

Piotr MYSIAK¹, Ryszard STRZELECKI^{1,2}

Akademia Morska w Gdyni, Katedra Automatyki Okrętowej (1)
Instytut Elektrotechniki, Zakład Przekształtników Mocy (2)

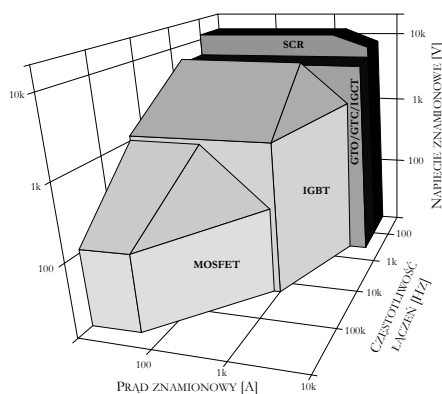
Energoelektronika na obiektach morskich

Streszczenie. W artykule zaprezentowano współczesne kierunki rozwoju energoelektroniki, w tym w szczególności dotyczące obiektów morskich. Przedstawiono podstawowe parametry aktualnie stosowanych w energoelektronice przyrządów półprzewodnikowych, jak również wykazano interdyscyplinarny charakter rozwoju tej dziedziny. Na przykładzie wybranych urządzeń energoelektronicznych przedstawiono ich komercyjne zastosowania oraz podział i miejsce w łańcuchu od wytwórcy energii elektrycznej do odbiorcy. W dalszej części artykułu przedstawiono wybrane zastosowania urządzeń energoelektronicznych na obiektach morskich (statkach, platformach wiertniczych). W końcowej części szczegółowo omówiono przekształtniki energoelektroniczne dużej mocy, w które wyposażane są elektryczne napędy główne na statkach - przedstawiono ich zalety i wady.

Słowa kluczowe: energoelektronika, przekształtniki energoelektroniczne, obiekty morskie, okrętowe napędy elektryczne

Wstęp

Współczesna energoelektronika, której początki sięgają komercjalizacji tyrystora SCR przez firmę General Electric w 1958 r., jest jednym z wielkich sukcesów XX wieku. Skupiając różne techniki impulsowego przekształcania parametrów energii elektrycznej (EE), energoelektronika umożliwia dynamiczne sterowanie i dopasowanie parametrów źródeł zasilania na potrzeby zasilanych urządzeń, ze sprawnością bliską 100%. Jej rozwój, w perspektywie XXI w., ściśle wiąże się z wdrożeniami nowych, w pełni sterowalnych przyrządów energoelektronicznych. Mimo to, jak na razie, rozwój energoelektroniki, w szczególności w zakresie większych mocy, bazuje głównie na przyrządach krzemowych. Dąży się przy tym do osiągania coraz większych prądów przewodzenia, wyższych napięć blokowania oraz korzystniejszych właściwości dynamicznych (wyższych częstotliwości łączeń). Stan aktualny parametrów pracy ważniejszych przyrządów energoelektronicznych przedstawiono na rysunku 1.

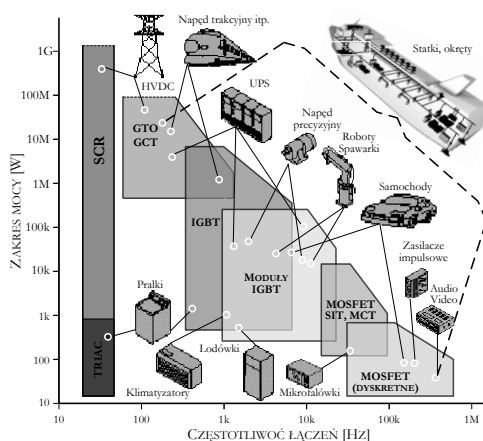


Rys. 1. Zakres parametrów pracy krzemowych przyrządów energoelektronicznych [11].

Ze względu na charakter interdyscyplinarny, rozwój energoelektroniki zależy również od postępu w wielu innych obszarach, a nie tylko w fizyce ciała stałego. Wynika to zarówno z samego przedmiotu energoelektroniki, jak i obszarów aplikacji urządzeń energoelektronicznych (UE). W szczególności są to:

napędy precyzyjne prądu stałego i przemiennego z maszynami konwencjonalnymi i specjalnymi, w tym o magnesach trwałych; **napędy** bardzo dużej mocy i/lub średniego napięcia, w tym napędy trakcyjne, na statkach i okrętach, młynów, taśmociągów itp.; **napędy** i zasilanie ekologicznych pojazdów elektrycznych lub hybrydowych; **grzejnictwo** indukcyjne, spawanie elektryczne, technika oświetleniowa i grzewcza; **zasilanie** bezprzewodowe: pojemnościowe lub indukcyjne; **elektrometalurgia** i elektrochemia, w tym galwanotechnika; **unowocześnione** i nowe elektrotechnologie, w tym np. plazmowe; **elektroenergetyczne** systemy przesyłowe HVDC i FACTS; rezerwowe/regulowane źródła i zasobniki energii, w tym UPS; **systemy** „Smart Grid”; **niekonwencjonalne** źródła EE, w tym fotowoltaiczne, wiatrowe, wodne; **układy** poprawy jakości zasilania i odbioru EE, w tym np. kompensatory, filtry aktywne, regulatory AC/AC.

