

Maciej KOZAK

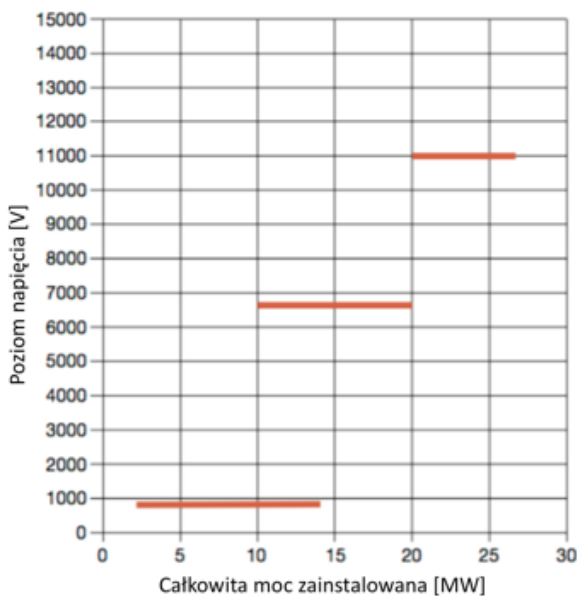
BADANIA EKSPERYMENTALNE UKŁADU ZASILANIA TRANSFORMATORA 0,4/15 KV PRZEZ PRĄDNICE PRZEKSZTAŁTNIKOWE W PRACY RÓWNOLEGŁEJ

Streszczenie

W artykule przedstawiono metodę pozwalającą na zasilania transformatora 0,4/15 kV z dwóch źródeł energii elektrycznej pracujących równolegle przez połączenie za pomocą synchronizatorów. Pokazano metody sterowania prądnic synchronicznej i asynchronicznej z wykorzystaniem falowników połączonych w układzie back-to-back, w różnych stanach pracy. Wyniki przedstawione w referacie pozyskano w trakcie badań eksperymentalnych układu rzeczywistego.

WSTĘP

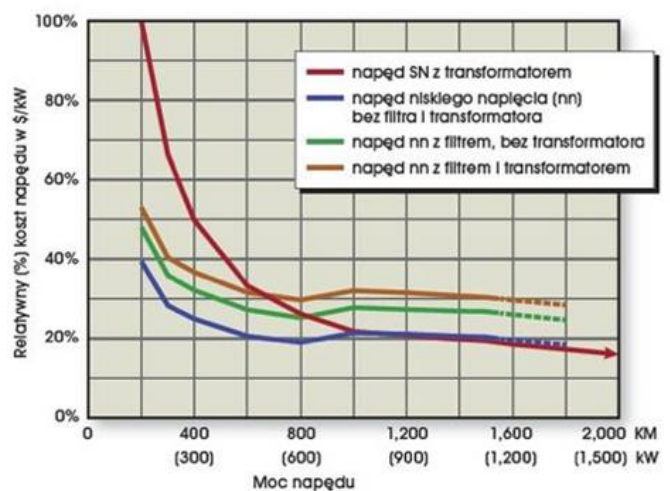
Z uwagi na rozpowszechnianie się urządzeń elektroenergetycznych średniego napięcia w technice napędowej układów średnich mocy, technologia ta doczekała się już wielu implementacji na statkach morskich. Najpopularniejszą metodą generacji i dystrybucji energii elektrycznej wykorzystującą napięcia powyżej 1 kV jest układ elektroenergetyczny w którym napięcie generowane jest przez prądnice synchroniczne na odpowiednio wysokim poziomie. Obecnie dopuszczalne wartości średnich napięć okrętowych to 3,3 kV, 6,6 kV, 11 kV i 16,5 kV przy częstotliwości 50 lub 60 Hz. Jak pokazują przykłady zastosowań tego typu układów w technice lądowej łączna moc systemu elektroenergetycznego dla którego uzasadnione eksploatacyjnie i ekonomicznie jest zastosowanie napięcia średniego zaczyna się od 5 MW [2].



