

ANALIZA AWARII W UKŁADZIE ELEKTROENERGETYCZNYM SYSTEMU DYNAMICZNEGO POZYCJONOWANIA STATKU

Rozwój systemów dynamicznego pozycjonowania statku spowodował coraz większe zapotrzebowanie na zoptymalizowanie układów sterowania. Zwiększyła się również liczba rozwiązań wykorzystywanych w układach elektroenergetycznych służących do zasilania pędników tunelowych i azymutalnych. Wraz z tym wzrostem pojawiły się problemy związane ze skutkami awarii w rozbudowanych układach zarządzania mocą. W celu określenia, jak zachowuje się każdy system dynamicznego pozycjonowania zaimplementowany dla indywidualnej jednostki, przeprowadza się testy FMEA (Failure Modes and Effects Analysis).

WSTĘP

Statki z klasą dynamicznego pozycjonowania wraz z coraz większą liczbą i różnorodnością zadań, jakie są im powierzane, przechodziły w ostatnich latach bardzo dużą modyfikację systemów elektroenergetycznych pod względem technicznym oraz funkcjonalnym. Doprowadziło to do konieczności zaprojektowania układu elektrowni statkowej, który będzie dopasowany do współpracy z systemem dynamicznego pozycjonowania przy uwzględnieniu indywidualności każdej z jednostek pływających. Inżynierowie implementujący elektroenergetyczne systemy na statkach typu offshore dokonywali optymalizacji liczby zainstalowanych urządzeń: agregatów prądotwórczych, wyłączników głównych zwarciovych, pędników azymutalnych oraz tunelowych. Zmieniono również konfigurację głównej tablicy rozdzielczej GTR. Zadania powierzone systemom implementowanym na statkach typu offshore są podobne do zadań ich odpowiedników instalowanych na konwencjonalnych jednostkach.

Do głównych zadań tych systemów należą:

- start/stop agregatów prądotwórczych w konfiguracji automatycznej i półautomatycznej;
- automatyczna kontrola wyłączników w zależności od danego momentu pracy elektrowni okrętowej;
- synchronizacja agregatów;
- kontrola obciążenia między agregatami.

Konfiguracja połączeń rozdzielnic głównej, zastosowanie dodatkowych wyłączników zwarciovych oraz elementów zasilających układy napędu (przekształtniki,

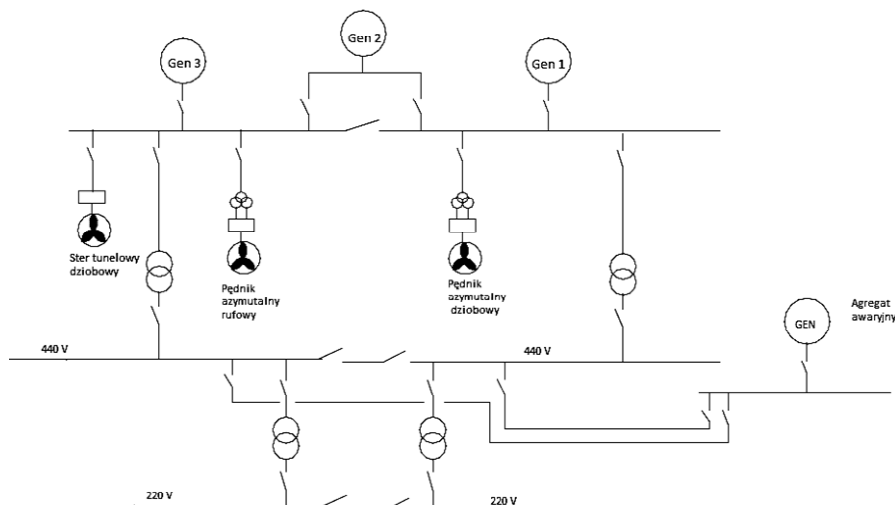
transformatory) spowodowała wzrost możliwości wystąpienia awarii w układach elektroenergetycznych. Według danych International Marine Contractors Association (IMCA) M218 udział awarii na statkach DP spowodowany awariami systemów elektrycznych wyniósł 21%, a układów zasilających 9% [1].

Przeprowadzenie testów FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis*) służy do określenia przyczyn oraz ich skutków dla prawidłowego funkcjonowania układów dynamicznego pozycjonowania [3].

