

Curenți de mod comun în industria maritimă

Cum a implementat compania Alewijnse miezuri nanocristaline de formă ovală pentru suprimarea curenților de mod comun, crescând fiabilitatea în toate condițiile de operare.

Cuprins



Rezumat	03
Introducere	04
Descrierea sistemului și a problemei	04
Soluție tehnică	07
Proprietățile miezurilor	08
Rezultate	10
Concluzie	11

Rezumat



Sistemele de propulsie electrică navală demonstrează în general o tendință puternică de creștere a eficienței în toate condițiile de operare. În acest caz specific, însă, sistemul de generare, distribuție și propulsie electrică nu respectă toate cerințele EMC pentru nave; mai exact, pierderile de curent (inclusiv efectul capacitiv) depășeau limitele definite de regulile Lloyd's – deși componentele individuale respectau specificațiile.

În urma analizei cerințelor și condițiilor electrice, mecanice și dimensionale existente, am dezvoltat miezuri nanocristaline de formă ovală pentru suprimarea curenților de mod comun, acestea fiind compatibile cu cerințele mecanice și termice ale mediului respectiv. Acest articol prezintă cerințele, proiectarea miezurilor și rezultatele obținute privind curenții de mod comun.

Introducere

Propulsia electrică este implementată pentru a reduce consumul de combustibil și spațiul necesar, crescând totodată fiabilitatea sistemelor de propulsie și alimentare electrică. Acest aspect este esențial pentru navele cu notare de poziționare dinamică (DP), precum navele de așezare de cabluri/conducte și navele de aprovizionare offshore.

Sistemele electrice de generare, distribuție și propulsie sunt complexe din punct de vedere EMC din cauza condițiilor speciale de pe nave, comparativ cu aplicațiile industriale obișnuite. Cerințele EMC sunt definite de IEC 60533 și de regulile societății de clasificare Lloyd's.

În cazul nostru specific, componentele electrice respectau standardele IEC, dar sistemul complet nu era conform cu regulile Lloyd's după finalizarea instalației electrice. Provocarea a fost să calculăm și să introducem o suprimare suplimentară de mod comun în spațiul disponibil limitat.

Descrierea sistemului și a problemei

Navă de așezare de cabluri/conducte cu sistem de propulsie electrică și notare DP AA conform Lloyd's Register, echipată cu:

- 5 (6) generatoare diesel, tensiune 690V, frecvență 60 (50)Hz (putere totală aprox. 13MW)
- 2 propulsoare azimuth (aprox. 6MW fiecare)
- 3 propulsoare de prova (aprox. 4MW)
- 1 propulsor de pupa (aprox. 1MW)

O parte a sistemului este prezentată în figura 1. Sistemul AC este un sistem IT (izolat față de pământ). Convertizorul de frecvență (VFD) cu redresor activ (Active Front End, AFE) este conectat direct la tabloul principal de joasă tensiune (MSB) de 690 VAC.

Avantajele redresorului activ față de sistemele convenționale 12/24-pulsuri includ: reducerea THD, eliminarea necesității unui transformator, economie de spațiu etc.

În cazul nostru, redresorul activ utilizează tranzistoare IGBT cu frecvență de comutație de 1.5kHz.

Proiectarea sistemelor de propulsie trebuie să respecte regulile IEC 60533 și regulile societății de clasificare Lloyd's (6.4 - Protecția împotriva curenților de scurgere la pământ).

Conform standardelor IEC 60533, sunt definite următoarele zone EMC:

- Punți și punte de comandă
- Zonă de cazare
- Zonă generală de distribuție a energiei
- Zone speciale de distribuție

VFD-urile fac parte din zona specială de distribuție, unde nu există limite prestabilite pentru emisii radiante sau conduse, spre deosebire de celelalte zone. Din această cauză, AFE-urile nu includ filtre de mod comun standard, responsabilitatea revenind integratorului de sistem.

Pe de altă parte, regulile Lloyd's impun ca fiecare sistem cu conexiune la pământ să aibă un sistem de monitorizare continuă a curentului de scurgere, limitat la 5 Arms.