Rys. 1. Zalecane poziomy napięć średnich w zależności od mocy elektrycznej zainstalowanej na statku [1]

Napięcie o poziomie 11 kV stosowane jest przeważnie w instalacjach gdzie moc zainstalowanych prądnic przekracza 20 MW tj. w instalacjach okrętowych z elektrycznymi napędami głównymi [1]. Od kilku lat istnieje tendencja do wykorzystywania układów napędowych napięcia średniego na poziomie 6,6 kV również tam gdzie moc

konkretnego urządzenia przekracza 400 kW i jednocześnie takie napięcie jest dostępne.



Rys. 2. Porównanie kosztów napędów niskiego i średniego napięcia [3]

Dodatkowym powodem stosowania napięć średnich mogą być inne uwarunkowania techniczne takie jak np. duże długości przewodów (100 metrów i więcej), trudności z prowadzeniem i podłączeniem kabli niskiego napięcia o dużych przekrojach a także duże straty i nagrzewanie się przewodów. Niebagatelne znaczenie ma również fakt, że maszyny i urządzenia napięcia średniego są mniejsze i lżejsze od urządzeń niskonapięciowych podobnej mocy co w przypadku siłowni okrętowych o ograniczonej przestrzeni i masie sprzętu jest istotne. Z uwagi na koszt materiałów i konieczność stosowania urządzeń o podwyższonych wymaganiach dotyczących izolacji instalacji średniego napięcia w chwili obecnej koszt instalacji okrętowego systemu elektroenergetycznego jest wyższy w stosunku do układu niskiego napięcia o podobnej mocy.

W chwili obecnej na niektórych statkach powstają elektroenergetyczne instalacje okrętowe, których sumaryczna moc prądnic nie uzasadnia zastosowania elektrowni pracującej przy napięciu średnim, lecz jest zainstalowanych kilka odbiorników których moc jednostkowa przekracza 400 kW. Takimi odbiornikami są często stery strumieniowe, których moc zazwyczaj zawiera się pomiędzy 800 a 1000 kW dla statku o długości 150-160 metrów i zanurzeniu 22 do 25 metrów [4]. W takiej sytuacji projektanci często korzystają z możliwości zastosowania transformatorów podwyższających napięcie tak, by dopasować jego poziom do wymagań elektrycznego

silnika zainstalowanego w układzie napędowym steru strumieniowego. W takiej sytuacji przemienne napięcie znamionowe sieci elektroenergetycznej wynosi np. 690 V a do potrzeb zasilania steru strumieniowego podwyższane jest do poziomu 6,6 kV przez transformator.

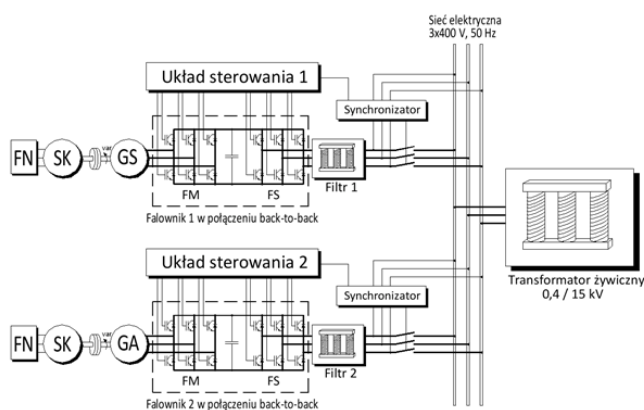
Równocześnie w technice okrętowej obserwuje się dążenie do wykorzystywania źródeł energii elektrycznej pochodzącej ze źródeł o zmieniającej się w szerokim zakresie prędkości wirowania. Ma to na celu zoptymalizowanie pracy silników napędowych pod kątem oszczędności paliwa i ograniczenia emisji spalin. Jak pokazują wyniki pozyskane na podstawie analizy pracy istniejących tego typu instalacji okrętowych oszczędności paliwa sięgają nawet 27% [5]. Pozwala to przypuszczać, że tego typu instalacje staną się popularne w rozwiązaniach systemów elektroenergetycznych statków specjalistycznych.

W niniejszym artykule przedstawiono wybrane wyniki badań eksperymentalnych systemu laboratoryjnego składającego się z prądnic wirujących ze zmieniającymi się prędkościami obrotowymi, które zasilają dwukierunkowe przekształtniki tranzystorowe pracujące równolegle. Energia wytwarzana przez prądnice wyposażone w falowniki dwukierunkowe zasila transformator podwyższający 0,4/15 kV pracujący na biegu jałowym.

