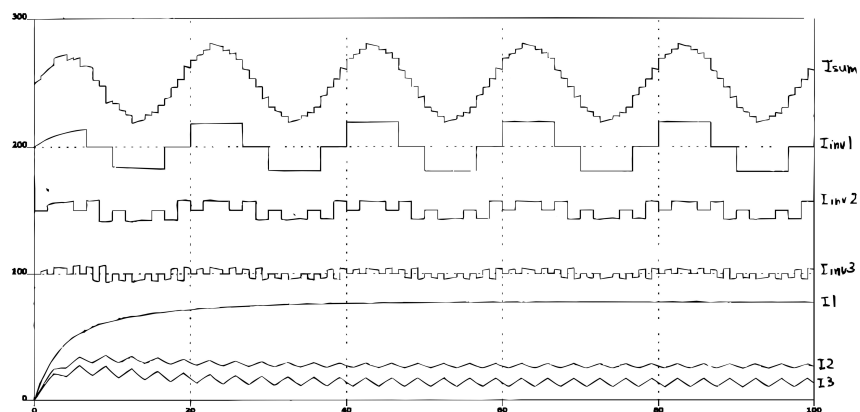


Rys. 10. Przebiegi impulsów sterujących górnymi i dolnymi tranzystorami falownika pomocniczego

Przy sterowaniu falownika zgodnie z rysunkiem 10 uzyskujemy prądy wyjściowe o współczynniku zawartości harmonicznych w granicach 9%. Symulacyjne przebiegi prądów wyjściowych falownika przedstawiono na rysunku 12.



Rys. 11. Struktura potrójnego falownika prądu

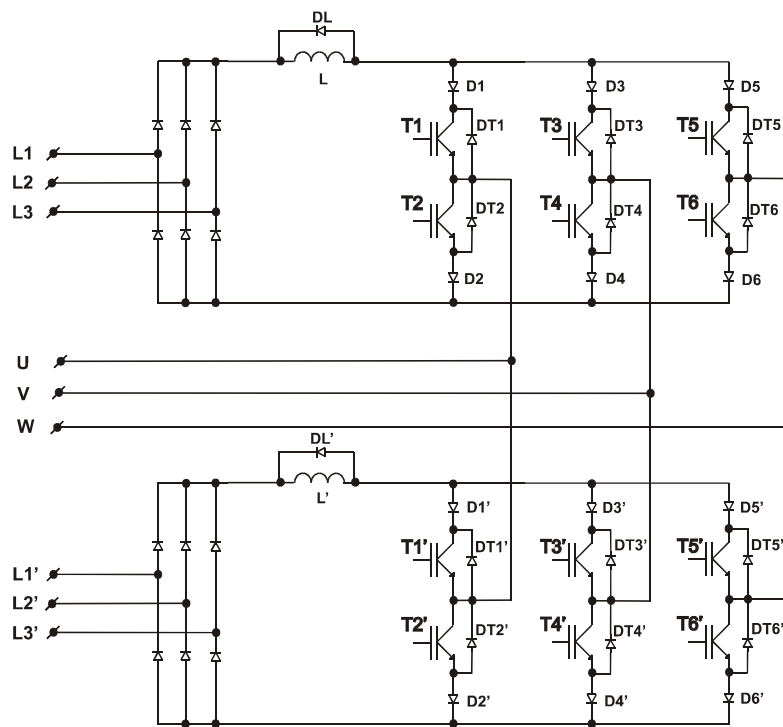


Rys. 12. Symulacyjne przebiegi wyjściowe falownika prądu: prąd wyjściowy potrójnego falownika, prądy składowe poszczególnych falowników, prądy obwodów pośredniczących