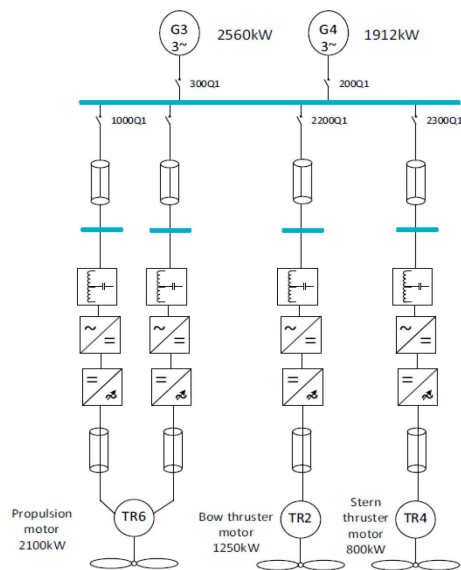


Fig. 1: Parte a sistemului electric analizat.

Componentele încadrate cu roșu sunt prezentate detaliat în figura 2.

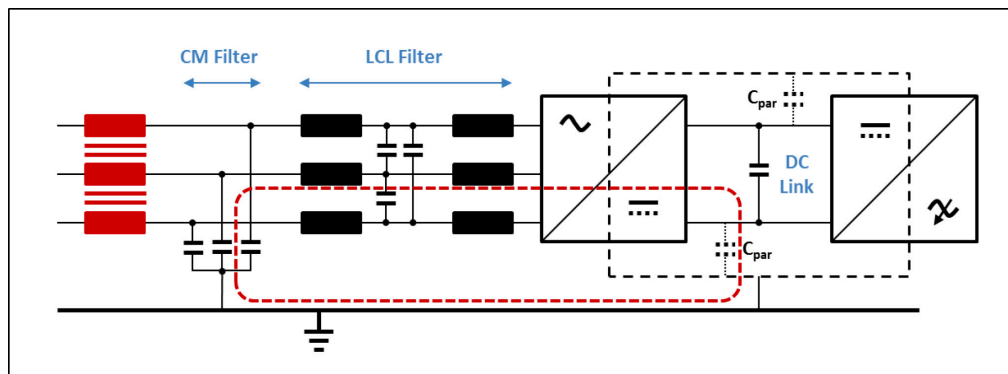


Fig. 2: Detaliu din figura 1: Configurația Active Front End (AFE)

Aceasta ilustrează:

- Poziția filtrului de mod comun (CMC)
- Calea dorită a curentului de mod comun (linie punctată roșie)

În proiectarea instalațiilor electrice pentru nave, determinarea corectă a traseului cablurilor, selecția cablurilor și segregarea cablurilor este esențială în raport cu cerințele menționate mai sus. În proiectarea dulapurilor VFD pentru sistemul de propulsie electrică, trebuie implementate componente suplimentare care acționează ca un sistem de împământare la frecvențe înalte, cum ar fi șina EMC, filtrul mod comun etc., în legătură cu cerințele menționate anterior. Totuși, în proiectarea electrică nu este posibil să se acopere toate riscurile legate de fenomenele modului comun. Prin urmare, în timpul punerii în funcțiune este necesar să se măsoare nivelul și spectrul de frecvență al curenților de mod comun.

Procesul de comutare în IGBT generează prin legătura DC (ca sursă) o tensiune de mod comun (zgomot) tipic între 20 kHz și 1 MHz, în cazul nostru în principal între 50 și 200 kHz. Curentul corespunzător circulă în principal prin șina PE și înapoi spre legătura DC. Totuși, o parte din curentul de mod comun urmează un traseu parazit prin corpul navei înapoi spre generator și prin MSB (tablou principal de distribuție) înapoi la bornele inverterului. Pe lângă problema generală legată de regula societății Lloyd's, generatoarele sunt afectate de acest curent, ceea ce le reduce durata de viață. Toți curenții de mod comun menționați în acest articol au fost măsurați la cablurile generatorului, aproape de generator (vezi fig. 1).

În timpul instalării dulapurilor VFD, filtre suplimentare de mod comun (vezi fig. 2, care nu sunt componente standard în VFD) sunt implementate la intrarea AFE (invertoare de frecvență activă). Acestea constau doar din condensatori și sunt conectate prin punctul stea la șina PE a dulapului de comandă pentru a redirecționa curentul de mod comun înapoi în legătura DC (traseul roșu în fig. 2, ICMC2 în fig. 3). Cu cât impedanța traseului filtrului este mai mică, cu atât mai puțin curent ajunge la distribuția principală (ICMC1 în fig. 3). Aspectele legate de instalarea filtrului au un impact major asupra eficienței acestuia.

Pentru acest proiect, filtrul de mod comun a fost integrat în dulapul de comandă. Acest lucru a dus la o reducere așteptată a curenților de mod comun, dar aceștia au rămas totuși peste 5 Arms în unele configurații de operare (vezi fig. 1). Au fost necesare măsuri suplimentare (componente) pentru a reduce curentul de mod comun la niveluri acceptabile, în conformitate cu cerințele clasei.



