

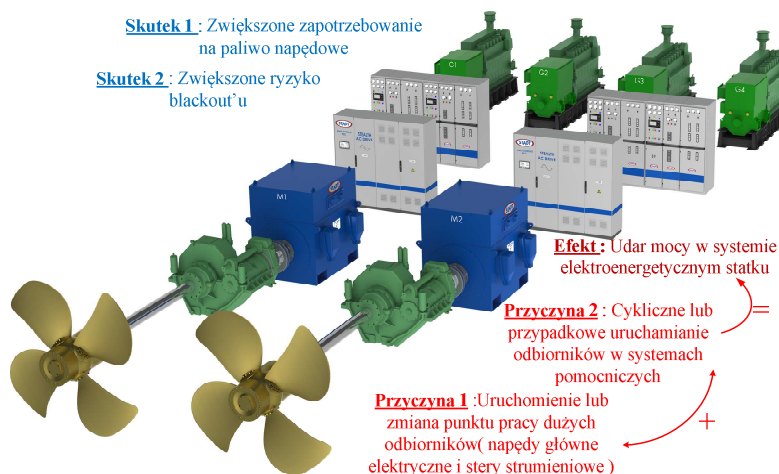
Udary mocy czynnej w okrętowych sieciach zasilających. Przegląd zagadnienia i metoda wyznaczania mocy kompensujących

Streszczenie. Referat porusza tematykę zagadnień związanych z chwilowymi udarowymi zmianami wartości mocy czynnej występujących w izolowanych sieciach zasilających takich jak sieci okrętowe. Przedstawia także wyniki pomiarów zarejestrowanych na statku oraz prezentuje sposób wyznaczania mocy kompensujących opierającą się o dekompozycję falkową.

Słowa kluczowe: udar mocy czynnej, jakość energii elektrycznej, kompensator udarów, PSS

Wprowadzenie i zdefiniowanie problemu udarów mocy w sieciach okrętowych

Problematyka jakości energii elektrycznej to obecnie jedna z najszybciej rozwijających się gałęzi naukowych w dyscyplinie elektrotechniki [1]. Dotychczas, jednak problematyka ta poruszała głównie analizę i sposoby eliminacji zaburzeń związanych z zapadami napięcia i częstotliwości, a także sposoby redukcji zawartości harmonicznych w przebiegach napięć i prądów[2]. Znacznie mniejszą uwagę przywiązywano za to do tematyki udarów mocy czynnej, w szczególności występujących w izolowanych okrętowych sieciach zasilania (rys.1), które w porównaniu z lądowymi sieciami dystrybucyjnymi charakteryzują się znacznie mniejszą odpornością na występowanie wszelkiego typu zaburzeń.



Rys. 1. Idea powstawania zaburzeń udarowych mocy w okrętowych systemach zasilania. „Integrated Electric Propulsion System” STADT AS®

Wynikało to z faktu, że dostępna technologia materiałowa nie pozwalała na budowanie wystarczająco dużych magazynów energii, które mogły znaleźć aplikację w układach kompensacji udarów mocy [2]. Jednak na przełomie ostatnich kilku lat w opracowane zostały różnego typu nowoczesne urządzenia magazynujące cechujące się dużymi pojemnościami energetycznymi i wysoką dynamiką. Eliminuje to dotychczasowe ograniczenie w budowie systemowych kompensatorów udarów mocy typu **PSS** (ang. **Power Smoothing System**).

Analizując pracę izolowanych okrętowych systemów zasilania, reprezentujących systemy o wysokiej centralizacji i o coraz większych wartościach mocy zwarciovych zauważono, że wszelkiego typu zaburzenia napięciowe lub częstotliwościowe występujące w systemie, są efektem poprzedzających je udarowych zmian wartości mocy czynnej (ударów mocy). Zauważyć zatem można, że podniesienie bezpieczeństwa energetycznego izolowanego systemu zasilającego można uzyskać poprzez częściowe lub całkowite wyeliminowanie udarów mocy czynnej. Problem ten nabiera szczególnego znaczenia w nowoczesnych konstrukcjach okrętowych bądź oceanotechnicznych gdzie coraz powszechniej stosuje się napędu główne dużych mocy oraz systemy dynamicznego pozycjonowania jednostki.

Zaburzenia w izolowanych sieciach okrętowych

Dotychczasowe podejście do problematyki jakości energii elektrycznej na statkach morskich, opierało się głównie na analizie zaburzeń takich jak [3]:

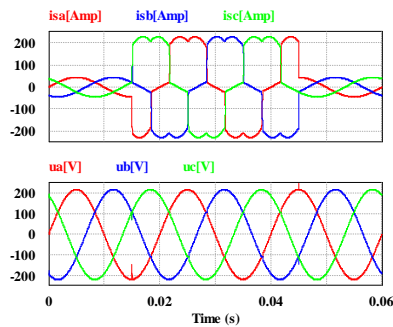
- długotrwałe odchylenia napięć od ich wartości nominalnych,
- zaburzenia krótkotrwałe związane z napięciem : zapady, wahania oraz impulsy napięciowe,
- krótkotrwałe wahania częstotliwości lub długookresowe odchylenia częstotliwości od wartości znamionowej,
- asymetria napięć i prądów,
- zniekształcenia przebiegów napięć i prądów wywołane pracą obciążeń o charakterystyce nieliniowej (np. przekształtnikowych głównych napędów okrętowych).

