

Ryszard ARENDT, Zbigniew KOWALSKI

POLITECHNIKA GDAŃSKA, WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI I AUTOMATYKI, KATEDRA AUTOMATYKI

## Zastosowanie badań symulacyjnych w projektowaniu układów automatyki podsystemów energetycznych statków

Dr inż. Ryszard ARENDT

Ukończył studia w 1973 r. na Wydziale Elektroniki Politechniki Gdańskiej. W 1992 r. uzyskał stopień doktora na Wydziale Elektrycznym PG. Od roku 1992 jest adiunktem w Katedrze Automatyki Wydziału Elektrotechniki i Automatyki PG. Praca naukowa dotyczy zagadnień badań symulacyjnych systemów energetycznych statków. Aktualnie interesuje się zagadnieniami tworzenia systemów z bazą wiedzy do wspomagania projektowania automatyki systemów energetycznych statków z zastosowaniem procedur wspomagających podejmowanie decyzji, których źródłem wiedzy są również badania symulacyjne. Autor i współautor ok. 60 publikacji, 5 skryptów oraz 2 patentów.

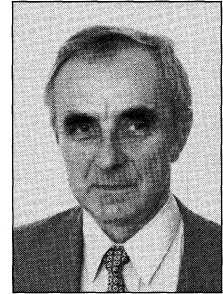
rarendt@ely.pg.gda.pl



Prof. dr hab. inż. Zbigniew KOWALSKI

Kierownik Katedry Automatyki, Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej. Ukończył Politechnikę Gdańską Wydział Elektryczny w 1963 r. Stopień doktora nauk technicznych uzyskał w 1971 r., a doktora habilitowanego w 1980 roku; tytuł profesora nadzwyczajnego w 1988 a stanowisko profesora zwyczajnego w 2002 r. Od 1997 r. Kierownik Studium Doktoranckiego przy Wydziale Elektrotechniki i Automatyki. Specjalność naukowa - automatyka okrętowa, badania symulacyjne podsystemów elektroenergetycznych i napędowych statków oraz systemy ekspertowe dla wspomagania projektowania układów automatyki statków. Członek Rady Programowej czasopisma naukowo-technicznego *Pomiary Automatyka Kontrola PAK*, Zastępca Przewodniczącego Rady Technicznej Polskiego Rejestru Statków w Gdańsku.

zkowal@ely.pg.gda.pl



### Streszczenie

Przedstawiono strukturę i funkcje systemu informatycznego wspomagania projektowania układów automatyki statku. Szczególną uwagę zwrócono na funkcję oceny rozwiązań projektowych na podstawie prowadzonych badań symulacyjnych. Omówiono reprezentację wiedzy o projektowanym podsystemie energetycznym statku, dobór struktur modeli elementów składowych podsystemów umożliwiającą zastosowanie reguł do budowy modeli symulacyjnych i reguły oceny poprawności formalnej i merytorycznej projektu. Zaprezentowano również algorytm automatycznego zestawiania modeli symulacyjnych projektowanych podsystemów oraz przykładową sesję badań symulacyjnych podsystemu steru strumieniowego statku.

### Abstract

A structure (fig. 1) and function of information system for aided design of ship power subsystem automation is presented. More detailed a function of evaluation of design solutions based on simulation investigations is described. A data describing a designed power subsystem is introduced in interactive mode to an expert system, then production rules evaluate formal correctness and a design art. In the case when there are no mistakes, the expert system creates automatically a simulation model of designed subsystem and calls program Matlab-Simulink. After a simulation session the program environment returns to the expert system. In the paper a knowledge representation of designed ship power subsystem (Table 1), and a choice of component model structures of subsystems (fig. 2, 3, 4, 5), which enable an application of production rules for simulation models creation and design correctness evaluation are shown. Also an algorithm of automatically created simulation models of designed subsystems (fig. 6) and an exemplary session of simulation investigations of ship tubular ruder (fig. 7, 8, 9) are presented.

**Słowa kluczowe:** Systemy energetyczne statku, badania symulacyjne, projektowanie statków, system ekspertowy

**Keywords:** Ship power systems, simulation investigations, ship design, expert system

### 1. Wstęp

Projektowanie układów automatyki statków obejmuje szereg ważnych systemów [5], wśród których można wyróżnić: system energetyczny, chłodni i klimatyzacji, instalacji pomocniczych, nawigacji, stabilizacji kołysań, wytwarzania pary i ładunkowy. Duża złożoność systemów, różnorodność stosowanych rozwiązań technicznych oraz ostre wymagania towarzystw klasyfikacyjnych komplikują proces projektowy i ocenę proponowanych rozwiązań.