1. KONCEPCJA SYSTEMU ELEKTROENERGETYCZNEGO I STEROWANIE PRĄDNICAMI PRZEKSZTAŁTNIKOWYMI

1.1. Budowa systemu elektroenergetycznego

Badany układ składa się z dwóch prądnic o mocy 5,5 kVA oznaczonych na rys. 3. jako GS i GA, z których każda napędzana jest silnikiem indukcyjnym klatkowym SK. Regulację prędkości silników napędowych zapewniają falowniki wektorowe FN pracujące przy napięciu 3x400V napięcia zmiennego.



Rys. 3. Schemat układu eksperymentalnego

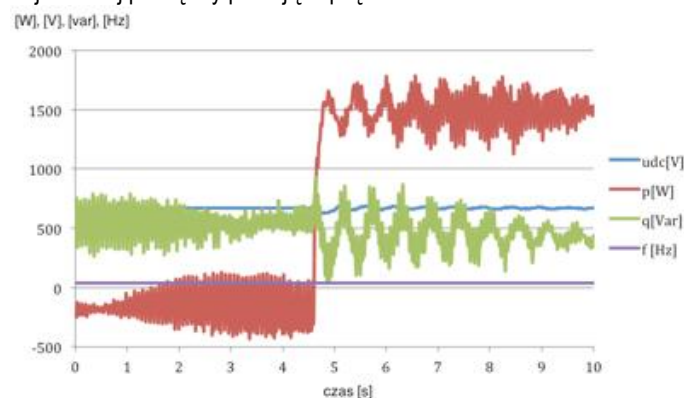
Dzięki takiemu rozwiązaniu możliwe jest sterowanie prądnicami z zmiennymi prędkościami wirowania bez znacznej utraty momentu napędowego. Z uwagi na zastosowanie falowników jednopoziomowych przebiegi napięcia wyjściowego mają kształt impulsów napięciowych co powoduje konieczność stosowania dodatkowych filtrów. Do tego celu zastosowano transformatory separacyjne 0,4/0,4 kV (filtr 1 i filtr 2), które połączone są z polami prądnicowymi w głównej tablicy rozdzielczej (GTR). Pola generatorowe wyposażone są w układy synchronizatorów i komplet zabezpieczeń prądnicowych. Podobne rozwiązania stosowane są powszechnie na statkach morskich przy czym najczęściej instaluje się dodatkowo układ automatycznego rozdziału mocy. W proponowanym rozwiązaniu przekształtniki komunikują się między sobą przy pomocy sieci przemy-

słowej Modbus co eliminuje konieczność stosowania centralnego punktu rozdziału mocy.

Falowniki dwukierunkowe w połączeniu back-to-back są najważniejszym elementem proponowanego systemu. Przekształtniki maszynowe oznaczone na rys. 3. jako FM, mają za zadanie zasilanie uzwojeń stojanów prądnic w taki sposób, aby moc czynna generowana przez generatory utrzymywała stałe napięcie obwodu pośredniczącego na odpowiednio wysokim poziomie. Odpowiednia wartość napięcia na kondensatorach obwodu pośredniczącego pozwala na przekształcanie energii przez falowniki sieciowe (FS) i zasilanie szyn systemu elektroenergetycznego napięciem o stałej częstotliwości i amplitudzie. Ten sposób pozyskiwania energii elektrycznej daje niespotykaną dotąd możliwość produkcji jej przez zespoły prądotwórcze pracujące ze zmieniającymi się w szerokim zakresie prędkościami wirowania. Obecnie stosowane przemysłowe wykorzystujące takie możliwości pozwalają na pobór mocy z generatorów wirujących z prędkościami zawartymi w zakresie od 40 do 120% prędkości znamionowej silników napędowych. Rozwiązanie takie pozwoliło na poczynienie oszczędności paliwa w wybranych stanach eksploatacyjnych statków. Jako przykład może tu posłużyć statek w technologii PD (pozycjonowanie dynamiczne) o nazwie „Dina Star”.