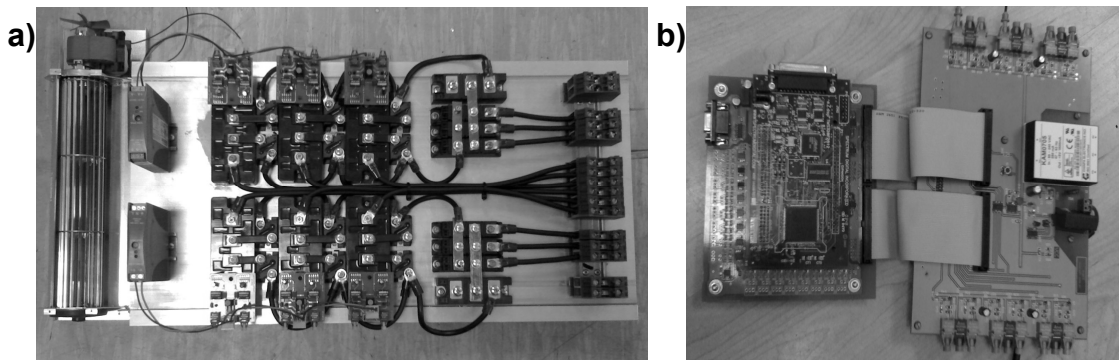
3. STANOWISKO EKSPERYMENTALNE

W pierwszym etapie eksperymentu zbudowano stanowisko badawcze, wyposażonego w energoelektroniczny układ mocy z podwójnym falownikiem prądu jak na rysunku 13, światłowodowy układ sprzęgający, układ sterowania z procesorem TMS320F2407A.

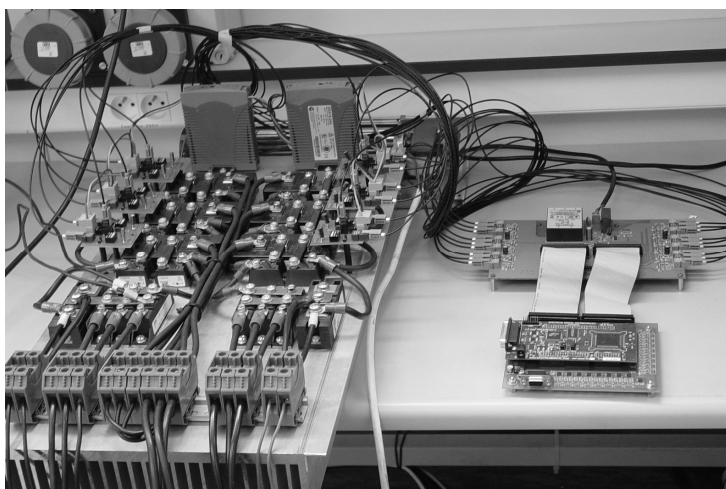
Widok stanowiska oraz jego części składowe przedstawione są na rysunkach 14 i 15.



Rys. 13. Struktura toru prądowego eksperymentalnego podwójnego falownika prądu

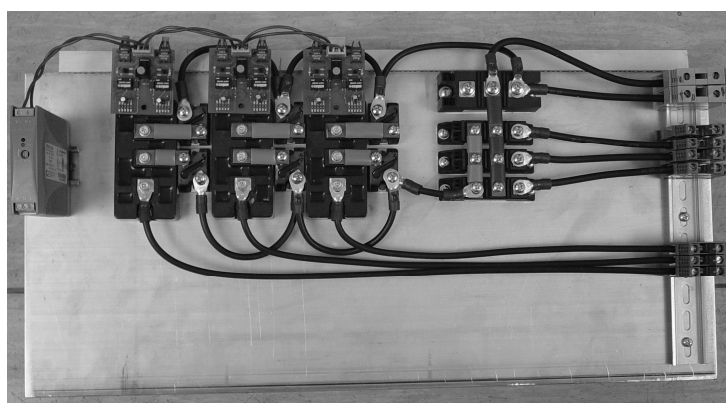


Rys. 14. Widok podwójnego falownika prądu: a) układu mocy falownika, b) zestaw sterujący