Różnorodność zastosowań UE z uwzględnieniem zakresu mocy i częstotliwości łączeń stosowanych przyrządów energoelektronicznych ilustruje rysunek nr 2.



Rys. 2. Wybrane komercyjne zastosowania UE.

Energoelektronika na obiektach morskich

Nowoczesne statki morskie, to z energetycznego punktu widzenia obiekty autonomiczne z ograniczonym zasobem energii i mocy (rys.3). Podejmując decyzję w sprawie budowy statku, zespoły projektowe biorą przede wszystkim pod uwagę środki zapewniające bezpieczeństwo pasażerów, załogi i dodatkowego personelu. Jednocześnie rozważa się zagadnienia związane z funkcjonalnymi właściwościami statku, takimi jak manewrowość, zużycie paliwa, a także ostatnio, kwestie ochrony środowiska. W związku z tym istotne i niemożliwe do realizacji bez zastosowania nowoczesnych przekształtników energoelektronicznych dużej mocy, stają się następujące zadania, pojawiające się przed projektantami: **powszechne** wprowadzenie regulowanego elektrycznego lub hybrydowego (turbo-elektrycznego lub diesel-elektrycznego) napędu śruby okrętowej; **wdrożenie** rozproszonego (strefowego) pokładowego systemu energetycznego; **uzyskanie** poprawy jakości i zmniejszenia strat energii elektrycznej przez zwiększenie napięcia, linearyzację odbiorników i bardziej

IX Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2016

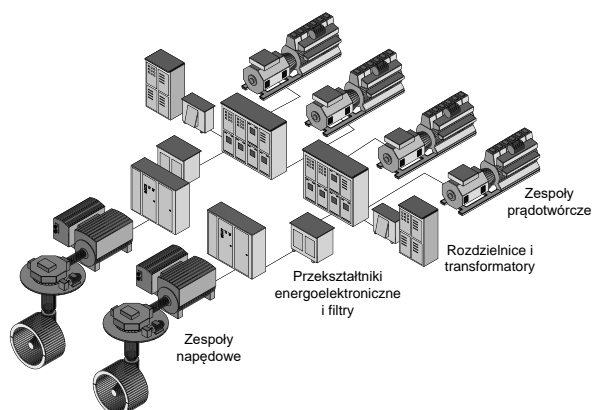
efektywne wykorzystanie urządzeń filtracyjnych - kompensacyjnych (w tym aktywnych filtrów jednocześnie pełniących funkcję aktywnego prostownika); **wykorzystanie** czystych źródeł energii, w szczególności ogniw paliwowych; **zastosowanie** bardziej wydajnych silników elektrycznych, w tym silników z magnesami trwałymi, wielofazowych, itp.; **zastosowanie** systemów bezpieczeństwa, zarządzania i kontroli oraz redundantnego zasilania awaryjnego [1,2,3,7,8,9,13].

Pierwsze pięć zadań bezpośrednio łączy się z własnościami procesów energetycznych (rys.4), występujących na statku o napędzie elektrycznym lub innym nowoczesnym obiekcie morskim, np. platformie wiertniczej.

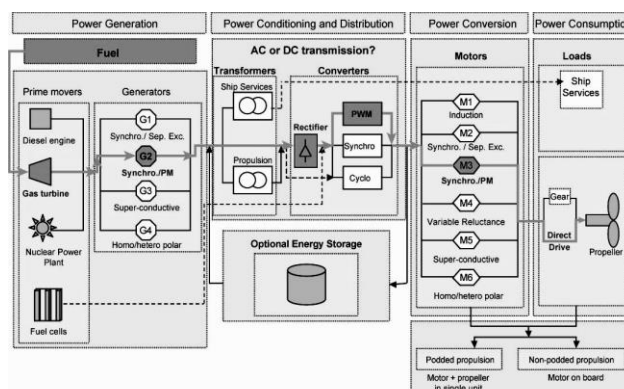
Przekształtniki energoelektroniczne stosowane na statkach z napędami elektrycznymi [4,5,6,10,12]

Silniki synchroniczne napędów głównych zasilane są napięciem o płynnie zmienianej częstotliwości z trzech rodzajów przekształtników energoelektronicznych:

- bezpośredni przemiennik częstotliwości AC-AC (Cyklokonwerter, rys.5.)
- pośredni przemiennik częstotliwości AC-DC-AC z falownikiem prądowym (CSI, rys.6.)
- pośredni przemiennik częstotliwości AC-DC-AC z falownikiem napięciowym (VSI, rys.7.).