Na potrzeby badań układy sterowania dwóch różnych typów generatorów zaprogramowano w taki sposób, aby pierwsza na szyny rozdzielniczy włączana była poprzez przekształtnik dwukierunkowy prądnica asynchroniczna klatkowa. Po załączeniu na szyny falownika prądnicy asynchronicznej, która ma priorytet generatora prowadzącego tzn. amplituda i częstotliwość napięcia przez nią generowanego jest nadrzędna i obowiązuje dla całej sieci elektroenergetycznej.

Układ sterowania przekształtnikiem dwukierunkowym drugiej prądnicy synchronicznej do chwili włączenia na szyny pracuje w sposób tzw. „wyspowy”. Praca w tym trybie polega na regulowaniu amplitudy napięcia i częstotliwości falownika sieciowego prądnicy synchronicznej do określonych wartości pozwalających na jej zsynchronizowanie z napięciem na szynach systemu. W chwili kiedy napięcie i częstotliwość falownika sieciowego dołączonego generatora i generatora załączonego już na szyny są sobie równe, układ synchronizacyjny sygnalizuje gotowość do załączenia na szyny drugiej prądnicy. Po załączeniu do pracy równoległej, utrzymywanie reżimu pracy wyspowej staje się niemożliwe, ponieważ w takim algorytmie działania nie jest możliwy efektywny rozdział mocy czynnej i biernej pomiędzy pracującą prądnice.



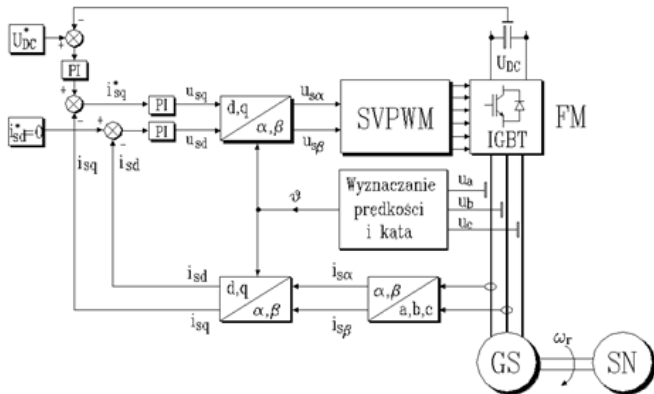
Rys. 4. Przebiegi przedstawiające załączenie obciążenia czynnego w czasie pracy równoległej prądnicy asynchronicznej klatkowej i synchronicznej oraz przejście obciążenia

Sygnał o przejściu do pracy równoległej podawany z układu synchronizacji trafia do układu sterowania falownika dwukierunkowego i przełącza go w tryb rozdziału mocy czynnej i biernej. Dołą-

czona do sieci prądnicą i jej przekształtnik przejmują moc czynną i bierną do wartości, która może być dynamicznie zmieniana w programie sterującym. Reszta mocy zapotrzebowanej dostarczana jest przez prądnicę i przekształtnik prowadzący – w tym przypadku przez prądnicę asynchroniczną.

1.2. Sterowanie prądnicą synchroniczną

Sterowanie samowzбудną prądnicą synchroniczną polega na zastosowaniu algorytmu FOC (field oriented control), który pozwala na niezależne sterowanie prądem czynnym i_{sq} ładującym kondensator obwodu pośredniczącego oraz prądem biernym i_{sd} o wartości zerowej. Nadrzędna pętla sterująca jest układ kontroli napięcia kondensatora obwodu pośredniczącego U_{DC} .



Rys. 5. Schemat układu sterowania samowzbudną prądnicą synchroniczną [5]

