

ENGINEERING
TOMORROW

Danfoss

Artykuł

Napęd **hybrydowy**



Zmniejsza zużycie
paliwa do

30%

drives.danfoss.pl

VACON[®]

Spis treści

Podsumowanie	3
1. Wprowadzenie	3
2. Omówienie podstawowych zagadnień dotyczących silników i wytwarzania mocy	4
2.1 Wydajność dynamiczna paliw	4
3. Napęd hybrydowy	5
3.1 Hybrydowe jednostki pływające	5
3.2 Zalety systemów hybrydowych	5
3.3 Ograniczanie mocy szczytowej — zmniejszanie obciążenia dynamicznego generatorów!	6
3.4 Podział obciążenia	7
3.5 Sprzęt zabezpieczający i kontrola jednostek pływających	8
4. Wnioski	9

Podsumowanie

Hybrydyzacja jednostek pływających umożliwia wykorzystywanie optymalnych źródeł energii w realizacji określonych zadań, co z kolei przekłada się na dodatkowe korzyści w postaci mniejszych emisji do środowiska, dzięki zmniejszeniu poziomu emitowanego hałasu oraz redukcji wymogów konserwacji.

Kwestią kluczową jest tutaj energia elektryczna wykorzystywana do napędzania ogromnych silników elektrycznych połączonych ze śrubami napędowymi. Rozwiązanie to sprawia, że silniki wykorzystujące paliwo, pracują z wydajnością mocno zbliżoną do znamionowego punktu pracy, a to z kolei bezpośrednio przekłada się na oszczędności w kwestii zużycia paliwa. Nadmiar energii trafia do akumulatorów w celu późniejszego wykorzystania, dzięki czemu krzywe pracy silników napędzanych paliwem są zdecydowanie bardziej wyrównane.

1. Wprowadzenie

Właściciele stoczni i jednostek pływających coraz chętniej inwestują w morskie systemy hybrydowe, w celu zwiększenia elastyczności w zakresie konstrukcji i instalacji, optymalizacji wydajności roboczej (w zakresie zużycia energii i poboru mocy) oraz minimalizacji wpływu na środowisko.

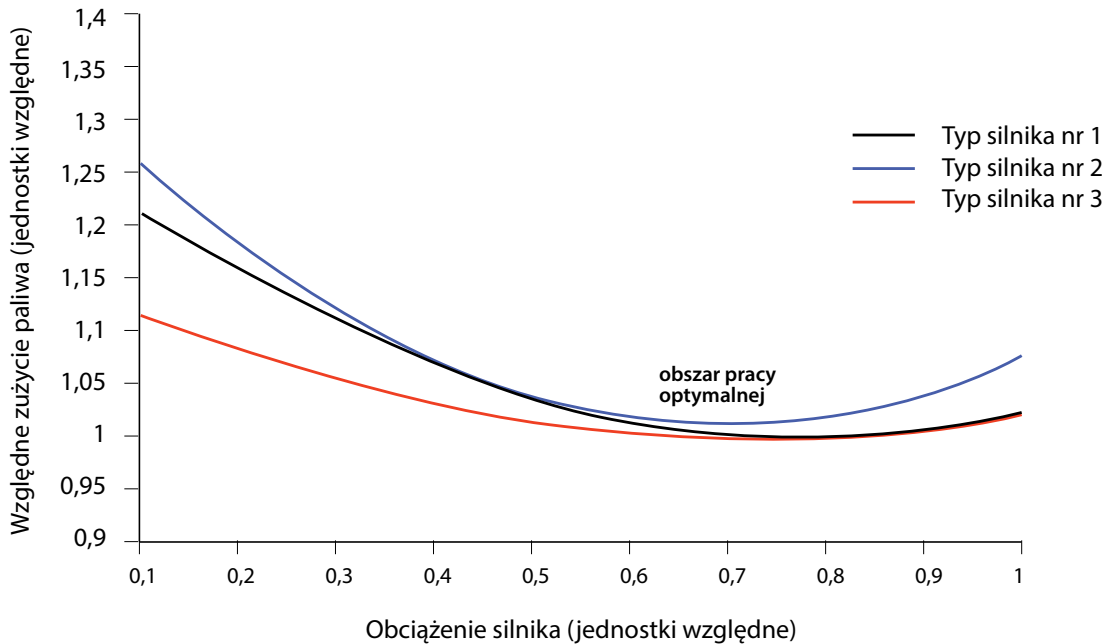
Surowe wymogi dotyczące efektywności i kontroli emisji znacznie poprawiły w ostatnim dziesięcioleciu sytuację związaną z nowymi jednostkami pływającymi, a kolejne modernizacje przyczynią się do dalszego usprawniania już istniejących flot, umożliwiając tym samym osiągnięcie celów wyznaczonych dla tego sektora 1.

