

# SOLUȚII DE OPTIMIZARE ALE SISTEMULUI ELECTROENERGETIC NAVAL PENTRU CREȘTEREA EFICIENȚEI CONSUMULUI DE ENERGIE ELECTRICĂ

Dr. ing. Serghei RADU<sup>1</sup>, Prof. dr. ing. Gheorghe SAMOILESCU<sup>2</sup>,  
Ș.l. dr. ing. Adelina BORDIANU<sup>3</sup>,

<sup>1</sup> Barklav Crewing Company, Constanta, Romania,

<sup>2</sup> Academia Navală „Mircea cel Bătrân” – Constanța,

<sup>3</sup> Universitatea Politehnica București

**REZUMAT:** Lucrarea face o prezentare a unor modelări ale sistemului electroenergetic naval cu avantaje și dezavantaje, cu luarea în considerare a unor ipoteze noi, având la bază tehnicile actuale de modelare care sunt canalizate pe două direcții diferite, și anume: utilizarea tehnicilor numerice cu algoritmi diferiți pentru procesele tranzitorii și dinamice și utilizarea tehnicilor hibride de simulare (analogic-numerice). Se face o analiză a cerințelor rețelelor electrice, a condițiilor ce trebuie îndeplinite pentru optimizarea funcționării lor. Se analizează sistemul de distribuție a energiei electrice și se propune introducerea a două modele pentru economisirea de energie electrică.

**Cuvinte cheie :** sistem electroenergetic naval, energie electrică, rețele electrice, tehnici de modelare, optimizare.

**ABSTRACT:** The paper presents a presentation of modeling of the naval power system with advantages and disadvantages, taking into account new hypotheses, based on the current modeling techniques that are channeled in two different directions, namely: the use of numerical techniques with different algorithms for transient and dynamic processes and the use of hybrid simulation techniques (analog-numerical). An analysis is made of the requirements of the electrical networks, the conditions that need to be met to optimize their operation. It analyzes the electricity distribution system and proposes the introduction of two models for saving electricity.

**Keywords:** naval power system, electricity, electrical networks, modeling techniques, optimization.

## 1. INTRODUCERE

Ansamblul instalațiilor electrice de producere, transport, distribuție și utilizare a energiei electrice, interconectate într-un anumit mod și având un regim comun și continuu de producere și consum de energie electrică, alcătuiesc un *sistem electroenergetic-S.E.E.* Energia electrică produsă în centralele electrice navale este transmisă spre consumatori prin *rețelele electrice* constituite din linii electrice, transformatoare, tablouri de conexiuni și consumatori. Rețelele electrice trebuie să satisfacă o serie de condiții tehnice și economice dintre care cele mai importante sunt: asigurarea continuității în alimentarea cu energie electrică a consumatorilor (în funcție de natura efectelor produse de întreruperea alimentării), siguranța în funcționare, asigurarea parametrilor calitativi ai energiei electrice furnizate consumatorilor, eficiența economică a centralei electrice navale [1,3, 4,5,6].

Transmiterea energiei electrice spre consumatori se face la diferite nivele de tensiune stabilite pe baza unor tipurilor de consumatori, ținând seama de pierderile de energie (direct proporționale cu pătratul

puterii vehiculate și cu lungimea liniei și invers proporționale cu pătratul tensiunii). Există, în principal, următoarele trei tipuri de modelare a unui sistem: modelare matematică, în care se scriu ecuațiile care reprezintă relațiile funcționale pe baza legilor care le guvernează. Aici, caracteristicile structurii sistemului sunt reprezentate implicit prin coeficienții care apar în ecuații; modelarea fizică, în care se face o reprezentare în miniatură a elementelor și a legăturilor structurii sistemului pe baza criteriilor de similitudine. Relațiile funcționale rezultă implicit între mărimile de intrare și cele de ieșire reprezentate la o scară aleasă; modelarea mixtă, care se află între cele două tipuri de modelări prezentate mai sus și care satisface cerințele activității de dispecer[3,7].