Opracowany został złożony wielofunkcyjny system informatyczny wspomagania projektowania układów automatyki statków [2, 4, 6, 7]. W tym celu prowadzono szereg prac badawczych,

a w szczególności: rozpoznanie i opisanie procesu projektowania układów automatyki siłowni statków, opracowanie bazy danych i baz wiedzy dotyczących tego procesu. Określono specyfikę projektowania układów automatyki statków, zakres czynności projektantów w poszczególnych etapach procesu projektowania (projekt: ofertowy, kontraktowy i techniczny), z określonymi przez towarzystwa klasyfikacyjne, armatorów i stocznie zakresami opracowywanej dokumentacji. Opracowano bazę danych urządzeń, elementów i układów automatyki statków oraz wymagań towarzystw klasyfikacyjnych. Baza danych utworzona przy pomocy oprogramowania MS Access, obejmuje informacje o obiektach i układach automatyki na statkach zbudowanych i informacje katalogowe dotyczące elementów automatyki. W realizacji systemu z bazą wiedzy do wspomagania projektowania układów automatyki statków zastosowano skorupowy system ekspertowy Exsys Developer. Stworzono także podsystem badań symulacyjnych współpracujący z bazą wiedzy [3, 8].

Wykorzystanie modeli matematycznych elementów, układów i systemów statków może stanowić źródło głębokiej wiedzy w systemie ekspertowym. Zastosowanie badań symulacyjnych w fazie projektowej umożliwia: ocenę efektywności i poprawności przyjętych rozwiązań projektowych, dobór parametrów nastaw układów regulacji, ocenę statycznych i dynamicznych właściwości projektowanych systemów oraz opracowanie metod diagnostyki systemów.

Opracowana aplikacja w systemie ekspertowym Exsys Developer V.7.0, Multilogic Inc. wspomaga proces projektowania układów automatyki podsystemów energetycznych statków i spełnia dwie zasadnicze zadania:

- umożliwia zestawianie danych opisujących strukturę i elementy projektowanego podsystemu oraz ocenę poprawności formalnej i merytorycznej wykonanego projektu,
- zestawia M-plik programu Simulink oraz umożliwia prowadzenie sesji badań symulacyjnych, w celu oceny statycznych i dynamicznych własności zaprojektowanego podsystemu.

Implementacja badań symulacyjnych w systemie ekspertowym wymagała systematyzacji i rozwiązania szeregu zagadnień między innymi:

- doboru struktur modeli elementów składowych systemu zapewniających bliską topologię modelu symulacyjnego względem schematów projektowych, co ułatwia opracowanie reguł wiedzy zestawiania modeli symulacyjnych systemu [1];
- określenia kryteriów i opracowania metod doboru parametrów modelu zapewniających wiarygodność modelowania określonych typów obiektów rzeczywistych [2];

- opracowania bibliotek modeli matematycznych elementów składowych systemów [1, 3, 8];
- normalizacji kryteriów oceny systemów zawartych w przepisach towarzystw klasyfikacyjnych.

W artykule omówiono reprezentację wiedzy o projektowanych podsystemach energetycznych, reguły oceny poprawności merytorycznej wykonanego projektu oraz algorytmy zestawiania modeli symulacyjnych zaprojektowanych podsystemów.

## 2. Struktura systemu ekspertowego

W oparciu o szczegółową analizę zakresów czynności realizowanych na poszczególnych etapach projektowania układów systemu energetycznego statku, przyjęto, że system ekspertowy będzie realizował dwie główne funkcje [6, 7]:

- projektowanie wstępne, obejmujące zakres projektu ofertowego i projektu kontraktowego,
- projektowanie zasadnicze, obejmujące zakres projektu technicznego.