Dla powyższych odchyżeń od wartości nominalnych, opracowany został zestaw parametrów oraz kryteriów, opisujących parametryczne wskaźniki pozwalające na określenie jakości energii elektrycznej w analizowanym systemie okrętowym. Zbiór tych wskaźników i ich dopuszczalne wartości zawarty został w normie *PN – IEC 60092 – 101:2001P „Instalacje elektryczne na statkach. Definicje i wymagania ogólne”*. Jednakże norma ta w swojej treści nie porusza problematyki krótko trwałych udarowych zmian wartości mocy, ani także długotrwałych fluktuacji mocy wokół wartości średniej obciążającej system energetyczny [3]. Dlatego też, do opisu zjawiska udaru mocy w izolowanych sieciach okrętowych, przyjęć można definicję z normy *PN – EN - 61000 – 4 -5 „Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Część 4 – 5 : Metody badań i pomiarów - badania odporności na udary”*, która to definiuje udar jako stan przejściowy prądu, napięcia lub mocy występujący w obwodzie o szybkim wzroście wartości i znacznie wolniejszym opadaniu. W przypadku udarów występujących w systemach zasilania statków, definicję tę można poszerzyć o cechy charakterystyczne tj. krótki czas trwania, nieregularność kształtu, a także losowy charakter występowania oraz wielokrotnie wyższe wartości szczytowe w odniesieniu do wartości średniej mocy obciążającej system.

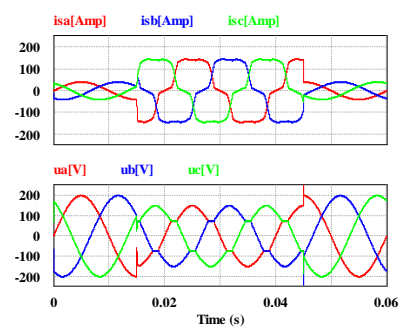
VIII Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2014

Problem udarów mocy ten nabiera szczególnego znaczenia w przypadku sieci izolowanych, które w wyniku swoich „miękkich charakterystyk” są o wiele bardziej podatniejsze na powstawanie i oddziaływanie zaburzeń, a tym samym są bardziej zagrożone na utratę ciągłości zasilania (*ang. blackout*) [3]. Podatność danego systemu na wystąpienie zaburzenia wartości mocy (udaru mocy) przedstawione zostały na rysunkach poniżej. Rys. 2 przedstawiają prądy oraz napięcia fazowe zarejestrowane w drodze symulacji dla modelu systemu energetycznego wykazującego własności lądowej sieci dystrybucyjnej. Rys.4 przedstawia natomiast zmianę mocy jaką obciążany był system. W analizowanym przypadku zmiana wartości mocy zachodziła w przedziale od 15 [ms] do 45 [ms] i wiązała się z blisko czterokrotnym zwiększeniem obciążenia. Analizując poniższe symulacje można zauważyć, że zwiększenie obciążenia w systemie o charakterystyce lądowej skutkuje jedynie zwiększeniem wartości chwilowych prądów, bez zmian w kształcie i amplitudzie wartości napięć fazowych.

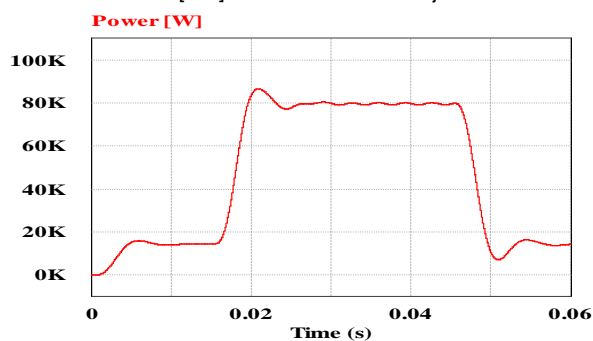
Zmiana wartości obciążenia ma znacznie poważniejsze skutki w przypadku sieci o charakterystyce miękkiej, co przedstawiono na rys. 3. W tym przypadku obciążenie systemu tą samą mocą jak w symulacji z rys. 4, skutkuje pojawieniem się w okresie występowania zwiększonego obciążenia zaburzeniem trwałym amplitudy napięcia fazowego.



Rys. 2. Zapis przebiegu napięć i prądów dla lądowej sieci zasilania $Z = 5.905 \text{ [m}\Omega\text{]}$



Rys. 3. Zapis przebiegów napięć i prądów dla izolowanej sieci zasilania $Z = 0.5 \text{ [}\Omega\text{]}$



Rys. 4. Moc obciążenia dla sieci lądowej.

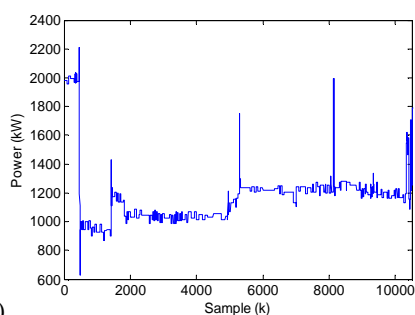
Stan taki wynika z relatywnie wysokiego współczynnika procentowego impedancji zwarcia, który opisuje się zależnością [2]:

$$(1) \quad Z_z[\%] = \frac{\sqrt{R_s^2 + X_s^2}}{\frac{U_{fN}}{I_N}} \cdot 100[\%],$$

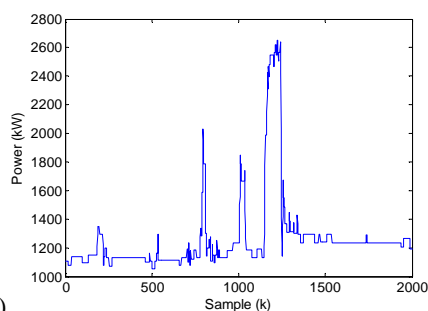
gdzie : R_s i X_s stanowią rezystancji i reaktancji sieci zasilającej, a U_{fN} i I_N znamionowe napięcie fazowe i prąd w danym systemie zasilania. Bazując na zależności (1), wywnioskować można że podatność sieci izolowanych na występowanie różnego typu zaburzeń wynika z uzależnienia impedancji zwarcia od reaktancji poprzecznej X_d^* przyłączonych do sieci zespołów prądowców. Warunek ten zachodzi przy jednoczesnej małej wartości rezystancji zastępczej, co wynika z faktu, iż system okrętowy jest systemem scentralizowanym. Przeciwna sytuacja zachodzi w systemach lądowych, w tym przypadku dystrybucyjne sieci rozproszone podnoszą zastępczą wartość rezystancji, natomiast duża liczba transformatorów dystrybucyjnych na stacjach wysokiego, średniego i niskiego napięcia powoduje znaczący wzrost wypadkowej reaktancji zastępczej systemu.