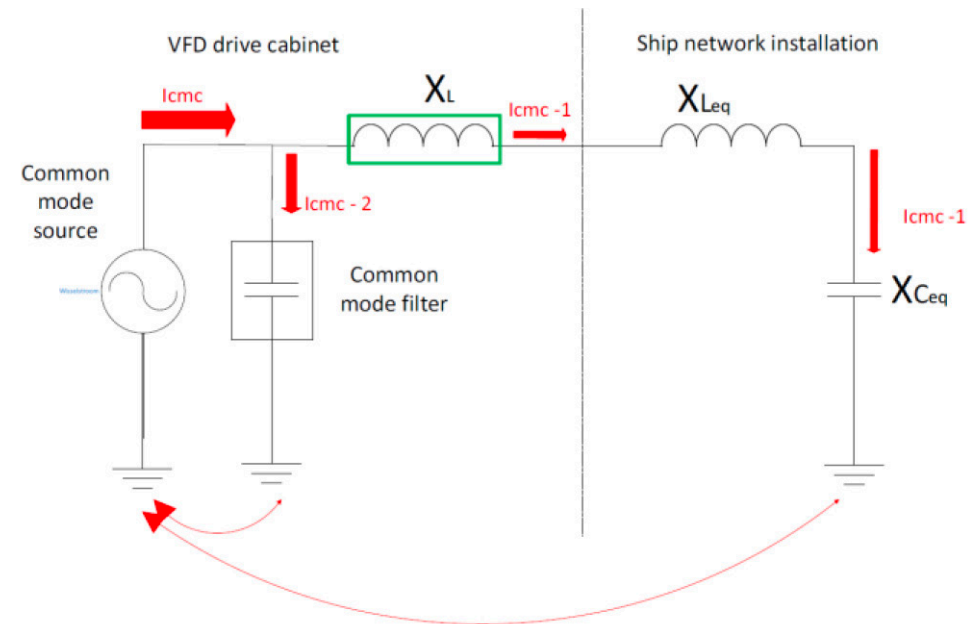
Soluția tehnică

Implementarea miezurilor în jurul cablurilor de alimentare care leagă Taboul Principal de Distribuție (Main Switch Board - MSB) și dulapul de comandă al Front End-ului Activ (Active Front End - AFE) a fost evident una dintre soluțiile tehnice luate în considerare. Scopul este de a crește impedanța la înaltă frecvență (rezistența inductivă X_L) pe traseul către MSB și de a menține curenții de mod comun în interiorul dulapului VFD. Miezurile în jurul cablurilor formează un choke de mod comun cu o singură spira pe fază. În principiu, un filtru trece-jos către MSB este format de filtrul de mod comun existent și de miez.

Pentru a selecta miezurile potrivite, sunt esențiale analiza situației curente și simulările diferitelor opțiuni. Un aspect vital în dezvoltarea acestei soluții este măsurarea nivelului modului comun și spectrul de frecvență pentru diferite configurații ale instalației electrice (rezultate selectate în tabelul 1). Planul de măsurare și definirea punctelor de măsurare fac parte din acest proces. Rezultatele au fost utilizate ca inputuri pentru specificațiile tehnice ale miezurilor. Pentru această specificație, au fost luate în considerare următoarele aspecte:

- Spațiul mecanic disponibil în dulapul de comandă
- Nivelul modului comun și spectrul de frecvență
- Relația dintre inductanță și frecvență $L(f)$
- Relația dintre inductanță și curentul de polarizare, $L(IDC)$
- Impedanța rețelei electrice a navei
- Frecvența de rezonanță a rețelei electrice a navei

Anumiți parametri ai miezurilor au fost definiți folosind instrumentul MathLab Simulink. Același model, folosind rezultatele testelor pentru miezurile reale, a fost utilizat pentru a estima influența miezurilor asupra nivelului modului comun. Rezultatele testelor pentru miezurile de probă au inclus măsurători ale $L(f)$ și $L(IDC)$.



Schema principală a curenților de mod comun din sistem

Explicație:

- I_{CMC1} : Curentul de mod comun care se scurge spre rețeaua principală
- I_{CMC2} : Curentul redirecționat înapoi prin filtrul de mod comun (cale dorită)
- Cu cât calea filtrului este mai joasă ca impedanță, cu atât mai puțin curent va circula spre generator/MSB.