W tym artykule zajmiemy się napędami hybrydowymi i opowiemy o tym, dlaczego systemy hybrydowe mają kluczowe znaczenie w kwestii tworzenia bardziej zrównoważonej floty morskiej.

¹ <http://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/GHG/Pages/default.aspx>

2. Omówienie podstawowych zagadnień dotyczących silników i wytwarzania mocy

Ujmując rzecz krótko, sprawność silnika wysokoprężnego, to nic innego, jak jego zdolność do przekształcania paliwa w energię mechaniczną. Ogólny opis charakterystyki silników został przedstawiony na Ilustracji 1.



Ilustracja 1 Względne jednostkowe zużycie paliwa-oleju, jako funkcja obciążenia względnego silnika.

Jak widzimy, zużycie, to nieliniowa funkcja obciążenia silnika, dla wartości minimalnych przy określonych obciążeniach. W zależności od marki, wynosi ono około 65-80%. Aby możliwe było zminimalizowanie zużycia paliwa, obciążenie silnika powinno wynosić około 2/3 wydajności maksymalnej ².

Niemniej jednak, typowy czas pracy przy niskich prędkościach, przynajmniej tych mniejszych jednostek pływających, wiąże się z wieloma niepożądanymi skutkami. Dobrym przykładem będą tu holowniki. Przez znaczną część okresu eksploatacyjnego ich główne silniki (bardzo duże) pracują na biegu jałowym, pozostając tym samym w nieustannej gotowości. To przecież ogromne marnotrawstwo energii!

Jak widzimy na Ilustracji 1, praca przy niskich prędkościach jest nieefektywna z punktu widzenia systemu napędowego, ponieważ silniki pracują poza swoją charakterystyką projektową.

2.1 Wydajność dynamiczna paliw

Czysty olej napędowy i olej napędowy do zastosowań morskich charakteryzują się dość wysokim współczynnikiem wydajności dynamicznej (100 kW/s w przypadku generatora o mocy 2 MW). Niemniej jednak porozumienie paryskie, rozszerzenie obszarów kontrolowanych pod względem emisji oraz zobowiązanie IMO dotyczące 50% ograniczenia emisji do roku 2050 wymagają wprowadzenia znacznych usprawnień w zakresie poprawy zużycia paliwa przez jednostki pływające oraz poziomów emisji ³. W związku z tym, wykorzystywanie nowych rodzajów paliw oraz skruberów do oczyszczania gazów spalinowych z pewnością będzie kierunkiem, w którym podąży cała branża.

Paliwa o niższym współczynniku oddziaływania na środowisko naturalne, takie jak gaz ziemny skroplony (LNG) oraz pozostałe biopaliwa nie emitują żadnych gazów SOx ani cząstek stałych. Wykorzystywanie LNG prowadzi do zmniejszenia emisji NOx nawet o 85%, natomiast emisji CO₂ o co najmniej 20% ⁴. Jednakże, paliwa te charakteryzuje wolniejsza odpowiedź na zmiany. Dlatego też nie najlepiej znoszą nagłe wahania obciążeń, co z kolei rodzi potrzebę rozwiązania problemu równomiernego obciążania silników. Dotyczy to na przykład rozruchu bezpośredniego sterów strumieniowych lub sprężarek pokładowych, które są w stanie generować ogromne zapotrzebowanie na moc w ciągu zaledwie kilku sekund.

Tradycyjnym sposobem radzenia sobie z tym problemem była, jak dotąd, duża liczba pracujących generatorów pozostających w nieustannej gotowości na wypadek wystąpienia obciążenia szczytowego. Ich zadaniem była po prostu nieustanna praca i gotowość do zapewnienia większej mocy. Na szczęście istnieją lepsze sposoby radzenia sobie z zapotrzebowaniem szczytowym, umożliwiające praktyczne wykorzystanie wspomnianych wcześniej paliw o niskim współczynniku emisji.