Wyniki badań na statku.

W celu potwierdzenia występowania zjawiska udarów mocy czynnej w sieciach okrętowych przeprowadzono badania, na szynach rozdzielnic głównej zasilające system energetyczny nowoczesnego kontenerowca o nośności 80 226 DWT (*ang. Deaweight Tonnage*) wyposażonego w elektrownie okrętową skonfigurowaną w oparciu o cztery zespoły prądowców o mocy 4100kW, wytwarzających napięcie o wartości 6.6 [kV] i częstotliwości 60 [Hz]. Pomiar dokonywany był w różnych horyzontach czasowych, dla różnych warunków eksploatacyjnych statku tj. podróży pomiędzy portami, uruchomienie siłowni okrętowej przed opuszczeniem portu, a także manewrowania z wykorzystywaniem sterów strumieniowych (silniki asynchroniczne klatkowe o mocy 1.5 [MW] i 2 [MW]). Przykładowe rejestracje obciążeń elektrowni przedstawione zostały na rys. 5.

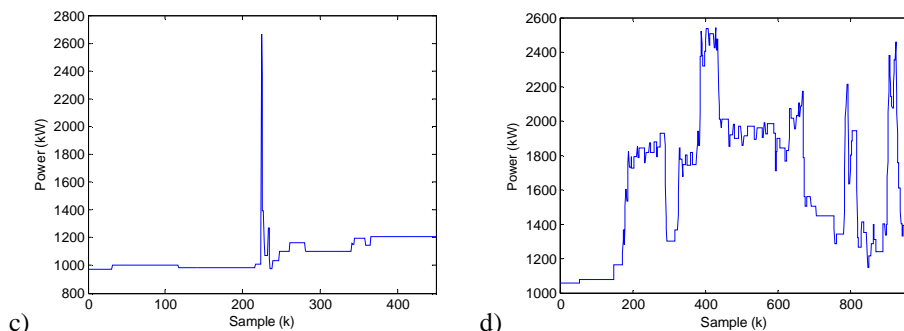


a)



b)

VIII Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2014



Rys. 5. Wyniki pomiarów mocy czynnej na statku w następujących warunkach : a) podczas podróży pomiędzy portami (horyzont czasowy 2,5 godz.), b) podczas uruchamiania siłowni okrętowej (horyzont czasowy 33 min), c) uruchomienia pompy lubrykacyjnej silnika głównego 288 kW, d) podczas manewrowania w porcie z użyciem steru strumieniowego 2[MW]

W każdym z analizowanych przypadków wystąpienie udaru mocy, wywoływało przejściowy zapad napięcia rozchodzący się po systemie energetycznym na wszystkich stopniach zasilania (6.6[kV] / 0.45[kV] / 230[V]). Przejściowym zapadom napięcia towarzyszyło także kołysaniem częstotliwości wynikające ze stosunkowo dużej inercji jaką potrzebuje zespół diesel – prądnica synchroniczna na wyregulowanie prędkości obrotowej, a tym samym częstotliwości. Inne negatywne skutki jakie towarzyszyły opisanym zaburzeniom to między innymi :

- występowanie migotań oświetlenia (ang. *flicker*),
- resetowanie komputerów systemu monitoringu siłowni okrętowej oraz wyposażenia nawigacyjnego,
- zawieszanie komputerowych podstacji kontrolnych siłowni okrętowych,
- w skrajnych przypadkach wyłączenie odbiorników z tzw. grupy odbiorników mniej ważnych.

Przeprowadzone badania potwierdziły zatem, że problematyka udarowych zmian wartości chwilowych mocy czynnej stanowi poważny problem i zagrożenie dla bezpieczeństwa energetycznego izolowanych systemów okrętowych.

Propozycja metody wyznaczania mocy kopemsujących dla algorytmu sterowania kompensatora PSS

Jednym ze sposobów na rozwiązanie problemu udarów mocy czynnej w sieciach zasilających, jest wyposażenie sieci dystrybucyjnej statku o dodatkowy element kondycjonujący. W przypadku kompensacji udarów mocy czynnej, kondycjoner taki musi być wyposażony w dynamiczny magazyn energii elektrycznej ESD (ang. *Energy Storage Device*).