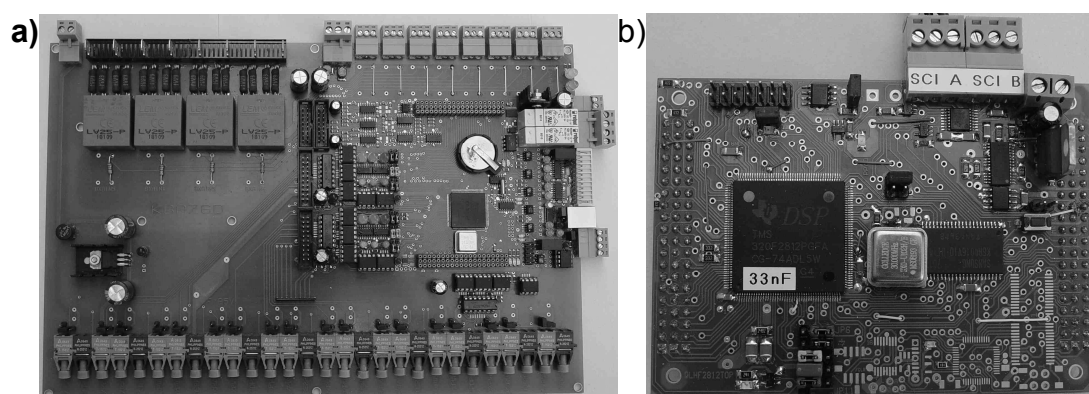


Rys. 15. Widok kompletnego stanowiska badawczego

Do badań falownika potrójnego stanowisko badawcze zostało rozbudowane o nowy układ potrójnego falownika (rys. 16) wraz układami sprzęgającymi i układem sterowania z procesorem TMS320F2812A (rys. 17).

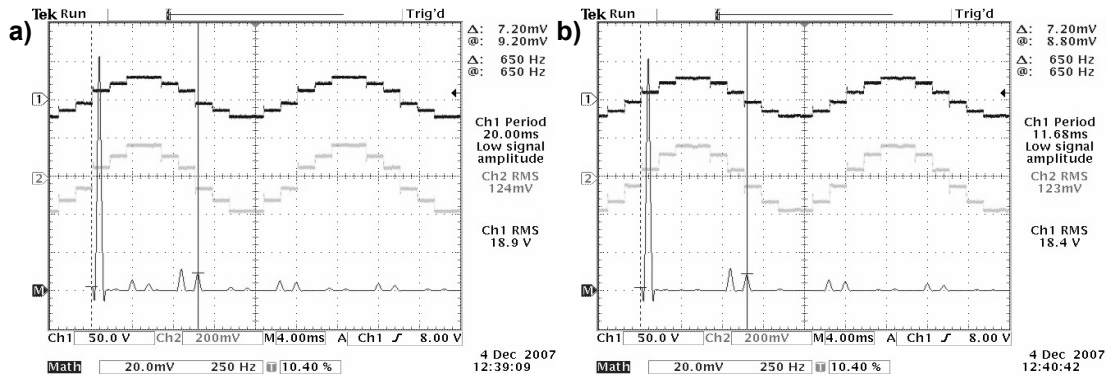


Rys. 16. Widok układu mocy trzeciego falownika prądu



Rys. 17. Widok dodatkowych układów: a) sprzęgającego, b) płytki sterującej z procesorem sygnałowym TMS320F2812

W pewnych warunkach możliwe jest generowanie lub tłumienie dodatkowych składowych harmoniczných poprzez regulację poziomu prądów układów pośredniczących. Przykład takiej kompensacji przedstawiony został na rysunku 18.



Rys. 18. Demonstracja eliminacji pewnych harmoniczných poprzez regulację prądów składowych: a) przed kompensacją , b) po skompensowaniu 5 i 7 harmoniczných

Do wad proponowanej metody eliminacji harmoniczných należy zaliczyć przede wszystkim potrzebę generowania izolowanych napięć zasilających dodatkowe falowniki oraz utrudnione wyłączenie układu falownikowego – co zresztą dotyczy każdego falownika prądu.