² https://www.researchgate.net/figure/The-relative-specific-fuel-oil-consumption-SFOC-as-a-function-of-the-relative-engine_fig2_252392578

³ <http://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/GHG/Pages/default.aspx>

⁴ <https://www.skangas.com/lng/lng-for-marine/>

3. Napęd hybrydowy

Silniki napędzane paliwem pracują najlepiej przy obciążeniu statycznym wynoszącym około 65-80% wydajności, w zależności od marki. Jednak wahania mocy w przypadku jednostek pływających zdarzają się niemal ciągle. Przyczyną jest m.in. wiatr i fale mające wpływ na napęd, włączanie i wyłączanie maszyn pokładowych oraz potrzeba uzyskania natychmiastowego ciągu w celu odwracania lub zatrzymywania wszystkich dynamicznych obciążeń systemu.

Z kolei urządzenia elektroniczne nieszczególnie przejmują się dynamiką. Działają natychmiast, reagując w milisekundach, zamiast w sekundach, a do tego są w stanie sprostać szybkim zmianom zapotrzebowania na moc.

Ponadto, zastosowanie akumulatorów oznacza również możliwość wykorzystania faktu, iż po zmniejszeniu obciążenia można ładować akumulatory celem imitowania obciążenia, umożliwiając tym samym stałą, statyczną pracę silników napędzanych paliwem. Rozbudowywanie systemów o akumulatory nazywane jest hybrydyzacją.

3.1 Hybrydowe jednostki pływające

Hybrydowe jednostki pływające wykorzystują dwa lub więcej źródeł energii.

Silniki główne oraz generatory są zazwyczaj połączone za pośrednictwem urządzeń magazynujących energię, takich jak np. akumulatory czy superkondensatory. Celem takiego rozwiązania jest hybrydyzacja produkcji energii, pozwalająca na optymalizację generatorów lub hybrydyzacja maszyn pobierających energię w celu zoptymalizowania ich pracy.

3.2 Zalety systemów hybrydowych

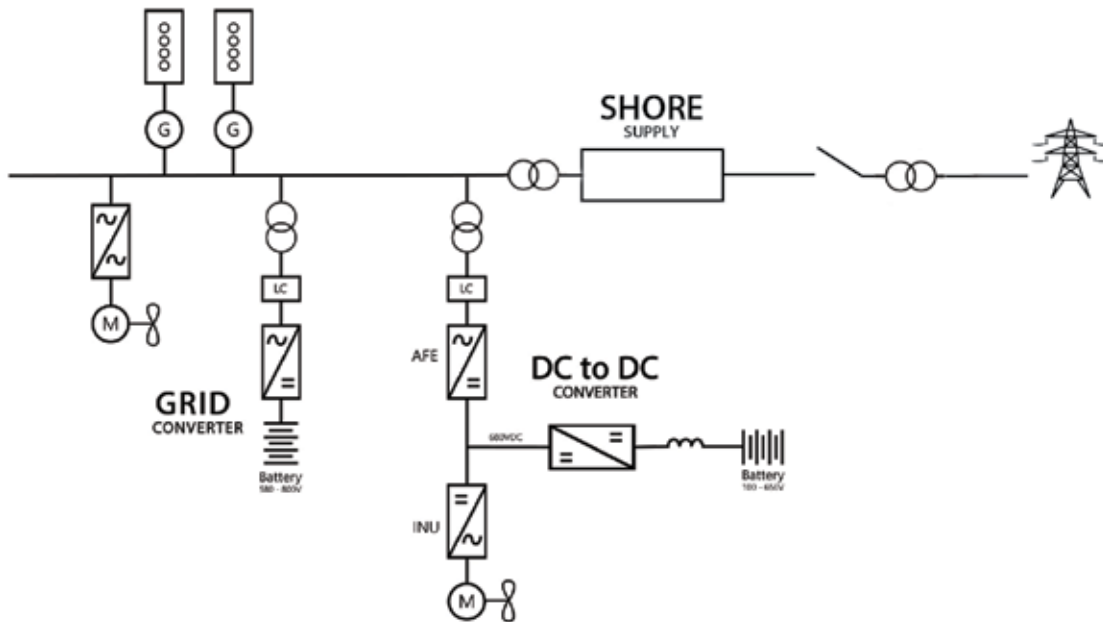
Dzięki rozwiązaniom hybrydowym istnieje możliwość wykorzystania akumulatorów i mniejszych generatorów z silnikami wysokoprężnymi do zapewnienia jednostkom pływającym energii, gdy pracują one w trybie jałowym, pokonują niewielkie odległości, a także podczas uruchamiania i zatrzymywania, pozwala to na wyłączenie silników głównych.