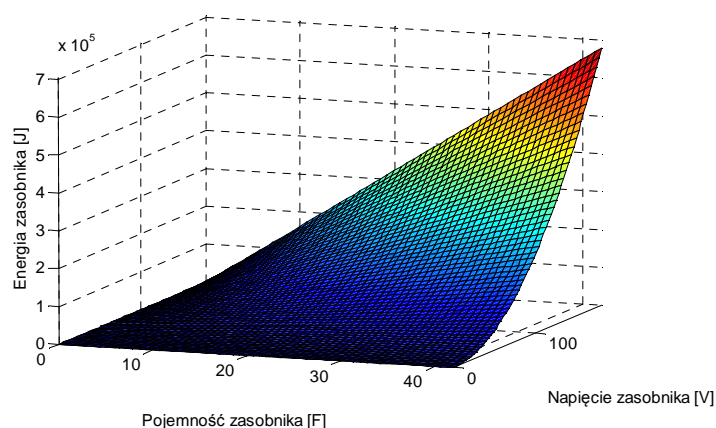
Rozpatrując własności dynamiczne zasobników (czasy ładowania i rozładowywania), które określają przydatność zasobnika energii elektrycznej do kompensacji szybkozmiennych wartości mocy, wśród obecnie produkowanych zasobników, szczególną uwagę zwrócić należy na trzy typy magazynów : zasobniki kinematyczne, zasobniki wykorzystujące cewki nadzewodzące SMES (ang. *Super*

Magnetic Energy Storage) oraz zasobniki pojemnościowe bazujące na superkondensatorach. Biorąc pod uwagę łatwość użytkowania oraz małe wymagania eksploatacyjne oraz serwisowe, najlepszym rozwiązaniem magazynującym energię dla kondycjonerów PSS dla systemów okrętowych wydają się być zasobniki superkondensatorowe (nie wymagają one specjalnie przygotowanego środowiska pracy, a także pozbawione są elementów mechanicznych podnoszących ryzyko eksploatacyjne).

Wymiarowanie zasobnika, powinno być poprzedzone wnikliwą analizą występujących zaburzeń mocy dla danego systemu. W celu zapewnienia pełnej kompensacji udarów mocy, należy przewymiarować zasobnik uwzględniając jego dopuszczalne zakresy pracy (2 i 3). W przypadku zasobników superkondensatorowych przyjmuje się, że ich dopuszczalny zakres zmian napięcia wynosi od 40% do 90 % napięcia znamionowego. Zależności pojemności energetycznej zasobnika superkondensatorowego od jego napięcia zasilania przedstawiono na rys. 6.

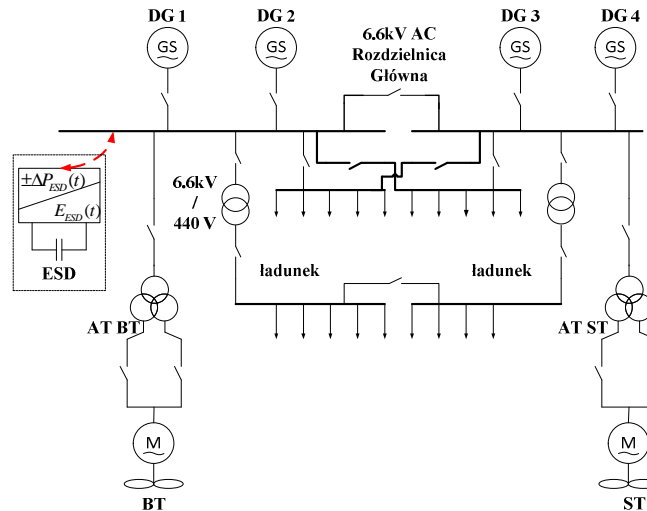
$$(2) \quad \Delta E = \frac{U_{\max}^2 C_{SC}}{2} - \frac{U_{\min}^2 C_{SC}}{2}$$

$$(3) \quad \Delta E = \frac{U_{ZN}^2}{2} C [(U_{\max})^2 - (U_{\min})^2]$$



Rys.6. Zestawienie zależności energii zasobnika superkondensatorowego do jego napięcia zasilania i pojemności. Na podstawie danych z [6] i [7].

VIII Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2014

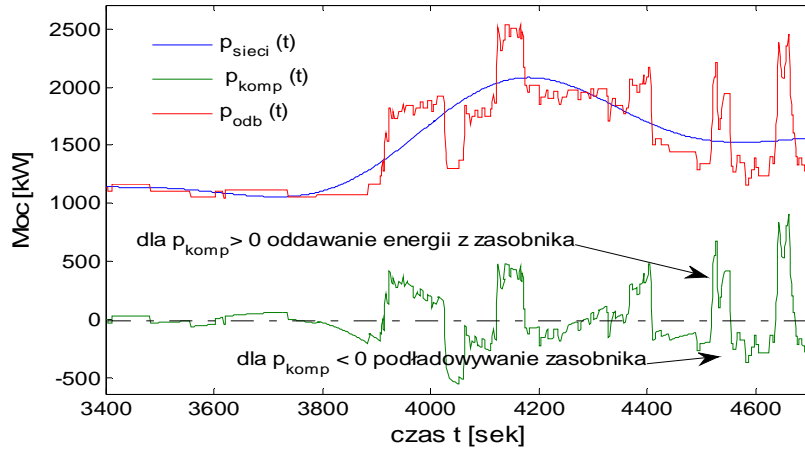


Rys. 7. Elektrownia okrętowa z przyłączonym kompensatorem PSS.

Zapewnienie współpracy zasobnika energii z systemem energetycznym wiąże się z wykorzystaniem sprzęgu energoelektronicznego, pozwalającego na dopasowanie energetyczne stałoprądowego obwodu DC zasobnika energii ze zmiennoprądowym obwodem systemu elektroenergetycznego (rys.7).

Do kształtowania kierunku przepływu mocy oraz wartości mocy kompensujących, niezbędne jest wprowadzenie do algorytmu sterowania, układu realizującego tzw. „wygładzenie” mocy (*ang.* Power Smoothing). Znane jest z literatury kilka sposobów realizacji tego zadania m.in. opierające się o teorie mocy chwilowej [8]. W przedstawionej propozycji metody sterowania kompensatora udarów mocy, algorytm sterowania wykorzystuje przekształcenia falkowe. Wykorzystanie transformat falkowych do wyznaczania „wygładzonych” krzywych mocy uzasadnione jest możliwością zmiany rozdzielczości dekompozycji falkowej, a tym samym dowolnym kształtowaniem krzywej $\bar{p}_{sieci}(t)$. W proponowanym rozwiązaniu do dekompozycji wykorzystano ortogonalną falkę Meyera (4), [9].