1. KONFIGURACJA SYSTEMÓW ELEKTROENERGETYCZNYCH

Elektrownie okrętowe konfigurowane są indywidualnie w zależności do zadań stawianych jednostce oraz od klasy dynamicznego pozycjonowania, która będzie zaimplementowana.

Liczba użytych generatorów prądowców, pędników azymutalnych i tunelowych oraz zastosowane systemy sterowania prędkością obrotową powodują, że systemy elektroenergetyczne muszą być bardzo elastyczne na krótkotrwałe, dynamiczne zmiany obciążenia. Oprócz tego systemy dodatkowo rozbudowywane są o inne urządzenia, takie jak dźwigi czy urządzenia służące do normalnego funkcjonowania statku. Jedną z charakterystycznych różnic widocznych między układami elektrowni zainstalowanymi na jednostkach offshore a jednostkami konwencjonalnymi jest moc zainstalowanych generatorów oraz liczba i moc odbiorników. Schemat elektrowni okrętowej widoczny na rysunku 1 przedstawia konfigurację z trzema agregatami prądowcowymi.



Rys. 1. Schemat ideowy systemu elektroenergetycznego statku z klasą 2 dynamicznego pozycjonowania (DP2) z trzema generatorami prądowcowymi

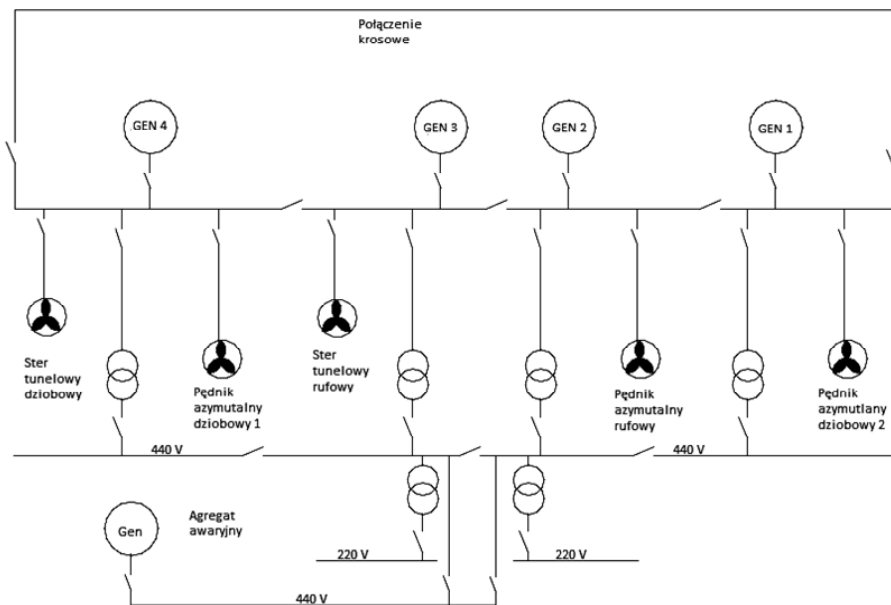
Fig. 1. Structure of the ship power system with class 2 dynamic positioning (DP2) with three generators sets

Odbiory główne stanowią dwa pędniki azymutalne, do których zasilania zostały użyte przemienniki częstotliwości. Charakterystycznym elementem tej konfiguracji jest zainstalowanie dwóch wyłączników głównych przy generatorze prądotwórczym numer 2. Podczas pracy w trybie dynamicznego pozycjonowania konfiguracja elektrowni wygląda następująco:

- generator 1 zasilający samodzielnie sekcję A głównej tablicy rozdzielczej;
- generatory 2 i 3 zasilające sekcję B głównej tablicy rozdzielczej.

Zasilanie sekcji B przez dwa generatory spowodowane jest zainstalowaniem tam dwóch ważnych odbiorów: dziobowego steru strumieniowego oraz rufowego steru azymutalnego. W momencie zaniku napięcia w sekcji A nastąpi automatyczne załączenie drugiego równoległego łącznika oraz jej zasilanie. Dodatkowym elementem pracującym podczas trybu dynamicznego pozycjonowania jednostki jest również silnik główny.