W każdym zadaniu wyróżnić można kilka podstawowych funkcji, takich jak:

- Zebranie informacji wejściowych o projektowanym statku i urządzeniach wytypowanych do zainstalowania w siłowni. Informacje te powinny być zgromadzone w bazie danych tworzonej w trybie wielodostępnym. System może sprawdzać ich kompletność.
- Przeszukiwanie bazy danych dotyczących projektów już wykonanych, celem znalezienia rozwiązań z zakresu automatyki identycznych lub podobnych.
- Wybór rozwiązania w oparciu o aktualną bazę układów i elementów automatyki, system wykazuje istnienie lub brak rozwiązań wśród projektów już wykonanych.
- Zwracanie się o rozstrzygnięcie do użytkownika (projektanta) w przypadku braku gotowych rozwiązań, lub możliwych rozwiązań wariantowych (niejednoznacznych).
- Prezentację na ekranie (schematycznie, opisowo lub wskaźnikowo) uzyskanych rozwiązań fragmentarycznych; na przykład rozwiązania dotyczące poszczególnych obiektów lub podsystemów siłowni, celem zaakceptowania przez użytkownika.
- Uwzględnianie wymagań odpowiedniego towarzystwa klasyfikacyjnego i konwencji międzynarodowych w trakcie wnioskowania (szukania rozwiązań).
- Generowanie wyników dokumentacji projektowej w postaci opisów technicznych automatyki; zestawień i innych dokumentów tekstowych, schematów i projektów (graficznych) oraz danych (baz danych) do wykorzystania przez inne systemy.
- Przygotowanie danych i prowadzenie badań symulacyjnych zaprojektowanych układów automatyki.

Realizacja wyżej wymienionych funkcji wymagała złożonej struktury systemu ekspertowego, którego elementy przedstawiono schematycznie na rys. 1.



Rys. 1. Ogólna struktura systemu z bazą wiedzy  
Fig. 1. The general structure of system with knowledge base

## 3. Reprezentacja wiedzy o projektowanym podsystemie energetycznym

Podejmowanie decyzji projektowych wspomagane przez system ekspertowy polega na wyborze (przyporządkowaniu) wartości dla wybranego zbioru zmiennych. Zbiór zmiennych wraz z możliwymi wariantami wartości opisuje niezbędną wiedzę o projektowanym systemie potrzebną do utworzenia modeli i prowadzenia badań symulacyjnych w środowisku programowym Matlab/Simulink.

Dla każdego z projektowanych podsystemów zostają określone informacje dotyczące:

a) elementów składowych:

- typów ogólnych elementów np. silnik, sprzęgło, prądnicą;
- typów szczegółowych elementów np. silnik spalinowy ZV 40/48 Zgoda-Sulzer;
- liczby elementów o określonym typie ogólnym.

b) struktury:

- wskazania elementu początkowego;
- powiązania elementu początkowego z elementem pośrednim;
- wskazanie kolejnych elementów pośrednich;
- kolejne powiązania elementów pośrednich;
- wskazanie elementów końcowych i ich powiązań.

Opracowana aktualnie aplikacja w systemie ekspertowym zawiera opcję wprowadzania danych w trybie konwersacyjnym przez projektanta podsystemu energetycznego statku. Program pyta kolejno o:

- liczbę poszczególnych typów ogólnych elementów składowych podsystemu;
- nazwy własne stosowanych elementów;
- kolejne elementy przetwarzające energię począwszy od elementu początkowego do napotkania elementu końcowego.

Zebrane dane zestawiane są w ramie. Przykład zestawionych danych opisujących podsystem napędowy złożony z dwóch silników średnioobrotowych, pracujących poprzez sprzęgła, przekładnię sumującą momenty wyjściowe, wał śrubowy na śrubę o skoku stałym przedstawia tablica 1.

Tablica 1. Rama zawierająca zestawione dane opisujące projektowany podsystem napędowy

Table 1. The frame containing collected data describing the designed ship power subsystem

ELEMENT	NAZWA	POWIĄZANIA
SILNIK1	PC2V	SPRZEGLO1
SILNIK2	PC2V	SPRZEGLO2
SILNIK3		
SILNIK4		
WALSRUB1	Wsr1	SRUBASTAL1
WALSRUB2		
WALSRUB3		
WALSRUB4		
SPRZEGLO1	SP11	PRZEKLADNIASUM1
SPRZEGLO2	SP11	PRZEKLADNIASUM1
SPRZEGLO3		
SPRZEGLO4		
SRUBANAST1		
SRUBANAST2		
SRUBANAST3		
SRUBANAST4		
SRUBASTAL1	SrSt1	
SRUBASTAL2		
SRUBASTAL3		
SRUBASTAL4		
PRZEKLADNIASUM1	Psum1	WALSRUB1
PRZEKLADNIASUM2		
PRZEKLADNIASUM3		
PRZEKLADNIAROZ1A		
PRZEKLADNIAROZ1B		
PRZEKLADNIAROZ2A		
PRZEKLADNIAROZ2B		
PRADNICAWAL1		
PRADNICAWAL2		

Zestawione dane w ramie są wyświetlane w trakcie sesji na ekranie w celu akceptacji poprawności zestawionych danych przez projektanta.