Modelele matematice au avantajul unei exactități mai mari, dar au dezavantajul că ascund de obicei fenomenul fizic. Modelele fizice, au avantajul unei similitudini mai pregnante cu realitatea fizică, dar au dezavantajul unei exactități mai mici. Cercetările în domeniul sistemelor electroenergetice navale, au arătat că simularea dinamică este de mare utilitate în planificarea și dezvoltarea unor modele eficiente de

realizare a unor S.E.E. și de înlăturare a unor defecte în cazul unor avarii [1,5,6].

Aceste studii extinse reclamă luarea în considerare a unor ipoteze noi, modificarea condițiilor de frontieră, reprezentarea unor elemente și subsisteme noi, pentru realizarea unui model cât mai complet și mai fidel al S.E.E.. Apar, deci, condiții de modelare diferite pentru procesele care au loc în regimurile tranzitorii și pentru cele din timpul perioadelor dinamice. În această situație, tehnicile actuale de modelare sunt canalizate pe două direcții diferite, și anume: utilizarea *tehnicilor numerice* cu algoritmi diferiți pentru procesele tranzitorii și dinamice și utilizarea *tehnicilor hibride de simulare* (analogic-numerice). Utilizarea tehnicilor hibride presupune conceperea, proiectarea și executarea unor simulatoare digital-analogice capabile să analizeze comportarea dinamică a unui sistem cu un număr dat de noduri. În mod obișnuit se simulează analogic următoarele cinci elemente de bază ale S.E.E.: generatoarele sincrone, transformatoarele, liniile electrice, cuplele și consumatorii [2,7,8].

O simulare hibridă permite viteze de calcul foarte mari la frecvențe de lucru mult mai ridicate decât cea a rețelei și obținerea soluției într-un timp foarte scurt. Dar soluția este calitativă și pentru a avea rezultate cât mai exacte este necesară compararea ei cu soluția obținută pe calculatorul numeric. Metoda cea mai eficientă și universal valabilă este modelarea matematică a S.E.E. și utilizarea tehnicilor numerice de rezolvare.

Pentru ca rețelele electrice de la nave să răspundă cerințelor de flexibilitate, optimizare și creșterea eficienței acestora, trebuie să răspundă următoarelor cerințe [1,5,6]:

– *Flexibilitate*. Rețelele electrice trebuie să prezinte configurații care să permită menținerea continuității în alimentarea cu energie electrică a consumatorilor în orice condiții de funcționare. O cale de creștere a flexibilității rețelelor electrice o constituie interoperabilitatea acestora.

– *Accesibilitate*. Rețelele electrice trebuie să permită alimentarea tuturor consumatorilor în funcție de rolul pe care îl îndeplinesc în S.E.E., esențiali sau neesențiali.

– *Securitate*. Securitatea funcționării consumatorilor, este o cerință impusă rețelelor electrice moderne. În plus, cerințele unei societăți digitale sunt îndeplinite prin asigurarea calității energiei electrice. Securitatea furnizării energiei electrice se referă și la condițiile de funcționare ale rețelei electrice.

– *Economicitate*. Dezvoltarea infrastructurii rețelelor electrice trebuie încurajată prin inovare, management eficient al energiei, competiție și reglementări tehnice, deoarece orice cheltuială nejustificată se reflectă asupra prețului energiei electrice produse la bordul navei.

## 2. OPTIMIZAREA FUNCȚIONĂRII REȚELEI ELECTRICE

Pentru realizarea unor soluții optime de optimizare a sistemelor electroenergetice navale și de creșterea a eficienței acestora este nevoie de următoarele elemente [7]:

a) focalizarea și monitorizarea rețelei în general, iar în particular managementul alarmelor și defectelor, acțiuni preventive și corective și aplicații inteligente pentru operatorii de sistem;

b) implementarea unui nou „nivel de control delegat”, pentru controlul rețelei electrice, care să permită operatorilor de sistem să facă față complexității crescute a managementului rețelei în prezența generării dispersate și distribuite; în cadrul „nivelului de control delegat” o atenție specială trebuie acordată monitorizării rețelei în contextual primului obiectiv privind optimizarea funcționării și utilizării rețelei electrice; nivelul de control delegat se va utiliza pentru:

c) implementarea unor funcții de control activ (ex.: reconfigurarea rețelei electrice asistată de la distanță, managementul defectelor, proceduri de auto-restaurare etc.) prin care să se asigure securitatea funcționării și calitatea energiei electrice; adaptarea noilor funcții implementate prin măsurări on-line, în condițiile unor restricții tehnice și de piață și evenimente prevăzute/neprevăzute; integrarea efectivă a sistemelor de stocare și sistemelor de răspuns al sarcinii;

d) funcțiile rețelei de distribuție active trebuie să includă produse software noi / soluții bazate pe optimizarea dinamică și multi-obiectiv și modelarea integrată a incertitudinilor pentru planificare / planificarea funcțională:

– produse software pentru optimizarea dimensionării, amplasării și configurării unor microrțele în cadrul rețelelor de distribuție;

– produse software pentru reconfigurarea optimă și restaurarea serviciului de furnizare în rețelele de distribuție active.

## 3. FUNCȚII SPECIALE PENTRU ECONOMISIREA SUPLIMENTARĂ DE ENERGIE

Modelul de construcție N.X. al firmei CentraLine oferă funcții care optimizează consumul de energie al pompelor și ventilatoarelor-figura 1. În mod normal, sistemele cu convertizor de frecvență lucrează pe baza unui raport frecvență – tensiune direct proporțional. Acest lucru înseamnă că la creșterea frecvenței/a turației motorului cu 10%, crește și tensiunea cu 10%. Convertizoarele de frecvență din seria N.X. a firmei CentraLine dispun de o funcție automată, așa-numită optimizare a fluxului, care poate optimiza nivelul de tensiune prin adaptarea

acestui raport. Această funcție poate conduce la o economie suplimentară a energiei de până la 5%.

În mod suplimentar, întreaga serie de produse dispune de posibilitatea de a opri propriul ventilator de răcire, când acesta nu este necesar.



**Fig. 1.** CentraLine model N.X. (N.X.L. Compact, N.X.L. H.V.A.C. și N.X.S.).

Acest lucru conduce la o economie suplimentară de energie și prelungește durata de viață a pieselor mobile în convertizorul de frecvență[9].

#### 4. ECONOMIA DE ENERGIE ÎN PRACTICĂ

Integrarea fizică și funcțională a sistemului de energie electrică și a sistemului de automatizare, alocarea optimă și controlul puterii pentru toate subsistemele sunt criterii importante în optimizarea consumului de energie electrică. Dezvoltarea noilor sisteme complexe echipamente și instalații sunt analizate folosind metode teoretice relevante pentru **performanță, securitate și fiabilitate** [6,7].

Se urmărește folosirea unor metode de analiză și de optimizare a consumului de energie astfel încât să se realizeze analiza comportamentului dinamic al echipamentelor având ca suport sistemul de control și gestionare a energiei

Conform explicațiilor de mai sus, se vor considera economiile datorate convertizoarelor de frecvență la evaluarea costurilor și a perioadelor de amortizare. Programele CentraLine de calcul a potențialului de economie a ventilatoarelor și pompelor vă oferă un ajutor prețios la evaluarea posibilităților dumneavoastră de economisire în cazul investițiilor în convertizoare de frecvență.

Comparativ, programele de calcul se bazează pe cele mai utilizate metode de reglare cum ar fi reglarea debitului cu clapeta de reglare pentru ventilatoare sau ventile și reglaje pornire/oprire pentru pompe.

#### 5. SISTEMUL DE DISTRIBUȚIE ELECTRICĂ

Un sistem de distribuție electrică (S.D.E.) este o componentă cheie a arhitecturii sistemului integrat de

putere care îmbunătățește fiabilitatea și durata de funcționare a rețelei de distribuție cu energie electrică a navei. Spre deosebire de sistemul radial convențional de distribuție a energiei electrice, care distribuie puterea sarcinilor prin centrele de sarcină, S.D.E. are două sisteme de baza principale (traseu bare tribord și traseu bare babord) pentru a asigura căile redundante de alimentare.