Wartość mocy kompensującej $\Delta p_{komp}(t)$ określana jest na podstawie rzeczywistego pomiaru mocy odbiorów obciążających system zasilania $p_{odb}(t)$ oraz „wygładzonej” krzywej mocy $p_{odb}(t)$, która w wyniku działania układu PSS stanowi docelową krzywą obciążającą system $\bar{p}_{sieci}(t)$ (rys.8).



Rys. 8. Fragment zapisu z rys. 6 d, poddany analizie falkowej w celu wyznaczenia mocy kompensującej.

$$(4) \quad \psi(\omega) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \sin\left(\frac{\pi}{2} v\left(\frac{3|\omega|}{2\pi} - 1\right)\right) e^{j\omega/2}, & 2\pi/3 < |\omega| < 4\pi/3 \\ \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cos\left(\frac{\pi}{2} v\left(\frac{3|\omega|}{2\pi} - 1\right)\right) e^{j\omega/2}, & 4\pi/3 < |\omega| < 8\pi/3 \\ 0, & \text{inne} \end{cases}$$

Stosując funkcję pomocniczą (5) i skalującą (6),

$$(5) \quad v(x) = \begin{cases} 0, & x < 0 \\ x, & 0 < x < 1 \\ 1, & x > 1 \end{cases}$$

$$(6) \quad \varphi(\omega) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2\pi}}, & |\omega| < 2\pi/3 \\ \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cos\left(\frac{\pi}{2} v\left(\frac{3|\omega|}{2\pi} - 1\right)\right) e^{j\omega/2}, & 2\pi/3 < |\omega| < 4\pi/3 \\ 0, & \text{inne} \end{cases}$$

możliwe jest stworzenie tzw. rodziny falek (7) przy zastosowaniu zmiennych współczynników skali a i przesunięcia b . Współczynniki te pozwalają na zmianę

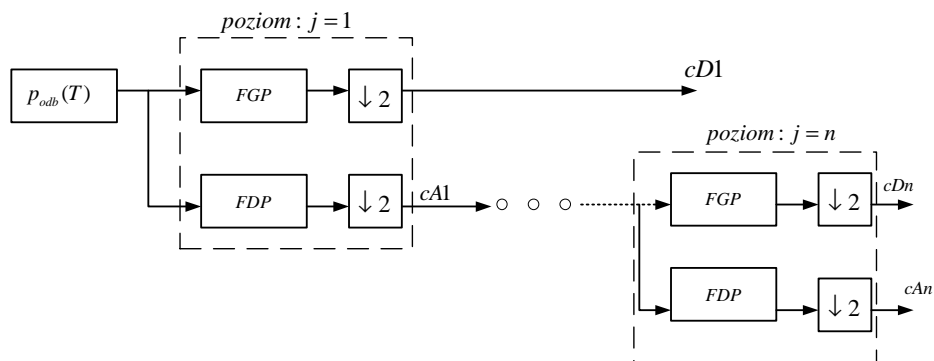
VIII Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2014

rozdzielczości dekopozycji falkowej, a tym samym dostosowanie jej do wymagań związanych z kształtowaniem krzywej $\bar{p}_{sieci}(t)$.

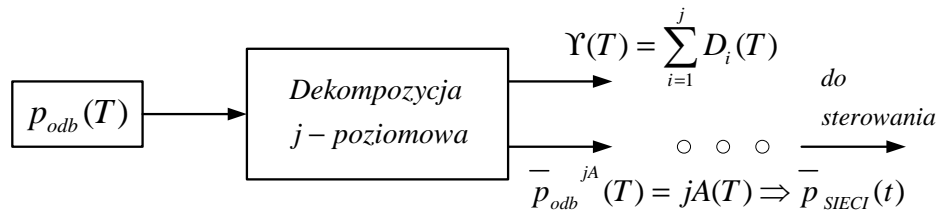
$$(7) \quad \varphi_{a,b}(\omega) = \frac{1}{\sqrt{a}} \varphi\left(\frac{\omega-b}{a}\right)$$

Bazując na powyższych zależnościach możliwe jest wyznaczenie ciągłej transformaty falkowej (8) CWT (ang. **C**ontinuous **W**avelet **T**ransform), którą przy wykorzystaniu założeń Daubechies [9], zaprezentować można jako zestaw filtrów cyfrowych typu FIR odpowiadających kolejnym rozwinięciom CWT (rys 9 i rys. 10). W wyniku takiego przekształcenia uzyskuje się j – poziomowy blok dekopozycji, w którym każdy z poziomów realizuje funkcję filtra dolno i górno przepustowego. Na wyjściu każdego z bloków uzyskuje się dwa sygnały jeden stanowiący wynik aproksymacji sygnału wejściowego (uzyskany w wyniku filtracji FDP), drugi zawierający składowe wysokoczęstotliwościowe sygnału wejściowego (uzyskany w wyniku filtracji FGP). Wyjście z filtra dolno przepustowego każdego z poziomów jest równocześnie wejściem na na oba filtry w kolejnym poziomie dekopozycji.

$$(8) \quad CWT(p_{odb}(\omega)) = f_{\varphi}(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} p_{odb}(\omega) \varphi\left(\frac{\omega-b}{a}\right) dt .$$



Rys. 9. Przykładowa j poziomowa realizacja dekopozycji falkowej przy użyciu filtrów FIR (tzw. drzewo Melleta)