#### 4. Dobór struktur modeli elementów składowych podsystemu energetycznego statku

Zadaniem podsystemów energetycznych statku jest generowanie i przetworzenie energii mechanicznej - podsystemy napędowe oraz generowanie i przetworzenie energii elektrycznej - podsystemy elektroenergetyczne. System często należy analizować jako spójną całość, ponieważ łańcuch powiązań energetycznych może obejmować np.:

- wysokoprężny silnik spalinowy - źródło energii mechanicznej,
- generator synchroniczny - przetwornik energii mechanicznej na elektryczną,
- silnik asynchroniczny - przetwornik energii elektrycznej na mechaniczną,
- śruba okrętowa - odbiornik energii mechanicznej.

Analizę systemów energetycznych utrudnia duża różnorodność stosowanych urządzeń generujących, przenoszących i odbierających energię mechaniczną, przetworników energii mechanicznej na elektryczną, odbiorników energii elektrycznej oraz przetworników energii elektrycznej na mechaniczną. Stosowane rozwiązania techniczne obejmują różne konfiguracje stosowanych elementów, co wiąże się z liczbą i różnorodnością stosowanych elementów oraz topologią powiązań [1].

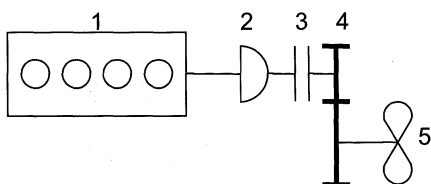
Projektowanie systemów energetycznych statku wymaga analizy jakościowej i ilościowej w stanach statycznych i dynamicznych systemu, gdzie bardzo przydatne mogą być badania symulacyjne. Celowa jest taka organizacja struktur modeli elementów składowych systemu, aby można je było łączyć bezpośrednio ze sobą zgodnie z przyjętą konfiguracją systemu energetycznego.

Automatyzacja zestawiania modeli symulacyjnych systemów energetycznych w oparciu o schematy i opisy projektowe wymaga zachowania zgodności topologicznej schematu projektowego z tworzoną strukturą modelu symulacyjnego, co nie zawsze jest możliwe do uzyskania, ponieważ istotne zmienne stanu mogą być w postaci uwikłanej.

Tworzenie modelu symulacyjnego systemu energetycznego musi uwzględniać zależności przyczynowo-skutkowe między kolejnymi elementami składowymi systemu. Między modelami elementów „wymieniane” są zmienne stanu, które warunkują poprawny opis przyczynowo-skutkowy. Dobór struktur modeli elementów składowych systemu polega w głównej mierze na określaniu zbioru przekazywanych do innych modeli zmiennych stanu.

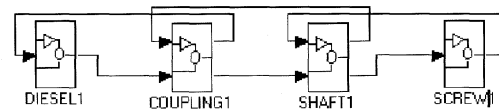
Przyjęcie w modelach podsystemu napędowego jako zmienne stanu momentów obrotowych i dróg kątowych jest bardzo wygodne. Przy badaniach symulacyjnych zespołów napędowych proste jest określenie przebiegów naprężeń skręcających wały poszczególnych elementów i sprawdzanie warunków przekraczania wartości dopuszczalnych. Prędkości obrotowe i przyspieszenia kątowe wynikają ze zmian drogi kątowej w czasie i łatwo je wyznaczyć stosując człony różniczkujące.

Na rys. 2 i 3 przedstawiono przykładową strukturę podsystemu napędowego statku i strukturę modelu symulacyjnego.



Rys. 2. Przykładowa struktura systemu napędowego statku; przyjęto następujące oznaczenia: 1-średnioobrotowy wysokoprężny silnik spalinowy, 2-sprzęgło podatne, 3-sprzęgło cierne, 4-przekładnia, 5-śruba o skoku stałym

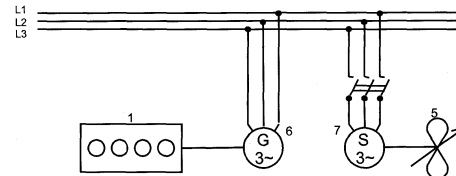
Fig. 2. An exemplary structure of a propeller unit; the following symbols are accepted: 1-middle speed Diesel engine, 2-a flexible coupling, 3-a friction clutch, 4-a gear, 5-a constant pitch propeller screw