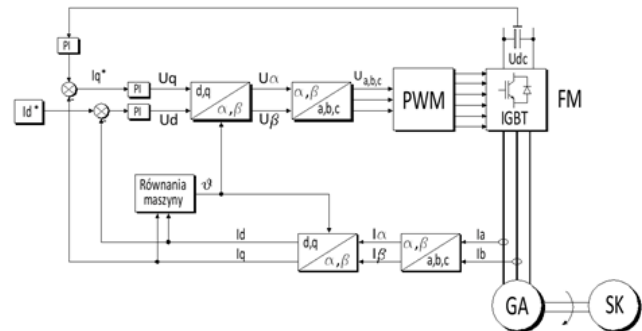
W przedstawionym układzie sterowania informacje na temat wartości prędkości obrotowej i bieżącego kąta położenia wirnika pochodzą z pomiaru napięć sinusoidalnie zmiennych na wyjściu prądnic (u_a, u_b, u_c). Badając przejścia wartości napięć przez zero uzyskuje się informacje o częstotliwości i prędkości obrotowej generatora. Z tego powodu nie ma potrzeby stosowania dodatkowych środków obliczeniowych w postaci symulatorów programowych lub obserwatorów stanu maszyny.

Aby prawidłowo załączyć iysterować synchroniczną prądnicę przekształtnikową należy wstępnie naładować kondensatory obwodu pośredniczącego falownika. Żeby było to możliwe musi załączyć się łącznik sterowany odpowiednio wysoką wartością napięcia stałego U_{DC}. Po uzyskaniu odpowiedniej prędkości wirowania, prądnicą synchroniczną generuje trójfazowe napięcie sinusoidalne o amplitudzie odpowiedniej do uruchomienia algorytmu sterowania falownika maszynowego i podwyższeniu napięcia obwodu pośredniczącego do poziomu ok. 700 V. Ten poziom napięcia zapewnia wektorowemu falownikowi sieciowemu możliwość generacji napięcia trójfazowego o wartości skutecznej ustawionej na 400 V przy częstotliwości 50 Hz.

1.3. Sterowanie prądnicą asynchroniczną klatkową

Sterowanie asynchroniczną prądnicą klatkową o zmiennej prędkości wirowania wału w przeciwieństwie do układu z prądnicą synchroniczną wymaga wytworzenia strumienia wzbudzenia w obwodzie wirnika. Możliwe jest to poprzez wykorzystanie energii zgromadzonej wcześniej w kondensatorze obwodu pośredniczącego. Jest to pewna niedogodność układu z generatorem klatkowym, która może być zniwelowana poprzez zastosowanie innego źródła energii elektrycznej (np. prądnicę synchroniczną samowzbudnej) zdolnego do naładowania kondensatorów obwodu prądu stałego do poziomu umożliwiającego wzbudzenie wirującej prądnicę. Analizując schemat układu sterowania prądnicę asynchroniczną łatwo zauważyć, że zadana wartość prądu biernego i_b musi mieć wartość

niezerową. W przybliżeniu jest to wartość prądu biegu jałowego, który po pominięciu strat wynikających z oporów powietrza, oporów toczenia łożysk oraz innych strat natury mechanicznej będzie równy prądowi magnesującemu. Sterowanie przekształtnika maszynowego metodą FOC pozwala na niezależne regulowanie prądem biernym (wzbudzenia o stałej wartości w zakresie prędkości znamionowych) oraz prądem czynnym i_q . Regulator programowy PI prądu czynnego ma na celu regulację i utrzymywanie stałego napięcia U_{DC} w obwodzie pośredniczącego.