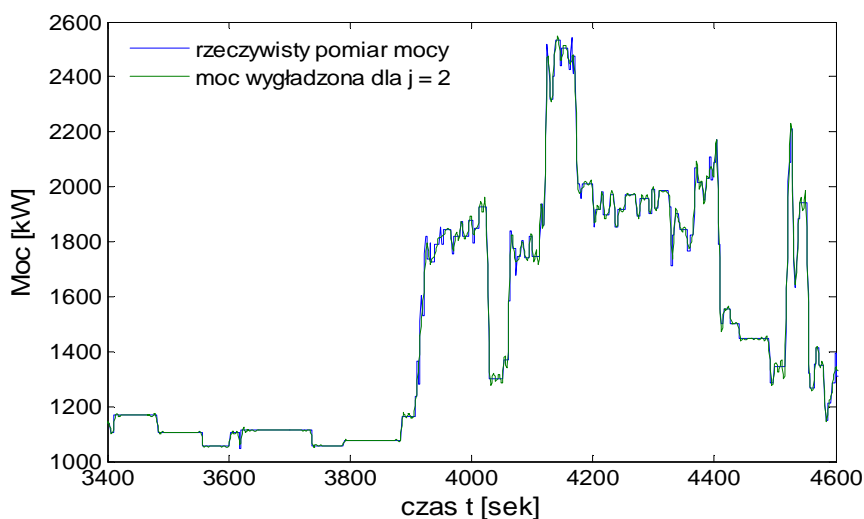
Rys. 10. Blok dekompozycji falkowej do wyznacznia „wygładzonej” krzywej mocy

Na ostatnim poziomie dekompozycji, bloku realizującego „wygładzenie mocy” uzyskuje się wówczas dwa sygnały :

- sygnał $\overline{p_{odb}^{jA}}(T)$ stanowiący reprezentację „wygładzonej” krzywej mocy na żądanym j -tym poziomie dekompozycji
- sygnał $\Upsilon(T)$ stanowiący reprezentację sumy składowych wysokoczęstotliwościowych z każdego poziomu dekompozycji, co fizycznie w reprezentuje fluktuacja mocy obciążeń wokół wartości „wygładzonej”.

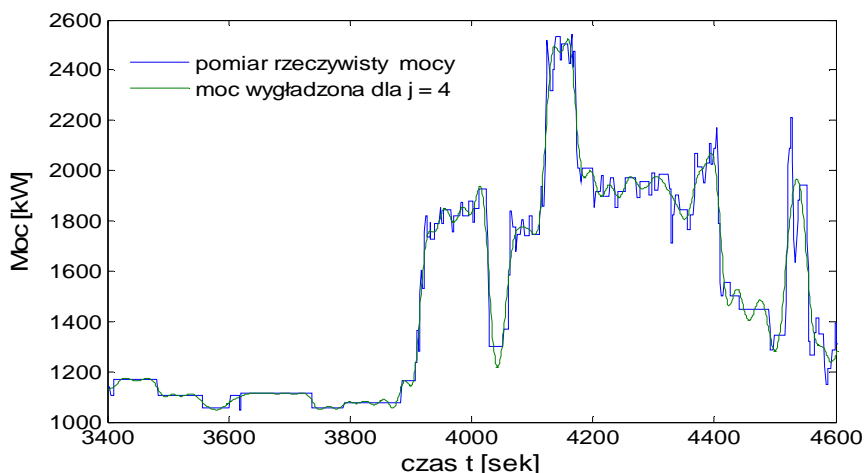
Pierwszy z tych sygnałów stanowi kształt krzywej mocy, który jest pożądanym kształtem krzywej mocy obciążającej system, drugi natomiast stanowi reprezentację zmian udarowych bądź fluktuacji mocy i stanowi zmienną kompensowaną.

Poniżej na rys. 11 do 14 zaprezentowane zostały wyniki symulacyjne przedstawiające wynik działania „wygładzającego moc” bloku dekompozycji falkowej. Do dekompozycji użyto cyfrowej reprezentacji CWT (rys.9), a za podstawowe przekształcenie użyto falkę Meyera. Symulacji poddany został fragment przebiegu rzeczywistego pomiaru mocy zarejestrowany na badanym statku. Analiza przeprowadzana była dla zmiennych wartości parametru j określającego liczbę poziomów dekompozycji.

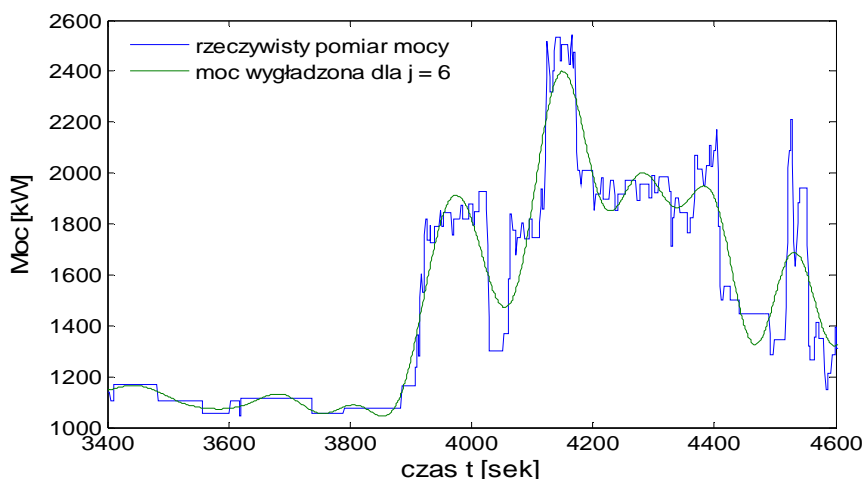


Rys. 11. Wyznaczenie mocy wygładzonej na $j = 2$ poziomach dekompozycji falkowej.