Rys. 3. Struktura modelu systemu napędowego statku przedstawionego na rys. 2  
Fig. 3. The structure of a model of the propeller unit, shown in fig. 2

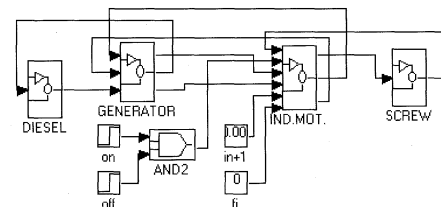
Przyjęcie w modelach podsystemu elektroenergetycznego zmiennych stanu: wartości amplitudy napięcia, prądu, częstotliwość oraz kąt przesunięcia fazowego umożliwia obserwację wszystkich istotnych parametrów obwodów elektrycznych.

Na rys. 4 i 5 przedstawiono przykładową strukturę steru strumieniowego i strukturę modelu symulacyjnego.



Rys. 4. Przykładowa struktura steru strumieniowego statku; przyjęto następujące oznaczenia: 1-średnioobrotowy wysokoprężny silnik spalinowy, 5-śruba nastawna, 6-generator synchroniczny, 7-silnik asynchroniczny dwuklatkowy

Fig. 4. An exemplary structure of a tubular rudder; the following symbols are accepted: 1-middle speed Diesel engine, 5-a control pitch propeller screw, 6-generator, 7-induction motor



Rys. 5. Struktura modelu steru strumieniowego przedstawionego na rys. 4  
Fig. 5. The structure of a model of the tubular rudder, shown in fig. 4

Przedstawione rozważania wykazują, że można dobrać struktury modeli elementów składowych podsystemu napędowego statku zapewniające bliskość topologiczną modeli symulacyjnych ze schematami projektowymi zespołu. Jedyną różnicą występuje w liczbie przesyłanych informacji (sygnałów), co wynika z różnych poziomów abstrakcji modelu projektanta - schematu projektowego i modelu symulacyjnego.

Struktury modeli podsystemu elektroenergetycznego statku wykazują mniejszą zgodność topologiczną, jednakże zapewniono proste reguły tworzenia modeli obwodów szeregowych i równoległych odbiorników energii.

Uzyskane struktury modeli symulacyjnych umożliwiają algorytmizację procedur tworzenia modeli symulacyjnych w oparciu o schematy projektowe systemu energetycznego statku. Dla opisu schematu projektowego w postaci listy elementów składowych i listy zdefiniowanych powiązań można generować pliki programu symulacyjnego opisujące modele symulacyjne systemów energetycznych.

#### 5. Algorytmy oceny poprawności formalnej i merytorycznej zestawionych danych

Do oceny poprawności zestawionych danych wykorzystano wiedzę zestawioną w postaci reguł wiedzy oceniających poprawność zastosowanych elementów i przyjętej struktury projektowanych podsystemów energetycznych. Przyjęto następujące założenia:

- niedopuszczalne jest bezpośrednie powiązanie ze sobą dwóch silników (10/10);
- między silnikiem, a śrubą okrętową powinien występować element pośredni - wał śrubowy (5/10);
- jeżeli silniki pracują równolegle poprzez przekładnię sumującą momenty obrotowe, to między silnikiem a przekładnią powinno występować sprzęgło (6/10);

- moment obrotowy jednego silnika nie powinien być przekazywany za pośrednictwem wału śrubowego do drugiego silnika (10/10);
- nie powinno się stosować wielu wałów śrubowych w jednym torze przenoszenia momentu obrotowego (5/10);
- moment wyjściowy przekładni sumującej nie powinien napędzać silnika (10/10);
- moment wyjściowy sprzęgła nie powinien być przekazywany na inny silnik (10/10);
- nie powinno się łączyć dwóch sprzęgieł szeregowo (10/10); moment wyjściowy przekładni rozdzielającej nie powinien oddziaływać na inny silnik (10/10);
- między przekładnią rozdzielającą, a śrubą powinien istnieć element pośredniczący - wał śrubowy (5/10);
- pomiędzy sprzęgłem, a śrubą powinien wystąpić element pośredniczący - wał śrubowy (5/10).