Na rysunku 2 przedstawiono system elektroenergetyczny składający się z czterech agregatów prądotwórczych. W układzie tym głównymi odbiornikami w sekcji pierwszej są: dziobowy ster strumieniowy, dziobowy pędnik azymutalny oraz rufowy ster tunelowy. Sekcja druga zasilą dziobowy oraz rufowy pędnik azymutalny. Specyficznym elementem tego układu jest zastosowanie dodatkowego połączenia między sekcjami. Ma na celu, podobnie jak w przypadku układu przedstawionego na rysunku 1 umożliwienie dodatkowego zasilania sekcji, gdy wystąpi zanik napięcia.



Rys. 2. Schemat ideowy systemu elektroenergetycznego statku DP2 z czterema generatorami prądotwórczymi i połączeniem krosowym

Fig. 2. Structure of the ship power system DP2 with four generators sets and cross connection

Przedstawione dwa schematy mają na celu zobrazowanie, jak ważne jest w układach elektroenergetycznych określenie liczby agregatów prądowórczych, pędników, wyłączników zwarciowych. Zależnie od tego, jakie prace będzie wykonywał statek oraz jaka klasa dynamicznego pozycjonowania zostanie dobrana, dokonuje się odpowiedniego podziału na sekcje głównej tablicy rozdzielczej wraz z umiejscowieniem głównych odbiorników.

2. ZAŁOŻENIA ANALIZY PRZYCZYN I SKUTKÓW PROGRAMU FMEA

Testy FMEA przeprowadzane są na statkach z zainstalowanym systemem dynamicznego pozycjonowania zaraz po oddaniu statku do serwisu armatora przez stocznice. Dodatkowo są one powtarzane w pewnych okresach w zależności od wymogów armatora lub czarterującego. Statki z drugą klasą dynamicznego pozycjonowania (DP2) najczęściej powtarzają je co 2,5 roku. Ponadto każdorazowa zmiana czarterującego również stawia wymóg dla przeprowadzenia analizy przyczyn i skutków awarii w systemach dynamicznego pozycjonowania. Dla klasy trzeciej (DP3) testy te powtarzane są najczęściej raz do roku, co związane jest z najwyższą klasą niezawodności tych jednostek. Przeprowadzenie testów FMEA pozwala również na określenie zasady współpracy ze sobą wszystkich systemów wchodzących w skład układów dynamicznego pozycjonowania: układów napędu, systemów elektroenergetycznych, układów sterowania, urządzeń nawigacyjnych, systemów monitoringu i sterowania siłownią okrętową.

Opis przeprowadzanych analiz oraz konkretne symulacje określone są przez IMO i struktury IMCA. Dodatkowo indywidualny nadzór sprawują również towarzystwa klasyfikujące daną jednostkę, która powinna otrzymać kopie takiego raportu.

Do podstawowych zadań testów FMEA należą [2]:

- wykrycie wszystkich uszkodzeń mogących doprowadzić do nieutrzymania określonej pozycji;
- wskazanie miejsc, gdzie należy zastosować dodatkową redundancję urządzeń i elementów;
- określenie wpływu pojedynczego uszkodzenia na cały system;
- przedstawienie rozwiązań służących zmniejszeniu wpływu pojedynczej oraz rozbudowanej awarii na system dynamicznego pozycjonowania;
- określenie zmian w budowie systemu oraz jego konfiguracji, które doprowadzą do większej odporności na uszkodzenia.

Testy FMEA dokładnie określają, w jakiej sytuacji nastąpi utrata pozycji przez jednostkę, a co za tym idzie – utrata klasy DP podczas awarii. Awaria pojedynczego układu często nie skutkuje od razu utratą klasy i możliwości utrzymania pozycji przez statek. Celem sporządzenia analizy przyczyn i skutków awarii w systemie DP jest ocena, dla których urządzeń należy zastosować dodatkową redundancję oraz gdzie występuje największa możliwość wystąpienia uszkodzenia.

Określenie indywidualnego zachowania się każdego z elementów systemu współpracującego w trybie dynamicznego pozycjonowania, a następnie wpływu na cały układ to jedno z głównych założeń przeprowadzenia testów. Analiza ma również za zadanie określenie skutków zachowania się systemu elektroenergetycznego w danej sytuacji.