Proprietățile miezurilor

Miezurile pentru suprimarea acestor curenți de mod comun trebuie să îndeplinească o serie de cerințe:

- Datorită spațiului limitat (fig. 5), să asigure o impedanță ridicată într-un volum mic, adică o permeabilitate mare
- Din cauza unui curent de mod comun destul de ridicat și a spațiului limitat (care determină o lungime maximă a traseului magnetic), este necesară o limită superioară pentru raportul permeabilitate / inducție de saturație, pentru a evita saturația
- Din cauza oscilațiilor mari de flux, rezultând din considerațiile anterioare, și a frecvențelor medii cu armonici superioare: sunt necesare pierderi reduse
- Rezistență mare la influențe mecanice, cum ar fi vibrațiile și presiunea în timpul montajului
- Rezistență termică și îmbătrânire redusă

Ca urmare, miezurile nanocristaline s-au dovedit a fi soluția optimă. Miezurile amorfe pe bază de Fe au o inducție de saturație mai mare ($BS = 1,56T$), dar nu sunt potrivite pentru impedanță ridicată în gama de frecvențe utilizată. Când sunt impregnate (vezi mai jos), permeabilitatea scade la câteva mii din cauza magnetostrictiei ridicate, iar pierderile devin prea mari. În final, inducția mare de saturație nu poate fi folosită, iar impedanța este mică.

Ferritele, deși sunt soluția optimă pentru multe aplicații CMC (Common Mode Choke), oferă o inducție de saturație prea mică ($BS = 0,3-0,45T$), ceea ce în cazul nostru conduce la dimensiuni foarte mari care nu pot fi produse sau încadrate în spațiul disponibil (fig. 5). Mai mult, se așteaptă ca miezurile de ferrită sau chiar cele de pulbere să nu fie suficient de rezistente la solicitări mecanice, având în vedere dimensiunile miezului.

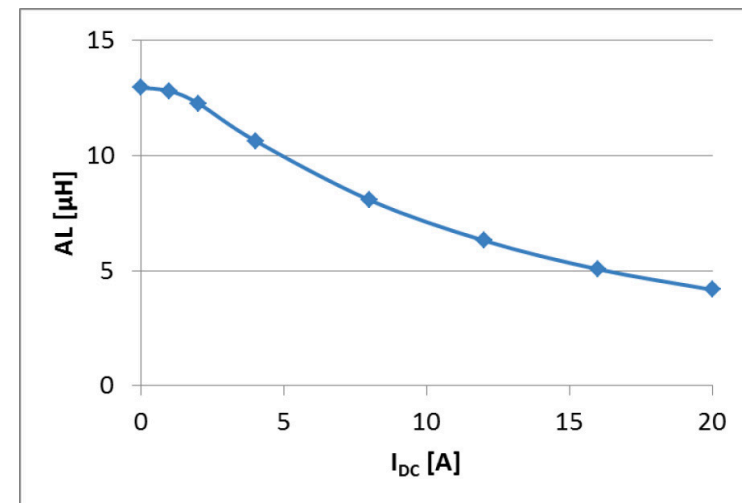
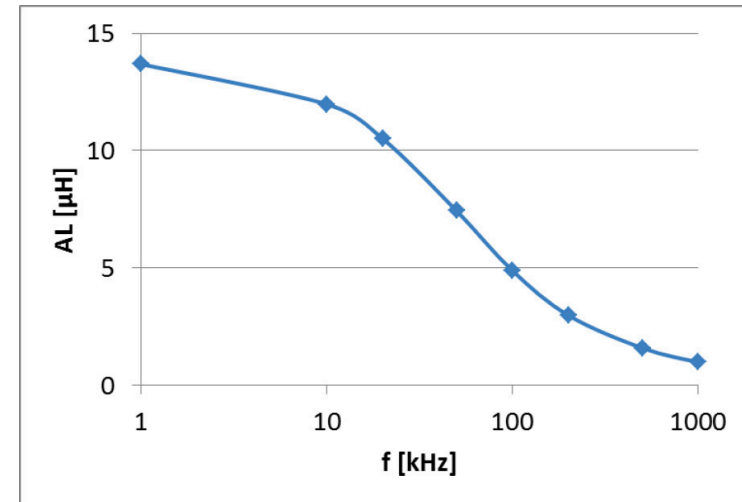
Miezurile din pulbere sau oțelul laminat nu oferă suficientă impedanță în volumul dat.