Odată cu introducerea Power Electronic Building Blocks (P.E.B.B.), S.D.E. poate reconfigura traseele fluxului de putere, ca răspuns la diferitele priorități de încărcare cu sarcină, într-un timp real. În timp ce integrarea de sisteme generatoare de putere ofera multe beneficii, introducerea de noi tehnologii (sistemele de alimentare electronice avansate, sistemele inteligente de control și tehnologii energetice de stocare) duce la creșterea nevoii de gestionare a energiei în timp real și o reconfigurare a sistemului pentru a se putea interveni în caz de defectare a unui echipament electric.

Obiectivul principal al gestionării energiei în timp real este de a asigura alimentarea continuă cu energie electrică a întregului sistem electroenergetic naval sporind astfel fiabilitatea sistemului.

Exemple de creștere a eficienței sistemului electroenergetic naval: recuperarea căldurii gazelor de evacuare de la Motorul Principal (M.P.), Caldărina cu Arzător și cea Recuperatoare (C.A./C.R.) și de la Diesel Generatoare (D.G.) astfel încât energia gazelor să fie convertită în energie electrică folosind turbine cu aburi sau generatoare turbo); reducerea consumului de energie electrică prin controlul frecvenței. Se pot obține economii de până la 40%.

#### 6. CONCLUZII

În scopul optimizării de energie electrică în corelație cu creșterea fiabilității sistemelor electroenergetice ale navelor maritime se urmărește modernizarea tuturor echipamentelor și instalațiilor ce vor fi implementate la bord cât și dezvoltarea propulsiei marine astfel încât să se realizeze o eficiență energetică crescută și un impact redus asupra mediului. Strategia de modernizare a sistemului electroenergetic naval se bazează pe următoarele: eficacitate mare, mare flexibilitate cu niveluri scăzute de emisii utilizându-se sisteme combinate alcătuite din multiple și diferite componente generatoare de energie, folosirea celulelor de combustie într-un sistem optimizat.

Dezvoltarea și utilizarea instrumentelor numerice pentru realizarea sistemelor combinate de producere a energiei. Dezvoltarea modelelor componentelor la diferite nivele de complexitate, metode pentru asamblarea acestora în simulatoare de software puternice, utilizarea de astfel de simulatoare pentru analiza comportamentului dinamic și operațional și identificarea limitărilor sunt foarte importante în dezvoltarea următoarei generații a sistemelor electroenergetice navale.

## CERCETARE ȘI EXPERTIZĂ INGINEREASCĂ LA CONSTANȚA

Sistemele de control și gestionare a consumului de energie electrică sunt părți integrante din sistem. Dezvoltarea și testarea unor asemenea sisteme de integrare a controlului și de gestionare a consumului de energie electrică sunt extrem de importante pentru funcționarea sigură și eficientă a sistemului electroenergetic naval. Cunoștințele de proiectare și de optimizare a unui astfel de control și sistem de gestionare trebuie să fie dezvoltate.

**Conversia energiei:** pentru opțiunile alternative de tehnologie, eficiența conversiei energiei variază (motor diesel, turbine cu gaz, celule de combustibil).

Dezvoltarea viitoare de la tehnologia alternativă la un motor diesel, necesită studii profunde și notarea diferitelor aspecte ale componentelor și sistemului de eficiență.

**Proiectarea conceptuală:** flexibilitatea soluțiilor în design-ul sistemului de propulsie sau a generatoarelor de putere este în creștere cu creșterea cererii alternativelor la motoarele diesel tradiționale. Optimizarea sistemului cu utilizarea soluțiilor alternative, inclusiv soluții hibrid, necesită modele analitice îmbunătățite și instrumente în procesul de proiectare conceptual al navei.

Eforturile specialiștilor navali pentru dezvoltarea Sistemului Electro Energetic al unei nave a fost materializat prin realizarea *Sistemului Integrat de*

*Putere* (I.P.S.) pentru toate cerințele electrice navale. I.P.S. constă dintr-o arhitectură, o familie de module și procese de proiectare ce permit dezvoltarea propulsiei și a sistemelor electroenergetice navale pentru o gamă largă de aplicații.