Umożliwienie silnikom napędzanym paliwem optymalnej pracy, a elektronice zadbania o szczytowe zapotrzebowanie na moc sprawiło, że problem zapotrzebowania na moc obrotową silnika po prostu zniknął. Stosując takie podejście, zyskujemy więcej mocy z mniejszej liczby generatorów, ponieważ mogą one pracować z zachowaniem optymalnego punktu mocy. Dzięki temu zyskujemy rozwiązanie, które jest lżejsze, oszczędniejsze i wymaga mniejszych nakładów podczas instalacji, eksploatacji i konserwacji. System zarządzania mocą jednostek pływających automatycznie i nieustannie dokonuje obliczeń dotyczących optymalnej liczby obrotów silników, określając najlepszą możliwą kombinację źródeł mocy dla całego systemu. Ze względu na mniejszą liczbę pracujących silników i generatorów, zminimalizowano również poziom hałasu oraz ograniczono zużycie paliwa. Dodatkowo, zmniejszyło się także zużycie silników/generatorów, co wydłużyło okresy konserwacji, potencjalnie nawet o 50%.

Do korzyści płynących z takiego rozwiązania bez wątpienia należą:

- zwiększona wydajność jednostek pływających
- zmniejszone emisje
- niższe koszty eksploatacji dzięki mniejszemu zużyciu paliwa
- niższe koszty konserwacji silników
- zmniejszony poziom hałasu i drgań na pokładzie przekłada się na mniejszy hałas pod powierzchnią wody.
- lepsza długofalowa wydajność systemu zasilania
- wyższa redundancja

Przykład sieci zasilającej AC jednostki pływającej uwzględniający przetwornice sieciowe, magazynowanie prądu stałego i zasilanie lądowe:

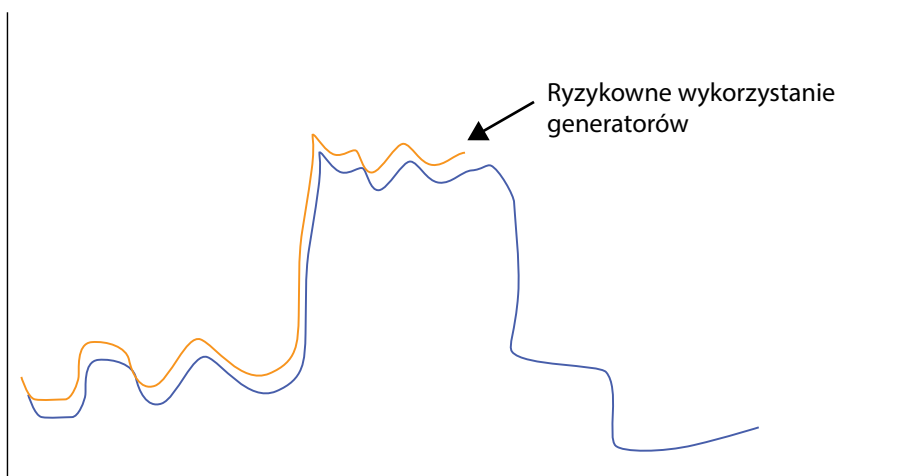


Ilustracja 2 Przykład sieci zasilającej AC jednostki pływającej uwzględniający magazynowanie prądu stałego i zasilanie lądowe.