Rys. 3. Elementy składowe systemu zasilania statku.



Rys. 4. Potencjalne możliwości realizacji procesów energetycznych na statku.

Do budowy przekształtników energoelektronicznych, obok dotychczas stosowanych elementów półprzewodnikowych, jak tyrystory klasyczne SCR, tranzystory mocy IGBT, wprowadzono nową odmianę tyrystorów IGCT. Moce oferowanych i już instalowanych elektrycznych napędów głównych przekroczyły wartość 20MW, co wiąże się z coraz wyższymi napięciami elektrowni okrętowych sięgającymi 11kV.

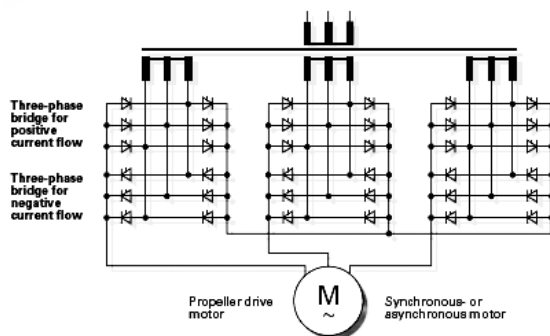
Cyklokonwerter (Cyclo)

Zalety Cyclo:

duży zakres regulacji prędkości - brak ograniczeń dla małych prędkości jak dla LCI, co jest bardzo korzystne przy manewrowaniu w porcie, a także w lodach; **stosowany** do silników o niskiej prędkości; **niska** pulsacja momentu; **szybkie** stany przejściowe, także przy niskich prędkościach; **współczynnik** mocy równy 1 dla silnika synchronicznego; **bardzo** niski hałas; **praktycznie** nieograniczona moc odbiorników; **niski** poziom zakłóceń wprowadzanych do sieci, mniejszy niż dla LCI.

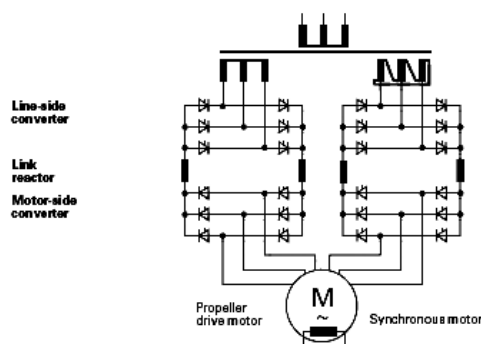
Wady Cyclo:

niska wartość częstotliwości na wyjściu, ok. 1/3 wejściowej (do 20 Hz).



Rys. 5. Schemat cyklokonwertera (Cyclo).

Falownik prądowy (CSI – Current Source Inverter, inaczej LCI – Load Commutated Inverter lub Synchro)



Rys. 6. Schemat falownika prądowego (CSI, LCI).

IX Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2016

Zalety LCI:

duże moce odbiorników do 100 MW; **stosowany** do silników o dużej prędkości; **do** budowy prostownika i falownika stosuje się tanie tyrystory SCR - niski koszt; **wysoka** sprawność i niezawodność; **możliwość** odzyskiwania energii (hamowania odzyskowego).

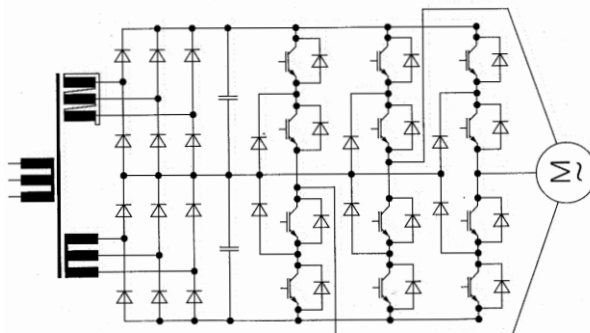
Wady LCI:

duże pulsacje momentu (hałas); **długotrwałe** stany przejściowe; **zmienny** współczynnik mocy na wejściu; **dla** prędkości 5-10% znamionowej nie jest możliwa naturalna komutacja tyrystorów falownika - ograniczenie zakresu prędkości; **dość** duże zakłócenia wprowadzane do sieci zasilającej; **czasami** konieczne zastosowanie filtrów LC na wejściu.