4. WNIOSKI

Proponowana struktura wielopoziomowych falowników prądu pozwala na polepszanie kształtu przebiegów wyjściowych falownika prądu poprzez równoległe dołączanie kolejnych analogicznych struktur przekształtnikowych. Każdorazowa operacja dołączenia powoduje znaczną jakościową poprawę kształtu prądu wyjściowego układu przekształtnikowy i obniżenie współczynnika zawartości wyższych harmoniczných THD (Total Harmonic Distortion) [3]. Łączenie równoległe falowników nie wymaga w tym wypadku budowania dodatkowych układów sprzęgających, a sterowanie kolejnych członów nie jest skomplikowane. Te zalety ułatwiają budowę nieskomplikowanych falowników prądu spełniających wymogi niskiej zawartości harmoniczných w przebiegach wyjściowych [1,2].

Zaletą sterowania z małą liczbą przełączaczy tranzystorów jest ograniczenie strat mocy. Przy przekształtnikach średniej i dużej mocy emisja ciepła związana ze stratami przełączania i przewodzenia w tranzystorach może być duża

i prowadzi do awarii układów. Porównując użycie tranzystora PM150DSA120 (150 A/1200 V, $V_{cesat} = 2$ V, $t_{on} = 1,5$ μ s, $t_{off} = 2,5$ μ s) oraz przyjmując napięcie układu pośredniczącego $U_d = 600$ V i prąd $I_d = 100$ A, straty mocy przy sterowaniu PWM o nośnej 10 kHz stanowią około 6,7%, natomiast przy falowniku wielopoziomowym o 100 przełączeniach na sekundę poziom strat maleje do 1,5% mocy falownika.

LITERATURA

1. Iwaszkiewicz J.: Modele matematyczne energoelektronicznych przekształtników wielopoziomowych. Analiza właściwości i zastosowanie. Monografia, Prace Instytutu Elektrotechniki zeszyt 227, 2006.
2. Hartman M.: Wielopoziomowe falowniki napięcia. Gdynia 2006.
3. Paice D. A.: Power electronic converter harmonics: multipulse methods. IEEE. ISBN 0-7803-1137-X.
4. Politechnika Gdańska, Katedra Trakcji Elektrycznej, Laboratorium Pojazdów Elektrycznych: Napędy falownikowe w pojazdach elektrycznych.
5. Sahan B., Vergara A. N., Henze N., Engler A., Zacharias P.: A single-stage PV module integrated converter based on low-power current-source inverter. Industrial Electronics, IEEE Transactions on Volume 55, Issue 7, July 2008 Page(s):2602 – 2609.

Rękopis dostarczono dnia 3.10.2008 r.

Opiniował: **prof. dr hab. inż. Stefan F. FILIPOWICZ**

MULTILEVEL CURRENT CONVERTER

Leszek WOLSKI

ABSTRACT *A new concept of architecture and work of multilevel current converter and a technical solution of such a converter is presented in the paper. The control algorithms for proposed circuit have been tested using simulation methods. The results of the preliminary experimental tests corroborate that the taken presumptions for architecture and control of multilevel current converter are correct.*



Mgr inż. Leszek Wolski studia wyższe ukończył roku 1996 na kierunku Przetwarzanie i Użytkowanie Energii Elektrycznej Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej. Od 1995 roku pracuje w Gdańskim Oddziale Instytutu Elektrotechniki. Obecnie zajmuje się projektowaniem i oprogramowaniem układów mikroprocesorowych oraz procesorów sygnałowych, bezprzewodowymi i przewodowymi technikami komunikacyjnymi, technologiami wykorzystującymi alternatywne źródła energii i sterowaniem wielopoziomowych przekształtników energii.