

Jerzy HERDZIK¹

WYMAGANIA STAWIANE OKRĘTOWYM SYSTEMOM ZARZĄDZANIA ENERGIĄ

Okrętowe systemy zarządzania energią (EMS) stają się standardem i zastępują powoli systemy zarządzania mocą (PMS). Związane jest to z upowszechnianiem się okrętowych układów napędowych z przekładnią elektryczną oraz silnie rozwijanymi tego typu systemami przemysłowymi. Zabezpieczają nie tylko przed wystąpieniem zaników napięcia w sieci, ale redukują koszty wytwarzania energii elektrycznej, filtrują alarmy, wspomagają proces kontroli i nadzoru operatora, posiadają narzędzia diagnostyczne, pozwalają na wizualizację i archiwizowanie parametrów pracy systemu. W artykule przedstawiono wymagania stawiane okrętowym systemom, ich specyfice, parametrom. Podjęto próbę określenia ich dalszego rozwoju, w tym zabezpieczeń przed błędami, nieautoryzowanym dostępem, odpornością na zakłócenia oraz wirusy komputerowe.

REQUIREMENTS OF MARINE ENERGY MANAGEMENT SYSTEMS

Marine energy management systems (EMS) are more and more popular and substituted power management systems (PMS). It is connected with a spread of marine electrical propulsion systems and strong developing of such industry systems. EMS protect against blackouts in ship electrical network, reduce costs of electric energy generation, filter alarms, assist control process and operator supervision, have diagnostic tools, allow to a visualization and archive process of the system work data. It was presented the requirements of marine management systems, their specifics and parameters. It was undertake a probe of definition of further EMS development, a fault protection, non authorized access, the resistance to operational incidents and computer viruses.

1. WSTĘP

Zapewnienie zasilania sieci okrętowej w energię elektryczną należało zawsze do istotnych zadań w fazie projektu elektrowni okrętowej, jak i jej eksploatacji. Próbą załagodzenia problemów w stanach awaryjnych jest wymóg instalowania na statku agregatu awaryjnego – niezależnego źródła energii elektrycznej, który umożliwiał zasilanie w energię elektryczną tylko najważniejszych urządzeń dla bezpieczeństwa statku.

¹ Katedra Siłowni Okrętowych, Akademia Morska w Gdyni, ul. Morska 81/87, 81-225 Gdynia
tel: + 48 58 69-01-430, Fax: + 48 58 69-01-399, e-mail: georgher@am.gdynia.pl

Pozwalało to w większości przypadków, w czasie około 15-30 minut, przywrócić pełny ruch siłowni okrętowej. Zakłóca to jednak normalną eksploatację statku, powoduje straty czasu i jest szczególnie niebezpieczne w czasie manewrów statku (np. wejścia-wyjścia z portu). Próbą ograniczenia wpływu na system energetyczny i błędów załogi maszynowej statku było wprowadzenie systemów zarządzania mocą (PMS – Power Management System). Pozwalały one zautomatyzować proces przygotowania, uruchomienia i synchronizacji z siecią poszczególnych zespołów prądowórczych w przypadku wzrostu zapotrzebowania na energię elektryczną i ich odstawienia w przypadku, gdy zapotrzebowanie znacząco spadło, a silniki zespołów prądowórczych pracowały poniżej obciążeń ekonomicznych. Do obsługi należało wprowadzenie kolejności zespołów prądowórczych będących w pogotowiu (w pozycji stand-by). Systemy PMS znacznie ograniczyły ryzyko zaniku napięcia w sieci okrętowej (black-out'u), ale tylko w przypadkach, gdy załoga postępowała zgodnie z procedurami i gdy sposób eksploatacji siłowni statku był właściwy. Zespół prądowórczy w pozycji gotowości musi być w pełni sprawny technicznie, a jego systemy muszą być w stanie umożliwiającym uruchomienie w momencie pojawienia się sygnału do rozruchu.