3.3 Ograniczanie mocy szczytowej — zmniejszanie obciążenia dynamicznego generatorów!

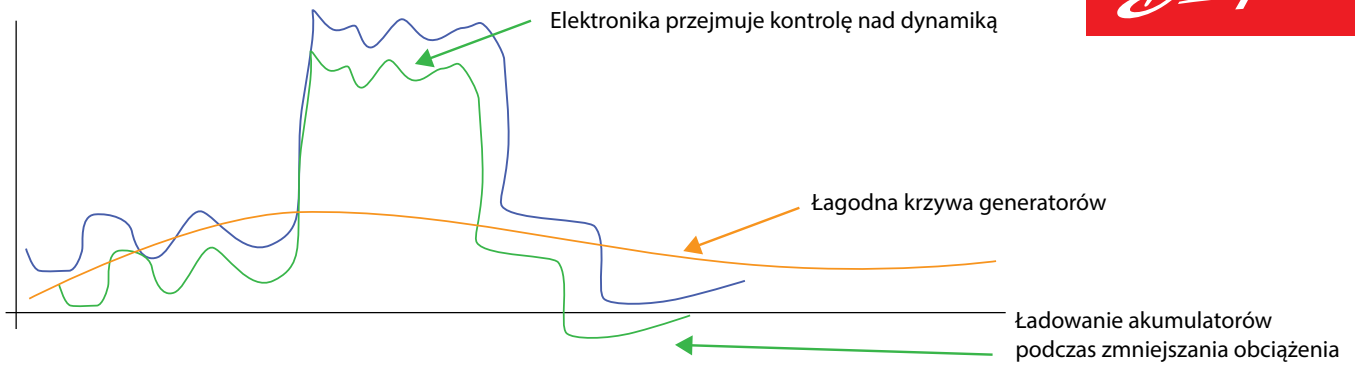
Jak możemy zauważyć na Ilustracji 2, pokładowy system magazynowania energii jednostek pływających dla sieci zasilającej AC jest dwukierunkowy. Dwukierunkowość oznacza, że w przypadku zmniejszenia obciążenia, nadwyżka mocy generowana przez silniki napędzane paliwem wykorzystywana jest do ładowania akumulatorów, w związku z czym, generatory nie odczuwają nagłych zmian zapotrzebowania na moc.

Dla przykładu, określając zbyt wysokie wymagania względem generatora z silnikiem wysokoprężnym, ryzykujesz, że mechanizm zabezpieczający generatora wyłączy go, aby uniknąć uszkodzenia. To z kolei spowoduje nadmierne obciążenie innych generatorów, powodując efekt tworzenia się kręgów na wodzie, co w najgorszym przypadku doprowadzi do usterki systemu zasilania, a więc całkowitej przerwy w dostawie.



Ilustracja 3 Nagłe zmiany w obciążeniu silników/generatorów nie są pożądane i mogą prowadzić do przerw w zasilaniu jednostki pływającej.

Jednakże, jeśli zamiast tego pozwolimy, aby tego typu raptowne zmiany były właściwie wykorzystywane przez system magazynowania energii, zarówno silniki, jak i generatory będą doświadczać jedynie łagodnych wzrostów i spadków zapotrzebowania na moc. Pokładowy system zarządzania zagwarantuje kontrolowane zawężanie obciążeń, w sposób dostosowany do charakterystyki zmian w obciążeniu danego silnika.



Ilustracja 4 Zarządzanie raptownymi zmianami za pośrednictwem elektronicznego systemu magazynowania.

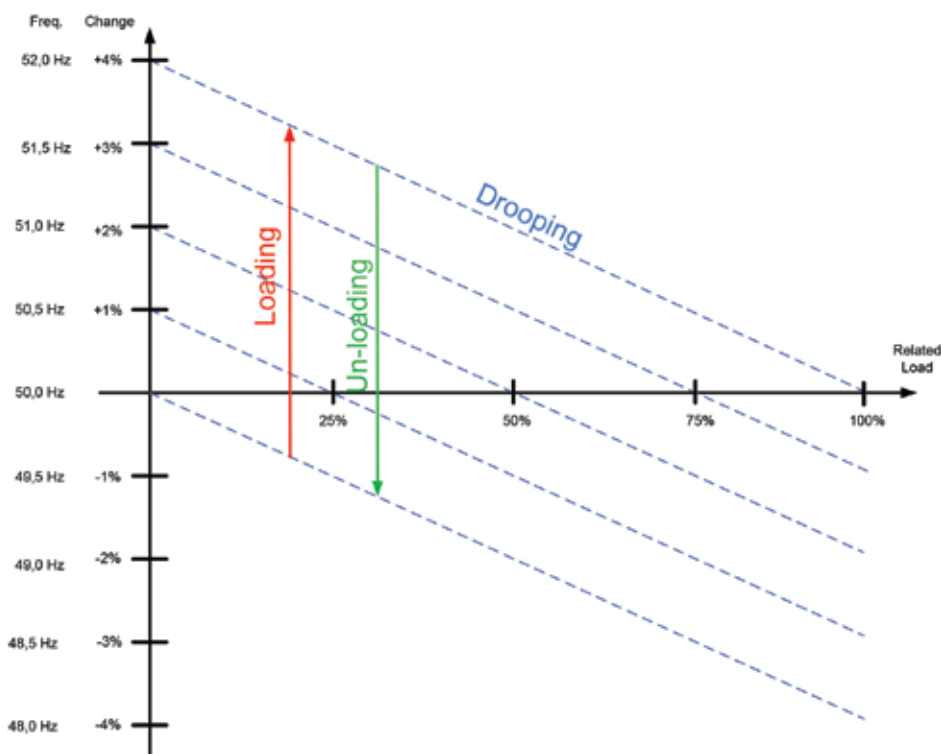
Aby możliwe było radzenie sobie z szybkimi zmianami obciążenia, potrzebujemy regulatora mocy/referencyjnego prądu podstawy systemu magazynowania (przetwornica częstotliwości), w celu pokrycia szerokiego zakresu zmian obciążenia.