Rys. 6. Schemat układu sterowania generatorem asynchronicznym klatkowym

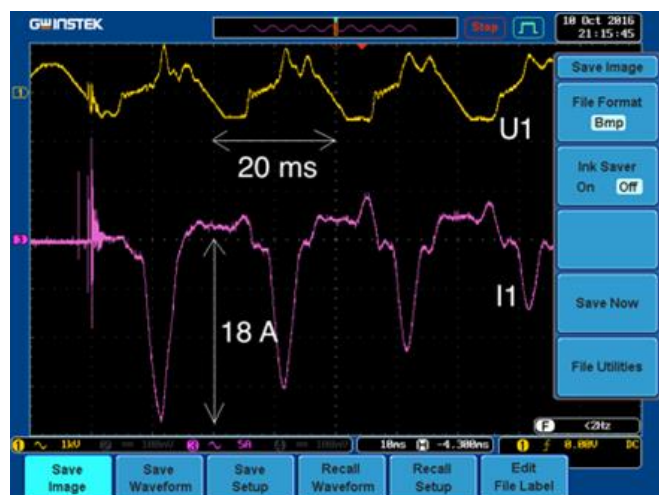
Układ przedstawiony na rys. 6 należy do grupy układów bezczujnikowych tzn. takich w których nie ma czujnika prędkości wirowania wału generatora. Jak można zauważyć na rysunku 6, kąt bieżący położenia wirnika wyliczany jest w bloku opisanym jako równania maszyny. Po zróżniczkowaniu i odfiltrowaniu tej wartości uzyskuje się wartość prędkości która może służyć do np. celów informacyjnych lub optymalnego sterowania silnika napędowego. W opisywanym przypadku zastosowano zredukowany obserwator Luenbergera z użyciem zdyskretyzowanych równań maszyny klatkowej. Układ obliczeniowy procesora sygnałowego DSP wylicza w czasie rzeczywistym niemierzalne parametry maszyny takie jak strumienie magnetyczne wirnika w nieruchomym układzie współrzędnych. Po zastosowaniu funkcji trygonometrycznych uzyskuje się estymowaną wartość kąta położenia wirnika względem uzwojeń stojana. Wartość ta przekazywana jest do bloków obliczeniowych pozwalających na przekształcenie wielkości z trójfazowych, sinusoidalnie zmiennych do układu wirującego d-q, który operuje wartościami stałymi dogodnymi do zastosowania procedur regulacji cyfrowej.

1.4. Załączanie zasilania transformatora energetycznego 0,4/15 kV

W chwili załączania napięcia zmiennego do obwodu strony pierwotnej transformatora można zaobserwować pojawienie się dużej wartości prądu magnesowania, która po krótkim czasie osiąga wartość ustaloną, znacznie mniejszą. Wartości prądów magnesujących transformator często przekraczają wartości osiągnięte w czasie normalnej pracy pod obciążeniem znamionowym. Początkowa wartość prądu magnesującego, który występuje podczas włączenia zasilania uzwojenia pierwotnego nieobciążonego transformatora zależy przede wszystkim od wartości chwilowej napięcia przy której następuje załączenie oraz od wartości i kierunku polaryzacji magnetyzmu szczątkowego, który pozostał w rdzeniu w czasie wcześniejszego wyłączenia zasilania.

Zakładając sytuację załączenia napięcia zmiennego do zacisków transformatora w chwili gdy wartość osiąga maksimum w półokresie dodatnim fali, cewka transformatora zgodnie z regułą Lenza wytworzy napięcie o wartości przeciwnej do wymuszenia. Wygenerowanie dużej wartości napięcia w krótkim czasie prowadzi do wytworzenia dużego strumienia magnetycznego w rdze-

niu transformatora co spowoduje wzrost wartości prądu pobieranego przez uzwojenie transformatora.



Rys. 7. Przebiegi wartości napięcia i prądu magnesującego transformator 0,4/15 kV przy napięciu zasilania równym 400 V

W tym przypadku wartości prądu i strumienia magnetycznego zaczynają się od zera i wzrastają do wartości ustalonej co powoduje, że nie występuje zjawisko przetężenia prądu.

Bardziej niekorzystna sytuacja ma miejsce gdy wartość chwilowa napięcia w czasie załączenia ma wartość równą zero. Ze względu na przesunięcie fazowe (opóźnienie o 90°) strumienia względem napięcia, w chwili gdy napięcie zaczyna narastać do wartości maksymalnej półfali dodatniej, opóźniony strumień magnetyczny również zaczyna rosnąć ale zaczynając od wartości minimalnej. Gdy napięcie zaczyna maleć strumień przechodzi przez zero i zaczyna narastać do swojej wartości dodatniej maksymalnej. Zjawisko to skutkuje dwukrotnym wzrostem wartości prądu magnesowania co powoduje, że w realnym transformatorze z rdzeniem ferromagnetycznym ulegającym nasyceniu, wzrost prądu będzie jeszcze większy. W momencie wyłączenia napięcia zasilającego transformator, pozostały strumień szczątkowy może wynosić od 50 do nawet 90% wartości maksymalnej osiąganey w stanie obciążenia. Pozostałość magnetyczna powoduje szybkie nasycenie rdzenia a co za tym idzie znaczne zwiększenie prądu magnesowania. Zjawisko to może być ograniczone poprzez zastosowanie termistorów NTC włączanych szeregowo i po wykonanym wzbudzeniu bocznikowanych stycznikiem lub za pomocą rezystorów stałych wyposażonych w styczniki bocznikujące. Inną metodą jest tzw. pre-charge czyli wykorzystanie dodatkowego transformatora małej mocy do namagnesowania rdzenia od strony uzwojenia pierwotnego lub wtórnego.