Dimensiunea miezului a fost proiectată în funcție de spațiul și condițiile de asamblare. În final, am utilizat trei tipuri de miezuri ovale extreme, cu lungimi totale de aproximativ 350-400 mm și lățimi totale de 100-170 mm, corespunzătoare dulapurilor deja montate pe navă. Permeabilitatea maximă pentru evitarea saturației, având în vedere această dimensiune a miezului, a fost calculată la aproximativ 50.000, valoare care este, de asemenea, potrivită pentru permeabilitatea materialelor în aceste condiții.

Pentru miezuri am folosit materialul VP500 de la VACUUMSCHMELZE® (BS = 1,2 T, μ i reglabil între 20.000 și 150.000 pentru un comportament liniar B-H). Miezurile au fost fabricate de către noi conform permeabilității inițiale dorite, de aproximativ 30.000. Ulterior, acestea au fost înfășurate cu bandă din fibră de sticlă și impregnate cu rășină epoxidică pentru a asigura o robustețe mecanică și termică suficientă.

După impregnare, permeabilitatea inițială a scăzut la aproximativ 15.000 - 20.000 din cauza magnetostrictiei nenule, ceea ce nu este evitabil pentru acest volum mare al miezului. Pe de altă parte, degradarea așteptată a buclei de histerezis liniară duce la o tranziție mai blândă către saturație, ceea ce ajută de asemenea la suprimarea vârfulor neașteptate ale curentului de mod comun. Așa cum este arătat în fig. 4, valoarea AL este încă în jur de 40% din valoarea inițială la cei mai mari curenți de mod comun observați (aproximativ 15 A vârf) fără miezuri de suprimare, ceea ce este acceptabil/în limite rezonabile (vezi mai jos).



Valoarea AL a unui miez tipic

- Sus: în funcție de frecvență
- Jos: în funcție de curentul continuu de polarizare (bias) la frecvența de 5kHz
- Arată comportamentul la saturație.

Date tipice ale miezului:

- Lungime medie cale magnetică: 810 mm
- Secțiune transversală magnetică: 560 mm²
- Greutate: 3.4 kg

Rezultate

Miezuri de diferite dimensiuni, adaptate condițiilor spațiale, au fost fabricate și asamblate în cadrul dulapurilor de comandă (fig. 5). În tabelul 1 sunt prezentate valorile curenților de mod comun care intră în generator înainte și după implementarea miezurilor. Tabelul arată doar trei configurații specifice ale instalației electrice. În general, analiza curenților de mod comun a fost realizată pentru toate cele 44 de configurații diferite.

După implementarea miezurilor, nivelul maxim al curentului de mod comun măsurat într-o configurație specifică a fost de 3,1 Arms. Toate valorile curenților de mod comun măsurate în ultima campanie de măsurări au respectat cerințele clasei pentru toate cele 44 de configurații diferite.

Nr. AFE online	Fără miezuri	Cu miezuri
	Max. I_{CM1} [A_{rms}]	Max. I_{CM1} [A_{rms}]
0	0.035 (60-180kHz)	0.315 (0-212kHz)
2	6.2 (70-100kHz)	2.94 (0-212kHz)
4	8.2 (80-110kHz)	2.84 (0-212kHz)
6	9.2 (80-110kHz)	2.26 (0-212kHz)

Rezultatele măsurătorilor curenților de mod comun înainte și după instalarea miezurilor



Observație:

- Frecvențele indicate reprezintă intervalul în care s-au înregistrat valori semnificative ale curenților de mod comun.
- După implementarea miezurilor, toate valorile s-au situat sub limita de 5 Arms impusă de regulile de clasificare (Lloyd's).

Concluzie

Implementarea de Active Front End în sistemele de propulsie electrică necesită atenție suplimentară în proiectarea electrică și în procesul de punere în funcțiune, în special privind cerințele EMC. Este esențială instalarea corectă a cablurilor, măsurarea curenților de mod comun (cu tot cu spectrul de frecvență), analiza rețelei de alimentare și, dacă este posibil, simularea întregului sistem.

Implementarea suplimentară a miezurilor pentru suprimarea curenților de mod comun este posibilă și a fost demonstrată cu succes, deși este un proces complex, ținând cont de configurațiile operaționale multiple și spațiul limitat disponibil.



Scan to visit website



Our goal is to co-create value with and for our customers and partners. We aim to develop and improve electrification and automation solutions which are innovative, sustainable and of the highest quality. We focus on making a valuable contribution to successful projects in the maritime and industrial sectors.

(Headquarters)
Energieweg 44
6541 CX Nijmegen
The Netherlands

T +31 (0)24 371 6100
T +31 (0)622 509 009 (24/7 Service)
info@alewijnse.com
www.alewijnse.com

WeConnect.