3.4 Podział obciążenia

W celu zagwarantowania jak najlepszego wykorzystania urządzeń, niezbędny jest podział obciążenia pomiędzy generatory z silnikami wysokoprężnymi a rozwiązania z zakresu magazynowania energii.

Podział obciążenia możliwy jest albo za pośrednictwem funkcji „droop function”, zarówno częstotliwości jak i napięcia, albo z wykorzystaniem trybu izosynchronicznego 5.

Przy równomiernym podziale obciążenia czynnego w obrębie wszystkich źródeł zasilania, ustawienie to powinno być takie samo jak w przypadku pozostałych źródeł zasilania w systemie.

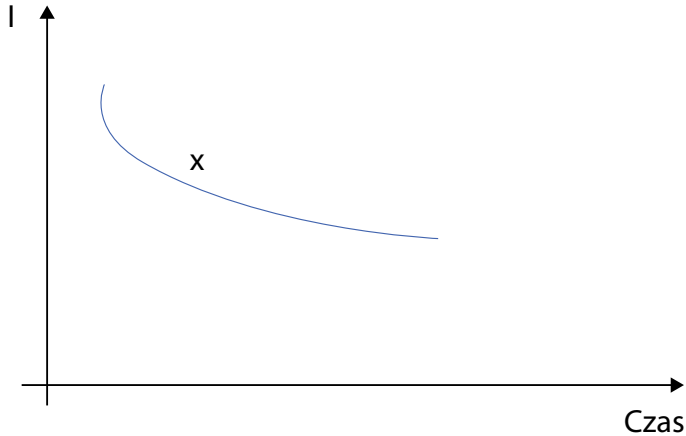


Ilustracja 5 Podział obciążenia.

⁵ Przetwornica sieciowa VACON® NXP — ograniczenie wartości szczytowych
https://www.youtube.com/watch?v=DJ1B4C8PLHI&index=8&list=PLEpz8AOKe-rWIVCNUx_GNREziQB_1Q58

3.5 Sprzęt zabezpieczający i kontrola jednostek pływających

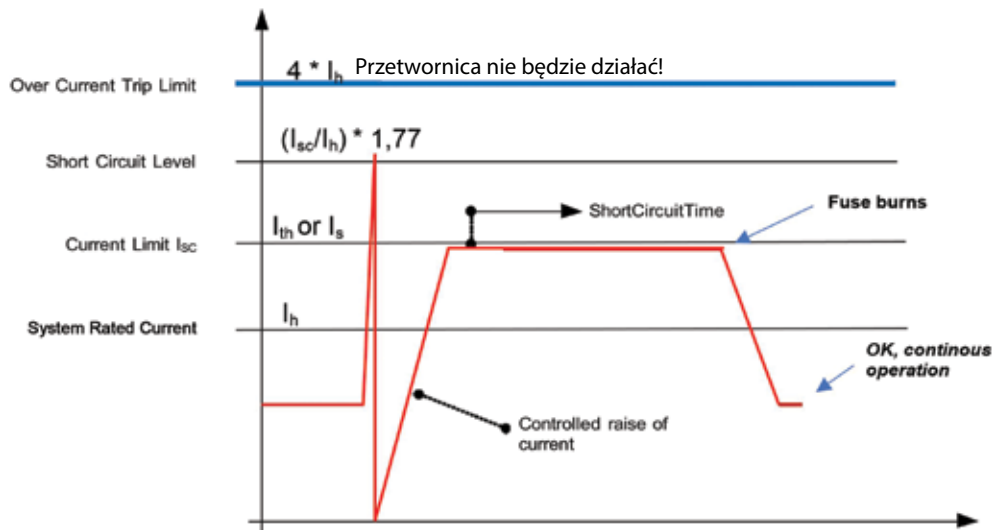
W każdym układzie elektrycznym może dojść do zwarcia. W takim przypadku będziesz chciał odizolować obszar, w którym doszło do awarii, nie uszkadzając przetwornic, co w przeciwnym razie doprowadziłoby do wyłączenia całego systemu.