3. ANALIZA SKUTKÓW AWARII W UKŁADZIE ELEKTROENERGETYCZNYM STATKU

Zgodnie z zestawieniem procentowej liczby awarii przez IMCA suma uszkodzeń występujących w systemach elektroenergetycznych oraz układach zasilających wyniosła około 30%. Inżynierowie projektujący systemy elektroenergetyczne oraz organy klasyfikujące jednostki postanowiły stworzyć dodatkowe wymagania dla głównych tablic rozdzielczych oraz występujących tam połączeń. Dodatkowo podczas przeprowadzania testów FMEA sprawdzane są nie tylko podstawowe funkcje PMS (*Power Management System*) układów zasilania pędników gondolowych i tunelowych, ale również systemy automatyki tych urządzeń [4].

3.1. Podstawowe awarie systemów elektroenergetycznych w układach dynamicznego pozycjonowania

Główną awarią występującą w systemie elektroenergetycznym statku, która ma największy wpływ na stabilność i niezawodność systemu dynamicznego pozycjonowania, jest zanik napięcia na szynach głównej tablicy rozdzielczej (*blackout*). Uszkodzenie to może powstać nie tylko w wyniku wadliwej instalacji elektrycznej. Dodatkowo wpływ na to mają tzw. awarie ukryte. Do tych awarii można zaliczyć mechaniczne problemy układów zasilania.

W zależności od konfiguracji układów elektroenergetycznych liczba przeprowadzanych testów może wynosić nawet 100 różnego rodzaju symulacji. Ważnym elementem podczas wykonywania tych testów jest to, że statek znajduje się cały czas w trybie dynamicznego pozycjonowania.

Przeprowadzenie testów dotyczy następujących elementów układów elektroenergetycznych na statku:

- generatorów prądowców;
- głównej tablicy rozdzielczej (wysokie napięcie);
- tablic rozdzielczych (niskie napięcie);
- awaryjnej tablicy rozdzielczej;
- układów napędowych wraz z układami ich zasilania;
- systemów monitoringu i sterowania siłownią okrętową.

3.2. Symulacje pojedynczych awarii oraz zachowanie systemu elektroenergetycznego

Podczas przeprowadzania testów DP można wybierać różne konfiguracje pracujących agregatów. Według zaleceń towarzystw klasyfikacyjnych podczas pracy jednostki w trybie dynamicznego pozycjonowania zalecane jest zasilenie głównej tablicy rozdzielczej wszystkimi dostępnymi generatorami. Jednak zazwyczaj następuje selekcja i nie wszystkie możliwe źródła energii są używane podczas pracy jednostki w trybie dynamicznego pozycjonowania.

Jedną z podstawowych awarii symulowanych jest doprowadzenie do częściowego zaniku napięcia na jednej sekcji tablicy rozdzielczej. Przykładowo, gdy blackout wystąpi na stronie, gdzie podłączone są dwa pędniki (azymutalny tylni oraz tunelowy dziobowy), nastąpi utrata zasilania tych pędników, a zarazem strata klasy DP i możliwa utrata pozycji. Dojdzie również do zaniku napięcia na tablicach rozdzielczych niskiego napięcia, tj. 440 V oraz 220 V. W celu zabezpieczenia przed tą awarią, jak pokazano na rysunku 1, następuje automatyczne zamknięcie łącznika między sekcjami GTR. W przypadku systemu elektroenergetycznego z czterema generatorami (rys. 2) również nastąpi zamknięcie łącznika między stronami tablicy rozdzielczej, jednak dodatkowo może zostać użyta linia, tzw. cross line. Gdy problemu nie można usunąć natychmiastowo, skrajna sekcja może zostać zasilona wyżej wymienionym sposobem. Dzięki temu można uzyskać przywrócenie do pracy jednego z pędników. Dodatkowo układ ten pozwoli na zasilenie tablicy 440 V oraz 220 V. Do zaniku napięcia na jednej z sekcji tablicy rozdzielczej przedstawionej w rysunku 2 może dojść również z innych przyczyn, np. pogodowych. W tym przypadku może nie dojść do utraty klasy dynamicznego pozycjonowania jednostki. Widać więc, że system posiadający cztery generatory daje możliwość uzyskania większej liczby konfiguracji systemu elektroenergetycznego, a tym samym zwiększa odporność na awarię.

Drugą standardową symulowaną awarią w systemach elektroenergetycznych jest zanik napięcia na tablicach rozdzielczych niskiego napięcia. Gdy zanik napięcia nastąpi w sekcji 440 V, automatycznie zostanie uruchomiony generator awaryjny, a napięcie zostanie przywrócone. W tym momencie nie powinna nastąpić utrata zasilania pędników. Redundancja urządzeń pozwala utrzymać stałe zasilanie pędników. Chwilowy zanik napięcia na tablicy 220 V zostaje zniwelowany poprzez zainstalowane urządzenia UPS.