Falownik napięciowy trójpoziomowy (VSI – Voltage Source Inverter)

Zalety VSI:

stosowane przede wszystkim do silników indukcyjnych, lecz mogą być również wykorzystane do silników synchronicznych i silników synchronicznych z magnesami trwałymi; **aktualnie** moc napędów z VSI jest ograniczona do 8-10 MW, ze względu na dostępne elementy energoelektroniczne mogące pracować z dużą częstotliwością; **najczęściej** stosowaną metodą sterowania falownikiem jest metoda modulacji szerokości impulsów PWM (Pulse Width Modulation), w której łączniki falownika pracują z częstotliwością od 1- 20 kHz; **w** napędach dużej mocy stosowana jest częstotliwość łączy tranzystorów IGBT ok. 1 kHz; **im** większa częstotliwość łączy elementów falownika, tym prąd silnika ma przebieg bardziej zbliżony do sinusoidy, ale wówczas rosną straty łączy.



Rys. 7. Schemat falownika napięciowego trójpoziomowego (VSI).

Wady VSI:

przy stosowaniu metody PWM, wraz z obniżaniem częstotliwości łączy elementów falownika rośnie hałas silnika; **hamowanie** dynamiczne napędu wiąże się z zastosowaniem dodatkowego przerywacza w obwodzie pośrednim prądu stałego, który wytraca energię na dodatkowym rezystorze.

Podsumowanie

Elektryczne napędy główne wyposażone w przekształtniki energoelektroniczne dużej mocy, wprowadzane są na coraz większej liczbie typów statków - przyjmuje się, że w najbliższej przyszłości będą je posiadać także statki LNG, chemikaliowce, kontenerowce, Ro-Ro i rybackie.

Na nowo budowanych statkach z elektrycznymi napędami głównymi, dominują silniki synchroniczne instalowane w pędnikach gondolowych. W ostatnich latach wprowadzono na statki nowe konstrukcje silników synchronicznych – z magnesami trwałymi oraz z uzwojeniami nadprzewodzącymi.

W świetle powyższego, „energoelektroniczny horyzont” jeszcze przed nami...

Literatura

Prospekty

1. SAM Electronics, Research vessels - Electric Propulsion, Power Generation and distribution Systems from SAM Electronics, 2004
2. SAM Electronics complies with growing market: Electrical propulsion and power distribution systems for cruise liners, ferries and other ships with special requirements, 2004
3. SAM Electronics, Pipelaying vessel "Solitaire" - electrical propulsion system, 10 kV supply and distribution system, 2004

Podręczniki

4. Bin Wu, "High-power converters and ac drives ", A John Wiley & Sons, Inc., Publication, IEEE, 2006
5. Bimal K. Bose, "Power Electronics and Motor Drives - Advances and Trends, Elsevier Inc., 2006
6. J. Wyszkowski, S. Wyszkowski, "Elektrotechnika okrętowa – napędy elektryczne", Wyd. Fundacji Rozwoju Akademii Morskiej Gdynia, 2002

Czasopisma

7. Ian C. Evans (Tłum. Edward Szmit), "Cała naprzód dla okrętowego napędu elektrycznego", Budownictwo okrętowe nr 3/2004
8. Editorial comment, „Electric ships running on high voltage”, The naval architect, September 2004

Opracowania

9. Alf Klre Ldnanes, ABB AS "Marine maritime electrical installations and diesel electric propulsion", 2003
10. SIEMENS, "The short guide to Master drives frequency converters for ships"
11. A. Napieralski ; M. Napieralska ; Ł. Starzak ; M. Zubert, "Modern high power semiconductor devices", ELTE 2013, Ryn, Poland, April 16-18, 2013, Vol. 8902, ISBN 9780819495211, s. 890203-1, 890203-17
12. D. Clark, DC Maritime Technologies Inc. „Propulsion system evaluation – design review”, Vancouver BC Canada, Seattle WA & Daphne AL USA
13. Norma IEC 60092-501 © IEC:200X, "Electrical Installations In Ships – Part 501: Special features – Electric propulsion plant", International Electrotechnical Commission

Autorzy: prof. dr hab. inż. Ryszard Strzelecki, Akademia Morska w Gdyni, Katedra Automatyki Okrętowej, ul. Morska 81-87, 81-225 Gdynia, rstrzele@am.gdynia.pl, Instytut Elektrotechniki, Zakład Przekształtników Mocy, ul. Pożaryskiego 28, 04-703 Warszawa.

dr. hab. inż. Piotr Mysiak, Akademia Morska w Gdyni, Katedra Automatyki Okrętowej, ul. Morska 81-87, 81-225 Gdynia, mysiak@am.gdynia.pl.