Systemy PMS winny spełniać następujące zadania [2]:

- monitorować obciążenie sieci okrętowej i jego zmiany w czasie;
- zapewniać minimum 10% zapas mocy elektrycznej, aby okresowo załączane odbiorniki dużej mocy nie wywołały przeciążenia sieci i groźby zaniku napięcia, poprzez efekt tzw. domina;
- w przypadku zbyt małej rezerwy mocy lub przeciążenia sieci, doprowadzić do uruchomienia silnika zespołu prądowórczego, wzbudzenia prądnicy i po jej synchronizacji z siecią – włączenia na szyny i jej odpowiedniego obciążenia (podziału mocy między pracujące prądnice).

Problemy prawidłowego obciążania PMS dotyczą sytuacji:

- utrzymania pracy równoległej w przypadku zasilania sieci okrętowej prądnicami o różnych mocach nominalnych, napędzanych różnymi silnikami np. silnikiem napędu głównego, turbiną parową lub gazową;
- dużych i dynamicznych zmian obciążenia powodowanych np. pracą sterów strumieniowych, urządzeniami hydraulicznymi dużej mocy, pędników w systemach dynamicznego pozycjonowania;
- utrzymania parametrów prądu w sieci podlegającej dużym i dynamicznym zmianom obciążenia;
- stanów awaryjnych.

Dla statków z głównym napędem elektrycznym systemy zarządzania mocą (PMS) stają się systemami zarządzania energią (EMS). Potraktowanie problemu szerzej, jako systemu zarządzania energią, staje się powoli standardem na nowo budowanych statkach. Pozwala na to dynamiczny rozwój systemów automatyki związany z rozwojem elektroniki i informatyki. Doszły nowe zaawansowane funkcje, które umożliwiają kontrolę wytwarzania energii poprzez ciągły nadzór nad jej wytwarzaniem i wykorzystaniem. Ponadto zapewniają one szeroko rozumiane bezpieczeństwo pracy wszystkich urządzeń energetycznych, optymalizację ich pracy pod kątem zmniejszenia sumarycznego zużycia paliwa, minimalnego zapasu mocy, doboru liczby urządzeń do pracy [3,4,6].

2. ELEMENTY SYSTEMU ZARZĄDZANIA ENERGIĄ

2.1 Elementy systemu zarządzania mocą

System zarządzania mocą składa się z następujących głównych elementów:

1. systemu generowania energii: silników głównych i prądnic (generatorów);
2. systemu dystrybucji energii w postaci głównej tablicy rozdzielczej średnich napięć (3-15 kV) podzielonej od jednej do czterech sekcji w zależności od typu statku;
3. transformatorów napięcia;
4. systemu dystrybucji energii niskich napięć w postaci tablic rozdzielczych i centrów kontroli i zabezpieczeń silników;
5. przekształtników częstotliwości do napędu silników głównych i innych odbiorów;
6. filtrów prądu redukujących częstotliwości harmoniczne;
7. konwerterów prądu zapewniających wymagane parametry (kondycjonowanie);
8. systemu zasilania bezprzerwowego (uninterruptible power supply - UPS) dla urządzeń wrażliwych na zanik napięcia oraz systemu automatyki;
9. silników elektrycznych na niskie i średnie napięcia dla różnych zastosowań.

Dodatkowo mogą wystąpić elementy uzupełniające, które są zaimplementowane z systemów przemysłowych [7,8]:

1. wielostanowiskowe systemy zarządzania mocą, zawierające możliwości przesyłu mocy między systemami;
2. autonomiczną symulację niesprawności systemu kontroli sieci energetycznej;
3. analizę zakłóceń sieci w czasie rzędu milisekundy;
4. analizę przyczyn zdarzeń i wizualizację miejsca zdarzenia;
5. dostęp do systemu zarządzania mocą, aparatury rozdzielczej i urządzeń kontrolnych poprzez wewnętrzną sieć informatyczną lub Internet.