Kolejną metodą służącą do ograniczania prądu załączenia transformatora, która została zaprezentowana w niniejszej pracy jest ograniczenie napięcia generowanego przez falownik sieciowy prądnicy prowadzącej czyli wybranej jako pierwszej do załączenia na szyny rozdzielnic. Dwukrotne ograniczenie napięcia o częstotliwości sieciowej powoduje powstanie stosunkowo niewielkiego prądu w czasie załączenia strony pierwotnej transformatora co pokazano na rysunku 8.

W prezentowanym układzie, układ zabezpieczeń wbudowany w synchronizatorach uniemożliwia włączenie na szyny prądnicy generującej napięcie o wartości dużo różniące się od znamionowej. Jest to zabezpieczenie przed nieprawidłowym rozdziałem mocy zwrotnej a także przed przepływem prądów wyrównawczych na skutek dużej różnicy napięć. Z powodu zastosowania obniżonego napięcia początkowego nie jest możliwe załączenie prądnicy i jej przekształtnika na szyny. W klasycznym układzie z prądnicami synchronicznymi

bez przekształtnika i pośredniego przekształcania energii elektrycznej, wygenerowanie napięcia obniżonego na krótki czas potrzebny do magnesowania transformatora nie jest możliwe.



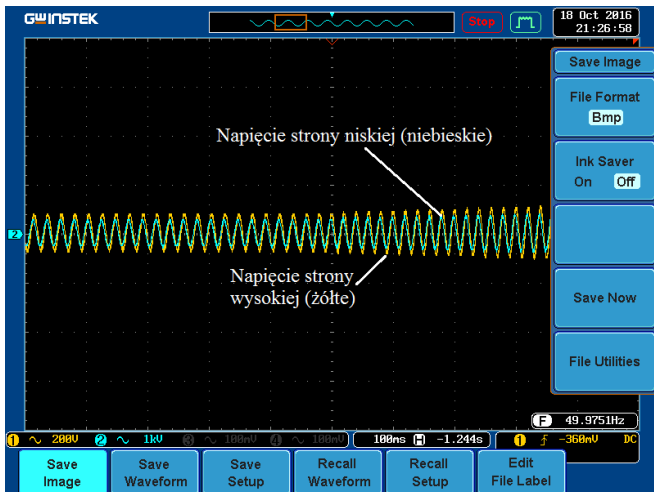
Rys. 8. Przebiegi wartości napięcia i prądu magnesującego przy załączeniu napięcia międzyfazowego o wartości równej 200 V

Biorąc pod uwagę możliwości komunikacyjne przekształtników użytych w badaniach układu eksperymentalnego, funkcje zabezpieczeń przejmują elementy sterujące falowników co powoduje, że rozwiązanie klasyczne bazujące na synchronizatorach staje się mało atrakcyjne a w niektórych przypadkach uniemożliwia pełne wykorzystanie możliwości sprzętu.

2. SYNCHRONIZACJA I PRACA RÓWNOLEGLA FALOWNIKÓW ZASILAJĄCYCH TRANSFORMATOR

Po załączeniu do szyn przekształtnika pierwszej prądnicy oraz po ustawieniu wartości znamionowej do poziomu 400 V, w przypadku przewidzenia możliwości zwiększenia obciążenia transformatora należy załączyć drugą prądnicę przekształtnikową do pracy równoległej. Proces synchronizacji w omawianym układzie omówiono w podrozdziale 1.1 niniejszej pracy. Należy dodać, że do tego celu wykorzystane zostały wbudowane w tablicy rozdzielczej synchronizatory i ich wyjścia cyfrowe sygnalizujące stan załączeń przekształtników jednak możliwe byłoby pominięcie tych urządzeń w strukturze układu bez utraty jego funkcjonalności.