VIII Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2014



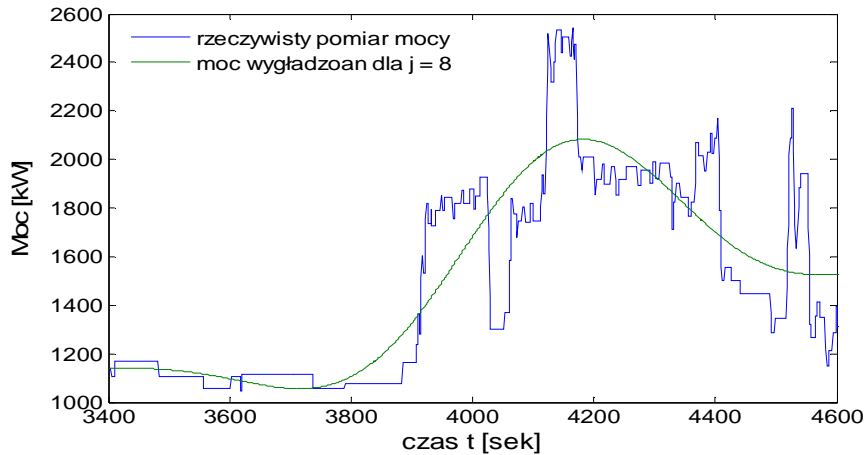
Rys. 12. Wyznaczenie mocy wygładzonej na $j = 4$ poziomach dekompozycji falkowej.



Rys. 13. Wyznaczenie mocy wygładzonej na $j = 6$ poziomach dekompozycji falkowej.

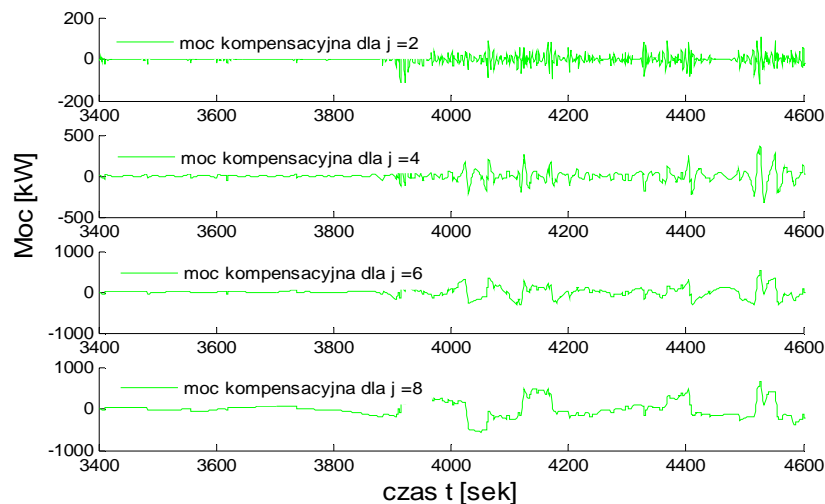
Analizując poszczególne symulację można zauważyć, że zwiększenie liczby poziomów dekompozycji falkowej powoduje zwiększenie „wygładzenia” krzywej mocy, przy jednoczesnym zmniejszeniu udziału wysokoczęstotliwościowego sygnału opisującego udar lub fluktuację mocy. Sygnał ten może być zatem wykorzystany w algorytmie sterowania kompensatora PSS do wyznaczenia wartości energii jaka ma zostać wydana z zasobnika w celu kompensacji wahań mocy, zgodnie z założeniem że:

$$(9) \quad p_{komp}(t) = p_{odb}(t) - \bar{p}_{odb}^{jA}(t) = -\Upsilon(t)$$



Rys. 14. Wyznaczenie mocy wygładzonej na $j = 8$ poziomach dekompozycji falkowej.

Na rys. 15 zostały przedstawione czasowe przebiegi zmiennych $\Upsilon(t)$ dla poszczególnych poziomów dekompozycji. Zgodnie z założeniem (9) w sytuacji wystąpienia udaru mocy, czyli gdy wartość $\Upsilon(t) > 0$ kompensator PSS przekazuje energię z zasobnika ESD poprzez przekształtnik sprzęgający do sieci. W odwrotnej sytuacji gdy w sieci występuje nadwyżka energetyczna (liczona względem wartości wygładzonej) przekształtnik ładuje ESD tak, aby w cyklu pracy uśredniona wartość energii wydanej i przyjętej do zasobnika wynosiła zero.



Rys. 15. Wyznaczone moce kompensujące dla $j=2$, $j=4$, $j=6$ i $j=8$ poziomów dekompozycji falkowej.

Zaletą wprowadzenie zmiennej rozdzielczości dekompozycji falkowych (uzyskiwanej poprzez zmianę parametru j w realizacji DWT) w algorytmie wyznaczania mocy kompensujących, jest możliwość dostosowywania wartości tej mocy do aktualnych

VIII Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2014

warunków energetycznych zasobnika. Znając ograniczenia eksploatacyjne superkondensatorowego ESD (3) oraz opierając się na zależnościach :