Reguła ujmująca ostatnie wymaganie ma następującą postać:

RULE NUMBER: 94

IF:

[POWSPRZ2]="SRUBASTAL1" OR POWSPRZ2]="SRUBASTAL2" OR

[POWSPRZ2]="SRUBASTAL3" OR POWSPRZ2]="SRUBASTAL4" THEN:

Niewłaściwa struktura podsystemu - wyjście sprzęgła połączone bez pośrednictwa wału ze śrubą - Confidence=5/10

W regułach wiedzy oceniających poprawność formalną zestawionych danych wzięto pod uwagę następujące związki między wprowadzonymi danymi:

Reguły oceniające poprawność zestawianych danych sygnalizują osiągnięcie założonego celu, przy przyjętym stopniu pewności stwierdzenia (0/10 do 10/10). W zależności od wskazanego przez reguły celu i stopnia jego pewności reguły warunkują dalszą pracę programu. Możliwe są następujące przypadki:

1. zestawione dane są niekompletne, źle zestawione, bądź zaprojektowany podsystem ma niedopuszczalną strukturę;
2. zestawione dane wskazują na nietypową strukturę projektowanego podsystemu energetycznego;
3. wprowadzone dane są poprawne i kompletne.

W przypadku 1 projektant może zakończyć pracę programu lub rozpocząć od nowa zestawianie danych opisujących projektowany podsystem energetyczny. W przypadku 2 projektant może rozpocząć od nowa zestawianie danych opisujących projektowany podsystem, bądź przejść do sesji symulacyjnej. W przypadku 3 program bez ingerencji operatora przechodzi do sesji symulacyjnej.

## 6. Zestawianie modeli symulacyjnych podsystemów energetycznych

Zestawione w ramie (w pliku o nazwie struktur.frm) dane opisujące elementy i strukturę projektowanego podsystemu stanowią podstawę opisu modelu symulacyjnego.

Proces zestawiania M-pliku programu symulacyjnego Simulink można podzielić na dwie podstawowe części:

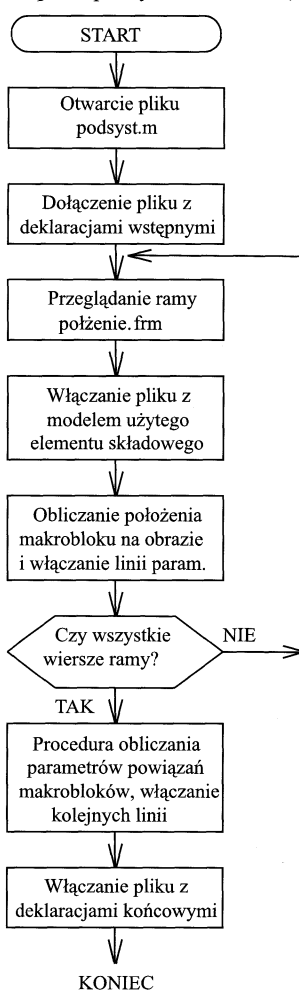
- kolejne dołączanie M-plików z opisami modeli elementów składowych do M-pliku modelu symulacyjnego projektowanego podsystemu napędowego;
- utworzenie obrazu graficznego modelu symulacyjnego projektowanego podsystemu.

W celu określenia algorytmów tworzenia M-pliku programu symulacyjnego z modelem podsystemu dokonano analizy formalnego opisu M-plików oraz zawartych informacji pod kątem semantycznym i lingwistycznym. Można stwierdzić, że tworzony M-plik opisujący model symulacyjny projektowanego podsystemu napędowego powinien mieć następującą strukturę:

- nazwa pliku, deklaracje i formalne opisy wstępne;

- kolejne zasadnicze części pliku opisujące modele stosowanych elementów składowych podsystemu, których każdy zakończony jest linią deklarującą parametry położenia makrobloku na obrazie graficznym;
- zbiór linii deklarujących powiązania makrobloków, wynikające z przyjętej struktury projektowanego podsystemu;
- deklaracje i formalne zamknięcie pliku.

Procedura zestawiania M-pliku z opisem modelu symulacyjnego projektowanego podsystemu energetycznego otwiera plik o nazwie podsyst.m (kasuje zawartość istniejącego). Następnie włączana jest do pliku podsyst.m nazwa, deklaracje i formalne opisy wstępne.