Dzięki zastosowaniu przekształtników proces synchronizacji przebiega w sposób niemal niezauważalny i bardzo szybki. Kondensatory zastosowane w obwodach pośredniczących prądu stalego powodują, że krótkotrwałe procesy mechaniczne związane ze stanem przejściowym są całkowicie kompensowane przez co zapewnione jest stabilne działanie systemu elektroenergetycznego w pełnym zakresie pracy. W chwili załączenia drugiej prądnicy do pracy równoległej, następuje rozdział mocy biernej i czynnej. W przeciwieństwie do klasycznych układów prądnicowych w których moc czynna zależy od nastaw regulatora prędkości obrotowej sterowanego przez system rozdziału energii, w omawianym układzie rozdział ten zachodzi wyłącznie na drodze sterowania elektronicznego. Rozdział mocy biernej powinien być dokonany proporcjonalnie do mocy znamionowej prądnic pracujących równoległe i w taki sposób układ jest zaprogramowany, przy czym przyjęto założenie, że moc ta równa jest mocy biernej pobieranej przez transformator separacyjny włączony między zaciski wyjściowe falownika sieciowego a zaciski głównej tablicy rozdzielczej.



Rys. 9. Przebiegi napięć strony pierwotnej (0,4 kV) i wtórnej (15 kV) transformatora zasilanego przez połączone równoległe prądnice przekształtnikowe

PODSUMOWANIE

Badania przedstawionego układu obejmowały zasilanie transformatora energetycznego 0,4 / 15 kV za pomocą połączonych równoległe przekształtników wzbudzających prądnice synchroniczna i asynchroniczna klatkową. Stworzony układ energoelektroniczny pracował stabilnie i co należy podkreślić charakteryzował się dużą szybkością działania i regulacji, w przypadku raptownych zmian zachodzących w obwodzie. Jakość napięcia generowanego przez transformator po stronie 15 kV po pomiarze za pomocą testera zawartości wyższych harmonicznych wykazywała, że THD równy był średnio 2,3% przy wartości 2,4% napięcia wejściowego. Napięcie wyjściowe zmierzone po stronie SN pochodziło z pomiarów przekładnikami napięciowymi, zatem wygładzone co spowodowało poprawienie kształtu napięcia. Opracowana metoda włączania transformatora umożliwiła znaczne uproszczenie systemu i pozwoliła na zastąpienie elementów elektrycznych kodem programu co zwiększyło niezawodność całego układu. Kolejne prace badawcze obejmą pracę falowników na transformator obciążony rezystancją o zmiennej wartości. Badania te zweryfikują działanie algorytmu rozdziału mocy czynnej i biernej w systemie prądnic przekształtnikowych.



Rys. 10. Widok elementów testowego stanowiska badawczego w Laboratorium Zielonej Energetyki

BIBLIOGRAFIA

1. Chakrabarty A. *How Bow Thruster is Used for Maneuvering a Ship?*, Marine Navigation, July, 2016.
2. Welander P. *Kiedy wybrać napęd średniego napięcia?*, Control Engineering Polska. Grudzień 2010.
3. Hazel T., *Limiting short-circuit currents in medium-voltage applications*, Schneider Electric
4. <http://www.abb.com/cawp/seitp202/6f0d5472c16d3fc4c1257cf9002661ed.aspx>
stan na dzień 10.10.2016
5. Kozak M., Piasecki T., *Wybrane zagadnienia sterowania układem mikroprocesorowym dsp-fpga prądnic przekształtnikowych pracujących równoległe w sieci okrętowej*, Materiały konferencyjne ZkWE 2015, Politechnika Poznańska.

EXPERIMENTAL RESULTS OF TESTS 0.4/15 KV TRANSFORMER SUPPLIED BY PARALLEL CONNECTED INVERTERS AND GENERATORS

Abstract

Presented paper gives an outline of electrical system consisted of power transformer 0.4/15 kV supplied by two voltage sources in parallel connection with means of commercial synchronizers. Sources used in tests are two different types of electrical generators tied up to voltage source inverters. Chosen experimental results are given.

Autor:

dr inż. **Maciej Kozak** – Akademia Morska w Szczecinie, m.kozak@am.szczecin.pl