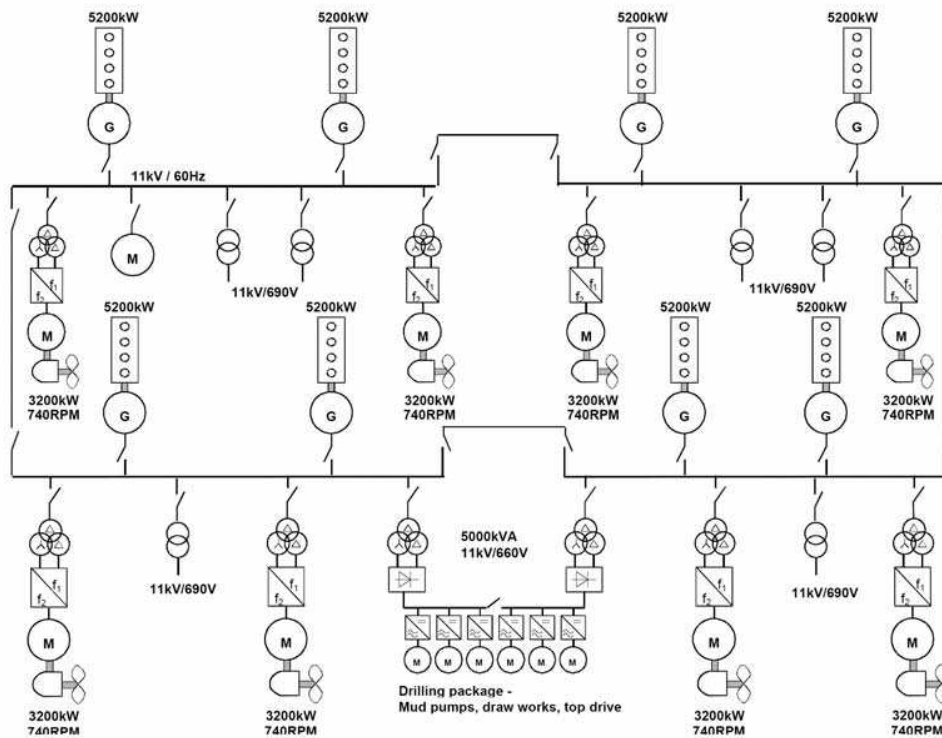
2.2 Dodatkowe elementy okrętowego systemu zarządzania energią

Integracja systemów zarządzania mocą w system zarządzania energią stwarza możliwości komunikacji między systemami, ogranicza to autonomiczność pojedynczego systemu, ale pozwala na pełniejszą kontrolę nad całym systemem. Odpowiednia konfiguracja systemu i jego wizualizacja pozwala na jego obserwację jako całości oraz łatwiejsze sprawowanie nad nim nadzoru. Operator ma możliwość przeglądu sytuacji. Powoduje to w rezultacie zmniejszenie czasu i kosztów obsługi urządzeń. Pozwala z wyprzedzeniem czasowym na przygotowanie urządzeń rezerwowych do pracy, szybszą reakcję na zdarzenia. W przypadku przewidzianych lub planowanych czynności, które ingerują w system zarządzania energią, pozwala to na zabezpieczenie systemu przed zakłóceniami w pracy, np. poprzez profilaktyczne czasowe wyłączenie odbiorów mniej ważnych. Ze względu na specyfikę systemu okrętowego, którego sposób eksploatacji zależy m.in. od miejsca położenia statku (port, akwen ograniczony, obszary specjalne, wody terytorialne), konieczna jest odpowiednia ingerencja w system zarządzania energią, aby spełnić wymagania administracji morskiej na danym akwenu. W wybranych sytuacjach eksploatacyjnych, ze względów bezpieczeństwa żeglugi, należy przejść na inny sposób zarządzania energią, który w danej sytuacji staje się priorytetem np. konieczność przejścia na paliwa odsiarczone. Powinna występować pełna współpraca między działem pokładowym a maszynowym. System winien spełniać warunki bezpieczeństwa przed

nieautoryzowanym dostępem oraz zagrożeniami przed wirusami komputerowymi, przenoszonymi z wielu źródeł, ale za największe zagrożenie uznaje się dyski przenośne. Konieczne jest też ograniczenie możliwości wprowadzania zmian w systemie na poziomie administratora - tylko przez autoryzowane osoby oraz możliwość przejścia na tryb awaryjny – umożliwiający stan systemu, który spełnia funkcjonalność statku na minimalnym wymaganym poziomie.

2.3 System energetyczny z redundancją

Okrętowy system energetyczny konfiguruje się z nadmiarowym zespołem prądowców. Jest to wymóg minimalny. Często spotyka się układy znacznie bardziej rozbudowane, aby zapewnić warunki poprawnej pracy zespołów prądowców w różnych stanach eksploatacji statku. Przykład systemu energetycznego dla statku wiertniczego będącego w eksploatacji pokazano na rys.1.