Przeglądane są kolejne wiersze ramy położenie.frm i przy napotkaniu niezerowych indeksów kolumn i wierszy włączane są kolejne pliki z modelami elementów składowych. Po każdym włączeniu pliku uruchamiana jest procedura obliczająca położenie makrobloku na obrazie graficznym. Dołączony plik uzupełniany jest linią deklarującą parametry położenia. Po przeglądnięciu całej ramy położenie.frm uruchamiana jest procedura obliczania i dołączania do pliku podsyst.m kolejnych linii określających powiązania makrobloków. Procedura zestawiania pliku podsyst.m kończy się po dołączeniu pliku z deklaracjami i formalnym zamknięciem ciągu instrukcji (wkpodzes.m). W procedurach włączania kolejnych plików biorą udział reguły wiedzy. Algorytm zestawiania pliku podsyst.m z opisem modelu symulacyjnego projektowanego podsystemu energetycznego przedstawia rys. 6.

Rys. 6. Algorytm zestawiania pliku podsyst.m tworzącego model symulacyjny projektowanego podsystemu energetycznego

Fig. 6. The algorithm of podsyst.m file creation of simulation model of the designed power subsystems

## 7. Przykładowa sesja projektowania podsystemu energetycznego statku

Do przykładowych badań symulacyjnych wybrano podsystem steru strumieniowego statku (rys. 4 i rys. 5). Jest to podsystem, który ma złożone właściwości dynamiczne, ze względu na przepływ energii mechanicznej od silnika do generatora, przepływ energii elektrycznej z generatora do silnika asynchronicznego i ponowny przepływ energii mechanicznej od silnika asynchronicznego do śruby nastawnej. Zmiana skoku śruby przenosi energię obciążenia przez wszystkie elementy pośrednie do wysokoprężnego silnika spalinowego. Interesujące są przede wszystkim stany przejściowe związane ze skokowymi zmianami zadanych wartości nastaw. Z tego względu przyjęto następujący program badań:

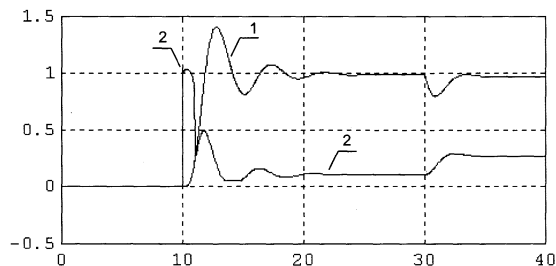
t=0 s - zostaje zadana wartość znamionowa prędkości obrotowej wału wysokoprężnego silnika spalinowego,

t=1 s - zostaje zadana wartość znamionowa napięcia generatora synchronicznego,

t=10 s - zostaje załączony silnik asynchroniczny,

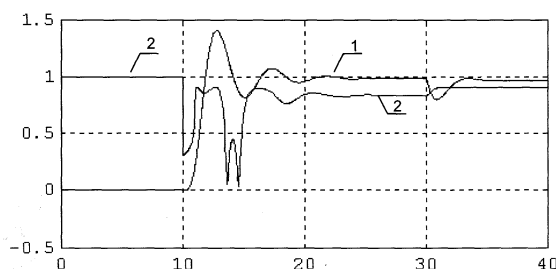
t=30 s - ustawiony zostaje skok śruby (0.6).

Aby zapewnić poprawną pracę zespołu prądowłórczego należało przyjąć moc generatora 4-krotnie większą od mocy silnika asynchronicznego. Na rys. 7, 8 i 9 przedstawiono wyniki przeprowadzonych badań symulacyjnych.



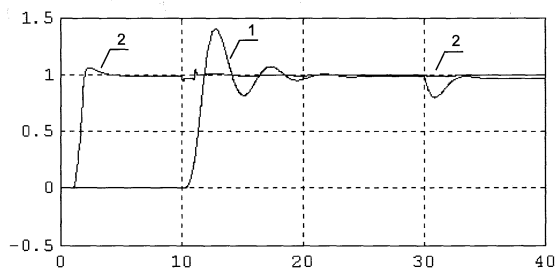
Rys. 7. Wyniki badań symulacyjnych: (1) prędkość obrotowa wału silnika asynchronicznego, (2) prąd obciążenia generatora; czas podano w sekundach, wartości prędkości obrotowej i prądy wyrażono w jednostkach względnych

Fig. 7. The simulated responses of rotational speed of induction motor (1) and load current (2); time in seconds, rotational speed and current in relative units 1 - 100%



Rys. 8. Wyniki badań symulacyjnych: (1) prędkość obrotowa wału silnika asynchronicznego, (2) przesunięcie fazowe prądu obciążenia -  $\cos\varphi$

Fig. 8. The simulated responses of rotational speed of induction motor (1) and phase shift -  $\cos\varphi$  (2).