Ilustracja 6 Prąd długotrwały.

Aby spalić lub uruchomić bezpiecznik (oznaczony symbolem x) konieczne jest utrzymanie wystarczająco wysokiej wartości prądu przez odpowiednio długi czas. W celu uwzględnienia tej cechy bezpiecznika, programujemy przetwornice w taki sposób, aby spełniały wymogi z zakresu wartości granicznych.

W przypadku wystąpienia usterki następuje gwałtowny wzrost prądu krótkotrwałego. Jeśli wartość prądu osiągnie poziom, przy którym dochodzi do wyłączenia awaryjnego urządzeń przetwornicy (wartość graniczna dla przetężenia), w celu uniknięcia uszkodzenia tych urządzeń, przetwornica zostanie wyłączona i dojdzie do przerwy w zasilaniu. Nie jest to sytuacja pożądana.



Ilustracja 7 Scenariusz zwarcia.

Dzięki wykorzystaniu napędu do zarządzania prądem, możliwe jest wykrycie rosnących wartości prądu i dokonanie wyłączenia dla uprzednio zdefiniowanego poziomu zwarcia. Poziom ten podlega regulacji i powinien zostać ustawiony z uwzględnieniem marginesu bezpieczeństwa w kontekście momentu wyłączenia awaryjnego HW.

Wartość prądu zostanie obniżona do 0. Następnie, sterownik prądu zwiększy jego wartość do poziomu ograniczenia prądu zwarcia (ten parametr również podlega regulacji zgodnie z charakterystyką bezpiecznika). Dodatkowo, również zgodnie z charakterystyką bezpiecznika ustawiany jest czas zwarcia. Dzięki temu uzyskujemy znaną wartość prądu dla określonego przedziału czasu.

Na tym etapie mamy już wszystko czego potrzebujemy, aby przepaleniu uległ jedynie bezpiecznik przypisany do obwodu, w którym doszło do awarii, chroniąc tym samym cały system przed przerwą w zasilaniu.

4. Wnioski

Wprowadzenie rozwiązań z zakresu magazynowania energii na jednostkach pływających może znacząco zmniejszyć zużycie paliwa oraz koszty eksploatacji. Jednocześnie może mieć to istotny, pozytywny wpływ na poziomy emisji, umożliwiając tym samym realizację celów ogólnościatowych.

Magazynowanie energii z wykorzystaniem akumulatorów pozwala na optymalne wykorzystanie silników lub generatorów zgodnie z ich specyfikacjami, eliminując potrzebę stosowania nadmiernej prędkości obrotowej i przewymiarowania.

Magazynowanie energii z wykorzystaniem akumulatorów gwarantuje, w przypadku awarii silnika głównego, dostępność alternatywnych źródeł zasilania. Zupełnie, jak w zwykłym gospodarstwie domowym. Gdy szef kuchni będzie chciał zagotować wodę w czajniku, włączy płytę kuchenną i piekarnik w momencie, w którym kapitan będzie akurat potrzebował dodatkowej mocy, wyzwolone zostaną jedynie bezpieczniki kuchenne.

Aby uzyskać więcej informacji, zapoznaj się z broszurą dotyczącą hybrydyzacji:

<http://danfoss.ipapercms.dk/Drives/DD/Global/SalesPromotion/Factsheets/MiscFactsheets/uk/hybridization/>

Aby poszerzyć swoją wiedzę z zakresu rozwiązań firmy Danfoss dla przemysłu morskiego, odwiedź:

<https://www.danfoss.com/en/markets/marine-and-offshore>

W celu uzyskania dalszych informacji, zachęcamy do skontaktowania się ze swoim lokalnym punktem sprzedaży firmy Danfoss:

<https://www.danfoss.com/en/contact-us/contacts-list/?filter=type%3Adanfoss-sales-service-center>