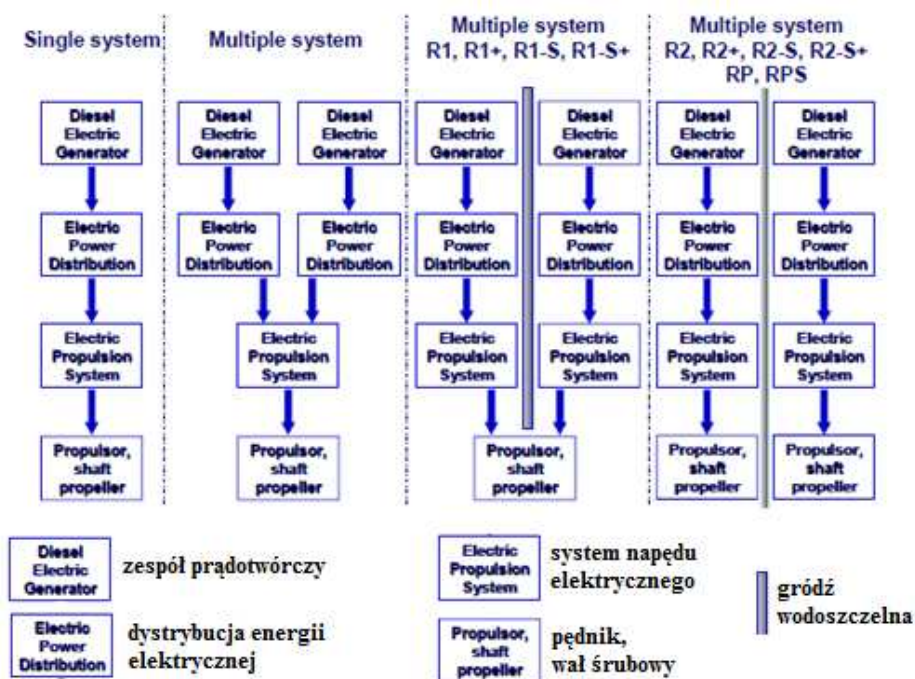


Rys.1. Przykład systemu energetycznego statku wiertniczego [1]

Ze względu na specyfikę statku, który posiada system dynamicznego pozycjonowania (tu: tzw. system DP3), zdecydowano się na układ z przekładnią elektryczną (diesel-electric), który składa się z ośmiu zespołów prądowców. System energetyczny składa

się z czterech niezależnych układów energetycznych, które można dowolnie łączyć w dwa lub jeden. Oprócz zasilania urządzeń ogólnokrętowych i przemysłowych, układ napędu głównego składa się z ośmiu pędników napędzanych silnikami elektrycznymi. Siłownia okrętowa podzielona jest na dwa niezależne pomieszczenia, w których znajduje się po połowie urządzeń energetycznych (układ podwójny). Możliwa jest praca każdego systemu energetycznego niezależnie, jak również przesył mocy (energii elektrycznej) pomiędzy systemami energetycznymi. Awaria jednego systemu energetycznego (całkowite wyłączenie) pozwala w dalszym ciągu na spełnienie wymaganych funkcji przez statek: m.in. bezpiecznego pozycjonowania statku lub bezpiecznej żeglugi oraz zasilania pozostałych urządzeń przemysłowych.

Dla statków specjalistycznych buduje się układy napędowe w układach zdublowanych (podwójnych) jako rozwiązanie standardowe. Pozwala to uniknąć większości stanów awaryjnych powodowanych niesprawnością jednego z urządzeń energetycznych. Dla statków wielofunkcyjnych spotyka się różne układy dublowania urządzeń. Poziomy dublowania układów energetycznych napędu głównego przedstawiono na rys.2. Od rozwiązania podstawowego składającego się z czterech podstawowych elementów: zespołu prądowórczego, systemu dystrybucji mocy, systemu napędu elektrycznego po pędnik z wałem śrubowym, po układ w pełni podwójny z możliwością przesyłu energii między systemami.



Rys. 2. Różne poziomy redundancji (nadmiarowości) system energetycznego dla jednej lub dwóch niezależnych siłowni okrętowych [1].