Rys. 9. Wyniki badań symulacyjnych: (1) prędkość obrotowa wału silnika asynchronicznego, (2) napięcie na zaciskach generatora

Fig. 9. The simulated responses of rotational speed of induction motor (1) and generator voltage

Oscylacje prędkości obrotowej wału silnika asynchronicznego wynikają ze sprężystości wału napędzającego śrubę nastawną. Można zaobserwować chwilowy spadek prędkości obrotowej wału silnika w chwili skokowego wzrostu obciążenia wywołanego zmianą skoku śruby (0.6).

## 8. Uwagi i wnioski

Proces projektowania automatyki okrętowej jest złożony i trudny do sformalizowania, a ponadto wymaga przetwarzania dużych ilości danych. To spowodowało, iż dla realizacji wspomagania projektowania tego procesu zastosowane zostały takie narzędzia jak: system ekspertowy oraz baza danych, które umożliwiły dokonanie strukturalizacji wiedzy projektowej oraz zgromadzenia obszernych zbiorów danych. Opracowanie systemu poprzedzone zostało szczegółową analizą procesu projektowania prowadzoną w ścisłej współpracy

z projektantami automatyki jako ekspertami, na których doświadczeniu i intuicji opiera się dotychczasowe projektowanie automatyki statku.

Opracowana aplikacja badań symulacyjnych umożliwia ich prowadzenie w sposób bardzo efektywny. Proces zestawiania danych opisujących projektowany podsystem energetyczny i automatyczne przejście do sesji badań trwa zaledwie kilka minut. Badania pozwalają na ocenę postawionych wymagań technicznych dotyczących procesów przejściowych w podsystemach pojawiających się przy: załączeniu, wyłączeniu, zmianie parametrów pracy podsystemu, jak również wystąpieniu czynników zakłócających jego działanie.

Praca naukowa finansowana ze środków Komitetu Badań Naukowych w latach 2003-2005 jako projekt badawczy „System z bazą wiedzy i procedurami wspomagającymi podejmowanie decyzji do projektowania automatyki podsystemów energetycznych statków” grant 4T11A 009 25.

## Bibliografia

- [1] Arendt R. The choice of component elements for model structures which assure the topological compatibility of a simulation model with the configuration of a power unit. Polioptymalizacja i Komputerowe Wspomaganie Projektowania MIELNO'98 Mielno, czerwiec 1998r.
- [2] Arendt R., Kowalski Z.: Simulation investigations in an expert system for ship automation aided design. Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Conference on Unconventional Electromechanical and Electrical Systems „UEES'99”, 21-24.06.1999, V2 pp. 541-546.
- [3] Arendt R.: Problems of identification and validation of component elements of ship power systems. IEEE International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics MMAR'2001. Międzyzdroje, Poland 28-31 August 2001. Proceedings vol. 2 s. 613-618.
- [4] Arendt R.: An expert system for aided design of automation of ship power subsystems. Proceedings of the 8<sup>th</sup> IEEE International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics MMAR'2002, 2-5 September 2002 Szczecin. Proceedings vol. 2 s. 851-856.
- [5] Bertram V., Knowledge-Based Systems for Ship Design and Ship Operation, 1<sup>st</sup> International EuroConference on Computer Applications and Information Technology in the Marine Industries COMPIT'2000, Potsdam, 1999, pp. 63-71.
- [6] Kowalski Z., Arendt R., Meler-Kapcia M., Zieliński S.: Sistema s bazoj znanji dlia poddierzki projektirovania sisiem avtomatiki sudovych energeticheskikh ustanovok. Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Conference on Unconventional Electromechanical and electrical Systems „UEES'99”, 21-24.06.1999, V2 pp. 653-658.
- [7] Kowalski Z., Arendt R., Zieliński S. Inteligentny system wspomagania projektowania układów automatyki statków. XIII Krajowa Konferencja Automatyki, Opole 21-24 września 1999.
- [8] Kowalski Z., Arendt R., Meler-Kapcia M., Zieliński S.: An expert system for aided design of ship systems automation. Expert system with Applications. 2001, vol. 20, No. 3, pp. 261-266.
- [9] Kowalski Z., Arendt R., Zieliński S., Meler-Kapcia M.: System ekspercki projektowania automatyki statków. Pomiary Automatyka Robotyka Nr 7/8, lipiec-sierpień 2001, s. 6-9.

**Title:** An Application of Simulation Investigations in Design of Ship Power Subsystem Automation