Trzecia możliwa grupa awarii to zanik napięcia 220 V w systemie. Według norm zainstalowane UPS powinny podtrzymać napięcie niewrażliwych układów automatyki przez co najmniej 30 min. Oczywiście przez ten czas pędniki mogą zostać zasilone maksymalną odpowiadającą im mocą, a ich systemy sterowania będą pracować poprawnie.

Układy kontroli prędkości pędników to najczęściej przemienniki częstotliwości. Przykładowo na rysunku 1 takie sterowanie zostało zaimplementowane do pędników azymutalnych. Testy FMEA nie przewidują dokonywania pojedynczych awarii wewnątrz takich układów. Przeprowadza się za to serie kontrolowanych

awarii związanych ze sterowaniem przemienników. Jedną z głównych symulacji jest utrata sygnału z zadaną prędkością, w danej chwili. Skutkuje to brakiem powrotu silnika do pracy na biegu jałowym. W systemie dynamicznego pozycjonowania następuje utrata tego pędnika. Inną symulacją jest utrata sygnału zwrotnego z przemiennika częstotliwości o wymuszanej prędkości. Prawidłowe zachowanie systemu dynamicznego pozycjonowania polega na kalkulacji poprawnego sygnału zwrotnego na podstawie danych o ruchu statku w miejscu, gdzie układ uległ awarii.

Dodatkowo implementowane urządzenia UPS na statkach stanowią jeden z najważniejszych elementów ochronnych i pomocniczych w momencie zaniku napięcia. Podczas przeprowadzania testów FMEA próby obciążenia baterii mają na celu określenie, jakie rzeczywiste obciążenie może być podane na układ awaryjnego podtrzymania napięcia. Mierzony czas pozwala określić, na ile wydadne są badane baterie. Elementy, jakie będą zasilane z układów UPS, dobiera się na podstawie redundancji. Te same elementy w systemach dynamicznego pozycjonowania nie mogą być zasilane z jednego źródła.

PODSUMOWANIE

Istota określenia przyczyn i skutków awarii w układach elektroenergetycznych współpracujących z systemami dynamicznego pozycjonowania statku służy zwiększeniu bezpieczeństwa załóg oraz przeciwdziałaniu wpływu pojedynczej awarii na utratę możliwości wykonywania zadań.

Każda z jednostek typu offshore posiada indywidualnie konfigurowany system elektroenergetyczny. Liczba pędników oraz sposoby ich zasilania mają wpływ na określenie klasy niezawodności i liczbę awarii, które mogą doprowadzić do jej utraty. Jednym z ważniejszych zadań testów FMEA jest wskazanie niewralgicznych układów, bez których statek może nie być zdolny do wykonywania powierzonych zadań. Po przeprowadzonych testach określone zostają miejsca, gdzie należy dokonać zmian w konfiguracji zarówno sprzętowej, jak i systemowej. Większa liczba agregatów oraz dodatkowe sekcje w głównej tablicy rozdzielczej pozwalają zmniejszyć wpływ pojedynczej awarii źródeł zasilania na całość systemu elektroenergetycznego zainstalowanego na statku z trybem dynamicznego pozycjonowania statku.

LITERATURA

1. IMCA, *M218*, <http://www.imca-int.com/news/2012/11/30/imca-publishes-dp-station-keeping-incident.aspx>.
2. Rutkowski G., *Eksploatacja statków dynamicznie pozycjonowanych*, Trademar, Gdynia 2013.

3. Śmierchalski R., *Automatyzacja systemu elektroenergetycznego statku*, Gryf, Gdańsk 2004.
4. Śmierchalski R., *Automatyzacja systemów energetycznych statku – laboratorium*, Wydawnictwo Akademii Morskiej w Gdyni, Gdynia 2004.

ANALYSIS OF FAILURE IN THE POWER SYSTEM OF SHIP DYNAMIC POSITIONING SYSTEM

Summary

The development of dynamic positioning systems caused the increasing optimize steering and control system. During increased solution for supply propulsion system (tunnel and azimuth thruster) Engineers needs find new configurations of power supply plant . Together with the development new ideas appear many new problems and failures in power management systems. Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) tests are used to determine how it behaves dynamic positioning system when the fault occurring.