Kolejnym problemem jest rozsądne przyjęcie liczby głównych zespołów prądowórczych. Załóżmy, że wymagana moc siłowni wynosi 35 MW. W przypadku dwóch zespołów prądowórczych każdy z nich musi mieć moc po 35 MW (wymóg redundancji – w sumie 70 MW), przy trzech wystarczą po 17,5 MW każdy (w sumie 52,5 MW), przy czterech po 12 MW każdy (w sumie 48 MW) itd.

Wymogi uzyskania klasy statku powodują, że na wypadek pożaru lub zalania jednego z pomieszczeń, pomiędzy siłowniami musi znajdować się gródź wodoszczelna oraz przegroda ognioodporna klasy A60.

Przykład stanów eksploatacyjnych statku wielofunkcyjnego i wymaganej liczby pracujących zespołów prądowórczych przedstawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Stany eksploatacyjne statku wielofunkcyjnego [wymóg towarzystw klasyfikacyjnych]

Tryb	Minimalna liczba pracujących zespołów prądowórczych	Liczba pędników	Konfiguracja głównych tablic rozdzielczych
Port	1	0	Dowolna
Podróż	2	2	Dowolna
DP klasa 1	1	2	Dowolna
DP klasa 2	2	3	Pierścieniowa (okrężna)
DP klasa 3	3	4	Pierścieniowa (okrężna)

Im wyższa klasa statku z systemem dynamicznego pozycjonowania, tym wymagania minimalnej liczby pracujących zespołów prądowórczych, liczby pędników i typu konfiguracji głównych tablic rozdzielczych wzrastają.

3. WYMAGANIA STAWIANE OKRĘTOWYM SYSTEMOM ZARZĄDZANIA ENERGIĄ

3.1 Specyfika okrętowego układu energetycznego

Jednym z podstawowych wymogów okrętowego systemu energetycznego jest integracja różnych systemów automatyki i kontroli, ze względu na wielu producentów urządzeń i ich różnorodność.

Konieczna jest komunikacja między stacjami kontroli procesu. Powinny one mieć różne poziomy dostępu do systemu oraz różne uprawnienia administratora, z odpowiednim kodem dostępu w zależności od stanowiska na statku.

System otwartej automatyki (Open Control System – OCS) [4] winien spełniać następujące wymagania:

- kompatybilności – udostępnienie informacji w różnych systemach i ich wizualizacja winny być takie same;
- współdziałania - zdolność do współpracy systemów różnych producentów bez utraty ich funkcjonalności;
- zastępowalności – zdolność do zastąpienia przez urządzenie innego producenta bez utraty funkcjonalności i poziomu integracji (bez konieczności budowy dodatkowych interfejsów) – np. zgodność z systemem MS Windows, Ethernet.

Ważną sprawą jest konieczność komunikacji w czasie rzeczywistym między systemami i stacjami kontroli procesu. Sieć m.in. dzięki integracji, winna być niezawodna. W ważnych punktach kontroli i dostępu winna być dublowana lub występować w szczególnie newralgicznych miejscach w układach potrójnych lub poczwórnych. Nadmiarowość systemów dotyczy również ważnych urządzeń dla funkcjonowania statku. Osobnym problemem jest zapewnienie odpowiedniej jakości energii elektrycznej dla systemów szczególnie wrażliwych np. systemów GMDSS.

3.2 Podsystemy zintegrowanego okrętowego systemu automatyki

Do głównych komponentów zintegrowanego okrętowego układu automatyki na statkach wielofunkcyjnych z systemem dynamicznego pozycjonowania klasy DP3 należą [4,7]:

1. System dynamicznego pozycjonowania:
 - system dynamicznego pozycjonowania (trzy niezależne systemy);
 - system dynamicznego pozycjonowania (system zapasowy - backup);
 - referencyjny system hydroakustyczny (zdublowany);
 - referencyjny system pozycjonowania DGPS (poczwórny).
2. System manewrowania statkiem:
 - system automatyki napędu głównego i pędników.
3. System zarządzania statkiem:
 - system automatyki i alarmowy;
 - system zarządzania mocą;
 - system kontroli instalacji balastowej i instalacji wody zęzowej;
 - system kontroli ładunku;
 - system trybu automatyki oraz system oceny stanów krytycznych (Redundancy and Criticality Assessment System - RCA);
 - ewentualnie system wiertniczy, solankowy, szlamowy i ładunkowy.
4. System bezpieczeństwa statku:
 - system stanów zagrożenia (bezpieczeństwa);
 - system detekcji pożaru i przeciwpożarowy.