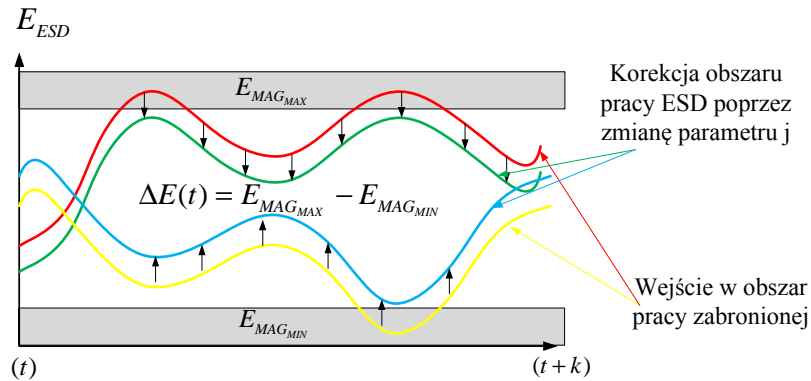
$$(10) \quad E_{komp}(t) = \int_0^t p_{komp}(t) dt ,$$

wprowadzić można w strukturę sterowania blok optymalizujący pracę zasobnika energii (tzw. funkcję celu f_C). Zadaniem takiego bloku jest zapobieganie nadmiernemu rozładowaniu zasobnika oraz przekroczeniu maksymalnego napięcia eksploatacyjnego. W sytuacjach gdy moc kompensująca wyznaczona z dekompozycji falkowej przekracza przyjęte ograniczenia zasobnika ,blok optymalizujący jako nadrzędny układ sterowania wpływa na wartość parametru j (liczby poziomów dekompozycji) tak aby zasobnik pracował w dopuszczalnym obszarze pracy (rys.16), zgodnie z zależnością:

$$(11) \quad f_C \Leftrightarrow E_{komp} = f(j) = \begin{cases} \downarrow j, E_{komp} \geq E_{MAG_{MAX}} \\ \uparrow \cup \downarrow, \min((\max(\Delta E)) - E_{komp}) \\ \downarrow j, E_{komp} \geq E_{MAG_{MIN}} \end{cases}$$

Podczas pracy w dopuszczalnym obszarze energetycznym zasobnika, funkcja celu realizuje zadanie optymalizacji pracy zasobnika, poprzez poszukiwania takiej rozdzielczości dekompozycji, aby zapewnić jak największą wartości energii oddawanej w celu kompensacji udaru mocy w danych warunkach.

Wprowadzenie takiej formy optymalizacji pracy zasobnika w połączeniu z predykcją obciążeń elektrowni umożliwi współpracę kompensatora PSS z systemem zarządzania mocą elektrowni okrętowej (system PMS), a tym samym pełną integrację PSS z systemem energetycznym.



Rys. 16. Graficzna interpretacja optymalizacji pracy zasobnika poprzez zmianę parametru j dekompozycji.

Wnioski

- Problematyka udarowych zmian wartości chwilowych mocy stanowi poważny problem w świetle bezpieczeństwa energetycznego statku.
- Przeprowadzone wyniki badań na statku potwierdzają, że wystąpienie wahań mocy może być przyczyną częściowej lub całkowitej utraty zasilania statku, a tym samym stworzenia niebezpieczeństwa w żegludze.
- Zaproponowany algorytm falkowego wyznaczania mocy kompensujących pozwala na łatwe określenie sposobu oddziaływania zasobnika ESD na sieć zasilającą.
- Wyniki symulacyjne potwierdzają słuszność przyjętej tezy dotyczącej wygładzania mocy z użyciem bloku dekompozycji falkowej.
- Zapewnienie możliwości zmiany rozdzielczości dekompozycji i wprowadzenie nadrzędnej funkcji celu, pozwala na zabezpieczenie zasobnika energii przed utratą znamionowych warunków pracy.
- Wyeliminowanie udarów mocy nie tylko przyczynia się do zwiększenia bezpieczeństwa energetycznego statku, ale także przez ograniczenie ilości paliw napędowych dla zespołów generacyjnych (wyeliminowanie zwiększonego zapotrzebowania na moment napędowy w stanie udaru mocy) pozwala na optymalizację kosztów paliw, a także zmniejsza oddziaływanie statku na środowisko naturalne (emisja gazów wydechowych)

Bibliografia

1. Crapse Philip. Power Quality Assessment and Management in an Electric Ship Power System. Electric Ship Technologies Symposium, 2007. ESTS '07.IEEE, str. 328-334, Arlington, 21-23 maja 2007.
2. Nowak Mieczysław, Roman Barlik. Kompensacja krótkotrwałych udarów mocy w urządzeniach energoelektronicznych. IV Krajowa Konferencja Naukowa Sterowanie w Energoelektronice i Napędzie Elektrycznym, Łódź – Arturówek, 17-19 listopada 1999r.
3. Baldwin Thomas. Distribution load flow methods for shipboard power systems. Industry Applications, IEEE Transactions (Volume: 40, Issue: 5), str. 1183-1190, wrzesień 2004.
4. Norma PN – IEC – 60092 – 101 : 2001P „Instalacje elektryczne na statkach. Definicje i wymagania ogólne”.
5. Norma PN-EN - 61000 – 4 -5 „Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Część 4 – 5 : Metody badań i pomiarów - Badanie odporności na udary”.
6. Katalog producenta superkondensatorów firmy LS Mtron (dostępny na stronie www.lsmtron.com).
7. Katalog producenta superkondensatorów firmy MAXWELL (dostępny na stronie www.maxwell.com/ultracapacitors/).
8. Akagi Hirofumi. Instantaneous Power Theory and Applications to Power Conditioning, Wiley. 2007.
9. Jan T. Białasiewicz. Falki i aproksymacje. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2001.

Autorzy: prof. dr hab. inż. Ryszard Strzelecki, Katedra Automatyki Okrętowej, Wydział Elektryczny Akademii Morskiej w Gdyni, ul. Morska 81-87, 81-225 Gdynia rstrzle@am.gdynia.pl,
mgr inż. Maciej Grabarek, Katedra Automatyki Okrętowej, Wydział Elektryczny Akademii Morskiej w Gdyni, ul. Morska 81-87, 81-225 Gdynia, m.grabarek@we.am.gdynia.pl