## BIBLIOGRAFIE

- [1] Serghei Radu, Gheorghe Samoilescu.- „*Particularități ale energiei electrice în sistemul de management energetic pe o navă maritimă*”-, Editura Muntenia, Constanta, 2016, ISBN 978-973-692-394-4.
- [2] Knies W., Schierack K.: „*Electrische Anlagentechnik*”, Carl Hanser Verlag, Munchen Wien 1991.
- [3] Comisia Europeană – „*Vision and Strategy for Europe’s Electricity Networks of the Future*”, Platforma Tehnologică Europeană SmartGrids, 2006.
- [4] EPRI – „*The Integrated Energy and Communication Systems Architecture*”, Vol. IV, Technical Analysis, Electric Power Research Institute, 2004.
- [5] Dumitru Nanu: „*Instalații electrice navale*”, Editura centrul editorial al armatei, București, 2009.
- [6] Gheorghiu S., Panait C.: „*Mașini și sisteme de acționari electrice navale*”, Editura Academiei Române, București, 2004.
- [7] Vasile Cătuneanu, Florin Popentiu: „*Optimizarea fiabilității sistemelor*”, Ed. Academiei, București, 1989.
- [8] Ioana Odor, Costin Cepișca, Andrei Horia: „*Măsurarea energiei electrice*”, Ed. ICPE, București, 2000.
- [9] <http://msdn.microsoft.com/library/default.aspx>

## Despre autori

Dr. ing. **Serghei RADU**

Barklav Crewing Company, Constanța, România

Absolvent al Institutului (Academiei Navale) „Mircea cel Bătrân” în anul 1984. Este doctor în Inginerie electrică, titlu obținut la Academia Tehnică din București în anul 2014. Din anul 1984 este ofițer maritim electrician și inginer șef mecanic din 2005. Membru AGIR și, precum și membru al următoarelor asociații: ALUMNI, LNR, Asociația de Compatibilitate Electromagnetică din România etc. Are experiență la bordul navelor comerciale, fiind inginer de exploatare. A scris peste 20 de articole la conferințe și simpozioane internaționale, la buletine științifice.

Prof. dr. ing. **Gheorghe SAMOILESCU**

Academia Navală „Mircea cel Bătrân”, Constanța, România

Absolvent al Institutului (Academiei Navale) „Mircea cel Bătrân” în anul 1984. Este doctor în Electrotehnică, titlu obținut la Universitatea Politehnică București în anul 2009. Din anul 2007 este profesor universitar în cadrul Academiei Navale „Mircea cel Bătrân”, ocupând de-a lungul anilor diverse funcții de conducere în managementul învățământului universitar și a cercetării în cadrul instituției. Este conducător de doctorat din 2009. Deține o invenție, 4 premii pentru cărți în domeniul științelor și Tehnică, a scris 4 tratate și 24 cărți și peste 200 articole publicate în reviste științifice sau comunicate la conferințe și simpozioane naționale și internaționale. A primit mai multe premii naționale și internaționale. Membru AGIR și vicepreședinte al Filialei AGIR Constanța, precum și membru al următoarelor asociații: SRPRNI, Asociația Internațională a Inginerilor din Construcția de Mașini, IEEE, Asociația de Compatibilitate Electromagnetică din România etc.

Dr. ing. **Adelina BORDIANU**

Universitatea „Politehnică”, București, România

Absolventă a Universității Politehnică București, România în anul 2009. Este doctor în Inginerie electrică, titlu obținut la Universitatea Politehnică din București în anul 2012, iar din anul 2009 este cadru didactic la această instituție. A scris 39 articole-12 în volumele unor manifestări științifice internaționale recunoscute și indexate, 12 la reviste indexate ISI și BDI, 3 în reviste recunoscute internațional și CNCSIS, 10 în volumele unor manifestări științifice internaționale și 2 la conferințe naționale, o carte de specialitate și 2 proiecte naționale.