System oceny stanów krytycznych (RCA) jest narzędziem do oceny aktualnego stanu pracy urządzeń w wybranym trybie pracy lub stanie eksploatacyjnym, który informuje operatora o wszystkich zakłóceniach, błędach, niesprawnościach całego systemu (od najprostszych np. pozostawienie przełącznika sterowania zaworu w pozycji ręcznego sterowania miejscowego wyzwoli alarm, o ile w danym trybie pracy systemu winien on być ustawiony do automatycznego sterowania zdalnego). Dla wstępnej oceny używa się alarmów krytycznych o trzech barwach odpowiadających poziomowi zagrożenia (czerwony najczęściej odpowiada najwyższemu). Jest to system, który pozwala na komplikację systemu, a zarazem umożliwia pełną kontrolę nad systemem przez tą samą liczbę operatorów. Nadzór nad systemem wymaga wysoce wykwalifikowanego personelu, co pozostaje w małej sprzeczności z trendem występującym wśród armatorów do zatrudniania gorzej wykwalifikowanej i przez to tańszej załogi, bowiem zastosowany wyrafinowany system automatyki zrekompensuje brak wiedzy u operatorów.

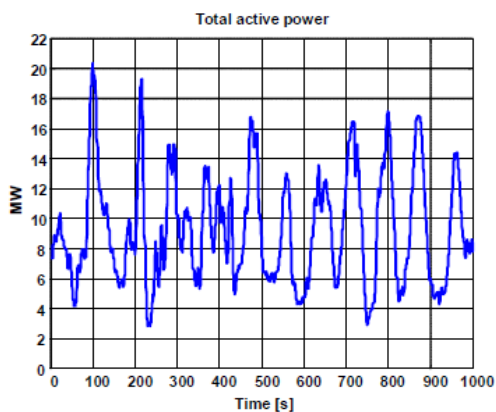
4. WYMAGANIA STAWIANE JAKOŚCI WYTWARZANEJ ENERGII

4.1 Możliwości konfiguracji połączeń systemów energetycznych

Na statkach wielofunkcyjnych korzysta się z możliwości zmiany konfiguracji systemów energetycznych w zależności od stanu eksploatacji statku. Pozwala to osiągnąć poziom wymaganego stopnia gotowości statku do spełniania założonych funkcji. Z powodu nadmiarowości urządzeń, zasilane mogą one być z jednego wspólnego systemu energetycznego lub z niezależnych systemów rozłączonych (rys.1). Czyni się tak, aby w szczególnie ciężkich warunkach pracy (groźby przeciążeń) nie dopuścić do sytuacji, w której dojdzie do efektu domina, wyłączenia poszczególnych zespołów prądowórczych i utraty zasilania urządzeń. Dwa lub więcej niezależnych systemów energetycznych pozwala uniknąć takiej sytuacji. W dobrych warunkach pracy, w sytuacji nadmiaru mocy w sieci, można połączyć systemy w jeden, co pozwoli zmniejszyć liczbę pracujących nadmiarowych zespołów prądowórczych. W rezultacie konfiguracja okrętowych systemów energetycznych musi umożliwiać takie połączenia, jak i rozłączenia (zmiany konfiguracji).

4.2 Wymagania stawiane jakości dostarczanej energii

Ze względu na duże i dynamiczne zmiany zapotrzebowania na sumaryczną moc na statkach wielofunkcyjnych (rys.3) konieczna jest praca tylu zespołów prądowórczych, aby nie zachodziła groźba ich przeciążeń, która mogłaby spowodować ich wyłączenie z pracy (shutdown). Prądnice zespołów prądowórczych mogą być krótkotrwale przeciążane (im krótszy czas tym większe przeciążenie jest dopuszczalne) [9]. Średnie obciążenie sumaryczną mocą na rys. 3 wynosi około 10 MW (minimalne 3 MW, maksymalne ponad 20 MW).

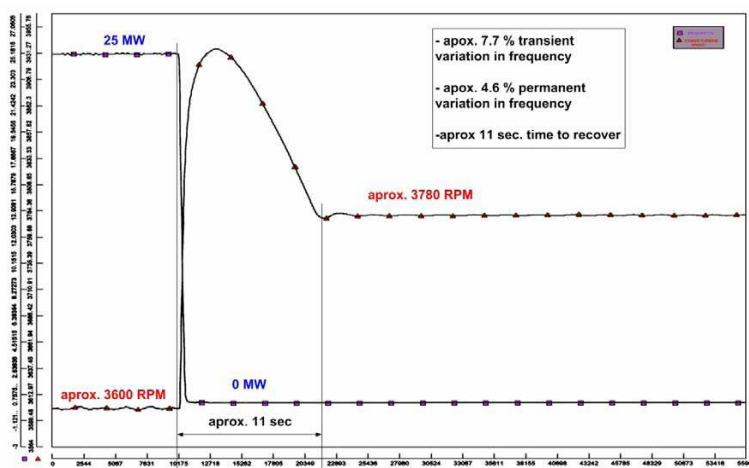


Rys.3. Przykład zmian zapotrzebowania na sumaryczną moc elektryczną statku wiertniczego West Venture [4]

Praca tylu zespołów prądowórczych, aby ich łączna moc nominalna wynosiła 21 MW i zapewniała pokrycie zapotrzebowania szczytowego byłaby nieekonomiczna. Praca przy

łączniej mocy na poziomie 18 MW wydaje się możliwa i dopuszczalna ze względu na jakość dostarczanej energii (napięcie, częstotliwość prądu, zawartość częstotliwości harmonicznych). Praca przy 15 MW byłaby możliwa, ale zapewne jakość wytwarzanej energii byłaby niedopuszczalna i występowałyby groźba wyłączeń.

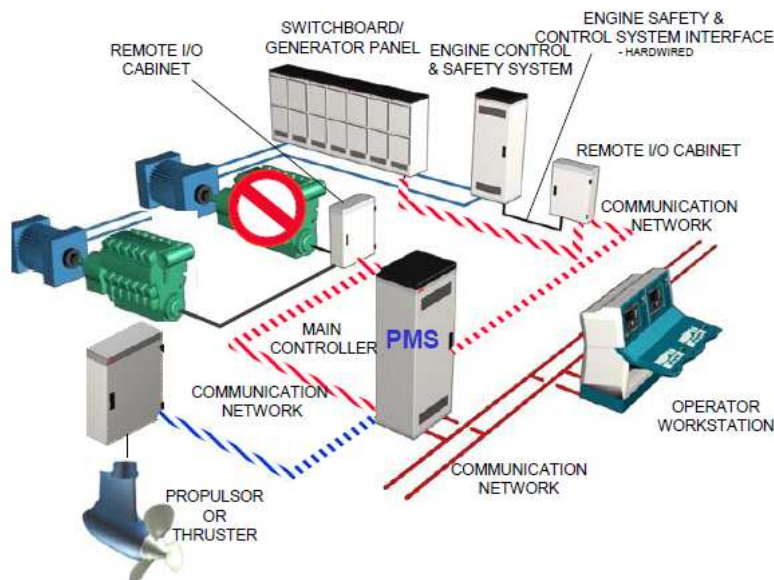
Podstawowymi wymaganiami jakości energii elektrycznej, przy dużych zmianach obciążenia na poziomie bieg jałowy - obciążenie nominalne, jest zmiana częstotliwości prądu maksymalnie o 5 %, zmiany napięcia maksymalnie o 6-10%, jako krótkotrwałe w czasie 1,5-5 sekund dopuszcza się zmianę częstotliwości $\pm 10\%$, zmiana napięcia $\pm 20\%$ [5,9], ale tylko do zasilania urządzeń, które są odporne na takie zmiany lub poprzez dodatkowe systemy do kondycjonowania jakości energii. Obecnie przy stosowanych stosunkowo niewielkich masach bezwładności zespołów prądowórczych, są one wrażliwe na takie zmiany obciążenia (rys.4). Z rys.4 wynika, że zmiana prędkości obrotowej turbiny gazowej zespołu prądowórczego wynosi około 10% i zmniejsza się do około 5% po czasie 11 sekund od zrzutu obciążenia.



Rys.4. Przykład odpowiedzi turbiny gazowej zespołu prądowórczego na spadek obciążenia ze 100% na 0 % [6].

W rezultacie konieczne jest stosowanie metod kondycjonowania jakości energii elektrycznej [5,9]. Jedną z możliwości jest stosowanie w systemach zarządzania mocą algorytmów przewidujących zdarzenia (rys.5) tj. sytuacji, w których nastąpią duże zmiany obciążenia. Dzięki temu następuje spowolnienie dynamiki zmian obciążenia, co korzystnie wpływa na zachowanie się zespołu prądowórczego i parametry (jakość) wytwarzanej energii.

Poprawa jakości energii dostępnej w sieci okrętowej jest konieczna dla poprawnej i niezawodnej pracy urządzeń energochłonnych. Systemy, w których specjalistyczne programy i moduły poprawiają jakość energii, będą również bardziej „przyjazne” zespołom prądowórczym tj. prądnicom i silnikom je napędzającym. Dynamiczne i duże zmiany obciążenia niekorzystnie wpływają na ich stan techniczny (np. na pracę łożysk).



Rys.5. Redukcja szybkich zmian obciążenia poprzez zastosowanie algorytmu opartego na zdarzeniach [8]

5. WNIOSKI KOŃCOWE

Postęp w informatyce pozostawia niezatarty ślad w okrętowych systemach energetycznych. Umożliwia budowę systemów bardziej skomplikowanych, dając możliwości ich nadzoru, kontroli, sterowania, wprowadzania nowszych rozwiązań (upgrade-u) i ingerencji na różnych poziomach dostępu do systemu. Należy podkreślić, że duży wpływ na modyfikacje systemów okrętowych, ma rozwój i zmiany zachodzące w lądowych przemysłowych systemach zarządzania energią.

Istotnym problemem będzie zapewnienie odpowiedniej jakości energii elektrycznej. Stosowanie filtrów pasywnych wydaje się niewystarczające [9]. Stosowanie filtrów aktywnych lub hybrydowych może sytuację znacząco poprawić. Postęp w tej dziedzinie warunkuje podniesienie niezawodności systemów zarządzania energią (EMS) jako całości.

Stacje operatorskie mogą znajdować się z dala od miejsc, w których panuje: zbyt wysoka temperatura, drgania, zbyt wysoki poziom pola elektromagnetycznego, zbyt duże przyspieszenia – co poprawia warunki pracy operatora (członka załogi), ale również podnosi niezawodność pracy układów elektronicznych.

Systemy zarządzania energią (EMS) zdobywają sobie rację bytu na coraz większej liczbie typów statków. Ich rozpowszechnienie, praktycznie na wszystkie statki, jest tylko kwestią czasu, tak jak dawniej było to z systemami automatyki niektórych procesów w siłowni okrętowej.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Ådnanes, A.K., *Maritime Electrical Installations Lecture Slides*, Marine Control Systems, Marine Cybernetics, Department of Marine Technology, NTNU, Trondheim, Norway, 2004.
- [2] Burben R., et al.: *Energy Management System. A Practical Guide*, O&M Practices Series, Portland, 1997.
- [3] *Power Management System*, Kongsberg Maritime AS, Horten 2007.
- [4] Radan R.: *Marine Power Plant Control System. Power/Energy Management of Marine Power Systems*, Technical Report, Trondheim 2005.
- [5] Pinero E.: *Energy Management System Standard ISO 50001*, 2008
- [6] Woodward Co., *Governing Fundamentals and Power Management*, 2004 (<http://www.woodward.com/power/default.cfm>).
- [7] Savoy, S., *ENSCO 7500 Power Management System Design, Functionality and Testing*, Dynamic Positioning Conference, 2002.
- [8] Lauvdal, T., et al.: (2000). *Marintronics: Optimizing marine power and automation systems through Industrial IT*. ABB Review, No. 1/2000.
- [9] Mindykowski J., *Ocena jakości energii elektrycznej w systemach okrętowych z układami przekształtnikowymi*, Okrętownictwo i Żegluga, Gdańsk 2001.